

アジア／世界エネルギーアウトLOOK 2011

—不透明さを増す国際エネルギー情勢とアジアの将来—

(財)日本エネルギー経済研究所

【報告要旨】

本研究は、国際エネルギー情勢の変化、世界経済の潮流、とりわけアジアを中心とする新興国の発展、エネルギー政策の動向や地球温暖化対策などを考慮しつつ、長期的な視野に立ってアジア及び世界のエネルギー需給を分析するものである。今回の見通しでは特に、東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故後の各国の政策動向を踏まえた上で、2035年までの長期を対象として整合的、定量的かつ詳細に検討を行った。また、産油・ガス国としても重要な中東諸国についても、省エネ効果を中心に分析を行った。

エネルギー利用を効率化し、化石燃料の消費を抑制するための各種低炭素化技術は、地球温暖化対策及びエネルギー安定供給確保の両面から、今後更にその役割が大きくなるものと期待されている。そこで本研究では、まず過去の趨勢と現行のエネルギー・環境政策等を織り込んだ「レファレンスケース」の分析に加え、「技術進展ケース」として、技術の国際移転の推進等を背景として、先進的な低炭素化技術の普及がより一層拡大したケースを分析した。更にこの「技術進展ケース」相当まで各種の対策や技術導入が進む一方で、福島事故後の政策動向の変化等により世界各国で原子力発電の進展が大幅に遅延・低下する「原子力停滞ケース」を想定し、必要に応じ「原子力ゼロ・ケース」と比較しつつ、その影響を分析した。

また、温室効果ガスの超長期削減目標に向けた関心が世界的に高まりつつあることを踏まえ、それぞれのケースについて2050年までの超長期にわたる革新的技術の導入及び普及拡大を想定し、世界の超長期のエネルギー需給や温室効果ガス削減の姿を素描した。

【主要な結論】

■ 急増するエネルギー需要と安定供給の確保、地球環境問題への対応

世界の一次エネルギー消費はレファレンスケースにおいて2009年の石油換算112億トンから2035年には173億トンへと拡大する（54%増）。その増加量の80%を化石燃料が占め、今後も化石燃料は主要なエネルギー源として引き続き重要である。中でもアジアのエネルギー需要増が世界の需要増を牽引する。特に中国・インドの需要増は著しく、2035年までの両国の需要増は合計28億トンと、世界全体の需要増の45%を占める。エネルギー需要の増大と共に多くの消費国ではエネルギー輸入依存度が上昇し、エネルギー資源確保を巡る競争が激化していく可能性がある。

また、化石燃料資源の供給国での需要増も注視すべき問題である。従来石油輸出国であったインドネシアが国内の需要増に伴い純輸入国へと転じたことは記憶に新しいが、アセアン地域全体でもエネルギー消費量は2035年までの間に現状の2.5倍に拡大し、それに伴い域外からの化石燃料輸入が増加する。また世界最大の化石燃料輸出地域である中東においてもエネルギー需要は急増する。例えばサウジアラビアにおいては、2035年の国内石油消費量は現在の同国の石油生産量の46%に相当する水準まで増大すると見通される。資源供給国における国内需要増加は、資源国にとっての輸出収入確保、輸出量を維持・拡大するた

めの上流開発投資の加速化の必要性、など国際エネルギー市場の安定を考える上で重要な問題となる。

このように化石燃料の需要増大が見込まれる中で、エネルギー安定供給確保は主要国全てにとって益々重要な課題となる。また、同時に地球温暖化問題も世界の持続可能な発展という世界大の重要問題であり、3E+S（下記参照）の課題を解決していくには中長期的かつ総合的視点を持った取り組みの強化が重要である。これらの課題を解決するための万能的な方策は存在せず、需要面では「より一層の省エネルギー」、供給面では「より安全な原子力」、「よりクリーンな化石燃料利用」、「より安価な再生可能エネルギー」、など、あらゆる対策を動員してこれに対処することが求められる。

(1) 福島第一原子力発電所事故による世界の原子力開発への影響

東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故によって、世界的に原子力発電の安全性に対する懸念が高まることとなった。これにより、各国のエネルギー政策には多様かつ大きな影響が現れている。特にドイツ等、一部の国では原子力発電が廃止・縮小される、あるいは建設計画が大きく後退させられるという状況となっている。一方で、従来から積極的に原子力を推進してきた諸国では、3E（Energy security：エネルギー安全保障、Environment：地球環境問題、Economy：経済の持続的成長）の観点から、今後も中長期にわたり原子力発電は維持・拡大を続けるものとみられる。

