

第6回 つくば3E(環境・エネルギー・経済)フォーラム会議
“これからの環境都市を考える”

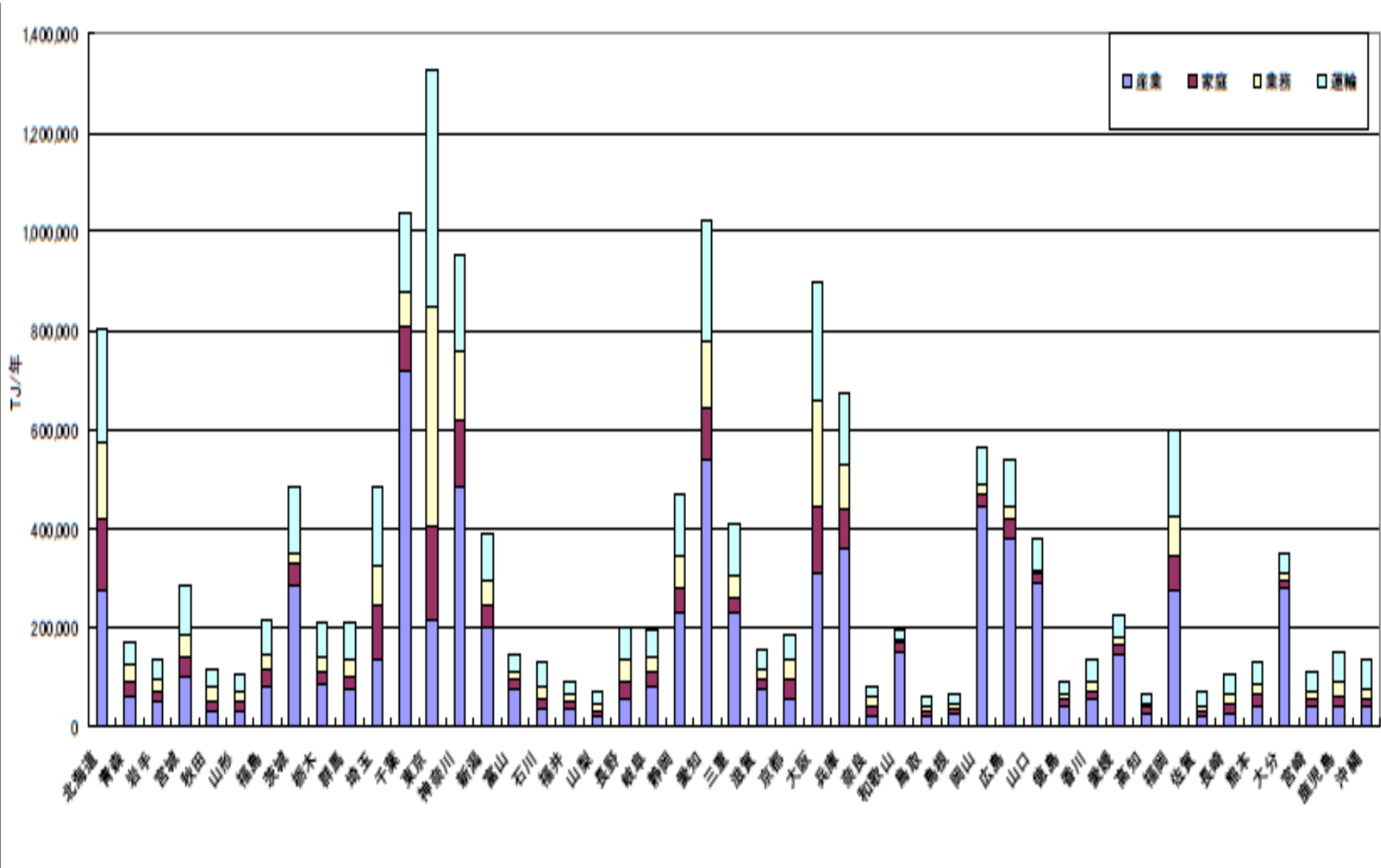
地域「3E」モデルによる低炭素地域社会の展望 ～茨城県における再生可能エネルギーの展望～

システム情報系

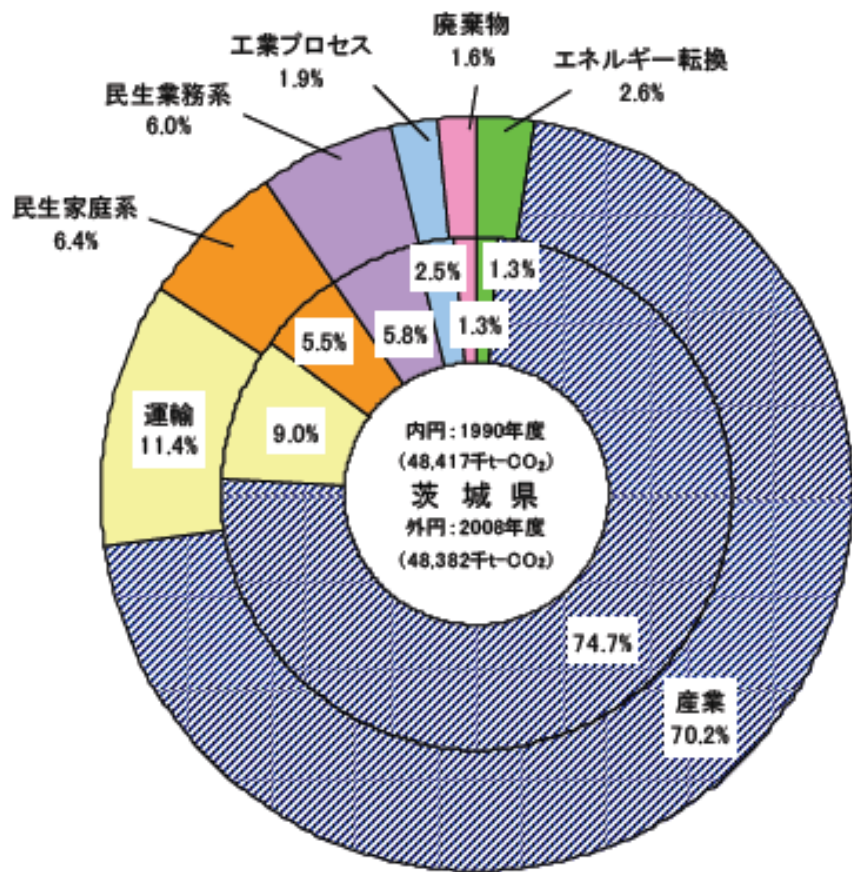
教授

内山 洋司

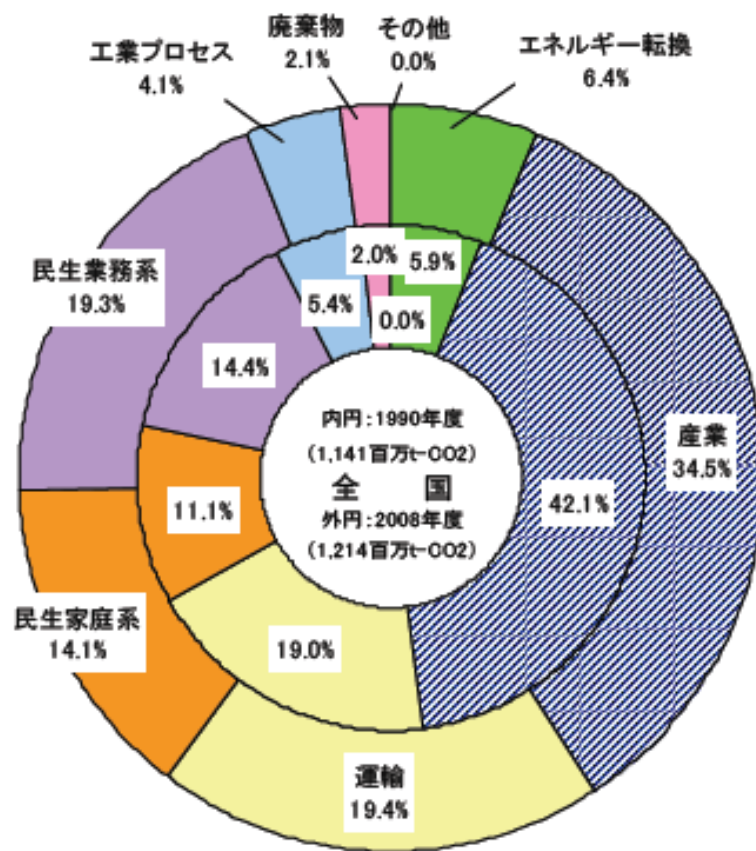
都道府県別エネルギー消費量(2006年度)



茨城県と全国の部門別に見たCO₂排出内訳(2008年度)

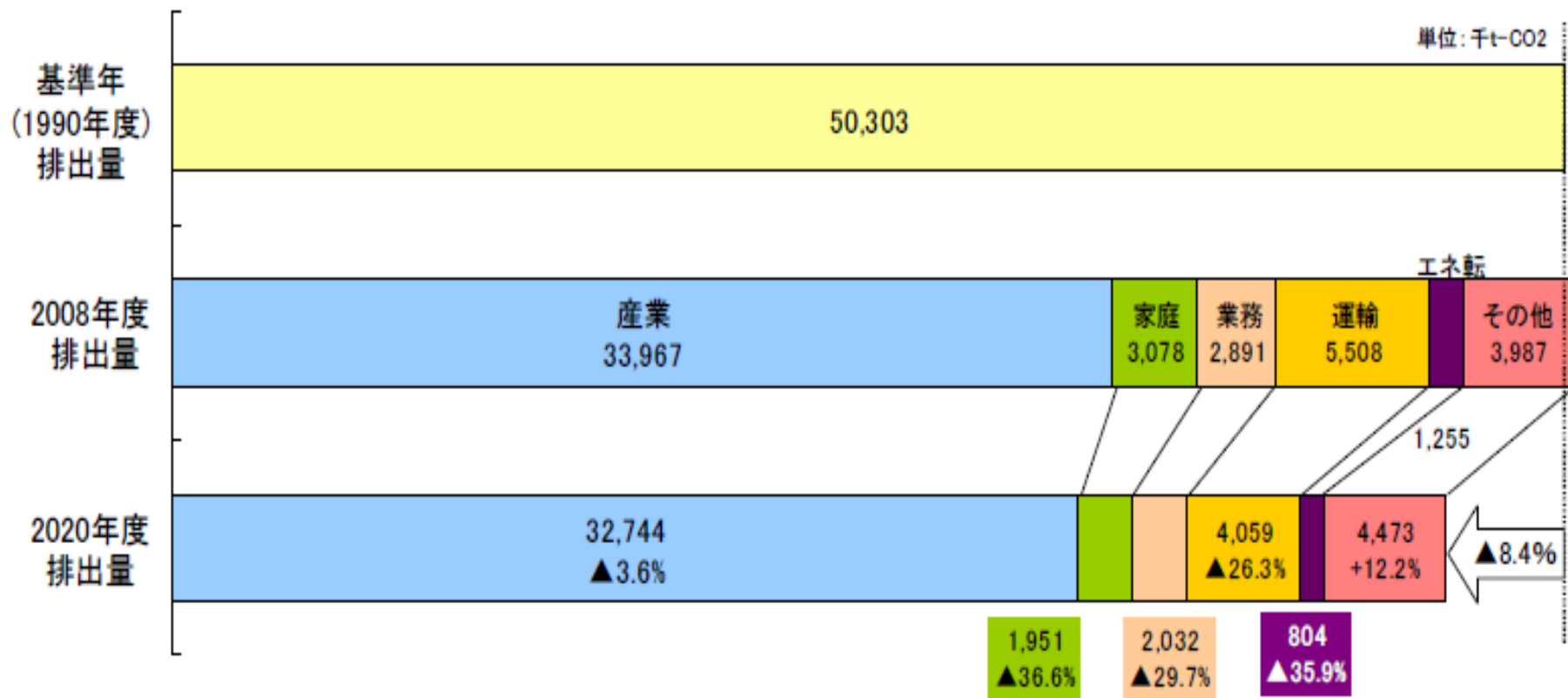


茨城県(4, 838万トン)

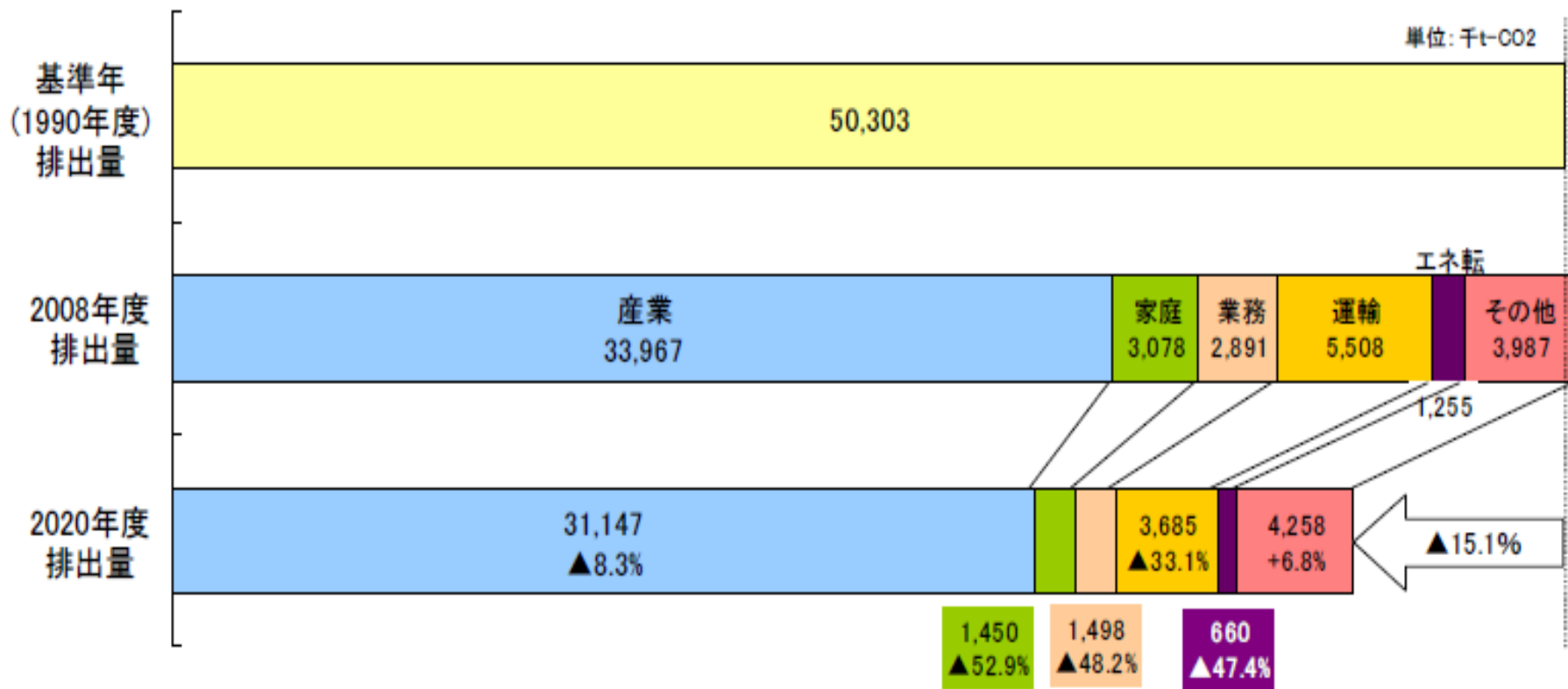


全国(12億1400万トン)

