

研究紹介「東日本大震災を踏まえた国内エネルギー需給構造のあり方」

石本 祐樹、都筑 和泰、森山 亮、時松 宏治、萩原 直人

財団法人エネルギー総合工学研究所

〒105-0003 東京都港区西新橋1-14-2SYビル8F

Introduction of “A study on Japanese energy balances after the Great East Japan Earthquake”

Tsuzuki Kazuhiro, Ryo Moriyama, Yuki Ishimoto, Koji Tokimatsu, Naoto Hagiwara

The Institute of Applied Energy

1-14-2, Nishi-shimbashi, Minato-ku, Tokyo

Abstract: In this article, the mid-long term energy balances in Japan taking account of the Great East Japan Earthquake was studied. Three major risks that may occur around 2050 were considered. The major risks were low acceptance for nuclear, CO₂ constraint and shortage of oil and gas. It was concluded that the development of various energy technologies such as energy saving, renewable, nuclear and fossil fuels should be promoted to manage the major risks especially for the long-term energy balances. Hydrogen related technologies have a large potential to contribute to manage the major risks.

Keywords: The Great East Japan Earthquake, Japanese energy balances, Fukushima nuclear accidents

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う大津波は、多数の人命を奪っただけでなく、各種ライフラインや原子力発電所及び火力発電所に甚大な被害を与えた。わが国のエネルギー政策について見直しの必要性が言われる状況下、当研究所は、ポスト311戦略検討チームを立ち上げ、主に中長期観点からわが国のエネルギー需給構造のあり方、及びその実現に向けた技術戦略に関する検討を実施している[1-5]。

わが国のエネルギー政策においては、産業立国であること、エネルギー資源が乏しいこと、他国との電力融通ができないことなどを勘案し、「エネルギー安定供給」、「環境制約」、「経済性」のいわゆる3Eが重要視されてきた。

震災により、原子力の社会受容性が大幅に低下し、その分、省エネルギーや節電及び再生可能エネルギー導入への関心が大幅に高まった。これにより、発電予備力の

重要性が認識されるとともに、需要家側の分散型電源や、それらを統合するスマートエネルギーネットワークが注目されている。このようにエネルギー政策に対する震災の影響が注目されているが、前述したわが国の特徴を考慮すると、依然として3Eも重要であり、エネルギー政策のあり方が根本的に変わるわけではない。ただし、原子力や再生可能エネルギーの位置づけが変化したことを踏まえ、エネルギーミックスのあり方については再考が必要である。エネルギー政策を考える場合、短中期的な経済性や事故リスクの議論だけではなく、中長期的な観点も重要である。すなわち、中長期的なエネルギーリスクを適切に抽出し、それらが顕在化しても、対応が可能となるよう（この概念を「ロバスト性」と称する）、必要な技術開発を着実に推進していく必要がある。

これらの検討を進めるための全体フローを図1に示す。短中期の検討対象としては2030年とした。ここでは、震災前に策定された長期エネルギー需給見通し[6]をベースにそこからの変更点を議論する。技術の大幅な進展や

リスクの顕在化が想定される中長期の検討対象は2050年とした。有望な技術についての開発動向・課題を整理し、それらの成否が想定リスクの対応に与える影響を議論する。さらに、それらの接続性にも配慮し、当面の方針を提言する。需給構造の定量評価にあたっては、超長期エネルギービジョンの検討[7]などで実績のある計算ツールを利用した。

本解説では、これらの検討の概要のうち、2050年を見据えた長期のエネルギー技術開発の重要性について述べる。詳細な検討の過程を含めた全容は既報[2-5]を参照されたい。また、既報[2-5]では、水素関連技術による省エネルギー効果や発電量を明示的に示していないが、本稿では、2050年における水素関連技術がそれぞれの想定シナリオにおける重要なオプションであることを述べる。

