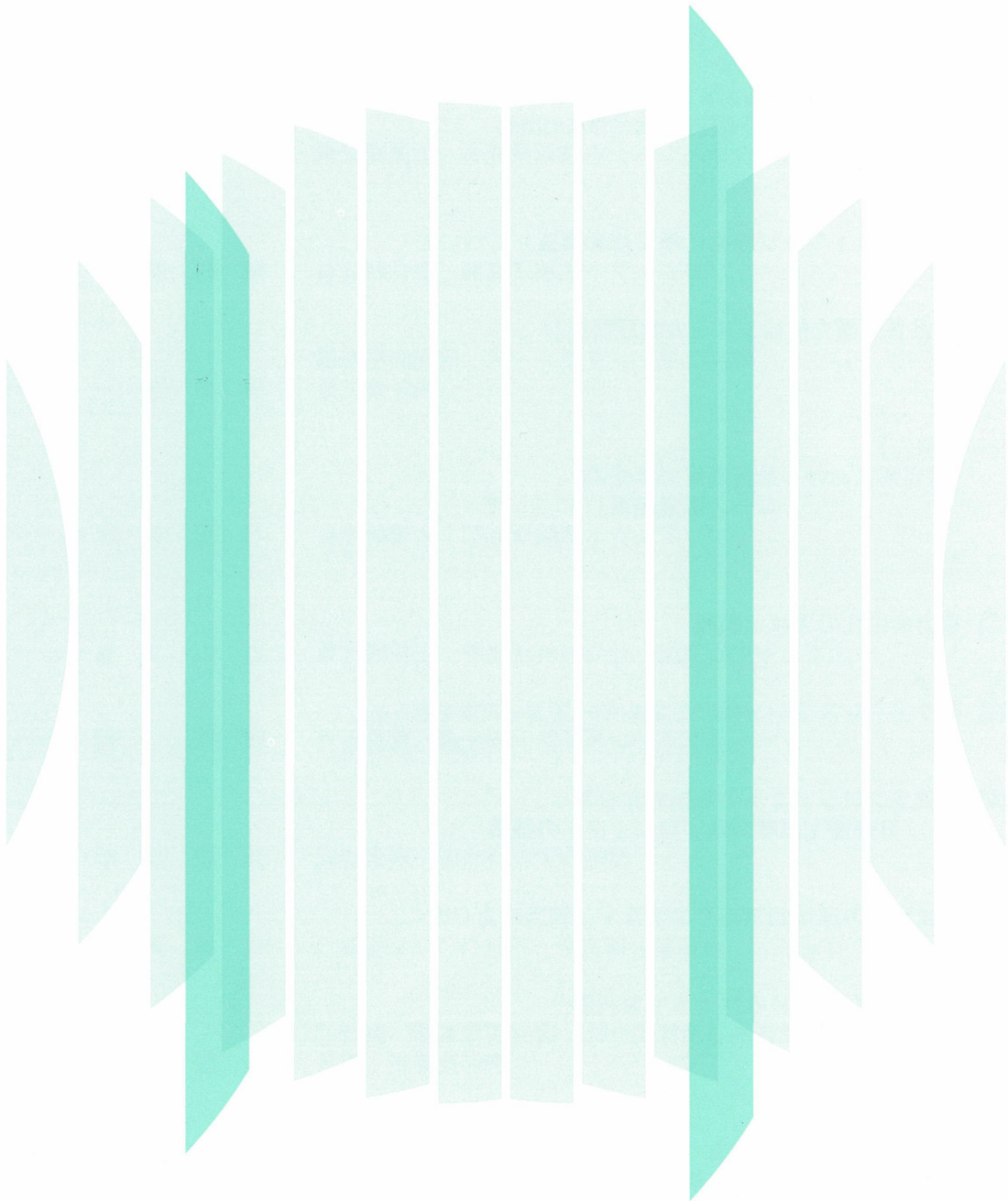


季報 エネルギー総合工学

Vol. 29 No. 2 2006. 7.



財団法人 エネルギー総合工学研究所
THE INSTITUTE OF APPLIED ENERGY

目 次

【巻頭言】分散型電源の導入拡大のための電力ネットワーク技術 東京理科大学 理工学部 教授	正 田 英 介 …… 1
---	--------------

【政策紹介】「新・国家エネルギー戦略」について 経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房総合政策課 企画調査官	高 橋 直 人 …… 3
--	--------------

---【特集 新電力ネットワーク技術実証研究】---

【寄稿】電力ネットワーク技術実証研究 一分散型電源普及時の電圧変動抑制技術の開発— (財)電力中央研究所 システム技術研究所 上席研究員	小 林 広 武 …… 9
--	--------------

【調査研究報告】 「電力ネットワーク技術に係る総合調査」について プロジェクト試験研究部 主任研究員	壁 村 克 樹 …… 18
--	---------------

【寄稿】「品質別電力供給システム実証研究」 (株)NTTファシリティーズ 研究開発本部 主任研究員	廣 瀬 圭 一 …… 26
---	---------------

【調査研究報告】 「需要家における品質別電力供給の ニーズ調査結果」について プロジェクト試験研究部 主管研究員	石 垣 幸 雄 …… 35
---	---------------

【寄稿】電力自由化の現状と課題 (財)電力中央研究所 社会経済研究所 主任研究員	丸 山 真 弘 …… 41
---	---------------

【寄稿】豪クィーンズランド州のエネルギー資源—石炭を中心として— 豪クィーンズランド州政府 駐日代表	安 達 健 …… 49
---	-------------

【寄稿】コアラプロジェクト：石炭を介した 日豪補完環境保全プロジェクトの提案 (財)電力中央研究所 理事待遇	新 田 義 孝 …… 55
--	---------------

【寄稿】木材利用の環境的意義とエネルギー利用のあり方 独立行政法人 森林総合研究所 木材特性研究領域長	外 崎 真理雄 …… 62
--	---------------

【寄稿】自動車燃料におけるバイオマス利用 新日本石油株式会社 研究開発本部 開発部 燃料技術室 室長	斎 藤 健一郎 …… 69
--	---------------

【内外情勢紹介】 復活する米国原子力産業 —科学的合理性に基づく規制へ向けた改善の道のり— (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事 (財)原子力発電技術機構 技術部長 (財)原子力発電技術機構 理事	山 田 英 司 藤 井 信 一 今 永 隆 …… 77
---	-----------------------------------

【調査研究報告】

高レベル放射性廃棄物処分におけるリスク情報の活用

－意思決定の意義－

プロジェクト試験研究部	主管研究員	井 上	隆	
プロジェクト試験研究部	部長	蛭 沢	重 信	
プロジェクト試験研究部	主管研究員	氏 田	博 士	 87

【内外情勢紹介】

風のアルゼンチン・パタゴニア

－風力エネルギー資源の現地調査を行って－

プロジェクト試験研究部	特別研究員	村 田	謙 二	 98
-------------	-------	-----	-----	----------

【内外情勢紹介】

中国山西省における石炭利用について

プロジェクト試験研究部	主管研究員	橋 本	孝 雄	 107
-------------	-------	-----	-----	-----------

【行事案内】 第22回エネルギー総合工学シンポジウム 114

【研究所の動き】 115

【編集後記】 117

巻頭言

分散型電源の導入拡大のための 電力ネットワーク技術

正 田 英 介 (東京理科大学 理工学部
電気電子情報工学科 教授)



高度情報化社会の進展により電気エネルギーの供給はわれわれの生活にますます重要なものとなってきている。社会の人口構成が高齢化する一方で、われわれがより快適で活発な生活を求めて行けば、最近の冬季の需要の伸びにみられるように、電気エネルギー需要は今後も着実に増加すると予想される。このような状況の下で、地球規模での環境や資源の制約に対処して、わが国の社会が長期的に持続可能な発展を維持するためには、電力供給のためのエネルギー資源とインフラの確保が大切である。エネルギー技術の開発が長い時間を必要とすることを考えれば、われわれの社会の将来に向けた大きな課題として積極的に取り組む必要がある。中でも、再生可能エネルギー源を中心とした分散型電源の導入拡大と省エネルギー技術のさらなる開発は、資源に乏しく技術力に優れるわが国にとってさらに注力を進めるべき分野であり、国際的なエネルギー問題の解決にも寄与する道である。特に、分散型電源については国の新エネルギー開発施策によって技術進歩が進んでおり、それを広汎に普及拡大して行く段階に入っている。

電気エネルギーはその物理的な性質によって各瞬時に供給量と利用量が平衡していないと安定な運転状態を保てないという制約がある。個別の需要家の使用する電気エネルギーの量（電力量）は時々刻々変化するので、多数の需要家と電源を結合する巨大な電力供給網を構成し、需要変化の均衡化の効果と発電量の高速かつ精密な制御によって、安定で信頼度が高く、高度の情報通信機器にも対応できる高品質の電力が供給されている。分散型電源には多様なものがあるが、総じて天候や気候に依存して出力が変動し、発電量の制御に制約があり、設置箇所も限定され、規模とコストの関係から事業用の大規模電源と同等の運転信頼度を保たせるのが難しいなどの問題点を持っている。このため、分散型電源が電力供給網の中に大量かつ広汎に存在すれば、発生電力の変動や異常時においても電力供給品質の低下を生じないような何らかの対策が必要になる。小規模で数の多い分

散電源を含む場合の電力供給システムの運用は、電力フローの制御や安定化の点で従来の限られた数の大規模電源から負荷に向かって樹枝状に電力を流す方式とは本質的に異なってくる。

高度情報化の時代に信頼性や安定度の点で需要家が必要とする高い品質の電力の供給を維持しながら、分散型電源の特長を活かしつつ効果的にその大量導入を図るには、分散型電源の集中する系統末端に新しい電力供給ネットワークを構築し、相互の連携運転や電力貯蔵装置の組み込みによって発生電力の変動を吸収して有効利用し、既存の電力供給網との共存・共栄を進める必要がある。このような地域供給ネットワークは電力会社による従来の電力供給網を小規模で局所化したという意味でマイクログリッドとも呼ばれるが、需要家には対応が難しい分散型電源の保守管理を統合的に行うことも可能であり、分散型電源の利便性の向上にもつながる。ネットワークを構成する2次電池やスーパーキャパシタなどの電力貯蔵装置や電力フローの制御のためのパワーエレクトロニクスの技術も進歩しており、これらを統括して運用するシステムも情報通信技術や制御手法の進展で高度化ができ、ネットワーク内の各需要家で発生する負荷や発生電力の変動を平滑化し、IT時代の高い電力供給品質ニーズにも対応できる。発電量や貯蔵量に余剰が十分にあれば、電力供給網の異常時に供給支援を行う逆アンシラリーサービスも可能である。

限られた数の分散型電源と需要家で構成されるこのような新しい電力供給システムが実際に上に述べたような機能を発揮できるかの実証は、資源エネルギー庁や新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成や企業の技術開発として各所で始まっている。昨年に名古屋で開催された「愛・地球博」では、日本館とNEDOパビリオンの電力供給がこのようなモデルシステムで行われ、貴重な運転データが得られるとともにその有用性のPR効果も上がった。実証中のシステムでは、既存の電力供給網との協調運転、地域的に分離した分散電源群の既存の電力供給網を利用しつつヴァーチャルな独立した電力供給システムとしての運用、完全に独立した電力供給ネットワークを構成した場合の経済性、従来の電力供給システムを超えた電力供給品質の実現、ビル負荷への独立供給など、多様な挑戦的な目標に向かっての開発が進んでいる。これらにより従来制約の多かった分散型電源の導入が新しい付加価値によって見直され、拡大して行くことが大いに期待される。

[政策紹介]

「新・国家エネルギー戦略」について*

高橋 直人 (経済産業省 資源エネルギー庁
長官官房総合政策課 企画調査官)



1. はじめに

経済産業省・資源エネルギー庁では、本年5月末、総合資源エネルギー調査会・総合部会での議論を経て、「新・国家エネルギー戦略」の「最終とりまとめ」を経済財政諮問会議に報告した。3月の「中間とりまとめ」では、現状認識と課題が中心で、課題をどう解決していくかは必ずしも明確でなかった。「最終とりまとめ」では、それら課題克服の実現に向けた取組み、プログラムが盛り込まれた。以下、「新・国家エネルギー戦略」の概要を述べる。

2. 現状認識と課題

(1) エネルギー需給の構造変化

① エネルギー市場の長期的な推移

国際エネルギー市場は、石油ショック移行の推移、今後30年鑑の展望を踏まえれば、需給両面の様々な要因から大きな構造変化を迎えていると認識される(図1)。

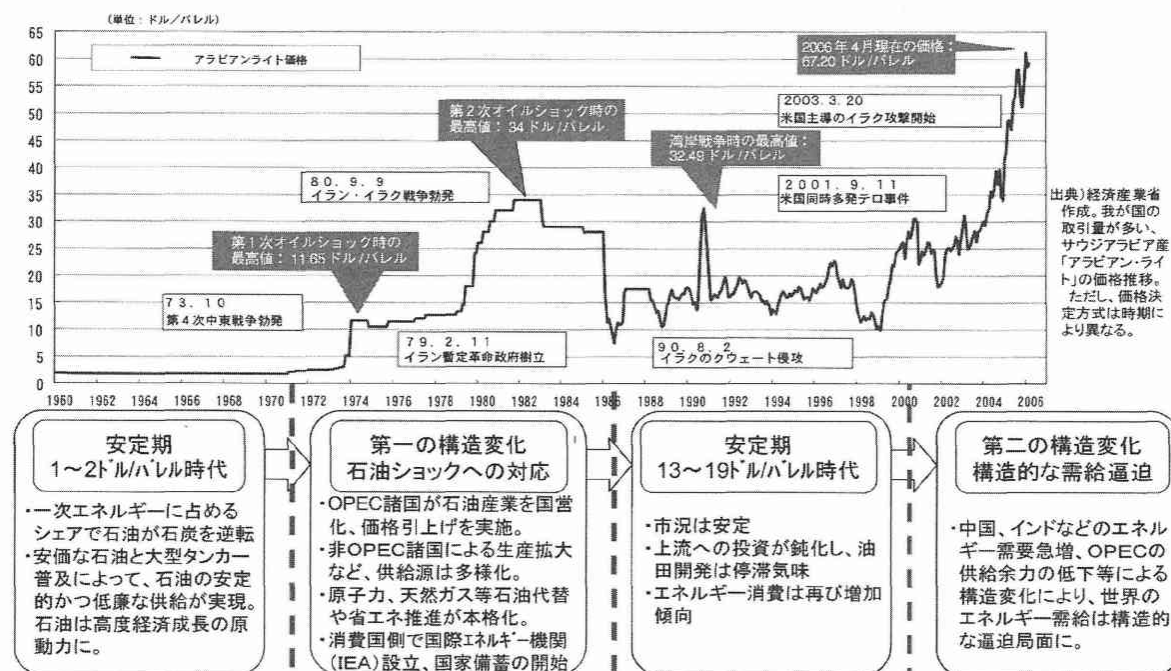


図1 原油価格の長期的な推移と国際石油市場の構造変化

* 本稿は、本年6月30日の当所月例研究会(第247回)におけるご講演を編集部にてとりまとめたものです。

② 需要側の構造的変化

世界のエネルギー需要は、アジアを中心として急速に伸び、2030年には2002年比で60%増加する見込みである。特に中国は、既にわが国を抜く世界第2位のエネルギー消費国であり、1990年代半ばに純輸入国に転じて以降、2030年にはその80%を海外からの輸入に依存すると予測されている。2000年から2004年の4年間を見ても、世界の石油需要増加の3分の1を中国が占めている（図2、図3）。

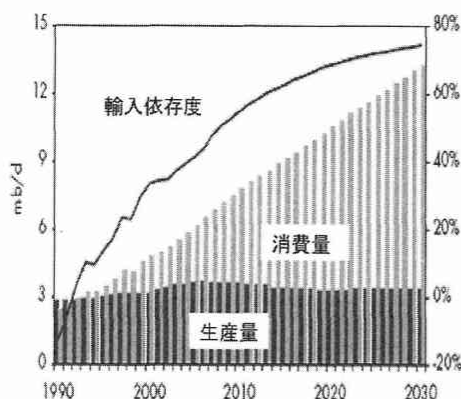


図2 中国の石油需要の増加

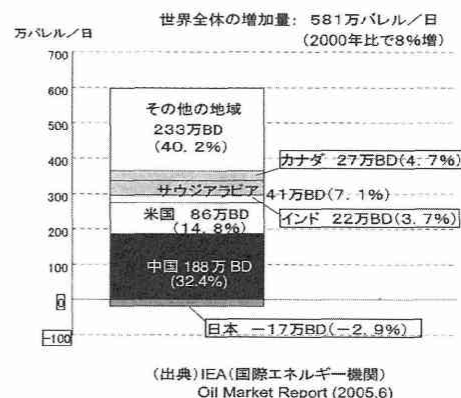


図3 主要国の増加量比較（2000年→2004年）

③ 供給側の構造変化

他方、供給側においては、産油・産ガス国におけるエネルギー資源の国家管理・外資規制の動き（表1）、パイプライン等の大規模流通インフラの不足、非OPEC諸国の供給力の低下・中東依存度の高まり（図4）、石油ピーク論に代表される長期的な資源制約に対する意識の高まり（表2）などが顕在化している。

表1 供給側の構造変化—資源国による国家管理強化の動きの例

中東	・サウジアラビア：国営Saudi Aramco社が全ての石油権益を保有。天然ガスは外資開放。 ・UAE：政府（国営ADNOC社）が石油権益に最大60%参加。天然ガスは100%政府保有。 ・イラン：政府（国営NIOC社）が探鉱・開発、生産の権利保有。民間企業はパイバック方式のみで参加可能。 ・カタール：政府（国営QP社）は、民間企業とPS契約（配分比率制限無）により石油・天然ガスを開発。QP社は、LNGプロジェクトに60%以上参加。 ・クウェート：政府（国営KOC社）が探鉱・開発、生産の権利保有。サービス契約による外資導入を図る動きがある。
ロシア・中央アジア	・ロシア：05年、重要油田における外資のオークション参加制限、露企業による権益51%以上参加義務等を規定した地下資源法を議会に提出。 ・カザフスタン：02年、従来の100%外資容認を変更し、政府（国営Kazmunaigaz社）の50%以上権益参加を義務付け。04年、地下資源法の改正により、同社に先買権行使権を付与。 ・トルクメニスタン：外資参加はOffshoreプロジェクトのみ可能。国営TNOC社の設立を準備中であり、既存の外資参加プロジェクトの全てに同社が参加予定。 ・アゼルバイジャン：外資導入に積極的。政府（国営Socar社）は10～50%権益参加。
アフリカ	・ナイジェリア：政府は、99年、国内石油会社への大水深16鉱区付与撤回。05年国際石油資本保有24鉱区を政府保有に。 ・リビア：03年、制裁解除による国際社会復帰後、05年に2度の探鉱鉱区入札を実施し、06年も新鉱区入札を予定する等、外資導入に積極的。 ・アルジェリア：86年以降、外資参加可能（累積債務解消、回収率向上）。05年、国営石油会社の権限縮小、外資企業参入促進を強化。 ・アンゴラ：大水深油田のPS契約政府取分を拡大（最大9割の例）。外国企業の契約延長を認めなかった例がある。
東南アジア	・インドネシア：生産量漸減に伴い、PS契約条件改善による生産拡大を図る一方で、国内需要増加に伴い、新規PS契約に、ガス生産量の25%国内供給義務を課す見込み。
中南米	・ベネズエラ：石油について国営石油公社との合弁企業形態への移行、政府の6割以上の資本参加。過去に遡及して石油企業への所得税引上げ（34%→50%）。天然ガスについては、民間企業の100%参加可能。 ・ボリビア：政府は、06年5月、炭化水素資源の国有化を発表（政府側収益配分の大幅引き上げ、主要企業の株式過半数の国家取得等）

④ 国際的な枠組みを巡る議論の動向

エネルギー需給構造に大きな影響を与える気候変動問題や核不拡散に関する国際的な枠組みを巡る議論が活発化しつつあり、新たな枠組みの実現に向けてわが国が積極的に協力・貢献することの必要性が増している。

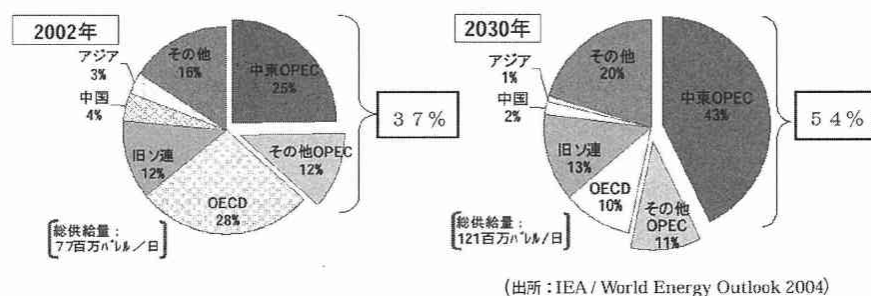


図4 世界のエネルギー供給における中東およびOPEC依存度の見通し

表2 石油生産のピークに関する見通し

	標準的なシナリオ	悲観的なシナリオ	楽観的なケース
1996年1月時点の非在来型石油の残存究極可採埋蔵量(10億バレル)	2626	1700	3200
在来型石油生産量のピーク	2028～2032	2013～2017	2033～2037
在来型石油のピーク時の世界的需要(百万バレル/日)	121	96	142
非在来型石油の2030年の生産量(百万バレル/日)	10	37	8

(出所：World Energy Outlook 2004)

⑤ 国内的な環境変化

わが国の購買力が、将来、国際エネルギー市場において相対的に低下していくことに伴うエネルギー資源の確保力の低下に対する懸念、自由化の進んだ環境下における適切な供給余力の維持等への投資の確保など、新たな課題に直面している。

(2) 政情不安等の市場混乱要因および混乱増幅要因の多様化

中長期的なエネルギー需給のタイト化をもたらす構造的な変化のみならず、一時的にエネルギー供給に対して支障を生じる可能性のある市場混乱要因、さらに市場の混乱を増幅させる要因も多様化しつつある(図5)。

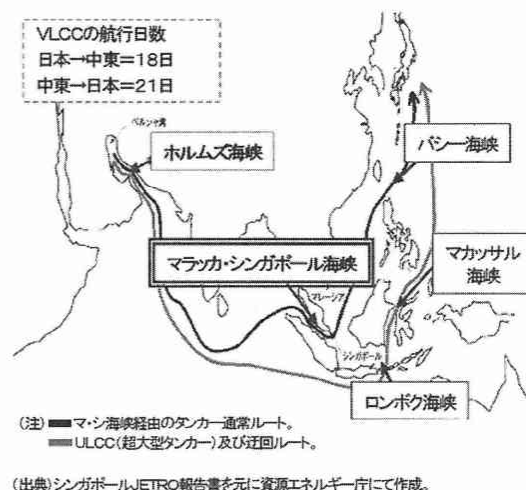


図5 中東原油・LNGの海上輸送路

(3) 各国が進むエネルギー戦略の再構築

こうしたエネルギー市場を巡る情勢変化の下、世界各国においても、改めて、エネルギー問題が国家的な最重要課題の1つとして捉えられ始めている。エネルギー消費国においては、国内エネルギー需給構造の体質強化や権益確保を強化する動きなどが見られる一方で、エネルギー供給国においては、エネルギー資源の国家管理を強化するなど、それぞれの国益を踏まえた形で、エネルギー国家戦略の再構築に向けた動きが活発化している(図6)。

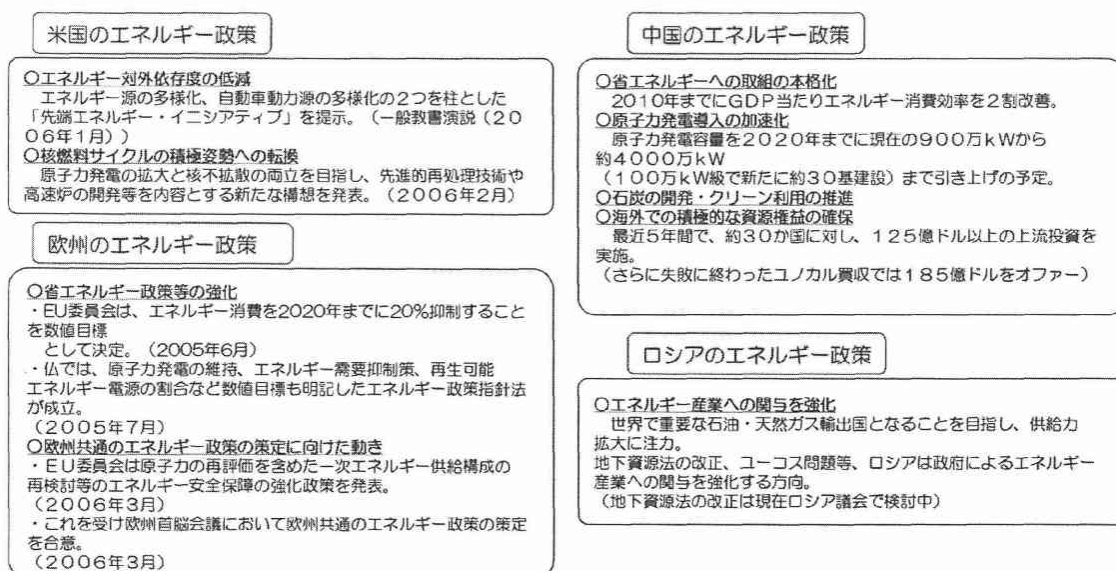


図6 各国のエネルギー政策動向の例

3. 新・国家エネルギー戦略の構築（数値目標の設定）

前述のようなエネルギーを取り巻く内外の環境変化に関する現状認識に基づき、エネルギー安全保障を軸に、わが国の新たな国家エネルギー戦略を構築することが不可欠である。構築の基本的な視点として、「戦略によって実現を目指す目標」、「戦略策定に当たっての基本的視点」、「戦略実施に際しての留意事項」が掲げられたが、留意事項の中で「数値目標の設定」を行っている。以下に示す5つの数値目標は、エネルギー安全保障の確立に向けて、官民をあげて軸のぶれない取組みを行うに当たり、官民が共有すべき長期的な方向性として設定するもので、実現に向けて取組んでいくための「意欲を持った数字」である。

- ① 省エネルギー目標：今後、2030年までにさらに少なくとも30%の効率改善を目指す。
- ② 石油依存度低減目標：今後、2030年までに、40%を下回る水準を目指す。
- ③ 運輸部門における石油依存度低減目標：今後、2030年までに、80%程度とすることを目指す。
- ④ 原子力発電目標：2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上にすることを目指す。
- ⑤ 海外での資源開発目標：自主開発比率を今後更に拡大し、2030年までに、40%程度を目指す。

4. 実現に向けた具体的なプログラムと位置づけ

様々な国家的な諸課題に対して、以下に示す具体的なプログラムに積極的に取組み、官民一体となった取組みの好循環が社会全体に定着するようイニシアティブを発揮していく。各プログラムの視点と概要を次に述べる。

世界最先端のエネルギー需給構造の実現

1) 省エネルギーフロンティア計画

わが国経済は、1970年代の石油ショック以

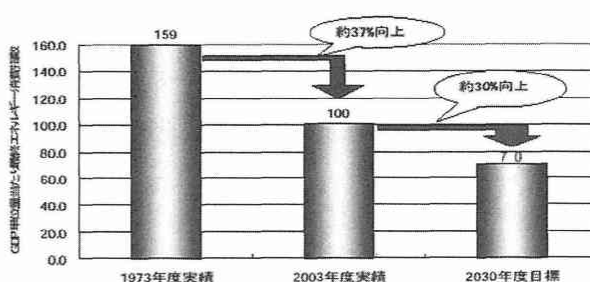


図7 GDP当りエネルギー利用効率指数と目標値

来、30%を超えるエネルギー消費効率を実現してきた。今後、技術革新と社会システム変革の好循環を確立させることにより、2030年までに更に30%のエネルギー消費効率改善を目指す（図7）。

2) 運輸エネルギーの次世代化計画

石油市場における需給逼迫などエネルギー市場の変動にも柔軟に対応でき高効率な運輸インフラを確立するため、2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%になることを目指し、必要な環境整備を行う（図8）。

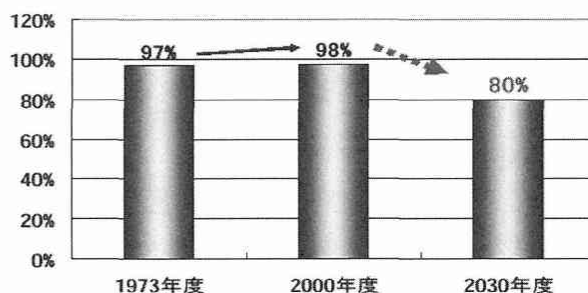


図8 運輸部門の石油依存度と目標値

3) 新エネルギーイノベーション計画

産業としての自立を目指しつつその導入拡大を図ることによって、2030年までに、例えば以下のような方向性で普及に取り組む。

- 太陽光発電に要するコストを火力発電並みとする。
- バイオマスエネルギー、風力発電などによる地産地消型の取組みを推進し、地域におけるエネルギー自給率を引き上げる。
- 自動車の新車販売の多くをハイブリッド化するとともに、電気自動車・燃料電池自動車の導入を促進する。

4) 原子力立国計画

供給安定性に優れ、運転中にCO₂を排出しないクリーンなエネルギー源である原子力発電は、エネルギー安全保障の確立と地球環境問題を一体的に解決するための要である。2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上にすることを旨とする。また、現在の軽水炉を前提とした核燃料サイクルの着実な推進、高速増殖炉の早期実用化などの諸課題に計画的かつ総合的に取り組むとともに、核融合エネルギー技術の研究開発を推進する（図9）。

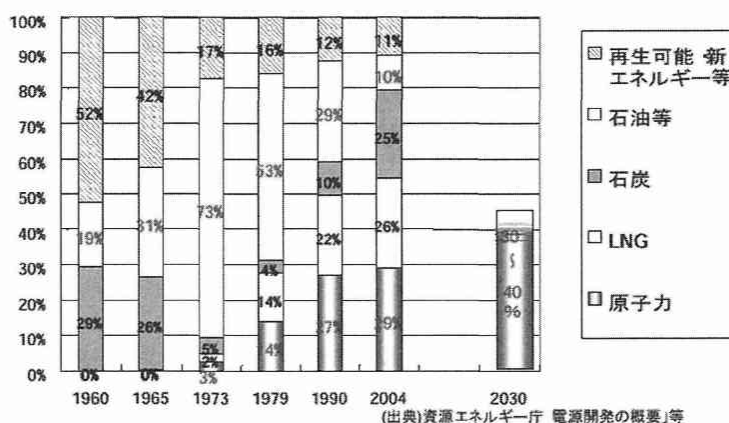


図9 わが国原子力発電比率と目標値

資源外交、エネルギー環境協力の総合的強化

5) 総合資源確保戦略

資源国との総合的な関係強化やわが国企業による海外における資源開発に対する支援の強化に取り組むことにより、わが国の原油輸入量に占めるわが国企業の権益下にある原油取引量の割合（自主開発比率）を、今後更に拡大し、2030年までに、取引量ベースで40%程度とすることを旨とする。また、供給源の多様化を促進する（図10、図11）。

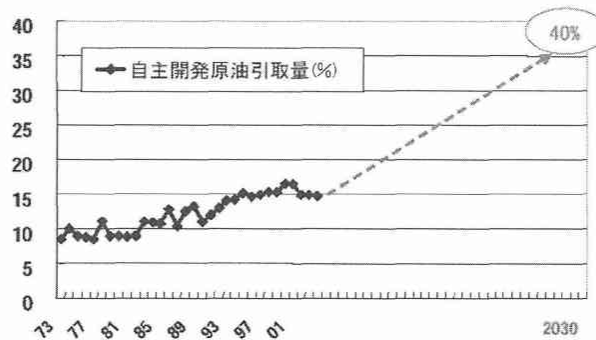


図10 わが国の石油自主開発比率と目標値

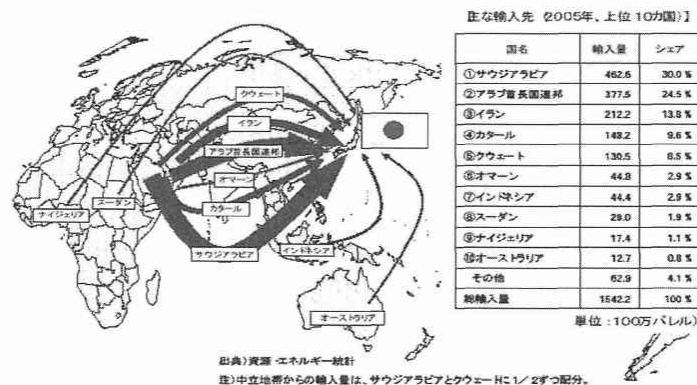


図11 わが国の石油輸入国の内訳

6) アジア・エネルギー環境協力戦略

エネルギー需要が急増しつつある中国、インド等のアジア諸国に対して、わが国の強みである省エネルギー分野をはじめとしたエネルギー環境協力を戦略的に展開し、アジアとの共生を目指す。

緊急時対応の充実

7) 緊急時対応の強化

石油備蓄制度について、国家備蓄の増強によってわが国全体の備蓄水準の引き上げを行う一方、国家製品備蓄を導入し、機動性のある石油備蓄制度を実現する。また、需要の拡大しつつある天然ガスに関する緊急時対応体制も検討する。更に、エネルギー源全体を見渡した緊急時対応シナリオの作成を行う。

共通な課題

8) エネルギー技術戦略の策定

中長期的に必要な技術開発をロードマップの形で提示し、官民一体となった軸のぶれない取り組みを実現することにより、省エネルギーをはじめ多くのエネルギー関連技術分野で、わが国が世界のトップランナーになることを目指す。

5. 今後の予定

「新・国家エネルギー戦略」は、本年7月に閣議決定される小泉政権の「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2006」(いわゆる「骨太の方針2006」)に反映される見込みである。また、「エネルギー政策基本法」に基づいて策定された「エネルギー基本計画」(2003年10月策定)の見直し作業においても反映されると見込まれる。

[寄稿]

電力ネットワーク技術実証研究 —分散型電源普及時の電圧変動抑制技術の開発—

小林 広 武 (財)電力中央研究所 システム技術研究所
上席研究員



1. はじめに

環境問題への対応などにより、今後、太陽光発電などの分散型電源が配電系統を中心に、大量に導入されることが予想される。そうになると、系統の電力品質や保護・保安面で種々の問題の発生する可能性がある。

そこで、(財)電力中央研究所では、2010年以降の将来を見据えた新しい電力供給システムの1つとして、このような問題の発生を防ぎ、系統と調和のとれた分散型電源の導入が図れるとともに、分散型電源の有効活用を図る「需要地系統」を提案し、実証研究を進めている(1)(2)(3)。

当研究に関連して、平成16年度より、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より、「電力ネットワーク技術実証研究」を受託し、4カ年計画で、分散型電源系統連系上の主要課題の1つである、逆潮流等に伴う配電系統の電圧変動を抑制するための技術開発を進めている。

本稿では「電力ネットワーク技術実証研究」の内容と、これまでの主な成果について紹介する。

2. 配電線の電圧変動問題

配電線に分散型電源が導入され、余剰電力などを配電線に電気を流し込む(逆潮流が発生する)と、図1に示すように、配電線がもっている抵抗などの線路インピーダンスによ

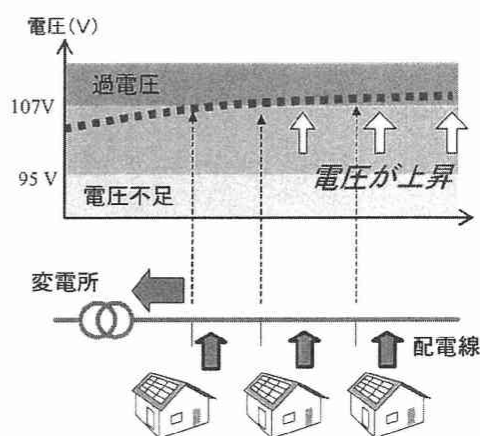


図1 逆潮流による配電線の電圧変動イメージ

り、配電線の電圧が上昇し、電気事業法第26条、同施行規則第44条で規定されている供給電圧の上限値(低圧100V系で107V)を逸脱する可能性がある。これにより、家電製品などの負荷機器に悪影響を与える恐れが生じる。また、現状では、系統連系技術指針⁽⁴⁾に従い、連系点の電圧が上限に達した場合、出力電力を絞ることにより上限の逸脱を防ぐ機能が分散型電源側に装備されているが、大量導入により、上限に達するケースが増加すると、分散型電源のもつエネルギーを有効に利用できなくなる可能性も生じる。このため、電圧変動を抑制するための電力系統側での対策技術の開発が望まれている。

3. 研究の目的と実施項目

本研究は、上述の分散型電源が配電線に大量に連系された場合に発生する電圧変動を抑

制する技術の開発に焦点を当てたもので、現状の放射状配電系統ならびに将来的なループ配電系統を対象に、それぞれに適用される電圧適正化を図る系統制御機器、ならびにそれら機器の制御方式を開発・実証することを目的としたものである。

具体的には、大別して、次の3つの技術開発を行っている。

(1) 現有する系統制御機器の集中制御方式の開発

現在、配電線の電圧制御機器として、配電線の間地点に直列に挿入される変圧器形の自動電圧調整器 (SVR; Step Voltage Regulator)、半導体スイッチングなどにより無効電力を配電線に注入して電圧を制御する静止形無効電力補償装置 (SVC; Static Var Compensator)、等が実用化されている。SVRは、機械式で比較的低コストであるが、頻繁な動作の繰り返しを避けるため、動作時間は1分程度に設定されている。一方、SVCは比較的高コストであるが、動作時間が0.1秒以下で応答性に優れる。これらは、いずれも、自端制御と呼ばれるもので、自身の接続点の電圧を監視しながら、電圧が常に適正範囲に収まるように制御している。しかしながら、多数の分散型電源が導入された場合、自端制御では、配電線全体に

渡って適正範囲に収めることが不可能になる場合が想定される。また、複数の系統制御機器を設置した場合、相互干渉により動作が不安定になることも考えられる。

そこで、本研究では、IT技術の利用を考え、複数の電圧センサーを配電線に設置して、配電線全域に渡り電圧を監視し、配電線電圧が常に適正範囲に収まるように、各系統制御機器を最適制御する集中制御方式について検討を行っている。

(2) 配電線ループ用需給バランスコントローラの開発

(1)の方式は、現状の放射状の配電系統を対象とした短期的な対策として位置付けられる。一方、より大量の分散型電源の導入に対応する将来技術を図2に示す。図にあるように、2本の配電線の末端等において、「配電線ループ用需給バランスコントローラ (LBC)」でループ状に常時接続し、配電線間の有効電力潮流と各配電線の電圧・無効電力の制御を同時に行う方式が有効と考えられる⁽³⁾。

(3) LBCと現有系統制御機器の組み合わせ

そこで、同LBCの機器開発と、(1)の現有制御機器との組合せを含めた集中制御方式の検討を進めている。例えば、図2のように、一方

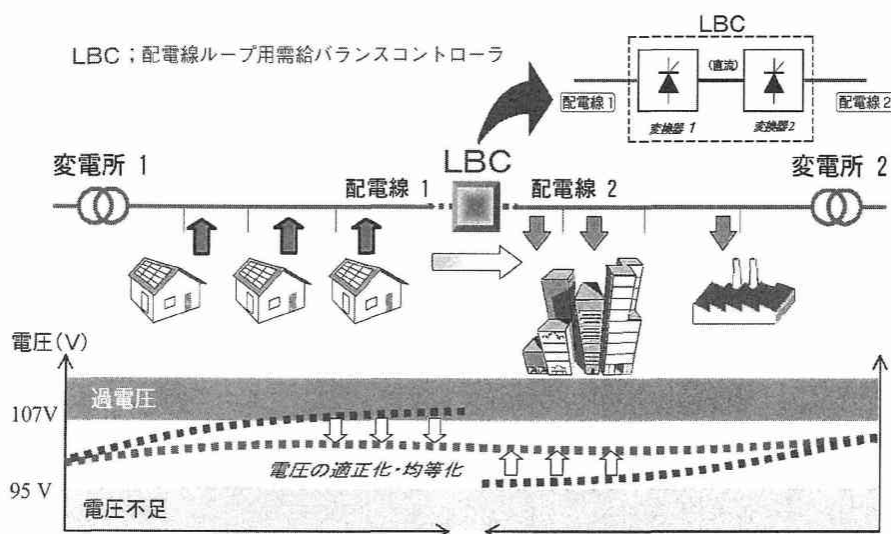


図2 LBCにより2本の配電線を末端で接続した例

の配電線に分散型電源が大量に連系され逆潮流により配電線の電圧が上昇している場合、LBCを通してもう片方の配電線に逆潮流の一部を流し込むことで電圧上昇を抑制できる。

最終的には、費用対効果を考慮に入れ、実証試験ならびにシミュレーション解析により、配電線亘（こう）長などの配電線形態や分散型電源の導入量に応じた最適な制御方式を明らかにする計画である。

なお、各種の実証試験は、当所赤城試験センターの実規模スケールの分散型電源系統連系実験設備である「需要地系統ハイブリッド実験設備」⁽¹⁾により進めている。

4. これまでの主な成果

(1) 現有系統制御機器の集中制御方式の実証

これまでに、現状での配電線電圧制御機器

(SVC, SVR等)の実態について調査し、機器容量、制御方式、応答速度、等の基本仕様を取りまとめた。これに基づき、平成16～17年度の2カ年に渡り、以下の系統制御装置を通信利用の遠隔制御可能な仕様で設計・製作し、「需要地系統ハイブリッド実験設備」に設置した。

- ① 自端制御・遠隔制御切替え型STATCOM（自励式SVC）装置（300kVA/台×2台）
- ② 自端制御・遠隔制御切替え型SVR装置（3000kVA/台×1台）
- ③ 自端制御・遠隔制御切替え型他励式SVC・ShR（シャント・リアクトル）装置（300kVA/台×2台）

これらのうち、300kVA級自励式SVCと3000kVA SVRの機器仕様を表1に示す。③は、低コスト・タイプSVCの検討の一環で設置したものである。

また、これら系統制御装置を集中制御させるための系統制御システムとして、配電線センサー（全6カ所）、中央監視・制御装置、光通

表1 実証試験に使用したSVC, SVRの仕様

300kVA級自励式SVC	3000kVA級 SVR
・タイプ：自端情報制御、遠隔制御切替え形 ・定格容量：300[kVA] ・定格電圧：6600[V] ・整定値（例）：上限 106.5[V]/下限 101.5[V]（低圧換算） ・応答速度：目標電圧の90%値に最小 0.04[sec]程度で到達 ・制御対象電圧：自端監視制御、または中央からの指令による遠隔制御	・タイプ：自端情報制御（一般型<LDC制御付>、逆潮固定型、双方向型）、遠隔制御切替え形 ・動作時限設定：タイマー型（自端情報制御の場合） ・定格容量：3000[kVA] ・基準電圧整定範囲：5700～7170[V] ・動作時限：45～180[秒]（自端情報制御の場合） ・電圧不感帯幅：1～4[%]

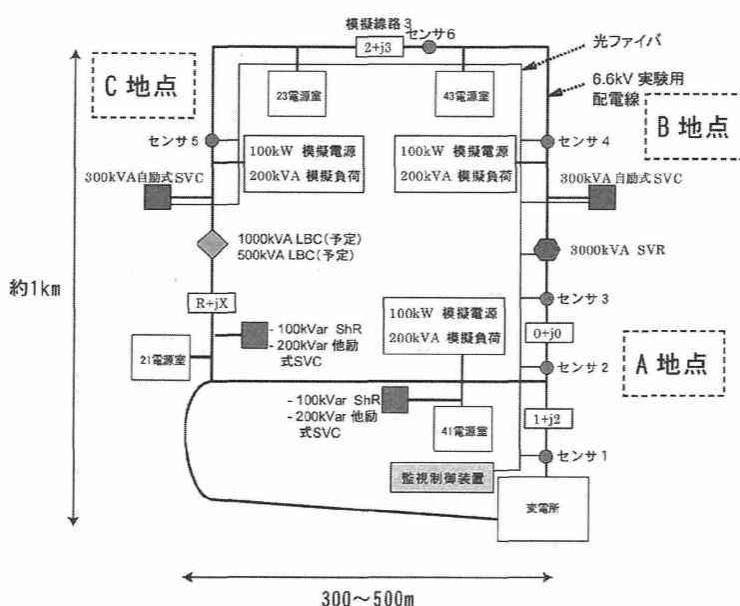


図3 実証試験回路

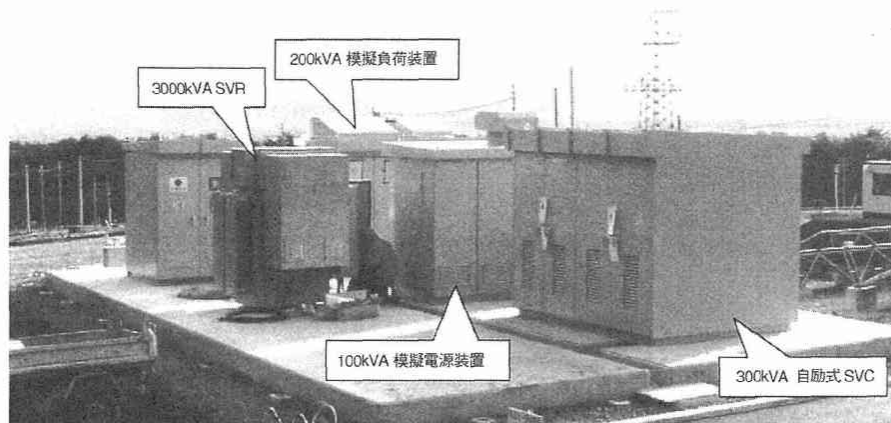


図4 B地点の実験機器設置状況

表2 実験用分散型電源の仕様

種 類	単機容量	台数	総容量
1. 同期発電機（コージェネ等模擬）	25～150kW	4台	415kW
2. 誘導発電機（風力等模擬）	35～100kW	2台	185kW
3. 太陽光発電（実機、模擬）	5kW	16台	80kW
4. インバータ型模擬電源装置A （太陽光、蓄電池等模擬）	20kW	12台	240kW
5. インバータ型模擬電源装置B （太陽光等模擬）＜NEDO受託で設置＞	100kW	3台	300kW
6. マイクロタービン（実機）	30kW	1台	30kW
合 計	—	38台	1250kW

信システム、等を平成17年度までに設置した。さらに、実験インフラ機器として、スケジュール運転が可能なインバータ形模擬電源装置（100kVA×3台）と模擬負荷装置（200kVA×3台）を製作、設置した。これら各装置の実験設備における設置状況を図3、図4に示す。また、既設のものを含め、実験設備に設置してある各種分散型電源の種類と容量について、表2に示す。

さらに、複数台運転を含めた系統制御機器の集中制御のための基本方式を検討・作成した。本方式は、当所既開発の「繰返し計算による最適制御量決定方式」⁽²⁾をベースとしたものである。

本方式のフローを図5に示す。本方式は、はじめに、ある定められた周期（例えば5分周期）で、配電線センサーから送られて来る各地点の電圧、ならびに線路潮流（P,Q）を逐次監視する。電圧逸脱地点が発生したならば、まず、各系統制御機器の制御量の組み合わせパ

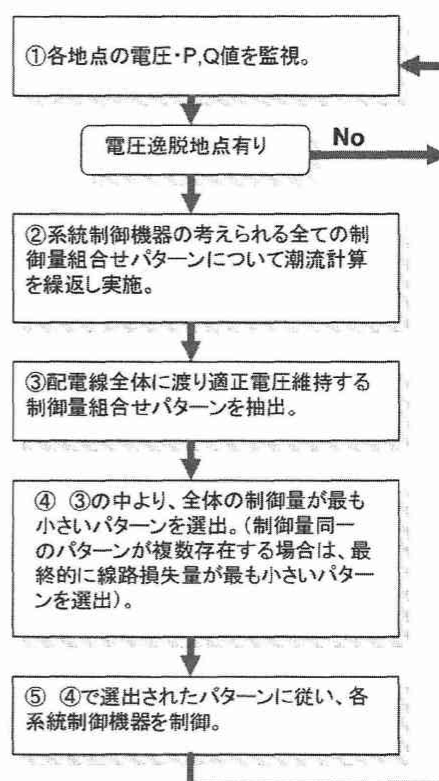


図5 集中制御方式の基本フロー

ターンを種々変化させながら潮流計算を繰返し行い、この中から配電線全域に亘って適正電圧を維持する制御量組合わせパターンを抽出する。更に、全体制御量が最小、線路損失が最小、等の条件を用い、これらの中から最終的な最適組合わせパターンを選定し、各系統制御機器を制御する。

(2) 現有系統制御機器による電圧適正化方式の実証評価

需要地系統ハイブリッド実験設備により、開発した集中制御方式の実証評価を進めている。

a. 試験条件

公表されているわが国における標準的な配電線モデルとして、一般的に使用されている

「電協研モデル」(電気協同研究会にて使用された実配電系統モデル)を適用した。本モデルは、商業地域、工業地域、住宅地域、および郊外地域の4地域に分かれ、それぞれ設定されているが、この中で、①太陽光発電等の分散型電源の導入が見込まれ、また、②配電線の亘(こう)長が比較的長く電圧変動が発生し易い、といった条件により、電圧変動問題が特に顕在化する可能性のある住宅地域モデルを中心に進めている。

なお、実験設備では、設置容量面が限られていることから、分散型電源と負荷を3分の1スケールに設定するとともに、線路電圧変動特性が等価となるよう線路インピーダンス値を3倍に設定している。実験モデルの概要は表3の通りである。

表3 実験モデルの概要

- 線路こう長は、6.6kVの幹線の長さを示し、住宅地域モデルに準じ、5km相当に設定した。実験回路では、変電所—A地点—B地点—C地点の順におき、C地点を線路の末端においた。
- 配電線のインピーダンスにより、現状の負荷のみの場合では、一般的に配電線の末端ほど電圧が低下する。これを補償し、低圧系統の電圧を適正に保つ方式として、電力会社で用いられている低圧系統に供給する柱上変圧器のタップ値(変圧比)を変更する方式を適用した。すなわち、変電所から2km相当の地点までは6750V/105V、それ以降の地点では6600V/105Vに設定するものとした。実験回路では、A地点を6750V/105Vの領域、B,C地点を6600V/105Vの領域にそれぞれおいている。
- 分散型電源と負荷は、上記の3地点のものを使用し、それぞれ分散型電源出力パターン、および配電線負荷パターンに従い、スケジュール運転させた。設定した分散型電源出力パターンの一例として太陽光発電の例(快晴パターン)を図6に、また負荷パターンの例を図7に示す。分散型電源に対する導入率(配電線定格容量比;3000kVA)は0%(導入なし)、30%、50%の3ケースを設定した。
- 系統制御機器は、線路中間のB地点設置のSVR、およびB地点、C地点の2カ所に設置した自動式SVCを使用した。
- 試験ケースは、分散型電源の各導入率において、①SVC1カ所設置ケース、②2カ所設置ケース、③SVRのみ設置ケース、④SVRとSVCの組合わせケース、の4ケースを設定し、また、比較のため、それぞれのケースにおいて現状の自端制御を採用した場合の諸特性についても試験を行った。
- 以上のケースにおいて、それぞれ、①通常時の配電線全体の適正電圧維持(低圧換算で上限107Vからの逸脱の有無)、②非通常時(分散型電源の一齐脱落時や停電時)における制御追従特性、③系統制御機器の複数台並列運転時における出力の不均等性や相互干渉特性、等について評価を進めている。