2020年における茨城県のCO₂排出量推計(1) (政府の削減計画15%を踏襲した場合)

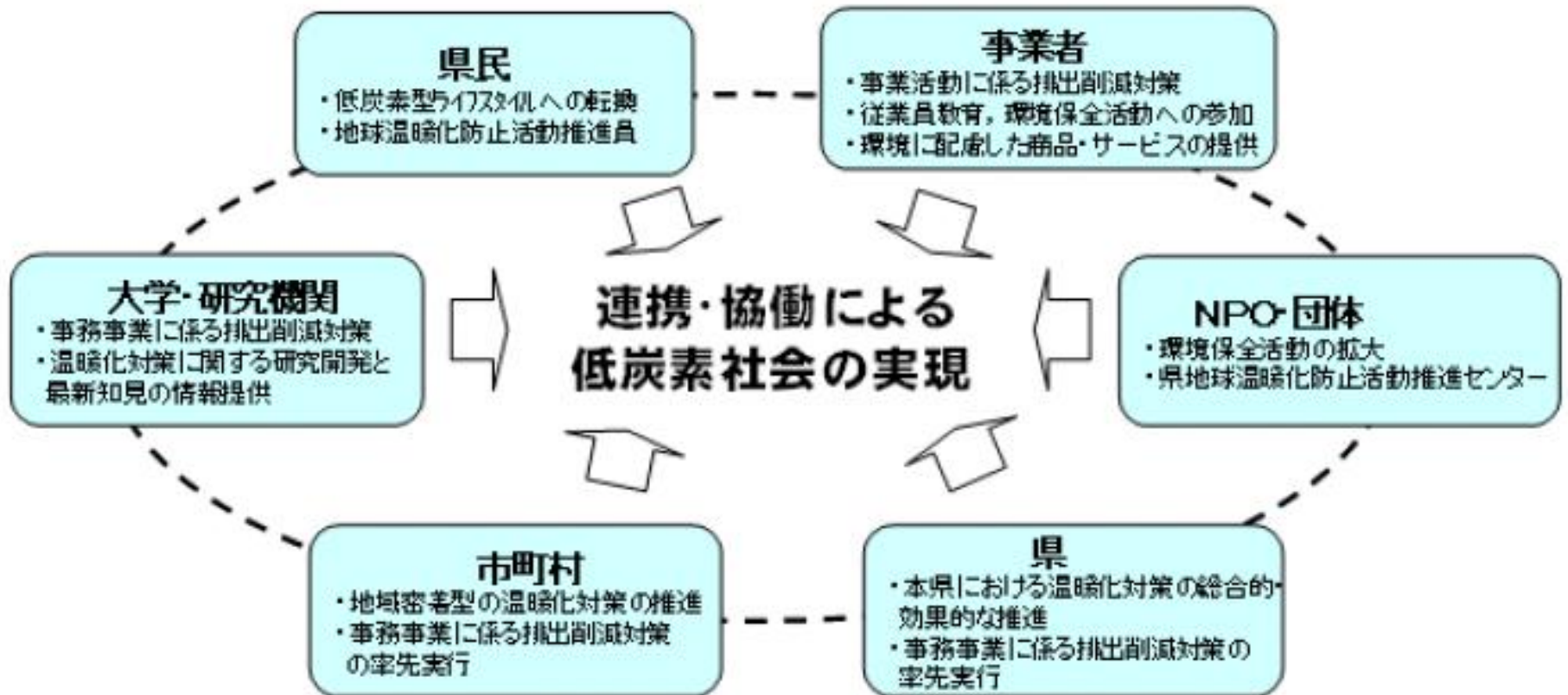


2020年における茨城県のCO₂排出量推計(2) (政府の削減計画25%を踏襲した場合)



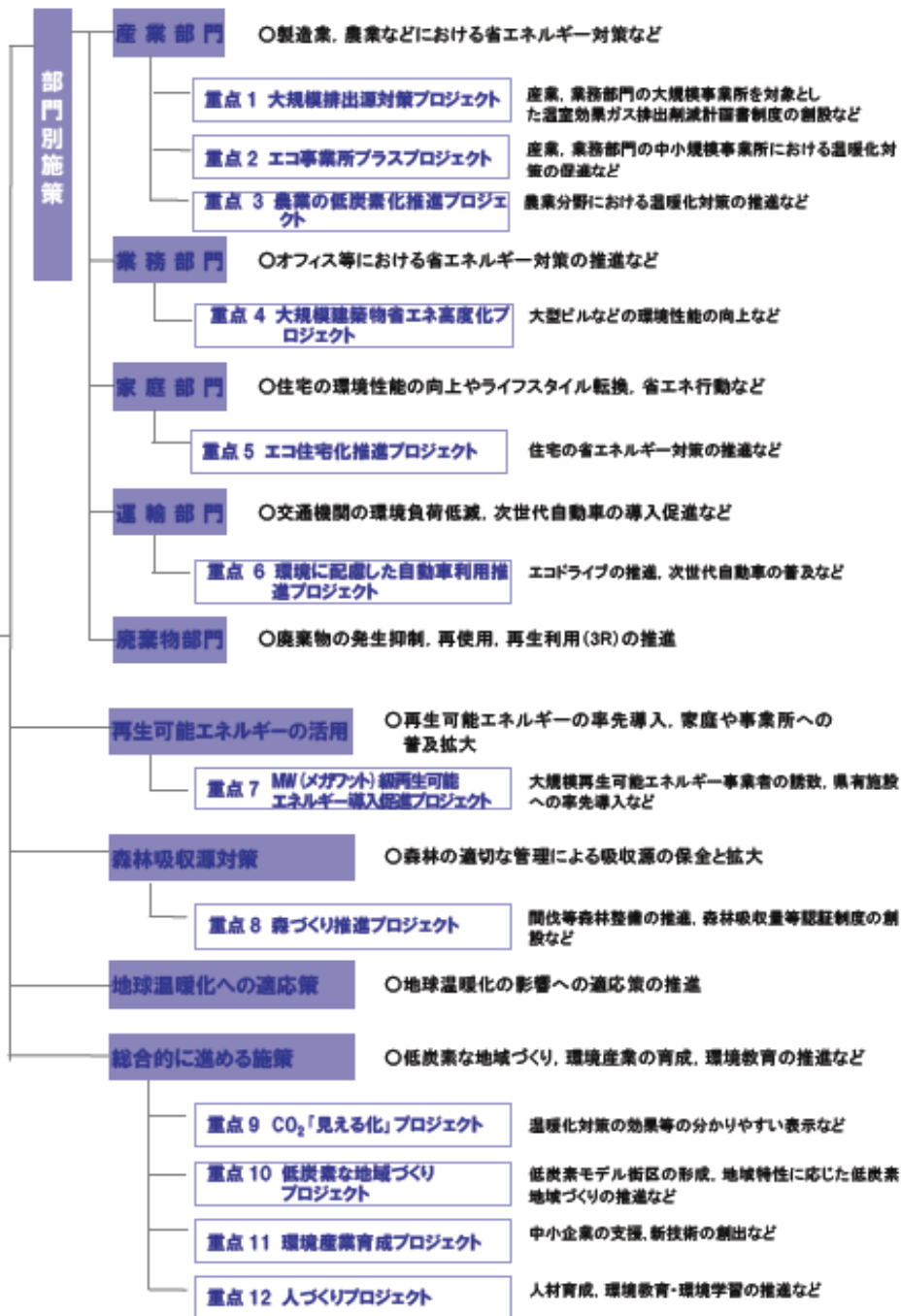
対策推進の基本方針

県民総ぐるみによる対策の推進



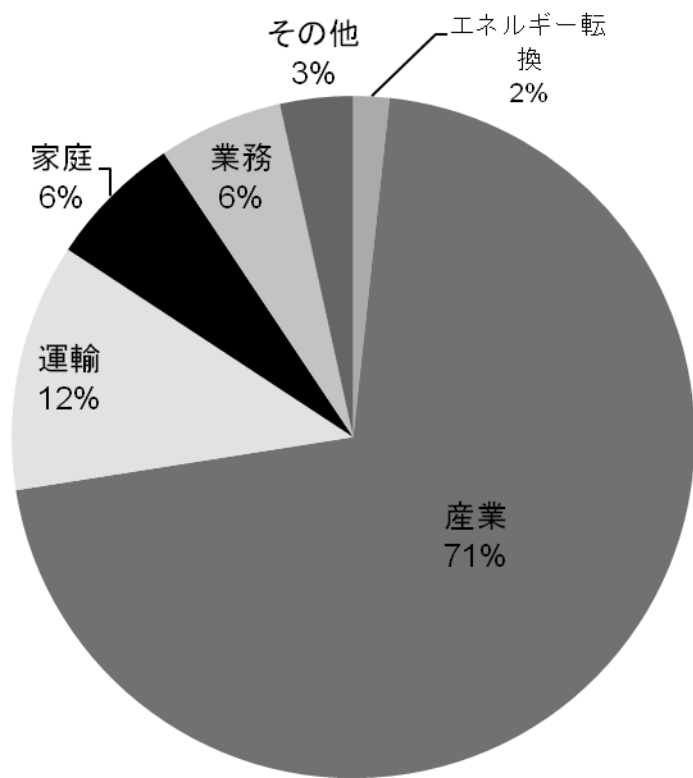
茨城県の温暖化対策の施策体系

本県の地球温暖化対策の施策体系



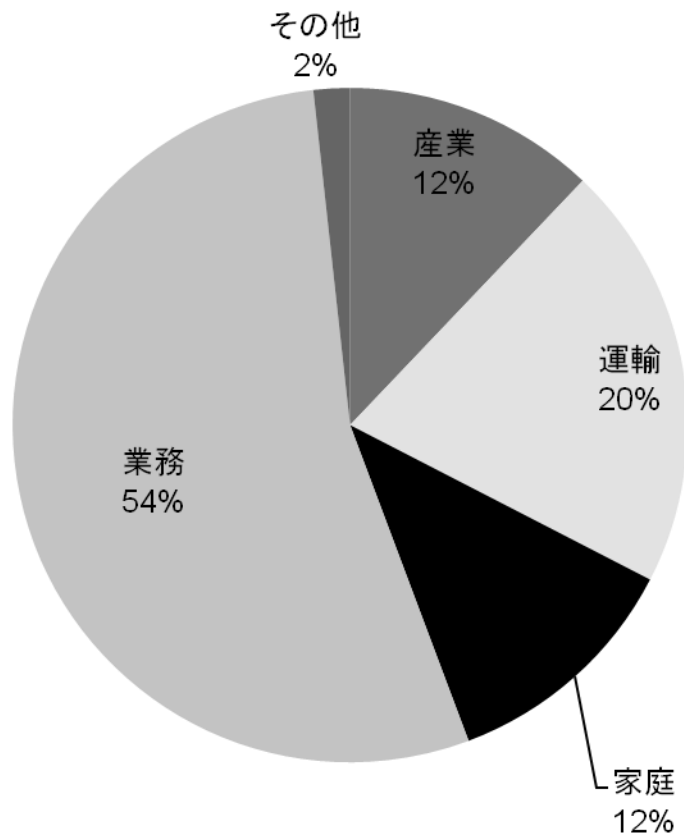
茨城県とつくば市の温室効果ガス排出量

県のCO2排出量(2006年度)



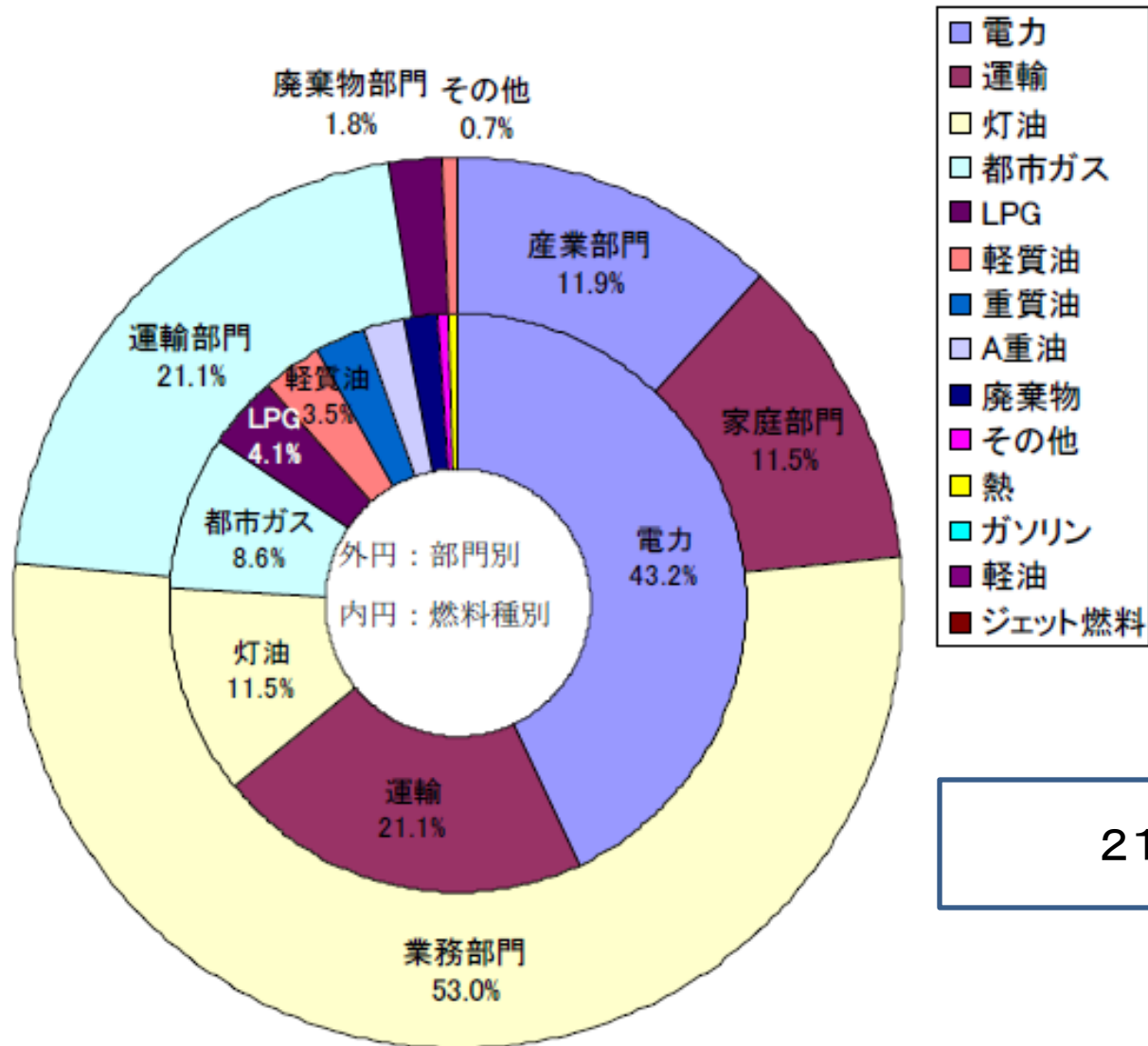
48,903千トン

市のCO2排出量(2006年度)



