

CO₂削減可能性の評価

UNFCCC COP5

25 October - 5 November 1999, Bonn



Citizens Alliance for Saving the Atmosphere and the Earth

CASA 気候変動防止戦略研究会

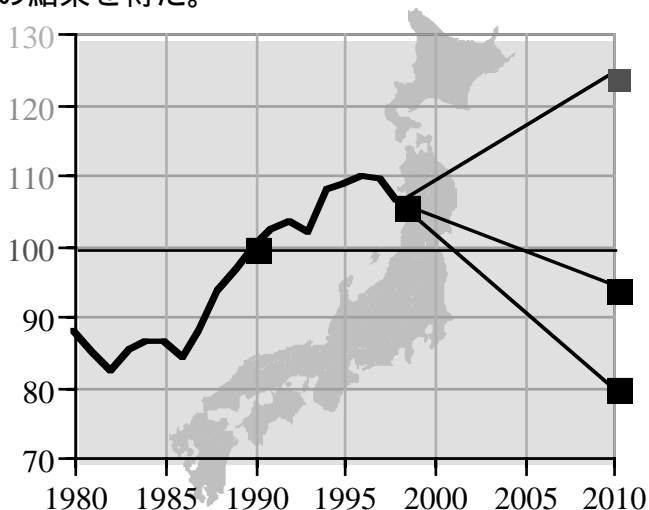
540-0012 大阪市中央区谷町1-3-17-711

Phone: +81-6-6941-3745 Fax: +81-6-6941-5699

E-mail: casa@netplus.ne.jp

Summary

- 本稿は2010年の日本におけるCO₂排出削減の可能性を評価した。
- BaUケースでは、CO₂排出量が1990年に比べ25%増加するとの結果を得た。
- 一方、省エネ技術の導入を促進するケースでは、CO₂排出量は1990年に比べ6.5%削減するとの結果を得た。



第1部

1.本報告書の目的

本報告書の目的は、1997年に発表したCASA「CO2排出削減戦略の提言Phase1 report」(http://www.netplus.ne.jp/casa/co2/index-phase1-e.html)の内容を、最新の統計資料等を用いて更新し、日本における温室効果ガス排出削減の可能性を再度検討することにある。

2.手法

2.1. 評価対象とする温室効果ガスの範囲

日本が排出する二酸化炭素を評価対象とした。日本においては、二酸化炭素が京都議定書で定められた6種の温室効果ガスのうち最も多い9割を占める(表1)。

二酸化炭素の排出起源は、燃料の燃焼、工業プロセス、廃棄物処理とした。1997年発表のCASA phase1 reportでは、バイオマス燃焼(黒液・紙ごみ等)による排出も含めていたが、本報告書では日本政府「第二次国別報告書」(1997年)に従い、バイオマス燃焼からの排出は除外した。また、工業プロセスからの排出として計上しているのは、石灰石分解(主に鉄鋼製造、セメント製造)によるもののみであり、日本国第二次国別報告書で計上されているアンモニア生産からの排出は含めていない。

Table 1 : GHG emissions from Japan (unit: Tg-CO₂)

Gas type	1990	1993	1995	1996	1997
CO ₂	1,124.5	1,143.8	1,219.4	1,235.6	1,230.8
CH ₄	32.4	31.6	31.0	30.4	29.2
N ₂ O	18.1	17.6	19.3	20.1	20.4
HFC	17.7	20.9	29.9	30.1	34.1
PFC	5.7	8.5	15.1	17.1	17.0
SF ₆	38.2	45.4	52.6	51.0	49.7
Total	1,236.6	1,267.8	1,367.4	1,384.3	1,381.2
CO ₂ /Total	90.9%	90.2%	89.2%	89.3%	89.1%

2.2. 部門分割

エネルギー統計における部門分割等にならない、エネルギー関連の排出源を、産業・運輸・民生家庭・民生業務(以上最終需要部門)・エネルギー転換の5部門に分割した(図1)。また、廃棄物焼却による排出を扱う廃棄物処理部門を設けた。工業プロセスからの排出は産業部門からの排出として扱った。

