

## B-14 地球温暖化対策技術の評価及び評価手法の開発に関する研究

### (1) 地球温暖化対策技術総合評価システムの開発に関する研究

研究代表者 東京大学工学部 曾根 悟

環境庁 国立環境研究所

地域環境研究グループ交通公害防止研究チーム 清水 浩、森口祐一

社会環境システム部 近藤美則

(委託先) 東京大学工学部 曾根 悟、茅 陽一、笠井啓一、古関隆章、林 武人、  
山地憲治、浅野浩志、松橋隆治、大村昭士

創価大学工学部 伊本俊明

(株)住環境計画研究所 中上英俊、村越千春、井口貴司

平成2-5年度合計予算額 39,282千円

平成5年度予算額 10,947千円

#### 要旨

本研究は、地球温暖化対策技術の総合評価システムの開発を目的として行なわれたものである。ただ、対策技術と一口にいても、それは省エネルギーから緑化に至るまで、きわめて広範囲に亘るので、ここでは以下の範囲に絞って行なうこととした。

- 1) 対策技術の総合効果の数量的評価手法についての検討
- 2) いくつかの重要個別対策技術の総合的検討

まず、前者については、筆者らが提唱する、CO<sub>2</sub>排出の3要素分解評価手法について、その特性を検討した。ただ、この手法は、国全体のCO<sub>2</sub>排出の特性を一般的に押さえる手法としてはよいが、個別技術の総合的効果の評価にはあまり効果がない。そこで、そのための手法として、しばしば用いられる産業連関分析手法の応用について検討した。この場合、特に省エネルギー・省資源の総合影響をとらえることに主眼をおいた。

一方、後者については、すでに環境庁の温暖化対策技術検討会ハンドブックで、一応の検討が試みられている。ここでは、この検討の対象の中で、特に社会システムの取り扱いが重要と思われるコージェネレーションを中心に、そのより詳細な総合検討をおこなってみた。

キーワード 要素分解法、産業連関分析、コージェネレーション、省エネルギー供給曲線

#### 1. 要素分解手法-(3要素型)による評価

CO<sub>2</sub>排出低減方策の総合的な評価手法として対策とその経済成長への影響を大局的にみる要素分解法は将来目標設定などに際して簡潔にして有効な方法である。

要素分析手法では次式を基本式とおく。

$$CO_2 = \sum CO_{2i} = \sum \frac{C_i}{E_i} \frac{E_i}{GDP_i} GDP_i \quad (1.1)$$

ここで  $i$  は各分野別対策、 $c$  は炭素発生量、 $E$  はエネルギー使用量である。

また、 $X_i = C_i / E_i$ ,  $Y_i = E_i / GDP_i$  とおくと、 $X_i$  はエネルギー供給の炭素依存性、つまりエネルギー源の転換の効果であり、 $Y_i$  はエネルギーの利用効率、すなわち、省エネルギーの指標となる。

(1.1) 式を偏微分することにより、次式が得られる。

$$\frac{d(\text{CO}_2)}{\text{CO}_2} = \frac{dX_i}{X_i} + \frac{dY_i}{Y_i} + \frac{d(\text{GDP}_i)}{\text{GDP}_i} \quad (1.2)$$

これらの式によって、エネルギーの効率改善と脱炭素化を媒介としてCO<sub>2</sub>発生量と経済成長の関係を描くことができる。

(1.2) 式より、もし、CO<sub>2</sub>の発生量の増加を抑えたとすると、

$$\frac{dX_i}{X_i} + \frac{dY_i}{Y_i} + \frac{d(\text{GDP}_i)}{\text{GDP}_i} = 0 \quad (1.3)$$

の等式を成立させる必要がある。(1.3) 式より、例えば経済成長率を3%確保しようとする

$$\frac{dX_i}{X_i} + \frac{dY_i}{Y_i} = -0.03 \quad (1.4)$$

としなければならない。(1.4) 式を満足させるにはエネルギー転換が毎年3%のCO<sub>2</sub>削減率に相当する速度で進むか、エネルギー効率の改善が年間3%の割合で進むか、あるいは、その両者を合わせた効果が年率3%であるかのいずれかが必要であることが分かる。

しかし、これら三要素のは必ずしも独立に変化するわけではなくその相関関係を34ヶ国について検討した。炭素依存度と原単位の間には先進諸国ではほぼ正の相関発展途上国で負の相関がみられる。原単位とGDPの間ではほとんどの地域で負の相関がみられ経済成長と技術改善が同時に起きている。GDPと炭素依存度の間ではかなりのばらつきがみられ地域によるエネルギー需給構造の差を反映している。またこれら三要素を価格などで説明するモデルを検討したが国・期間を特定すれば充分説明可能なモデルが出来るが一般的なモデルは非常に難しいことが判明した。

