



今後のエネルギーのベストミックスへ向けた課題と展望 -震災後のエネルギー戦略へ向けて報告書を作成-

概要

九州大学炭素資源国際教育研究センターでは、2009年から関係者による勉強会「エネルギーベストミックス研究会」により議論を重ねてきましたが、東日本大震災を契機に「3.11後のわが国のエネルギー戦略」の論点整理、冷静な分析と方向性について、改めて提案することと致しました。

本報告書は、九州大学のエネルギーに携わる研究者が、震災後に急速に必要性が認識されているエネルギーの安定供給の観点から、その論点を整理し、「今後のエネルギーベストミックスのあり方」としてまとめたものです。

背景

20世紀の物質文明を支えてきた石炭、石油等のエネルギー資源が、発展途上国の急速な経済発展に伴う価格上昇、資源の枯渇、さらには、環境汚染、CO₂排出による地球温暖化といった多方面からの問題を抱え、資源・エネルギー戦略の構築が求められる状況にありました。特に、資源のない日本にとっては、様々なエネルギー資源を戦略的に組み合わせることで常にベストな解を選択していくことが必須の課題ですので、炭素資源国際教育研究センターでは、2009年から関係者による勉強会「エネルギーベストミックス研究会」により議論を重ねてきました。

東日本大震災によって多くの尊い人命と長年積み重ねてきた資産が失われ、さらに福島第一原子力発電所の事故は、原子炉本体だけでなく周辺地域の放射能汚染の収束に長期間を要する事態となっています。これらの災害、事故は、わが国のエネルギー戦略の基本方針を再度考え直すという重い命題を提供しました。研究会にとってもこの事態は、3月までの活動によりまとめつつあったエネルギーベストミックスの方向性を再点検し、「3.11後のわが国のエネルギー戦略」の論点整理、冷静な分析と方向性について提案する契機となりました。

内容

本報告書は、2011年4月から8月まで、できる限りのデータと議論を通じて、とりまとめたものです。時節柄、電力の安定供給という技術的論点に重きを置いていますが、その議論の過程においては、日本に最適なライフスタイル、社会システム、コミュニティのあり方への問題提起等、技術論にとどまらない議論も行われ、本報告の中でも触れられています。

震災後、急速に必要性が認識されているエネルギーの安定供給の観点から、「今後のエネルギーベストミックスのあり方」について、以下の構成で整理しました。

1. エネルギーを巡る課題
2. エネルギーの供給をめぐる問題
3. 電力の不足と供給対策
4. 電力の不足と需要の見通し
5. エネルギー供給の課題
6. エネルギーのベストミックスにむけて

効果

エネルギーベストミックスは国により固有のものですが、1000年に一度の災害の結果生み出されるであろう日本のエネルギーベストミックスは、ケーススタディとして世界各国のエネルギー戦略に波及効果を与えるものと期待されます。

また、今後のエネルギーのベストミックスは、新しい視点に立って、エネルギー供給者のみならず、

エネルギーの使用者である関係者がそれぞれの立場で安定供給と需要のあり方を考えなければなりません。

本報告書では、下記の点なども提言しています。

- 多様なエネルギー供給技術には一長一短があり、それらの横並びで客観的な比較が必要です。
 - 今後の電力供給は、分散型電源、連系線などの相互活用を含めた電力供給の最適解を技術開発、制度改革によって進める必要があります。
 - これまでの電力は、使用（需要）に合わせて供給するものですが、将来の電力は供給に合わせた使用の観点も重要であり、供給対策は需要対策と一体で議論すべきです。
- 本報告書が、今後のエネルギーの課題解決と展望へ向けた議論の一助となることを願っています。

■今後の展開

本報告書は、「九州大学エネルギーベストミックス研究会」という全学の研究会での取りまとめ結果であり、今後は、本年11月5日に開催予定の九州大学グローバルCOE「新炭素資源学」の公開講座、等を通して、学外への成果の紹介と更なる議論を重ねていく計画です。

添付資料

* 要旨 ; EBM 要旨 (110912 九大炭素セ)

* 報告書 ; EBM 報告書 (110912 九大炭素セ) ※メール添付

【お問い合わせ】

炭素資源国際教育研究センター特任教授 宇佐美 正博

電話 : 092-583-7615

FAX : 092-583-7614

Mail : usami@cm.kyushu-u.ac.jp

九州大学は2011年に100周年を迎えました



KYUSHU UNIVERSITY 100th 2011
知の世紀を拓く

平成 23 年 8 月 31 日

今後のエネルギーのベストミックスへ向けた課題と展望(要旨)

九州大学 エネルギーベストミックス研究会

はじめに

20 世紀の物質文明を支えてきた石炭、石油等のエネルギー資源が、発展途上国の急速な経済発展に伴う価格上昇、資源の枯渇、さらには、環境汚染、CO₂ 排出による地球温暖化といった多方面からの問題を抱え、資源・エネルギー戦略の構築が求められる状況にあり、とくに、資源のない日本にとっては、様々なエネルギー資源を戦略的に組み合わせることで常にベストな解を選択していくことが必須の課題である。

そこで、九州大学炭素資源国際教育研究センターでは、2009 年から関係者による勉強会「エネルギーベストミックス研究会」により議論を重ねてきた。

3/11 東日本大震災が起こり、多くの尊い人命と長年積み重ねてきた資産が失われた。さらに、福島第一原子力発電所事故は、原子炉本体だけでなく周辺地域の放射能汚染の収束に長期間を要する事態となっている。これらの災害、事故は、わが国のエネルギー戦略の基本方針を再度考え直すという重い命題を提供した。研究会にとってもこの事態は、3 月までの活動によりまとめつつあったエネルギーベストミックスの方向性を再点検し、「3.11 後のわが国のエネルギー戦略」の論点整理、冷静な分析と方向性の提案をおこなう契機となった。

本報告は、震災後に急速に必要性が認識されているエネルギーの安定供給の観点から、その論点を整理し、「今後のエネルギーベストミックスのあり方」としてまとめたものである。

エネルギーのベストミックスを考える視点

- ・エネルギーは、あらゆる経済活動に不可欠な存在。
- ・日本はエネルギー資源に乏しく、地震や津波等自然災害を受けやすい地域にあり、それらを勘案したエネルギーの確保と安定供給体制の確立は不可欠。
- ・エネルギー供給の安定性の観点から多様化により確保されるべき。
- ・エネルギーのセキュリティ、経済性、調達可能性など多様な要因を考慮して、エネルギー源の最適な組み合わせを決定すべき。また、多様なエネルギーの利用を進めるには、エネルギー技術の開発・展開について、タイムスパンを考慮した計画が必要。

エネルギーベストミックスの 3 つの課題

- ・エネルギーの確保について、電力供給不足、資源枯渇への対応、温暖化対応の 3 つの課題に直面。
- ・電力供給不足に対しては、短期的には火力発電などによって代替されるが、長期的には、

(EBM 要旨)

再生可能エネルギーの導入拡大を踏まえ、電力、ガス、石油の適切な組み合わせを整えていくべき。

- ・資源枯渇に対しては、化石燃料への依存度を低下させるとともに、より効率的な化石燃料の利用法の開発・展開をはかり、省化石資源を推進。
- ・温暖化対応は、ゼロエミッションのエネルギーへの転換が必要。

エネルギーの供給を巡る課題(エネルギー源について)

- ・化石燃料(ガス、石油)への依存は当面の間続くと予想。それを前提にした、供給の安定化、利用方法の効率化の技術開発が重要。
- ・原子力は、電力の30%を占めており、いったん事故が生じれば、大きなリスクを伴う技術であるが、短期間にこの電源を他に代替することは困難。
- ・再生可能エネルギー(太陽電池、風力)は天候の影響を受け供給安定性が悪い、電力網を不安定化する、蓄電池との併用が必要、など多くの課題があり、これらについてタイムスパンを考慮した技術開発と導入拡大が必要。

今後の電力供給について

- ・大規模集中型の電力供給から再生可能エネルギーを利用した分散型電力供給への移行は最適解への有力なアプローチ。最適解実現のためには技術開発・制度改革が必要。
- ・各電力会社供給余力を高めるために、予備電源の確保や電力連系線の増強による緊急時の相互融通システムの強化が必要。
- ・電力供給の適切さは複数の指標によって測られ、指標の優先度によって電力供給の最適解は変わる。例えば、緊急時には、品質規格(周波数や電圧の許容幅)の緩和による供給能力の増強も可能。
- ・再生可能エネルギー導入時には、電力供給システムや需要家を含めたシステム全体に柔軟に対処する必要があり、スマートグリッドが有効。

電力需要抑制について

- ・業務用については、必ずしも必要でない消費の削除により15%節電可能であることが判明。
- ・15%以上の大幅な需要削減については未だ不透明。ネット・ゼロ・エネルギー・ビル(ZEB: Zero Energy Building)化へのビジョンでは、新築低層建築物へのトップランナー技術や高度な制御技術の導入、建物躯体の高断熱・高气密化および日射遮蔽が主たる方策で、一方省エネ改修コストの高い既存ビルの対策は課題残。
- ・エネルギー使用と輪番休業など新たなワークスタイルの確立、エネルギー使用の時間シフトを考慮した操業、立地選定にエネルギー使用の観点を導入、等の対策実施。
- ・自主的な節電では需要抑制に限界があり、デマンドレスポンス(DR: Demand Response)

(EBM 要旨)

を活用した制御が有効。

・家庭での蓄電池の購入や Vehicle to Home 等の蓄電池利用策は、需要サイドでの対応性を頑強にする手段として有効。また、電気料金の引き上げも需要抑制効果期待。

エネルギー供給の課題

・大震災では、石油の供給途絶が発生した。石油は、連産構造を持つので、容易に製品バランスの変更が出来ない。複数の資源を集約的に利用する生産システムが緊急時対応に有効である。

・ガス供給は石油や電力供給の代替となる。ガス供給手法の多様化は、エネルギー供給の平準化にも寄与する。また、ガス会社間のパイプライン整備など、緊急時のリスク対策を、不可欠施設の観点から考えるべきである。

・太平洋側に基地が集中しており、分散立地を考慮すべき。

まとめ

・多様なエネルギー供給技術には一長一短がある。それらの横並びで客観的な比較が必要。
・現在の電力供給のあり方は踏まえるが、将来の議論においては現在の論理に縛られる必要はない

・これまでの電力は使用（需要）に合わせて供給するものであるが、将来の電力は供給に合わせた使用の観点も重要であり、供給対策は需要対策と一体で議論すべき。

(EBM 報告書)

今後のエネルギーのベストミックスへ向けた課題と展望

2011年8月

九州大学

エネルギーベストミックス研究会

エネルギーベストミックス報告書目次

はじめに	1
1. エネルギーを巡る課題	3
(1) エネルギーのベストミックスを考える視点	3
(2) エネルギーベストミックスの3つの課題	5
2. エネルギーの供給を巡る問題	7
(1) 化石燃料の供給問題	7
(2) 原子力のリスク	9
(3) 国内のエネルギーの供給構造の課題	10
(4) 電力需給の課題	11
3. 電力の不足と供給対策	14
(1) 電力の供給体制	14
(2) 諸外国の体制と日本の課題	17
(3) 電源コストからみた最適電源の組み合わせ	20
(4) 電力供給の最適解	22
4. 電力の不足と需要の見通し	25
(1) 電力需要抑制の考え方	25
(2) 業務系需要の抑制可能見通し	27
(3) 需要抑制の手法の検討	30
(4) 需要サイドでの最適需給の検討	31
5. エネルギー供給の課題（東日本大震災対応）	33
(1) 石油供給の課題	33
(2) ガス供給の課題	34
6. エネルギーのベストミックスにむけて	35
おわりに	36
用語解説（本報告書中ゴシック体で示した用語の解説）	37

本報告書は、九州大学のエネルギー研究に携わる研究者によって2011年5月11日～8月23日までの計5回の研究会の議論を踏まえ、下記のメンバーによる分担執筆により作成したものである。

エネルギーベストミックス研究会名簿

※50音順

	氏名	所属	役職
1	赤司 泰義	人間環境学研究院 都市・建築学部門	教授
2	宇佐美 正博	炭素資源国際教育研究センター	特任教授
3	岡田 重人	先導物質化学研究所 先端素子材料部門	准教授
4	合田 忠弘	システム情報科学院 電気システム工学部門	教授
5	古山 通久	稲盛フロンティア研究センター	教授
6	寺岡 靖剛	総合理工学研究院 エネルギー物質科学部門	教授
7	永島 英夫	先導物質化学研究所 分子集積化学部門	教授
8	林 潤一郎	先導物質化学研究所 先端素子材料部門	教授
9	林 徹夫	総合理工学研究院 環境・エネルギー工学部門	教授
10	深井 潤	工学研究院 化学工学部門	教授
11	堀 史郎	産学連携センター	教授
12	村田 純一	システム情報科学院 電気システム工学部門	教授
13	持田 勲	炭素資源国際教育研究センター	特命教授

はじめに (永島 英夫)

1. エネルギーを巡る課題 (堀 史郎)
2. エネルギーの供給をめぐる問題 (古山 通久／林 潤一郎)
3. 電力の不足と供給対策 (合田 忠弘／堀 史郎／村田 純一)
4. 電力の不足と需要の見通し (赤司 泰義／合田 忠弘／古山 通久)
5. エネルギー供給の課題 (林 潤一郎／堀 史郎)
6. エネルギーのベストミックスにむけて (堀 史郎)

