

# 2050 年までの低炭素社会に向けたエネルギー需給シナリオ

## Energy Supply and Demand Scenario Analysis towards Low-Carbon Society in 2050

松尾 雄司 \*・小宮山 涼一 \*\*・永富 悠 \*・柴田 善朗 \*

Yuhji MATSUO Ryoichi KOMIYAMA Yu NAGATOMI Yoshiaki SHIBATA

末広 茂 \*・沈 中元 \*・森田 裕二 \*・伊藤 浩吉 \*

Shigeru SUEHIRO Zhongyuan SHEN Yuji MORITA Kokichi ITO

### 1. はじめに

2050 年までに世界の温室効果ガスの排出量を半減するという目標が現在国際的に共有されつつあるが、その実現は決して容易なことではない。

本研究では、2035 年までの世界のエネルギー需給を試算した研究結果（別途 14-2 として発表）に基づき、そのモデル計算を更に 2050 年まで延長し、低炭素化のために必要な技術導入の最大限のポテンシャルを見込むことにより、2050 年の低炭素社会の実現可能性を探るとともに、低炭素化の手段を最大限実現した場合のエネルギー需給の姿を描くことを試みた。

### 2. 前提条件・ケース設定等

本研究の前提条件として、2035 年までの将来は発表 14-2 における試算の前提と同一とし、その延長として 2050 年までの世界の社会・経済の各指標が推移すると想定した。また、ケース設定としては発表 14-2 と同様、過去の趨勢と現在までのエネルギー・環境政策等を織り込んだ「レファレンスケース」と、省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減対策の最大限の普及を見込んだ「技術進展ケース」の 2 つのケースについて分析した。

### 3. 試算結果の概要

世界の一次エネルギー消費はレファレンスケースでは 2008 年の石油換算 113 億トンから 2050 年には同 206 億トン（2008 年比 1.8 倍増）へ 92 億トン拡大する。その大部分は途上国におけるものである。また、世界の CO<sub>2</sub> 排出量は 2008 年の 294 億トンから 2050 年には 500 億トンへ約 1.7 倍増加する。中でもアジアの CO<sub>2</sub> 排出量は 2008 年から 2050 年にかけて 13 億トン増加し、世界の CO<sub>2</sub> 排出増加量の約 7 割を占める。

これに対し、技術進展ケースでは、世界の一次エネルギー消費は 2050 年付近でほぼピークアウトし、2050 年には 56 億トン（27%）の削減が見込まれる。また、2050 年の先

進国の CO<sub>2</sub> 排出量は 2008 年比 75% 減、途上国は同 17% 減となり、世界計では同 41% 減少する。削減の 4 割は省エネルギーによってなされる。また CCS を考慮しない場合は世界計で同 7% の減少にしかならず、大幅な削減のためにはあらゆる手段の総動員が必要であることがわかる。

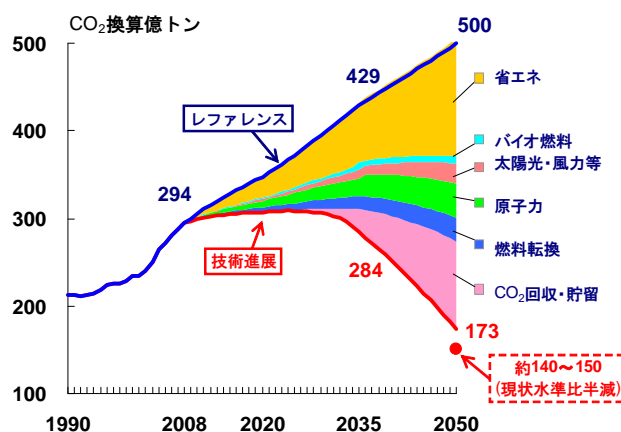


図 技術別 CO<sub>2</sub> 削減量の内訳

世界の CO<sub>2</sub> 大幅削減実現には、省エネと電力の低炭素化が重要である。特に発電部門では、先進国、途上国ともに、電源をゼロ・エミッション化することが必要となる。地域別に見ると、中国、インドなどアジア途上国における CO<sub>2</sub> 排出削減が鍵を握る。

