

2050年の低炭素社会実現に向けた アジア・世界のエネルギー需給見通しに関する分析 Energy Supply and Demand Analysis for Asia and the World towards Low-Carbon Society in 2050

松尾雄司*・小宮山涼一**・永富悠*

Yuhji Matsuo

Ryoichi Komiyama

Yu Nagatomi

末広茂*

沈中元*

森田裕二*

伊藤浩吉*

Shigeru Suehiro

Zhongyuan Shen

Yuji Morita

Kokichi Ito

(原稿受付日 2010年10月1日, 受理日 2011年8月2日)

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 Reference Scenario, which yields normative future evolution of energy demand and supply, the world primary energy demand and CO₂ emissions in 2050 will represent 1.8-fold and 1.7-fold increase respectively from those in 2007, which shows this is not a sustainable scenario from the viewpoint of both environment and energy security.

In 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, CO₂ emissions in 2050 will decrease by 16% from the level of 2005. Even in this scenario, the CO₂ reduction is far less than that required to “halve CO₂ emission by 2050”, therefore we need to evaluate further possibility of CO₂ reduction, through investigating additional technological options.

1. はじめに

地球温暖化等の気候変動問題に対して、人為起源の温室効果ガス排出の影響が国際的に議論され、その削減の必要性が論じられるようになって久しい。特に近年では温室効果ガス削減に向けた国際政治的動向が複雑化する一方、世界がより根本的な社会構造の変革も含めた「低炭素社会」実現のための取組みを行い、温室効果ガス排出量を大幅に削減することの必要性が認識されるようになっており、2050年までに世界の温室効果ガス排出を現状から半減するという目標が広く共有されつつある。中でもエネルギー起源の二酸化炭素排出量は温室効果ガス排出量のかかなりの部分を占めるため、このような「低炭素社会」の実現可能性を検討するに当たり、今後のエネルギー需給や技術開発・普及等を詳細に検討し、長期にわたるシナリオを描くことが不可欠であると言える。

国際エネルギー需給は生産国と消費国との需給バランスの上に成り立つものであり、それぞれの国・地域の需給特性や、エネルギー政策、資源開発の動向、新規技術の導入・普及状況等を適切に把握した上で、それらを定量的に評価

することが必要となる。この目的のため、本研究では筆者らがこれまでに作成した2020年、2035年までの長期エネルギー需給モデルの知見¹⁾²⁾³⁾⁴⁾を活用することにより、2050年までのエネルギーの需給状況を広域かつ詳細に評価することのできる計量経済型エネルギー需給モデルをコアとしたエネルギー経済モデルを作成した。さらに、種々の入力条件を精査した上で、低炭素社会構築に向けた道筋の考察に資するアジア地域及び世界の2050年までの長期エネルギー需給シナリオの作成を行った。

2. 研究方法

2.1 モデルの構造

シナリオ作成にあたり、モデルとして、アジア及び世界の各主要国を対象として、長期エネルギー需給を総合的、整合的に分析する計量経済型エネルギー需給モデルをコアとした、統合型エネルギー経済モデルを構築した。これはマクロ経済モデル、エネルギー需給モデルや、技術評価モデル(自動車、民生部門エネルギー消費機器)のサブモデルから構成されており、経済とエネルギー需給の関係を整合的に取り扱っている。モデルの全体像は図1の通りである。

(1) マクロ経済モデル

マクロ経済モデルは原油価格や経済・財政・金融関連の国内政策を前提条件として与え、GDPコンポネント(需要項目)を整合的に算出し、そこからエネルギー需要に直接、

*財団法人日本エネルギー経済研究所
〒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

間接的に影響を与える各種の経済活動指標を推計するものである。マクロ経済モデルは実質支出ブロック，2次エネルギー価格ブロック，産業活動ブロック，輸送活動ブロック等の各ブロックから構成されている。

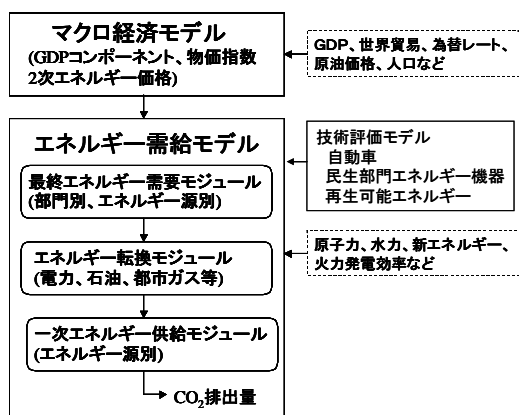


図1 計量モデルの構造

マクロ経済モデルの主要なアウトプットは、GDP コンポネント，自動車保有台数(旅客，貨物)等の輸送活動指標，粗鋼生産量などの生産活動指標，各種物価指数，2次エネルギー価格等で，これらの将来推計を前提条件として下記のエネルギー需給モデルによる計算が行われることとなる。