現在の世界の原子力発電設備のうち6割以上がフランス・ロシア・米国等の原子力推進国や中国・インド等の新興開発国に属するものである。従って世界全体でみた場合、福島事故後の政策の変化により各国の原子力利用が大幅に停滞した場合でも、新興開発国を中心に原子力発電設備容量は増大する。その状況を踏まえると、世界の原子力発電設備容量は現在（2010年）の3億9,000万kWから2035年にはレファレンスケースで5億7,400万kW（47%増）、原子力停滞ケースでも5億kWまで拡大する（28%増）ものと見込まれる。

このため、原子力発電のより一層の安全確保（Safety）が不可欠となる。国際協力によるグローバルな安全管理体制構築に向け、日本を含む技術先進国の積極的貢献が重要である。また一方では、原子力の発電計画の遅延・後退に伴う代替電源の確保も重要な課題となるであろう。

「技術進展ケース」に比べて、世界全体としての原子力発電が停滞し（「原子力停滞ケース」）、その発電量減少が仮に火力発電で代替された場合には、世界のCO₂排出量は2035年に20億トン（7%）増加し、2005年比12%増加となる（ちなみに「原子力ゼロ・ケース」では更に20億トン増加し、2005年比20%増となる）。また石炭消費量は約5億トン（石油換算3.6億トン）、石油消費量は約140万b/d（石油換算0.7億トン）、天然ガス消費量は約140bcm（石油換算1.4億トン：現状の世界のLNG貿易量の約半分程度）増加することになる。この場合、原子力から火力への代替で、発電設備に関しては累積投資額が0.6兆ドル減少する（火力発電設備建設の方が相対的に安価なため）が、火力燃料消費の増加により世界全体として累積2.5兆ドルのコスト増となり、トータルでは大幅なコスト増になる。

一方、原子力発電の減少分を再生可能エネルギー（風力、太陽光等）で代替した場合には、発電設備への投資額は4.5兆ドルの増加となる。仮に設備建設コストが大幅に低減した場合（本試算では太陽光発電パネル＋設置費用が2035年までの平均で現状比半減、洋上風力発電が現在の陸上風力発電と同程度まで低減するものと想定）には、再生可能エネルギー発電の投資額は火力（燃料費のコスト増含む）と同程度まで低減するが、再生可能エネ

ルギーの大量導入は電力系統を不安定化させるため、別途系統対策のコストがかかることになり、コスト減少分はほぼ相殺される可能性がある。

このように、火力発電による代替は安全保障上からも地球温暖化対策の面からも持続的な成長への大きな影響が懸念され、再生可能エネルギーによる代替はコストや系統対策などの長期的な課題の解決が必須である。原子力発電は現状では地球環境問題及びエネルギー・セキュリティ、コスト等の面から必要かつ代替が難しい電源であると考えられ、この認識が既に世界各国の政策に反映されていることから、上述のように今後原子力停滞ケースにあってもその発電設備容量はアジアを中心に増加を続けるものと考えられる。そのため、安全性を確保した原子力発電技術の利用が必須となる。

(2) 3E+Sの課題解決のためのその他の方策

3E+Sの課題を解決するためには、より安全な原子力利用（Safety）に加え、とりわけ以下の3点が重要である。

① 省エネルギー

レファレンスケースと技術進展ケースを比較して得られる2035年までの世界のCO₂削減ポテンシャルのうち、47%が省エネルギー（需要側・供給側双方を含むエネルギー利用効率の向上）である。この比率はアジア・中東等、需要急増が見込まれる地域では特に高くなり、これらの地域では省エネルギーへの期待はそれだけ大きくなる。このように、省エネルギーは最も有効な手段であり、需要が拡大する途上国における省エネ進展の動向が世界のエネルギー・セキュリティ及び温暖化問題に大きな影響を与えることになる。

② 化石燃料の有効利用

世界の一次エネルギー消費に占める化石燃料の比率は、2009年の88%から、2035年にはレファレンスケースでは85%、技術進展ケースにおいても77%となり、今後もエネルギー消費の大宗を占める状況は変わらない。このため、化石燃料のクリーン利用、高効率利用及び安定供給確保は長期的にも重要な課題であり続ける。また、長期の地球温暖化対策のためにはCCS+U（二酸化炭素回収・貯留、CO₂有効利用）の加速的な開発が重要である。