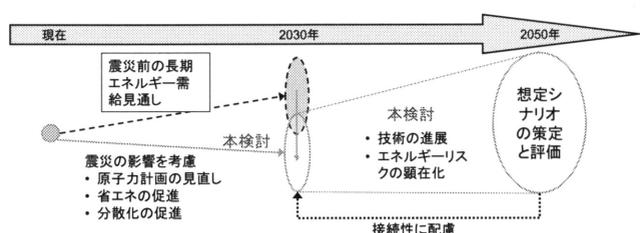


図1. 本検討の流れ

2. 2050年のエネルギー需給解析

ここでは、中長期的に期待される主要技術の動向と、それらの成否が想定エネルギーリスクの対応に与える影響を議論する。

(1) 2050年シナリオ設定の留意点

2050年においては、再生可能エネルギーの大規模導入、省エネルギー技術の大規模導入、原子力の復興あるいは廃止が想定され、2030年に比べて技術選択の自由度は大きくなる。一方、2050年には原子力社会不acceptance、地球温暖化影響の顕在化によるCO₂制約、化石燃料の需給逼迫や価格の高騰などの、エネルギーに係るリスクも大きくなる。

(2) 主要技術の想定

① 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーの中でも太陽光発電と風力発電はポテンシャルが高く[8]、2050年を見据えると大量導入が有望視できる。しかしながら、太陽光発電や風力発電

は間欠性電源と呼ばれ、電力システムへの導入には技術的・コスト的な課題も多い[9]。本検討では、ポテンシャルが高い太陽光発電（PV）について、NEDOの標準気象・日射データ（METPV-3）[10]を用いて、導入設備容量毎に必要な対策を検討した。結果の一例を紹介すると太陽光発電の導入設備容量が30GWを超えるとLNG火力発電所に大幅な出力変動が求められるようになり、200GWを超えると蓄電が必須となる。500GWの導入については、蓄電設備の大規模普及が前提である。本検討における試算では、再生可能エネルギーの導入量については200GWと500GWの場合を想定した。

② 最終エネルギー消費（省エネルギーの度合い）

2050年の最終エネルギー消費は、2030年までの長期エネルギー需給見通しを参考に、それぞれ努力継続ケースと最大導入ケースの傾向が持続すると想定して外挿した。ここで、産業構造やライフスタイルの大幅な変更は想定していない。ここで、努力継続ケースでは機器・設備の効率改善努力とその入れ替えを、最大導入ケースでは法的規制一歩手前の導入策を想定している。

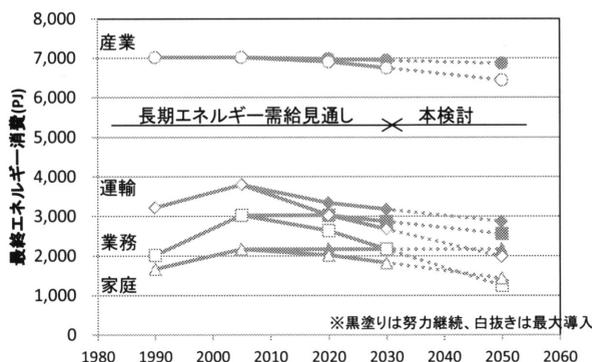


図2. 長期エネルギー需給見通しにおける最終エネルギー消費

③ 原子力発電

原子力発電所の寿命を40年と仮定すると、原子力の設備容量は今後右肩下がり減少して2050年にはほぼゼロとなる。寿命60年を仮定しても2030年以降既設炉の設備容量は急速に減少する。その分の代替として新規サイトを開拓することは容易ではないと考えられるが、寿命を迎えた既設炉を大型炉で置き換えることによって設備容量は現状から2割増加できると見積もられる（原子力発電のシェアは50%程度）。したがって、原子力に対する社会の理解が得られ、かつ原子力の技術基盤が保持

されていれば、2050年に向けて原子力発電を上記の数値程度にできる可能性はある。

(3) 2050年に向けたシナリオ分岐とシナリオ評価結果

図3.に示すように、2050年に向けた危機シナリオとして、原子力社会受容性低下、地球温暖化影響の顕在化によるCO₂制約、石油・LNG燃料の調達困難を想定した。これらの危機シナリオが顕在化した際の対応策を検討した。

