

卒業論文

LCAを用いた
電力構成別環境負荷の評価
1p ~ 77p 完

平成 13年 2月 9日 提出

指導教官 酒井 信介 教授

90255 明神 光浩

目次

第1章 序論	7
1.1 研究の背景	8
1.2 LCA 手法の概要	8
1.2.1 インベントリ (LCI) 分析手法	9
1.2.2 産業連関表を用いたインベントリ分析	10
1.2.3 LCA における感度解析の必要性	10
1.3 本研究の目的	11
1.4 本論分の構成	11
第2章 産業連関表を用いたインベントリ分析	12
2.1 産業連関分析の基礎	14
2.1.1 産業連関表	14
2.1.2 投入係数行列	15
2.1.3 逆行列係数表	16
2.2 産業連関分析の LCI への応用	18
2.2.1 環境負荷排出原単位	18
2.2.2 製品製造時の国内環境負荷排出量	18
2.2.3 産業連関表の行列表示	19
2.3 感度解析	20
2.3.1 最終需要の変動による影響	20
2.3.2 直接排出強度の変動による影響	20
2.3.3 投入係数の変動による影響	21
第3章 事業用電力部門を分割した産業連関分析	22
3.1 インベントリデータについて	23
3.2 産業連関表の部門の統廃合	23
3.3 行部門の事業用電力の分割	23
3.4 月単位、時間単位での産業連関分析	28
3.5 直接排出強度ベクトルの作成	28
3.6 生産高ベクトルの作成	28

第4章	産業連関法ソフトの開発	29
4.1	システムの流れ	30
4.2	使用法	31
4.3	特徴	34
第5章	解析結果	35
5.1	投入元が火力発電である投入係数の変動に対する感度の分析	36
5.2	排出原単位の解析について	37
5.3	平成2年の年間排出原単位	38
5.4	平成2年各月での排出原単位の推移	38
5.5	平成2年の年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の排出原単位	40
第6章	考察	44
6.1	列拘束をした場合の火力発電を投入元とする投入係数に対する感度解析	45
6.2	積み上げ法による排出原単位との比較	45
6.2.1	火力発電の排出原単位の変化	46
6.2.2	全電源平均の排出原単位の変化	47
6.3	マイクロガスタービン(MGT)によるコジェネレーションシステム導入の評価	49
6.3.1	総合効率による評価	49
6.3.2	1時間あたりのCO ₂ 削減量による評価	52
6.3.3	マイクロガスタービン(MGT)によるコジェネレーションシステム導入の評価のまとめ	55
第7章	結論および将来の課題	57
付録A	付録A	59
付録B	あとがき	73
B.1	謝辞	74
B.2	著者近影	75

目 次

3.1	年間の各発電の発電量の推移	25
3.2	平成2年の月毎の発電量の推移	26
3.3	年間最大電力を記録した日における発電量の推移(文献[5])	27
4.1	ダイアログ形式のプログラム	30
4.2	フローチャート	30
5.1	火力発電を投入元とする投入係数の変動に対する感度(上位5部門)	37
5.2	各発電技術の1年間の排出原単位の推移	40
5.3	全電源平均の排出原単位およびその内訳の年間の推移	41
5.4	年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の排出原単位	43
6.1	産業連関法と積み上げ法(東京ガス提供)による火力発電の排出原単位	47
6.2	産業連関法と積み上げ法(東京ガス提供)による全電源平均の排出原単位	48
6.3	MGTの総合効率と排出原単位(Capstone社資料より算出)	50
6.4	本研究の全電源平均の排出原単位とMGTの総合効率別の排出原単位	51
B.1	イケメン?	75

表 目 次

2.1	マトリクス・ベクトル表記の規約	13
2.2	産業連関表の構造	14
3.1	産業連関表の統廃合 (文献 [4])	23
3.2	平成 2 年発電量 (MWh) (東京ガスのデータより)	24
3.3	電源別構成比	25
3.4	発電電力が年間で最大を記録した日における発電電力がピーク時と最 小時の設定した発電電力 (万 kW)	26
3.5	発電電力が年間で最大を記録した日における発電電力がピーク時と最 小時の電源別構成比	27
5.1	投入元が火力発電である投入係数の変動に対する感度 (上位 5 部門)	36
5.2	単位発電量あたりの生産高	37
5.3	平成 2 年の年間排出原単位	38
5.4	平成 2 年の年間の全電源平均	38
5.5	各発電技術の平成 2 年の 1 年間の排出原単位の推移 (t-CO ₂ /百万円)	39
5.6	各発電技術の平成 2 年の 1 年間の排出原単位の推移 (g-CO ₂ /kWh)	39
5.7	各月の全電源平均の排出原単位 (g-CO ₂ /kWh) およびその内訳	41
5.8	年間最大電力を記録した日の発電量のピーク時と最小時の排出原単位 (t-CO ₂ /百万円)	42
5.9	年間最大電力を記録した日の発電量のピーク時と最小時の排出原単位 (g-CO ₂ /kWh)	42
5.10	年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の全電源平 均の排出原単位 (g-CO ₂ /KWh) およびその内訳	42
6.1	積み上げ法による排出原単位 (g-CO ₂ /kWh)(東京ガスより)	46
6.2	マイクロガスタービンの排出原単位 (Capstone 社資料より)	49
6.3	マイクロガスタービンの効率 (Capstone 社資料より)	49
6.4	マイクロガスタービンの総合効率による排出原単位	50
6.5	火力年間平均の排出原単位と MGT の総合効率による排出原単位 (g- CO ₂ /MWh)	51

6.6	Capstone Turbine の機器仮仕様 (東京ガスで現在実証試験中)	52
6.7	火力年間平均で調整する場合の排出量の差	54
6.8	全電源平均で調整する場合の排出量の差	54
6.9	総合効率による評価で MGT の導入が有利になる総合効率	55
6.10	CO ₂ 削減量による評価で MGT の導入が有利になる排熱利用率	55
6.11	年間電力負荷と年間給湯負荷 (文献 [8])	55
A.1	1 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	60
A.2	2 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	61
A.3	3 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	62
A.4	4 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	63
A.5	5 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	64
A.6	6 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	65
A.7	7 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	66
A.8	8 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	67
A.9	9 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	68
A.10	10 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	69
A.11	11 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	70
A.12	12 月の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度	71
A.13	平成 2 年の年間合計の投入係数の変動に対する CO ₂ 排出量の感度 . . .	72

第1章 序論

1.1 研究の背景

人類は物質的豊かさを手に入れた代償として、環境悪化や資源の枯渇という問題に直面しようとしている。このままの状況が続けば今世紀半ばにも危機的状況に陥るとも言われている。こうした状況を打開し、持続的発展を維持していくためには、エネルギー効率の改善、人工物の飽和と循環、自然エネルギーの開発が不可欠である。(参考文献 [1])

エネルギー効率の改善という観点からマイクロガスタービンや燃料電池を用いたコジェネレーションを普及させるための研究が近年盛んに行われている。本学科でも今年度から超小型分散エネルギーシステムラボラトリ (Ultra-Small Distributed Energy System Laboratory) を設置し、Capstone 製マイクロガスタービンを導入し、研究を開始している。

一方、製品や財サービスのライフサイクルを通じての環境影響評価手法として LCA(Life Cycle Assessment: ライフサイクル環境影響評価) が注目を集めている。ISO(International Standardization Organization: 国際標準化機構) において 14040 シリーズとして標準化作業が進められている。

1.2 LCA 手法の概要

ISO14040 には LCA の実施手順として次の 4 項目が定められている。(参考文献 [2],[3])

1. 目的と範囲の設定

LCA の調査をどのような目的のために実施するのか、その背景や理由を明記し、かつその調査に要する前提条件や制約条件を明記する段階。LCA の結果は、これらの設定によって多様な結果を産む。その結果は設定した範囲でのみ有効なものであり、それを利用する際にはこれらの前提条件を踏まえた上で行う必要がある。

2. ライフサイクルインベントリ分析

ライフサイクル中の各工程に対する環境負荷データ、すなわち投入される資源やエネルギー(インプット)及び生産または排出される製品・排出物(アウトプット)のデータを収集し、1. で設定した範囲・システムを通じて積算する段階である。

3. 環境影響分析(インパクト分析)

インパクト分析は、地球環境への影響という視点からインベントリーの数値を分析する作業であり。方法論的に、クラシフィケーション(classification: 分類)、キャラクター化(characterization: 特性値化)、ウエイトティング(weighting: 重み付け)という方法がとられる。クラシフィケーションは、様々な環境排出物を

地球温暖化、オゾン層破壊、人体毒性などの環境影響の種類に応じて類別化することであり、キャラクターゼーションでは、それぞれの類別化された項目毎にパラメーター化して数値的に表すことである。また、ウエイティングとはインベントリ分析で得られたデータをもとに作成された製品の物量単位での環境負荷に、何らかの評価数値を掛け合わせて、個々ばらばらの環境負荷数値を各環境評価カテゴリー（地球温暖化、海洋汚染、など）で通算し、意思決定者にとって理解しやすいデータに変換する手続きである。

4. 結果の解釈

インベントリ分析や環境影響分析の結果を解釈し、製品の環境に与える影響や改善点を導き出す段階である。

本研究では、特に、インベントリ分析を取り扱う。

1.2.1 インベントリ (LCI) 分析手法

インベントリ分析には、大別して積み上げ法（プロセス法）と産業連関分析法の2つがある。

1. 積み上げ法

積み上げ法とは、ライフサイクルをその各段階毎のプロセスに分解し、各プロセスごとの環境負荷データを収集し、ライフサイクルの全てのプロセスについて合計するという手法である。

環境負荷の度合が各プロセスごとに明確で、その後の改善方法を検討することが容易である反面、各プロセスごとの調査項目に限界があり、過小評価になりがちである。

2. 産業連関分析法

産業連関分析法とは、政府から発行（日本では、総務省（旧総務庁）を中心に5年毎に調査、発行）される「産業連関表」を使い、部門間の金額ベースを基準に、原材料やエネルギーがどのようにして調査対象製品に分配されてきたのかをたどって分析していく方法である。

全ての産業を網羅しているため、ある製品ごとに直接・間接の波及効果を含めたインベントリが比較的容易に算出できる。しかし、産業連関表に取り入れられている項目が約500(部門)と少ないために、個々の工業製品や技術进行分析するには不十分であり、新技術やリサイクルのような産業連関表に取り入れられていない分野のものに関しては分析ができない。

1.2.2 産業連関表を用いたインベントリ分析

産業連関表自体は、1年間に取引された集計データに過ぎないが、逆行列計算を行うことにより、あらゆる産業への「間接的な生産波及効果」を算出することができる。このように、個々の製造プロセスごとの環境負荷を実態調査するのではなく、日本の産業構造から割出した平均値により、客観的な評価を行うことができる。

以下に産業連関表の長所と短所をまとめる。

[長所]

- ・国内における全産業の情報が網羅されており、間接的波及効果を考慮した評価が可能。
- ・データの信頼性、透明性に優れる。
- ・投入材料/エネルギーの数量のみで算出可能。
- ・詳細な工程分析が不要。

[短所]

- ・国外情報が評価の中に入らないため国外で製造される製品の環境負荷の評価ができない。
- ・国内の平均データのため企業間における素材ベースでの比較ができない。
- ・数百種類の分類にかぎられるため詳細部品への展開ができない。
- ・単独では、精細な環境影響評価には至らない。
- ・5年ごとの統計データのため、新産業/新素材は分析できない。

1.2.3 LCAにおける感度解析の必要性

従来の産業連関表を用いたインベントリ分析では、以下のような問題点があった。

- 研究機関が公表している排出原単位を利用してインベントリ分析を行うのみ。
- 環境負荷排出量の大きい部門(産業)の特定はできるが、改善すべき方向は知ることができない。

具体的な例として、産業連関法を用いてインベントリ分析を行った結果、発電産業のCO₂排出量が大きいことがわかったとする。次のステップとして、インベントリ分析の結果を踏まえて、環境負荷排出量の改善を図ることになるが、その際、最終的な結果からだけでは、

「発電産業のCO₂排出量が大きい→発電産業での化石燃料消費を少なくすれば良い」

という直接的な分析はできるが、

「電力を大量に使用する産業は→例えばアルミ精錬産業?」「アルミ素材を大量に使用する産業は→??」

のように、間接的な波及効果を含めた改善評価を行うことは困難である。このような問題の解決のためには、各要素が環境負荷量に及ぼす影響の程度、すなわち感度を算出することが、有効であると考えられる。