(2) エネルギー需給モデル

エネルギー需給モデルはエネルギー需給分析の中核をなすモデルである。ここで用いる基礎データとしてはIEAのエネルギーバランス表⁵⁾⁶⁾を採用し，これを適宜集約・加工して各国のエネルギー需給の実績値をデータベース化した上で，将来推計を行うことができるようにした。

モデル内では最終エネルギー消費（産業，民生，運輸の各部門のエネルギー消費），エネルギー転換（発電，石油精製，都市ガス製造など）及び一次エネルギー供給に関する計算を扱った。即ち，マクロ経済モデルより得られる諸指標を前提としてまず各部門の最終エネルギー消費を推計し，その需要を満すために必要なエネルギー転換部門の推計を行うことで一次エネルギー供給を整合的かつ総合的に評価した。また後述の技術進展ケースにおいては，次に述べる技術評価モデル等を用いて，各技術の最終エネルギー消費・エネルギー転換の各部門における省エネルギー量を推計し，それをレファレンスケースのエネルギー消費量から差引くことにより評価を行った。予測期間としては，IEAデータの実績最新値の翌年（2008年）以降，2050年までを対象としている。

(3) 技術評価モデル

本分析では，自動車，民生部門エネルギー機器，再生可

能エネルギー及び原子力発電の将来予測を，別途，ボトムアップ的に推計し，この推計値をエネルギー需給モデルに入力することにより，革新的技術の省エネ等の導入効果を考慮している。自動車の普及見通し，省エネ効果の推計に関しては，日本エネルギー経済研究所が構築した詳細な自動車導入モデル⁷⁾を用いている。民生部門のエネルギー消費機器（冷蔵庫，エアコン等）の普及による省エネ効果は，文献⁸⁾を元に，対象地域における当該機器の普及と廃棄を考慮に入れた積上げ型モデルを構築し，保有台数ベースでのエネルギー効率をエネルギー需給モデルに入力することにより，高効率技術の省エネ効果を考慮している。また産業部門についても，エネルギー多消費産業である鉄鋼，セメント，紙パルプ，石油精製部門について，積み上げ型モデルを分析対象国ごとに構築し，これを用いて高効率設備の導入による省エネルギーポテンシャルを推計し，エネルギー需給モデルにおいてこれを反映している。

再生可能エネルギーに関しては，既存文献⁹⁾における既存技術とのコスト競合効果を考慮に入れた技術評価モデルを参照し，普及パターンを計算している。一方で原子力発電の導入は各国の政策に依存するところが大きいため，過去のデータに基づく計量経済型の分析では将来を適切に評価することができない。このため，原子力については，既存文献¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾における導入見通しを参考とした上で，現在の世界各国の原子力政策や原子力開発計画を反映させ，国ごとに原子力発電設備容量の見通しを作成し，それを集計してモデルの入力条件とした。

(4) 地域区分

本研究では，地政学的要因や各地域のエネルギー需給構造を考慮することにより，図2のように30の国もしくは地域に世界を分割してエネルギー需給予測を行った。特に，アジア地域のエネルギー需給を詳細に分析することを目的として，同地域を14の国・地域に分割している。



図2 計量モデルに用いた地域区分

2.2 試算の前提

(1) 人口及び経済成長の見通し

人口については国連による最新の将来予測（中位推計）を参照し、図3の通り想定した。経済発展に伴い発展途上国の出生率は低下する傾向にあるが、世界全体では人口は今後も年平均1%弱の増加基調で推移し、2007年の66億人から、2050年には92億人まで増加する。うちアジアの人口は47億人である。中国では2030年前後にピークを迎え、インド等のアジア諸国でも2050年に増加は頭打ちとなる。

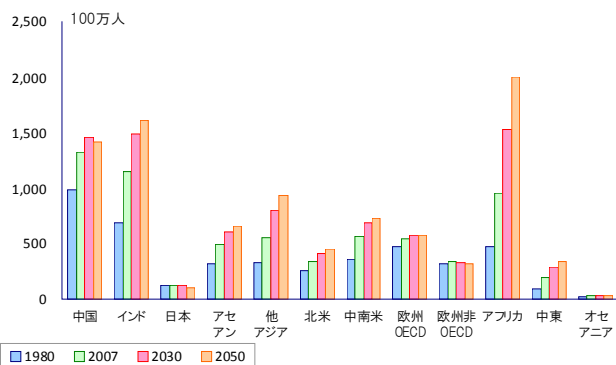


図3 人口の想定

経済成長の見通しを図4に示す。ここに示すように、世界全体の2050年までの実質GDP成長率については2.5%と想定した。人口が微増あるいは減少する先進国における平均成長率は1.7%にとどまる。一方、今後も人口が大きく伸びる途上国では4.0%の高水準を維持する。2030年以降に人口が減少に向かう中国の経済成長率は大きく低下するが、人口増の続くインドでは高成長を維持すると見込まれる。

