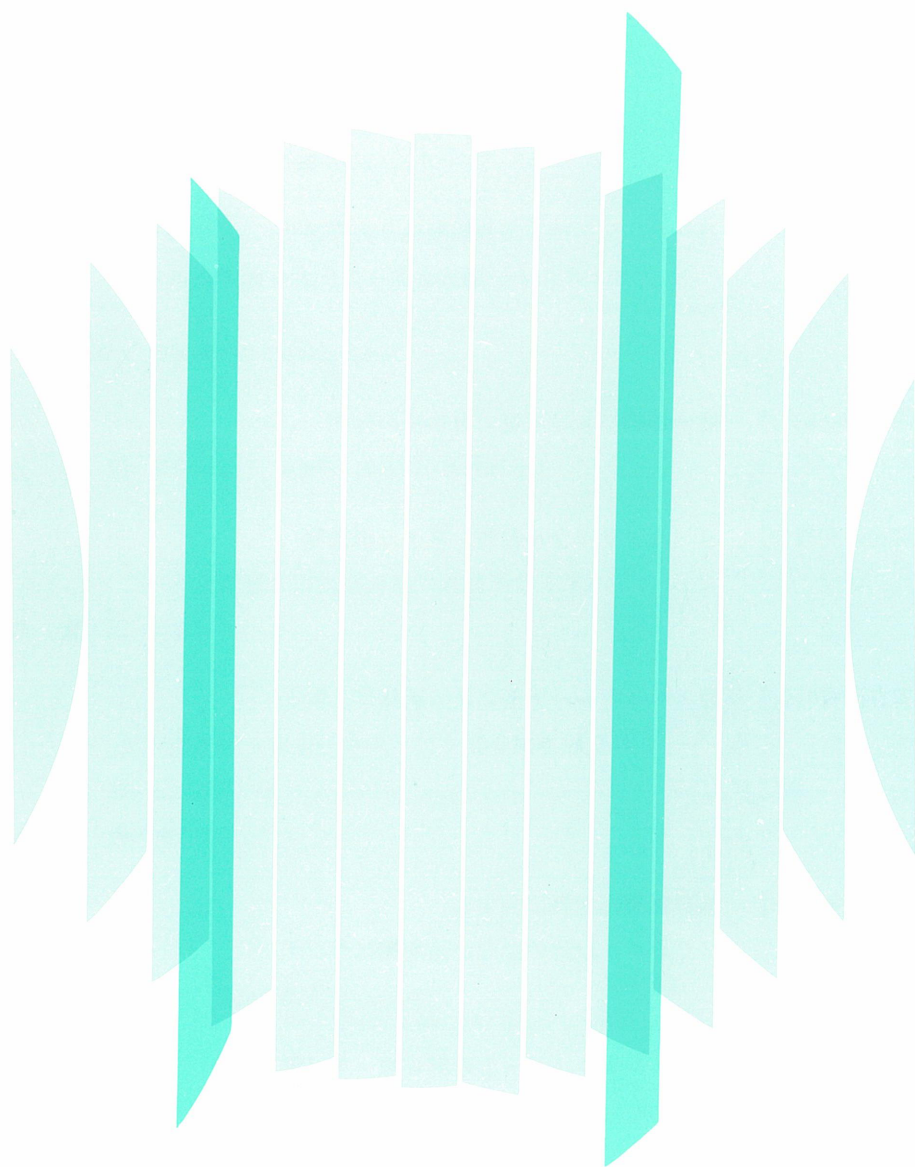


季報 エネルギー総合工学

Vol. 22 No. 2 1999. 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】	電気事業は変革期	中部電力(株) 代表取締役 副社長	蓮 見 洸	— 1
【座談会】	今後の電力技術開発のあり方について	——電力技術開発検討会フェーズII報告を踏まえて——		
		東京大学 大学院工学系研究科 助教授	横 山 明 彦	
		通商産業省 資源エネルギー庁		
		公益事業部 電力技術課 開発振興室長	伊 藤 敏	
		電気事業連合会 技術開発部長	有 井 良 和	
		司会 (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	高 倉 毅	… 2
【関連施策紹介】	高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化に向けての検討	——総合エネルギー調査会原子力部会中間報告より——		
		通商産業省 資源エネルギー庁		
		原子力産業課 廃棄物係長	小山田 巧	…16
【内外情勢紹介】	欧米諸国における電力自由化の動向	(社)海外電力調査会 調査部 主管研究員	飯 沼 芳 樹	…27
【調査研究報告】	A H A Tサイクル発電システムの概要	——コンバインドサイクルに勝る高効率と経済性——		
		主任研究員	田 宮 久 史	…40
【調査研究報告】	ガスハイドレート船による天然ガス輸送	——L N G 船方式を凌ぐエネルギー効率と環境調和性——		
		副主席研究員	兼 子 弘	
		主管研究員	松 尾 和 芳	…59
【内外情勢紹介】	地球温暖化対策に関する	C O P 3 以降の動向と適応策について		
		プロジェクト試験研究部 部長	吉 江 照	— 69
【技術解説】	クリーンエネルギー自動車レポート (第5報)	——水素燃料電池自動車の導入シナリオ (I) ——		
		主任研究員	蓮 池 宏	…77
【研究所のうごき】				85
【ホームページ開設案内】				87
【編集後記】				88

電気事業は変革期

中部電力株式会社

代表取締役
副社長 蓮見 洸 一



日本経済の高コスト構造を是正することを目標に、経済構造改革・行動計画が1997年5月閣議決定された。電気事業においても、電力供給システムの全般的見直しが行われることになった。電気事業審議会の審議、答申に基いて、改定電気事業法が国会に提出されており、2000年3月から新しい供給体制に移行する予定である。

見直しは、既に一部自由化が実施されている発電分野に加えて、小売り分野にも部分的に自由化が採り入れられることになった。自由化の対象は、わが国の実情に適した部分自由化として2万V以上、2,000kW以上の需要家とし、これは電気事業者の販売電力量の約30%に相当する。これら需要家は複数の供給者から自由に給供者を選択できるようになる。

一方、残る約70%の自由化対象外の需要家に対しては、従来と同様に公益性を維持して電力供給する。従って電気事業者は、市場原理の下で一層の経営効率化の追求と、公益性に基いた電力供給の両面を達成しなければならない。

発電分野の自由化については、既に自家用発電、コジェネレーションに加えIPP（独立発電事業者）が参入しているが、今後は新規火力電源については電気事業者を含めて全面入札制度が2000年から導入されようとしている。

高コスト構造是正の施策の一つとして、発電設備の規制緩和も進められている。事業者の自主保安責任の下で、保安規制が緩和され、事業者の自主的判断で効率的な保安管理ができる範囲が広がることになる。

小売り分野、発電分野の自由化、規制緩和などを活用して、所期の目的である高コスト構造の是正に努力すると同時に、電気事業者の公益性から要情される環境問題、安定供給、供給信頼度などの公益的課題についても努力していかなければならない。

座 談 会

今後の電力技術開発のあり方について

—電力技術開発検討会フェーズII報告を踏まえて—

横山 明彦 (東京大学 大学院工学系研究科 助教授)

伊藤 敏 (通商産業省 資源エネルギー庁
公益事業部 電力技術課 開発振興室長)

有井 良和 (電気事業連合会 技術開発部長)

司会
高倉 毅 ((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)



は じ め に

○司会 最初に、本日の座談会の趣旨を申し上げますと、資源エネルギー庁で昨年10月から行われました「電力技術開発検討会・フェーズII」が、本年3月に終了しました。この機会に、検討会で中心的役割を果たされた方々から検討会の報告を踏まえて、将来の電力技術開発のあり方を伺うという企画です。

検討会では、東京大学の横山助教授が委員

長を、資源エネルギー庁電力技術課の伊藤開発振興室長が事務局としての取りまとめをそれぞれ担当され、また電気事業連合会の有井技術開発部長が電気事業者代表として参加されました。

環境変化に応じた

長期技術開発政策の検討を

○司会 初めに、伊藤室長から本検討会の背景と目的について、フェーズIも含めてご紹介いたします。

○伊藤 ご承知のように、電気事業を取り巻く環境は大変厳しくなっています。まず、地球環境問題です。これは、地球温暖化防止京都会議（COP3）において2008～2012年までに温室効果ガスの6%削減という国際約束がなされています。わが国は、世界全体の温室効果ガスの5%を排出しており、国内の温室効果ガス排出量の1/4は電気事業に起因しています。もう1つは、コスト低減の要請です。平成13年までに国際的に遜色のない料金水準を実現することが閣議決定されています。

このような課題に対処するため、資源エネルギー庁では、一昨年来、総合エネルギー調査会においてエネルギー需給見通しを審議してきましたほか、電気事業審議会の需給部会では将来の電力需給のあり方について議論してきました。また、電気事業審議会の基本政策部会では事業規制の緩和、小売の自由化が打ち出されるなど、もろもろの課題に対応した電力政策のあり方が議論されています。

このような状況にあり、電力技術分野においても将来の方向性を探ろうということで、昨年2月、「電力技術開発検討会」のフェーズIを立ち上げたところです。

フェーズIでは、電力技術に係る短期的課題を取り上げ、先ほどの地球環境問題とコスト低減に焦点を絞り、今後、どのようなプロジェクトを立ち上げるかを検討しました。その結果、例えばIGCC（噴流床石炭ガス化複合発電）の実証試験、SMES（超電導電力貯蔵システム）プロジェクトの第2期への移行、中国における300MW級石炭火力発電所のリハビリ技術の実証などの提案をいただき、それらを技術評価を経て、平成11年度予算要求につなげたところです。



横山明彦氏

（東京大学 大学院工学系研究科
助教授）

今回のフェーズIIは、フェーズIで取り上げた地球環境問題やコスト低減に加えて、電力の自由化・規制緩和という構造的な変化を踏まえ、電力技術開発の長期的な方向性を検討することを目的として立ち上げたものです。

電力技術開発の現状

コスト低減に一層の重点化を

○司会 ただいまの伊藤室長のお話にも出ましたが、電力技術開発の現状について伺いたいと思います。まず、電気事業を取り巻く環境変化は、いかがですか。

○有井 伊藤室長のお話と若干重複しますが、電気事業者は、これまで、コスト低減、信頼度向上、さらにセキュリティ確保を重点課題として技術開発を進めてきました。

しかし、昨今、欧米と比較して電力料金の高コストが指摘され、信頼度は従来どおりに維持しつつ、コスト低減重視の方向に開発課題が変わってきています。また、地球温暖化

への対応で、二酸化炭素の排出抑制という重要課題が出ています。さらに、2000年から始まる電気事業の部分自由化が目前に迫り、電気事業者は最近「競争力強化」と言い換えています。この面からもコスト低減を一層重点化することになっています。

このような環境変化が、研究の方向性に大きな影響を及ぼしているのが現状です。

3 E の同時達成とコスト競争力向上を期待

事業者への高リスクと国の財政難に懸念

○司会 電気事業を取り巻くこのような環境変化を受け、今後の技術開発への期待、あるいは懸念についてお願いします。

○伊藤 エネルギー分野の基本的な課題として、経済成長と環境保全、エネルギーセキュリティの3つの相反する政策目的をいかに同時達成するかという、いわゆる3Eの問題があります。このブレークスルーに技術開発による貢献が期待されています。

また、事業者レベルでは、今後電力分野の自由化・規制緩和が進展する中で、競争力の

源泉としての技術開発の重要性がますます高まるものと思われます。これを国の立場で見ますと、技術革新による新しい産業や新規市場の創出が期待されます。

一方、懸念としましては、第1に、電力技術開発は一般的に長期、大規模なものが多く、多大のリスクを伴うことから、コスト低減の要請の中で思い切った技術開発投資に踏み込み難いというのが、事業者が抱く懸念の1つだと思います(図1参照)。第2には、国における財政上の制約です。財政が逼迫する中で、限られた予算の中から技術開発に必ずしも十分な予算配分がなされなくなるという懸念があります(図2参照)。

大きな役割をなした国およびメーカー

○司会 次に、電力技術開発の特徴について、例えば他産業との比較や国際的な位置づけを考えておく必要があると思います。まず、他産業との比較からお願いします。

○伊藤 電力技術開発に係る予算を見てみますと、事業者の売上高に占める研究開発費の

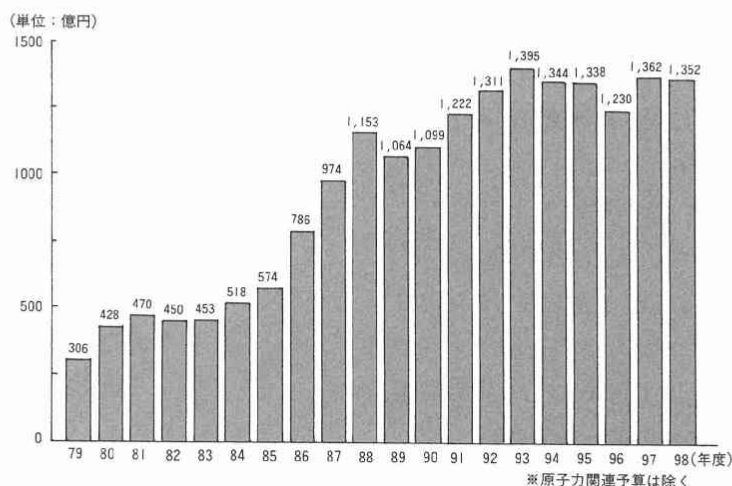


図1 電気事業者等による電力技術開発予算

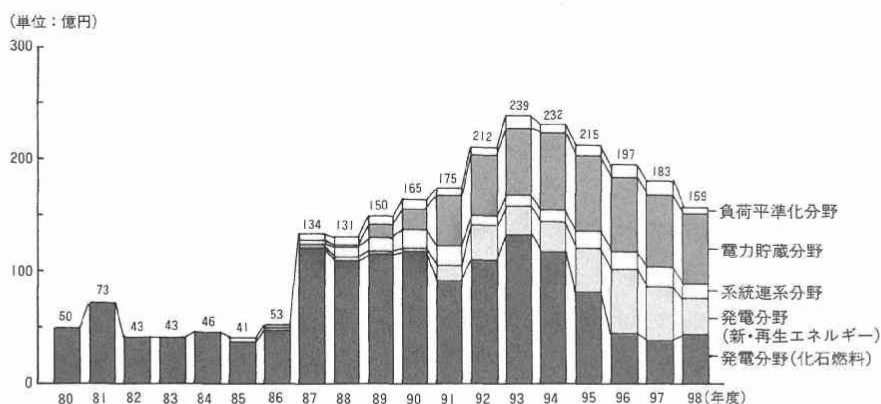


図2 電力技術課技術開発予算の推移

割合が、他産業と比べ低くなっています。これに国の電源開発特別会計による技術開発費を加えて、はじめて他産業並みになります。これは、1つには、電気事業の公益事業としての性格から、技術開発分野において国の関与が伝統的に強かったことによるものと考えられます。

もう1つは、電気事業では、電気を製造する設備が技術開発の主な対象となるわけですが、電気を供給する電気事業者と、設備を製造するメーカーとが別々の主体に分かれています。このため、技術開発におけるメーカーの役割が大きい点も、他産業との相違点だと思えます。

電力技術開発の国際比較

日・米・英・仏とも

減少傾向にある電力技術開発費

○司会 もう一つの視点となる国際的な位置づけについて、海外における電力技術開発の

動向も含めてお聞かせ願います。

○横山 わが国の電力技術の研究開発費は、原子力を含めると、国及び電気事業者のいずれにあっても、諸外国に比べて高水準にあります。しかしながら、原子力分野を除いた電力技術分野の研究開発費になりますと、諸外国同様に、コスト低減の要請、国の財政制約等から、漸減の傾向にあります。本検討会では、アメリカ、イギリス、フランスの状況を調査しましたので、紹介します。

アメリカでは、政府のエネルギー関連技術の開発予算は、97年でみますと、80年代初期の約3分の1に減少しており、これは原子力、石炭関係の予算減少によるものです。また、電力会社等の民間事業者の技術開発予算も減少傾向にあり、ここ数年でみますと、ピーク時の3分の2との報告です。

そのような状況の中で、私も驚いたのですが、効率向上に関わる予算、例えば天然ガス使用による発電効率向上などの予算には増加が見られます。基本的には、アメリカは、大型集中エネルギーの技術から、マイクロガスタービン、固体高分子型燃料電池とか、D S M

(需要家側管理)技術の成果を使ったESCO(エネルギー・サービス)事業のような、小型分散の技術や需要家サービスの高度化・多様化にこれから研究開発予算を投下していく方向にあるようです。

私は、大学におりますのでいろいろな国際会議でアメリカの大学の状況を伺う機会がありますが、大学も予算削減の影響を厳しく受けているなという印象を受けました。

イギリスでは、この10年間に研究開発費がほぼ10分の1に減少しています。これは、規制緩和がドラスティックに進んだことと、新規原子力の開発停止に伴う原子力関連予算の縮減があるのですが、その他の電力技術分野も一様に削減されています。電力プール市場が創設され、急激な電力自由化がなされた反面で、研究開発予算が大幅に削減されているのが実情です。

フランスでは、政府が出す予算はほとんどが原子力関連であり、その他の電力技術分野はフランス電力公社(EDF)とメーカーが出していますが、近年減少傾向にあります。これは、原子力関連の研究開発が一段落していることによります。ただ、EDFは研究開発に熱心でして、海外市場への展開を積極的に進めており、この点、他の国と若干事情が異なります。

私の経験を少々紹介しますと、EDFは国際的な産学連携を熱心に進めています。4年前に、私どもの研究室とEDFでソフトウェア開発の共同研究を2年ほどやりました時、ハードウェア・ソフトウェアの両面で、さまざまな研究開発を他の国に比べ非常に積極的に進めているなという印象を受けました。

多数の課題を抱える

電気事業者・メーカーの技術開発

○司会 電力技術開発を、だれが、どのように担ってきたかについてお願いします。

○有井 電気事業者は、電力需要の伸びの鈍化と自由化の進展に直面し、コスト低減と競争力強化に向けて一層の経営効率化が求められています。また、設備の新增設や新技術の適用機会が著しく減少して、大規模な技術開発投資が極めて困難な状況にあり、研究者・技術者の数も横這い状態にあります(図3、図4参照)。

一方、地球環境問題、エネルギーセキュリティの確保に関して電気事業者に課せられた役割を果たすには、技術開発の一層の重点化・

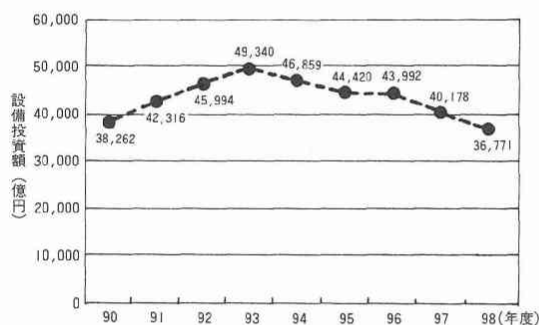


図3 電力における設備投資額の推移

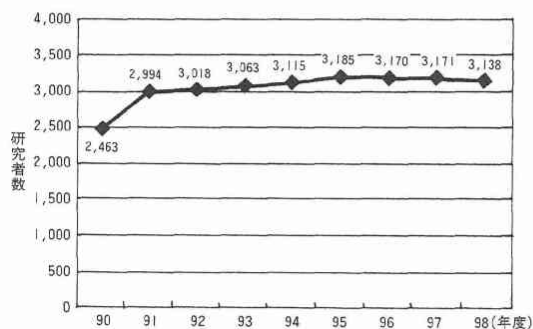


図4 電力における研究者数の推移

効率化，開発力 維持・継承，技術者の確保，人材の育成，国との役割分担とメーカーとの関係の見直し等，これらが喫緊の課題となっています。

また，重電機器メーカーは，これまで，わが国の電気事業の信頼性向上や効率改善に大きく寄与してまいりました。しかし，近年，需要の伸びの鈍化と景気低迷があり，こちらも研究者・技術者とも減少傾向にあります。また，海外メーカーとの比較では，国際競争力の不足が指摘されています。

一方，新エネルギー開発や環境技術等の新規分野への進出，海外の電気事業者やI P P（独立発電事業者）等の新規参入業者への技術提供などに活路を見出す動きも見られます。

また，重電機器メーカーは，電子・情報等の弱電機器メーカーも含めて，持てる情報技術の活用により，家庭内のネットワークやシステム，省エネ負荷制御，さらに電力貯蔵・分散型電源等の民生用需要関連技術をターゲットに据えて，電子情報技術とエネルギー技術との融合による新規市場の開拓に極めて強い関心を示しています。



伊 藤 敏 氏

（通商産業省 資源エネルギー庁
公益事業部 電力技術課 開発振興室長）

な論点を踏まえて紹介をお願いします。

○伊藤 今回の検討会では，ご指摘のあったように，最初に論点を3つに絞って検討しました。

まず，電気事業は，3Eに象徴されるように同時達成が困難な多岐にわたる課題を抱えています。これを限られた予算の枠内で効果的に処理するためには，政策順位を明らかにして，技術開発投資の集中投下を行うべきだというのが第1の「政策プライオリティの付与」の問題意識です。

官民分担の明確化——

新たな補完・協力関係の構築へ

○伊藤 2番目は，「官民分担の明確化」です。

電力技術開発の主要な担い手として民間事業者と国があります。民間事業者はコスト低減の要請，電力自由化・規制緩和の進展といった環境変化の中で，費用と時間のかかる長期的な技術開発を抑制して，コスト低減や短期の競争力強化につながる技術開発に注力しがちです。このような傾向が顕著になれば，これは先ほども話に出ました国際競争力の低

電力技術開発の課題

プライオリティの付与——

技術開発投資の集中投下を

○司会 このような現状を受けて，次に電力技術開発の課題に入ります。今回の検討会では，「政策プライオリティの付与」「官民分担の明確化」および「技術開発制度の再構築」の観点から整理されました。検討会での主要



有井良和氏

(電気事業連合会)
技術開発部長

下や革新的な事業の停滞につながる恐れがあります。このため、民間が踏み込めない分野を国がどのような形で支援なり補完するかが重要になります。

一方、国においても、財政上の制約から技術開発予算の絶対額が抑えられる中にあって、エネルギーセキュリティ、地球環境問題のような公益的課題にどのように対処するかが課題となっています。このように官民双方に課題があって、それぞれの役割分担の再検討が必要になっています。

技術開発制度の再構築――

国の技術開発の効率化を

○伊藤 3番目の論点は、「技術開発制度の再構築」です。民間では、市場原理に基づいて、今後、技術開発の一層の効率化が求められるものと思われます。これに対して、民間のような厳しいコスト競争や市場メカニズムが働かない国の技術開発についても、民間に劣らぬ効率的な技術開発を行うためにはどのような制度が有効かを、最後の論点として取り上げています。