技術進展ケースでは、化石燃料の消費量は 2035 年にピークアウトするが、化石燃料は 2050 年にも依然として世界のエネルギー消費の大半を占めるため、化石燃料の有効利用、安定供給確保が重要となる。特に天然ガスの消費量は 2050 年に向けて引き続き拡大する。

今回の試算でも 2050 年に CO<sub>2</sub> 半減には至っていない。これを実現するためには、省エネ等において本試算の想定以上に新たな革新的技術の開発・普及が必要となる。

### 4. 謝辞

本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費 (S-6-1) の支援により実施された。環境省に対して深い謝意を表すものである。

\*財団法人 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット  
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1  
e-mail matsuo@edmc.ieej.or.jp  
\*\*東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻  
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

# 2050 年までの低炭素社会に向けたエネルギー需給シナリオ

## Energy Supply and Demand Scenario Analysis towards Low-Carbon Society in 2050

松尾 雄司 \*・小宮山 涼一 \*\*・永富 悠 \*・柴田 善朗 \*

Yuhji MATSUO Ryoichi KOMIYAMA Yu NAGATOMI Yoshiaki SHIBATA

末広 茂 \*・沈 中元 \*・森田 裕二 \*・伊藤 浩吉 \*

Shigeru SUEHIRO Zhongyuan SHEN Yuji MORITA Kokichi ITO

We developed an econometric-type energy demand and supply model based on detailed energy balance tables, and presented a long-term energy scenario towards a low carbon society in 2050 for Asia and the world.

In the Reference Scenario, which considers past trends and reflects current energy and environment policies, the world primary energy demand and CO<sub>2</sub> emission in 2050 will represent 1.8-fold increase from those in 2008, which shows this is not a sustainable scenario from the viewpoint of both the environment and the resources supply.

In the Technologically Advanced Scenario, which assumes that all the countries of the world take technological advanced measures and that accelerated R&D encourages global deployment of advanced technologies, CO<sub>2</sub> emissions in 2050 will decrease by 41% from the level of 2008. Even in this scenario, the CO<sub>2</sub> reduction is far less than that required to “halve CO<sub>2</sub> emission by 2050”, so we need to evaluate further possibility of CO<sub>2</sub> reduction, through investigating additional technological options. **Keywords** : Energy Outlook, Econometrics, Energy conservation , Global Warming

### 1. はじめに

世界のエネルギー消費は過去急速な増加を続けており、それに伴いエネルギー起源の CO<sub>2</sub> 排出量は 1971 年から 2007 年の間に約 2 倍にまで増大した。特に 21 世紀に入り、アジアを中心とした途上国の経済成長に伴いその速度は益々加速している。このような中で、地球環境問題への対応のために、2050 年までに世界の温室効果ガスの排出量を半減するという目標が現在国際的に共有されつつあるが、これは決して容易なことではない。これを実現するためには、世界の人々のエネルギー消費のあり方を根底的に改変し、炭素の大気中への排出をあらゆる点で最大限まで抑制することが必要である。

一方で、CO<sub>2</sub> 削減のためには多大なコストがかかる。特に社会インフラの改変を伴う大規模な措置を講じる場合には、そのために必要なコストは莫大なものとなることが想定され、その投資が過大な場合には各国・各地域の持続的な経済成長を損うこととなる可能性も考えられる。このため、2050 年における低炭素社会の実現は、技術開発の進展見通しとコストの低減見通しとを適切に評価し、その上で現実的・実現可能な範囲内で、種々の削減対策をどこまで導入することができるかにかかっていると見える。