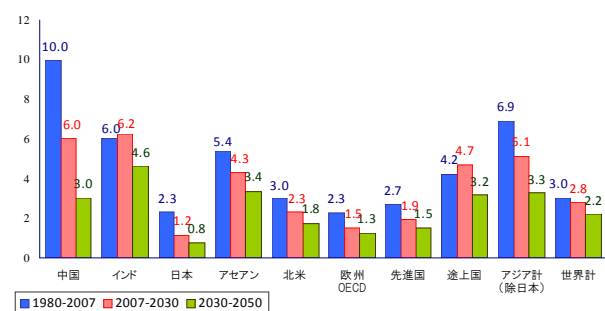


図4 実質GDP成長率（年率％）の想定

(2) エネルギー価格の想定

米国の金融危機に端を発した世界的不況により世界の石油需要は短期的に伸びが鈍化した。今後長期的には途上国を中心に需要は増大し、一方で既存油田の減退率上昇等の制約条件が顕在化する中で、相対的に生産コストの高い中小規模油田や深海油田等へのシフトが見込まれ、これに伴い原油価格は上昇傾向に向うと考えられる。

ここでは、日本の原油輸入CIF価格（実質、2008年価格）について長期的に緩やかに上昇し、表1の通り2020年95

ドル/バレル、2030年109ドル/バレル、2035年117ドル/バレルで推移するとした。

表1 エネルギー価格の想定

		2000	2008	2010	2020	2030	2035
原油	実質価格	32	103	67	95	109	117
	名目価格	28	103	70	121	169	200
LNG	実質価格	282	647	467	805	1,075	1,150
	名目価格	251	647	486	1,021	1,661	1,963
一般炭	実質価格	39	125	74	101	110	117
	名目価格	35	125	77	128	169	200

(注) 実質価格は2008年価格

天然ガス価格については、原油価格の中長期的な上昇傾向、天然ガス需要の世界的な増大による需給の逼迫化などが中長期的には価格への上昇圧力として作用する。LNGの契約では一般に、「S字カーブ」と呼ばれる原油価格とLNG価格間の関係に基づき価格が決定されてきた。これは原油価格が一定の価格に上昇するまでは、LNG価格は比例して上昇するが、原油価格がある一定の価格を越えると、LNG価格は同じテンポで上昇せず、緩やかに上昇する。逆に、原油価格が下がった場合、LNG価格は同じテンポで下落せず、緩やかに下落するため、買い手にとって有利な価格決定が行われてきた。しかし今後は、世界的なLNG需要の増加、LNG生産国の寡占化により、売り手に有利な「S字カーブ」を採用しない契約が成立する機会が増加すると考えられる。これに加え、天然ガス価格は、石炭、石油に比較して、環境負荷が相対的に低いことへのプレミアムなどから、原油価格に対して熱量等価以上に上昇すると想定した。

石炭は、原油、LNGと比較するとこれまでは価格変動が極めて緩やかであった。石炭は原油や天然ガスに比べると資源制約が小さいが、発電用・鉄鋼用を中心とした需要の世界的な増加があり、石炭価格は緩やかに上昇するとした。

(3) ケース設定

ケース設定に関しては、レファレンスケース及び技術進展ケースの2つのケースを想定した。

レファレンスケースは、世界各国が現状以上に特段の環境対策・省エネルギー対策を行わないケースである。この場合には後述のように、世界のエネルギー消費は2050年まで直線的に増加を続け、それに伴ってエネルギー起源CO₂排出量も増加を続ける。これに対して、技術進展ケースでは世界各国が地球温暖化対策の強化やエネルギー安定供給の確保等に資するより一層のエネルギー・環境政策を実施し、また今後革新的技術の開発・導入が加速すると想定した。このケースでは基本的には世界各国・地域のエネルギー政策を反映して諸前提を設定しているが、政策議論が進んでいないアジア等の途上国においては、先進国からの技術移転促進によりエネルギー効率の向上や非化石エネルギー

一導入が進むと想定している。技術進展ケースにおいて想定した技術は表2の通りである。

具体的には、技術進展ケースでは以下の想定を行った。

産業部門では、鉄鋼・セメント・紙パルプ・石油精製等の分野において、2035年頃までに現状の最高効率の設備が世界的に普及すると想定した。具体的には、鉄鋼業におけるCDQ(コークス乾式消化設備), TRT(高炉炉頂圧発電), セメント産業におけるSP・NSPキルン等, 現在日本で装備され, 世界各国で今後普及ポテンシャルの大きい技術について, その世界での最大限の導入(新設で100%の普及)を想定した。またその後, 2050年まではトレンド的に効率向上が更に進むと想定した。これにより産業部門の省エネ量(国・地域ごとに設定。世界計では2035年に石油換算約1.3億トン, 2050年に同2.1億トン)を算出し, レファレンスケースから技術進展ケースまでの省エネ量とした。