## 2. 産業連関表による省エネルギー・省資源の評価

### (1) 目的

CO<sub>2</sub>濃度増加の最大の原因は石油、石炭、天然ガスなどの化石燃料の使用にあり、従ってCO<sub>2</sub>排出を制御する方策としては省エネルギー・省資源による化石燃料の使用量削減が有望であると考えられている。

省エネルギー・省資源を行なった場合の我が国全体のCO<sub>2</sub>排出低減効果は産業関連表を用いて評価することができる。この表を用いることにより、ある部門において行なわれた省エネルギー・省資源がエネルギー部門(石炭、石油部門等)に及ぼす効果を算出することができる。ここでは、産業関連表を用いたCO<sub>2</sub>排出低減効果の評価手法を示し、いくつかの省エネルギー・省資源例についてその効果を計算する。

### (2) 評価方法

#### ① 省エネルギー・省資源の表現

省エネルギー・省資源においてエネルギー(あるいは資源)部門*i*0から製品部門*j*0への投入削減を

$$a_{i_0j_0} \rightarrow a_{i_0j_0} + \Delta a \quad (2.1)$$

$a_j$  : 投入係数

と表現する。このとき連関表の  $j_0$  列に変化が生じることになるが、ここでその変化の仕方について、省エネルギーによる投入変化分だけ付加価値が増大するという仮定を用いる。この仮定を用いる理由は、産業連関分析の前提から省エネルギー前後において  $j_0$  部門の製品価格を一定(すなわち生産額一定)であれば、 $-\Delta aX_{j_0}$  だけ  $j_0$  部門の付加価値が増加するため、全体への影響を計算するとき国内総生産をこの分だけ増大させて考えればよい。省エネルギーの成果を製品価格の低下に当てる行動も当然考えられるが、これは投入係数行列の修正をとらない非常に多くの計算を必要とする。また、付加価値増大の容認も省エネルギー・省資源へのインセンティブの一つとして十分考えてよいことである。

### ② 全体影響の算定

国内総生産の増大分は連関表の最終需要部門に分配されるが、このとき最終需要のパターンが変化しないとすれば、最終需要は次のように変化する。

$$D \rightarrow D + \Delta D$$

$$\Delta D = -\Delta aX_{j_0}/dtotal \quad (2.2)$$

$D$  : 最終需要ベクトル  
 $dtotal$  : 最終需要の総計

産業連関分析において、生産額  $X$ 、投入係数  $A$ 、最終需要  $D$  の需要バランス式より、

$$X = (I - A)^{-1} D \quad (2.3)$$

が成り立つ。この式より省エネルギー後の生産額が得られる。

$$X + \Delta X = (I - A - \Delta A)^{-1} (D + \Delta D) \quad (2.4)$$

すなわち、

$$\Delta X = (I - A - \Delta A)^{-1} (D + \Delta D) - (I - A)^{-1} D \quad (2.5)$$

### ③ 総合効果の近似

$\Delta A$  が微小であるとき次のような近似が考えられる。

$$(I - A - \Delta A)^{-1} = (I - A)^{-1} + (I - A)^{-1} \Delta A (I - A)^{-1}$$

この近似を (5) 式に代入すると、

$$\Delta X = (I - A)^{-1} \Delta A (I - A)^{-1} D - \Delta aX_{j_0}/dtotal (I - A)^{-1} D$$

このとき、あるエネルギー部門  $i$  の生産額の削減量は

$$\Delta E_i = \gamma_i (T_{i, i_0} - X_i/dtotal) \Delta aX_{j_0} \quad (2.6)$$

$\gamma_i$  :  $i$  番目のエネルギー価格の逆数(kcal/yen)

$T_{i, i_0}$  :  $(I - A)^{-1}$  の  $i$ - $i_0$  要素

括弧内の第1項は削減効果を表し、第2項は付加価値増大による打ち消し効果分を表す。従って、CO<sub>2</sub>削減量は

$$\Delta C = \sum \beta_i \Delta E_i \quad \beta_i : \text{CO}_2 \text{ 排出係数}$$

なお、上記の方法は、投入係数の変化が1に比して充分小さいという条件下で成立する。変化が大きいたときには、本来の連関分析の式に立ち返る必要があるが、ここでは省略する。

$\beta_i$ :	coal	0.0963 C-ton/10 <sup>6</sup> kcal
	crude oil	0.0770 C-ton/10 <sup>6</sup> kcal
	NG	0.0559 C-ton/10 <sup>6</sup> kcal