具体的には、技術開発に係る長期構想や戦略の策定、評価制度の導入、産学官の連携、競争的な技術開発の方策などを論点としています。

若い人に魅力ある電力技術分野に

○司会 大学における技術教育・研究開発について、何か補足がありましたらお願いします。

○横山 大学における電力・エネルギー技術の分野は、個人的には、いま危機的な状況にあると思っています。

1つには、電力技術の分野が、進歩の著しい情報技術、マルチメディア技術等の分野に比べ、何かすでに成熟期にあり、若い人にとって魅力の乏しい分野であるかのごとく誤解されていることです。

もう1つは、電力技術分野の講座やカリキュラムが大幅な縮小傾向にあり、他の人気のある工学分野に比べますと、厳しい衰退過程に入りつつあると考えています。

そういう意味では、この委員会でもいろいろ議論されましたが、産学共同による電力・エネルギー技術の開発推進を図り、若い人にとって魅力あるものとするよう努力していく必要があると考えています。

今後の技術開発の方向性

多様な主体の参加による

国際競争力の保持と公益的課題への対応を

○司会 先ほど、伊藤室長から電力技術開発の課題についての論点を説明していただきました。これを受け、今回の報告書の重要部分

であります、今後の電力技術開発の方向性について、まず基本的な考え方を横山先生からお願いします。

○横山 伊藤室長が紹介された論点の中にかなり含まれますが、再度整理して申しますと、電気事業は、公益事業から健全で競争力のある電力産業へ移行していかなければなりません。これには、国内的にはもちろん、国際的にも世界をリードする技術を保有して、国際競争力の強化、世界標準の維持につながる競争力を持つことが求められます。

一方、当然ながら、公益的課題への対応も求められています。地球環境問題、エネルギーセキュリティの確保、ユニバーサルサービスなどへの対応は、これから電力産業へ移行した後も、引き続き求められるわけです。

その取り組みに当たり取るべき基本的方向性の第1点は、従来の国と電気事業者・メーカーに加えて、異業種産業、ベンチャー、大学などの多様な主体の参加によって、さまざまな視点からのアイデアをもとに技術開発を進め、最終的には魅力ある電力市場の構築にあると思います。

第2点は、市場競争力の源泉となる技術の開発と、市場原理の下では実現困難な技術の開発との均衡を保ちつつ開発を推進するには、新たな枠組みや戦略の構築が必要です。これが、先ほど伊藤室長がおっしゃった「政策プライオリティ」、「官民分担」、「技術開発制度の構築」です。

第3点は、エネルギー・電力技術の開発に当たり、大学の役割も重視して活用を図ることも基本的な考え方の中にあつたと思います。

技術開発の政策的区分――

非市場・未市場・既市場の3分野

○司会 次に、横山先生が基本的な考え方の中で述べられました、政策プライオリティ、特に技術開発課題の政策的区分について、伊藤室長からお願いします。

○伊藤 電力技術開発の重点分野を選定する一つの枠組みとして、今回の検討会では、電力技術開発を「市場」と「技術」の2つの軸により、政策的に3つに区分しています。

第1が「非市場分野（公益的市場分野）」です。これには、地球環境問題やエネルギーセキュリティなどの技術開発課題が含まれます。市場原理に委ねていたのでは技術開発が円滑に進まない分野として位置づけています。

第2は「未市場分野（新規市場分野）」です。この分野は、これからの新産業の創出、新規市場の形成が期待される分野で、官民が協力して新規市場の創出や実用化促進のための技術開発に当たることとしています。

第3は「既市場分野（競争的市場分野）」です。この分野では、民間主体で競争力強化のための技術開発を推進することとしており、国においては競争環境の整備を行うことが課題になります。（図5参照）



図5 電力技術開発の分類(概念図)

重要化する未市場分野の技術開発

○伊藤 これらの中で、今後政策的に特に重要だと考えられるのが、未市場分野の技術開発です。先ほど横山先生も話されましたが、この分野では技術開発の担い手の多様化が求められます。電気事業者、メーカーの他に、大学、異業種産業、自治体、ベンチャー企業等、いろいろな主体の参加と競争により、新しい技術の創造が期待されます。

また、既市場分野の技術開発は従来型技術の効率化・高度化が中心となりますが、未市場分野の技術開発は、従来型技術の革新や転換の可能性に対する投資として位置づけられます。このような観点から、未市場分野の技

術開発として本検討会では、「再生可能エネルギー」、「新電力供給システム」、「革新的電力技術」の3つを掲げています。

3 分野に見られる重要開発課題の展望

○司会 次に、今後重点を置いて開発を進めべき課題についてお願いします。

○有井 表1にわかりやすくまとめられています。

まず、公益的市場分野ともいえます「非市場分野」では、地球環境保全、例えばCO₂の回収・固定・処分技術等の課題があります。電源多様化によるエネルギー・セキュリティは、原子力発電、IGCC等が非常に重要な課題となります。

表1 電力技術開発の分野別要点

分 野	技 術	官民分担	摘 要	制 度	
				個 別	共 通
1. 非市場分野(公益的市場分野) (1)地球環境保全(基礎技術) (2)エネルギー・セキュリティ(電源多様化)	・CO ₂ 回収・固定・処分技術等 ・原子力発電、IGCC等	国	・地球環境問題、エネルギー安全保障は、基本的に国の責務。 ・NSS(ニューサンシャイン計画推進本部)、国立試(国立試験研究機関)、大学等を活用。	・提案公募型技術開発 ・産学官連携プロジェクト等 ・NSS等と連携	・電力技術ロードマップの作成 ・企画委員会の設置 ・戦略的電力技術開発調査の活用
2. 未市場分野(新規市場分野) (1)再生可能エネルギー開発 (2)新電力供給システム技術 (3)革新的電力技術	・廃棄物発電、太陽光発電、風力発電等 ・燃料電池、ネットワーク自律制御技術、情報応用技術、分散型電源開発、電気自動車、省エネ都市開発等 ・超電導技術、電力貯蔵技術等	国・民間	・新しい電力供給システムの可能性の追求。 ・試行錯誤的・実験的技術開発。 ・多様な主体の参加を期待(異業種、大学、海外、地域、市民)。 ・多様な主体の参加と競争による技術革新(イノベーション)に期待。 ・新規市場、新産業創出の可能性。	・提案公募型技術開発 ・産学官連携プロジェクト ・電力共同プロジェクト ・インセンティブ補助金等 ・新エネ課等と連携	・「産学官連携会議(仮称)」の設置 ・シンクタンク機能の拡充 ・評価制度の拡充 ・NSS・新エネ課との連携
3. 既市場分野(競争的市場分野) (1)効率向上 (2)安定供給 (3)コスト低減 (4)地球環境保全(実用技術)	・発電効率改善等 ・系統安定、信頼度向上等 ・負荷平準化等 ・CO ₂ 排出抑制技術等	民間	・既存の電力供給システムの一層の効率化。 ・メーカを含めた競争力の強化が至上命題。 ・技術力の維持、競争環境の整備が重要。	・競争環境の整備等	

新規市場分野ともいえます「未市場分野」では、まず再生可能エネルギーの開発でして、廃棄物発電、太陽光発電、風力発電が挙げられます。2番目の新電力供給システム技術には、中期では燃料電池、情報応用技術、分散型電源開発があります。それから、長期では分散型システムを組み込んだネットワークの自律制御技術（高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム等）があります。3番目が革新的電力技術でして、将来有望な超電導技術、電力貯蔵技術などがあります。

「既市場分野」は、従来から研究開発を進めてきたものですが、効率向上の項目に発電効率の改善が、安定供給の項目に電力システムの安定化、信頼度向上などが、コスト低減の項目に負荷平準化など、最後の地球環境保全の項目には、実用化域にきていますが、CO₂排出抑制などの技術があります。

技術開発制度に対する総論5点の指摘

○司会 今後の方向性の中には、今回の検討会では技術開発制度にかなり踏みこんだ内容が含まれています。ある意味では、今回の検討会報告書のハイライトともいうべき部分です。この辺について、お願いします。

○伊藤 技術開発制度については、総論で5

点、各論で3点の提言を行っています。

総論の提言の第1が、技術開発戦略やロードマップの作成などによる技術開発構想の提示です。第2が、技術課題に対する優先順位の設定、重点化の推進、評価システムの確立などの技術開発過程の合理化です。第3が、技術開発への競争原理の導入、インセンティブの付与などの技術開発手法の見直しです。第4が、国の技術開発成果の民間への円滑な移転、技術開発施策と導入促進施策の連携など、成果の有効活用です。第5が、多様な主体の参加と競争、産学官の連携促進、異業種・学際分野の交流などの、技術開発体制の整備です。

プロセス合理化に向けた

企画委員会の新設を

○伊藤 各論としての3つの提言の第1は、電力技術開発の効率性・透明性を高めることを目的とした技術開発過程（プロセス）の合理化です（図6参照）。電力技術開発については、平成10年度から技術評価制度が導入され、評価委員会が設置されていますが、今回、新たに「企画委員会」の設置を提言しました。企画委員会の主な業務は、電力技術開発に係る長期戦略の立案、ロードマップの作成、新

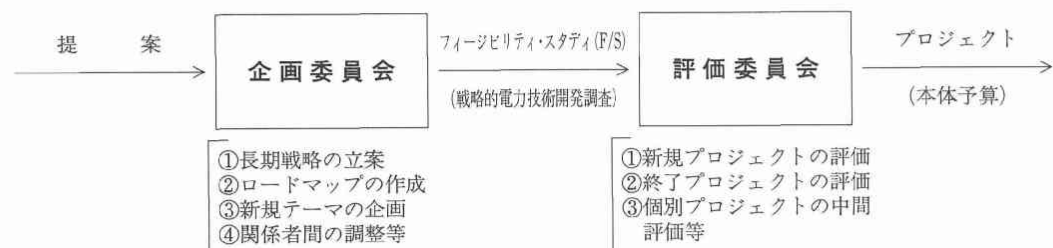


図6 電力技術開発の進め方

規テーマの企画、関係者間の調整等です。

企画委員会の運営には、平成11年度に予算化された「戦略的電力技術開発調査」の2億6,000万円を活用したいと考えています。

提案公募型、産学官連携型、官民共同型 の3スキームを追設

○伊藤 各論の提言の第2点は、未市場分野における技術開発制度の拡充です。未市場分野における技術開発制度として新たに3つのスキームを提案しています(表2参照)。

スキームの第1が提案公募型プロジェクトです。これは大学、異業種産業、ベンチャー

企業等、電力技術に係るいろいろな主体の参加による技術革新の促進や新技術の育成を目的として、各方面から広くアイデアを募集する方式です。

スキームの第2が、産学官連携プロジェクトです。これは、例えば電中研や国立試験研究機関等の基礎的な研究シーズを実用化に継げるための技術開発制度です。シーズ側の主体が産学官のプロジェクトをコーディネートし、マネージすることを考えています。

スキームの第3が官民共同型プロジェクトです。これはニーズ側、企業側からの要請にに応じて行う技術開発制度で、企業単独では困

表2 電力技術開発プロジェクトのタイプ

タイプ	分野	目的	主体	概要	備考
① 国家プロジェクト	非市場分野 (公益的市場分野)	直接技術開発	[官] NSS 電技課	・国が主体となり、国立試、民間企業等を糾合し、プロジェクトを実施。 ・非市場分野(公益的市場分野)の技術課題を国が直接技術開発。	・委託費 ・国-NEDO 国立試 企業等
② 提案公募型プロジェクト	未市場分野 (新規市場分野)	新技術育成	[官>民] 大学、異業種 海外、地域 需要家等	・提案公募方式により広くアイデアを募集。 ・大学や異業種、ベンチャー企業等の多様な主体の参加による技術革新の促進、新技術の育成が目的。 ・新規市場、新産業創出を期待。	・委託費(補助金) ・国-エネ総研 大学 地域 異業種
③ 産学官連携プロジェクト	未市場分野 ↓ 既市場分野	市場化支援 (近「未市場」)	[官・民] 電中研中心	・電中研等の研究シーズを実用に転化。 ・シーズ側(電中研等)が産学官のプロジェクトをコーディネート。 ・基礎研究の実用化(市場化支援)が目的。	・委託費(補助金) ・国-電中研 大学 電力 メーカー
④ 官民共同プロジェクト	未市場分野 ↓ 既市場分野	市場化支援 (近「既市場」)	[官<民] 国、電力、 メーカー、 異業種等	・国と民間企業が共同でプロジェクトを実施。 ・ニーズ側(民間企業等)が全体をコーディネート、国は呼び水の資金分担 ・企業単独では困難な大規模、業際分野等の技術の実用化(市場化支援)が目的。	・委託費(補助金) ・国-エネ総研 電力 メーカー 異業種
⑤ 民間プロジェクト	既市場分野 (競争的市場分野)	競争力強化	[民] 電力、 メーカー等	・既市場分野(競争的市場分野)における競争力の強化。 ・コストの低減、効率の向上等。	—
⑥ 制度改革	既市場分野 (競争的市場分野)	競争環境整備	[官] —	・既市場分野(競争的市場分野)における競争環境の整備。 ・電力自由化、規制緩和の促進。	—

(注1) ②、③、④の技術開発方式は、①の国家プロジェクトにおいても有効。

(注2) 備考欄は例示的に表示。

難な大規模な技術開発、あるいは業際分野の技術開発の実用化を目指すものです。このスキームでは、できるだけ民間のイニシアチブを尊重し、企業側が主体となってプロジェクトをコーディネートすることを考えています。国の役割は、呼び水の資金分担、あるいはコーディネートのお手伝いといったようなことを考えています。

「産学官連携会議」の新設と

シンクタンクの機能の拡充・強化を

○伊藤 各論の提言の第3は、総合的な技術開発体制の整備です。1つは、横山先生もご指摘のように、大学、電中研などの民間試験研究機関、電総研等の国立試験研究機関等の連携、相互補完など、いわゆる産学官の連携体制の構築です。産学連携の推進母体となる「産学官連携会議（仮称）」の設置を提言しています。

総合的な体制整備の2つ目としては、エネルギー総合工学研究所などの既存の調査研究機関を活用し、長期戦略の策定、プロジェクトの企画立案、技術評価の実施などを行うシンクタンク機能の拡充・強化を図ることを考えています。

周辺科学、人文科学を含めた

総合的なアプローチを

○伊藤 総合的な体制整備の3点目は、3Eの同時達成、あるいは総合エネルギー産業の育成など、エネルギー政策あるいは産業政策全体の中で電力技術開発をとらえたいということです。従来の工学分野に限られていた電力技術開発の領域を超えて、周辺科学、人文科学も含んだ総合的なアプローチによる新たな

電力技術開発への取り組みを考えています。

今後、電力産業は、異業種産業と融合した総合エネルギー産業として発展することが予想されます。また、エネルギー問題は、環境や資源の制約の中で最適解を求める問題と言えます。さらに、経済成長や社会的受容性との関連では、社会科学的アプローチも必要になります。このため、これからの電力技術開発は、異業種産業や学際分野との積極的な意見交換や相互交流が必要だと考えています（表1参照）。

学術的な分野から

実践的研究に参加できる道筋が

○司会 以上をもちまして、今回の検討会の全容がほぼ紹介されました。最後に、検討会の委員長を務められた横山先生から検討会を通しての感想を一言お話願います。

○横山 この検討会には、さまざまな分野の方々に参加願いました。特に、前半はフリーディスカッションを中心に活発な議論がなされ、大学で電力技術の教育、研究に携わる者として、大変勉強になりました。

また、この委員会で長期的観点からの電力技術開発の策定、ロードマップの作成といったビジョンづくりの必要性が認識され、実行に移す制度が提言されたことは、大変すばらしいことと考えています。

大学の立場から申しますと、文部省の科学研究費等による従来の研究は、アカデミックで学術性の強い研究が主だったのですが、今回提案された制度により、実践的な研究に参加できる道筋が開かれました。新規性のあるプロジェクトの中から魅力ある研究課題を見つけることができますと、我々としても、



高倉 毅氏

(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

若い人を電力技術の分野に引き付け得るようになるものと、大変好ましく思っています。

参考になるアメリカの産学連携事例

○横山 もう1点は、今回の検討会では産官学の連携に様々な工夫がこらされました。そこで、参考までに、アメリカの産学連携の事例を紹介します。

アメリカでは、先ほど申しましたように、電力技術分野の研究活動が大変低調になりましたので、1998年に、5つの大学が中心になり、電気エネルギーシステムにおける高品質化、高性能化、高効率化などの先端技術を開発するためのアドバンスト・パワー・テクノロジー・センター (APT Center) というコンソーシアムをつくりました。企業は、会費を支払いますと、そのセンターが行った研究開発の知的財産にアクセスできます。そこで企業がニーズを出し、大学がシーズを出し、それらが一致すれば共同研究に進むという組織にしてあり、研究の活性化を図ろうと、大学の先生中心に活動がなされています。

我々も、先ほど伊藤室長が話されました「産

官学連携会議」のような場を極力活用して、電力技術を魅力ある研究分野にしていきたいと考えています。

電気工学衰退に抱かれる危機感

検討会結果に寄せられる改善の期待

○司会 今回の検討会では、審議の中で、電力技術開発に関わりの深い関係者や有識者へのアンケートやインタビューが行われ、私どもの研究所も協力させていただきました。

このような試みは、国の委員会等では大変に珍しく、私どももよい勉強になりました。インタビューに応じられた大学の先生方の感想を一言で申しますと、国・民間の電力技術開発に関するご意見は、かなり厳しいものが多かったという印象でした。また、横山先生のお話にも度々出ていましたが、大学自体の問題として、電気工学の衰退と言い過ぎかもしれませんが、活力の低下に大きな危機感を訴えられた先生方が多かったのも事実です。本検討会の結果を踏まえて、今後の電力技術開発の活性化に強い期待が寄せられていました。

なお、アンケートは、興味深い結果を示しており、報告書に添付資料として加えられています。

今後の見通し

まずは企画委員会の開催と

試行的なプロジェクトの立ち上げを

○司会 電力技術開発検討会 (フェーズII) は本年3月末に終了し、その報告書がまとめ

られました。最後に、その成果を受け、今後の電力技術開発の見通しやスケジュールについてお話しいします。

○伊藤 今回の検討会では、横山委員長の下で、極めて短期間で精力的に報告書を取りまとめていただきました。今後の最重要課題は、本報告をいかに実行に移すかです。

先ほども申し上げましたが、平成11年度の新規予算として「戦略的電力技術開発調査」がついており、これを可能な限り活用して、提言の実行にあたりたいと思っています。

具体的には、提言にある「企画委員会」を早急に開催して、今回提案した新しいスキームによるプロジェクトのフィージビリティス

タディを行いたいと考えています。来年度以降に、その中から評価委員会での評価を経て、適当と思われるテーマをプロジェクトとして立ち上げたいと思っています。

いずれにせよ、今回提案された新しいスキームは、一定期間試行的に実施した上で評価を行い、その存続の可否を決めたいと考えています。

○司会 それでは時間も参りましたので、本日の座談会はこれで終了させていただきます。長時間にわたりどうもありがとうございました。



〔関連施策紹介〕

高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化に向けての検討

ー総合エネルギー調査会原子力部会中間報告よりー



小山田 巧 (通商産業省 資源エネルギー庁
原子力産業課 廃棄物係長)

1. 背 景

高レベル放射性廃棄物の処分に関しては、原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会が98年5月に報告書「高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について」を取りまとめ、「法律の制定を含めて今後、関係機関が進めるべき具体的な方策の策定に向けた基本的考え方や検討すべき点」について提言した。特に早急に着手すべきとした点の中に事業資金の確保と実施主体の設立を挙げ、そのための関係機関の努力を強く要請した。

高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化には、その特殊性に配慮した法的枠組みの構築が求められるが、2000年に実施主体を設立するためには、早急に所要の法制度の整備が必要になる。しかし、何世代もの長期にわたる制度の整備であること等を考えると、通商産業省その他関係省庁を含む行政部内における綿密かつ実務的な調整が必要になる。

総合エネルギー調査会においては、今後2000年を目途に進められる「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」について98年7月から検討を進め、99年1月に報告書の案を国民に提示し、広く意見募集を行った。この結果、153名から222件の意見が寄せられた。また、99年2月からは全国5カ所におい

て、延べ24名の方々と原子力部会委員とのバックエンド対策に係る意見交換会を行い、延べ1,069名の一般傍聴者を得ることができた。これらの機会に提出された意見を踏まえ、99年3月に中間報告「高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化のあり方」をとりまとめた。

2. 処分費用の合理的な見積りについて

(1) 処分費用の考え方

高レベル放射性廃棄物処分事業の制度化に向けた検討のうち、まず資金確保のための合理的な費用の見積を行った。

処分費用の考え方として、

- ① 高レベル放射性廃棄物が原子力発電を行うことに伴い必ず発生するものであること。
- ② 原子力発電を享受している現世代が当該発電から発生する高レベル放射性廃棄物の処分費用を負担することは、世代間の負担の公平性からも必要かつ妥当であること。
- ③ 他の廃棄物と同様に、消費に伴う便益を受けた世代が考え得る限りの対応をしておかねばならないものであり、発電段階において費用を手当てすることが基本である。



図1 処分費用の範囲

とした上で、合理的費用の見積を行った。

(2) 費用見積りの範囲と処分スケジュール

費用の範囲としては、事業に伴い必要とされる技術開発から、操業、閉鎖後のモニタリング等の措置までの各費用項目とすることとした。地域との共生に関しては、「実施主体が行う地域共生に要する費用は、処分費用に含めるべき」であるが、地域共生策に特別に必要とする費用を現段階で合理的に見積もることは困難であるため、「事業規模との関係で一般的に推定できる地域共生費用を一般管理費の一部として計上すること」とし、立地地域において地域共生の具体的な方策が決定された時点において、これに係る費用を適切に処分費用に含めることとした。また、安全規制等に関する技術開発は国が実施することとし、処分費用には含めないこととした。(図1参照)

合理的な費用見積りを行うに当たり、見積りの前提として以下の項目を設定した。

(a) 処分施設

処分施設は、インフラ施設、地上施設、地下施設から構成される。

インフラ施設は、ガラス固化体を収納した輸送容器を荷揚げする岸壁クレーン等の港湾施設、港湾から処分場まで陸上輸送する専用道路、処分施設で使用する電源を確保するための送電設備等によって構成される。

地上施設は、ガラス固化体をオーバーパックに封入する施設、緩衝材等を成形・製作する施設、受変電設備、管理棟及び土捨て場等によって構成される。

地下施設は、オーバーパックに封入されたガラス固化体(廃棄体)を定置する処分孔、処分孔が並ぶ水平の処分坑道、及び処分坑道の周辺に配置される主要坑道等によって構成される。また、地上施設と地下施設の間には、地上・地下連絡坑道(立坑及び斜坑)が設置される。(図2参照)