③ 再生可能エネルギー利用の拡大

同様に、エネルギー・セキュリティ及び温暖化問題を考えれば、再生可能エネルギーはその重要度を益々増していくことは必至である。このため、再生可能エネルギーのコスト低減・供給不安定性対策(系統対策)など、普及拡大に向けた政策・研究開発・インフラ整備の強化が喫緊の課題となる。

(3) 2050年までの展望

技術進展ケースにおける2050年の世界のCO₂排出量は、2005年比で29%（1990年比で9%）の減少となる。また原子力発電が停滞したケースでは、2005年比17%減少、1990年比で7%増加と、更に削減量が小さくなり、「原子力ゼロ・ケース」では2005年比4%減少、1990年比23%増加となる。即ち、「2050年までに世界のCO₂排出量を半減する」という目標を達成するためには、現段階で将来の実用化が期待できる技術の導入に加えて、新たな革新的技術の開発・普及が行われることが必要である。特に、「原子力停滞ケース」や、ましてや「原

「子力ゼロ・ケース」では、温暖化ガスの大幅削減は、ますます困難となる。新たな技術革新においては、原子力発電・再生可能エネルギー・CCSやその他の省エネルギー技術の各分野において、更なる研究開発投資を行い、抜本的なブレークスルーと大規模な普及を可能とすることが求められる。

■ わが国へのインプリケーション

極端なエネルギー資源小国である日本にとって、エネルギー・セキュリティの確保は特に重要な課題である。再生可能エネルギーの導入を進める一方で、激化する資源獲得競争の中での化石燃料調達の見点も必要となる。中長期的に、国際協力、とりわけアジア諸国とのエネルギーインフラ連携等、国際連携によりセキュリティ確保に努めることも検討していくことが重要である。また、アジアを中心に原子力発電の増強が進められていく中、日本にとって、福島事故の教訓を踏まえ、安全規制の国際標準の策定、安全技術の移転、人材育成等を通じ、世界レベルでの安全確保に積極的に貢献することも重要になる。もちろん、そのためには国内において、福島事故の収束・安定化を果たし、より安全性を高めた上で、原子力に関する国民的な議論と合意形成が求められていこう。

こうした点を全体としてみると、技術・制度設計面で優位に立つ日本が果たすべき役割は極めて大きい。特に日本にとって強みであるとともに、「3E+S」の達成において中心的役割を果たす省エネルギー技術や環境対策技術などをさらに発展させ、活用していくことが、日本の成長戦略及び国際エネルギー戦略の重要な柱となる。これらの優れた技術を活用して、「3E+S」達成に向けた努力を強化するとともに、技術立国として国内経済の基盤強化を図ることが将来に向けて重要となる。

報告の概要

【主な前提条件】

● 経済成長

世界：2008年のリーマンショックを機に世界の経済成長は一時鈍化したが、その後各国の経済対策等の成果もあり世界経済は最悪期を脱しつつある。ギリシャ債務問題をはじめとして本格的な景気回復には未だリスクも多いものの、中長期的に見ればアジア新興国が牽引役となって世界経済は堅調に推移し、2009年から2035年まで年率3.1%程度の緩やかな成長が見込まれる。

アジア：アジア(日本を除く)の経済成長率は5.2%となり、世界経済の牽引役となる。とりわけ中国は5.7%、インドは6.7%で成長し、両国は世界経済の中でのプレゼンスを拡大する。

● 人口

世界人口は2009年の68億人から2035年には86億人に増加。アジアでは中国が13.8億人、インドが15.8億人に達し、アジア全体では45億人と世界人口の52%を占める。

● 原油価格

原油価格(日本の輸入CIF価格、2010年実質価格)は2010年の79ドル/バレルから、2020年に110ドル、2030年117ドル、2035年120ドルへと推移する。

● ケース設定

分析の基準となる「レファレンスケース」では、現時点で具体的な対応策が実際に盛り込まれるなど、確度の高い政策や技術展開を想定したケース設定とし、「技術進展ケース」では、エネルギー安全保障・地球温暖化対策の一層の強化に対応して技術開発の加速化、革新的技術の普及が世界で大きく進展するものと想定した。更に、この技術進展ケースに対して、福島事故後の政策動向の変化等により世界各国で原子力発電の進展が大幅に遅延・低下する「原子力停滞ケース」、及び「原子力ゼロ・ケース」を想定した。

【主な試算結果】(レファレンスケース)