部門間の連関として、以下の3点を考慮した。

- a. エネルギー転換部門は、最終需要部門での電力需要量に応じた発電を行う。
- b. ごみ焼却施設におけるごみ発電量の推計は廃棄物処理部門で行い、エネルギー転換部門ではこの推計結果を用いた。
- c. 産業部門(鉄鋼業)の対策で用いる廃プラスチック量は、廃棄物処理部門での廃プラスチック発生量以下となるように設定した。

その他の部門間の連関(産業部門での生産量変化に伴う廃棄物処理部門での廃棄物量の変化など)は考慮していない。

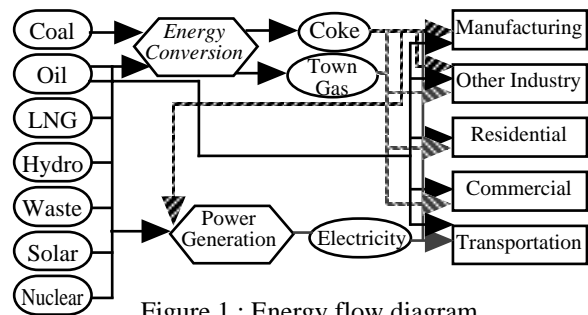


Figure 1 : Energy flow diagram

2.3. 最終需要部門

2.3.1. 各部門におけるエネルギー需要構造の分析

各最終需要部門におけるエネルギー需要構造を分析し、エネルギー需要量を式1)の各要因に分解した。

$$\text{エネルギー需要量} = \text{活動レベル} \times \text{原単位} \quad (1)$$

2.3.2. シナリオの作成

シナリオ0～4を表2のように設定した。

2.3.3. CO2削減技術の評価

各部門において導入可能なCO2削減技術を特定し、2000年から2010年までの導入量、2010年におけるCO2削減効果(エネルギー消費削減量)を評価した。

2.4. 廃棄物処理部門

廃棄物発生量(廃プラスチック、廃油)の2010年における発生量予測を行い、これをシナリオ0, 1での活動レベルとした。シナリオ2～4では、廃棄物発生抑制率を用いて発生量を設定した。

ごみ発電量は、シナリオ0では政府見通しと同量シナリオ1～4では技術導入が促進され増加するとした。

2.5. エネルギー転換部門

発電を除くエネルギー転換部門においては、1990年度におけるCO2排出量を各シナリオで用いた。発電部門においては、再生可能エネルギー供給可能量、火力発電効率の向上見通しについて検討を行い、表3に示したように各シナリオでの電源構成を設定した。

2.6. 総排出量の集計

各部門における二酸化炭素排出量を集計し、1990年比での増減率を算出した。

3. 結果概要

各シナリオにおける二酸化炭素排出量の推計結果を表4、図2に示した。

Table 2 : 5 scenarios for final demand sectors

	Activity Level	Efficiency improvement
Scenario 0	BAU2010	No
Scenario 1	BAU2010	Yes
Scenario 2	same as 1995	Yes
Scenario 3	same as 1990	Yes
Scenario 4	1990 X 80%	Yes

Note: All years mentioned in this report refer to the fiscal year (April - March).

Table 3: 5 scenarios for power generation sector

Scenario	Renewable Energy		Nuclear	Thermal Efficiency
	Solar	Wind		
Scenario 0	same as 1995			38%
Scenario 1	Government Target			43%
Scenario 2	1/4 of Max	1/2 of Max	reduced *	43%-46%
Scenario 3	1/2 of Max	1/1 of Max	reduced *	43%-46%
Scenario 4	1/1 of Max	1/1 of Max	reduced *	43%-46%

* No new-construction after 1998. Abandon 30 years old facilities.

Table 4 : Estimated CO₂ emission for each Scenario

Sector	1990	Scenario0	Scenario1	Scenario2
Manufacturing	106.4	110.1	94.8	92.3
Agri, Mining, etc.	13.8	14.4	13.3	13.1
Transportation	58.7	82.6	65.3	53.0
Residential	17.5	25.3	22.2	18.6
Commercial	16.5	22.8	18.9	15.3
Waste Management	5.0	6.7	6.7	6.2
Power Generation	79.4	111.0	56.0	34.2
Energy Conversion	11.1	11.1	11.1	11.1
Total [million ton-C]	308.4	383.9	288.3	243.7
Changes from 1990	0%	+24.5%	-6.5%	-21.0%