(3) 省エネルギーの総合効果例

— 銑鉄・粗鋼部門における石炭投入の10%削減効果 —

① データ

投入係数A <sub>ij</sub>		2611	
			銑鉄・粗鋼
0711	石炭	.000810	
0721	原油	.000000	
0731	天然ガス	.001061	
2111	石油製品	.002349	
2121	石炭製品	.115369	→ 10%削減

逆行列係数T<sub>ij</sub>

		2111	2121
		石油製品	石炭製品
0711	石炭	.002944	.491158
0721	石油	.649537	.099163
2111	石油製品	1.092131	.161921
2121	石炭製品	.002801	1.094060

② 計算結果

石油製品削減量

$$\Delta E = 123\text{kcal/Yen} * (.1619 - 13.817/330.205) * .11537 * -0.1 * 8.513 * 10^9 \text{Yen} = -1.45 * 10^{12} \text{kcal}$$

石炭製品削減量

$$\Delta E = 186\text{kcal/Yen} * (1.094 - 2.268/330.205) * .11537 * -0.1 * 8.513 * 10^9 \text{Yen} = -19.59 * 10^{12} \text{kcal}$$

総合評価

$$\begin{aligned} \Delta C &= -19.59 * 10^{12} \text{kcal} * .0963 \text{ C-ton}/10^6 \text{kcal} - 1.45 * 10^{12} \text{kcal} * .0770 \text{ C-ton}/10^6 \text{kcal} \\ &= -2.00 * 10^6 \text{ C-ton} \end{aligned}$$

これは我が国の総排出量の0.7%に相当し、直接分比率は88%、付加価値増分による打ち消し分は2.5%である。

なお、原油・石炭を用いず、石炭製品・石油製品を用いた理由は以下による。

ア) 鉄鋼の場合原料炭を用いるので、燃料炭を含む石炭部門の平均価格を用いると誤差が大きくなる恐れがある。

イ) 石油製品の場合は、原油でも大きくは異ならないと思われるが、石炭との対応上石油製品を用いた。

③ 鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>削減可能性の現実的な評価

上記の基本手法にミクロな分析に基づく現実的な対策と数値を考慮して評価した。

鉄鋼業における省エネルギー・省資源対策をシナリオ別に評価した結果を表1に示す。技術的な改善による効果は厳しい一方、スクラップ利用拡大（リサイクル）が最も効果が高く、今後の重要な方向であることがわかる。

表1 鉄鋼業における省エネルギー・省資源対策の評価結果（単位：10<sup>7</sup>CO<sub>2</sub>-ton）

省エネ・省資源対策	現状トレンドケース	対策ケース	悲観ケース
高炉のエネルギー原単位改善	0.45215	0.543832	0.45215
電気炉のエネルギー原単位改善	0.00221	0.039321	0.00221
溶融還元炉の導入	0.08358	0.16715	—
スクラップ利用拡大	1.10237	1.998041	—
合計	1.64031	2.74834	0.45436

(4) セメント製造業

セメント製造業における省エネルギー・省資源対策の評価結果を表2に示す。混合セメントの使用には製品の特性から制約があるが、現時点での長崎県（57%）程度まで普及できれば非常に大きなCO<sub>2</sub>の削減可能性である。

表2 セメント製造業における省エネルギー・省資源対策の評価結果（単位：10<sup>6</sup>CO<sub>2</sub>-ton）

省エネ・省資源対策		直接削減分		総合削減量
新規技術（BAT）の導入		2.261717		2.310001
省エネ・省資源対策		エネルギー分	原料分	合計
混合セメント の利用拡大	15%→35%	1.617	3.700	5.317
	15%→55%	3.233	7.399	10.632

(5) 省資源の総合効果例

— 乗用自動車の原材料転換 —

① 取り扱い上の問題点

ア 鉄鋼材料の10%削減

鉄鋼材料は、形式的には乗用者部門への材料投入がなく、すべて自動車部品部門への材料投入という形で、間接に取り扱われている。そこで次の仮定を導入する。

自動車部品部門へ投入された材料は、加工後他部門へ更に転送されるが、その転送量の単価（総価格/物量）は、部門によらずすべて同一である。

この仮定は実際には当たっていない。何故なら、乗用自動車部門は他部門に比して高付加価値の部門であり、投入される材料も他部門に比して質の高い高価格のものであろうからである。しかし、現状の連関表からは乗用自動車への投入を更に分析することは不可能なので、上記の仮定を

採用する。結果は物量的にやや過大な評価となることを覚悟せざるを得ない。この仮定に従うと、以後の計算から

$$\Delta a_{X3541} \rightarrow \Delta a_{X3541} * K, K = a_{3541,3511} X_{3511} / X_{3541}$$

