第 1 回つくば 3E フォーラム

報告書

2007 年 12 月 15 日, 16 日

筑波大学大学会館

Environment
Energy
Economy
TSUKUBA

第1回つくば3Eフォーラムを終えて

井上　勲　（つくば3Eフォーラム議長）

年の瀬に向けて慌ただしさの増す昨年12月15，16日，筑波大学大学会館ホールにおいて，第1回つくば3Eフォーラムが開催されました。3Eとは，どちらかを立てると他に影響が及ぶ，ジレンマならぬトリレンマの関係にある環境(environment)，エネルギー(energy)，経済(economy)のことです。人類は資源とエネルギーを大量に消費して人口を増やし，経済を発展させてきました。人間活動の環境への影響が古くから指摘され，警告されてきましたが，地球の許容力のおかげで，これまではなんとかバランスがとれていました。しかし，それがくずれていることが明らかになりました。IPCCの第4次報告書で，地球温暖化が人為的要因によるものであることがほぼ断定されたことで，一気に社会問題として浮上しました。さらに，年末から年始にかけて，メディアが地球温暖化問題を大きく取り上げたことで，国民の関心が急速に高まっています。

つくば3Eフォーラムは，このような状況に対して，つくば市をフィールドとして低炭素，省エネルギーの街づくりを進めようと，筑波研究学園都市の大学と研究機関，自治体が話し合って企画したものです。つくばには，哲学，理学，文学からナノテクノロジー，ロボット工学，再生医療の実学まで，およそ思い浮かぶほとんどの分野の研究者が住民として生活し，勤務しています。つくばは日本最大の知が集積する都市です。しかし，だからどうなのか，つくばは何を生み出してきたのか，筑波研究学園都市の連携と知の集積効果が問われてきました。大学，研究機関が改めて研究学園都市の集積効果を生み出す活動を目指して話し合うなかで，これまでとは違うぞという覚悟で打ち出したのがつくば3Eフォーラムです。つくばの大学，研究機関は，それぞれさまざまな知識と技術をもっています。これらを集約して都市システムとして構築すれば，低炭素社会の実現に，他の地域ではなしえない貢献ができるに違いありません。

第1回つくば3Eフォーラムは，開催までの準備期間が短く，十分な広報ができませんでしたが，幸いにも300名を超す方々に参加いただき，盛会裏に終了しました。この冊子は2日間の発表と議論を収録したものです。アイデアとヒントがぎっしり詰まっています。パネルディスカッションでは，市民や学生の参加者からも活発な意見が出され，環境問題や温暖化への社会の関心の高さがうかがえました。第1回つくば3Eフォーラムは，新聞やテレビで多数報道されましたが，これは，社会から筑波研究学園都市への期待と要請の表れであり，同時に激励であると受け止めています。全力を挙げて期待と要請に応えなければならないと考えています。今，つくばは確実に変わりつつあると感じています。筑波研究学園都市交流協議会のもとに，つくば3Eフォーラム委員会が設置され，フォーラムが筑波研究学園都市全体の取り組みとして活動する体制が構築されつつあります。燃料電池，バイオマスエネルギー，都市システムに関する大学と多数の研究機関の研究者がタスクフォースをつくり，活動しています。大学と研究機関からさまざまな技術やアイデアが持ち寄られ，検討されています。自治体との連携も加速しています。少し前までは，考えられなかった風景が今のつくばにはあります。一方で，学生が中心となって「3Eカフェ」が開催され，盛況でした。近く，「3E市民カフェ（仮称）」も開催されます。大学，研究機関，自治体，学生と市民の真の連携がつくばの地で興りつつあると感じています。第1回つくば3Eフォーラムは予想以上の広がりと展開をみせており，キックオフとしての一定の役割を果たしたと思います。

つくば3E宣言2007

2007 年12 月16 日

つくば3E フォーラム実行委員会

「2030 年につくばにおける二酸化炭素排出50%削減を目指して」

本年、IPCC 第4次評価報告書において、地球温暖化が進行していることなどが正式に報告され、地球温暖化への取り組みが国際的に取り組むべき喫緊の課題との認識が高まっている。これに先立ち、5 月にドイツのハイリゲンダムで開催されたG8 サミットにおいて、わが国は「Invitation to Cool Earth 50」を発表し、2050 年までに温室効果ガスの排出を50%削減することを提唱した。来年7 月に、わが国でひらかれる「洞爺湖サミット」では地球温暖化問題が主要議題となる見通しである。また、今月の 3-15 日までインドネシアのバリ島で開催された気候変動枠組み条約第13 回締約国会議（COP13）では、2013 年以降の温暖化対策案の枠組み交渉の道筋をまとめた行程表「バリ・ロードマップ」が採択された。すべての主要排出国を含む新たな交渉の場ができたことで、京都議定書後の削減体制について交渉が本格化する見通しである。

このような状況において、国内の各セクターには目標実現に向けた具体的アクションが求められている。この度、筑波研究学園都市の大学・研究機関が連携して、つくば市を低エネルギー消費で、安全安心な環境・科学教育モデル都市として再構築することを目的として「つくばエコシティー・イニシアティブ」を推進することとした。つくば環境・エネルギー・経済 (3E)プログラムは、このイニシアティブの中核的プログラムとして先行的に実施するもので、そのため、地球温暖化研究、エネルギー研究、都市開発研究等を実施している大学・研究機関と茨城県、つくば市が連携協力することの重要性が提言された。この「つくば 環境・エネルギー・経済（以下 3E）フォーラム」では、あえて 2030 年につくばにおける二酸化炭素排出を 50%削減するとの目標を掲げて、共同研究、共同事業を実施し、これを通じて「3E シティーつくばモデル」とも称しうる全国及び世界の中核都市再生にも適用可能な低炭素社会システム構築を目指すものである。

「つくば3E フォーラム」では、茨城県、つくば市、筑波研究学園都市に関連を持つ各種研究機関、団体、産業界及び市民が連携して、「3E シティーつくばモデル」を構築するための活動を以下のように推進する。

1．つくばにはCO2 削減技術の最先端技術が結集している。つくば市でのCO2 排出の多くは民生部門と運輸部門が占めており、つくばでのCO2 削減の取り組みは他の多くの都市に適用可能である。つくばのこのような特徴と優位性を活かし、2030 年にCO2 排出を50%削減するという目標達成にむけて、革新的エネルギー要素技術開発や省エネ都市再構築のための技術システム開発、社会インフラ整備、制度設計等に関して具体的な戦略の策定を行い、実行のためのロードマップを作成する。

2．来年 7 月に開催される洞爺湖サミットを見据え、省エネやエコシテイー作りにとり組んでいる国内外の主要な都市の代表者を招聘し、明年前半に第二回つくば3E フォーラムを国際会議として開催する予定である。それにむけてつくば3E フォーラムの戦略を可能な限り具体的に設定していく。

３．　温室効果ガス排出削減は今後 20 年以上にも及ぶ長期的かつ継続的な取り組みを要する課題であり、さらに 2030 年目標後の持続性・発展性を担保することが必要である。計画をたて、実行し、結果をだし、議論し、活動していく PDCA サイクル（plan- do-check−act cycle）が継続的に行われるような仕組みをもって、「3E フォーラム」および「エコシティー・イニシアティブ」を運営・実施していく体制を構築する。

４．　このような長期的かつ継続的な取り組みのためには、担い手の育成が極めて重要であるので、「3E フォーラム」および「エコ（3E）シティー・イニシアティブ」を通じて国内はもとより国外の人材の育成が図られるよう教育・広報等に特段の努力を傾注していきまたそのための体制を構築をしていく。

５．　つくば 3E フォーラムは、筑波研究学園都市に関わる茨城県、つくば市、筑波大学、産業技術総合研究所、国立環境研究所、物質・材料研究機構の 6 機関に加えて、学園都市外の大学、財団、民間企業等に賛同者が広がりつつある。今後さらにつくば市内外の多数の大学、研究機関、産業界、市民等の参加を強く期待し、よびかけるものである。

第1回つくば3Eフォーラム　参加者　集計

	機関名
つくば市内研究機関および大学 （235名）	(独)宇宙航空研究開発機構
	(独)高エネルギー加速器研究機構
	(独)国際農林水産業研究センター
	(独)国土交通省国土技術政策総合研究所
	(独)国立環境研究所
	(独)産業技術総合研究所
	(独)森林総合研究所
	筑波大学
	(独)土木研究所
	(財)日本自動車研究所
	(独)農業・食品産業技術総合研究機構
	ハザマ技術研究所
	(独)物質・材料技術研究機構
	(独)防災科学技術研究所
	(独)理化学研究所
市外研究機関および大学 （16名）	茨城大学
	神田外語大学
	東京工業大学
	東京大学
	東京農工大学
	名古屋大学
	放射線医学研究所
	山口大学
省庁 （7名）	内閣府
	環境省
	文部科学省
自治体 （23名）	茨城県
	つくば市
NGOなど （22名）	国際環境NGO　ＦｏＥ　Ｊａｐａｎ
	つくばカーフリーの会
	つくば・市民ネットワーク
	つくばバイオマスもみがら研究会
	ＮＰＯつむぎつくば
	NPOプラザ　ねこねっと

民間企業 （22 名）	英和㈱
	関東バイオエナジー㈱
	近鉄ビルサービス㈱
	JSR㈱
	新日鉄エンジニアリング㈱
	スチールプランテック㈱
	住友金属鉱山㈱
	㈱関彰商事
	筑波学園ガス㈱
	ＴＲＤつくば事務所
	㈱テクトス
	㈱都市総合計画
	ニチアス(株)
	ＮＥＣ（日本電気株式会社）
	ハイドリック・パワーシステムズ
	㈱ファイマン・コーポレーション
	三井造船㈱
	三井ホームズ（株）事業戦略室
	吉田会計事務所
その他 （21 名）	NHK
	(財)応用光学研究所
	(財)化学技術戦略推進機構
	(財)群馬県産業支援機構
	(財)つくば科学万博記念財団　エキスポセンター
	つくばテクノコンサルティングオフィス
	ＴＲＤＬ
	都市再生機構　東日本支社
	日本環境ジャーナリストの会
	古川事務所
	(財)民間都市開発推進機構

その他

・筑波大学額群生
・筑波大学大学院生
・つくば市　市民

合計 335 名

参加者概数

1 日目　　330 名
2 日目　　200 名

目　　次

第1部　第1回つくば3Eフォーラム　プログラム&要旨

●つくば 環境・エネルギー・経済（3E）フォーラムのご案内 …… 3

●第1回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム　プログラム …… 4
第1日（12月15日（土曜日））　日程
第2日（12月16日（日曜日））　日程

●講演要旨

地球温暖化とエネルギー資源

1. 地球温暖化への取り組み

地球温暖化問題への文部科学省の取り組み　文部科学省大臣官房審議官　青山 伸…… 9
温暖化対策の国際的取り組み　茨城大学　三村 信男 …… 11
地球環境観測：GOSATの取り組み　名古屋大学　井上 元、
宇宙航空研究開発機構　浜崎 敬 …… 13
地球温暖化の影響と適応　国立環境研究所　原沢 英夫 …… 14
低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発　国立環境研究所　甲斐沼 美紀子 …… 15

2. エネルギー資源の今後の動向

エネルギー資源の現状と展望　産業技術総合研究所　神本 正行 …… 16
エネルギー資源・環境問題と技術選択　筑波大学　内山 洋司 …… 18

新エネルギー要素技術

1. 燃料電池技術の現状と将来

燃料電池技術の現状と展望　産業技術総合研究所　大和田野 芳郎…… 19
高窒素ステンレス鋼のPEFC用金属セパレータへの適用可能性
物質・材料研究機構　片田 康行 …… 20

2. バイオ燃料技術の現状と将来

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題
農業・食品産業技術総合研究機構
上田 達己 …… 21
木質系バイオ燃料技術　森林総合研究所　伊神 裕司 …… 22
藻類バイオマスエネルギー技術の展望　筑波大学　渡邉 信 …… 23

3. 太陽電池技術の現状と将来

太陽光発電技術の現状と展望　産業技術総合研究所　作田 宏一 …… 24

4. 運輸技術

電気自動車，燃料電池自動車の開発動向　日本自動車研究所　荻野 法一 …… 26

省エネ都市づくりにむけて

持続可能都市のための都市構造設計　筑波大学　鈴木 勉 …… 27
2050年までに日本の運輸部門CO2を約70%削減する対策について
国立環境研究所　松橋 啓介 …… 29

バイオマスタウンつくばを目指して　農業・食品産業技術総合研究機構 柚山 義人 …… 30
持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み　民間都市開発推進機構　鈴木 敦 …… 32
茨城県の取りくみ　茨城県企画部　福地 伸 …… 33
つくば市の概要と環境対策　つくば市 市長公室　飯野 哲雄 …… 34

●ポスター講演要旨

1. 光合成と石灰化機能を持つ微細藻類による CO_2 の固定化　―バイオディーゼルとバイオミネラルの生産―
辻 敬典、鈴木 石根、白岩 善博（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 40
2. 人間社会の持続可能な発展を目指した炭化水素産生藻類ボトリオコッカスの研究
圷 大輔、高橋 春瑠香、渡邉 信（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）、河地 正伸、田野井 孝子（国立環境研究所）彼谷 邦光（東北大学大学院 環境科学研究科） …… 40
3. 光合成生物を利用したプロパノール合成系の作出に向けて
馬場 将人、白岩 善博、鈴木 石根（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 41
4. 筑波大学内の廃棄物処理システム改善に向けての研究
千葉 裕樹（筑波大学第二学群生物資源学類４年） …… 41
5. つくばエクスプレスが開業したつくば市内の道路交通改善に向けて
平沢 隆之（国土交通省国土技術政策総合研究所　高度道路交通システム研究室） …… 42
6. つくばのお祭りエコロジー
山本 泰弘（筑波大学第三学群国際総合学類２年） …… 42
7. 公立学校における省エネと光熱水費節減分還元プログラム（フィフティ・フィフティ）
岡崎 時春（国際環境 NGO　FoE Japan） …… 42
8. 刈草と剪定枝の直接燃焼によるエネルギー生産の可能性
藤巻 晴行（筑波大学大学院生命環境科学研究科） …… 43
9. 自然エネルギーを利用した水質改善システムによる CO_2 削減
岡野 邦宏、岡﨑 毅、今里 真人、内海 真生、杉浦 則夫（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 43
10. 身近なものを使ってエネルギーを体験しよう
代表　川本 健太郎（筑波大学大学院 教育研究科 教科教育専攻 理科教育コース） …… 44
11. 大学の環境教育のネットワーク構築の試み ―筑波学際環境教育セミナー（TIEES）「我が学問と環境教育」―
内山 弘美（東京大学大学院 工学系研究科　協力研究員） …… 44
12. バイオマス変換触媒の開発 ～タールのガス化とグリセリンの水素化分解～
宮澤 朋久、冨重 圭一（筑波大学大学院 数理物質科学研究科） …… 45
13. クリーン軽油製造のためのマンガン修飾 Ru/Al_2O_3 及び Ru/SiO_2 触媒上での FT 反応
モハマド・ヌルンナビ、村田 和久、岡部 清美、稲葉 仁、高原 功（(独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター BTL 触媒チーム） …… 45
14. 水素資化性メタン菌群によるバイオガスの高カロリー化技術の確立 ―CSTR で無機質を基質として馴養した水素資化性メタン菌群の定常状態での特性―
アコ オルガ、北村 豊、佐竹 隆顕（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 46
15. メタン発酵アンモニア制御を目的とした水素発酵に関する研究
小口 勇太、北村 豊、佐竹 隆顕（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 46
16. 灰分高含有木質系バイオマスのガス化における反応生成物の性状特性
小木知子、中西正和（(独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター） …… 47

17. 木材構成成分のガス化特性：小型噴流床ガス化炉における樹皮、脱リグニン樹皮ペレットのガス化
小木知子、中西正和、福田芳雄 ((独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター) …… 47
18. 複数の GCM シナリオに基づく日本の水稲収量への影響評価
飯泉 仁之直（筑波大学（現：農業環境技術研究所））、堀 正岳（筑波大学（現：名古屋大学））、横沢 正幸（農業環境技術研究所）、林 陽生、木村 富士男（筑波大学大学院 生命環境科学研究科） …… 48
19. バイオマスの効率的利用を指向したシロアリ共生系の木質分解系の網羅的解析
守屋 繁春（理化学研究所 環境分子生物学研究室） …… 48
20. 複合生物共生系への代謝流束解析の試み
雪 真弘・守屋 繁春（横浜市立大学大学院国際総合科学研究科・理化学研究所 環境分子生物学研究室）、菊地 淳（理化学研究所 PSC・名古屋大学大学院生命農学研究科）、工藤 俊章（長崎大学） …… 49
21. 産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門の概要紹介
産総研エネルギー技術研究部門 …… 49
22. 大地の熱の利用技術の研究 –冷暖房システムや融雪システム等の開発–
盛田 耕二 （産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門） …… 50
23. 太陽光発電研究センターの紹介
作田 宏一 （産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター） …… 50
24. 産総研メガワット級太陽光発電設備
作田 宏一 （産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター） …… 51
25. 水素選択透過金属膜開発 －均一薄膜化と長期安定性の両立を目指して－
須田 洋幸 （産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 膜分離プロセスグループ） …… 51
26. エネルギー高回収率を実現する熱交換システム
中島 春彦、渡辺 武徳、瀬戸 大生、庄司 雅彦 （東京農工大学） …… 51
27. 低炭素社会に向けて－日本 2050 年 70%削減シナリオの構築－
藤野 純一 （国立環境研究所） …… 52
28. 都市内大規模河川（ソウル市清渓川）の復元による大気環境改善
一ノ瀬 俊明 （国立環境研究所 社会環境システム研究領域） …… 52
29. 身近な交通の温暖化対策 －国環研がオススメするエコドライブ－
加藤 秀樹 （国立環境研究所 社会環境システム領域 交通・都市環境研究室） …… 53
30. 建築技術（要素技術の視点）
吉田 友紀子 （国立環境研究所） …… 53
31. 国立環境研究所地球温暖化研究プログラム中核研究プロジェクト３ 「気候・影響・土地利用モデルの統合による地球温暖化リスクの評価」 平成 18 年度の成果の紹介
江守 正多、高橋 潔、小倉 知夫、伊藤 昭彦、山形 与志樹、岩男 弘毅、岡田 直資、木下 嗣基、塩竈 秀夫、清野 達之、長谷川 聡、横畠 徳太、長友 利晴、増冨 祐司、野沢 徹、日暮 明子、永島 達也、原沢 英夫、肱岡 靖明、花崎 直太 （国立環境研究所 地球環境研究センター） …… 54
32. 地方自治体における地域気候変動政策の動向
馬場 健司 ((財)電力中央研究所 社会経済研究所・筑波大学大学院システム情報工学研究科) …… 54
33. 風力発電設備導入による住民への普及啓発効果
馬場 健司、田頭 直人 ((財)電力中央研究所 社会経済研究所) …… 55

第2部　第1回つくば3Eフォーラム　講演と質疑応答，講演スライド資料

●挨拶

1. フォーラム議長　筑波大学　井上 勲 …… 59
2. 岸田文雄 科学技術政策担当大臣からのメッセージ …… 60
3. 茨城県　茨城県知事　橋本 昌 …… 61
4. つくば市　つくば市長　市原 健一 …… 62
5. 筑波研究学園都市交流協議会長　筑波大学長　岩崎 洋一 …… 63

●主旨説明　フォーラム議長　筑波大学　井上 勲 …… 65

●特別講演

二酸化炭素排出50%削減にむけた科学技術的戦略課題　総合科学技術会議議員　相澤 益男 …… 68

●セッション1　地球温暖化とエネルギー資源

1-1. 地球温暖化への取り組み

地球温暖化問題への文部科学省の取り組み　文部科学省大臣官房審議官　青山 伸 …… 77
温暖化対策の国際的取り組み　茨城大学　三村 信男 …… 83
地球環境観測：GOSATの取り組み　名古屋大学　井上 元
宇宙航空研究開発機構　浜崎 敬 …… 91
地球温暖化の影響と適応　国立環境研究所　原沢 英夫 …… 98
低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発　国立環境研究所　甲斐沼 美紀子 ……105

1-2. エネルギー資源の今後の動向 ……112

エネルギー資源の現状と展望　産業技術総合研究所　神本 正行 ……112
エネルギー資源・環境問題と技術選択　筑波大学　内山 洋司 ……120

●セッション2　新エネルギー要素技術

2-1. 燃料電池技術の現状と将来

燃料電池技術の現状と展望　産業技術総合研究所　大和田野 芳郎……130
高窒素ステンレス鋼のPEFC用金属セパレータへの適用可能性
物質・材料研究機構　片田 康行 ……138

2-2. バイオ燃料技術の現状と将来

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題
農業・食品産業技術総合研究機構
上田 達己 ……146
木質系バイオ燃料技術　森林総合研究所　伊神 裕司 ……152
藻類バイオマスエネルギー技術の展望　筑波大学　渡邉 信 ……160

2-3. 太陽電池技術の現状と将来

太陽光発電技術の現状と展望　産業技術総合研究所　作田 宏一 ……168

2-4. 運輸技術

電気自動車，燃料電池自動車の開発動向　日本自動車研究所　荻野 法一 ……177

●セッション3　省エネ都市づくりにむけて

持続可能都市のための都市構造設計　筑波大学　鈴木 勉 ……185

2050 年までに日本の運輸部門 CO2 を約 70%削減する対策について
国立環境研究所　松橋 啓介 ……193
バイオマスタウンつくばを目指して
農業・食品産業技術総合研究機構
柚山 義人 ……201
持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み　民間都市開発推進機構　鈴木 敦 ……214
茨城県の取りくみ　茨城県企画部　福地 伸 ……224
つくば市の概要と環境対策　つくば市 市長公室　飯野 哲雄 ……230

●パネルディスカッション
2030 年までにつくば市で CO_2 排出 50%削減をいかに実現させるか ……236

●つくば３E 宣言 2007　3E フォーラム議長　井上 勲 ……256

●閉会挨拶　筑波大学理事・副学長　泉 紳一郎 ……258

第 1 部

第 1 回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム

プログラム&要旨

つくば 環境・エネルギー・経済（3E）フォーラムのご案内

ご存知のように、本年2月にIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第4次報告書において、地球温暖化が確実に進行していることが報告され、これによって、地球温暖化や気候変動、地球環境の変化が国際的な認識として定着してまいりました。温暖化による影響は、昨今の頻発する世界各地の異常気象や北極とグリーンランドの氷の溶解などに現れ、社会に大きな不安を抱かせるに至っています。日本でも異常な猛暑や大型台風の襲来などが温暖化の影響として取り上げられています。

そんな中で、今年6月6日（水）-8日（金）にドイツのハイリゲンダムで開催されたG8 サミットにおいて、安倍晋三前首相は、2050年までに温室効果ガスを半減させる長期目標及び「革新的技術」と「低炭素社会づくり」を柱とする長期ビジョンを「Cool Earth 50」として提唱されました。国際的にも地球温暖化への認識が進み、その防止策の策定と実行への期待が膨らんでいます。科学技術に関わる国内の各セクションに対しても、具体的な対応が求められているところですが、国内の大学、研究機関では、国民から見える形の取り組みがなされていないのが現状です。特に、巨額の費用を投入して建設されたわが国唯一の研究学園都市である筑波研究学園都市に対しては、とりわけ組織的な取り組みが求められています。筑波研究学園都市の大学、研究機関は、人類が直面しているこの重要課題に対して何らかのメッセージを発信し、具体的なアクションを起こす社会的責務があると考えます。

本フォーラムは、こうした現状認識を共有する筑波研究学園都市の大学、研究機関、自治体の主体的取り組みとして開催するものです。関連機関が連携を図り、それぞれが有する英知と技術を集約することで、低エネルギー社会と安全・安心の文化都市実現に向けて具体的活動を開始する契機とすべく企画、立案しました。本フォーラムにおいて、地球温暖化、気候変動の現状を把握し、2030年までに温室効果ガス排出を半減することを達成目標として、使用可能な要素技術の洗い出しと都市システムの提案を行います。本フォーラムを筑波研究学園都市をエコライフモデル都市として再構築するためのキックオフとして位置づけ、最終的には、この取り組みを「つくばモデル」として、内外に発信することを目標としております。

各位におかれましては、本フォーラム開催の主旨に是非ともご理解、ご賛同をいただき、筑波研究学園都市における新たな産官学連携を共にキックオフしていただきたくお願いする次第です。活発な議論を展開していただきますようお願い申し上げます。

平成19年12月15日

つくば3Eフォーラム議長　井上　勲

第1回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム

プログラム

開催日程：2007年12月15日 (土曜日)、16日(日曜日)
開催場所：筑波大学大学会館ホール (3F)
主催：筑波大学、つくば３E フォーラム実行委員会、筑波研究学園都市交流協議会、内閣府
協賛：産業技術総合研究所、国立環境研究所、物質・材料研究機構、茨城県、つくば市

第1日（12月15日（土曜日））　日程

挨拶 **13:00-13:30**

1. フォーラム議長　筑波大学　井上 勲
2. 岸田文雄 科学技術政策担当大臣からのメッセージ
3. 茨城県　茨城県知事　橋本 昌
4. つくば市　つくば市長　市原 健一
5. 筑波研究学園都市交流協議会長　筑波大学長　岩崎 洋一

主旨説明 **13:30-13:50**

フォーラム議長　筑波大学　井上 勲

特別講演 **13:50-14:30**

二酸化炭素排出50%削減にむけた科学技術的戦略課題　総合科学技術会議議員　相澤 益男

ポスターセッション **14:30-15:30**

●セッション1　地球温暖化とエネルギー資源

1. 地球温暖化への取り組み **15:30-17:10**

地球温暖化問題への文部科学省の取り組み　文部科学省大臣官房審議官　青山 伸
温暖化対策の国際的取り組み　茨城大学　三村 信男
地球環境観測：GOSATの取り組み　名古屋大学　井上 元
宇宙航空研究開発機構　浜崎 敬
地球温暖化の影響と適応　国立環境研究所　原沢 英夫
低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発　国立環境研究所　甲斐沼 美紀子

2. エネルギー資源の今後の動向 **17:10-17:50**

エネルギー資源の現状と展望　産業技術総合研究所　神本 正行
エネルギー資源・環境問題と技術選択　筑波大学　内山 洋司

懇親会 **18:10-20:00**

大学会館レストランプラザ

第 2 日（12 月 16 日（日曜日））　日程

●セッション 2　　新エネルギー要素技術

1. 燃料電池技術の現状と将来 **09:30-10:10**

燃料電池技術の現状と展望　　産業技術総合研究所　大和田野 芳郎

高窒素ステンレス鋼の PEFC 用金属セパレータへの適用可能性

物質・材料研究機構　片田 康行

2. バイオ燃料技術の現状と将来 **10:10-11:10**

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題

農業・食品産業技術総合研究機構

上田 達己

木質系バイオ燃料技術　　森林総合研究所　伊神 裕司

藻類バイオマスエネルギー技術の展望　　筑波大学　渡邉 信

3. 太陽電池技術の現状と将来 **11:10-11:30**

太陽光発電技術の現状と展望　　産業技術総合研究所　作田 宏一

4. 運輸技術 **11:30-11:50**

電気自動車, 燃料電池自動車の開発動向　　日本自動車研究所　荻野 法一

●セッション 3　　省エネ都市づくりにむけて **13:00-15:00**

持続可能都市のための都市構造設計　　筑波大学　鈴木 勉

2050 年までに日本の運輸部門 CO_2 を約 70%削減する対策について

国立環境研究所　松橋 啓介

バイオマスタウンつくばを目指して　　農業・食品産業技術総合研究機構

柚山 義人

持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み　　民間都市開発推進機構　鈴木 敦

茨城県の取りくみ　　茨城県企画部　福地 伸

つくば市の概要と環境対策　　つくば市 市長公室　飯野 哲雄

パネルディスカッション **15:30-16:45**

2030 年までにつくば市で CO_2 排出 50%削減をいかに実現させるか

司　　会：筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授　　渡邉 信

パネリスト：

産業技術総合研究所 エネルギー研究部門長　　大和田野 芳郎

JST 研究戦略開発センター 上席フェロー　　田中 一宣

国立環境研究所 社会環境システム研究領域長　　原沢 英夫

筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授　　内山 洋司

筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師　　谷口 綾子

(財)民間都市開発推進機構都市研究センター　　鈴木 敦

環境ジャーナリスト(日本環境ジャーナリストの会 副会長)　　村田 佳壽子

つくば宣言　　３E フォーラム議長　井上 勲　　**17:00-17:20**

閉会挨拶　　筑波大学理事・副学長　泉 紳一郎　　**17:20**

講 演 要 旨

●地球温暖化とエネルギー資源

1. 地球温暖化への取り組み

地球温暖化問題への文部科学省の取り組み	文部科学省大臣官房審議官　青山 伸
温暖化対策の国際的取り組み	茨城大学　三村 信男
地球環境観測：GOSAT の取り組み	名古屋大学　井上 元、 宇宙航空研究開発機構　浜崎 敬
地球温暖化の影響と適応	国立環境研究所　原沢 英夫
低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発	国立環境研究所　甲斐沼 美紀子

2. エネルギー資源の今後の動向

エネルギー資源の現状と展望	産業技術総合研究所　神本 正行
エネルギー資源・環境問題と技術選択	筑波大学　内山 洋司

●新エネルギー要素技術

1. 燃料電池技術の現状と将来

燃料電池技術の現状と展望	産業技術総合研究所　大和田野 芳郎
高窒素ステンレス鋼の PEFC 用金属セパレータへの適用可能性	物質・材料研究機構　片田 康行

2. バイオ燃料技術の現状と将来

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題	農業・食品産業技術総合研究機構 上田 達己
木質系バイオ燃料技術	森林総合研究所　伊神 裕司
藻類バイオマスエネルギー技術の展望	筑波大学　渡邉 信

3. 太陽電池技術の現状と将来

太陽光発電技術の現状と展望	産業技術総合研究所　作田 宏一

4. 運輸技術

電気自動車，燃料電池自動車の開発動向	日本自動車研究所　荻野 法一

●省エネ都市づくりにむけて

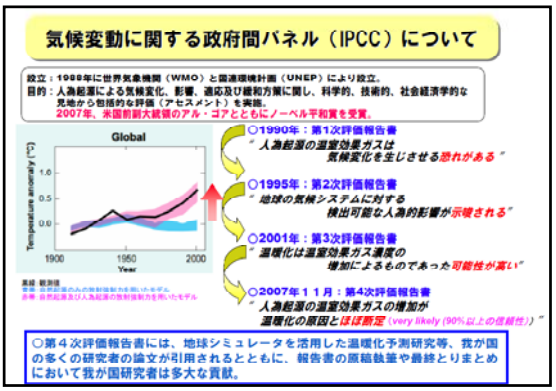
持続可能都市のための都市構造設計	筑波大学　鈴木 勉
2050 年までに日本の運輸部門 CO2 を約 70%削減する対策について	国立環境研究所　松橋 啓介
バイオマスタウンつくばを目指して	農業・食品産業技術総合研究機構 柚山 義人
持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み	民間都市開発推進機構　鈴木 敦
茨城県の取りくみ	茨城県企画部　福地 伸
つくば市の概要と環境対策	つくば市 市長公室　飯野 哲雄

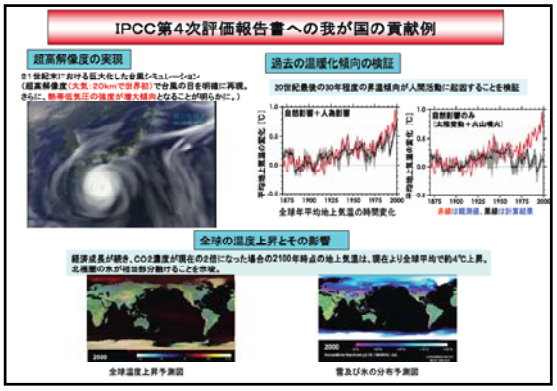
第1回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム

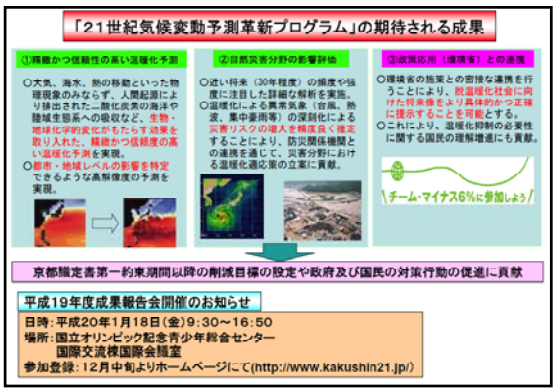
講　演　要　旨

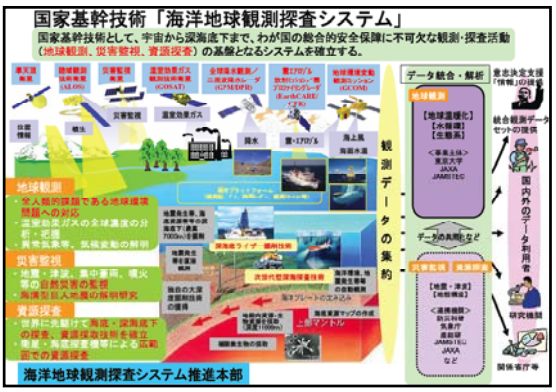
地球温暖化への文部科学省の取り組み

文部科学省 大臣官房審議官　青山 伸









文部科学省における地球環境科学技術の推進
気候変動等の観測・予測研究
◆地球観測に関する政府間会合(GEO)「GEOSS10年実施計画」に対する我が国の貢献及び総合科学技術会議「地球観測の推進戦略」に基づく統合地球観測システムの構築
◆「地球シミュレータ」を活用した地球温暖化・気候変動予測モデル開発などによる地球変動予測研究の推進
実施機関 独立行政法人、大学等
国家基幹技術
海洋地球観測探査システムの一部
21世紀気候変動予測革新プログラム
GEOSS構築の推進
IPCC第5次報告書への貢献
国際共同研究
◆我が国と地球環境問題を共有するアジア地域との科学技術を活用した国際共同研究の展開・推進
ODAを活用した科学技術協力プロジェクトの実施
実施機関 大学、独立行政法人等
アジア地域の災害対策と温暖化対策への貢献
環境対策技術開発
◆環境問題の解決に資する科学技術の研究開発
産学官の英知を結集して行う公募型プロジェクト研究
実施機関 民間企業、大学、独立行政法人等
先進的環境科学技術の研究開発による環境問題解決への貢献
気候変動に関する政府間パネル（IPCC）
気候変動に関する国際連合枠組み条約締約国会合（COP）

温暖化対策の国際的取り組み

三村 信男
茨城大学 地球変動適応科学研究機関

1. 国際的な潮流の変化

地球温暖化の抑制は、国際政治の緊急の課題に浮上した。今年に入って、EU 首脳会議（3 月）は、2020 年までに温室効果ガス(GHG)排出量を 1990 年比 20%削減することを決め、6 月のハイリゲンダムサミットでは、2050 年までに温室効果ガス排出の 50%以上の削減を真剣に検討することを各国首脳が確認した。この流れは、9 月の国連ハイレベル会合に引き継がれ、さらにバリ島での COP13、来年 6 月の洞爺湖サミットで検討されることになろう。このように、温暖化問題は今や人類が直面する緊急の課題と認識されるに至っている。

この動きを加速した背景には、「気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change；IPCC)」の第 4 次報告書の発表がある。IPCC 第 4 次報告書から、私たちは温暖化対策に関する 2 つの視点を導くことができる。それは、第 1 に、とりわけ今後 30 年程度の適応策（Adaptation）の重要性であり、第 2 に、適応策だけで悪影響を長期的に解消することは不可能なため CO2 の排出を削減する緩和策(Mitigation)と適応策のポートフォリオが必要ということである。

今世紀に入って、ハリケーン・カトリーナの被害やヨーロッパの熱波、オーストラリアの大干ばつなど世界各地で異常気象の被害が激しく現れている。その全てが温暖化に起因するとはいえないが、今後 30 年間で 0.6℃という温暖化の加速によって、一層厳しい影響が各地に現れると想定しなければならない。

気候変動は、インフラ施設が未整備で、適応能力の低い途上国でとりわけ厳しい影響をもたらす。こうした途上国の温暖化対策は、防災や食糧・飲み水・健康の確保といった生活と社会の安全保障の問題に直結している。そのため、国際的には適応策に対する国際支援に関する検討が盛んであり、今年わが国もその基本的視点を公表した（外務省国際協力局、2007）。さらに、最近では、先進国においても適応策の必要性が言われるようになっており、国内でも関係府省や自治体、農業団体などの中で急速にその機運が高まっている。適応策は、CO2 排出削減策と比べれば対処療法的で、かつては緩和策を取らないための逃げ道と考える向きもあった。しかし、上に述べた気候変動の発現経路を考えれば、緩和策と適応策こそ温暖化対策の両輪であり、両方相まって「温暖化の危険な水準」を避ける対策となるといえる。

2. ポスト京都の対応策をめぐる国際的議論

まだ国際的コンセンサスではないが、2～3℃を越える気温上昇は世界的に極めて厳しい影響をもたらすと考えられている。その範囲以下に温暖化を押さえ込むための長期的な取り組みが必要であり、緩和策と適応策を含めた国際的枠組みの形成が、2013 年以降のポスト京都議定書に関する交渉の課題である。

今年 7 月末に開催された国連総会の気候変動テーマ別討論では、イギリス政府の Stern Review をまとめた Stern 博士が示唆に富む提案を行った。その基本的主張は、温暖化対策と開発（経済成長）を対置しては出口のない道に入ってしまう。温暖化対策を進めることこそが、今後の経済成長を牽引する道であり、そこに発展の鍵があるというものである。そうした考え方に基づいて、包括的な政策を提案した。

一方、こうした提案の実現が決して簡単ではないのもまた事実である。40 年以上先とはいえ、世界の CO2 排出を半分以下にするのはとてつもない目標である。わが国の 2005 年度における温室効果ガスの総排出量は、削減目標の 6%削減どころか、基準の 1990 年と比べて 7.8%も増えている。日本の産業界は、乾いた雑巾を絞るといわれるくらいの努力をして、世界トップの省エネを達成してきたが、それをさらに半減するためには、ものの生産に使うエネルギー効率を少なくとも 2 倍にするといった根本的な改革が必要である。その上に、先進国がさらに高い目標をめざすことになれば、現在の生産や消費、交通、地域社会のあり方を根本的に変えて、循環型で環境負荷の少ない社会にしなければ達成できない。こうした社会は

低炭素社会と呼ばれ、国際的に認知された言葉になりつつあるが、国際社会は、長い時間をかけて、世界の低炭素社会化と安全な社会を確保する適応策の実施をあわせてめざすことになろう。

地球環境観測：GOSAT の取り組み

井上 元
名古屋大学大学院 環境学研究科
浜崎 敬
（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）

ハワイのマウナロアでの二酸化炭素濃度の長期観測は、われわれに温暖化の問題が現実のものであることを認識させるきっかけになった。その後の様々な観測研究の積み重ねにより、次のことが分かってきた。人間活動の規模が小さかった産業革命以前の大気中二酸化炭素の濃度は 280 ppm であったのが、現在、その濃度は 385 ppm にも達している。その原因が化石燃料の消費や森林の農牧地への転換にともなう二酸化炭素の放出であることは様々な観測で確認されている。人為に放出された二酸化炭素の 4 割は森林など陸上生態系や海洋に吸収されているが、どこでどのくらい吸収されているかは明らかでない。吸収量には年々の大きな変化があり、気温が高いと陸域の土壌に蓄積されている有機物が分解し二酸化炭素を放出すること、森林火災が大規模に起こることなど、陸域の変化が主たる原因と考えられている。このことは、将来、温暖化が進むと自然の吸収能力が低下することを示唆しており、幾つかの予測研究では、この効果は今後 100 年の温暖化を 10～20%高めるだろうとしている。

大気中の二酸化炭素の濃度を測定し、たとえば、風下の濃度が風上に比べて低いなら、濃度差に応じた吸収がその間にあったことが分かる。観測のネットワークが密であれば、大気濃度から全地球的にどこで吸収や放出があるかが分かる。しかしながら、現在、大気中二酸化炭素の常時観測を行っているところは地球全体で 100 ヶ所にも満たず、しかも、南米・アフリカ・アジア（日本を除く）では、観測点は極めて少ない。観測地点を増やす努力がなされているが、途上国では、その地域に直接関係のある気象・水文・大気汚染などが優先され、技術的にも容易ではない二酸化炭素やメタンの観測は軽視されている。そのため、全地球の二酸化炭素濃度の分布を衛星から測定しようという意欲的なプロジェクトが、JAXA、環境省、環境研の共同プロジェクトとしてつくばを中心として取り組まれている。衛星の打ち上げ予定は 2008 年度中である。

この衛星は GOSAT（温室効果ガス観測技術衛星）とよばれ、太陽光が地表面にあたり散乱されたものを衛星で観測する方式（温室効果ガスが発する赤外光を観測することもできる）である。その測定精度としては 1%を必ず達成し、0.3%を目指そうとしている。米国 NASA は異なる原理のセンサーを搭載した衛星（OCO）を同時期に打ち上げる予定であるが、GOSAT が温室効果ガスとして 65%、20%の割合を占める二酸化炭素とメタンの双方を測定するのに対し、OCO は二酸化炭素のみである。

GOSAT のデータから「二酸化炭素やメタンがどこで発生し、どこで吸収されているか」が、月単位で算出できると期待されているが、京都議定書で定めた人為の発生量削減を確認できるほどの精度はない。つくばで二酸化炭素の発生を半減したとしても、衛星ではそれを見ることはできない。しかし、GOSAT で観測した結果を確かめるために開発したセンサーを地上に多数設置し、つくばの大気がどの様に変わるかをモニターすることはできる。名古屋では市内の多地点で二酸化炭素濃度をモニターしているが、その観測データの平均値が、清浄な大気に比べて常に 25 ppm 高いことが分かった。もし、削減が進めば、このような市内と清浄な場所での濃度差は縮まることが期待され、削減努力が大気濃度に反映したことを直接的に感じることが可能であろう。

つくばでの温室効果ガス排出を半減するという意欲的な取り組みに、つくば発の温室効果ガス観測衛星プロジェクトに加わっている私たちとしても、その成果を生かして協力していきたいと考えている。

地球温暖化の影響と適応

原沢 英夫
（独）国立環境研究所 社会環境システム研究領域

温暖化の科学的知見をとりまとめている気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が第４次報告書を公表した。人間活動から排出された二酸化炭素などの温室効果ガスが温暖化の主たる原因であることを科学的にほぼ断定した。温暖化が進んだことにより、ここ 100 年間で地球の平均気温が 0.74℃上昇し、すでに温暖化の影響が世界中で現れていることが明らかとなった。また近年異常気象が頻発しており、途上国ばかりでなく、先進国も深刻な影響を被るようになっており、今後温暖化が進むと異常気象が多発すると予測している。第１作業部会の 第４次報告書の要点は以下のとおりである。

1. 温暖化の原因は人為起源の温室効果ガスとほぼ断定
2. 2006 年までの 12 年間は最も高い気温
3. 過去 100 年間で 0.74℃気温上昇
4. 21 世紀末に、1.1～6.4℃気温上昇（1980～1999 年比）
5. 21 世紀末に、海面上昇 18～59 cm（1980～1999 年比）
6. 2030 年までは 10 年あたり 0.2℃昇温
7. 熱帯低気圧が強まる
8. 21 世紀後半で、北極海氷消滅
9. 海洋の酸性化
10. 海洋、陸地とも二酸化炭素の取り込み減少

第２作業部会の第４次報告書は、温暖化のもたらす影響、適応、脆弱性を扱っている。温暖化の影響の現状と予測、影響への適応策などが中心的な話題である。要点は以下のとおりである。

1. 温暖化の影響が世界中で顕在化・深刻化（温暖化影響の検出）
2. 気温上昇と影響・リスクの知見が充実（鍵となる脆弱性とリスク)
3. 異常気象と温暖化（欧州熱波、ハリケーン）
4. 海洋の酸性化など新たな知見
5. 影響低減のための適応策
6. 適応策と削減策（コストと被害）
7. 温暖化と持続可能な開発

第３作業部会については省略する。2007 年 11 月に公表された統合報告書では 3 つの作業部会報告書をもとに、横断的、総合的に温暖化の知見を６つの話題にとりまとめている。①気候変化とその影響に関する観測結果、②変化の原因、③予測される気候変化とその影響、④適応と緩和のオプション、⑤長期的な展望、⑥確実な知見と主要な不確実性。IPCC 第４次報告書は、ポスト京都の枠組み検討や各国の温暖化対策を進めるうえでよって立つ科学的知見として活用されるはずである。

参考文献

IPCC, 2007: Climate Change 2007 The Physical Science Basis.
IPCC, 2007: Climate Change 2007 Impacts, Adaptation, and Vulnerability.
IPCC, 2007: Climate Change 2007 Synthesis Report.
(いずれも IPCC ホームページ www.ipcc.ch から全文入手可能である)

低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発

甲斐沼 美紀子
（独）国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化対策評価研究室

IPCC の第３作業部会による第４次評価報告書は、人間活動に由来する温室効果ガスの大気中の濃度を、445 ppm から 490 ppm（二酸化炭素濃度に換算して）のレベルで安定化させれば、産業革命以前からの気温上昇を 2℃程度に抑えることが可能であること。このためには、世界の温室効果ガスの年間排出量を 2050 年までに 2000 年から半減させる必要があることに言及した。

2050 年に世界全体の温室効果ガス排出量を現在から 50%削減しようとすると、先進国である日本はそれ以上の削減努力が求められうる。世界の一人当たり排出量を均等にしようとすると、日本は約 80 から 90%の削減が求められる。そこで、脱温暖化 2050 研究プロジェクト（http://2050.nies.go.jp）では、幅をもった範囲（60%から 80%削減）での検討を進めている。現状の延長で温室効果ガス排出量を大幅に削減する社会が実現するのであろうか。温暖化の技術対策だけでは、大幅削減の実現は難しく、低炭素社会実現のためには、産業転換、住みやすく移動しやすい街づくり、資源のリサイクルが促進される社会システムの構築など、低炭素社会の構築にも貢献する投資が低炭素社会を目指してタイミングよく行われる必要がある。我々のプロジェクトでは、2050 年日本において、主要な温室効果ガスである CO_2 を 1990 年に比べて 70%削減するような低炭素社会をまず描き、その社会を実現するたに至る道筋を考えるというバックキャスティングの方法を採用した。

50 年後に考えられる日本社会の姿を、シナリオ A（技術志向の社会）、B（自然志向の社会）の二通りで設定した。実際には、この両シナリオが調和しながら混在しつつ進行するものと思われる。2050 年時点で、両シナリオが想定するいずれの社会においても、技術開発利用の加速により CO_2 を 70%削減することは可能との結論を得た。シナリオ A、B ともに、GDP は 2000 年に比べて 2.0 倍と 1.5 倍に増加すると想定したが、各種イノベーションにより、サービスレベルを低下させず、しかしエネルギー需要を 40～45%削減することは可能である。さらに供給側の低炭素化により 1990 年比で CO_2 排出量の 70%削減は可能である。試算したいずれのケースでも、合理的な利用による需要減少、需要側省エネ技術の開発と選択、供給源エネルギーの低炭素選択、を混合した総合戦略が必要である。

国民福祉を維持したうえで、適切な産業構造転換、国土整備、技術革新により低炭素社会を実現する技術的なポテンシャルが存在することを示した。しかしその実現には、国民の気候変化に対する危機の共有、低炭素社会への合意、温室効果ガス排出に伴う外部経済の内部化を初めとする政策措置を強力なリーダーシップの下に実行することが必要である。

特に早期の対策が効果的であり、経済的であることに着目すべきである。産業の転換や技術開発、利用は個々の企業の選択であるが、政府として低炭素社会に向けた早期のシグナルを明示するとともに、温室効果ガスの削減を行った企業が経済的に報われる社会システム作りが必要である。また、政府の早期の統一した方針により、これまでの高炭素排出社会構造から抜け出し、低炭素排出に向けた都市・交通関連インフラ投資を粛々と進めてゆく必要がある。

低炭素社会の実現は、後戻りできない世界的な潮流となりつつある。この現実を直視し、わが国は、低炭素社会の到来を見通した技術イノベーションの推進によって、国際競争力を高めていく戦略をとるべきである。

2050 年までの様々な資本形成投資や技術開発投資の機会を逃すことなく低炭素社会へ導くために、低炭素社会の必然性への確固たる認識に基づく、早期の国家目標（削減数値目標というより、低炭素社会イメージ）の共有、削減計画設定と、温室効果ガス排出の外部不経済が内部化された社会の実現が必要である。その過程で、低炭素世界での国際競争に打ち勝てる社会・技術イノベーションがもたらされよう。

エネルギー資源の現状と展望

神本 正行
（独）産業技術総合研究所 研究コーディネータ

１．一次エネルギー源の種類

一次エネルギーは、次のように分類される：(1) 化石エネルギー（石油、石炭、天然ガス等）、(2) 原子力エネルギー（核燃料）、(3) 再生可能エネルギー（太陽、風力、地熱、バイオマス、水力等）。いずれのエネルギーも長短併せ持つ。化石エネルギーおよび核燃料は現在の主要な一次エネルギー源であるが、資源量は限られており、その使用には二酸化炭素の隔離、核燃料サイクルの確立が欠かせない。再生可能エネルギーは太陽エネルギーを起源とするものが多く、環境中にエネルギーのフローとして存在するため、文字通り「再生可能」（枯渇しない）である。しかし従来から利用されている大型水力発電や地熱発電を除き、新技術（太陽光発電や風力発電、バイオマス等）はコスト低減が不可欠で、出力変動という技術的課題も抱えている。

２．一次エネルギー供給の現状

全世界における一次エネルギー供給の現状と各種一次エネルギーの資源量を表に示す。これらの値にはかなり幅があるが、化石燃料および核燃料は数百年で枯渇すると見積もられる。これに対し再生可能エネルギーの資源量は膨大である。これらの資源は実際に利用されてこそ資源となるので、資源採掘から利用に至るライフサイクルに亘り、エネルギー収支および経済性が成り立ち、かつ環境負荷が小さくなくてはならない。エネルギー供給の状況は国によって多様性がある。風力発電の割合が極めて高いデンマーク、地熱発電の割合の高いフィリピン、原子力発電の割合が高いフランス等である。

表 主要な一次エネルギー源の資源量と 2005 年の供給量（世界）

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第 3 ワーキンググループ G 第 4 次報告書 Table 4.2 より抜粋

	エネルギー源	資源量	2005 年の供給量	2005 年の供給割合
化石燃料	石炭(conventional)	>100,000 EJ	120 EJ/y	25 %
	ガス(conventional)	13,500 EJ	100 EJ/y	21 %
	石油(conventional)	10,000 EJ	160 EJ/y	33 %
核燃料	ウラン(no recycle)	7,400 EJ	26 EJ/y	5.3 %
再生可能エネルギー	水力(>10MW)	60 EJ/y	25 EJ/y	5.1 %
	水力(<10MW)	2 EJ/y	0.8 EJ/y	0.2 %
	風力	600 EJ/y	0.95 EJ/y	0.2 %
	バイオマス(modern)	250 EJ/y	9 EJ/y	1.8 %
	バイオマス(traditional)	----------	37 EJ/y	7.6 %
	地熱	5,000 EJ	2 EJ/y	0.4 %
	太陽光発電	1,600 EJ	0.2 EJ/y	<0.1 %

３．エネルギー資源の展望

今後人類が地球環境を維持しつつ必要なエネルギーを使用できるかどうかについては、短期的には化石燃料と原子力発電に相当の割合依存しつつ、長期的には再生可能エネルギーを大量に導入することが期待される。このようなシナリオを実現するために、新たな化石資源の開発や再生可能エネルギー等の技術開発、導入・普及政策等々、様々な手段が講じられている。メタンハイドレート等の新たな化石資源、太陽発電衛星（宇宙で太陽エネルギーをマイクロ波に変換し地上に輸送）の可能性についても簡単に紹介する。

エネルギー資源は一般に偏在している。現在はエネルギー密度の高い化石燃料が長距離輸送され、世界各国・地域のエネルギー需要を賄っている。化石燃料以外の一次エネルギーをどのような二次エネルギーに変換して長距離輸送するかは重要な研究課題である。環境・エネルギー問題はグローバルなものであるが、将来はそれぞれの国や地域の様々な状況に合わせ、多様なエネルギー需給構造を構築することになるだろう。地域における取り組みはますます重要となるに違いない。

エネルギー資源・環境問題と技術選択

内山 洋司
筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

地球環境問題は、ローマクラブが警鐘した「成長の限界」の１つの現れであり、現代の工業社会のあり方を問い質しているといっても過言ではない。それは小手先の対策で解決できる問題でない。その対策は基本的に痛みを伴うもので、これまでの右肩上がりの成長を支えてきた産業構造の見直しおよびその転換や人々のライフスタイルの変化にまで及ぶものである。また現在のままの経済メカニズムで解決することも難しく、省エネルギーや環境保全重視した環境メカニズムの創出が必要になる。

天然資源をほとんど持たない日本にとっては、他国からの脅威に晒されずに国民が安心できる社会を築いていくためには、環境問題と同時に安定経済と資源の安定供給が優先される。エネルギー自給率はわずか4%であり、食料自給率の40%に比べてもはるかに低い割合となっている。長期的なエネルギー政策を考えると、エネルギーセキュリティの向上は日本にとっての最重要課題となる。エネルギーセキュリティは、エネルギー源の多様化と供給国の分散化によって向上するが、最も効果が大きいのは自給率を高めることである。自給率を高めるには国内炭の再利用も考えられるが経済性と環境問題から難しい。再生可能エネルギーと原子力の利用拡大を図っていく道しか考えられない。

しかし、希薄で変動のある再生可能エネルギーが日本国内で利用できるポテンシャルはそれ程大きなものではない。水力、地熱、バイオマス、風力、太陽光などをすべて開発しても経済的に利用可能なポテンシャルは一次エネルギーで15%程度であろう。エネルギー密度が大きく、安定供給が可能な原子力が自給率向上の中心となっていくことには間違いない。もちろん、経済性を考えれば原子力による自給率向上にも限界がある。現在の電源の負荷率が将来も続くようになると、原子力発電の発電量シェアは経済的にみて50%程度が上限となる。その場合、一次エネルギーに占める原子力のシェアは20%程度になる。再生可能エネルギーと原子力の現実的な利用可能ポテンシャルは35%程度で、残りは化石燃料に依存することになる。

世界、とりわけアジア地域の持続可能な開発に対して日本がどのように貢献していけるかが別の課題としてある。アジア地域は、他の地域に比べて化石燃料、特に石油と天然ガスの資源量が最も少ない。石炭は豊富にあるとはいえ、一人あたりの資源量にして見るとアメリカの10分の1程度にすぎない。アジアの人口は世界人口の約6割を占めており、まだ人口は増え続けている。アジア地域で見るとエネルギー・環境問題は日本国内の問題と大きく異なる。エネルギー源の選択肢は増えるし、エネルギー政策も多様になる。日本が得意とする技術面から考えると、需要サイドでの省エネルギー技術移転がある。もちろん欧米でも省エネルギーに優れた製品は数多くあるので、日本製品の優位性を発揮するためには製品の品質やきめ細かいサービスを含めた移転政策が求められる。産業部門での高効率発電プラントや高効率エネルギー装置の技術移転も、アジア諸国でのエネルギー消費や温室効果ガスを緩和する上で効果が大きい。これに対しては、投資額が大きくかつ長期の回収となるために、政府は企業のリスク補償を支援していく必要がある。

アジア地域の経済成長、エネルギーセキュリティ、それに環境保全を含めた持続的な開発を長期的に考えると、日本と同様にエネルギー供給源の多様化が重要になる。化石燃料に代わるエネルギー源を確保していかなければならない。それには、太陽光、風力、バイオマスなどの再生可能エネルギーだけでなく、大量に電力を供給できる原子力発電の開発も必要になる。日本ならびに先進国は、原子力発電の導入計画を立てている国々に対して、安全性に優れた原子炉を提供するだけでなく、運転に必要となる核燃料の供給を保証していかなければならない。また、核拡散防止も重要な政策であり、核物質の物的防護と国際機関による保障措置の徹底が求められる。日本の優れたエネルギー技術をアジア諸国に役立て、この地域のエネルギー安定供給と地球温暖化防止に日本が貢献していくことが自らの安全保障にもつながる。

燃料電池技術の現状と展望

大和田野 芳郎
（独）産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門

燃料電池は、電解質の層を介して水素と酸素を化合させ水を作る時に電解質の両面に生じる起電力を電気出力として取り出す装置で、本体には機械動作部分が無いため静かで、基本反応では水のみを生じるので環境への負荷が低く、エンジンやタービン発電機と異なり小型（1-10kW 級）でも発電効率が高い（LHV 35-50%）、という利点がある。定置用では、現場で燃料電池から発生する熱も同時に利用してエネルギーの総合利用効率を高め、省エネルギーを図ることができる。

電解質にはいくつかの種類があり、動作温度や電荷を運ぶイオンが異なる。固体高分子形（PEFC）（80℃、水素イオン）、リン酸形（PAFC）（200℃、水素イオン）、溶融炭酸塩形（MCFC）（650℃、炭酸イオン）、固体酸化物形（SOFC）（700～1000℃、酸素イオン）等である。

用途は、比較的低温で動作する固体高分子形は携帯機器や定置用（1- 10kW）、自動車等移動体用（- 100kW）に、リン酸形は百 kW 級の定置用、溶融炭酸塩形は百 kW から数 MW の定置用、固体酸化物形は 1kW から数百 kW 級まで幅広い範囲の定置用が主である。このうち、リン酸形、溶融炭酸塩形は既に商品として販売されており（いずれの形も百 kW 級）、運転実績も長い。

携帯機器用や移動体用は、メタノールや水素等の燃料を搭載して直接用いるので、燃料のエネルギー密度の高さが重要であるが、定置用の場合は、通常の炭化水素燃料から水素をつくる改質プロセスを含めた動作特性や発電効率が重要である。高温で動作する溶融炭酸塩形や固体酸化物形は高い発電効率（LHV 45%以上）を達成している。特に最近の固体酸化物形燃料電池の発電効率の上昇は目覚しい。燃料電池の発電効率にとっては、系統電力の平均発電効率を上回ることが普及のための一つの目安になると思われる。

現在、定置用の固体高分子形と固体酸化物形は急速に開発が進展しており、国内でフィールドテストも行われている段階にある。双方とも連続運転で数万時間の寿命を達成しているが、固体高分子形はコスト低減が、固体酸化物形は長期信頼性の確保が当面の最大の課題である。実際の変動する負荷に対して総合的にどのような性能が得られるのかについて、データの蓄積と検証が待たれる。

燃料電池への燃料供給について、当面化石資源を出発点とせざるを得ないとすれば、地球温暖化防止の観点からは、CO_2 回収を取り入れたゼロエミッションシステムを考える必要がある。固体高分子形には二酸化炭素回収型の水素製造（改質）プロセス、固体酸化物形には排気ガスからの二酸化炭素回収が比較的容易で適していると考えられる。長期的には再生可能エネルギーを利用した水素製造が最も望ましい。

燃料電池は未だ開発途上にある技術ではあるが、上述の様に、かなり実用が見通せる段階に達していると言える。エネルギー利用効率の高さと二酸化炭素回収との適合性の良さの２点から、省エネルギーと二酸化炭素排出削減に大きく貢献できるものと期待される。

高窒素ステンレス鋼の PEFC 用金属セパレータへの適用可能性

片田 康行
（独）物質・材料研究機構環境・エネルギー材料領域 燃料電池材料センター スタック材料グループ

当機構では、1997 年から超鉄鋼プロジェクト研究の一環として、窒素（N）添加と素材の清浄化を図ることにより「耐海水性ステンレス鋼の開発」を進めてきた。窒素添加と素材の清浄化を同時に実現できる装置として、窒素ガス加圧式ＥＳＲ（Electro-Slag Remelting）装置を国内で初めて開発し、不純物混入の原因となるＭｎを添加せず、Ti 級の耐食性を示す高窒素添加ステンレス鋼の試験溶製に成功した。この素材は、N がオーステナイト相の形成元素であるため、Ni の添加なしでオーステナイト系ステンレス鋼の創製が可能となる。固体高分子型燃料電池用セパレータとして、金属セパレータの出現が強く望まれているが、従来型のオーステナイト系ステンレス鋼は耐食性が必ずしも十分ではなく、また Ni イオンの溶出により電解質膜の寿命を低下させる等の問題点が指摘されている。本講演では、加圧式ＥＳＲ法（P-ESR）によるニッケルフリー高窒素ステンレス鋼の創製と、得られた高清浄高窒素添加ステンレス鋼の機械的性質、耐食特性、N 添加による耐食特性向上の発現機構等について紹介する。ニッケルフリー高窒素ステンレス鋼(HNS)を用いて試作した固体高分子型燃料電池用セパレータにより、1000 時間までの発電試験を行い、従来型の SUS304 鋼の結果と比較した。その結果、HNS の方が SUS304 鋼に比べて接触抵抗が高いこと、発電時間の経過に伴う電圧低下は HNS の方が小さいこと、電流－電圧(i-V)特性は、SUS304 の方が低下していることなどが明らかになった。これらの知見をもとに HNS 素材を生かした燃料電池用金属セパレータへの適用可能性を探る。

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題

上田 達己
（独）農業・食品産業技術総合研究機構 総合企画調整部 研究調査チーム

原油価格の高騰や地球温暖化に対する懸念が高まるなか、それらを軽減する対策の一つとしてバイオ燃料が注目され、世界的なブームが継続している。しかしながら、他方では、バイオ燃料の拡大は、穀物・畜産物をはじめ様々な食品価格の高騰を招いており、まさに「自動車と食卓が農産物を奪い合う」という懸念が現実的なものとなりつつある。また、バイオ燃料の原料となる資源作物の栽培のために、熱帯雨林などが開拓されるケースもみられ、バイオ燃料は本当に環境保全に貢献するのかという疑問も呈されるようになってきている。このような世界情勢を踏まえれば、わが国におけるバイオ燃料の利用拡大に当たっては、安易に大規模な輸入にたよるのではなく、やはり国産バイオ燃料の生産拡大を基本とすることが肝要と思われる。

その方向を目指す施策の一つとして、バイオマス・ニッポン総合戦略推進会議（2007 年 2 月 27 日）において、2030 年までに国産バイオ燃料の大幅な生産拡大を目指すという目標が示された。食料自給率を維持しつつ、この目標を達成するには、糖・デンプン・油糧系の資源作物に加え、リグノセルロース系材料を中心とする、未利用・廃棄物系バイオマスをも活用したバイオ燃料の生産拡大が必須である。

一方、（独）農業・食品産業技術総合研究機構では、2006 年 12 月に、組織横断的なバーチャルセンターである「バイオマス研究センター」を設立し、バイオマス・バイオエネルギー関連研究を、組織的・効率的に推進している。研究の３つの柱として、資源作物の栽培技術・育種研究、エネルギー・マテリアル変換技術研究、および地域におけるシステム化技術研究をとりあげ、これらを総合的に推進していく。2007 年度より開始された農水省委託研究プロジェクト『地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発』においては、リグノセルロース系材料からのバイオエタノール生産を重点的に研究開発する。

バイオ燃料生産を、地域において現実化していくためには、個別技術の開発のみならず、システム化の観点から十分に検討することが重要である。第一に、バイオ燃料変換プラントの生産規模は、原料バイオマスを収集すべき範囲と直接に関係するため、具体的な地域における原料供給の可能性を常に意識すべきである。すなわち、薄く、広く拡がっている資源作物や未利用・廃棄物系バイオマスを、どの程度の地理的範囲から、いかに効率よく収集するかを検討する必要がある。一般的に、燃料変換コストはプラントの規模が大きくなるほど低下する傾向にあるが、わが国では、現実的な材料の収集範囲に配慮したプラント規模とする必要がある。そのため、比較的小規模でも高効率・低コストな変換技術や収集システムの開発が望まれる。第二に、バイオ燃料生産システムの効率性を高めるために、農業（作物生産）と工業（燃料変換）の両プロセスを効果的に連結していくことが欠かせない。すなわち、前者の副産物である作物残渣等を燃料変換プロセスの熱エネルギー源として活用したり、後者の副産物である発酵残渣等を農地還元し、その分化学肥料の投入を削減したりすることによって、システム全体のエネルギー効率や温室効果ガス削減効果が向上すると期待される。

木質系バイオ燃料技術

伊神 裕司
（独）森林総合研究所 加工技術研究領域 木材機械加工研究室

【はじめに】　木質バイオマスは、古来より薪や炭などの私たちの身近な燃料として利用されてきました。現在では化石燃料が主なエネルギー源となっていますが、昨今の社会情勢を背景に、再生可能な資源である木質バイオマスの燃料利用が注目されています。

【木質バイオマスの種類】　おもな木質バイオマスとしては、工場残廃材(木材加工工場から発生する樹皮、端材、鋸屑等)、建築土木廃材(住宅解体材、廃土木資材、剪定枝等)、林地残材(切り捨て間伐材、枝条等)などがあげられます。これらの木質バイオマスのうち、工場残廃材は自家燃料としての利用が増加しつつあり、建築土木廃材を利用したバイオマス発電施設も各地に建設されています。一方、林地残材はこれまでほとんど利用されてきませんでしたが、推定される発生量の多さから有望な未利用資源であると考えられています。

【木質バイオ燃料】　現在実用化されているおもな木質バイオ燃料には以下のようなものがあります。

・木材チップ　木質バイオマスを粉砕してチップ化し木屑焚きボイラーで直接燃焼利用するもので、木質バイオマスの燃料利用としては最も簡便な方法の１つといえます。木屑焚きボイラーは、石油ボイラーと比較して設備費の安さや操作性の面では及びませんが、原油価格の高騰によりトータルコストの面では有利になってきています。

・木質ペレット　木質バイオマスを粉砕・乾燥し直径 6-8 mm の小さな円柱形に成型した固形燃料で、運搬・貯蔵が容易であるだけでなく、薪に比べて熱量が安定してかつ取扱いが簡単なことから、家庭でも安全に利用できるという利点があります。最近では、比較的低価格な国産のペレットストーブも開発されるなど、普及のための環境が整いつつあります。

・バイオエタノール　木質バイオマスからのバイオエタノール製造では、原料が食料と競合しないという利点がある反面、前処理工程(リグニン除去)が必要となります。森林総合研究所では、前処理工程におけるアルカリ蒸解と廃液のボイラー燃料利用、同時酵素糖化・発酵により、高収率で外部からのエネルギー投入を抑制するバイオエタノール生産技術の開発を行っています。

【今後の展望】　固形燃料や液体燃料など木質バイオマスの様々な燃料利用技術が研究段階や実証段階にあります。しかしながら、今後、他のバイオマスと同様にかさばる、広く薄く存在するといった特徴を持つ木質バイオマスの燃料利用を促進するためには、変換技術の開発や改良もさることながら、収集・運搬過程や前処理過程における低コスト化技術を開発することが重要となってきます。森林総合研究所ではそうした観点から、林地残材の効率的な収集・運搬技術の開発や木質バイオマスの効率的な粉砕・乾燥技術の開発に関する課題にも取り組んでいます。

林地残材

木材チップ

木質ペレット

藻類バイオマスエネルギー技術の展望

渡邉 信
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 構造生物科学専攻

藻類には脂肪や炭化水素を大量に産生する種が多く、これらの藻類をバイオマスエネルギーの原料として利用することは、1970 年の石油危機後から検討されていたことであった。藻類のオイル産生能力は年間約 47 トン～140 トン/ha と算定され、トウモロコシ、大豆、ベニバナ、ヒマワリ、アブラナ、オイルパーム等の植物と比較すると、25～120 倍もある。米国の輸送で費やされる量を藻類オイルでまかなうとすれば約 400 万 ha の面積のプールが必要で、この面積はコロラド州の 1/7 にあたいする。米国の輸送部門のエネルギー消費量は全体の 67%を占めていることから、広大な砂漠を利用した藻類ディーゼル生産技術開発は注目されている。

緑藻類 *Botryococcus braunii* は藻体乾燥重量当たり 20～70%の重油相当の炭化水素を産生することで知られている藻類である。本種はオイルシェル（石油頁岩）を作った生物としても知られている。しかし、試験管培養～屋外大規模プール培養～オイル収穫に至る全行程の LCA は実施されていなかった。これまでの室内培養及び屋外小規模培養の結果（増殖量＝＞5 g 乾燥重量／L、オイル生産は乾燥重量の 45%）を踏まえ、*Botryococcus* を屋外の大規模プール(面積 19 ha、深さ 30 cm)で培養することを想定し、そのエネルギー生産システムをモデル化することで、エネルギー生産技術開発としてのシステムの全体を評価した。これらの作業は、システムの設定、システム内の物質・エネルギーフローの定量化、評価指標の計算から成る。アセスメントの結果、エネルギー収支はプラスであり、正味獲得量は 6.82 × 107 [MJ/yr]であった。燃料生産量は 118 t/ha・年、生産コストは 155 円／L と他の BDF 生産バイオマスと比べて極めて優れた BDF 原料であることが判明した。なお、エネルギーペイバックタイムも 0.19 年と他の再生可能エネルギーと比較して遜色がない。また安定供給量を試算し、実用上必要なエネルギー供給能は最大 325 kg／ha・日と試算されている。

太陽光発電技術の現状と展望

作田 宏一
（独）産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

１．なぜ太陽光発電なのか？

CO_2 排出量削減には、クリーンな再生可能エネルギーの大量導入が不可欠である。地熱と潮汐エネルギーを除く全ての再生可能エネルギーの源は、太陽エネルギーである。地球に降り注ぐ太陽エネルギーの総量は、現在人類が消費している全一次エネルギーの約 1 万倍である。太陽光発電は、太陽電池により太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変換するシステムで、最も直接的かつシンプルな太陽エネルギー利用技術である。

２．開発の歴史と普及の現状

現在の形の太陽電池は、1954 年、米国のベル研究所で発明された。当初、主に宇宙利用を目的に開発が進められ、我が国でも灯台の電源等に利用されたが、ワット当たり数万円と高価であった。1973 年の第一次石油危機を契機に、世界各国で本格的な研究開発が開始され、我が国でも通産省のサンシャイン計画の一環として、2000 年までに価格を 1/100 にすることを目標として産官学一体となった研究開発が行われた。

1990 年代に入り、系統連系ガイドライン等、導入普及のための環境整備が行われるとともに、住宅用システムを対象とした補助金が導入され、生産量が急増し、導入コストの低減が進行した。2006 年における世界の太陽電池年間生産量は約 2.5 GW に達し、我が国はその約 40%弱を占める世界最大の太陽電池生産国であるが、近年、中国・台湾等のアジア新興国の台頭が著しい。累積導入量についても「固定価格買い取り制度」という強力な普及策で急速に導入量拡大を図るドイツに 2005 年に世界一位の座を明け渡すこととなった。世界全体での累積導入量は、2006 年には 6 GW 近くに達している。

３．様々な太陽電池

現在市場の大半は結晶シリコン太陽電池で占められている。単結晶シリコン太陽電池の変換効率のトップデータ(実験室レベル)は約 25%である。高価なシリコン材料の使用量を 1/100 以下に出来る薄膜シリコン太陽電池は、サンシャイン計画でも中心テーマとして開発が行われた。効率が約 10%程度と低く、光劣化の問題も抱えているが、漸く近年量産が開始された。更にシリコン以外の材料を用いた太陽電池として、結晶シリコンと同等の効率を有する CIS 系化合物薄膜太陽電池が開発され、内外で量産が開始されている。この他、主に宇宙用として開発が進められてきた GaAs 系の多接合太陽電池では、効率 40%を超えるものが実現している。次世代の太陽電池である色素増感型、有機薄膜型等の全く新しいタイプについても、基礎研究が活発化している。

４．太陽光発電の LCA(ライフサイクル評価)

古いデータを基に「太陽光発電はエネルギーペイバックタイム(製造時の投入エネルギーを回収するために必要な年数)が 10 年以上と長い」とする誤解が、今でも散見される。技術革新の途上にある太陽光発電のペイバックタイムは、年々急激に短くなっている。公表されている最新の値(住宅用屋根設置の場合)は、多結晶シリコンで 2.0 年、アモルファスシリコンで 1.1 年、化合物薄膜(CIS)で 0.9 年であり、少なくとも 20～30 年程度と推定される寿命に比べて十分短く、太陽光発電は LCA の観点からも優れた発電システムである。

５．今後の展望と課題

2004 年に作成された研究開発長期ロードマップ(PV2030)では、2030 年における累積導入量として、総電力需要の 10%程度を賄える 100 GW（1 億 kW）が想定されている。政府のエネルギー政策の基本方針として 2006 年 5 月に作成された「新・国家エネルギー戦略」の 4 本柱の一つの「新エネルギーイノベーション

計画」においても、太陽光発電のコストを2030年までに既存の火力発電並みにすることが目標として明記されている。更なる低コスト化と大量導入に向けて、今後も研究開発と普及施策の両面での努力が必要である。

電気自動車、燃料電池自動車の開発動向

荻野 法一
(財) 日本自動車研究所 FC・EV センター

原油価格の高騰をはじめとした世界のエネルギー情勢を踏まえた日本のエネルギー戦略、「新・国家エネルギー戦略」が 2006 年 5 月に経済産業省から発表され、その中で、「世界最先端のエネルギー需給構造の確立」に向け、2030 年までに「エネルギー効率を 30%改善」「運輸部門の石油依存度（現在ほぼ 100%）を 80%程度に低減」等の目標が示された。

そして、この運輸部門の石油依存度削減目標達成に向けた取り組みの一つとして、電気自動車(BEV)、燃料電池自動車(FCV)の開発・普及促進があげられた。

さらに 2006 年 8 月には、FCV、ハイブリッド車(HEV)、BEV の基盤技術となる電池の研究開発戦略が、「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」としてまとめられ発表された。

経済産業省はこれらの目標の達成に向け、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）による「次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発/次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発」を立ち上げている。

本講演では，これら政府の動向を含め，BEV，FCV の最近開発動向等を紹介する。具体的には，下記の様な内容を紹介する。

１．BEV の普及び開発状況について
２．FCV 実証プロジェクトと FCV の開発状況について
３．Well to Wheel 総合効率について
４．プラグイン HEV の動向について
５．電動車両用二次電池に係わる動向について
６．次世代自動車・燃料の将来展望について

持続可能都市のための都市構造設計

鈴木 勉
筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

１．はじめに

二酸化炭素排出量を 50%削減するためには，単なる技術対策だけではなく，生活スタイルそのものの見直しやそれを実現するための生活空間の再設計も必要とされるであろう．特に，交通部門のエネルギー消費は全体のおよそ 3 割を占め，その伸びも著しいことから，交通をコントロールするための都市構造の再設計までをも見据えた対策は急務である．

２．コンパクトシティ

理想都市論の系譜を繙けば，ハワードの田園都市や歩車分離のラドバーンをはじめとした低密分散型の理想都市像もあれば，ル・コルビュジェをはじめとした高層建築群による集中型の理想都市像もあり，各々に長所・短所がある．しかし，大局的には世界的なモータリゼーションの進展は，都市域の拡大と低密化をもたらし，自動車に依存した交通とそれに伴う環境負荷の増大が展開されてきた．

近年，急速に浸透しつつあるコンパクトシティのコンセプトは，既成市街地への重点的投資と空地の利用促進(infill)により人口・建物容積の高密化(urban intensification)を実現し，公共交通機関の有効活用・再生と混合土地利用への誘導により，自動車依存からの脱却と徒歩や自転車等を基本とした日常生活圏の形成を図ろうとするものである．最終的な都市構造の姿としては，公共交通機関沿線への集積を誘導した多極分散型都市構造(polynucleated urban structure)を描くのが現実的であるというのが大方の共通認識である．政策効果や高密化の実現可能性が疑問視されることも多いが，欧州を中心として，自動車交通量の削減による環境・安全性の改善，環境に優しい徒歩・二輪・公共交通へのシフト，スプロール防止によるオープンスペース・近郊農地の維持，中心市街地の活力低下の防止と再活性化，基盤整備コストの軽減，経済効果，生活の質(quality of life)の向上，交通弱者の減少，ソーシャルコンタクトの増大等のためにコンパクトシティを実現する政策が展開されている．

３．公共交通指向型都市開発 (Transit Oriented Development; TOD)

ニューアーバニズムによる「アワニー原則」に見るように，アメリカでも複合機能開発，徒歩圏内での生活圏形成，公共交通機関へのアクセシビリティ確保，多様な階層の共存，消費エネルギーの削減，自然環境保全などを掲げた都市開発の取組みが積極的に行われており，郊外住宅開発と公共交通整備を強力に結びつけ，拠点鉄道駅とその周辺を重点的に再開発するといった，自動車依存を減らすための公共交通指向型開発(TOD)への取り組みが実施されている．公共交通機関は集約輸送の形態をとっており，ある程度の輸送需要を確保しないと，事業性が低下し，運賃水準が上がり，その結果旅客も獲得できないし，環境親和性が薄れる．したがって，低層住宅地の場合であれば，駅へのアクセスを上手に設計する必要がある．一方で，開発の抑制によって地理的にメリハリの利いた開発を誘導する必要もあり，一部の先進地域では成長管理の名の下に，グリーンベルト，成長限界線，開発総量規制，公共交通軸から一定以上離れたエリアでの容積率規制の厳格化が行われている．

中心市街地活性化の問題は，店舗の魅力の問題であるばかりでなく，交通（アクセスと地区内回遊）の問題でもある．フライブルク，ストラスブールなどの欧州の都市ではライトレール(LRT)と中心市街地の縁辺部に駐車場を設け，中心市街地への自動車の乗り入れをさせないフリンジパーキングとペデストリアン整備が成功している．アメリカでもポートランドのように，駐車需要を抑制しながらトランジットモールによって公共交通による中心市街地へのアクセスを誘導している好例も見られる．

４．日本型持続可能都市とは

わが国の大都市は鉄道などの公共交通を重視して都市整備が進められてきた結果，交通による環境負荷も相対的に低い．しかし，TOD の様々なオプションから見ると，まだ限定的であり，土地利用のコントロールや誘導の執行力も弱い．また，つくばを含めて地方都市での公共交通再生や環境負荷軽減にはまだまだ課題が山積している．世界の取り組みを参考に，持続可能な都市構造に向けた今後の都市づくりを考えるべき時期に来ている．

2050年までに日本の運輸部門CO_2を約70%削減する対策について

松橋 啓介
（独）国立環境研究所 社会環境システム研究領域 交通・都市環境研究室

2050年に世界のGHG半減のためには、日本のCO_2を1990年比60～80%にしなければならないとされている。その場合、日本の交通の姿はどのようなものになるのだろうか。この発表では、運輸部門CO_2の約70%の削減を可能にする地域別の対策の組合せの一例を示す。

中長期的に大幅削減を達成するためには、技術的対策と交通需要管理面の対策を組み合わせることが重要と考えられる。多様な対策の組み合わせを検討するため、交通から発生するCO_2を6つの要因に分解し、各々の要因別に対策を検討した。

1つ目は、燃料消費量当たりのCO_2含有量を下げる対策である。たとえば、自然エネルギーの利用、すなわち太陽光発電や風力発電による電力の利用や、バイオマス燃料の利用、あるいは原子力発電の利用や、炭素隔離貯留を組み合わせた石炭の利用が含まれる。

2つ目は、走行距離当たりの燃料消費量を下げる対策である。燃費の良い車両を開発・普及・利用すること、燃費が悪化しやすい混雑する場所や時間帯を避けて運行することが含まれる。

3つ目は、走行距離当たりの輸送量を増加させる対策である。一台当たりの平均乗車人員や平均積載量を増やすことで、同一の輸送量に対する走行距離を減らすことが含まれる。なお、乗車人員や積載量に合致する、大きすぎない車両を利用することで、燃費の改善につながる。

4つ目は、積載率が高く、燃費が良く、炭素強度の低い交通手段の分担率を増加させる対策である。自動車や航空機から鉄道やバスや貨物船舶に転換することが含まれる。

5つ目は、一回のトリップの長さを短くする対策である。土地利用をコンパクトにすることや、近場の施設の利用を促進することが含まれる。

6つ目は、エネルギーを使って移動する回数を少なくする対策である。自転車や徒歩や台車などエネルギーの利用を伴わない手段への転換や、一ヵ所で用件をまとめて済ませたり、ITを活用したりするなどして、トリップ数を減らすことが含まれる。

また、交通は、都市形態や市民生活と密接に関係するため、地域特性に合った対策を促進することや経済的なインセンティブを働かせることも重要なポイントになると考えられる。大都市圏/地方圏別、都市規模別の一人あたり交通CO_2排出を元に、70%削減を可能とする地域類型別・要因別の対策を組合せた交通システムの将来ビジョンの案を作成した。

つくば市においても、低炭素社会のモデル地域となることを目指すとすれば、こうした将来ビジョンが参考になると考えられる。

なお、本報告には、地球環境研究総合推進費S-3-5および科研費(17310024)の助成による成果を含む。関係者に謝意を表する。

バイオマスタウンつくばを目指して

柚山 義人
（独）農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 資源循環システム研究チーム

１．はじめに

今回のミッションは，「2030 年までに，つくば市からの CO_2 排出量を 50%削減する。そのために，都市再構築（省エネ都市づくり）を行う。」である。「つくば」はブランドになった。その中には多様な考え方が存在する。ミッション実行のためには，この観点からのマチづくりのビジョンを定める必要がある。その際，人口が増加する，緑や清らかな水環境を保全する，20 年後は社会インフラの更新時期にあたる，新住民の中では第２～３世代が中心的役割を担う，などが留意点になる。目指すは田園科学都市であろうか。

２．温室効果ガス排出量の削減

わが国は，13.6 億 tCO_2/年の温室効果ガスを排出している。１人１日１kg の CO_2 排出量を削減しても 4,400 万 tCO_2/年の減少にとどまる。地球規模でバランスをとるには，排出量を現在の 1/6 以下にしなければならないという。温室効果ガスの発生源には，住居やオフィスでの電気・ガス・灯油・上下水道の使用，輸送用燃料（ガソリン，軽油等）の使用，ゴミ処理，製造業，農業・畜産業，土地利用（農地・水域を含む）などがある。一方，植物や土壌による吸収もある。まずは，削減できるものとできないものの分類，削減対策のリストアップと優先順位づけが必要である。また，2030 年を待つことなく，適正技術の段階的適用が望まれる。

化石資源が使えにくくなる将来に向けては，太陽の恵みである自然エネルギー群をより効率的に獲得し使用する新技術の開発及び既存技術の精緻化とスローなライフスタイルへの転換が並行して求められる。後者については，経済合理主義の競争社会からの脱却が鍵になる。

３．農業・食生活から循環を考える

循環型社会の形成は温室効果ガス排出量の削減に資する方法で進める必要がある。食料・飼料自給率の大幅な向上と集水域の水と土の保全（＝自然共生）は不可欠である。洪水緩和，水資源の涵養，水質と生態系の保全，土壌の流出防止，保健休養・やすらぎ（アメニティ），気候緩和などの農業・農村の多面的機能の維持増進は，「つくば」が常識的な自立をする前提条件である。

４．バイオマス利活用

大量生産・大量消費・大量廃棄の社会システムが，自然の浄化能力を超え，地球温暖化，水質汚濁，廃棄物，有害物質等の様々な環境問題を深刻化させていることを背景に，今，バイオマス利活用が注目されている。これは，バイオマスの有する，再生可能であること，貯蔵性・代替性があること，膨大な賦存量を有すること，カーボン・ニュートラルであること，という特性による。「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定され，地球温暖化防止，循環型社会の形成，農林水産業・農山漁村の活性化，競争力ある戦略的産業の育成，国産バイオ燃料の導入，アジア諸国等海外との連携，を柱として施策が進められている。バイオマス利活用のポイントは，持続的な地域資源の管理，信頼で結ばれた運営組織，再生資源の安定的な需要の確保，原料と製品・エネルギーの貯蔵・輸送，適切な変換技術（群）の採用である。

筆者らは，バイオマス利活用の計画手法を開発してきた。施設規模・配置の問題については，つくば市を事例の１つとした。また，千葉県香取市において，バイオマス多段階利用システムの都市近郊農畜産業型モデルを実証中である。そのコンセプトは，地域に散在するバイオマスを用い，できるだけ化石資源を使わず，環境負荷を小さくすることを前提に，有用な物質や燃料を生産し利用する仕組みをつくることである。バイオマスリファイナリー，地域活性化，地産地消がキーワードである。

５．バイオマスタウンつくばの構想をつくろう

バイオマス利活用は本ミッションの一翼を担う。まずは，早期にマチの将来像（夢）を描いて，シナリオやプログラムの診断を行い，「人と技術と制度」をつなげたい。魅力的で健全な「つくば」構築のために，複合自然エネルギー利用，環境（安全・安心を含む）～技術～コスト～市民の満足感のバランス，市民のマンパワーの発揮を考えていきたい。強い意志がミッションを成功に導く。

持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み

鈴木 敦
（財）民間都市開発推進機構 都市研究センター

「つくばエコシティーイニシアティブ（つくばエコシティー構想）」のコアプロジェクトと位置づけられる「つくば3Eプログラム」（以下、「T3EP」と略称）と「T3EPの構築」を区別し、後者もそれ自体プロジェクトであることを明らかにしたい。

- 一般に、プロジェクトは、①完成年月日（納期）、②予算及び③求められる品質が事前に定まっている。
- 「T3EPの構築」は、①北海道洞爺湖サミット（2008年7月7日～9日（首脳会合））で公表することが決まっており、策定作業の開始以前に、②予算と③品質に係る定性的又は定量的な目標を定める必要が生じるので、１つのプロジェクトと考えられる。
- 比喩的にいえば、「T3EP」は長期間にわたり便益を発生し続ける建築物であり、「T3EPの構築」は当該建築物の建築である。 別の比喩を用いるならば、「T3EP」はコンピュータ・ソフトウェアであり、「T3EPの構築」は当該ソフトウェアの開発である。
- （建築の比喩を続けるならば）建築プロジェクトに当たっては、プランニング、スケジューリング、積算、コストコントロールすなわちマネジメントが必要になる。
- 一般に、プロジェクト・マネジメント（PM）の３要素は、品質(Quality)、コスト（Costs）及び時間（Delivery）。これらは、「QCD」と総称される。
- 「T3EPの構築」に当たっても、QCDに係る具体的な目標を設定する必要。
- 「T3EP」の品質については、ハイリゲンダム・サミット（2007年6月6日～8日（首脳会合））に先立つ国際交流会議「アジアの未来」晩餐会における安倍首相（当時）の演説「美しい星へのいざない Invitation to “Cool Earth 50”～３つの提案、３つの原則」が模範となるのではないか。
  同演説は、問題提起－提案の全体像－提案１： 長期戦略－提案２： 中期戦略（３つの原則を提唱。また、「資金メカニズム、エネルギーの取組、その他の手法の検討」を含む。）－提案３： 京都議定書の目標達成に向けた国民運動の展開－結び　で構成されている。
- 要するに、「T3EP」は、高い内部整合性を有するとともに、外部環境の下で実現可能性及び持続可能性を備えていることを、国際会議場裏で訴求し、理解される必要。
- 特に、重要なのは、「2030年までに、筑波研究学園都市における温室効果ガス排出量を半減する」数値目標を達成するための戦略である。
- 一般に、戦略は、「力の入れどころ」を特定し、継続的な資源配分の方針を示すものであるから、例えば、“Cool Earth 50”の長期戦略は、①技術革新の開発　及び　②低炭素社会づくり　に集中。
- したがって、「T3EP の構築」においても、上記数値目標の達成に向けて、「力の入れどころ」を絞り込む必要。
- 第２の「コスト」は、「T3EPの構築」に係るプロジェクト・マネジメント（PM）をPM専門家にアウトソーシングするか否かにより、大きく異なる。
- 第3の「時間」は、所与。

茨城県の取りくみ

福地 伸
茨城県 企画部 科学技術振興監

１．新たなつくばのグランドデザイン

筑波研究学園都市は，都市の概成から約30年になり，「研究学園地区建設計画（国）」，「周辺開発地区整備計画（茨城県）」の改定（H10）から約10年が経過する。

この間，つくばエクスプレスの開業や圏央道の整備など都市基盤の充実が図られる一方で，つくば駅前のセンター街区の再整備や国家公務員宿舎の一部廃止など新たな課題も顕在化しており，第３期科学技術基本計画における筑波研究学園都市の役割等を踏まえた新たなグランドデザインの策定が求められている。

つくばにおいては，研究学園地区にある研究機関や公務員宿舎の老朽化をはじめ，創薬メーカー等の工業団地立地企業の撤退などへの対応から，国内最大の科学技術の集積地としての都市の魅力を高めていく必要がある。このため，「新たなつくばのグランドデザイン」の策定により，各独立行政法人が持っている研究成果の地域還元を進め，まちづくりに活用するほか，TX開業や圏央道整備などのつくば発展の原動力を広く県内全域に波及させていく。

H20年度当初には「今後の筑波研究学園都市整備計画研究委員会(仮称)」を設置し，グランドデザイン策定に向けた調査・検討（論点整理・中間取りまとめ）を行い，これに基づく「研究学園地区建設計画」及び「周辺開発地区整備計画」の改定をH21年度に予定している。

２．次世代エネルギーパーク

新エネルギー等を実際に県民が見て触れる機会を増やすことを通じ，次世代のエネルギーのあり方について理解増進を図ることを目的としている。

本県の構想は，企業や研究機関等が集積している３地区（つくば・ＴＸ沿線地区，大洗・常陸那珂・東海・日立地区，鹿島・神栖地区）をネットワーク化し，既存の取り組みを紹介するものであり，本年10月に全国６つの計画の１つとして国の認定を受けている。

事業運営は次世代エネルギーパーク推進協議会(仮称)が中心となり，来訪者に対する総合窓口としてパークインフォメーションセンター(仮称)を設置することとしている。

３．いばらきイノベーション戦略

つくば，東海，日立，鹿島の科学技術の融合を図り，日本のイノベーションを牽引する一大先端産業地域の形成を目指し，「いばらきイノベーション戦略（仮称）」を策定することとし，茨城県科学技術振興会議のもとに戦略策定に向けたワーキンググループを設置，検討を進めている。

検討内容は，①イノベーションを生み出す基盤づくり②イノベーション創出の契機となるプロジェクト実施に向けた研究領域の抽出である。

４．つくばサイエンスツアー

つくばエクスプレスの開業を契機として，筑波研究学園都市に集積する研究機関等を貴重な地域資源として捉え，施設の公開・開放を促進し，県内外からの見学・学習の場として活用するとともに，科学技術の普及啓発を図ることを目的に，つくばサイエンスツアーを実施している。

５．県地球温暖化防止行動計画

H18年度から22年度を計画期間として策定した県地球温暖化防止行動計画は，県の区域全体において温室効果ガスの排出抑制等を行うための計画であり，温室効果ガス排出量の削減目標や産業，運輸，民生（家庭），民生（業務）の部門ごとの具体的な数値目標を設定している。

基準年である1990年度と比較した本県における温室効果ガスの削減目標は，マイナス4.6%である。

つくば市の概要と環境対策

飯野 哲雄
つくば市役所 市長公室 公室長

１．つくば市の概要

1)地勢・歴史

面積；284 平方キロ、 人口：207,000 人
昭和 55 年　筑波研究学園都市概成（市域の約 10%：　2,700 ヘクタール）
昭和 62 年　つくば市誕生(11 月 30 日・新設合併)

2)花・鳥・木

花：ホシザキユキノシ　　鳥：フクロウ　　木：ケヤキ

3)総合計画(基本構想)

将来像：健康で健全なまち・つくばの創造
計画指標（人口)：平成 27 年・24 万人、将来人口・35 万人

4)つくばスタイルのまちづくり

都市環境と研究・教育環境、自然環境をいかしたつくばならではのライフスタイル

5)自律都市に向けた取り組み

特例市への移行、東京事務所の設置(シテーセールス)、市民協働

２．環境対策

1)つくば市環境基本条例

平成 10 年 10 月 1 日施行
趣旨：市民、事業者、市の機関が一体となり、健全で恵み豊かな環境を保全するとともに環境への負荷の少ない持続的な発展が可能なつくば市を作り上げていく。

2)地球温暖化対策実行計画　平成 16 年 8 月策定(平成 18 年 6 月改訂)

省エネルギーの推進、省資源の推進、廃棄物の削減とリサイクルの推進

3)市役所内の取り組み

ISO14001：環境管理システムの運用　平成 15 年 7 月開始　翌年 2 月認証

4)公共施設における取り組み

太陽光発電：筑波西中学校体育館　　定格出力 50 KW 平成 16 年 6 月導入
茎崎ふれあいプラザ　定格出力 10 KW　　平成 17 年 3 月導入

5)地域における取り組み

ハイブリット発電システム：上菅間地区生活排水路浄化施設
風力発電：6 KW　太陽光：3.78 KW　平成 17 年 9 月導入

6)家庭での取り組み

住宅用太陽光発電システム設置補助事業：1 KW あたり 4 万円、12 万円を限度

7)新庁舎建設

分散庁舎の弊害（環境への影響、サービスの低下、経済的ロス：約 4 億円／年）
平成 22 年春に開庁予定

8)新庁舎の省エネ対策

空調負荷低減：アースピットからの外気導入、自然換気、太陽光遮断
その他：トップライトによる自然採光、屋上緑化による断熱、雨水利用・浸透など

第 1 回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム

ポスター発表一覧および要旨

ポスター　一覧

1. 光合成と石灰化機能を持つ微細藻類による CO_2 の固定化　―バイオディーゼルとバイオミネラルの生産―
   辻 敬典、鈴木 石根、白岩 善博　（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

2. 人間社会の持続可能な発展を目指した炭化水素産生藻類ボトリオコッカスの研究
   坪 大輔、高橋 春瑠香、渡邉 信（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）、河地 正伸、田野井 孝子（国立環境研究所）彼谷 邦光（東北大学大学院 環境科学研究科）

3. 光合成生物を利用したプロパノール合成系の作出に向けて
   馬場 将人、白岩 善博、鈴木 石根（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

4. 筑波大学内の廃棄物処理システム改善に向けての研究
   千葉 裕樹　（筑波大学第二学群生物資源学類４年）

5. つくばエクスプレスが開業したつくば市内の道路交通改善に向けて
   平沢 隆之　（国土交通省国土技術政策総合研究所　高度道路交通システム研究室）

6. つくばのお祭りエコロジー
   山本 泰弘　（筑波大学第三学群国際総合学類２年）

7. 公立学校における省エネと光熱水費節減分還元プログラム（フィフティ・フィフティ）
   岡崎 時春　（国際環境 NGO　FoE Japan）

8. 刈草と剪定枝の直接燃焼によるエネルギー生産の可能性
   藤巻 晴行　（筑波大学大学院生命環境科学研究科）

9. 自然エネルギーを利用した水質改善システムによる CO_2 削減
   岡野 邦宏、岡﨑 毅、今里 真人、内海 真生、杉浦 則夫（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

10. 身近なものを使ってエネルギーを体験しよう
    代表　川本 健太郎　（筑波大学大学院 教育研究科 教科教育専攻 理科教育コース）

11. 大学の環境教育のネットワーク構築の試み －筑波学際環境教育セミナー（TIEES）「我が学問と環境教育」－
    内山 弘美　（東京大学大学院 工学系研究科　協力研究員）

12. バイオマス変換触媒の開発 ～タールのガス化とグリセリンの水素化分解～
    宮澤 朋久、冨重 圭一　（筑波大学大学院 数理物質科学研究科）

13. クリーン軽油製造のためのマンガン修飾 Ru/Al_2O_3 及び Ru/SiO_2 触媒上での FT 反応
    モハマド・ヌルンナビ、村田 和久、岡部 清美、稲葉 仁、高原 功　((独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター BTL 触媒チーム）

14. 水素資化性メタン菌群によるバイオガスの高カロリー化技術の確立 ―CSTR で無機質を基質として馴養した水素資化性メタン菌群の定常状態での特性―
アコ オルガ、北村 豊、佐竹 隆顕 （筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

15. メタン発酵アンモニア制御を目的とした水素発酵に関する研究
小口 勇太、北村 豊、佐竹 隆顕 （筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

16. 灰分高含有木質系バイオマスのガス化における反応生成物の性状特性
小木知子、中西正和 （(独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター）

17. 木材構成成分のガス化特性：小型噴流床ガス化炉における樹皮、脱リグニン樹皮ペレットのガス化
小木知子、中西正和、福田芳雄 （(独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター）

18. 複数の GCM シナリオに基づく日本の水稲収量への影響評価
飯泉 仁之直（筑波大学（現：農業環境技術研究所））、堀 正岳（筑波大学（現：名古屋大学））、横沢 正幸（農業環境技術研究所）、林 陽生、木村 富士男（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

19. バイオマスの効率的利用を指向したシロアリ共生系の木質分解系の網羅的解析
守屋 繁春（理化学研究所 環境分子生物学研究室）

20. 複合生物共生系への代謝流束解析の試み
雪 真弘・守屋 繁春（横浜市立大学大学院国際総合科学研究科・理化学研究所 環境分子生物学研究室）、菊地 淳（理化学研究所 PSC・名古屋大学大学院生命農学研究科）、工藤 俊章（長崎大学）

21. 産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門の概要紹介
産総研エネルギー技術研究部門

22. 大地の熱の利用技術の研究 –冷暖房システムや融雪システム等の開発–
盛田 耕二 （産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門）

23. 太陽光発電研究センターの紹介
作田 宏一 （産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター）

24. 産総研メガワット級太陽光発電設備
作田 宏一 （産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター）

25. 水素選択透過金属膜開発 －均一薄膜化と長期安定性の両立を目指して－
須田 洋幸 （産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 膜分離プロセスグループ）

26. エネルギー高回収率を実現する熱交換システム
中島 春彦、渡辺 武徳、瀬戸 大生、庄司 雅彦 （東京農工大学）

27. 低炭素社会に向けて－日本 2050 年 70%削減シナリオの構築－
藤野 純一 （国立環境研究所）

28. 都市内大規模河川（ソウル市清渓川）の復元による大気環境改善
一ノ瀬 俊明 （国立環境研究所 社会環境システム研究領域）

29. 身近な交通の温暖化対策 －国環研がオススメするエコドライブ－
加藤 秀樹 （国立環境研究所 社会環境システム領域 交通・都市環境研究室）

30. 建築技術（要素技術の視点）
吉田 友紀子 （国立環境研究所）

31. 国立環境研究所地球温暖化研究プログラム中核研究プロジェクト３ 「気候・影響・土地利用モデルの統合による地球温暖化リスクの評価」 平成 18 年度の成果の紹介
江守 正多、高橋 潔、小倉 知夫、伊藤 昭彦、山形 与志樹、岩男 弘毅、岡田 直資、木下 嗣基、塩竈 秀夫、清野 達之、長谷川 聡、横畠 徳太、長友 利晴、増冨 祐司、野沢 徹、日暮 明子、永島 達也、原沢 英夫、肱岡 靖明、花崎 直太 （国立環境研究所 地球環境研究センター）

32. 地方自治体における地域気候変動政策の動向
馬場 健司 ((財)電力中央研究所 社会経済研究所・筑波大学大学院システム情報工学研究科)

33. 風力発電設備導入による住民への普及啓発効果
馬場 健司、田頭 直人 ((財)電力中央研究所 社会経済研究所)

01

光合成と石灰化機能を持つ微細藻類による CO_2 の固定化 —バイオディーゼルとバイオミネラルの生産—

辻 敬典、鈴木 石根、白岩 善博（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

円石藻は、海洋に生息する植物プランクトンであり、“円石”と呼ばれる炭酸カルシウム（$CaCO_3$）の殻を持つことが特徴である。円石は中生代白亜紀に石灰岩を形成する元となったものである。つまり、円石藻は、他の植物プランクトンとは異なり、光合成と石灰化という二つの経路で、海水中に溶け込んでいる CO_2 を固定することができる。そのため、円石藻を利用した CO_2 吸収システムを構築すれば、大気中の CO_2 を、有機物（バイオディーゼル原料）と無機物（炭酸カルシウムの結晶）の両方を生産する形で回収することができる。

円石藻の一部の種は、“アルケノン”という長鎖不飽和ケトンを合成することが知られ、それらの物質がバイオディーゼル原料となる。そのため、培養した円石藻を燃料として利用すれば、その利用は、見かけ上 CO_2 ゼロエミッションを実現するものとなる。

一般に、藻類の培養には、光が必要なために、表面積の大きい水槽が必要となる。この問題点を解決するために、プラスチック材を利用したシート状の培養器材を開発し、光の利用効率の向上を実現する。つまり、円石藻と新規開発のシート状培養器を利用することで、スペースを有効に活用できる“CO_2 吸収シート”の作成を可能とする.