おわりに (堀 史郎)

はじめに～エネルギーベストミックス研究会報告に寄せて～

九州大学エネルギーベストミックス研究会は、2011年5月から5回にわたり、九州大学箱崎キャンパスにて討論を重ねてきた。

その背景は、20世紀の物質文明を支えてきた石炭、石油等のエネルギー資源が、発展途上国の急速な経済発展に伴う価格上昇、資源の枯渇、さらには、環境汚染、CO₂排出による地球温暖化といった多方面からの問題を抱え、資源・エネルギー戦略の構築が求められる状況があった。とくに、資源のない日本にとっては、様々なエネルギー資源を戦略的に組み合わせることで常にベストな解を選択していくことが必須の課題である。九州大学炭素資源国際教育研究センターでは、上記研究会に先立つこと2009年から関係者による勉強会を重ねてきた。その内容はホームページ http://cr.cm.kyushu-u.ac.jp/?page_id=996 に活動記録と資料が掲載されているが、その成果の中間報告を、2011年3月5日に九州大学百周年講演会的一端として実施した、一般市民へ公開したセミナー（エネルギーベストミックス福岡セミナー）でおこなっている。

このセミナーの6日後、東日本大震災が起こり、多くの尊い人命と長年積み重ねてきた資産が失われた。さらに、福島第一原子力発電所事故は、原子炉本体だけでなく周辺地域の放射能汚染の収束に長期間を要する事態となっている。これらの災害、事故は、わが国のエネルギー戦略の基本方針を再度考え直すという重い命題を提供した。研究会にとってもこの事態は、3月までの活動によりまとめつつあったエネルギーベストミックスの方向性を再点検し、「3.11後のわが国のエネルギー戦略」の論点整理、冷静な分析と方向性の提案をおこなう契機となった。

本報告は、震災後に急速に必要性が認識されているエネルギーの安定供給の観点から、その論点を整理し、「今後のエネルギーベストミックスのあり方」としてまとめたものである。わが国はエネルギー資源がほとんどない。また、島国であるために他国のエネルギー網からは切り離された存在であり、この小さな国の中での問題解決を図らなければならない。このようなわが国の抱える特殊性と、「あらゆるエネルギーにはリスクが伴う（堀教授）」ことを考えると、エネルギーの安定供給には、常に資源制約と温暖化対策を考えつつ、エネルギー源の多様性と臨機応変な組み合わせが必要となっている。さらには、単に供給側の問題だけでなく、徹底した省エネルギー等、需要側の問題点、対策を含めて考えていく必要がある。

福島第一原子力発電所事故の収束が長引く中、とくに、原子力のリスクに関する議論、再生可能エネルギーの将来性に関する議論に注目が集まっている。しかしながら、再度冷静に、わが国を持続的に人間にとって豊かで住みやすい国にし続けるか、を考えると、その解がすぐ出るような「魔法の杖」はない。より広い視野で多様な観点から、エネルギーベストミックスを議論し、省エネルギー対策を加えて総合エネルギー戦略を作り上げ、地道に一步一步できることからやっていくことが重要な課題と考えられる。

本報告は、2011年度4月から8月まで、できうる限りのデータと議論を通じて、関係者の努力によりまとめられたものである。時節柄、電力の安定供給という技術的論点に重きを置いているが、その議論の過程においては、日本に最適なライフスタイル、社会システ

ム、コミュニティのあり方への問題提起等、技術論にとどまらない議論も行われ、本報告の中でも触れられている。また、エネルギーベストミックスは国により固有のものであるが、1000年に一度の災害の結果生み出されるであろう日本のエネルギーベストミックスは、ケーススタディとして世界各国のエネルギー戦略に波及効果を与えるものと期待される。

末筆ながら、執筆者の方々とその座長役として終始議論をリードしてきた堀教授に心からの敬意を表す。

1. エネルギーを巡る課題

(1) エネルギーのベストミックスを考える視点

要約：

- ・エネルギーはあらゆる経済活動に不可欠な存在である。
- ・日本はエネルギー資源に乏しく、エネルギーの安定供給は不可欠な課題である。さらに、東日本大震災は国内のエネルギー供給構造の脆弱性も顕在化している。
- ・ベストミックスは、エネルギー供給の安定性の観点から多様化により確保されるべきである。
- ・今後のベストミックスは、エネルギーのセキュリティ、経済性、調達可能性など多様な要因を考慮して決定されるべきである。また、多様なエネルギーの利用を進めるのは、エネルギー技術の保持、発展により効率的なエネルギー利用を進めるためにも重要である。

本文

① 現在は、あらゆる経済活動（一次産業から三次産業まで）においてエネルギーなしでは活動が成り立たなくなっており、あらゆる経済活動においてエネルギーの安定供給が不可欠である。今日では、電気製品の普及により電力供給の途絶は家庭生活への多くの影響が生じる。また石油や石炭、天然ガスの利用も日常生活や事業活動（農業からサービス業まで）を効率的に進める上で多様な場面で必要とされている。

② 日本はエネルギー資源に乏しいことから、エネルギーの安定的な確保をどのように図っていくかは、日本にとって、常に考え続けなければならない命題である。すでに、2度にわたる石油ショックを経て、日本のエネルギー供給構造の国際的な弱点が明らかになった。さらに今回の東日本大震災において、自然災害に対するエネルギー供給体制の脆弱性が明らかになっている。

③ エネルギーの安定的な供給を確保していくためには、供給の途絶リスクを減らすことが必要である。あらゆるエネルギーには途絶リスクが伴う、例えば、化石資源は海外の供給先からの供給途絶や価格変動による供給の困難、原子力は事故による設備の停止や信頼性が失われるというリスク、再生可能エネルギーは、出力変動による供給遮断、のリスクなどである。このようなリスクを最小化するためには、多様なエネルギー源を組み合わせることによりリスクの影響の分散化が最も効果的である。また、エネルギーの多様化は、エネルギー間のコスト競争によりコストの低減を促し、より安定的で利用価値の高いエネルギーへのシフトを促進する。

表 1-1 エネルギー源別のコストリスク要因

	原子力	化石燃料	再生可能
燃料調達リスク		供給途絶 燃料価格上昇	
温暖化リスク		炭素税	
事故リスク	被害対策 信頼性喪失		急激な天候変化 による供給遮断
建設コスト		対策費用上昇	系統安定化費用
費用低減項目	安全性の高い炉 の導入による事 故リスク低減	技術開発による 発電効率向上	技術開発による 製造コスト低減

④ このような観点から、エネルギーのベストミックスは歴史的にも、様々な外的要因に対応して変化してきた。すなわち、新しいエネルギー技術の発明によってエネルギー転換がはかられ（例えば蒸気機関、電気エネルギー）、また、石油ショックに起因した石油代替エネルギーへのシフトが図られ、温暖化問題に対応して低炭素電源へのシフトなどが行われた。

今後のベストミックスは、エネルギーのセキュリティ、経済性、調達可能性など多様な要因を考慮して決定されるべきである。その際、留意すべきは、時間軸の考慮であり、例えば、新しい技術の開発時間（特に再生可能エネルギー）、転換のための猶予期間（転換する場合の需要側の対策を行うための時間など）、インフラ整備の期間（特に再生可能エネルギー）など必要とする時間的なスパンを、明確にしてから議論を行う必要がある。

⑤ エネルギーの多様な利用を目指すことは、エネルギー技術の維持、開発、導入の観点からも重要である。なぜなら、次世代のエネルギーとしての太陽電池の効率性向上・コスト低減、や燃料電池のコスト低減・利用の多様化は将来のエネルギー利用の可能性を広げる。原子力の利用技術の開発も安全性をより高める観点からも必要となる。

⑥ また、化石資源は、世界のエネルギー利用に大きな割合を占める（約 8 割）ことを認識したうえで化石資源利用技術の向上が世界的には、大きなエネルギー消費の節約につながることを認識すべきである。すなわち、より効率的な利用技術の開発は、日本のみならず世界のエネルギー利用の節約に大きく寄与する。

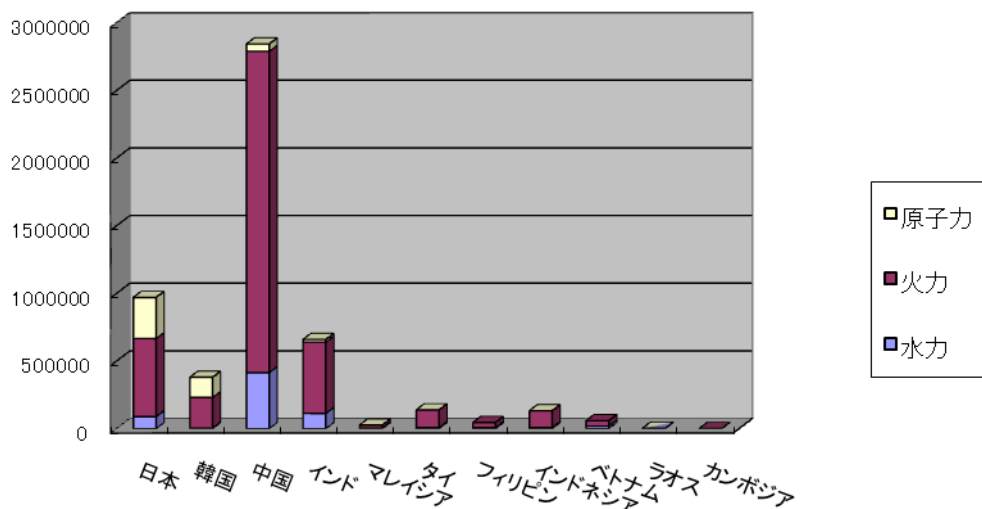


図 1-1 アジアの電源別発電電力量 (2006 年度)

(2) エネルギーベストミックスの3つの課題

要約：

- ・エネルギーのベストミックスは、電力供給の不足、資源枯渇への対応、温暖化対応の3つの課題に直面している。
- ・電力供給の不足に対しては、短期的には火力発電などによって代替されるが、長期的には、電力、ガス、石油の適切な供給体制を考えていく必要がある。
- ・資源枯渇に対しては、化石燃料からの依存度を低下させるとともに、より効率的な化石燃料の利用を進める。
- ・温暖化対応は低炭素エネルギーへの転換が必要である。

本文

① 現在、我々が直面している、エネルギーの課題は、3つある。すなわち、電力供給の不足、資源枯渇への対応、温暖化対応の3つの課題である。これらの3つの課題は、共通する内容を含むものの（例えば、省エネ）、一方でその方向が異なることもある。例えば、当座の電力不足に対応するための火力発電への依存度の上昇は、資源枯渇への対応と温暖化対応の観点からは、長期的には整合しない。このような、相反する命題に対して、短期的な対応と長期的な対応を区分して、位置づけを明確化することが重要となってくる。

表 1-2 目的によって異なる手段

	省エネ	生産拠点変更	火力発電増強	発電効率向上	天然ガス転換	バイオエタノール
電力供給の不足	○	○	○	○	○	—
資源枯渇への対応	○	—	×	○	—	○
温暖化対応	○	—	×	○	○	○

② エネルギーの安定的な供給の確保は、社会生活の確保から不可欠である。その観点からは、電力供給の確保を図ることが当面は求められる。このため、火力発電などの代替電源の確保や節電によって需給バランスをとることが求められる。しかし、長期的には、最適な電力供給の形を探ることも必要となろう。例えば、電力の質の信頼度を下げることによって、エネルギー供給側の余裕度をますことができる。これは、コストの削減にもつながる可能性がある。また、系統供給者への全面的な依存を見直して、エネルギーの需要者自らが供給者になる仕組みをより増やしていくことも、電力供給のリスクを回避する意味では有効であろう。今回の震災では、電力のみならず、石油供給やガス供給の安定的な供給の脆弱性も明らかになっている。特に石油供給の確保については、非常時においてどのような主体が担っていくのか、地方や緊急時などの体制を考えることは重要である。

表 1-3 エネルギー供給を担う主体

電力	発電(地域ごとの電力)	送電(地域ごとの電力)	配電(地域ごとの電力会社)
ガス	供給(地域ごとのガス会社)		販売(地域のガス会社)
石油	供給(石油会社)	配送(石油会社)	販売(個々のGSなど)

③ 資源枯渇への対応としては、世界全体の化石資源使用量が増大していくことも勘案し、長期的には有限なエネルギーへの依存度を低下させるとともに、エネルギーのより効率的な利用方法を開発導入していくことが必要である。温暖化対応は低炭素エネルギーへの転換が求められる。長期的には、化石資源の利用のありかた（より効率的な利用）、再生可能エネルギーや原子力の適切な組み合わせについて、考えなければならない。

以上をまとめると、短期的には、電力供給の確保、中期的には、非常時のエネルギー供給の確保策、化石資源の高効率・高度利用、再生可能エネルギーの技術開発、長期的には再生可能エネルギーの導入拡大とゼロエミッション化であるが、エネルギー源の適切な組み合わせを実現するために必要な諸施策のタイムスパンを勘案して、検討すべきである。

2. エネルギーの供給を巡る問題

(1) 化石燃料の供給課題

要約：

・我が国の化石資源供給安定には、上下流一体化技術に基づく産資源国との強力なサプライチェーン連携に基づく資源確保と、高効率転換による省資源化の観点に立った戦略が不可欠である。