と変更すればよい。

イ プラスチック材料への転換

鉄鋼材料を10%削減したとき、減少した体積分だけプラスチック材料の投入が増加するものとする。鉄鋼材料の削減により減少させた体積は

$$\Delta V_{\text{steel}} = 5,083,248 \text{ t} * 0.1 / 7.86 \text{ g/cm}^3 = 646.72 \text{ m}^3$$

このときプラスチックの投入の変化量は

$$\Delta X_{2211} = 646.72 \text{ m}^3 * 2.0 \text{ g/cm} * 737.606 \text{ Yen/t} = 959 * 10^6 \text{ Yen}$$

$$\Delta a_{2211} = .006193$$

となる。これはプラスチック材料を約20%増加したことになる。

## ② 計算結果

石油製品削減量

$$\Delta E = 123 \text{ kcal/Yen} * (1.561 + .8947) * 10^4 * 15.487 * 10^9 \text{ Yen} = .468 * 10^{12} \text{ kcal}$$

石炭製品削減量

$$\Delta E = 186 \text{ kcal/Yen} * (-6.955 + .1469) * 10^4 * 15.487 * 10^9 \text{ Yen} = -1.96 * 10^{12} \text{ kcal}$$

総合評価

$$\begin{aligned} \Delta C &= .468 * 10^{12} \text{ kcal} * .0770 \text{ C-ton/} 10^6 \text{ kcal} - 1.96 * 10^{12} \text{ kcal} * .0963 \text{ C-ton/} 10^6 \text{ kcal} \\ &= -0.15 * 10^6 \text{ C-ton} \end{aligned}$$

## (6) まとめ

産業連関表を用いることにより、省エネルギー・省資源におけるCO<sub>2</sub>削減効果を算出することができ、従って、どのような省エネルギー・省資源を行えば効果的なCO<sub>2</sub>削減が可能であるか評価できる。しかし、今回の評価方法は一般的な省エネルギー・省資源について適用できるのであり、全ての省エネルギー・省資源に(3.6)式が使えるわけではない。計算例の中でも示したように対策技術ごとにその特徴を加味して各々評価方法を多少修正しなければならないことも多い。

省エネルギー・省資源についてもう少し詳細なデータが与えられると更に正確な評価結果が得られる。今回の計算には産業連関表の183部門表から必要なデータを取り出したが、省エネルギー・省資源について詳細を調査し、408×529部門表を用いて、部門分割の影響を少なくすることも出来る。原単位法による積み上げ評価との優劣は評価の対象と影響の範囲により使い分けるべきであろう。

## 4. 電力託送を含めたコジェネ自家発の挙動分析とその可能性評価

コジェネは省エネルギーの対策として重要視されているが、電力と熱の需要パターンが一般的には一致しないため、コジェネの効果が十分に発揮されていない。ここでは電力託送（自家発の発電電

力を電力会社の系統を通じて他の需要家に送ること)を仮定し余剰電力が融通可能な場合に、コジェネ自家発の行動やエネルギー効率に与える託送の影響を検討することを目的とした。

### (1) モデル定式化

ここでは、コジェネ自家発の挙動を自己の厚生最大化型モデルとして表現し、最適解を導いた。また、自家発の外部に電力需要家を考え、電力託送による融通がない場合とある場合の挙動およびシステム全体のエネルギー効率を比較し、託送の効果を検討した。なお、ここでは一日を一時間帯とした。また、評価基準は 厚生=消費者余剰-コスト である。

#### ① 託送なしのモデル定式化

コジェネの熱供給と電力供給のバランスにより、次の2ケースに分かれる。

〈追いだきなしのケース〉

$$J = \int_0^{X_U+X_N} P_e(x)dx + \int_0^Y P_h(y)dy - (\gamma K + \eta X_N + \delta Y) - P_U X_U \rightarrow \text{Max.}$$

$$\text{s.t. } X_N \leq K$$

〈追いだきありのケース〉

$$J = \int_0^{X_U+X_N} P_e(x)dx + \int_0^Y P_h(y)dy - [\gamma K + \eta X_N + \delta Y + \epsilon(Y - \rho X_N)] - P_U X_U \rightarrow \text{Max.}$$

$$\text{s.t. } X_N \leq K$$

$$Y \geq \rho X_N$$

ただし、 $P_{*0}$ : 効用関数 (Willingness to pay)