本研究では、2035 年までの世界のエネルギー需給を試算した研究結果（別途 14-2 として発表）に基づき、そのモデル計算を更に 2050 年まで延長し、低炭素化のために必要な技術導入の最大限のポテンシャルを見込むことにより、2050 年の低炭素社会の実現可能性を探るとともに、低炭素化の手段を最大限実現した場合のエネルギー需給の姿を描くことを試みた。

### 2. 前提条件及びケース設定

本研究の前提条件として、2035 年までの将来は発表 14-2 における試算の前提と同一とし、その延長として 2050 年までの世界の社会・経済の各指標が推移すると想定した。

世界の GDP は、2035 年以降、途上国における経済成長も徐々に緩やかになると想定し、2035 年から 2050 年まで年平均 1.9%で増加、2008 年から 2050 年に向けて同 2.5%で世界経済が成長するとした。世界の人口については、国連の人口見通し（中位推計）をもとに設定した。即ち、2008 年から 2035 年にかけて約 18 億人増加し、2035 年には 85 億人に達する。また 2035 年から 2050 年にかけては、更に 6 億人増加して 91 億人に達する。原油価格は、2035 年以降、世界の石油需要の増加テンポが緩やかになる一方で、引き続き石油生産コストの上昇を背景に、2035 年の 115 ドル/バレルから、2050 年には 120 ドル/バレルまで緩や

\*財団法人 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット  
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1  
e-mail matsuo@edmc.ieej.or.jp

\*\*東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻  
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

かに上昇すると想定した。

表1 2050年までの社会経済見通し

	2008年	2035年	2050年
<b>GDP</b> (2000年実質価格)	40兆ドル (1990-2008年成長率:2.9%)	84兆ドル (2008-2035年成長率:2.8%)	112兆ドル (2035-2050年成長率:1.9%) (2008-2050年成長率:2.5%)
<b>人口</b>	67億人	85億人 (2008年比18億人増)	91億人 (2008年比24億人増)
<b>一人当たり 実質GDP</b>	0.6万ドル	1.0万ドル	1.2万ドル
<b>原油価格</b> (日本の輸入CIF価格、 2009年実質価格)	(2009年) 60ドル/バレル	115ドル/バレル (名目価格:192ドル/バレル)	120ドル/バレル (名目価格:270ドル/バレル)

ケース設定としては、発表14-2と同様、過去の趨勢と現在までのエネルギー・環境政策等を織り込んだ「レファレンスケース」と、世界各国がより一層のエネルギー安定供給の確保や地球温暖化対策の強化に資する一連のエネルギー・環境政策を実施し、また、革新的技術の開発、導入が加速すると想定した「技術進展ケース」の2つのケースについて分析した。両ケースでは表2に示す通り各主要技術の導入を差をもって想定した他、その他の省エネルギーや原単位改善についても、技術の開発・普及を考慮して適宜設定した。

表2 技術導入の諸想定

	2008年 実績	2035年		2050年	
		レファレンス	技術進展	レファレンス	技術進展
原子力	390 gw	615 gw	830 gw	840 gw	1,190 gw
発電効率	石炭火力:34% ガス火力:40%	石炭火力:40% ガス火力:47%	石炭火力:45% ガス火力:50%	石炭火力:41% ガス火力:48%	石炭火力:51% ガス火力:53%
太陽光発電	13 gw	165 gw	594 gw	450 gw	1,810 gw
太陽熱発電	0.3 gw	37 gw	127 gw	50 gw	410 gw
風力発電	120 gw	467 gw	921 gw	870 gw	1,820 gw
バイオマス発電	67 gw	210 gw	235 gw	300 gw	320 gw
バイオ燃料	48 Mtoe	164 Mtoe	272 Mtoe	200 Mtoe	350 Mtoe
CCS	-	0	26 億トン	0	101 億トン
次世代車販売比率 上:プラグインハイブリッド自動車 下:電気自動車・燃料電池車	-	6% 0%	14% 13%	9% 2%	30% 32%
乗用車新車平均燃費	(2005年) 12 km/L	17 km/L	25 km/L	18 km/L	30 km/L