・我が国のトップランナー技術である高効率発電、改質等に係る技術を低品位資源産出国と包括的に共有し、戦略的互惠関係を構築強化することが好ましい。電力に加えて、合成ガス、素材、液体燃料、化成品を生産する複合システムは、将来的に再生可能エネルギーとの相互バックアップを許容する、より堅牢なエネルギー供給システムへと成長する可能性がある。

本文

少子高齢化に象徴されるわが国の社会構造変化が今後も継続すれば、国内のエネルギー需要は、産業・民生の両分野において徐々に減少すると予想される。他方、今世紀に入り、**超重質油**、**シェールガス**の開発進展によって石油の耐用年数は維持され、天然ガスのそれは増加する傾向にある。これらに加えて、わが国が取り組んできた化石資源確保のための多角的な努力の成果を踏まえるならば、この度の震災・原発事故による発電用燃料の供給逼迫のような場合を除けば、化石資源需給の著しいギャップの発生は当面は回避できると予想される。

しかしながら、以上に述べたことは、化石資源確保のための継続的努力の重要性が低下する、あるいは、低下したことを意味しない。今日まで増加し続けている電力需要、とくに火力によって満たされる需要は、原子力シェアの低下を考慮すれば、すぐに減少するとは考えにくい。省電力技術・システムの導入や、太陽光・風力発電等の大規模導入がこの電力化進行に追随するとは限らないので、化石資源が担う電力需要が増加する可能性も考慮しておく必要がある。現在の電力需要の 27% (2008 年) を支える石炭に関して言えば、この 10 年間に**可採年数**が約 100 年短縮し、価格の上昇トレンドも明らかである。経済成長の中心が先進国から新興国へとシフトした今、石油、天然ガスの価格が大きく値崩れする可能性は小さく、産資源国以外の国は経済的圧迫を継続的に受けることになる。

わが国への化石資源供給、とくに発電用燃料としての化石資源の供給安定化、逼迫回避のためには、少なくともふたつの観点、すなわち、産資源国との強力なサプライチェーン連携に基づく資源確保と、高効率転換による省資源化の、ふたつの観点に立った戦略が欠かせない。天然ガスは、**在来型**と**非在来型**資源のいずれについても、これまでのサプライチェーン構築・強化の努力を継続するとともに、現在世界最高の技術レベルにある**コンバインドサイクル発電**システムの国際競争力強化、さらには、大幅な省資源に寄与する燃料電池発電システム（小規模電熱併給一中・大規模コンバインドサイクル発電）等の技術イノベーションと普及へ向けた取り組みが強化されるべきである。

石炭については、可採埋蔵量のほぼ半分を占めるにもかかわらず利活用が進んでいない

低品位炭の鉱山開発、採掘から前処理、高度改質に至る範囲をカバーするわが国の先端技術、すなわち上下流が一体化した技術を産炭国と共有し、戦略的な互惠関係を構築、強化することが好ましい。わが国が技術的トップランナーである高効率**微粉炭火力発電**、**ガス化コンバインドサイクル発電**をより高効率化して低品位炭に適用し、これを上述の上下流一体型技術に統合することによって、資源確保と国を越えた省資源の双方を同時に達成できる。天然ガスが先行する燃料電池コンバインドサイクル技術の導入による究極の石炭利用技術開発も長期的に有効である。わが国の石炭消費の約半分は非電力用途であり、製鉄・セメント分野における石炭利用は、他による代替が不可能である。これらの分野と発電分野の融合による電力、素材、さらに液体燃料のコプロダクションは、相互の経済性・国際競争力の強化に加えて、非常時、緊急時にもフレキシブルな石炭資源運用が可能なシステムとして今後検討すべきである。このようなシステムは、将来的には、再生可能エネルギーに由来する電力（大規模導入が必須）との相互バックアップを含む、より堅牢なエネルギー・素材供給システムへと成長する可能性がある。

石油に関しては、産油地における精製・転換が、より下流側に拡大することを踏まえた産油国との技術共有と、わが国のエネルギー・経済の主幹である石油産業の形態シフト・変革という大変大きな課題への同時の取り組みが必要である。自動車の電化、ハイブリッド化と内燃機関の更なる高効率化や、高効率**ヒートポンプ**技術による加熱冷却の電力化は、産業・民生分野を問わないエネルギー消費削減に対するポテンシャルが大きい。これらの結果として予想される液体燃料需要減少とリンクした石油産業と化学産業の変革が求められる。一方、現在のわが国の発電量（実績）に占める石油のシェアは 10% 程度に過ぎないが、この度の震災・原発事故に伴う休止石油火力の再稼働は非常時の電力供給に役割を果たした。新エネルギーベストミックス戦略における石油火力の位置づけは、多様なシナリオを想定したリスクマネジメントのもとに慎重に行うべきである。

(2) 原子力のリスク

要約：

・原子力発電は、日本の電力供給の3割を担っており、短期間にこの電源を他に代替することは困難である。他方、原子力発電の事故が生じた際のリスクが非常に大きいことが示された。

・以上から、今後より一層のリスク軽減に向けた取り組み、対策の強化は不可欠である。対策をとることによるリスク減少を費用対効果分析などで明確に提示していくことは原子力発電の今後の運転には重要なポイントである。

本文

① 原子力発電は、2009年度の発電電力量で見ると、全電力の約3割を供給。これを火力発電に代替、増設で対応することは、燃料費の大幅上昇を伴うとともに、将来的な温暖化対応の観点から、長期的には課題が大きい。なぜなら、電源開発は初期投資に多額の資金を要することから、短期的な需要対応でこれを行うことは、大きな費用ロスが生じることになりかねない。

また、再生可能エネルギーについては、将来的な供給量の増加は見込めるものの、価格や供給能力の観点から、短期的に原子力発電を代替するだけの能力は見込めない。

② 原子力エネルギーは、放射性物質を出す反応であり重大事故が生じたときの被害リスクは非常に大きい。このようなリスクを回避するためには、事故を回避するための費用対効果の高い対策の実施と、事故が生じた場合の迅速かつ的確な対応を行える非常時対応体制の整備を取っていくことが不可欠である。福島第一発電所の事故を受けて、各地の原子力発電所では追加的対策が取られている。今回の事故が、津波によるディーゼル発電機の停止、直流電源の枯渇など非常用電源の喪失によって生じた全電源喪失及び全冷却系の機能喪失により原子炉炉心のメルトダウンが生じた。各発電所における非常用電源の確保などの対策によって事故確率は対策前と比較して低下したことは、間違いない。しかしながら、これらの対策によってどの程度事故確率が低下したのか定量的に示されていないことが、国民への安全性への説得的な説明ができない状況を生み出していると考える。したがって、**PSA**などによって、定量的な事故対応、その確率、対策による事故リスクの減少を早急に明らかにすることが求められていると考える。

③ さらに、今後、一層の安全性確保のための対策として、追加的な電源の複線化、津波対策などが行われなければならない。また、立地場所・年代・安全対策などによって、より危険性の少ない炉から有効に利用していく必要がある。また、その時に安全性の観点からは再検討が必要な炉にあつては、電源を喪失しても自動的に冷温停止をする受動的安全システムを具備した原子炉など、安全性に優れた原子炉への転換をすることが効果的である。すでにフランスなどでは、メルトダウンが生じても放射能の外部漏出がない多重防護炉の建設が進められている。今後、安全性リスク評価に基づいた、科学的に適切な、多重防護、自律的安全性の確保が図られる原子力発電のシステムを構築していくべきであろう。

(3) 国内のエネルギー供給構造の課題

要約：

- ・国内的なエネルギー供給基地は、太平洋岸に集中する。このようなエネルギー基地の集中立地もリスク（自然災害の地理的リスク）である。長期的には、エネルギー供給基地の地理的な多様性、分散立地もリスク管理からの検討が必要である。
- ・短期的には、非常時対応として必要な、相互融通メカニズムの整備が必要である（電力間連系線、ガスパイプライン、石油会社間の融通）。
- ・分散型のエネルギー供給体制は、現集中型のエネルギー供給のリスク回避となる。

本文

① 東日本大震災がもたらした大幅なエネルギー不足は、太平洋岸に立地する多くのエネルギー供給基地が被害を受けたことから生じた。今回、福島第一原発を始め火力発電所も鹿島、広野など東電管内で多くの電源が失われた。現在、150万kW以上の大規模火力発電所をみても、約8割が太平洋岸に立地している。また、石油製油所は、約6割が太平洋岸に立地している。このような太平洋岸へのエネルギー基地の集中立地によって自然災害に伴うリスクも大きくなることを考慮されるべきである。そして、地理的な多様性の確保（代替供給基地の確保）を考慮すべきであろう。エネルギー基地の集中立地は、リスクをはらむ。原子力発電所は、1か所へ集中立地というリスクがある。地域ごとで自然災害が起きることを考えると、地域的な分散は、リスク回避の観点からは重要である。

② しかし、このような地理的な分散、多様化は、設備投資などを考えれば長期的な課題である。短期的には、エネルギー供給基地が脱落した場合の相互融通によってバックアップ供給を行えるシステムを整備させることが必要である。日本の電力供給は、地域別の電力会社間で、必ずしも十分な容量の電力間連系線が整備されていない。また、日本のガス会社は主要消費地のみを供給地域としていることから、ガス会社間の融通を可能にするガスパイプラインの整備がなされていない。さらに、石油会社にあっては、法律上の供給義務がないことから非常時における供給体制が不完全である。特にそのことは、今回、被災地における軽油、ガソリンなどの供給不足において明らかになった。今後、日本におけるエネルギー供給の安定性を増すため、非常時におけるバックアップシステムを考慮していく必要がある。

③ バックアップについては、供給構造を分散型のエネルギー供給に変えていくことで、エネルギー供給が停止した場合でも自立的なエネルギーの供給が可能になる。これからは、たとえば、工場の自家発電設備、家庭における蓄電池を使った供給、地域のエネルギー資源（バイオマス）を使った熱供給、など自立型のエネルギー供給を併用していくことが必要である。

(4) 電力需給の課題

要約：

- ・エネルギーの将来の議論は、中庸をもってすべきである。
- ・多様なエネルギー供給技術は一長一短がある。それらの横並びで客観的な比較が必要である。
- ・現在の電力供給のあり方は踏まえるが、将来の議論においては現在の論理に縛られる必要はない。
- ・これまでの電力は使用（需要）に合わせて供給するものであるが、将来の電力は供給に合わせた使用の観点も重要であり、供給対策は需要対策と一体で議論すべきである。

本文

① 現在の日本は、脱原発をどうするのかに加えて、原発の再稼働の問題に直面している。我々は、多様なエネルギー技術には一長一短があり、一部の長所と短所だけを都合よく比較するのではなく、全体を見た客観的な比較をする必要がある。原発の再稼働に当たっては絶対の安全確保という言葉が使われるが、技術に限らず世の中に絶対はないことを真摯に受け止め原発の危険性を推進者自身が理解することが安全確保の第一歩である。原発を火力発電で代替したとすれば、何万年もの先の子孫まで放射性廃棄物を増やすことはなくなるが、有限の化石資源を現世代が過剰に使用することで何百年・何千年・何万年先かの子孫に化石資源を残さないこととなる。また、再生可能エネルギーでの代替の議論には、いつまでにどの程度の貢献ができるのか現実的な描像を示すことが必要である。将来のエネルギーは一つの選択で決まるものではなく、是か非かの二極論ではない、大局感を持った中庸のエネルギービジョンに向けた議論が必要である。

② 再生可能エネルギーが大規模に導入されてくると、電力網が不安定化することが課題になると言われる。ここでは、太陽光発電が大規模に導入された将来の姿を考える。図 2-1 には、太陽光発電大規模導入時の、よく晴れた夏の日の電力需要を模式的に示した。図中の紺色の線が仮想的な将来の電力需要である。太陽光発電が年間の電力消費量 (kWh) の 30% を供給するとき、夏の快晴時の発電量は図中の赤線のようにになる。太陽光発電は、夜間や雨天時は発電しないため、たとえ年間の 3 割を供給するとした時でも、晴天の昼間はこのような大きな発電量となる。この時、蓄電をせず、太陽光発電でまかなえない電力をすべて電力会社が供給すると仮定した場合の電力は図中に水色で示す線となる。この図を現在の制度のまま解釈すれば、太陽光発電が 30% 導入された時の電力会社は、午前 8 時から午後 3 時までには発電をせず太陽光発電による電力を買い取り、夕方と夜間だけ発電所を稼働させ電力を売ることになるが、そのような姿はビジネスとして成立しないであろうし、少なくとも停電なく安定に電力を供給する責任を電力会社のみが負うという姿はあり得ない。一方、太陽光発電の導入に上限を設け、それ以上の導入を阻害することも、2050 年やその先 2100 年を見越した時に取るべき施策ではない。不安定な再生可能エネルギーが将来大規模に入ってくることを前提にした電力需給のあり方に向け、技術や仕組みづくりに今から取り組むべきである。