02

人間社会の持続可能な発展を目指した炭化水素産生藻類ボトリオコッカスの研究

圷 大輔、高橋 春瑠香、渡邉 信（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）
河地 正伸、田野井 孝子（国立環境研究所）
彼谷 邦光（東北大学大学院 環境科学研究科）

藻類は水界を主たる生息場所とする光合成生物の総称であり、太陽光をエネルギー源として、効率よく CO_2 をバイオマスに変換できる。また藻類には高度不飽和脂肪酸や炭化水素、様々な種類の多糖類、カロチノイド等の色素、SiO_2 や $CaCO_3$ 等無機物、各種生理活性物質等多様な生産物・二次代謝産物が知られており、産業上、利用ポテンシャルの高いバイオリソースとして今後の活用が期待されている。本研究では、単細胞性の藻類（微細藻類）に認められる多様なプロダクトのうち、化石燃料の代替として利用可能な炭化水素に着目し、重油相当の炭化水素を生成する緑藻 *Botryococcus* の実用化に必要な基盤技術の開発をおこなっている。これまでに得られた知見は下記のとおりである。

1．繊維工場から排出される高アルカリ廃水を排ガスで中和させた排水を利用して、最適生育 pH がアルカリ性側にある *Botryococcus* 選抜株の培養を試みた結果、排水 1～10%、KNO_3 0.2 g/L、K_2HPO_4 0.04 g/L を含む培養液で良好な培養が可能であること、また排水は滅菌などの処理を行わずにそのまま培養に利用できることが判明した。高アルカリ廃液を用いた培養により、混入微生物による増殖への影響の軽減、培地にかかるコストの軽減、排水・排ガスの浄化等の効果が期待でき、実用化に向けた培養システムの基礎となる成果を得ることができた。

2．培養藻体炭化水素抽出にかかるエネルギー及びコストを抑えることを最終目標として,炭化水素の省エネルギーで低コスト抽出法の開発を行った。抽出に必要なエネルギーをできるだけ少なくするため、生産された炭化水素を *Botryococcus* の培養温度に近い沸点（沸点～32℃）を持つ溶媒を用いて炭化水素を培養液から直接抽出する技術を開発した。*Botryococcus* 選抜株の一つ、Bot-144 について、この装置で抽出を試みた結果、細胞外に分泌された炭化水素を 4 時間で完全に抽出することができた。

3．限定されたスペースで最大のバイオマス収量を得ることを目的として実施した高密度培養では、屋外培養時の平均的な放射照度の半分程度の条件（6～7 MJ/m^2）下において、藻体密度が 5.3 g/L に達した。

4．*Botryococcus* を屋外の大規模プール(面積 19 ha、深さ 30 cm)で培養することを想定し、そのエネルギー生産システムをモデル化することで、エネルギー生産技術開発としてのシステムの全体を評価した。ア

セスメントの結果、エネルギー収支はプラスであり、二酸化炭素もかなりの量を削減することがわかった。燃料生産量は118 t/ha・年、生産コストは155 円／L と他のBDF 生産バイオマスと比べて極めて優れたBDF 原料であることが判明した。エネルギーペイバックタイムも0.19 年と他の再生可能エネルギーと比較して遜色がない。

03

光合成生物を利用したプロパノール合成系の作出に向けて

馬場 将人、白岩 善博、鈴木 石根（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

現在バイオ燃料の主要な生産系は、グルコースなどの糖質を基質としたエタノール発酵である。この代謝系はそれを行う微生物のエネルギー需要を充たし増殖を維持しながら、培地中に比較的高濃度にエタノールを蓄積できる利点がある。しかしながら、サトウキビやトウモロコシを原料としたバイオエタノールの生産は、食糧問題・環境問題を助長する原因ともなっている。この反応は、グルコースの6 つの炭素のうち、2 つを2 分子の二酸化炭素として放出するので、炭素の収支から見ると極めて無駄の多い反応である。我々は、微生物由来の5 つの酵素を使って、解糖系の代謝中間体のピルビン酸を経て1 分子のグルコースから2 分子のプロパノール（炭素数3）を合成する代謝経路の構築を考えた。この新規代謝系では、二酸化炭素として失われる炭素はなく、投入した原料を全てプロパノールへ転換することができ、炭素の収支から見るとエタノール発酵の1.5 倍のバイオ燃料を生産することが可能となる。しかも、プロパノールはエタノールに比べ燃焼エネルギーが大きく、その他の物性もガソリンに近い。しかしながら、この代謝系の駆動には還元力の供給が必要であり、従属栄養生物はこの代謝系だけでエネルギー需要を充たせない。そこで、光合成生物のシアノバクテリアを代謝系遺伝子導入のホストとして利用することを考えた。シアノバクテリアは、光合成産物としてアスパラギン酸とアルギニンの重合体（シアノフィシン）を蓄積することから、光合成産物をピルビン酸に向かって代謝する経路が主要な炭素代謝の方向となっている。外来遺伝子の導入が容易で、光化学系の電子伝達系・炭素代謝の制御機構が詳細に解析されているシアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803 を用いることにより、新規バイオ燃料として期待できるプロパノールの合成系の構築が期待できる。

04

筑波大学内の廃棄物処理システム改善に向けての研究

千葉 裕樹　（筑波大学第二学群生物資源学類4 年）

地球温暖化の防止への対策に取り組むにあたって、新たな技術開発に取り組むことは重要な視点であるが、また一方では現状の技術下で、システムやライフスタイルを変えることに取り組むことも重要な視点である。その意味では、大量消費・大量廃棄を見直し、廃棄物の発生および排出の抑制は温暖化の防止という意味でも意義があると思われる。しかし、筑波大学では全組織が自身の廃棄物問題を体系的に理解しているとはいえない現状がある。そこで本研究では、まずはわが身を見直すという意味を含め、大学自身の廃棄物処理に関するあり方を見直すことで、温室効果ガス削減の可能性を模索する。

今回のポスター展示では、主に筑波大学の事業系一般廃棄物および産業廃棄物処理の現状と問題点を整理し、その改善に向けての提案をしたい。現状と問題点の調査に当たっては、関係部署からの数量的なデータ収集と聞き取り調査、および現場調査を行った。また、それに関連するが学生宿舎で実施した、一般廃棄物の組成分析の結果およびその考察を提示する。以上より、筑波大学の廃棄物処理に関して特に問題と思われる点を整理し、その問題の原因と考えられる仮説を提示し、有効と思われる解決策を提案する。

調査の結果の要点をまとめる。まず、事業系一般廃棄物に関しては、つくば市内の約七千事業所から出る廃棄物のうち、重量比で十%強を大学が占めている。さらに内訳では、特に粗大ごみは三十%近くが大学からのものであり、学生宿舎からの排出が起因している。また、学生宿舎の一般廃棄物の組成分析から、推計年間百トン以上もの古紙が可燃ごみとして排出されていると予測されたので、実際に古紙回収の重要性を提言し、今年度から学生宿舎で独自の古紙リサイクルが開始され、トイレットペーパーとして居住者へ還

元されるようになった。産業廃棄部処理に関しては、過度な備品・消耗品の購入による大量消費、無分別な大量廃棄が多々見受けられる。この原因の一仮説として、研究室の予算確保のための過剰な購入が考えられる。

以上より、まだ研究は途中の段階ではあるが、現段階で有効と思われる解決策を提示したい。それは、包括的に廃棄物問題への対策や調査・研究、相談などを行える「リサイクルセンター（仮称）」を設立することである。この組織の機能として前述のほかに、リユース品の保管提供なども考えられ、また廃棄物問題は身近な問題として関心を抱く学生が少なくないことから、運営に主体的に学生も関係することで教育的効果も期待され、他大学には見られない筑波大学の特色を活かした機能が期待できるのではないかと考えられる。

05

つくばエクスプレスが開業したつくば市内の道路交通改善に向けて

平沢 隆之（国土交通省国土技術政策総合研究所　高度道路交通システム研究室）

つくばエクスプレスの開業に伴う住宅建設ラッシュに伴う自動車交通の増加に道路インフラ建設の対応が追いつかない場合、つくば市では市民の足と物流を支える道路がより高頻度に渋滞して、運輸交通部門のCO_2排出が増加の一途をたどる恐れがあるため、環境低負荷型交通へのシフトが望まれる。また、世界各地で成功しているトランジットモールの事例が示すように、市民や来訪者の買い物で中心市街地のにぎわいを維持するにはまた来てみたいと思える“気軽な足”としての、わかりやすくつかいやすい公共交通サービスが欠かせない。ところが、筑波山などの観光資源や市内の各研究所がわりと広い範囲に点在しているため、来訪者のさまざまな移動ニーズにきめ細かく応える公共交通サービスが現状では提供できていない。これに対して、国土技術政策総合研究所では、バス利用者に基本的な案内情報を提供することからバスのサービス向上を始めるための市内のバス路線図を筑波大学と共同で提供した実績を有しており、今後は交通シミュレータやＶＩＣＳカーナビ等のＩＴＳ技術の活用も検討したいと考えている。本ポスターでは、市民・来訪者の移動ニーズを損なうことなくCO_2排出量の削減とつくばのさらなる魅力化を図るための公共交通利用推進を目的として、筑波山の行楽シーズン観光渋滞とつくばセンター近辺の週末買い物渋滞を例として､既存の路線バス･コミュニティバスを来訪者にとってもさらにつかいやすくするための、ＩＴＳを活用したバス利用活性化プランを提案する。

06

つくばのお祭りエコロジー

山本 泰弘（筑波大学第三学群国際総合学類２年）

つくば市と筑波大学には、四つの大規模な“お祭り”――つくばフェスティバル、まつりつくば、やどかり祭、雙峰祭――がある。いずれも規模の大きさから大量のごみ排出、エネルギー消費をはじめとした環境負荷は甚だしい。同時に、お祭りという非日常の場は市民へ情報を発信するメディアの機能も果たしている。この二つの事実を結びつけ、お祭りの舞台で来場者の目に触れる形の大々的な環境対策を行うことで、イベント自体の環境負荷を軽減させるだけでなく多くの市民の行動を変えるきっかけを提供できるものと考えられる。

本発表では、“お祭り”の場で考えられる積極的環境対策のアイデアを提示する。

07

公立学校における省エネと光熱水費節減分還元プログラム（フィフティ・フィフティ）

岡崎 時春　（国際環境 NGO　FoE Japan）

このプログラムは、公立学校において、児童・生徒や教職員が協力して省エネ活動を行い、節減できた光熱水費を全て自治体の財政に戻すのではなく、半分もしくは一定割合をその学校に還元するしくみであ

る。省エネ教育を行いながら、自治体の経費を削減し、地球温暖化防止にも貢献する、まさに「一石三鳥」のプログラムである。

もともと、ドイツ・ハンブルク市で、増え続ける学校の光熱費に頭を悩ませた職員が考案し、自治体と学校の配分が半々だったため、「フィフティ・フィフティ」と呼ばれるようになった。ドイツでは、これまで全国の2,000校以上で実施されており、環境教育としても大きな役割を担っている。還元されたお金を太陽光発電パネルの設置や屋上緑化等、さらなる省エネのために投資する学校もある。

日本でも平成12年に札幌市が姉妹都市のミュンヘンを参考に導入したのをはじめ、平成16年、17年にFoE Japanが、東京都杉並区でモデル事業を実施し、全国への普及活動を行った。現在、約30自治体で導入されている。例えば和歌山県の場合、すべての県立高校を対象とし、平成15年の1年間で、CO_2 270トン（前年比4%）、金額にして3,500万円を削減した。

地球温暖化防止のために、自治体ができる取組みとして、設備投資が不要であるばかりか新たな財源を生み出すこのプログラムは、「やらなければ損」と言っても過言ではない。学校のエコ改修も進めるべきではあるが、その前に、オペレーションの無駄を自ら発見する機会として、より多くの自治体での導入を薦めたい。（本ポスターは、FoE Japanが杉並区のモデル事業で制作したものである）

08

刈草と剪定枝の直接燃焼によるエネルギー生産の可能性

藤巻 晴行（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

つくば市の特徴の一つは、公園、大学、研究所の敷地、街路樹など、山林や農地以外の緑地面積が豊富なことである。毎年、除草や剪定、落葉の清掃により大量の植物廃材が発生しているが、多くが野積みによる土壌還元や可燃ごみとして処理されており、有効に利用されていない。そこで、刈草や剪定枝などをその場で自然乾燥するまで放置した後収集し、コジェネレーション燃料として利用することを提案したい。直接燃焼には低コストで変換エネルギーロスや製造エネルギー投入がゼロというメリットがある。一戸建て住宅の市民にも協力してもらうという前提で試算すると、現在のつくば市のエネルギー消費量の３%程度をまかなうことができる。なお、2003年に策定された「つくば市地域新エネルギー導入ビジョン」には刈草への言及はない。また、可燃ごみとして処理すれば現状でもごみ焼却発電によりエネルギーの一部を回収できるが、余熱は利用されておらず、クリーンセンター（水守）までの運搬エネルギーも無視できない。

運搬によるエネルギー損失を最小限にするため、燃焼炉（コジェネレーションシステム）は、集合住宅、研究所、学校、福祉施設など、リヤカー付き自転車で搬入できる程度に分散して設置することが望ましい。植物廃材が発生するのは主に夏と秋の半年間で、一方、給湯・集中暖房需要が増大するのは冬季であるが、一部をヘイキューブにして貯蔵することにより冬季・春季にも燃料を供給できる。収集、貯蔵、燃料供給などに多くの労働力を要するが、今後シルバー人材が増加するため、雇用創出にもなろう。

09

自然エネルギーを利用した水質改善システムによる CO_2 削減

岡野 邦宏、岡﨑 毅、今里 真人、内海 真生、杉浦 則夫
（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

近年、閉鎖性水域において毒性物質や異臭味などを産生する微生物（障害微生物）が顕在化し社会的な問題となっている。特に水道事業においては、平成19年度の水質基準の改定により異臭味物質（ジェオスミン、2-MIB）の基準値暫定緩和措置がなくなったことから、異臭味対策が急務となっている。現在、水道事業者で異臭味対策のための対策を実施している浄水場は多く、大規模水道事業体ではオゾン処理＋生物活性炭などの高度浄水処理により恒久的な異臭味対策を導入しているが、オゾン発生に多量の電力を要するため CO_2 排出量削減の観点から水源地対策などの発生抑制技術への期待は大きい。一方、異臭味など

を産生する障害微生物の発生は、底泥の嫌気化により栄養塩類や金属イオンが溶出する『内部負荷』が一因となっており、平成19年度版環境/循環型社会白書（環境省）の第2部 第3章 第2節「閉鎖性水域における水環境の保全」においても汚濁湖沼の底泥対策は極めて重要な位置づけにある。しかしながら、その改善においても多量な電力を要する間欠式空気揚水筒などの導入が一般化しており、CO_2フリーな底質改善技術の構築が求められる。

本アイデアは、太陽電池などの自然エネルギーを利用して水を電気分解し、発生した酸素により底泥の嫌気化に起因した栄養塩類の溶出を直接的に抑制し、CO_2フリーで底質改善とそれに伴う水質改善を行うものである。現行の水質改善および浄水技術は高エネルギー＝高CO_2排出な技術が主流であることから、本アイデアにより大幅なCO_2削減が行える。また、電気分解時の発生する水素を燃料電池に用いることで完全なエネルギーリサイクルが構築可能であり、化石燃料の使用量削減も期待できる。さらに、同様の問題は世界的にも広がりを見せており、クリーン開発メカニズム（CDM：Clean development mechanism）にも寄与できる。

10

身近なものを使ってエネルギーを体験しよう

代表　川本 健太郎　（筑波大学大学院 教育研究科 教科教育専攻 理科教育コース）

日本ではエネルギー環境教育の必要性は説かれているが、具体的な教科書や教材は提示されていない。筑波大学エネルギー教育研究会では、米国のエネルギー教育プロジェクトの代表であり、幼稚園から高校までの子どもに体系的にエネルギー環境教育を学ばせることのできるNEED（National Energy Education Development）プロジェクトのカリキュラム教材の翻訳活動を行っている。私たち教育研究科の学生も教壇に立つ際に子ども達によりよいエネルギー教育を行えるようになることを目標とし、有志で翻訳活動に参加している。そんな中、先月の11月17･18日に開催されたつくば科学フェスティバルに参加させていただく機会を得て、NEEDプロジェクトで紹介されている教材について実践することができた。
今回の科学フェスティバルでは「エネルギー変換について子ども達が体験できる。」という目的を設定し、NEED教材に含まれる『エネルギー変換について生徒に紹介する方法』から6つ（スーパーボール・ワイヤーヒーター・吸熱/発熱反応・果物電池・形状記憶合金・蓄光/ライトスティック）を紹介し、それ以外にも『エネルギー変換』についての教材２つ（燃料電池・ぶんぶんゴマ）を紹介した。これらの教材一つ一つに教育研究科の学生を担当者として配置し、子ども達にエネルギー変換を体験してもらった。

実験に参加した子ども達は非常に意欲的に取り組んでおり、エネルギー変換を体験するという目的は果たすことができた。ここでの体験が今後子ども達の学習の動機付けになることを期待したい。またこの活動を通してエネルギーという抽象的な概念の導入の難しさについて改めて認識した。学校段階に応じて、何を理解させていくのか。このコンセンサスが、教える側には必要だろう。

11

大学の環境教育のネットワーク構築の試み
－筑波学際環境教育セミナー（TIEES）「我が学問と環境教育」－

内山 弘美　（東京大学大学院 工学系研究科　協力研究員）

筑波大学の旧環境科学研究科(現生命環境科学研究科環境科学専攻・持続性環境学専攻)は、全国の国立大学に先行して学際・環境科学・環境教育を標榜し、多くの環境冠大学院のモデルとして語られてきた。しかし、1990年代後半以降の競争的研究環境の下で、「学際」から個別ディシプリンの先端的研究へのシフトや、研究科創設時の教員の退官等により、筑波大学の環境教育を取り巻く状況が一変した。しかし、昨今の環境ブームの中で、環境教育への需要は増大する傾向にあり、環境教育に関心を持つ学生の受け入れ先や、全学の環境教育を学際的に繋ぐ場が求められている。更に、大学を中核として地域の教育・研究機関や市民との連携も重要な課題である。

このような状況下で、報告者は、筑波大学の旧環境科学研究科を中心とする環境科学・環境教育関連の諸先生方のご支援を受け、筑波学際環境教育セミナー「我が学問と環境教育」（Tsukuba Interdisciplinary Environmental Education Seminar、略して TIEES）を立ち上げた。TIEES は、筑波大学及び周辺地域（国立研究所群・学校・行政・市民等）における、環境教育の実践・研究(環境科学をバックグラウンドとした教育・社会サービスを含む)を行う多様なアクターを、学際的に結ぶ緩やかなネットワークである。これは、従来型の確固とした組織の中での学際ではなく、課題・対象・目的等を共有する多様な層の人々から成るネットワーク型をしている、21 世紀型の学際の形態である。

本報告では、TIEES の設立の経緯、理念、活動の紹介を行い、今後の展開について参加者の方々と意見交換を行うことを目的とする。

12

バイオマス変換触媒の開発～タールのガス化とグリセリンの水素化分解～

宮澤 朋久、冨重 圭一　（筑波大学大学院 数理物質科学研究科）

近年の化石資源の利用に起因した二酸化炭素排出量の増大による地球温暖化問題から，再生可能な新エネルギー源としてバイオマスの利用が注目され，様々な燃料への変換が検討されている．また，同時に，バイオマスを様々な化学品へと変換するプロセスが検討され，石油資源代替が期待されている．このようなバイオマスからの燃料と化学品製造を行うシステムをバイオリファイナリーと呼び，現在関連する研究が多方面から進められている．本研究では特に，木質系バイオマス由来のタールのガス化による合成ガス製造触媒とバイオディーゼル燃料製造における副生グリセリンの水素化分解触媒についての開発を行った.

従来のバイオマスガス化は液体や固体副生物の収率を減らすために，1,000℃を越える極めて高い温度で行われることが多い．その理由のひとつが，得られた生成ガスの利用に当たって，ガス中に含まれるタールの濃度を十分に下げなければ, タールによる装置の汚染や閉塞が起きる可能性を持っているからである．高性能な触媒を用いてタールを効率的に除去することにより，より安定なガス化が可能となる．本研究では，触媒の構成成分として Rh と CeO_2 を組み合わせ，流動層反応器を用いることにより，従来報告されてきた方法と比べて高効率でタールをガスへと変換でき、非常に高い活性や安定性を示すことを見出した[1].

また，バイオディーゼル燃料製造における副生グリセリンの有効利用法として，グリセリンの水素化分解によるプロパンジオールの製造において，Ru/C とアンバーリストの組み合わせが，従来よりもマイルドな反応条件下でも高い活性を示すことを見出して来た．触媒のキャラクタリゼーションや，様々な反応条件での試験結果から，反応機構の解明を行い，それらの結果を踏まえて更なる高活性触媒の開発を行った[2].

[1] K. Tomishige, et al. Appl. Catal. A: Gen., 246 (2003) 103.
[2] K. Tomishige, et al. J. Catal., 240 (2006) 213.

13

クリーン軽油製造のためのマンガン修飾 Ru/Al_2O_3 及び Ru/SiO_2 触媒上での FT 反応

モハマド・ヌルンナビ、○村田 和久、岡部 清美、稲葉 仁、高原 功
（（独）産業技術総合研究所 バイオマス研究センター BTL 触媒チーム）

合成ガスからの Fischer–Tropsch (FT)反応は、硫黄や芳香族を含まないクリーン軽油を製造するための有効な方法の一つである。FT 反応においては、発熱制御のために通常スラリー相反応が用いられ、触媒活性、C5+選択率、活性低下などが重要な因子となる。本発表ではマンガン修飾 Ru/Al_2O_3 及び Ru/SiO_2 触媒活性と安定性について検討した。

Ru 触媒はγ-Al_2O_3 and SiO_2 担体に塩化ルテニウムや硝酸マンガン水溶液を含浸させ、乾燥、焼成することにより調製した。Ru の担持量は 5wt%、Mn/Al または Mn/Si 比は 1/4 である。FT 反応は 0.3 L のオート

クレーブを用い、2 Mpa 程度の圧力下で行った。反応ガス組成は水素/CO/アルゴン=6/3/1 である。未反応ガス及び炭化水素生成物は、オンライン FID 及び TCD ガスクロマトグラフを用いて分析した。

Ru/Mn/SiO_2 触媒上では 、CO 転化率、C5+選択率、オレフィン/パラフィン比は反応時間と共に減少し、メタンは増加した。これは触媒の活性低下を示している。他方、Ru/Mn/Al_2O_3 触媒では、触媒の安定性が向上し、CO 転化率、C5+選択率共に Ru/Mn/SiO_2 触媒の場合よりはるかに高かった。加えてマンガン修飾無しの Ru/Al_2O_3 触媒も Ru/SiO_2 触媒より高い性能を示したが、触媒の活性低下が両触媒とも観察された。さらにアルミナやシリカ上の炭素成長確率(α)は約 0.90 及び 0.85 であった。 以上の結果は、マンガンの効果は担体に依存し、γ-Al_2O_3 がもっとも好ましいことが分かった。触媒の水素還元後の粉末 X 線や透過電顕観察によれば､アルミナ及びシリカ上の金属ルテニウムの粒子径はそれぞれ約 8 及び 6 nm であり、高分散したルテニウムよりも、ほどほどに分散したものの方が優れた FT 反応成績を与え、マンガンの添加は、ほどほどに分散した金属ルテニウムの割合を増加させることを示唆している。

14

水素資化性メタン菌群によるバイオガスの高カロリー化技術の確立
―CSTR で無機質を基質として馴養した水素資化性メタン菌群の定常状態での特性―

アコ オルガ、北村 豊、佐竹 隆顕 （筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

バイオガスは古くから知られているバイオマスエネルギーの一つである。バイオガスの主要な熱源はその 6 割を占めるメタンであり，残りの 4 割を占める二酸化炭素が除去されれば，その用途はさらに広がることが予想されている。バイオガス中の二酸化炭素の除去については，物理化学的手法が実用化されているが，コストや持続性の点で問題が認められる。これに対して，水素資化メタン菌群を活用した二酸化炭素の生物的除去法が提案できる。

水素資化性メタン生成菌群は嫌気性消化の複合微生物群の一菌群である。この菌群は，水素と二酸化炭素を基質としてメタンを生成する。従って様々な物理的操作条件におけるこれらの挙動の知見を得ることは、バイオガスからの良好な二酸化炭素の除去すなわちバイオガスの高カロリー化技術確立のために重要である。本研究は，メタン発酵施設からのバイオガスが基質として供給される CSTR（Continuously Stirred Tank Reactor）を想定し，無機栄養塩溶液と水素/二酸化炭素ガス基質（80：20 v/v，0.08 MPa）で馴養した後に，定常状態に達した中温の水素資化性メタン発酵の特性について反応工学的に解析した。

定常状態のデータを Monod モデルに基づき解析した結果, 等モルの水素/二酸化炭素を消費して 11.66 g/L の菌体が生成されることがわかった。このとき基質飽和定数 *Ks* および最大比増殖速度 μ max はそれぞれ 0.82 g/L, 0.15/d であり, 無機栄養塩類の希釈率が菌体の増殖と代謝の制限要素となることが示された。CSTR における菌体のウォッシュアウトを防ぐため希釈率は 0.14/d 未満で操作される必要があり，また希釈率 0.11/d で操作されれば，最大で 0.61 L・CH_4/ g・VSS・d の生産性が得られた。

15

メタン発酵アンモニア制御を目的とした水素発酵に関する研究

小口 勇太、北村 豊、佐竹 隆顕 （筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

メタン発酵法は，種々のバイオマスから，嫌気性菌群によりバイオガスを生成させるプロセスであり，加水分解，酸生成（以下,酸発酵），メタン生成の三つの過程からなる。過去の研究の知見から，C/N 比（炭素窒素比）が低い原料のメタン発酵では，アンモニアが発酵槽内に蓄積して発酵阻害を引き起こすとされている。このことからアンモニア阻害制御法の確立が急務となっている。現在我々が注目している水素発酵法は，低分子有機物が水素生成菌群によって，水素，酢酸，水等に分解される反応である。水素発酵菌群の増殖活性は非常に高く，窒素分の取り込みが旺盛であることから，そのメタン発酵への導入は，アン

モニアによる発酵阻害の制御を可能にすると考えられる。本研究は，水素発酵のメタン発酵への導入の適用性を，酸発酵との比較から明らかにした。

低C/N比合成廃水を用いた水素発酵は，酸発酵に比較してアンモニアの発生を抑制し，より高濃度の水素と有機酸を得られることが分かった。このことから，水素発酵はメタン発酵におけるアンモニア制御に適した特性を有することが示唆された。しかし菌体増殖活性については，酸発酵が水素醗酵を上回る結果を得た。これは，通性嫌気性の酸発酵と絶対嫌気性の水素発酵において回分実験環境への順応性に差があったためと考えた。今後は環境変化の影響が出ないように連続培養実験を行い，水素発酵の特性を解析する予定である。

水素発酵を適用してメタン発酵のアンモニア阻害を制御できれば，バイオマスとしての利用価値が高いとされながらも，メタン発酵の原料として敬遠されてきた食品加工残渣やエタノール発酵残渣等をメタン発酵の原料とすることができる他，メタン発酵全体のHRTの短縮，反応槽の小型化，および燃料としての水素の回収なども期待される。

16

灰分高含有木質系バイオマスのガス化における反応生成物の性状特性

小木知子、中西正和　((独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター)

演者らは、噴流床型ガス化装置を用いてバイオマスをガス化し、液体燃料製造に適した組成のガスを生成する研究を行っている。噴流床型ガス化炉は、構造が簡単で、触媒を用いずともタールの発生が少ないガスが得られる、などの特徴を有する。これまでに、小型噴流床型ガス化装置の設計と製作、これを用いた各種木質系・草本系バイオマスや有機廃棄物のガス化結果について報告した。有機性廃棄物のうち、灰分高含有の木質系バイオマスについては、ガス化条件により、生成物の性状が大きく異なることが示唆されたので、今回、その性状を調べた。

灰分を多く含む木質系バイオマス廃棄物：エリンギ廃菌床とダム流木について、噴流床ガス化装置を用いて、ガス化剤(H_2O と O_2)量を変えてガス化を試み、スギ木部（低灰分、低不純物のバイオマス原料）のガス化結果と比較した。スギ木部は、水のみで良好にガス化が進行するのに対し、流木や廃菌床のように、木材が主であるが、灰分の含有率の高い廃棄物は、水のみではガス化率が低下し、固体残渣が多く発生した。酸素を添加することにより、ガス化率が向上し、固体残渣中の炭素も減少し、ガス化が進行することがわかった。炭素ベースでのガス化は良好であるが、無機系の固体残渣は多量に発生するので、実用プラントにおいては、この後処理が問題となり、今後の検討課題である。

17

木材構成成分のガス化特性：小型噴流床ガス化炉における樹皮、脱リグニン樹皮ペレットのガス化

小木知子、中西正和、福田芳雄　((独)産業技術総合研究所 バイオマス研究センター)

演者らは、噴流床型ガス化装置を用いて各種バイオマスをガス化し、そのガス化特性を明らかにするとともに、得られた結果をもとに、ガス化プロセスの後段に想定される液体燃料製造や発電のためのシステム構築を検討している。これまでに検討したバイオマス原料のうち、スギ木部などの木部バイオマスは、ガス化剤として水蒸気のみを用いた場合でも良好にガス化が進行し、液体燃料製造に適した組成のガスが得られたが、樹皮では、原料中のCのガスへのC-転換率(ガス化率)が低下し、固体残渣が多く生成した(ガス化剤に水蒸気+酸素を用いても同様)。これは樹皮に含まれる多量のリグニン分画成分(リグニンやタンニンなどのポリフラボノイド化合物等)が影響していると考えられたので、リグニンやタンニン類をガス化したところ、タンニンは良好にガス化されるのに対し、リグニンのガス化率は極めて低く、リグニンの性状（化学構造に基づく難分解性）がガス化率低下に影響していることが示唆された。今回、スギ樹皮を脱リグニン処理し、得られた脱リグニン樹皮をガス化し、樹皮のガス化と比較した。脱リグニン処理したスギ

樹皮は、スギ樹皮に比べてガス化率が向上し、固体残渣の収率が低下した。以前に行ったオルガノソルブリグニン、タンニンのガス化結果とあわせ、樹皮が木部に比較してガス化率が低いのは、含有リグニンの影響であることがわかった。酸素添加によりガス化率を向上(固体残渣へのC-転換率低下)させることができるが、生成ガス中のCO_2量が増加するため、総合効率の観点から最適ガス化条件の検討が今後の課題である。

18

複数のGCMシナリオに基づく日本の水稲収量への影響評価

飯泉 仁之直　（筑波大学（現：農業環境技術研究所））
堀 正岳　（筑波大学（現：名古屋大学））
横沢 正幸　（農業環境技術研究所）
林 陽生、木村 富士男　（筑波大学大学院 生命環境科学研究科）

IPCC-AR4により提供された気候変化シナリオを利用し、日本の水稲栽培への影響を解析した。利用した気候変化シナリオは５種で、温室効果ガス排出シナリオはA1Bである。日最高・日最低気温、日積算日射量を、GCMの３時間値から求めた。作物モデルにはSIMRIWを用いた。

はじめに、国土数値情報３次メッシュから、水田率20%を超えるメッシュを抽出し、対応するメッシュごとの気候値を推定した。作物モデルにより、都道府県ごとの水田領域における平均出穂日および収量の分布を推定した。

以下の点が明らかになった。温暖化後の全国平均出穂日は早まるが、大部分のGCMでは、過去の気候変動条件での変動幅内である。温暖化後の全国平均収量は、現在の気候条件における収量を下回る場合もあるが、やや増加傾向が強い。東北の太平洋側での収量増加はどのGCMでも一致している。一方九州では増減が混在し、これもGCM間の差異は小さい。

こうした温暖化影響予測により、食料安定生産の基盤的な情報が提供できる。

19

バイオマスの効率的利用を指向したシロアリ共生系の木質分解系の網羅的解析

守屋 繁春（理化学研究所 環境分子生物学研究室）

シロアリは腸内の難培養性微生物コミュニティーによって結晶性セルロースを90%以上の効率で資化することが知られている。本研究では新規環境メタ発現遺伝子資源解析法により、シロアリの持つ高効率の植物バイオマス資化系関連因子群の網羅的な取得とその性質の決定を行った。

下等シロアリのほぼ全科およびその祖先に当たるキゴキブリ共生系の培養非依存性メタトランスクリプトーム解析の結果、これらの共生原生生物群には糖質加水分解酵素ファミリー（GHF）5, 7, 10, 11, 45から成るセルロース分解系が存在していることを発見した。分子進化学的な解析の結果は、この内GHF 7, 10, 45がサブファミリーレベルで新規の酵素であることを、GHF 5, 11が様々なバクテリアからの水平伝播によって共生系の進化のごく初期に取り込まれたものであることをそれぞれ示唆していた。さらに、利用している材の性質や宿主シロアリの系統的位置に依らず同じ酵素セットが保持されていることを明らかにした。これらの結果より、他に類を見ないこの新しいタイプのセルロース分解系は、シロアリの実現している極めて高効率のセルロース分解の中心的存在であること示唆された。

更に、マクロアレイ法を用いた各ファミリーの発現量の解析の結果、これらの酵素はシロアリの利用する材のタイプに依らずほぼ一定の発現量比を示すことが明らかとなった。このことは、このセットがシロアリ共生系で使われているユニークな高効率分解系のコアであることを示しており、今後の酵素学的解析による応用技術開発が期待される。

20

複合生物共生系への代謝流束解析の試み

雪 真弘[*1,2]、○守屋 繁春[1,2]、菊地 淳[3,4]、工藤 俊章[5]
[1]横市大院国際総合、[2]理研環境分子、[3]理研 PSC、[4]名大院生命農、[5]長崎大

自然界では生物の多くは他の生物と相互依存関係にあり、物質のやりとりによって相互に不足した因子を補い合っている。例えばマメ科植物・根粒菌の窒素供給、シロウリガイ・化学合成細菌の硫黄供給、そしてヒト・腸内微生物叢の難消化物・二次代謝物分解は宿主への重要な栄養供給として研究されている。シロアリは腸内の多種多様な微生物群と共生関係にあり、これらが宿主の摂食源である植物バイオマスを高効率に分解し、酢酸を主要エネルギー源として宿主に供給している。そのためシロアリは代謝経路を特殊化していると考えられており、特に植物バイオマス高度利用の観点から近年注目を集めている。

これまで生物間共生の解析は宿主や共生体の全ゲノム解析を行い、解明した遺伝子セットから物質のやりとりを推察することが主流であった。このようなゲノム解析が行われる共生関係の対象は、宿主対共生体が 1 対 1 のものが多かった。しかし自然界ではシロアリ共生系のように複数の生物叢が共生系を構築していることの方が圧倒的に多い。このような複合生物共生系においては、系を構成する全生物のゲノムを解析することは困難である。そこで我々は複合生物間共生系をゲノム解析に依存せずに解析する新規共代謝解析法を構築するため、シロアリ共生系をモデルとして安定同位体標識と RNAi を用いた解析を試みた。

まず、$^{13}CO_2$ 標識化植物から調製した ^{13}C-セルロースを餌にシロアリを飼育し、そのシロアリ虫体と腸内原生生物の抽出物を NMR 計測した。その結果、シロアリと腸内原生生物の安定同位体標識時間に差が見られ、宿主-共生体間での物質のやりとりが実際に行われていることが示唆された。次に摂食源の違いによるシロアリの代謝を明らかにするために $^{13}C_6$-グルコースと $^{13}C_2$-酢酸ナトリウムを摂食させ、代謝物質を 2D-NMR 計測した結果、宿主の糖領域シグナルが最も顕著な差異を示した。このことは、これまで考えられてきた「共生原生生物より供給される炭素源」の他に「シロアリ自身の酵素による炭素供給経路」が存在することを示唆している。そこでこれまで不活性であると報告されていた解糖系と TCA 回路を結ぶピルビン酸デヒドロゲナーゼ(PDH)とピルビン酸カルボキシラーゼ(PC)を RNAi により抑制し、宿主の糖代謝の詳細な解析を行った。^{1}H-NMR 代謝プロファイリングを行ったところ、スペクトルに現れる可溶性代謝物群全体にわたって、RNAi による影響が検出され、PDH を抑制した場合が PC より顕著であった。寄与率の高いマーカー分子はグルコース、グルコース-6-リン酸、トレハロース、カルニチン、アセチルカルニチン、グルタミン、乳酸であった。その ^{1}H-^{13}C HSQC 計測からも RNAi による全体の代謝物質変動と、さらに上記マーカー分子毎のより詳細な代謝流速を観測した。また PC を抑制した際には代謝物群全体の変動は小さく、一方で PDH 抑制区では変動が大きい事から、機能していないと報告されている PDH が働いていると考えた。現在、^{13}C-^{13}C カップリングに基づく原子レベルでの代謝フラックス解析により、代謝反応に伴う原子団の流束、特に共生微生物群から流れる炭素流束の追跡を試みている。

以上のように我々は RNAi と代謝プロファイリングを組み合わせることにより、代謝全体の変動を証明し、2 次元NMRによる詳細な代謝変動を追跡する事に成功した。これによって、シロアリの炭素利用においては宿主が完全に共生体に依存しているわけではないことが示された。このようなメタ・メタボローム的手法を用いることによって、ゲノム情報を用いることなく、複合生物系の共代謝へ迫ることが可能である。

21

産業技術総合研究所エネルギー技術研究部門の概要紹介

産総研エネルギー技術研究部門

エネルギー技術研究部門では、持続可能社会の実現とエネルギー安定供給の確保という課題に応える技術開発をめざして研究を実施しています。当部門の３つの研究の柱を紹介します。

1) 分散型エネルギーネットワーク技術

エネルギー利用効率の高い分散型エネルギーネットワーク構築を目指して、統合制御・運用技術、および、その構成要素技術を開発しています。

2) エネルギー材料・デバイス技術

エネルギーデバイスとして、高性能固体酸化物形燃料電池、熱電変換素子、電力貯蔵キャパシタ等を開発しています。

3) クリーンエネルギー技術

クリーンなエネルギーを供給することを目指し、太陽光の二次エネルギーへの変換、水素の高密度輸送貯蔵、炭化水素資源のクリーン化などの技術を開発しています。

22

大地の熱の利用技術の研究　–冷暖房システムや融雪システム等の開発–

盛田 耕二（産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門）

大地の温度は、冬には気温よりもかなり高く、夏には気温よりもかなり低いという特徴があります。大地の熱を利用すると、化石燃料消費量や二酸化炭素排出量を減らすことができます。大地の熱の利用は地球への環境負荷が小さいので、我々が将来にわたって地球と共生していくのに適したエネルギー利用方法の１つといえます。

私たちは、大地の熱を利用するシステムの開発を行なっています。

１．融雪システム

大地の熱と夏季の太陽熱を利用するガイア融雪システムを開発しました。1995 年に最初のシステムが岩手県二戸市に導入され、これまで青森県を中心に 13 設備が導入されています。これらの設備では、電熱線を用いる設備に比べて二酸化炭素排出量を約 85%削減しています。

２．住宅用冷暖房・給湯システムの開発

建設費の削減とより高い性能の実現をめざして開発を進めています。

私たちが開発しているシステムでは、ヒートポンプから冷媒を直接室内機に導くので、搬送動力が小さくてすみます。また、従来の大地の熱を利用する冷暖房システムに比べて高い COP を期待できます。さらに、システムがシンプルで構成機器が少ないので、建設費の削減も期待できます。

現在、産総研の構内とつくば市内のモニターの住宅で、開発したシステムの評価のための運転を行っています。

23

太陽光発電研究センターの紹介

作田 宏一　（産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター）

地球温暖化を防ぎ、持続可能な社会を実現するために不可欠な再生可能エネルギー資源として、クリーンで無尽蔵な太陽エネルギーへの期待が高まっている。中でも太陽光発電は、太陽光のエネルギーを直接電力エネルギーに変換するシステムで、タービンのような動く部分がないため保守・管理が容易であること、電卓から大規模発電所まで様々な規模・形態での応用が可能であること等の特長を有し、近年急速に普及が進みつつある。このような背景の中、産業技術総合研究所が太陽光発電研究に対して戦略的に取り組む拠点として、2004 年 4 月に太陽光発電研究センターが設立された。

当センターでは太陽光発電の普及加速のために太陽電池の効率を高め、発電コストを既存電力並みに低減する革新的な材料やデバイスを開発すると共に、エネルギー源としてのシステムとしての信頼性を高める技術の開発を行っている。また、国の中立機関として求められる太陽電池の評価、標準を通して、産業基盤の確立に貢献している。センターは結晶シリコンチーム、シリコン新材料チーム、化合物薄膜チーム、

有機薄膜チーム、評価・システムチーム、産業化戦略チームの 6 チームから構成され、緊密な連携を図りながらそれぞれの課題に取り組んでいる。

24

産総研メガワット級太陽光発電設備

作田 宏一　（産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター）

平成 16 年 4 月に産業技術総合研究所のつくばセンターに建設されたメガワット級太陽光発電設備（愛称：メガソーラタウン）は、一事業所に設置されたシステムとしては当時我が国最大規模の太陽光発電設備である。本設備により、一般家庭約 300 軒分に相当する年間約 100 万 kWh のクリーンな電力が供給され、年間約 300 トンの二酸化炭素排出量削減に貢献することが期待されていたが、実際にシステムは順調に発電を継続し、平成 19 年 7 月には、累積発電量が 300 万 kWh に達している。

本システムは、我が国で実際に市販されている太陽電池メーカ各社の出力 4kW の住宅用システムから構成されているのが特長で、使用されている太陽電池は単結晶シリコン型、多結晶シリコン型、ヘテロ接合型、アモルファスシリコン型の 4 種類である。太陽電池の発電特性は、モジュール温度や入射光スペクトルなど設置場所の環境条件により変化し、また太陽電池の種類によってもこれらの環境因子依存性が異なるため、実際のフィールドに同一条件で設置されたシステムの発電特性を計測することにより、それぞれの太陽電池の特性の違いを明らかにすることが出来る。また、実使用条件下で多数のシステムの運転を継続することにより、モジュールやパワーコンディショナーなどの構成機器の長期信頼性に関するデータが蓄積され、メーカへのフィードバックによる特性改善も期待されるところである。

25

水素選択透過金属膜開発　－均一薄膜化と長期安定性の両立を目指して－

須田 洋幸　（産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 膜分離プロセスグループ）

燃料電池を利用した水素エネルギー社会の到来を目前にし、高純度水素を効率的に製造する技術が求められている。混合ガスからの水素分離技術としては、吸着法や深冷分離法などが知られているが最近では、省エネルギー、連続操作、メンテナンスフリーなどの特徴を持つ膜分離法への期待が高まっている。なかでも Pd（パラジウム）系金属膜は原理的に水素しか透さない“究極の水素分離膜”として、水素分離膜実用化の最有力候補と言われている。しかし Pd は希少で高価なことが、利用拡大の障害となっている。当グループでは、Pd 膜実用化の早期実現を図るべく、Pd 使用量を削減する技術開発を進めている。

Pd 系金属膜の Pd 使用量削減には薄膜化が不可欠であるが、従来型 Pd 系薄膜では長期安定性との両立は非常に困難であった。我々は、基材との界面に応力緩和空間層を導入した均一 Pd 薄膜の調製技術開発に成功し、Pd 使用量の削減と長期安定性の両立を可能にした。

現在は、更なる均一薄膜化（1~5 μm）や $Pd_{60}Cu_{40}$ に代表される Pd 合金系への適用にも成功しており、水素分離膜装置の実用化に向けた膜モジュール化や、分離膜一体型反応器（膜反応器）、分離膜一体型電気化学デバイスなどに関した取り組みを進めている。

26

エネルギー高回収率を実現する熱交換システム

中島 春彦、渡辺 武徳、瀬戸 大生、庄司 雅彦　（東京農工大学）

「より多くのエネルギー供給を求めるのではなくより効果的にエネルギーを使いまわす」、そのような観点から生まれた廃熱利用法を紹介する。

二重管熱交換器を代表とする通常の熱交換器の常識は乱流域での使用であるが、この場合には温度回収率が流量にほとんど依存せず、二重管の総延長に比例する。したがって、それを追求することは経済的に

見合わないことである、と教科書などには書かれている。ところが、低流速域を利用すると有限の管長であっても理論上100%の温度回収率を実現できることに我々は気づいた。実際に、3.8 m の銅パイプ（外径6.4 mm）を塩ビパイプ（内径13 mm）に通した簡易な二重管熱交換器で10℃の冷水と40℃の温水の間の熱交換を行ったところ等流量75 cc/min の時に冷水の温度は34℃にまで上昇し、80%程度の温度回収率が実現された。これを風呂の残り湯の交換に用いるとあと5～10℃程度加熱すれば新しいお湯にはいれることになる。しかし難点は、家庭の風呂桶一杯分交換するのにまる1日程度かかってしまうことである。そこで、内管を銅パイプ3本にする改良を行った結果残湯交換が7時間程度でできるまでに改善された。この改良された熱交換器を9本束ねれば2 L/min となりこれならかなり魅力的な性能と言える。ただし、普及という面で考えるとまた別の問題がある。9本を束ねたとして断熱材を含むと断面が8×8 cm、長さが3 m、重量5 kg となる。設備費は原価2万円程度だが商品となれば10万円程度にはなろう。そこで、我々は現在、構成が極めて簡単で且つ製造に適した積層構造を採る事によって、熱交換器の体積・時間あたりの熱交換量を理想に近い形で実現しつつ、その製造原価をかつて無いほどに安く抑える熱交換器の開発を進めている。ポスターではそのさわりについても発表する予定である。

27

低炭素社会に向けて－日本2050年70%削減シナリオの構築－

藤野 純一　（国立環境研究所）

将来予想される温暖化による深刻な影響を避けるためには、2050年までに世界の温室効果ガス排出量を約半減、日本は60－80%の削減が求められる可能性があります。

私たちが進めている「脱温暖化2050研究プロジェクト」では、一人当たりのGDP（国民総生産）が年率2%で成長しても、様々な対策を組み合わせることで、日本のCO_2排出量を1990年に比べて70%削減できることを示しました。しかし、たとえば太陽光発電を普及させるためには、より使いやすくする技術開発、普及を促進する制度設計、利用する消費者の行動が必要です。つまり、様々な対策が導入されやすくなるように、社会のしくみを変えていくことが必要でしょう。そうすれば、経済成長を続けながら大幅な温室効果ガス排出量を削減させることができます。

ところで、経済成長を表現するときの代表的な指標であるGDPは、生活の質を表現しているのでしょうか？たとえば、自宅で野菜を育て家でごはんを食べるより外食した方が、犯罪が増えて警察や家庭内セキュリティーサービスにより多くのお金を使う方が、GDPは増加します。それは本当に幸せなことなのでしょうか？

将来、どんな社会に住みたいのか、そのときに低炭素社会にするために一人一人が何をすれば良いのか、一緒に考えませんか。

詳細はホームページをご覧下さい。脱温暖化2050研究プロジェクト：http://2050.nies.go.jp

28

都市内大規模河川（ソウル市清渓川）の復元による大気環境改善

一ノ瀬 俊明（国立環境研究所 社会環境システム研究領域）

都心の大規模河川空間復元がもたらす暑熱現象緩和効果の定量化を目的として，著者らは韓国・ソウル市における清渓川復元事業の前後にわたる暑熱環境の総合的なモニタリングを進めてきた．年々の変動が暑熱現象緩和効果の検証を困難にしてはいるものの，現在までに復元区間周辺で観測された顕熱フラックスや気温（百葉箱で観測）に復元の影響が検出されている．体感温熱指標や大気汚染については現在も検証中である．また，清渓川が周囲を冷却するメカニズムを探るため，超音波風向風速計などによる高密度の観測を行った結果，清渓川の冷却効果は河道から南北とも80m程度までは明瞭に見られることが示唆された．清渓川復元による大気環境改善効果が実証されることとなれば，都市開発の世界的なパラダイム転換につながることも予想される。

29

身近な交通の温暖化対策　－国環研がオススメするエコドライブ－

加藤 秀樹（国立環境研究所 社会環境システム領域 交通・都市環境研究室）

私たちの身近な交通手段の一つである乗用車の利用によって、130 Mt/年もの二酸化炭素が排出されており、日本全体の排出量 1,293 Mt/年の約 1 割に達しています。また、家庭から排出される二酸化炭素のうち、乗用車の利用に伴う排出が約 3 割を占めています。したがって、身近な交通の温暖化対策は、日本全体としても大きな役割を担っていると言えます。対策の一つとして、エコドライブはすぐに始めることができる即効性のある対策として期待されており、本研究では、エコドライブ効果の理論的な解析と実道路における検証を行いました。

つくば市内における理想的な 3 つの市街地走行モードを作成し、乗用車が走行するときに必要な走行エネルギーを算出した結果、少ないエネルギーで同一距離を走行するには「最高速度を抑えて等速運転すること」がもっとも効果的であり、「早めのアクセルオフで減速時に惰性走行すること」でも上乗せ効果が期待できることがわかりました。さらに、実道路におけるエコドライブ効果を検証するために、つくば市内の一般道コース（約 5 km）でエコドライブ試乗会を開催し、参加者 26 名が「普段通りの運転」と「エコドライブ」を行い、その燃費を計測しました。全参加者の平均燃費は、「普段通りの運転」で 16.5 km/L であったのに対して、「エコドライブ」を行った場合には 18.7 km/L となり、燃料消費量や二酸化炭素排出量としては平均で12%削減されるという効果が得られました(図)。

国立環境研究所では、燃費の良い車両の普及施策、公共交通の便利なまちづくりなどさまざまな対策を組み合わせて、交通からの二酸化炭素排出量を大幅に削減するためのシナリオづくりに取り組んでいます。

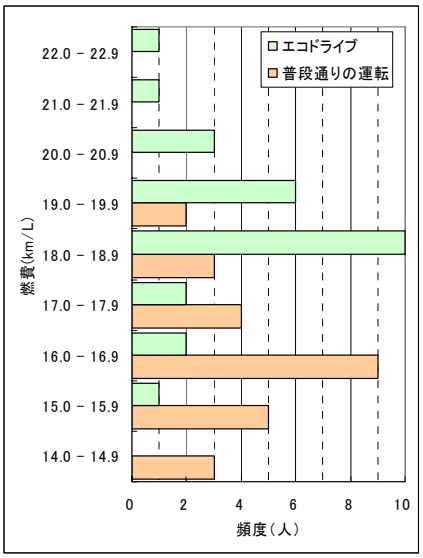


図 エコドライブ試乗会における燃費分布の変化

30

建築技術（要素技術の視点）

吉田 友紀子　（国立環境研究所）

IPCC 第 4 次報告書より、建築分野における費用対効果が高いことが示されており、持続可能性社会構築と結びつく建築技術が注目されている。地球環境に配慮した「模範ビル」となるべき建築物が国立環境研究所敷地内に地球温暖化研究棟（鉄筋コンクリート造 3 階：延床面積約 4,800 m^2、国土交通省監修）として 2001 年 5 月に竣工した。

国の温室効果ガスインベントリの分類では業務部門の詳細な内訳を把握していないことが問題とされており、建築物の要素技術導入による対策効果を実測により把握するため、建築物（オフィスビル）の設計から運用まで実態を調査した。

評価された要素技術を示す。

○ 外皮性能の向上（ガラス性能向上による設計時の空調エネルギー削減）
○ 庇・高反射塗料の利用（太陽光の遮蔽技術）
○ 昼光利用による初期照度補正による照明出力自動制御技術の導入＋Hf型蛍光灯利用（照明電力削減）
○ 自然通風システムの導入（自然エネルギーの利用）
○ 室内側空調システムの省エネ技術：変風量（VAV）制御の導入（運用時の空調エネルギー削減）
○ 夏期：冬期における室内空調温度設定変更（運用時の空調エネルギー削減）
○ 屋上緑化導入（外部空間への影響緩和）
○ BEMS（ビルエネルギーマネージメントシステム）技術の導入（運用時のエネルギー管理）

これら要素技術の最適化を検討すること、さらに、要素技術の総合化を行うことにより、効果的かつ効率的な運用を図ることが可能であり、エネルギー管理技術とインターネット技術を結びつけ、気象データを基に地域や建物毎のエネルギー消費量を予測し、エネルギー管理技術と結びつけることで、持続可能な社会システムの評価システムとして必要な機能を担うことをめざしたい。

31

国立環境研究所地球温暖化研究プログラム中核研究プロジェクト３「気候・影響・土地利用モデルの統合による地球温暖化リスクの評価」平成 18 年度の成果の紹介

江守 正多、高橋 潔、小倉 知夫、伊藤 昭彦、山形 与志樹、岩男 弘毅、岡田 直資、木下 嗣基、塩竈 秀夫、清野 達之、長谷川 聡、横畠 徳太、長友 利晴、増冨 祐司、野沢 徹、日暮 明子、永島 達也、原沢 英夫、肱岡 靖明、花崎 直太
(国立環境研究所 地球環境研究センター)

国立環境研究所地球環境研究センターでは、国立環境研究所の重点研究プログラムのうちのひとつである「地球温暖化研究プログラム」を推進している。世界最高水準の観測・モデルに基づいた地球温暖化とその影響・リスクに関するメカニズムの理解と将来予測の研究、社会経済システムを温室効果ガスの排出の少ないものへと変革するためのビジョン・シナリオ研究などを４つの中核研究プロジェクトを中心に実施している。このうち中核研究プロジェクト３「気候・影響・土地利用モデルの統合による地球温暖化リスクの評価」の平成 18 年度における成果から以下の３つのトピックを紹介する。

・近い将来（今後 20 年）の間に、真夏日や熱帯夜が増える確率はどのくらいだろうか？

気候の自然変動の不確実性を考慮しても、今後 25 年程度の近未来に陸上のほぼ全域において夏季の極端に暑い夜の日数が増えることなどが予測された。

・21 世紀中、人類は必要なときに必要な量の水資源を得られるのだろうか？

水資源が非常に逼迫する地域に住む人口は、21 世紀前半に人口増加とともに上昇し、21 世紀の後半、世界の総人口が減少に転じた後も、すぐには減少しないことが、ある社会経済シナリオに基づいて予測された。

・東アジアの植物はどれだけ光合成で炭素固定しているのだろうか？

森林の木材生産や温暖化対策を考える上で重要な光合成生産力マップを、生態系モデル（Sim-CYCLE）を用いて東アジア地域について作成した。

32

地方自治体における地域気候変動政策の動向

馬場 健司
((財)電力中央研究所 社会経済研究所・筑波大学大学院システム情報工学研究科)

近年，地方自治体による地域気候変動政策としての様々な環境・エネルギー施策が実施されつつある．制度的に規定されている自治体の主たる役割は，新・省エネルギー設備・機器の導入，地域の様々なアクターに対する省エネルギー普及啓発である．また，地方分権一括法の施行により，政策課題への対応を自治体が先導することの重要性が高まりつつある．このように，地域気候変動政策の立案支援は必要不可欠であるにもかかわらず，自治体におけるエネルギー政策の知見が不足している．そこで，自治体の施策担当者を対象とした質問紙調査データを用いて，自治体のエネルギー政策の形成・決定・実施プロセスを分析した結果，以下の知見が得られた．第 1 に，地域新エネルギー・ビジョン策定の自治体間での波及の規定要因と策定に関与したアクターを，環境基本計画と比較分析した結果，波及の形態が国からのトップダウン的であり，地域社会要因よりも準拠集団要因などが波及を規定すること，策定に際しては，首長の単独関与パターンや，シンクタンクに依存するパターンが多いことが示された．第 2 に，新エネルギー設備・機器導入施策の実施プロセスと関与しアクターを，太陽光と風力に焦点をあてて分析した結果，太陽光と

比較すると風力は，首長とNEDOが特に重要な牽引役であり，技術・環境上の問題や議会対応などが障害要因となるケースもあることが観察された．さらに，別途実施した自治体の施策担当者を対象としたインタビュー調査やウェブサイト調査より，省エネルギー普及啓発施策の実施パターン分析した結果，以下の知見が得られた．第1に，環境配慮行動への変容促進に有効とされる心理学上の介入方法の施策への組み込み方から判断して，「一般情報提供型」，「気づき喚起型」，「短期的実績報告型」，「継続的自己管理型」，「効果可視化型」という5つのカテゴリーに分類され得ること，第2に，個人や世帯に直接働きかける施策の実効性を高めるには，初期的，短期的な「物理的報酬」による動機付けを「心理的報酬」により持続させるために「情報提供」や「コミットメント」，「目標設定」，「フィードバック」を効果的に組み込む工夫が必要であることが示された．

33

風力発電設備導入による住民への普及啓発効果

馬場 健司、田頭 直人 ((財)電力中央研究所 社会経済研究所)

環境・エネルギー政策上の制度的な位置づけに伴って，地方自治体は，省エネルギー普及啓発施策や，太陽光発電や風力発電を中心とする新エネルギー設備・機器の導入施策を実施しており，それにより環境配慮行動への変容促進を期待する傾向にある．しかしながら，両者の関係が期待されるものであるか否かについては知見があまり存在しない．自治体による最もポピュラーな新エネルギー設備導入事業の1つである風力発電(ウィンドファーム)の導入による市民への普及啓発効果と，その結果として市民の環境配慮行動の変容促進への影響に係わるメカニズムについて，いくつかのウィンドファーム立地地域の住民を対象とした質問紙調査データを用いて社会心理学的な視点より分析した結果，以下の知見が得られた．第1に，ウィンドファームの立地を契機として，知識や関心は5割強，態度や行動は2割前後が変化している．第2に，環境配慮行動の変化を促進する規定因として，視認行動(風車の回転が気になったり，サイトへ訪問したりすること)と家庭内コミュニケーション(家庭内で環境・エネルギー問題が話題になること)は重要である．第3に，行政・事業者により詳細な情報を得ているほど，また，地域コミュニティに対する態度が肯定的であるほど，視認行動や家庭内コミュニケーションの頻度も高い．以上の分析結果を敷衍すると以下が指摘され得る．まず，行政・事業者という弱い紐帯からの情報提供は，設備導入に係わる一般的な気づきのきっかけを与える．そして，地域コミュニティや家庭内において強い紐帯を持つ人ほど，環境・エネルギー問題に係わるコミュニケーションを活性化させ，そのような中に存在するチェンジ・エージェントとの強い紐帯が，行動の変化を発生させていく可能性が考えられる．従って，自治体が新エネルギー施設の導入により，市民の省エネ意識や行動につながることを期待するのであれば，このような弱い紐帯と強い紐帯の効果的な組み合わせが必要となる．

第 2 部

第 1 回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム

講演および質疑応答

発表スライド

挨拶１

井上　勲　フォーラム議長（筑波大学）

ただ今ご紹介いただきました，フォーラム議長を仰せ付かっております井上でございます。
皆さま，本日はお休みのところ，また非常に短期間の案内にもかかわらず，大勢の方にご出席いただきまして，まずそのことにお礼を申し上げたいと思います。ありがとうございました。本日は内閣府総合科学技術会議から相澤議員，岩橋審議官，文部科学省から青山審議官にお越しいただいております。学園都市の関係では，つくば市岡田副市長においでいただいております。それから，筑波研究学園都市交流協議会会長，筑波大学長であります岩崎先生，そして茨城県からは馬場生活環境部長においでいただきました。お忙しい中ご参加いただき，お礼を申し上げます。ありがとうございます。

さて，今日の後のセッションでご講演がありますが，国際的に地球温暖化の認識が進み，それに対する適応策と緩和策の策定と実行が求められております。科学技術に関するわが国の各セクションには，その具体的な対応が求められているところでございます。とりわけ，巨額の費用を投入して建設された筑波研究学園都市に対しては，特に組織的な取り組みが求められていると認識しております。筑波研究学園都市の大学，そして研究機関は，この世界的な，人類が直面している重要な課題に対して何らかのメッセージを発し，かつ具体的なアクションを取る，社会的責務があると考えております。

このフォーラムの趣旨説明は後ほどさせていただきますが，本フォーラムはこうした現状認識を共有する大学，筑波研究学園都市の研究機関，自治体の主体的な取り組みとして開始するものです。関連機関が連携して，それぞれが有する英知と技術を集約することで，省エネルギー，低炭素の社会と安全・安心，健康で文化的な都市を実現する。その具体的な取り組みを最終的に「つくばモデル」として内外に発信していくことを目標としております。

この第1回のつくば3Eフォーラムは，恐らく今後10年，20年と長い時間にわたる筑波研究学園都市を中心とする連携共同研究，開発研究のためのキックオフと位置付けております。皆さまには本フォーラム開催の趣旨にぜひともご賛同いただきまして，筑波研究学園都市における新たな産官学民の連携を共にキックオフしていただければとお願いする次第でございます。このフォーラムではぜひとも活発な議論をお願いしたいと思います。

簡単ではございますが，ご挨拶といたします。ありがとうございました。

挨拶 2

岸田　文雄　科学技術政策担当大臣

第 1 回つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラムの開催に当たり，一言ごあいさつを申し上げます。会場に伺いごあいさつしたかったのですが，都合により残念ながらかなわず，ビデオで一言ごあいさつを申し上げます。

皆さまご案内の通り，資源に乏しく少子高齢化の進むわが国において経済の持続的成長を可能とする上で，科学技術イノベーションに寄せられる期待は極めて大きいものがあります。また，今日，科学技術が解決しなければならない地球規模の課題は山積しております。気候変動，エネルギー，水，食糧，人口問題，感染症対策など，枚挙にいとまがありません。国の科学技術政策の基本方針である第 3 期科学技術基本計画においては，研究開発を戦略的に進めるとともに，その成果を社会・国民に還元することの重要性も明確に位置付けられております。また，筑波研究学園都市については，集積効果を生かした連携や融合を進めることとし，皆さま方への大きな期待が示されております。

1980 年の概成以来，既に 27 年が経過し，現在，1 万 2000 人を超える研究者が活動する都市となった筑波研究学園都市において，個々の研究機関がおのおのの領域において卓越した成果の創出に向けて引き続き努力されてきたことには心から敬意を表します。今後も筑波が研究成果を国の内外に発信していくことはもちろんのこと，集積を生かした連携，融合により，また，茨城県つくば市等の地元自治体，そして産業界，住民をも含めた，幅広く規模の大きい協働により，筑波発の科学技術の一層の高度化と社会還元を進めていくことは，筑波に対する科学技術政策上の強い要請でもあります。

私は科学技術政策担当大臣として，現場主義の観点から，就任間もない去る 9 月，つくば市の研究所を訪問し，そこで活動する若い研究者の皆さまと率直な意見交換をする機会を得ました。私はそのとき，つくばのこれだけの頭脳集団の力には素晴らしいものがあり，協力と協働によってその力をさらに何倍にも発揮することができると感じました。

冒頭に申し上げました，地球規模の課題の中でも，気候変動・環境・エネルギーの問題は待ったなしの課題です。そのような中，来年 7 月にはわが国がホストし，環境を大きなテーマとする洞爺湖サミットが開催されます。「美しい星 50（Cool Earth 50）」の提唱国として，国際的な責任のあるわが国が世界に誇る環境・エネルギー技術を結集して，いかにして 2050 年の CO2 半減に向けて主導性を発揮できるかは，わが国に課せられた課題であり，また，海外からも注目されているところです。

このたび，つくばにおける科学技術拠点の集積効果を生かし，2050 年を待つことなく，モデル都市として 2030 年にも CO2 半減を成し遂げるという目標を掲げて，本フォーラムが設立されたことは誠に意義深いことであります。また，2007 年はつくば市制 20 周年という節目と伺っており，そのような年に筑波研究学園都市の大学・研究機関だけでなく，つくば市，茨城県も参加して，このフォーラムが開始することは極めて意義深いことであります。

第 1 回つくば 3E フォーラム設立にこぎ着けられた関係者の皆さまのご努力に深く敬意を表し，会合の成功を祈念し，私のご挨拶とさせていただきます。

挨拶 3

橋本　昌　茨城県知事
（代理：馬場清康　茨城県生活環境部部長）

ただ今ご紹介いただきました，茨城県生活環境部長の馬場でございます。本日，知事が所用で出席できませんので，環境問題の担当部長ということで代わりまして出席させていただいております。

本県の橋本知事は環境問題，特に地球温暖化問題には大変熱心でございまして，県で施策として取り組むのはもちろんでございますが，全国知事会のエネルギー・環境問題特別委員会の委員長としまして，例えば環境大臣に直接お会いして，国と地方との連携について申し入れをしましたり，あるいはその委員会に新たに地球温暖化対策専門部会というのを立ち上げまして，国や産業界との連携の在り方について検討させたりしているところでございます。　本日は知事から，3E フォーラムの開会に当たってメッセージを預かってきておりますので，ここで披露させていただきます。

「第 1 回つくば 3E フォーラムが，筑波大学をはじめ関係各機関のご尽力により，盛大に開催されますことを心からお喜び申し上げます。さて，本年 6 月のハイリゲンダム・サミットでは，2050 年までに世界全体の温室効果ガス排出量を 50%削減することを真剣に検討することが合意され，今週開催された国連気候変動枠組条約締結国会議，COP13 では，京都議定書後の地球温暖化対策の枠組みづくりの行程表が議論されるなど，地球温暖化という人類に突き付けられた喫緊の課題に対して，国際的な取組が進んでおります。また，来年は，京都議定書第一約束期間を迎え，わが国に課せられた温室効果ガス排出量の 6%削減を達成できるかどうか，わが国の取組の真価が問われているところでございます。

本県におきましても，平成 18 年 2 月に茨城県地球温暖化防止行動計画を改定し，2010 年度における県内の温室効果ガス排出量を 4.6%削減するという目標を設定し，県民や事業者の皆さまに省エネなどに積極的に取り組んでいただいております。まず県民の皆さまには，一人一日 1 kg の二酸化炭素排出の削減を目指す，環境省の『私のチャレンジ宣言』に登録していただくよう働き掛けるとともに，本県独自の取組といたしまして，日常生活での環境配慮行動の取組状況をチェックできる『茨城エコ・チェックシート』15 万部をお配りして，家庭で役立てていただくほか，子供向けに環境マネジメントプログラム『キッズミッション』を作成して，小学生の環境教育に活用しているところでございます。

さらに，事業者の皆さまには本県独自の簡易な環境マネジメントシステム『茨城エコ事業所』登録制度に 400 を超える事業所で取り組んでいただいております。また，現在開会中の第 4 回定例県議会には，茨城県森林湖沼環境税条例を提案させていただき，この新税による財源を有効に活用しながら，間伐などによる森林の保全整備や，高度処理型浄化槽設置などによる湖沼等の水質改善など，地球温暖化や環境改善のための施策を積極的に行っていくこととしております。

一方，ここ研究学園都市に目を向けますと，つくばエクスプレスの開業や圏央道の整備など都市基盤の充実が図られてきておりますが，公共施設の老朽化，公務員宿舎の一部廃止など，新たな課題も顕在化してきております。このため，第 3 期科学技術基本計画における本都市の役割等を踏まえ，国やつくば市とも連携し，新たなつくばのグランドデザインを作成しているところでございます。こうした中，関係機関が連携して，世界の中核都市の省エネルギー化，クリーンエネルギー化に資する『つくばモデル』を構築することを目指すつくば 3E モデルプログラムの先行的な取組として，つくば 3 E フォーラムを立ち上げられたことは，つくばの地域振興はもとより，地球温暖化対策を推進するためにも大変意義深いものと考えております。

最後になりましたが，つくばにおける省エネルギー・クリーンエネルギー社会の実現に向けて，本フォーラムが今後ますますご活躍されることを祈念申し上げまして挨拶とさせていただきます。

平成 19 年 12 月 15 日。　茨城県知事　橋本 昌。

挨拶 4

市原　健一　つくば市長
（代理：岡田久司　つくば市副市長）

ご紹介いただきました，つくば市副市長の岡田でございます。市原健一つくば市長に代わりましてご挨拶申し上げたいと思います。

本日は第1回3Eフォーラムにこんなにたくさんの方々が参加いたしまして開催されますことを心からお喜び申し上げる次第でございます。開催地，ここ筑波研究学園都市は皆さんもご承知のとおり，また，先ほど大臣からも話がありましたように，昭和38年閣議了解がされ，東京の一極集中を解消し，国立研究所の中心地をつくるということで建設が始まって以来，40年の歳月がたつわけでございます。この間，昭和55年には研究学園都市の概成となり，また，昭和60年には2000万人の方々が参加した「科学万博 - つくば85」が開催され，そして昭和62年には，これまで6町村だったこの研究学園都市の地域に，つくば市制という新たな公共団体を構築し，スタートしたわけでございます。そして，去る11月30日には市制20周年の記念式典も開催することができたわけでございます。また，一昨年にはエクスプレスが開通し，平成24年には首都圏をまたぐ形で，八王子，横浜，成田からぐるっと回る圏央道が全線開通する予定でもあります。

このようなさまざまな歴史を踏まえながら，今，世の中で一番注目されているのがこのつくばではないのかなと思っている次第です。国立・民間の研究所を合わせますと300余の研究所が立地する，まさに一大研究学園の都市でございます。その中では，科学技術創造立国日本を目指し，支える科学技術の研究開発，技術革新が取り組まれているところでございまして，また，大学発，研究所発の多くのベンチャー企業も生まれてきているところでございます。一方，科学技術基本計画において，筑波研究学園都市の重要性が指摘されるところでございまして，先ほど，知事のメッセージの中にもありましたように，そういう状況を踏まえながら，このつくばに新しいグランドデザインを策定しなければならない，そういう時期も来ていると考える次第でございます。

そして，このつくばを考えるときに誰しも，より以上の研究成果というものを期待しているところでございます。そのためには，この多くの研究機関が連携をし，交流をし，より一層の連携を密にすることが大きな基本になるのではないか。これは今まで多くの方々が提起されて，なかなか現実的な行動には移っていなかったと思います。このようなときに，筑波大の井上先生から今回のフォーラムの話を伺いました。環境に，エネルギーに，そしてそれを支える経済の3Eという概念の話を，私は熱い気持ちで伺わせていただきました。つくば市は環境基本条例において，環境に負荷が少ない持続的発展が可能な町をつくり上げていくということを宣言しております。まさに，この条例の精神そのものがこのフォーラムで生かされるのかなという思いをいたしまして，全面的にこのフォーラムに市として協力する覚悟を持った次第でございます。

このフォーラムにおいて，地球的課題である温暖化の問題，そしてCO_2の50%削減を前倒しでやっていくというつくばモデルを構築するというこの高邁なる精神，これがこのフォーラムの中で具体的に先駆的な取り組みとして提言がなされ，まさに日本が環境先進国であることを示す絶好の機会になるものと大きな期待をしているところでございます。大学，研究機関，市民の皆さんとともに，連携の輪を広め，未来を見据え，そして名実共に世界のつくばとなり，その中で人と科学，自然が調和する町を筑波研究学園都市として，つくば市として構築してまいりたいと思う次第でございます。

最後になりますが，このフォーラムの開催にご尽力いただいております多くの関係者の皆さま方に心から感謝申し上げまして，地元つくば市からの挨拶とさせていただきます。本日は本当におめでとうございます。

挨拶 5

岩崎　洋一　筑波研究学園都市交流協議会長（筑波大学長）

第 1 回つくば 3E フォーラムの開催に当たり，主催者である筑波研究学園都市交流協議会の会長として，また，筑波大学の学長としてごあいさつ申し上げます。

既にお話の中に出ておりますように，このフォーラムの設立は，つくば 3E フォーラム実行委員会関係者のご尽力と，総合科学技術会議，内閣府，茨城県，つくば市の関係者のご指導・ご協力により準備が進められてきたものであり，これらのご努力に対し深く敬意を表する次第であります。また，本日はこのフォーラムのためにメッセージをお寄せくださいました岸田文雄科学技術政策担当大臣，特別講演を賜ります総合科学技術会議議員の相澤益男先生，セッション 1 でお話をいただく文部科学省大臣官房の青山伸審議官にはお忙しい中ご高配を賜りまして，誠にありがとうございます。厚く御礼申し上げます。また，橋本茨城県知事ならびに岡田つくば市副市長にはごあいさつを賜りまして，誠にありがとうございます。

このフォーラムの主眼である温暖化ガス排出削減は，言うまでもなく今年の IPCC 第 4 次報告，ちょうど本日先ほどまでインドネシアのバリ島で開催されておりました COP13，そしてノーベル平和賞など，まさに今現在，最も世界の耳目を集めている地球と人類の未来が懸かった重い課題であり，来年 7 月に開催される G8，洞爺湖サミットの最重要テーマであることは皆さまもご承知のとおりでございます。この課題の大きな特徴は，状況認識や対策を G8 などの国際政治の場において議論する上で，科学技術的な知見が非常に重みを持っているということでございます。その意味で，IPCC 4 次報告に示された科学知見の形成・評価などにもかかわった国際的にも活躍する研究者など，それぞれの分野で世界的水準を持つ筑波研究学園都市の研究者が結束しながら，自らのまちづくりを地球規模の最重要課題につなげていこうとする本フォーラムの意義は極めて高いものがあると考えております。

この機会に，ごあいさつとしては少し長くなりますが，本フォーラムに関連した筑波研究学園都市交流協議会と筑波大学の動き，取り組みについてお話をさせていただきたいと思います。

現在私が会長を務めます筑波研究学園都市交流協議会，通常「筑協」と省略しておりますが，筑協はつくば市，茨城県，および筑波研究学園都市の研究機関や民間研究所等で構成される協議会であり，研究交流，共通問題などについて緊密に連携し，つくば地区の研究交流や産学官連携の推進を図ることを目的として活動しております。昨年度スタートした第 3 期科学技術基本計画において，筑波研究学園都市に関し，公的研究機関等の集積を生かした研究開発の連携や融合に取り組むこと，内外に開かれた国際研究開発拠点として育成・整備を図ることなどが示されております。これは先ほどの岸田科学技術政策担当大臣のメッセージにもありましたように，TX の開通など新しい局面を迎えた筑波研究学園都市に，科学技術，学術政策面の大きな期待が掛かる一方で，私ども当地つくばにある者にとっては，これらがまさに課題であると受け止めております。

筑協といたしましては，これらに具体的に応えていくための方策を総合的に提言していただくためのタスクフォースを設置いたしました。今回の 3E フォーラムの趣旨は，集積効果の発揮という点でも中核的なテーマとなるものであり，タスクフォースにおける検討でも重視されております。タスクフォースにおいては，来年早々にも提言の大きな方向がまとまり，来年半ばには最終的な取りまとめがなされると期待しております。

また，国土交通省は，TX の開通など，筑波研究学園都市にかかわる近年の状況変化を受け，法律に基づく研究学園都市地区建設計画の改定を視野に置きながら，当地関係者から成る懇談会を設けて意見を聞きつつ，国土・都市政策の観点からの学園都市の今後の方向性について検討しております。

筑協といたしましては，このようなさまざまな動きを踏まえながら，冒頭に述べた科学技術基本計画における課題を達成していくため，それぞれの分野でわが国においてはトップ，世界に出ても第一級の水準の学園都市の各研究機関それぞれの取り組みを結集させて，各機関を超えたつくば全体にかかわる動きで

あるつくば 3E フォーラムの方向をコーディネートし，束ねていく責務があると考えており，そのための体制を早急に構築してまいりたいと存じます。

また，筑波大学においてはこのテーマに関して，環境，地球科学はもとより，エネルギー，食糧生産，健康，経済，社会システムなど，広範な学問領域がかかわっており，筑波大学の教員も IPCC をはじめ，さまざまな場において培ってきた知見を携えて貢献を行ってきたところであります。筑波大学においては今回のフォーラムのテーマはもとより，これを一つの大きな柱としつつ，さらに保有する学問分野の広汎性・多様性を生かし，健康や文化といった観点も含めて，構想として，「つくばエコシティー」と呼んでいますが，つくばの将来に貢献していけるような総合的な教育研究活動の動きも始まっております。科学技術基本計画において，引き続き環境やライフサイエンスが重点分野になっていることを引き合いに出すまでもなく，国においても大学や研究機関におけるこのような分野に関する取り組みを促進・支援するための諸方策が講じられています。筑波大学としても，つくば地区の諸研究機関と密接に連携して，かつほぼすべての学問分野をカバーしているという総合大学としての特長を生かし，つくばにおける研究機関の集積効果発揮のためのコーディネート役を務めながら，これらの方策の活用も図り，このエコシティーに係る教育研究活動を具体化していきたいと考えております。

IPCC は 4 次報告の総合報告書において，温暖化影響防止・緩和に向けて，今後 20 年から 30 年の排出削減努力と，それに向けた投資が大きく影響するとしています。20 年から 30 年とは，この期間において実際上中心的役割を担う人材，すなわち現在においては高等教育の途上にある若者の役割が決定的に重要であることは論を待たないところであります。もとより，筑波大学においては環境科学に関しては，発足した当初の 1973 年から大学院に環境科学の専攻を置くとともに，つくば地区内の諸研究機関との間での連携大学院を組んで，この問題に携わる人材の育成にも努めておりますが，今後さらに温暖化ガス排出削減等に係る研究面，成果の普及という社会貢献面で総合性に基づいた期待される役割を果たすとともに，そのプロセスを通じたキーエポックの担い手の育成を図ることこそが最大の使命であると認識していることを強調しておきたいと思います。

最後に，今回のフォーラムが実り多いものとなることを強く期待するとともに，ここまでこぎ着けられたフォーラム議長の井上先生をはじめ，実行委員会を中心とする関係者皆さまのご努力と，本日と明日にわたり講師をお務めいただく方々に重ねて深く敬意と感謝を表し，またお集まりくださいました皆さますべてに御礼を申し上げ，私のごあいさつとさせていただきます。

趣旨説明

井上　勲　フォーラム議長（筑波大学）

それでは，つくば 3Eフォーラムに関する趣旨説明をさせていただきたいと思います。若干の経緯を交えたお話をする方がいいかと考えております。

先ほどから話に出てきていますが，第3期科学技術基本計画が昨年度から始まりました。その中に筑波研究学園都市が3カ所出てまいります。一つは，老朽化を何とかしなくてはいけないということです。これは各機関で取り組めばいいことなのですが，あとの二つは個々の機関では実現できないものです。一つは，公的研究機関は大学や産業界との連携を強化しつつ，研究成果を社会に還元するというものです。筑波研究学園都市は研究開発の連携融合に取り組めよということでございます。それからもう一つは，国際活動，海外への発信，ネットワークを形成せよということで，筑波研究学園都市を国際性をもつ研究開発拠点として再整備することが謳われています。国の基本計画の中でこのように取り上げられているということは，つくばの大学，研究機関は本気で取り組まなくてはいけないということ，いわば義務が発生したと考えられます。

しかしながら，大学もそうですが，筑波研究学園都市全体でそのことに関する認識が必ずしも十分でないと感じられて，それを何とかしようということで，昨年 7 月 14 日に，内閣府と筑波大学の主催で第 3 期科学技術基本計画に関する講演会を開催いたしました。当時の松田科学技術政策担当大臣はじめ，総合科学技術会議の3人の議員の先生にもおいでいただきました。講演会は大いに盛り上がりまして，学園都市における連携の必要性についての認識が相当深まりました。それを受けて，その後筑波大学と学園都市内の独法の研究機関との対話を開始いたしました。

対話を進める中で分かってきたことは，当たり前なのですが，連携を進めるには具体的な研究課題を提示することが必要であるということ，そして，研究学園都市を再生するぐらいの計画を筑波大学から提案したらどうかという助言を頂きました。筑波大学にはさまざまな研究分野，体育や芸術までカバーしている研究分野があります。こうした多くの研究分野が関わって学園都市を再構築する素案を作って提示するという大きなボールが筑波大学に投げられました。そんなことで，私自身は筑波研究学園都市の歴史にあまり詳しくなかったので，つくば市，あるいは学園都市は一体どういうもので，これまでに何ができて，何がまだできていないのかということを勉強しながら，さらに対話を続けて参りました。

つくばは，このスライドに示したような経緯を経て，現在は研究機関が独立行政法人化，大学が国立大学法人化をしたという状況です。平成17年にはつくばエクスプレスが開業しました。学園都市の特徴は，先ほど岡田副市長の話にもありましたので詳しくは申しませんが，2012年には圏央道がつくばと成田を結ぶということ，人口が20万人を突破したということ，それから，つくば・東海・日立知的特区になっていること，そして各種工業団地が進出していること，つくば発のベンチャーは非常に多いことなどです。こういうことを勉強しながら，計画を立ててきました。

つくば市の都市開発の経緯については，現在は第3ステージ，都市の発展期と位置づけられています。2002 年につくば市と茎崎町が合併して，つくば市全域がほぼイコール研究学園都市になりました。2005年にはＴＸが開通して，人口が20万人を突破して，スライドに示した方向でつくばが発展していくことが謳われています。つまり，広域自立都市圏中核都市，科学技術中枢拠点都市，そしてエコライフ・モデル都市として整備するということです。

こういった状況を踏まえて，研究学園都市でできる連携研究，共同研究というのはどういうものかということで，このスライドで示したコンセプトを考えた次第です。まず，学園都市全体にかかわるテーマでないといけないということ。それから，独法の研究所といいましてもいろいろな分野がありますので，それぞれ得意な研究分野で加わっていただくこと。それから，筑波大学は，体育，芸術，教育などいろいろな分野をもっていますから，すべての分野が参加する全学的な取り組みになり得ること，第3期科学技術基本計画の趣旨に合致すること，そして，そこから出てきた「イノベーション25」の方向性に合致してい

ないといけないだろうということです。そして，もちろん最終的なプレーヤーになりますつくば市の目的に沿っていることです。

こういったことをコンセプトに合致するプロジェクトは何かということで，つくば市を「イノベーション 25」で謳われている生涯健康，安全・安心，多様な人生，世界に開かれた社会にし，環境モデル都市，あるいは国際的な科学教育都市として再構築することがいいのではないかと考えて,「つくばエコシティ」という構想を作り，複数の研究機関を回りまして，ご相談をしてきたということでございます。

構想は４つのプログラムからなります。第一は，省エネルギー都市設計に不可欠な省エネ・クリーンエネルギー技術・システムを開発するプログラムです。第二に，都市を再生するための都市インフラ，低公害・省エネ輸送システム等の設計を行うプログラム，それから，第三は，環境保全，循環・共生を基調とした社会形成の基盤づくりを行うプログラムです。そして何よりもその街で，人が暮らして人生を送るわけですから，第四として，健康で文化的，あるいは文化遺産を大事にするような住みたくなる町を構築るためのプログラムです。これら四つのプログラムを並行して進め，かつ，それぞれの結果を反映させながら進めることで，最終的な出口として「つくばエコシティー」を実現するというものです。これは，筑波研究学園都市が環境モデル都市であり，かつサイエンスシティーであり，同時に，国際化をそこで成し遂げるということです。つまり，筑波研究学園都市を一つのモデルとして，未来型都市を構築するということでございます。

ここ半年ほどあちこち回りまして，この構想を提案してきました。筑波大学，産業技術総合研究所，物質・材料研究機構，国立環境研究所，茨城県，つくば市の 6 機関が中心となって「つくばエコシティー・イニシアティブ」としてスタートを切りました。先ほど岩崎学長からお話がありましたように，将来は筑協の中で活動することを視野に入れて検討いただいているところでございます。

一方で，内外の状況として，省エネ，あるいは気候変動，温暖化への対応策が謳われています。省エネ，二酸化炭素の削減は大学や独法の研究所を問わず重要課題で，それぞれ取り組んでいるところです。つくば市では地域新エネルギー導入ビジョンを進めておられます。IPCC 第 4 次評価報告書で地球温暖化が進行しているということがほぼ断定されました。それから，先ほど来，出ておりますが，ハイリゲンダムのサミットでわが国は 2050 年までに温室効果ガスの排出を半減させるということを提唱しました。そして，来年の洞爺湖サミットは環境サミットになるといわれています。そういうことで，低炭素を基盤とした都市の再構築は，タイミングとしても非常によい，連携共同研究開発のテーマになるだろうということでございます。気候変動と温暖化については，今日の後のセッションでいろいろご講演があると思いますので，私からは申し上げませんけれども，北極海の氷が解けたり，カトリーナであったり，ヨーロッパの熱波であったり，南極の氷の崩落と，さまざまなことがいわれています。

こういった内外の要請に応えて，メッセージを発信し，アクションを起こすということは筑波研究学園都市の社会的な責務と考えております。そういうことで，ごく最近のことですが，つくば 3E フォーラムを正式に発足させました。実行委員機関としてはこのスライドに挙がっている 6 機関と，それ以外にもいろいろな財団，産業界，ほかの大学の方々にも実行委員として参加いただいております。オール筑波からさらに広げていきたいと考えているところです。

このような状況の中で，プログラムの中の省エネルギー，低炭素化に関わるプログラムを先行的に始めるのがつくば 3E フォーラムということになります。筑波研究学園都市の大学，研究機関はいろいろな研究の成果を持っておりまして，それを集約することによって，省エネあるいはクリーンエネルギー，低炭素に関する技術を使った都市システムを開発するということです。極めて困難な課題ではありますけれども，達成目標として，2030 年までにつくば市の CO2 排出量を 50%減らすというものを設定しました。それを実現するために，さまざまな技術を研究開発し，こうした要素技術を集約して，これらをシステムとして構築します。一方で，筑波研究学園都市の特性をしっかり分析することによって，これをシステム構築に反映させていく。そういう作業を始めたところでございます。

全体の構成としては，実行委員会の下にタスクフォースを置いて，そこで課題の検討を行います。具体的には燃料電池，太陽電池，バイオマスエネルギーのグループが活動を始めましたし，もうすぐ都市シス

テムタスクフォースが動きだします。こういったタスクフォース間の成果の相互参照，反映を通じて，成果を出していきたいと考えております。

今後のことですが，タスクフォースの活動をさらに強化し，広げていくという活動と同時に，このつくば 3Eモデルは既に動いておりますので，タスクフォースの成果から，できるだけ早く方向性を見いだして，これを洞爺湖サミットの前に，5 月ぐらいを想定していますが，第 2 回つくば 3E フォーラムを開催して，世界の環境モデル都市からも代表に来ていただいて，国際会議としてやりたいと考えております。同時に，並行して，四つの「つくばエコシティー・イニシアティブ」の残りの三つのプログラムを順次立ち上げて，これもタスクフォースを作って共同研究の形で進めていきたいということでございます。この四つのプログラムがこうして成果を相互に反映しながら進むことによって，2030 年には CO250%削減のエコシティー，しかもそれは安全・安心で，健康で文化的な社会システムである，そんなものを目指したいと考えているところでございます。これを，例えば「つくば 3E シティーモデル」という名前で内外に提唱していくことができれば，その時点で研究学園都市の連携が完全に定着するのではないかと考えております。現在，この 3E プログラムがコアプロジェクトということで動きだしたと考えていただければいいと思っております。

最後に，関係の皆さま，機関，それから個人の方もウェルカムなのですが，ぜひともこのつくば 3E フォーラムへご協力いただければありがたいと思っています。

簡単でざっとですが，これを趣旨説明とさせていただきます。ありがとうございました。

特別講演

「二酸化炭素排出50%削減に向けた科学技術的戦略課題」

相澤　益男
総合科学技術会議議員

（司会）相澤益男総合科学技術会議議員の本日のテーマは，「二酸化炭素排出 50%削減に向けた科学技術的戦略課題」であります。ご講演の前に相澤先生の略歴をご紹介させていただきます。相澤先生は 1971 年に東京工業大学大学院の博士課程を修了されました。1986 年からは，筑波大学物質工学系に在籍され，その後 1994 年に東京工業大学に戻られました。東京工業大学では，生命理工学部長，学長を歴任され，2006 年 1 月からは総合科学技術会議議員を務めておられます。その間，2005 年 3 月から 2007 年 4 月の間，国立大学協会長としてご活躍されました。それでは相澤先生，よろしくお願いいたします。

まず，第 1 回のつくば 3E フォーラムが開催されましたことを心からお喜び申し上げますとともに，総合科学技術会議といたしましても大きな期待を寄せているということを申し上げたいと思います。

先ほど，このフォーラムの宣言とも受け取れます，2030 年までに CO2 の 50%削減を目指す「エコシティ構想」が具体的に出されました。そのことの実現に大きな期待を寄せるとともに，もしそういうエコシティーが出来上がるのであれば，これは世界へのユニークなモデルの発信になるかと思います。そこで，大きな期待を込めながら総合科学技術会議の全体の様子を中心にお話しさせていただきます。

まず，総合科学技術会議はどんなところかということを申し上げて，その次に第 3 期科学技術基本計画の内容をご紹介させていただきます。特にその中で，環境・エネルギー分野の分野別推進戦略についてご紹介したいと思います。それから，2050 年に向けての革新的技術開発，最後に筑波研究学園都市への期待ということで，多少私見を交えてお話し申し上げます。

総合科学技術会議は内閣府に設置されているものですけれども，内閣総理大臣を議長としまして，議員としては内閣官房長官，科学技術担当大臣他の関連大臣，日本学術会議会長，それから有識者議員として 7 名，合計 14 名で構成されております。有識者議員は写真にございますような方々でございます。

1995 年に制定されました科学技術基本法に基づきまして，5 年ごとに科学技術基本計画が作成されており，昨年から第 3 期に入っており，各期において大きな目標を持ち，同時に，科学技術関係予算の獲得目標を数値的に挙げてあるわけで，第 3 期は 5 年間で 25 兆円という数字を挙げているところです。

この基本計画の構成はこのような形になっておりますが，科学技術基本計画がなぜ必要なのか，何を目指しているのかということを基本理念に明記しているところであります。

まず，二つの重要な基本姿勢を明確にしております。「社会・国民に支持され，成果を還元する科学技術」，ということで，社会との関連性が最も強調されるとともに，「人材育成」が大きな柱とされております。人材育成と並んで重要なことは，「競争的環境の重視」であります。ですから，資源配分等々にはこの辺りのところが強く反映されているわけです。

理念としては三つありまして，「人類の英知を生む」，「国力の源泉を創る」「健康と安全を守る」であります。この三つの基本理念の下にそれぞれ二つの大目標がありますが，その中で「国力の源泉を創る」というところに，「環境と経済の両立」を掲げております。本日，この理念 2 にあります大きな目標がかかわることでございます。

科学技術の推進については，戦略的な重点化を図るということで，二つの階層的な分類をしております。

まず，基礎研究の重点推進が最も重要であるとしております。基礎研究と申しますのは，研究者の自由な発想に基づくものであることは言うまでもありません。そのために，いろいろな多様性を確保することが重要視されるわけで，多くの対象が大学関係になりますが，文部科学省の科研費，厚生労働省の科研費，

等々がこの基礎研究を支える資源であります。

もう一つは，政策課題対応型の研究開発であります。筑波研究学園都市にはたくさんの独立行政法人がございますが，その多くが研究開発型独立行政法人です。これは国の掲げる政策目標を実現することをミッションとしているという位置付けになっております。従って，これらの国の政策目標を実現するようなところに向けての研究資源であることがございます。もちろん，大学等がこの政策課題対応型の研究開発を積極的に取り組むということは，当然奨励されているところであります。

この中で「重点推進4分野」と，さらに「推進4分野」と称している合計8分野が戦略的重点化の対象であります。重点推進4分野と申しているのは，ライフサイエンス，情報通信，環境，それからナノテクノロジーと材料であります。推進4分野は，エネルギー，ものづくり，社会基盤，フロンティアという形になっておりますが，環境の問題というのはエネルギーと密接にリンクしているわけですので，本日は環境とエネルギーに力点を置いてお話し申し上げます。

これに対して，平成19年度科学技術関係の総予算は3兆5000億円を超えるところですが，今申し上げました戦略重点科学技術分野に3873億円の資源を配分しているところです。この予算により，62の戦略重点科学技術が推進されています。

それぞれの分野でどんな内容が重点推進されているのかという個々の説明は省略させていただきます。

IPCCにおける本年11月の報告の中によって，今まで温室効果ガスの効果がこの地球温暖化の根本的な原因なのかどうかということに対して，いろいろ議論はございましたが，人為的な起源であるということを認めざるを得ないということで，世界はコンセンサスが取れるようになったと思われます。

そのようなことで，温室効果ガスの排出量に対して，かなり定量性をもって具体案を作成するべき状況になってまいりました。

そのほか，バイオマス由来のエネルギー関係の実際の利用が，世界的に拡大されてきていること。それから生物多様性については第三次の国家戦略が策定されてきている状況。持続可能な社会を実現するということで，これを科学技術の面を強調して，サステイナブルテクノロジーという形で大きく発展させる必要があるということ。サイエンスやテクノロジーだけではこういうサステイナビリティーは実現できないなということで，そういうことを集約すると，先ほど宣言がありましたエコシティーのような形で，社会システム全体として取り組まなければいけないということなど。多様な展開が見られます。

それからポスト京都議定書の枠組みづくり等が，先ほどご紹介のありましたようなところで進んでいます。日本がさらなる国際的リーダーシップを発揮しなければいけないという立場でありますので，この取り組みがますます重要になっております。そのほかいろいろとございますけれども，この1年だけを見ても，大変大きな変化が訪れてきております。

状況はエネルギー分野についても同じであります。大変大きな変化が訪れてきています。日本は省エネルギー技術が非常に進んでいるわけですが，これが世界的にいろいろな広がりをみせております。環境との関連で，もっと省エネルギー技術を推進しなければなりませんが，ここには科学技術の貢献というものが大きく期待されています。再生可能エネルギーの高効率化や低コスト化においても，科学技術の果たすべき役割は非常に大きいものがあります。

エネルギーとしては，今，日常生活に非常に大きな影響を及ぼし始めている原油の値上がりがあります。このことが今後さらにいろいろなところに影響してくるので，深刻な問題として受け止められております。何といっても中国とインドのエネルギー消費が急速に増大しているわけで，このことと環境との問題がポスト京都議定書の策定に向けても大きなバリアになっています。このようなことがいろいろありまして，エネルギー政策についてのグローバルレベルでの見直しが迫られます。

そこで，これは少し前の資料になりますが，総合科学技術会議としては温暖化対策の技術がそれぞれどんな重要性があるのか，重要度の評価を行っております。

平成15年4月ですが，ここに省エネルギーの項目をいろいろ掲げてあります。一番右端に，2010年においてCO_2削減にどの程度のポテンシャリティーがあるのかが示されております。2010年の時点ではそれほど大きな効果としては表れてこないのですが，2030年という時点では，それぞれ相当の期待が持てるということです。このようなことを一応評価した上で，科学技術基本計画の第3期に反映させているわけ

です。
そこで，先ほど申しましたように，環境分野における第3期科学技術基本計画の理念2，そしてその中の「環境と経済を両立」させるのだという目標の下に展開している科学技術の重点施策があります。
一つは，地球温暖化・エネルギー問題の克服ということですが，これ自体が大変大きな目標であるわけです。今，取り組んでいる個別課題の一つは，世界で地球観測に取り組み，正確に気候変動を予測し，その影響を評価するということです。これは観測にかかわることであります。
それからもう一つの大きな目標は，「環境と調和する循環型社会」を実現するのだということで，5項目ほどの課題を掲げております。それぞれが進んでいるところです。
細かい表記になりますので，こんな多様な課題が現在進められているということで理解していただければと思います。一つ一つについて触れることは省略させていただきます。
地球温暖化に対しても各項目の説明を省略させていただきますが，2～3の重要なところだけを申し上げます。
地球の気候変動を観測し，予測するプログラムで，人工衛星を使ってCO2などの温暖化ガスの情報を全体的にとらえることができるような科学技術の推進が行われています。観測されたデータを基にスーパーコンピューターを使ってモデリングし，そしてその解析結果がIPCCに使われているというようなことで，これからの気候変動予測について大きな貢献をしております。
次に，「戦略2」とあるところの「日本を環境国際リーダーとする」でありますが，先進的な科学技術を活用して，環境問題の解決に向けて国際的に貢献していくという線であります。
このことを受けて，総合科学技術会議は「科学技術外交」という新しい軸を打ち立てて進めております。今まで日本では非常に優れた先進的な科学技術が次々と開発されているわけですけれども，それをもっと積極的に外交面に生かしていこうということであります。来年行われるG8サミットを視野に，特に環境分野において科学技術外交を展開してほしい。これは非常に緊急性を要するものであると強調しております。
その中で，今までODAの予算というのは開発途上国のダムを建設するとか，いろいろな建築物を構築するとか，どちらかといえばハードな部分に投与されてまいりました。それをソフトパワーの強化に向けて，例えば人材育成や技術移転などに適用できるようにということを今，推進しておりまして，その中にキーワードとして，国際的な環境リーダーということを提唱しております。これは日本の環境技術を十分に理解することによって，それぞれの国における環境問題への取り組みを積極的に推進するということであります。これが日本を環境国際リーダーとするというようなところに，この研究プロジェクトとして進めていることと合わせて，もう少し全体的な進め方の軸を出しているところです。来年度の概算要求に反映することであります。
それからもう一つ重要なところは知的財産ですが，ここで環境関係の知財というものは，実際に技術移転をするときにはなかなか微妙な状況になります。ここについても開発途上国に技術移転をしていくというときには，特に産業界からの知財の扱いを相当理解していただかないと，進める段階でいろいろなトラブルが生じてくる可能性があります。そのようなことで，これについても知的財産戦略本部の方で方針を今年打ち出しまして，強力に進めるという体制になっております。
そのほか，人文社会科学との融合等々のことがありますが，いずれも今申し上げましたようなソフトパワーにかかわることです。
そのほか具体の科学技術プロジェクトとしての取り組みはここにあるようなことですので，これは省略させていただきます。お手元の資料でご覧いただければと思います。
エネルギー分野についても，環境と経済の両立を図るということで， 37 というたくさんの研究課題が進められています。そこにありますので，これもご覧いただければと思います。
ところで，2030年までにCO2の50%削減を行うのだということが，このつくば3Eの目標として掲げられました。今，全体としては2050年までに温室効果ガス50%削減をしようということがいわれています。まず，なぜこの2050年という数字が出てきているのかということを申し上げておきたいと思います。
ここに，本当に大ざっぱな排出量と，地球全体として自己吸収といいましょうか，自然吸収される量と

のバランスを示しました。排出量というのは毎年63億t程度はどうしても出てしまう。自然吸収量としては，現在予測されているのは年31億tです。問題は要するに，この差なわけです。この差をどうするかということですが，結局このままだと毎年32億tの増加になってしまう。排出量をでき得る限り削減し，そして自然吸収にプラスできるような吸収技術ができれば，それがこれを補足するという構図なわけです。排出量だけを削減していくということで考えれば，2050年まで努力して何とか50%削減という形で達成するべきだということです。

このような理解の下に，いろいろな施策，あるいはいろいろな検討が進んでいます。

Cool Earth 50という本年5月に出されたもの，これは大変アピール力があります。しかもそれがちょうど，50%と2050年にも合うし，Cool Earthというのもなかなかいい表現ですね。このようなことを目指していこうということでわが国は提唱したわけですが，これを一体どうやって実現するのか。それから，日本だけではないわけですから，本当に国際的な協調を求めていかなければいけません。

今年のG8サミットにおいては，ドイツが主導的に進めて，この持続可能な，しかも炭素集約度の低いクリーンなエネルギーの気候にやさしい技術の利用を積極的に進めるということで強く打ち出されてまいりました。今年秋にはメルケル首相が日本にも訪問され，そして私どもとも議論いたしました。こういうことを来年の日本で開催されるG8サミットでさらに発展的にしてほしいと，今年の議長国の首相として要請されているわけです。

そのほか，気候変動に関して日米両政府間のハイレベル協議，あるいはAPEC首脳会議が行われたときの「気候変動に関する独立首脳宣言」，それから，先日福田首相が米国を訪問されたときの日米首脳会談，このようなことが次々と進んでいるわけで，一連として来年のG8サミットの開催に向けて，議長国として果たすべき役割を積極的に進めています。

この図は，エネルギー分野で，CO2の大幅な削減を目指していくためにどんな効果が期待されるのかということをまとめてあるものです。これも一つ一つ説明すると大変ですので，ご覧いただければと思います。

そのような技術をベースにして，2050年に向けての技術ロードマップというものが一応描けるわけです。ここにありますのは太陽光発電の技術ロードマップですが，これを描くだけではどうしようもないわけで，それをどう実現するかというところが肝心です。

ここでCO2削減について筑波研究学園都市が大きな目標を持って取り組むと宣言されましたので，これは私の個人的な見解がかなり入っておりますが，大きな期待を込めて2〜3申し上げておきたいと思います。

つくばには産官学の先端的拠点，300以上の研究機関が集結されています。全体としてのパワーというのは大変なものですので，これをとにかく結集し，先ほど岩崎学長からもご紹介がありましたように，第3期計画にも十分にそのことが打ち出されていますので，ぜひ高度な知的集約地域であるところのメリットを生かしていただければと思います。

そして，そのような高度な先端的な知的集約地域ですので，そこの構成員の方々の意識が非常に高いだろう。従って，極めて先進的な取り組みが行えるのではないかということです。

この研究学園都市のサイズが山手線のちょうど内部ぐらいということですので，これを適切と言い切るかどうかは別ですが，大きからず小さからずで，こういうモデルを作るということでは大変いいサイズではないでしょうか。今は情報技術の発達しているときですので，ネットワークの構築というものもちょうどいい規模で行えるのではないかと。

そのようなことで先駆的な取り組みを行う大きなポテンシャルを期待できると思います。ただ，そのためには連携ということがきわめて重要であり，研究機関だけではなく，つくば市，茨城県，それぞれの垣根を取り払って全体的な真の連携を期待したいと思います。

つくば市や茨城県等の地域の協力が，先ほど来の力強い宣言で含まれておりますので，そういう協力の下に研究学園都市が全体としてのまとまりを実証的に示すことの大変いいモデルになるのではないかと思います。こういうことが行われていることの状況が，時々刻々いろいろと対外的にも発信していただければ，そのほかにもその効果が波及すると思います。ですから，全国的な取り組みに進展していくきっかけとなることを期待したいと思います。

このようなことで，大変いいサイズではないかということでございます。

例えば，つくばは車なくしては生活できないといういわゆる車社会だと思います。こういう車社会だからこそ，いろいろとモデルケースを作り上げていくのに大変いいのではないでしょうか。自動車関係の省エネルギーは本当に国際的なトレンドとして，日本がリードしているわけですから，それを一歩また先を行くようなモデルとして構築できるのではないか。このようなことが結果として CO2 削減にどう効果的に表れるのかということを示せるのではないかと思います。

ただ，こういうときにその技術の発達だけではなく，これにはやはり市民の取り組みの意識改革，それから生活スタイルも変えなければいけないかもしれません。そのほか，いろいろなこと，青少年の教育だとか，ひところ随分はやりました「もったいない」という心，等々を含めてやるべきことが多々あるのではないかと思います。

それから，適度なサイズであるばかりではなく，ある意味ではホモジニアスな環境ですので，つくば全体についてのシステム的な取り扱いができ得るところだと思います。そういう意味で，地域のエネルギーネットワークを構築し，全体のエネルギー利用の効果的なモデル地域となれるように，ここに項目を挙げておきました。一つの考え方という程度ですけれども，個々の要素技術が開発されることが重要であることはもちろんなのですが，全体として，システムとしてどういう効果を及ぼすのかという実証モデルということを意識される必要があると思われます。

ということで，科学技術による地域の発展と CO2 排出削減のモデルとして，筑波研究学園都市が世界に誇るモデル構築をしていただくことを心から願って，私の講演を終わらせていただきたいと思います。
ご清聴ありがとうございました。

（司会） 相澤先生，どうもありがとうございました。つくば 3E フォーラムに対して熱いエールを送っていただきまして，本当にありがとうございました。

それではもう一度だけ，相澤先生に盛大なる拍手を送りまして，このセッションを終わりにしたいと思います。どうも本当にありがとうございました。

総合科学技術会議
Council for Science and Technology Policy

二酸化炭素排出50%削減に向けた科学技術的戦略課題

平成19年12月15日　筑波大学

相澤 益男
内閣府総合科学技術会議議員

本日の講演内容

- 総合科学技術会議について
- 第3期科学技術基本計画
- 環境・エネルギー分野別推進戦略について
- 2050年に向けた革新的技術開発
- 筑波研究学園都市への期待

1

総合科学技術会議について

[H19.11現在]

1．機能
内閣総理大臣及び内閣を補佐する「知恵の場」。我が国全体の科学技術を俯瞰し、各省より一段高い立場から、総合的・基本的な科学技術政策の企画立案及び総合調整を行う。平成13年1月、内閣府設置法に基づき、「重要政策に関する会議」の一つとして内閣府に設置。

2．役割
①内閣総理大臣等の諮問に応じ、次の事項について調査審議。
ア．科学技術の総合的かつ計画的な振興を図るための基本的な政策
イ．科学技術に関する予算、人材等の資源の配分の方針、その他の科学技術の振興に関する重要事項
②科学技術に関する大規模な研究開発その他の国家的に重要な研究開発を評価。
③①のア．及びイ．に関し、必要な場合には、諮問を待たず内閣総理大臣等に対し意見具申。

3．構成
内閣総理大臣を議長とし、議員は、①内閣官房長官、②科学技術政策担当大臣、③総理が指定する関係閣僚（総務大臣、財務大臣、文部科学大臣、経済産業大臣）、④総理が指定する関係行政機関の長（日本学術会議会長）、⑤有識者（７名）の１４名で構成。

総合科学技術会議有識者議員（議員は、両議院の同意を経て内閣総理大臣によって任命される。任期は２年。）

[関係行政機関の長]

相澤益男議員（常勤）	薬師寺泰蔵議員（常勤）	本庶佑議員（常勤）	奥村直樹議員（常勤）	庄山悦彦議員（非常勤）	原山優子議員（非常勤）	郷通子議員（非常勤）	金澤一郎議員（非常勤）
元東京工業大学学長	元慶応義塾大学　常任理事	元京都大学医学研究科長・医学部長	元新日本製鐵（株）代表取締役副社長	日立製作所取締役会長	東北大学大学院工学研究科教授	お茶の水女子大学学長	日本学術会議会長

2

科学技術創造立国に向けて

科学技術基本法（平成7年制定）

第1期　基本計画（平成8～12年度）
第2期　基本計画（平成13～17年度）
第3期　基本計画（平成18～22年度）

●政府研究開発投資の拡充
期間内の科学技術関係経費総額の規模は17兆円
●新たな研究開発システムの構築
・競争的研究資金の拡充
・ポストドクター1万人計画
・産学官の人的交流の促進
・評価の実施
等

●3つの基本理念
・新しい知の創造
・知による活力の創出
・知による豊かな社会の創生
●政策の柱
・戦略的重点化
－基礎研究の推進
－重点分野の設定
・科学技術システム改革
－競争的研究資金倍増
－産学官連携の強化　等
・総額規模は24兆円
・50年間でノーベル賞受賞者30人程度

第3期は？
第1,2期基本計画により、基礎固めは進んだが、世界の頭脳競争は激化
資源のない日本は“知恵”で生きていくしかない
★創造性豊かな人材
★有限な資源を活用し、最大限の成果を生み出す仕組み
－ これらを如何に作るか?

