

世界主要国の二酸化炭素排出量削減シナリオの解析

河瀬玲奈¹・松岡 譲²・甲斐沼美紀子³・花岡達也⁴

¹正会員 工修 京都大学大学院助手 地球環境学堂 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

E-mail: rkawase@athehost.env.kyoto-u.ac.jp

²正会員 工博 京都大学大学院教授 地球環境学堂 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

³非会員 工博 (独) 国立環境研究所 社会環境システム研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

⁴正会員 工博 (独) 国立環境研究所 社会環境システム研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

本稿では、世界主要国における 2050 年以降までを対象としている長期シナリオのレビューを行い、その特徴を整理する。特に緩和シナリオに関しては、CO₂排出量削減の目標とその根拠、エネルギー需給構造、大幅削減の要因などに注目し、定量的な分析を行った。CO₂排出量の大幅削減を行うシナリオでは、エネルギー集約度の改善、炭素集約度の減少の速度を過去の変化速度と比較して約 3 倍以上とすることを想定しており、再生可能エネルギーと原子力のシェア率の合計が最低でも 30%を占める。また、基準年からの削減率が 40%以上と想定されているシナリオでは、炭素回収・隔離の導入が検討されている。部門別に見ると、産業・交通部門における削減寄与率が大きく、合計で約 60%を占める。

Key Words : Long-term scenario, CO₂ reduction target, Energy intensity, Carbon intensity, Carbon capture and storage

1. はじめに

許容可能な温度上昇、その気温上昇に対応する温室効果ガス(GHG)濃度に関する知見は、ますます厳しいものとなってきた。1996 年の EC(European council)では、安定化レベルに関して産業革命以前から温度上昇 2℃まで、CO₂濃度 550ppm を提案した¹⁾が、2005 年にイギリスのエクスターで開かれた温室効果ガスの安定化濃度に関する科学者会合以降、気温上昇を 2℃までに抑えるためには GHG 濃度を 475ppm に抑える必要があるとの報告^{2),3)}が続いている。

この GHG 濃度を達成するための CO₂排出量の世界排出許容量を各国に分配する方法については、Contraction&Convergence(C&C)、Multi-stage, Brazilian Proposal など多数提案されている⁴⁾が、いずれの方法を採用するにしても、先進諸国が現状から半減を超える大幅な削減を求められることとなる。途上国では、現状と比較して排出量の増加が許容される国もあるが、近い将来、排出量の削減が求められる国もある。

いくつかの国では、すでに 2020 年から 2050 年を対象とした中・長期シナリオを策定している。先進国におい

ては 2050 年までの GHG 排出量の削減量を半減以上にするなどの大幅削減を盛り込んだ気候安定化シナリオも作成されている。また、インド、中国など今後、人口の増加や経済発展とともに GHG 排出量の増加が見込まれる途上国を対象としたシナリオ研究もある。

河瀬ら⁵⁾は CO₂排出量の 60~80%削減を目標とする欧州 3 カ国(英・独・仏)の気候安定化に向けた長期シナリオを対象に、茅恒等式を拡張した要因分析法を用いて国全体の CO₂排出削減の分析を行った。本研究は、これに引き続いて行われたもので、対象国を広げ、長期シナリオのレビューを行い、その特徴を整理する。特に CO₂排出量削減を検討するシナリオにおいては、その目標とその根拠、エネルギー需給構造、大幅削減の要因などに注目し、定量的な分析を行う。

2. シナリオ

本節では、本研究で分析対象とする各国の長期シナリオについて整理する。なお、本研究では、2050 年以降までを推計しているシナリオを長期シナリオと定義する。

1 国レベルの長期シナリオ研究には、大きく分類して、

政府関連機関(省庁、委員会など)が発表したものと、研究機関(大学、研究所など)にて発表されたものがある。先進国の長期シナリオには、政府関連機関、研究機関双方から発表されたものがあるが、途上国のシナリオは、研究機関からの発表されたもののみである。