1.3 本研究の目的

従来の産業連関分析では発電部門全体としての環境負荷しか評価することができなかった。しかし、それでは代替発電を導入する際の目安を示すことができない。本研究では環境負荷の中でも CO₂ について、年間、月間、日間で電力構成別に評価することによって、マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの導入の指針を示すことを目的とした。

1.4 本論分の構成

本論文の構成を以下に挙げる。

第1章 序論 では、LCA について概説し、本研究の目的を示す。

第2章 産業連関表を用いたインベントリ分析 では、本研究の前提となる産業連関表を用いたインベントリ分析の手法、並びに感度分析について解説する。

第3章 事業用電力部門を分割した産業連関分析 では、本研究で提案する産業連関法を用いた年間、月間、時間単位での電力構成別ライフサイクル CO₂ 分析の手法について解説する。

第4章 産業連関法ソフトの開発 では、本研究のために作成した産業連関法のソフトを解説する。

第5章 解析結果 では、第3章で示す手法を用いて計算した感度分析、排出原単位の結果を示す。

第6章 考察 では、本研究で得られた結果について考察し、その結果とマイクロガスタービンのデータを用いてマイクロガスタービンをもちいたコージェネレーションシステムの導入の評価を行う。

第7章 結論および将来の課題 では、本研究で得られた結果を総括する。

第2章 産業連関表を用いたインベントリ分析

本章では、従来の産業連関表を用いたインベントリ分析の手法および本研究で新たに用いた部門を分割する産業連関分析について解説する。(参考文献 [3])

マトリクス、ベクトルの表記法について

以下、行列、ベクトル表記を多数用いるが、原則として太字の大文字はマトリクス、太字の小文字はベクトル、細字は大文字、小文字に関わらずスカラーを表す。 T は転置を表すものとする。一般に、任意の行列 M について、 $(M^T)^{-1} = (M^{-1})^T$ なる関係があるので、簡略化のため、これを M^{-T} と表すことにする。また、成分表記をする際の括弧については、マトリクスは $[\quad]$ 、列ベクトルは $\{ \quad \}$ 、行ベクトルは $[\quad]$ を用いることにする。

A	マトリクス
d	ベクトル
X_{ij}	スカラー
M^T	M の転置
M^{-T}	$= (M^T)^{-1} = (M^{-1})^T$
$[\quad]$	マトリクスの成分表記
$\{ \quad \}$	列ベクトルの成分表記
$[\quad]$	行ベクトルの成分表記

表 2.1: マトリクス・ベクトル表記の規約

2.1 産業連関分析の基礎

2.1.1 産業連関表

産業連関表は、日本の全産業について、各産業間の経済活動を金額により表し、関連付けたものである。その構造を表 (2.2) に示す。

		中間需要						最終需要	輸入	産出高
		産業 1	産業 2	...	産業 j	...	産業 n			
中間投入	産業 1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1n}	F_1	$-M_1$	X_1
	産業 2	X_{21}	X_{22}		$\vdots$		$\vdots$	F_2	$-M_2$	X_2
	$\vdots$	$\vdots$		$\ddots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	産業 i	X_{i1}	...	...	X_{ij}	...	X_{in}	F_i	$-M_i$	X_i
	$\vdots$	$\vdots$			$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	産業 n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nj}		X_{nn}	F_n	$-M_n$	X_n
付加価値		V_1	V_2	...	V_j	...	V_n			
産出高		X_1	X_2	...	X_j	...	X_{nn}			

表 2.2: 産業連関表の構造

産業連関表の横の行は需要部門 (買い手) を表し、縦の列は供給部門 (売り手) を表す。 i 行目を横に見て行くと、産業 X_{ij} は産業 j が生産物を X_j だけ生産する際に産業 i に X_{ij} だけ支払った (投入した) ことを表す。逆に考えると、 X_{ij} は産業 i の総需要 X_i のうち、産業 j から X_{ij} だけの需要があったことを示している。また、 F_i は産業 i に対する最終需要、 M_i は産業 i の需要のうち輸入によって賄われる (つまり国内で製造しない) ことを示している。また、 V_i は産業 i の製品に対する付加価値を表している。また、総需要 X_i と総生産 X_j は $i = j$ であれば等しい。

2.1.2 投入係数行列

先ほどの産業連関表の成分 X_{ij} を産業 j の総生産 X_j で除した値 a_{ij} を考える。 a_{ij} は産業 j の生産物を単位量生産するのに必要な産業 i への投入量を表し、投入係数と呼ぶ。投入係数 a_{ij} は産業 j の総生産 X_j に占める第 i 財購入額の割合を示している。つまり、ある生産量 p_j が与えられた場合、その生産に必要な産業 i への中間投入は $a_{ij}p_j$ で表す事ができる。式 (2.1) に示すように、 a_{ij} は $n \times n$ の正方行列を構成し、投入係数マトリクスと呼ばれる。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

産業連関表の関係を投入係数を用いて表すと、式 (2.2) のようになる。

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2j} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & & & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_1 - M_1 \\ F_2 - M_2 \\ \vdots \\ F_i - M_i \\ \vdots \\ F_n - M_n \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

式 (2.2) をベクトル、行列を用いて表し、さらに変形すると式 (2.5) を得る。

$$x = Ax + f - m \quad (2.3)$$

$$(I - A)x = f - m \quad (2.4)$$

$$x = (I - A)^{-1}(f - m) \quad (2.5)$$

ただし、 x 、 f 、 m は次のように表すものとし、それぞれ算出高ベクトル、最終需要ベクトル、輸入ベクトルと呼ぶことにする。

$$x = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} \quad f = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix} \quad m = \begin{pmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

産業 i に需要が生じた場合、その需要を満たすための生産を受けて、他の産業 j の需要を生じ、さらにその需要を満たすための生産を受けて、産業 k の需要を生じ、間接的にあらゆる産業へ需要が波及して行く。式 (2.5) は、ある最終需要 f が与えられたとき、これを満たすための国内各産業の波及効果を含めた生産高が x であることを示している。

2.1.3 逆行列係数表

ここまで、 x 、 f は既知の量であり、産業連関表で与えられていたが、投入係数行列 A が国内の産業構造を表していると考え、各産業の生産量からは独立に与えられているものとする、任意の x 、 f について式 (2.5) を用いて考察を行う事ができる。

例えば、任意の最終需要 f (ここでは簡単のため輸入を無視する) を満たすために、各部門がどれだけの生産 x を行うかの計算は次のように考える。まず、最初に各部門は最終需要 f を直接満たすための生産 $x(1) = f$ を行わなければならない。次に、生産 $x(1)$ を行うために必要な生産 (中間投入) $x(2)$ が必要であり、 $X(2) = Ax(1) = Af$ となる。同様に、 $X(3) = Ax(2) = A^2x(1) = A^2f$ となり、この作業を繰り返し行うことにより、最終需要 f を満たすのに必要な生産 x は次式で求める事ができる。

$$x = \sum_{r=1}^{\infty} x(r) = f + Af + A^2f + A^3f + \cdots \quad (2.7)$$

ここで、

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} < 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.8)$$

であるから、 I を単位行列として、

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + \cdots + A^r + \cdots \quad (2.9)$$

となり、式 (2.7) は次式のように変形できる。

$$x = (I - A)^{-1}f \quad (2.10)$$

式 (2.10) は、輸入を無視した形式であるが、輸入を考慮した場合は、式 (2.5) と同じ結果を得る。

このように、最終需要 f を満たす、波及効果を考慮にいれた総生産 x は、投入係数行列 A から逆行列 $(I - A)^{-1}$ を計算する事によって求められる。 $(I - A)^{-1}$ は A と同じ $n \times n$ のマトリクスであり、

$$(I - A)^{-1} = B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1j} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & & b_{2j} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \cdots & \cdots & b_{ij} & \cdots & b_{in} \\ \vdots & & & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & \cdots & b_{nj} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

と表すと、 b_{ij} は部門 j の単位生産額の最終需要を満たすために必要な、波及効果を含めた、部門 i の究極的な最終生産量を表している。 f の第 j 要素を 1 として、他の要素は 0 としてやれば、各部門の誘発生産高 x は

$$x = \begin{Bmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \vdots \\ b_{nj} \end{Bmatrix} \quad (2.12)$$

となる。

2.2 産業連関分析の LCI への応用

前節では経済学で使われる産業連関分析について説明した。本節では産業連関分析の LCA への応用について説明する。

2.2.1 環境負荷排出原単位

産業連関表とは別に、石油消費構造統計表などの統計資料を用いることにより、産業 i の直接の環境負荷の排出量を知ることができる。これを各産業の国内生産額 X_i で割ることで、各産業 i の単位生産額あたりの環境負荷の直接排出強度 d_i が求まる。先ほどの逆行列係数の ij 成分 B_{ij} は産業 j に 1 単位の需要増加があったときの産業 i の誘発生産量を表しているので、産業 j が最終需要を 1 単位生産する際の波及効果も含めた環境負荷の総排出量 t_j は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} t_j &= b_{1j}d_1 + b_{2j}d_2 + \cdots + b_{ij}d_i + \cdots + b_{nj}d_n \\ &= \sum_i b_{ij}d_i \end{aligned} \quad (2.13)$$

さらに、一括表記したベクトル

$$t = \begin{Bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

は、次式によって求めることができる。

$$t = B^T d \quad (2.15)$$

原単位のうち、代表的なものを以下に示す。

2.2.2 製品製造時の国内環境負荷排出量

LCA を行う系の内部で、 p の需要があったとする。この需要を満たすための国内の生産活動を通じて排出される環境負荷の総量 L は、次の式で求めることができる。

$$L = t_1p_1 + t_2p_2 + \cdots + t_jp_j + \cdots + t_np_n \quad (2.16)$$

t_j は先ほどの環境負荷排出原単位であり、 n は産業の数を表す。

2.2.3 産業連関表の行列表示

以上のことを踏まえて、産業連関法による環境負荷排出量の評価を行列表示することを考える。まず、環境負荷排出原単位は、

$$\mathbf{b}_j = \begin{pmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \vdots \\ b_{nj} \end{pmatrix} \quad \mathbf{d} = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

とおくと、式 (2.16) は次のようになる。

$$t_j = \mathbf{b}_j^T \mathbf{d} \quad (2.18)$$

また、

$$\mathbf{p} = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} \quad \mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{pmatrix} \quad (2.19)$$

とすると

$$\mathbf{t} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_1^T \mathbf{d} \\ \mathbf{b}_2^T \mathbf{d} \\ \vdots \\ \mathbf{b}_n^T \mathbf{d} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{b}_1^T \\ \mathbf{b}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{b}_n^T \end{pmatrix} \mathbf{d} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{21} & \cdots & b_{n1} \\ b_{12} & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ b_{1n} & \cdots & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix} \mathbf{d} = \mathbf{B}^T \mathbf{d} \quad (2.20)$$

と表されるので、

$$\begin{aligned} L &= t_1 p_1 + t_2 p_2 + \cdots + t_n p_n \\ &= \mathbf{t}^T \mathbf{p} \\ &= (\mathbf{B}^T \mathbf{d})^T \mathbf{p} \\ &= \mathbf{d}^T \mathbf{B} \mathbf{p} \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$= \mathbf{d}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{p} \quad (2.22)$$

日本国内の経済活動による、環境負荷の総排出量は $\mathbf{p} = \mathbf{f}$ 次式で表すことができる。

$$L = \mathbf{d}^T (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{f} \quad (2.23)$$

$$= \mathbf{d}^T \mathbf{B} \mathbf{f} \quad (2.24)$$

2.3 感度解析

以下に参考文献 [3] から感度解析の定式化の結果を引用する。

2.3.1 最終需要の変動による影響

産業連関分析をインベントリ分析に適用することで、間接的波及効果を含めた評価が可能になる。しかし、持続的発展のためには、環境負担性の評価だけでなく、評価を反映した改善を行う必要がある。特に、最終需要の変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響度を客観的に表すことができれば、消費者の側から効率的に改善を図ることが可能となる。

最終需要 f の期待値 $\bar{f}$ に対して、 f の i 番目の要素 f_i が Δf_i だけ変動したときに環境負荷排出量が L_0 から ΔL_f だけ変動した際の影響度評価の指標として次式で表される感度を用いる。

$$s_{f,i} = \frac{\Delta L_f / L_0}{\Delta f_i / f_i} \quad (2.25)$$

これを摂動法を用いて定式化すると次式になる。

$$s_{f,i} = \frac{f_i}{L_0} t_i \quad (2.26)$$

2.3.2 直接排出強度の変動による影響

産業連関分析をインベントリ分析に適用する際には、産業連関表 (逆行列係数表) とともに、直接排出強度データを石油消費構造統計表などから算出することになる。排出強度は様々な仮定を前提に算出されており、仮定の仕方によっては、排出原単位はもちろん、最終的な環境負荷総排出量の評価に大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで、本節では直接排出強度の変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響について考察する。