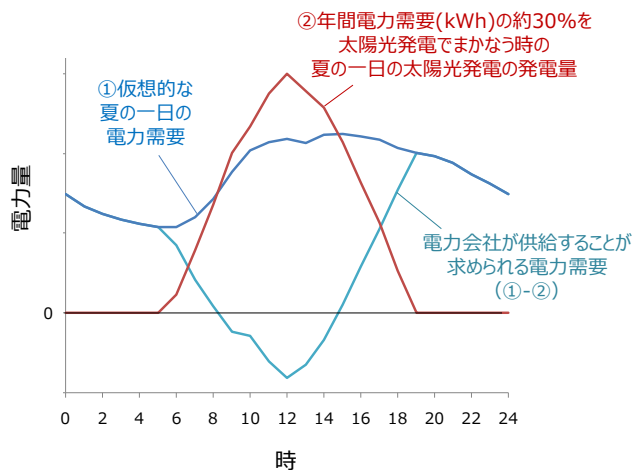


図 2-1 太陽光発電大規模導入時の仮想的電力需要

③ 原発停止による供給力低下への対策において、何で供給力を補うかという議論が多くみられるが、供給力を増やすことと同時に重要であるのが需要を減らすことである。この夏は、計画停電を避けるための節電がなされており成功を取めているが、何の無理もない節電とは言い難い。一方、2050 年に向けた節電はどうあるべきか、電力需要を（人口）×（一人当たりの電力消費量）として考えてみよう。日本の人口は現在の約 1 億 2700 万人から 2050 年の約 9500 万人へと減少が見込まれる。この人口減を踏まえ、図 2-2 には一人当たり電力消費の様々なケースでの日本の年間電力消費量の将来推移を示した。一人当たり電力消費が年間 1% ずつ増える時、たとえ人口が減少しても 2050 年の電力消費量は増加する。図 2-2 中には原発を新設せず 40 年で廃炉にする漸減ケースの供給力も示している。（火力・水力は設備容量・稼働率が現状と変わらないと仮定した）この図を見た上では、年間一人当たり -0.5% や -1% の電力消費減、すなわち一人当たり 0.5%/年、1.0%/年の節電を目指そうと考える方が大部分であろう。これまでの電力は使用（需要）に合わせて供給するものであり続けてきたが、これからの電力は供給に合わせた使用の観点も重要であり、供給対策は需要対策と一体で議論すべきである。

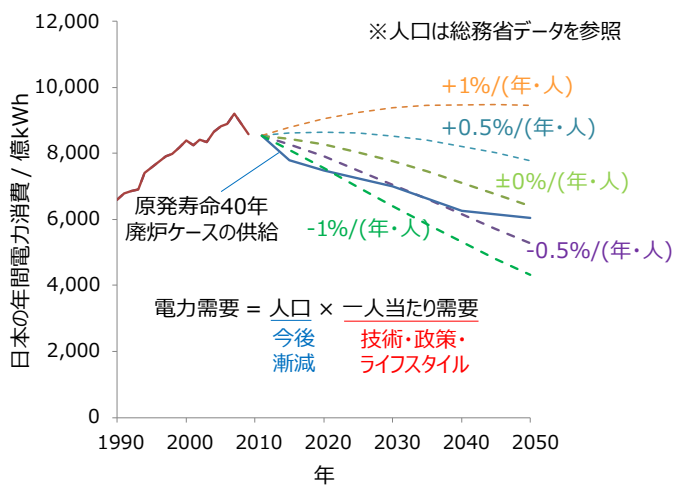


図 2-2 人口減少を考慮に入れた電力消費量の予測

④ 2020年の議論においては再生可能エネルギーや蓄電技術の急激な増加は想定されないため、現在の延長の議論で十分である。しかし、2050年の議論においては、上述のように、自然まかせの大きな需給アンバランスが生じたり、電気自動車が普及すれば電力需要が大きく増える一方蓄電としての機能も増したりすることが想定される。世界最高レベルのインフラとしての電力網は活用しつつも、現在の考え方に縛られることなく、望ましい姿を模索すべきである。

3. 電力の不足と供給対策

(1) 電力の供給体制

要約：

- ・大規模な事故が発生した場合、50Hz 系統で電力供給不足に陥る。
- ・各電力会社の供給余力を高めるために、予備電源の確保や電力連系線の増強による緊急時の相互融通システムを強化することが重要である。

本文

日本の電力系統が緊急時および定常時に十分な電力供給能力を保有しているかを検証する。電力供給能力を判断する場合、需要に対して十分な発電能力があるか、発電した電力を需要地に届けるのに十分な送電能力があるかを検証する必要がある。

①技術面

まず、発電能力の検証のために、表 3-1^[1]に 2009 年度における各電力会社の発電設備量、最大電力需要、原子力発電最大出力、発電余力を記載する。表 3-1 より、電気事業者の合計発電設備量は 23492[万 kW]、最大電力需要の合計が約 17633[万 kW]より、発電余力は 5859[万 kW]となる。実際には、発電機の定期検査等により、すべての発電機が同時に稼働していることはないが、原子力発電の全停止を想定しなければ、定常状態では日本全体で発電能力が不足になることはない。

次に、電力系統に大規模な事故（発電設備崩壊、電源線倒壊などで、電源脱落量を 1000[万 kW]、事故期間を 1~2 年と想定）が発生した緊急時を想定する。事故の影響を 50Hz 系統、60Hz 系統および日本全体（50Hz+60Hz 系統）に与える影響を発電電力と需要の関係で記載したものが表 3-2^[1]である。表 3-2 より、予備力（電力系統を安定に運用するために必要な需要より大目に発電する電力量）を 10%とすると、緊急時のピーク負荷時には 50Hz 系統、60Hz 系統単独では発電力不足となり負荷制限が必要になるが、日本全体（50Hz+60Hz 系統）では発電力不足になる事はない。しかし実際は発電設備がすべて稼働しているわけではないので、実際の発電力不足は更に大きくなる。地域的に見ると、発電能力は 50Hz 系統では非常に不足していることが分かる。それに対して 60Hz 系統では、電力会社の系統規模が 50Hz 系統ほど極端に差はなく、九州電力を除けば各電力会社は連系箇所が 2 か所あるために基本的には問題はないと考えられる。

次に送電能力の評価を検証する。各電力会社間の送電能力を図 3-1 に示すが、ここで、送電能力は送受対象ではなく、図の様に非対称になっていることに注意を要する。60Hz 系統内では、九州電力以外は各電力会社とも総負荷量の 15%以上の応援を受けられる送電能力を保有しているが、九州電力のみ総負荷量の 3%程度の応援を受けられる送電能力しか持っておらず、発電力不足になる確率は大きい。一方、50Hz 系統では、各電力会社とも応援を受ける場合の送電能力は 10%前後しかなく、大規模な事故時に十分対応できる送電能力を保有しているとは言い難い。

以上の観点からすると、今後の電力の供給体制として望まれる事は、各電力会社間の連系線の送電能力を強化し強靱な電力系統（Strong Grid）を構築することである。具体的に

は下記である。

- ・ 九州電力～中国電力間の連系線の強化
- ・ 50Hz/60Hz 間の周波数変換能力の強化
- ・ 50Hz 系統内の電力会社間の連系線の強化
- ・ 更には、50Hz/60Hz 共用発電機の増強による発電力の増強
(ただし、この場合は送電能力の増強も必要になる)

しかし、緊急時対応のみで送電能力を強化した場合は、費用対効果の観点から、誰が対策費を負担するかと言う課題の解決が必要になるが、送電能力を強化しておけば今後増加が見込まれる再生可能エネルギー利用型発電設備の系統連系は楽になることも勘案しておく必要がある。

②制度面（電気事業の水平分割と供給信頼度）

今回の災害を教訓にした電力供給網の再構築は、いかに緊急時対応の供給力を確保するかにある。発電会社、送電会社及び配電会社と電気事業を水平分割しても、供給余力が増加する保障はない。また、供給余力が少ない状態で今回の災害のように供給不足になった場合には、電力料金が上がることになる。さらに、現時点の制度でも卸電力事業（IPP）や電力小売（PPS）及び特定電気事業や特定供給等の制度が整備され、電力自由化も全ての高圧需要家まで実施されているにも関わらず、供給余力が増加していないのは、採算性が無いということも考えられる。そこで、緊急時対応能力を強化するという目的で本件は議論すべきではなく、議論すべき事は、将来の日本社会における電力供給体制はいかにあるべきかを考えることである。

表 3-1 2009 年度 電気事業者 電力統計情報（自家用発電は除く）

	北海道	東北	東京	中部	北陸	関西	中国	四国	九州	合計
(1) 発電設備量 [万 kW]	823	2545	6949	3495	1021	3689	1474	1017	2479	23492
(2) 最大電力需要 [万 kW]	579	1557	5999	2709	573	3095	1201	597	1750	17633
(3) 原子力発電最大出力 [万 kW]	207	327	1841	350	326	977	128	202	526	4884
(4) 発電余力[万 kW]=(1)-(2)	244	988	950	786	448	594	273	420	729	5859
(5) 原子力発電を除いた 発電余力[万 kW]=(1)-(2)-(3)	37	661	-891	436	122	-383	145	218	203	975

表 3-2 2009 年度の電力統計情報に基づく最大事故直後の発電余力（自家用発電は除く）

	50Hz 系統	60Hz 系統	50Hz 系統+60Hz 系統
(1) 発電設備量 [万 kW]	10317	13175	23492
(2) 最大電力需要 [万 kW]	8135	9925	18060
(3) 最大想定事故 [万 kW]	1000	1000	1000
(4) 予備力 [万 kW]= (2) * 7 or 10[%]	(2)*10[%]=814	(2)*10[%]=993	(2)*7[%]=1264
(4) 最大想定事故後の発電余力 [万 kW] = (2)+(4)-(3) 【発電設備】 - (2) 【需要】	-186	-7	264

連系設備の運用容量

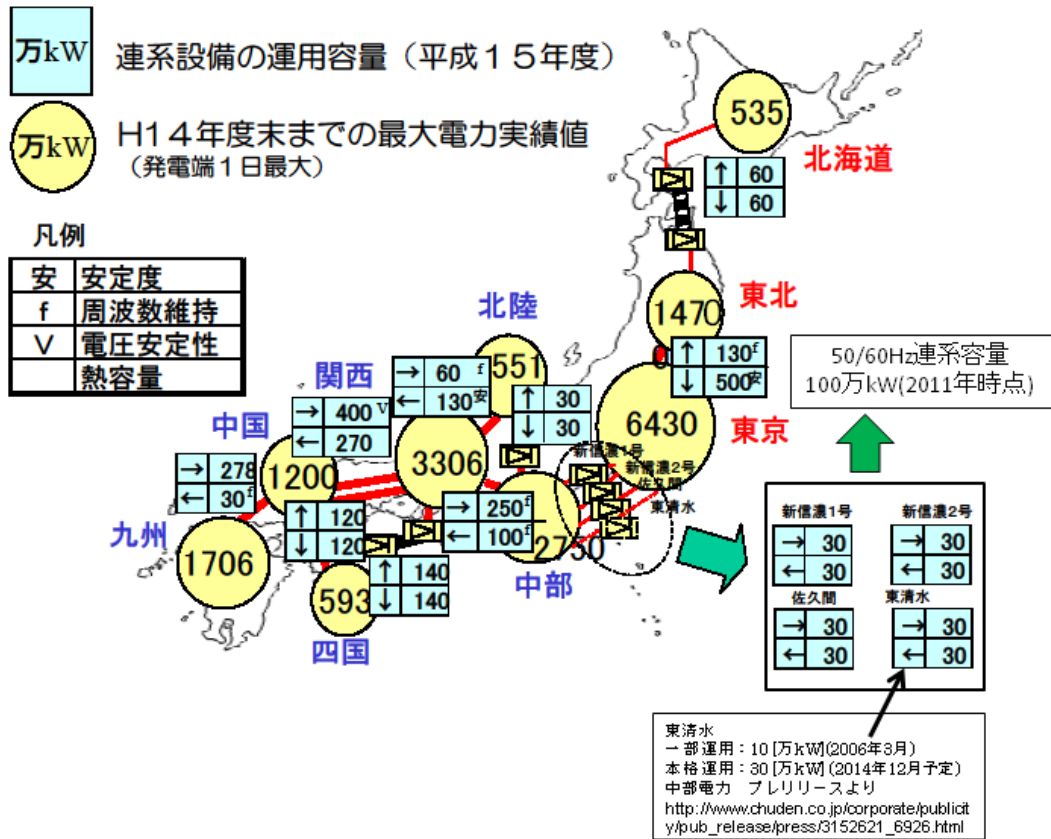


図 3-1 連系設備容量（電気学会 技術報告第 1100 号より）

(2) 諸外国の体制と日本の課題

要約：

- ・ 欧米の系統構成はメッシュ系統、日本はくし型（放射状）系統になっている。
- ・ 再生可能エネルギーの電力利用に関しては、系統構成の違いのために、欧米に比較して日本の導入量は小さい。
- ・ 連系線強化による骨太の体格形成が必要である。

本文

日欧米の系統構成の違いを表 3-4^[3]に示す。電力系統の構成には、メッシュ（網目状）系統とくし型（放射状）系統があり（図 3-2^[3]）、系統間連系には疎連系と密連系がある。発電所間または変電所相互間が複数の異なるルートの送電線で接続・運用されている系統をループ系統、そのループ系統が複数連系した系統をメッシュ系統と言う。それに対して、発電所間または変電所相互間が 1 ルートの送電線で接続・運用されている系統を放射状系統と言う。欧米の系統構成はメッシュ状で、国家間も多点連系されているので、全体がメッシュ系統となっている。それに対して日本では、基幹系統はループ系統、都市部・地域供給においては放射状系統が基本で、北海道から九州までの 9 社の系統はくし型（放射状）に接続されている。