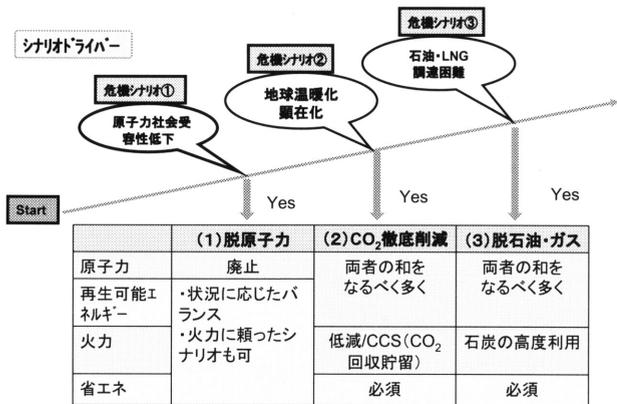


図3. 2050年における主要なシナリオの設定

① 脱原子力シナリオ

これは原子力社会受容性低下に対応するシナリオである。原子力の減少分は再生可能エネルギーと火力によって代替されるが、省エネルギーにより総発電電力量そのものを低減することも有効である。それらのバランスを評価するため、再生可能エネルギーの量の大小(200GW, 500GW)、省エネルギーの進展度合いの高低(図2.)を組み合わせた4つのケースについて、影響を試算した。

図4.及び図5.に計算結果を示す。図4.に示すように省エネルギーが最大導入ケース程度進み、かつ再生可能エネルギーが蓄電と組み合わせられて大規模に普及する図中ケース③では、再生可能エネルギー中心の電源構成となる。それ以外のケースでは、火力発電(主にLNG)が半分以上を担うこととなり、CO₂排出量(図5.)も多くなる。ケース③以外はLNG消費量が2000年より増加し、ケース②では約2倍になる。以上の結果から、火力発電に依存することなく脱原子力を実現するためには、省エネルギーを最大限実施した上で、再生可能エネルギーについても蓄電設備込みで大規模に導入する必要があるということがわかる。このことは、2050年までに脱原子力を明確に指向するには、下記のいずれかが必要ということ

を意味する。

- ・再生可能エネルギーの大規模導入が経済的・技術的に成立する見通しが立ち、すでに相当規模普及していること
- ・化石燃料の調達リスクやCO₂排出制限が顕在化せず、中長期的に火力発電に依存できる見通しが立っていること

② CO₂徹底削減シナリオ(地球温暖化顕在化)

2050年における非化石電源(原子力と再生可能エネルギー)による発電量とCO₂削減量の関係を図6.に示す。

2050年におけるCO₂排出量を1990年の半分に削減するような厳しい制約を実現するためには、省エネルギーを徹底した上で、原子力+再生可能エネルギー(非化石電源)の発電量をなるべく大きくする必要がある。図6.の下部に2.で議論した再生可能エネルギーや原子力の想定導入量を示す。再生可能エネルギーと省エネルギーを最大導入した場合、CO₂半減(90年比)は視野に入るが、これらは技術的・経済的理由によって停滞するリスクがある。従って原子力はCO₂削減の重要なオプションと言える。

なお、CO₂排出には火力発電だけではなく、運輸や産業・民生の熱源などの寄与もあるため、図6で原子力が復興し、再生可能エネルギーが大規模に普及しても(線の右端)、CO₂排出量は1990年比半減よりやや多い。また、再生可能エネルギーの出力変動に対する調整力として利用する観点から、火力発電を0にできるかどうか不明である。したがって、さらなるCO₂排出削減策として、下記の対策も検討していくことが重要である。

- ・CCS(Carbon Capture and Storage: CO₂回収貯留)
- ・海外で製造した再生可能エネルギー起源等の「CO₂フリー水素」の利用
- ・地熱発電、バイオマス、潮力発電、波力発電などの再生可能エネルギー

③ 脱石油・ガスシナリオ(調達困難)