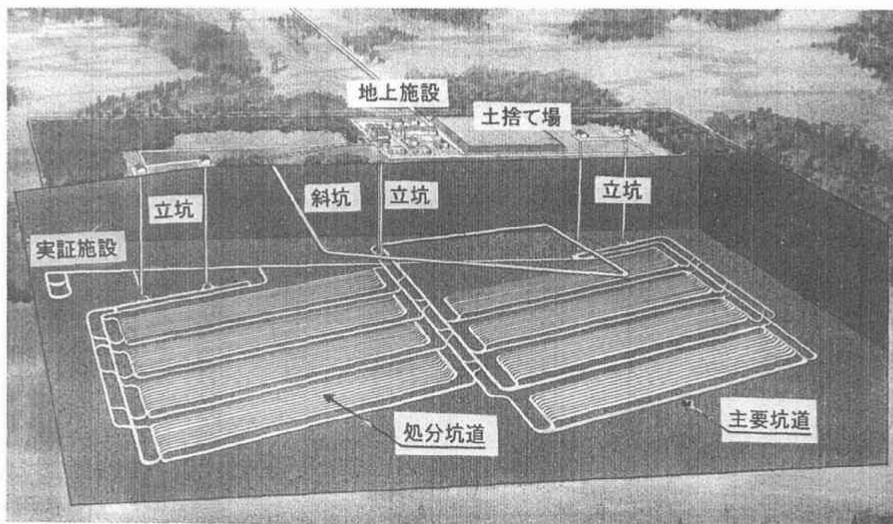


図2 処分施設の概念

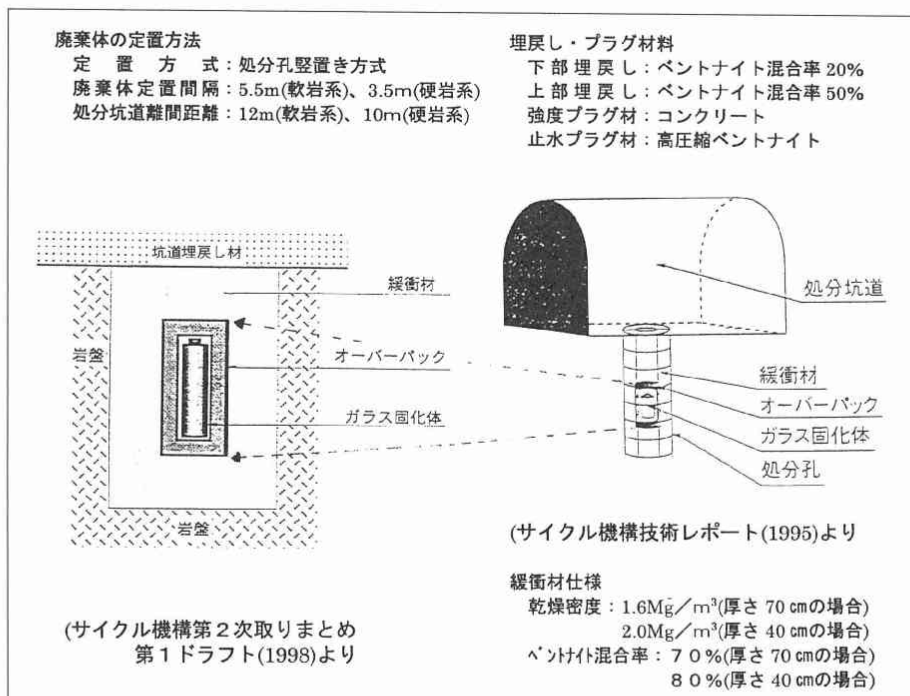


図3 人工バリアの概念

人工バリア及び処分施設に関しては、サイクル機構の第2次取りまとめ（第1ドラフト）に示された設計の考え方に基づき、以下のような項目について、積算に用いる仕様を設定した。（図3参照）

- ① 地下施設（深度、支保工、定置方式、地上・地下連絡方式、廃棄体定置間隔、施設のレイアウト、埋戻し・プラグ）
- ② 緩衝材（厚さ、密度・ベントナイト混合率、施工方法）、オーバーバック（材料、厚さ）

(b) 処分施設の規模

処分施設のガラス固化体受入れ総本数については、規模が大きくなるとスケールメリットにより低下する傾向があるため、年間1000本受け入れ可能な設備を持つ処分施設を想定して、当該処分施設の規模とガラ

ス固化体当たりの処分費用との関係について分析したところ、4万本程度以上であれば処分単価は規模にほとんど依存しないという結果が得られた。したがって、費用の見積もりを行い、処分単価を算出する前提として、処分施設規模を4万本と設定した。

（図4参照）

なお、4万本というガラス固化体本数を発電電力量に換算すれば、我が国の商業用原子力発電所初号基が運転を開始した1966年から2015年頃までの原子力発電電力量に相当すると試算されるが、これは費用試算のために必要な計算の前提であり、実施主体が実際に計画し実施する処分事業の規模等を規定するものではない。

(c) 処分スケジュール

原子力開発利用長期計画において、2000

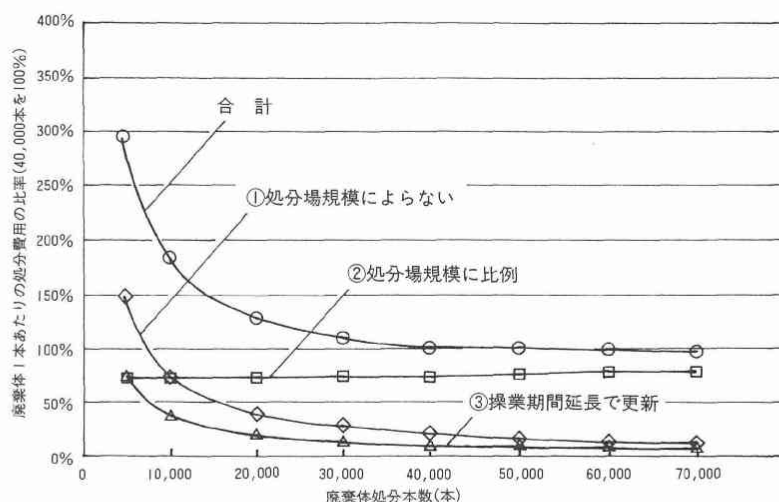


図4 廃棄体処分本数と廃棄体一本当たりの処分費用の比較

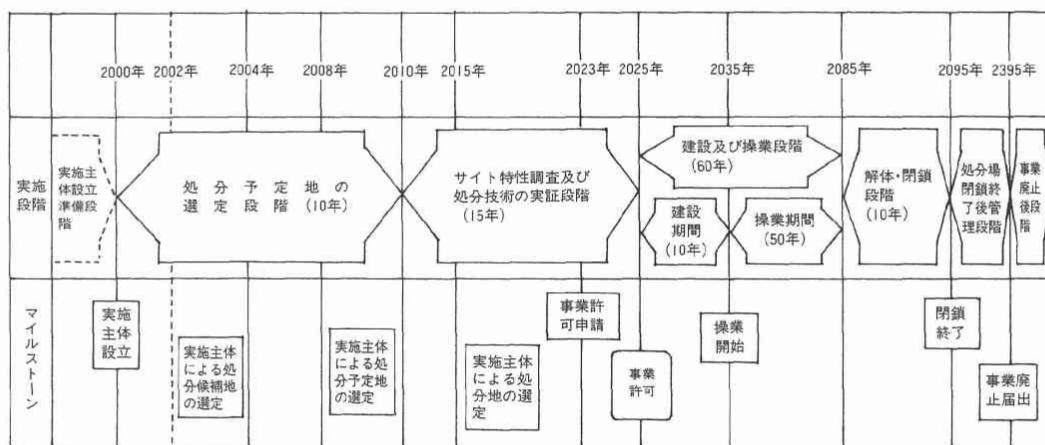


図5 費用試算に当たり設定した高レベル放射性廃棄物処分スケジュール

年目途に実施主体を設立し、2030年代から遅くとも2040年代半ばまでに処分を開始するとしている。このため、2035年から操業を開始し、2095年に坑道を閉鎖し、その後300年間、モニタリング等の閉鎖後の措置を実施するとの前提を置いた。(図5参照)

試算においては、主要な物理的条件の変動による影響を検討するため、現在までの知見に基づいた合理的な選択の範囲で比較評価することとし、代表的な11のケースを設定し、試算を行った。その試算ケース及び試算結果を表1及び図6に示す。

試算値は、約2.7～3.1兆円の範囲にあるが、各試算ケースの前提とした条件は

① 主に研究開発の進展により、技術的に

(3) 処分費用の試算結果

(a) 処分費用

表 1 試算ケース

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10	ケース11	
岩 種	軟岩系(堆積岩)						硬岩系(花崗岩)		軟岩系(堆積岩)		硬岩系(花崗岩)	
深 度	500m						1000m		1100m	500m	1000m	
人 工 バ リ ア	支 保 コンクリート製セグメント						支持なし		コンクリート製セグメント		支持なし	
	緩衝材厚さ		40cm	70cm	40cm			70cm	40cm		40cm	
	緩衝材施工方法		ブロック型			一体型	ブロック型					一体型
	オーバーバック材質		単一(炭素鋼)		複合(炭素鋼+チタン合金)		単一(炭素鋼)					
オーバーバック厚さ		18cm	19cm	18cm	7cm	18cm		19cm	18cm		19cm	18cm
地下施設へのアクセス方式		斜坑及び立坑		すべて立坑	斜坑及び立坑						すべて立坑	斜坑及び立坑
サイト選定プロセス		(i)5地点-(ii)2地点-(iii)1地点				(i)10地点 -(ii)5地点 -(iii)1地点		(i)5地点 -(ii)2地点 -(iii)1地点		(i)10地点 -(ii)5地点 -(iii)1地点	(i)5地点 -(ii)2地点 -(iii)1地点	

(注) サイト選定プロセスの各段階において必要な費用の支出の対象として設定した地点数

(i) 初期段階の立地活動等の対象となる立地調査地点

(ii) 予備的な地質調査等の対象となる立地候補地点

(iii) 設計・建設に向けたサイト特性調査等の対象となる建設予定地点

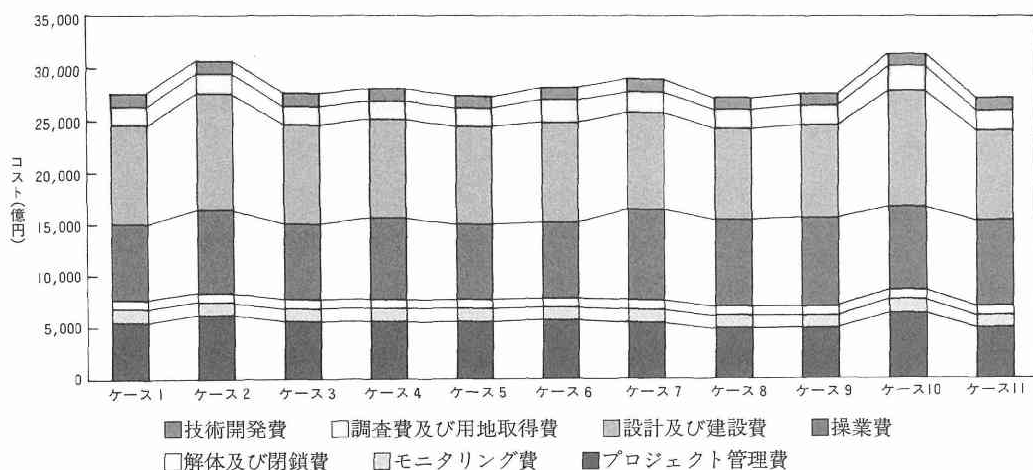


図 6 試算結果

一層の最適化が可能な条件(支保形式, オーバーパックの材質等)

② 地質環境等, 主に具体的な処分地の物理的状況により確定する条件(岩種, 処分深度等)

の2種類に分類することが可能とした。このうち, 前者の変動により処分費用は最大

約11%変動するが, 後者は最大で約6%となった。

(b) 電力量当りの処分単価

また, 原子力発電電力量1kWhあたりの処分単価を試算すると, 以下のとおりとなった。

割引率を考慮しない場合: 26~30銭/kWh

割引率 2 % の場合 : 12 ~ 14 銭 / kWh
 割引率 3 % の場合 : 9 ~ 11 銭 / kWh
 割引率 4 % の場合 : 7 ~ 9 銭 / kWh

なお、資金手当て開始時点以前の電力量に係る分について、手当て開始後 10 年間で手当てするとした場合には、概ね 2 倍程度になるものと試算されている。

3. 処分事業のあり方について

(1) 基本的要件

原子力部会においては、前述の高レベル放射性廃棄物処分費用の合理的見積りを行った上で、処分事業における関係者の役割、資金確保制度について検討を行った。

高レベル放射性廃棄物処分事業に求められる基本的な要件は、

- ① 長期にわたる事業の安定的な遂行（長期安定性）
- ② 長期にわたる安全性の確保（長期安全性）

の二点に整理され、また、社会的受容性にも

配慮し、高レベル放射性廃棄物処分事業を、その立地を含め円滑に実現していくためには、

- ③ 国民及び地元からの信頼性の確保（社会的信頼性）

を必要不可欠な要件とした。この社会的信頼性を当初より確立していくために、「長期安定性及び長期安全性を制度的に担保することが必須」としている。

この長期安定性、長期安全性及び社会的信頼性を確保するために、国、実施主体及び電気事業者それぞれの責任に基づく役割について、以下のように提言した。（表 2 参照）

(2) 国の責任と役割

(a) 国が措置すべき制度

長期安定性及び長期安全性を確保するため、事業の時間的推移に従い、国が措置すべき制度としては、

- ① 基本計画の策定
- ② 資金確保制度の制定
- ③ 技術的能力、経理的基礎等、実施主体

表 2 処分事業に求められる要件と国・実施主体・電気事業者の主な役割・責任

	社会的信頼性	長期安定性	長期安全性
国	○政策の明確化（基本計画策定） ○一体となった取組 ○立地・理解促進活動	○実施主体の技術的能力・経理的基礎等の確認（事業許可） ○資金確保制度の制定・管理 ○計画的遂行（事業計画）の確認	○サイトの適性の評価 ○安全基準策定 ○安全審査・設置許可（安全規制） ○安全管理監督（安全規制）
	○長期安定性、長期安全性に対する制度的担保 ○事業終了後の安全責任の継承 ○不測の事態に対する制度的対応		
実施主体	○信頼される組織運営（透明性等） ○立地活動、理解促進活動	○長期の事業遂行（解散の防止等）	○安全性実証、安全審査申請 ○安全管理
	○技術的能力・経理的基礎の保持 ○立地、建設、操業等、安全に処分する責任		
電気事業者	○一体となった取組 ○立地・理解促進活動	○人的・技術的支援	○安全性実証
	○立地、建設、輸送、操業等、安全に処分されるまでの発生者としての責任 ○原子力発電の費用として確実に資金を手当て		

の要件を法的に担保

- ④ 実施主体の事業計画の承認
- ⑤ 安全規制等に関する技術開発
- ⑥ 安全審査・設置許可
- ⑦ 安全管理監督
- ⑧ 地下利用制限等その他規制
- ⑨ 事業終了後の安全責任の継承
- ⑩ 不測の事態における制度的対応
- ⑪ 記録の保持

を挙げている。

(b) 国の役割

事業推進全体を通じて、社会的信頼性の確保のために国が果たすべき役割としては、

- ① 政策的位置づけの明確化
- ② 国が前面に立った政策の説明及び情報提供
- ③ 地域との共生策（財政的支援等）
- ④ 事業推進に係る立地自治体との緊密な連絡調整

特に、地域との共生策については、実施主体及び電気事業者と十分な連携をとって、国が適切な支援措置を講じていくことが極めて重要であり、地域共生策は、施策が広範な分野にわたることから、政府一体となった対応が求められるとしている。

また、処分施設閉鎖後における安全確保については、国は、モニタリング等の実施主体による措置を経て安全に処分が行われていることを最終的に確認し、当該施設に係る事業終了後の安全責任を継承することが適当であること、事業終了後の安全責任の継承に加え、不測の事態における制度的対応について国の責任を明確化することは、立地地域の住民を始めとして国民の処分事業に対する信頼と安

心を得ていく上でも、極めて重要であるとしている。

(3) 実施主体の責任と役割

事業を進める法人として設置される実施主体の役割としては、

- ① 事業資金を計画的かつ合理的に支弁し、事業を確実かつ安全に遂行する責務。
- ② 事業推進全体を通じて、情報公開、透明性確保等に十分留意し、国民及び地元から信頼される組織となることに自ら努めること。

が挙げられ、特に、「地域との共生においては、実施主体が地域社会の一員として認知され安定的な信頼関係を築くとともに、地域経済への貢献にも配慮しつつ事業を進めることが肝要である」としている。

(4) 電気事業者の役割

高レベル放射性廃棄物の発生者である電気事業者の役割としては、

- ① 廃棄物の発生者としての基本的な責任を果たすこと。
- ② 国が法的に定める資金確保制度の下で、原子力発電の費用として確実に費用を手当てすること。
- ③ 実施主体の設立に際し、電気事業者が中心となり、適切な人材の確保、組織の形成等を進めること。
- ④ 実施主体設立後も、実施主体への人的・技術的支援、安全確保面での協力すること。

としている。

特に、電気事業者は、地域との共生について多くの経験を有していることから、実施主

体と一体となって真の地域共生の実現に向けてに取り組むことが求められている。

(5) 事業段階に応じた3者の役割

さらに、国、実施主体及び電気事業者が、事業段階に応じて各々の役割及び責任を果たしつつ、相協力することの必要性を述べ、特に立地・広報対策、情報公開、透明性確保等を通じた社会的信頼性の向上については、三者が協力し、全力を挙げて取り組むことが肝要としている。(表3参照)

(6) 実施主体に求められる要件

要件として、①技術的能力、②経理的基礎、③合理的かつ効率的な経営、④非営利性、⑤解散に対する歯止め、を挙げ、それぞれについて具体的に以下のように示した。

① 技術的能力

サイト選定段階における技術的検討、建設予定地における詳細な特性調査等、設置許可申請を行う前の実施主体の活動において、十分な技術的能力は必須であり、的確な人材及び技術を確保するため

には、優秀な人材の定着に必要な処遇、サイクル機構等からの適切な技術移転等に配慮することも重要。

② 経理的基礎

事業に必要な資金は、④あらかじめ長期に安定的に手当てされている資金から、的確な支弁を受けることが適当であり、その制度を法的に担保すること、⑩予算執行に当たり、支出の適切性・効率性を確保するため、内部及び外部からのチェック機能を有すること、⑪国の制度的関与がある場合には実施主体の機動性、柔軟性を損なわない配慮が重要。

③ 合理的かつ効率的な経営

実施主体には、④経営責任の明確さ、経営判断の柔軟性、組織の一体性、社会に開かれた運営等が確保できる優れた経営能力が求められること、⑩電気の利用者が費用を負担していることを常に認識し、事業遂行にあたりコスト意識が徹底され、民間の活力を維持し得る組織であることも重要であり、社外役員制度等の内部チェック機能、外部委員会による第

表3 事業段階に応じた国・実施主体・電気事業者の役割のイメージ

	設 立	立 地	安全審査	操 業	閉 鎖 後	事業終了後
国	○基本計画の策定 ○法律に基づく担保 〈要件〉・技術的能力 ・経理的基礎 等 ○事業計画の承認	○理解促進活動 ・地元住民への 説明 ○地元自治体との 調整 〔他の段階にお いても十分な 調整を行う〕 ○地域振興策 ・長期的共生策		○安全規制 (地下利用制限等含む)		○安全責任 の継承
実 施 主 体	○設立準備 ・人材確保 ・組織		○安全性実証 ○安全審査申 請	○安全管理		—
電 気 事 業 者			○安全性実証	○安定操業 ○ガラス固化 体搬入 ・輸送の安 全確保	○モニタリング	—

(注) 上記の他、処分事業全体を通じて、国は実施主体や資金管理の監督等、電気事業者は処分費用の手当、発生者責任の遂行等を行う。

三者チェック機能等の活用が重要。

④ 非営利性

実施主体が行う事業は、あらかじめ手当された資金を適正に使い安全に高レベル放射性廃棄物を処分することが目的であり、利潤を追求し投下資本を回収することが目的ではないため、このような事業の性格を明確化することは、財務及び税務への的確な対応を行う上でも、また社会的信頼性を得る上でも重要。

⑤ 解散に対する歯止め

高レベル放射性廃棄物処分事業は、モニタリング等の措置まで含めて長期にわたる事業を遂行することが想定されており、法人の解散に対する歯止めが必要。

実施主体の法人形態については、特別法に基づく国の関与が必要であり、今後の制度化の具体案における実施主体の法人形態については、行財政改革を踏まえつつ検討されるが、これらの要件が法的に担保されるものとすることが適当とされた。

(7) 事業資金管理

(a) 資金の安定確保の要件

長期安定性、長期安全性、社会的信頼性を確保するため、事業資金が安定的に確保されることが必要不可欠であり、そのため求められる要件として、①合理的かつ安定的な資金の手当て、②確保された資金の安全性、③運用の安全性・効率性、④資金管理の中立性・透明性を挙げ、以下のよう示した。

① 合理的かつ安定的な資金の手当て

処分に係る費用は、原子力発電に伴う費用であり、原子力発電を行う電気事業

者が、原子力発電に係る費用として計上し、手当てすることが重要であり、国が合理的かつ安定的な資金確保制度を法的に担保することが適当。

② 確保された資金の安全性

毎年確保される資金は、事業遂行のために確実に管理され、適正に支弁される仕組みの中で、長期にわたり安全性が確保されることが重要。

③ 運用の安全性・効率性

資金の手当てと支出が長期にわたるため、確保された資金が安全確実に運用されることが重要であり、法的な担保について検討すること、消費者負担軽減の観点から、効率的な運用が重要。

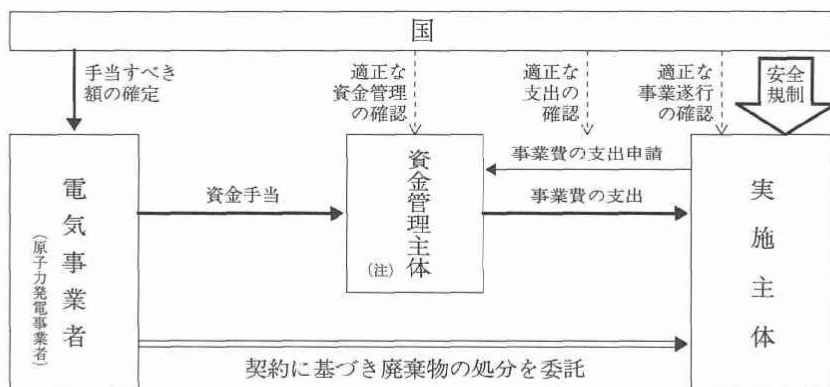
④ 資金管理の中立性・透明性

資金の管理及び実施主体が行う事業への支弁において、中立性・透明性が確保されることが必要であり、資金管理の独立性への配慮が必要。

(b) 資金管理の形態と制度

資金管理の形態としては、①引当金等の電気事業者による内部留保、②独立した主体（基金、信託）における管理、③実施主体内部で区分された資金管理を挙げたが、①の場合、債務超過や倒産により予定された資金の確保が必ずしも保証されなくなる恐れがあるため、②または③が適当としている。

