

技術選択を考慮したわが国の二酸化炭素排出量 の予測モデルの開発

An Energy-technology Model for Forecasting
Carbon Dioxide Emissions in Japan

AIM/Japan開発チーム
AIM/Japan Project Team

森田 恒幸¹・松岡 譲²・甲斐沼 美紀子¹・李 東根¹・甲斐 啓子¹
山辺 功二³・吉田 雅哉³・日比野 剛³

Tsuneyuki Morita¹・Yuzuru Matsuoka²・Mikiko Kainuma¹・Lee Dong-Kun¹・Keiko Kai¹
Kouji Yamabe³・Masaya Yoshida³・Goh Hibino³

¹国立環境研究所 (National Institute for Environmental Studies)
²京都大学 (Kyoto University)
³富士総合研究所 (Fuji Research Institute Corporation)

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立環境研究所

序 文

この報告書をまとめた温暖化影響・対策研究チームは、当研究所の地球環境研究グループにおいて、もっぱら問題解決に重点を置いた特徴のある研究チームである。このチームの主たる研究対象は、「アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM)」と呼ばれる総合的な政策分析用のシミュレーションモデルを開発することであり、この一連のモデル開発プロジェクトの一端をまとめたものが本報告である。

本報告は、わが国の温暖化対策の基本方向を検討する目的で、二酸化炭素排出量の子測モデルを開発し、いくつかのシミュレーションを実施した結果をまとめたものである。

ここで開発したモデルは、いわゆるボトムアップ型のエンドユース・エネルギー需要モデルであるが、詳細な技術選択を考慮している点に大きな特徴がある。すなわち、産業や民生等のセクター別に導入可能な100種類以上の省エネ技術を考慮して、これらの技術がエネルギー価格との関係で導入されるか否かを決定し、将来のエネルギー効率を予測するという、現実的なエネルギー需要の決定過程を忠実に再現している。このようなエンドユースモデルは、今のところ世界的に例がない。

本報告書においては、開発したモデルを中心にとりまとめたものであり、実施しているシミュレーションについては、モデルの特性と有効性を検討することにとどめた。従って、この報告書で予測したわが国の二酸化炭素の排出量及び炭素税の効果は、一つの試算であり、今後、行政において種々の前提条件のもとでシミュレーションが行なわれる時にこのモデルが基本モデルとして使われることが期待できる。また、個々の技術データの中には、未だ十分な吟味ができていないものも含まれているため、いろいろな角度からのご指摘を頂ければ幸いである。

地球環境研究グループ
統括研究官 安野 正之

謝 辞

本研究は、環境庁地球環境研究総合推進費による研究プロジェクト「アジア太平洋地域における温暖化対策分析モデルの開発に関する研究」の一環として実施したものであり、環境庁地球環境部研究調査室の方々には研究遂行に種々ご尽力いただいた。

また、本研究で用いた技術データの多くは、環境庁地球環境部環境保全対策課のご好意により提供いただいたものであり、同課の方々には本モデルの作成に当たって種々のご助言をいただいた。

さらに、モデル開発に際して、環境庁地球温暖化経済システム検討会（座長：佐和隆光京都大学経済研究所教授）及び地球環境研究センター地球環境経済モデル研究会（座長：天野明弘神戸大学経営学部教授）において種々のご助言を賜った。特に、佐和、天野両座長、伊藤浩吉、後藤則行、鈴木利治、槌屋治紀、中上英俊、藤井美文、森俊介、山地憲治の各委員のご助言は大変有益なものだった。また、電力中央研究所経済社会研究所の永田豊氏及び東京水産大学の石川雅紀氏からも貴重なご助言をいただいた。

最後になったが、データ収集の過程で省エネ技術のメーカーの担当者、対象とした産業部門の企業あるいは業界団体の方々、関係する官庁の行政担当者の方々等、多くの方々の協力を得た。

ここに記して深甚の謝意を表す次第である。

目 次

序文	i
謝辞	ii
ABSTRACT	v
要約	vii
第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 本報告書のねらい	2
第2章 AIM エンドユースモデルの基本構造	3
2.1 モデルの構成	3
2.1.1 AIM エンドユースモデルの概要	3
2.1.2 AIM エンドユースモデルの特徴と限界	3
2.1.3 エンドユースモデルの諸元	8
2.2 AIM エンドユースモデルの計算手順	12
2.2.1 全体手順	12
2.2.2 入出力部	12
2.2.3 技術選択部	14
2.2.4 技術選択の経済性基準とその問題点	17
第3章 各部門の構成と入力データ	19
3.1 概要	19
3.2 産業部門	20
3.2.1 鉄鋼業	20
3.2.2 セメント工業	27
3.2.3 石油化学工業	32
3.2.4 紙パルプ工業	38
3.3 家庭部門	42
3.4 業務部門	49
3.5 運輸部門	52
第4章 シミュレーション結果	57
4.1 入力条件の設定	57
4.2 産業部門	58
4.2.1 鉄鋼業	58

4.2.2 セメント工業	62
4.2.3 石油化学工業	64
4.2.4 紙パルプ工業	67
4.3 家庭部門	70
4.4 業務部門	75
4.5 運輸部門	78
4.6 シミュレーション結果のまとめ	82
第5章 結論と今後の課題	87
5.1 結論	87
5.2 今後の課題	87
参考文献	89

ABSTRACT

The objective of this work is to develop the Japan module of 'the Asia-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emissions and Global Warming Impacts (AIM/Japan)'.

We have used this model to try to answer two questions in relation to Japan:

1) What would be the effect of introducing a carbon tax on energy conservation technologies and the size of consequent reductions of CO₂ emissions?

2) What would be the effect of combining a carbon tax and subsidies using recycled revenues from such a tax on energy conservation technologies and CO₂ emissions?

This model is classified as a 'Bottom-Up, End-use, Energy-technology Model'. It combines an end-use energy demand model and a technology selection model to analyze the relationships between energy efficiency improvements and a carbon tax.

This model is comprised of 3 modules (as shown in the attached Figure)- an energy service estimate module, an energy efficiency estimate module and a technology selection module. Energy demand is calculated by multiplying the Energy Service (calculated by the energy service sub-module) by an energy efficiency factor. This factor is calculated by the energy efficiency sub-module, and is the product of assumptions made about the introduction of new technologies for energy conservation as influenced by energy prices. The technology selection sub-module decides which technologies will be introduced.

We applied this model to the Japanese situation. More than 100 technologies for energy conservation used in the industrial, residential, commercial and transport sectors were examined, and their purchase price, maintenance cost, market share, energy conservation potential, pay-back time, etc. were input into the model. Scenarios were made until the year 2010 of population growth, industrial production, as well as the expansion of the average home area and office floor space, and used as assumptions for predicting Energy Service demand.

Computer simulations were made of 5 different situations:

- 1) No changes in technology; no carbon tax or subsidies
- 2) Technology selection with no carbon tax or subsidies-the Base Case
- 3) Base case with a carbon tax of ¥30,000/tC
- 4) Base case with a carbon tax of ¥30,000/tC, and a subjective extended period of pay back over a maximum of 20 years
- 5) Base case with a carbon tax of ¥3,000/tC, and recycling of the carbon tax revenue as a subsidy for the introduction of energy conservation technologies.

These simulations provided the following results:

-If the Japanese people come to understand the economic benefits of energy conservation, then energy conservation technologies will be able to be promoted and introduced without any tax or sub-

sity. As a result, it would be possible to stabilize CO₂ emissions in the industrial sectors, but impossible to stabilize them in other sectors without a carbon tax and subsidies, because of the rapid increase of energy service demand.

-If Japan introduces a carbon tax of about ¥20,000-30,000/tC, then energy consumption in the residential, commercial and transport sectors would be reduced, but this alone cannot stabilize total CO₂ emissions.

-To stabilize CO₂ emissions in the residential and commercial sectors, the subjective period of payback must be extended by specific countermeasures such as public awareness, soft loans and government subsidies.

-In spite of the rapid growth of energy consumption in the transport sector, effective strategies to promote the introduction of energy conservation technologies could not be found. This sector will be the most severe obstacle to the stabilization of CO₂ emissions.

-The combination of a carbon tax and a subsidy from recycling tax revenue would have a significant effect over the short term. Even a ¥3,000/tC carbon tax with a recycled subsidy would be as effective as a ¥20,000-30,000/tC carbon tax with no subsidy. However, the potential conflict with the 'Polluter Pays Principle' needs to be considered.

-In summary, to stabilize CO₂ emissions in Japan, we must introduce mutually-reinforcing policies, such as a combination of a carbon tax, payback period extensions and subsidies.

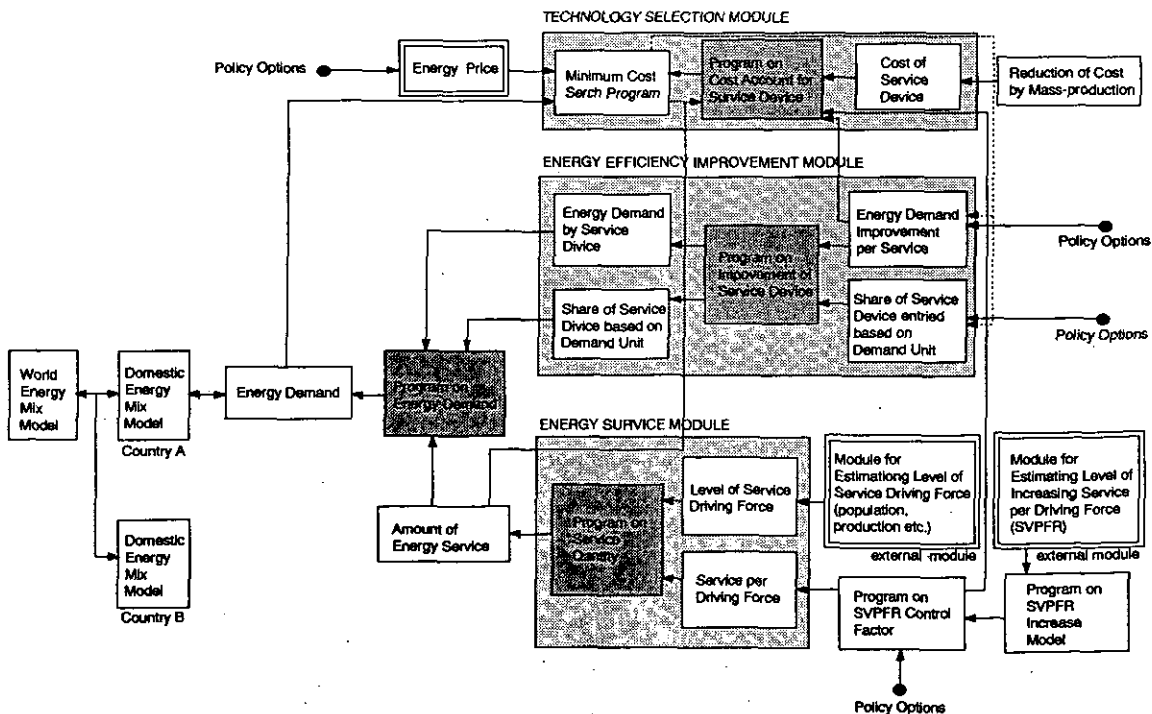


Fig. Outline of the AIM End-use Energy Model

要 約

研究の目的

本研究は、「わが国において、環境税が省エネ技術等の個別対策技術を普及させるためにどの程度の効果があり、結果としてどの程度の二酸化炭素が削減できるか」、また「環境税とともに補助金等の各種政策手段を組み合わせることによって、これらの効果がどの程度増加するか」を明らかにするため、「アジア太平洋圏温暖化対策分析日本モデル (AIM/JAPAN)」を開発することを目的としている。そして、ここで開発したモデルを用いて、第一に、エネルギーのエンドユースの側面に焦点を当てて、各種の省エネルギー技術のメニューが採用される条件を、一定のシナリオに基づいた炭素税の税率や補助金との関係で明らかにし、第二に、これらの技術のメニューの導入とそれによって削減される二酸化炭素の排出総量との関係を、各種の社会経済的シナリオのもとで明らかにした。さらに第三に、炭素税とその税収を積極的に還元する補助金を組み合わせた効果について分析した。

AIM エンドユースモデルの概要

ここで開発したモデルは、アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM: Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emissions and Global Warming Impacts) の日本国内モデルのうち、主に「エンドユース (エネルギー最終消費) モデル」の部分である。AIM はもともと、アジア太平洋地域を中心に温室効果ガスの発生及び削減対策とその結果としての気候変動による環境影響を評価する目的で開発されているもので、今回開発したエンドユース・モデルは、この温室効果ガス排出モデルの一部であり、エネルギーサービスとその機器に関して詳細な条件設定を行い、それを前提にして省エネのメカニズムをシミュレートすることを目的としている。

このエンドユースモデルは、図1に示したように、3つのモジュールから構成されている。第一は、エネルギーに依ってサービスされるべき各種需要 (エネルギーサービス) を見積る「エネルギーサービス量算出モジュール」である。ここでは、経済・社会の諸変数を決定する外部のモデルやシナリオからフォーワード・リンケージを受け取り、ライフスタイルや環境保全意識の変化を反映させた原単位をもとにエネルギーサービス需要量を推定する。第二は、エネルギー効率の改善を計算する「エネルギー効率算出モジュール」である。ここでは、二次エネルギー段階からのエネルギー供給を一方の端として、これとエネルギーサービス需要端を結ぶ「レファレンス・エネルギー・システム (RES)」を構成し、これとエネルギー機器の技術情報とを結びつける部分である。第三は、エネルギー効率を決定する各種サービス技術を選択するモジュールである。ここでは、サービス機器の優劣を経済性などの基準により評価して、各時点でサービス種ごとに最適な機器が選択される。さらに、これら三つのモジュールを統合して、部分的な最適化計算を行うモジュールも用意されている。そして、これらの機能はモジュール化されており、時点、国、部門に共通して単一のサブプログラムで処理され、エネルギー・マクロ経済・リンケージなど AIM の他のモデルとの連動を図るように設計されている。

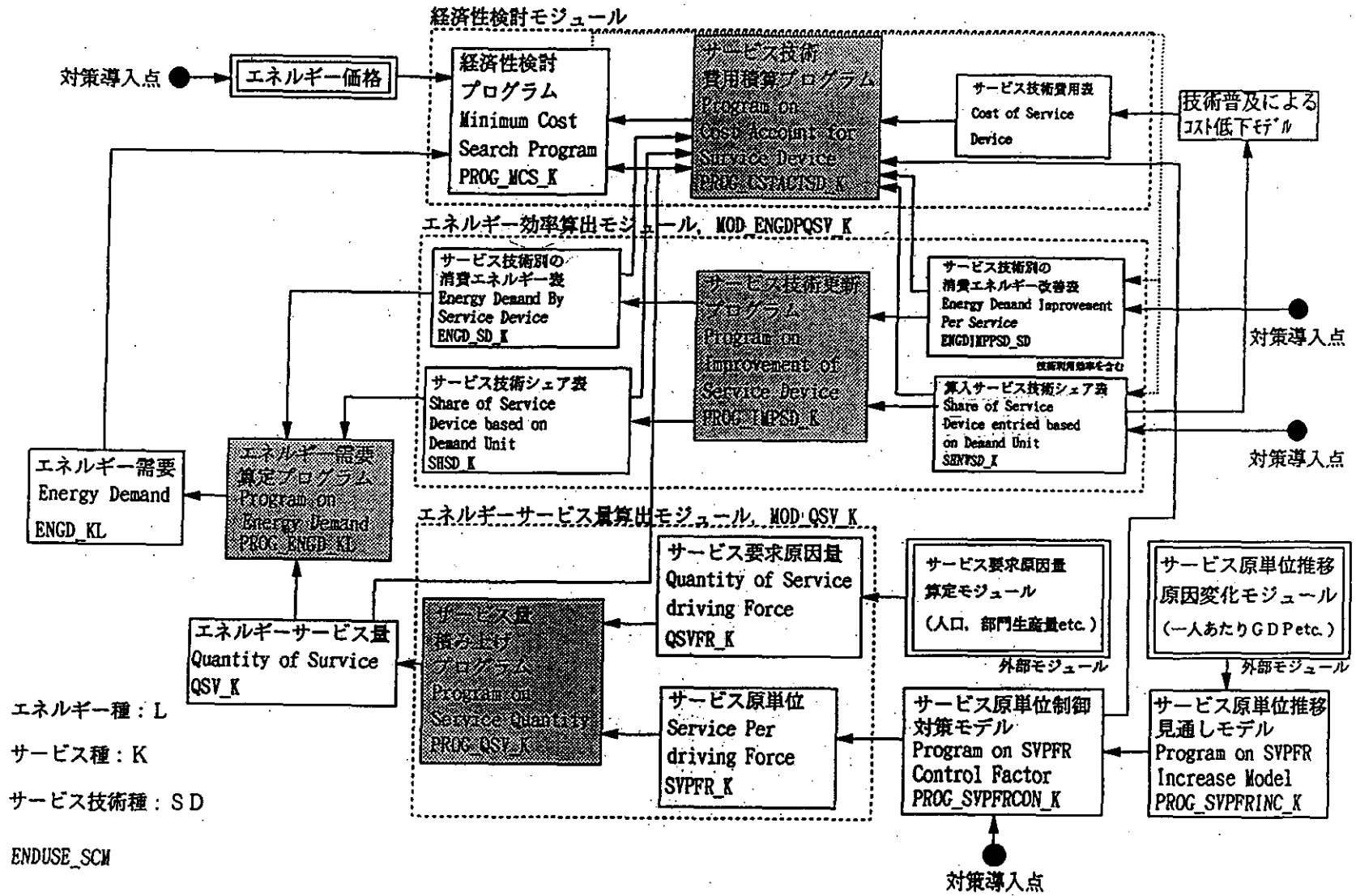


図1 AIMエンドユースモデルの構造

AIM エンドユースモデルの特徴と限界

このモデルは、ボトムアップ型のエネルギー技術モデルに属している。エネルギー消費起源の温室効果ガス排出モデルは今までに数多く開発されているが、大きく2つのタイプに分類することができる。第一は、経済学的なモデルを出発点とするものであり、価格と弾力性を主たる経済的指数として、それらとエネルギーの消費や生産との関係を集約的に表現するモデルで、トップダウン型モデルと呼ばれる。第二は、エネルギーの消費や生産をつかさどる人々の活動やそこで使われる技術の変化に焦点を置き、これらの詳細な記述から全体としてのエネルギー消費や生産を積み上げ方式で予測していくモデルで、ボトムアップ型モデルと呼ばれる。ボトムアップ型モデルの長所は種々論じられてきているが、最も大きな長所は、人間活動や技術の変化の詳細な記述を基礎に予測するため、予測結果が具体性を持って解釈できることにある。新たな政策を導入する際に、政策の具体的展開の方向とその効果を政策決定者や政治家に対して説明するには、具体性と説得性を持ったこの種のボトムアップ型モデルが不可欠となる。

次に、ボトムアップ型モデルは、今まで二つの方向で開発されてきた。一つは、エネルギーの供給・転換の側面に焦点を当てて、より効率の高い技術やその組み合わせを分析するためのモデルで、国際エネルギー機関が中心となって開発した MARKAL やフランスで開発された EFOM などがこの分野の代表的なものである。もう一つは、エネルギーの需要・消費の側面に焦点を当てて、各セクター毎に人間活動の変化がエネルギー需要をどう変化させるかについて詳細な積み上げ計算を行うモデルで、通常「エンドユース・モデル」と呼ばれている。この種のモデルとしては、フランスの MEDEE やストックホルム環境研究所が開発した LEAP が有名である。しかし、エネルギー需要・消費の側面に焦点を当ててより効率の高い技術やその組み合わせを分析する「エンドユース・エネルギー技術モデル」については、今のところ開発が大きく遅れている。

わが国の二酸化炭素排出量を減らすには、このエンドユースの側面で、どのような省エネ技術をどこまで導入できるかが大きな鍵を握っており、この意味からエンドユース・エネルギー技術モデルの開発が必要となってきている。AIM エンドユースモデルは、まさにこの新しいタイプのモデルであり、これまでのボトムアップ型モデルに新しい方向を与えるものである。AIM エンドユース・モデルでは、エネルギー価格の変化により技術代替が生じる現象を中心にして、エネルギー消費の変化を積み上げ方式により推定できる。従って、個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価することが可能である。また、エネルギー需要モデルに技術選択モデルをつなぐことによって、個別の技術の実態を踏まえたエネルギー効率改善の予測を可能にしている。さらに、このモデルは既に完成している AIM 世界モデルとつなぐことができるため、将来、国際的要因の影響についての分析や、共同実施などの国際協調の効果を勘案した分析が可能になる。

しかし、その一方で、このエンドユースモデルにはいくつかの限界がある。第一に、今のところトップダウンの経済モデルと連動しておらず、エネルギーサービス需要をシナリオによって与えている。このため、エネルギー価格上昇の直接的な需要抑制効果や消費の抑制や貯蓄の減少を通じた間接的な経済影響を考慮していないため、マクロ経済的なロスや推定するには不向きである。第二に、技術選択の際に制度面の障害等の社会的なコストを考慮していないので、個々の技術選択による二酸化炭素排出削減が大きめに見積もられる可能性がある。第三に、現在実用化されていない技

術を対象としていない等、対象とした技術が包括的ではないために、全体として二酸化炭素排出の削減量が小さめに見積もられる可能性がある。これらの限界は、エネルギー技術モデルの本質的制約に基づくものもあり、また、本モデルが開発途上にあることに起因するものもある。したがって、本研究結果を解釈する際にもこれらの点に注意する必要がある。しかし、これらを勘案してもなお個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価するツールとしては、経済学的パラダイムの再現に固執する通常の経済学的モデルに比べ、具体性と政策支援能力において、優っている。

モデルの構成

ここで用いた AIM エンドユースモデルの対象部門と分野を表1に示した。これらの各部門・分野ごとにエネルギーサービス量や技術選択を決定し、エネルギー消費量や二酸化炭素排出が算定されることになる。このため、これらの部門・分野ごとにエネルギー消費量や単位サービス量当たりのエネルギー消費量などの基礎的データがまず整備された。次に、これらの部門・分野、さらに産業部門にあってはそれぞれの生産工程ごとにサービス技術を調査し、表2に示した百種類以上の省エネ技術を本分析の対象とした。そして、これらの全技術について、初期導入コスト、年次別普及基数、省エネ効果量、技術コーホート、投資回収期間等の基礎データを詳細に調査し、データベース化した。なお、本分析で対象とする燃料の種類、発熱量、価格、二酸化炭素排出係数は表3のように設定した。石灰石は燃料として使用されることはないが、セメント工業や鉄鋼業において原料や不純物除去として使用される際に二酸化炭素を排出するため、検討に含めた。

以上の前提やデータを基礎にして、AIM エンドユースモデルでは次に示す手順によってエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量を算定する。

(1)シナリオ及びモデルによってエネルギーサービス量（製品生産量、輸送量、冷房需要量等）が計算される。

(2)このサービス量を満たすよう、サービス生産技術が選択される。この際、各階層（工程、手段）毎に、より経済性の高い技術への置換や増設が行なわれる。

(3)技術の稼働に必要なエネルギー量が計算される。

(4)(3)で算出されたエネルギー量のうち電力と蒸気については、二次エネルギーとして使用するために、経済性の高いエネルギー転換用技術が選択され、その稼働に必要なエネルギー量が算定される。

(5)以上で求めた燃料種別エネルギー消費量をもとにして、二酸化炭素排出量を推定する。

以上の手順において大変重要な判断プロセスは、サービス生産技術の選択過程である。この選択基準は、その時点で利用している技術が交換時期にきている場合と交換年数にまだ達しない場合とで異なる。利用している技術が交換年数に達している場合には、サービス量の需要に応じるために再度従来型の技術を導入するか、コストが高くても省エネ型の技術を導入するかを決定しなければならない。このため、技術導入の初期コストの違いと省エネに伴う燃費の節約額の双方を勘案して、従来型技術と省エネ型技術を比較し、経済性の高い方を選ぶことになる。一方、今利用している技術が交換年数にまだ達しない場合には、省エネを図るために今の技術を全部交換する必要がある場合と一部の改良だけで間に合う場合とが考えられるが、いずれの場合でも、代替技術の導入費用や

表1 対象部門と分野

部門	①産業部門	②家庭部門	③業務部門	④運輸部門
分野	<ul style="list-style-type: none"> 鉄鋼業 セメント工業 石油化学工業 紙パルプ工業 	<ul style="list-style-type: none"> 給湯/炊事 冷暖房 動力等 	<ul style="list-style-type: none"> 給湯/炊事 冷暖房 動力等 	<ul style="list-style-type: none"> 旅客輸送 貨物輸送

表2 サービス技術の範囲

部門	分野	サービス技術
産業	鉄鋼	コークス炉調湿装置 スクラップ予熱装置 交流式電気炉 直流式電気炉 鋳造装置 連続鋳造装置 従来型加熱装置 直送圧延/熱片装入 焼鈍装置 連続焼鈍装置 コークス乾式消火設備 コークス湿式消火設備 湿式高炉炉頂圧発電設備 乾式高炉炉頂圧発電設備
	セメント	チューブミル 予備粉碎機 NSP/SP以外 NSP/SP 高効率クリンカクーラ 整型ミル ディーゼル発電 廃熱発電
	石油化学	分解反応装置 高性能分解反応装置 ポリエチレン製造装置 高性能ポリエチレン製造装置 ポリプロピレン製造装置 高性能ポリプロピレン製造装置 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー
	紙パルプ	従来型蒸解装置 予備浸透型連続蒸解装置 従来型洗浄装置 高性能パルプ洗浄装置 従来型脱リグニン装置 酸素脱リグニン装置 ディフューザー漂白装置 従来型蒸発缶 液膜流下型蒸発缶 従来型サイズプレス装置 高性能サイズプレス装置 従来型脱水装置 高性能面圧脱水装置 石炭ボイラー 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー バークボイラー 黒液ボイラー
家庭	冷房	ルームクーラ
	冷房・暖房	冷暖房兼用ルームクーラ(電気) 冷暖房兼用ルームクーラ(ガス) 冷暖房兼用ルームクーラ(石油)
	暖房	石油ストーブ 石油ファンヒーター 石油温風暖房機 ガスファンヒーター ガス温風暖房機 電気ストーブ 電気セラミックファンヒーター 断熱材(新設戸建住宅) 断熱材(新設集合住宅) 断熱材(既存戸建住宅) 断熱材(既存集合住宅)
	給湯	ガス給湯機 石油給湯機 電気温水機 ソーラーシステム 太陽熱温水器
	冷房・暖房・給湯	電力多機能ヒートポンプ ガスヒートポンプ 石油ヒートポンプ
	照明	白熱灯 蛍光灯 インバータ照明
	動力他	テレビ 冷凍冷蔵庫 洗濯機 掃除機 電子レンジ その他
業務	冷房	電気冷房空調
	冷房・暖房	ガスヒートポンプ
	暖房	電気暖房 石油暖房 ガス暖房 保温構造化
	給湯	石油ボイラー給湯 ガスボイラー給湯 太陽熱温水器
	電力・冷房	コージェネガスエンジン コージェネガスタービン
	暖房・給湯	コージェネディーゼルエンジン
	照明	蛍光灯 インバータ照明
動力他	複写機 計算機 昇降機 その他動力	
運輸	旅客輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通/営業/自家バス) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通/営業) ディーゼル新型車(小型/普通/営業/自家バス/営業バス) LPG新型車(営業) CNG車(小型/営業) 電気自動車(軽/小型/営業) HIR車(自家用バス/営業バス) 鉄道 旅客船 航空
	貨物輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通) ディーゼル新型車(小型/普通) 電気自動車(軽/小型) CNG車(小型) 鉄道 貨物船 航空

表3 対象燃料

Code	燃料等名称	平均発熱量 (単位)	1990年価格 (円/kcal)	CO ₂ 排出原単位 (1.0E-10 t-C/kcal)	炭素税 ³ 万円/t-C (円/kcal)	倍率
1	石炭(輸入一般炭)	6,200 (kcal/kg)	0.00116	1042.2	0.00457	3.93
2	コークス	7,200 (kcal/kg)	0.00337*	1061.2	0.00706	2.10
3	炬ガス	2,000 (kcal/m ³)	0.00337*	1061.2	0.00706	2.10
4	ガソリン	8,400 (kcal/l)	0.01321	765.8	0.01551	1.17
5	灯油	8,900 (kcal/l)	0.00481	777.5	0.00713	1.48
6	軽油	9,200 (kcal/l)	0.00662	783.9	0.00897	1.36
7	重油(C重油)	9,800 (kcal/l)	0.00259	818.0	0.00495	1.91
8	その他石油製品	10,100 (kcal/kg)	0.01321	773.7	0.01512	1.14
9	LPG	12,000 (kcal/kg)	0.00730	688.3	0.00935	1.28
10	ガス	10,000 (kcal/m ³)	0.01071	563.9	0.01246	1.16
11	太陽熱	-	0.00000	0.0	0.00000	1.00
12	電力(電灯家庭)	860 (kcal/kWh)	0.02894	1212.8	0.03257	1.13
"	電力(電力業務)	"	0.02000	1212.8	0.02363	1.18
"	電力(大口産業)	"	0.01538	1212.8	0.01901	1.24
13	蒸気	639 (kcal/kg)	0.02758*	-	0.02758	1.00
14	ジェット油	8,700 (kcal/l)	0.00777*	766.5	0.01007	1.30
15	石油コークス	8,500 (kcal/kg)	0.00220	1061.2	0.00538	2.43
16	ナフサ	8,000 (kcal/l)	0.00289	760.5	0.00517	1.79
21	黒液	3,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00323	-
22	パーク	4,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00242	-
23	石油(原油)	9,250 (kcal/l)	0.00220	781.1	0.00454	2.07
29	石灰石	-	-	0.12(t-C/t)	-	-
30	廃熱	-	0.00000	-	-	-

出典: エネルギー・経済統計要覧(1993年版)/EDMC
 二酸化炭素排出量調査報告書(1992.5)/環境庁
 (但し、*印は、昭和60年産業連関表/総務庁(1985年価格)より算定)

改良に要する費用が省エネによる燃費節約額よりも小さい場合にのみ、技術が交換または改良されることになる。

このような判断過程が組み込まれているために、炭素税や補助金の導入によって技術選択が変化し、その結果としてエネルギー消費量や二酸化炭素排出量に変化することになる。例えば、炭素税が導入されるとエネルギー価格が上昇し、省エネによる燃費節約額が増加するため、比較的価格の高い省エネ技術が導入できることになる。また、補助金を導入することにより省エネ技術の初期コストが安くなれば、この技術の導入は促進されることになる。

なお、家庭部門および業務部門においては、一つのサービス機器が複数の種類のサービスを同時に提供したり、また、産業部門においても複数工程の処理が行なえる省エネ機器がある。このような場合には、以上のような二者択一型の選択が必ずしも最適な機器の組み合わせを保証することにはならない。このため、複数のサービス技術が最も効率よく複数のサービスを供給するよう、技術の組み合わせを決定するため、線形計画法を用いた技術の最適選択サブモジュールも開発し、適用可能な状態になっている。家庭部門および業務部門のシミュレーションは、この最適選択サブモジュールを用いて実施したものである。

入力条件の設定

シミュレーションの前提として、エネルギーサービス需要量の伸びを設定するシナリオの一覧を、表4に示した。このシナリオの想定のもとでエネルギーサービス量を与え、技術選択、エネルギー消費量推定、二酸化炭素排出量推定の一連の計算を、1985年度を開始年として1年度ごとに2010年

表4 シミュレーションの主要な前提

セクター	想 定	根 拠
鉄 鋼	<ul style="list-style-type: none"> 粗鋼年生産量が1.12億t(1990)から1.05億t(2000)になり安定 電気炉のシェアは31.6%(1990)から35.0%(2000)になり安定 	鉄鋼統計年報 環境庁想定
セメント	<ul style="list-style-type: none"> セメント生産量は8.4万t(1990)から8万t(2000)になり安定 混合セメントのシェアは18.2%(1990)から22%(2000)になり安定 	セメントハン ドブック セメント年鑑 環境庁想定
石油化学	<ul style="list-style-type: none"> エチレン年生産量は581万t(1990)から660万t(2000)になり安定 ポリエチレン、ポリプロピレン、BTX等の生産量の占め割合は変化せず 	石油化学工業 の現状 環境庁想定
紙パルプ	<ul style="list-style-type: none"> 紙及び板紙生産量は2,809万t(1990)から3,450万t(2000)、3,810万t(2010)となる パルプ生産量に占める古紙パルプのシェアは51.4%(1991)から55.0%(2000)、60.0%(2010)となる 	紙・パルプ統 計年報 環境庁想定
家 庭	<ul style="list-style-type: none"> 世帯数は2000年までは年0.6%、その後は年0.1%と想定 世帯面積は46㎡(1985)から48.5㎡(2010)と想定 冷房強度は20年間に2.77倍になると想定 暖房強度は20年間に1.37倍になると想定 給湯・厨房強度は20年間に1.27倍になると想定 明るさは20年間に1.17倍になると想定 テレビの保有率は174.7(1985、台/百世帯)から254.0(2010)になると想定 テレビの高性能化は25年間(1985より)に1.8倍と想定 冷蔵庫の保有率は114.3(1985、台/百世帯)から130.1(2010)になると想定 冷蔵庫の高性能化は25年間(1985より)に1.4倍と想定 洗濯機の保有率は106.5(1985、台/百世帯)から113.0(2010)になると想定 掃除機の保有率は124.8(1985、台/百世帯)から149.2(2010)になると想定 電子レンジの保有率は46.0(1985、台/百世帯)から89.8(2010)になると想定 	第六期住宅建 設五箇年計画 省エネルギーハ ンドブック 日本工業規格 地球温暖化防 止対策ハンド ブック 日本照明協会 地球温暖化経 済システム検討 会 国民実態調査 報告 日本電子機械 工業会ほか
業 務	<ul style="list-style-type: none"> 床面積は2000年までは年2.4%、その後は年1.4%と想定 複写機の電力消費量は25年間(1985より)に2.2倍と想定 計算機の電力消費量は25年間(1985より)に3.0倍と想定 中高層以上の割合は1.5倍(2000)、1.8倍(2010)と想定 	地球温暖化防 止対策ハンドブ ック 日本電子工業 振興協会ほか
運 輸	<ul style="list-style-type: none"> 軽乗用車は年率1.8%、小型及び普通乗用車は年率2.5%で増加 営業乗用車は年率-0.2%、営業バスは年率1.8%で増加 軽貨物車及び普通貨物車は年率1.6%、小型貨物は年率-1.3%で増加 鉄道(旅客)は1.9%、鉄道(貨物)は3.5%で増加 	運輸政策審議 会ほか

度まで実行した。

シミュレーションは次の5つのケースについて行った。

(1)技術が変更されないケース

技術の変更に経済的メリットがあるとしても、国民の理解が不足していたり技術変更に社会的制約があることにより、現状の技術のまま将来も推移する。炭素税や補助金等の対策無し。

(2)標準ケース

経済性に関する合理的な判断のもとに、技術選択が行われることを前提とした標準ケース。補助金等の対策無し。

(3)炭素税導入ケース

標準ケースに加えて、炭素税を導入する。税率はモデル全体の挙動を観察するために仮に炭素1トン当たり3万円と設定した。

(4)炭素税導入+主観的投資回収期間の延長ケース

炭素税導入ケースに加えて、国民が省エネの経済メリットを長期的に判断する場合を想定して、主観的な投資回収期間を最大20年に延長する。

(5)炭素税+補助金ケース

標準ケースに加えて、低い税率の炭素税を導入し、その税収の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用する。この場合、二酸化炭素の排出総量を最小化するように補助金の割当てを行い、税収の部門間の移転は行わないものとする。税率は(3)の十分の一程度をめどにして、仮に炭素1トン当たり3000円と設定した。

ここで、炭素税の導入時点は1995年からと設定したが、税のアナウンスメント効果が1990年から始まることを前提にして、投資回収期間の延長は1990年から始まると仮定した。このことは、今の時点で炭素税の導入を決めたとしても、その効果は本予測結果に比べてタイムラグをもつ可能性があることに留意する必要があることを示している。また、対策を導入しない場合の投資回収期間は、全ての部門において最大3年と設定したが、炭素税が導入される場合には主観的な投資回収期間が延びることを想定して、家庭部門で最大10年、業務部門では最大15年まで延長されることを想定した。運輸及び産業部門では、今の技術メニューの範囲では投資回収期間の感度が小さいためこのような想定は置かなかった。なお、家庭部門に比べて業務部門の回収期間延長の幅を大きく設定したのは、コージェネ・システム等の導入の際に、長期的な投資計画のもとで投資管理がより合理的に行われると考えられるからである。しかしながら、これらの主観的意識の実態については、いまのところ実証データがほとんど無く、不確実さが伴う。今後の研究によってはこれらの想定を見直す必要がある。

シミュレーション結果

以上の想定のもとで実施したシミュレーション結果について、ケース毎に以下に概説する。表5にはシミュレーション結果の一覧が、ケース毎及び部門毎にまとめて示してある。また、図2には2000年における二酸化炭素の総排出量が、さらに図3には2005年における二酸化炭素の総排出量が示した。

まず、技術の選択が合理的になされないケースにおいては、産業部門の二酸化炭素排出量の伸びは小さいものの、家庭部門では1990年レベルに比べて2000年で18%、業務部門では同22%、運輸部門では同16%の大幅な伸びが推定される。

これと比較して、各種の啓蒙活動等によって国民の省エネに対する理解が進み、規制緩和等により技術選択の障害が少なくなって、経済性に関する合理的な判断のもとに技術選択が行われることを前提とすると、標準ケースの結果に示す通り、産業部門の二酸化炭素が大幅に削減されることになる。産業部門では、1990年のレベルと比較して2000年では二酸化炭素の排出総量が下回り、炭素税等の導入をしなくても排出量が安定化する可能性がある。また、運輸部門でも低燃費型の軽乗用車と小型貨物自動車が普及することになり、わずかではあるが二酸化炭素の排出量の伸びが抑えら

表5 シミュレーション結果の一覧

(単位：百万トン、括弧内は1990年比伸び率(%))

部門	年	技術変更なし	標準(非課税)	炭素税30,000円	炭素税30,000円+回収年数延長	炭素税3,000円+補助金
産業計	1990	150.8	150.8	150.8	-	150.8
	1995	152.9 (1.4)	148.9 (-1.3)	148.5 (-1.5)	-	148.4 (-1.6)
	2000	153.1 (1.5)	144.9 (-3.9)	144.3 (-4.3)	-	144.1 (-4.4)
	2005	155.1 (2.9)	145.2 (-3.7)	144.5 (-4.2)	-	144.0 (-4.5)
	2010	156.8 (4.0)	145.3 (-3.6)	144.7 (-4.0)	-	143.8 (-4.6)
家庭	1990	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	1995	40.9 (7.5)	41.1 (8.2)	38.8 (2.1)	37.4 (-1.6)	41.6 (9.5)
	2000	44.8 (17.9)	45.5 (19.7)	39.0 (2.6)	36.1 (-5.0)	44.1 (16.1)
	2005	48.6 (27.9)	49.8 (31.1)	42.4 (11.5)	39.3 (3.4)	43.7 (15.0)
	2010	52.8 (38.9)	50.9 (33.9)	45.9 (20.8)	42.7 (12.4)	46.3 (21.8)
業務	1990	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6
	1995	37.0 (10.1)	37.7 (12.2)	35.9 (6.9)	34.9 (3.9)	37.7 (12.2)
	2000	41.1 (22.3)	41.3 (22.9)	37.3 (11.0)	35.3 (5.1)	40.7 (21.1)
	2005	43.5 (29.5)	42.3 (25.9)	38.9 (15.8)	31.9 (-5.1)	40.1 (19.3)
	2010	46.2 (37.5)	42.5 (26.5)	38.1 (13.4)	32.5 (-3.3)	38.0 (13.1)
運輸	1990	58.5	58.5	58.5	-	58.5
	1995	60.7 (3.8)	60.7 (3.8)	60.6 (3.6)	-	60.7 (3.8)
	2000	67.7 (15.7)	67.3 (15.0)	65.4 (11.9)	-	65.3 (11.6)
	2005	75.9 (29.7)	75.4 (28.9)	72.3 (23.6)	-	72.0 (23.1)
	2010	85.8 (46.7)	85.2 (45.6)	81.8 (39.8)	-	81.4 (39.1)
計	1990	317.4	317.4	317.4	[317.4]	317.4
	1995	326.2 (2.8)	324.7 (2.3)	320.1 (8.9)	[317.7] (0.1)	324.6 (2.3)
	2000	338.9 (6.8)	335.2 (5.6)	322.1 (1.5)	[317.3] (0.0)	330.3 (4.1)
	2005	353.9 (11.5)	348.8 (9.9)	334.2 (5.3)	[324.1] (2.1)	335.9 (5.8)
	2010	370.7 (16.9)	360.0 (13.4)	346.5 (9.2)	[337.7] (6.4)	345.6 (8.9)

(注) なお、計には、その他として、転換部門における自家消費分、廃棄物部門等の排出量が含まれる。

れる。しかし、家庭部門や業務部門では、省エネ投資の回収期間に関する主観的判断が3年と短い場合には、白熱灯などの安価でエネルギー効率の低い製品のシェアが伸び、また、太陽熱温水器のようにエネルギー効率が高くコストも高い技術が選ばれなくなることから、二酸化炭素の排出量は技術選択が無い場合よりもかえって伸びる可能性がある。ただし、家庭部門及び業務部門が長期的な視点にたって回収期間を延長する場合には、標準ケースでもさらに二酸化炭素の排出量を削減できる可能性がある。

次に、3万円/炭素トンの炭素税を課したケースでは、標準ケースと比較して、産業部門での二酸化炭素排出量は対象とする技術メニューの範囲内では少ししか削減されない。しかし、家庭部門

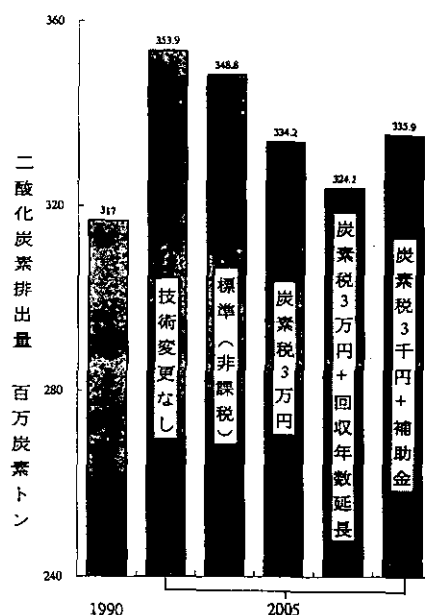
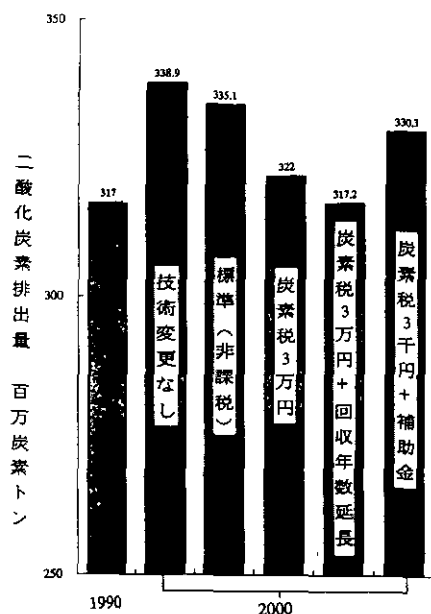


図2 2000年における二酸化炭素の総排出量の予測 図3 2005年における二酸化炭素の総排出量の予測

では2000年で標準ケースに比べて15%程度、業務部門では同10%程度、運輸部門では同3%程度の削減が見込まれる。そして、トータルとして2000年で標準ケースの4%程度の削減が見込まれるが、1990年レベルで安定化させるためにはさらに2%程度の削減が必要である。

このため、3万円/炭素トンの炭素税の導入に加えて、省エネの経済メリットを長期的に評価するよう国民の理解を求めるとともに、ソフトローンなどにより国民の負担感を和らげることにより、主観的な投資回収期間を最大20年に延長するケースについて分析した。この結果、表5に示すとおり、家庭部門及び業務部門の二酸化炭素排出量が、さらに抑制され、その結果、2000年のトータル排出量が概ね1990年レベルに安定化する可能性があることが分かった(図2参照)。ただし、2000年以降の総排出量の傾向としては、運輸部門の継続的な伸びによって1990年レベルでの安定化が難しい。このため、排出量の安定化のためにはモーダルシフトや自動車の選択に関する意識変化等、抜本的な方策が是非とも必要である。

もう一つ、標準ケースに加えて3000円/炭素トンの低い税率の炭素税を導入し、その税金の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用するケースについては、全部門において着実な二酸化炭素削減効果があることがわかった。このトータルとしての効果は、2000年においては3万円/炭素トンの炭素税の効果に及ばないが、2005年においてはこのような本格的な炭素税に匹敵する効果が得られる可能性があることがわかった(図2及び図3参照)。このような補助金は、汚染者負担の原則や市場参加者の増加による二酸化炭素排出量の増加、それに補助金の配分システムの非効率化等、いろいろな課題をかかえているが、短期的な適応手段としては検討する価値があると考えられる。

