

JAERI-Review

JP9950158

99-004



人口・エネルギー・環境問題の統計－予測集

1999年3月

傍島 真

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越し下さい。なお、このほかに財團法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布を行っております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1999

編集兼発行 日本原子力研究所

人口・エネルギー・環境問題の統計 -予測集

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター
傍島 真

(1999年1月29日受理)

世界の人口が、特に発展途上国において急速に増加する中で、人類は今後何世紀にも渡つてそれに住む場所を見つけ、食糧を確保し、生活に必要なエネルギーを平和に入手しなければ、平穏に生存していくかという地球規模の問題に直面しようとしている。このために、人間は有限な地球環境の中でどの様な行動をとるべきであるかを考え、話し合い、合意実行していかなければならない。エネルギーは長い間生活向上のシンボルのように崇められ、求められ、使われてきたが、これからは地球環境を悪化させる利用は制限しなければならなくなつた。環境にコストをかけないエネルギーは、十分にあるのであろうか。その一つとされる原子力の資源量と市場競争力は長期的にあるのか。放射能を恐れる社会にその受容が限定されるとき、それを補う他の新エネルギーの実現性はどの段階にあるのか。将来有望なものがあるのか。エネルギーの研究に係わるものは知らずにはいられない。

ここに集めた統計資料は、その目的に役立ちうると考えられるもので、過去の実態を基本に将来の予測に及んでいるものを多く採り上げた。予測の研究は未来への対策のために重要なものであり、このデータベースをより精度よいものに改良していく研究の基礎となることを期待する。

Statistics and Predictions of
Population, Energy and Environment Problems

Makoto SOBAJIMA

Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 29, 1999)

In the situation that world's population, especially in developing countries, is rapidly growing, humankind is facing to global problems that they cannot steadily live unless they find individual places to live, obtain foods, and peacefully get energy necessary for living for centuries. For this purpose, humankind has to think what behavior they should take in the finite environment, talk, agree and execute. Though energy has been long respected as a symbol for improving living, demanded and used, they have come to limit the use making the global environment more serious. If there is sufficient energy not loading cost to the environment. If nuclear energy regarded as such one sustain the resource for long and has market competitiveness. What situation of realization of compensating new energy is now in the case the use of nuclear energy is restricted by the society fearing radioactivity. If there are promising ones for the future. One concerning with the study of energy cannot go without knowing these.

The statistical materials compiled here are thought to be useful for that purpose, and are collected mainly from ones viewing future prediction based on past practices. Studies on the prediction is so important to have future measures that these data bases are expected to be improved for better accuracy.

Keywords: Energy, Environment, Population Growth, Prediction, Statistics

目 次

はしがき	1
1. 世界の人口及び環境の現状と将来	2
1.1 世界人口の現状と予測	2
1.2 環境問題の現状と予測	2
1.2.1 地球環境問題国際会議	2
1.2.2 炭酸ガス排出量	2
1.2.3 SO _x 、NO _x 排出量	3
1.2.4 オゾン層破壊物質（ODS）排出量	3
2. 炭酸ガス排出問題と温暖化	17
3. エネルギー需給の現状と将来	30
3.1 エネルギー消費量の予測	30
3.2 近年のエネルギー需給動向	30
3.3 将来のエネルギー需給の展望	31
3.4 各種エネルギー資源の埋蔵量	33
4. 新エネルギー利用の現状と将来	48
4.1 新エネルギー開発計画	48
4.2 太陽光発電	48
4.3 風力発電	49
4.4 地熱発電	50
4.5 廃棄物発電	50
4.6 コジェネレーションと省エネルギー	51
4.7 燃料電池	51
4.8 その他の	52
あとがき	64

Contents

Preface	1
1. Status and Future of World's Population and Environment	2
1.1 Status and Prediction of World's Population	2
1.2 Status and Prediction of Environmental Problems	2
1.2.1 International Conferences on Global Environmental Problems	2
1.2.2 Exhaust Amount of Carbon Dioxide	2
1.2.3 Exhaust Amount of SO _x and NO _x	3
1.2.4 Exhaust Amount of Ozone Destruction Substances	3
2. Carbon Dioxide Exhaust and Warming	17
3. Status and Future of Energy Demand and Supply	30
3.1 Prediction of Energy Consumption	30
3.2 Trend on Recent Energy Demand and Supply	30
3.3 Prospect to Future Energy Demand and Supply	31
3.4 Estimation of Various Energy Resources	33
4. Status and Future of New Energy Utilization	48
4.1 Developing Plan of New Energy	48
4.2 Solar Power Generation	48
4.3 Wind Power Generation	49
4.4 Geothermal Power Generation	50
4.5 Waste Power Generation	50
4.6 Co-generation and Energy Saving	51
4.7 Fuel Battery	51
4.8 Miscellaneous	52
Remarks	64

はしがき

世界の人口が、特に発展途上国において急速に増加する中で、人類は今後何世紀にも渡ってそれに住む場所を見つけ、食糧を確保し、生活に必要なエネルギーを平和に入手しなければ、平穀に生存していけないという地球規模の問題に直面しようとしている。すでに、エネルギーの無制限な使用は、現状でも地球への負荷を強め、温暖化やオゾンホールなどの大問題を引き起こしつつあり、近い将来に途上国の人々が、先進国並の経済発展とエネルギー利用を求めたら、破局的な環境破壊に繋がることが、現実のシナリオとして唱えられている。半世紀後には数度の平均気温の上昇が、50 cmから1 mの海面上昇を招き、乾燥地帯を増やして食糧事情を悪化させ、マラリア等の熱帯性の病気を蔓延させるとの予測もある。

これを避けるために、人間は有限な地球環境の中でどの様な行動をとるべきであるかを考え、話し合い、合意実行していかなければならない。エネルギーは長い間生活向上のシンボルのように崇められ、求められ、使われてきたが、これからは地球環境を悪化させる利用は制限しなければならなくなってしまった。目前の気候の変動の実態を見て、初めて人々はそれを意識するようになった。京都会議やブエノスアイレス会議でこの問題解決が議論され、一定の取り決めは行われたが、その実行はいずれの国でも容易でない上、途上国の経済発展を予測するなら決して十分なものでないことは既に知られている。しかも、慣性のついた気候変動を改善に転じさせるにはどの程度の対策が必要十分なのかを、人間はまだ正確に予測できないでいる。

環境にコストをかけない（やさしい）エネルギーは、十分にあるのであろうか。その一つとされる原子力の資源量と市場競争力は長期的にあるのか。放射能を恐れる社会にその受容が限定されるとき、それを補う他の新エネルギーの実現性はどの段階にあるのか。将来有望なものがあるのか。これらの評価は技術が進歩し、経済活動やその時代の価値観が変わると共に変動するであろうが、少なくとも現状の予測はどうなるのかを、エネルギーの研究に係わるものは知らずにはいられない。

ここに集めた統計資料は、その目的に役立ちうると考えられるもので、過去の実態を基本に将来の予測に及んでいるものを多く採り上げた。予測の研究は未来への対策のために重要なものであり、このデータベースをより精度よいものに改良していく研究の基礎となることを期待する。

1. 世界の人口及び環境の現状と将来

1.1 世界人口の現状と予測

国連の統計によると、1990年の世界人口は約53億人である。17世紀半ばには約5億人であった世界人口は、19世紀初頭には10億人を超え、1950年には約25億人に達している。その後の40年程度の極短い期間に人口は倍増しており、過去と比べると近年の人口の増加は驚異的なものであることがわかる。

今後、2010年には約71億人、2025年には約83億人、そして21世紀半ばには地球人口100億人の時代が到来すると予測されている^{1), 5)}(図1-1)。

地域別の人団の推移で見ると、1990年でOECD加盟の先進国以外の開発途上国の人団は約41億で既に世界人口の4分の3以上を占めているが、この割合は今後一層高まって行き、2025年には70億人に、21世紀半ばには85億人で全人口の約85%に達すると予測されている。

人口予測は、過去の実績から判断すると未来予測としては精度がかなり高いものであり、200年以降、いわゆる先進国地域での人口はほぼ横ばい傾向となるものの、開発途上国では人口の急激な増加が予測されている(図1-2、図1-3)。

1.2 環境問題の現状と予測

われわれを取り巻く地球の環境は、空気、水、土や海洋、動植物や微生物等が微妙な系をなしており、人間の活動から排出される不用物や汚染物質を受け入れ、同化し、浄化する機能を有していると考えられる。この機能がくずれることが環境問題であり、その行手には、影響が国内にとどまり、国内の問題として解決すべき国内環境問題、影響が国境を越え、地球規模に拡大する地球環境問題がある。

ここでは世界全体でのエネルギー消費量の増加に関連する環境変化として炭酸ガス排出量、NOxとSOx排出量、世界全体での取り組みが検討されているオゾン層破壊物質排出量、およびこれらの環境問題に対する地球規模での取り組みとしての地球環境会議についてまとめる。

1.2.1 地球環境問題国際会議

環境問題への最初の全世界的な取り組みは1972年の「国連人間環境会議」であり、その後「国連環境計画(UNEP)」の創設(1972)、「持続可能な開発」を中心概念とした「環境と開発に関する世界委員会(WCED)」の設立(1984)、「大気変動問題に関する国際会議」の開催(1988)、「気候変動による政府間パネル(IPCC)」の設立(1988)、「気候と開発に関する国際会議」及び「大気保全に関する法律・政策専門家会合」(1988)、「環境首脳会議」(1989)などが開催され、「気候変動枠組み条約」が締結(1992)されるなど、世界で地球環境問題をめぐり活発な議論が交わされ、具体的な行動計画へと進んできている³⁾(表1-1)。

1.2.2 炭酸ガス排出量

1950年に世界全体で約16億トン(炭素換算)であった炭酸ガス排出量が、1960年には25億トンに、1971年には43.3億トンに増加した。さらに、1970年に比べて、1980年には約1.3倍の55.6億トンに、1990年には1.5倍の63.5億トンに増加してきた(図1-4)。

1980 年代以降、先進工業国での経済成長がゆるやかになりつつあることを反映して、OECD 加盟国全体での炭酸ガス排出量の増加は小さくなっているが、発展途上国では急激な工業化により、排出量が増加している。特に中国では、90 年から 94 年の間に 19% の増加が有り、94 年には世界全体の排出量の 12.6% を占め、アメリカに次いで 2 番目の排出量となっている（図 1-5）。

2010 年には、国際エネルギー機関（IEA）の予測では、世界の総排出量は 88 億トンと 1990 年の約 1.2 倍に増加し、2025 年には国連の「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」は 122 億トンへの増加を予測している。

特に、人口の増加と急激な工業化が見込まれているアジア地域では、1990 年の 2 倍以上となり、世界全体の排出量の約 40% を占めると予測されている（図 1-6）。

1.2.3 SO_x、NO_x 排出量

1994 年度、亜硫酸ガス（SO₂）として約 7070 万トンの硫黄と、窒素酸化物（NO_x）の形で 2080 万トンの窒素が化石燃料の燃焼とともに排出されたと予測されている。これらの数値は、化石燃料の消費率と排出制御の程度についてなされた推定に基づいて算出されたものであり、これらの物質の排出量を監視し記録する国際的な機関がないため、非公式の推定値となっている。

1980 年代後半以降、世界全体の硫黄および窒素の排出量がほぼ一定の水準を保っているのは、発展途上国で多くの石炭が使用されて排出量が増加している一方で、先進工業国でのエネルギー効率の向上、浄化技術の進歩、天然ガスなどの比較的クリーンな燃料の使用等により排出量が減少したためである⁴⁾（図 1-7、図 1-8）。

図 1-9 には化石燃料燃焼の要因の 1 つである火力発電所での発電電力量当たりの SO_x、NO_x 排出量の比較を示した。

なお、報告によると⁹⁾、1970 年代から欧米における森林の衰退現象と大気汚染や酸性雨との関係が指摘されてきたとし、SO₂ などによる酸性雨の影響と見られる例として、欧州での樹木の衰退現象を示している（図 1-10）。

1.2.4 オゾン層破壊物質（ODS）排出量

塩素や臭素を含むハロカーボン類（塩素を含むものは CFC 類や HCFC 類、臭素を含むものはハロン類）は、オゾン層を破壊し、地表に届く有害紫外線を増加させる。図 1-11 に、アメリカの衛星に搭載されているオゾンセンサーのデータに基づく南緯 60 度から北緯 60 度のオゾン全量の変化を示す¹⁰⁾。図に示されるように、年々オゾン量が減少しているのが判かる。

このオゾン対策として、ODS の排出は 1987 年に制定された「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」及びその「調整」と「改正」文書により規制されている。その結果、表 1-2 に示すように、発展途上国では、削減への取り組みが本格化していないが、先進工業国では段階的削減の成果が見られる。

参考文献

- 1) (財) 高度情報科学技術研究機構、「直面する諸問題と 21 世紀地球社会への期待「その 1」(10-01-02-01)」、ATOMICA
- 2) (財) 高度情報科学技術研究機構、「エネルギーと地球環境問題 (01-08-02-06)」、ATOMICA

- 3) (財) 高度情報科学技術研究機構、「環境問題に関する国際会議（1970～90 年代）（01-08-04-07）」、ATOMICA
- 4) ワールドウォッチ研究所、「地球データブック 1997～98」、ダイヤモンド社、1997 年 7 月
- 5) 科学技術庁、「原子力、今日そして明日」、パンフレット
- 6) 科学技術庁、「もっと知りたい、もっと考えたい、原子力のこと」、パンフレット、平成 10 年 3 月
- 7) (財) 高度情報科学技術研究機構、「世界の一次エネルギー消費の動向（01-07-03-01）」、ATOMICA
- 8) (財) 高度情報科学技術研究機構、「アジア・太平洋地域における環境問題の特殊性（01-08-04-02）」、ATOMICA
- 9) 河野吉久、「酸性雨などによる外国の被害事例：欧米における樹木衰退の実情とその原因」、環境資源対策、1993 年 2 月
- 10) 通産省基礎産業局オゾン層保護対策室、「オゾン層の役割とオゾン層の現状及び見通し」、産業と環境、1997 年 12 月

表 1-1 主な地球環境問題国際会議³⁾

1985年10月	フィラハ会議(オーストリア)：地球温暖化に関する初めての世界会議、科学者が集まり科学的知見を整理、評価
1987年11月	ペラジオ会議(イタリア)：温暖化防止策について初めて行政レベルの検討が行われた会議
1988年6月 11月	トロント会合(カナダ)：2005年までに二酸化炭素排出量の20%削減を提案 第1回IPCC会合(ジュネーブ)：気候変動について政府間で検討する場として設置
1989年3月 7月 11月	ハーグ環境首脳会議(オランダ)：地球温暖化対策実行のための強力な機能の整備などを宣言 アルシュサミット(フランス)：経済宣言の3分の1を温暖化問題を含む環境問題に 大気汚染と気候変動に関する関係閣僚会議(オランダ・ノールトウェイク)：温室効果ガス排出の安定化や、1992年国連環境開発会議までに「気候変動に関する枠組み条約」を採択することに合意
1990年6月 7月 8月 11月	モントリオール議定書第2回特約国会議(ロンドン)：フロン等の2000年ないし2005年までの全廃を決定 ヒューストンサミット(アメリカ)：気候変動に関する枠組み条約の1992年までの策定を確認 第4回IPCC会合(スウェーデン・スンツバル)：2年近くにわたり検討を重ねてきたIPCCの第1次評価報告 第2回世界気候会議(ジュネーブ)：137カ国の参加により地球温暖化をめぐる一連の国際的議論を総括
1991年2月 6月 9月 12月	第1回気候変動枠組み条約交渉会議(ワシントン) 第2回気候変動枠組み条約交渉会議(ジュネーブ) 第3回気候変動枠組み条約交渉会議(ナイロビ) 第4回気候変動枠組み条約交渉会議(ジュネーブ)
1992年2月 2月 4月 6月	第7回IPCC会合(ジュネーブ)：第1次評価報告書の補足報告 第5回気候変動枠組み条約交渉会議(ニューヨーク) 第5回気候変動枠組み条約交渉会議再開会合(ニューヨーク) (再開会合最終日：5月9日 気候変動枠組み条約採抲) 国連環境開発会議(地球サミット)(ブラジル、リオデジャネイロ)：気候変動枠組み条約が署名のために開放、13日、我が国も閣議を経て署名、開催期間中の署名国は155カ国 (1992年末現在 署名国は159カ国 批准書委託国は9カ国)
11月 12月	第8回IPCC会合(ハラレ)：今後3年間の研究課題及び組織体制 第6回気候変動枠組み条約交渉会議(ジュネーブ)
1994年3月	気候変動枠組み条約発効
1995年3月 8月 12月	気候変動枠組み条約第1回締約国会議(ベルリン：ベルリンマンデート採抲) 第1回アドホックグループベルリンマンデート(AGBM)会合開催 IPCC第11回会合開催(第2次評価報告書をとりまとめた)
1996年6月 7月	IEAエネルギーと環境に関する非公式閣僚会合 気候変動枠組み条約第2回締約国会議開催(IPCC第2次評価報告書の評価、先進国の追加的な努力について閣僚宣言をとりまとめた)
(予定)	
1997年4月 12月	気候変動枠組み条約に基づき付属書1国は第2回目の情報を送付 気候変動枠組み条約第3回締約国会議開催(2000年以後について結論)

[出典] 環境省地球環境部(編)：改訂地球環境キーワード事典、
中央法規出版(株) (平成8年2月)、p37

[出典] 資源エネルギー庁(監修)：1997/1998資源エネルギー年鑑、
通産資料調査会(平成9年2月)、p37

表 1-2 各国の CFC およびハロンの使用量、1986 年および 1994 年⁴⁾

国名	使用量		増減
	1986年	1994年	
中国	46,600(t) ⁽²⁾	90,900(t) ⁽²⁾	+ 95(%) ⁽³⁾
欧州共同体／欧州連合	343,000	39,700	- 88
ロシア	129,000	32,600 ⁽⁴⁾	- 75
日本	135,000	19,700	- 85
韓国	11,500	13,100	+ 15
メキシコ	8,930	10,800	+ 21
ブラジル	11,300	7,780	- 31
タイ	4,660	7,230	+ 55
インド	2,390	7,000	+ 193
アルゼンチン	5,500	4,950	- 10
カナダ	23,200	4,850	- 79
マレーシア	3,840	4,760	+ 24
フィリピン	1,920	4,010	+ 109
オーストラリア	18,600	3,890	- 79
ベネズエラ	4,590	3,130	- 32
インドネシア	1,710	2,880	+ 69
南アフリカ共和国	18,700	2,420	- 87
ポーランド	10,600	1,680	- 84
ウクライナ	1,850	1,530	- 17
米国	364,000	-91	-100

注：(1)「使用量」とは、生産量（年間生産量と年末在庫量の合計から年初在庫量を差し引いたもの）に輸入量を加え、輸出量と原料としての使用量を差し引いたものである。したがって、前年から繰り越された年初在庫物質が大半に他の化学物質をつくるための原料として使われた場合は、米国のように使用量がマイナスになることもある。

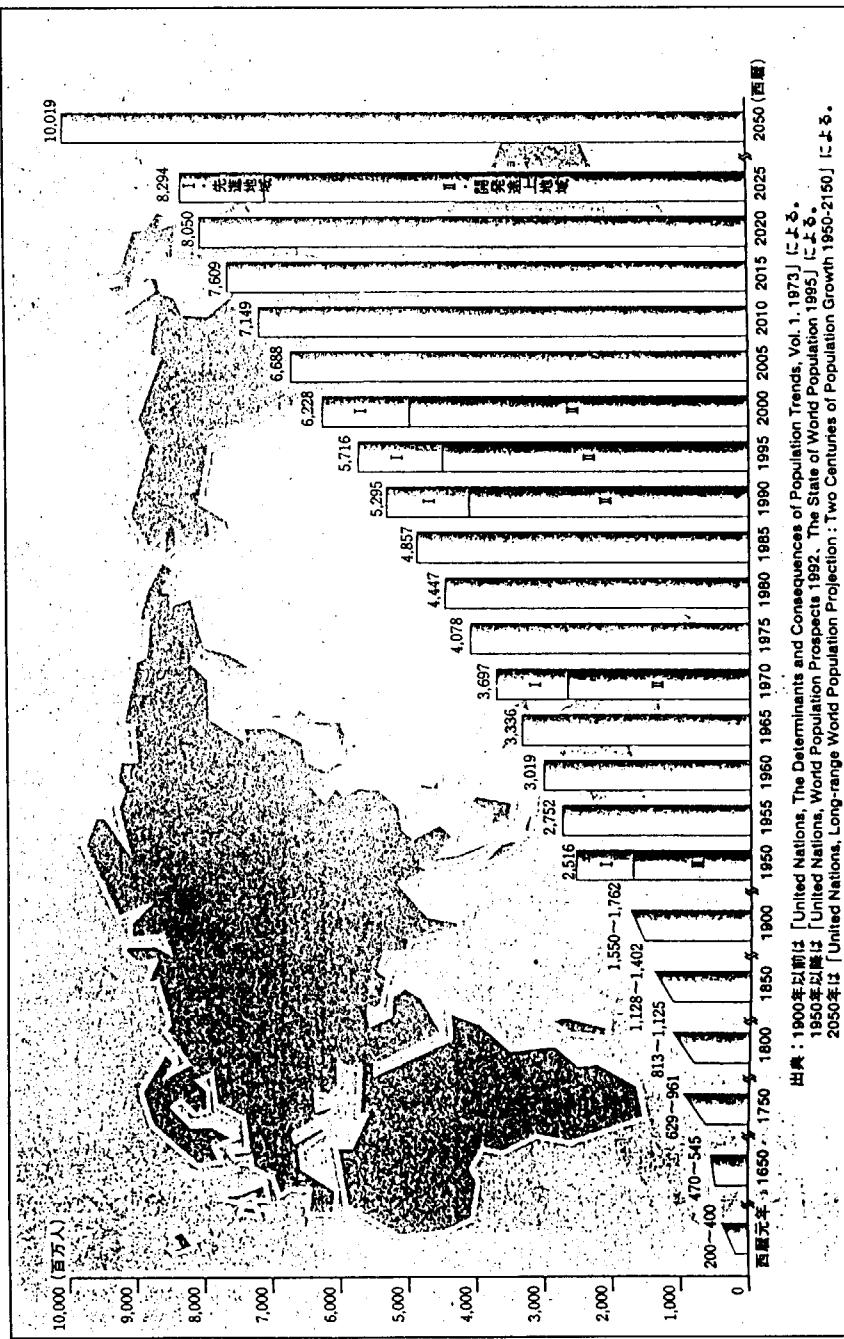
(2)各化学物質のオゾン層破壊能力はさまざまに異なる。本表の数字は、モントリオール議定書の付属書Aに挙げられているさまざまなCFC(CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115)およびハロン(ハロン-1211, ハロン-1301, ハロン-2402)のトン数にそれぞれの「オゾン層破壊能力(ODP)」を乗したものである。ODPの値は、当該物質のオゾン層破壊能力と、それと同量のCFC-11の破壊能力との比である。

(3)端数処理のために、表に記されたパーセンテージと計算結果が異なるものもある。

(4)データは1993年のもの。

出所：United Nations Environment Programme, "The Reporting of Data by the Parties to the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer" (Nairobi: 12 September 1996).