直接排出強度 d の期待値 $\bar{d}$ に対して、 d の i 番目の要素 d_i が Δd_i だけ変動したときに環境負荷排出量が L_0 から ΔL_d だけ変動したときの影響度評価の指標として次式で表される感度を用いる。

$$s_{d,i} = \frac{\Delta L_d / L_0}{\Delta d_i / d_i} \quad (2.27)$$

これを摂動法を用いて定式化すると次式になる。

$$s_{d,i} = \frac{d_i}{L_0} e_i^T B f \quad (2.28)$$

ここで、 e_i は、 i 番目の要素だけが 1 である n 次元単位ベクトルである。

2.3.3 投入係数の変動による影響

財・サービスの生産段階、つまり各部門（産業）間の取り引きの変動が、環境負荷総排出量に及ぼす影響について定式化する。

投入係数マトリクス A の要素 a_{ij} が Δa_{ij} 変動した時に環境負荷排出量が L_0 から ΔL_a だけ変動したときの影響度評価の指標として次式で表される感度を用いる。

$$s_{a,ij} = \frac{\Delta L_a / L_0}{\Delta a_{ij} / \bar{a}_{ij}} \quad (2.29)$$

$$(2.30)$$

投入係数には式 (2.31) で表されるような、列の和が（付加価値係数を含めて）1 である、という拘束条件があるので、変動させる際には注意を要する。

$$\sum_i a_{ij} + v_j = 1 \quad (2.31)$$

そこで、以下の 2 つの場合を仮定し、それぞれについて定式化する。

仮定 1 : ij 要素を独立に変動させた場合

本来は ij 要素が独立に変動することはあり得ないが、 ij 要素の変動分をすべて付加価値の変動で相殺するとしたことに相当する。この場合、定式化すると式 (2.32) のようになる。

$$s_{a,ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{L} t_i^o \sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} p_l \quad (2.32)$$

仮定 2 : ij 要素の変動分を同列の他の要素を変動させて打ち消し、列方向の総和を一定に保った場合

他の要素は投入係数の大きさに比例して変動させる。この場合、定式化すると式 (2.33) のようになる。

$$s_{a,ij} = \frac{1}{L_0} \frac{a_{ij}}{1 - a_{ij}} t_{ij} \sum_{l=1}^n b_{jl} p_l \quad (2.33)$$

第3章 事業用電力部門を分割した産業 連関分析

3.1 インベントリデータについて

産業連関分析に用いた平成2年産業連関表、排出強度ベクトル（405部門、単位はt-CO₂/百万円）は電力中央研究所の本藤氏に提供して頂いた。

3.2 産業連関表の部門の統廃合

平成2年（1990年）産業連関表の取引基本表は411列527行から構成されている。このうち事業用電力に関するものは、列部門では事業用原子力発電（列コード5111-01）、事業用火力発電（列コード5111-02）、水力・その他の事業用発電（列コード5111-03）、行部門では事業用電力（行コード5111-001）の3列1行である。産業連関表の行部門を列部門と同じ6桁コードで統合した後に、文献[4]にしたがって表3.1のように統廃合し、列部門407、行部門405とした。

表 3.1: 産業連関表の統廃合 (文献 [4])

統廃合前		統廃合後	
コード	部門名	コード	部門名
11301	野菜（路地）	11300	野菜
11302	野菜（施設）		
31101	沿海漁業	31100	海面漁業
31102	沖合漁業		
31103	遠洋漁業		
31201	内水面漁業	31200	内水面漁業・養殖業
31202	内水面養殖業		
261201	鉄屑		削除
271201	非鉄金属屑		削除

3.3 行部門の事業用電力の分割

行部門の事業用電力を列部門と同じく事業用原子力発電、事業用火力発電、水力・その他の事業用発電の3部門に分割し、列行ともに407部門にした。電力には色がない（投入元の発電方法は特定できない、つまり使っている電力がどの発電方法によって発電されたのかわからない）ことを仮定して、需要端発電量の割合に応じて分割する。需要端での発電量データを用いるのは、産業連関表は金銭のやりとりを示しているのであるが、事業用電力部門においては需要端での電力に対して金銭

のやりとりが行われるからである。

本研究では、次の3つの需要端発電量(発電電力)を用いる。

1. 1990年1年間での発電量

表3.2に示す東京ガスよりいただいた1年間の合計の発電量を用いた。電力構成比は表3.3の合計の欄に示す。

2. 1990年の各月での発電量

表3.2に示す東京ガスよりいただいた1年間の発電量推移を用いた。電力構成比は表3.3、図3.2に示す。

表 3.2: 平成2年発電量 (MWh) (東京ガスのデータより)

	原子力	火力	その他	計
1月	13970383.75	36794105.43	4641254.571	55405743.75
2月	10745964.04	34602691.92	5522423.947	50871079.91
3月	13378538.09	33335135.89	6951621.545	53665295.53
4月	14558778.97	26168883.99	8381980.919	49109643.88
5月	15381701.12	25881692.91	8760190.872	50023584.91
6月	14468350.93	33137971.84	7673806.779	55280129.54
7月	17078892.72	39427398.57	7202513.296	63708804.58
8月	17667092.74	41608784.89	6122275.677	65398153.31
9月	14689609.85	36328164.97	6514691.925	57532466.74
10月	14191558.74	31965603.98	6957558.673	53114721.39
11月	13308190.29	32396918.8	5980996.36	51686105.44
12月	15348293.46	34771468.21	6369998.005	56489759.68
合計	174787354.7	406418821.4	81079312.57	662285488.7

3. 平成2年の年間最大電力を記録した日におけるピーク時と発電電力最小時の発電電力

1日における時間ごとの発電電力の推移およびその構成のデータは公表されているものが少ない。1日の最大発電電力、最小発電電力のデータは図3.3に示す平成2年の年間最大電力を記録した8月7日分のみ入手できた。しかし、これも一般電気事業者のみの値で卸電気事業者の分は含まれない。しかもその構成比は不明である。したがって、次のような仮定のもとに計算した。

図3.3の対象である一般電気事業者10社の合計を日本全体の発電電力とした。だから、ピーク時の発電電力は144万kW、最小時は65万kWである。図3.3及び電力調査統計月報から推定して表3.4のように各発電の発電電力を決めた。この場合の各発電の構成比を表3.5に示す。推定方法は以下の通りである。ピー

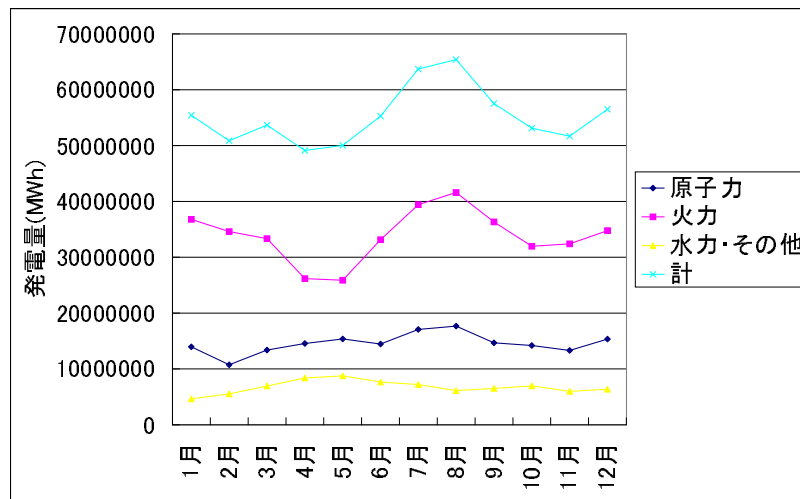


図 3.1: 年間の各発電の発電量の推移

表 3.3: 電源別構成比

	原子力	火力	水力・その他
1 月	0.252	0.664	0.084
2 月	0.211	0.68	0.109
3 月	0.249	0.621	0.13
4 月	0.296	0.532	0.171
5 月	0.307	0.517	0.175
6 月	0.262	0.599	0.139
7 月	0.268	0.619	0.113
8 月	0.27	0.636	0.094
9 月	0.255	0.631	0.113
10 月	0.267	0.602	0.131
11 月	0.257	0.627	0.115
12 月	0.272	0.616	0.113
計	0.264	0.614	0.122

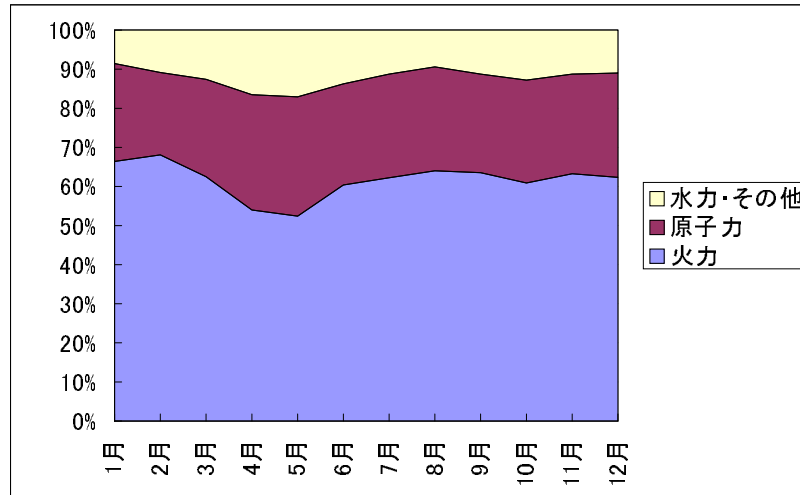


図 3.2: 平成 2 年の月毎の発電量の推移

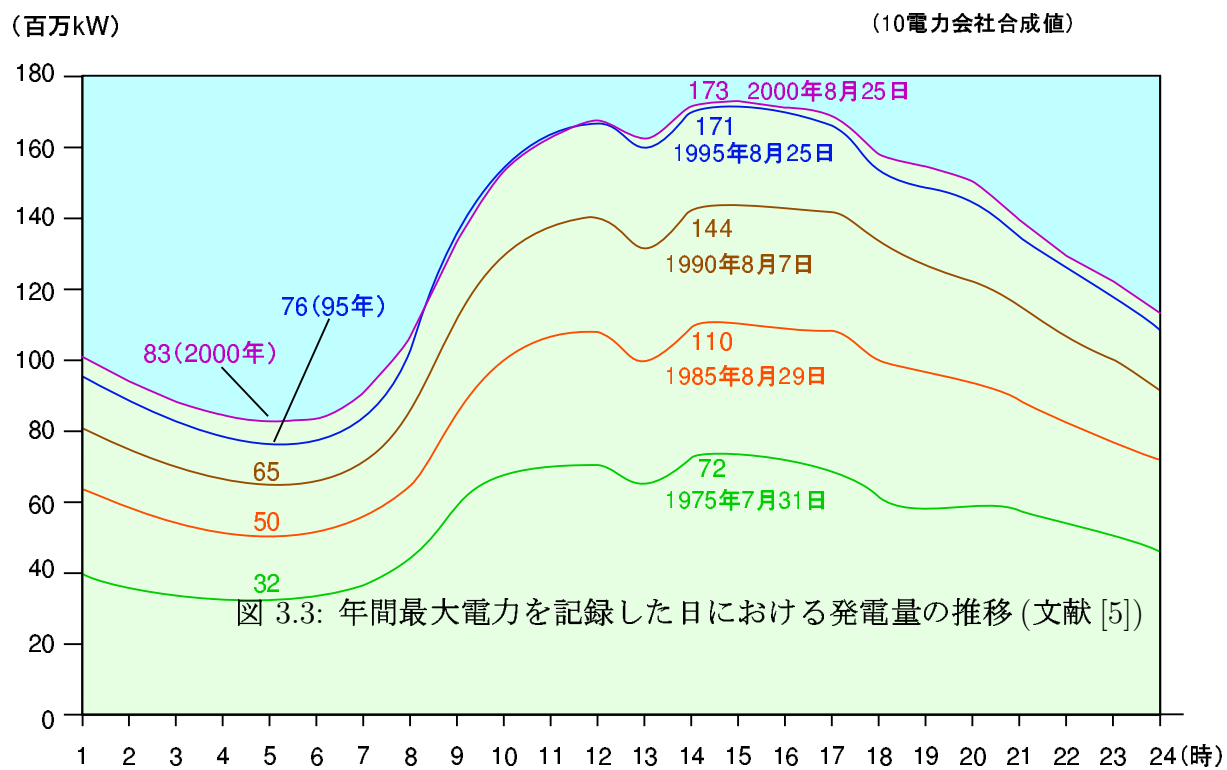
ク時の発電電力は文献 [6] にある月間最大電力を記録した時点での各発電の発電電力の比で、図 3.3 の 144 万 kW を分割した。早朝の発電電力最小時は、ベース電力である原子力をピーク時と同じ発電電力であるとした。水力その他は文献 [6] より自流式水力発電の構成比を考慮して設定し、残りを火力発電による電力とした。