### 3. 試算結果

#### 3.1 世界の一次エネルギー消費の見通し

世界の一次エネルギー消費は、2008年の石油換算113億トンから2050年には同206億トン(2008年比1.8倍増)へ92億トン拡大する。増加量92億トンの内途上国が88億トン、先進国が5億トンを占めることから、世界のエネルギー消費の大部分が途上国で増加することがわかる。

世界の一次エネルギー消費に占める先進国の比率は2008年の51%から2050年には71%へ拡大する。中国の比率は17%から23%、インドの比率は4%から9%へ上昇する一方、日本の比率は5%から2%へ低下する。

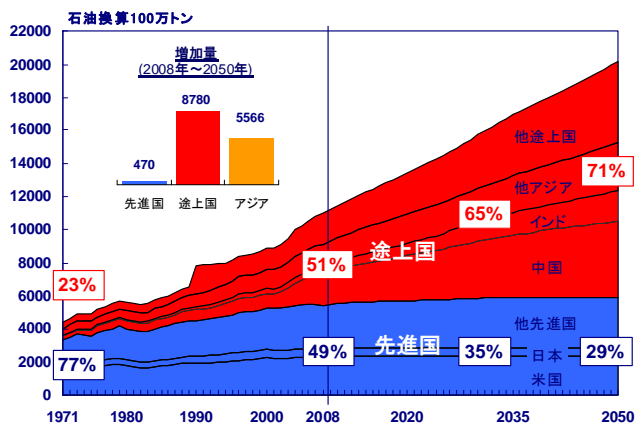


図1 世界の一次エネルギー消費の見通し

技術進展ケースでは、世界の一次エネルギー消費は2050年付近でほぼピークアウトする。2050年に着目すると、レファレンスケースに比較して技術進展ケースでは、世界で56億トン(27%削減)の一次エネルギー消費が削減される。そのうち先進国で13億トン、途上国で43億トンのエネルギー消費が削減される。即ち、革新技術の普及拡大により、途上国で大幅にエネルギー消費が削減されることとなる。

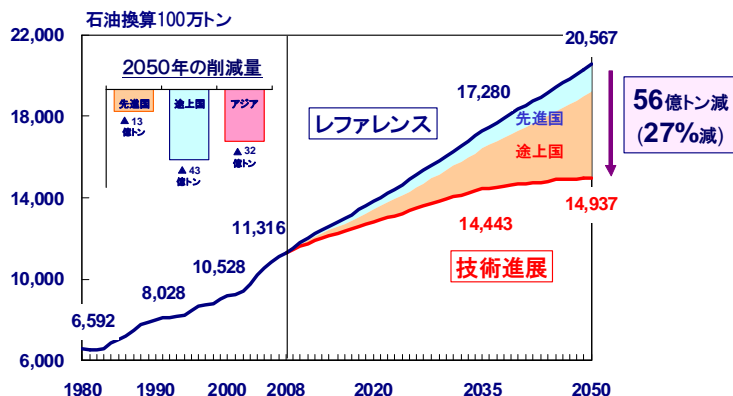


図2 世界の一次エネルギー消費の削減

エネルギー源別一次エネルギー消費では、2050年のレファレンスケースにおける石炭、石油、ガス、原子力、再生可能エネルギーの消費量は、全て2008年に比較して増加する。一方、2050年の技術進展ケースにおいても、化石燃料が世界の一次エネルギー消費の大部分(69%)を占めるため、依然として重要な役割を担うことが想定される。そのため、化石資源生産への適切な投資の継続による安定供給確保が不可欠となる。また、2050年の技術進展ケースでは、世界の石炭消費が2008年比29%減少、世界の石油消費が同5%減少する。世界の石油消費は、2008年の8200万b/dから2050年には7800万b/dへ緩やかに減少