この他、原子力発電を行った時点で費用として手当てし、手当てされた資金を適切に運用し、営利を目的としない処分事業に対し必要に応じ支出する制度を法的に担保するにあたって、適切な税の取扱いを検討すべきとした。



(注) 資金管理の形態は、長期安定性、中立性、透明性等に配慮し、
独立した主体（基金／信託）または実施主体内部での手当が適当。

図7 資金と廃棄物処分の流れ

また、物価水準等経済環境の変化に対応し得る、将来の費用増減に対する調整メカニズムの法的担保、災害等不測の事態が発生した場合の経済的負担についての制度的担保、処分事業終了後に発生した費用について国が継承する安全責任に係る制度の中で考慮するなど、将来的な費用の発生・変動に対する対応などの考慮事項が示された。(図7 参照)

4. おわりに

最後に、「事業者及び国は、明日からでもその道筋を固め歩んでいく必要がある」として関係者の取り組みを促すとともに、国民から

の意見を踏まえ、「法的措置により、処分施設を立地、建設、操業する実施主体を設立し、資金の手当て等を行う制度化を検討するに際して、消費者への負担を伴う、しかも長期性の特徴とする制度であることを十分念頭に置きつつ、法制度の整備に係る議論を含め広範な議論を重ね、国民に理解を深めていただく努力を継続することが重要である」としている。

なお、この中間報告を踏まえ、現在、行政庁において実施主体のあり方や資金確保のあり方など、制度化に向けた具体的な検討を行っているところである。

欧米諸国における電力自由化の動向*

飯 沼 芳 樹 ((社)海外電力調査会 調査部
主管研究員)



はじめに

欧州主要諸国では、2000年を前後して小売の全面自由化が実現されようとしている。しかし、小売自由化の導入方法を初めとして各国の電気事業改革の内容も多様である。

本稿は、小売自由化の是非を問う段階から実施段階に移った米国、今年半ばに全面自由化となる一方でプール市場の抜本的改革に着手した英国、そして自由化の緒についたばかりのEU(欧州連合)における電気事業再編の特徴や最近の主要な動きを纏めたものである。

1. 米国の電気事業再編の現状

(1) 再編内容の特徴

米国では周知のように、1992年にエネルギー政策法が成立し、卸電力市場におけ競争が連邦大の電力政策となる一方、このころから加州に代表されるような州レベルでの抜本的な電気事業再編への動きが加速し始めた。以下、州レベルでの再編内容の特徴を見てみよう。

(a) 小売自由化

第1の特徴は小売の自由化である。自由化

の意味は必ずしも明確ではないが、一般的には需要家に対して供給事業者を選択する自由を与えることを意味する。ただし、自由化に当たっては、段階的に導入する州、特定の時期に全面自由化する州等様々である。加州では全面同時自由化、すなわち全ての需要家が1998年4月から供給事業者の選択権を与えられている。しかし、州の中には特定の需要種別から自由化し、対象となる需要種別を順次拡大して最終的に全需要種別の需要家が選択権を与えられるような計画で自由化を進めている州もある。ちなみに、加州では機会の公平性の観点から特定の需要種別から段階的に導入という考え方については反対が多く、また関係者が技術的にも可能であるとの判断を示したことから最終的に全面同時自由化になったという経緯がある。

(b) ストランデッド・コスト

第2の特徴としては、競争を前提とした供給システムに移行する結果発生する、いわゆる回収不能費用の回収を大半の州で認めていることも共通に見られる点である。なお、回収不能費用はストランデッド・コスト(stranded cost)と呼ばれているものである。

事務局注*：本稿は、平成11年3月の当所月例研究会におけるご講演を、本誌掲載のためその後の状況進展を含め、改めて文章化していただいたものです。

ストランデッド・コストより広い概念であるが、移行費用 (transition cost) という言葉が使われることがある。一般的には、競争的な電力市場で競争力の無い発電プラントが回収不能費用の中心であるが、これに非経済的な卸電力契約 (典型的な例が高価格で長期間固定した価格での認定施設(QF)との買電契約) や、競争によって職を失う従業員を再雇用するための訓練費用などを加えたものを総称して移行費用とする場合が多い。

回収不能費用の容認と密接な関係があるが、競争への移行期間中電気事業者に対し義務付けられる料金値下げ、あるいは料金凍結も再編決定にあたって採用している州が多い。また、色々批判も多いが加州のように、回収不能費用の回収を認めるとともに、料金値下げ/料金凍結を目的として「料金値下げ用債券」の発行を認めた州も何州かある。

(c) 公共プログラム

次に、殆どの州で公共的プログラムと呼ばれるプログラムを採用している点を挙げることができよう。公共的プログラムにはエネルギー効率、低所得者に対する補助、研究開発などが含まれるが、競争的な環境下では、これまで電気事業者が行ってきたこれら公益的な事業が供給コスト削減のためにカットされる可能性が強い。こうした公共的な性格が強い施策については州議会の決定によってこれまで電気事業者が行っていた場合が多い。今後も需要家がこれら費用を負担するという点では変わりはないが、費用の徴収方法、徴収したものの管理や、関係者に対して配分する方法等については、独立した第三者機関が責任機関となる場合が多い。

(d) 再生可能エネルギー・ポートフォリオ・スタンダード

さらに、再生可能エネルギーの導入促進のため、再生可能エネルギー・ポートフォリオ・スタンダード (RPS) 制度の導入を再編内容の一つとしている州もある。この制度は、発電電力量の一定比率については、再生可能エネルギーを利用したものでなければならないとする、再生可能エネルギー促進のための新たな施策である。二酸化硫黄の排出権制度のように、規制によるコストを最小化するためにクレジットの売買が認められているのもこの制度の特徴である。例えば、一定の比率を満たせない発電事業者は他の発電事業者からクレジットを購入することによって基準を満たすことができる。これまでは、公益事業規制政策 (PURPA) や連邦・州の両レベルでの投資税額控除等が再生エネルギー促進施策として知られているが、今後はRPSが連邦レベルを含めて主要な促進制度として採用されていく可能性がある。

こうした内容を包含した再編法を議会で可決した州は1999年4月1日現在16州に上る (表1参照)。この他、州の規制当局が電気事業再編に関わる包括的な決定を行っている州もミシガン州等4州ある。これらの州以外でも、フロリダ、サウス・ダコタ両州を除く全ての州の議会あるいは規制当局の場で電気事業再編問題が検討されており、電気事業再編は一部の州だけではなく全米レベルでの動きといってよい。

(e) 連邦議会の動き

以上のような州レベルの動きに呼応して、

連邦議会でも電気事業再編に関わる議論が前議会あたりから活発に行われるようになっていく。1999年4月にはクリントン政権が草案した「包括的電力競争法案」が発表されている。本法案の中には以下のように、連邦エネルギー規制委員会(FERC)の規制権限強化案や、再生可能エネルギー促進策等、関係者から同意を得づらい内容が含まれているため、今後議会で原案どおり可決される可能性は無いというのが大方の見方である。

- 2003年1月1日までに、小売需要家が供給事業者を選択する権利を与える。ただし、公的な場での検討結果に基いて、他の代替策、あるいは現行の独占システムの方が消費者にとって好ましいという結論であればこの限りではない。
- 地域的な送電線計画機関を設立する州際協定を認可する権限をFERCに与える。送電施設の運転、計画、制御を目的とした独立機関の設立権限と、電気事業者に対して送電施設の運転制御を独立地域システムオペレーターに移管することを義務付ける権限をFERCに与える。
- RPSを導入し、販売電力量に占める再生可能エネルギーの比率を2010年-2015年には7.5%とする。一方で、PURPAの210条中の買電義務条項を廃止する。
- 公益事業持ち株会社法(PUHCA)を廃法とする。ただし、FERC及び州規制当局が持ち株会社及び関係会社の帳簿へ一層アクセスできるようにする。
- 信頼度基準を策定、履行する「電力信頼度組織」を認可及び監視する権限をFERCに与える。

(2) 発送配電、供給各部門の現況と課題

(a) 発電市場

発電、送電、配電及び供給各部門において唯一競争市場としての条件が整いつつあるのが発電市場である。送電、配電部門については、後で見るような加州の例もあるが、当分の間は規制された部門として残りそうである。したがって、消費者が支払う料金値下げの鍵を握るのは、主として発電市場ということになるのでこの市場をまず見てみよう。

周知のように、電気事業再編のきっかけとなったのは今から20年前に成立したPURPAで規定されているQFのその後の興隆である。また、1992年エネルギー政策法によって規定された卸専業発電事業者(EWG: Exempt Wholesale Generator)が新たに発電市場のプレーヤーとして加わるようになった。このEWGは通称独立発電事業者(IPP)と呼ばれている発電事業者の一種であるが、FERCではIPPとEWGとを区分けするためにIPPを「非QFで、当該IPPが活動する市場の電気事業者の関係会社ではなく、また市場支配力を有していない事業者」と定義している。なお、電気事業者の範疇に属さない発電事業者を総称して非電気事業者(NUG)と呼ぶ場合がある。1997年末現在のNUG設備は約7,000万kWであるが、この内7割強はQFである。

これらNUGの他に最近注目されているのがマーチャント・プラント(MP)と呼ばれる発電事業形態である。MPは電力会社との長期売電契約締結後に資金調達するようなIPPプロジェクト運営方式でもなく、QFのように法律によって保護された電源でもない新しい

表1 再編法が成立している各州の再編概要

州	再編法 可決年月	小売自由化 開始時期	小売自由化導入方法	回収不能費用
ニューハンプシャー	96年5月	98年1月からの予定であったが延期。		回収不能費用問題で係争中。連邦裁判所の判断待ち。
ロードアイランド	96年8月	97年7月	段階的に導入し、98年1月から全面自由化した。標準料金(発電価格)が3.2セント/kWhと安価であったため競合事業者は参入できず。	97年7月—2000年12月までの移行料金を2.8セント/kWhとし、それ以降2009年までの価格は2000年末時点でPUCが設定。
カリフォルニア	96年9月	98年4月	98年4月から全面同時自由化	2002年までの移行期間中の回収不能費用の回収を認める。
ペンシルバニア	96年12月	99年1月	段階的に導入し、2001年までに全面自由化	再編法では回収不能費用の回収を認めたが、詳細はPUCの判断。
オクラホマ	97年4月	SB500では2002年7月までに小売自由化を開始。	具体的内容は現在検討中	SB500では、3年～7年間移行料金を課すことが可能と規定。
モンタナ	97年4月	98年7月(モンタナパワー社)	2000年に全面自由化(モンタナパワー社)	再編法では回収不能費用の回収と同費用の証券化を認めている。
メイン	97年5月	2000年3月	99年1月から消費者教育プログラムを開始。また、料金も同年同月から請求書ではサービスを分離して提示。	再編法では回収不能費用の回収を認めたが、詳細は未定。
ネバダ	97年7月	99年12月	未定	未定
マサチューセッツ	97年11月	98年3月	全面同時自由化	回収不能費用の回収は認められる。
イリノイ	97年12月	99年10月	2002年5月までに全面自由化。	回収不能費用の全額回収が認められる。
コネチカット	98年4月	2000年1月	2000年7月までに全面自由化	発電プラント(原子力を含む)の売却あるいは関係会社への移転が条件(非原子力:2000年1月まで、原子力:2004年1月までに)。
アリゾナ	98年5月	99年1月の予定であったが延期。	再編法では段階的導入(2年間)	PUCと関係会社間での回収不能費用に関わる協定が違法であると州の最高裁が判断。また委員が交代し、PUCの決定を無効とする判断。
ニュージャージー	99年2月	99年8月	全面同時自由化	回収不能費用の回収が認められる。BPU(公益事業委員会)の判断で8年間まで移行料金による回収が可能。
バージニア	99年2月	2002年1月	2004年1月までに段階的に導入	2002年7月1日から2007年7月1日まで「公正かつ妥当な回収不能費用」の回収は認められる。
デラウェア	99年3月	99年10月(Delmarva P&L社)	2000年10月までに段階的に導入(Delmarva P&L社)	詳細は未定
ニューメキシコ	99年3月	2001年1月	家庭用・小規模ビジネス(2001年1月) 大口産業・商業需要家(2002年1月)	回収不能費用の回収を5年間に限り認められる。株主と需要家双方が負担。少なくとも50%以上の回収は認められる。

出所: <http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity> の再編表(1999年4月1日現在)より筆者が作成。

表1 再編法が成立している各州の再編概要 (つづき)

(1999年4月1日現在)

州	特 記 事 項
ニューハンプシャー	再編法成立を受け、97年2月に発表された州公益事業委員会(PUC)による再編計画に対して同年3月 NU 社と PSNH 社が遺憾として提訴。
ロードアイランド	99年1月標準料金を値上げし3.5セントにしたことから参入が促進される可能性。再編法では7セント/kWhの料金値下げ命令。NEESの発電プラント売却によりさらなる料金値下げ。
カリフォルニア	料金値下げ用債券の発行(小口需要家への10%料金値下げ)。 私営三社は化石燃料焚き発電プラントの殆どを売却。売却額が簿価を大幅に上回るものとなり、移行費用の消滅効果。SDE&G社は移行期間終了前に移行費用の回収を完了。
ペンシルバニア	99年1月から開始した小売自由化で実際に供給事業者を変えた需要家は37万8千軒(同州の需要家軒数は約5百万)。PECO社の場合は2ヶ月間で既に同社の需要の33%が他の供給業者に奪われた。
オクラホマ	
モンタナ	同州の料金レベルは、全米平均6.86セント/kWhに対し、4.72セント(1996年)。
メイン	発電電力量の30%を再生可能エネルギーによることを義務付け(RPS)。電力会社に対して供給区域内の供給量に上限(33%)設定。 発電資産の売却の義務付け。
ネバダ	自由化の開始を延期(自由化開始の条件として8項目)。
マサチューセッツ	供給事業者を変更しない需要家に対して10%の料金値下げを義務付ける。 非原子力発電施設の売却を義務づけ。
イリノイ	再編法によって料金値下げ。98年8月、15%の料金値下げ実施。
コネチカット	回収不能費用の回収を認める条件として原子力の売却を義務付けたのはコネチカットが最初。
アリゾナ	開始時期については早くても来年。
ニュージャージー	回収不能費用の75%まで証券化が認められる。発電プラントの売却は義務化されていないが、将来的には可能性あり。 再生可能エネルギーはRPSによって促進。2001年3%, 2012年6.5%。
バージニア	再編法によりPUCは電気事業者に対して所有施設の売却を命令できない。電気事業者は2001年1月までに送配電機能を分離する必要がある。
デラウェア	住宅用需要家の料金は99年9月30日レベルに凍結し、7.5%の値下げ。 移行期間は99年10月から2002年9月まで。
ニューメキシコ	料金凍結・値下げは行われず。発電資産の売却も義務付けられていない。

発電事業形態である。MPの特徴としては、発電した電気を特定の電力会社に売電するわけでもなく、大口の需要家に直接売電する、あるいはマーケットを通じて売ることもあり得る。また、場合によっては、一定の期間IPPとして特定の電力会社に売電した後MPになるようなことも考えられる。要するに、MPは利益の機会を求めて活動する本来的な競争市場でのプレーヤーということになる。

表2はMPの建設計画を纏めたものである。表が示すように、MPの建設計画が多い州と電気事業再編が進んでいる州がほぼ一致していることがわかる。これらの建設計画が資

金調達上の問題等から全て実際に動きだすとは限らないが、発電市場が真の市場に近づくにつれこうした運営形態が増え、発電市場の主要なプレーヤーになることが予想される。

(b) 送電部門

送電部門をめぐる問題はアクセス問題と送電料金問題に大別することができよう。アクセス問題については、1992年エネルギー政策法でFERCの卸託送命令権限が強化され、さらに1996年には、FERCがオーダー888及び889によって米国の大半の送電線をコモンキャリア化するための規則を施行している。だ

表2 マーチャント・プラント建設計画

州 名	プロジェクト数	MW	州 名	プロジェクト数	MW
カリフォルニア	20	13,458	ウィスコンシン	4	983
テキサス	14	8,805	ミシシッピ	1	800
マサチューセッツ	12	7,812	ノースカロライナ	1	800
コネチカット	5	3,384	ロードアイランド	2	750
イリノイ	6	3,288	ワシントン	1	710
メイン	9	2,948	ネバダ	1	536
ニューヨーク	3	2,530	ワイオミング	2	480
ペンシルバニア	5	2,120	バージニア	1	300
ニュージャージー	4	1,900	ニューメキシコ	2	291
アリゾナ	3	1,650	ウエストバージニア	1	276
ミシガン	2	1,480	アイダホ	1	260
ニューハンプシャー	2	1,410	ミズリー	1	250
フロリダ	2	1,350	オレゴン	1	240
オハイオ	4	1,340	モンタナ	1	220
ジョージア	3	1,265	コロラド	1	80
計				115	61,716

注：加州は1999年2月現在，その他1998年12月現在。

出所：Leap Letter 11/12 1998及び加州エネルギー委員会 Website より筆者が作成。

が、競争的な電力市場と、同市場促進のための手段としての送電グリッドへの非差別的なアクセスを保証するために制定された規則も、その後の経緯を見ると、オーダー888及び889だけでは十分その目的を達成してないと見る向きが多い。また、これら規則は、競争を阻害するような、①発送電機能が不十分、②送電料金が一定地域内で幾重にも積み重ねて徴収される問題（pancaked transmission ratesの問題）、③ループフロー、④送電線の混雑等の問題も考慮していなかった。

こうした問題意識から生まれたのが独立系統運用事業者（ISO）の考え方である。この考え方自体は、加州が電気事業再編を検討していた際に、サザンカリフォルニア・エジソン（SCE）社とサンディエゴガス&エレクトリック（SDG&E）社が提案したのが最初とされている。ISO設立の基本目的の一つは、送電線の所有と運営を分離することによって、オーダー888&889でも実現できなかった、送電線所有者による差別的慣行の完全除去である。

既に加州、ペンシルバニア・ニュージャージー・メリーランド（PJM）、ニューイングランド、テキサス、ニューヨーク州等ではISOが設立され運用が開始されている。ISOの責務としては、①送電システムの制御、②系統信頼度

の維持、③補助的サービスの提供、④送電線の混雑の管理、⑤送電料金表の管理等がある。この他にも、PJMやニューイングランドISOは卸電力市場（PX）も兼ねているが、加州の場合はISOとPXを別組織としている。

ISOの有効性については、模索段階であり回答を出すには時期尚早であるが、この組織から期待される利益と限界については表3のような点が指摘されている。また、ISOの問題点に鑑みて、営利を目的とした送電会社（トランスコ）の考え方、あるいはISOとトランスコのハイブリッド型モデルなども提案されているが、今後地域的な広がりを持った送電組織がどのような形態になるかは現在のところ不透明である。

(c) 配電部門

送電線と同様に配電線に関わるビジネス、いわゆるワイアビジネスについては、自然独占性の議論がいまなお有効であり、競争には馴染まず、規制されたセクターとすべきという考え方が米国でも大勢を占めている。だが、1998年12月に加州公益事業委員会（CPUC）は配電部門の競争を今後の検討課題とする決定をしており、成り行きによっては次なる電気事業再編に繋がる可能性もでてきた。

表 3 ISOの長短

長 所	短 所
・ 差別的慣行の除去と市場支配力の濫用のチェックに有効。 ・ 送電線の混雑を効率的に管理、解決。 ・ ISO 大の送電料金表によって送電線利用手続き簡略化。 ・ 電気事業者間の送電線を巡る紛争の客観的、タイムリーな処理。	・ 所有と運用を分離する考え方は誤りであり、差別的慣行を完全には除去できない（送電線を所有することにより、垂直統合した電気事業者は、送電線を所有していない事業者より有利）。 ・ 将来的に必要となる送電線を建設するインセンティブがISOには無い。

こうした背景には、①マイクロタービン、燃料電池等の分散電源の市場拡大を目論むメーカーや、②PG&E社の管内での公営電力による配電線の重複設置を認めたCPUCの判断を覆そうとするPG&E社の存在がある。ただし、配電部門の競争については未検討の課題であるということと言うまでもない。

具体的には、1998年12月の決定では検討項目として12項目（例えば、設問1では、政策上の見地から分散電源を検討する際、配電分野の競争並びに配電事業者としての電力会社の配電事業の役割を、より広くそして一層包括的に検討する必要があるかどうか問うている）を挙げ、関係者に対して広くコメントを求めた。これに対し、関係者は既に1999年3月中にコメントを提出しているが、電力会社は総じて配電部門の競争問題は検討課題とするべきでないとする一方、公営電力や消費者団体等は分散電源問題を狭く捉えるのではなく、この際に電力会社の配電事業部門の今後の役割を含め広く検討すべきとのコメントが寄せられている。

今後CPUCとしては、関係者の意見を考慮して電気事業構造案や新たな規制体系案の策定に着手していくとともに、分散電源と配電部門の競争の将来像を描く作業をするようになると思われるが、既に進行中の電気事業再編同様かなりの紆余曲折が予想される。

(d) 供給部門

加州、マサチューセッツ、ロードアイランドの各州では既に小売を全面的に自由化している。また、ペンシルバニア州のようにパイロットプログラムを実施した後に段階的に導入しはじめた州もある。

これら四州の小売自由化についてエジソン電気協会 (EEI) は最近調査しているが、この調査結果によれば、自由化の開始が遅れたり、実施上の問題はあるが、全体的に見れば重大な問題は発生していないことから成功と評価している。

一例として加州の場合、当初から予想されていたことであるが、直接アクセスを選択する大口需要家が多いが、小口の住宅、商業需要家の中で直接アクセスを選択する需要家は極めて少ないのが目だつ。表4が示すように、私営三社の需要家1千万軒の内、直接アクセスを選択した需要家は13万軒しかない。とりわけ小規模住宅需要家並びに商業需要家の直接アクセス選択率がそれぞれ1.0%、2.7%と非常に低いものとなっている。この理由としては幾つか指摘されているが、州議会の決定により、自由化開始に当たり小規模需要家の料金が10%値下げされている点が重要であろう。

2. 英国のプール改革

英国（イングランド・ウェールズ）では、1990年に国有電気事業者が分割・民営化されるとともに、電気事業に競争原理が導入された。同国は、先進工業諸国の中で最も早く、且つドラスティックに構造改革を行った国であり、これまでも世界的に電気事業再編の先例として様々な観点から注目されてきた。

民営化後、小売市場は段階的に自由化され、1999年6月には全面自由化される予定である。だが一方で、プールの名で知られる卸電力市場は、同制度が開始された当初から欠陥が指摘されていたが、その後も様々な問題が露呈したことから、現在抜本的なプール改革

が検討されている。以下、現行プール制度の概要と問題点、並びに改革案について紹介する。

(1) 現行プールの概要

英国のプール・システムは、強制型である。すなわち、発電ライセンスを取得した事業者は、発電した電力を全てプールに入れ、小売供給ライセンスを取得した事業者は小売供給する電力を全てプールで調達することが義務付けられている。

プールで決定される市場決済価格（プール価格）は30分毎に設定される。プールは最も安い価格を提示した電源から優先的に系統に投入することを基本としているが、実際の運営には、プラント特性や送電線の制約など様々な要因を考慮しなければならない。

発電事業者は取引の前日に各ユニットについて価格データ、供給力及び運転特性に関

するデータをナショナルグリッド社（NGC 社）に提示。一方 NGC 社は、これらのデータ及び独自の需要想定を給電計画プログラム（GOAL）にインプットする。同プログラムにより、最も経済的な給電計画が作成される。この給電計画は「無制約の給電計画（U-Schedule）」と呼ばれ、送電線の制約、各プラントの特性は考慮されていない。したがって、実際の給電指令はU-Scheduleとは異なるものになる可能性が強い。

このU-Scheduleに基いて発電事業者がプールに入れる段階での価格（PPP）が前日に決定される。PPPは系統限界価格（SMP）とキャパシティーエレメント（CE）から構成される。SMPは当該時間帯において最も高い価格を提示したユニットの価格に設定。CEは需要が総提示供給力を上回る確率（LOLP）に停電による社会的損失額（98/99年で2.694ポンド/kWh）を乗ずることによって算出される。

表 4 加州直接アクセス需要

(1999年3月31日現在)

	住宅用	商業用 (20kW以下)	商業用 (20kW～500kW)	工業用 (500kW以上)	農業用	計
(A) DA需要家数 (千人)	87	27	11	1	3	129
(B) UDC 需要家数 (千人)	8,765	975	197	5	120	10,062
(A)/(B) (%)	1.0	2.7	5.9	20.3	2.4	1.3
(C) DA需要 (GWH)	664	465	7,095	13,814	402	22,441
(D) UDC 需要 (GWH)	55,442	13,631	49,266	41,703	5,576	165,617
(C)/(D) (%)	1.2	3.4	14.4	33.1	7.2	13.5

注：1) DA (Direct Access) 需要家とは供給事業者を変更した需要家。

2) UDC (Utility Distribution Company)は私営三社 (SCE, PG&E, SDG&E) の配電事業会社を意味する。

3) 数値は98年4月から99年3月末までの累積。

4) 計にはその他の種別を含む。

出所：CPUC Energy Div., Statewide Summary from Utility Reports Filed 4/15/99.