最大及び最小の発電電力が 1 時間続いたとして 1 時間あたりの発電量にした。こう設定しても構成比は不変である。

表 3.4: 発電電力が年間で最大を記録した日における発電電力がピーク時と最小時の設定した発電電力 (万 kW)

	原子力	火力	水力・その他	計
ピーク時	28	97	19	144
発電電力最小時	28	32	5	65

真夏の1日の電気の使われ方の推移



(注) 1975年の数値のみ、9電力会社合成値

出典：電気事業連合会調べ

表 3.5: 発電電力が年間で最大を記録した日における発電電力がピーク時と最小時の電源別構成比

	原子力	火力	水力・その他
ピーク時	0.194	0.674	0.132
発電電力最小時	0.43	0.492	0.077

3.4 月単位、時間単位での産業連関分析

産業連関表は1年間の経済活動のデータであり、本来年間での分析に用いられるものである。しかし、本研究では月単位、時間単位でも経済活動は年単位のそれと同じであると仮定し、平成2年の年間の産業連関分析のみならず月単位、時間単位の分析も試みた。年単位、月単位の分析は年単位や月単位の生産高ベクトルを作成して2章で示した全ての手順について行った。時間単位の分析は、考察する際に比較するデータが無いことから投入係数マトリクスと直接排出強度ベクトルだけを用いて排出原単位の解析のみ行った。

3.5 直接排出強度ベクトルの作成

405部門の直接排出強度ベクトルのうち、事業用発電部門について次の要領で分割して407部門にした。火力以外の発電は火力に比べてCO₂排出量が少ないためCO₂排出量はすべて火力に負わせた。したがって、従来の事業用電力のCO₂排出量を火力の生産高で割ったものを火力発電の排出強度とし、原子力部門、水力・その他部門での排出強度は0とした。

3.6 生産高ベクトルの作成

1. 1990年1年間での生産高

産業連関表の国内生産高部門（列コード9700-00）を表(3.1)の要領で統合した。

2. 1990年の各月での生産高

上記1の生産高ベクトルを事業用発電部門以外は12で割った。事業用発電部門は各月の発電量の年間に占める割合に応じて割り振った。

第4章 産業連関法ソフトの開発

図 4.1 に示すような、産業連関分析 (第 2 章参照) を行うダイアログ形式の汎用型プログラムを VisualC++ を用いて作成して研究に使用した。

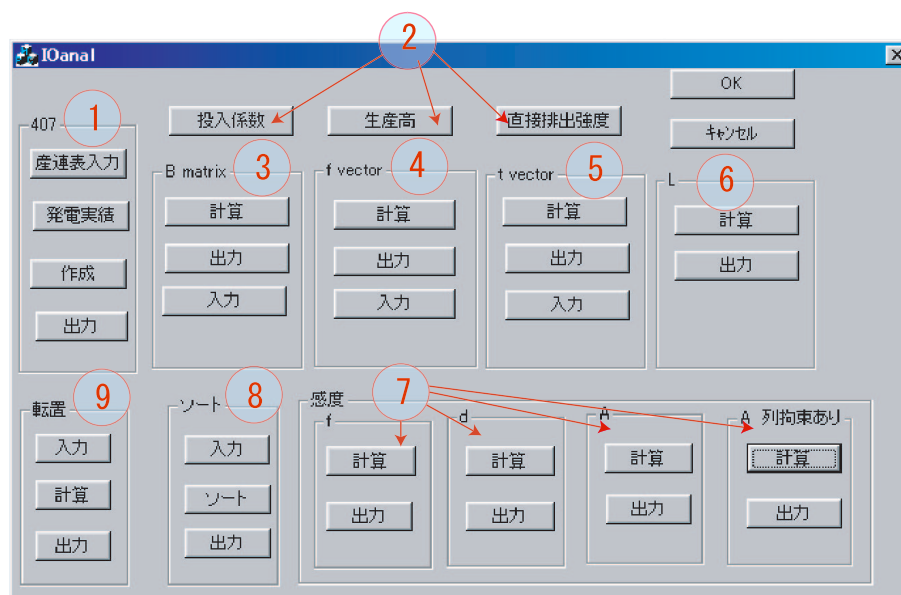


図 4.1: ダイアログ形式のプログラム

4.1 システムの流れ

環境負荷総排出量を計算するまでのプログラムの流れをフローチャートにして図 4.2 に示し、以下に説明する。

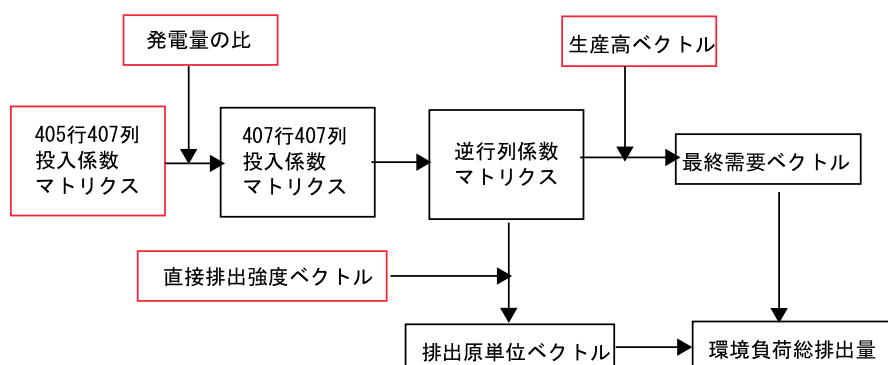


図 4.2: フローチャート

1. 405 行 407 列の産業連関表のファイルを入力する。
2. 発電量の比をファイルから入力し、行成分の事業用電力部門を分割して 407 行 407 列の産業連関表を作成する。
3. 投入係数マトリクスから逆行列係数マトリクスを計算する。
4. 生産高ベクトルをファイルから入力し最終需要ベクトル計算する。
5. 直接排出強度ベクトルをファイルから入力し排出原単位ベクトルを計算する。
6. 計算した最終需要ベクトル、排出原単位ベクトルから環境負荷総排出量を計算する。

感度については環境負荷総排出量を計算した後に次に示す値を用いて計算する。式は第 2 章を参照。

- 最終需要の変動に対する感度
最終需要ベクトル、排出原単位ベクトル、環境負荷総排出量
- 直接排出強度の変動に対する感度
直接排出強度ベクトル、逆行列係数マトリクス、最終需要ベクトル、環境負荷総排出量
- 投入係数の変動に対する感度 (列拘束がある場合、無い場合共に)
投入係数マトリクス、排出原単位ベクトル、逆行列係数マトリクス、最終需要ベクトル、環境負荷総排出量

4.2 使用法

事業用電力部門の分割

- 入力
405 行 407 列の産業連関表のファイルを入力する。ファイルのフォーマットは列、行、値の順で、拡張子は txt にする。
- 発電実績
発電量の比をファイルから入力する。ファイルには 1 行目に原子力、2 行目に火力、3 行目に水力その他を、和が 1 になるように入れておく、拡張子は txt。
- 計算
計算する。
- 出力
407 行 407 列の投入係数表をファイルに出力できる。

投入係数マトリクス、生産高ベクトル、直接排出強度ベクトルの入力

- 投入係数係数マトリクス
1行目に列数、行数、2行目以降は列番号、行番号、値の順というフォーマットにしたファイル (拡張子 icm) を入力する。
- 生産高ベクトル
1行目に列数 (1)、行数 (407、405 など)、2行目以降は列番号 (1)、行番号、値の順というフォーマットにしたファイル (拡張子 prd) を入力する。
- 直接排出強度ベクトル 1行目に列数 (1)、行数 (407、405 など)、2行目以降は列番号 (1)、行番号、値の順にフォーマットしたファイル (拡張子 dei) を入力する。

逆行列係数マトリクスの計算

- 計算
で投入係数マトリクスを入力していれば、逆行列係数マトリクスを計算する。
- 出力
計算した逆行列係数マトリクスを出力する。出力のフォーマットは1行目に列数、行数、2行目以降は列番号、行番号、値の順。拡張子は inv。
- 入力
以前に計算した逆行列係数マトリクスファイルを読み込む。これによって新たに逆行列を計算する手間が省ける。

最終需要ベクトルの計算

- 計算
で生産高ベクトルを入力し、 で逆行列係数マトリクスを計算または入力しておけば最終需要ベクトルを計算できる。
- 出力
計算した最終需要ベクトルを出力する。出力のフォーマットは1行目に列数 (1)、行数 (407、405 など)、2行目以降は列番号 (1)、行番号、値の順。拡張子は fnd。
- 入力
以前に計算した最終需要ベクトルファイルを読み込む。

排出原単位ベクトルの計算

- 計算
で直接排出強度ベクトルを入力し、で逆行列を計算または入力しておけば排出原単位ベクトルを計算できる。
- 出力
計算した排出原単位ベクトルを出力する。出力のフォーマットは1行目に列数(1)、行数(407、405など)、2行目以降は列番号(1)、行番号、値の順。拡張子はgen。
- 入力
以前に計算した排出原単位ベクトルファイルを読み込む。

環境負荷総排出量の計算

- 計算
で最終需要ベクトルを計算または入力し、で排出原単位ベクトルを計算または入力しておけば環境負荷総排出量を計算できる。
- 出力
計算した環境負荷総排出量を出力する。出力のフォーマットは1行目に列数(1)、行数(1)、2行目に列番号(1)、行番号(1)、値の順。拡張子はsum。

感度の計算

- 計算
～まで計算または入力しておく、最終需要、直接排出強度、投入係数の変動(列拘束が無い場合、ある場合の2種から選択可能)に対する感度を計算できる。
- 出力
計算した感度を出力する。出力のフォーマットは1行目に列数、行数、2行目以降は列番号、行番号、値の順。拡張子はsan。

ソート

- 入力
で計算した感度ファイルを入力する。

- 計算
感度を降順にソートする。
- 出力
感度を大きい順に出力する。出力のフォーマットは順位、行番号、列番号、値の順。

転置

- 入力
転置したいマトリクスファイルを入力する。
- 計算
マトリクスを転置する。
- 出力
転置したマトリクスを出力する。

4.3 特徴

- 上記 ～ の計算は任意の部門数の産業連関分析について行うことができる。
- 直接排出強度を与えると CO₂ 以外の環境負荷についても分析が可能である。
- GUI インターフェースで開発を行ったので直感的な操作が可能である。

第5章 解析結果

5.1 投入元が火力発電である投入係数の変動に対する感度の分析

列拘束がない場合の投入係数の変動に対する感度分析を行った。その結果のうち火力発電が投入元であるものを感度が大きい順に5部門まで表5.1、図5.1に示す。なお表5.1は各月について分析した感度に加えて、平成2年の年間のデータおよび産業連関表を分割する前の事業用電力部門の年間データについての解析結果も掲載した。図5.1を見ると小売部門が投入先である感度は他の部門に比べて1つだけ突

表 5.1: 投入元が火力発電である投入係数の変動に対する感度 (上位5部門)

	小売	鉄道旅客輸送	医療(産業)	企業内研究開発	上水道・簡易水道
1月	0.01486	0.00666	0.00653	0.00651	0.00602
2月	0.01552	0.00695	0.00682	0.00679	0.00629
3月	0.01439	0.00644	0.00632	0.00630	0.00583
4月	0.01321	0.00591	0.00581	0.00578	0.00535
5月	0.01285	0.00576	0.00565	0.00562	0.00520
6月	0.01388	0.00622	0.00610	0.00608	0.00562
7月	0.01358	0.00608	0.00597	0.00594	0.00550
8月	0.01370	0.00614	0.00603	0.00600	0.00555
9月	0.01422	0.00637	0.00625	0.00622	0.00576
10月	0.01412	0.00632	0.00621	0.00618	0.00572
11月	0.01464	0.00656	0.00643	0.00641	0.00593
12月	0.01409	0.00631	0.00619	0.00617	0.00571
年間	0.01413	0.00633	0.00621	0.00619	0.00572
事業用発電 (405部門)	0.01417	0.00635	0.00623	0.00620	0.00574