石油と天然ガス(LNG)の価格が高騰し調達困難となった場合、②CO₂徹底削減シナリオと同様に、各部門における省エネルギー促進と非化石電源の導入促進が重要である。あわせて、下記のような石炭の高度利用も重要なオプションとなる。

- ・高効率石炭火力発電: 先進超々臨界圧火力発電(微粉炭焚、A-USC)、石炭ガス化複合発電(IGCC)、石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)など

- ・低炭素原料：石炭液化など
- ・CCS

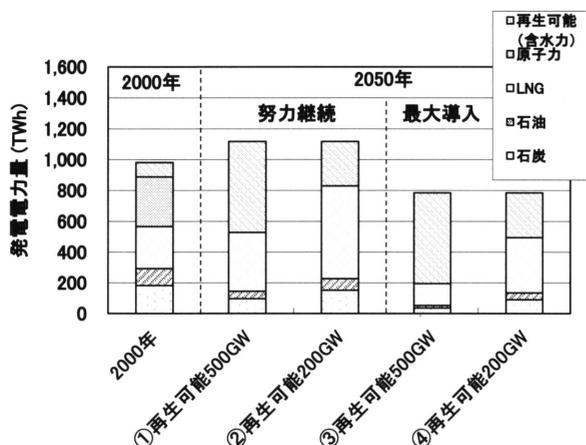


図4. 脱原子力シナリオにおける電源別発電電力量

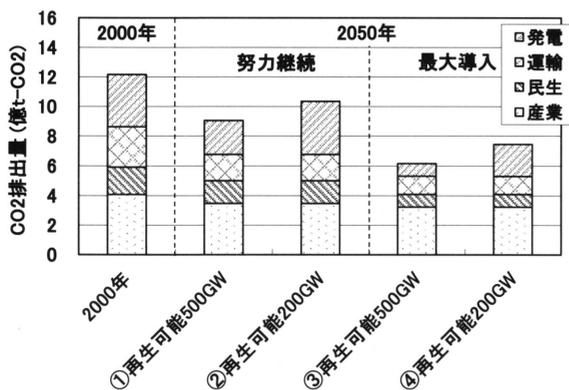


図5. 脱原子力シナリオにおける部門別CO₂排出量

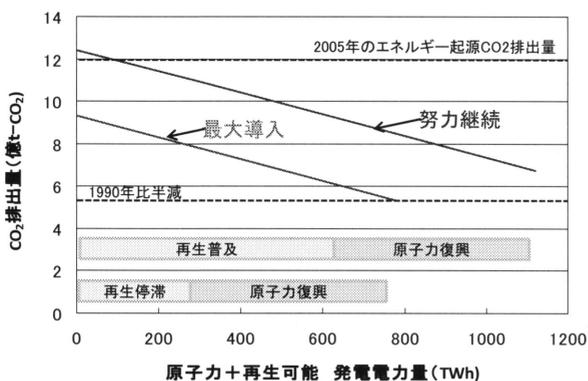


図6. CO₂徹底削減シナリオにおける非化石電源の発電電力量とCO₂排出量(2050年)

3. 2050年の課題整理と水素への期待

これまで述べてきたように、再生可能エネルギーは期待できるが、出力変動の課題を解決する必要がある。省エ

ネルギーはどのシナリオでも有効な方策である。CO₂対策は、発電部門だけでは不十分であり産業、民生部門における対策も重要である。原子力発電はCO₂対策の重要なオプションであるが、社会的な受容性の課題がある。このように、いずれの技術も1つで課題解決ができるほど決定的ではない。ここでは、水素関連技術が担える役割、可能性について議論する。

(1) 出力変動対策

変動する再生可能エネルギー由来の電力が余剰の時に水素を製造、貯蔵し、需要が多いときや再生可能エネルギー由来の発電電力量が少ないときに貯蔵した水素を利用して発電することにより、負荷平準化が行える。これが大規模に実現できれば、火力発電所の大幅な出力変動を緩和できる。米国では、再生可能エネルギー由来電力を貯蔵する複数の技術の検討が行われ[11]、ドイツでは風力発電の余剰電力を水素に変換して既存のガス導管に流す計画がある[12]。このために必要な技術は、変動する再生可能エネルギー由来電力に対応できる水電解システムの開発、水素を安価に大量に貯蔵できる技術、大出力の水素利用発電技術などである。

