

研究論文

CO₂大幅削減に向けた 欧州諸国の取り組みとわが国の挑戦

Challenges of EU Countries and Japan for Ambitious CO₂ Emission Reduction

河瀬 玲奈*・松岡 譲**・藤野 純一***
Reina Kawase Yuzuru Matsuoka Junichi Fujino

(原稿受付日2005年5月18日, 受理日2005年10月17日)

Abstract

To achieve the stabilization of greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere, the international community needs to intensify its long-term efforts. Many EU countries have released national long-term scenarios toward 2050, and their ambitious targets for CO₂ emission reduction are aiming at a decrease of more than 50% of today's emission. In April 2004, Japan began a research project on its long-term climate policy. This paper discusses the long-term scenarios in other countries and the medium-term scenarios in Japan to support the development of a Japan's long-term climate stabilization scenario. In this study, CO₂ emission is decomposed with an extended Kaya identity (indexes: CO₂ capture and storage, carbon intensity, energy efficiency, energy intensity, economic activity) and a Reduction Balance Table is developed.

In order to achieve the ambitious target of a 60-80% reduction, the pace of energy intensity improvement and carbon intensity decrease must be 2-3 times greater than the previous 40-year historical change, and the change rates need to be maintained for 50 years.

1. はじめに

地球温暖化対策は京都議定書を契機として徐々に進展している。しかし、これらの取り組みは短期的目標達成に向けたものであり、気候変動枠組み条約の究極の目標である気候安定化のためには、長期にわたる総合的な取り組みが必要である。1996年、European Commission (EC) は、気候安定化の目標として、CO₂濃度550ppm、温度上昇2℃までを提示した。多くのEU諸国は、目標やバーデンシェアリングアプローチに多少の差はあるものの、この提案に基づき、2050年に向けた国レベルの長期シナリオを策定している。その温室効果ガス削減目標は、イギリスでは60%削減、ドイツ、フランスでは、それぞれ80%、75%削減と、半減を超える大胆なものである。

表1に、各国の長期目標を示した。

日本においても、2004年度より気候安定化に向けた長期シナリオ策定作業が始まった¹⁾。本研究では、既往の諸外国の気候安定化に向けた長期シナリオおよび日本諸グループの長期見通しを分析し、日本の長期シナリオ作成の支援

をすることを目的とする。分析にあたっては、茅恒等式を拡張した要因分析法を用いた。この方法は、将来シナリオの全体像を簡単に把握することが可能であり、これまでも将来シナリオの社会・経済フレーム、およびエネルギー需給構造とCO₂排出量変化の係りに関する議論^{12), 13)}に多用されてきた。本研究では、マクロ的な社会・経済活動指標の変化をドライビングフォースとし、それに起因する排出関連指標（炭素集約度、エネルギー集約度など）の変化プロセスを把握した。そして、排出量変化要因を年率で表示した削減バランステーブルを作成し、これに基づき、各指標の歴史的な変化速度の把握、各国シナリオの特徴の比較を行い、気候安定化に向けた長期シナリオの実現可能な範囲を把握した。

2. CO₂排出量変化の要因分析法

2.1 基本式

CO₂排出量を式(1)で表す。

$$C = \frac{C}{CS} \cdot \frac{CS}{EP} \cdot \frac{EP}{EF} \cdot \frac{EF}{A} \cdot A = s \cdot i \cdot e_p \cdot e_f \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

C: CO₂排出量 (炭素回収・隔離を行った後の排出量)

CS: CO₂潜在排出量

EP: 一次エネルギー供給量

EF: 最終エネルギー消費量

*京都大学大学院地球環境学地球益学廊助手

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

** 教授

〒606-8501 京都市左京区吉田本町

*** (独)国立環境研究所 社会環境システム研究領域研究員

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

第24回エネルギー・資源学会研究発表会にて一部発表

表1 各国の気候安定化のための長期目標

国	機関	基準年	目標年	目標	報告書
フランス	温暖化対策関係省庁 タスクフォース	1990	2050	CO ₂ : 75%削減	Reducing CO ₂ emissions fourfold in France: Introduction to the debate (MIES, 2004) ¹⁾
ドイツ	議会諮問委員会	1990	2050	GHG : 80%削減	Enquete commission on sustainable energy supply against the background of globalisation and liberalisation (Deutscher Bundestag, 2002) ²⁾
イギリス*	産業貿易省	2000	2050	CO ₂ : 60%削減	Energy white paper (DTI, 2003) ³⁾
	王立環境汚染委員会	1997	2050	CO ₂ : 約60%削減	Energy - The changing climate (RCEP, 2000) ⁴⁾
オランダ	国立公衆衛生研究所 他	1990	2050	GHG : 80%削減	Climate options for the long term (COOL) (Tuinstra et al., 2002) ⁵⁾
スウェーデン	環境省	1990	2050	GHG : 50%削減	Swedish climate strategy (MOE, 2003) ⁶⁾
フィンランド	フィンランド技術庁	1990	2030	CO ₂ : 20%削減	Technology and climate change CLIMTECH 1999- 2002 (NTA, 2002) ⁷⁾
スイス	スイス工学アカデミー	1990	2050	化石燃料使用 : 50%削減	CH50% - Halving Switzerland's fossil fuel consumption (SATW, 1999) ⁸⁾