他方、供給事業者がプールから受電する時点での価格（PSP）は、①送電線の制約、運転特性などからU-Schedule下での計画値と実際の値が異なることからそれを修正するコスト、②補助的サービス（無効電力、予備力の確保）のコスト、③給電指令を受けなかったプラントに対する支払い額に対応するコスト等が PPP に上乗せされて算出される。

(2) 現行プール制度の問題点

労働党政府の意向を受け、1997年10月に着手されたプール改革の検討結果が、1998年7月にプール改革案として発表されている。この中で現行プール制度の多くの問題点が指摘されている。以下に、紙幅の関係で指摘されている問題点のごく一部を紹介する。

(a) 新規供給力のシグナルとしてのCE

CEは短期及び長期の需給バランスを保つためのシグナルとしての役割を果たすことが期待されていたが、実際には意図したようには機能していないのが現状である。例えば、長期的な役割として、CEはLOLPによって左右されることになるが、一方でLOLPは予備率に敏感に反応する傾向があるため、CEは僅かな予備率の変動にも大きく反応することになる。したがって、CEは設備投資のためのシグナルとしての役割を果たす指標としては問題がある。

(b) 相反する発電コストとプール価格の動き

発電コストは民営化当初から比べれば大幅に下がっている。ガススポット価格は当初の17～23ペンス/サームから現在では12ペンスまで下落、国内炭価格も40%近く下落してい

る。ガスを利用するコンバインド・サイクル・ガスタービン（CCGT）の建設コストも90年当時の450ポンド/kWから350ポンド/kWに低下、熱効率も初期のものでは48%であったのが、最近では56%に改善されている。

ところが、実質プール価格（PPPベース）は90年当時と比較して20%近く上昇しており、発電コストの低減がプール価格に反映されていない。

(c) プール改革案

改革案の骨子は、①限界価格（プール価格）で取引される現行システムが相対契約に基づく個別価格で取引されるシステムに改められる点、②現行の中央給電指令体制が契約に基づく自己給電（self-dispatching）体制に改められる点、③そして供給事業者（需要）サイドが市場に直接参加できるようになる点である。

具体的には、先渡／先物市場、短期契約市場、需給調整市場からなる卸電力市場の創設が今回の改革案の中心である。先渡／先物市場において比較的長期的な契約が取引され、電力受け渡しの前日に始まる短期契約市場で市場参加者の現実に沿うよう調整される。さらに、4時間前にスタートする需給調整市場では、市場参加者とシステムオペレーターの間で需給バランスの確保や潮流の安定を目的とした契約が取引される。

以上の改革案は、2000年4月から導入される予定である。ただ、このためには法改正とともに既契約の見直しが必要となる。既契約には、卸電力契約、補助サービス契約、送電線使用契約、再生可能エネルギー引取契約（NFFO）等がある。

3. EUの自由化動向

EU加盟国は、EU電力自由化指令を1999年2月19日までに国内法化することを義務付けられていたが、オランダとフランスを除き加盟国は期限内に国内法化を達成している。なお、オランダについては法律自身はこの1月に発効しているが、補足的な法制化措置が必要で、1999年末までに完了すると言われている。また、フランスも1999年末では最終採択される見込み。その他、ベルギーとアイルランドは1年、ギリシャは2年の猶予期間を与えられている。

EU指令では1999年2月から26.48%、2000年には28%、2003年には33%の市場開放を行うよう加盟国に求めていたが、開放率は1999年で63%、2007年には74%に達する見込みである。これは、ドイツ、英国、スウェーデン、フィンランドが既に全面自由化しており、スペイン、オランダ、ベルギーも将来的に全面自由化することを決定しているためである。

1999年2月19日から発電部門は全面自由化されている。加盟国には許可制と入札制のいずれかを選択する権利を与えられていたが、入札制度を選択したのはポルトガルだけである。

送電線アクセスについては、EU指令では第三者アクセス制（TPA：交渉TPAと規制TPA）と単一購入者制（SBS）の選択肢が与えられていたが、結局12カ国の政府が送電

料金を設定・公表する規制TPAを採用している。当事者間の交渉による送電料金を設定する交渉TPAを採用したのはドイツとギリシャだけであった。また、SBSはポルトガルとイタリアが規制TPAと並行的に採用している（表5参照）。

おわりに

海外の電気事業再編を研究している者にとっての最大の関心事は、果たして各国で模索している電気事業改革の結果として、電力供給体制が一定の方向に収斂してゆくのか、あるいは各国各様で並存していくのかということであろう。このような命題に対して解答を得るだけのファクトはまだ無い。しかし、本稿で取り上げたような国々における電気事業再編の経験が、わが国を含め他国のレッスンになることだけは確実である。

参考文献

海外電力調査会『海外諸国の電気事業』、1998年

Edison Electric Institute, *Retail Competition: The Utility Experience in Four States*, 1999, Washington D.C.: Edison Electric Institute.

US DOE/EIA, *Changing Structure of the Electric Power Industry: Selected Issues*, July 1998, Washington D.C.: DOE/EIA

William L. Massey, "Policy on Regional Transmission Organization: Five Pitfalls FERC Must Avoid", *Electricity Journal*, March 1999, pp.13-19.

表 5 EU各国の電力自由化動向

	オーストリア	ベルギー (猶予期 間1年)	デンマーク	フィンランド	フランス	ドイツ	ギリシャ (猶予期 間2年)	アイルランド (猶予期 間1年)
新規発電設備容量	許可制	許可制	許可制	許可制	許可制	許可制	許可制	許可制
送電システムアクセス	規制 TPA	規制 TPA	検討中	規制 TPA	規制 TPA	交渉 TPA	交渉 TPA	規制 TPA
配電システムアクセス	規制 TPA	規制 TPA	検討中	規制 TPA	規制 TPA	交渉 TPA (2005年まで配電事業者 に SBS を認める)	交渉 TPA	規制 TPA
有資格需要家の範囲	4,000万kWh以上の需要家および配電事業者	1億kWh以上の需要家	1億kWh以上の需要家および配電事業者	全面自由化	1億kWh以上の需要家	全ての需要家および配電事業者		1億kWh以上の需要家および一定の条件を満たす400万kWh以上の需要家
市場開放率	27% (2003年 →50%)	35% (2010年 →100%)	90% (現行法下)	100%	最低26%	100%	最低26%	28%
国産燃料優遇措置	無	検討中	無	無	検討中	旧東ドイツの褐炭	褐炭	泥炭約12%
相互条項	有(大臣による許可制)	有	無	無	検討中	有	無	検討中
移行措置	有	有	有	無	有	有	有	有

出所： <http://europa.eu.int/en/comm/dg17/elec/implgrid.pdf>

表 5 EU各国の電力自由化動向 (つづき)

(1999年1月)

	イタリア	ルクセンブルク	オランダ	ポルトガル	スペイン	スウェーデン	英国 (北アイルランドを除く)
新規発電設備容量	許可制	許可制	許可制	・一般供給体制 (PES*)…入札制 ・独立供給体制 (PES*)…許可制	許可制	許可制	許可制
送電システムアクセス	SBS 規制 TPA	規制 TPA	規制 TPA	SBS 規制 TPA (第18条3項)	規制 TPA	規制 TPA	規制 TPA
配電システムアクセス	(不明)	規制 TPA	規制 TPA	SBS 規制 TPA (第18条3項)	規制 TPA	規制 TPA	規制 TPA
有資格需要家の範囲	3,000万kWh以上の需要家(企業集団を含む)	産業需要家(1億kWh以上)	2,000万kWh以上の産業需要家および有資格需要家に供給する配電事業者	4000万kWh以上(配電事業者:需要の8%まで)	1500万kWh以上の需要家	全面自由化	全面自由化
市場開放率	30% (2002年) →40%	45%	33% (2007年) →100%	最低26%	30% (2007年) →100%	100%	100%
国産燃料優遇措置	サルジニア島の石炭	無	無	無	石炭に対する財政援助	無	無
相互条項	(不明)		有(大臣による許可制)	有	有(大臣による許可制)	無	
移行措置	無	有	有	不明確	有	有	有

* : PES…非競争市場, IES…競争市場

〔調査研究報告〕

A H A Tサイクル発電システムの概要

—コンバインドサイクルに勝る高効率性と経済性—

田 宮 久 史 (勸エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員)



1. はじめに

平成9年に行われたC O P 3において、わが国は2008年から2012年の期間に温室効果ガス排出を対1990年比6%削減することに合意した。この対応として、電力供給については原子力発電がCO₂等の環境負荷が少ないという優れた環境特性に加えて、ウラン燃料の入手及び価格に安定が見込まれることから、原子力発電所の増設に大きな期待が寄せられている。しかし、立地面からその実現には危惧がある。そのため、電力供給の主力は火力発電に引き続き依存せざるを得ず、環境負荷への配慮に加えて、燃料の多様化及び経済性の観点から、電源構成のベストミックスが求められている。

火力発電設備の高効率化は、発電コストの低減とともにCO₂排出量削減にもつながるものであり、技術開発が進められてきた。その1つに、ガスタービンを適用したコンバインドサイクル発電があり、燃焼温度の高温化等により、近年、発電効率が飛躍的に向上している。しかし、コンバインドサイクルには、NO_x低減が要解決課題のまま残っている。

これに対して、H A T (Humid Air Turbine, 加湿空気型高効率ガスタービン) サイクルは、

高効率ガスタービンを利用した新しい発電システムにより、NO_x排出削減と併せて、従来のコンバインドサイクルと同等以上の性能が達成可能と見込まれ、開発がなされてきた。

当研究所は、このような技術的背景の上に更に改良を進めて、今般、H A Tサイクルに必要な高圧縮比ガスタービンの開発を要せず、かつ水回収システムにより冷却水補給の大巾な減少を可能にするA H A T (Advanced Humid Air Turbine) サイクル発電の概念設計を実施した。

なお、本調査研究は、当研究所が資源エネルギー庁電力技術課開発振興室から、平成10年度に委託された「高効率発電技術調査」の一部として実施したものである。

2. H A Tサイクル発電システム

今回の開発のベースとなったH A Tサイクル発電システムの特徴は、空気圧縮機を低圧と高圧に分割してその間に中間冷却器を設け、圧縮機動力を低減する。さらに、水の蒸発に中間冷却の回収熱とガスタービン排ガスの比較的低温域部分の回収熱を利用して湿分を燃焼用空気に含有させ、ガスタービンを高効率化、高出力化するシステムである。H A

Tサイクルは、1981年に日本で発明され、1983年に論文が国際ガスタービン学会で発表された。その後、米国で注目を集め、EPRI（米国電力研究所）、DOE（米国エネルギー省）、フロー・ダニエル社など多数の研究機関によって評価が行われてきた。

これまでの評価結果では、このHATサイクル発電システムは、排ガスと一緒に湿分も大気中に放出するため多量の補給水の確保が必要なこと、及び中間冷却器を有する専用ガスタービンの開発が必要という課題が指摘されているが、一方、ガスタービンのみでコンバインドサイクルに匹敵する出力や効率が達成可能と考えられている。そのため、DOEは、プラット・アンド・ホイットニー社と共同で、HATサイクル用高温分燃焼器の燃焼基礎試験を実施中である。

3. A H A T サイクル発電システム

(1) システムの狙い

AHATサイクル発電システムは、前述のHATサイクルにおいて課題と考えられていた専用ガスタービン開発の負担を軽減し、補給水の確保を容易にするのを目標として考案されたシステムで、中間冷却器に代えて圧縮機入口に微細液滴を噴霧する吸気噴霧システムを設置する。この吸気噴霧システムでは、液滴が圧縮機に流入する空気を冷却するとともに、圧縮機内部で蒸発し周囲から気化熱を奪うため、中間冷却と同様な効果がある。また、燃焼排ガス中に含まれる多量の湿分は、加湿相当量を水回収システムにより回収し再利用することで補給水を実質的に不要としている。図1にAHATサイクル発電システム構成図を、また表1に従来のコンバインドサ

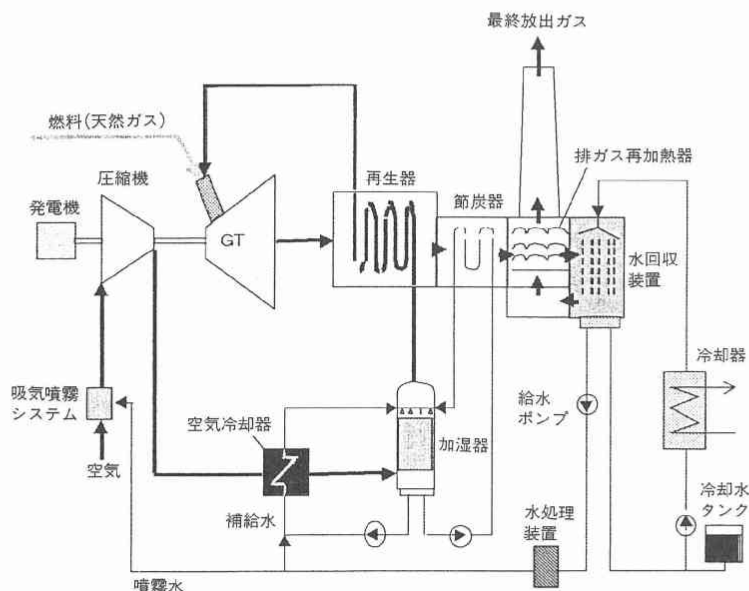


図1 AHAサイクル発電システム構成図

表1 システム構成の比較とA H A Tサイクル発電システムのねらい

サイクル	コンバインドサイクル
特 徴	・信頼性高く、既存システムでは最も高効率 ・ガスタービンと蒸気タービンの協調 ・NO_x低減対策必要 (低NO_x燃焼器、脱硝器)
サイクル概要図	
適用タービン	電気事業用ヘビーデューティ型ガスタービン
工業用水使用量	リーク分のみ補給
冷却水（海水）使用量	ベース
吸込空気量当りの比出力	ベース
プラント出力	100MW～500MWクラス
プラント効率（相対値）	ベース
高温時の出力低下	－4%/10℃
現状の開発レベル	実用化

H A T サイクル	A H A T サイクル
・高湿分ガスでタービンを駆動 ・蒸気タービンおよび高圧配管不要 ・高効率。燃焼器で低NO_x化 ・海水冷却が不要なため内陸設置が可能 ・高圧縮比のガスタービン開発が必要	・吸気噴霧システム採用で中間冷却器不要 ・水回収システムにより補給水を減量
圧縮比の高い (約30~40) 機種に適する既存品では 航空機転用型ガスタービン	電気事業用ヘビーデューティ型ガスタービン
大気放出の湿分補給 約30Ton/day (MW当り) 不要 約2倍 20MW~100MWクラス ±2% (同一燃焼温度で比較) 出力低下はコンバインドサイクルの1/3程度 国内外で概念検討を実施 米国DOEがHATサイクル用燃焼器の開発に着手	コンバインドサイクル並 (回収水の再利用) コンバインドサイクル並 約2倍 30MW~500MWクラス 0~+5% (同一燃焼温度で比較) 出力低下は殆どない (汽力プラント並に一定) 国内で概念検討を実施、吸気噴霧システム開発済 水回収/加湿器の基礎試験実施

イクルとHATサイクルとの比較、及びAHATサイクルの狙いを示す。

(2) コンバインドサイクルとの比較

コンバインドサイクルと比較すると、AHATサイクルには以下の特徴がある。

- 同じガスタービンをベースとしてシステム構築をしたとき、部分負荷から定格負荷の全域にわたり効率が高く、特に部分負荷時に定格負荷時からの効率低下が小さい。
- 外気温の影響が小さく、夏季の大気高温時にも出力の低下が小さい。
- 蒸気タービンや高圧蒸気の系統がないので構成が単純になり、システムの全体重量が低減でき、コスト低減の可能性が大きい。
- 高湿分燃焼のため、サーマルNO_x発生的主要因素となる局所的な高温燃焼部分の発生が抑制される。このため燃焼器でのNO_xの発生が少なく、脱硝装置を簡素化または削除できる可能性がある。

(3) HATサイクルとの比較

HATサイクルと比較すると、AHATサイクルには以下の特徴がある。

- 中間冷却器を使用しないため、電力事業用に広く利用されているヘビーデューティ型ガスタービンを利用できる。ヘビーデューティ型ガスタービンは広範囲な出力規模をカバーしているので、適用範囲が広い。
- 中間冷却器を使用しないHATサイクルは、コンバインドサイクルより効率が低いですが、吸気噴霧システムを採用することにより、圧縮機を改造せずに高効率なサイクルの達成が可能。
- 補給水量が少ない。ただし、水回収装置を

利用するため、冷却水(海水)が必要となる。

- 最終放出ガス中の湿分がコンバインドサイクル並みなので、コンバインドサイクルと同程度に排ガス温度を下げても、白煙の発生を抑制することが可能。
- 燃料は、ガスタービンで燃焼できる油、メタノール、石炭ガス化ガス等の多様な燃料に対応可能。

以上のように、AHATサイクル発電システムは、コンバインドサイクル及び従来のHATサイクルに比較して多くのメリットがあると考えられるので、概念設計を行い、性能、機器仕様、及び経済性を評価した。また、実用化に向けての技術開発課題を抽出した。

4. AHATサイクルの湿分制御システム

AHATサイクルは、ガスタービンの作動流体中に水蒸気を含ませるセミクローズド・サイクルであり、状態を変えながら水が循環するところに特徴がある。ここでは、湿分の調整システムについて簡単に紹介する。

(1) 湿分制御システム

AHATサイクル発電システムは、ガスタービン作動流体内の湿分調整を行なう目的で、以下の3種類の湿分制御システムを有している。

(a) 吸気噴霧システム

圧縮機入口に微細液滴(平均粒子径10 μ m程度)を噴霧し、圧縮機流入前と圧縮機内で蒸発させることにより、吸気流量の増加と圧縮機仕事の低減をはかっている。吸気噴霧システムの概念と効果を図2に示す。

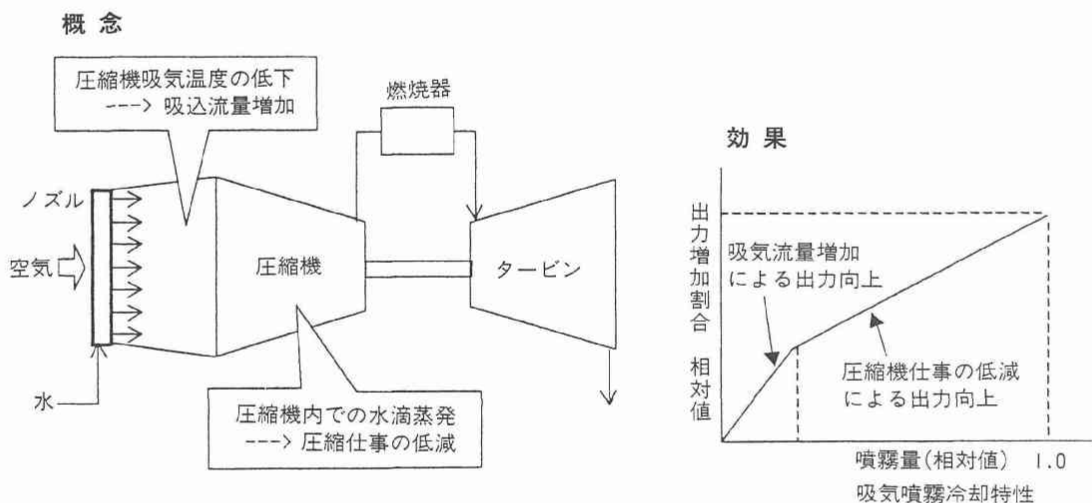
(b) 加湿器システム

ガスタービン排ガスの比較的低温域の熱を温水の形で回収し、この温水を圧縮機吐出空気に接触し蒸発させて空気に湿分を加え、タービンで発生する出力を増加させる。出力が増加するメカニズムは、作動流体中に水蒸気が混入したことによる質量増加の効果と、熱エネルギー増加の効果（エンタルピー増加：水蒸気の比熱は空気のおよそ2倍）

の相乗効果である。加湿器システムの概念を図3に示す。

(c) 水回収システム

従来のHATサイクル発電システムは、燃焼排ガスとともに湿分も大気中に放出していたため、多量の補給水が必要であった。AHATサイクルでは、必要とされる加湿相当量を水回収システムにより排ガス中か