■世界人口の推移■

図 1-1 世界人口の推移⁵⁾

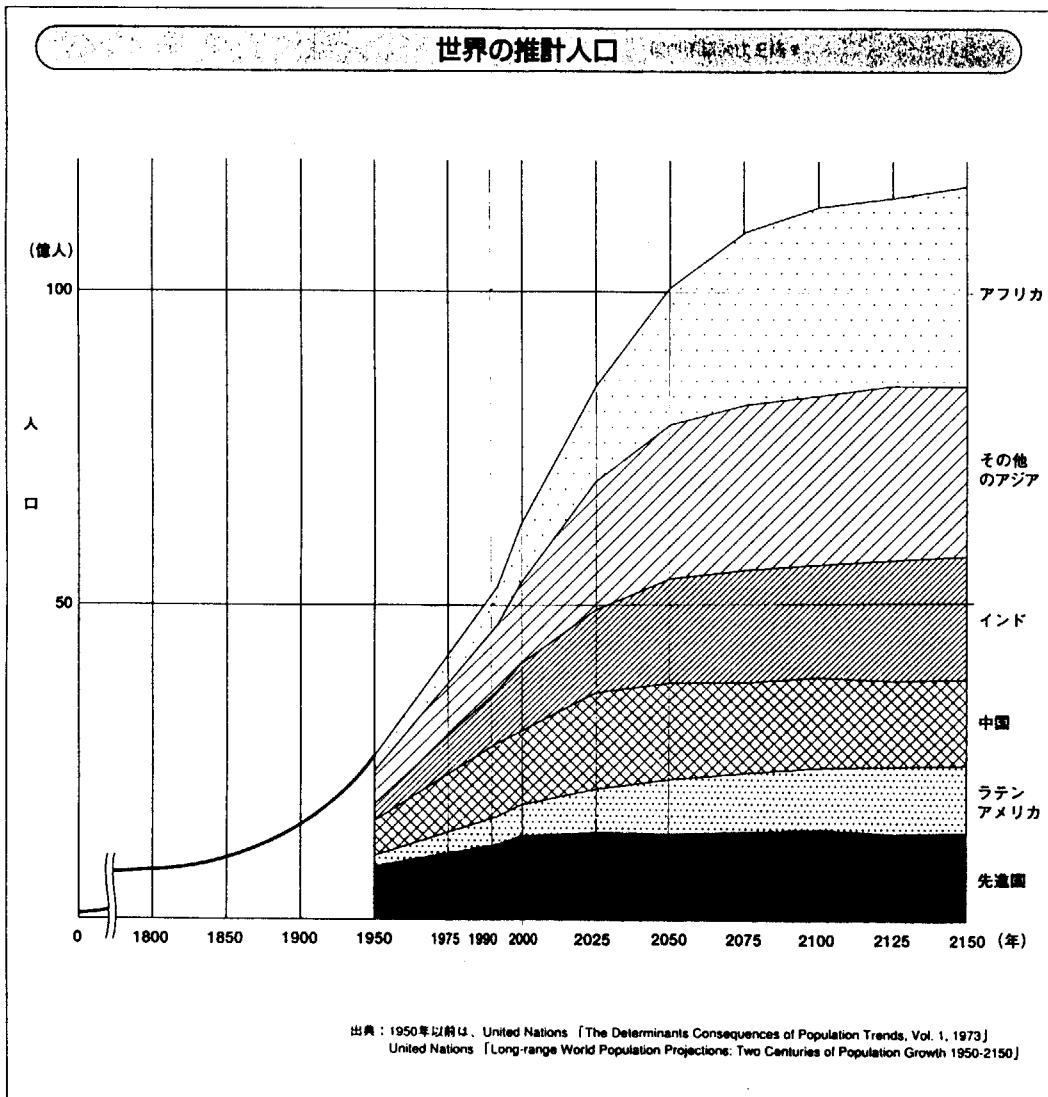
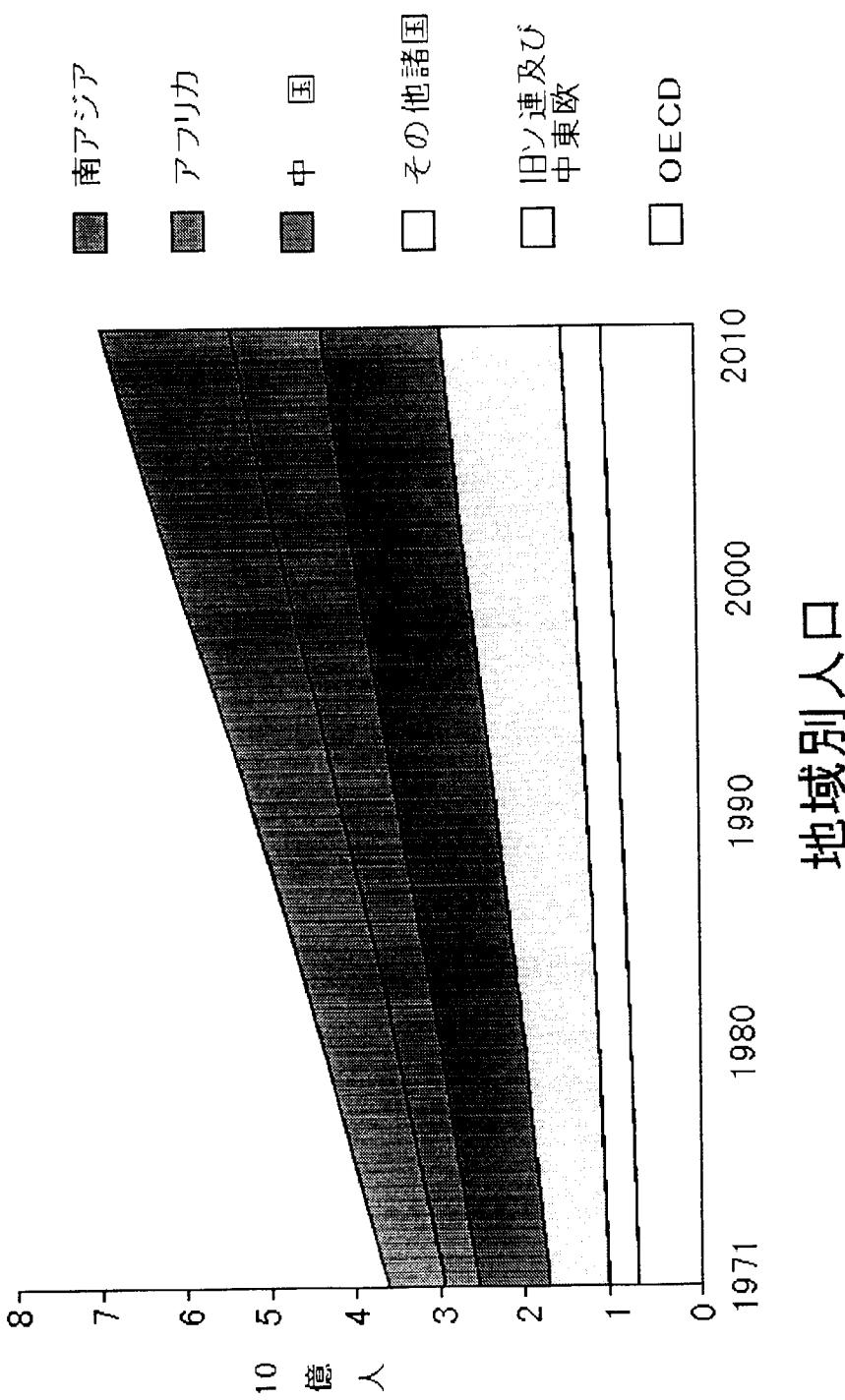


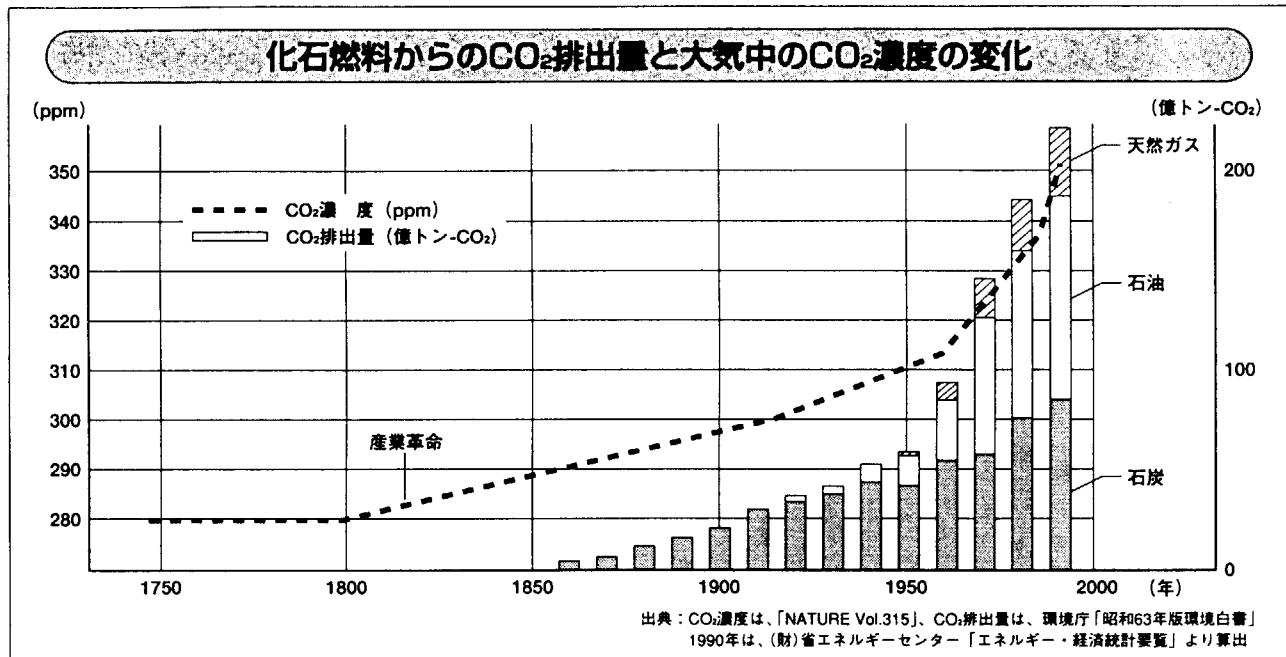
図 1-2 世界の推計人口⁶⁾



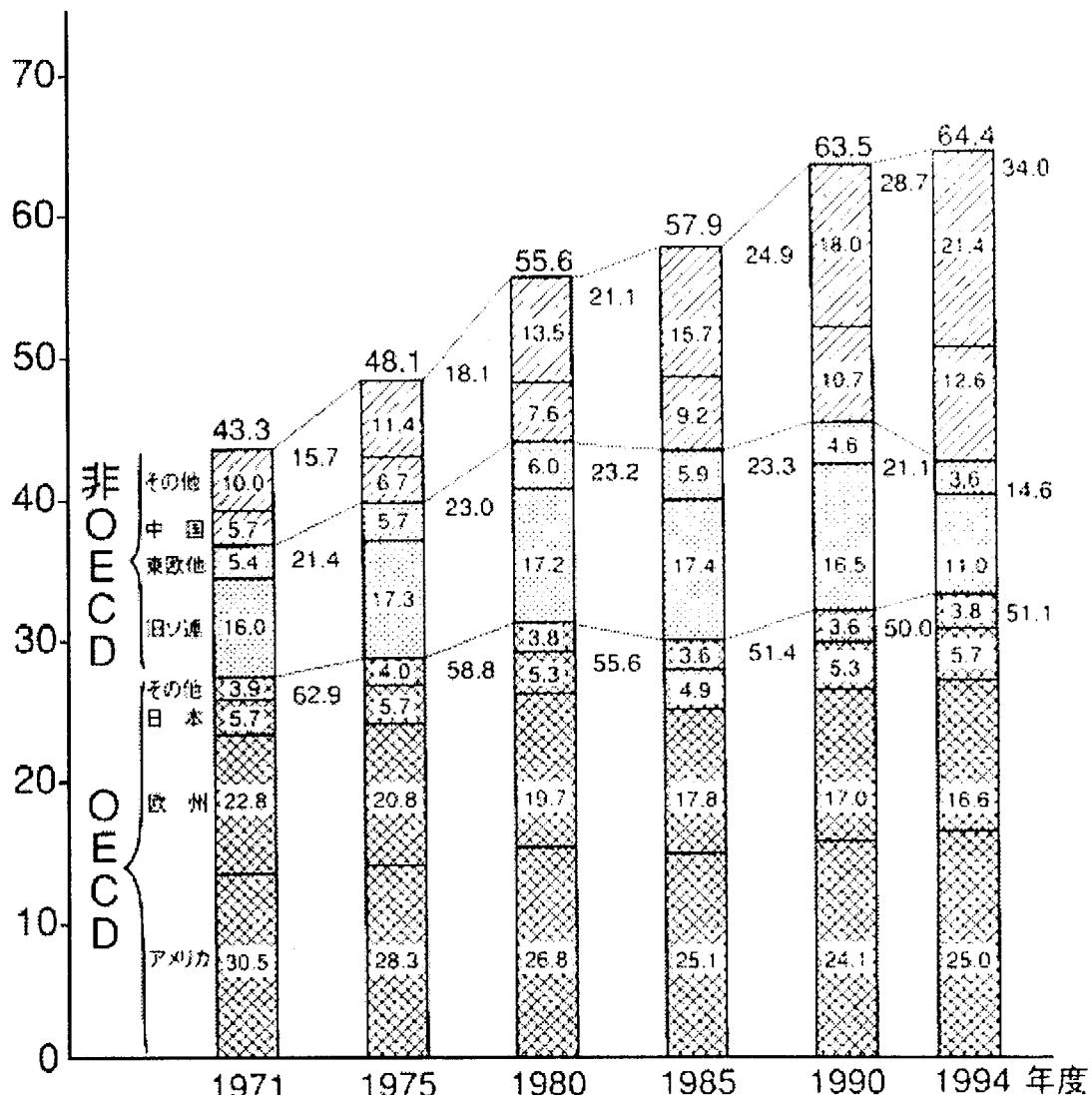
地域別人口

[出典] OECD/IEA(編) 資源エネルギー庁長官官房国際資源課(監証):1995年度版 2010年世界のエネルギー展望、
(財)通商産業調査会出版部(1996年3月)、P16

図 1-3 地域別人口⁷⁾

図 1-4 化石燃料からのCO₂排出量⁶⁾

億トンC
(炭素換算)

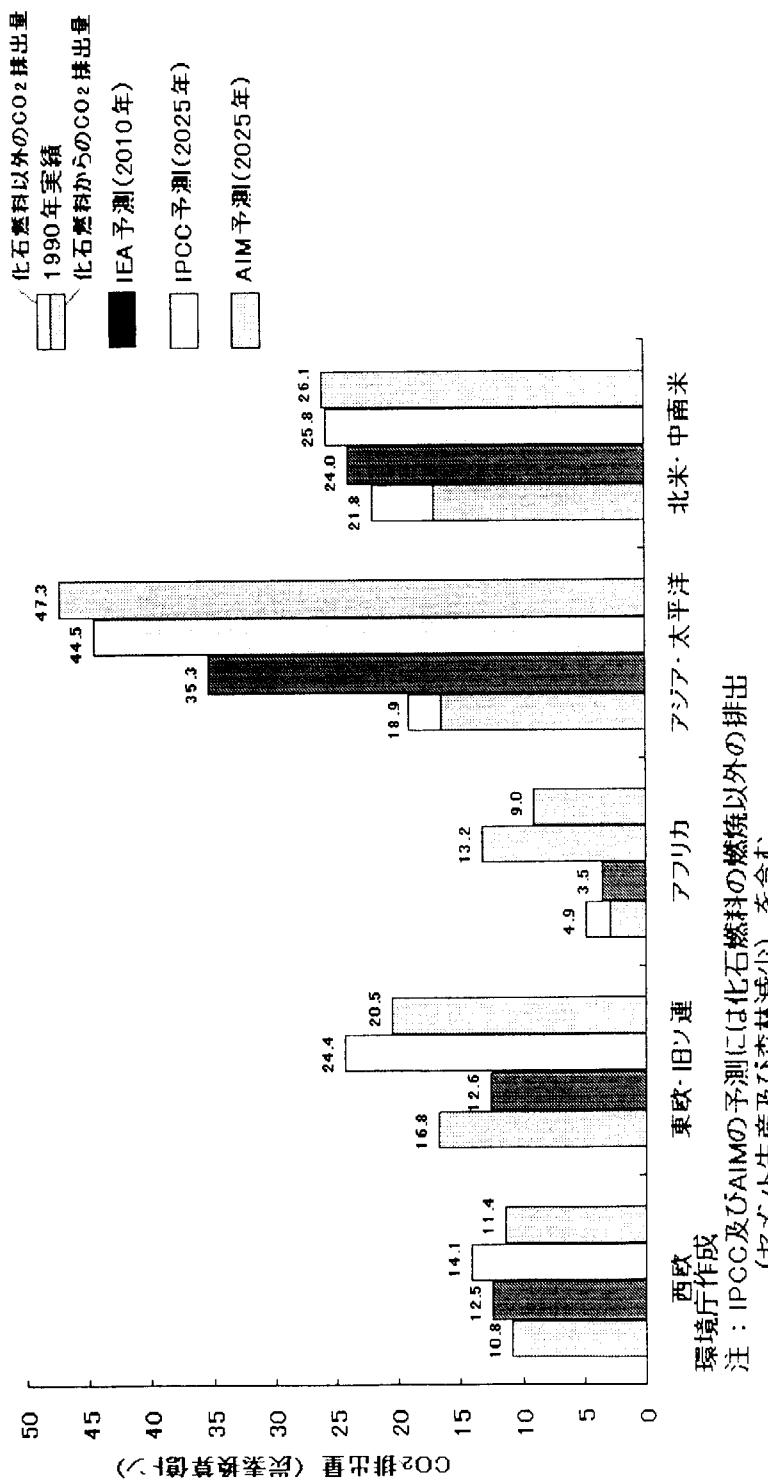


(注) グラフ内の数値は構成比 (%)
四捨五入のため合計は100%にならない場合がある。

出典：「'97エネルギー・経済統計要覧」

[出典] 電気事業連合会:「原子力」図面集・1997年版(1997年10月)p83

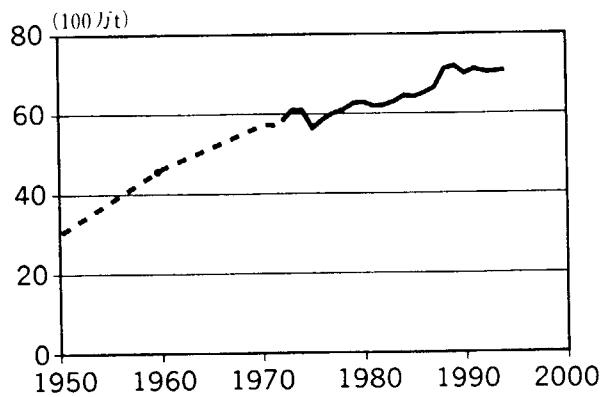
図 1-5 世界のCO2排出量^{b)}



地域別二酸化炭素排出量

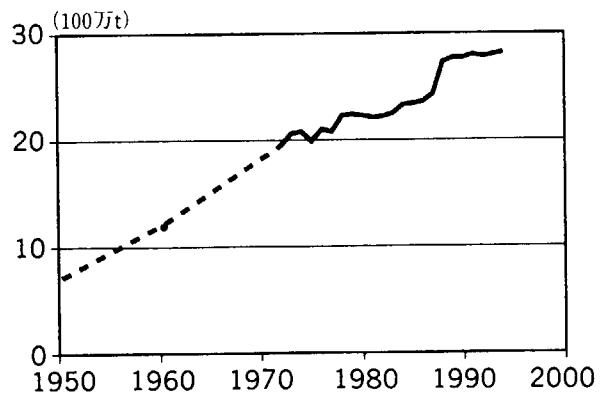
[出典] 環境庁(編): 平成7年版 環境白書 総説、大蔵省印刷局(平成7年6月) p96

図 1-6 地域別二酸化炭素排出量^{⑥)}



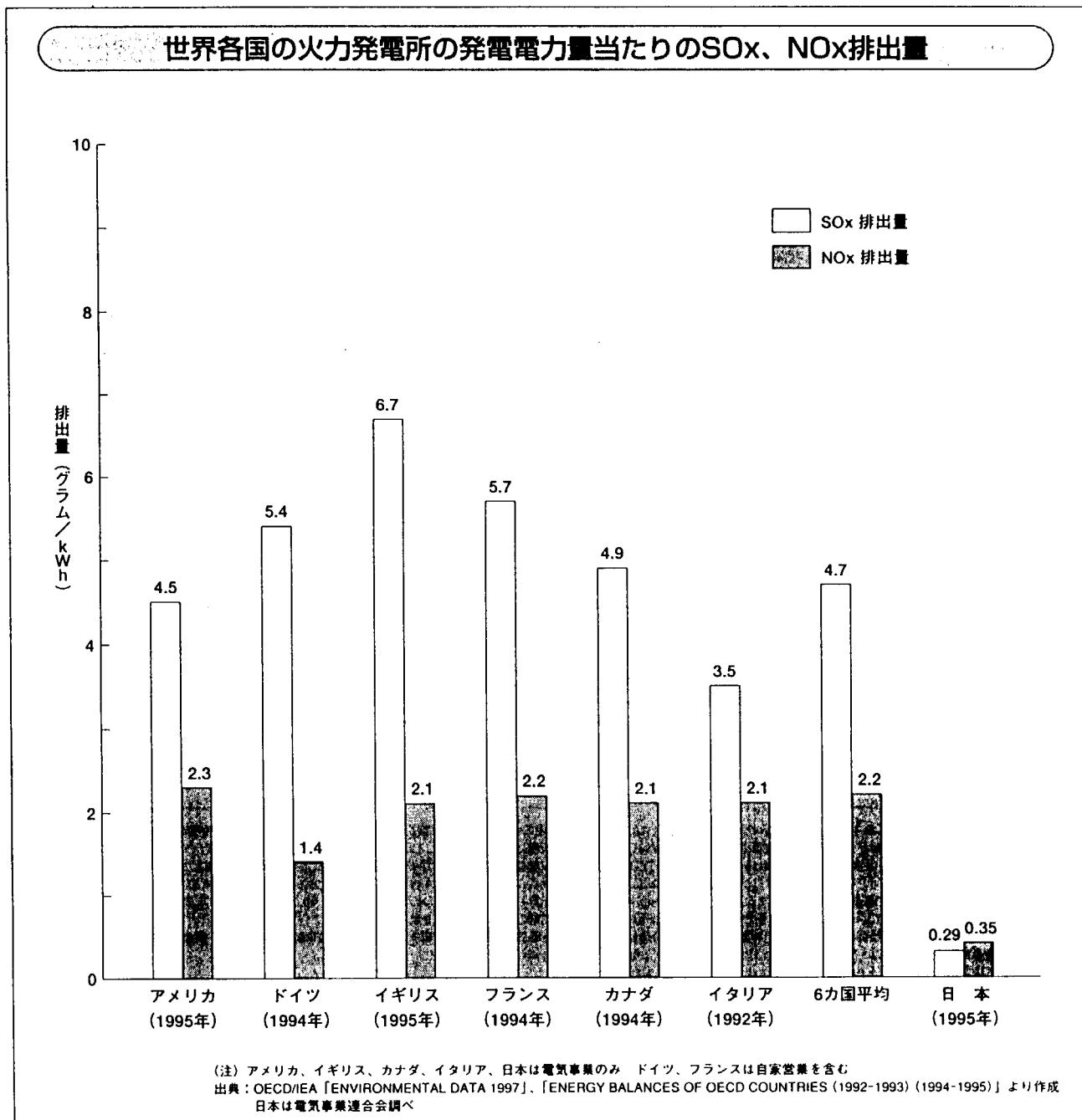
注：破線部分は推定値。
出所：J. Dignon, S. Hameed.

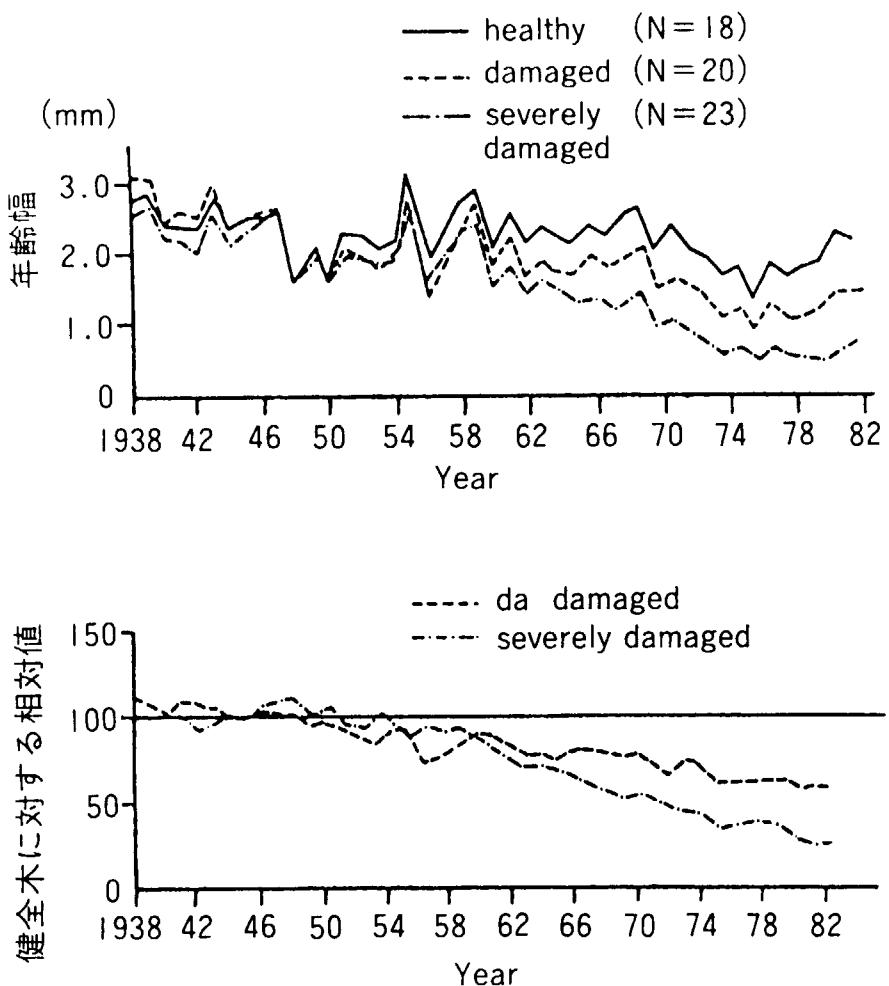
図 1-7 化石燃料の燃焼によって生じる世界の硫黄排出量⁴⁾



注：破線部分は推定値。
出所：J. Dignon, S. Hameed.