結論

本分析によって明らかになった点をまとめれば、以下のとおりである。

- (1)省エネの経済的メリットについて国民の理解が進めば、炭素税や補助金を導入しなくても省エネ技術の導入は進む可能性がある。これにより産業部門の二酸化炭素排出量の安定化は可能であるが、家庭、運輸及び業務部門の排出量の伸びが著しいため、トータルとして二酸化炭素排出量を安定化させることは難しい。
- (2)炭素トン当たり2万円から3万円程度の炭素税を導入すれば、家庭、業務及び運輸部門の省エネ技術の導入はさらに進む。しかし、これらの効果をもってしてもトータルとして二酸化炭素排出量を安定化できないおそれがある。
- (3)家庭部門及び業務部門の排出量を安定化するためには、追加的な方策を検討する必要がある。特に、主観的な投資回収期間の延長等の省エネ投資に対する理解の促進、補助金による初期投資の負担の軽減、ソフトローンや啓蒙による長期的視点での省エネ投資意識の助長、リサイクル技術の導入等の技術の検討範囲の拡大、などが不可欠である。このような方策を併せて講じれば、二酸化炭素排出量安定化は十分可能である。
- (4)今後、運輸部門では大きなエネルギー消費の伸びが予想されるにもかかわらず、有効な省エネ方策が見出せないため、この部門が二酸化炭素排出量の安定化にとって最大の障害になるおそれがある。モーダルシフトや自動車の選択に関する意識転換等、抜本的な方策の検討が求められる。
- (5)炭素税の税収を省エネ初期投資への補助金として活用する方策については、短期的には大きな効果が期待できる。炭素トン当たり3000円程度の低い税率を課した場合でも、その税収を補助金として活用すると、一定の条件のもとではトン2～3万円の炭素税に匹敵する効果が得られる可能性がある。ただし、汚染者負担の原則への抵触、市場参入者の増加による二酸化炭素排出の増加、補助金の配分システムの課題など、補助金導入のマイナス面も併せて検討する必要がある。
- (6)以上をまとめると、二酸化炭素排出量の安定化のためには、炭素税等の新たな対策を単独ではなく組み合わせて用いる必要があり、また、短期的には炭素税と補助金を組み合わせて用いることが効果的かつ効率的である。今後、中長期的な技術革新の効果、税のアナウンスメント効果、主観的な投資回収期間の延長策等に関する検討が特に急がれる。

1 章 序論

1. 1 本研究の背景

地球温暖化はアジア太平洋地域の社会経済に著しい影響を及ぼすとともに、温暖化防止の対策はこの地域に大きな経済的負担を強いるものと予想されている。しかも、この種の対策を怠ると、アジア太平洋地域からの温室効果ガス排出量は来世紀末に世界全体の半分まで増加するという予測もある。アジア太平洋地域の発展にとって地球温暖化問題は、最優先に解決すべき政策課題の一つと認識されつつある。さらに、同地域の温暖化対策において、環境ODA、技術移転、調査研究や対策の共同実施等、わが国に期待されている役割は大きい。

このため、国立環境研究所の温暖化影響・対策チームは京都大学の松岡譲助教授の参加のもと、平成3年度から3ヶ年をかけて「アジア太平洋圏温暖化対策分析モデル (AIM)」を開発してきた。このモデルは、人間活動に伴う温室効果ガスの排出、大気中の温室効果ガス濃度の増加による気候変化、気候変化による自然環境や社会経済への影響、の全プロセスを統合して、各種の温暖化対策の効果を総合的に評価するシミュレーション・モデルであり、途上国の共同研究によりアジア太平洋地域の各国の政策評価に適用すべく準備を進めているところである。

このモデルにはいくつもの特徴があるが、その第一は、温室効果ガス排出、気候変化、温暖化影響といった地球温暖化の全プロセスを統合した評価(integrated assessment)が可能である点にあり、この種のモデルとしては今のところ米国のバテル研究所が開発中のGCAMやオランダのRIVMが開発中のIMAGE2など、世界的にも数が少ない。第二の特徴としては、地球規模の現象を取り扱う世界モデルとともに、アジア太平洋地域の現象や対策について特に詳細に分析できる構造を有していることにある。そして第三の特徴として、温室効果ガス排出モデルの部分が、通常の経済モデルとエンドユース・エネルギーモデルを組み合わせた精緻な構造をしており、省エネ技術の導入等の個別具体的な対策の効果が評価できることがあげられる。

本研究は、AIMモデルの第三の特徴に着目して、わが国の二酸化炭素排出量の予測に適用するため、経済活動、エネルギー消費、技術革新、それに温室効果ガス排出量の関係を体系的に分析できるように、温室効果ガス排出モデルをさらに発展させたものである。このような発展が必要となった背景には、わが国における二酸化炭素排出削減についてのいくつかの特殊な背景がある。

第一に、わが国は1990年10月23日の閣議で「地球温暖化防止行動計画」を策定して、二酸化炭素の排出量を2000年以降に概ね1990年レベルに安定化させる目標を導入した。この目標の達成は決して容易ではなく、各種の技術の開発や普及を図るとともに、輸送システムや生活様式の変更などの方策を総合的に検討すべきであるとしている。

第二に、この行動計画は2000年までに二酸化炭素の排出抑制効果が上がることを求めており、対応期間が短いだけ対応手段は限られることになる。すなわち、エネルギー供給の側面から国のエネルギー供給計画を大幅に変更してエネルギーミックスを変化させ、二酸化炭素の排出の少ないエネルギー構成に導くには、短期間では自ずと限界がある。

第三に、従って、わが国の当面の二酸化炭素抑制対策は、エネルギーの最終消費部門における省エネ対策が中心となり、産業、運輸、過程、業務のそれぞれの部門で2000年から2010年にかけてど

の程度のエネルギー消費が抑制できるかに依存している。

第四に、しかも、エネルギー最終消費部門でエネルギー・サービスの需要量がライフスタイルの変更等によって短期的に減少することは考えにくく、省エネ対策の焦点はエネルギー効率を高めるための各種技術や機器がどの程度導入されるかに当てられる。

第五に、さらに、これらの省エネ技術や機器の導入は、エネルギー価格のレベルに大きく依存しており、最近の政策議論に上げられている炭素税の効果や、その税収の還元による省エネ補助金の効果は、これらの省エネ技術や機器が導入されるか否かに密接に関係してくる。

以上のことから、わが国の二酸化炭素の排出抑制対策を評価するためのモデルとしては、エネルギー最終消費部門における省エネルギー技術・機器の選択を中心にして、エネルギー価格、経済諸現象、それに二酸化炭素排出量との関係を体系的に分析できることが不可欠の要件となる。

1. 2 本研究の目的

本研究は、わが国の二酸化炭素排出量の抑制策を評価するため、「環境税が省エネ技術等の個別対策技術を普及させるためにどの程度の効果があり、結果としてどの程度の二酸化炭素が削減できるか」、また「環境税とともに補助金等の各種政策手段を組み合わせることによって、これらの効果がどの程度増加するか」を明らかにすることを目的としている。

このため、AIMのエネルギー需要モジュールを発展させて、技術選択、エネルギー効率、エネルギーサービス需要、それに関係する社会経済的諸変数、エネルギー消費量、および二酸化炭素排出量のそれぞれの変数の関係をシミュレートできる「エンドユース(エネルギー最終消費)モデル」を開発した。そして、このモデルを用いて、第一に、エネルギーのエンドユースの側面に焦点を当てて、各種の省エネルギー技術のメニューが採用される条件を、一定のシナリオに基づいた炭素税の税率や補助金との関係で明らかにし、第二に、これらの技術のメニューの導入とそれによって削減される二酸化炭素の排出総量との関係を、各種の社会経済的シナリオのもとで明らかにした。さらに第三に、炭素税とその税収を積極的に還元する補助金を組み合わせた効果について分析した。

1. 3 本報告書のねらい

本報告書は、AIM/JAPANのエンドユースモデルが概ね完成した今の時点で、このモデルの構造、入力データ、設定パラメータ、前提シナリオ等を公表し、種々の批判や助言を受けることを第一のねらいとしている。このため、本報告書に載せているデータやパラメータの中には、未だ十分吟味されていないものが含まれているとともに、ここで行っているシミュレーションも未だ試験的な段階にある。特に、炭素税率や補助金の還元方法については、モデル全体の挙動をみるために仮に設定したものであり、その妥当性については今後さらに検討を要する。

この報告書に寄せられた批判や助言をもとにモデルを改良するとともに、このモデルをアジア太平洋地域の途上国に適用すべく、これらの国々との共同研究を予定している。

この種のコンピュータ・モデルが、特定の組織や利益集団の弁護士になるのではなく、政策立案や合意形成のための共通の土俵として活用されることを願う次第である。

2章 AIM エンドユースモデルの基本構造

2.1 モデルの構成

2.1.1 AIM エンドユースモデルの概要

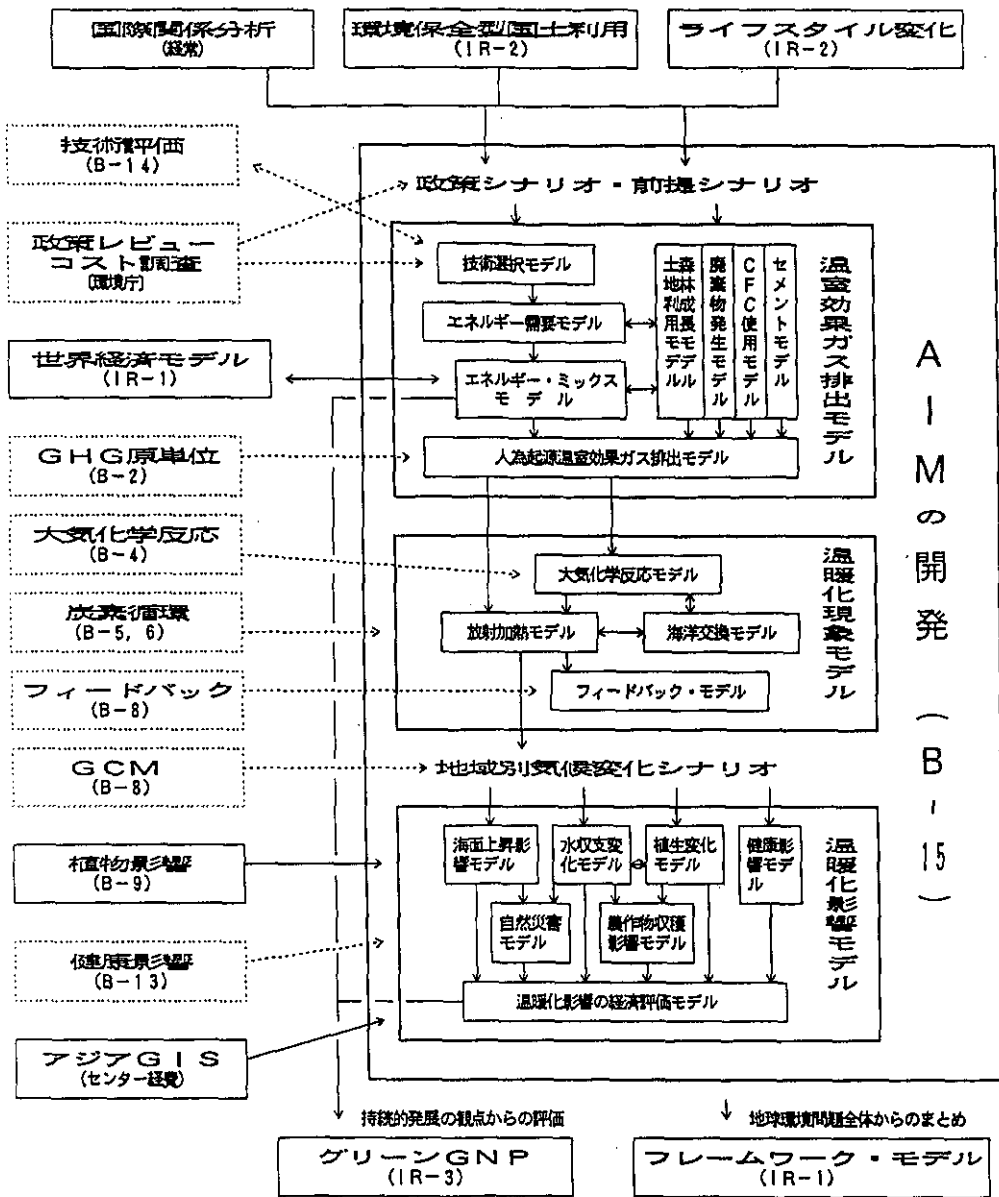
AIM (Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emissions and Global Warming Impacts) は、国立環境研究所において開発中の大規模シミュレーションモデルで (Morita et al., 1993; Matsuoka et al., 1993)、アジア太平洋地域を中心に、温室効果ガスの発生及び削減対策とその結果としての気候変動による環境影響を評価することを目的としている (図 2.1.1)。ここで検討するエンドユースモデルは、AIM の温室効果ガス排出モデルの一部として開発されているもので、エネルギーサービスとその機器に関して詳細な条件設定を前提にして省エネのメカニズムをシミュレートすることができる。

このエンドユースモデルは、図2.1.2に示すように、3つのモジュールから構成されている。第一は、エネルギーに依ってサービスされるべき各種需要 (エネルギーサービス) を見積る「エネルギーサービス量算出モジュール」である。ここでは、経済・社会の諸変数を決定する外部のモデルやシナリオからフォワード・リンケージを受け取り、ライフスタイルや環境保全意識の変化を反映させた原単位をもとにエネルギーサービス需要量を推定する。第二は、エネルギー効率の改善を計算する「エネルギー効率算出モジュール」である。ここでは、二次エネルギー段階からのエネルギー供給を一方の端として、これとエネルギーサービス需要端を結ぶ「レファレンス・エネルギー・システム (RES)」を構成し、これとエネルギー機器の技術情報とを結びつける部分である。第三は、エネルギー効率を決定する各種サービス技術を選択するモジュールである。ここでは、サービス機器の優劣を経済性などの基準により評価して、各時点でサービス種ごとに最適な機器が選択される。さらに、これら三つのモジュールを統合して、部分的な最適化計算を行うモジュールも用意されている。そして、これらの機能はモジュール化されており、時点、国、部門に共通して単一のサブプログラムで処理され、エネルギーマクロ経済・リンケージなど AIM の他のモデルとの連動を図るよう設計されている。

2.1.2 AIM エンドユースモデルの特徴と限界

このように、AIM エンドユースモデルにおいては「レファレンス・エネルギー・システム」を基本とするエンドユースタイプのモデルをその基本骨格として持つ。これは他のエネルギーモデルと比べた場合の本モデルの特徴に他ならない。このことについて以下に論じる。

エネルギー消費起源の温室効果ガス排出モデルの構築及びそれを用いた施策効果算定作業は、以前から繰り返し行われてきた。Nordhaus、Edmonds and Reilly などのモデルは、1970年代後半から80年代前半にかけて構築され、温室効果ガス排出モデルの先駆けであった。その後、地球環境問題の高まりと共に数多くのモデルが構築されるようになった。1988年以降には世界全域を対象とするものだけでも、80以上のモデル計算結果が報告されており (森田ら、1994)、この種の研究は地球環境研究の中でももっとも熱心な活動がなされている一つである。大きく分けて二つのタイプのモデルが報告されている。その第一は経済学的モデルを出発点とするものであり、トップダウン型の



AIMプロジェクトの概要と他のプロジェクトとの関係

(: AIMプロジェクト (B-15) : AIMがメンバーが参加するプロジェクト : 他のプロジェクト)

図2.1.1 AIMプロジェクトの概要と他のプロジェクトとの関係

モデル構造に結び付く。価格と弾力性を主たる経済的指数とし、それらとエネルギー消費及び生産の集約的挙動の構造的関係と因果性に関心が寄せられる。第二は技術モデルとでも称するべきものであり、エネルギー消費あるいは生産をつかさどる工学機器・技術の展開をモデル記述の中心に据えるものである。前者に属するモデルについて、著者らは、最近悉皆的なレビュー（森田ら、1994）を行っており、本節では、もっぱら、後者の研究に焦点をしぼり、その特徴を概説する。

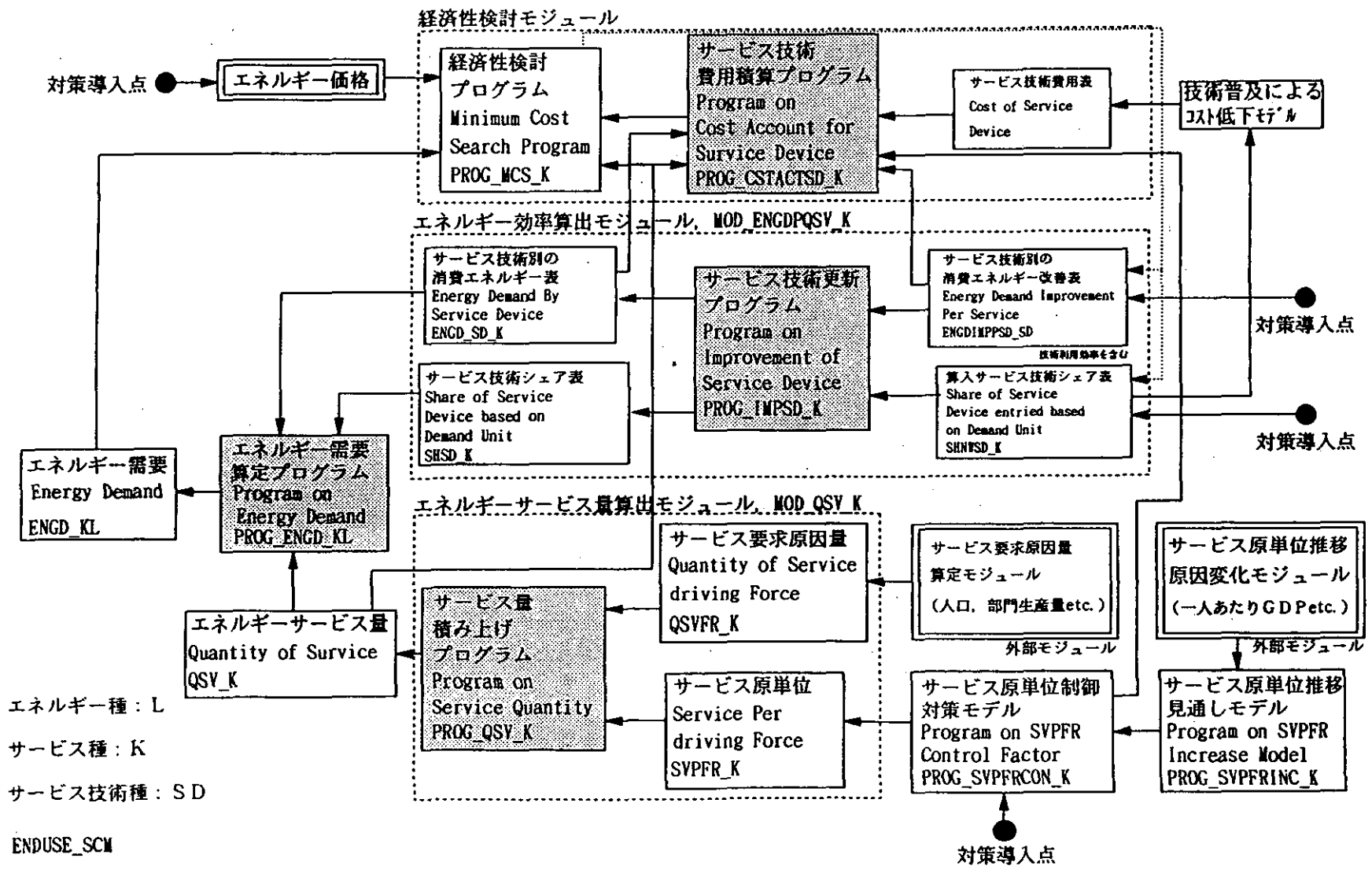


図2.1.2 AIMエンドユースモデルの構造

後者の研究は、ボトムアップ型のモデルに結び付く。そこでは、各機器・技術のコストとパフォーマンスの組み合わせに関心が寄せられ、エネルギー消費活動はそれらの集計として記述される。この研究のもっとも簡明な表現の一つは、技術・コストカーブである。Fulkersonら(1989)、Grubb(1991)、Goldembergら(1987)あるいはLovinsら(1991)の研究がその例である。また、これらのアプローチでは、しばしば、技術及びコストの網羅的ピックアップを図ろうとする。後述するLEAPあるいはデンマークの「エネルギー2000」に使用されたBRUSモデル(Brundtland Scenario Model、Morthorstら、1990)などは、その悉皆性を誇るし、IIASAで開発されているCO₂DB(Messnerら、1991)、世界銀行調査(Bernstein、1993)あるいは、米国環境保護庁調査(ICF、1990)などにおいても、直接の目的は温室効果ガス削減対策とその費用の見積もりであるが、その算定根拠として、綿密な技術、コストデータを準備している。

技術コストカーブに基づく解析では、エネルギーのネットワーク的なフローとか複合的なサービスを記述できない。技術間あるいはエネルギーフロー間の依存性あるいはエネルギーサービスの重合性を考慮しない場合、省エネルギー効果は往々にしてダブルカウントされる。また、サービス需要、技術・機器あるいは資金手当の時間的な展開プロセスを、コストカーブのみで取り扱うには限界がある。これらの諸点を克服する工夫は、以前からいくつか行われていたが、特に1970年代の第一次エネルギー危機の際に米国エネルギー省が構築したモデル群は、エネルギーフロー供給・消費のシステム的な挙動を取り扱うモデルとして、これ以降に開発されたモデルに大きな影響を与えた。BESOM、TESOMあるいはこれらの後継モデルであるBEEAM(Brookhaven Energy Economic Assessment Model)などである。初期のBEEAMでは、米国のエネルギーフローを線形のシステム(上記のRES)として記述し、これを線形計画法によって最適化している。これらは、わが国(総合研究開発機構、1978)を含め数多くの適用がなされた他、さまざまな修正も加えられた。産業連関表とか、マクロ経済モデルとのカップリング(Hoffman・Jorgenson、1977)、システムコスト最小化以外の様々の最適化関数の導入あるいは時間的な展開過程の導入などの修正と工夫である。特に国際エネルギー機関(IEA)が中心となって構築したMARKAL(MARKet ALlocation、Fishboneら、1981)は、将来エネルギー需要に対する新技術の対応、資本導入のタイミング、エネルギー効率の長期的改善の影響などを評価することを目的とした大規模な最適モデルでありBEEAMの後継モデルとして、またエネルギー技術モデルとして名高いものである。MARKALはカナダMcGILL大学のグループ(Bergerら、1987)によりカナダのケベック州エネルギー計画に使用されたのを始めとして、わが国などOECD15ヶ国およびブラジル、インドネシアなど開発途上国にも広く適用された。途上国のエネルギー計画策定にあたっては、資本、資源制約下にて電力など供給施設をどのようなスケジュールで開発・拡張していくかが大きな問題となる。IAEAが開発したWASP(Wien Automatic System Planning Package)、EGEAS(Electric Generation Expansion Analysis System)あるいは国家エネルギー計画支援ツールとしてのRESGEN及びEnergy Toolbox(Heapsら、1990)などは、これらの系譜を継ぎ、現在においてもしばしば使用されているモデル群である。

1970年代後半、フランスのグルノーブル大学エネルギー政策・経済研究所(IEJE)は、ブルックヘブンモデル開発などに啓発され、いくつかのエネルギー技術モデルを開発した。中でも、MEDEE及びEFOMは、欧州共同体などによってヨーロッパ各国のエネルギー政策策定に適用された。MEDEE(Modele d'Evaluation de la Demande En Energie)は、中長期のエネルギー需要を算定

するモデルである。適用対象によって MEDEE-2、MEDEE-3、MEDEE-Region などいくつかの種類がある。これらは、IIASA の「Energy in a Finite World」プロジェクト、CEC による「Energy 2000」プロジェクトなどいくつかの代表的なエネルギー予測作業における需要側モデルとして使用された。また、中所得国を対象とする MEDEE-S (Lapillonne, 1985) は、UNDP 及び ESCAP によって多くの途上国に適用された。

MEDEE-S ではエネルギー需要を決定するいくつかの因子を外生変数として、あらかじめ設定されたシナリオと技術選択のもとでエネルギー需要の積算を行う。最適化などの操作は行わない。1980年代後半に行われた ESCAP による地域エネルギー開発プログラム (REDP) では、中国、韓国、インドネシア、タイあるいはインドなど 8ヶ国を対象に本モデルの当てはめを行っている。

EFOM は、供給サイドを中心に線形計画法による最適化を行うモデルである。これに関しても、EFOM12A、EFOM12B、EFOM12C などいくつかの変種がある。環境汚染負荷抑制を主な対象とする EFOM-ENV では、燃料転換、負荷削減技術などを内包し、トルコなどいくつかの国に適用された。

MEDEE においては、需要の推進力を事細かに外生的に与える必要がある。モデルは主として積み上げ作業部分のみを受け持つ。同様のアプローチを取るモデルとしては、ストックホルム環境研究所 (SEI) が開発した LEAP (LDC Energy Alternative Planning) モデルがある。LEAP では、モデルソフトウェアの使いやすさと技術、排出原単位などの整備に力を注いでいる。また、温室効果ガスシナリオシステム (G2S2、Greenhouse Gas Scenario System) などの周辺ソフトウェアの充実によって、途上国におけるエネルギー・環境計画の支援ツールとしての実用性向上を図っている。

このように、エネルギー技術モデルとして今までに多数のものが開発され実用に供されているが、これらは技術モデルなるが故に共通した欠点をもつ。その第一は、エネルギーサービス需要のマクロ経済的效果が取り込めていないことである。エネルギー及びエネルギー機器の生産と消費をめぐる乗数効果あるいは構造変化の経済的相互影響などはなんらかの工夫をしない限り取り込まれない。第二に、市場の不完全性あるいはその他の制度的な障害による制約は、顕わに記述しない限り考慮できないし、しばしば無視される。第三に技術普及・定着の費用と影響は、ほとんどの場合考慮されない。第四に、モデルに考慮された以外のコストと消費者あるいは供給者の技術選択の恣意性がどの程度あるか予測が付かず、算定結果の信頼性に問題が生ずる場合がある。第一の点に関しては、マクロ経済モデルと結合させて回避しようとする試みがいくつかなされている。TERI による BEEAM と産業連関表との結合を主体とする TEESE (TERI Energy Economy Simulation and Evaluation) モデル、MARKAL と超長期マクロ経済モデルである Global2100の結合 (Manne・Wene, 1992)、LEAP と Edmonds・Reilly モデルの結合 (Lazarus, 1993) などである。また、松橋ら (1991) は、わが国を対象に省エネルギー技術の詳細な技術表を取りまとめ、これらの市場導入コストの静学的分析を行った。さらにこれをふまえ、マクロ経済モデルによって技術導入の補助金効果を算定した。この研究は、実証性、具体性に富んだものであり、本研究の一つの出発点ともなっている。

さて、本研究でとりあげる AIM エンドユースモデルは、「ボトムアップ型」のエネルギー技術モデルに属す。エネルギー価格の変化により技術代替が生じる現象を中心にして、エネルギー消費の変化を積み上げ方式により推定することを目的としたものである。従って、個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価することが可能である。また、

エネルギー需要モデルに技術選択モデルをつなぐことによって、個別の技術の実態を踏まえたエネルギー効率改善の予測を可能にしている。さらに、このモデルは既に完成しているAIM世界モデルとつなぐことができるため、将来、国際的要因の影響についての分析や、共同実施などの国際協調の効果を勘案した分析が可能になる。

しかしその一方で、このエンドユースモデルにはいくつかの限界がある。第一に、今のところトップダウンの経済モデルと連動しておらず、エネルギーサービス需要をシナリオによって与えているため、エネルギー価格上昇の直接的な需要抑制効果や消費の抑制や貯蓄の減少を通じた間接的な経済影響を考慮していないため、マクロ経済的なロスを推定するには不向きである。第二に、技術選択の際に制度面の障害等の社会的なコストを考慮していないため、個々の技術選択による二酸化炭素排出削減が大きめに見積もられる可能性がある。第三に、現在実用化されていない技術を対象としていない等、対象とした技術が包括的ではないために、全体として二酸化炭素排出の削減量が小さめに見積もられる可能性がある。これらの限界は、エネルギー技術モデルの本質的制約に基づくものもあり、また、本モデルが開発途上にあることに起因するものもある。したがって、本報告書の結果を解釈する際にもこれらの点に注意する必要がある。しかし、これらを勘案してもなお個々の具体的な政策の有効性を評価したり、種々の政策を組み合わせた場合の効果を評価するツールとしては、経済学的パラダイムの再現に固執する通常の経済学的モデルに比べ、具体性と政策支援能力において、優っている。

2.1.3 エンドユースモデルの諸元

(1) 部門分割

AIMエンドユースモデルの対象部門と分野を表2.1.1に示した。これらの各部門・分野ごとにエネルギーサービス量の推定や技術の選択が行われ、エネルギー消費量や二酸化炭素排出量が推定される。このため、これらの部門・分野ごとにエネルギー消費量や単位サービス量あたりのエネルギー消費量などの基礎的データを整備した。

表2.1.1 対象部門と分野

部 門	①産業部門	②家庭部門	③業務部門	④運輸部門
分 野	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄鋼業 ・セメント工業 ・石油化学工業 ・紙パルプ工業 	<ul style="list-style-type: none"> ・給湯／炊事 ・冷暖房 ・動力等 	<ul style="list-style-type: none"> ・給湯／炊事 ・冷暖房 ・動力等 	<ul style="list-style-type: none"> ・旅客輸送 ・貨物輸送

(2) 燃料種

本モデルの対象とする燃料の種類、発熱量、価格、二酸化炭素排出係数を表2.1.2に示した。石灰石は燃料として使用されることはないが、セメント工業や鉄鋼業において原料や不純物除去として使用される際に二酸化炭素を排出するため、ここに含める。

AIMエンドユースモデルは最終的にはトップダウンモデルとリンクして、エネルギー価格やエネルギーミックスが内生化されることになるが、今回の研究の段階では、この種のリンクが行われていない。従って、エネルギー価格は表2.1.2に示す1990年価格のレベルで変化しないことを前提としている。また、エネルギーミックスについても一定とし、表2.1.2に示したCO₂排出原単位は

将来とも変化しないことを前提としている。これらの仮定は、当然のことながら、トップダウンモデルとリンクした時点で改善されることになる。

表2.1.2 対象燃料

Code	燃料等名称	平均発熱量 (単位)	1990年価格 (円/kcal)	CO ₂ 排出原単位 (1.0E-10 t-C/kcal)	炭素税 ³ 万円/付加 (円/kcal) 倍率
1	石炭(輸入一般炭)	6,200 (kcal/kg)	0.00116	1042.2	0.00457 3.93
2	コークス	7,200 (kcal/kg)	0.00337*	1061.2	0.00706 2.10
3	炬ガス	2,000 (kcal/m ³)	0.00337*	1061.2	0.00706 2.10
4	ガソリン	8,400 (kcal/l)	0.01321	765.8	0.01551 1.17
5	灯油	8,900 (kcal/l)	0.00481	777.5	0.00713 1.48
6	軽油	9,200 (kcal/l)	0.00662	783.9	0.00897 1.36
7	重油(C重油)	9,800 (kcal/l)	0.00259	818.0	0.00495 1.91
8	その他石油製品	10,100 (kcal/kg)	0.01321	773.7	0.01512 1.14
9	LPG	12,000 (kcal/kg)	0.00730	688.3	0.00935 1.28
10	ガス	10,000 (kcal/m ³)	0.01071	563.9	0.01246 1.16
11	太陽熱	-	0.00000	0.0	0.00000 1.00
12	電力(電灯・家庭)	860 (kcal/kWh)	0.02894	1212.8	0.03257 1.13
〃	電力(電力・業務)	〃	0.02000	1212.8	0.02363 1.18
〃	電力(大口・産業)	〃	0.01538	1212.8	0.01901 1.24
13	蒸気	639 (kcal/kg)	0.02758*	-	0.02758 1.00
14	ジェット油	8,700 (kcal/l)	0.00777*	766.5	0.01007 1.30
15	石油コークス	8,500 (kcal/kg)	0.00220	1061.2	0.00538 2.45
16	ナフサ	8,000 (kcal/l)	0.00289	760.5	0.00517 1.79
21	黒液	3,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00323 -
22	パーク	4,000 (kcal/kg)	0.00000	1075.1	0.00242 -
23	石油(原油)	9,250 (kcal/l)	0.00220	781.1	0.00454 2.07
29	石灰石	-	-	0.12(t-C/t)	-
30	塵熱	-	0.00000	-	-

出典: エネルギー・経済統計要覧(1993年版)/EDMC
 二酸化炭素排出量調査報告書(1992.5)/環境庁
 (但し、*印は、昭和60年 産業連関表/総務庁(1985年価格)より算定)

(3) エネルギーサービス

エネルギーサービスとは、エネルギー消費によって期待される効用のことで、その単位はエネルギー消費の目的に応じて定義される。例えば、工業生産の場合には製品生産量、輸送の場合には輸送量(トン・キロ、人・キロ)、冷房の場合には冷房カロリーなどである。

(4) サービス技術

サービス技術では、表2.1.3に示した100種類以上の省エネ技術を対象とする。そして、これらの全技術について、初期コスト、普及基数、省エネ効果量、技術コホート等の基礎データを詳細に調査し、データベース化した。調査では図2.1.3のようなデータシートを用いた。

(5) 期間

1985年度の開始年とし、1年度毎に、2010年までシミュレーションを行う。1990年度の二酸化炭素排出量の実績値とシミュレーション結果が一致するようにキャリブレーションした。

表2.1.3 サービス技術の範囲

部門	分野	サービス技術
産業	鉄鋼	コークス炉調湿装置 スクラップ予熱装置 交流式電気炉 直流式電気炉 鑄造装置 連続鑄造装置 従来型加熱装置 直送圧延/熱片装入 焼鈍装置 連続焼鈍装置 コークス乾式消火設備 コークス湿式消火設備 湿式高炉炉頂圧発電設備 乾式高炉炉頂圧発電設備
	セメント	チューブミル 予備粉砕機 NSP/SP以外 NSP/SP 高効率クリンカクーラ 型型ミル ディーゼル発電 廃熱発電
	石油化学	分解反応装置 高性能分解反応装置 ポリエチレン製造装置 高性能ポリエチレン製造装置 ポリプロピレン製造装置 高性能ポリプロピレン製造装置 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー
	紙パルプ	従来型蒸解装置 予備浸透型連続蒸解装置 従来型洗浄装置 高性能バルブ洗浄装 置 従来型脱リグニン装置 酸素脱リグニン装置 ディフューザー漂白装置 従来 型蒸発缶 液膜流下型蒸発缶 従来型サイズプレス装置 高性能サイズプレス装置 従来型脱水装置 高性能面圧脱水装置 石炭ボイラー 重油ボイラー 低空気比重油ボイラー バークボイラー 黒液ボイラー
家庭	冷房	ルームクーラ
	冷房・暖房	冷暖房兼用ルームクーラ(電気) 冷暖房兼用ルームクーラ(ガス) 冷暖房兼用ルームクーラ(石油)
	暖房	石油ストーブ 石油ファンヒーター 石油温風暖房機 ガスファンヒーター ガス温風暖房機 電気ストーブ 電気セラミックファンヒーター 断熱材(新設戸建住宅) 断熱材(新設集合住宅) 断熱材(既存戸建住宅) 断熱材(既存集合住宅)
	給湯	ガス給湯機 石油給湯機 電気温水機 ソーラーシステム 太陽熱温水器
	冷房・暖房 ・給湯	電力多機能ヒートポンプ ガスヒートポンプ 石油ヒートポンプ
	照明	白熱灯 蛍光灯 インバータ照明
	動力他	テレビ 冷凍冷蔵庫 洗濯機 掃除機 電子レンジ その他
業務	冷房	電気冷房空調
	冷房・暖房	ガスヒートポンプ
	暖房	電気暖房 石油暖房 ガス暖房 保温構造化
	給湯	石油ボイラー給湯 ガスボイラー給湯 太陽熱温水器
	電力・冷房 暖房・給湯	コージェネガスエンジン コージェネガスタービン コージェネディーゼルエンジン
	照明	蛍光灯 インバータ照明
	動力他	複写機 計算機 昇降機 その他動力
運輸	旅客輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通/営業/自家バス) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通/営業) ディーゼル新型車(小型/普通/営業/自家バス/営業バス) LPG新型車(営業) CNG車(小型/営業) 電気自動車(軽/小型/営業) HJMR車(自家用バス/営業バス) 鉄道 旅客船 航空
	貨物輸送	ガソリン新型車(軽/小型/普通) ガソリン低燃費車(軽/小型/普通) ディーゼル新型車(小型/普通) 電気自動車(軽/小型) CNG車(小型) 鉄道 貨物船 航空

■ 省エネ対策技術登録票

1. フェイスデータ

対策技術名(和名)	ソーラーシステム	
対策技術名(英名)		
対策技術名(英名)		
技術導入分野1(※1)	0 2	(民生分野)
技術導入分野2(※2)	0 2	(給湯)
技術導入分野3(※3)		

(※1) 導入分野1

0 1	産業分野
0 2	民生分野
0 3	商業分野
0 4	運輸分野
0 5	農業分野
9 9	その他

(※2) 導入分野2

	産業分野	民生分野	商業分野	運輸分野	農業分野
0 1	除霜機	炊事	給湯	旅客用機器	農業用機器
0 2	化学工業	給湯	暖房	旅客用機器	動力
0 3	木工業	暖房	その他空調	貨物輸送	農利用
0 4	紙・パルプ業	その他空調	照明		
0 5		照明	その他OA等		
0 6		その他家電			
0 7					
9 9	その他	その他	その他	その他	その他

(※3) 導入分野3 (別添 テーブル参照)

2. 技術データ

ユニットサイズ(※1)		単位	
技術導入可能年次(※2)		年(西暦)	
技術導入完了年次(※3)		年(西暦)	
想定最大普及率(※4)		%	
実質耐久年数(※5)		年	
省エネ効果量(※6)	2650	単位 [kcal/t]	
省エネ効果量	エネルギー種類(※8)	量	単位
	名称 ()	()	()
	名称 ()	()	()
	名称 ()	()	()
	名称 ()	()	()

- (※1) ユニットサイズ(導入対象技術対応生産量): 省エネ蛍光灯 [1.5] [W]
: 密閉型排ガス回収装置 [1,700,000] [t/高-年]
- (※2) 技術導入可能年次: 技術的側面において設備導入可能となる年次
- (※3) 技術導入完了年次: 設備の導入が完了する(最大普及率に達する)と見込まれる年次
- (※4) 想定最大普及率: 予想される最大の普及率(%)
- (※5) 実質耐久年数: 実質的な設備の耐久年数
- (※6) 省エネ効果量: 既存技術に対する省エネ効果総量: [136,000] [kcal/t]
- (※7) エネルギー種類-別省エネ効果量: (※8) 省エネ効果量がエネルギー種類-別に把握される場合に用いる
- (※8) エネルギー種類 (別添 テーブル参照)

3. 経済データ

通貨(※1)	0 4	(円)
通貨基準年(※2)	1992	年
初期導入コスト(※3)	900,000	
O+M(※4)		/年
基準年の普及基数(※5)		単位
過去の普及基数(※6)		年時点(最近年)
	379,066台	1991
	358,989台	1990
	342,143台	1989
	326,673台	1988
	310,159台	1987
	289,383台	1986
	259,040台	1985
	221,122台	1984
	173,052台	1983
	109,763台	1982
	59,273台	1981
	28,676台	1980
		年現在
	600,000台	2000
	1,300,000台	2010
		(最古年)
最大普及可能基数(※7)		単位

(※1) 通貨: コスト換算の通貨

0 1	米ドル
0 2	英ポンド
0 3	独マルク
0 4	日本円

- (※2) 通貨基準年: 通貨価値の基準年(基準年の3ヶ月前の状況は最新年のそれに準拠すること)
- (※3) 初期導入コスト: 設備導入に必要な初期コスト(解体時の概算コストを含む)
- (※4) O+M: 維持費等のランニングコスト(/年)
- (※5) 基準年普及基数: 基準年における普及状況
- (※6) 過去の普及基数: 過去の普及状況(但し、信頼し得る予測値が存在する場合には記入可能)
- (※7) 最大普及可能基数: 基準年における導入技術の最大普及可能数(生産量に対応)

4. 付録 (データ算定条件, 出典・情報入手方法等, 留意事項)

- データ出典 地球温暖化経済システム検討会中間報告書
地球温暖化防止対策ハンドブック
(社)ソーラーシステム振興協会資料

図2.1.3 データシートの例

2. 2 AIM エンドユースモデルの計算手順

2.2.1 全体手順

AIM エンドユースモデルは以下の手順に従って実行される（図2.2.1）。

- ①シナリオ及びモデルによってエネルギーサービス量（製品生産量、輸送量、冷房需要量等）が与えられる。
- ②このサービス量を満たすよう、サービス生産技術が選択される。この際、各階層（工程、手段）毎に、より経済性の高い技術への置換や増設が行なわれる。
- ③技術の稼働に必要なエネルギー量が計算される。
- ④③で算出されたエネルギー量のうち電力と蒸気については、2次エネルギーとして使用するために、経済性の高いエネルギー転換用技術が選択され、その稼働に必要なエネルギー量が算定される。
- ⑤以上で求めた燃料種別エネルギー消費量をもとにして、二酸化炭素排出量を推定した。

AIM エンドユースモデルのフローの詳細を図2.2.2に示した。次に、このモデルの中核である「入出力部」と「技術選択部」について説明する。

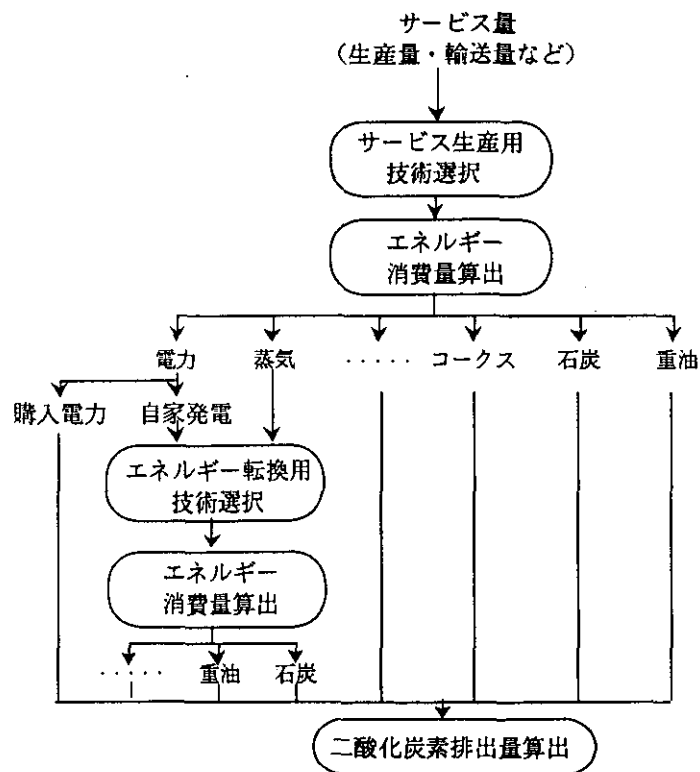


図2.2.1 AIM エンドユースモデルの基本手順

2.2.2 入出力部

本モデルの実行に必要な入力データを表2.2.1に示した。なお、データ内容の詳細については、「3章 各部門の構成と入力データ」に掲載した。

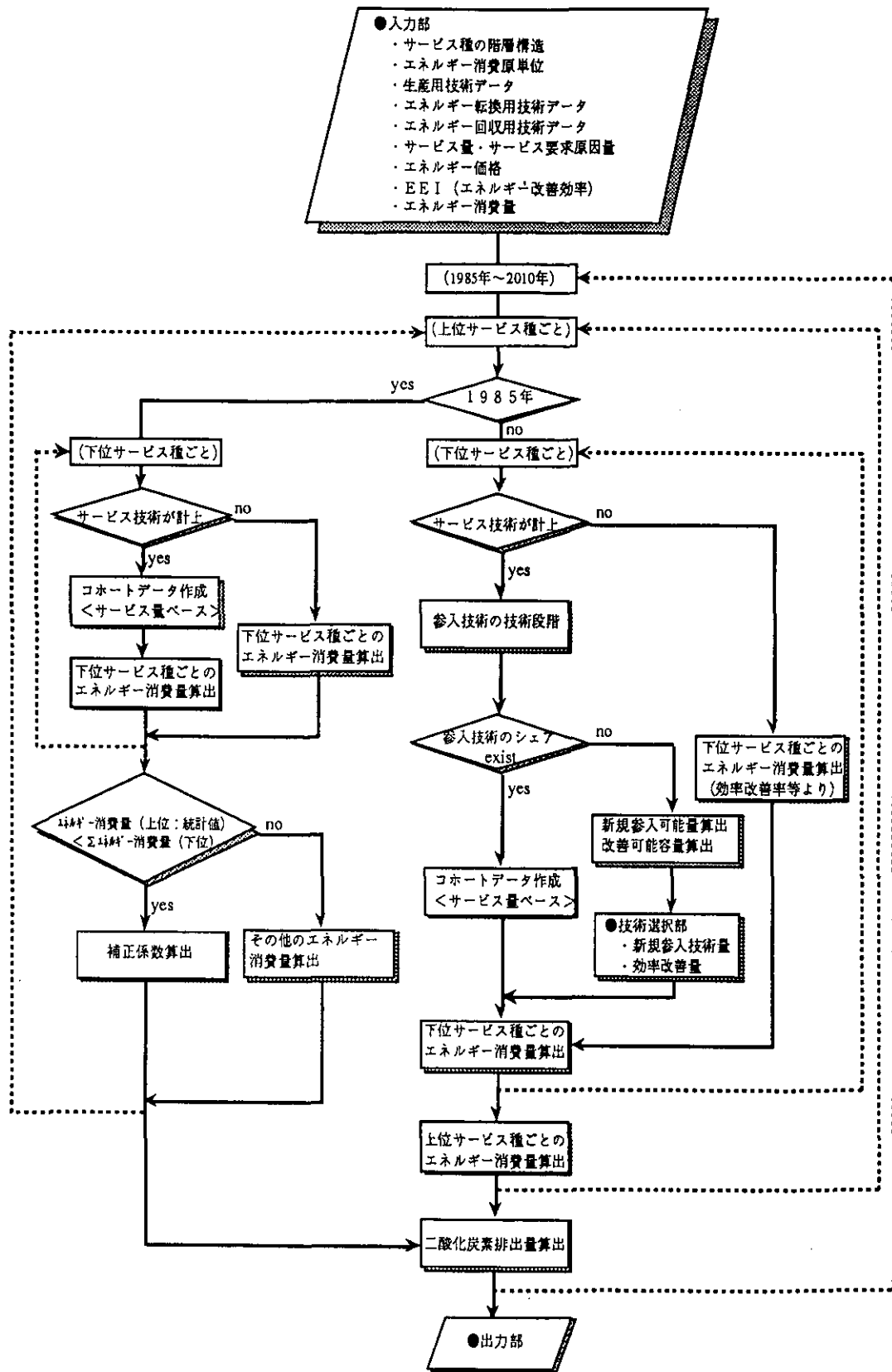


図2.2.2 AIM エンドユースモデルフローチャート (全体)