*Emission from power generation is excluded from the final demand sectors

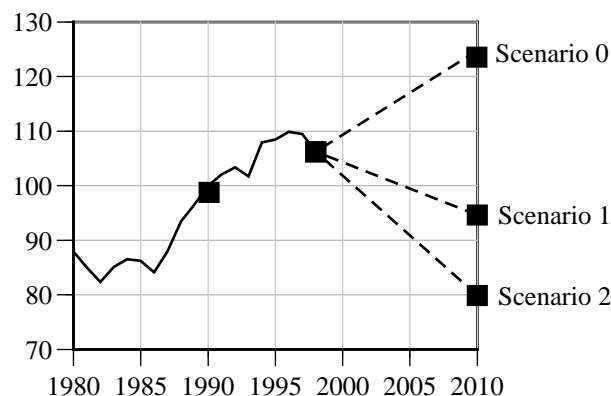


Figure 2 : Trend and prospects of CO₂ emission from Japan unit : index (1990=100)

第2部 部門別の詳細

4.産業部門

4.1. エネルギー需要構造の解析、活動レベル設定

産業別生産量×原単位

産業部門を、鉄鋼業、セメント業、紙・パルプ業、その他製造業、農林水産業、鉱業・建設業の6部門に分割した。それぞれの産業の生産指数を活動レベルとし、単位生産量あたりエネルギー消費量をエネルギー原単位とした。石灰石消費によるCO2排出もエネルギー消費による排出と同様に扱った。

各シナリオにおける活動レベルを図5のように設定した。

4.2. エネルギー原単位の改善見通し

鉄鋼業、セメント業、紙・パルプ業の3部門について、省エネ技術を特定し、生産量1tonあたりの省エネ可能量を算出した。算出にあたってはリサイクルの効果も考慮した。すなわち、式2)よりリサイクル率向上による省エネを評価した。Ep, Es に対しては、それぞれの製造工程に適用可能な技術による省エネ量を積み上げて設定した。

$$E_o = (E_p \cdot (1 - r) + E_s \cdot r) \quad (2)$$

Eo : 製品全体のエネルギー原単位

Ep : 一次資源から生産される製品の原単位

Es : 再生資源から生産される製品の原単位

(通常 Ep > Es)

r : リサイクル率

シナリオ1~4におけるエネルギー原単位の改善率として表6に示した結果を得た。

その他製造業、鉱業・建設業におけるエネルギー原単位の改善率は、15%とした。

4.3. シナリオ別推計結果

シナリオ別の推計結果を表7に示した。1990年とシナリオ1とでのCO2排出量の変化の内訳は図2に示した通りである。

Table 5 : Activity levels for industrial sectors [1000 ton

Scenario	Steel	Cement	Paper	Other*
1990	110,339	86,849	28,086	1.000
Scenario0	94,000	101,000	40,340	1.126
Scenario1	94,000	101,000	40,340	1.126
Scenario2	100,020	97,500	29,660	1.070
Scenario3	90,000	84,000	28,086	1.000
Scenario4	74,000	70,000	24,000	0.800

* index (1990 = 1.0)

Table 6 : Improvement of energy efficiency in industrial sector

Product	Year	Recycle Energy input per unit output*		2010/1990
		rate	recycled primary average	
Steel	1990	31.4%	2,660	4,734
	2010	35.0%	2,569	5,105
Cement	1990	18.1%	582	853
	2010	35.0%	582	762
Paper	1990	51.8%	3,913	5,363
	2010	60.0%	3,502	4,220
Other	1990			
	2010			85%

* unit : [Mcal/ton]

Table 7: Estimated CO2 emission from industrial sector

Sector	1990	Scenario0	Scenario1	Scenario2
Steel & Iron	49.6	42.3	37.7	40.1
Cement	22.7	26.4	22.9	22.1
Paper & Pulp	8.5	12.2	10.0	7.4
Other	56.9	64.1	54.5	51.7
Total [million ton-C]	137.7	145.0	125.1	121.3
Changes from 1990	0.0%	+5%	-9.2%	-11.9%

[million ton-C]