また、長期シナリオ作成の目的も大きく分けて2種類ある。一つは、GHG 濃度の安定化もしくは CO₂ 排出量などに定量的な目標値を設定して、その目標を達成するための道筋を検討することである(本稿では、気候安定化シナリオと称する)。シナリオは、backcast で作成され、多くの EU 諸国、インド、日本の一部のシナリオがこれに含まれる。特に EU 諸国では 1996 年の EC の提言をベースとして GHG 排出量の削減目標を設定しているが、近年の最新の知見をもとに、スウェーデンでは GHG 濃度で 550ppm、ドイツ、フランス、オランダでは、CO₂ 濃度 450ppm を目標としている。また、世界の排出許容量を各国に割り当てる方法としては、一人当たり排出量のある年において等しくすることを基本としている。日本のシナリオの中の気候安定化シナリオには 2010 年の排出量を基準としているものの他、CO₂ 排出量/GDP を

指標として目標を定めている計画^⑥もある。インドのシナリオは、炭素濃度 550ppm、650ppm での安定化を目標とし、累積炭素排出量に制約を与えている。

長期シナリオ作成の目的の他の一つは、目標は設定せず、気候変動対策の導入や、大幅な技術革新、社会変化を想定する将来像を作成し、これらの設定の元で将来の CO₂ 排出量やエネルギー消費量がどうなるのかを検討することである(本稿では、対策シナリオと称する)。アメリカやカナダ、中国のシナリオがこれに含まれ、forecast をベースとして作成される。カナダのシナリオでは、Environmental Etiquette, Markets, Innovation の3つを軸とし 4 つの社会像があり、削減目標はないものの、Come Together シナリオでは、世界的に制約が課せられるであろう世界を描いており、CO₂ 排出量は 53%減少する。また、中国のシナリオは、2100 年までを対象に GDP と人口をドライビングフォースとし、異なった成長率の組み合わせと技術の R&D や環境対策の導入などを主要な項目に 6 つのシナリオを作成している。アメリカのシナリオでは、国内で排出量取引を行うことを想定している点が他国のシナリオと異なる点である。

表-1 長期シナリオの特徴

国・機関	GHG 排出量の削減目標	CO ₂ 排出量変化* (2000-2050)	シナリオの数				
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
イギリス ⁷⁾	CO ₂ : 550ppm CO ₂ : 現状から-60%	-45, -60, -70%	3	12	9	9	0
ドイツ ⁸⁾	CO ₂ : 450ppm GHG:1990 年から-80%	-75%	1	7	6	2	4
フランス ⁹⁾	CO ₂ : 450ppm 0.5 tC /cap	-70%	1	9	5	2	1(1)**
スウェーデン ¹⁰⁾	GHG: 550ppm 4.5 tCeq/cap	約 -50%	--	--	--	--	--
オランダ ¹¹⁾	CO ₂ : 450ppm GHG: 1990 年から-80%	-75%	2	2	2	1	2
アメリカ ^{12),13)}	年 CO ₂ 排出許容量の設定	-46%	4	7	3	3	0
	--	-15%	1	4	0	0	0
カナダ ¹⁴⁾	--	-53%	4	4	1	1	0(2)
日本 ^{15),16)}	--	-72%	2	4	0	0	0
	CO ₂ : 2010 年から-40%	-45%	1	2	2	1	1
中国 ¹⁷⁾	--	+60%	6	6	0	0	0
インド ¹⁸⁾	C 濃度 : 550-650 ppm	+196%	1	6	2	0	0

(1) ストーリーラインもしくはドライビングフォースのセットの数

(2) シナリオの数

(3) 気候安定化シナリオの数

(4) 炭素回収・隔離(CCS)の導入を想定したシナリオの数

(5) 原子力の廃止を想定したシナリオの数

* 2050 年の排出量が最も小さいシナリオについて表記

** [] 内の数字は、GHG 排出量の削減目標を含まないシナリオで(5)の項目に該当するシナリオの数

2050 年の将来像の描き方については、基準年(2000 年)からの社会・経済システムの経年変化を示し、投資の変化の様子や、水素エネルギーの導入率の変化などを明示的に表現しているシナリオもあるが、2050 年の将来像のみを描いているシナリオもある。スウェーデンでは、目標設定は行っているものの定量的なシナリオ構築には至っていない。