表2.2.1 AIMエンドユースモデル入力データ

階層	工程別(産業)/用途別(家庭・業務)/手段別(運輸)に作成
エネルギー消費量	階層別に消費するエネルギー量を計上
単位サービス量当たりのエネルギー消費量	エネルギー消費量を対象サービス量で割った値を計上
サービス生産用技術	製品を生産する設備(産業) 熱交換装置、給湯装置、照明装置、動力装置等(家庭・業務) 人および貨物を運送する装置(運輸)
エネルギー回収用技術	エネルギーへの転換が可能なものを回収し、エネルギー転換を行う技術
エネルギー転換用技術	1次エネルギーから2次エネルギーへ転換する技術
サービス量	製品の生産量(産業) 世帯数(家庭) 床面積(業務) 輸送人数および輸送貨物量に走行距離をかけたもの(運輸)

一方、AIMエンドユースモデルは、シミュレーション結果として以下のものを出力した。

●二酸化炭素排出量

部門別、1次エネルギー種別 エネルギー消費量

部門別、1次エネルギー種別 二酸化炭素排出量

●省エネ技術の導入状況

部門別、年度別技術導入量(サービス量)

2.2.3 技術選択部

技術選択部のフローを図2.2.3に示した。このフローは、モデル全体の中でも大変重要な判断プロセスである。技術選択の基準は、その時点で利用している技術が交換時期にきている場合と交換年数にまだ達しない場合とで異なる。利用している技術が交換年数に達している場合には、サービス量の需要に応じるために再度従来型の技術を導入するか、コストが高くても省エネ型の技術を導入するかを決定しなければならない。このため、技術導入の初期コストの違いと省エネに伴う燃費の節約額の双方を勘案して、従来型技術と省エネ型技術を比較し、経済性の高い方を選ぶことになる。一方、今利用している技術が交換年数にまだ達しない場合には、省エネを図るために今の技術を全部交換する必要がある場合と一部の改良だけで間に合う場合とが考えられるが、いずれの場合でも、代替技術の導入費用や改良に要する費用が省エネによる燃費節約額よりも小さい場合にのみ、技術が交換または改良されることになる。

①技術が交換時期にきている場合

利用している技術が交換年数に達している場合には、サービス量の需要に応じるために再度従来型の技術を導入するか、コストが高くても省エネ型の技術を導入するかを決定しなければならない。このため、技術導入の初期コストの違いと省エネに伴う燃費の節約額の双方を勘案して、従来型技術と省エネ技術を比較し、経済性の高い方を選択することになる。

また、需要量の増大に伴い、現在稼働中の機器のみでは生産が追いつかず、新規に設置をする場合も同様な方法によって、従来機器もしくは省エネ機器の選択を行う。

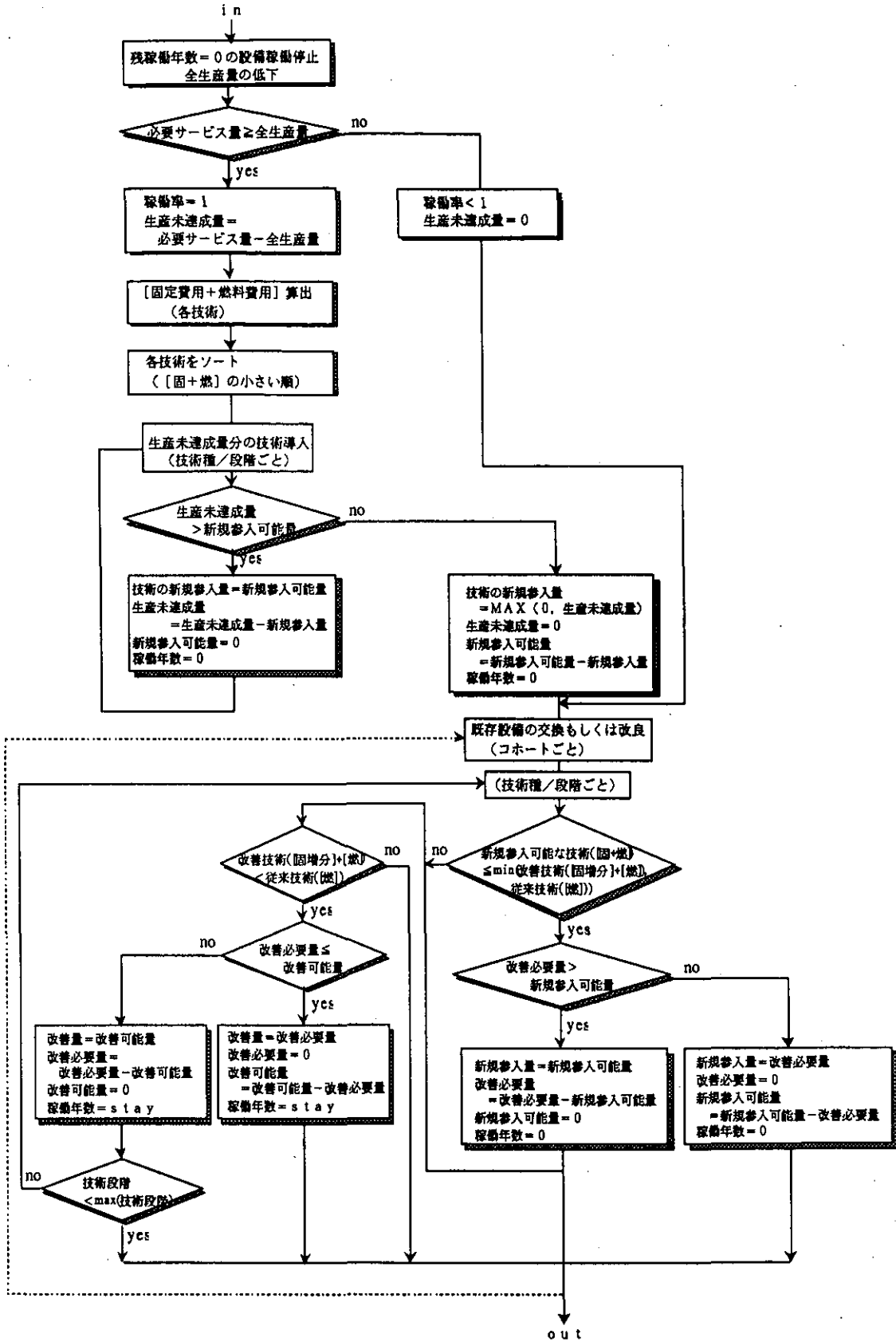


図2.2.3 AIMエンドユースモデルフローチャート（技術選択部）

$(F_A + E_A) < (F_B + E_B) \rightarrow$ 技術 A を選択

$(F_A + E_A) \geq (F_B + E_B) \rightarrow$ 技術 B を選択

F : 年間固定費用 E : 年間燃料費

A : 技術_A (従来設備) B : 技術_B (省エネ機器)

②技術の交換年数にまだ到達しない場合

この場合の技術選択の方法は、現在稼働中の技術に対する代替技術が

- ・技術種が異なる技術 (全交換を必要とする)
- ・技術段階が異なる技術 (一部改良のみを必要とする)

の2種の場合で異なる。

<技術種が異なる技術>

現在稼働中の技術の燃料費と、代替技術の固定費用と燃料費の合計とを比較し代替技術の方が経済性の高い場合には稼働中の技術は全部交換される。

$E_A \leq (F_B + E_B) \rightarrow$ 現在稼働中の技術、引き続き稼働。

$E_A > (F_B + E_B) \rightarrow$ 代替技術に交換。

F : 年間固定費用 E : 年間燃料費

A : 技術_A (稼働中設備) B : 技術_B (代替設備)

<技術段階が異なる技術>

現在稼働中の技術の燃料費と、代替設備の固定費用増大分(改良費用)と燃料費の合計とを比較し代替技術の方が経済性が高い場合には稼働中の技術は一部改良される。

改良が行なわれても、技術使用年数は改良前の技術の使用年数を引き継ぐ。

$E_A \leq (\Delta F_B + E_B) \rightarrow$ 現在稼働中の技術、引き続き稼働。

$E_A > (\Delta F_B + E_B) \rightarrow$ 稼働中の技術を改良。

F : 年間固定費用 E : 年間燃料費

A : 技術_A (稼働中設備) B : 技術_B (代替設備)

ΔF_B : 改良費用

このような判断過程が組み込まれているために、炭素税や補助金の導入によって技術選択が変化し、その結果としてエネルギー消費量や二酸化炭素排出量に変化することになる。例えば、炭素税が導入されるとエネルギー価格が上昇し、省エネによる燃費節約額が増加するため、比較的価格の高い省エネ技術が導入できることになる。また、補助金を導入することにより省エネ技術の初期コストが安くなれば、この技術の導入は促進されることになる。

なお、家庭部門および業務部門においては、一つのサービス機器が複数の種類のサービスを同時に提供したり、また、産業部門においても複数工程の処理が行なえる省エネ機器がある。このような場合には、以上のような二者択一型の選択が必ずしも最適な機器の組み合わせを保証することにはならない。このため、複数のサービス技術が最も効率よく複数のサービスを供給するよう、技術の組み合わせを決定するため、線形計画法を用いた技術の最適選択サブモジュールも開発し、適用可能な状態になっている。後述の家庭部門および業務部門のシミュレーションは、この最適選択サ

ブジュールを用いて実施したものである。

2.2.4 技術選択の経済性基準とその問題点

前節に述べたように本モデルでは、サービス生産技術の選択を機器の初期コスト、燃料費用、税を純毎年価格で評価し、サービス量充足の条件下でもっとも経済的に実現する組み合わせを探索している。この技術選択に関するクライテリアは平明であるが、いくつかの重要な点の捨象と検討すべき点を残している。第一に、民生機器などでは、その能力をサービス量のみで一元表示することは、多くの場合困難である。実際に行われている多基準下の選択は、必ずしも本モデルの選択と一致しない。第二にサービス受益者と費用負担者が一致しないときは、経済性に基づく選択基準は根拠を失う。借家などでは、暖房用燃料費用と断熱材負担費用は費用負担者にとってトレードオフの関係にならないのである。第三に、受益者と負担者が一致し、選択基準が経済性のみであったとしても、まだ多くの行動的障害が残る。技術選択時の情報の不完全性、将来エネルギー価格の不明、技術進歩に対する期待は、技術選択にあたっての将来割引率を高くし、結果としてエネルギー効率が低い機器の選択に結びつく。松橋ら(1991)はわが国の産業部門における省エネルギー設備投資に対する将来割引率を投資回収年表示で2年程度の高割引率と推定している。こうした傾向は、欧米においても共通であり、米国でのエネルギー集約型産業においては2年以下(ASE、1983)の、また、IEA調査では1～5年程度の投資回収年と推定されている(IEA、1987)。このような技術選択にあたっての「内部的」将来割引率は、消費部門あるいはエネルギー生産部門によって大きく異なり、民生部門などでは消費者の社会、経済的状況、対象技術によっても異なることが知られているが(Train、1985)、いずれも市場の機会費用率に比べ極めて大きい値を示すのが特徴である。この「内部的」割引率と機会的費用率の大幅な乖離及びエネルギー生産・消費部門間の割引率の相違は、実際のエネルギー消費・生産活動の経済的合理性を大きくゆがめている(Jochemら、1990)。こうした行動的障害を、社会的・制度的な誘導によって是正しようとする提言と施策は、最近、しばしば論じられるようになってきており(例えば、Geller、1991)、一部地域ではそれに対する対応策も実行されるようになった(例えば、Nadel、1992)。

このように、本モデルで採択する技術選択の経済性基準は現実的でない点もいくつかある。そのいくつかは、経済性基準の本質的欠陥に基づくものもあるが、実世界のエネルギー消費・生産システムの非合理的な制度・行動的慣習による乖離に起因する点も多々ある。前者に関しては基準の拡張を図る一方、経済性クライテリア下での特性解析を行うことも極めて有用な作業であると考えている。また、後者に関しては、現状を再現するパラメーターの探索と共にその努力を通じて省エネルギー社会移行に対する制度・行動的障害を明確化する規範的なモデル使用も、本モデルの大きな目的の一つと考えている。

3章 各部門の構成と入力データ

3.1 概要

本モデルの実行に必要なデータは以下に示した。部門別データの詳細については、次節以降に示した。

(1) 各部門の細分類

それぞれの分野の特徴に応じて、産業部門は工程別、家庭・業務部門は用途別、運輸部門は手段別に大項目、中項目、小項目に分類し、階層番号を1、2、3と当てる。階層の数は各分野の特性に応じて決まる。最も細かい階層では、各項目が導入設備や技術の導入単位と対応するように設定した。

(2) エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

(1)で設定した階層のうち、最も細かい階層のエネルギー消費量を算定した。また、エネルギー消費量を対象サービス量で割ったものを、単位サービス量当たりのエネルギー消費量として算定した。対象サービス量は各部門ごとに

- ・産業部門：製品生産量
- ・家庭部門：世帯数
- ・業務部門：床面積
- ・運輸部門：輸送人数および輸送貨物量に走行距離を乗じたもの

とした。最も細かい階層のデータにおいてエネルギー消費量の算定が難しい場合には、最も信頼できるデータが入手できる階層のデータを用いた。

(3) サービス生産用技術

サービスを生産する技術とは、本モデルでは、

- ・産業部門：製品を生産する設備
- ・家庭・業務部門：熱交換装置、給湯装置、照明装置、動力装置等
- ・運輸部門：人および貨物を輸送する装置

であり、価格、使用エネルギー量、標準的使用年数などのデータを収集した。なお、エネルギー効率の高い技術に変えることを検討する場合、より効率の高い技術を「省エネ技術」、比較対象になる技術を「従来型技術」と呼ぶ。

また、本モデルでは、

- ・導入の際に既存設備の全交換する必要がある技術
- ・既存設備の改良ですむ技術

を区別した。この区別は、導入を決定する際の要因となる固定費用や寿命期間の算定方法が異なるためである。前者の場合は「技術種が異なる技術」として扱い、後者の場合は技術種は同じであるが「技術段階が異なる技術」として扱った（後述の「エネルギー回収用技術」「エネルギー転換用技術」も同様）。

(4) エネルギー回収用技術

廃熱発電や黒液回収ボイラなど、廃熱や廃棄物をエネルギーに転換する設備や技術についても、

価格、使用エネルギー量、標準的使用年数など、サービス生産用技術と同様のデータを収集した。

(5) エネルギー転換用技術

ボイラや発電設備など、一次エネルギーを二次エネルギーへ変換する設備や技術についても、同様の調査を行った。

3. 2 産業部門

3.2.1 鉄鋼業

(1) 工程

日本における鉄鋼業の二酸化炭素排出量は1985年度に45.0MtC、1990年度に48.0MtCでそれぞれ製造業全体の37.0% (1985)、35.1% (1990) となり、製造業の中で最も大きなシェアを占める。排出量のほとんどの部分が石炭系燃料によるものである。

AIM エンドユースモデルでは次の2種の製鋼法を対象とした。

①高炉により鉄鉱石とコークスから鉄鉄を製造し、転炉で製鋼する方法 (図3.2.1)

②電気炉により鉄スクラップから電炉鋼を製造する方法 (図3.2.2)

平炉による製鉄は現在日本では行われなくなったため、エンドユースモデルでは対象から外した。鉄鋼業の工程分類を表3.2.1に示した。

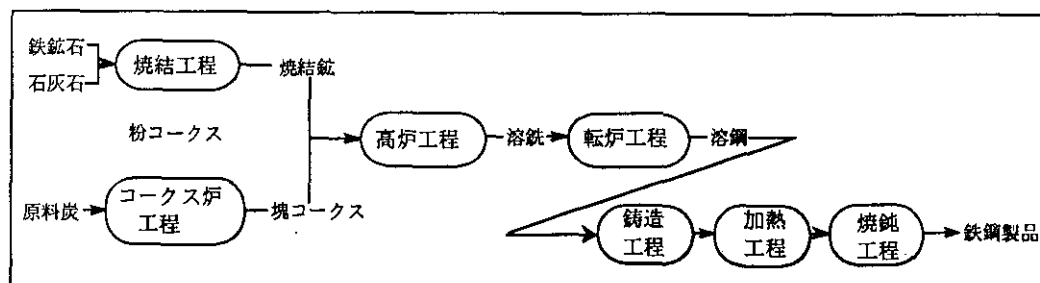


図3.2.1 高炉による製鉄の工程

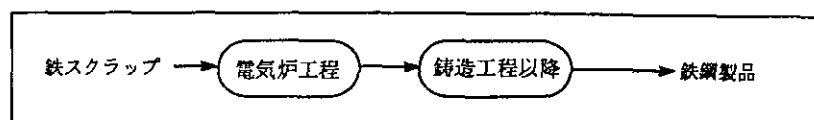


図3.2.2 電気炉による製鉄の工程

表3.2.1 鉄鋼業の工程分類

工程1	工程2	技術選択の有無
1 コークス製造工程	1 コークス製造工程	有
	2 コークス製造工程その他	無
2 焼結炉工程	3 焼結炉工程	無
3 高炉工程	4 高炉工程	無
4 転炉工程	5 転炉工程	無
5 電気炉工程	6 電気炉工程（予熱）	有
	7 電気炉工程（炉）	有
	8 電気炉工程その他	無
6 一貫製鉄所鑄造工程	9 一貫製鉄所鑄造工程	有
	10 一貫製鉄所鑄造工程その他	無
7 一貫製鉄所加熱工程	11 一貫製鉄所加熱工程	有
	12 一貫製鉄所加熱工程その他	無
8 一貫製鉄所焼鈍工程	13 一貫製鉄所焼鈍工程	有
	14 一貫製鉄所焼鈍工程その他	無
9 一貫製鉄所以外の鑄造工程以降	15 一貫製鉄所以外の鑄造工程以降	無

注) 技術選択無しとなっている「コークス製造工程その他（工程2）」は、「コークス製造工程（工程1）」のうち従来機器と省エネ機器との技術選択が可能な工程を除いた工程を意味する。他のその他工程も同様である。

（2）エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

電気炉による製鉄のエネルギーフローは平易である。しかし、高炉による製鉄では、ある工程での燃料消費に伴い、別の燃料が発生し、その発生した燃料を他の工程で消費するというフローが存在し、複雑なエネルギーフローとなっている。例えば、コークス炉において石炭からコークスを製造し、そのコークスを高炉工程などにおいて燃料等として使用した。そのため、石炭消費量とコークス消費量の両方を二酸化炭素排出量に計上すると、重複計上になってしまう。また、石炭やコークスの燃焼に伴い、炉ガス（コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガス）が発生した。これら炉ガスは燃料としての利用が可能であるため、蒸気発生用や自家発電用に消費される。しかし、炉ガスは鉄鋼業内での消費に限らず、石油化学工業などにも払い出されている。

そこで本モデルでは、石炭系の燃料は以下の様に取り扱う。

- ・石炭は原料用としての消費分もすべて二酸化炭素を排出するものとしてカウントした。
- ・鉄鋼業内で生成したコークスや炉ガスは、それらが生成された工程では二酸化炭素排出は負の計上を行った。そして、コークスや炉ガスを消費する工程や他産業において二酸化炭素排出の計上を行った。

このような取り扱いによって、工程別エネルギー消費量の把握や二酸化炭素排出の重複計上の防止が可能となる。

エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量の算定は、主に『総合エネルギー統計』と『石油等消費構造統計表』のデータを用いて行った。『総合エネルギー統計』の鉄鋼コークス、鉄鋼系ガス、鉄鋼業の各欄のデータを基本とするが、このデータは高炉による製鉄と電気炉による製鉄のそれぞれのエネルギー消費量が計上されていない。そのため高炉による製鉄と電気炉による製鉄のエネルギー消費量を求める場合には、『石油等消費構造統計表』のデータを用い、『総合エネルギー統計』のデータを按分した。なお、エネルギー消費量および単位サービス量の算定方法の詳細については以下に記述した。

①鉄鋼業のエネルギー消費量 (表3.2.2)

・『石油等消費構造統計表』の鉄鋼業 (26) および高炉による製鉄業 (261) のデータを使用した (A、B)。また、両者の差を電気炉による製鉄業のエネルギー消費量とした (C)。

・『石油等消費構造統計表』は従業者数30人以上の事業者を対象とした調査である為、全事業者対象の値へ補正する必要がある。ここでは、以下の方法にて補正係数を算出し、各エネルギー消費量に乗じた (D、E)。

補正係数=各業種別製造品出荷額 (全数)

／各業種別従業者数30人以上の事業者の製造出荷額

高炉による製鉄 : 補正係数=1.141 (1985)

電気炉による製鉄: 補正係数=1.237 (1985)

(『工業統計表』より算定)

・『総合エネルギー統計』の鉄鋼業のデータを使用した (F)。

・『総合エネルギー統計』では、高炉ガスと転炉ガスの両消費量の合計値のみが計上されている。この2つのガスは、発生する工程が異なるため、それぞれの消費量を求める必要がある。そこで合計値を消費量 (D) ×発熱量で按分することでそれぞれの消費量を求めた (G)。

・修正した『総合エネルギー統計』の値を、補正後の『石油等消費統計構造表』のデータ (D、E) を用いて按分した (H、I)。

表3.2.2 鉄鋼業のエネルギー消費量 (1985年度)

	A		B		C		D		E		F	G	H	I
	石油等	鉄鋼業	石油等	高炉	石油等	電気炉	補正後	高炉	補正後	電気炉	エネバラ	修正	按分後	按分後
	26	261	26-261	261	26-261	26-261	261	26-261	261	26-261	鉄鋼業	鉄鋼業	高炉	261
	鉄鋼業	高炉	電気炉	高炉	電気炉	鉄鋼業	鉄鋼業	高炉	電気炉	鉄鋼業	鉄鋼業	高炉	電気炉	鉄鋼業
灯油	kl	465605	29335	436270	33471	539666	10*10kcal	284	284	17	267			
軽油	kl	47879	24620	23259	28091	28771	10*10kcal	36	36	18	18			
重油	10*9kcal	19209.6653	4561.0346	14648.6307	5204	18120	10*10kcal	1767	1767	394	1373			
A重油	kl	477544	26047	451497	29720	558502								
B重油	kl	125104	2565	122539	2927	151581								
C重油	kl	1375279	434018	941261	495215	1164340								
LPG	t	482842	140320	342522	160105	423700	10*10kcal	495	495	136	359			
石油コークス	t	78203	71596	6607	81691	8173	10*10kcal	87	11	10	1			
石炭	t	43836434	43476376	360058	49606545	445392	10*10kcal	44167	1476	1463	13			
石炭コークス	t	44945870	43819433	1126437	49997973	1393403	10*10kcal	31564	31564	30708	856			
コークス炉ガス	1000m3	10857415	10764971	92444	12282832	114353	10*10kcal	3560	3560	3527	33			
高炉ガス	1000m3	77421412	77415088	6324	88330615	7823	10*10kcal	4367	3837	3836	0			
転炉ガス	1000m3	4279340	4279340	0	4882727	0	10*10kcal		530	530	0			
LNG	t	365787	252615	113172	288234	139994	10*10kcal	187	187	126	61			
都市ガス	1000m3	164554	985	163569	1124	202335	10*10kcal	426	426	2	424			
電気事業者	1000kWh	54702974	22846115	31856859	26067417	39406935	10*10kcal	5023	5023	2000	3023			
自家発電	1000kWh	14654394	14005828	648566	15980650	802276	10*10kcal	1257	1257	1197	60			
電力計	1000kWh	69357368	36851943	32505425	42048067	40209211	10*10kcal	6280	6280	3210	3070			
自家発電		1750189	1151943	598446	1.141	1.237								
		16546352	10806420	6260132										
		196409	251167	645342										
		19213350	11709530											

②コークス炉工程のエネルギー消費量およびコークス生産量（表3.2.3）

・『総合エネルギー統計』の鉄鋼コークスの欄を使用した。符号が負の場合は、エネルギーが発生もしくは生産される。

③炉ガス発生量（表3.2.4）

・『総合エネルギー統計』の鉄鋼系ガスの欄を使用した。但し、高炉ガスと転炉ガスの合計値が計上されているために、『石油等消費構造統計表』の炉ガス生産量のデータを用いて按分した。

④コークス消費量（表3.2.5）

・表3.2.2で算出したコークス消費量を、鉄連の調査結果の値で按分した。

注) 鉄鋼連盟の『一貫製鉄所の未利用エネルギー』に単位粗鋼当たりの工程別エネルギー消費量の調査結果が記されている。このデータは、1991年実績のため、他データとの整合性が損なわれるが、他に適当なデータが存在しないため、このデータを使用した。

⑤高炉による製鉄の工程別エネルギー消費量（表3.2.6）

・コークス、電力を除く燃料消費量を各工程に按分する場合にも前述の鉄連の調査結果を用いた。但し、鉄連の調査結果は、これらの燃料をまとめてユーティリティとして扱った。

⑥電気炉工程のエネルギー消費量（表3.2.7）

・電気炉の粗鋼当たりのエネルギー消費量（『地球温暖化対策ハンドブック』）と電気炉による粗鋼生産量（『鉄鋼統計年報』）より算出した。

大同特殊鋼へのヒアリング結果を参照して電気炉のエネルギーシェアを与え、これに基づいて電気炉のエネルギー消費量を按分した。

⑦エネルギー消費量および単位エネルギー消費量（表3.2.8）

・表3.2.1~3.2.7を整理したものである。単位エネルギー消費量は高炉および電気炉による粗鋼生産量でエネルギー消費量を除したものである。

<前提>・高炉による製鉄業において電力は全て casting 工程以降に消費された。

・高炉による製鉄業の casting 工程以降の3工程は、各工程別燃料消費量のデータが入手困難なため、 casting 工程以降の総消費量を3分割して使用した。

表3.2.3 コークス炉のエネルギー消費量

(1985年度)		
石炭	10 ¹⁰ kcal	42691
コークス	10 ¹⁰ kcal	-28790
コークス炉ガス	10 ¹⁰ kcal	-7573
オイルコークス	10 ¹⁰ kcal	76

〔総合エネルギー統計〕

表3.2.4 炉ガス発生量

(1985年度)				
発生量	発熱量	発生量	発生量	発生量
石油等		石油等	エネバラ	按分後
1000m ³	kcal/m ³	10 ⁹ kcal	10 ¹⁰ kcal	10 ¹⁰ kcal
高炉ガス	119561482	800	95649.1856	11021
転炉ガス	7412196	2000	14824.392	9542
				1479

表3.2.5 コークス消費量

焼結炉	Mcal / t	368	→	10 ¹⁰ kcal	3110
高炉	Mcal / t	3264		10 ¹⁰ kcal	27582
転炉	Mcal / t	2		10 ¹⁰ kcal	17
コークス消費量	10 ¹⁰ kcal	30708.18795	↑		
		(表3.2.2より)	↑		

表3.2.6 Utilityエネルギー消費量

焼結炉	Mcal / t	25					
高炉	Mcal / t	671					
転炉	Mcal / t	38	→				
CC以降	Mcal / t	621	→				

灯油	10 ⁴ 10kcal	17					
軽油	10 ⁴ 10kcal	18					
重油	10 ⁴ 10kcal	394					
LPG	10 ⁴ 10kcal	136					
石油コークス	10 ⁴ 10kcal	10	→				
石炭	10 ⁴ 10kcal	1463					
コークス炉ガス	10 ⁴ 10kcal	3527					
高炉ガス	10 ⁴ 10kcal	3836					

転炉ガス	10 ⁴ 10kcal	530					
LNG	10 ⁴ 10kcal	126					
都市ガス	10 ⁴ 10kcal	2					

焼結炉	高炉	転炉	CC以降
0.31	8.21	0.47	7.60
0.33	8.81	0.50	8.15
7.27	195.23	11.06	180.69
2.50	67.22	3.81	62.21
0.18	4.95	0.28	4.58
26.99	724.42	41.03	670.44
65.08	1746.66	98.92	1616.51
70.78	1899.83	107.59	1758.27
9.78	262.55	14.87	242.98
2.32	62.33	3.53	57.69
0.04	1.17	0.07	1.08

表3.2.7 電気炉工程エネルギー消費量

粗鋼当りのエネルギー原単位	(1985)	0.46 Gcal / t
電気炉による粗鋼生産量	(1985)	30389968 t
電気炉のエネルギー総消費量	(1985)	14055023 Gcal

スラグ	1.80%	
電極	3.60%	
灯油	4.70%	→ 387871.6781 Gcal
酸化熱	26.60%	
電力	63.30%	→ 13667150.86 Gcal

表3.2.8 鉄鋼業の消費エネルギー量および単位消費エネルギー量

上段：エネルギー消費量 10⁹ kcal
下段：単位エネルギー消費量 10³ kcal / t

サービス量 (1985年度) (t)	コークス炉焼結炉工程		高炉工程		転炉工程		電気炉工程		一貫製鉄所 鑄造工程		一貫製鉄所 加熱工程		一貫製鉄所 焼鈍工程		一貫製鉄所 以外鑄造以降	
	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼	高炉による粗鋼
	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	30,389,968	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	78,367,696	30,389,968
1 石炭	426910	269.90	7244.15	410.25		2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	2234.78	131.34
	5447.53	3.44	92.44	5.23	0.00	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	28.52	4.32
2 コークス	-287900	31097	275816	169												
	-3673.71	396.81	3519.51	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3 炉ガス	-75730	1456	-56331	-12575		12059	12059	12059	12059	12059	12059	12059	12059	12059	12059	331.78
	-966.34	18.58	-718.80	-160.46	0.00	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	153.88	10.92
5 灯油		3.06	82.13	4.65	387.87	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	25.34	2674.14
	0.00	0.04	1.05	0.06	12.76	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	87.99
6 軽油		3.28	88.07	4.99		27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	27.17	182.15
	0.00	0.04	1.12	0.06	0.00	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	5.99
7 重油		72.74	1952.34	110.56		602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	602.29	13727.49
	0.00	0.93	24.91	1.41	0.00	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	7.69	451.71
9 LPG		25.05	672.24	38.07		207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	207.38	3592.49
	0.00	0.32	8.58	0.49	0.00	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	118.21
10 ガス		23.66	634.95	35.96		195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	195.88	4847.80
	0.00	0.30	8.10	0.46	0.00	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	159.52
12 電力					13667.15	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	10700.65	17030.90
	0.00	0.00	0.00	0.00	449.73	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	136.54	560.41
15 石油		760	49.52	2.80		15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	8558.12
コークス		9.70	0.63	0.04	0.00	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	281.61

(3) サービス生産用技術

①ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額 (表3.2.9)

ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額の形式でのデータは用いていない。

②単位生産量当たりの総投資額 (表3.2.9)

コークス炉調湿装置やスクラップ予熱装置は従来装置がなく、新規に設置する設備である。しかし、モデルの構成上固定費用0円の従来設備を計上し、架空の従来機器との技術選択の形をとった。

交流式電気炉、鑄造工程、従来型加熱装置、焼鈍装置といった従来設備の投資額のデータは入手が困難なため、省エネ設備の投資額の8割をそれとした(ヒアリング)。

③省エネ量 (表3.2.9)

連続鑄造工程、直送圧延/熱片装入、連続焼鈍装置の省エネ量のデータは、燃料別に明示されていない。そのため、これらの工程での消費エネルギーの大部分を占める電力と炉ガスを省エネの対象エネルギーとし、省エネ量を等分割した。

④エネルギー消費量 (表3.2.9)

交流式電気炉、鑄造工程、従来型加熱装置、焼鈍装置といった従来設備のエネルギー消費量データは入手が困難である。そのため、各工程全体における対象エネルギー消費量を各設備におけるエネルギー消費量とした。また、これらの設備に省エネ設備のエネルギー消費量データの入手も困難なため、従来設備のエネルギー消費量から省エネ量を減じることでエネルギー消費量を求めた。

⑤技術コホートデータ (表3.2.10)

AIMエンドユースモデルの実行には、普及率に関する情報が2点以上必要となる。途中の経過年度の普及率は線形補間によって算出した。1点のみの情報しか得られなかった技術は、1973年度(第1次石油ショック)の翌年を技術導入開始年度と仮定することで補った。

表3.2.9 鉄鋼業技術データ(1)

工程	サービス生産用技術	技術種	技術段階	ユニットサイズ	総投資額 (円)	総投資額 (円/(t/year))	省エネ量	エネルギー消費量
コークス炉工程	コークス炉	1	1				0 石炭	0.00E+00 kcal / (t/year)
	コークス炉+コークス炉調湿装置	2	1			450	石炭 40000 kcal / t	-4.00E+04 kcal / (t/year)
電炉工程 (予熱)	予熱装置なし	1	1				0 電力	0.00E+00 kcal / (t/year)
	スクラップ予熱装置	2	1			40	電力 90000 kcal / t (2次換算)	-3.44E+04 kcal / (t/year)
電炉工程 (炉)	交流式電気炉	1	1			864 (=1080*0.8)	電力	4.50E+05 kcal / (t/year) (85 電炉工程の電力消費量)
	直流式電気炉	2	1			1080	電力 50000 kcal / t (2次換算)	4.31E+05 kcal / (t/year)
一貫製鉄所 鑄造工程	鑄造工程	1	1			2536 (=3170*0.8)	電力 炉ガス	1.37E+05 kcal / (t/year) 1.54E+05 kcal / (t/year) (85 鑄造工程の電力/炉ガス消費量)
	連続鑄造工程	2	1			3170	電力 炉ガス 175000 kcal / t (2次換算)	1.03E+05 kcal / (t/year) 6.64E+04 kcal / (t/year)
一貫製鉄所 加熱工程	従来型加熱装置	1	1			928 (=1160*0.8)	電力 炉ガス	1.37E+05 kcal / (t/year) 1.54E+05 kcal / (t/year) (85 加熱工程の電力/炉ガス消費量)
	直送圧延/熱片装入	2	1			1160	電力 炉ガス 30000 kcal / t (2次換算)	1.31E+05 kcal / (t/year) 1.39E+05 kcal / (t/year)
一貫製鉄所 焼鈍工程	焼鈍装置	1	1			3256 (=4070*0.8)	電力 炉ガス	1.37E+05 kcal / (t/year) 1.54E+05 kcal / (t/year) (85 焼鈍工程の電力/炉ガス消費量)
	連続焼鈍装置	2	1			4070	電力 炉ガス 10000 kcal / t (2次換算)	1.35E+05 kcal / (t/year) 1.49E+05 kcal / (t/year)

地球温暖化経済システム検討会中間報告書

地球温暖化対策ハンドブック

表3.2.10 鉄鋼業技術コホートデータ

工程	サービス生産用技術	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	出典			
コークス炉工程	コークス炉																						95%		地球温暖化対策ハンドブック			
	コークス炉+コークス炉潤滑装置																							5%		地球温暖化対策ハンドブック		
電炉工程(予熱)	予熱装置なし																							88%		地球温暖化対策ハンドブック		
	スクラップ予熱装置																50	52	55						12%		鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック	
電炉工程(炉)	交流式電気炉	739	746	746	722	716	705	706	683	644	630	626	604	601	590	566	555	540	514	490	482	476	100%	99%		鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック		
	直流式電気炉																					0	1	2	0%	1%	鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック	
一貫製鉄所 鑄造工程	鑄造工程	65																								7%	地球温暖化対策ハンドブック	
	連続鑄造工程	65		75	93	111	122	130	132	131	137	141	147	152	156	157	154	152	151	147	149				93%		鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック	
一貫製鉄所 加熱工程	従来型加熱装置				100%																					50%	地球温暖化対策ハンドブック	
	直送圧延/熟片受入				0%																						50%	地球温暖化対策ハンドブック
一貫製鉄所 焼鈍工程	焼鈍装置				100%																					57%	地球温暖化対策ハンドブック	
	連続焼鈍装置				0%																					43%	地球温暖化対策ハンドブック	
エネルギー回収用技術	コークス湿式消火設備					100%																				30%	地球温暖化対策ハンドブック	
	コークス乾式消火設備					0	6	9	9	12	12	16	19	23	24	26	29	31								70%	鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック	
	高炉設備																										0%	地球温暖化対策ハンドブック
	湿式高炉炉頂圧発電装置							100%																			90%	鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック
	乾式高炉炉頂圧発電装置							0	5	16	23	30	32	33	35	35	35	37	37								10%	鉄鋼年鑑 地球温暖化対策ハンドブック

(4) エネルギー転換およびエネルギー回収

サービス生産用技術の稼働に必要なエネルギーのうち、蒸気・電力は2次エネルギーであるため、AIM技術選択モデルでは、シナリオデータや技術選択によって1次エネルギーベースに分配した。

蒸気に関しては、工程別の蒸気消費量のデータの入手が困難であるため、サービス生産用エネルギー消費量に、蒸気生産に消費される1次エネルギーも含んだ形で計上した。

電力は、高炉による製鉄所と電気炉による製鉄所でその内訳が大きく異なるためにそれぞれの内訳の算出方法は異なる。高炉による製鉄所では電力の内訳を

- ・ 炉ガスによる自家発電
- ・ 高炉炉頂圧発電による廃熱回収発電
- ・ コークス消火設備による廃熱回収発電
- ・ 購入電力

の4つに区分した。1985年度の内訳は、石油等消費構造統計表より算定した(表3.2.11)。

電気炉による製鉄所では現在ほぼ100%に近い量が購入電力で賄われている。本モデルでは将来にわたっても100%購入電力によって賄われるとした。

①ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額(表3.2.12)

ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額の形式でのデータは用いていない。

②単位生産量当たりの総投資額(表3.2.12)

コークス湿式消火設備の投資額のデータは入手が困難なため、省エネ設備の投資額の8割をそれ

表3.2.11 電力エネルギー消費量

高炉による製鉄業

電力総消費量 32102 10 ⁹ kcal	購入電力	2000 10 ⁹ kcal	63%
	自家発電	1197 10 ⁹ kcal	37%
	火力=石炭系	10780304 1000kWh	77%
	水力	333 1000kWh	0%
	その他	3225191 1000kWh	23%

表3.2.12 鉄鋼業技術データ(2)

工程	エネルギー回収 用技術	技術 種	技術 段階	ユニットサイズ	総投資額 (円)	総投資額 (円/(t/year))	省エネ量	エネルギー消費量
エネルギー 回収用技術	コークス乾式 消火設備	1	1			3808 (=4760*0.8)		0.00E+00 kcal/(t/year)
	コークス湿式 消火設備	2	1			4760	電力 30000 kcal/t	-3.00E+04 kcal/(t/year)
	高炉設備	1	1			0		0.00E+00 kcal/(t/year)
	湿式高炉炉頂圧 発電装置	2	1			670	電力 10500 kcal/t	-1.05E+04 kcal/(t/year)
	乾式高炉炉頂圧 発電装置	3	1			710	電力 12000 kcal/t	-1.20E+04 kcal/(t/year)

地球温暖化対策ハンドブック

とした。

③省エネ量 (表3.2.12)

コークス乾式消火設備と高炉炉頂圧発電の電力回収量を計上した。電力回収量の原単位は、高炉による粗鋼生産量とした。

④エネルギー消費量 (表3.2.9)

従来装置であるコークス湿式消火設備のエネルギー消費量を0として、乾式消火設備のエネルギー消費量は電力回収量を負の値で計上した。

一方、高炉の電力回収に関しては、電力回収装置を設置しない場合のデータを「高炉」として計上し、エネルギー消費量は0とした。そして、高炉炉頂圧発電の電力回収量を負の値で計上した。

3.2.2 セメント工業

(1) 工程

日本における窯業・土石業の二酸化炭素排出量は1985年度に20.9MtC、1990年度に22.6MtCでそれぞれ製造業全体の17.0% (1985)、16.7% (1990) を占める。排出量のかなりの部分はセメント製造業における石灰石分解と石炭燃焼によるものであった。

セメント工業は、図3.2.3に示す工程でセメントの製造を行う。セメントの元となるポルトランドクリンカの製造には、原料工程と焼成工程がある。原料工程は、セメントの原料である石灰石、粘土、珪石、鉄原料等を乾燥、粉砕し、均一に混合(調合)する工程である。ここでは、主に粉砕、混合用の電力が消費された。焼成工程は、原料工程で作られた原料を1,450℃程度で半熔融状態になるまで加熱し、その後、急冷してポルトランドクリンカを製造する。

ポルトランドセメントは、95%のポルトランドセメントと5%の高炉スラグやフライアッシュなどから構成された。それに対して、混合セメントは、55%のポルトランドセメントと45%の高炉ス

ラグから構成されている。混合セメントはポルトランドセメントより仕上げ工程において消費するエネルギー量は若干多いが、高炉スラグを使用した分、原料工程や焼成工程に消費するエネルギー量が節約でき、しかも石灰石の使用を削減できた。そのため、高炉セメントのシェアの拡大は二酸化炭素削減に結びつく。しかし、1990年において混合セメントのシェアは18.2%にとどまっていた。この要因として高炉プラントが全国に10箇所しかないために需要地から遠隔になるという点があげられた。従って、混合セメントのシェアの拡大は産業調整の問題にまで発展する課題である。セメント工業の工程分類を表3.2.13に示した。

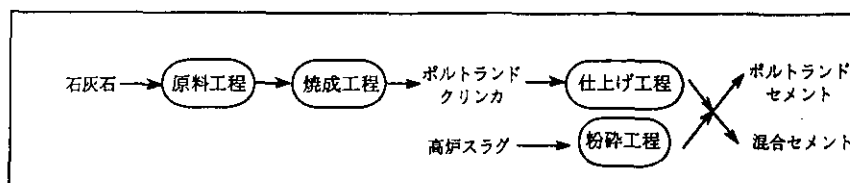


図3.2.3 セメントの製造工程

表3.2.13 セメント工業の工程分類

工程2	工程1	技術選択の有無
1 ポルトランド クリンカ原料工程	1 ポルトランドクリンカ原料工程(ミル)	有
	2 ポルトランドクリンカ原料工程(その他)	無
2 ポルトランド クリンカ焼成工程	3 ポルトランドクリンカ焼成工程(NSP/SP)	有
	4 ポルトランドクリンカ焼成工程(その他)	無
3 高炉スラグ運搬/水砕	5 高炉スラグ運搬/水砕	無
4 ポルトランド セメント仕上げ工程	6 ポルトランドセメント仕上げ工程(ミル)	有
	7 ポルトランドセメント仕上げ工程(その他)	無
5 混合セメント 仕上げ工程	8 混合セメント仕上げ工程(ミル)	有
	9 混合セメント仕上げ工程(その他)	無
6 その他	10 その他	無

セメント工業を取り扱う場合、セメントベースで行うよりもむしろクリンカベースで取り扱う方が望ましい。なぜなら、ポルトランドセメントや混合セメントの主要成分であるポルトランドクリンカと高炉スラグは工程の最後に混合されるもので、途中の製造段階の製法やエネルギー消費量が大きく異なるためである。しかし、将来予測等はセメントベースで論じられることが多い。そのため、AIMエンドユースモデルにおいてシナリオはセメントベースで与え、モデル内部でクリンカベースに換算して計算に用いている。セメントベースからクリンカベースでの換算方法は以下の通りである(図3.2.4)。

(2) エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

AIMエンドユースモデルのセメント工業の各工程別のエネルギー消費量は『省エネルギー総覧』(セメント協会調査)のデータを使用した。但し、仕上げ用エネルギー消費量に関してはポルトランドセメントと混合セメントの合計になっているため、分割する必要があった。

エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量の算定方法の詳細について以下に記述した。

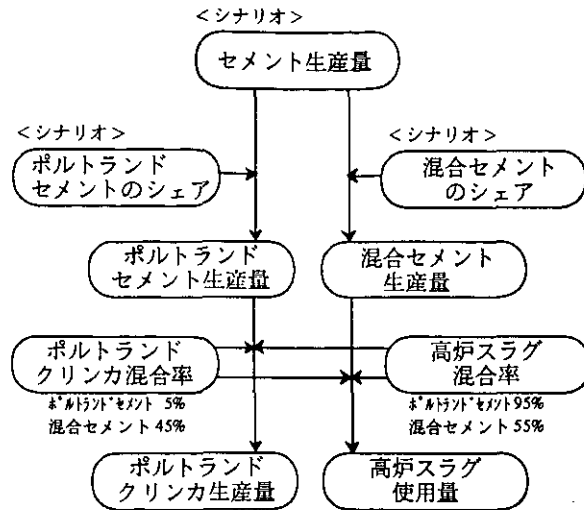


図3.2.4 セメント工業の各工程における生産量算出手順

①前提

ポルトランドセメントおよび混合セメントの定義は次のようにした。ポルトランドクリンカに対する主な混合物としては、高炉スラグの他、フライアッシュがあった。フライアッシュは、現在未燃炭素残留分の多さから利用が拡大していない（高炉スラグ使用量の数％）ことや、未燃炭素除去の技術の開発がSO_x規制との関係で現状では難しいため、本モデルにおいては考慮しない。