表 3-5^[3]に、定常状態におけるループ（メッシュ系統）と放射状系統の違いについて示す。ループ（メッシュ）系統は潮流管理が難しく、潮流・電圧調整が複雑であるのに対して、放射状系統では、各社とも自社地域の潮流のみを監視すればよいので、潮流・電圧調整が容易である。

表 3-6^[3]に、事故時におけるループ（メッシュ）系統と放射状系統の違いについて示す。系統構成や事故の状況によって異なるが、一般的には小・中規模程度の事故については、ループ（メッシュ）系統では停電が発生しないのに対して、放射状系統では事故地点の下流側では停電が発生する。また、大規模な事故が発生した場合、ループ（メッシュ）系統では連鎖的に事故が波及し、大規模停電に至る可能性があるのに対して、放射状系統では、事故地点以下では停電が発生するが、連鎖的に事故が波及する可能性は低い。このことより、ループ（メッシュ）系統では事故の拡大を最小限に抑えること、放射状系統では停電範囲を限定的にすることが重要となる。

以上のように、系統構成の違いにより、定常・事故時の様相が大きく異なる。また、電力の融通や調整に関しては、欧州では大陸間連系が行われているため、国家間での融通・調整が可能である。それに対して日本では、ほとんどが一点連系のくし型構造となっており、各電力会社の供給区域内で需給バランスをとることを基本としているため、再生可能エネルギーの大量導入に際して欧州と比較しても導入レベルに大きな制約が存在する。このように、系統構成の違いのために、再生可能エネルギーの電力利用に関しては、系統規模と比較して日本の系統は導入量が小さい。よって連系線強化による骨太体格の形成が必要であると考えられる。

表 3-4 日本と欧米の電力系統構成の比較

	欧米の系統	日本の系統
地勢	広い	細長く狭い
需要	各地に散在	沿岸に密集
電源	沿岸・内陸	沿岸
系統構成	国内の系統構成：メッシュ系統 国家間の系統構成：メッシュ系統	連系系統は構造的にくし型系統
連系	密連系	疎連系
需給バランス	電力の相互融通が基本	各電力会社の供給区域内で需給バランスをとる
系統変動対応能力と事故対応能力	大きい	メッシュ系統に比較して小さい
系統保護制御	難しく、制御装置のコスト大	簡単で、制御装置のコスト小

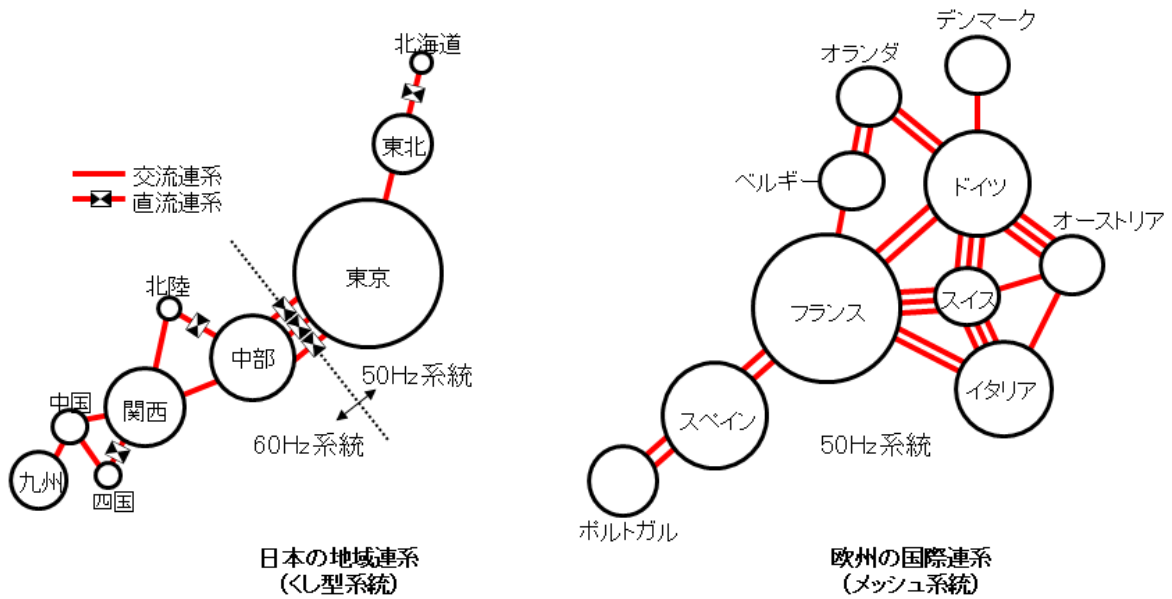


図 3-2 くし型系統とメッシュ系統

表 3-5 定常運用のループ（メッシュ）系統及び放射状系統について

	ループ（メッシュ）系統	放射状系統
供給の能力（アデカシー）	大（設備利用度大）	小
混雑管理（潮流・電圧調整）	複雑	簡単

表 3-6 事故時のループ（メッシュ）系統及び放射状系統について参考資料

	ループ（メッシュ）系統	放射状系統
事故時の供給能力	大	ループ系統と比較して小
小・中規模程度の停電	停電は発生しない	下流側に停電発生
事故波及防止能力	小：想定外（カスケード）事故で全系統崩壊の可能性はある	大：当該系統のみ崩壊
事故波及防止リレーの有効性	整定が複雑。場合によっては悪影響をもたらす	有効
短絡電流	大：場合によっては遮断容量を超える	抑制できる

- [1] 電気事業連合会 電力統計情報（<http://www.fepec.or.jp/library/data/tokei/index.html>）
- [2] 「電力系統の利用を支える解析・運用技術」、電気学会技術報告第 1100 号 p. 54
- [3] 経済産業省 資源エネルギー庁 電力基盤整備課 「電力系統の構成及び運用に関する研究会」報告書（<http://www.meti.go.jp/press/20070417003/denryokuken-houkokusho.pdf>）

(3) 電源コストからみた最適電源の組み合わせ

要約：

- ・最適電源の組み合わせを考える上で、電源別コストを比較することが一つの重要な判断となる。そのためには各電源のリスク評価を正しく盛り込んだコスト試算が不可欠である。
- ・化石燃料発電のコストは、今後、燃料価格や炭素価格の上昇により上昇する。
- ・原子力発電のコストは、今後、事故対策コストの追加により上昇する。
- ・再生可能電力のコストは、技術開発による価格低減効果あり、ただし導入量増加に伴い系統対策費がコストを押し上げる見通しである。

本文

① 最適電源の組み合わせを検討する場合は、電源別のコストを比較することが有効である。最適電源には、火力、原子力、再生可能エネルギーの電源をどのように組み合わせていくのが望ましいか。そのような観点は、国民的なコンセンサスをもって、進められるべきであるが、科学的な見地から分析を行う場合、それぞれの、エネルギー供給に伴うリスクを正しくコストに換算して、客観的な評価軸を持って、最適な電源の組み合わせを分析することが可能である。

② このような電源別コストの試算は、資源エネルギー庁で行われたものがあるほか、電気事業連合会、地球環境産業技術研究機構、大島堅一教授などによって試算されている。しかしながら、これらは、東日本大震災前の試算であり、原子力の事故リスクなどが考慮されていない、また、将来の見通しが示されていない、など将来の最適組み合わせの検討にとっては十分ではない。

③ 今回、各電源のコストをサンプルプラント方式により試算した。その結果は、石炭火力発電のコストは、燃料価格、炭素価格により影響を受け 2050 年まで上昇を続ける。特に炭素価格によっては、大幅なコスト上昇の可能性がある。太陽光発電コストは、設備価格のコスト削減を受けて低下する。しかし、系統安定化費用が 2020 年から上昇し、系統対策費によって電力量当たりのコストは増加する。原子力は、考えられる自然災害リスクや追加対策費を加えてもあまり変化はないが、原子力被害費用の見積もりによって大幅に変化する。しかし、原子力に関しては、必要なデータが明らかになっていないので的確な推計はできない。

電源別のコスト試算にあつては、今後、さらに、原子力の追加対策コストとそのリスク低減効果、被害費用とその出現確立、太陽光発電などの系統対策費用などが正しく見積もられて、きちんとした積み上げに基づく定量的な比較を行っていくことが必要である。

コストに影響を与える要因 (2020 年断面でのコスト影響要因)

本試算は、東京海上日動リスクコンサルティング(株)の協力により行った。

- 石炭火力：燃料価格が 100\$/t 上昇すると 2.7 円、炭素価格が 100\$/tCO₂ 上昇すると

7.5 円それぞれコストが上昇

- 太陽光：系統安定対策のための電池コストが、5 万円/kW の場合 9.8 円、10 万円/kW の場合 13.1 円のコスト上昇要因
- 原子力：1000 年に一度の災害費用 10 兆円ごとに 1 円、全発電所での追加対策 1000 億円ごとに 0.6 円のコスト上昇要因

コスト計算において検討が必要な項目

- 石炭火力：燃料価格、炭素価格、効率改善（技術開発による発電効率改善）
- 太陽光：設置費用単価（技術開発による低減効果含む）、系統対策費（蓄電池の低減効果含む）、廃棄費用（高性能機器の導入に伴う）
- 原子力：建設費（追加対策費用含む）、バックエンド費用（将来的な不確実性リスクも含む）、災害対応費用（追加対策による事故リスク低減効果を含む）、

(4) 電力供給の最適解

要約：

- ・電力供給の適切さは複数の指標によって測られ、指標の優先度によって電力供給の最適解は変わる。電力事業者だけでなく需要家も含めた社会全体にとって、東日本大震災後に相応しい指標の優先度の決定が重要である。
- ・大規模集中型の電力供給から再生可能エネルギーを利用した分散型電力供給への移行は最適解への有力なアプローチである。
- ・最適解の実現のためには技術開発・制度改革が必要である。
- ・再生可能エネルギー電源導入時には、電力供給システムや需要家を含めた、システム全体として柔軟に対処することが必要であり、そのために新概念に基づいた新しい電力供給システム、いわゆるスマートグリッドが有効である。ただし、スマートグリッドはすべての問題を解決するわけではない。

本文

電力供給は、(1) 電圧・周波数・力率・波形が適正であり停電が少ないという意味の品質、(2) 事故が少なく、また事故が発生しても大規模な停電に至らない、事故による障害を短時間で回復できるという意味の信頼性、(3) 継続して電力が供給できる供給安定性、(4) 電力料金につながる様々なコスト、(5) 環境に対する影響、(6) 電力発生・輸送を担う設備の安全性、という指標によって測られ、いずれの指標を優先的に重要視するかで最適解としての運用形態が変化する。東日本大震災以前、特に重要視されていたものは(1)、(2)であり、電力事業者や電力事業者を監督する国の視点から、これらを確保した上でそれ以外の指標をできるだけ最良にする運用が展開されてきた。これに対して、大震災以降は、(3)、(6)の根本的な見直しに対する社会ニーズが急激に高まりつつある。十分な情報開示に基づき、電力事業者だけでなく需要家も含めた社会全体にとって大震災後に相応しい指標の優先度の決定が重要である。

大震災でクローズアップされた課題は、現行の大規模集中型供給形態の自然災害に対する脆弱性である。したがって、今後の最適解は、小規模分散電源の導入促進による、電力の地産地消、自然災害時のリスク分散（非常用電源の確保）による特に(3)の強化を含むものとなるべきである。また、今後は、CO₂排出量の削減、エネルギー自給率向上という課題の重要性が高まることは必至であり、供給安定性、電力発生・輸送の安全性に十分に配慮しつつ、環境性の高い電力供給形態の構築が必要となる。再生可能エネルギーの普及拡大、再生可能エネルギーと調和した電力供給システムの構築は、この課題の解決手段の一つとして考えられ、今後再生可能エネルギーの導入拡大が加速するものと予想される。

ただし、再生可能エネルギーにおいて忘れてはならないのが、一部のものを除き出力が変動する特性を持つという点である。現行の供給形態では、電力は必要な時に必要なだけ利用できる状況にあるが、出力変動という特性を有する電源が支配的な状況下においては、この現状が維持されるという保証はなくなる。このため、電力供給システムへの影響を抑制する対策とそのコスト負担を踏まえながら、再生可能エネルギーの導入を拡大するという考え方が必要となる。そこで考えられるのが、従来の考え方に捉われない、新しい概念に基づく電力供給システム、いわゆるスマートグリッドの構築である。

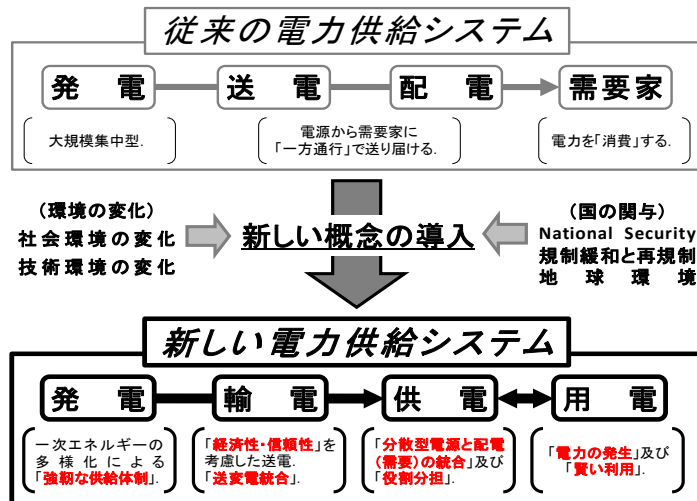


図 3-2 新しい電力供給システム

図 3-2 は、発電・送電・配電・需要家という従来の役割分担ではなく、発電・輸電・発電・用電という新しい概念を取り入れて各々の役割を明確化した、新しいスマートグリッドの形である。