2,066千トン

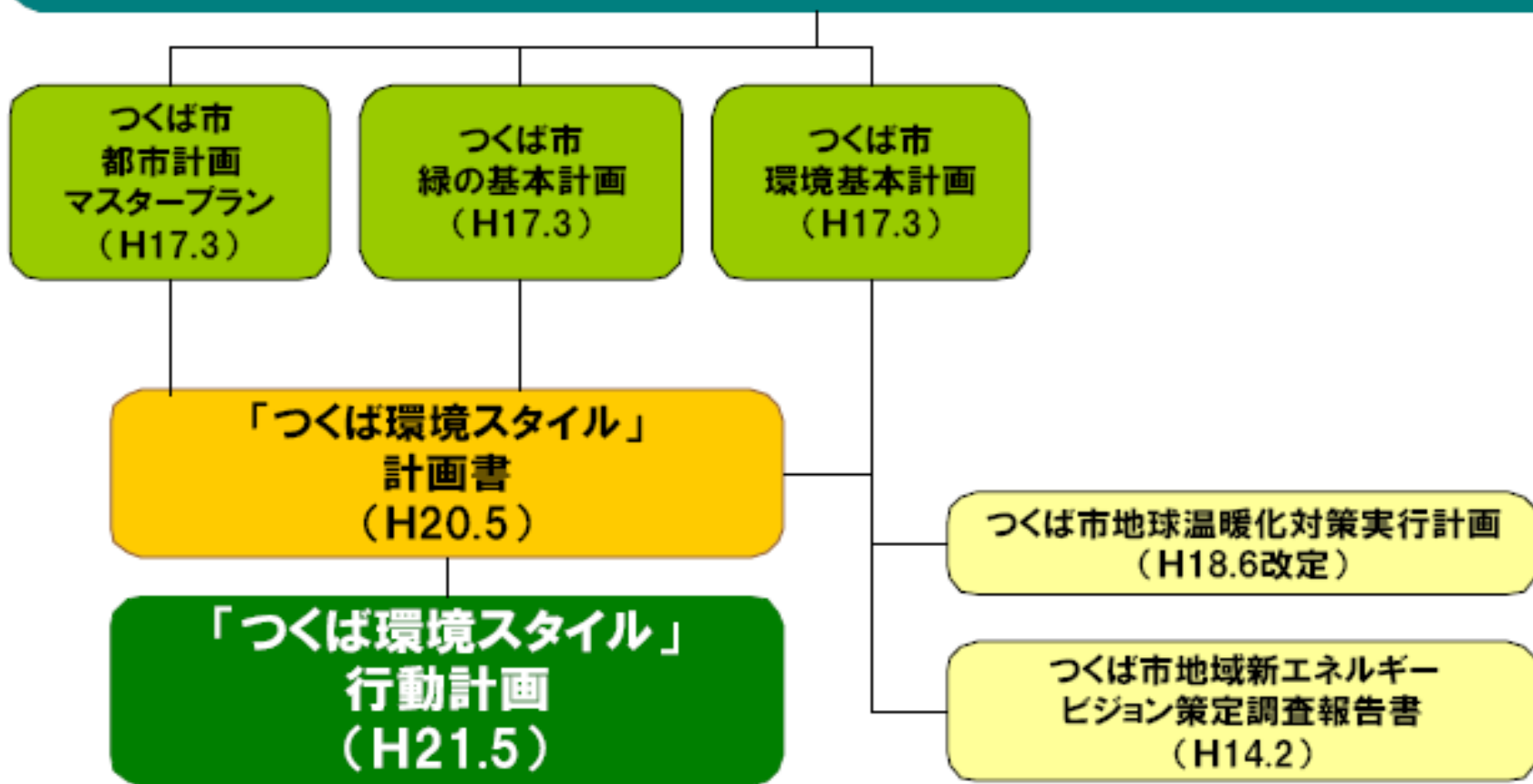
つくば市の部門別に見た CO₂排出内訳(2006年度)



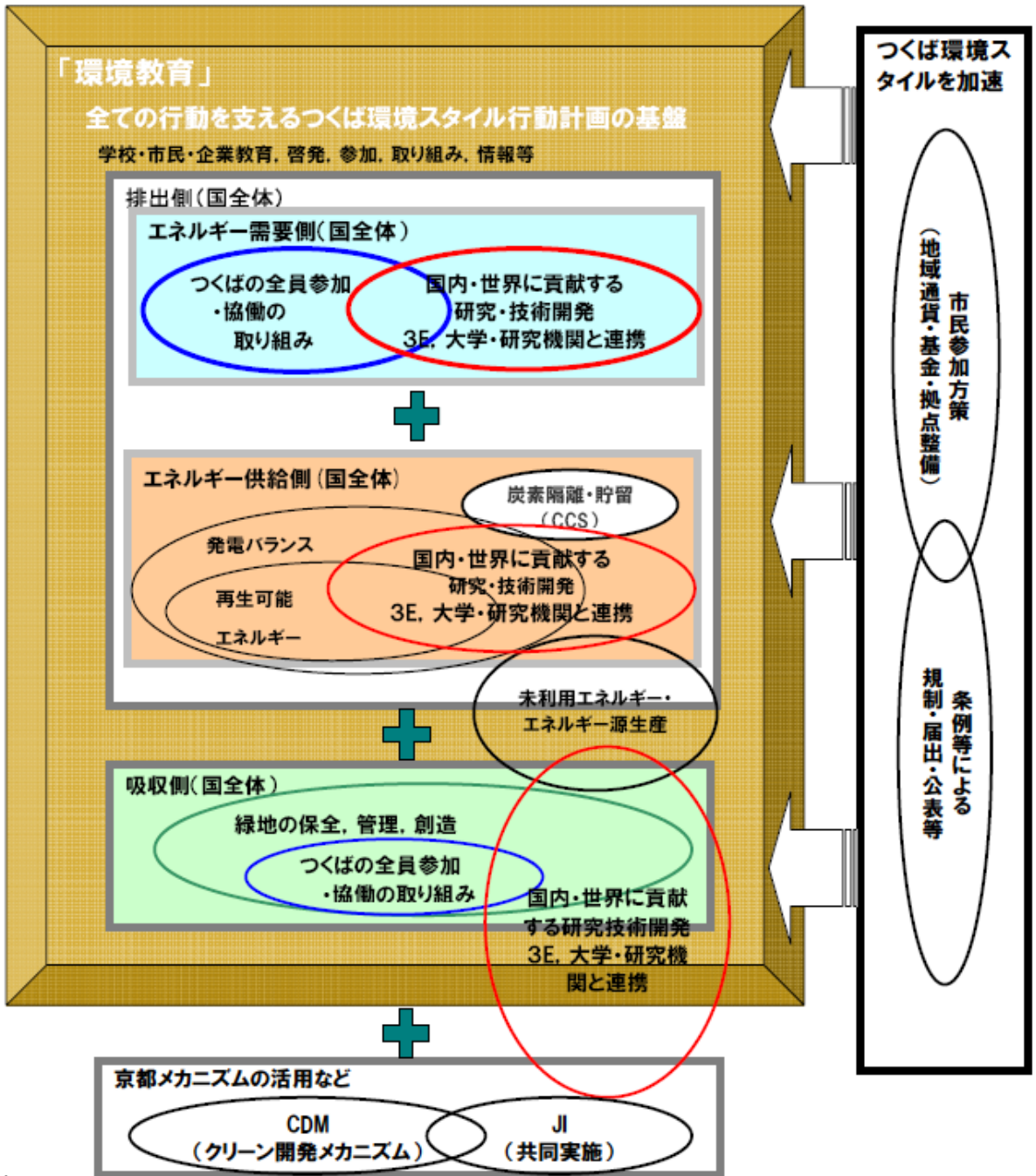
210万トン

つくば環境スタイル行動計画

第3次つくば市総合計画 (H18.3)

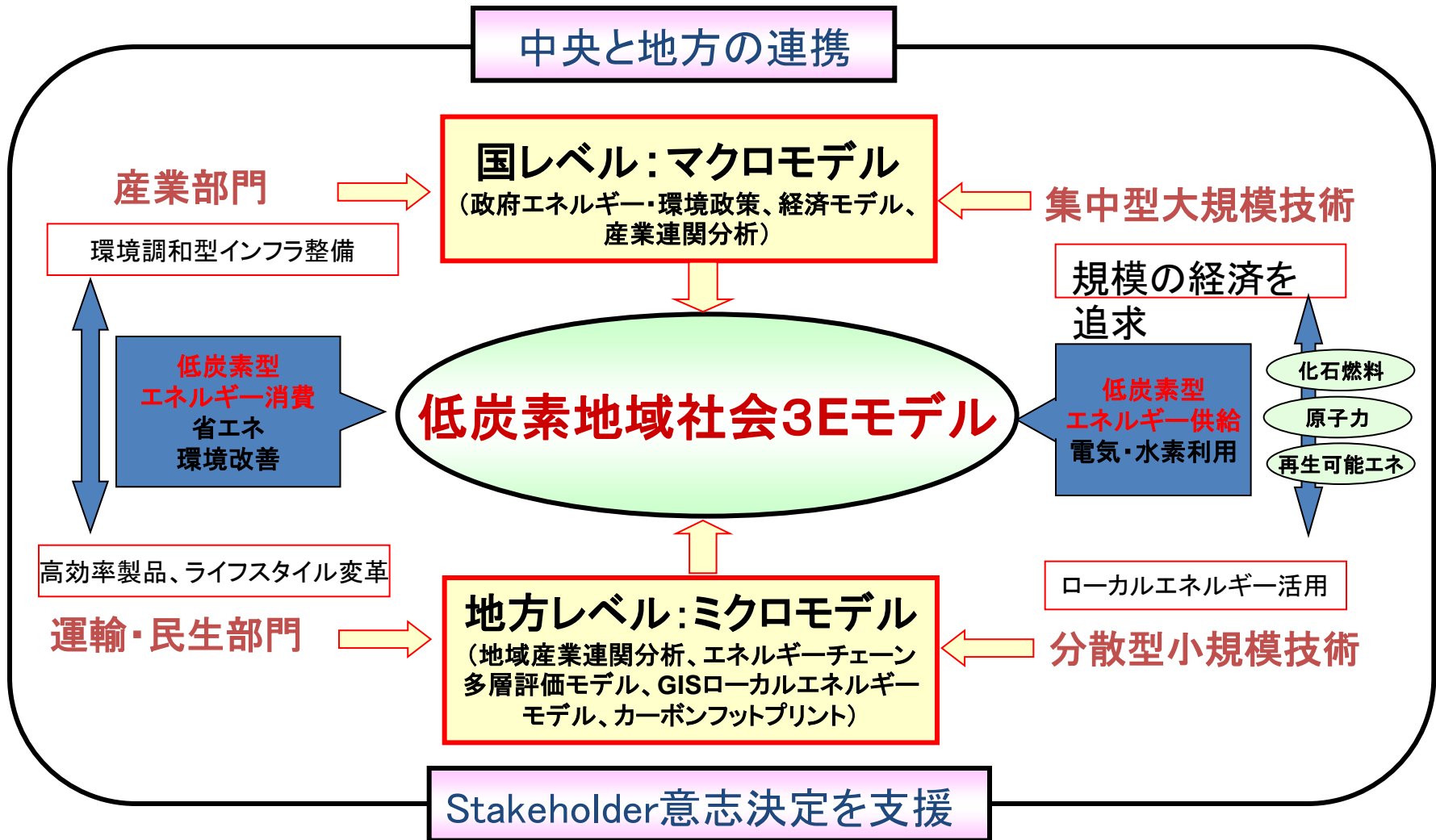


削減に向けた基本的な考え方



出典:つくば市「つくば環境スタイル行動計画」

低炭素地域社会を支援する エネルギー・環境・経済モデルの構築



産業連関分析を用いた地方自治体に
おける低炭素3Eモデルの構築
—つくば市の事例研究

つくば市「産業連関表」の作成

		中間需要			最終需要		輸入	生産額
		産業Ⅰ	産業Ⅱ	産業Ⅲ	域内最終需要	輸出		
中間投入	産業Ⅰ	X_{11}	X_{12}	X_{13}	F_1	E_1	M_1	X_1
	産業Ⅱ	X_{21}	X_{22}	X_{23}	F_2	E_2	M_2	X_2
	産業Ⅲ	X_{31}	X_{32}	X_{33}	F_3	E_3	M_3	X_3
粗付加価値		V_1	V_2	V_3				
生産額		X_1	X_2	X_3				

生産額

粗付加価値
最終需要

投入係数

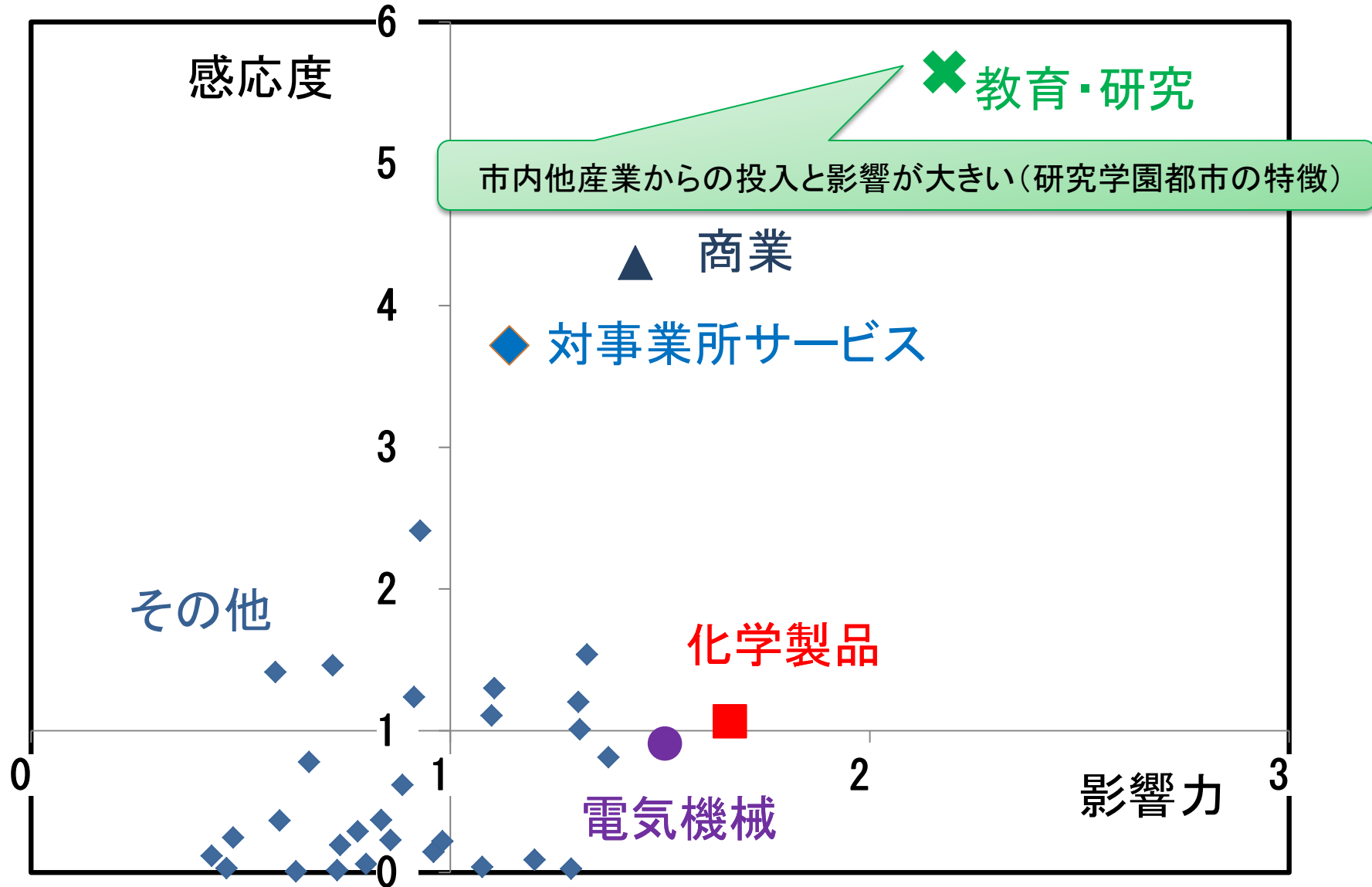
2005年と2030年における部門別生産額

(100万円)