出典：平成10年度 火力原子力発電大会要旨集

図2 吸気噴霧システムの概念と効果

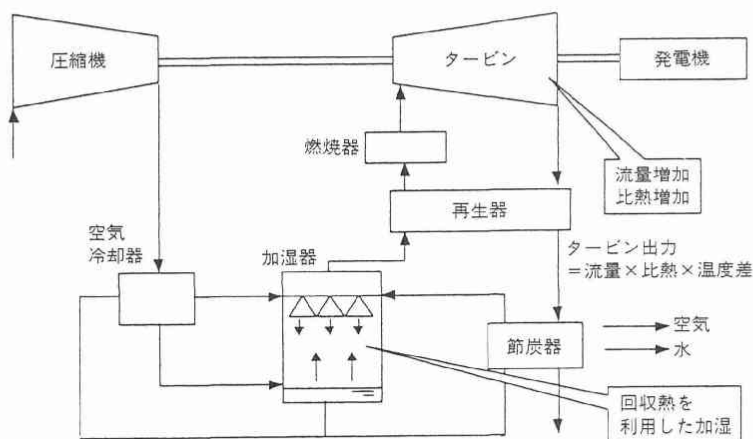


図3 加湿器システムの概念

ら回収し再利用することを目標としている。LNG等の燃料の燃焼によっても水分は生成するが、この燃焼で生成した水分は回収しない。そのため、排ガス中湿分濃度はコンバインドサイクルと同程度である。

水回収システムの例を図4に示す。

(2) 水回収システムの課題

ガス中に含まれる水蒸気を冷却して回収する場合、空気のような凝縮に寄与しないガス

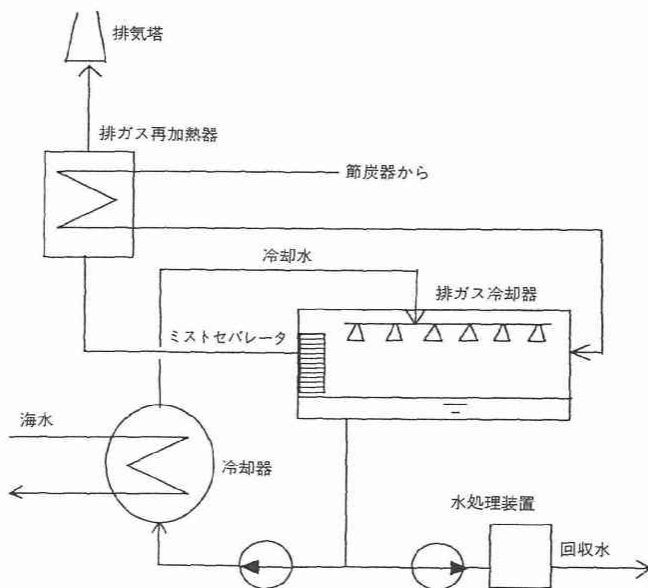
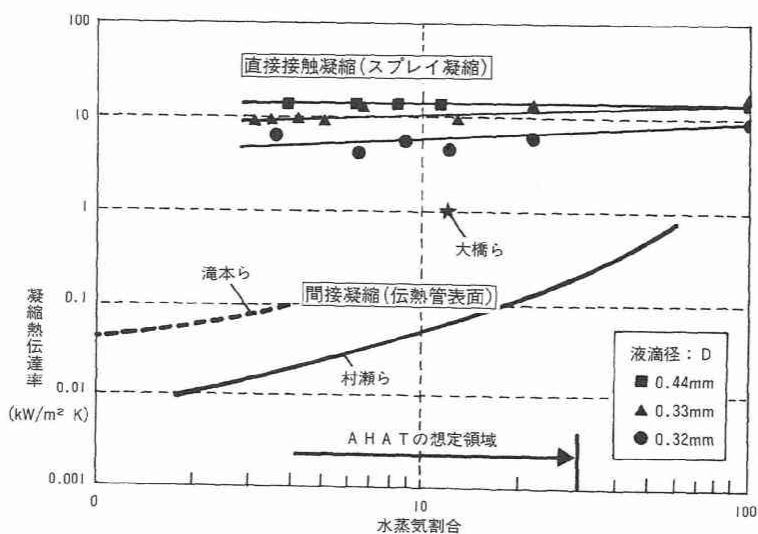


図4 排ガスからの水回収システム例



出典：山岸他，1997年機械学会熱工学講演会

図5 空気-水蒸気混合気体の凝縮熱伝達率

が含まれていると、凝縮性能が著しく低下するという問題がある。図5は、横軸をガスに対する水蒸気の重量割合、縦軸を凝縮能力を表す熱伝達率としたもので、排ガス中の水蒸気割合が小さくなるにつれ、伝熱面上（復水器の伝熱管に相当）での凝縮性能が純粋な水蒸気の場合に比べ著しく低下する。これに対し、排ガス中にスプレーされた冷水液滴の表面に直接凝縮する場合には、凝縮熱伝達率は高い値を維持する。したがって、排ガスから水回収を行う場合には、直接接触凝縮方式を採用したほうが装置のコンパクト化が図れる。

水回収システムについては、これまでも排ガス中から湿分および凝縮潜熱を回収し、水資源の確保やエネルギー効率向上をはかる試みが検討されてきたが、普及しているとはいえない。その原因は、水回収のコストメリットが小さいためと予想される。ただし、AHATの場合は、加湿量が多く水資源確保のた

め回収することが好ましく、また、通常の燃焼排ガス中の湿分よりも高湿分であるため回収が容易である。

さらに、水回収装置として前述の直接接触凝縮方式を採用したコンパクトなシステムを構築することにより、水回収に十分な経済的メリットが生じる可能性がある。直接接触凝縮方式が良好な凝縮特性を有することは原理確認基礎試験により確認済みであるが、システムを構成した場合の成立性については、要素機器開発を通じて確認してゆく必要がある。

5. AHATサイクルの熱サイクル最適化

AHATサイクルの性能評価を行う上で、性能影響パラメータである、ガスタービン圧力比、タービン入口温度、総加湿量と吸気噴霧量、再生器出口温度と出口温度差、及び水回収割合のそれぞれについて、熱サイクルの最適化検討を実施した。

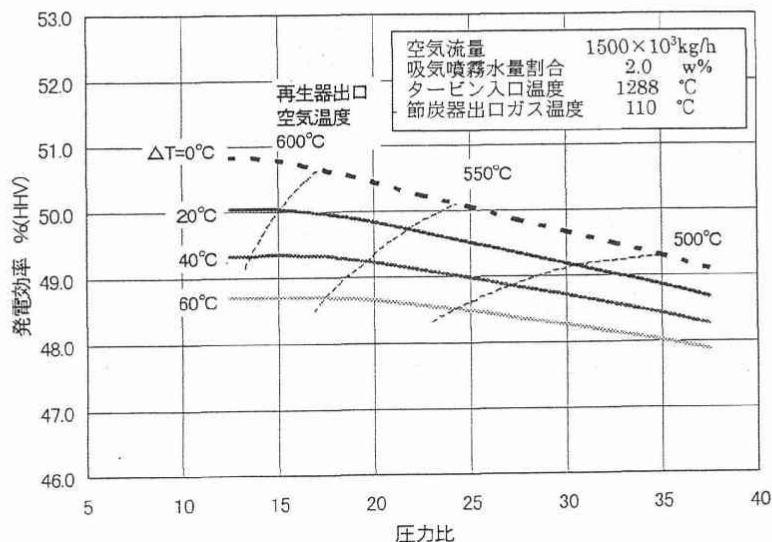


図6 1,300°C級AHATサイクルにおける圧力比と発電効率の関係図

(1) ガスタービン圧力比

再生器出口温度差 ΔT をパラメータとして圧力比と発電効率の関係を検討した結果を図6に示す。今回想定したA H A Tサイクルでは、いずれの ΔT においても圧力比が15前後で最高効率を示し、 ΔT が小さいほど高効率となることが分かる。再生器出口温度差 ΔT の条件選定は、経済性の観点から検討されるべきで、1,300℃級ガスタービンの場合、圧力比15前後がA H A Tとして適当であり、現状の大型ガスタービンをベースにA H A Tを充分構築できることが分かった。

(2) タービン入口温度

タービン入口温度をパラメータとして、ガスタービン圧力比がA H A Tサイクルの効率に与える影響を図7に示す。タービン入口温度が上昇するほど効率も向上するが、最高効率を示す最適な圧力比も、大きい方にシフトする結果となった。図7より、A H A Tサイクルにおいて最高効率を得られる圧力比に明確なピークはないが、各温度条件ともに、電力事業用に利用されている大型ガスタービンの圧力比とほぼ一致する結果となった。タービン入口温度は高いほど効率は高くなるが、

今回検討するA H A T用のガスタービンは、現時点で実用化されており比較検討用の情報が得やすい1,300℃級のガスタービンを想定して、以降の評価を実施した。

(3) 総加湿量及び吸気噴霧割合

A H A Tサイクルでは、吸気噴霧システム及び加湿器システムの2箇所での燃焼空気中に湿分を加える。

加湿量を増加させると、タービン作動流体の増加、燃焼ガスの比熱増加の効果等により出力及び効率がともに増加する。ここでは、システムの効率向上を図るため、総加湿量の限界及び吸気噴霧割合について検討した。

① 総加湿量の制限値

総加湿量は、再生器側および節炭器側における熱回収条件や燃焼器側の条件により制限され、実用可能領域が決まる。その領域内で最高効率となる最適値が定まる。

図8に実用可能領域を示す。これより、今回の評価条件では、入口空気に対する加湿量の最適値は約14%であることが分かる。

② 吸気加湿量割合の検討

図9に総加湿量と発電効率の関係を示す。吸気噴霧による効果は、加湿器による

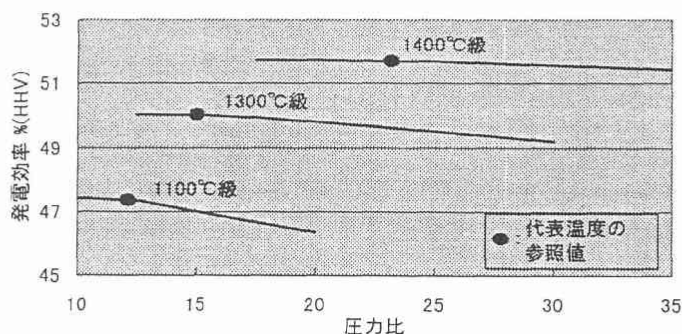


図7 タービン入口温度と圧力比が発電効率に与える影響

効果よりも効率向上への寄与率が高いので、吸気噴霧量が多い程より高効率となる傾向にある。個別に実施した現状の吸気噴霧試験では、吸気噴霧量は0.8%までが実証済みであるが、実験時の湿度の影響を考慮すると、1.0%までは現時点で実用可能と判断される。今回の検討では、今後更に吸気

噴霧特性の解明が進み、より多量の噴霧が実用可能となる想定のもとに、2.0%の噴霧量を選択した。

(4) 再生器出口温度及び出口温度差

図10に示すように、A H A Tサイクルでは再生器及び節炭器を利用して熱回収を行って

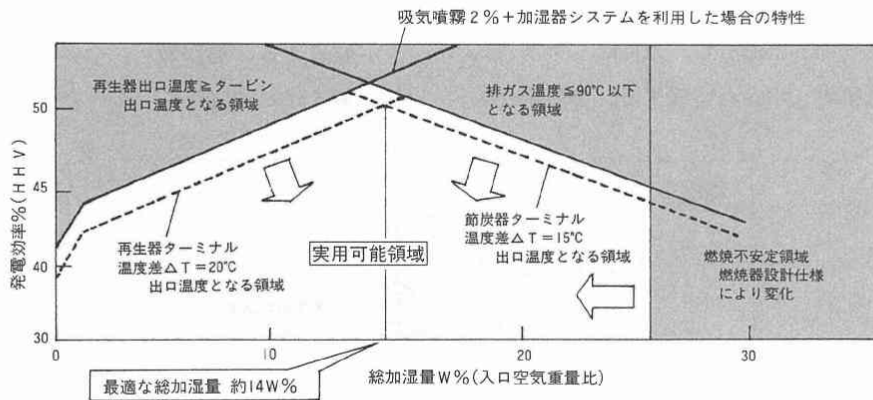


図8 総加湿量の実用可能領域

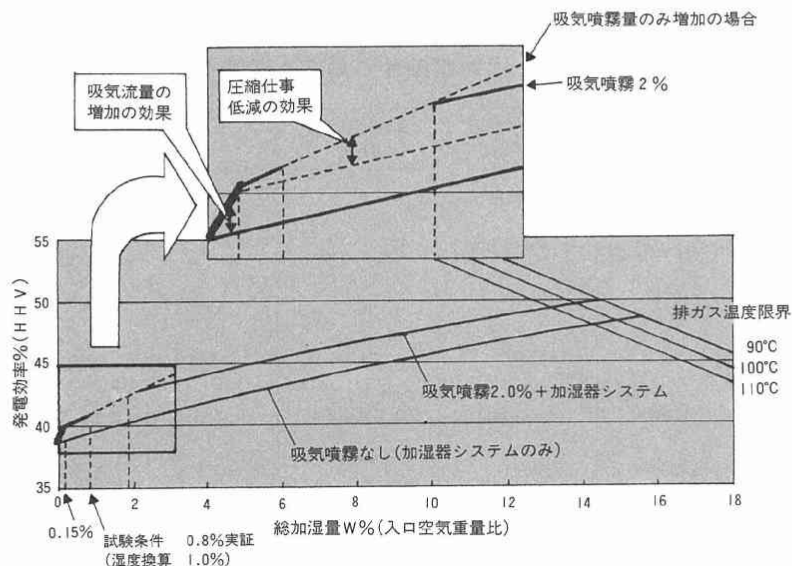


図9 総加湿量と発電効率の関係図

いる。効率評価では、再生器での熱回収が多くなる、すなわち再生器出口温度が高くなる（ ΔT が小さくなる）ほど発電効率は高くなる。熱交換器の伝熱面積の増加と効率向上との総合的な経済性評価を実施した結果に基づき、今回の検討では $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ を選定した。

(5) 排ガスからの水回収

AHATサイクルでは、吸気噴霧システムと加湿器で加えた湿分を、水回収システムにより燃焼排ガス中から回収する。この排ガス

からの水回収の条件が性能に与える影響について検討した。

(a) 発電効率への影響

水回収条件の変化により発電効率に与える影響因子としては、以下のものが考えられる。

- 圧損の変化（水回収システムの有無）
- 熱回収下限温度（節炭器出口ガス温度）
- 補給水温度および量（水回収時の潜熱回収による予熱効果）

表2に水回収条件とその影響についてま

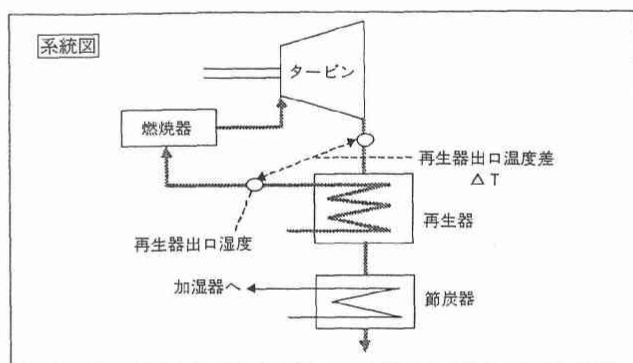


図10 熱回収系統

表2 水回収条件と効率への影響

	補給水回収 100%	補給水回収 50%	水回収なし	備 考
圧損減少による変化	ベース	←	+0.2%	タービン背圧低下
節炭器出口ガス温度	ベース(110℃)	←	←	冷却水温度に依存
排気塔ガス温度	90℃	90℃	110℃	
露点温度	42℃	57℃	66℃	露天高→白煙発生
補給水の予熱効果	ベース(60℃)	-0.2%(60℃)	-0.4%(15℃)	予熱→蒸発量増加
蒸発量(相対値)	1.00	0.96	0.925	(出力、効率の向上)
合 計	ベース	-0.2(絶対値)	-0.2%(絶対値)	—
系外からの補給水量 (t/h)	0	105	203	補給水量の確保

とめ、以下の結果が導かれた。

- 白煙防止を前提として評価すると、発電効率は補給水回収100%の場合が最も高く、補給水量も低減できる。
- 水回収なしの場合、冬期の白煙発生の防止上、排ガス温度を高くする必要性があり、効率は低下する。

従って、発電効率が高く、補給水量が低減でき、白煙発生の防止が可能である100%回収を選定する。

また、排ガス温度評価については、排ガスの白煙化が生じない状態で最も効率が低い、最終排ガス温度90℃を選定する。

6. 性能検討結果

表3に示すように、熱サイクルの最適化を踏まえ、検討ケースとして以下の3ケースを選定して性能評価を行った。

- ① ベースケース：熱サイクルを最適化した場合

- ② ケースA：機器改造を最小限にするためにトルク強度上限値を考慮し、タービン出力を制限した場合

- ③ ケースB：サイクルの理想化として、高温湿分空気を翼冷却媒体に利用して効率向上を検討した場合

また、ベースとなるガスタービンは、1,300℃級相当にて検討を行った。性能評価の結果、ベースケースは、コンバインドサイクルに比べて、効率、出力とも有利である。また、ケースAは出力は減少するが、効率面では有利となった。次に、ケースBは、湿分利用により冷却特性が向上することと、ガスタービンの冷却空気量を低減できるため、出力、効率が増加した。その反面、圧力比の変更等、圧縮機を新規開発することが必要となるので、経済性検討からは除外し将来の検討課題とした。

(1) 大気温度変化特性の評価

大気温度変化特性の発電端出力及び発電端

表3 AHA Tサイクル性能検討ケース

		ACC*	ベースケース	ケースA	ケースB
		1,300℃級	熱サイクル最適化	機器改造最小	サイクルの理想化
設計条件	圧力比	15	同左	同左	16
	入口温度 (℃)	1,288	同左	同左	同左
	総加湿量 (%)	—	14.5	13.4	14.6
	吸気噴霧量 (%)	—	2.0	同左	同左
	水回収割合 (%)	—	100	同左	同左
	再生器出口温度 (℃)	—	602	同左	同左
発電端出力 (MW)		238.8(ベース)	253.2 (+14.4)	200.0 (-38.8)	262.5 (+23.7)
発電端効率 (%、HHV)		49.2 (ベース)	50.0 (+0.8)	49.3 (+0.1)	50.6 (+1.4)
送電端効率 (%、HHV)		48.2 (ベース)	49.2 (+1.0)	48.6 (+0.4)	49.9 (+1.7)

* ACC：アドバンスト・コンバインド・サイクル

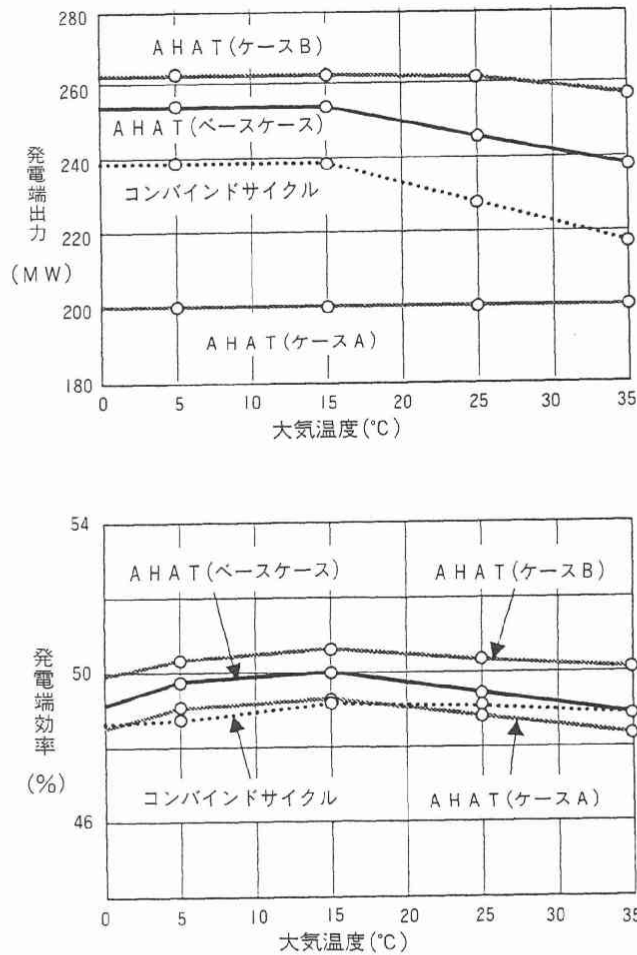


図11 AHA T発電の大気温度特性（コンバインドサイクル発電との比較）

効率について、AHA Tサイクル発電とコンバインドサイクル発電とを比較した結果を図11に示す。

- 大気温度の上昇に伴い、コンバインドサイクル発電では発電端出力が低下する。これに対し、AHA Tサイクル発電（ケースB）では、吸気噴霧量の調整により大気温度上昇時の発電端出力の低下が少なく、ほぼ平坦な特性を示す。
- 発電端効率については、AHA Tサイクル発電（ベースケース、ケースB）は、コ

ンバインドサイクル発電と比較して高い。

(2) 部分負荷特性評価

部分負荷特性の発電端効率について、AHA Tサイクル発電とコンバインドサイクル発電とを比較した結果を図12に示す。

- 定格負荷及び部分負荷において、AHA Tサイクル発電の効率が高い。
- 約80%から約60%の部分負荷で、AHA T（ベースケース）の効率が特に高くなる。約60%以下でこの差は減少する。これは燃

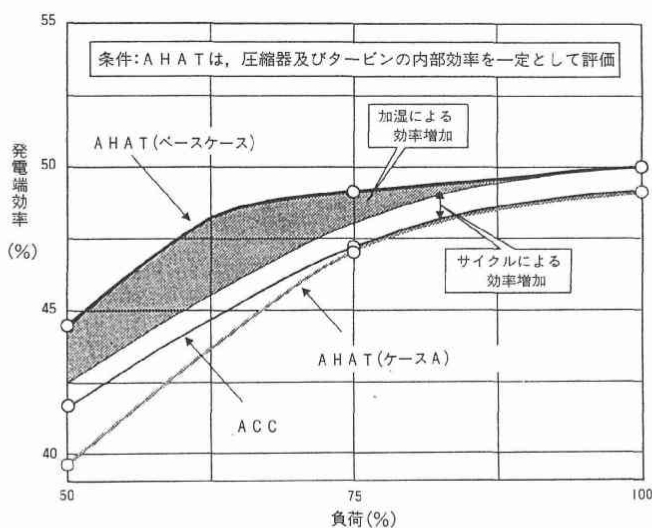


図12 部分負荷特性

焼器入口の空気温度の低下がコンバインドサイクル発電の方が大きいことによる。

(3) 性能、運用評価

A H A Tサイクルが、コンバインドサイクルに対して出力、効率が増加する要因は以下のものが挙げられる。(図13参照)