し、世界の石炭消費は、石炭換算46億トンから34億トンへ減少する。一方、2050年の技術進展ケースにおける天然ガス消費は、2008年比で57%増加するとともに、世界の一次エネルギー供給に占める比率も2008年の23%から2050年比には27%へ拡大することから、世界のエネルギー市場の中で主要な役割を担うことが期待される。2050年の非化石燃料比率は、レファレンスケースで17%、技術進展ケースで31%となり、技術進展ケースでは、原子力や再生可能エネルギーの重要性が高まると予測される。

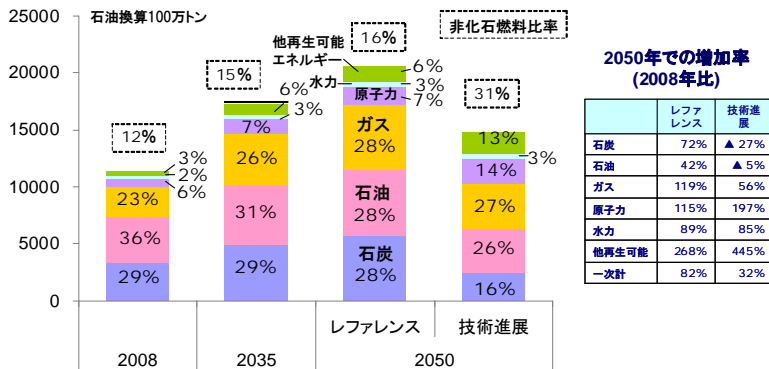


図3 世界の一次エネルギー消費の見通し (エネルギー源別)

技術進展ケースにおける世界の化石燃料消費量は2035年にピークを迎え、2050年には現状程度まで減少する。レファレンスケースにおける世界の石油消費は途上国を中心に増加するが、技術進展ケースでは、途上国の石油消費は2042年にピークを迎え、途上国における石炭消費も2035年にピークを迎え、以降減少基調に入る。

また、2050年の世界の化石燃料の削減ポテンシャル(レファレンスケースと技術進展ケースの差)を見ると、アジアにおける削減ポテンシャルが他の地域に比較して相対的に大きい。即ち、2050年における世界の石油消費の削減量の45%、石炭消費削減量の68%、ガス消費削減量の35%がアジア途上国に存在する。化石燃料を大幅に削減するには、アジア途上国における化石燃料高効率利用技術(クリーンコール技術等)の普及が重要な課題となる。

### 3.2 世界の発電の見通し

長期的に経済発展を遂げる途上国を中心に電力需要が増加することから、世界の発電量は2008年の20兆kWhから、2050年のレファレンスケースの発電量は、2008年比30兆kWh増加し、約50兆kWhへ拡大する。技術進展ケースでは、省エネ技術の進展によりレファレンスケースに比較して需要増加が抑制されるが、それでも2008年に比

較して18兆kWh増加し、2050年の発電量は38兆kWhへ増加する。また、技術進展ケースでは、原子力、再生可能エネルギーの導入が大きく拡大し、2050年の原子力、再生可能エネルギーから構成される非化石電源の比率は、レファレンスケースで31%、技術進展ケースで59%となる。