図 1-8 化石燃料の燃焼によって生じる世界の窒素排出量⁴⁾

図 1-9 世界各国の火力発電所の発電電力量当たりの SOx、NOx 排出量⁶⁾



旧西ドイツ・黒い森におけるヨーロッパモミの年輪幅の経年変化(Moosmayer, 1984)
地上 1.3 m で直径 50 cm 以上の個体を対象に測定

図 1-10 酸性雨の影響事例⁹⁾

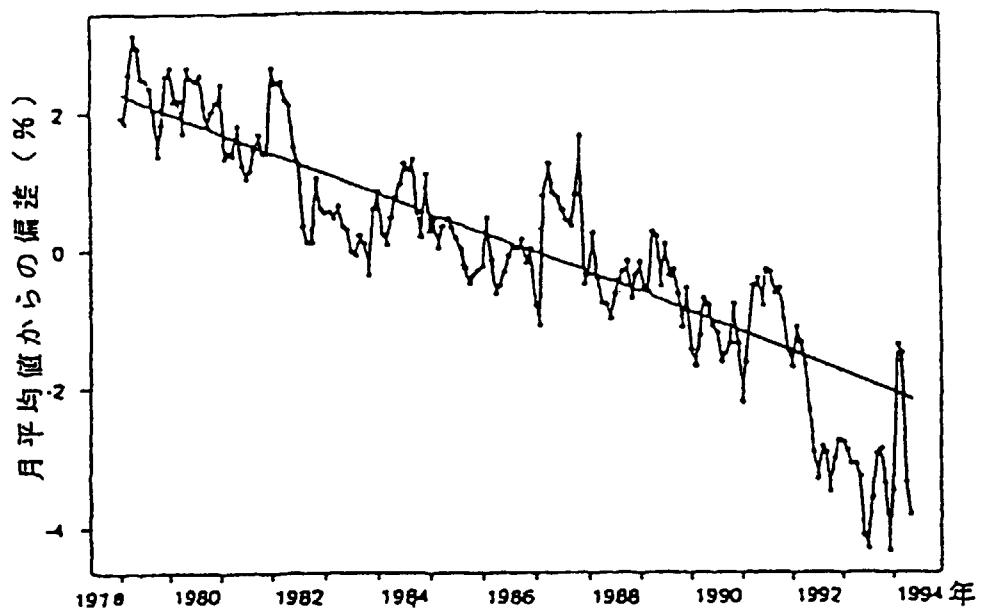


図 1-11 オゾン全量の変化¹⁰⁾

2. 炭酸ガス排出問題と温暖化

地球温暖化問題は、CO₂などの温室効果ガスが大気中に大量に放出され、これにより長期的に地球規模での海面上昇や気候変動などの悪影響が顕在化してくる問題である。人類の生産活動の増大に伴い、近年、温室効果ガスの大気中濃度は急速に増大し始めている。このため、全地球規模での温室効果ガスの排出削減が人類の将来にとっての重要な問題として認識されてきた。

本章では、地球温暖化の現状とその影響、および温室効果ガス（特にCO₂）の排出問題についてまとめる。

(1) 地球温暖化の現状

図2-1、図2-2は、平均気温推移を、地球平均と日本平均についてそれぞれ示したものであるが、1910年以降、平均気温が上昇傾向にあることは明白である。もちろん、平均気温の上昇は、長期的な気候変動、あるいはエルニーニョ現象や火山活動などの気温変動要因による部分もある。しかし、近年における平均気温の著しい上昇は、これらの要因だけでは説明できず、温室効果ガスによる影響が充分に考えられるというのが通説となっている。

(2) 温暖化による影響

地球温暖化が現在のペースで続いた場合の環境への影響としては、以下のようなことが考えられる⁵⁾。

- (a)熱帯地域の伝染病であるマラリア、黄熱病などの世界的な流行
- (b)降雨の場所および量の変化による干ばつと洪水
- (c)海面の上昇による沿岸地域の浸食と海没
- (d)微生物も含めた動植物の生態系変化による種の絶滅と森林破壊
- (e)異常気象や害虫の増加による食料生産高の低下

これらの影響は、いずれも人類の生存にとって深刻な問題である。さらに重要なことは、これらの影響が非可逆的なものであり、いったん悪影響が生じれば対症療法的な対応策しか残されていないということである。温暖化防止対策には、当然、経済的コストの増加という負担が伴うが、それにもかかわらず、今日その重要性が叫ばれている理由はこの点にある。

(3) 温室効果ガスと温暖化のメカニズム

地球温暖化は温室効果ガスによる温室効果に起因すると言われているが、温室効果ガスには、自然界に元々存在するものとして、炭酸ガス(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)、オゾン(O₃)、水蒸気などがある。また、人工の温室効果ガスとしては、各種フロンガス、六フッ化硫黄(SF₆)などがある。これらの温室効果ガスによる地球温暖化への寄与度は図2-3の通りである⁵⁾。

これらの温室効果ガスが大気中で赤外線を吸収することにより、大気圏外へ赤外線として放出される熱が減少することが、温室効果のメカニズムである。(図2-4参照。)

(4) 地球温暖化問題における炭酸ガスの重要性

温室効果ガスの内、特に炭酸ガスが重要視されるのは、図2-3に示すように温暖化への寄与度が圧倒的に大きいことと、その放出量が人類の活動と密接に結びついているためである。

図2-5に日本における温室効果ガスの排出割合を示すが、温室効果ガスの90%以上を炭酸ガスが占めている。また、図2-6に大気中の炭酸ガス濃度の推移を示すが、産業革命以降明らかに炭酸ガス濃度が急激に上昇している。

これらの事実は、炭酸ガスの排出が人類の生産活動と密接に結びついていることを裏付けており、従って、人類の活動を見直すことにより人為的にその放出量を規制し、温暖化防止のために最も有効であるのが炭酸ガス規制であると言える⁵⁾。

(5) 炭酸ガスの排出状況とその問題点

(a) 世界全体での炭酸ガスの排出状況

炭酸ガス排出量の国別内訳を図2-7に、また1人あたりの排出量を図2-8に示す。1994年現在で、世界全体での炭酸ガス排出量は64億トンであるが、その内の35億トン(55%)をOECD加盟の24カ国が排出している。USAと中国で世界全体の46%を排出しており、特に人口では世界の4.7%に過ぎないUSAだけで14億トン(22%)もの炭酸ガスを排出している。図2-8の1人あたりの排出量を見ても、上位は先進工業国であり、炭酸ガス排出の要因が工業生産等のエネルギー需要にあることがわかる。図2-9は世界全体での炭酸ガス排出量の推移を示したものであるが、近年においては、中国をはじめとする発展途上国における排出量の増大が著しい。

(b) 日本での炭酸ガスの排出状況

図2-10は1990年以降の日本における炭酸ガス排出量の推移を示したものであるが、90年代前半において排出量が約10%増加していることがわかる。先進工業国におけるこの間の排出量の変化を見ると、USAは5.1%増、イギリスは4.9%減、ドイツは11.8%減、欧州OECDは0.6%減、旧ソ連・東欧は29.7%減であり、日本の排出量の増加は突出している。この理由としては、部門別の炭酸ガス排出量の推移(図2-11)および部門別の炭酸ガス排出量の内訳(図2-12)から、以下のようなことが考えられる⁵⁾。

- ・自動車や電化製品の大型化に伴い、運輸用、電力用のエネルギー需要が著しく伸びたこと。
- ・輸送の絶対量の増加と、輸送手段がエネルギー節約型の鉄道、船舶からエネルギー多消費型の自動車、飛行機へシフトしたこと。
- ・90年代前半において、日本の国内総生産(GDP)の成長率がUSAや欧州OECDに比べて高かつたこと。
- ・夏の異常高温が連続し、家庭およびオフィスの冷房用電力需要が急増したこと。

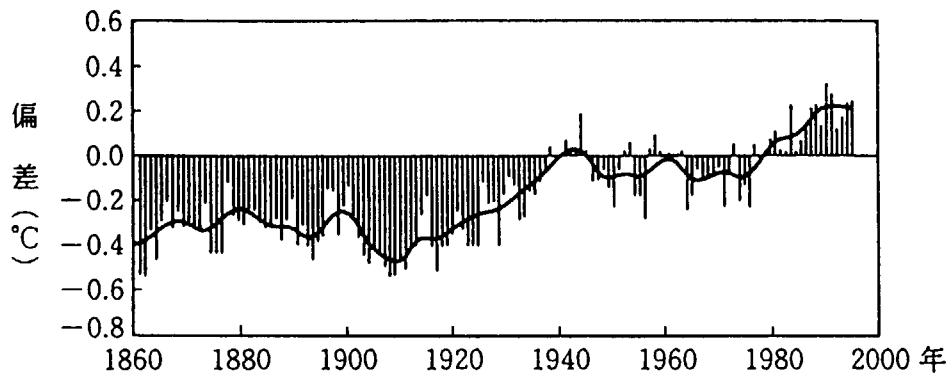
90年代前半において日本の炭酸ガス排出量が増加したという事実が、先進工業国間における日本の立場を厳しくしている。同時に、いわゆる地球サミットで署名された「気候変動枠組み条約」での「炭酸ガス排出量を2000年に1990年のレベルに戻す」という目標あるいはいわゆる「京都議定書」における目標の達成を困難なものにしている⁶⁾。

一方、発電を含むエネルギー分野の炭酸ガス排出量は、図2-13に示すように、日本においては総排出量の90%以上である。これに対して、図2-14に示すように、原子力発電は過去25年間で炭酸ガス排出量を約37%削減したとされる。今後、省エネルギー努力や、特に原子力発電と新エネルギーの開発導入促進を柱とする対策を講じた場合の炭酸ガス削減効果を、図2-15に示す。

参考文献

- 1) 並木 徹、中富 泰三、「(各論-1) 地球温暖化対策をめぐる国際的枠組みと我が国の産業・エネルギー政策」、日本原子力情報センター編 地球温暖化防止対策 特別講演会資料、平成10年6月

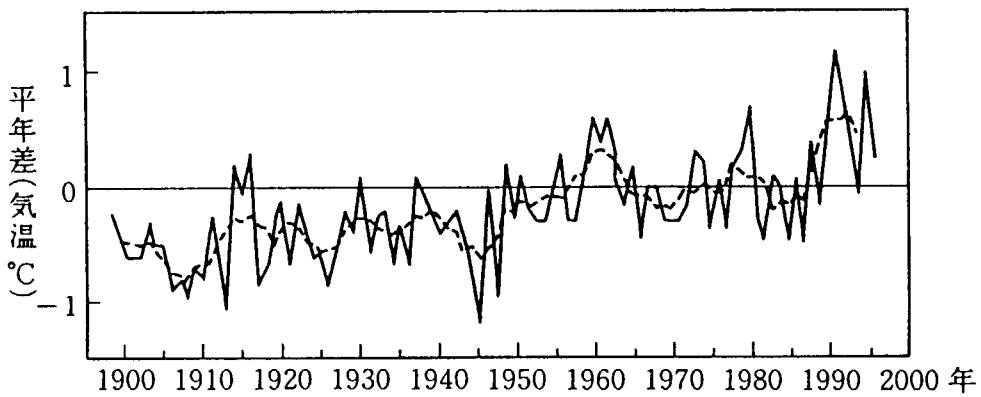
- 2) 柏木孝夫、「(各論-2) わが国の温室効果ガス放出量の現状と将来展望」、日本原子力情報センター編 地球温暖化防止対策 特別講演会資料、平成10年6月
- 3) 環境庁地球温暖化対策推進本部、「地球温暖化対策推進大綱」、平成10年6月
- 4) OECD/NEA 報告書、「原子力発電と気候変動」、原産マンスリー、平成10年7月
- 5) 佐和隆光、「地球温暖化を防ぐ」、岩波新書、平成10年2月
- 6) 吉江照一、「地球温暖化問題とその対応についての概要」、エネルギー総合工学（第20巻、第4号）、1998年
- 7) 科学技術庁、パンフレット“もっと知りたい、もっと考えたい、原子力のこと（第3版）”、平成10年3月
- 8) 今井武、「(各論-V) 1. 電力業界における地球温暖化問題への取組み」、日本原子力情報センター編 地球温暖化防止対策 特別講演会資料、平成10年6月



注：1861～1994年の陸上気温と海面水温を結合したもの(全球平均)の1961～90年の平均値からの偏差($^{\circ}\text{C}$)。実線は5年間の移動平均。

出典：平成9年版『環境白書』、IPCC第2次報告書(1995年)より引用

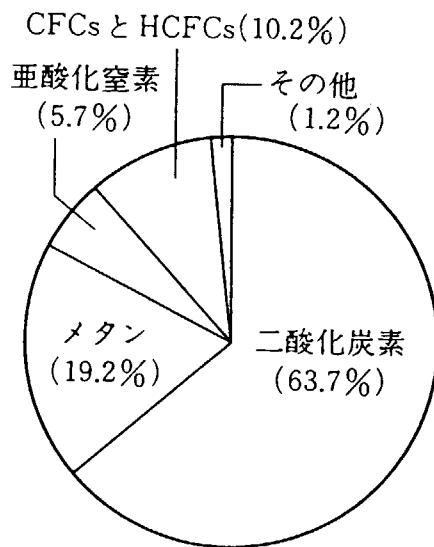
図2-1 全球平均気温の推移（1861～1994年）⁵⁾



注：国内15地点での年平均気温の平年差(1961～90年の平均からの差)を平均したものを示す。実線は各年の値を、破線はその5年移動平均を示す。

国内15地点：網走、根室、山形、石巻、伏木、水戸、飯田、浜松、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島

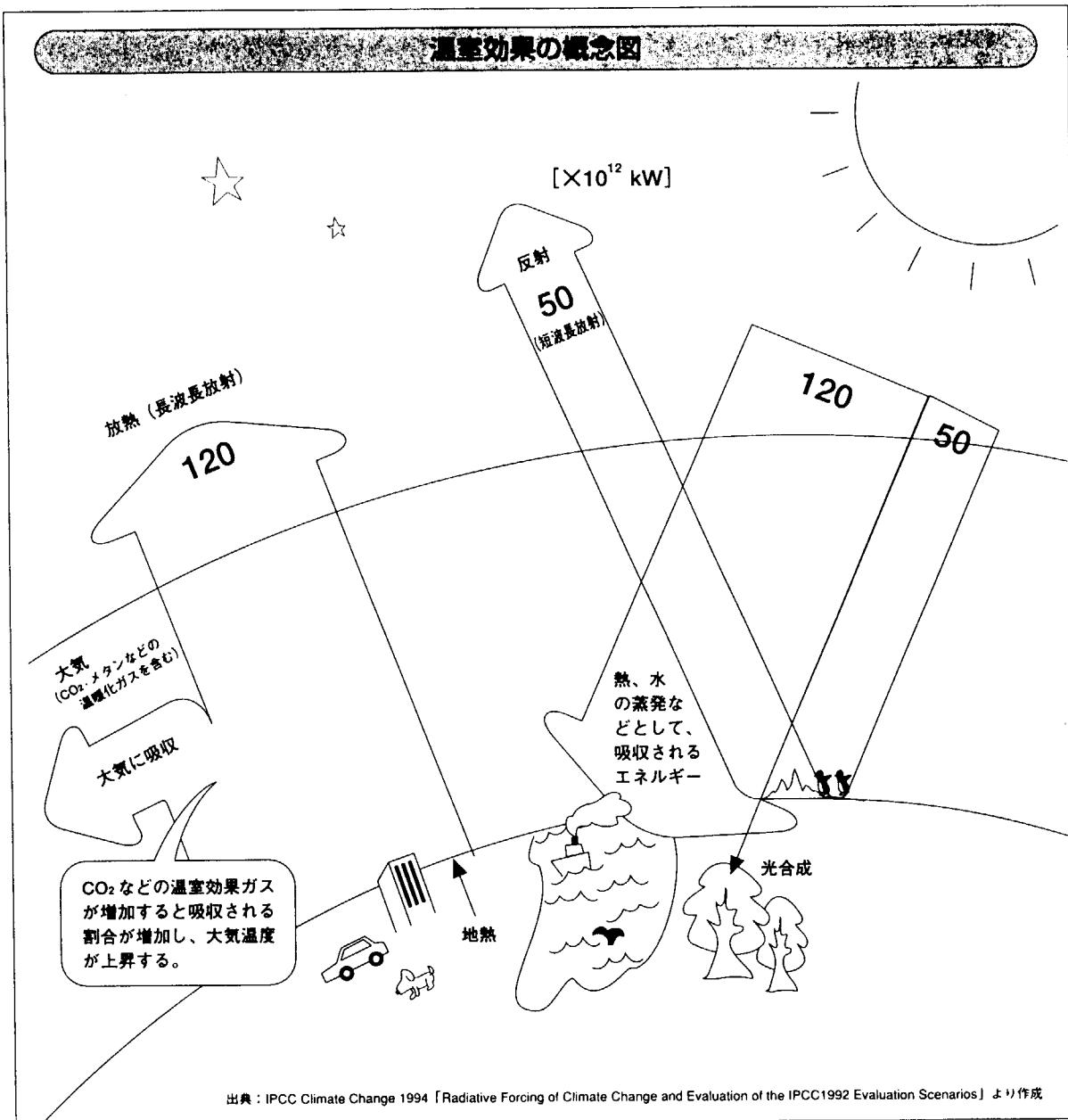
図2-2 日本における平均気温の推移（1898～1995年）⁵⁾

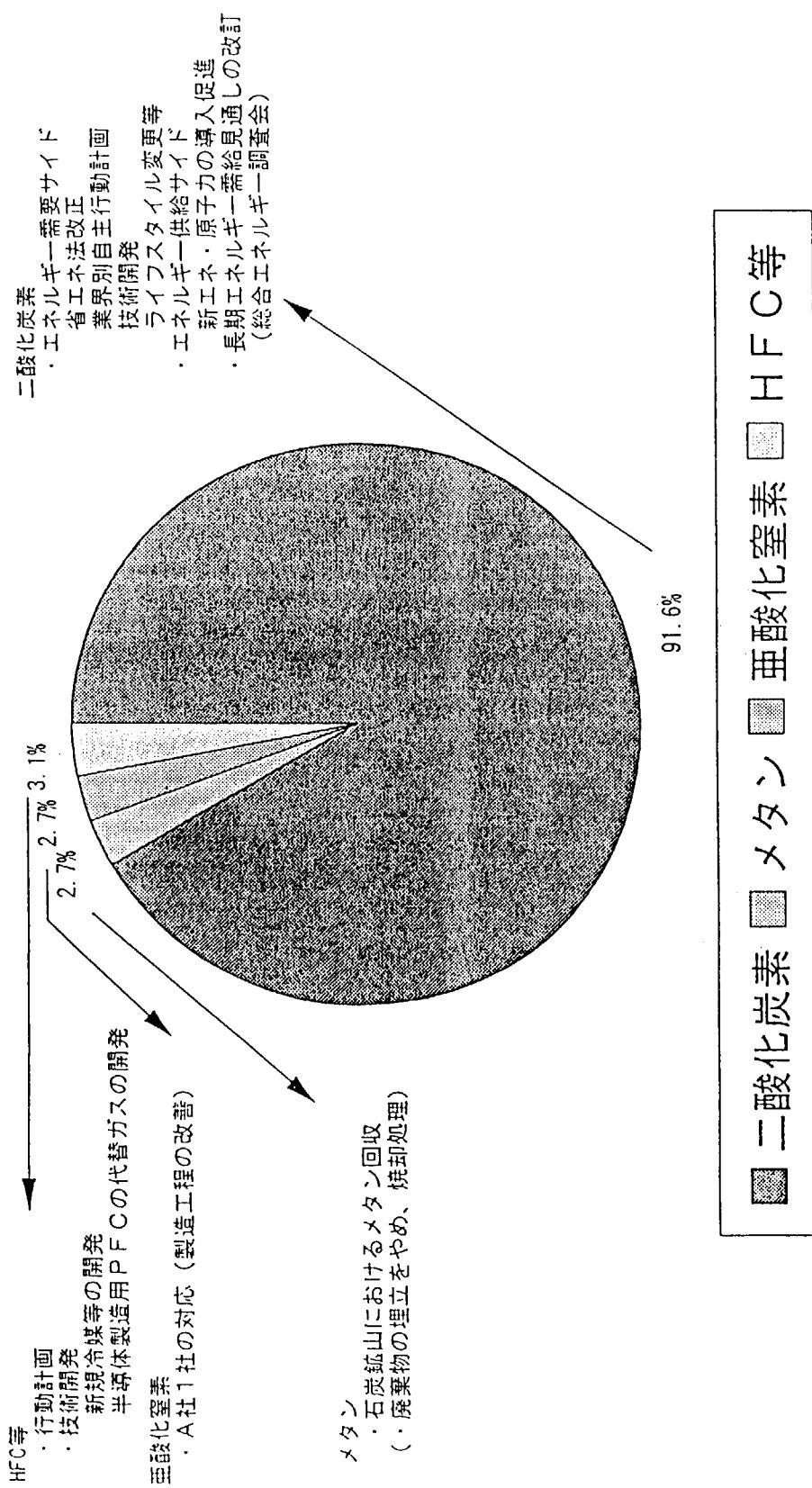


注：ここには対流圏オゾンの増加による温暖化の寄与は示していない。また CFC_s, HCFC_s には、成層圏オゾン層を破壊することによる冷却効果があるが、その寄与はここに示す直接的寄与と同程度と推測されている。

出典：環境庁『どうなる地球 どうする21世紀』

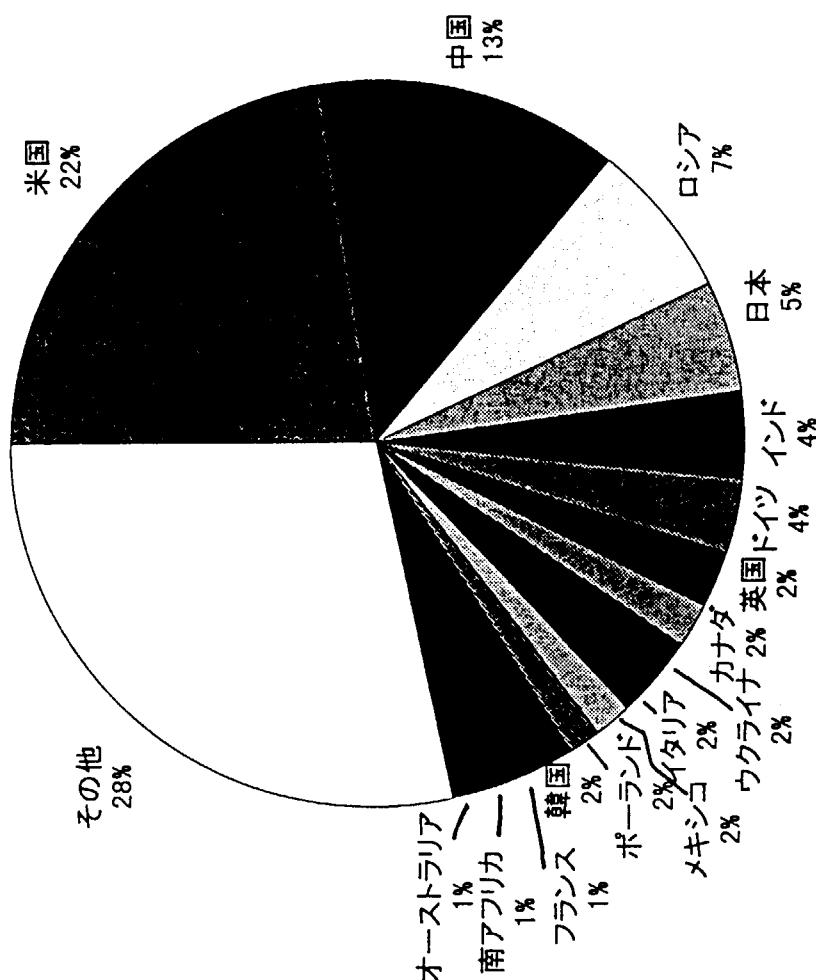
図 2-3 産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる地球温暖化への直接的寄与度（1992年現在）⁴⁾