● 世界

一次エネルギー消費

世界の一次エネルギー消費は2035年まで年率1.7%の増加が見込まれ、2009年の112億トン(石油換算トン、以下同様)から2035年には173億トンへ増加(54%増)する。同消費量に占める化石燃料のシェアは2009年の88%から2035年の85%へ推移し、2035年までの一次エネルギー消費増加量の80%を化石燃料が占め、化石燃料は今後も主要エネルギー源としての役割を担う。

石油需要は2009年の8,050万B/Dから2035年には1億900万B/Dへ2,900万B/D増加し、シェア31%と最も重要なエネルギーの位置を保つ(年率1.2%の増加)。ただし先進国では年率マイナス0.3%で減少し、途上国では年率2.5%で増加する。天然ガス需要は化石燃料中最大の伸び率(2.2%)を示し、2009年のLNG換算21億トンから2035年には37億トンへ拡大する。石炭需要は電力用を中心に年率1.4%で増加し、2009年の47億トン(石炭換算トン、1石炭換算トン=0.7石油換算トン)から2035年には68億トンへと拡大する。

再生可能エネルギー(太陽光、風力発電等)

世界の太陽光発電の設備量は、2009年の2,300万kWから2035年には2億9,000万kWへ増加し、2009年比12倍まで急増する。世界の風力発電設備量は2009年の1億5,000万kWから2035

年には8億8,000万kWまで増加し、2009年比6倍まで拡大する。ただし、世界の発電量に占める太陽光、風力発電の比率は合計で、稼働率が低いこともあり、2009年1.5%、2035年でも5.3%である。また、世界の一次エネルギー消費に占める再生可能エネルギー(水力除く)の比率は、2009年の3.4%から2035年には6.4%に増加する。

原子力

世界の原子力発電設備量は2010年の3億9,000万kWから2035年に5億7,400万kWへ増加する。世界の発電量に占める原子力の比率は2009年13%から2035年11%へ推移する。

● アジア

一次エネルギー消費

アジアの一次エネルギー消費は年率2.6%の増加が見込まれ、2035年までの世界の一次エネルギー消費増加量の60%をアジアが占める（うち45%が中国及びインド）。アジアにおいても増加量の83%を化石燃料が占め、うち35%が石炭、23%が石油、24%が天然ガスである。特に石炭消費量の増加が著しく、世界の石炭消費増加量のうち88%はアジアによる。

石油需給

アジアでは工業化、モータリゼーションの進展を背景に石油需要が増加する一方、域内の石油生産が伸びないため、アジアの石油純輸入量は2009年の7.0億トン(1,400万バレル/日)から2035年に16億トン(3,100万バレル/日)へ拡大し、輸入依存度も66%から80%へ上昇する。

電力化の進展と電力供給

アジアでは所得水準の向上、都市化の進展等に伴い電力化が進み、今後26年間で電力消費は2.5倍に急増する。これに対する電源は、資源が豊富で経済性に優れた石炭火力が中心となる(発電シェア56%)。発電効率がよく環境に適合した天然ガス火力も着実に拡大し、発電量ベースのシェアは2009年の13%から2035年に17%に増加する。アジアでは原子力も急速に拡大し、世界の原子力設備容量の増加量1億8,400万kWのうち1億1,000万kWがアジアで建設される(発電シェアは2009年の7.8%から2035年に9%に増加)。

モータリゼーションの進展

アジアの途上国では、所得水準の向上によりモータリゼーションが一層進展し、アジアの自動車保有台数は2009年の2.2億台から2035年には6.8億台へ増加する。クリーンエネルギー自動車普及や燃費効率向上が進展するが、他部門での消費増もあり、アジアの石油消費は2009年の2,300万B/Dから2035年には4,050万B/Dに拡大する。

● CO₂排出量

化石燃料消費の増大に伴い、世界のCO₂排出量は2009年の291億トンから、2020年358億トン(1990年比68%増)、2035年には427億トン(同101%増)へ増加する。アジアのCO₂排出量は2009年の117億トンから2035年には207億トンへ1.8倍に増加する。アジアは世界全体の増加量の66%を占め、中国だけで世界の増分の約3割を占める。

ポスト京都議定書の議論の中心にある2020年にかけて、先進国のCO₂排出量は2009年から6億トン増加(1990年比13%増)する一方、途上国では62億トン増加(同133%増)し、途上国での排出削減対策強化が急務となる。