	2005年	2030年 (年2.2%成長)	2030年 (年1.2%成長)
農林水産業	13,671	21,772	18,421
鉱業	156	248	210
食料品	16,624	26,475	22,399
化学製品	39,448	62,824	53,154
石油・石炭製品	926	1,475	1,248
窯業・土石製品	6,021	9,589	8,113
鉄鋼	29,550	47,061	39,817
非鉄金属	8,886	14,152	11,974
一般機械	41,995	66,881	56,586
電気機械	42,057	66,980	56,669
輸送機械	768	1,223	1,034
その他の製造工業製品	75,995	121,031	102,400
建築	92,169	146,789	124,193
電力・ガス・熱供給	564	898	760
水道・廃棄物処理	15,201	24,208	20,482
商業	156,445	249,156	210,802
金融・保険	34,225	54,508	46,117
不動産	82,536	131,448	111,213
運輸	39,945	63,617	53,824
情報通信	54,846	87,349	73,903
公務	53,046	84,481	71,476
教育・研究	269,733	429,579	363,452
医療・保健・社会保障・介護	83,534	133,037	112,558
対事業所サービス	94,284	150,157	127,043
対個人サービス	88,103	140,314	118,715
分類不明・事務用品	7,911	12,598	10,659

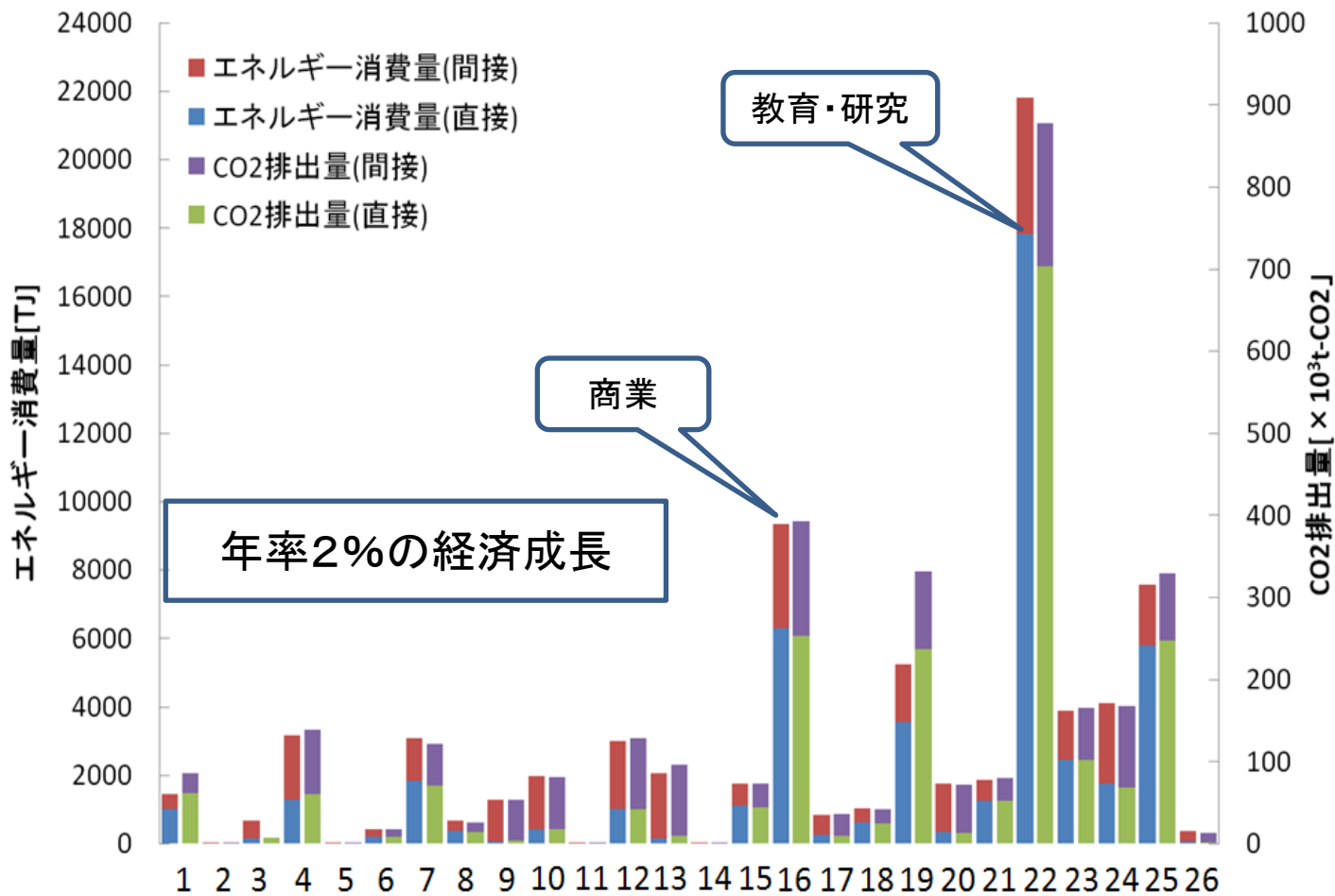
総生産額の20%

つくば市における産業の影響力と感応度(2005年)

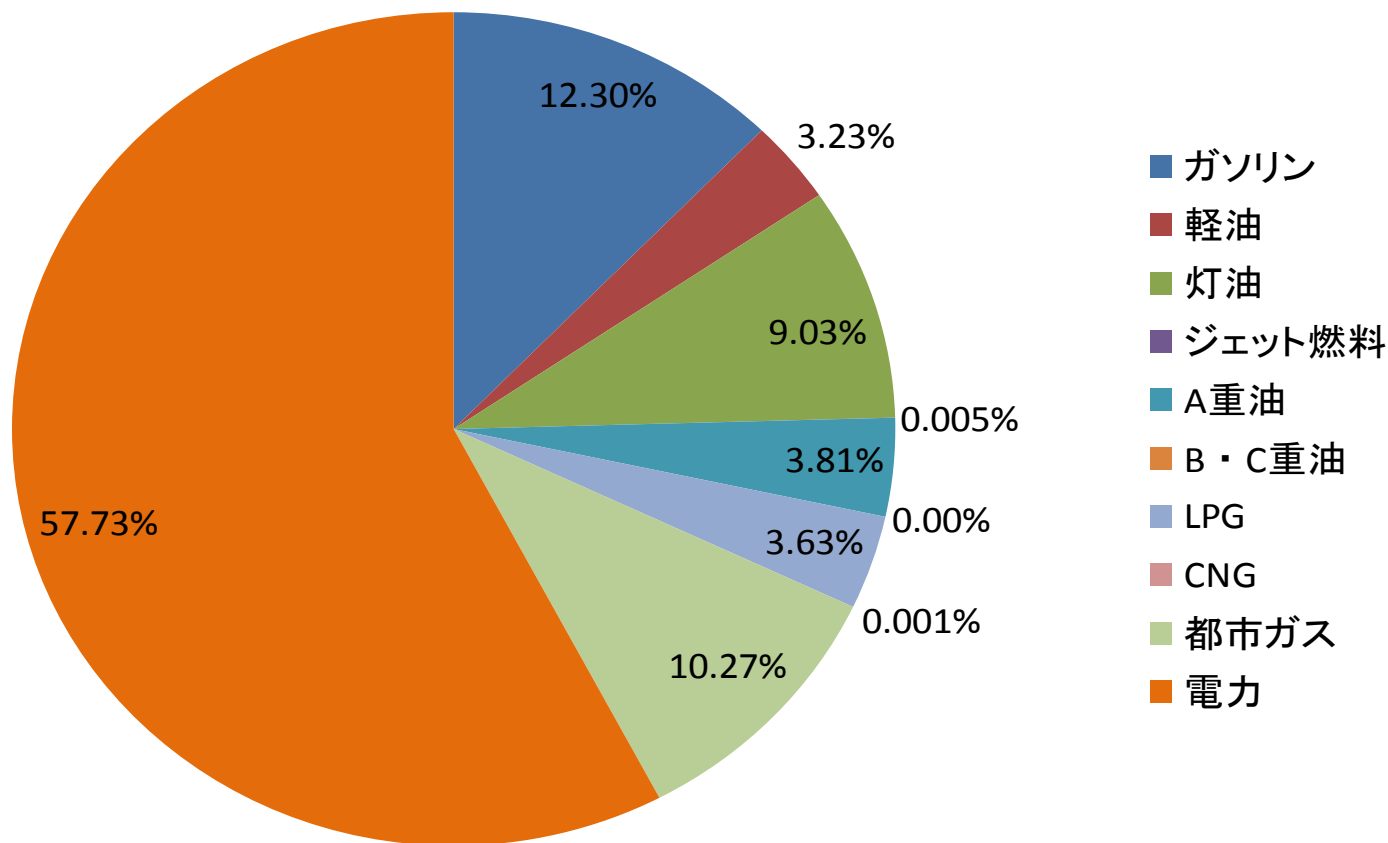


部門別に見た直接・間接のエネルギー消費量とCO₂排出量(2030年)

部門番号	部門名
1	農林水産業
2	鉱業
3	食料品
4	化学製品
5	石油・石炭製品
6	窯業・土石製品
7	鉄鋼
8	非鉄金属
9	一般機械
10	電気機械
11	輸送機械
12	その他の製造工業製品
13	建築
14	電力・ガス・熱供給
15	水道・廃棄物処理
16	商業
17	金融・保険
18	不動産
19	運輸
20	情報通信
21	公務
22	教育・研究
23	医療・保健・社会保障・介護
24	対事業所サービス
25	対個人サービス
26	分類不明・事務用品



つくば市のエネルギー別CO₂排出構成



つくば市の目標達成に必要なCO₂削減量

つくば市の削減目標: 2030年で一人当たりCO₂排出量を半減

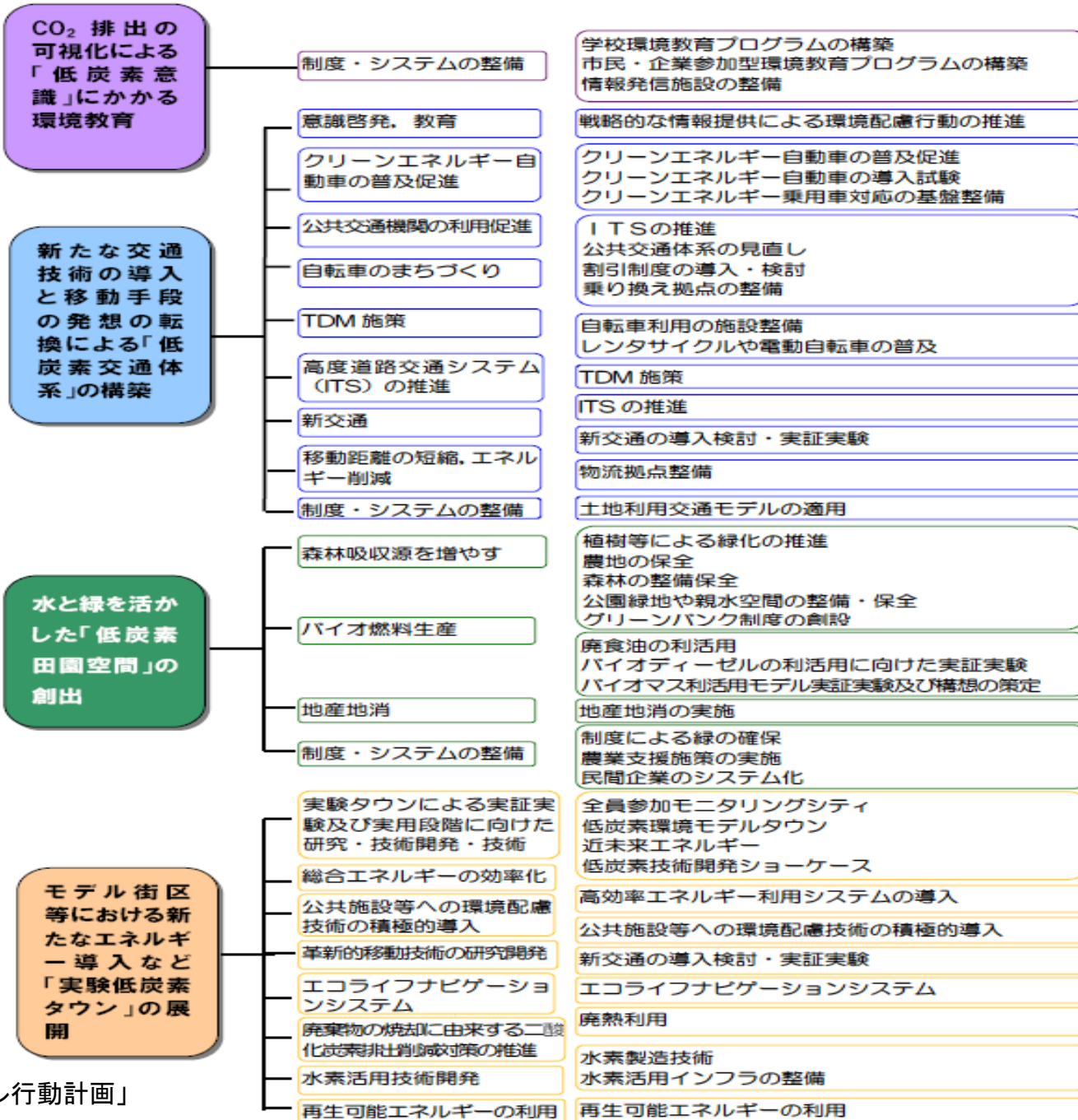
	2005年	2030年(年2%成長)	2030(年1.2%成長)
人口(人)	191,582	307,298	307,298
総CO ₂ 排出量(t)	2,513,142	4,701,877	3,776,969
一人当たりCO ₂ 排出量(t)	13.12	15.30	12.29
目標一人当たりCO ₂ 排出量(t)	6.56	6.56	6.56
目標総CO ₂ 排出量(t)		2,015,543	2,015,543
目標達成に必要な削減量(t)		2,686,333	1,761,426