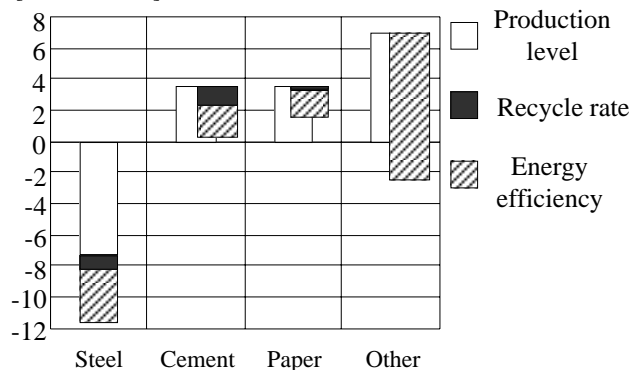


Figure 3 : Factors of CO2 reduction in manufacturing sector

5. 運輸部門

5.1. エネルギー需要構造の解析、活動レベル設定

輸送機関別走行量 × 原単位

運輸部門を、自動車とその他の交通機関とに大別し、それぞれをさらに輸送機関別（車種別）に分割した。各輸送機関の走行距離（輸送量）を活動レベルとし、燃費をエネルギー原単位とした。

各シナリオにおける活動レベルは、表 8 のように設定した。

Table 8 : Activity levels for transportation sector [billion vehicle-kilometers-traveled]

	Passenger		Freight	
1990	373		256	
Scenario0	542	+45%	355	+39%
Scenario1	542	+45%	355	+39%
Scenario2	453	+21%	267	+4%
Scenario3	373	+0%	256	+0%

Table 9 : Relative fuel efficiency for vehicles*

Vehicle type	New year model		All vehicles in use**
	2000	2005	
Passenger cars			
Gasoline fueled	0.86	0.52	0.61
Hybrid	0.50	0.50	0.50
LPG fueled	0.86	0.52	0.61
Diesel fueled	0.90	0.70	0.75
Trucks			
Gasoline fueled small	0.92	0.77	0.81
Diesel fueled small	1.00	1.00	1.00
Diesel fueled large	0.97	0.91	0.93
Buses			
Gasoline fueled small	0.92	0.77	0.81
Diesel fueled small	1.00	1.00	1.00
Diesel fueled large	0.97	0.91	0.93

* 1990=1.0 smaller is better ** in 2010

5.2. 自動車燃費の改善見通し

運輸部門からのCO2排出量の9割を占める自動車についてのみ省エネ技術の検討を行った。2005年、2010年における新規販売車の相対エネルギー効率（1990=1.0, 数値が小さいほど効率が高い）を車種別に表 9 のように設定した。次に、車の平均寿命を10年として、2010年におけるストックベースでの相対エネルギー効率を算出し、表 9 を得た。

5.3. シナリオ別推計結果

シナリオ別の推計結果を図 4 に示した。シナリオ0とシナリオ1とでのCO2排出量の違いの内訳は、表 10 に示したとおりである。

Table10 : Reduction potentials in transportation sector [1000 ton-C]

Gasoline Passenger: Conv.	6,657
Gasoline Passenger: Hybrid	6,053
Gasoline Small Truck	1,937
Diesel Passenger	874
LPG Passenger	820
Diesel Large Truck	791
Diesel Large Bus	67
Total	17,199

[million ton-C]