● 中東諸国

中東諸国においても一次エネルギー需要は急速に拡大し、2009年の6.1億トンから2035年

には11.1億トンと、1.8倍の規模に拡大する。これは各国のエネルギー需給に大きな影響を与えるものと考えられる。例えばサウジアラビアでは今後2035年にかけて石油消費量が2.3倍に増大し、現状の原油生産量に占める石油の国内消費量21%に対し、仮に2035年に同水準の原油生産を仮定した場合、国内消費比率は46%まで上昇する。このため、今後長期にわたる化石燃料輸出余力の確保が重要な課題となる。

【主な試算結果】（技術進展ケース）

● 世界における技術進展のインパクト

技術進展ケースでは、エネルギー安定供給確保、温暖化対策の強化や、技術の国際協力や国際移転の促進を背景に、革新的技術の普及が世界で一層拡大すると想定する。具体的には、産業プロセス効率向上、家電の省エネ強化や、次世代自動車、バイオ燃料、クリーンコール技術、再生可能エネルギー、原子力、CO₂回収貯留技術(CCS)の導入拡大等を想定する。これらの技術進展・普及は、日本など省エネ先進国の技術・制度設計等の面における国際協力が機能すれば、実現可能な長期目標として位置づけられる。

世界：技術進展ケースでは、2035年の世界の一次エネルギー消費はレファレンスケースよりも石油換算27億トン減少(16%減)する(同省エネ量は日本の2009年の総エネルギー消費(5.0億トン)の約5.4倍に相当)。この省エネ量27億トンのうち、先進国が7.7億トン、途上国が19.2億トンを占め、途上国での省エネ量は先進国の約2.5倍に達する。また2035年の非化石エネルギーのシェアは、レファレンスケースの15%から技術進展ケースでは23%へ増加する。

石油、天然ガス及び石炭の消費は、2035年にそれぞれ9.0億トン(16%)、8.0億トン(18%)及び17億トン(36%)削減される。石油消費は2030年にピークアウトを迎える一方で、天然ガスの消費は技術進展ケースにおいても増加を続ける。また、石炭消費は発電部門の燃料転換・効率向上などに伴い、化石燃料の中では最も大きな削減量を示す。

アジア：2035年のアジアの一次エネルギー消費はレファレンスケースよりも15億トン減少(19%減)する(同省エネ量は日本の2009年の総エネルギー消費の約3倍に相当)。アジアの省エネ量15億トンは、世界の省エネ量27億トンの5割強を占めるため、アジアの省エネポテンシャルは極めて大きいと言える。2035年の非化石エネルギーのシェアは、レファレンスケースの12%から技術進展ケースでは22%へ増加する。

石油、天然ガス及び石炭の消費量削減は、2035年にそれぞれ3.9億トン(20%)、2.8億トン(22%)及び12億トン(36%)となる。技術進展ケースにおいても石油及び天然ガスの消費は拡大を続けるが、石炭消費は大きく削減され、ピークアウトを迎える。

中東：技術進展ケースでは、2035年の一次エネルギー消費はレファレンスケースに比べて1.2億トン(11%)減少する。特に省エネルギーの効果が大きく、同地域における省エネの進展は今後の重要な課題となる。

● CO₂排出量へのインパクト

世界：エネルギー・環境技術の一層の進展により、世界のCO₂排出量は2005年から2020年で51億トン(2005年比19%増)増えるが、2020年代前半にはピークアウトする。2035年の世界のCO₂排出量は141億トン減少(33%減)する(同削減量は日本の2009年のCO₂排出量の約13倍に相当)。CO₂削減量141億トンのうち、先進国で43億トン、途上国で99億トン削減され、途上国での削減量は先進国の2倍以上に及ぶ。アジアでの削減量は80億トンに達し、世界の総削減量の57%を占めるため、アジアのCO₂削減ポテンシャルは極めて大きいと言える。

アジア：アジアのCO₂排出量も、技術の進展により2020年代後半にピークアウトする。そして、2035年のアジアのCO₂排出量は80億トン減少(39%減)する(同削減量は日本の2009年のCO₂排出量の約7倍に相当)。このCO₂削減量80億トンのうち、中国で43億トン、インドで17億トン、他アジアで21億トン削減される。