図 2-4 温室効果ガスによる地球温暖化の仕組み⁷⁾

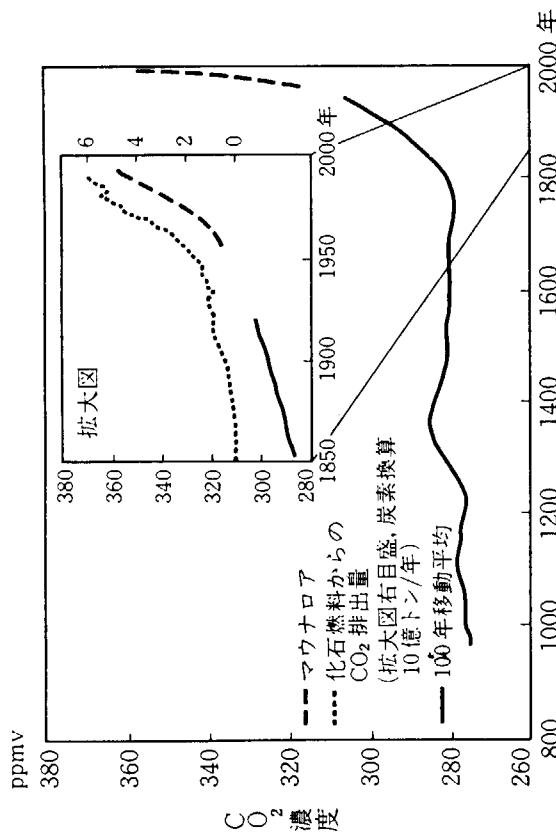


出典：第 2 回国別通報
HFC 等は通産省推計

図 2-5 我が国の各温室効果ガスの排出割合（1990 年度）¹⁾



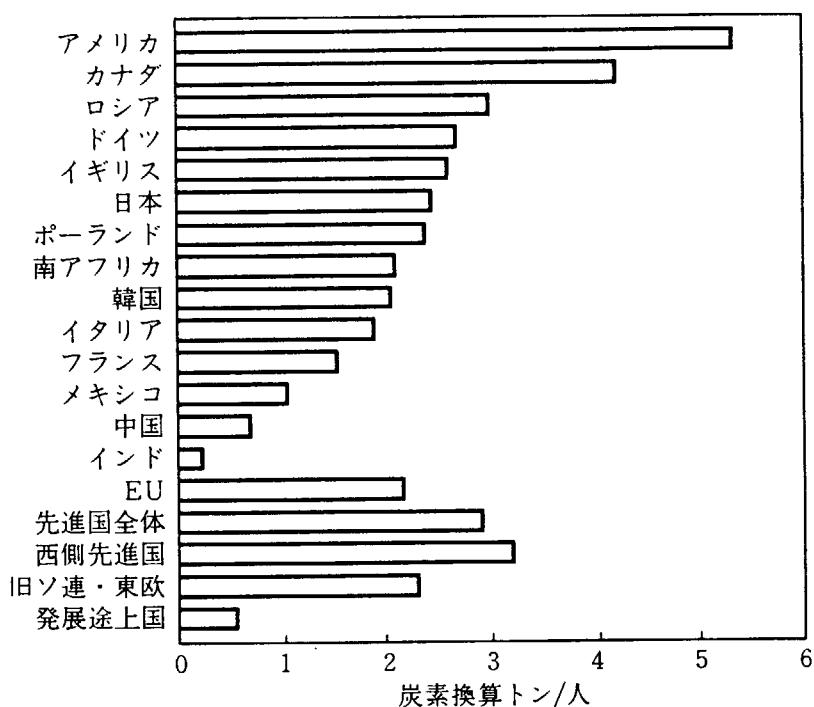
出典：米国エネルギー省エネルギー情報局
注) 化石燃料の燃焼及び石灰石消費に伴う排出分を計上しております。
廃棄物焼却からの排出や森林による吸収は含まれない。

図 2-7 国別二酸化炭素排出割合（1994 年）²⁾

注：氷床コアの記録による過去 1000 年間の CO₂ 濃度の 100 年移動平均と、ハワイのマウナロア観測所における 1958 年以降の CO₂ 濃度。氷床コアはすべて南極大陸で採取された。産業革命が始まって以降の急速な CO₂ 濃度の上昇は明白であり、化石燃料からの CO₂ 排出量の増加にほぼ追隨している（1850 年度以降の拡大図参照）。

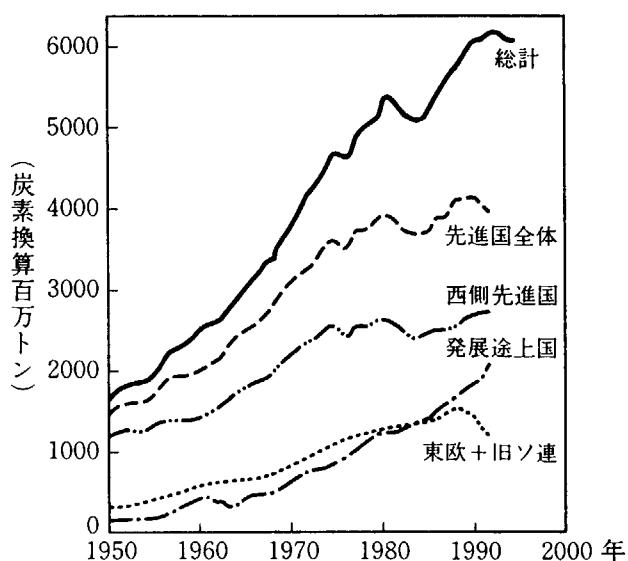
出典：平成 9 年版「環境白書」、IPCC 第 2 次報告書（1995 年）より

図 2-6 大気中の CO₂ 濃度の推移⁵⁾



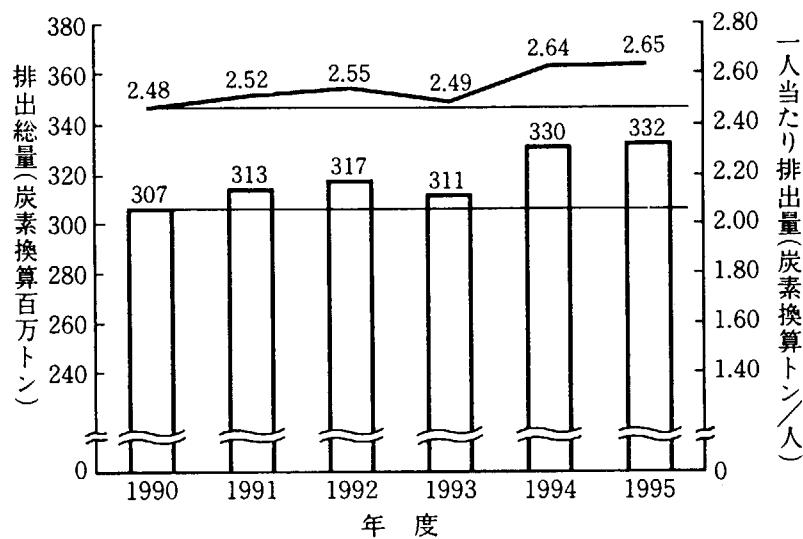
出典：平成 9 年版『環境白書』、米国オークリッジ研究所推計値
及び総務庁統計局『世界の統計』より環境庁作成

図 2-8 各国の 1 人当たり CO₂ 排出量（1994 年）⁵⁾

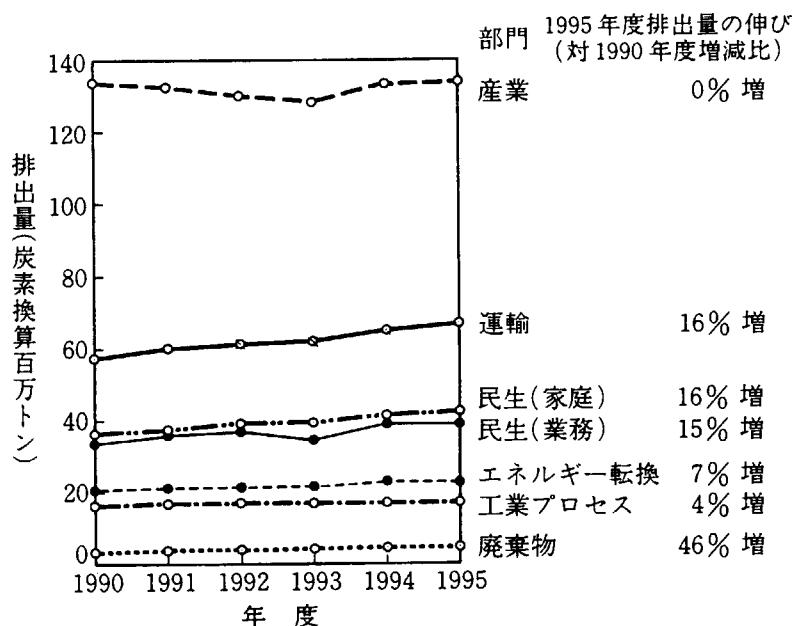


出典：平成 9 年版『環境白書』

図 2-9 世界の CO₂ 排出量の推移⁴⁾

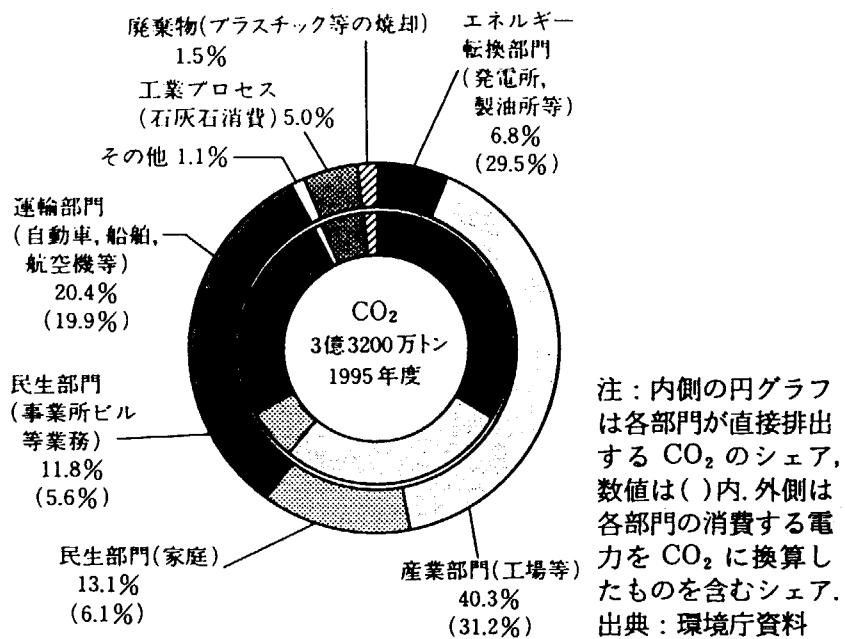


出典：環境庁資料

図 2-10 わが国の CO₂ 排出量の推移（1990～95 年）⁵⁾

出典：環境庁資料

図 2-11 部門別 CO₂ 排出量の推移⁵⁾

図 2-12 1995 年度の CO_2 排出量の部門別内訳⁵⁾

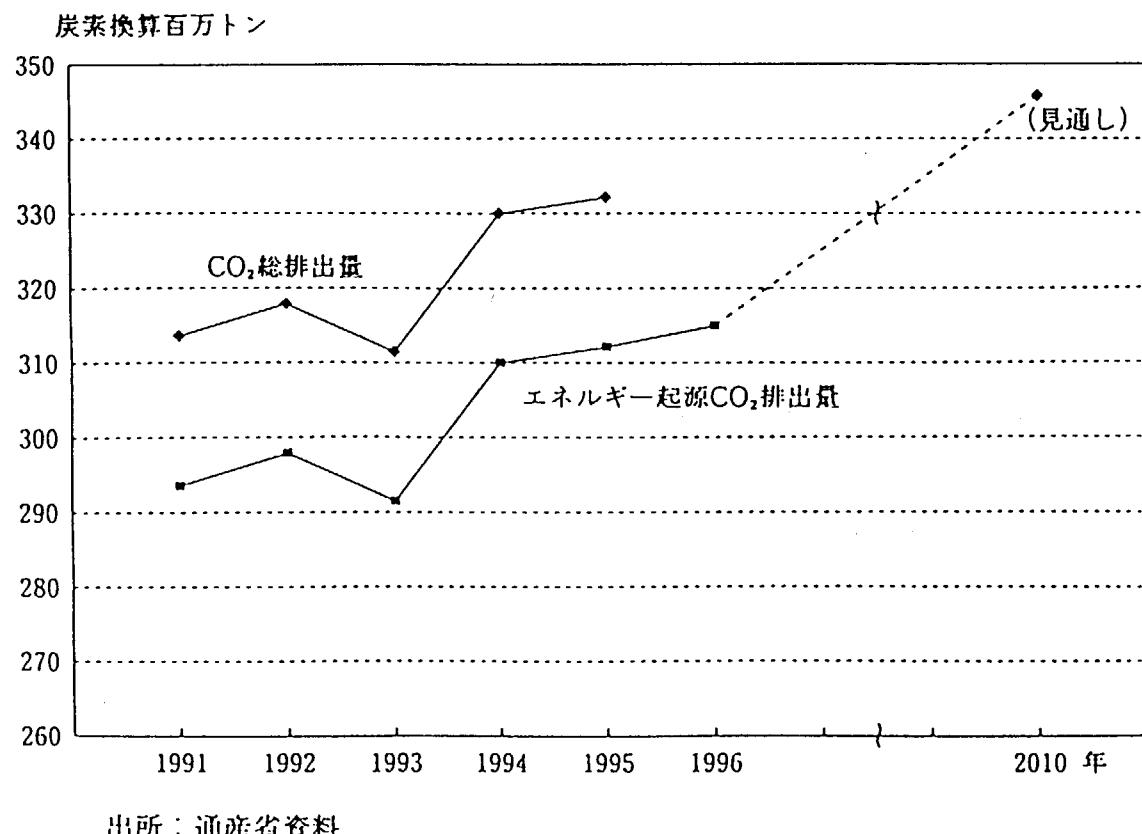
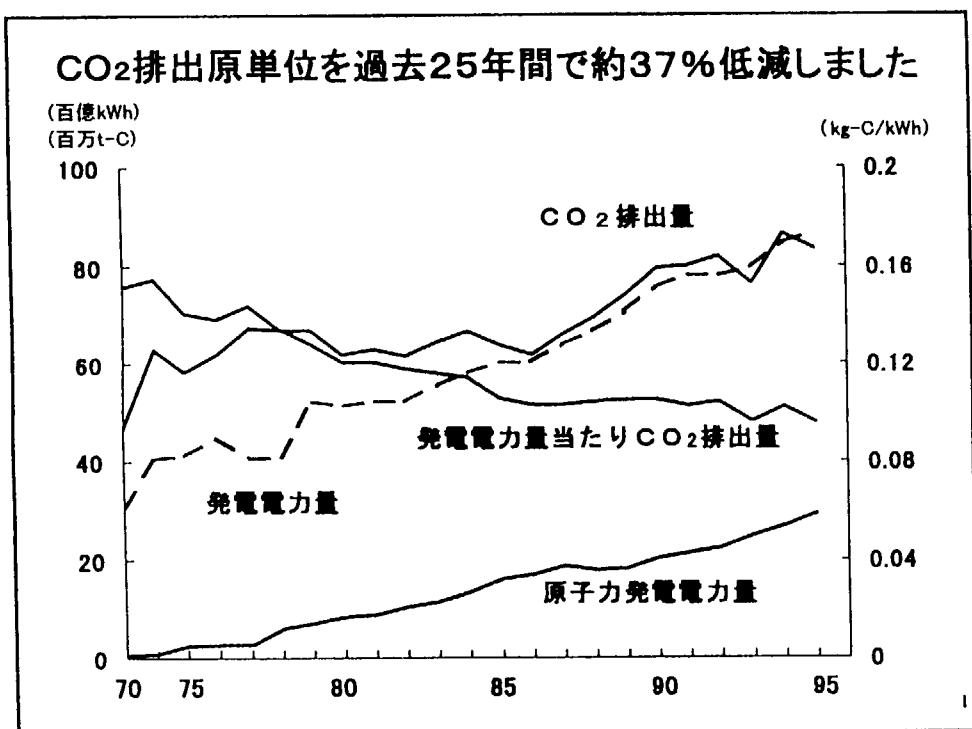
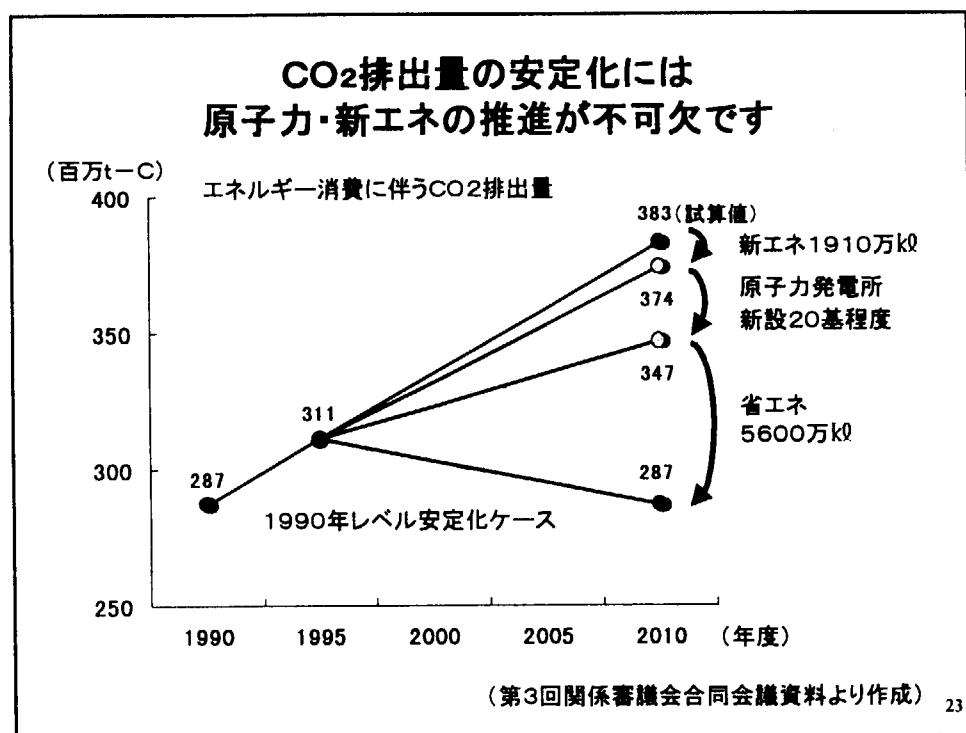


図 2-13 わが国の CO₂ 排出動向⁶⁾

図 2-14 原子力発電による炭酸ガス排出量削減効果⁸⁾図 2-15 炭酸ガス排出量削減対策の効果⁸⁾

3. エネルギー需給の現状と将来

3.1 エネルギー消費量の予測

(1) エネルギー消費量の推移

世界のエネルギー消費は、産業革命の起きた頃から増大を続けている。19世紀半ばには、1億トン（石油換算）程度だったものが、1970年には50億トン（石油換算）に、1990年には約80億トンに増加している。（図3-1）80年代始めの石油危機により一時的にエネルギー消費量の伸びが停滞したが、これ以降石油価格の低下等により再び消費量は増大し、現在もエネルギー消費の増大傾向が続いている。

(2) 地域別エネルギー消費量

エネルギー消費には、地域差が非常に顕著である。1995年度の地域別のエネルギー消費量（図3-2）を見ると、北米地域での消費量が1人当たり8.0トンと大きく、世界平均値の約5.5倍の値となっている。これは、この地域だけで世界全体の約1/4のエネルギーを消費していることに相当している。

エネルギー消費は、経済の発展状況、人々の生活の質等と密接な関係があり、先進国地域において1人当たりのエネルギー消費量が大きく、開発途上国の約9倍の値となっている。

(3) 燃料別エネルギー消費量

1996年度の1次エネルギーの燃料別の構成比（図3-3）をみると、石油、石炭、天然ガスの順で消費量が多く、これら化石燃料の合計は全体の90%に達している。

地域により構成比に特徴がみられ、旧ソ連では天然ガス、中国では石炭といった自国で産出する燃料の比率が高くなっている。国内に資源の少ない地域では、フランスは原子力の割合が高く、日本、イタリアでは石油に大きく依存する構成となっている。

OECDの国際エネルギー機関（IEA）によると、2010年度においても石油、石炭、天然ガスの化石燃料が占める割合が依然として高く、約90%となることが予想されている。（図3-4）

(4) エネルギー消費量予測

国際エネルギー機関（IEA）によると、世界全体で、2010年には、1990年の約1.5倍に相当する120億トン（石油換算）のエネルギー消費が見込まれている。（図3-5）

このうち先進国のエネルギー消費は、約1.3倍の55億トンとなるのに対し、開発途上国（日本を除くアジア地域、中南米、アフリカ地域）では急激な人口増加や生活水準の向上等により約2.2倍の48億トンとなり、世界のエネルギー消費量の約4割を占めると予測されている。

開発途上国の人口増加は避けられず、今後とも開発途上国を中心にエネルギー消費が大幅に伸びていくこととなり、省エネルギーやエネルギー利用の効率化への努力を続けられようが、21世紀は世界全体としては更に大量のエネルギーを必要とする時代となることは確実である。

3.2 近年のエネルギー需給動向

(1) 世界の動向

世界のエネルギー情勢は、石油危機発生以降、油価を比較的低く保つことにより国際石油市場でのシェア奪回を目指す80年代半ば以降におけるOPECの戦略転換や需給緩和等を背景にエネル

ギー価格は相対的に低水準の推移を続け、エネルギー情勢は平穏である。しかしながら、アジア経済が現在は 97 年夏以来の通貨危機の影響により成長の停滞にさしかかっているとみられているが、近い将来は、その潜在成長力に応じた高い成長が見込まれ、その場合、そこでエネルギー需要の相当な増加が見込まれるとともに、石油の中東依存をはじめエネルギーの対外依存度の大幅な拡大が懸念されている。そのため、わが国を含めたアジア地域のエネルギー需給構造は極めて脆弱なものとなる恐れがある、とされている¹⁾。

(2) わが国の動向

近年のわが国の最終エネルギー消費は、2 度の石油危機以降、特に産業部門でエネルギー利用の効率化が進み、1980 年代半ばまでは概ね減少ないし微増傾向で推移してきた。しかし、1980 年代半ばに、国内の好景気、エネルギー価格の低水準での安定等を背景に増勢に転じて以降は、バブル崩壊後の 1992 年度及び 1993 年度を除き、96 年に至るまで一貫した増加基調で推移しているとされる。

1990 年度から 1996 年度にかけてのエネルギー消費の伸びは、産業部門が年平均 1 % 程度の伸びであるのに対して、民生部門、運輸部門は、ライフスタイルが快適さや利便性を追求するようになったため、年平均 3 % 程度になっている（なお、この間の最終エネルギー消費の伸びは年平均 2 % 程度である）。

他方、供給面では、化石エネルギーは堅調な推移を見せているが、原子力については近年は立地にかかるリードタイムの長期化が顕著になっている。また、新エネルギーについても一次エネルギー総供給に占める割合は 1 % 程度に止まっている。

1996 年のエネルギー需要実績は 3 億 9,300 万 kJ（原油換算、以下も同様）、1 次エネルギー総供給実績は 5 億 9,700 万 kJ である。

3.3 将来のエネルギー需給の展望

(1) 世界のエネルギー需給の展望

今後の世界のエネルギー需給動向を展望すると、エネルギー需要面では、中長期的にアジアを中心とした発展途上国でのエネルギー需要が急増していく見通しとされている。一方、エネルギー供給面では、石油代替エネルギーの開発・導入の困難化に加えて、世界の石油に占める OPEC 諸国の割合の将来的な上昇が見込まれており、これらの状況から中長期的に適正な価格で円滑なエネルギー需給を維持することは極めて困難になる、とされている²⁾。

