

長期的かつグローバルな視座から国内のエネルギーミックスの在り方を展望

2015年4月21日

エネルギー総合工学研究所

I エネルギーミックスを考える基本的視座

グローバルな視野での倫理・理念の必要性

エネルギーミックスに関する検討において、我が国固有のエネルギー需給の状況を的確に把握・考察することは重要であるが、当面の国内における実利的な対応のみに囚われることなく、将来世代に対する責任といった倫理的な視点と、国際社会における責任という大きな視座からの考察が必要である。今回のエネルギーミックスの検討結果は、COP21の議論への反映が目指されているように、同時にグローバルな課題に対する我が国としての回答との側面を併せ持つことを忘れてはならない。

その際のグローバルな視点とは、単に地球温暖化の問題にとどまらず、人類が直面する長期に亘る持続的発展への諸課題に対する考慮であり、そのような課題に対して、エネルギーの側面から我が国としてどのように取り組んでいくかとの基本的な姿勢が問われることでもある。国連においては、2015年までに達成すべき国際的な共同目標としてミレニアム開発目標(MDGs)を掲げ幅広い取り組みを行ってきた。現在、その次の開発アジェンダの策定が進められている。エネルギーは、生存と生活の質を支える基盤であり、我が国のエネルギーミックスは、このような文脈でもとらえる必要がある。

このようにグローバルな視野の下、我が国のエネルギーミックスを検討するため、基本的な判断の規範となるべき倫理(Ethics)の視点を取り入れることを提案する。既にエネルギーミックスを倫理の視点から論ずる試みは、EUにおいて行われている。EGEグループ(European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission)において、EU憲章に盛り込まれた人間の尊厳や人権への敬意、社会的正義、連帯などEU市民が共有する価値に基づき検討され、報告書(Opinion No 27: An ethical framework for assessing research, production and use of energy)として取りまとめられている。具体的には、倫理の視点からの基準となる項目として、①エネルギーへのアクセス権、②エネルギー供給のセキュリティ、③エネルギーの持続可能性、④エネルギーの安全性、それらに横断的に関係する⑤正義・公平性、が挙げられている。

そこでの検討結果を踏まえ、既に我が国のエネルギーミックスの検討において取り入れられている視点(エネルギー基本計画において示された基本的視点:「安定供給(エネルギー安全保障)」、「効率性の向上による低コストでのエネルギー供給(経済効率性)」、「環境への適合」及び「安全性」)

(3E+S))を見ると、安定供給や環境への適合、安全性など倫理の視点から重要な項目が挙げられている。経済効率性は、負担可能なコストのエネルギーを供給することによりエネルギーへのアクセス性を高めることにつながると考えられる。このように倫理の視点と現在のエネルギーミックスの検討の視点とは相当程度重複している。しかしながら、以下の倫理の視点が十分に取り入れられていないと考えられる。これらの視点によるエネルギーミックスへの反映について、後述する。

- 公平性 1: 地球上の限られた資源を共有するグローバルな市民間の公平性
- 公平性 2: 世代間の公平性

なお、このような倫理・理念に基づく検討は、様々な立場を持つステークホルダー間の議論に共通の足場を与えることとなり、建設的な合意形成プロセスが生まれると考える。

2050年以降につながる長期的視座からの2030年の展望

現在、エネルギーミックスの議論は2030年に焦点を当てているが、エネルギーの需給関連施設は、その計画・建設に多くの年月を要することを踏まえると、2030年における選択の幅は相当程度限られたものとならざるを得ないことを認識する必要がある。問題は、2030年の先に大きく異なる複数のエネルギーミックスの姿が現れてくることであり、その分岐点(選択肢)は、必ずしも2030年のエネルギーミックスには明示されないおそれがある。

国際的な地球温暖化対策の検討は、2050年、更には2100年を見通したシナリオに基づき行われている。つまり、2030年という選択の幅の少ない通過点の先に到来する厳しい(あるいは破滅的な)未来を避けるための政策選択が迫られているのである。

このため、2050年以降までを視野に入れたエネルギーミックスを展望し、そこに織り込まれる政策等の選択肢を後述する。

未来を拓くエネルギー技術戦略の構築と適用

今後のエネルギー需給は、エネルギー市場の自由化が進展する中で経済の競争原理に基づき形づくられていくことを考慮すると、エネルギーミックスにおけるエネルギー源別のシェアは、規制的手法と経済性(投資コストなども含んだ総合的なもの)を通じて達成されていくと考えられる。

このため、エネルギー技術は、規制の基準等に適合するとともに、経済性を有するものであることが求められる。一方、地球温暖化を食い止めるためのエネルギー技術の多くは、日本も含め様々