〈添字〉  $U$ : 系統,  $N$ : コジェネ自家発,  $e$ : 電力,  $h$ : 熱

〈変数〉  $X$ : 電力,  $Y$ : 熱,  $K$ : コジェネ設備容量

〈パラメータ〉  $\gamma$ : コジェネ固定費,  $\eta$ : コジェネ変動費,  $\delta$ : 熱供給固定費

$\epsilon$ : 追いだき燃料費,  $\rho$ : コジェネの熱出力/電力出力比 (熱電比)

$P_U$ : 買電料金,  $P_W$ : 託送料金

#### ② 託送ありのモデル定式化

追いだきなしのケースを示す。追いだきありのケースも前式に同様な変更を加えたものとなる。

$$J = \int_0^{X_{UC}+X_N+X_W} P_{eC}(x)dx + \int_0^{X_{UD}+X_W} P_{eD}(x)dx + \int_0^Y P_h(y)dy - (\gamma K + \eta X_N + \delta Y) - P_U(X_{UC}+X_{UD}) - P_W X_W \rightarrow \text{Max.}$$

$$\text{s.t. } X_N \leq K$$

$$X_W \leq X_N$$

ただし、〈添字〉  $C$ : コジェネ側,  $D$ : 託送受手側,  $W$ : 託送

### (2) コジェネ自家発の最適挙動

#### ① 託送なしの場合の最適解

以上の定式化に基づいてラグランジアンを構成し、最大原理を用いて最適解を得る。買電をしない時の託送なしの場合の結果を表3に示す。自家発はコジェネ熱電比に応じて異なった挙動を示すことになる。また、熱の限界価値が上昇する途中で追いだきに切り替えが発生する。

表3 コージェネ自家発の最適挙動（託送なしの場合）

ケース	排熱余剰	排熱余りなし	追いだきあり
電力限界価値	$Pe = \eta + \gamma$	$Pe = \eta + \gamma - \mu \rho$	$Pe = \eta + \gamma - \epsilon \rho$
熱限界価値	$Ph = \delta$	$Ph = \delta + \mu$	$Ph = \delta + \epsilon$
熱電比 $\rho$ の条件	$\rho > \rho_1 = Y_1/X_1$ (限界価値を与えるX,Yの比)	$\rho_1 \geq \rho > \rho_2$ ( $\rho_2: \mu = \epsilon$ となる $\rho$ )	$\rho_2 \geq \rho$

② 託送の生起条件

託送は次の条件が成り立つ時に生起する。すなわち、託送受手側の電力料金が送り手側の限界価値に託送料金を加えた金額以上ならば託送が起こる。

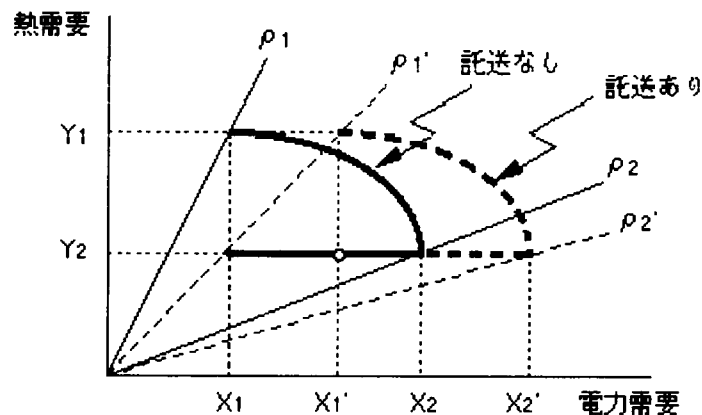
$$Pe' = Pe + PW \quad (\text{ダッシュありは託送受手側, なしは送り手側の限界価値})$$

また、託送ありの時のコージェネ挙動を、託送なしの場合と併せて図1に示した。

(3) 託送がエネルギー効率に与える影響

託送によって余剰電力が活用できるため、コージェネが排熱を廃棄しない運転状態で、託送なしの場合と比較しエネルギー利用効率の改善が確認できた。

図1 託送の有無別のコージェネ最適挙動



5. 民生・産業用コージェネ導入量予測とゴミ発電導入予測の見直し

本研究では、1992年に実施された地球温暖化対策技術評価検討会におけるコージェネ導入量およびゴミ発電導入量予測の再検討を目的とした。この予測は外部団体の評価結果を基にしている部分があり数値の中身が必ずしも明確ではない。また、評価が過大と思われる点も見受けられる。そこで、予測方法を見直し改めて2010年を目標時点とした予測を行う。

(1) 民生用コージェネ導入量予測見直しの概要

ここでは日本コージェネレーション研究会の調査を基に、民生用コージェネ導入量予測を、潜在需要の2010年予測値および顕在化率(=導入量/潜在需要量)の2点について再検討した。前者では、最新の将来人口推計値を用い、建物ストック量の推計をし直した。