運輸部門においては, 上記の自動車導入モデルに従い, 図5のように次世代自動車の導入を想定した。民生部門においては, 上記の機器積み上げモデルによって現状の最高効率の機器の普及の効果を国ごとに算出し, 高効率機器普及による省エネ量(2035年に世界計で石油換算約4億トン, 2050年に同7億トン)としてエネルギー需給に反映した。また高効率火力発電についてはIGCC(Integrated coal Gasification Combined Cycle; 石炭ガス化複合発電)やMACC(More Advanced Combined Cycle; 燃焼温度1500℃級ガスコンバインドサイクル発電)といった高効率発電技術の導入を国ごとに積み上げモデルにより推計した。その結果, 石炭火力の発電効率(世界平均, LHV)は, 2007年の34%から, 2050年にはレファレンスケースで41%, 技術進展ケースで49%に達する。また, 天然ガス火力の発電効率(世界平均)は, 2007年の40%から, 2050年にはレファレンスケースで46%, 技術進展ケースで50%へ到達する。

表2 技術進展ケースにおける技術の想定

<p>環境規制や国家目標の導入・強化</p> <p>環境税、排出量取引、再生可能エネルギー導入基準、補助金・助成制度、固定価格買取制度、省エネ基準、燃費基準、低炭素燃料基準、省エネ・環境ラベリング制度、国家的戦略・目標設定等</p>	<p>技術開発強化や国際的な技術協力の推進</p> <p>研究開発投資の拡大、国際的な省エネ技術協力(鉄鋼、セメント分野等)や省エネ基準制度の構築支援等</p>
<p>【需要サイドの技術】</p> <p>■ 産業部門</p> <p>セクトリアルアプローチ等により最高効率水準(ベストプラクティス)の産業プロセス技術(鉄鋼、セメント、紙パルプ、石油精製)が世界的に普及</p> <p>■ 運輸部門</p> <p>クリーンエネルギー自動車(低燃費自動車、ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド自動車、電気自動車、燃料電池自動車)の普及拡大</p> <p>■ 民生部門</p> <p>省エネ家電(冷蔵庫、テレビ等)、高効率給湯器(ヒートポンプ等)、高効率空調機器、高効率照明の普及拡大、断熱強化</p>	<p>【供給サイドの技術】</p> <p>■ 再生可能エネルギー</p> <p>風力発電、太陽光発電、太陽熱発電、バイオマス発電、バイオ燃料の普及拡大</p> <p>■ 原子力導入促進</p> <p>原子力発電建設加速化、設備利用率向上</p> <p>■ 高効率火力発電技術</p> <p>超々臨界圧石炭火力、石炭IGCC、石炭IGFC、天然ガスMACCの普及拡大</p> <p>■ 二酸化炭素回収・貯留(CCS)</p> <p>発電部門(石炭火力、ガス火力の新設、既設設備)、産業部門(鉄鋼、セメント等大規模排出源)での導入拡大</p>

再生可能エネルギーについては, 風力・太陽光・太陽熱等を中心に, 上記の導入モデルに従い2050年にレファレンスケースで7,400TWh, 技術進展ケースで8,600TWhの量導

入を見込んだ。原子力は2.1節(3)にて述べたとおり, 既存文献¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾の導入見通しを参考とした上で, 現在の世界各国の原子力開発計画を反映させ, 国ごとに原子力発電設備容量の見通しを作成し, 3.2節(3)のように想定した。

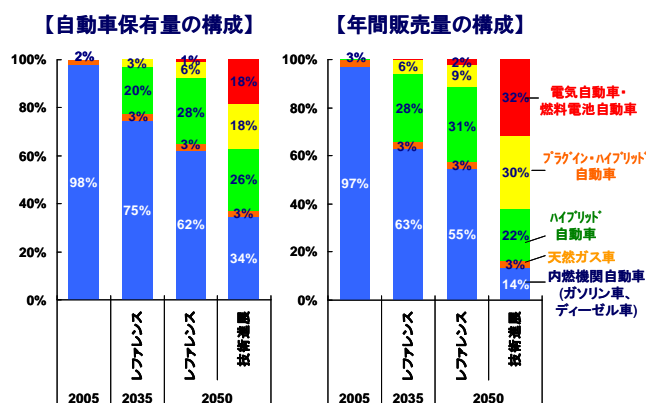


図5 次世代自動車の導入シェア

これらの技術導入は, OECD諸国及び非OECD諸国の双方について, 国・地域ごとに想定し, モデルの入力条件としている。このように本試算では技術の導入ポテンシャルを積み上げ方式によって設定したため, 環境税・排出権取引等を前提条件として置くことは行っていない。また, 例えばIEA(国際エネルギー機関)による同様のエネルギー需給見通し”World Energy Outlook”¹⁴⁾では気温上昇を2℃に抑えるという目標を先に定めた上で, それに到達するための技術導入想定を行っているのに対し, 本試算では上記のようにある前提のもとでの最大限の技術導入を想定し, それによる省エネルギー・CO₂削減の効果を評価していることが手法の違いとして挙げられる。

3. 結果・考察

3.1 一次エネルギー消費の見通し(レファレンスケース)