な国での市場メカニズムに沿った広範な普及を期待するには、経済性や信頼性などの面でまだ課題を抱えており、政府の支援措置によって、ようやく検討の俎上に乗る状況にある。

既に我が国は、地球温暖化問題解決のイノベーションを促進するため、ICEF を開催するなど、エネルギー技術の重要性を踏まえた対応を行っている。このような努力を更に充実強化し、2050 年以降のエネルギーミックスを実現する鍵となる技術の開発・導入について、戦略性を持って、早期に取り組みを開始することが必要である。技術開発は、「倫理：公平性 2」に沿い将来世代の選択の自由度を拡大するものと考えられる。このために行うべき取組について後述する。

II エネルギー源別の考察

(1) 化石エネルギー

エネルギー基本計画において、石炭は安定性・経済性に優れた重要なベースロード電源、また、天然ガスについてはミドル電源の中心的役割を担う重要なエネルギー源として位置づけられるなど、化石エネルギーは我が国において引き続き重要なエネルギー源と位置付けられている。

一方、我が国では東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「東電福一事故」という。）に伴い火力発電への依存度が高まった結果、2013 年度には、発電用輸入燃料費が 7 兆円を超えるとともに、エネルギー起源の CO₂ 排出量が過去最大を記録しており、これまで地球温暖化問題をリードしてきた我が国の国際的責務が厳しく問われている。また、限られたエネルギー資源の共有に関する公平性の観点から、我が国は、高いエネルギー技術を有する国として原子力や再生可能エネルギーに関する技術の研究開発、実用化を進め、化石資源の消費を減少させるとともに、途上国を含む世界へ向けて、それぞれの国に適した技術の普及を図り、途上国による化石資源へのアクセス権を確保することが求められている。このように、輸入燃料費の負担に伴う国民経済への影響や資源確保に係る「倫理：公平性 1」の観点から、CO₂ 排出量の抑制を図るために LNG への依存度を高めることは望ましいとは言えない。

火力発電に関する技術については、発電効率の向上を目指し、先進超々臨界圧火力発電（A-USC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）などの研究開発を進めるとともに、長期的な視点から CO₂ 削減を図るため、これらの発電効率の向上に加え、CO₂ の回収・貯留技術（CCS）の開発及び導入が必要となる。

しかしながら、微粉炭火力における燃焼排ガスからの CO₂ 回収である Post-Combustion や IGCC のようにガスタービン入口ガスからの CO₂ 回収である Pre-Combustion といった現在研究開発が進められている CCS 技術では、送電端効率が 10 ポイント程度低下することとなるため、長期的な資源問題の観点から見ると望ましいものとは言えない。

このため、CCS の普及を図るためには、CO₂ 回収を既存の発電システムに追加するこれらの技術に加え、本質的に CO₂ 回収を行う発電方式、例えば、CO₂ 分離型化学燃焼石炭利用技術(ケミカルルーピング燃焼)や CO₂ 回収型次世代 IGCC (Oxy-fuel IGCC) といった技術開発を積極的に進めるべきである。

(2) 原子力

(原子力の基本的な位置づけ)

原子力は、優れた安定供給性と効率性、低廉な運転コスト、低炭素、高い燃料備蓄性といった特質を有し、安全性の確保を大前提にエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源として位置づけられている。

国民の原子力に対する最大の懸念は、安全性である。ひとたび原子力災害を経験した国民が原子力への強い拒否反応を抱くのは当然のことである。この安全性確保のために、独立性の高い規制組織(原子力規制委員会)が設置され、炉心溶融につながる過酷事故にも対応しうる新たな規制基準が作られており、この新規制基準に基づき原子力発電所の再稼働へ向けての審査・検査が進められている。原子力規制委員会は、国民の懸念に応えるべく、一層の説明責任を果たすことが求められる。

当研究所においては、東電福一事故の前に、海外の安全基準等を参考として、過酷事故に対応しうる次世代軽水炉の開発をプラントメーカー及び電力会社と共に進め、東電福一事故の直前にプラント概念を取りまとめていた。この経験から、原子力発電に伴う事故リスクを十分小さなものにすることは可能と考えている。

しかし、この安全性の確保は、高い技術力と規制制度も含めた社会インフラを必要としており、必ずしも全ての国が原子力の導入に適しているわけではない。「倫理: 公平性 1」に基づけば、原子力先進国、就中、原子力事故を経験し安全性を確保するための原子力技術と規制体制を高めてきている我が国は、原子力利用を今後も進め、化石燃料に依存せざるを得ない途上国等のため限られた化石エネルギー資源の使用を抑えることが責務と考えられる。