### ① 潜在需要量推計結果

1990年、2000年、2010年の推計結果を、前回の予測値とともに表4に示す。2000年の推計がハンドブック使用値より上回っているのは、集合住宅を推計し直したところやや高めに出たことに起因する。結局、1990年～2000年の伸びよりも2000年～2010年の伸びが小さくなっているものの、ほとんど直線的外挿に近い結果となった。

表4 コジェネ潜在需要量の推計結果

(単位：MW)

業種		1990年	2000年	2010年
CGS 小規模	18業種	300	300	200
	5業種	900	1500	2200
CGS大規模業種		2,900	3,500	3,900
合計		4,200	5,300	6,300
前回予測使用値		4,200	5,200	6,200

### ② 顕在化率の見直し

1990年～2000年の潜在需要量を1980年まで外挿して1980年～1990年までの潜在需要量とし、この間のコジェネ導入実績から顕在化率をロジスティック曲線によって推計した。その結果、相関係数0.98の高い相関が得られた。この成長曲線によれば1995年以降顕在化率は急激に増大して2010年には95%に達すると推定された。

### ③ 民生用コジェネ導入量予測結果

以上の潜在需要量と顕在化率を乗じることにより、表5のようにコジェネ導入量が予測された。前回予測に比べ2000年で14%、2010年で3%小さめに推計された。

表5 民生用コジェネ導入量予測

(単位：MW)

	1990年	2000年	2010年
今回の見直し	273	2,800	6,000
前回予測	300	3,250	6,200
比率	—	0.86	0.97

## (2) 産業用コジェネ導入量予測の見直し

### ① 見直しの概要

前回の予測が産業部門全体に関する単純な外挿による予測であったので、ここでは産業用コジェネ導入量の予測を、業種別の導入量予測および導入量の伸びの要因分解による推計の観点から再検討した。すなわち、本予測では業種別の電力需要とコジェネ導入量の関係を次のようにとら

えた。

$$\text{コジェネ導入量} = \text{電力需要} \times \text{自家発比率} \times \text{コジェネ比率} / \text{設備稼働率}$$

## ② 要因別の推計結果

各業種の電力需要EはGNPと時間項を含む式で表されると仮定し、線形化した次式によってパラメータを推計した。

$$\ln E = \ln \alpha + \beta (t - 1980) + \gamma \ln \text{GNP}$$

推計に用いたデータは1980年～1991年までの11時点である。その結果、石油、窯業土石、鉄鋼、金属の4業種はやや決定係数が小さいが、それ以外はほぼ0.9以上の高い相関を得た。

自家発比率は線形な一次関数を用いて推計した結果、鉄鋼以外の業種では決定係数0.89～0.98の範囲で比較的良い推計が得られた。コジェネ比率は産業部門のコジェネ導入実績を基に一次関数を用いて推計した。既に100%に達したために当てはまりが悪い業種を除けば、概ね決定係数0.8以上の良い推計結果が得られた。

## ③ 産業用コジェネ導入量予測結果

将来予測はGNPの伸び率として1%、2%、3%の3ケースを設定した。結果は表3.4に示すとおり、産業用コジェネの導入量としては2010年時点で約6,000 MW～11,000MWと予想される。GNP伸び率が3%の場合には、GNPに敏感な（係数 $\gamma$ が大きい）紙・パルプ、化学、石油におけるコジェネ導入量が高まる。

なお、前回の予測値は7,700MWであったので、GNP伸び率2%のケースに相当する。

表6 産業用コジェネ導入量予測（2010年）

	GNP伸び率		
	1%	2%	3%
コジェネ容量 (MW)	6,050	7,800	10,800

## (3) ごみ発電導入量予測の見直し

### ① 見直しの概要

前回の予測ではごみ発電に付け加えるリパワリング規模の設定根拠が不明確であった。そこで、再検討はごみ処理施設の規模別評価、および発電設備導入規模の経済性による評価の観点から行った。ここで評価の対象とするごみ発電システムは次の2種である。

- － 従来型（蒸気タービンのみ）
- － リパワリング型（蒸気タービンとガスタービンのコンバインドサイクル）

### ② ごみ発電導入量予測結果

ここでは、次表に示す8ケースについてごみ発電導入量を予測した。各ケースにおいて、焼却炉300、450、600、900、1200 (t/d) について年経費を算出し、現状を含め最も年経費が小さくなる発電出力を導入規模とした。

表7 ケース設定および予測結果 (\*：ケース1に同じ)