具体的な施策

取組みの柱

施策の方向

具体的施策



施策の推進主体と対応部門の削減効果

◎貢献度が大きい ○貢献度が中 △貢献度が小さい

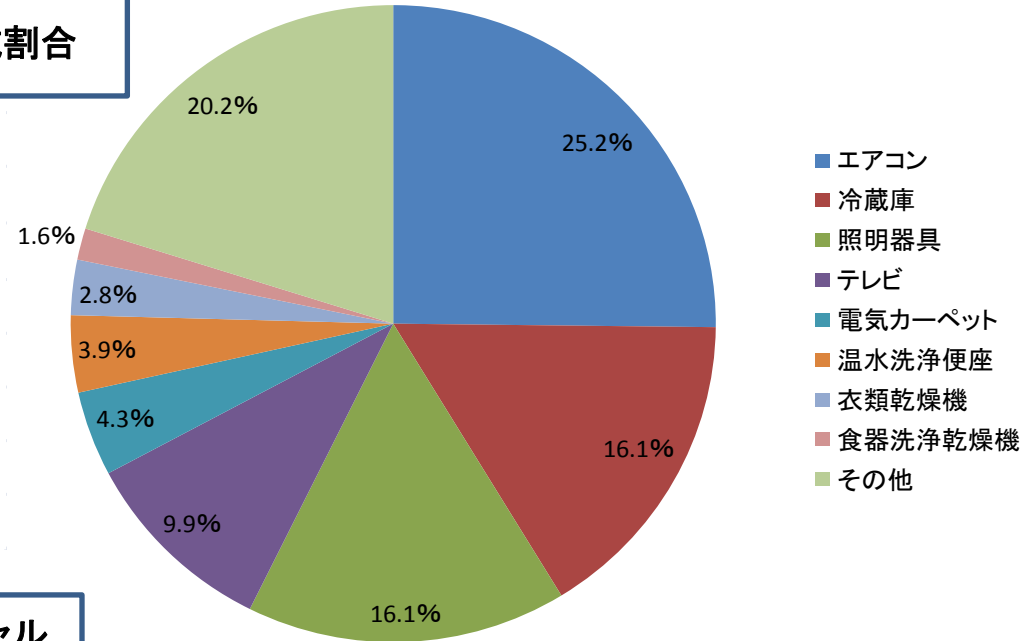
		推進する主体							対応する部門の削減効果					
		国	県	市	事業者	大学・研究機関	市民団体	市民	産業 12%	運輸 20%	業務 54%	家庭 12%	その他 ガス2%	間接効果
低炭素化意識	市民生活	△	○	◎	△	○	◎	◎		◎		◎	◎	
	事業活動	○	○	○	◎	△	△	△	△	△	△			
	基盤づくり	○	○	◎	○	◎	◎	○	△	△	△	△	△	
低炭素新交通体系	モビリティマネジメントの推進	○	○	○	◎	○	△	△		△				
	“りんりんつくば”の展開	—	—	◎	○	△	○	○	△	◎				
	低炭素市内交通ネットワーク	△	○	◎	◎	○	○	○	○	◎				
低炭素田園空間	炭素循環と水循環	○	○	◎	○	○	○	○	△					○
	バイオマス利活用	○	○	◎	◎	○	○	○	△	◎	△	○		
	地産地消の促進	○	◎	◎	◎	○	○	○	△					○
実験低炭素タウン	再生可能エネルギーの利活用	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎		○		
	エネルギー使用合理化への誘導	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○			◎		
	リーディングプロジェクト	◎	◎	◎	◎	○	△	△	○		◎			○

「低炭素化意識」分野の対策と削減量

～トップランナー方式導入による 家庭部門のエネルギー消費削減効果～

現在のエネルギー消費量と構成割合

部門	燃料種	エネルギー消費量(GJ)
家庭内消費	灯油	2,506,338
	LPG	1,281,161
	都市ガス	476,835
	電力	7,373,503
家庭運輸	ガソリン	2,534,964



エネルギー消費の削減ポテンシャル

電力		ガス		ガソリン	
機器	削減割合	機器	削減割合	機器	削減割合
エアコン	14.0%	ガスストーブ	1.0%	乗用自動車	27.0%
冷蔵庫	8.9%	ガス給湯器	6.8%		
照明機器	10.1%	ガス調理機	5.0%		
テレビ	5.6%				
温水洗浄便座	1.0%				
合計	39.6%	合計	12.8%	合計	27.0%

対策による削減効果(2030年)

削減方策	主な対策
(1) 低炭素意識の環境教育	トップランナー方式の製品導入
(2) 低炭素新交通体系	モーダルシフトと自動車の省エネ
(3) 低炭素田園都市	ハウス栽培へのヒートポンプ導入
(4) 実験低炭素タウン	住宅と公共施設へのPV導入

単位: 万トン

	経済成長: 年2%	経済成長: 年1.2%
目標達成に必要な削減量	268.6	176.1
(1) 低炭素意識の環境教育	▲16.8 (6.2%)	▲16.8 (9.6%)
(2) 低炭素新交通体系	▲16.4 (6.1%)	▲13.0 (7.3%)
(3) 低炭素田園都市	▲5.8 (2.2%)	▲4.5 (2.6%)
(4) 実験低炭素タウン	▲14.2 (5.3%)	▲13.8 (7.8%)
合計	▲53.2 (19.8%)	▲48.1 (27.3%)

経団連自主行動計画を基にした 部門別エネルギー・CO₂削減割合

部門	削減割合	削減基準
鉱業	12%	エネルギー原単位
食料品	6%	CO ₂ 排出原単位
化学製品	20%	エネルギー原単位
石油・石炭製品	13%	CO ₂ 排出量
窯業・土石製品	3.80%	エネルギー原単位
鉄鋼	10%	エネルギー使用量
非鉄金属	11%	エネルギー原単位
一般機械	1%	CO ₂ 排出原単位
電気機械	35%	CO ₂ 排出原単位
輸送機械	25%	CO ₂ 排出量
その他の製造工業製品	16%	CO ₂ 排出原単位
建築	20%	CO ₂ 排出量
電力・ガス・熱供給	20%	CO ₂ 排出原単位
水道・廃棄物処理	0%	CO ₂ 排出量
商業	13%	エネルギー原単位
金融・保険	47%	電力使用量
不動産	5%	エネルギー原単位
運輸	30%	CO ₂ 排出原単位
情報通信	30%	電力消費量原単位
公務	50%	CO ₂ 排出原単位
教育・研究	50%	CO ₂ 排出原単位
医療・保健・社会保障・介護	4%	CO ₂ 排出原単位
対事業所サービス	9%	電力消費量原単位
対個人サービス	6%	電力使用量
家庭内消費	50%	一人当たりCO ₂ 排出量

対策によるCO₂削減ポテンシャル

	年2%成長ケース時 削減量(t)	年1.2%成長ケース時 削減量(t)
農林水産業	3,469	2,462
鉱業	151	114
食料品	4,980	3,759
化学製品	44,208	34,540
石油・石炭製品	333	255
窯業・土石製品	3,988	3,002
鉄鋼	19,010	14,920
非鉄金属	6,072	4,725
一般機械	19,507	15,020
電気機械	33,166	25,858
輸送機械	541	421
その他の製造工業製品	36,018	27,629
建築	27,304	20,068
電力・ガス・熱供給	316	217
水道・廃棄物処理	5,338	3,597
商業	76,197	56,438
金融・保険	11,437	7,583
不動産	5,893	4,015
運輸	138,822	105,054
情報通信	24,297	16,311
公務	33,887	26,852
教育・研究	405,519	321,299
医療・保健・社会保障・介護	58,736	53,623
対事業所サービス	27,391	17,960
対個人サービス	25,319	19,360
分類不明・事務用品	3,683	2,564
家庭運輸	164,393	107,846
家庭内消費	459,156	488,534
計	1,639,130	1,384,026
CO₂削減目標量	2, 686, 333	1, 761, 426

産業連関分析法によるまとめ

- 「つくば環境スタイル」で提案された環境政策のCO₂削減ポテンシャル
約53万トン(電力CO₂原単位の改善無し、年2%成長ケース、技術政策ベース)
 - ・低炭素教育分野:約17万トン
 - ・低炭素新交通体系分野:約16万トン
 - ・低炭素田園都市分野:約6万トン
 - ・実験低炭素タウン:約14万トン
- 各業界の経団連環境自主行動計画によるCO₂削減ポテンシャル
約144万トン(環境自主行動計画による第一約束期間の業界別CO₂削減目標値を2005年-2030年の期間にも当てはめる)
- 上記2つの政策を合成したCO₂削減ポテンシャル
約164万トン(年2%成長ケース)・・・目標の61%
約138万トン(年1.2%成長ケース)・・・目標の79%
- つくば市の一人当りCO₂削減量半減目標は、経済成長がさらに減速しない限り達成は極めて困難である。

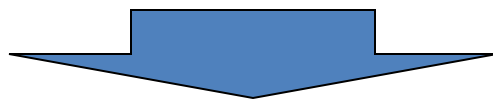
茨城県における太陽発電と ヒートポンプのCO₂削減ポテンシャル

茨城県における 再生可能エネルギーの現況導入量 (2012年時点)

- 太陽光発電: **109,555kW**
(住宅用: 92,263kW、非住宅用17,292kW)
- 風力発電: **88,280kW**
- バイオマス発電: **139,890kW**
(木質バイオマス: 83,290kW、廃棄物発電: 56,600kW)
- 中小水力: **18,369kW**
(内、1,000kW以下は6,869kW)

民生部門におけるCO₂削減対策

民生部門における2008年のCO₂排出量が
1990年に比べおよそ40%増加



ヒートポンプ(HP)



出典: パナソニック

太陽光発電(PV)



出典: シャープ

地域性を考慮してHP・PVの導入効果を分析する必要性

分析の概要

負荷曲線を考慮した地域エネルギー需給推計モデル

エネルギー需要量 $D_m(t)$

PV発電量 $G_m(t)$

民生部門全体を対象とした
導入ポテンシャル・環境性の分析

HP・PV導入ポテンシャル

$HP_{potential}, PV_{potential}$



CO₂削減ポテンシャル ENV_{red}

地域余剰電力発生量 $SE_m(t)$

分析1

戸建住宅を対象とした
経済性・環境性の分析

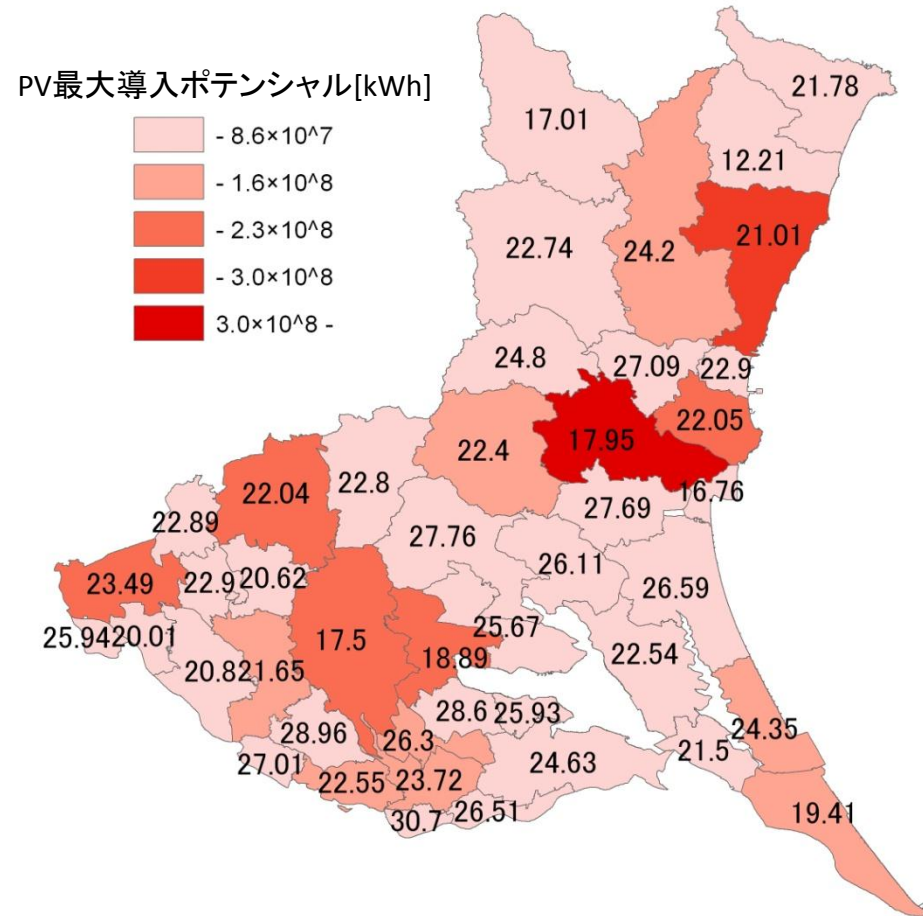
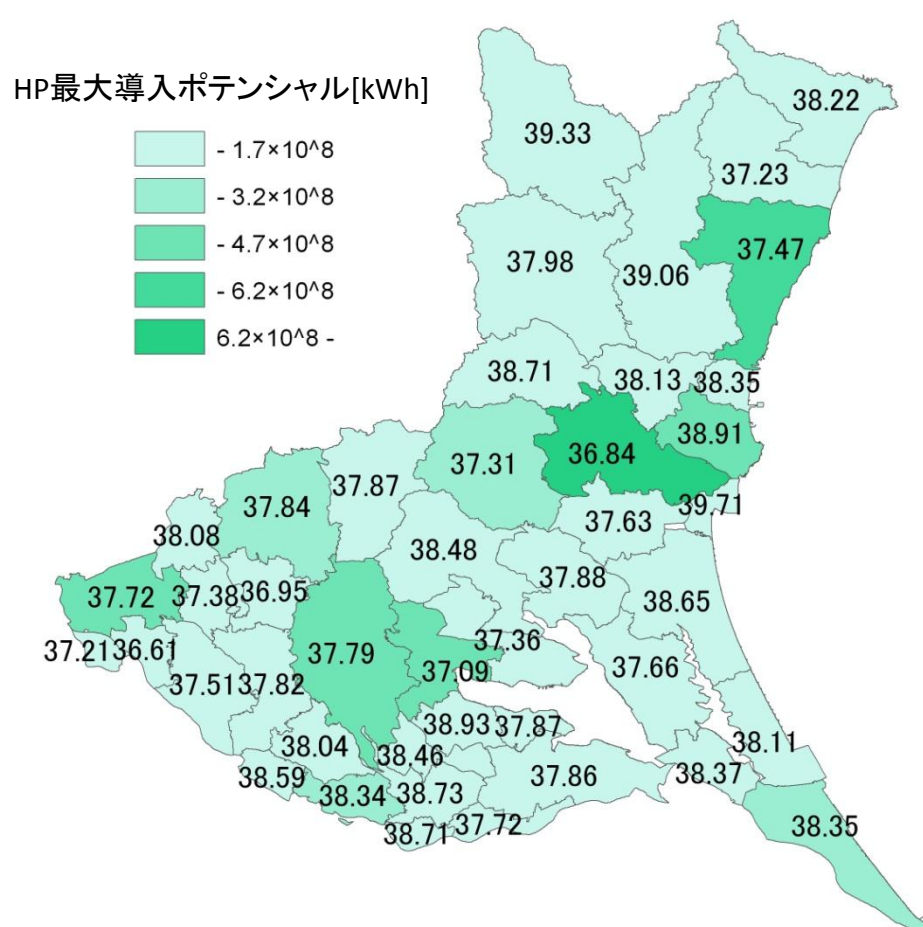
PVによる余剰電力を
考慮に入れた導入機器・
政策別20年総費用 TC