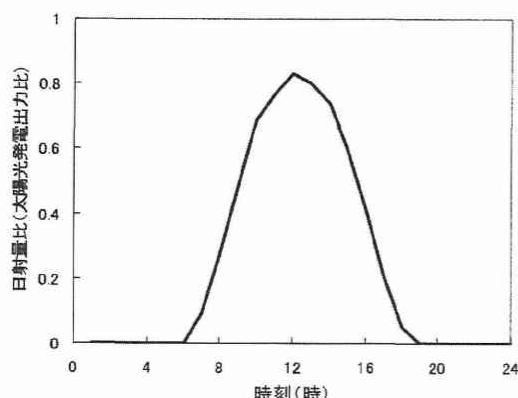


図6 1日の太陽光発電の出力パターン

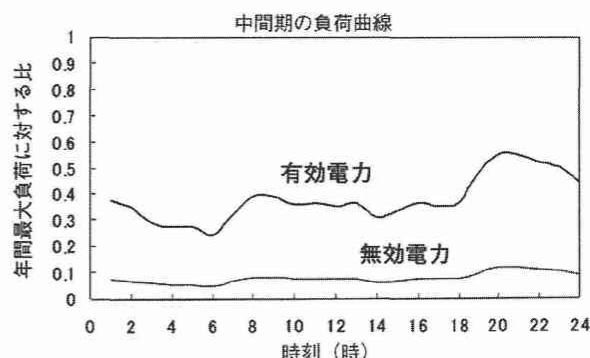


図7 1日の配電線負荷パターン

b. これまでの結果

① 自端制御の結果

始めに、現状の自端制御の場合の問題点を抽出することを目的とした試験を行い、次の結果を得た。

● 図8に示すように、SVC 1カ所設置のケースでは、分散型電源の導入率が30%以上となると、SVC設置地点では電圧は上限以下に制御されるが、それ以外の地点において電圧の上昇が生じ、適正電圧を逸脱する場合のあることを確認した。導入率が小さい場合でも、太陽光発電などの出力が不安定な電源が各地点に接続されると、気象状況によっては、電圧が最大となる地点が種々変化し、対応が困難になる場合のあることを検証した。

● SVCを地点の異なる複数カ所（試験では2カ所）に設置すると、配電線全体に渡り、適正電圧を維持できるが、一般的に、地点間でSVC出力無効電力値に大きなアンバランスが生じることを確認した。また、このアンバランスによる出力の大小関係は、太陽光発電のように出力が不安定な電源が導入された場合、条件によっては逆転する場合があることを確認した。これにより、自端制御方式では、必要となる系統制御機器の総容量が大きくなる場合が考えられる。

● SVRのみで対応した場合、太陽光発電や風力発電のように出力急変を伴う分散型電源が導入された場合や、分散型電源の一斉脱落時において、制御動作の遅れにより、一時的に適正電圧を逸脱する場合のあることを検証した（図9）。これを防止するために、SVCを併用する必要があることを確認した。

② 集中制御の結果

自端制御に引き続き、開発した集中制御方式の実証を進めている。これまでに、集中制御方式を採用するとSVCを1カ所のみに設置した場合でも、分散型電源の導入率50%程度

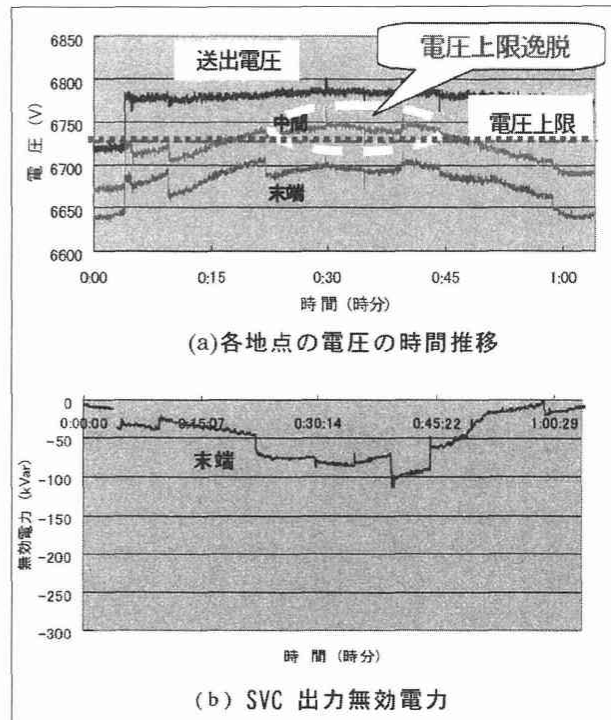


図8 SVC自端制御の結果（SVC末端設置）

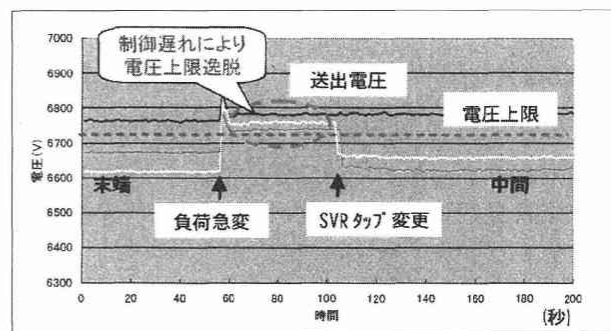


図9 SVR自端制御の結果（負荷急変時）

に達しても配電線全域に渡って適性電圧範囲を維持できることを検証した。

ただし、センサーによる配電線各地点の電圧の収集、最適制御量決定のための計算等、制御処理の工程が増えることにより、現状では適正範囲に制御するまでの時間は、自端制御の0.1秒以下に対し、数秒程度要している。このため、分散型電源出力急変時などにおいて、制御遅れにより、一時的に適正電圧を維持できない場合があることも確認した（図10）。以上により、集中制御のための処理を行っている間は一時的に自端制御を取り入れるなど、制御の一層の高速化ならびに確実化に向けた改良方式について実証検討を進めている。

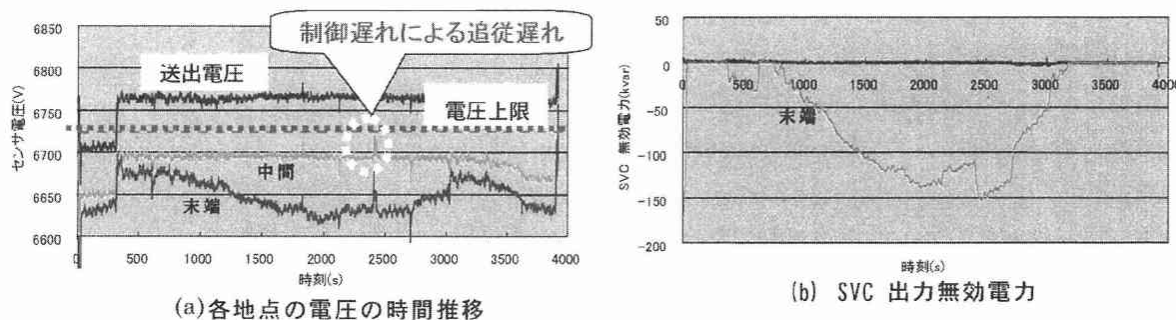


図10 SVC集中制御の結果（SVC末端設置）

（３）配電線ループ用需給バランスコントローラの開発

a. 基本方式の検討

ループバランスコントローラ（LBC）には、ループ構成時において、①隣接した配電線間の有効電力および無効電力の流れを任意に制御できること、②電圧や位相が一致していない配電線どうしでも接続可能であること、③一方の配電線において短絡などの事故が発生した場合、片方の配電線への影響を防止できること、などが要求される。容量は、事故時の融通を考慮し、500kVA～1000kVA級のものが必要となる。また、市街など需要地域の配電線に設置されるため、電柱上に設置できる程度の小型化が要求される。

検討の結果、①～③を満足する方式として、図11に示す２台の変換器で構成されるバック・ツー・バック（BTB）方式を選定した。本方式では、例えば、配電線１から配電線２に電力を流す場合には、変換器１で一旦交流を直流に変換した後、変換器２で再度交流に変

換して配電線２に流し込む。また、各変換器はSVCの役割も果たし、それぞれの配電線に独立して無効電力も注入することができる。直流部を介しているため、配電線間の電圧値や電圧位相が異なる場合でも接続することができる。さらに、一方の配電線に事故が発生した場合には、変換器のスイッチングを高速で停止させることにより、他の配電線からの事故電流の回り込みを防止することができる。

現在、同BTB方式による実規模スケールのLBC実証機の開発を進めている。

具体的には、次の２種類の開発を進めている。

- ① 500kVA 現状技術適用最適設計機；至近年での実用化を考慮に入れ、既開発技術を適用し、現状で最も低コストで実用化可能な方式。
- ② 1000kVA 新技術適用機；一層のコンパクト・軽量化を目標に、新技術を適用した将来的に最も高いコストパフォーマンスが期待できる方式。

b. 適用した新技術

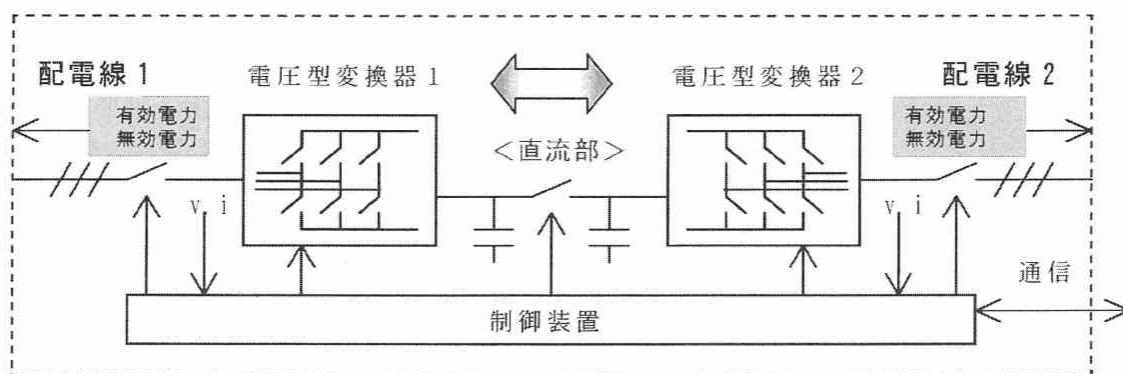


図11 ループバランスコントローラ（BTB方式）の基本構成

各々の実証機では、高効率化、低コスト化、およびコンパクト化を達成するため、以下の技術を適用した。

① 現状技術適用最適設計機

半導体スイッチング素子の損失低減、およびデバイスの小型化を目的に、素子として、第5世代の新IGBTを適用するとともに、図12のように、同IGBT 2個分（2アーム分）、な

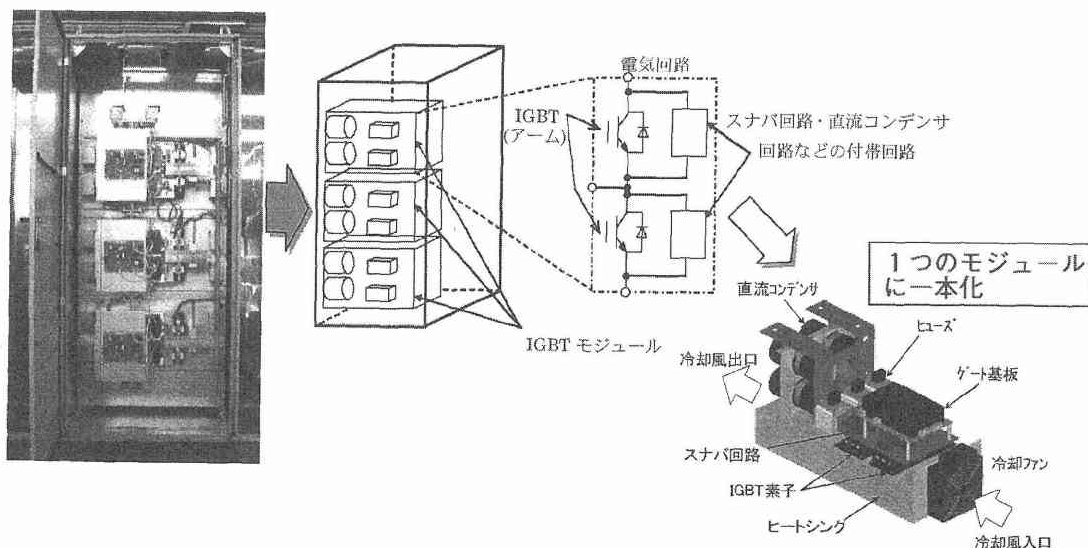


図12 500kVA現状技術適用最適設計機に適用したツー・イン・ワン方式のIGBTモジュール

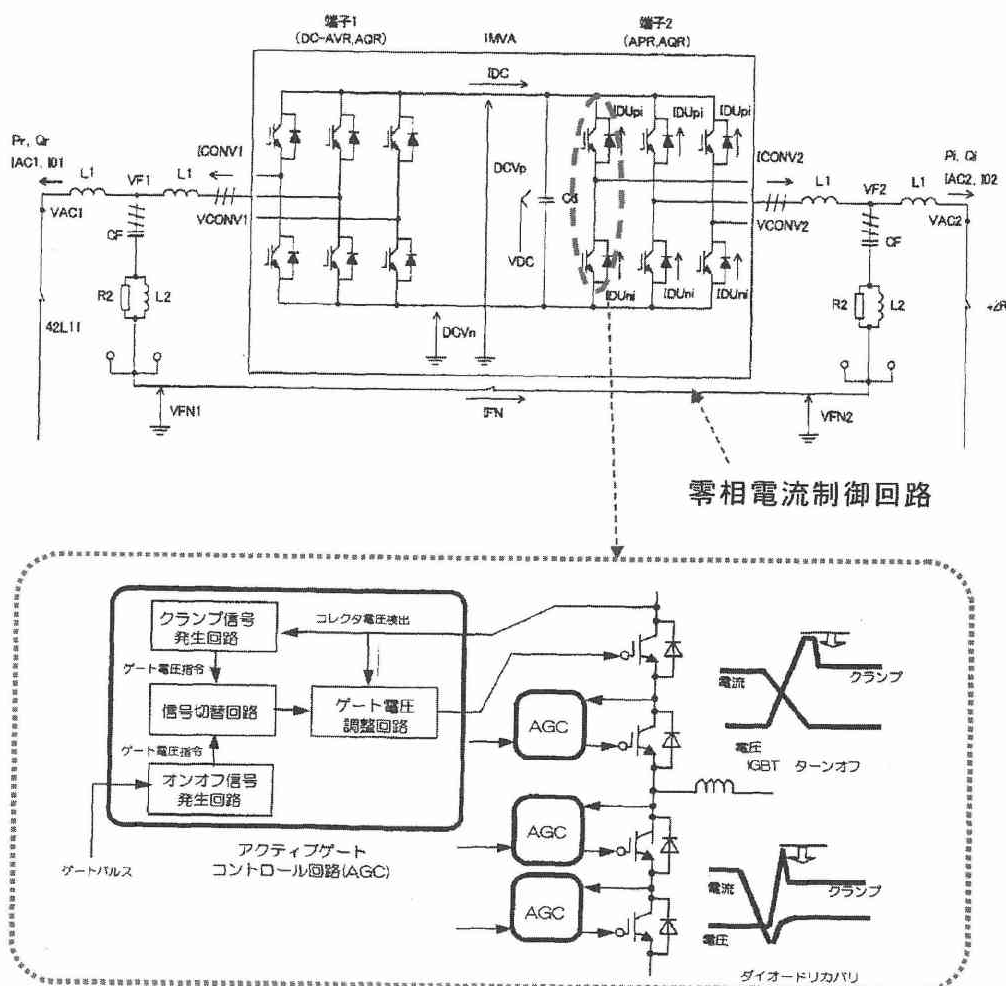


図13 1000kVA新技術適用機の構成（トランスレス）と各種適用新技術

らびに付帯するスナバ回路や直流コンデンサを1つのモジュール内に組み込むツー・イン・ワン方式のIGBTモジュールを新たに開発した。

② 新技術適用機

軽量化、コンパクト化を目的に、各変換器において、配電線電圧6.6kVから半導体スイッチング部の400Vに降圧する変圧器の省略、すなわちトランスレス化を図った。これにより、半導体スイッチング部には、最大1万V以上の電圧が印加されることになり、これに対応するため、図13に示すように、1アームにおいて、複数のIGBT素子を直列に接続する方式を採用した。

この場合、各素子のスイッチングのタイミングにばらつきが生じると一部の素子に過大な電圧がかかり損傷を招く可能性があり、この対策として、アクティブ・ゲート・コントロールと呼ぶ素子個々の電圧を自動的に制御する新機能を採用した。

また、トランスレス方式を採用した場合、スイッチングの三相間のアンバランスによって零相電流が発生し、配電線に流出する可能性がある。この零相電流は、配電線の地絡事故時に発生する電流で、電力会社の変電所では、事故の検出に用いている。このため、零相電流が配電線へ流出した場合、電力会社の変電所において誤って事故と判断し、停電に至る可能性がある。この対策技術として、自身が発生する零相電流を検出・フィードバックし、これを打ち消すように、スイッチング補正制御する方式や、両変換器それぞれの出力端に接続されるハイパスフィルタ（高調波抑制フィルタ）の中性点同士を接続し、零相電流（高調波分）をLBC内において循環させて系統への流出を抑制する方式を採用した。

c. 今後の計画

平成18年度に、これら開発した2種の実証機を需要地系統ハイブリッド実験設備に設置

し、平成19年度にかけて、上述の各種適用技術の妥当性について実証評価するとともに、現有系統制御機器の組合せ方式を含めた、電圧適正化のためのLBC集中制御方式を実証する計画である。

5. おわりに

以上、分散型電源の導入に伴う系統電圧変動を抑制する技術開発を目的とした、NEDO受託研究「電力ネットワーク技術実証研究」の概要について紹介した。

この中では、これまでに開発したSVC、SVR等の現有系統制御機器の集中制御方式とこれまでの実証結果、ならびに将来技術としてのLBC実証機の開発状況について述べた。

今後は、さらに実証研究を進め、平成19年度までに、コストや効果を考慮に入れ、配電線形態や分散型電源の導入量に応じた各々の最適制御方式を明らかにする計画である。

参考文献

- (1) 小林, 「新たな電力供給システムの実証プロジェクト-2-新電力ネットワークシステム実証研究(需要地系統)」, 電気学会誌, Voi.125, No.3, pp156-158, 2005
- (2) 上村 他, 「需要地系統の運用管理手法の開発-運用管理システムの実証評価と常時運用手法の改良-」, 電中研研究報告T03052, 2004-3
- (3) 岡田, 「需要地系統におけるループコントローラの開発-自端情報による分散制御方式の実証と評価-」, 電中研研究報告T03050, 2004-3
- (4) 分散型電源系統連系技術指針 (JEAG9701-2001)

「電力ネットワーク技術に係る総合調査」について

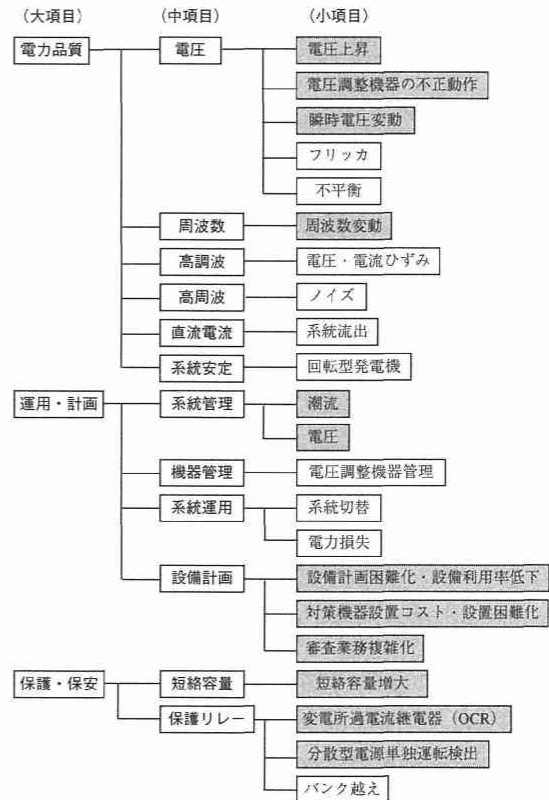
壁 村 克 樹 ^{*}(財)エネルギー総合工学研究所
主任研究員



1. はじめに

新エネルギー等の分散型電源（以下、DGと称す）が既存の配電系統に大量に連系された場合、図1に示すような様々な問題が懸念される。中でも、早い時期に影響が懸念されるのは、配電系統の電圧上昇問題である。そこで、系統電力とDGの調和を図るための技術開発が不可欠となる⁽¹⁾。(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、DGが大量に系統連系された場合でも、配電系統を適正電圧に維持するための配電系統制御技術（電力ネットワーク技術）について、平成16年度から平成19年度まで実証研究を行い、当該技術の有効性を検証することとしている。

(財)電力中央研究所と(財)エネルギー総合工学研究所では、上記実証研究の一環として、共同で「電力ネットワーク技術実証研究」を行っている。本実証研究の実証システム概念、目標、実施体制および調査項目は、それぞれ図2、表1、図3の通りである。



※ 〇 は重要な問題と考えられるもの

図1 懸念される配電系統における問題点

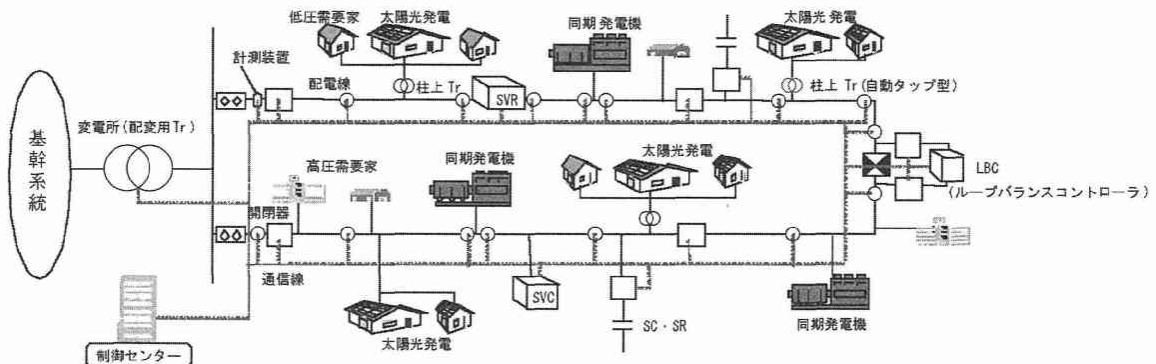


図2 実証システムの概念図

*平成15年7月～平成18年6月まで(財)エネルギー総合工学研究所に出向。現在、九州電力株式会社 お客さま本部 配電部ネットワーク技術グループに勤務。

表 1 実証研究の目標

- 新エネルギー等の分散型電源が大量に系統連系した際に、既存機器であるステップ式自動電圧調整装置（SVR：Step Voltage Regulator）、静止型無効電力補償装置（SVC：Static Var Compensator）、分路リアクトル（SR：Shunt Reactor）や新規に開発するBTB機器（Back to Back、交流／直流／交流変換器）であるルーブバランスコントローラ（LBC）などの系統制御機器の適切な集中、または自端（各機器がそれぞれ独立な）制御により配電系統の電圧適正化を図り、系統電力の供給が円滑に行われるようなシステムの開発を行う。
- 模擬配電系統において対策機器の効果的な設置方法と効果に関する実証試験を行う。
- 国内外の調査や試験結果を基にシミュレーションによる各種推測を行い、知見を実証試験にフィードバックするとともに、電力ネットワーク技術の各種課題や研究開発の方向性を明らかにする。

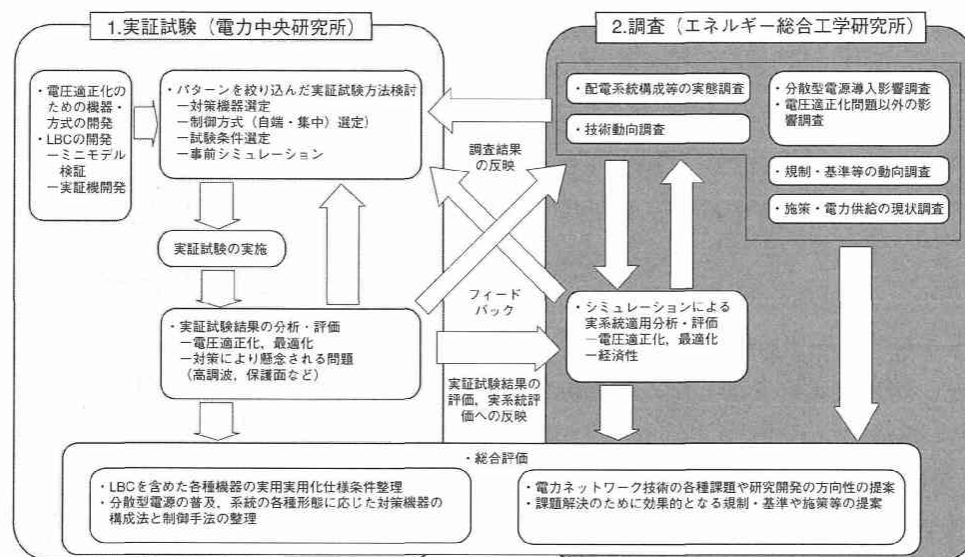


図 3 実証研究の体制と研究項目

以下、本実証研究のうち当所が平成17年度までに実施した「実証研究に資する技術・施策動向の調査」と「実証システムの実系統適用評価に関する基礎検討」の結果について報告する。

2. 技術・施策動向調査

（1）国内技術動向

従来より、需要家負荷の変動による配電系統の電圧降下が生じて、電圧を一定範囲に維持するため、様々な機器が実系統に適用されている。主な機器として、変圧器の巻数比を変化させて電圧を調整するSVR（Step Voltage Regularor）

や配電線に流れる無効電力^{*}を変化させて電圧を調整する並列コンデンサ（SC：Shunt Capacitor）などがある。これらの機器に、比較的軽微な改良^{**}を施すことで、配電系統の電圧降下の抑制だけでなく、DG普及による電圧上昇の抑制も可能と考えられている。SVRおよびSCによる電圧改善イメージを図4、および図5に示す。図中、107Vは、低圧100V系に対する供給電圧の上限値であり、95Vはその下限値である（電気事業法第26条、同施行規則第44条）。

但し、これら従来機器は、需要家負荷の緩やかな変動に対応する機器であるため、新エネルギー等のDGの急激な出力変動により急上

^{*} 交流電力（P）は電圧と電流の積（VI）で表される。しかし、単なる電圧と電流の積（VI）はそのまま消費電力（有効電力）を意味するわけではなく、「見かけの電力」（皮相電力、単位はボルト・アンペア（VA））に過ぎない。電圧波形と電流波形では、通常その位相にずれがあるため、VIのうちで消費できない電力の部分（無効電力、単位はバル（Var））が生じるからである。また、この無効電力を操作・制御することによって、電圧を変化させることも可能である。（編集部注）

^{**} SVRに関しては、分散型電源による逆潮流を検知する装置を追加する。SCに関しては、コンデンサをリアクトルに置き換える。

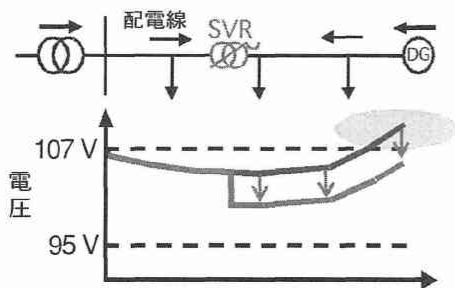


図4 SVRによる電圧改善イメージ

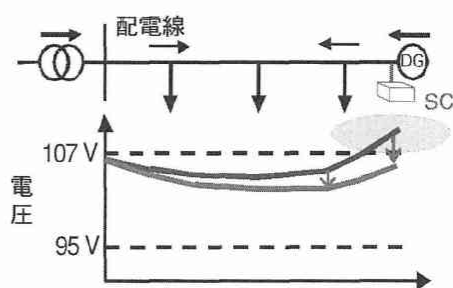


図5 SCによる電圧改善イメージ

昇した電圧を適正に維持すること（応答性）は困難となる。

この応答性の課題を解決する機器として、近年パワーエレクトロニクス機器（以下、パワエレ機器）が開発されている。

パワエレ機器とは、半導体素子を用い連続的かつ高速な電力変換・制御が行える機器である。配電系統に適用可能なパワエレ機器として、主に以下の機器が開発中である（一部は既に試験適用されている）。

自励式SVC：系統に並列にインバータを接続し、連続的、かつ高速に無効電力を制御

UPFC（Unified Power Flow Controller）：並列部と直列部で構成され、大きさおよび位相を変えた電圧を連続的、かつ高速に制御

自励式BTB：2つの系統間を2つのインバータと直流回路にて接続させる。自励式SVCと同様に無効電力を制御すると同時に2つの系統間の有効電力を連続的、かつ高速に制御

従って、実証研究では従来機器とパワエレ機器を組み合わせ、適正電圧を維持した上で効果的、経済的なシステム構成とすることが課題となる。

（2）海外技術動向

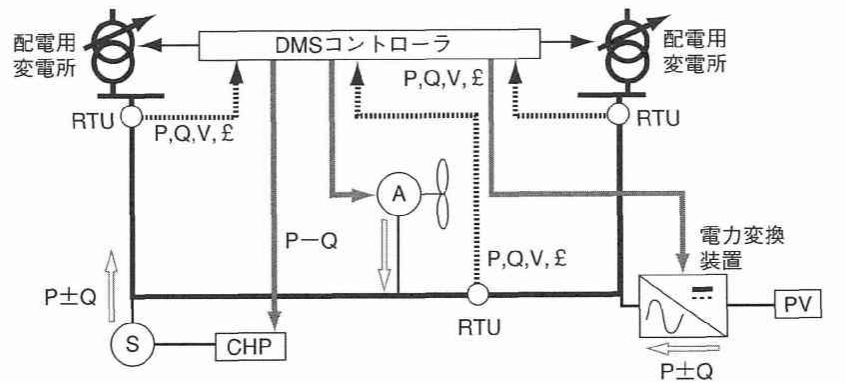
新エネルギー等の分散型電源の大量導入による配電系統への影響、対策に関する検討は、英国の分散型電源調整グループ（DGCG：Distributed Generation Co-ordinating Group）や米国の配電設備統合試験（DUIT：Distribution Utility Integration Test）など、国、系統運用者、分散型電源設置者が一体となって進めているケースが散見される⁽²⁾⁽³⁾。

この中から本実証システムで開発中の機器に類似する機器に関する技術開発動向として、英国の能動的配電系統（Active Network）とドイツSIEMENS社の配電系統用BTB機器（MVDC：Middle Voltage Direct Current Transmission）について概説する。

① 英国の能動的配電系統（Active Network）

Active Networkは、配電系統の電圧ネックと考えられる地点にセンサ（RTU：Remote Terminal Unit）を設置し、その計測情報を基に配電系統の状態を推定し、電圧調整機器などを制御するシステムである（図6）。各センサの情報は、配電用変電所に設置された配電管理システム（DMS：Distributed Management System）コントローラが収集し、状態推定を行い、機器へ制御指令を送る。今のところ、英国では、配電用変電所の送出電圧の調整だけで解決できない事例は起こっていない。このため、負荷時タップ切換変圧器（LRT：Load Ratio Transformer）の整定値の変更指令のみを実施するという内容で、一部の配電会社の実証、および試験回線を選定中である。

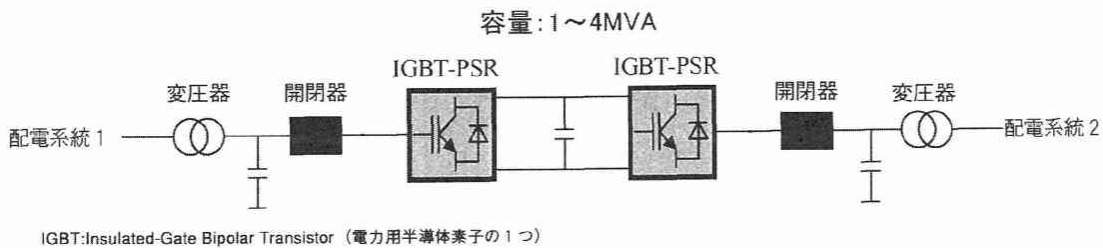
Active Networkは、上述のように、配電系統に設置した計測装置（センサ）により系統の状態を把握し、系統機器を遠隔制御する。大きな特徴として、配電系統全体に影響を与える送出電圧の制御を最も重要な制御箇所と位置付けていること、遠隔指令は電圧制御量（LRTのタップの変更）を直接指示せず、整定値（タップ変更の基準となる90リレーの基準電圧値）を変更する指示を出し、その後は機器の自端制御によ



P:有効電力, Q:無効電力, V:電圧, ε:力率
CHP:コージェネレーション, PV:太陽光発電, RTU:センサ

(出所: 英国貿易産業省 (DTI))

図6 英国の能動的配電系統制御の概念図



IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor (電力用半導体素子の1つ)

(出所: SIEMENS社)

図7 ドイツのMVDC機器構成図

り制御を行うことで、システム不良時に対応し、応答性を確保していることが挙げられる。

② ドイツの配電系統用BTB機器 (MVDC)

ドイツでは、政府が資金提供する実証プロジェクト「EDISonプロジェクト」で配電系統用のBTB機器であるMVDCの技術開発が実施された。MVDCの基本構成を図7に示す。

MVDC適用の目的は次の3つに大別できる。

- 配電レベルでの有益な電力交換（電力購入の最適化によるコスト低減）
- 供給信頼度、電圧品質（常時電圧、瞬低など）の向上
- ネットワーク拡張方法の代替方法のための投資の低減

MVDCの特徴として、異電圧系統間の連系など配電系統への幅広い適用を挙げることができる。これまで「EDISonプロジェクト」での適用も含め、6カ所で実配電系統へ適用されているが、電圧調整を目的とした適用は1カ所のみで、5カ所では、周波数、電圧階級の異なる配電系統の連系に適用されている。

4. 施策動向

欧米各国では、接続義務、固定価格、RPS制度（Renewables Portfolio Standard）など、DGの導入促進施策が整備、運用され始めている。特に、本実証研究でも実施する配電系統の増強に関し、新たな施策が実施されている英国の取り組みを概説する⁽⁵⁾。

英国の電力ガス市場局（OFGEM: the Office of Gas and Electricity Markets）は、DG連系に関する障害を解決すべく、配電価格統制の改正にあわせ、2005年4月より配電事業者に対し以下の施策を実施し制度化した。

なお、以下に紹介する英国の制度は、本実証研究の後年に実施予定の経済的課題の抽出、施策提案検討などの参考とする予定である。

① 費用回収方法の制度化

DGの系統連系に備えるため配電事業者側で発生する系統強化費用の大部分は連係するDG

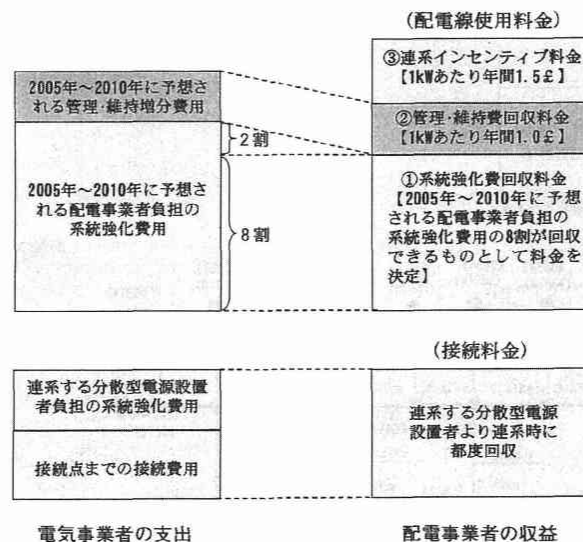


図8 英国の系統連系インセンティブ制度の仕組

設置者から「接続料金」としてその都度徴収する。しかし、系統強化費用の一部に関しては、図8に示すように、「配電線使用料」の中に「系統強化費用回収料金」分を盛り込み、配電事業者の管轄する配電系統に連系する全てのDG設置者から広く浅く回収できる料金制度とした。

② 系統連系インセンティブ制度

配電事業者の費用を単純に回収できる料金制度とはせず、「配電線使用料金」の中に「系統連系インセンティブ料金」を盛り込むことで徴収できるとし、配電事業者にDG連系のための積極的かつ効率的な投資を実施させる制度とした。

③ 登録電力地域（RPZ：Registered Power Zones）制度

配電事業者がOFGEMに対し、革新的技術の導入で対策を実施したい特定地域の登録を申請すると、図8には示されていないが、その対策実施日から5年間、当該特定地域のDG設置者に支払わせる「連系インセンティブ料金」（1.5ポンド/kW/年）に「追加インセンティブ料金」（3ポンド/kW/年）を上乗せした「配電線使用料金」を徴収し費用回収することを認める制度を新設した。

④ 革新技術開発資金提供インセンティブ（IFI：Innovation Funding Incentive）制度

配電事業者収入の一定割合（最大0.5%）を配電事業者の研究開発に必要な支出と認め、その研究開発費の大部分を「配電線使用料金」として回収することが認められる制度を新設した。

5. 実証システムの実系統適用評価に関する基礎検討

本実証研究では、新エネルギー等のDGが大量に系統連系した際に、配電系統に設置する各種対策機器（SVR、SVC、SR、LBC）の適切な制御により電圧適正化を図る対策システムの開発を行い、実系統での適用について評価する予定となっている。

本対策システムを実系統に適用する場合は、技術的に有効だけでなく経済的にも有効な対策を提案する必要がある。このため、対策機器の種類・設置方法・制御手法を検討する際には、現在実施されている既存設備による経済的な対策も含め様々な対策を提案することが重要となる。

そこで、今回の基礎検討では、「既存設備による対策」と「実証研究による対策」の技術的、経済的な有効性について、「電協研モデル」

(電気協同研究会にて使用された実配電システムモデル)を用いて比較検討を行った。

(1) 検討条件

今回の検討で用いた各種検討条件を表2に示す。「既存設備による対策」は、機器の新規開発が必要な対策よりも経済的に有利となる可能性が高いが、そのような対策として、「LRTプロコン整定値見直し」と「柱上変圧器(Tr)タップ変更」を選定した。他方、「実証研究による対策」としては、「SVC新設(自端制御)」と「自動タップ型柱上Tr取替(自端制御)」を選定した。

検証モデルシステムには「電協研モデル」を用い⁽⁶⁾、配電システム容量に対するDG導入量の割合(以下、導入率と称す)を変化させつつ、各システムにおける未対策時、各種対策実施時の適正電圧維持状況および経済性の比較を実施した。柱上Tr内部電圧降下と低圧線電圧降下を考慮し、システム各部の柱上Tr二次電圧が101～107Vの範囲に収まっていれば、適正電圧が維持されていることとした。

検証に用いたモデルシステムの一例として、C01(住宅地域配電システム)を図9に示す。

(2) シミュレーション結果

DG導入率50%における各種対策の適正電圧維持に関するシミュレーション結果の例を図10に示す。C01システムでは、「LRTプロコン整定

表2 基礎検討における検討条件

項目	検討条件
比較対象とした対策	【既存設備による対策】 ① LRTプロコン整定値見直し ② 柱上Trタップ変更 【実証研究による対策】 ③ SVC新設(自端制御) ④ 自動タップ型柱上Tr取替(自端制御)
検証モデルシステム	電協研モデル配電システム ⁽⁶⁾ ・ B03系統(工場地域架空系統(一般容量回線)) 一幹線延長2.86km, 重負荷時電圧降下317.1V*1 ・ C01系統(住宅地域架空系統(大容量回線)) 一幹線延長3.27km, 重負荷時電圧降下259.1V*1 ・ D01系統(郊外地域架空系統(大容量回線)) 一幹線延長5.34km, 重負荷時電圧降下544.8V*1
検証項目	・ 分散型電源の導入率に応じた一定常時および分散型電源一斉解列時のシステム各部の適正電圧維持状況 ・ 対策費用
解析手法	・ 実効値計算(汎用解析ツールM法) ⁽⁷⁾
モデルシステムの各種条件	(1) 負荷 ・ 過去の調査で使用された工場地域、住宅地域、郊外地域の重・軽負荷期(夏期・中間期)の負荷曲線 ⁽¹⁾ (2) 電圧管理基準 ・ 電力会社ヒヤリング等による実態調査結果から得られた代表的な基準を基に、以下のよう に決定。 一重負荷時のシステム各部の電圧値を基に、システム各部の柱上Trのタップ(タップ6750, 6600, 6450, 6300)を決定。 一システム負荷中心点の電圧が重・軽負荷時の24時間でほぼ一定になるように、各季節の送 出のプロコン整定値を決定。
分散型電源の種類・出力	(1) 種類 ・ B03系統(工場地域): 同期発電機 ・ C01系統(住宅地域): 太陽光発電 ・ D01系統(郊外地域): 太陽光発電 (2) 出力 ・ 同期発電機: 24時間一定出力 ・ 太陽光発電: 日射強度に比例した出力(過去の調査で使用された出力曲線) ⁽¹⁾
機器モデル(概要)	(1) SVC ・ 自励式SVC。自端電圧検出により基準電圧上下限値を超過した場合に無効電力出力。 (2) 自動タップ型柱上Tr ・ 柱上Tr2次側に調整用変圧器を直列接続し電圧調整。

*1: エネルギー総合工学研究所試算結果

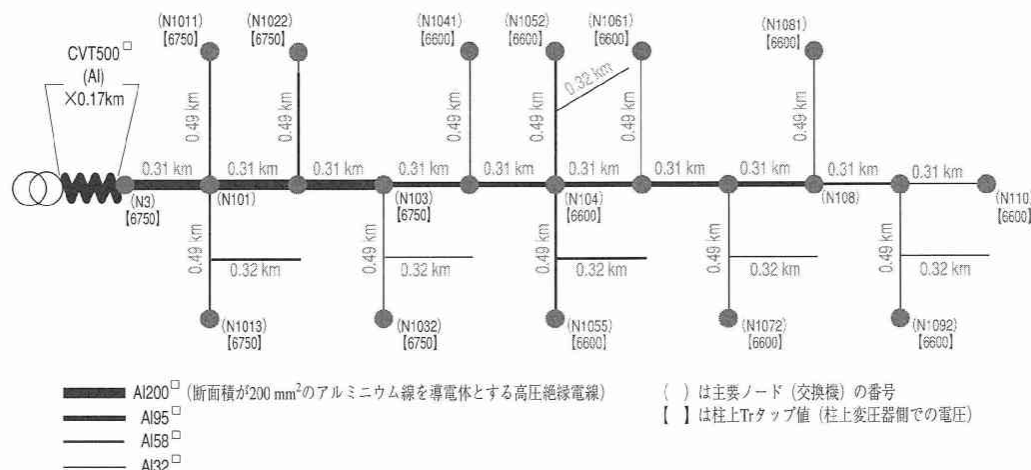


図9 住宅地域配電システム図(C01系統)

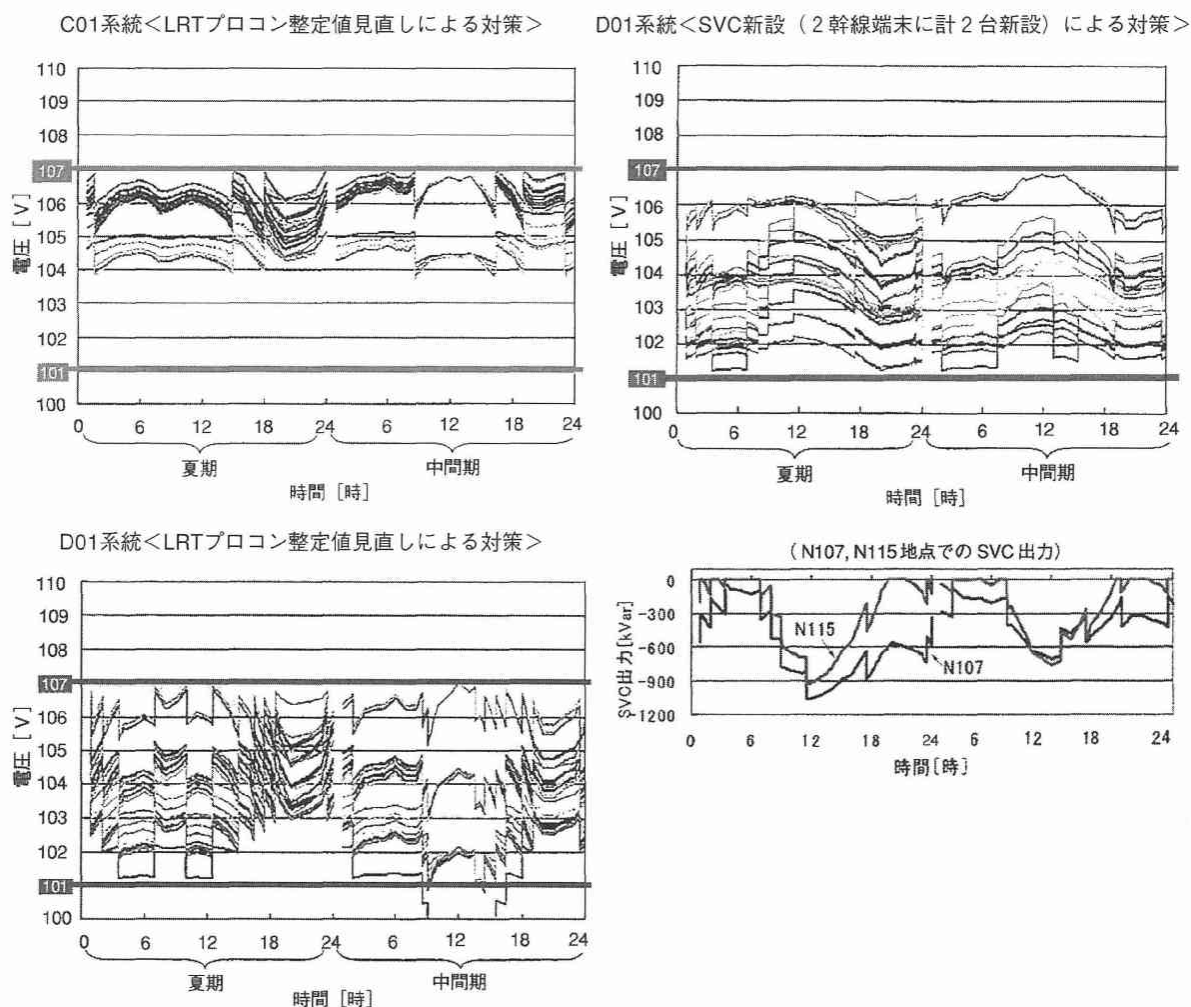


図10 シミュレーションによる対策時の系統各部の電圧時間推移結果の一例

値見直し」により、夏期・中間期の24時間で系統各部が適正電圧を維持していることが分かる。(DGが一斉に系統から解列する(離脱する)時でも適正電圧維持を確認)。それに対し、D01系統では、「LRTプロコン整定値見直し」では適正電圧の維持は不可能で、「SVC新設」で初めて可能という結果となった。各系統における4つの対策のシミュレーション結果を表3に示す。また、4つ全てで適正電圧維持が可能となったC01系統における対策費用の比較結果を図11に示す。

これらの結果より、既存設備の改良となる「LRTプロコン整定値見直し」や「柱上Trタップ変更」により、技術的に対応可能で経済的にも有利な系統(今回のケースではC01系統)が存在することが確認された。これに対し、

表3 DG導入率50%時の適正電圧維持状況

(○：適正電圧維持可能、×：不可能)

モデル系統	B03系統	C01系統	D01系統
供給地域	工場地域	住宅地域	郊外地域
対策なし	×	×	×
対策あり			
① LRTプロコン整定値見直し	×	○	×
② 柱上Trタップ変更	×	○	×
③ SVC新設(自端制御)	○	○	○
④ 自動タップ型柱上Tr取替	○	○	○

* 今回の検証では配電線単位での検証を実施、LRTプロコン整定値見直しによる対策では、バンク単位による検証も必要。

既存設備の改良では対策不可能であり、実証システムで検証している機器による対策が有効な系統(今回のケースではB03, D01系統)も存在することが確認された。

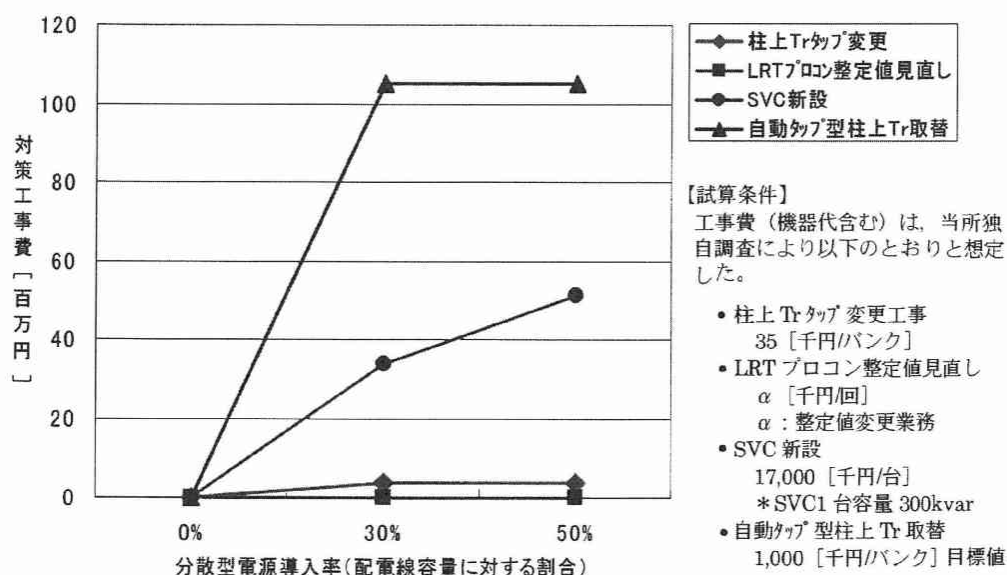


図11 C01系統におけるDG導入率に対する対策費試算結果の比較

(3) 検討結果のまとめ

本検討により、実証システムの実システムの適用範囲を検討する場合は、既存設備による対策も考慮に入れ適用範囲の明確化を行っていく必要があることが分かった。

今後は系統の種類、電圧管理基準等の条件の違い、および対策機器の設置位置や組合せによる対策方法の違いなどで検証を深め、各種実システムに応じたより効果の高い対策方法の検討を実施していく予定である。