3

基本計画構成

第1章　基本理念
●科学技術をめぐる諸情勢
●第3期基本計画における**基本姿勢**
●科学技術政策の**理念と政策目標**
●政府研究開発**投資総額25兆円**

第2章　科学技術の戦略的重点化
●**基礎研究**の推進
●政策課題対応型研究開発における**重点化**
重点推進4分野：ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料
推進4分野：エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア（宇宙・海洋）
●**分野別推進戦略**の策定

第３章　科学技術システム改革
●**人材**の育成、確保、活躍の促進
●科学の発展と絶えざる**イノベーション**の創出
●科学技術振興のための**基盤**の強化
●**国際活動**の戦略的推進

第４章 社会・国民に支持される科学技術
●倫理的・法的・社会的課題への責任ある取組
●科学技術に関する**説明責任と情報発信**の強化
●科学技術に関する**国民意識の醸成**
●国民の科学技術への主体的な参加の促進

第５章 総合科学技術会議の役割
●政府研究開発の**効果的・効率的促進**
●**制度・運用上の隘路の解消**
●科学技術基本計画の適切なフォローアップと進捗の促進　等

4

基本理念

【基本姿勢】
① 社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術
② 人材育成と競争的環境の重視
～ モノから人へ、機関における個人の重視

【政策目標の明確化】
6つの大目標、12の中目標に向けて科学技術政策を推進し、成果実現と説明責任を強化

＜理念1＞ 人類の英知を生む	＜理念2＞ 国力の源泉を創る	＜理念3＞ 健康と安全を守る
＜大目標1＞ 飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く多様な知識の蓄積・創造 （1）新しい原理・現象の発見・解明 （2）非連続な技術革新の源泉となる知識の創造	＜大目標3＞ 環境と経済の両立 ～環境と経済を両立し持続可能な発展を実現 （4）地球温暖化・エネルギー問題の克服 （5）環境と調和する循環型社会の実現	＜大目標5＞ 生涯はつらつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日本を実現 （9）国民を悩ます病の克服 （10）誰もが元気に暮らせる社会の実現
＜大目標2＞ 科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現 （3）世界最高水準のプロジェクトによる科学技術の牽引	＜大目標4＞ イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業を実現 （6）世界を魅了するユビキタスネット社会の実現 （7）ものづくりナンバーワン国家の実現 （8）科学技術により世界を勝ち抜く産業競争力の強化	＜大目標6＞ 安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現 （11）国土と社会の安全確保 （12）暮らしの安全確保

5

科学技術の戦略的重点化 (1)

基礎研究
自由な発想に基づく基礎研究については、多様性を確保しつつ、一定の資源を確保して着実に推進

政策課題対応型研究開発
1 **重点推進4分野**（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）及び **推進4分野**（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）
2 **分野内の重点投資**

選択と集中の一層の徹底

分野別推進戦略
平成１８年３月総合科学技術会議で決定
○ **状況認識**
○ **目標設定** 研究開発目標・成果目標を政府の責任部署とともに明記
○ **重要な研究開発課題** 今後5年間に政府が取り組む重要な課題
○ **戦略重点科学技術** 特に今後5年間に集中投資すべき科学技術
○ **研究開発の推進方策** 取組を円滑に進め「活きた戦略」を実現する方策

6

科学技術の戦略的重点化 (2)

平成１９年度科学技術関係予算　３兆５１１３億円

研究者の自由な発想に基づく研究	政策課題対応型研究開発	システム改革等
１兆４８５６億円	１兆６９９８億円	３２５９億円

23％
273 研究開発課題
戦略重点科学技術　３８７３億円

62 の戦略重点科学技術を選定

選定の要件
①急速に高まる社会・国民のニーズに対し、迅速に対応
②国際競争を勝ち抜く上で不可欠
③国家基幹技術（長期戦略の下、国主導で取り組む大規模プロジェクト）

7

科学技術の戦略的重点化（3）

ライフサイエンス	研究成果を創薬や新規医療技術に**実用化する橋渡し**研究 **生活習慣病の診断・治療の基盤を確立 など**	バイオインフォマティクス
情報通信	**次世代スーパーコンピュータ**（国家基幹技術）や IT産業の国際的な競争優位を勝ち取る科学技術 **最先端のエレクトロニクスで省エネルギーなIT利用を実現 など**	
環境	我が国が温暖化問題において**国際リーダーシップ**をとるための科学技術 **地球観測技術で*アジア*をリード など**	ナノ・バイオ・センサ
ナノ・材料	ナノ領域での飛躍的な進歩や革新的材料で**最界を突破し、社会・産業の要請に応える**研究 **微細ながんを早期に診断し、治療効果の高い医療技術を実現 など**	
エネルギー	運輸部門の**石油依存を脱却**する科学技術 **次世代に向けた電気自動車の中核技術を確立 など**	※その他様々の融合領域の科学技術あり
ものづくり	日本独自の**ものづくりの強みを更に強化**する技術 **中小企業の基盤的加工技術・ノウハウを科学で解明し、次代への継承を促進 など**	省エネものづくり技術
社会基盤	**減災**を重視し被害を大幅に減らす技術 **災害現場における迅速な人命救助と被害拡大の阻止 など**	
フロンティア	**宇宙輸送システム**（国家基幹技術）や宇宙・海洋の利用のフロンティアを切り拓く科学技術 **我が国基幹ロケットの信頼性向上 など**	等

8

分野別推進戦略 環境分野）

環境分野を取巻く状況

最近の国内外の科学技術動向

○気候変動に関する政府間パネル（IPCC）統合報告書発表（本年11月）
・全球平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性がかなり高い
・適切な対策の実施により、今後数10年にわたり、世界の温室効果ガス排出量の伸びを相殺、削減できる
○バイオマス由来の液体燃料の生産・利用が世界的に拡大
○「第三次生物多様性国家戦略」の策定

環境を巡る最近の動向

○持続可能な社会の実現への取り組み（ヨハネスブルグ宣言）
○ポスト京都議定書の枠組づくりへの取り組み
○グローバルな環境汚染対策
○21世紀環境立国戦略策定

9

分野別推進戦略 エネルギー分野）

エネルギー分野を取巻く状況

最近の科学技術動向

○自動車燃費改善技術や高効率給湯技術など省エネ技術が一定の進歩
○太陽光発電などの再生可能エネルギーの高効率化や低コスト化
○高速増殖原型炉「もんじゅ」の運転再開に向け、確認試験中

エネルギーを巡る最近の動向

○原油価格が近年高値で安定
○中国やインドなど新興諸国のエネルギー需要が拡大し、化石燃料の需給逼迫が懸念
○京都議定書が発効し、CO_2排出削減対策が急務
○世界主要国・地域でエネルギー政策を見直し
　米国：石油など中東依存を低減、エネルギーセキュリティをより重視
　欧州：省エネや再生可能エネルギーなど環境配慮型のエネルギーシステムを重視
　中国：大規模エネルギー開発と、エネルギー供給量の確保を重視

10

温暖化対策技術の重要度評価

- **温室効果ガス排出削減ポテンシャル**
  - **2010 年頃**
  - **2030 年頃**
- **技術の成熟度**
- **安全性・リスク**
- **経済性**
  - **現在**
  - **普及時**
- **波及効果**
  - **国内の他の分野**
  - **クリーン開発メカニズム（CDM）など海外技術移転**

11

温暖化対策における重要な技術（1）

『地球温暖化対策技術研究開発の推進について』（H15.4.21総合科学技術会議）

分類	技術名	主な内容	削減ポテンシャル 2010年	2030年
省エネルギー	省エネ型住宅・建築技術の開発並びに導入促進	住宅向け断熱材などの技術の開発・評価、導入の推進	○	◎
	自動車の燃費改善に向けた技術	燃費改善のため、軽量合金材料の開発やエンジン制御技術を研究	○	◎
	高効率ヒートポンプ技術	冷暖房、給湯用ヒートポンプの高効率化技術を開発	○	◎
	高効率石炭ガス化発電技術	石炭ガス化を中心とした高効率複合発電技術の開発	△	○
	産業民生連携型エネルギー有効利用資源循環システム	産業と地域社会の連携による廃熱エネルギーの利用、廃棄物の再資源化技術を開発	○	◎
代替フロン	フロン代替技術	オゾン層を破壊せず温暖化効果の小さいフロン代替物質の製造、利用技術を開発	○	◎

※年間CO_2削減ポテンシャル　◎：1,000万トン以上、○：100万トン以上、△：100万トン未満
1,000万トンは日本の年間温室効果ガス排出量(1990年)の約0.8%に相当

写真提供（独）国土技術総合研究所、トヨタ自動車㈱、東京電力㈱、三菱重工㈱、新日鉄㈱、東芝エンジニアリング㈱

12

温暖化対策における重要な技術（2）

『地球温暖化対策技術研究開発の推進について』（H15.4.21総合科学技術会議）

分類	技術名	主な内容	削減ポテンシャル 2010年	2030年
環境調和型エネルギー	太陽光発電技術	製品コストの低減、リサイクル・リユース技術等を開発	○	◎
	バイオマス利活用技術	バイオマス利活用による地域資源・エネルギーシステムの技術開発	○	◎
水素／燃料電池	燃料電池技術	（車載、携帯、定置型）高性能燃料電池の開発、実証・応用研究	○	◎
	水素製造・供給システム	水素製造・貯蔵・供給にわたる研究開発並びに実証試験	○	○
回収・貯留	省エネ型二酸化炭素分離回収隔離技術	発電所や工場等の排ガスから、直接二酸化炭素を分離回収	△	◎
	二酸化炭素貯留技術	回収した二酸化炭素を地中や海中などに隔離し長期間、貯留	△	◎

※年間CO_2削減ポテンシャル　◎：1,000万トン以上、○：100万トン以上、△：100万トン未満
1,000万トンは日本の年間温室効果ガス排出量(1990年)の約0.8%に相当

写真提供：(独)NEDO、バイテホールディング㈱、(独)産業技術研究機構、本田技研工業㈱、松下電器㈱、新日鉄㈱、㈱東芝、(財)地球環境産業技術研究機構

13

環境分野の科学技術が目指す政策目標

<理念2>
国力の源泉を創る

<目標4>
環境と経済の両立
～環境と経済を両立した持続可能な発展を実現～

<中政策目標>
地球温暖化・エネルギー問題の克服

個別成果目標
③－1　世界で**地球観測**に取り組み、正確な**気候変動予測**及び**影響評価**を実現する

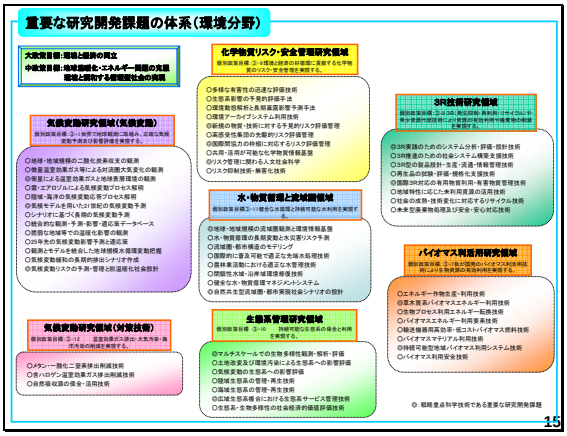
温暖化対策に貢献

<中政策目標>
環境と調和する循環型社会の実現

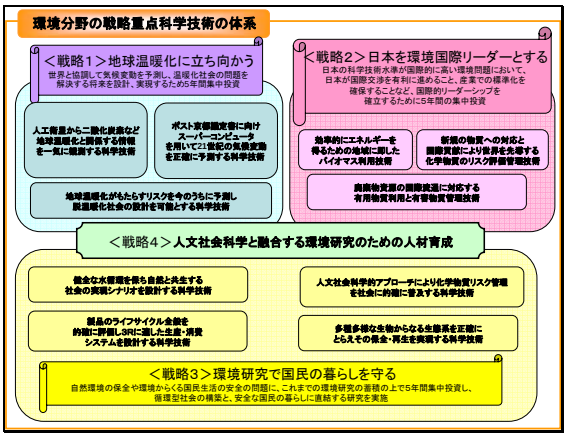
③－7　我が国発の**バイオマス利活用技術**により生物資源の有効利用を実現する
③－8　**3R(発生抑制・再利用・リサイクル)**や極少資源代替技術により資源の有効利用や廃棄物の削減を実現する
③－9　環境と経済の好循環に貢献する**化学物質のリスク・安全管理**を実現する
③－10　持続可能な**生態系の保全と利用**を実現する
③－11　**健全な水循環**と持続可能な**水利用**を実現する

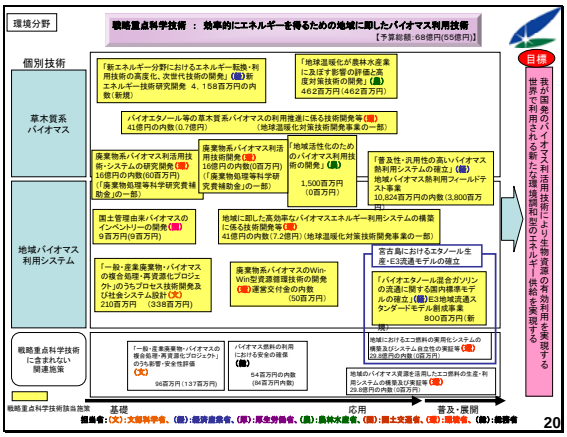
14

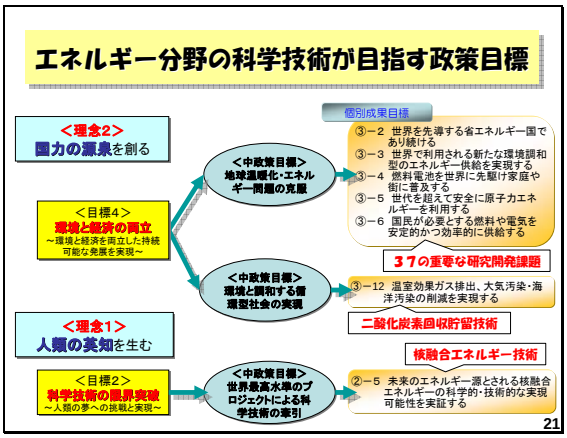
重要な研究開発課題の体系（環境分野）

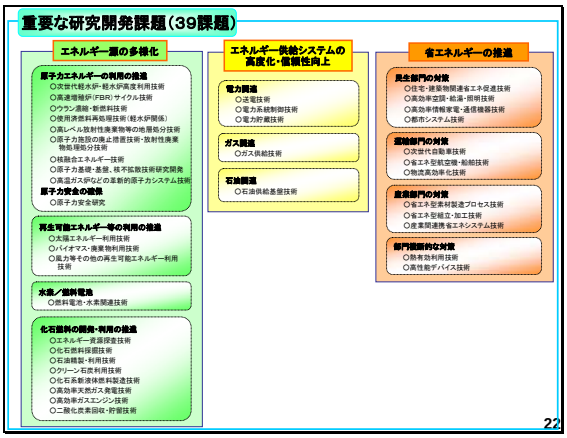


15









選択と集中の戦略理念
～戦略重点科学技術～

＜戦略1：世界一の省エネ国家としての更なる挑戦＞
- ○我が国のエネルギー消費は近年増加傾向
- ○特に、民生部門での増加が顕著
- ○持続可能なエネルギー需給構造の構築の必要性

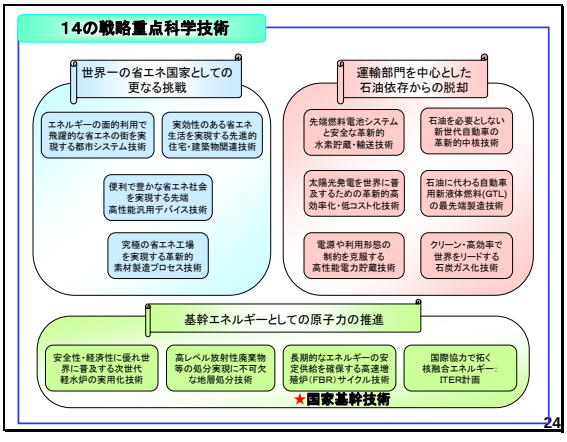
→ 社会全体での省エネを更に促進することが喫緊の課題

＜戦略2：運輸部門を中心とした石油依存からの脱却＞
- ○高い中東依存や近年の原油価格高騰からくる供給リスク
- ○特に、運輸部門はエネルギー需要の大半を石油に依存

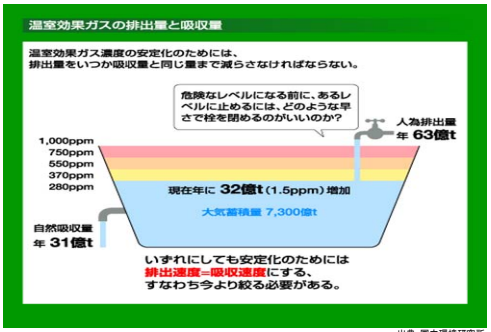
→ 運輸部門を中心に石油依存度の低減が喫緊の課題

＜戦略3：基幹エネルギーとしての原子力の推進＞
- ○今後深刻化が予想される資源制約、環境制約
- ○化石燃料代替の基幹エネルギーである原子力技術の開発は長期間要する

→ 安全を大前提に計画的かつ着実に原子力の利用を推進



なぜ2050年に温室効果ガス50%削減か



出典：国立環境研究所

2050年に向けた技術開発の重要性への認識

「美しい星50」（平成19年5月）

・我が国は本年5月24日に「美しい星50（Cool Earth50）」を提案
- ○「世界全体の排出量を現状から2050年までに半減」という長期目標を世界共通目標として提案
- ○その達成のため「革新的技術の開発」と「低炭素社会づくり」という長期ビジョンを提示

G8ハイリゲンダムサミット成果文書（平成19年6月）

「技術は、エネルギー安全保障を強化するとともに、気候変動を抑える鍵である。我々は、すべてのエネルギー生産及び使用分野において、持続可能な、炭素集約度の より低いクリーンなエネルギーの気候に優しい技術の利用を、緊急に開発、展開、促進しなければならない。」

気候変動に関する日米両政府間のハイレベル協議（平成19年8月）

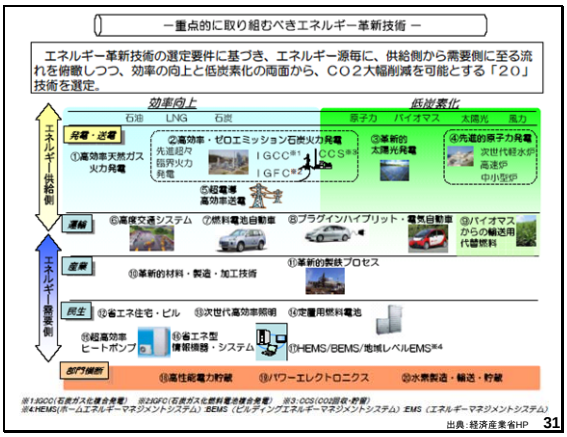
技術革新における日米協力の重要性、及び、エネルギー効率の重要性について意見が一致

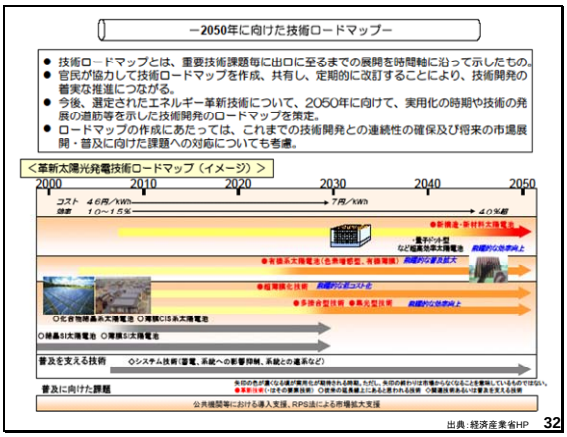
APEC首脳会議「気候変動に関する独立首脳宣言」（平成19年9月）

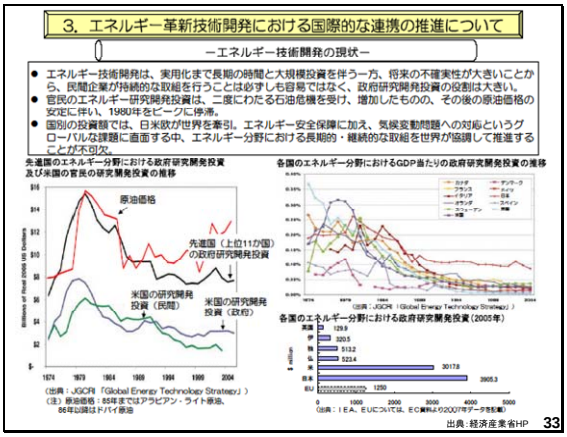
低排出・ゼロ排出技術の共同研究、開発、普及及び移転は、気候変動に取り組むための我々の共通の努力において極めて重要になるであろう

日米首脳会談（平成19年11月）

✓経済成長を維持しつつ、地球温暖化防止とエネルギー安全保障を両立させるために、革新的技術開発の推進及び原子力の平和的利用を可能とするために協力していくことで一致
✓クリーンエネルギーと気候に関する技術の研究開発において引き続き主導的役割を果たすと共に、日本及び米国が実施しているようなこれら技術の研究開発への公的資金の増額を他の主要経済国に慫慂する。（日米協力ファクトシート）







CO_2削減技術の普及促進に向けて

モデル地区・地域において、実証試験や導入普及促進などの先進的な取り組みが必要

筑波研究学園都市

・産学官の先端的拠点が集結
・意識が高く、先進的な取り組みへの協力が得られる
・中心部が山手線の範囲内程度のコンパクトな地域
・ネットワークの構築によるデータ収集、情報交換が容易

先駆的な取り組みを行う大きなポテンシャルを持つ

人類共通の課題である温暖化を解決するために
所属の垣根を取り払った真の連携を期待

34

CO_2削減の先進的モデル地域としての筑波研究学園都市

研究開発から本格的普及への道筋をつける

筑波研究学園都市が果たすべき役割

開発研究段階

地域の協力による実証

全国的な取り組みによる導入促進

自律的・本格的な導入・普及の実現

密接な連携

モデル地域での取り組みを活かした展開

社会的取り組みと連携

35

地域の特徴を活かした取り組みへの期待(1)

科学技術による削減

地域の特徴
自動車が生活必需品

・燃料電池車
・水素自動車
・プラグインハイブリッド車

出典：Wikipedia

市民の取り組みによる削減

・意識改革
・生活スタイル
・青少年の教育
・「もったいない」の心

相乗効果でCO_2をどこまで減らせるか？

「車社会」だからこそ出来るチャレンジ

36

地域の特徴を活かした取り組みへの期待(2)

地域の特徴
先端的研究拠点

新エネルギー技術
太陽エネルギー
バイオマス
水素/燃料電池

地域エネルギーネットワーク
ネットワーク化による最適制御
省エネルギー住宅
廃熱の有効利用

効果的なエネルギー利用のモデル地域

地域の特徴
市民の関心・協力

従来型エネルギー
電気　ガス　石油

人、情報、そしてエネルギーのネットワークへ

37

科学技術による地域の発展とCO_2排出削減のモデルとして

出典：Wikipedia

地域の特長を最大限に活かした
茨城発、つくば発の
イノベーションを期待します！

38

セッション1　地球温暖化とエネルギー資源

1. 地球温暖化への取り組み
座長：原沢 英夫（国立環境研究所）

（原沢）セッション1の前半の座長を仰せ付かりました国立環境研究所の原沢です。よろしくお願いいたします。セッション1の前半は「地球温暖化への取り組み」ということで，5件の講演を予定しております。1件のご発表が20分でございまして，発表を15分，その後5分程度質疑応答をしたいと思います。10分になりますとあと5分という指示が出ますので，ご講演の方はよろしくお願いいたします。

「地球温暖化問題への文部科学省の取り組み」

青山　伸
文部科学省大臣官房審議官

本日はこの第1回のつくば3Eフォーラムで私ども文部科学省の地球温暖化問題への取り組みをご紹介する機会を頂きました。ありがとうございます。

既にご紹介のあったところですけれども，地球温暖化について語るには「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」に触れないわけにはいきません。20年前にWMOとUNEPにより設立され，人為起源による気候変化，影響，適応，影響の緩和方策といったことについて，科学的，技術的，社会経済学的な見地からアセスメントを実施するということで，このIPCCは皆さまご承知のとおり，この10日に米国の前副大統領のアル・ゴアさんとともにノーベル平和賞を受賞されたわけです。

このIPCCは1990年に第1次の評価報告書を出されました。当時「人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある」ということで，過去のデータについては100年間で0.3～0.6℃上昇し，海面は10～20cm上昇したということでした。当時を思い浮かべてみますと，100年後にこの地球全体で平均気温が1℃あるいは3℃上がるということや，海面が65 cmも上がってくるというのはとても不確実ではないかということで，なかなか理解されなかった記憶があります。

実際，当時私は科学技術庁に勤めておりましたけれども，そのころの白書では，温暖化については2025年までに平均気温で約1℃，それから海面水位は2030年までに約20 cm上昇の予測ということで，より近い時期の予測について言及されるということでした。それが1995年の第2次評価報告書では，「地球の気候システムに対する検出可能な人為的影響が示唆される」ということで，報道ではこの100年後の予測が下方修正されたという点が強調されたかと思います。

さらに2001年，第3次の報告書ですが，「温暖化は温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い」ということでした。過去100年間に平均気温で0.6±0.2℃，海面0.1～0.2 m上昇ということでした。

それが先ほど相澤先生も触れていらっしゃいましたけれども，第4次の報告になるわけですが，「人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因とほぼ断定（very likely（90%以上の信頼性））」ということが指摘されたわけです。昨年からロングランを続けていた映画，「不都合な真実（An Inconvenient Truth）」がヒットしておりましたけれども，またこの第4次評価報告書の前に2月から部会の報告書が順次発表されていたことでもありましたし，また皆さまご承知の，あるいは言及されておりますG8サミットなど，さまざまなところでこういう問題が議論されるということで，非常に関心が高かった。それから，今後の対策を考えていくという意味でいろいろなことが取り組まれてきているところです。

さて，この問題について，先ほど相澤先生もお触れになっていましたが，地球シミュレータを活用したような温暖化の予測の研究等，わが国の多くの研究者の論文が引用されております。それから，報告書の原稿執筆，最終取りまとめにおいて多大な貢献をしていただいているわけですが，まだまだ十分ではないのではないか。私ども日本の実力からして十分ではないのではないかというご意見もあるところですが，取りあえずこれまでの成果について少し例を見てみたいと思います。

これは昨年の年度末までに「人・自然・地球共生プロジェクト」という名前で進められていました成果を今日は示させていただいています。過去の温暖化の傾向の検証ということで，実際の温暖化の観測値が赤い線です。それから，黒い線が実際のものをシミュレートする計算でモデルを使って出したものですが，右側が自然影響のみのもの，太陽の変動と火山噴火によるものです。最近は少し冷える方向に向いてきてはいるのですが，実際の観測値は，特に近年上がってきているということが見て取れるかと思います。

これは東京大学の気候システム研究センターを中心としたグループで，世界で最も解像度が高く，エアロゾル，雲過程などの物理プロセスにも最新の知見を取り入れた大気と海洋の結合モデルを開発して進められた成果でございます。

次に気温等について見てみたいと思います。これはお手元に配布されています予稿集に出ている絵を分解したものですので，この辺はほとんど同じものですので，特に皆さんがスクリーンで見られるときに見やすいかと思ってこういう形にしてみました。

2000 年から 2100 年までの全球の気温変化ですが，100 年後の気温上昇は地球平均で 4℃上昇しています。こういうことが成果として得られるようになってきた，地球全体の規模で示せるようになってきたということです。

次は雪氷についての変動です。北極圏では 100 年後 10℃を越えていて、その辺りにすごく影響が出てくるのが見て取れます。

次が土壌水分です。アマゾンの辺りでの乾燥が進むということになるので，森林による CO2 の吸収に影響があるのではないかと指摘されているところです。

今までの 3 枚の絵は東京大学の気候システム研究センター，国立環境研究所，それから海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センターを中心としたグループの成果でございました。

今ご覧いただいていますのは，「超高解像度の実現」といっていますが，台風のシミュレーションを 20 km の解像度でできたということで，台風の目あるいは壁の部分が非常によく解析できるようになってきました。これについては，気象研究所を中心としたグループで進められた研究成果ということです。このような成果が IPCC の報告書に取り込まれてきているというわけです。

こういうものの取り組みの基になっています私どもの主な取り組みですけれども，私どもは皆さまかなりの方が所属していらっしゃる研究機関とは異なり，行政の機関ですので，そういう点でこれから何をしなくてはいけないかを考えて進めるということになりますので，その背景としてやはり地球環境を知るには地球観測がまず大事であるということで，平成 15 年，当時の小泉総理が G8 のエビアン・サミットで提唱されて開催されたものがございます。これまでに 4 回開催されております。その中で全球地球観測システム（GEOSS：Global Earth Observation System of Systems）ということで，世界でいろいろな取り組みがされている，さまざまな機関がいろいろな取り組みをしているものを統合していって，あたかも世界で見れば一つのシステムとして活用できるようなものに展開していこうということで，10 年計画を作って仕事を進めるということが，この 2 年半本格的に進められてきているところで，この 11 月末に南アフリカのケープタウンで第 4 回会合が開かれて，渡海文部科学大臣も参加いたしております。

渡海大臣からはわが国のステートメントとして，ここに示しているようなものを発表していただいたところですけれども，何といってもこの IPCC の報告で温室効果ガスの排出を削減するという重要性を再認識し，気候変動の監視には国際社会が協調して GEOSS の構築を加速させることが必要だと。

それで，わが国の例としまして，人工衛星の成果でアマゾンの森林減少，北極海の海氷の融解の把握，地上・海洋観測による熱帯地域豪雨を監視するネットワークの整備，地球シミュレータを活用したインド洋ダイポールモード現象の予測成功などの成果を挙げて，GEOSS の構築に貢献していると。

ここには示しておりませんけれども，経済産業省でアメリカの衛星に積まれました ASTER で得られた

地形のデータについて，これもデータセットとして提供するという言及もしているところでございます。

今後，この GEOSS の 10 年の実施計画に基づいて，宇宙から見た全球規模の観測，あるいは地上・海洋の観測の体制を強化して，データを使いやすい情報に変換して提供するということを進めていきます。特に私ども日本の地理的な状況からいって，アジア地域をまず取り組んで，世界にもこういうものをグッドプラクティスの例として展開していきたいということで，来年の 3 月[注] に東京でこの GEOSS に関するシンポジウムを，第 2 回目になりますが開催するということで，その後には各国にも展開していきたいと考えているところです。

こういうことで，将来にわたって地球環境を，人類が安心して暮らせる社会を築くというために仕事をしていくということについてお話しいただいたわけでございます。

それから，先ほどもありましたようにハイリゲンダム・サミットは，安倍総理から「美しい星 50（Cool Earth 50）」という提案がされたということ。それから，共同声明においては，先ほどの GEOSS の開発において引き続き指導力を発揮するということも言及されています。もう既に，この IPCC について見れば，この 11 月の第 4 次報告書を踏まえ，2013 年ごろには第 5 次報告書の策定を目指す活動が始まってきているということで，私どももこの地球観測について，あるいは地球のさまざま現象の理解を深めるということ，それが使える形の情報として提供できるように仕事を進めてまいります。

そういう意味で，私どものところでは主なものとしては二つここに挙げてあります。世界最高レベルの地球シミュレータを用いたモデル開発などによる予測研究の推進，それから地球観測システムの統合化，この二つのことが大きな課題となっているわけです。

それからさらに，当然ながら人工衛星の観測，ここには「だいち」の写真が出ていますけれども，それから南極については既に 50 年にわたる歴史があるわけですが，今「しらせ」も最後の航海に出て，南極の観測に向けて仕事が進んでいるわけです。

それから，海洋観測，この点では特に太平洋，あるいは世界中の海にブイを浮かべて海の中の観測を進めるというアルゴ計画，3000 基のブイを展開していることもこの 11 月に完成してきて，これからさらにデータが取得されてくるというところになっておりますが，こういう活動を進めております。

この「21 世紀気候変動予測革新プログラム」で挙げているものですが，先ほどのこれまで出してきたデータをさらに高精度なものにするということと，災害の関係についてもいろいろな予測ができるようにする。当然ながら，これは環境省，あるいは国立環境研究所で進められている仕事と近接しているものがありますので，よく相談して，より良い成果が生まれるような形で進めるということで，これは今年から始めておりますので，来年の 1 月にこの下にありますように第 1 回目の報告会を開く予定にしております。

それから，これはちょっと絵がうるさくて申し訳ありませんが，国家基幹技術として，地球を宇宙から調べること，それから海洋でいろいろな探査技術を確保していくこと，それからいろいろな海面のデータ収集も含めて，このデータを統合・解析していくという仕事が必要で，今，地球温暖化についてのモデル的なものが 22 年度には提供できるような形で進めていきたい。それから災害，あるいはこの下にございます地震・津波の関係についても進める。資源探査と災害監視についても進めていくことにしております。

さまざまな形でいろいろな仕事を進めているわけですが，基本的には気候変動等，あるいは災害について観測あるいは予測を進めているわけですが，新たなものとしてこの右側にある国際共同研究をします。先ほど相澤先生がおっしゃっていた，科学技術外交に該当するものですが，環境・防災・感染症のテーマについて ODA を活用した国際的共同研究を進めていくということでやっていきたいと，今準備をしているところでございます。

それから，当然ながら温暖化が進みますと何らかの対策をしなければならないということで，技術開発が必要になってきます。これはまさに若い方々がこれからを担っていく上で，特に産官学の英知を結集して行う公募型のプロジェクトとして進めていきたいと考えております。

2030 年に温室効果ガスの排出を半分にするという目標でこのフォーラムは仕事をされているということですけれども，実は非常に難しい問題だと思います。今，われわれが手元に持っている技術で達成できないということはまず明らかなのだと思います。そういう意味で，これからしばらくの間にブレイクスルーをどんどんつくっていただいて，われわれが手に入れられるものをより大きくして，実際にこの偉大な

目標を達成していただきたいと思います。この点では特にIPCC議長のパチャウリさんが10月に来日されたときにおっしゃっていましたが，国の資源をほんの数%これに割いて，ライフスタイルを変えると。例えば日本ではクールビズもやられていますが，皆さまの生活からまず変えていくという取り組みをされているのだから，きっと日本はできるはずだから，そういうものを世界に展開していただきたいということをおっしゃっておられました。

私もそういう点で，これからの若い人たちに期待したいと思いますし，今，まさに脂が乗り切って仕事をされている方の研究活動が十分に行われるように，わずかな力でありますが尽力していきたいと思いますので，引き続きよろしくお願いいたします。

ご清聴ありがとうございます。

注）4月14～16日にIPCCパチャウリ議長の参加を得て日本科学未来館(東京都江東区)にて開催決定。

（原沢）どうもありがとうございました。若干時間も押しておりますが，短い質問を一つだけお受けしたいと思いますが，いかがでしょうか。ご質問・コメントございますでしょうか。よろしいですか。

では，審議官，どうもご講演ありがとうございました。

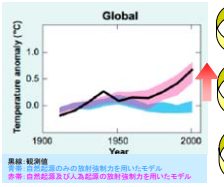
文部科学省

地球温暖化問題への文部科学省の取り組み

平成１９年１２月１５日
文部科学省大臣官房審議官　青山 伸

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）について

設立：1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立。
目的：人為起源による気候変化、影響、適応及び緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価（アセスメント）を実施。
2007年、米国前副大統領のアル・ゴアとともにノーベル平和賞を受賞。



○1990年：第1次評価報告書
"人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある"

○1995年：第2次評価報告書
"地球の気候システムに対する検出可能な人為的影響が示唆される"

○2001年：第3次評価報告書
"温暖化は温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い"

○2007年１１月：第4次評価報告書
"人為起源の温室効果ガスの増加が温暖化の原因とほぼ断定（very likely（90%以上の信頼性））"

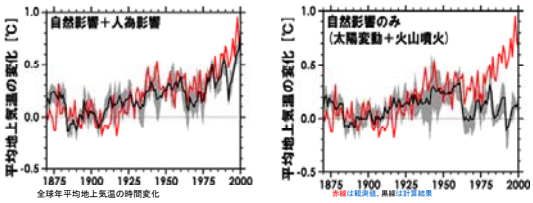
0．74[0．56～0．92]度上昇

○第４次評価報告書には、地球シミュレータを活用した温暖化予測研究等、我が国の多くの研究者の論文が引用されるとともに、報告書の原稿執筆や最終とりまとめにおいて我が国研究者は多大な貢献。

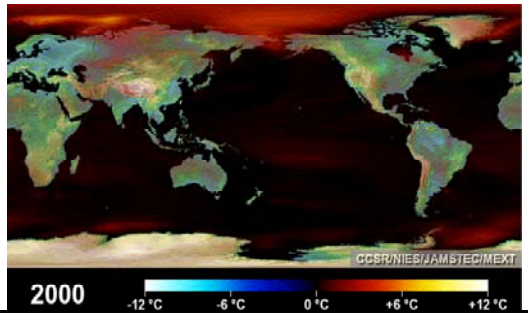
「人・自然・地球共生プロジェクト」（平成14年度～平成18年度）の成果

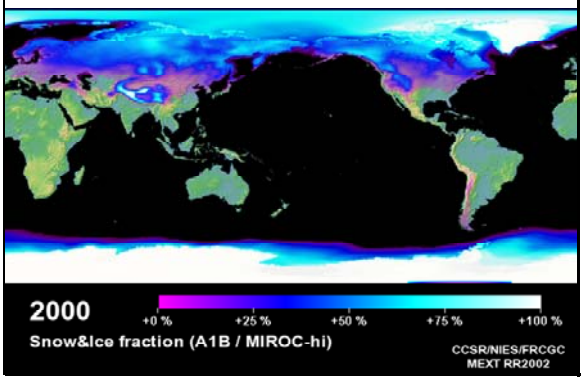
過去の温暖化傾向の検証

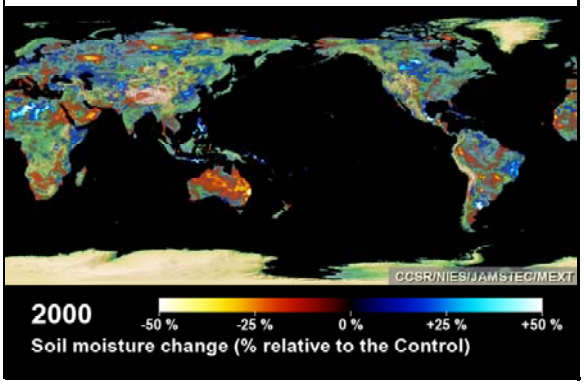
20世紀最後の30年程度の昇温傾向が人間活動に起因することを検証



全球の温度上昇とその影響







超高解像度の実現

21世紀末における巨大化した台風シミュレーション（超高解像度（大気：20kmで世界初）で台風の目を明確に再現。さらに、台風の強度が増加傾向となることが明らかに。）

文部科学省の主な取組み

背　景（1／2）

■ **地球観測サミット**（平成15年～）：小泉総理が提唱したG8エビアンサミット(平成15年6月)をふまえ、計4回開催（2回目は東京）。全球地球観測システム(GEOSS)10年実施計画を策定。第4回を平成19年11月南アフリカケープタウンにて開催。（渡海文部科学大臣出席）

渡海文部科学大臣のステートメントの概要

（基本認識）
○ IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第4次評価報告書により、地球規模の温室効果ガス排出削減の重要性を再認識。
○ 地球規模の気候変動の監視には、国際社会が協調して全球地球観測システム（GEOSS）の構築を加速させることが必要。

（我が国の貢献）
○ 我が国は、これまで人工衛星によるアマゾンの森林減少や北極海の海氷の融解の把握、地上・海洋観測による熱帯地域豪雨を監視するネットワークの整備、「地球シミュレータ」を活用したインド洋ダイポールモード現象の予測成功などの成果を上げ、GEOSS 構築に貢献。
○ 今後、「GEOSS 10 年実施計画」に基づいて、宇宙から見た全球規模の観測や地上・海洋の観測の体制強化、及び地球観測データを統合して使いやすい情報に変換するシステムの開発等を通じて、アジア地域をはじめ世界に貢献。

（GEOSS の成果の普及促進）
○ GEOSS の成果が広く各国に普及することを目的として、GEOSS に関するシンポジウムを来年3月に東京で開催し、今後、このシンポジウムの開催を各国に展開。

（結び）
○ 美しい地球を未来の子どもたちに受け継ぎ、将来にわたって人類が安心して暮らせる社会を築くために、地球観測に関する政府間会合（GEO）加盟国及び参加機関との協力の下にGEOSS の構築に引き続き努力。

背　景（2／2）

- **G8ハイリゲンダムサミット**（平成19年6月）：安倍総理からの「美しい星50」の提案を受けて、世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに少なくとも半減することを真剣に検討する旨合意。また、共同声明において「我々は、全地球観測システム（GEOSS）の開発において、引き続き指導力を発揮する。」ことが言及された。

- **IPCC（気候変動に関する政府間パネル）**：2007年2月～5月にまとめられた第1～第3作業部会の報告書を分野横断的にとりまとめた、IPCC第4次評価統合報告書を11月17日に採択。この成果を踏まえつつ、その後の研究成果に基づき、第5次報告書策定を進め、2013年頃の完成を目指す。

地球温暖化をはじめ地球環境問題の把握・予測等の地球環境科学技術の推進

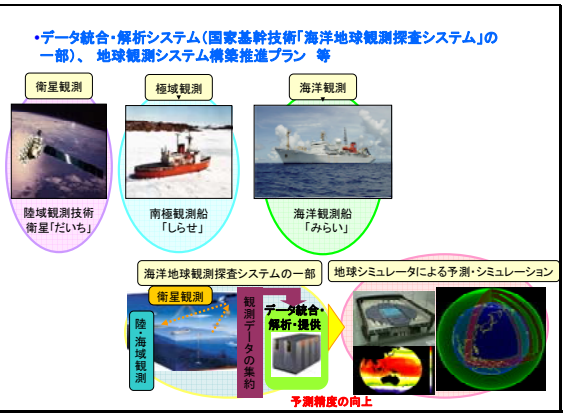
文部科学省の主要プロジェクト

地球変動予測研究及び国際的な総合観測戦略に基づく地球観測の推進

◆ **世界最高レベルの「地球シミュレータ」を活用した地球温　暖化・気候変動予測モデル開発などによる地球変動予測研究の推進**

「21世紀気候変動予測革新プログラム」

◆ **地球観測サミットで採択された「10年実施計画」に対する我が国の貢献及び総合科学技術会議策定の「地球観測の推進戦略」に基づく地球観測システムの統合化　「海洋地球観測探査システム」**



「21世紀気候変動予測革新プログラム」の期待される成果

①精度かつ信頼性の高い温暖化予測
○大気、海水、熱の移動といった物理現象のみならず、人間起源により排出された二酸化炭素の海洋や陸域生態系への吸収など、**生物・地球化学的変化がもたらす効果を取り入れた、精度かつ信頼度の高い温暖化予測**を実現。
○**都市・地域レベルの影響を特定**できるような高解像度の予測を実現。

②自然災害分野の影響評価
○近い将来（30年程度）の頻度や強度に注目した詳細な解析を実施。
○温暖化による異常気象（台風、熱波、集中豪雨等）の深刻化による**災害リスクの増大を精度良く推定**することにより、防災関係機関との連携を通じて、災害分野における温暖化適応策の立案に貢献。

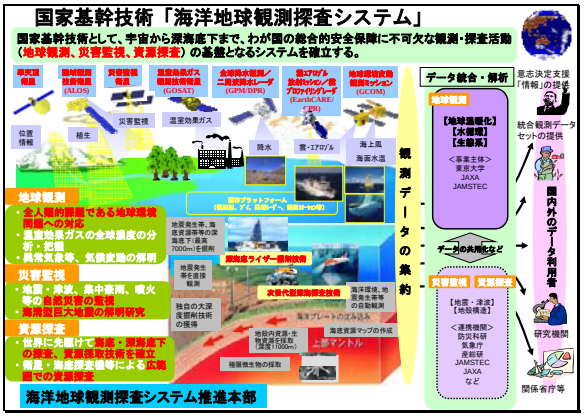
③政策応用（環境省）との連携
○環境省の施策との密接な連携を行うことにより、**脱温暖化社会に向けた将来像をより具体的かつ正確に提示することを可能**とする。
○これにより、温暖化抑制の必要性に関する国民の理解増進にも貢献。

京都議定書第一約束期間以降の削減目標の設定や政府及び国民の対策行動の促進に貢献

平成19年度成果報告会開催のお知らせ
日時：平成20年1月18日（金）9:30～16:50
場所：国立オリンピック記念青少年総合センター　国際交流棟国際会議室
参加登録：12月中旬よりホームページにて(http://www.kakushin21.jp/)

国家基幹技術「海洋地球観測探査システム」

国家基幹技術として、宇宙から深海底下まで、わが国の総合的な安全保障に不可欠な観測・探査活動（地球観測、災害監視、資源探査）の基盤となるシステムを確立する。



文部科学省における地球環境科学技術の推進

気候変動等の観測・予測研究

◆地球観測に関する政府間会合（GEO）「GEOSS10年実施計画」に対する我が国の貢献及び総合科学技術会議「地球観測の推進戦略」に基づく統合地球観測システムの構築
◆「地球シミュレータ」を活用した地球温暖化・気候変動予測モデル開発などによる地球変動予測研究の推進

実施機関：独立行政法人、大学等

国家基幹技術 海洋地球観測探査システムの一部
21世紀気候変動予測革新プログラム

GEOSS構築の推進
IPCC第5次報告書への貢献

国際共同研究

◆我が国と地球環境問題を共有するアジア地域との科学技術を活用した国際共同研究の展開・推進

ODAを活用した科学技術協力プロジェクトの実施
実施機関：大学、独立行政法人等

アジア地域の災害対策と温暖化対策への貢献

環境対策技術開発

◆環境問題の解決に資する科学技術の研究開発

産学官の英知を結集して行う公募型プロジェクト研究
実施機関：民間企業、大学、独立行政法人等

先進的環境科学技術の研究開発による環境問題解決への貢献

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）

気候変動に関する国際連合枠組み条約締約国会合（COP）

「温暖化対策の国際的取り組み」

三村 信男
茨城大学 地球変動適応科学研究機関

（原沢） 続きまして 2 番目の話題ですが，「温暖化対策の国際的取り組み」ということで，茨城大学の三村先生，お願いいたします。三村先生は IPCC の報告書づくりにも携わっております。では，三村先生，よろしくお願いいたします。

ご紹介いただきました茨城大学の三村でございます。このような機会を与えていただきまして，大変光栄に思っております。本日は，現在の国際的な取り組みがどのようになっているのか，それを紹介してほしいということですので，そういうお話をさせていただきたいと思います。

基本的には，IPCC や現在の交渉、国際的な取り組みについては，既に岩崎学長先生や相澤先生，また，ただ今の青山審議官のお話でカバーされておりますが，あらためて私の視点からお話しさせていただこうと思います。

IPCC はもうたくさん紹介されましたが，1988 年に設立されまして，過去 4 回レポートを出しています。その中身は，三つワーキンググループがありまして，「気候変動の自然科学的根拠」「影響，適応策，脆弱性」「気候変動の緩和策」，この 3 部作です。本報告書は 1 冊が 1000 ページぐらいあるすごく大部なもので，誰が全部通して読むのだろうと思うぐらいすごく分厚いのですが，その要約がついていて，広く読まれているということです。

今年の 11 月にスペインのバレンシアでその最後の総会がありました。スペインというので歴史のある建物でやるのかなと思ったら，すごく超近代的なところでした。

報告書の準備の会議はこんな感じだったのですが，3 部会ごとに 20 章ありまして，約 600 人の執筆者と 3000 人以上の査読専門家が参加して，4 年ぐらいの期間を経て準備し，最後に採択されたというものです。

それで，素直に全部とんとんいったかというと，たかだか 20 ページ程度のサマリーですがそうはいきませんでした。4 日間位の日程が確保されていたのですが，パチャウリ議長が壇上から何度も「世界はこのレポートを待っている。皆さんはあまりいろいろ言わないで，早く認めてください」というようなことをおっしゃって，議場には，時間は 6 割ぐらい過ぎたのだけれど，認めたのはまだ 15.6%しかいっていませんとか，このようなものを示しながら，何とか半日時間を延ばしてやっと承認されたということが起こりました。

その報告書の中身ですが，既にいろいろ報道がありますように，温暖化が既に起こっている。もしもそれがさらに続けば，2100 年までに約 1.8℃から 4.0℃の気温の上昇があって，シナリオとモデルによっては最大 6.4℃上昇する可能性があるということです。

それから，既に温暖化の影響も起きていて，主に雪氷圏，それと生物の世界に影響が顕著であるという報告がされました。

例えば気温の上昇は，これは 1850 年から 2000 年までの時間の経過ですが，このように過去 100 年間で 0.74℃上がっていて，最近はさらに加速している。海面上昇は過去 100 年で 17 cm 起きていて，現在は毎年 3 mm を超える速度で海面上昇が進んでいる。それから，北半球の雪氷圏の面積も減っているという話であります。

これはその例でありまして，1979 年のときの北極海の海氷の面積がこの程度あったのだけれど，今現在はこれぐらいになっています。

それが具体的にどういう事態に結び付くかといいますと，これは IPCC の報告書ではないのですが，アラスカのシシュマレフ島というところです。今まで北極海には氷があったために波が立っていなかったのですね。そのため海岸は浸食されないで残っていたのですが，氷が解けたためにどんどん浸食されて，村

の道路がここで断ち切られるような形になっているのです。その端っこでは家が転がり落ちています。

それから，これはロシアの研究者が示した写真ですが，永久凍土は非常に固い地盤なので，ビルを建てている。それが，融けてしまったのでビルにひびが入ってもう住めなくなるとか，北極海からの原油のパイプラインの基礎がゆがんでしまう，こういう被害が現実に起きているという話であります。

さらに，温暖化によって非常に広い範囲の分野に影響が及ぶし，特に北極圏，サブサハラ地域，小島嶼，アジアのメガデルタなどに対して非常に大きな影響が起こるということが報告されました。

これに対して，対策としては，現在利用できる技術，将来利用できることになるであろう技術と政策を総動員すれば，気温変化を安定化させるポテンシャルはある，そのようなことが主要なメッセージかと思います。

さて，今のような IPCC のメッセージをどのように政策や今後の取り組みに翻訳していくかという話ですが，国連気候変動枠組条約の目標は，危険な水準以下に温室効果ガスの濃度を安定化させるということです。

では，危険な温暖化の水準とはどういうものかということですが，これはやや少し前の研究成果ですが，横軸に気温の上昇が 1℃，2℃，3℃という気温の上昇量を取ると，それに合わせてどれぐらいの被害者が出るかを示しています。そうすると，飢えで苦しむ人はこのように伸びます。それから，マラリアの被害者はこのように伸びます。ところが，水不足で困る人はこの辺で急上昇して，ここでぐっと増えるのではないか。こういうことを考えると，世界全体の温暖化の危険な水準というのはどうもこの 2℃上昇ぐらいにあるのではないかということになります。これは一つの例ですが，危険な水準はそのような形で決めていくことになるわけです。

これに対して，今回 IPCC は，六つのカテゴリーを示しました。究極の安定化濃度を，例えばほかの温室効果ガスも入れて 445 ppm から 490 ppm ぐらいにとどめるとすると（カテゴリーI），気温の上昇は 2.0℃から 2.4℃ぐらいになるでしょう。そのとき，遠い将来ですが海面は 40 cm から 1.4 m ぐらい上がることになります。それに対して削減しなければいけない炭酸ガスの濃度は，2050 年でマイナス 85％からマイナス 50％です，といったことが分かります。徐々にこのカテゴリーが上がるにつれて，安定化濃度は高くなり，出していい温室効果ガスの量も多くなるのだけれども，危険性も増します。

さて，こういうものを見て，われわれはどのレベルを温暖化の危険な水準と判断して，どこをターゲットにしたらいいでしょうかという材料を示したわけです。IPCC 自体はそれを決めるのが役目ではないので，そのような問題提起をしたわけですね。

それで，「平均気温の上昇が産業革命以前のレベルから 2.5～3.5℃になると，すべての地域で経済に悪影響が発生する」という表現がありますので，それを翻訳すると，先ほどのカテゴリーで，ⅡやⅢというのが大体の範囲に入ってくるわけです。そうすると，ⅡやⅢというカテゴリーに落とそうとすると，温室効果ガスの排出は今この辺，地球全体で 65 億 t カーボンぐらいのものを，今後は若干上げてもいいけれども，あとは急激に落としていかなければならない。これが 2050 年に 50％削減といわれている根拠になっているわけです。

さて，そのような科学的な根拠を頭に入れて，最近の世界の動きを考えてみますと，1992 年に気候変動枠組条約ができて，1997 年に京都議定書が締結されましたが、それ以降の動きはやきもきするくらい遅かったわけです。やっと 2005 年になって発効しました。ところが，私自身の感想では，今年に入ってから世界の世論は非常に変わったと思います。その兆候は 2～3 年前からあって，それはヨーロッパの熱波やハリケーン・カトリーナ，オーストラリアの干ばつなど、実際に温暖化の影響がわれわれの目の前で起きてきている，そのことが非常に大きかったと思うのです。

その結果，今年は 2 月の EU 首脳会議での合意に続いて，いろいろな動きが続いて，現在 COP13 まで来ている。来年はそれを洞爺湖サミットでどのように次のステップにつなげるかというのが大きな問題になっているのだと思います。その課題は皆さんがおっしゃるとおり，2013 年以降のポスト京都議定書の新しい枠組みに米国や中国，インドを含めた多くの途上国が参加してくるということだと思うのです。

さて，この動きの中で，日本は非常に大きな役目を果たしました。それは今年の 5 月に，先ほど来紹介されております Cool Earth 50 という提言をまとめて，世界全体の排出量を現状から 2050 年までに半減さ

せるということを提案して，世界のリーダーシップを取ったわけです。それは技術革新と低炭素社会をつくることによって達成するのだと。

そのために，世界全体での排出削減と柔軟かつ多様性のある枠組み，それから環境保全と経済発展の両立，こういうものを通して行おうではないかと。その呼び掛けがあって，ハイリゲンダム・サミットでは世界のリーダーたちがそれに同意し，それが国連総会での議論や現在の COP13 につながっているという流れだと思います。

私は，8 月に国連で開かれた総会に参加する機会がありました。そのときにイギリスの「スターン・レビュー」をまとめたスターン博士が非常に包括的な提案をしたのですが，これは Cool Earth 50 の中身とほとんど同じでした。彼は「温暖化対策と開発を対置しては出口のない道に入ってしまう。温暖化対策を進めることこそが，今後の経済成長を牽引する道」だと，そういう経済や社会のシステムに転換する必要があると訴えて，彼個人の見解として，世界全体で 2050 年までに 50％削減なら，先進国は 70～80％の削減を達成する必要があるのではないかとまで言い切ったわけです。その数値の妥当性は別にして，2～3 年前ではこのような提案はほとんど考えられないような議論で，今年に入って世界の温暖化対策に対する潮流は大きく変わったと思います。

結局，温暖化抑制への挑戦は今まで言ってきたことですべてなのですが，温暖化の危険な水準を回避するというのが最大の目標で，そのためには今いろいろ申し上げましたような炭酸ガスの排出削減策と，それでもそこに至るまでになお残ってしまう影響に対しての適応策，その両方を打っていくということではないかと思います。

それだけドラスティックな温暖化対策をやろうとすると，成り行きで何とかできるところまで行こうという方法では駄目で，先に目標を決めて，その目標に行きつくためには今からどれだけの落とし方をしないといけないか。まさにこのつくばの 3E イニシアティブが掲げられたような目標に向かって，いろいろ困難や難しい面はあるけれども，そこをターゲットに努力してみる，そのような考え方が必要なのではないかと思います。

適応策ですけれども，これは主に途上国のためにやると当初は考えられていました。けれども，ハリケーン・カトリーナ以降，先進国，あるいはわが国でもいろいろ影響が起こりうる，途上国はなおさらあり得る，だから国際的な支援が必要だという論調です。全体としては，結局，気候変動の対策を，経済政策，社会政策，教育政策，環境管理などとは別にありますというふうに対置するのではもはや対応できない。“Mainstreaming Countermeasure”といっている人がいますが，気候変動対策の主流化ということで，緩和策と適応策をあらゆる政策の中に組み込んでいくというような大きな転換が必要なのではないだろうかと思います。

そういう点では，今日提案されましたつくばのイニシアティブはまさにそのようなことです。社会システム全体として大きな変換を考えるということですので，もしそういう方向で展開できれば，世界に対する非常に大きな貢献になるのではないかと思います。私自身は水戸，日立，阿見にあります茨城大学で働いているわけですが，このイニシアティブを大変素晴らしいものだと感じておりまして，またいろいろな形でご協力し，あるいは私どもにも教えていただければ，大変ありがたいと思っております。

どうもありがとうございました。

（原沢） どうもありがとうございました。それでは，ただ今のご講演に対しましてご質問・コメントはございますでしょうか。大変複雑かつ大きな流れをコンパクトにまとめていただきましたけれども。ご質問・コメントはございますか。よろしいですか。どうぞ。

（フロア 1） ちょっと研究者に立ち返って一つ質問させていただきたいのですが，IPCC で出された結論は，例えば物理をやっている人間からしますと大変解釈に苦しむところがあります。それはどういうことかといいますと，われわれの実験，サイエンスを進めていく場合のやり方というのは，要素還元法といって，ものすごく条件を簡単にパラメータを減らして，どなたでも追試できるような形でやって，そしてそ

れが複数の方に確認されると，一応学術的・科学的な証拠として認められるというふうになるのです。

このような大変極限の複雑系になった場合，その実験データとしてまず認めていいかどうかという問題。それからそれをシミュレートする，例えばCO2の増加が確実に温暖化の主原因になっているのかどうかということについても，そのシミュレーションたるや，恐らく相当に大きな仮説と，計算の近似をやっているはずなのです。そういうものはなかなか追試もできませんし，それをどのような形で，多分多数決で決めるわけにはいきませんので，どのようにどの程度信じていいのか。われわれ自身がそのことをもう少し勉強する必要があると思うのですけれども，参加されてきた先生の印象で，例えば実験事実，温暖化は確実に進んでいるのだということは認めていいとか，あるいは，CO2の増加が温暖化の主原因であると，これもかなりのパーセントで認めていいということについて，フランクな感想をお伺いしたい。

（三村） IPCCのすべての課題に対して答えるような責任は取れないので，個人的な感想として申しあげます。まず，一つは過去の事実をどう認定するかという話と，将来をどう予測するかという二つの問題があると思います。過去の問題については，例えば地球全体で観測したものを先ほどのようなグラフで表してみたときにどういうトレンドがあるかというようなことを解析していく。その過去のトレンドが今われわれが持っている最大限の要素を組み込んだコンピューターのモデルでどの程度再現できるか。どういう要素を組み込めばどれだけの確信度で再現できるか。そのようなことを，過去のデータの統計解析とモデルによる再現とを組み合わせて解析をして，主原因を認定してきたということだと思います。

従来の学問，科学の方法では再現性を重視して，どこでも再現性のあることが確認できれば，それが原理の確認につながっていく。そのようなアプローチというのはこういう非常に大きな地球科学の複雑系システムではなかなか取りにくいと思います。

それから，将来の予測については，不確実性がいろいろな形で付きまとうのは当然だと思うのです。けれども，先ほど言ったような形で過去の現象を再現してきたモデルを使って，その中に将来起こり得ると思われるいろいろな条件の変化を，シナリオの形で入れ込んだモデルを作ることによって，気候を予測する訳です。その場合，問題は，1種類のシナリオだけではなくて，社会経済にしろCO2濃度などの自然条件にしろ，何種類かのシナリオを使ってやってみて，その振れ幅を見る。言ってみれば，ある種の感度分析のようなこともやって，将来のある範囲を定めていくということになっていると思います。それを一つのモデルでやると，そのモデルが間違っていたら大変なのですが，今回は20くらいの世界の研究機関がいろいろ違った形で組み立てたモデルを使って，相当予測結果の一致度が高まってきているということが確信度が高まった背景にあると思います。

地球環境の問題ですから，地球を使って何回も実験をすることはできません。先生がおっしゃったような意味で，いわゆる実験による再現性に基づく科学性をどう保証するのかというアプローチは，この問題では非常に難しいし，いろいろ議論が残るところだと思っています。

第1回つくば3Eフォーラム

温暖化対策の国際的取り組み

2007年 12月 15日

茨城大学地球変動適応科学研究機関(ICAS)
三村信男

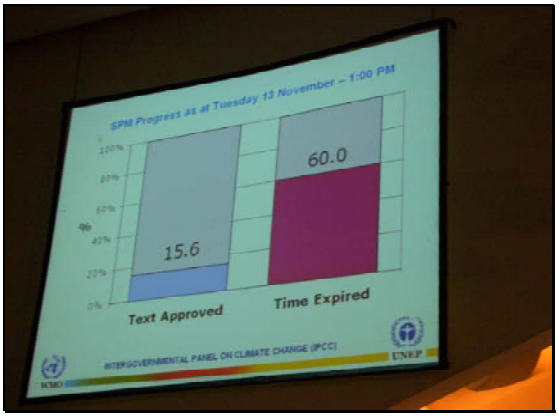
講演の内容

1. IPCC　第4次報告書の内容
2. 温暖化の危険な水準と対策の目標
3. 急激に変化する国際的動き
4. まとめ

1. IPCC　第4次報告書の内容

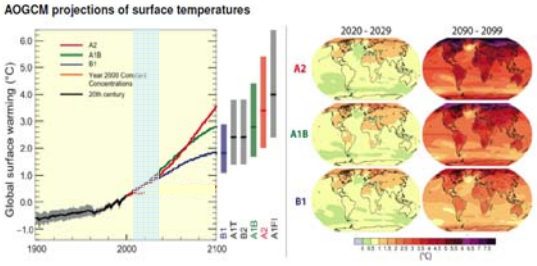
- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)
  1988年に世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)によって設立。気候変動問題に関する科学的評価を担当。
- IPCC第4次報告書
  1990年　第1次評価報告書
  1995年　第2次評価報告書
  2001年　第3次評価報告書
  2007年　第4次評価報告書（11月に統合報告書）
- IPCC第4次報告書―3つの作業部会(WG)
  第1WG「気候変動の自然科学的根拠」
  第2WG「影響、適応策、脆弱性 」
  第3WG「気候変動の緩和策」

3部会毎に20章
約600人の執筆者、3000人以上の査読専門家
4年の準備期間



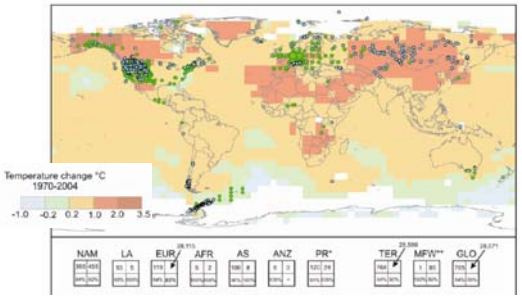
WGI　報告書

・温暖化は現実。最近の温暖化の原因は人為的活動
・全球平均気温は2100年までに 1.8 から 4.0℃上昇



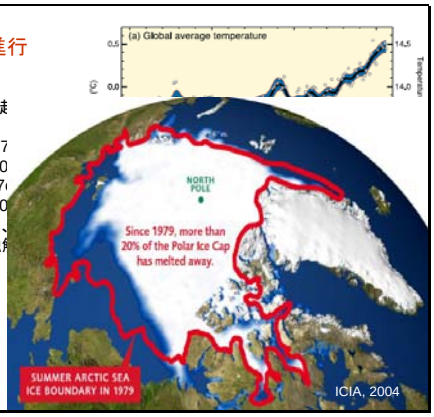
WGII　報告書(1)

・温暖化の影響は、物理環境・生物に既に現れている



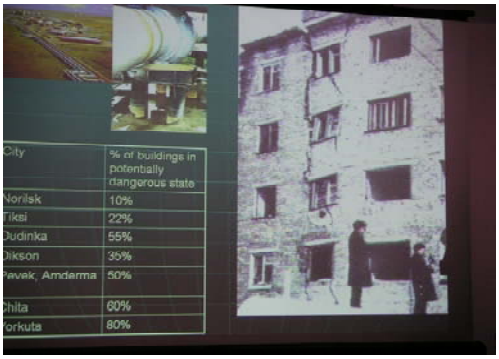
温暖化の進行

- 温暖化は既にま
- 気温上昇: +0.7
  (過去10
- 海面上昇: +17
  (過去10
- 北極海の海氷、
  山岳氷河の融



アラスカ西部のシシュマレフ島
海氷の期間が短くなり、波による海岸侵食が激化している
（2006年7月撮影：朝日新聞提供）

構造物のダメージ（シベリア）



City	% of buildings in potentially dangerous state
Norilsk	10%
Tiksi	22%
Dudinka	55%
Dikson	35%
Pevek, Amdarma	50%
Chita	60%
Yorkuta	80%

WGII 報告書（2）

温暖化による厳しい影響を予想
- **水資源**
- **生態系**
- **食料生産**
- **沿岸域**
- **人の健康・社会**

もっとも危険な地域
- **北極圏**
- **アフリカ・サブサハラ地域**
- **小島嶼**
- **アジアのメガデルタ**

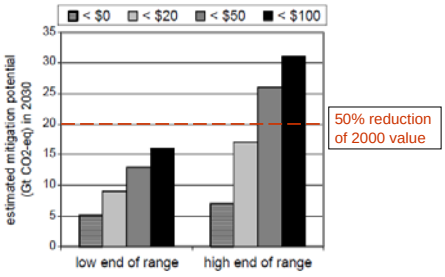
・影響は地域によって差がある（影響自体の差、適応力の差）

・平均気温の上昇が1990年レベルから1 ～ 3℃° の場合、悪影響と共に好影響も起こりうる。
平均気温の上昇が1990年レベルから2 ～ 3℃の場合、全ての地域で経済に悪影響が発生

・影響を避けるために、適応策は不可欠
・適応策だけでは悪影響は抑止できず、緩和策＝排出削減策との組み合せが必要

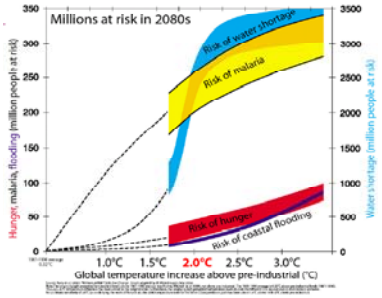
WGIII 報告書

・大気中のGHG濃度は今後利用可能になる技術と政策の組み合わせによって安定化のポテンシャルがある



2. 温暖化の危険な水準と対策の目標

○ 温暖化対策の究極の目標は、危険な水準以下での安定化



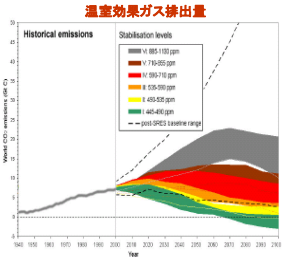
長期的な安定化シナリオとその効果(IPCC AR4)

分類	平衡時の CO_2 濃度 (2005 = 379 ppm)	平衡時の CO_2-と同等なGHG濃度 (2005 = 375 ppm)	CO_2 排出のピーク時点(年)	2050年におけるCO_2 排出からの変化(%)	産業革命以降の気温上昇(℃)	熱膨張だけを考えた海面上昇(m)	モデルの数
I	350 – 400	445 – 490	2000 – 2015	-85 to -50	2.0 – 2.4	0.4 – 1.4	6
II	400 – 440	490 – 535	2000 – 2020	-60 to -30	2.4 – 2.8	0.5 – 1.7	18
III	440 – 485	535 – 590	2010 – 2030	-30 to +5	2.8 – 3.2	0.6 – 1.9	21
IV	485 – 570	590 – 710	2020 – 2060	+10 to +60	3.2 – 4.0	0.6 – 2.4	118
V	570 – 660	710 – 855	2050 – 2080	+25 to +85	4.0 – 4.9	0.8 – 2.9	9
VI	660 – 790	855 – 1130	2060 – 2090	+90 to +140	4.9 – 6.1	1.0 – 3.7	5

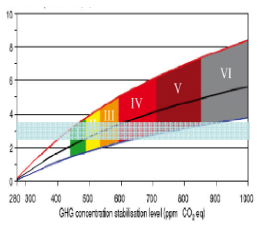
GHG安定化濃度と排出量

平均気温の上昇が産業革命以前のレベルから2.5 ～3.5℃になると、全ての地域で経済に悪影響が発生

温室効果ガス排出量



産業革命以降の気温上昇量



3. 急激に変化する国際的動き

1992　地球サミット、気候変動枠組み条約
1997　COP3、京都議定書
2001　米国の離脱、マラケシュ合意（京都議定書の手続き）

2003　ヨーロッパの熱波
2005　京都議定書発効、ヨーロッパのCO2市場開設
　　ハリケーンカトリーナ
2006　オーストラリアの干ばつ、各地で災害
2007　EU首脳会議（2月）、IPCC第4次報告書、Cool Earth 50（5月）、
　　ハイリゲンダムサミット（6月）、国連総会（9月）、COP13(12月)
2008　洞爺湖サミット
2008～2012　第1約束期間（先進国5%削減）

2013～　ポスト京都の新枠組み一米国、途上国の参加
20??　第2約束期間

2007年5月：　Cool Earth 50

提案①:世界全体の排出量削減のための長期戦略
- 「世界全体の排出量を現状から2050 年までに半減」を世界で共有
- 革新的技術の開発と低炭素社会づくり

提案②:2013 年以降の国際枠組み構築に向けた「3原則」
- 第1　主要排出国が全て参加し世界全体での排出削減
- 第2　各国の事情に配慮した柔軟かつ多様性のある枠組み
- 第3　技術を活かした環境保全と経済発展の両立
- 志の高い途上国の支援のために新たな「資金メカニズム」を国際協調で構築

提案③:国民運動の展開
- 京都議定書目標達成計画の見直し
- 「1 人1 日1kg」削減のモットーの下で国民運動

2007年8月国連総会：英国Stern博士の提案

○温暖化対策と開発（経済成長）を対置しては出口のない道に入ってしまう。温暖化対策を進めることこそが、今後の経済成長を牽引する道

1. 目標（Goals）
1) 全ての国が参加して2050年までに最低50%排出削減
2) そのため先進国がより大きな削減義務を負う。
　例えば、2050年までに80%削減。
3) 中間時点の目標を持つ。例えば、2020年に20～30%削減

2. 緩和策（Mitigation）
1) 世界のカーボン市場を開設し、CDMを越える方策を検討。
　CDMの実施しやすさと透明性を改善する。
2) エネルギー分野などの技術開発に一層の投資
3) 森林伐採をこれ以上進めないための政策枠組みを確立

3. 適応策（Adaptation）
1) 科学的な予測能力の向上が必要
2) 適応策に資金投入（先進国、途上国両方）
3) 適応技術の開発

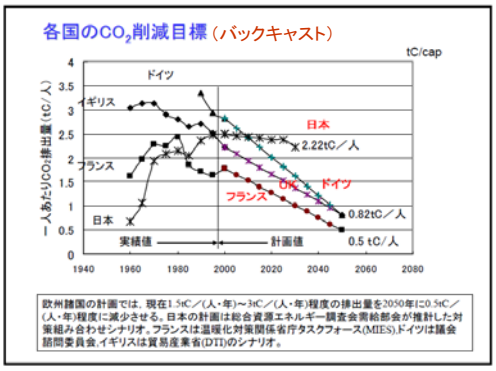
4. 政治のリーダーシップ（Political will）
1) 温暖化対策と経済成長の同時達成
2) 各国のトップ（首相、大統領）がリーダーシップを発揮する
3) 国民一人一人の認識の高まり。世論の後押しが必要

地球温暖化抑制への挑戦

「温暖化の危険な水準を回避」

1. CO2排出削減（緩和策）
（1）長期目標が必要
　・2050年長期目標とそれに至るロードマップ
　・目標からのバックキャスト
　・低炭素社会を支える国土形成
（2）短期的な対策
　・京都議定書の目標達成
　・地球温暖化推進大綱の中での各分野
　　産業・エネルギー分野
　　民生部門（オフィスBEMS、家屋の断熱）
　　運輸部門（公共交通、モーダルシフト、ITS）

2. 適応策
　・安全安心な社会
　・途上国における適応対策



適応策

（1）わが国
　・安全安心な社会の構築
　・災害外力の見直し
　・防災インフラの見直し
　・老朽化対策

（2）途上国
　・途上国における適応対策
　・Win-Win政策：現在の脆弱性の克服と気候変動に対する適応策
　・国際的支援の枠組み

＊気候変動対策の主流化：緩和策と適応策をあらゆる政策に組み込む

2006年の高潮による被害

COP13:バリ・ロードマップ

- COP13の課題
　・ポスト京都議定書の枠組み検討（緩和策、適応策）
　・長期（2030年、2050年）の削減目標
　・先進国の目標と途上国の参加
　・そのためのロードマップ

- 合意に接近
　・ロードマップの合意
　・数値目標については今後の交渉で

4. まとめ

1. 既に温暖化は影響を与えつつある。温暖化の進行を危険な水準以下に抑えるという目標は重要。

2. 今後20～30年間は、0.2℃／10年のペースで気温上昇が予想される。その後の昇温は今からの対策次第で決まる。

3. 気候変動の影響を避けるために適応策は不可欠。しかし、適応策だけでは悪影響は抑止できず、緩和策＝排出削減策との組み合せが必要。

4. 温暖化問題は急速に世界の主要な課題になっている。先進国は、京都議定書第1約束期間の目標の達成、長期的には非常に大きな排出削減と適応策に関する国際援助を要請される。

5. 短期的にも長期的にもCO2排出対策の上で政策イニシアティブ、技術、国民的運動各分野の役割が重要。日本でも適応策が必要になる。

6. 気候変動対策は、わが国が世界に貢献できる重要な分野。つくば、茨城県からの発信は大きな力になる。

「地球環境観測：GOSAT の取り組み」

井上 元
名古屋大学大学院 環境学研究科
浜崎 敬
（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）

（原沢） では続きまして，3 番目の課題ということで，「地球環境観測：GOSAT の取り組み」ということで，名古屋大学の井上先生にお願いいたします。では井上先生，よろしくお願いいたします。

名古屋大学の井上でございます。なぜ名古屋から来ているかと申しますと，つい 1 年半ぐらい前までつくばにおりまして，現在もこの GOSAT という地球観測衛星の研究で半分ぐらいの仕事をやっているということで，お邪魔させてもらっています。

この GOSAT というのは先ほど相澤先生からもご紹介がありましたが，わが国が国際的に寄与する重要な観測であると思っております。今日は，この観測をなぜやるかということ，それからその成果はどのようなものが期待されるかということ，難しさ，そして今回つくばフォーラムの目的としている二酸化炭素半減のようなことに私たちがどのように貢献できるか，このような話をしていきたいと思います。本発表は私と JAXA の浜崎の共同でございます。

皆さん十分ご存じのことですから釈迦に説法かもしれませんけれども，二酸化炭素の急激な増加は気温上昇の引き金になっているということは過去の歴史もあり，それから化石燃料がその主要な二酸化炭素増大の原因であるということも広く認知されているところです。

実際，IPCC の第 4 次報告書のそれに関連したところを引っ張ってまいりましたが，二酸化炭素がこのように増加している中で，酸素が減少している。明らかに二酸化炭素が化石燃料を含めた有機物あるいは炭素の燃焼によって増えているのだということ。それから，化石燃料には ^{13}C という同位体が少ない。その結果がこう表れていまして，矢印が逆になっていますけれども，その減少がこのように出ています。

それから，二酸化炭素の測定はいろいろな場所で行っているのですが，世界全体のデータをまとめてみますと，南半球と北半球とで濃度差があり，その濃度差は化石燃料の消費が増えると大きくなる。つまり，化石燃料を消費しているのは北半球がほとんどですので，北半球の方が高濃度になっている。

このようないろいろな事実があって，当たり前のこととなっております，化石燃料消費によって二酸化炭素が増大しているということが確認されているわけです。このような長期的な話というのは将来どうなるかということを理解するのに重要なことであります。

現在，二酸化炭素の発生量に対して，もし全部が二酸化炭素として大気に滞留するとなったときにはこの濃度になるのですが，実際に大気に残っているのは 6 割ぐらいであるということで，4 割がどこに行ったかというところがサイエンスとしては一つ非常に重要な問題でありました。現在，それは海洋と森林とが吸収しているということが分かってきているのですが，それが将来どうなるかということがもう一つの課題であります。

その将来に関しては，二酸化炭素が将来どうなるかというシミュレーションをやって，その上で気候変化を予測することになります。その時に，海洋と森林，特に森林が問題なのですが，その二酸化炭素の収支をカップルさせますと，この青の予想部分，想定がこのように 2～3 割増加する。これは気温上昇や乾燥化によって森林から二酸化炭素が逆に大気中に出てくる，ということで予想されているのですが，モデルによりますと，非常に小さな変化しかないと予想していることもあります。

このように将来を予想するためにも，現在の二酸化炭素がどうなっているかということも含めて，観測で明らかにしていかなければいけないということになるわけです。

二酸化炭素の観測データからいろいろなことが分かってきているのですが，これがその一つです。北半

球につきまして，北アメリカ，北大西洋，ヨーロッパ，北アジア，北太平洋と，西から東の方の順番なのですが，陸のところでこのくらいの量の二酸化炭素が放出されていると。これは比較的よく分かっているわけです。

これは現在までは先進国のデータですから，統計データも非常にしっかりしているし，情報の公開も進んでいるわけです。しかし，これから発展する国々について見ますと，統計データも怪しいし，実際それが完全に公開されるかという疑念もあるわけで，不確定性が増えてくる可能性があります。

もう一つ，海洋での吸収なのですが，北大西洋や北太平洋の吸収というのはかなり正確に分かっています。これは海洋が比較的均一なものですから，数少ない観測から推定できます。しかしながら，ここにありますように森林の方は，実際に森林で測ったデータから推定したもので，特に北アジアが大きくなっていますが，それはわずかな吸収になっています。

このようなデータを別の視点から見ますと，つまり大気の観測から見てみますと，モデルによってデータ解析の仕方によって差があるし，実際に森林で観測したものとのずれというのは結構大きいわけです。

そのようなことで，まだ現状把握ですら十分な知見が得られていないということです。知見が得られていないけれども，それなりにもっともらしい，どこで吸収が起きているか，どこで放出が起きているか，放出が赤で吸収が青系統ですが，このようなのが月ごとにどのように変化するということがシミュレーションできています。しかし，これはまだまだ誤差が大きくて，これをやった人もあまり細かいところを見てくれるなと言っております。

それはなぜかといいますと，データが圧倒的に少ないからです。この三角のところの測定データを使って予測を行うわけで，例えばアフリカのこのような大きな吸収や放出の変化を測定しているのは、この辺りのところで，どうやってこれで推定できるのだと。南米も同様です。このようにデータの数が非常に少ないということが，そういうことをこの仕事をやっている人自身に言わしめるのだと思うわけです。

実際，観測地点というのをいろいろ集めてみたのですが，これは地表面で気温・湿度等を測定している場所です。ご覧のようにヨーロッパなどにはある地域で特に密度の高いところもありますけれども，くまなく非常にうまく配置されていて，密であります。

これは成層圏オゾン等も含めた高層の方の大気観測点なのですが，数は圧倒的に少なくなります。しかしながらかなりばらけているので，地球全体をかなり均一に測定するというシステムができております。ところが，二酸化炭素について見ますと，丸を少し大きくしているのでたくさんあるように見えますが，ヨーロッパやアメリカに集中しておりまして，ほとんど測られていないところがこのようにあって，非常に重要なところが測られていません。それでは，そこに測りに行けばいいではないか，といっても，こういった測定はその国の主権に属するところもあり，外から行ってしかも長期に測るというのはなかなか難しい。それから，アフリカにしても南米にしても東南アジアにしても，それぞれの国が二酸化炭素よりは大気汚染であるとか，水汚染であるとか，もっと重要な環境問題を自国で抱えているわけで，世界の二酸化炭素の話なんか知っちゃいない，とまでは言いませんが，その余裕はないというふうに言うわけです。

それで私たちは衛星で二酸化炭素を測ろうという話になったわけです。この衛星による二酸化炭素の測定というのは，当然わが国だけではなくて，衛星をいろいろ打ち上げている NASA，ヨーロッパの ESA（欧州宇宙機関）も当然考えたわけです。しかしながら，後で話しますけれどもこれが非常に難しいということで，ヨーロッパの方はカーボサットというプランがあったのですが，諦めてしまいました。わが国が二酸化炭素を測るという計画を持っているということを知った NASA は，日本に後れをとってはならないということで，急きょ OCO という衛星を上げることになりまして，今，GOSAT と OCO という二つの衛星が 2009 年の初め頃に打ち上げられる予定になっております。

この衛星は 700 km 近くの高度から，地上ターゲットからの太陽光の散乱光を測定します。そうしますと，太陽が入ってくる間と出て行くところで，大気中の光の吸収を受けます。その違いから二酸化炭素濃度を測定できるというわけです。これは H‐ⅡA ロケットで打ち上げることになっておりまして，今，このセンサーの開発が着々と進んでいるところです。

どんなデータが得られるかといいますと，太陽光に対して所々非常に強い吸収があるわけです。例えばこの辺りの水の吸収とか，ここの二酸化炭素の吸収とか，もっと長波長にはずっとたくさん強い吸収があ

るのですが，それが温室効果を引き起こすわけです。今，私たちが利用するのは，二酸化炭素の吸収があるところ，メタンの吸収のあるところ，そのような場所を選んでデータ解析をすればこれらの濃度が分かるということで，準備を進めているわけです。

では，どのくらいの精度が必要かということですが，これは水蒸気の量です。熱帯地域というのは非常に海水温が高いし，植物の蒸散活動も活発ですから，非常に濃度が高い。それに対して北や南の極域では非常に少なくて，その差は数十倍あるわけです。ですから，測りやすいとまでは言いませんけれども，いろいろなデータがある。しかも，水蒸気については地上で 1000 カ所を超える観測ネットがある。そういう意味では，水循環については結構データがあって使えるわけです。

しかし，二酸化炭素の濃度というのはコントラストが非常に弱いのです。地上での観測点も少ないし，衛星で観測しようと思っても濃度のコントラストが弱いからなかなか大変です。例えば南の方と北の方でいうと，1%ぐらいの差しかない。東西でいいますと，もちろんある程度のコントラストがありますが，それを明らかにするには，0.2〜0.3 ppm の精度で測らなければいけないということになります。二酸化炭素にそのような濃度のむらが少ないというのは当然なのですね。たくさん大気中に溜まってきた二酸化炭素なので，もともと濃度が高いわけです。そして，それが長い年月の間に今 1.4 倍ぐらいになっているとはいえ，空間的な濃淡は非常に小さいわけです。ですから，このような濃淡の少ないところを精度良く測るのは大変なことだということが最初からあるわけです。

そのような非常に難しいことにチャレンジするということですが，今，目標として大気濃度の 0.3%，つまり 1 ppm ぐらいの精度でとにかく測りたいと考えています。それが可能になると，例えば森林での吸収を 10%ぐらいの精度で推定できます。しかし，残念ながら人が出している部分，大きな国だったらいいのですが，日本ぐらいの規模ですと二酸化炭素の排出削減を 5%やったからといって，それは見えないのです。まだそれだけの技術的な水準がないわけです。そして，つくばで 50%削減をやっても，今度は，削減の規模は大きいのですが，残念ながら小さな都市ですのでそれも見えない。しかし，グローバルな視点でいいますと，そのように人が削減していけば，例えば 10%だとぎりぎり見えるかなとか，もちろん半減すれば非常にはっきりと分かって，それが実現できたかどうか評価できる，検証できるというようになっていくと考えております。

その開発体制ですけれども，この三者が共同でやっております。JAXA，これは言うまでもなく文科省が背後にいてこれを支えています。環境省は JAXA に対してセンサー開発の資金，あるいは環境研に対してデータ解析の資金提供を行い，JAXA はメーンにセンサー開発と運用を担当します。環境研がそのデータを処理して，先ほどから言っているような二酸化炭素の収支，どこでどのくらい出てどうなっているという解析をする。これらのデータは環境省にも利用されますし，あるいは世界全体の気候変動の予測等々につながっていく重要なデータを提供していくだろうと思っています。

JAXA と環境研の二つはつくばにありまして，これが中心になって動いているわけです。

現在どういう段階かといいますと，センサーをいろいろ考えて，試作して，部品のレベルでテストしました。それを全部組み立てるという段階に現在差し掛かっているところです。組み立てたところで性能や環境試験，振動や音響試験などをやって，温度が下がった場合大丈夫かとか，そういう試験を今やっているところです。そしてそれを衛星に搭載して打ち上げて運用する，これが JAXA の仕事です。今，ちょうど中間点ぐらいで，ここまでの部分で 3〜4 年という時間がかかったわけですが，現在はここに差し掛かって，あと 1 年でここに行くというわけです。

このセンサーが果たしてきちんと作動するかということを筑波山の上で実験しました。衛星は非常に高いところにあって地上を見るのですが，そのシミュレーションを筑波山山頂におきまして地上の反射光，散乱光を見る実験を行ったわけです。その結果，装置としてはきちんと動くのだということを確認しました。

浜崎プロマネは，これを使ってつくばの削減の効果は見えないだろうかという話をしていまして，私もエスティメーションをしてみたのですが，これはちょっと難しい。しかしながら，GOSAT のデータを検証するための二酸化炭素センサーを別途開発しているのですが，非常に小さい 15 cm ぐらいの薄いもので，非常に安く作れます。今，矢崎産業と共同開発しています。これを GOSAT プロジェクトでは風船（気球）

に付けて成層圏まで上げることを考えておりまして，今のところ測定精度は0.2 ppm ぐらいあります。これを使ってつくばでモニタリングしてはどうかと考えています。つくばのいろいろな小学校などにたくさん置いて測ってみると面白いのではないでしょうか。

それを思い付いたのは何かというと，現在，名古屋市で二酸化炭素をいろいろな場所で測定しています。道路際もあれば公園などもあるのですが，それを全部平均化すると，リモート（対照）の場所は（岩手県大船渡市）綾里というところの値で，まんの浦でもほとんど同じ値です。それに対して名古屋市内は常に25 ppm ぐらい高いのです。つまり，われわれの活動に伴い排出されたものがその辺りに漂っているから，このくらいの下駄を履くわけです。しかも，ちょっと見ると例えば暖冬だった年にはちょっと低いとか，そのようなことも出ています。

これをつくばでやれば，対照とつくば市内値が近づけば近づくだけ，排出が少なくなっていることになります。ですから，例えばこのプロジェクトの中で，先ほどのセンサーは一つ10 万円ぐらいのものですから，たくさん置いて継続的にモニタリングしていくと，削減した結果というのがビジュアルに分かる。そうでなければ結局，統計の数字が並んで幾らというだけなので，やはり市民が一緒に参加していく，企業の方々もそういうのに参加していくときに，こういったビジュアルに見えるというのが非常にいいことではないかと思います。

まとめますと，温室効果ガスの観測というのは炭素収支や将来の気候を予想する上で非常に重要である。しかし，観測点が少ない。従って，GOSAT 衛星をつくばの研究者・技術者が世界に先駆けてやることになった。これは大変なチャレンジです。難しいところがたくさんあります。

それがうまく成功するかどうかは，あと1 年半後ぐらいのところの楽しみなのですが，その技術をこのつくば 3E プロジェクトに何か貢献できるかと考えたときに，こういった観測もあるのではないかということで，私たち GOSAT プロジェクトをやっております者もこのプロジェクトにぜひとも協力させていただきたいと思っております。

（原沢）　どうもありがとうございました。

ちょっと時間も押しているのですが，短い質問であれば1 問だけお受けしたいと思いますが，どうでしょうか。ただ今のご講演に対しましてコメント・ご質問はございますか。よろしいですか。

では，井上先生，どうもありがとうございました。

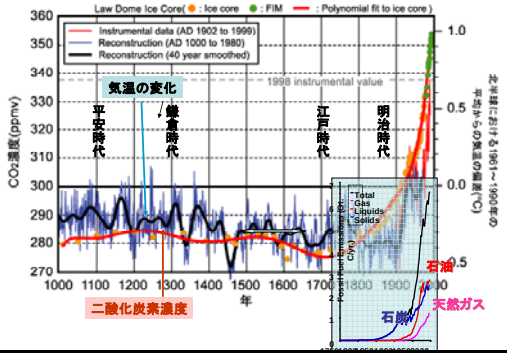
第1回つくば3Eフォーラム会議
地球温暖化とエネルギー資源
1. 地球温暖化への取り組み

地球環境観測：GOSATの取り組み

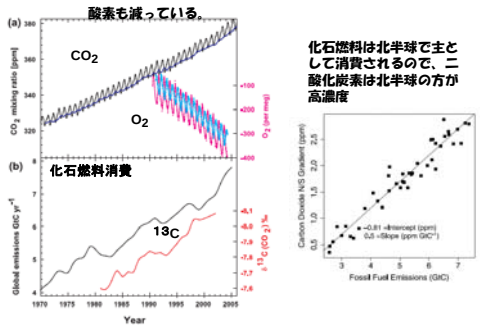
名古屋大学大学院　井上　元
JAXA　浜崎　敬

12月15日 (土曜日), 16日(日曜日)

二酸化炭素の急激な増加と化石燃料消費量

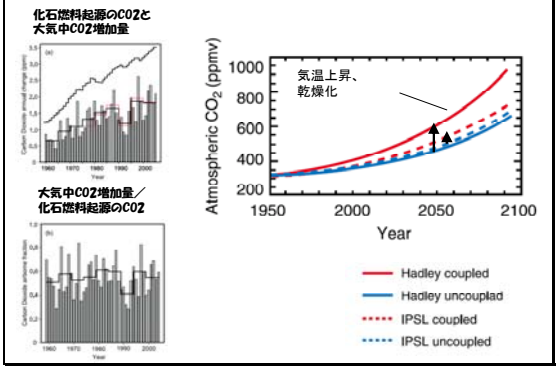


長期モニタリングの結果から

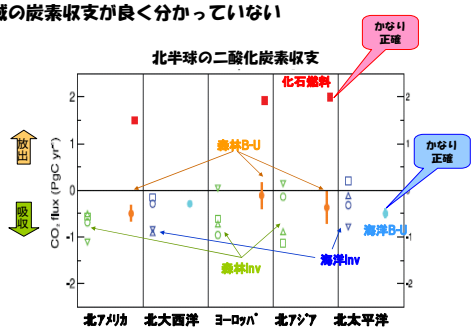


化石燃料には^{13}Cが少なく含まれている。

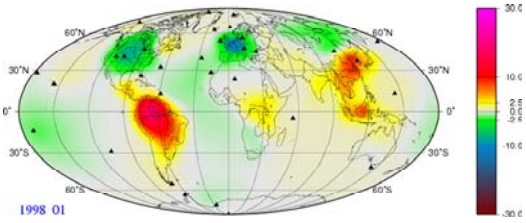
気候－炭素循環フィードバックの不確実性



陸域の炭素収支が良く分かっていない

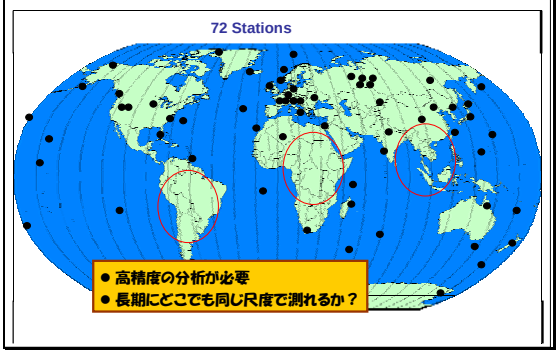


二酸化炭素の吸収・放出の分布とその変動

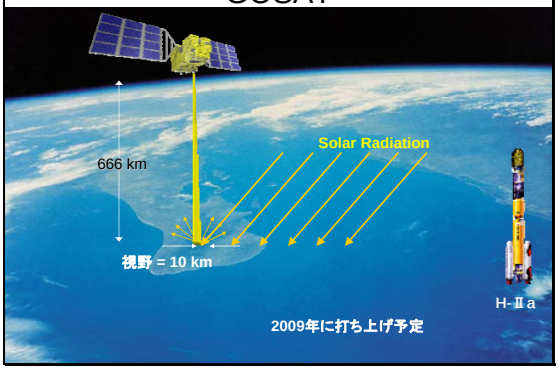


▲ が使用したデータ点。データ点が少ないので精度や分解能が不足

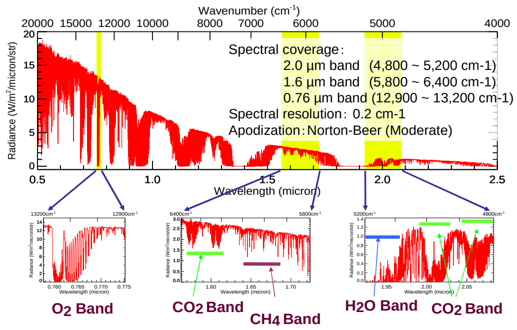
Global View Ground CO2 Network



GOSAT

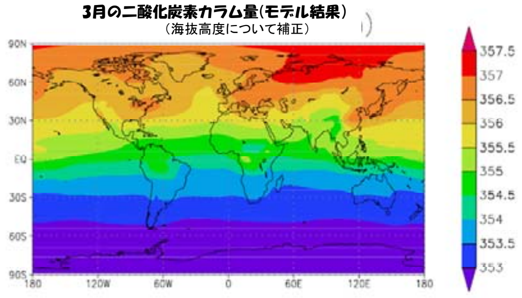


近赤外スペクトルと測定できる分子



二酸化炭素のカラム量は空間的に違いが小さい

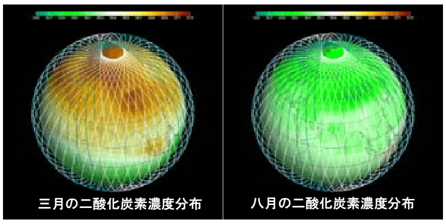
3月の二酸化炭素カラム量(モデル結果)
（海抜高度について補正）



Simulation結果　Maksyutov

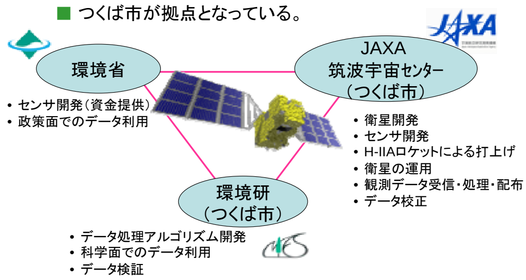
衛星観測は本当に役立つのか？

- 1ppm（約0.3%)の精度で二酸化炭素濃度を算出したい。
- 二酸化炭素の吸収排出が３ｔC/ha/yrの精度で推定可能に



GOSAT開発利用体制

- JAXA、環境省、国立環境研の共同プロジェクト
- つくば市が拠点となっている。



GOSATの開発

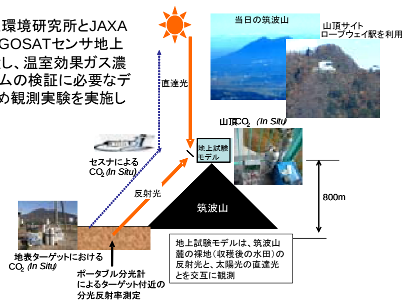
- GOSATは現在、宇宙航空研究開発機構 筑波宇宙センターにて、フライトモデルの組立を実施中。
- 今後、打上げ時や宇宙空間での正常な動作を確認するための、振動試験、音響試験、熱真空試験等を実施する。
- 試験後、筑波宇宙センターから種子島宇宙センターに輸送され、打ち上げられる。

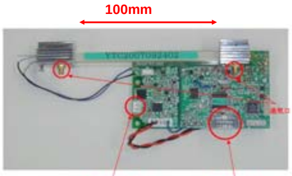
フライトモデルの組立状況(11月19日、筑波宇宙センター総合環境試験棟にて)

衛星開発の流れ

地上試験モデルを用いた観測実験

平成17年に、国立環境研究所とJAXA共同で、筑波山にGOSATセンサ地上試験モデルを設置し、温室効果ガス濃度推定アルゴリズムの検証に必要なデータを取得するため観測実験を実施した。



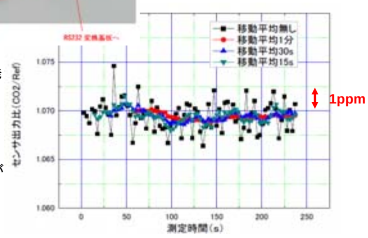


つくば市でも多地点でモニタリングしては？

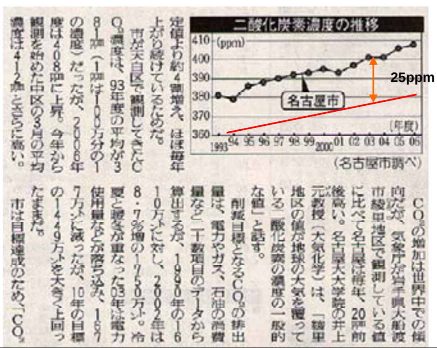
GOSATの検証用に矢崎産業と名古屋大学が共同開発した安価で小型のCO2センサー
（気球でゾンデ観測を行う）

つくば市内の多地点に設置しモニターすると削減効果が確認できる。

CO2 センサー＋太陽電池
＋携帯電話



名古屋市の二酸化炭素濃度は全球平均に比べ25ppm高い



定値より約4割増え、ほぼ毎年上がり続けているためだ。
市が天白区で観測してきたCO2濃度は、93年度の平均が381ppm（1ppmは100万分の1の濃度）だったが、2006年度は408ppmに上昇。今年から観測を始めた中区の3月の平均濃度は412ppmとさらに高い。
CO2の増加は世界中での傾向だが、気象庁が岩手県大船渡市綾里地区で観測している値に比べて名古屋は毎年、20ppm前後高い。名古屋大学院の井上元教授（大気化学）は、「綾里地区の値が地球の大気を覆っている二酸化炭素の濃度の一般的な値」と話す。
削減目標となるCO2の排出量は、電力やガス、石油の消費量など二十数項目のデータから算出する方、1990年の1610万トンに対し、2002年は8・7%増の1750万トン。冷夏と暖冬が重なった03年は電力使用量などが落ち込み、1677万トンに減ったが、10年の目標の1449万トンを大きく上回ったままだ。
市は目標達成のため、「CO2

まとめ

●温室効果ガスの観測は、
　　現在の炭素収支の理解
　　将来の気候変化予測　　のために重要である。
●しかし、その理解は観測点が少なく、空白域がある問題がある。

●GOSAT衛星は、つくばの研究者・技術者が世界に先駆けて二酸化炭素とメタンを高密度・高精度で観測する画期的なものである。

●つくばでの排出削減までは分からないが、GOSATから派生した技術で協力する用意がある。

「地球温暖化の影響と適応」

原沢 英夫
（独）国立環境研究所 社会環境システム研究領域

（原沢） 国立環境研究所の原沢です。あらためて講演者としてごあいさついたします。今日は「地球温暖化の影響と適応」ということで，先ほどの三村先生のお話を補足する形でお話ししたいと思います。あと，時間もちょっと調整しないといけないということがありますので。

これも先ほどIPCCのご紹介があった通りです。

こちらは昨日IPCCから送られてきた写真をご紹介します。IPCCは12月10日にノーベル平和賞を受賞したということで，オスロで受賞式がありました。IPCCからは25人が出席できるということで，現在の議長，WGの共同議長だけでなく，第三次報告時のワトソン議長なども出席し，日本からはTFIの共同議長の平石さんが出席しました。

写真の下は第2作業部会で，影響・適応を扱っている共同議長，イギリスのパリー先生で，来年の4月にはIPCCの第4次報告書の宣伝も兼ねて日本で科学シンポジウムをやりたいという計画がありまして，三村先生を中心に企画しております。

第1作業部会のいわゆる自然科学的な根拠については話があった通りでありまして，1000ページに及ぶ報告書を10にまとめたのがこの表です。

影響面ではやはり，過去100年で0.74℃地球の平均気温が上がっている，とか，どんなシナリオによるかも関係するのですが，今後21世紀末までに6.4℃まで上がる，あるいは2030年までは10年当たり0.2℃は，どうしても気温が上がってしまう。

これは全球の平均気温のグラフでありまして，この紫の線が先ほどご紹介した，100年で0.74℃，50年ではさらに傾きが厳しくなって，最近の25年ではさらにまた厳しくなっているということで，どうも温暖化が加速しているという話があります。二酸化炭素の排出量も増えているとともに，地球の気候の持っているフィードバックが効き始めたのではないか。氷が解けて反射率が減っていることなど、今後はフィードバックの研究が非常に重要になってくるし，その中で影響の研究もまた重要になってくるのではないかと思います。

こちらは，北極の氷が9月に一番面積が小さくなるという時期ですが，79年から2003年でかなり減っているということで，これも9月の時点の氷の量が1979年から2000年の平均に比べて39%減少しているという報告がつい2〜3日前に出ました。こういった地球の異変が起こりつつあるということです。

影響関係でショッキングなことが幾つかありまして，その一つが2003年のヨーロッパの熱波です。ヨーロッパ全体で3万5000人以上の方が亡くなって，フランスでは1万4800人の方が亡くなったということです。フランスの日中の最高気温と死者数の推移です。ある日に35℃を超えるような，日本でいうと猛暑日が発生して，それが十日ぐらい続いているということで，猛暑日が起きた後にすぐ死亡者数がだんだん増えてまいりまして，トータルで1万4800人の方が亡くなったという状況があったわけです。

温暖化が進むと熱波が特に南ヨーロッパで起きるということが2001年の第3次報告書に書いてあったわけですが，それが今起きて，かつ規模が非常に大きかったということで，影響の出方がわれわれの予想以上に大きな場合もあり得るということがいえるかと思います。

もう一つ，熱波の後にかなり乾燥して，森林の火災もあったりしたので，5億tの炭素が大気中に放出されたという，これも研究報告があります。この5億tの炭素がどれくらいの量かといいますと，大体4年間でヨーロッパ全体の植生が吸収した量に相当するぐらいの大きな量だと推定されています。 熱波で人が亡くなって，さらに生態系にも影響を与える，こういった連鎖が影響の面ではあり得るということです。

もう一つはハリケーン・カトリーナです。こちらも1300人以上の方が亡くなって，2年たった今もニューオーリンズの市は正常になっていない，復活できていないということもあります。また，温暖化が進むとこういったハリケーンや台風も強くなるということが分かってきています。

ただ，ハリケーン・カトリーナと温暖化が本当に関係あるかどうかについてはまだ中程度の確からしさということですが，今後また研究が進むにつれて，科学的な確かさも増していくのではないかと考えております。

将来，つくばがどれくらいの気温があるかということで，世界で気候モデルを作っている多くのグループが多あり、17 のモデルで計算をしますと，いろいろな想定があるのですが，この日本全体と関東では，2030 年には1℃弱ぐらいは上がるという感じです。ですから，2030 年で排出量半減のときには，1℃ぐらい上がるような状況も想定して，削減策だけでなくて，都市という面からは適応策のようなものもやはり一緒に考えていく必要があるかなと。そういったところで，環境研の影響のグループはもしかすると貢献できるかなということです。

私も IPCC の報告書を書く役目を仰せ付かったのですが，総会に出る機会がありました。2007 年 4 月 2 日から 4 日間の会期で，ブリュッセルで総会がありました。IPCC は政府間パネルですから，各国の政府代表が来て議論するわけですが，研究者がまとめた報告書を政策決定者が議論するということで，承認された報告書は科学者と政策決定者が承認したということで，非常に重たい報告書になるわけです。ただ，4 日の会期が 5 日間に延びまして，いろいろなポイントで議論があったということです。執筆者が後ろに陣取っていまして，質問されるとそれに対して答えるために前に座って答えるというプロセスとなります。

影響の報告書も多分1000 ページぐらいになると思うのですが，それを七つぐらいの視点にまとめております。一つは，世界中で温暖化の影響が出ているという話です。今後，温暖化が進むとどんな影響が出るかいろいろな研究がありますので，それについては気温上昇，何度上がったらどんな影響が出るかというのを網羅的にまとめている。あとは異常気象と温暖化の話，先ほどご紹介した熱波やハリケーンですね。あと，海洋の酸性化ですとか，影響低減のための適応策については先ほどご紹介があったところです。適応策にしろ削減策にしろ，コストが掛かるので，それをいかにうまく組み合わせていくかという話。さらに，既に温暖化の影響は途上国だけではなくて先進国にも起きているということであれば，現在の問題としてとらえるという意味で，持続可能な開発と接点を持ってくるということで，今回の報告書では「温暖化と持続可能な開発」ということも議論されております。

これは先ほど既に見ていただいた図でありまして，具体的にどんなことが起きているかということです。

氷と雪の世界では北極の氷が解けるとか，あるいは高山では氷河湖ができて，それが崩壊して下流の村に影響を与えています。

水循環につきましては，川の水の流れ方が変わってくる。これまで冬に雪でたまっていた水資源が，降る雪が解けて雨になってしまうので，かなり早く流れだしてしまうということで，春先の水不足が実際に起きている。気温が上がって水温が上がりますと，水質も悪化するということが報告されております。

陸生生物への影響につきましては，これもわれわれが非常に実感していますように，桜の開花が早くなるとか，モミジの紅葉が遅くなるというような話が世界中で起きています。

日本でも最近，エチゼンクラゲがだんだん北上しているとかいろいろあるのですが，残念ながらまだ研究成果としてはまだありませんので，報告書には載っていないのですが，大西洋につきましては，海洋生物や水生生物がだんだん北上していることが研究事例としてありますので，そういったものはまとめられております。

これまで人間社会への影響というのは研究が非常に少なかったということと，検出という面でなかなか難しかったのですが，今回につきましては北半球の耕作時期の問題や，先ほど紹介した熱波による死亡，北極圏ではシロクマなど生態系への影響以外にもイヌイットという現地の人々の活動が阻害されているという話，さらに高山地域ですと山岳スポーツが影響を受けて，その地域の経済的な問題も出ています。こういった人間社会にも科学的な点から影響が出ているということが分かってきております。

今後，将来どうなるかということで，どういうことをやったかというのをお話ししたいと思います。将来の想定がいろいろありまして，それぞれについて計算するわけですが，今回の場合は1990 年ぐらいから

何度上がったらどんなことが起きるかを網羅的に調べまして，それの非常に重要なものをここに映しております。

この1や2や3というのは先ほどご紹介したように1990年をスタートにしていますが，よくEUがいっている 2℃未満というのは，産業革命前からなのです。ですから，いつから測るかというのは非常に重要なポイントでありまして，IPCCはこれまで1990年をスタートにしてきましたので，産業革命前からに比べますと0.5℃をプラスしなさいというのが注に書いてあります。ですから，この2の場合は産業革命前からですと2.5℃ということになります。

幾つかご紹介しますと，例えばサンゴ礁に注目していただきますと，ちょっとした温暖化でももう白化が起こって，1℃を超えるとほとんどのサンゴ礁が白化するとか，1.5℃を超えますと最大30%の種の絶滅リスクが増大するという知見が，水，生態系，食料，沿岸域，健康の分野でまとめられるということです。

一番最後にご紹介しようと思ったのですが，だったら何度ぐらいが危ないのかということで，この報告書では2～3℃を超えて温暖化すると，総じて悪影響が出ますというメッセージになっています。といいますのは，水や食料については，特に高緯度地域は暖かくなったり水が多くなったりするのでいい影響もあるということなのですが，そういう影響も2～3℃を超えると悪影響に転ずるということになっております。

細かな話は抜きにしまして，例えば世界中でこういうことが主な影響として取り上げられているということで，報告書に書いてある，アジア，アフリカなどでの主な影響をまとめたものです。途上国についてはほぼすべての分野に影響が出てくるということなのですが，一方，ヨーロッパも北アメリカなど，先進国も影響が出るということです。

今回，報告書の中に「先進国でさえも温暖化の影響を受けつつある」という文章が入っていたのですが，途上国の執筆者から，温暖化の影響を一番に受けるのは途上国であるという主張もあり、最後は削除されました。ということで，温暖化の現状や将来予測を考えますと，途上国・先進国，全世界がこういう影響を受けることになります。

将来の対応ということで，これも先ほどお話がありましたが，環境問題の本質的なところは，やはり発生源を抑えるということですから，温室効果ガスを減らすということがあります。それを緩和策（mitigation）と呼んでおりますが，もう温暖化の影響が出ていて，今後もさらに気温が上がることはある程度避けられないという状況ですので，出てくる影響を下げる努力，適応策が非常に必要になってきたということになります。

2001年の第3次報告書の場合，適応策というのは，削減策・緩和策の補完的な対策という位置付けだったのですが，その後にアメリカでハリケーン・カトリーナが起きたり，ヨーロッパの熱波が起きたりということがあったものですから，やはり温暖化の影響に対してどうやって対応していくか，適応策が非常に重要になってきたということです。ただ，適応策だけでどんどん上がる気温に対策が取れるかというと，そういうことでもなくて，結局，あまり気温が上がってしまうと適応策もあまり効力がないということですので，まず削減策でやはり気温上昇を抑えて，それでも取り切れない影響を適応策でやっていくということです。適応策と緩和策をうまく組み合わせていくというのがIPCCの中での議論です。

たまたま事例として，これは日本政府がモルジブの堤防を造りました。モルジブではマレという本島があるのですが，1987年に非常に大きなサイクロンが発生しまして，島の大半が洗われるという状況があってかなり被害が出た後に，高潮や高波に対する堤防を造ったということです。これが非常に役立っておりまして，津波のときもかなり影響が少なかったという話と，今後海面上昇しますと，この堤防が適応策の一つとして非常に有効であるということで，IPCCの報告書でも，いわゆる優良事例（good practice）という形で紹介されております。

日本で適応策といいますと，まだなじみがないのですが，例えば日最高気温，これは東京の事例なども入っているのですが，熱中症のため救急車で病院へ搬送される人がいるということで，気温との関係を見ますと30℃を超すと熱中症患者が出てまいりまして，35℃の猛暑日になるとかなり増えるということです。東京近辺の都市であれば，多少の差はありますけれども同じような傾向があります。

このような状況に現在もなっているということですから，熱波への適応策を打つべきではないかということで，こちらに挙げてあるいろいろなメニューは，2003年ヨーロッパの熱波で多くの方が亡くなった翌

年にWHOが適応策を各国で作りなさいということで挙げられたものです。

行動面での適応策は，水分の補給だけではなくて，建物や都市そのものを変えていく必要があるのではないかということになっています。ですから，日本ではまだ適応策にしろ，重要性が最近やっと認識されつつあるのですが，今年に至っては，多くの人が熱中症で倒れて病院に運ばれたとか，あるいは報道では多くの方が亡くなったという状況で，東京にしろ，もしかするとつくばもこういった対策を今から打って，2030年を迎える必要も出てきているのではないかと思います。

最後ですが，影響の報告書は先ほどご紹介した，将来何度上がったらどんなことが起きるかというようなところをまとめまして，気温の上昇が2～3℃以上になると悪影響が卓越するので，逆に言うと，科学的にはここまでの表現なのですが，2～3℃以上に温暖化を上げてしまってはいけないというメッセージが入っているわけです。

実際，この2～3℃ということですが，たまたま私は総会に出たと先ほどご報告しましたが，その中での議論は，最初研究者が出した報告書の原案は2℃だったのです。それが議論の結果，2～3℃ということで少し上の方に伸びてしまいました。影響研究者としてはやはり2℃，産業革命前からですと2.5℃ぐらいに抑えておかないと，やはり悪影響が卓越する世界になってしまうのではないかということになります。ただ，対策にはお金も掛かったりしますし，COP13もなかなか難しいという状況ですので，今後その影響が出てくる中で，研究面でも対策面でも非常に重要な時期になってくるのではないかと思います。

2030年というのは，ある程度こういった温暖化の科学を踏まえた対策が粛々とやられているような世界を創造できれば，やはり温暖化は対応できていくのではないかと思いますが，ちょっと今の状態ではなかなか難しい。うまく克服していくのがこの3Eだと思いますので，影響研究の結果などもうまく使っていただければと思います。

ということで，私の講演はこれで終わりにしたいと思います。どうもご清聴ありがとうございました。

（原沢）　コメント・質問はございますでしょうか。すみません，ちょっと早口でしゃべったものですから。普通は90分ぐらいもらうのですが，今日は15分ということですみません。

第1回つくば3Eフォーラム

地球温暖化の影響と適応

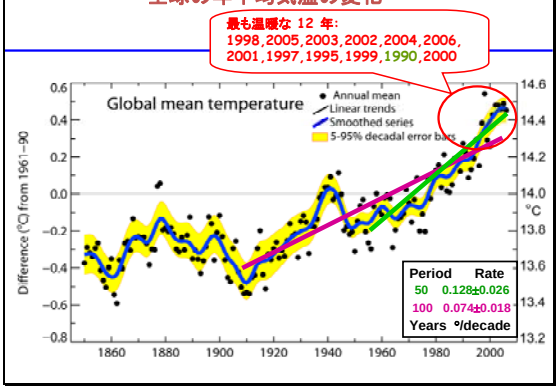
国立環境研究所　原沢英夫

WG1 第4次評価報告書(自然科学的根拠)の要点

1　温暖化の原因は人為起源の温室効果ガスとほぼ断定
2　2006年までの12年間は最も高い気温
3　過去100年間で0．74℃気温上昇
4　21世紀末で1．1～6．4℃気温上昇
5　海面上昇18～59cm
6　2030年までは10年あたり0．2℃昇温
7　熱帯低気圧が強まる
8　21世紀後半で、北極海氷消滅
9　海洋の酸性化
10　海洋、陸地とも二酸化炭素の取り込み減少

2007年2月2日に公表

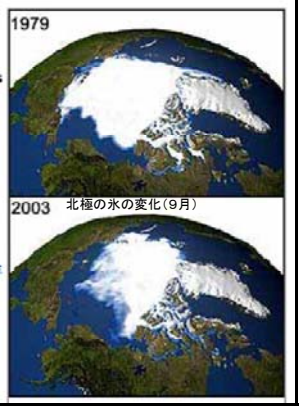
全球の年平均気温の変化



北極の氷が溶けている

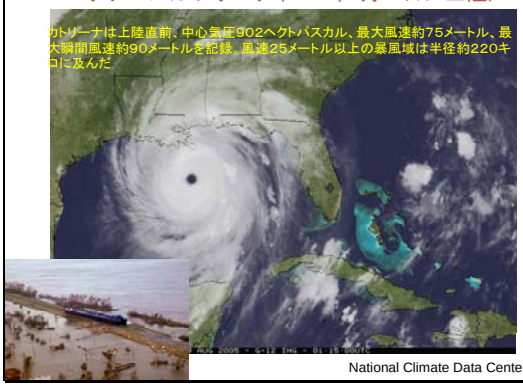
・地球の平均気温
　ここ100年で0．74℃上昇
・日本の平均気温
　ここ100年で1．0℃上昇
　(東京は3℃)
・アラスカ、カナダ西部
　ここ50年で3～4℃上昇
　・氷河や海水の融解
　・積雪期間が短縮
　・永久凍土の融解

・北極圏の海氷が最も少なくなる9月、近年観測される氷は、1979年から2000年までの平均的な量と比較すると、39%減少している(2007年9月)。



出典:NASA

ハリケーンカトリーナ(2005年8月29日に上陸)



National Climate Data Center

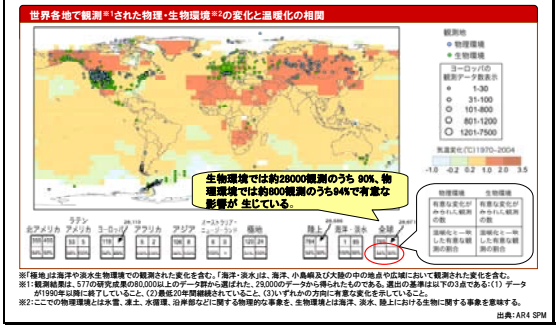
IPCC第2作業部会総会の様子(ブリュッセル、2007年4月2日～4月6日)

IPCC WG2 AR4 影響、適応、脆弱性

①温暖化の影響が世界中で顕在化・深刻化
　(温暖化影響の検出)
②気温上昇と影響・リスクの知見が充実
　(鍵となる脆弱性とリスク)
③異常気象と温暖化(欧州熱波、ハリケーン)
④海洋の酸性化など新たな知見
⑤影響低減のための適応策
⑥適応策と削減策(コストと被害)
⑦温暖化と持続可能な開発

温暖化影響に関する科学的知見の向上<現状>

・全ての大陸とほとんどの海洋において、多くの自然環境が、地域的な気候の変化、特に気温の上昇により、今まさに影響を受けている。



氷雪圏への影響 <現状>

確信度
■非常に高い確信度
●高い確信度
◆中程度の確信度

●気候変化が氷雪圏の自然に影響を与えている。

<影響の具体例>
- 氷河湖の拡大や数の増加。
- 永久凍土地域での地盤の不安定化、山岳での岩雪崩。
- 北極及び南極のいくつかの生態系の変化(海氷の生物群集や上位捕食者を含む)。

水循環への影響 <現状>

●水循環は、世界中で気候変化の影響を受けている。

<影響の具体例>
- 氷河や雪解け水が注ぐ多くの河川で、流量増加と春先の流量ピークの早期化。
- 多くの地域における湖沼や河川の水温上昇と、それに伴う水の循環や水質への影響。

陸生生物への影響 <現状>

■近年の温暖化は、陸上生態系に強い影響を与えている。

<影響の具体例>
- 春季の現象(例えば、植物の葉が開く時期、鳥の渡りや産卵行動)の早期化。
- 動植物の生息域の、極地または高地への移動。

海洋生物、水生生物への影響 <現状>

●海洋及び淡水の生物環境は、水温上昇や、氷の被覆、塩分濃度、溶存酸素濃度、及び水の循環の変化に関連している。

<影響の具体例>
- 高緯度海洋における藻類、プランクトン及び魚群の生息域の移動と存在量の変化。
- 高緯度・高地の湖沼における藻類や動物プランクトン発生量の増加。
- 河川における魚類の回遊時期の早　まりと生息域の変化。

人間社会への影響 <現状>

・地域レベルの気温上昇が自然環境及び人間社会に及ぼす、その他の影響が現れつつある。ただし、その多くは、人間の適応能力や気候変化以外の要因のために、検出が難しい。

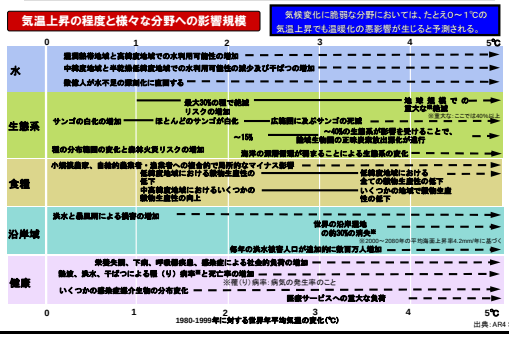
◆<影響の具体例>

気温上昇の影響に関して、以下の点が報告されている。
- **北半球の高緯度地域での農業や林業**
  耕作時期の早期化、火災や害虫による森林かく乱の変質
- **健康被害**
  ヨーロッパでの熱波による死亡、媒介生による感染症リスク、北半球高・中緯度地域における、アレルギー源となる花粉など
- **北極**
  北極圏の人間活動(例えば、氷雪上での狩猟や移動)
- **低標高山岳地帯**
  山岳スポーツなどの人間活動

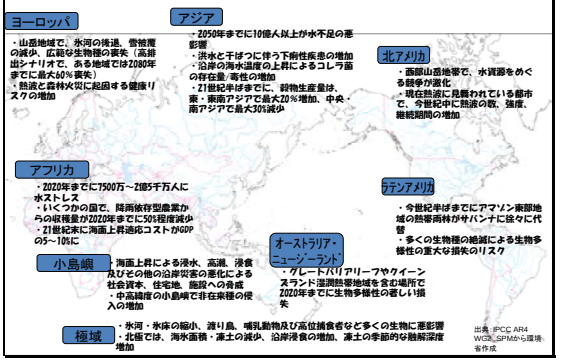
温暖化影響の将来予測

予測される将来の影響

○ IPCCでは、１９８０年から１９９９年までに比べ、２１世紀末（２０９０年から２０９９年）の平均気温上昇は**１．１～６．４℃**と予測



温暖化の各地域への影響



将来への対応

適応策と緩和策の双方の重要性

- 適応策と緩和策を組み合わせることにより、気候変化に伴うリスクをさらに低減することができる。
- 最も厳しい緩和努力でも、今後数十年間は、気候変化のさらなる影響を回避できない。適応は、特に短期的な影響への対処において不可欠となる。
- 気候変化が緩和されない場合、長期的には、自然環境、人間社会の適応能力の限界を超える。

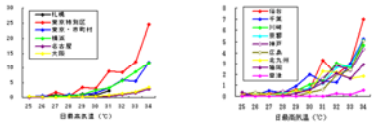
出典：AR4　SPM

出典：JICA (2001) Annual Evaluation Report.