ケース	売電種別	設備費の スケール ファクター	燃料単価 (円/kcal)	稼働率 (従来/リパ ワリング)	予測結果	
					従来型	リパワリング
ケース1-1	安定的	0.8	3.0	0.7/0.9	2,840	3,741
ケース1-2	変動的	0.8	3.0	0.7/0.9	1,201	0
ケース2-1	安定的	1.0	*	*	2,840	8,953
ケース2-2	変動的	1.0	*	*	1,230	802
ケース3-1	安定的	*	4.0	*	2,840	531
ケース3-2	変動的	*	4.0	*	1,201	0
ケース4-1	安定的	*	*	0.6/0.7	3,313	5,237
ケース4-2	変動的	*	*	0.6/0.7	1,387	0

注：リパワリング型の昼間の稼働率は常に90%とした。稼働率は年間平均を示す。

ケース4は稼働率を低めたために設備量が増大している。

総発電出力は、2010年におけるごみ焼却量を焼却炉規模別に分配し、先の発電設備導入量を積算することによって求めた。その結果を表4に併せて示す。なお、焼却能力200 (t/d) 以下については無条件に電力需要 (40kWh/t) を賄う規模の発電設備を仮定した。

表7から従来型で1200~2800 (MW) , リパワリング型は売電出力が安定的として500~9000 (MW) の発電設備導入が予測される。前回の予測値が従来型で3,400 (MW) , リパワリング型で25,500 (MW) としていたのに比べ、今回の予測では従来型で前回予測の約80% , リパワリング型で約35%に縮小した。

## 5. 家庭用温暖化対策技術の評価

家庭用の各種地球温暖化対策技術を省エネルギー供給曲線を作成して評価した。

家庭用エネルギー消費量の推計を2000年、2010年を対象として行う。次に対策技術を設定し、技術別にその導入コストと省エネルギー量を算定し2010年の省エネルギー省炭素曲線を描く。取り上げた対策技術はインバータ照明、テレビ液晶化、電力多機能化ヒートポンプ、エンジン多機能化ヒートポンプ、住宅保温構造化、太陽熱温水器、ソーラーシステムである。保温構造化は新設既設、戸建集合の4つのケースで検討した。これらの検討を集約したものが下図の省炭素供給曲線である。この図から、現状のエネルギー単価をCO<sub>2</sub>換算した値は54,198円/トンであるので省炭素コストでみた場合インバータ照明からソーラーシステムまでの対策については経済性が高いと判断できる。