6. おわりに

本調査研究を実施するにあたり、助言をいただいたNEDO、(財)電力中央研究所、および斎藤浩海東北大学教授をはじめ電力ネットワーク技術総合調査委員会の関係者各位に謝意を表す。

また、本報告内容を含めH16～17年度における調査結果の詳細は(財)エネルギー総合工学研究所のホームページ (<http://www.iae.or.jp/index.html>) に平成18年7月末を目途に掲載する予定である。

参考文献

- (1) エネルギー総合工学研究所：「新電力ネットワークシステム研究会」報告書，(2003年6月)
- (2) Distributed Generation Co-ordinating Group：「Technical Steering Group Report - Solution for the Connection and Operation of Distributed Generation -」, July 2003
- (3) NREL, DUA：「DUIIT：Distribution Utility Integration Test,」 August 2003
- (4) DTI: "Sustainable Energy Programmes Project Profile 026 - Integration of Operation of Embedded Generation and Distribution Networks -" ,March 2002
- (5) OFGEM: "Electricity Distribution Price Control Review Final Proposals" ,November 2004
- (6) 電気協同研究第37巻第3号「配電系統の高調波障害防止対策」, 電気協同研究会, (1981年)
- (7) M.Okamura, et al., "A New Power Flow Model and Solution Method -Including Load and Generator Characteristics and Effects of System Control Devices," IEEE, trans on PAS, vol.PAS-94, no.3, (1975年)

[寄稿]

「品質別電力供給システム実証研究」

廣 瀬 圭 一 (株)NTTファシリティーズ
研究開発本部 主任研究員



1. はじめに

電力は我々の社会生活に必要な不可欠なエネルギーであるが、情報技術（IT）がベースとなった各種システムの導入など社会の急速な進展に伴い、安定供給や品質など電力に対する要求条件も今まで以上に厳しくなっていくと考えられる。また、ここ数年来、電力分野の規制緩和、ユーザーニーズの多様化、分散型電源技術の発展などを背景とし、将来に向けた新たな電力ネットワークシステムのあり方が検討されてきている。その1つが、経済産業省資源エネルギー庁の委託により検討された「品質別電力供給システム」⁽¹⁾である。これは、需要家ニーズに応じた複数の品質の電力を同時に供給するシステムである。この品質別電力供給システムを実フィールドで運用し、同システムの供給信頼度、運用性、経済性などを検証・評価することを目的に、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）より、実証研究委託業務（平成16年度～平成19年度の計4ヵ年）をNTTファシリティーズ、NTT建築総合研究所、仙台市、および東北福祉大学の4者（以下、NTTファシリティーズら計4者と称す）で受託し、現在、検討を進めている。

本実証研究は、多品質の電力供給を実フィールドにおいて検証するというコンセプトでは、日本発となる。

以下に、仙台市国見地区で運用実施を予定している品質別電力供給システム実証研究の

概要、検討状況、および課題等について紹介する。

2. 品質別電力供給実証研究について

（1）研究の背景

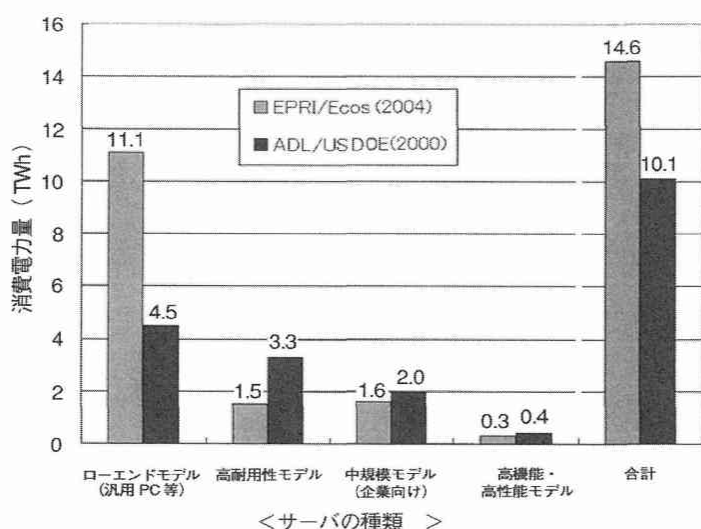
本実証研究の内容を紹介する前に、消費電力、電力品質および電源システムの分散化の3つの観点から研究の背景について述べる。

① 消費電力量の増大

まず、電力を消費する観点から、我々の社会活動において重要な役割を果たしているITの導入による消費電力量の変化に注目してみる。

IT社会を実現するためのインフラを構成する各々の機器・端末類には、駆動・動作のための電気エネルギーが必要である。ITなどの技術をベースとした生活の豊かさ、便利さに比例する情報通信量の拡大により、消費電力量は増加する傾向にある。IT関連ビジネスで世界をリードしている米国の状況を例にとる。米国内における情報処理機器（サーバ）による消費電力量の試算結果の一例を図1に示す。

全米における情報処理機器に必要な1年間あたりの電力量は2000年から2004年の4年で、10.1TWhから14.6TWhへと大幅に増加した（+45%）。このため、電力消費に伴って発生する二酸化炭素（CO₂）の抑制と停電時、災害時などバックアップ電力の確保が課題となってい



※ EPRI：米国電力研究所
Ecos, ADL(Arther D Little)：
コンサルティング会社
USDOE：米国エネルギー省

図1 米国におけるサーバの消費電力の増加

る。この課題の解決策として、新エネルギーを利用した分散型電源が期待されており、本実証研究においても都市ガスを利用するガスエンジン発電装置と燃料電池、および太陽電池の3種類の分散型電源を導入することとした。

② 電力品質ニーズとその多様化

昼夜を問わず24時間365日休むことのない情報通信、金融、医療・福祉、流通、交通および工業用などの各種システム動作のため、「ITシステムとしてのセキュリティ」、すなわちITシステムの基幹として安定かつ高品質で給電信頼度の高い電力システムが必要となる。各種社会システムが停止した場合の単位時間あたりの損害額を試算した結果の例を表1に示す。

一般的なIT機器は電源の擾乱に弱く、交流電力の周波数が50Hzの地域では、わずか20ms・1サイクル以下の電源断で処理機能を中断、停止してしまう恐れがある。IT機器

が中断・停止した場合、システムの再立ち上げには、オペレータやエンジニアなど人手に頼ることが多く、復旧までの時間は決して短くない。それ故、瞬断といえども、そのシステムの受ける損失・損害額は莫大なものになってしまう。通常、IT機器・設備類を導入する際には、停電や短時間の電圧変動などのトラブル対策として無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power Supply）を設置することが一般的である。IT用途以外にも、各々のシステム動作や設備の特性に見合った給電品質に分けて電力供給ができれば、電源システムとしても設備に無駄のない合理的な使い方ができる。

③ バックアップ電源の分散化

わが国においてもUPSなどのバックアップ電源の導入台数は、サーバなどをはじめとするIT機器の増加により年々増加の一途をたどっている（図2参照）。社会システムのIT依存度が高まるとともに今後ともこの傾向は続くと予測される。

また、IT機器・装置は、使用するユーザ、あるいは所有するオーナー毎に、異なるビル・フロア・スペースに散在しており、これに合わせる形でUPSも分散設置されることが多い。UPSなど電源装置の分散化は、占有スペースの増大や電力損失の増加を伴い、電源装置の非効率な

表1 システム停止に伴う想定損害額

対象システム	時間当たりのコスト
携帯電話システム	41,000ドル/h
電話チケット販売システム	72,000ドル/h
航空機予約システム	90,000ドル/h
クレジットカード運用システム	2,580,000ドル/h
株式仲買システム	6,480,000ドル/h

James M. Gariepy: "Powering The New Economy",
Workshop Material, Panel Discussion #3, Workshop
[Powering E-Business, Part 1: Strategies and Planning],
2000. 11. 16

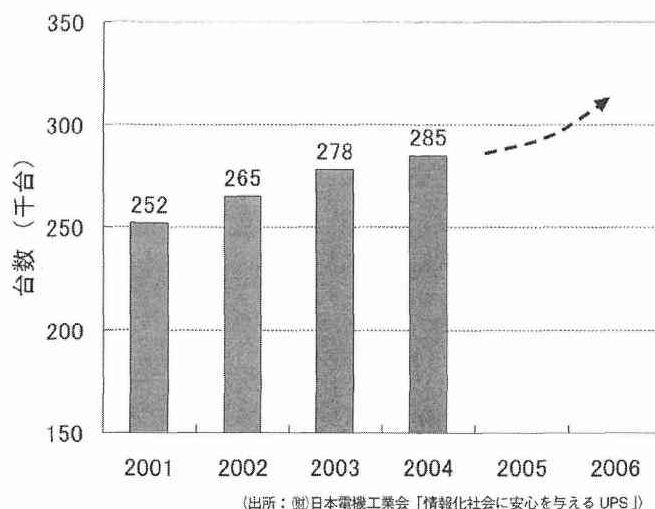


図2 UPSの導入台数の伸び（日本国内）

運用を強いられるとともに、それら設備の保守管理などを複雑にするなど、電源システムに関わる問題を引き起こしている。

(2) 実証研究の概要

品質別電力供給システムによりユーザーニーズの多様化への対応（CO₂排出を抑えた発電効率の高い分散型電源によるエネルギー供給、停電や災害の発生時の長時間自立運転、停電対策や負荷機器の要求品質に合わせた複数品質の電力供給など）と電源装置の集約・統合が実現できる（図3参照）。

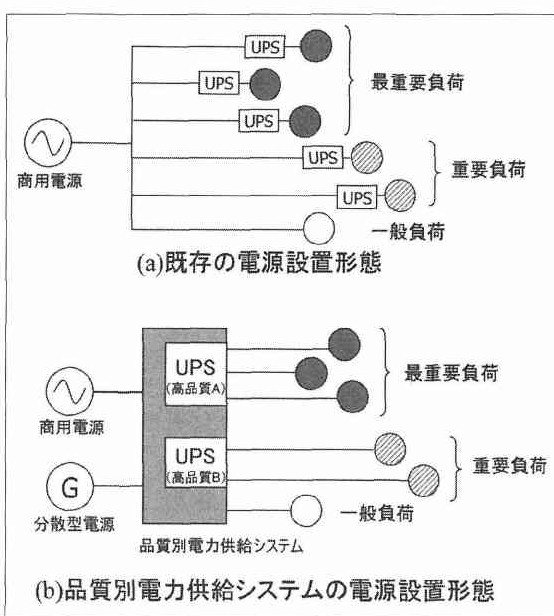


図3 既存UPS設置形態と品質別電力供給システム

表2 実証研究の前提

- ① 分散型電源（新エネルギーの利用）と系統電力の相互補完活用を図ること。
- ② 複数の給電品質が供給可能となる「品質別電力供給システム」を開発すること。
- ③ 特定地域での実負荷（既存する建物・設備）への品質別電力供給を実証すること。
- ④ 長期間の実証により、電力の安定供給についての有効性を検証すること。

また、実証研究を実施するにあたっては、表2の4項目を前提とし実証研究の内容や設備構成、試験方法などを検討し、システム開発を進めた。

品質別電力供給システムと既存の各種電源システムとの利用形態の違いを図4に示す。

(a) はごく一般的な電力利用形態であり需要家（電力利用者）側では特別な設備を必要としないが、電力の供給信頼度や品質については既存の系統電源へ大きく依存する。

(b) は需要家側に分散型電源を導入する形態（コージェネレーション等）である。系統異常時には、分散型電源の連系を止める（解列する）必要があるため、このままでは供給信頼度や電力品質の維持に課題が残る。また、分散型電源の方式が風力や太陽光発電のように間欠的な発電特性を持つ場合、発電出力の変動が大きいため、既存系統との連系時に系統側に電力品質維持などの負担がかかってしまう。

(c)は、(b)の課題である発電出力（周波数、

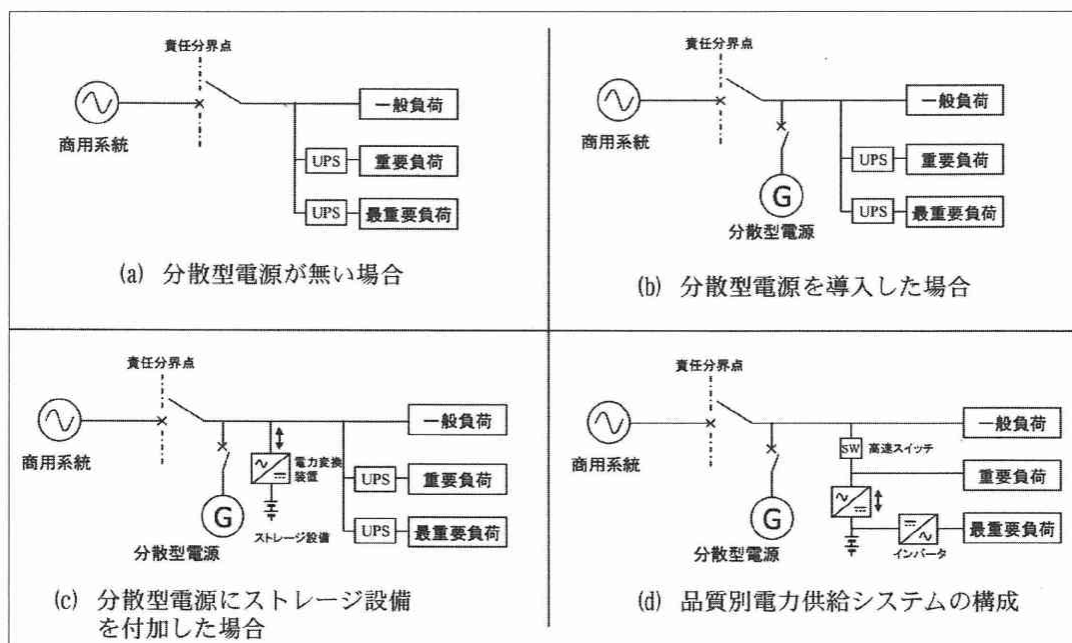


図4 各種電源システムと品質別電力給電システムとの比較

電圧)の変動抑制のため、ストレージ設備(鉛蓄電池等のバッテリーやキャパシタ等の蓄電器)を導入し、出力の変動を平滑化させるものである。この場合、蓄電設備の導入費用や定期的な更改に伴う取替費用、蓄電池の保守管理などが新たな課題となる。

統一的な定義はないが、商用連系した分散型電源および発電出力と負荷変動との需給バランスを取るためのストレージ設備をもつ(c)の設備形態に加えて、それらの設備を管理制御するためのシステムを付加した形態が一般的なマイクログリッドの基本単位と言える。

(d)は、(c)をさらに改良したもので本実証研究のための設備構成である。負荷設備のバ

ックアップ給電のために用いるUPSやインバータを負荷の要求する電力品質毎に組合せ、また、蓄電池はバックアップ専用とせず、分散型電源の出力と負荷変動のバランスを取り電力品質の低下を抑えるために適用するものである。

本研究のスケジュールを図5に示す。本実証研究は、計4カ年にわたるプロジェクトである。本原稿の執筆時点では研究用施設の構築作業中の段階であるが、平成18年度第2四半期までに施設の構築を完了させ、その後、システムの実験動作や運転データを収集し正常性を確認した後、平成19年度第1四半期～平成19年度末まで実負荷への給電を予定している。



図5 実証研究のスケジュール

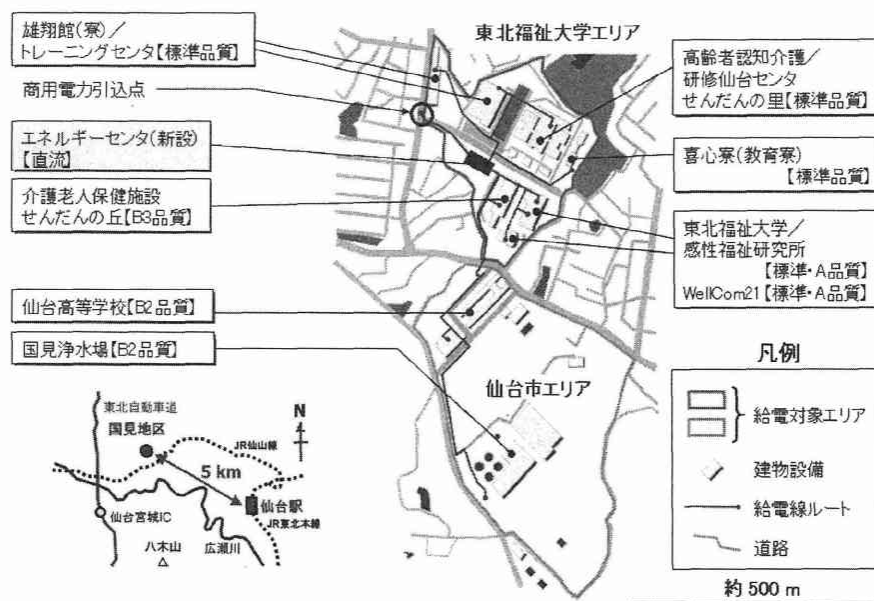


図6 実証研究エリアの配置図

(3) 実証研究場所

本実証研究は、仙台市の中心部からほぼ北西方向に直線で5kmのところに位置する同市国見地区の東北福祉大学、および仙台市施設（浄水場、高等学校）の2つのエリアで実施される（図6参照）。

東北福祉大学および仙台市施設の構内に既存する負荷に対し、エネルギーセンタ（東北福祉大学構内に新設工事中）より複数品質の給電を同時供給し、その効用を検証する。給電線ルートは今回の実験のために新たに構築される（一部の区間を除き地下埋設方式）。なお、図6に示す東北福祉大学エリアと仙台市エリア間は市道をまたぐ給電線ルートとなり

「特定供給の認可を得ること」および「分散型電源による発電電力のみを供給することとし、系統（商用電力）電力を東北福祉大学側から仙台市エリア側へ給電しないこと」が運用時の制約条件となる。

品質別電力供給システムが運用される以前は、東北福祉大学エリア6受電、仙台市エリア2受電の建物施設毎の個別受電方式であったが、実証試験運用開始に合わせて受電設備形態を見直し、これら施設には全てエネルギーセンタからの電力供給となる。なお、エネルギーセンタ内で、分散型電源と系統電力（1点）との連系がなされ運用される予定である。

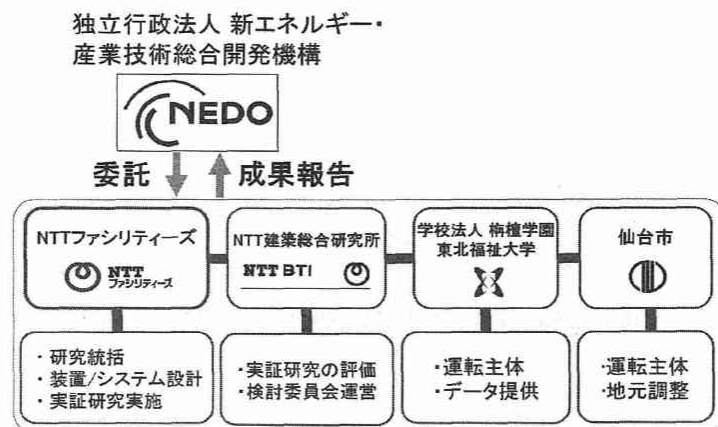


図7 実証研究の実施体制

（４）実証研究体制

図 7 に本実証研究の実施体制を示す。NTT ファシリティーズが本実証研究の総括を担当するが、図 7 に示す通り他の 3 者と役割分担を行い、効率的でスムーズな研究運営を行っている。品質別電力供給システムを実フィールドで凡そ 1 年間運用する計画であるが、既存の実負荷での運用となることから、使用者および設備への悪影響が無いことを最優先に、定期的なワーキンググループ会合の開催などにより 4 者間の意思疎通を図っている。

（５）給電品質と対象負荷

実証研究において適用する給電品質目標を表 3、品質種目毎の対象負荷を表 4 に示す。

交流給電は、給電品質が高い順に、A、B1、B2、B3 の 4 種類とするとともに、将来の直流給電を見据えて 300V の直流電力も給電メニューに加えている。なお、実験データの比較のため、通常品質電力（系統電力）も複数の施設（負荷）に対して供給する。停電等上位系統に異常が生じた場合、供給電力断の時間的長短や電圧波形

補正の有無により、給電品質を差別化している。無停電供給かつ波形補正機能を有する高品質 A、停電発生後インバータ給電に切替わるまでの断時間を 15ms 以下とした高品質 B1、および直流品質の計 3 種目は、今回開発した機能統合型高品質電力供給装置により給電を行う。なお、B2 と B3 品質については、落雷等、主に自然現象が原因で送電線に発生する事故による瞬時電圧低下の対策（200ms の補償時間）に主眼をおき、コンデンサ形直列補償瞬停対策装置（DVR：Dynamic Voltage Restorer）にて電力品質の向上を行う。

直流給電は 20 世紀の初め頃には世界各国で用いられていた給電方式であるが、変圧器を活用した長距離送電が可能な交流方式がその後主流となり、特殊な用途や一部のエリアを除いては、現在用いられていない。しかし、太陽電池や燃料電池などの発電出力が直流であること、電力貯蔵のための蓄電池（直流）との接続性がよいこと、半導体やプロセッサを使用する負荷機器の多くが直流で動作していることなどから、近年、直流給電を見直す動きがある。将来の直

表 3 給電品質目標

電力供給 品質分類 電力供給 品質要件	交 流 供 給				直流供給
	高品質 A	高品質 B 1	高品質 B 2	高品質 B 3	
瞬断時間	無瞬断	15ms 以下	15ms 以下	15ms 以下	無瞬断
電圧変動	○	×	×	×	○
電圧不平衡	○	×	×	×	—
電圧高調波	○	×	×	×	○
周波数	○	×	×	×	—
瞬時電圧低下	○	○	○	○	○
停電	○	○	△	×	○
バックアップ時間	0.5 h	0.5 h	200ms	200ms	0.5 h

凡例：○補償有り ×補償無し △条件付補償 —対象外
※ 高品質 B2 は、商用系統との連系時の条件を記載している。

表 4 給電対象負荷

品質種別	容量(装置出力)	主な負荷
高品質 A	200kVA	医療機器(MRI)、学内サーバ類
高品質 B1	20kVA	介護福祉施設照明、小容量 PC 類
高品質 B2	600kVA	高等学校、浄水施設
高品質 B3	200kVA	介護保健施設
直 流	20kW	サーバ類、照明器具、換気ファン

装置により品質向上させた後、各々の負荷へ給電するものである。

実フィールドでの運用に先立ち、平成17年2月より実証研究エリアの電力需要と電力品質を連続して計測しているが、需要データ（東北福祉大学エリアと仙台市エリアの電力需要の総計）の途中経過に関しては10分間平均値で最大1.5MW、最小360kWであった。このため、分散型電源の不足分については系統電力を活用する必要がある。本実証研究では検討項目の対象外となるが、分散型電源（ガスインジン発電装置、燃料電池）の発電により生ずる熱は、東北福祉大学構内施設で利用され、総合エネルギー効率を高めている。

品質別電力供給システムの中でも最も重要な役割・機能を果たすものが機能統合型高品質電力供給装置である。同装置の外観を図9に示す。同装置は、各種電力変換部と蓄電池

図8に本実証研究のために開発した品質別電力供給システムの構成を示す。本システムは、総定格容量1MWの分散型電源（ガスエンジン発電装置（GE）350kW×2台）、熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC 250kW 1台）、太陽電池（PV 50kWp）を主電源とし、各種電力変換装置類、および計測監視制御装置にて構成されている。

本システムの基本動作は、表3に示された複数の電力品質を同時に供給するため、商用電力と連系した分散型電源の出力を電力変換

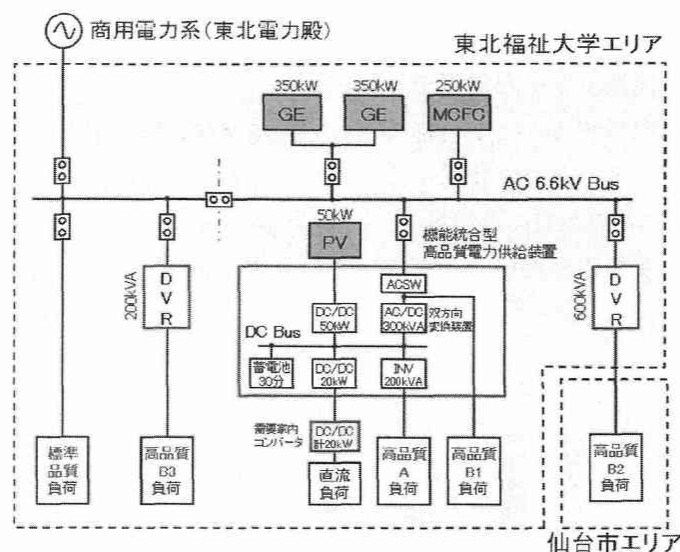


図8 品質別電力供給システムの構成図

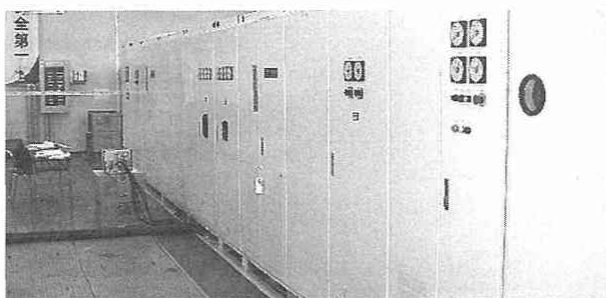


図9 機能統合型高品質電力供給装置の外観

(定格バックアップ時間：30分)により構成されている。蓄電池は、停電時のバックアップ機能以外に、分散型電源による自立運転時において、太陽電池パネルによる発電量変化および負荷の変動による自立系統の電圧・周波数変動抑制，すなわち交流電力の品質維持に貢献するための役割も兼ねている。

多くの技術的課題をクリアすることが本実証研究に求められているが、最も重要な項目が電力品質改善であり、その改善効果を確認するためデータ収集や波形取得が、定量的な評価・分析のため必要となる。停電、瞬低などの系統異常が発生した場合の電力品質補償動作のチェック、装置や設備が故障した際の影響把握、および電圧・電流・周波数などデータ収集を目的とした計測システムを品質別電力供給システムの導入に合わせて設置する。この計測システムは計22カ所で電圧、電流、周波数等が同時に計測可能な仕様であり、加えてGPS（全地球測位システム）によって時刻同期をさせた波形データも計18カ所で一斉に取得することが可能である。例えば、波形データを多点で比較することにより、瞬低前後の電力品質の改善度合、設備あるいは負荷故障が発生した場合の影響度合いの解析が可能となる。

4. エネルギーセンタ

平成18年第2四半期の完成を目指して、エネルギーセンタを東北福祉大学キャンパス内に構築中である。エネルギーセンタの完成予想図を図10に示す。エネルギーセンタは、1,085m²の敷地面積があり、分散型電源や受配電設備を設置するとともに、電力品質制御室（PQCR：Power Quality Control Room）と称した建物内（床面積116m²）に機能統合型高品質電力供給装置を収容する。PQCR内では、直流電力を活用するために、直流300Vを安全でかつ扱い易い電圧である直流48Vに変換した後、照明器具（蛍光灯安定器）、計測用サーバ、換気用ファンに対して給電を行う。

5. 評価項目と今後の課題

本実証試験を通して、以下の評価を予定している。

① 給電信頼度、電力品質

商用系統、負荷設備、あるいは電源装置に故障・事故が発生した場合の各電力品質状態を評価する。実運用中は、雷など自然現象が原因となる擾乱を待つが、実運用期間中に、

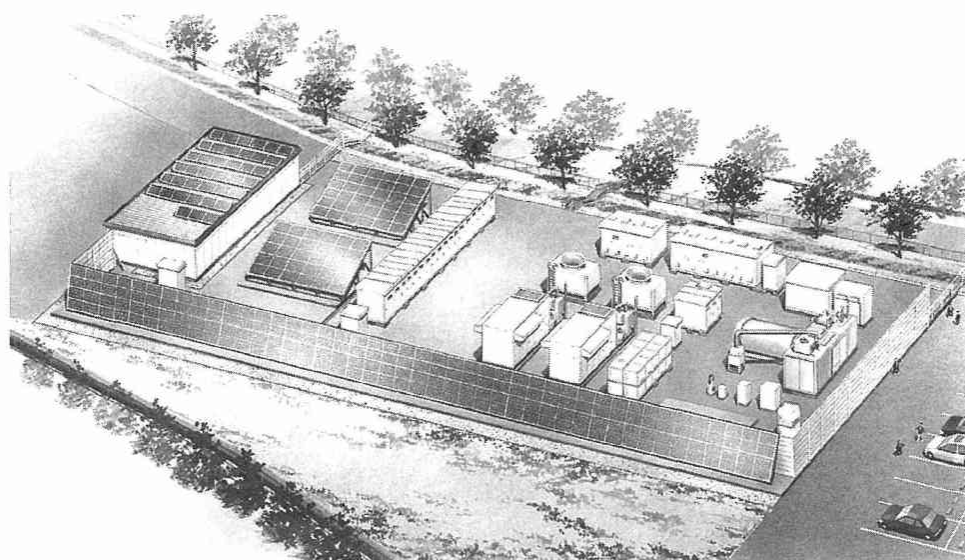


図10 エネルギーセンタ完成予想図

人工的に停電状態を作り、システム動作の正常性を確認することも予定している。また、各種シミュレーションによる効果の確認も合わせて実施する。

② 運用性

実負荷への供給を通して、運用上の課題を抽出し、その対策としての考え方を整理する。解決することが困難な課題があった場合、将来への提言としてまとめる。

③ 経済性、スペース、電力損失

経済性については、今回のシステム構築および運用に要した費用、経費など実態に即した値を用いて経済性比較のモデルに適用する。同様に、スペース、電力損失についても、今回の実証検証を通して得られた実データを用い、電源装置の集約・統合化の効果を算出する。

本実証研究により得られる多くのデータや新たな知見は、今後の品質別電力供給システム汎用化のために活用してゆく予定である。本稿の執筆時点では、実運用が開始されていないため、どのような結論が導かれるのかは不明であるが、将来に向けた品質別電力供給システムの汎用化が今後の重要な課題の1つになると考えている。なお、NTTファシリティーズら計4者は仙台市国見地区での実証研究の実施を中心に取組むが、同システムの汎用化については、(財)エネルギー工学総合研究所が主体となって検討する体制としており、各種データの共有化、および解析モデルや手法の統一など、協調し作業を進めている。

6. おわりに

本稿では、実証研究の概要およびそのシステム構成について紹介した。平成19年度第1四半期中の実運用開始に向けて、設備の設置工事、装置類の運用前データの収集作業を実施しており、今後も、各種データやその解析結果が得られた時点で適宜報告を予定している。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)委託研究事業「新電力ネットワークシステム実証研究 品質別電力供給システム実証研究」において検討したものである。最後に、本研究に携わっている多くの関係者に対して紙面をお借りし感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 新システム技術評価分科会, (財)エネルギー総合工学研究所:「品質別電力供給システム」に関する検討報告書IAE-C0241 (2003)
- (2) Lawrence Berkeley National Laboratory: "High Performance Buildings: Data Centers, Server Power Supplies," (December 2005)

「需要家における品質別電力供給の ニーズ調査結果」について

石 垣 幸 雄 (財)エネルギー総合工学研究所
主管研究員



1. はじめに

電力分野の規制緩和、需要家ニーズの多様化、新エネルギーによる分散型電源の導入等を背景として、将来に向けた新しい電力ネットワークのあり方が検討されてきた⁽¹⁾。このため、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)では、直流を含む多品質の電力を同時供給する「品質別電力供給システム」を実フィールドで総合評価し、将来の汎用化を図ることを目途として、平成16年度から平成19年度まで実証研究を行い、当該技術の有効性を検証することとしている。

本稿は、NEDO委託事業として推進されている品質別電力供給システム実証研究の関連調査として実施した「需要家における品質別電力供給のニーズ調査」(以下、ニーズ調査と略称する)の結果のまとめに関する経過報告である。

2. 品質別電力供給システム実証研究の概要⁽²⁾

品質別電力供給システム実証研究では、直流を含む多品質の電力供給を同時に実施することを目的の1つとしている。計画している品質種別は表1に示す通りで、直流を含めた計5種類の電力供給が可能である。システム構成を図1に示す。分散型電源としては、ガスエンジン、燃料電池などが商用電力系統と連系され、運転される。高品質A、高品質B1、高品質B3、直流は、東北福祉大学エリア内で研究中の機能統合型高品質電力供給装置、およびコンデンサ形直列補償瞬低対策装置(DVR)より供給される。また、高品質B2はDVRを介して、仙台市エリア(仙台高校、国見浄水場)に設置されている機器類に対して供給される。

表1 実証研究における供給品質目標

電力供給 品質分類 電力供給 品質要件	高品質A	高品質B1	高品質B2		高品質B3	直流供給	(参考) 高品質C
			系統連系時	自立運転時			
瞬断時間	無瞬断	15ms以下	15ms以下	15ms以下	15ms以下	無瞬断	1分程度
電圧変動	○	○	×	×	×	○	×
電圧不平衡	○	×	×	×	×	—	×
電圧高調波	○	×	×	×	×	○	×
周波数	○	×	×	×	×	—	×
瞬時電圧低下	○	○	○	×	○	○	×
停電	○	○	△		×	○	△
バックアップ時間	0.5h	0.5h	200ms以上(10サイクル以上)			0.5h	停電時間が1分程度に制限

凡例：○補償有り △条件付補償 ×補償無し

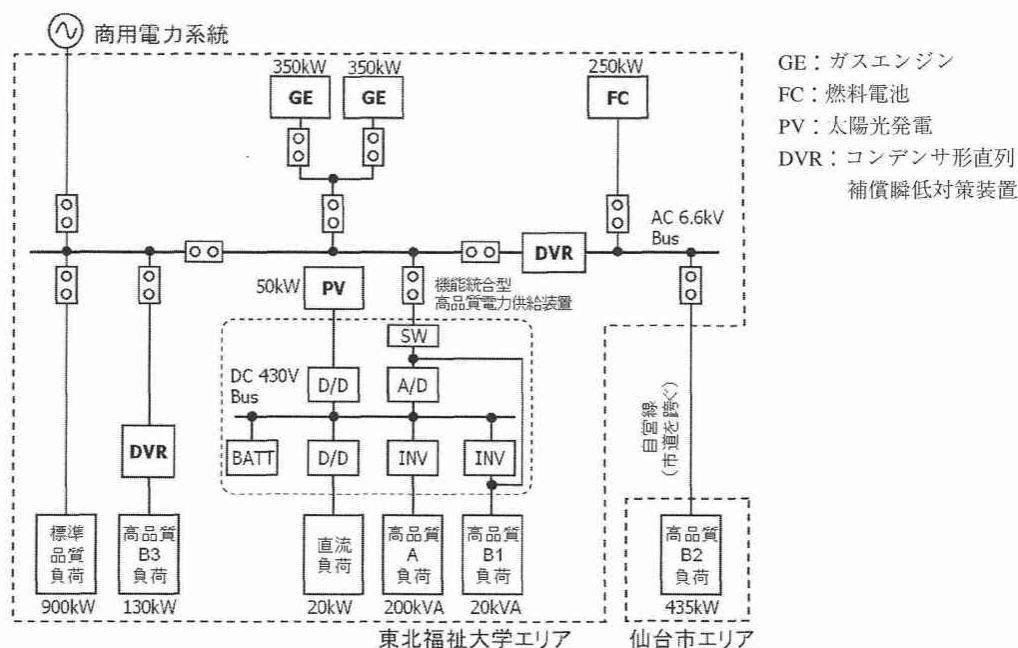


図1 品質別電力供給システム全体構成図

3. 需要家における品質別電力供給のニーズ調査

(1) 調査目的、調査方法

ニーズ調査の目的は、業種別に品質別電力供給のニーズを把握し、下記を明らかにすることである。

- 第三者からの高品質電力供給の可否
- 現状対策技術の問題点
- 要求電力品質レベルと用途負荷、容量
- 電力品質別、要求供給信頼度レベルとコスト
- 業種別の品質別電力のニーズ分析
- 業種別の電力品質別、要求供給信頼度レベルとコストの相関分析など

なお、ニーズ調査は2005年9月末にアンケート調査票を郵送して行ったが、具体的な設問設計に当たっては、半導体製造業、総合病院、データセンター、オフィスビル等への事前ヒアリングを行い、その結果等を参考にして作成した。アンケート調査票の郵送先は、経済産業省が公開している「エネルギー管理指定事業所名簿」（平成16年3月31日作成）*より、1万1,501件の中から2,300件を無作為抽出した。最終的なアンケート回収件数は349件（回収率15.2%：標準誤差**2.6%に相当）となり、同種のアンケート調査としては十分な精度でデータが得られた。また、アンケート調査に回答を頂いたデータで、特に追加調査が必要と思われる情報については、事後ヒアリング調査を実施し、データ精度の向上を図った。

*エネルギー管理指定事業所とは、「省エネルギー法」によってエネルギー使用状況の報告が義務づけられている事業所（工場または事業場）のことを言い、第1種エネルギー管理指定事業所と第2種エネルギー管理指定事業所の別がある。

本アンケート調査に使用した名簿における第1種エネルギー管理指定事業所とは、「燃料及びこれを熱源とする熱（以下燃料等）または電気」（以下エネルギー）の年度使用量が、燃料等で原油換算3,000kl以上、または電気で1,200万kWh以上を使用する事業所である。また、第2種エネルギー管理指定事業所とは、エネルギーの年度使用量が、燃料等で原油換算1,500kl以上3,000kl未満、または電気で600万kWh以上1,200万kWh未満の事業所である。（編集部注）

**標準誤差が2.6%ということは、例えば、回収数349件におけるある項目に対する回答が「50%」である場合、全ての一般大口需要家11,501件を調査して得られる回答が「50%」から±5.2%の幅（44.8%～55.2%）にあることが95%の確からしさで言えることを意味する。（編集部注）

(2) アンケート調査結果と分析

① 停電、瞬断、瞬時電圧低下等に関する調査・分析

停電、瞬断、瞬時電圧低下の年間頻度に関する調査・分析結果を図2に示す。

停電は「なし」が181件、1年間に1回以下が100件、2回が26件、3～5回が13件、6～10回が2件、11回以上が1件を占め、発生頻

度の増加とともに件数も減少傾向にある。一方、瞬時電圧低下については「なし」が最も多いものの、特に、近畿・中国の一部地域では年間発生頻度6～10回や11回以上が10～30回／年前後というケースもあった。事後ヒアリング調査の結果、これら多頻度発生地域は、広域で雷を拾っているのが原因と考えられ、停電・瞬断のこの地域における発生は逆に皆

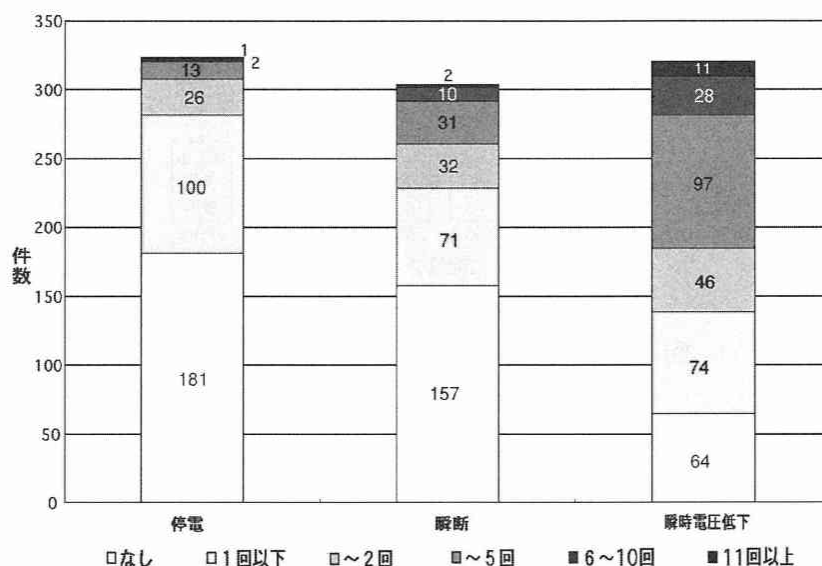


図2 停電、瞬断、瞬時電圧低下の年間頻度

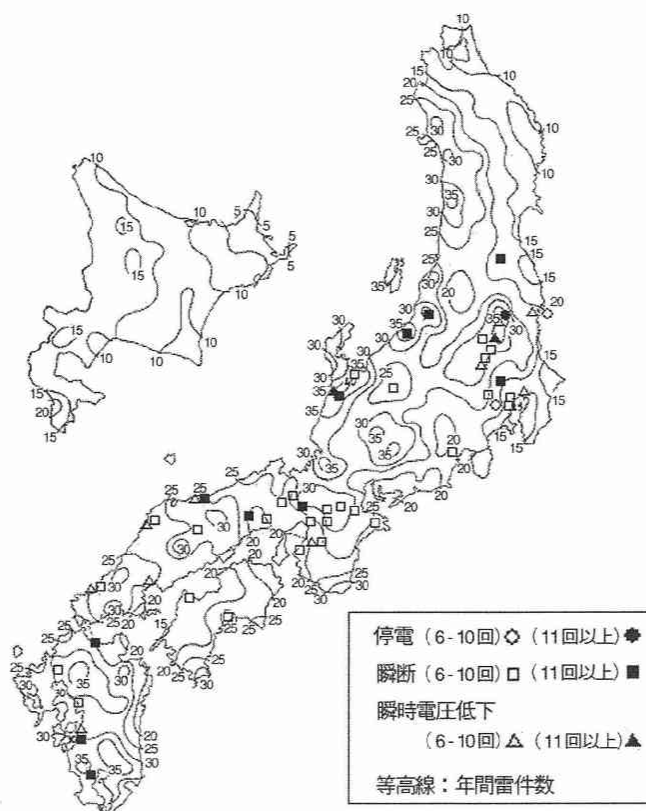


図3 停電・瞬断・瞬時電圧低下の年間発生回数分布

無に近かった。図3は、年間雷雨日数分布（IKLマップ）⁽³⁾に停電・瞬断・瞬時電圧低下の年発生回数を重ね合わせたものであり、停電・瞬断については年間雷雨日数分布と良く一致していることが判る。このことはまた、表1における高品質B3、または高品質B2のみの需要家ニーズが現実存在していることも理解される。

② 電力品質向上による新しい使い方

電気設備・機器について、将来、高品質A、B1、B2、C、直流の電力品質が実現した場合、どのような新しい使い方が考えられるか、と

いう設問に対する分析結果を図4に示す。高品質Aについては肯定的な見方が40%程度であり、B1、B2、C、直流になるにつれ、無回答の割合が高くなっている。

③ 高品質電力供給と電気料金との関係

将来、第三者から高品質電力供給を受けることが出来た場合、どの程度の電気料金であれば受容可能か、という設問に対する分析結果を図5に示す。

高品質Aについては、従来より割高でも良いとの見方が40%を占めるが、品質が下がるにつれ、直流も含めてこの比率は低下している。

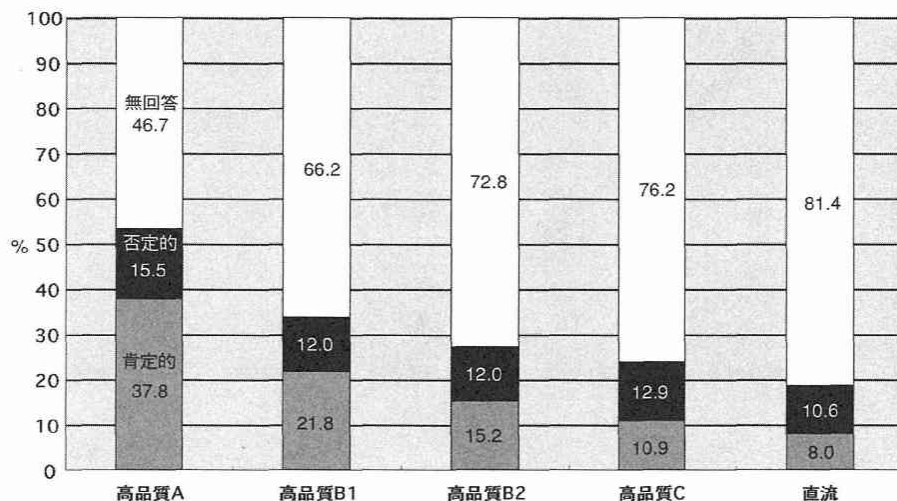


図4 電力品質向上による新しい使い方

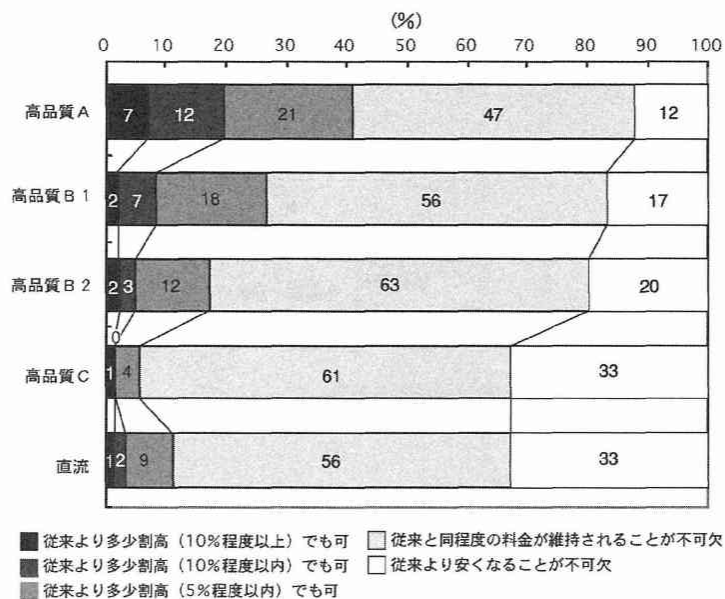


図5 高品質電力供給と電気料金との関係

④ 電力品質・供給信頼度と受容コストとの関係

電力料金の受容上げ幅に関する代表値を表

表2 受容上げ幅に関する選択肢と代表値

受容コスト（電力料金）	代表値
多少割高（10%程度以上）でも可	15.0%
多少割高（10%程度以内）でも可	10.0%
多少割高（5%程度以内）でも可	5.0%
同程度の料金が維持されることが不可欠	0.0%
安くなることが不可欠	-5.0%

2の通り設定し、図3のアンケート調査結果における回答構成比の加重平均をとることにより、電力料金の受容上げ幅を縦軸とする許容コスト（上げ幅）が図6のように得られた。

⑤ コスト関連に関する業種分析

図6のグラフを業種別に展開し、高品質A、高品質B1、高品質B2、高品質Cに便宜的に数値を与え、最小自乗法で各業界の回帰直線を得た。その傾きと切片の関係を示すことによ

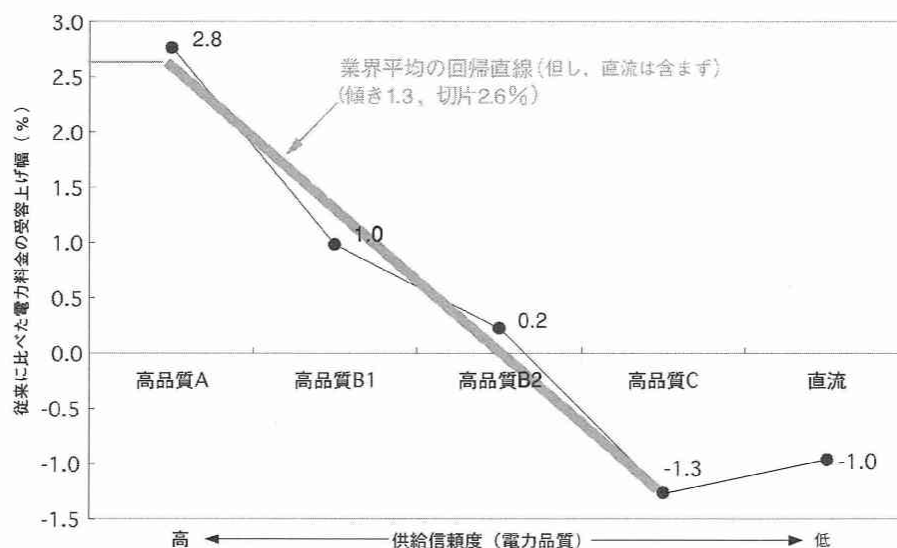


図6 電力品質と電力料金の受容上げ幅

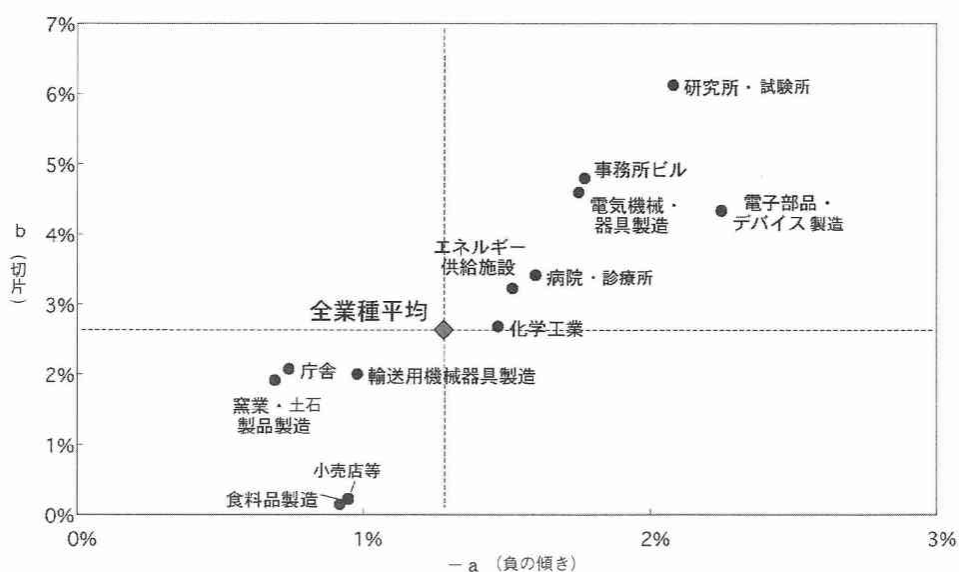


図7 電力品質と電力料金の受容上げ幅に関する業界分布図

4. まとめ

品質別電力供給システムに関する総合調査の一環として、需要家ニーズ調査を目的としたアンケート調査を実施した。なお、分析については現在整理中であり、別途まとめて報告の予定である。