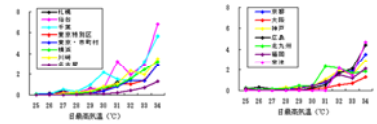
日最高気温と熱中症患者発生数

・日最高気温が29℃、30℃あたりから患者の発生が見られ、33℃、34℃を越えるあたりから急激に増加する様子が観察された（図A、2005年5月から9月）。
・地域により人口あたりの熱中症患者発生率にかなりの違いが見られた（図B）。

図A　地域別・日最高気温別患者発生率（人／日）



図B　地域別・日最高気温別患者発生率（人／日／100万人）



小野、2006:熱中症予防ネットワーク、2005年度報告書、http://www.nies.go.jp/health/HeatStroke/

熱波への適応策の例

・行政面の適応策
　　建物基準の変更
　　環境教育
　　天気予報/警報システム
・技術・工学面の適応策
　　建物の機密性強化（断熱）、緑化・水辺創出
　　土地利用や都市計画（ﾋｰﾄｱｲﾗﾝﾄﾞの緩和）
　　空調設備
・文化や行動面の適応策
　　水分の補給
　　ピーク気温時の仕事・運動を避ける
　　衣服の工夫
　　昼寝、昼休み
　　空調設備
　　暑熱に関する情報提供

■ 都市や建物での適応策（文献25より作成）

WHO報告書による

気温2～3℃以上でどの地域も恩恵が減るか損失が増える

- **将来の気候変化の影響は、地域によってまちまちである。**
- **世界平均気温の上昇が1990年レベルから1～3℃未満である場合、便益とコストが地域・分野で混在する。**
- **気温の上昇が約2～3℃以上である場合には、すべての地域は正味の便益の減少か正味のコストの増加のいずれかを被る可能性が非常に高い。**
- **これらの報告は「4℃の温暖化が起こると、途上国はより多くのパーセントの損失を経験すると予想される一方、世界平均損失はGDPの1～5%となり得るであろう」との第3次評価の結論を再認識するもの。ただし、世界で合算した数値は、多くの定量化できない影響を含めることができないため、過小評価である可能性が非常に高い。**

出典：AR4 SPM

「低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発」

甲斐沼 美紀子
（独）国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化対策評価研究室

（原沢） 最後は「低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発」ということで，国立環境研究所の甲斐沼さんにお願いいたします。
では，甲斐沼さん，よろしくお願いします。

どうもご紹介ありがとうございます。国立環境研究所の甲斐沼です。「低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発」ということで，どちらかというと今度は対策側といいますか，IPCC ですとワーキンググループⅢに関係するところを少し述べさせていただきます。特に私どもの研究所で行っている研究を中心にご紹介させていただきます。
今日のお話ですけれども，今 COP13 で京都議定書の次をどうするか，次のステップ，ロードマップをどうするかということが話し合われていますけれども，京都議定書というのは第一歩で，先ほどからもありますように，特につくばでも 2030 年までに 50％削減が目標なので，継続的に削減する社会を築いてく必要があります。
私どもの方では CO2 排出を大幅に削減した社会を低炭素社会とよんでおり，低炭素社会の実現に向けてというプロジェクトをやっております。低炭素社会というのは，生活に必要なサービスは発展させながらも，投入するエネルギーはできるだけ少なく，できるだけ低炭素なエネルギーを利用する社会と定義づけております。
低炭素社会実現のためには，今の社会を前提とした中ではなかなか低炭素のところには進まないということで，長期的なビジョンを持って，例えば 2050 年の方から，先ほどバックキャストの話がありましたけれども，バックキャストで分析しています。低炭素社会に至るロードマップを将来のビジョンに向けてどのように作っていったらいいかを検討しています。低炭素社会を展開していくためには，産業構造の転換ですとか，国土交通におけるインフラ投資を今から適切に行う必要があるということと，さらに低炭素技術の導入を加速していく必要があるということをご紹介させていただきたいと思います。
目標設定のところでの気温上昇の基準ですが，IPCC のワーキンググループⅢは産業革命以前を中心に何度上昇したかを用いています。ワーキンググループⅡでは、1990 年前後の平均からの上昇値を用いています。第４次評価報告書のドラフトでは、統一した方がいいのではないかというコメントも頂いていましたけれども，今日の私の話は，産業革命以前からの 2℃という話でございます。
先ほどの IPCC のワーキンググループⅡの表では、2.5～3.5℃の辺りになると世界的にかなり影響が起きて，そこまでには下げなければいけないということですけれども，2℃になりましてもかなりの影響は，もちろんプラスの影響もある程度見られることがありますが，全体としては非常に厳しい状況ですので，目標設定としまして、気温上昇は 2℃以下に抑えるということを私どものプロジェクトでは念頭に置いてやっております。
2℃以下に抑えるというときに，ではどのくらいの CO2 排出量に抑えていかなければいけないかということで，大体 2050 年に 50％ぐらい削減していかなければいけないということを最初の目標設定に置いております。
世界で 50％削減ということで，日本はそれ以上の削減，一人当たり排出量を同じにするとなると，80％以上の削減が求められてきます。欧州でも英国の 60％削減，ドイツで 80％削減，フランスで 75％削減ということも検討されております。
これは先ほど三村先生からもご紹介がありましたが，産業革命からの気温上昇を 2℃程度に抑えようとすると，これは IPCC の第４次報告書のワーキンググループⅢの表ですが，大体 50％程度 CO2 の排出量を

抑えていかなければいけないということです。

では，生活の質を落とさずにCO2を減らすことは実際に可能なのであろうかということを中心に検討しているのですが，CO2排出量というのは，エネルギー当たりのCO2排出量，活動量当たりどのくらいエネルギーを使うか，人口当たりどのくらいの活動量かというようなことで決まってきます。

各要素でどういう対策が考えられるかということで，まずエネルギー当たりのCO2排出量を減らすということは，「炭素集約度の改善」と呼んでおりますが，CO2排出量の少ないエネルギーの利用割合を増やすということで実現可能です。太陽光，風力，バイオマス，水素，原子力などのエネルギー転換部門での削減や，CO2として排出されてものを炭素隔離貯留等で削減していくことが考えられます。

活動量当たりのエネルギー消費量ですと，「エネルギー集約度の改善」と呼んでおりますが，少ないエネルギーで価値の高いサービスを生み出すということで，省エネ機器を普及させる，低公害車を導入する，都市交通システム・産業構造の転換等といった対策が考えられます。

人口当たりの活動量ですが，「一人当たり活動量の見直し」ということが問題となってきます。一体豊かな生活とは何であろうかということです。冷房を例にとってみますと，冷房のためのエネルギーを多く使うのか，あるいは暑いときに冷房をあまり使わないような生活，ライフスタイルを考えていくのかで冷房需要は違ってきます。あるいは物の消費に頼らない楽しさの発見であるとか，どういう生活を送っていくかというのが，実はCO2排出量の削減に大きく効いてきます。

私どもは将来のシナリオについて，シナリオA，シナリオBと呼んでいる２つのものを考えています。今日ご紹介するシナリオは，実は70%削減を目標にしており，過去のトレンドから見るとその実現にはかなり厳しいものがあります。エネルギー集約度と炭素集約度を過去のトレンドとしてどのくらい改善してきたかというと，年率2%ぐらいですが，今後50年間でCO2の排出量を70%削減していくためには大幅な効率改善が必要となってきます。ほかのイギリス，フランス，ドイツ等のシナリオでも，3%以上，あるいは4%程度の毎年のエネルギー効率改善が必要になってきます。これが実現可能かどうかについて，いろいろな場合を想定して検討しております。

過去のトレンドよりもかなり厳しい削減が必要となるため，現状からの対策を考えるというよりも，むしろ低炭素社会というのをまずイメージして，目標とすべき社会を想定し，そこからバックキャストして現状からの対策を考えるという検討を行っております。

この研究は環境省からの研究費を頂いておりまして，脱温暖化2050研究プロジェクトと呼んでいる研究の中で推進しております。この中ではまず，気候の安定化に向けた日本の削減目標を設定して，2050年の低炭素社会の可能性を検討して，長期目標への到達の道筋の政策提言ということを考えております。

実は今日，外のポスターセッションのところで，われわれの研究成果も紹介したのですが，その中でわれわれは，2050年までにLow carbon Society（低炭素社会）を実現しようということで，エコバッグを作りまして，このエコバッグにLCS2050と書いてありまして，中に主要な研究成果を入れてお配りしております。まだお持ちでない方はぜひ持って帰って読んでいただければ非常にありがたいです。

また，いろいろなご意見がありますでしょうから，今日は時間がないということであれば，また後日でもいろいろご意見を聞かせてください。私どもは60人ぐらいの研究者とやっておりますが，やはり研究者のグループというのは考え方がある程度同じようなのかなというところもございまして，今集まっている研究グループよりも違った職業の方々のご意見を伺いたいということで，こういったエコバッグも活用して，研究成果を紹介しながら意見交換をやっております。先日のCOPでもサイドイベントを行い、意見交換をしました。

削減可能性を検討の手順ですが，まず社会を描写して，エネルギーサービス需要を同定して，需要を満たすオプションの選択によるエネルギー投入量を推計し，一次エネルギー供給の想定をし，エネルギー供給量可能量の推計をベースにして，エネルギー起源CO2排出量を算定しております。

描写例ですけれども，二つのシナリオを考えまして，ビジョンAと呼んでいますのは「活力，ドラえもん型の社会」，ビジョンBは「ゆとり，サツキとメイ型の社会」という形で検討しております。ビジョンAの方はGDP一人当たり2%の成長を見込んでおりますし，ビジョンBはGDP一人当たり1%成長という社会を描いています。

実際にどういう社会になるかというのは，想定しているのは一つの典型的な社会で，実際にはこういう都市もあればそうではないところもあるし，全部が全部こういった社会になるというわけではなくて，都市はコンパクトシティーを中心にしたような都市もできて，こういった組み合わせの形で実際には進んでいくかと思います。

その中では将来のいろいろな人口推移などを検討しています。また，住宅の中では，エネルギーサービスは必要なのだけれども，実はエネルギーサービスと呼んでおりますのは，快適な住空間ということで，必ずしもエネルギー自体を必要としているわけではありません。例えば断熱を強化することによって，エネルギー消費量自体は減らしていけるような対策もございます。

例えば低炭素社会における家庭のシナリオとしましては，太陽の恵みを生かした家づくりですとか，高効率の技術を導入して，エネルギー消費量自体を減らす。あるいは，いろいろな情報を提供することによって各人の行動が低炭素な行動に進んでいくというようなことが考えられます。

この中ではまた，経済・産業に関する叙述シナリオというのも検討しております。先ほどご紹介しましたように，シナリオ A の方では GDP 一人当り成長率 2%，シナリオ B では 1%ぐらいの成長率を見込んでおりまして，A では技術進歩が高い，シナリオ B では A ほど高くないというように，いろいろ想定しております。

また，将来の粗鋼生産量ですとか，セメント生産量というのがどういう形のトレンドになっていくかということも検討しております。

産業構造も全体的にサービス産業の方にシフトしていって，鉄鋼の生産量というのはどちらのシナリオも若干減っていきます。また，電気機械のところに関しては，A では増えていって B では少し減っていくというような推計になっております。

こういった対策を織り込むことで 70%の削減を可能にする社会を実現するためには，まずエネルギーサービス需要を 40～45%ぐらい減らす必要があります。即ち、産業部門，あるいは運輸部門等々でいろいろな対策を行うことによって，まずエネルギー需要を減らすとことを念頭に置きます。

エネルギー需要を減らした中で，さらに一次エネルギー消費量を減らす対策が必要です。

例えばシナリオ A と呼んでいる中では，エネルギー効率の改善によって，かなりエネルギーを減らす。あるいは炭素強度の改善と炭素隔離貯留も含めて CO2 排出量を全体の 70%削減した社会が描けるということを検討しております。

「低炭素化社会実現への誘導」ということで，早期の目標共有と総合施策確立，計画的実施が必要であり，今のままの高炭素排出インフラへの投資を継続しないために，早期に低炭素社会のイメージを共有して，転換に時間のかかる国土設計，都市構造，建築物，産業構造，技術開発等に関する長期戦略を立てて，計画的に技術・社会イノベーションを実現させる必要があるということです。

今日最初のご発表の中にもいろいろな流通戦略ですとか，いろいろな技術についてご紹介がありましたが，そういった技術を用いまして，低炭素社会を実現できるというような道筋を考えているところです。それにはやはり年率 3%あるいは 4%の技術効率改善が必要となってくるということで，黙っていてはなかなか実現できない。社会を構成する全員の協力が必要であるということで，いろいろな方が協力しながら実現していく必要があります。

今，つくばでは 2030 年までに 50%削減という目標を立てていらっしゃいますが，例えばデンマークのサムソ島では 10 年前に，CO2 排出量ゼロの島にしようということで，風力発電だとか，地域暖房は麦わら燃焼やウッドチップ，あるいは太陽熱温水で，大体電力の 100%自給，暖房エネルギーの 60%自給を達成していると報道されております。

こういった地域に根ざしたいろいろな方法が重要になってくると思いまして，例えば，つくばでは風力発電というのは，先ほど内山先生にお聞きしたところ，風の強度の面で，風力発電を維持していくような風はなかなか難しい。では，このつくばには一体どういう対策があるのだろうかということは，明日もパネルディスカッションでいろいろなお話が聞けると思うのですが，地域毎でそれぞれに適した対策の実行があってしかるべきだと思います。太陽光発電というのはつくばでもかなり有力な方法であるとのことです。地域に根ざしたいろいろな検討をしていただければ，私もつくばで仕事をしておりますので，ぜひで

きる範囲でご協力させていただければありがたいと思っています。
ご清聴どうもありがとうございました。

（原沢） どうもありがとうございました。
それではちょっと時間も過ぎていますが，短い質問であれば1問ぐらいお受けしたいと思いますが，いかがでしょうか。ご所属とお名前をよろしくお願いします。

（フロア2） はい。筑波大学の学生で，島田と申します。社会人の学生です。
1年ぐらい前にこの2050年のプロジェクトを知りまして，私は地域社会で商工会をやっているので，そこでその話をして，初めから地域の人はそういうことを知ってそのまま勉強していったらどうかということに一生懸命取り組んでいて，プロジェクトの内容も前に読んでいます。つくば市の場合，多分セメントなど，特に炭酸ガスの発生量の多い重化学工業は少ないので，70%の削減は可能だというのが2050年のプロジェクトの結論だと思ったのですが，そう考えると，2030年で50%というのは，もしかしたら意外と難しくないのではないかなというイメージを持っているのです。むしろ，継続的にやっていって，結果が表れていくうちにもっとより難しい課題，数値目標を挙げていったらいいのではないかと，いうイメージを持っているのですが，それに関してどう思われますか。

（甲斐沼） 今日ご紹介した70%よりもっと，80%，あるいはそれ以上の目標が達成できるのではないかということでしょうか。

（フロア2） いや，つくば市でやった場合に，つくば市の産業構造自体が重工業や化学工業は少ないので，意外と達成しやすい・・・，簡単ではないということは十分分かっているのですが，意外ともっと難しいところまで要求できるのではないか，期待できるのではないかということを。

（甲斐沼） 多分，この後のお話にもあるかと思うのですが，つくば市では実は電気をかなり使っていまして，つくばではつくば市の外で発電された電気を買っているわけなので，やはりつくばの中で実行できるというのはエネルギーサービス需要をどれだけ減らしていくか，例えばハイブリッドカーだとかが主体になってくるかと思います。つくばの場合どうしても車社会になっているので，一つにはもう少し公共交通ということもあるでしょうし，車自体を非常に低炭素の車に乗り換えるといった，個々の生活レベルの対策もあると思います。ただ，エネルギー供給の方をどこまで下げられるかというのは，多分この次のご講演でお話があると思います。電気をかなり使われているのですけれど，それはつくば以外で発電しているエネルギーを持ってきているわけですから，その発電の部門でどれだけ下げられるかというのが一つ大きな対策の可能性があると思うのですが，その辺との組み合わせでどこまで下げられるかというのはまたもう少し検討されていく必要があるのではないかなと思います。
50%以上の削減ができればいいと思うのですが，個人の努力とエネルギー供給での対策の兼ね合わせということになってくると思います。

（原沢） どうもありがとうございました。明日につながる非常にいい議論が始まったのですが，ちょっと時間が超過しておりますので，これで甲斐沼さんのご講演を終わりにしたいと思います。どうもありがとうございました。

低炭素社会の実現にむけたシナリオ開発

脱温暖化2050

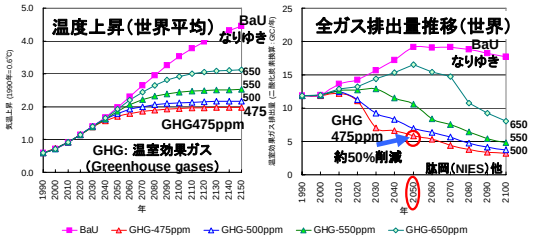
http://2050.nies.go.jp

甲斐沼美紀子（mikiko@nies.go.jp）（独）国立環境研究所

第1回つくば3Eフォーラム
2007年12月15日　筑波大学大学会館ホール

講演の要旨

1. 京都議定書は初めの一歩。気候安定化のためには、CO2を中心とする温室効果ガスを継続的に削減する社会（低炭素社会）に向かわざるを得ない。
2. 低炭素社会とは、生活に必要なサービスは発展させながらも、投入するエネルギーはできるだけ少なく、できるだけ低炭素なエネルギーを利用する社会。
3. 低炭素社会実現のためには、長期的なビジョンを持って、産業転換や国土交通におけるインフラ投資を、今から適切に行う必要がある。さらに低炭素技術の導入を加速していく必要がある



Greenhouse gasesとは
温室効果をひき起こすガス：CO_2以外にメタン、亜酸化窒素、フロンなど

中央環境審議会地球環境部会－気候変動に関する国際戦略専門委員会：「気候変動問題に関する今後の国際的な対応について（長期目標をめぐって）第2次中間報告」（平成17年5月）に情報提供

気温上昇を2℃以下に抑えるには、大気中GHG濃度を475ppm以下にする必要がある
•2050年のGHG排出量を世界全体で、1990年レベルの50%以下に削減する必要がある
•日本はそれ以上（60-80%）の削減が求められる可能性。欧州諸国（英国60%削減、ドイツ80%削減、フランス75%削減）でも検討。

長期的な安定化シナリオと温室効果ガス大気中濃度、気温上昇との関係

カテゴリー	放射強制力※2	CO_2濃度	温室効果ガス濃度（CO_2換算）	産業革命前からの気温上昇※3	CO_2排出がピークとなる年	2050年のCO_2排出(2000年比、%)	シナリオの数
	W/m²	ppm	ppm	℃	年	%	
I	2.5 – 3.0	350 – 400	445 – 490	2.0 – 2.4	2000 - 2015	-85 to -50	6
II	3.0 – 3.5	400 – 440	490 – 535	2.4 – 2.8	2000 - 2020	-60 to -30	18
III	3.5 – 4.0	440 – 485	535 – 590	2.8 – 3.2	2010 - 2030	-30 to +5	21
IV	4.0 – 5.0	485 – 570	590 – 710	3.2 – 4.0	2020 - 2060	+10 to +60	118
V	5.0 – 6.0	570 – 660	710 – 855	4.0 – 4.9	2050 - 2080	+25 to +85	9
VI	6.0 – 7.5	660 – 790	855 – 1130	4.9 – 6.1	2060 - 2090	+90 to +140	5
合計							177

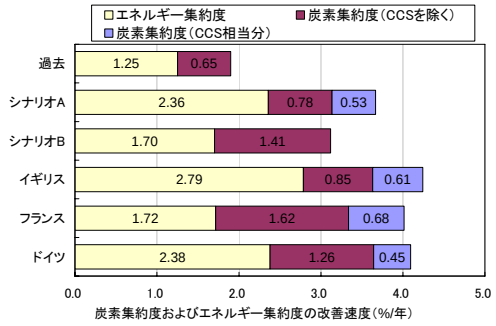
IPCC　第4次評価報告書から

生活の質を落とさずに，CO_2を減らすには？

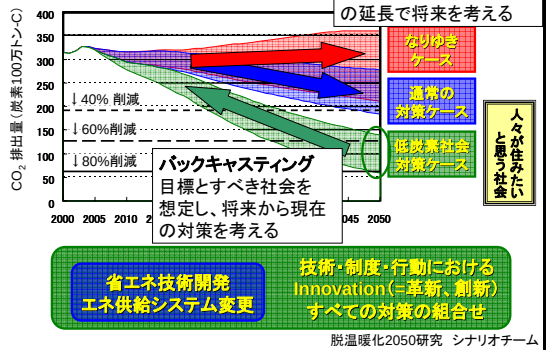
CO_2排出量＝ $\frac{CO_2}{エネルギー}$ × $\frac{エネルギー}{活動量}$ × $\frac{活動量}{人口}$ × 人口

炭素集約度の改善	*CO_2排出の少ないエネルギーの利用割合を増やす* 太陽光、風力、バイオマス、水素、原子力、炭素隔離貯留等	技術革新
エネルギー集約度の改善	*少ないエネルギーで価値の高いサービスを産み出す* 省エネ機器、低公害車、都市交通システム・産業構造転換等	人材育成
一人当たり活動量の見直し	*豊かな生活とは？モノ消費に頼らない楽しさの再発見* モッタイナイ、足るを知る、自然の恵み	インフラ整備

低炭素社会実現に必要な技術と社会の変革速度



低炭素社会への道筋をどのように描けばいいのか？



フォアキャスティング
現状から考えられる方法の延長で将来を考える

バックキャスティング
目標とすべき社会を想定し、将来から現在の対策を考える

省エネ技術開発
エネ供給システム変更

技術・制度・行動におけるInnovation（＝革新、創新）
すべての対策の組合せ

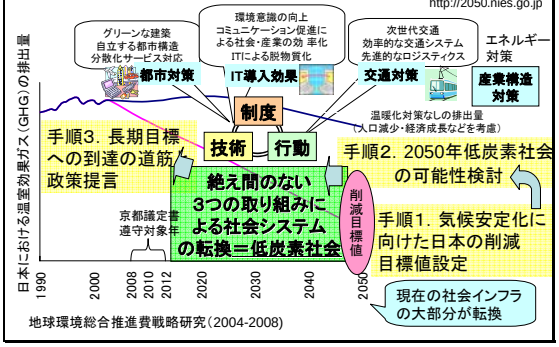
脱温暖化2050研究　シナリオチーム

日本 脱温暖化2050研究プロジェクト

（約60人の研究者が協力して2050年までの対策を研究）

脱温暖化2050

http://2050.nies.go.jp



地球環境総合推進費戦略研究（2004-2008）

図1　削減可能性検討の手順

2050年には
どんな社会になって
るか？

合理的な技術選択をし
たときに必要なエネル
ギー量は？

GHG排出の少ない
エネルギーは？

2050年
低炭素
社会像の
描写

→ エネルギー
サービス
需要の
同定

→ 需要を満たす
オプションの
選択による
エネルギー
投入量の推計

→ 一次
エネルギー
供給の
想定

← エネルギー
供給量
可能量の
推計

必要なサービス
は満足させる

最新省エネ技
術の開発提供

エネルギー起源
CO2排出量の導出

需要側での賢い
技術選択

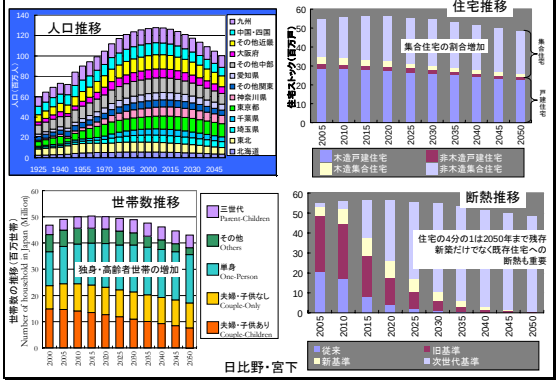
GHG排出の少ない
エネルギーの選択・開発

2050年低炭素社会の描写例

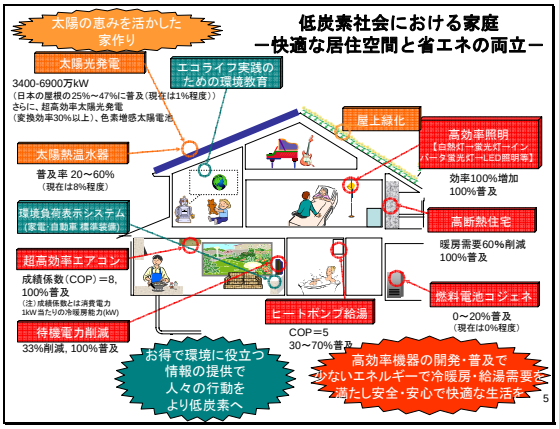
ビジョンA: 活力、ドラえもんの社会	ビジョン B: ゆとり、サツキとメイの家
都市型/個人を大事に	分散型/コミュニティ重視
集中生産・リサイクル 技術によるブレイクスルー	地産地消、必要な分の生産・消費 もったいない
より便利で快適な社会を目指す	社会・文化的価値を尊ぶ
GDP一人当たり2%成長	GDP1人当たり1%成長

人々の考え方、人口、国土・都市、生活・家庭、経済・産業
に関する叙述的なシナリオを開発している

モデルを用いた人口・世帯推移と住宅推移・断熱推移の予測（シナリオA）



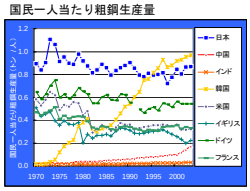
低炭素社会における家庭
－快適な居住空間と省エネの両立－



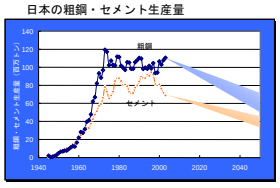
経済・産業に関する叙述シナリオ

キーワード		シナリオA	シナリオB
経済			
	成長率	・一人あたりGDP成長率2%	・一人あたりGDP成長率1%
	技術進歩	・高い	・シナリオAほど高くない
産業			
	市場	・規制緩和進展	・適度の規制された市場ルール浸透
	第一次産業	・シェア低減 ・輸入依存率の増加	・シェア回復 ・農林水産業復権
	第二次産業	・高付加価値化進展 ・生産拠点の海外移転	・シェア低減 ・地域ブランドによる多品種少量生産
	第三次産業	・シェア増加 ・生産性向上	・シェアやや増加 ・ボランティアなどが普及

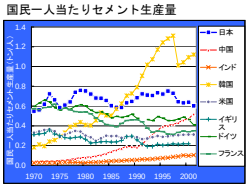
国民一人当たり粗鋼生産量



日本の粗鋼・セメント生産量



国民一人当たりセメント生産量



出典：
（粗鋼生産量、セメント生産量）
Industrial Commodity Production Statistics (United Nations)、World Development Indicators (World Bank) より推計
（日本の粗鋼・セメント生産量）
総合エネルギー調査会需給部会中間報告（1998、2004、2005）、日本エネルギー経済研究所（2002）：わが国の長期エネルギー需給展望をもとに想定

・現在の日本における国民１人当たり粗鋼・セメント生産量は欧米先進国の約２倍
・公共投資が一巡すると新規需要がなくなり、維持管理需要のみとなる。
・2050年における日本の国民１人当たり粗鋼・セメント生産量が欧米諸国並みになり、日本の粗鋼生産量は5～7千万トン、セメント生産量は3～5千万トン程度になる。

図2　素材生産量推定のベース

図3 2050低炭素社会の産業構造推定

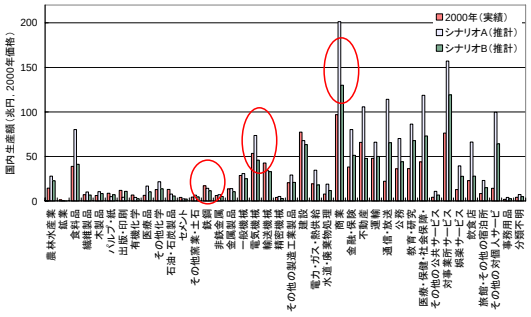
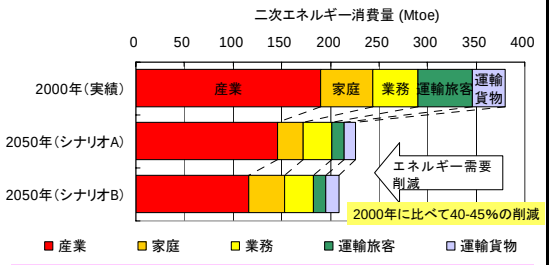
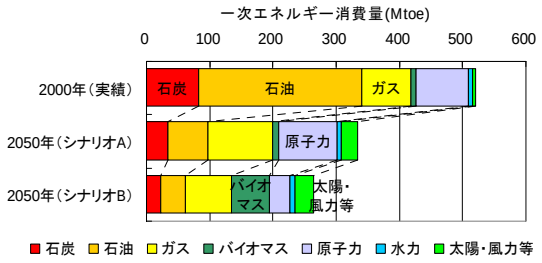


図4　70%削減を可能にする需要削減・供給側エネルギー構成例
各部門の需要対策の効果



産業部門：構造転換と省エネルギー技術導入等で20～40%。
運輸旅客部門：適切な国土利用、エネルギー効率、炭素強度改善等で80%。
運輸貨物部門：輸送システムの効率化、輸送機器のエネルギー効率改善等で60～70%。
家庭部門：利便性の高い居住空間と省エネルギー性能が両立した住宅への誘導で50%。
業務部門：快適なサービス空間／働きやすいオフィスと省エネ機器の効率改善で40%。

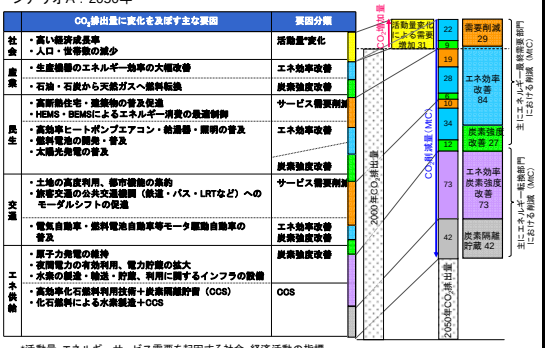
図4　70%削減を可能にする需要削減・供給側エネルギー構成例



炭素隔離貯留（CCS）や水素など大規模なエネルギー技術が、
シナリオBでは太陽光や風力、バイオマスなど比較的規模の小さい
分散的なエネルギー技術が受け入れられやすいと想定した

2050年CO_2排出量70%削減を実現する対策オプションの検討

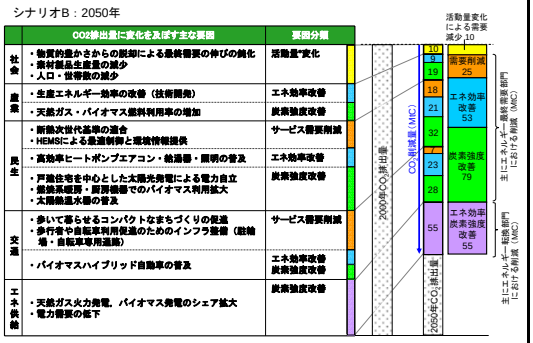
シナリオA：2050年



*活動量：エネルギーサービス需要を起因する社会・経済活動の指標。

2050年CO_2排出量70%削減を実現する対策オプションの検討

シナリオB：2050年



*活動量：エネルギーサービス需要を起因する社会・経済活動の指標。

低炭素化社会実現への誘導：早期の目標共有と総合施策確立、計画的実施が必要

今のままの高炭素排出インフラへの投資を継続しないために、早期に低炭素社会のイメージを共有し、転換に時間のかかる国土設計、都市構造、建築物、産業構造、技術開発等に関する長期戦略を立て、計画的に技術・社会イノベーションを実現させる必要がある。

そのために、私たちは今、何をすればいいのか？

$$CO_2\text{排出量} = \text{人口} \times \frac{\text{活動量}}{\text{人口}} \times \frac{\text{エネルギー}}{\text{活動量}} \times \frac{CO_2}{\text{エネルギー}}$$

一人当たり活動量	エネルギー集約度	炭素集約度
モノに　とらわれない生活、本当に必要なものは何か？	エネルギーをできるだけ使わずに製品・サービスを提供する	温室効果ガス排出の少ないエネルギーを利用する

行動　技術　制度

それぞれの協力があってより多くが実現できる

社会を構成する全員の協力が必要

低炭素社会は温室効果ガス削減だけを目指しているものではない。日本の総合力を高め、安全で豊かな社会に向けた道筋を探すこと。親が、先生が、周りの人たちが、子供たちと一緒に考えることが大事。

エネルギー自給に取り組む島

デンマークのサムソ島
　人口　4300人
電力：
　1MWの陸上風車を11基：電力の100%自給
　洋上風車2MWを10基
地域暖房
　麦わら燃焼による地域暖房、ウッドチップ燃焼、太陽熱温水で2003年に暖房エネルギーの60%の自給を達成。

地域暖房のお湯のタンク

http://www.tuins.ac.jp/jm/chiki/oversea/samso/samso2.html

麦わら地域暖房

ご清聴ありがとうございました。

http://www-iam.nies.go.jp/aim/

参考文献：
2050日本低炭素社会シナリオ：
温室効果ガス70%削減可能性検討，
http://2050.nies.go.jp/20070215press/index.htm

2050年脱温暖化社会のライフスタイル―
IT社会のエコデザイン（単行本）

Designed by Hajime Sekai
(airbox-pin@nyc.odn.ne.jp)

2. エネルギー資源の今後の動向

座長：石井 格（産業技術総合研究所）

（石井） 私はこのセッションの後半 2 件の司会を担当します，産業技術総合研究所の石井と申します。よろしくお願いします。後半は今までのお話に対して，エネルギーを供給する資源というものがどうなっているかという話をいただくことになっております。

「エネルギー資源の現状と展望」

神本 正行
（独）産業技術総合研究所 研究コーディネータ

（石井） まず，「エネルギー資源の現状と展望」ということで，産業技術総合研究所の研究コーディネータ，神本正行さんにお話をお願いします。よろしくお願いします。

私に与えられた課題は「エネルギー資源の現状と展望」ということですが，ここに書いてあります通り，三つのこと，一次エネルギー源の種類，供給の現状，エネルギー資源の展望というように分けてお話ししたいと思います。

まず，一次エネルギー源の種類ですが，一次エネルギーは 3 種類です。これが電気や水素に変換されて二次エネルギーとして需要のところに行くというのが通常の使い方です。

一つは化石エネルギー。石油，石炭，天然ガス等です。それから原子力エネルギー，再生可能エネルギーということになります。いずれのエネルギーも，いいところと悪いところがあります。

もう一つここで言っておきたいことは，再生可能エネルギーはエネルギー資源といっても，環境中にエネルギーのフローとして存在しておりますので，文字通り再生可能，枯渇しないという特徴があります。

今，3 種類と言いましたけれども，化石エネルギー，原子力エネルギー，再生可能エネルギーを頂点とする三角形の形で描きますと，今現在は化石燃料の比重が非常に大きいです。この辺で使われています。これを将来どちらの方に持っていくかというと，下の方に行かざるを得ず，原子力と再生可能エネルギーのどういうバランスのところに持っていくかということになります。

いずれにしろ，そのときの前提というのがありまして，3E フォーラムと名前が付いておりますが，エネルギーの安定供給，環境保全，経済成長，こういうことを満足しないといけないわけです。

それぞれ長短があると言いましたけれども，化石燃料の場合は，環境を保全しようとしますとどうしても二酸化炭素の回収・貯留ということを考えざるを得ないことになります。原子力の場合は核燃料サイクルの確立ですね。再生可能エネルギーはコスト低減，性能向上ということになります。いずれの場合も，これまでの話にも出てきましたけれども，省エネルギーの推進というのは絶対必要ということになります。

先ほど，再生可能エネルギーはエネルギーの流れとして環境中に存在すると言いましたけれども，太陽光が地球に来て，直接反射される部分，あるいは熱に変わってから反射される部分というのがありますし，風や光合成に使われるとか，このような形でエネルギーのフローが出来上がっています。

言ってみれば，化石燃料もその結果としてできているということなのですが，あまりにも時間スケールが違いますので，これは化石燃料と呼んでいるわけです。

入ってくるエネルギーに比べて相当けたが落ちていて，例えば，地熱は大体これぐらいです。

二つ目の話題に入ります。「一次エネルギー供給の現状」ということですけれども，化石燃料に多くを依

存しているというのが現在の姿です。原子力は一定の貢献をしている。それから，再生可能エネルギーについては，大型の水力発電およびバイオマス，在来型の利用方法のまきを燃すとか，そういう形のものが割合ありますが，それ以外は極めて少ないというのが現状です。

これは“World Energy Outlook 2002”の絵をそのまま持ってきたのですけれども，2000 年，2010 年がどういう状況かというと，2010 年は見通しですが，石炭，石油，ガスだけでこれだけたくさんあるわけです。原子力，水力，その他の再生可能エネルギーは，この図のようなバランスになっています。2030 年ぐらいまでは大体こういう見通しになっているということなのです。

“World Energy Outlook 2002”以外にもいろいろなシナリオが考えられ，どれだけのエネルギーを供給しなくてはいけないかを，環境制約等のいろいろな条件を入れて計算するわけです。これはわれわれの研究所の研究戦略の最初の方に乗せてあるシナリオ計算の例ですが，これですと 2030 年はこの辺ですね。2100 年になりますと，化石燃料はピークを打ってだんだん減ってきて，原子力あるいは再生可能エネルギーがこのような形に増えてきます。

それから，二酸化炭素の貯留もある割合で入れてやりますと，CO2 の排出量がこのように変化します。いろいろな条件で計算された結果が報告されておりますが，普通はやはり，化石燃料は 2050 年，2100 年になってもある割合で使われ，再生可能エネルギーはかなり導入していく方向で考えるべきだろうということが出てまいります。

これは IPCC の報告書に載っている絵で，非常に細かいので分かりにくいと思いますけれども，化石燃料と核燃料と再生可能エネルギー，それぞれについて資源量と，2005 年でどれだけ使ったかというものが書かれています。パーセントだけ言いますと，2005 年で化石燃料が 79%ですね。それから核燃料が 5%強。それから，再生可能エネルギーが 15%強です。これは水力あるいはバイオマスの従来型の使い方がかなり多くを占めていますので，新しい形の再生可能エネルギーはやはり非常に少ないということになります。

いろいろなエネルギーを比較していますので，すべてジュールで統一して書いてありますが，400 EJ（エクサジュール）というのが大体 1 年間で使用している値です。ですから，資源量をこれで割ると，大体何年ぐらい持つかというのが分かります。

では，日本ではどうかということなのですが，化石エネルギーやウランなどはあまり資源量がありません。再生可能エネルギーはどうかというと，これは NEDO のデータですが，年間の一次エネルギー消費に比べて大体こんな値なのですね。そうすると，それぞれの再生可能エネルギーが 10%に行くのはなかなか難しい。でも，全部合わせればかなりの量になるだろうということが分かると思います。

原油の現状をちょっとお話ししますと，確認埋蔵量とか資源量とか，いろいろな言い方をして，それぞれ意味が違いますが，確認埋蔵量はこれだけはあるだろうという，ある確率で確かな値ということですが，OPEC 諸国で 76%，しかも 61%がペルシャ湾沿岸にあるということです。OECD は約 7%しかありません。

もう一つのポイントは，2005 年までの生産量ですが，143 Bt（ビリオントン）です。確認埋蔵量の 47%をもう生産してしまっています。期待される資源量の 37%，しかもごく最近たくさん使っているわけですから，もうそんなに持たないだろうというのが通常の見方です。

もう一つのポイントは，3 分の 2 が輸出入されているということです。採れるところが限られていますのでこういうことになるわけです。

次はエネルギーの需要と供給ということで，ポイントとして，エネルギー資源は一般に偏在している。今，石油の場合について言いましたが，大体需要に合わせて輸送されている。それから，国・地域によって需給構造が多様であるということです。

幾つか図を駆け足でご覧に入れますが，例えば石炭の確認可採埋蔵量というのがトップ 10 の国を並べてあります。このように米国が非常に多いですね。中国はここです。こんな感じですから，ほかのところはほとんどないということです。

ただ，石炭の場合は需要と供給の場所がかなり一致しているので，あまり輸出入はしていないということです。

それから天然ガスもかなりばらつきがありまして，やはりこの辺が非常に多い。71.8 兆m^3ですね。それからロシア，このようになっていますし，輸出入の割合もどんどん増えているという状況です。

それから，ウラニウムもやはり相当幾つかの国に多くの資源量を押さえられています。

ちょっとマイナーなのですが海洋温度差発電というのがありまして，オーストラリアがここで日本がこの辺なのですが，海の上の方の温度と下の方の温度，この温度差を使って発電します。その温度差はどれくらいあるかというのはやはり場所によって随分違うわけです。ですから，相当暖かいところでないとなかなかコスト的に合わないということです。

それから，太陽日射強度の分布，これもそうです。濃いところが日射強度の強いところですが，比較的あまねく分布しているといえます。北の方でも太陽は照っています。けれども，やはり利用法を考えたときに，日射が非常に強くないと駄目な利用法（例えば集光型の太陽光発電）というのが結構あるわけです。ですから，資源が本当に使えるかどうかというのは，やはり利用の形態も考えないといけない。あるいは利用の形態によって資源量も変わってくると思います。

えいやっと言ってしまうと，化石燃料および核燃料は恐らく数百年でなくなる。再生可能エネルギーの資源量は膨大である。ただ，使えて初めて資源であるということで，需要と技術開発に強く依存するということになると思います。

どのくらい膨大かというのは，太陽エネルギーの場合で言ってみますと，地球には使っているエネルギーの 1 万倍近く来ているわけですが，実際に使えるかどうかというのはある見積もりがあって，先ほどの表のような形になっています。あれも非常にラフな見積もりではあります。

例えば，よく例に出されるのですが，サハラ砂漠の 2 分の 1 に効率 14%の太陽電池を置いたら，ほとんど年間のエネルギー消費が賄えるということになります。そうすると，太陽熱の温水器を置いたらどうなるか。効率は数十パーセント，温度にもよりますが，30，40，50%という値ですから，資源量としては見かけ上それだけ増えるわけです。太陽エネルギーがそれだけ利用できると。だけど，使い道がないのでそういうことはしないということで，通常そういう計算はしません。

いろいろな利用方法があると言いましたが，太陽エネルギーだけ取ってみても，こんなにあります。この間つくばでソーラークッカーのコンテストをやりましたが，こんな利用法がありますし，温室，光触媒，太陽光発電，太陽熱発電などがあります。それから光を採り入れるのもかなりエネルギー的にはいい使い方です。

もう一つ資源という面では，エネルギー資源だけではなくて，例えば太陽電池を構成するシリコン，あるいはインジウムがデバイスのいろいろなところに使われますけれども，そういう資源もかなり制約がきている。お見せしているニュースはちょっと古いのですが，今も状況は全く同じです。シリコンは相当需給が逼迫しているということです。

最後に「エネルギー資源の展望」に移ります。新しい資源の可能性はないかということですが，幾つか例を示します。

その前に，再生可能エネルギーの割合の高い国のリストを書きました。これはちょっと細かいので典型的な例だけ言いますと，例えばアイスランドは地熱が全供給エネルギーの 16.6%です。暖房の 89%は地熱利用。デンマークは風力発電が全電力の 18.5%。このような国がいろいろあります。ですから，やはり国や地域に合った使い方をしていくべきだろうと思います。

「エネルギー資源の展望」です。メタンハイドレートの可能性ですが，今現在国家プロジェクトが進行しておりまして，われわれの研究所でもこれを担当しております。プロジェクトの第 1 期から第 2 期に向かうというところで，まだ第 1 期の実験をやっているところです。

それから太陽エネルギー大規模利用ということで，例えば宇宙太陽発電というのがあるのですが，これは全く夢のような話ではありますけれども，電力系統から言いますとベース負荷を担えるという特長があります。砂漠も先ほど言いましたように，かなりエネルギーを作れますけれども，運んでくるのがかなり難しい。長距離に輸送するのは，最初化石エネルギーが随分運ばれていると言いましたけれども，あれは石油が非常にエネルギー密度が高いということで，輸出入しやすいのです。再生可能エネルギーが増えてきたらどうなるかというと，これはなかなか難しい問題で，非常に大きな課題です。

最初の話でありました通り，つくばは都市の発展期だということがありましたけれども，発展期というのは通常はエネルギーの使用量が増大するわけです。日本全体としては人口が減ってきて，エネルギー使

用量が減ってくるのだけれども，つくばに限って言えば，発展させようとするには相当のことを考えないといけないことになります。そういうことを考えると，やはり何らかのアクションを取っていかなければならないだろうと思います。研究するだけではなくて，研究者自らやれることはないかということで，われわれの研究所で行ったのは，一つの例ですが，太陽光の 1000 kW を入れて，NAS 電池，さらにいろいろな分散電源を入れまして，かなり効率を向上させました。システムの検討には研究者にもだいぶ参加して貰いました。

まとめですけれども，「すべてに優れたエネルギー技術はない」。ただ，いいと思ってもやはり評価をきちんとする。特にバイオマスなどは最近そういうことがよくいわれています。そうしながら夢の技術にも挑戦すべきではないかと，そのように思います。

ご清聴ありがとうございました。

（石井）　ありがとうございました。

何かご質問はございますか。1 件だけでもお受けしたいと思いますが。よろしゅうございますか。それではどうもありがとうございました。

エネルギー資源の現状と展望

2007.12.15

産業技術総合研究所　神本正行

- 一次エネルギー源の種類
- 一次エネルギー供給の現状
- エネルギー資源の展望

1．一次エネルギー源の種類

■一次エネルギーは3種類

(1) 化石エネルギー
- ➢石油、石炭、天然ガス等

(2) 原子力エネルギー
- ➢核燃料

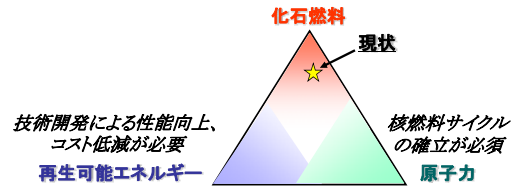
(3) 再生可能エネルギー（RE）
- ➢太陽、風力、地熱、バイオマス、水力等

■いずれのエネルギーも長短併せ持つ。

★再生可能エネルギー
環境中にエネルギーのフローとして存在するため、
文字通り「再生可能」（枯渇しない）。

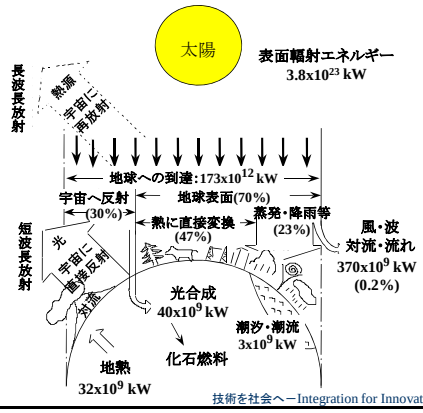
一次エネルギーは3種類

二酸化炭素の回収・貯留（CCS）が不可欠



現状をどこに持っていくかの前提
- エネルギーとパワーの安定供給
- 地球環境の保全
- 経済成長

■省エネ推進は必須



2．一次エネルギー供給の現状

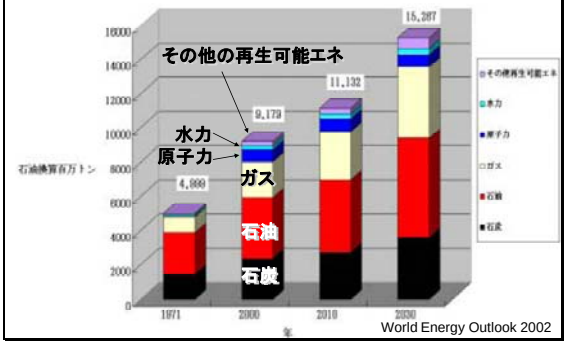
現在の一次エネルギー供給構造
(1) 化石燃料に多くを依存
(2) 原子力は一定の貢献
(3) 大型水力発電およびバイオマス（在来型利用）以外の再生可能エネルギーは極めて少ない

エネルギーの需要と供給
- エネルギー資源は一般に偏在
  - ➢需要にあわせて輸送（輸出入）される
  - ➢国、地域によって需給構造は多様

エネルギー資源量
- 化石燃料および核燃料は数百年で枯渇
- 再生可能エネルギーの資源量は膨大
- 使えて始めて資源
  - ➢需要と技術開発に強く依存

世界の一次エネルギー需要の推移と見通し

2030年までは依然化石燃料に依存



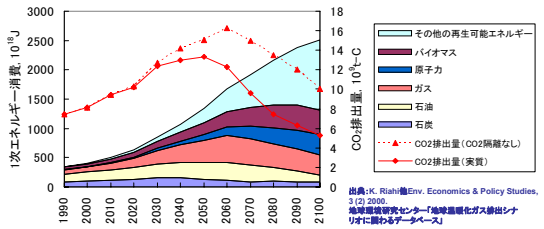
World Energy Outlook 2002

長期エネルギーシナリオの例

産総研第2期研究戦略平成18年度版

CO_2濃度安定化のためには

➔ CO_2排出低減、再生可能エネルギー導入、CO_2貯留



2100年で550ppmまで削減する場合のMESSAGEによるシナリオ計算

主要な一次エネルギー源の資源量と2005年の供給量（世界）

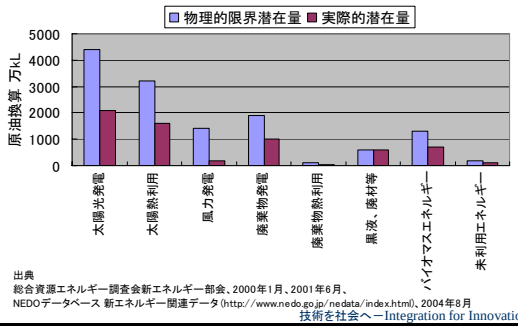
IPCC（気候変動に関する政府間パネル）第3ワーキンググループ
第4次報告書Table 4.2より抜粋

	エネルギー源	資源量	2005 年の供給量	2005 年の供給割合
化石燃料 79%	石炭(conventional)	>100,000 EJ	120 EJ/y	25 %
	ガス(conventional)	13,500 EJ	100 EJ/y	21 %
	石油(conventional)	10,000 EJ	160 EJ/y	33 %
核燃料 >5%	ウラン(no recycle)	7,400 EJ	26 EJ/y	5.3 %
再生可能エネルギー >15%	水力（>10MW）	60 EJ/y	25 EJ/y	5.1 %
	水力（<10MW）	2 EJ/y	0.8 EJ/y	0.2 %
	風力	600 EJ/y	0.95 EJ/y	0.2 %
	バイオマス（modern）	250 EJ/y	9 EJ/y	1.8 %
	バイオマス(traditional)	----------	37 EJ/y	7.6 %
	地熱	5,000 EJ	2 EJ/y	0.4 %
	太陽光発電	1,600 EJ	0.2 EJ/y	<0.1 %

年間のエネルギー需要は＞400 EJ（= 400 x 10^{15} J）

わが国の再生可能エネルギーの潜在量

年間の一次エネルギー消費：約5億kL



出典
総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会、2000年1月、2001年6月、
NEDOデータベース 新エネルギー関連データ(http://www.nedo.go.jp/nedata/index.html)、2004年8月

原油の現状

- 世界の確認埋蔵量
  - OPEC 76% （61% がペルシャ湾沿岸）
  - OECD 約 7%,
  - その他 18%
- 2005年までの生産量
  - 143Bt（確認埋蔵量の47%、期待される資源量の37%）
- 約2/3が輸出入されている

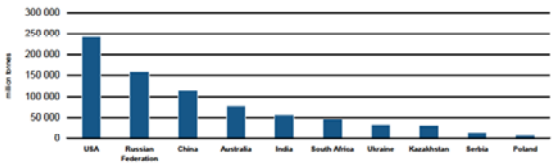
2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council 2007

2. 一次エネルギー供給の現状

現在の一次エネルギー供給構造
(1) 化石燃料に多くを依存
(2) 原子力は一定の貢献
(3) 大型水力発電およびバイオマス(在来型利用)以外の再生可能エネルギーは極めて少ない

エネルギーの需要と供給
- エネルギー資源は一般に偏在
  - 需要にあわせて輸送(輸出入)される
  - 国、地域によって需給構造は多様
- エネルギー資源量
- 化石燃料および核燃料は数百年で枯渇
- 再生可能エネルギーの資源量は膨大
- 使えて始めて資源
  - 需要と技術開発に強く依存

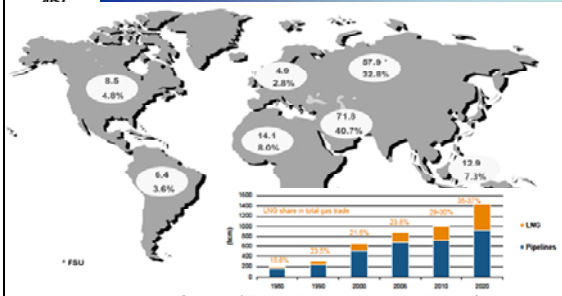
石炭の確認可採埋蔵量(Top 10)



2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council 2007

■石炭は需要と供給が一致(輸出入が少ない)

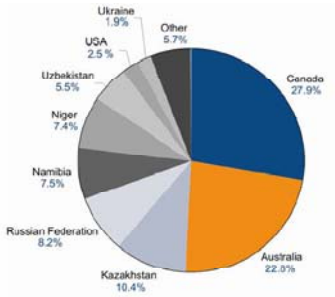
天然ガスの確認埋蔵量(tcm, %)



2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council 2007

■tcm：trillion cubic metres / 1兆立方メートル

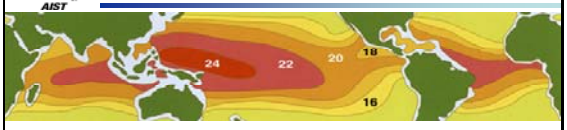
ウラニウムの生産(Top 10)

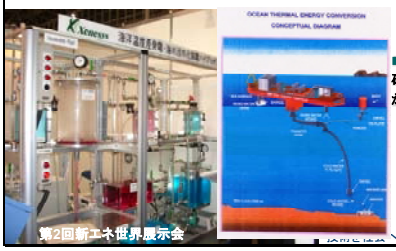


2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council 2007

■2,005年の総生産量：41 699 tU

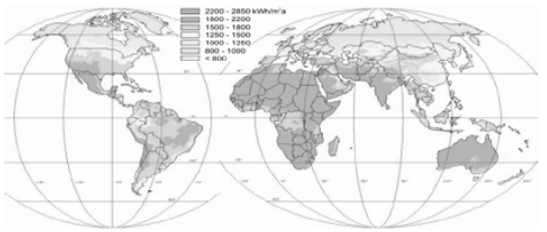
海洋温度差の分布





■佐賀大学海洋エネルギー研究センターホームページから

太陽日射強度の分布



2007 Survey of Energy Resources, World Energy Council 2007

■比較的遍く分布
■日射強度にあった利用法

2. 一次エネルギー供給の現状

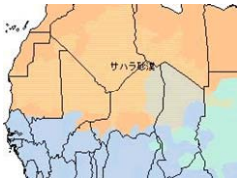
現在の一次エネルギー供給構造
(1) 化石燃料に多くを依存
(2) 原子力は一定の貢献
(3) 大型水力発電およびバイオマス(在来型利用)以外の再生可能エネルギーは極めて少ない

エネルギーの需要と供給
- エネルギー資源は一般に偏在
  - 需要にあわせて輸送(輸出入)される
  - 国、地域によって需給構造は多様

エネルギー資源量
- 化石燃料および核燃料はおそらく数百年で枯渇
- 再生可能エネルギーの資源量は膨大
- 使えて始めて資源
  - 需要と技術開発に強く依存

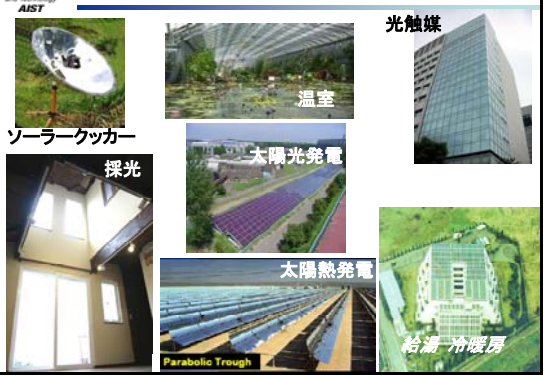
太陽エネルギーの資源量

2003年の世界の一次エネルギー消費
9,615百万トン(石油換算) ≒ 400 EJ



サハラ砂漠の1/2に効率14%の太陽電池
⇒ 380 EJ

太陽エネルギーの様々な利用法



デバイスを構成する材料の資源にも制約

3. エネルギー資源の展望

新しい資源の可能性
- メタンハイドレート等の化石燃料
- 核融合
- 太陽発電衛星

資源を有効に利用するために
- エネルギーの長距離輸送
- 多様な需給構造と国・地域の取り組み

再生可能エネルギーの割合の高い国

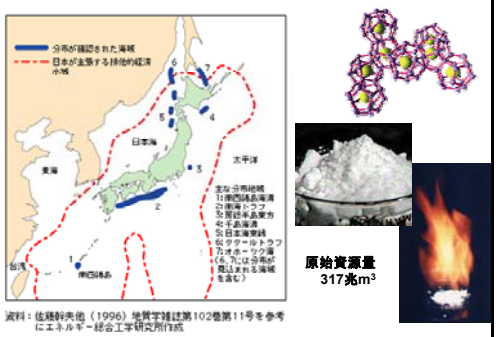
Country or Region	% of National or Regional Capacity (MWe)	% of National or Regional Energy (GWh/yr)
Tibet	30.0	30.0
San Miguel Island, Azores	25.0	n/a
Tuscany, Italy	25.0	25.0
El Salvador	14.0	24.0
Iceland	13.7	16.6
Philippines	12.7	19.1
Nicaragua	11.2	9.8
Kenya	11.2	19.2
Lihir Island, Papua New Guinea	10.9	n/a
Guadeloupe (Caribbean)	9.0	9.0
Costa Rica	8.4	15.0
New Zealand	5.5	7.1

John W. Lund
DEVELOPMENT AND UTILIZATION OF GEOTHERMAL RESOURCES
Proc. ISESWC2007 p.87 (2007)

アイスランド
- 地熱が全供給エネルギーの16.6%
- 暖房の89%は地熱利用

デンマーク
- 風力発電が全電力の18.5%(2005年)

メタンハイドレートの可能性

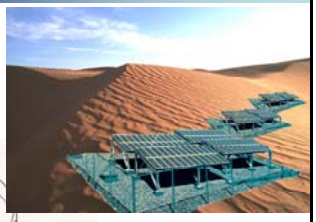


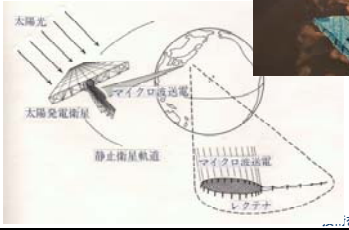
資料：佐藤幹夫他（1996）地質学雑誌第102巻第11号を参考にエネルギー総合工学研究所作成

原始資源量
317兆m³

太陽エネルギーの大規模利用

太陽発電衛星は夢？
- ベース負荷を担える
- マイクロ波送電が課題





砂漠に太陽光発電
- 資源量は膨大
- 電力輸送が課題

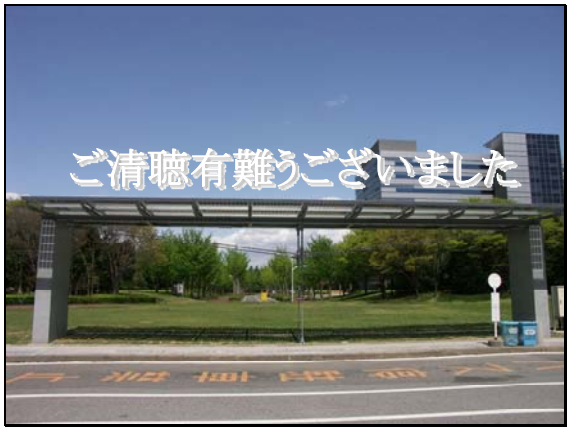
つくばセンターにおける 分散型エネルギーネットワークの実証

電力系統から 27,000kW
分散電源 ~6,000kW

技術を社会へ－Integration for Innovation

全てに優れたエネルギー技術はない

on



「エネルギー資源・環境問題と技術選択」

内山 洋司
筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

（石井） 本日最後のご講演になります。「エネルギー資源・環境問題と技術選択」と題しまして，先ほどは資源のお話でしたが，それを一体どのように使っていく，どういう選択をしていくのかというお話を，筑波大学の内山洋司先生にいただきます。よろしくお願いします。

筑波大学の内山です。ちょっと映像が出るまで時間が無駄ですので，説明させていただきます。今日の発表は，私も甲斐沼さんと一緒のワーキンググループⅢの執筆をしたものですから，それについて簡単な説明をさせていただきます。その後に茨城県のエネルギー需給構造がどうなっているかという，少しローカルな話に移らせていただきまして，最後に私どもがこの 3E フォーラムに今後貢献できるようなことを説明させていただきます。

これは過去 50 年間の世界のエネルギー供給のトレンドを描いたものです。これは皆さん方もよく見てお分かりかと思いますが，全体のエネルギー供給量は過去 50 年間で約 5 倍近くまで増えております。そのうちの 9 割が化石燃料で供給されているということです。これは 30 年前になりますと，1970 年というのはちょうどこのころですね。このころで化石燃料の消費はこのレベルですので，今後 30 年間でこのレベルに戻しても駄目だということで，恐らく半減ということは，世界は大体 1960 年ころに戻らないといけない。そのくらいのエネルギー消費まで減らすということが，エネルギー構成を変えない場合は必要になるということになります。

しかし，現実には今の世の中というのはエネルギーを使いながら発展していますので，やはりこのトレンドはさらに伸びていくということで，これは先ほどの神本さんの資料にもありましたが，“World Energy Outlook”の 2030 年までの予測です。OECD のシェアは現在世界の 44％ということですが，2030 年になりますとその値が 37％まで低下する。一方で，中国，および日本を除いたアジアのエネルギー消費がこのように急増していきます。

基本的には，リファレンスケースですが，約 1.6 倍にエネルギーの消費が増えてしまう。これに対して，対策ケースというのがありますが，2007 年の Outlook がつい最近出ましたが，その数値を見ましたら，対策ケースで約 25％のエネルギー消費の増加で済むという予測が出ています。ハイケースになりますと，今度は 2 倍くらいまで増えてしまうということで，実際には過去に戻るということはなかなか難しいトレンドにあるということです。それは先進国が現状を維持したとしても，途上国が非常な勢いでエネルギーの消費が増えている状況を考えると，2050 年半減というのはなかなか難しい問題であるということです。

これが Outlook のエネルギー構成ですが，やはり 2030 年になりましても，全体のエネルギーの 90％近くが化石燃料で供給されているということになっております。

問題は，2050 年半減という大きな目標が今掲げられているわけですが，現在 Annex‐I，すなわち温室効果ガスの削減量を目標とした国々ですが，その人口は世界の約 20％に相当しています。その国々が世界全体の GHG 排出量の 46％を占めているということです。Non‐Annex 国，いわゆる新興国および開発途上国ですが，その国は現在のところ，削減目標を定めていないということで，今後はさらに CO2 の発生量を増やすという方向にあるわけです。

半減とはどういうことかというと，Non‐Annex の国が現在 54％の排出量ですから，今後この国々が二酸化炭素の排出量を増やさないということがまず必要条件だと。さらに，その上先進国は 100％排出量をなくすということになります。ですから，2050 年に半減するということは，どんな形で政策的に持っていくかというのはかなり難しい問題ではないかと通常考えられています。

これは一人当たりのエネルギー消費量とそれぞれの国の人口を描いたグラフですが，アメリカ，カナダ

が一人当たりの消費が一番多く，日本はちょうどこの辺に位置している。一人当たりのエネルギー消費量はアメリカの半分くらいということで，日本としてもさらにこれを半減するということは，アメリカの現在の一人当たりエネルギー消費量の 4 分の 1 にまで抑えるという目標になります。

必ずしも二酸化炭素だけが温室効果ガスではありませんので，いろいろなところから温室効果ガスは出ております。それらをすべて集めると，部門別に見てどういうところで温室効果ガスが出ているかといいますと，エネルギー供給部門が 26%，産業が 19%，17%が森林，そして農業，さらに輸送，民生，廃棄物その他といった排出割合になっております。これは世界全体です。

これは累積削減量，将来どのくらい期待できるのかというのをやはり AR4 の，これは甲斐沼さんのグループの研究で出されたものですが，このように，省エネルギーあるいは効率化，あるいは燃料転換，再生可能エネルギー，原子力，CCS（CO2 回収・貯蔵），それから森林のシンク，Non‐CO2 ということで，いろいろな対策がありますが，これを見ても大体，2030 年までですと比較的 Non‐CO2 の影響が削減量に期待できるということになります。その次に省エネルギーですね。そういったところがポイントになっているかと思います。

ただ，日本の場合は温室効果ガスの約 90%以上はエネルギー起源のものであり，やはり化石燃料の燃焼で発生するということで，世界はエネルギー起源のものが大体 65%ということですので，かなりその違いがあるということも理解する必要があります。

それから，発電プラントのライフサイクルから見た CO2 の排出量ですが，これは IPCC の AR4 の結果です。このように石炭系，あるいは石油系，それから天然ガス系。これは化石燃料消費によって発生する分が圧倒的に多い。この緑の部分は設備の建設あるいは設備の運転で発生する分ですが，1 kW h 当たりの値はかなり小さいということで，基本的に発電技術で対策を立てるとなりますと，こういった再生可能エネルギー，あるいは原子力といった技術の導入が不可欠になってまいります。

将来の削減量はどのくらいあるのか，技術によってどのくらい可能かということを IPCC で予測しておりまして，低ケースですと，世界全体の排出量はこのくらいですが，需要側の技術，対策でこの程度しか削減できない。供給側でこの程度の対策，削減量にしかならない。それに対して高ケースになると，2030 年までは需要サイドでこのくらいの削減が期待でき，供給側でもこれだけ入ってくる。一番下が原子力で，その上が再生可能エネルギーです。この CCS というのがいわゆる CO2 を回収・貯留する技術です。そうすると，2030 年まで高ケースでほぼ，GHG の発生量は横ばいというのが，サプライサイドの結果になっております。

資源量については先ほど神本さんから説明がありましたが，日本は自給率 4%という非常に低い国で，ほとんどの資源を海外に依存しているという現状です。

国内のエネルギー情勢を見てみますと，産業部門はオイルショック以降ほとんど横ばいに対して，民生と運輸がこのように非常に伸びているという傾向があります。石油は現在 48%までのシェアに落ちました。オイルショック当時は 75%くらいだったのが，現在は 48%にまで落ちております。その分，燃料の多様化が進んでいる状況です。

省エネルギーというのを非常に期待したいところですが，エネルギーを増加する要因と減少する要因をこのように比較してみます。増加する要因というのは，大量生産，機械化，自動化，大型化，高速化，情報化，便利な食品，快適さ，レジャー。それに対して減少する要因は，少量生産，節約，高効率化，長寿命化，リサイクル・リユース，建物の断熱化，人・物の移動削減，自然エネルギー利用，未利用エネルギー活用。

どちらの方が産業を今維持しているかというと，現在の日本あるいは世界の産業は，技術開発も含めてほとんどこちらの方（増加要因）で進んでいます。こういう技術の流れがあるということが省エネルギーをどうするかという非常に大きな課題になっているわけです。この右のような要因をどのように基本的に開発が進んでいる技術の流れの中に取り入れていくかということが課題になっております。

省エネルギーだけではありませんが，温暖化問題を考えますと，今後どういうことが望まれるかというと，まず「産業構造の転換」。これはサービス・情報産業への転換，素材リサイクル産業を育成する。

そして「エネルギー・燃料転換」が 2 番目にあります。これは，より CO2 を発生しにくい，電源構成で

言いますと原子力や再生可能エネルギーのシェアを増やすことで電力シフトを図っていきます。あるいは，化石燃料の中でも天然ガスを利用していきます。

それから，「規制強化・課税」をするということです。現状では，経団連の自主行動計画にゆだねられているわけですが，それではちょっと足りないということであれば，それを協定にするのか。あるいは省エネ基準をさらに強化する。さらには環境税や炭素税をかける。

それから「インフラ改善」，これは時間がかかることですが，建物等の断熱性・機密性を高める。あるいはパッシブソーラーハウスにする。交通機関のモーダルシフトを積極的に進める。

それから「高効率技術」の開発，これは産業技術の高効率化，民生・運輸部門のトップランナー製品，ヒートポンプ，コジェネレーションの導入。

そして「意識改革」ということで，ライフスタイルの変換，広報活動やエネルギー環境教育を重視していく。そういうことが主な対策になるのではないかと思います。

そういうことを含めて政府ではさまざまな対策が行われて，今まで随分検討されてきております。

次に茨城県の状況を説明しますと，これは茨城県の最終エネルギー消費のトレンドを 1990 年から 2003 年まで描いたものです。この紫色の部分が産業部門です。全体のエネルギー消費の 7 割が産業であるということで，その上に運輸部門，それから民生，いわゆる家庭と業務があるという構成になっております。

県全体で見ますとほとんどが産業であるということで，東京周辺の県というのは，神奈川も千葉も埼玉もほとんど同じような状況です。大阪もその周辺県がその大都市を産業で支えているという構造ができていますので，日本の産業構造というのはそういう形で出来上がっています。すなわち，この産業構造をどうやってこれから変えることができるのかというのが課題になっているわけです。

茨城県のエネルギーの構成を見てみますと，石油製品のエネルギー消費が一番多いということです。大きく考えるとこの部門を別に転換してしまったら，茨城県全体の CO2 対策はそれで半減が進んでしまうということになりますが，これは産業界の問題ですので，そう簡単にいかないかもしれません。同じように CO2 の排出量もこのように石油製品による排出，産業の石油コンビナートによる石油製品製造時の排出量が一番多いということです。最終エネルギー消費ですが，1990 年を 100 としまして，部門別にその推移を描いてみますと，運輸部門がこのように非常に伸びているということです。この茨城県というのは公共交通機関がなかなか少ない，また，最近は車という非常に便利なものが使われるようになりました。それから業務部門。そういう点で考えると，運輸と業務部門をどうするかというところが課題かと思います。

運輸部門はほとんどが乗用車と貨物であるということで，全体のエネルギーの 95%くらいは車です。それから，自動車の保有台数も最近はだんだんぜいたくになってきまして，小型車が減って一方で普通車の数が増えているというのが県全体の傾向です。それから，保有台数もこのように増える傾向にあって，燃費もほとんど変わっていない状況です。

そのほか，業務部門のエネルギー消費構造も，ここに示しましたように，これは事務所・ビル・卸小売・飲食店がかなりのシェア，半分以上はそれで消費されているということで，全国とほぼ同じです。

それから，業務部門の延べ床面積もこのように着実に増えている傾向があります。

家庭部門のエネルギー消費は，構成でいいますと電力がこのように非常に大きいと。まだまだ増加する傾向にあるというところが特徴です。世帯当たりのエネルギー消費量は横ばい傾向が続いております。

世帯数の数が増え，人口がわずかですがまだ少し増加している傾向にあります。

われわれはそういう中で，政府のエネルギー政策によってさまざまなビジョンが描かれていますので，それを基に地方自治体のエネルギー政策と整合を取って，Economics と Energy と Environment の関係を長期的に分析する研究をしております。

これは基本的には産業連関表を使いまして，全国の産業連関表と地域の産業連関表を組み合わせて，全国の産業連関表の動きが地域の産業連関表にどのような影響を与えるのかということで，社会全体のエネルギーの消費，あるいは CO2 の排出量の傾向を求めるものです。

今，政府が需給部会で 2030 年の BAU のビジョンを描いています。その BAU ケースで取りあえず計算したところ，赤い部分が現在の値ですが，部門別に見ますと，青い部分が 2030 年の値ですが，茨城県は BAU でいくと，やはりサービス産業，あるいは鉄鋼や化学製品がさらに伸びてしまうという傾向になって

しまいます。
　これがCO2排出量の各部門別の間接影響です。
　さらに個々の問題は，エネルギーチェーンモデルを作っています。
　ここで採掘から最終利用に至るまで，さまざまなプロセスについての評価を行っています。これはコジェネレーションを導入したときに，どこでCO2がプロセスの中で発生するかと。発電する場合は当然発電時に一気にCO2の原単位が上がります。コジェネの場合は当然利用時に一気に上がって，最終原単位はこの辺に位置しています。どういうルートでエネルギーチェーンを組むのが最も理想的かというのを研究しております。
　今後はさらに精査な分析をするということで，このような計画を立て，地域社会のエネルギー政策，環境政策に役立たせるというようなことを大学としてもこれから貢献していきたいということで研究をしております。
　以上です。どうもありがとうございました。

（石井）　どうもありがとうございました。　ちょっと予定より遅れておりますけれども，何か今の講演にご質問がございましたら1件だけ，どうぞ。

（フロア3）　国立環境研究所の藤野と申します。いつも内山先生には大変お世話になっております。
　ご講演の中で，2050年半減というのは非常に厳しいと。われわれも大変厳しいと思いながら言っているのですが，ただパチャウリ議長もIPCCがノーベル平和賞を取った後に，日本に対して，「オイルショック以降日本は非常に頑張って省エネ技術を開発してきたのだけれども，そのスピリットは今どこに行ってしまったのだろうか」というようなことをコメントされています。もうずっと省エネの基準もほとんど変わりませんし，エネルギー原単位もほとんど変わらないという現状が今続いていると思います。
　その中で，例えば茨城県もBAUでやるとどんどんエネルギー需要は伸びてしまいますけれども，本当にわれわれが必要なサービスというのは何なのかという視点から考え直すと，意外と皆，今はいろいろなものをもう持っているかもしれないとか，そういったところをつくば発，日本発で言わないと結局，途上国も同じような発展をしてしまって，おっしゃるように2050年半減というのは程遠いような気も私はしているのですが，エネルギーの専門家の内山先生はそういった視点でどのようなお考えがあるのか，お聞きしたくて質問しました。

（内山）　まず，普段の生活で節約したり，こまめに電気を消したり，無駄な乗車をやめるとか，そういうことで全員がやれば2割は減ると思います。ただ，何割の人がやってくれるかですね。通常は1割くらいの方しかそういうことができないのが普通なのですが。そうすると２パーセント程度の削減になると思います。普段の生活の節約が最初の最も簡単な方法です。
　次は，なるべく効率のいい機器を買って，できるだけ省エネに努めるという方法。これは少しお金がかかる方法になります。ボーナス時にお金があれば今度は省エネ機器を買うかとか，家電製品とかクーラーとか，さまざまな省エネ機器がありますので，それにシフトしていくという考えです。
　次に難しいのが，インフラ面の改善です。これは建物を変えていかなければいけないという問題で，時間がかかる。例えば高気密・高断熱，二重ガラスにするとかですね。これも大事だからすぐにやるかというわけにはいかない。そこに何らかの政府の資金の補助があれば，早く進めることが可能になります。
　交通システムを変えるというのも，これは道路の整備の問題と絡んだり，いろいろなことがある。あと，利便性をどう取るかですね。やはり車というのは非常に便利だということ。モーダルシフトでも利便性が確保できるかが課題になります。利便性を確保しながら省エネを図る方法の１つにクリーンエネルギー自動車の利用があります。例えばプラグインハイブリッド，電気自動車などですね。そういう方向に思い切って転換することが大事なのですが，何せガソリンが高いといっても，まだ安いですよね。あの値段ではとてもかなわない。　基本的にガソリンというのはものすごく優れたエネルギーなのです。1 kgで1万kcal

もあります。バッテリーになるとその 20 分の 1 とか，そのくらいのエネルギー密度になってしまいます。これに対抗するには、車の概念を変えてしまうしかない。電気自動車というのはもうコミューターといいますか，小さな車で，レンタルなどでその場その場で利用できるものに変えていく。

そういう思い切ったことをどのように政策的に実行していくかということが大事になると思います。成り行きでいったら絶対に世の中は変化しないと思います。これは過去 30 年間，政府の省エネ努力やキャンペーンとかいろいろな方法でやってきましたけれども，結果としてエネルギー消費が増えてくる傾向がまだ続いています。もし 30 年後に半減するとなったら，かなり思い切った政策が必要になります

これについてはまた明日パネルディスカッションでいろいろな専門の方々と議論したいと思っております。

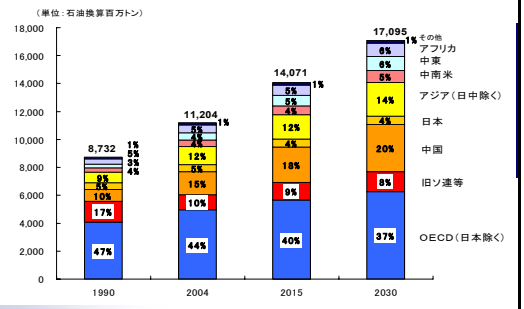
「第1回つくば3Eフォーラム」セッション1"地球温暖化とエネルギー資源"

エネルギー資源・環境問題と技術選択

筑波大学　システム情報工学研究科
リスク工学専攻
内山　洋司

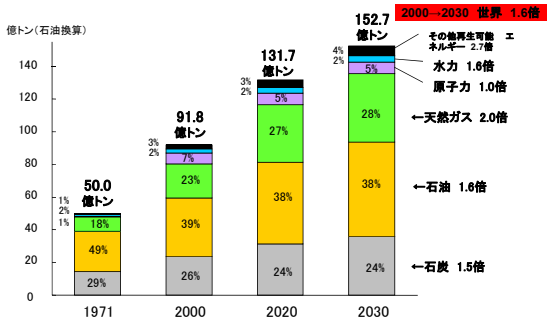
世界の一次エネルギー消費量の推移

世界のエネルギー需要の見通し



出典：WORLD ENERGY OUTLOOK 2006, IEA/OECD

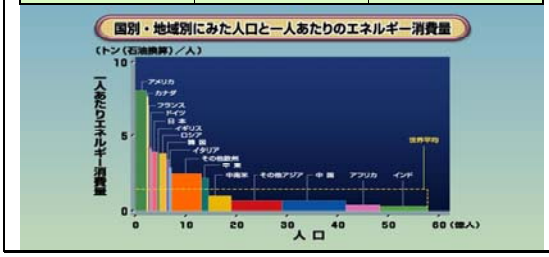
世界の一次ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量の資源別推移と見通し



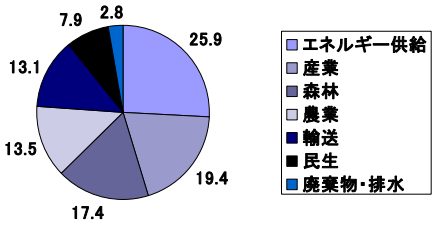
（出所）「WORLD ENERGY OUTLOOK 2002」

Annex-Ⅰの人口と排出量

2000年	Annex Ⅰ	Non-Annex Ⅰ
人口	19.7%	80.3%
GHG排出量	46%	54%

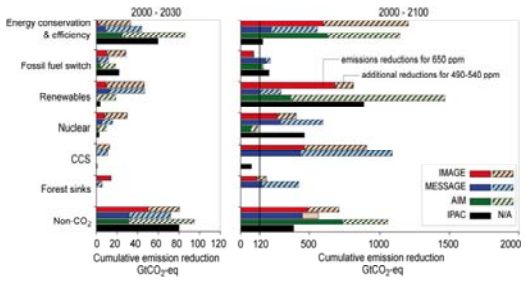


部門別に見た世界のGHG排出量



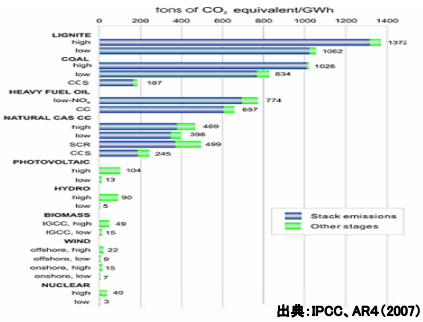
出典：IPCC、AR4（2007）

GHGの累積削減量



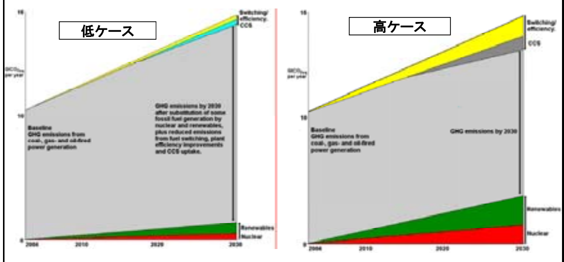
出典：IPCC、AR4（2007）

発電プラントのライフサイクルCO$_2$排出量



出典：IPCC、AR4（2007）

エネルギー供給技術による GHG削減ポテンシャル

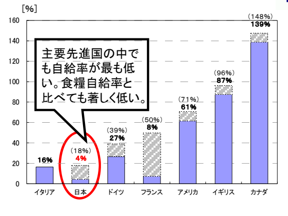


出典：IPCC、AR4（2007）

エネルギー自給率と資源の可採年数

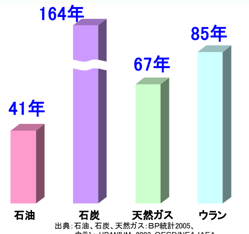
- 原子力を除けば、主要先進諸国の中で我が国のエネルギー自給率は非常に低く、わずか4%である
- エネルギー資源には限りがあり、世界で資源獲得競争が激化する可能性もある。

主要国のエネルギー自給率（2004年）



【出典：OECD/IEA "Energy Balances of OECD Countries 2003-2004"】

■世界のエネルギー資源確認可採年数

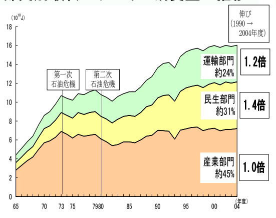


出典：石油、石炭、天然ガス：BP統計2005、
ウラン：URANIUM 2003, OECD/NEA-IAEA

国内のエネルギー情勢

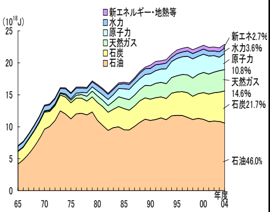
- 近年、我が国の民生部門、運輸部門のエネルギー消費の伸びが顕著であり、今後とも引き続き増加の見込みです。
- 現在、エネルギーの5割弱を石油に依存している状況です。

部門別最終エネルギー消費量の推移



資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」、内閣府「国民経済計算年報」、(財)日本エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」
(注)1. J(ジュール)＝エネルギーの大きさを示す指標の一つで、1MJ＝0.0258×10^{-3}原油換算kl
2.「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。

日本の一次エネルギー供給の推移



資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」
(注)「総合エネルギー統計」は、1990年度以降の数値について算出方法が変更されている。

GHG排出抑制を考慮した省エネルギー対策

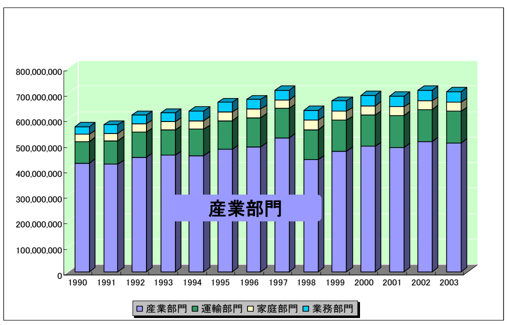
- **産業構造の変換**
（サービス・情報産業、素材リサイクル産業）
- **エネルギー・燃料転換**
（電力シフト、天然ガス利用、原子力・再生可能エネルギー開発）
- **規制強化・課税**
（自主行動計画から協定へ、省エネ基準、環境税）
- **インフラ改善**
（高断熱・高気密、パッシブソーラーハウス、モーダルシフト、渋滞解消）
- **高効率技術**
（産業技術の高効率化、民生・運輸部門のトップランナー製品、ヒートポンプ、コージェネレーション）
- **意識改革**
（ライフスタイルの変換、広報活動、エネルギー環境教育）

部門別にみた省エネルギー対策

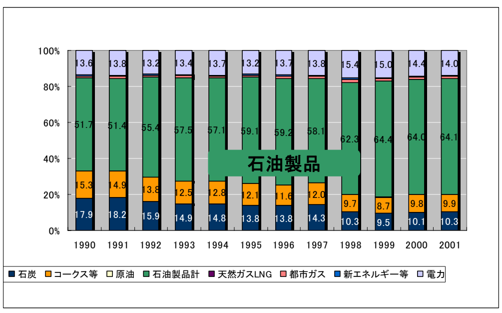
総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会報告書(2001年)

対策方法	省エネ量 ［万キロリットル］
[産業部門]	2,050
・省エネ法に基づく措置の強化（経団連自主行動計画と第一種ｴﾈﾙｷﾞｰ管理指定工場に係る措置の強化） ・中堅工場等の省エネ対策（第二種ｴﾈﾙｷﾞｰ管理指定工場に対する現行規制のフォローアップ） ・高性能工業炉の加速的普及[中小企業対象]	2,010 40
[民生部門]	1,860
・省エネ法に基づく措置の強化（ﾄｯﾌﾟﾗﾝﾅｰ規制による機器効率の改善） ・住宅・建築物の省エネ性能向上 ・家庭用ｴﾈﾙｷﾞｰﾏﾈｰｼﾞﾒﾝﾄｼｽﾃﾑ(HEMS)の普及 ・業務用ｴﾈﾙｷﾞｰﾏﾈｰｼﾞﾒﾝﾄｼｽﾃﾑ(BEMS)の普及[うちESCOによる効果] ・トップランナー機器の拡大 ・高効率機器の加速的普及 ・待機時消費電力の削減	540 860 90 160 [100] 120 50 40
[運輸部門]	1,690
・省エネ法に基づく措置の強化（ﾄｯﾌﾟﾗﾝﾅｰ規制による機器効率の改善） ・交通システムによる省エネ ・トップランナー基準適合車の加速的導入 ・ハイブリッド自動車等車種の多様化 ・クリーンエネルギー車の普及促進	540 970 50 50 80
[部門横断的対策] 新たな技術開発 ・高性能ボイラ ・高性能レーザ ・高効率照明など ・クリーンエネルギー自動車の高性能化	100 40 10 50 ―
合計	5,700

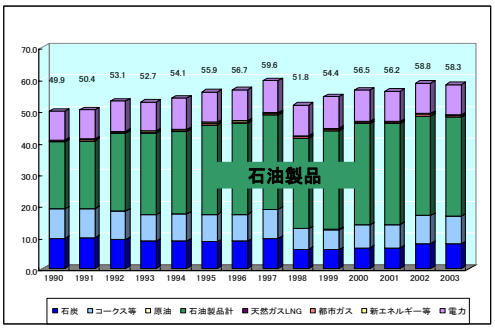
茨城県の最終エネルギー消費の推移（GJ）



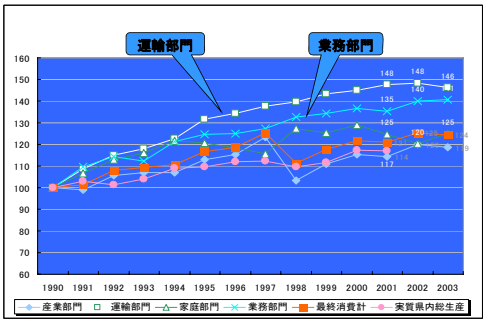
茨城県の最終エネルギー消費（エネルギー種別構成比）の推移



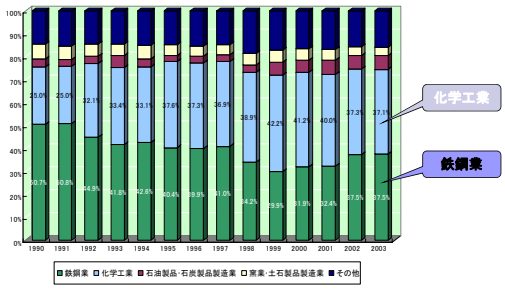
エネルギー起源のCO_2排出量（概算）



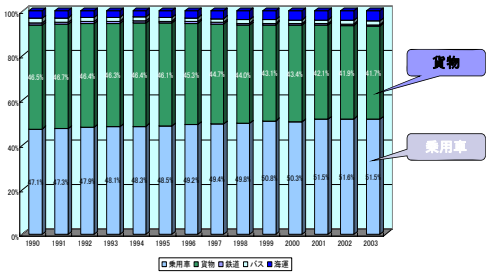
茨城県の最終エネルギー消費の推移（1990年＝100）



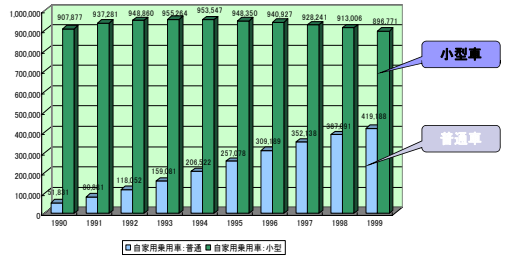
製造業におけるエネルギー消費種別構成



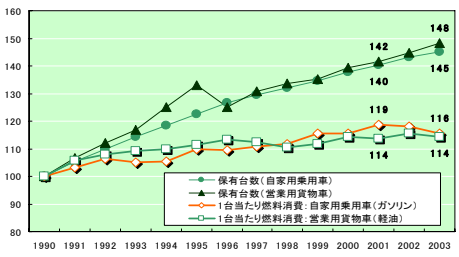
運輸部門のエネルギー消費の構成比の推移



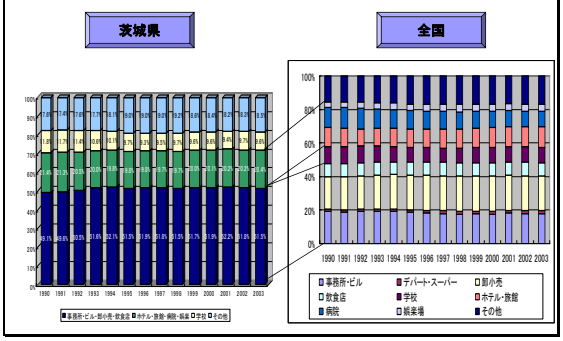
自家用乗用車の保有台数の推移



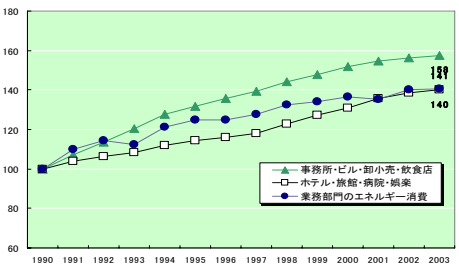
自動車の保有台数と1台当たりの燃料消費の推移（90年=100）



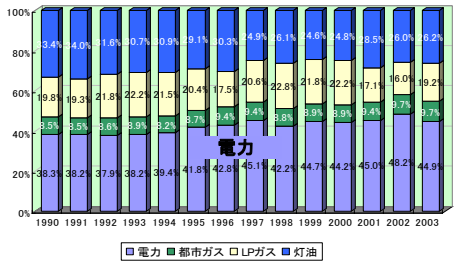
業務部門のエネルギー消費の構成比の推移



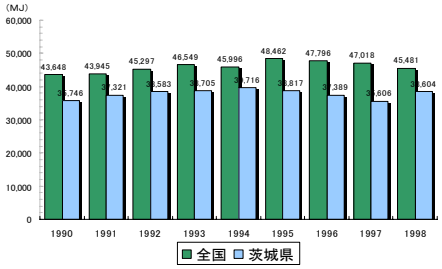
業務部門のエネルギー消費と床面積の推移（90年=100）



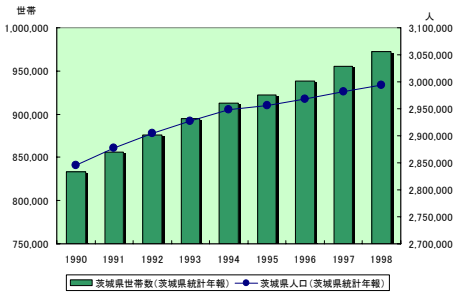
家庭部門のエネルギー消費の構成比の推移



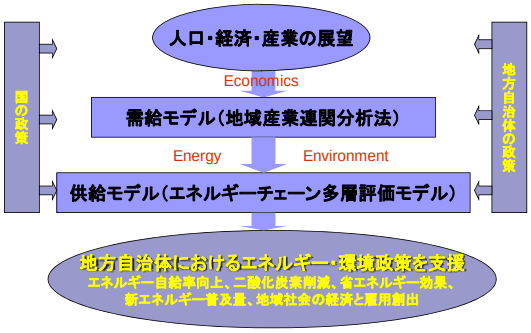
年間世帯当たりのエネルギー消費（MJ）



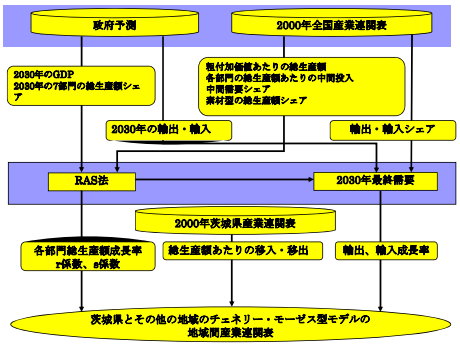
茨城県の人口と世帯数の推移



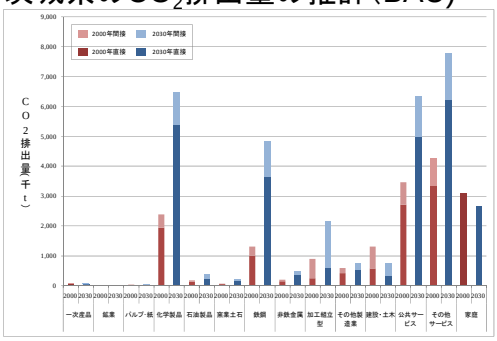
3Eローカルモデルの概要



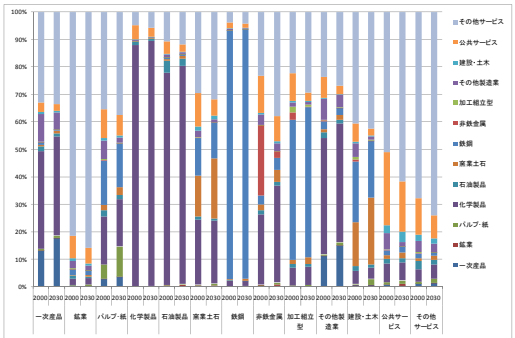
需給モデルの各種パラメータの推計方法



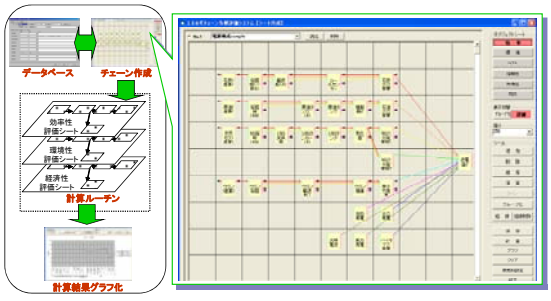
茨城県のCO$_2$排出量の推計（BAU)



CO$_2$の間接排出量の内訳（BAU)