図6に地域別の世界の一次エネルギー消費見通しを示す。

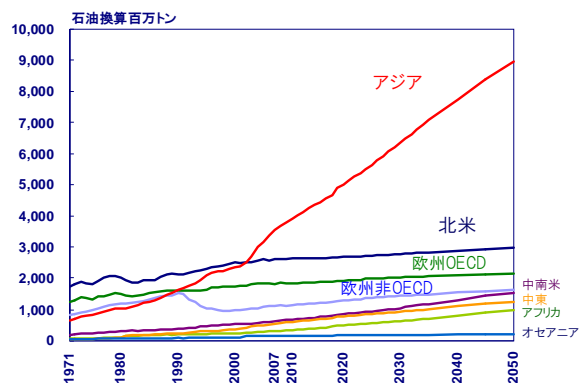


図6 地域別一次エネルギー消費の見通し

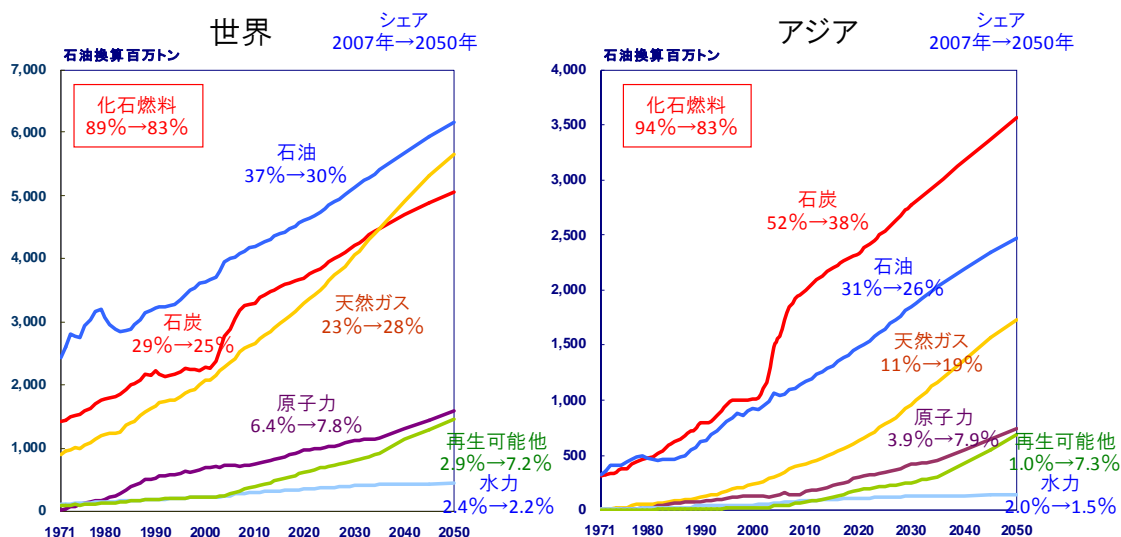


図7 エネルギー源別一次エネルギー消費の見通し

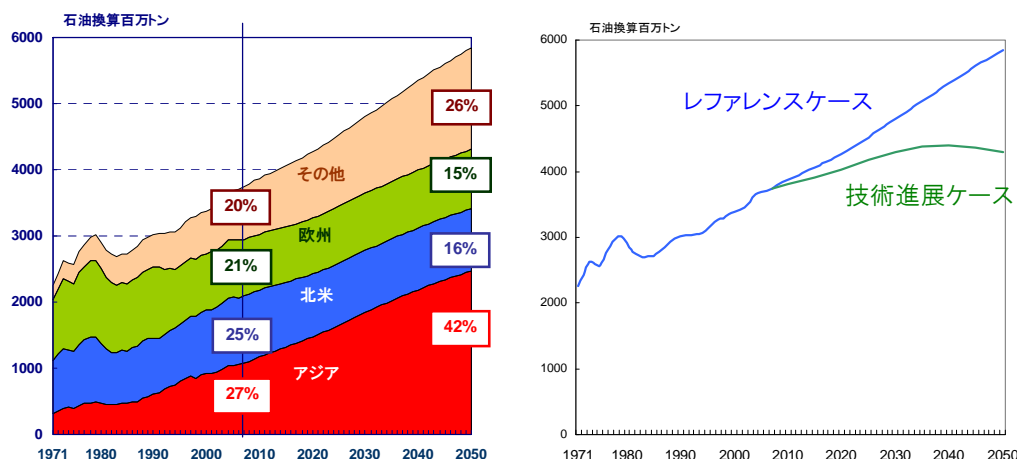


図8 石油消費量の見通し(左：レファレンスケース，右：ケース間比較)

レファレンスケースでは、世界の一次エネルギー消費は2007年から2050年まで年率1.4%で増加し、2007年の石油換算111億トンから2050年には204億トンまで拡大する。2007年から2050年までのエネルギー消費増加量の約9割が、発展途上国（非OECD諸国）において生じる。特にアジア地域は年率2.3%の経済成長により世界のエネルギー消費増加量の約6割を占め、同地域における増加が世界のエネルギー消費を牽引する。中でも中国・インドの成長が著しく、この2国で世界の一次エネルギー消費の約3割を占める。

図7にエネルギー源別に見た世界とアジアの一次エネルギー消費の見通しを示す。エネルギー源別に見ると、世界では2050年まで依然として石油が最も構成比率の大きいエネルギー源として着実に増加するとともに、天然ガスの消費量が急増し、石油に続く比率を占める。原子力及び再生可能エネルギー等の普及進展に伴い化石燃料の比率は