・従来の「発電」と新しい「発電」： 従来の発電は、火力発電、原子力発電、水力発電を中心とした大規模固定電源により、需要に応じて電力を発生することを主な役割としてきた。新しい「発電」とは、従来の大規模集中型の発電設備に加え、メガソーラーやウインドファーム等の大規模発電施設を含むものであり、環境性ならびにエネルギー自給率の向上に資するのみでなく、災害による周辺地域への影響や二次災害のリスクを低減する。

・従来の「送電」と新しい「輸電」： 従来の送電は、発電所から需要地までを繋ぎ、需要地に電力を送り届けることを役割としてきた。新しい「輸電」とは、電力会社間の連系を強化した相互融通可能な骨太な送電網を示しており、各電力会社の管轄という壁を超えた柔軟な電力流通制御を実現するものである。

・従来の「配電」と新しい「発電」： 従来の配電は、送電網から受電した電力を需要家に対して直接的に供給する役割を果たすものであった。新しい「発電」とは、IT 技術等を駆使して需要家側の電力消費、発電を含めて配電網全体として適切に制御するものであり、大規模発電と需要地近傍の小規模発電との橋渡しという役割を担うものである。

・従来の「需要家」と新しい「用電」： 従来の需要家は、電力の供給を受けてそれを使用するという位置付けであった。新しい「用電」とは、単に電力を消費するのではなく、電力供給システム全体と協調して電力を上手に利用し、需要と供給のバランス維持に貢献する役割を担うものである。また、数多く点在する小型の発電設備という側面も持ち合わせており、国全体の環境性やエネルギー自給率の向上に資する存在でもある。

短期的に考えれば、利用できる発電・送電設備の種類や容量など、可能な選択肢自体が限られているため上述の新システム実現は不可能であり、中長期的な実現に向けた技術開発・制度改革が必要であろう。一方で、(1)～(6)で示した指標に、どの程度の水準を要求するかの合理的な見直しも必要となるであろう。例えば、電圧範囲 (101±6V、202±20V) に係る規制の見直し、周波数維持水準の見直しなどについては、早期に検討すべきである。

再生可能エネルギーの系統連系協議手続きの標準化や、情報を開示して電力市場の透明性を高めることも重要である。

4. 電力の不足と供給対策

(1) 電力需要抑制の考え方

要約：

- ・今回の震災によって15%削減の電力使用制限が実施され、実際に、照明灯の間引きや消灯といった比較的容易な節電対策で相当の電力削減を可能にしている。
- ・アンケート調査から、照明の節電は大きな抵抗なく市民に受け入れられており、我々は「これまで過剰に電力を消費していた」ということに改めて気付いた。
- ・これまで、省エネに関しては「絞り切った雑巾をさらに絞らなければならない」と言われてきたが、今回の震災によって、「絞り切った雑巾」は実は絞り切っていないということが明らかになった。
- ・電力を含めたエネルギー全般にわたって、本当に必要なエネルギーと、必ずしも必要でなく贅沢とみなすべき消費先の見切りが今こそ必要である。

本文

① 今回の東日本大震災によって、東京電力及び東北電力並びにその供給区域内の特定規模電気事業者と、直接、需要契約を締結している大口需要家を対象に、昨夏の使用最大電力から15%削減の電力使用制限が実施されている。これにより、地下鉄構内やビルなどで照明灯の間引きや消灯が行われ、照明用電力消費の約3~4割が節減されていると言われている。照明用のエネルギー消費はビル全体のエネルギー消費の約3割と概算されるので、仮に全てのエネルギーを電力だけで賄っているビルの場合を考えると、追加的なコストなしにこれだけで約9~12%の電力削減である。実際に、東京の地下鉄構内の明るさは、震災前の450ルクスから300ルクス程度になっており、大きな節電になっている。

② しかし、ここで大事なのは、世界の都市の地下鉄構内の明るさは、例えばニューヨークは200ルクス、パリは100ルクス程度であり、300ルクスは世界的に見るとまだまだ明るすぎるといふこと、そして、東京在住の人々を対象としたアンケート調査によれば、今回の照明の節電を受けて、震災前の明るさが明るすぎたと感じている人が79%、今後も現状維持で良いと考える人が73%にも上っているということである。すなわち、「これまで過剰に電力を消費していた」ということに市民レベルで気付いたことは、今後の電力供給や需要のあり方を考える上で重要な一石を投じたといっても良い。

③ 図4-1は日本の部門別最終エネルギー消費量の推移を示したものである。産業部門のエネルギー消費量は戦後の高度成長期に増加したが、二度の石油ショックによって省エネルギー化が進んだこと、そして第二次産業から第三次産業へと我が国の産業構造が変化したことによって、その後は比較的安定した値となっている。一方、民生部門と運輸部門のエネルギー消費量は、ライフスタイルの変化やバブル経済によって急増し、バブル崩壊後もその増加に歯止めが利いていない。2008年にはリーマンショックでエネルギー消費量が減少しているが、過去の経験から推測すれば、この減少は一時的なもので再びエネルギー消費量が増加する危険をはらんでいる。民生部門のエネルギー消費量は、その多くが建物の空調、照明、給湯のために消費される電力や都市ガス、油のエネルギーである。建築分

野起源の年間の二酸化炭素排出量は社会全体の約 36%に上り、その内の約 24%が建設後の運用で発生している。運用段階のエネルギー消費をどう抑えるかが重要である。

④ 1990 年比 6%の温室効果ガス削減という京都議定書の議論において、これまで何度となく言われたことに「絞り切った雑巾をさらに絞らなければならない」ということがあったが、今回の震災によって、「絞り切った雑巾」は実は絞り切っていないということが明らかになった。電力を含めたエネルギー全般にわたって、本当に必要なエネルギーと、必ずしも必要でなく贅沢とみなすべき消費先の見切りが今こそ必要である。

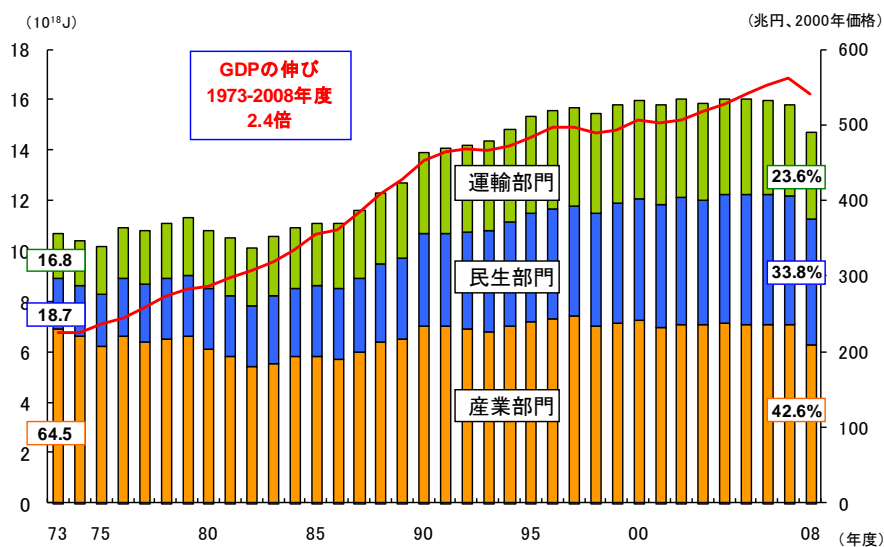


図 4-1 日本の部門別最終エネルギー消費量の推移

(出典：資源エネルギー庁「平成 21 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2010)」)

(2) 業務系需要の抑制可能見通し

要約：

- ・現在、業務用建築物のエネルギー消費実態を明らかにすることを目的に、全国規模のデータベース（DECC：Database for Energy Consumption of Commercial Building）の構築が進められている。
- ・DECCに基づいた業務用建築物の夏季節電方策に関わる緊急提言では、比較的容易な対策による定量的な電力削減割合が示されており、「15%削減の電力使用制限」はさほど難しい数値ではない。
- ・しかし一方で、これ以上の大幅な需要削減の可能性は未だ不透明である。現在、ネット・ゼロ・エネルギー・ビル（ZEB：Zero Energy Building）化へのビジョンでは、新築低層建築物へのトップランナー技術や高度な制御技術の導入、建物躯体の高断熱・高气密化および日射遮蔽が主たる方策となっており、省エネ改修コストの高い既存ビルの対策は未だ課題が残る。

本文

① 業務用建築物（非住宅）のエネルギー消費に関する既存のデータベースは、データ数が圧倒的に少ない、データに統一性がない、守秘義務でデータが公開されない、データベース構造の標準化がなされていないなどの問題があり、これまで日本では、業務用建築物のエネルギー消費実態を十分に把握してこなかった。そこで、国土交通省、エネルギー業界、大学等の連携のもと、エネルギー消費に関するデータベース DECC (Database for Energy Consumption of Commercial Building) の構築を目的に平成 19 年に委員会が発足し、現在、全国規模のデータ収集・整理を進めているところである。DECC はまだ完成していないが、図 4-2 は現在の DECC から作成された九州地域の用途別年間一次エネルギー消費原単位を例示したものである。このように、建物の省エネルギー性能や施策・対策効果の確認のためのエネルギー消費量のベースライン提示といったことに、DECC を広く利用していくことが期待されている。

② ところで、今回の震災による夏の電力不足を受けて、DECC に基づいた業務用建築物の夏季節電方策に関わる緊急提言が行われている（文献：日本サステナブル建築協会「DECC に基づく業務用建築物の夏季節電方策に関わる緊急提言」、2011 年）。そこでは、照明を落とすことで 9%、休日輪番制で 14%、冷房設定を 26℃から 28℃にすることで 5%、エレベータ半減で 1%というように比較的容易な対策による定量的な電力削減割合が DECC に基づいて示されている。すなわち、「15%削減の電力使用制限」はさほど難しい数値ではないことがわかる。

④ しかし一方で、これ以上の大幅な需要削減の可能性は未だ不透明である。現在、**ネット・ゼロ・エネルギー・ビル** ZEB (Zero Energy Building) 化へのビジョンが提示されているが（図 4-3、図 4-4）、新築低層建築物へのトップランナー技術や高度な制御技術の導入、建物躯体の高断熱・高气密化および日射遮蔽が主たる方策となっている。ZEB 化のビジョンは、今後、新築の増加は望めないとして、既存ビルの寿命をまって、順次、新築に建て替

える際に ZEB 化を進めることが前提になっており、達成年のターゲットはおおよそ 2050 年（現在の建築の寿命が約 40 年）である。この時間スキームが、今回の震災後でも適切かどうかは議論されるべきである。一方、既存ビルを ZEB 化するには大規模な省エネ改修が必要になり、コストが非常に高く、建築そのものの寿命も短いために、新築を ZEB 化するよりも難しいと思われる。

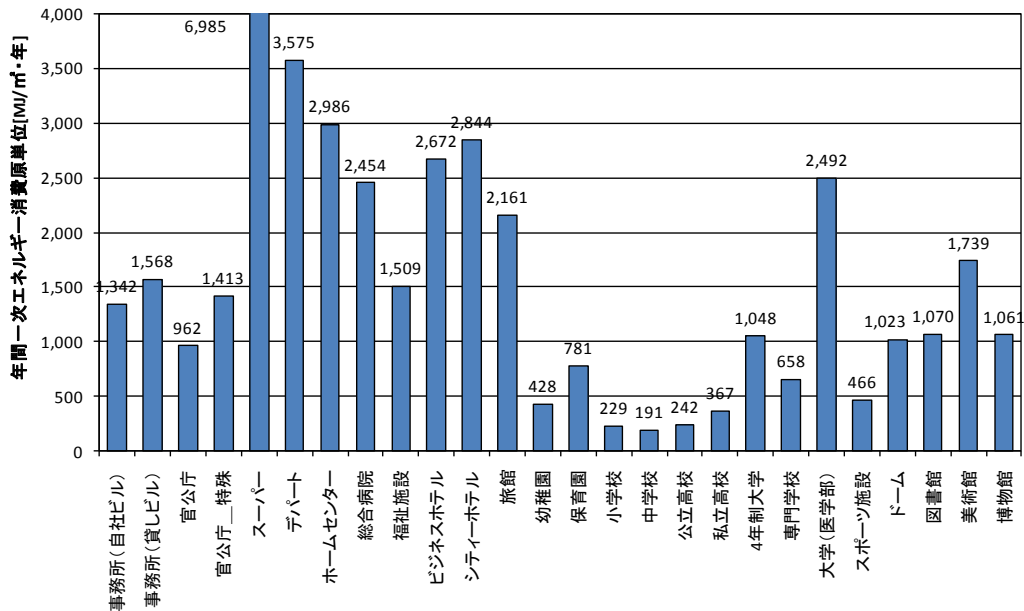


図 4-2 DECC による用途別建築物の年間一次エネルギー消費原単位（九州地域）

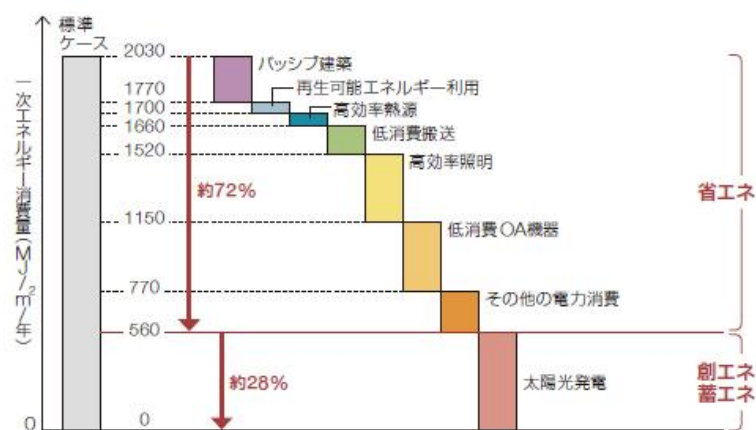


図 4-3 ZEB に至る様々な省エネ技術とその省エネ量

(出典：ZEB の実現と展開に関する研究会「ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）の実現と展開について」、2009 年)