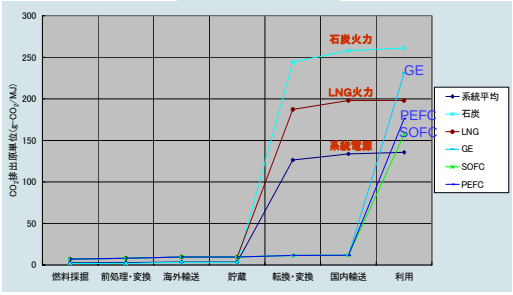


エネルギー技術評価モデル（エネルギーチェーン多層評価モデル）の概要



CO_2排出原単位の比較（家庭CGSと大規模電源）

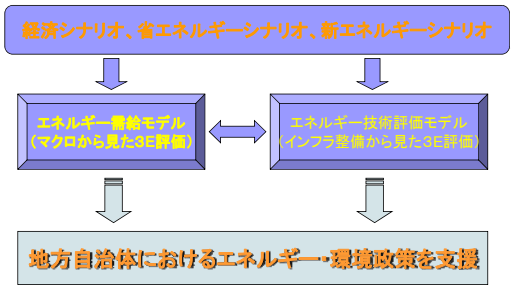
~HPなし温熱供給~



今後のシナリオ分析について

- **経済シナリオ**
  - 県の人口構成、産業構造、雇用、家計所得、輸入・輸出、移入・移出、輸送量
- **省エネルギーシナリオ**
  - 産業部門（燃料転換、高効率産業機器）
  - 運輸部門（燃費改善、モーダルシフト）
  - 民生部門（コージェネレーション、ヒートポンプ、高効率照明・家電製品）
- **新エネルギーシナリオ**
  - 水素利用システム（副生水素、燃料電池、etc.）
  - 再生可能エネルギー（太陽光、風力、バイオマス、etc.）
  - 新型電池利用システム（プラグインハイブリッド車、電気自動車、民生部門利用）

期待される成果



セッション2　新エネルギー要素技術

1. 燃料電池技術の現状と将来
座長：石田　政義（筑波大学）

（石田）　皆さま，おはようございます。本日午前中のセッションの座長を仰せ付かっております筑波大学システム情報工学研究科の石田と申します。よろしくお願いいたします。

それでは午前中，「新エネルギー要素技術」といたしまして7件の講演が予定されております。講演時間は15分，その後のディスカッションを5分ということでよろしくお願いいたします。

「燃料電池技術の現状と将来」

大和田野 芳郎
（独）産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門

（石田）　それではまず 1 番目，「燃料電池技術の現状と将来」ということで，まずは産業技術総合研究所の大和田野芳郎先生によります「燃料電池技術の現状と将来」ということでよろしくお願いいたします。それでは大和田野先生，よろしくお願いいたします。

おはようございます。私からは「燃料電池技術の現状と将来」と題しまして，細かい技術的内容よりは，むしろ燃料電池というものはどういう役割を期待されているのか，その将来展望についてご説明したいと思います。

最初に，燃料電池とはどういうものか。ご存じの方もたくさんおられると思いますけれども，燃料電池というのは，この右上に非常に簡単な絵が書いてありますように，イオンを通す膜の両側に酸素と酸素を置いて，この場合ですと水素が膜を通して引っ張られていって，酸素側の極の表面の上で水になるという反応をする。非常に単純で，もともと水からできる酸素と水素をもう一度結び付けてやるときに電気を取るという，原理としては非常に理想的なプロセスを利用するというものです。

従って，原理的にはその一番の基本的な反応のところでは CO2 を排出しないということなので，例えば水素を積んで走る自動車というのは水蒸気を出すだけという非常にクリーンな発電装置であるということがいわれています。実際にはその水素をどうやって作るかとか，いろいろなところでやはり CO2 を排出したりしているのが現状ですが，究極の目標はここにあるということでお示ししております。

もう一つは，燃料電池のこういうシステムを作るわけですが，原理がこういうものですから，従来の熱機関に比べると小さな規模でも高い効率が得られるというのが非常に大きな強みです。小型ですが発電効率が高いです。それから，小型で非常に利用するところに近いところで使えるということで，遠くまでは運べないけれども近くでは使えるし熱も利用できる。これを合わせると非常に高いエネルギー利用効率が達成できるので，当面，民生や業務，それから運輸も自動車用として注目されていますけれども，そういうところで大幅なエネルギー利用効率が改善できます。従ってこれが省エネにつながり，CO2 排出削減に大きく貢献できる。こういう役割が期待されているものです。

それから冒頭に申し上げておきますけれども，まだまだコマーシャルプロダクトとして成熟しきってはいないものですので，今後もいろいろなところで改善が必要であるというのが現在の段階です。

それから先ほども申し上げましたように，水素を使うということで，水素というのは掘れば出てくるというものではないので，どうやって作るか，その過程で本当に CO2 を出さないというプロセスを作り上げるという長期的な課題もあります。

まず，先ほど効率が高いと申し上げましたので，それはどの程度かということをこのグラフでご説明します。横軸には発電装置の規模が書いてありまして，1 GW というのは大規模な発電所のスケールです。それから 1 kW というのは大体家庭用のスケールです。その中間にいろいろなものがあります。例えば自動車用の燃料電池というのは 50～100 kW の出力が要求されています。

それに対してここに楕円形で示してありますのは，従来の回転機を利用した発電機，大きな発電所のタービンから中型のガスエンジン，ディーゼルエンジン，マイクロガスタービンと，このように従来の熱機関というのは小さくなると効率が下がるという傾向がありますが，燃料電池は小型でも高い効率が得られるということです。従って，昔は究極の発電所代替として燃料電池が期待されていた時期もあるのですけれども，今も期待されていますけれども，当面は，小型のところで効率を上げる。これが当面の燃料電池の役目であると思っております。

下に書いてありますように，小型のものであればエネルギーを利用するところ，近いところで使えるので，熱も一緒に使うということでさらに効率が高くなる，こういう期待があるわけです。

もっと大局的に見て，昨日いろいろお話がありましたように，エネルギーの中でどういう役割が期待されているかと申しますと，業務，民生，運輸で，従来は大型の発電，それから産業レベルではなかなか手が入れられなかった実際の消費するところでの効率改善，これに燃料電池が大きな役割を果たすであろうということです。

もう一つ前置きになりますが，燃料としての水素は非常に単純なイメージがあるのですが，実際に今どのように水素が使われているかということをご紹介しておきます。

現在，自動車用の燃料電池に使われるのは，化学プラント，製鉄所やその他でついでに副産物として出てくる水素をで、これを当面利用しましょうということです。これでかなりの量が供給できるといわれています。しかし現在本当に大規模に水素を作れるのは，天然ガスと水蒸気からの部分しかありません。この場合には，水素を作るときに CO2 が出ています。現在は大気中に捨てられているわけですけれども，長期的に見ますと，CO2 を作りながら水素を作って何の意味があるのだということになります。もちろん効率がいいというメリットはあるのですけれど，長期的には CO2 を出さない水素の作り方を利用するということが燃料電池に求められています。

さて，個別の技術を少しご紹介します。いろいろなタイプがありまして，皆さんもご存じだと思うのですけれども，左から右に行くほど高い温度で動作します。この電解質の膜の動作温度，それから材料によっていろいろなタイプがあります。

固体高分子形というのは自動車用で期待されているものですが，非常に低い温度で動作します。主に起動停止が非常に楽であるというメリットがあります。

それからリン酸形というのはかなり成熟していて，実際使われてもいるのですけれども 200℃ぐらいです。

それから溶融炭酸塩形というのは，溶融炭酸塩という非常に特殊な電解質を使うので，650℃という高い温度で使われます。それからこれはなかなか小型は難しくて，200 kW 以上の中型から大型の利用が想定されています。これも実際外国製品ですが既に商品化されていて，国内にも 10 台規模，数十台になっているかもしれませんが，それぐらいの規模で使われています。

最後に固体酸化物形です。これは一番高い温度で，昔は 1000℃まで熱しないと動かないということでしたが，今は 700℃，さらに 600℃と低い温度まで動作するようになって使いやすくなってきております。小型で非常に効率が高いということで，今，急速に開発が進んでいるものです。

それぞれについて写真を紹介いたします。小型の固体高分子形，低温の固体高分子形については，例えば家庭用 1 kW のシステムですとか，それからこれは万博でも動きましたけれども，バスの電源として使われたりしています。それぞれ国内では数 10 件，それから 100 件ぐらいの規模でフィールドテストが行われている状態です。

それからリン酸形については既に導入されて使われているところもあります。ビルの地下に設置されたりしています。

それから溶融炭酸塩形ですが，これは 200 kW クラスのものが製品化されて国内にもかなり輸入されて

いるという段階にあります。

それからこれは少し前の発電所用のMW規模の実証試験がされました。

固体酸化物形については，これは大型のものですけれども，後でご紹介しますように，1 kWから10 kWというところが今非常に開発の目標になっていて，急速に進展しているものです。

個別の話を少しいたしますと，これは固体高分子形の燃料電池，低温の80℃ぐらいで動作するというものです。細かいプラスチックの電解膜の両側に電極を付けた単位をスタックと称して，たくさん積み重ねて使うものです。自動車用の応用ですが，システムは簡単に言うとこういう格好になっていて，水素を燃料として積んで，燃料電池を動かし，発電してモーターを駆動して動くというものです。

ここで，燃料電池自動車がどのぐらいCO2排出削減に寄与するかという計算をトヨタ自動車とみずほ総研が2004年に行いました。もう3年前になりますけれども，その例をご紹介します。

私が冒頭に申し上げましたように，水素から出発すればクリーンなのですけれども，水素をどう作るかというところが問題であるということを示すものです。一番上にありますのは，横軸がCO2排出量，ガソリン自動車の場合のトータルを1として書いたものです。青い部分はガソリンを積むまでにどれだけCO2を排出したか。それから黄色い部分は，実際に動く時にどれだけCO2を排出するかという割合を示しています。

これを現在のプリウスに代表されるハイブリッド自動車にすると，CO2排出が大体半分になる。これは主に電気で駆動する部分や，減速するときに今まで失っていたエネルギーを電気としてもう1回蓄えるという効果が非常に大きいわけです。

燃料電池自動車はこの辺にありますが，水素の作り方はいろいろありますけれども，ハイブリッド自動車と比べてそれほど減るわけではない。水素を作るまでにこれだけCO2を排出しているのですよ，ということを示しています。先ほど言いました，副産物としての水素を使えばここまで下げることができます。ですから，ハイブリッド自動車に比べて，将来さらにその半分ぐらいに減らすことは期待できるだろうといえます。

ちなみに，後でお話がありますバイオマスを使った燃料では，バイオマスを成長させるときにCO2を吸ってくれるので，燃やすときにはCO2は出るのですけれども，プラスマイナスでゼロに近い排出になる。ただ，そのバイオマスも作り方によっては，非常にCO2を排出して育成・使用されているのであまりゼロにならないようなルートもある，ということが最近よくいわれるようになってきています。

さて，今度は自動車用ではなくて定置型，据え置き型で使う場合はどういう使い方をされるのかというイメージをここでご紹介します。

これは愛知万博で日本館その他にエネルギーを供給したシステムで，非常にデモンストレーションとして力が入れられたプロジェクトです。元になっているのは溶融炭酸塩形の燃料電池から電気と熱を供給するというシステムです。

ここでしっかり見ないといけないのは，それではその系統の電力を買ってきて，ヒートポンプを動かす場合とどちらが本当にエネルギーの利用効率が高いのか，それからCO2は出さないのかということになります。答えは，熱と電気がどれだけの割合で欲しいのかという個々要求によって違うのですけれども，少なくともいえることは，燃料電池の発電効率というのは，系統電力の平均の発電効率よりも高ければ，熱が使える分だけお得ですといえるのですが，それより低いと本当にどちらがCO2削減になっているのかというのは，現時点では微妙なところです。ですから燃料電池が本当に普及するためには，高い発電効率というものをしっかりと目標にしないと，最終的には普及しないということはいえると思います。

発電効率ですが，現在これはいろいろあって日進月歩ですので，「違う」と言われる方もおられると思いますが，低温形から高温形になれば確かに高い効率が出ておりまして，固体酸化物形では，システムの効率としても50数パーセントを達成するに至っており、非常に効率の高いところが期待されているものです。

固体酸化物形の燃料電池ですが，今度はプラスチックの膜ではなくてこういうセラミックスの板を積み重ねているものです。

産総研の研究を若干急ぎ足でご紹介します。ご紹介したようないろいろなタイプの燃料電池の研究をしております。PEFC，SOFC，定置型，主に自動車用と分かれておりますけれども，長期信頼性，現在数万

時間の定常運転というのは実現されているわけですが，実際の動作で本当に信頼性，長寿命は持つのか。これをまだまだ非常にベーシックな研究で確かめながらというプロセスが必要です。もちろんコンパクトで低温で動作するという先進的な研究もやっております。システムの研究もやっておりまして，どう使えば本当にCO2削減になるのかという解析も行っております。

これは燃料電池とは関係ないのですけれども，今回のフォーラムに関係があると思って挿入しました。

産総研のつくばサイトの省エネをやりました。従来の一極集中型の温水を総延長1 km以上送っていた無駄の多いものから，分散型の熱源に変えた結果，エネルギーとして13%，CO2としては24%の削減を達成しています。これは18年度で一応終了しています。ここで導入されたガスエンジンなどその他のものを，将来的にはさらに効率の高い燃料電池に置き換えていくと，もっと省エネが進むと期待されるものです。

将来的には，では化石燃料がなくなったらもう燃料電池の出番はないのかという長期的展望に対しては一つ役割があります。水から作る水素というのを一つのエネルギー貯蔵形態として考えるならば，それを再び電気に変えるという意味で燃料電池の出番というのは長期的にもあるだろうと。

まとめますと，中期的には効率の改善ということで省エネに寄与する。それから長期的には，最後に申し上げましたように，CO2を出さない水素，それからの電気の発電というプロセスの意義，そのためのエフェクターとしてのミッションがあろうと思います。

開発段階は，一部商品化されていますけれども，まだまだ普及されていません。ただ，急速に実証試験等が進みました。太陽電池の歴史を振り返っても，市場に出てはまたフィードバックし，改善してはまた市場に出すというプロセスがこれから始まる段階にあると思います。

今後の課題ですけれども，もちろん信頼性をきっちり，現在の目標10万時間というものに対して数万時間まで来ているわけですけれども，これを検証しながらさらに効率を上げていくという開発が必要ですし，燃料をしっかりCO2を出さない作り方，使い方をするということも合わせて大事かと思います。

以上です。

（石田）　大和田野先生，ありがとうございました。

それではご質問，あるいはコメント等を受け付けたいと思います。どなたかございますでしょうか。

（フロア1）　一つお伺いしたいと思います。

燃料電池で作るエネルギーと，世界全体で使用するエネルギーとの比といいますか，すべてうまくいった場合にどれぐらいの割合がこれで肩代わりできるのかということ。

（大和田野）　大きい方から言いますと，日本のエネルギーの流れは，先ほど申し上げましたように，エネルギー消費の約半分が業務・民生，それから運輸で使われているということです。これらに対して全部燃料電池を導入したらこれは相当な効果があると思いますが，いきなりそういうことはとても始まらないと思います。例えば，2020年，2030年に対して現在のエネルギー利用効率を3割上げる，30何パーセント，40%以上に上げるということが日本の政策的な目標になっています。

よろしいでしょうか。燃料電池というのは用途としては非常に広範にあるのですけれども，現在の半分のエネルギーを消費しているところで使える，そこの効率を数割上げるということがマクロには期待されるということです。

（石田）　申し遅れましたが，差し支えなければご所属とお名前をお願いいたします。

（フロア2）　科学技術振興機構の田中です。

CO2を発生しない水素の作り方として，今後中長期で見たときには，どのようなステップで，あるいは可能性のある方法があるのでしょうか。

（大和田野）　オーソドックスな分け方は，分散型の作り方，集中的な作り方と分けまして，集中的な作り方は，化石燃料を作るけれども出てきたCO2は回収・隔離する。これは今の一つのトレンドです。もう一つは原子力を使う。原子力のときの熱と電気を使う，いろいろなプロセスが考えられています。この二つが集中型に大量に水素を作れる可能性のあるものです。それから分散型ではありますけれども，普及が割と早くできて，いいのではないかといわれているのが，例えば太陽光発電，それから風力発電で発生した電気を，主に電気分解のプロセスで水素に変える。それを今度は使うときに燃料電池を使う。これは小規模ではありますけれども，広く分散的に，しかも導入は早い時期に始められるのではないかと思っています。

（石田）　まだあるかと思いますが，時間も押しておりますので次の講演に移らせていただきたいと思います。

燃料電池技術の現状と将来

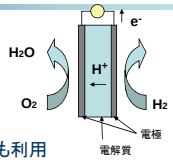
大和田野　芳郎

産業技術総合研究所

2007年12月16日
つくば3Eシンポジウム

燃料電池の特徴

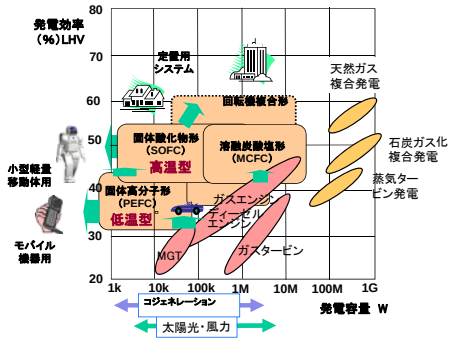
利点
- CO2等、環境排出ガスが少ない。
  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$
- エネルギー利用効率が高い。
  小規模だが発電効率が高い、熱も利用



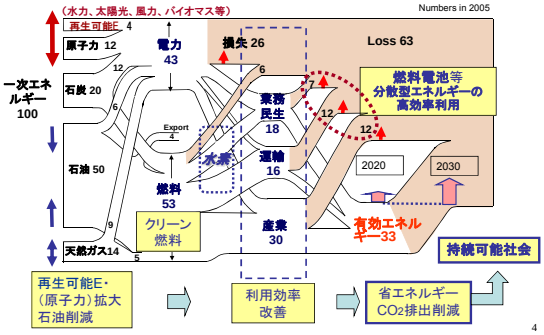
➔民生・業務、運輸部門のエネルギー利用効率改善
➔省エネ、CO_2排出削減に大きく寄与

課題
- 効率改善、長寿命化、コスト低減等が必要
- 二次エネルギーである水素の製造が必要
  現在、副生水素利用 ➔ CO_2を出さない水素製造

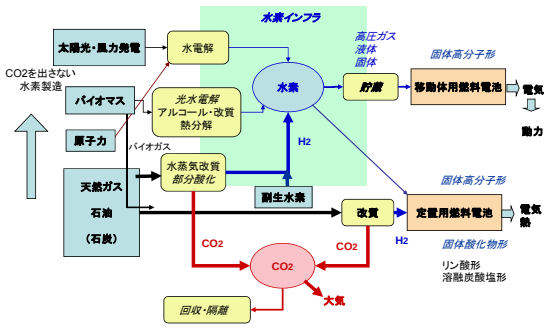
燃料電池の規模と発電効率



日本のエネルギーの流れと燃料電池・水素

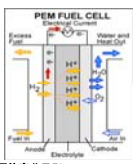


燃料電池に至る燃料の流れ



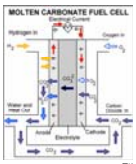
燃料電池の種類と用途

固体高分子形　～80℃
リン酸形　～200℃



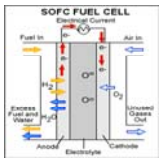
固体高分子形
～W モバイル機器用
~1kW 家庭定置用
50~100kW 自動車用
水素貯蔵密度向上、インフラ整備
低価格化、長寿命化が課題
リン酸形
100kW ～1MW　ビル、工場用(商用)

溶融炭酸塩形
～650℃



>200kW　ビル、工場用(商用)
>10MW　発電用

固体酸化物形
700～1000℃



>1kW 家庭定置用
>300kW ビル、工場用
>10MW 発電用
耐熱サイクル性向上、
長寿命化、信頼性向上が課題

図は、US.DOE Energy Efficiency and Renewable Energy から
http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html

燃料電池開発の例

固体高分子形
1kW級PEFCコージェネレーションシステム

固体高分子形
TOYOTA FCHV-BUS2

固体酸化物形
220-kW hybrid system with a Solid Oxid Fuel Cell (SOFC) generator and a down-stream micro hot-gas turbine
Siemens-Westinghouse

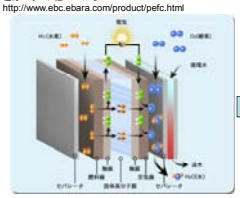
リン酸形
オンサイト型1MW燃料電池
プラント(東京都港区)

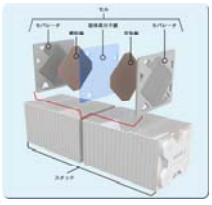
溶融炭酸塩形
FuelCell Energy, DFC® 300A
250 kW MCFC

溶融炭酸塩形
1,000kWパイロットプラント
中部電力川越火力発電所内

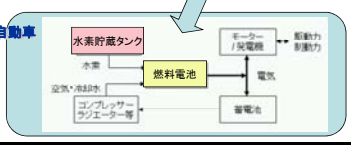
固体高分子形燃料電池(PEFC)と燃料電池自動車(FCV)

荏原バラード社 HPから
http://www.ebc.ebara.com/product/pefc.html

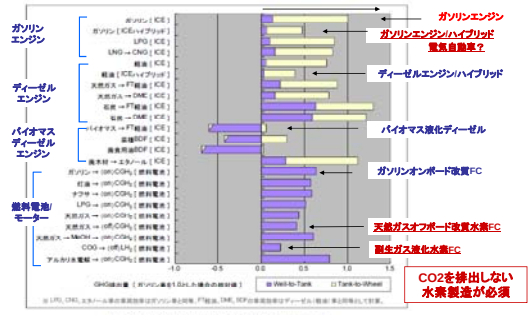




燃料電池自動車



様々な自動車駆動法による温室効果ガス排出量

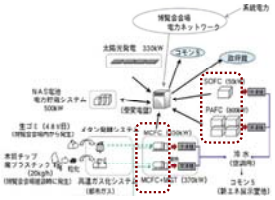


Report by TOYOTA MOTER CORPORATION and Mizuho Information & Research Institute, Inc. 2004 Nov.

9

燃料電池の定置利用

大規模システムの例
愛知万博
日本館、NEDO館

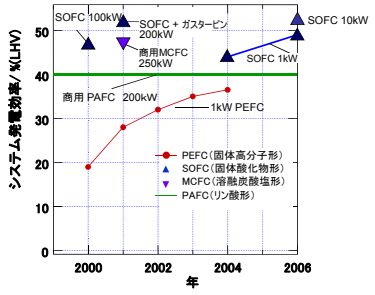


燃料電池による発電
＋ 熱利用
（ポンプ等補機の損失を含む）
総合効率で上回ることが必須

大規模発電からの電力
（発電効率 >= 40%、送電損含む）
＋ ヒートポンプ （COP>5）

10

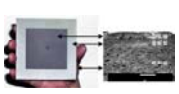
燃料電池発電効率の推移



11

固体酸化物形燃料電池（SOFC）

単セル外観写真と断面電子顕微鏡写真



10層スタック外観写真

東京ガスHPから
http://www.tokyo-gas.co.jp/pefc/dev-fc_36.html

構成：0.8kW級スタック16個（2行×2列×4段）

・動作温度の低温化、小型化、高出力化
・燃料の多様化
➔ 高効率定置型コジェネシステム

関西電力、三菱マテリアル
熱自立状態で直流発電効率
56%[LHV] 発電効率を達成

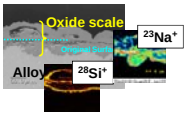
http://www.kepco.co.jp/rd/topics/2006/0410.html

12

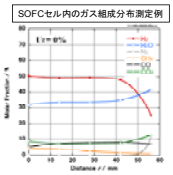
産総研 燃料電池の研究

- PEFC 基礎プロセス解析、お台場(FC3)
- PEFC 研究開発、関西 （ユビキタスエネルギーRI）
  - 性能評価、劣化解析（定置用）
  - マイクロ-FC、ダイレクトメタノール, 新型
  - 新電解質、触媒、等
- SOFC 研究開発、つくば （エネルギー技術RI）
  - 長期信頼性、劣化メカニズム解析
  - 規格・標準化のための詳細な性能解析
    - ガス成分、流量の空間・時間分解能測定,
    - 高精度発電性能・過渡応答測定
  - 燃料多様化、低温動作コンパクトシステム

SOFC金属インターコネクトの異常酸化の要因解明



SOFCセル内のガス組成分布測定例

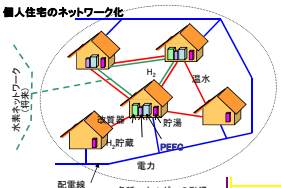


低温動作SOFCセルの開発

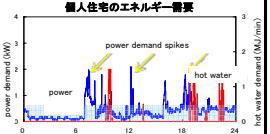
13

産総研 燃料電池ネットワーク の研究

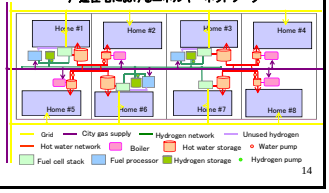
個人住宅のネットワーク化



個人住宅のエネルギー需要



戸建住宅におけるエネルギーネットワーク



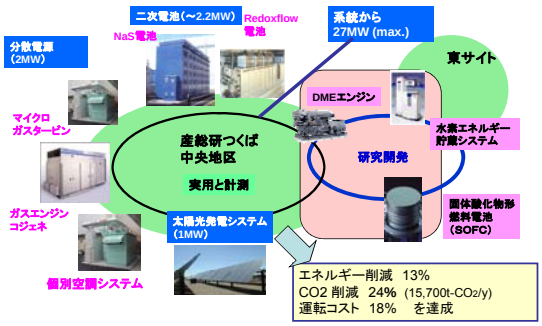
・水素の貯蔵・融通
・改質器の共有・定常運転
・PEFC の最適運転

・削減例
・初期コスト －50%
・運転コスト －20%
・CO2削減 －6－8%

14

産総研つくばセンターにおける分散型エネルギー源導入

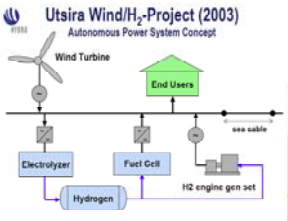
改修時に熱源を分散化、効率化＋二次電池、太陽光発電等を導入



エネルギー削減 13%
CO2 削減 24% (15,700t-CO2/y)
運転コスト 18% を達成

自然エネルギーからの水素/燃料電池システム

ノルウェーの離島 Utsira（人口250）での
エネルギー供給プロジェクト



Main components	Technical parameters
Wind turbines	2x600 kW
Flywheel	5 kWh
Master Synchronous Machine	100 kVA
Hydrogen engine	55 kW (top load)
Fuel cell	10 kW
Electrolyser	10 Nm³/h, 48 kW
Compressor	5.5 kW
Hydrogen storage capacity	2400 Nm³
Project management	Hydro
Partner	Enercon

16

まとめ

■ 燃料電池の役割
- 中期的：効率改善（高効率発電＋熱利用）による省エネ
- 長期的：再生可能エネルギーからの水素による発電
  ➔ ゼロエミッション

■ 開発段階
- 一部商用化済み形も、開発中、実証中の形に期待
- 急速に効率改善、コンパクト化が進行中

■ 今後の課題
- 効率改善、コスト低減、長寿命化と実証
- 短期的に副生水素利用 → 水素貯蔵密度向上
- 再生可能エネルギーからの水素利用/CO_2回収システム

17

「高窒素ステンレス鋼の PEFC 用金属セパレータへの適用可能性」

片田 康行
（独）物質・材料研究機構環境・エネルギー材料領域 燃料電池材料センター スタック材料グループ

（石田） 続きまして，物質・材料研究機構の片田康行先生によります「高窒素ステンレス鋼の PEFC 用金属セパレータへの適用可能性」ということでお願いいたします。

皆さん，おはようございます。物質・材料研究機構の片田です。よろしくお願いします。本日はこういうタイトルで少し材料側の観点から金属セパレータの話をさせていただきたいと思っております。

本日の内容ですが，本研究の背景と狙いというところを少しご紹介させていただきたいと思います。それから，セパレータの材料として現在いろいろ使われて検討されているのですが，それに代わる NIMS で開発した新しい材料という形で高窒素ステンレス鋼（HNS）というものがございます。これは非常に耐食性のいい材料ですが，すんなりセパレータに持っていくというところにはまだいろいろ課題があるということで進めております。そういった内容を少しお話しさせていただきたいと思います。それを実際にセパレータとして検討しております結果について，少しご紹介させていただきたいと思っております。

これはバンクーバーで昨年 2006 年に THERMEC'2006 という国際会議がございまして，そのときに電気自動車のデモンストレーションがありまして，そこに乗る機会があったのです。これは 3 人ずつ交代して 2〜3 分ぐるっと回ってくるという，燃料電池を使った自動車なのですが，乗ってみると非常に静かなのです。それはそれでよろしいのですが，ちょっと関係なく思ったのは，あまり静かで突然近づいてきても分からないなというような気もしました。

もちろん内容は，ボンネットを開けますと，全く普通のガソリン自動車とは違うという様子が分かります。

特にこれは後ろの方のトランクを開けますと，350 気圧の水素のボンベが入っているという形で，これは非常に安全性の高いものですが，こういった状況で実際は実現しているということです。

各種燃料電池の構成と特徴というのは，先ほど大和田野先生からもお話がございましたので割愛いたしますけれども，狙いとしては固体高分子形，これは一応低温形の，比較的 100℃以下の低い温度で対応できるということ。それから自動車用の燃料電池として非常に普及効果も大きいということで，一応こういうところを対象にしております。

これは固体高分子形燃料電池の模式図です。ここにあります MEA という，これは電解質膜と電極で挟んだようなものをこのセパレータというもので挟み込んでいる，これが一つのセルになっているわけです。こういうものを構成する素材という形で，この辺のところの材料を対象にしてございます。

従来，グラファイトを素材としてセパレータは使われておりますけれども，これは耐食性や接触抵抗が非常によろしいのですけれども，加工性やコストの問題からいくとなかなか普及には至らないということで，簡単にプレス加工できる，薄板加工できるような金属系のものが望まれているというところです。

これは先ほども同じような話がありましたが，水素イオンがこの電解質膜に入りまして酸素と反応し，電気が流れるということでございます。ここのところにセパレータが来るわけです。例えばこういったところから，耐食性・腐食性の問題があるわけですが，実際に金属イオンがここから溶けだしてきて，それがこういうところに入ってしまうということで，本来は水素イオンとこういう酸素の反応が本来行われなければいけないのに，いろいろな金属のイオンが入ってくるとその分効率が悪くなって寿命が落ちてしまうという形になります。

これは今の一つのセルがここに来るわけですが，これはたかだか 0.7 V ぐらいしかございません。これを例えば 70 V 必要だということでしたら，100 枚，100 組組み合わせることなります。それがスタックといわれているわけです。

こういったときに，先ほどの MEA のものをセパレータで挟んでいくわけですが，そういうときに接触抵抗が少なからずあるのですが，それをできるだけ下げてやらないと，n 倍の形になってそれが積算されて，電圧のドロップがあるということになります。だから接触抵抗も非常に大事になってきます。

基本的にこのセパレータというのは，同じ部材の右側が酸素でしたらこちら側が水素になっている。ガスをちょうど隔てるようなセパレータということです。同じことでアノード極とカソード極ということでバイポーラという言われ方をすることもございます。

これはコストの面から少し見たところですが，大体この MEA 関係のコスト，それからその他のコストがこういう形で，セパレータそのもののコストというのは大体 4 分の 1 を占めているということで，これをかなり安くしていかないと普及がなかなかおぼつかないことになるかなということです。

これは NEDO，住友金属さんの方で既にもう報告されておりますが，従来型のオーステナイト系ステンレスを使った場合，いろいろセパレータ材料として検討されたわけですが，問題として指摘されているのが，これはオーステナイト系ステンレスですから 304 や 316 でよくご存じのようにニッケルが入っておりまして，このニッケルイオンの溶質というのが大きくなっております。もちろん鉄とかほかの合金もありますけれども，これが先ほどの電解質膜の中に入っていってしまうということで，寿命が短くなってくるということです。こういった問題がございます。

そこで，今回 NIMS で開発した材料ですが，あまり時間もないものですから簡単に説明いたしますと，今回は窒素をたくさん入れるということ，それから不純物を下げて清浄性を上げるという，この二つの技術を同時に実現しようということです。窒素を入れると耐食性も上がりますし，それから窒素はオーステナイト層を安定化させる働きがございまして，その窒素を入れたおかげでニッケルをどんどん節約することができる。もう少したくさん入れますと全くニッケルが入らないオーステナイト系のステンレスができるという材料でございます。

これは日本で NIMS にしかない，20 kg 溶解の非常に小さな試験溶解炉ですが，こういったものを，一次電極，それからスラグを通してインゴットができる。全体を圧力容器の中に入って，50 気圧までの圧力の中で溶解するということで，圧力のルートに比例して窒素の溶解度が高まりますので，こういう形で作ることができる。高窒素鋼といっても，窒化物を入れるのではなくて，窒素を原子の形で固溶させるといった代物です。

これはニッケルと窒素の量で，ここのγ領域が単層になる，オーステナイト領域になるということですが，例えば二つのモデルを考えまして，ここでいきますと 4%ニッケルという，従来のオーステナイト系よりかなり低いものでオーステナイトができますが，ここまで窒素が入りますと全くニッケルフリーの高窒素鋼ができるということです。オーステナイト系というのは非常に耐食性がいい材料ですが，全くニッケルを含まなくてもできるということです。この辺がニッケルが入っていていろいろ悪さをするということから免れる，一つの候補材になるということです。

これは機械的性質で，伸びと強度を示したものです。普通強度が上がると伸びが低くなりますので，右下がりのグラフになるのですが，この高窒素鋼の領域というのは，304 と同じぐらいのレベルで強度が 1.5 倍や倍ぐらいになる，そういった材料です。

耐食性について見ますと，これは孔食，穴が開くような腐食です。それからすき間腐食，こういったものを人工海水中でやったのですが，窒素が入ってきますと全く腐食を起こさない，これも腐蝕を起こさないものになります。

これは実験室の話ですが，これは海水暴露試験をやっておりまして，わざわざこういう穴の開いた試料にすき間を作るような，こういうすき間形成材を挟み込んで暴露させております。

これは比較のために作った二層ステンレスです。これは高窒素鋼のステンレスですが，こういう腐食生成物を除いてやりますと，全くすき間腐蝕が起こっていないという状況でございます。これは今年でちょうど 5 年になりますけれども，5 年間全く腐蝕していないということで，チタンとかそういうものほとんど同じぐらいの耐食性が出ているという材料でございます。

なぜ窒素を入れると耐食性が上がるかというお話です。あまり時間がないので，これはまた後でウェブで公開させていただきますが，基本的には窒素が不動態化皮膜のところに濃化しまして，それが要するに

pH を下げる原因である水素イオンと反応してアンモニアになる。これは電位が高いところでは硝酸イオンに変わる。そういった形で水素を消費してくれることによって，pH の低下を阻止してくれる，そういう効果があるようなことでございます。

これは少しわき道にそれますけれども，ニッケルフリーの材料ですと，ニッケルアレルギーの問題がありまして，この材料そのものがそういった面にも非常に使われているということでございます。こういった生態関係の中でということでございます。

それでは少しセパレータへの適用例という形でご紹介させていただきます。

これが高窒素鋼で作ったセパレータで，よくいわれております JARI セルという自動車関連の標準セルとして使われているものですが，こういったものを今，岩手大学と共同で進めてございます。

これは幾つかの材料で比較した発言の電圧と時間の件なのですけれども，このグラファイトが耐食性等に関しましては一番非常に模範的な材料ではあります。ですからこれは一つの目標になるのですが，高窒素鋼というのは下の方からスタートしておりますが，比較的同じような安定性を持っているということで，この辺のところが接触抵抗の問題があると。これは耐食性がいいと，接触抵抗が若干大きくなるという傾向がございます。

これは 304 と比較した絵で，この辺で少し交差をしてきているような状況です。これは 1000 時間までのデータです。

これは 304 と比較したときの i - V 特性，電圧と電流密度の関係ですが，1000 時間たったときに，もう既に 304 の方が i - V 特性が少し初期の発電特性に比べて低下してきている。高窒素鋼ではそれほど顕著な大きな差は見られていない。こういったところで，この特性が出てきているということです。

これはグラファイトと高窒素鋼を比較した例で，この最初のスタートの差というのが先ほど申し上げましたように接触抵抗の差ですが，ここのところは，これを上げるべく，いろいろな表面処理などのところを検討しております。ある程度技術的な対応のめどは付いているところですが，まだいろいろと具体的には難しいということです。

それから安定性で見ますと，これが 1 時間当たりこういう電圧の低下があるということで，グラファイトと比べるとほとんど遜色のない安定した発電特性があるという形でございます。

まとめでございますが，燃料電池用のセパレータ市場というのは，低コストで大量生産が可能な金属セパレータの出現が期待されております。NIMS で開発された低ニッケル型のオーステナイト系ステンレス鋼というのは，安定した発電特性を示しているということですが，課題としては，まだコストや加工性。どうしても薄板で，例えば A4 サイズで 200 円や 300 円というオーダーのコストを実現していかなくてはいけないということで，窒素を入れますと，ご存じのように炭素と同じような侵入型元素ですから，どんどん硬くなってやりにくくなるところがございますので，それを例えば，熱処理を加え，繰り返しながら加工していくという，少し手間はかかるところですが，薄板加工，それから細線，細いワイヤーなど，そういうのも対応できることは確認しておりますので，そういうところを少しずつ改良していって，実現に近づけていきたいと思っております。

以上です。

（石田） 片田先生，ありがとうございました。

それではご質問・コメント等を承りたいと思います。どなたかございますでしょうか。ございませんか。

それでは私は個人的に興味があるので，座長の方からお願いしたいと思います。非常に耐食性がよくてコストも下がりそうということで，燃料電池にとっては非常にいい材料というふうに感じましたけれども，これは例えばプレス加工などそういうことで非常に薄くなるとか，そういうことができますと，エネルギー密度がかなり高くなるというメリットが多分出てくるのではないかと思いますが，その辺に関する展望はいかがでございますか。

（片田） そうですね。薄板のプレス加工についてはもちろん今も検討しているところですが，例えばエ

リクセン試験というものがございます。それはバルジ試験の少し小さいようなものですが，鋼球を押し付けてへこみ具合を見るというものです。そういうところから見ますと，これは普通のステンレスですと例えば12～13 mm とかそういうところまで行くのですが，まだ一けたということで，まだまだそういうところまで行かないということです。しかし普通に作りますと例えば 0.3 mm とか，その辺までは可能ですので，もう少しやっていければ少し見えてくるかなと，そういった状況です。

高窒素ステンレス鋼のPEFC用金属セパレータへの適用可能性

第1回つくば3Eフォーラム
筑波大学 大学会館ホール(3F)
2007年12月16日
(独) 物質・材料研究機構
片田 康行

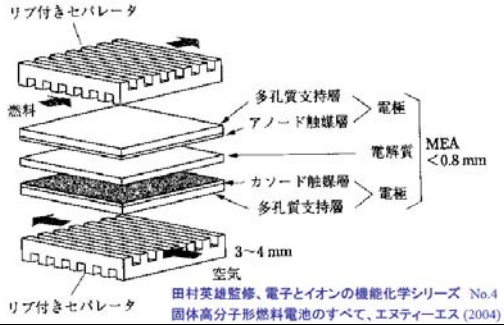
内容

- 研究の背景とねらい
- 高窒素ステンレス鋼（HNS)の開発（NIMS)
  - ＊ 加圧ESR法によるHNSの創製
  - ＊ HNSの機械的性質／耐食性
  - ＊ ニッケルフリーHNS
- 固体高分子型燃料電池用セパレータへの適用
- まとめ

各種燃料電池の構成と特徴

燃料電池の種類	アルカリ型 (AFC)	固体高分子型 (PEFC)	リン酸型 (PAFC)	溶融炭酸塩型 (MCFC)	固体酸化物型 (SOFC)
作動温度 (℃)	室温～230	低温型 室温～100	180～205	高温型 630～670	～1000
発電出力	～10kW	1kW ～100kW	50 ～200kW	300kW ～MW	100kW ～200kW
用途	宇宙用	携帯電話 自動車	ビル用発電	大規模発電	大規模発電

固体高分子型燃料電池の模式図

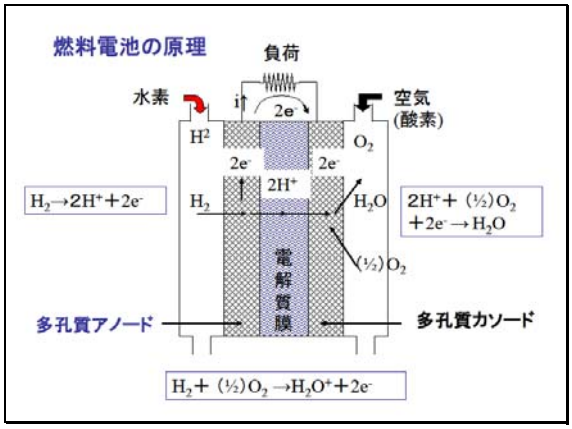


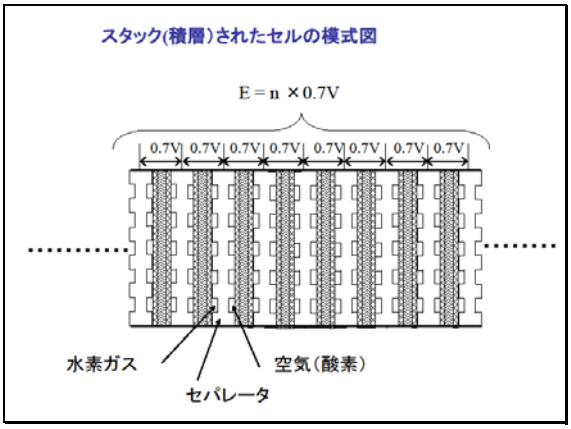
田村英雄監修、電子とイオンの機能化学シリーズ No.4
固体高分子形燃料電池のすべて、エヌティーエス (2004)

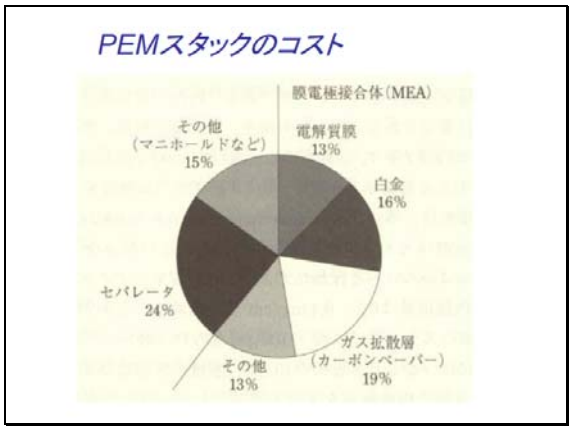
グラファイトと金属の比較

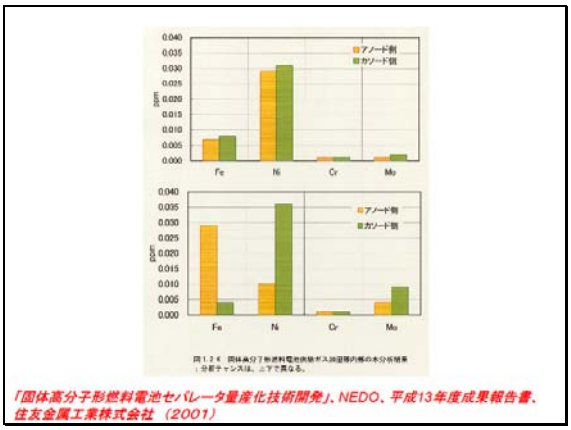
セパレータ特性／素材	グラファイト系	金属系
耐食性	◎	△
接触抵抗	◎	△
強度	△	◎
ガス透過性	△	◎
大量生産性	△	◎
コスト	△	◎

◎:優れている
△:やや問題あり

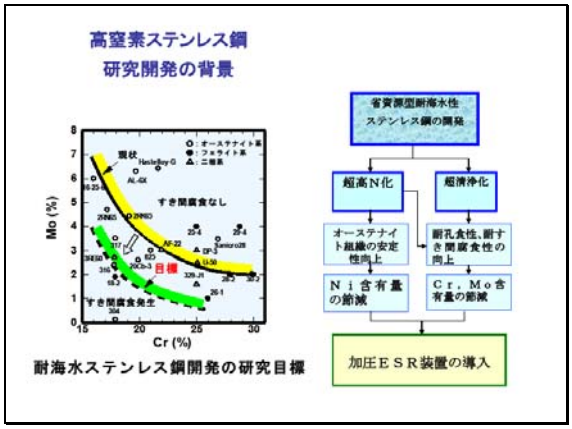


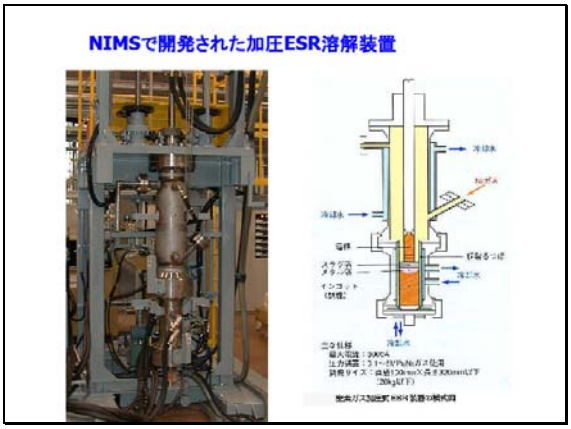


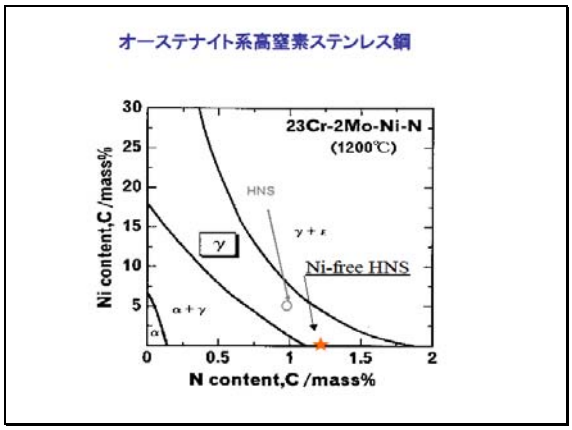


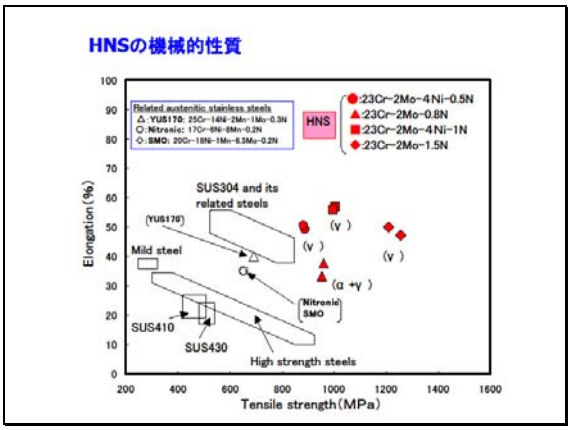


「固体高分子形燃料電池セパレータ量産化技術開発」、NEDO、平成13年度成果報告書、住友金属工業株式会社 (2001)









HNSの局部腐食特性

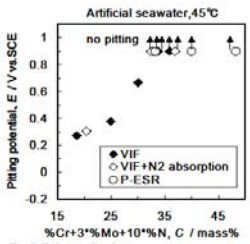


Fig.3. Relationship between pitting corrosion resistance equivalent (%Cr+3*%Mo+10*%N) and pitting potential in artificial seawater (45℃).

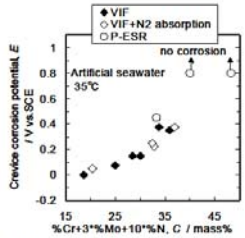
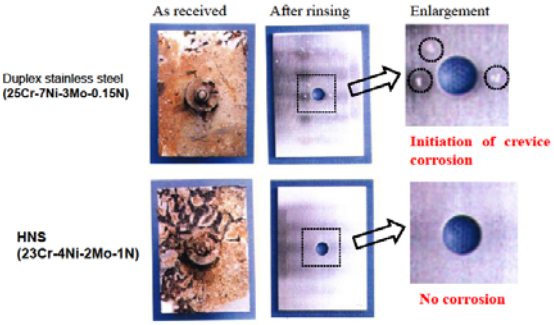


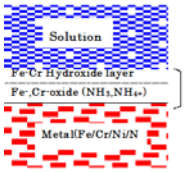
Fig.5. Relationship between crevice corrosion resistance equivalent (%Cr+3*%Mo+10*%N) and crevice corrosion potential in artificial seawater (35℃).

実海水暴露試験



No crevice corrosion was observed so far in the filed test

N添加による耐食性向上の発現機構



(Production of Fe, Cr hydroxide)

$Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow FeOOH + H^+ + e^-$

$Cr^{2+} + 2OH^- \rightarrow CrOOH + H^+ + e^-$

(Production of Fe, Cr oxide)

Fe_2O_3, Cr_2O_3

(Production of ammonia)

$N + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NH_4^+$

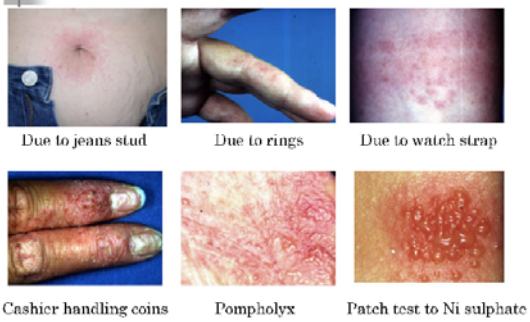
(Increase in pH value by ammonia)

Fig.12 Qualitative model of passive film of HNS

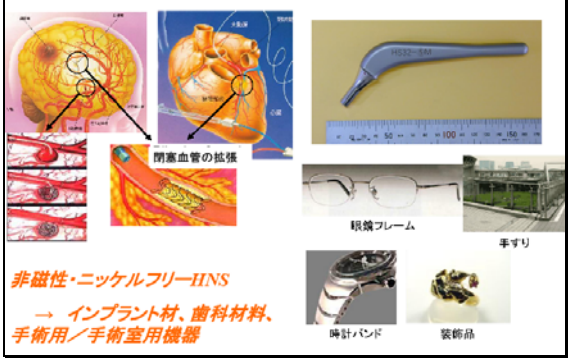
After polarization, N is enriched in the inner layer of passivation film, and formed NH_4^+ resulting in increasing pH value in the corroded area.

→ Crevice corrosion suppressed

Examples of Ni Allergy (via internet survey)



ニッケルフリー高窒素ステンレス鋼の応用展開

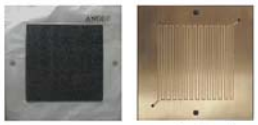


非磁性・ニッケルフリーHNS

→ インプラント材、歯科材料、手術用／手術室用機器

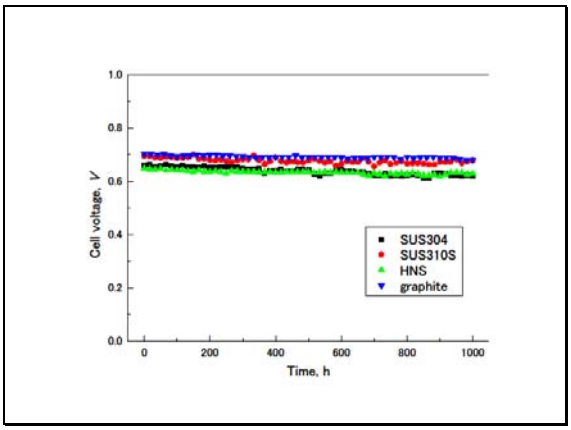
発電条件・MEA・HNSセパレータ

- セル温度: 348 K
- アノードガス：純水素 (利用率70%, 加湿温度 343 K)
- カソードガス：空気 (利用率 40 %, 加湿温度 343 K)
- MEA：市販品 (50 × 50 mm²)
- 締め付け圧：150 N cm⁻²
- 電流密度: 0.5 A cm⁻²

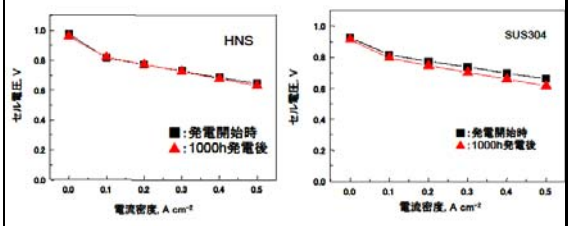


MEA (50mmx50mm)　　HNSセパレータ (50mmx50mm)

浅石 他：材料と環境2007講演集(2007)



発電特性の比較



(a)HNS　　(B)SUS304

1000h発電後のi-V特性の比較（SUS304で劣化を確認）

まとめ

- 燃料電池用セパレータ市場では、低コスト・大量生産が可能な金属セパレータの出現が期待されている。.
- NIMS で開発された低ニッケル型オーステナイト系ステンレス鋼製セパレータは、安定した発電特性を示した。.
- 低 Ni γ系高窒素鋼 (HNS) は金属用セパレータとして期待されるが、コストや加工性についてさらなる検討が必要である。

2. バイオ燃料技術の現状と将来

「農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題」

上田 達己
（独）農業・食品産業技術総合研究機構 総合企画調整部 研究調査チーム

（石田） 次は，2 番目の「バイオ燃料技術の現状と将来」というカテゴリーに移ります。まず最初に，農業・食品産業技術総合研究機構の上田達己先生によります「農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題」ということでお願いいたします。

それでは先生，よろしくお願いいたします。

ご紹介ありがとうございます。農研機構の上田と申します。どうぞよろしくお願いいたします。

まず本題に入ります前に，われわれが昨年の 12 月に設立しましたバイオマス研究センターについて若干ご紹介させていただきます。

全国各地にわれわれは研究所を展開しているのですが，これらを統合した形でバーチャルな組織をつくろうということで，このセンターを中心にバイオマス研究を進めております。センター長の下，9 名のコーディネーターが専門ごとに配置されて連絡調整などに当たっております。全体としては約 200 名余りの研究員で研究をしております。

農研機構のバイオマス研究センターでは，左にありますように三つの柱を立ててバイオマス研究を進めております。このうち資源作物の研究とエネルギー・マテリアル変換技術の研究は車の両輪ということで，双方がどちらも伸びていってポテンシャルが拡大していく。さらに日本各地の地域の特性に応じたシステム化，これは二つの分野をうまく融合させていくことによってバイオマス燃料生産のポテンシャルが拡大していくというようなイメージを持っております。

では，農業系バイオマスを用いたバイオ燃料をめぐる今後の研究の展開方向について，特にシステム化の観点からお話しさせていただければと思います。

まず，国産バイオ燃料を考えるときにいろいろ課題はあるわけで，日本の場合は食料自給率が低いですから，アメリカのように余剰の農産物があるわけではないので，自給率を最低限維持しつつバイオ燃料の生産を目指さなければいけません。また，小規模で散在する農林地からバイオマスを収集しなければいけないという難しい課題を抱えていると思います。例えばブラジルの場合ですと，未開地にさとうきび畑を切り開きまして，ど真ん中にぽんとエタノール工場を造るということも考えられますが，日本の場合はそういうわけにはいかないということです。

それにもかかわらず，バイオ燃料の代替物であります化石燃料の水準までコストを下げていかなければならないということで，これは非常にチャレンジングな課題であると考えます。ちなみに食用作物の場合ですと，味や見掛けで品質の差別化ができるのですが，資源作物の場合にはそういうふうにはいかないということです。

また，よくいわれますように，エネルギー収支がマイナスではエネルギー生産としての意味がないわけです。

そういったことから個別の技術開発の課題はいろいろありますけれども，それに加えて日本の各地域でどのようにシステム化していくのかという議論も必要かと思います。今日の話はそういう観点から進めさせていただきます。

システム化を考える上で最も重要な条件となるのは，やはり変換工場の規模，変換プラントの規模です。まず変換プラントの中，内部システムを考えた場合には，一般的にプラントの規模が大きくなるほど効率が上がってきますし，コストが下がってくるということはいわれております。一方，プラントの外に目を

向けた場合，バイオ燃料の場合それはすなわち農業生産システム，あるいは作物の輸送システムですけれども，それを考えた場合には規模が大きくなるほど原料の収集範囲が大きくなっていくわけですから，コストや手間がかかってくるということです。また，原料バイオマスはエネルギー密度が低いですから，長距離輸送をするとエネルギー収支の面からも当然不利になってきます。

ちなみに，米国などで目標の主流になりつつありますのは，右側にあります 1 プラント当たりの規模で 10 万～20 万 kL というところを，変換コストが安くなるということで目指しているわけです。一方，今，農水省でエタノール大規模実証事業というのが行われておりますが，これはおおむね年産で 1.5 万 kL というところを目指しております。これは原料の，例えばお米で供給すると仮定しますと，大体 3.5 万 t ということです。日本の場合は先ほど申しましたように，工場の周りがすべてその工場のための例えばお米を供給できる体制というのは，なかなか考えづらいわけですから，このクラスのプラントでもここに書いていますように容易に都道府県レベルの範囲に迫る規模になると予想されます。

エタノールの場合はいろいろ意見はあるのですけれども，専門家の間ではおおむね 1 万 kL より小さい規模になってくると少しコスト的に難しいのではないかと言う人がおります。一方で，BDF（バイオディーゼル燃料）の場合は，比較的小規模でも使える技術ということで，廃油の回収をして燃料を作るような草の根レベルの取り組みが日本各地で広がっておりますが，比較的小規模が得意ということです。いずれにしましてもわが国の場合はアメリカなどに比べて小さな規模でやらざるを得ませんので，コスト低下や効率の向上についてそれなりの知恵を絞っていく必要があると考えます。

概念的なのですけれども，どうすればいいかということを検討してみたいと思います。

まず，栽培コストの削減，低投入型の栽培，それから品種改良による収量の増加，これがわれわれ農業研究機関が取り組んでいかなければならない課題ですが，それに加えて，食用あるいは飼料作物の生産部門といろいろな投入財を共用していく。例えば農業機械を共用にするとか，あるいは農地，夏はお米や食べる作物を作って冬の裏作で菜種や大麦を作って共用していく。あるいは，出口となるバイオ燃料の規格を工夫する。例えばバイオエタノールの場合ですと，含水エタノール（E100）で供給する。あるいは無水エタノール，あるいは ETBE といろいろな規格があって，これはいろいろな政策的なしがらみもあるわけですけれども，技術的にいえることは，後者になればなるほど追加のエネルギーをかけて変換するわけですから，当然大規模化していかないと割に合わないということで，逆に言うと小規模に持っていこうとすると，より前者の方が適しているということは少なくともいえると思います。

また，収穫時，あるいは燃料変換時にいろいろな残渣が出てきますけれども，それらからもし高く売れるようなマテリアルが抽出できれば，コストをある程度回収できるかもしれない。また，廃食用油や建築廃材からエタノールや BDF を作ることがなされておりますが，そのようにまずマテリアル利用をしてから使ったものを回収して，エネルギー利用するという方向です。

あとは，残渣，茎や葉の部分もうまく利用していく。上にあるのは主産物と残渣を両方変換して量を増やしていくという方向ですし，あるいは下のように，お米ならお米は食用に回してわらやもみ殻の部分を変換していくという方向もあります。

次にエネルギー効率の面から若干お話しします。

当然バイオ燃料というのは資源作物から燃料を作る過程なのですけれども，そこで気を付けなければならないのは，投入エネルギーが必ず必要になってくるということです。また，変換の過程では副産物，廃液や搾りかすなどいろいろなものが出てきます。これらも無視せずに評価していくということが必要になってきます。従って，われわれの目指すところはなるべく茶色の矢印を太くして黄色の矢印を細くしていくということが必要になってくると思います。

これは簡単な試算なのですけれども，バイオ燃料を 1000 MJ（1 GJ）作った場合にどれだけ化石燃料を投入する必要があるかというグラフです。これをざっと見ていただくと，左側二つがバイオディーゼルです。この場合は燃料変換にかかるエネルギーが比較的小さいのですが，バイオエタノールの場合は蒸留等にかなりエネルギーがかかってきますので，特にお米や大麦等の穀物の場合は 800 や 900 ぐらいの投入エネルギーが必要ということで，正味のエネルギー生産はほとんどないというような状況です。

それではどうすればいいかというところなのですが，一つ参考になるのがブラジルで行われているサト

ウキビエタノールの生産です。ここではサトウキビの搾りかす，バガスと呼んでおりますが，そのバガスを燃やしてボイラー燃料にして，変換プラントの所要エネルギーのほとんどを賄っています。また，それでもなおかつ余剰のバガスが出てきますので，発電して電力を生産するという取り組みが行われています。

また，もう一つエタノールの発酵廃液ですが，これをどうにか放流するために廃液処理をしようとすると，そこで追加のエネルギーがかかってきますので，彼らはそういうことはせずにパイプラインで直接サトウキビ畑に還元してしまう。これは畑の地力を維持するためにも望ましいことです。このようなことから彼らのエタノール生産のエネルギー効率は8～10ぐらいで，非常に高効率ということがいわれております。

これを見習ってといいますか，例えばこういうシナリオを考えたらどうなるかという簡単な計算をしてみました。シナリオ1は全部化石燃料で賄って，シナリオ2の場合は，特に燃料変換のところです。ここでは若干電気エネルギーも使いますが，大部分が熱エネルギーということで，これを例えばあそこに書いてあるような材料で賄ったらどうなるか。

ただしいろいろと調べたところ，サトウキビは搾りかす，バガスがたくさん出てきてちゃんと賄えるのですけれども，ほかの作物，例えばお米ですとすぐ集められるもみ殻の場合は量が少なくてそれだけでは足りないということで，稲わらさえも集めてこないと賄えないということです。サトウキビ以外の場合はシナリオ2は必ずしも簡単ではないのですけれども，一方，農業セクター以外で，例えばつくば市のような都市近郊型の場合は立派なごみ焼却場などがありますので，そういうところの廃熱を使うということもアイデアとしては考えられます。エタノール生産の場合はたかだか100℃ぐらいの熱があればいいわけでして，そういうことも可能性としては考えられます。

そういったシナリオに基づいて簡単な計算をしてみますとこういうことです。シナリオ1のバイオディーゼルの場合は2以上ということで結構効率がいいのですけれども，バイオエタノールの穀物の場合は，1を少し上回るぐらいでほとんど生産ができていないということです。

ちなみにこのエネルギー効率というのは下に書いていますように，投入されたエネルギーと生産されたエネルギーの比を取っています。

一方，シナリオ2を仮定しますと，ばらつきはありますけれども，効率はぐんと上がってくるということです。

また，CO2，温室効果ガスの排出を見ても，シナリオ1では例えば穀物の場合はかえってCO2を排出してしまうという結果になっていますが，シナリオ2に行くと削減効果が高まっているということがいえます。

以上をまとめますと，まず最初に変換プラントの規模は，原料を収集すべき範囲と直接に関係してきますので，原料供給の可能性というものを常に意識すべきかと考えます。また，燃料変換にかかる熱エネルギーをうまくいろいろな代替エネルギーで賄ってやれば，エネルギー効率やCO2削減効果は向上すると考えられます。

以上です。ご清聴どうもありがとうございました。

（石田）　上田先生，どうもありがとうございました。

それではご質疑，ご討論ありましたらよろしくお願いいたします。どなたかございますでしょうか。

（フロア3）　筑波大の井上です。

システム化というお話なのですけれども，これを茨城県あるいはつくば市で考えるとするとどういうことが考えられるかということと，それからなかなか付加価値を付けないとコスト的に難しいようなところもあるかと思うのですけれども，具体的にどういう付加価値のあるマテリアルといいますか，そういうものが考えられているのか，この2点をお願いします。

（上田）　例えばつくば市という規模で考えると，今後の技術開発を抜きにして現状の技術レベルで考え

てみると，可能性として一番あるのはやはりバイオディーゼルの方かなと思っています。バイオエタノールの場合は先ほど申し上げたような理由でかなり範囲を広く持ってこなければいけないので，つくば市だけでというのはなかなか苦しいかなと考えています。

さらにつくば市の場合はそれほど空きの農地があるわけでもないので，例えば冬に水田で空いているようなところで菜種などを作って，そこからまずは食用油を採ってそれを利用して，それをまた回収しながらBDFを作っていくという取り組みが，実現可能性という意味からいえば一番大きいかなというのが私の個人的な意見です。

また，いろいろな残渣から付加価値のあるマテリアルを採り出すという研究ですが，われわれ農研機構でもいろいろな研究が行われていますが，一例としましてはセラミドのようなものを，てん菜の残渣から抽出する研究ですとか，あるいは米油からトコトリエノールという物質を取り出すというような研究が一例としては行われております。

（フロア4）　放射線医学総合研究所の熊田と申します。

昨日まで東京ビッグサイトで「エコプロダクツ2007」というのがありました。私はこの分野については素人なのですけれども，先ほど日本の特殊事情として量が少ないということでしたが，一方でゴミといいますか，紙の廃棄物は特に日本の場合はたくさんあると思うのです。ちょうど隣のブースで発表されていたのは，紙を細かく裁断して紙の中のセルロースを利用するということでした。そこでは，エタノールを作るのに今までは量的にたくさん取れなかったのですけれども，数十リットルぐらいを短時間で作るということを開発されていました。これからそれをもっと大きな規模でやるということを発表されていて非常に興味深く思ったのです。廃棄物からエタノールを取るということをこれから工業規模でやっていくということが，民間としてそういうことが始まっていくのではないかという，非常に印象深い経験をしてまいりました。何かそういう点からコメントがありましたら。

（上田）　今のお話にありましたセルロース系材料からのエタノール生産というのは，今日のお話では省略させてもらったところなのですけれども，やはり食料との競合を避けつつ，エタノールを生産していくためには，そういった技術が将来もっと伸びていく必要があると考えています。紙などの場合ですとエタノール生産の阻害要因とされていますリグニンがほとんど入っていないということで，非常に有効かなと思っています。ただ，専門家の話を聞いていますと，セルロース系エタノールの研究というのは，長年取り組まれているけれどもまだ経済ベースに乗るところまで技術が届いていないので，あまり過度に楽観視することなく，もっと研究を積み重ねていかなければいけないと言っております。そういうところだと思います。

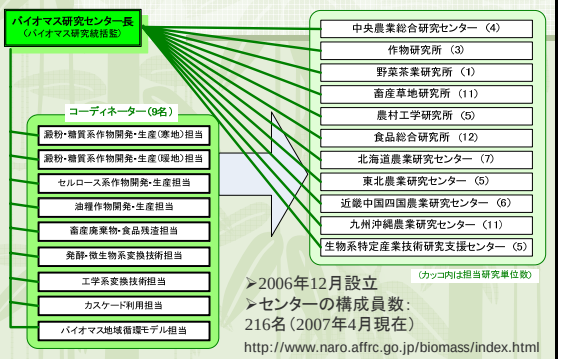
（石田）　その他よろしいでしょうか。それでは時間の関係で次に移らせていただきます。ご討論ありがとうございました。

2007.12.16　第1回つくば3Eフォーラム

農業系バイオマスによる国産バイオ燃料生産に関する課題

（独）農業・食品産業技術総合研究機構
総合企画調整部　研究調査チーム
上田　達己

バイオマス研究センターの組織

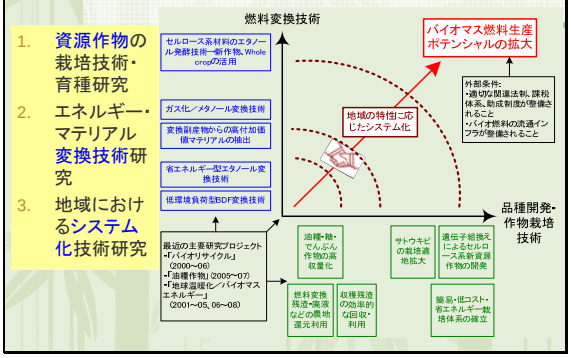


- 2006年12月設立
- センターの構成員数：216名（2007年4月現在）

http://www.naro.affrc.go.jp/biomass/index.html

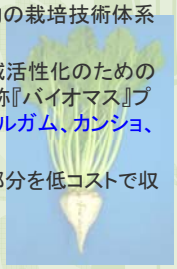
農研機構のバイオマス研究の3つの柱

1. 資源作物の栽培技術・育種研究
2. エネルギー・マテリアル変換技術研究
3. 地域におけるシステム化技術研究



1. 栽培技術・育種研究

- 大量・低コストにバイオエネルギー・マテリアルの原材料を供給するために、資源作物の栽培技術体系の確立や品種改良に取り組む
- 農水省委託研究プロジェクト『地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発』（略称『バイオマス』プロ）では、テンサイ、バレイショ、ソルガム、カンショ、サトウキビを重点化
- また、稲わら等の作物の未利用部分を低コストで収集・貯蔵する技術を開発



2. エネルギー・マテリアル変換技術研究

- 各種バイオマスから、エタノール、メタノール、バイオディーゼルなどの輸送用燃料や食品素材などの高付加価値マテリアルを作り出すための技術開発を行う
- 『バイオマス』プロでは、リグノセルロース系材料からのエタノール変換を重点的に研究開発する

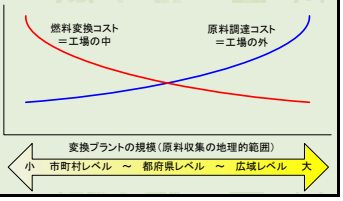
3. 地域におけるシステム化技術研究

- 地域の自然条件によって、利用可能なバイオマスは異なる
- そこで、各地域にとって最適なエネルギー・マテリアル変換技術の組み合わせ（システム化）により、効率的な資源循環システムの構築を目指す
- 『バイオマス』プロでは、北海道から沖縄まで、全国6箇所にモデル地域を設定し、実証研究を行う

将来へ向けての研究課題
ー特にシステム化の観点からー

国産バイオ燃料生産における課題

- 既に低い食料自給率を、最低限維持しつつバイオ燃料の生産を目指さなければならない
- 小規模で散在する農地・林地からバイオマスを収集しなければならない
- それにもかかわらず、代替物である化石燃料の水準までコストを低減しなければならない
- エネルギー収支（正味の生産エネルギー量）がマイナスでは意味が無い
- 個別の技術開発に加え、地域におけるシステム化を見通した議論も必要

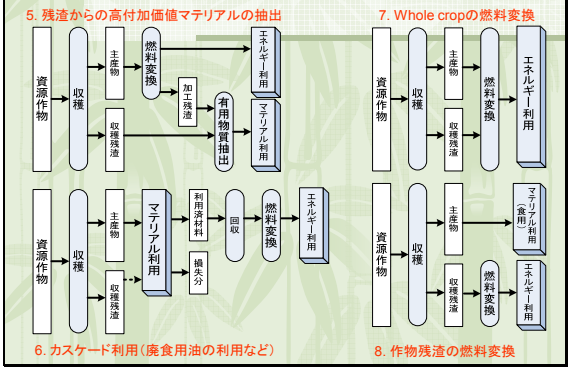


＜バイオ燃料生産システムの規模と効率性（概念図）＞

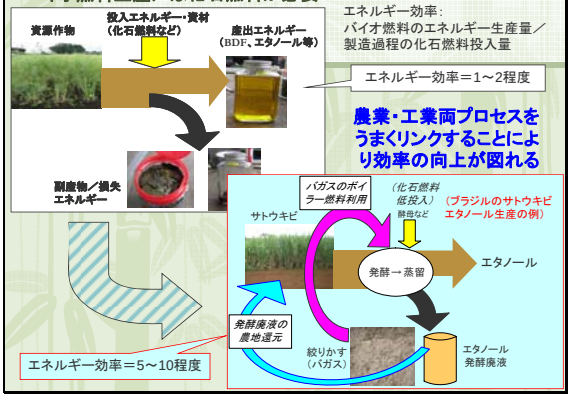
バイオ燃料生産コスト低減の検討方向（1）

1. 単位農地面積あたり生産費（肥料・農薬・労働などの投入）の削減
2. 単位収量の増加（品種改良）
3. 食用作物生産部門との投入財の共用
4. バイオ燃料の規格の検討（例：含水エタノール（E100） or 無水エタノール（ガソリン直接混合） or ETBE？）

バイオ燃料生産コスト低減の検討方向（2）



バイオ燃料生産には化石燃料が必要



エネルギー効率：
バイオ燃料のエネルギー生産量／製造過程の化石燃料投入量

エネルギー効率＝1～2程度

農業・工業両プロセスをうまくリンクすることにより効率の向上が図れる

まとめ

- バイオ燃料変換プラントの規模は、原料を収集すべき範囲と直接に関係する→具体的な地域における実現（原料供給）可能性を常に意識すべき
- 燃料変換工程にかかる熱エネルギーを作物残渣・ごみ焼却場の廃熱等の非化石エネルギーで代替すれば、エネルギー効率・CO_2削減効果は飛躍的に向上する

「木質系バイオ燃料技術」

伊神 裕司
（独）森林総合研究所 加工技術研究領域 木材機械加工研究室

（石田） それでは 3 番目，「木質系バイオ燃料技術」と題しまして，森林総合研究所の伊神裕司先生，よろしくお願いいたします。

こんにちは。森林総合研究所から参りました伊神裕司と申します。私からは「木質系バイオ燃料」ということで，木材を燃料，エネルギー利用していくということについて話題を提供させていただきたいと思います。

木質バイオマスの中で未利用や廃棄物系のものというものは大体このように分類されることが多いのですが，工場残廃材，これは木材を加工している工場から出るものです。そして建築・土木廃材といいまして，住宅を解体して出るものや剪定枝とか，こういったものです。また林地残材，山に残されていた葉，切り捨てられている間伐材といったものです。そのほかにも廃パレットとか，市場で出る樹皮ですとかそういう流通系のもの，それから今少し話がありましたけれども古紙や，製紙工場で出る黒液等，こういったものも木質系といわれています。また，廃棄家具ですとか生活系のものもあります。

この中で，上の三つにつきまして現状の利用状況というものを，つくば市の状況も少し含めましてお話しさせていただきたいと思います。

工場残廃材に関しましては，昨年農林水産省から最新のデータが発表されまして，全国のこういった製材工場，合板工場，プレカット工場，集成材工場からは，大体 1 年間に 1078 万 2000 m^3 発生しているということです。従来から工場残廃材というものは，例えば紙の原料，堆肥の原料や，鋸屑でしたら家畜の下に敷いたり，自家燃料とか，ほとんど使われているといわれていたのですけれども，実際に廃棄している量は非常に少なくて 90 数%は利用されています。

この下のグラフは，その工場残廃材の中でエネルギー利用の割合を示したものなのですけれども，平成 14 年に焼却炉の規制が強化されまして，それ以降若干エネルギー利用というのが増えてきている傾向にあります。ただ，つくば市の場合は，以前私どもの方で少し調査したのですが，あまり大規模な木材加工工場というものはありません。これは筑波山神社の木札ですとか，卒塔婆というお墓に立てたりするもの，そういうものを作っている工場ですとか，製材工場等も比較的小さいものが幾つかあるということで，あまり工場残廃材というのは，つくば市ではそれほど出ていないのではないかと思っています。

次に建築・土木廃材，流通系の廃材ですけれども，これはいわゆる都市型の廃棄物といわれていますけれども，つくば市に比較的関係があるのではないかと思います。これは一般的にはこのような中間処理工場というところに持ち込まれまして，粉砕をしてグレードによって紙の原料にしたり，ボード原料や燃料，もしくは堆肥用として使います。つくば市には一つ大きな中間処理工場がありまして，そこは主にこのボード用として，原料を出しております。

この建築・土木系，流通系の廃材ですけれども，国土交通省で 5 年に一度調査をやっておりまして，このグラフなのですが，平成 17 年になりますと，この赤い部分が最終処分をしている量で，どんどん減ってきております。要はリサイクル率が向上しているということなのですが，その背景としては，こういう法的なものですとか，やはり原油高によって，住宅を壊した材というのは乾いていて非常に使いやすいということもありまして，そういったものを利用した大規模なバイオマス発電施設等も急増しています。その一方で，こういった今までのボード用や燃料用との競合といった問題も起きてきております。

次が，今，非常に注目されている林地残材といわれるものです。これは山から丸太を切り出してきて，山に残されるこういう枝葉などを指しています。この絵を見てもらうと分かるのですけれども，これは非常にかさばります。推定として 340 万 t ぐらいと「バイオマス・ニッポン」の資料には載っているのです

が，ほとんど利用されておりません。今少し申しましたけれども，その理由としては，やはり出してくるのに非常にお金が掛かってしまうということです。普通に丸太を出してくるよりも4～5倍のコストが掛かるという試算結果もあるぐらいです。ただ，つくば市は見ていただければ分かるように山がほとんどありませんので，この林地残材というものもあまりつくば市にはないのではないかと思います。

こうした木質バイオマスですが，先ほど上田さんからも話がありましたが，バイオマスというものはどうしてもかさばりますし，広く浅く存在しています。また，木質系の場合は含水率が非常に高くてばらつきますので，こういったことを念頭に置いた技術開発が必要になってまいります。できれば小規模な利用技術や，それを集めてくるのにコストを低減する技術，また，木質バイオマスを使う場合には粉砕や乾燥という工程を取りますので，そのコストを低減する技術が必要になってまいります。

こういったことを念頭に置きまして，今から少し，個別の技術と，また森林総研で取り組んでおりますこういった収集運搬，前処理コスト低減など，そういったことについてお話をさせていただきます。

木質バイオマスのエネルギー変換技術としてはいろいろあるわけですが，少し簡単にまとめてみました。今こういったものが実用化はされているのですけれども，今日は木質のチップとペレット，エタノールについて少しお話をさせていただきます。

木質バイオマスは，一番簡単なのはそのまま燃やして使うということです。昔からまきなどで使っているわけですけれども，要は加工度が増えていけば増えていくほどエネルギーを使いますので，できれば簡単に少し粉砕をして燃やすのが一番簡単な使い方ということになるのですが，これは木質バイオマスを粉砕して，チップ状にして木屑焚きのボイラーで燃やします。発生した蒸気を使って，それを熱利用したり発電をしたりするというものです。

現状としましては，今，日本国内ではこういった比較的大規模な木材加工工場では，このような木屑焚きボイラーで木質バイオマスを燃やして使うということが行われてきております。

これは九州の工場ですけれども，発電と熱利用と両方やっております。機械の電気に使ったり，木材の乾燥に使ったりしております。

これは群馬県の工場ですけれどもここでは比較的木質バイオマスでは使いにくいといわれている樹皮を燃やしまして，木材の乾燥の熱として使っております。こうした自家燃料利用というのはバイオマスをあまり動かす必要がありませんので，非常に有望な使い方ではないかと私は考えております。

また，バイオマス発電というものがあります。これは先ほど建築・土木系のところで申しましたけれども，今，非常に数が増えております。しかも大規模化してきております。ただ，発電ということをとらえますと，直接燃焼ではないのですけれども，やはり小規模化ということを考えればガス化をして発電をするとか，そちらの方が今，研究段階ですけれども，向いていると思います。

一方，チップボイラー，こういった木屑だきのボイラーで従来の石油ボイラーを代替していくということが一つ有望な使い方ではないかと思っています。こういった比較的小規模なボイラーで，宿泊施設，ホテルや温水プール，公共施設の熱利用に使っていくということです。チップボイラーの場合は，石油のボイラーと比較してどうしても値段が高いですし，石油ほどチップは扱いやすくないというのがあるので，そういった問題はあるのですけれども，今，原油が非常に高くなってきておりますので，採算性でも石油ボイラーよりもむしろいいという試算結果も出ております。

次が木質のペレットです。ペレットというのは，樹皮や鋸屑など，いろいろな原料を使うことができます。これを粉砕して乾燥しまして，これぐらいの円柱状に加工したものなのですけれども，こういう穴の開いた機械にギューっと押し込んで押し固めたものなのですけれども，これが今，非常に注目されて増えてきております。もともとこれは乾いておりますので，運んだり貯蔵が容易ですので，家庭での燃料向きということを想定していたのですけれども，今やはり原油高という背景を受けまして，どんどん右肩上がりで生産量が増えておりまして，来年度からはそれを実際に発電に混焼していこうとか，これは実は輸入のペレットなのですけれども，日本の各地ではそういったことも計画されております。

ペレットなのですけれども，簡単に試算をしますと，現在灯油が90円ということで計算しますと，同じ熱カロリーを発生するためには木質ペレットの方が十分安いということになっています。ただ課題としましては，このようなストーブやボイラー等ですけれども，これらの価格がまだまだ高いということで，こ

れを普及していくためにこういうものの低価格化などを図っていかなければいけませんし，価格差というものをさらにつけていくために，よりペレットの製造コストを低下させていくことも必要だということで，これは森林総研の方で今取り組んでおります。

今，いろいろ注目されております，先ほどからもお話が出ていますバイオエタノールなのですが，木質バイオマスからもバイオエタノールの生産計画というのが今，政府の方で立てられております。その量というのは，2030 年ころまでに木質系から 200～220 万 kL というものすごい量です。ただ，これは実際に日本で使われている石油の量から比べますと，相当するのは 0.6%ぐらいだといわれていますので，いかに日本で石油を使っているのかということを思いました。

木質からバイオエタノールを作る良い点というのは，一つ食料と競合しないということがあります。先ほどの林地に残されているものなどを使えば食料とは競合しませんけれども，少しお話がありましたけれどもリグニンというものは，このセルロースやヘミセルロースでこう，鉄筋コンクリートでいえば鉄筋の間のコンクリートのような感じで入っていますので，木材の場合はそれを取り除く必要があります。一般的には酸を加えて分解して糖化をして，発酵，蒸留という工程を取るのですけれども，酸を使うとどうしても安全面などいろいろ問題がありますので，今，森林総研ではアルカリを使ってエタノールを作るという方法を研究しております。

これはアルカリを加えまして，パルプを作ります。これは製紙工場で今行っていることと同じです。それに酵素と酵母を加えて一気に糖化・発酵を行う，こういった方法を取りまして，その廃液も燃料として使って，できるだけ外部からエネルギーを入れないで，また高収率なエタノール製造技術の開発を今行っております。

次に先ほど少し申しました，収集・運搬，前処理等のことに関してなのですが，これは林地残材に関して，低コストで収集運搬技術というものをいろいろ今やっております。一つには「バンドル化」といいまして，ギューっと縛って体積を減らして運ぶとか，これはチップにして運べばもっと運びやすいのではないかなどと，そういうことをいろいろと検討しております。

また運び方によっても，一遍にたくさん運んだ方がいいのかとか，そういったいろいろなことも検討しております。また，現在山にはいろいろな機械が入ってきているのですけれども，それはバイオマスの枝などを出すようには作られておりませんので，そういった新しい機械，要は丸太を出すのと枝葉を出すのを一緒に出すようなハイブリッドの機械など，こういった機械開発なども行っております。

また，木質バイオマスを使うときには，大体粉砕してこういった形やこういった形にして使うのですけれども，そのエネルギーもできるだけ低くしていこうということで，例えば熱処理をした木材ですと，これだけエネルギーが少なくて済むということが分かっておりますので，例えば何かの排熱を利用してある程度軟らかくしてから粉砕をする，そういった技術の開発も行っております。

また，これは乾燥に関する研究です。一般に乾燥する場合には熱を加えて乾燥することが多いと思うのですが，これはこういったロールの間をチップ状の木材を通しまして，要はギューっと搾って水を出すという手法です。まだこれは研究段階なのですけれども，200%ぐらいの含水率のものでも 80%ぐらいまでは水分を搾り出せるという結果が出ております。これをこれぐらいまで落としてからさらにある程度熱を加えて乾かすと，全部熱を加えて乾かすよりも非常にコストが低く抑えられるという試算ができております。こういったいろいろさまざまな研究を行っているわけです。

最後になりますが，私は松代に住んでおりまして，この前東京に仕事に行くときに近所の手代木公園に行ったら，葉っぱがたくさん落ちていましたので写真に撮ってきました。最近は葉っぱを見ても「あ，バイオマスだ」と思ってしまって何か情緒がないのですけれども。これは季節的なものではありますけれども，非常にたくさん出ているのではないかと思いました。ただ，これは宿舎の清掃などをやるときにも袋に詰めるのがとても大変なので，あらためてやはり木質バイオマスというのは運搬や収集ということが非常に難しいということを感じた次第です。

その足でつくば駅に行きましたら，これは「茨城県産間伐材使用」と書いてあったのですけれども，このように木製のベンチが置いてありました。

これを見て思ったのですけれども，日本の木材自給率というのは，最近若干増えてきているのですけれ

ども大体20%です。実はバイオマスというのは，先ほどの工場から出るものですとか，住宅を壊して出るものですとか，山から出てくるものですとか，木材を使ってこそ出てくるものなのです。木材を使っていくということになると，それは森林のためにも非常にいいことですので，余談にはなりますけれども，ぜひ木材利用ということも，森林総研ですのでお願いいたしまして発表を終わらせていただきます。
ありがとうございました。

（石田） 伊神先生，ありがとうございました。
それではご質疑・ご討論に移りたいと思います。どなたかございますでしょうか。どうぞ。

（フロア5） 筑波大の藤巻と申します。
先ほど林地での，山で切ったときに出る枝葉をどう運搬するかという話が出てきましたが，やはり山地の斜面であれば土壌保全上むしろそれはどうしても残しておく必要があるのではないかと思うのですが，いかがでしょうか。

（伊神） 全部を残す必要はないと思うのです。今の観点から言えば多少必要はあると思うのですが，そういうレベルではないぐらいの量が山には残っていますので，やはりかなりの部分は出す必要がある，逆に現状は残り過ぎの部分がありますので，そういったものを使っていくということでいいのではないかと思っています。

（フロア 6） 国立環境研究所の藤野と申します。実感がこもったお話でとても楽しく聞かせていただきました。
つくばでやろうとするときに，例えば筑波山があると思うのですけれども，筑波山の森林資源をどれぐらい使えるのだろうかというような調査などはあるのでしょうか。

（伊神） 私の知っている範囲ではないのですが。

（石田） そのほか，ございますでしょうか。

（フロア7） JIRCASの上谷といいます。
今の報告のうち，私の個人的な印象ですけれども，一番最後の部分は，個人的には非常に興味といいますか。ちょっと写真を出していただけますか。落ち葉とつくば駅の写真です。最後におっしゃった部分が一番大事なことではないかという気がしています。どうもいろいろな形で自然循環，物質循環を断ち切ったような形で世の中が動いているような傾向が強いような感じがするものですから，そういう意味では落ち葉などはふんだんにあるわけです。ですからバイオマスというのも広い意味で考えて，そういう物質循環を大事にするというのですか，そこが一番大事な部分かなという印象を持ちましたけれども，もう少しコメントいただければありがたいと思います。

（伊神） 実際，これはつくば市などだと，この落ち葉は多分集めて普通の燃えるごみとして回収しているのですけれども，多分燃やしているか何かしているのではないかと思います。これはつくば市の人に聞かないと，いかがですか。どなたか分かりませんか。例えばこの葉っぱなどからでも先ほど言いましたペレットは作れるのですけれども，非常にかさばりますし，灰の問題等もありますので，いろいろ難しい部分はあると思うのですけれども，物質循環というコメントにはなっていないと思うのですが・・・。これは，私はこの前，宿舎の清掃をしているときに非常に出るものですから，季節的なものはあるのですけれども，これは一つ何か使い方を検討できないかなと思いました。

(石田)　それでは時間も超過しておりますので，次の講演に移りたいと思います。
伊神先生，ありがとうございました。

木質系バイオ燃料技術

森林総合研究所

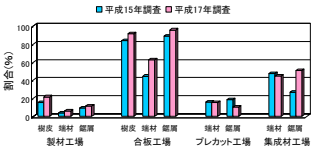
伊 神 裕 司

木質バイオマスの種類

- 工場残廃材
  -
  -
  -
- 建築・土木廃材
  -
  -
- 林地残材
  -
  -
- 流通系廃材
  -
  -
- 紙・パルプ系廃棄物
  -
  -
- 生活系廃材
  -
  -

木質バイオマス利用の現状　工場残廃材

全国の製材工場、合板工場、プレカット工場、集成材工場
発生量　1,078万2千m^3 ⟶ 廃棄量少ない　58万5千m^3
製紙原料、堆肥、家畜敷料、燃料等で利用

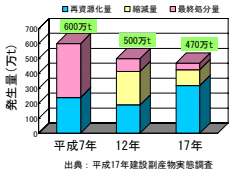


工場残廃材のエネルギー利用割合の変化

つくば市：
大規模な木材
加工工場少ない

木質バイオマス利用の現状　建築・土木廃材 流通系廃材

⟶



出典：平成17年建設副産物実態調査

・利用促進施策
　建設リサイクル法、RPS法
・原油高
　チップが乾燥していて安価
↓
・再資源化率向上
・大規模バイオマス発電施設の増加
↓
チップ需給の逼迫
マテリアル利用 ⟷ エネルギー利用

木質バイオマス利用の現状　林地残材

推定賦存量
340万t

↓

ほとんど利用されていない

搬出コスト：用材の4～5倍

木質バイオマスの利用課題

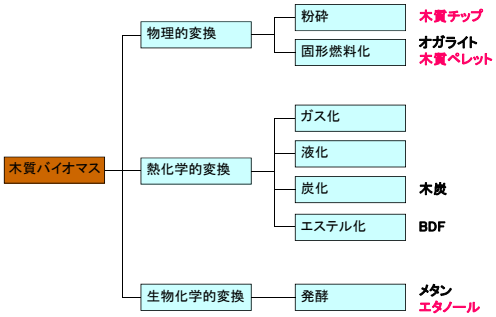
木質バイオマスの特徴

・かさばる
・少量が広域に散在している
・含水率が高くばらつく

求められる技術

・小規模利用技術
・収集・輸送コストの低減
・前処理(粉砕・乾燥)コストの低減

木質バイオマスのエネルギー変換技術

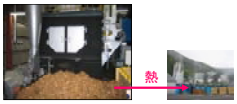


木質バイオマスの燃料利用　燃焼利用

木質バイオマスを粉砕してチップ化し、木屑焚きボイラーで燃焼して発生する蒸気を利用 → 熱 、電気 、熱電

- 比較的大規模な木材加工工場における自家燃料利用

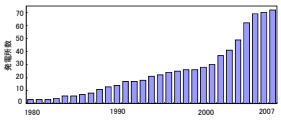
製材・集成材工場
樹皮、プレーナー屑等の熱電利用



製材工場
樹皮の乾燥熱源利用

木質バイオマスの燃料利用　燃焼利用

● バイオマス発電



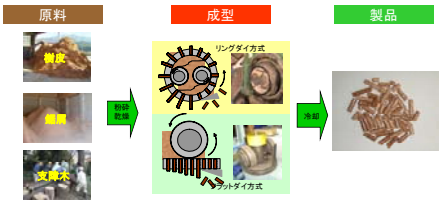
● チップボイラーによる石油ボイラーの代替

・宿泊施設
・温泉プール
・公共施設

採算性？

木質バイオマスの燃料利用　木質ペレット

木質バイオマスを粉砕・乾燥し、直径6-8mmの円柱形に成型加工



・運搬・貯蔵が容易 → 家庭の燃料向き
・国内生産量　22,500ｔ
・大規模利用(発電混燃 6万t／年)や大規模製造プラントの計画

木質バイオマスの燃料利用　木質ペレット

灯油との価格比較

（発熱量(Mcal)あたり）

灯油	10.7円
木質ペレット	9.3円

灯油：発熱量10.5Mcal/kg、比重0.8、
店頭小売価格90円/L
ペレット：発熱量4.00Mcal/kg、
工場渡し価格40円/kg

課題

・ペレット製造の低コスト化
・燃焼装置(ストーブ、ボイラー)の普及、低価格化

木質バイオマスの燃料利用　バイオエタノール

2030年頃に木質系から200～220万kℓ(原油換算：120～130万kℓ)
の製造目標・・・バイオマスニッポン総合戦略推進会議

原料が食料と競合しない
↕
リグニンを除去する必要

木質バイオマスからのエタノール製造プロセス

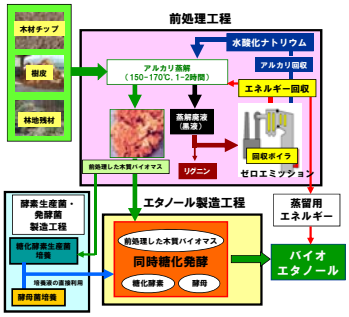
酸　酵母

木質バイオマス → 糖化(加水分解) → 発酵 → 蒸留 → エタノール

↓

低環境負荷型の製造プロセスの開発

木質バイオマスの燃料利用　バイオエタノール



・アルカリ処理と同時
　酵素 糖化・発酵の
　組み合わせ
・廃液のボイラー燃料
　利用

↓

高収率で外部から
のエネルギー投入
を抑制した製造プロ
セスの開発

木質バイオマス利用効率化技術

林地残材の低コスト収集・運搬技術

● 減容化・減量化方法の検討

● 輸送方法の検討
　フォワーダ、小型トラック、コンテナトラック

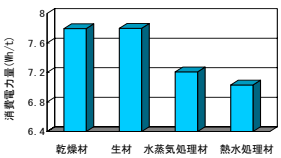
● 新しい作業機械の開発
　用材生産＋バイオマス生産　ハイブリッド機械

木質バイオマス利用効率化技術

消費エネルギー評価による効率的粉砕技術

ディスクチッパー

せん断型粉砕機

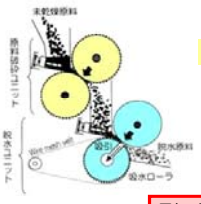


処理方法別の粉砕エネルギー
（ディスクチッパー）

木質バイオマス利用効率化技術

圧縮脱水による低コスト乾燥技術

圧縮脱水装置
（現有試作機）



圧縮前：110～250%

↓

圧縮後：85～145%

運転消費動力：
熱乾燥法に比べ80%
削減

おわりに

手代木公園

つくば駅

我が国の木材自給率は約20%
木材利用あっての木質バイオマス利用

「藻類バイオマスエネルギー技術の展望」

渡邉 信
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 構造生物科学専攻

（石田） 次は 2 番目の最後になります。「藻類バイオマスエネルギー技術の展望」と題しまして，筑波大学の渡邉信先生，よろしくお願いいたします。

筑波大学の渡邉です。本日は「藻類バイオマスエネルギー技術の展望」という演題で，約 15 分弱お話をさせていただきます。

バイオマスエネルギーというのは大きく二つに分かれます。一つはセルロース系資源からエタノールを生産するということと，植物そのものがオイルを作るので，それをバイオディーゼルとして利用ということです。その中で本日は藻類を題材として話します。

藻類に注目した理由は、石油は， 1〜2 億年ぐらい前の海に生育していた生物の死骸ですが、その死骸の生物のほとんどが微細藻類であったということがいわれているからです。

これは模式図なのですが，藻類の中には，かなり脂質を持っているものがいる。藻類は脂質を合成しつつ、かなりの量の糖類を外に分泌しますので，脂質と糖類と上手に分けて，資質はオイルでバイオディーゼルに使う、糖類はいろいろな用途がありますが，バイオアルコールとしても使えるということができるわけです。

また、藻類に関しましては，淡水と海洋両方にプランクトン形で増殖しているわけですが，その主要な藻類のオイル（lipid）の重量を調べたものをここに示しました。藻類の乾燥重量当たり何%分だけオイル（lipid）を産生するかが示されています。多いものでは，乾燥重量の 70%近いものが淡水・海洋の両方にあることがわかります。

本日詳細に紹介いたしますのは， *Botryococcus braunii* といわれている淡水のオイルを作る藻類です。

その前に藻類のエネルギーとしての将来性について話します。これはアメリカのデータなのですが，さすがアメリカというところがありまして，オイル危機がありました 1970 年代の 1978 年から 1996 年にかけてどういう藻類がどれだけオイルを作るかということをいろいろ調べました。この表は、オイルを作る陸上植物と比較して，藻類は 1 年間ヘクタール当たりどれぐらいのオイルを生産するのかということを示したものです。

トウモロコシから微細藻類まで示していますが，微細藻類に関しては 1 年間ヘクタール当たり 47〜140 t という量で，他の植物に比べて極めて生産性の高い生物であるということがわかります。

今日話をします *Botryococcus* というものは，緑藻類の仲間です。このように一つの細胞の大きさというのが，大体 10 μm なのですが，それが集まって 30〜500 μm ぐらいのコロニーを形成します。当然クロロフィルを持っていますので，CO2 を固定し，光合成を行って増殖するわけですが，それとともに炭化水素を生産します。この写真にも示したように，*Botryococcus* をスライドガラス上に添加してカバーグラスで押しますと，このようにオイル状のものが見えます。オイルを染色するナイルレッドで染色しますと，これは黄色っぽく見え、オイルということがわかります。赤く見えるのが藻類の細胞です。このように，この藻類はオイルを相当量細胞外に分泌しているということが分かります。一般に個体によって違いますが，乾燥重量の 20〜75%分のオイルを分泌しているということが報告されております。

さらに，この藻類は約数百万年よりずっと前からこの地球上に生息していまして，ある部分は化石として堆積して，石油頁岩というものを作っております。これがオイルに富んだ淡水の頁岩なのですが，火を付ければ燃えます。このようなものが現に地球史の中で存在しており，*Botryococcus* は自然界において石油頁岩形成という形でおおきな役割をはたしていたことがわかります。

まとめますと，この藻類は光合成をして CO2 を吸収してくれる。そして吸収した CO2 を石油に変える

という面白い特性を持っている。私たちはこれを利用しない手はないのではないかと思って数年前からこの藻類の研究を手掛けてきたわけです。

研究開発のポイントですが，増殖もよくて炭化水素産生に優れた培養株がどれだけ手に入るか。それから，できるなら将来のプールでの大量培養ということを想定しますと，なるべく通常の環境よりはやや違った環境で生育するに越したことはない。できるならば高アルカリ領域で生育してくれればCO2も溶存しやすいし、ほかの生物のコンタミも少ないということで，こういう培養株はないか。それからどうしても光合成だけに頼りますと，ある程度増えると自分で影を作ってしまって光制限になって止まってしまう。それを解除できるようなものはないか。そして，試験管培養から大規模な実証プラントまでを想定して，生産から収穫に至るまでの全体の生産プロセスの LCA を評価するとどのようになるかということです。この課題をどう克服したのかを簡単に紹介いたします。

まず、日本各地からいろいろな*Botryococcus* を採取しまして，どういうオイルを作るか調べたところ，3種類の炭化水素，即ちエポキシド（Epoxides），ケトン（Ketons），シクロヘキサン（Cyclohexenes）を作るものがあるということが分かりました。

それぞれいろいろな培養株に関しまして pH の特性を見ますと，個体によって千差万別で，酸性側がよくてアルカリになると駄目なもの，アルカリになるとよく増えるもの等、いろいろありますが，この中からかなり高アルカリで生えるような培養株も確保することができました。

その他にオイルはどれだけ生産するか，増殖速度はどうか，そしてアルカリでどれだけ生えるかなどをいろいろ調べました結果，調査した約150株の中からこの2株ぐらいが乾燥重量当たり50%近いオイルを産生し、比増殖速度もまあまあの値で良く増えるというものが見つかっております。この培養株をこれから実用化に持っていければと思っております。

それからもう一つネックになります，ある程度増えると自分自身で影を作って光制限となる制約をどう解消するかなのですが，実はある程度有機物を入れますと，結構それを利用して生えるという，従属栄養性を持つということが分かってまいりました。

さらに人工的に作った有機物を使うのはそれなりのコストが掛かりますので，有機の生活排水を利用してどれだけ生えるかということも調べました。その結果出てくる生活排水を約10%，すなわち10分の1ぐらいに薄めて培養液に加えますと，光合成だけと比較して非常に増殖がよくなるということが分かりました。

また、工場有機廃液でも同様です。かなりアルカリの工場廃液なのですが，それを使ってやりますと，10分の1あるいは100分の1ぐらいに薄めたものを添加すると光合成だけのものと比べますと増殖がかなりよくなるということが分かりました。

ということで，光合成だけの条件でやりますと，せいぜいリットル当たり2 gで頭打ちになるのですが，ここに有機廃水を入れますとぐんぐんぐんぐん伸びまして，5 g以上となるということが分かりました。ここで後でLCAのときに重要となりますので，この3.5 gから5 gぐらいの増殖速度が大体0.1ぐらいになっているということを覚えておいてください。

大規模な生産システムを想定するときに，生産するのにどれだけエネルギーを使ったのか，そしてゲインするエネルギーがどのぐらいなのか，そしてコストはどれぐらい掛かって，得たオイルを売ることで獲得するコストとどこまで見合うのか，大ざっぱではありますが，これまでのデータをもとに LCA 計算をやってみました。

エネルギー収支の計算としては，投入エネルギーがどのぐらいで，そして最終的に大量培養で得て出てくるオイルでどれだけ獲得できるかで，正味獲得量が分かります。当然コストも計算しております。それから，初期投資が大規模培養のときに掛かりますので，そのときに投与したエネルギーがどれだけでペイバックされるかというエネルギーペイバックもついでに計算しておきました。

いろいろな条件を設定いたしまして，初期の濃度は1.5 g/Lからスタートするとしました。濃度は10.0 g/Lを超えないという条件を設定しました。最終的に屋外に持っていって固液分離するときに獲得するのが3.5 g/L としました。これは，詳細は省きますが、効率的な固液分離に必要な濃縮濃度がどうかなど、を計算してはじきだしたものです。　それからこの最終的な移動量というのを0.07と設定しました。先ほど3.5 g/L

から 5 g/L までの増殖速度が 0.1 と言いましたので，そのぐらいの流量比で取っていくと，次の日また同じ量に戻っているという計算からこの流量比を設定したわけです。

そしてシステムの稼働率は，天候が晴れか曇りかで通常は違ってきますが、先ほどある有機廃水を使いますとかなり低い照度でも結構安定して生えるということが分かりましたので，この時点で晴れか曇りというのは問わないでやるということにしました。さまざまな原単位データはいろいろこのような値をとり，コストは今回説明は省きますが，さまざまな資料から算定しました。

その結果なのですが，エネルギーとしましては，獲得量は 10.3×10^7 MJ/yr，投入量が 3.48×10^7 MJ/yr で収支は確実に獲得量が多いということが分かりました。それから CO2 を吸収する量と，エネルギーを使った分だけ排出される CO2 というものを計算しても，圧倒的に CO2 吸収量が多いということが分かりました。

ただしコストなのですが, どうしても原油がリットル当たり 45 円というあまりにも安すぎるということから，これだけは残念ながら見合いません。獲得したのが 1 年間に約 1 億円ですが，実際に投入するコストが3.7億円ぐらいで2.7億円の赤字ということになります。ただこの差というのは天文学的な差ではなく、これからの技術開発で赤字を解消すること、さらに黒字をだすことも決して不可能な数値ではありません。これまでのものは日本でやったときの計算なのですが，これを人件費や水道代，エネルギーが日本よりかなり安いタイやインドネシアでやりますと，収支はむしろ逆に黒字に転じるということが計算上出てまいります。

そしてエネルギーペイバック・タイムですが，0.19 年ということで，風力発電，住宅用太陽光発電の値はこのようなもの（2 年ぐらい）だといわれていますが，それと比べても遜色ないか，むしろ優れているのではないかという値が出ています。

CO2 削減目標値というところから見ましても， 今後の CO2 削減にコントリビューションするのではないかと思われます。

オイル量を今回のデータから計算してみますと，このような値になります。*Botryococcus* では年間ヘクタール当たり 118 t です。先ほどのアメリカの報告ではマキシマムでヘクタール当たり 140 t という値が出ていますので，アメリカの報告もあながちうそではなくてかなり実現性のあるものです。リットル当たりの単価ですが，残念ながら現時点では 155 円という値ですが，ただし NEDO の報告では菜種，パーム油に比べますとヘクタール当たりに採れる量，それから単価に関すると非常に優れているということが分かります。

廃食用油というのは，確かにリッター当たり 72 円から 87 円ということなのですが，回収費用というものは含まれないということがありますので，むしろ回収というものをどうするかというのが大きな課題になっています。

先ほど言いましたようにアメリカの報告ですと 47-140 t/ha/yr という値が出ていますので，今回のわれわれ自身の持っている培養株の生産量はアメリカが報告した最高値に近い値であるということが分かります。

先ほど言ったように，アメリカでは藻類のエネルギーを今かなり見直し始めておりまして，グリーンフューエル社では，グリーンハウスーこの中には入らせてもらえないらしいのですがーで藻類の大量培養がなされているようです。外で培養されているものが、大規模プラントのための種となるものです。

アメリカには非常にいいことに広大な砂漠というものがありますので，将来的にはこの砂漠に大規模なプラントというものを考えているようです。

現在ボーイングやヴァージンアトランティック, それからエンジンメーカーである GE Aviation というところが，10 年後を目指してジェットエンジンにバイオ燃料を使うということを考えております。いろいろなバイオ燃料を考えているらしいのですが，その中で藻類というものに相当な期待を寄せているということが情報として入っています。

このようなことを考えますと，日本の場合は藻類というものに一時期ものすごく注目した時期はあったのですが，どうもえられた成果の実用性にもう一つぴんとくるものがないということで，何となくあまり役に立たないのではないかという印象が強い形になっていますが，実はそうではなく、藻類のもつ潜在力をかなり見直さねばならないと思います。

今，筑波大では，基盤的な技術開発をやっていますが，可能な限り来年から実用化を目指した技術開発をおこなっていきたいと思っています。即ち、バイオリアクターの生産システムの基本設計から，屋外の実験ミニプラント，そして実用化の実規模プラントまでを見据えたこのようなロードマップを今考えているところです。
以上です。どうもありがとうございました。