[謝辞]

本調査研究を実施するにあたり、助言を戴いたNEDO、品質別電力供給システム総合調査委員会の関係者各位、及び本調査に協力頂いた(株)テクノリサーチ研究所（岸岡主任研究員、成海研究員）に謝意を表す次第である。

参考文献

- (1) エネルギー総合工学研究所：「新電力ネットワークシステム研究会」報告書，（2003-6）
- (2) 廣瀬圭一他：「仙台国見地区における品質別電力供給実証研究のための設備構成検討」，平成18年電気学会全国大会一般講演No.6-056（2006-3）
- (3) 気象庁：雷雨10年報，昭和43年3月

[寄稿]

電力自由化の現状と課題

丸 山 真 弘 (勘電力中央研究所 社会経済研究所
主任研究員)



1. はじめに

2005（平成17）年4月に実施されたいわゆる第3次制度改革により、小売自由化の範囲が全ての高圧需要家（需要規模50kW以上）に拡大された。これとともに、送配電部門の公平性・透明性の確保を図る仕組みとしての中立機関（送配電等業務支援機関）の設立と行為規制の導入、指標価格の形成等に資することを目的とした私設任意の電力取引所の創設などにより、わが国の電気事業制度は新たな段階に入ったといえる。

さらに、2007（平成19）年を目途に、小売の全面自由化についての検討が開始されることが予定されている。それに向けて、これまでの制度改革やその結果としての競争環境に対する評価や検討等が国の審議会や公正取引委員会によって実施され、報告書がとりまとめられている（表1）。

本稿では、これらの動きを整理しつつ、小売自由化を中心とするこれまでの制度改革の状況と今後の課題について概観する。

2. 制度改革の評価

(1) 電気料金の動向

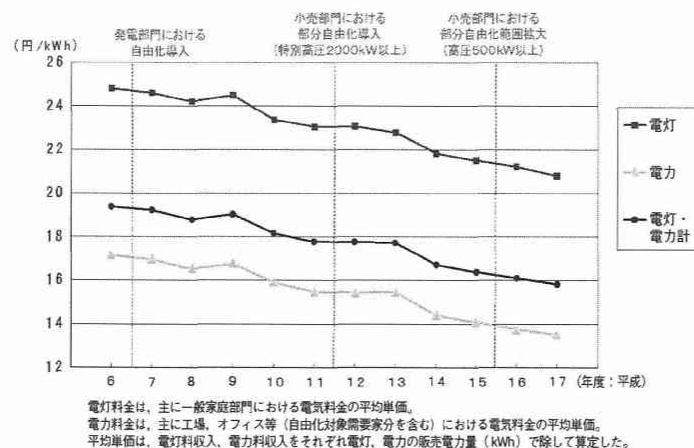
小売自由化は、高コスト構造の是正に向けた経済構造改革の課題の1つとして、電力価格を国際的にみて遜色ない水準にするという目標に向けて、行われたものである。従って、電気料金の動向や諸外国との料金水準の比較は、制度改革の評価において重要な項目の1つとなる。

総合資源エネルギー調査会電気事業分科会制度改革評価小委員会が2006（平成18）年5月22日にとりまとめた報告書（以下「制度評価小委報告」）によれば、1995（平成7）年度から2005（平成17）年度までに、電気料金

表1 制度改革・競争原理についての評価、検討等のとりまとめ状況

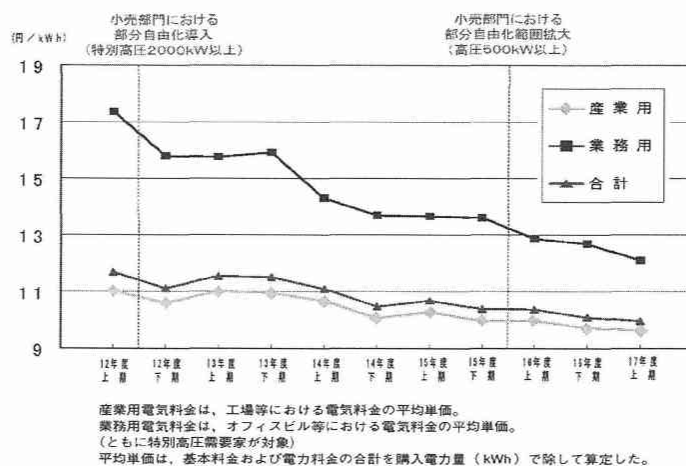
とりまとめ機関・報告書名称	とりまとめ・報告年月日
総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 制度改革評価小委員会「報告書」	2006(平成18)年5月22日 とりまとめ 電気事業分科会に報告予定
総合資源エネルギー調査会 電気事業分科会 原子力部会 電力自由化と原子力に関する小委員会「とり まとめ」	2006(平成18)年5月15日 とりまとめ 2006(平成18)年5月30日 原子力部会に 報告
産業構造審議会 新成長政策部会 競争環境整備 小委員会 エネルギー・ワーキング・グループ 「平成16年度の電力市場の競争評価」	2005(平成17)年10月21日 とりまとめ 2006(平成18)年1月16日 競争環境整備 小委員会に報告
公正取引委員会(事務総局経済取引局調整課) 「電力市場における競争状況と今後の課題について」	2006(平成18)年6月7日 公表

順不同



（出所：「制度改革評価小委員会報告書」（2006年5月22日）の参考資料を基に編集部で作成）

図1 電気料金の推移



（出所：「制度改革評価小委員会報告書」（2006年5月22日）の参考資料を基に編集部で作成）

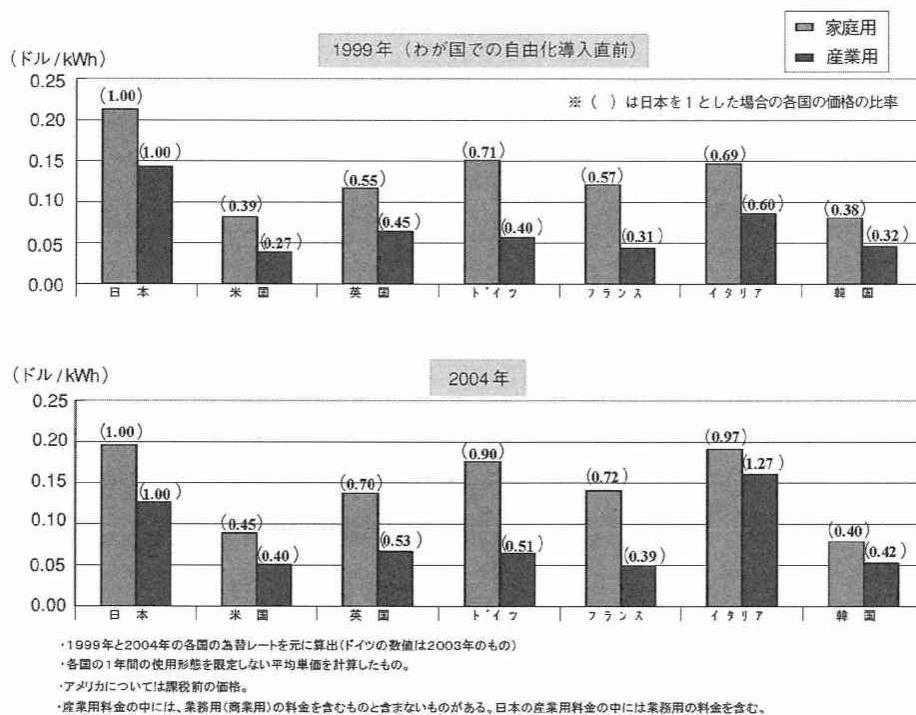
図2 特別高圧需要家が支払う電力価格の推移

（電灯・電力合計の平均単価）は約18%低下している（図1）。そして、自由化対象需要家の支払う電力価格は、特別高圧需要家の場合、小売自由化の実施された2000（平成12）年度上期と、2005（平成17）年度上期の間で、業務用で約30%、産業用で約13%低下している（図2）。一方、料金規制の残る家庭用需要家向けの電気料金についても、2000（平成12）年度から2005（平成17）年度にかけ、約10%の低下が見られる（図1）。これは、自由化による効率化の効果が、自由化対象以外の需要家である家庭用需要家の電気料金にも及んだ結果（均てん化）であると評価されている。

さらに、「制度評価小委報告」では、日米の産業用需要家の電気料金の価格差が小売自由化実施前の1999（平成11）年度には1対0.27であったものが、2004（平成16）年度には1対0.40となったことなど（図3）を踏まえ、諸外国との内外価格差も縮小傾向にあるとの評価を示している。

しかし、産業構造審議会の「平成16年度の電力市場の競争評価」（以下「競争環境小委報告」*）では、十分な競争が行われていなければ、電力価格が低下している局面であっても十分な価格低下につながらない可能性が考えられるとして、電力価格の変化だけで電力市場の

* 産業構造審議会新成長政策部会競争環境整備小委員会エネルギー・ワーキング・グループが2005（平成17）年11月に取りまとめ、競争環境整備小委員会に2006（平成18）年1月16日に報告された。

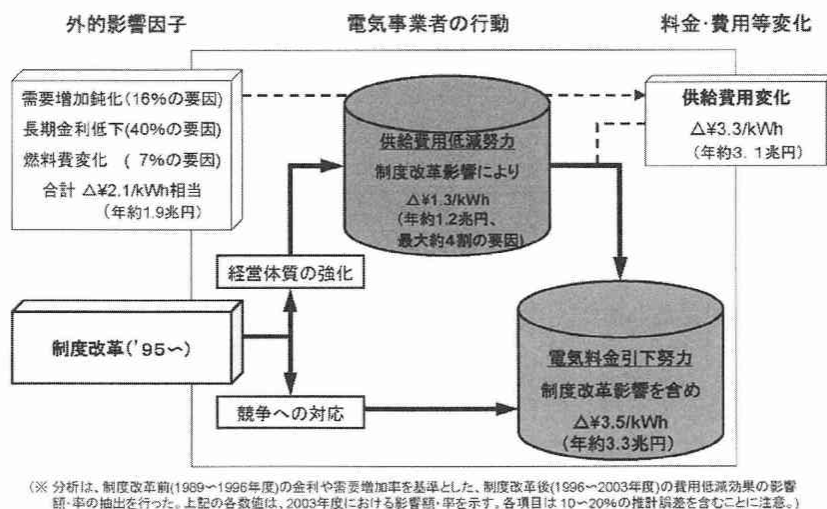


(出所：「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料を基に編集部で作成)

図3 電気料金の国際比較

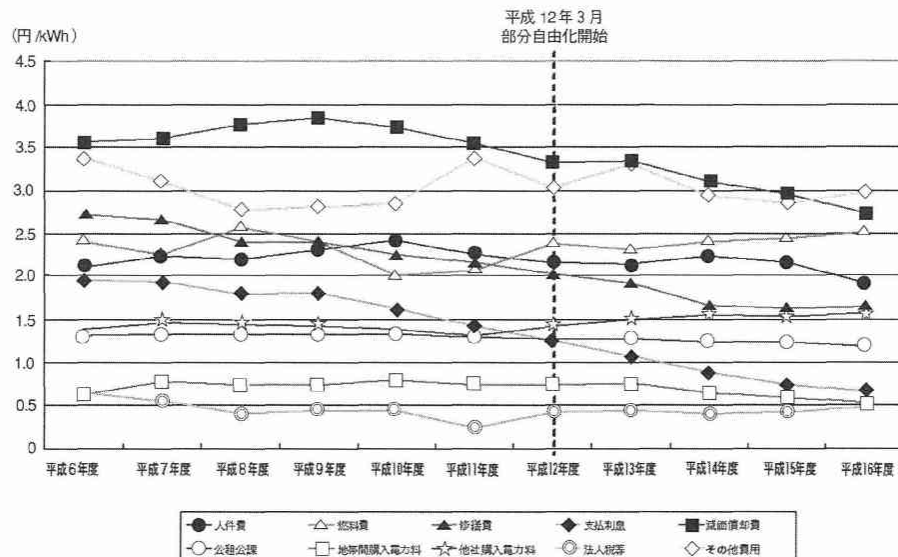
競争の進展度合いを完全に把握することはできないことに留意する必要があるとの指摘を行っている。また、2006（平成18）年6月7日に公表された公正取引委員会報告「電力市場における競争状態と今後の課題について」（以下「公取委報告」）では、内外価格差は縮小しているものの、米国との格差は依然倍以上あるとの指摘がなされている。

「制度評価小委報告」では、電気料金の低下の要因を定量分析し、制度改革により効率化が促進された結果がどの程度を占めるのか明らかにしようと試みている。その結果、制度改革前後の供給費用低下の要因のうち、制度改革による要因は最大4割程度と考えられ、2003（平成15）年度の料金換算で1.3円/kWh程度にあたるとの結論が示されている（図4）。



(出所：「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料)

図4 制度改革が電気料金に与えた影響の定量分析



(出所：公正取引委員会「電力市場における競争状況と今後の課題について」(2006年6月7日)を基に編集部で作成)

図5 一般電気事業者の費用の推移

一方、「公取委報告」では、一般電気事業者の単位電力量あたりの費用の推移を整理し、減少率の大きな費用項目は支払利息(-47.1%)、減価償却費(-17.8%)、修繕費(-19.1%)などであったとの指摘を行っている(図5)。

(2) 新規参入者のシェア

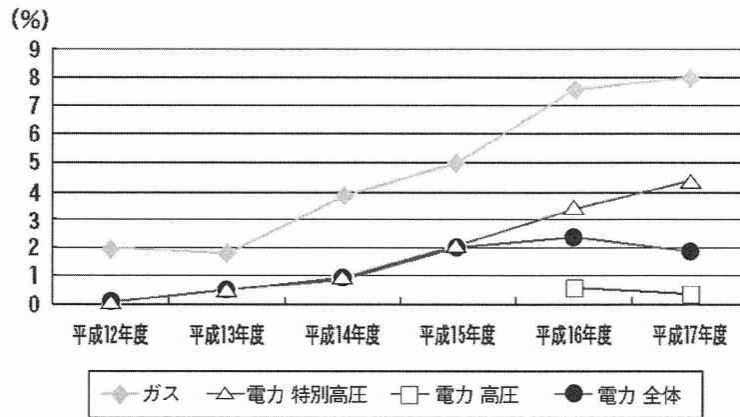
競争環境小委報告によれば、電力市場における各事業者のシェアは電気事業者間の直接的、顕在的な競争の状況を表す指標であり、その大きさは市場における事業者間の関係を表すものである。

販売電力量ベースでみた新規参入者(特定規模電気事業者:PPS)のシェアは、2006(平成18)年3月の時点で、特別高圧で4.17%、高圧で0.57%であり、自由化対象需要全体では2.11%であった(図6)。また、業務形態によるシェアの差が大きく、特別高圧業務用ではシェアが22.4%となっている一方、特別高圧産業用や高圧では、シェアは1.0~1.5%に止まっている。さらに、地域によってもシェアに差が見られるが、「制度評価小委報告」は、その理由の1つとして、各地域の特別高圧業務用需要家の多寡を挙げている。



(出所：「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料を基に編集部で作成)

図6 新規参入者(PPS)のシェア



(出所：「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料)

図7 電気事業とガス事業の新規参入者シェアの比較

なお、「公取委報告」は、電気事業に先駆け、1995（平成9）年から小売部分自由化を実施しているガス事業における新規参入者のシェアと比較した場合、電気事業の新規参入者のシェアははるかに低い水準に止まっている（図7）との指摘を行っている。

（3）需要家選択枝の拡大

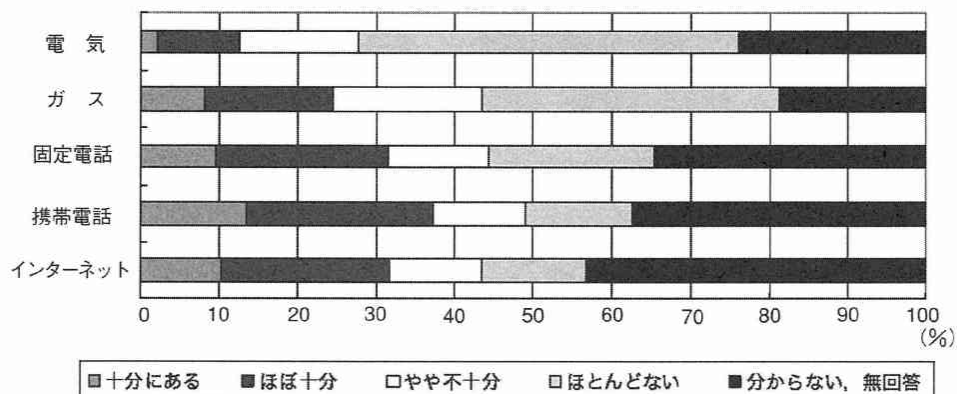
需要家選択枝の拡大は、安定供給の確保などと並び、電気事業制度の設計における重要な政策目標の1つとされている。

「制度評価小委報告」では、需要家アンケートの結果から、自由化そのものについての認知度は高い一方で、既存の事業者以外の選択肢である、地元以外の一般電気事業者やPPSからの情報提供に関して十分と認識している

者が少ないことを指摘し、過大なコストをかけることなく、需要家を比較検討できる、より充実した営業活動や情報提供がなされることを望んでいるとした。一方、「公取委報告」は、同じく需要家に対して行ったアンケートの結果から、供給を変更しない理由として、

- ① 「現在の供給者が信頼できる供給者だから」とする需要家とともに「他に供給者がいないから」とする需要家の割合が多い
- ② 供給者側からのセールスについて「頻繁にある」とする需要家の割合は、ガスと同様に低く、2%程度に止まる
- ③ 供給者の選択機会が十分にあるとする需要家は2%程度であり、電気通信やガスと比較して低い（図8）

といった点を指摘し、全体的傾向として需要家にとっての供給者選択度が十分に存在するとは評価し難い状況にあると結論づけている。



(注) 電気・ガスについては自由区分の需要家（事業者の回答）

(出所：公正取引委員会「電力市場における競争状況と今後の課題について」(2006年6月7日))

図8 供給者を選択する機会に関するアンケート調査結果

(4) 卸発電市場

卸電力取引は、1995（平成7）年の第1次制度改革により、卸電力入札制度と、卸供給条件（1,000kW以上かつ10年以上、または10万kW以上かつ5年以上）に該当しない小規模・短期の卸電力取引料金の自由化が実施され、2000（平成12）年からの第2次制度改革では、卸供給料金の規制が認可制から届出制へと変更された。さらに、2005（平成17）年からの第3次制度改革を受け、卸電力取引所が設立され、スポットと先渡し取引が開始された。

「制度評価小委報告」は、卸電力取引所について、取引量は未だ少ないものの、今後卸電力市場の中で重要な役割を担うことが期待されると評価している。一方、一般電気事業者からPPSへの常時バックアップの取り扱いに関連して、十分な取引の厚みと市場監視といった条件が整備されることを求めている。

また、「公取委報告」は、卸電力取引所の取引を活性化させていく上での課題として、

- ① 取引所への玉出しの増大
- ② 市場監視機能の強化による取引の公平性や信頼性の向上
- ③ 市場の透明性を高めるための情報公開の拡充

の3点を指摘している。

(5) 安定供給・環境保全の観点からの評価

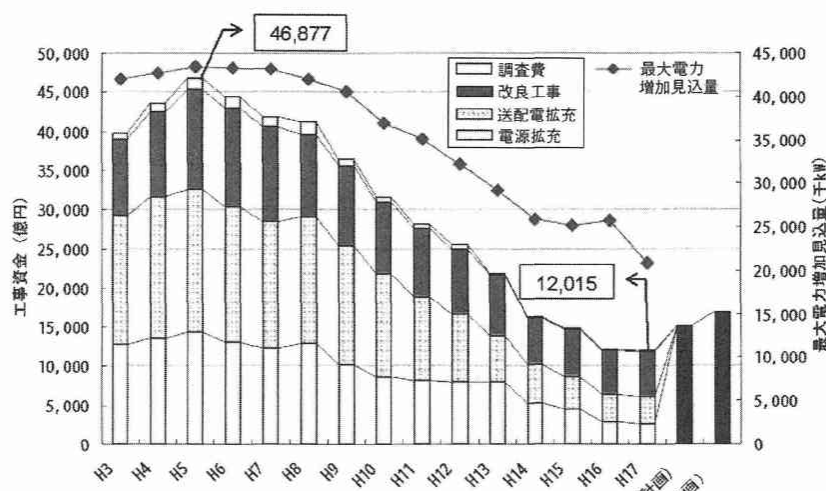
電気事業の制度改革は、電気の安定供給の確保や、環境への適合といった課題をも考慮しつつ行うことが求められている。「制度評価小委報告」では、安定供給の点については、

- ① 経営効率化の効果もあり、設備投資額はピーク時の3割程度の水準となっているが、最大電力の伸びの見通し自体も低くなっており（図9）、これまでのところ、供給信頼度の低下は見られない
- ② 今後の設備形成についても供給計画を前提とした設備形成が行われる限り、向こう10年において適切な供給予備率が確保され（図10）、送電線も整備されていくことが確認される
- ③ ただし、制度改革の安定供給に対する影響が顕在化するには時間がかかるので、長期的にどのような影響が出るのかは注視する必要がある

と整理している。

また、環境保全の点については、制度改革後、二酸化炭素（CO₂）の排出量と排出原単位は増加傾向にあるが、原子力発電所の長期停止の影響を除くと、大きく増加している訳ではないとしている（図11）。

一方、地球温暖化対策推進法に基づき、需要家がCO₂排出係数の低い需要家を選択するインセンティブが働く仕組みが導入されることになっている点に関連して、「公取委報告」は、電力市場での競争における一般電気事業者とPPSの間のイコールフットイングを確保す

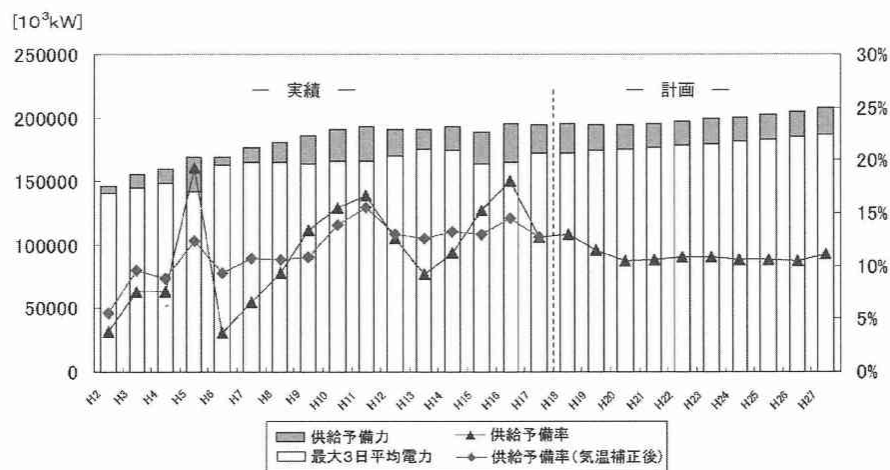


※「最大電力増加見込量」：第10年度の最大電力見込量と前年度の同実績の差分（実績については、平成3年、平成4年を除き気温補正值を利用）

※平成18年、平成19年の計画値は総額

（出所：「制度改革評価小委員会報告書」（2006年5月22日）の参考資料）

図9 設備投資の推移と最大電力増加見通しとの比較



(出所:「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料を基に編集部で作成)

図10 供給計画における今後の供給予備率等

るという観点から、検討が必要であるとの指摘を行っている。

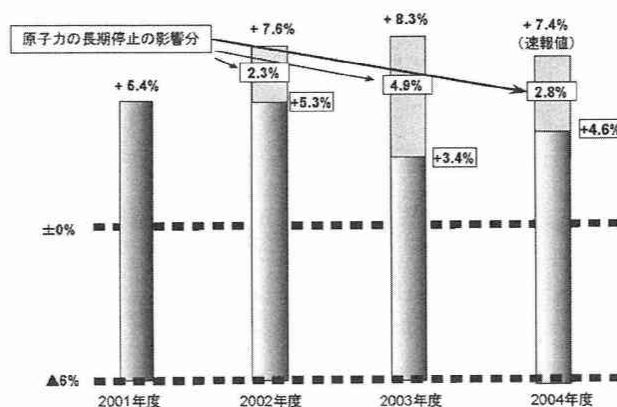
3. 今後の留意事項

最初にも述べたように、2007(平成19)年を目途に、小売全面自由化についての検討が開始されることになっている。「制度評価小委報告」と「公取委報告」では、それぞれ検討に向けた留意事項を指摘している。また、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会電力自由化と原子力に関する小委員会は、2006(平成18)年5月15日に、原子力推進の観点からの全面自由化の検討に関する整理を行った結果をとりまとめ、その結果(以下「原子力小委報告」)

を原子力部会に報告している。

「公取委報告」は、自由化以降活発な競争が行われている特別高圧業務用分野と比べ、規制分野での料金引き下げの幅が小さいものに止まっており、中小零細の小売事業者には、自由化によって大手小売事業者との料金格差が拡大していることへの不満が見られることや、サービスに関しても自由化分野と規制分野の需要家満足度に大きな開きが見られることなどを指摘しつつ、需要家の利益の観点から全面自由化について検討を行うべきとの考え方を示している。また、公正競争を確保する観点から、一部事業者が独占的な供給を行うことが認められる領域を設けることについて、競争事業者間のイコールフットINGの

原子力発電所の停止の影響により、CO₂排出量は2002年度2,800万t、2003年度6,000万t、2004年度3,500万t増加(京都議定書基準年総排出量比で2.3%、4.9%、2.8%に相当)



(出所:「制度改革評価小委員会報告書」(2006年5月22日)の参考資料)

図11 CO₂排出量の推移と原子力発電所運転停止の影響

見地からの検討が必要であるとしている。

一方、「制度評価小委報告」では、安定供給、環境保全と自由化との両立が必要との観点から、

- ① 一般電気事業者だけでなくPPS等も含めて、どのように安定供給を確保する仕組みを構築するかについて検討すること
- ② 自由化と環境保全を両立しつつ、PPSも含めた電気事業者のCO₂排出量の削減に向けて、どのように取り組んでいくのか検討すること
- ③ PPSの電源調達で、当面の間は電気事業者からの常時バックアップにある程度依存せざるを得ない状況にある中で、安定供給の確保や環境保全の両立という課題を踏まえつつ、PPSの電源調達のあり方について検討を行うこと

が必要であるとしている。

さらに、「原子力小委報告」では、電力自由化は、需要確保とコスト回収の保証がなくなる、コスト圧縮努力の一環として、設備投資抑制圧力が高まる、電力間競争の圧力が高まる、という3点から原子力発電投資に影響を与える可能性があるとした。その上で、委員会では

- ① 規制が残る家庭用需要には安定的な需要が見込まれ、巨額でリスクが大きい投資を支える効果がある一方、規制がなくなった場合、新しい事業制度の体系自体が不透明となり、リスクの大きい投資を決断しにくくなる
- ② 家庭用需要からは、自由化されても一時に大きな需要離脱があるとは考えにくいことから、今後自由化が更に進んでも大きな影響はない

という2つの意見があったことを併記し、結論として、全面自由化の検討にあたって、今後の原子力発電投資に及ぼす影響に十分配慮した慎重な議論が行われることが適切であるとの考え方を示している。

4. おわりに

本稿では、2007（平成19）年を目途に予定

されている、小売の全面自由化についての検討に向けてとりまとめられた、これまでの制度改革やその結果としての競争環境に対する評価や検討等についての報告書の内容を論点ごとに整理しつつ、小売自由化を中心とするこれまでの制度改革の状況と今後の課題について概観してきた。

2006（平成18）年中には、エネルギー基本計画の見直しも予定されており、安定供給、環境保全、エネルギーセキュリティといった課題と事業の効率化による低廉な電力の供給という課題をどのように調和させつつ、最終目標である需要家利益の増大をどのように図っていくのかという問題に関する検討が、様々な局面において、2006（平成18）年度下期以降、活発に行われることが予想される。今回の検討は、1995（平成7）年以降行われてきた一連の電気事業制度改革に関する動きの集大成といえるものである。

米国の小売自由化を巡る動きの中では、小口需要家に対して競争成果を早期に均てんさせるとの観点から、小売料金を制度改革前より引き下げた上で、一定期間固定化するという政策（rate reduction & freeze）を採用した州が数多く見られた。しかし、小売料金の引き下げの結果、新規参入が困難になった上に、その後の燃料価格の高騰の結果、凍結期間の終了とともに、需要家は大幅な価格引き上げに直面することになった。そして、それへの対応策が秋の選挙に向けた政争の道具として使われるといった状況も生じている^{**}。このように、電気事業に関する制度の設計は、長期的に、かつ多くの需要家に影響を与えるものであるが故に、わが国にとってふさわしい電気事業制度のあり方について、これまでの検討の際と同様に、慎重かつ多面的な検討が必要であると考えらる。

^{**} 米国メリーランド州では、州内最大の事業者Baltimore Gas & Electricの家庭用電気料金が、2006年7月1日の価格凍結期間終了とともに7割以上引き上げられるという事態になった。これに対し、共和党選出の知事と民主党が圧倒的多数を占める州議会、さらに次期の州知事を目指す民主党選出のボルチモア市長が料金の段階的な引き上げの方策について対立し、州議会が規制当局のコミッショナー全員を解職する法律を、知事の拒否権行使を覆す形で成立させるという事態に至った。

[寄稿]

豪クィーンズランド州のエネルギー資源 ー石炭を中心としてー

安 達 健 (豪クィーンズランド州政府
駐日代表)



はじめに

2006年は日豪間30年の交流を記念して「日豪交流年」(Year of Exchange)となっていますが、私どもクィーンズランド州政府駐日事務所は25年の歴史を持っています。さらに、石炭に関する日本とクィーンズランド州の歴史となると、40年～50年近くになると思います。

クィーンズランド州は、面積ではオーストラリアで2番目に大きな州(日本の4倍)で、人口が400万人、経済規模(GDP:国内総生産)はニュージーランドを少し上回ります。貿易面では、日本が最大の相手国で、石炭を含む全商品及びサービスの輸出に占める日本の割合は3割弱にもなります。

クィーンズランド州のエネルギー資源

(1) 石炭

[概況]

現在、クィーンズランド州の石炭確認埋蔵量は330億トン(2003年7月時点)です。44の炭鉱がありますが、31が露天掘り、13が坑内掘りです。生産量は年間1億7,270万トンで、1億4,550万トンが輸出されています。

図1は石炭売上の推移です。ここ10年、輸出向けが急成長しています。図2に示すように、用途別では、原料炭(コークス原料用、吹込原料用の石炭)のほうが一般炭(発電・ボイラー・加熱炉用の石炭)よりも多いです。

図3は2004年度における輸出先の構成です。

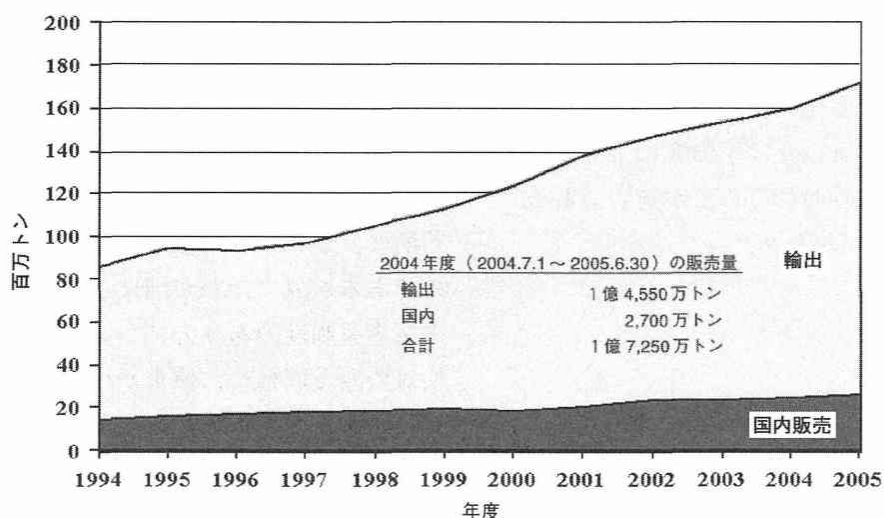


図1 クィーンズランドの石炭売上げ推移

*本稿は、本年2月24日の当所月例研究会(第243回)におけるご講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。

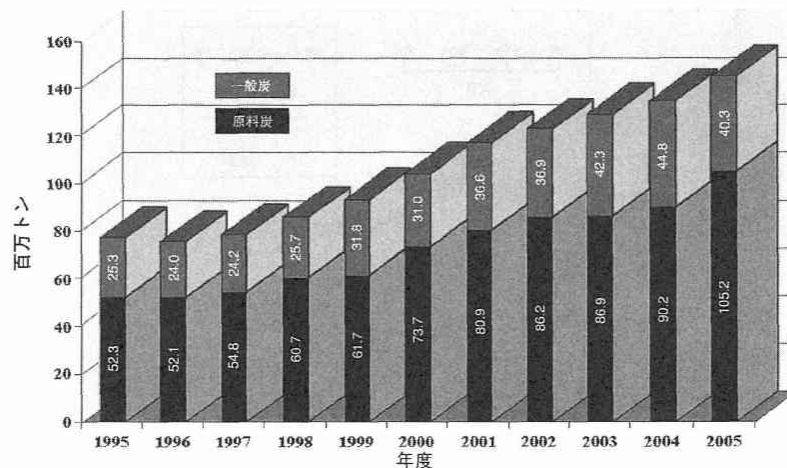


図2 輸出における一般炭と原料炭

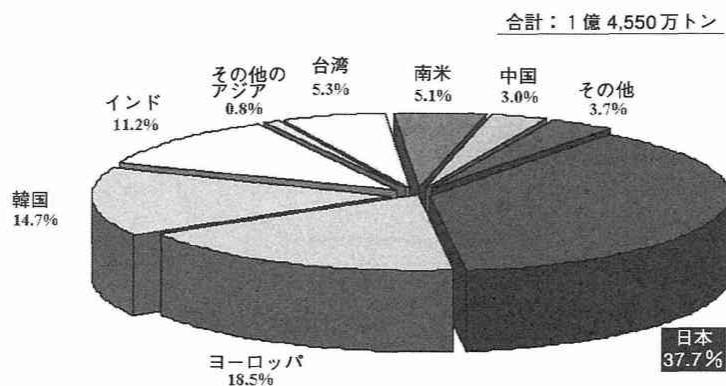


図3 輸出先の割合（2004年度）

輸出されている1億4,550万トンの約40%が日本向けです。ヨーロッパ向けが約20%ですが、各国毎のパーセンテージはさらに小さくなっています。国レベルで日本に次いで大きいのが韓国で約15%。インドは約11%、中国はまだ3%にすぎません。

[主な炭田とその特徴]

図4はクィーンズランド州の産炭地の地図です。産出量が最も多いのはボーエン炭田ですが、現在、少し南にあるスラット炭田が注目されつつあります。

採掘権についてですが、既存の石炭資源については、採掘可能地域のほとんどで設定済みです。しかし、例えば、インフラから大分遠いとか、500メートル以上の深い所に資源があるとかの理由で権益が設定されていない部分もあります。

① ボーエン炭田

低品位の低揮発分炭から高品位の高揮発分炭（亜炭（褐炭・泥炭）、亜瀝青炭、瀝青炭、無煙炭）まで様々な種類の石炭が産出されます。産出した石炭は、原料炭、一般炭として用いられます。灰分についても低レベルから中レベルで、硫黄分も低いです。

② スラット炭田

開発があまり行われておらず、産出は、ドーソン／モーラ地区、ウィルキークリーク地区、そしてニューア克蘭ド地区の3つのエリアに集中しています。モーラ南部には50億トン強の石炭（高揮発分炭で一般炭として利用可能）の存在が確認されています。概ね露天掘りですが、地下の採掘資源も一部存在しています。また、スラット炭田では「ワルーン炭」が注目されています。図5に示すように、

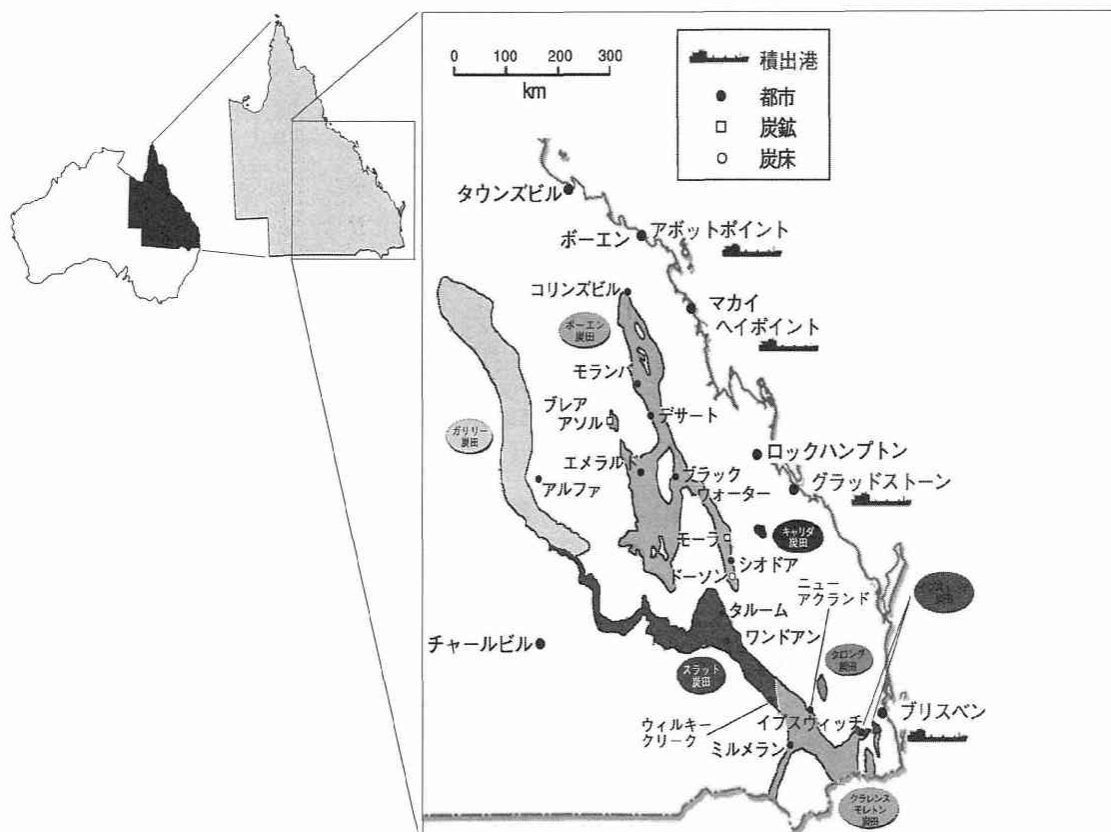


図4 キーンズランド州内の主な産炭地

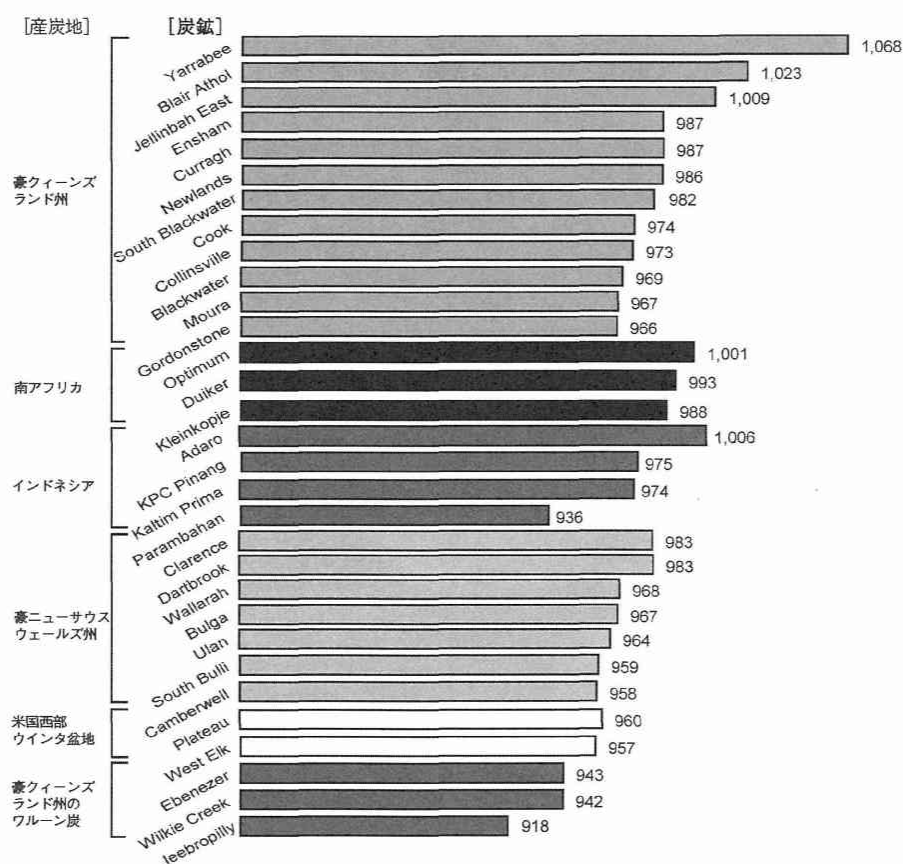


図5 炭種毎の燃焼時のCO₂排出量 (kg/MWh/送電端)

クィーンズランド州内で生産される一般炭の中では、燃焼させたときの二酸化炭素（CO₂）の排出量が最も低い部類に入るからです。これは、石炭に含まれる水素分が多いこと（重量パーセントで6.0%）に起因しています。

③ ガリリー炭田

亜瀝青炭と瀝青炭の存在が確認され、用途としては一般用のみが考えられます。しかし、インフラ整備が非常に遅れているので、稼動中の炭鉱はまだありません。

[インフラ整備]

図6に石炭関連のインフラ整備状況を示します。スラット炭田の場合、グラッドストーンと結ぶ鉄道を計画中です。完成すればグラッドストーンからの積出しが非常に容易になります。

クィーンズランド州政府は、石炭のインフラ整備に莫大な額の投資を行います。2005年5月で14億豪州ドルをコミットし、21億豪州ドルを計画しました。5カ月後には、それを積み増して、コミット額を22億豪ドル、計画額を31億豪ドルに引き上げました。

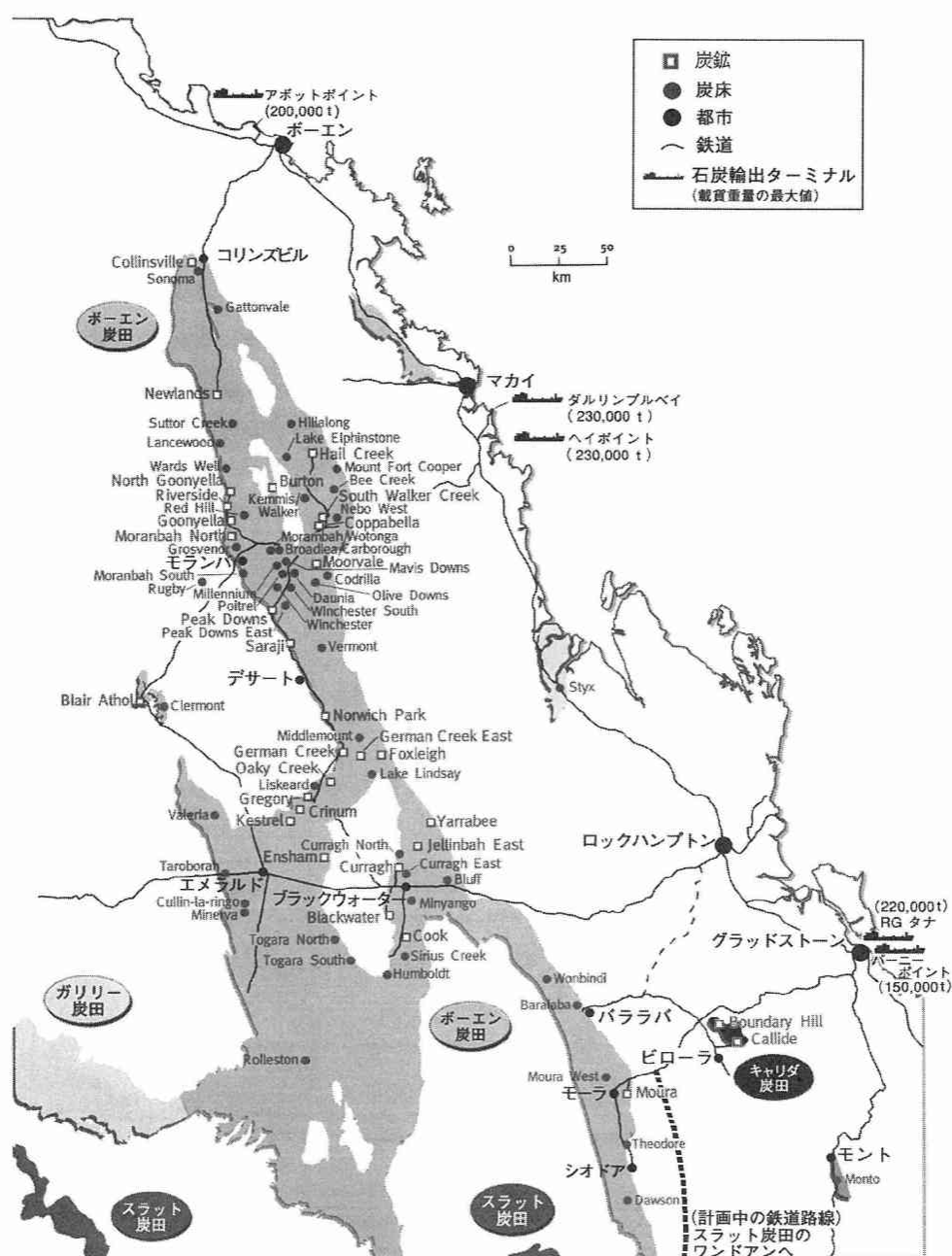


図6 石炭のインフラ整備状況

表1 2004年度の生産量

原油	260万バレル
液化石油ガス (LPG)	216万バレル
コンデンセート	180万バレル
天然ガス	140ペタジュール
炭層ガス	31ペタジュール

コールシームガス（炭層ガス）の埋蔵地の分布です。また、2004年度における石油、液化石油ガス（LPG）、コンデンセート、天然ガス、炭素ガスの生産量は表1の通りです。また、オイルシェールの確認埋蔵量は約277億バレルです。

石油生産地は州の南西部に集まっていますが、スラット盆地でもかなり開発が進んでいます。油田のほとんどが海の近くにあり、埋蔵量もあまり多くありません。石油はほとんど国内で消費され、ほとんどが豪州資本による開発です。

今、炭層ガスが注目されています。2005年1月1日から、州政府が発電に使うガス燃料の比率を13%にすることを義務付けたためです。この影響で、一気に炭層ガスの開発が進んできています。ボーエン炭田での生産が非常に多く全生産量である31ペタジュールはボーエン炭田からのものです。今後、スラット炭田での炭層ガス生産にも期待が寄せられています。

資源探査の支出額にもこのことが表れています。石油・ガス探査への支出は、2004年度で約1億400万ドルで、前年度より600万ドル増えました。この増加分のほとんどが炭層ガスの探査費用だったということです。

（3）再生可能エネルギー

再生可能エネルギーについては、連邦政府のエネルギー政策（Mandatory Renewable Energy Target：MRETプログラム）で、2010年までに発電用燃料の2%を再生エネルギーにすることが義務付けられています。一方、ク

ィーンズランド州政府独自の再生可能エネルギー政策により、クィーンズランド州では現在、発電全体の4.2%が再生可能エネルギーで賄われています。2.7%はバイオマスによるもので、残り1.5%が水力発電によるものです。

利用されている再生可能エネルギーの種類としては、バイオマス（マカデミアナッツの殻、サトウキビの搾りかすなど）、風力、水力があります。風力、太陽光、地熱などの比率は僅かなものですが、僻地に対するエネルギー供給では重要な役割を果たしています。発電以外も含めると、クィーンズランド州での再生可能エネルギーの利用率は約12%になっています。

また、再生可能エネルギーの技術開発について、州政府は440万豪ドルの持続可能エネルギー革新基金（Sustainable Energy Innovation Fund）を通じて支援しています。

さいごに

クィーンズランド州と日本の石炭取引における関係ほど長く続いていて重要な関係はそれほどないでしょう。最近の石炭価格の高騰、新たな需要の出現、エネルギーの安定供給といった様々な要因を背景に、ますますその重要度が増していく一方で、政治的に安定しているオーストラリア・クィーンズランド州の供給はますます注目されていくと思われます。今後もインフラ投資計画の実行、また、積極的な情報交換を通じてこの石炭貿易促進を進めて参りたいと思います。

ご静聴誠にありがとうございました。（拍手）

[寄稿]

コアプロジェクト:

石炭を介した日豪補完環境保全プロジェクトの提案

新 田 義 孝

(財電力中央研究所 理事待遇*
CS推進本部チーフオルガナイザー
四日市大学環境情報学部教授 工学博士)



はじめに

コアプロジェクトの概要

豪州の輸出総額の10%以上が石炭で、その約4割を日本が輸入しています。さらに、日本の石炭火力発電所は燃料の約60%に豪州炭を使っています。二酸化炭素(CO₂)排出を単位カロリー当りで比較すると、石炭、石油、天然ガスでは5:4:3ですから、石炭火力発電はCO₂排出量が他の発電方式より多いのです。ですから、発電効率向上に加えて、炭素固定を図る新たな対策が望まれます。

他方、豪州の土壌劣化の進行は凄まじいもの

です。土壌劣化には、アルカリ土壌劣化と酸性土壌劣化があります。実は、アルカリ土壌は石膏のすき込みで改良でき、酸性土壌は石炭灰肥料を用いて中和・土壌改良できるのです。石膏も石炭灰もともに日本の石炭火力発電所で発生する副産物です。

その副産物を豪州に里帰りさせて土壌改良を行い、植林事業あるいは水源涵養林の復興などにより炭素固定を図る仕組みを作ることを考えました。その1つが北陸電力(株)、(財電力中央研究所、クイーンズランド大学が共同で2000年から6年計画で始めた「コアラ(COALA: The COal industry by-product Applied to LAnd rehabilitation)プロジェクト」なのです。このプロジェクトの概念図を図1、図2に示します。