(2) わが国のエネルギー需給の展望

わが国の最終エネルギー消費を展望すると、今後何ら追加的な努力がなされなければ、過去 6 年続けてきた 2 % 程度の伸びの増加基調に比べれば、伸び率は鈍化するものの、年平均 1 % 程度の割合で増加していくことが見込まれるとされている。これは、既存の省エネルギー施策の効果といったエネルギー消費の減少要因がある反面、2 % 程度の経済成長や輸送需要などの伸びといったエネルギー消費の増加要因が見込まれるためとされている。

この場合、京都会議における温室効果ガス削減目標の達成と関連して、2010 年度の最終エネルギーは 96 年度比で 16% 増の原油換算で 456 百万 kJ に達し、エネルギー起源の CO₂ 排出量は 96 年度比 10% 増の 347 百万トンに達する見込みとされる。96 年度の CO₂ 排出量が 90 年度比で既に 9% 程度増加していることを考慮すると、2010 年度に 90 年度比安定化を達成するだけでも CO₂ 排出量を 2 割程度（60 百万トン）削減する必要があり、京都会議の目標達成は極めて難しい課題と

されている¹⁾。

そこで、総合エネルギー調査会需給部会では¹⁾、経済成長率を約2%としたときの2010年度の需給予測を以下の2ケースについて行っている。

基準ケース：これまで講じられた対策を維持し、追加的な政策努力を講じない場合

対策ケース：COP3で公表したCO₂排出削減目標を達成するための方策（表3-1）を講じた場合

基準ケースでは需要4億5,600万k₁（年平均1.1%増加）、1次エネルギー総供給6億1,600万k₁、対策ケースでは需要4億k₁（年平均0.1%増加）、1次エネルギー総供給6億9,300万k₁になると予測している（表3-2、表3-3、図3-6、図3-7）。

エネルギー需要予測を部門別に見れば、産業部門では、基準ケースの場合、年平均0.6%程度の伸びを続け、2010年度には21,300万k₁に達すると見込まれるが、対策ケースでは、2,100万k₁の省エネルギーが達成され、エネルギー消費は19,200万k₁にまで抑制される見込みである（年平均▲0.1%減）。

民生部門では、基準ケースの場合、年平均1.8%程度の伸びを続け、2010年度には13,100万k₁に達すると見込まれるが、対策ケースでは、1,700万k₁の省エネルギーが達成され、エネルギー消費は11,300万k₁にまで抑制される見込みである（年平均0.8%減）。

運輸部門では、基準ケースの場合、年平均1.1%程度の伸びを続け、2010年度には11,200万k₁に達すると見込まれるが、対策ケースでは、1,700万k₁の省エネルギーが達成され、エネルギー消費は9,500万k₁にまで抑制される見込みである（年平均▲0.1%減）。

エネルギー供給での各エネルギー源の展望は、以下のとおりである。

ア. 石油供給の展望

基準ケースの場合、2010年度の石油供給量は、1996度比9%増（年平均0.6%増）の3.58億k₁になる見通しであるが、この場合、石油依存度は、2010年度において1996年度比4%減少し、52%となる。他方、対策ケースの場合には、需要サイドの①電力需要の抑制及び、電源構成における石油代替エネルギー導入の進展による発電用需要の減少、②運輸部門における燃費改善等による輸送用需要の減少、③産業部門における省エネによる燃料用需要の減少等により、2010年度における石油の一次供給量は、1996年度比12%減（年平均0.9%減）の2.91億k₁となる見込みである。この場合、2010年度の石油依存度は、1996年度比で8%減少し、47%まで低減することとなる。

イ. LPG輸入の展望

基準ケースの場合、2010年度におけるLPG輸入量は、1996年度比6%増（年平均0.4%増）の1,610万トンになる見通しであるが、対策ケースの場合には、産業部門を中心とした省エネルギーによる需要抑制はあるものの、需要は全体として概ね横ばいとなるため、2010年度におけるLPGの輸入量は1996年度比ほぼ横ばいの1,510万トンとなる見込みである。

ウ. 石炭供給の展望

基準ケースの場合、2010年度における石炭供給量は、1996年度比10%増（年平均0.7%増）の14,500万トンになる見通しであるが、対策ケースの場合には、需要サイドの①一般電気事業用向け的一般炭需要の微増、②電力以外の分野における省エネルギーの進展等による石炭需要の減少により、2010年度における石炭供給量は、1996年度比6%減（年平均0.4%減）の12,400

万トンとなる見込みである。

エ. 天然ガス供給の展望

基準ケースの場合、2010 年度における天然ガス供給量は、1996 年度比 26% 増（年平均 1.7% 増）の 6,090 万トンになる見通しであるが、対策ケースの場合には、需要サイドの①天然ガス火力発電向け需要の増加、②都市ガス需要の増大及び都市ガスの天然ガス化の進展に伴う需要増、③運輸部門における天然ガス自動車の導入による需要増等から、最終エネルギー需要全体がほぼ横ばいとなる中、2010 年度における天然ガス供給量は、1996 年度比 19% 増（年平均 1.2% 増）の 5,710 万トンとなる見込みである。

オ. 原子力供給の展望

現在、原子力発電の発電電力量は 3,020 億 kWh (1996 年度) に達し、その構成比は一般電気事業者が発電する電力量の 35% を占めているが、今後とも着実に開発を推進することにより、2010 年度における原子力の発電電力量としては、「石油代替エネルギーの供給目標（平成 6 年 9 月）」に掲げられた、4,800 億 kWh が見込まれる。原子力の発電電力量の目標である 4,800 億 kWh については、その実現が CO₂ 排出量の削減目標達成に不可欠であることを踏まえ、安定的・効率的運転、立地の促進等により、その達成が強く期待される。他方、設備利用率については、今後、高経年化に伴う低下が想定される一方、安全管理の徹底によるトラブル停止の低減や、定期検査期間の短縮等の諸方策を講じることによって更なる向上も期待されることから、2010 年度の電力供給目標における電力量の目標を 4,800 億 kWh に維持しつつ、最近の実績と同程度の設備利用率が維持し得ることを想定した場合、設備容量については 6,600 万 kW~7,000 万 kW となると考えられる。

カ. 水力・地熱供給の展望

水力については、開発地点の小規模化・奥地化に伴い建設単価が増大し、発電原価が割高となる等の課題が存在する。しかし、今後、技術開発によるコストダウン、関係省庁との調整といった開発環境の整備等を図ることにより、2010 年度における水力の供給量としては 1,050 億 kWh が見込まれる。地熱については、開発可能地点の約半分が自然公園法上の特別地域に存在する等新規立地地点の開発困難性があるものの、今後、景観保護等により開発が困難となっている公園規制地域についても、景観保護等を考慮しつつ開発が可能となるよう検討を進めることにより、2010 年度における地熱の供給量としては 400 万 kJ が見込まれる。

キ. 新エネルギー供給の展望

既存のエネルギーに比して経済性等の面で厳しい競争条件下にある新エネルギーは、このまま何ら追加的支援措置を講じずに推移した場合には、2010 年度の導入量は 900 万 kJ 程度にとどまってしまう見通しであるが、1997 年 9 月に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」に基づく各種支援措置等を講じつつコスト面その他の導入制約要因を克服し、市場の自立化を加速的に進めることにより、2010 年度における新エネルギーの供給量としては 1,900 万 kJ が見込まれる。

なお、新エネルギー利用については、その現状と将来について 4 章で詳述する。

3.4 各種エネルギー資源の埋蔵量

エネルギー資源量を正確に把握することは難しいことであるが、長期にわたる国際エネルギー需給を考える上で、石油、石炭、天然ガス、ウラン等の埋蔵量を評価することは必要不可欠である。特に、資源の乏しいわが国においては、国産あるいは準国産のエネルギーの導入に努力していくことはエネルギー・セキュリティ確保の上で極めて重要と考えられる。核燃料の有効利用を

計るタイムリミットを知る上で、各種エネルギー資源の埋蔵量を知ることが必要であると考えられる⁴⁾。

表 3-4 には、世界の各種エネルギー資源の埋蔵量を示した。図 3-3 は表 3-4 をグラフ化したもので、石炭資源が全エネルギー資源量の 66%を占める。しかし、核燃料サイクルが確立された場合には、図 3-9 に示すように、原子力の占める割合が増えて全エネルギー資源量の 55%になる。表 3-5～表 3-8 に、各種エネルギー資源について、世界の地域別可採埋蔵量と生産量を示す。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁、総合エネルギー調査会需給部会中間報告書、平成 10 年 6 月
- 2) 資源エネルギー庁、総合エネルギー調査会基本政策委員会中間報告書、平成 8 年 12 月
- 3) 片山優久雄、「エネルギー需給の現状と将来」、季報エネルギー総合工学、平成 10 年第 1 号
- 4) 戒能一成、「長期エネルギー需給見通しの改定と今後の課題」、原子力 eye、Vol. 44、No. 10、1998
- 5) 科学技術庁、「もっと知りたい、もっと考えたい、原子力のこと」、パンフレット、平成 10 年 3 月
- 6) (財)高度情報科学技術研究機構、「世界の一次エネルギー消費の動向 (01-07-03-01)」、ATOMICA

表 3-1 COP3 コミットメント達成に向けたエネルギー需給対策¹⁾

		対策名	省エネ量 (原油換算百万 kJ)	施策の概要
需 要 面	産業部門	○経団連の環境自主行動計画等に基づく措置	1,810 万 kJ	○経団連の自主行動計画に加え、高性能工業炉の導入等の追加措置
		○中堅工場等における省エネルギー	150 万 kJ	○中堅工場のエネルギー使用の合理化を推進
		○今後の技術開発	140 万 kJ	○2010 年度までに完成し、ある程度の普及が見込まれるもの（高性能ボイラ等）
		○省エネルギー法改正	—	○エネルギー使用合理化に関する将来計画の提出や、公表、命令等の措置により省エネを徹底
		○自主計画のフォローアップ	—	○産業審、総合エネ調等による合同小委員会で対策の進捗状況をフォローアップ
	小計		2,100 万 kJ	
需 要 面	民生部門	○機器の効率改善	450 万 kJ	○家電・OA 機器等の省エネ基準にトップランナー方式の考え方を導入
		○住宅・建築物の省エネルギー性能の向上等	870 万 kJ	○住宅・建築物の省エネ基準を強化
		○今後の技術開発	110 万 kJ	○超低消費電力型液晶ディスプレイ、高効率照明等
		○国民のライフスタイルの抜本的変革	310 万 kJ	○冷暖房の温度、電化製品の使い方の工夫等、広報の強化
		小計	1,740 万 kJ	
需 要 面	運輸部門	○自動車燃費の改善強化	450 万 kJ	○自動車の燃費基準にトップランナー方式の考え方を導入
		○クリーンエネルギー自動車の普及促進	80 万 kJ	○電気自動車、ハイブリッド自動車、天然ガス自動車等の普及を促進
		○個別輸送機関の燃費改善	80 万 kJ	○船舶、鉄道、航空機の燃費の改善
		○今後の技術開発	40 万 kJ	○リチウム電池搭載型の電気自動車等の開発
		○物流の効率化	340 万 kJ	○自動車輸送の効率化、鉄道、内航海運の推進等
		○交通対策	400 万 kJ	○モーダルシフト、ITS（高度道路交通システム）
		○テレワークの推進	150 万 kJ	○情報通信を活用した在宅勤務、サテライトオフィス勤務等
		○国民に対する啓発運動	190 万 kJ	○広報の強化等
		小計	1,730 万 kJ	
	合計		5,600 万 kJ	

		対策名	導入量	施策の概要
供 給 面	原子力	○国民の理解を得るための活動強化	4,800 億 kWh,	○情報公開の充実、マスメディアによる情報提供、エネルギー教育への働きかけの強化等
		○立地地域との真の共生	6,600～7,000 万 kW	○電源三法交付金制度の弾力的運用・統合、若年層の雇用機会の創出等
		○バックエンド対策及び使用済燃料貯蔵対策		○高レベル放射性廃棄物処分、使用済燃料の中間貯蔵事業に要する制度整備
供 給 面	新エネ等	○新エネルギー法に基づく措置等	1,910 万 kJ	○新エネ利用等を行う事業者に対する財政・金融上の支援措置
		○規制緩和等		○余剰電力購入メニューの一層の活用、既存電力系統との連系の円滑化等
	化石	○石炭火力の抑制		

表 3-2 最終エネルギー消費の見通し²⁾

【原油換算 億kl】

項目	年度	2010 年度						
		基準ケース			対策ケース			
		構成比	構成比	年平均伸び率 1996 ~ 2010 年	構成比	構成比	年平均伸び率 1996 ~ 2010 年	
産業	億kl 1.95	% 49.6	億kl 2.13	% 46.7	% 0.6	億kl 1.92	% 47.9	% ▲0.1
民生	1.02	26.0	1.31	28.7	1.8	1.13	28.3	0.8
運輸	0.96	24.5	1.12	24.6	1.1	0.95	23.7	▲0.1
合計	3.93	100.0	4.56	100.0	1.1	4.00	100.0	0.1

- 注：1. 産業部門は、第1次産業及びエネルギー生産・転換に携わる業種（石炭鉱業、石油・天然ガス鉱業、石油精製業、コークス製造業等）を除く第2次産業をいう（ただし、管理部門及び自家用運輸を除く）。
2. 民生部門は、産業部門の管理部門及び電気事業、ガス事業、運輸業等を除く第3次産業並びに家計消費部門をいう（ただし、自家用運輸を除く）。
3. 運輸部門は、運輸業の事業者用運輸、産業部門及び民生部門の自家用運輸をいう。
4. 非エネルギー需要（石油化学用原料等）が、産業に含まれる。
5. 原油換算は、9,250kcal/lによる。
6. 構成比の各欄の数値の合計は、四捨五入の関係で、100にならない場合がある。

表 3-3 一次エネルギー供給の見通し²⁾

項目	年度	2010 年度						
		基準ケース			対策ケース			
一次エネルギー総供給	5.97 億kl	6.93 億kl	6.16 億kl					
エネルギー別区分	実数	構成比 (%)	実数	構成比 (%)	実数	構成比 (%)		
石油	3.29 億kl	55.2	3.58 億kl	51.6	2.91 億kl	47.2		
石油LPG 輸入を除く	3.10 億kl	51.9	3.37 億kl	48.6	2.71 億kl	44.0		
LPG 輸入	1,520 万t	3.3	1,610 万t	3.0	1,510 万t	3.2		
石炭	13,160 万t	16.4	14,500 万t	15.4	12,400 万t	14.9		
天然ガス	4,820 万t	11.4	6,090 万t	12.3	5,710 万t	13.0		
原子力	3,020 億kWh	12.3	4,800 億kWh	15.4	4,800 億kWh	17.4		
水力	4,250 万kW		7,000 ~ 6,600 万kW		7,000 ~ 6,600 万kW			
地熱	820 億kWh	3.4	1,050 億kWh	3.4	1,050 億kWh	3.2		
新エネルギー	120 万kl	0.2	380 万kl	0.5	380 万kl	0.6		
	685 万kl	1.1	940 万kl	1.3	1,910 万kl	3.1		
合計	5.97 億kl	100.0	6.93 億kl	100.0	6.16 億kl	100.0		

- 注：1. 原油換算は 9,250kcal/l による。
2. 新エネルギーの欄には、太陽エネルギー、廃棄物発電、黒液（パルプ廃液）等を含む。
3. 水力の発電量は一般水力のものである。
4. LNG のトン換算は、0.712 トン/㎘ による。
5. 構成比は原油換算によるものであり、各種の合計は、四捨五入の関係で、100にならない場合がある。
6. 経済情勢及びエネルギー情勢は、今後、流動的に推移するものと見込まれることから、本見通しにおける数値は、硬直的なものとしてではなく、幅を持って理解すべきであることに留意する必要がある。

表 3-4 世界のエネルギー資源の埋蔵量³⁾

	① 究極埋蔵量	② 確認可採埋蔵量	③ 年生産量(1993年)	④ 可採年数(②÷③) (1193年)
石油 (含NGL)	12×10^{21} joule 2兆バーレル (内NGL 2,250億バーレル)	6×10^{21} joule 1兆バーレル (内NGL 176億バーレル)	13×10^{19} joule 310億バーレル (内NGL 13億バーレル)	46年
天然ガス	9×10^{21} joule 240兆m ³ (8,500兆cf)	5×10^{21} joule 141兆m ³ (4,990兆cf)	8×10^{19} joule 2.2兆m ³ (77兆cf)	56年
石炭	285×10^{21} joule 11兆トン (内高品位炭 8兆トン)	26×10^{21} joule 1兆トン (内高品位炭 0.7兆トン)	12×10^{19} joule 45億トン (内高品位炭 36億トン)	216年
超重質油 & オイルシェール	原始埋蔵量 59×10^{21} joule 超重質油 4.7兆バーレル オイルシェール 5.6兆バーレル	1×10^{21} joule 超重質油 265億バーレル オイルシェール 1,050億バーレル	0.1×10^{19} joule 超重質油 2.3億バーレル オイルシェール 3.3百万バーレル	大
ウラニウム	推定確認埋蔵量 2×10^{21} joule 4.4百万トン	1×10^{21} joule US\$ 80/kgU以下 1.5百万トン US\$130/kgU以下 0.7百万トン	1×10^{19} joule 32,527トン	68年
エネルギー計	367×10^{21} joule 石油換算 9×10^{12} トン	39×10^{21} joule 石油換算 1×10^{12} トン	34×10^{19} joule 石油換算 8×10^9 トン	115年

注) 第16回世界エネルギー会議資料 "1995 Survey of Energy Resources" より作成

1 bbl (oil) = 0.136 トン, 石油発熱量 (トン当り, LHV) = 42×10^9 joule, NGL 発熱量 (トン当り, LHV) = 46×10^9 joule, 天然ガス発熱量 (1000m³, LHV) = 36×10^9 joule, 高品位炭 (トン当り, LHV) = 29.3×10^9 joule, 低品位炭 (トン当り, LHV) = 16.7×10^9 joule, ウラニウム (トン当り) = 21×10^{15} joule,

尚, NGL=Natural Gas Liquid, cf=立方フィート, 高品位炭=溝青炭+無煙炭, LHV=低位発熱量

表 3-5 石油の可採埋蔵量と生産量³⁾

単位：百万トン

	可採埋蔵量			生産量		
	原油	ナチュラルガスリキッド	合計	原油	ナチュラルガスリキッド	合計
アフリカ	10,210	284	10,494	306	30	336
北米	9,778	1,786	11,564	560	95	655
中南米	11,750	12	11,762	249	2	251
アジア	6,730	39	6,769	339	1	340
中東	90,271	—	90,271	915	38	953
ロシア連邦	6,670	—	6,670	354	—	354
欧洲	2,712	187	2,899	246	13	259
大洋州	166	82	248	28	3	31
世界計	138,287	2,390	140,677	2,997	182	3,179

注) 第16回世界エネルギー会議資料 "1995 Survey of Energy Resources" より作成

表 3-6 石炭の可採埋蔵量と生産量³⁾

石炭の可採埋蔵量

単位：百万トン

	瀝青炭+無煙炭	亜瀝青炭	褐炭	合計
アフリカ	60,405	1,263	4	61,672
北米	111,864	104,102	34,426	250,392
中南米	5,649	4,607	124	10,380
アジア	133,173	42,132	52,467	227,772
ロシア連邦	104,000	37,000	100,000	241,000
欧洲	58,898	4,211	86,226	149,335
大洋州	45,369	3,781	41,909	91,059
合計	519,358	197,096	315,156	1,031,610

石炭の生産量(1993年)

単位：百万トン

	瀝青炭+無煙炭	亜瀝青炭	褐炭	合計
アフリカ	18,900	36	—	18,936
北米	56,636	27,805	9,128	93,569
中南米	2,664	595	—	3,259
アジア	161,946	4,600	9,800	176,346
ロシア連邦	19,056	—	11,355	30,411
欧洲	41,729	2,388	57,934	102,051
大洋州	15,969	1,976	4,783	22,728
合計	316,900	37,400	93,000	447,300

注) 第16回世界エネルギー会議資料 "1995 Survey of Energy Resources" より作成

表 3-7 天然ガスの可採埋蔵量と生産量³⁾単位: 億m³

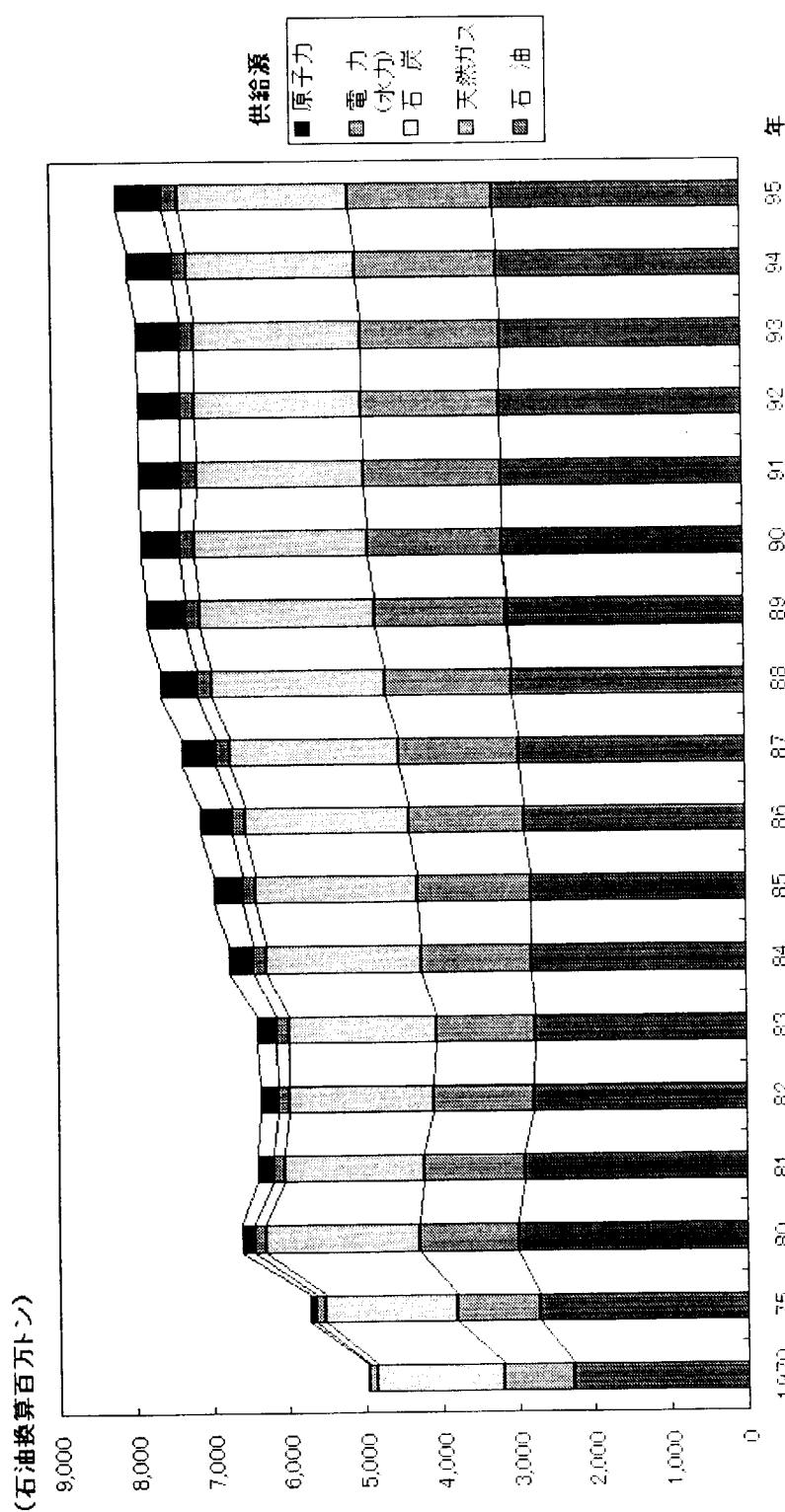
	確認可採埋蔵量	生産量
アフリカ	101,160	798
北米	87,820	6,969
中南米	56,650	721
アジア	87,290	2,870
中東	448,430	1,207
ロシア連邦	560,060	6,037
欧洲州	61,290	2,856
大洋州	10,650	302
合計	1,413,350	21,760