（石田） 渡邉先生，ありがとうございました。
それではご質疑・ご討論の時間に移りたいと思います。どなたかございますでしょうか。

（フロア 8） 興味深いお話をありがとうございました。
質問は温度に対する安定性です。昨日ポスターセッションで井上先生のところの植物ブランクトンに関するポスターが出ていたのですけれども，やはり広いプールに水をためてそこでやるとなりますと，温度上昇に対して非常に弱いのだということを言っておられました。この *Botryococcus* はその辺りはどのような特性を持っているのでしょうか。

（渡邉） *Botryococcus* の最適温度は大体 25℃から 32～33℃ぐらいまでの，ある程度広い範囲で非常にいい増殖を示します。その間に設定している限りはかなりいい増殖です。そのコントロールをどうするかなのですが，日本という場所を考えますとどうしても冬，秋という温度が下がるときにどうやって熱をかけるかが問題です。幸いなことにいろいろな排熱がありますので，それを活用しながら温度コントロールをしていくと非常によろしいのではないかなと思っております。

（フロア 8） 高い方はどのくらいなのでしょうか。

（渡邉） 高い方は 33℃です。35℃ぐらいまでは行くかもしれませんが，少し苦しくなるかなという気はします。ですから夏場の暑いときは，ただ水ですので空気と違ってそれほど上がらないとは思うのですけれど，あまりにも暑すぎると少しコントロールする必要があるかもしれません。

（フロア 8） ありがとうございました。

（石田） そのほか，ございますでしょうか。

（フロア 9） 民間都市機構の春田でございます。いつもお世話になっています。
大変興味深くお聞きしたのですけれども，二つほどお聞きしたいことがあります。一つは，培養に当たって，栄養塩類の投入の必要があるのかどうかです。もう一つは，コスト計算で水道水ということをおっしゃっていたのですけれども，水道水というのはすごく高いではないですか。水道水を使うことのコスト計算の高くなり度合いがどれぐらいかということをお聞きしたいのです。なぜこのようなことを聞きたいかということなのですが，都市には下水処理水という非常に低コストの水があるはずなので，そういうものを使っていけるかどうかということを考えてみたいと，そういうことです。

（渡邉） まず 1 点目が・・・。

（フロア 9） 栄養塩類です。リンなどを加えないといけないのではないかということです。

（渡邉） はい，栄養塩については，窒素類は必要になります。先ほどの生活雑排水や工場廃水の NP を見ますと，リンは大体間に合っているようですが，窒素が少し足りなくて，その分は補わなくてはいけな

いかなと思っております。

それから第2点の水道水を使うということですが，今回確かに水道水を使うという前提でコスト計算をしています。日本はちょっと高いというところがありまして，その分少しきつかったのですが，先ほどのタイやインドネシアの場合は日本の水道水の料金と比べると多分3分の1だったような気がするのです。2分の1だったか3分の1だったか記憶が定かではないのですが，そのぐらいのコストですとかなり生産性は出てまいります。

ですから水道水に代わるものをどういうふうに確保していくかというところがもう一つのポイントになるのです。

若干長くなるのですが，この淡水産の藻類を使う場合には，最大のポイントは当然面積を広く使うことです。陸域で日本のような狭い国土ではそんな面積は取れない。そうすると，不毛地帯や砂漠を使わざるを得ない。不毛地帯や砂漠はなぜそうなったかというと水が足りないからで，そういうところに大量の水を使うというのは相当難問です。ですから，いずれ何らかの形でこれは海水利用ということを考える技術開発が多分必要なのではないかと思っております。その方が非常に安価でほとんど無料で使えるということですので，それを目した技術開発というのが一つあるだろうと思います。

それから第3点は何でしたでしょうか。

（フロア 9）　下水処理水を使えるのではないかという話だったのですが，ただ，今のお話を伺うと，海ということをにらむと，東京湾にそういうプラントを浮かべるというのは安いかなという気はします。

（渡邉）　はい。陸水を使うという前提からいいますと，下水処理水を使うという可能性は非常に魅力的だと僕は思います。そのまま生のまま使えるかどうか，どこまでの処理水かによるのですが，二次処理水でしたら結構使えるというデータは出ています。そこにＮＰは結構入っていますし，余分な有機物がある程度カットされています。有機廃水はＮやＰがやや少ないものもありますので、そのNP分を補うような下水処理水を使って，それと有機廃水を薄めたものをミックスさせるといいのではないかと思います、二次処理水はNPを補い，水道水の代わりの水の原液としても使えるということで，かなり魅力的なところがあるかなという気がしております。

（フロア9）　霞ヶ浦はどうですか。

（渡邉）　霞ヶ浦の可能性はあるかもしれません。霞ヶ浦は先ほど関係者に聞きましたら，約171 km^2あるということなのです。霞ヶ浦に魅力があるのは面積の広さなのです。この面積に全部今の藻類を生やしてオイルを採るというのをおおざっぱに計算しますと，日本で今輸入流が年間3億tといわれていますが，その15分の1は採れるという計算になります。非常にラフな計算ですけれども，そのぐらい霞ヶ浦は魅力のあるところです。

（石田）　それでは恐れ入りますが，予定の時間を超過しておりますので，次の講演に移りたいと思います。　それでは渡邉先生，ありがとうございました。

藻類バイオマスエネルギー技術の展望

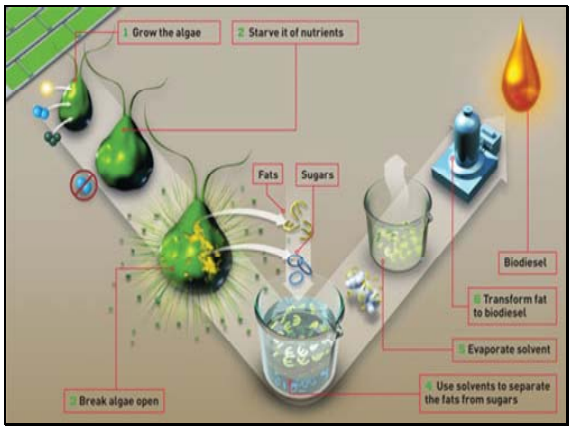
筑波大学生命環境科学研究科
渡邉　信

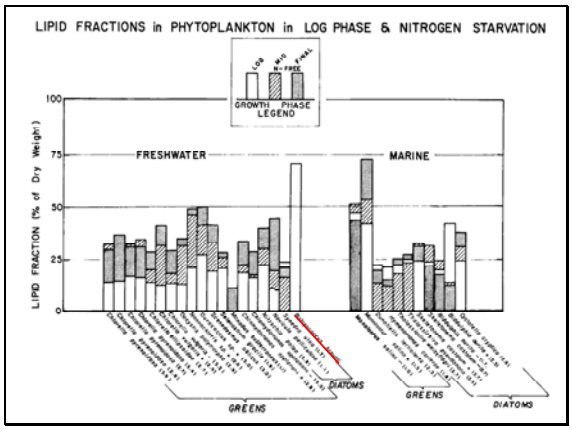
バイオマスエネルギー

セルロース系資源からのエタノール生産
木質系、製紙系、農業残渣

バイオディーゼル燃料生産
菜種、アブラヤシ、廃食油、藻類

石油：1-2億年前の海に生育していた生物の死骸
中東地域：1-2億年前は浅海で、微細藻類が大繁殖

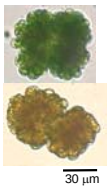




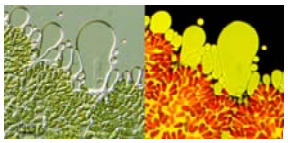
Tons of Oil / ha / Year	
Corn トーモロコシ	0.2
Soybeans　大豆	0.5
Safflower　ベニバナ	0.8
Sunflower　ヒマワリ	1.0
Rapeseed　アブラナ	1.2
Oil Palm　アブラヤシ	6.0
Micro Algae　微細藻類	47-140

*Botryococcus*とは

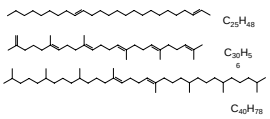
・淡水に生息する藻類
・緑～赤色で30-500 μmのコロニーを形成
・二酸化炭素を固定し、炭化水素を生産
・炭化水素は石油の代替となり得る
・細胞内及び、コロニー内部に炭化水素を蓄積（乾燥重量の20-75%）



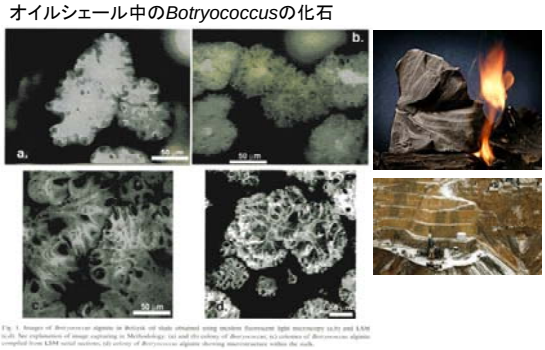
*Botryococcus*の顕微鏡写真



*Botryococcus*の生産する炭化水素の例（重油の一種）

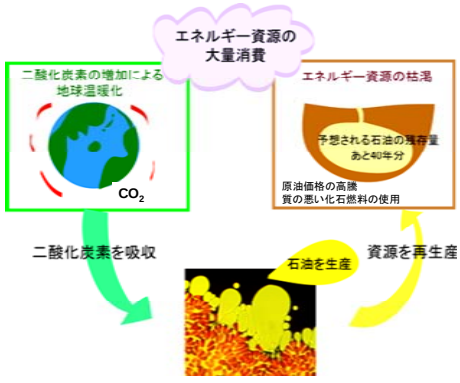


オイルシェール中の*Botryococcus*の化石



Confocal laser scanning fluorescence microscopy of Botryococcus alginite from boghead oil shale, Boltysk, Ukraine: selective preservation of various micro-algal components (Stasiuk 1999)
Pleocene (鮮新世), 約500万年前

*Botryococcus*の可能性



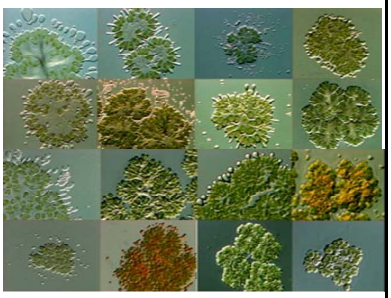
開発のポイント

- 増殖及び炭化水素産生にすぐれた培養株の確保
- 高アルカリ領域で増殖する培養株(CO_2の溶存)
- 光制約を解除できる培養株
- LCA評価：試験管培養から大規模野外プール培養（19ha x 30cmを想定)そして収穫までいたる過程のLCA評価

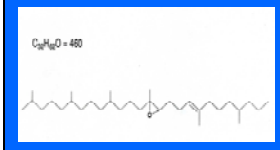
実験に使用した*Botryococcus*株

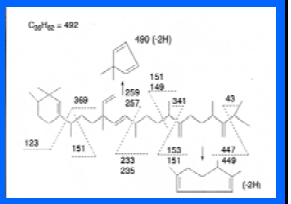
日本各地、諸外国で*Botryococcus*を採取、現在144株の無菌株を確立

採集日	採集場所	株No.
2004.3.24	沖縄本島	沼野基ダム	BOT11
2004.4.10	東京	東大三四郎池	BOT12
2004.4.21～	石垣島	底原ダム	BOT14
	石垣島	底原ダム	BOT15
	石垣島	真栄原ダム	BOT16
	石垣島	真栄原ダム	BOT16-2
	石垣島	名蔵ダム	BOT17
	石垣島	名蔵ダム	BOT18
	石垣島	羽地ダム	BOT20
	石垣島	羽地ダム	BOT21
	石垣島	浦原ダム	BOT22
	石垣島	浦原ダム	BOT23
2004.4	隠島	れんげ池	BOT24
2004.6.1	千葉	軍茶利ダム	BOT25
2004.6.2	千葉	畑山 池	BOT27
	千葉	畑山 池	BOT28
	千葉	佐久間ダム	BOT29
2004.6.11	広島	光林寺池	BOT30-1
	広島	光林寺池	BOT30-2
2004.6.15～	香川	ハジ池の上	BOT32
	香川	青池	BOT33
	香川	日原	BOT34
	香川	倉敷山近くの池	BOT36
	香川	倉敷山近くの池	BOT36-2
	香川	倉敷山近くの池	BOT37
	香川	逆様池	BOT38
	香川	奈良谷	BOT40
	香川	田間駅裏 大池	BOT45
	香川	日原2	BOT47
2004.7.7～	大分	高原原	BOT51
	大分	神楽女湖	BOT52
	大分	御池	BOT54
	大分	大坪池	BOT55
2004.7.26	餅馬	古沼	BOT60
	餅馬	大峰沼	BOT61
	餅馬	見晴荘の沼A	BOT62

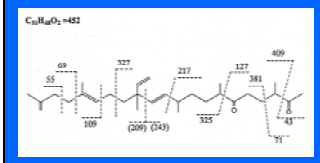


Epoxides（エポキシド）：18株

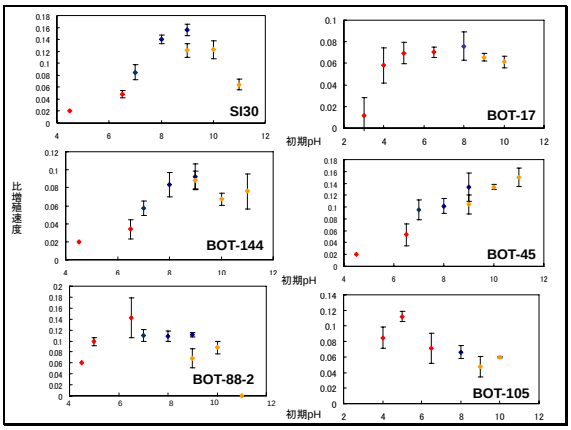




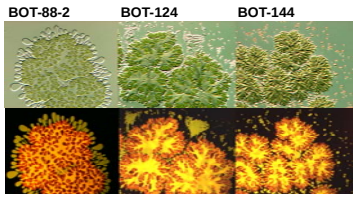
Ketons （ケトン）：10株



シクロヘキサン（Cyclohexenes）：27株

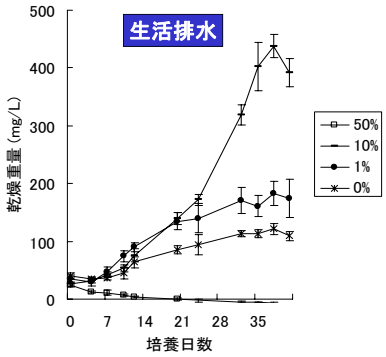


株の選抜



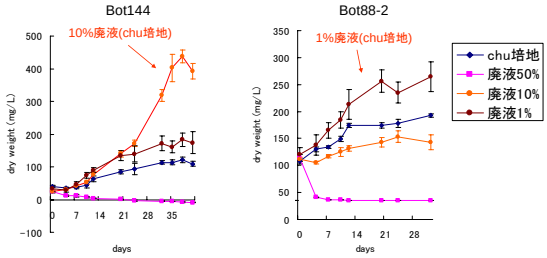
	炭化水素量 %（oil weight/algae dry weight）	比増殖速度（μ/d）
17	40.8	0.078
45	21.1	0.187
71	42.3	0.066
88-2	45.3	0.158
124	25.1	0.33
144	45.7	0.2
SI30	15.9	0.15

増殖速度、及び炭化水素含有量の結果から、屋外培養に適した株として、BOT-88-2、144が候補として挙げられる。

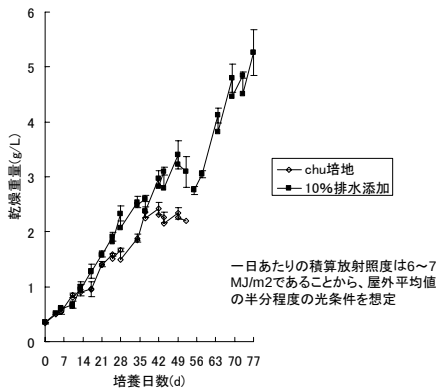


工場廃液

株：Bot 144,88-2
培養：排水をろ過滅菌しchu培地で1、10、50%希釈



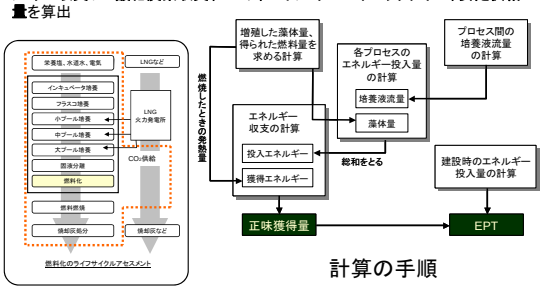
Bot144は10%廃液は1.6倍、Bot88-2は1%廃液の添加によって1.4倍比増殖速度が促進された



一日あたりの積算放射照度は6～7 MJ/m2であることから、屋外平均値の半分程度の光条件を想定

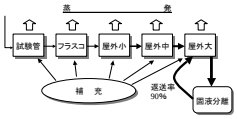
*Botryococcus*を利用した大規模エネルギー生産システムのモデル化と評価

屋外大規模培養でのエネルギー生産システム全体をモデル化することで、**エネルギー収支、二酸化炭素収支、コスト、エネルギーペイバックタイム、安定供給量**を算出



計算の手順

培養槽間培養液移動量



- 藻体濃度は1.5 g/Lを下回らない
- 藻体濃度は10.0 g/Lを越えない
- 初期藻体濃度はすべての槽で1.5 g/Lとする。
- 固液分離工程への移動する藻体濃度を3.5 g/Lとする。(効率的な固液分離に必要な濃縮濃度)
- 移動量は流量比0.07(Q/V)
- システムの稼働率は365日とする。
- 培養液の水は水道水を用いる。

主な原単位、データ

液化燃料収率:0.64
藻体中の炭素比:0.63
液化燃料発熱量:46MJ/kg-oil
屋外でのCO_2固定速度:
0.6kgCO_2/m³/day
原油:60 $/バレル
原油:44.5 ¥/kg

年間エネルギー収支のシミュレーション結果(19ha当り)

	獲得量	投入量	収支
エネルギー[MJ/yr]	10.3 x 10^7	3.48 x 10^7	＋6.82× 10^7
CO_2[kgCO_2/yr]	7.45 x 10^6	2.49 x 10^6	＋4.96 × 10^6
コスト[百万円/yr]	100.1	373.6 (タイ73.0) (インドネシア60.0)	−273.5

エネルギーペイバックタイム(EPT)

	EPT(年)
Botryococcus 液化燃料	0.19
風力発電	0.2〜2.0
住宅用太陽光発電	2.0〜

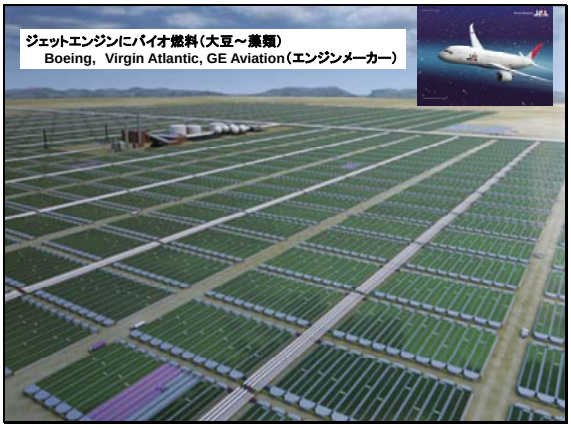
期待されるCO2削減効果

- 革新技術によるCO_2削減目標値744万t CO_2／年
- 30万haある不作地と耕作放棄地のすべてに本システムを稼働 約7800万t-CO_2／年

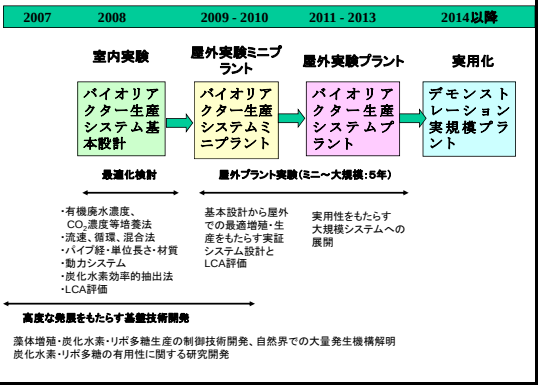
バイオディーゼル燃料

- ボトリオコックス
  約118t／ha・年(耕作放棄地約30万ha:3540万t／3億t)
  1haあたりの産出額525万円(1haあたりの農業産出額は125万円)、約155円／L、
- ナタネ(31.6万haで約31万tのBDF)
  約1t／ha・年　　500円／L
  (国産バイオマス燃料:経産省より)
- パーム(アブラヤシ)油
  約35t／ha・年　　714円／L
  (パーム油LCAより:NEDO事業)
- 廃食用油
  約50万t／年(住宅地面積100〜200万ha:0.25-0.5t／ha)
  72〜87円／L(回収費用は含まれず)

Tons of Oil /ha / Year	
Corn トーモロコシ	0.2
Soybeans 大豆	0.5
Safflower ベニバナ	0.8
Sunflower ヒマワリ	1.0
Rapeseed アブラナ	1.2
Oil Palm アブラヤシ	6.0
Micro Algae 微細藻類	47-140



実用化までのロードマップ



3. 太陽電池技術の現状と将来

「太陽光発電技術の現状と展望」

作田 宏一
（独）産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

（石田） 話題は変わりまして，3 番目「太陽電池技術の現状と将来」に入ります。このカテゴリーでは 1 件，「太陽光発電技術の現状と展望」と題しまして，産業技術総合研究所の作田宏一先生，よろしくお願いいたします。

ご紹介いただきました，産総研の作田と申します。
それでは，太陽光発電について，私の話もあまり細かいところまではいかないと思いますが，全体が今どこまで来ているかというようなことを感じていただければと思います。

最初になぜ太陽電池なのかということをお話しして，歴史と現状をざっとおさらいし，あと幾つかシステムの実例について，特にわれわれ産総研のキャンパスにあります 1 MW のプラントというか設備について少し詳しくご紹介します。あと，今の三つのご講演にもありましたが，エネルギー収支というか，LCA というのは非常に大事ですので，太陽電池についてもこの観点の話を少しさせていただきます。最後に，2030 年に本当に 50%削減ということをどう考えたらいいかということを，少し大胆な提言も含めてご紹介したいと思います。

昨日の神本さんのご講演にもあったのですが，太陽エネルギーの量というのは非常に大きくて，実はこのスライドはもう十数年前から使っておりまして，地上に来ている太陽光というのは，大体人類が使っているエネルギーの 1 万倍だと言っているのですが，最近消費の方が増えていまして，今この値は 4 ぐらいになっていますので，1 万倍にはいかないのですが，少なくとも桁として 4 桁上であるということがまずあります。人類はこの太陽エネルギーを基に生活しているわけですから，それをほんのわずか使えばエネルギーが十分であるということがお分かりいただけると思います。

太陽エネルギーというのはいろいろな使い方があるのですけれども，太陽電池を使った太陽光発電というのは非常にシンプルでして，いろいろな利点があります。

特に動く部分がないのでメンテナンスが要らない。それからこれは，例えば燃料電池なども割とほかの火力発電などに比べればそういうことがあるのですが，特に太陽電池の場合は，非常に小さいもの，例えば時計やそういうものに使われる太陽電池と，大規模な何メガワットという発電所と比べても，基本的にいわゆる変換効率はほとんど同じです。逆に言うとスケールメリットがないということで，非常に柔軟な使い方ができるということです。

それから，太陽エネルギーの使い方にはいろいろあるのですけれども，特に日射の強度にもよらない。これも厳密に言いますと，多少は依存するのですけれども，基本的に変換効率があまり変わることはありません。ですから，曇りの日でもそれなりに来ている量はちゃんと使えるという意味で、非常に重要なポイントです。また散乱光も使えます。

それから，これも今回のようなプロジェクトのときには大事なのですが，何か太陽エネルギーを使う装置を置くために土地を占有してしまうことがないわけです。例えば建物の上というのは，既にそれ自体は使われているわけで，そこを二重に使えるので，土地の有効利用が可能です。

唯一というか最大の課題は変動が大きいことです。これは太陽電池だけではどうしようもない部分ですから，ここをシステム技術でカバーする必要があるということになります。

非常に大雑把に太陽電池の歴史というのを書いてみますと，こういうことになります。

最初の太陽電池ができたのがちょうど今から約50年前，ベル研で最初の太陽電池ができました。これは効率が約6%ぐらいでしたけれども，これが太陽電池の歴史の始まりです。

最初は宇宙用や無人灯台の電源等，いわゆる特殊電源ですが，非常に値段が高かったのですけれども，他に代えられるものがないという意味でそれなりに普及していました。

それがオイルショックを契機に，世界中で新エネルギー関係のプロジェクトが立ち上がりましたけれども，それをきっかけに大々的な研究開発が進みまして，本格的な太陽電池の低コスト化，普及ということになってきています。

特に日本では90年代に入って，系統連系ガイドライン等の環境整備が進みまして，配電線に連系して太陽電池が使えるようになりました。もう一つは政府の住宅用太陽電池に対する補助金が非常に功を奏して，爆発的に普及が始まりました。2000年ごろには日本の生産量が世界一になりました。実は最近，ドイツで非常にパワフルなインセンティブが始まりまして，導入量が抜かれてしまったのですが，生産量はいまだに日本がトップです。

これが世界の太陽電池生産量の推移です。この赤い部分が日本で，ずっとこの辺から世界の大体半分を日本が作っていたのですが，この黄色い部分の「その他」というのは，実は中国，台湾などのアジア諸国なのですが、この伸びが非常に急激です。

これは逆に言うと，もちろん技術開発が全体としてはまだまだ進んでいるのですけれども，太陽電池も今や商品となり、工場を丸ごと購入すれば，ターンキーといいますけれども，全く太陽電池を作ったことがない人でもお金があれば太陽電池の工場を簡単に手に入れられるようになってきた，そういうことの証しと言ってもいいと思います。

先ほどのものは生産量ですが，これは累積の導入量の推移です。これもこの辺は日本が大体世界の半分で、トップを走っていたのですが，今ご紹介したように最近のドイツの伸びがありまして，抜かれてしまったということでございます。

今現在，世界全体で大体，これは2006年のデータですので，もう超えていると思いますが7GW程度の太陽電池が世界で動いているということです。大雑把に言うと，大型の原子力発電所が100万kWとしますと，そういうものが6～7台あるということになります。

これは太陽電池の変換効率の変遷です。この後少しご紹介しますが，太陽電池はいろいろな種類がありまして，最初にできた単結晶シリコンの太陽電池というのがスタートなのですけれども，その後低コストにするためのさまざまな技術開発が進んでいまして，特に最近は薄膜の太陽電池というのがいろいろ，研究開発の成果でようやく市場に出てくるようになって，大量の生産が始まっています。

単結晶シリコンの太陽電池というのは，最高約25%の変換効率で，このデータが出てからだいぶたつのですが，これが今のところトップデータです。

ちなみにこの絵にはあえて描いていないのですが，このほかにガリウムヒ素などのⅢ‐Ⅴ属の化合物を使った非常に高効率の太陽電池というものがありまして，これは主に宇宙用で使われています。これはつい最近40%を超えるというところまで来ております。ただ，これは地上で普通に使うには値段が高いので，このグラフには書いておりません。

太陽電池はいろいろな種類があると申しましたが，この図は将来のロードマップというか，将来のことを説明するときに，一部この辺のデータが出てくるので少し先走った図なのですけれども，これからの太陽電池の開発の方向性を一枚の絵にしてみるとこういうことになるという絵です。いろいろな太陽電池が書いてありますので，これを使ってご紹介したいと思います。

横軸が時間軸でもあり，効率を上げていくということにもなっているのですが，太陽電池を安くするためには，とにかく効率を良くするというのと，もう一つは非常に大面積を安く作るというのがあります。これは簡単に言うと，面積当たりの値段を安くすると言ってもいいと思いますが，そういう軸があります。その積で結局エネルギーのコストが決まってきますので，この斜めの線が大体同じエネルギーコストになるものを示しているということになります。

最初にできました単結晶のシリコンは値段は高いけれども非常に高効率で，その後に多少効率が悪いけれども値段の安い多結晶のシリコン太陽電池が出てきました。

それからさらにその後に出てきましたのが，アモルファスや微結晶等の薄膜のシリコンを使った太陽電池です。これは効率的には結晶に負けるわけですけれども，大量生産をすれば非常に安くできるということで，トータルで値段は下げられるだろうと言われています。

さらに最近は，シリコンではない化合物系として，銅・インジウム・セレン（CIS）といった化合物系の薄膜の太陽電池というものも出てきていまして，これもかなり効率の高いものが既にできていまして，量産化が始まったところです。こういったものがこれからも競争をしながら，どれかが勝ち残るということではなくて，かなりずっとこの状態で競争が続くのではないかと思います。

またさらに新しいものとして，全く半導体ではないというか，色素増感タイプの太陽電池ですとか，有機物を使った薄膜の太陽電池というものも盛んに研究されています。これも研究の歴史は浅いのですけれども，非常に魅力的であるということで，研究人口も多いですし，効率が悪いなりに使える部分がありますので，商品化が既に一部始まったりしているところがあります。

このように太陽電池は非常にいろいろなものがあって，どれがいいかということではなくて，恐らくいろいろな用途に応じて使われていることになるのだと思います。

太陽電池の実際のシステムの例をざっと簡単にご紹介します。これはNEDOのフィールドテストという事業で，大量導入が今進められているものの例です。最近はかなり大きいものが増えていまして，これはJR高崎駅の新幹線のホームの屋根です。こちらは浄水場の上の，ふたの部分に太陽電池を使った例です。

これは工場の屋根です。特にこのシャープの5 MWというのは，現在日本にある単独のサイトの太陽電池としては最大規模のものです。

これは群馬県の太田市でNEDOが実験をしています。大量に太陽電池のシステムが導入された場合に，従来の系統そのままですと，電力の配電網というのは，そういうものを想定していないですから，逆潮流に対していろいろ問題が生ずることがあるわけです。そういったことを実際に住民が住んでおられる場所で実験している例です。約500軒の実際のお宅に太陽電池が入っていまして，系統連系の問題について実証しているところです。

ここからわれわれの産総研にありますメガ・ソーラタウンと呼ばれています1 MWの設備について簡単にご紹介します。

この航空写真のこの黄色い丸が点滅しているところがちょうど太陽電池の入っているところです。さまざまな場所に太陽電池が入っております。

これは2004年4月に運転を開始しまして，約3年少したっています。この特徴的なことは，日本で実際に市販されている太陽電池のモジュールとインバータを組み合わせたシステムからなっていることで，日本中で今動いている太陽電池のシステムと同じものがたくさん並んでいるということになります。それが同じ条件で比較できますので，非常に貴重なデータが得られるものと思っておりますし，非常にわずかなのですが，つくば市の電力に寄与をしています。どのくらいかといいますと，産総研で今使っている電力の約1%弱が実際に発生しております。

幾つか写真をご覧いただきます。これが6社の太陽電池を同じ条件で置いている場所です。

こういった駐車場の屋根ですとか，これはビルの壁部分ですね。これは非常にPR効果が高い設置例です。こういったところに入れております。

これは典型的な夏の一日の発電量で，この青い線が実際にその日の消費電力です。この太陽光の出力があるために，このピークが多少ですけれども下げられているということがお分かりいただけると思います。今年の8月に累計がちょうど300万kWh（3 GWh）になったということでお祝いをしたときの写真です。

世界にはこういった大きなシステムがどんどんできています。これは9月に私が実際に行ってきたのですが，スペインの南部にあります20 MWのプラントで，これが現在世界で一番大きい発電所だと思います。さらに今，40 MWですとかさらに先に百数十MWというプラントも計画されていますので，こういったものはどんどん新しいものが出てきてしまうと思いますが，見渡す限り太陽電池が並んでいるという光景でございます。

先ほど来のバイオマス系のご講演にもありましたけれども，こういったあらゆるエネルギーの技術というのはライフサイクルで評価しなければいけません。もちろん太陽電池もその例外ではありません。太陽

電池を作るときに使ったエネルギー，それから作るときに排出したCO2というのがあるわけで，これを何年で回収できるかということが非常に大事です。

これは非常に残念なことなのですが，太陽電池も非常に技術の進歩が早いですので，非常に古いデータを基に太陽電池というのはペイバックタイムが非常に長いのではないかと誤解をされることが今でも時々あります。最近でも時々ありまして，われわれはそのたびに対応に追われています。このグラフにありますように，確かに十数年前，これは1991年の値ですが，これは内山先生が電中研に居られたときのレポートなのですけれども，実際にペイバックタイムが10年ぐらいということがあったのですが，その後さまざまな技術革新があって，生産技術が上がっていますので，最近のデータを使いますと多結晶のシリコンで大体2年，薄膜になりますと1年以下になるということになっております。CO2のペイバックも大体それに近い値になっていますので，十分太陽電池というのはLCA的にも優れたものであります。

私は先ほどのご講演を聞いていて思ったのですが，太陽電池というのは植物に例えると，何というのでしょうか，一年草ではなくて多年草，樹木でしょうか。太陽電池の場合は寿命が今20年とか30年といわれていますが，そういう意味では木は何百年というものもありますから，それに比べるとまだ駄目なのでしょうけれども，そういった観点で同じ土俵で評価ができるのではないかということを少し感じました。

これが今後のロードマップです。2030年に日本全体で100 GW導入しようということです。これは正確に言うと目標ではなくて，そういうものを想定してロードマップを作ったという値なのですが。今はまだコストがkWh当たり，通常の電力価格の倍ぐらい，46円ぐらいなのですけれども，それを最終的には7円/kWhにしようと。逆にそうならないと，このぐらいの導入量にはならないということで，そのための技術課題はまだまだ太陽電池そのものにもありますし，システムの方にもあるということです。

最後に，それでは2030年にCO250%削減というのはどういう数字なのか，非常に大ざっぱに試算したものをお見せします。どのくらいの太陽電池があればそういうことになるかという一つの試算例です。

今の日本の総発電量というのは大体これぐらいでして，太陽電池というのは年間の発電量が、定格出力で計算しますと，大体1000時間分になります。効率を少し低めに10%で見積もりますと，これをもし全部太陽電池で賄うとするとどれぐらいになるかというと1000 GWになりまして，面積にすると1万km^2です。日本の面積が37万km^2ですから，3%弱ということです。

それを絵にすると，大体このぐらいになります。これを非常に広いと思うか，大したことないと思うかというのは人それぞれだと思います。

それではこれをつくば市に当てはめるとどうなるかというと，これがつくば市の結果です。先程のよりも少し割合が大きいというのはお分かりだと思いますが，それだけつくば市は日本の平均に比べれば，面積当たりのエネルギーの消費がやはり少し高いということになります。もし実際にこの面積をつくば市に導入すれば，少なくともつくば市の電気は全部太陽電池で賄えると。確か，つくば市の場合は電力化率が50%を超えていたと思いますので，これだけで50%は行くと思います。

以上でございます。

（石田）　作田先生，ありがとうございました。

それではご質問・コメントを。どうぞ。

（フロア6）　国立環境研究所の藤野と申します。お時間がないときに申し訳ないのですけれども。

非常に夢はあるのですが，現実は日本の太陽光の導入量は前年割れなのです。5%ぐらい下がってしまったのです。こんなに太陽光はいい技術をたくさん作っているのに，なぜ日本の国内の導入量は減ってしまうのだろうかと，私はとても疑問があります。そのようにいいものを作っていらっしゃる技術者の方はどういう気持ちでそういうものを見ているのか。

それから，全く政策がないからそうなってしまうのではないかと。ドイツだとフィードイン・タリフで，kWh当たり80円ぐらいで買い取ると。誰が負担するかというと，別に電力会社ももちろん頑張りますけれども，ドイツの国内の電気料金が高くなるのです。その分だけ国民が負担している。そういう仕組みが

なぜ作れないのだろうか。そういうふうに褒められるとみんなやると思うのですが，僕も昨日ポスター賞をもらってうれしくて，ついついポスターの前に展示してあるのですけれども，技術者の方から政策者に対してどういうことを言いたいか，ぜひお聞きしたいのです。

（作田） 確かにそれはわれわれも皆同じ思いの者が大部分なのですが，逆に言うと，太陽電池というのはもう商品になっているわけです。ですから企業の戦略というのもありますので，例えば今実際にどういうことになっているかというと，日本で作った太陽電池がどんどん輸出されています。だから「それはけしからん」ということになるのか，逆に言うと，地球全体としては太陽電池が増えているわけですから，私などはそういう意味ではそれほど悲観していないのですけれども，やはり， どうせなら日本に導入したいというのはありますので，制度の問題はこの短時間で議論するのはなかなか難しいのですが，確かに非常に有効なインセンティブというものはあると思います。それはいろいろな議論を経て決めなければいけないことだと思いますが，われわれとしては，そのために少しでも安いものを，いい太陽電池を作って，システムとしても安いものにしていくということを努力するということになると思います。

（フロア 10） 環境 NGO の岡崎といいます。

今の発表は太陽光発電なのですけれども，私はいわゆる家庭用燃料のことから申し上げると，給湯設備は 1980 年代にはいわゆる太陽熱利用が非常に盛んだったのです。ここに来て，太陽熱利用の給湯設備というものの普及が非常に落ちています。これは今ほどの太陽光発電の問題とも絡むのですけれども，結局税財政の問題があるわけです。太陽光発電の方もいわゆる補助金が落ちてきています。それはおっしゃるように商品化してしまって，誰でも買えるはずだからということで NEDO の補助金が落ちた。それからもう一つ，太陽熱の方は比較的安いわけですが，それにもかかわらず補助金を落としてしまったが故に普及していないと思うのです。先生は専門違いかもしれませんが，太陽熱利用についてはどのようにお考えですか。

（作田） 実は私はもともとは太陽熱をやっていまして，最近は太陽電池もやっているのですけれども，太陽エネルギー全体をやっているのです。私もまさにその通りだと思います。日本は太陽熱温水器についてかつては非常に先進国だったのですけれども，今は全く負けてしまって，ドイツなど欧州ですとか，最近は中国がすごいですけれども，太陽熱の利用というのは非常に大事なことで，特に家庭用のエネルギーというのは熱が非常に多いですので，これをもっともっと使うべきだと私も思います。

なぜそうならないのかということは，先ほどのご質問にも少し絡むのですが，それは技術だけの問題ではなくて，何というのでしょう，人々の考え方の問題になりますので，それをどうやって変えていくかというのはなかなか難しい問題です。私自身も太陽熱の利用は大変大事だと思っています。ですから，将来太陽電池と熱利用をいかにうまく組み合わせて普及するかというのが非常に大きな問題だと思います。ですから，つくば市の地域のエネルギーというときにも必ず熱エネルギーというのは重要だと思います。

（フロア 11） ユーザーの立場からです。私は家に太陽電池を導入して期待していたのですが，補助金もつくば市から出ましたけれども，3 kW のノミナルなスペックに対して実際上は 1 kW ぐらいしか節約できていないし，「導入して失敗したな。時期尚早だったのかな」という感じです。お話しになったような 1 kWh 当たり何十円というのはとても出ていないのがユーザーとしての実感で，どうもまだこれは駄目だなという印象があります。

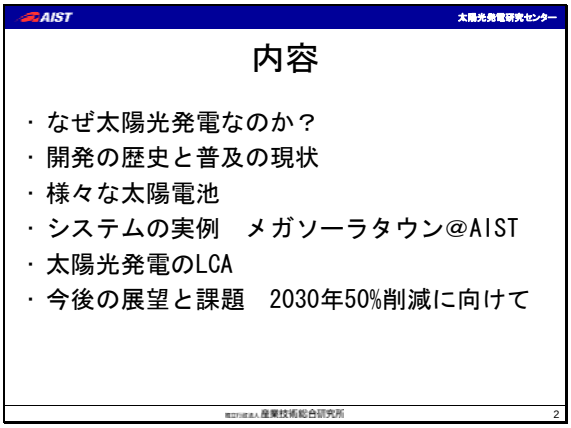
（作田） この問題も非常に大きな問題なのです。実は太陽電池というのは kW で売っているのですが，その kWh を表に出して売っていないのです。そういう意味でこの電池は何 kWh 出ますよというふうになると，もう少し今のようなお話が減ると思うのですが，例えば 3 kW というのは非常に理想的な場合に出るという値でして，それが出るということではないのです。商品としてのアピールをするときにその辺が少し他の商品とは違うので，そこがうまく伝わっていないということだと思います。

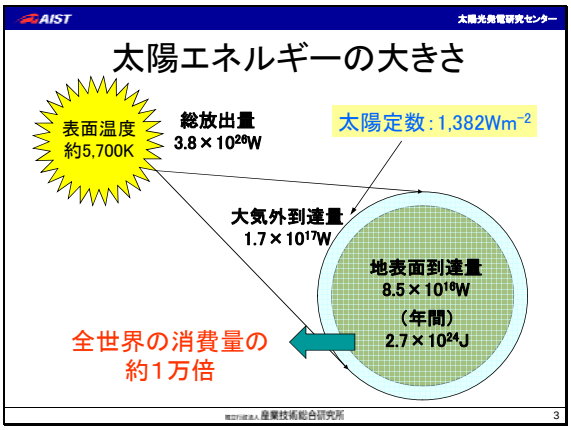
（フロア 11）　宣伝だけではなくて，実際に使ってみて投資して効果が出ていないという印象です。何百万も使って・・・。

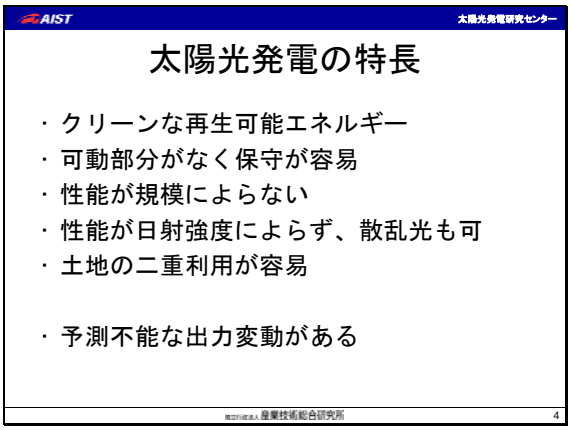
（作田）　それからもう一つもっと大きいのは，今日はあまり詳しく説明しなかったのですが，太陽電池も使い方によってやはり相当出力が変わるというのがありますので，場合によっては非常に不具合が起こっているということも考えられます。そういったことも含めてわれわれのところでモニタリングなどをしておりますので，対応していきたいと思っております。

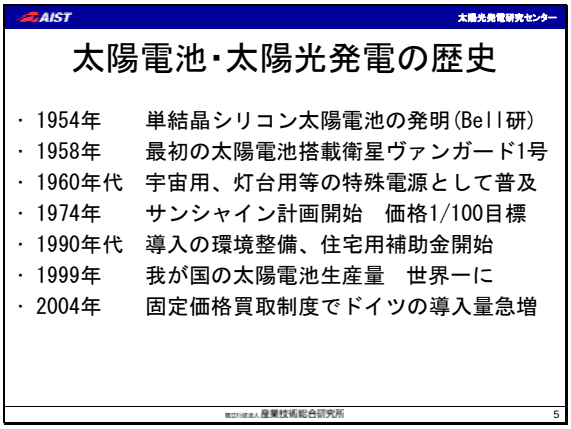
（石田）　なかなか議論は尽きませんが，昼休みにでもまた議論していただければと思います。作田先生，ありがとうございました。

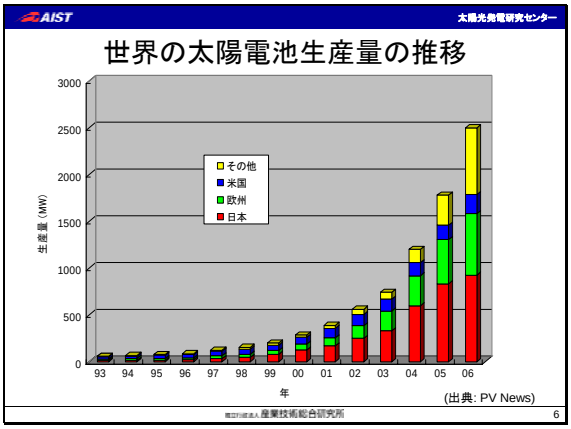
AIST
太陽光発電研究センター
第1回つくば生フォーラム
2007.12.15-16
太陽光発電技術の現状と展望
産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター
作田宏一
1

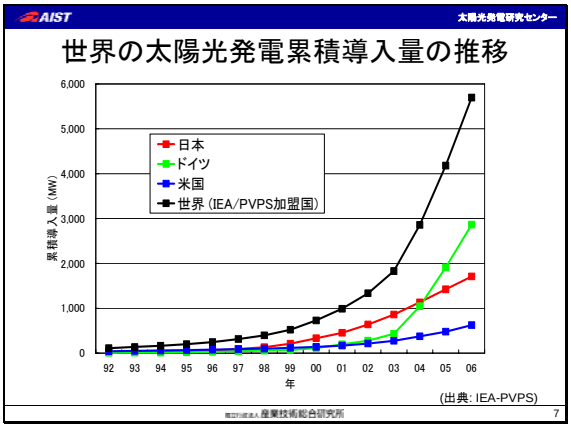

AIST
太陽光発電研究センター
内容
・なぜ太陽光発電なのか？
・開発の歴史と普及の現状
・様々な太陽電池
・システムの実例　メガソーラタウン@AIST
・太陽光発電のLCA
・今後の展望と課題　2030年50%削減に向けて
2

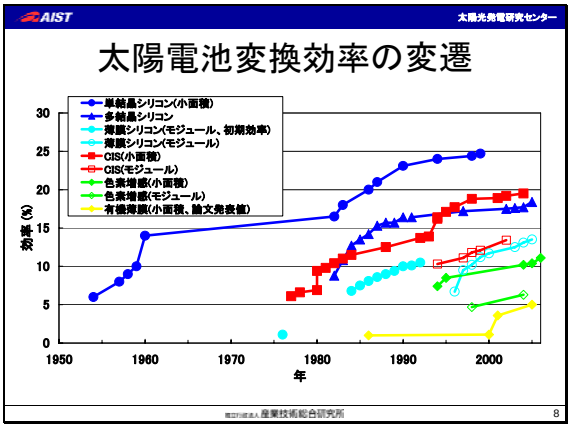

AIST
太陽光発電研究センター
太陽エネルギーの大きさ
表面温度
約5,700K
総放出量
3.8×10²⁶W
太陽定数：1,382Wm⁻²
大気外到達量
1.7×10¹⁷W
地表面到達量
8.5×10¹⁶W
（年間）
2.7×10²⁴J
全世界の消費量の
約1万倍
3


AIST
太陽光発電研究センター
太陽光発電の特長
・クリーンな再生可能エネルギー
・可動部分がなく保守が容易
・性能が規模によらない
・性能が日射強度によらず、散乱光も可
・土地の二重利用が容易
・予測不能な出力変動がある
4

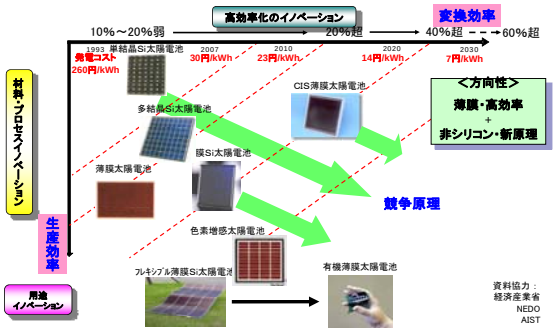

AIST
太陽光発電研究センター
太陽電池・太陽光発電の歴史
・1954年　単結晶シリコン太陽電池の発明(Bell研)
・1958年　最初の太陽電池搭載衛星ヴァンガード1号
・1960年代　宇宙用、灯台用等の特殊電源として普及
・1974年　サンシャイン計画開始　価格1/100目標
・1990年代　導入の環境整備、住宅用補助金開始
・1999年　我が国の太陽電池生産量　世界一に
・2004年　固定価格買取制度でドイツの導入量急増
5


AIST
太陽光発電研究センター
世界の太陽電池生産量の推移
生産量（MW）
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
その他
米国
欧州
日本
93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06
年
(出典: PV News)
6


AIST
太陽光発電研究センター
世界の太陽光発電累積導入量の推移
累積導入量（MW）
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
日本
ドイツ
米国
世界（IEA/PVPS加盟国）
92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06
年
(出典: IEA-PVPS)
7


AIST
太陽光発電研究センター
太陽電池変換効率の変遷
効率（%）
30
25
20
15
10
5
0
単結晶シリコン(小面積)
多結晶シリコン
薄膜シリコン(モジュール、初期効率)
薄膜シリコン(モジュール)
CIS(小面積)
CIS(モジュール)
色素増感(小面積)
色素増感(モジュール)
有機薄膜(小面積、論文発表値)
1950 1960 1970 1980 1990 2000
年
8

2030年に向けた太陽光発電のコスト低減



NEDOフィールドテスト事業の導入例1

ＪＲ東日本　高崎駅新幹線ホーム上屋（200kW）

岡山県　鶴新田浄水場（調整池覆蓋）（400kW）

（写真提供：新エネルギー・産業技術開発機構）

NEDOフィールドテスト事業の導入例2

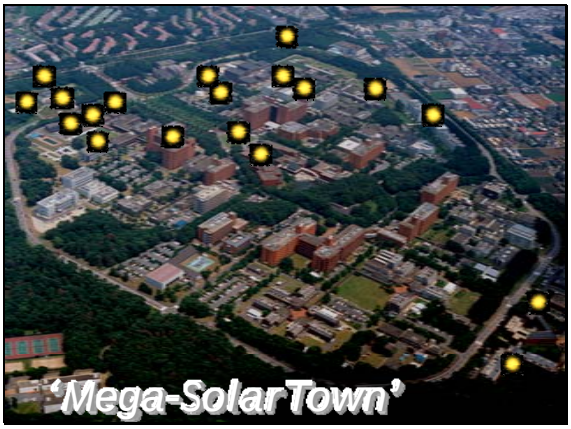
㈱再春館製薬所　（1，580kW）

シャープ㈱亀山工場　（5，150kW）

（写真提供：新エネルギー・産業技術開発機構）

集中連系型太陽光発電システム実証研究

- 平成14～19年度　NEDO プロジェクト
- 500軒以上のPV住宅を太田市に建設
- 商用配電網を用いて、系統品質確保、単独運転防止等の系統連系技術に関する実証研究を実施



メガソーラタウンの概要

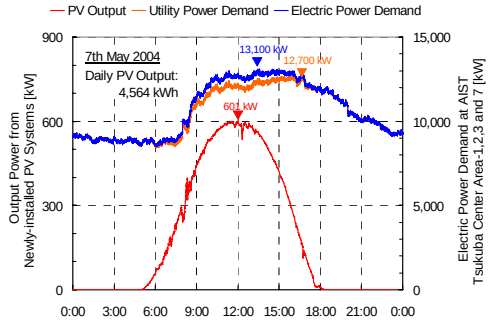
- 運転開始：　2004年4月
- 総発電容量：
  - DC: 869kWp (PV モジュール　約5,600枚)
  - AC: 844kW (パワーコンディショナ　出力4kW×211台)

  日本初のMW級設備 (既存のPVシステム　約160kW を含む)
- 市販PVモジュール・システムのショーケース
  - 単結晶・多結晶シリコン、アモルファスシリコン、ヘテロ接合シリコンモジュール
  - 住宅用パワーコンディショナ　7機種
  - 4kW住宅用PVシステムの集合体
- 発電電力量：

  10^6kWh/年 = 設置事業所の電力需要の約0.8%相当

  = 300t/年のCO_2 排出量削減

メガソーラPVシステムによるピークカット効果



2007年8月に累積発電量 3 GWh を達成

（2007年8月12日）

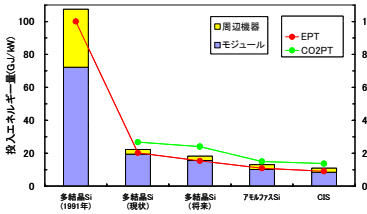
世界最大の太陽光発電所(20MW、スペイン)

場所：Beneixama, Spain
設置：City Solar社(ドイツ)

敷地面積：500,000m²
PVモジュール：100,000枚
年間発電量：30GWh

太陽光発電のLCA評価

- エネルギーペイバックタイム(EPT)、CO2ペイバックタイム(CO2PT)は技術の向上等で急激に減少。
- 現状では **EPT＝2.0年(多結晶Si)～0.9年(CIS)**
  CO2PT＝2.7年(多結晶Si)～1.4年 (CIS)

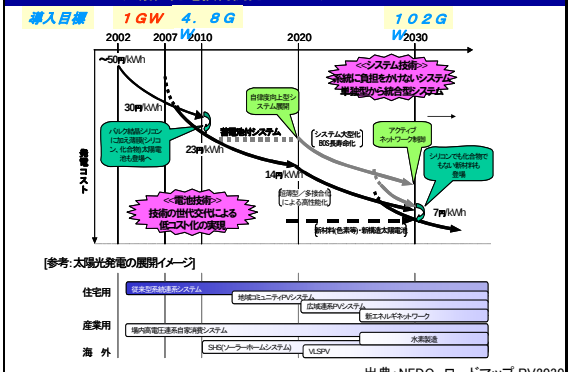


算出条件：

1)多結晶Si(1991年)
・地上設置1MWシステム
・生産規模：不明
・運用エネルギー：1%
2)その他
・住宅用3kWシステム
・生産規模：100MW/年
・運用エネルギー：省略

※多結晶Si(現状)の値は、文献2)を元に再計算したもの

出典： 1) 内山、他、電力中央研究所研究報告 Y90015 (1991.11)
2) NEDO成果報告書「太陽光発電評価の調査研究」、太陽光発電技術研究組合(2001.3)



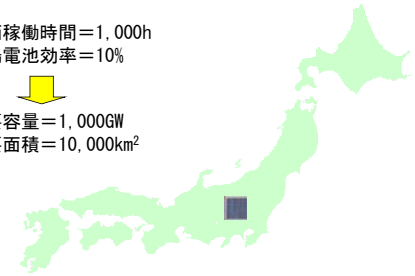
出典：NEDO ロードマップ PV2030

日本の総発電量を賄うには？

年間総発電量＝1,000,000GWh

等価稼働時間＝1,000h
太陽電池効率＝10%

必要容量＝1,000GW
必要面積＝10,000km²

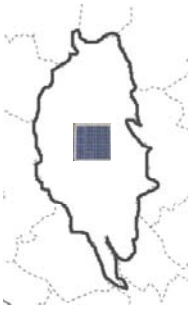


つくば市の総発電量を賄うには？

年間総発電量＝2,300GWh

等価稼働時間＝1,000h
太陽電池効率＝10%

必要容量＝2,300MW
必要面積＝23km²
(総面積＝284km²)



4. 運輸技術

「電気自動車・燃料電池自動車の開発動向」

荻野 法一
（財）日本自動車研究所 FC・EV センター

（石田） それでは午前中最後のセッションに移ります。4 番目の「運輸技術」で，「電気自動車・燃料電池自動車の開発動向」と題しまして，日本自動車研究所の荻野法一先生にお願いいたします。
よろしくお願いいたします。

日本自動車研究所の荻野と申します。よろしくお願いします。
本日は「電気自動車・燃料電池自動車の開発動向」とい内容で発表します。私ども日本自動車研究所は，学術的な研究というよりは，自動車メーカーさんに近いところでいろいろ活動しておりますので，できるだけ自動車メーカーさんの活動が今どうなっているのかというのを皆さんにご紹介させていただきたいと思います。
自動車研究所はご存じの方も多いと思うのですが，つくばに衝突実験場などがありまして，城里には高速周回路というものもあります。その中には燃料電池の安全評価試験棟もあり，自動車に係わるいろいろ活動をしております。
まず電気自動車なのですが，本日紹介しますバッテリーEV（BEV）というのは基本的に電池とモーター・発電機で構成されているものをいいます。それから内燃機関とバッテリー，モーターが併用されているのをハイブリッド車（HEV），燃料電池を搭載したものが燃料電池自動車（FCV）です。
まず BEV・HEV，その後 FCV，最後に最近注目を浴びていますプラグインハイブリッド車の動向，それからまとめという形で説明させていただきます。
電気自動車の普及状況ですが，こちらの図ありますように，黄色い方が HEV で，青い方がバッテリーEV になっておりまして，ハイブリッドはもう皆さまご存じのように，トヨタのプリウスが中心となって普及の段階に入っているといえるのですが，バッテリーEV の方は頭打ちです。
BEV の内訳を次に示していますが，1990 年代に軽乗用車タイプ以上のＢEV が本格的に開発されまして，ある程度増えたのですが，大手のメーカーがその後開発から撤退されまして，どんどん減っているような状況です。ただ，小さな電気自動車，原付 4 輪タイプ，原付 2 輪タイプは何とか頑張っていただいていたのですが，昨年にはその原付 4 輪，原付 2 輪自体も一部減っておりまして，現在トータルでも頭打ちのような状態です。
過去にいろいろなＢＥＶの取り組みがあったのですが，これは 1990 年代半ばの代表的なバッテリーEV なのですが，トヨタの RAV4，日産のルネッサ，それからホンダの EV PLUS で，1990 年代半ば以降に，それ以前の鉛バッテリーなどを使っていたバッテリーEV に比べると，最高速度や一充電走行距離も格段にアップし，ガソリン車並みの走行距離ではありませんでしたが，性能的にはガソリン車にひけを取らないBEV が開発されました。そのときにニッケル水素電池や，日産さんはリチウムイオン電池を採用されております。ただ，走行距離を伸ばしたいということで，ガソリン車並みにはなっていなかったのですが，200 km 程度の航続距離を考えたため，バッテリーの値段が高くなり，トヨタの RAV4 でやっと 500 万円です。日産さん，ホンダさんについては月 30 万円ぐらいのリース販売という事で，結局普及には至りませんでした。
この様なことから，EV を普通のガソリン車と同じように開発するというのはなかなか難しいだろうということで，その後各社，日産，トヨタさん，ホンダさんも含めて二人乗りのコミューターカー，短距離走行のコンセプトで造ったものを開発されました。ただ，これもまだ初期の段階でしたので，日産さんし

か販売していなかったのですが，約350万円ということでまだまだ値段が高かった。これが大量に出てくればコストがある程度下がるかと思われるのですが，後ほど紹介しますFCVの方がこのころ世界的に注目されるようになりまして，バッテリーEVではなくFCVの開発に大手のメーカーが移行され，バッテリーEVの開発が途絶えてしまったというのがこれまでの経緯です。

その結果，一人乗りバッテリーEV，これは原付4輪ですが，こういうものが現在細々と出ている状況です。

また，このREVAというのはインドから輸入しているのですが，こういう二人乗りの軽自動車もあります。

この様に最近まで，大手のメーカーさんもBEVから撤退していたのですが，最近三菱自動車さん，富士重工さんが電力会社とも提携しながら開発を進めております。一番大きな特徴は，リチウムイオン電池です。日産さんも以前リチウムイオン電池を採用されていたのですが，リチウムイオン電池の性能が上がっておりまして，そのリチウムイオン電池を搭載したEVが出てきたというのが最近の大きな動きだと思います。

また，この図は日産さんが2006年12月に発表された「ニッサン・グリーンプログラム」からの抜粋なのですが，日産さんは自動車メーカーとして独自にCO2排出量を2000年比70％削減するという目標を挙げられまして，それに向けてハイブリッド，それからバッテリーEVというのを開発していきますとコミットしています。いつもゴーンさんがよく言われている「コミット」という言葉があるのですが，日産自動車として2010年までにバッテリーEVの実験実証を始めますということと，2010年代の早い時期に，日本から市場投入しますということがコミットされたということです。この様に大手のメーカーさんもバッテリーEVに軸足が再度戻ってきているというところが見て取れると思います。

次に燃料電池自動車です。JHFCというのが経産省の実証プロジェクトで，日本自動車研究所（JARI）も事務局としてやっているのですが，図の様な海外の大手のメーカーさんも含めて，実際に公道での走行実証試験をしております。

JHFCの実証試験では関東地域に約10箇所，それから愛知県のセントレア空港の方に1カ所，それから大阪の方に2カ所，ステーションを置いて実証試験をやっております。

1990年代後半ごろには今後FCVがすぐできるのではないかという感じで開発競争が激しくなったのですが，なかなか商品として売れる段階にまではなっていないのが現状です。ただ，着実に最高速度や航続距離等の性能は進歩はしてきているということが言えます。

例えばトヨタさんの例なのですが，FCVでの大きな課題であった低温始動性というのもある程度実現しております。それから航続距離につきましても，先日，東京モーターショーの前に走られたのですが，大阪―東京間580 kmの実走行を実際にやられております。商品としてはまだ課題があるが，性能は着実に良くなってきていると言えます。

ホンダさんについても，以前はカナダのバラード社（Ballard Power Systems Inc.）というところのスタックを使っていたのが，現在は内製でどんどん出力密度も上がっています。FCVはすぐに実現ということはなかなか難しいところがあるのですが，各メーカーさんは着実に開発を進められているということがいえると思います。

この図は先ほどから紹介していますJHFCプロジェクトの中で，Well to Wheelの井戸元から車までの総合効率というものを検討させていただいたのですが，これが，1 km走行当たりの一次エネルギー投入量で10・15モードでのMJ/kmの結果を出しております。

それともう一つ，CO2排出量についても，1 km走行当たりのCO2総排出量ということで，出させていただいております。前提の条件としてはいろいろな条件を入れておりますが，電源につきましては日本の平均電源構成でやっております。これを見ていただければ分かりますように，FCVについては，効率，CO2排出量の削減のポテンシャルはあるということが確認されたと思います。

それらをまとめたのをこういう形で文章にしております。

燃料電池車は，現行車に対し大きな効率改善のポテンシャルを有しているということ。

それからもう一つ，ディーゼル・ハイブリッドというものも，FCVと同等で少ないという結果が出てお

ります。ただ，FCV 同様，ディーゼル・ハイブリッドというのもなかなかいろいろな課題がありまして，課題をどこまで克服できるかというのが問題になると思います。

あともう一つ，バッテリーEV，電気自動車は，必要エネルギー，CO2 排出量とも FCV より低いレベルではありました。ただ，これまでバッテリーEV が普及しなかった大きな課題である一充電当たりの航続距離等，一部の条件がそろっていませんので，その辺をどう解決するかということが重要です。反対に，バッテリーEV はもう航続距離は求めない，近場のコミューターカーとして利用するというのも一つの考え方かと思われます。

この様な結果もあり，バッテリーEV のいいところとハイブリッドをうまく組み合わせるという考え方が最近注目されておりまして，それがプラグインハイブリッドです。

プラグインハイブリッドは単純にハイブリッド車のバッテリーを少し大きくしまして，この大きさをどのぐらいに考えるかということなどいろいろ課題があるのですが， EV と同じように外部から系統の電力を充電できるようにしたのがプラグインハイブリッドです。

最近特に海外でいろいろな取り組みがやられているのですが，昨年でしたか，トヨタさんが公道試験を開始されるということで，この様なプラグインのプリウスを発表されました。

プラグインプリウスがどういうものかというと，新型プリウスというのは今現在爆発的に売れているプリウスなのですが，そのプリウスはニッケル水素のバッテリーを使っているのですが，それを単純に一つ積み増しして二つにして，それで外部から充電ができるような形にしております。

トヨタさんから出された発表によると，EV 走行距離は電池容量を増やすことによって 13 km 程度の EV 走行ができ，EV 走行中でも最高速度 100 km/h 出せると発表されております。

ここで燃費がクエスチョンと書いているのですが，これまでのハイブリッドでしたら燃費を従来の考え方でできるのですが，外部から充電する場合の燃費測定をどうするかというのは，一つの課題となっておりまして，今現在メーカーさんも JARI も含めていろいろ検討を進めているところでございます。

先ほどからリチウムイオン電池の話が出ているのですが，リチウムイオン電池というのが，プラグインハイブリッド，それから電気自動車，バッテリーEV，ハイブリッドも含めて今後大きなキーの技術になるということで，大手のメーカーさんはいろいろな提携をし始めております。

トヨタさんはもともと松下電器さんと組んでパナソニック EV エナジーという子会社をつくられているのですが，最近日産さんは NEC と組んで，オートモーティブ・エナジー・サプライを設立されています。三菱自動車さんも GS ユアサさんと組んで，つい先日もう正式に合弁会社を発表されていましたが，新たな電池メーカーをつくられています。

海外でもいろいろ，ダイムラー，GM等もいろいろな電池メーカーと組みながらリチウムイオン電池を電動車両用に使うという傾向に進んでおります。ここは LG しか今は出していないのですが，特に韓国の電池メーカーさんの動きも活発です。今後は注目されるところではないかと思っております。

そういうこともありまして，経産省の方で「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」というのがまとめられまして，本年度から NEDO の方から予算が出て，改良型，先進型，革新型の 3 フェーズに分け，電池開発，特にリチウムイオン電池を中心とした電池開発が進められております。この辺の動きが今後の電動車両に大きな影響を与えると思っています。

まとめなのですが，これは 2007 年 1 月にこれも経産省から「次世代自動車・燃料イニシアティブ」もまとめられて報告されています。これを紹介させていただいてまとめとしたのですが，先ほどからお話ししていますように，高性能 HEV，バッテリーEV，FCV，それからバイオを燃料，それからクリーンディーゼルというものも最近注目されているのですが，将来的にどれか一つで全部賄えるというのではなくて，いろいろな技術をこれから進めていって，ある程度すみ分け，例えばバッテリーEV については，近距離のコミューター的な使い方でやる，FCV やプラグインは長距離などで使うといった棲み分け，プラグインはつなぎになると思うのですが，最終的には FCV とバッテリーEV，それからバイオを使った自動車というようなすみ分けが出てくるのかなと考えております。

運輸部門の石油依存度を今はほぼ 100％なのですが，経産省の方では， 2030 年に 80％に，エネルギー効率を 30％改善するという目標を掲げてこの辺の取り組みを進めているところです。最終的には，先ほど

のご講演での太陽電池の話にもありましたけれども，日本で培ってきた技術を世界に展開することによって世界の CO2 を削減していくことを目標に挙げて進められているところです。JARI もこの辺の取り組みに何とかお役に立てるように努力していきたいと考えております。
以上で終了します。ありがとうございました。

（石田） ありがとうございました。
それではご質問･コメント等がございましたら賜りたいと思います。どなたかございませんでしょうか。
それでは，私から 1 件よろしいですか。電気自動車に関しまして電池性能が非常に上がっているということなのですが，一方で，あまりエネルギー密度が高くなると結構危険性というのが心配な面もあると思うのですが，その辺についてはいかがですか。

（荻野） 最近特にリチウムイオン電池で，携帯やパソコンでいろいろな問題が起こったというのはあるのですが，性能を上げることによってエネルギー密度が高くなったということもありまして，そういう危険性が高くなったと考えられます。しかし，いろいろ聞いてみますと，電池メーカーさんとパソコンとか電機メーカーさんとの情報交換というか，一体となった設計というのがうまくできていなかったというのが，一番の原因ではないかと言われています。何かあったときに，ちゃんと安全に止まるということを設計できればいいのですが，それができなかったということが問題だったのではないかと。自動車につきましては先ほどの連携も書かせていただいたのですが，やはり安全というのが一番求められることですので，連携を密にすることによって安全性を確保していくのかなと思っております。

（石田） ありがとうございました。どなたかございませんでしょうか。
もう 1 件，ついでにお聞きしたいのです。例えば電池自動車は私は高くてもいいと思うのですけれども，要は電池寿命がもう一つ重要なポイントかなと思います。それがあまり持たなくて交換するとなると，またなかなか難しいかなという思いもあるのですけれども，その辺りはいかがですか。

（荻野） 実は私もそれが一番気になっています。最近，先ほど出ましたリチウムイオン電池を使った EV がもう商品として十分でありどんどん売って行きますよという形で期待されているのですが，実は 1990 年代後半に出てきた EV も性能的には良かったのですが，バッテリーの交換が思ったより早かったという実績がありました。今，新しいリチウムイオン電池はその辺は大丈夫ですとだいぶメーカーさんが言われているようですが，実態が本当にどうかということは，実は実証していく必要があるのではないかと考えています。いろいろな EV が出てきたときに，そのデータをちゃんと取って，もし良ければ良いということを EV の広報に使う。悪ければ悪いなりに，例えばバッテリーのリース交換制度や補助金の制度なども考えていくということで，電池の寿命についてはよく見ていく必要があると考えます。

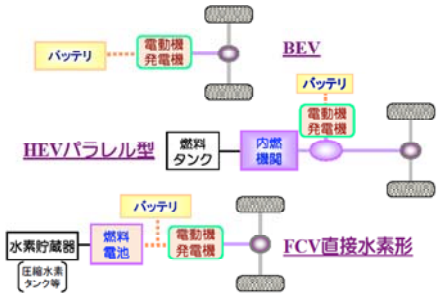
（石田） ありがとうございます。よろしいですか。それでは荻野先生，ありがとうございました。

JARI 財団法人日本自動車研究所 Japan Automobile Research Institute

電気自動車・燃料電池車の開発動向

（財）日本自動車研究所　FC・EVセンター
荻野　法一
平成19年12月16日

BEV・HEV・FCVシステムの例



2

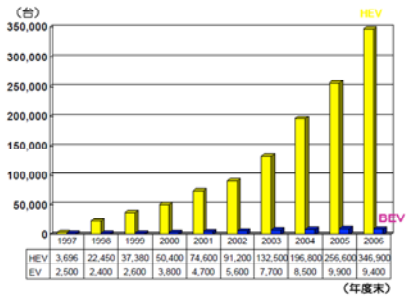
1. 電気自動車（BEV）
2. 燃料電池車（FCV）
3. プラグインハイブリッド車
4. まとめ

3

1. 電気自動車（BEV）

4

BEV・HEV保有台数の推移

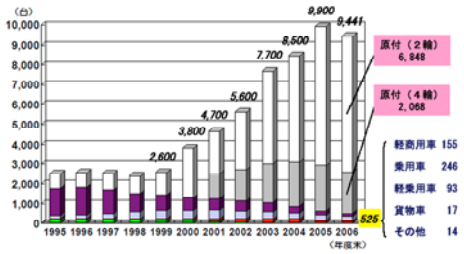


	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
HEV	3,696	22,450	37,380	50,400	74,600	91,200	132,500	196,800	256,600	346,900
EV	2,500	2,400	2,600	3,800	4,700	5,600	7,700	8,500	9,900	9,400

（年度末）

5

BEV保有台数の推移



6

BEVの例（1990年代半ば以降）

製造会社名 車　名	トヨタ自動車 RAV4LV　EV	日産自動車 ルネッサEV	本田技研工業 EV　PLUS
外観写真			
全長×全幅 ×全高（m）	3.980×1.695 ×1.675	4.770×1.765 ×1.680	4.045×1.750 ×1.630
車両重量（kg）	1，540	1，730	1，620
乗車人員（名）	5	5	4
最高速度（km／h）	125	120	130以上
一充電走行距離（km）	215	230	220
電動機種類	永久磁石式同期型	永久磁石式同期型	永久磁石式同期型
電動機最大出力	50kW	62kW	（連続）49kW
電池種類	ニッケル・水素	リチウムイオン	ニッケル・水素
電池容量（Ah）	95（5HR）	94（3HR）	95（5HR）
総電圧（V）	288	345	288
価　格	495万円	27万円／月 （3年リース）	26.5万円／月 （3年リース）

7

二人乗りBEV（1990年代末）

項目	Hypermini 日産	e-com トヨタ	シティバル ホンダ
外観写真			
全　長	2，500mm	2，790mm	2，210mm
全　幅	1，475mm	1，475mm	1，645mm
全　高	1，550mm	1，605mm	1，645mm
定　員	2	2	2
モータ	交流同期式	交流同期式	交流同期式
電　池	リチウムイオン電池	ニッケル水素電池	ニッケル水素電池
充　電	200Vインダクティブ	100Vインダクティブ 200Vコンダクティブ	200Vインダクティブ
航続距離	115km	約100km	130km
最高速度	100km／h	－	110km／h
価格	350万円（充電器を含む）	－	－

8

1人乗りBEVの例（現在）

車種（社名）	エブリデ－コムス（トヨタ車体：旧アラコ）	MC－1 EV（光岡自動車）	CONVOY88（光岡自動車）
外観写真			
乗車定員	1人	1人	1人
モーター	交流同期（インホイール）	直流直巻	直流直巻
電池	鉛	鉛	リチウムイオン
航続距離	80km（30km/h定地）	60km（30km/h定地）	102km（30km/h定地）
最高速度	50 km/h	60 km/h	－

9

1・2人乗りBEVの例（現在）

車種（社名）	エレクシード（ゼロスポーツ）	REVA（タケオカ）	パッソル（ヤマハ）
外観写真			
乗車定員	1人	2人	1人
モーター	直流直巻		交流同期
電池	鉛	鉛	リチウムイオン
航続距離	70km（30km/h定地）	80km	32km（30km/h定地）
最高速度	60 km/h	65km/h	30 km/h

10

BEVに対する新たな機運

大手自動車メーカが電気自動車の開発を再開

製造会社名	三菱自動車	富士重工業
車名	i MIEV	R1e
写真		
乗車人員	4人	2人
全長×全幅×全高	3,395*1,475*1,600	3,285*1,475*1,510
最高速度	130km/h	100km/h
走行距離	160km	80km
モータ種類	永久磁石同期型 47kW	40kW
電池	リチウムイオン 10kWh	リチウムイオン 9.2kWh

11

2. 燃料電池車（FCV）

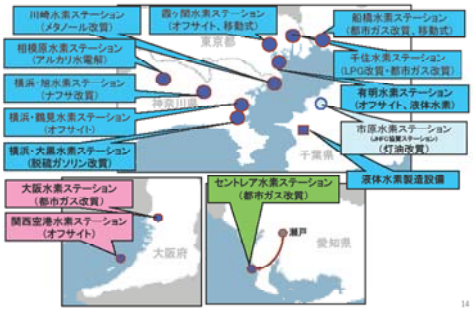
12

JHFC 実証試験参加車両等

※ 平成18年度新規参加（水素内燃機関自動車）
※※ 平成18年度新規参加（小型移動体）

13

JHFC実証水素ステーション



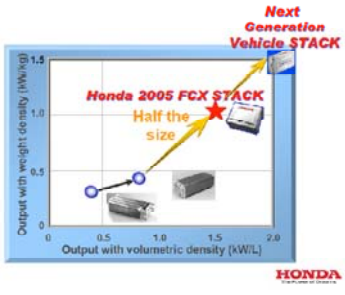
14

各社のFCV

	燃料電池最大出力（kW）	モーター最大出力（kW）	モーター最大トルク（Nm）	最高速度（km/h）	航続距離（km）
Toyota FCHV	90	90	260	155	330(10.15)
Nissan X-TRAIL FCV 05年モデル	90	90	280	150	370以上
Honda FCX	86	80	272	150	430(LA4)
DaimlerChrysler F-Cell	68.5	65	210	140	150
GM HydroGen3	129	60	215	160	400
Mitsubishi FCV	68	65	210	140	150
Suzuki MRwagon-FCV	50	38	130	110	130
Toyota/Hino FCHV-BUS	90 X 2	80 X 2	260 X 2	80	－

15

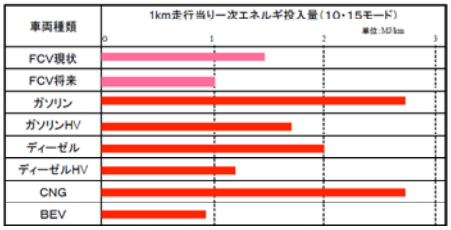
ホンダ　FCスタック性能



16

Well to Wheel総合効率

出典：JHFC



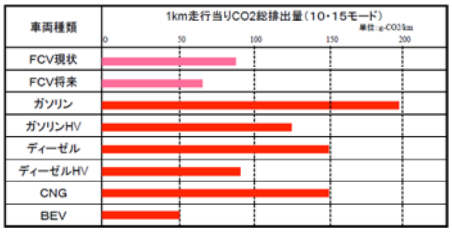
FCV現状：「水素ステーション」「FCHV」データはJHFC実証結果トップ値、
その他データは文献トップ値により算出

FCV将来：FCHVの将来効率60%と文献トップ値により算出　　電力構成　：*日本の平均電源構成*

17

Well to Wheel CO2排出量

出典：JHFC



FCV現状：「水素ステーション」「FCV」データはJHFC実証結果トップ値、
その他データは文献トップ値により算出

FCV将来：FCVの将来FCシステム効率60%と文献トップ値により算出

電力構成　：*日本の平均電源構成*

18

「Well to Wheel」計算結果まとめ

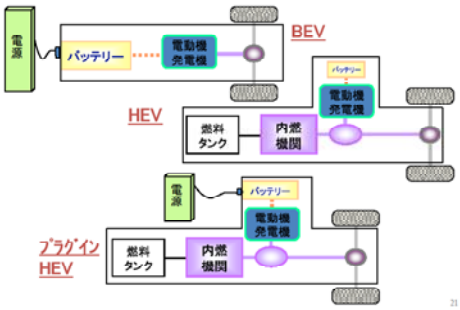
- 燃料電池車は、現行車に対し大きな効率改善のポテンシャルを有し、ガソリンHV、ディーゼルHVより必要エネルギ、CO2排出量ともに優る。
- 燃料電池車では、副生ガスの活用が必要エネルギ、CO2排出量とも他のエネルギパスに比べ優っている。
- ディーゼルHVの必要エネルギ、CO2排出量は、ガソリンHVより少ない。
- ディーゼルHVの必要エネルギはFCVとほぼ同等で少ないが、FCVの競合技術となるには、排出ガスの環境負荷が十分低くなり、PMや排気規制値をクリアする必要がある。
- BEVは、必要エネルギ、CO2排出量ともFCVより低いレベルにあるが、一充電当たりの航続距離など車としての総合的な評価が必要である。

19

3. プラグインハイブリッド車

20

電動車両の基本構造例



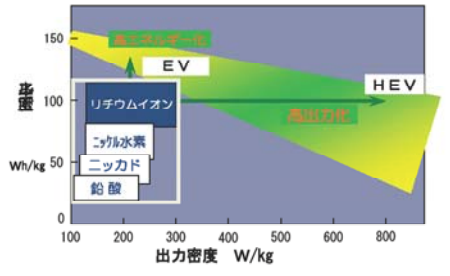
21

新・旧及びプラグイン プリウスの比較

車名	プリウス	新型プリウス	プラグインプリウス
写真			
全長×全幅×全高	4,310×1,695×1,490m	4,445×1,725×1,490m	
車両重量	1,220kg	1,280kg	1,360kg
乗車人員	5名		
電動機（電源電圧）	交流同期（274V）	交流同期（500V）	
電池種類（Ah/hr・V）	ニッケル水素（6.5／3・7.2）		同左×2
総電圧	273.6V	201.6V	同左
電池搭載個数（kWh）	38個	28個（1.3kWh）	同左×2（2.6kWh）
排気量	1,496cc		
燃費	29km/L	35.5km/L	？？？？
EV走行距離 最高速度	160km/h	—	EV走行航続距離 13km EV走行時最高速100km/h
燃料タンク	50L	45L	？
価格	218万円	215万円	—

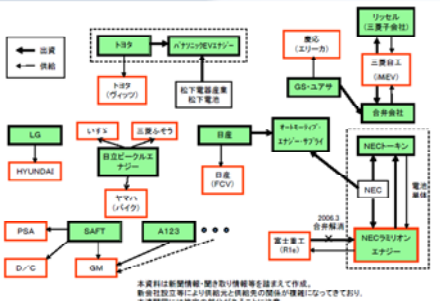
22

電池の性能



23

大型リチウムイオン電池の主要企業連関図



本資料は新聞情報・聞き取り情報等を踏まえて作成。
動会社設立等により供給元と供給先の関係が複雑になってきており、
本連関図には推定の部分があることに注意。

24

経済産業省「次世代自動車用電池の将来に向けた提言」

•研究開発戦略を①改良②先進③革新の3フェーズに分け、本格的電気自動車用電池の開発の目標を明確化。

	現状 電力会社用中型EV	改良型電池（2010年） 用途限定コミューターEV 高性能HV	先進型電池（2015年） 一般コミューターEV 燃料電池自動車 Plug-in HV台数率	革新的電池（2030年） 本格的EV
性能	1	1	1．5倍	7倍
コスト	1	1／2倍	1／7倍	1／40倍
開発体制	民主導	民主導	産官学連携	大学・研究機関

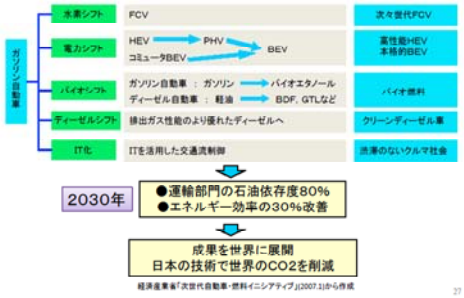
「新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会（通称：電池研究会）報告書」(2006.8)

25

4. まとめ

26

次世代自動車・燃料の将来展望



経済産業省「次世代自動車・燃料イニシアティブ」(2007.1)から作成

27

セッション3　省エネ都市づくりにむけて

座長　鈴木　勉（筑波大学）

（鈴木勉）　ただ今ご紹介にあずかりました，筑波大学の鈴木と申します。このセッションの座長を務めさせていただきます。よろしくお願いします。

このセッションは6件のテーマにつきましてご発表いただきたいと思います。1件当たり20分ということで，時間通り進めたいと思いますのでご協力をよろしくお願いいたします。

「持続可能都市のための都市構造設計」

鈴木 勉
筑波大学大学院 システム情報工学研究科 リスク工学専攻

最初は私の方から，「持続可能都市のための都市構造設計」というタイトルで発表させていただきます。50%という非常に高い目標が設定されているわけで，個別の要素技術にとどまらず，それをいかに総合化するか，そういう技術をどういうふうに都市に埋め込んでいくのかということが大事になろうかと思います。その中でも私の話は運輸部門に特化した話をさせていただければと思っております。

これは既に皆さんご承知のことと思いますが，日本のエネルギー消費とCO2排出量の推移を表したものですけれども，民生部門，運輸部門の伸びが著しくて，CO2削減にとってはこの両部門をどのようにしていくかということが非常に重要で，そのためには交通をコントロールして削減を実現するといった対策も必要になってくるということが私の方から申し上げたいことになります。

交通は，大きく分けますと旅客部門と貨物部門がございますけれども，特に旅客部門の伸びが非常に著しい。こちらは輸送量を示したもので，下はエネルギー消費量を示したものですが，単純に輸送量が伸びているだけではなくて，自動車の分担率が全体として上がっているということが読み取れるかと思います。それを原因といたしまして，エネルギー消費量も顕著な伸びを見せているということになります。

こうしたことがどうして起こるのかを大局的に見てみますと，わが国の都市というのは基本的に低密化が進んでいるということがいえます。小さくて見えなくて恐縮ですが，DID というのは「人口集中地区」で，これは国勢調査を基本にしまして一定の密度以上の地域を定義したものです。

その面積がこのグラフのように，60年を基準としますとこんな形で非常に伸びている，つまり都市化が非常に進んでいるということになりますが，その中の人口を取ってみますと面積ほどは伸びていないということで，宅地化がどんどん進んでいるけれどもその中の人口密度は平均的に見ると減少してきています。つまり，一言で言えば，日本ではどんどん低密な都市が郊外に拡散しているということになります。もちろん世界のいろいろな国でも同じような現象が進行しています。この状況は多分これからも続くであろうと予想されます。

日本は人口減少時代に突入しているということで，これは予測も入っていますけれども，人口が減っていくと。世帯の方もピークを迎えて減少の時期に入るということですが，かといって，今まで宅地化されたところに人が戻ってきて今までと同じような密度が維持されるかというと，先ほどの趨勢を見るとどうもそうなりそうもない。

それから，自動車の普及を見ますと，一番後の年度のところが，ここは5年置きになっていて，ここは1 年刻みなのでグラフの書き方はあまりよろしくないのですが，自動車の保有台数は堅調に伸びていて，要するにモータリゼーションは依然続いていて，低密化に拍車を掛けているという形になっているわけです。

車がたくさん普及しているほどエネルギー消費は多いというエビデンスもきちんと見つけることができまして，こちらの図は都道府県別に人口密度を横軸に，縦軸に自動車の保有台数を取ってみたものですが，東京や大阪という人口密度が高いところは一人当たりの保有台数は低いのですが，やはり地方部では多いです。

こちらの図はDIDの人口密度を横軸にして，縦軸に公共交通の分担率を取っているのですが，人口密度が低いほど公共交通の分担率が低い，つまり自動車依存率が高いということになります。自動車の依存率が高いほどエネルギー消費は大きいということで，これは横軸にエネルギー消費を取って，三大都市圏，地方都市という形で都市規模別に一人当たりの交通エネルギー消費を見たものですが，やはり地方部の方が大きくなっています。多分，つくばもこの辺に入るのではないかと思いますが，いかにこれを削減していくのかということが重要になっています。

世界的に見てみますと，これはマクロスケールで見たものですが，やはり同じことがいえます。横軸に人口密度を取り，縦軸に一人当たりのガソリン消費量，つまり自動車の部分だけを取ってみますと，アメリカの都市，あるいはオーストラリアの都市は人口密度が低くて，ガソリン消費量が大きいということです。ヨーロッパが大体この辺に来て，東京はここ。香港のように非常に高層ビルが建っているところはこういうところに来ますけれども，このようなカーブが書けるわけです。

ということで，都市をいかにコンパクトにするかということがエネルギー消費量を減らす，あるいはCO_2排出量を減らすという意味でいかに重要かということがお分かりいただけるかと思います。

これは，実は今朝の朝日新聞の三面ですけれども，最近コンパクトシティーが注目されております。実際に自治体でもこういう標語を基にして，いろいろ政策の立案に当たっているところが非常な勢いで増えてきています。

これはどういう考え方かというと，まず既成市街地をもっと有効に利用しようと。空き地とか，あまり利用されていないスペースがありますが，そういうところにinfillということで利用促進を図り，結果として人口や建物容積の高密化を図り，それによって公共交通の有効活用をしていこうと。それから，混合土地利用ということで，歩いていける範囲にいろいろな都市の機能を立地させていくということで自動車から脱却した日常生活圏を形成しようという考え方でございます。

国土交通省にも研究会がたくさんできていましていろいろと検討がなされております。

自治体では青森市を先進事例としまして，各自治体でいろいろと検討が進んでおります。青森市の場合は，特に冬の除雪の問題がありまして，除雪の経費を削減するためにはやはりコンパクトな市街地を形成することで抑制しようということが非常に大きな問題になっていて，それだけではないのですが，それを大きな理由としましてコンパクトシティーを実現していくということが実施されております。

それから，富山市も有名ですけれども，富山は北陸に位置しておりますので住居面積も全国で一番高いところですし，自動車の保有率も非常に高いところです。

最近有名なのはライトレールといいまして，路面電車をJRの廃線跡の線路に導入しまして，これを軸にして，もともとあります富山の地鉄と一緒になって，これを基軸とした都市づくりをしていこうということでコンパクトなまちづくりを目指しています。

そもそも都市計画ということなのですが，これまでいろいろな方が理想都市を描いてきています。一番代表的なのはハワードの「田園都市（Garden City）」，これはどちらかというと分散主義でありまして，例えばロンドンだとしますとロンドンの郊外に都会的な生活を田舎でも実現するような環境を実現していこうということで構想を提案している例がまず一つです。

それからもう一つは，こちらは集中主義の代表として，ル・コルビュジェの「輝く都市」がありますが，これは非常に高層な建築を主体としまして，地表面を緑やオープンスペースに開放しようという考え方でございます。

ただ，どちらの都市を実現できたとしても自動車に頼らざるを得ないというところでは，やはりエネルギーの観点から見ますと問題はなかなか解決しません。

これはラドバーンということで，また別の考え方ですけれども，住宅地の中に歩行者の通るペデストリアンと自動車の通る車道とは明確に分離して，つくばもそういう環境になっておりますが，歩車分離とい

う考え方を使いまして自動車事故の問題を解決するとともに，緑の環境豊かな都市を実現していこうという方式があります。こういうことも基本的には自動車をベースとして移動手段として考えているわけで，こういう考え方が日本でもニュータウン開発に大きな影響を与えて現在に至っているということになります。

自動車依存型の都市に対して，コンパクトシティーを最初に提案したのはダンツィクとサァティという方で，これは非常にコンパクトな面積の狭いところに 8 層の人工地盤を設けて，この中に都市を実現していくという考え方で，この中で生活が完結するような都市を提案しています。真ん中に広場みたいなものがあって，その周りに 8 層の人工地盤があって，一つ一つの人工地盤の上に住戸が並んでいるといった非常に大規模な構想で，これはもちろん実現していないのですけれども，仮にこれができたとすると，省エネの問題，あるいは CO2 削減の問題，この当時 CO2 はあまり注目されていなかったと思いますが，そういうことを提言したものです。

こういうことを非常に単純に考えるとどうかと申しますと，仮にビルが林立している都市を考えると，われわれは移動するときにはいったん地上に降りて，目的地に行って目的地のビルを上に垂直方向に移動するということになります。三次元の絵で描けばこういう形になりますが，移動経路を最小化するようなことをやりますと，縦方向も横方向も同じような負荷が掛かると考えた場合，3 対 1 という数字が出てきます。

当然ながら，これは現実の都市に比べると縦方向に非常に長い比率になるわけで，現実の都市はそれに比べますと限りなく横方向に広がっているといえます。もちろん縦方向のエネルギー負荷，あるいは時間の負荷は水平方向よりも非常に高いですが，そのことを勘案しても同じことがいえます。

もちろん都市というのは，立方体，直方体では表せないので，分布を考えてみてもこのような形が出てくるということになりますが，いずれにしても現実はこうであるということになります。これをいかにこういう形に持っていくのかということを考える必要があるというのがコンパクトシティー構想の基本的な考え方です。もちろん連担して都市を造るというのはできませんので，現実はこういうふうに分散してあるわけで，これを公共交通でつなげていこうというのが最近のコンパクトシティーの考え方になります。

時間が押し迫っていますので，コンパクトシティーとはこういうことを実現していこうという考え方であることを紹介するにとどめます。

コンパクトシティーというのは必ずしも CO2 削減のためにあるわけではなくて，こういうことをすることによって中心市街地の活性化も解決するし，日常生活の上でさまざまな公平性の確保，社会的なコンタクトの増大なども実現するのだということがうたわれています。

日本の場合は，そういう意味では公共交通は比較的発達している方でありますし，先ほど示しましたようにアメリカやオーストラリアの都市に比べますと国際的には非常に優位にあるわけですけれども，細かいところを見ますとまだまだやるべき部分は多いですし，特に地方部は問題が山積しているということで，そういったところの問題をどう解決するかということになります。

TOD という言葉がありますが，これはコンパクトシティーと非常に密接に関連した言葉で，「公共交通指向型都市開発」と訳されておりますが，これはアメリカで進んでいる考え方で，郊外の住宅開発と公共交通整備を強力に結び付け，鉄道駅周辺の再開発を重点的に行うという考え方です。

アメリカですとポートランドでそういうことを非常に熱心に行っている好例がありまして，中心部ではトランジットモールといいまして，比較的密度の高い商業の機能が非常に集積しているところに LRT を直接導いてきます。都心部はこれは無料で乗れます。郊外と比較的短時間で結び付けて，アクセスしやすいようになっているという環境が整っています。郊外の駅前には駐車場があって，車で来ようと思う人も車をそこに止めて，そこから先は LRT で来るというような移動を促進させる試みも非常に熱心にされているわけです。

アメリカの場合は皆さんもご承知の通り，これはロサンゼルスの地下鉄の路線網ですけれども，必ずしも日本のように沿線に集積があるわけではありません。

実はここに LRT が走っているのですが，これは駅前ですが，周辺は密度が全く高くない，むしろ低い部類に入るようなところになっていて，そういう意味で TOD がこれから果たす役割は，アメリカの場合は

非常に大きいです。

これはサンディエゴのLRTですが，サンディエゴの場合はそういうことを非常に熱心にやっているということになります。

ヨーロッパでは，車の利用をゼロにしようという構想もあります。

ちょっと時間が来てしまいましたのでまとめますが，こういうことをさらに日本で進めるにはどうしたらいいかということがいろいろなところで検討されていまして，ここにあるような10個の原則を持ち合わせた都市計画をこれからしていかないといけないだろうということが一つです。

先ほど申しましたように，日本にもまだできることがあります。最後に申し上げたいのは，今までのいろいろな要素技術を都市に埋め込むためにはどうしたらいいのかという議論が著しくまだ不足しています。そういったことをいろいろな分野の専門家がひざを突き合わせて議論することが，50%削減を実現するには必要であろうということがいえるのではないかと思います。

ご清聴ありがとうございました。

（鈴木勉） もしご質問がありましたら受けたいと思います。いかがでしょうか。

（フロア12） 環境ジャーナリスト会議の佐藤といいますが，自転車の活用についてお伺いしたいのですが。昨今ヨーロッパ，もちろんポートランドも自転車の都市としても有名なのですけれども，自転車活用ということで5 km以内の近距離移動は自転車を利用しようではないかという動きもあります。その一方で，特に日本の場合は軽車両であるべき自転車が歩道を走る，歩行者との事故が非常に増えております。しかし，つくば市は非常に平面なので自転車の活用は相当使えると思いますが，先生はどのようにお考えでしょうか。

（鈴木勉） ありがとうございます。

つくばの場合は学生も多いということもありまして，自転車の分担率がかなり高いと思います。おっしゃるように，地形と自転車の利用はかなり相関がありまして，日本の場合は長崎が地形が一番入り組んでいるのですが，そこは自転車があまり使われていないと実際にデータでも出ています。ですので，自転車は地形の影響を非常に大きく受けます。

世界的に見ますと，自転車をたくさん導入しているのはオランダです。オランダの場合は，これもご存じだと思いますが，4分の1が海面下ということもあってCO2排出には非常に気を使っています。自転車につきましても自転車道を整備することを積極的に行っていますし，そういう意味では日本は比較的自転車の利用率が高いところだと思いますが，これもほかの交通手段と同じで，やはりまだ工夫すべき余地はたくさんあるのではないかと考えております。

追加で申し上げますと，ポートランドの場合はバスの前に自転車が付けられるようになっています。日本の場合は道路交通法などのいろいろな問題，問題というよりは安全性の問題だと思いますが，そういう解決すべき問題がまだあって，例えばヨーロッパの列車に乗りますと車内に自転車を持ち込んでいる方もたくさんいますが，日本ではそういうことは普及していません。こういったことも実現できるところがあれば有効な策になり得るのではないかと考えています。

他にいかがでしょうか。よろしいでしょうか。それでは，次の発表に移らせていただきます。

持続可能都市のための都市構造設計

第1回つくば3Eフォーラム
セッション3　省エネ都市づくりにむけて
平成19年12月16日（日）
筑波大学大学会館ホール

筑波大学大学院システム情報工学研究科
鈴木　勉

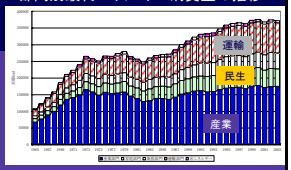
Environment Energy Economy TSUKUBA

0

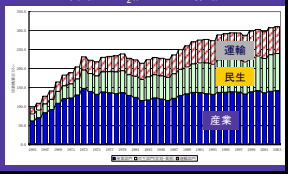
エネルギー消費とCO2排出量の推移

- 二酸化炭素排出量を50%削減するためには，単なる技術対策だけではなく，生活スタイルそのものの見直しやそれを実現するための生活空間の再設計も必要
- 運輸部門のエネルギー消費は全体のおよそ3割を占め，その伸びも著しいことから，交通をコントロールするための都市構造の再設計までをも見据えた対策が急務

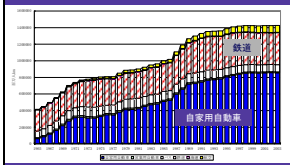
部門別最終エネルギー消費量の推移



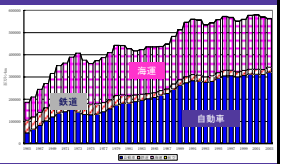
部門別CO_2排出量の推移



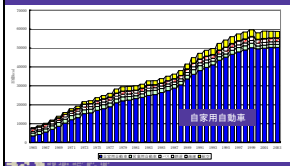
交通機関別旅客輸送量の推移



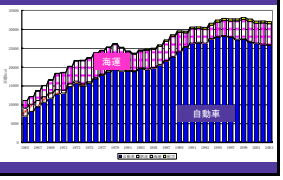
交通機関別貨物輸送量の推移



旅客部門における交通機関別エネルギー消費量の推移

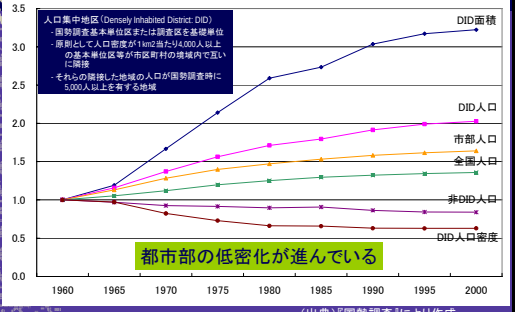


貨物部門における交通機関別エネルギー消費量の推移



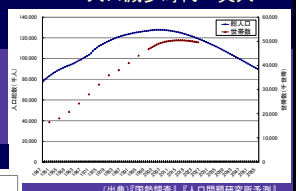
DID人口密度の推移

人口集中地区（Densely Inhabited District: DID）
- 国勢調査基本単位区または調査区を基礎単位
- 原則として人口密度が1ha2当たり4,000人以上の基本単位区等が市区町村の境域内で互いに隣接
- それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に5,000人以上を有する地域



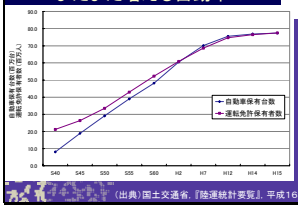
（出典）『国勢調査』により作成

人口減少時代へ突入



（出典）『国勢調査』，『人口問題研究所予測』
人口：平成18年2月推計
世帯：平成15年10月推計

まだまだ増える自動車



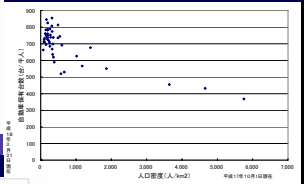
（出典）国土交通省，『陸運統計要覧』，平成16年版

4

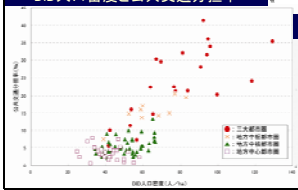
歩行限界距離

（出典）海道清信，『コンパクトシティ』

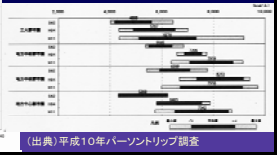
都道府県別人口密度と自動車保有台数



DID人口密度と公共交通分担率

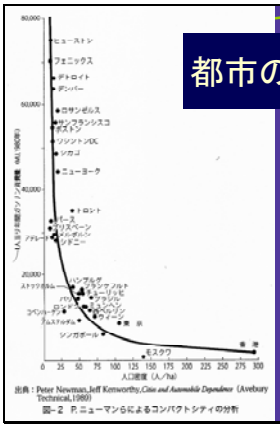


都市規模と交通エネルギー消費



（出典）平成10年パーソントリップ調査

都市の密度と自動車依存



出典：Peter Newman,Jeff Kenworthy,*Cities and Automobile Dependence*（Avebury Technical,1989）
図-2　P.ニューマンらによるコンパクトシティの分析

- マクロスケール
  - 人口規模が大きく都市鉄道など効率的な大量輸送機関が発達した都市では自動車の利用は抑制される傾向
- ミクロスケール
  - コンパクトに市街地がまとまり，商業・サービス施設とオフィス，そして住宅などさまざまな土地利用が近接して高密度に立地していると，複数の用事を1回の外出で済ませ，また移動距離が短く，徒歩や自転車でも用が足せる可能性が高まることなどから，自動車の利用が少なくなる傾向

（出典）Newman & Kenworthy: Cities and Automobile Dependence

6

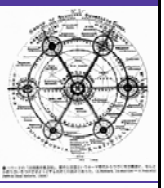
コンパクトシティ

- 既成市街地への重点的投資と空地の利用促進(infill)により，
- 人口・建物容積の高密化 (urban intensification)を実現し，
- 公共交通機関の有効活用・再生と混合土地利用への誘導により，
- 自動車依存からの脱却と徒歩や自転車等を基本とした日常生活圏の形成を図る考え方

7

理想都市論

- ハワードの「田園都市 (Garden City)」
  - 19世紀イギリス
  - 工業化による都市への人口流入と生活環境の悪化
  - 自然環境の豊かな農村地帯への人口の呼び戻し
  - 農村環境と都市機能を併存させた自給自足の独立小都市
  - 交通感染で大都市と連絡することにより大都市の機能も利用可能
  - レッチワース，ウェルウィン



分散主義

集中主義

- ル・コルビュジェの「輝く都市」
  - 建物の高層化によって地上を緑の楽園とする．
  - 自動車専用道を地上高く走らせて歩行者と車の領域を分離
  - ラ・デファンス （パリ）

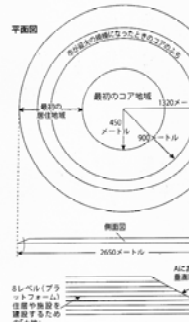
ラドバーン方式

- 住宅地内における歩行者と自動車のアクセスを完全に分けた歩車分離型の考え方
- 車路をクルドサック（袋小路）形式にして外部からの通過交通を抑制し，人が各住戸から学校・公園・商店などへ行く場合は緑地のある歩行者専用道路を通ることによって，交通安全対策と緑化スペースの確保を両立
- アメリカ・ニュージャージー州ラドバーン地区で1920年代に設計
- 日本のニュータウン開発にも大きな影響

出典：「建築設計資料集成9　地域」1983年
社団法人日本建築学会，丸善．

9

ダンツィク・サァティの「コンパクト・シティ」



人口25万人，基準面積56平方キロ，市の人口が200万人に増加するにつれて，高さと半径は図の2倍にまで拡大される。

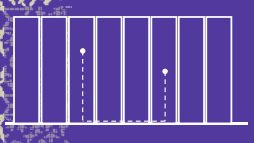
出典：G.B. ダンツィク，T.L. サアティ著，森口繁一監訳，熊平耕造・野口昭紀建訳『コンパクトシティー豊かな生活空間四次元都市の青写真』（日科技連出版社，1974年）

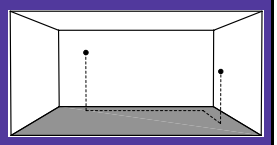
図-3　コンパクト・シティの平面図および側面図

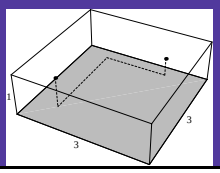
出典：G.B. ダンツィク，T.L. サアティ著，森口繁一監訳，熊平耕造・野口昭紀建訳『コンパクトシティー豊かな生活空間四次元都市の青写真』（日科技連出版社，1974年）

図-4　コンパクト・シティの幾何的なしくみの平面計画

簡単な都市モデル

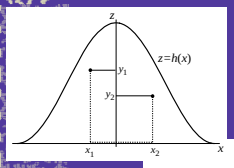


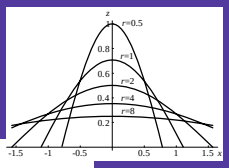


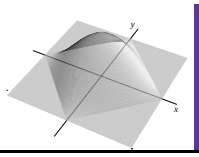


11

移動コストを最小化する都市形状

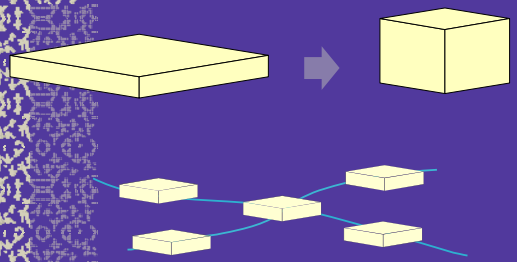






12

都市のコンパクト化の概念図



13

コンパクトシティの方法と目標像

- 土地利用の空間形状
  - 既成市街地への重点的投資・インフィル
  - 人口・建物容積の高密化(Urban Intensification)
- 人や物の流動
  - 自動車依存からの脱却
  - 公共交通機関の有効活用・再生
  - 混合土地利用(mixed land-use)の誘導
- 都市構造
  - 公共交通機関沿線への集積誘導
  - 多極分散型都市構造(Polynucleated Urban Structure)

14

コンパクトシティの原則

コンパクトシティの原則		内容
空間的形態	高い居住と就業などの密度	人口密度や住宅密度が高い，密度が高くなると，環境上の問題が発生する恐れが強くなるため，環境の質を高めるためにも，建築デザインやアーバン・デザインの役割がいっそう重要となる。
	複合的な土地利用の生活圏	一定の生活圏の中で，複合的な土地，建物利用が行われている。住宅や就業などの単一機能の密度が高くてもコンパクトとはいえず，多様な用途が一定の範囲で複合されていることが必要とされる。近代都市計画の原理の1つである「用途純化」は批判の対象となっている。
	自動車だけに依存しない交通	自動車交通への依存度が低い。生活圏の中や都市中心部などを自由に歩き回ることができ，徒歩と自転車が利用しやすく，公共交通の利便性が高い。自動車を利用した移動性の高さではなく，必要な場所やサービスへの到達のしやすさが重視される。
	多様な居住者と多様な空間	年齢，社会階層，性別，家族形態，就業など，居住者とその暮らし方の多様さ，建物や空間の多様さがある。多様な住宅が共存していることが重要で家族形態などが変わっても住みなれた地域で住みつづけられ，居住の継続性と地域の変定が図られる。
	独自な地域空間	地域の中に，歴史や文化を伝えるもの，他にないものが継承され，他とは違う独特な雰囲気をもっている。歴史的に形成された場所，建物，文化などが大切にされ，活かされる。開発に当たっては，場所性の感覚が重要となる。

空間的形態	明確な境界	市街地は，地形や緑地・河川などの自然条件，幹線道路や鉄道などのインフラ施設などで区切られ，物理的に明快な境界がある。田園地域や緑地に拡散的に，あいまいに市街地が広がっていない。
機能	社会的な公平さ	年齢，所得，性別，社会階層，人種，自動車利用，身体機能などといろいろな特徴を持った人々が，公平に生活できる条件が確保される。特に地域で自由に移動できて必要なサービスが受けられ，住宅が確保され就業できることが重要である。
	日常生活上の自足性	徒歩や自転車で移動可能な範囲に，日常生活に必要な生活機能が配置され，地域的自足性がある。狭い近隣だけで充足できる機能は限られるため，広域的なサービスを利用できるような交通手段の整備なども必要である。
	地域運営の自律性	そこに住む市民や住民の交流が盛んでコミュニティが形成され，地位の現状，将来に関する方針の決定や運用について，主体的に参加できる地域自治がある。他の圏域との連携も必要となる。

出所：海道清信「コンパクトシティ」学芸出版社，2001年）

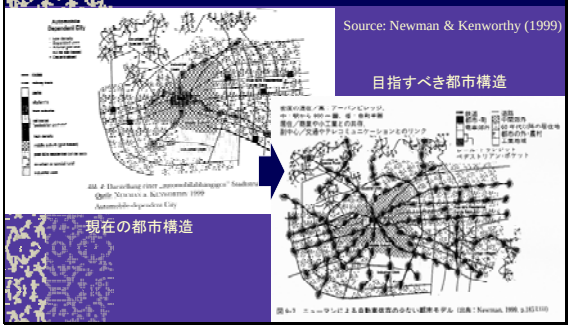
コンパクトシティによる効果

施策	効果	内容
自動車利用の抑制と公共交通機関利用促進による効果	地球温暖化問題への対応	自動車交通にともなう化石燃料消費、CO2ガスの発生の削減。その結果、国連の地球気候変動パネルで示された地球温暖化を防ぐためのCO2の削減目標の達成に対応できる。
	快適で効率の高い都市空間の創出	自動車交通量や走行距離を減少させ、大気汚染や騒音、交通事故の危機を減少させ、道路混雑も緩和される。自動車のための空間を減少させ、快適で効率の高い都市空間を作り出すことができる。
	社会的な公平性の維持	密度が高ければ、公共交通の必要性と成立可能性が高まる。利用しやすい公共交通によって、毎日の移動が車に依存しなくても可能となり、施設やサービスへの到達のしやすさや移動性が改善され、社会的な公平さを維持増進できる。
郊外への外延的開発を抑制する効果	農地、景観、自然環境の保護	都市の郊外開発を抑制することにより、農地や農村景観、自然環境を保全できる。
	都心部の活性化	郊外に立地する商業施設などを抑制することにより、都市のセンター地区の商業その他の活性化を維持増進できる可能性が高まる。
	投資効率	密度が高まると、都市の基盤施設(インフラ)を整備・管理するための公共投資の費用効率が高まる。
	単調な郊外開発防止	望ましくない単調な郊外住宅地の拡大を防げる。

施策	効果	内容
市街地内の高度利用、複合機能の配置による効果	都市の個性の維持再生	高度な都市開発、インフラと既存開発地の再利用によって、既存の都市、特に市街地中心部の活性化、歴史的な市街地環境などの都市の個性の維持再生が図られる。
	社会全体の無駄の排除	すでに多くの投資が行われた市街地にある低未利用地や使われていない建物を有効に活用でき、社会全体としての無駄が切げる。
	歩いて暮らせるまちの実現	複合用途を配置することにより、高密度な居住が可能となり、移動距離を減少できる。自動車に依存せず徒歩と自転車利用によって、地域のサービス施設が利用可能となる。
	省エネルギー化	高密度な建築により、施設コストの低減とエネルギーを削減できる。
	地域コミュニティの育成	近隣にいろいろなタイプの住宅が供給されれば、いろいろな社会的階層の居住者がともに生活するコミュニティが形成され、地域社会が安定する。また、コミュニティと近隣の活動が強まれば、生活の質が向上し、安全性と活力が増し、ビジネスやサービスにとっても好ましい。

出所:海道清信『コンパクトシティ』(学芸出版社、2001年)

コンパクトな都市構造



Source: Newman & Kenworthy (1999)

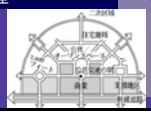
目指すべき都市構造

現在の都市構造

公共交通指向型都市開発 (Transit Oriented Development: TOD)

- 郊外住宅開発と公共交通整備を強力に結びつけ，拠点鉄道駅とその周辺を重点的に再開発するといった，自動車依存を減らすための取り組み
- ニューアーバニズムによる「アワニー原則」(アメリカ)
  - 複合機能開発
  - 徒歩圏内での生活圏形成
  - 公共交通機関へのアクセシビリティ確保
  - 多様な階層の共存
  - 消費エネルギーの削減
  - 自然環境保全
- 公共交通機関は集約輸送の形態ー定水準の輸送需要を確保しないと，事業性が低下し，運賃水準が上がり，旅客も獲得できず，環境親和性が薄れる．
- 低層住宅地の場合では，駅へのアクセスを上手に設計する必要
- 開発の抑制によって地理的にメリハリの利いた開発を誘導する必要
  - 一部地域では成長管理の下，グリーンベルト，成長限界線，開発総量規制，公共交通軸から一定以上離れたエリアでの容積率規制の厳格化など

Peter Calthorpe: The Next American Metropolis - Ecology,Community,and the American Dream -, Princeton Architectural Press, 1993.