ここで、再生可能エネルギーやCCSを備えた化石燃料改質等によって製造したCO₂フリー水素について述べる。本検討においても、水素は、二次エネルギーとして国内において一次エネルギーや電力から製造され、燃料電池自動車等で利用されることを想定している。しかし、世界には、再生可能エネルギー等が潤沢に存在する一方でそれに見合った需要のない地域も多く存在する。再生可能エネルギーは電力で捕集されることが多いが、太陽光や風力など再生可能エネルギーの多くは時間的に変動する電源であることによる制御性の問題や、送電線による輸送において、ある一定以上の距離の場合、抵抗による損失によって長距離輸送に向かないなど本質的な課題がある。そのような地域の再生可能エネルギー等を輸送可能な水素に変換し、日本へ輸送して、利用時にCO₂を排出しない新しいエネルギー資源として利用する[13]。この場合の水素は、「擬似的な一次エネルギー」として捉えることができ、日本の一次エネルギー源の多様化にも貢献できると考えられる。

(2) 省エネルギー

代表的な水素関連技術として定置用燃料電池をはじめとするコジェネと燃料電池自動車は、さらに普及進展

することで、運輸、産業、民生の分野の最終エネルギー消費を減少させることが可能な重要なオプションであると考えられる。また、家庭用の定置用燃料電池であるエネファームは、標準装備ではないものの蓄電池の搭載などにより停電時にも稼働するよう改良され、災害等による停電時の電力・熱需要の一部を担う役割も期待できる。燃料電池自動車はその効率の高さにより省エネルギーが期待できる。また、災害対応機能として、一部の車種にはアウトドアや非常用電源として利用できるよう外部に電力を供給する機能が追加された。

(3) 産業・民生

産業・民生部門において水素関連技術を利用する際にCO₂フリー水素を用いることにより、上述した効率向上による省エネルギーだけではなく、燃料消費にともなうCO₂排出削減の効果も期待できる。

CO₂フリー水素を発電部門だけでなく産業・民生部門向けに使う利点としては、廃棄物は水が大半のため、環境負荷が小さいこと、貯蔵性が優れているため、需要に合わせた出力の制御が可能であり間欠性の電源を組み入れる場合に比べ既存のシステムに与える影響が小さいと期待される点が挙げられる。この分野の水素利用技術の幅広い進展が期待される。

4. 結論（ロバストな需給構造の実現に向けて）

本検討で取り上げた各技術に対する施策を下記のように提言する。

- (1) 再生可能エネルギー：技術開発の推進と地に足のついた普及策再生可能エネルギーは将来の有望なエネルギー源であり、大規模導入に向けて技術開発を推進していく必要がある。再生可能エネルギーによる発電量のシェアが総発電量の15~20%を超えるような場合、需給のバランスを取るために蓄電技術が重要となる。したがって、大規模導入向け、発電設備のコスト低減と並行して、水素による電力貯蔵も視野に入れ、蓄電に関わる技術開発が必要である。
- (2) 省エネルギー：技術開発の推進と地に足のついた普及策省エネルギーはあらゆるリスクへの対策となるため、着実な推進が必要である。化石燃料依存度低減やCO₂削減に関して、発電部門は1/3程度の寄与であるため、非電力部門も含めた全分野における省エネルギー技術

が重要である。水素技術分野では、定置用燃料電池や燃料電池自動車のより一層の普及による省エネルギーが期待できる。

(3) 原子力：技術基盤の維持と既設炉の有効活用

2030年以降、化石燃料高騰や環境制約等のリスク顕在化に対し、原子力は強力なオプションとなりえる。よって、当面は原子力発電技術基盤の維持が必要であろう。また、2050年に向けて原子力を増やしていくようなシナリオを選択した場合に備え、安全性を高めた次世代の原子炉開発を進める必要もある。