89%から83%まで低下するものの、依然として主要なエネルギー源として位置づけられる。

アジアでは、2007年に52%を占める石炭、31%を占める石油の比率は2050年にはそれぞれ38%、26%まで低下するものの、エネルギー消費量自体が急速に伸び続けるため、ともに消費量は大きく増加する。特に、現時点から2050年まで総発電量の半分以上を石炭火力が占める見込みである。一方、化石燃料の中では天然ガスへのシフトが明確となり、一次エネルギー供給に占める天然ガスの比率は2050年には19%まで拡大する。化石燃料合計の比率は2007年の94%に比較すると若干低下するものの、2050年においても80%以上を占める。

3.2 燃料別需給の見通し

(1) 石油

図8に世界の石油消費の見通しを示す。

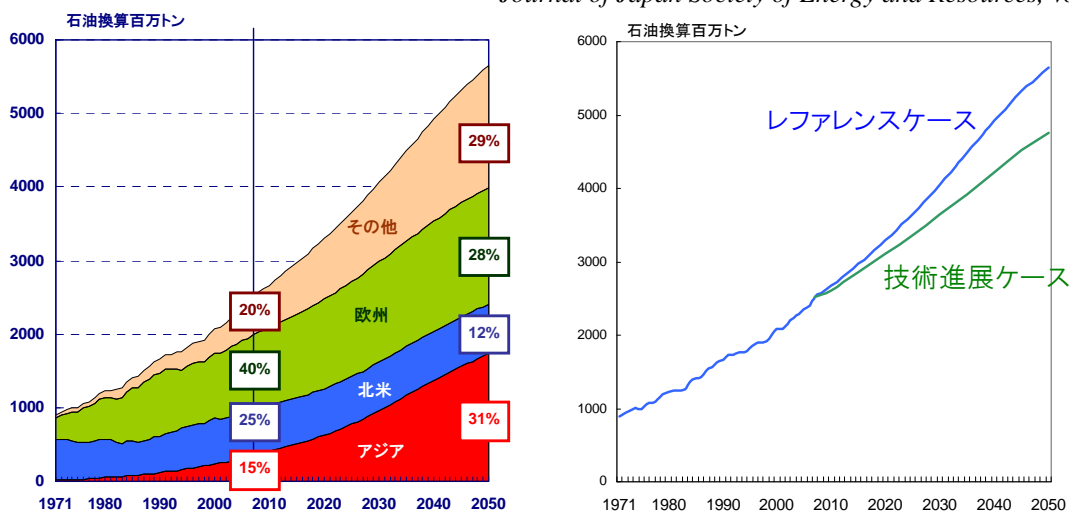
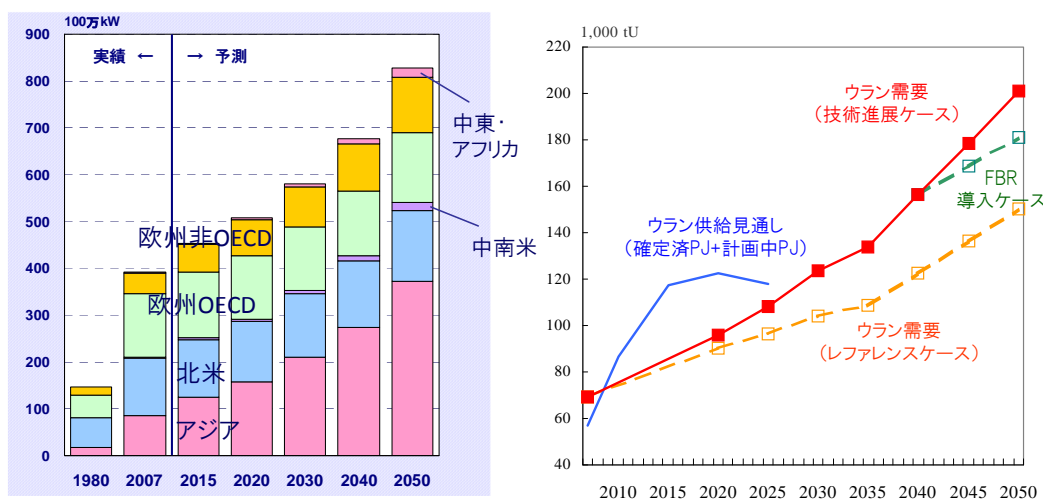


図9 天然ガス消費量の見通し(左：レファレンスケース，右：ケース間比較)



設備容量の見通し(レファレンスケース)