*「Energy - The changing climate」⁴⁾では1997年レベルから60%削減としている。「Energy white paper」³⁾の元資料となった「Options for a low carbon future」⁹⁾では2000年レベルから60%削減を目標としているが、1997年と2000年のCO₂排出量は、共に148MtCである¹⁰⁾。

A: 活動量

s: 炭素回収・隔離を行った後の残留率

i: 炭素集約度

e_p: 1 / エネルギー転換効率

e_f: 最終消費部門のエネルギー集約度

したがって、CO₂排出量の変化率は式(2)となる。

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta i}{i} + \frac{\Delta e_p}{e_p} + \frac{\Delta e_f}{e_f} + \frac{\Delta A}{A} + \text{交絡項} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、式(2)の右辺はそれぞれ、炭素回収・隔離(CCS)、一次エネルギーミックス、エネルギー転換効率、最終消費部門のエネルギー効率、活動量の変化に起因する排出量変化率である。なお、対象としたシナリオの炭素回収・隔離には、森林による吸収は考慮されていない。また、CO₂排出量は経済活動と高い相関があるが、本論文で取り上げたシナリオでは、国全体の経済活動量を示す代表的な指標としてGDPを用いていることから、活動量としてGDPを用いた。

2.2 炭素集約度変化率のエネルギー種別分解

一次エネルギーミックス変化に起因するCO₂排出量変化率について、エネルギー種別に寄与の大きさを表現するため、式(2)の第二項を式(3)のように分解する。

CO₂を排出しない原子力、水力、新エネルギー他は、第一項が0であり、一次エネルギーシェア率が増加すると第二項が負の値となりCO₂排出量の削減に寄与する。一方、CO₂を排出する石炭、石油、天然ガスはCO₂排出シェア率が増加すると第一項が正の値を取り、一次エネルギーシェア率が増加すると第二項は負の値を取る。したがって、例えば化石燃料の中でCO₂排出量原単位の小さい天然ガスの供給量変化がCO₂排出量の増加に寄与するか、削減に寄与するかは、第一項と第二項の変化量の相対的な差に依存する。

$$\begin{aligned} \frac{\Delta i}{i} &= \frac{\Delta CS}{CS} - \frac{\Delta EP}{EP} + \text{交絡項} \\ &= \sum_j \left(\frac{\Delta CS_j}{CS} - \frac{\Delta EP_j}{EP} \right) + \text{交絡項} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

CS_j: 第j種一次エネルギーからのCO₂排出量

EP_j: 第j種一次エネルギー供給量

サフィックスj: 一次エネルギー種 (石炭、石油、天然ガス、原子力、水力、新エネルギー他)

3. 各国の気候安定化シナリオの分析

3.1 分析対象のシナリオ

本研究では、2章に示した分析を可能にするデータを集めたイギリス、ドイツ、フランス、および日本のシナリオについてCO₂排出量変化の分析を行った。

イギリス政府は、王立環境汚染委員会の「CO₂濃度は、550ppmに安定化させるべきであり、世界排出量を2050年を収束年としContraction&Convergenceにより分配する場合、イギリスは、2050年頃までに現在レベルから約60%削減させなければならない」との提言⁴⁾を受け、エネルギー白書³⁾でのCO₂排出量の削減目標を60%としている。ただし、この白書作成のベースとなった分析では、Business as Usual (BaU) シナリオとして、Baseline, World Markets, およびGlobal Sustainabilityの3種類のシナリオを開発し、それぞれに対して、CO₂排出量を2000年レベルから45%、60%、70%削減するシナリオを策定している。

フランスの温暖化対策関係省庁タスクフォースは、最新の知見をもとに気温上昇2℃に対応するCO₂濃度として、1996年のECの提言より厳しい450ppmを採用し、2050年における世界排出量を50億tCにまで削減するべきで、これは、世界人口を約100億人と仮定すると、一人当たり0.5tCにな