技術の役割：CO₂排出量削減をもたらすのは、様々な先進技術を総合した効果であり、全てのオプションが重要である。2035年の世界のCO₂削減量141億トンのうち、省エネが66億トン(総削減量に占める割合:47%)、原子力が19億トン(同14%)、再生可能エネルギーが11億トン(同8%)、燃料転換が15億トン(同11%)、CO₂回収貯留技術(CCS)が26億トン(同19%)の削減に貢献する。また2035年のアジアの削減量80億トンのうち、省エネが40億トン(同50%)、原子力が11億トン(同14%)、再生可能エネルギーが7億トン(同8%)、燃料転換が8億トン(同9%)、CCSが14億トン(同17%)の削減に寄与する。省エネ、原子力、再生可能エネルギー、燃料転換、CCSがエネルギー需給の低炭素化に向けた中核的役割を担う。

● 原子力停滞の影響

原子力停滞による発電設備容量見直し：福島事故後の政策の変化により世界各国の原子力利用が大幅に停滞した場合でも、フランス・ロシア・米国等の原子力推進国や中国・インド等の新興国を中心に原子力発電は持続する。このケースでは、現状の発電設備容量3億9,000万kWから、2035年にはレファレンスケースに比べ7,400万kW減の5億kWまで拡大する。

CO₂及び化石燃料消費への影響：原子力の停滞による発電量減少が仮に火力発電で代替された場合、世界のCO₂排出量は技術進展ケースに比べて2035年に20億トン(7%)増加する。また石炭消費は約5億トン(石油換算3.6億トン)、石油消費は約140万b/d(石油換算0.7億トン)、天然ガス消費は約140bcm(石油換算1.4億トン：現状の世界のLNG貿易量の約半分程度)増加することになる。

2035年までの累積投資額：2035年までのエネルギー供給部門への累積投資額は世界全体でおよそ30兆円と試算され、技術進展ケースでは需要部門(省エネ等)に追加的投資が必要となり、全体で51兆ドルの投資となる。原子力停滞ケースでは、火力発電で代替する場合には発電設備への累積投資額は0.6兆ドルの減少となる。一方で火力燃料消費の増加により累積2.5兆ドルのコストがかかり、トータルでコスト増になる。

再生可能エネルギー(風力、太陽光等)で代替した場合には、発電設備への投資額は4.5兆ドルの増加となる。仮にコストが大幅に低減した場合には、再生可能エネルギー発電の投資額は火力と同程度まで低減するが、再生可能エネルギーの大量導入は電力系統を不安定化させるため、別途系統対策のコストがかかり、コストは高止まりとなる可能性が大きいことに注意が必要である。

【主な試算結果】(中国、インド)

● 中国

中国は投資・輸出中心から国内消費中心の経済成長へ移行し、経済成長率を年率5.7%と想定。一次エネルギー消費は年率2.5%で2009年の石油換算20.6億トンから2035年には39.0億トンに増加し、世界全体の22%を占める。2035年に中国のエネルギー消費は日本の約9倍、CO₂の排出量は10倍になり、いずれも世界第1位である。

石油：石油需要は急速なモータリゼーションの進展で2009年の770万B/Dから、2035年には1,630万B/Dに拡大する。国内石油生産の増大が見込めないことから、石油の輸入依存度は2009年の49%から2035年には76%へと上昇する。

石炭：石炭需要は発電用を中心に増大し、2009年の石油換算15.2億トンから2035年には20.8億トンに拡大する。一次エネルギーに占めるシェアは現在の74%から54%へと低下するものの依然として最大のエネルギー源である。鉄鋼生産量は2009年の5.7億トンから近い将来ピークを迎え、その後2035年にかけて5億トン弱まで減少する。この結果、産業用の石炭消費量は徐々に減少する。

原子力：現在中国では既に30基の発電用原子炉を建設中、更に多数の原子炉建設を計画している。中国の原子力発電設備容量は2020年に60GW、2035年には104GWと急速に拡大し、発電電力量に占めるシェアは2035年に9.0%まで拡大する。

技術進展ケース：省エネ先進国からの技術移転等を通じた先端技術の導入により、2035年でレファレンスケースに比較して石油換算8.2億トン(21%減)の省エネが実現する。中国のCO₂排出量は、省エネや原子力など非化石エネルギーの導入拡大により、2020年代にピークアウトする。2035年でレファレンスケースに比較して、43億トン(39%減)のCO₂削減が実現する。

● インド

インド経済は労働人口の増加等を背景に年率6.7%での持続的成長を遂げる。一次エネルギー消費は年率4.0%と中国を上回る伸び率で増加、2009年の石油換算5.1億トンから2035年には14.3億トンと約2.8倍に増加する。