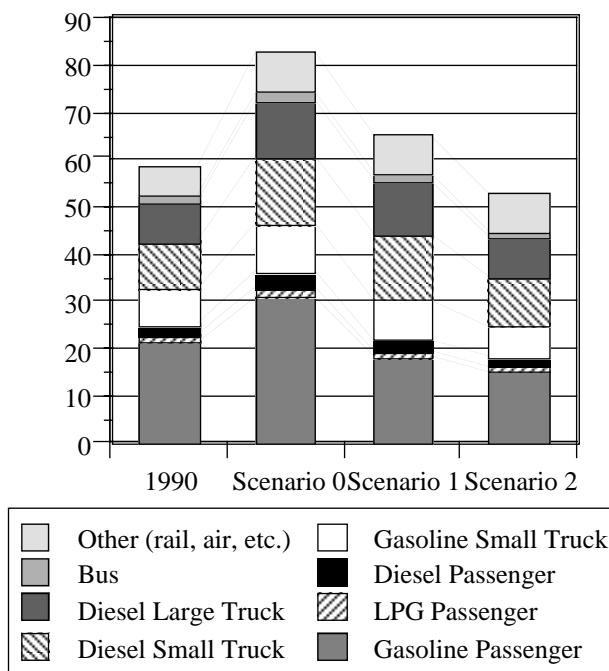


Figure 4 : Estimation results for transportation sector

6 CASA

6. 民生家庭部門

6.1 エネルギー需要構造の解析、活動レベル設定

民生家庭部門におけるエネルギー需要構造を分析し、式3で表される要因に分解した。

$$\text{世帯数} \times \text{世帯あたり用途別エネルギー消費} \times \text{エネルギー消費効率} \quad (3)$$

シナリオ0~4(2010年)のいずれにおいても世帯数の推計値には同じ値を用い、活動レベルの違いは世帯あたりエネルギー需要量によって与えた。各シナリオの活動レベルは表11に示した通りである。2010年における世帯数の推計は、政府系研究機関による推計値(中央値)を用いた。活動レベルの推計は用途毎に行い、燃料構成の違いを反映させた。

6.2 エネルギー消費効率の改善見通し

民生家庭部門における省エネ技術を特定し、単位削減量、2010年までの導入量を設定し、各技術によるエネルギー消費削減量を得た(表12)。対策技術によるエネルギー消費削減量は、活動レベルによらず一定として計算した。

6.3 シナリオ別推計結果

シナリオ別の推計結果を表13に示した。

Table 11 : Trends and prospects of energy consumption per household by end-use type [Gcal/household/year]

Year	Hot water	Heating	Cooking	Cooling	Power etc.
1980	2.81	2.41	1.00	0.08	2.20
1985	3.13	2.95	0.98	0.19	2.46
1990	3.36	2.79	0.97	0.25	3.07
1995	3.53	3.32	0.90	0.27	3.57
1996	3.54	3.13	0.85	0.19	3.70
1997	3.45	3.01	0.83	0.22	3.73
2010	4.29	3.43	0.85	0.31	4.63

Table 12 : Reduction potential in residential sector [1000 ton-C/year]

Improved efficiency of heat pump	2,323
Improved efficiency of refrigerator	2,030
Improved eff. of other electric appliances	1,943
Solar system (New)	1,819
Compact fluorescent light	721
Insulation of houses	492
Replacement of stove by heat pump	434
Solar system (Conventional)	288
TV (CRT to LCD)	194
Pair-glass	163
Total	10,407

Table 13 : Estimation results for residential sector

Scenario	CO ₂ emission [million ton-C]	Changes from 1990
1990	37.6	0%
Scenario 0	60.8	+62%
Scenario 1	50.9	+35%
Scenario 2	38.0	+1%

* Emission factor for electricity is fixed at 1990 level.

7. 民生業務部門

7.1 エネルギー需要構造の解析

民生業務部門におけるエネルギー需要構造を分析し、式4で表される要因に分解した。

$$\text{床面積} \times \text{床面積あたり用途別エネルギー消費} \times \text{エネルギー消費効率} \quad (4)$$

シナリオ0~4(2010年)のいずれにおいても床面積の推計値には同じ値を用い、活動レベルの違いは床面積あたりエネルギー需要量によって与えた。各シナリオの活動レベルは表14に示した通りである。2010年における床面積の推計は、過去のトレンドを参考に伸び率がやや鈍化するとして設定した。2010年BAUにおけるエネルギー需要量の推計は、過去における用途別エネルギー需要伸び率をもとに行なった。

7.2. エネルギー消費効率の改善見通し

民生業務部門における省エネ技術を特定し、省エネ率および2010年までの導入量を設定し、各技術によるエネルギー消費削減量を得た（表 15）。

7.3. シナリオ別推計結果

シナリオ別の推計結果を表 16 に示した。

Table 14 : Trends and prospects of energy consumption per floor-space by end-use type [Mcal/m²/year]

Year	Power etc.	Heating	Hot water	Cooking	Cooling
1980	63.0	101.3	84.7	15.6	13.5
1985	74.7	80.0	70.4	16.3	17.2
1990	92.4	80.7	66.9	17.9	22.2
1995	105.9	74.8	66.1	20.4	21.2
1996	108.3	69.5	64.3	21.2	19.7
1997	109.6	68.0	63.2	21.2	21.0
2010	141.8	59.7	59.2	27.4	21.0