年CO₂排出削減量

ENV_{red}

分析2

HPとPVの茨城県市町村別導入ポテンシャル(平均日射)

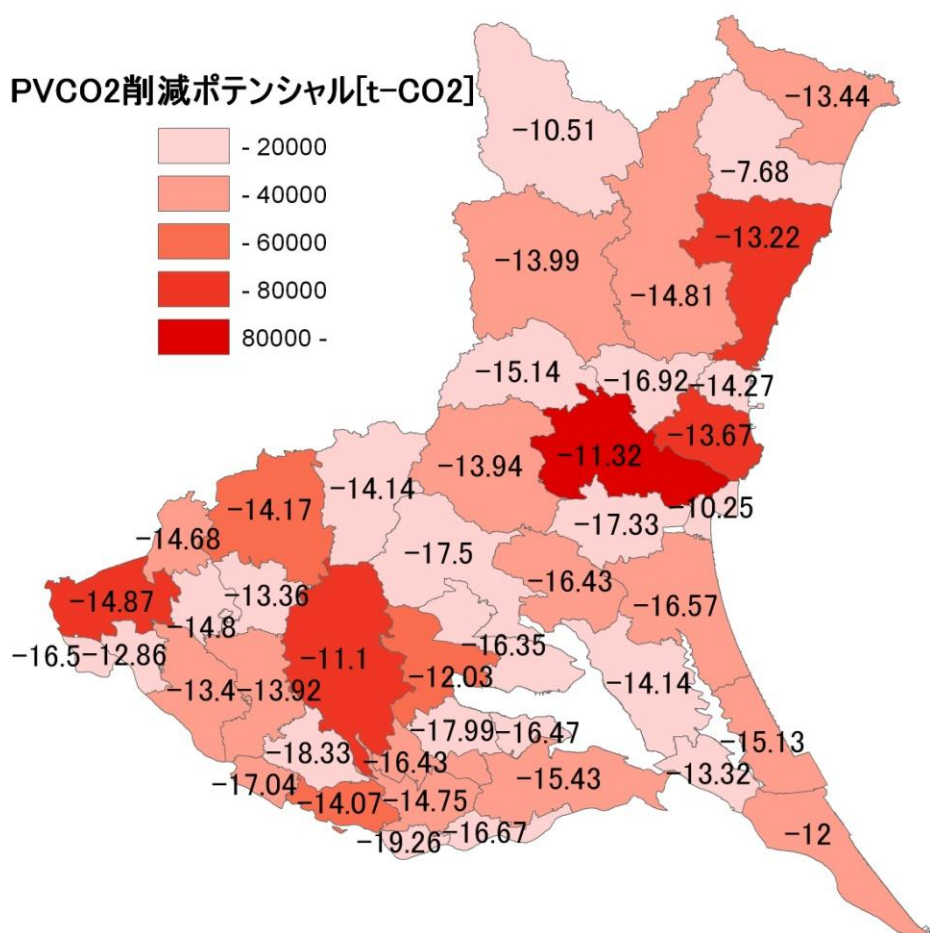
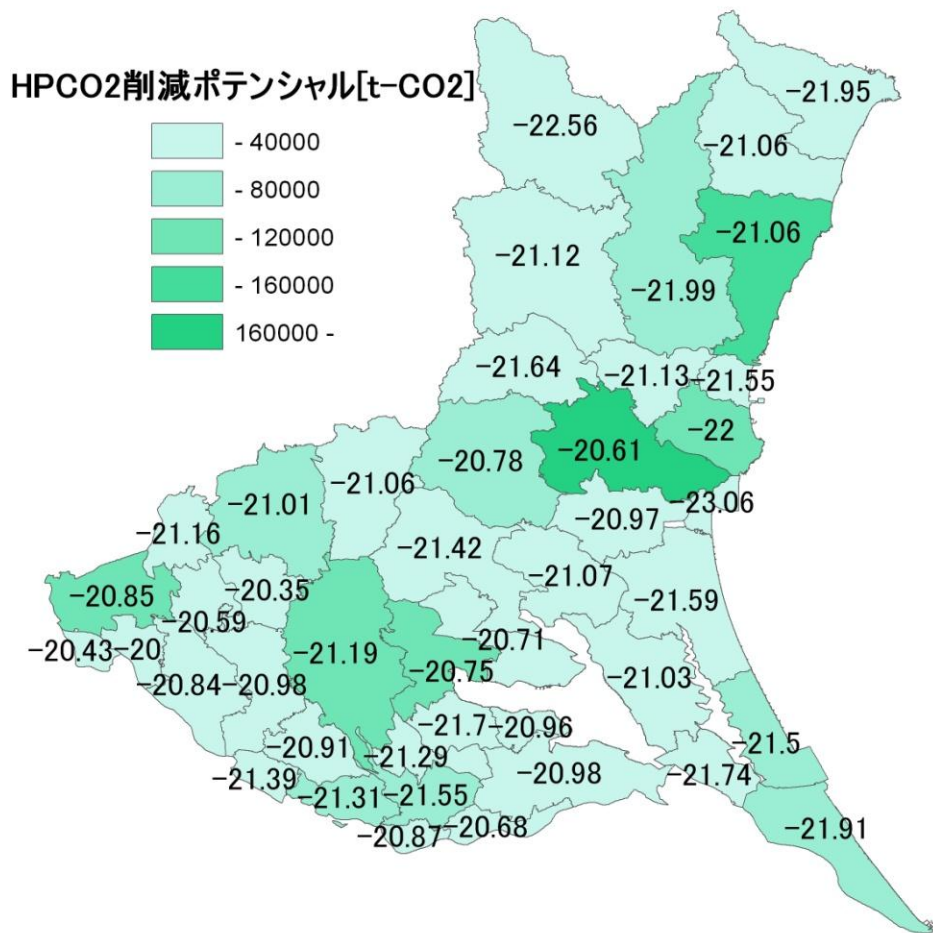


合計 7.08×10^9 [kWh], 割合 36 ~ 39%

合計 4.06×10^9 [kWh], 割合 12 ~ 31%

(地図内の数字、青枠内の割合は、民生部門エネルギー消費量に占める割合を表す)

茨城県市町村別CO₂削減ポテンシャル(平均日射)



合計 **180 万トン**、削減割合 **20~22 %**

合計 **117 万トン**、削減割合 **7~20 %**

(地図内の数字、青枠内の削減割合は、現在の排出量からの削減割合を表す)

住宅における経済性・環境性分析のケース設定

ケース	冷房	暖房	給湯
現行	普及型エアコン	灯油	ガス
高効率	高効率エアコン	高効率エアコン	ガス
電化	高効率エアコン	高効率エアコン	HP式給湯機

“現行・高効率・電化”それぞれのケースにおいて、以下のPV導入ケースを検討

PV無

買い取りなし

PV-A

電気料金と同額で余剰電力を買い取り

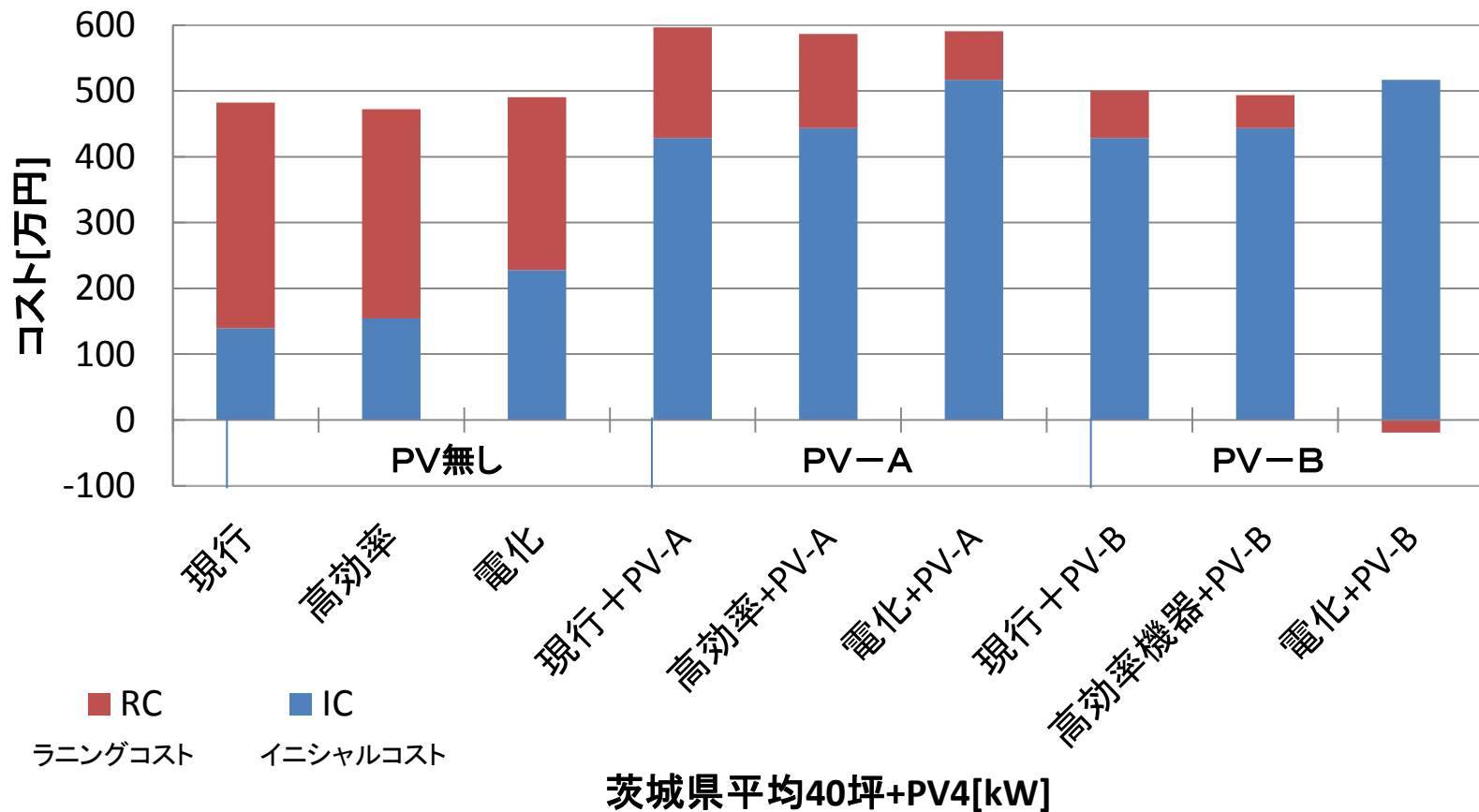
PV-B

48 [円/kWh] で余剰電力を買い取り

建物の延床面積・PV設置量として、以下のケースを設定

延床面積	冷暖房機器設置台数	PV設置量
30坪	3	3kW
40坪	4	4kW
50坪	5	5kW

住宅における導入機器別に見た経済性 (平均日射:茨城県平均、40坪4kW)



- 高効率ケースはトータルコストで有利、**48 [円/kWh]** の余剰電力買取(ケースB)でコスト負担増を大幅に抑制(他の延床面積での試算結果も同じ傾向)
- PV導入時の日射量の多寡によるコスト差→最大**13%**
- 地域による差→最大**8%**

PVとHPの分析結果のまとめ

● 地域全体のPV・HPの導入効果分析

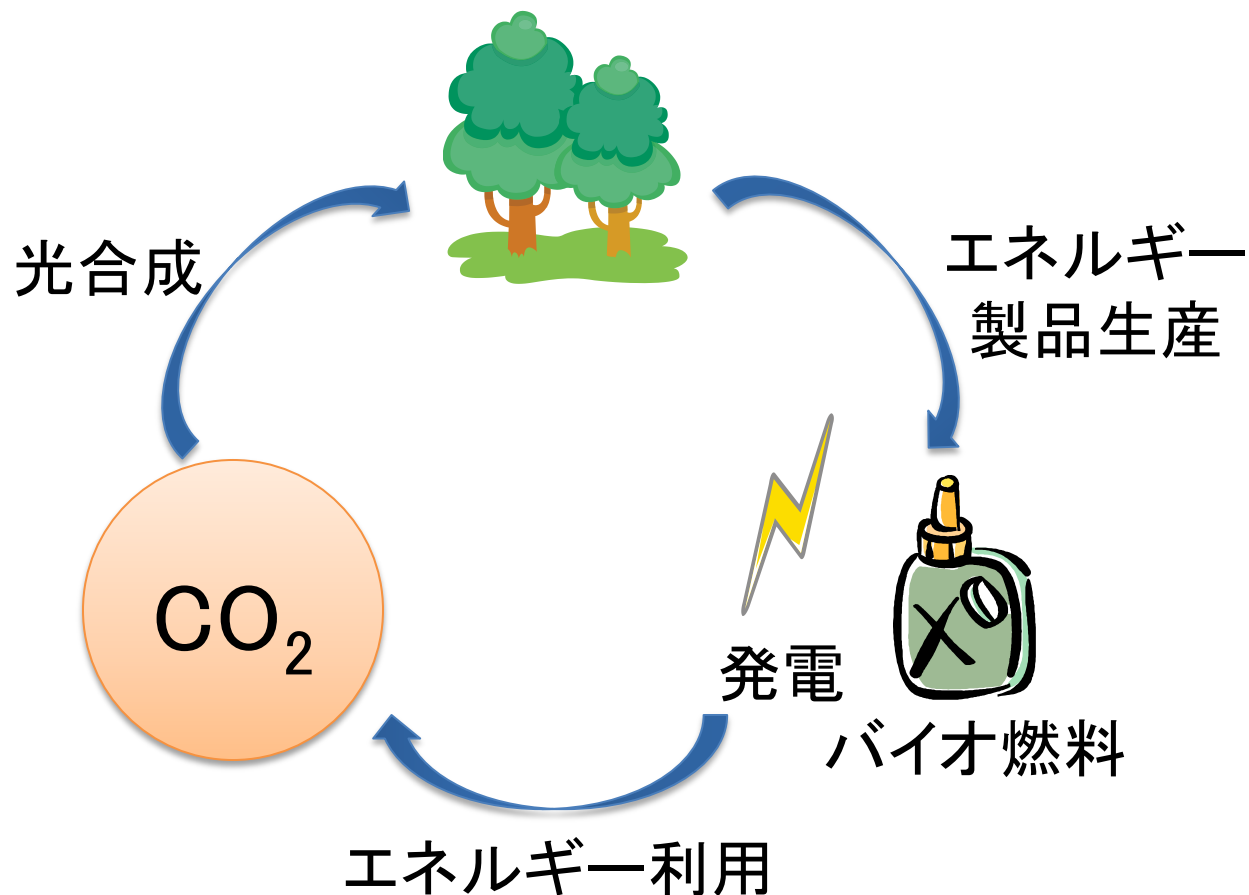
- HPとPVの最大導入ポテンシャルは、各市町村の民生部門の全エネルギー消費量のそれぞれ**36～47%**、**12～31%**削減可能
- HPとPVの導入による各市町村の民生部門におけるCO₂排出削減ポテンシャルは、それぞれ**20～22%**、**7～20%**削減可能