表 1 に各国の長期シナリオの特徴をまとめた。(以下、気候安定化シナリオと対策シナリオを合わせて、緩和シナリオと称する。)

3. CO₂ 排出量変化の分析

(1) CO₂ 排出量の分析

CO₂ 排出量の変化を算出するにあたり、変化率を求める基準をどこに設定するのかにより変化率の大きさは異なる。従って、気候安定化シナリオにおいて、基準年からの削減目標が同じであっても、その実質の削減率が等しいとは限らない。先進国においては、BaU シナリオにおける 2050 年の CO₂ 排出量が 2000 年の排出量よりも小さい国としては、ドイツ、イギリス、日本が挙げられ、基準年からの削減率よりも、BaU シナリオからの削減率の方が約 5% 小さい。一方、フランス、アメリカは、BaU シナリオにおいても 2000 年以降も CO₂ 排出量が増加し続け、2050 年における BaU シナリオからの CO₂ 排出削減率は、基準年からの削減率よりも約 10% 高い。

途上国のインド、中国では、緩和シナリオであっても 2000 年以降 CO₂ 排出量は増加し続け、中国では 2050 年において最も CO₂ 排出量が小さいシナリオの 2000 年からの増加率は 60% であり、この排出量は BaU シナリオのそれと比較すると、15~59% の削減率となる。一方、インドでは、BaU シナリオの CO₂ 排出量は 2000 年の排出量の 4 倍となる。また、大気中炭素濃度を 550ppm, 650ppm に安定化させることを盛り込んだシナリオでは、それぞれ 3 倍、3.7 倍となり、BaU シナリオからの削減率は、30%、13% となる。

今後 50 年を対象とする長期シナリオの CO₂ 排出量の変化要因を把握するため、CO₂ 排出量を式(1)を用いて表す。

$$\sum_i C_i = \sum_k \sum_j \sum_i s_{j,k} \cdot c_j \cdot t_{j,k}^{-1} \cdot \delta_{j,k} \cdot e_{k,i} \cdot x_i \cdot D \quad (1)$$

i: 部門(産業、家庭、業務、交通)

j: 一次エネルギー種(石炭、石油、ガス、原子力、バイオマス、その他の再生可能エネルギー)

k: 二次エネルギー(石炭、石油製品、ガス、バイオマス、その他の再生可能エネルギー、電力、水素)

C: 部門 *i* の CO₂ 排出量

s_{j,k}: エネルギー *j* からエネルギー *k* を製造する際の炭素回収・隔離による残留率

c_j: エネルギー *j* の CO₂ 排出量原単位

t_{j,k}: エネルギー *j* からエネルギー *k* への転換効率

δ_{j,k}: エネルギー *k* に占めるエネルギー *j* から生産されたエネルギー *k* の占める割合

e_{k,i}: 部門の *i* におけるエネルギー *k* のエネルギー集約度

x_i: 社会効率 = 部門 *i* の活動量 / GDP

D: GDP

(2) CO₂ 排出量の変化

CO₂ 排出量の変化要因は、式(1)より大きく分けて、炭素回収・隔離(CCS)、炭素集約度、エネルギー集約度、GDP の 4 つの要因に分解することが出来る。ここで、いずれの国においても GDP は増加することが想定されているため、CO₂ 排出量が基準年と比較して減少する場合、CO₂ 排出量の変化率に GDP の増加率分を加えた変化率分を、他の 3 要因により削減することになる。

図-1 にいくつかの国の BaU シナリオ、及び緩和シナリオにおける CCS、炭素集約度、エネルギー集約度の変化率を年率で示した。同率の削減目標を設定しているシナリオが一つの国で多数ある場合には、それらの平均を取った。中国については、“Mit”で示されるシナリオは、対策シナリオの平均値である。また、図中の括弧内の数字は、2000 年から 2050 年までの CO₂ 排出削減率である。