- ・ポルトランドセメント＝ポルトランドクリンカ（95％）＋高炉スラグ（5％）
- ・混合セメント＝ポルトランドクリンカ（55％）＋高炉スラグ（45％）

②仕上げ用エネルギー消費量の算出

『省エネルギー総覧』に仕上げ工程の総エネルギー消費量が計上されている。このデータはあくまでポルトランドセメントと混合セメントの両方の仕上げ工程に消費するエネルギー量である。将来的にそれらのシェアは推移していき、かつ、それぞれに消費されるエネルギー量が大きく異なる。そのため、仕上げ工程で消費するエネルギー量は、ポルトランドクリンカ用と高炉スラグ等粉砕用に分割する必要がある。

<電力>

- ・水砕スラグの乾燥・粉砕に必要な熱量＝70 kWh/t-スラグ（ヒアリング）
- ・仕上げ工程に必要な電力＝3122 10⁶ kWh
- ・仕上げ工程に必要な電力原単位＝X kWh/t-Pクリンカ
（ポルトランドクリンカ用）

$$\begin{aligned}
 & \text{ポルトランドセメント生産量} \times 0.95 \times X + \text{ポルトランドセメント生産量} \times 0.05 \times 70 \\
 & + \text{混合セメント生産量} \times 0.55 \times X + \text{混合セメント生産量} \times 0.45 \times 70 \\
 & = \text{仕上げ工程に必要な電力}
 \end{aligned}$$

$$X = 39.987$$

<石炭・重油>

・水砕した高炉スラグの乾燥のみに消費されるとした。

③各工程別エネルギー消費量および単位エネルギー消費量

表3.2.14に、1985年度の各工程別エネルギー消費量および単位エネルギー消費量を示す。仕上げ工程のポルトランドセメントおよび混合セメントにおけるエネルギー消費量は、②において計算した値を用いた。

表3.2.15は、表3.2.14に発熱量を乗じてkcalベースで表示したものであった。燃料別の発熱量は「総合エネルギー統計」の値を用いた。

④電力用エネルギー消費量

表3.2.16は、セメント工業における電力消費量の内訳を示したものであった。

(3) サービス生産用技術

①ユニットサイズおよび総投資額 (表3.2.17)

ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額の形式でのデータがある技術に関しては、それらより単位生産量当たりの総投資額を算定した。

②単位生産量当たりの総投資額 (表3.2.17)

従来設備の投資額のデータの入手が困難な設備に関しては、省エネ設備の投資額の8割をそれとした(ヒアリング)。

③省エネ量 (表3.2.17)

省エネ量が電力量で表現されているデータは、860kcal/kWhで換算した。

④エネルギー消費量 (表3.2.17)

従来設備のエネルギー消費量データは入手が困難であった。そのため、各工程全体における対象エネルギー消費量を各設備におけるエネルギー消費量とした。また、これらの設備に省エネ設備のエネルギー消費量データの入手も困難なため、従来設備のエネルギー消費量から省エネ量を減じることでエネルギー消費量を求めた。

表3.2.14 各工程別エネルギー消費量および単位エネルギー消費量 (固有単位: 1985年度)

	生産量	工程	燃料種	単位エネルギー消費量	エネルギー消費量
ポルトランド クリンカ	21,410 10**3 t	原料	石炭	0.14 kg/t	10.00 10**3 t
			重油	0.14 l/t	10.00 10**3 kl
			電力	30.56 kWh/t	2,182.00 10**6 kWh
			その他	0.00 l/t	0.00 10**3 kl
		焼成	石炭	112.31 kg/t	8,020.00 10**3 t
			重油	0.56 l/t	40.00 10**3 kl
			電力	28.83 kWh/t	2,059.00 10**6 kWh
			その他	1.54 l/t	110.00 10**3 kl
ポルトランド セメント	61,713 10**3 t	仕上げ	石炭	0.13 kg/t	7.90 10**3 t
			重油	0.06 l/t	3.95 10**3 kl
			電力	41.49 kWh/t	2,560.33 10**6 kWh
			その他	0.00 l/t	0.00 10**3 kl
混合セメント	10,500 10**3 t	仕上げ	石炭	1.15 kg/t	12.10 10**3 t
			重油	0.58 l/t	6.05 10**3 kl
			電力	53.49 kWh/t	561.67 10**6 kWh
			その他	0.00 l/t	0.00 10**3 kl
その他	75,727 10**3 t	その他	石炭	0.00 kg/t	0.00 10**3 t
			重油	0.16 l/t	10.00 10**3 kl
			電力	13.21 kWh/t	815.00 10**6 kWh
			その他	0.00 l/t	0.00 10**3 kl

仕上げ
エネルギー総消費量
20 10**3 t
10 10**3 kl
3122 10**6 kWh
0.10**3 kl

■ : セメントハンドブック

■ : 省エネルギー総覧

表3.2.15 各工程別エネルギー消費量および単位エネルギー消費量（固有単位：1985年度）

	生産量	工程	燃料種	単位エネルギー消費量	エネルギー消費量	発熱量
ポルトランド クリンカ	71,410 10**3 t	原料	石炭	8.61E+02 kcal / t	6.15E+10 10**3 kcal	6148 kcal / kg
			重油	1.35E+03 kcal / t	9.66E+10 10**3 kcal	9664 kcal / l
			電力	2.63E+04 kcal / t	1.88E+12 10**6 kcal	860 kcal / kWh
			その他	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	
		焼成	石炭	6.91E+05 kcal / t	4.93E+13 10**3 kcal	6148 kcal / kg
			重油	5.41E+03 kcal / t	3.87E+11 10**3 kcal	9664 kcal / l
ポルトランド セメント	61,713 10**3 t	仕上げ	電力	2.48E+04 kcal / t	1.77E+12 10**6 kcal	860 kcal / kWh
			石油コークス	1.42E+04 kcal / t	1.02E+12 10**3 kcal	9250 kcal / l
混合セメント	10,500 10**3 t	仕上げ	石炭	7.87E+02 kcal / t	4.86E+10 10**3 kcal	6148 kcal / kg
その他	75,727 10**3 t	その他	重油	6.19E+02 kcal / t	3.82E+10 10**3 kcal	9664 kcal / l
			電力	3.57E+04 kcal / t	2.20E+12 10**6 kcal	860 kcal / kWh
			その他	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	
			石炭	7.08E+03 kcal / t	7.44E+10 10**3 kcal	6148 kcal / kg
その他	75,727 10**3 t	その他	重油	5.57E+03 kcal / t	5.85E+10 10**3 kcal	9664 kcal / l
			電力	4.60E+04 kcal / t	4.83E+11 10**6 kcal	860 kcal / kWh
			その他	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	
			石炭	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	
その他	75,727 10**3 t	その他	重油	1.57E+03 kcal / t	9.66E+10 10**3 kcal	9664 kcal / l
			電力	1.14E+04 kcal / t	7.01E+11 10**6 kcal	860 kcal / kWh
			その他	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	
			石炭	0.00E+00 kcal / t	0.00E+00 10**3 kcal	

・焼成工程のその他の燃料は全て石油コークスとする。

●石炭発熱量 (1985年度)	窯業/土石石炭消費量 (総合エネルギー統計)	8716 10**3 t / year
		5359 10**10 kcal / year
		6148.462598 kcal / kg
●重油発熱量	窯業/土石重油消費量 (総合エネルギー統計)	2468 10**3 kl / year
		2385 10**10 kcal / year
		9663.6953 kcal / l

表3.2.16 電力用エネルギー消費量（1985年度）

電力総消費量 8,178.00 10**6kWh	購入電力 5326 10**6kWh	2852 10**6kWh	65%	4.58E+12 kcal
			35%	2.45E+12 kcal
	廃熱/余熱発電	1156 10**6kWh	39%	9.94E+11 kcal
	ディーゼル	1845 10**6kWh	61%	3.53E+12 kcal
	所内利用	150 10**6kWh	0.45	

「エネルギー経済 Vol.15 NO.8」

⑤技術コホートデータ（表3.2.18）

AIM エンドユースモデルの実行には、普及率に関する情報が2点以上必要となった。途中の経過年度の普及率は線形補完によって算出した。1点のみの情報しか得られなかった技術は、1973年度（第1次石油ショック）の翌年を技術導入開始年度と仮定することで補った。

（4）エネルギー転換およびエネルギー回収

サービス生産用技術の稼働に必要なエネルギーのうち、蒸気・電力は2次エネルギーであるため、AIM 技術選択モデルでは、シナリオデータや技術選択によって1次エネルギーベースに分配した。

蒸気に関しては、工程別の蒸気消費量のデータの入手が困難であるため、サービス生産用消費エネルギー量に、蒸気生産に消費される1次エネルギーも含んだ形を計上した。

各基礎製品の製造に必要な電力量は、シナリオに基づき自家発電量と購入電力量に分配した。自家発電の消費エネルギー構成は、ディーゼル発電と廃熱発電との間の技術選択によって決定された。

表3.2.17 セメント工業 技術データ

工程	サービス生産用技術	技術種	技術段階	ユニットサイズ (年300日稼働)	総投資額 (円)	総投資額 (円/(Year))	省エネ量	エネルギー消費量
ポルトランド クリンカ 原料工程	チューブミル	1	1			1304 (=1630*0.8)	電力	2.63E+04 kcal/(t/year) (85 原料工程のエネルギー消費量)
	予備粉砕機	1	2	4000 t/day	1,000,000,000	833 709	電力 8 kWh/t	6880 kcal/t 1.94E+04 kcal/(t/year)
	整型ミル	2	1	4000 t/day	2,300,000,000	1917 1630	電力 7 kWh/t	6020 kcal/t 2.03E+04 kcal/(t/year)
ポルトランド クリンカ 焼成工程	NSP/SP 以外	1	1			2208 (=2760*0.8)	石炭	2.95E+04 kcal/(t/year)
	NSP/SP	2	1			2760	石炭	2.95E+04 kcal/(t/year)
	流動床焼成炉	3	1			4140 (NSP/SP*1.5)	石炭	285000 kcal/t 4.33E+05 kcal/(t/year)
ポルトランド セメント 仕上げ工程	チューブミル	1	1			1984 (=2480*0.8)	電力	3.57E+04 kcal/(t/year) (85 仕上げ工程のエネルギー消費量)
	予備粉砕機	1	2	4000 t/day	1,000,000,000	833 1630	電力 8 kWh/t	6880 kcal/t 2.88E+04 kcal/(t/year)
	仕上げミル	2	1	4000 t/day	3,500,000,000	2917 2480	電力 11 kWh/t	9460 kcal/t 2.62E+04 kcal/(t/year)
混合セメント 仕上げ工程	チューブミル	1	1			1984 (=2480*0.8)	電力	4.60E+04 kcal/(t/year) (85 仕上げ工程のエネルギー消費量)
	予備粉砕機	1	2	4000 t/day	1,000,000,000	833 1630	電力 8 kWh/t	6880 kcal/t 3.91E+04 kcal/(t/year)
	仕上げミル	2	1	4000 t/day	3,500,000,000	2917 2480	電力 11 kWh/t	9460 kcal/t 3.65E+04 kcal/(t/year)
エネルギー 転換技術	ディーゼル発電					0.15 (円/kcal)	軽油	2.5 kcal/kcal (変換効率 25%と仮定)
エネルギー 回収技術	廃熱発電					0.32 (円/kcal)	回収熱	1 kcal/kcal (燃費なし、回収熱燃料のため、支障なし)

[地球温暖化防止対策ハンドブック]
[エネルギー経済 vol.15 NO.8]
[地球温暖化経済システム検討会 中間報告書]

表3.2.18 セメント工業 技術コホートデータ

		70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	出典	
ポルトランド クリンカ 原料工程	チューブミル																									地球温暖化防止対策ハンドブック
	予備粉砕機			100%																				63%		
	整型ミル			0%																				0%		
: 第1次石油ショック年の翌年を省エネ技術導入年と仮定																										
ポルトランド クリンカ 焼成工程	NSP/SP 以外				182	176	175	160	157	138	118	104	101	27	23	23	12	12	12	12	9	9			セメント年鑑	
	NSP/SP				75%	72%	71%	69%	68%	64%	58%	54%	53%	25%	22%	22%	14%	15%	15%	15%	11%	11%			セメント年鑑	
	流動床焼成炉				25%	28%	29%	31%	32%	36%	42%	46%	47%	75%	78%	78%	86%	85%	85%	85%	89%	89%	0	0	0	
ポルトランド セメント 仕上げ工程	チューブミル																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
	予備粉砕機																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
	仕上げミル																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
混合セメント 仕上げ工程	チューブミル																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
	予備粉砕機																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
	仕上げミル																								仕上げ工程に関する実態調査(セメント協会)	
エネルギー 転換部門	ディーゼル 発電												2295	2085	2542	3017	3149	3002	3063	3041	3332				エネルギー経済 vol.15 no.8	
エネルギー 回収部門	廃熱発電												723	743	805	1021	1211	1156	1281	1395	1430				エネルギー経済 vol.15 no.8	

3.2.3 石油化学工業

(1) 工程

日本における化学工業の二酸化炭素排出量は1985年度に14.5MtC、1990年度に16.1MtCでそれぞれ製造業全体の11.9% (1985)、11.8% (1990) を占める。排出量の多くを石油系燃料および電力が占めている。AIM エンドユースモデルでは化学工業のうちエネルギー多消費である有機化学製品にしばってシミュレーションを行なった。石油化学工業の製造工程を図3.2.7に示した。

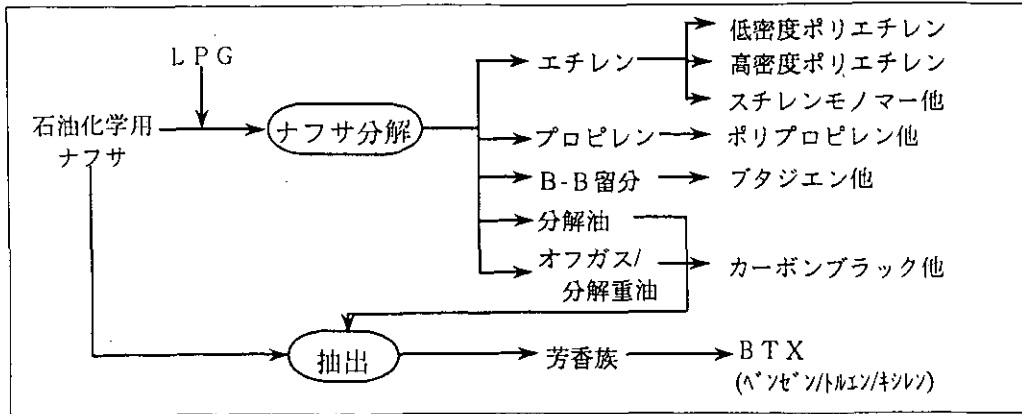


図3.2.7 石油化学工業の製造工程

エンドユースモデルでは、表3.2.19に示すように石油化学工業の工程を分類し製品別にエネルギー消費量を算出した。石油化学工業製品のうち生産量と消費エネルギーの多いエチレン、低密度ポリエチレン (LDPE)、高密度ポリエチレン (HDPE)、ポリプロピレン (PP)、BTX (ベンゼン/トルエン/キシレン) を取り上げ、その他の製品は合わせて「その他の製品」とした。

表3.2.19 石油化学工業の工程分類

工程1	工程2	技術選択の有無
1 ナフサ分解工程	1 ナフサ分解工程	有
	2 ナフサ分解工程その他	無
2 低密度ポリエチレン製造工程	3 低密度ポリエチレン製造工程	有
	4 低密度ポリエチレン製造工程その他	無
3 高密度ポリエチレン製造工程	5 高密度ポリエチレン製造工程	無
4 ポリプロピレン製造工程	6 ポリプロピレン製造工程	有
	7 ポリプロピレン製造工程その他	無
5 BTX製造工程	8 BTX製造工程	無
6 その他製品	9 その他製品	無

(2) エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

エンドユースモデルのエネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量の算定には『総合エネルギー統計』と『石油等消費構造統計表』のデータを主に用いた。



『総合エネルギー統計』の化学工業のデータを基本としたが、このデータは有機化学工業 (=石油化学工業) と無機化学工業のそれぞれが計上されていない。そのため有機化学工業のエネルギー消費量を算出した場合、『石油等消費構造統計表』のデータを用い、『総合エネルギー統計』のデータを按分した。

エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量の算定方法の詳細については以下に記述した。

①化学工業および石油化学工業のエネルギー消費量 (表3.2.20)

表3.2.20 化学工業および石油化学工業のエネルギー消費量（1985年度）

		A F						G J						M N				
		石油等		石油等		石油等		修正		按分後		按分後		石油等				
		20	203	20-203	20	203	20-203	総合計	総合計	203	20-203	ボイラ用	直接加熱	ボイラ用	直接加熱			
化学工業	有機化学	有機以外	化学工業	有機化学	有機以外	化学工業	化学工業	有機化学	有機以外	有機化学	有機化学	有機化学	有機化学					
原油	kl	148238	148238	0	159949	155205	4744	10*10kcal	13	13								
揮発油	kl	3203	3203	611	2592	3456	640	10*10kcal	0	0	0	0						
ナフサ	kl	21090208	21008801	81407	22756334	21996215	760120	10*10kcal	3804.8	3804.8	3790	15			3105	0	1902	
改質生成油	kl	3453366	3453362	4	3726182	3615670	110512	10*10kcal										
灯油	kl	550091	370389	179702	593548	387797	205751	10*10kcal	232	232	156	76	42727	67328	19	237		
軽油	kl	13186	8629	4557	14228	9035	5193	10*10kcal	2	2	1	1	4983	4				
重油	kl	733044	3662633	3675411	7917749	3834777	4082973	10*10kcal	3316	3516	1755	1761	3334428	196679	1385	370		
炭化水素油	kl	1392978	1046245	346733	1503023	1095419	407605	10*10kcal	668013				282589		0	0		
LPG	t	2558870	2446772	112098	2761021	2561770	199250	10*10kcal	516	516	493	23	99105	318456	258	258		
石油系炭化水素	1000m3	3775297	3695330	79967	4073545	3869011	204535	10*10kcal					454287	2790756	0	0		
石油コークス	t	854859	365038	489821	922393	382195	540198	10*10kcal	220	220	94	126	190217	14525	70	24		
石炭	t	6015892	3723130	2292762	6491147	3898117	2593030	10*10kcal	1242	1242	769	473	1519830	446248	330	439		
石炭コークス	t	323907	128815	195092	349496	134869	214626	10*10kcal	192	192	76	116		37876	0	76		
コークス炉ガ	1000m3	858673	693941	164732	926508	726556	199952	10*10kcal	173	173	140	33	171318	453349	11	129		
高炉ガス	1000m3	10197	9769	428	11003	10228	774	10*10kcal	16	1	1	0	9769		1	0		
転炉ガス	1000m3	64072	34139	29933	69134	35744	33390	10*10kcal		15	8	7	34139		8	0		
電気炉ガス	1000m3	82788	35272	47516	89328	36930	52398	10*10kcal					35272		0	0		
天然ガス	1000m3	644456	555585	88871	695368	581697	113671	10*10kcal	622	627	541	86	44796	147433	34	507		
LNG	t	116103	111088	5015	125275	116309	8966	10*10kcal	0	0	0	0	5597	58572	0	0		
都市ガス	1000m3	120998	30644	90354	130557	32084	98473	10*10kcal	273	275	70	205	24878	5083	36	33		
電気事業者	1000kW	31277670	16234759	15042911	33748606	16997793	16750813	10*10kcal	2673	2673	1387	1286					石油系	1732
自家発電	1000kW	19213350	11709530	7503820	20731295	12259878	8471327	10*10kcal	1547	1547	943	604					非石油系	1184
電力計	1000kW	50491020	27944289	22546731	54479811	29257671	25222140	10*10kcal	4220	4220	2330	1890						
															生産用		20353671	
															自家費用		71871450	
															補正係数		1.079	
															補正係数		1.047	

 : 石油等消費構造統計表
 : 総合エネルギー統計

・『石油等消費構造統計表』の化学工業（20）および有機化学工業製品製造業（203）のデータを使用した。（A、B）

また、両者の差より有機化学工業以外での消費エネルギー量を算定した。（C）

・『石油等消費構造統計表』は従業者数30人以上の事業者を対象とした調査である為、全事業者対象の値へ補正する必要があった。

ここでは、以下の方法にて補正係数を算出し、各エネルギー消費量に乗じた。（D～F）

$$\text{補正係数} = \frac{\text{各業種別製造品出荷額（全数）}}{\text{各業種別従業者数30人以上の事業者の製造出荷額}}$$

化学工業 : 補正係数=1.079

有機化学工業 : 補正係数=1.047

・『総合エネルギー統計』の化学工業のデータを使用した。（G）

・『総合エネルギー統計』では、高炉ガスと転炉ガスの両消費量の合計値のみが計上されていた。この2つのガスは、発熱量に大きな違いがあった為に、合計値をそれぞれの消費量×発熱量で按分した。（H）

・修正した『総合エネルギー統計』の値を、補正後の『石油等消費統計構造表』のデータ（E、F）を用いて按分した。（I、J）

なお、ナフサとLPGは主に原料として利用されるが、その2割は燃料として利用されるという報告がある（森口ら、1992）。従って、この2つに関しては消費量の2割を計上した。

- ・『石油等消費構造統計表』のボイラ用および直接加熱用燃料消費量を使用した。(K、L)
- ・『総合エネルギー統計』を按分して算出した有機化学の消費燃料量(I)を、さらにボイラ用および直接加熱用に按分した。(M、N)

但し、『総合エネルギー統計』のエネルギー別消費量には、自家発電用エネルギーは含まれていない。そのため、『石油等消費構造統計表』のボイラ用燃料を同統計の生産工程用および自家発電用蒸気生産量によって按分した後、直接加熱用燃料との按分を行った。

②直接加熱用エネルギー(表3.2.21)

- ・消費燃料別の消費エネルギーの合計値は、表3.2.20のM列を使用した。
- ・製品別の燃料消費量の合計値は、石化連盟資料を使用した。燃料別消費量の合計値を利用してそれぞれの製品の燃料消費量の合計値を消費燃料別に按分した。
- ・その他の製品の消費エネルギー量は、合計値から各製品のエネルギー消費量を差し引いた値。

③電力消費量(表3.2.22)

- ・合計値は表3.2.20のI列の電力計を、製品別電力消費量は石化連盟資料を使用した。
- ・その他の製品の消費電力量は、合計値から各製品のエネルギー消費量を差し引いた値。

④電力内訳および目的別蒸気消費量(表3.2.23)

- ・『石油等消費構造統計表』より購入電力、自家発電(水力、火力、その他)の内訳を算出した。
- ・さらに火力による自家発電量を『石油等消費構造統計表』より石油系燃料と非石油系燃料に按分した。
- ・自家発電用蒸気量を石油系および非石油系燃料による自家発電量より、変換効率を0.4と仮定して算出した。
- ・表3.2.20のM列のボイラ用燃料消費量を石油系と非石油系に積算した。そして、蒸気変換効率を0.88と仮定して総蒸気生産量を算定した。
- ・総蒸気消費量から自家発電用蒸気消費量を差し引いて、生産工程用蒸気生産量を算定した。

⑤生産工程用蒸気消費量(表3.2.24)

- ・総蒸気消費量は表3.2.20の値であった。製品別蒸気消費量は、環境庁資料を使用した。

⑥エネルギー消費量および単位エネルギー消費量(表3.2.25)

- ・表3.2.20～3.2.24を整理した表。単位エネルギー消費量は各製品の生産量(環境庁資料)でエネルギー消費量を割ったものであった。

表3.2.21 直接加熱用エネルギー(1985年度)

単位: 10⁹ kcal

	合計	エチレン	LDPE	HDPE	PP	BTX	その他
1 石炭	4388.16	3029.26	5.32	0.45	3.74	606.71	742.68
2 石炭コークス	763.57	527.11	0.93	0.08	0.65	105.57	129.23
3 炉ガス	1290.48	890.85	1.56	0.13	1.10	178.42	218.41
4 ガソリン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 灯油	1370.70	946.23	1.66	0.14	1.17	189.51	231.99
6 軽油	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 重油	3701.13	2554.98	4.49	0.38	3.15	511.72	626.41
8 その他石油製品	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9 LPG	2580.00	1781.04	3.13	0.27	2.20	356.71	436.66
10 ガス	5400.49	3728.09	6.55	0.56	4.60	746.68	914.02
15 石油コークス	241.49	166.70	0.29	0.02	0.21	33.39	40.87
16 ナフサ	19024.00	13132.74	23.07	1.96	16.20	2630.28	3219.76
合計	38760.02	26757.00	47.00	4.00	33.00	5359.00	6560.02

□ : 表3.2.20より

■ : 環境庁資料より

表3.2.22 電力消費量 (1985年度)

単位: 10⁹ kcal

	合計	エチレン	LDPE	HDPE	PP	BTX	その他
12 消費電力	23302	195	1252	405	689	397	20364

□ : 表3.2.20より
 ■ : 環境庁資料より

表3.2.23 電力内訳および目的別蒸気消費量 (1985年度)

		(1000kWh)	(10 ⁹ kcal)			自家発電 生産工程 総蒸気		
						用蒸気	用蒸気	生産量
						(10 ⁹ kcal)	(10 ⁹ kcal)	(10 ⁹ kcal)
購入電力		16234759	58.10%	13874	13874			
自家発電	水力	1151943	4.12%	928	928			
	火力	30306420	36.88%		8298			
	その他	251167	0.90%		202			
合計	27944289	100.00%	23302	23302				

		(1000kWh)	(10 ⁹ kcal)		
石油系燃料		7341235	71%	5910.94	変換効率
非石油系燃料		2965185	29%	2387.48	0.4

◇◇◇◇ : 総合エネルギー統計

表3.2.24 生産工程用蒸気消費量

単位: 10⁹ kcal

	合計	エチレン	LDPE	HDPE	PP	BTX	その他
13 消費蒸気	25661	1452	339	490	1621	2629	22034

表3.2.25 石油化学工業エネルギー消費量および単位エネルギー消費量

上段: エネルギー消費量 10⁹ kcal
 下段: 単位エネルギー消費量 10³ kcal / t

	合計	エチレン	LDPE	HDPE	PP	BTX	その他
サービス量(t)	4226898	4226898	1120128	786203	1303826	4408655	4226898
1 石炭	1038.15	716.66	4.75	0.58	2.87	137.62	175.70
	245.61	169.55	4.24	0.73	2.20	31.22	41.57
2 石炭コークス	180.64	124.70	0.83	0.10	0.50	23.95	30.57
	42.74	29.50	0.74	0.13	0.38	5.43	7.23
3 炉ガス	305.30	210.76	1.40	0.17	0.84	40.47	51.67
	72.23	49.86	1.25	0.22	0.65	9.18	12.22
4 ガソリン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 灯油	324.28	223.86	1.48	0.18	0.90	42.99	54.88
	76.72	52.96	1.32	0.23	0.69	9.75	12.98
6 軽油	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 重油	875.61	604.46	4.01	0.49	2.42	116.07	148.20
	207.15	143.00	3.58	0.62	1.85	26.33	35.06
8 その他石油製品	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9 LPG	610.38	421.36	2.79	0.34	1.68	80.91	103.30
	144.40	99.68	2.49	0.43	1.29	18.35	24.44
10 ガス	1277.65	881.99	5.85	0.71	3.53	169.37	216.24
	302.27	208.66	5.22	0.90	2.70	38.42	51.16
15 石油コークス	57.13	39.44	0.26	0.03	0.16	7.57	9.67
	13.52	9.33	0.23	0.04	0.12	1.72	2.29
16 ナフサ	4500.70	3106.94	20.59	2.50	12.42	596.62	761.73
	1064.78	735.04	18.39	3.18	9.53	135.33	180.21
12 電力	5512.89	46.22	1117.54	515.13	528.75	89.95	4817.79
	1304.24	10.93	997.69	655.21	405.54	20.40	1139.79
13 蒸気	6070.90	-343.51	302.64	623.25	1243.26	596.33	5212.82
	1436.25	-81.27	270.19	792.73	953.55	135.26	1233.25
合計	10274.48	7092.73	61.03	8.38	35.19	1355.96	1738.93
	2430.74	1678.00	54.49	10.66	26.99	307.57	411.40

(3) サービス生産用技術

①ユニットサイズおよび総投資額 (表3.2.26)

ユニットサイズおよびユニットサイズ当たりの総投資額の形式でのデータがある技術に関しては、それらより単位生産量当たりの総投資額を算定した。

②単位生産量当たりの総投資額 (表3.2.26)

従来設備の投資額のデータは入手が困難なため、省エネ設備の投資額の8割をそれとした(ヒアリング)。

③省エネ量 (表3.2.26)

高性能ポリプロピレン製造装置の省エネ量は電力量発熱量が2250kcal/kWhで表現されているため、860kcal/kWhで換算した。

④エネルギー消費量 (表3.2.26)

従来設備のエネルギー消費量データは入手が困難であった。そのため、各工程全体における対象エネルギー消費量を各設備におけるエネルギー消費量とした。また、これらの設備に省エネ設備のエネルギー消費量データの入手も困難なため、従来設備のエネルギー消費量から省エネ量を減じたことでエネルギー消費量を求めた。

⑤技術コホートデータ (表3.2.27)

AIM エンドユースモデルの実行には、普及率に関する情報が2点以上必要となった。途中の経過年度の普及率は線形補完によって算出した。1点のみの情報しか得られなかった技術は、1973年度(第1次石油ショック)の翌年を技術導入開始年度と仮定することで補った。

(4) エネルギー転換およびエネルギー回収 (表3.2.26、表3.2.27参照)

各基礎製品の製造に必要な電力量は、シナリオに基づき自家発電量と購入電力量に分配した。自家発電の消費エネルギーは、従来型ボイラと低空気比化ボイラとの間の技術選択によって決定された。また、各基礎製品の製造に必要な蒸気量の消費エネルギーの構成も、同様であった。

表3.2.26 石油化学工業 技術データ

工程	サービス生産用技術	ユニットサイズ	総投資額 (円)	総投資額 (円/(t/year))	省エネ量	エネルギー消費量
エチレン 製造工程	ナフサ分解 +分解反応装置			14667	ナフサ	3.84E+06 kcal / (t / year)
	ナフサ分解 +高性能分解反応装置	60000 (t / year)	1,100,000,000	18333	ナフサ 1500 Mcal / t	2.34E+06 kcal / (t / year)
低密度 ポリエチレン 製造工程	ポリエチレン製造装置			72000	電力	1.12E+06 kcal / (t / year)
	高性能ポリエチレン 製造装置	100000 (t / year)	9,000,000,000	90000	電力 520 Mcal / t	5.98E+05 kcal / (t / year)
ポリプロピレン 製造工程	ポリプロピレン 製造装置			100000	電力	6.00E+05 kcal / (t / year)
	高性能ポリプロピレン 製造装置	80000 (t / year)	10,000,000,000	125000	電力 1400 Mcal / t 535.1111 Mcal / t	6.49E+04 kcal / (t / year)
エネルギー 転換部門	自家発電用重油ボイラ			1.30E-03 (円 / kcal)	重油	1.17 kcal / kcal
	自家発電用重油ボイラ (低空気比化)			1.59E-03 (円 / kcal)	重油	1.10 kcal / kcal
	生産工程用重油ボイラ			1.30E-03 (円 / kcal)	重油	1.17 kcal / kcal
	生産工程用重油ボイラ (低空気比化)			1.59E-03 (円 / kcal)	重油	1.10 kcal / kcal

「地球温暖化防止対策ハンドブック」

メーカヒアリング

積算基礎業務マニュアルより算定

表3.2.27 石油化学工業 技術コホートデータ

		70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	出典	
エチレン製造工程	ナフサ分解																								30%	メーカーヒアリング
	ナフサ分解+ 高性能分解反応装置																								30%	メーカーヒアリング
低密度ポリエチレン製造工程	ポリエチレン製造装置																								70%	メーカーヒアリング
	高性能ポリエチレン製造装置																								30%	メーカーヒアリング
ポリプロピレン製造工程	ポリプロピレン製造装置																								91%	地球温暖化対策ハンドブック
	高性能ポリプロピレン製造装置																								9%	地球温暖化対策ハンドブック
エネルギー転換用技術	自家発電用 重油ボイラ																100%									仮定
	自家発電用 低空気比化																0									仮定
	生産工程用 重油ボイラ																100%									仮定
	生産工程用 低空気比化																0									仮定

3.2.4 紙パルプ工業

(1) 生産工程

紙パルプ工業における二酸化炭素排出量は1985年度に8.2MtC、1990年度に10.3MtCでそれぞれ製造業全体の6.7% (1985)、7.5% (1990) を占める。

紙パルプの製造工程は図3.2.8に示すように、化学パルプ・機械パルプ・古紙パルプの3種の製造方法で作られたパルプから洋紙または板紙を製造する工業である。古紙パルプの使用はエネルギー消費量の削減につながる。しかし、古紙用紙の大量生産には新規に設備を導入しなければならない。しかも、将来古紙使用の用紙の利用が伸びるかどうかという不透明さが古紙再生用プラントの増設への妨げとなっている。実際、近年の環境ブームで古紙回収率が上昇してもそれに見合うだけの需要が発生せず、古紙引き取り価格は暴落している。

紙パルプ工業における生産工程の分類を表3.2.28に示した。

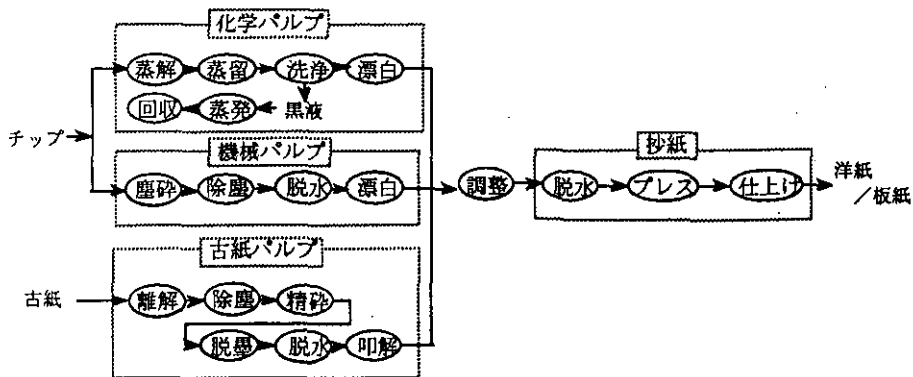


図3.2.8 紙パルプ工業の製造工程

表3.2.28 紙パルプ工業の工程分類

階層2	階層1	技術選択
1 クラフトパルプ	1. クラフトパルプ蒸解工程	あり
	2. クラフトパルプ洗浄工程	あり
	3. クラフトパルプ漂白工程	あり
	4. クラフトパルプ蒸発工程	あり
	5. クラフトパルプその他	なし
2 クラフトパルプ以外の化学パルプ	6 クラフトパルプ以外の化学パルプ	なし
3 機械パルプ	7 機械パルプ	なし
4 古紙パルプ	8 古紙パルプ	なし
5 洋紙	9 洋紙プレス	あり
	10 洋紙その他	なし
6 板紙	11 板紙脱水	あり
	12 板紙その他	なし
7 環境その他	13 環境その他	なし
8 間接部門	14 間接部門	なし

(2) エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

年間のエネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量の算定方法を以下に記述した。

①年間のエネルギー消費量

石油等消費構造統計表のデータを用いて年間の燃料別エネルギー消費量を算定する。表3.2.29に1985年の年間エネルギー消費量を示す。統計表に記載されている燃料消費量に発熱量を掛けて使用燃料の発熱量を求める。購入電力・水力については、電力の購入、自家発電、消費及び販売表の買電および自家発電の水力の欄に記載されているデータを用いた。kWhとkcalの変換には860kcal/kWhを用いた。

②電力および蒸気消費量

購入燃料および回収燃料を電気あるいは蒸気に変換して生産工程で使用する。1985年の変換効率については図3.2.9のように仮定した。図3.2.9の1次エネルギーの消費量は表3.2.29のデータを使用した。但し、回収黒液と計上されている消費量のうち6.2%をバークとし、残りを廃液とした。自家発電用および生産工程用蒸気発生量は、石油等消費構造統計表に記載されている値に639kcal/kgを乗じたものである。

③エネルギー原単位

工程別のエネルギー原単位およびエネルギー消費量を表3.2.30に示す。原単位はクラフトパルプについては、地球温暖化防止対策ハンドブック（環境庁）の値を、その他は、第6回エネルギー実態調査報告の値を用いた。その他回収パルプの原単位は、化学パルプの原単位を使用した。溶解パルプは電力原単位が機械パルプよりその他回収パルプに近いのでその他回収パルプに含めた。パルプ生産量に占める割合が2.69%なので特に独立させず一緒に処理した。機械パルプの電力消費量は省エネルギー便覧などに記載されている値より少ない目である。パルプ統計のうち、その他16.6千tは計算に入れていない。表3.2.30に記載されている原単位に発熱量を乗じてKcalに直した。これに生産量を掛けて年間のエネルギー消費量を求めた。図3.2.9で求めた1985年の電力、蒸気、直接燃料の値をこの年間エネルギー消費量の割合に従って案分したものを各工程のエネルギー消費量とした。エネルギー消費量および単位サービス当たりのエネルギー消費量を表3.2.31に示す。

表3.2.29 紙パルプ分野でのエネルギー消費量

	燃料消費量				消費(発熱量換算) 10 ¹⁰ kcal				パルプ・紙製造		
	※行-用	直接加熱用	その他	単位	発熱量kcal	※行-用	直接加熱用	その他	合計	原油千kl	10 ¹⁰ kcal
灯油	34.1	20.2	17.3	10 ³ kl	8900 /l	30.4	18.0	15.4	63.7	67.8	63.7
軽油	0.1	0.1	4.8	10 ³ kl	9200 /l	0.1	0.1	4.4	4.6	4.9	4.6
重油計	4,292.1	329.0	41.1	10 ³ kl		4,237.1	325.2	40.1	4,602.5	4,896.2	4,602.5
A重油	162.4	6.8	7.3	10 ³ kl	9200 /l	149.4	6.2	6.7	162.4	172.7	162.4
B重油	21.3	0.3	0.2	10 ³ kl	9600 /l	20.4	0.3	0.2	20.9	22.2	20.9
C重油	4,108.4	321.9	33.6	10 ³ kl	9900 /l	4,067.3	318.6	33.3	4,419.2	4,701.3	4,419.2
液化ガス(LPG)	41.1	17.1	3.4	10 ³ t	12000 /kg	49.3	20.5	4.1	73.9	78.7	73.9
石油系燃料計	78.4	10.4	0.1	10 ³ t	9400 /kg	73.7	9.8	0.1	83.6	88.9	83.6
揮発油			4.6	10 ³ kl	8600 /l	0.0	0.0	4.4	5.2	5.5	5.2
水素ガス	0.1	0.0		10 ⁶ m ³	9900 /m ³	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
ナフサ			0.5	10 ³ kl	8600 /l	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5
炭化水素油	0.7			10 ³ kl	9900 /l	0.7	0.0	0.0	0.7	0.7	0.7
石油系燃料計	4,671.7	397.5	72.9	10 ³ kl	9400 /l	4,391.4	373.6	68.5	4,833.5	5,142.1	4,833.5
石炭(一般炭)	1,040.7		3.4	10 ³ t	6370 /kg	662.9	0.0	2.2	665.1	707.5	665.1
ガス計						52.5	4.0	1.4	57.9	61.6	57.9
天然ガス	0.2		0.1	10 ⁶ m ³	9911 /m ³	0.2	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3
都市ガス	52.3	4.0	1.3	10 ⁶ m ³	10000 /m ³	52.3	4.0	1.3	57.6	61.3	57.6
回収黒液	11,566.0			10 ³ t	3000 /kg	3,469.8	0.0	0.0	3,469.8	3,691.3	3,469.8
非石油系燃料計	4,452.3	4.3	3.8	10 ³ kl	9400 /l	4,185.2	4.0	3.6	4,192.8	4,460.4	4,192.8
燃料計	9,124.0	401.7	76.7	10 ³ kl	9400 /l	8,576.6	377.6	72.1	9,026.3	9,602.5	9,026.3
購入電力・水力				10 ⁶ kWh	860 /kWh				1,205.5	1,282.5	1,205.5
合計									10,231.8	10,884.9	10,231.8

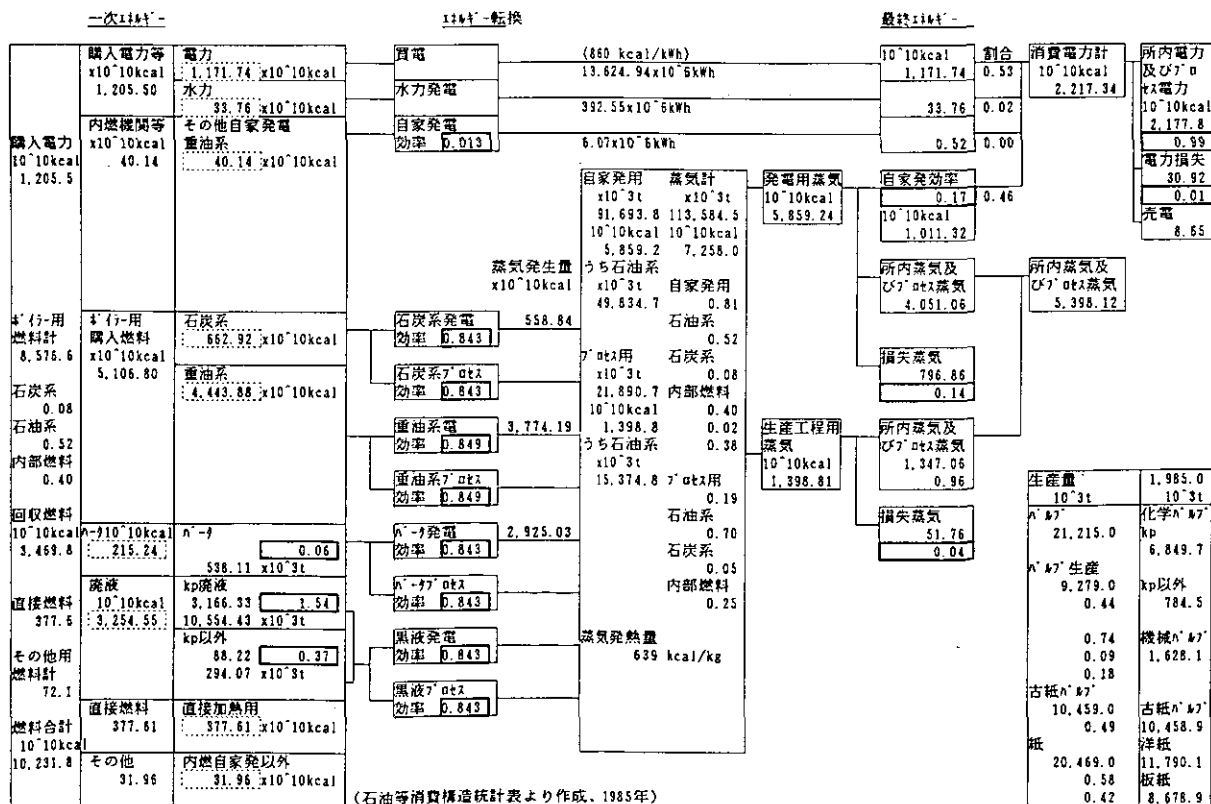


図3.2.9 紙パルプ分野のエネルギー供給フロー

表3.2.30 紙パルプ分野のエネルギー原単位及びエネルギー消費量のフロー

生産量		割合		原単位		エネルギー消費量		エネルギー消費電計		エネルギー消費量の小計	
10 ³ t		10 ³ t		SVUEC(isvfuel, isv)		1 kcal/kwh 1 kcal/t		10 ¹⁰ kcal		1985	
クラフト消費量	21215	0.74	6,849.71	電力	884 kWh/t	760 kcal/n ³ t	0.52	電気	10 ¹⁰ kcal	生産7 ⁰ tx合計	電力 2,038.89 10 ¹⁰ kcal 蒸気 5,180.47 10 ¹⁰ kcal 直接燃料 338.60 10 ¹⁰ kcal
その他	0.07			蒸気	2.43 t/t	1550 kcal/n ³ t	1.06	蒸気	512.96		
1485.05	0.44			燃料	43.75 t/t	420 kcal/n ³ t	0.29	直接燃料	1,270.32		
クラフト生産量	9278.959	0.08	784.48	電力	785 kWh/t	675.1 kcal/n ³ t	0.65	生産7 ⁰ txの消費量	52.18	n ³ 用エネルギー消費量	電気% 0.51 蒸気% 0.29
0.44	0.44			蒸気	1.88 t/t	1201.32 kcal/n ³ t	0.09	2.07	112.76		
機械消費量	1.628.14	0.18	1,628.14	電力	1681 kWh/t	1445.66 kcal/n ³ t	0.24	4.33	231.93	生産7 ⁰ txの割合	電力 1,039.83 10 ¹⁰ kcal 蒸気 1,502.34 10 ¹⁰ kcal 直接燃料 338.60 10 ¹⁰ kcal
0.18	0.18			蒸気	0.087 t/t	55.593 kcal/n ³ t	0.01	0.29	10.83		
古紙消費量	10458.995	0.58	11,790.14	電力	278 kWh/t	239.08 kcal/n ³ t	0.25	0.94	246.39	製紙用エネルギー消費量	電気% 0.49 蒸気% 0.71
0.49	0.49			蒸気	0.105 t/t	67.095 kcal/n ³ t	0.07	0.96	83.96		
紙	20469	0.42	8,678.86	電力	682 kWh/t	586.52 kcal/n ³ t	0.63	0.91	681.39	環境部門の消費量	電力 999.06 10 ¹⁰ kcal 蒸気 3,678.13 10 ¹⁰ kcal
0.42	0.42			蒸気	2.65 t/t	1693.35 kcal/n ³ t	2.00	0.18	314.04		
環境・間接部門	20469	0.42	8,678.86	電力	427 kWh/t	367.22 kcal/n ³ t	0.32	0.03	1,313.83	環境・間接部門合計	電力 139.11 10 ¹⁰ kcal 蒸気 217.53 10 ¹⁰ kcal 直接燃料 34.92 10 ¹⁰ kcal
0.42	0.42			蒸気	1.98 t/t	1265.22 kcal/n ³ t	1.10	0.06	57.07		
環境・間接部門	20469	0.42	8,678.86	電力	32.9 kWh/t	28.294 kcal/n ³ t	0.06	0.04	53.21	割合	生産7 ⁰ tx 環境
0.42	0.42			蒸気	0.034 t/t	21.726 kcal/n ³ t	0.04	0.09	34.92		
環境・間接部門	20469	0.42	8,678.86	電力	47.3 kWh/t	40.678 kcal/n ³ t	0.08	2.21	164.32	消費電計	電力 0.94 0.06 蒸気 0.96 0.04 直接燃料 0.91 0.09
0.42	0.42			蒸気	0.105 t/t	67.095 kcal/n ³ t	0.14	2.21	164.32		
				電力	32.9 kWh/t	28.294 kcal/n ³ t	0.06	4.51	0.32	合計エネルギー消費量	
				蒸気	0.034 t/t	21.726 kcal/n ³ t	0.04	0.04	53.21	電力 2,178.00 10 ¹⁰ kcal	
				燃料	43.75 t/t	420 kcal/n ³ t	0.29	0.09	34.92	蒸気 5,398.00 10 ¹⁰ kcal	
				燃料	43.75 t/t	420 kcal/n ³ t	0.29	0.09	34.92	直接燃料 373.52 10 ¹⁰ kcal	
				燃料	43.75 t/t	420 kcal/n ³ t	0.29	0.09	34.92	合計 7,949.52 10 ¹⁰ kcal	