出している。他の4部門はほとんど同じ値である。各部門のグラフ間に異方的な相似が見られ、順位は1年を通して変わることはない。

付録に平成2年の各月および年間の投入係数に対する感度の上位30位までを掲載する。

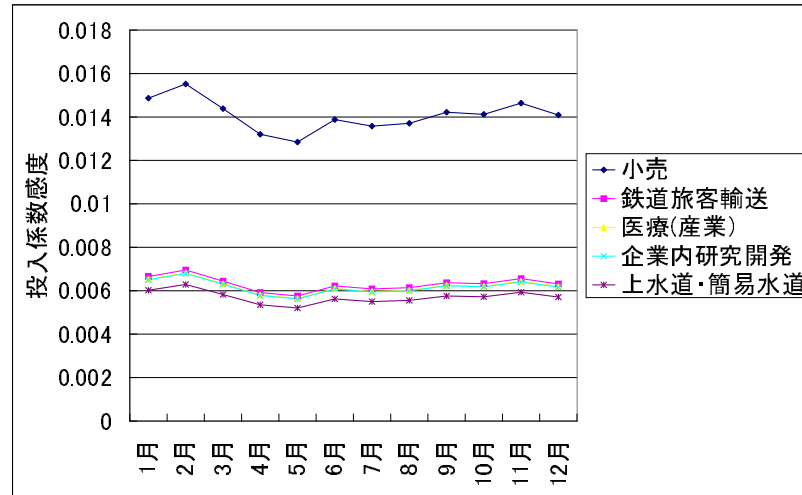


図 5.1: 火力発電を投入元とする投入係数の変動に対する感度 (上位5部門)

5.2 排出原単位の解析について

産業連関分析では取引した金額を用いて分析するために、排出原単位は単位金額あたり(百万円)の排出量として出力される。しかし、その単位では発電技術を評価する際にわかりづらいので表 5.2 の値を用いて単位発電量あたりの排出量に変換したものを併記した。なお、表 5.2 の値は年間の各部門の生産高をその部門の発電量(表 3.2 合計欄)で除したものである。また、407 部門での排出原単位における全電源平均とは、各発電の排出原単位にその発電の構成比を乗じたものを加えたものである。

表 5.2: 単位発電量あたりの生産高

部門名	百万円/MWh
原子力	0.01972
火力	0.01973
水力・その他	0.01959
事業用電力計	0.01971

5.3 平成2年の年間排出原単位

平成2年の年間トータルの発電量（表3.2 合計欄）を用いて排出原単位を計算した。その結果が表5.3である。表5.4は年間の全電源平均の排出原単位と、各発電が

表 5.3: 平成2年の年間排出原単位

部門数	部門名	t-CO ₂ /百万円	g-CO ₂ /MWh
405 部門	事業用電力	25.23	497.3
407 部門	原子力	0.67	13.2
	火力	40.7	803
	水力・その他	0.37	7.3

その全電源平均の排出原単位のうちどれだけを負っているかを表したものである。

表 5.4: 平成2年の年間の全電源平均

	全電源平均	内訳		
		原子力	火力	水力・その他
排出原単位 (g-CO ₂ /MWh)	497.2	3.5	492.8	0.9
占める割合 (%)		0.7	99.1	0.2

表5.3を見れば、3部門の中では原子力と水力その他がほぼ0に近いのに対して、火力が突出している。そのため、表5.4にあるように全電源平均の99%を火力発電が負っている。表5.3と表5.4を見比べると405部門での事業用電力の排出原単位と407部門での全電源平均の排出原単位は一致していると言ってよい。

5.4 平成2年各月での排出原単位の推移

平成2年の各月の発電量推移（表3.2）を用いて分析した結果の排出原単位が表5.5、5.6である。表5.6をグラフにしたものが図5.2である。

どの発電も月ごとの変動はほとんどない。値は前節の年間での結果と同じく、原子力、水力その他がほとんど0であるのに対して火力が約800g-CO₂/kWhと突出している。表5.7は全電源平均の排出原単位である。内訳というのは、表5.5にそれぞれの構成比をかけたものであり、その合計が全電源平均の排出原単位になっている。表5.7をグラフにすると図5.3のようになった。全電源平均にするとかなりの変動が見られ、最大となる2月と最小となる5月では約130g-CO₂/kWhの差がある。その

表 5.5: 各発電技術の平成 2 年の 1 年間の排出原単位の推移 (t-CO₂/百万円)

	原子力	火力	水力・その他
1 月	0.68	40.74	0.38
2 月	0.69	40.75	0.38
3 月	0.67	40.71	0.37
4 月	0.65	40.64	0.36
5 月	0.65	40.63	0.36
6 月	0.67	40.69	0.37
7 月	0.67	40.71	0.37
8 月	0.68	40.72	0.38
9 月	0.67	40.71	0.38
10 月	0.67	40.69	0.37
11 月	0.67	40.71	0.38
12 月	0.67	40.70	0.37
平均	0.67	40.70	0.37

表 5.6: 各発電技術の平成 2 年の 1 年間の排出原単位の推移 (g-CO₂/kWh)

	原子力	火力	水力・その他
1 月	13.45	803.8	7.48
2 月	13.52	804.1	7.53
3 月	13.25	803.2	7.34
4 月	12.85	801.9	7.05
5 月	12.78	801.7	7.00
6 月	13.15	802.9	7.27
7 月	13.24	803.2	7.33
8 月	13.32	803.4	7.39
9 月	13.30	803.4	7.37
10 月	13.16	802.9	7.28
11 月	13.28	803.3	7.36
12 月	13.23	803.1	7.32
平均	13.22	803.1	7.32

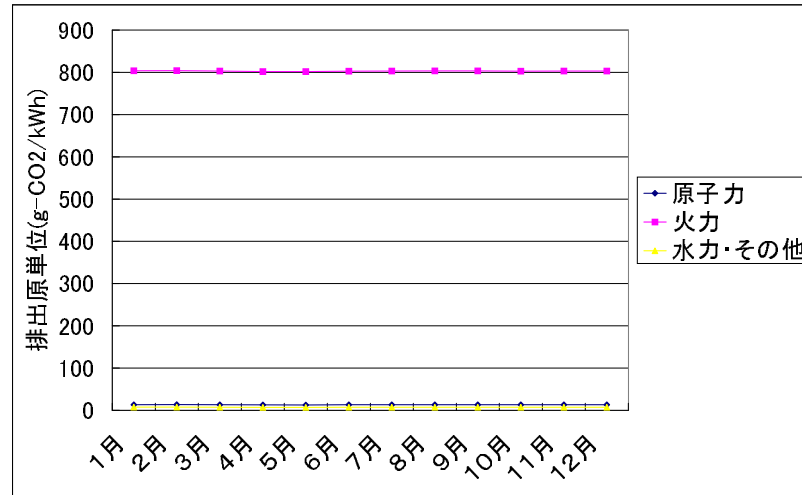


図 5.2: 各発電技術の 1 年間の排出原単位の推移

内訳は年間の場合と同じように 99%程度が火力からのもので原子力、水力その他の影響はほとんどない。

5.5 平成 2 年の年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の排出原単位

平成 2 年の年間最大電力を記録した 8 月 7 日の発電電力のピーク時と最小時の排出原単位を表 3.5 を用いて計算した結果は表 5.8、5.9 のようになった。表 5.10 が全電源平均の排出原単位およびその内訳を示したもので、これをグラフで表したものが図 5.4 である。発電量の構成比がかなり異なるのに年間、月間の結果と同じく各発電毎の排出原単位は表 5.8、5.9 を見るとほとんど変化してない。しかし、全電源平均の最小時はどの年間や月別のデータよりも小さく、ピーク時との差は約 170g-CO₂/kWh にも及ぶ。

表 5.7: 各月の全電源平均の排出原単位 (g-CO₂/kWh) およびその内訳

	全電源平均	内訳			占める割合 (%)		
		原子力	火力	水力・その他	原子力	火力	水力・その他
1 月	537.8	3.4	533.8	0.6	0.6	99.3	0.1
2 月	550.6	2.9	546.9	0.8	0.5	99.3	0.1
3 月	503.2	3.3	498.9	1.0	0.7	99.2	0.2
4 月	432.3	3.8	427.3	1.2	0.9	98.8	0.3
5 月	420.0	3.9	414.8	1.2	0.9	98.8	0.3
6 月	485.7	3.4	481.3	1.0	0.7	99.1	0.2
7 月	501.4	3.6	497.1	0.8	0.7	99.1	0.2
8 月	515.5	3.6	511.2	0.7	0.7	99.2	0.1
9 月	511.5	3.4	507.3	0.8	0.7	99.2	0.2
10 月	487.7	3.5	483.2	1.0	0.7	99.1	0.2
11 月	507.8	3.4	503.5	0.9	0.7	99.2	0.2
12 月	498.8	3.6	494.4	0.8	0.7	99.1	0.2
平均	497.2	3.5	492.8	0.9	0.7	99.1	0.2

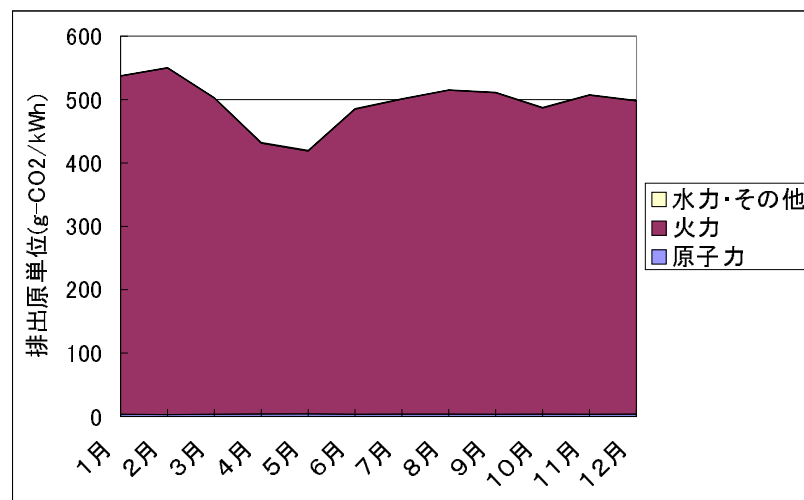


図 5.3: 全電源平均の排出原単位およびその内訳の年間の推移

表 5.8: 年間最大電力を記録した日の発電量のピーク時と最小時の排出原単位 (t-CO₂/百万円)

	原子力	火力	水力その他
ピーク時	0.68	40.70	0.38
最小時	0.64	40.60	0.35

表 5.9: 年間最大電力を記録した日の発電量のピーク時と最小時の排出原単位 (g-CO₂/kWh)

	原子力	火力	その他
ピーク時	13.5	804.0	7.5
最小時	12.6	801.1	6.9

表 5.10: 年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の全電源平均の排出原単位 (g-CO₂/KWh) およびその内訳

	全電源平均 (g-CO ₂ /KWh)	内訳 (g-CO ₂ /KWh)			占める割合 (%)		
		原子力	火力	その他	原子力	火力	その他
ピーク時	545.2	2.6	541.6	1.0	0.5	99.3	0.2
最小時	388.1	5.4	382.1	0.6	1.4	98.4	0.2

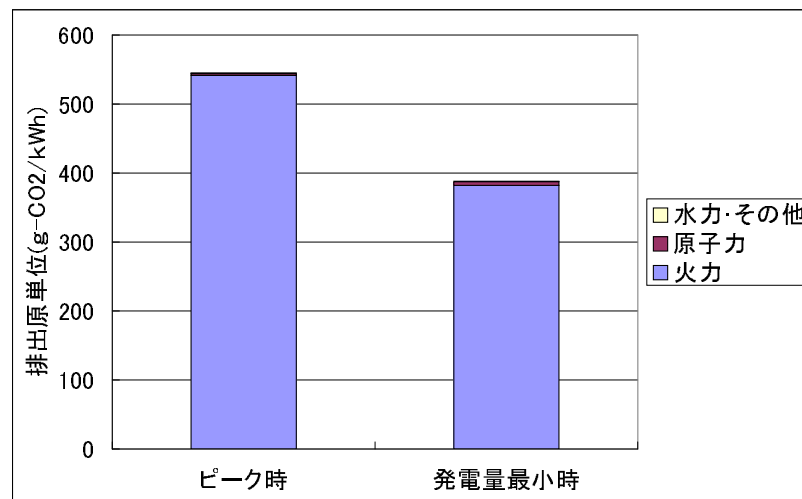


図 5.4: 年間最大電力を記録した日の発電電力のピーク時と最小時の排出原単位

第6章 考察

6.1 列拘束をした場合の火力発電を投入元とする投入係数に対する感度解析

第5章に火力発電を投入元とする投入係数に対する感度解析の結果を示した(図5.1)。そして、各部門のグラフ間に異方的な相似が見られ、感度の大きさの順位が年間を通して不変であるという特徴があった。

