

# 第1回つくば3Eフォーラム

## ポスター発表 要旨集

2007年12月15日(土)  
筑波大学・大学会館ホール 3F ホワイエ

14:30～15:30(説明時間)



## 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<sub>2</sub> 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  
坏 大輔、高橋 春瑠香、渡邊 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<sub>2</sub> 削減  
岡野 邦宏、岡崎 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、富重 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及び Ru/SiO<sub>2</sub> 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 (ソウル市清溪川) 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、増富 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)

## 光合成と石灰化機能を持つ微細藻類による CO<sub>2</sub> 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<sub>3</sub>) 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<sub>2</sub> を固定することができる。そのため、円石藻を利用した CO<sub>2</sub> 吸収システムを構築すれば、大気中の CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 吸収シート”の作成を可能とする。

## 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

塚 大輔、高橋 春瑠香、渡邊 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> や CaCO<sub>3</sub> 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<sub>3</sub> 0.2 g/L、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 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°C）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<sup>2</sup>）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。

### 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。

### 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、関係部署からの数値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10%強を大学が占めている。さらに内訳では、特に粗大ごみは30%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。産業廃棄物処理に関しては、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、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。

## 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<sub>2</sub>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<sub>2</sub>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ひやすくするための、ITSを活用したバス利用活性化プランを提案する。

## 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。

## 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<sub>2</sub> 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）

## 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お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、雇用創出にもなるだろう。



## 自然エネルギーを利用した水質改善システムによる CO<sub>2</sub> 削減

岡野 邦宏、岡崎 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、大規模水道事業者ではオゾン処理＋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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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。

## 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。

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。

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、富重 圭一 (筑波大学大学院 数理工学系研究科)

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<sub>2</sub>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<sup>[1]</sup>。

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<sup>[2]</sup>。

[1] K. Tomishige, et al. Appl. Catal. A: Gen., 246 (2003) 103.

[2] K. Tomishige, et al. J. Catal., 240 (2006) 213.

クリーン軽油製造のためのマンガン修飾 Ru/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及び Ru/SiO<sub>2</sub> 触媒上での FT 反応  
モハマド・ヌルナビ、○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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及び Ru/SiO<sub>2</sub> 触媒活性と安定性について検討した。

Ru 触媒は  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 触媒も Ru/SiO<sub>2</sub> 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( $\alpha$ )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、 $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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。

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  $K_s$  および最大比増殖速度  $\mu_{max}$  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<sub>4</sub>/g · VSS · d の生産性が得られた。

### 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、酸発酵が水素発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。

### 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<sub>2</sub>O と O<sub>2</sub>)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。

### 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<sub>2</sub>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。

### 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ほどの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。

## 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。

## 複合生物共生系への代謝流束解析の試み

雪 真弘<sup>\*1,2</sup>、○守屋 繁春<sup>1,2</sup>、菊地 淳<sup>3,4</sup>、工藤 俊章<sup>5</sup>

<sup>1</sup>横浜市大院国際総合、<sup>2</sup>理研環境分子、<sup>3</sup>理研 PSC、<sup>4</sup>名大院生命農、<sup>5</sup>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、<sup>13</sup>C<sub>2</sub> 標識化植物から調製した <sup>13</sup>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 <sup>13</sup>C<sub>6</sub>-グルコースと <sup>13</sup>C<sub>2</sub>-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。<sup>1</sup>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 $^1\text{H}$ - $^{13}\text{C}$  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ことから、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、 $^{13}\text{C}$ - $^{13}\text{C}$ 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。

## 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。

## 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。

## 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。



**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ー各社の出力 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、メーカー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。

**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<sub>60</sub>Cu<sub>40</sub> 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。

## 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°C の冷水と 40°C 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°C 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°C 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。

## 低炭素社会に向けてー日本 2050 年 70%削減シナリオの構築ー

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<sub>2</sub> 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の方が、犯罪が増えて警察や家庭内セキュリティ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ください。脱温暖化 2050 研究プロジェクト : <http://2050.nies.go.jp>

## 都市内大規模河川（ソウル市清溪川）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溪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はしているものの、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、清溪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、清溪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。清溪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。

## 身近な交通の温暖化対策 一 国環研がオススメするエコドライブー

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」でも上乘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、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。

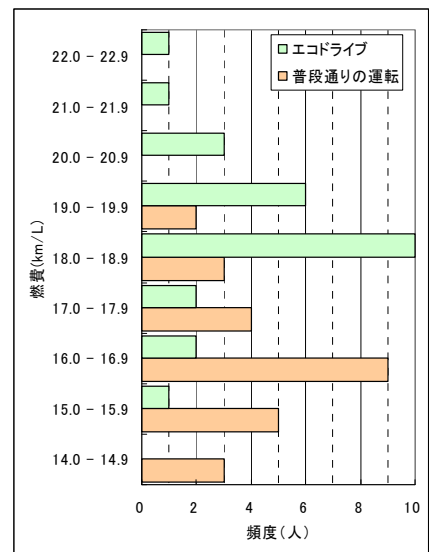


図 エコドライブ試乗会における燃費分布の変化

## 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<sup>2</sup>、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。

## 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、横島 徳太、長友 利晴、増富 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。

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たアクターを、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对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。

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。