・エネルギー消費量の割合はエネルギー原単位に生産量を掛けて求めた消費量から計算した
 ・蒸気原単位からの計算値が小さいが、蒸気発生量の原単位を修正する必要がある

表3.2.31 紙パルプ工業エネルギー消費量および単位エネルギー消費量

上段：エネルギー消費量 10¹⁰kcal/year(1985)
 下段：単位エネルギー消費量 10³ kcal/t(1985)
 (=エネルギー消費量/対象サービス量)

	電力	蒸気	重油	その他	対象サービス量
1 クラフトパルプ製造工程	513	1270	339	0	クラフトパルプ
	760	1550	420	0	生産量
2 クラフトパルプ以外の化学パルプの製造工程	52	113	0	0	クラフト外以外の
	675	1201	0	0	化学パルプの生産量
3 機械パルプ製造工程	232	11	0	0	機械パルプ生産量
	1446	56	0	0	
4 古紙パルプ製造工程	246	84	0	0	古紙パルプ生産量
	239	67	0	0	
5 洋紙製造工程	681	2389	0	0	洋紙生産量
	587	1693	0	0	
6 板紙製造工程	314	1314	0	0	板紙生産量
	367	1265	0	0	
7 環境部門	57	53	35	0	紙総生産量
	28	22	14	0	
8 間接部門	82	164	0	0	紙総生産量
	41	67	0	0	

「石油等消費構造統計表(通産省)」
 「エネルギー実態調査報告(紙パルプ技術協会エネルギー委員会)」
 学識者ヒアリングより算定

(3) サービス生産用技術

サービス生産用技術を表3.2.32に示した。技術の耐用年数を20年とした。従来型の固定費用は省エネ型の8割とした。費用等は地球温暖化防止対策ハンドブックを参考とした。

(4) エネルギー転換およびエネルギー回収

各基礎製品の製造に必要な電力量は、シナリオに基づき自家発電量と購入電力量に分配する。そして、自家発電の内訳（水力、内燃機関、汽力）はシナリオで与えるが、汽力発電の消費エネルギーの構成は、石炭ボイラと重油ボイラとの間の技術選択によって決定される。（より経済性効果の高い方が選択されていく。）

また、各基礎製品の製造に必要な蒸気量の消費エネルギーの構成も、石炭ボイラと重油ボイラとの間の技術選択によって決定される。エネルギー転換用技術を表3.2.33のように仮定した。

表3.2.32 紙パルプ工業 生産工程用技術データ

サービス生産用技術名	技術導入工程 (階層2)	技術種	技術段階	標準的 使用年数	固定費用 円/(t/year)	エネルギー消費量 kcal/(t/year)	燃料種	導入状況
従来型蒸解装置	1 ユグトハ ¹⁾	1	1	20.0	1.463 * 10 ⁴	8.563 * 10 ⁶	蒸気	100%(1983) 15%(1990)
予備浸透型連続蒸解装置	蒸解工程	2	1	20.0	1.829 * 10 ⁴	4.537 * 10 ⁶	蒸気	0%(1983) 85%(1990)
従来型洗浄装置	2 ユグトハ ¹⁾	1	1	20.0	5.029 * 10 ³	3.096 * 10 ⁴	電力	100%(1982) 91%(1992)
高性能バルブ洗浄装置	洗浄工程	2	1	20.0	6.286 * 10 ³	4.300 * 10 ⁴	電力	0%(1980) 9%(1992)
従来型脱リグニン装置	3 ユグトハ ¹⁾	1	1	20.0	6.857 * 10 ³	1.917 * 10 ⁶	蒸気	100%(1984) 83%(1992)
酸素脱リグニン装置	漂白工程	2	1	20.0	8.571 * 10 ³	5.160 * 10 ⁴	電力	0%(1984) 12%(1992)
ディフューザー漂白装置		3	1	20.0	1.857 * 10 ⁴	1.917 * 10 ⁶	蒸気	0%(1987) 5%(1992)
						3.440 * 10 ⁴	電力	
従来型蒸発缶	4 ユグトハ ¹⁾	1	1	20.0	4.286 * 10 ³	1.102 * 10 ⁶	蒸気	100%(1985) 86%(1992)
液膜流下型蒸発缶	蒸発工程	2	1	20.0	5.357 * 10 ³	9.186 * 10 ⁶	蒸気	0%(1985) 14%(1992)
従来型サイズプレス装置	9 洋紙プレス	1	1	20.0	1.143 * 10 ⁴	6.246 * 10 ⁶	蒸気	100%(1984) 86%(1992)
高性能サイズプレス装置		2	1	20.0	1.429 * 10 ⁴	9.138 * 10 ⁶	蒸気	0%(1984) 14%(1992)
従来型脱水装置	11 板紙脱水	1	1	20.0	2.286 * 10 ³	1.479 * 10 ⁶	蒸気	100%(1984) 89%(1992)
高性能面圧脱水装置		2	1	20.0	2.857 * 10 ³	9.682 * 10 ⁶	蒸気	0%(1984) 11%(1992)

表3.2.33 紙パルプ工業 エネルギー転換用技術データ

エネルギー転換用技術名	技術導入工程	技術種	技術段階	標準的 使用年数	固定費用 円/(t/year)	エネルギー消費量 kcal/(t/year)	燃料種	導入状況
自家発電用石炭ボイラー	エネルギー	1	1	20.0	1.300 * 10 ⁷	1.188 * 10 ⁶	石炭	13%(1965) 13%(1985)
自家発電用重油ボイラー	転換	2	1	20.0	1.300 * 10 ⁷	1.178 * 10 ⁶	重油	87%(1965) 87%(1985)
重油 ¹⁾ 行(低空気比)		2	2	20.0	1.696 * 10 ⁷	1.085 * 10 ⁶	重油	0%(1965) 0%(1985)
蒸気用石炭ボイラー	エネルギー	1	1	20.0	1.300 * 10 ⁷	1.188 * 10 ⁶	石炭	13%(1965) 13%(1985)
蒸気用重油ボイラー	転換	2	1	20.0	1.300 * 10 ⁷	1.178 * 10 ⁶	重油	87%(1965) 87%(1985)
重油 ¹⁾ 行(低空気比)		2	2	20.0	1.696 * 10 ⁷	1.085 * 10 ⁶	重油	0%(1965) 0%(1985)

「地球温暖化防止対策ハンドブック（環境庁）」
「地球温暖化経済システム検討会中間報告書（環境庁）」
業界ヒアリングより算定

3.3 家庭部門

(1) サービス・サービス機器（技術）とエネルギーとの関係

日本における家庭部門の二酸化炭素排出量は1985年度に32.9MtC、1990年度に38.0MtCでそれぞれ全排出量の12.2%（1985年）、12.0%（1990年）を占めている。排出量は、1985年を基準として、電力（48.2%）、灯油（26.6%）、ガス（24.1%）の順に多くなっている。

家庭部門のサービス分野は国によって異なる可能性があるが、原則として需要の多いサービス分野を詳細に分類する必要がある。

サービスとは、エネルギー消費によって期待される効用のことで、その単位はエネルギー消費の用途に応じて定義される。家庭部門のエネルギー消費の用途を、冷房、暖房、給湯・厨房、照明、テレビ、冷蔵、洗濯、掃除、レンジ等に分け、冷房は冷房カロリー量、暖房は暖房カロリー量、給湯・厨房は給湯・厨房カロリー量、照明は明るさ、テレビ、冷蔵、洗濯、掃除、レンジは性能を補正した台数、をもとに算出した。なお、本分析においては、基準年の基準住宅を設定し、その住宅の1世帯に需要されているサービスを1と定義して、用途間の単位を統一した。

また、家庭部門では一つのサービス機器は、一つあるいは複数の種類のエネルギーから、一つあるいは複数のサービスを同時に提供している。例えば、ガス冷暖房兼用エアコンは、冷房と暖房のふたつのサービスを提供し、冷房のサービスは電力、暖房のサービスは電力とガスのエネルギーを使用して行われている。それらの関係を図3.3.1に示す。表3.3.6に表示されている「サービス量」とは、各機器が上記のサービスをどの程度供給できるかを示したものである。例えば、1台の石油ファンヒーターが供給するサービス量は、基準年における日本の基準住宅1世帯が1年間に必要とする暖房カロリー（9.761Mcal）の35.2%に相当するもので、サービス量は0.352とした。ここで基準住宅は表3.3.1のように設定した。

算定根拠として1985年度の1世帯の平均床面積は87.6m²（推計）であり、1世帯当たり人員は約3.41人（推計）である。本モデルでの基準住宅は、3～4人が暮らせる2LDKで、都市居住型誘導居住水準（86.5m²）で暮らすと想定した。

基準住宅の各部屋は『建設省の第六期住宅建設五箇年計画』により、表3.3.1のように設定した。

表3.3.1 基準住宅の各部屋の構成と面積

	寝室A	寝室B	L	D	K	全体
面積(m ²)	13	7.5	13	7.5	5	86.5

(2) 基準年の基準住宅1世帯のサービス量の算定

基準年の基準住宅1世帯に需要される用途別のサービス量は以下の方法により算出した。

①冷暖房

冷暖房期間は建設省の『省エネルギーハンドブック』により、東京都を基準として、暖房期間(暖房限界・日平均気温を13～14℃)は11月11日(13.1℃)から4月10日(13.1℃)まで、冷房期間(冷房限界・日平均気温を25～26℃)は7月1日(26.7℃)から9月15日(27.1℃)までと設定した。

各部屋の冷暖房時間は建築学会によって提案されている標準建物モデルのスケジュールから表3.3.2のように設定した。

1サービス量当たりの冷暖房のエネルギー消費量の算定は、『日本工業規格』の単位床面積当たりの冷房負荷が220W/m²、暖房負荷が230W/m²を用いた。但し、住宅の種類は木造で、南向きの和室を基準とした。

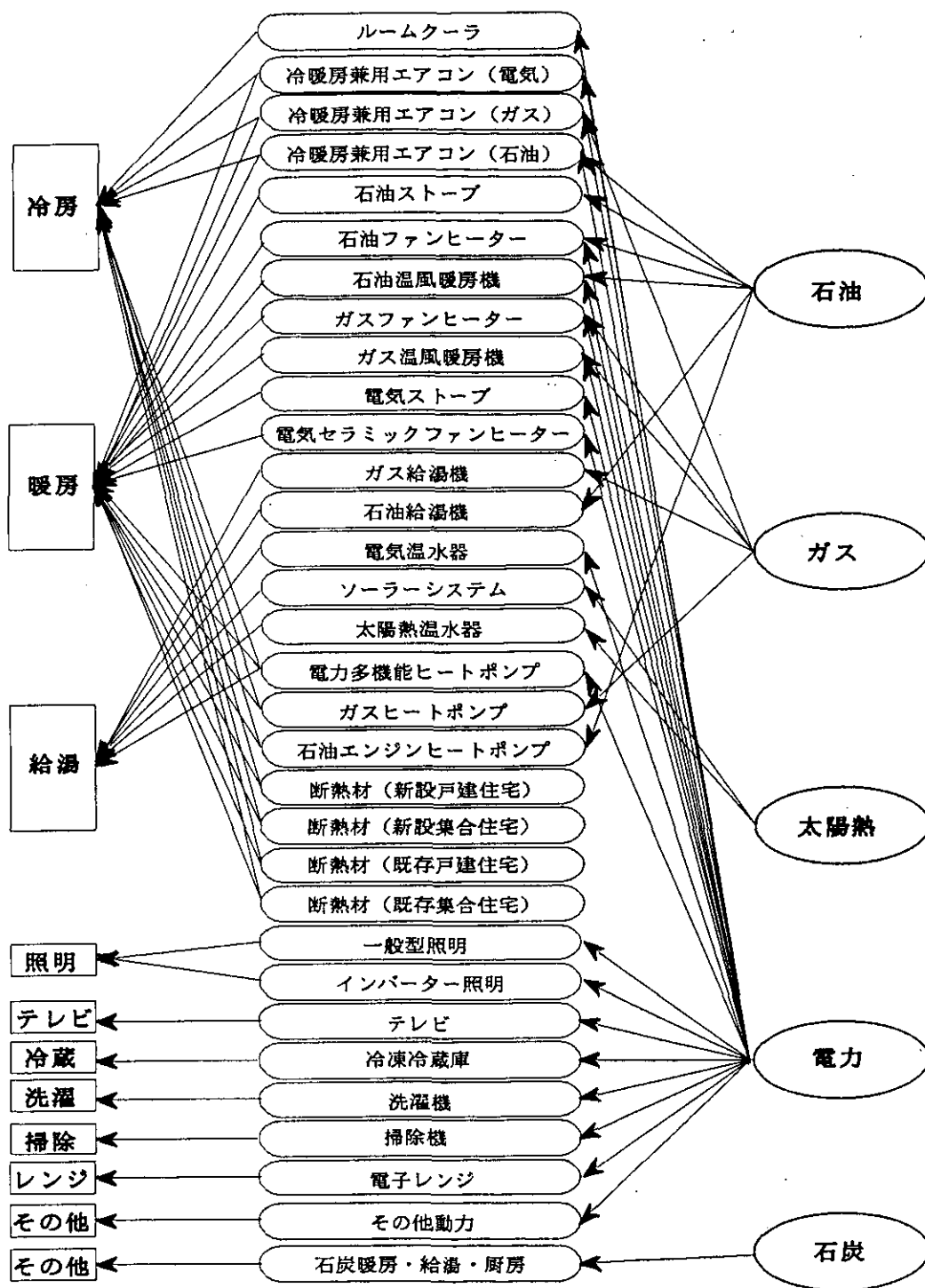


図3.3.1 家庭部門のサービス機器とエネルギーとの関係

表3.3.2 各部屋の冷暖房時間

	寝室A	寝室B	LDK
冷暖房時間	2	3	11
冷暖房時間帯	21~23時	20~23時	6~9、12~14、16~22時

表3.3.3で示すように、冷暖房期間と冷暖房時間に乗じた暖房9,761.4Mcal/世帯/年、冷房4,793Mcal/世帯/年を、それぞれ1サービスとした。その際に、㎡当りの暖房時間は1072.8時間、冷房時間は550.7時間である。

表3.3.3 基準住宅における1サービス当たりのエネルギー消費量

	面積 (㎡)	時間	暖房期間 11/11~4/10	冷房期間 7/1~9/15	サービス量	
					暖房(Mcal)	冷房(Mcal)
L D K	25.5	11	150	77	8,322.4	4,086.4
M B	13.0	2	150	77	771.4	378.8
C B	7.5	3	150	77	667.6	327.8
計					9,761.4	4,793.0

②給湯・厨房

『東京ガスの総合カタログ』により湯の量のめやすを表3.3.4のように設定した。

本モデルでは、1世帯が1日に必要な湯の量を394lとし、基準年度にはその量の湯が使われたと仮定した。1985年度に給湯・厨房のため、使用したエネルギー消費量は4,043Mcal/世帯/年（石炭からのエネルギー使用量は除く『エネルギー・経済統計要覧』）である。従って、給湯・厨房の1サービスは4,494.1Mcal/世帯/年である。

表3.3.4 1世帯、1日当たり必要な湯の量

用途	使用量 (l)	1日使用数	1日使用量 (l)
キッチン	1回の炊事に約20	3 (回)	60
洗面所	平均5~7	3 (人)	18
洗濯機	1回の洗濯に約30	1 (回)	30
浴槽	200~300	1 (回)	50
シャワー	1回のシャワーに約12	3 (人)	36
計			394

③照明

照明時間は建設省の『省エネルギーハンドブック』により、表3.3.5のように設定した。

表3.3.5 各部屋の照明時間とエネルギー消費量

	時間 (h)
L D K	17.5~22.5 (1,588.8)
M B	21.5~23.5 (328.0)
C B	18.5~22.5 (369.0)
計	2.29kWh

照明のエネルギー消費量は日本照明協会のヒアリングにより、1畳(1.62㎡)あたりに必要な電力を、白熱灯が40W、蛍光灯は15Wとし、1985年度のシェアは蛍光灯が78%、白熱灯が22%であるので、1畳あたりに必要なエネルギー消費量の平均は20.5Wとした。

1サービス量当たりの照明のエネルギー消費量の算定は、各部屋の照明時間と、単位部屋(1畳)あたりに必要な電力により、表3.3.5のように算出した。この2.29kWhを年間のカロリーに換算すると718.8Mcal/年/世帯である。

④テレビ、冷凍冷蔵庫、洗濯機、掃除機、電子レンジ

1世帯に1機器が提供するサービスを1サービスとした。

(3) 各機器のエネルギー種、固定費用、使用年数、サービス量、エネルギー消費量の算定

現在、使用されている全機器のシェアを考慮した平均値を算定し、固定費用、使用年数等を算出することが望ましいが、実際にこのような調査は困難であるため、本モデルでは機器の代表的なモデルを選定し、データを収集した。そのデータの一覧を表3.3.6に示した。

表3.3.6 家庭部門におけるサービス機器の基本表

機器名	用途	エネルギー種	固定費用 (1000円)	使用年 数(年)	サービス 量	消費エネルギー量 (Mcal/年)
冷暖房専用	冷房	電気	129.0	6	0.18	213.1
冷暖房兼用(電気)	冷房	電気	225.0	6	0.296	567.2
冷暖房兼用(電気)	暖房	電気	225.0	6	0.430	1217.8
冷暖房兼用(ガス)	冷房	電気	260.0	6	0.287	649.8
冷暖房兼用(ガス)	暖房	ガス	260.0	6	0.396	4344.8
冷暖房兼用(ガス)	暖房	電気	260.0	6	0.396	276.8
冷暖房兼用(石油)	冷房	電気	390.0	6	0.316	633.3
冷暖房兼用(石油)	暖房	石油	390.0	6	0.53	6072.5
冷暖房兼用(石油)	暖房	電気	390.0	6	0.53	239.9
石油ストーブ	暖房	石油	24.0	6	0.242	2549.3
石油ファンヒーター	暖房	石油	70.0	6	0.352	3704.6
石油ファンヒーター	暖房	電気	70.0	6	0.352	158.2
石油温風暖房機	暖房	石油	118.0	6	0.358	4057.9
石油温風暖房機	暖房	電気	118.0	6	0.358	137.3
ガスファンヒーター	暖房	ガス	49.8	6	0.22	2145.6
ガスファンヒーター	暖房	電気	49.8	6	0.22	39.8
ガス温風暖房機	暖房	ガス	133.0	6	0.44	5149.4
ガス温風暖房機	暖房	電気	133.0	6	0.44	40.6
電気ストーブ	暖房	電気	21.5	6	0.107	1072.8
電気ファンヒーター	暖房	電気	33.0	6	0.14	1287.4
ガス給湯機	給湯・厨房	ガス	136.0	15	1.00	4494.1
石油給湯器	給湯・厨房	石油	244.0	15	1.00	4000.9
電気温水機	給湯・厨房	電気	190.0	15	1.00	3280.7
ソーラシステム	給湯・厨房	太陽熱	550.0	15	0.60	0.0
太陽熱温水機	給湯・厨房	太陽熱	190.0	15	0.30	0.0
電力多機能ヒートポンプ	冷房	電気	1426.0	6	0.672	1482.4
電力多機能ヒートポンプ	暖房	電気	1426.0	6	0.885	2924.7
電力多機能ヒートポンプ	給湯	電気	1426.0	6	0.32	599.8
ガスヒートポンプ	冷房	ガス	1370.0	6	0.919	9164.4
ガスヒートポンプ	暖房	ガス	1370.0	6	1.055	9604.4
石油エンジンヒートポンプ	冷房	石油	1255.0	6	0.919	9164.4
石油エンジンヒートポンプ	暖房	石油	1255.0	6	1.055	9604.4
断熱材1	暖房	太陽熱	477.9	33	0.64	0.0
断熱材2	暖房	太陽熱	391.4	33	0.54	0.0
断熱材3	暖房	太陽熱	283.3	33	0.55	0.0
断熱材4	暖房	太陽熱	196.8	33	0.46	0.0
断熱材5	暖房	太陽熱	226.6	33	0.59	0.0
断熱材6	暖房	太陽熱	55.4	33	0.52	0.0
断熱材7	暖房	太陽熱	605.5	33	0.09	0.0
断熱材8	暖房	太陽熱	532.8	33	0.07	0.0
白熱灯	照明	電気	0.0	1	0.036	50.0
蛍光灯	照明	電気	3.0	7	0.036	18.7
インバーター照明	照明	電気	6.0	7	0.036	12.4
テレビ	テレビ	電気	41.2	5	0.57	182.3
冷凍冷蔵庫	冷蔵	電気	67.1	6	0.85	632.6
洗濯機	洗濯	電気	54.7	6	0.95	37.5
掃除機	掃除	電気	29.4	6	0.83	82.3
電子レンジ	レンジ	電気	58.4	6	2.32	98.1
その他動力	-	電気	-	6	-	696.0
石炭暖房・給湯・厨房	-	石炭	-	6	-	93.0
断熱材1:新設戸建住宅	グラスウール100mm+	ペアガラス				
断熱材2:新設戸建住宅	グラスウール50mm+	ペアガラス				
断熱材3:新設戸建住宅	グラスウール100mm+	シングルガラス				
断熱材4:新設戸建住宅	グラスウール50mm+	シングルガラス				
断熱材5:新設集合住宅	ポリスチレン25mm+	ペアガラス				
断熱材6:新設集合住宅	ポリスチレン25mm+	シングルガラス				
断熱材7:既存戸建住宅	ペアガラス					
断熱材8:既存集合住宅	ペアガラス					

①代表的なモデルの選択

現在、最も多いシェアを占めている会社の代表的なモデルを基準とした。例えば、冷房専用のルームエアコンは、ナショナルのCS-C20Fとした。

②固定費用

選ばれたモデルの表示価格を用いた。例えば、ナショナルのCS-C20Fの表示価格は129,000円である。

但し、断熱材は『地球温暖化経済システム検討会中間報告書』を基にして、表3.3.7のように固定費用を求めた（基準住宅の面積は86.5㎡である）。

表3.3.7 断熱材の価格

		種類	単価 円/㎡(含施工コスト)	床面積の割合 (%)	価格 (円)
新設	戸建	グラスウール 50mm	910	250	196,788
		グラスウール100mm	1,310	250	283,288
	集合	ヘアガラス	9,000	25	194,625
		ポリスチレン 25mm	410	160	55,360
既存	戸建	ヘアガラス	28,000	25	605,500
	集合	ヘアガラス	28,000	22	532,800

③使用年数

総務庁統計局の『全国消費実態調査報告』の耐用年数を用いた。但し、「住宅の断熱材」は『地球温暖化防止対策ハンドブック』の住宅の平均寿命を、「ヒートポンプ」は各会社のヒアリングにより作成した。

但し、照明の使用年数は、寿命時間を 使用時間で除して算定した（表3.3.8）。

寿命時間は、『地球温暖化防止対策ハンドブック』により、白熱灯は1,000時間、蛍光灯とインバーター照明は10,000時間を、使用時間は基準住宅の1畳当たりの平均的な使用時間である3.98時間を用いた。

表3.3.8 各照明機器の寿命、使用時間、使用年数

	寿命(時間)	使用時間(時間)	使用年数(年)
白熱灯	1,000	3.98	0.7(約1)
蛍光灯	10,000	3.98	6.9(約7)
インバーター照明	10,000	3.98	6.9(約7)

④サービス量

冷暖房は代表的な機器の表示の冷暖房能力より算定した。例えば、冷房専用のルームエアコン(ナショナルのCS-C20F)は、冷房能力が1,600Kcal/時間であり、それに年間使用時間(550.7時間/年)を乗じ、基準年の基準住宅1世帯のサービス量(4,793,000Kcal/年)で除すると、そのルームエアコンのサービス量は0.18となる。

給湯機は号数により時間当たりの湯の供給量が異なるが、ほとんどの機器は必要な湯を供給できる。従って、本モデルでは、代表的な機器の給湯・厨房のサービスの量を1とした。

断熱材は『地球温暖化防止対策ハンドブック』により省エネ率を用いた。例えば、新設戸建住宅にグラスウール100㎡+ペアガラスを導入して省エネ効果が63.9%あると、この断熱材によるサービス量は0.64とした。

ソーラーシステム、太陽熱温水器は、『地球温暖化防止対策ハンドブック』により各機器の平均省エネルギー率（省エネルギー／基準サービス量）を用いた（表3.3.9）。

照明のサービス機器は基準住宅の面積が28畳であるが、白熱灯、蛍光灯、インバーター照明ともに1畳を基準としているので、全ての機器が0.36のサービスを提供していると想定した。

テレビ、冷凍冷蔵庫、洗濯機、乾燥機、電子レンジのサービス量は、『エネルギー・経済統計要覧』、『家計消費の動向』の基準年の保有率を考慮して算定した。例えば、1985年のテレビの保有率は174.4（台/百世帯）であり、年間550.7時間を冷房時間としているので、1台のテレビは0.57のサービスを提供していると想定した。

表3.3.9 ソーラーシステム、太陽熱温水器のサービス量

	省エネルギー (Mcal/台/年)	基準サービス量 (Mcal/世帯/年)	サービス量 (サービス)
ソーラーシステム	2,700	4,494.1	0.60
太陽熱温水器	1,350	4,494.1	0.30

⑤エネルギー消費量

冷暖房のエネルギー消費量は、代表的な機器の表示の消費量より算定した。例えば、冷房専用のルームエアコン（ナショナルのCS-C20F）は、消費電力が387Kcal/時間であるので、年間エネルギー消費量は213.1Mcal/年/世帯となる。

給湯・厨房は、『日本工業規格』、『建設省の省エネルギーハンドブック』により熱効率を考慮して、表3.3.10のように各機器のエネルギー量を算定した（表3.3.10）。ガス風呂給湯機のエネルギー消費量はガス風呂給湯機16号を基準として算定した（号数は、「水温+25℃のお湯を1分間に何リットル出せるか」を表示している）。

ソーラーシステム、太陽熱温水器は、消費エネルギーが太陽熱であり、断熱材はエネルギーの消費の必要がないので、エネルギー消費量は0とした。

基準住宅の照明時間は1日3.98時間としているので、代表的な40Wの白熱灯のエネルギー消費量は、49.97Mcal/年とし、15Wの蛍光灯のエネルギー消費量は18.74Mcal/年とした。

インバーター照明は、『地球温暖化防止対策ハンドブック』によると蛍光灯に対する省エネ率が33.7%である。従って、インバーター照明の消費電力は12.42Mcal/年とした。

『省エネルギー便覧』から電力量構成比を、『エネルギー・経済統計要覧』からその他の動力の

表3.3.10 給湯・厨房機器の消費エネルギー量

	熱効率	消費エネルギー量 (Mcal/年)
ガス風呂給湯機	0.73	4,494.1
石油風呂釜	0.82	4,000.9 (4494.1÷0.82×0.73)
電気温水器	1.0	3,280.7 (4494.1÷1.0×0.73)

エネルギー消費量を、『エネルギー・経済統計要覧』と『家計消費動向』から保有率を用いて原単位（1台当たりエネルギー消費量）を算定した（表3.3.11）。

すなわち電力構成比は『省エネルギー便覧』の基準年の電力構成比からルームエアコン（冷房）の電力構成比を除いて修正した。エネルギー消費量は基準年の動力のエネルギー消費量（2,463Mcal/世帯）に電力構成比を乗じた。原単位（1台当たりのエネルギー消費量）はエネルギー消費量を保有率で除した。

表3.3.11 その他の機器のエネルギー消費量、原単位等

	電力構成比 (%)	エネルギー消費量 (Mcal/年)	保有率 (台/百世帯)	原単位 (Mcal/年)
冷凍冷蔵庫	30.2	744.0	117.6	632.6
洗濯機	1.6	39.5	105.3	37.5
掃除機	4.0	98.6	119.9	82.3
電子レンジ	1.7	42.3	43.1	98.1
テレビ	12.9	318.4	174.7	182.3

3. 4 業務部門

(1) サービス・サービス機器（技術）とエネルギーとの関係

国によって、業務部門の分類が異なると考えられるが、AIMエンドユースモデルでの業務部門は事務所ビル、卸・小売、飲食店、学校、試験研究機関、ホテル・旅館、病院医療機関、劇場娯楽施設、その他サービス業を含んでいる。

日本での業務部門の二酸化炭素排出量は1985年度に26.2MtC、1990年度に33.6MtCでそれぞれ全排出量の9.7%（1985年）、10.6%（1990年）を占める。排出量は、1985年を基準として、電力（46.8%）、燃料油（40.7%）、ガス（8.5%）の順に多くなっている。

業務部門のサービス分野は国によって異なる可能性があるが、原則として需要の多いサービス分野を詳細に分類する必要がある。

業務部門のエネルギー消費の用途を、冷房、暖房、給湯、厨房、照明、複写、計算、昇降、その他動力等に分けており、冷房は冷房カロリー量、暖房は暖房カロリー量、給湯は給湯カロリー量、照明は明るさ、複写、計算は台数、をもとに算出した。

また、業務部門での大きな特徴はコージェネレーションのようにエネルギーを多段利用していることである。コージェネレーションは、ガスや石油のエネルギーから電力を得ると同時にその排熱を利用して暖房や給湯等のサービスを行っている。また、照明等、電力を使用しているサービス機器は、コージェネレーションから得た電力、あるいは購入電力よりサービスを行っている。さらに、一つのサービス機器は、一つあるいは複数のサービスを同時に提供している。例えば、ガスヒートポンプは、ガスのエネルギーを使用して冷房と暖房のサービスを提供している。これらの関係を図3.4.1に示す。

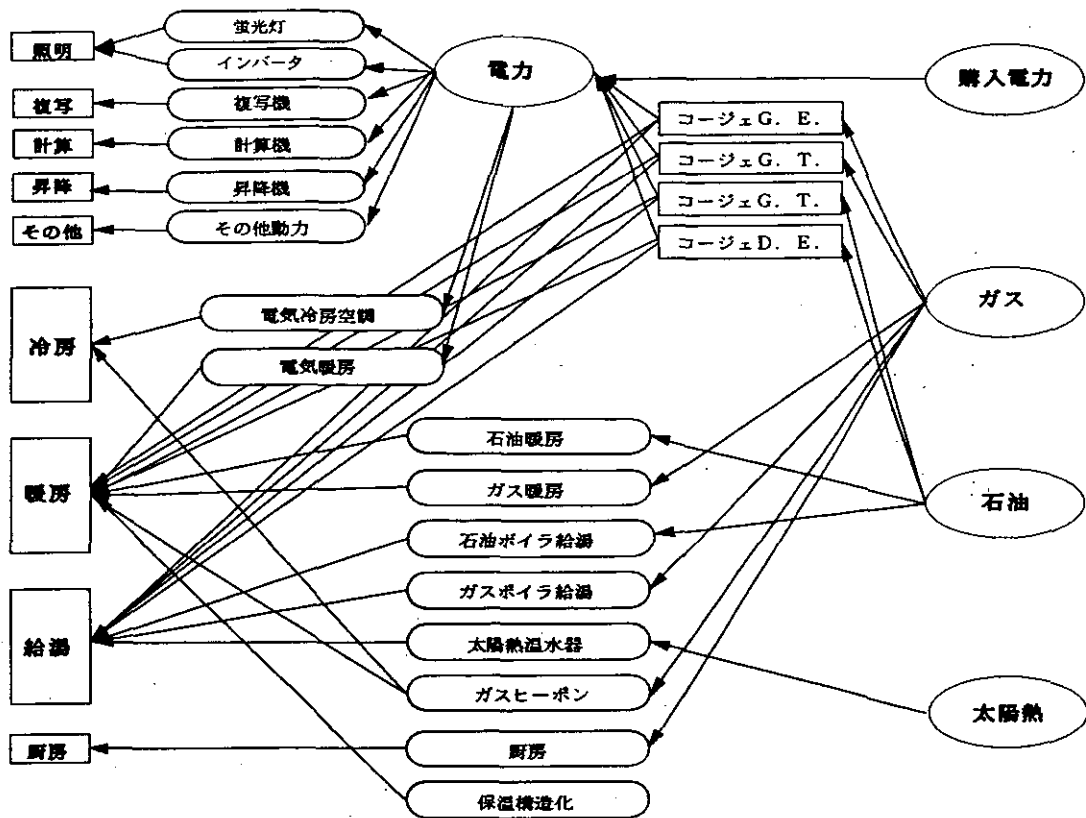


図3.4.1 業務部門のサービス機器とエネルギーとの関係

(2) 各機器のエネルギー種、固定費用、使用年数、サービス量、消費エネルギー量の算定

業務部門も家庭部門と同様に機器の代表的なモデルを選定し、データを収集した。そのデータの一覧を表3.4.1 に示した。

① コージェネレーション

『東京ガスの地冷・コージェネレーション・リパワリング初期投資額について』の資料を基にして、コージェネレーション1kWh当たりの年間発電電力量、年間燃料使用量、年間熱供給量を算定した。発電電力量は、表3.4.2に示しているように平均稼働時間に運転中設備利用率を乗じて算定した。年間燃料使用量は、表3.4.3に示すように、年間発電電力量を発電効率で除して、さらに燃料消費比を除して算定した。年間熱供給量は、表3.4.4に示すように年間燃料使用量に排熱回収量を乗じて算定した。冷房、暖房、給湯のサービス量は、年間熱供給量に、基準年度の冷房、暖房、給湯の消費エネルギー比を用いて算定した。固定費用は、『地球にやさしいエネルギーシステム』と『コージェネレーション導入事例』より算定した(表3.4.5)。また、使用年数は日本コージェネレーション研究会のヒアリングを基に作成した。

② 冷房、暖房、給湯

代表的なモデルを基準とした。例えば、石油暖房用のボイラは三菱重工温水ボイラを用いた。

表3.4.1 業務部門におけるサービス機器の基本表

機器名	用途	エネルギー種	固定費用 (1000円)	使用年 数(年)	サービス 量	消費エネルギー量 (Mcal/年)
コージェネレーション (ガスエンジン)	暖房	ガス	200.0	30	1209.2	5834.2
	電力	ガス	200.0	30	1453.1	5834.2
	冷房	ガス	200.0	30	253.1	5834.2
	給湯	ガス	200.0	30	1321.7	5834.2
コージェネレーション (ガスタービン、ガス使用)	暖房	ガス	220.0	30	1821.5	10392.0
	電力	ガス	220.0	30	2216.4	10392.0
	冷房	ガス	220.0	30	381.2	10392.0
	給湯	ガス	220.0	30	1991.0	10392.0
コージェネレーション (ガスタービン、石油使用)	暖房	ガス	220.0	30	1821.5	10392.0
	電力	石油	220.0	30	2216.4	10392.0
	冷房	石油	220.0	30	381.2	10392.0
	給湯	石油	220.0	30	1991.0	10392.0
コージェネレーション (ディーゼルエンジン)	暖房	石油	200.0	30	1071.2	7760.6
	電力	石油	200.0	30	2710.1	7760.6
	冷房	石油	200.0	30	224.2	7760.6
	給湯	石油	200.0	30	1170.9	7760.6
電気冷房空調	冷房	電気	580.0	10	2556.0	959.0
電気暖房	暖房	電気	580.0	10	6360.0	1868.0
石油暖房	暖房	石油	1186.0	10	24000.0	30413.0
ガス暖房	暖房	ガス	1186.0	10	24000.0	27840.0
石油ボイラ給湯	給湯	石油	1186.0	20	24000.0	30413.0
ガスボイラ給湯	給湯	ガス	1186.0	20	24000.0	27840.0
太陽熱温水機	給湯	太陽熱	1010.0	20	3060.0	0.0
ガスヒーポンプ	冷房	ガス	1270.0	20	6899.0	7700.0
ガスヒーポンプ	暖房	ガス	1270.0	20	16080.0	15600.0
在来型照明	照明	電気	0.0	4	1.0	17.2
LED照明	照明	電気	1.9	4	1.0	11.1
複写機	複写	電気	0.3	6	1.0	1.8
計算機	計算	電気	6.1	6	1.0	1.8
昇降機	昇降	電気	6.9	17	1.0	3.1
保温構造化	暖房	太陽熱	42.4	30	34.4	0.0
その他動力	動力	電気	0.0	6	1.0	34.5
厨房	厨房	ガス	0.0	6	1.0	16.3

表3.4.2 各コージェネレーションの年間発電電力量

	平均稼働時間 (時間)	運転中設備利用率	発電電力量 (Mcal/年)
ガスエンジン	3,188	0.53	1,453.1
ガスタービン(ガス使用)	3,790	0.68	2,216.4
ガスタービン(石油使用)	3,790	0.68	2,216.4
ディーゼル	5,002	0.63	2,710.1

表3.4.3 各コージェネレーションの年間燃料使用量

	発電電力量 (Mcal/年)	発電効率	燃料消費量比	燃料使用量 (Mcal/年)
ガスエンジン	1,453.1	0.293	0.85	5,834.2
ガスタービン(ガス使用)	2,216.4	0.248	0.86	10,392.0
ガスタービン(石油使用)	2,216.4	0.248	0.86	10,392.0
ディーゼル	2,710.1	0.360	0.97	7,760.6

表3.4.4 各コージェネレーションの年間熱供給量

	燃料使用量 (Mcal/年)	排熱回収量	年間熱供給量 (Mcal/年)
ガスエンジン	5,834.2	0.483	2,817.9
ガスタービン(ガス使用)	10,392.0	0.476	4,946.6
ガスタービン(石油使用)	10,392.0	0.476	4,946.6
ディーゼル	7,760.6	0.321	2,491.2

表3.4.5 各コージェネレーションの価格

	平均大きさ (KW)	単価 (千円/KW)
ガスエンジン	250	200
ガスタービン (ガス使用)	1,300	220
ガスタービン (石油使用)	1,300	220
ディーゼルエンジン	500	200

サービス量、消費エネルギー量等は、暖房時間は1,200時間 (150日×8時間)、冷房時間は616時間 (77日×8時間)を設定し、算定した。

③複写、計算、昇降

床面積当り (m²) の固定費用、サービス量、消費エネルギー量を『エネルギー・経済統計要覧』より算定した。

- ・複写機の固定費用 (円/m²) = 全複写機の価格 ÷ 床面積
- ・複写機の消費エネルギー量 (Mcal/m²) = 全複写機のエネルギー消費量 ÷ 床面積
- ・サービス量は、床面積当りの消費エネルギー量を単位サービスとした。

④保温構造化

『地球温暖化経済システム検討会中間報告書』により断熱材やペアガラスコストの増加分を保温構造化の固定費用として用いた。(表3.4.6)。

⑤その他動力、厨房

『エネルギー・経済統計要覧』により、その他動力は、動力用のエネルギー消費量から照明、複写、計算、昇降のために使われるエネルギー消費量を引いた数値を用いた。一方、厨房はそのまま使用した。

表3.4.6 断熱材の価格

断熱材 (タイロワ-A50mm) 施工コスト増加分	40,000円/m ²
ペアガラスコスト増加分	8,000円/窓面積 m ²
コスト増加分計	42,400円/m ²

3. 5 運輸部門

(1) サービス種の分類

日本における運輸部門の二酸化炭素排出量は1985年度に46.4MtC、1990年度に58.5MtCで、日本の総排出量のそれぞれ17.2% (1985)、18.4% (1990) を占める。排出量のうち、電力分を除く全てが原油系由来の燃料の内燃機関による直接消費によるものである。

産業部門のように生産に係る複雑な工程 (生産工程) が存在するわけではないが、運輸サービスが行なわれる移動体の種類によって、用途、使われ方、エネルギー消費原単位が大きく異なるため、これを産業部門の本モデルにおける生産工程のように捉える。なお二輪車 (原付含む) によるエネルギー消費は、運輸部門全体の1%程度であり、またエネルギー消費実態に関わる統計等も整備されていないため、入力データの対象外とした。

運輸部門の生産装置である移動体は、軽量であることが求められるため、廃エネルギー回収装置が普及していない。また、産業部門でしばしば行なわれている生産工程間における熱や2次エネルギーの融通・有効利用や、あるいは他業界へ生産過程で生ずる2次の燃料を供給するといったことは、運輸部門では行われていない。このためサービス毎のエネルギー消費量を算定するための階層は、単純に設定することが可能である。

運輸部門のサービス階層は、大別して旅客輸送と貨物輸送に分類でき（表3.5.1）、サービス量の単位は、それぞれ「人・km」と「t・km」が一般に用いられている。

本モデルで設定した階層は、使われ方、エネルギー消費原単位の違い、生産用装置（運輸部門では移動体）更新時の導入対象などを考慮して設定した。

表3.5.1 運輸部門のサービス種の分類

階層 2	階層 1	技術選択
1 自家用乗用車	1 軽乗用車	あり
	2 小型乗用車	あり
	3 普通乗用車	あり
2 営業用乗用車	4 営業乗用車	あり
	3 バス	5 自家用バス
		6 営業用バス
4 鉄道(旅客)	7 鉄道(旅客)	なし
5 旅客船	8 旅客船	なし
6 航空(旅客)	9 航空(旅客)	なし
7 貨物自動車(自家用+営業用)	10 軽貨物車	あり
	11 小型貨物車	あり
	12 普通貨物車	あり
	13 特殊用途車	なし
8 鉄道(貨物)	14 鉄道(貨物)	なし
9 内航海運	15 内航海運	なし
10 航空(貨物)	16 航空(貨物)	なし

注)産業部門において、「階層1」での算出値を調整するためなどに用いられている
「階層2」は、運輸部門ではサービスのより大きな区分を示しているにすぎない

(2) エネルギー消費量および単位サービス量当たりのエネルギー消費量

エンドユースモデル運輸部門の入力データ作成には、運輸省運輸政策局情報管理部編の「運輸関係エネルギー要覧」、「自動車輸送統計年報(旧 陸運統計年報)」等を基本となる資料として利用している。

なお、以下のものについては他の資料等により推計を行なっている。

- ・軽自動車については、1987年まで陸運統計年報(現 自動車輸送統計年報)等の調査対象外であったため、軽自動車輸送統計調査(月次標本調査)を用いて推計。
- ・同様に自家用乗用車の軽油消費量が、1987年まで調査対象外であったため、1990年時の自家用ディーゼル/ガソリン車の保有台数比とエネルギー消費量の関係に標準的な燃費を加重して推計。その他の自動車についても、単位エネルギー消費量算定に必要な燃料別車種別のサービス量の多くは保有台数比などから推計。

「総合エネルギー統計」が、自家用貨物車用の軽油の一部を建設業や製造業に計上しているため

か、「運輸関係エネルギー要覧」の自動車のエネルギー消費は、「総合エネルギー統計」より若干過大な値となっている(表3.5.2)。

表3.5.2 運輸部門のエネルギー消費量および単位エネルギー消費量

	上段: エネルギー消費量 kcal/year(1985)						対象サービス量(≠単位)
	下段: 単位エネルギー消費量 kcal/(#/year(1985)) (=エネルギー消費量/対象サービス量)						
	ガソリン	軽油	重油	LPG	電力	ジェット油	
1 軽乗用車	7.715E+12 365	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	人の移動量 単位: 人・km
2 小型乗用車	2.062E+14 644	1.263E+13 713	0 0	0 0	0 0	0 0	"
3 普通乗用車	8.259E+12 865	1.110E+11 942	0 0	0 0	0 0	0 0	"
4 営業乗用車	2.220E+11 1,359	8.418E+11 973	0 0	1.899E+13 1,289	0 0	0 0	"
5 自家用バス	4.070E+11 81	2.997E+12 103	0 0	0 0	0 0	0 0	"
6 営業用バス	0 0	1.211E+12 171	0 0	0 0	0 0	0 0	"
7 鉄道(旅客)	0 0	3.432E+12 10	0 0	0 0	3.045E+13 92	0 0	"
8 旅客船	0 0	6.110E+11 105	1.350E+13 2,309	0 0	0 0	0 0	"
9 航空(旅客)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1.695E+13 513	"
10 軽貨物車	6.180E+12 3,462	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	物の輸送量 単位: t・km
11 小型貨物車	5.209E+13 5,629	3.959E+13 7,218	0 0	0 0	0 0	0 0	"
12 普通貨物車	8.758E+11 151	1.150E+14 699	0 0	0 0	0 0	0 0	"
13 特殊用途車	1.396E+12 71	1.720E+13 870	0 0	0 0	0 0	0 0	"
14 鉄道(貨物)	0 0	3.819E+11 17	0 0	0 0	3.388E+12 155	0 0	"
15 内航海運	0 0	0 0	2.531E+13 123	0 0	0 0	0 0	"
16 航空(貨物)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	3.300E+12 6,846	"