石油：石油需要は2009年の320万B/Dから2035年には780万B/Dに増加するが、石油生産は大幅な増加が期待できないことから、石油の輸入依存度は2009年の76%から2035年には87%へ上昇する。

天然ガス：天然ガス需要は年率4.8%と大きな伸び率を示し、2009年の石油換算0.5億トンから2035年には1.7億トンへと拡大する。

石炭：石炭需要は発電用を中心に年率3.9%の伸びを示し、2009年の石油換算2.9億トンから2035年には7.7億トンへと2.7倍に拡大し、依然として最大のエネルギー供給源(54%)である。今後は輸入炭への依存も増すことから、アジア各国で石炭需要が増大する中で輸入ソースの確保が課題となる。

原子力：インドでは既存のトリウム・サイクルの研究開発に加え、海外諸国から大型軽水炉技術の導入を行い、その発電設備容量は現在の4GWから、2020年に18GW、2035年に35GWに達する。これに伴い、発電電力量に占めるシェアは2035年に5.3%まで上昇する。

技術進展ケース：先進的な省エネ技術等の導入拡大により、インドの一次エネルギー消費量は2035年でレファレンスケースに比較して石油換算3.4億トン(24%減)の省エネが実現する。

【主な試算結果】(2050年までの世界エネルギー需給予測)

革新的クリーンエネルギー技術導入によるエネルギー市場への影響を分析するためには、2035年以降を見据えた超長期的な視点での評価が必要になる。2035年までの予測の延長線上として、2050年に向けて、一層のクリーン技術の普及、拡大が世界のエネルギー需給や温室効果ガス削減に与えるインパクトを分析した。

化石燃料：技術進展ケースでは、世界の化石燃料の消費量は2035年付近でピークアウトする。しかし同ケースにおいても、化石燃料は2050年に依然として世界の一次エネルギー消費の約7割(71%)を占めるため、化石燃料の高効率利用、安定供給確保が重要な課題となる。

天然ガス：世界の天然ガスの消費量はレファレンスケース、技術進展ケースの双方において、2050年に向けて引き続き消費が拡大する。継続的な投資による天然ガスの安定供給の確保が不可欠となる。

電源構成：2050年の世界の発電量に占める非化石電源(原子力、再生可能エネルギー発電)の比率は、レファレンスケースで約3割(31%)となる。技術進展ケースでは5割以上(57%)へ拡大し、先進国で約7割(71%)、途上国で約5割(51%)となる。技術進展ケースでは特に、再生可能エネルギーの導入量が大きく増加し、2050年の世界の風力発電の設備量は現状比15倍、太陽光発電で同53倍、太陽熱発電で同700倍、バイオマス発電で同4.4倍へ拡大する。

CO₂排出量：技術進展ケースにおける2050年の世界のCO₂排出量は、2005年比で29%（1990年比で9%）の減少にとどまる。ちなみに、「原子力停滞ケース」では2005年比17%減（1990年比7%増）「原子力ゼロ・ケース」では2005年比4%減（1990年比23%増）となる。世界のCO₂排出量を2050年までに半減するためには、本ケースの技術の想定以上に、新たな革新的技術の開発・普及が行われることが必要である。具体的には、原子力発電・再生可能エネルギー・CCSやその他の省エネルギー技術の各分野において、更なる研究開発投資を行い、革新的なブレークスルーと大規模な普及を可能とすることが求められる。

【結論】

■ 福島第一原子力発電所事故の影響と今後の見通し

東日本大震災及び福島第一原子力発電所の事故によって、世界的に原子力発電の安全性に対する懸念が高まることとなった。その状況下、各国のエネルギー政策には多様で大きな影響が現れている。

安全性への懸念増大によって、原子力発電は、一部の国では廃止・縮小、あるいは建設計画が大きく後退する状況となっている。しかし、世界全体で見れば、3E (Energy security : エネルギー安全保障、Environment : 地球環境問題、Economy : 経済の持続的成長) の観点から、中長期にわたり原子力発電は維持・拡大を続けるものとみられる。中でも増加の中心となるのはアジアなどの新興国である。

そのため、原子力発電のより一層の安全確保 (Safety) が不可欠であり、国際協力によるグローバルな安全管理体制構築に向け、日本の積極的貢献が重要である。

一方で、原子力の発電計画の遅延・後退に伴う代替電源の確保も重要な課題となる。当面は、コスト等の面から主に天然ガスを中心として火力による代替が行われるだろうが、中長期的にはゼロエミッションである再生可能エネルギーのコストを低減し、その普及拡大を図っていくことなどが重要となる。