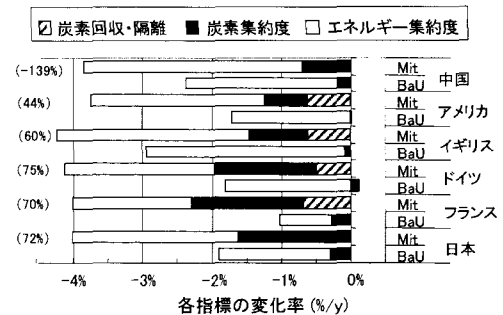


図-1 炭素回収・隔離、炭素集約度、エネルギー集約度の変化率

BaU シナリオ、緩和シナリオともに、今後 50 年のエネルギー集約度の変化が大きく見積もられており、CO₂ 排出量減少の大きな要因となっていることが分かる。また、対策シナリオと比較して、BaU シナリオでは、炭素集約度の変化率が非常に小さく、ドイツ、アメリカでは、炭素集約度の変化率は増加している。緩和シナリオでは、国により CO₂ 排出量の削減目標は異なるが、想定されている GDP の成長率も異なり、これらを合わせた実質的

な CO₂ 排出量の削減率は、いずれの国も約 4% となっている。その内訳については、エネルギー集約度が約半分を占め、残りを炭素集約度と、CCS で賄っている。また、炭素集約度、エネルギー集約度ともに、その変化速度は、歴史的な実績の約 3 倍以上となっている。

(3) CO₂ 排出量の変化要因

a) 炭素回収・隔離

CO₂ 排出量の大幅削減に向けては、CCS は非常に重要な対策の一つとして位置付けられている。図-2 に CO₂ 排出削減量に占める CCS の割合と基準年からの CO₂ 削減率の関係を示す。CCS の導入は基準年からの CO₂ 削減率が 40% を超えると導入される傾向にあることが分かった。また、その率は、同じ CO₂ 削減率であっても幅があり、基準年からの CO₂ 削減率を 80% と設定しているシナリオであっても CCS の導入を想定していないものもある。一方で、45% の削減率であっても、その削減量のうち 65% を CCS により削減することを想定しているシナリオもある。CCS を導入しているシナリオでは、削減量のうち 20~50% を CCS により削減することを想定しているシナリオが多い。

国別にみると、アメリカ、イギリス、オランダでは、CO₂ 排出量の削減目標を盛り込んでいるシナリオすべて CCS の導入を想定していることが特徴であった。

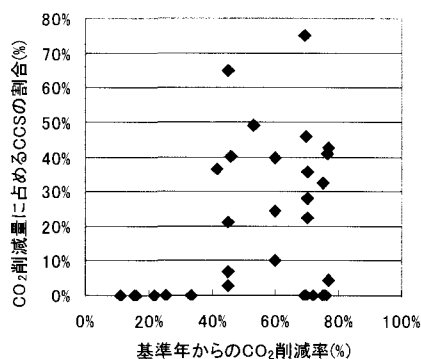


図-2 CCS 導入の割合と CO₂ 削減率

b) 炭素集約度

炭素集約度を減少するには、低炭素エネルギーである原子力や再生可能エネルギー(バイオマス、その他の再生可能エネルギー)のシェア率が大きな影響を与える。図-3 に一次エネルギーに占める原子力、再生可能エネルギーのシェア率を基準年からの削減率と共に示した。40% 以上の削減率が想定されているシナリオでは、原子力と再生可能エネルギーのシェア率の合計は約 30% 以上となっており、再生可能エネルギーは、その内 10% 以上を占める。