(3) サービス生産(移動手段)用技術

運輸部門においては、特殊用途車を除く全ての自動車を対象として技術データを作成している。階層を極めて単純に設定することが可能(前述)な反面、移動体は極めて多種多様なものが存在しており、技術データの作成は代表車(装置)の選定をはじめとして慎重に行なわれる必要がある。

表中、「ストック型」とある行のデータは、1985年における保有車ベースの値であり、これを以て従来車を代表させている。「新型」とあるのは、1985年時の各階層の代表的車種の新车時のスペックを基に推計した。表中「エネルギー消費量」は、いわゆる燃費に相当するもので、10モード燃費や60km定地燃費より推計した。

いづれも計上しているエネルギー消費原単位は、基準年の車の利用状況等を基に作成しており、以下の点に留意する必要がある。

- ・「人・km」「t・km」単位で、エネルギー消費原単位を考える場合、搭乗者数や積載重量あるいは渋滞の程度などといった自動車の使用状況が大きく影響する。
- ・作成した「新型」(新车)のデータは、各階層中、最も販売実績のあるであろう車種を選択し、これを以て代表させている。しかし、例えば小型乗用車にしても、多種多様な車が存在し、その販売構成は経年で変化する。

なお、現状の技術選択モデルは、経済性のみを技術の選択基準としているため、ディーゼル自動車等の燃料コストが安い技術へのシフトが生じる。しかし、現実には、乗り心地、環境への影響等の価格以外の評価基準も存在している。このためいくつかの技術については、固定費用に負の効用価格を加味するという制約条件を設けている（表中#印）。

表3.5.3 運輸部門の技術データ

サービス生産用技術名	技術導入階層	標準的 使用年数	固定費用(価格) 円/(#/year)	燃料-消費量 kcal/(#/year)	燃料種	導入状況	
軽乗用車(gas.) ストック型	軽乗用	9.0	67.0	365.0	ガソリン	100%(1985)	
軽乗用車(gas.) 新型		9.0	67.0	422.0	ガソリン	0%(1985)	
軽乗用車(gas.) 低燃費		9.0	68.2	379.8	ガソリン	0%(1985)	
軽乗用車(ele.) 低公害		9.0	289.0	58.0	電力	0%(1985)	
小型乗用車(die.) ストック型	小型乗用	9.0	98.0	713.0	軽油	5%(1985)	
小型乗用車(die.) 新型		9.0	111.0 #	374.0	軽油	0%(1985)	
小型乗用車(gas.) ストック型		9.0	101.0	644.0	ガソリン	95%(1985)	
小型乗用車(gas.) 新型		9.0	101.0	411.0	ガソリン	0%(1985)	
小型乗用車(gas.) 低燃費		9.0	102.8	369.9	ガソリン	0%(1985)	
小型乗用車(ele.) 低公害		9.0	333.0	122.0	電力	0%(1985)	
小型乗用車(CNG) 低公害		9.0	125.0	524.0	ガス	0%(1985)	
普通乗用車(die.) ストック型		普通乗用	11.0	133.0	942.0	軽油	1%(1985)
普通乗用車(die.) 新型			11.0	302.0 #	582.0	軽油	0%(1985)
普通乗用車(gas.) ストック型	11.0		285.0	865.0	ガソリン	99%(1985)	
普通乗用車(gas.) 新型	11.0		285.0	695.0	ガソリン	0%(1985)	
普通乗用車(gas.) 低燃費	11.0		290.1	625.5	ガソリン	0%(1985)	
営業乗用車(die.) ストック型	営業乗用	9.0	23.0	973.0	軽油	6%(1985)	
営業乗用車(die.) 新型		9.0	26.0 #	657.0	軽油	0%(1985)	
営業乗用車(gas.) ストック型		9.0	26.0	1,359.0	ガソリン	1%(1985)	
営業乗用車(gas.) 新型		9.0	26.0	789.0	ガソリン	0%(1985)	
営業乗用車(gas.) 低燃費		9.0	26.5	710.1	ガソリン	0%(1985)	
営業乗用車(LPG) ストック型		9.0	18.0	1,289.0	LPG	93%(1985)	
営業乗用車(LPG) 新型		9.0	18.0	902.0	LPG	0%(1985)	
営業乗用車(ele.) 低公害		9.0	72.0	214.0	電力	0%(1985)	
営業乗用車(CNG) 低公害		9.0	27.0	921.0	ガス	0%(1985)	
自家用バス(die.) ストック型	自家用バス	15.0	10.0	103.0	軽油	85%(1985)	
自家用バス(die.) 新型		15.0	10.0	102.0	軽油	0%(1985)	
自家用バス(gas.) ストック型		15.0	6.0	81.0	ガソリン	15%(1985)	
自家用バス(gas.) 新型		15.0	10.0 #	77.0	ガソリン	0%(1985)	
自家用バス(HIMR) 低公害		15.0	91.0	141.0	軽油	0%(1985)	
営業用バス(die.) ストック型	営業用バス	13.0	16.0	171.0	軽油	100%(1985)	
営業用バス(die.) 新型		13.0	16.0	172.0	軽油	0%(1985)	
営業用バス(HIMR) 低公害		13.0	28.0	124.0	軽油	0%(1985)	
軽貨物車(gas.) ストック型	軽貨物	9.0	3,450.0	3,462.0	ガソリン	100%(1985)	
軽貨物車(gas.) 新型		9.0	3,450.0	2,924.0	ガソリン	0%(1985)	
軽貨物車(gas.) 低燃費		9.0	3,512.1	2,631.6	ガソリン	0%(1985)	
軽貨物車(ele.) 低公害		9.0	13,500.0	704.0	電力	0%(1985)	
小型貨物車(die.) ストック型	小型貨物	9.0	391.0	7,218.0	軽油	37%(1985)	
小型貨物車(die.) 新型		9.0	447.0 #	4,764.0	軽油	0%(1985)	
小型貨物車(gas.) ストック型		9.0	312.0	5,629.0	ガソリン	63%(1985)	
小型貨物車(gas.) 新型		9.0	312.0	5,629.0	ガソリン	0%(1985)	
小型貨物車(gas.) 低燃費		9.0	317.6	5,075.1	ガソリン	0%(1985)	
小型貨物車(ele.) 低公害		9.0	4,313.0	954.0	電力	0%(1985)	
小型貨物車(CNG) 低公害		9.0	680.0	4,099.0	ガス	0%(1985)	
普通貨物車(die.) ストック型		普通貨物	10.0	30.0	699.0	軽油	97%(1985)
普通貨物車(die.) 新型	10.0		30.0	634.0	軽油	0%(1985)	
普通貨物車(gas.) ストック型	10.0		11.0	151.0	ガソリン	3%(1985)	
普通貨物車(gas.) 新型	10.0		32.0 #	330.0	ガソリン	0%(1985)	

注) #印：(旅客輸送単位) = (人・km)，(貨物輸送単位) = (t・km)

4章 シミュレーション結果

4.1 入力条件の設定

シミュレーションの前提として、エネルギーサービス需要量の伸びを設定するシナリオの一覧を、表4.1.1に示す。このシナリオの詳細は、次節以降に部門別に示してある。このシナリオの想定のもとでエネルギーサービス量を与え、技術選択、エネルギー消費量推定、二酸化炭素排出量推定の一連の計算を、1985年度を開始年として1年度ごとに2010年度まで実行した。

シミュレーションは次の5つのケースについて行った。

(1) 技術が変更されないケース

技術の変更に経済的メリットがあるとしても、国民の理解が不足していたり技術変更に社会的制約があることにより、現状の技術のまま将来も推移する。炭素税や補助金等の対策無し。

(2) 標準ケース

経済性に関する合理的な判断のもとに、技術選択が行われることを前提とした標準ケース。補助金等の対策無し。

(3) 炭素税導入ケース

標準ケースに加えて、炭素税を導入する。税率はモデル全体の挙動を観察するために仮に炭素1トン当たり3万円と設定した。

(4) 炭素税導入+主観的投資回収期間の延長ケース

炭素税導入ケースに加えて、国民が省エネの経済メリットを長期的に判断する場合を想定して、主観的な投資回収期間を最大20年に延長する。

(5) 炭素税+補助金ケース

標準ケースに加えて、低い税率の炭素税を導入し、その税収の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用する。この場合、二酸化炭素の排出総量を最小化するように補助金の割当てを行い、税収の部門間の移転は行わないものとする。税率は(3)の十分の一程度をめどにして、仮に炭素1トン当たり3,000円と設定した。

ここで、炭素税の導入時点は1995年からと設定したが、税のアナウンスメント効果が1990年から始まることを前提にして、投資回収期間の延長は1990年から始まると仮定した。このことは、今の時点で炭素税の導入を決めたとしても、その効果は本予測結果に比べてタイムラグをもつ可能性があることに留意する必要がある。また、対策を導入しない場合の投資回収期間は、全ての部門において最大3年と設定したが、炭素税が導入される場合には主観的な投資回収期間が延びることを想定して、家庭部門で最大10年、業務部門では最大15年まで延長されることを想定した。運輸及び産業部門では、今の技術メニューの範囲では投資回収期間の感度が小さいためこのような想定は置かなかった。なお、家庭部門に比べて業務部門の回収期間延長の幅を大きく設定したのは、コージェネ・システム等の導入の際に、長期的な投資計画のもとで投資管理がより合理的に行われると考えられるからである。しかしながら、これらの主観的意識の実態については、いまのところ実証データがほとんど無く、不確実性が伴う。今後の研究によってはこれらの想定を見直す必要がある。

表4.1.1 シミュレーションの主要な前提

セクター	想 定	根 拠
鉄 鋼	<ul style="list-style-type: none"> 粗鋼年生産量が1.12億 t (1990) から1.05億 t (2000) になり安定 電気炉のシェアは31.6% (1990) から35.0% (2000) になり安定 	鉄鋼統計年報 環境庁想定
セメント	<ul style="list-style-type: none"> セメント生産量は8.4万 t (1990) から8万 t (2000) になり安定 混合セメントのシェアは18.2% (1990) から22% (2000) になり安定 	セメントハン ドブック セメント年鑑 環境庁想定
石油化学	<ul style="list-style-type: none"> エチレン年生産量は581万 t (1990) から660万 t (2000) になり安定 ポリエチレン、ポリプロピレン、BTX等の生産量の占め割合は変化せず 	石油化学工業 の現状 環境庁想定
紙パルプ	<ul style="list-style-type: none"> 紙及び板紙生産量は2,809万 t (1990) から3,450万 t (2000)、3,810万 t (2010)となる パルプ生産量に占める古紙パルプのシェアは51.4% (1991) から56.0% (2000)、60.0% (2010)となる 	紙・パルプ統 計年報 環境庁想定
家 庭	<ul style="list-style-type: none"> 世帯数は2000年までは年0.6%、その後は年0.1%と想定 世帯面積は46㎡ (1985) から48.5㎡ (2010)と想定 冷房強度は20年間に2.77倍になると想定 暖房強度は20年間に1.37倍になると想定 給湯・厨房強度は20年間に1.27倍になると想定 明るさは20年間に1.17倍になると想定 テレビの保有率は174.7 (1985、台/百世帯) から254.0 (2010)になると想定 テレビの高性能化は25年間 (1985より) に1.8倍と想定 冷蔵庫の保有率は114.3 (1985、台/百世帯) から130.1 (2010)になると想定 冷蔵庫の高性能化は25年間 (1985より) に1.4倍と想定 洗濯機の保有率は106.5 (1985、台/百世帯) から113.0 (2010)になると想定 掃除機の保有率は124.8 (1985、台/百世帯) から149.2 (2010)になると想定 電子レンジの保有率は46.0 (1985、台/百世帯) から89.8 (2010)になると想定 	第六期住宅建 設五箇年計画 省エネルギーハ ンドブック 日本工業規格 地球温暖化防 止対策ハ ンドブック 日本照明協会 地球温暖化経 済システム検討 会 国民実態調査 報告 日本電子機械 工業会ほか
業 務	<ul style="list-style-type: none"> 床面積は2000年までは年2.4%、その後は年1.4%と想定 複写機の電力消費量は25年間 (1985より) に2.2倍と想定 計算機の電力消費量は25年間 (1985より) に3.0倍と想定 中高層以上の割合は1.5倍 (2000)、1.8倍 (2010)と想定 	地球温暖化防 止対策ハ ンドブック 日本電子工業 振興協会ほか
運 輸	<ul style="list-style-type: none"> 軽乗用車は年率1.8%、小型及び普通乗用車は年率2.5%で増加 営業乗用車は年率-0.2%、営業バスは年率1.8%で増加 軽貨物車及び普通貨物車は年率1.6%、小型貨物は年率-1.3%で増加 鉄道 (旅客) は1.9%、鉄道 (貨物) は3.5%で増加 	運輸政策審議 会ほか

4. 2 産業部門

4.2.1 鉄鋼業

(1) シナリオ

粗鋼生産量に関するシナリオデータを表4.2.1に示す。1985～1990年度は実績値を用い、1991年度以降はシナリオによって与えた。経過年の値は線形補完によって内挿した。

消費電力に関するシナリオは、高炉による製鉄所と電気炉による製鉄所で異なる。高炉による製鉄所では、まず炉ガスによる自家発電のシェアをシナリオで与える。次に廃熱回収発電であるが、これらは現在、湿式から乾式で移行中で回収発電量が向上しつつある。そこで、AIMエンドユースモデルでは湿式と乾式の間で技術選択を行い、湿式から乾式へ置き換った分、回収電力量が増加するというロジックで回収電力量を算出した。購入電力量は、電力総需要量から自家発電量と廃熱発電量を差し引いた量とした。

日本の電気炉による製鉄所では、現在ほぼ100%近い量が購入電力によって賄われている（表4.2.2）。そこでAIMエンドユースモデルにおいては、電気炉による製鉄所の消費電力は100%購入電力によって賄われるものとした。

表4.2.1 鉄鋼業のシナリオ

サービス量等	年度	生産量等	出典
粗鋼年生産量	1985	103,757,664(t)	鉄鋼統計年報
	1990	111,709,678(t)	鉄鋼統計年報
	2000	105,000,000(t)	環境庁想定
	2010	105,000,000(t)	環境庁想定
粗鋼生産に占める 電気炉のシェア	1985	29.3%	鉄鋼統計年報より作成
	1990	31.6%	鉄鋼統計年報より作成
	2000	35.0%	環境庁想定
	2010	35.0%	環境庁想定

表4.2.2 鉄鋼業の電力消費量のシナリオ

< 高炉による製鉄所 >

自家発電（炉ガス）	高炉による製鉄の消費電力の29.2%(1985年)
高炉炉頂圧発電	乾式と湿式の技術選択
コークス消火設備	乾式と湿式の技術選択
購入電力	電力需要量 - (自家発電+高炉炉頂圧発電+コークス消火設備)

< 電気炉による製鉄所 >

購入電力	電気炉による製鉄の消費電力の100%
------	--------------------

(2) シミュレーション結果

鉄鋼業における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.2.1に示す。総排出量による燃料種別構成を図4.2.2に示した。また、税率と技術選択の関係を表4.2.3に示した。

① 非課税

1990年度以降省エネ機器と従来機器の比率が一定である場合と、非課税の場合とを比較すると、2010年において5%程度の省エネが進んでいる。このことは現状の燃料価格もしくは機器価格で推移していくと、炭素税の課税を行わなくとも省エネ機器が導入されていくことを意味する。具体的には、コークス炉調湿装置と連続焼鈍装置を除く省エネ機器の導入が進み、2010年にはそれら全てが100%の導入化されるほか（表4.2.3）、コークス調湿装置についても、現状の石炭価格の安さ、連続焼鈍装置は固定費用が高いため少ししか導入されない。

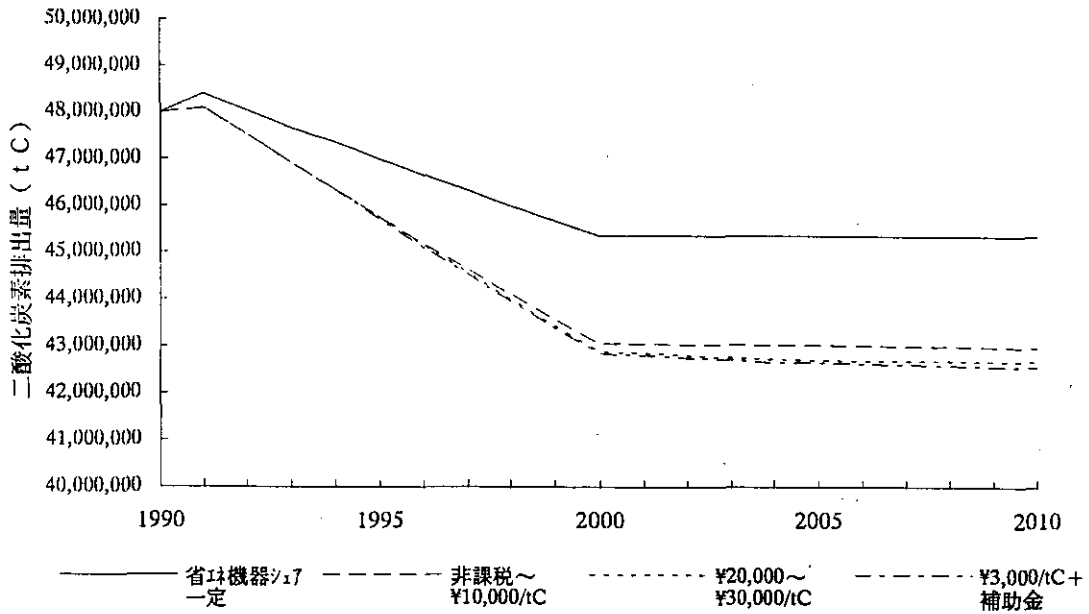


図4.2.1 鉄鋼業の二酸化炭素排出量予測（炭素税課税率別）

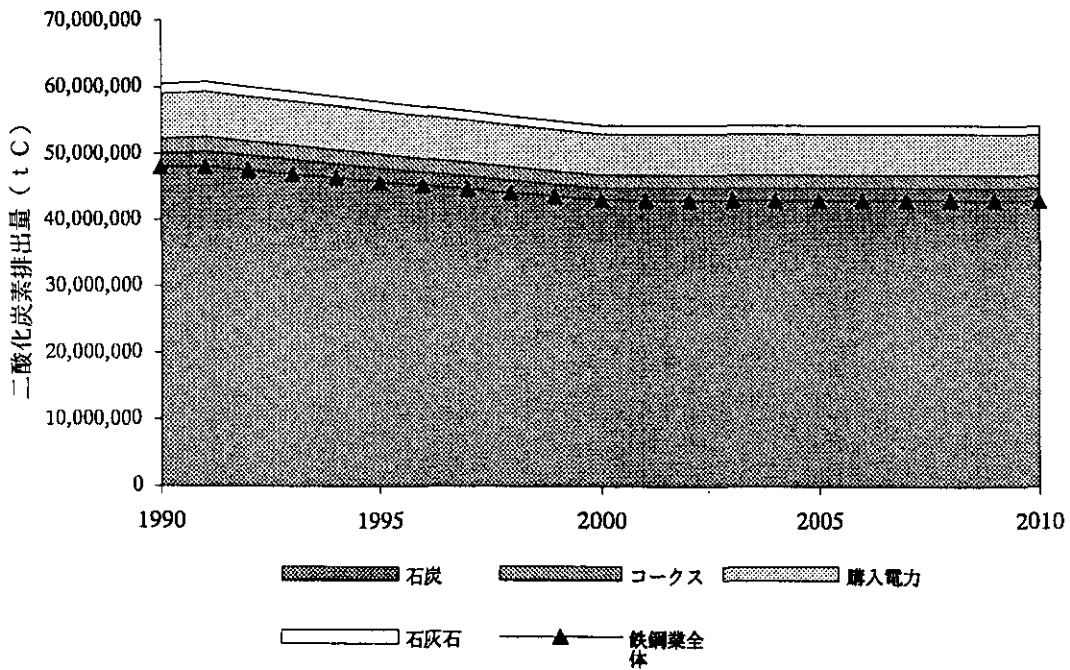


図4.2.2 鉄鋼業の二酸化炭素排出量予測（燃料種別：非課税）

また、CO₂の総排出量を燃料別で見ると、排出量の大部分は石炭の燃焼からの排出が占めている（図4.2.2）が、石炭には鉄鋼業内で生産もしくは発生したコークスや炉ガスを含んでいる。燃料ごとの積み上げ値の方が、鉄鋼業全体の値を上回っているのは、積み上げ値には鉄鋼業界外へ払い出した燃料（例えば、電気業者社や化学工業への炉ガス払い出し）を含んでいるためである。

表4.2.3 炭素税による技術選択の変化

単位：%

炭素税	技術名	1985	1990	1995	2000	2005	2010
非課税	コークス炉	98	95	95	94	97	100
	コークス炉+コークス炉調湿装置	2	5	5	6	3	0
10,000円/tC	コークス炉	98	95	95	94	97	100
	コークス炉+コークス炉調湿装置	2	5	5	6	3	0
20,000円/tC	コークス炉	98	95	95	46	0	0
	コークス炉+コークス炉調湿装置	2	5	5	54	100	100
非課税	予熱装置なし	94	88	39	0	0	0
	スクラップ予熱装置	6	12	61	100	100	100
30,000円/tC	予熱装置なし	94	88	39	0	0	0
	スクラップ予熱装置	6	12	61	100	100	100
非課税	交流式電気炉	100	99	74	51	29	0
	直流式電気炉	0	1	26	49	71	100
10,000円/tC	交流式電気炉	100	99	74	51	29	0
	直流式電気炉	0	1	26	49	71	100
20,000円/tC	交流式電気炉	100	99	74	25	0	0
	直流式電気炉	0	1	26	75	100	100
非課税	鑄造装置	32	7	0	0	0	0
	連続鑄造装置	68	93	100	100	100	100
30,000円/tC	鑄造装置	32	7	0	0	0	0
	連続鑄造装置	68	93	100	100	100	100
非課税	従来加熱装置	65	50	32	21	10	0
	直送圧延/熱片装入	35	50	68	79	90	100
30,000円/tC	従来加熱装置	65	50	32	21	10	0
	直送圧延/熱片装入	35	50	68	79	90	100
非課税	焼鈍装置	71	57	55	65	83	100
	連続焼鈍装置	29	43	45	35	17	0
30,000円/tC	焼鈍装置	71	57	55	65	83	100
	連続焼鈍装置	29	43	45	35	17	0
非課税	コークス湿式消火設備	52	30	7	0	0	0
	コークス乾式消火設備	48	70	93	100	100	100
30,000円/tC	コークス湿式消火設備	52	30	7	0	0	0
	コークス乾式消火設備	48	70	93	100	100	100
非課税	高炉設備	35	0	0	0	0	0
	湿式高炉炉調圧発電設備	60	90	73	39	0	0
30,000円/tC	乾式高炉炉調圧発電設備	5	10	27	61	100	100
	高炉設備	35	0	0	0	0	0
	湿式高炉炉調圧発電設備	60	90	73	39	0	0
	乾式高炉炉調圧発電設備	5	10	27	61	100	100

②課税（炭素税 ¥3,000～¥30,000/tC）

10,000円/tCまでの課税では、課税効果は見られない。20,000円/tCの課税を行うと若干の効果が現れる。これは、それ以下の課税では石炭価格の安さのため選択されなかったコークス炉調湿装置が選択されるようになったことと、直流式電気炉が耐用年数に達するのを待たずして交流式からの交換が行われるようになったことに起因する。30,000円/tCの課税を行っても、20,000円/tCと同様の効果しか上げることができない。AIM エンドユースモデル用の鉄鋼業の技術メニューの中で炭素税30,000円/tCまでの課税を行っても選択されない省エネ機器は、連続焼鈍装置のみである。

③補助金（炭素税 ¥3,000/tC+補助金）

炭素税3,000円/tCでは、コークス炉調湿装置、連続焼鈍装置が技術選択されない。これらが選択されるように補助金を充てる場合、前者は固定費用の7割、後者が固定費用の2割を負担する必要がある。連続焼鈍装置は30,000円/tCの課税によっても技術選択されなかった機器である。これを補助金によって選択可能な固定費用にしたため、炭素税3,000円/tCと補助金を組み合わせると、炭素税30,000円/tC以上の二酸化炭素排出量削減効果となる。

4.2.2 セメント工業

(1) シナリオ

セメント生産量に関するシナリオデータを表4.2.4に示す。1985～1990年度は実績値を用い、1991年度以降はシナリオによって与える。経過年の値は線形補完によって内挿した。

消費電力に関しては、購入電力と自家発電の技術選択は行わず、それぞれのシェアをシナリオで与える。1985年度の実績ベースのシェアから、購入電力は1.2%ずつの増加、自家発電は1.2%ずつの減少を設定した。この変化率は、1980～1990年度のシェアの変化率の傾向に基づく。自家発電はシナリオで想定された発電量を満たすように、ディーゼルエンジンと廃熱発電との間で技術選択を行った(表4.2.5)。

表4.2.4 セメント工業のシナリオ

サービス量等	年度	生産量等	出典
セメント年生産量	1985	72,213(千t)	セメントハンドブック
	1990	86,849(千t)	セメントハンドブック
	2000	80,000(千t)	環境庁想定
	2010	80,000(千t)	環境庁想定
セメント総生産量に占める 混合セメントのシェア	1985	14.5%	セメントハンドブック
	1990	18.2%	セメント年鑑
	2000	22.0%	環境庁想定
	2010	22.0%	環境庁想定
* 熟成セメントに占める * 熟成クリカに占める	—	95.0%	JIS規格の平均値
	—	55.0%	JIS規格の平均値

表4.2.5 セメント工業の電力消費量のシナリオ

購入電力	電力総需要量の64%(1985) 年率1.2%ずつ増加
自家発電量	電力総需要量の46%(1985) 年率1.2%ずつ減少 <ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼル発電 ・廃熱発電 } 技術選択

(2) シミュレーション結果

セメント工業における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.2.3に示した。総排出量による燃料種別構成を図4.2.4に示した。また、税率と技術選択の関係を表4.2.6に示した。

① 非課税

1990年度以降省エネ機器と従来機器の比率が一定である場合と、非課税の場合とを比較すると、2000年以前では後者の場合の方が二酸化炭素排出量が多いが、2010年度には前者の場合の方が排出量が多い。これは、非課税の場合は堅型ミルが技術選択され二酸化炭素排出量削減が進むが、廃熱発電が軽油の安さからディーゼルエンジンに置き換わり逆に二酸化炭素排出量が増加してしまうためである。

非課税の場合にセメント工業の技術メニューの中で技術選択されない省エネ機器は、高効率クリ

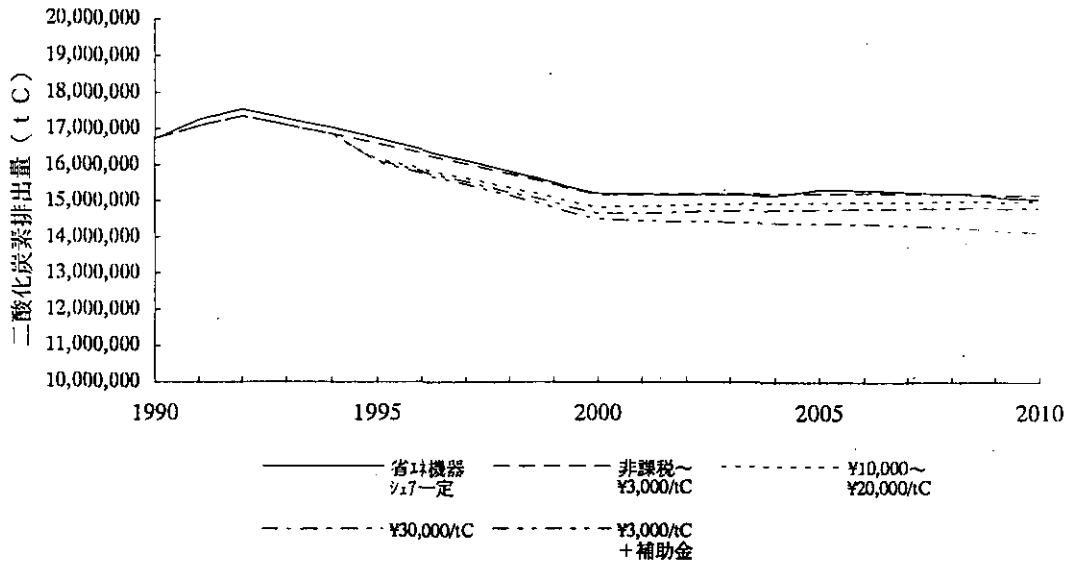


図4.2.3 セメント工業の二酸化炭素排出量予測（炭素税課税率別）

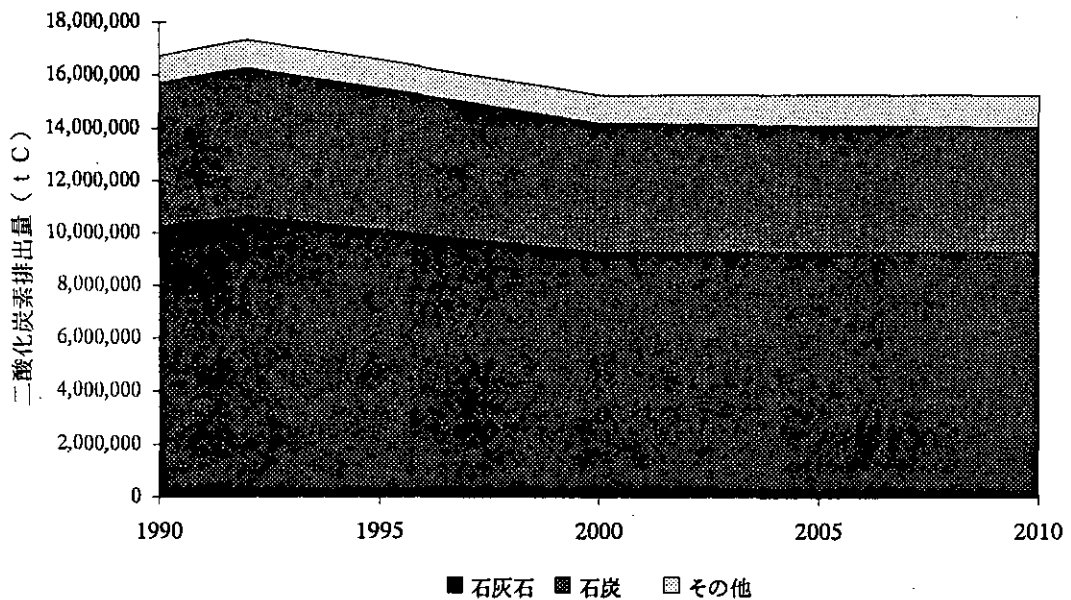


図4.2.4 セメント工業の二酸化炭素排出量予測（燃料種別：非課税）

ンカクーラ、予備粉砕機（仕上げ）、廃熱発電であった（表4.2.6）。高効率クリンカクーラは石炭価格が安いため、予備粉砕機は固定費用が高いため、廃熱発電は軽油価格が安いため、導入進まない。

CO₂総排出量を燃料別にみると、排出量のかなりの部分を石灰石と石炭の燃焼からの排出が占めている（図4.2.4）。従って、石炭及び石灰石からの排出量を削減できる対策が最も効果を発揮する。

表4.2.6 炭素税による技術選択の変化

炭素税		技術名	単位：%					
			1985	1990	1995	2000	2005	2010
非課税	30,000円/tC	チューブミル(原料行程)	74	63	50	38	24	15
		堅型ミル(原料行程)	26	37	50	62	76	85
非課税	10,000円/tC	チューブミル(原料行程)	74	63	50	38	24	15
		堅型ミル(原料行程)	26	37	50	65	76	85
非課税	30,000円/tC	NSP/SP以外	13	11	11	10	7	5
		NSP/SP	87	89	89	90	93	95
非課税	10,000円/tC	NSP/SP+高効率クリンカクーラ	0	0	0	0	0	0
		NSP/SP以外	13	11	0	0	0	0
非課税	30,000円/tC	NSP/SP	87	89	98	97	97	97
		NSP/SP+高効率クリンカクーラ	0	0	2	3	3	3
非課税	30,000円/tC	NSP/SP以外	13	11	0	0	0	0
		NSP/SP	87	89	98	19	15	15
非課税	30,000円/tC	NSP/SP+高効率クリンカクーラ	0	0	2	81	85	85
		チューブミル(クリンカ仕上げ)	96	93	92	92	92	92
非課税	10,000円/tC	予備粉砕機(クリンカ仕上げ)	4	7	8	8	8	8
		チューブミル(クリンカ仕上げ)	96	93	92	92	92	92
非課税	30,000円/tC	予備粉砕機(クリンカ仕上げ)	4	7	8	8	8	8
		チューブミル(高炉スラ仕上げ)	100	50	45	40	28	15
非課税	10,000円/tC	堅型ミル(高炉スラ仕上げ)	0	50	55	60	72	85
		チューブミル(高炉スラ仕上げ)	100	50	45	40	28	15
非課税	30,000円/tC	堅型ミル(高炉スラ仕上げ)	0	50	55	60	72	85
		ディーゼル発電	61	65	73	84	97	98
非課税	10,000円/tC	廃熱発電	39	35	27	16	3	2
		ディーゼル発電	61	65	73	84	97	98
非課税	30,000円/tC	廃熱発電	39	35	27	16	3	2

②課税 (炭素税 ¥3,000~¥30,000/tC)

3,000円/tCでは炭素税の効果は見られないが、10,000円/tCでは非課税の場合と比較して2010年時点で1%程度の二酸化炭素排出量削減効果が現れる。これはNSP/SP以外の焼成炉が課税による石炭価格の上昇によりNSP/SPへの置き換えが耐用年数を達するのを待たずして行われるためである。20,000円/tCの課税では10,000円/tCと同様の効果であるが、30,000円/tCの課税では非課税の場合と比較して2010年時点で2%程度の削減効果が現れる。それは高効率クリンカクーラの導入が進むためである。30,000円/tCの課税を行っても廃熱発電、予備粉砕機(仕上げ)の導入は進まない。

③補助金 (炭素税 3,000円/tC+補助金)

炭素税3,000円/tCでは、廃熱発電、高効率クリンカクーラ、予備粉砕機が技術選択されない。これらが選択されるように補助金を充てる場合、固定費用のそれぞれ20%、5%、40%程度を負担する必要がある。また、NSP/SPの固定費用の20%程度の補助金を充てることで耐用年数に達していないNSP/SP以外の焼成炉もNSP/SPに置き換わる。廃熱発電と予備粉砕機は30,000円/tCの課税によっても技術選択されなかった機器である。これらを補助金によって選択可能な固定費用としたため、炭素税3,000円/tCと補助金を組み合わせると、炭素税30,000円/tC以上の二酸化炭素排出量削減効果となる。

4.2.3 石油化学工業

(1) シナリオ

エチレン生産量に関するシナリオデータを表4.2.7に示した。1985~1990年度は実績値を用い、1991年度以降はシナリオによって与えた。経過年の値は線形補完によって内挿した。

消費電力に関しては、購入電力と自家発電の技術選択は行わず、それぞれのシェアをシナリオで

与えた（表4.2.8）。

表4.2.7 石油化学工業のシナリオ

サービス量等	年度	生産量など	出典
エチレン年生産量	1985	4,226,898(t)	「石油化学工業の現状」
	1990	5,809,627(t)	「石油化学工業の現状」
	2000	6,600,000(t)	環境庁想定
	2010	6,600,000(t)	環境庁想定
エチレン生産量に対する 低密度ポリエチレン生産量	1985	26.5%	「石油化学工業の現状」 より算出
エチレン生産量に対する 高密度ポリエチレン生産量	1985	18.6%	「石油化学工業の現状」 より算出
エチレン生産量に対する ポリプロピレン生産量	1985	72.3%	「石油化学工業の現状」 より算出
エチレン生産量に対する BTX生産量	1985	104.3%	「石油化学工業の現状」 より算出

表4.2.8 石油化学工業の電力消費量のシナリオ

購入電力	電力総需要量の58.10%
自家発電（水力）	電力総需要量の 4.12%
自家発電（内燃機関）	電力総需要量の 0.90%
購入電力（汽力）	電力総需要量の36.88%

（2）シミュレーション結果

石油化学工業における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.2.5に示した。総排出量による燃料種別構成を図4.2.6に示した。また、税率と技術選択の関係を表4.2.9に示した。

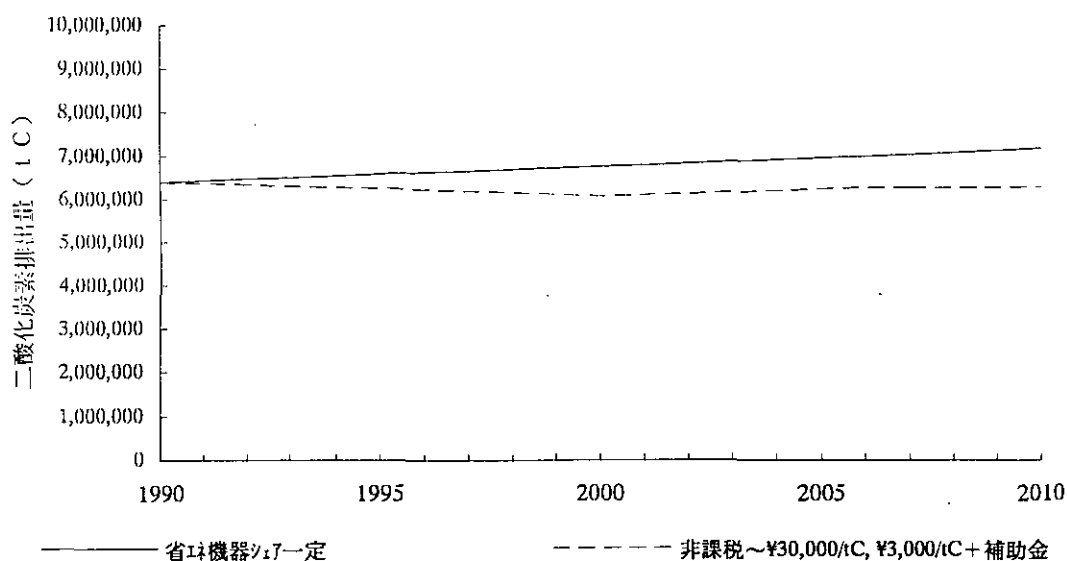


図4.2.5 石油化学工業の二酸化炭素排出量予測（炭素税課税率別）

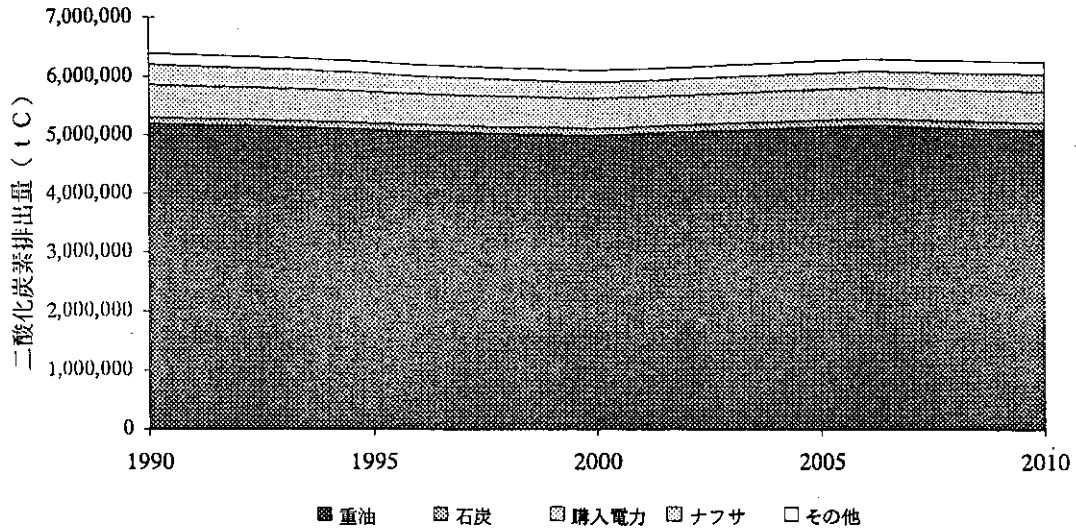


図4.2.6 石油化学工業の二酸化炭素排出量予測（燃料種別：非課税）

表4.2.9 炭素税による技術選択の変化

炭素税	技術名	単位：%					
		1985	1990	1995	2000	2005	2010
非課税	ナフサ分解	100	50	37	0	0	0
	高性能分解反応装置	0	50	63	100	100	100
30,000円/tC	ナフサ分解	100	50	37	0	0	0
	高性能分解反応装置	0	50	63	100	100	100
非課税	ポリエチレン製造装置	100	91	50	8	100	0
	高性能ポリエチレン製造装置	0	9	50	92	0	100
30,000円/tC	ポリエチレン製造装置	100	91	50	8	0	0
	高性能ポリエチレン製造装置	0	9	50	92	100	100
非課税	ポリプロピレン製造装置	100	70	37	0	0	0
	高性能ポリプロピレン製造装置	0	30	63	100	100	100
30,000円/tC	ポリプロピレン製造装置	100	70	37	0	0	0
	高性能ポリプロピレン製造装置	0	30	63	100	100	100
非課税	自家発電用重油ボイラー	100	45	0	0	0	0
	低空気比化	0	55	100	100	100	100
30,000円/tC	自家発電用重油ボイラー	100	45	0	0	0	0
	低空気比化	0	55	100	100	100	100
非課税	生産工程用重油ボイラー	100	45	0	0	0	0
	低空気比化	0	55	100	100	100	100
30,000円/tC	生産工程用重油ボイラー	100	45	0	0	0	0
	低空気比化	0	55	100	100	100	100

①非課税

1990年以降省エネ機器と従来機器の比率が一定である場合と、非課税の場合とを比較すると、2010年において10%強の省エネが進んでいる。現状の燃料価格もしくは機器価格で推移していくと、省エネ機器が導入されていくことを意味する。具体的には、技術メニューの範囲内のすべての機器が選択され、2010年にはそれら全てが100%導入された（表4.2.9）。

また、CO2総排出量を燃料種別でみると、排出量のかなりの部分は重油の燃焼からの排出で占められている（図4.2.6）。

②課税（炭素税 ¥3,000～¥30,000/tC）

非課税の段階で技術メニューの範囲内の全ての省エネ機器が選択されているため、課税による効果はない。

③補助金（炭素税 3,000円/tC+補助金）

非課税の段階で技術メニューの範囲内の全ての省エネ機器が選択されているため、課税による効果はない。

4.2.4 紙パルプ工業

(1) シナリオ

紙・板紙年生産量に関するシナリオデータを表4.2.10に示す。1985～1990年度は実績値を用い、1991年度以降はシナリオによって与えた。経過年の値は線形補完によって内挿した。

消費電力に関しては、購入電力と自家発電の技術選択は行わず、それぞれのシェアをシナリオで与えた（表4.2.11）。

表4.2.10 紙パルプ工業のシナリオ

サービス量など	年度	生産量等	出典
紙・板紙年生産量	1985	20,458,899(t)	「紙・パルプ統計年報」
	1990	28,085,787(t)	「紙・パルプ統計年報」
	2000	34,500,000(t)	環境庁想定
	2010	38,100,000(t)	環境庁想定
紙・板紙生産量に占める 紙生産量のシェア	1985	57.6%	「紙・パルプ統計年報」
	1990	58.5%	より作成
パルプ生産量に占める クラフトパルプのシェア	1985	53.0%	「紙・パルプ統計年報」
			より作成
パルプ生産量に占める KP以外の化学パルプのシェア	1985	4.0%	「紙・パルプ統計年報」
			より作成
パルプ生産量に占める 機械パルプのシェア	1985	11.0%	「紙・パルプ統計年報」
			より作成
パルプ生産量に占める 古紙パルプのシェア	1985	32.0%	「紙・パルプ統計年報」
	1991	51.4%	「紙・パルプ統計年報」
	2000	56.0%	環境庁想定
	2010	60.0%	環境庁想定

表4.2.11 紙パルプ工業の電力消費量のシナリオ

購入電力	電力総需要量の58.1%
自家発電（水力）	電力総需要量の4.12%
自家発電（内燃機関）	電力総需要量の0.90%
自家発電（汽力）	電力総需要量の36.88%

(2) シミュレーション結果

紙パルプ工業における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.2.7に示した。総排出量による燃料種別構成を図4.2.8に示した。また、税率と技術選択の関係を表4.2.12に示した。

①非課税

1990年度以降省エネ機器と従来機器の比率が一定である場合と、非課税の場合とを比較すると、2010年において11%程度の省エネが進んでいる。このことは現状の燃料価格もしくは機器価格で推移していくと、炭素税の課税を行わなくとも省エネ機器が導入されていくことを意味する。具体的には、液膜流下型蒸発缶、高性能サイズプレス装置及び高性能面圧脱水装置が2010年には100%導