(リプレースの必要性)

エネルギー基本計画においては、可能な限り原発依存度を低減させるとの方針の下で安定供給やコスト低減、温暖化対策等の観点から確保していく規模を見極めるとしているが、リプレースについては、言及がない。これは、電力会社のリプレースに対する選択を制限する結果となっており、将来世代の選択肢を大幅に狭めることにつながるものである。「倫理: 公平性 2」に基づけば、避けるべき政策判断と考えられる。

原子力発電所の開発には、地元の了解、詳細設計の実施、規制委員会の審査、原子炉施設の建設など長期のリードタイムを要する。仮に現時点で、電力会社がリプレースの経営判断をしても、リードタイムを考えると、2030年の稼働は厳しいと考えられ、リプレースの判断時期を遅らせることにより、長期のエネルギーミックスに制約を課すこととなる。早急に電力会社に対してリプレースの選択肢も認め、電力会社が既設炉と新設炉の適正な組み合わせを経営戦略として判断できる条件を整える必要がある。

なお、「倫理:公平性 2」は、同時に原子力利用に伴う負の遺産とも言うべき放射性廃棄物に対する対策を将来世代に先送りすることなく、現下の課題として取り組むことも要請している。特にリプレースは同時に廃炉への対応を迫るものでもあり、放射性廃棄物の処理・処分に係る基準作りと具体的な処分場の確保への全力を挙げた取り組みが求められる。

(新たな軽水炉開発の必要性)

リプレースに当たって、電力会社は、既設炉を最新の規制基準やそれに追加する自主的安全対策に対応した改造などを行うための投資と、新設炉に要する投資を比較検討することとなる。既設炉は償却が進み発電コストは低下するものの、改造等に要するコストは増大すると考えられる。一方、新設炉は、新技術の適用などにより、規制基準等に効果的・効率的に対応できるため、ライフサイクルコストの低減が可能となる。

このように、リプレースに採用するための新型軽水炉を開発することにより、電力会社に安全性向上努力を求めつつ、同時に、発電コスト(その結果としての電気料金)の低減を達成することが可能となる。前述の次世代軽水炉の開発は、過酷事故対策に対応し得る新技術とともに免震技術の採用により立地場所に依らない標準設計を可能とする、従来にない原子炉を開発しようとしたものであるが、現在開発は中断されている。ここでの成果を踏まえた新たな開発が期待される。

(40年運転制限からの脱却)

現在、規制制度の見直しにより、40年運転制限(1回に限り20年の運転延長が可能)が設けられている。この制度を基に、40年(あるいは60年)を物理的な寿命のようにとらえ、エネルギーミックスの検討のベースとする議論があるが、これは適当ではない。米国においては、既に原子力プラントの大部分(99基中74基)が40年を超える運転延長を認められており、80年運転に向けた動きもみられる。40年運転制限は、長期の運転に伴う施設・設備の経年劣化による問題を避けるための措置であるが、原子力の機器や設備は、必要に応じて取り換え等が行われており、技術的には圧力容器などの心臓部の取り換えも可能であるため、物理的な寿命の設定は難しい面がある。むしろ、電力会社は、施設・設備の維持のために必要となる投資と発電による収益の予測に基づき、適切なタイミングで廃炉に関する経営判断を行うこととなる。

我が国が新たに導入した40年運転制限については、その運用経験と海外の事例等に基づき、科学的・技術的な検討を踏まえ、適当な時期に見直しが見直しがなされるべきと考えるが、いずれにせよ、エネルギーミックスの検討において、40年で個別の原子炉の運転が終わり、廃炉になることを前提とすることは適切ではない。原子力の有する特性と、他電源とのコスト比較等に基づきそのエネルギーミックスにおける役割を判断すべきである。

(3)再生可能エネルギー

再生可能エネルギーは、CO₂を排出せず、国内で生産することができることから、エネルギー自給率向上と地球温暖化対策のために利用拡大を進めるべき重要なエネルギー源であるが、現時点では発電コストや出力不安定性に課題があり、その普及を進めるに当たっては、これらの課題に対応した経済的負担とのバランス(コスト効果)についての評価が必要である。

発電設備の高い設置コストの回収見通しをより確実なものとする事で発電事業への参入を促し、再生可能エネルギーの普及促進を図ることを目的として、2012年7月に固定価格買取制度(FIT)が導入された。しかし、これは再生可能エネルギー導入のための一時的なカンフル剤とも言うべきものであり、導入の進展に伴い賦課金の負担増の問題が生じつつあることや、現在進められている電力システム改革(発電の全面自由化)の趣旨とも相反することから、発電コストの低減等を目指した更なる技術開発を進めるとともに、導入普及やコスト低減の状況を踏まえ、制度の精緻化を図りつつ最終的には制度の終了を目指すべきである。