ウラン需給の見通し

図10 原子力発電容量及びウラン需給の見通し

レファレンスケースでは、世界の石油消費量は 2007 年の 8,500 万バレル/日から 2050 年には 1 億 2,900 万バレル/日へ、年率 1.0% で増加する。地域別ではこの増加量の 7 割がアジアで生じ、部門別では 6 割が運輸部門に起因する。既に先進国(OECD)の石油需要は 2005 年以降減少を続けており、2050 年まで年率マイナス 0.2% で減少する一方、途上国(非 OECD)では年率 2.1% で増加する。今後既存油田は生産量が減退に向くと想定されるため、レファレンスケースでは非在来型資源も含めた投資を大幅に増強し、資源の確保に努めることが急務の課題となる。また、需給の逼迫に伴う原油価格の高騰も懸念される。技術進展ケースでは、運輸部門での次世代自動車普及などの効果により、世界の石油消費量は 2040 年頃に頭打ちを迎える。このケースでも積極的な資源開発は必要であるものの、レファレンスケースと比較すると資源需給は大幅に緩和されると想定される。

(2) 天然ガス

図 9 に世界の天然ガス消費の見通しを示す。天然ガス消費量は、レファレンスケースでは 2007 年の 2 兆 8,000 億立方メートルから、2050 年には 6 兆 3,000 億立方メートルへと年率 1.9% で増加する。石油と同様、途上国、特にアジア地域において高い伸びを示す。技術進展ケースでは、天然ガス消費量はレファレンスケースに比べ 2050 年に 16% 程度の減少となるが、石油消費量と異なり、このケースにあっても 2050 年までにピークアウトを迎えず、なお増加傾向が続く。このため、非在来型資源を含む資源開発は今後も不可欠であり、適切な投資の継続が求められる。なお IEA "World Energy Outlook 2010" の見通しでは、世界の天然ガス需要見通しが本試算と比較して小さい上に、削減が最も進展するケース (450 シナリオ) では 2030 年頃に需要がピークアウトし、減退に向う結果となっている。これは、中国等の途上国における天然ガスの増加量を本試算よりも

少なく見積っていることによると考えられる。

(3) 原子力発電及びウラン

図 10 に世界の原子力発電設備量の見通しを示す。上述の通り、原子力については設備容量を外生で設定している。

世界の原子力発電設備量は、2007 年の 392GW から、2050 年にはレファレンスケースで 897GW、技術進展ケースで 1,122GW まで拡大する見通しである。特に中国・インド等の国で急速な進展が見込まれるとともに、東南アジア・中東等の国でも新規の発電所建設が行われる。

これに伴い、ウランの需要量も増大する。テイル濃度（ウラン濃縮を行った際に副産物として生じる劣化ウランの濃度）を 0.3%とした場合、世界のウラン需要量は 2007 年の約 7 万トンから、2050 年にはレファレンスケース、技術進展ケースでそれぞれ 15 万トン、20 万トンに達する。一方で、近年のウラン価格の上昇により現在多くの国で資源開発が積極的に行われており¹⁵⁾、中期的にはウラン需要の増大にもかかわらず需給は極度には逼迫しない見通しである。しかし長期的には、技術進展ケース相当に発電所建設が進んだ場合には天然ウランもしくは濃縮後物の需給に逼迫が生じる可能性も高く、核不拡散問題等に十分な考慮を払いつつ、生産・濃縮等の施設を急速に拡充することが必要である。

3.3 エネルギー起源 CO₂ 排出量の見通し

図 11 にレファレンスケースと技術進展ケースのエネルギー起源 CO₂ 排出量の見通しを示す。

レファレンスケースでは 2007 年の 288 億トンから、2050 年には 485 億トンまで排出量が増大する。技術進展ケースでは、省エネルギー、原子力・再生可能エネルギーの導入、燃料転換、CCS（二酸化炭素回収・貯留）等により排出量は 228 億トンまで減少する。2050 年でのレファレンスケースから技術進展ケースへの削減量 257 億トンのうち、約 7 割が途上国によるものである。また技術対策別に見ると、同削減量の約 4 割が機器効率向上等の省エネルギーによる効果となっている。

この試算結果では、電力の CO₂ 排出原単位は世界平均で 2007 年の 563gCO₂/kWh から 2050 年には 168gCO₂/kWh まで低減する。即ち、発電部門における大幅な CO₂ 排出削減が世界の CO₂ 排出を大幅に削減する上で不可欠である。特に、先進国(OECD)では 110gCO₂/kWh まで極度の原単位低減が必要となるとともに、アジア諸国平均でも 226gCO₂/kWh へ相当の低減が求められる。

また、技術進展ケースにおける CO₂ 限界削減費用は、計算の結果、2050 年に 230 ドル/tCO₂ となった。これは現在

EU-ETS 等で取引されている炭素排出権価格に比べ高い水準であり、原油価格上昇分に換算すると 96 ドル/バレルになる。そのため、今後 2050 年にかけて CO₂ 排出量の大幅な削減を行うためには、革新的技術への適切な投資の確保が重要な課題となる。