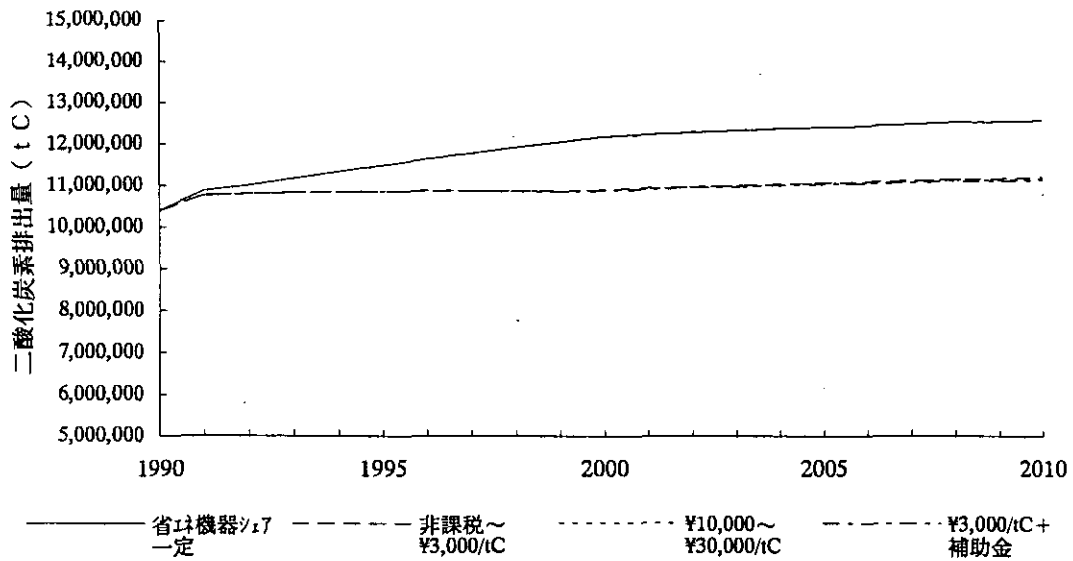


図4.2.7 紙パルプ工業の二酸化炭素排出量予測（炭素税課税率別）

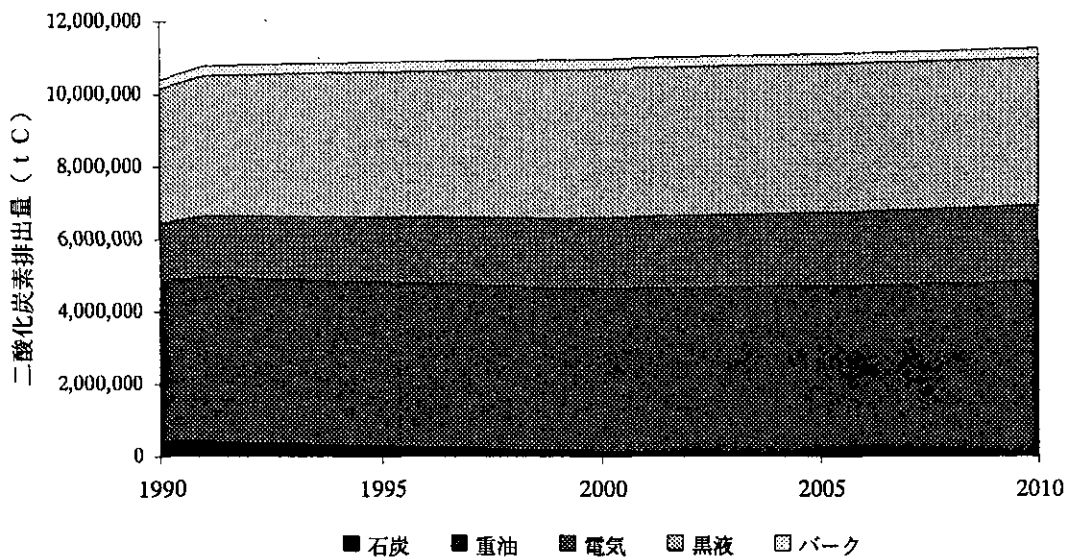


図4.2.8 紙パルプ工業の二酸化炭素排出量予測（燃料種別：非課税）

入されるほか、予備浸透型連続装置、高性能パルプ洗浄装置、自家発電用黒液ボイラー及び重油ボイラー（低空気比化）の省エネ機器についても、2010年まで70%以上の導入が進む（表4.2.12）。なお、酸素脱リグニン装置及びディフューザー漂白装置は固定費用が高いため少ししか導入されない。

また、CO₂の総排出量を燃料種別で見ると、排出量のかなりの部分は重油と黒液の燃焼からの排出で占められている（図4.2.8）。

表4.2.12 炭素税による技術選択の変化

炭素税	技術名	単位：%					
		1985	1990	1995	2000	2005	2010
非課税	従来型蒸解装置	100	98	99	99	100	100
	予備浸透型連続装置	0	2	1	1	0	0
3,000円/tC	従来型蒸解装置	100	98	99	75	56	23
	予備浸透型連続装置	0	2	1	25	44	76
30,000円/tC	従来型蒸解装置	100	98	99	75	56	23
	予備浸透型連続装置	0	2	1	25	44	77
非課税	従来型洗浄装置	100	99	99	99	100	100
	高性能バルブ洗浄装置	0	1	1	1	0	0
3,000円/tC	従来型洗浄装置	100	99	99	75	56	23
	高性能バルブ洗浄装置	0	1	1	25	44	77
30,000円/tC	従来型洗浄装置	100	99	99	75	56	23
	高性能バルブ洗浄装置	0	1	1	25	44	77
非課税	従来型脱リグニン装置	99	98	98	99	100	100
	酸素脱リグニン装置	1	1	1	1	0	0
30,000円/tC	ディフューザー漂白装置	0	1	1	1	0	0
	従来型脱リグニン装置	99	98	98	99	100	100
30,000円/tC	酸素脱リグニン装置	1	1	1	1	0	0
	ディフューザー漂白装置	0	1	1	1	0	0
非課税	従来型蒸発缶	100	99	71	50	33	0
	液膜流下型蒸発缶	0	1	29	50	77	100
30,000円/tC	従来型蒸発缶	100	99	71	50	33	0
	液膜流下型蒸発缶	0	1	29	50	77	100
非課税	従来型サイズプレス装置	100	98	71	50	31	0
	高性能サイズプレス装置	0	2	29	50	69	100
30,000円/tC	従来型サイズプレス装置	100	98	71	50	31	0
	高性能サイズプレス装置	0	2	29	50	69	100
非課税	従来型脱水装置	100	98	51	50	8	0
	高性能面圧脱水装置	0	2	49	50	92	100
30,000円/tC	従来型脱水装置	100	98	51	50	8	0
	高性能面圧脱水装置	0	2	49	50	92	100
非課税	自家発電用石炭ボイラー	7	4	3	1	0	0
	自家発電用重油ボイラー	52	31	20	10	0	0
30,000円/tC	重油*1行-(低空気比化)	0	6	12	17	23	15
	自家発電用パークボイラー	3	4	4	5	5	5
30,000円/tC	自家発電用黒液ボイラー	38	55	61	66	71	80
	自家発電用石炭ボイラー	7	4	3	1	0	0
30,000円/tC	自家発電用重油ボイラー	52	31	20	10	0	0
	重油*1行-(低空気比化)	0	6	12	17	23	15
30,000円/tC	自家発電用パークボイラー	3	4	4	5	5	5
	自家発電用黒液ボイラー	38	55	61	66	71	80
非課税	生産工程用石炭ボイラー	7	4	3	1	0	0
	生産工程用重油ボイラー	52	30	20	10	0	0
30,000円/tC	重油*1行-(低空気比化)	0	25	45	61	80	91
	生産工程用パークボイラー	3	3	1	0	0	0
30,000円/tC	生産工程用黒液ボイラー	38	38	31	28	20	9
	生産工程用石炭ボイラー	7	4	3	1	0	0
30,000円/tC	生産工程用重油ボイラー	52	30	20	10	0	0
	重油*1行-(低空気比化)	0	25	45	61	80	91
30,000円/tC	生産工程用パークボイラー	3	3	1	0	0	0
	生産工程用黒液ボイラー	38	38	31	28	20	9

②課税（炭素税 ¥3,000～¥30,000/tC）

炭素税3,000円/tCで二酸化炭素排出抑制効果が現われ、それ以上の課税を実施しても二酸化炭素排出量に変化は見られない。

③補助金（炭素税 ¥3,000/tC+補助金）

炭素税3,000円/tCで、技術メニューの範囲内の全ての省エネ機器が選択されているため、補助金による効果はない。

4. 3 家庭部門

(1) シナリオ

家庭部門として、シナリオとして、サービス量の変化、サービス機器のシェア及びサービス機器の改良の3つを設定した。

シミュレーションを行うために、①サービス量の変化シナリオ、②サービス機器のシェアシナリオ、③サービス機器の改良シナリオ、が必要である。AIM エンドユースモデルでは、以下のようにそれぞれのシナリオをまとめた。

①サービス量の変化シナリオ

サービス量変化シナリオを作成するために、まず基準年のサービス量を算定した。次に、サービス量の変化の変数を設定し、サービス量の変化を計算した。

本モデルの各サービス機器のサービス量は、基準年における基準住宅1世帯より算定しているのので、実際の住宅に需要されている平均値とは異なる。従って、本モデルでは基準年のサービスを修正し、実際のサービスに合わせた。

表4.3.1に示すように、例えば、暖房の場合、基準住宅では1サービスは年間9,761.4 Mcalに対して、実際の住宅の年間平均値は2,965Mcalである。従って、実際の住宅では基準住宅に比べて0.30サービスを行っていることになる。それで、日本全体のサービスは基準住宅（基準住宅1世帯で需要されているサービスを1としている）を基準とすると38,500,000サービスとなるが、実際の住宅のサービスに修正すると11,505,000となった。但し、冷房ではcop（成績係数）を3とした。

表4.3.1 各サービスの基準年におけるサービス量

	1世帯消費量 (Mcal/世帯/年)	COP	基準サービス量 (Mcal/世帯/年)	世帯数 (世帯)	基準年のサービス (サービス)
冷房	189.0	3	4,793.0	38,500,000	4,554,500
暖房	2,956.0	-	9,761.4	38,500,000	11,505,000
給湯・厨房	4,039.0	-	4,039.0	38,500,000	38,456,200
照明	524.0	-	718.8	38,500,000	28,066,200
その他	-	-	-	38,500,000	38,500,000

また、表4.3.2には各サービス量の算定基準を示した。この表からわかるようにサービス量の増加要因として、世帯数の増加、住居面積の拡大、冷暖房および給湯・厨房需要の増加、高齢化の進展による要求照度の増大はもちろん、家電機器の普及台数の増加、大型化および高機能化を用いた。表4.3.3は各サービス量に用いた変数の変化率を示した。

表4.3.2 各サービス量の算定基準

サービス種	サービス量の算定	サービス量変化
冷房	世帯数×世帯面積×冷房強度	サービス量変化の表に示す各変数の変化の割合に基づいて算定
暖房	世帯数×世帯面積×暖房強度	
給湯・厨房	世帯数×湯量×給湯強度	
照明	世帯数×明るさ	
テレビ	世帯数×保有率×高性能化	
冷蔵庫	世帯数×保有率×高性能化	
洗濯機	世帯数×保有率	
掃除機	世帯数×保有率	
電子レンジ	世帯数×保有率	
その他	その他×世帯数	

表4.3.3 各サービス量に用いた変数の変化率

変数	変化率の算定方法	シナリオ
世帯数	1990から2000年までは年0.59%、その後は年0.11%と想定	世帯数の変化(千人) 1985 1990 2000 2010 38.455 41.154 43.648 44.130
世帯面積	居住水準の増加によって、世帯面積のうち、実際の暮らしている面積が1985年の46㎡から2010年には48.5㎡になると想定。その間の変化率は一定と仮定	世帯面積の変化(㎡/世帯) 1985 2000 2010 46.0 48.5 48.5
冷房強度	1世帯あたりの冷房エネルギー変化を20年間に2.77倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	冷房強度の変化 1990 2010 1.00 2.77
暖房強度	1世帯あたりの暖房エネルギー変化を20年間に1.37倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	暖房強度の変化 1990 2010 1.00 1.37
給湯・厨房強度	1世帯あたりの給湯・厨房エネルギー変化を20年間に1.27倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	給湯・厨房強度の変化 1990 2010 1.00 1.27
明るさ	平均年齢の増加によって、20年間に1.17倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	平均年齢 1990 1995 2000 2005 2010 37.6 39.5 41.0 42.2 43.1 明るさ 1.00 1.05 1.09 1.14 1.17
テレビの保有率	保有率が1985年174.7(台/百世帯)から2010年254.0になると想定。その間の変化率は一定と仮定	テレビ保有台数の変化(台/百世帯) 1980 1985 1989 2000 2010 150.9 174.7 197.7 233.0 254.0
テレビの高性能化	H化・ゾソソビの普及により、25年間に1.8倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	テレビの高性能化(Mcal/世帯) 1985 2010 182.3 349.5
冷蔵庫の保有率	保有率が1985年114.3(台/百世帯)から2010年130.1になると想定。その間の変化率は一定と仮定	冷蔵庫保有台数変化(台/百世帯) 1980 1985 1989 2000 2010 115.2 114.3 115.8 124.9 130.1
冷蔵庫の高性能化	大型化により、25年間に1.39倍になると想定。その間の変化率は一定と仮定	冷蔵庫の高性能化(Mcal/台) 1985 2010 632.6 850.0
洗濯機の保有率	保有率が1985年106.5(台/百世帯)から2010年113.0になると想定。その間の変化率は一定と仮定	洗濯機保有台数の変化(台/百世帯) 1985 1989 2000 2010 106.5 107.5 110.9 113.0
掃除機の保有率	保有率が1985年124.8(台/百世帯)から2010年149.2になると想定。その間の変化率は一定と仮定	掃除機保有台数の変化(台/百世帯) 1985 1989 2000 2010 124.8 133.9 140.9 149.2
電子レンジの保有率	保有率が1985年46.0(台/百世帯)から2010年89.8になると想定。その間の変化率は一定と仮定	電子レンジ保有台数変化(台/百世帯) 1985 1989 2000 2010 46.0 78.3 84.2 89.8

- ・世帯数の変化は、『地球温暖化防止対策ハンドブック』の数値を用いた。
- ・世帯面積の変化は、『第六期住宅建設五箇年計画』を基に算定した。
2000年度の居住水準は、一般型誘導居住水準に準らすと想定した(表4.3.4)。

表4.3.4 一般型誘導居住水準の居住面積

	寝室A	寝室B	L	D	K	余裕	全体
面積(m ²)	13	10	13	7.5	5	10	98

2000年度に冷暖房等のサービスに必要な面積は、29.5畳(48.5㎡)と想定する(余裕部屋は除く)。また、2010年度の世帯面積は、2000年度と同様と想定した。

- ・冷暖房、給湯強度の変化は『地球温暖化防止対策ハンドブック』のサービス量推計値を用いた。
- ・明るさは、年齢によって必要な明るさが異なると想定し、年齢に伴い必要な明るさを『電気の効率使用ハンドブック』を基に算定した。
- ・テレビ保有の高性能化への変化
1985年度のテレビのエネルギー消費量は、1823 Mcal/世帯/年である。これを省エネ率、平均視聴時間等で割ると消費電力が166.97Wとなる。現在の省エネ率は0.92(1985年を1とした場合)を、平均視聴時間は『国民生活時間調査』により3.2時間を用いた。
また、167Wの電力を消費するテレビは約29型テレビである。2010年には32型ハイビジョンテレビ(消費電力330W)が普及することを想定した。従って、1985年を1とすると2010年には1.8となる(『日本電子機械工業会』は、ハイビジョンテレビが2007年度に最も高い予測で約100%普及されると予測している)。
- ・冷蔵庫の高性能化への変化
1985年度の冷蔵庫のエネルギー消費量は、632.6Mcal/世帯/年である。これを省エネルギー率(0.75)で割ると消費電力が46kWh/月になる。
46kWh/月の電力を消費する冷蔵庫は375l(93)である。2010年には500l冷蔵庫(64kWh/月)が普及することを想定した。従って、1985年を1とすると2010年には1.39となる。

②サービス機器のシェア

各機器が各サービスに占めることが可能な最大シェアは以下のように設定した。

基準年(1985年)、1989年、1991年のシェアは、『エネルギー・経済統計要覧』、『ガス石油機器データブック』、『民生用電子機器市場要覧』、『電子工業年鑑』、『日本工業年鑑』を基に算定した。また、1980年以前のシェアは基準年と同様であると仮定した。さらに、2010年のシェアは制約がないサービス機器に対しては1を、制約条件があるサービス機器はその制約条件を用いた。例えば、断熱材の参入可能なシェアは新設される住宅で最大の割合を示した(表4.3.5)。

表4.3.5 サービス機器のシェアの変化

	1980以前	1985年	1989年	1991年	2000年	2010年
エアコン(冷房専用)	0.45	0.45		0.5		1
エアコン(電気暖房兼用)	0.55	0.55		0.6		1
エアコン(ガス暖房兼用)	0.0	0.0		0.0		1
エアコン(石油暖房兼用)	0.0	0.0		0.0		1
石油ストーブ	0.49	0.49		0.53		1
石油ファンヒーター	0.151	0.151		0.151		1
石油温風暖房機	0.07	0.07		0.07		1
ガスファンヒーター	0.05	0.05		0.05		1
ガス温風暖房機	0.15	0.15		0.15		1
電気ストーブ	0.041	0.041		0.041		1
電気ヒュームファンヒーター	0.051	0.051		0.051		1
ガス給湯機	0.63	0.63		0.63		1
石油給湯機	0.18	0.18		0.18		1
電気温水器	0.15	0.15		0.15		1
ソーラーシステム	0.018	0.018		0.018		0.56
太陽熱温水器	0.022	0.022		0.022		0.56
電力多機能ヒートポンプ	0.0	0.0		0.0		1
ガスヒートポンプ	0.0	0.0		0.0		1
石油ヒートポンプ	0.0	0.0		0.0		1
断熱材1	0.0		0.0		0.15	0.20
断熱材2	0.0		0.0		0.15	0.20
断熱材3	0.0		0.0		0.15	0.20
断熱材4	0.0		0.0		0.15	0.20
断熱材5	0.0		0.0		0.23	0.35
断熱材6	0.0		0.0		0.23	0.35
断熱材7	0.0		0.0		0.44	0.32
断熱材8	0.0		0.0		0.18	0.13
白熱灯	0.22			0.22		1
蛍光灯	0.78			0.78		1
インバーター照明	0.0		0.0			1

断熱材1：新設戸建住宅 グラスウール100mm+ペアガラス
 断熱材2：新設戸建住宅 グラスウール 50mm+ペアガラス
 断熱材3：新設戸建住宅 グラスウール100mm+シングルガラス
 断熱材4：新設戸建住宅 グラスウール 50mm+シングルガラス
 断熱材5：新設集合住宅 ポリスチレン 25mm+ペアガラス
 断熱材6：新設集合住宅 ポリスチレン 25mm+シングルガラス
 断熱材7：既存戸建住宅 ペアガラス
 断熱材8：既存集合住宅 ペアガラス

③サービス機器の改良シナリオ

サービス機器のエネルギー消費量の内、以下に表示するものについては、毎年変化するものと仮定した(表4.3.6)。1990年以降の値については問題が多く、データの収集が間に合わなかったものがある。省エネルギーが進展すると考えられている機器に関しその時期が不明のものは、2010年時点までに実現するものと考えた。表示した年の間は、線形補間を行った。1985年、1990年のサービス機器のエネルギー消費量は、『家電製品協会』のデータを基に作成した。また、2010年におけるサービス機器の改良シナリオは、『省エネルギー限界に関する評価(電力経済研究 29)』を基に作成した。

表4.3.6 サービス機器の改良シナリオの変化

	1980年以前	1985年	1990年	2010年
冷暖房専用 (冷暖房専用)	213.1	199.2	192.4	175.0
冷暖房兼用 (電気暖房兼用)	567.2	530.3	512.2	465.7
冷暖房兼用 (ガス暖房兼用)	649.8	607.6	586.8	533.5
冷暖房兼用 (石油暖房兼用)	633.3	592.1	571.9	520.0
蛍光灯 DLIGHT	18.7	18.7	18.7	15.3
テレビ TELEVI	182.3	162.9	162.9	156.4
冷蔵庫 REFRIG	632.6	534.3	478.0	324.9
洗濯機 WASHIN	37.5		30.8	30.8

(2) シミュレーション結果

家庭部門における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.3.1に示す。また、税率と技術（機器）選択の関係を図4.3.2に示す。

①非課税

技術選択を考慮しないケースでは、2010年での二酸化炭素排出量が1990年度（3,800万トン）に比べて、約1.39倍（5,280万トン）となり、高い増加率が予測された。また、技術選択を考慮しても他部門と異なり、ほとんどの年で二酸化炭素の排出量は技術選択をしないケースを上まわる。その理由は、家庭部門においては価格が安い機器において相対的に二酸化炭素の排出原単位が大きく、これが選択されたからである。例えば、1990年までに使われた太陽熱温水器等から石油・ガス給湯器に、蛍光灯から白熱灯に代わる。その結果、2010年での二酸化炭素排出量は、1990年度に比べて約1.34倍（5,090万トン）となる。

②課税（炭素税 30,000/tC）

1 炭素トン当たり30,000円の炭素税を課すと、図4.3.2に示すように、戸建住宅の断熱材の導入が促進され、また暖房器や給湯器が電気を使用するものから石油を使用するものにシフトしていく。さらに、少しではあるが蛍光灯からインバータ照明へのシフトも見られる。これにより、二酸化炭素の排出量は2000年で1990年レベルにほぼ安定化するが、その後は再度増加を続け、2010年では1990年の約1.3倍（4,930万トン）となる。

③投資回収期間延長（炭素税 30,000/tC+投資回収期間延長）

一方、図4.3.3に示すように、省エネ機器への投資が燃料節約によって、埋め合わせされる期間（投資回収期間）について、消費者がこれを長い期間で考えるならば、炭素税を導入しなくても二酸化炭素を大幅に減らすことができる。このため、炭素税30,000円のケースに投資回収年を最

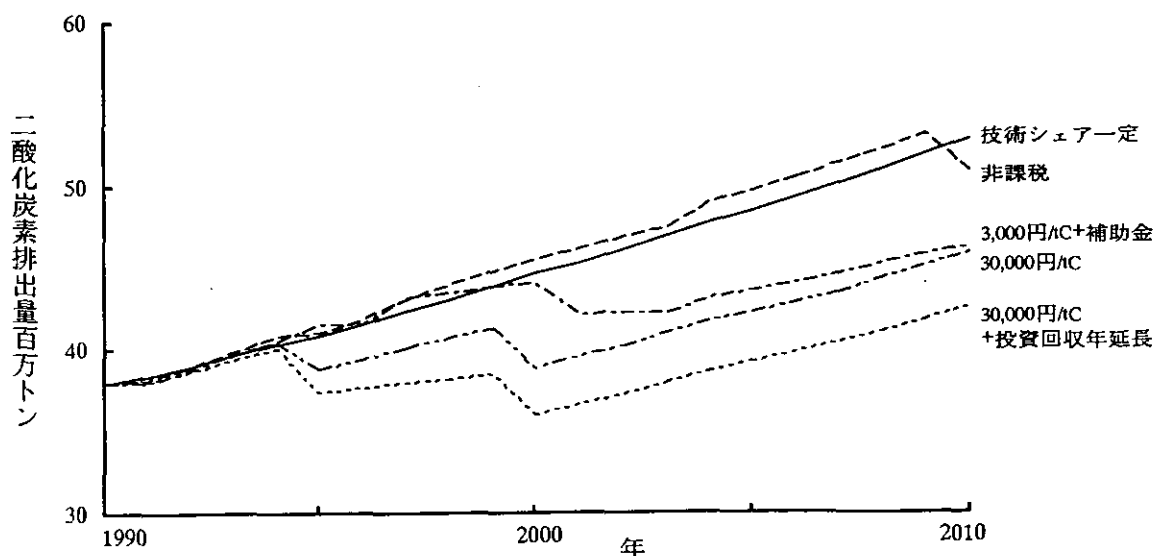


図4.3.1 家庭部門における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量の予測

大20年に延長するという条件をつけ加えると、ソーラーシステムが大幅に導入されることとなり、図4.3.1に示すとおり二酸化炭素の排出量はさらに削減できる。2000年では1990年レベルよりも低く、2010年では1990年の約1.12倍（4,270万トン）となる。

④補助金（炭素税 3,000円/tC+補助金）

1炭素トン当たり3,000円程度の薄い税を課して、その税収を省エネ機器の補助金に当たった場合、戸建住宅の断熱材の導入が促進されることとなり、2010年で見ると1炭素トン当たり30,000円の炭素税に匹敵する効果が現れる。

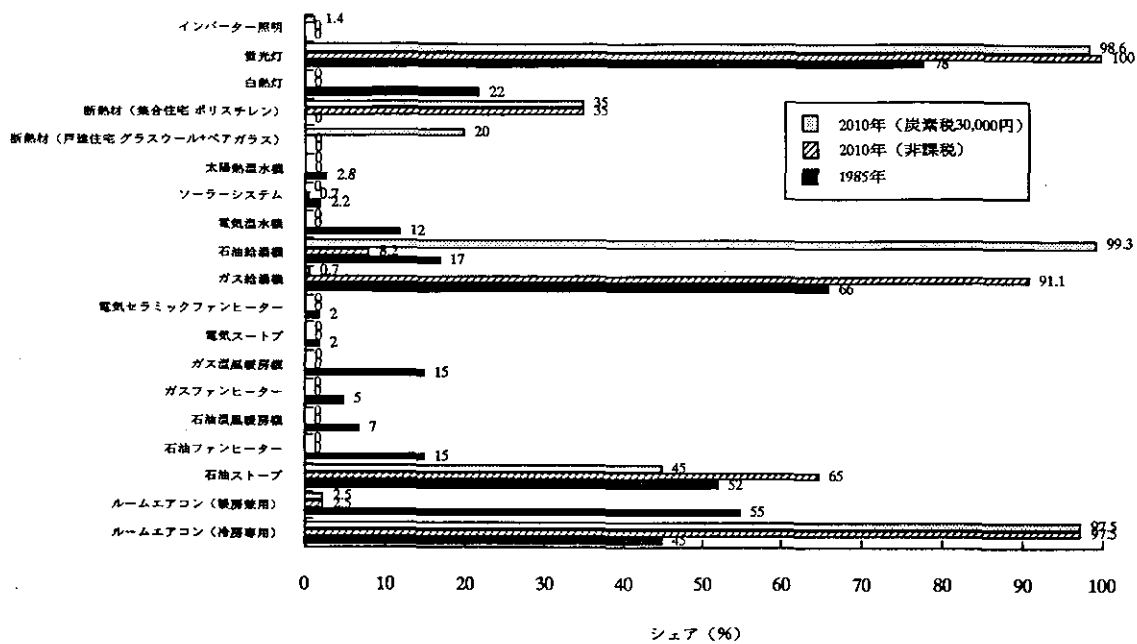


図4.3.2 家庭部門における炭素税付加によるサービス機器のシェアの変化

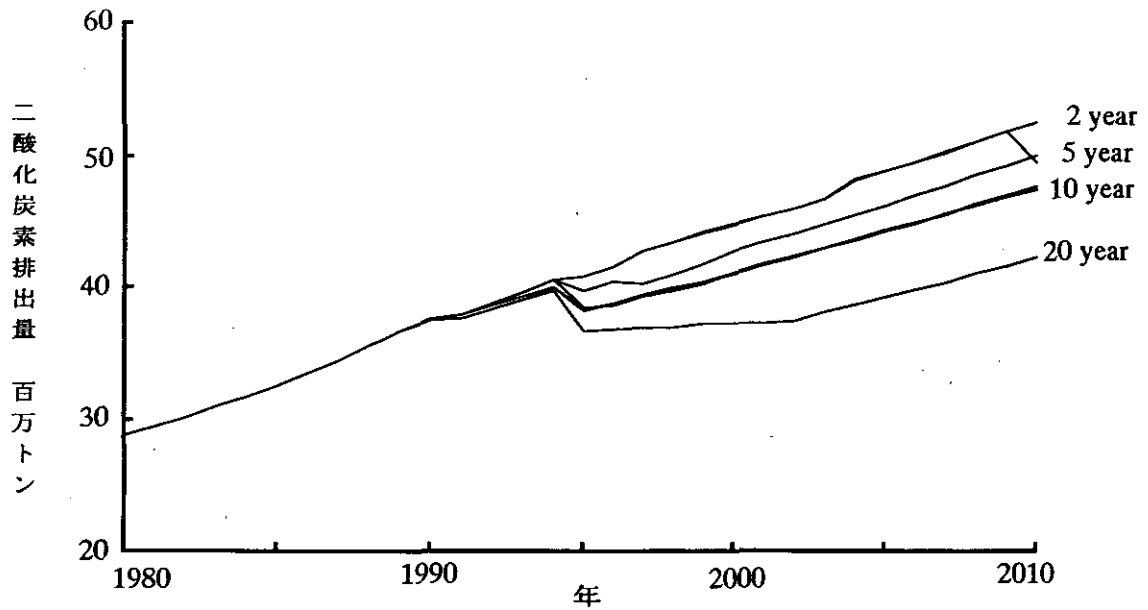


図4.3.3 投資回収年による二酸化炭素排出量の変化

4.4 業務部門

(1) シナリオ

業務部門として、シナリオとしてサービス量の変化、サービス機器のシェア及びサービス機器の改良の3つを選定した。

シミュレーションを行うために、①サービス量の変化シナリオ、②サービス機器のシェアシナリオ、③サービス機器の改良シナリオ、が必要である。AIMエンドユースモデルでは、以下のように3つのシナリオを作成した。

①サービス量の変化シナリオ

サービス量の変化シナリオを作成するために、まず基準年のサービス量を算定する。次に、サービス量の変化の変数を設定し、サービス量の変化を計算した。

1985年におけるサービス種別基準年のサービス量は表4.4.1のように設定した。サービス種別基準年のサービス量は、床面積当たりエネルギー消費量に、機器ごとのエネルギー効率と、その機器のシェアおよび床面積を乗じて算定した。また、サービス量の増加要因として床面積の増加と、OA機器の普及台数や使用時間の増加等を用いた。表4.4.2は各サービス量に用いた変数の変化率を示した。

②サービス機器のシェア

各機器が各サービスに占めることが可能な最大シェアは表4.4.3のように設定した。

③サービス機器の改良シナリオ

サービス機器のエネルギー消費量の内、以下に表示するものについては、毎年変化するものと仮定した(表4.4.4)。1990年以降の値については問題が多い。省エネルギーが進展すると考えられる機器に関しては、その時期が不明のものは、2010年時点までに実現するものと考えた。表示した年と年の間は、線形補間を行った。

表4.4.1 各サービス量の算定基準

サービス種	サービス量の算定	基準年のサービス量	サービス量変化
冷房	床面積	3.587E+10	サービス量変化の表に示す各変数の変化の割合に基づいて算定
暖房	床面積	5.895E+10	
給湯	床面積	5.700E+10	
照明	床面積	1.103E+09	
複写機	電力消費量	1.103E+09	
計算機	電力消費量	1.103E+09	
昇降機	事務所ビルの床面積うち、中層以上の割合	1.103E+09	
厨房	床面積	1.103E+09	
その他	床面積	1.103E+09	

表4.4.2 各サービス量に用いた変数の変化率

変数	変化率の算定方法	シナリオ
床面積	1990から2000年までは年2.4%その以後は1.4%と想定	床面積の変化(百万㎡)
		1985 1990 2000 2010 1.103 1.286 1.630 1.873
複写機の電力消費量	電力消費量の変化を1985から2010年に2.21倍になると想定その間の変化率は一定と仮定	複写機の消費電力量変化(百万Mcal/年)
		1985 2010 1753.5 3868.2
計算機の電力消費量	電力消費量の変化を1985から2010年に3.02倍になると想定その間の変化率は一定と仮定	計算機の消費電力量変化(百万Mcal/年)
		1985 2010 1966.8 5949.1
事務所ビルの床面積うち、中層以上の割合	中層以上の事務所ビルの増加によって、2000年には1.48倍2010年には1.84倍(1990年基準)と想定	1990 2000 2010
		事務所ビル伸び 1.00 1.51 1.88 中層(4階以上)割合 0.98 0.98 0.98

- ・床面積の変化率は、『地球温暖化防止対策ハンドブック』でのサービス量推計前提条件を用いた。
- ・複写機の伸び率は、日本工電子工業振興協会の予測値を基に作成した。
- ・汎用計算機の伸び率は、日本工電子機会工業会の予測値を基に作成した。
- ・昇降機のサービス量の変化シナリオ
事務所ビル以外にはほとんどが、中層ビル以下である。事務所ビルは低層(0~3階)が2.2%、中層(4~14階)が約91.9%、高層(15~29階)が約4.6%、超高層(30階以上)が約1.3%である。中層以上は97.8%となる。

表4.4.3 サービス機器のシェアの変化

技術	1985年	2000年	2010年
コージェネレーション(ガスエンジン)	0.0		0.20
コージェネレーション(ガスタービン、ガス使用)	0.0		0.20
コージェネレーション(ガスタービン、石油使用)	0.0		0.20
コージェネレーション(ディーゼルエンジン)	0.0		0.20
電気暖房	0.0546		1.00
石油暖房	0.9409		1.00
ガス暖房	0.0045		1.00
石油ボイラ給湯	0.7630		1.00
ガスボイラ給湯	0.2362		1.00
太陽熱温水機	0.0008		1.00
ガスヒーポン	0.0		1.00
照明	1.00		1.00
インター照明	0.0		1.00
保温構造化	0.0	0.10	0.21

表4.4.4 サービス機器の改良シナリオの変化

	1977年	1980年	1984年	1985年	1989年	1990年	1995年	2000年	2010年
電気冷房空調				4063	3993				3811
電気暖房				4483					4259
石油暖房				72990					65691
ガス暖房				66816					60134
石油ボイラ給湯				72990					65691
ガスボイラ給湯				66816					60134
計算機				1.78		1.74	1.65	1.48	1.48
昇降機	3.13	2.91	2.32		1.16				1.00

(2) シミュレーション結果

業務部門における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量予測シミュレーションの結果を図4.4.1に示す。また、税率と技術（機器）選択の関係を図4.4.2に示す。

①非課税

技術選択を考慮しないケースでは、2010年での二酸化炭素排出量が1990年度に比べて、約1.38倍（4,620万トン）となる。技術選択を考慮すると、コージェネレーションが導入されることになり、二酸化炭素の増加が抑えられることから、2010年での二酸化炭素排出量は1990年の約1.26倍（4,250万トン）となる。

②課税（炭素税 30,000円/tC）

1炭素トン当たり30,000円の炭素税を課すと、図4.4.2に示すように、コージェネレーションの導入がさらに促進されるほか、ガスヒートポンプの導入も少し増え、二酸化炭素の排出量はさらに減る。しかし、二酸化炭素の排出量の安定化には至らず、2010年で1990年の約1.13倍（3,810万トン）となる。

③投資回収期間延長（炭素税 30,000円/tC+投資回収期間延長）

業務部門においても家庭部門と同様に、図4.4.3に示すように炭素税を導入しなくても投資回収期間を延長することによって、二酸化炭素を大幅に減らすことができる。このため、炭素税30,000円のケースに投資回収年を最大20年延長するという条件をつけ加えると、太陽熱温水器の導入が増え、図4.4.1に示すように、2000年以降二酸化炭素の排出量を現状以下に減らすことができる。

④補助金（炭素税 3,000円/tC+補助金）

1炭素トン当たり3,000円程度の薄い税を課して、その税収を省エネ機器の補助金に当たった場合、コージェネレーションから得た電気を使用する計算機や乗降機が増えるほか、インバーター照明が導入されることとなり、2010年でみても1炭素トン当たり30,000円の炭素税に匹敵する効果が現れる。

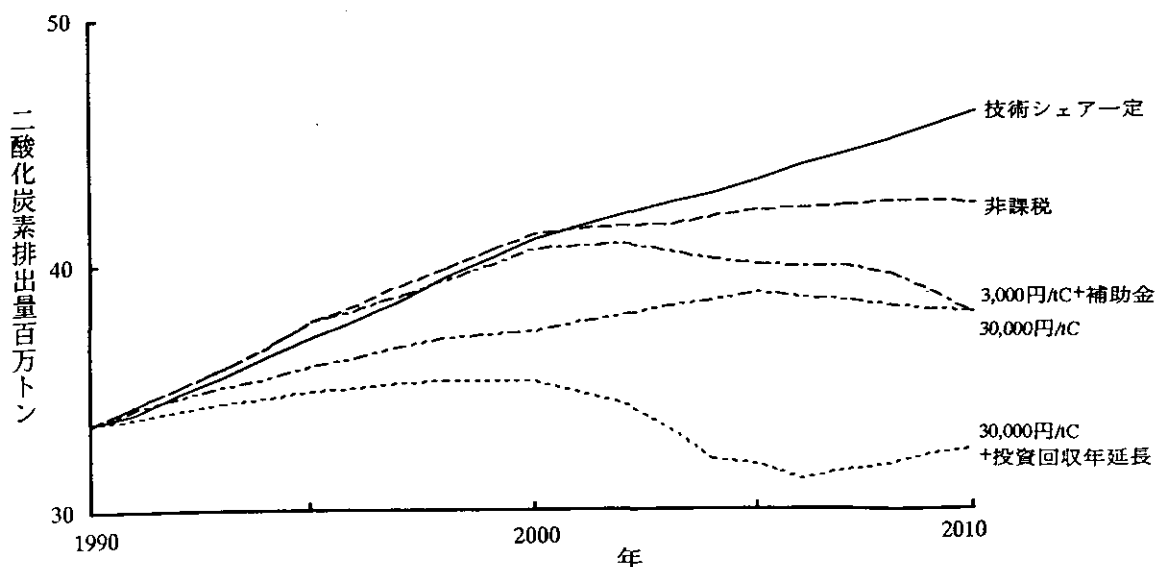


図4.4.1 業務部門における炭素税課税率別の二酸化炭素排出量の予測

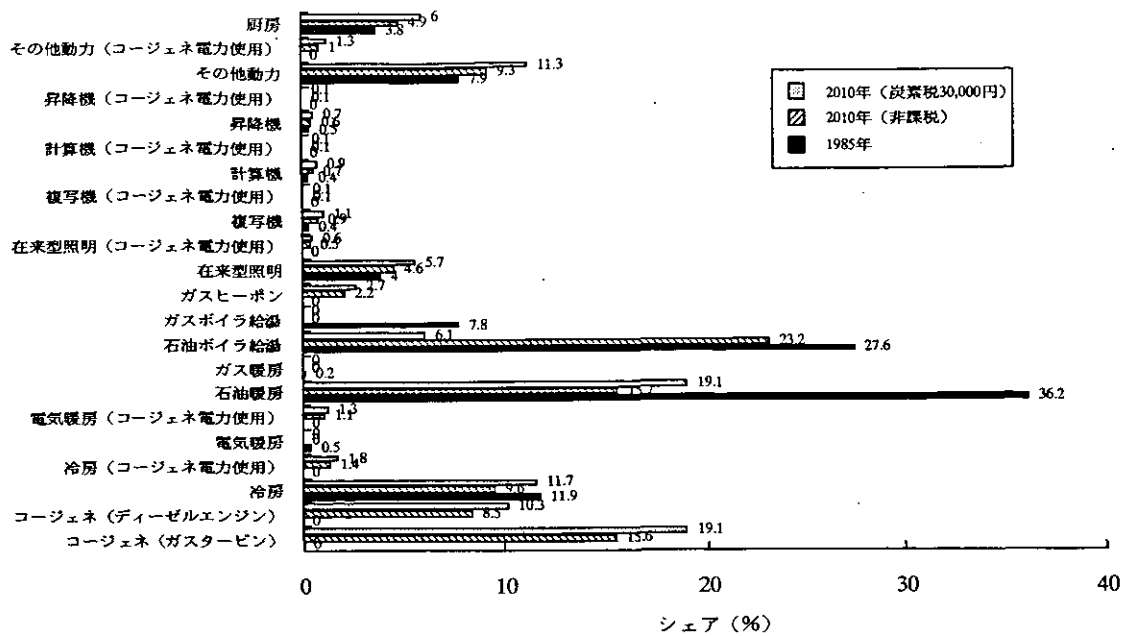


図4.4.2 業務部門における炭素税の付加によるサービス機器のシェアの変化

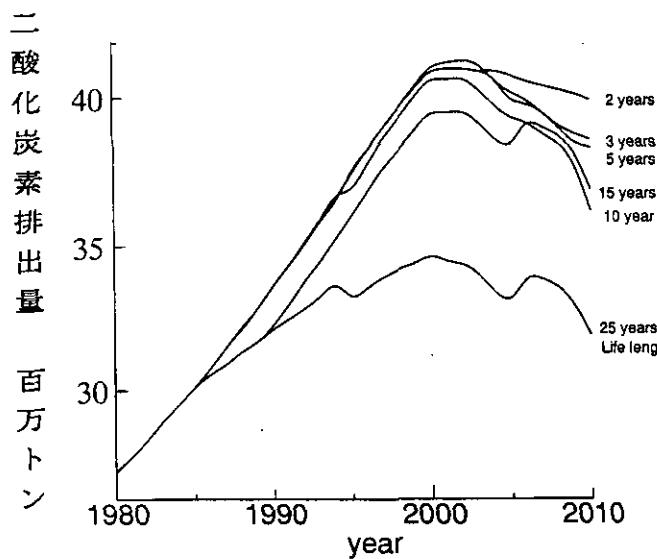


図4.4.3 投資回収年による二酸化炭素排出量の変化

4.5 運輸部門

(1) シナリオ

運輸部門に関するシナリオデータを表4.5.1に示した。サービス需要量は、1985年実績値をベースとして与えた。これに1985～90年までは実績伸び率、1990～2010年は運輸政策審議会の需要予測中位の伸び率（地球温暖化対策技術評価検討会交通分科会報告書／環境庁）を実績に加味して用いた。

表4.5.1 運輸部門のシナリオ

階層1	1985年(基準年) 単位:人・km, t・km	1985~1990年 年平均増加率(%)	1990~2010年 年平均増加率(%)
1 軽乗用車	2.111E+10	1.8154	1.8154
2 小型乗用車	3.378E+11	14.3957	2.5000 *
3 普通乗用車	9.667E+09	34.2328	2.5000 *
4 営業乗用車	1.576E+10	-0.1572	-0.1572
5 自家用バス	3.405E+10	-0.6057	-0.6057
6 営業用バス	7.085E+10	1.7691	1.7691
7 鉄道(旅客)	3.301E+11	3.1453	1.9000 *
8 旅客船	5.752E+09	1.7558	-0.7000 *
9 航空(旅客)	3.312E+10	9.2836	6.0500 *
10 軽貨物車	1.785E+09	3.1729	1.5500 *
11 小型貨物車	1.474E+10	-1.3204	-1.3204
12 普通貨物車	1.704E+11	6.2630	1.5500 *
13 特殊用途車	1.898E+10	7.6500	1.5500 *
14 鉄道(貨物)	2.192E+10	4.4087	3.4500 *
15 内航海運	2.058E+11	3.5084	5.5500 *
16 航空(貨物)	4.820E+08	10.6369	1.3000 *

注) *印: 運輸政策審議会 需要予測値の中心より

(2) シミュレーション結果

1990年以降、運輸部門の炭素税課税税率別の二酸化炭素排出量予測結果を図4.5.1に示した。また、二酸化炭素排出量に占める燃料構成は図4.5.2および図4.5.3に示した。表4.5.2には、税率と技術選択の関係をまとめた。