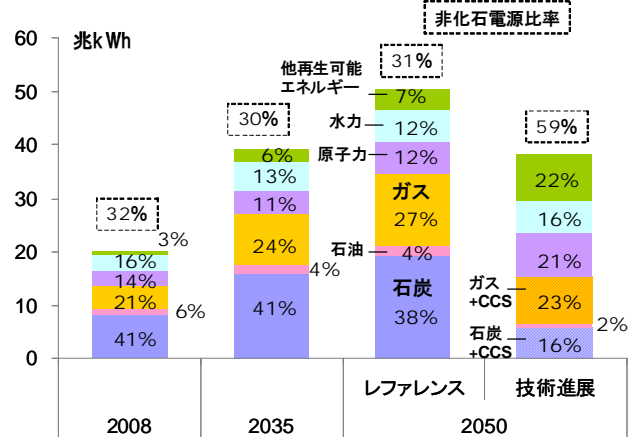


図4 世界の発電量構成の見通し

### 3.3 CO<sub>2</sub>排出量の見通し

世界のCO<sub>2</sub>排出量は2008年の294億トンから2050年には500億トンへ約1.7倍増加する。先進国では126億トンから121億トンへ減少し、途上国では158億トンから368億トンへ増加する。中でも、アジアのCO<sub>2</sub>排出量は2008年から2050年にかけて13億トン増加し、世界のCO<sub>2</sub>排出増加量の約7割を占める。先進国のCO<sub>2</sub>排出量が世界の排出量に占める比率は、2008年の44%から2050年には25%まで低下する。日本の比率は2008年の4%から1%に低下し、中国の比率は23%から25%、インドの比率は5%から11%へ上昇する。

技術進展ケースでは、2050年の先進国のCO<sub>2</sub>排出量は2008年比75%減少し、途上国は同17%減少する。世界計では同41%減少する。CCSを考慮しない場合は、先進国において2008年比48%減少、途上国で同25%増加、世界計で同7%の減少となる。

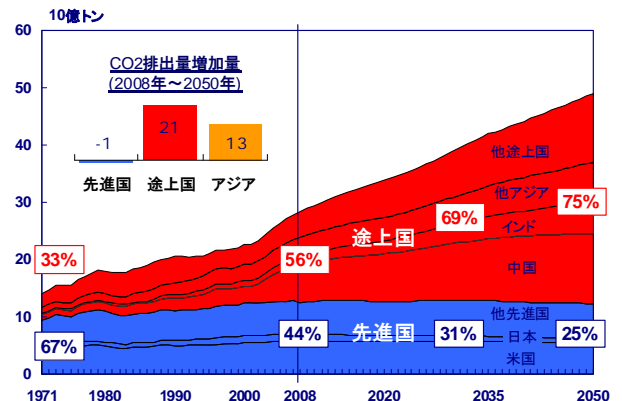


図5 世界のCO<sub>2</sub>排出量の見通し(レファレンスケース)

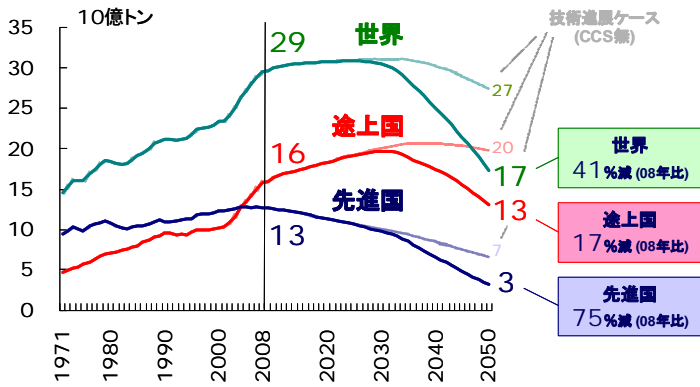


図6 世界のCO<sub>2</sub>排出量の見通し（技術進展ケース）

2050年のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャル（レファレンスと技術進展ケースの差分）を推計した結果、途上国の削減ポテンシャルは先進国に比較して大きいことから（途上国の削減量238億トン、世界の削減ポテンシャルの73%）、途上国における気候変動対策の強化が重要となることがわかる。なかでも、アジア途上国（アジアの削減量147億トン、同45%）や中国における削減ポテンシャルが大きい（中国の削減量81億トン、同25%）。