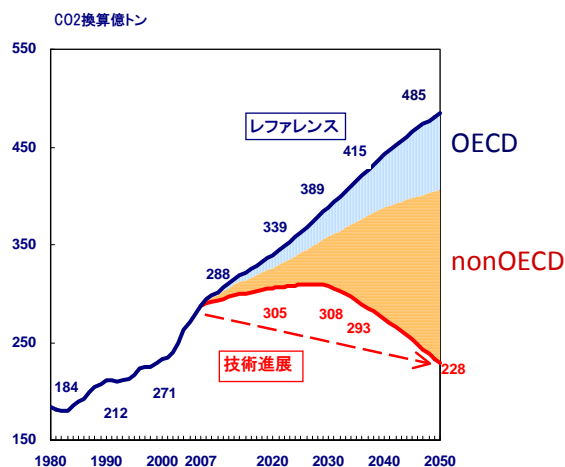


図 11 世界のエネルギー起源 CO₂ 排出量の見通し

4. 結論

本稿では、計量経済型エネルギー需給モデルをコアとした統合型エネルギー経済モデルを構築し、2050 年までの世界のエネルギー需給シナリオを作成した。今後 2050 年までの間に、アジア諸国を中心とした人口増加や経済成長によりエネルギー消費量は急速に拡大する。これに対して特段の対策を講じないレファレンスケースでは、二酸化炭素の排出量が増加を続けると同時に、石油等の資源消費も増大し、需給の逼迫・エネルギー価格の高騰等が懸念される。レファレンスケース相当の CO₂ 排出量の伸び率は、IPCC 第 4 次評価報告書の Kategorie VI の温室効果ガス排出量の伸びに相当し¹⁶⁾、もしその他の温室効果ガス（いわゆる 5.5 ガス）が劇的に削減されない場合には、産業革命以前に比べて 4.9°C 以上の気温上昇をもたらすこととなる。このようなことからレファレンスケースは温暖化影響が大きいと考えられ、省エネルギー・CO₂ 排出削減のためのより大きな努力が求められる。

技術進展ケースは今後実現可能な技術の最大限の普及を想定したケースであり、その実現は決して不可能ではない、と考えられる。しかしそのためには、技術の最大限の普及のために世界各国が協調し、削減のための取組を行うことが不可欠であり、そのための十分な制度設計が求められる。また、この技術進展ケースにおいても、2050 年の CO₂ 排出量は 2005 年比で 16% 減（1990 年比では 8% 増）に止まり、現在国際的な合意の一つとされている「2050 年に世界全体で半減」には到達しない結果となった。今後は、現在考慮

していない革新的技術(水素還元製鉄技術等)を新たに考慮し、技術の導入可能性を再度精査する一方で、資源循環や都市構造の変化等もシナリオ作成に折り込み、世界のエネルギー需給ならびにCO₂排出量を評価する予定である。

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: アジア低炭素社会に向けた中長期的政策オプションの立案・予測・評価手法の開発とその普及に関する総合的研究、「アジアを対象とした低炭素社会実現のためのシナリオ開発」)の支援により実施された。環境省に対し、深い謝意を表すものである。

参考文献

- 1) Komiyama, R., Li, Z. and Ito, K. ; World energy outlook in 2020 focusing on China's energy impacts on the world and Northeast Asia, International Journal of Global Energy Issues, Vol. 24, Nos. 3/4(2005), 183-210.
- 2) 小宮山; アジア・世界のエネルギー需給見通しとCO₂排出量予測, “特集 温室効果ガス25%削減を考える”, 化学経済, 2010年1月号(2010), 65-70.
- 3) 小宮山; 温室効果ガス主要排出国のエネルギー需給の長期展望, 石油学会誌ペトロテック, VOL.33, No.5(2010), 49-53.
- 4) 小宮山, 呂, 青島, 松尾, 永富, ガン, 土井, 末広, 森田, 伊藤, 李; アジア/世界エネルギーアウトック 2009, 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, (2010).
- 5) IEA; Energy Balances of OECD Countries, (2009), IEA Publications.
- 6) IEA; Energy Balances of Non-OECD Countries, (2009), IEA Publications.
- 7) 末広, 小宮山, 松尾, 永富, 森田, 沈; 自動車部門におけるCO₂排出削減効果, 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス論文集, (2010).
- 8) M. A. McNeil, V. E. Letschert, S. R. Can; Global Potential of Energy Efficiency Standards and Labeling Programs, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), LBNL-790E, (2008).
- 9) (財)日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター; 超長期の世界エネルギー需給・地球環境に関するモデル分析, (1995).
- 10) (財)日本エネルギー経済研究所; 各国における原子力発電所の建設に関する実態調査報告書, 経済産業省・平成19年度軽水炉改良技術確証試験, (2008).
- 11) 松尾, 河野, 村上; 東南アジアにおける原子力発電導入の見通し, エネルギー経済, vol. 34, No.4(2008), 59-76.
- 12) 村上, 松尾, 永富; 欧州諸国のエネルギー政策に見る原子力政策変遷と産業界の動向展望, エネルギー経済, vol. 35, No.4(2009), 1-29.
- 13) IAEA; Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030, (2009), IAEA.
- 14) IEA: World Energy Outlook 2010, (2010).
- 15) OECD/NEA; Uranium 2007: Ressources, production et demande, (2008), OECD Publications.
- 16) IPCC; IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, (2007).