再生可能エネルギー、原子力の別にみると、再生可能エネルギーでは 70% 以上、原子力では 60% 以上のシェア率を占めるシナリオもある。

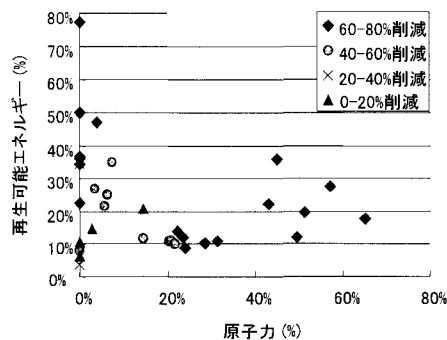


図-3 低炭素エネルギーの導入率

2050 年における低炭素エネルギー量を 2000 年のそれと比較すると、再生可能エネルギーは、先進諸国ではイギリスで約 13 倍、ドイツの再生可能エネルギー促進シナリオで 11 倍となっている他は、5 倍以下に留まっている。

一方、原子力エネルギーは、原子力利用の拡大を想定しているシナリオでも 3 倍の増加に留まっている。途上国では、再生可能エネルギーの増加は 5~10 倍、原子力の伸びは、インドで 13 倍、中国では 30~68 倍までの範囲で検討されている。

原子力、再生可能エネルギーは、そのほとんどが電力生産に使用される。2050 年における二次エネルギーに占める電力シェアは、2000 年において約 20% 前後であるのに対して、25~60% となっている。

c) エネルギー集約度

エネルギー集約度は、一次エネルギー/GDP と定義されるが、分子である一次エネルギー量の変化をみると、2050 年においてドイツで 2000 年比約 50% にまで減少しているシナリオが 2 つある他は、気候安定化シナリオでは 70~100%、対策シナリオおよび BaU シナリオでは 80~130% の範囲内となっている。アメリカおよびカナダのシナリオの中には、150% 前後となるシナリオもあり、中国では、約 3 倍となっている。一方 GDP の成長率に関しては、過去 10 年間の伸び率とほぼ同程度の伸び率が想定されている。

(4) 部門別の CO₂ 排出削減の分析

a) 部門別の削減寄与率

緩和シナリオについて CO₂ 排出量変化を部門別に寄与率の大きさを求めると、国の区別なく産業・交通部門の寄与率が大きく、合計で約 60% を占めることが表-2 より分かる。これは、基準年におけるこの 2 部門からの排出量が全体の排出量に占める割合が大きいことが原因の

一つである。二つ目の要因としては国全体での CO₂削減要因分解において、エネルギー集約度の改善が最も大きな削減要因であったことが分かったが、他部門と比較して産業・交通部門のエネルギー集約度（各部門でのエネルギー消費量を部門ごとの活動量で除したもの）の改善が大きいことも要因である。CCSは、主に電力生産、水素生産、産業部門における大規模排出源での導入が想定されている。電力使用に起因するCCSによる削減率の大きさは各部門とも大きな差は無いが、直接回収を行う産業部門と水素利用に起因する交通部門では、CCSによる削減寄与が大きいこともこれらの部門の削減寄与率が高い原因として挙げられる。各部門ごとに基準年と対象年の削減率をみると、交通部門が一番大きく、90%を超えるシナリオも多く見られ、CO₂排出量削減には交通部門における削減対策が重要視されていることが分かる。フランスのシナリオでは、特に交通部門の削減寄与率が高いが、これは、活動量の伸び率の増加に加えて、エネルギー消費量が40%前後減少することが想定されているためである。フランスのシナリオの産業部門は、他国と比較してその削減寄与率は小さい。これは、産業部門におけるエネルギー消費量が増加しているためである。

表-2 部門別のCO₂排出量削減寄与率 (%)

国	シナリオ	産業	家庭	業務	交通
イギリス	BL60	28.9	27.2	17.5	26.4
	WM60	32.7	28.2	16.2	23.0
	GS60	32.5	26.8	18.1	22.5
フランス	F4 nuclear	20.6	21.1	10.6	47.8
	F4 RCogN	24.8	19.1	9.7	46.4
	F4 H2	22.8	25.4	12.2	39.6
日本	case A	35.5	18.9	15.8	29.8
	case B	33.8	18.9	14.9	32.5
	case C	36.0	18.0	13.6	32.5