表2 分析対象のシナリオの特徴

国	機関	期間	シナリオ名	特徴	
日本	環境省地球環境局 ¹⁴⁾ 経済産業省総合資源 エネルギー調査会需 給部会 ¹⁵⁾	1990	A1, A2, B1, B2	BaU	
		-2030	新エネ進展, 省エネ進展 原子力high, 原子力low 経済成長high, 経済成長low 対策組み合わせ	新エネルギーの進展, 省エネの進展 原子力の導入の率の相違 高成長, 低成長を想定 経済成長high, 省エネ進展, 原子力low	
	市民エネルギー調査 会 ¹⁶⁾		ゆでガエル いきガエル きりガエル	現状延長 今日の経済社会のもとで環境と経済の達成を目指す 社会経済パラダイムの転換を先取りした「とき」の豊かな社会	
		フランス タスクフォース ¹⁾ (MIES)	2000	w/o Eco	エネルギー効率の進歩無し, 燃料変化の更なる変化無し
			-2050	Eco w/o fuel switching Supply Gas turb F4 Nuclear F4 RCogN F4 Sequestr F4 w/o N+Seq F4 H2	エネルギー効率の進歩, エネルギーミックスのシェア変化無し 気候制約による供給側の燃料転換あり 発電におけるガスタービンシェア40% 原子力の増加, 交通も含めて電力導入 原子力の継続的使用, CHPと再生可能エネルギーの発展 大規模な化石燃料使用の維持+CCS 原子力廃止+CCS 原子力を使用した水素生産ネットワークの構築
	ドイツ 議会諮問委員会 ²⁾ (Enquete Commission)		2000	Reference (REF)	既存のエネルギー対策の継続, 2003年までの環境税, 一定のエネルギー税
-2050			Efficient Conversion (UWE) RES/EEU Initiative (RRO) Fossil-Nuclear Energy Mix(FNE)	化石燃料使用効率の向上, エネルギー税, 原子力の継続的使用の禁止+CCS 50%の再生可能エネルギーの導入, 原子力を段階的廃止, 効率向上 2010年以降に原子力施設の増設, 緩やかな省エネルギー対策	
イギリス 貿易産業省 ⁹⁾ (DTI)			2000	Baseline (BL) World Markets (WM) Global Sustainability (GS) BL45, WM45, GS45 BL60, WM60, GS60 BL70, WM70, GS70	社会の価値観変化無し, 既存の環境対策の継続 グローバル化の進展, 環境低配型社会, 化石燃料に依存 強力に集約化された環境対策, 環境重視型技術の革新 CO ₂ 45%削減 CO ₂ 60%削減 CO ₂ 70%削減

ると計算している¹⁾。2000年のフランスのエネルギー起源CO₂排出量は一人当たり1.8tCであることから、目標達成のためには、現在の一人当たりCO₂排出量の効率を3.6倍に上げることが必要であり、2050年におけるBaUと比較すると、4.6倍に上げることが必要である。BaUとして“w/o Eco”と名付けたシナリオを開発し、このシナリオに各種対策を導入した場合を検討するために“Eco w/o fuel switching”, “Supply”, “Gas turb”と名付けたシナリオを設定している。さらにCO₂排出量の75%削減を目標とするシナリオを5つ策定し、シナリオ名の頭にF4を付けている。

ドイツ議会は、気候変動および利用可能な資源、化石燃料の埋蔵量などに対する現在の科学的知見から、現在のエネルギー供給システムは持続可能ではないとの結論に至り、気候安定化のためには、先進国は2050年までにGHG排出量を80%削減する必要があると提言した²⁾。この提言の根拠としたBaUシナリオであるREFの他に、CO₂排出量の80%削減を目標とする3つのシナリオ(UWE, RRO, FNE)を策定している。なお、頑健なシナリオ構築のため、1つのシナリオに対し2つのモデルを使用して推計を行った。

日本のシナリオには、温室効果ガスの削減目標を設定したものはないが、2001年に環境省地球環境局が2030年を対象としSRESシナリオを土台としたシナリオ解析¹⁴⁾を行った。また、経済産業省総合資源エネルギー調査会が2030年までの長期エネルギー需給見通し策定作業を行っている¹⁵⁾。さらに市民エネルギー調査会は2030年までの温暖化抑制シナ

リオ¹⁶⁾を提案した。

表2に本研究で対象としたシナリオの一覧を示す。

3.2 主な指標の経年変化

本項目では、式(1)の主な項について2000年を100とした指標を用いて示すことで、各指標の過去40年間の経年変化と2000年から2050年までの期間において各シナリオで想定されている値の変化とを比較する。同じCO₂排出量の削減制約が課されているシナリオの中でも、指標の変化に振幅があることから、2000年から2050年までの各指標の変化についてはその範囲を示した。

GDPに対するCO₂排出量の比は、CO₂排出制約シナリオの間では国ごとの差がほとんどなく、12~18(2000年比)となっており、過去の変化速度と比較するとやや急な変化となっている。日本の対策シナリオについては、2030年において50~60の範囲であった。

図1では、最終消費部門のエネルギー集約度(最終エネルギー/GDP)を示した。CO₂排出量の大幅削減を行っているシナリオでは、GDPに対するCO₂排出量の比と同様にやや急な変化速度となっていることが分かる。

図2の1/エネルギー転換効率(一次エネルギー/最終エネルギー)では、シナリオにより非常に大きな幅がある。この指標は、最終エネルギーに占める電力シェアに大きく影響を受ける。これらシナリオにおける2050年の電力シェア率は、2000年において20%前後であるのに対して、26%~57%であった。過去の変化をみると、イギリス以外では