注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

表 3-8 ウランの可採埋蔵量と生産量³⁾

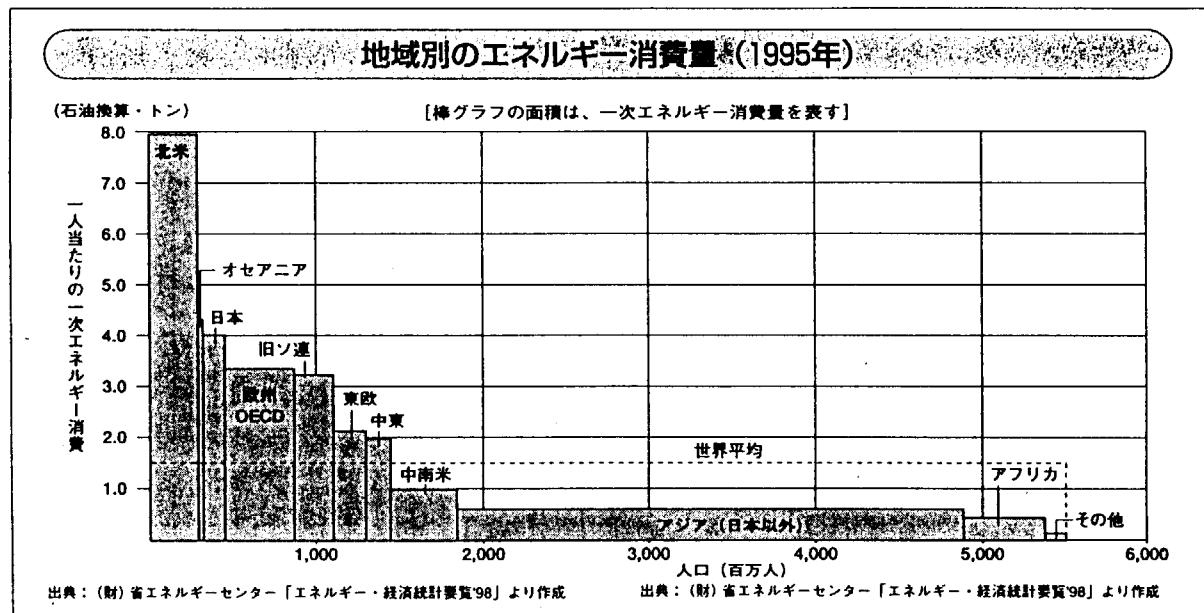
	推定可採埋蔵量 (×1000t)			確認可採埋蔵量 (×1000t)			生産量 (t・ウラン)
	US\$80/kg以下	US\$80~130/kg	合計	US\$80/kg以下	US\$80~130/kg	合計	
オーストラリア	734.00	177.00	911.00	462.00	55.00	517.00	2,256.00
カザフスタン	417.50	94.80	512.30	—	—	—	—
カナダ	313.00	162.00	475.00	278.00	119.00	397.00	9,155.00
ニジエール	454.94	16.65	471.59	159.17	6.65	165.82	2,914.00
アメリカ	112.00	254.00	366.00	112.00	254.00	366.00	1,178.00
ロシア連邦	219.60	80.10	299.70	—	—	—	2,399.00
南アフリカ	179.12	116.14	295.26	144.40	96.44	240.84	1,700.00
ブルジル	256.00	0.00	256.00	162.00	—	162.00	0.00
ナミビア	110.62	39.00	149.62	80.60	16.00	96.60	1,665.00
ウクライナ	62.20	86.70	148.90	—	—	—	—
モンゴル	19.00	61.00	80.00	—	—	—	—
大韓民国	0.00	52.70	52.70	0.00	31.00	31.00	0.00
スペイン	22.20	23.30	45.50	18.00	23.30	41.30	183.00
チェコスロバキア	17.20	26.40	43.60	15.85	6.40	22.25	950.00
フランス	19.21	13.80	33.01	17.08	13.80	30.88	1,708.00
グリーンランド	0.00	29.90	29.90	0.00	27.00	27.00	0.00
アルジェリア	28.30	0.30	28.60	26.00	—	26.00	0.00
ガボン	11.08	12.95	24.03	9.78	4.65	14.43	556.00
ハンガリー	1.94	15.85	17.79	—	—	—	—
アルゼンチン	4.60	2.70	7.30	4.60	2.70	7.30	121.00
その他諸国	59.45	72.61	132.06	37.82	37.00	74.82	7,742.00
合計	3,041.96	1,337.90	4,379.86	1,527.30	692.94	2,220.24	32,527.00

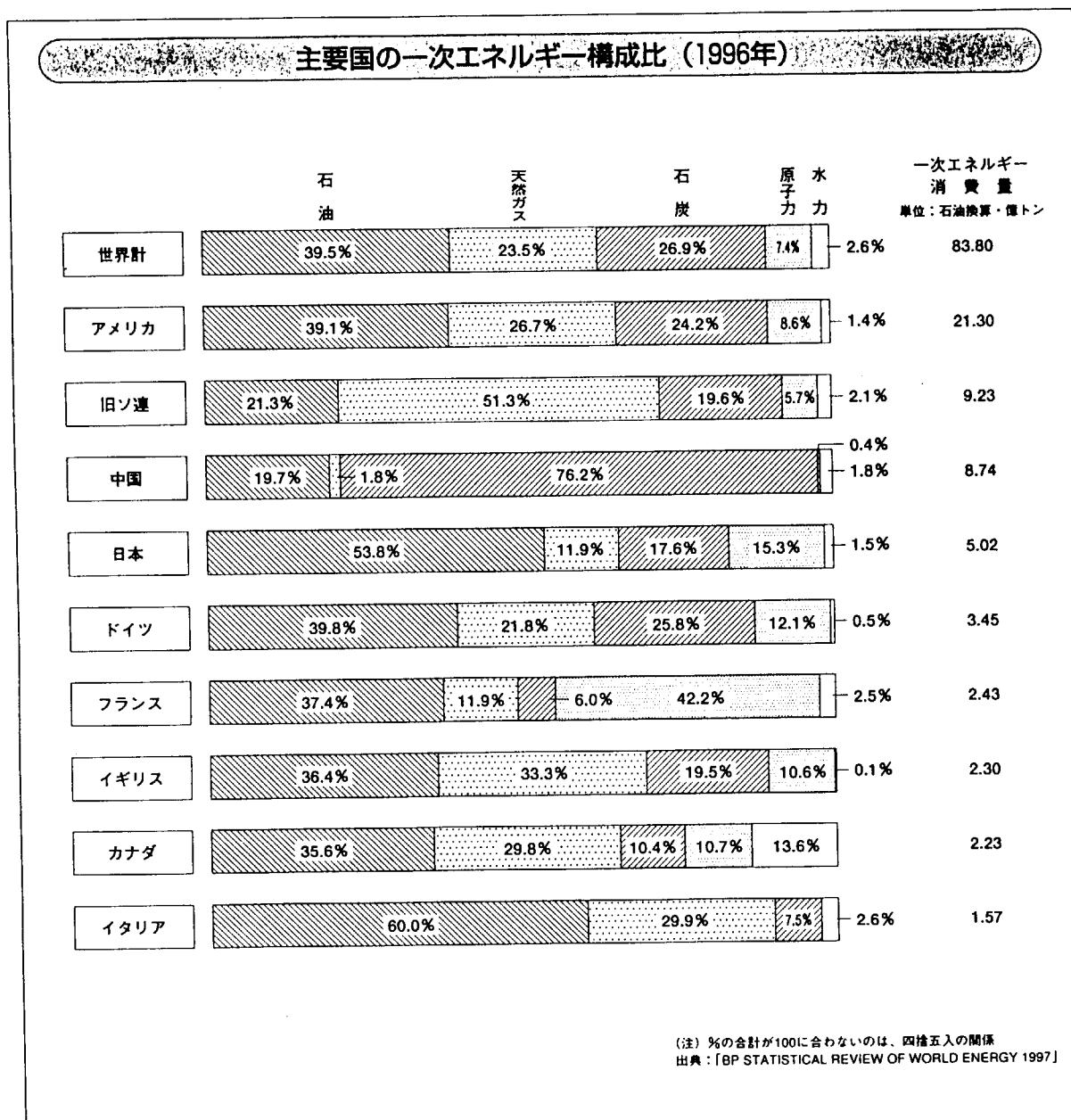
注) 第16回世界エネルギー会議資料“1995 Survey of Energy Resources”より作成

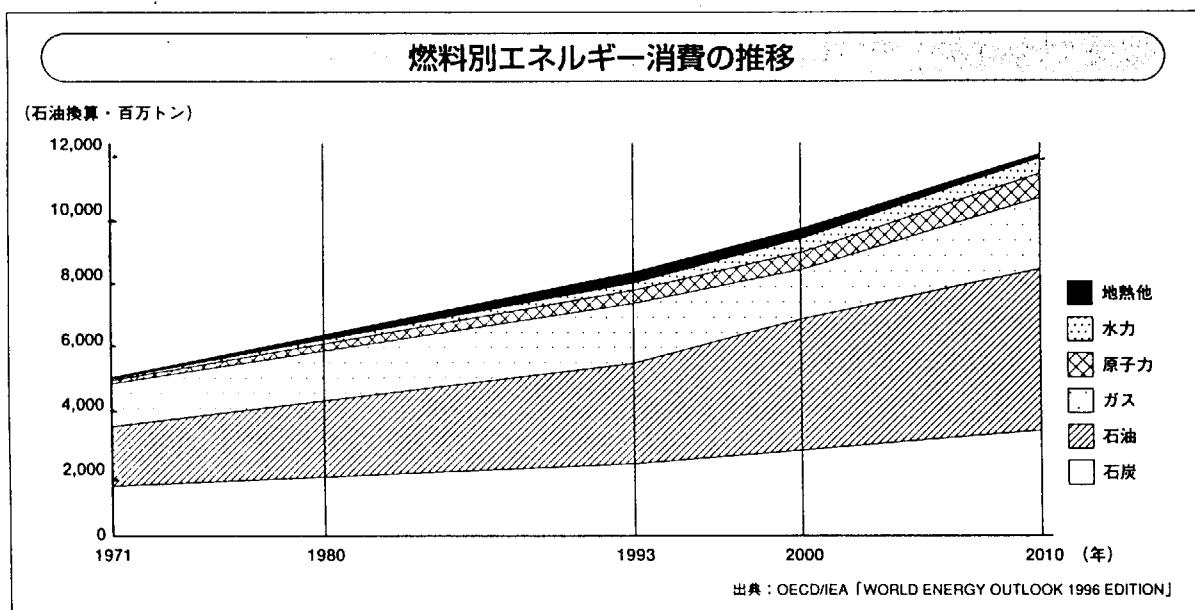
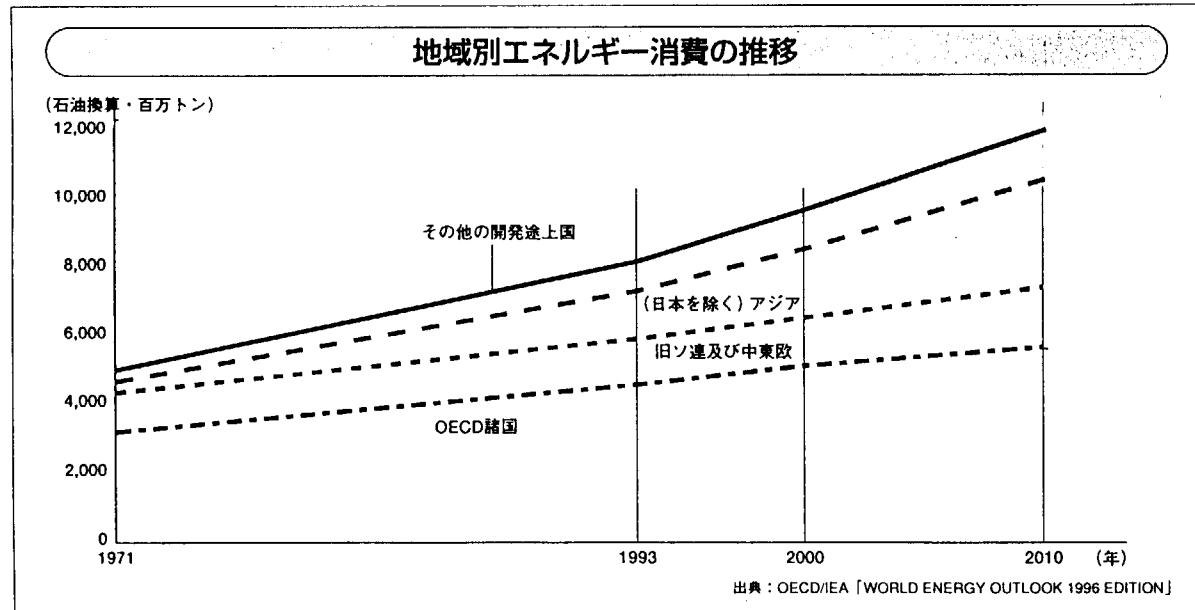


[出典]1. 1970年～1980年 日本石油株式会社(編集)、石油便覧1984、燃料油脂新聞社(1994年3月)、P.8
 2. 1981年～1995年 資源エネルギー庁石油部監修:石油資料 平成8年、(株)石油通信社(1996年8月)、P.64
 上記の出典にある表をグラフ化した。

図 3-1 世界の一次エネルギー消費量の推移⁵⁾

図 3-2 地域別のエネルギー消費量(1995年)⁶⁾

図 3-3 主要国の一 次エネルギー構成比（1996 年）⁶⁾

図 3-4 燃料別エネルギー消費の推移⁶⁾図 3-5 地域別エネルギー消費の推移⁶⁾

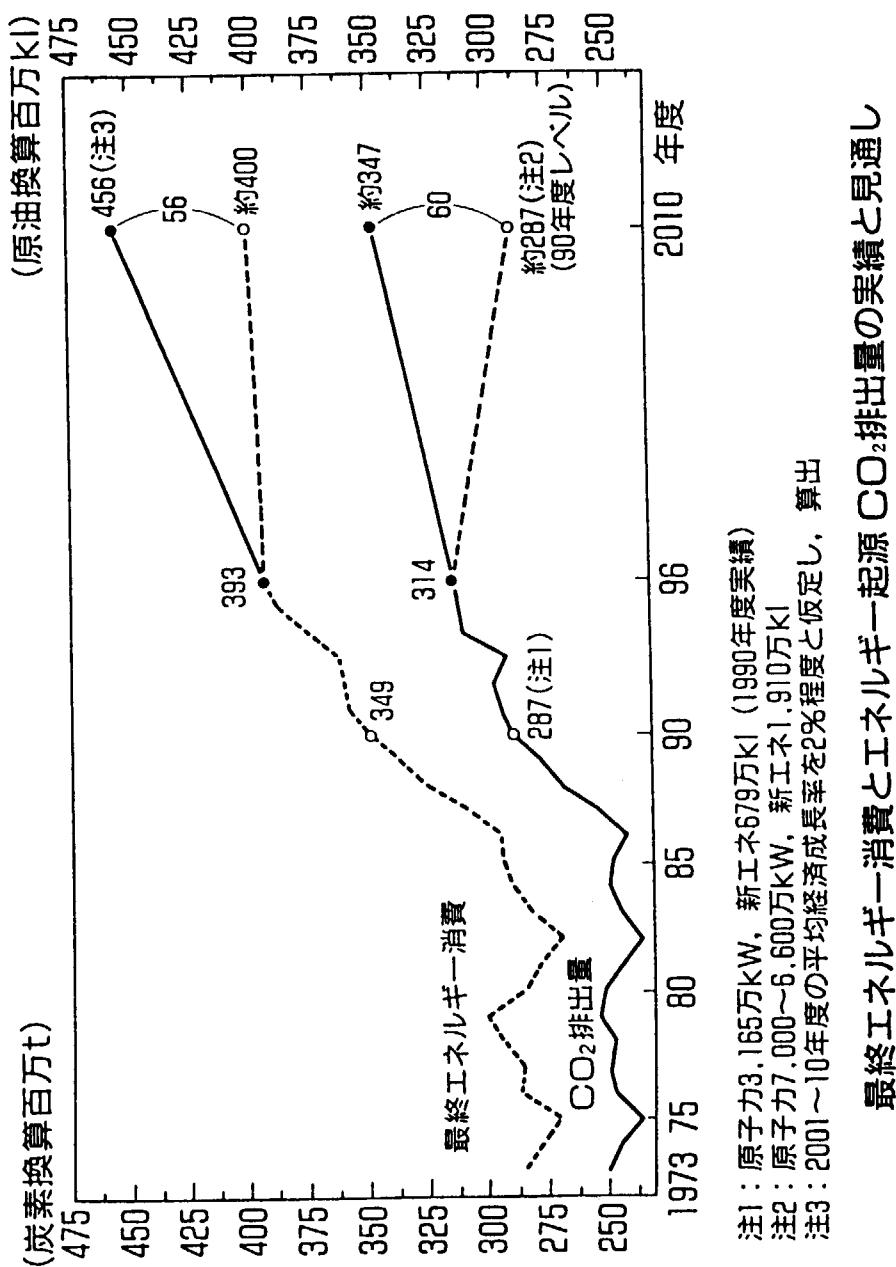
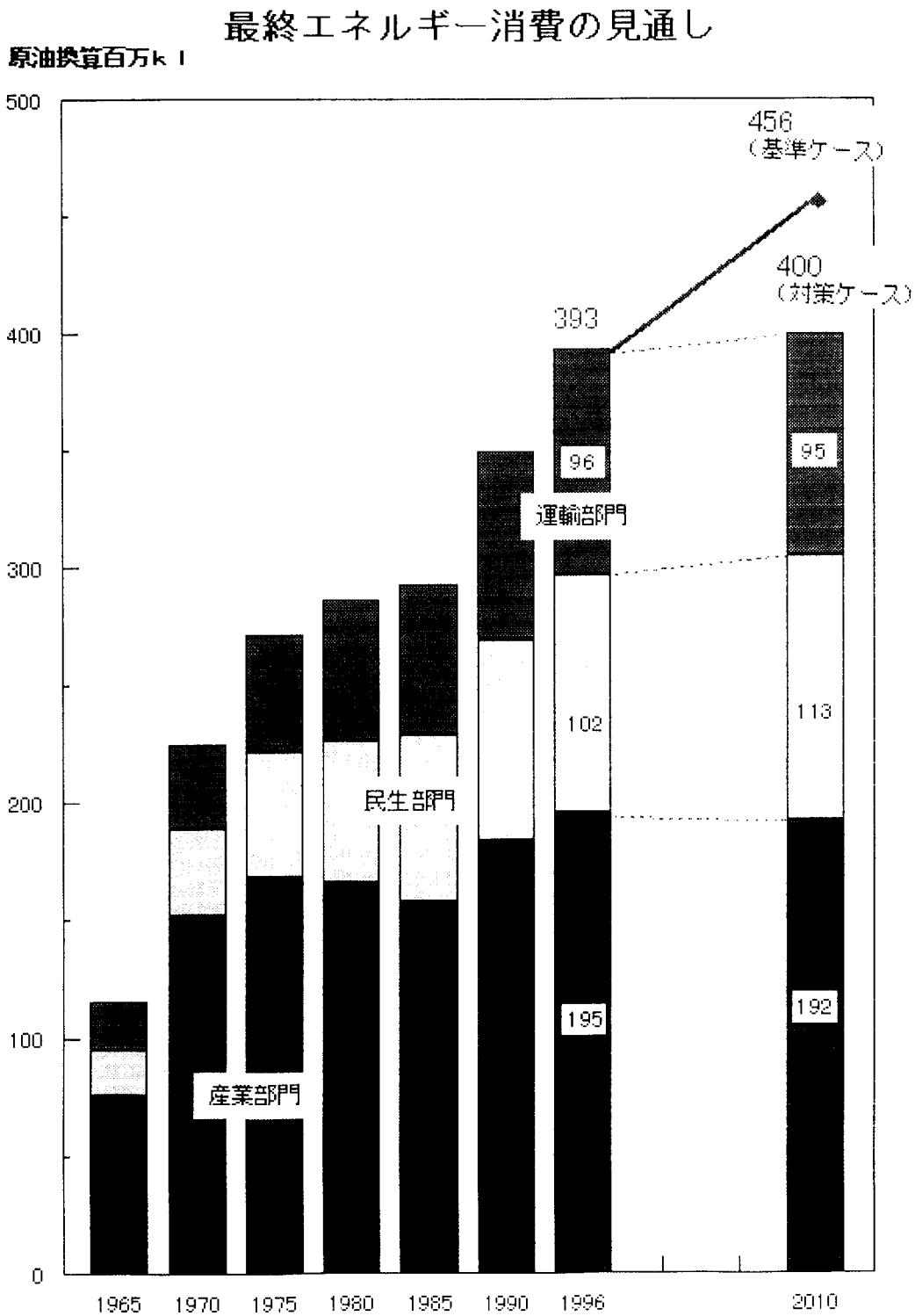
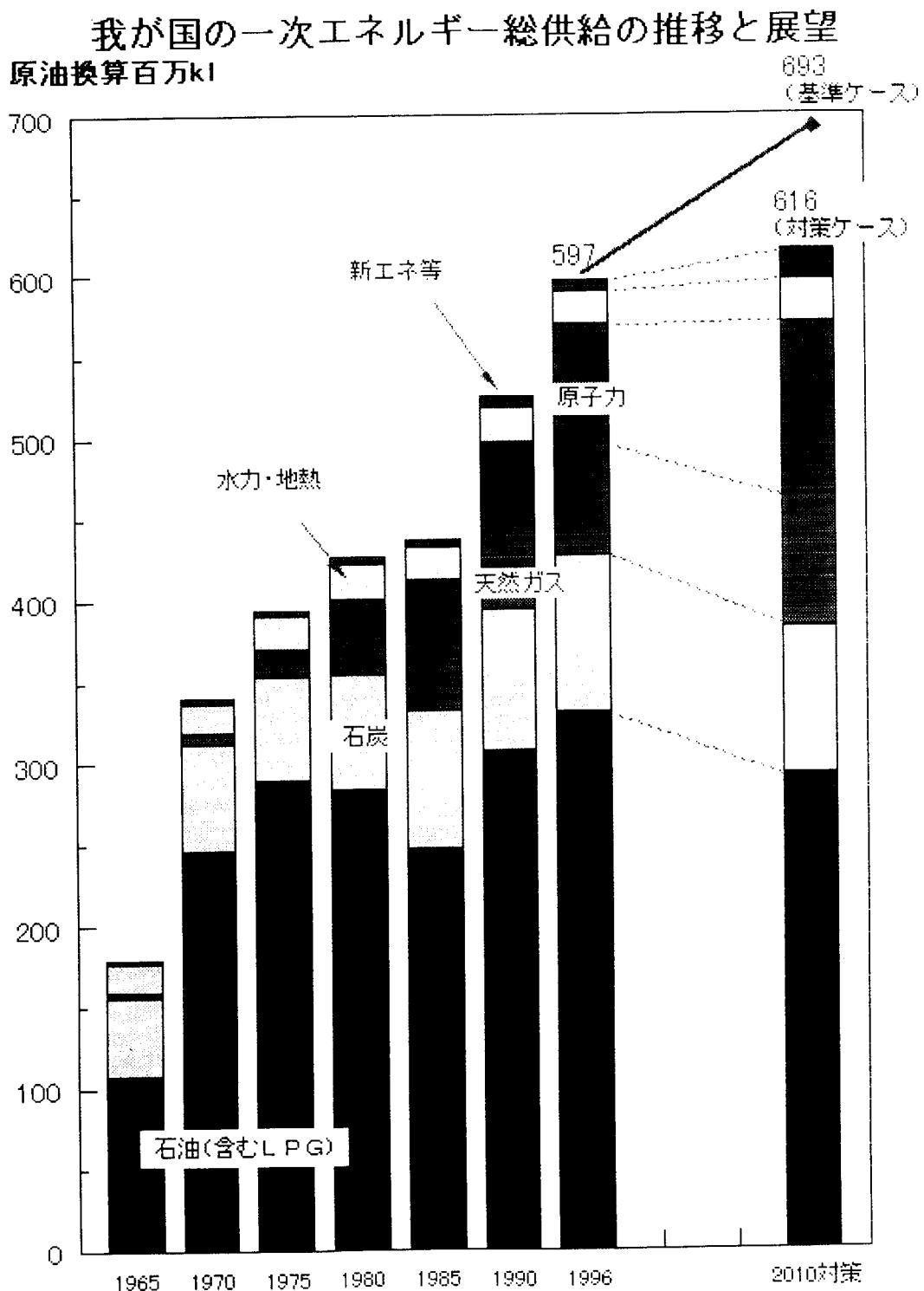