一方、業務部門は、いずれの国においても寄与率が小さいが、これは排出量に占める割合が小さいことに加えて、活動量の伸びも大きく、エネルギー消費量が2000年と比較して大きく減少していないことが大きな要因である。イギリスのシナリオでは、他国に比べて家庭部門の削減寄与率が高いが、これは社会効率が大きく減少していること、つまり、GDPの伸び率に比べて家庭部門におけるエネルギー需要の伸びが2050年において20%の増加しか想定されていないことが大きな要因である。フランスのシナリオでは、業務部門は、GDPの伸び率1.7%を上回る活動量(業務用床面積)の伸び率約2%が想定されている。日本のcase A~Cでは、他の部門の活動量が2000年では、2050年と比較して3~20%減少しているにも係らず、業務部門では30%増加していることが大きな特徴である。また、産業・交通部門では、エネルギー集約度が2000年と比較して、30%程度になっているの

に対して、家庭・業務部門では、約60%に留まっている。

b) 交通部門における水素エネルギー

水素エネルギーは、そのほとんどが交通部門において石油に代替するエネルギーとして使用される。例えば、2050年において交通部門で消費するエネルギーのうち、イギリスのWM60シナリオでは59.0%、アメリカのTechnology Drives the Market + Challenge and Responseシナリオでは18.2%を水素が占める。

生産には、イギリスとドイツでは天然ガスが主なエネルギー源であり、アメリカでは天然ガスの他、再生可能エネルギーや石炭も合わせて使用される。フランスでは電力から生産されるなど、国により水素生産には、特徴が表れる。また、シナリオによっても水素生産のためのエネルギーには差がある。水素エネルギーの使用のためには、インフラの整備が必要であるが、図-4より、2020年辺りから水素エネルギー使用に急激な増加が見られ、2050年では二次エネルギーに占める割合が20%を超えるシナリオもある。

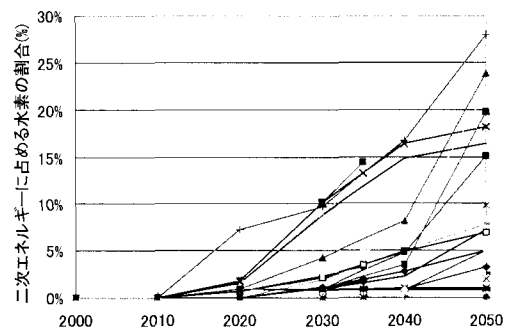


図-4 水素エネルギー導入の経年変化

5. まとめ

本稿では、世界主要国における2050年以降までを対象としている長期シナリオのレビューを行い、その特徴を整理した。気候安定化シナリオではCO₂濃度を450~550ppmの範囲で安定化させることを前提に国レベルの排出量削減目標が設定されており、先進諸国では50%を超える大幅な削減となっている。また、GHG排出量の削減目標を定めていない国のシナリオにおいても、対策の導入などにより40~70%に相当する削減を含むシナリオが検討されている。途上国においても、CO₂排出量の削減が検討されており、その排出量はBaUシナリオと比較すると13~60%削減となる。

緩和シナリオにおけるCO₂排出量削減の主な要因は、エネルギー集約度と炭素集約度の大幅な改善であり、その改善の速度は過去の実績と比較して約3倍以上となる

ことが想定されている。また、基準年からの削減率が40%以上と想定されているシナリオで CCS の導入が検討されていることが分かった。炭素集約度の減少に大きく影響する再生可能エネルギーと原子力のシェア率の合計は、大幅削減が行われるシナリオでは最低でも30%を占めている。部門別に削減寄与率をみると、産業・交通部門の占める割合が大きく、合計で約60%を占めることが分かった。