同一月での感度順位が不変であること

各月の感度の順位が不変であるのは次の理由によると考えられる。
第2章の式(2.32)に示したように感度は

$$s_{a,ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{L} t_i^o \sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} p_l \quad (6.1)$$

のように定式化された。ここで、環境負荷総排出量を求める際は、 $p_l = f_l$ であるから

$$\sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} p_l = \sum_{l=1}^n \bar{b}_{jl} f_l \quad (6.2)$$

$$= \bar{x}_j \quad (6.3)$$

となる。したがって感度は

$$s_{a,ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{L} t_i^o \bar{x}_j \quad (6.4)$$

と表される。 L は行、列に関係なく一定の値で、 t_i^o は行の関数である。だから同じ投入元(同一の行)であれば $\bar{a}_{ij} \times \bar{x}_j$ により相対的な感度の大きさが決まるのだが、 $\bar{a}_{ij} \times \bar{x}_j$ は産業連関表での値(表2.2での X_{ij})となっている。そのため、火力発電を投入元とする投入係数は、産業連関表の火力発電の行の値の大きさに順位が決まってしまうので、同一行での列間の比較は意味がないといえる。

6.2 積み上げ法による排出原単位との比較

本研究の産業連関表による月別の排出原単位の結果を表5.6、5.7に示した。一方、東京ガスから表6.1に示す積み上げ法を用いた排出原単位のデータ(参考文献[7])を頂いたので比較して考察する。

表 6.1: 積み上げ法による排出原単位 (g-CO₂/kWh)(東京ガスより)

	火力発電平均	全電源平均
1 月	738.2	497.8
2 月	730.9	505.1
3 月	730.1	457.4
4 月	737.3	396.6
5 月	740.5	388.4
6 月	792.1	483.5
7 月	753.1	474.6
8 月	753.1	488.3
9 月	783.3	503.3
10 月	756.6	461.1
11 月	760.5	481.4
12 月	805.2	501.0
平均	757.4	471.4

6.2.1 火力発電の排出原単位の変化

本研究で得られた産業連関法による火力発電の排出原単位と東京ガスから提供して頂いた積み上げ法による火力発電の排出原単位の月毎の変化を図 6.1 にあわせて示す。2つのグラフを見比べると差や変動に相違がある。その原因は以下のように考えられる。

- 差

序章で述べたように産業連関法は間接的な生産波及効果を含めて評価できるのに対して、積み上げ法ではプロセスを遡ることに限界があり、過小評価になってしまう傾向がある。これが2つのグラフの差となって表れていると考えられる。産業連関法では年間平均は 803.1g-CO₂/kWh で、積み上げ法では 757.4g-CO₂/kWh であり、その差は約 45g-CO₂/kWh となっている。

- 変動の相違

積み上げ法によるデータに比べて本研究で得られた産業連関法による結果のグラフの変動が小さい。この原因は次のように考えられる。電力需要が小さい時には電力会社は経済性を考えて効率の高い火力発電設備のみを使用して発電していれば良い。しかし、電力需要が大きくなったり、高効率の発電設備が点検等で使えないような時には、通常では使っていない効率の低い発電設備に

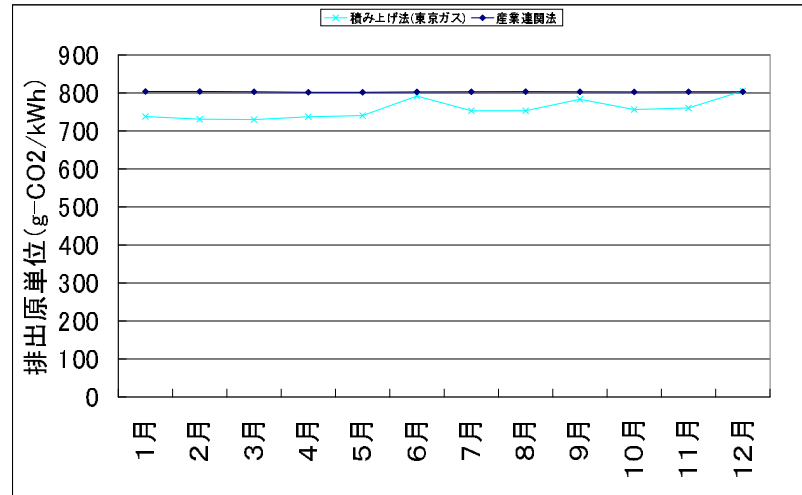


図 6.1: 産業連関法と積み上げ法 (東京ガス提供) による火力発電の排出原単位

よって発電しなければならなくなる。積み上げ法による分析では各月の燃料の使用量から排出原単位を求めているためにその変動を含んだ結果が得られる。しかし、本研究では火力発電部門では発電設備を一律なものとしてしか扱うことができないために、発電設備の違いによる排出原単位の変動が分散化されてほとんど見られなくなっている。

6.2.2 全電源平均の排出原単位の変化

本研究で得られた産業連関法による全電源平均の排出原単位と東京ガスから提供して頂いた積み上げ法による全電源平均の排出原単位の月毎の変化を図 6.2 にあわせて示す。

2つのデータの差や変動の違いは火力発電と同様の理由によると考えられる。しかし、2つのグラフの傾向は6月、9月、12月を除いてはよく似ていると言える。6月、9月、12月は図 6.1 で見ると火力の排出原単位が他の月と比較して高くなっている月である。このことから発電設備の性質が変わる月では積み上げ法による分析に比べると状況に則していない結果が出てしまうが、それ以外の月では適当な解析ができると言える。

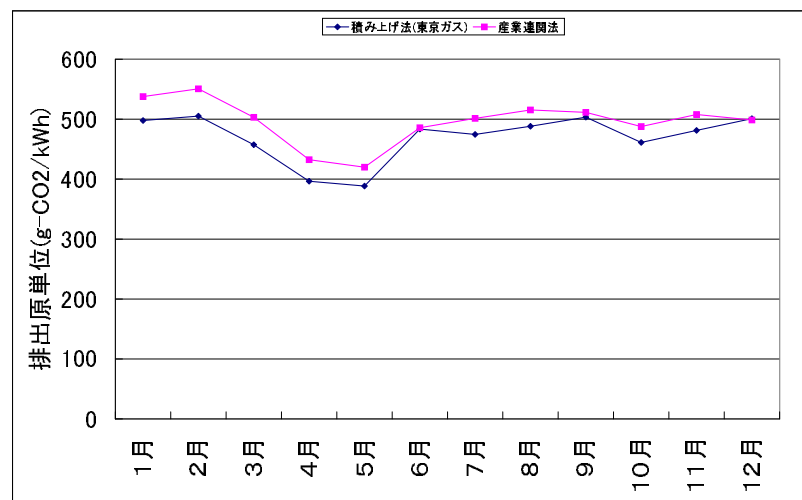


図 6.2: 産業連関法と積み上げ法 (東京ガス提供) による全電源平均の排出原単位

6.3 マイクロガスタービン (MGT) によるコジェネレーションシステム導入の評価

マイクロガスタービン (以下 MGT) によるコジェネレーションを導入した際の環境負荷を 2 つの手法から評価する。発電量は MGT によって発電される分だけ他の発電の発電量を減らして調整されるわけだが、どの発電によって調整されているかによってコジェネの評価は大きく異なる。排出原単位の大きい火力発電で調整されているとすれば、全電源平均に比べて導入の効果は高く評価される。そのため、都市ガスを用いたコジェネを導入させたいガス会社は火力発電の排出原単位で、一方、電力会社は全電源平均の排出原単位で評価することを主張している。この考察では 2 つの手法についてそれぞれの値を用いて考察することにする。

6.3.1 総合効率による評価

Capstone 社の資料から MGT の排出原単位及び効率のデータを得た (表 6.2、6.3)。データには仕様、運転条件が記されていないが、排出原単位は運転時に消費する燃料量のみのデータと思われる。これらのデータを用いると総合効率による排出原単位の変化は表 6.3、図 6.3 のようになる。

表 6.2: マイクロガスタービンの排出原単位 (Capstone 社資料より)

	lb-CO ₂ /MWh	g-CO ₂ /kWh
排出原単位	1800	816.48

表 6.3: マイクロガスタービンの効率 (Capstone 社資料より)

	効率 (%)
発電効率	24
コジェネ	51
総合効率	75

火力発電で調整される場合

火力発電は年間での排出原単位の変動が小さいので、年間の平均値のみで評価する。表 6.5 がその火力の排出原単位の年間平均および総合効率が 24%、25% のとき

表 6.4: マイクロガスタービンの総合効率による排出原単位

総合効率 (%)	排出原単位 (g-CO ₂ /kWh)
24	816.5
30	653.2
35	559.9
40	489.9
45	435.5
50	391.9
55	356.3
60	326.6
65	301.5
70	279.9
75	261.3

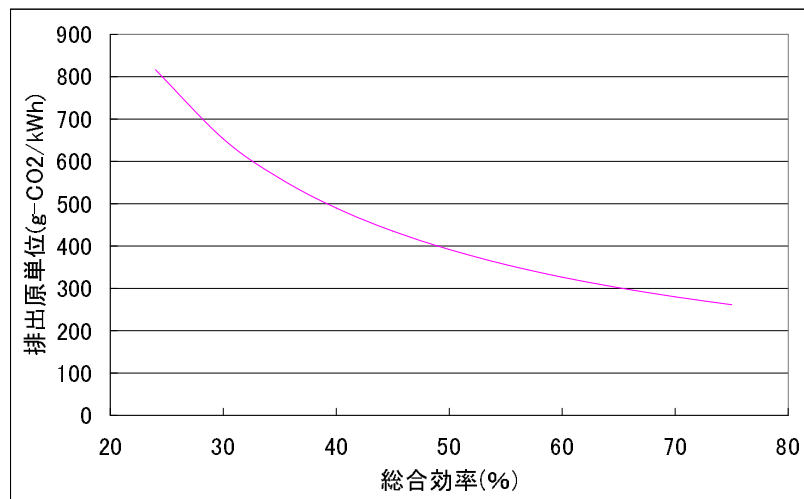


図 6.3: MGT の総合効率と排出原単位 (Capstone 社資料より算出)

表 6.5: 火力年間平均の排出原単位と MGT の総合効率による排出原単位 (g-CO₂/MWh)

	火力年間平均	総合効率	
		24%	25%
排出原単位 (g-CO ₂ /MWh)	803.1	816.5	783.8

の排出原単位である。25%でMGTの方が排出原単位が小さくなっている。24%が発電効率であることから排熱を少しでも利用すれば、MGTによるコジェネの導入が環境負荷改善の面からは意味があると言える。

全電源平均で調整される場合

図 6.2 にも示した本研究の全電源平均の排出原単位に総合効率別の排出原単位を重ね合わせると図 6.4 のようになる。

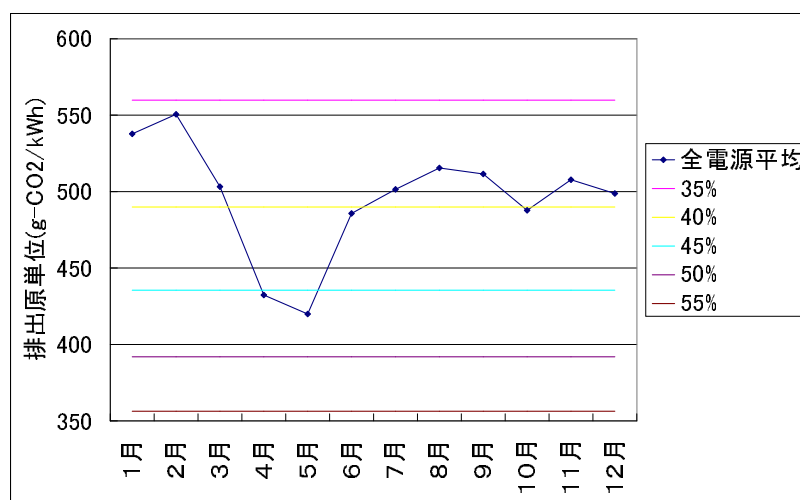


図 6.4: 本研究の全電源平均の排出原単位と MGT の総合効率別の排出原単位

図 6.4 について総合効率別に以下に考察する。

- 総合効率が 35 % 以下の場合
排出原単位が 1 年を通して全電源平均より高いので MGT によるコジェネの導

入は環境負荷の点からは意味がない。

- 総合効率が 50 % 以下の場合
排出原単位が 1 年を通して全電源平均より低い。そのため年間を通して MGT のコジェネを実施した方が環境負荷の点では良い。ただし、MGT のコジェネの排出原単位のデータは間接の影響を含んでいないと思われるので、詳細な分析を行うとより大きくなる可能性が高いため注意が必要である。
- 総合効率 35 % ～ 50 % の場合
MGT のコジェネを導入した方が環境負荷の点では良いかどうかは月によって異なる。しかし、ここでは Capstone 社資料の条件等が不明であるために、詳細な考察は控える。