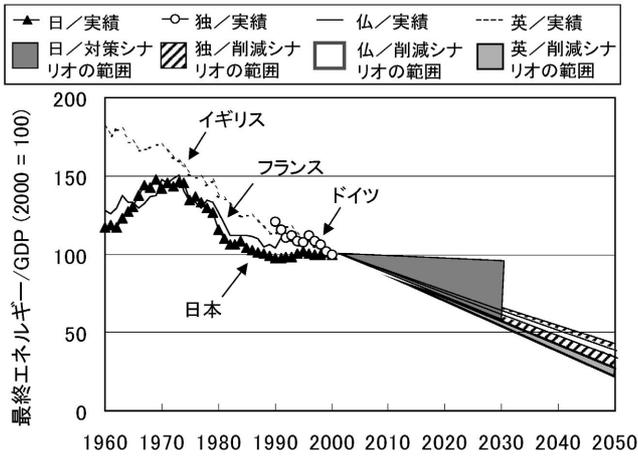


図1 最終消費部門のエネルギー集約度

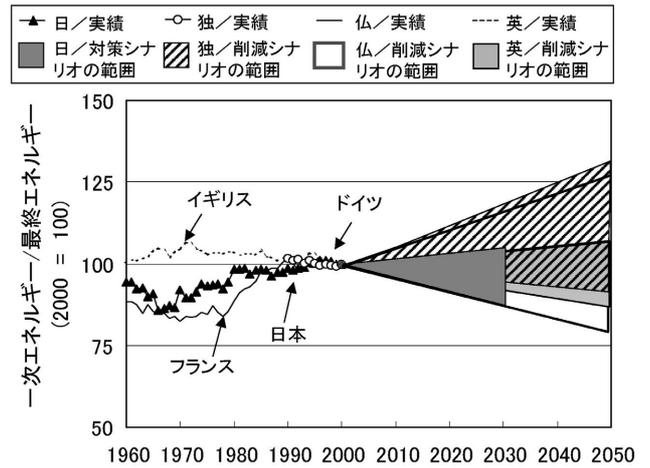


図2 1/エネルギー転換効率

徐々に効率が悪化している。これは、最終エネルギー消費において発電効率が30~40%である電力の割合が増加したことが大きな原因と考えられる。特に原子力を大幅に見込むシナリオで2000年以降、大きな伸びが見られる。(ただし、一次エネルギー換算についてはIEAに準じる。)

3.3 CO₂排出量変化の要因分析結果

CO₂排出量変化を式(2)、(3)に基づき要因分解したテーブル(削減バランステーブル)を表3に示す。分析期間の異なるシナリオを比較するため、各種要因の変化は期間内における年平均変化率を用いて表す。また、将来の変化が過去の変化速度とどの程度異なるのかを比較するため、過去40年間および過去10年間の分析結果も示した。日本のシナリオについては、1990年と比較して2030年でCO₂排出量の減少が見られるシナリオのみ、諸外国のシナリオについてはCO₂排出量削減目標が設定されているシナリオのみ示した。

(1) フランス

MIESのシナリオ¹⁾は75%削減を目標とし、CO₂排出量の年削減率は2.32~2.36%/yである。GDPの伸びを1.70%/yと想定しているため、その他の要因で約4%/yの速度でCO₂排出量を削減することになる。削減要因のうち最も大きな割合を占めているのはエネルギーミックス変化で、-2.29~-2.65%/yの変化率である。フランスでは一次エネルギーに占める原子力の割合が大きいため、原子力の廃止を想定したシナリオでは炭素回収・隔離の大幅導入も想定している。その場合の炭素回収・隔離による排出量変化の速度は-1.96%/yに達する。次に大きな割合を占めているのは最終消費部門の効率向上であり、GDPの伸びを相殺する大きさとなっている。

(2) ドイツ

議会諮問委員会のシナリオ²⁾では80%削減を目標とし、CO₂排出量の年削減率は2.73~2.83%/yとしている。GDPは過去10年間の成長率1.70%/yと比べてやや低い1.37%/yと設定している。最終消費部門の効率向上は約2.5%/yと

し、エネルギーミックス変化による削減は、炭素回収・隔離を想定していないシナリオの間でも1.28~2.73%/yと大きな幅がある。

(3) イギリス

イギリスのシナリオ³⁾では、60%削減のためには1.81%/yの速度で削減することが必要であるとしている。GDPの伸びを2.25%/yもしくは3.00%/yと設定してあるため、フランスと同様に、最終消費部門の効率改善を大きくすることにより、GDPの増加分を相殺させている。CO₂排出量目標を有するすべてのシナリオにおいて炭素回収・隔離を導入することが特徴であり、エネルギーミックス変化によるCO₂排出量の削減率は最大でも1.50%/yとしている。