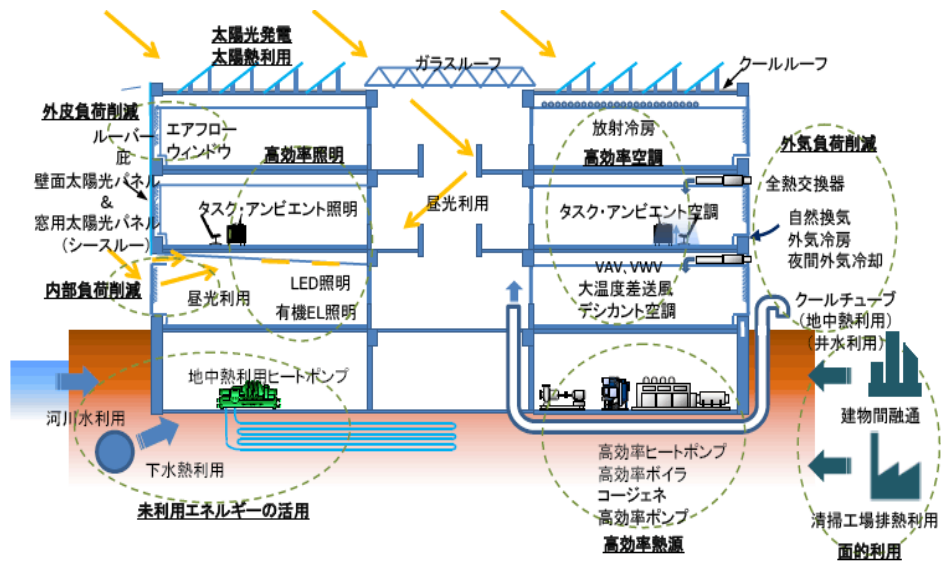


図 4-4 ZEB を実現するための総合設計例

(出典：ZEB の実現と展開に関する研究会「ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）
の実現と展開について」、2009 年)

(3) 需要抑制の手法の検討

要約：

- ・エネルギー使用と輪番休業など新たなワークスタイルとのベストマッチを継続的に模索すべきである。
- ・エネルギー使用の時間シフトを考慮した操業を模索すべきである。
- ・立地選定にエネルギー使用の観点を導入すべきである。

本文

今夏、様々な産業において行われている輪番休業は、平日の需要を週末にシフトしようとするものである。図 4-6 に示すように、暑い夏であっても、多くの産業が休業する週末の電力需要は低く、余裕があるのである。したがって、月曜に休む人、火曜に休む人・・・、と全ての曜日に休む人数が均等化すれば一週間単位での需要の大きな平準化効果が期待できる。そのため今夏には、業界内や自社グループ内、建物や店舗ごとに調整をし、あるグループは月・火、あるグループは木・金を休日とすることでピーク需要を大きく抑える効果が得られていると予想される。一方、週末に出勤することに伴う子育て家族の保育所確保の課題なども表出してきたが、皆が一斉に休む混雑した週末とは異なる休日を楽しめるなど、エネルギーの使用とワークスタイルとを両立させる観点は今後も大切である。

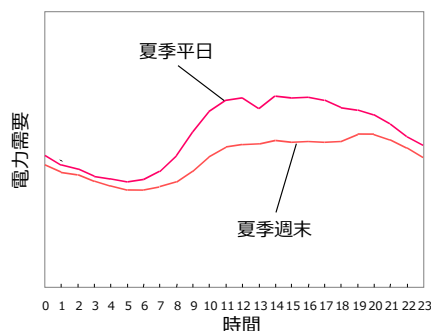


図 4-6 夏の平日と週末の平均的電力需要

休日のシフト以外にも、生産の時間帯や地域をシフトする動きが今夏の産業界では見られる。今夏の場合は、東京電力と比較して余裕がある地域に生産をシフトすることも有効であったが、長期的に取るべき方策ではない。一方、24 時間操業をする工場では、電力多消費型のプロセスを夜間に行い、昼間は省電力型のプロセスを行うこと、昼間の工場でも午前と午後で電力多消費・省電力プロセスを分けて操業することなどは長期的に見ても有効であり、長期的な継続が望ましい。

また、工場やデータセンター等の立地選定も重要である。加熱が必要なプロセスを行う工場は暑い地域に当然立地すべきである。また、関東と関西など人口密集地でサーバー管理者の確保が容易な地域にデータセンターとそのバックアップセンターを立地するという判断よりも、冷却が必要なサーバーが多数あるデータセンターは寒冷地に置く方がエネルギーの観点からは望ましい。涼しい地域は何も北東北や北海道だけにあるわけではなく、地下の利用も有効である。地下の利用とはすなわち、地下の比較的浅い部分にある低温熱である地中熱の利用である。地中熱を利用できる場所に立地することで、夏や冬のピーク

エネルギー需要を抑制しながらも産業の安定操業が実現される。

(4) 需要サイドでの最適需要の検討

要約：

- ・需要抑制のためには、自主的な節電では限界があり、デマンドレスポンス (DR: Demand Response) を活用した制御が有効である。
- ・家庭での蓄電池の購入や Vehicle to Home 等の蓄電池利用策は、需要サイドでの対応性を頑強にする手段として有効となる。また、電気料金の引き上げも検討課題として考えられる。

本文

東日本大震災によって、電力需給の逼迫という大きな課題に直面することで、需要抑制の重要性が強く認識されることとなった。需要の制御には、ピークカット (ピーク：最大の電力需要) のように需要の量そのものを抑制するものと、ピークシフトのように需要の量には手を加えず需要が発生する時間帯を移動するものの2種類に大別できる (図 4-7 参照)。発電用燃料の不足が懸念される場合などには、需要の量そのものを抑制する前者の需給制御は有効な手段となる。一方、電力供給設備はピークを賄う能力が必要とされるため、電力需要の曲線が平坦な形状になるほど設備の能力に無駄が無くなる。このことから、後者の需給制御も重要な制御方法と言えるであろう。いずれの手段にせよ、ピーク電力の抑制に繋がることから、電力需給の逼迫時には有効な手段と考えられる。ただし、いずれの需要制御を実施するにせよ、需要家による自主的な節電には限界があり、また、効果の想定自体も極めて難しい。電力は常に需要と供給のバランス維持が必要であり、需給バランス崩壊による大停電の可能性を踏まえると、不明確な需給制御対策に依存することはリスクが非常に高い。需要家の意志あるいは電力供給側のニーズに合わせて、確実に需要を抑制する手段が必要となる。

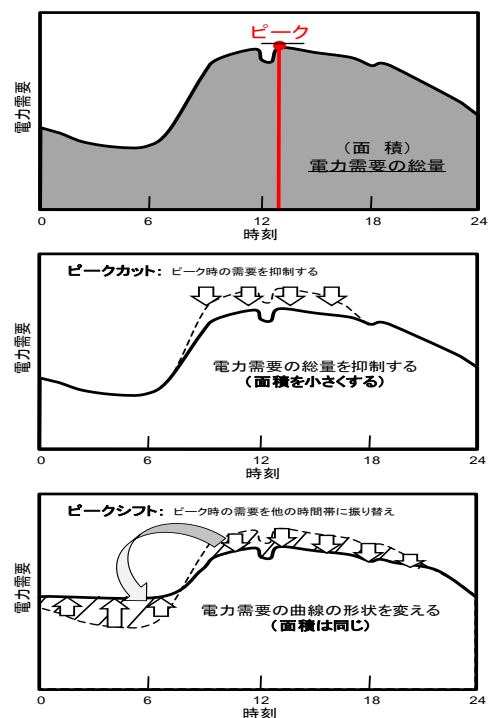
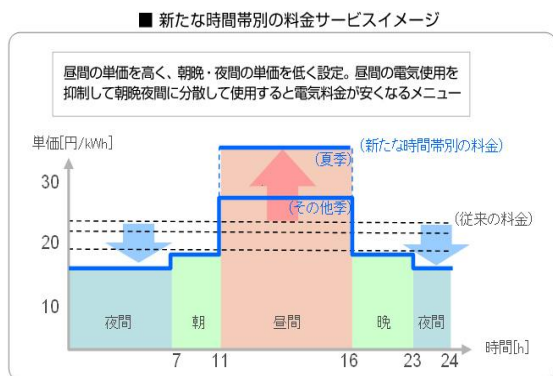


図 4-7 電力需要の時間変化と制御の種類

電力需給の制御方法として、最も注目されているのはデマンドレスポンス（DR：Demand Response）である。DRは、電力網における需要にตอบสนองして需要家サイドで電力消費を低減したり、他の需要家に余剰電力を供給したりすること、またはそのような仕組みを指す。大震災以降は、特に電力供給側のニーズに合わせて需要を抑制するといった点に注目が集まっている。例えば、電力需給が逼迫する時間帯の電力料金を高く設定することで、高い料金を払い



※ NTT ファシリティーズ HP

図 4-8 時間帯別電力料金の例

たくない消費者は電力消費を抑制する。料金が高くても使う必要のある企業等が、必要なだけの電力を使うように制御することで、限られた供給能力でも自動的に需給バランスを調整できる。ただし、DRをいきなり導入できるわけではなく、電力の「見える化」、電力料金体系の見直し等が必要になる。電力の見える化は、スマートメーターによって実現される。「当面のエネルギー需給安定策（平成 23 年 7 月 エネルギー・環境会議決定）」にスマートメーターの導入促進（今後 5 年以内に総需要の 8 割をスマートメーター化）、需給調整契約（大口需要家を対象とする電力需給が逼迫する場合に使用電力量を抑制することを条件に電気料金の割引を行う契約）等の電気料金メニューに関する内容が盛り込まれており、需要抑制に必要な環境が整っていくものと考えられる。

上述は、主に電力供給側のニーズに合わせた需要抑制という点に注目した内容であるが、需要家側にメリットが無いというわけではない。DR と動的に変動する電力料金プラン（図 4-8 参照）を上手に利用することで、電力料金の削減に繋げることができる。例えば、熱負荷予測に基づき熱源と蓄電池の運転計画を立案する「予測／計画」、計画的にピーク時間帯を外した設備運転計画を行う「計画 DR」、デマンド監視により必要時にリアルタイムな空調・照明制御を行う「リアルタイム DR」という 3 つの DR の考え方を導入し、ピーク時間帯を避けた効率的な電力利用を実現することが考えられる。

- ① 予測／計画：天気予報データ、過去の環境測定データおよび設備の運用実績データを用いて、翌日の時間毎の必要供給熱量予測と太陽光発電の発電予測を行う。ヒートポンプや蓄電池等の時間毎の運転計画（Vehicle to Home 等を含む）を立案し、使用電力プロファイルを計算する。予測値が設定目標を超えていなければ、この結果を翌日の運転計画とする。一方、設定目標を超える場合は、最大使用電力の抑制を制約条件に加えて再計算する。
- ② 計画 DR：空調設備や外調機（建物内の空気質維持のために外気を取り入れる設備）を対象として最大使用電力の抑制のための運転計画を立案する。予測結果に基づき、ピーク時間帯の事前に設備出力を上昇させ、ピーク時間帯に停止させることで、最大使用電力の抑制と室内環境維持を両立させる。
- ③ リアルタイム DR：電力使用値を常時監視しておき、予測通りの使用電力状況にならないと判断した場合、制御対象の設備機器（照明や空調等）の出力をリアルタイムで制御することで、最大使用電力が削減目標以下になるよう制御する。

以上より、DR は緊急的な電力削減要請やよりきめ細かな時間帯別料金情報に応じたピーク電力 (kW) の抑制、使用電力量 (kWh) の調整、あるいは電力料金の最小化に繋がるものとして位置付けることができ、最適な需要制御方法として有力であると言えよう。

5. エネルギー供給の課題

(1) 石油供給の課題

要約：

- ・非常時に備えた輸送用燃料供給や電力供給のためのライフラインの総合的な堅牢性を高める必要がある。
- ・長期的には、石油を含めた化石資源、さらには、バイオマスや廃棄物を電力・二次燃料・化成品の共通プラットフォームである合成ガスに統合・集約できるシステムの構築が望ましい。