参考文献

- 1) Council of the European Union : 1939th council meeting, Environment, Luxembourg, 1996.
- 2) Meinshausen, M. : On the Risk of Overshooting 2°C, Avoiding Dangerous Climate Change, Exeter, UK, 2005.
- 3) 脇岡靖明 : 地球温暖化抑制のための温室効果ガス安定化レベルの検討, 季刊 環境研究, 日立環境財団, No.138, pp. 67-76, 2005.
- 4) Den Elzen, M.G.J., Berk, M.M., Lucas, P., Eickhout, B., van Vuuren, D.P. : Exploring climate regimes for differentiation of commitments to achieve the EU climate target, RIVM report 728001023/2003, Bilthoven, 2003.
- 5) 河瀬玲奈, 島田幸司, 松岡 譲 : 要因分析法を用いた中長期脱温暖化シナリオの検討, 第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, pp. 81-86, 2004.年 10 月.
- 6) 超長期エネルギー技術研究会 : 超長期エネルギー技術研究会 中間報告骨子案, 2005.
- 7) DTI in UK : *Energy white paper "Our energy future - creating a low carbon economy"*, London , 2003.
- 8) Deutscher Bundestag in Germany : Enquete commission on sustainable energy supply against the background of globalisation and liberalisation, 2002.
- 9) MIES, Radanne, P. : Reducing CO₂ emissions fourfold in France -Introduction to the debate-, 2004.
- 10) MOE in Sweden : The Swedish Climate Strategy Summary of Gov. Bill 2001/02:55, Stockholm, 2003.
- 11) Treffersa, D.J., Faaija, A.P.C., Spakman, J., Seebregts, A. : Exploring the possibilities for setting up sustainable energy systems for the long term: two visions for the Dutch energy system in 2050, *Energy Policy*, Vol. 33, pp. 1723-1743, 2005.
- 12) Hanson, D.A., Mintzer, I., "Skip" Laitner, J.A., Leonard, J. A. : Engines of Growth: Energy Challenges, Opportunities, and Uncertainties in the 21st Century, Argonne National Laboratory, 2004.
- 13) Hanson, D.A., "Skip" Laitner, J.A. : An integrated analysis of policies that increase investments in advanced energy-efficient/low-carbon technologies, *Energy Economics*, Vol. 26, pp. 739-755, 2004.
- 14) Natural Resources Canada : Energy technology futures, 2000.
- 15) Masui, T., Matsuoka, Y. : Scenario approach toward a low-carbon society in Japan. Environmental Economics and Policy Studies, Springer. Special. Issue, 2005. (Forthcoming)
- 16) (社)日本原子力産業会議, 原子炉開発利用委員会 : 2050 年の原子力カービジョンとロードマップ, 2004.
- 17) Jiang, K., Xiulian, H. : Energy and GHG Emission Scenario of China, Proceeding of Second Conference on Climate Change in China, Beijing, 2003.
- 18) Nair, R., Shukla, P.R., Kapshe, M., Garg, A., Rana, A. : Analysis of long-term energy and carbon emission scenarios for India, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 8, pp. 53-69, 2003.

ANALYSIS ON NATIONAL LEVEL CO₂ EMISSION REDUCTION SCENARIOS IN MAIN COUNTRIES

Reina KAWASE, Yuzuru MATSUOKA, Mikiko KAINUMA

In this paper we review the scenarios whose time horizon are up to and beyond the year 2050, and attempt to clarify their characteristics. Regarding mitigation scenarios in particular, we pay special attention to the targets and their grounds for reductions in CO₂ emissions. We also conduct a quantitative analysis, such as the structure of energy supply and demand, and the factors behind substantial reductions. In mitigation scenarios, it is assumed that energy intensity and carbon intensity will be improved at a pace three times those of the historical change rates in order to achieve the reduction targets. The combined share of low-carbon technologies such as nuclear and renewables is at least about 30%, and CCS technologies tend to be introduced when the CO₂ emission reductions rate from base year surpasses 40%. Sector-wise decomposition showed the industrial and the transportation sectors have major contribution of CO₂ emission reduction, and the combined share is about 60%.