(a) 出力増加要因

- 湿分の増加によるタービン流量の増加
- 比熱増加による保有熱エネルギーの増加
- 吸気噴霧効果（吸気温度の低下による吸込空気量増加、及び圧縮機内部での水滴蒸発による圧縮機仕事の低減によるガスタービン正味出力の増加）

(b) 効率向上要因

- 再生器での高湿分空気の前熱による燃料投入量の低減
- 湿分増加及び吸気噴霧による増出力分に対して、再生予熱を組み合わせることによる燃料投入量割合の低減（増出力に必

要な燃料投入量の低減）

また、コンバインドサイクルとA H A Tサイクルのエネルギーフローを図14に示す。図14では、燃料入熱を100として発電機出力、温排水および排ガス放出までのエネルギーの流れと構成割合を示す。燃料入熱を同じとした場合、コンバインドサイクルとA H A Tサイクルは温排水の割合が殆ど同じ値になり、排ガス損失ではA H A Tの方が少ない分、発電出力が多いという結果になった。

(4) 運用性評価

A H A T発電システムの運用性については、蒸気タービン系が削除される分、負荷追従性、通気条件のマッチングの必要性がなくなる点是有利である。しかし、湿分制御が追加となる点を考慮すると、コンバインドサイクルと同等となると考えられる。ただし、湿分制御の影響については、実証化の段階で詳細検討が必要である。

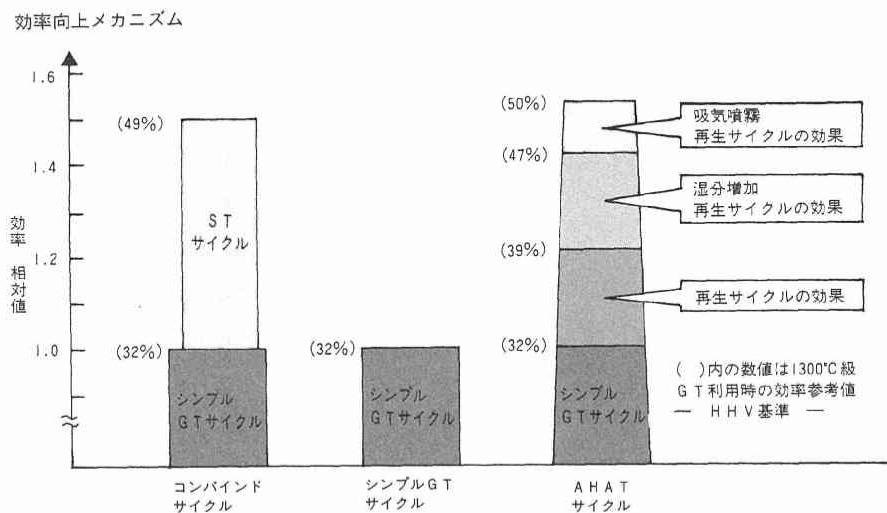
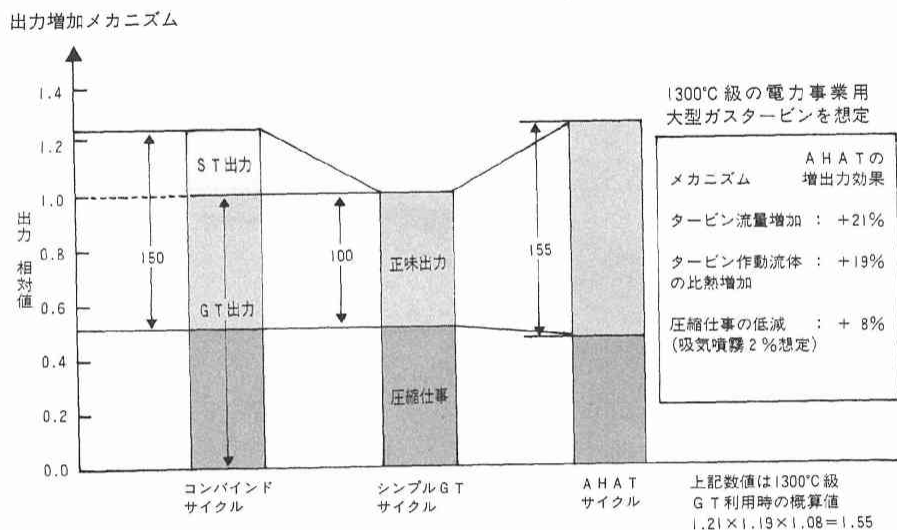


図13 A H A Tサイクルの出力増加および効率向上のメカニズム

7. 機器仕様の検討結果

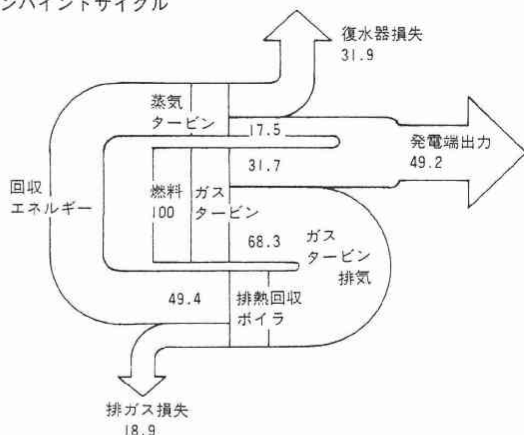
コンバインドサイクルとA H A Tサイクルとの設備仕様の比較を表4に示す。

A H A Tサイクルでは蒸気タービン系設備が不要であることから、蒸気タービン系機器のスペースが削減でき、それに伴い本館容積

を低減することが可能となる。また、ガスタービンのNO_x発生量を少なくできる可能性があり(目標:10ppm未満)、脱硝装置が削除できる可能性もある。熱交換器類の必要設置面積及び容積は、コンバインドサイクルと同程度であるという結果となった。

なお、ケースAは1軸あたりの出力を200 MWに制限しているため、1,000MW級発電

コンバインドサイクル



A H A Tサイクル

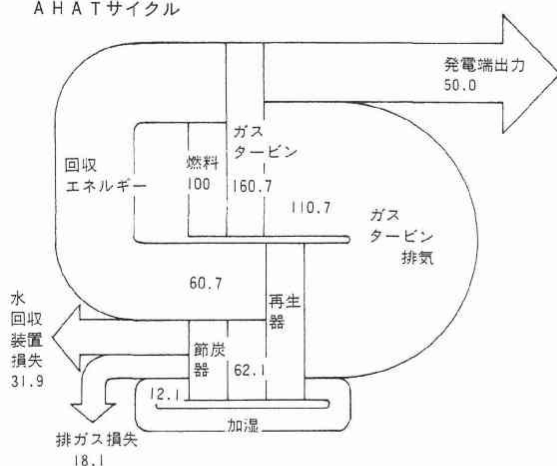


図14 エネルギーフローの比較

プラントを構成するためには5軸必要であることから、敷地面積が増加する結果となった。

8. 経済性検討結果

以上の機器仕様により、コンバインドサイクルをベースとして1,000MW級発電プラントの建設単価と発電原価の相対評価を実施した。なお、建設費算出範囲は主要発電設備及び付属設備とし、土地、建物、取放水設備、LNG気化設備などは検討対象から除いた。

表5には建設単価評価結果を、表6には発電原価評価結果を示す。また、図15には発電設備単価の内訳を示す。

A H A Tサイクル発電の主要機器の建設単価は、習熟価格で評価した場合、コンバインドサイクル発電の81%となり、コンバインドサイクルに比べコストを約20%削減できる可能性がある。これは図15に示すように、主に蒸気タービン関連設備費の削減効果による。

A H A Tサイクル発電の発電原価は、上記の評価結果を用いると、コンバインドサイク

ル発電に比べ約10%削減できる可能性がある。これは主に固定費の削減効果が大きい。なお、A H A Tサイクルのベースケースは、発電効率が高いので燃料費が減少し変動費も低減する。一方、ケースAの場合は発電効率がコンバインドサイクルと同程度なので変動費も同程度になる。

このように、A H A Tサイクル発電は、発電原価を約10%削減できる可能性があり、経済的にメリットがあると言える。

9. 実用化への課題抽出

A H A Tサイクルを構成する各機器は、大部分が従来の発電や化学プラントのシステム等で確立された技術に基づいており、本調査の結果、実用化にむけて重大な制約要因はないと考えられる。なお、実用化へ向けたA H A Tサイクルの主要開発課題としては、下記のものが挙げられる。

- ・吸気噴霧システムの実機運用特性検証
- ・加湿器の機能検証と実運用性能検証

表 4 A H A T サイクル設備仕様比較

	コンバインドサイクル	A H A T サイクル	
		ベースケース	ケース A
ガスタービン (MW)	153.6	253.2	200.0
蒸気タービン (MW)	52.2	—	—
軸数 (1,000MW構成)	4 軸	4 軸	5 軸
G T 出口 NO _x (16%O ₂)	50ppm	10ppm未満	同 左
脱 硝 効 率 (%)	80	—	—
排熱回収ボイラー	自然循環再熱 三重圧	—	—
加 湿 器	—	充填塔	同 左
水 回 収 器	—	対向流スプレイ方式	同 左
再 生 器	—	プレートフィン型	同 左
節 炭 器	—	フィンチューブ型	同 左
本 館 容 積 (%)	100	70	80
敷 地 面 積 (%)	100	95	110

表 5 1,000MW級発電プラントの建設単価

	コンバインドサイクル 発 電	A H A T サイクル発電 ベースケース	A H A T サイクル発電 ケース A
発電端出力 (kW)	955.2×10^3	$1,012.6 \times 10^3$	$1,000.0 \times 10^3$
送電端出力 (kW)	936.4×10^3	998.2×10^3	984.5×10^3
ガスタービン軸数 (軸)	4	4	5
発電端建設単価 (相対値)	1.00 (ベース)	0.81	0.88
送電端建設単価 (相対値)	1.00 (ベース)	0.81	0.88

表 6 1,000MW級発電プラントの発電原価 (送電端)

		コンバインドサイクル 発 電	A H A T サイクル発電 ベースケース	A H A T サイクル発電 ケース A
負荷 100% (送電端)	(kW)	936.4×10^3	998.2×10^3	984.5×10^3
	(%HHV)	48.2	49.2	48.6
年 平 均 (送電端)	(kW)	656.6×10^3	699.9×10^3	690.3×10^3
	(%HHV)	46.3	48.0	46.4
固定費 (相対値)		0.42	0.34	0.37
ユーティリティ費 (相対値)		0.006	0.012	0.013
燃料費 (相対値)		0.57	0.55	0.58
発電原価 (相対値)		1.00 (ベース)	0.91	0.96

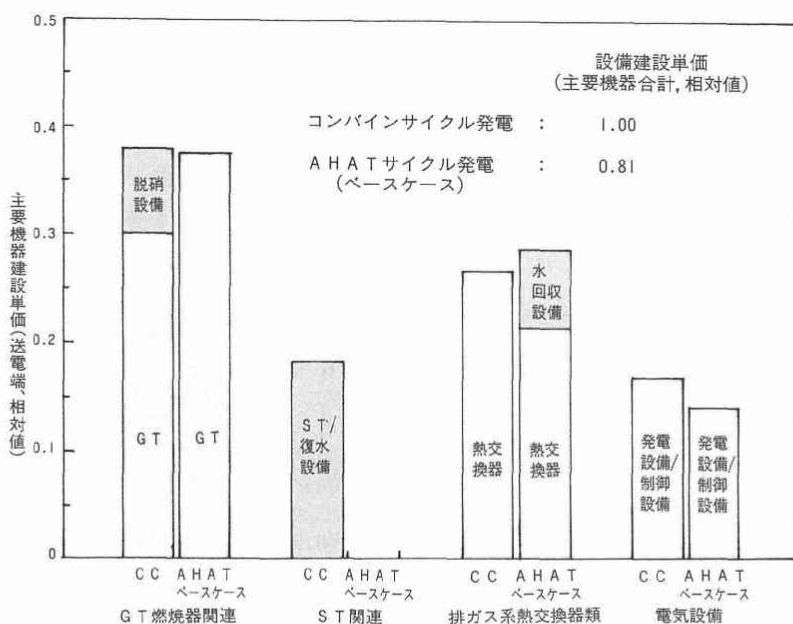


図15 A H A T サイクル発電の主要機器の建設単価(送電端ベース)
—コンバインドサイクル発電との比較—

- 高湿分燃焼器の安定燃焼, 低NO_x化及び冷却技術検証
- 直接凝縮方式の水回収性能の検証
- ガスタービンの構造上の運転信頼性検証
- 湿分制御運転の検証

この中で、水回収性能以外の検証課題については、実証プロジェクトの計画条件による詳細設計の実施と実証機による確認とが必要であるが、水回収システムはA H A T サイクル固有の技術であり、実証化を検討する前に、サイクル自身の有効性を確認するための要素検証が必要と考えられる。

10. まとめ

本概念設計では、A H A T サイクル発電システムの評価を、主にコンバインドサイクル

を比較のベースとして実施してきた。

一方、現状の電気事業用ガスタービンを適用したコンバインドサイクルの高効率化技術開発レベルに着目すると、1,500℃級の蒸気冷却型ガスタービン・コンバインド・サイクルが実用化の段階にあり、信頼性検証を踏まえて、今後のコンバインドサイクルの主流となるものと考えられている。ガスタービンの今後のさらなる高効率化への技術開発の可能性は、様々な方向性にて検証されている。例えば、高温化へ向けてセラミック材料等の新規材料開発、T B C (Thermal Barrier Coating, 遮熱コーティング)の高度化、水蒸気冷却等の冷却技術の開発が行われている。また、サイクルとしての高効率化も進められており、実用化間近の蒸気冷却技術を始めとして、再生サイクル技術、クローズドサイクル技術

の検証が行なわれている。

今回、概念設計を実施したA H A Tサイクルもサイクルの高効率化技術の一つであり、CO₂削減、低NO_x化、コスト低減及び燃料多様化の各面において、実証化された段階では現状のコンバインドサイクルに対する優位性があると評価された。

今後は、水回収システムを始めとする要素開発を通じて、技術開発課題を検証していくことにより、実証化への評価ステップを検討する必要がある。

謝 辞

おわりに、本原稿作成にご協力を頂いた、資源エネルギー庁電力技術課開発振興室及び(株)日立製作所 電力・電機開発研究所の関係各位に対して、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- (1)日立ガスタービン吸気加湿冷却システム
(株)日立製作所
- (2)ガスタービン吸気冷却システムの開発
(社)火力原子力発電技術協会 全国大会 平成10年度発表資料
- (3)高温分空気を利用したガスタービン発電システムの検討
No.97-25 日本機械学会講演論文



〔調査研究報告〕

ガスハイドレート船による 天然ガス輸送

—LNG船方式を凌ぐ
エネルギー効率と環境調和性—

兼 子 弘* (財エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 副主席研究員)

松 尾 和 芳** (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

1996年の第2回ガスハイドレート国際会議において、ノルウェーのグドムンドソン教授とボーレハッグは、「天然ガス輸送手段としての凍結ハイドレート」と題した論文を発表した。この論文は、天然ガスをガスハイドレート(NGH)船により長距離海上輸送することの経済性を論じた最初の記念すべき論文となった。LNG(液化天然ガス)船よりもガスハイドレート船による天然ガス輸送の方が資本費が少なく済むことを明らかにしたこの論文は、わが国のLNG関連業界に波紋を呼んだ(表1)。

グドムンドソンらの論文が議論したのは資

本費だけであったので、我々は運転費を判断する前段としてエネルギー効率の試算を行った。本論文ではLNG船、パイプラインとガスハイドレート船による天然ガス輸送のエネルギー効率を比較検討する。

なお、本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「ガスハイドレート資源化技術先導研究開発」平成10年度成果、及び非在来型天然ガス基礎調査委員会の下に設けられた勉強会によるものである。

2. ガスハイドレートによる 天然ガス輸送の原理

ガスハイドレート船による天然ガス輸送は、その英文頭文字(Natural Gas Hydrates)を取ってNGH船輸送と略称される。その原理は次の3つの事実から成り立つ。

- ① ガスハイドレートが持つ大きなガス包蔵能力
- ② ガスハイドレート/水・ガスの相境界における圧力/温度依存性
- ③ ガスハイドレートの自己保存効果

表1 NGH船・LNG船輸送における
資本費(初期設備投資額)の比較

単位: 百万米ドル

	LNG	NGH	差 額
製 造	1220	792	428
輸 送	750	704	46
再ガス化	400	317	83
合 計	2370	1813	557

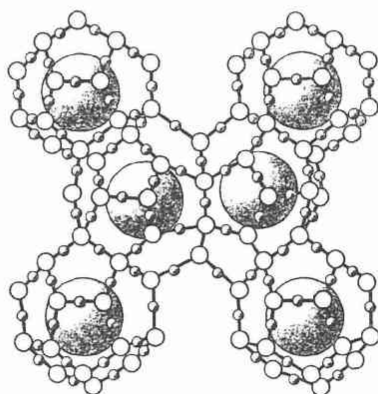
出所: グドムンドソン(1996年)から作成

(1) ガスハイドレートのガス包蔵能力

ガスハイドレート結晶は水分子の作るカゴ型格子構造の中にガス分子が1個ずつ収まる。代表的なメタンハイドレートの結晶構造を図1に示すが、46個の水分子が8個のメタン分子を包蔵する。メタン1分子当たりになると水分子は5.75個となり、これを水和数と呼ぶ。実は水分子の作るカゴには大きいカゴと小さいカゴの2種類が組み合わさっている。単位体積当たりのメタン包蔵能力は、実験値である結晶密度から計算するので研究者により多少違うが、ロシアの著名な学者のマコゴン氏によればメタンハイドレート 1 m^3 では最大 164 m^3 のメタンを収納可能である。LNGは液化により 1 m^3 当たり約 600 m^3 の気体メタンを貯蔵できるので、ガスハイドレートはLNGの約27%の貯蔵能力になる。

(2) ガスハイドレート/水・ガスの相境界における圧力/温度依存性

氷・水の相境界との比較で論じられること



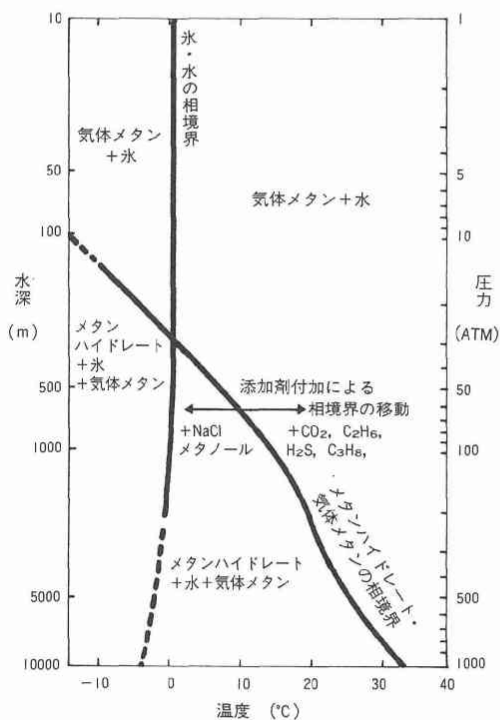
(注)：大きな球はメタン分子，籠の角にある球は酸素分子，小さな球は水素分子を表す。
出所：奥田義久，メタンハイドレート特集にあたって，1997年。

図1 メタンハイドレートの代表的結晶構造

が多く、重要な特性である(図2)。ガスハイドレートは、水/氷と比較して強い圧力依存性を示すのが特徴である。加圧、冷却、凝固添加剤によりガスハイドレートは生成し易くなり、また減圧、加温、融解添加剤によりガスハイドレートは分解し易くなる。凝固添加剤としては CO_2 が、また融解添加剤としては NaCl 、メタノールが典型例として知られている。

(3) ガスハイドレートの自己保存効果

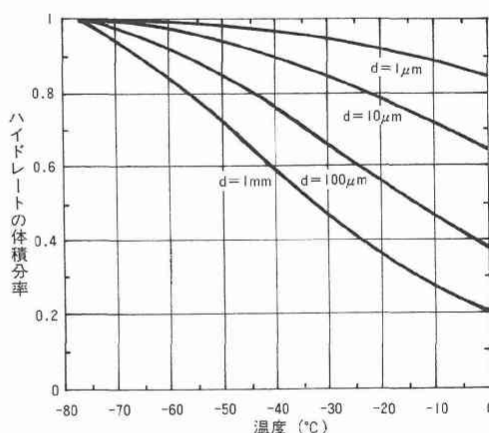
ロシアのヤクシェフ博士らにより報告されたのが1991年と新しく、NGH 実用化研究の動機となった極めて重要な現象である。常圧でメタンハイドレートが安定するには -80°C の低温が必要となるが、メタンハイドレート



出所：クベンボルデン (1996年)
原典：カツ (1959年)，一部加筆

図2 メタンハイドレートの相平衡図

が氷に覆われている場合には -15°C でも安定となる。この関係を北海道工業技術研究所の海老沼主任研究員らは氷の中に分散したメタンハイドレートについて詳しく調べ、図3の結果を得た。ガスハイドレート/氷の混合物に占めるガスハイドレートの比率を高めるためには、分散する多結晶氷の粒径を小さくすればよいことが分かる。また、ガスハイドレートを取り囲む、多結晶の粒径によって安定



d：多結晶氷の粒径
出所：海老沼ら（1998年）

図3 水中分散したハイドレートの安定温度条件

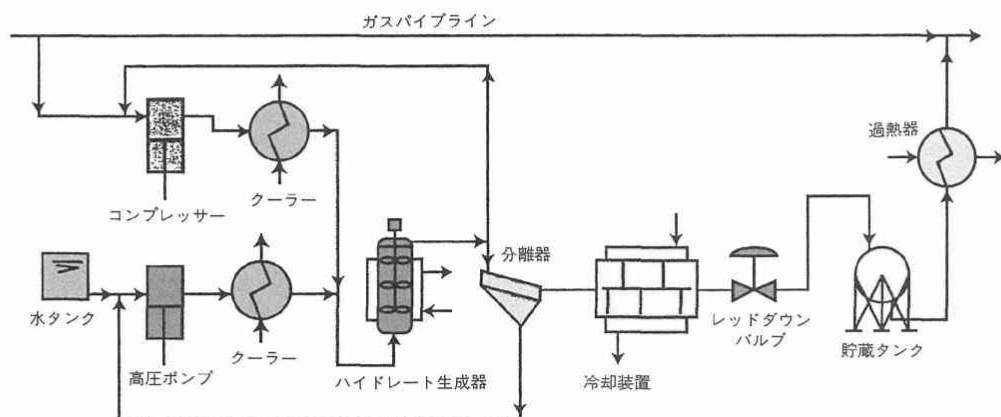
化温度は異なり、より大きい粒形ではより低い温度が必要となる。

3. NGH船による天然ガス輸送の諸工程

NGH船による天然ガスの輸送段階には①天然ガスと水からのNGH製造、②NGH船への積み荷役、③NGH船による輸送、④NGH船から陸上への揚げ荷役、⑤再ガス化の5つの段階が必要である。それぞれの工程について、グドムンドソンらの検討を元に少し詳しく述べる。なお、グドムンドソンらの想定では、日量4億 ft^3 （1,130万 m^3 /日、LNG換算約306百万トン/年、なお換算係数をLNG1トン＝天然ガス1,350 m^3 とした）の天然ガスを3,500海里（6,482km）輸送することを想定している。