6.3.2 1 時間あたりの CO₂ 削減量による評価

個別企業がコジェネレーションシステムを導入する際には、それを導入することにより削減される CO₂ 量を計算して評価している。その計算方法を東京ガスの小山俊彦氏から教えていただいた。今回は表 6.6 に仕様を示す MGT について、日稼働日停止で 7 ～ 12 時間稼働またはプラス α の運転条件で考察する。

表 6.6: Capstone Turbine の機器仮仕様 (東京ガスで現在実証試験中)

	Capstone Turbine
送電端発電出力 [kW]	28.0
廃熱回収熱量 [kW]	49.6
燃料消費量 [Nm ³ /h]	10.0
発電効率 [%]	24.0
総合効率 [%]	67.1

なお上記の運転条件では Capstone Turbine の 1 時間あたりの CO₂ 排出量は 23.6kg-CO₂/h ということである。

- MGT が 1 時間稼働することによって削減しうる CO₂ 量は以下の場合が想定される
 - 1) MGT 稼働により抑制される買電量
火力発電所で調整されるならば火力平均 CO₂ 原単位を使用。水力、原子力発電所も調整されるならば全電源 CO₂ 原単位を使用。

2) MGT の排熱を回収することで抑制される化石燃料（ガス、重油、石炭）どの化石燃料が抑制されるかはこの MGT が導入された需要家によってことなる。都市部では都市ガスボイラであるし地方ならば LPG もしくは重油、軽油となる。

1) の計算

$28.0\text{kWh} \times \text{稼働時間 (この場合は 1 時間)} \times \text{火力発電 CO}_2 \text{ 排出原単位 or 全電源平均 CO}_2 \text{ 排出原単位} \cdots (A)$

2) の計算

$49.6 \times 860(\text{kcal/kWh}) \times \text{稼働時間 (この場合は 1)} \times 1/\text{ボイラ効率 (温水ガスボイラで 0.85)} \times \text{燃料の CO}_2 \text{ 原単位} \cdots (B)$

本研究では燃料の CO₂ 排出原単位は都市部への導入を考えて都市ガスのデータ (214.10kg-CO₂/Gcal[4]) を用いる。すると MGT の排熱を回収することで抑制される化石燃料の消費による 1 時間あたりの CO₂ 排出量は 10.7kg-CO₂/h(B) となる。

MGT の 1 時間あたりの CO₂ 排出量は仕様のところで書いたように 23.6kg-CO₂/h(C) である。

- 1 時間あたり削減される CO₂ 量は $A+B-C$ である。本研究ではパラメーターとして A の排出原単位と C の排熱の利用率の 2 つをとった。
 $A+B-C > 0$ の場合はコジェネの導入により CO₂ 排出量削減の効果がある。
 $A+B-C < 0$ の場合はコジェネの導入により CO₂ 排出量削減の効果がない。
- A は本研究の産業連関分析法を用いているために間接の影響を評価しているが、B、C は燃料の使用による CO₂ 排出量のみしか考慮していないので過小評価されていると考えるのが適当である。特に、マイクロガスタービン以外の発電技術に比べてライフサイクルが短いために、製造工程での CO₂ 排出量の割合が大きくなると思われる。評価する際にはこの点に注意しなければならない。

火力発電で調整する場合

火力発電部門のみでは年間の変動が小さいので年間平均の排出原単位を用いる。発電された電力はすべて利用したとして、排熱利用率の変化に応じた CO₂ 削減量を表 6.7 に示す。熱利用率が 10% 以上あれば値は正となりコジェネ導入の効果が出る。MGT では排出原単位のうち製造段階の CO₂ 排出量の比重が大きくなることを考え

表 6.7: 火力年間平均で調整する場合の排出量の差

排熱利用率 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
A+B-C(kg-CO ₂ /h)	-1.1	0.0	1.0	2.1	3.2	4.2	5.3	6.4	7.4	8.5	9.6

るともっと高い排熱利用率が必要となると予想されるが、いずれにしても比較的低い熱利用率でもコジェネ導入の意味がある。

全電源平均で調整する場合

全電源平均の各月の排出原単位を表 6.8 に各月の全電源平均と熱利用率を与えた場合の CO₂ 削減量を示す。どの月も熱利用率が 80～90%以上なければ CO₂ 削減の

表 6.8: 全電源平均で調整する場合の排出量の差

排熱利用率 (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1 月	-8.5	-7.5	-6.4	-5.3	-4.3	-3.2	-2.1	-1.1	0.0	1.1	2.2
2 月	-8.2	-7.1	-6.0	-5.0	-3.9	-2.8	-1.8	-0.7	0.4	1.4	2.5
3 月	-9.5	-8.4	-7.4	-6.3	-5.2	-4.2	-3.1	-2.0	-1.0	0.1	1.2
4 月	-11.5	-10.4	-9.4	-8.3	-7.2	-6.1	-5.1	-4.0	-2.9	-1.9	-0.8
5 月	-11.8	-10.8	-9.7	-8.6	-7.6	-6.5	-5.4	-4.4	-3.3	-2.2	-1.1
6 月	-10.0	-8.9	-7.9	-6.8	-5.7	-4.6	-3.6	-2.5	-1.4	-0.4	0.7
7 月	-9.6	-8.5	-7.4	-6.3	-5.3	-4.2	-3.1	-2.1	-1.0	0.1	1.1
8 月	-9.2	-8.1	-7.0	-6.0	-4.9	-3.8	-2.7	-1.7	-0.6	0.5	1.5
9 月	-9.3	-8.2	-7.1	-6.1	-5.0	-3.9	-2.9	-1.8	-0.7	0.4	1.4
10 月	-9.9	-8.9	-7.8	-6.7	-5.7	-4.6	-3.5	-2.5	-1.4	-0.3	0.8
11 月	-9.4	-8.3	-7.2	-6.2	-5.1	-4.0	-3.0	-1.9	-0.8	0.2	1.3
12 月	-9.6	-8.6	-7.5	-6.4	-5.4	-4.3	-3.2	-2.1	-1.1	0.0	1.1

効果が見られない。4、5月にいたっては熱利用率を 100%にしても CO₂ は削減されない。概して排熱を全て使ってやっとコジェネ導入の効果があると言える。

6.3.3 マイクロガスタービン (MGT) によるコジェネレーションシステム導入の評価のまとめ

以上の考察より MGT のコジェネ導入の目安はおおよそ表 6.9、6.10 のようになった。

総合効率による評価に関して、表 6.9 は MGT のコジェネ導入が有利になる総合効率と、その際の発電量を 1 とした時の利用されるべき排熱量の割合を併記した。発電効率は常に 24% に設定した。

CO₂ 削減量による評価に関して、表 6.10 は MGT のコジェネ導入が有利になる排熱

表 6.9: 総合効率による評価で MGT の導入が有利になる総合効率

	総合効率	排熱利用/発電量
火力平均	25 % 以上	0.04 以上
全電源平均	50 % 以上	0.96 以上

利用率と、その際の発電量を 1 とした時の利用されるべき排熱量の割合を併記した。

表 6.10: CO₂ 削減量による評価で MGT の導入が有利になる排熱利用率

	排熱利用	排熱利用/発電量
火力平均	10 % 以上	0.18 以上
全電源平均	ほぼ 100 %	1.78 以上

電力需要と熱需要の負荷パターンは大きく異なるために、本来は時間毎などの細かい分析が必要であるが、本考察では年間での分析にとどめる。表 6.11 は参考文献 [8] から家庭用エネルギーの年間負荷量を引用したものであり、年間電力負荷を 1 とした時の年間給湯負荷をあわせて示した。ここでは冬季にエアコンによる暖房を行う家庭を対象としている。総合効率による評価、CO₂ 削減量による評価共に火力平

表 6.11: 年間電力負荷と年間給湯負荷（文献 [8]）

	年間電力負荷	年間給湯負荷	合計
負荷	8908.135kWh	4548.835kWh(3912Mcal)	13456.97kWh
負荷の比	1	0.51	

均により発電量が調整されると考えればコジェネ導入の効果が出る。しかし、全電

源平均での調整とすればコージェネ導入の効果が出ない。総合効率による評価と CO₂ 削減量による評価の場合を比較すると、火力平均による調整、全電源平均による調整共に総合効率による評価の方が低い熱利用率でも効果が表れることになる。これは総合効率による比較では熱と電力量を共に kWh で評価しているからである。熱と電気ではエネルギーとしての質が異なり、電気の方が使い勝手の面からは優れているということを考えるとこの評価法は熱を過大評価しすぎているという印象を受ける。

第7章 結論および将来の課題

本研究では産業連関分析を用いて電力構成別に環境負荷を評価して以下の結論を得た。

- 列拘束がないという仮定の元での投入係数の変動による環境負荷の感度は、投入元が同一である場合にはその値を比較することが適当ではないことを示した。
- 年単位と月単位での産業間の取引は同じであると仮定して、月単位で排出原単位を分析した。その結果を積み上げ法による分析と比較することによって、月単位で産業連関分析を行っても適当な結果を得られることを示した。
- マイクロガスタービンで発電する分の電力を、火力発電から調整しているのかそれとも全電源平均で調整しているのかという仮定が、マイクロガスタービンによるコージェネレーションの評価を大きく左右する。火力発電により調整されているとする場合は全電源平均で調整しているとする場合よりも格段にコージェネの導入の効果が出ることを、総合効率と CO₂ 削減量の 2 つの評価により示した。

一方、今後の課題としては次の 2 点が挙げられる。

- 火力発電は発電所によって効率の差がある。そのため、ある期間を対象に産業連関分析する際には、発電量に加えてその期間中に稼働している発電所の効率を考慮する必要がある。効率に何らかの重み付けをするなどの方法が考えられるが、その定式化が望まれる。
- マイクロガスタービンはまだ仕様が確定していないような段階である。他の発電技術と比較して評価するにはインベントリデータがまだまだ不十分であり、それを充実させることが必要である。

付 録 A 付録 A

平成2年の各月および年間の投入係数の変動に対するCO₂排出量の感度データ

表 A.1: 1 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0845456
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0820606
3	セメント	生コンクリート	0.0437339
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0349457
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0201682
6	外洋運送	外洋運送	0.0172232
7	自動車部品	自動車部品	0.0171829
8	パルプ	洋紙和紙	0.0166303
9	原油	石油製品	0.0151416
10	石炭製品	銑鉄	0.0149557
11	事業用火力発電	小売	0.0148154
12	自動車部品	乗用車	0.0132698
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0126721
14	自家発電	洋紙和紙	0.0118307
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0115392
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0114816
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0111932
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0103436
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.010024
20	セメント	セメント製品	0.00990128
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00970283
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00956398
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00939462
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00901026
25	石炭	石炭製品	0.0089445
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00833802
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00734191
28	洋紙和紙	新聞	0.00732836
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00728451
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築 (非木造)	0.00701406

表 A.2: 2 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0863323
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0837165
3	セメント	生コンクリート	0.0445961
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0357425
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0207168
6	自動車部品	自動車部品	0.017637
7	外洋運送	外洋運送	0.0175532
8	パルプ	洋紙和紙	0.0169894
9	原油	石油製品	0.0155286
10	事業用火力発電	小売	0.0154671
11	石炭製品	銑鉄	0.0152629
12	自動車部品	乗用車	0.0136205
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0129441
14	自家発電	洋紙和紙	0.0120553
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0118029
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0117433
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0114483
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0105515
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0102263
20	セメント	セメント製品	0.0100965
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00989791
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00979216
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00964039
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00918804
25	石炭	石炭製品	0.00913276
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00850565
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.007491
28	洋紙和紙	新聞	0.00748561
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00745058
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築 (非木造)	0.00717397