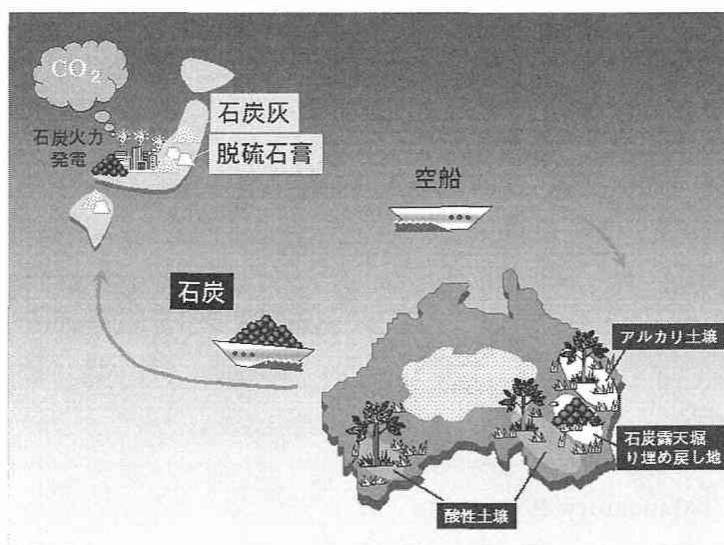


図1 現在の流れ

*本稿は、本年2月24日の当所月例研究会(第243回)におけるご講演を本誌掲載用にテープ起こししたものです。なお、同氏の現在の所属(2006年4月以降)は、(財電力中央研究所 知的財産センター)です。

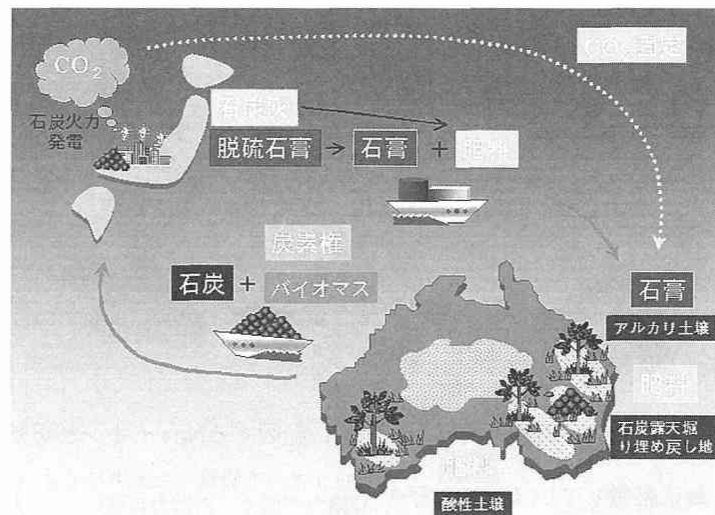


図2 将来の流れ

豪州の土壤劣化の概要

劣化土壤にはアルカリ土壤と酸性土壤の2つがあります。

[アルカリ土壤]

アルカリ土壤 (sodic soil) は半乾燥地に多く、オーストラリア、中国の黄河の中・下流域 (山東省)、東北地方 (遼寧省など)、それからインド、パキスタン、アメリカにもあり

ます。アルカリ土壤の方は、物理的な性状がとて強く、カチンカチンに固化した非常に始末の悪い土壤です。図3のように、豪州では200万km² (農地の23%) がアルカリ劣化しています。クィーンズランド州では農地の29%，ヴィクトリア州では57%，ニューサウスウェールズ州では38%，そしてタスマニア州では28%がアルカリ化の被害を受けています (Hajkiewicz and Young 2002)。

土壤がアルカリ化するの、図4に示すように、地下からNaHCO₃ (炭酸水素ナトリウム) あるいはNa₂CO₃ (炭酸ナトリウム) が地下水

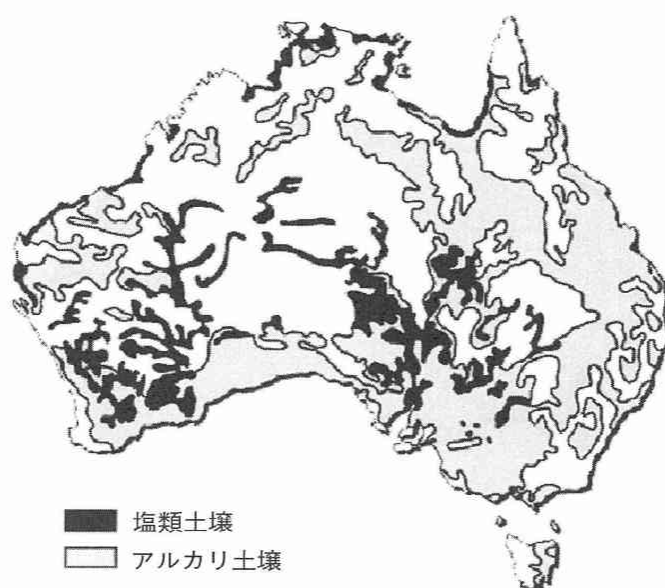


図3 豪州のアルカリ土壤分布

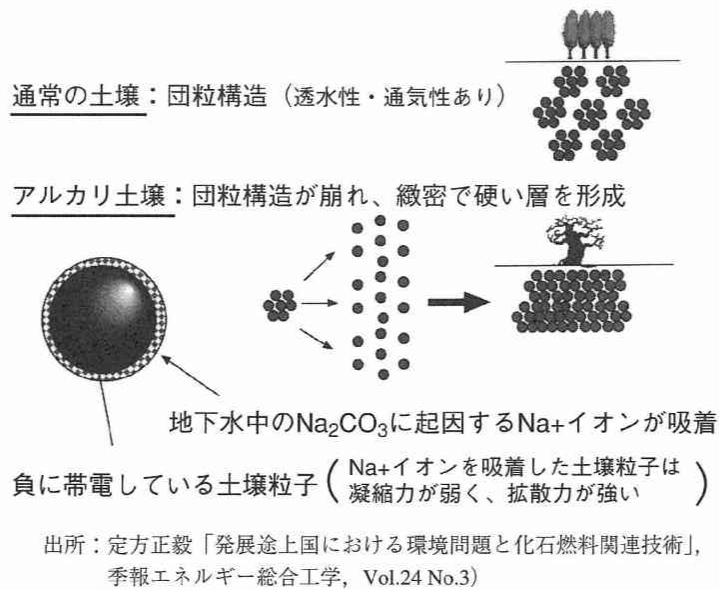


図4 土壌がアルカリ化する仕組み

位の上昇で地表まで運ばれて、地下水の蒸発で地表に蓄積され、粘土の粒子を一番小さい一次粒子の状態に分散させてしまいます。その結果、表層土が硬化して植物の生育も空気や水の浸透も阻害され、最悪の場合には真っ白な塩を吹いた不毛で侵食された平原になってしまうのです。これを直すには石膏が唯一の特効薬です。どんなにひどくアルカリ化した土壌でも、石膏のすき込みで土壌改良がで

きます。豪州のアルカリ劣化した土壌の2%が石膏によって土壌改良されていますが、その費用は毎年約35億豪ドルに上っています（同）。

〔酸性土壌〕

酸性土壌劣化は、鉄鉱石や石炭の採掘跡を埋め戻した土地で発生する硫酸酸性土壌、鉄が多くて赤褐色のフェロゾル、およびアルミ

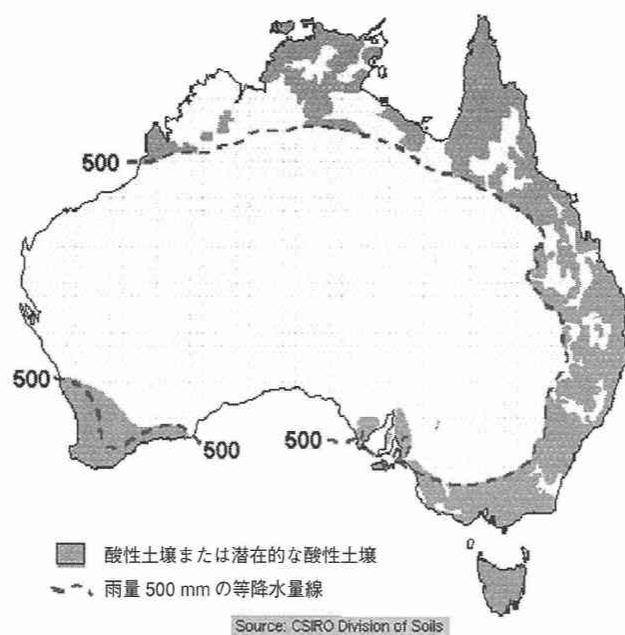


図5 豪州の農地における酸性土壌分布

が多いポドゾルの3種類が代表的なものです。また、熱帯雨林でも木を切って耕しますと土中の硫化鉄が硫酸鉄になり、硫酸酸性土壌を作ってしまう。

全豪では、50万km²がpH5.5以下、12～24万km²がpH4.8以下の酸性土壌です。この値になると酸性に弱い作物の栽培には適しません。ちなみに豪州では毎年200万トンの石灰が酸性土壌を中和するために使われていますが、将来はこれが6,600万トンに達する可能性もあるということです(UQ Prof.RogerSwift 2005)。石灰の使用コストは現在西豪州で50～110豪ドル/ha、クィーンズランド州では145～200豪ドル/haとなっています。

土壌のpHが下がるとリン酸の利用率が低下し、微生物が不活性化し、重金属の毒性が顕在化します。また、ポドゾルの場合、アルミが溶出する等によって、生物生産性も低下します(UQ Prof.RogerSwift 2005)。

コアラプロジェクトの進捗状況

アルカリ土壌の改良と植林

コアラプロジェクトでは、まずアルカリ土

壌改良に脱硫石膏がどれほど有効かを実証するために、冒頭述べた3者の共同研究として、図6のアルカリ劣化した農場(左)で1ha規模の実証植林を2000年から6年計画で始めました。2000年に植えた樹木が2005年に育った様子です。5年間で7メートル程度に成長した樹木もあり、酷いアルカリ土壌でも石膏により土壌改良できることを実証しました。

2006年からは地元のガットンという町が中心となって植林面積を9ヘクタールに拡張し、アグロフォレストリーのショーケースを作って、協同組合形式でアルカリ土壌改良を行う仕組み作りを目指すプロジェクトへと発展しようとしています。

酸性土壌の改良

[石炭灰使用への課題]

酸性土壌の改良には、石炭灰のアルカリ性を利用しようと考えています。石炭はもともと太古の植物ですから、石炭灰はそれに起源するミネラルが含まれています。しかし、日本でできた石炭灰を豪州で酸性土壌の改良に使うことについては、2つの課題があります。

1つは、そのままではわが国の法律で産業廃棄物とされていることから有害廃棄物の国境を越える移動と処分について規制する「バ

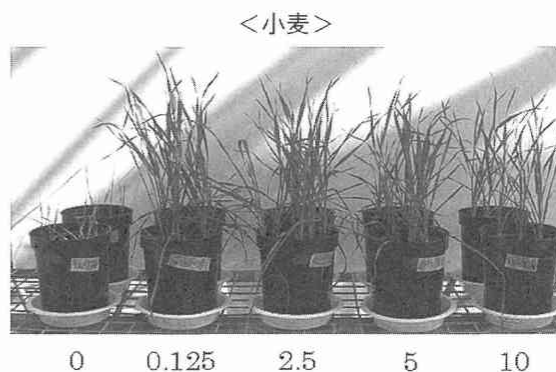
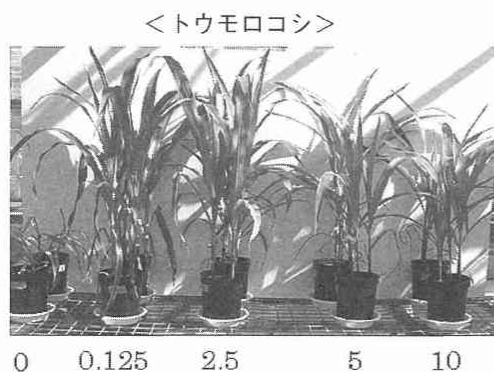


土壌改良前のアルカリ化した農場(2000年12月)



土壌改良した土地で成長した樹木(2005年10月)

図6 アルカリ土壌の改良と植林の実証研究



※数字は土に対する酸性土壌改良材の割合（重量パーセント）

図7 ポドゾルに酸性土壌改良材を入れたポット試験

ーゼル条約」に抵触して、豪州に運びこめないのではないかとことです。幸いに、バーゼル条約に関連する豪州国内法を調べたところ、大丈夫だということが分かりました。

2つ目は、石炭灰はそのままでは固まる性質があることです。そこで、固まらないよう、また重金属などが含まれていても環境に負荷を与えないよう、その溶出を抑制する添加剤を加えた「酸性土壌改良材」を㈱ミクニの協力を得て試作しました。

〔成育試験の結果〕

この酸性土壌改良材を用いて、クイーンズランド大学農学部と一緒に、アルミが多い酸性土ポドゾルに、酸性土壌改良材を入れる量を変えてポット試験を行いました。その結果、図7に示すように土壌改良効果が認められました。

また、鉄の多い酸性土フェロゾルと硫酸酸性土でもポット試験を行ってみました。フェロゾルは0%でもちゃんと生えましたが、ポドゾルと硫酸酸性土は0だとほとんど生えず、灰が80%入っている酸性土壌改良材を1.25%（重量パーセント）くらい入れるとよく育ってくれました。

〔実証植林に向けて〕

石炭灰を使った肥料が非常に効くことが実証されたので、次にフィールドで実証植林を行う計画を練っています。

本当にフィールド試験をやって大丈夫なの

か。実はコアプロジェクトと並行してインドネシアで石炭灰を使った酸性土壌改良材による酸性土壌改良実験をやってみました。

インドネシアも大変な酸性土壌問題で悩んでいます。東カリマンタンでは、1997年～1998年に大きな森林火事があり、ジャングルが広い範囲で燃えてしまいました。ジャングルというのは木を切って耕すと土中の硫化鉄が硫酸鉄になり、それが硫酸酸性土壌を作ってしまいます。その焼け跡で、図8のように、VIVOコーポレーションという日本企業が酸性土壌を中和してチーク材の植林を大変熱心に行っていますが、中和するのに石灰の代わりに私たちが試作した酸性土壌改良材を使って、2004年12月に6つの条件で10本ずつ合計60本



図8 インドネシアで成育中のチーク苗

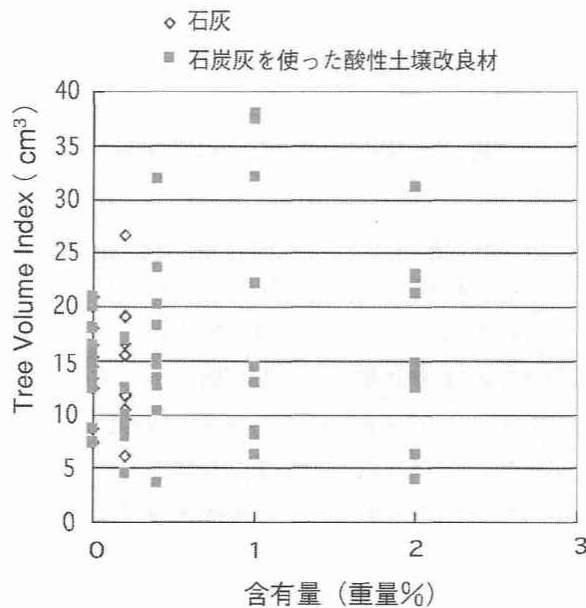


図9 チーク苗育成における施肥効果

のチーク苗を植えて育成の違いを観察しています。施肥効果を見るために、2005年11月の測定結果について、Tree volume index（樹高×直径の2乗）を石灰あるいは石炭灰肥料の混合量（重量パーセント）に対してプロットしたのが図9です。石炭灰肥料の施肥効果が見え始めています。樹木は最初根から育成するので、施肥効果が地上部分に現れるのは少なくとも一年後からということです。これから施肥効果がさらに顕著になると期待できそうです。

さいごに

求められる脱硫石膏の価格競争力

アルカリ土壌改良については、石膏が特効薬であることは広く豪州では知られています。豪州でアルカリ土壌改良に使われている石膏は天然石膏であり、価格が見合うなら、あるいはそれに匹敵するビジネスモデルが組めるなら、日本から脱硫石膏を持ち込んで事業化できる可能性があります。

図10は、クィーンズランド州ブリスベーン川上流にある市水道局が保有するダムの水源涵養林の様子です。実はこの数年、豪州は大変な渇水で、この貯水池の水位が随分下がって困っているそうです。放牧を行うために元々あった森林の伐採が進み、周囲に水源涵養林がなくなったために、水位が下がると、富栄養化が起こり水草や藻類が生えて、それが猛毒の蛋白質を出します。これが出ますと、水道水をきれいにするのに莫大な費用がかかるわけです。そのため、水源涵養林の復元がダムの水質保全上必須条件になってきましたが、まだ着手されていません。必要となる石膏の施用量は3～5トン/ha程度

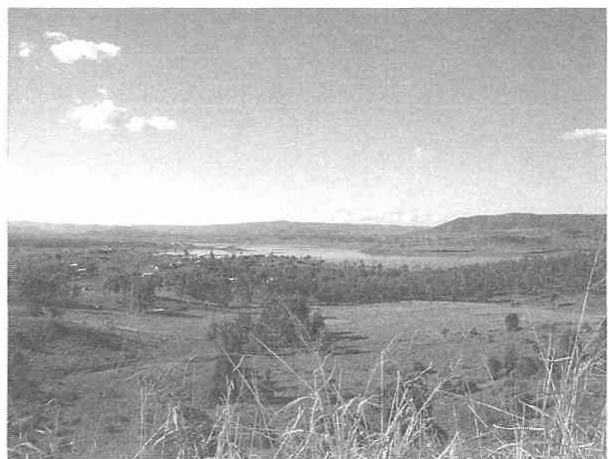


図10 ブリスベーン市水道局ダムの水源涵養林

ですし、また、水源涵養林は伐採して売上を期待する商業林ではありませんから、炭素固定に適しています。

日本全体の石炭火力発電所から排出されるCO₂を吸収するだけの森林を豪州での植林によって作り出そうとなると、2～4万km²の植林面積が必要になります。これは四国（2万km²）、あるいは九州（4万km²）と同じくらいですが、豪州の国土に重ねてみますと非常に小さい面積です。タスマニア島ですら8万km²で北海道ぐらいあります。

近い将来、豪州が国際的なCO₂排出権取引市場に参画するなら、豪州はわが国にとって補完関係をつくるパートナー候補となります。勿論、森林業者や農業経営者もアルカリ劣化を克服して生産性をあげるためには、大量の石膏が必要です。しかし、安い石膏を必要と

するのでわが国は、脱硫石膏を天然石膏よりも廉価に提供する方法と智慧が必要です。

酸性土壌改良は実証プロジェクトへ

図11は、クィーンズランド州政府林業局が植林を行っている場所ですが、pHが4くらいの酸性土壌です。植林のために、今、石灰を入れ始めているのですが、石灰よりは石炭灰の方がいいという話をしているわけです。酸性土壌改良については、石炭灰を原料にした酸性土壌改良材を用いて、豪州で実証植林を行い、その効果を検証することによって、ステークホルダーが自ずから決まり、事業化へ向って進んでいくことと期待しています。

以上です。ご静聴ありがとうございました。（拍手）



（出所：2005年5月，新田撮影）

図11 クィーンズランド州林業局の植林現場

[寄稿]

木材利用の環境的意義とエネルギー利用のあり方

外崎 真理雄 (独立行政法人 森林総合研究所
木材特性研究領域長)



1. 木材利用と炭素循環

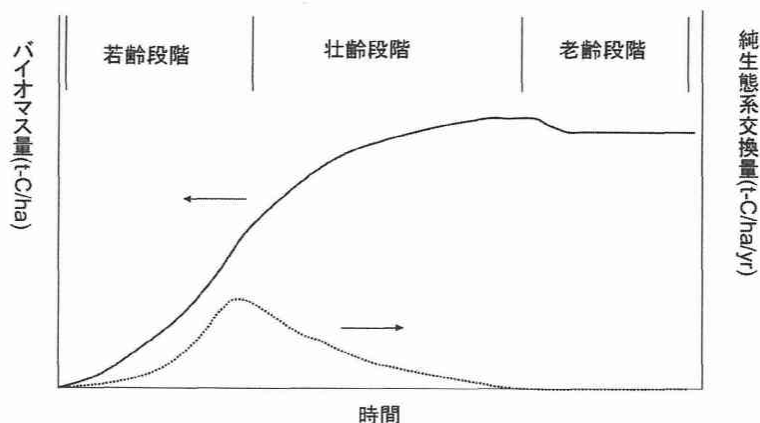
地球温暖化防止のための京都議定書の第1約束期間(2008年~2012年)を2年後に控え、わが国においても二酸化炭素(CO₂)排出削減の取り組みが急務となっている。まず指摘しておきたいのは、炭素には2種類があり、「循環する炭素」と「循環しない炭素」を混同してはいけないという点である。例えば、我々がご飯を食べて排出しているCO₂は、来年も米を作るならば水田の稲が同量を吸収する物であり、「循環する炭素」である。一方、石油・石炭・天然ガス・石灰岩など化石資源から排出される炭素は、少なくとも100年の単位では循環しないものであり、大気中のCO₂濃度を確実に上昇させるものである。

木材中の炭素は、樹木が大気中からCO₂を吸収して作った物で、米等のバイオマス資源と同様に再生産が保証されている限り、循環

する炭素であり大気中のCO₂濃度を上昇させない。ただし森林が破壊され、恒久的に農畜産地などに転換されたような場合には、面積あたりのバイオマス炭素量は桁違いに小さくなり、その分の炭素は循環しないことになってしまう。しかし、熱帯林の減少が続いているが、現在の世界全体では、森林系は森林破壊と伐採からの放出も含めた上で、炭素の排出源ではなく吸収源であるとされ、伐採される木材中の炭素は循環するものであると言える。

2. 木材利用と森林活性化

森林を構成するそれぞれの生きた樹木は光合成を行いCO₂を吸収しているが、必ずしもある森林が全体として正味で大気中のCO₂を削減しているとは限らない。図1で裸地に新たに森林が成立していく過程を考えると、若齢の間は葉



(出所：藤森隆郎ら「森林・木材資源を活用した循環型システムの構築を目指して」，林野庁，1998年)

図1 天然林の発達段階と炭素貯留

の量、すなわち光合成量も増え続け、樹体の全体量とともに毎年の正味の吸収量も増加し続ける。しかし、森林が壮齢期に入り、森林全体が葉で覆われた状態になると、光合成量はそれ以上増えないのに幹などの生きている細胞が呼吸して放出するCO₂量は樹木の生長とともに増加し、樹体の全体量は増えていくが、毎年の正味の吸収量は減り始める。老齢期に入ると競争に負けたり寿命により枯死した樹木が分解されて放出されるCO₂も加わり、生きた樹体、枯死木、土壤中などに大量の炭素を貯蔵してはいるものの、正味のCO₂吸収は無くなってしまう。ほとんどの放置された天然林はこのような状態にあると考えられる。

化石燃料の消費を減らしても大気中のCO₂濃度の上昇速度が鈍るだけである。CO₂を純減させるためには、森林面積の増加と面積あたりの蓄積量を増やすことが必要である。熱帯雨林の破壊が続く中、いわゆる「エコロジー」により森林保全が行われることを否定するものではないが、「エコノミー」すなわち木材を経済的に利用することにより林業投資を拡大し、森林破壊の目的である農畜産業への転換に対する競争力を高めることが、森林減少の流れを逆転し、増加に結びつくものになると考える。

毎年の森林生長量を下回る量の伐採を行う持続的林業では、森林蓄積を減らすことなく木材生産が行われる。例えば、針葉樹人工林では、間伐をして適切な樹木密度管理を行うことにより、正味のCO₂吸収量を高いレベルに保ったまま、100年以上に亘って面積当りの蓄積量を増やし続けられる事が最近の研究から分かってきている。

3. 木材利用の炭素貯蔵効果

これまで述べてきたように、持続的林業から得られる木材は循環する炭素である。伐採してすぐに燃料としてCO₂排出を行っても大気中の濃度上昇にはならない。それではこの木材を例えば建築物として長期間使用したらどうなるの

か。建築物中の木材炭素は大気に戻らず、木材生産林では毎年の正味のCO₂吸収が続いている。従って、その分の炭素は大気中から取り除かれていることになるわけである。例えば非現実的な話ではあるが、米を食べてCO₂とせずに、倉庫に古米をどんどん備蓄していくとCO₂削減になるのと同じである。

注意すべきはフロー量がいくら多くとも削減とはならず、あくまでストック量が増加した時点で削減となるということである。逆に、ストック量が減少した場合は、森林破壊と同様にCO₂排出となる。

京都議定書第1約束期間では、伐採木材製品ストック量は長中期的に増減せず、すなわち伐採されて森林から出てくる木材炭素量と、加工残材や古いストックの廃棄などによりCO₂排出となる量は等しく、伐採時に即時のCO₂排出が為されたとすることになる。炭素貯蔵効果は評価されず、後述の伐採木材製品評価手法においては、デフォルト法と呼ばれるものが採用される。

しかし、現実には世界の木材製品炭素貯蔵量は増え続けており、近年その増加量は1年あたり6,000万炭素トンと推計され、地球の炭素フローに対し無視できない値であることが指摘されている。日本については後述する。

そこで、2013年以降の削減約束に係わる森林吸収源評価においては、伐採木材製品炭素も含めた「フルカーボンアカウンティング」とする流れになっており、木材利用の炭素貯蔵効果が評価対象になりそうである。

4. 伐採木材製品評価手法

木材は動かない森林と異なり、世界の用材生産量の3分の1にあたる木材製品が国際商品として貿易されている。この貿易された木材製品の炭素量をどの国の削減勘定とするかについて、図2に示すように、システム境界が異なる3つの評価手法が提案されている。

「蓄積変化法」はある国の国境内にある森林と

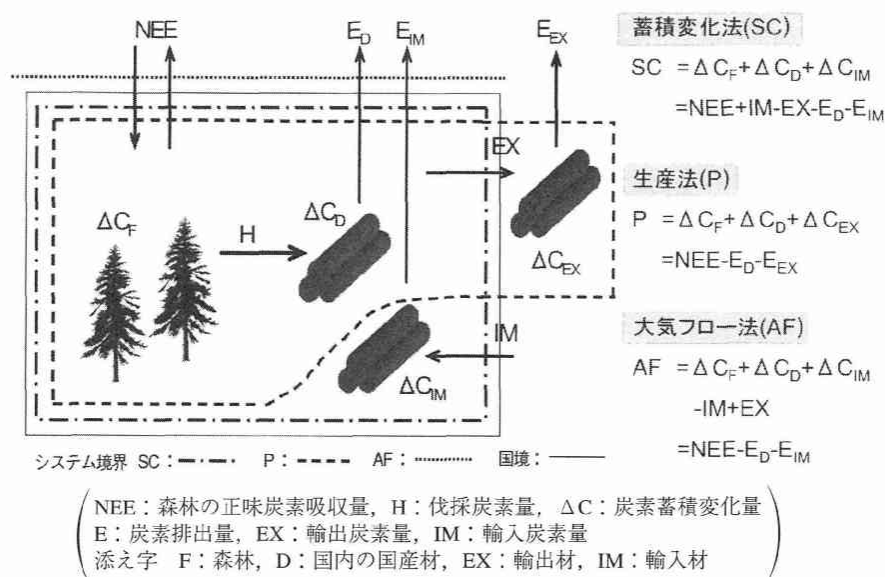


図2 伐採木材の3評価手法

木材製品の蓄積変化を、国産材・輸入材由来を問わず評価するというものである。「生産法」はある国の森林とそこから生産された木材製品の蓄積変化、あるいはそれに伴う炭素吸収・排出を評価するものである。「大気フロー法」はある国における森林と木材利用に伴う吸収・排出を評価するものである。

どの手法が採用されようとも、世界中の全部の国々の評価結果の総計値は同じになるはずである。また貿易が全くない場合は3手法とも同じ結果となる。

どの手法を選択するかにより、木材輸出国

と輸入国では炭素勘定が大きく異なることになる。これは各国の林業・木材産業政策に影響し、大きな政治的事案である。現在、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)では『2006年国別温室効果ガス目録ガイドライン』が採択され、2013年以降の伐採木材製品炭素貯蔵評価に用いられることになるが、3手法については中立的な記述が守られ、それぞれの算出方式が示されている。

わが国独自方式によって推計された日本の2002年の評価結果は、「蓄積変化法」では211万炭素トンの吸収、「生産法」で59万炭素トン

表1 伐採木材製品に関するデータ試算(2002年)

(単位:1000t-C)

	ストック総量		ストック変化量	国産材率	試算値		
	2002年	2003年			ストック	プロダクション	フロー
伐採木材炭素量	222,547	224,656	2,110	-	2,110	590	2,110
建築部門	178,901	180,124	1,223	0.37	1,223	448	1,223
家具・建具部門	14,806	14,909	103	0.25	103	26	103
パレット・梱包部門	4,859	4,768	-91	-	-91	-	-91
トラック・バス部門	474	462	-12	-	-12	-	-12
紙部門	23,507	24,393	886	0.13	886	116	886
(参考)埋立地部門	(11,027)	(10,801)	(-226)	-	(-226)	-	(-226)
木材輸出量(E)					-	-	1,214
木材輸入量(I)					-	-	14,820
各手法の吸収量					2,110	590	-11,497

の吸収、「大気フロー法」だと1,150万炭素トンの排出となった。「生産法」の結果は、用いた寿命解析モデルの限界により非常に誤差が大きいと考えられる。「蓄積変化法」ではかなりの吸収と評価されるが、「大気フロー法」では第1約束期間の森林吸収上限値1,300万炭素トンに匹敵する排出が付けられてしまうことになる。

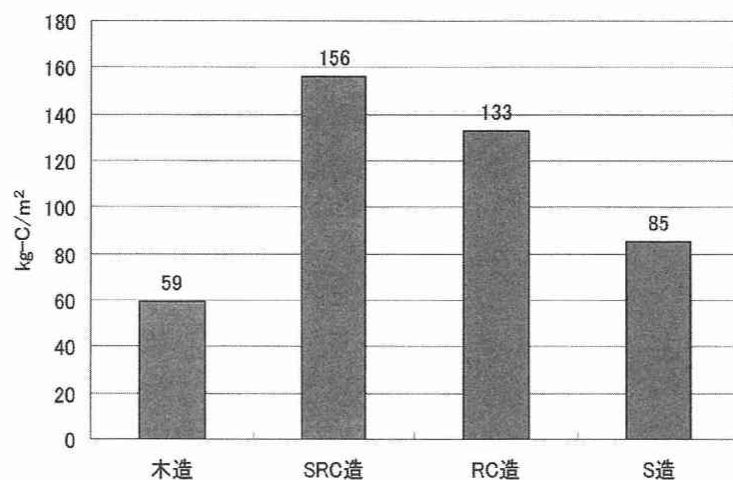
「大気フロー法」が採用された場合、日本国内で排出される全木材由来の炭素は、定義上、循環しない化石資源と同じ炭素排出とされる。紙パルプ製造および建築等最終製品になる際の木材炭素歩留まりは5割程度であり、半分は黒液や残材として炭素排出になる。「大気フロー法」ではこれらが日本の排出となるため、例え国産材であっても丸太で輸出して、紙・製材品として再輸入し、残材からの排出を他国に付けた方が有利となる。また、輸入材については循環する炭素のカーボンニュートラル性は失われ、効率が低い木材のエネルギー利用は、化石燃料と炭素で等価なため、炭素収支の有利さは全くなくなる。「蓄積変化法」では、蓄積変化のみが評価結果となるため、排出分は無関係である。「生産法」では輸入材によって日本国内の木材炭素ストックを増やすインセンティブが全く働かないため、ストック量を増やせない。また、「蓄積変化法」

では輸入国は木材ストックを輸入材でも増やそうとし、輸出国は持続的林業なら排出にはならないものの炭素クレジットが得られないため輸出を渋り、という需要と供給の関係から、他の評価手法が採用された場合と比べて、木材の材価は最も上昇すると考えられている。これは世界の林業投資が増えるだけでなく、日本の林業にとっても国産材の価格競争力が増すことになり、大きな追い風になりうる。

5. 木材利用の省エネ効果

木材製品はパルプ蒸解・木質ボード類のホットプレス・製材の人工乾燥など全て200℃台以下の温度で作られる。1000℃のオーダーで製造される鉄やセメントや窯業製品、ナフサのクラッキングに800℃近い温度を要するプラスチックなどに比べて、木材製品が省エネ的なことは明らかである。これらエネルギー集約的な材料を木材製品が代替した場合、製造エネルギーの差の分だけCO₂を削減したことになる。

木材製品需要の主要なものである建築物では、木造は鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）造、鉄筋コンクリート（RC）造、鉄骨（S）造などに比べ、省エネ的である。各種建築工法の炭素排出量原単位の比較を図3に示す。省エネ効果の大きさを理解してもらうために、仮に過去に



（出所：酒井寛二，漆崎昇，中原智哉「建築資材製造時の二酸化炭素排出量経時変化と土木分野への影響」，環境システム研究，Vol.25，525-532，1997年）

図3 各種建築工法の炭素排出量原単位

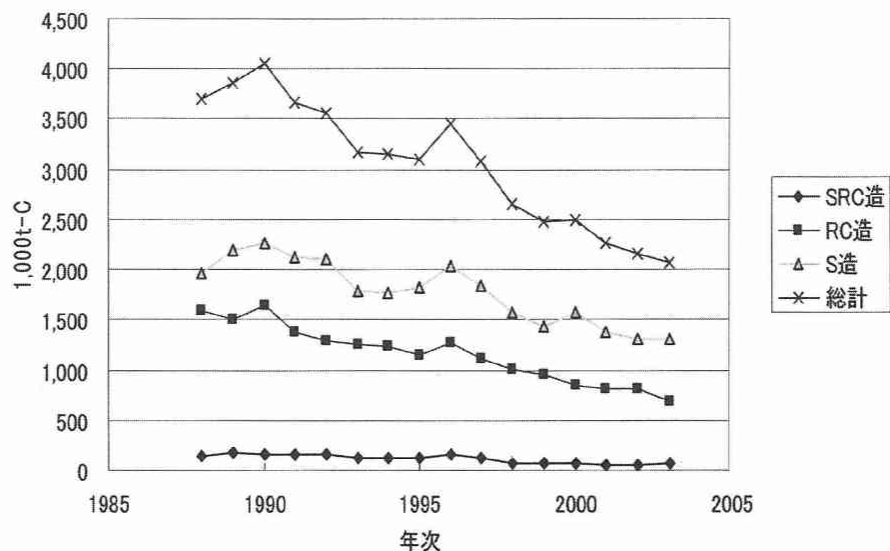


図4 3階以下木造代替による省エネ効果

建てられた他工法建築物の内、法的に木造で建築可能な3階建て以下の物を全て木造で建てていたら、どのくらいCO₂を排出しないで済んだのか推計してみると、図4に示すように、基準年1990年排出量の1%分程度の削減効果はあることが分かる。

この省エネ効果は、エネルギー部門の排出削減という形で第1約束期間でも評価されるものであり、木材のできる物は木材を使うことが有効である。

6. 木材利用の化石燃料代替効果

化石燃料代替効果は、「循環する炭素」である木材のエネルギー利用により、CO₂濃度を上昇させる化石燃料の使用量を削減することにより生ずる。例えば木材のエネルギー効率が低くて単位エネルギーあたりのCO₂排出が多くとも温暖化防止となるというものである。この効果は、木材ライフサイクルの全ての部分で有効である。すなわち伐採してすぐに燃やしても、製材品などの製造残材でも、建築解体材などの使用済み製品廃材でも、パーティクルボードなどリサイクル製品がさらに廃棄される時点でも、ということである。

わが国において木材のエネルギー利用を考

える場合、まず、図5に示すような資源フローを把握することが必須である。また、そこで最も重要なものは残廃材の流れである。「循環型社会形成基本法」「地球温暖化対策推進大綱」などを背景に「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)などが作られたが、木材のエネルギー利用促進に十分寄与しているとは言い難い。先進諸国で既に導入され、循環する炭素のエネルギーコスト競争力を高める「炭素税」等のフォローもない現状では、石油等の化石燃料と木質燃料は純粋にコストの面で戦うしかない。産油国がどのようなエネルギー戦略をとろうとも、価格をゼロにすることはあり得ない。しかし、製材など木材一次製品の製造残材は、ほとんどのコストが主製品に吸収され、建築解体材など木材利用部門からの残廃材は、廃棄物処理と言うことで逆有償であるなど、確実に化石燃料に勝てる物である。

7. 残廃材資源

日本の林業コスト構造は、パルプチップ用の低質材の伐採もほとんど行えないような状況であり、「山から出てこられる」のは製材・合板用の高価格丸太のみである。例えば切り

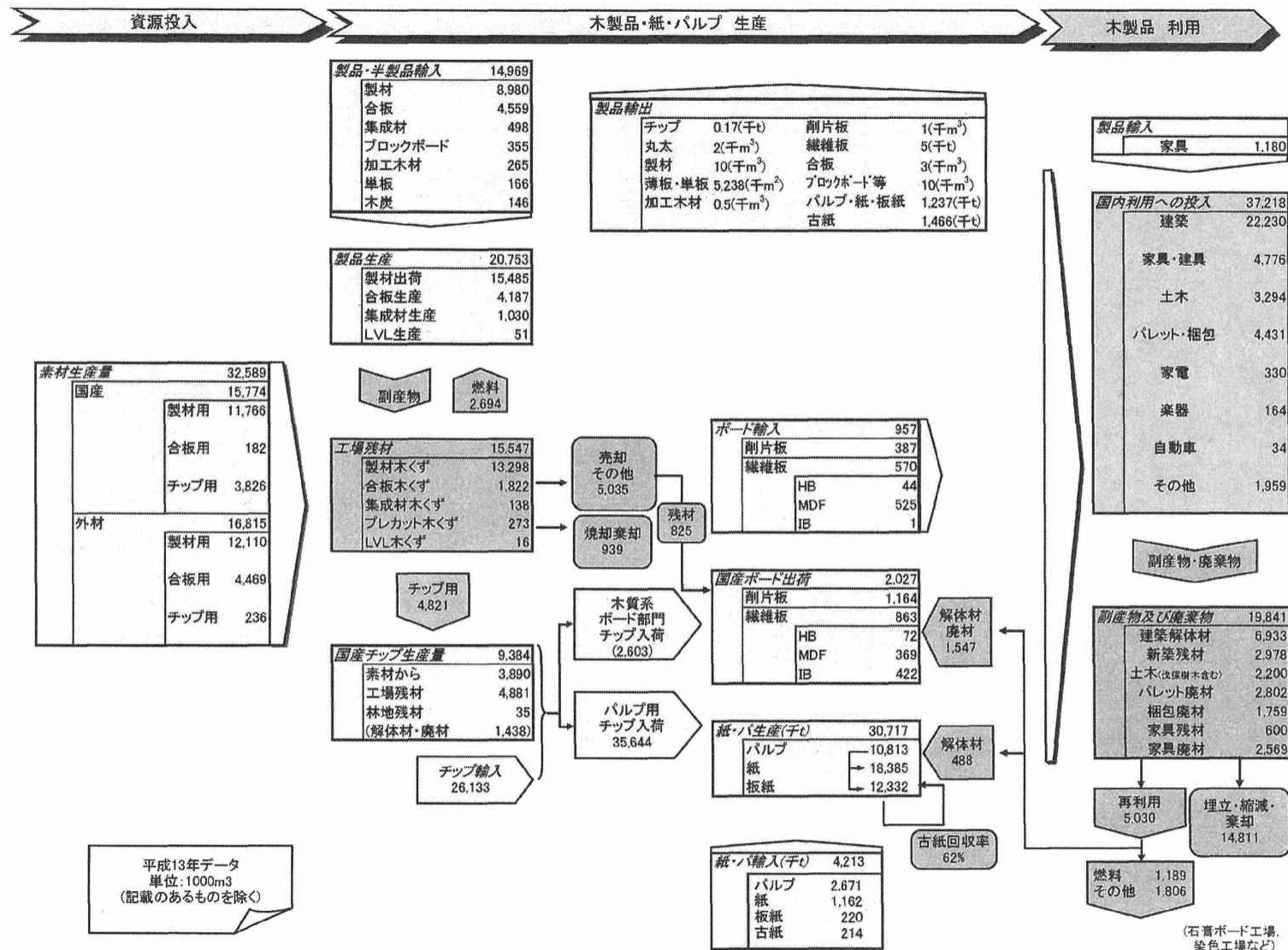


図5 わが国木材資源フロー

捨て間伐材は幹材積で年間900万 m^3 程度と推計され、林地で無駄に腐朽したり、豪雨で流出し被害を与えたりしている。なぜこうなるかを考察してみる。ヘクタールあたり50 m^3 の間伐を行うとする。伐倒費用は3,000円/ m^3 、50 m^3 で15万円となる。間伐補助金を16万円/haとすると、切り倒すだけならかろうじて1万円の黒字となる。ところが、伐倒に加え間伐材を林道端まで集材し工場まで運送すると1万円/ m^3 、50 m^3 で50万円かかり、補助金を引いて工場渡しで34万円のコストとなり、6,800円/ m^3 以上で買ってくれないと赤字になる。製材用丸太は8,000円/ m^3 、50 m^3 で40万円となり、6万円の儲けであるが、パルプチップ用では3,000円/ m^3 、50 m^3 で15万円となり、19万円の赤字である。皆伐ならば少しは費用が安くなるものの、純粋に燃料用としての伐採は非現実的であろう。

製材等からの木材工業残材は、自家燃料・チップ用など、94%程度は何らかの再資源化が既に行われており、樹皮等を主として約90万 m^3 が新たなエネルギー利用可能量と推定される。一方、建築など木材利用部門からの残廃材は、2001年時点では、把握しきれなかった物も含め1,500万 m^3 以上が無駄に焼棄却されていたと考えられる。しかし、2002年に「建設リサイクル法」が完全施行され、分別解体とマニフェスト管理により、良質の建築系残廃材が再資源化ルートを通るようになった結果、2000年には縮減を除く再資源化率が38%であったとされるが、2002年の調査では建設発生木材の再資源化率が61%と大きく伸びている。温暖化防止や原油高を背景に、これまでの製紙・ボード工業だけでなく、鉄鋼・セメントなど多くの工業が、残廃材チップの燃料利用を計画し

ており、木屑が足りなくなる事態も心配されるほどになりつつある。また日本の古紙利用率は70%に近づいているが、回収可能で原料化もできるのに数百万トンの紙が廃棄されるとされ、再資源化の余地はまだある。

8. エネルギー利用のあり方

残廃材は、まず省資源のためのマテリアルリサイクルをすることが重要である。伐採されて出てくる幹材1に対し、枝・梢・葉・根を含む樹体は1.7である。また、幹材からの例えば製材歩留まりは半分程度である。すなわち、木材製品ストックとなる炭素は樹木バイオマス炭素の3割程度となる。森林が成長過程にあるならば、省資源により山で炭素蓄積を増やしておく方が効率が良いわけである。

例えば、建築解体材の内、太い柱梁材はまず軸材料として、次にパルプ用・木質ボード用としてリサイクルすべきである。エネルギー利用するのは、廃ボード類や塗料・接着剤を含みパルプチップ用にならない物、回収コストが合わない古紙などとするが、それでも量的には残廃材発生量の半分以上はあるだろう。

燃料用チップは安く嵩高いため、運送コストが掛けられない。従って、エネルギー利用技術としては小規模分散型でなるべく高効率なものが求められる。

木材利用による CO_2 排出削減のためには、まず需要の拡大を図ることが重要である。ストック増加による炭素貯蔵効果に加え、拡大の過程で木材代替による省エネ効果が働き、残廃材フローが大きくなることにより化石燃料代替効果も大きくなるのである。

[寄稿]

自動車用燃料におけるバイオマス利用

斎藤 健一郎 (新日本石油株式会社 研究開発本部
開発部 燃料技術室 室長)



1. はじめに

持続可能な自動車用燃料には、「供給安定性 (Energy Security)」, 「環境適合性 (Environment Protection)」 および「経済性 (Economic Efficiency)」のいわゆる「3E」を満足することが求められる。ここ数十年、自動車用燃料は、供給性と経済性に優れた原油を材料として、環境適合性(排気ガス低減)に資することを目的に開発が進められてきた。しかし、サルファーフリー化によって排ガス問題対応がほぼ終了する一方、原油高騰・地球温暖化問題を背景に、取り組むべき課題は、供給安定性(資源の多様化)と環境適合性(CO₂削減)へとシフトしてきている(図1参照)。

バイオマス燃料の導入は、その解決の手法として期待を集めており、欧米での利用が進

む一方、つい先頃も石油連盟より2010年のわが国におけるバイオETBE(エチルターシャリーブチルエーテル)の導入目標が発表されたところである。しかしながら、バイオマス起源の燃料は原油起源の燃料とは科学特性が異なるために、利用に際しては一定の注意が必要であると共に、資源量についても食糧と絡んで複雑な問題をはらんでいる。本稿では、資源を持たないわが国において、バイオマス燃料を円滑に導入するための課題と、その検討状況を概観する。

2. 技術課題

① ガソリン車用バイオマス燃料(エタノール・ETBE)

ガソリン車用バイオマス燃料の候補であるバ

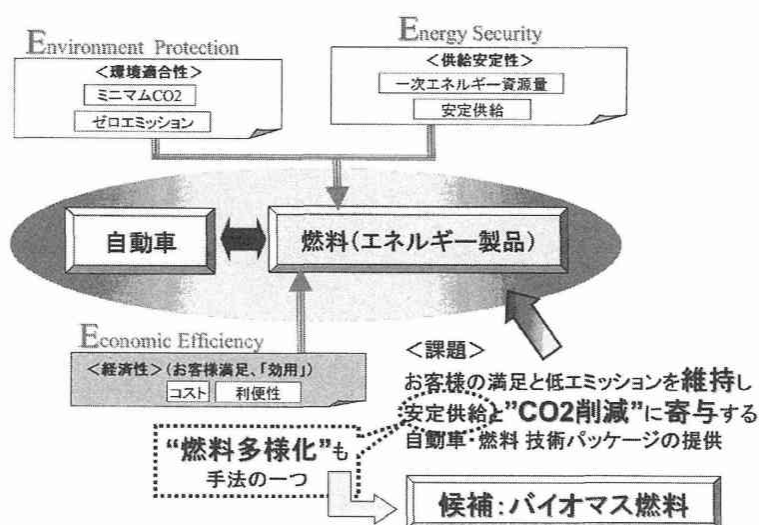


図1 自動車・燃料の課題とバイオマス燃料

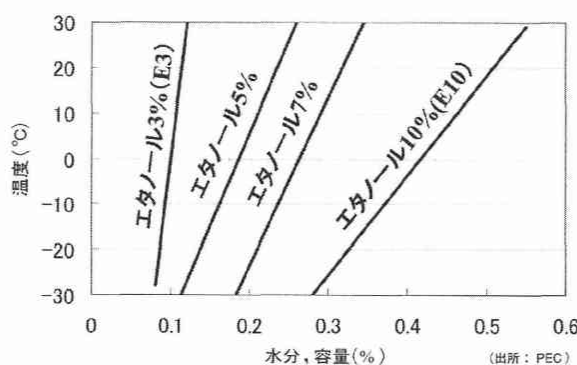


図2 エタノール混合ガソリンの水分混入量と相分離

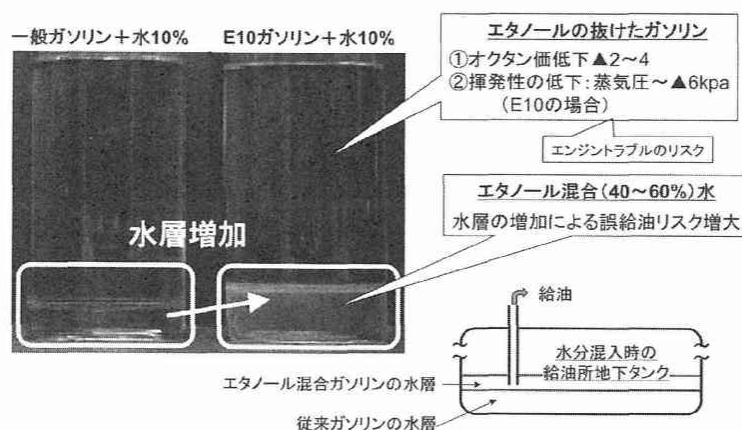


図3 相分離とトラブルリスク

イオエタノールには、そのまま直接混合する方法と、ETBEに変換してから混合する方法の2つがある。このうちの直接混合には、大きく、(a) 水分、(b) 蒸発ガスの技術課題がある。

[エタノール直接混合－水分の課題]

エタノールは水との相溶性があるため、漏洩事故による水質汚濁の懸念がある。これへの対策として、消防庁からE3（エタノール3%混合ガソリン）を取り扱う給油所における、地下タンク（二重殻化等）や緊急遮断弁設置などの指針が示されている。

また、水に溶けるエタノールと水に溶けないガソリンとの混合物（例えばE10）に、水分が混入すると「相分離」を起こし（図2参照）、E10中のエタノールが水層に移行する。図3に「相分離」の様子を示す。分離後の上層部はエタノールが抜けたガソリンとなるため、オクタン価・蒸気圧が低下し、給油された場合に

はエンジントラブルのリスクがある。一方、下層はエタノール混合（40～60%）水となるが、水層が増加するためにエタノール混合水を誤って給油するリスクが発生する。

こうした水分によるトラブルを防ぐために、① 水分混入のリスク低減、② 給油所の徹底した水分管理、の対策を取る必要がある。

給油所の水分管理では、具体的にはエタノール混合ガソリン導入時の徹底した清掃と、導入後の定期的な水分チェックが必要となる。特に、導入直後にトラブル発生の多いことが米国等で報告されており、注意が必要である。

一方、水分の混入リスク低減のために海外で行われているのは、「ローリー積み込み時のエタノールブレンド出荷」である。従来の流通方法との違いを図4に示す。これにより水分混入の可能性は低減されるが、品質保証上の問題は残る。現行ガソリンでは製油所で最終製品の品質確認をしたうえで出荷している