公共交通指向型都市開発 (Transit Oriented Development: TOD)

- 中心市街地活性化の問題は，店舗の魅力の問題であるばかりでなく，交通(アクセスと地区内回遊)の問題でもある
- フライブルク，ストラスブールなど欧州の諸都市
  - ライトレール(LRT)と中心市街地の縁辺部に駐車場を設け，中心市街地への自動車の乗り入れをさせないフリンジパーキングとペデストリアン整備
- ポートランド(アメリカ・オレゴン州)
  - 駐車需要を抑制しながらトランジットモールによって公共交通による中心市街地へのアクセスを誘導
  - パークアンドライド(P&R)

ニューアーバニズム：アワニー原則(アメリカ)

- すべてのコミュニティが，住宅以外に商店，職場，学校，公園，公共施設などの複合的機能をもつこと
- 多くの施設が相互に徒歩圏内にあること
- 多くの施設や活動拠点が，公共交通機関の駅や停留所から徒歩でアクセスできること
- 多様な経済階層，年齢層の住民が共存すること
- 消費エネルギーの削減に留意し，自然環境の保全に万全を期すこと

M. ジェンクス
持続可能な都市の条件

- 都市形態のコンパクトさ
- 混合用途と適切な街路の配置
- 強力な交通ネットワーク
- 環境のコントロール
- 水準の高い都市経営

アーバンビレッジズ・フォーラムによる原則(イギリス)

- ヒューマンスケールによる開発
- 高品位なデザイン
- 複合開発
- 綿密に計画されたインフラ
- 「ミックス・インカム」と「アフォーダブル・ハウジング」
- 効果的なマネジメント

(出典)松永安光『まちづくりの新潮流』 20

ニューアーバニズム：アワニー原則(アメリカ)

- すべてのコミュニティが，住宅以外に商店，職場，学校，

停留所

全に万

ギリス)

グ」

まちづくり原則の共通項

- 徒歩圏内での地域計画
- 用途や機能の混合
- 空地や既存の土地の再利用
- 多様な居住者によるコミュニティの形成
- エネルギー消費の低減・効率化
- 公共交通の整備と利用促進
- 中・高密度の人口計画
- 公共空間の重視
- 多核的な都市の形成

(出典)松永安光『まちづくりの新潮流』 21

日本型コンパクトシティの10原則

1. 近隣生活圏(アーバンビレッジ)で都市を再構成する
2. 段階的な圏域で都市や地域を再構成する
3. 交通計画と土地利用との結合を強める
4. 多様な機能と価値をもつ都市のセンターゾーンを再生、持続させる
5. 徒歩の時代の「町割り」を活かす
6. さまざまな用途や機能、タイプの空間を共存させる
7. アーバン・デザインの手法を適用して美しく快適なまちをつくる
8. 都市の発展をコントロールして環境と共生した都市を持続させる
9. 都市を強化する
10. 自治体空間総合計画に基づく都市経営を進める

日本型コンパクトシティの3モデル

- 小都市モデル：環境共生型コンパクトシティ
  - 自然条件を活かし，重層的な機能が織り成す組紐型の都市(人口10万人以下)
- 中都市モデル：多重多層型コンパクトシティ
  - 密度の高い市街地と圏域の交流拠点である活気あるセンターを有し，まとまりのある近隣と再構成された郊外からなる都市(人口数十万人)
- 大都市型モデル：多芯連携型コンパクトシティ
  - 公共交通で支えられ，特色のある近隣住区ー町ー都市ー広域圏といった段階構成を持つ

(出典)海道清信，『コンパクトシティ』

22

日本型持続可能都市に向けて

- わが国の大都市は鉄道などの公共交通を重視して都市整備が進められてきた結果，公共交通利用率は世界的には高い水準であり，環境負荷も相対的に低い．
- しかし，TODの様々なオプションから見ると，まだ限定的であり，土地利用のコントロールや誘導の執行力も弱い．
- ミクロスケールでの対策やITS技術，交通需要マネジメント(TDM)などにさらなる可能性
- 地方都市での公共交通再生や環境負荷軽減にはまだ課題が山積
- 世界の取り組みを参考に，持続可能な都市構造に向けた今後の都市づくりを考えるべき

23

つくばを省エネ先進都市に

- 交通計画
  - 公共交通シフト
  - TX沿線開発
  - バス路線網と周辺地域のモビリティ確保
  - 大型集客施設を公共交通でどうつなぐか
  - 公共交通と自動車の適切な役割分担
- 都市計画
  - 中心地区の土地利用コントロール
  - スプロール市街地の防止
- 省エネ・低炭素排出技術との融合

24

「2050 年までに日本の運輸部門 CO2 を約 70％削減する対策について」

松橋 啓介
（独）国立環境研究所 社会環境システム研究領域 交通・都市環境研究室

（鈴木勉） 続きまして，国立環境研究所の松橋啓介先生から，「2050 年までに日本の運輸部門 CO2 を約 70％削減する対策について」という演題でご発表いただきます。
よろしくお願いします。

松橋です。よろしくお願いします。
今日は四つお話ししたいと思います。一つ目に「2050 年脱温暖化社会」，次に「削減策の考え方」，「地域別・要因別の対策の組み合わせ」，最後に「実現のために」という順番です。
まず、「2050 年脱温暖化社会とは？」という話です。京都議定書でいう「マイナス 6％」だけでは温暖化を止めることができないということで，「2050 年に温室効果ガスを世界で半分に」といわれています。それに対応する形で，日本で CO2 排出量を 1990 年に比べて 60～80％削減する道筋について，「脱温暖化 2050」という国環研が中心になってやっているプロジェクトで検討しています。そのうち，運輸部門を私が担当しています。
交通からの CO2 排出量は日本全体の CO2 排出量の 2 割ぐらいを占めています。60～80％減らすというのはどういうことかといいますと，例えばこれは運輸部門について見たグラフですけれども，1990 年に比較してこのぐらいのペースで減らしていくということになります。つくば 3E プロジェクトで見ているものでいいますと，2030 年に半減ということですが，基準を 90 年に取りますとこの黄色い☆の辺り，それから基準を 2000 年や 2005 年で取りますと，このオレンジ色の☆の辺りが「2030 年半減」という目標になります。この延長線上に 2050 年に約 7 割減があるという関係になっています。
二つ目は，思い切った削減をするためにどういうふうに削減策を考えていったらいいかという話です。
そのためにバックキャスティングという方法を取ります。通常はフォアキャスティングという方法で，これまでのトレンドがどういう形であったかということでできるだけ減らそうということを考えるわけですが，これまでの流れにどうしても引っ張られてしまって，結局十分に環境負荷を削減することができないということになりがちだと言われています。それに対してバックキャスティングという方法では，大幅削減をしなければならないとした場合に、どういう方法で減らしたらいいかということを逆算するような形で検討する方法になっています。この間にどういうことをやっていったらいいかということを大まかな数値としてまず決めて，後でもう少しだんだん深くしていこうという考え方でやっています。
そうしましても、望ましい姿の幅は非常に大きくなります。そこで、有識者ヒアリング（グループインタビュー形式）をやりまして，2050 年の社会と交通の姿はどんなものになるのかということを聞いています。都市基盤の位置，例えば東大通り，西大通りみたいなものは 2050 年でも場所は変わらないだろうということでした。ただ，そこの中で大通りに何か他の交通機関が入るとか，ある場所では土地の利用状況が大きく変わったりすることはあるだろうということでした。旅行のニーズは大体増えていくだろう。それから，低炭素にしなければいけないということであれば，道路財源による公共交通の整備は当然行われるだろうということが共通の認識として指摘されました。
一方、意見が分かれたところといいますのは，これから日本が移民をどの程度受け入れるのか，原油価格がどうなるのか，どういった住み方をするか，とにかく早く遠くまで行きたいと思うようになるのか，あるいはスローライフといわれるように近くで用事を済ませるようなことになるかとか，その辺はいろいろ意見が分かれるところです。この後，一つの案としてビジョンの例を示しますが，この下段に示した辺りは意見が分かれたところですので，そこには望ましいビジョンにも幅があるとお考えください。
それからもう一つ，2050 年を考えるにあたっていろいろな対策を組み合わせてやる必要があると考えて

います。大幅削減するためには一つのことをやるだけでは駄目だろうということです。

たとえば，炭素の少ないバイオ燃料や自然エネルギーを利用してやる。それから，燃費のいい車を使う。それから，あまり大きくない車両を使って適正な大きさの車にできるだけたくさん乗せる。それから，CO2 が比較的少ない鉄道などの乗り物を選ぶ。移動距離を短くする。そもそもエネルギーを使うような交通手段を使って移動する回数を少なくするといったいろいろな対策を組み合わせてやることで，約 7 割減は、やりやすくなるだろうという考え方を取りました。

ここのセッションは省エネ都市ということですので，こちらの図の左側，地域特性を反映するような部分について主にお話しします。

3 点目にお話しするのは、地域別・要因別の対策の組み合わせです。これを考えるにあたって，この図は横軸が人口密度で，縦軸が一人当たりの運輸部門からの CO2 排出量なのですが，人口密度が高いところでは一人当たり年間 1 t ぐらいの運輸部門からの排出量があります。それに対して，人口密度が少し低いところでは 2 t ぐらいを中心にして分布しています。やはり，人口密度が高いところでは CO2 の排出量が少ないということが分かります。

これを日本地図の上で示しますと，東京，京阪神，広島の辺り，青色のところで一人当たりの排出量が少なくなっています。それに対して，北海道や北関東，この辺りに一人当たりの CO2 排出量が多いところがあります。

これを別の形で見ますと，東京や京阪神の大都市圏にある市町村などでは一人当たり 1 t ぐらい，その他の地方では一人当たり 2 t ぐらいの排出量があります。公共交通が使えるようなところでは排出量が少ないということが推察されます。

これはその中で茨城県だけ取り出したものですけれども，水戸で見ると一人当たりの排出量が大体 2.3 t ぐらいになっています。特に少ないのは龍ケ崎や取手や今の守谷市の辺りです。つくば市はこの辺りで中くらいですが，電車が通ったことで，牛久あるいは取手ぐらいに排出量が減るようなことにならないかなと考えています。

こういった地域特性があることを踏まえて，大都市と地方では対策が違うだろうと考えました。それから，人口 10 万人以上の都市と 10 万人未満の郊外，大都市圏と地方都市では導入できる対策が違うだろうということでこの表を作っています。

上の方では徒歩圏の高密度化をすることで，○印であれば CO2 を 2 割ぐらい削減できるような対策になるのではないかということで，それぞれの対策の削減量の数値を想定して書き込んでいます。地方都市で公共交通システムの活用，例えば LRT を導入してやることで CO2 を 2 割ぐらい削減できるのではないかと，数値の割り当てをしています。それから，将来人口の推定も入れて，約 7 割減はこのような対策の組み合わせでできるだろうということを研究としてやっております。

その中のイメージとして，例えば徒歩圏の高密度化では，駐車場を団地の中で離れたところに集めて使ってやることで道路の上で子供が安全に遊べるようにした例があります。これは路上に落書きがしてあるのですが，そういった造り方もあります。

それから，中心市街地で歩行者空間があるとにぎわいができるということもあります。

先ほども話しましたけれども、LRT というのがあります。これのポイントは，地下鉄の導入に関しては補助金が出るので，人口 100 万人レベルの都市だと地下鉄等の公共交通が使えるようになるという状態が日本では多いと思うのですが，そこまでいかないぐらいの数十万人規模の都市に入れる公共交通として適しているということです。LRT を入れますと，先ほどの鈴木先生の発表にありました TOD や歩きやすい街を造りやすくなると考えます。鉄道ももう少し大規模の都市に導入されますので，日本の中で比較的小規模の住みよい都市を造っていくためには、LRT のような公共交通が果たす役割は大きいかなと考えます。

さらに、いろいろな交通手段と組み合わせて乗り換えできるようにしてやることで，車で出掛けたとしても途中で車から乗り換えて，パークアンドライドをやって使っていくことなどができると思います。

このスライドは筑協加盟機関での通勤交通手段が，つくばエクスプレスが通る前後でどうなったかを比較したものです。

これは差分だけ見ていて，左が増えたもの，右が減ったものです。この青い色が自動車の通勤です。平

均的に見て，82%が自動車通勤のシェアだったのですが，TX 開通後で 78%，大体 4 ポイント減りました。青色，ここでは自動車通勤が減っているところが見えます。赤いところは JR の利用です。オレンジ色が TX の利用です。この辺りは JR が減って TX が増えています。面白いのは，TX と同時に徒歩や自転車の利用者が増えています。その辺の構造が TX の通る 1 年前と 1 年後で変わってきているのですが，こういった調査をもう少し続けてやりまして，中期的に鉄道の影響がどうなっているかも見ていきたいと考えています。

いろいろな対策の中で自動車はどうなるのかということで考えますと，午前中の発表にもありましたが、電動になっていくのではないかと考えられます。できるだけ集まって乗れるのだったら乗った方がいいですけれど，部分的にはパーソナルモビリティーが必要になるだろうということです。電動カートは高齢者向けのものもありますし，ロボットに近いようなトヨタの i-REAL，それからセグウェイや小型のバイクもあります。また、貨物は車でないと運べないではないかと今までずっといわれていましたが，配送用にヤマト運輸がリヤカーの付いた電動アシスト付き自転車を使っています。こういったものが歩道を走るのか，車道を走るのか，中間的なレーンがあったらいいのではないかということを実験的につくばでやるということも面白いかなと思います。

いろいろな対策を組み合わせて 7 割減ということを示しました。対策には、いろいろな組み合わせがあり得ますので将来予測を改善していくとか，将来ビジョンはどうなるのか，そういうことをディスカッションして共有するとか，具体的にどうやっていったらいいかとか，そういったことが課題になります。

最後に，「実現のために」ということでお話しします。

この表に示したような形で何人か人を集めて何回もディスカッションをしながら，どういう将来ビジョンがあるか，どういう対策があるかを議論してきました。

実現施策の例として，土地利用を高密度化していくためには税制でもって誘導してやるのがいいだろうとなりました。それから，公共交通システムの整備・活用に関しても，公共が基盤を作ってやって，運営の部分を委託で民間がやるといった方法が注目されています。それから，規制緩和のような形で、人口が少ないところでは，あえてバスを走らせるのではなくて乗合タクシーのようなものを使うとか，運行に対して補助を出すといったこともあるかと思います。

他の部分に関しましても，経済的な誘導がやはり効果的であろう，根性で何とかしようと思っても限界があるので，社会システムとしてどうするかが重要であろうということになりました。ただし，経済的誘導をしてから変化するまで時間がかかるものもあります。土地利用やインフラの計画など，入れ替えに時間がかかるものについては、計画を先取りすることが非常に重要だと指摘されました。ここで地域の役割が大切になってきます。

一人一人が脱温暖化のために何ができるのかという観点と，それに対して地域で何ができるかという話をします。

温暖化の話をしますと一人一人の地道な努力の積み重ねが大事だといわれます。たとえば、エコドライブに努めたり，できるだけ歩いたり，自転車やバスを使うということがあるのですが，これだけだと 7 割減は結構難しいかなと思います。こういった取り組みについては、促進・啓発という地域の役割があると思います。しかし，もう少し長い目で見てやりますと，車を買い替えるときには燃費が良くて大きすぎない車を選ぶようにした方が脱温暖化のためには個人の選択として非常に効果があるだろうと考えられます。それから，住まいや職場を選ぶとき（これはそんなにしょっちゅうあるわけではないのですが），そういったときに公共交通や徒歩が使いやすい場所を選んでやると，その後根性を入れて努力しなくても比較的楽に公共交通を使ったり，歩いたりしやすくなると言えます。こういったことについても配慮していただきたいと思っています。それに対して制度を整備していくのも地域の役割だと思います。

それから，地域社会への働き掛けということで，公共交通や徒歩が使いやすいような町にするとか，環境負荷の小さい選択が得をするような仕組みにするということで，そのためには、市民参加の機会も重要だろうと考えられます。こういったいろいろな取り組みの組み合わせでもって、ようやく 7 割減が可能ではないかと考えています。

街づくりに関しましては， 2003 年にオーストラリアのパースで 2030 年の将来ビジョンを決定する会議

という，市民参加型のまちづくりに関する会議がありました。これは一つの会場に 1000 人ぐらい集めまして，10 人が集まる一テーブルが 110 個用意されていて、まちのどういうところを変えていったらいいか，環境負荷の小さい将来のパースというのはどういうものかということを議論して，それらを今後の都市計画の方針づくりの材料にするということをやっている例です。

最後にまとめです。

低炭素社会の実現，それ以外にも社会経済情勢が変化して人口減少するといったこともあるのですが，低炭素社会を実現するという観点からも中長期的な将来都市像の提示というのはますます重要になります。

技術的な対策だけでは不足しますので，都市計画的な対策も加えることで 70%削減も可能です。将来どういう町が低炭素なのかということを示しておきますと，勘のいい個人や投資家は立地を選んだり，投資先を変えたり，そういうことで無理やり住み替えを起こそうとしなくても勝手に住み替えが始まる可能性があるのではないかと思います。まずは将来に備えて低炭素が非常に重要になったときにどういう町にしたらいいのかという議論をしておくことが重要だと思います。

以上です。ご清聴ありがとうございました。

（鈴木勉）　どうもありがとうございました。

それでは，フロアからご質問いただきたいと思います。挙手の上，ご所属とお名前をいただければと思います。いかがでしょうか。はい，どうぞ。

（フロア 5）　筑波大学の藤巻です。

先ほどの鈴木さんの講演とも関係するところなのですが，やはり 70%も減らそうとすると現在の技術の延長ではちょっと無理なのかなと思いまして，やはりベロタクシーとか，最近ヤマト運輸がホームページに載せていて僕は感動したのですが，電動自転車にリヤカーを付けて荷物を運ぶということを始めているそうですが，荷物はリヤカーで，家族での移動はベロタクシーみたいな低速移動社会というか，道路を低速専用にするとか，そういったことをしていかないと 7 割も減らせないのではないかと思うのですが，その辺はいかがでしょうか。検討の程は。

（松橋）　ありがとうございます。

今ご指摘いただきましたとおり，今の車の形で技術だけで対応していこうとしますと，70%削減は難しいと思います。それから，2030 年に 50%という目標も達成は難しいと思います。それで，使い方をどうやって変えていくかということも含めて考えていった方が，技術の行き先を考える上では得になるだろうと考えています。私もヤマト運輸のリヤカー付きのものを，尾山台ですか，武蔵工大の近くで本物を先に見てすごく驚いたのです。

先ほど午前中に，電気自動車は航続距離が問題だということがありまして，われわれも実験がてら電気自動車に乗って移動したりしていますが，いつ電池が切れるか非常に気が気じゃないというのが問題です。それから，軽量化を徹底していくのは燃費改善にすごく役に立ちます。それを追求していくと，電動アシスト付き自転車で，雨が降っても大丈夫なフードが付いているようなもの，先ほどのベロタクシーも一つの例だと思うのですけれども，ああいったものが多く使われる社会が現実化する可能性は大いにあるかなと思っています。都市内ではせいぜい 20 km ぐらいで走るような車両が優先で，都市間では乗用車や 60 km，80 km，100 km で走る車両が優先というように，都市内と都市間での使い分けが起き得ると思います。その辺りはトヨタの社長なども将来像として指摘していますので，そういった方向に行く可能性はあるかなと考えています。

（鈴木勉）　ほかにいかがでしょうか。よろしいでしょうか。

それでは松橋先生，どうもありがとうございました。

200712161320筑波大

セッション3. 省エネ都市づくりに向けて

2050年までに日本の運輸部門CO_2を約70%削減する対策について

松橋啓介

（独）国立環境研究所
社会環境システム研究領域
交通・都市環境研究室

目次

1. **2050年脱温暖化社会**
2. 削減策の考え方
3. 地域別要因別の対策組合せ
4. 実現のために

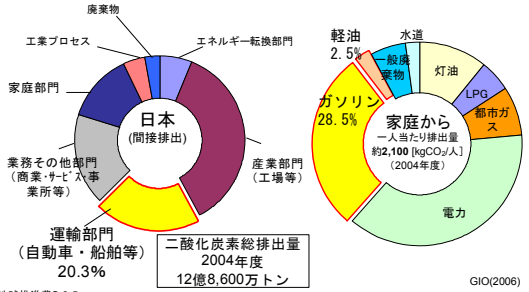
2050年脱温暖化社会とは？

- 京都議定書「マイナス6%」だけでは、温暖化を止められない
- 「2050年に温室効果ガスを世界で半分に」
- 日本でCO_2排出量を1990年比60～80%削減する筋道を検討している↓

目的：運輸部門CO_2を70%削減する対策を検討した例を報告

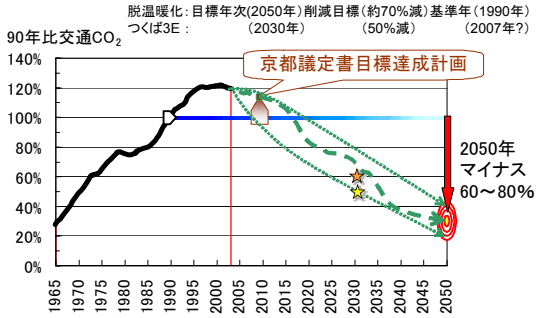
交通からのCO_2排出量の寄与

日本の総排出量の2割、家庭からの排出量の3割



GIO(2006)

交通からのCO_2排出量の削減目標

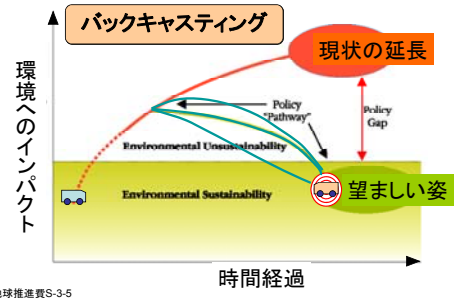


目次

1. 2050年脱温暖化社会
2. **削減策の考え方**
3. 地域別要因別の対策組合せ
4. 実現のために

バックキャスティング

望ましい姿を先に想定し、それに至る政策の道筋を示す



望ましい姿（ビジョン）の方向性

「2050年の社会と交通の姿は？」

	社会（ﾄﾞﾗｲﾋﾞﾝｸﾞﾌｫｰｽ）	都市・交通	脱温暖化のための施策
意見の相違が小さい（共通する方向性）	少子高齢化 GDP減少	都市基盤の位置は固定的 交通機関や土地利用や地域単位では大きな変化が可能 旅行ニーズの増加	課税によるインセンティブ活用 道路財源による公共交通整備 環境配慮を流行にする
意見の相違が大きい（異なる方向性）	移民受け入れ 中国・インドの経済水準 意思決定の仕組み 原油価格	居住の動向 根源的な移動ニーズの増減 速度ニーズの増減 資源循環の規模 燃料電池車の普及可能性	※多種多様な施策

※有識者11名へのグループインタビューの結果を整理したもの

対策を組み合わせて交通部門のCO_2を削減する

交通部門のCO_2の計算式（要因）

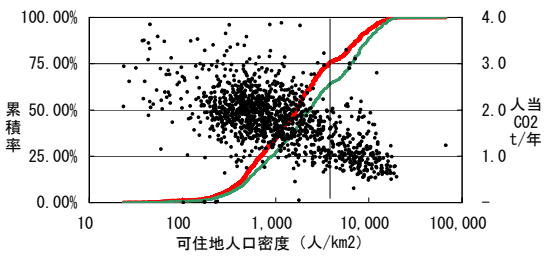
$$CO_2 = \text{交通サービス} \times \frac{\text{輸送キロ}}{\text{交通サービス}} \times \sum_{\text{交通手段}} \left(\frac{\text{走行台キロ}}{\text{輸送キロ}} \times \frac{\text{燃料消費量}}{\text{走行台キロ}} \times \frac{CO_2\text{排出係数}}{\text{燃料消費量}} \right)$$

地域特性によって対策が異なる	交通手段を使って移動する回数を少なくする 徒歩や自転車を活用する	一回の移動にかかる距離を短くする 土地利用をコンパクトにする	CO2の少ない乗り物を選ぶ	一台にたくさん乗せる	大きすぎない車両を利用する	燃費や効率の良い車両を利用する 混雑する場所・時間は使用しない	バイオ燃料、自然エネルギーを利用する

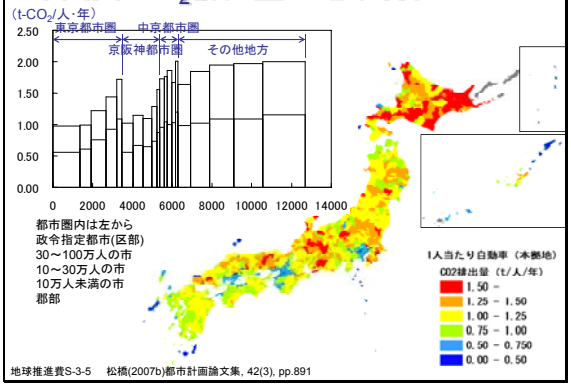
目次

1. 2050年脱温暖化社会
2. 削減策の考え方
3. **地域別要因別の対策組合せ**
4. 実現のために

可住地人口密度と一人当たり自動車CO_2



自動車CO_2排出量の地域特性



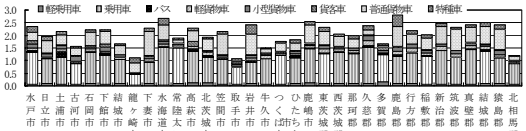


図-3 市区郡別排出量（t-CO_2/人）

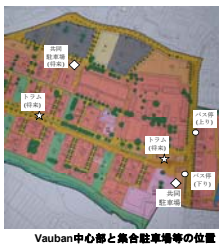
地域特性に応じた対策（案）

	大都市圏都市部	大都市圏郊外	地方都市	地方郊外・郡部	全国
徒歩圏の高密度化	△導入済み	○駅前再開発	○駅前等再開発	○集落再構築	217→63(t) 90年比 71%減 凡例： ◎3割減 ○2割減 △1割減 ×削減不可
都市の高密度化	△都心再開発	×	△地方都市の再評価	×	
公共交通システム活用	×旅客 △貨物	△環状方向の鉄道、P&R	○LRT	△小型乗合交通	
積載率改善	△適正規模の車両活用	△適正規模の車両活用	△乗合促進	×	
燃費改善	◎都心モード。鉄道効率改善	◎都市モード	○元々比較的燃費が良い	○元々比較的燃費が良い	※貨物輸送、都市間輸送の捉え方など、今後改善すべき課題がある
低炭素燃料	△自動車分担率が低いため	○	○	○	
人口(百万人)	46→45	15→10	27→25	35→15	124→95
t-CO_2/人・年	1.27→0.56	1.72→0.62	2.04→0.68	2.20→1.01	1.76→0.67

カーフリー（車のない）団地

1. 車を持たない生活
2. 地区の端の共同駐車場→停留所の方が近くて便利
- 安全な街路、庭の有効活用、公共交通の活用

Vaubanの住宅の周りの様子



Vauban中心部と集合駐車場等の位置

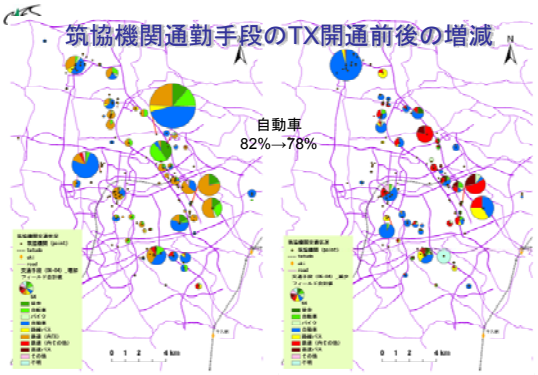
広場、トランジットモール、アーケード商店街

- 豊かな歩行者空間とにぎわい

LRT（Light Rail Transit）

- 高速、軽量、新しいデザインの路面電車
- 地下鉄導入には至らない数十万人規模の都市で活躍
- 都心では歩行者と共存し、郊外では専用軌道を高速走行
- 鉄道、地下鉄、バス、乗合タクシー、パークアンドライドとの乗り換え利便性に配慮
- まちの活性化につながる期待

筑協機関通勤手段のTX開通前後の増減



交通手段別（2006－2004年）_増加　交通手段別（2006－2004年）_減少

筑協委(2007)より作成

電動一人乗りの乗り物

セグウェイ

カワムラサイクルKE
電動カート

トヨタ　i-REAL

ヤマハEC-02
電動小型バイク

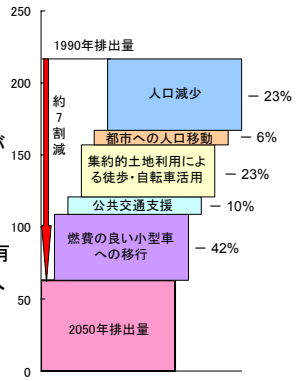
ヤマト運輸／リアカー付き電動アシスト自転車

［各社広報資料等より引用］

要因別の削減率

多様な組合せ（方向性）があり得る

→課題：将来予測の改善
将来ビジョンの共有
具体的施策の導入



目次

1. 2050年脱温暖化社会
2. 削減策の考え方
3. 地域別要因別の対策組合せ
4. **実現のために**

将来ビジョンの作成と施策の検討

交通担当チーム会合	約10名	9回	ビジョン試案の作成・改良と併せて議論
チーム間調整会合	約20-50名	17回	
科研費等「ESTステークホルダー会合」	約20-30名	7回	行政や企業、NGO関係者を交えて、1)将来ビジョン、2)実現施策とその障害について議論

実現施策の例

1. 土地利用の高密度化
   - 税制による誘導
2. 公共交通システムの整備・活用
   - 上下分離、乗合タクシー、運行補助
3. 燃費による優遇税制
4. CO_2排出基準の設定と低炭素燃料の技術開発
5. 低燃費車両（ハイブリッド車）大量普及

経済的誘導が効果的
ただし、土地利用やインフラの計画は先取りが重要

特に地域の役割が重要

脱温暖化のために自分でできる対策

特に地域の役割が重要

- 日々の地道な努力の積み重ね
  - エコドライブに努める
  - できるだけ歩くか自転車やバスを使う

促進・啓発

- 長い目で見て大きな決断
  - 燃費が良く、大きすぎない自動車を選ぶ
  - 公共交通や徒歩が使いやすい住まい、職場を選ぶ

制度整備

- 地域社会への働きかけ
  - 公共交通や徒歩が使いやすいまちにする
  - 環境負荷の小さい選択が得をするしくみにする

市民参加

おわりに

- （社会経済情勢の変化に加えて）低炭素社会の実現という観点からも、中長期的な将来都市像の提示がますます重要になる
  - 技術的な対策だけでは不足するが、都市計画的な対策を加えることで70%削減も可能
  - 自発的な立地や投資先の変更にも期待できる
  - 将来に備えて議論を始めておくことが必要

（資料出典）

- 地球推進費S-3-5(2004～2008 年度)技術革新と需要変化を見据えた交通部門のCO2削減中長期戦略に関する研究.
- 国立環境研究所特別研究(2005～2007年度)身近な交通の見直しによる環境改善に関する研究.
- 科研費（2005～2007年度, 基盤研究B(2) 17310024）持続可能な交通の実現に向けた革新的政策の策定の道筋の開発に関する研究.
- 地球推進費B-61(2)(2002～2004年度) 市町村における運輸部門温室効果ガス排出量推計手法の開発および要因分析.
- 松橋啓介(2007a)脱温暖化社会に向けた交通とまちづくり－2050年の持続可能な交通の姿を今から考えましょう－, 国立環境研究所公開シンポジウム2007予稿集.
- 松橋啓介(2007b)低炭素社会に向けた交通システムの将来ビジョンの構築について, 都市計画論文集, 42(3), 889-894.
- 松橋啓介(2007c) 日本における低炭素社会に向けた対策の検討, 交通工学, 42(6), 38-43
- 筑波研究学園都市交流協議会 筑協委員会(2007)筑協交通状況実態調査報告書
- 松橋啓介,工藤祐揮,上岡直見,森口祐一(2004a)市区町村の運輸部門CO2排出量の推計手法に関する比較研究, 環境システム研究論文集, 32,235-242.
- 松橋啓介(2004b)大規模市民参加型まちづくりワークショップの事例報告 - 西オーストラリア州パース都市圏におけるフォーラム『都市との対話』の取り組み -, 都市計画論文集, 39(3), 331-336.

27

「バイオマスタウンつくばを目指して」

柚山 義人
（独）農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 資源循環システム研究チーム

（鈴木勉） 続きまして，農業・食品産業技術総合研究機構の柚山義人先生から，「バイオマスタウンつくばを目指して」という演題でご発表いただきます。 どうぞよろしくお願いします。

皆さん，こんにちは。農研機構の柚山です。バイオマス利活用が一翼を担うという話をさせていただきます。

今回のミッションはCO_2排出量を50%削減，それを都市再構築によってなそうというものです。

私は昭和59年に当時の桜村に移ってきまして，20年強住みまして，20年先を考えるということになります。このエコシティーつくばを考えるに当たって，研究学園都市の中心部だけを考えるのか，それともほとんどは農村部のつくば市全体を考えるのかというのは，まずはっきりさせておかなくてはいけないことだと思っております。筑波山に象徴される農業地帯，芝の生産日本一という特色もつくば市にはあります。

まず，まちづくりのビジョンが大切なわけですが，考えておかなくてはいけないのは，人口が30万を超えて増加する，水環境を保全したい，社会インフラをもう一回造り直す時期に当たるということです。それから，新住民の中では第2，第3世代が中心的な役割を担ってくるのではないかと考えます。

この前，内閣府のバイオマス会合に出ておりましたら，本当は排出量を6分の1以下にしなければいけないという話を聞きまして，本当に大変だなと思っております。

つくば市からは，われわれの日常生活，輸送，ごみ処理，製造業，農畜産業などから温室効果ガスが出ます。一方，植物が吸収するという側面があります。

当然，削減できるもの，できないものに分類することが第一でありまして，削減できないものについては，なぜできないかという理由を付けて，できるものはリストアップと優先順位付け，それから2030年を待っているわけにもいかないものですから，適正技術を段階的に適用することが大切と考えます。

10年先に最大のパフォーマンスを上げるであろう技術を最初に適用しておいて，積分値として2030年までの排出量を削減するということを考えなくてはいけないでしょう。

国環研からメイとサツキ方式，それからドラえもん方式という言葉もありましたが，これらを両立させて併用させながら進むしかないと感じます。太陽エネルギー由来の自然エネルギーを効率的に組み合わせるということで，使用量も少なくしつつ，環境負荷量を小さくするような技術開発と適用が望まれます。

スローなライフ，ライフスタイルの変更というのはよくいわれることですが，現在の経済合理主義，競争社会においてみんなが一 にペースダウンするのは難しいと思います。あるいは，日本が一 にペースダウンすると，外国との競争で日本は負けるという問題があります。しかし，日本でということを考えたら，さすがに6分の1以下にということになったら，環境税なるものを強力に導入しないと，努力だけではなかなか進まないと感じます。

農業・食生活から少し循環を考えてみます。

こちらは農業環境技術研究所の織田さんらがまとめたものです。

エネルギーは炭素を中心に議論されますが，農業の場合は窒素の動態が非常に重要です。食糧自給率がカロリーベースで39%といわれておりますが，外国から窒素が農産物として108万t入ってまいります。国内で生産する量は35万tです。輸入した分がわれわれの食生活や農地での再利用などを りまして，結局大気へ63万t，水域へ112万t排出される，環境を悪化させるということがあります。

これは農業用排水の構造ですけれども，筑波山から水が流れてきて農業，あるいはわれわれの水道として利用されます。霞ヶ浦から来るものもありますが。日本国内で日本水土図が作られておりまして，全国

で 40 万 km の水路ネットワーク，21 万個のため池があります。ここつくばでもそういう水路網が形成されていて，国，水資源機構，あるいは県，市町村，土地改良区で維持されているわけで，炭素や窒素の循環の一部が水の移動とともに形成されております。

循環型ということを考えますと，食糧・飼料自給率の大幅な向上，食飼料の生産を支える農業基盤の整備が引き続き必要であろうと思います。また，農業は昔と違ってエネルギーを非常に消費する産業になっておりますから，農業自体が化石資源消費量を削減する努力が必要と考えております。

お米を作りますと，ここに掲げるような非常にいい多面的機能がありまして，これを　さないようにつくば市でも展開する必要があります。

全国ベースでいきますと，そういう農業・農村が持つ多面的機能，便益が 1 年間に 37 兆円あるといわれておりまして，1 回なくなってしまえば回復が大変だという代物です。

さて，バイオマスですけれども，こちらは阿　のふもとでススキを刈り取りましてガス化，それからコジェネで熱と発電をしているものです。徳島県の上勝町では，おばあちゃんが木に登りまして，葉っぱを取ってきます。その葉っぱを日本の料　に運んでいいビジネスになっております。家畜の　　もバイオマスです。

食品残渣からバイオマスプラスチックができたり，あるいは食品残渣がリキッドフィーディングで　の餌になったりします。廃建材からバイオエタノールが製造されます。これはソルガムの例ですが，資源作物からエタノールというのもあります。

バイオマスは，生産・発生する場，堆肥やメタン，エタノール，バイオディーゼル燃料に変換する場，それから，できたエネルギーあるいはマテリアルを利用する場がありますけれども，時期的にあるいは空間的に需要と供給のギャップがあるものですから，貯蔵という行為が必要です。また，100%利活用はできませんので適正な廃棄処分が必要です。

いずれにしましても，つくば市，地域の中で利活用を進める必要があります。分散していますので，収集・変換して実用上の価値が出るというのがバイオマスの特色です。

例えば，メタン発酵でいきますと，家畜排せつ物や食品廃棄物から電気や熱を作ることができます。メタンは車の燃料として直接使うことができますし，メタン発酵消化液，液肥は化学肥料の代替にもなります。牛　　1 t は牛でいいますと 20 頭規模ですけれども，それでメタンガスが 13 m^3 製造できます。

バイオマスは他の自然エネルギーに比べますと，貯蔵性があるのが大きな特徴です。もう一つは，エネルギーとともにマテリアルが製造できる，あるいは製造できてしまうというのが特徴です。

この施策は政府を挙げて取り組んでおりまして，バイオマス・ニッポン総合戦略の閣議決定が後押ししております。今年の 2 月には農水大臣から総理へということで，国産バイオ燃料の大幅な生産利用拡大に向けての行程表ができたところです。

バイオマス・ニッポン総合戦略はここにありますようなことを大きな戦略としておりまして，地球温暖化防止から始まりまして，農林水産漁業の活性化，アジア諸国との連携強化などが目標になっております。

日本全体では，対象バイオマスごとに，例えば家畜排せつ物 1 年間 8700 万 t うんぬんということでいろいろなものができておりまして，利用状況は濃い方がよく利用できているところ，薄い方が未利用という仕分けになっております。

バイオマス・ニッポン総合戦略の施策の中でバイオマスタウンをつくろうと，バイオマスの利活用を積極的に推進する市町村をつくっていこうという取り組みがあります。地産地消，地域活性化を目指すという取り組みで，全国で 100 を超える市町村が構想を発表して，少しずつ事業化しております。

そういうタウンをつくるためには，まずしっかり診断をする，評価をする必要があります。診断評価をしますと町の自立度が分かり，どういうところから具体的に温室効果ガスが出ているのか，水域への排出と大気への排出のトレードオフがどんなものかということを知ることができます。

診断モデルの一例ですけれども，マテリアルを中心に，例えばこれをつくば市と考えていただければいいのですが，つくば市の農地，森林，水域，われわれの居住環境，畜産・食品産業などに分けまして，窒素，リン，カリウム，炭素，重量がどういうふうに移動しているかを現況分析して，新たなアイデア，対策技術を講じたらどうなるかを診断できるようなものです。

そのほかにも，できたものの需要が本当にあるのかどうか，LCA 的な観点，経済・環境統合勘定，安全性の観点から評価するような手法を開発してまいりました。

そうはいっても，何といっても大事なのは地域にみんなが愛着を持つこと，それから活動に多くの人がかかわって達成感を味わうことです。

私がやっていることの一つに，千葉県香取市でバイオマスの多段階利用の実証研究があります。地域から出てくるものを複数の変換技術をうまく組み合わせて，トータルとしてバイオマスリファイナリーに持っていこうという考え方です。

これはフロー図ですけれども，牛　　や食品残渣をメタン発酵させまして，メタンガスが 60％ぐらいなのですが，それを PSA で 98％までに濃縮して複数の車の燃料にする。それから，内部のプロセス，炭化などのプロセスで燃料として使う。それから，できた消化液はそのまま使う，あるいは濃縮して用途を拡大する。多段階利用ということですので，ほかにも乾燥施設とか，ボイラーを入れたり，水蒸気爆砕を入れてトータルとしてバイオマスリファイナリーを達成しようという仕事を続けております。

これはメタン発酵プラントで，こちらが発酵槽になっております。

フローとしましては，原料の家畜　　，野菜残渣を固液分離した後，発酵とガスホールダーが一体型のタンクで 37℃の中温発酵により，約 27 日かけてバイオガスと消化液を取り出すというシステムになっております。原料バイオマスとして液体分 5 t 入れますと，98％のメタンガスが 65 m^3 できるというものです。それをエコステーションと同じような形で定置式で車に供給するパターンと，ボンベに詰めて必要な場所へ持っていって利用するという方式を作っております。

天然ガスは皆さんご承知のように，長い時間をかけて，数十万年や数百万年かかって生成したものですけれども，このバイオガスは，30 日でできるというようなものです。

炭素だけではなくて窒素に注目するならば，その矢印，できたものの利用が農地，あるいは農業に向かうことが多いです。結局，消化液を作る，あるいはエタノールを作っても廃液が出ます。そういうものを農地に利用する場合，まず安全性の確認が第一ですけれども，そのほかにも化学肥料とのバランスの中で，例えば次に白菜を作るとすると土壌モニタリングをして，白菜を作るためには消化液を使って，化学肥料で足りない成分を補うという施肥設計が必要になります。

現在プロジェクトはどんどん進行しておりまして，需要対応のプラントの運転方法を確立すること，それから資源作物として，菜種，ヒマワリ，ソルガム，多収量米を作りまして，作るのも化学肥料で作るのでは面白くないので，メタン発酵消化液や油かすもできるだけ使って作って，バイオディーゼル燃料，あるいはバイオエタノールを作るようなこと，それに伴う環境負荷量を測定するということをしております。

スライドにある作物を作ることを実証しております。多収量米は飼料米，餌米の延長で作っているのですが，今年は残念なことに 9 月の台風で倒れてしまいました。少し工夫しながら，全国に耕作放棄地が 38 万 ha ありますので，できればその一部ででも地元の活性化になるように作ればと思っております。

こちらの 5 点は，バイオマス利活用のポイントです。何といっても光合成をベースとした植物生産なくしては進まないものですから，「持続的な地域資源の管理」が一番に来ます。それから，運営組織がしっかり信頼で結ばれていること，できたものの需要があること，貯蔵や輸送，それからもちろん，本物の学問に裏付けされた適切な変換技術群を採用することがあります。

つくば市でも少し研究をやっておりまして，これは，茎崎が入っていないのですけれども，どのぐらい人がいて，家畜がいて，農作物作付けがあるかという情報です。家畜排せつ物の堆肥化を例にしますと，集落単位に発生源の位置を点で示しています。

こちらは畑地があるところの位置を示しておりまして，集落の真ん中で代表させております。

これは，道路網を表現しております。

堆肥化施設を 1 カ所に設ける場合と 4 カ所に設ける場合をリソースマイル，重さ×距離の積算で計算しております。そうすると，1 カ所に集中する場合と 4 カ所分散ではリソースマイルが随分変わってきます。すなわち，イニシャルコストは 4 施設を造る方が高いけれども，輸送まで考えていくとどうなるかということです。10 年ぐらいで逆転するようなら分散システムが望ましいということです。

調査していて一番難しいのは食品関係の発生量でした。原単位をつくば市で求めますと，さすがに豆腐

製造業で売上単位の残渣発生量が多いという結果が出ております。
茨城県，県レベルですと比較的フローを求めやすくて，このようなフローを求めることができます。
新聞やテレビを見ておりますと，つくば市も障害者施設でバイオディーゼル燃料を作って利用するという試みが始まりましたので，少しずついろいろな形で進むのではないかと思っております。
バイオマスタウン構想は，実は茨城県の中では1件も出ておりません。私たちは住んでいるつくば市が第1号としていいものを作る，人と技術と制度を結んで作っていければと感じております。
バイオマスに関しましては，産総研さんに非常に立派な実力あるバイオマス研究センターがありますし，午前中に上田が紹介しましたように私どもの農研機構にもバイオマス研究センターができました。さらに関係する研究独法でバイオ燃料研究推進協議会を設立しておりまして，つくば市在住の者もメンバーに結構多いものですから，つくば市で何とかということになったら応援できるのではないかと思っております。
魅力的なつくば構築のためには，複合的な自然エネルギーの利用，環境技術，コスト，市民の達成感のバランス，それから，われわれの生活もできるだけ早寝早起きで，自分たちで体を動かすようなことを心掛ける。それと，今は食の安全が問題になっておりますけれども，信頼感を高めるとリスク管理にかかわるお金やエネルギーを随分節減できます。犯罪の問題についても同じであります。
今回は50％削減をみんなで目指すわけですけれども，筑波大学ご出身で柔道をされている山口香さんの言葉がこのギャラリーにありまして，「意志あれば道あり」というメッセージを伝えてくれておりました。つくば市のフォーラム参加者のメンバーだと，ハードルは高いですが何とかやりきれる目標ではないかと思っております。
ご清聴ありがとうございました。

（鈴木勉）　どうもありがとうございました。
それでは，ご質問いただければと思いますが，いかがでしょうか。どうぞ。

（フロア6）　国立環境研究所の藤野と申します。最後に力強いお言葉，どうもありがとうございました。
二つありまして，まず，つくば市の中でのバイオマスで何が使えるのかで，例えば車で走っていると剪定枝がいつも芝を刈ったり，枝を切ったりしていて，そういったものは一体どういうふうに使う方法があるのだろうか，というのが一つです。
それからもう一つですが，確かにバイオマスタウンは素晴らしいと思うのですが，やはりバイオマスの中だけで閉じてしまって最適化してしまうと，例えば同じ土地でもひょっとしたら太陽光パネルを置いた方がもっともっと生産性がいいかもしれないとか，バイオマス自体もいろいろなものに転換できます。液体燃料に転換できればメタンガスも作れますし，もしメタンガスをうまく作ったら筑波学園ガスさんに何とか努力していただいて一緒に混ぜて使ってもらえるといいと思うのですけれども，何かそういったほかとのインターアクト，そういうものを考えないと今回の 3E フォーラムも結局はみんながそれぞれの研究所で言いたいことだけ言い合って，うまくまとまらないで，何か宣伝会議みたいになってしまうような。そこは筑波大学がうまくコーディネートして，「いやいや，中立的にこっちはこうではないか」とやられるのだと僕は思っているのですが，その点についてご意見があればお願いします。

（柚山）　どうもありがとうございます。
午前中落ち葉の話が出ましたが，私も公務員宿舎で昨日落ち葉拾いをやりまして，結構きつかったです。また，田舎出身ですから機具を使う技術が住人の中では相対的に優れているので，いつも公務員宿舎の木を切るのですが，切るまでは何とかなりますが持っていってもらうのにお金が掛かったりします。剪定枝については午前中ありました森林総合研究所の方が詳しいですが，つくば市はどんどん立派な街路樹が育っておりますので供給能力は増える一方で，午前中の話にあった各種の利用法が十分進むだろうと思っております。
バイオマスとほかのものの組み合わせは，もちろん当然のことと思います。いい組み合わせをつくって，

冒頭に申し上げましたようにバイオマスも一翼を担うという姿勢でおります。実は昨年，メタン 98%で車が動く，これは千葉県香取市の広報誌でも「牛　　で車が動く」というキャッチフレーズで取り上げていただいたのですけれども，ACCS に私も 1 週間ばかり登場させていただいて，水野奈美さんがメタン車に乗り込むというのをやっておりました。性能的，技術的には問題ありません。

（鈴木勉）　よろしいでしょうか。他にいかがでしょうか。どうぞ。

（フロア 13）　筑波大学の内山です。
バイオマスは非常に期待したいエネルギー資源の一つとして，今，全国各地でその研究，あるいは実証，導入に向けてさまざまな取り組みが行われていますが，経済産業省関係でも随分いろいろなプロジェクトが動いていまして，だいぶその成果が出てきております。その中で非常に大きな問題は，バイオマスの欠点ともなることなのですが，非常に分布が希薄である，季節によって変動がある。こういう資源をいかに集めるかですね。安定供給しないと先生が本日述べられたような利活用はなかなかうまくいかないということがすべてのケースでネックになっているのですね。この安定供給という視点から，バイオマスのエネルギー資源としての特性を持ったものを日本のようなところではどういうふうに今後検討していったらいいのか。それについて何かご意見をいただければと思います。

（柚山）　安定供給といっても，バイオマスの種類によって 1 年間，毎日 365 日ほぼ平均的に出てくるようなバイオマスもありますし，植物の成長に応じて季節性があるものもあります。もちろん使う方も時期的な変動があります。餌化という場合には　度が必要ですが，エネルギーとしての回収ですとスペースさえあれば貯蔵することができますので，貯蔵をバッファーにして，製造，供給を合わせていただくのが現実的ではないかなと思っています。実は NEDO の技術委員を仰せ付かって，NEDO の各種のバイオマスからエネルギー化の事業，例えば，林地残材の収集・運搬をできるだけ低コスト委員会にも参加しているので，一緒に進めていきたいなと思っております。

（鈴木勉）　ほかにいかがでしょうか。どうぞ。

（フロア 7）　JIRCAS の上谷でございます。
非常にスケールの大きい話を伺いまして質問がたくさんあるのですけど。一つに絞りますと，これはお話の中ではなかったのですが，ペーパーの 2 の一番後に「経済合理主義社会からの脱却が鍵になる」ということが一つあります。それから，一番下の方，3 行目に「人と技術と制度」を繋げるという話があります。この 2 点について，もう少し説明いただけるとありがたいと思うのですが。

（柚山）　二つ目の「人と技術と制度」を繋げるというのはどういう思いで書いたかというと，バイオマスに関しては原料バイオマスの生産，あるいは発生，それからそれを収集・運搬してプラントに持ってくる，プラントでの貯蔵，変換，できたエネルギーやマテリアルを貯蔵する，そして利用する場所へ持っていく，利用する，廃棄するとか，多くの団体がかかわることになりますので，みんなで協力しないといけませんということです。制度と書いたのは，私自身，千葉県香取市で実証研究をやるに当たって，起案文章を 30 以上書いて，千葉県知事　など何やかんやいろいろなところに出しております。日本の法律は良くできていて，国民の安全を守る形になっていいのですが，資源循環眼　で見るとこうこうして欲しいという法律制度がたくさんあるものですから，制度をとりあげました。
それから，経済合理主義の競争社会というのは，これはちょっと私が答えるべきかどうか。世の中は，競争社会で，つくば 3E で，もし何か思い切った事業をやるとすると，検討するだけでも，こういう形でボランティアで集まるというのもいいかもしれませんが，どこかから予算を取ってくることになるかもしれません。それも競争で取ってこなくてはいけません。スローライフはいいのですが，ゆっくり仕事をしていると何かそういう競争的なものの資金を取れずに別の人に取られてしまうこともありますから，そう

いう思いで実際に一　ペースダウンは難しいということを述べさせていただきました。

（鈴木勉）　少し時間も押していますのでこの辺にしておきたいと思います。どうもありがとうございました。

（つくば3Eフォーラム）

バイオマスタウンつくばを目指して

2007年12月16日

（独）農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究所
資源循環システム研究チーム長

柚山（ゆやま）義人

ミッション

- 2030年までに，つくば市からのCO_2排出量を50%削減する。
- そのために，都市再構築（省エネ都市づくり）を行う。

「つくば」ってどんなマチ？
～20年住んで，20年後を考える～

- 筑波山を象徴とする農業地帯
- 豊かな里山
- 芝の生産日本一
- 霞ヶ浦から上水，下水処理水は利根川へ（一部）
- 研究学園都市，民間企業の進出
- 科学万博，市町村合併，公園，国際交流，TX
- 伝統文化，新文化
- スポーツ少年団，数多くのイベント
- 「つくば」がブランドになった
- 多様な考え方の存在

どんなマチをつくるのか

- Visionに着眼点を明確にする
  - 人口が増加する
  - 緑・清らかな水環境を保全したい
  - 20年後は，社会インフラの更新時期にあたる
  - 新住民の中では，第2，3世代が中心的役割を担う
- 農業と日常生活の視点でも考える
- 目指すは，田園科学都市か？
- 農業・農村の多面的機能を活かす

温室効果ガス排出量の削減

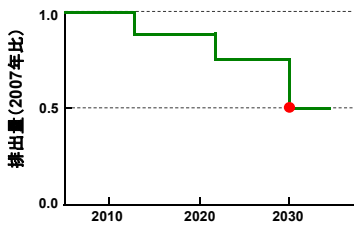
- 13.6億tCO_2/年（日本）
- 本当は1/6以下にしないといけないらしい
- 1人1日1kgのCO_2削減でも4,400万tCO_2/年の減

つくば市からの温室効果ガス発生源

- 人間（住居，オフィス）
  - 上水・下水道
  - 電気・ガス・灯油
- 輸送用燃料（ガソリン，軽油等）
- ゴミ処理
- 製造業
- 農業・畜産業
- 土地利用（農地・水域を含む）
- 吸収（植物や土壌による吸収）

必要な作業

- 削減できるものと，できないものの分類
  （削減できないものの条件付け）
- 削減対策のリストアップと優先順位づけ
- 適正技術の段階的適用



2030年に至るまでの適用技術の切り替え

化石資源が使えなくなったらどうするか？

something new　or　原子力

and

スローなライフスタイル

○太陽の恵みである自然エネルギー群をより効率的に獲得し使用

○化石資源の消費量・環境負荷量を1/6に

「スロー」なライフスタイルについて

○ 現金収入の必要な経済合理主義の競争社会においてどのように実現できるか？

○ 一斉に，ペースダウンできるか？

○ 環境税がバッファーになる。

○ あるから買う，買わされる，でも使い切らない。

○ 本当に必要なものだけを作って使う。

○ パーフェクトを望まない。

○ 風土に合った暮らし。

○ 市民（人間）が一次生産者になる。

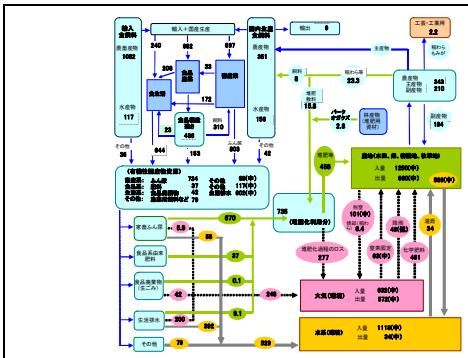
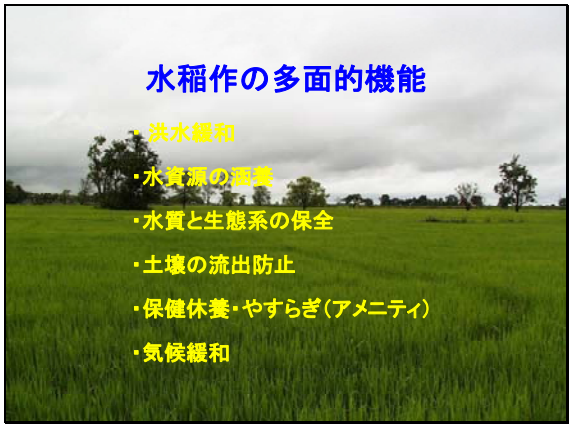


図1 わが国の食料システムにおける窒素循環（1997年当時，単位：千tN）

（縄田ら，2007より）

清らかな水環境の創出と持続的な農業生産

（1）食料・飼料自給率の大幅な向上（地産地消）
（2）集水域の保全を通して水と土の資源を守る
　　（＋人の営み＝自然共生）
（3）農業生産基盤の維持
（4）環境保全型農業の推進（＋GAP）
（5）農業生産における化石資源使用量を削減



農業・農村の多面的機能の環境経済統合勘定
（農工研，2004）

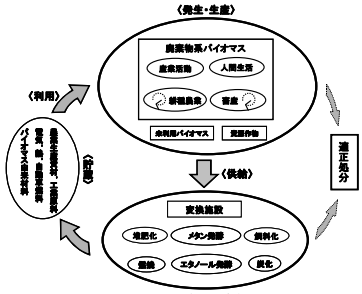
○環境費用（負荷）10兆590億円
　環境便益　　47兆6260億円

○多面的機能20%喪失の回復
　　4，441円／世帯・年(CVM)

○個別機能：洪水防止機能が1/100確率の洪水に対して2兆6,321億円，窒素の水質浄化機能が水田で700億円の外部経済，有機性資源活用機能が240億円/年（条件の違いによる評価額の変化幅は100～1,200億円）等

様々なバイオマス（その1）

様々なバイオマス（その2）



バイオマス利活用のイメージ

バイオマスが資源になるには

分散している物質の集積・改質，位置エネルギーの増加という自然界の生きものによる機能によって資源となる。広く薄く分散して存在しており，収集・変換（再資源化）して実用上の価値が生じる。

何から何ができるか

名称	対象原料	利用態様
堆肥化	家畜排せつ物，食品廃棄物	肥料，土壌改良材
メタン発酵	家畜排せつ物，食品廃棄物	電気・熱（ガスエンジン発電），燃料，液肥
炭化	家畜排せつ物，食品廃棄物	肥料，土壌改良材，燃料
飼料化	食品残さ	飼料
バイオディーゼル燃料化	廃食用油（使用済み天　ら油等），資源作物	ディーゼルエンジンの燃料
エタノール発酵	資源作物，作物残さ，木質系バイオマス	バイオエタノール（ガソリン代替）

どのくらいできるか

牛ふん尿　1t　⟶メタンガス　13m^3

ヒマワリ種子　1t ⟶バイオディーゼル燃料　480L

玄米　1t　⟶バイオエタノール　430L

バイオマス利活用が望まれる背景

大量生産，大量消費，大量廃棄の社会システムが，自然の浄化能力を超え，地球温暖化，水質汚濁，廃棄物，有害物質等の様々な環境問題を深刻化させている。

バイオマスがエネルギー・環境問題軽減に貢献できると見直されるようになったのは，バイオマスの有する，①再生可能であること，②貯蔵性・代替性があること，③膨大な賦存量を有すること，④カーボン・ニュートラルであること，という特性による。

バイオマス利活用推進のための施策

- 2002.12　バイオマス・ニッポン総合戦略（閣議決定）
- 2000.5　循環型社会形成推進基本法の制定
  （食品リサイクル法，家畜排せつ物法，持続型農業導入推進法）
- 2005.2　京都議定書の発効
- 2006.3　バイオマス・ニッポン総合戦略（見直し）
- 2007.2　国産バイオ燃料の大幅な生産拡大に向けての工程表（農水大臣→総理）

バイオマス・ニッポン総合戦略

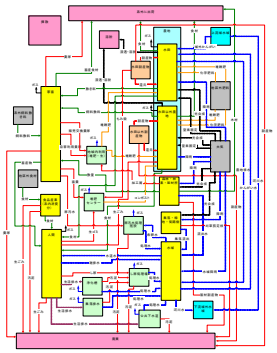
- 地球温暖化防止
- 循環型社会の形成
- 農林水産業，農山漁村の活性化
- 競争力ある戦略的産業の育成
- 国産バイオ燃料の導入
- アジア諸国等海外との連携

バイオマス発生量と利活用の現状

対象バイオマス	年間発生量	バイオマスの利用状況
家畜排せつ物	約8,700万トン	未利用 約10% たい肥等での利用 約90%
食品廃棄物	約2,000万トン	肥飼料等への利用 約20% 未利用 80%
廃紙	約3,700万トン	素材原料・たい肥等への利用 約60% 未利用 40%
黒液	約7,000万トン	エネルギーへの利用 約100%
製材工場等残材	約 430万トン	未利用 約5% 製紙原料・エネルギー等への利用 約95%
建設発生木材	約 470万トン	製紙原料，家畜敷料等への利用 約70% 未利用 約30%
林地残材	約 340万トン	製紙原料等への利用 約2% ほとんど未利用
下水汚泥（濃縮汚泥ベース）	約7,500万トン	建設資材・たい肥等への利用 約70% 未利用 約30%
農作物非食用部（稲わら，もみがら等）	約1,400万トン	たい肥，飼料，家畜敷料等への利用 約30% 未利用 約70%

2006年12月時点（出典：農林水産省環境バイオマス政策課）

地産地消と地域活性化を目指す バイオマスタウン



バイオマス資源循環利用診断モデル

地域診断

～現状を知り，対策案を比較～

- マチの自立度の理解
- どこから，CO_2，CH_4，N_2Oが出ているか
- 水域への排出とGHG排出がトレードオフになることもある

評価の観点

- 再生資源の需要量
- LCA
- 経済・環境統合勘定
- 安全性

本質的に大切なもの

・地域の景観形成・イメージアップ
・地域への愛着・誇り・自信・自然愛・人間愛の醸成
・活動への参画による達成感・満足感の実感
・公害や感染症発生の未然防止（健康予防）

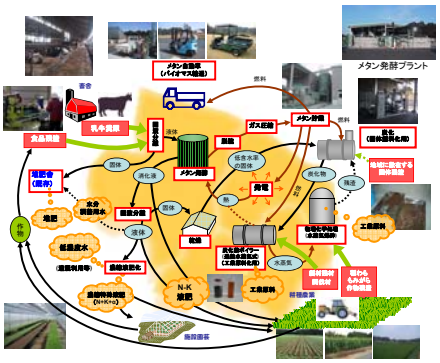
バイオマス多段階利用実証研究

バイオマス多段階利用システムの**都市近郊農畜産業型**として，千葉県北東部（香取市山田地域を中心とする）において，バイオマスの生産・収集から変換・利用に至る個別技術を適切に組み合わせた**地域モデルの構築**と，その一部を具現化するバイオマス変換プラント群を用いての**実用化試験**を通じた地域モデルの実証を行う。

Bio-Recycle Project in Yamada YB

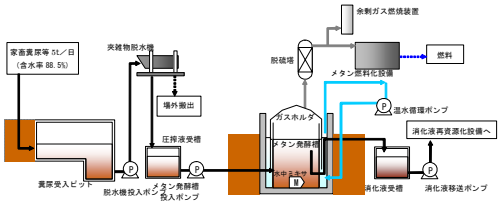
コンセプト

地域に散在するバイオマスを用い，できるだけ化石資源を使わず，環境負荷を小さくすることを前提に，バイオマスの多段階利用により，有用な物質や燃料を生産し利用する仕組みをつくる。
（「バイオマスリファイナリー」←東大・迫田章義教授）

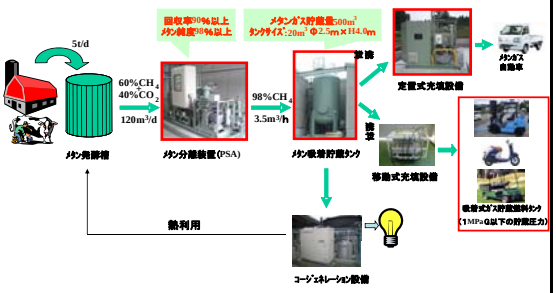


バイオマス多段階利用システム（2007年版）

メタン発酵プラント



メタン発酵プラントのフローシート

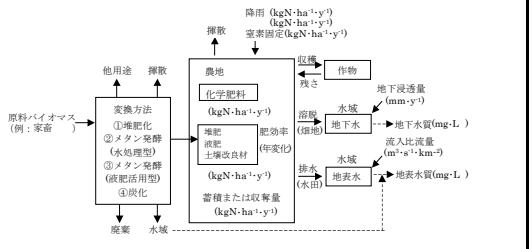


メタンガスの製造と利用

天然ガスとバイオガス

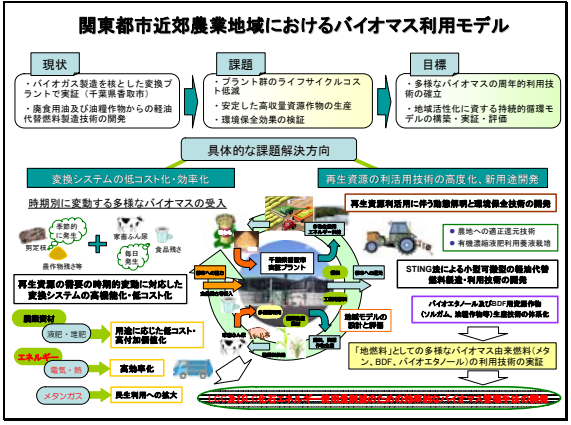
天然ガス：6千万年～2億3千万年前に，海や湖のプランクトンや植物が死んで底にたまり，地下2,000～4,000mの60～150℃の温度下でバクテリアの働きにより，数十万年～数百万年もかかって生成したもの。

バイオガス：現代の地上の植物が光合成により吸収した二酸化炭素をメタン発酵技術で変換することにより約30日で生成できる。



バイオマス利活用に伴う窒素の挙動

土壌モニタリング→土壌診断→施肥設計



耕作放棄地には資源作物を

バイオマス利活用推進のポイント

- 持続的な地域資源の管理
- 信頼で結ばれた運営組織
- 再生資源の安定的な需要の確保
- 原料と製品・エネルギーの貯蔵・輸送
- 適切な変換技術（群）の採用

つくば市のフレーム（H14年調査）

人口（人）

37790	農家人口
154024	非農家人口

家畜飼養頭羽数（頭羽）

284	搾乳牛（牛房）
1510	肉牛（頭と頭以上）
6920	肥育豚
26000	繁殖豚
119400	ブロイラー

農作物作付け面積(ha)

3838	稲
668	麦類
54	かんしょ
40	雑穀
394	豆類
238	果樹
881	野菜
8	工芸農作物
8	桑
142	飼肥料作物
4039	その他作物

森林面積(ha)

4300	

生活排水処理区分別人口（人）

3650	合併浄化槽
0	単独浄化槽（し尿のみ）
20198	し尿処理
106830	公共下水

雑排水無処理人口

40396	単独浄化槽，し尿処理場人口と重複

（注）茎崎地区を除く

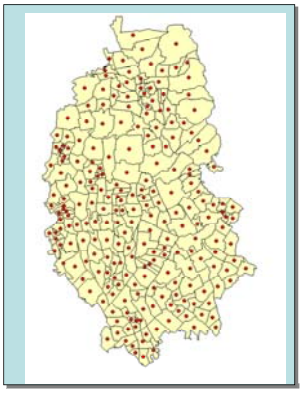
解析事例

～家畜排せつ物の堆肥化～

（島ら，2006より）

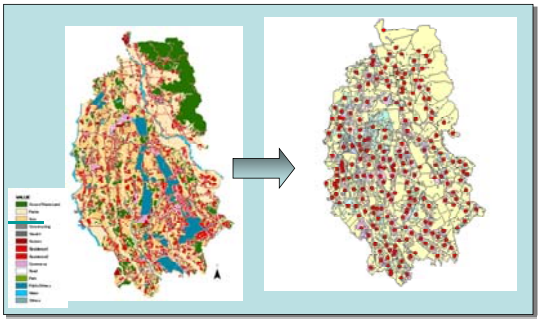
①発生源の位置

●集落内の畜産農家の位置を集落の重心として代表させる。



②堆肥利用地の位置

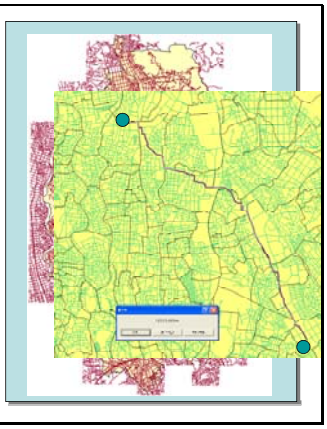
●10mメッシュ土地利用データより畑を抽出し，集落ごとにその重心を求め，利用地の代表点とした。



③道路網

●2500空間データ基盤の中で，整備されている道路情報を利用。

●点・線の接続情報を持たせたトポロジーデータに変換し，最短距離のネットワーク解析を行う。



リソースマイル(RM)の算定方法

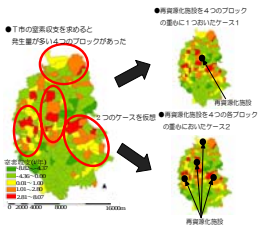
●発生源－再資源化施設のRM_1(t･km)

RM_1＝家畜糞尿発生重量(t)×発生源から再資源化施設までの最短距離(km)

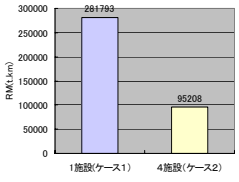
●再資源化施設－還元利用地のRM_2(t･km)

RM_2＝堆肥重量(t)×再資源化施設から還元利用地までの最短距離(km)

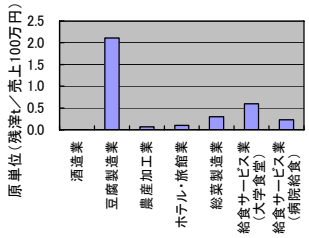
$$RM = RM_1 + RM_2$$



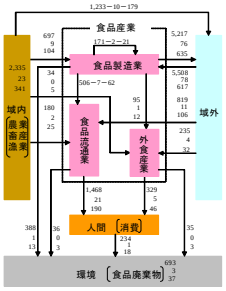
各集落の窒素収支と計算ケース



施設数とRM



つくば市内の食品関係事業所における残滓発生原単位
（サンプル調査）（食総研，2005）



茨城県における食品産業の物質フロー（1995年）（椎名ほか，2006）
（原重量：窒素：炭素，単位：千t）

障害者施設でバイオディーゼル燃料

社会福祉法人・創志会（新保祐元理事長）が運営する「つくばライフサポートセンターみどり」（つくば市花島新田）内の「どり一む工房」＝伊藤勝江施設長（48）＝は，使用済み天ぷら油をリサイクルしたバイオディーゼル燃料（BDF）生成の施設を公開した。障害者施設でBDF生成を行っているのは県内唯一という。

同センターには知的障害者や精神障害者など44人が登録されており，障害者同士のコミュニケーションの場として利用したり，影絵公演や手芸などの活動を行っている。

昨年11月には，「働きたい」「自立したい」という障害者のための施設としてどり一む工房を開所。現在は生成機1台を導入して20人の障害者がBDF生成要員として働いている。

同工房では，スーパー・カスミなどから1リットル1円で回収した使用済み天ぷら油でBDFを生成し1リットル85円で販売。昨年11月から今年3月までに使用済み天ぷら油7300リットルを回収し，不純物などを取り除いて7282リットルをBDFとして販売したという。同工房のBDFは，県内スーパー大手，カスミの配送車2台と同施設の天ぷら油回収車に1台に使用されている。

4月からは市の学校給食センターからも使用済み天ぷら油の回収を始め，現在の回収先は33事業所，1カ月当たりの回収量は約3000リットルに上っているという。

伊藤施設長は「将来は生成機を3台に増やしてもっと事業を拡大したい」と話している。

（2007/06/18 02:46）

http://www.sankei.co.jp/chiho/ibaraki/070618/ibr070618001.htm より

バイオマスタウンつくば
の構想をつくろう

・地域の将来像（夢）を描こう
・地域を診断をしよう
・様々な支援（サービス）と事業制度を利用しよう

～人と技術と制度をつなげる～

バイオマス利活用のサポート

- 産総研バイオマス研究センター
- 農研機構バイオマス研究センター
- 研究独法バイオ燃料研究推進協議会

（五十音順）
（独）交通安全環境研究所
（独）国際農林水産業研究センター
（独）国立環境研究所
（独）産業技術総合研究所
（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構
（独）森林総合研究所
（独）水産総合研究センター
（独）土木研究所
（独）農業環境技術研究所
（独）農業・食品産業技術総合研究機構
（独）農業生物資源研究所
（独）理化学研究所

魅力的なつくば構築のために

- 複合自然エネルギー利用
- 環境（安全・安心を含む）～技術～コスト～市民の達成感・満足感のバランス
- 早寝・早起き・マンパワーの発揮
- 信頼感を高めることによるリスク管理の経費・エネルギー消費量の削減

「持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み」

鈴木 敦
（財）民間都市開発推進機構 都市研究センター

（鈴木勉） 続きまして，民間都市開発推進機構の鈴木敦様より，「持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み」という演題でご発表いただきたいと思います。
どうぞよろしくお願いします。

ご紹介いただきました，民都機構都市研究センターの鈴木でございます。よろしくお願いします。
私どもは今までにPFIや不動産証券化という都市政策についての研究などをやっておりましたが，最近はまちづくりの方法論などもやっております。まちづくりといいますと中心市街地が寂れているというのが問題になっておりまして，それをどうするかというのが一つの問題になっているわけですが，それを含めまして広い意味でどこでもまちづくりが大変なイシューになっています。われわれがそれに参加していろいろ調べていますと，一つは，決まったフォーミュラのようなもの，方程式がなかなかなくて，そこに行ってまちづくりに参加している方々，地方公共団体，NPO，商店街の方々と交流をしながら手探りでいろいろなことをやっていくというのがどうも最近の潮流になっているということです。言ってみれば，全体論的に感じながらやっていくということなのですが，これも一つのまちづくりのマネジメントだとわれわれは認識しております。
今の時代，ここにも挙げましたけれども，マネジメントが大変注目されている時代でございます。
例えば，経済界の話になりますけれども，ちょっと古くなるかもしれませんが日産のカルロス・ゴーンさん，この方が来て日産がV字回復したと。これは世界的に話題になっておりまして，今も話題になっております。例えば，今月「ロンドンエコノミスト」という雑誌で，日本の経済が今どうなっているかと。2003年ごろから景気の回復が本格化して日本経済は復活したといわれているのですが，では経済のモデルはどうなったのかということで，今月出ました「ロンドンエコノミスト」の記事によりますと，ハイブリッド型になったというようなことを書いてありました。小泉改革といわれているものが一般にはアングロサクソン型の改革といわれたわけですが，どうもそれで全部変わったわけではないと。抵抗が強いというか，もともとの日本型のシステムが残って，それと混合してハイブリッドになっているという記事が出ておりました。そういう形で，ゴーンさんも日本へ来て，マネジメントの代表として非常に話題になったということが日本経済が変わった証拠だという記事が出ておりました。
ゴーンさんの話は後々にも出てまいりますが，やはりフォーミュラを持ち込んだわけではないと。もともと日産にはポテンシャルがあったということを最初からいわれております。ただ，部門別にいろいろ分かれていて，利害が一致しないとか，そのために大胆な改革ができなかったというのが日産のパフォーマンスを引き下げていたという認識をされております。それで，何をやったかというと，中に部門を超越するような部門横断型のタスクフォースをたくさん作りました。それでもってV字回復の計画を作ったというのは広く知られております。
こういう点から今回の話題につきまして述べさせていただきます。皆さまは自然科学のハードデータで大変情報豊富でやっておられますが，マネジメントということでデータ抜きの話をさせていただきます。
枠組みの話というふうにご理解いただきたいと思います。
具体例が出てくるのですが，3年ばかり前にアメリカの建設マネジメントを調べました。一つは，五つばかりの大学に行って，大学でどういう教育をやっているかを調べましたが，有名なバークレーには昔から建設マネジメントの学科がございます。
そこが最近どういう方向に進んでいるかといいますと，そこの学科の場合，プロジェクト・マネジメントは建設マネジメントから発祥したわけなのですが，ほかのものにも使えると。コンピューター・ソフト

ウエアの開発，そして映画の製作ですね。最近の映画は非常に大作になりますと何百億円という製作費が掛かる巨大プロジェクトですが，こういうものにも応用できるのだとその学科の人は一生懸命 PR されています。

具体的にはイブスさんという方にいろいろ話を聞いたのですが，プロジェクトはどんなものでもマネジメントを要求すると。プロジェクトのあるところにはプロジェクト・マネジメントの知識，それを持っている人の存在が必要になってくる。それがリーダーである場合もありますし，プロフェッショナルである場合もあります。

つくばエコシティー・イニシアティブは持続可能なソリューションになると思います。ここで持続可能と申しますのは，一つはつくばの強み，弱み，ポテンシャルを十分踏まえたものであると。ストレングス，ウイークネス，オポチュニティーズということですが，それを踏まえたものになります。もう一つは，やはり財政的に持続可能なもの，公的資金が入るかどうかは別としましても財政的に継続できるものを考えるということだと思います。

ソリューションとなりますと，先ほど少しお話しましたようにフォーミュラでは出てこない。やはり一点ものでございまして，そのプロセスを踏んで考えていって，最後にソリューションに到達するというものが目標だと思います。

コアプロジェクト，環境，エネルギー，経済の 3Eモデルプログラム，これはちょっとはしょって「つくば3Eプログラム」と呼ばせていただきますが，これがどういうふうにできるかと。

そのときにちょっとここが一つのポイントになると思いますが，つくば 3Eプログラムというのはもちろんプロジェクトです。もう一つ，これから来年までにつくば 3Eプログラムを構築する，これも一つのプロジェクトであると。これをお話ししたいと思います。

一般的にプロジェクトは，まず完成年月日，納期というものがあります。

それから予算，これはいろいろな意味の予算があると思います。つくば 3Eプログラムの場合は社会的予算，財政的な支援を含めまして社会的費用を考える必要もあると思いますが，それを作るまでの過程では本当に純粋にその支出が幾らになるかということだと思います。

あとは，クオリティーです。どういうものを提出しなければいけないのかということが事前に定まっているものがプロジェクトであると。

つくば 3Eプロジェクトの構築の部分ですが，これは第一に，北海道洞爺湖サミットは日が決まっております。そこで公表するということになりますと，それが要するに時間制限になります。

それからもう一つ，それをやるためには当然，ある段階で予算を決める必要が出てきます。

当然どんなものでもいいというわけではなくて，あらかじめその品質に係る定性的または定量的な目標を定める必要が出る。それはどの時点かということが一つのポイントになるわけです。

いずれにしましても，この三つを備えたものとして 3Eプログラムの構築というのが一つのプロジェクトだという認識をしております。

あとは例え話なのですが，「つくば 3Eプログラムは，長期間にわたって便益を発生し続ける建築物」，建物だとお考えいただければと思います。

では，3Eプログラムを作るという作業はどうかというと，これは建物を建てる作業です。

もう一つ別の例えをさせていただきますが，3Eプログラムはソフトウエアだと。要するにこれで計算ができる。

しかし，その構築というのはソフトウエアの開発だと見なせるのではないかということです。

例えを続けさせていただきます。建築のプロジェクトに当たっては，

プランニング，スケジューリング，積算，コストコントロール，こういう建設マネジメントが必要になってきます。これは当初に申し上げたところなのですが。

プロジェクト・マネジメントの要素は，これも繰り返しになりますが，品質とコストと時間であると。3Eプログラムの構築に当たっても，この QCD に係る具体的な目標を設定する必要が出てくるのではないか。

品質につきましては，

先だってのハイリゲンダム・サミットでCool Earth 50が提案されて，合意されたと。この中身を見ますと，三つの提案，三つの原則があるわけですが，こういうきっちりした形を取っていると。これが模範になるのではないかと考えました。

そういう高い内部整合性を有しているというのが一つのクオリティーではないか。

もう一つは，外部環境を考えたときに，実現可能性と持続可能性を備えているということが当然求められます。

国際会議の場で訴求し，理解される必要があるのではないかと。

特に大事なのは，2030年半減というわけですが，それをどのようにやっていくかという戦略を含むものであることが望ましいのではないかと。

一般的にいいますと，戦略は「力の入れどころ」と簡単にいえるかと思います。

継続的に資源配分をどうやっていくのか，どこに力を入れるかと。

Cool Earth 50の場合は，昨日以来お話もありましたが，技術革新，低炭素社会づくりが二つのポイントになっております。

3Eプログラムの構築におきましても，上記数値目標の達成に向けて「力の入れどころ」を絞り込む必要があるのではないか。

コストにつきましては，ここは先ほども少しお話がありましたが，コーディネートの部分がかなり大きな要素になると思うのですが，それを完全に内部でやるのか，あるいはアウトソーシングするのか，それによって実際の資質が変わってくるのではないかと思います。アウトソーシングするとなると，やはりプロジェクト・マネジメントの経験豊富なプロフェッショナルということになると思います。

プロジェクト・マネジメントについて，QCDがあるわけですが，これは既にできていて，あとはコンセプト，設計等を形にするだけだと，そういうものではないだろうと思います。

QCD管理の必要に迫られて，あるタイミングではいや応なくコンセプトや設計等を一義的に決めないといけない。候補はいろいろどんどん出てくるわけですが，最終的には一つに決めないといけない。そういう決めるプロセスもプロジェクト・マネジメントであると考えております。それによって，結果としてはコンセプトや設計が影響を受けると。

もう一つの重要な点は，やはりプロジェクト・マネジメントがリスク・マネジメントであるという点だと思います。昨日来，特に本日，要素技術について大変勉強させていただきましたが，やはり技術革新を見込むとなると遅延リスクとかいろいろな形のリスクが含まれてくると思います。それをどの程度許容し，どういうふうに1個1個対処していくかというリスク・マネジメントの要素が含まれると思います。

第3の「時間」につきましては，来年の洞爺湖サミットに合わせるかどうかというのも一つのポイントだと思いますが，一応所与だろうと考えております。

こういうことで，特にリスク・マネジメント，プロジェクト・マネジメントあたりの話になりますと，1990年代以来，アメリカでビジネスプロセス・リエンジニアリングという考え方が出てきまして，ITを使って飛躍的な節約といいますか，効率性の向上を図るという考え方もございますので，そういうものも含めてQCDに対処するということが考えられるのではないかと思います。

ご清聴ありがとうございました。

（鈴木勉）　ありがとうございました。　それでは，ご質問のある方はお願いします。どうぞ。

（フロア4）　興味深いお話，ありがとうございました。放射線医学総合研究所の熊田と申します。

まだこのフォーラムで話題にならなかった新しい技術革新の発展について一言コメントさせていただきたいと思います。それは，今はCO_2削減，あるいはエネルギー削減ということで世界的に話題になっていることの一つとして，照明電力の削減が大きくいろいろなところで技術革新を進めております。特にオーストラリア，あるいはカナダなどでは既存の白熱電球の照明を法律で何年後かには禁じて別のものにしなさいという風潮になっております。例えば，東京都では既存の白熱電球を蛍光灯型の球に替えてやろうと

いう奨励を最近やっております。

ところが，今回非常に重要なのは，3Eの中の環境（environment）という観点からいきますと，蛍光灯，あるいは蛍光灯型の球はもともと中に有毒な水銀を含んでおりまして，環境という観点からは決して勧められない。一方で，日本の最近の技術の大きなイノベーションの一つとして，青色発光ダイオードが日本で非常に大きなコントリビューションをしている。青色発光ダイオードから蛍光体と組み合わせることで白色の照明が最近非常に発展しておりまして，これが今までは非常に小さなパワーの発光ダイオードの照明が主だったのですが，これが今の照明器具，蛍光灯や白熱電球に代わるものができて，白熱電灯については今の目標としているエネルギー削減80％ぐらいを軽くクリアしているところに来ました。蛍光灯の代替の照明器具についてもかなりいいところまで来ております。

ですから，エネルギー効率が高く，しかも環境負荷が非常に少なく，環境にとって非常にいいというLEDの照明器具について，ちょうどこのフォーラムの議長の井上先生からお許しいただいて，先ほどからドアを出たすぐ左の所に置いてあります。ハイパワーの発光ダイオードの照明器具が非常にいいものが開発されましたので，皆さんぜひお手に取っていただきたいと思います。ありがとうございます。

（鈴木敦）　どうもありがとうございます。ご指摘の前段の方は，北米で白熱球が多いので蛍光灯に替えるという話を聞いたことがありますが，後段の話は初めて伺いまして，大変勉強になりました。

（フロア 4）　まだ、開発されていませんからロットから持ってきて，昨日，おとついの東京ビッグサイトで初めて展示しています。

（鈴木敦）　そうですか。どうもありがとうございます。

（鈴木勉）　時間が迫っておりますので，これで締めさせていただきます。どうもありがとうございました。

持続可能なソリューションに至るプロセスの枠組み

第1回つくば3Eフォーラム
セッション3　省エネ都市づくりにむけて
13時－15時　2007年12月16日（日）
筑波大学　大学会館ホール3階
（財）民間都市開発推進機構　都市研究センター
副所長兼研究理事　鈴木敦

マネジメントが注目される時代

我が国でも日産のゴーンCEO

マネジメントの視点からの、気付きの点をご説明

（具体のデータを扱わない）枠組み

UCバークレー校は、伝統ある建設マネジメント学科（大学院修士課程）を有する。

同学科で教えるPMがコンピュータ・ソフトウェア開発、映画製作等建設以外に応用できることをPR

UCバークレー校　イブス教授談

- 「プロジェクトは、マネジメントを要求する。
- プロジェクトあるところ、PM知識の必要あり。」

「つくばエコシティーイニシアティブ（つくばエコシティー構想）」は、
持続可能なソリューション

「つくばエコシティーイニシアティブ（つくばエコシティー構想）」のコアプロジェクトと位置づけられる「つくば3Eプログラム」

「つくば3Eプログラム」と
「つくば3Eプログラムの構築」は、
いずれもプロジェクト

一般に、プロジェクトは、
①完成年月日（納期）

②予算

③求められる品質が事前に定まっている。

「T3EPの構築」は、①北海道洞爺湖サミット（2008年7月7日～9日（首脳会合））で公表することが決まっており、

策定作業の開始以前に、②予算と

③品質に係る定性的又は定量的な目標を定める必要が生じるので、

よって、1つのプロジェクト

喩えれば、
「つくば3Eプログラム」は
「長期間にわたり便益を発生し続ける建築物」

「つくば3Eプログラムの構築」は、
当該建築物の「建築」。

喩えれば、
「つくば3Eプログラム」は、
「コンピュータ・ソフトウェア」

「つくば3Eプログラムの構築」は、
当該ソフトウェアの「開発」。

（建築の比喩の続き）
建築プロジェクトに当たっては、

プランニング、スケジューリング、積算、コストコントロールすなわち建設マネジメントが必要。

プロジェクト･マネジメント（PM）の3要素は、品質(Quality)

コスト（Costs）

及び時間（Delivery）

QCD

「つくば3Eプログラムの構築」に当たっても、

QCDに係る具体的な目標を設定する必要。

「つくば3Eプログラム」の品質については、

ハイリゲンダム・サミット（2007年6月6日～8日（首脳会合））に先立つ国際交流会議「アジアの未来」晩餐会における安倍首相（当時）の演説「美しい星へのいざないInvitation to “Cool Earth 50”～3つの提案、3つの原則」が模範となるのではないか。

同演説は、問題提起－提案の全体像－提案1：長期戦略－提案2：中期戦略（3つの原則を提唱。また、「資金メカニズム、エネルギーの取組、その他の手法の検討」を含む。）－提案3：京都議定書の目標達成に向けた国民運動の展開－結び　で構成されている。

要するに、「つくば3Eプログラム」は、高い内部整合性を有するとともに、

外部環境の下で実現可能性及び持続可能性を備えていることを、

国際会議場裏で訴求し、理解される必要。

特に、重要なのは、「2030年までに、筑波研究学園都市における温室効果ガス排出量を半減する」目標を達成するための戦略。

一般に、戦略は、「力の入れどころ」を特定し、

継続的な資源配分の方針を示す。

例えば、“Cool Earth 50”の長期戦略は、①技術革新の開発　及び　②低炭素社会づくり　に集中。

「つくば3Eプログラムの構築」においても、上記数値目標の達成に向けて、「力の入れどころ」を絞り込む必要。

第2の「コスト」は、「つくば3Eプログラムの構築」に係るプロジェクト・マネジメントをアウトソーシングするか否かにより、大きく異なる。

プロジェクト・マネジメントは、QCD既にできているコンセプト、設計等を形にするに留まらない。

プロジェクト・マネジメントは、QCD管理の必要に迫られて、否応なく、コンセプト、設計等を一義的かつ最終的に決めていくプロセス

同時に、
プロジェクト・マネジメントは、
リスク・マネジメント

第3の「時間」は、所与。

ご清聴ありがとう存じます

「茨城県の取り組み」

福地 伸
茨城県 企画部 科学技術振興監

（鈴木勉） 続きまして，茨城県の福地伸様に，「茨城県の取り組み」という演題でご講演いただきます。よろしくお願いします。

こんにちは。県の科学技術振興監を務めております，福地でございます。よろしくお願いします。

県の役割は何かということで，役割は予算だろうという話を多分皆さん期待されていると思いますが，そこは声が小さくなりまして，あまり触れないでおいて，県の取り組みの代表的なところをご紹介していきたいと思います。

私は科学技術振興監という仕事をやっておりますが，その役割はつくばのいろいろな科学技術を茨城県としてどう生かしていくのかというのが大きな使命でもあるのですが，こういう具体的な動きになって，「さすがつくばだな」という感じがしています。これを何とか形にしていければという感じでおります。

タイミングとしては，環境の問題も今，非常に岐路に立たされておりますし，また，つくばにおいてもまちづくりという面での一つの大きなきっかけになる時でもございます。また，県としてもイノベーションの今後の戦略を練ろうということを進めておりますので、このことも含めてこれから少しお話をしていきたいと思います。

まず，一つは「新たなつくばのグランドデザイン」ということで，平成 10 年に策定されました研究学園地区の建設計画，これは国が定め，また周辺開発整備計画は県が定めております。この中で「つくば第 3 ステージのまちづくり」ということで，科学技術中枢拠点都市，広域自立都市圏中核都市，エコライフモデル都市と三つを大きく挙げてあるのですが，エコライフモデル都市は最初の井上議長さんの説明からもありました。エコライフモデル都市をベースに今回の取り組みも進めていくということでございます。

今，この学園都市は 30 年を経過して，さまざまな課題が出てきております。一つは，学園地区公共施設の老朽化，研究機関，公務員宿舎，ペデ等の老朽化が出てきております。

それからもう一つ，国内最大の科学技術の集積の魅力付けということで，研究機関の集積はあるけれども研究の集積がないねというのがいつもいわれることなのですが，第 3 期科学技術基本計画でも連携・融合で成果を示せ、ということがいわれています。

一方，某大手創薬メーカーがつくばから撤退してしまう，この辺もやはりつくばとしての問題が何かあるのだろうということを県としても認識しております。

また，TX 開業と沿線のまちづくりの推進で開発がどんどん進んでいくと CO2 にとっては，人口が増えれば当然市として，町全体の量が増えていく。さらに、緑がなくなっていくという中で，田園というところを生かしながら新たなまちづくりをどう進めていくか，それをつくばスタイルと呼んでいますが，つくばスタイルの推進をどう進めていくか。

それから，皆さん切実な問題として，研究機関等の独立法人化・国立大学法人化という中で，ゆとりがなくなったということをよく聞きます。前のように研究に没頭できなくなってきたということもございます。

これまで学園都市は国主導で建設が進められてきましたけれども，これからは市民がつくり，資金も民間資金の活用で進めていくという方向になってきています。

また，周辺開発として，TX や圏央道など発展の原動力活用をどう活用していくか。また，先ほど触れました第 3 期科学技術基本計画の中でつくばの役割が明確に打ち出されて，それにどう応えていくかということが課題になっているということでございます。

そういう中で，来年度からの検討項目として，つくばの土地の活用，研究学園都市中心地区での業務機

能集積，つくば駅前の再編整備，そして公務員宿舎が廃止の方向になってきているということで，その跡地をどう有効活用していくかということが課題になっています。

また，産業振興の面では，企業立地推進，新産業創出，ベンチャーの育成等ということです。

それから交通対策として，当然地区内の交通が大きな課題になっていますが，それからさらに土浦・牛久地区などの周辺とのアクセスも課題であります。

それから，科学技術振興ということで，先ほども申しました科学技術基本計画への対応と併せてポスドク対策，さらには国際化の推進が科学技術基本計画の中でもいわれている柱の一つでありますので，そういったものにどう応えていくかということがございます。

こういったことを含めて今後検討し，来年度中には新たなつくばグランドデザインの中間取りまとめをやっていこうという状況にございます。

そういう流れの中で，県としてはもう一つ「いばらきイノベーション戦略」を策定しようということで，つくば，東海，日立，鹿島というそれぞれの研究，産業の集積地区もありますので，それらの融合を図りながら国のいっているイノベーション25を受けて，県としてどう戦略を立てていくかということの検討を始めたということがございます。

一つは，イノベーションを生み出す基盤づくりについてということ。それから，それらを基にしたイノベーション創出の契機となるプロジェクトというのを幾つか挙げて，現在タスクチームを作って検討しているということです。

その一つが，「先端計測技術（量子ビーム）関連」ということで，県では東海に建設を進めておりますJ-PARCで中性子を使ってものを見ていこうということで，その照射源を利用した各種検査サービスをやります。3Eフォーラムに関連していえば，例えば水素の利用については当然材料の問題などが出てきますので，そういった分析とか，燃料電池に関するリチウムの分析などに有用なものということで関連がございます。

それから，2番目の「再資源化→温暖化対策関連」という中では，「廃棄物を再資源化するための技術開発」ということで，最近話題になっているレアメタルやレアアースといわれるものをきちんと回収し，製品化する。最近では中国等は資源の確保でかなり厳しくなっているということです。茨城県には回収システムを持っている優良な企業があったり，大きな精錬工場があったり，また日本でただ一つの希土類の備蓄倉庫があり，こういったものをうまくひっくるめて資源化を図っていく。先ほどお話がありましたように，さらにバイオマスエネルギーの技術開発を進めていく。そのほかに健康・福祉関連や農業関連を含めて，県としてのイノベーション戦略を練っていこうということを進めております。

また，もう一つ合わせてエネルギー関連でいいますと，次世代エネルギーパークという，国が打ち出した方針の中で，全国6カ所認定を受けました。その1カ所に茨城県が認定を受けたということです。この次世代エネルギーパークは経産省が指定しているわけですが，ほかの県は展示施設のようなものを次世代エネルギーパークとして指定を受けているのですが，茨城県は，特に大きく3地区に分けて県内全域で実物を見てもらおうということで指定を受けているのが特徴です。

県内には，つくばを中心とした研究集積，それから原研を中心とした東海・日立地区，もう一つは鹿島地区ということで，鹿島には風力発電の施設がたくさん並んでおります。

それから，先ほどバイオマスの関係の話がありましたが，大きな中国木材というところでバイオマスの発電が予定されております。もう一つ，県央部にも北越製紙の大きな，これも日本で最大級のバイオマスの発電，これは木屑の発電です。それから，大洗の原研ではHTTRを使った水素の製造研究をやっています。当然，これからのエネルギーの柱となる原子力，そして那珂市にある核融合を実現するまでには50年から，実用化までには1世紀かかるだろうといわれていますが，そういった将来までのあらゆるエネルギーがあるということ全体をひっくるめてエネルギーパークとしていこうということで現在進めております。

その中心としてこのつくば・TX沿線地区というところを核にして，全体へのインフォメーション的なものを進めていこうということで，現在つくばではサイエンスツアーを実施しておりますが、これをイメージとしては，エネルギーに特化した全県的な展開をしていくということでございます。最近は九州など

からも修学旅行でこのつくばをたくさん訪れるようになりまして，こういった展開についてもサイエンスツアーを使いながら広く発信していこうと考えております。

最後に，地球温暖化防止行動計画について，県の取り組みをご説明申し上げます。

県では平成7年に地球環境保全行動条例を，国の法律より早く定め，地球温暖化防止の行動計画を定めてきました。当時はCO2の収支計算がなかなか難しくて出なかったのですが，今回の改定の中では1990年比マイナス4.6%という目標を立てて進めているところです。

温室効果ガスでは4800万t，今までそれぞれ運輸部門などの削減の中で議論してまいりましたが，県としては責任の問題もありますので大胆な目標はなかなか立てられませんので，地道に一人一日1kgといった積み上げの中でこういう計画を立てておりますが，つくばから50%削減に向けて進められればと考えております。この辺は内山先生がご専門ですので，次のパネルディスカッションの中できっと触れていかれると思います。このフォーラムの中では，2030年50%が本当に実現可能なのかというのが大きな課題になってくると思います。

そして，県の役割としては当然その裏付けはどうするのかということになってくると思いますが，そこは県の責任を問われるとなかなか難しい部分がございますが，県も一緒になって皆さんと進めていこうと。また昨日，相澤議員さんが国の3兆5000億円なりの科学技術の予算があるという中で，それを獲得のためにわれわれもいろいろなイノベーション戦略等を練っているわけですので，その獲得へ向けて努力してまいりたいと考えております。

掻い摘んで以上が県としての取り組みでございます。どうぞよろしくお願いいたします。

（鈴木勉）　ありがとうございました。

それでは，質問を受けたいと思います。いかがでしょうか。ございませんでしょうか。どうぞ。

（フロア6）　たびたびすみません。国立環境研究所の藤野と申します。

最後，ちょっと消極的なメッセージを幾つか送られていたのかなと思っていたのですが，実は今，イギリスは中央政府が2050年までに60%削減させるという法案を作っていて，もうパブリックコメントにいっていてほぼ決まるのですね。そのとき，2020年も30%ぐらい削減すると。それをどうやるかというと，予算の使い方を，今後CO2の排出を考えながら予算を使っていって，政策的な裏付けもやっていくという話なのですね。

確かに実現の数字は難しいかもしれませんが，一方，温暖化によって住んでいる人々の健康や生活を脅かされることが分かっているならば，そういう計画を立てないということは罪になるのではないかというのが多分彼らの一つの意見なのではないかと思うのですが，そういうときに結局シグナルを送れるのは県の政府や中央政府だと思うのですけれども，それに対してもしコメントがありましたらぜひお願いしたいのですが。

（福地）　藤野さんがおっしゃる通りだと思います。それがここのミッションでもあるし，つくばから発信し，茨城県もそれを受けて県下に普及するような仕組みができればいいなと，その契機になればいいなと考えております。県の仕組みとしてそのままストレートに受けていくのはなかなか難しい状況で，昨日あいさつで申し上げましたが知事もエネルギー調査会の委員として，今回の中では話題になっていませんが，国では「新・国家エネルギー戦略」，2030年で目標を立てて大胆に削減していこうと。それはエネルギーの社会保障面とCO2の削減の両面から進めていますが，県としても国の流れを受けながら全体の枠組みをやっていく時期に来ているなと考えております。

（フロア6）　あと，そういうシグナルを送れるのはやはり県とか中央政府だと思うのですね。ビジネスでさえもシグナルがはっきりないとどちらの方向へ展開していけばいいのかが分からない。「フィナンシャル・タイムズ」でもバリの交渉があったときにビジネスは明確な目標を求めている、という記事もありま

したけれども，そちらのリーダーシップはやはり県なり中央政府しか発揮できないのではないかと思っています。これはコメントですが，よろしくお願いします。

（福地）　先ほどの鈴木さんの話もそういうことだと思います。こういうプロジェクトを進めていくマネジメントは非常に大事なことだということで，非常に勉強になりました。よろしくお願いいたします。

（鈴木勉）　他にいかがでしょうか。

（フロア 10）　環境 NGO の岡崎といいます。

私は森林の関係に非常に深くかかわっているのですが，茨城県の森林の整備が進んでいないと見ています。いわゆる京都議定書の 3.4 項は，森林整備によって日本は 3.8%獲得する、となっています。先ほどおっしゃられた 4.6%の中に森林整備によってというのは入っていますか。僕は字が読めないのですけれど。ここからは読めない。

要は，今も中国木材さんが来るとか，木屑のがありましたが，茨城県北部，僕はくまなく山を歩いていますが，道がありません。私が整備したいのだけれどもと言うと地主が「いや，やめてくれ。これはいつかゴルフ場で売れるかもしれないから」ということで道を全く造らない。従って，間伐すらできない。整備は進んでいないし，それから先ほど林地残材とおっしゃっていましたが，そんなものを運び出せるはずがない。森林整備というのは CO2 の削減と非常に深くかかわっているので，その辺について茨城県の政策というのですか，かなりの補助金を投入する必要があると思うのですが，その辺をお伺いしたいと。

（福地）　よく県内では県北と県南の南北格差といわれるのですが，県北地域の高齢化が進んで，最近では限界集落といって集落が成り立たないというようなこともいわれます。そういう高齢化する中で地域の活性を図ろうというのも県の大きな課題であります。このたび，森林湖沼環境税というのを作りました。県民の皆さん，企業の皆さんから頂いて，森林保全，湖沼の環境保全をしていこうと。そういったものも使いながらきちんとした森林保全にも道筋をつけていきたいと考えています。

（鈴木勉）　ご議論尽きないと思いますが，次の発表に移らせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

茨城県の取りくみ

茨城県企画部科学技術振興監
福地　伸

「新たなつくばのグランドデザイン」

研究学園地区建設計画（H10 国土庁）
周辺開発地区整備計画（H10 茨城県）
「つくば第3ステージのまちづくり」
① 科学技術中枢拠点都市
② 広域自立都市圏中核都市
③ エコライフモデル都市