表 A.3: 3 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0865888
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0842585
3	セメント	生コンクリート	0.0449611
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0356307
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.02032
6	外洋運送	外洋運送	0.0177324
7	自動車部品	自動車部品	0.0173489
8	パルプ	洋紙和紙	0.0170111
9	石炭製品	銑鉄	0.0153417
10	原油	石油製品	0.0153232
11	事業用火力発電	小売	0.0142654
12	自動車部品	乗用車	0.013398
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0129671
14	自家発電	洋紙和紙	0.0121863
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0117638
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0117066
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0114126
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0106227
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0102925
20	セメント	セメント製品	0.0101791
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00996471
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00972357
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00949203
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00926265
25	石炭	石炭製品	0.00916281
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00856306
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00753601
28	洋紙和紙	新聞	0.00749891
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00742729
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築 (非木造)	0.00715154

表 A.4: 4 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0912557
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0892711
3	セメント	生コンクリート	0.0477581
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0372011
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0206788
6	外洋運送	外洋運送	0.0188922
7	パルプ	洋紙和紙	0.0178817
8	自動車部品	自動車部品	0.017737
9	石炭製品	銑鉄	0.0162224
10	原油	石油製品	0.015745
11	自動車部品	乗用車	0.0136977
12	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0136411
13	事業用火力発電	小売	0.0130339
14	自家発電	洋紙和紙	0.012996
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0122785
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0122226
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0119156
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0112594
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0109048
20	セメント	セメント製品	0.0108123
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.0105619
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0100907
23	海面漁業	冷凍魚介類	0.00983793
24	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00971912
25	石炭	石炭製品	0.00966138
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00907624
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00797878
28	洋紙和紙	新聞	0.00788874
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00775464
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築 (非木造)	0.00750388

表 A.5: 5 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.091305
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0894031
3	セメント	生コンクリート	0.0478503
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0371592
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0205594
6	外洋運送	外洋運送	0.0189387
7	パルプ	洋紙和紙	0.0178832
8	自動車部品	自動車部品	0.0176497
9	石炭製品	銑鉄	0.0162407
10	原油	石油製品	0.0156819
11	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0136441
12	自動車部品	乗用車	0.0136303
13	自家発電	洋紙和紙	0.0130302
14	事業用火力発電	小売	0.0126864
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0122641
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0122088
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0119021
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0112768
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0109209
20	セメント	セメント製品	0.0108332
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.0105783
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.0100684
23	海面漁業	冷凍魚介類	0.00985675
24	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00967389
25	石炭	石炭製品	0.00966745
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00909032
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00798959
28	洋紙和紙	新聞	0.00789046
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.0077459
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築 (非木造)	0.00751552

表 A.6: 6 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0864805
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0842621
3	セメント	生コンクリート	0.0449913
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0355054
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0201245
6	外洋運送	外洋運送	0.0177574
7	自動車部品	自動車部品	0.017201
8	パルプ	洋紙和紙	0.0169792
9	石炭製品	銑鉄	0.015335
10	原油	石油製品	0.0152107
11	事業用火力発電	小売	0.0137857
12	自動車部品	乗用車	0.0132838
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0129452
14	自家発電	洋紙和紙	0.0122064
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0117215
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0116654
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0113724
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0106243
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0102929
20	セメント	セメント製品	0.0101859
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00996615
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00967517
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00941439
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00926863
25	石炭	石炭製品	0.00915246
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.0085643
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00753505
28	洋紙和紙	新聞	0.00748624
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00740116
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00712638

表 A.7: 7月の投入係数の変動に対するCO₂排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼(転炉)	熱間圧延鋼材	0.0821896
2	銑鉄	粗鋼(転炉)	0.0799881
3	セメント	生コンクリート	0.0426851
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0338129
5	粗鋼(電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0192715
6	外洋運送	外洋運送	0.016836
7	自動車部品	自動車部品	0.0164556
8	パルプ	洋紙和紙	0.0161459
9	石炭製品	銑鉄	0.0145635
10	原油	石油製品	0.014536
11	事業用火力発電	小売	0.0134943
12	自動車部品	乗用車	0.0127081
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0123077
14	自家発電	洋紙和紙	0.0115705
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0111635
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0111094
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0108303
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0100845
19	銑鉄	粗鋼(電気炉)	0.00977087
20	セメント	セメント製品	0.00966382
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00945977
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00922615
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00900357
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00879374
25	石炭	石炭製品	0.0086974
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00812915
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00715395
28	洋紙和紙	新聞	0.00711763
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00704837
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00678669

表 A.8: 8月の投入係数の変動に対するCO₂排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼(転炉)	熱間圧延鋼材	0.0809222
2	銑鉄	粗鋼(転炉)	0.078673
3	セメント	生コンクリート	0.0419621
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.033352
5	粗鋼(電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0191018
6	外洋運送	外洋運送	0.016541
7	自動車部品	自動車部品	0.0162966
8	パルプ	洋紙和紙	0.0159049
9	原油	石油製品	0.0143816
10	石炭製品	銑鉄	0.0143295
11	事業用火力発電	小売	0.0136314
12	自動車部品	乗用車	0.0125853
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0121222
14	自家発電	洋紙和紙	0.0113656
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.011012
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0109579
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0106827
18	生コンクリート	非住宅建築	0.00991784
19	銑鉄	粗鋼(電気炉)	0.00961022
20	セメント	セメント製品	0.00950015
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00930348
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00911101
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00891396
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00864496
25	石炭	石炭製品	0.00856247
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00799484
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00703731
28	洋紙和紙	新聞	0.00701035
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00695229
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00669418

表 A.9: 9 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0845024
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0821777
3	セメント	生コンクリート	0.0438377
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0348098
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0199094
6	外洋運送	外洋運送	0.0172833
7	自動車部品	自動車部品	0.0169895
8	パルプ	洋紙和紙	0.0166062
9	原油	石油製品	0.0149974
10	石炭製品	銑鉄	0.0149663
11	事業用火力発電	小売	0.0141352
12	自動車部品	乗用車	0.0131204
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0126573
14	自家発電	洋紙和紙	0.0118762
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0114931
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0114369
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0111496
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0103599
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0100383
20	セメント	セメント製品	0.00992478
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00971816
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00950612
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00929386
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00903128
25	石炭	石炭製品	0.00894152
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00835119
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.0073505
28	洋紙和紙	新聞	0.00731977
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00725616
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00698676

表 A.10: 10 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0874057
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0851513
3	セメント	生コンクリート	0.0454629
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0358943
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.020359
6	外洋運送	外洋運送	0.0179421
7	自動車部品	自動車部品	0.0173994
8	パルプ	洋紙和紙	0.017162
9	石炭製品	銑鉄	0.0154976
10	原油	石油製品	0.0153839
11	事業用火力発電	小売	0.0139837
12	自動車部品	乗用車	0.0134369
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0130843
14	自家発電	洋紙和紙	0.012333
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.01185
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0117932
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.011497
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0107363
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0104016
20	セメント	セメント製品	0.0102927
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.0100712
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00978276
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00952259
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.0093658
25	石炭	石炭製品	0.00925025
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00865457
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.0076147
28	洋紙和紙	新聞	0.00756669
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00748224
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00720445

表 A.11: 11 月の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0873725
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0849923
3	セメント	生コンクリート	0.0453452
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0359747
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.020549
6	外洋運送	外洋運送	0.0178804
7	自動車部品	自動車部品	0.0175397
8	パルプ	洋紙和紙	0.0171679
9	原油	石油製品	0.0154866
10	石炭製品	銑鉄	0.0154773
11	事業用火力発電	小売	0.014516
12	自動車部品	乗用車	0.0135453
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0130859
14	自家発電	洋紙和紙	0.0122872
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0118776
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0118196
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0115227
18	生コンクリート	非住宅建築	0.010715
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0103821
20	セメント	セメント製品	0.0102661
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.0100512
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00982122
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00959538
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00934181
25	石炭	石炭製品	0.00924546
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00863739
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00760198
28	洋紙和紙	新聞	0.00756766
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00749899
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00722058

表 A.12: 12月の投入係数の変動に対するCO₂排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼(転炉)	熱間圧延鋼材	0.0854517
2	銑鉄	粗鋼(転炉)	0.0831792
3	セメント	生コンクリート	0.0443923
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0351427
5	粗鋼(電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0200107
6	外洋運送	外洋運送	0.0175113
7	自動車部品	自動車部品	0.0170897
8	パルプ	洋紙和紙	0.016785
9	石炭製品	銑鉄	0.0151434
10	原油	石油製品	0.0150988
11	事業用火力発電	小売	0.0139601
12	自動車部品	乗用車	0.0131978
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0127954
14	自家発電	洋紙和紙	0.0120351
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0116024
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0115463
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0112562
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0104869
19	銑鉄	粗鋼(電気炉)	0.0101607
20	セメント	セメント製品	0.0100503
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00983732
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00958686
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.009351
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.00914537
25	石炭	石炭製品	0.00904277
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00845358
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00743917
28	洋紙和紙	新聞	0.00739962
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00732556
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00705359

表 A.13: 平成 2 年の年間合計の投入係数の変動に対する CO₂ 排出量の感度

順位	投入元	投入先	感度値
1	粗鋼 (転炉)	熱間圧延鋼材	0.0860997
2	銑鉄	粗鋼 (転炉)	0.0838198
3	セメント	生コンクリート	0.0447364
4	熱間圧延鋼材	冷間仕上鋼材	0.0354017
5	粗鋼 (電気炉)	熱間圧延鋼材	0.0201474
6	外洋運送	外洋運送	0.0176482
7	自動車部品	自動車部品	0.0172081
8	パルプ	洋紙和紙	0.0169114
9	石炭製品	銑鉄	0.0152594
10	原油	石油製品	0.0152048
11	事業用火力発電	小売	0.014026
12	自動車部品	乗用車	0.0132892
13	洋紙和紙	印刷製版製本	0.0128918
14	自家発電	洋紙和紙	0.0121294
15	熱可塑性樹脂	プラスチック製品	0.0116879
16	熱間圧延鋼材	鉄鋼シャースリット業	0.0116316
17	熱間圧延鋼材	鋼管	0.0113392
18	生コンクリート	非住宅建築	0.0105678
19	銑鉄	粗鋼 (電気炉)	0.0102389
20	セメント	セメント製品	0.0101281
21	生コンクリート	河川下水道その他	0.00991314
22	冷間仕上鋼材	めっき鋼材	0.00965612
23	プラスチック製品	プラスチック製品	0.00941592
24	海面漁業	冷凍魚介類	0.009216
25	石炭	石炭製品	0.00911123
26	生コンクリート	道路関係公共事業	0.00851874
27	自家用旅客自動車輸送	卸売り	0.00749622
28	洋紙和紙	新聞	0.00745545
29	熱間圧延鋼材	建設用金属製品	0.00737957
30	熱間圧延鋼材	非住宅建築	0.00710559

付 録 B あとがき

B.1 謝辞

研究を進めるにあたって酒井先生をはじめ研究室のみなさんには大変お世話になった。また、東京ガスの小山さん、古川さん、電力中央研究所の本藤さんにはデータの提供をはじめ、多くの助言を頂いた。ありがとうございました。

B.2 著者近影



図 B.1: イケメン？

参考文献

- [1] 小宮山宏, ”地球持続の技術”, 岩波書店, 1999
- [2] LCA 実務入門編集委員会編, ”LCA 実務入門”, 社団法人 産業環境管理協会, 1998
- [3] 丹野史朗, ”摂動法を用いた産業連関分析の感度解析”, 東京大学修士論文, 2000
- [4] 本藤祐樹、外岡豊、内山洋司, ”産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態”, 電力中央研究所報告, 1998
- [5] 電気事業連合会, ”原子力図面集”
- [6] 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部編, ”電力調査統計月報平成2年8月分”, 日本電気協会, 1990
- [7] 小山俊彦、古川道信、永田敬博, ”電力生産における $LCCO_2$ 分析”, 東京ガスより提供
- [8] 斎藤譲二、坂東茂, ”家庭用コージェネレーションのライフサイクル評価”, 東京大学卒業論文, 2000

以上

1～ 77 ページ 完

卒業論文

平成13年 2月9日 提出

90255 明神 光浩