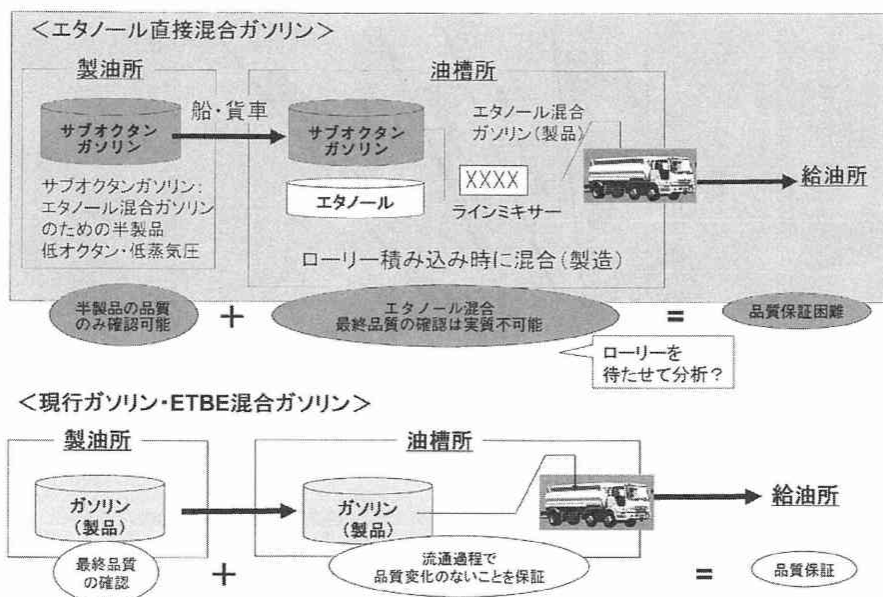


図4 エタノール混合ガソリンの水分対策と品質管理

が、E3 ガソリンは積み込み時ブレンドのため、品質確保法で定められている「供給者による最終品質の確認」が極めて困難になる。供給者による品質確認が無い場合は、給油所での10日に1度のサンプリング確認が必要となり、販売業者に負担を強いることになる。供給者は品質管理に最善を尽くすとともに、最終品質の確認については、消費者に理解を得た上で、何らかの運用方法の変更が必要と思われる。

[エタノール直接混合－蒸発ガスの課題]

エタノールそのものは蒸気圧の低い物質であるが、ガソリンに3～10%混合すると、混合前

に比較して約7kPa蒸気圧を上昇させ、それにより発生する蒸発ガスは光化学オキシダント発生の原因となる。オキシダントの環境基準がほとんど達成されていない現状においては、蒸発ガスの発生は極力抑えなければならない。

また、エタノールは一部の部材を透過する性質を持っており、その透過（パーミエーション）による蒸発ガスの増加もカリフォルニア州で指摘されている（図5参照）。何らかの自動車側での対策が必要であろう。

[エタノール直接混合－その他]

エタノールはアルミニウムに対して、腐食性を持つために、品質確保法ではエタノール

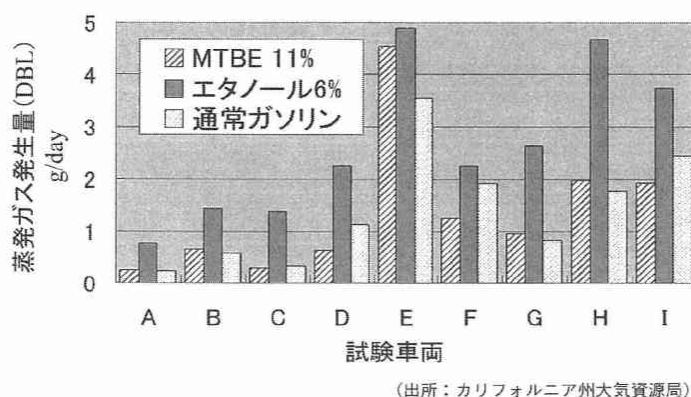


図5 染み出しによる蒸発ガスの増加

の混合上限を3%と定めている。3%を超えるエタノールを混合するためには対策車が必要となるが、現在の国内における対策車の割合は不明であり、ただちに新車すべてを対策車に切り替えても、入れ替わりには10年程度かかることになる。

一方、排気ガスに関しては、エタノール混合により窒素酸化物（NOx）は増加傾向となる。E3レベルであれば大きな影響は無く特に問題とはならないが、3%を超えるレベルを混合する場合には、世界一厳しい日本の排出ガス規制と照らし合わせて、そのインパクトを精査する必要があると考えられる。

[ETBE—健康リスク]

「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」（化審法）の新規化学物質の登録審査において、ETBEは第二種監視化学物質と判定された。第二種監視化学物質には、現在865物質が登録されており、輸入・製造実績の報告が義務付けられている（使用制限は無し）。化学物質は、程度の大小はあるものの、全てが人への健康影響の可能性を有しており、適正な管理^{*}のもとに流通・使用することが必要である。

ETBEの使用実績のある欧州では、全ての化学品についてリスクとリスク管理方法を評価・登録をして正しく使用しようというシス

テム（REACH：the Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals）が動き始めている。日本の石油業界では、こうした国際的な動きにも合わせて、関係省庁の指導を得ながら、ETBEについてのリスク評価と、それを踏まえた管理方法の策定に取り組んでいるところである。この取組みは、こうした化学品の管理方法としては、国内で先鞭をつけるものである。

② ディーゼル車用バイオマス燃料

ディーゼル車用バイオマス燃料の候補には

① FAME（脂肪酸エステル）、②水素化植物油、③ BTL（Bio To Liquid）の3種類がある（図6参照）。水素化植物油とBTLは、基本的には現状の軽油と同じ成分から成るため、大きな品質問題はないが、FAMEについては種々の品質課題が指摘されている。

[FAME—品質の課題]

FAMEでは図7に示す品質課題について検討が行われ、先頃の経済産業省燃料政策小委員会にて、FAME混合軽油についての品質確保法における規格案が承認されたところである。規格では、FAMEの混合上限を実質5%以下として、併せて酸価、酸化安定性やトリグリセライドも規格化された。本規格は今年度中には施行される見込みとのことであるが、

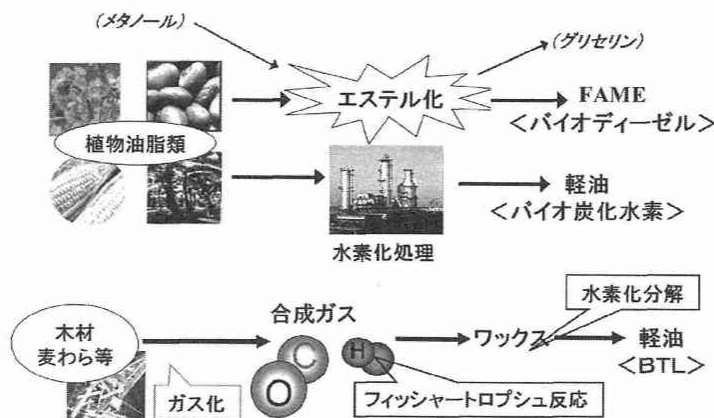


図6 ディーゼル車用バイオマス燃料

^{*}例えば、先頃、経済産業省および関係各省から発表された「化学品の分類及び表示に関する世界調和システム」（The Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals）の分類では、ガソリン・軽油については発ガン性の疑い、エタノールについては変異原性・生殖毒性の疑い等の警告が表示されている。

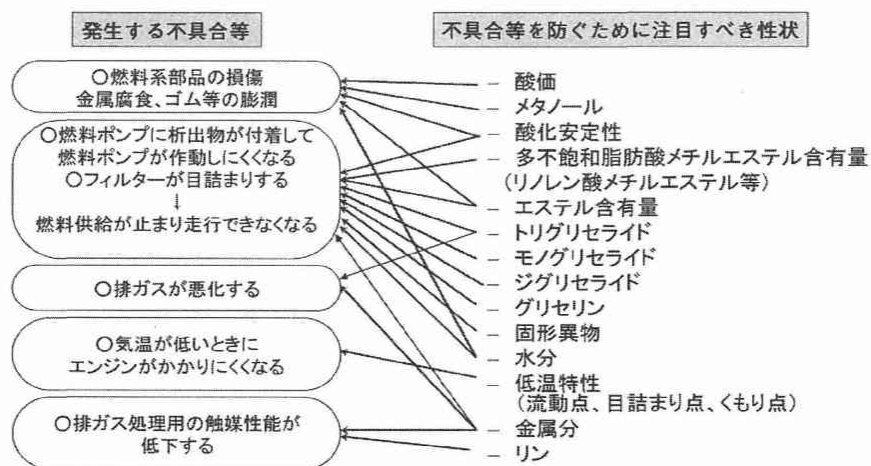


図7 FAME規格検討項目と実用性能

併せて混合に用いるニートFAMEについても規格化の方向で検討が進められている。

本規格の制定により、規格に適合したFAME混合軽油が供給されれば、品質トラブルは回避できる。しかしながら、検討途中で明らかとなった酸化安定性の問題は、流通過程での品質劣化懸念を示すものであり、従来軽油以上に厳しい品質管理を求められる可能性がある。その検証のために、FAME混合軽油の流通実証試験が経済産業省により計画されているところである。

[水素化植物油・BTL一品質の課題]

両者ともに、炭化水素の形であるために、従来の軽油と同等の取り扱いが可能である上、サルファーゼロという品質メリットもある。あえて課題となると、n-パラフィンが主体と

なるため、単独では低温流動性に欠けるという点である。しかし、従来軽油と混合して所定の低温性能を持たせることは容易であり、また、異性化プロセスにより、それ自体の低温性能を向上させることも可能である。

3. 供給・経済性

① ガソリン車用バイオマス燃料

[エタノール、ETBEの原料エタノール]

現在、大量のエタノールを供給する余力を持っているのは、ブラジルだけである。従って、石油業界が目標として取組んでいる「2010年に原油換算21万klのバイオエタノール利用（ETBEに変換して利用、エタノール換算として36万kl）」の達成には、ブラジルからの輸入が必須であろう。一方、ブラジルは図8

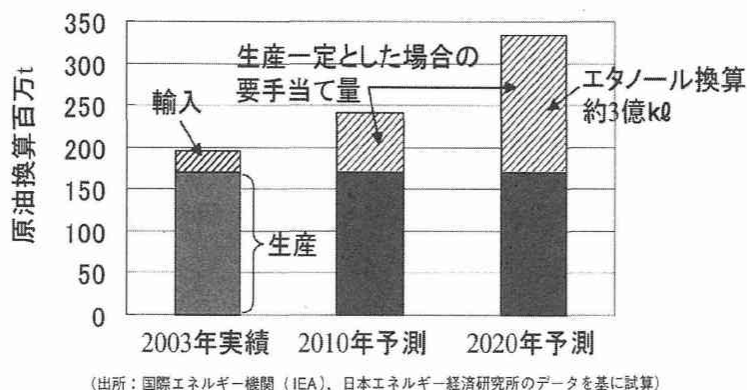


図8 ブラジルのエネルギー需要予測

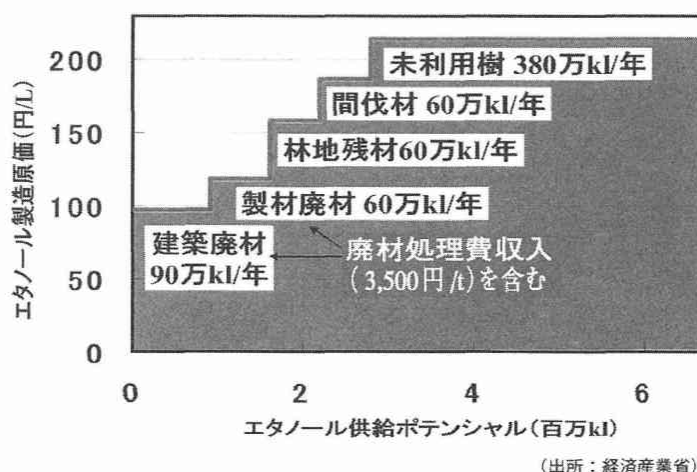


図9 国内木質系エタノールのポテンシャル

に示すように経済成長に伴う大幅なエネルギー需要の増加が見込まれているうえに、エタノール100%で走行可能なフレキシブル・フューエル・ビークル（FFV）の急激な浸透によりエタノールの国内需要も2010年には倍増が予測されている。これに、最近の原油高を考え合わせると、ブラジルの将来のエタノール輸出余力は不透明と言わざるを得ない。その予測のもとでは、日本での過度にエタノールに依存したエネルギー供給体制は、本来の狙いとは逆にエネルギーセキュリティ上の問題になる危惧がある。なお、現在の原油の価格レベルは、エタノールの供給コストを上回っているが、エタノール（更にそれにリンクして砂糖）の取引価格はエネルギーとして評価され原油価格と連動した動きとなっている。そのため購買側であるわが国においては、依然割高なエネルギーである。

一方、国産エタノールに目を向けると、種々の供給可能性はあるものの、量的なポテンシャルは小さくコストも現状では高いため、エネルギーの供給安定性に資するとは言えない状況にある（図9参照）。しかしながら、“国産エネルギー”は例え少量であっても、資源極小国であるわが国において意義は大きい。長期的な視点でのポテンシャル掘り起こしと技術開発に取組むべきである。

〔ETBEの原料イソブテン〕

ETBEはエタノールとイソブテン（LPG相当）の化合物である。イソブテンは主に製油所のFCC（接触分解装置）の副産物として得られるものであり、国内ではETBE145万ℓ生産可能なイソブテンが入手可能である。更に、現在研究開発が進められている高分解型FCCが導入されれば、イソブテンの入手性は2～3倍程度になる。それ以上にイソブテンを入手するには、原料LPGを輸入、脱水素・異性化によって新たに製造する必要があるが、一方の原料であるエタノールの供給性を考えると、そこまでの必要性は無いものと思われる。

② ディーゼル車用バイオマス燃料

ディーゼル車用バイオマス燃料の原料となる植物油は、欧州では菜種が、米国・ブラジルでは大豆が使われている。これらの地域では、自国消費に回すために生産が行われているため、わが国への供給を考えた場合には、東南アジア地区で生産の盛んなパーム油が第一候補となる。ココナッツ、ヤトロファ（珊瑚油桐）等も、最近では候補として注目を集めている。図10に示すとおり、マレーシア等では大量のパーム油が生産されているが、殆どが食糧用途であり、あらたに燃料用として対象とするには、増産ポテンシャルと増産による環境影響の評価を実施したうえで判断する必要があるだろう。

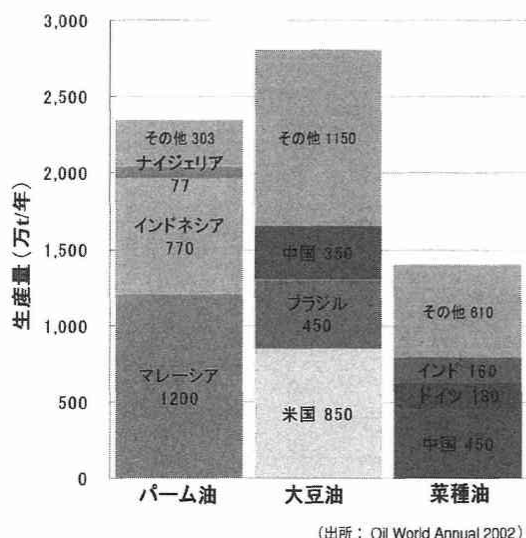


図10 世界の植物油脂生産量 (実績)

一方、バイオディーゼルのコストはエタノール以上に高く、欧州でも40～60円/ℓの税制優遇によって経済性が成り立っている状況にある。わが国においても、普及を図ろうとするには、こうした制度は必須となろう。

なお、国内ではすでに一部で廃食用油によるバイオディーゼルが生産されているが、これは、その資源量が極めて限られていることから「エネルギー問題」とは別の切り口から論じられるべきものであると思われる。

3. CO₂削減効果について

次に、バイオマス燃料導入のもう1つの意義であるCO₂削減について、いくつかの論点に触れてみたい。

[WTWのCO₂削減効果]

WTW (Well to Wheel=井戸元から車輪まで) のCO₂削減効果の試算例を図11に示す。原料によってCO₂削減効果がかなり異なる。サトウキビでは名実ともになんか「カーボンニュートラル」に近いのに対し、とうもろこしでは、作付け、収穫、エタノール製造までの工程で投入するエネルギー量が多いことから、試算によっては、ガソリンよりCO₂発生が多いとされている。このとうもろこし原料エタノールでのCO₂削減効果については、最近でも米国で大きな議論となっており、そうした背景もあって、確実にCO₂削減が期待できるセルロース系エタノールの開発技術が注目されているものと思われる。いずれにしても、バイオマス=カーボンニュートラルをそのままカウントしたのでは、期待通りのCO₂削減効果は得られない。真の実力について議論を深めると共に、CO₂削減は最も確実な省エネルギーで積み上げていき、バイオマス

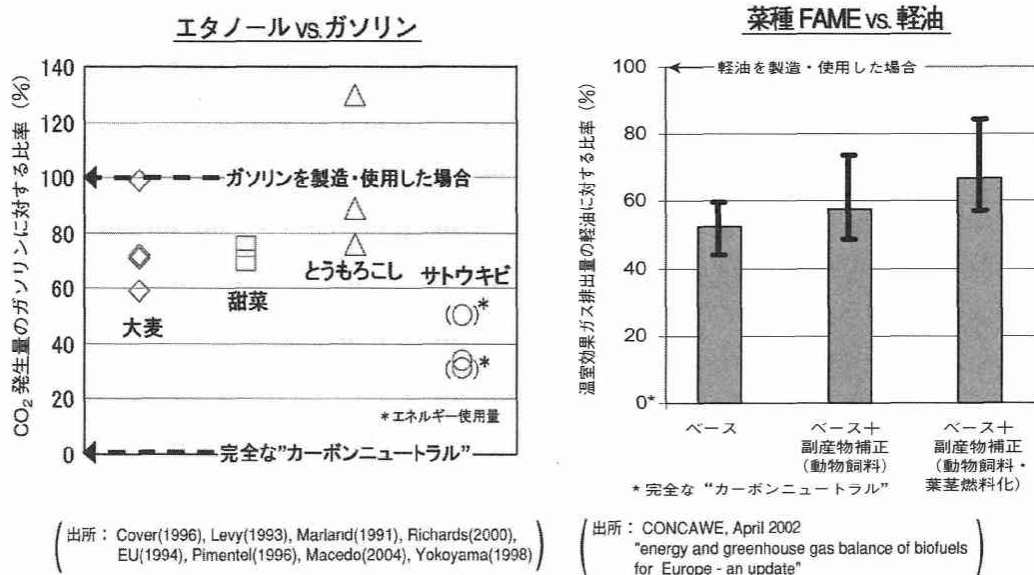


図11 エネルギー当り温室効果ガスの発生量試算例

表1 E3, ETBE混合ガソリンの製造～燃焼時CO₂発生量の比較

	g/MJ		
	製造	燃焼	合計
ETBE 7 % (FCCイソブテン原料)	10.16	71.15	81.31
ETBE 7 % (輸入LPG原料)	10.51	71.15	81.66
E 3	9.71	71.99	81.70

注) E3, ETBE 7 %は共にエタノールとして3 %を使用。

は当面、エネルギーの多様化という観点から捉えていくほうが間違いないと思われる。

一方、国産と輸入という比較でWTWのCO₂削減効果を考えてみる。国産エタノールを使う場合は、生産地から消費地までの距離が短いために、輸送のためのエネルギー消費は少ないが、輸入エタノールの場合は輸送のために大きなエネルギー、つまりCO₂排出を伴うことになる。つまり、バイオマス利用に際して論じられる「地産地消」という考え方は、国際的にもCO₂削減に資するものである。その意味ではエタノール大生産地であるブラジルでFFVが導入され、自国で多くのエタノールを消費するというのは、地球規模でのCO₂削減には、最も効果的な利用法と言える。

〔使用方法によるCO₂削減効果の差〕

同じエタノールでも、直接混合とETBEという2つの使い方がある。その比較の試算例を表1に示す。ETBEは製造時にCO₂を発生する点では、直接混合に対して不利である。一方、ETBEはガソリン製品とする場合に、エタノール直接混合よりも、より多くのLPG (=低カーボン燃料) を利用でき、芳香族 (=高カーボン燃料) を削減できるという利点がある。以上を全てあわせてWTWのCO₂排出を評価すると、本試算結果ではETBEとして利用したほ

うが、エタノール直接混合よりもWTWのCO₂排出が少ない、と見込まれる。

ディーゼル車用バイオマスでは、同じ植物油からFAMEと水素化という2つの使い方がある。水素化ではCO₂の排出を伴う一方、FAMEでは製造に必要なメタノール製造や、副製品であるグリセリンのCO₂カウントによって、その評価が異なってくるものと思われる。

4. 終わりに

資源の多様化とCO₂削減への期待を担うバイオマス燃料について、その円滑な導入に必要な技術、供給性、経済性そしてCO₂削減効果について考察してきたが、もう一点、忘れてはならないのは食糧問題である。バイオマス資源の殆どは食料としても適用できるものである。アフリカを中心とした多くの国々が飢餓状態となっている現状において、バイオマスをエネルギーとして消費していくことには疑問を感じる。資源問題・CO₂削減の最も確実な解決方法は、省エネルギーであることを踏まえつつ、食糧問題も絡めて、バイオマスがわが国のエネルギーにおいて果たすべき適正な役割について、広範な評価と慎重な議論が望まれる。

復活する米国原子力産業

—科学的合理性に基づく規制へ向けた改善の道のり—



山田英司^{*} (財)エネルギー総合工学研究所
専務理事

藤井信一^{**} (財)原子力発電技術機構
技術部長

今永隆^{***} (財)原子力発電技術機構
理事



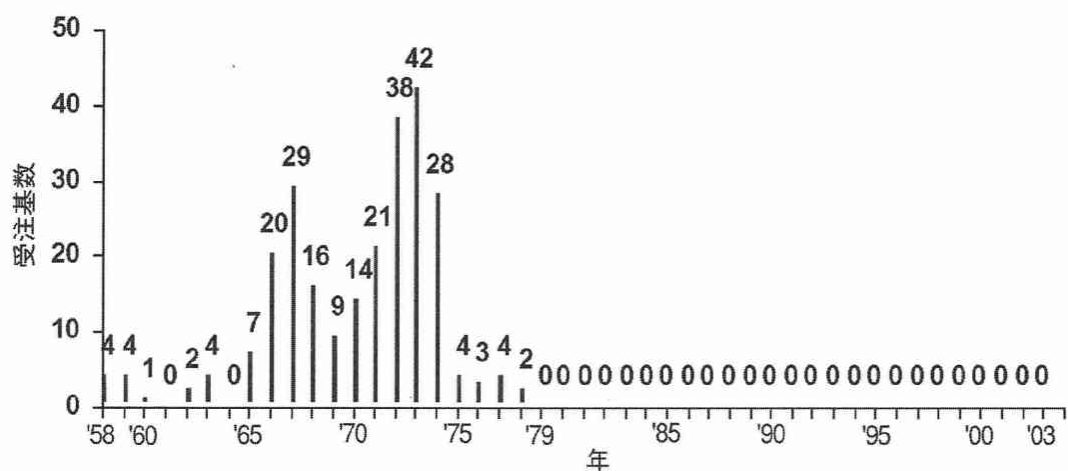
まえがき

米国の原子力産業は、1980年代以降の「冬の時代」を経て、新規炉建設に向け復活してきている。本調査研究は、昨年11月から本年6月までの間、(財)原子力発電技術機構と(財)エネルギー総合工学研究所の共同研究として実施した「原子力技術基盤に関する調査」の一環として実施した。昨年12月、ワシントンにおいて行った原子力関係者へのインタビュー等を通じて得た情報に基づき、米国の原子力産業復活のこれまでの道のりについてとりまとめた。

1. 1980年代：TMI事故以降の「冬の時代」

(1) プラント建設の低迷

1979年に発生したスリー・マイル・アイランド（TMI）原子力発電所事故以降、電気事業者は、原子力発電所に係るライセンスを得るのに長時間を要するようになり（TMI事故後のライセンス発給は4年後）、建設中あるいは設計中のプラントは、安全確保の観点から設備変更、新規規制の遡及適用（バックフィット）等が要請された。これが建設期間の長期化、ひいては建



(出所：米エネルギー省エネルギー情報庁 (IEA/DOE))

図1 米国における原子炉発注基数の推移

設コストの高騰を招来し、多数の発電所建設がキャンセルされた。また、既発注分については1980年代においても建設・運転開始がなされたが、反原子力の社会的な要因も加わり、発電用原子力プラントの新規発注は1979年以降、今日に至るまで途絶えている。(図1参照)

(2) プラント稼働率の低迷

1980年代においては、プラント稼働率は平均で60%台に低迷した。要因としては、次の事項が指摘される。

① 短い運転サイクル

12～18カ月（ほとんどの炉で18カ月、少数の炉で12カ月）が、運転サイクルの上限というのが一般的な考え方であった。(ただし、これでも、わが国の13カ月サイクルよりは長い。)

② 長い燃料交換及び定期保全停止期間

運転中の監視保全（オンライン・メンテナンス）はほとんど行われておらず、100日程度は必要というのが一般的な考え方であった。

③ トラブルの頻発

特に、影響の大きかった事故・トラブルは表1のとおり。

表1 影響の大きかった事故・トラブル

1975年	ブラウズ・フェリー発電所のケーブル火災事故
1979年	炉心溶融を引き起こしたTMI事故
1980年	ブラウズ・フェリー発電所の制御棒挿入失敗
1983年	セーラム発電所のトリップ失敗
1986年	多量の放射性物質を環境中に拡散した旧ソ連チェルノブイル事故
1987年	運転規律違反によるピーチボトム発電所の長期運転停止
1996年	マイルストーン発電所の長期運転停止

(3) 関係機関の動向

1980年代は、次の年代に向けた地固めの時期だったと言える。1986年に発生した旧ソ連チェルノブイル事故により、原子力業界は、

さらに厳しい環境に晒されることとなったが、原子力に対する公衆の信頼を取り戻すために、経営改革や稼働改善努力がなされた。以下に、電気事業者、民間セクターの機関、規制当局における動向を述べる。

[電気事業者]

① 希薄なコスト意識と不十分な情報共有

1980年代において、電気事業者は、保守的な企業体質、年功序列的なトップ人事、多層的な指揮命令系統、そして、なにより経費の料金転嫁が可能であったことによるコスト意識の低さ等が常態であった。通例、新規プラントが運転開始すると、そのコストが電気料金に転嫁されることとなり、これが消費者に大規模な投資を伴う原子力に対する反対を惹起することとなっていた。また、情報技術の進展がなかった段階ではあったが、現在の水準から見て、サイト内の部門間、サイト間、会社間での情報の共有や交換が十分でなかった。(ある事例では、1つのサイトで27のコンピュータシステムがあった。)

② 不透明性が解消してきた使用済核燃料処分

使用済核燃料について、1982年の放射性廃棄物政策法によって、政府が引取義務を有することが定められ、1987年以降、ネバダ州ユッカマウンテン処分場計画が進められている。同計画については紆余曲折があるものの、安全規制や使用済み燃料処分に係る不透明性が解消してきたことで、電気事業者から原子力発電所が良好な電力資産と評価されるようになったものと考えられる。

[民間セクターの機関]

① 米国原子力発電運転協会 (INPO) の設立

1979年のTMI事故を契機に、中立的・技術的な立場からプラントの運転管理状況について評価し、必要な場合は改善指導を行う米国原子力発電運転協会 (INPO: Institute of

Nuclear Power Operations) が1979年12月、電気事業者により設立された。当初は海軍出身者が中枢を占めていたが、順次、電気事業者出身者が中心となっている。

電力会社からINPOに提供される運転・保守情報は徹底した機密性が保たれており、小規模電力が多数存立する原子力発電業界において、情報共有及び技術的支援を行なう機能を有している。また、各社の経営トップが直接関与することで、その機能が担保されている。

② 原子力管理人材協議会 (NUMARC) の設立

1986年に、規制当局である米国原子力委員会 (NRC) との窓口として、原子力管理人材協議会 (NUMARC: Nuclear Management and Resources Council) が設立された。

[米国原子力規制委員会 (NRC)]

米国原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulatory Committee) は、現在のような定量的なリスク評価を行う技術的基盤を構築しておらず、例えば、停止中のプラントの方が稼働中のプラントより安全であるとの認識をもって対応していた (最近のリスク評価研究では必ずしもそうとは限らないことが示されている。)

当時、NRCは、SALP (Systematic Assessment of Licensee Performance) システムにより規制を実施していたが、事故・トラブル情報の蓄積、産業界との経験・情報共有や、稼働状況、リスク、規制との相関関係の認識が十分でなく、規制当局の主観的な判断、過剰反応による規制がなされがちであった。また、安全上問題を有するプラント・リスト (Troubled Plants Watch List) を所有し、必要に応じ運転停止を要求できた。一時、17プラントがリストに掲載されていたが、リストが公開されることで、当該炉を所有する事業者の財務評価や、公衆やメディアからの評価を低下させることとなった。

2. 1990年代：改革期

1990年代に入っても、80年代の「冬の時代」に引き続き、米国原子力業界が直面する環境は厳しいものだったが、官民双方で改善に向けた様々な取組みがなされた。以下に関係機関の動向を述べる。

[電気事業者]

① 電力業界に及んだ規制緩和

1980年代にレーガン政権下で推進された規制緩和政策は、民間航空、電信電話、天然ガスの各分野で実施され、1990年代初頭からは電力業界においても実施された。

電力業界では、当初は連邦政府が、1992年の電力分野への競争原理の導入、1996年の送電線開放と、規制緩和の流れを推進してきたが、実際の規制改革は、電気事業に対し規制を行う権限を有する州政府単位で実施された。1998年のカリフォルニア州の電力小売自由化を皮切りに、電気料金が相対的に高い東海岸、西海岸を先頭に、各地域の実情に応じたアプローチがなされている。

② 競争下での構造改革

独立発電事業者 (IPP: Independent Power Producer) 等の新規参入を促進するため、必要経費を消費者に転嫁するレートベースの料金体系が自由化され、電気事業者は、直面する競争環境下で構造改革を迫られることとなった。社外から高給で経営者を招致する、各発電所サイトに責任者 (Corporate Site Vice President) を配置する等の人事改革や、従来はメーカーに依存していたプラント運転管理の内製化などの改革が実施された。

③ 長寿命化で活発化した原子炉の売買

1980年代からNRCと産業界の間で、原子力プラントの運転認可期間延長 (40年→60年の長寿命化) の可能性について検討が開始されていたが、1999年になって最初の認可が実現

した。当時、原子力発電所は、「資産」というより「債務」として評価されていたが、良好な運転実績に加え、原子炉の長寿命化が可能となったことから、1998年以降、原子力発電施設は、1998年のTMI 1号機を皮切りに売買がなされるようになり、2003年末現在で16基が売却されている。これにより、運転管理ノウハウの共有や経営効率化が困難な小規模原子力発電施設が大規模電力会社に集約され、標準化された大規模原子力発電施設（nuclear fleet）の運営がなされるようになってきている。以前に比べると現在は、上位5社で米国原子力発電施設の約5割を占めるまで集約が進行している。（表2、図2参照）^{（4）}

[民間セクターの機関]

① 米国原子力エネルギー協会（NEI）の設立

1994年に前述のNUMARCをはじめ、民間の5つの原子力関係機関が統合され、NRCのみならず議会、メディアも含め、対外的なロビー活動を行う機関として、産業界の「統一された意見」を発信する米国原子力エネルギー協会（NEI：Nuclear Energy Institute）が設立された。

表2 上位5社による原子力発電設備のシェア

会社名	基数	発電容量（万kW）	シェア（％）
1. エクセロン	19	1,979	19.3
2. エンタジー	10	891	8.7
3. デュークパワー	7	705	6.9
4. TVA	6	675	6.6
5. ドミニオン	6	549	5.4
全米計	103	10,259	100

（出所：日本原子力産業会議「世界の原子力発電開発の動向」（2004年12月現在））

② EPRI等による技術サポート

米国原子力界には、わが国で言うような財団や社団といった中立機関が関与する余地は小さいようであるが、その中で、電力研究所（EPRI：Electric Power Research Institute）は、民間セクターの機関であるNEIやINPO、規制当局のNRC双方に対し、技術的サポートを実施している。これは、同機関が有しているプロジェクト・フォーメーション機能によるものであり、そのあり方は、わが国中立機関がモデルとすべきものと考えられる。

また、マサチューセッツ工科大学（MIT）をはじめ大学関係者は基準・標準の作成、

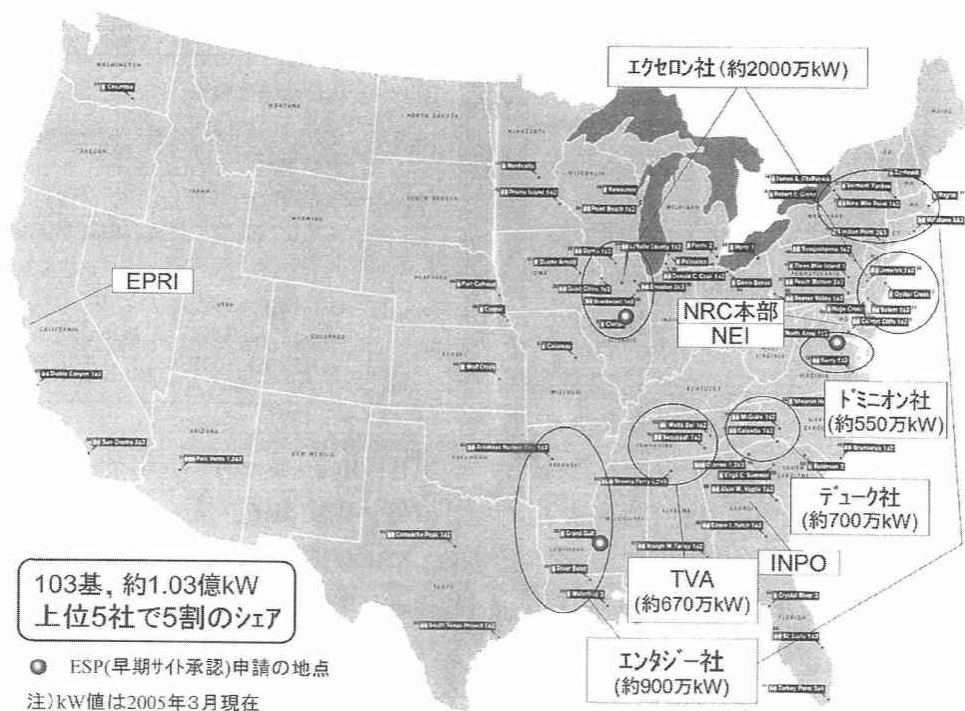


図2 米国における原子力機関・発電所の所在マップ

NRC委員会への参加、政策提言等一定の役割を果たしている。

③ 各機関の活動状況

INPO、NEIおよびEPRIは、約15年間にわたり、定期的に会合を持ち、目的の共有、優先順位付けの調整等、産業界に関する事項に関し意見交換を行う場となっている。

なお、INPOやNEIには、期間限定（1～2年）で電力会社職員が出向勤務しており、産業界の情報交流を促進している。

[NRC]

① 「規制は顧客サービス」という意識転換

政府機関業務の効率と効果を重視する「1990年予算法」(Omnibus Budget Reconciliation Act of 1990)は、必要経費の約90%（少なくとも80%以上）を、認可取得者と認可申請者が支払う手数料で賄うよう要請するなど、NRCに業務効率向上を促した。これにより、規制は顧客に対するサービスであるとの認識が、規制当局と事業者の間で共有され、NRCも規制の効率性を意識するようになった。

一方、議会や業界からは、「NRC業務は非効率」と批判がなされるようになった。

② 規制改革への圧力

a. 各種レポート

各種実施されたNRC業務のあり方に係る調査の中で、重要なものとして、「Sillinレポート」(1986年)と「Towers Perrinレポート」(1994年)が挙げられる。

「Sillinレポート」は、産業界との協調およびコミュニケーションの重要性を指摘しており、1994年のNEI設立、その後のNRCとNEIの協調の道筋をつけるものと言える。

「Towers Perrinレポート」は、NRCの依頼により、NRC規制のあり方に関し評価検討したもので、NRC規制全般の見直しの必要性を指摘している。

b. 有力議員からの圧力

NRC予算に大きな影響力を持つドメニチ上院議員（ニュー・メキシコ州選出）の著書『プライター・トゥモロー』（2005年3月、ERC出版）によると、1990年代後半、NRCの許認可プロセスは見通しのつかない長い時間を要する状況で、事業者の原子力開発利用の意欲を削ぐものであった。同議員は、1998年、上院エネルギー・天然資源委員会委員長（Chairman to the Committee on Energy and Natural Resources）として、NRCの活動状況について評価を行い、ジャクソンNRC委員長（当時）にNRC規制活動の改革を促した。同書では、これが契機になり、NRCの規制が運転実態やリスク情報に基づくものに転換し、「規制文化」が変質したとしている。

③ 規制への科学的合理性の導入および効率化

NRCは、独自にIT技術を活用しつつ確率論的リスク評価（PRA：Probabilistic Risk Assessment）の研究を行っていたが、上記のような動向や改革圧力を踏まえ、1990年以降、以下のように、順次、PRAを活用した規制改革を行ってきた。

1991年	維持基準を策定
1995年	運転認可期間の延長（40→60年）ルールを策定
1996年～2000年	リスクに基づく規制（Risk Informed initiatives）を実施
2000年	新しい規制システムとして、透明性を基本に、客観性、予測可能性、安全性を重視するROPシステムを採用

現行のROP（Reactor Oversight Process）システムは、稼働実績、リスク情報に基づく規制で、NRCが恣意的に規制を強化することがない仕組みとなっている。また、稼働実績、安全性及び規制の状況が、PI（Performance Indicator）や色分け（Color Coding）により分かり易くなっている。ROPの仕組みと流れを図3に示す。また、この規制改革の経緯を図4にまとめた。

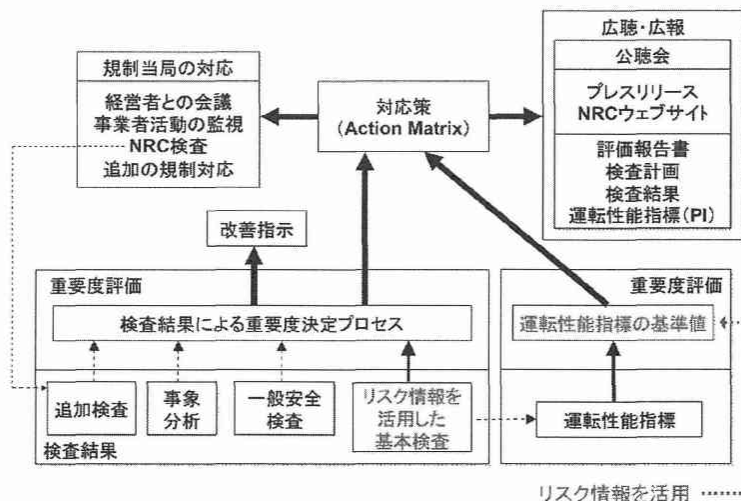


図3 原子炉監視プロセス（ROP）の仕組みと流れ

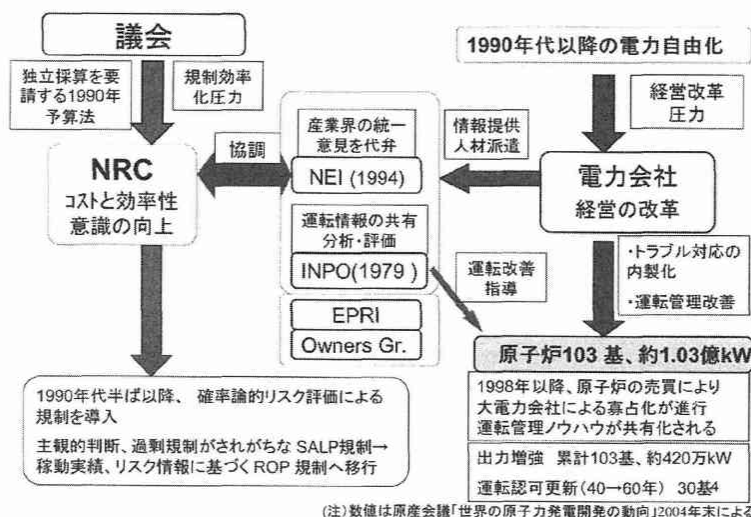


図4 米国における原子力規制改革の経緯

維持基準の策定を手始めに、NRCは、ワークショップ等の場で事業者や産業界と議論しつつ規制改革を進める手法（learning approach）を採用するようになり、1994年のNEI設立以降は、同機関との議論を通じて、産業界と意見調整を行うようになっている。

[米国エネルギー省（DOE）]

米国原子力発電分野で、米エネルギー省（DOE：Department of Energy）の影響力は、日本で考えられている程大きいものではない。DOEは新規炉建設に向け各種のイニシアティブをとっており、民間企業への国費投入とい

う、“掟破り”とも思える方策も含め可能な限りのお膳立てをしている感がある。しかしながら、現時点では、それでも新規炉建設の決断をする電力会社はなく、原子力発電所の稼動好調な米国でも新規炉は容易でないことが見て取れる。

なお、DOEは一定規模の研究開発予算を有しているが、大半は国立研究機関へ投じられており、また、大学の研究炉の維持に対しても支援を行っている。

また、NRCは、その技術的サポートを、まず、国立研究機関に依存するとしている。

[NRCの活動に対する各界の見解]

本調査研究では、昨年12月、ワシントンにおいて、NRCの元幹部職員、電気事業者の元幹部経営者、NEIの幹部職員に対し、米国の原子力規制改革のこれまでの道のり、関係者の動向、規制改革の原動力等について、インタビューを行った。以下に、それらのうち、規制改革に対するNRCの取組みに関する評価を参考資料として巻末に示す。

3. 21世紀：米国原子力の復活

(1) 原子力発電所の稼働率改善

近年、90%程度の高い稼働率（設備利用率）と低発電コストを達成している。発電電力量は1980年の約3倍となり、米国の総発電電力量の約20%を供給し、石炭に次ぐ第2位のシェアとなっている。以下に、各種指標の改善の推移を示す。

① 設備利用率

1990年代初めには70%台、90年代後半には80%台に達し、図5から分かるように、現在では平均して90%程度に達している。

② 原子力発電の発電コスト

図6に示すように、1987年をピークに低下してきており、既設分については競争力を有する発電資産となっている。

③ 燃料交換停止期間

1980年代には100日程度を要したが、図7に示すように、90年代に入り短縮し、平均40日程度となっている。補修を行わず燃料交換のみ行う場合、沸騰水型軽水炉（例えば、ブラウンズ・フェリー3号機）、加圧水型軽水炉（例えば、ターキー・ポイント4号機）ともに最短で15日（2002年実績）まで短縮してきている。

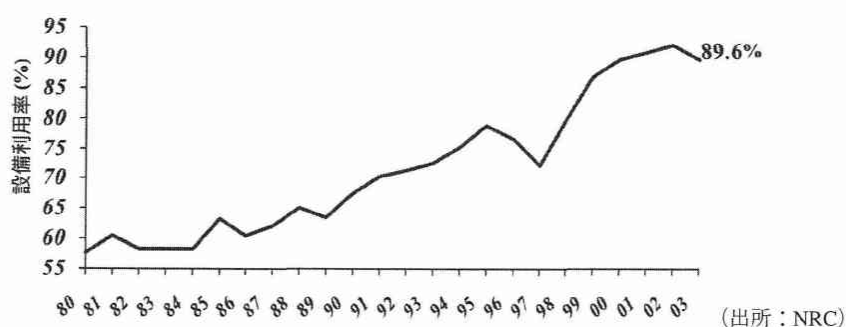


図5 米国における原子力発電所の設備利用率の推移

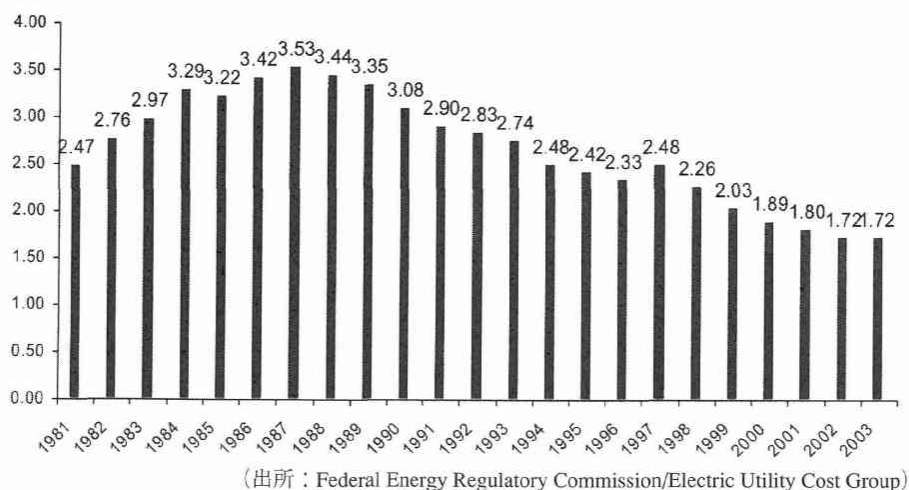
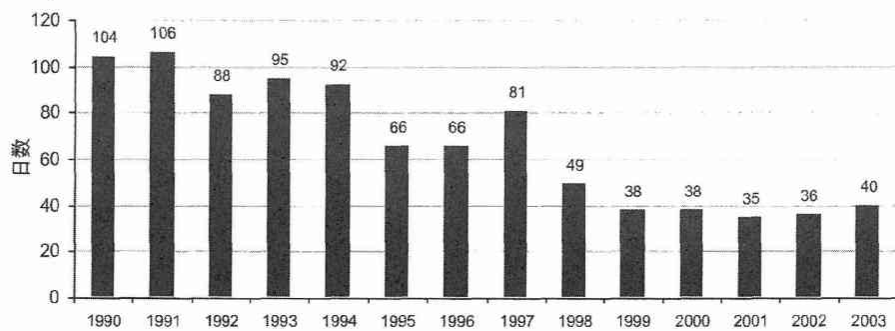
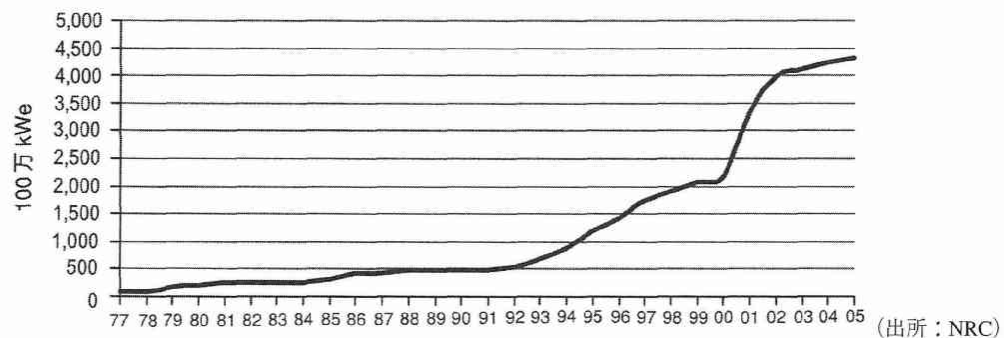


図6 米国原子力発電コストの推移



(出所：Federal Energy Regulatory Commission/Electric Utility Cost Group)

図7 米国における平均燃料交換停止期間の推移



(出所：NRC)

図8 米国原子力発電所の出力向上累計

表3 原子力発電所好稼働への寄与要因

事 項	米国の状況
運転サイクルの延長	80年代は12～18カ月程度であったが、最近ではほとんどの発電所が18～24カ月サイクルに移行
定期検査期間の短縮	1990年頃 100日程度 → 現在 40日程度
定格出力増強	NRC承認済 105件 (2005年4月現在)
運転認可期間の延長 (40年→60年)	NRC認可済 30基 審査中 18基 (2005年4月現在)

(出所：NEI, (社) 海外電力調査会)

オーマンスは大きく改善してきている。規制分野の改善で米国の原子力発電所の順調な稼働に寄与している要因を表3に示す。

(3) 新型軽水炉の運転開始を目指して

米国ブッシュ政権は、2001年10月に発表した報告書『原子力発電2010プログラム』に基づき、2010年代初頭に新型軽水炉の運転開始を目指した計画を推進している。同プログラムでは、表4に示すNRC先行許認可プロセスの実証を実施するためとして、申請等に係る所要コストの半分をDOEが負担することとしている。

(4) 早期サイト承認への期待

表5の3つのサイトについて、早期サイト承認(ESP)が審査されており、2007年の承

④ 出力向上 (Power Upgrades)

1977年のカルバート・クリフス発電所を皮切りに熱出力向上が実施されている。図8に出力増強の累計量の推移を示す。

(2) 規制分野での改善状況

90年代半ば以降、米国の原子力発電所のパフ

表4 NRCの先行許認可プロセス

早期サイト承認 (ESP)	炉型決定前の立地審査
標準設計認証 (DC)	立地サイト決定前の標準設計の審査
建設・運転一括許認可 (COL)	建設許可と運転認可を一括して実施 (わが国では段階的な安全審査を実施)

表5 早期サイト承認（EPS）プロジェクト

電気事業者	ESP対象サイト	申請年	炉 型
ドミニオン	ノースアナ (バージニア州)	2003年9月	ESBWR
エンタジー	グランド・ガルフ(ミシシッピ州)	2003年10月	ESBWR
エクセロン	クリントン(イリノイ州)	2003年9月	未定

表6 標準設計認証（DC）プロジェクト

申 請 者	炉 型	申請年月
ウェスチングハウス (WH)	AP1000	2002年3月
ゼネラル・エレクトリック (GE)	ESBWR	2005年8月

表7 建設・運転一括認可（COL）プロジェクト

電気事業者	サイト	申請（見込）	炉 型
ドミニオン	ノースアナ	2007年	ESBWR
エンタジー	グランド・ガルフ	2007年8月	ESBWR
NuStart	ベルフォンテ	2007年8月	AP1000
TVA	ベルフォンテ	—	ABWR

認が期待されている。また、標準設計認証および建設・運転一括認可については、それぞれ表6、表7、表8のようになっている。

（5）地方との関係

米国では、1980年代、安全懸念から住民運動が活発であり、地方政府も、その最大の法的権限である緊急避難計画策定を梃子に、反対活動を行い、これがいくつかの原子力発電建設計画に支障を及ぼした。

現在では、良好な運転実績を反映し既設のプラントに関しては大きな問題はないようである。しかしながら、新規炉建設となると、住民の反対活動も懸念されるところであり、DOEは新たに建設されるプラント6基を対象に、政府のミスあるいは第三者の訴訟により許認可手続が遅延するような場合には、上限を設けて、損金を補償する制度を検討している。