■ 急増するエネルギー需要と安定供給の確保、地球環境問題への対応

エネルギー需要、とりわけ化石燃料需要は、経済の拡大とともにアジア地域を中心に増大を続ける。化石燃料の供給制約懸念が高まる中で、エネルギー安定供給確保は主要国全てにとって益々重要な課題となる。また、同時に地球温暖化問題も世界の持続可能な発展という世界大の重要問題であり、3E+Sの課題を解決していくには中長期的かつ総合的視点を持って取り組み強化が重要である。

これらの課題を解決するための万能な方策は存在せず、需要面では「より一層の省エネルギー」、供給面では「より安全な原子力」、「よりクリーンな化石燃料利用」、「より安価な

再生可能エネルギー」、など、あらゆる対策を動員してこれに対処することが求められる。とりわけ、以下の3点が重要である。

① 省エネルギー

省エネルギーは最も有効な手段であり、需要が拡大する途上国における省エネ進展の動向が世界のエネルギー・セキュリティ及び温暖化問題に大きな影響を与えることになる。また、エネルギー需要増大は消費国・輸入国だけの問題ではない。中東等のエネルギー供給地域でも、経済成長と国内低エネルギー価格等によって、国内エネルギー需要が大幅に拡大している。問題は、この大幅需要拡大によって、エネルギー輸出余力が低下する可能性があることである。

省エネルギーは万国共通の重要方策であり、導入余地のアジア・中東等の諸国では特に有効である。

② 化石燃料の有効利用

技術進展ケースにあっても、化石燃料が2035年、2050年までエネルギー消費の大宗を占める状況は変わらない。このため、化石燃料のクリーン利用、高効率利用及び安定供給確保は長期的にも重要な課題であり続ける。また、長期の地球温暖化対策のためにはCCS+U（二酸化炭素回収・貯留、CO₂有効利用）の加速的な開発も重要である。

③ 再生可能エネルギー利用の拡大

同様に、エネルギー・セキュリティ及び温暖化問題を考えれば、再生可能エネルギーはその重要度を益々増していくことは必至である。このため、再生可能エネルギーのコスト低減・供給不安定性対策（系統対策）など、普及拡大に向けた政策・研究開発・インフラ整備の強化が喫緊の課題となる。

■ 2050年までの展望に関して

・ 技術進展ケースで想定した、原子力の導入拡大も含め、現段階で実用化が期待できる技術を最大限導入していくという延長線では、「2050年までに世界のCO₂排出量を半減」という目標を達成することは極めて難しい。原子力が停滞した場合はより厳しく、原子力ゼロとなれば、半減への道のりは、更に遠くなる。目標達成のためには、本ケースの想定した以上の新たな革新的な技術の開発・普及が必要となる。

■ わが国へのインプリケーション

極端なエネルギー資源小国である日本にとって、エネルギー・セキュリティの確保は特に重要な課題である。再生可能エネルギーの導入を進める一方で、激化する資源獲得競争の中での化石燃料調達の見点も必要となる。中長期的に、国際協力、とりわけアジア諸国とのエネルギーインフラ連携等、国際連携によりセキュリティ確保に努めることも検討していくことが重要である。また、アジアを中心に原子力発電の増強が進められていく中、日本にとって、福島事故の教訓を踏まえ、安全規制の国際標準の策定、安全技術の移転、人材育成等を通じ、世界レベルでの安全確保に積極的に貢献することも重要になる。もちろん、そのためには国内において、福島事故の収束・安定化を果たし、より安全性を高めた上で、原子力に関する国民的な議論と合意形成が求められていこう。

こうした点を全体としてみると、技術・制度設計面で優位に立つ日本が果すべき役割は極めて大きい。特に日本にとって強みであるとともに、「3E+S」の達成において中心的役割を果たす省エネルギー技術や環境対策技術などをさらに発展させ、活用していくことが、日本の成長戦略及び国際エネルギー戦略の重要な柱となる。これらの優れた技術を活用して、「3E+S」達成に向けた努力を強化するとともに、技術立国として国内経済の基盤強化を図ることが将来に向けて重要となる。

【本予測の位置付け】

本予測は一定の仮定のもとで論理的・数量的整合性に基づき一つの試算として提供したものである。将来のさまざまな不確実性を考えると、数値の振れ幅は小さなものではないが、将来のエネルギー需給を考えるに際しての参考資料、議論のたたき台となれば幸いである。