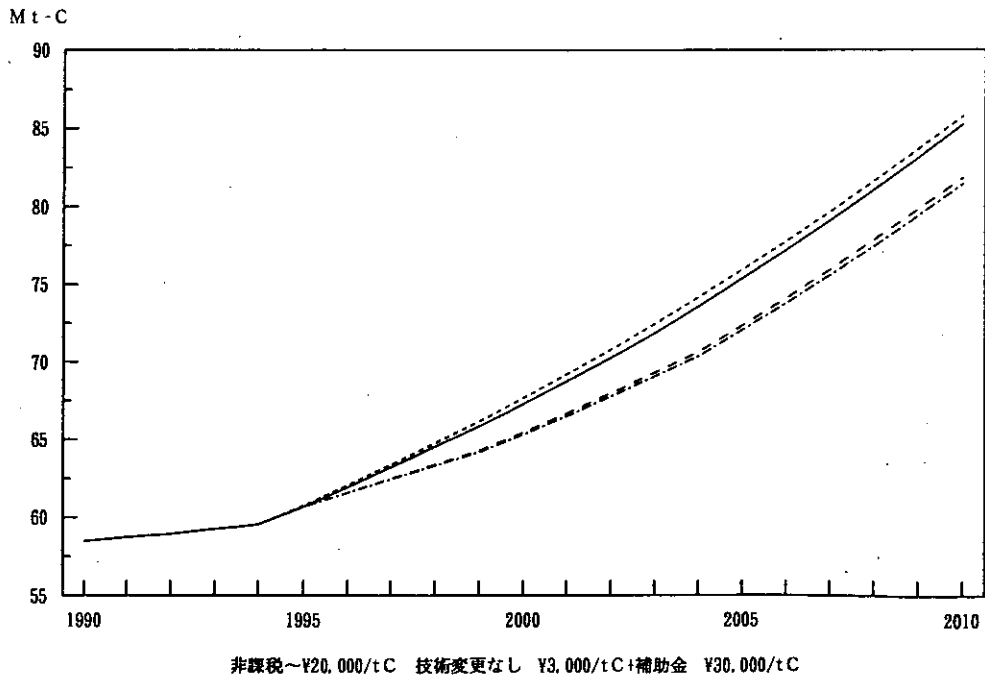
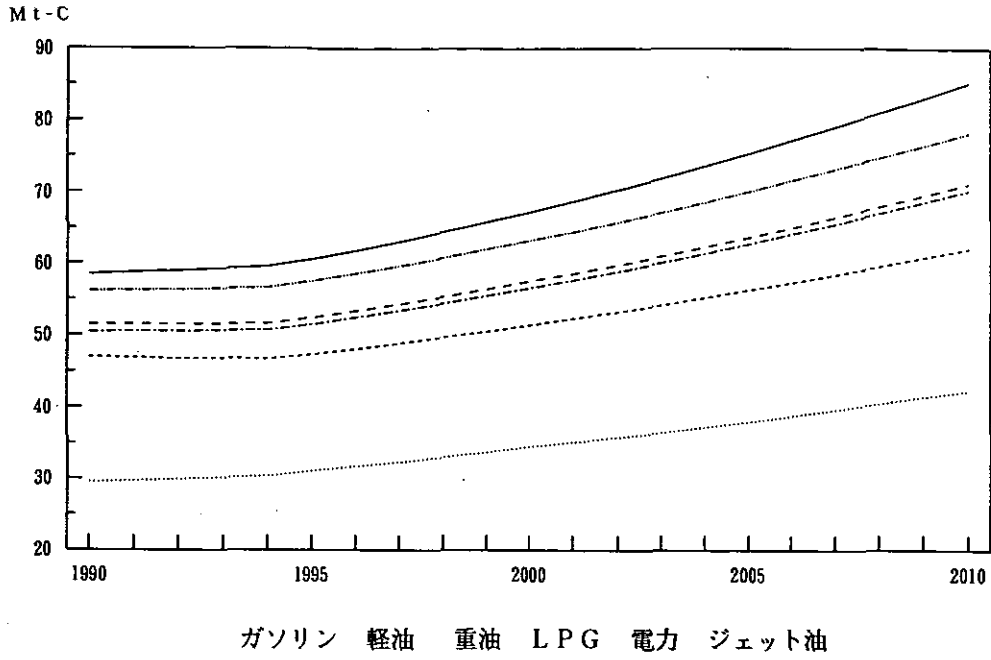
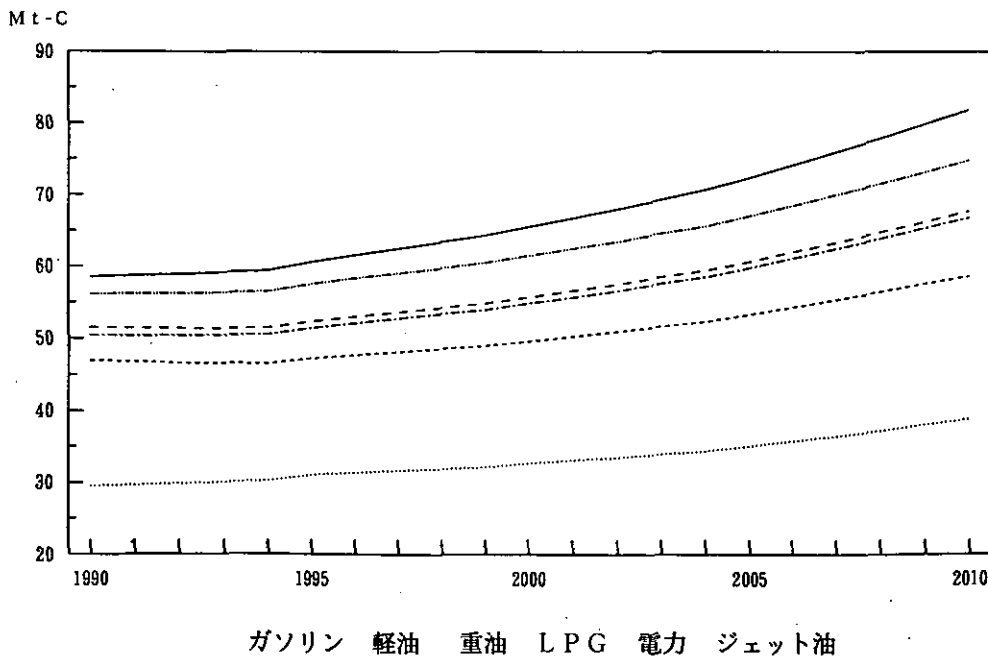


図4.5.1 運輸部門の二酸化炭素排出量予測 (炭素税課税率別)



(注)積み上げ線グラフ

図4.5.2 運輸部門の二酸化炭素排出量予測 (燃料種別：非課税～¥20,000/tC)



(注)積み上げ線グラフ

図4.5.3 運輸部門の二酸化炭素排出量予測 (燃料種別：¥30,000/tC)

表4.5.2 従来技術と省エネ技術のシェアの推移

		単位：%						
炭素税	技術名	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
非課税 ～ 30,000円 /tC	軽乗用車 (gas. ストック型)	100	41	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	59	88	31	0	0	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	12	69	100	100	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
非課税 ～ 20,000円 /tC	小型乗用 (die. ストック型)	5	1	0	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	2	1	0	0	0	
	" (gas. ストック型)	95	22	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	75	99	100	100	100	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	0	0	0	0	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
	" (CNG, C, N, G車)	0	0	0	0	0	0	
	" (die. ストック型)	5	1	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	普通乗用 (die. 新型(1985))	0	2	1	0	0	0	
	" (gas. ストック型)	95	22	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	75	99	32	0	0	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	0	68	100	100	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
	" (CNG, C, N, G車)	0	0	0	0	0	0	
	普通乗用 (die. ストック型)	1	0	0	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	27	24	6	3	3	
非課税 ～ 30,000円 /tC	営業乗用 (gas. ストック型)	99	13	2	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	60	74	94	97	97	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	0	0	0	0	
	" (die. ストック型)	6	3	0	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	0	0	0	0	0	
	" (gas. ストック型)	1	0	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	0	0	0	0	0	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	自家バス (LPG ストック型)	93	42	0	0	0	0	
	" (LPG 新型(1985))	0	55	100	100	100	100	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
	" (CNG, C, N, G車)	0	0	0	0	0	0	
	自家バス (die. ストック型)	85	60	32	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	30	63	100	100	100	
	" (gas. ストック型)	15	11	6	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	0	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	営業バス (HJMRN17 リフト車)	0	0	0	0	0	0	
	" (die. ストック型)	100	58	20	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	42	80	100	100	100	
	" (HJMRN17 リフト車)	0	0	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	軽貨物車 (gas. ストック型)	100	39	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	61	100	100	100	100	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	0	0	0	0	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	小型貨物 (die. ストック型)	37	18	0	0	0	0	
	" (die. 新型(1985))	0	0	0	0	0	0	
	" (gas. ストック型)	63	30	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	52	90	37	0	0	
	" (gas. 低燃費型)	0	0	10	63	100	100	
	" (ele. 電気自動車)	0	0	0	0	0	0	
	" (CNG, C, N, G車)	0	0	0	0	0	0	
	普通貨物 (die. ストック型)	97	36	0	0	0	0	
非課税 ～ 30,000円 /tC	普通貨物 (die. 新型(1985))	0	62	100	100	100	100	
	" (gas. ストック型)	3	1	0	0	0	0	
	" (gas. 新型(1985))	0	0	0	0	0	0	

①非課税

標準ケースである非課税の場合のシミュレーション結果を見ると、2010年における排出総量は85.2Mt-Cである。一方、同じ非課税でも技術変更が無いケース(低燃費型へのシフトが全く無いケース)では、2010年における排出総量は85.8Mt-Cとなる(図4.5.1参照)。

表4.5.2をみると、非課税(標準ケース)の場合でも、軽乗用車の低燃費型と小型貨物の低燃費型(省エネタイプ)が選択されており、技術変更なしのケースとの排出総量の差は、これによるものであることが確認できた。

これは入力した技術データによると、炭素税の課税がなくてもある程度の省エネが進むことを意味するものである。2010年における排出総量の差が、0.6Mt-Cと小さいのは、軽乗用や小型貨物に

よるサービス需要が、小型乗用や普通貨物に比べて極めて小さいためである。

また、図4.5.1では何れのケースにおいても1994年まで排出量の伸びが、それ以降に比べて小さいことがわかるが、これは各々の車種においてストック型（従来型）から新型への乗換えが進み、94年にそれが完了することに対応している。

図4.5.2は、二酸化炭素排出量の燃料構成を示す。これによると90年以降の排出量増加分の多くがガソリンによるものであることがわかった（他の燃料種によるものは、横ばい、もしくは微増であった）。

なお、これらのケースでは、電気自動車、CNG車、HIMR車といった低公害車は、2010年まで全く技術選択されていない。

②課税（炭素税 ¥3,000～¥30,000 /tC）

入力に用いた技術データによると3,000円/tC～20,000円/tCまでは、新たな省エネ車種の実現が起らず、課税による削減効果が表われなかった。しかし、30,000円/tCの課税を行なうと、小型乗用車・低燃費型の導入が起り、これによる削減効果は、2010年の標準ケース（非課税）に比べ3.4Mt-C（4%程度）になる（図4.5.1、表4.5.2参照）。二酸化炭素排出量の燃料種構成の変化を図4.5.2と図4.5.3で比べると、30,000円/tC課税の場合に、ガソリンによる排出量が小さくなっていることがわかった。

なお、30,000円/tCの課税を行なっても、電気自動車、CNG車、HIMR車といった低公害車は、2010年まで全く技術選択されない（表4.5.2）。AIMエンドユースモデル運輸部門では、車検制度等を考慮し、固定費用の回収年数を3年としている。低公害車は、新型車/従来型の3倍程度の固定費が必要であり、課税だけでは選択の対象とならない。別途シミュレーションした結果によると、300,000円/tCの課税でも低公害車は全く選択されない。

③補助金（炭素税 ¥3,000/tC+補助金）

前述のように炭素税3,000円/tCでは、非課税（標準ケース）に比べ課税効果が表われない。しかし、3,000円/tCの課税でも、運輸部門からの税収を補助金として同部門に還元させることで、大きな削減効果を生ずる（図4.5.1）。具体的には、小型乗用車・低燃費型に対して固定費用の1.7%、営業バス・HIMR車に対して固定費用の40.2%を補助金として充てることで、これらの選択が可能となる。営業バス・HIMR車は、30,000円/tCの課税によっても選択されていないが、低公害車の中で新型/従来車との固定費用の隔たりが最も小さく、普及見通しの明るいものである。運輸部門内に限定して、上記補助金充當時の収支を試算すると、95年の課税時より2010年まで毎年約1,000億円程度の税収が確保されることになる。

このように、3,000円/tCの課税でも補助金を組み合わせることで、30,000円/tCの課税に匹敵する削減効果が得られた。

4.6 シミュレーション結果のまとめ

以上のシミュレーション結果について、ケース毎に以下にまとめた。表4.6.1及び図4.6.1には、ケース毎及び部門毎にシミュレーション結果をまとめて示した。また、図4.6.1には2000年におけ

表4.6.1 シミュレーション結果の一覧

(単位：百万トン、括弧内は1990年比伸び率(%))

部門	年	技術変更なし	標準 (非課税)	炭素税 30,000円	炭素税30,000円 +回収年数延長	炭素税 3,000円 +補助金
産業計	1990	150.8	150.8	150.8	-	150.8
	1995	152.9 (1.4)	148.9 (-1.3)	148.5 (-1.5)	-	148.4 (-1.6)
	2000	153.1 (1.5)	144.9 (-3.9)	144.3 (-4.3)	-	144.1 (-4.4)
	2005	155.1 (2.9)	145.2 (-3.7)	144.5 (-4.2)	-	144.0 (-4.5)
	2010	156.8 (4.0)	145.3 (-3.6)	144.7 (-4.0)	-	143.8 (-4.6)
家庭	1990	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0
	1995	40.9 (7.5)	41.1 (8.2)	38.8 (2.1)	37.4 (-1.6)	41.6 (9.5)
	2000	44.8 (17.9)	45.5 (19.7)	39.0 (2.6)	36.1 (-5.0)	44.1 (16.1)
	2005	48.6 (27.9)	49.8 (31.1)	42.4 (11.5)	39.3 (3.4)	43.7 (15.0)
	2010	52.8 (38.9)	50.9 (33.9)	45.9 (20.8)	42.7 (12.4)	46.3 (21.8)
業務	1990	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6
	1995	37.0 (10.1)	37.7 (12.2)	35.9 (6.8)	34.9 (3.9)	37.7 (12.2)
	2000	41.1 (22.3)	41.3 (22.9)	37.3 (11.0)	35.3 (5.1)	40.7 (21.1)
	2005	43.5 (29.5)	42.3 (25.9)	38.9 (15.8)	31.9 (-5.1)	40.1 (19.3)
	2010	46.2 (37.5)	42.5 (26.5)	38.1 (13.4)	32.5 (-3.3)	38.0 (13.1)
運輸	1990	58.5	58.5	58.5	-	58.5
	1995	60.7 (3.8)	60.7 (3.8)	60.6 (3.6)	-	60.7 (3.8)
	2000	67.7 (15.7)	67.3 (15.0)	65.4 (11.8)	-	65.3 (11.6)
	2005	75.9 (29.7)	75.4 (28.9)	72.3 (23.6)	-	72.0 (23.1)
	2010	85.8 (46.7)	85.2 (45.6)	81.8 (39.8)	-	81.4 (39.1)
計	1990	317.0	317.0	317.0	[317.0]	317.0
	1995	327.6 (3.3)	324.5 (2.4)	319.9 (0.9)	[317.5] (0.2)	324.4 (2.3)
	2000	342.7 (8.1)	335.1 (5.7)	322.0 (1.6)	[317.2] (0.1)	330.3 (4.2)
	2005	359.3 (13.3)	348.8 (10.0)	334.2 (5.4)	[324.1] (2.2)	335.9 (6.0)
	2010	377.7 (19.1)	360.1 (13.6)	346.5 (9.3)	[337.7] (6.5)	345.6 (9.0)

(注) なお、計には、その他として、転換部門における自家消費分、廃棄物部門等の排出量が含まれる。

る二酸化炭素の総排出量を、さらに図4.6.3には2005年における二酸化炭素の総排出量を示した。

まず、技術の選択が合理的になされないケースにおいては、産業部門の二酸化炭素排出量の伸びは小さいものの、家庭部門では1990年レベルに比べて2000年で18%、業務部門では同22%、運輸部門では同16%の大幅な伸びが推定される。

これと比較して、各種の啓蒙活動等によって国民の省エネに対する理解が進み、規制緩和等により技術選択の障害が少なくなって、経済性に関する合理的な判断のもとに技術選択が行われること

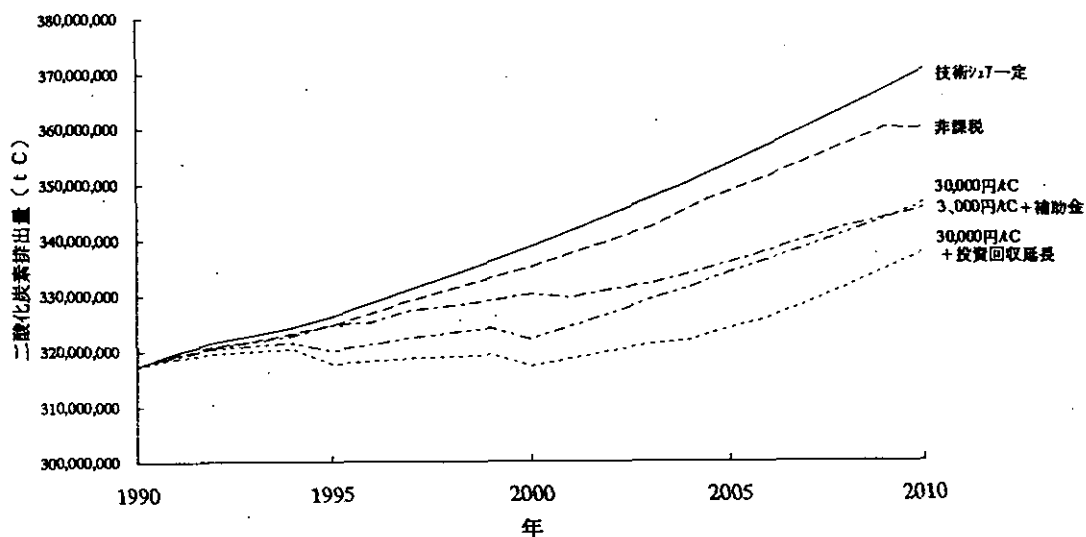


図4.6.1 ケース毎の二酸化炭素総排出量の予測

を前提とすると、標準ケースの結果は図4.6.4に示す通り、産業部門の二酸化炭素が大幅に削減されることになる。産業部門では、1990年のレベルと比較して2000年では二酸化炭素の排出総量が下回り、炭素税等の導入をしなくても排出量が安定化する可能性がある。また、運輸部門でも低燃費型の軽乗用車と小型貨物自動車が普及することになり、わずかではあるが二酸化炭素の排出量の伸びが抑えられる。しかし、家庭部門や業務部門では、省エネ投資の回収期間に関する主観的判断が3年と短い場合には、白熱灯などの安価でエネルギー効率の低い製品のシェアが伸び、また、太陽熱温水器のようにエネルギー効率が高くコストも高い技術が選ばれなくなることから、二酸化炭素の排出量は技術選択が無い場合よりもかえって伸びる可能性がある。ただし、家庭部門及び業務部門が長期的な視点にたつて回収期間を延長する場合には、標準ケースでもさらに二酸化炭素の排出量を削減できる可能性がある。

次に、30,000円/tCの炭素税を課したケースでは、標準ケースと比較して、産業部門での二酸化炭素排出量は対象とする技術メニューの範囲内では少ししか削減されない。しかし、家庭部門では2000年で標準ケースに比べて15%程度、業務部門では同10%程度、運輸部門では同3%程度の削減が見込まれる。そして、トータルとして2000年で標準ケースの4%程度の削減が見込まれるが、1990年レベルで安定化させるためにはさらに2%程度の削減が必要である。

このため、30,000万円/tCの炭素税の導入に加えて、省エネの経済メリットを長期的に評価するよう国民の理解を求めるとともに、ソフトローンなどにより国民の負担感を和らげることにより、主観的な投資回収期間を最大20年に延長するケースについて分析した。この結果、表4.6.2及び図4.6.5に示すとおり、家庭部門及び業務部門の二酸化炭素排出量が、さらに抑制され、その結果、2000年のトータル排出量が概ね1990年レベルに安定化する可能性があることがわかった（図4.6.1参照）。ただし、2000年以降の総排出量の傾向としては、運輸部門の継続的な伸びによって1990年レベルでの安定化が難しい。このため、排出量の安定化のためにはモダリティシフトや自動車の選択に関する意識変化等、抜本的な方策が是非とも必要である。

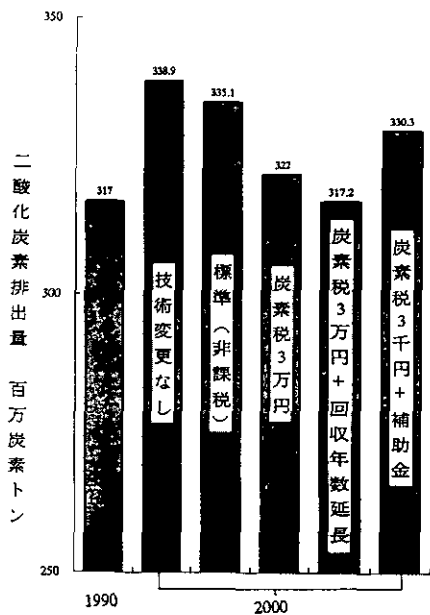


図4.6.2 2000年における二酸化炭素の総排出量の予測

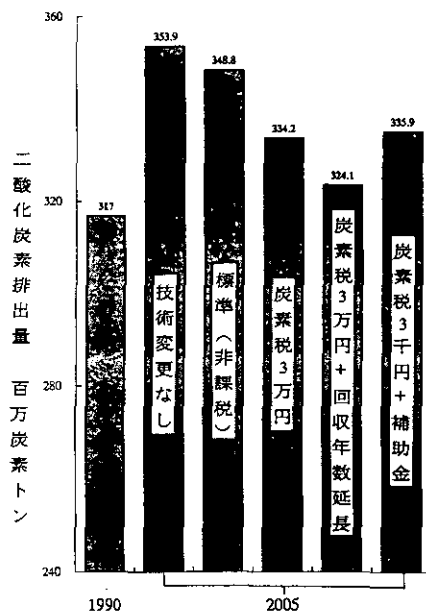


図4.6.3 2005年における二酸化炭素の総排出量の予測

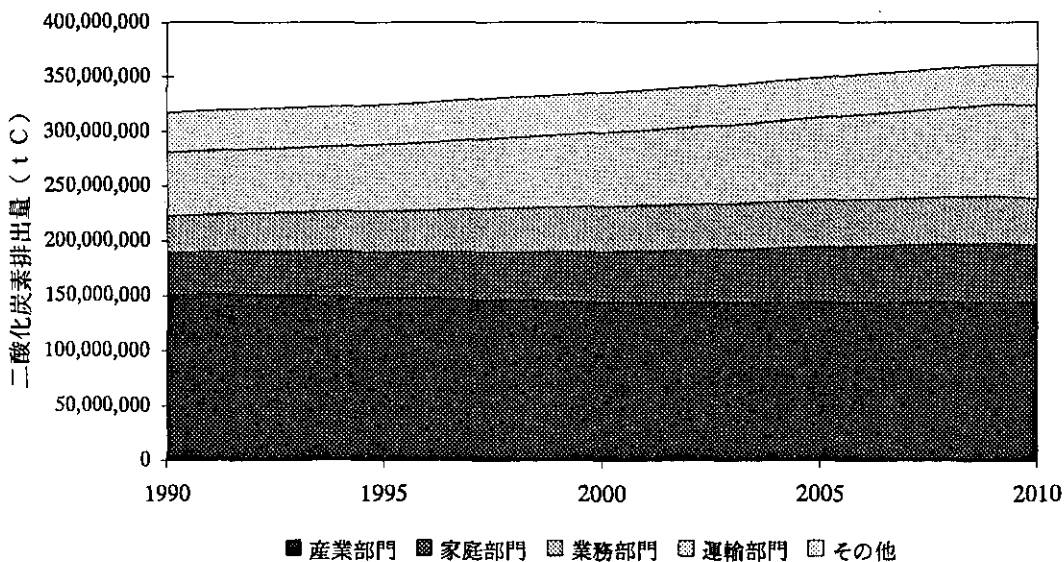


図4.6.4 標準ケースにおける二酸化炭素の総排出量の予測

もう一つ、標準ケースに加えて3000円/tCの低い税率の炭素税を導入し、その税収の一部を省エネ技術導入を促進するための補助金として活用するケースを図4.6.6に示す。全部門において着実な二酸化炭素削減効果があることがわかった。このトータルとしての効果は、2000年においては30,000万円/tCの炭素税の効果に及ばないが、2005年においてはこのような本格的な炭素税に匹敵する効果が得られる可能性があることがわかった（図4.6.1及び図4.6.2参照）。このような補助金は、汚染者負担の原則や市場参入者の増加による二酸化炭素排出量の増加、それに補助金の配分

システムの非効率化等、いろいろな課題をかかえているが、短期的な適応手段としては検討する価値があると考えられる。

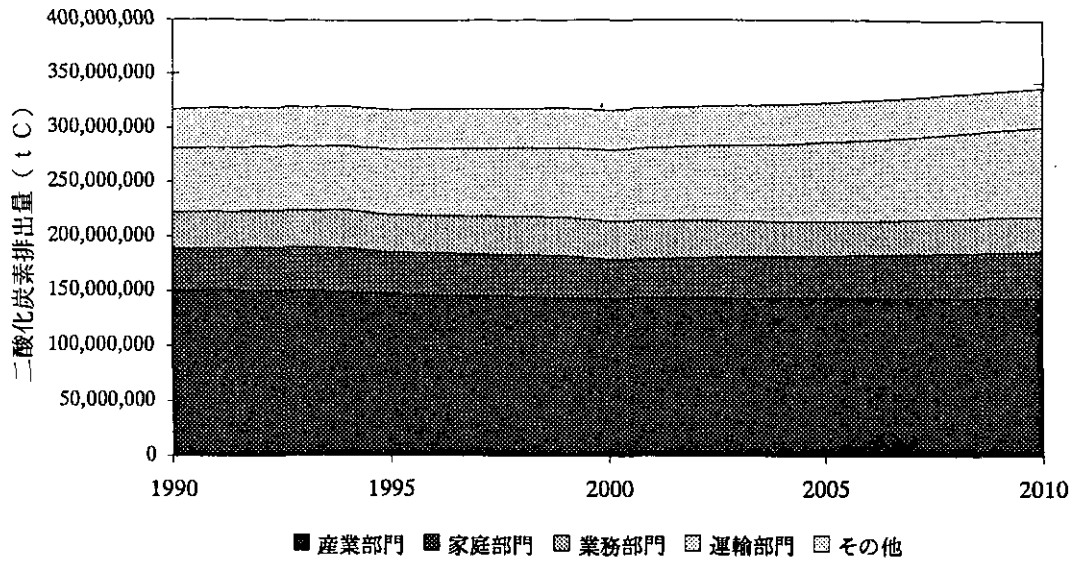


図4.6.5 炭素税（炭素1トン当たり3万円）に主観的投資回収期間の延長を導入したケースにおける二酸化炭素の総排出量の予測

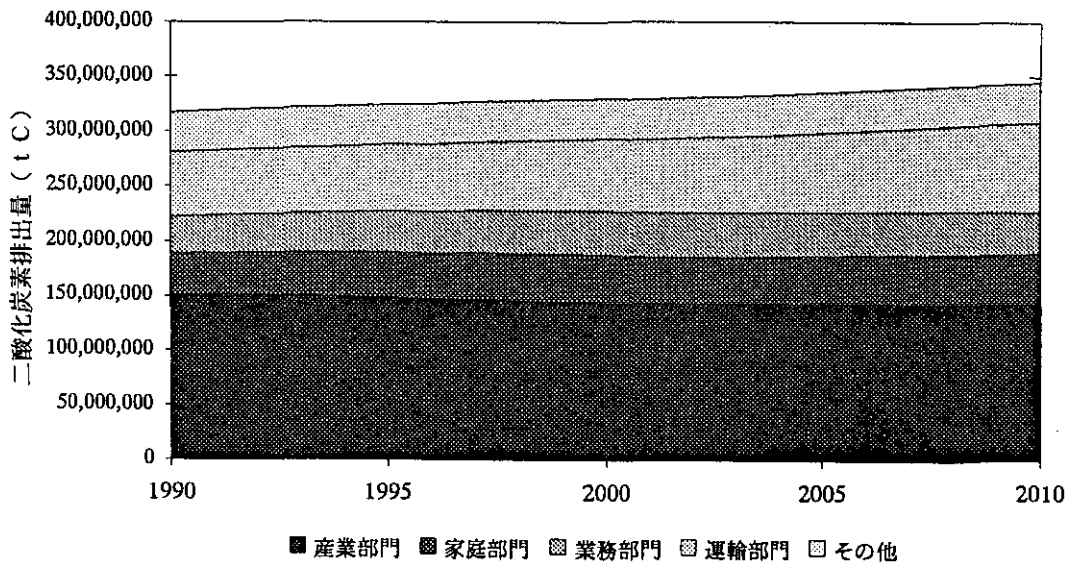


図4.6.6 炭素税（炭素1トン当たり3,000円）に補助金を導入したケースにおける二酸化炭素の総排出量の予測

5章 結論と今後の課題

5.1 結論

本分析によって明らかになった点をまとめれば、以下のとおりである。

- (1) 省エネの経済的メリットについて国民の理解が進めば、炭素税や補助金を導入しなくても省エネ技術の導入は進む可能性がある。これにより産業部門の二酸化炭素排出量の安定化は可能であるが、家庭、運輸及び業務部門の排出量の伸びが著しいため、トータルとして二酸化炭素排出量を安定化させることは難しい。
- (2) 炭素トン当たり2万円から3万円程度の炭素税を導入すれば、家庭、業務及び運輸部門の省エネ技術の導入はさらに進む。しかし、これらの効果をもってしてもトータルとして二酸化炭素排出量を安定化できないおそれがある。
- (3) 家庭部門及び業務部門の排出量を安定化するためには、追加的な方策を検討する必要がある。特に、主観的な投資回収期間の延長等の省エネ投資に対する理解の促進、補助金による初期投資の負担の軽減、ソフトローンや啓蒙による長期的視点での省エネ投資意識の助長、リサイクル技術の導入等の技術の検討範囲の拡大、などが不可欠である。
このような方策を併せて講じれば、二酸化炭素排出量安定化は十分可能である。
- (4) 今後、運輸部門では大きなエネルギー消費の伸びが予想されるにもかかわらず、有効な省エネ方策が見出せないため、この部門が二酸化炭素排出量の安定化にとって最大の障害になるおそれがある。モーダルシフトや自動車の選択に関する意識転換等、抜本的な方策の検討が求められる。
- (5) 炭素税の税収を省エネ初期投資への補助金として活用する方策については、短期的には大きな効果が期待できる。炭素トン当たり3000円程度の薄い税率を課した場合でも、その税収を補助金として活用すると、一定の条件の下ではトン2～3万円の炭素税に匹敵する効果が得られる可能性がある。ただし、汚染者負担の原則への抵触、市場参入者の増加による二酸化炭素排出量の増加、補助金の配分システムの課題など、補助金導入のマイナス面も併せて検討する必要がある。
- (6) 以上をまとめれば、二酸化炭素排出量の安定化のためには、炭素税等の新たな対策を単独ではなく組み合わせて用いる必要があり、また、短期的には炭素税と補助金を組み合わせて用いることが効果的かつ効率的である。今後、中長期的な技術革新の効果、税のアナウンスメント効果、主観的な投資回収期間の延長策等に関する検討が特に急がれる。

5.2 今後の課題

今後、さらに検討が必要な課題として、以下の点があげられる。

第一に、現在実用化されているがこの検討には含まなかった省エネ技術や、現在は実用化されていないが2000年～2010年にかけて実用化される可能性がある技術について、このモデルの技術選択メニューに加える必要がある。溶融還元炉、省エネ窓装置、半凝固加工プロセス、直接苛性化技術、高濃度抄紙等の省エネ効果やコスト等について調査する必要がある。

第二に、鉄屑リサイクル、フライアッシュ、回収廃棄プラスチックの燃料化、サマータイム制の導入等、ソフトな技術についてもモデル化を検討する必要がある。

第三に、投資回収年数や技術選択に際しての阻害要因等、家庭や企業における省エネ投資の意識や行動の実態について、意識調査により十分なデータの収集と解析が不可欠である。これらのパラメータは技術選択に大きく影響するにもかかわらず、研究が著しく遅れている。

第四に、技術が普及することによって技術のコストが下がっていく現象について、モデル化が必要である。学習曲線の同定とそのモデルへの導入が一つの有力な方法となろう。

第五に、今回検討出来なかった部門についてモデル化を進める必要がある。農林水産業、建築業、金属機械、食料品、繊維工業、非鉄金属等の部門の検討が急がれる。

第六に、二酸化炭素以外の温室効果ガス、例えば、メタンガスや亜酸化窒素等についても、エンドユースタイプのモデルの開発を検討する必要がある。

第七に、このエネルギー需要モデルをトップダウンタイプの経済モデルとリンクして、エネルギー価格、エネルギー供給、エネルギーサービス需要量等を変化させたシミュレーションが必要である。さらに、発展途上国のモデルとリンクして、共同実施（joint implementation）の効果等、国際協調策の評価にこのモデルを適用することも検討する必要がある。

これらの課題については、今後、引き続き検討していく予定にしている。

参 考 文 献

- A.G.M.R. RED BOOK (自動車価格月報). オートガイド.
- 青木隆典・星野春彦・中川勉 (1991) : 堅型ミルによる予備粉碎システム. 大阪セメント技報, **57**, 52-58.
- 青柳みどり・森口祐一・清水浩・近藤美則 (1992) : 生活に関連した二酸化炭素削減対策の可能性の評価. 環境科学会誌, **5**(4), 291-303.
- Berger, C.A. and H.R. Loulou (1987): Modeling long range energy/technology choices, the MARKAL Approach, GERAD, Montreal, Canada.
- Bernstein, M. (1993): Costs and greenhouse gas emissions of energy supply and use. The World Bank Environment Department Divisional Working Paper, No. 1993-40, World Bank, Washington D.C.
- Cherniavsky, E. (1974): Brookhaven energy system optimisation model. Topical Report, No. 19569, Brookhaven National Laboratory, New York.
- 地球・人間環境フォーラム・富士総合研究所 (1992) : 環境要覧'92, pp208.
- 中部電力株式会社 (1991) : でんきの効率使用ハンドブック, 34-153.
- 電波新聞社 (1985-1991) : 電子工業年鑑.
- 泥谷直矢 (1992) : 紙パルプ産業における省エネルギーと環境. 計測と制御, **31**(5), 605-610.
- Fishbone, L.G. and H. Abilock (1981): MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis, technical description of the BNL version, Energy Research, **5**, 353-375.
- 藤井美文 (1993) : セメント産業における省エネルギーの可能性. セメント製造シンポジウム報告書, **50**, 2-14.
- 藤崎明彦 (1985) : 紙・パルプ産業におけるボイラの現状と課題. 産業機械, (2), 19-23.
- 富士総合研究所 : 地球環境保全とエネルギー利用技術のあり方. pp85.
- Fulkerson, W., S.I. Auerbach, A.T. Crane, D.E. Kash, A.M. Perry and D.B. Reister (1989): Energy Technology R & D, What could make a difference? ORNL-6541, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Geller, H.S. (1991): Saving money and reducing the risk of climate change through greater energy efficiency. (in) Global Climate Change, The Economic Costs of Mitigation and Adaptation, (ed.) J.C. White, 175-209, Elsevier.
- Goldemberg, J., T.B. Johansson, A. Reddy and R. Williams (1987): Energy for a sustainable world. Wiley-Eastern, New Delhi.
- Grubb, M.J. (1991): Energy Policies and the Greenhouse Effect, Vol.II, Country Studies and Technical Options, Brookfield, Vt., Dartmouth.
- 服部治男 (1992) : 省エネルギー対策点描. 紙・パルプ, (3), 20-26.
- Heaps, C. and R. Tomkins (1990): Energy planning models for developing countries. The energy toolbox approach, Management School, Imperial College of Science, London.
- Hoffman, K. and D. Jorgenson (1977): Economic and technological models for evaluation of energy policy. Bell Journal of Economics, **8**, 444-466.
- ICF Resources Incorporated (1990): Preliminary technology cost estimates of measures available to reduce U.S. greenhouse gas emissions by 2010. submitted to, U.S. Environmental Protection Agency, Contract No. 06W06 58A.
- International Energy Agency (1987): Energy conservation in IEA countries, OECD, Paris. Investment in energy efficiency Opportunities, Washington, D.C.
- 石川雅紀 (1992) : 製鉄分野における省エネ技術. 計測と制御, **31**(5), 601-604.
- 自動車技術会 (1985) : 自動車諸元表1985年. 運輸省地域交通局監修.
- 自動車検査登録協力会 : 初度登録年別 自動車保有車両数. 運輸省運輸政策局地域交通局監修.
- 自動車検査登録協力会 : 我が国の自動車保有動向.

- Jochem, E. and E. Gruber (1990): Obstacles to rational electricity use and measures to alleviate them. *Energy Policy*, **18**(5), 340-350.
- 定石慶一 (1985) : 鉄鋼業の動向とエネルギー消費. *エネルギー経済*, **11**(8), 9-23.
- 住宅・建築 省エネルギー機構 (1991) : 住宅水準向上に伴うエネルギー消費増加の抑制技術開発研究 その2, pp101.
- 住宅・建築 省エネルギー機構 (1993) : 省エネルギーハンドブック'93 住宅編・建築編・資料編, pp456.
- 科学技術庁資源調査会編 (1984) : 将来の家庭生活におけるエネルギー消費. pp219.
- 科学新聞社 (1985-1991) : 民生用電子機器市場要覧.
- 紙パルプ技術協会エネルギー委員会 (1990) : 第6回エネルギー実態調査報告. 紙パルプ技術協会誌.
- 環境庁 (1992) : 平成4年版 環境白書.
- 環境庁 (1992) : 地球温暖化経済システム検討会中間報告書.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック, 1 総合評価編, 第一法規, pp136.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック, 2 産業編, 第一法規, pp248.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック, 3 民生編, 第一法規, pp152.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック, 4 交通編, 第一法規, pp201.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 地球温暖化防止対策ハンドブック, 5 エネルギー編, 第一法規, pp187.
- 環境庁企画調整局地球環境部 (1992) : 二酸化炭素排出量調査報告書, pp105.
- 建設省住宅局住宅政策課監修 (1992) : 住宅政策の新展開. ぎょうせい, pp267.
- Lapillonne, B. (1985): The MEDEE-S approach for energy demand evaluation in developing countries: Report EUR 9971FR, General Direction Science, Research and Development, Commission of European Communities, Bruxelles.
- Lazarus, M. et al. (1993): Towards a fossil free energy future, The next energy transition, A technical analysis for Greenpeace International, Stockholm Environment Institute-Boston Center, MA.
- Lovins, A.B. and L.H. Lovins (1991): Least-cost climatic stabilization. *Annu. Rev. Energy Environ.*, **16**, 433-531.
- Management Practices and tax incentives (1983): Alliance to Save Energy, Industrial.
- Manne, A.S. and C.O. Wene (1992): MARKAL-MACRO, A linked model for energy-economy analysis. BNL-47161, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York.
- 松橋隆治・石谷久・茅陽一・古垣一成 (1992) : CO₂放出量低減策としての省エネルギーの経済性評価. *エネルギー経済*, **18**(4), 25-40.
- 松橋隆治・石谷久・茅陽一・永田豊・山地憲二 (1991) : CO₂放出量低減策の経済性評価. *エネルギー・資源*, **12**(5), 62-69.
- 松橋隆治・石谷久・吉田正人・茅陽一・古垣一成 (1993) : 鉄鋼業における省エネルギーの可能性評価. *エネルギー資源学会 第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集*, 69-74.
- 松岡譲・森田恒幸・甲斐沼美紀子 (1992) : 地球温暖化に関するシナリオとモデル解析. *土木学会論文集*, **449**, 1-16.
- Matsuoka, Y., M. Kainuma and T. Morita (1993): On the uncertainty of estimating global climate change. (in) *Costs, Impacts, and Benefits of CO₂ Mitigation*, (eds.) Y. Kaya et al., Proceedings of a Workshop held on 28-30 September 1992 at IIASA, Laxenburg, Austria, 371-384.
- Messner, S. and M. Strbegger (1991): User's guide to CO₂DB, The IIASA CO₂ Technology Data Bank, Version 1.0. WP-91-31a, IIASA, Laxenburg, Austria.
- 森口祐一・近藤美則・清水浩 (1992) : わが国における部門別・起源別 CO₂排出量の推計. *エネルギー・資源*, **14**(1), 32-41.
- 森田裕二 (1985) : 石油化学工業の現状とエネルギー消費の動向. *エネルギー経済*, **11**(7), 2-18.

- Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, H. Harasawa and K. Kai (1993): AIM-Asian Pacific Integrated Model for evaluating policy options to reduce GHG emissions and global warming impacts. Proceedings of the Workshop on Global Warming Issues in Asia, Bangkok, 8-10, September, pp26.
- Morita, T., Y. Matsuoka, I. Penna and M. Kainuma (1994): Global carbon dioxide emission scenarios and their basic assumptions -1994 survey-. Center for Global Environmental Research, CGER-1011-'94, Tsukuba, Japan.
- Morthorst, P.E. and J. Fenhann (1990): Brundtland Scenarien modellen-BRUS. Danish Ministry of Energy, Copenhagen.
- Nadel, S. (1992): Utility demand-side management experience and potential acritical review. Annu. Rev. Energy Environ., 17, 507-535.
- 永田豊・藤井美文 (1991) : 省エネルギーの限界に関する評価. 電力経済研究, 29, 17-37.
- 日本物流団体連合会 (1993) : モーダルシフトに関する調査報告書.
- 日本電動車両協会 (1992) : 低公害車普及の調査研究報告書.
- 日本エネルギー経済研究所 (1994) : ライフスタイルとエネルギー消費-省エネルギーへの考察, pp217.
- 日本自動車工業会 (1992) : 自動車統計年報. pp113.
- 日本自動車輸送技術協会 (1984) : 乗用車省燃費試験報告書.
- 日本工業新聞社 (1985-1991) : 日本工業年鑑.
- 日本鉄鋼連盟 : 地球にやさしい鉄づくり, pp34.
- 日本鉄鋼連盟 (1990) : 鉄鋼業における省エネルギー対策. 鉄鋼界, (7), 19-35.
- 信澤裕次 (1993) : 業務用エネルギーの消費実態. エネルギー経済, 19(1), 27-38.
- 小野崎保 (1989) : セメント産業におけるエネルギー消費動向. エネルギー経済, 15(8), 8-22.
- 大須賀久人 (1990) : 仕上げ工程に関する実態調査 (中間報告). セメント製造技術シンポジウム報告集, 47, 17-31.
- 大山豊 (1985) : 鉄鋼業におけるボイラの現状と課題. 産業機械, (2), 5-8.
- Pachauri, R.K. and L. Srivastava (1988): Integrated energy planning in India, a modelling approach. Energy Journal, 9(4), 35-48.
- Plinke, E., M. Atak, H. Haasis and O. Rentz (1992): Cost-efficient emission control strategies for the Turkish energy System, Energy, 17, 4-20.
- 佐川直人 (1991) : 産業部門におけるCO₂削減の可能性. エネルギー経済, 7(8), 40-51.
- 佐川直人 (1991) : 運輸部門における温室効果ガス排出量予測とその削減対策の評価. エネルギー経済, 17(11), 17-28.
- 佐川直人 (1992) : 運輸部門のエネルギー需要を考える. エネルギー経済, 18(10), 68-79.
- 石油化学工業協会 : 石油化学工業の現状.
- セメント協会 : セメントハンドブック.
- セメント新聞社編集部編 : セメント年鑑.
- 資源エネルギー庁長官官房企画調査課 (1994) : 総合エネルギー統計 1993年版, pp33.
- 資源エネルギー庁公益事業部監修 (1993) : コージェネレーションの現状と将来, pp227.
- 資源エネルギー庁石油部精製課監修 (1991) : 地球にやさしいエネルギーシステム, pp222.
- 資源エネルギー庁省エネルギー石油代替エネルギー対策課 (1992) : '92 省エネルギー総覧.
- 省エネルギー研究センター (1991) : 交通部門の省エネルギーに関する研究.
- 省エネルギー研究センター (1992) : 交通需要と交通部門エネルギー需要の長期展望.
- 省エネルギー研究センター (1980) : 国民生活水準と民生用エネルギー需要に関する調査研究.
- 省エネルギーセンター (1993) : 省エネルギー設備・機器要覧 (1992年版), pp217.
- 省エネルギーセンター (1993) : 日本エネルギー経済研究所・エネルギー計量分析センター編 '93 エネルギー・経済統計要覧, pp279.

- 省エネルギーセンター (1992) : 省エネルギー便覧 (平成3年度版).
- 総合研究開発機構 (1991) : 電気自動車の導入とその社会、経済、環境・エネルギー的インパクトの研究, pp147.
- 総合研究開発機構 (1978) : エネルギー配分最適化プログラム (BESOM) の日本への適用, 東京.
- 総務庁統計局 (1992) : 全国消費実態調査報告.
- 外谷与生 (1991) : CO₂問題とセメント製造技術の動向. 日本機械学会誌, **869**(94), 313-315.
- 外谷与生 (1992) : セメント業界の環境対策. 産業公害, **28**(9), 110-114.
- 鈴木利治 (1985) : 民生部門のエネルギー需要. エネルギー経済, **11**(12) 2-22.
- 高三俊夫・西田弘 (1985) : 化学・石油化学工業におけるボイラの現状と課題. 産業機械, (2), 15-18.
- 鉄鋼新聞社編 : 鉄鋼年鑑.
- 東京ガス株式会社 (1992) : 地冷・コージェネレーション・リパワリング初期投資額について.
- 豊岡正義 (1985) : セメント産業における廃熱ボイラの現状と課題. 産業機械, (2), 9-14.
- Train, K. (1985): Discount rates in consumers' energy-related decisions, a review of the literature, *Energy*, **10** (12), 1243-1253.
- 通商産業大臣官房調査統計部 : 紙・パルプ工業設備調査報告書.
- 通商産業大臣官房調査統計部編 : 紙・パルプ統計年報.
- 通商産業大臣官房調査統計部編 : 工業統計表 (産業編).
- 通商産業大臣官房調査統計部編 : 石油等消費構造統計表 (商鉱工業).
- 通商産業大臣官房調査統計部編 : 鉄鋼統計年報.
- 通商産業大臣官房調査統計部 : 鉄鋼生産設備の現況.
- 運輸省編 (1990) : 90年代の交通政策. ぎょうせい, 427-459.
- 運輸省経済研究センター (1991) : 21世紀のわが国の交通需要. pp336.
- 運輸省鉄道局監修 (1991) : 鉄道統計年報 (平成2年度).
- 運輸省運輸政策局情報管理部 (1985) : 軽自動車輸送統計調査報告書 (昭和60年).
- 運輸省運輸政策局情報管理部 (1986) : 陸運統計年報 (昭和60年版)
- 運輸省運輸政策局情報管理部 (1991) : 内航船舶輸送統計年報 (平成2年度).
- 運輸省運輸政策局情報管理部 (1993) : 自動車輸送統計年報 (平成2年版)
- 運輸省運輸政策局情報管理部 (1993) : 運輸関係エネルギー要覧 (昭和62年版/平成4年版).

[平成6年2月18日編集小委員会受理]

[国立環境研究所資料 F-64-94/NIES]

**技術選択を考慮したわが国の
二酸化炭素排出量の予測モデルの開発**

問い合わせ先：地球環境研究グループ 森田恒幸

平成6年3月31日発行

発行 環境庁 国立環境研究所
〒305 茨城県つくば市小野川16番2
電話 電話 0298-51-6111

印刷(株) イセブ
つくば市天久保2-11-20