米国の地方政府の法的権限は、上述の緊急

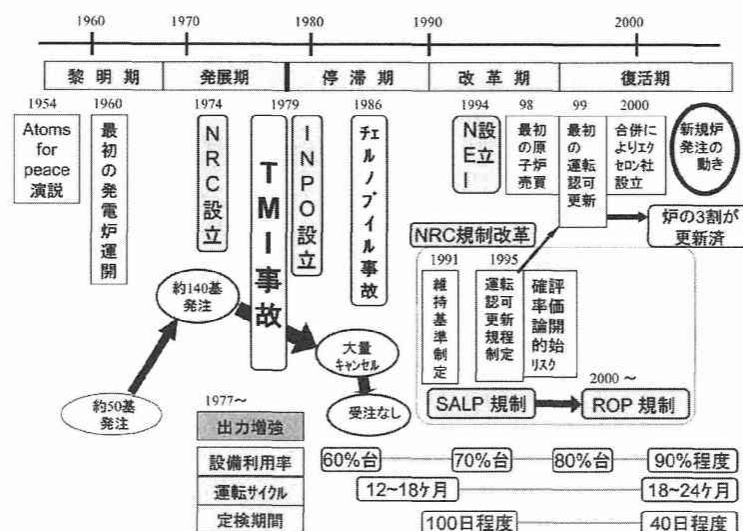


図9 米国における原子力開発利用の推移

避難計画策定や公聴会等で発言するところまでである。NRCは、それらの意見を聴くものの、判断は自主的かつ合理的に行うとしており、安全確保の観点から毅然とした態度をとるとしている。

6. 最後に

以上、米国における原子力安全規制改革の道のりを概観した。図9に米国における原子力開発利用の推移を示す。TMI事故以降、米国では、長い原子力「冬の時代」を経て、現在は“原子力ルネッサンス”とも言われる程の復活を遂げている。これは、上記のような関係者の努力の結果である。現在、わが国において原子力が厳しい環境に直面しているが、米国の経験は、その先行事例となるものであり、教訓として学ぶべきものは学ぶ姿勢で対応していくことが期待される。

【謝辞】

最後になるが、本調査研究は、(財)原子力発電技術機構と(財)エネルギー総合工学研究所との共同研究の一環として行なわれたものであり、ここに関係の方々から戴いた多大な協力に対し、深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) (社)海外電力調査会「海外電力」2002年7月号、2006年2月号
- (2) 米国エネルギー省ホームページ
- (3) 米国原子力規制委員会(NRC)ホームページ
- (4) 米国原子力協会(NEI) ホームページ
- (5) (財)エネルギー総合工学研究所「内外の自主規制体制と運用実態に関する調査」(2004年3月)
- (6) S.L.Turner, 諸葛宗男、天野治「合理的規制における利益(米国例)、専門家育成等の課題、規制の国際化」(日本原子力学会誌vol47, No.7、2005)
- (7) ビート・V・ドメニチ『ブライター・トゥモロー』, ERC出版, 2005年3月
- (7) (社)原子力産業協会主催シンポジウム「よみがえるアメリカの原子力発電」講演及び講演資料(2006年6月)

参考資料 規制改革に対するNRCの取組みに関する評価

① NRCの元幹部職員	② 電気事業者の元幹部	③ NEI幹部職員
(ア) 1980年代に始まる米国の規制緩和の流れが、効率的な業務運営、資源の効率的な利用、ベンチマーク(目標設定)、管理職の率先行動の流れを作り出し、それが、安全運転がコスト低減に繋がるとの認識を共有するに至ったのである。 具体的には、1990年代前半には、Government Performance and Result Actの成立により、効率(Efficiency)と効果(Effectiveness)が全政府機関で重視されるようになり、毎年、NRCの活動、関係業界への影響等を評価するレポートが作成されるようになった。このような流れの中、規制の重点化と合理化を推進するようになった。 (イ) 議会や産業界の要請、会計検査院の勧告等により、NRCは、risk-informed規制をはじめ、新しい規制体系構築に向けて研究を行い、パイロット・プロジェクトを実施しつつ、ROPを導入した。ROPは、(ウ)予測可能性(発生事象に対応した規制行為が予測可能)、透明性、客観性を重視し、(イ) risk-informedの考えに基づくものである。 (ウ) NRCは、Public Confidenceを重視し、全ての利害関係者の意見を聴くようにしている。例えば、コミュニティ・レベルでは、市長、学校の先生等が参加するアドバイザー・パネルを設置する等している。しかし、最後は、NRCが責任を持って自主的に判断する。地方政治家に法的な権限はないが、意見を言うことができる。例えば、オイスタークリーク運転許可期間更新申請については、ニュージャージー州知事がNRCや議会に意見を提出している。また、マサチューセッツ州法務長官がNRCの会議に来て意見陳述をしようとしたこともあった。	(ア) TMI事故後の1980年代は、NRCは規制をしたがっているような状況で、規制行為も不確実性が大きく、それに備えるための事業者側のコストが増大し電力会社の利益にならないものであった。その頃、NRCと産業界の関係は良好ではなかった。まず、NRC自身が原子力に対し懐疑的であった。ここ10年で次第に改善してきているが、今でも、5人のNRC委員のうち、通例、1人は原子力に対し懐疑的である。 (イ) 1990年代以降、NRCの優秀な職員が効率的に規制を行い、かつ、電力会社との関係改善を図る努力をしてきている。しかし、公聴会や会議等の手続きを要するため致し方ないところであるが、NRCの改善のスピードは遅い。また、規制手数料でNRC予算を賄うようにしたため手数料は高いものであった。 (ウ) かつての決定的手法(SDP)では、検査官に高い技術的能力が要求されたが、NRC職員の能力には限界があった。現在は、IT技術の進歩を反映して、情報集積・標準化が推進されているが、まだまだ効率が悪く、改善が必要である。	(ア) かつてのNRCのSALP規制は、検査官の主観によるところが大きく、透明性や理解し易さ、信頼性に欠けるものであった。NRC職員の中には、SALP規制に疑問を有する者がいる一方、ルールを変えるべきでないとするグループもいたが、NRC予算の決定権を有するドメニチ上院議員(エネルギー・水資源歳出小委員会委員長)は、ジャクソンNRC委員長(当時)を呼び出し、「NRCの活動が改善されない限り、NRC予算を半減する」と迫った。そんな折、かねがねSALP規制に疑問を抱いていたNRCのジョー・カレン事務局長(Executive Director for Operation)が、99年春～夏にかけて会議を行い、色による安全レベル識別システム(Color rating)を導入した。これは、安全を目に見えるようにする効果があり、利害関係者の要求にマッチするものであった。 (イ) 運転認可期間の延長については、NRCの技術陣から強い反対があったが、決定力のある幹部のお陰で実現できた。要は、規制関係者のマインド・セットである。「規制すればする程良い、変えない方がベター」でなく、「規制が少ない程、安全は向上する」という考え方を持ち得るかである。 (ウ) 人員が多く関係者も多いから致し方ないが、NRCのプロセスは時間を要する。 (エ) NEIは、5つの機関が統合され94年に設立されたが、NRCに対し、産業界の声を一元的に代弁している。NEIは案件があれば、積極的にNRCとの議論の対象にしていこうとしている。それにより、何らかの解決に繋がることとなる。

高レベル放射性廃棄物処分における リスク情報の活用—意思決定の意義—



井上 隆* (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員

蛭沢 重信** (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 部長

氏田 博士*** (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主管研究員

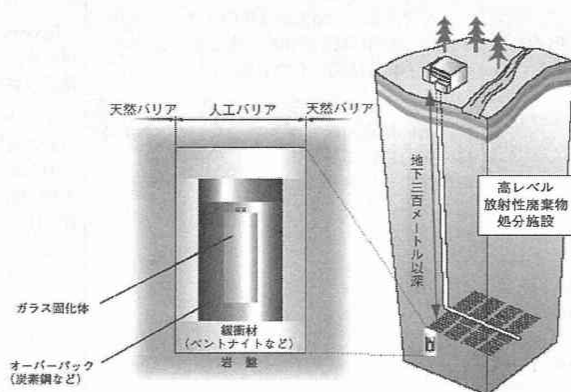


1. はじめに

わが国は、現在、京都議定書に基づいて地球温暖化防止を推進しており、二酸化炭素(CO₂)を発生しない原子力発電は有効な推進手段の1つである。その原子力発電の供給安定性の維持、向上を図ることはわが国のエネルギー供給の観点より重要であり、そのためには核燃料サイクルの確立が必要である。原子力政策大綱⁽¹⁾にも述べられているように、使用済燃料を再処理し、核燃料をリサイクル利用する活動は、供給安定性に優れている原子力発電の特性を一層向上させ、原子力が長期にわたってエネルギー供給を行うことを可

能とするものである。

原子力発電所で使われた使用済燃料の再処理により、主成分が核分裂生成物等の放射能レベルの非常に高い放射性廃棄物が発生する。これは、「高レベル放射性廃棄物」(以下、「HLW」と称す)と呼ばれ、再処理後は液体状態であるが、安定な状態にするために通常ガラスと一緒に溶かし込んでガラス固化体とし、固化体製造直後は表面温度が高いことから冷却のため30～50年程度貯蔵された後、地下300m以深の安定した地層に人工障壁(人工バリア)とそれを取り巻く自然環境(天然バリア)により安全性を確保した状態で最終処分される(図1参照)。



(出所：資源エネルギー庁パンフレット(平成16年11月)より引用)

図1 HLW処分場概念

最終処分は、一般公衆の生活環境への影響が有意なものとならないように被ばく上問題となることのない放射能レベルに減衰するまで評価する必要がある、その期間はHLWの主要な放射性核種の放射能減衰期間により数千年、または数万年と長期間にわたる。そして、その期間における安全上問題ないことの評価を処分事業の開始に先立って実施しておく必要がある。この評価は、その期間が長期にわたるため不確実な点があること、評価用データにバラツキがあったり、遠い将来のパラメータには不確実性が大きいなどから、確率論的なシミュレーションに基づく手法も検討されてきており、その場合、評価手法や結果は確率論に基づいた潜在的危険性（リスク）に係る情報による規制（以下、「リスク情報に基づく規制」と称す）と深く係るものである。

従来のリスク情報に基づく規制に関する検討は、原子炉施設（原子力発電所）に係るものであり、その検討つまり評価技術は、欧米で先行しており、わが国では原子力安全委員会および規制行政庁である経済産業省原子力安全・保安院がそれぞれ検討を進めている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

一方、HLW処分においては、現在リスク適用の検討対象とはなっていないが、原子力安全委員会が「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」⁽⁵⁾を作成して、わが国の今後の検討の方向性を示している。そこでは、リスク論的考え方の安全規制への導入が有効でありその方向での検討が必要であると述べている。したがって、これらの検討を開始する前にHLW処分に係るリスク情報に基づく規制を実施する際の適用範囲や課題等を事前に整理しておくことが重要である。

HLW処分に係るリスク情報に基づく規制を行うにあたっての現状での課題等についてリスク情報、HLW処分の安全評価等の専門家および有識者等（名簿を巻末に示す）の方々により議論・検討している。本稿は、議論の途中段階ではあるが、広く議論を喚起するため、その内容を整理したものである。

2. HLW処分へのリスク情報活用の考え方

米国原子力規制局（NRC）によるリスク情報に基づく規制（RIR：Risk-Informed Regulation）の定義は、「安全の重要性または相対リスクの評価をNRCの規制行動に取り入れること。個々の規制やその過程に要する規制の負荷が、公衆の健康と安全と環境を保護するための規制やその過程の重要性に相応していることを確認する。」である。産業界側の立場からも、限られた資源の中でシステム全体のリスクバランスを見て合理的な判断に基づき、安全を維持・向上しかつ経済性も向上できることは、RIRのメリットである。

筆者らは、HLW処分の意思決定にリスク情報をどのように活用しうかの検討にあたり、考えの基軸を次のように置くこととした。すなわち、NRCが提唱した基本理念に沿い、

- ① 安全性に係る相対リスクを評価することにより、安全上重要と特定される課題に資源を優先的に配分する合理的意思決定の方法論としての適用性
- ② 非常に長期にわたる安全性を説明する上で、利害関係者の議論に有効に用いられ、相互理解の促進に寄与する（すなわち複数の利害関係者間での協調的な意思決定）可能性

の2つの側面を念頭に置き検討することとした。特に、②の背景には、HLW処分の場合、安全上対象とするのが自然の物理的、化学的現象であり、発生頻度は極めて低いが影響の大きな事象に対する公衆の懸念を完全には拭い去ることが難しいとの事情がある。原子炉と違い、天然現象には制御が及ばないという不安の一要因であるコントロール感の欠如があるからだと考えられる。

しかし、HLW処分の意思決定にリスク^{*}情報を活用することについては、上述の2つの視点以外にも、例えばリスク基準の設定やリスク論的安全評価などいくつかの検討課題もあると思われる。そこで、筆者らの基軸はあくまでも上述の2つに置くこととしつつも、最初から絞り込むことはせず他の視点からの

検討も行った。ここで紹介する専門家および有識者等の方々による原子炉施設との比較の議論もそのような例の1つである。

以上のような問題意識を持ちながら、専門家および有識者等の方々によるブレインストーミング的な検討会を実施し様々な視点からの検討を行ってきている。議論された内容を基に、HLW処分へのリスク情報の活用の方という観点から重要または参考と考えられる主要な意見を以下に整理した。

- 処分場サイトを選定する時に、地球科学的には安定である場所を選定する。このため、火山、地震等による直接的影響は問題ない。しかし、トータルシステムとして考えた場合、地下水等の影響を考慮してもなお安全上問題がないか否かは、シミュレーションを行って性能評価を実施する必要がある。そのため、シミュレーションは、火山、地震等の影響が出てくる期間まで実施しなければならず、長期の対応が必要となる。
- 長期間であるために、安全評価で時間の概念を考慮する必要がある。原子炉施設の通常時には閉じ込めという概念があって、それは機器が健全であるという前提になっている。HLW処分は、放射性物質が長期間にわたり自然に拡散していく事象を考慮することが重要であり、このため閉鎖後千年、あるいは1万年という長期の評価期間を考慮する必要がある。
- 長期の評価のため不明な部分が多いが、何らかの答えを出さなければならない時に、リスク情報が活用できるのではないかと期待する。
- 原子炉施設の安全評価では何が発生するかに重点を置いて、それが発生した時にどのような対策がありうるかを想定して事故シーケンスを作成している。それに対して、HLW処分の評価では制御できない自然現象も考慮して受ける側の被ばくに至る可能性をシナリオとして予想する。
- 性能評価は、トータルシステムとしての将来の影響をシミュレーションで検討している。そのシミュレーションの将来の影響に対する予測能力を、安全思想の中でどのように扱うべきか、安全を十分に担保できているのか、という問題がある。
- 核燃料サイクル開発機構（JNC）（現日本原子力研究開発機構（JAEA））の2000年レポート⁽⁶⁾で基本シナリオをまとめた時は、処分場サイトが決まっていなかった状態であった。したがって、地質環境に係る隆起、あるいは海水準の問題等が考慮されておらず、その状態で基本シナリオを作成した。将来、処分場サイトが決まれば、処分場サイトを選定する時の要件として隆起、あるいは場所が海に近ければ海水準変動も考慮されるべきであり、その条件を基本シナリオとして想定し再評価するものと考えられる。

このような問題意識に基づき3章以降では、HLW処分へのRIR適用を図りつつある海外の先進事例を調査し、またRIRについて先行している国内の原子炉施設とHLW処分について現状の安全評価の考え方を比較検討した。

※ ここで注意を要するのは、同じリスクという言葉を使っているが、異なった意味で用いられていることである。原子炉施設で用いるリスクは、ある影響の大きさ（死者数のような）とそれが発生する頻度の積である。そこで対象としているのは専ら機械系の動作であるが、HLW処分では地質や地下水や化学物質などの長期の変化の少ない現象である。長期の現象は不確かさが大きく、それを議論するためある現象（例えば漏えい）の起きる発生確率とその誤差幅の大きさをリスクと見なしている、ようである（この考え方は経済学のリスクの考え方に似ている）。特に、それを強調する表現として、リスク3要素（現象、その大きさ、その発生確率）を用いることがある。すなわち、HLW処分ではリスク論と言っているが、正確にはリスクまでは求めない確率論にとどまっている。なお厄介なことに、まれではあるが原子炉施設との対比で本当の意味のリスクを議論していることもある。この概念の混在と担当者の誤解が議論を紛糾させる面もあり、RIRの適用を検討する前に、リスクの概念を整理しておくことが必要である。

3. 諸外国の放射性廃棄物処分におけるリスク情報の活用例

まず、リスク情報に基づく規制に関する検討が先行している欧米のうち、HLW処分へのリスク情報の活用が進んでいる米国、スウェーデン、および英国におけるリスク情報の活用の考え方の違いについて述べる。リスク情報を活用した安全評価を行うに当たって重要な観点は、シナリオ、評価期間、不確実性の取扱い等であり、それらについての3カ国の概況を表1に示す。

リスク情報を活用した規制は、米国ではそれが所定の基準または性能尺度に基づく規制審査プロセスに適用されるため、許認可に向けた段階での資源の有効利用をいう側面を持つ。一方、スウェーデンと英国では許認可申請前の段階における、いわゆる規制審査に向けた準備行為に対し米国のような規制がそれほど定められていないこともあるが、リスク情報に基づく規制は、規制としてリスク基準を設定するなど、リスクの活用に関してより一般的な意味合いを持つ。つまり、米国とスウェーデンおよび英国では、その目的が次のように異なる。

- ① 米国におけるリスク情報の活用は、サイト固有の安全を実証するために重要な許認可申請の分野における資源の割り当ての最適化を目的としている。
- ② スウェーデンと英国におけるリスク情報の活用は、広範囲にわたるサイト候補地に適用可能とするためにリスク基準を定めるなど基準を適用する際にある程度のフレキシビリティを容認することを目的としている。

①の米国における代表例としてGhosh論文⁽⁷⁾がある。また、②の例として、放射性核種の放出に曝されるのがごく少人数の場合は、リスク基準の緩和を正当化することができるスウェーデンの例がある。同様に、不釣り合いな経済コストやその他の社会的要因によっても、リスク基準の緩和が正当化される場合がある(英国の場合)。

NRCは、将来の処分場建設の許認可に対応するため、規制機関として把握すべき技術的課題に優先順位付けを行い、規制機関の財政的および人的資源を重要課題から優先的に配分することにより、合理的かつ効果的に配分することができるようにリスク情報を活用していると言われている。その方法の基礎には、規制機関が開発した総合性能評価(Total Performance Assessment : TPA)という性能評価コードがある。

NRCによるHLW処分におけるリスク情報の活用が、具体的にどのような形で行われ重要課題の抽出が行われているか、という方法論については今後十分に把握する必要があると考えている。当研究所で放射性廃棄物処分へのリスク情報の活用に関し検討を始めた2004年にちょうどタイミングよく、マサチューセッツ工科大学(MIT)のS. T. Ghoshによる博士論文が公表された。同論文では、上述の①の目的に照らした、新しい方法論が提示された。

HLW処分の安全性確保システムを評価する際には、扱うべき空間的および時間的広がり大きさ故に大きな不確実性をどのように扱うかが焦点の1つとなっている。いわば不確実性を如何に示し、社会の合理的な判断につ

表1 米国、スウェーデンおよび英国のリスク情報の活用での主要な観点の比較

項目 \ 国	米国	スウェーデン	英国
シナリオ	サイト固有	広範囲にわたるサイト候補地に適用可能とする	
評価期間	1万年、百万年の2段階	百万年	
不確実性の取扱い	確率論的計算	確率論的+決定論的計算	

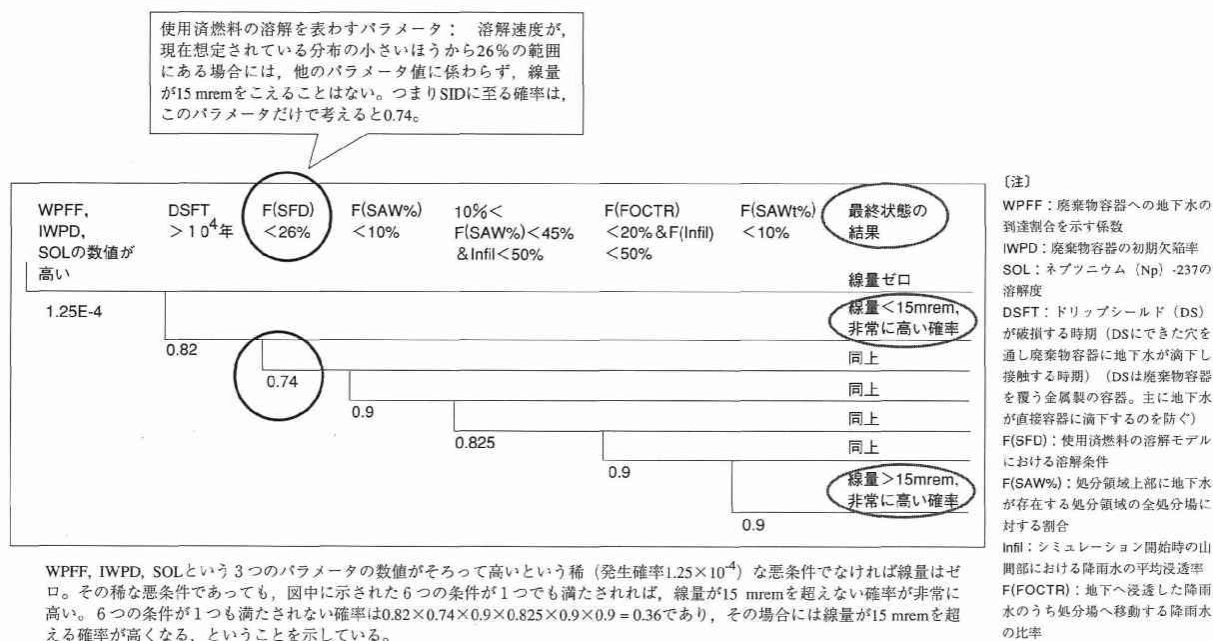
なげていくかは、HLW処分事業の関係者が取り組むべき最大の課題であると言って差し支えない。

近年、安全性提示のための考え方として、安全評価だけでなくリスク情報も含む様々な情報をセットとして考えるセーフティケースの概念が提唱され、国際的な議論が展開されるとともに、一部の国ではすでにセーフティケースを実施、あるいは取り組みが見られている。わが国でも原子力安全委員会の専門検討会等で、その意義などについて検討が進められているところである。

GhoshもHLW処分の安全性に対する信頼の観点から、セーフティケースを中心にし、そこにリスク情報を活用することで、HLW処分の安全性に対し、具体的には新しい解析手法である「想定範囲と影響の戦略的分割 (SPARC: Strategic Partitioning of Assumption Ranges and Consequences)」を提案し、社会が合理的、かつ理性的判断を下せるようになる方法論を提示しようと試みた。この手法をSPARC解析と呼ぶ。Ghosh論文はその最初の部分において提案した手法の目的を次のように示している。

- ① 処分場システムの信頼性構築に役立つセーフティケースで利用できること。
- ② 将来の研究へのリソース割当て方法を決定する際にリスク情報を提供すること。
- ③ ステークホルダーによる審議にリスク情報を提供するために利用することが可能なものであることを示すこと。

SPARC解析では、被ばくの増大をもたらすパラメータを特定するために、どのような組合せのモデルパラメーター式が処分場からの「線量の大量増加 (SID: Substantially Increased Dose)」につながる可能性があるかを示すために、確率論的解析の結果を詳細に分析した。分析結果はSPARCツリーといわれる解析ダイアグラムに示されている (図2参照)。SPARC解析では、NRCが米国のHLW処分場候補地であるヤッカマウンテンの規制審査のために開発した確率論的な総合性能評価コードを利用し、まず当時の規制基準 (15mrem) に対し、それを超える可能性のある状況をSIDとして意図的に設定した (影響の戦略的分割)。NRCのTPAをはじめ、一般的な性能評価におけるシナリオは将来の処分場による人間および環境への影響を評価するという観点から、将来想



(出所: 参考文献 (7) を基に作成)

図2 SPARCツリー

定しうる特性、事象およびプロセス（FEP：Features, Events, Processes）を組み合わせたものである。これに対し、SPARC解析では、各パラメータをTPAで利用されているデータベースに基づいて確率論的に扱って確率論的影響解析を実施し、ある最終状態を引き起こす一連のパラメータ値の分布範囲の組み合わせをシナリオと再定義している。その中からSIDを引き起こすシナリオを選択、抽出し、抽出されたシナリオについて各パラメータの分布範囲を詳細に検討することにより、SIDを引き起こさせないパラメータの組み合わせを特定している。そのようにして選定されたシナリオ（SIDにいたるシナリオ）について、SPARCツリー上にその結果を示すことにより、被ばくの増大をもたらすパラメータが視覚的にわかりやすく表現されている。

紙幅の関係から、技術的評価の詳細は別途紹介することにしたいが、図2に示すSPARCツリーで示されたパラメータのうち、影響緩和への寄与度ではF（SFD）で表わされている使用済燃料の溶解速度のパラメータの確率密度の分布をより狭めることにより（図2に示されたパラメータ値が現在想定されている分布の小さい方26%に限定でき、さらに実験、研究により例えば26%を、小さい方から10%の範囲にあることを示すことができれば）最終状態としてSIDに至ることはないと言えることを示した。

Ghoshによれば、SPARC解析は、最も重要な不確実性の部分を特定することができ、そこに調査研究の資源を選択的、優先的に投入する基礎を与えることができるとしている。リスク情報を活用する目的の一つに、ステークホルダーの議論において安全性能に対する理解の促進に寄与することもあげられていたが、これについては別に紹介することにしたい。

4. リスク情報の原子炉施設とHLW処分施設との対比

HLW処分へのリスク情報の活用を図るため

に先ず、原子炉施設とHLW処分の安全の思想である深層防護および多重バリア等に関する概念の比較検討を実施し、さらに、原子炉施設における事故の区分とHLW処分における管理（評価）期間による区分との関係を比較・検討した。以下にその概要を示す。

（1）原子炉施設とHLW処分施設の対比の全体像

原子炉施設とHLW処分施設の概念について対比してみる。HLW処分（閉鎖後）の中長期における安全評価を、原子炉施設の運転時の安全評価に対応させることは、2章で述べたように対象の相違が大きいために、困難であると想定される。このため原点に戻り、まず安全を担保するためにどのような方策採っているのかと言う原理原則に戻って整理した。その観点から様々な比較を行い表にまとめた。

基礎的な話からとなるが、安全設計のための深層防護およびリスク概念等について説明する。

① 深層防護と多重バリア

a. 安全設計のための深層防護

深層防護は、軍事用語で徹底的に防護するという意味であり、安全の観点からは安全設計の基本原則であると考えられる。

分野により少し相違はあるが、以下に示すように大体5段階に分けられる。通常のシステムは、概ね故障の防止と拡大緩和までの対策で済む場合が多いが、原子炉施設では最後の防護手段である避難まで含めて全てを考慮している。

- (a) 故障の防止
- (b) 故障の拡大緩和：自己制御性、固有の安全性（本質安全）
- (c) 事故への波及防止：フェイルセーフ、フルブーフ、冗長設計、多様性
- (d) 事故の拡大緩和
- (e) 環境への影響の緩和：避難

b. 深層防護と多重バリア(深層防護の一部)の比較

深層防護と多重バリアを確定論的な枠組み

表 2 原子炉施設の深層防護とHLW処分の多重バリアの比較

深層防護（Defense-in-Depth）	多重バリア（Multi-Barrier）
■内部の巨大なエネルギーによるFPの大量瞬時放出の防止 ■深層防護 □設計基準事故・仮想事故 □単一故障基準（前段否定） □動的対応 □多様性・独立性 ■信頼性理論	■外部の緩慢な物理作用による広範囲の対象領域への廃棄物の超長期的漏洩の防止 ■多重バリア □基本・変動シナリオ □多重性 □静的対応（自然バリアの考慮） □一様性 ■物理化学的現象論

の中で比較し、表 2 に示す。原子炉施設が深層防護の 5 段階を徹底的に実現しているのに対して、HLW処分では多重バリアの概念を適用しているが、これは深層防護の観点から見ると一層に相当すると考えられ、その一層が多重になっている。何れにしても、深層防護の概念自体はまったく共通である。

この違いの原因は、どの産業界から見ても最も大規模かつ複雑なシステムである原子炉施設の方が特殊な状況だと考えられる。つまり、比較のためにかなり意図的に極端な記述をしているが、内部の巨大なエネルギーによる核分裂生成物（Fission Product：FP）の大量瞬時放出を防止するという概念であるから、深層防護の考え方を徹底的に採用している。その時に考えているのが、単一故障基準や、設計基準事故・仮想事故という、基本的に前段否定の分類方法である。動的機器があり、その機器の考え方は多様性を持たせ、かつそれぞれに独立性を持たせるという概念により、安全を担保しようとする。その底流となる考え方は、確定論と言いながらも信頼性理論が背景にあると考えられる。

それに対比してHLW処分の多重バリアの場合は、外部の緩慢な物理化学作用による広範囲の領域に対する廃棄物の超長期的な漏えいの防止ということであり、考慮している安全を守るための対象が原子炉施設とまったく違う。要するに、一種類のバリアという防護の概念を多重にすることにより漏えいという一

種類の現象を防止するという考え方である。むしろ化学物質などの環境リスクの考え方との類似性の方が大きい。

その考え方が、原子炉の設計基準に対してどのように対応しているのかを見てみると、多重バリアとして、多重性があり静的でしかも一様なものを考えて、基本シナリオ以外に変動シナリオも作成し、様々なシナリオの変動を考慮して評価しても大丈夫ならば安全を担保できるという見方をしていくものと判断できる。そこで底流となる考え方は物理化学現象論である。

c. HLW処分（閉鎖後）の安全評価

原子炉施設に対し、HLW処分での安全評価は、漏えい現象をシナリオに基づき検討することである。ただし評価期間が超長期で不確定性が大きいとため、基本シナリオや変動シナリオでバリエーションを持たせてシミュレーションで影響評価して問題ないということを確認して、安全を担保していると考えられる。すなわち、評価の際にできるだけ多様なシナリオを考えて、感度解析によってその現象を誤差分布で予測してそれでも評価基準以下であれば問題ないという手法で安全を担保するという思想であると考えられる。

② 原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の安全・リスク概念の相違

RIRやリスク情報活用などのリスク論で安全

を担保するための判断は、結局は安全目標との比較で決めることとなる。社会通念として、例えば 10^{-6} /年ぐらいになれば、リスク心理学的に無視できるだろうというような、社会論的に議論しながら決める値である。すなわちリスク論は、技術論だけではなく、完全に社会的合意の問題でもある。確定論では安全の論理は設計者が決めるものであるが、リスク論になると安全目標自体は社会が決めるということになるので、安全の概念がかなり発展したということにもとれる。

前記の表2にリスク論も加味して、原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の安全・リスク概念の相違の比較の一例を表3に示す。プラントの寿命が原子炉施設はたかだか60年で、HLW処分の方は百万年オーダーになっている。原子炉施設のプラント構成は基本的に一定で変化しないと仮定しているが、それに対してHLW処分は現象の推移を見ている。また原子炉施設の場合はかなり事象が明確なために、独立な安全防護系がどのように故障していくのかをシーケンスで見えていくことであり、それに対してHLW処分では事象に大きな不確かさがあるために、シーケンスというよりシナリオに近いということになる。その例が、原子炉施設の場合はイベントツリーであり、分岐は独立した防護系の故障確率で、対象と

しているものは故障発生確率の誤差分布である。それに対してHLW処分の場合はSPARCツリーなどであり、対象としているものは漏えいの経路にかかわる依存性のある現象の発生確率である。すなわち信頼性理論ではなく現象論から出てくる分布である。そこで見ている確率分布というのは、データの偶発性による不確かさではなく現象の理解が不十分なことによる分布である。

③原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の通常時・事故時の安全概念の相違

原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の通常時と事故時との安全概念の相違を比較した一例を表4に示す。これは原子炉施設の通常時、事故時と地層処分での基本シナリオ、変動シナリオとの対応の整理を試みたものである。つまり、原子炉施設で安全評価にはまったく該当しない通常時の考え方が、基本シナリオ相当という対応が考えられ、いわゆる事故時といっても規模の小さい事象に相当するところを、変動シナリオに相当という対応になるというように整理してみた。

（2）原子炉施設とHLW処分施設の対比の試行例

前記の概念比較を踏まえて、さらに具体的

表3 原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の安全・リスク概念の違い

	原子炉施設	HLW処分（閉鎖後）
安全リスク概念	■ 深層防護 ■ 動的 ■ 設計基準事故・仮想事故 ■ 単一故障基準（前段否定） ■ 信頼性評価 ■ リスク評価（$R=P \times C$）	■ 多重バリア ■ 静的 ■ シナリオ評価（多重性） ■ シミュレーション ■ 物理化学現象評価 ■ 影響の確率分布の評価（SID, 等）
評価の特徴	■ プラント寿命：～60年 ■ プラント構成：一定 ■ シーケンス評価（独立性） ■ イベントツリー ■ 分岐：防護系の故障確率 ■ 事象発生確率の誤差分布 ■ 外部事象：確率事象	■ 永久に存在～百万年 ■ 現象の推移 ■ シナリオ評価（多重性） ■ SPARCツリー, 等 ■ 分岐：現象発生の確率 ■ 現象の理解の不確かさの分布 ■ 外部事象：必然事象

表 4 原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の通常時・事故時の安全概念の比較

	原子炉施設	HLW処分（閉鎖後）
通常時 —基本シナリオ	■ FP（放射性核種）の閉じ込めと計画的な放出による被爆の制御 ■ 制御系による安定運転 ■ 影響Cとして、リスクRにも配慮 ■ 安全評価対象外	■ 多重防護機能 ■ 基本シナリオに基づく、バリア機能の所定の劣化に伴うFP移行（地下水移行）による被爆の評価 ■ パラメータを確率論的に取り扱い、影響Cの不確かさの確率分布
事故時 —変動シナリオ	■ 初期（内部・外部）事象と機器故障・HEにより炉心が損傷し、炉心インベントリのFPが外部へ放出 ■ 瞬時の事象を寿命で平均 ■ 炉心損傷頻度CDF、早期大量放出LERF ■ 主に頻度Pを考慮、影響C、リスクRにも配慮	■ 変動シナリオに基づく、初期（内部・外部）事象によりバリア機能が喪失し、ガラス固化体内のFPが生態圏へ放出 ■ 超長期間・中間状態確率・繰返しによる影響の蓄積 ■ パラメータを確率論的に扱う、SID ■ リスク3要素（何が発生するか、影響C、発生確率P）

な比較を行い、リスク情報の適用に係る原子炉施設とHLW処分との対比の一例（試行例）を表5に示す。

原子炉施設は深層防護の状態区分を通常時、異常の発生防止、異常の拡大防止、異常の影響緩和に分類し、それぞれの状態において評価概念および評価手法を整理した。HLW処分は時間区分と地下水シナリオ（基本シナリオおよび変動シナリオ）、接近シナリオに分類した。さらに、HLW処分のシナリオ区分のうち地下水シナリオを細分化して、原子炉施設の

通常時と基本シナリオ、異常の発生防止と変動シナリオを対応させる考え方もある。これは、原子炉施設の状態区分に対応させてHLW処分のシナリオ区分を細分化するか否かの違いであり、内容的には大きな差はない。ここで、地下水シナリオとは、地下水により放射性物質が処分場から人間環境に運ばれる可能性に関するシナリオで原子炉施設の通常時（基本シナリオが対応する）または異常の発生防止（変動シナリオが対応する）の状態に対応するものと考えられる。接近シナリオは、

表 5 リスク情報に係る原子炉施設とHLW処分（閉鎖後）の対比の施行例

原子炉施設			HLW処分（閉鎖後）の時間区分とシナリオ区分					
状態区分		評価の概念	評価の手法	短期：～千年程度	中期：～10万年程度	長期：～100万年程度	シナリオ区分	
深層防護	通常時	＜安全評価対象外＞		・人工バリア経年劣化を想定 —ガラス固化体—オーバーバック—緩衝材	・天然バリア劣化 ・気候変動等外部環境影響 ・一部人工バリア考慮外（決定論） —オーバーバック—緩衝材健全性喪失	＜想定事象無し＞	基本シナリオ	地下水シナリオ
	異常の発生防止	初期事象選定 ■内部事象：事故、トランジェント ■外部事象：地震、火災（確率論）	事例分析				変動シナリオ	
	異常の拡大防止	レベルⅠ PSA ■機器故障-HE ■炉心損傷頻度RIPの対象外！	炉心イベントツリー フォールトツリー 信頼性理論	＜想定事象無し＞		・人間の接近 ・外部事象： —断層破断—火山、地震、気候変動（決定論）	接近シナリオ	
	異常の影響緩和	レベルⅡ PSA ■早期大量放出	格納容器イベントツリー（気体FP）					

* 閉鎖後短期間はモニタリングおよび回収可能性の維持は想定しうる。ただし、その有効性の検討を要する。

HLWと人間との物理的距離が接近することによって人間環境に影響が及ぶ可能性に関するシナリオ（人間侵入とか火山等の外部事象の影響による）で原子炉施設の異常の拡大防止または異常の影響緩和の状態に対応するものと考えられる。

そして、HLW処分の時間区分は、短期、中期および長期に分類して、短期とは人工バリアの健全性が確保できる期間と考え、千年程度までとし、中期とは天然バリアの健全性が確保できる期間と考え、十万年程度までとした。そして、長期とは天然バリア、地質学的影响を考慮する必要がある期間で地質環境の安定性が確保できる期間とし、さらにそれ以上の評価は無視できると考えられる百万年程度までとした。さらに各期間において、それぞれに対応する事象を具体的に記載した。

HLW処分の時間区分と原子炉施設の状態区分の対比は、HLW処分の短期および中期と原子炉施設の通常時および異常の発生防止、HLW処分の長期と原子炉施設の異常の拡大防止および異常の影響緩和がそれぞれ対応するものと考えられる。

5. HLW処分へのリスク情報の活用に係る課題

今までのHLW処分の安全の歴史を振り返ると絶対的な評価ベースである線量基準があり、リスクは、それを補完するためにリスクを活用しようとする傾向が強くなってきている。しかし、リスク単独で議論するのは難しく、リスク基準だけで安全評価として成立するかという疑問がある。結局リスクは、併存または補完的な位置付けで検討していこうという意味合いが強くなり、線量基準に置き換わってしまうことはありえないと判断する。

HLW処分のために研究開発として今何を行えば良いか、そしてそれを段階的に進めることが重要であり、そのために人的資源等を適正に配分することが必要である。

また、リスク情報はそれ自身で安全を議論するというより、むしろリスク情報を、社会とのコミュニケーションに使う、リスクコミュニケーションや世代間倫理の議論の中で使う方が、方向性として適切な気がする。HLW処分では今の世代の人とのリスクコミュニケーションや、さらにそれを拡張して何世代か先までの枠組みを作ろうという段階的アプローチもある。段階的アプローチは、世代間倫理の議論と同等と考えることができる。

一方、HLW処分の管理期間の範囲としてどこまで考慮すればよいかという課題があり、百万年という議論があった時に世代間倫理で議論する範囲を越えているとか、技術的課題の予測可能性がどのくらいあるのか、エンジニアの現世代での責任範囲が本当に何万年もあるのかなど、議論は別途あるものとする。リスク情報を、リスクコミュニケーション、世代間倫理、技術的課題の予測可能性と責任範囲（数万年の問題）に適用可能か検討することが今後の課題である。

6. おわりに

本稿では、HLW処分におけるリスク情報の活用の観点からの意思決定の意義について、調査の成果および専門家等の方々の議論の途中結果を紹介した。

HLW処分については、現在事業者から処分場サイトの公募中であり、今後応募に基づき文献調査、概要調査および精密調査と処分場サイト選定のための事業が段階的に進み、その後処分場の建設、操業へと進んでいくものと考えられる。その事業の推進とともに、安全規制に係る作業も推進されなければならない。特に、RIRについては今後研究開発を段階的に進めるとともに、人的資源等を適正に配分することが重要であり、課題の検討が必要である。本稿で述べた内容が今後のRIRに関する検討の参考となるものと期待する。

HLW処分へのリスク情報の活用に関し、そ

れに参加している規制者，事業者，ステークホルダー各人が，リスクコミュニケーションや世代間倫理の議論に基づき，それぞれ何を成すべきか，その役割分担を明確にし，それぞれの役割において責任を果すことが重要である。

参考文献

- (1) 原子力委員会，「原子力政策大綱」，平成17年10月
- (2) 原子力安全委員会，「リスク情報を活用した原子力安全規制の導入の基本方針について」，平成15年11月

- (3) 原子力安全委員会，「リスク情報を活用した安全規制の導入に関する今後の課題と方向性〔調査審議状況の中間とりまとめ〕」，平成17年12月
- (4) 経済産業省原子力安全・保安院，「原子力安全規制への「リスク情報」活用の基本的考え方（最終案）」，平成17年5月
- (5) 原子力安全委員会，「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」，平成16年6月
- (6) 核燃料サイクル開発機構，「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート」，JNC TN1400 99-020，平成11年11月
- (7) S.T. Ghosh, "Risk-Informing Decisions about High-Level Nuclear Waste Repositories," MIT Dr. Thesis, August 2004.

【リスク情報，HLW処分の安全評価等の専門家および有識者等名簿】

（順不同，敬称略）

森山 裕丈	京都大学 大学院 教授
山口 徹治	(独)日本原子力研究開発機構
宮原 要	(独)日本原子力研究開発機構
竹内 光男	原子力発電環境整備機構
楠瀬 勤一郎	(独)産業技術総合研究所
中居 邦浩	日揮(株)
堀川 義彦	関西電力(株)
黒田 茂樹	関西電力(株)
森本 恵次	関西電力(株)
石黒 勝彦	原子力発電環境整備機構
稲継 成文	原子力発電環境整備機構
蛭沢 重信	(財)エネルギー総合工学研究所
氏田 博士	(財)エネルギー総合工学研究所
井上 隆	(財)エネルギー総合工学研究所

風のアルゼンチン・パタゴニア

—風力エネルギー資源の現地調査を行って—

村 田 謙 二 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 特別研究員



1. はじめに

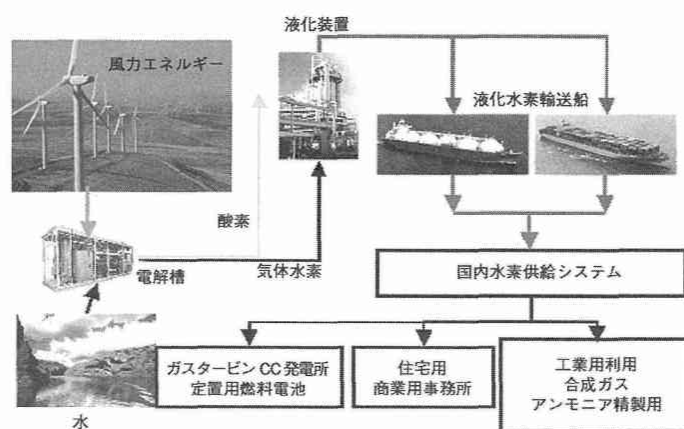
再生可能エネルギーは、地球温暖化問題解決の有力な手段として、あるいは国産エネルギー資源の利用・エネルギー自給率向上の手段として、重要な位置づけを与えられてきた。

中でも風力発電について、わが国では、2010年300万kWを目標に導入が進められている。しかし、国内では風況の良い場所は限られており、量的目標を達成するのは難しいというえ、誰がその高コストを負担するかという経済性の問題を抱えている⁽¹⁾⁽²⁾。勿論、図1のように、海外の風況が良い場所で風力発電を行い、その電力で貯蔵・輸送が可能な液体水素を製造し、輸入する方法も考えられる。それにしても他のエネルギー資源との比較において経済性の面で課題が残っていた^{*}。

ところが、昨今の石油価格の高騰と高止ま

りという情勢下で、風力発電の電力で製造した液体水素を輸入する手段が現実味を帯びてきている。そんな折、アルゼンチンのガス会社CAPSA-CAPEX社が同国南部のパタゴニア地方で大規模風力発電ファームを建設し、その電力で作った液体水素を輸出する計画を「再生可能エネルギー国際会議」(2004年6月1日～4日、ボン)で提案した。

このこともあって、水素エネルギー協会(HESS)が新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)より受託した「南米の再生可能エネルギーを利用した水素の生産に関する調査」の一員として、平成18年1月3日～12日まで、アルゼンチンのパタゴニアとブラジルのサンパウロ地区の調査を行った。本稿では、「パタゴニアの風を日本へ運ぼう」を標榜して行った、アルゼンチン南部チュブット州、サンタクルス州の現地調査から得た雑感を述べる⁽³⁾⁽⁴⁾。



注) 海外での気体水素販売は含まない。

図1 風力発電による水素製造と輸送・供給の概念図

* かつて、WE-NET(水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術計画)で、カナダの水力発電由来の水素輸入について検討がなされたことがあったが、コスト面で課題が残った。

2. パタゴニアの風と人

(1) パタゴニアの地勢と風況

図2で、北からネウケン、リオネグロ、チュブット、サンタクルス州の4州がパタゴニア地方である。北部は牧草地帯で風況はそれほど良くない。今回の調査地域であるチュブット州、サンタクルス州は、アンデス山脈の麓から海に向かって緩やかな勾配の丘陵地が300km以上にわたって続くため、乱れの少ない強風が西から吹き抜ける。殆どの地域で平均風速7m/秒以上、中心部では10m/秒を超える所もある。両州は、風が強いこととともに、アフリカやオーストラリアの最南端よりもさらに南（南緯40度以上）に位置し、冬が寒いため、丘陵地帯には灌木が所々に生えている程度で、風を妨げるものがない。一般的な景観を図3に示す。四方いずれも地平線で、大地からいきなり空に移るという景色が、車で1時間以上走っても変わることなく続く⁽⁵⁾。

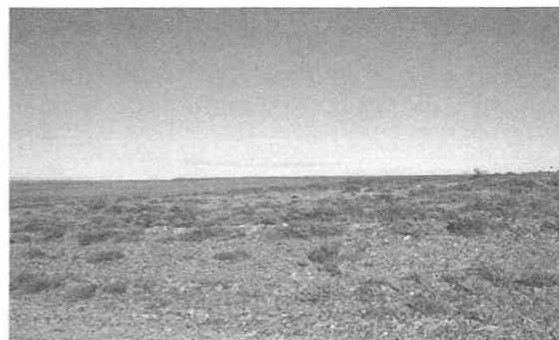
両州とわが国との比較を表1に、「風力エネルギーの宝庫」、「風のクウェート」と称されるパタゴニア地方の条件をわが国との比較で表2に示すが、パタゴニア地方は通年の風力発電の運転に適している。



図2 アルゼンチンの地形図とパタゴニア地方



(飛行機内から)



注) 同じ場所ではない。

(地上で)

図3 パタゴニア地方の一般的な景観

表1 チュブット州、サンタクルス州と日本の比較

	チュブット州	サンタクルス州	日本
人口	41万3,000人	19万7,000人	1億2,670万人
面積	$225 \times 10^3 \text{ km}^2$	$244 \times 10^3 \text{ km}^2$	$378 \times 10^3 \text{ km}^2$
人口密度	1.8人/km ²	0.8人/km ²	335.5人/km ²

表2 パタゴニア地方と日本との比較

- ① 両州を加えると日本より広いが、その全域がほぼ平坦な丘陵地なので、州内の殆ど全ての地域で風車の建設が可能となろう。まさしく、「風の谷」ならぬ「風の大平原」である。
- ② 人口はきわめて少なく、しかも限られた都市に大部分が居住しているので、それ以外の丘陵土地は、ほぼ無人である。
- ③ 舗装された道路は、幹線道路のみで、これに沿って送電幹線・天然ガスパイプライン等もある。この幹線道路はほぼ直線状で、建設重機や大型羽根の搬入には問題が無い。またそれ以外の道路は、単にブルドーザで表土を十数cm削っただけであるが、パタゴニアの土質からそれで十分道路となり、雨が少なくてぬかるみとならないので、道路を作らなければならないとしても、問題は少ない。特別な規制も無く、風車建設に際して問題の発生する可能性は非常に少ない。従って、州の面積の半分に風車設置が可能と思われる。
- ④ 風には、風車故障の原因となる突風や台風、大きな風向変動、大きな乱れも無く、雷も無い。

(2) チュブット州訪問

チュブット州では、まず、州都ラウソンで、エビータファンのマリオネベス州知事らと懇談した。席上「風力を利用してチュブットを発展させたい」との強い期待を聞き、また風況と水源、飛行場、港湾等のインフラに関する情報提供の約束を得た。州北部は風速6～7m/秒の地域で、中央部から南は7～8m/秒、海岸付近では8～10m/秒の風が吹くとのことである。風車設置を想定する州の半分では、風車のハブを設置する地上70mなら平均で9m/秒の風が得られよう。

アルゼンチンは、CNG自動車（圧縮した天然ガスを燃料とするエンジン自動車）が世界で一番多い（120万台、全世界の36%）ので、風力発電で製造する電解水素の当面の利用法として、天然ガスに水素を混入して首都ブエノスアイレス等の消費地に送り、混合ガス（化石・再生可能ハイブリッド燃料）で走行可



図4 マリオネベス州知事夫妻（手前）

能なCNG自動車等への供給を考慮しているとのことである。

次いで、石油と天然ガス産出の中心地で、州最大の都市コモドロリバダビアを訪れた。コモドロとは、スペイン語で「風が通る」という意味である。ここでは、独占的に配電しているコモドロリバダビア協同組合（SCPL：Sociedad Cooperativa Popular Limitada de Comodoro Rivadavia）を訪問した。26台の欧州製風車で10年以上系統に連系して一般家庭の電力消費の7～10%（平均5,000MWh/月）を供給しているSCPLでは、風車の運転実績では、設備利用率が40%前後と高いが、風車仕様が欧州向けでこの強風にマッチしていないためか、数年経過すると故障が多くなってきているという。風力以外の配電のための電力は卸業者より購入しているが、この購入価格は国が66ペソ/MWh（22米ドル/MWh=2.42円/kWh、1米ドル=3ペソ=110円で換算）と統制している。各戸への小売の電力価格は、