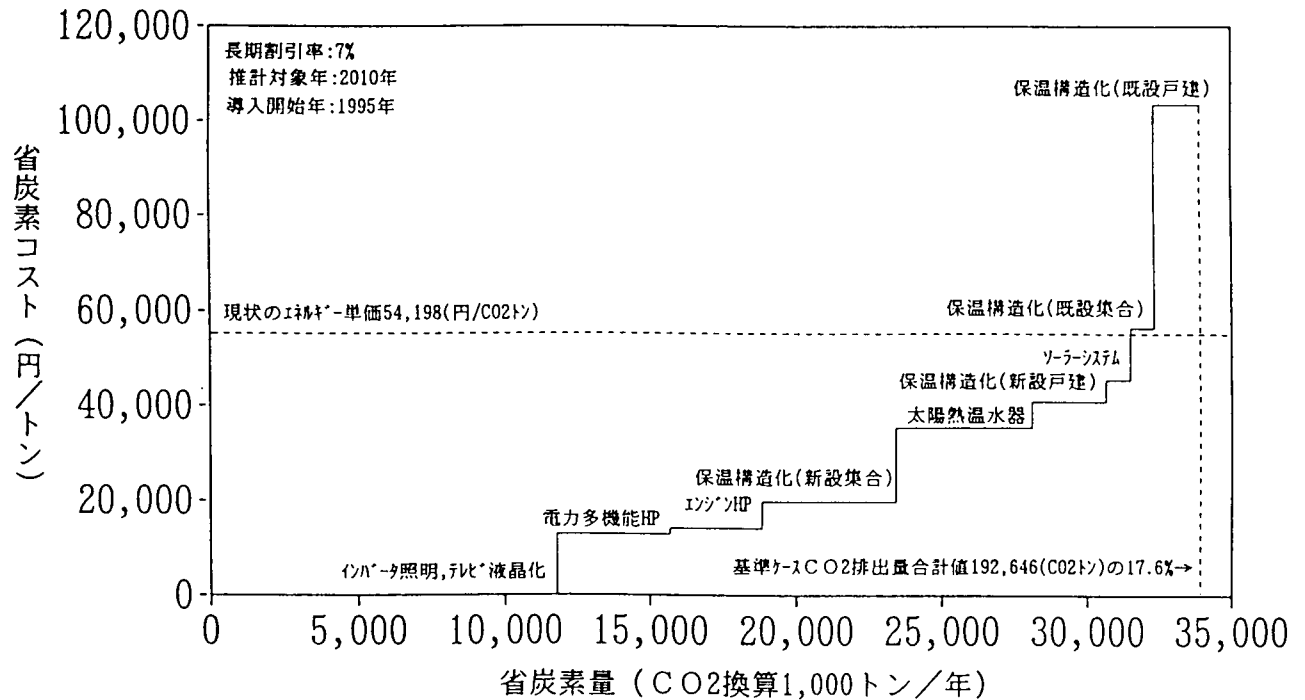


図2 省炭素供給曲線

## 6. まとめ

本研究の前半では、対策技術の総合評価手法について検討し、具体的に省エネルギー・省資源が持つCO2削減効果について計量してみた。方法論の中心は、産業連関分析であるが、省エネルギー・省資源がいずれも投入係数の変化という形で影響するため、分析方法は従来型の連関分析、更にはその拡大手法であるエネルギー分析とは、若干異なる手法となっている。そして、これを用いて、省エネルギーの直接・間接のCO2削減効果、省資源の様々な側面を通じてのCO2削減効果が明らかになったのは、一つの大きな成果といえるだろう。

本研究の後半では、環境庁温暖化防止技術検討会でも取り上げられた技術の中で、特に都市に関係の深いコージェネレーション、ごみ発電、家庭における省エネルギーなどの技術を取り上げ、その導入可能性と効果をシステムの立場から詳細に論じている。この検討は、前半の検討が、全産業生活活動を対象とする、いわゆるトップダウン型評価であったのに対し、ボトムアップ型評価といえるものである。これらの技術が今後の都市の環境調和指向を具体化する重要な手段であることを考慮すると、この成果は今後のCO2対策の検討に大いに役立つものであることを確信している。

## 研究発表の状況

- ・松橋隆治、石谷久、茅陽一、永田豊、山地憲治(1991)：日本におけるCO<sub>2</sub>低減対策のコストベネフィット分析、第7回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、59-64.
- ・松橋隆治、石谷久、茅陽一、永田豊、山地憲治(1991)：CO<sub>2</sub>放出量低減対策の経済性評価、エネルギー・資源、12(5)、62-69.
- ・茅陽一他(1991)：CO<sub>2</sub>放出量低減対策としての省エネルギーの可能性と経済性評価、省エネルギー、43(13).
- ・松橋隆治、石谷久、茅陽一、古垣一成(1992)：CO<sub>2</sub>放出量低減策としての省エネルギー経済性評価、第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、285-290.
- ・茅陽一、宮内和敏(1992)：産業連関表によるCO<sub>2</sub>削減可能性の評価、平成4年電気学会全国大会、No.1482、12-131.
- ・茅陽一(1992)：地球環境とエネルギー、計測と制御、31(5)、539-544.
- ・Kaya, Y. T. Fujii, R. Matsushashi, K. Yamaji, Y. Shindo, H. Saiki, I. Furugaki, O. Kobayashi (1992)：Comprehensive Assessment of Technological Options for Mitigating Global Warming、IPCC/EIS Meeting in Geneva.
- ・Kaya et al(1992)：Assessment of Technologies for Reducing CO<sub>2</sub> emission、IPCC/EIS-IIASA International Workshop on Energy Related Greenhouse Gases Reduction and Removal.
- ・秋澤淳、茅陽一(1993)：電力託送を含めたコジェネレーション自家発の挙動分析、平成5年電気学会全国大会、12-143/144.
- ・秋澤淳、浅野浩志、茅陽一(1993)：コジェネ・ネットワーク化による電力託送の効果分析、平成5年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集（論文Ⅱ）、262-263.
- ・矢島浩二、茅陽一(1993)：太陽光発電出力変動による配電系統電圧への影響、平成5年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集（論文Ⅱ）、377-378.
- ・秋澤淳、浅野浩志、茅陽一(1993)：コジェネレーションに適した需要家組み合わせの検討、電気学会電力技術研究会講演予稿集、29-38.
- ・秋澤淳、浅野浩志、茅陽一(1994)：コジェネ分散型電源と系統発電所との分担に関する分析、第10回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集、1-6.
- ・秋澤淳、浅野浩志、茅陽一(1994)：電力託送によるコジェネを持つ需要家の最適ネットワーク化、平成6年電気学会全国大会、12-171/172.
- ・秋澤淳、茅陽一(1994)：電力託送を含めたコジェネレーション自家発挙動のモデル分析、電気学会論文誌、Vol.114-B、No.10（掲載予定）