(4) 日本

日本のシナリオ¹³⁻¹⁵⁾においては、CO₂排出量の目標を想定していないので、CO₂排出量の大きな削減はみられないが、CO₂排出量削減が比較的大きいシナリオをみると、最終消費部門での効率改善を大きくしていることが分かる。また、シナリオ全体を通して、転換部門での転換効率の改善を想定していることも特徴である。

(5) まとめ

いずれの国も、GDPの伸びを過去10年間の成長率とほぼ同程度と想定する一方で、最終消費部門の効率改善の速度を過去40年の2~3倍としている。これは、GDPの成長によるCO₂排出量の増加分を相殺し、またシナリオによってはそれ以上の改善速度を想定し、排出量削減の主要な原動力としている。他方、転換効率は悪化しているシナリオが多い。エネルギーミックス変化は炭素回収・隔離と大きく関係しており、炭素回収・隔離を想定していないシナリオでは、炭素集約度変化率は、過去の削減速度の2倍以上の速さとなっている。

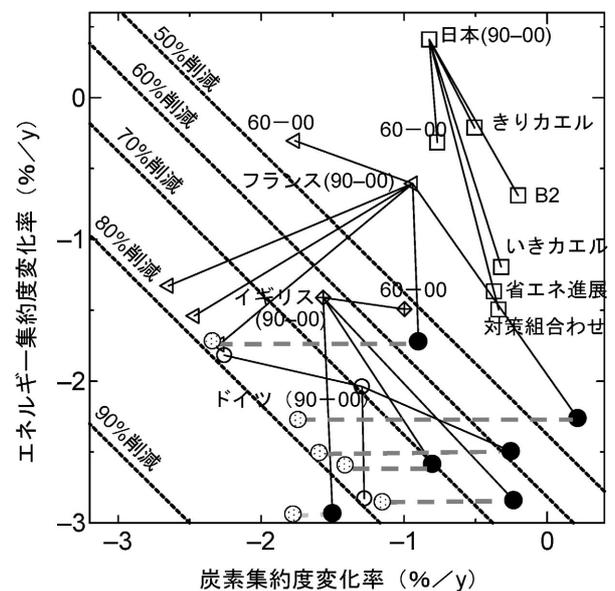
50年間に50~90%の削減を行うのに相当する削減速度は1.4~4.5%/yであり、目標達成のためには、この速度を今後50年にわたり継続しなければならない。イギリスは60%

表3 CO₂排出量の削減バランステーブル

対象国	機関	対象期間	シナリオ名	対期首 年変化 (%)	CO ₂ 年 変化率 (%/y)	炭素排出変化要因(%/y)					
						炭素回収 ・隔離	エネルギー ミックス	効率変化		活動量 (うち人口)	交絡項
								転換部門	最終消費		
日本		1960-2000	過去の実績	375.81	3.98	-	-0.77	0.14	-0.46	5.11 (0.75)	-0.05
		1990-2000		10.39	0.99	-	-0.82	0.12	0.29	1.42 (0.30)	-0.01
	環境省地球環境局	1990-2030	B2	-6.27	-0.16	-	-0.20	0.07	-0.76	0.74 (-0.27)	-0.01
	経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会	1990-2030	省エネ進展 経済成長low 対策組合わせ	-9.79	-0.26	-	-0.37	-0.12	-1.25	1.50 (-0.26)	-0.02
				-1.75	-0.04	-	-0.26	-0.11	-0.63	0.96 (-0.26)	-0.01
				-3.50	-0.09	-	-0.34	-0.15	-1.35	1.77 (-0.26)	-0.03
	市民エネルギー調査会	1990-2030	いきカエル きりカエル	-9.07	-0.24	-	-0.32	-0.28	-0.91	1.29 (-0.26)	-0.01
				-42.44	-1.37	-	-0.51	-0.16	-0.06	-0.66 (-0.26)	0.01
フランス		1960-2000	過去の実績	58.65	1.16	-	-1.76	0.31	-0.61	3.29 (0.65)	-0.06
		1990-2000		3.02	0.30	-	-0.94	-0.15	-0.45	1.87 (0.44)	-0.02
	MIES	2000-2050	F4 Nuclear	-69.43	-2.34	-	-2.47	0.36	-1.90	1.70 (0.15)	-0.04
			F4 RCogN	-69.75	-2.36	-	-2.29	0.17	-1.91	1.70 (0.15)	-0.03
			F4 Sequestr	-69.74	-2.36	-1.43	-0.90	0.09	-1.81	1.70 (0.16)	-0.02
			F4 w/o N+Seq	-69.26	-2.33	-1.96	0.21	-0.42	-1.84	1.70 (0.17)	-0.03
		F4 H2	-69.01	-2.32	-	-2.65	0.51	-1.84	1.70 (0.15)	-0.04	
ドイツ		1990-2000	過去の実績	-15.42	-1.66	-	-1.29	-0.17	-1.87	1.70 (0.36)	-0.03
	Enquete Commission	2000-2050	UWE-WI	-75.08	-2.74	-1.35	-0.25	-0.09	-2.40	1.37 (-0.38)	-0.01
			RRO-WI	-75.25	-2.75	-	-1.28	-0.15	-2.67	1.37 (-0.38)	-0.02
			FNE-WI	-74.97	-2.73	-	-2.26	0.52	-2.33	1.37 (-0.38)	-0.03
イギリス		1960-2000	過去の実績	-3.60	-0.09	-	-1.00	-0.01	-1.48	2.44 (0.32)	-0.05
		1990-2000		-6.95	-0.72	-	-1.57	-0.19	-1.22	2.30 (0.33)	-0.04
	DTI	2000-2050	BL60	-59.92	-1.81	-0.62	-0.80	0.03	-2.61	2.24 (0.19)	-0.05
			WM60	-59.92	-1.81	-0.28	-1.50	0.16	-3.09	2.99 (0.19)	-0.09
		GS60	-59.92	-1.81	-0.93	-0.23	-0.03	-2.81	2.24 (0.19)	-0.05	