(4) 火力発電：施設の維持と高効率プラントの有効利用

原子力の減少分は当面は火力発電を中心に代替することになる。その発電効率はCO₂削減や化石燃料消費量低減の観点から重要である。また、間欠性の再生可能エネルギーのバックアップ及び原子力事故対応の観点から、今後も現状程度の火力発電容量を維持していくべきである。

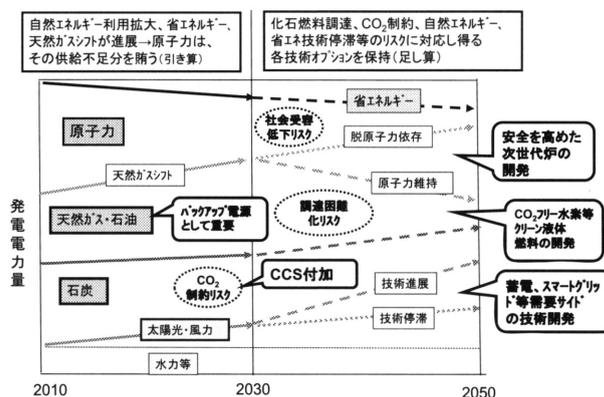


図7. 発電量推移のイメージ

(5) CO₂フリー水素：技術開発の推進と実証事業の開始

海外における再生可能エネルギーやCCSを備えた化石燃料改質等によって製造したCO₂フリー水素は、我が国におけるCO₂排出量の削減やエネルギー資源の多様化に貢献できるため、CO₂フリー水素供給チェーン構築に必要な技術開発を推進し、これらの技術を統合した実証研究を開始してより具体的な課題の設定と課題解決に向けた検討が必要である。

以上の検討結果に基づいた今後の発電電力量の推移イメージを図7に示す。需要（発電電力量）は省エネルギー技術の発展により減少させつつ、図中に示したリスクに対応できるよう幅広い技術開発を継続する必要がある。

参考文献

1. 都筑, 森山, 石本, 時松, 萩原, 「日本大震災を踏まえた国内エネルギー需給構造のあり方に関する検討 (中間報告)」, 季報エネルギー総合工学, 34(2), p.29, (2011)
2. 都筑, 森山, 「日本大震災を踏まえた国内エネルギー需給構造のあり方に関する検討 (中間報告)」, 季報エネルギー総合工学, 34(4), p.17, (2011)
3. 都筑, 森山, 石本, 時松, 萩原, 「震災を踏まえた中長期エネルギー需給構造のあり方と原子力の役割」, 日本原子力学会誌アトモス, 54(3), 9.149 (2012)
4. 森山, 都筑, 石本, 時松, 萩原, 「中長期観点からの国内エネルギー需給構造のあり方と太陽光発電の役割」, エネルギー・資源 33(2), (2012) 印刷中
5. 都筑, 森山, 石本, 時松, 萩原, 「東日本大震災を踏まえた国内エネルギー需給構造のあり方に関する検討」, 日本エネルギー学会誌, 91, p.104 (2012)
6. 経済産業省, 長期エネルギー需給見通し (再計算), (2009)
7. エネルギー総合工学研究所, 超長期エネルギー技術ロードマップ報告書, (2006),
8. NEDO, NEDO再生可能エネルギー技術白書, (2010)
9. 資源エネルギー庁, 低炭素電力供給システムに関する研究会新エネルギー大量導入に伴う系統安定化対策・コスト負担検討小委員会 (第2回) 配付資料「新エネルギーの大量導入に伴って必要となる系統安定化対策について」, (2008)
10. NEDO, 標準気象・日射データ (METPV-3),
http://www.nedo.go.jp/library/shiryoku_application.html
11. D. Steward, NREL/TP-560-46719, 2009
12. 独E.ON社2011年11月11日プレスリリース(2011)
<http://www.eon.com/en/media/news-detail.jsp?id=10738&year=2011>
13. 石本祐樹, 「海外再生可能エネルギーの大陸間輸送技術の経済性評価」, 季報エネルギー総合工学, 34(2), p.42, (2011)