この度の震災では、電力供給とともに、輸送用燃料、すなわちガソリンとディーゼル油の供給途絶が局所で発生し、物資輸送に大きな障害をもたらした。このような事態に限定すれば、まず必要なのは、陸路・空路・海路輸送、そして電力供給のための社会インフラ、すなわちライフラインの総合的な堅牢性を戦略的、計画的に高めることである。一方、我が国へ石油供給が途絶、あるいは著しく縮減する事態が一時的にせよ発生した場合、対処は容易でない。石油・石油化学産業は、原油精製、ナフサのプラットホーム（エチレン、プロピレン、ブタジエン、BTX）への誘導、各種化成品への分岐誘導が連なる連産構造を持つので、石油留分、化成品のバランスを急激にシフトさせることが本質的に難しい。この性質は、プラスチック等の最終製品、素材のリサイクルがもとの原油消費の低減に結び着かないこと等の現象にも現れている。

例えば液体燃料は、需要の長期的な見通しが難しいが、備蓄燃料として、また、エネルギーバッファとしての役割への適性を考慮すれば、当面は一定のシェアを持つと考える合理性はある。化石資源のベストミックスを考えた場合、複数の資源から液体燃料と化成品に共通するプラットホームを集約的に生産できるシステムは、上記のような緊急時への対応を可能とする。プラットホームとして最もポテンシャルが高いのは、いずれの化石資源からも生産が可能な合成ガス（水素・一酸化炭素）である。天然ガスの接触改質は確立した技術であり、より高効率の改質法開発が継続的になされている。石炭ガス化は、電力と合成ガス、さらに後者の誘導品を同時に生産するシステムとしてのポリジェネレーションがすでに構想されており、有機性廃棄物やバイオマスも取り込むことができる。今後、重質油や重質残油の改質・ガス化技術を導入できれば、複数の化石資源を合成ガスに統合し、電力、液体燃料、化成品の需要に応じてその利用を分配するフレキシブルかつ持続性のある統合的な炭素資源転換システムを構築できる。合成ガスを経由するこのシステムは、次世代発電システムとしての燃料電池発電・コンバインドサイクルとの統合も可能である。ただし、このようなシステムを多額の投資によって国内に整備するのか、それとも生産拠点を国外に分散し、ある意味でのリスク回避を狙うのかは、産資源国との連携による資源確保、省資源のための発電システムの構成（国内）の戦略と併せて検討する必要がある。

(2) ガス供給の課題

要約：

- ・長期的には、ガス供給を増やしていくことは、エネルギーの多様化の観点から重要な課題である。電力の代替、ピークカットの観点からもガスによる供給手段を増やしていくことは有効である。
- ・他方、ガス供給が主要な消費地にとどまっている、パイプラインがないなどの課題も浮き彫りになっており、リスク管理の観点からの対応が必要である。

本文

- ① ガス供給は、電力不足の代替として重要である。また、石油ボイラーの代替としては、温暖化対策の観点からも重要である。いずれにせよ、エネルギーの多様化の観点から、天然ガスという選択肢はもっと広範囲に活用される可能性がある。
電力のピーク需要を形成する冷房や暖房需要を、一層、ガス冷暖房の活用によって代替可能性を考えることは、エネルギー供給の平準化、それに伴う供給コストの低減化につながる。
- ② ガス供給の課題は、その供給地域が大消費地のみにとどまっていることである。そのため、ガス会社間の相互融通システムであるガスパイプラインが整備されていない。たとえば、東海地震によって名古屋の供給基地が被害を受けた場合の対策など、東海地域におけるリスク対策を考えるべきであろう。また、電力会社とガス会社間のガス融通が一層図られることも、非常時対策、コスト軽減の観点から重要である。ガスパイプラインを不可欠施設と考えれば、既存設備を公共財として活用する考え方も取られるべきであろう。

6. エネルギーのベストミックスにむけて

■ エネルギーを巡る課題

- エネルギーの安定的な供給を図るためには、災害や供給途絶リスクに頑強なエネルギー供給体制を構築することが必要となる。
- あらゆるエネルギーにはリスクが伴う。このためには、なんらかの供給途絶や供給源の欠落が生じた場合にもそれを補完するエネルギー供給を確保していくことが必要となる。そのようなエネルギー供給の多様性がリスクを減らす方策となる。

■ エネルギー源ごとのリスク

- 化石燃料への依存は当面の間続くとと思われる。それを前提にした、供給の安定化、利用方法の効率化の技術開発が重要である。
- 原子力は、いったん事故が生じれば、大きなリスクを伴う技術である。リスクを低減させるための対策とその効果を定量的な手法によって分析、説明していくべきである。
- 国内のエネルギー供給は、エネルギー供給基地の集中立地などの脆弱性がある。
- 再生可能エネルギーは発電と需要のギャップが生じる、これをどのようなビジネスモデルで解消するか考える必要がある。今後の電力需要の伸びは多くの要件で決まるが、需要と供給を一体的に検討する必要がある。

■ 電力供給の課題

- 電力の供給は、疎連系と密連系がある。それは日本と欧州の違いである。今後、日本においても地域間連系線の整備によって、電力融通を確保していくことが求められる。
- 将来の電源はどのような組み合わせで行われるべきかについては、リスクをコストに換算したコスト計算の手法によって考慮することも必要である。

■ 電力需要の課題

- 今回の大震災の教訓は、業務用については15%の節電が可能であったということである。また多くの節電のための手法が導入された。
- 他方、業務用エネルギーを15%を超えて大幅に節電することは、特に既存のビルではコストがかかりすぎるなど容易ではない。

■ エネルギー供給の課題

- 大震災では石油の供給途絶が発生した。石油は、連産構造を持つので、容易に製品バランスの変更が出来ない。複数の資源を集約的に利用する生産システムが緊急時対応に有効である。

- ▶ ガス供給は石油や電力供給の代替となる。ガス供給手法の多様化は、エネルギー供給の平準化にも寄与する。また、ガス会社間のパイプライン整備など、緊急時のリスク対策を、不可欠施設の観点から考えるべきであろう。

おわりに

エネルギーは、いままでエネルギー供給者と政府関係者が決めることであった。その前提は、エネルギーは需要に合わせて、エネルギーを確実に供給することであった。

しかし、東日本大震災は、エネルギーの供給に大きなリスクがあることを、我々に再認識させた。また、今回のエネルギー不足とエネルギー供給施設のリスクは、エネルギーの安定供給が、エネルギー供給者と需要者という関係で保たれるのではなく、エネルギー需要者自身がエネルギー供給を考える立場にあることを認識させた。

以上のことは、今後、我々がエネルギーの供給リスクを認識したうえで、多様で、適切な組み合わせを考えていくことが重要であること、さらに、電力の供給体制がより柔軟な体制にあるべきこと、最後に、今後の需要の見極め(省エネルギー技術の可能性、必要なエネルギーと余剰なエネルギーの精査等)が重要であることを知らしめた。

今後のエネルギーのベストミックスは、新しい視点に立って、エネルギー供給者のみならず、エネルギーの利用者である関係者がそれぞれの立場で安定供給と需要のあり方を考えなければならない。この報告書が、そのような今後のエネルギーの課題と展望に一助となることになれば幸いである。

最後に、この報告書を作成するにあたり、多くの学内、関係業界、関係行政機関の関係者から、現実を踏まえた数多くの示唆をいただいたことを記して、感謝申し上げます。

<用語解説>

PSA (probabilistic Safety Assessment 確率論的安全評価)

事故の原因となる設備故障などの発生頻度と影響を定量的に評価し、安全性の度合いを検討する手法。原子力発電では炉心損傷する過酷事故などのリスクを計算するのに応用されている。理論的に考えうるすべての事故シーケンスを対象とし、異常・故障などの起因事象の発生頻度、発生した事象の拡大防止・影響緩和機能の喪失確率および事象の進展・影響を定量的に計算する。PSAは発生確率が極めて小さいが、事象の影響が大きい過酷事故の発生防止や、その対策の効果を総合的に評価するのに用いられる。

超重質油

API比重（アメリカ石油協会が制定した石油比重の指標。小さいほど重質になる）が10未満の重質な原油。油層内で流動性のない固体、半固体状の超重質油はビチューメンと呼ばれる。頁岩（シェール）層に含まれる超重質油はオイルシェール、原油の揮発部分が消失して残ったビチューメンが砂の表面や粒子の間に付着したものをオイルサンドと言う。超重質油の埋蔵量は、在来型石油に匹敵すると言われている。

シェールガス

頁岩（シェール）層から採取される天然ガス。従来のガス田とは異なる場所に存在するため、非在来型天然ガスとも呼ばれる。中国、米国、ポーランド、フランス等主要国のシェールガスの可採埋蔵量は合計で約70兆m³程度とされ、この量は現在の天然ガス消費（世界）の25年程度に相当する。

可採年数

資源の確認可採埋蔵量をその年の生産量で除した値。その資源を利用できる年数の指標であり、確認可採埋蔵量と生産量の関係によって増減する。

低品位炭

有機質の炭素含有率が低く、多くの場合水分含有率が高い石炭や、非可燃成分である鉱物質の含有率が高い石炭の総称

微粉炭火力発電

微粉化した石炭を直接燃焼し、それにより発生した熱によって高圧の水蒸気を発生し、これを作動流体として蒸気タービンを稼働して発電する方法。現在の最先端火力では600℃、30MPaを越える高温・高圧蒸気（超超臨界蒸気）を発生し、42～43%の発電効率が達成されている。蒸気温度を700℃以上に高める技術開発が進められており、発電効率は46%を越えると期待されている。

天然ガスコンバインドサイクル発電

天然ガスを 1500℃ほどの高温で燃焼し、生じた熱エネルギーによってガスタービンと蒸気タービンを複合的に作動させて行う発電サイクル。最新鋭の火力プラントにおける発電効率は 55%程度（天然ガスの高位発熱量基準）である。発電効率は燃焼温度が高いほど高くなる。1700℃の燃焼温度に対応できるタービンの開発が進められている。

ガス化コンバインドサイクル発電（ガス化複合発電）

石炭を部分燃焼によって水素と一酸化炭素を主成分とする高温ガスに変換（ガス化）し、このガスを燃料としてガスタービン、蒸気タービンを複合的に作動させるコンバインド発電サイクル。1500℃級のガスタービン採用により、48～50%の発電効率が期待される。Integrated Gasification Combined Cycle を略して IGCC と称することが多い。

燃料電池複合発電

900℃以上の温度で作動する固体酸化物形燃料電池をガスタービン、蒸気タービンと組み合わせて行う次世代の高効率発電。石炭ガス化との組み合わせによる複合発電サイクルは、55%以上の発電効率が期待されている。燃料電池から発生する高温の熱を使って天然ガスを合成ガスに改質し、燃料のエネルギーを増幅することによって 70%を越える発電効率を達成できる可能性がある。

ポリジェネレーション

石炭をガス化し、生成した合成ガスの一部をコンバインドサイクル発電に、残りをメタノール、ジエチルエーテル等の液体燃料や、化成品（オレフィン、アンモニア）、水素等に誘導するシステム。

合成ガス

炭素資源（石油、天然ガス、石炭、バイオマス等）を部分燃焼や、水蒸気との反応によって変換した結果得られる水素と一酸化炭素を主成分とするガスの総称。水素：一酸化炭素の比は、原料と変換の方法によって異なる。

ヒートポンプ

熱媒体の気化熱、凝縮熱を使って低温部分から高温部分へ熱を汲み上げるしくみ。熱媒体凝縮のための圧縮を最小限の電力投入によって、気化を周囲環境（たとえば大気）の熱を使って、加熱・冷却を行う。発電の効率を考慮しても燃料を燃焼する加熱法に対して、省資源になると考えられている。

エネルギー消費原単位

エネルギー使用量を建物の床面積等エネルギー使用と密接な関係を持つ値で除したもの。エネルギー消費効率を比較するために用いる。

ネット・ゼロ・エネルギー・ビル

建築物が消費する年間の一次エネルギーの使用量を、省エネルギー技術の導入や再生可能エネルギーを活用すること等で、ゼロまたは限りなくゼロの近数値にまで削減した建築物のこと。英語表記を略して ZEB と呼ばれる。

Vehicle to Home

電気自動車やプラグインハイブリッド車に搭載された蓄電池の電気エネルギーを家庭で利用すること。

炭素価格

地球温暖化や化石資源枯渇対策や、化石燃料の使用量を削減するための対策として、化石資源の燃料価格にそれから発生するCO₂量に応じた金額を付加すること、すなわち炭素価格が議論されている。炭素価格は、炭素税（石炭・石油・天然ガスの含む炭素の重量に応じて、出荷時に課税する）や、炭酸ガス排出権取引による市場価格によって決まる。

炭素税は、化石燃料の価格を、税により引き上げることにより、その需要を抑え、さらには、その税収を環境対策に利用することにより、地球温暖化の原因である二酸化炭素（CO₂）排出量を抑えることを目的としている。

排出権取引は、最先端の高効率・省エネ技術の導入により削減した CO₂ 排出量のうち目標値を超えた CO₂ 排出量を売買できる制度であり、市場メカニズムにより取引価格が決まる。