筑波研究学園都市建設後30年以上経過しての「つくばの現状と課題」
①研究学園地区の公共施設の老朽化（研究機関、公務員宿舎、ペデ等）
②国内最大の科学技術の集積・魅力づけ（一方、創薬メーカーの撤退）
③TX開業と沿線のまちづくりの推進（つくばスタイルの推進）
④研究機関等の独立法人化・国立大学法人化
⑤まちづくりの主体の変化～官から民へ～
（国主導→市民、公的資金→民間資金活用）
⑥TXや圏央道など発展の原動力活用
⑦第3期科学技術基本計画（H18－H22）におけるつくばの役割等
（科学の発展とイノベーション創出）

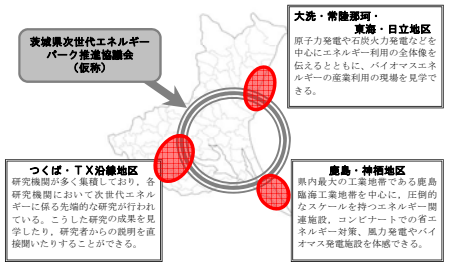
「新たなつくばのグランドデザイン」での主な検討項目

●土地活用
・研究学園都市中心地区(仮称)での業務機能集積（新たなゾーニング設定）
・つくば駅前再整備　・公務員宿舎跡地の有効活用
●産業振興
・企業立地推進、新産業創出　・IT、国際デジタル都市としての発展方策
・TX沿線や多摩地区との連携　・ベンチャー支援
・TX開業や圏央道整備の活用
●交通対策
・土浦・牛久など周辺都市及び域内の交通アクセス向上
（バス対策、自転車利用）
●科学技術振興
・第3期科学技術基本計画への対応
・ポストドクター対策
●国際化推進・教育の充実
・国際コンベンション都市としての発展方策
・インターナショナルスクールの誘致

今後の筑波研究学園都市整備計画研究委員会(仮称)を設置し、平成20年度中には「新たなつくばのグランドデザイン」の中間取りまとめを公表予定。
委員会メンバー：学識経験者、独立行政法人、民間企業・住民の代表、国、県、つくば市等

茨城県次世代エネルギーパーク(1)

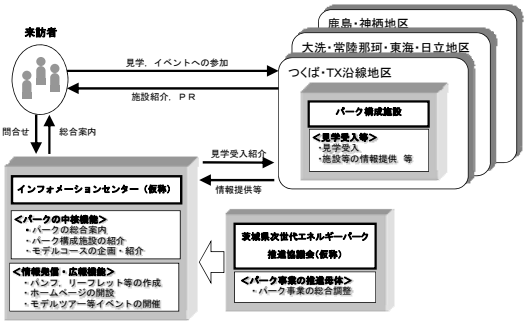
- 県内の新エネルギー等を実際に見学等が果て触れる機会を増やすことを通じて，次世代のエネルギーのあり方について理解増進を図る。
- 本県の特徴は，企業や研究機関等が集積している3地区をネットワーク化して，既存の取り組みを紹介するもの。
- 本年10月に全国6つの計画の1つとして国の認定を受けたところ。



茨城県次世代エネルギーパーク(2)

茨城県次世代エネルギーパーク(3)

- 茨城県次世代エネルギーパーク推進協議会（仮称）が中心となって事業運営をおこなう。
- 来訪者に対する総合窓口として，パークインフォメーションセンター（仮称）を設置する。



「いばらきイノベーション戦略（仮称）」の策定について

◇趣　旨
県では、今年度、つくば、東海、日立、鹿島の科学技術の融合を図り、日本のイノベーションを牽引する一大先端産業地域の形成を目指し、「いばらきイノベーション戦略（仮称）」を策定することとし、茨城県科学技術振興会議のもとに戦略策定に向けたワーキンググループ（WG）を設置、検討を進めている。

（検討内容）
①イノベーションを生み出す基盤づくりについて
②イノベーション創出の契機となるプロジェクト実施に向けた研究領域の抽出

◇イノベーション創出の契機となるプロジェクト実施に向けた研究領域

領　域	プロジェクトのターゲットイメージ
①先端計測技術（量子ビーム）関連	量子ビームのコンパクトな照射源の製品化 その照射源を利用した各種検査サービスの展開や新材料開発　等
②再資源化→温暖化対策関連	廃棄物を再資源化するための技術開発 廃棄農産物等からバイオマスエネルギーを得る技術の開発　等
③健康・福祉関連	高齢者の健康・福祉の増進技術の確立とロボット・IT技術の応用
④農業関連	農業を高度化するために、異分野・多数の研究機関が参加した様々な先進技術の試行

つくばサイエンスツアーの概要

◇目　的
つくばエクスプレスの開業を契機として、筑波研究学園都市に集積する研究機関等を貴重な地域資源として捉え、施設の公開・開放を促進し、県内外からの見学・学習の場として活用するとともに、科学技術の普及啓発を図る。

◇事業内容
・見学モデルコースの企画
・見学相談等に対する一元的な情報提供、情報発信
・見学施設の仮予約の手配
・ボランティアガイドの設置、派遣
・紹介パンフ、ガイドブック等の作成
・つくばサイエンスツアーバスの運行等
・県内外の学校等へのPR
・体験ツアーの実施（バスツアー）

サイエンスツアーバス

◇協力研究機関等
筑波大学、産業技術総合研究所、農業・食品産業技術総合研究機構、森林総合研究所、農業環境技術研究所、国立環境研究所　等
48機関

県地球温暖化防止行動計画（改定）の概要

1 計画期間　　平成18年度～22年度（2006年度～2010年度）

2 内容

県の区域全体において温室効果ガスの排出抑制等を行うための計画。温室効果ガス排出量の削減目標や産業、運輸、民生(家庭)、民生(業務)の各部門ごとの具体的な数値目標を設定。

3 温室効果ガス削減目標:
基準年比　－4.6%（2002年度比　－2.4%)

＜部門別の削減目標＞　　（%）

区　分	基準年比	2002年度比
産業部門	－7．2	＋1．1
運輸部門	＋25	－8．5
民生家庭	－1．4	－15
民生業務	－15	－15

本県の二酸化炭素排出量の推移と目標値

表1 温室効果ガス総排出量の推移及び県地球温暖化防止行動計画の目標値（CO2換算）

単位：万t-CO2, %

年　度	基準年 (1990年度)	2002年度	2004年度	2010年度 目標値 ※
総排出量	5,030	4,917	4,870	4,800
基準年比増減	－	▲2.3	▲3.2	▲4.6

※目標年度の総排出量は4，827万tで，森林吸収量27万tを差し引き，目標値 4，800万t

表2 排出部門別二酸化炭素排出量の推移

排出部門 (万t-CO2)	1990年度	2002年度	2004年度	2010年度 目標値	増減率 (04/02)	増減率 (04/90)
産業部門	3,614	3,318	3,292	3,354	▲0.8%	▲ 8.9%
運輸部門	438	601	587	550	▲2.2%	34.2%
民生部門家庭系	266	308	325	262	5.4%	22.3%
民生部門業務系	279	278	286	236	3.0%	2.6%
その他	245	252	244	250	▲3.2%	▲ 0.6%
二酸化炭素 計	4,842	4,756	4,734	4,652	▲0.5%	▲ 2.2%

「つくば市の概要と環境対策」

飯野 哲雄
つくば市役所 市長公室 公室長

（鈴木勉） このセッション最後のご講演ですが，つくば市の飯野哲雄様より，「つくば市の概要と環境対策」という演題でご講演いただきます。 よろしくお願いします。

つくば市市長公室長の飯野と申します。私の方から「つくば市の概要と環境対策」というご報告をさせていただきます。

つくば市の概要につきましては，昨日この 3Eフォーラムの趣旨説明の中でも若干触れられておりましたので，違う視点からご報告したいと思います。まず，ご覧になっていただければ分かりますように，左上がつくば市のセンター地区の写真，夜景ですね。夕方の写真です。明かりがついてとても明るいのですが。右下が筑波山のふもとにある平沢官衙遺跡というところでございます。筑波山が建物の上に見えますが，筑波山の山ろく周辺にはこのようなロケーションといいますか，地域があります。都市部と農村部が程よく調和しているとわれわれは言っているのですが，そんな町がつくば市といえるのではないかと思います。

これまでどんな歩みをしてきたかといいますと，まず人口ですが，昭和 60 年，ちょうど科学万博が開催されたときには 15 万人ぐらいでした。それが現在は 20 万 7000 人，ちょうど平成 17 年の国勢調査がございましたときに 20 万人を超えております。面積は 284 km^2 で，多分首都圏の自治体では大きい方だと思います。距離は南北に約 35 km，東西が約 15 km ございます。従いまして，つくば市の南部から東京都心まで 40 km ぐらいではないかと思います。ですから，一番北の筑波山の方へ行きますとほぼ東京まで行ってしまうというような広い地域でございます。ちなみに，この区域の中に山手線のエリアが入るという感じでございます。

それから予算ですが，約 1000 億円の予算を消化しております。これは一般会計約 600 億円，下水道や健康保険などのいろいろな特別会計がありますが，これを合わせますと約 1000 億円という規模になっております。平均的な自治体，人口などを比較すれば大体どこもこの程度の予算になっているのかなと思っています。

歴史につきましては，筑波研究学園都市が建設され，つくば科学博がございまして，つくば市の誕生。科学万博の開催がきっかけとなったといいますか，その後につくば市が誕生しております。

どこの自治体も花・鳥・木を定めているわけですが，これを見ますと大体その都市のイメージがわくのではないかと思います。ちなみにつくば市では，花はホシザキユキノシタというものです。これは筑波山に自生している固有の種だそうです。実は私も本物はまだ見たことがないという花でございます。

それから，森の哲学者といわれるフクロウ。それから，ケヤキはつくば市の骨幹を成す東西大通りがありますが，大通りの街路樹として利用されていますし，古来，農村集落の屋敷林としてこの周辺に生えておりました。そして，それが大きくなりますと今度は家の改築にそれを使うとか，ただ防風林だけではなくてそのように使われています。そういうことからつくば市の木としてケヤキが指定されております。

それから，どこにでもあります市章やシンボルキャラクターですが，市章は「つ」の字を組み合わせたもので，つくばブルー・グリーンといっています。ブルーは，筑波研究学園都市ということで科学をイメージしております。緑はつくばにあります自然，これらがうまく調和してつくば市が成り立っているということを表現しています。これは平成元年に指定されております。

それから，シンボルキャラクター「ツクツク」ということで，市の鳥のフクロウをモチーフにしています。平成 14 年に茎崎町というところが編入合併になりました。これで研究学園都市を構成する全市町村がつくば市になったわけですが，その際に記念して定められたものです。

それからシンボルマークですが，これは実はつい先月，11 月 30 日に定めたところでございます。市政 20 周年を迎えまして，これを記念してつくばからいろいろと発信していく，シティーセールスを行っていくという目的で定めたところです。全国から 500 ぐらいの応募がございました。その中から選ばれて定められました。

同じくキャッチフレーズということで,「わたしのつくばをみつけよう」というものも定められたところでございます。

どこの自治体も総合計画というものを持っているわけですが，総合計画の中に基本構想というものがございまして，これは地方自治法の中で議決して定めると規定されており，そういったものに基づいて計画が定められております。この計画の中で，つくば市は将来人口 35 万人を想定しております。それから,「健康で健全なまち：つくばの創造」を目指そうということで総合計画が定められております。

それから最近,「つくばスタイル」ということでいろいろ発信をしているわけですが，筑波研究学園都市の都市計画事業で整備された都市環境，東西大通りを含む道路，公園といった都市基盤と研究教育環境，このような知的なものが集積しています。それからもう一つ，筑波山を筆頭に豊かな自然があります。こういった環境を生かしてつくばならではの生活スタイルを求めよう，それをコピーとしてつくばから発信していこうということで「つくばスタイル」という言葉を使っております。

「自律都市に向けた取り組み」ということで，立つ「自立」もあるのですが，やはり市政 20 周年を迎えて，人間に例えれば二十歳になった，大人になったということで，いろいろな意味で自律都市に向けた取り組みをしていこう。一つは当然，国等とのかかわりの中での自治体としての自律，経済的な基盤の自律，まちづくりにおいて行政だけではなくて市民の主体的参加があるまちづくり，自律的なまちづくりをしていこう，そのようないろいろな意味を含めた自律都市に向けた取り組みということです。

環境対策ですが，つくば市では環境基本条例を平成 10 年に定めております。その中で三つの責務,「市の責務」「市民の責務」「事業者の責務」というのをそれぞれに定めておりまして，市は総合的な施策，あるいはそれを実施していく。市民の方には日常生活において環境保全，あるいはごみの排出に十分当たっていただく。そういう役割を担うのが市民の方であると。もちろん事業者にもさまざまな取り組みをしていただこうということで，三つの責務を中心にまとめられております。

基本的な理念としましては，環境への負荷が少ない，持続的な発展が可能なまち，そういったものを目指すために環境基本条例を定めております。

それから，地球温暖化対策実行計画は平成 16 年に定めております。その中で温室効果ガスの削減目標も定めておりまして，平成 14 年度に比較しまして 10%削減しようということも定めております。ちなみに，平成 18 年度は 14.8%の実績を挙げて，目標以上の効果を挙げております。

今の取り組みも市役所内における取り組みの一つではありますが，そのほかに ISO14001 の認証取得を取るというような取り組みもしております。つくば市環境管理システムを平成 15 年に定めまして運用し，翌年の平成 16 年に認証取得を取っているところです。その中で，省エネルギーの推進というようなところでは例えば灯油の使用量を 25%削減しようとか，あるいはガスの使用量を 9%削減，自動車の燃料につきましては平成 14 年度の使用量に抑えましょうということで，削減の目標にはなっておりません。ちなみに，後でご報告しますが，つくば市役所は分散庁舎を取っておりまして，そのための移動の車の使用が不可欠になっておりまして，どうしてもその辺の削減目標が立てられないという状況になっております。そのほかにコピーの使用量なども目標を立てております。こちらも実績としては目標値を上回っているところでございます。

それから，公共施設における取り組みということで，太陽光発電システムの設置を行っております。これは筑波西中学校と申しまして，筑波山の近くにある中学校ですが，体育館の屋根にこのような形で太陽光発電システムを設置しています。当然，余剰電力については東電に売電もしているということです。

そのほか，地域の取り組みということで，生活排水路浄化施設，これはいわゆる下水道が整備されていない地域ですが，実はこれも筑波山近くのところなのです。そういったところはいわゆるコミュニティプラント，集中浄化槽を設けるわけですが，その浄化施設を動かすための電力を風力発電と太陽光発電で賄っているということです。ちなみに，年間使用電力の約 26%をこれらで賄っております。また，同じく余

剰電力については東京電力に売電している状況でございます。

それから，家庭での取り組みですが，市では太陽光発電システムを設置する市民の方に補助をしております。ここにもありますように，1 kW 当たり 4 万円で，12 万円が限度ということですが，これが年間 50～60 軒ぐらいあるということで，毎年予算化するのですが途中で消化してしまうという状況でございます。

家庭での取り組みということもあるのですが，つくば市では「きれいなまちづくり条例」を去る 11 月 1 日に施行しました。これは，市民の方にやはり環境に対する意識を高めていただく，それからごみのポイ捨てをやめていただくことを目的に，11 月 1 日にキックオフ大会をして市民に PR を始めたところでございます。私たち市役所の職員も毎月ボランティアでごみ拾い活動をしているのですが，とにかく道路を歩きますと一番多いのがたばこの吸い殻がどこにでも落ちているという状況がございます。こういったことをなくしていきたい，ついては中心地区の皆さんが集まるところではポイ捨て禁止重点地区という区域を定めまして，そこでは禁止する。ただ，罰則がないというような状況ですが，あまり効果がなければ罰則規定も設けていかざるを得ないのかなと考えております。

それから，先ほども少し申し上げましたが，つくば市は分散庁舎を取っております。そのために決裁，あるいは会議等々のために庁舎間を車で移動するわけですが，年間の移動距離が約 36 万 km と集計されております。それはいわゆる本来必要なくてもいいはずのガソリンの消費ですから，何とか改善しないといけないと考えておりまして，新庁舎の計画をしております。また，車の移動だけではなく，例えば空調設備などのために年間約 4 億円という経済的なロスを推計しております。そういったことから新庁舎を計画しておりまして，平成 22 年春にオープン予定で現在進めているところでございます。

当然，新庁舎の計画に当たりましては省エネ対策をいろいろ考えております。

一つは，地下から室内へ空気を持ってきます。地中の温度は一定ですので，夏は涼しい空気を室内に持ってくる，冬は暖かい空気を持ってくる。これもコスト縮減のためですが，免震構造なのですが，地下室を設けないで免震の部分だけが地下になるのです。そこをうまく通気口として利用するという仕組みを計画しております。

屋上緑化はもちろんなのですが，ロビーには太陽光が直接入るような形で照明器具を使わない。それから，これはライトシェルフだと思いますが，直接室内に光が入らないようにする。断熱効果をする。光だけは入るのですね。

それから，雨水の利用も考えております。もう一つは，雨水の地下浸透といったことも考えております。雨水を外に出さない，地下に浸透するようなシステムを設置する予定でおります。

もちろん街灯等につきましては太陽光発電による街灯，それから屋上緑化もそうですが，この辺を芝生広場にしましてアスファルトではないような形にする。そういったことで照り返しを防止するという計画をしています。

自由度の高い設計ということで，躯体部分は壊さないで内装部分だけを，将来 20 年ぐらいしたら多分改装が必要なときにはそういったことが可能な構造にするということで，そのような計画に基づき，全体的に CO2 も 23%ぐらいは削減できるという計算をしております。

こういったことでつくば市としてはさまざまな取り組みをしているわけですが，環境問題は市民レベルでもますます関心の高いものとなってきておりますので，つくば市，市民，いろいろな機関の方，それぞれが連携して環境にやさしいまちづくりをしていけたらいいなと思っているところであります。

以上でつくば市の報告を終わりにさせていただきます。ありがとうございました。

（鈴木勉）　ありがとうございました。

それでは，質問をお受けしたいと思います。いかがでしょうか。はい，どうぞ。

（フロア 14）　産総研の大和田野です。

将来人口 35 万人という数字がありましたが，これは CO2 削減目標に対して非常に大きなインパクトがあるのですが（笑），これはどのような地域にどういう人口が増えるという想定をされているのか，それか

らタイミングはいつごろでしょうか。

（飯野）　将来人口というのはあくまで将来であって，いつまでというふうには設定しておりません。いつまでということであれば10年後，約27万人を想定しております。では，そういった方がどこに住まわれるのかといいますと，今，沿線開発でいろいろ宅地造成をしていますが，そういったところが中心となります。ただ，なぜ35万人かといいますと，いわゆる全体的なインフラ，下水道や道路などを計画する上ではやはりある程度の余裕を見て 35 万人の計画をしておくべきだろうということで，将来人口としては35万人を想定しながら進めているということでございます。

（フロア10）　環境NGOの岡崎といいますが，今のCO2削減を十数パーセントしたという中に，つくば市というのは産業は少ないはずなのですが，セクター別にどの程度かというのは分かるのでしょうか。そういうインベントリー，データを既に蓄積しつつあるのでしょうか。

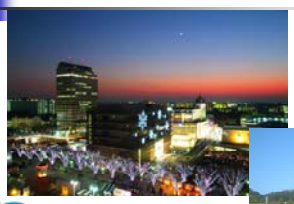
それからもう一つ聞きたいのは，ここは国立の研究機関や筑波大学のような文科省傘下のところが多いのですが，そこからのエネルギー消費のデータはきちんと入るような仕組みができているのでしょうか。他の町でいいますと，国立の部分は中央に本省があって地方に支所があると，エネルギーコストが一括地方で東京電力に入られたりすることがございますので，その辺のからくりはどうなっているか，ちょっと教えていただけませんか。

（飯野）　どれぐらい消費しているかということについては，データは市の方には集まっておりません。それから，23%の根拠ということでしょうか。ちょっとよく聞こえなかったのですが，すみません。民間部門でどれぐらいということでしょうか。よろしいでしょうか。

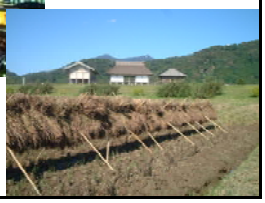
（鈴木勉）　どうもありがとうございました。

時間のマネジメントがうまくできませんでだいぶ超過してしまいましたけれども，もう一度講演者の皆さまに拍手をもって御礼したいと思います。どうもありがとうございました。

つくば市の概要と環境対策



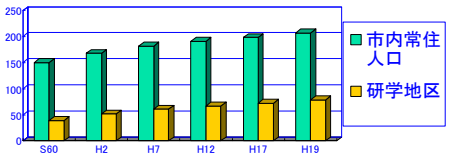
センター地区



つくば市市長公室
2007. 12. 16

筑波山麓平沢地区
平沢官衙遺跡

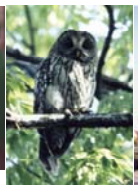
つくば市の概要



人口：207，000人
面積：284平方キロ
予算：約1000億円

歴史
筑波研究学園都市の建設
科学万博の開催
つくば市誕生　昭和62年11月

花・鳥・木



ホシザキユキノシタ　フクロウ　ケヤキ

つくば市の概要

市章

シンボルマーク

シンボルキャラクター

ツクツク

キャッチフレーズ
わたしのつくばをみつけよう。

つくば市の概要

総合計画
将来人口35万人、健康で健全なまち：つくばの創造

つくばスタイル
都市環境、研究・教育環境、
自然環境をいかしたつくばならではのライフスタイル

自律都市に向けた取り組み

つくばナンバー導入	平成19年 2月13日
特例市への移行	4月 1日
きれいなまちづくり条例施行	11月 1日

環境対策これまでの取り組み

環境基本条例（平成10年）
環境への負荷が少ない
持続的な発展が可能なつくば市
市の責務　総合的な施策、実施
市民の責務　日常生活における環境保全(廃棄物抑制)
事業者の責務　公害防止、環境保全

地球温暖化対策実行計画（平成16年）
省エネ、省資源、廃棄物削減・リサイクルの推進

環境対策これまでの取り組み

市役所内における取り組み
つくば市環境管理システムの運用
ISO14001認証取得（平成16年）
環境負荷低減策
省エネルギーの推進
省資源の推進
グリーン購入の推進
廃棄物の削減とリサイクルの推進
公共事業における環境配慮

環境対策これまでの取り組み

公共施設における取り組み
太陽光発電システム設置

筑波西中学校
定格出力　50KW
余剰電力　売電
導入　　平成16年

環境対策これまでの取り組み

地域の取り組み

生活排水路浄化施設(上菅間地区)

ハイブリット発電システム

定格出力
　風力6KW
　太陽光3.78KW
余剰電力　売電
導入　　平成17年

環境対策これまでの取り組み

家庭での取り組み(補助制度)

太陽光発電システム設置補助

対象
市内居住･居住予定の住宅(新規設置)
補助金　1KW当たり4万円(12万円まで)
要件　　最大出力10KW未満

環境対策
これまでの取り組み

新庁舎建設

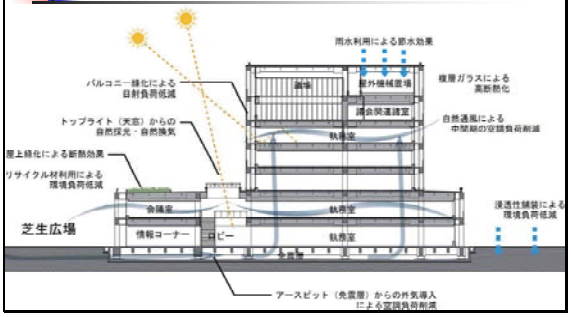
分散庁舎の弊害

事務効率と行政サービスの低下
環境への影響　車の庁者間移動
経済的ロス　約4億円/年

環境への配慮

雨水浸透施設、
敷地内緑化

新庁舎の省エネ対策



パネルディスカッション
「2030 年までにつくば市で CO2 排出 50%削減をいかに実現させるか」

司会：

渡邉　信（筑波大学大学院生命環境科学研究科　教授）

パネリスト：

大和田野芳郎　（産業技術総合研究所　エネルギー技術研究部門長）
田中　　一宜　（JST 研究開発戦略センター　上席フェロー）
原沢　　英夫　（国立環境研究所　社会環境システム研究領域　領域長）
内山　　洋司　（筑波大学大学院システム情報工学研究科　教授）
谷口　　綾子　（筑波大学大学院システム情報工学研究科　講師）
鈴木　　敦　（民間都市開発推進機構　都市研究センター副所長・研究理事）
村田　佳壽子　（環境ジャーナリスト／日本環境ジャーナリストの会副会長）

（渡邉）　それでは時間となりましたので，これからパネルディスカッションを開始したいと思います。私は司会を務めさせていただきます筑波大学の渡邉と申します。

パネラーの皆さまは，今回の議題に非常に関連が深い地球温暖化影響政策分野，エネルギー分野，材料科学分野，都市工学分野，政策マネジメント分野，ジャーナリズムの分野から招いております。パネルディスカッションを始めます前に本日のパネラーを紹介いたします。私の右から，産業技術総合研究所エネルギー研究部門長の大和田野先生です。それから，科学技術研究機構研究開発戦略センター上席フェローの田中先生です。国立環境研究所社会環境システム研究領域長の原沢先生です。筑波大学大学院システム情報工学研究科教授の内山先生。筑波大学大学院システム情報工学研究科講師の谷口先生。財団法人民間都市開発推進機構都市研究センター理事の鈴木先生。環境ジャーナリストの村田先生。以上 7 名のパネラーの先生によってこのパネルディスカッションが実施されます。

皆さまもご存じのように，本年の IPCC 第 4 次報告書におきまして，地球温暖化が進行しているということが正式に報告されました。そして，それに先立ちまして 5 月のドイツのハイリゲンダムで開催されました G8 サミットにおいて，安倍前首相が 2050 年までに二酸化炭素の排出を 50%削減するということも宣言しております。当然，来年 7 月にわが国で開催される洞爺湖サミットにおきましても，この地球温暖化問題は非常に主要な議題になるだろうと思われます。つい 14 日まで行われましたインドネシアのバリ島の COP13 におきましては，2013 年以降の温暖化対策の枠組み交渉の進め方をまとめましたバリ・ロードマップが合意されまして，2009 年末の COP15 での妥結を目指して，現在削減義務を負っていないアメリカや中国などの温室効果ガスの大排出国も含めまして，ポスト京都の新たな枠組みづくりの交渉が始まったという事態になっております。

こういう事態で茨城県つくば市，この研究学園都市関連の研究機関・大学，産業界が連携して，この「つくば環境・エネルギー・経済（3E）フォーラム」を立ち上げまして，2030 年までにつくば市における CO2 排出 50%削減というものを目標としまして，これから共同事業，共同研究を実施して，低炭素で省エネの新たな研究学園都市の再構築化を図っていくことを決意しております。そして，このような活動，出来上がった道筋をつくばモデルとして国内外に発信していくことになっております。

このパネルディスカッションでは，2030 年までにつくば市での CO2 排出削減を 50%という目標を定めているのですが，その目標をいかに実現させていくのかというところをテーマにして議論していきたいと思います。つくば市のエネルギー消費の 75%近くが民生部門，運輸部門ということもありますので，都市レベルでいろいろ検討可能である民生・運輸部門にこれから焦点を当てて議論していきたいと思っております。いろいろいわれておりますが，つくばは日本で科学技術の最先端の技術が最も結集しているところであります。そして，そういう研究所群が多いということで，民生部門内の意思統一が比較的図りやすい

というところもあります。こういうつくばの特徴を生かしまして，この目標実現のために何とかしてまいりたいと思うわけです。

今までいろいろな議論がありましたが，すぐ間近に迫っていますのが，京都議定書の第一約束期間が2012 年で終了するという事態になっております。そして，COP13 でもいろいろ議論がありました。2020年までに先進国は25～40%削減しろとか，そういう比較的短い期間での削減が結構求められている状態であります。従って，このパネルディスカッションではまず最初に，比較的短い時間，要は第一約束期間を見据えながら，この10年ぐらいでどれだけ削減という努力をしなくてはいけないのか，あるいはどれだけ削減可能なのかというところに焦点を当て，その上で2030 年までの50%削減という目標をいかに実現していくかというところに進めていきたいと思います。

最初に，京都議定書の第一約束期間を見据えながら，この10年，非常に短期間でありますが，どれだけの努力でどれだけ削減できるのかというところの意見を 2～3 人のパネラーの方に述べていただきたいと思います。

最初は内山先生，よろしくお願いいたします。

（内山） それでは，口火を切らせていただきます。いよいよ第一約束期間は来年から始まります。2008～2012年の間です。それに向けて政府は1990年レベルよりマイナス6%という削減目標を掲げたのですが，現実にはプラス6%以上増えているということで，極めて厳しい状況であります。

それはご存じのように，日本におきまして1990年以降，産業部門の二酸化炭素排出量は横ばいです。これは経団連の自主行動計画に委ねられておりまして，その目標は2010年までに1990年レベルに対して1割削減する，これはほぼ達成できるという状況にあります。しかし，この間日本は産業構造を大きく変換しまして，サービス産業，あるいは情報化産業が業務部門・運輸部門の新たな雇用を創出し，その部門において非常にたくさんのエネルギーを消費するようになり，結果として，二酸化炭素の排出量は運輸・業務，あるいは家庭部門において20%以上も増えているという状況があります。そういうことが結果として，先ほど言いましたように現状ではプラス6%以上になってしまっているということです。

ただ，日本はものづくりをしながら，いかに世界で厳しいグローバル化の流れの中で生き延びていかなければならないかという使命がありますので，ものを作らないで，あるいはそういう産業を育成せずに国際社会の中で進むことが難しいという基本的な日本の立場があります。そういうことを考えますと，エネルギーに依存しないで削減していくということはいろいろな工夫が必要になってくるかと思います。

民生・運輸部門，近い将来で考えていきますと，この間ずっと政府はさまざまな政策を実施してきたのですが，なかなかうまくいっていない。ここでやはり思い切った政策を取る必要がだんだん出てきているかと思います。最初にわれわれは我慢さえすれば1～2割は削減できると思います。いろいろな工夫をするだけでもそのくらいの削減は可能かと私は思っております。

そして，次にお金が掛かる問題が発生してまいります。これは省エネ機器，高効率の家電製品や空調機器，あるいは高効率の自動車，さまざまな現在利用できる，ややコストは高いですが，先ほど言ったLEDの照明器具もそうですが，そういったものをわれわれは取り入れる努力をしていくことによって，さらに10%ぐらいは削減できる可能性は十分あるかと思います。

さらに削減しようとしますと，今度はインフラを変えていかざるを得ない。すなわち，家庭の建物断熱性，二重ガラス窓，気密性を高める。そしてまた，都市の構造の在り方そのものを変えていく必要がある。さらには物流システム，公共交通機関の利用など，先ほど発表がございましたが，そのような都市そのものの流通や交通を含めて変えるようなインフラ整備，これは非常に時間がかかる，かつ非常にお金の掛かることでありまして，それを考えますと第一約束期間の間にそういうものを大幅に削減することは現状ではやや難しいのではないか。しかし，それに向けて何らかの努力をし，何らかの制度づくりをすることが必要になってくると私は考えております。現在，もう既に民生・運輸部門の排出量が20%以上増えているものですから，何とかこの約束期間に90年レベルくらいまでいろいろな努力によって維持することが必要ではないかと思っております。

（渡邉）　どうもありがとうございました。

今，内山先生の話がありましたように，約束期間でマイナス 6%といわれていますが，既に増えている分を合わせますと 20%近いものになってしまった。せめてこの期間内にそれを 90 年レベルまで持っていくということを言われました。

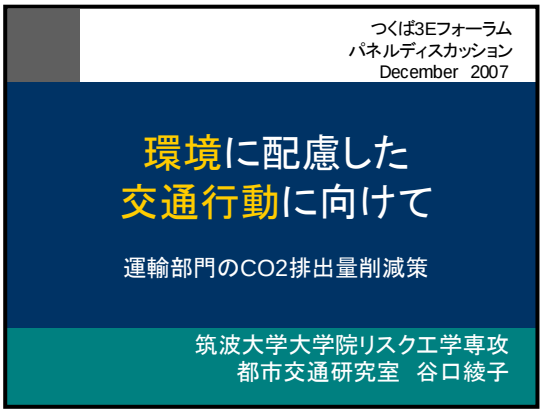
次に，原沢先生，お願いいたします。

（原沢）　2008 年の 1 月 1 日から第一約束期間が始まるということで，この 1 年間ぐらいかけて，日本のいわゆる目標達成計画を見直ししておりました。既に新聞等でご案内のように，2000 万 t～3700 万 t で 1.5～2.7%不足しているということが分かりましたので，追加的対策を今考えております。来週 21 日ごろになると思いますが，報告書という形で国民に発表されるということです。どんなことが書いてあるか，ちょっとかいつまんでキーワードをお話ししたいと思いますが，いわゆる強化しなければいけない対策ということで，先ほど来ご紹介のあった自主行動計画を強化したり拡大したりする。これについては，大学や病院といった，これまでは自主行動計画を作らなくてよかったような分野にも拡大されるだろうということです。あと，都市構造と地域構造の見直しということで，こちらも先ほど来の講演でもありましたような見直しをしっかりしていく必要があるということです。例えば公共交通機関が中心となるような都市構造を本格的に考えていこうと。あと，ヒートアイランド対策もある意味温暖化対策にもなっておりますし，公的機関の排出削減や，地域や自治体の取り組み強化ということで，先ほどつくば市と茨城県の方のご発表がありましたが，さらに厳しい対策を取るようにというようなことが国の方から来るのではないかと思っております。

民生部門につきましては，住宅や建築物の省エネ基準をさらに上げるとか，要するになかなか見通しがつかない中でこれまでの対策を強化するということが非常に重要になってきております。その一つとして国民運動をさらに進めていこうということで，産業界，運輸，あるいは業務部門に加えて，われわれ一人一人のライフスタイルもやはりしっかり変えないといけないということで，クールビズやアイドリングストップ，エコドライブ，これについては昨日ポスターセッションなどもあったようですが，あとは省エネ製品の購入や買い物袋というところまで言及しております。あとは，最近ですと経済的なインセンティブを与えるという意味で，エコポイントの話やカーボンオフセットという言葉も載っておりますし，さらに省エネ効果がいかにうまくいっているかというのをデータで見せる努力，これを「見える化」と呼んでいますが，そういう対策を強化していくことになります。

ただ，残念ながら今回の時点では追加的対策として入らなかったものとして，この十数年議論があります環境税は先送り，排出量取引は非常に反対が強くて先送り，新エネルギー等の抜本的対策も先送りと。審議会の中で議論になったのですが，例えばコンビニの 24 時間営業の話も，そんなに夜こうこうと電気をつけてやる必要があるのかという話もあったのですが，コンビニはコンビニで言い分がありますからこちらについても先送りという形で，サマータイムも議論があったのですがこちらも先送りということで，基本的にはこれまでの対策を強化・拡大することによって，取りあえずマイナス 6%を達成しようという計画に落ち着きそうだということですので，またなかなか厳しい状況になっているのではないかと思います。

そういう中で 10 年先を見たときに，国民運動だけ取り上げるのは問題ではあるのですが，例えば一人一日 1 kg を，例えば 20 万人のつくば市で考えると，8 万 t ぐらい減らせるのですね。現在 40 万 t の排出と考えると 20%ぐらいは減らすポテンシャルがあるということですし，あとは民生や運輸を考えれば，もしかすると 2015 年ぐらいまでに 2030 年を目指した基礎的なつくば市の削減ポテンシャルをある程度実現化できて，それがうまく 2030 年につながるとすると，2030 年で 50%はもしかするとできるかもしれないという感じを私は持っております。以上です。



（渡邉）　どうもありがとうございました。

いろいろな目標達成に向けての見直しの話から，そしてわれわれの努力によって，少なくともつくば市に関していうと 2015 年ぐらいまでは何とか 20%ぐらい減らせるのではないか，さらに努力することで 2030 年 50%削減は見えてくる可能性があるという話でした。

続きまして，今度は都市の方の話から，谷口先生にスライドを示しながら意見を述べていただきたいと思います。

（谷口）　それでは，私の方からは「環境に配慮した交通行動に向けて」ということで，簡単に 4 分ぐらいでお話をさせていただきたいと思います。

運輸部門の CO2 排出量の全国的な傾向というのは，やっと増えるのが止まったぐらいの頭打ちの状態です。京都議定書の削減目標には程遠い状況になっております。

つくばでは一体どうなのだろうということでつくば市のことを考えてみますと，これは茨城県の旅客輸送分担率の推移です。1965 年～2003 年までにオレンジ色の自動車が圧倒的に増えている，相対的にバスやＪＲ，鉄道が非常に減っている状況にあります。

こういう自動車依存型社会というのは非常に効率の悪い二酸化炭素をたくさん排出する社会ですので，これからの脱却は可能かということで，都市交通研究室ということもありますので都市におけるマイカー利用の観点から発言させていただきます。短期的に 10 年後ぐらいに一体どういうことが必要かということです。

恐らくこれは先ほどの松橋様のご発表で詳しくあったと思うのですが，自動車単体の政策，交通渋滞対策，車を効率的に利用する，カーシェアリングやパーク・アンド・ライドなど，そういうことがあると思います。それから，公共交通をもう少し使いやすくして利用促進を図るという方法もあります。

これらの対策に不可欠なのが，市民の意識啓発と行動変容だと思います。なぜかといいますと，こういうことをただ単に市長さんが「やります」と言っても，市民の方々が「反対です」と言ってその市長さんを選挙で落としてしまったらその市長さんはできないのですね。そういう意味で，意識の啓発，行動変容と施策は同時に進んでいかなければいけない。私は専門がリスク・コミュニケーションということで，これ以降は意識啓発，行動変容のところからお話をしたいと思います。

都市交通分野：CO2削減の短期的施策

- 自動**車単体**対策：低燃費の環境に優しい自動車の開発･普及
- 交通**渋滞対策**　？つくば市ではそれほど効果見込めず？
  ボトルネック対策、信号制御、バイパス建設等
- 自動**車の効率的利用**：
  自動車共同保有の推進、P&Rの推進等
- **公共交通**等持続可能な交通手段の**利用促進**：適切な情報提供、コミュニケーション
- 市民の**意識啓発･行動変容**

運輸部門のCO2排出量

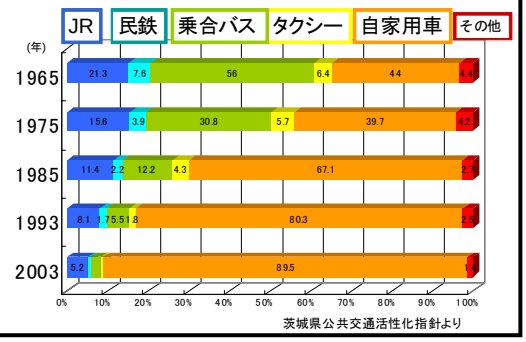
＜全国的な傾向＞･･･CO2排出量は頭打ち

- 物流分野は、運輸事業者の努力によりCO2が減少傾向
- 業務交通、マイカー利用も2001年度をピークに微減傾向　？　景気、低燃費車両の普及に起因？
  ？　**京都議定書の削減目標にはほど遠い**

＜つくばでは?＞

- 市域内は典型的な自動車依存型社会

茨城県　旅客輸送分担率の推移



運輸部門のCO2排出量

＜全国的な傾向＞　･･･CO2排出量は頭打ち

- 物流分野は、運輸事業者の努力によりCO2が減少傾向
- 業務交通、マイカー利用も2001年度をピークに微減傾向　？　景気、低燃費車両の普及に起因？
  ？　京都議定書の削減目標にはほど遠い

＜つくばでは?＞

- 市域内は典型的な自動車依存型社会
- 脱却は可能か？
  ？　都市におけるマイカー利用の観点から発言

いろいろなところで環境リスク・コミュニケーションとして，自動車からバスや電車を使う行動に行動変容するリスク・コミュニケーション・プロジェクトをしているのですが，恐らくつくば市，茨城県に在住の方は車をすごく使っていると思うのですが，例えばこういうグラフを見て，「あ，車，やめよう」と思われる方はどのぐらいいらっしゃるでしょうか。小学生などはこれを見てすごくびっくりするのですが，大人の方はこれを見ても，「まあ，そうかもしれないけど，ちょっと無理だな」と思われる方が多いのではないかと思います。

そういう意味で，環境のみを動機付けとしたコミュニケーションで態度や行動変容を促すというのは，よほど意識の高い層以外は難しいと私は思います。環境というのは，専門家の方々以外の方には「ヒマラヤの氷河が解けても」と，南極の氷が解けてもあまりぴんとこないのですね。

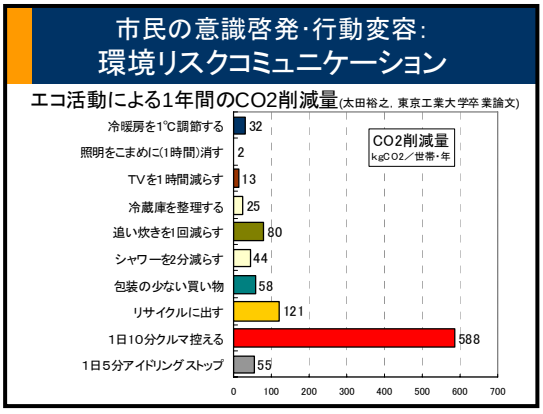
そういう意味で，例えば国別の肥満度と徒歩・自転車・公共交通の利用率です。アメリカは肥満度がすごく高い，そして自動車の利用率が非常に高い。こういうグラフを見せられると「あ，ちょっと健康に気を使って，公共交通でも」と，もしかしたら思われるかもしれません。

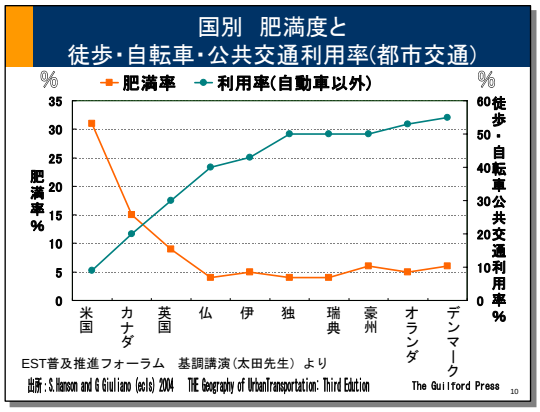
それから，これは長いので結論だけ申し上げますと，ある調査で，「子供のころに車ばかり使う家に育った人間は，大人になると傲慢な人になる」という結果が統計的にきちんと示唆されています。こういうものを見ると「あ，ちょっと子供を車に乗せるのをやめようかな」と思うかもしれません。

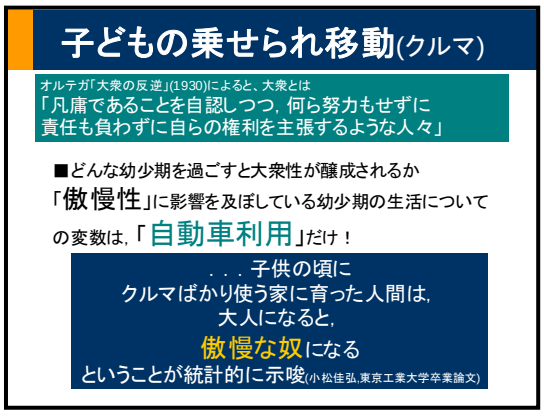
そういう意味で，交通事故，健康，コスト，子供のモラルなど，ほかの動機付けも援用したコミュニケーションが必要ではないかと思います。

ソフト施策（教育，コミュニケーション），私が専門としているようなことと，ハードの整備，ちゃんと使いやすい公共交通を造る，ですとか，自動車の単体対策をするなど，そういうものの適切な組み合わせで総合的な交通のマネジメントの視点が不可欠ではないかと思います。

私からは以上です。







（渡邉）　どうもありがとうございました。全く違った観点から，意識啓発・啓蒙というものに関して，環境だけからではなくて健康とごう慢性というところで非常に面白い提案だったと思います。

今，3 人のパネラーの先生にいろいろ意見を述べていただきました。ではほかのパネラーの先生から意見を聞きたいと思います。田中先生，どうぞ。

（田中）　これは多分鈴木先生が言われた方がいいのかと思いますが，先ほどの話の中でプロジェクト・

マネジメントという話がございました。夢を膨らますのは結構楽しいのですが，リアリティーはこうだよということで突然冷水を浴びせられたという，皆さんがハッと気が付いたという瞬間だったと思うのですが，今日もいろいろお話がございました。いろいろな研究組織がそれぞれの思いでプロジェクトを進めておられるわけで，それをインテグレートして，つくばエコシティー・イニシアティブにまとめていかないといけないわけですね。ですから，まず2013年で帳尻を合わせるということも重要ですが，少なくともそれに向かって全体のインテグレートしたシナリオを作る，そしてアクションプランをきちんと決める，あるいはロードマップを作るという作業が必要で，そのためのタスクフォースを作るということを提案したいと思います。

多分これはつくば地区の横の連携の組織である筑協が中心になっておやりになるだろうと思っておりますが，理事長さんばかりが集まっても結局エフォート率 2%ぐらいでは何もできませんので，エフォート率 100%近い，あるいは半分以上やるという方を数名そろえて，しっかりと進めていただくことが重要だと思います。そこで決められたことを実際に決断していただくのは，今は法人となって裁量権の自由度を持った理事長さんたちの大きな仕事になるだろうと思います。

（渡邉） 非常に適切な提言，どうもありがとうございました。まず，とにかく 2012 年に向かってのシナリオづくりに向かって，我々のさまざまな取り組みを統合する，そのときに重要な役割を持つのが筑協であること。それには数%のエフォート率では駄目で，半分以上のエフォート率を持つ人がきちんと運営しないと駄目だという，誠に非常に適切で見抜いた提案であります。

さて，パネラーの方でほかにございませんか。そうしたら少し会場からの意見をもらいたいと思います。一つだけ注意してほしいのですが，時間が限られておりますので，質問は非常に明確でなるべく簡単に，長々とならないように，その分いろいろな人の意見がいただけることになりますのでご協力よろしくお願いします。基本的には 2030 年に向けて 50%削減という目標に向かって，取りあえず短期的にどういうことをするのかという前向きの姿勢でいろいろなご提案をお願いしたいと思います。会場からご意見をいただきたいと思います。どうぞ。

（フロア 4） 都市交通の信号に関して一つコメントがあるのですが，つくばの道路事情に関連して。最近，先ほども申し上げましたが，交通信号の LED 化が非常に進んでおりますが，ところがご存じの方も多いと思うのですが，交通信号の機能性が日本は非常に遅れています。例えば中国に行きますと，田舎でも交通信号の LED 化が進んでいるのですが，その機能が，例えば信号が変わるまでの時間がデジタルで表示されているものが非常にたくさんあります。それから，日本では単に青・赤・黄色だけを表示していますが，例えばアモイですと駐車場の空き率や道路の込み具合までデジタル表示ができるようになっておりまして，そこまで今までの信号をデジタル化するだけではなくて，もっと機能を充実したようなことをやっていくべきではないか，そういうのをつくばでも，つくばに限らず日本でも取り入れた方がいいのではないかと。

（渡邉） かなり具体的な提案だと思います。交通の問題として，信号の機能というものを非常に充実していく必要があるというご提案だったと思います。

他にございませんか。どうぞ。

（フロア 15） つくば・市民ネットワークという市民グループから，つくば市議に出ております永井と申します。

昨日，今日と連続して聞かせていただきました。市民の立場から何ができるのかということに大変興味があって参加させていただいたのですが，まずこのイベントがつくばの中では全く宣伝されていないということで，私たち市議でも全く知りませんでした。コンタクトを取っている学生の方がメールで送ってくださって，それで伺ったという状況で，非常に残念でなりません。

昨日の話の中で 2 点ほどお聞きしたいのですが，内山先生が，まずは都市の産業構造を変えてエネルギ

一の使用を少しずつ減していくとおっしゃったのですけれども，産業構造を変えた場合，生産部門はどうしても第三国，途上国に行ったりするわけで，その辺りのことは世界全体としてはどう考えたらいいのかということ。それからつくばの問題に移りますと，先ほど原沢さんから具体的な課題がこれから出てくるということだったのですが，市民としてはむやみやたらに頑張れと言われてもなかなか頑張れないので，でもぜひやりたいという気持ちは皆さんお持ちだと思うし，つくばの中では研究者の家族がたくさん住んでいるわけで，特に学園地区ではそういう意識は非常に高いと思います。ですから，民生部分で何%減すにはこのぐらいの努力をこういう部門でやったらいいのだということが細かく示されると私たちも非常にそれに取り組みやすいということがいえると思いますが，今回の 3E ではそういう具体的な行動計画まで出されるのかどうか。その辺りをお願いいたします。

（渡邉）　それでは，内山先生，お願いします。

（内山）　産業構造については，既にオイルショック以降，日本は随分変わってきてはいます。ご指摘のとおり，素材産業や製造業の生産拠点がかなりの面で海外に移っている面もあります。日本の産業部門は全体のエネルギー消費の 5 割を消費している。そのうち素材部門がその中のさらに 7 割，日本のエネルギー全体の 35%が素材産業ということを考えますと，産業構造を変えるならその部分を海外へ持っていけばいいではないかということになってしまうのですが，それでは世界全体の解決にはならない。まさにご指摘のとおりです。

そういう中で素材産業の影響をどうするかというと，やはりこれからはリサイクルですね。例えば鉄を造る場合は，高炉で現在かなり造っていて，最近は電炉が増えてきていますけれども，リサイクルすることによって製品の種類を変えていく，製造構造を変えていくという点が省エネにつながっていく，また CO2 を抑制することになるわけです。素材産業についてはそういうことができるところ，例えばプラスチック系もリサイクルを使うなど今はさまざまな工夫が行われていますので，それをさらに積極的に進める必要があります。もちろんこれについていろいろな批判はあります。リサイクルなんてお金が掛かることでそう簡単にはできないとか，あるいはできた製品は質が悪いという課題も数多くありますが，その辺の技術開発をこのつくば地区からいろいろな形で発信していけば，将来ほかの国々でも同じような問題が発生しますので，そういうことに役立つのではないかと思っております。

それから 2 番目の，市民がどうしたらいいかということについて，これは環境省の「チーム・マイナス 6%」や省エネセンターなど既にいろいろなところに市民向けの情報がインターネット上に出ております。それを見ると，先ほど谷口先生からの図もありましたが，何をやったらどのくらいの CO2 を削減できるかというメニューがあります。その行動指針のようなものを恐らくこの 3E フォーラムでも将来つくば市用に作って，地域用に何か作るということが一つの発展する方向かなと私も思います。

（渡邉）　どうもありがとうございました。

それでは，だいぶ時間も差し迫り始めましたので短期的なところはこのぐらいにしまして，今度は 2030 年という，こちらが目標とするところに向けて，いろいろな立場からどんなことをすればいいのかというような意見をこれからいただきたいと思います。まず，パネラーの先生からご意見をいただきたいと思いますが，まず大和田野先生，お願いいたします。

（大和田野）　それでは，私の方から長期的にどういうことが必要であるか，特につくばで CO2 の 50%削減に限って言うとどういうことが必要かということについて私見をご紹介したいと思います。

まず，私が最後に質問しましたように，つくば市でということになるとつくば市が将来どういうふうになっていくのかということをビジョンとしてきっちり持っておかないといけない。一生懸命やったのだけれども実はほかのところが大きく変わっていたと，もちろん未来予測ですから不確定性はいろいろあると思いますけれども，つくばが全体的にどういう都市を目指すのか，具体的には人口はエネルギー消費に非常にダイレクトに結び付くところだと思います。そういう意味で現状，将来分析等，それに対する都市計

画が非常に必要だと思います。これは個々の技術ではなくて都市をどう計画していくか，これも長期的な話ですけれども，ぜひバックボーンとしては大切な部分ですので長期的なプロジェクトには組み込むべき要素だと思います。

それとは全く別の要素で，それを支えていく人材の持続性を考えると，人材の育成も非常に重要で，それにライフスタイルが絡んでくるということを考えますと，文化系，社会学などを含めた将来への人材育成，きっちり省エネルギーをやるときにはどういう技術が確かなのかという目利きのできる人材の育成が非常に重要だと思います。

それ以外では，個々の，主にエネルギーの観点から申しますと，先ほど話に出なかった一つの要素は，再生可能エネルギーの導入はもう一つ大きな要素としてあると思います。省エネルギー以外に，太陽光発電はかなり商品になっていますので導入しやすいと思うのですが，これをできる限り導入していくというのはCO_2削減の一つ大きな助けになるし，これは促進されるべきと思います。

それ以外は，今度は私たちの行動計画として，もちろん市民の話というのは今出ましたけれども，つくばにあります機関がそれぞれにきちんと行動計画をオープンにし，それを着実にやっていくことが必要だと思います。特に国の予算，税金で成り立って運営している者の役目としては，やはりこれぐらいの期間にこのぐらいのエネルギーを削減しますと行動計画を示す義務はあると思います。強制されるものではないと思いますが，これを公開し合ってお互いに比べることは効果があるのではないかと思います。

最後に，これはかなりの方がおっしゃっていますが，交通網です。つくばにおいては残念ながら車社会が定着してしまっていて，これをいかに変えて効率のいい交通システムに変えていくか，これは都市計画も含めた観点が非常に必要ですが，これはぜひやるべきですし，やれば効果があることではないかと思っています。以上です。

（渡邉）　どうもありがとうございました。

それでは，田中先生，お願いいたします。

（田中）　まず，先ほど，タスクフォースを作るべきである，それに係る人が必要であると申し上げましたが，その一つの仕事としては，先ほどのご質問にもありましたけれど，市民にいかに活動内容を知らせるか，いかにコミュニケーションをとるのか，いかにパブリシティーを高めるかということについて，例えばウェブ開設をするとか，今日のお話の資料を公開するといった仕事も含まれるだろうと僕は思います。それを付け加えておきます。

私が提案したいのは二つありまして，一つは人材育成につながる問題です。つくばモデルというのは，小中高生を含む全市民に共通の目的を持たせて夢を抱かせる，参加を促すことができるイベントであるととらえることができます。これは運営次第だと思います。また，多くの研究機関，ほとんどが独立してやっているというのがこのつくばの大きな特色なのですが，そこに共通の横糸を通して一体となって一つのプロジェクトを遂行する機会をつくる，そういうイベントだろうと思います。特に私が強調したいのは，最近夢を持てない中高生，10代の若い人たちがいます。これは数年前のデータですが，同じようなアンケート方式で世界各国の若い10代の意識調査をしたときに，「将来に夢を持っているか」という設問に対する答えが大変印象的でした。日本は，夢を持っていると答えたのは50%以下なのです。中国は90何パーセントが夢や野心を持っているということになっている。ほとんどのところが50%を超えているのですが，日本は40%台という大変ショッキングなアンケート結果でした。

そういうことを考えますと，これは具体的な提案なのですが，筑波大学に特別のカリキュラム，あるいは学科を作ったらどうだろうか。2030年，あるいは継続して2050年ぐらいまで，あるいはそれ以上やる意義のある，あるいはやらなければならないイベントだと思いますので，特別の学科を作り，学園の特徴を生かして各研究機関の研究者を，連携大学院等を通して講師としてそこに集める。そして，そこが技術的な，あるいは人材育成のためのコアになったらどうかと思うわけです。そして，連携大学院のスタッフが在つくばの小中高校へ時々Eco の問題について特別講義に出掛ける。そうすることによって，小中高生に大人と同じような目的意識を持たせて，うまくいけば夢を持って全市一体となったプロジェクトになる

のではないかと思うわけです。

特に 2030 年，2050 年といいますと，今日のパネラーの方で何人の方が生きておられるか，これはなかなか分かりません。むしろ，われわれが目指す目的が現実になる時代に最も活動性の高くなる世代，つまり今の小中高生の意識を高める，そして夢を持たせることが重要なのだろうと思います。このことを私は筑波大学に提案したいと思います。つまり，数字を達成するというのは重要なのですが，共通の目標に向かって行動するときに人が大きく育つということを私は指摘しておきたい。これが第 1 点です。

第 2 点は，こういうエコモデルシティーをうまく運営していきたいと思うわけですけれども，そのインセンティブを寄り高めるために、そういう国際都市を世界に呼び掛けて，あるいは洞爺湖サミットで呼び掛けて，各国が幾つかつくればいいと思うのです。そういうエコモデルシティーの国際ネットワークをつくったらいかがでしょうか。恐らくそれぞれの文化に従ったやり方で同じ目標に向かって努力している市民の交流の機会が将来出てくるのではないかと思うわけです。

ほかに私の専門の科学技術の提案もあるのですが，時間の関係で割愛いたします。

（渡邉）　どうもありがとうございました。筑波大にかなりの提案であります。後で筑波大の意見を聞きに会場に振りますので，ご覚悟ください。

その前にもう少しパネラーの意見を聞いていきたいと思います。まだ聞いていないパネラーがいますので。

鈴木先生，お願いいたします。

（鈴木敦）　こちらに伺うのは大変久方ぶりで，昨晩研修センターに泊まりまして，今朝近くのバス停からこちらにバスで来ました。通り道にコンビニエンスストアがあったのでそこで買い物をしてベンチで食事をしたのですが，そのとき分かりましたのは，駐車場が 10 台ぐらいあって，見ていると数分の間に 4～5 台来るのですね。そんなに長い間観察したわけではないのですが，歩いてきたグループは一組，ほとんどは自動車で来られて，中にはエンジンをかけたままでさっと買ってさっと帰る人がいました。ということは，こちらの買い物は完全に自動車依存になっているのではないかと思いました。たまたま今，東京都心に住んでいるので，もちろんコンビニエンスストアも行きますが，自動車で行くというイメージは全くなかったのです。しかし，やはりあれが完全に生活に定着しているということを今日観察させていただきました。

先ほどのスライドで見せていただきました谷口先生の態度変容の話ともかかわってくると思いますが，実は 2 年ぐらい前に，アメリカの社会学者というのでしょうか，メディア研究者のやっていた理論を勉強したことがございます。SOS（Spiral of Silence）という理論で，ナチスドイツの時代にドイツ人はなぜ反対しなかったのかと。あの時代，反対意見を述べるということは完全少数派ですので，実際に身の危険もあったかもしれませんが，それよりも先に多数派に属しないということでいろいろ心理的負担があったと。これがいろいろなところで，要するに戦後も，アメリカのような非常に自由な国であっても SOS は成り立つという理論だったと思います。

実は現在の状況を見ますと，環境問題については多分 Eco 派の方が多数派になっていると。ですから，多分アンケートをやってもそれに反対する意見はあまり出てこないと思うのですね。ただ，経済学の費用便益分析などでよく出てくる概念なのですが，それは結局 Stated Preference であると。聞けばそのように答える。ただ，実際の行動は実績，Revealed Preference は逆の場合が非常に多いと。ですから，経済学の回帰分析などだとあまりアンケートデータを使うなといわれておりまして，実績データに依存した方が確実な分析ができると。今の状況からすると，そういうギャップがある程度あるのではないかと思いました。

そういうギャップをなくす方法はいろいろあると思うのですが，一番いいのは市場メカニズム。市場で何かものを買うときは本音で買いますので，そういう市場メカニズムに乗せてしまうと。もちろん長い目で見て啓蒙をしないといけないと思うのですが，目先のことを考えたときには市場メカニズムを使うのは非常に有効ではないかと。例えば，非常に小さなことかもしれませんが，いろいろなデポジット制度ですね。外国ですと瓶のデポジットが非常に多いと思いますが，いろいろなものについてデポジット制度を入

れれば，たとえわずかな金でもデポジットを回収したいということでみんなそういう行動に出る。それは別に啓蒙されたからというわけではなくて，やはりお金につられてという面があるわけですね。それでもいいのではないかと思います。

（渡邉）　どうもありがとうございました。いろいろなギャップがあって，それをどう埋めるかを，市場メカニズムというものを導入する必要性を話していただいたと思います。

次に，村田先生，お願いいたします。

（村田）　私はいつも思うのですが，環境問題の話になると100年後にどうかという話にどうしてもなりがちなのですね。人間はやはり，いつも今の自分にどういうふうに関係があるか，つまりそれが不利益になるのか，利益になるのかという観点からでないとなかなか実感がないと思うのですね。今の自分にどういう関係があるかというところから気付きと教育をしていくことが必要ではないかなと。

例えば，レジ袋をもらわない方がいいとみんな分かっていても，自分がもらわないで行動するとどういうことになるのか，もらったらどういうことになるのか，これは実感がないと思うのですが，レジ袋は1枚当たり石油が約20 mL使われているのですね。東京都で今年10月にこういうキャンペーンをやったのですが，とにかく1カ月間レジ袋をもらわないというのをやってみましょうと。もし，これを500万人が実行したとすると，1カ月間でレジ袋を1億枚削減できるのですね。都民一人当たりは年間250枚のレジ袋を使っています。月に直すと約20.8枚，20枚ぐらいなのです。年間にすると300億枚ですから，そのうちの1億枚を削減したとすると，少ないようですけれども約1万tのCO2削減になるのですね。500万人が1カ月レジ袋をもらわなかったとすると，その1億枚のレジ袋の高さというのが3120 m，日本アルプスの赤石岳と同じ高さになるのですね。ものすごい量ですよね。それだけのCO2を，例えば車に乗らないとか，何をしない，かにをしないということで削減しようと思ったら大変な努力が要るところが，「レジ袋は要りません」と言うだけでできるのですね。

大事なのは，必要不可欠なものと，どうしても必要ではない，なくてもいいというものとを区別して，消費と浪費を区別して考えることだと思うのです。もう一つは，自分たちが今使っているエネルギーやさまざまなものが本当に適正なのかどうか。たった一度しか使わないレジ袋をもらって帰ってくるということが本当に正しいのかどうかを，自分の生活の中で考えてみるということだと思うのですね。自分の生活の中で実際に実感できるところからの呼び掛けをしていくというのが大事だと思うのです。リサイクルやリデュースは大事なのですけれども，リフューズ（refuse），要らないものは要らない，使わなくていいものは使わないようにしていくという行動に結び付けていくようにする。

それのとてもいい方法としてアダプト・プログラムというのがあるのですが，地域社会を使って，地域で何でもいいのでグループをつくってもらって，そこで老若男女みんな一緒に活動しながら，その活動には補助金が出ますので，地域の公道をきれいに掃除をするという活動をしてもらうのですが，そういった地域社会を活性化させていくということで，地域社会の中に家族の縮図をつくっていく。今は血縁関係だけの核家族になってしまっていますが，地域社会の中に環境をコアにしたグループをつくって，そこに疑似家族のような人間関係をつくっていくと，地域と地球と両方一遍に貢献ができて，なおかつ自分たちの生活に密着したところから実感のある活動ができるのではないかなと。

従来型の，あるいは現行でやっているような経済の構造，社会の構造でCO2を減らしていきたいというのは無理だと私は思います。どこかで変えていかない限りは，今までと同じことをやっていてCO2だけ減らしたいというのは絶対に無理だと思いますので，変えていかないといけない。今の社会は経済も環境も両方良くするということが可能なエコ・エコノミー社会を実現することができる状態になりつつあると思いますので，こういう具体的なところからやっていけたら違ってくるのではないかと思います。

（渡邉）　どうもありがとうございました。われわれの暮らしの中で消費，浪費というのをしっかり見定めながら，地域の中でもそのようなコミュニケーションを取りながらやっていく重要性を話していただいたと思います。

もう少し長期的な観点から，あと3名のパネリストの意見を聞きたいと思います。内山先生，今度は長期的な観点からご意見をお願いいたします。

（内山） もう既に先生方から将来に向けた対策が随分出たような気がします。やはり，一つ大事な流れとしましては，環境の価値をどうやって経済活動に内部化できるか。あるいは，人々のライフスタイルにその認識を高めていくかという工夫がいろいろな形で必要になってきているのかなと。従来の物質文明社会は使い捨てが基本にあったわけですから，それがこれからどんな形で改善されるのか。こういった問題は各地方都市のすべてが抱えていることですので、このつくばから発信することが大切です。車社会，あるいはさまざまな大量消費社会，そこをこのつくばの中で具体的なマイルストーン，あるいはロードマップみたいなものを作って発信していく。

もう一つ大事なのは，この学園というのは研究都市であるということから，先生方が今おっしゃった，教育も含めてさまざまな取り組みに対して技術がどういうふうに役に立つのかということも知らせる必要があるのかなと。どちらかというと，今までの日本の技術開発はシーズ・オリエンテッドということで，技術が社会を変えるのではないかという流れだったと思うのですね。いい技術ができれば世の中もそれに伴って変わるのではないかと。しかし，最近はどうもニーズの志向が強くて，ニーズにどうやって技術を合わせていくのかというところが非常に求められてきている。まさに総合的な技術開発が必要になってきているような流れになっていると思います。そういう視点から，今までのつくばの学園の発展の在り方もどちらかというと中央官庁からの流れを期待していたということだったのですが，これからは地方から中央に向かって何が発信できるのか，それに関してモデルを作って各地方都市に役に立たせていくような整備づくりが求められているのかと私は思いました。

（渡邉） どうもありがとうございました。

それでは，原沢先生，お願いいたします。

（原沢） 先ほどのご質問にも少しかかわるのですけれども，やはり基本的に今どんなことが世界で起きているのか，なぜCO2削減をやらなければいけないのかと，昨日は温暖化の影響をお話しさせていただきましたが，やはり健全な危機感を共有しないとCO2削減に本気にならないのではないかということが一つあると思います。今回の場合は2030年で50%削減という目標を立てたということで，このフォーラムの一つの大きな仕事はできているのではないかと思いますが，先ほどご質問にあった，では私たちは何をやるのかというところ，COP13でいうとバリ・ロードマップのようなものを早急に作らないとなかなか説得力がないし，つくばも変わっていかない。そういう意味ではもう一つ，目標設定のほかに重要なのは，期限を決めていつまでに何をやるというロードマップをこの場で作るような方向に持っていかないと，こういった会議を何回開いても一歩も二歩も前進しないのではないかというのが個人的な感じであります。

今日も技術の話がいろいろありまして，やはり技術はすごく進んでいるなということで，研究の蓄積もありますし，最新の研究もあるというのをどうやってつなげていくかというところで，そうはいっても技術だけではやはり解決できない。いわゆる制度的な問題，これは法律も含めて経済的なインセンティブ，つくば市だけ環境税を入れる，排出量取引をやるというのはなかなかできないですけども，やはり人々の意識を高めて，かつそれを行動に結び付けるところで経済的なインセンティブや市場のメカニズムをうまく使うような方法もつくば市から発信できたらなと思っています。

ライフスタイルなのですけれども，先ほど村田先生からもお話があったようにいろいろなやり方があると思うのですけども，やはりなかなかうまくいかないところもあったりするので，それを一般の人たちや研究者も含めて考えていくような，多分それがこのフォーラムの役割ではないかと思います。

技術については，私の経験では，例えば今日もご説明がありましたが群馬県太田市で500戸ぐらいの住宅に太陽光パネルを張って実験をやっているということですが，あれがもし日本全体に広がったらかなりいいなと私自身は思ったのですね。いわゆる再生可能エネルギーをどこまで頑張れるかというのが一つの大きなポイントになってくるというのはご指摘の通りだと思います。ただ，今の状況では太陽光発電をど

んどん普及していくようなメカニズムがないのですね。茨城県，つくば市は補助金があるということですが，国全体で後押しするような，基本的には省エネ法などもＲＰＳ法ということで非常に小さな目標を設定してやっているとか，その辺ドイツは固定価格買い取り制度を使って一挙に普及を図っているということもあるので，そういう意味では技術だけではなくて制度面の話とライフスタイル，三位一体の対策にうまく持っていかないと 2030 年で 50%減はなかなか難しいだろうなと思っています。

その中核になるのがやはりライフスタイルの変革ということで，これはいろいろいわれていますけれども，例えばつくばの場合は研究所が多いということで，われわれは研究所で働いている人間であり，家庭で過ごしている人間でもありますので，そういう意味では家庭部門だ，事業部門だということではなくて，分野横断的な対策もあってもいいのではないか。これは私の案ではなくて，実際に自主的行動計画の中で，各企業の，例えば家庭に帰ったら家庭人として環境家計簿を書けたり，あるいは通勤に使う交通をどちらで分けたらいいかというのがすぐ問題になりますが，やはり企業人として家庭人として両方考えて交通の問題を考えるとか，やはり分野横断的なものが考えられる素地がつくばにはあるのではないかと思うのですね。

そういう意味で，今日のフォーラムは 1 回目でありますが，早く行動計画を打ち出して，市民の方の共感を得て具体化していく方向へ持っていかないと，昨日お話ししたような温暖化を止めることはなかなかできないのではないか。つくばの第一歩は茨城県の第一歩になりますし，もしかすると日本の第一歩を築く重要な一歩になるのではないか。ちょっと大げさですが，コメントです。

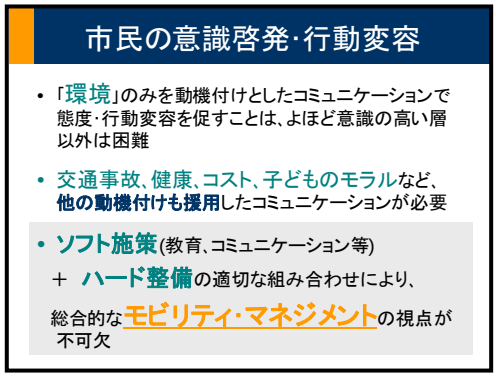
（渡邉）　どうもありがとうございました。

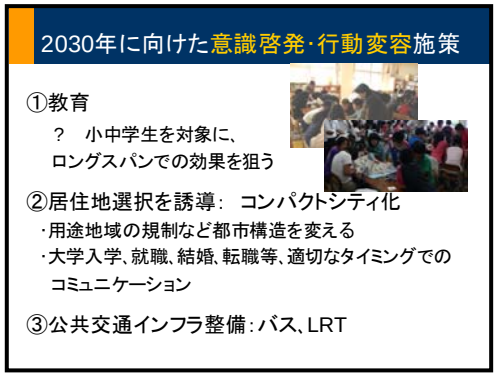
それでは，谷口先生，最後に残ったスライドがありましたね。あれをお願いいたします。

（谷口）　ただ今，原沢様と内山先生からほとんどまとめのようなことをおっしゃっていただいて，私のはかなり各論になってしまって申し訳ないのですけれども，また交通のことに特化した話をしたいと思います。

2030 年に向けた運輸部門というか，都市交通の意識啓発・行動変容の施策について私が何を大切だと思っているかというと，一つは教育です。先ほど何人かの方，田中様もおっしゃっていたのですが，小中学生，高校生，大学生を対象に，ロングスパンでの効果を狙う。小中学生は今は車を運転しませんし，決定権も持っていないのですが，彼らが大人になったときにどういう交通行動をするか，そこを狙う。そこで，私はこういうふうに月 1 回ぐらい小学校や中学校に行って授業をする機会がよくあるのですが，草の根的に単発で終わってしまうことが多いのですね。自治体の方が予算があるときに私を呼んで授業をして，2 年ぐらいで終わり。そうではなくて，先ほど田中様がご提案されていたように，もう少し体系的で継続的な体制がつくれればと思います。

それと，居住地選択，コンパクトシティー化を二つ目に挙げたいと思います。一つは，用途地域の規制など都市構造を変えるというのもあるのですけれども，恐らく皆さまで車しか使わないという方は，バス停や電車から遠いところに住まわれていると思います。それで「公共交通が使えないのです」とおっしゃる方が多いのではな





いかと思います。そういう意味で，例えば引っ越すタイミングですね。大学に入学する，就職する，転職する，結婚した，そういうタイミングで公共交通に近い場所に住むようにすれば，かなりコンパクトなまちづくりにつながるのではないかと思います。

これも先ほどから皆さんおっしゃっていましたが，公共交通のインフラ，バスやLRT，例えば，どうなるか分からないですが，TX を延伸して筑波山までやるとか，そういうことも長期的には考えていく必要があるかと思います。以上です。

（渡邉） どうもありがとうございました。

各パネラーの先生からいろいろな意見をいただきました。これから会場との間でのディスカッションを進めていきたいと思いますが，会場からフリーなディスカッションをいただく前に一つ二つお願いしたいのですが，質問者は必ず自分の所属，お名前を言っていただきたいと思います。貴重な意見をいただいたときに後ほど資料として残していきたいと思いますので，ご協力お願いします。第二点は，先ほど田中先生から筑波大にボンと振られた課題がありまして，それに関して筑波大はきちんと答える義務があるのではないかと思いますので，取りあえずフォーラム議長の井上先生にお答えしていただければと思いますが，いかがでしょうか。

（井上勲フォーラム議長） いつも私は大きなボールを投げ掛けられるのですけれども，田中先生，ご提案大変ありがとうございます。私，個人的には全く大賛成で，私自身が目指しているところが，筑波大学はこれだけの人材がいる，子供たちは非常に意欲がある，そういうところでちゃんと教育のシステムをまち全体で考えていくことが非常に大事だろうと思っていますので，私自身はそれを進めるように努力してまいりたいと思っております。

今日は学長がお見えになっていないかと思うので，先生。

（泉 筑波大学副学長） 最後に閉会のあいさつをする予定になっております副学長の泉でございますが，閉会前にマイクが回ってきましたが，今，フォーラム議長の井上先生がおっしゃったとおりだと思います。

昨日冒頭に岩崎学長から筑協の会長として，あるいは筑波大学の学長としてのごあいさつを申し上げたと思いますが，その中でもこの取り組みを通じた人材育成，教育の取り組みというのは非常に大事であって，それはやはり大学がしっかりと受け止めてやらないといけない，ということがあったと思います。それに対するより具体的なご提案だったと受け止めております。谷口先生も本学の先生ですけれども，そういう取り組みをより組織的にやれるように，かつそれが先ほどのご議論の言葉で言えば，Stated Preference ではなくて Revealed Preference になるように努力していかなければいけないと思います。

（渡邉） どうもありがとうございました。非常に前向きの，ご回答だったと思います。

それでは少し会場からご意見，どうぞ。

（フロア 6） たびたびすみません。国立環境研究所の藤野です。今回こういう場が持てたということは非常に意義があって，非常に重要なことだったと思います。手短に3点言います。

まず，評価の仕組みをきっちり作ってほしい。いいことをしたら褒める，悪いことをしたら怒るというような評価の仕組みをぜひ作ってください。どういう意味かというと，仙台市でレジ袋の有料化の条例が通って，1枚20円になったのです。そうしたらどうなったかというと，主婦の人は，その前は3割の人がレジ袋は要りませんと言っていたのが，8 割の人がレジ袋は要りませんということになりました。そういうふうにきちんと褒めてあげることが大事だと思います。主婦は主婦の中で多分最適な行動をされるので，ルールさえしっかり作ればそういったことをやってくれるのではないかということです。それは市役所なり，県なり，中央政府の役目だと思います。

それから，部分最適化，全体最適化の話がありまして，原沢さんがおっしゃったように自主的行動取り組みで産業界はもう本当に涙ぐましい努力をしています。ただし，それは部分最適化であって，いくら自

分の中で，家の中で家計簿をつけても限界がある。つまり，全体最適化に向かっていかないといけない。そのためには多分ビジョンが必要だと思うのですけれども，ぜひどんなつくば市にしたいかというビジョンも合わせて，若い人の力も借りて，どんな町にしたいのかというのも書けないかなと思います。

最後は，田中さんのお話にもかかわるかもしれませんけれども，こうやって筑波大学がリーダーシップを発揮しようとしていますから，関連の研究機関はぜひはしごを外さないように。環境研，産総研，いろいろなところもはしごを外さないように，積極的に喜んでやるぐらいにやらないと，「結局つくばって仲悪いね」ということで終わっちゃう。お客さんはアジアだと思います。アジアの都市はこれからもますます発展します。そういったときにアジアの町がロサンゼルスのように高速道路いっぱいの町になるのか，それともつくばが歩いて暮らせるまちづくりができたらそういうところを目指してもらえるのか，そういうところも広い視野を持ってぜひやっていただけたらと思います。もちろん私もわずかながらご協力します。日本70%削減をやっています。

（渡邉） どうもありがとうございます。

（田中） はしごを外さないように，というのは大変重要なコメントでして，そこが一番大きな問題なのですね。ただ，先ほども少し申し上げましたが，2000年になって大学も国立研究所も法人になったわけです。ある限界はあるけれども，トップマネジメントは自分の自由裁量権を獲得しているのですね。重要なミッションであるならば自分の決断で支出を決定することができるようになっているわけです。そういう意味では，この筑協というのは組織としては変わっているはずで，エコシティー・イニシアティブを中心にして，つくばにある独立行政法人，あるいは学校法人のトップマネジメントの見識が試されますし，また決断というものをきちんとしていただきたいと私も個人的に希望しています。

（フロア 6） それで，例えば総合科学技術会議とか，そういう評価をされるところで，そういういいことをしたらぜひ評価してください。S，A，B，CでSをあげられるように。

（田中） その通りですね。ただ，総合科学技術会議も，ここではあまり言いませんけれど，いろいろな現実の中で翻弄されているところもありますが，少なくともタスクフォースとしては，例えばこちらがこういう決定をしてイニシアティブをやっています，ということをむしろ上に投げ掛けて，マッチングファンド的に国のリソースを誘導するぐらいのことが必要だと思っています。アメリカはみんなそういうふうにしているわけですね。お上のお金を待っているだけでは駄目だと思います。

（渡邉） はい，ちょっと待ってください。今，総合科学技術会議の話も出ました。今回のフォーラムの主催の一つになっているところですが，やはり総合科学技術会議もこれをどのようにサポートしていくかというのが非常に重要なところになってくると思います。今日は総合科学技術会議から丸山政策統括官が来ていると思いますので，ちょっとご意見いただけますか。

（丸山政策統括官） ただ今ご紹介いただきました，内閣府の丸山でございます。

大変心強いお話と，国へのきちんと評価をしろというお話をしっかりと聞かせていただきました。この3Eフォーラムの狙いは，S，A，B，Cの評価というのはどちらかというと研究開発の優先順位を見ているわけですけれども，今回の狙いというのは，技術と制度と市民の行動意識というか，技術の範囲を超えたところでの新しいイノベーションを目指すというのがポイントだと思いますので，ぜひわれわれも単に技術という視点だけではなくて，技術を取り巻くいろいろな問題も含めてしっかりと見て応援をさせていただきたいと思います。

（渡邉） どうもありがとうございました。会場から拍手が出ていますので，よろしくお願いします。

それでは，何かご意見，どうぞ。

（フロア 16）　つくばバイオマスもみがら研究会の藤田といいます。茨城県の商工労働部のいばらきサロンが事務局をやっていただいています。

今回こういう機会があって楽しみにしてきましたが，聞いておりました範囲では，第 1 回日本 3E フォーラムかなという気がしてしょうがありませんでした。できたら第 2 回のときにはつくばの現状を調べた上で，つくばの現状を見ながらフォーラムをぜひ開催していただきたいと思っております。つくばは，私の認識では基本的にクリーンセンターしか持っておりません。そして，すべて燃やしています。立派な街路樹があって，たくさんの公園があって，そこから集めた落ち葉をみんな燃やしています。そういう現状から話が始まらないと，いわゆる堆肥センターとか発酵させるとかいう，生ごみも全く同じで燃やせばいいというものではないと思っていますので，ぜひそういう機会を持っていただければと願っております。今日はありがとうございました。

（渡邉）　どうもありがとうございました。今言われたことは十分頭に入れながら進めていくというのが皆さん共通で思っているところだと思います。

その他，どうぞ。

（フロア 7）　すみません。ちょっと風邪をひいていまして。

先ほど話に出ましたが，私も出勤簿の前にこのビラが張ってあったのに気が付きまして，誰かに頼んでその縮小コピーを頂いて，ちょうどほかの出張があったものですから寒いところに行って風邪をひいて，土日は休もうと思ったのですがやはり関心があったものですから少し遅れて参りました。

それで，やはり先ほどのお話のように，教育を含めて課題は多面的だという印象を強く受けまして，来たかいがあったなという感じがしています。ただ，気になるのは，つくばモデルはどうもまだ具体的なイメージがわきにくいというのですか，下手をすると言葉が独り歩きをする可能性があるという気がしています。今回は大学が中心ですけれども，先ほど話がありましたように自治体は 1000 億円の予算を持っている。こういう場合は地元自治体，県と市がやはりビジョンをはっきり示してですね。どうもつくばというのは，私も JIRCAS はまだ 4 年ぐらいで，その前は農林行政をずっとやっていたものですからあれですが，やはり自治体固有の役割，組織力もありますし，ネットワークも市町村を含めて持っていますし，1000 億円というのはかなり大きい自治体になりますので，そこが核になってビジョンをはっきりさせてやっていくということが大事かなと思います。特にそういう面ではリーダーシップですね。その際に大学や独法の研究者がそれぞれの分野で貢献していく，協力していくということではないかという気がしています。

もう一つは，3E とありますが，端的に言いまして，三つ目の E がほとんど影がないという感じがあって，3E なのか，2E なのか。つまり，社会科学の角度からのいわばソーシャルサイエンスといいますか，少しディメンションが違いますが，個別科学を少しまとめるようなお手伝いをする。限界はありますけれども。そういう側面からの協力がなければ，自然科学ベースの技術論に陥ってしまうという印象があります。特に，正直言いまして，つくばは今クレイジーな状態ではないかと。私などの単身寮もべらぼうなビラが，マンションなどのビラが入っていて，その中に大事な郵便物が潜っているような状況になっています。特に隣の駅の開発や沿線開発などが非常に急速に動いています。そういう経済的な動き，社会経済の変化も折り込んで，具体的にどういうロードマップ，あるいは段階的うんぬんという話が先ほどありましたが，どういうふうにステップを踏んでいくのかと具体的に描かないと，画餅に終わるという可能性があるのではないかという気がします。

後で頂いた総合科学技術会議のペーパーの最後に，「つくばへの期待」とあるので何が書いてあるのかと思って見ましたら，筑波山が出ていまして，地域の特徴を最大限に生かした茨城発，つくば発のイノベーションに期待しますと。ここが言っているところが頭と少し違うのかなと。要するに，CO2 排出削減は大事な課題ですけれども，このことと，まちづくりという議論もありましたが，どういう風に組み合わせて考えているのか。私は，やはりつくばの場合は景観を含めたまちづくり，それが軸にあって，その中で CO2 削減もやっていくということではないかという気がします。

（渡邉）　どうもありがとうございました。2 点あったと思いますが，一つは要はつくば市を将来どういう都市にするのかというビジョンを明確にする必要があるということで，むしろそこはつくば市がかなり主導的立場でやるべきではないかというご意見だったと思います。これが第一点。第二点は，3Eの最後のEの経済が何となく薄い，そこをどうとらえていくのかという質問だったと思います。

まず，2 番目の経済という観点をどうとらえるかということに関して，パネラーの先生方のご意見をいただきたいと思います。

内山先生，お願いいたします。

（内山）　非常に厳しい指摘だと思います。今までの政府の地球温暖化対策の一番の問題は，経済の問題です。そういう点で，いろいろな案件が出ても最後にお金をどうするかというところでほとんどが行き詰まってしまうというのが現状です。

そういう流れの中で新しい経済のメカニズムを作っていく必要が出ています。それを地域で検討していく流れが今，欧米でもそういう動きが出ているわけでありまして，そういうところがこのつくば市でも経済の問題を含めて本当に温暖化対策が実現可能かどうかと突き詰めていかなければならない問題だと思います。この問題はもちろん国と自治体両方がお互いに連携し合う，さらには住民やそれに関連する企業も関係し合って進めなければなかなかうまく進みません。そういうことで，今まではどちらかというと国は大きな世の中の流れを方向付けるだけだったのですが，もうそろそろ地域ごとに具体的な取り組みを考える時期に入ったと思っていますので，まさにこのフォーラムに投げ掛けられている大きな問題，それもあってこれは3Eとなっていると思います。

ただ，ご指摘のように，今回出席している中に技術系の方が多いということが一つの課題で，また次の会あたりでは経済的な問題も含めて検討できるような方向へ持っていく必要があるのかなと思います。

（渡邉）　ほかにパネラーの方で経済に関してございませんか。村田先生，よろしいですか。

（村田）　かなり長期的な視点で見たときに，ごく普通の人たちにとって一番身近なものは住宅ではないかと思うのですね。住宅というのは一生に一度の買い物ですよね。ずっと住み続けるわけですが，現在は日本の平均の住宅は 20 年で建て替えてしまう。これを 10 倍の寿命の 200 年にしたとしたら，単純に 10 分の 1 でエネルギーや CO2 が済むようになるわけですが，福田総理は 200 年住宅をしきりと提唱しておりまして，今，住宅長寿命化法案という法律と税制がやっと通ったのですね。

今が大きな転換期のときだなと思うのですが，現在のエネルギーの総量を 100 とすると民生が 31％で，そのうちの 42％を住宅が占めているのです。かなりのものです。そこで，例えばドイツのアーヘン市のように，既にこのアーヘンという町ではやっているのですが，市が企業から太陽光パネルを買い上げまして全家庭に無料で配布しているのですね。ですから，アーヘンのまちでは全家庭に太陽光パネルがついているわけです。大体平均的な家庭でしたら，日本でもそうですが，3～5 kW ぐらいあると何とか賄えるのですね。ということは，各家庭が太陽光パネルをもし装備したとしたら，その住宅はエネルギーがほぼ自給できるようになりますし，エネルギーが自給できる住宅が集まっている町はエネルギー自給型の町になるわけですね。つくば市もエネルギー自給型の町を目指す，これを将来のビジョンにするといいのではないかなと思うのですね。例えば，日本の民間企業でも三洋ホームズというところをこの間取材しましたら，太陽光パネルを標準装備して，3 kW のうち 1 kW は住宅で買ってくれた方に無料で提供しますというのを企業の CSR の一環としてやっているのですね。

私はドイツのアーヘンのように，ここからつくば市，あるいは茨城県という行政の出番だと思うのですが，地方政府，自治体が条例を作って，先ほど言った税金の使い方を環境共生型の町をつくる，地球環境都市をつくるためにというところをビジョンに掲げて行政としてやっていくということをしたら，つくば市や茨城県は独自の町ができると思うのですね。土地がたくさんあるわけですから，エコロジーとエコノミーとエネルギーが両立する 3E型の住宅を造って，そしてエネルギー自給型の 3E型のまちをつくって，

そこに外から移住者を募り，新しいタイプの町をつくってモデルケースになることができると思うのです。

つくば市は国立環境研究所という，世界で一番といわれる，最高の機関といわれる環境問題の研究機関があるわけですから，地球環境都市としてふさわしい行政は必ずできると思います。私はかつて新潟県上越市で環境担当の副市長をしていましたが，国よりも地方自治体の方が自由度はずっと大きいです。やろうと思えば本当にさまざまなことができます。市民に，皆さんの生活がよくなるんですよと，皆さんにとって得になるんですよというところから話をして，その結果として地球環境に貢献ができますというところから話をしていったら，必ず理解が得られます。国を待っているのではなく，茨城県が，あるいはつくば市がモデルケースとして新しい 3E型の都市をつくっていくということを，今日をきっかけにやっていただけたらと思います。

ちなみに，私は来年 4 月から BS ジャパンで環境をテーマにした番組をやることになっていますので，マスコミの面からもそういうところを報道して援護射撃をしていきたいなと思っています。

（渡邉）　どうもありがとうございました。

だいぶ時間が迫ってまいりました，むしろ超過してまいりました。随分手が挙がっていますね（笑）。せっかくですからもう少し延ばしましょう。では，どうぞ。

（フロア 17）　今日は非常に楽しく聞かせていただいたのですが，このフォーラムは 2030 年まで二十何年か続くと思いますが，それを維持するためのコストというか資金，資本が必要であると。そこで今，村田先生から，地方公共団体が中心になっていろいろなこと，3Eのために何かした方がいいのではないかとありました。先ほど，原沢先生が環境税を地方公共団体に入れることは非常に難しいという話がありましたが，もし条例その他でもってこういうものができるならば，それを使ってこういう運動に使うとか。それから，先ほど鈴木先生がコンビニエンスストアでもってすごい車社会を実感したと。通勤に車を使われている人が自転車に替えたとすると環境税を減らすとか，太陽光電池でもって自家発電をするように取り入れた家庭からは環境税を免除するとか，そういうメリハリがつくのではないか。それと同時に 3Eフォーラムにも少し回していただくことができればいいなと思うのですが，その辺はどうでしょうか。

（渡邉）　貴重な提案ありがとうございます。

話が県と市の方にだいぶ向いていると思いますので，この辺で県と市から一言ずつ，一言でなくても十言でも二十言でもいいのですが，ご意見をいただきたいと思います。

県の福地さん，いますか。お願いします。

（福地 茨城県）　多分，そういう話になるだろうなと。先ほど私が話したときも反応がなかったので，県は何をやるのだという話が来るのだろうなと思っていたのですが。まあ，当然のことだと思います。先ほど申しましたマネジメントの中では，当然ビジョンを持って県が率先してやるということを含めて，それを持続的に進めるためには財源の確保があります。そういうことで，今回森林湖沼環境税を作ったのですが，それがストレートにこちらへ回ってくるかどうかまでは分かりませんが，そういうことを含めてうまくこの 3Eフォーラムが続くような仕組みを，やはり県としてもビジョンを立てた上でフォローしていくことは大事かなと感じています。

村田さんが先ほどおっしゃいましたが，多分，上越市は自治体で最初に ISO を取った市だと思うのですが，そういう仕組み，やはりトップダウンでいく必要もあるし，市民からの底上げも必要だし，両方相まって進めていくことが必要かなと感じています。

なかなか答えにくいのですが，私の立場でお金を付けてやるぞとはなかなか言えませんが，意識としては今日みんなの気持ちとして一体となって進めていこうということはこれからの方向として確認できたのかなと。それを受けて，また行政としても進めていきたいなと感じているところです。答えになりませんが，すみません。

（渡邉）　では，つくば市からお願いしたいのですが，飯野さん，お願いします。

（飯野 つくば市）　今，税の条例が出たのですが，その前に，先ほどごみを燃やさないでというお話がありましたが，私どもも燃やさなくて済めばそれがいいと思っています。実は大変な費用が掛かっていまして，燃やしますと焼却炉の傷みの修理費はお金がすごく掛かっています。そういうことがなければいいな，なくなりたいなと思っているのが本音です。

それから，条例ですが，これはやはり，まずは市民にこういった理解をいただかないと当然条例にはならないわけで，そういう理解を深めていくためにも今日はキックオフというようなお話ですが，こういった取り組みをして市民の環境に対する理解をもっともっと深めていく中で，そういった条例も検討して新たな取り組みに発展させていくことが必要ではないかと思います。

先ほども少しお話しましたが，そのためには行政は行政の役割，市民は市民の役割，事業者，あるいは研究機関の皆さんにはそういった役割をしていただいて，それぞれが連携し合い，補完し合うことで目標が達成されていくのではないか，取り組みが成功していくのではないかと思いますので，これからも市民協働といったまちづくりを進めていきたいと考えています。

（渡邉）　どうもありがとうございます。

それでは，先ほど手が挙がっていた方を最後にしたいと思います。どうぞ。

（フロア 18）　筑波大学国際総合学類の学生の山本です。この二日間，文系の学生の視点からいろいろなことを勉強させていただきました。

僕からこのフォーラム全体への提案ということになってしまうかと思いますが，この二日間のお話の中でさまざまな希望の持てるプラン，エコシティーつくばというのが描かれていると感じました。ただ，問題は，その綿密なプランが限られた方々で，いわば市民感覚から離れた限られた層で共有されているのではないかと思いました。実際，学類生や一般市民の方はこの会場の中で一握りにすぎないと思います。実際に市民にとって突然大胆な政策やプランが示されたら，いつの間にそういう話になっているのだとなって，先ほど谷口先生のお話にもありましたが，市民の支持が得られなくなってしまうという恐れもあるのではないかと思います。

環境に対して誰でも分かるような，より幅広い，広範囲の合意形成が必要ではないかと思います。皆さんは，国民運動をかなり期待されていると思いますが，僕はちょっとそれに疑いを持っていまして，環境に関心のある人は既にやっている，環境に全く関心のない人は見向きもしないのではないか，というような懸念があります。専門家や研究をされている人はこういう都市計画や技術について話し合い，情報共有をして，一般の人々には国民運動という形で，こういうことをやればいいというような，二つの間に溝ができているのではないかと思われます。フォーラムというのはもともと公共広場という意味を持っているということを重視して，このフォーラムがより市民参加の形であるように，研究者向け，一般向けと分けるのも一つの手かもしれません。あと，こういうかわいいロゴマークがあるのも売りだと思います。

あとは，谷口先生の先ほどのお話，車と傲慢さの話を皆さん面白いと感じられた方が多いのではないでしょうか。そういう話を通じて市民とのリスク・コミュニケーションというのかちょっと分かりませんが，そういう合意形成を図っていくことが必要だと思います。

2030 年につくば市で 50%CO_2 削減を目標にしたフォーラム，話の中に出てきたバックキャストの考え方に従えば，これは前提として多くの人が持たなければいけないと。そのためには，やはり一部の層だけが分かっているのではなくて，第 2 回ではより市民に開かれた形のフォーラムを開催されることを願っております。ありがとうございました。

（渡邉）　どうもありがとうございました。本当に若い世代からの貴重な提案，確かに受け取りました。

（フロア 10）　すみません，今の提案に関連して一言申し上げたいのです。

市民団体のレベルから，今のご提案に関連して申し上げたいのです。私は環境 NGO をやっておりますが，そのほかにグリーン購入ネットワークというところの理事をやっております。これは，先ほど村田さんがレジ袋の話をされ，藤野さんが仙台のレジ袋の有料化の話をしましたが，もともとレジ袋 100 万人の動員を 10 月にしたのは東京にあるグリーン購入ネットワークです。このネットワークは，例えばプリウスのように燃費のいい自動車をほかの自動車と比べて，ウェブ上でこれがいいですよ，悪いですよという性能比較をしたり，CO2 排出が幾らかということを自動車，家電製品，IT のいろいろな機器について公表している団体なのですね。この団体は今，仙台にも支部ができましたので，ぜひつくば市近辺でグリーン購入ネットワークの支部をつくることが，まず研究機関と市民一人一人のギャップを埋めるということではいいのではないかと。

もう一つ，私は他のこともやっていまして，自然エネルギー推進ネットワークの運営委員をやっております。そこは何をやっているかというと，今までは環境省や経済産業省は RPS が悪いとか，買い取り制度をしようとか，いろいろなことをやってきたのですが，それが先ほど原沢さんがおっしゃっているようになかなか受け入れられないので，今，地方自治体に対する働きかけを一生懸命やっています。1 番目は東京都，2 番目に札幌市というように，地方自治体で買い取り制度などをやっております。先ほど村田さんからご提案のあった，太陽光だけでも地方自治体レベルでインセンティブをつけることが大事だと思います。ドイツで日本を追い抜くほど太陽光発電が普及したのはインセンティブがある，あるいは太陽光発電所に投資をすればもうかるということがあるわけで，いくら国民運動だ，何だかんだいっても，インセンティブ，あるいは制度をつけないと駄目だということです。ぜひ太陽光発電に関しては，茨城県あるいはつくば市発の条例なり，インセンティブの枠組みを作ることを提案いたします。私ども自然エネルギー推進ネットワークは知見に富んだスタッフがおりますので，お手伝いできるかなと思っております。

（渡邉） どうもありがとうございました。パネルディスカッションでは非常に活発な意見交換がなされて，時間もだいぶ超過してしまいました。ただ，非常に有意義なパネルディスカッションだったと思います。

皆さま方が言ったのを僕自身がまとめ上げるとかえってもったいないようないろいろな貴重な意見が出されましたが，総じて言えることは，少なくとも 2015 年，少し延びても 2020 年，意外に短期の間にわれわれが省エネ機器を買うなど，そういう努力によって 20%ぐらいは何とかいくのではないかというところが，内山先生や原沢先生も含めて共通の意見だったと思います。さらに 2030 年までに 50%というので，さらに 30%削減しなくてはいけない。

我々はやらなくてはいけない課題が山積みだと思いますが，まず重要なのは，つくば市として将来どういう都市をつくり上げたいのかというところを明確に議論する必要があるだろうということです。そして，当然われわれ研究機関，大学等々が省エネのためのさまざまな行動計画を今後作っていくということですが，それもオープンにしながらやっていく義務があるのではないかという意見も出されました。そして交通網の整備は非常に重要なところです。都市のインフラをとにかく変えないと，2030 年の 50%実現はかなり難しい。そのためには，いろいろな意味でわれわれ自身の認識，それからコミュニケーションを取らなくてはいけない。そして，人材育成は非常に重要であるという意見も出されたと思います。

結局この 3E フォーラムというのは，今日とにかくオギャーと生まれたという段階だと思います。それを育て上げるのは単に研究者だけでは駄目で，行政の方々，若い世代，市民の方々，産業界の方々，すべての方々が一体になって進めていって実現しなくてはいけないということはいえると思います。

あと幾つか貴重な提言がなされました。いろいろ進めるために筑協というところをしっかり強化していく必要があるということ，小中高生に夢を持たせるようなしっかりしたビジョンを作り，彼らのために教育システムを作るために筑波大の果たす役割というのは非常に大きいのではないかと思います。

そして，もう一つ重要なことは，第 2 回の 3E フォーラムを 7 月の洞爺湖サミットを見据えてその前に開催する予定です。それは可能な限り国際的にも発信する会議にしたいと思います。そこで，そのときにいろいろな国際都市においてエコモデルシティーで努力しているところに呼び掛けながら，国際ネットワークをつくったらどうかという提案もあったと思います。貴重な提案だと思いますので，次の会議にも生

かしていきたいと思います。

今日は非常に貴重な意見をいただきまして，このような有意義なパネルディスカッションを持つことができたことを非常にうれしく思います。皆さま方から活発な意見が予想以上にありましたので，時間は大幅に超過しましたが,超過した分のかいは十分あったと思います。皆さまのご協力に非常に感謝しながら，そしてパネラーの先生方の貴重なご意見に感謝しつつ，パネルディスカッションをここで終了したいと思います。本日はいろいろご協力ありがとうございました。

つくば3E宣言2007

（司会） 第1回フォーラムも最終コーナーにかかってまいりました。次は，つくば宣言であります。今から 3E フォーラム実行委員会が作成しましたつくば宣言を皆様に配布いたしますので，しばらくお待ちください。

また，これから会場の準備をする間、本フォーラムの様子が昨日6時45分からのNHKニュースで放映されましたので，それをご紹介させていただきます。

それでは，井上フォーラム議長，お願いいたします。

（井上勲） この二日間にわたりましていろいろなご講演をいただき，かつさまざまなご提案を会場からもいただきまして，私どもはともかくキックオフはしたものの，いろいろな課題をいただいたということで責任を感じ，かつ覚悟を決めております。

実行委員会でこのフォーラムの最後につくば宣言をやりたいということで草案を作ってまいりましたので，ご説明させていただきたいと思います。

「2030年につくばにおける二酸化炭素排出50%削減を目指して」，フォーラム実行委員会としてのまとめでございます。お手元に既にハンドアウトがいっているかと思いますが，これをすべて読むと寝てしまう方もおられると思いますので，ポイントを指しつつ簡単にご紹介したいと思います。

IPCCの第4次評価報告書で，今回の3Eフォーラムでいろいろ話が出ましたように地球温暖化が進行していることがほぼ断定され，それに対して取り組みが国際的に求められている，認識されているということでございます。これに先立って，5月のハイリゲンダムのG8サミットで，日本が“Invitation to Cool Earth 50”を発表し，2050年までに温室効果ガスの排出を50%削減するということを提唱いたしました。来年7月にわが国で開かれる洞爺湖サミットでは，地球温暖化問題が主要議題となる見通しであります。また，今月（12月）の3日～14日，一日延びたので15日となっておりますが，インドネシアのバリ島で開催されました気候変動枠組条約の第13回締約国会議（COP13）ですけれども，2013年以降の温暖化対策案の枠組み交渉の道筋をまとめた行程表「バリ・ロードマップ」が採択されました。これによって，すべての主要排出国を含む新たな交渉の場ができたということで，京都議定書後の削減対策についての交渉がこれから本格的に進むという見通しであります。

このような状況において，国内の各セクターには目標の実現に向けた具体的アクションが求められています。このたび，筑波研究学園都市の大学・研究機関が連携して，つくば市を低エネルギー消費で，安全安心な環境・科学教育モデル都市として再構築することを目的として「つくばエコシティー・イニシアティブ」を推進することといたしました。つくば環境・エネルギー・経済（3E）プログラムは，このイニシアティブの中核的なプログラムとして先行的に実施するものです。そのために，温暖化研究，エネルギー研究，都市開発研究等を実施している大学・研究機関と茨城県，つくば市が連携・協力することの重要性が提言されました。この3Eフォーラムでは，あえて2030年につくばにおけるCO_2排出を50%削減するとの目標を掲げまして，共同研究，共同事業を実施し，これを通じて「3Eシティーつくばモデル」ともいうべき，全国および世界の中核都市の再生にも適用可能な低炭素社会システムの構築を目指すということです。

つくば3Eフォーラムでは，茨城県，つくば市，筑波研究学園都市に関連を持つ各種研究機関，団体，産業界および市民が連携して，「3Eシティーつくばモデル」を構築するための活動を以下のように推進いたします。

1. つくばには，最先端技術が集積しております。つくばのCO_2排出の多くは，民生部門と運輸部門が占めているということで，つくばの取り組みは他の多くの都市への適用が可能だと考えております。こ

のようなつくばの持つ特徴，優位性を生かして，2030 年に CO2 排出を 50%削減するという目標達成に向けて，革新的エネルギー要素技術の開発や省エネ都市再構築のための技術システム開発，社会のインフラ整備，制度設計等に関して具体的な戦略の策定を行い，実行のためのロードマップを作成いたします。

2. 2008 年 7 月に開催されます洞爺湖サミットを見据えて，省エネやエコシティーづくりに取り組んでいる国の内外の主要な都市の代表者に来ていただきまして，来年（2008 年）前半に第 2 回のつくば 3E フォーラムを国際会議として開催する予定です。それに向けて，つくば 3E フォーラムの戦略を可能な限り具体的に設定してまいります。
3. 温室効果ガスの排出削減は，今後 20 年以上にも及ぶ長期的かつ継続的な取り組みを要する課題であります。さらに 2030 年目標後の持続性・発展性を担保することが必要だと考えております。計画を立て，実行し，結果を出し，議論し，活動していく PDCA サイクルが継続的に行われるような仕組みを導入し，3E フォーラムおよびエコシティー・イニシアティブを運営・実施していく体制を構築してまいります。
4. このような中期的かつ継続的な取り組みのためには，担い手の育成が極めて重要であると，先ほど田中先生からも話がありましたけれども，実行委員会でも同様に考えております。3E フォーラムおよびエコシティー・イニシアティブを通じて，国内はもとより国外の人材の育成が図られるよう，教育・広報等に特段の努力を傾注していき，また，そのための体制を構築してまいります。
5. つくば 3E フォーラムは，現在研究学園都市にかかわる茨城県，つくば市，筑波大学，産業技術総合研究所，国立環境研究所，物質・材料研究機構の 6 機関に加えて，学園都市以外の大学，財団，民間企業等に賛同者が広がりつつあります。今後私どもでは，さらにつくば市内外の多数の大学，研究機関，産業界，市民の皆さん等の参加を強く期待し，呼び掛けるものでございます。

以上，つくば宣言とさせていただきます。
ありがとうございました。

※ 「つくば 3E 宣言 2007」全文は、本報告書の最初にあります。そちらもあわせてご覧下さい。

閉会挨拶

泉　紳一郎（筑波大学理事・副学長）

（司会）　最後になりましたが，閉会あいさつを泉紳一郎筑波大学副学長にお願いしたいと思います。

（泉）　第 1 回つくば 3E フォーラムの閉会に当たりまして，主催の立場から一言ごあいさつを申し上げたいと存じます。

ただ今，井上フォーラム議長から，「つくば 3E 宣言 2007」の発表がございました。これに尽きるわけでございまして，あとはこれを参加機関，あるいはこれからご参加いただく機関，さらにつくばの大学・研究機関等の交流の場であります筑協の中でどういうふうにより確固たるものとして具体化していくかということが重要ではないかと思っております。

二日間にわたりまして，週末，また師走のお忙しいところではございましたけれども，昨日は 300 人強，今日は日曜日ですけれども 200 人を超える皆さまにお集まりいただいて，いろいろな貴重なご意見・ご提言を賜ったところでございまして，大変ありがたく思っております。特に，昨日特別講演をいただきました総合科学技術会議の相澤益男先生，それからビデオメッセージをいただきました，岸田文雄科学技術政策担当大臣はじめ，講師の皆さん，あるいは今日ご議論いただきましたパネリストの皆さま方にはあらためて厚く御礼を申し上げる次第でございます。

もう少ししっかり周知をしてくれというご指摘もございましたが，第 2 回は，先ほどこの宣言の中にもございましたように来年前半に，5 月とか 6 月という時期になろうかと思いますが，行うということで，さらに周知を努めてより多くの皆さまにご参加いただけるように努力しないといけないと思っております。重ねて，二日間にわたってご参加いただき，大変ご熱心なご議論をいただいたことに厚く御礼を申し上げまして，閉会の言葉といたします。どうもありがとうございました。

（司会）　泉副学長，どうもありがとうございました。

最後になりますが，今回このフォーラム会議に対するアンケート用紙などは用意しておりませんので，ご感想や今後の方向性に関するご意見・ご提案がございましたら，フォーラム事務局あてに電子メール等でお寄せいただきますようにお願い申し上げます。二日間，どうも長いことご協力ありがとうございました。

発 行 元　　つくば3E フォーラム実行委員会
発行年月　　2008 年 3 月

連 絡 先　　つくば3E フォーラム事務局
〒305-8572
茨城県つくば市天王台 1-1-1
筑波大学大学院生命環境科学研究科内
TEL/FAX：029-853-4301
URL：http://www.sakura.cc.tsukuba.ac.jp/˜eeeforum/