● 住宅の環境性・経済性分析

- 高効率ケースは**約20%**、電化ケースは**約23%**、PV導入により**40～60%**現行ケースよりCO₂を削減可能
- 日射条件・地域毎に、環境性・経済性とも**10%**程度の差が生じる
- 10年でトータルコストを回収するには、PVの設置コストを1kWあたり**40万円**低減する必要

茨城県における バイオエネルギー生産の最適化分析

カーボンニュートラル



ライフサイクルの中で大気中の二酸化炭素を増加させない

研究目的

バイオマス利用の阻害要因→高い処理コスト

エネルギー転換設備は
規模の経済が強く働く



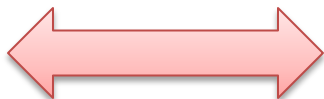
大規模・高効率化が必要

バイオマスは**広く薄く**分布



資源を大量に収集すると
輸送費用が増大する

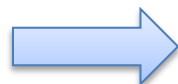
設備建設費用



輸送費用

トレードオフ

輸送費用と建設費用のトレードオフを解決
費用効率の良いバイオマス利用システムを開発



バイオマスエネルギー生産費用の削減

国内バイオスタウン

先端要素技術

海外プランテーション

持続可能性

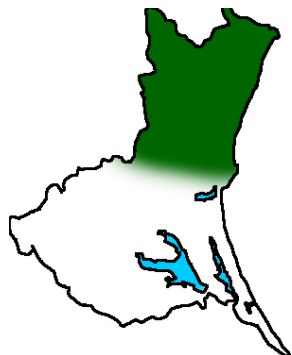
地域適合性

茨城県内バイオマス利活用事業の
総合検証研究

国内外バイオスタウンの設計と
支援システムの構築

茨城県 県北地域
での利活用急務

利活用総合プラン
の構築・検証



エネルギー・物質チェーン

ライフサイクル ↑ ↓ 収集・運搬 → 転換 → 利用

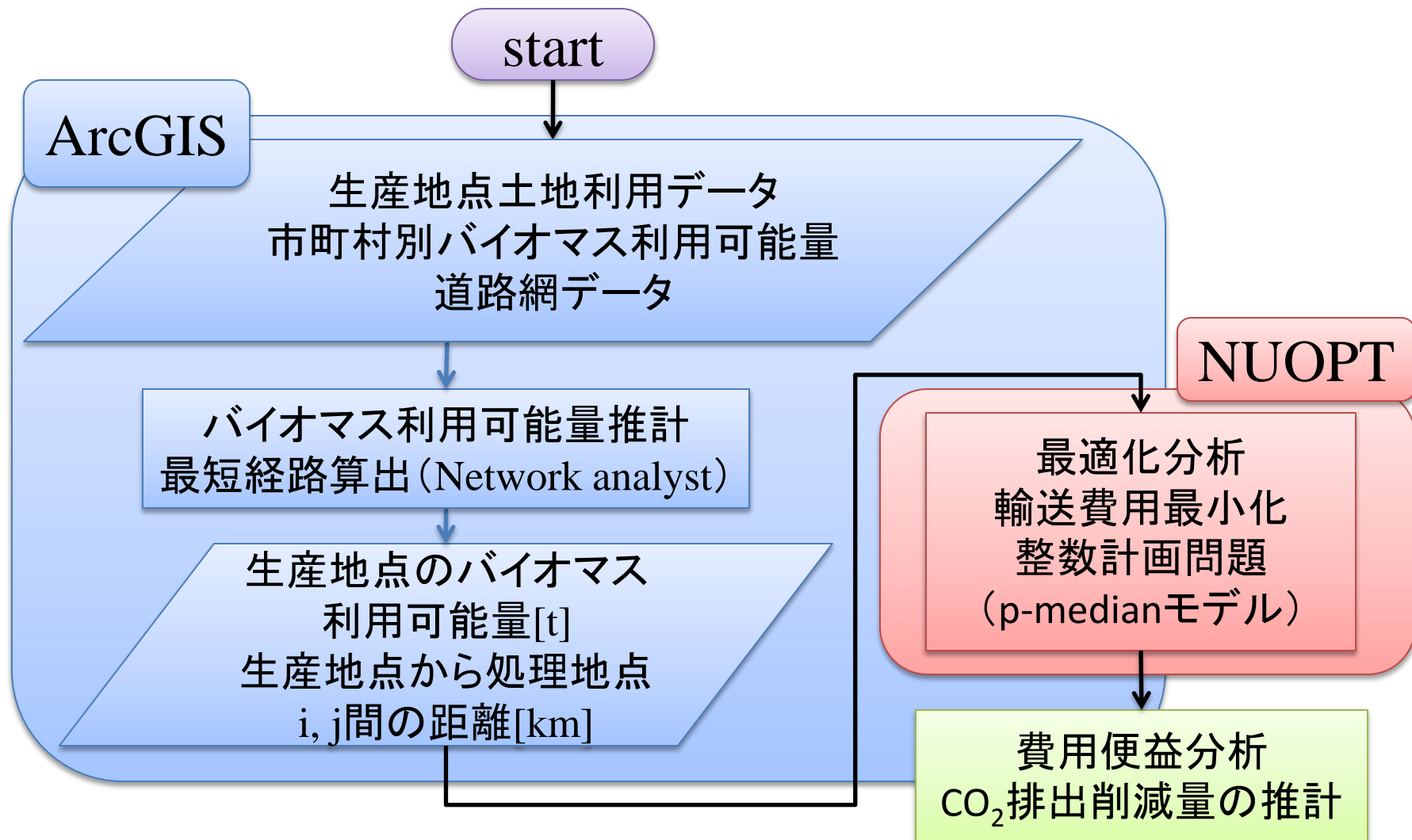
新エネルギー普及評価手法の開発

エネルギーチェーン多層評価手法開発

先端的要素技術研究(収集・運搬, 転換, 利用技術)

地域バイオマス利活用に関する総合検証研究

分析手法



輸送費用最小化問題

$$\text{minimize } C_t = \sum_{n \in N} \left(q_n \cdot \sum_{j \in \text{Plant}, n \neq j} (d_{nj} \cdot x_{nj}) \right) \cdot P_t$$
$$N = \{\text{Biomass} \cup \text{Plant}\} \quad (3)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in \text{plant}} x_{jj} = N_p \quad (4)$$

設備設置数の制約

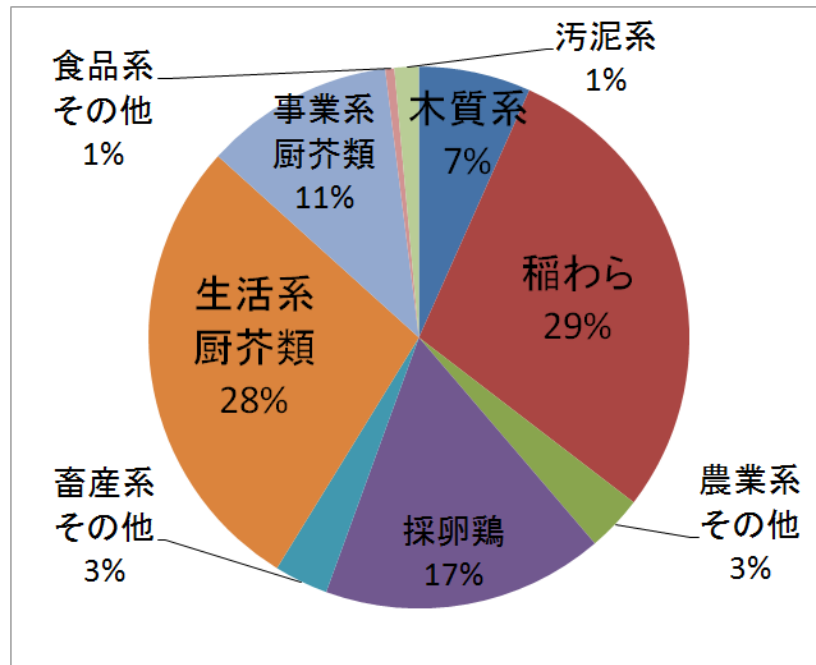
$$\sum_{j \in \text{Plant}} x_{nj} = 1, \forall n \in N \quad (5)$$

ある1施設に
バイオマスを残さず
配分する制約

$$x_{nj} \leq x_{jj}, \forall n, j \in N, n \neq j \quad (6)$$

設備のない地点に
バイオマスが
配分されることを防ぐ制約

推計したバイオマス



多く賦存する木質系
稲わら、採卵鶏、~~厨芥類~~

腐敗しやすい
成分不定
分別回収困難

茨城県バイオマス原料種別熱量利用可能量

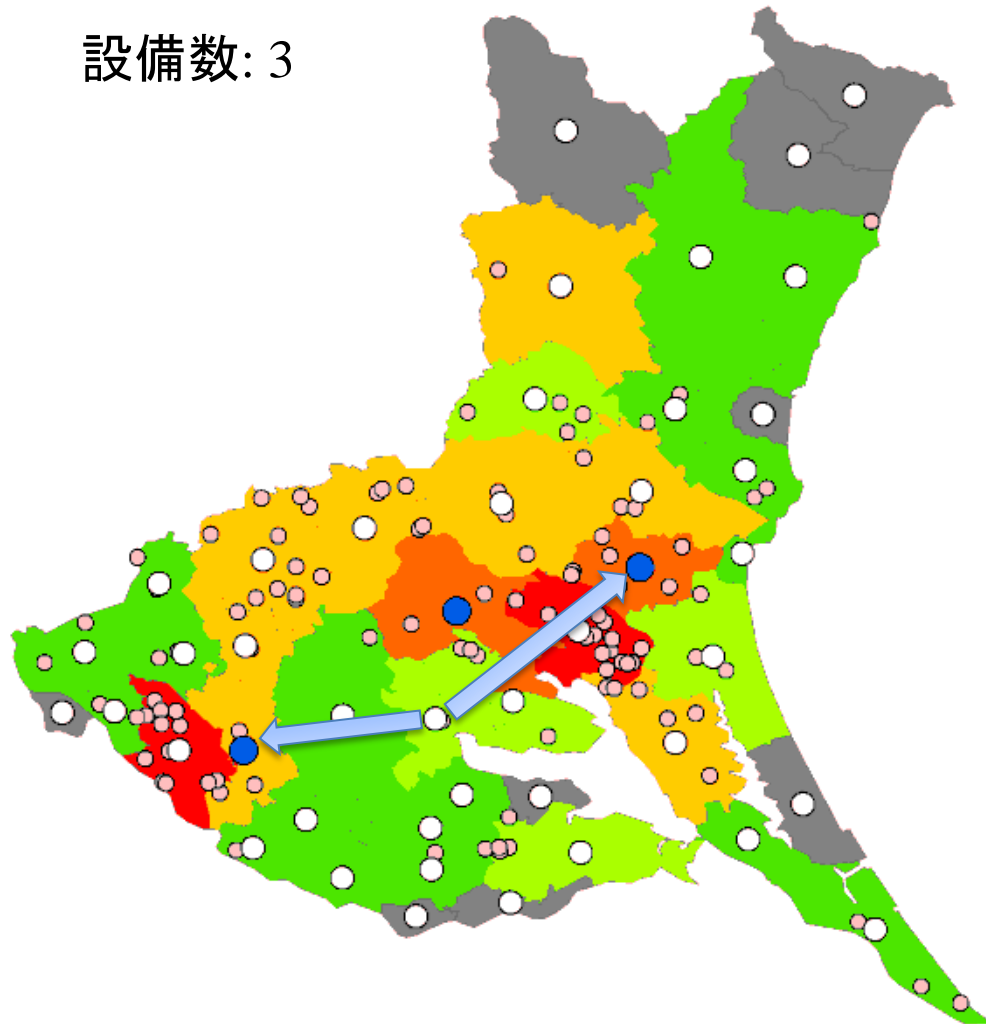
分析対象

転換技術

稲わら	321,000 t/yr	エタノール化
木質系	84,700 t/yr	発電(ボイラー、ガス化)
鶏ふん	295,000 t/yr	発電(ボイラー)

轉換設備の設置地点

設備数: 3



● : 発電設備
の設置候補地点
(市町村の重心)

○ : 設置地点

● : 養鶏場 [t]