図 3-6 最終エネルギー消費とエネルギー起源CO₂排出量の実績と見通し⁽²⁾

図3-7 最終エネルギー消費の見通し²⁾

図 3-8 一次エネルギー供給の見通し²⁾

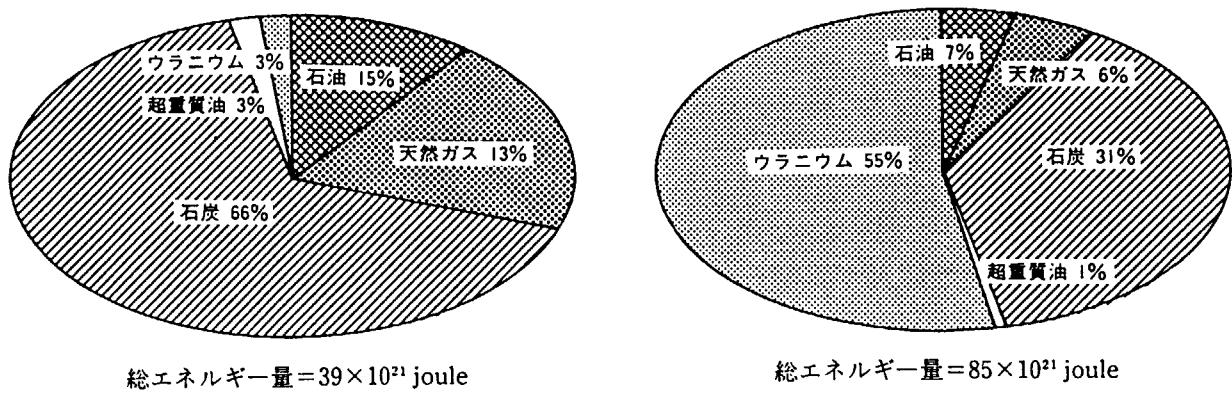


図3-9 採掘可能なエネルギー資源賦存量³⁾
(核燃料サイクルが確立された場合)

4. 新エネルギー利用の現状と将来

4.1 新エネルギー開発計画

新エネルギーの導入を加速するため、政府は、1994年12月の総合エネルギー対策推進閣僚会議で「新エネルギー導入大綱」を決定し、導入促進の方針を明らかにした¹⁾。

この大綱では、新エネルギー導入促進を効果的に実施するため、以下のエネルギーを重点導入を図るべき新エネルギーとしている。

- ・再生可能エネルギー(太陽光発電、太陽熱、風力発電等)
- ・リサイクル型エネルギー(廃棄物発電等)
- ・従来型エネルギーの新利用形態(クリーンエネルギー自動車、コジェネレーション、燃料電池等)

新エネルギーは、長期的には大きな潜在力を有しているものの、現状では、技術的、経済的制約等により、一次エネルギー総供給におけるシェアは1%台で停滞している。このまま何ら追加的支援措置を講じずに推移した場合には、2010年度の導入量は900万kWh(石油換算)程度にとどまってしまう見通しであるが、1997年9月に施行された「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」に基づく各種支援措置等を講じつつコスト面その他の導入制約要因を克服し、市場の自立化を加速的に進めることにより、2010年度における新エネルギーの供給量としては1,910万kWhを目標としている。

表4-1に、新エネルギー導入の実績と目標を示す。

4.2 太陽光発電

(1) 現状

太陽光発電は、太陽電池により太陽光から直接に発電するシステムである。晴天時には太陽光から、光電効果を利用する太陽電池によって、直接に発電するが、夜間や雨天・曇天時には十分な出力が得られず、稼働率は12%程度と必ずしも高くない。

長所として、CO₂を排出しない、設置規模に柔軟性がある、ハードが単純でメンテナンスが不用である、設置場所に制約がない、電力需要の大きい時間帯に出力する等があるが、短所として、日照によるため出力が不安定である、大容量の電気を得るために相当広い面積が必要になる等がある。

太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する率(変換効率)は、高いもので15%程度あり、晴天時で1平方メートルあたり約150ワットの電気を起こせることが技術的に可能であり、すでに実用化に供する段階になっている。

1992年にNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)による公共・産業用システム設置に対する太陽光発電フィールドテスト事業が開始され、さらに1994年から「住宅用太陽光発電システムモニター事業」が開始された。太陽光発電施設の発電容量は91年から96年までの5年間で、約0.1万kWから約2万kWとなり、約20倍の著しい増加となっている¹⁾。

(2) 経済性

1997年で、住宅用の太陽光発電システムの建設コストは110万円/kW、発電単価にして100円/kWh程度である。表4-2に、NEDO-PVフィールドテストにおける発電規模別PV設置価格を示す。

(3) 設置規模

用途・利用対象としては、地方公共団体等では公園や学校の時計、照明用の電源に、民間では電力各社の支店や営業所の所内負荷、山小屋の照明や無線電源に、国では海上保安庁の灯浮標の電源や、道路標識に、その他、防災施設や電気自動車の充電用電源など小規模なものに利用されている。

1kW の太陽電池を設置するのに、一般の住宅の屋根で 10m² 程度、平地などに架台方式で小規模多数設置する場合だと 20m² 程度のスペースを要するので、100 万 kW 規模の原子力や火力発電所の生み出す発電量（70 億 kW 時程度）を太陽光発電で賄うには、年間設備利用率が原子力や火力の 6～7 分の 1 しかないのを考えると、山手線内面積の約 2 倍 130 km² の土地に約 670 万 kW の太陽電池を並べる必要がある¹¹⁾。

(4) 今後の見通し

太陽光発電設備設置コストの低減、多分野への展開のため、以下の技術面の課題がある。

- ・ 太陽電池モジュールのコスト低減
- ・ 太陽電池モジュールと建材一体化、高性能化
- ・ システム設置技術の開発
- ・ 大規模発電のシステム構築技術の開発

発電コストが 30 円/ kW 時になった場合、一般住宅設備の 1 つとして直接的支援なしに販売可能になる。また、20 円/ kW 時以下になれば、各適用分野のほとんどで設置コストが発電により回収可能となる。

「長期エネルギー需給見通し」では、2010 年で 500 万 kW の導入目標にしている。表 4-3 に、各国別太陽光発電システム導入目標量を示す。

4.3 風力発電

(1) 現状

風力発電は、風車を動力源として発電するシステムである。天候・立地条件に左右されるため、稼働率は 20% 程度である。問題点として、景観への影響、騒音、野生生物への影響及び風車設置の候補地に自然環境保全地域が多い、建設コストが高い等がある。

わが国の風力発電施設の発電容量は 91 年から 96 年までの 5 年間で約 0.1 万 kW から約 1.3 万 kW となり、1997 年半ばで、約 1.8 万 kW になっている。世界では、表 4-4 に示すように、ドイツ、米国、デンマークが積極的に導入している。

(2) 経済性

発電コストは、41～43 円/kW 時といわれており⁸⁾、風車の大型化により、30 円/kW 時になると予測されている²⁾。

(3) 設置規模

わが国での 1 基あたりの規模は 15～400kW がほとんどで、NEDO では、コストの低減及び土地の有効利用を計るため、500 kW 級大型風力発電システムの開発が行われている。

(4) 今後の見通し

NEDO が作成した全国風況マップによると、わが国には風力発電に適した地域が数多く存在す

るが、自然環境保全等の問題点をクリアしていく必要がある。「長期エネルギー需給見通し」では、2010年で30万kWの導入を目指している。

4.4 地熱発電

(1) 現状

地下に溜まっている蒸気を取り出し、タービンをまわして発電するのが一般的な地熱発電（蒸気発電方式）である。表4-5に示すように、1997年で、わが国の地熱発電施設発電容量の総計は約53万kWになっている。世界全体では、表4-6に示すように、1996年現在では発電設備容量は、約732万kWとなっている。

(2) 経済性

発電規模が小さいこと及び坑井掘削経費が高いこと等により、発電コストは他電源に比べて割高で、資源エネルギーデータ集によると、13～16円/kWとなっている。（表4-7）

(3) 設置規模

表4-5に示すように、わが国では1基あたりの発電容量は65MW以下である。

(4) 今後の見通し

地下3kmまでに賦存する高温熱水資源量で、約7,000万kWの発電が可能と考えられている¹⁾。また、これから地熱発電技術として、中高温熱水（150～200度C）をアンモニア等低沸点物質を気化しタービンを回すバイナリ一発電、熱水を含まない高温岩体中に人工的に割れ目を作り、そこに地表からの水を循環させる高温岩体発電等が研究されている。

なお、開発可能な地点のうち、約半数は自然公園法上の特別地域に賦存し、また、ほとんどが温泉地域に隣接する等、開発困難なケースが多いため、今後は、景観保護等により開発が困難となっている公園規制地域についても、景観保護等に配慮しつつ、開発が可能となる方策について検討していくことが必要であるとされている。

4.5 廃棄物発電

(1) 現状

廃棄物発電は、廃棄物の燃焼熱を熱源として発電するシステムであり、発電のための追加的な環境負荷はない。最近は、炉壁を強化して高温燃焼を可能としたもの、ガスタービン廃熱により蒸気温度を高めるもの（スーパーごみ発電）、広域の廃棄物を固形燃料化して発電するもの（RDF発電）等、高効率発電が可能なシステムの建設も進展している。これらはダイオキシン対策としても効果がある。表4-8に示すように、1996年度末で、約170施設、87万kWの廃棄物発電設備がある。

(2) 今後の見通し

「長期エネルギー需給見通し」では、2010年で500万kWを導入の目標にしている。また、廃棄物発電の導入促進策として、通商産業省、厚生省、自治省において各種の施策が行われている。表4-9、表4-10に各廃棄物発電方式の特徴及び課題を示す。

4.6 コジェネレーションと省エネルギー

コジェネレーションは発電時にての廃熱を回収して、ビルの冷暖房や給湯等に利用するシステムで、最終的なエネルギー利用効率は70~80%程度と高く、エネルギークスケード利用の代表例とされている。図4-1に従来システムとのエネルギー効率の比較を示す。

また、わが国の設置容量は1997年3月末時点では385万kWになっている。「長期エネルギー需給見通し」では、エネルギー有効利用や環境負荷の低減、石油代替エネルギーの導入といった観点から、2010年で1,002万kWを導入の目標にしている。

一方、コジェネレーションの年度別導入実績は図4-2に示す通りである。この図から、年度ごとに順調に伸びてきた導入件数及び発電容量は、1989年から1990年をピークにここ数年低迷している¹²⁾。

省エネルギーについては、我が国のエネルギー消費が、図4-3に示すように、1986年以降年3%で増加し、1995年度には我が国の「長期エネルギー需給見通し」の2000年の目標の水準まで到達しており、このエネルギー消費の増加傾向に対して、省エネルギーは、図4-4に示すように、停滞している¹³⁾。

4.7 燃料電池

(1) 現状

燃料電池(Fuel Cell)は、燃料を改質して得られた水素を主燃料として、その水素の燃焼により発電する方式で、以下の特徴がある。

- ① エネルギー効率が高い。(40~60%、廃熱利用で80%になる)
- ② 環境性がよい。(NOx、SOxの排出が少なく、騒音、振動がほとんどない)
- ③ 天然ガス、メタノール、LPG、ナフサ、灯油、石炭ガス等石油代替エネルギーが使える。
- ④ 多量の冷却水を使用しないので、エネルギー需要地の近くに設置できる。

NEDOで研究開発を推進している4種の燃料電池の特徴を表4-11に示す。

(2) 経済性

りん酸型燃料電池で、平成3~8年度に実施した都市エネルギーセンター等での開発では約90~110万円/kWであったものが、平成9年の比較的安価な例では周辺機器、工事費を含めて60~80万円/kWとなっている⁷⁾。

(3) 設置規模

表4-11に示すように、数kW規模の家庭用のコジェネレーションシステム用から、大型機では5MWの実証プラントの運転試験が行われてきている。

(4) 今後の見通し

燃料電池は、エネルギーの効率的な活用、地球規模の環境問題への対応から、早期の実用化が期待されている。電池本体の耐久性の向上、システムの信頼性向上、コストの低減をめざした技術開発が課題となっている。

4.8 その他

(1) バイオマス

温室効果ガス削減問題とも関連して、将来のエネルギー供給原の一つとしてバイオマス・エネルギーが注目を浴びている。植林による CO₂ 固定量は森林の炭素保持量に相当し、この有機炭素をバイオマス・エネルギーとして利用できれば再生可能エネルギーとして半永久的にエネルギーを生産できる。表 4-12 にバイオマス・エネルギーの供給可能量を示す。2010 年～2020 年頃は食料需給がそれほど逼迫する可能性はないとされるが、2100 年頃には人口増加とそれに伴う食料生産の必要性から余剰耕地を使ったバイオマス・エネルギーの生産は先細りとなることが予想されるとされる。

なお、発電コストはブラジルにおける木材燃焼発電の例によると、7.3 セント／kWh とやや高いが将来的には 4.3 セント／kWh 程度と見積もられている⁹⁾。

(2) メタノール

天然ガスを原料とするメタノールによる発電が、石油代替エネルギーとしてその利用検討がなされている。近年、熱効率 48%以上の高効率コンバインドサイクル発電が実用化されるにいたって、メタノールも同様な高効率発電技術の適用が可能であるとの見通しを得たとされる。メタノール発電導入計画としては、平成 6 年の電気事業審議会において 2010 年に 50 万 kW が計画されている。

発電コストは、9 円／kWh 程度まで下がる可能性があるとされる¹⁰⁾。

参考文献

- 1) 財団法人 新エネルギー財団、ホームページ
- 2) 資源エネルギー庁、総合エネルギー調査会需給部会中間報告書、平成 10 年 6 月
- 3) エネルギー編、「新エネルギー・データ特集」、エネルギー, Vol. 31, No.), 1998
- 4) 資源エネルギー庁、ホームページ
- 5) 月誌 実、「わが国における廃棄物発電の現状と普及策」、エネルギー, Vol. 30, No. 11, 1997
- 6) 原子力 eye 編、「新エネルギー動向を探る コジェネレーション」、原子力 eye, Vol. 44, No. 4, 1998
- 7) 鎌田 光治、「燃料電池の普及促進策」、エネルギー, Vol. 30, No. 4, 1997
- 8) 資源エネルギー庁編、新エネルギー便覧（平成 9 年度版）、平成 9 年 3 月
- 9) 斎木博、「生物による二酸化炭素の固定とバイオマス・エネルギー」、季報エネルギー総合工学、第 20 卷、第 4 号、1998
- 10) 平山智之、「メタノール発電の総合評価」、季報エネルギー総合工学、第 19 卷、第 2 号、1997
- 11) エネルギー編、「太陽光発電に過度な期待は禁物—基幹エネルギーとしての活用は困難—」、エネルギー、Vol. 30, No. 3, 1997
- 12) 西出紀久、「コジェネレーション導入の現状と今後の展望」、エネルギー, Vol. 31, No. 2, 1998
- 13) 高橋勝典、「省エネルギー/今なぜ省エネルギーなのか」、エネルギーレビュー、1997 年 4 月

表 4-1 新エネルギー導入の実績と目標⁴⁾

エネルギー分野	1996年度実績	2010年度目標
太陽光発電	5.5万kW	500万kW
風力発電	1.4万kW	30万kW
温度差エネルギー等	3.3万kl	58万kl
廃棄物発電	89万kW	500万kW
太陽熱利用	104万kl	450万kl
廃棄物熱利用	4.4万kl	14万kl
その他	490万kl	592万kl
1次エネルギー総供給 に占める割合	685万kl (1.1%)	1.910万kl (3.1%)

(2) 従来型エネルギーの新利用形態(広義の新エネルギー)(96年度値は暫定値)

クリーンエネルギー自動車	1.2万台	365万台
コージェネレーション	385万kW	1.002万kW

- ・ 温度差エネルギーとは、夏季は外気温よりも温度が低く、冬季は高い河川水や海水等の有する熱エネルギーを活用することを指す。
- ・ クリーンエネルギー自動車とは、電気自動車、天然ガス自動車、メタノール自動車、ディーゼル代替LPG自動車を指す。
- ・ その他とは、黒液(製紙工程における副産物)、廃材等の導入を指す。

表 4-2 NEDO-PV フィールドテストにおける発電規模別 PV 設置価格³⁾

発電規模	10kWのケース		20kWのケース		30kWのケース	
	価格幅 (100万円/kW)	平均価格 (100万円/kW)	価格幅 (100万円/kW)	平均価格 (100万円/kW)	価格幅 (100万円/kW)	平均価格 (100万円/kW)
平成4年度	4.1~6.4	4.5	3.4~4.9	4.6	3.5~3.7	3.6
平成5年度	3.8~4.5	4.2	3.1~4.6	3.8	3.4~3.6	3.5
平成6年度	3.1~3.9	3.5	3.0~3.4	3.2	2.8~3.2	3.1
平成7年度	1.6~3.4	2.8	1.8~2.9	2.4	1.9~2.6	2.3
平成8年度	1.6~2.0	1.8	1.5~1.8	1.7	1.6	1.6
導入実績	研究所、研究棟、運動センター、共同購入センター、給食センター、保育園、教育センター、幼稚園、工場、医院、新聞社、生協会館、環境センター等		児童公園、新幹線ホーム、環境センター、国民宿舎、体育施設、コミュニティセンター、県庁、農業技術センター、県立大学、博物館、ミュージアム、警察署、保険センター、環境放射線監視センター、老人保健施設、小学校、温水プール等		健康センター、広域公園、小学校、中学校、工業高校、大学、老人ホーム、産業技術総合研究所、授産施設、商品検査センター、病院等	

出典 NEDO資料

表 4-3 各国別太陽光発電システム導入目標量³⁾

国名	導入目標量		出典
日本	2000年	400MW	通産省
	2010年	4,600MW	
アメリカ	2000年 国内	1,000MW	アメリカ・エネルギー省 (DOE)
海外	500MW		
ドイツ	なし		—
イタリア	1995年	25MW	the Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment (ENEA)
スイス	2000年	50MW	the Swiss government (Federal Council)
フランス	なし		—
オランダ	1999年	10MW	Netherlands Agency for Energy and the Environment (NOVEM)
	2010年	250MW	
全ヨーロッパ	2005年	500MW	European Commission Directorate General
	2010年 屋根	900MW	
	ファサード	400MW	
	光発電所	400MW	
	遠隔地	100MW	
	その他	200MW	
	合計		2,000MW

表 4-4 世界における風力発電システムの導入量³⁾

国 名	発電規模(MW)	国 名	発電規模(MW)
アメリカ	1,794	日本	14
ドイツ	1,576	ポルトガル	8
インド	820	フィンランド	7
デンマーク	785	アイルランド	7
オランダ	305	ベルギー	5
イギリス	264	ノルウェー	4
スペイン	216	フランス	3
スウェーデン	105	オーストラリア	3
イタリア	70	メキシコ	2
中国	57	ウクライナ	1
ギリシャ	28	ニュージーランド	1
カナダ	23	その他の国	54
コスタリカ	20		
合 計			6,172MW

表 4-5 日本の地熱発電所一覧³⁾

発電所名	所在地	開発実施主体 発電部門 蒸気供給部門	設備 容量 (MW)	認可 出力 (MW×台)	発電 方式 ¹⁾	蒸気条件(タービン入り口) ²⁾			運転開始 年月日
						温 度 (°C)	圧 力 (kg/cm ²)	流 量 (t/h)	
森	北海道 森町	北海道電力 道南地熱エネルギー	50.0	50.0×1	DF	162.4/119.6	6.0/1.0	356/137.8	1982.11.26
澄川	秋田県 鹿角市	東北電力 三菱マテリアル	50.0	50.0×1	SF	151	4.0	390	1995.3.2
葛根田	岩手県 零石町	東北電力 日本重化学工業	50.0	50.0×1	SF	147.4	3.5	478	1978.5.26 (1号)
		東北電力 東北地熱エネルギー	30.0	30.0×1	SF	147.5	3.5	283	1996.3.1 (2号)
上の岱	秋田県 湯沢市	東北電力 秋田地熱エネルギー	27.5	27.5×1	SF	161.3	5.5	225	1994.3.4
鬼首	宮城県 鳴子町	電源開発	25.0	12.5×1	SF	138.2	2.5	141.7	1975.3.19
柳津 西山	福島県 河沼郡	東北電力 奥会津地熱	65.0	65.0×1	SF	165.9	6.5	566	1995.5.25
大岳	大分県 九重町	九州電力	13.0	12.5×1	SF	127	1.5	135	1967.8.12
八千原	大分県 九重町	九州電力	55.0 55.0	55.0×2	DF DF	164/109 164/107	6.0/0.43 6.0/0.3	345/124 327/110	1977.6.24 1990.6.22
山川	鹿児島県 山川町	九州電力 九州地熱	30.0	30.0×1	SF	183.2	10.0	225	1995.3.1
大霧	鹿児島県 牧園町	九州電力 日鉄鹿児島地熱	30.0	30.0×1	SF	132.9	2.0	292.7	1996.3.1
滝上	大分県 九重町	九州電力 出光大分地熱	25.0	25.0×1	SF	126.8	1.5	253.3	1996.11 (予定)
事業用 計			505.5	492.5					
大沼	秋田県 鹿角市	三菱マテリアル	10.0	9.5×1	SF	127	1.5	107	1974.6.17
松川	岩手県 松尾村	日本重化学工業	23.5 ²⁾	23.5×1	DS	191	3.5	199.8	1966.10.8
杉乃井	大分県 別府市	杉乃井ホテル	3.0	3.0×1	SF	142.9	3.0	40	1981.3.6
喜島国際ホテル	鹿児島県 牧園町	大和紡観光	0.1	0.1×1	SF	142.9	3.0	6	1984.2.23
岳の湯	熊本県 小国町	廣瀬商事	0.2	0.105×1	DS	—	—	—	1991.10.19
自家用 計			36.8	36.205					
合 計			542.3	528.705					

出典：(社)日本地熱調査会、「わが国の地熱発電の動向 1996年版」、1996年10月

注：1) DS…ドライスチーム、SF…シングルフラッシュ、DF…ダブルフラッシュ

2) 22,000kWから23,500kWに増容量(1993年6月)

3) 蒸気条件の「/」は、「1次蒸気/2次蒸気」

表 4-6 世界の地熱発電設備容量³⁾

国名	地域(発電所)	設備容量(MW)	総出力(MW)
米国	The Geysers Coso Imperial Valley その他	1,896 240 402.8 311	2,849.8
フィリピン	Tonganon Tiwi Mak-Ban Palimpinon Bac-Man その他	112.5 330 426 192.5 130 209	1,400 (1996.中)
メキシコ	Cerro Prieto670 Los Azufres Los Humeros	803 98 35	
イタリア	Powarance Travale Radicondoli Monte Amiata その他	341 90 71.5 157.7	660.2
日本	517.3	517.3 (96.3)	
インドネシア*	Kamojang Dieng Lahendong Salak Darajat	140.25 2 2.5 110 55	309.75
ニュージーランド	Wairakei Ohaaki Kawerau-Tasman P&P Kawerau-Tarawera	157.2 114.4 10 5.9	287.5
エルサルバドル	Ahunchapán Berlin	95 10	105
コスタリカ	Miravalles	60	60
アイスランド	Krafla Svartsengi その他	30 17.1 3.7	50.8
ケニア	Olkaria	45	45
ニカラグア*	Momotombo	70	70
中国	Yangbajang (羊八井) 他 その他	25.18 0.6	25.78
トルコ*	Kizildere	20.4	20.4
台湾	Tu-Chang	0.3 (休止中)	
ロシア*	Pauzhetksya	11	11
ボルトガル*	Pico Vermelho	8.2	8.2
フランス	Guadeloupe	4.2 (1996.5運転中)	
ギリシャ	Milos	2 (休止中)	
タイ	Fang	0.3	0.3
サンビア**	Kapisya	0.2	0.2
オーストラリア*		0.17	0.17
	計		7,230.9

出所：日本地熱調査会の調査（海外アンケート他）

*印はWGC '95 General Reports and Country Updates

(1994年12月現在)、**印は、GEOTHERMICS 1993, No.3

出典：日本地熱調査会、「わが国の地熱発電の動向 1996年版」、1996年10月

表 4-7 モデル計算による地熱発電所の経済性³⁾

	建設単価(kW当たり)	平均的発電原価(送電端, kWh当たり)
地熱	60~70万円(5万kW級)	13~16円(15年平均)
[参考]†	建設単価(kW当たり)	耐用年発電原価(送電端, kWh当たり)
一般水力	60万円程度	13円程度
石油火力	19万円程度	10円程度
石炭火力	30万円程度	10円程度
LNG火力	20万円程度	9円程度
原子力	31万円程度	9円程度