削減と目標設定は低いが、BaselineシナリオではGDPの伸びを2.25%/yと見込んでいるため、CO₂排出量の実質的年削減率は4.1%/yである。またドイツでは、必要となる年削減率は2.7%/yであるが、GDP成長率の想定が1.37%/yであるため、これに転換効率の減少による増加分を加え、実質、必要となる年削減率は、イギリスとほぼ同じ4.3%/yである。このように各国で削減目標は異なるが、実質必要な年削減率は、いずれの国も4%/y台である。

図3は、エネルギー集約度・炭素集約度の両指標の年変化率を縦軸および横軸に取りプロットしたものである。1990年代の変化率を出発点とし、過去の40年および将来の見通しを実線でつないだ。ここで、今後50年間の経済成長率を1%/yと想定すると、炭素集約度とエネルギー集約度の変化により2.4~5.5%/yのスピードで削減を行わなければならない。傾き-1の点線は経済成長率を1%/yとしたときに、50年間の削減率が50~90%となる位置を示す。黒丸で示すものは、これらの集約度削減対策に加え、さらに炭素回収・隔離を行い、目標達成を行うシナリオである。炭素回収・隔離を想定しているシナリオの炭素集約度は過去の変化率と同程度かそれよりも小さく、燃料転換が大きく行われていないことがよく示されている。日本の将来シナリオはいずれも、この平面の右上にかたまっており、60%削減を目指すなら1~1.5%/y、80%削減を目指すなら2~3%/yの追加的な削減スピードの上乗せが必要である。



●は、炭素回収・隔離を想定するシナリオであり、●は炭素回収・隔離を考慮する前の炭素集約度変化率を示し、これに炭素回収・隔離の効果を加えると◎となる。

図3 CO₂削減目標とエネルギー集約度・炭素集約度変化率の関係

3.4 炭素集約度変化率の分解

表3で示したエネルギーミックスに起因するCO₂排出変化率は、一次エネルギー総供給量の炭素集約度変化を示す値であったが、ここでは各エネルギー種ごとの変化に起因するCO₂排出量の変化率を示す(図4)。

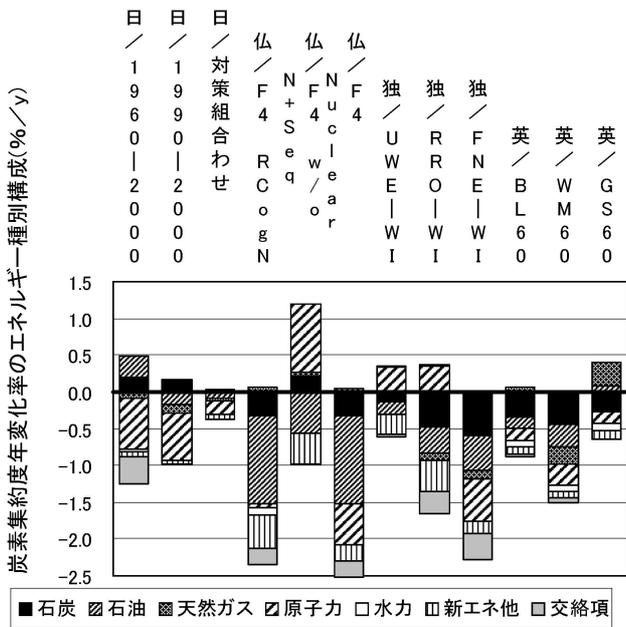


図4 炭素集約度年変化率のエネルギー種別構成

日/1960-2000や独/FNE-WIでは一次エネルギー供給量に占める原子力のシェア率が増加し、式(3)の第二項が負の値を取りCO₂排出量の削減要因となる一方で、原子力の廃止を想定している仏/F4 w/o N+Seqや独/RRO-WI, 独/UWE-WIでは第二項が正の値を取り、CO₂排出の増加に寄与している。また、日/1960-2000ではCO₂排出量シェア率の増加が一次エネルギーシェア率の増加よりも相対的に大きい石炭、石油はCO₂排出量の増加に寄与し、相対的に小さい天然ガスは逆にCO₂排出削減に寄与している。