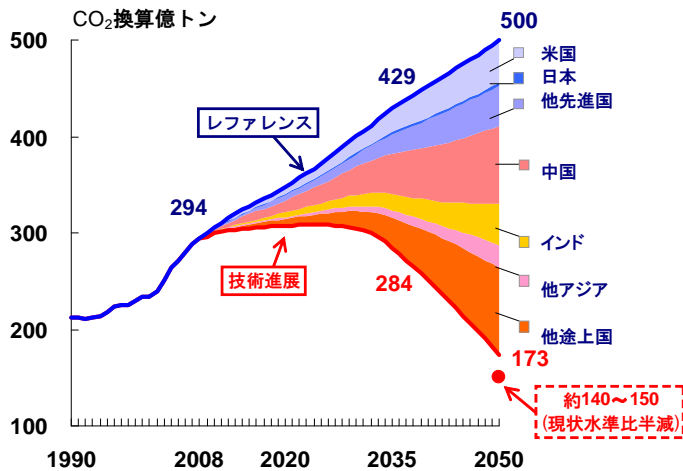


図7 地域別CO<sub>2</sub>削減量の内訳

2050年における技術別のCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを推計した結果、省エネルギーの促進が、CO<sub>2</sub>排出量の削減に最も大きく貢献する（131億トン削減、2050年の総削減量の4割）。再生可能エネルギー導入拡大や、石炭や石油からの天然ガスへ消費をシフトさせる燃料転換（2050年の総削減量の3割）、CCS（2050年の総削減量の3割）も重要な役割を担う。世界のCO<sub>2</sub>排出量を現状水準比で半減するためには本検討の想定以上に革新的技術の開発・普及が必要であり、各分野において更に研究開発を行い、技術のブレイクスルーを実現することが求められる。

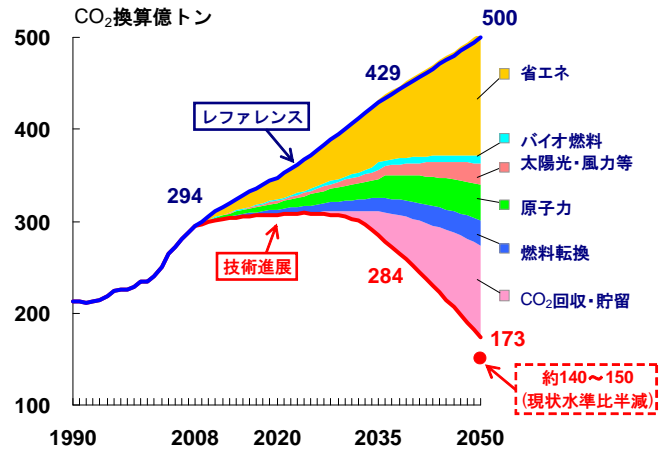


図8 技術別CO<sub>2</sub>削減量の内訳

#### 4. まとめ

本研究では、2050年までの世界のエネルギー需給シナリオを作成した。主なポイントは以下の通りである。

- ・ 2050年までに世界のCO<sub>2</sub>排出量を半減するには、更なる追加対策が必要。
- ・ 世界のCO<sub>2</sub>大幅削減実現には、省エネと電力の低炭素化が重要。特に発電部門では、先進国、途上国ともに、電源をゼロ・エミッション化することが必要であり、世界規模での取組みが不可欠となる。
- ・ 中国、インドなどアジア途上国におけるCO<sub>2</sub>排出削減が鍵を握る（アジア途上国が世界のCO<sub>2</sub>削減量の半分を占める）。
- ・ 革新技術の普及拡大下（技術進展ケース）では、化石燃料の消費量は2035年にピークアウトする。しかし、化石燃料は依然として、2050年の世界のエネルギー消費の大半を占めるため、化石燃料の有効利用、安定供給確保が重要となる。
- ・ 天然ガスの消費量は2050年に向けて引き続き拡大する。適切な投資の継続による生産量の拡大が不可欠であり、国際エネルギー市場で重要な役割を担うことが期待される。

#### 5. 謝辞

本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費（S-6-1）の支援により実施された。環境省に対して深い謝意を表すものである。

#### 参考文献

- 1) IEA: Energy Balances of OECD Countries, Energy Balances of Non-OECD Countries, (2010)
- 2) 伊藤、松尾、小宮山他: アジア/世界エネルギーアウトック2010, (2010), (財)日本エネルギー経済研究所