出典：新エネルギー・産業技術総合開発機構、「期待される地熱開発」、1994年3月

注：1) 電源別耐用年発電原価試算(1992年度運転開始ベース)

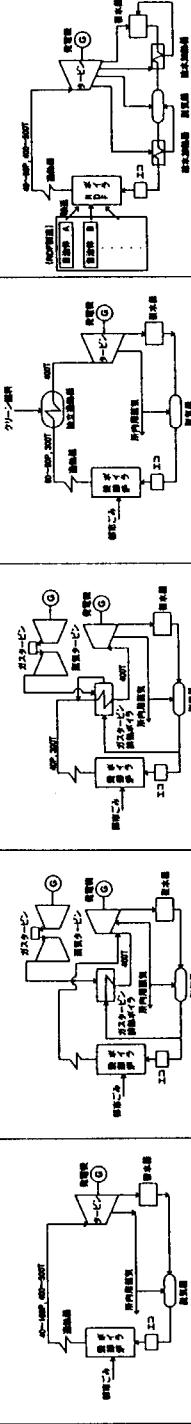
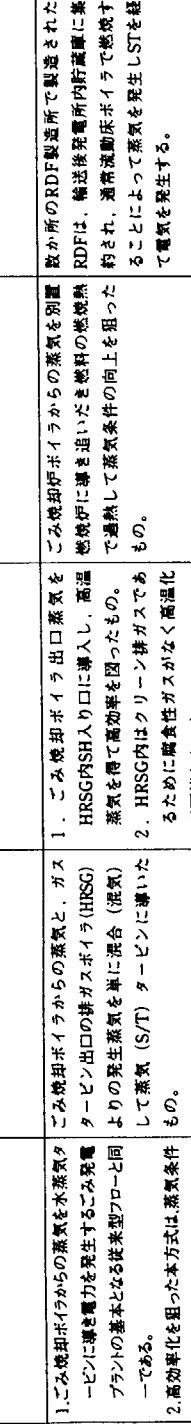
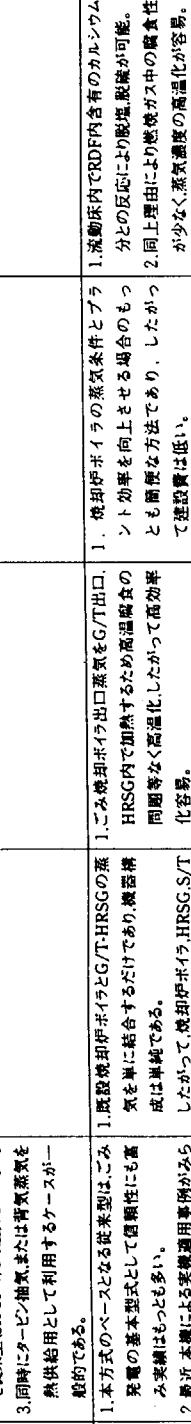
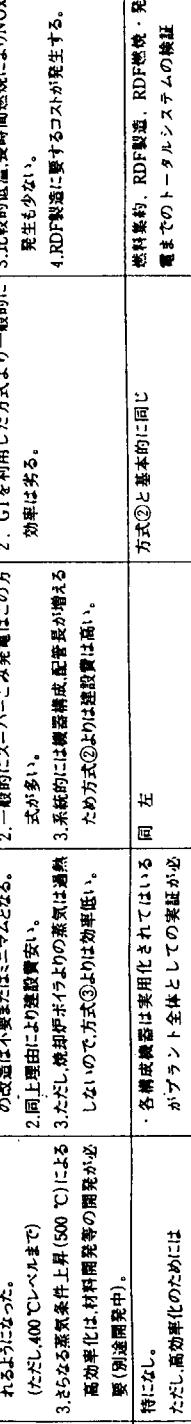
(出典：資源エネルギー庁、「資源エネルギーデータ集 1996年版」)

表 4-8 廃棄物発電の出力規模等の推移⁵⁾

		H4年度	H5年度	H6年度	H7年度	H8年度
一般廃棄物	出力規模[万kW]	35.9	38.9	46.1	55.8	65.8
	総発電電力量[億kWh]	21.3	21.8	24.2	30.0	33.2
産業廃棄物	出力規模[万kW]	8.6	10.4	17.9	24.7	20.9
	総発電電力量[億kWh]	2.9	3.0	7.2	8.1	9.6
合 計	出力規模[万kW]	44.5	49.3	64.0	80.5	86.7
	総発電電力量[億kWh]	24.2	24.8	31.4	38.1	42.8

(通商産業省資源エネルギー庁発電課調べ)

表 4-9 代表的高効率発電システムの型式⁽³⁾

① 循環型送風方式	リバワリンク型(スーパーコミ)発電方式	③ 蒸気結合方式	④ 独立過熱器方式	⑤ RDF発電方式
	② 単純蒸気混気方式			
フローリ				
構成機械	<p>1.ごみ焼却ボイラからの蒸気を水蒸気タービンに導き電力を発生するごみ発電プラントの基本となる従来型フォーク同一である。</p> <p>2.高効率化を狙った本方式は、蒸気条件を従来型(300℃まで)より上昇させたもの。</p> <p>3.同時にタービン油気、または荷役蒸気を供給用として利用するケースが一般的である。</p>	<p>1.ごみ焼却ボイラ出口蒸気と、ガスタービンに導き電力を発生するごみ発電プラントの基本となる従来型フォーク同一である。</p> <p>2.HRSG内はクリーンガスであるために燃焼性ガスがなく高温化が可能となった。</p>	<p>1.ごみ焼却ボイラ出口蒸気をG/T/HRSGの蒸気を単に結合するだけであり、燃焼構成は単純である。</p> <p>2.同上理由により建設費安い。</p> <p>3.さうなる蒸気条件上昇(500℃)による高効率化は、材料開発等の開発が必要(別途開発中)。</p>	<p>ごみ焼却ボイラから蒸気を別置燃焼炉に導き蒸気をRDF炉内SH入口に導入し、高温蒸気を得て高効率を図つたもの。</p> <p>2. HRSG内はクリーンガスであるために燃焼性ガスがなく高温化が可能となった。</p>
特徴	<p>1.本方式のベースとなる従来型は、ごみ発電の基本型式として信頼性にも高み実績はもつとも多い。</p> <p>2.最近、本機による実機運用事例がみられるようになつた。</p> <p>(ただし、400℃レベルまで)</p> <p>3.さうなる蒸気条件上昇(500℃)による高効率化は、材料開発等の開発が必要(別途開発中)。</p>	<p>1.既設焼却ボイラとG/T/HRSGの蒸気を単に結合するため高温蒸食の問題等なく高温化したがって高効率化容易。</p> <p>2.一般的にスーパーごみ発電はこの方式が多い。</p> <p>3.系統的には燃焼構成、配管長が増えるため方式②よりは建設費は高い。</p>	<p>1.既設焼却ボイラ出口蒸気をG/T出口、HRSG内で加熱するため高温蒸食の問題等なく高温化したがって高効率化容易。</p> <p>2.GTを利用した方式より一般的に効率は劣る。</p>	<p>1.流動床内TRDF内含有のカルシウム分との反応により脱硫、脱炭が可能。</p> <p>2.同上理由により燃焼ガス中の腐食性が少なく、蒸気温度の高温化が容易。</p> <p>3.比較的低温、長時間燃焼によりNOx発生も少ない。</p> <p>4.RDF製造に要するコストが発生する。</p>
主要課題	<p>特になし。</p> <p>ただし、高効率化のためににはシステムの最適化・材料開発などが必要</p>	<p>各構成機器は実用化されてはいるが、プラント全体としての実証が必要</p>	<p>同左</p>	<p>方式②と基本的に同じ</p>
実績開発状況	<p>埼玉東部組合(380℃×372a) ・埼玉市清掃工場(400℃×40a) 高効率型(500℃×100a) はNEDO主導で開発中。 (効率は20~25%)</p>	<p>・埼玉東部工場スーパーごみ ・群馬県高浜クリーンセンター</p>	<p>検討中なるも実績はない</p>	<p>検討中なるも実績はない までのトータルシステムの検証</p>

注：効率は、発電量、低位発熱量基準による値を示す。

表 4-10 ガス化溶融方式の種類と特徴³⁾

方式		技術開発状況	特徴	技術課題
「直接型熱分解溶融方式」		一部商用実績あり（環境衛生センター溶融炉施設等）	<ul style="list-style-type: none"> 外部燃料であるコークスを用いることにより安定した溶融が可能 コンパクト 	<ul style="list-style-type: none"> 外部燃料（コークス）が必要 有価金属の回収が困難
「直結型熱分解溶融方式」 (ガス化溶融炉方式)	「ロータリーキルン方式」	20t／日規模焼却炉で実証試験済み	<ul style="list-style-type: none"> 安定した熱分解ガス化反応が可能 有価金属を未酸化で回収可能 	・設置スペースが他方式より必要
	「流動床方式」	平成9年度より20t／日規模焼却炉の実証試験を計画・実施	<ul style="list-style-type: none"> 高効率発電が期待される コンパクト 有価金属を未酸化で回収可能 	<ul style="list-style-type: none"> 不燃物の排出機構の確立が必要 安定な流動機構の確立が必要
「分離型灰溶融方式」		一部商用実績あり（埼玉東部清掃工場等）	<ul style="list-style-type: none"> 従来型の廃棄物発電技術に付設可能 技術的にシンプル 	・所内率が高く、売電力が他方式よりも少なくなる

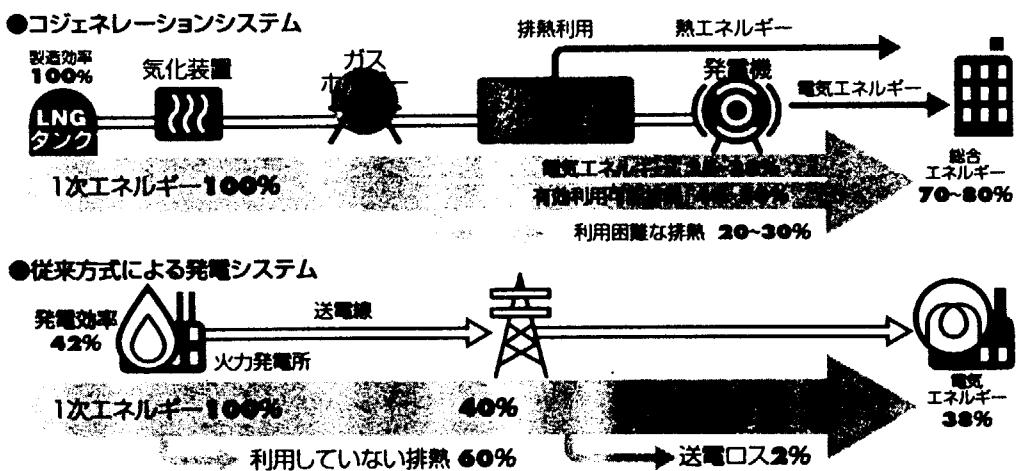
表 4-11 燃料電池の種類と特徴⁷⁾

分類	リン酸型(PAFC)	溶融炭酸塩型(MCFC)	固体電解質型(SOFC)	固体高分子型(PEFC)
電解質	リン酸 H ₃ PO ₄	炭酸塩 Li ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃	安定化ジルコニア ZrO ₂	高分子交換膜 -CF ₂ -SO ₃ H
移動イオン	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ₂ ²⁻	H ⁺
作動温度	約200°C	約650°C	約1000°C	約80°C
発電効率	35~45%	45~60%	45~60%	35~45%
排熱利用	温水、蒸気	ガスタービン、蒸気タービン	ガスタービン、蒸気タービン	温水
総合熱効率	70~80%	(70~80%)	(70~80%)	—
反応ガス	H ₂ (CO1%以下)	H ₂ , CO	H ₂ , CO	H ₂ (CO10ppm以下)
燃料	天然ガス、メタノール	天然ガス、メタノール ナフサ、石炭ガス化ガス	天然ガス、メタノール ナフサ、石炭ガス化ガス	天然ガス、メタノール
適用分野	オンサイト型コーチェネレーション 小規模分散型電源	小・中規模分散型電源 大規模集中型電源	小・中規模分散型電源 大規模集中型電源	小型・家庭用コーチェネレーション 電気自動車・可搬形電源
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 排熱を給湯、冷暖房に利用できる 	<ul style="list-style-type: none"> 排熱を複合発電システムに利用できる 燃料の内部改質が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 電力密度が高い 排熱を複合発電システムに利用できる 燃料の内部改質が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 低温で動作し、電力密度が高い ほぼ瞬時動作が期待できる 電気自動車としても使える
開発段階	<ul style="list-style-type: none"> 1MW, 5MW実証プラント運転試験中 実用化の最終段階 	<ul style="list-style-type: none"> 100kW級電池を開発 1MWバイロットプラント建設、実証試験に着手 	<ul style="list-style-type: none"> 数百W~数kW級電池スタックの開発中 セラミック材料、製造法を含め基礎研究段階 	<ul style="list-style-type: none"> 数kW~数十kW級電池スタック、周辺機器を開発中

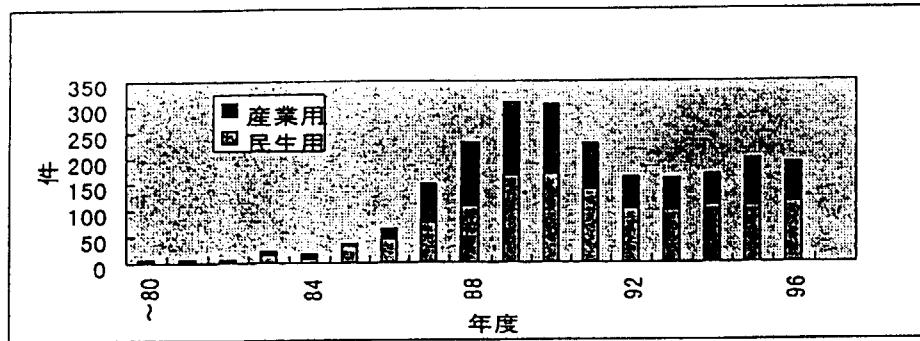
表 4-12 2010～2020 年の植林によるバイオマス・エネルギー供給見通し⁹⁾

	現在耕地面積 Mha	現在余剰耕地面積 Mha	将来余剰耕地面積 Mha	2010～2020年のエネルギー植林面積 Mha	植林によるバイオマス・エネルギー生産量 EJ/yr
単位					
世界合計	1,440	—	>136	95	33.5
先進国					
アメリカ合衆国	162	25	74	8～16	2.4～4.8
カナダ	46	6	>0	3	0.9
日本	4.7	—	0	0	0
オーストラリア ／ニュージーランド	48	—	>0	>0	>0
欧州共同体	130	30	62	30	9
東欧	55	—	0	0	0
旧ソ連	232	—	0	0	0
途上国					
ラテンアメリカ ・カリブ海諸国	184			50	20
サブサハラアフリカ	211			0	0
近東・北アフリカ	62			0	0
南アジア	186			0	0
東アジア(中国を除く)	77			0	0
中国	97			0	0

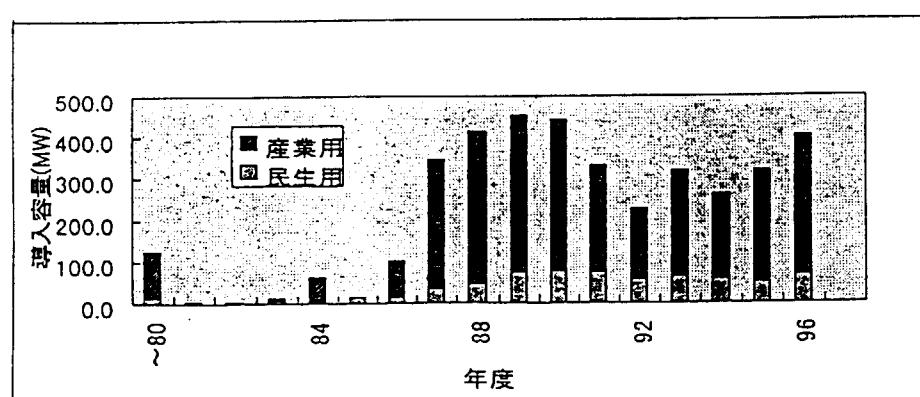
先進国は余剰耕地を、途上国は潜在耕地を利用するとしている。伝統的薪炭利用は除外していることに注意。バイオマス発熱量は20GJ/tdbとした。バイオマス生産性は南米では20tdb/ha/yr、他の地域では15tdb/ha/yrとした。カナダについては、アメリカ合衆国を参考に、現在余剰耕地の1/2がエネルギー植林に利用できるとした。オーストラリアとニュージーランドについては見積もっていないが、ある程度のエネルギー植林が見込まれる。東欧と旧ソ連については穀物生産能力が存在しないためエネルギー植林は存在しないとした。

図 4-1 コジェネレーションシステムと従来システムのエネルギー効率の比較⁶⁾

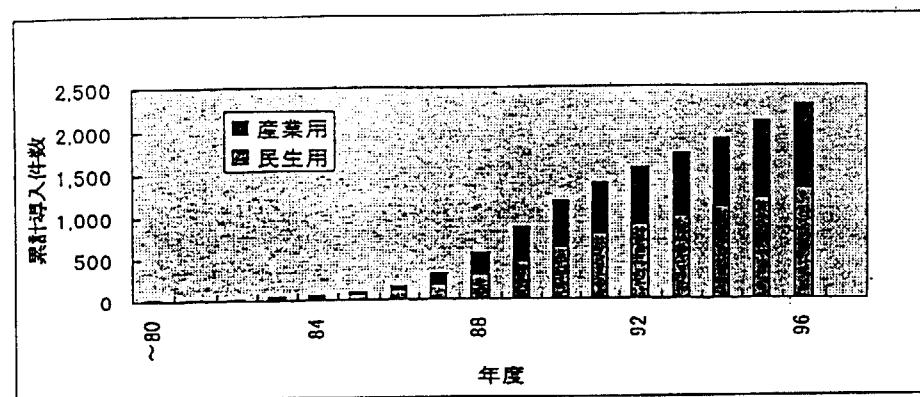
導入件数の年度別推移

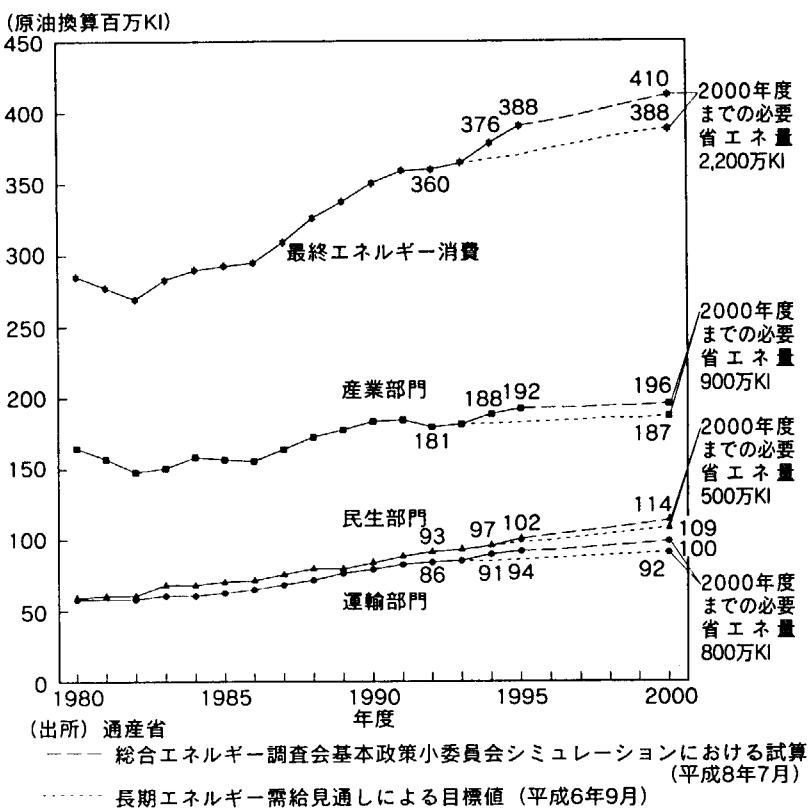


導入容量の年度別推移



累計導入件数の推移

図 4-2 コジェネレーション導入件数及び導入容量の年度別推移^{1,2)}



長期エネルギーの見通しとは、平成6年9月の総合エネルギー対策推進閣僚会議において了承された2000年と2010年におけるエネルギーの需給の見通しであり、地球温暖化防止行動計画に定める一人当たりの二酸化炭素排出量の目標値と整合のとれるものとなっている。

図 4-3 最終エネルギー消費及び省エネルギー量の見通し¹³⁾

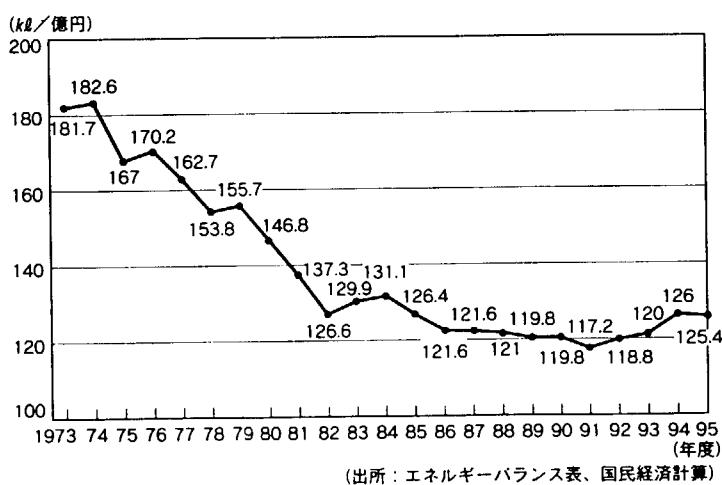


図 4-4 わが国の一次エネルギー総供給のG.N.P原単位¹³⁾

あとがき

収録した統計・予測資料は、いずれもはしがきに述べた人類の大問題が事実として迫っていることを物語っている。人口は増加の一途をたどり、一世紀以上に渡り下降に転じる予測も気配もない。大気の汚染も同様で、よほどの対策が実行されない限り改善の可能性はない予測されている。エネルギー需給の増加の予想も、人間の飽くなき快適生活の希求を示している。すぐに実行しなければならない各種ガスの排出規制も、途上国に先進国が押しつけることのできない問題があり、困難を極める。救世主となるクリーンな新エネルギーも、排出ガス処理も、すぐに実効の上がるものは、今の人類の知恵では生み出せないでいる。しかも対策の実行の時はもう来ていていることを各種のデータが語っている。

原子力が社会に受け容れられないなら、現状のエネルギー利用の継続による地球環境の悪化、あるいは環境を守るために窮屈な生活、民族間の生き残りをかけた戦争、のいずれかのシナリオを選ぶしかないのであろうか。いや、それどころかこのすべてのシナリオを順にたどることもあり得よう。人間は賢明か愚かかが問われている。各種のエネルギー資源予測の統計を見るとき、新規の対策がその知恵によって生み出されない限りは、エネルギーと環境を救い、共存を続けていくのに、原子力エネルギーの有効で安全な利用しか選択肢はないのではないか。危険の潜在することが現在の世界で警戒されている原子力のエネルギーは、それを知恵によって克服できることを人間自ら証明し、多くの人の同意を得て拡大できるかどうかが問われている。

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光强度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s^{-1}
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	lm/m^2
放射能	ベクレル	Bq	s^{-1}
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L, L
ト	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーン	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N($=10^5$ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
9.80665		1	2.20462
4.44822		0.453592	1

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ボアズ}) (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストークス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

圧	MPa($=10$ bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062×10^3	145.038
0.0980665		1	0.967841	735.559	14.2233
0.101325		1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10^{-4}	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}
	6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J($=10^7$ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{18}	= 4.184 J (熱化学)
9.80665		1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{19}	= 4.1855 J (15 °C)
3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{25}		= 4.1868 J (国際蒸気表)
4.18605		0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-3}	3.08747	2.61272×10^{19}	仕事率 1 PS (仏馬力)
1055.06		107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}	= 75 kgf·m/s
1.35582		0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-3}	1	8.46233×10^{18}	= 735.499 W
1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	2.70270×10^{-11}		1	100
	3.7×10^{10}	1		0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