ドイツ、イギリスでは、一次エネルギーに占める石炭の割合が大きいため、石炭が減少することによるCO₂排出削減の割合が約0.5%/yであり、炭素集約度削減要因の1/4~1/3を占める。一方、炭素回収・隔離による削減率の大きい仏/F4 w/o N+Seqでは石炭が増加し、CO₂排出の増加に寄与している。欧州のシナリオ全体を通して石油の減少によるCO₂排出削減効果が見られ、仏/F4 RCoGNでは1.0%/yに達する。フランスのシナリオおよび独/RRO-WIでは、新エネルギー増加の効果も大きく、炭素集約度年変化率の削減に占める割合は、1/4~1/2である。

日本の長期見通しは、気候安定化を目的とした諸外国のシナリオに比べ、エネルギーミックスの変化を見込んでおらず、炭素集約度の減少率も低率に留まっている。

4. 日本の気候安定化に向けた長期シナリオ策定への検討

本章では、日本の気候安定化に向けた長期シナリオ(脱温暖化シナリオ)作成に際し、目標とするCO₂削減率を達成するために最終消費部門のエネルギー集約度をどの程度の変化速度で改善しなければならないかの検討を試みる。

2004年度から環境省で行われている2050年脱温暖化社会プロジェクトでは、2050年のCO₂排出削減目標として40%、60%、80%が検討されている。ここでは、60%削減を目標とする場合について、式(2)の各項ごとに考察を行う。

まず、左辺について、2005年から2050年までの45年間で1990年レベルからCO₂排出量の60%削減を行うために必要な年削減率は、2.20%/yである。右辺第五項については、一人当たりGDPの伸び率を2%/yとし、中位推計の将来人口¹⁷⁾を想定すると、2050年までのGDPの伸び率は1.53%/yとなる。したがって、目標達成のために必要なCO₂排出量の年削減率は、3.73%/yとなる。次に右辺第一項の炭素回収・隔離については、秋元ら¹⁸⁾の試算結果より2050年における炭素回収・隔離の最大可能量を83.7MtCとすると、年削減率は1.21%/yに相当する。さらに第三項のエネルギー転換効率の変化率については、図2に見られるように最終エネルギーに占める電力シェアの想定などにより非常に広い幅が考えられるので、第四項の最終消費部門のエネルギー集約度の項と組み合わせ、「一次エネルギー/GDP」をエネルギー集約度として考える。この指標は、電力シェアの増加によるエネルギー転換効率の悪化、転換効率そのものの改善、および最終消費部門のエネルギー集約度の改善の影響を受けることとなる。以上より、炭素集約度の減少とエネルギー集約度の改善により、2.52~3.73%/yの削減率が達成されなければならない(図5)。

ここで、仮に2050年における炭素集約度が最大となる場合の一次エネルギーミックスのシェア率を現状固定とすると、その変化率は0%/yとなる。炭素集約度が最小となる場合については、一次エネルギーに占める原子力(640TWh)のシェア率を48%とし、残りの40%を化石燃料、12%を再生可能エネルギーで賄うとすると、炭素集約度の変化率は、-

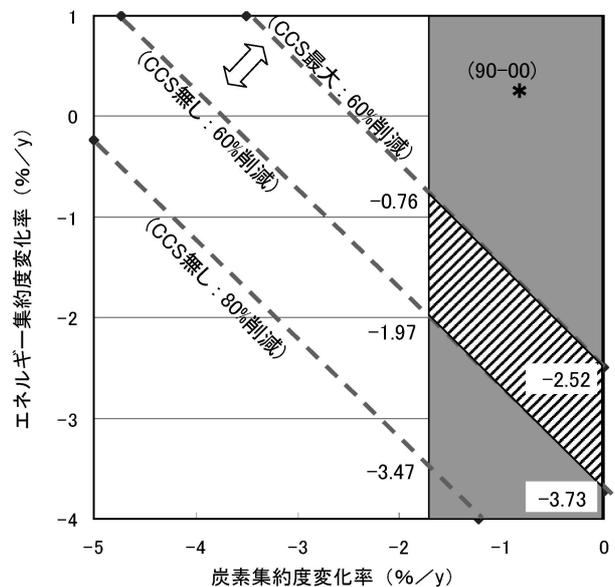


図5 日本の気候安定化長期シナリオの検討

1.76%/yとなる。よって、炭素回収・隔離を最大限考慮した場合に必要なエネルギー集約度の改善率は、0.76～2.52%/yであり、炭素回収・隔離を想定しない場合は、1.97～3.73%/yの改善率が必要となり、炭素回収・隔離、炭素集約度、エネルギー集約度の三要素の取り得る範囲は、**図5**のスラッシュで示された範囲となる。