Table 15 : Reduction potential in commercial sector [1000 ton-C/year]

Energy-efficient newly-constructed buildings	5,198
Improved efficiency of heat pump (Air-conditioner)	3,708
Improved efficiency of boiler (for hot water)	374
High-frequency fluorescent light	1,587
Task-ambient lighting	702
Computer (Desktop -> Notebook)	730
Insulation of vending machines	249
Improved efficiency of other electric appliances	929
Total	13,477

Table 16 : Estimation results for commercial sector

Scenario	CO ₂ emission [million ton-C]	Changes from 1990
1990	33.9	0%
Scenario 0	59.4	+75%
Scenario 1	46.6	+37%
Scenario 2	30.7	-9%

* Emission factor for electricity is fixed at 1990 level.

8. 廃棄物処理部門

8.1. 廃棄物発生量の見通し

2010年BAUにおける廃棄物発生量を過去のトレンドから推計し、表 17 を得た。廃棄物発生量のうち、廃プラスチックおよび廃油の燃焼によるCO₂排出のみを計上した。

廃プラスチック発生量は約700万トンであり、これは鉄鋼業において石炭の代わりに用いられる廃プラの使用量（約130万トン）よりも多い。（なお、鉄鋼業において用いられる廃プラスチックからのCO₂排出は、鉄鋼業からの排出とはせず、廃棄物処理部門で一括計上した。）

8.2. ごみ発電導入量の見通し

ごみ発電の導入量を表 18 のように見込んだ。

Table 17 : Trends and prospects of Municipal Solid Waste

Year	Amount [1000ton]	Share by treatment types		
		Incineration	Recycle etc.	Direct landfill
1980	43,950	60.4%	2.5%	37.1%
1985	43,470	70.6%	3.0%	26.4%
1990	50,440	74.4%	5.2%	20.4%
1995	50,690	76.2%	12.3%	11.5%
1996	51,100	77.1%	12.6%	10.3%
2010	59,100	80%	15%	5%

Table 18 : Parameters for waste power generation

Scenario #	Amount incinerated [1000 ton]	Calorific value [kcal/kg]	Diffusion rate for WPG	
			conv*	new**
1990	37,522	2,179	19%	0%
Scenario0	47,271	2,179	65%	15%
Scenario1	47,271	2,179	40%	40%
Scenario2	44,990	2,216	40%	40%
Scenario3	42,130	2,136	40%	40%
Scenario4	37,799	1,994	40%	40%

* Conventional technology: thermal efficiency at 10%

** Highly efficient technology: thermal efficiency at 20%

9. エネルギー転換部門

9.1. エネルギー転換部門での排出

エネルギー転換部門には、電気事業者、自家発電、熱供給事業者、都市ガス製造、コークス製造、石油精製、エネルギー部門自家消費、送配電ロスがある。これらのうち、熱供給事業者およびエネルギー部門自家消費によるCO2排出は、1990年度における排出量を各シナリオでの排出量として用いた。都市ガス製造、コークス製造によるCO2排出は、製品（都市ガス、コークス）に転嫁させた。すなわちエネルギー転換時のCO2排出を含めた排出係数を都市ガス、コークスに対して設定した。石油精製においては、投入原料中の炭素はすべて製品に保持されると想定し、CO2排出を0とした。自家発電による排出は、自家発電を行う各最終需要部門からの排出として計上した。排出量の算定にあたっては1990年度の排出係数を用いた。

電気事業者、送配電ロスについては、次項で述べる。

Table 19 : Maximum capacity of renewable powers in 2010

Type of renewable energy	[million kWh]
Solar photovoltaic for House	137,070
for Non-house	19,900
Wind	5,809

* source : Environment Agency(1992) : Handbook of mitigation technologies for global warming 5

Table 20 : Thermal efficiencies of power plants based on fossil fuels

Plant type	1990	2010
Coal	38.75%	43.75%
Oil	38.39%	43.39%
Existing LNG	38.94%	43.94%
New LNG	38.94%	46.94%

9.2. 電気事業者における排出

電気事業者による排出量の算定は、以下の手順により行った。

- 1) 発電必要量 (= 需要量 + 送配電ロス + 発電所自家消費) の算出
- 2) 電源別発電量の算出
- 3) 燃料消費量の算出
- 4) 燃料消費によるCO2排出量の算出