図5 コモドロリバダビアの街（丘の上から）

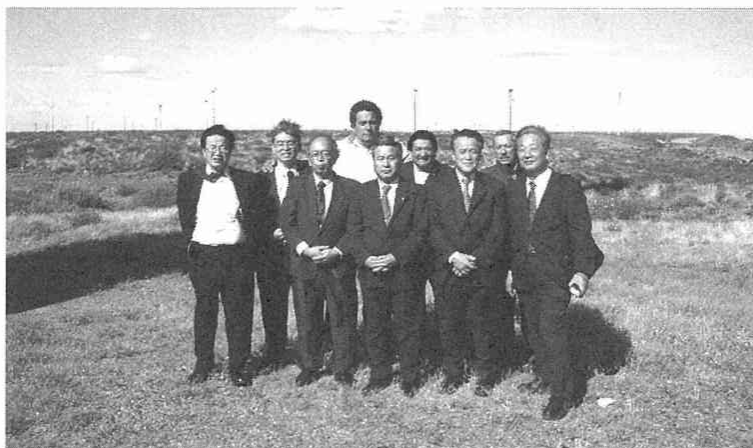


図6 SCPLの風力発電ファーム前で

120ペソ/MWh (4.4円/kWh) とのこと。風力発電電力のこの配電網への販売価格も卸売の価格統制を受けるが、風力には、州と国から合わせて15ペソ/MWhの補助が与えられる（但し、採算をとるには30ペソ/MWh以上の補助が必要とのこと）ので、風力発電電力の系統への実質的な販売価格は、81ペソ/MWh (2.97円/kWh) と言える。

(3) サンタクルス州訪問

サンタクルス州の中央部分は10m/秒を超す強風地帯である。電気分解用の水を供給できる川はあるが、港湾は小さく大きな船舶の接岸には改修が必要となる。サンタクルス州では、チュブット州に近く、石油と天然ガスの町と言われるピコトルンカド市を訪問した。休日の土曜日にもかかわらず、早朝より案内してもらって、川のある場所と水素村（コルエル カイケ村）と、アルゼンチン水素協会が作った水素製造実験施設を視察した。図7



図7 水素製造実験施設周辺の風車

にこの施設の概観を示す。この施設には、ドイツから無償援助で提供された4台の660kW風車が設置・運転され（設備利用率は平均45%）、また、未だ稼働してはいなかったが、図8のようなカナダ製の水電解水素製造装置があった。

この後、実験施設内のセミナー室でオスバルド・マイモ ピコトルンカド市長、フアン・カルロス・ボルスィーチ アルゼンチン水素エネルギー協会長らと打ち合わせを行った。アルゼンチンの法律では、（地下）エネルギー資源は州のもので、資源の処分権は州が有するが、風力エネルギー資源についても、この考えが適用されるだろうとのことであった。打ち合わせ時に、セルジオ・アセバド サンタクルス州知事から「水素に関する日本からの投資に対しては、同額をサンタクルス州が負担する。すなわち全

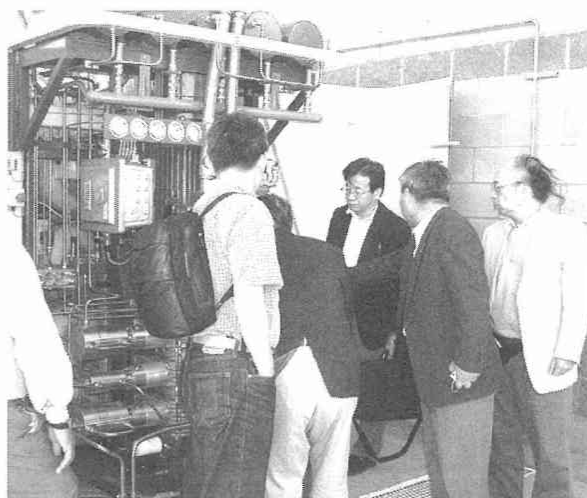


図8 カナダ製の水電解水素製造装置

投資の50%を州が負担する」との電話があった。(サンタクルス州出身のキルチネル大統領らも援助するとのこと)。また、アルゼンチンでは、豊かな自然の産物をそのまま(例えば丸太)輸出すると15%の輸出税がかかるが、「風車での風力発電-水電解-水素液化-日本への運搬」のようなスキームなら輸出税はかからないと想定される。

3. 風力発電の潜在的規模とコスト

このような風況と地勢、インフラ状況のもと、パタゴニアの潜在的な風力発電の規模・

コストと風力発電電力を用いた水素の理想製造コストの推定を行った。その結果をまとめて表3に示す⁽³⁾⁽⁴⁾。

両州合わせてパタゴニア地方の風力ポテンシャルは9兆6,700億kWhで、日本の年間発電電力量の8倍以上に相当する膨大な量となった。また、現状技術ベースのコスト試算から、電力コストは3.3~3.8円/kWhとなった。パタゴニアの風況・地勢とインフラに適合した設備仕様、建設・保守方式の技術開発、そして風車の量産の程度によっては、発電コストを2円/kWh程度(アルゼンチンの卸電力価格は2.42円/kWh)にするのは可能と思われる。

表3 パタゴニア風力発電の潜在規模・発電コスト(現状技術ベース)と気体水素理想製造コスト

	チュブット州	サンタクルス州
風況	平均風速(60m高)	9m/s
	想定風速分布	10m/s
	想定定格風速	ワイブル分布(形状係数2)
	想定設備利用率	14m/s
	風向(卓越風向)	45%
風車単機	風向(卓越風向)	西(アンデス山脈から吹き降ろす西風)
	定格出力	3MW
	想定風車直径(D)	100m
	ハブの高さ	70m
風車設置	推奨基準風車	三菱 IEC-Class1 定格出力1000kW (MWT-1000)
	配置	卓越風向に直角の北南方向に一列配置、左右方向は3D(300m)後列とは10D(1km)離す。
	単機設置必要面積	0.3km ² /機
	総設置面積	112x10 ³ km ²
	総設置台数	374,000機
発電設備能力	1123百万kW	1220百万kW
	4兆4286億kWh	5兆2367億kWh
電力コスト試算	(日本 2004年の自家発電を含む設備能力は、272百万kW、発電電力量は1兆1373億kWh)	
	3.45-3.75円/kWh	3.3-3.6円/kWh
風力水素理想製造コスト	0.96-1.04円/MJ	0.92-1.00円/MJ
	発電システム建設コスト	US\$1,430/kW(157千円/kW 1\$=110円)
	金利	(BTM社 World Market Update 2005 陸上フルターンキーコストより)
	償却・取替え(寿命)	2%-5%を想定
	運転・保守	償却10年、取り替え20年を想定
変動費分	0-5年 0.5-10年 1,11年以降 1.5(c/kWh)	
	(BTM社 World Market Update 2001より)	
	11.6-20.4円/Nm ³ -H ₂	
	0.91-1.61円/MJ(HHV)	
	8.8-17.6円/Nm ³ -H ₂	
水電解効率率	(電解電力コスト 2-4円/kWh想定)	
	4.4kWh/Nm ³ -H ₂ (効率80% 期待値)	
固定費分(無利子)	2.8円/Nm ³ -H ₂	
	(全取替え 10年=8.7万時間想定)	
水電解システム設備費	25万円/(Nm ³ -H ₂ /h)(2020年期待値)	
	(期待値はNEDO燃料電池・水素技術ロードマップより)	

水素の発熱量(高位発熱量: HHV): 3.54kWh/Nm³ 12.7MJ/Nm³ 141.86MJ/kg 1kg→11.1Nm³
 水素の発熱量(低位発熱量: LHV): 3.00kWh/Nm³ 10.8MJ/Nm³ 120.0MJ/kg

(注) 年間の風車の発電出力はおおむね風速の3乗と設備利用率の積に比例する。例えば、わが国では平均風速6m/s、設備利用率30%で採算が取れるとされているが、チュブット州の場合、平均風速9m/s、設備利用率45%であるから、年間の発電出力は5.1倍になる。風車建設コストが同じなら、電力コストは5分の1になる。なお、風車は最も頻繁に得られる風力エネルギーに相当する風速以上で定格出力になるように設計している。

表4 日本への水素輸送・供給コスト

ケース (発電単価)	ケース1 (5円/kWh)	ケース2 (2円/kWh)	ケース3 (2円/kWh)
電力費	25.9	10.4	10.4
水素製造	5.2	5.2	5.2
液化設備	10.4	10.4	10.4
貯蔵設備(積地)	4.5	4.5	4.5
小計(円/Nm ³)	(46)	(30.5)	(30.5)
タンカー輸送	6.7	6.7	コンテナ輸送 7
貯蔵設備(揚地)	13.3	13.3	
水素輸送コスト合計(円/Nm ³)	66	50.5	37.5

上記の全風力発電電力量の内、日本への液化水素の輸出に3分の1(3兆2,200億kWh/年)を割り当てると仮定すると、日本への輸出水素量は5,220万t/年となる。この水素を日本へ供給する際の、各段階でのコスト(円/Nm³)を、WE-NETのケース6(輸送距離2万km)に従い試算した結果を表4に示す⁽³⁾。

ケース3では、液水タンカー(20万m³)でなく、荷揚げ地に貯蔵設備が不要な、液体水素コンテナタンク(ISO40フィート)を5,000個搭載する貨物コンテナ船(タンカー同等輸送量)で輸送することになっている。この際、輸入港での水素供給コストは37.5円/Nm³となる。ガソリン価格を120円/ℓ(税込み)とした際、ガソリンと熱量(LHV)等価な水素価格は36.8円/Nm³(3.4円/MJ-LHV)となるので、上記ケース3の水素コスト(但し、輸入受け入れ港での非課税コスト)は、この価格に近いと言える。

4. 風とともに

(1) 割高となる輸入液体水素

パタゴニア地方の風力エネルギーの規模は十分大きく、電力として現地で使用する場合には、他の燃料からの電力と競合しうるコストとなると予想される。しかし、それを液体水素に変換して日本に持ち込む際のコスト(熱量ベース)は、37.5円/Nm³(3.0円/MJ-HHV, 3.4円/MJ-LHV)となる。これは、燃料電池車が水素燃料を購入する水素ステーション

での水素提供価格としては競合可能であっても、エネルギーキャリアとしては、石油・LNG等のCIF価格⁽⁶⁾(運賃・保険料込み輸入港到着価格、それぞれ2004年で、0.68円/MJと0.54円/MJ)に比較して、数倍高価である。

(2) 液体水素の輸入・使用の可能性

石油は太陽エネルギーのストックであり、風力はフローであるという成り立ちの違い、化石エネルギーの価格動向、二酸化炭素(CO₂)排出権価格の動向等に鑑み、風力エネルギーからの水素をエネルギーキャリア(輸送媒体)として輸入・使用する可能性について検討してみる。

[太陽エネルギーのストックとフロー]

エネルギー資源は、時間的・空間的に濃縮されて、採取しやすい形態となっている。この濃縮の程度を、風力発電(サンタクルス州に設置する風車群)、太陽光発電(メキシコの砂漠に設置した太陽電池群)、そして化石エネルギー(世界最大のガワール油田)と比較した結果を表5に示す。因みに、サウジアラビアのガワール油田は、コストが世界で一番安いと言われてきた。

ガワール油田とパタゴニアの風力発電の最大の違いもコストにある。最も風力資源に恵まれたパタゴニアでの風力発電の将来の発電コスト2円/kWhですら、ガワール油田のコスト0.19円/kWhの10倍以上になる。優良な油田の原油では、適切な地点でキャップロック

表5 地表単位面積当りのエネルギー密度（再生可能エネルギーと化石エネルギー）

太陽光エネルギー ^{(*)1}	風力発電 (バタゴニア サンタクルス州) 244x10 ³ km ²	太陽光発電 ^{(*)1,*)2} (メキシコモハベ砂漠) 200x10 ³ km ²	巨大油田 ^{(*)3,*)4,*)5} (ガワール油田) 油田面積 4360km ²
理論入射エネルギー 0.9~1.0kW/m ² 昼夜平均入射エネルギー 0.3kW/m ²	平均風速 10m/s 風車単機定格出力／設置面積 3MW/0.3km ² 設備利用率(Capacity Factor) 49%	24時間・年平均の日射量 0.23kW/m ² 太陽電池パネル被覆率 30% 太陽電池（光電変換）効率 10%	全可採埋蔵量 (既産出量550億バレル含む) 1350-1750億バレル 埋蔵エネルギー量 52.9-68.6MWh/m ² 平均産出量 500万バレル/日
年間理論入射エネルギー 2628kWh/m ²	風力発電域での年間出力 43kWh/m ²	太陽光発電域での年間出力 60kWh/m ²	年間産出エネルギー量（油田単位 面積あたりの年平均資源減耗量） 716kWh/m ²
	年間全体出力（規模） (サンタクルス州面積の50%に 407,000機の風車設置と想定) 5兆2367億kWh(電気)	年間全体出力（規模） (砂漠面積の10%に設置と想 定) 1兆2088億kWh(電気)	年間全産出エネルギー量（規模） (年平均資源減耗量) 3兆498億kWh(化学)
	発電コスト（金利2-5%を想定） 3.3-3.6円/kWh（電気） 0.92-1.0円/MJ（電気）		産出コスト（＜3ドル/バレル） 0.19円/kWh（化学） 0.054円/MJ（化学）

(*)1)WE-NET成果報告書9632（1997.3発行）

(*)2) "Solar and Wind Technologies For Hydrogen Production (DOEから議会への報告 2005.12)

(*)3)フリー百科事典『ウィキペディア（Wikipedia）』『ガワール油田』

(*)4)榎原機、「サウディアラビアの原油埋蔵量と生産能力」中東協力センターニュース（投資関連情報） 2004.10.11

(*)5)原油熱量：38.721kJ/リットル→6157MJ/バレル→1710kWh/バレル

単位換算：1バレル=42ガロン=159リットル 1MJ=0.2778kWh

（不透性の地層）に孔を開けて圧力を開放すると、自噴するほどに、液体である原油が自然と集まっている。このことが、他のすべてのエネルギー資源に対する優位性のもととなっている。ガワール油田が「サウジアラビアの奇跡」と言われる所以である。

[化石エネルギーの価格動向]

① 石油

石油の輸入価格の将来見通しは、2004年以降、現在の高水準で推移すると予想されている。例えば、米国エネルギー省エネルギー情報局（DOE/EIA）の2004年版、2005年版、2006年版の、2025年の輸入石油の価格予測、高値一基準一安値予測は、表6のようになっている⁽⁷⁾。

② オイル（タール）サンド

1,750億バレルと巨大な埋蔵量を誇る、非在来石油資源であるカナダ・アルバータ州のオイルサンドは、原油換算で25ドル／バレル程度（1.6円/kWh、0.45円/MJに相当）の（出荷）コストとされる。石油の輸入価格がこのコストを長期にわたり上回ると予想されるようになったため、大きな開発投資がなされている⁽²⁾⁽⁸⁾。このオイルサンドでは、露天掘りの場合を除き、

表6 石油価格の2025年予測（ドル/バレル）

	2004年版 (2002年ドル)	2005年版 (2003年ドル)	2006年版 (2004年ドル)
高値	35 (0.62)	48 (0.86)	90 (1.61)
基準	27 (0.48)	35 (0.63)	54 (0.96)
安値	17 (0.30)	21 (0.38)	34 (0.61)

※()内は6157MJ/バレル、110円/ドルで、円/バレルに換算した値。
(出所：USDOE/EIA)

高粘度の重質油を、自重で、あるいは圧力を掛けて低粘度とするために、熱水蒸気注入管等、人工的に、地中にエネルギー資源を収集する構造を構築しなければならない。これが、25ドル/バレルという高コストの主要因と考えられる。

[風力発電の高コスト要因]

風力発電では、風車と送電網という、エネルギー資源を収集する構造を、人工的に地上に構築し、一定期間での取替を含め、その保守も必要で、これが高コストの要因となる。ただ、バタゴニアの風力発電の現状技術での発電コストは、オイルサンドの2倍程度であり、将来の技術開発で現在のオイルサンド価格に近づけることは可能と思われる。

[エネルギー利益率の推移の違い]

エネルギー資源の品質の評価指標には、生産されるエネルギー量を入力エネルギーで除した、EPR (Energy Profit Ratio: エネルギー利益率) がある。実際、化石エネルギー資源は採取しやすいところから使われていくため、EPRは平均的には年とともに小さくなっていくが、再生可能エネルギーは技術の進展により逆に大きくなっていく⁽⁹⁾。

[貯蔵・輸送形態の違い]

もう1つの大きな違いは、採掘した化石エネルギー資源は貯蔵・輸送のできる化学エネルギーの形態であるのに対し、再生可能エネルギーから容易に取り出せるのは、それができない電気エネルギーの形態であることである。

風力や太陽光など、再生可能エネルギーを輸出・輸入するためには、化学エネルギーへの変換が必要である。その第1段階の変換は水電解による水素(気体)の製造に限られる。次段階では、水素液化だけでなく、水素キャリアとしてのアンモニアやグアニジンの製造、近傍で産出する石炭と水素とから製造するメタノールやDMEがありうる。

風力発電電力価格を2円/kWhとすると、理想的な(金利等は考慮せず、技術進展を考慮)電解水素のコストは、3.27円/kWh、0.91円/MJ (HHV: 高位発熱量で計算)となる。風力発電電力で作る水素(風力-水素)のコストは、オイルサンドを原料とする石油の出荷コストの2倍弱までにしか下がらない。

[CO₂排出権取引価格と水素コスト]

一方、地球温暖化の速度を遅らせるため再生可能エネルギー使用拡大にかかわる高コストを先進国間で補償する仕組みとして、CO₂排出権取引がある。わが国の電力一律のCO₂排出係数の0.555kg-CO₂/kWh⁽¹⁰⁾とEU-ETS(欧州連合の排出枠取引)での取引価格⁽¹¹⁾の4.3円/kg-CO₂と、水素を用いた際の発電効率を50%(水素のHHV基準の燃焼熱の50%が電力に変換されると仮

定)として、風力-水素はこれらの積である0.34円/MJ (HHV) だけ高くても許容されることになる。これを考慮した、電解水素の出荷コスト0.57円/MJ (=0.91-0.34)は、オイルサンドの(出荷)コスト0.45円/MJに近づくが、CIF価格でも同等となるには、低コストな大量輸送手段が必要となる。

なお、このような風力-水素の高コストは、一面でその風力発電・水電解にかかわる産業の創生と継続に寄与する。風車設置には、一方では、人口密度が低く広い土地の方が良いが、他方、保守・取替えのためには、道路建設や風車製造工場を設けられる程度の人が必要となる。

[残されている技術開発課題]

上記のような観点から、水素をエネルギーキャリアとして輸入するには、まだ、いくつかの技術開発が必要となる。

①最終利用者向けの高品質の電力は水電解には必ずしも必要ではない。急速に出力変動する風力タービンからの発電電力全量を、系統への電力の供給なしにそのまま用いて、出来るだけ低コストで水素を製造する技術。

②大量の水素の、低コストな貯蔵・輸送手段。これには、輸送インフラがほとんど必要でなく水素の軽さと風を利用した長距離輸送、化石エネルギーの既存の輸送インフラをうまく使う技術、水素単独より水素分の重量密度・体積密度の大きい物質(水素キャリア)に変換しての輸送、消費末端で必要とされる精製燃料へ水素を用いての現地での原燃料の改質等の方向が考えられる。

5. 終わりに

風力発電の2005年の新規導入量は11,769MW(140億ドル)と、対前年増加率43%と急拡大し、エネルギー供給のかんりの部分を風力発電等再生可能エネルギーで担わせる動きが高まってきている⁽¹¹⁾。

また、米国DOEでは、「水素生産のための太

陽と風力エネルギー技術」プログラムで、全米の太陽と風力エネルギーからの水電解による潜在的な水素生産量を評価し、2040年に、すべての小型自動車（3億台）が水素を燃料とした場合の必要水素量（6,400万トン）の15倍以上（10億トン）が生産可能としている⁽¹²⁾。

しかし、わが国の国土面積と人口を考慮すると、米国と異なり、再生可能エネルギーで十分な量をまかなうことは考えにくい。しかも世界的な競争状況で、産業・生活のエネルギーコストが高くなりすぎるような低品質の再生可能エネルギーに依存するのも得策でない。国際的な視点から再生可能エネルギーの利用の検討が必要となる。

ところで、世界的に風況が良いとされる地域であっても、アフリカ、アジアや南米では、必ずしも風況データが揃っておらず、風力発電に適した地域への風車の普及を狙いとした、「風力地図」策定の重要性が認識されつつある。

将来再生可能エネルギーへの依存を高めざるを得ないとするなら、今、この再生可能エネルギーに恵まれ、輸出余力のある地域との良好な関係を構築しておくのが望ましい。この再生可能エネルギーの開発は輸出国の永続する新規産業の創出に寄与するため、開発自体が相互にメリットのあることになる。風力エネルギーに恵まれたパタゴニアの風を日本に運ぶ開発の第1ステップとしてわが国の意思を示すため、パタゴニアの詳細な風力地図策定に、早急に協力すべきと思われる。

[謝辞]

パタゴニアの現地調査は、NEDOより水素エネルギー協会（HESS）が受託した調査の一環として実施された。NEDOおよび現地調査に同行されたHESS会員の調査団の皆様、特に団長でHESS会長の太田健一郎氏（横浜国立大学教授）に謝意を表する。

参考文献

- (1) 水谷仁「RPS制度のあり方に関する提言」、エネルギーフォーラム、2006年6月24～25日
- (2) 総合資源エネルギー調査会 需給部会「2030年のエネルギー需給展望」平成17年3月
- (3) NEDO平成17年度調査報告書05003143-0「南米の再生可能エネルギーを利用した水素の生産に関する調査」調査報告書、平成18年3月、(独)新エネルギー・産業技術開発機構、委託先水素エネルギー協会
- (4) 勝呂 幸男「アルゼンチンにおける風車利用の可能性」、足利工大第6回風力エネルギー利用総合セミナー、平成18年6月23～24日
- (5) <http://www.confluence.org/country.php?id=78>（アルゼンチン全土の任意の緯度経度で表された地点の四周の風景写真）
- (6) 「エネルギー経済統計要覧 2006年版」、日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット編
- (7) <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/index.html>（EIA: Energy Information Administrationより毎年発行されるエネルギーの現状と予測）
- (8) カナダ・アルバータ州、オイルサンド産業の最新動向、2005年12月、<http://www.altanet.or.jp/OilsandsUpdate.pdf>（オイルサンドのコストとして、WTIの指標が30ドル/バレル以上であれば、十分な利益が見込めるとの記事より、25ドル/バレル（原油換算）と想定した。）
- (9) 石井吉徳、「安く豊かな石油時代が終わる」、季報エネルギー総合工学 Vol28 No.1、2005年4月
- (10) 「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令の一部を改正する政令」2006年3月24日
- (11) 世界風力エネルギー協会 Global Wind Energy Council : GWEC 2006.2.17発表、http://www.gwec.net/uploads/media/Statistics2005_170206.pdf
- (12) Hydrogen Potential from Solar and Wind Resources http://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/5011_h2_potential_solar_wind.pdf

中国山西省における石炭利用について

橋 本 孝 雄

(財)エネルギー総合工学研究所
主管研究員

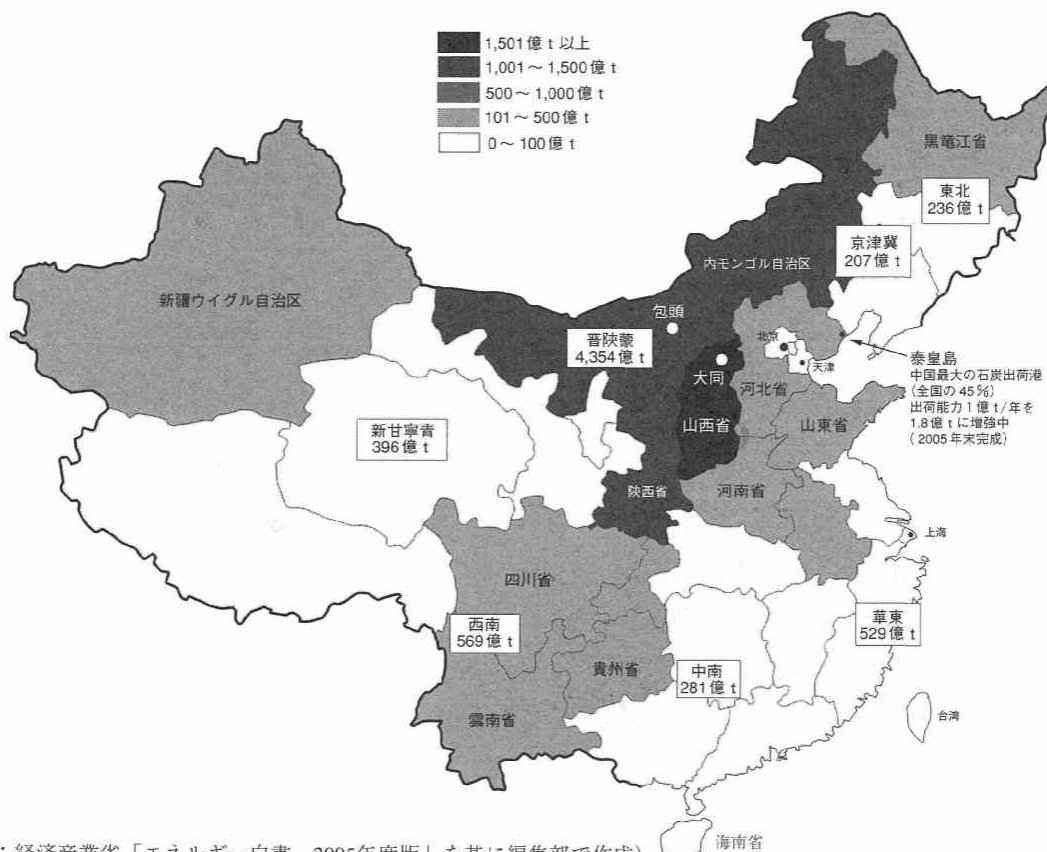


1.はじめに

中国は、1993年に石油輸入国に転じて以来、石油輸入量はますます増加傾向にあり（2005年の輸入量は1.3億t（前年比約5%））、最近、石油消費量でも日本を追い越したといわれている。このような状況を背景に、中国では、一次エネルギーとしての石炭の重要性は増すばかりである。石炭企業の再編による生産性の向上だけでなく、石炭を利用しやすい形に転換する、ガス化、液化プロジェクト（直接液化、間接液

化）が花盛りである。数年内に、実証、商業規模の設備が稼動する計画がいくつかあるが、計画通りに進捗するか興味のあるところである。

筆者は、2005年秋、「コークス炉ガス改質技術に関する現地調査」⁽¹⁾の一環として、中国山西省の省都太原市を拠点に、臨汾市、大同市、長治市の都市ガス製造企業、コークス製造企業等を訪問し、石炭利用の状況を直接知る機会を得た。以下、経済発展を続ける中国の中であって、石炭資源を背景に活況を呈する山西省諸都市の様子的一端を紹介する。



(出所：経済産業省「エネルギー白書 2005年度版」を基に編集部で作成)

図1 中国における石炭資源の分布 (2)

表1 部門別石炭消費量の推計 (3)

(単位：億t)								
	総計	石炭多消費産業					その他	
		電力	冶金	化学	建材	小計	民生	その他
1990	10.55	2.90	0.80	0.60	1.10	5.40	1.70	3.45
1995	13.77	4.77	1.55	0.82	1.55	8.69	1.35	3.73
1996	14.47	5.22	1.60	0.82	1.55	9.19	1.44	3.84
1997	13.92	5.33	1.56	0.76	1.52	9.17	1.22	3.53
1998	12.95	5.27	1.59	0.77	1.53	9.16	0.89	2.90
1999	12.64	5.39	1.60	0.79	1.55	9.33	0.84	2.47
2000	12.45	5.92	1.61	0.80	1.60	9.93	0.79	1.73
2001	12.62	6.46	1.71	0.81	1.62	10.60	0.78	1.24
2002	13.7	7.33	1.76	0.84	1.68	11.61	0.76	1.33
2003	15.9	8.5	1.8	0.8	1.7	12.8	0.74	2.36
2004	19.2	9.9	2.0~2.5	2.0~2.5	13.9~14.9	0.74	3.5~4.5	
2005	21前後	11	2以上	0.9	2	16以上	4以上	

注：2004年、2005年の数値は現地聞き取り調査等より
電力には熱供給が含まれる。冶金には購入コークスは含めない。

出所：煤炭工業出版社、「中国煤炭発展報告」他、および聴き取り調査より作成

2. 中国の石炭資源と需給状況

(1) 内陸部に偏在する石炭資源

13億人の人口と広大な面積を有する中国は、石炭の生産量が世界第1位、原油生産も第5位のエネルギー生産大国である。石炭を供給面からみると、中国における石炭は、一次エネルギー供給の約70%を占めており、化石燃料を中心としたエネルギー供給構造である。資源分布からみると、石炭は、図1に示すように、山東省、河南省、山西省、陝西省および新疆ウイグル自治区に多く、偏在している。このため、大消費地である中国沿岸部までの鉄道輸送網の整備・増強が供給確保上、相変わらず大きな課題となっている。

(2) 需要の伸びを反映した増産

中国の石炭生産量は、特に、2001年以降、経済発展に伴うエネルギー需要の伸びを背景に、大幅な増産が行われ、2004年の生産量は19.9億tとなった。内訳は、山西省5.1億tを筆頭に、内モンゴル2.0億t、河南1.5億t、山東1.4億t、陝西1.3億tと続いている。2005年には、中国全体で21億トンを超えたと速報されている⁽³⁾。

一方、石炭消費量は、表1に示すように、2001年以降、年率9～20%の伸びを示している。2004年の消費量は、電力部門（火力発電所）が9.9億tで国内消費量の約半分、冶金部門（鉄鋼）および化学と建材部門が、それぞ

れ同規模の2.0～2.5億tである。中国国家発展・改革委員会によれば、2006年の総需要量は22.5億tに達する見通しである。また、国際エネルギー機関（IEA）の推計では、2020年の中国の石炭需要量は24億tと予想している。

最近の世界的な石油価格高騰の中で、中国でも石炭の供給不足、在庫の逼迫などにより石炭価格の上昇傾向とともに、石炭需要も今後更に拡大していくもの予想されている。これらの状況に対応するため、国による近代的な炭鉱開発や石炭利用の効率化推進などの対策（例えば、全国13カ所大型石炭基地整備）が積極的にとられている。

また、最近の原油価格高騰の影響を受けて石炭価格も上昇傾向にあり、中国の大規模石

表2 主要国のコークス生産量⁽¹⁾

国名	生産量 (千t)	割合 (%)
中国	177,750	45.6
日本	37,908	9.7
ロシア	29,724	7.6
ウクライナ	20,098	5.2
インド	17,240	4.4
米国	14,400	3.7
韓国	10,380	2.7
ポーランド	10,112	2.6
ドイツ	7,527	1.9
ブラジル	7,148	1.8
その他	57,812	14.8
合計	390,099	100.0

(出所：「石炭年鑑2005年度版」、(株)テックスレポート)

炭企業を中心に、売り上げ、利益が伸びている。このような経済環境の変化を背景に、単に石炭を販売するだけではなく、潤沢な資金を活用して、石炭利用技術の自主開発、技術導入を志向する企業が増加している。

(3) コークス生産

中国は、また、コークス生産大国である。表2に示すように、2003年の生産量は、1億7,700万tと、世界のコークス生産量の約46%を占め、他の国を大きく引き離している。

3. 中国石炭産業のメッカ：山西省

山西省は、総面積15.6万km²（日本の本州の3分の2）、人口3,300万人、黄河流域の中部にあり、西に黄河、南西は河南省と境を接し、華北平原の西部に位置している。東は太行山脈を中心とする山地で、太行山の西側に位置することから、「山西」と言われている。全体の80%が平均標高800～1,500mの山地で、いわゆる「黄砂」で有名な黄土高原に属し、水不足は深刻で自然環境の厳しい地域である(図2)。

(1) 突出する石炭埋蔵量とコークス生産

山西省は、豊富な鉄資源のほかに、「石炭の里」、「石炭の海に浮かぶ省」と呼ばれるほど石炭資源に恵まれており、埋蔵量は中国の総埋蔵量の3分の1に当たる2,612億t、埋蔵面積は省全体の3分の1にも及び、生産量では中国の石炭の4分の1が山西省で生産されている。

山西省のコークス生産量は、毎年、中国全体の30～40%と突出している。他の省は10%以下である。コークス輸出の割合も高く、中国は世界の総輸出量の半分以上を占めている。

日本の場合、ほとんどのコークス工場が製鉄所内に立地しているが、中国の場合には、コークス専門企業の割合が高く、コークスの全生産量の60.8%がコークス専門企業によるもので、鉄鋼系企業29.7%、都市ガス系企業9.5%となっている。なお、鉄鋼全体でのコークス



図2 山西省の黄土高原

ス自給率は、約60%で、鉄鋼企業はコークス企業からコークスを購入している。

コークス製造の主要原料である強粘炭の埋蔵量でも、山西省は中国全体の半分以上を占めている。

(2) 深刻な環境問題

山西省は、他省への石炭移出のほかに、コークス生産を中心とした石炭利用が盛んな省であるが、それに伴う環境への影響は深刻である。2005年6月、中国国家環境保護総局により公表された中国の10都市（山西省の臨汾、陽泉、大同、長治、四川省の宜賓、攀枝花、甘肅省の金昌、湖南省の株洲、河南省の焦作、および直轄市の重慶市）は、大気汚染ワーストテンである。その中で、石炭産地である山西省は群を抜き多い。これまでの伝統的な中国の慣習によれば、公的機関が、受けの良い結果・情報を積極的に誇示することはあっても、マイナス情報を開示することは少なかった。このような傾向は大きな変化の1つかも知れない。

中国は今後も石炭を継続的に利用せざるをえないことから、生産地域および消費地域におけるエネルギー供給と環境保全とのバランスをどのようにとって行くかは重要な課題である。石炭の生産と消費拡大、石油消費の増大、天然ガスへの転換等とともに急激に企業改革が進められる中で、多くの課題と歪みが生じているのも事実であり、石炭生産のメッカ、山西省も大きな転機に立たされているようである。



図3 山西省概略図

4. 山西省の石炭利用の実例

今回の現地調査では、省内の移動は、太原市をベースとして小型バス（中国製）で行ったが、1970年代の日中国交回復当時は全く無かった高速道路網の整備が急速に進められており、その進捗の速さには驚かされた。中国初の高速道路は、1988年に開通した上海—嘉定間（全長18.5km）のもので、その後、全国の高速度道路網が急速に整備され、2004年末までに3.4万kmの高速度道路が建設された。さらに、2020年までに7万kmの高速度道路網整備の計画が進められている（図3）。

山西省には、2003年に開通した、南北を貫く幹線の「山西大運高速道路」（大同市—運城市、全長666km、計6車線）があり、近隣の省とも高速で結ばれている。

（1）大同市ガス有限公司の訪問（2005年11月18日）

太原市—大同市間は360km、18年ぶり、3



図4 大同市市内の様子

回目の大同市であった。相変わらず街中が石炭粉塵、排ガスにまみれているのではとの予想に反し、晩秋の晴天に恵まれたせいか、昔ほどの黒さ、暗さは感じられず、街には中国独特のカラフルな色彩があふれていた（図4）。

大同市ガス有限公司は、コークス炉ガスを原料に都市ガスを大同市内に供給している企業である。同社所在地は、大同市の中心部から南へ1.5 kmで、1990年に操業開始、工場敷地面積27万m²、選炭工場、コークス工場を6基（1基休止）、ガス精製設備の主要施設のほか、アンモニア、ベンゼン回収設備等を有している。現在、コークス工場を1基建設中である。当然ながら、大同炭を使用し、ガス発生量は26～27万m³/日（3分の1は自家消費で、3分の2程度を大同市内に供給）、コークス生産量は700～800 t/日である。

現在、中国政府による西部地域をガスで東部地域に輸送する「西気東送」方針に基づき、天然ガスの利用が注目されている。しかし、同社では、大同市の計画に従い、石炭ガスによる合成燃料製造を目指して30万 t/年のメタノール製造設備建設を計画中である。将来は、メタノールを化学原料とする化学品生産に繋げて行きたいと、かなり意欲的で日本の資金（例えば、政府開発援助（ODA））に関心を持っている。

中国における石炭ガス化技術動向についても話題に上った。大量の石炭を利用している中国では、ガス化技術は非常に重要な技術で、すでにテキサコ、シェル、中国プロセスの実績があり、今後、3～5年で更に設備導入は



図5 大同市ガス有限公司正門前

拡大するだろうとの話であった。日本のガス化技術については特に関心を示さなかったが、いつもの中国らしい表現で「低金利融資との抱き合わせであれば導入の可能性はある。中国は、いつでも市場、機会を準備しており、事業に参入するかしないかは日本側次第である」と話した。

(2) 臨汾市のコークス製造企業の訪問（2005年11月21日）

臨汾市は、太原市の南、約300kmにあり、中国の環境汚染地域ワーストワンといわれている。街に近づくにつれて街全体がすっぽりと霧に覆われて、幻想的な雰囲気が漂っていると思いきや、市内に入るとすぐに、喉がいがらっぽくなり、やはり空気が違うというのが第一印象であった。

臨汾市周辺のコークス生産能力は、年間、約1,000万tである。臨汾市では、比較的新しいコークス製造企業（臨汾同世達実業有限公司）を訪問する機会に恵まれた。冶金用コークスを70万t/年、タール2.5万t/年、コークス炉ガス40万m³/日（その内、40%の15万m³は余剰ガスとして焼却処理）を製造し、4,000kwのガス発電設備も有している。中国で初めてのコークス押出機を設置した工場があり、コークス工場は2基（50門（炉）、炉幅50cm×炉高4.3m、充填石炭量は、1炉当り26t、ガス消化設備もあり2003年に操業を開始し現在はフル生産である（図6）。

山西省政府の通達によれば、2005年中に太原市の6万世帯を天然ガスに転換することになっているが、臨汾市への指示は特にない。会社としては、5年以内に天然ガス導入を考

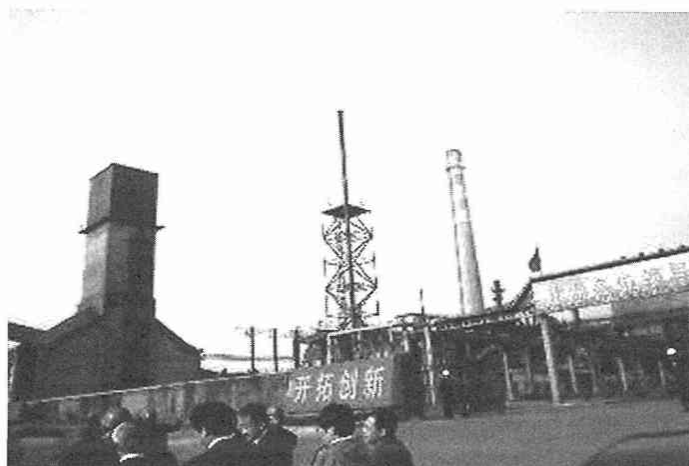


図6 臨汾市のコークス製造企業

えている。天然ガスとコークス炉ガスの価格（1m³当り）を比較すると、コークス炉ガスは天然ガスの3分の1であることから、液体燃料製造に興味を持っている。コークス炉ガスの放出を禁止するとの山西省指示への対応について質問すると、「多くのコークス炉ガスが利用されずに廃棄されており、対策のための何らかの設備導入を考えて行きたい。2005年末が対応期限であるが、当分の間は現状が認められると理解している」との、中国らしい現状認識を示した。

（3）長治市のコークス工場を核とした石炭加工利用地区（2005年11月22日）

長治市は、中心部50万人、周辺を合わせると人口380万人の中規模都市である。訪問先の企業は、1994年創立の企業集団（山西潞宝集

団公司）で、コークス製造を核として、エネルギー、電力、運輸等の関連企業を傘下にもつモデル企業で、長治市の郊外にあり、コークス設備は4、炭鉱、洗炭工場および発電所はそれぞれ2、その他、多くの関連会社からなる企業集団である（図7、図8）。

コークス製造設備として、ロシアとの合弁で、100万t/年規模が2系列（炉高4.3m）稼働中で、コークス炉ガスを原料に20万t/年のメタノール製造設備を建設中であった。また、自社技術で建設した、100万t/年のコークス製造設備（炉高4.3m）があり、コークス炉ガスから10万t/年のメタノールを生産している。25万t/年のコークス製造設備（炉高2.8m）も稼働中である。コークス炉ガスは、発電にも利用しており、発電能力は、計1.8万kwである。また、60万t/年のタール精製設備を建設中で、



図7 長治市の山西潞宝集团公司（コークス工場を望む）

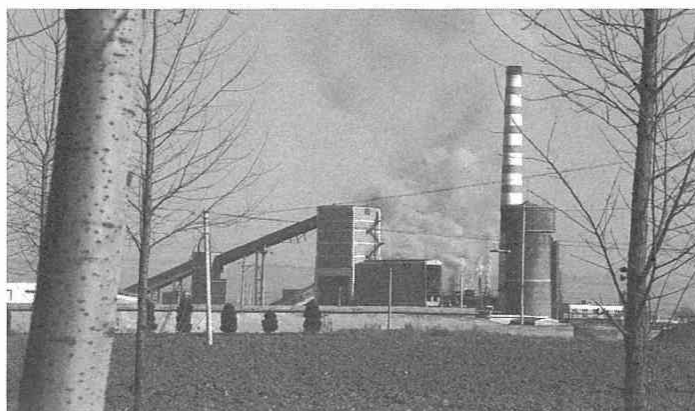


図8 長治市郊外のあるコークス工場（帰路車窓から）

1期工事（30万t/年）は完成し試運転中であった。メタノールは、化学工業原料であるが、中国では燃料としての需要が増えるであろうと予想されている。コークス炉ガスは、現在、3分の1を発電用に、3分の2が大気放出となっているが、2007年までにメタノール製造へ全量振り向ける予定とのことであった。メタノール製造プロセスは、高温コークス炉ガスから、タール、BTX等を除去したコールドコークス炉ガスを原料とし高圧条件下で合成する一般的な国内技術を採用する計画とのことであったので、無触媒コークス炉ガス改質技術⁽¹⁾について紹介したところ、関心を示し、メタノール合成工程を含めた総合的な検討を行い、経済性が良ければ、導入の可能性ありとのことであった。

5. おわりに

中国は、日本の26倍という広大な国土と13億の人口を抱え、少数民族を含めて56の民族から成る多民族国家である。多様で複雑なため、中国とは、何々であると言で表現することは不可能である。改革開放政策のもとで、ここ十数年、経済の高度成長が続いているが、これまで、中国のいくつかの地域を実際に垣間見た範囲でも、沿岸部と内陸部、都市部と地方（農村部）、民族間の経済発展の度合いは異なり、一般に言われるように、筆者も経済格差が広がっているとの印象を持っている。

しかしながら、昔に比べ、一般庶民の生活レベルが平均的に向上しているのは確かであろう。この高度成長の果実として手に入れた生活レベルを13億人が維持するには、大量のエネルギーと資源の安定確保が重要である。

山西省は、内陸に位置し、どちらかというところと経済発展の恩恵を受けにくい地域であるが、足下にある石炭を上手に利用して活発な経済活動を目指す企業は多く、今後の更なる発展が期待される。その際、石炭利用にあたり、環境対策とのバランスをとりながら行うべきことは当然である。

〔謝辞〕

本稿の一部は、平成17年度、(財)エネルギー総合工学研究所、三井鉱山(株)、バブcock日立(株)および(財)石炭エネルギーセンターの4者で新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から共同受託した「無触媒石炭乾留ガス改質技術を用いた産業間連携によるクリーン燃料製造に関する調査」（NEDO）を参考にした。改めてNEDOに謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) NEDO, 平成17年度クリーン・コール・テクノロジー推進事業「無触媒石炭乾留ガス改質技術を用いた産業間連携によるクリーン燃料製造に関する調査」
- (2) 経済産業省, エネルギー白書2005
- (3) NEDO, 平成17年度 海外炭開発高度化等調査「中国における石炭供給ポテンシャルと世界の石炭市場へ及ぼす影響」

● 行 事 案 内 ●

第22回 エネルギー総合工学シンポジウム

テーマ：『日本のエネルギーの未来を拓く
一次世代の自動車燃料開発—』（仮題）

開催日時：平成18年9月8日（金）10：00～17：00

会 場：経団連ホール（定員450名）
東京都千代田区大手町1－9－4 経団連会館14F

参 加 費：無料

プログラムは8月中旬に発送の予定です。

問合せ先：（財）エネルギー総合工学研究所シンポジウム事務局
電話：03－3508－8891／FAX：03－3501－1735
E-mail：sympo@iae.or.jp
ホームページ：<http://www.iae.or.jp/>（8月中旬掲載予定）

研究所のうごき

(平成18年4月3日～7月10日)

◇ 第67回理事会

日 時：6月8日(木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

第一号議案 平成17年度事業報告書および決算報告書(案)について

第二号議案 評議員の一部交替について

第三号議案 その他

◇ 月例研究会

第245回月例研究会

日 時：4月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階 501・502会議室

テーマ：

1. 平成18年度 供給計画の概要－電力各社供給計画の集約結果－

(電気事業連合会 電力技術部長
三浦 良隆 氏)

2. 電力自由化の現状と課題

(財電力中央研究所 社会経済研究所
首席研究員 矢島 正之 氏)

第246回月例研究会

日 時：5月26日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館2階 201会議室

テーマ：

1. 電力ネットワーク技術実証研究に係る総合調査－電力ネットワーク技術に資する国内外技術・施策動向と実系統適用評価に関する基礎検討－

(プロジェクト試験研究部 主任研究員
壁村 克樹)

2. 分散型電源を系統へ連系した場合の系統安定に関する調査について

(プロジェクト試験研究部 主任研究員
細木 訓)

3. 品質別電力供給システム実証研究に係る総合調査－需要家における品質別電力供給のニーズ調査－

(プロジェクト試験研究部 主管研究員
石垣 幸雄)

第247回月例研究会

日 時：6月30日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5階501・502会議室

テーマ：

1. 「新・国家エネルギー戦略」について

(経済産業省 資源エネルギー庁 総合政策課 企画調査官 高橋 直人 氏)

2. 最近の省エネルギー政策と技術の動向

(財省エネルギーセンター 企画調査部
部長 佐藤 文廣 氏)

◇ 主なできごと

4月18日(火) ・原子力水素研究会

27日(木) ・第4回エネルギー技術情報基盤検討委員会

28日(金) ・第1回風力発電電力系統安定化等技術開発実行委員会

6月6日(火) ・第4回「原子力技術基盤の再構築のための課題に関する調査委員会」

8日(木) ・高温ガス炉プラント研究会総会・第1回研究会

19日(月) ・原子力水素研究会

22日(木) ・第1回電力ネットワーク技術総合調査委員会

・第5回エネルギー技術情報基盤検討委員会

28日(水) ・第1回革新的技術に関する研究委員会

30日(金) ・第1回品質別電力供給システム総合調査委員会

◇ 人事異動

○ 4月20日付

(嘱託採用)

末廣利恵 プロジェクト試験研究部 研究員

○ 6月15日付

(退職)

木村真由美 経理部兼エネルギー技術情報センター研究員

○ 6月28日付

(出向解除)

乾 昌弘 プロジェクト試験研究部 主管研究員

麻島 健 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○ 6月29日付

(出向採用)

高山大輔 プロジェクト試験研究部 主任研究員

○6月30日付

(出向解除)

横山昌宏	プロジェクト試験研究部	主管研究員
小泉真範	プロジェクト試験研究部	主管研究員
武井摂夫	プロジェクト試験研究部	主任研究員
壁村克樹	プロジェクト試験研究部	主任研究員

○7月1日付

(任用・委嘱)

疋田知士	研究理事(主席研究員)
	エネルギー技術情報センター長

(出向採用)

金児洋明	プロジェクト試験研究部	主管研究員
酒谷幹男	プロジェクト試験研究部	主管研究員
鈴木和人	プロジェクト試験研究部	主任研究員
浦田浩孝	プロジェクト試験研究部	主任研究員

(異動)

小川紀一郎	エネルギー技術情報センター専門役
	(兼) プロジェクト試験研究部専門役
波多野 守	プロジェクト試験研究部専門役 エネ ルギー技術情報センター兼務

○7月10日付

(兼務解職)

山田英司	兼企画部長兼プロジェクト試験研究部 長
------	------------------------

(出向採用)

山崎 毅	企画部長兼プロジェクト試験研究部長
------	-------------------

編集後記

今回のワールドカップは、最終的には、イタリアが歓喜の栄冠を掴みました。日本は決勝リーグにも進めませんでした。が、初戦のオーストラリア戦（6月12日22時開始）の関東地区における平均視聴率は49%、第2戦のクロアチア戦（6月18日22時開始）の同値は約53%、そして第3戦のブラジル戦（6月23日5時から後半戦）の同値は、未明ではありながら約37%を記録し、日本人の約半数にのぼる多くの人々が一喜一憂しながら見つめた様子が伺えます。そして、そのほとんどは勝つことに最大の関心があったでしょうが、同時に事後「にわか批評家」に変身してその敗因を分析したり、話の種にした人も多かったのではないのでしょうか。いわく、「入れるべきシュートを入れられなかった」、「同点ゴールを入れて浮足立った」、「技術面のレベルの違いが歴然としていた」、「ベストの体調で臨んでなかった」、「チームプレーが完成してなかった」、「最後は体力差が物言った」……

ところでそれらの「にわか批評」を筆者なりに集約させていただきますと、結局は「心・技・体」のバランスある充実度で、今回の日本は決勝リーグに進む資格がなかったと総括されるように思われます。大相撲、特に横綱の資質として挙げられる「心・技・体」は、何も国技の専売特許でなく、外来の団体競技にも応用できる標語なのかもしれません。

さて、現代のエネルギー・環境問題を「心・技・体」に照らして考えたらどうなるのでしょうか。まず、「技」は、技術・研究開発のレベルとポテンシャルといえるでしょう。また「体」は、それを遂行する資金力と人材等の実行力といえるようです。しかし、「心」となるとどうもスムーズに対応する言葉が浮かんでできません。国家レベルでは、地球環境というグローバルな課題解決に貢献しようという理念がそれに相当するかもしれませんが、個人レベルでは、同問題への関心や「モットイナイ」に賛同する人のあり方が問われることになるのでしょうか。

本号は、ご覧頂きましたように今後の「電力ネットワーク技術」に関する研究動向紹介をはじめとして、経済産業省の「新・国家エネルギー戦略」の概要、さらに電力自由化、日豪石炭利用動向、バイオマス利用、原子力規制の動向、海外の風力エネルギー資源活用の可能性等々、通常号以上の紙数とバラエティーに富む内容でまとめました。

エネルギー・環境問題で、決勝リーグに進み・勝ち残るための「心・技・体」充実にいささかでも役立てればと願う事務局の思いを汲み取っていただければ幸いです。

小川紀一郎記

季報 エネルギー総合工学 第29巻第2号

平成18年7月20日発行

編集発行

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 1-14-2

新橋SYビル (8F)

電話 (03) 3 5 0 8-8 8 9 4

FAX (03) 3 5 0 1-8 0 2 1

<http://www.iae.or.jp/>

(印刷) 和光堂印刷株式会社

※ 無断転載を禁じます。