これらの値は、過去の変化速度と比較すると3～5倍、2030年までを対象とした対策を導入したシナリオ（気候安定化目標無し）と比較しても約2倍の速度となっている。2050年までに1990年レベルからCO₂排出量を60%削減するためには、2030年以降、より厳しい改善速度が必要となる。このことから、現在計画されている2030年までの計画では、産業革命以前からの気温上昇2℃までを目標とする場合には、CO₂排出量の削減目標を定め、その目標に向け、直ちに削減努力を開始することが必要となる。

5. まとめ

本研究では、2050年を対象とし、気候安定化に向けてCO₂排出量を現状から60～80%削減という大幅な削減目標を掲げた欧州諸国の長期シナリオに対して、CO₂排出量削減の要因分析を行い、過去の排出関連指標の変化速度と比較した。その結果、欧州諸国では、過去10年とほぼ同程度の経済成長率を想定する場合、次の対策が必要であることが分かった。

- 1) 最終消費部門の効率改善と炭素集約度削減の速度を過去40年の2～3倍以上に上げ、今後50年にわたり維持しなければならない。
- 2) 炭素集約度の減少については、化石燃料の継続的使用と炭素回収・隔離の併用を想定するか、エネルギーミックス変化による削減率の約半分を化石燃料の減少により達成し、残りを原子力と新エネルギーの増加で補っている。

これらの変化速度を日本の過去40年の変化速度と比較すると、3～5倍に相当する。さらに日本の気候安定化に向けた長期シナリオ策定のため、経済成長率や炭素回収・隔離の量などを想定することにより、必要となる炭素集約度の減少率、エネルギー集約度の改善率の組み合わせの幅を導き出した。CO₂排出量の大幅削減を行う手段として以下の方向性、1) エネルギーサービス効率や消費機器効率の改善で稼ぐ、2) 原子力、炭素回収・隔離といったハード

パス的方法で稼ぐ、が考えられる。これは、大変重要な選択であり、今後、活発な議論が必要である。

参考文献

- 1) Interministerial Task Force on Climate Change (MIES) in France ; Reducing CO₂ emissions fourfold in France by 2050 -Introduction to the debate-, (2004).
- 2) Deutscher Bundestag in Germany ; Enquete Commission on Sustainable Energy Supply Against the Background of Globalisation and Liberalisation, (2002), <http://www.wupperinst.org/renewables/english.html#top>. (アクセス日 2005. 04. 03)
- 3) Dept. of Trade and Industry (DTI) in UK ; ENERGY WHITE PAPER : Our energy future - creating a low carbon economy, (2003), TSO.
- 4) Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP) ; Energy - The Changing Climate, Twenty-second Report, (2000), TSO.
- 5) W. Tuinstra, M. Berk, M. Hisschemöller, L. Hordijk, B. Metz, A. P. J. Mol (Eds.); Climate OptiOns for the Long-term - Final Report : Volume A, COOL - Synthesis Report, NRP report 954281, (2002).
- 6) Ministry of the environment in Sweden ; The Swedish Climate Strategy, Summary of Gov. Bill 2001/02:55, (2003).
- 7) National Technology Agency (TEKES) in Finland ; Technology and Climate Change CLIMTECH 1999-2002, (2002).
- 8) Swiss Academy of Engineering Sciences (SATW) ; CH50% - Halving Switzerland's fossil fuel consumption, (1999).
- 9) DTI in UK ; Options for a Low Carbon Future, DTI Economics paper No. 4, (2003), DTI.
- 10) UNFCCC ; Report on the national greenhouse gas inventory data from annex I parties for the period 1990-2001, SBSTA/2003/14, (2003).
- 11) 2050年脱温暖化社会プロジェクト <http://2050.nies.go.jp/index.html>
- 12) Y. Kaya ; Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth : Interpretation of proposed scenarios. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, (1990), Paris.
- 13) IPCC ; Climate Change 2001 Mitigation, (2001), Cambridge University Press.
- 14) 環境省地球環境局 ; 4つの社会・経済シナリオについて - 温室効果ガス排出量削減シナリオ策定調査報告書, (2001).
- 15) 経済産業省総合資源エネルギー調査会需給部会 ; 2030年のエネルギー需給展望, (2004).
- 16) 市民エネルギー調査会 ; 持続可能なエネルギー社会を目指して - エネルギー・環境・経済問題への未来シナリオ -, (2004).
- 17) 国立社会保障・人口問題研究所 ; 日本の将来推計人口 平成14年1月, (2002).
- 18) K. Akimoto, H. Kotsubo, T. Asami, X. Li, M. Uno, T. Tomoda, T. Ohsumi ; Evaluation of carbon dioxide sequestration in Japan with a mathematical model, Energy, 29-9-10, (2004), 1537-1549.