太陽光発電や風力発電といった出力不安定電源の導入拡大に当たっては、系統インフラの増強や電力貯蔵設備の設置・運用、出力抑制による機会損失、既存電源の利用率や効率の低下などの系統対策費用について、その負担の仕組みを構築するとともに、系統対策のコスト低減のための研究開発を継続して行うことが必要である。

(4)水素エネルギー

水素は、電気や熱と並び、将来の二次エネルギーとしての役割が期待されているが、将来あるべき水素供給・利用システムの有力オプションとして、海外の褐炭等の化石資源や風力等の再生可能エネルギーを海外で水素に変換し、これを輸送に適した形態(エネルギーキャリア)で我が国に輸送し、我が国では燃料電池自動車(FCV)用燃料や発電用燃料として利用する、国際水素エネルギー供給・利用ネットワークや、主として再生可能エネルギーの導入支援システムとしての国内水素ネットワークを構築することが重要である。

具体的には、エネルギー基本計画や水素・燃料電池戦略ロードマップに記載されているとおり、未

利用資源を原料とする CO₂ フリー水素を海外から輸送し、事業用水素発電を行うというチェーンを 2030 年頃の実現することを目指して、水素によるエネルギーキャリアや水素発電に関する研究開発を進めることが必要である。当研究所の試算によれば、この国際的なチェーンが大規模に完成すると想定される 2050 年には、我が国の一次エネルギーの 15%程度を輸入水素で賄うことができる可能性がある。これにより、将来のエネルギー・環境リスクへの対応に、有力な選択肢を提供できることになる。

また、現在、蓄電技術の一つとして、電力を水素に変換・貯蔵する技術が国内外で検討されている。この技術は、出力が不安定な再生可能エネルギーの導入拡大に資するほか、変換・貯蔵された水素は、燃料電池の水素燃料として、またメタンに変換して都市ガスとして利用することが可能であり、高い融通性を有するものとして期待される。

Ⅲ おわりに

現在、2030 年を目標年次としたエネルギーミックスの議論が進められているが、当研究所は、先般、エネルギーミックスの検討に関し、①現状の延長という視点だけではなく、将来の社会を視野に入れた 2050 年を超えるような長期的な視点を持つことが重要、②エネルギーミックスの検討に際しては、未来を決めつけるのではなく、多様な技術オプションを保持しつつ、弾力性のある将来像を描くことが重要、③2030 年のエネルギーミックスの検討においては、より長期的な視点に立って多様なリスクを想定したシナリオの下で検討を行い、その結果を反映すること、すなわち「通過点としての 2030 年のエネルギーミックス」という視点を取り入れていただきたいとの意見を提出した。

今般、これに加え、エネルギーミックスを考える基本的視座として、グローバルな視野の下でエネルギーミックスを検討するに当たって倫理の視点を取り入れることを提案し、EU における検討との比較において十分ではないと考えられる視点として、地球上の限られた資源を共有するグローバルな市民間の公平性、及び世代間の公平性について指摘した。

グローバルな市民間の公平性の視点では、我が国をはじめ、高い技術力を有する先進国は、その技術的・社会的な基盤を利用し高度な技術と規制システムが求められる原子力の開発利用を進めることにより化石資源の消費を減少させるとともに、再生可能エネルギーや化石燃料を高効率・低コストで利用する技術、更にはエネルギー利用面の省エネ技術に関する研究開発を進め、途上国におけるこれらの技術の広範な利用に貢献するとともに化石資源をはじめとするエネルギーへの低コストでのアクセスを可能とすることが求められる。

また、世代間の公平性の視点からは、2030 年以降、あるいは 2050 年以降を見据え、将来世代の選択肢を広げるため、幅広いエネルギー技術の開発を着実に進めることが必要と考える。

次に、2050年以降につながる長期的視座から2030年のエネルギーミックスを展望すべきであることを述べ、エネルギー供給構造を構成するそれぞれのエネルギーに関し、長期的観点から開発を進めることが必要なエネルギー技術等について論じた。

当研究所は、2050年以降のエネルギーミックスを実現する鍵となるのは技術であると考え広範なエネルギー技術に関する研究を進めてきており、政府においても、エネルギー技術の開発・導入について、戦略性をもって早期に取り組むべきことを再度強調するとともに、ロードマップ等に基づき着実に技術開発を進めることの重要性について指摘したい。

なお、近い将来に巨大な自然災害の発生が予想されていることから、今後、そのような事態も考慮したエネルギーミックスのあり方についても検討しておくことが必要である。