< 自家消費・送配電ロス >

自家消費及び送配電ロス率として1995年度実績値を用いた。この係数を用いて、最終需要部門における電力需要量から、発電必要量への換算を行った。

< 再生可能エネルギーの導入見通し >

太陽光、風力の導入可能量を表19のように設定した。

< 火力発電所発電効率の向上見通し >

火力発電所における発電効率を表20のように設定した。

< 各シナリオにおける電源構成の設定 >

各シナリオにおける電源供給方式を表21のように設定した。

シナリオ0では、1995年度における電力原単位を用いた。

シナリオ1では、再生可能エネルギー（水力、地熱、新エネルギー）を先に使い、これらで満たしきれない需要量の残りを、原子力および火力によって満たすとした。再生可能エネルギーは政府計画通りに導入されると想定した。原子力および火力の構成比率は、政府見通しと一致するとした。火力発電の発電効率は、表20で推計したように向上するものとした。

シナリオ2～4では、再生可能エネルギー（水力、地熱、新エネルギー）を先に使い、これらで満たしきれない需要量の残りを、排出原単位の少ない電源によって順に満たすとした（原子力、新設LNG火力、既設LNG火力、既設石油火力、既設石炭火力の順番）。再生可能エネルギーのうち、風力および太陽光の導入可能両については、表19で設定した導入可能量の1/4～1/1をシナリオ毎に導入量として設定した。原子力については、・原子炉の新設を停止、・稼働後30年を経た原子炉から順次廃棄、という想定に基づいて発電量を設定した。火力発電の発電効率は、表20で推計したように向上するものとした。

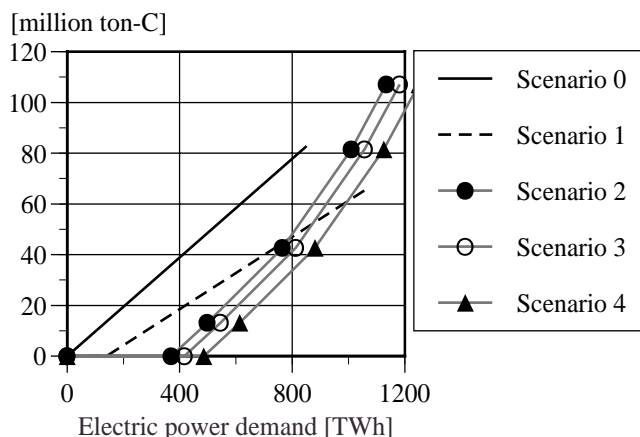


Figure 5 : CO₂ emissions - power demand response curve

< 各シナリオにおける排出量の算出結果 >

各シナリオにおける、二酸化炭素排出量-電力需要量 応答曲線を図5に示した。

Table 21 : Composition of energy sources for electric power generation

Type of energy	Capacity[10 ⁹ kWh] / (Priority)					
	1990	Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Waste power generation	0.6 (1)	4.6 (1)		4.6 (1)	4.6 (1)	4.6 (1)
Solar photovoltaic	0.0 (1)	0.0 (1)	9.0 (1)	44.2 (1)	88.5 (1)	157.0 (1)
Wind	0.0 (1)	0.0 (1)		2.9 (1)	5.8 (1)	5.8 (1)
Hydro	85.4 (1)	79.2 (1)	119.0 (1)	119.0 (1)	119.0 (1)	119.0 (1)
Geothermal	1.5 (1)	2.9 (1)	12.0 (1)	12.0 (1)	12.0 (1)	12.0 (1)
Nuclear	201.4 (1)	289.9 (1)	480.0 (2)	187.3 (2)	187.3 (2)	187.3 (2)
New LNG	0.0 (1)	0.0 (1)	0.0 (2)	128.0 (3)	128.0 (3)	128.0 (3)
Existing LNG	162.0 (1)	185.3 (1)	213.0 (2)	267.5 (4)	267.5 (4)	267.5 (4)
Oil	109.6 (1)	155.3 (1)	87.0 (2)	244.7 (5)	244.7 (5)	244.7 (5)
Coal	73.5 (1)	134.1 (1)	136.0 (2)	124.7 (6)	124.7 (6)	124.7 (6)