鶏ふん生産量

0.0 - 1.0

1.1 - 3500.0

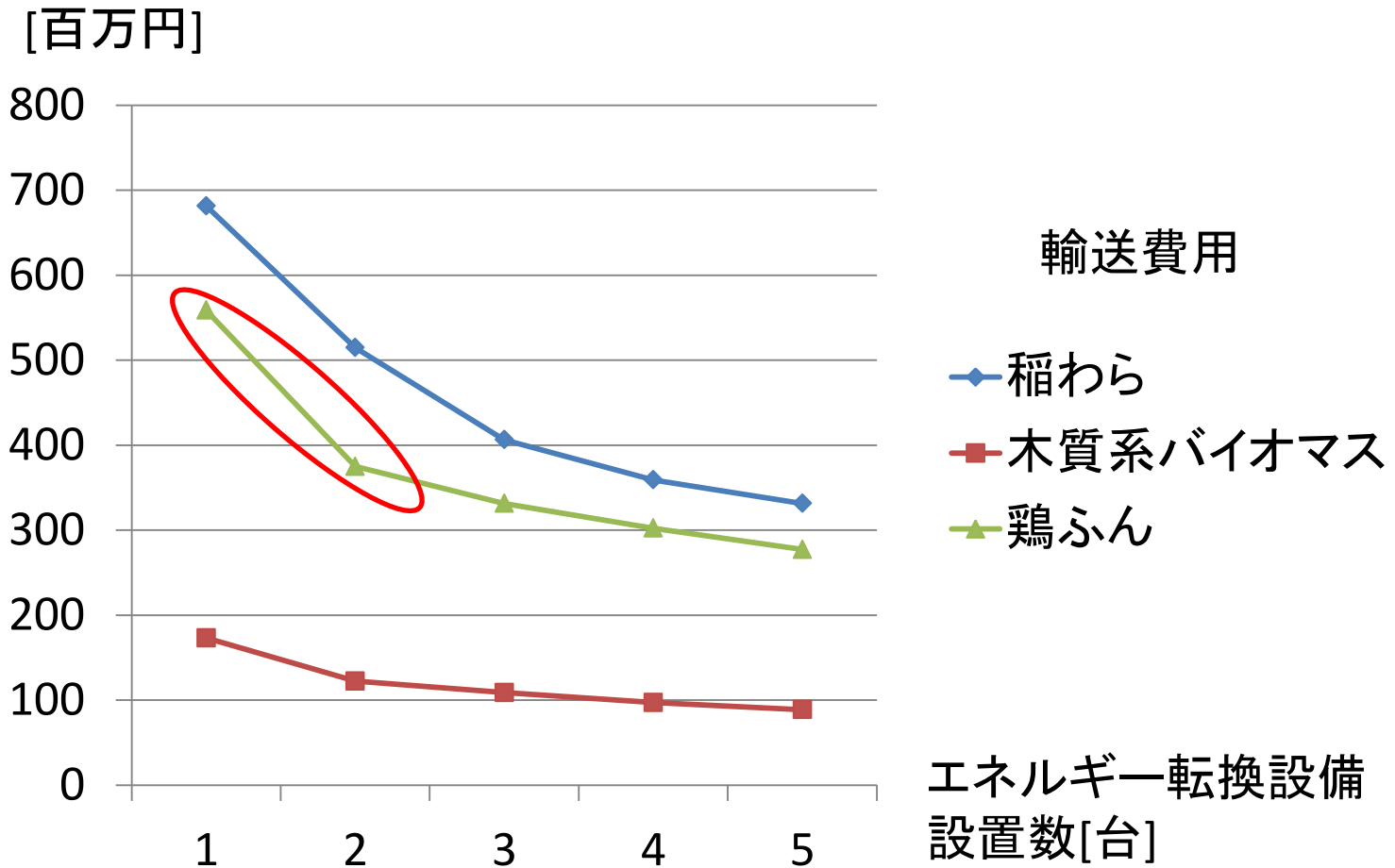
3500.1 - 5800.0

5800.1 - 16000.0

16000.1 - 35000.0

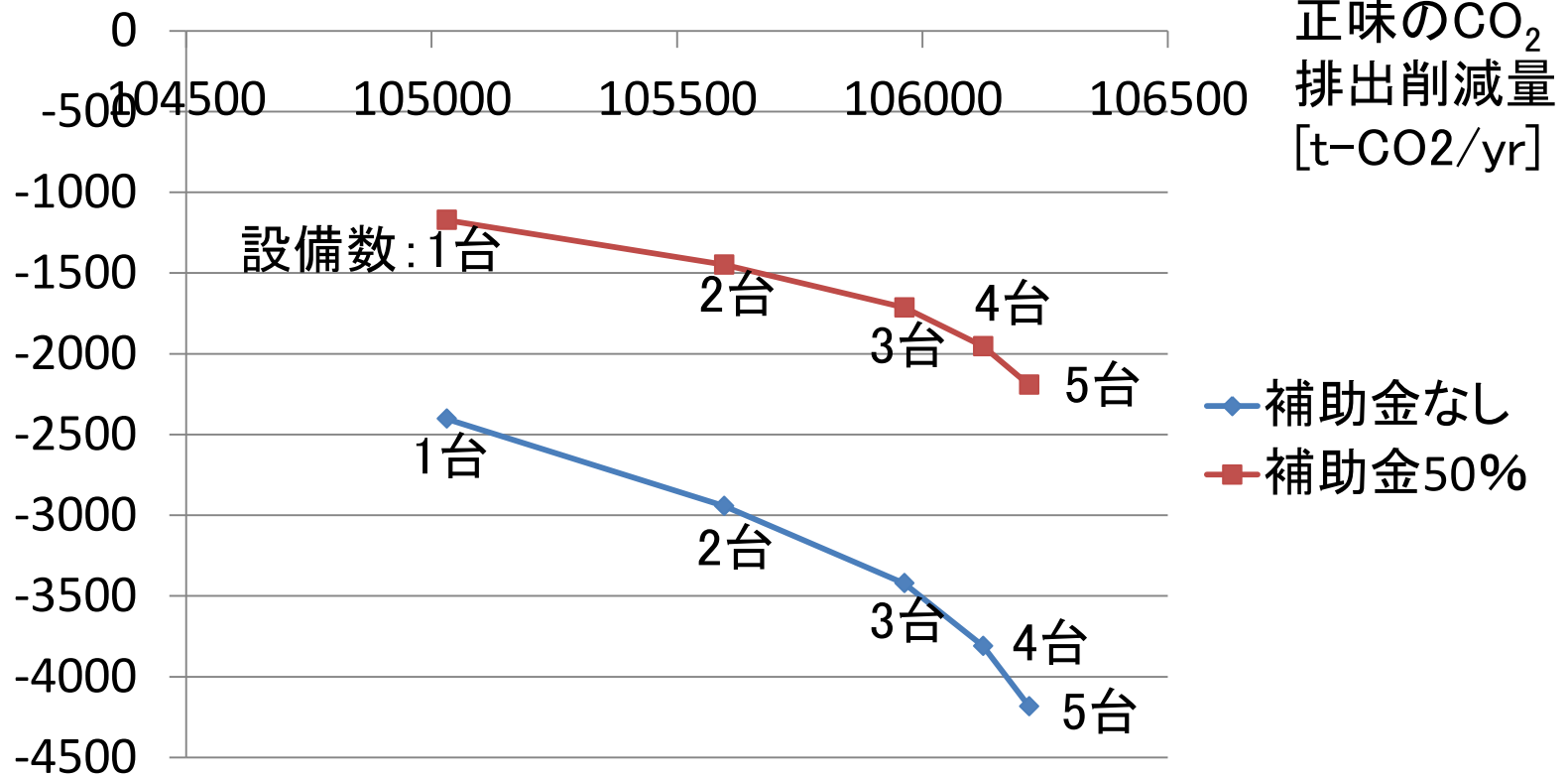
35000.1 - 80000.0

転換設備の数と輸送費用



稲わらエタノール事業の 正味利益とCO₂削減量

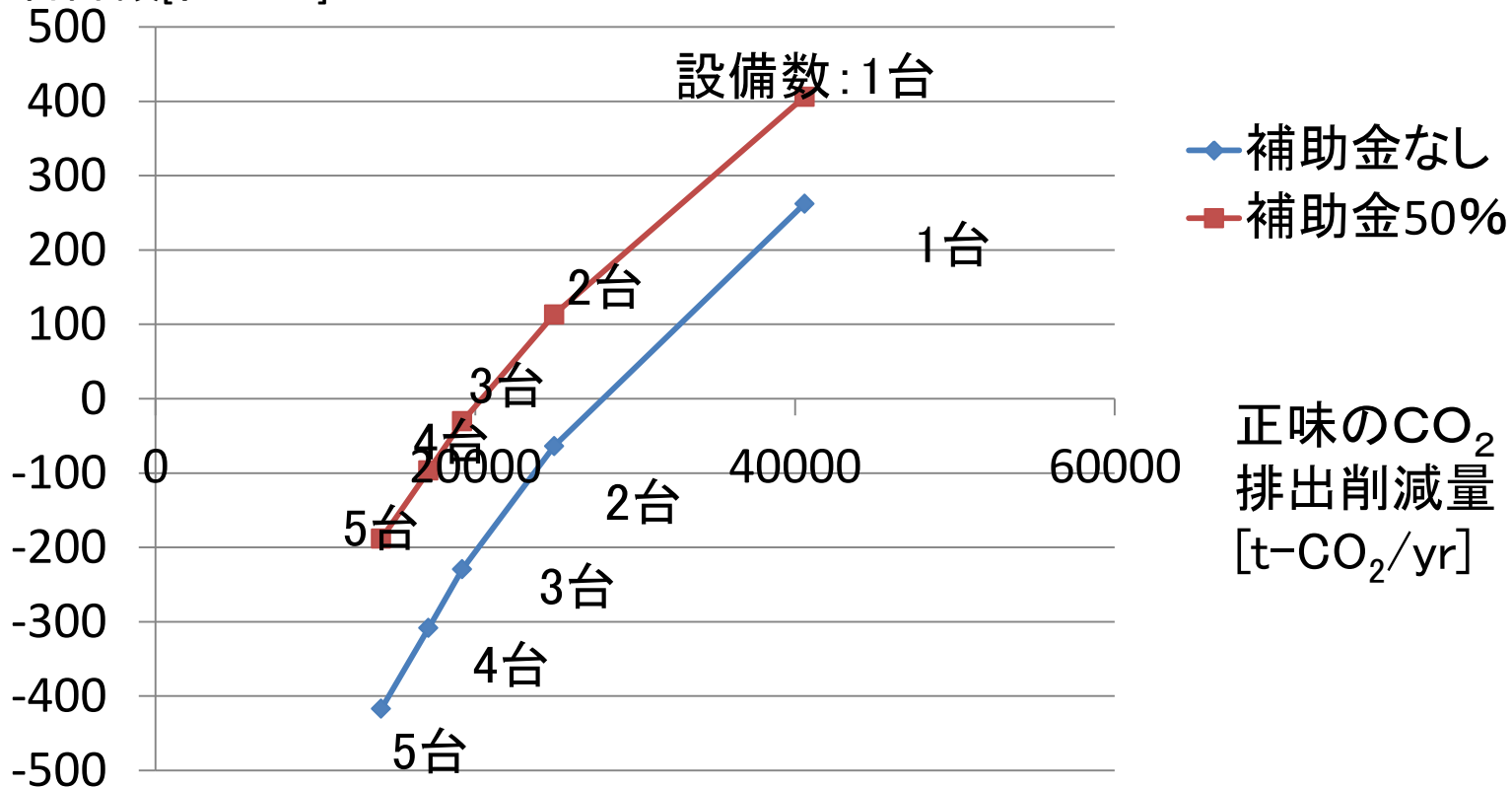
事業収支の
合計額[百万円]



設備数が多くなると収益が減少し、輸送距離の減少に伴い
CO₂排出削減量が増加(1台→5台:10.50万トン→10.62万トン)

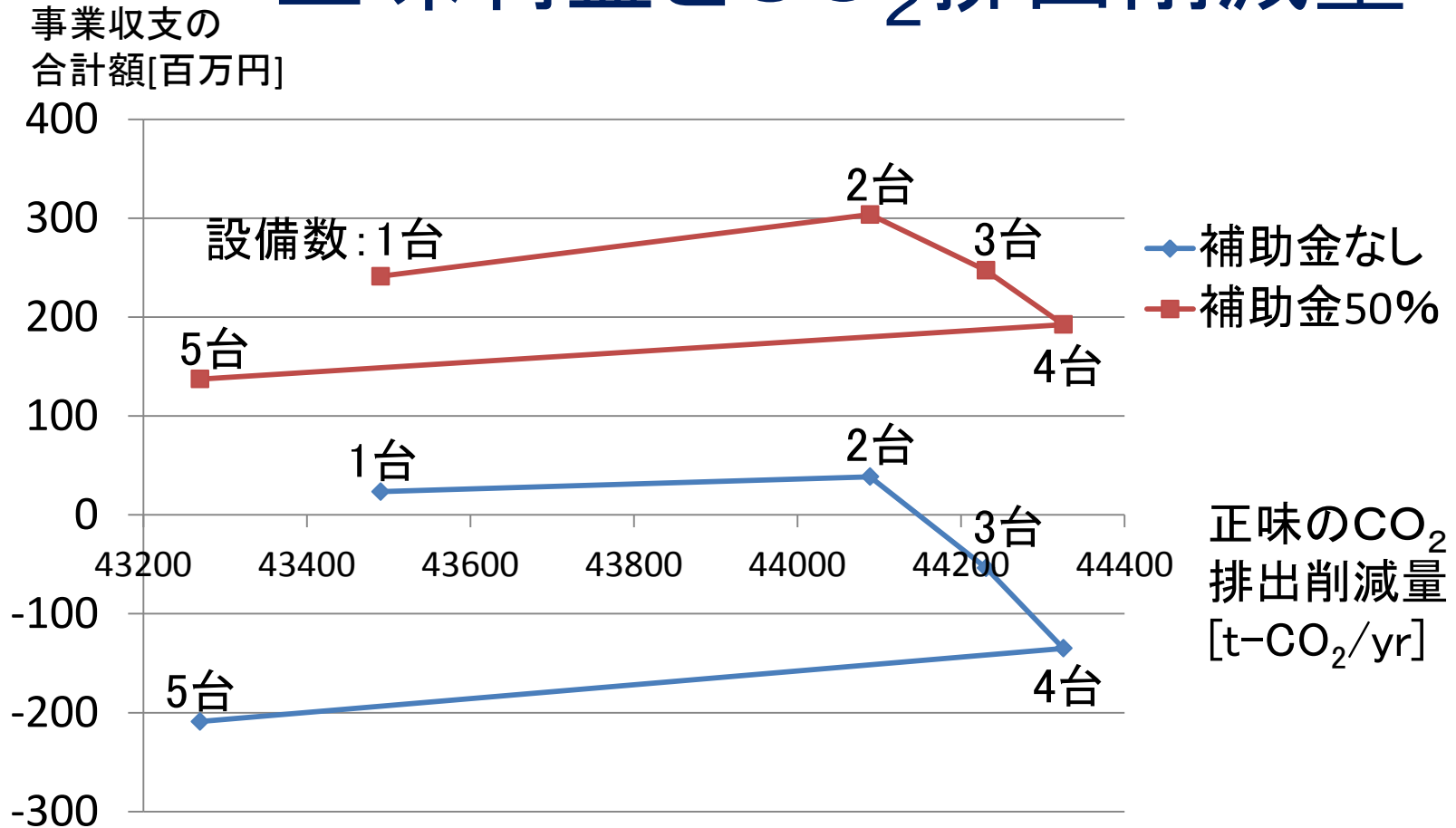
木質系バイオマスボイラーの 正味利益とCO₂削減量

事業収支の
合計額[百万円]



設備数が多くなると、各設備の発電効率が減少するため、収益と共にCO₂排出削減量も減少(1台→5台:4万トン→1.35万トン)

鶏ふん直接燃焼発電の 正味利益とCO₂排出削減量



4台から5台の場合、処理量の減少による発電効率の低下で、CO₂排出削減量が減少(4台→5台:4.43万トン→4.33万トン)

茨城県における

バイオマスポテンシャル評価のまとめ

- CO₂削減ポテンシャルは、稲わら**10.5万トン**、木質系**4万トン**、鶏ふん**4.4万トン**になり合計約19万トン(県全体の**0.4%**)
- 稲わらエタノール化事業の収益はマイナスだが、設備数が**1台**でマイナス値は最小：**-24億円**(補助金なしの場合)
- 木質系バイオマス事業は設備数が**1台**で収益が最大
 - ボイラー発電事業の利益は**+2.6億円**(補助金なし)
 - ガス化発電事業の利益**+0.7億円**(補助金なし)
- 鶏ふん発電事業は設備数が**2台**の場合に収益が最大：**+0.2億円**(補助金なし)
- CO₂排出削減分の収入(炭素クレジット)を設けた場合の利益
 - 稲わらエタノール化事業では**1.8%**の改善
 - 木質系発電事業では**9.1-9.7%**の増加
 - 鶏ふん発電事業では**6.7%**の増加

ご静聴ありがとうございました。