(1) NGHの製造・積み荷役工程

グドムンドソンらはNGH製造工程とNGH船への積み荷役工程を実験をもとに検討し、次のように概念設計した(図4)。圧力65



向所：NEDO「ガスハイドレート資源化技術先導研究開発成果報告書」（1999年）
グドムンドソンら（1996年）から作成

図4 ガスハイドレート製造システムの概念図

bar, 温度10℃の連続反応槽で天然ガスと水からガスハイドレートを製造する。その際に原料となる水を冷却し, 天然ガスを冷却圧縮する必要がある。天然ガスが十分な圧力を持ち, 冷水が豊富に得られる場所ほど有利である。グドムンドソンらによれば, 天然ガスのモル分率がメタン94.0%, エタン4.6%, プロパン1.4%の場合には, 天然ガスハイドレートの生成・分解熱は約410kJ/kgと測定された。

アンモニア冷却装置により海水を冷熱源として, 水を2℃まで冷却する。冷却に必要なエネルギーは海水温度により決まるが, 仮に5℃とする。

次に連続反応槽を出たガスハイドレート／水の混合物をベルト式フィルター分離器にかけ, 水を落とす。しかし, この処理を行っても, 重量比でなお12%の水が含まれているので, 更に回転式乾燥機を通して10%まで脱水する。ガスハイドレートは-15℃まで冷却さ

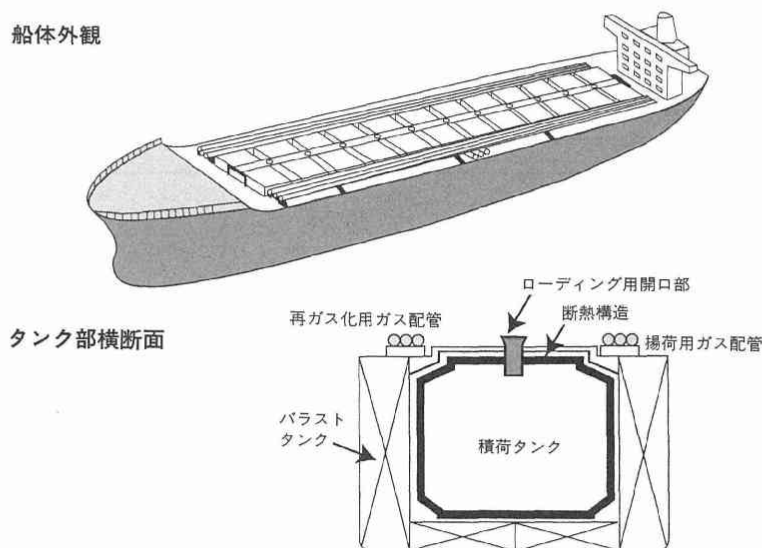
れる。

-15℃のガスハイドレートは, 3つのバッチ式減圧タンクを経て, NGH 船に積載される。1 番目のタンクは受け入れタンクで, ガスハイドレートはこのタンクを満たした後に 2 番目の減圧工程に移行し, 約50bar から大気圧まで減圧される。そして 3 番目のタンクからコンベヤにより NGH 船に積み込まれる。

(2) NGH 船による輸送工程

このようにして製造され NGH 船に積載された NGH は, 理想状態では1m³に164m³(水和数で5.75) の天然ガスを含むが, 実際には結晶格子の中にすべてガス分子が入るわけではなく, また重量比で10%の水が含まれているため, グドムンドソンらは含まれる天然ガスを150m³以下と見積もり, つぎのように NGH 船の概念を示した (図 5)。

NGH 船の正味積載能力は322千トン, 最大



出所: NEDO「ガスハイドレート資源化技術先導研究開発成果報告書」(1999年),
グドムンドソンら (1996年) から作成

図 5 ガスハイドレート運搬船の概念図

貨物容積は460千 m^3 である。箱形をした積荷タンクとバラストタンクをそれぞれ12個ずつ持つ。通常のLNG船は125千～135千 m^3 のLNGを運ぶ。2隻のNGH船が1隻のLNG船とほぼ同容量の天然ガスを運ぶが、NGH船はLNG船より3倍大きい。NGH船・LNG船輸送の相違点を表2に示す。

NGH船の燃料には、侵入熱によりガスハイドレートが溶解して天然ガスと水または氷となることを想定し、この分解した天然ガスの利用をグドムンドソンらは考えている。船速は、往路の載荷時15ノット、復路の空荷・バラスト時15.8ノットとしている。

航海所要日数は、3,500海里的の航路を1サイクル約30日と想定したが、その内訳はNGHの積荷役4日、往路10日、船から陸への揚げ荷役4日、復路9日、ウェイティング2日とした。所要隻数は、LNG船の3隻に対しNGH船は7隻と想定した。

(3) 再ガス化工程

グドムンドソンらは、ガスハイドレートの

再ガス化をNGH船内での実施を考えている。融解に必要な熱は海水からヒートポンプで汲み上げるが、20℃の水が毎時38千トン必要である。この時の加温水は10℃で戻ってくると想定され、ヒートポンプはコンプレッサ能力39MW、加熱能力203MWを要する。蒸気タービン203MWと蒸気コンデンサー24MW、送出コンプレッサのアフタークーラー100MWからの熱を利用する。

天然ガスは、送出前にグリコールを用いた脱水装置で脱水される。

4. エネルギー効率の計算仮定

(1) NGH船輸送方式

NGH船方式の所要エネルギー試算に、我々はグドムンドソンらの概念設計をほぼそのまま用いたが、LNG船方式・パイプライン方式との比較には以下の点で別の考え方をを用いた。

- ① 年間の天然ガス輸送量をLNG換算566百万トン（日量2,093百万 m^3 、すなわ

表2 NGH船・LNG船輸送における相違点

項 目	N G H	L N G
相 態	固体状或いは粉体状、スラリー状	液 体
保 持 温 度	氷点下（-5℃～-15℃程度）	-162℃（LNGの沸点）
タンク内温度の保持方法	NGHの状態安定化させるためには、タンク内温度は上記温度をキープすることが必要なため、カーゴタンク用冷却装置が必要	断熱材にて入熱を防ぎ、LNGの蒸発を防止 若干の進入熱で生じるボイルオフガス（BOG）は推進機関用燃料として利用
比 重	0.85～0.95程度	0.42～0.47程度
主 成 分	メタンガス＋水分	メタンガス

出所：NEDO「ガスハイドレート資源化技術先導研究開発成果報告書」（1999年），グドムンドソン（1996年）から作成

ち日量7.4億 ft³)とした。これは、天然ガス供給先を出力400万kWの火力発電所と想定し、発電効率40%、稼働率年90%、天然ガスは純メタンで低位発熱量(8,550 kcal/Nm³) から求めた使用量である。

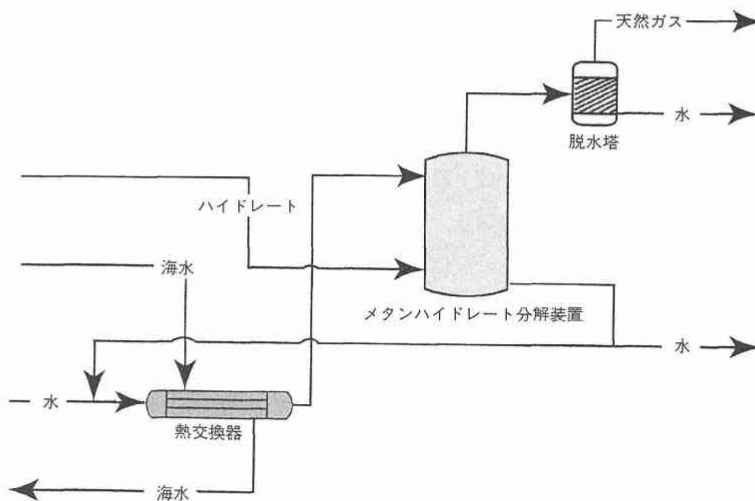
- ② 輸送距離は、エネルギー効率への影響を見るため、2,000~10,000kmの間で試算した。
- ③ ガスハイドレートの水和数は、その影響を調べるため5.75~6.90の間にあるとした。
- ④ NGH 船の燃料は、NGH の分解によるメタンを燃料とする場合とともに、NGHが非常に安定で分解がなく、別にディーゼルエンジン駆動用の燃料油を用いる場合についても試算した。後者のケースの方がより実際に近いと考えている。
- ⑤ NGH 船の速度は15ノットとした。
- ⑥ 再ガス化は、NGH 船内で実施するのではなく、陸上で行う方がより实际的で

あると考えた(図6)。ヒートポンプなしで単純に海水との熱交換を用いる。

- ⑦ ガスハイドレートの生成・解離熱はグドムンドソンらの実測値を用いたが、その他の試算はメタンの物性値で代用した。

(2) LNG 船輸送方式

- ① 天然ガスの輸送量、輸送距離は、NGH 船輸送方式の場合と同じとした。
- ② LNG の液化効率は、設備が新式か旧式かにより大きく異なるので、その影響評価のため液化効率を0.15~0.21の間で変化させた。
- ③ LNG 船は、125,000m³のLNGを積載可能、速度15ノットとする。その燃料はボイルオフ・ガスで、蒸気タービンを推進機関とした。
- ④ 再ガス化は海水との熱交換(ヒートポンプではない)によるとした。



出所：NEDO「ガスハイドレート資源化技術先導研究開発成果報告書」(1999年)

図6 ガスハイドレート分解システムのフロー図

(3) パイプライン輸送方式

- ① パイプライン管径は、パイプライン輸送効率への影響を見るため、1,200～1,400 mmの範囲で試算した。
- ② 輸送元圧力（ポンプステーション送出圧力）を66bar（絶対圧）とした。なお、天然ガスは 50 kgf/cm^2 (49 bar, 換算係数 $1 \text{ bar}=1.02 \text{ kgf/cm}^2$) で供給されるものとした。
- ③ ポンプステーションの圧縮比は、1.4～2.2の範囲で試算した。
- ④ パイプライン輸送の圧力損失式に用いる流量係数は、高圧の場合に用いられるポリフロの式とした。
- ⑤ ポンプステーションでの圧縮比率は、理論圧縮仕事から算定した。

示す。

(1) NGH船輸送方式のエネルギー効率

輸送距離2,000～10,000 kmの範囲において、水和数5.75で天然ガス燃料駆動の場合には、輸送エネルギー効率は概ね0.935～0.897である。水和数5.75でディーゼルエンジン駆動の場合では、0.939～0.914である。輸送エネルギー効率に与える水和数の影響は、0.01～0.02である。この違いは、水和数が大きいほどガスハイドレートの製造量および輸送量が多くなるためである。また、輸送が長距離化するに依りて、どの水和数の場合もほぼ同じ勾配で輸送エネルギー効率が減少している。ディーゼルエンジン駆動において、ガスハイドレートの水和数を5.75, 6.33, 6.90と変えたときのエネルギー効率の輸送距離による変化を図7にプロットした。

5. 検討結果

NGH船、LNG船、パイプラインの3輸送方式の距離に対するエネルギー効率を図7に

(2) LNG船輸送方式のエネルギー効率

LNGの液化効率を0.15, 0.18, 0.21と変化

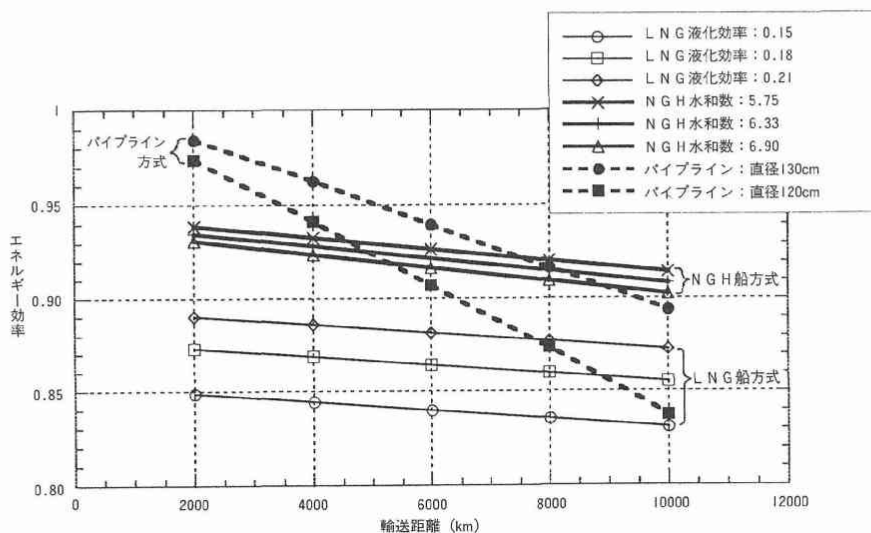


図7 NGH船・LNG船・パイプライン方式のエネルギー効率比較

させたときの、エネルギー効率の輸送距離による変化を合わせて図7に示す。

LNG 船輸送の場合は、液化効率がエネルギー効率に大きな影響を与え、輸送距離2,000~10,000kmの範囲において、液化効率0.21のとき0.891~0.873, 液化効率0.15のとき0.849~0.831の範囲で変化する。既存のLNG 船輸送におけるエネルギー効率は、概略これらの数値の間に位置している。

LNG 船輸送方式は、NGH 船の場合と比較すると、船舶規模が小さいので輸送距離によるエネルギー効率の低下が小さいが、生産地での液化に要する初期の製造エネルギーが大きいので、全体のエネルギー効率は NGH 船輸送に比較して約40%低くなる。(輸送距離6,000km, ガスハイドレート船輸送での水和数5.75の場合と、LNG 船輸送での液化効率0.21の場合とを比較)

(3) パイプライン輸送方式のエネルギー効率

ポンプステーションでの圧縮比を1.8, 送出圧力を66barとし、パイプ管径が120cm, 130cmの場合におけるエネルギー効率の輸送距離による変化を、同じく図7に示す。

パイプライン輸送の場合は、NGH 船輸送・LNG 船輸送の場合と異なってガス体のまま輸送するため、所要エネルギーはパイプライン中での圧力降下を補うに要する圧縮エネルギーのみである。

管路での圧力降下は、管路内の流れが乱流であれば概ね管径の5/2乗に反比例する。このため、図からも分るように、エネルギー効率に与える管径の影響は顕著である。

ポンプステーション圧縮比を高めると、圧縮仕事が大きくなりエネルギー効率が低下す

ること、管径が大きいほどポンプステーション圧縮比の影響を受けにくいことになる。

6. 各輸送方式のエネルギー効率の比較

以上、3方式について、パラメータを変更してエネルギー効率を検討した。今回検討した範囲で、3方式のエネルギー効率を比較すれば、以下に列記する結論が得られる。

① NGH 船輸送方式によるエネルギー効率は、輸送距離6,000km, ディーゼルエンジン駆動において、LNG 船輸送方式に比べて約40%以上高い結果となった。これは、現在の天然ガス輸入量で計算すると年間320万トン(原油換算)以上の省エネ効果が期待できることを意味する。

② NGH 船輸送方式の環境調和性は、LNG 船輸送方式より優れている。エネルギー効率が約40%高いので、わが国の天然ガス輸送をすべて LNG 船輸送方式から NGH 船輸送方式に切り替えると、CO₂ 排出量を年間170万トン以上削減できる。

石炭、石油、LNG、LPG との LCA(ライフ・サイクル・アセスメント)に基づく環境負荷の比較を図8に示す。NGH はそれらの中で最も環境負荷が小さいことが分る。LNG 船輸送方式を100とすると、NGH 船輸送方式は92であり、環境調和性が8%優れていると言える。温室効果ガス排出量は、LNG 船輸送方式で70g-C/Mcal, NGH 船輸送方式で64g-C/Mcal となる。なお、トータルの温室効果ガス排出量は、最終の燃料消費段階の占める割合が大きく、LNG 船・NGH 船の

両輸送方式の比較では同量の天然ガスを燃焼することから、LCA では両者の差違が目立たなくなる。

また、設備建設時の温室効果ガス排出量は、各燃料とも他段階と比較すれば、極めて少量になる。

- ③ パイプライン輸送方式におけるエネルギー効率、パイプラインのパイプ径を大きく、ポンプステーションでの圧縮比を小さくした方がエネルギー効率が高くなる。しかし、それらはパイプラインの建設コストを著増させる因子となる。また、輸送距離が短い場合は、確実に3輸送方式の中で最も高いエネルギー効率となる。

7. 総合評価

LNG 船輸送方式の場合は、実績に基づくデータを用いているため不確定要素は少ない

と言える。パイプライン輸送方式に関しては、パイプ径、圧縮比を変更することでエネルギー効率が大きく変動するので、別の要素（例えば建設コスト）を加えて検討する必要がある。NGH 船輸送方式は、ハイドレートの製造エネルギーが LNG 船輸送方式のそれに比べ小さく、エネルギー効率の観点では、LNG 船輸送方式に代替しうるポテンシャルを有すると判断できる。また、NGH 製造時の冷却・減圧過程でのエネルギー回収を考慮するなど、NGH 製造・再ガス化過程に必要なエネルギーを小さくする工夫をすれば、さらにエネルギー効率が向上すると考えられる。

しかしながら、NGH 船輸送方式の場合は実績がないので、製造方法・再ガス化方法に不確定な要素を含んでおり、研究開発によって各工程における所要エネルギーを検証して行く必要がある。

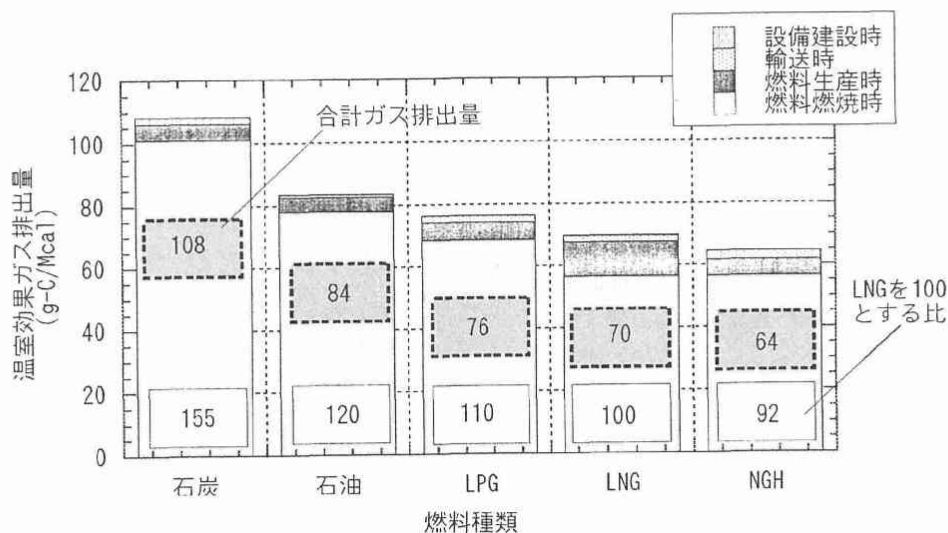


図 8 化石エネルギーの環境負荷比較

8. 今後の課題

エネルギー効率の計算は、要素技術について更に詰めて行く必要がある。また、条件の異なる海底パイプラインの場合の検討も今後必要となるだろう。最終目標である運転費の試算を、引き続き実施する。

9. 謝 辞

NEDO産業技術研究開発部には研究成果の利用を快諾いただいた。非在来型天然ガス基礎調査委員会(石井吉徳委員長)、同勉強会参加企業(東京ガス、大阪ガス、三井造船、三菱重工、川崎重工、NKK, IHI)には本論文作成へご協力いただいた。北海道工業技術研究所の成田英夫、海老沼孝郎、内田努の3氏には踏み込んだ議論に時間を割いていただいた。関係各位に深く感謝します。

参考文献

- 1) Gudmundsson, J., Borrehaug, A., (1996), Frozen hydrate for transport of natural gas, 2nd International Conference on Natural Gas Hydrates, (June 2-6, 1996, Toulouse, France).
- 2) Katz, D. L., Cornell, d., Kobayashi, R., Poettmann, F.H., Vary, J. A., Elen

- blass, J.R. and Weinaug, C. F., (1959), Handbook of Natural Gas Engineering, pp.802, McGraw Hill, New York.
- 3) Makogon, Y.F., (1997), Hydrates of Hydrocarbons, pp.315-317 Pennwell, Oklahoma.
- 4) Sloan, D.E., (1998), Clathrate Hydrates of Natural Gases, Marcel Dekker, New York.
- 5) Yakushev, V. S., Istomin, V. A., September (1991), Gas Hydrates Self-Preservation Effect, IPC-91 Symposium, Sapporo, Japan.
- 6) 「天然ガス総説」, 天然ガス鉱業会, 昭和58年
- 7) 「低温工学ハンドブック」, 内田老鶴園新社発行, 昭和57年
- 8) 「LNG便覧」及び「マレーシアエネルギー事情その1」クリーンエネルギー'99.1等
- 9) 「三井造船技報」, 第139号, 平成2年
- 10) 「管路・ダクトの流体抵抗」, 日本機械学会技術資料, 昭和54年
- 11) 日立製作所カタログ「日立ターボ冷凍機」
- 12) (財)エネルギー経済研究所, わが国における化石エネルギーに関するライフサイクルインベントリー分析, 1999年5月.
- 13) (財)エネルギー総合工学研究所, 非在来型天然ガス基礎調査報告書, 1998年3月.
- 14) NEDO産業技術研究開発部, ガスハイドレート資源化技術先導研究開発成果報告書: 利用システムに関する調査研究 (1999).
- 15) 「地質ニュース」, 地質調査所編集, メタンハイドレート特集にあたって, 奥田義久, 1997年2月.

〔内外情報紹介〕

地球温暖化対策に関する COP3以降の動向と適応策

吉 江 照 一 (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)



1. はじめに

地球温暖化の要因となっている温室効果ガスの排出量は、気候変動枠組条約等による国際的な規制への動きにも係らず、依然増加する傾向にあり、将来的に、全地球的な気温の上昇と気候変動に伴う深刻な社会的、経済的影響が懸念されている。

地球温暖化対策には、大別して緩和策と適応策がある。緩和策の概要に関しては、既報の「地球温暖化問題とその対応についての概要」⁽¹⁾において紹介した。本稿では、国連気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)以降の地球温暖化対策に関する内外の取組みと適応策について紹介する。

2. COP3以降のわが国の取組み

1997年12月に京都で開催されたCOP3において「京都議定書」が採択された。京都議定書では、2008年から2012年を達成期間とする先進国(附属書I締約国)の温室効果ガス排出削減目標が定められ、わが国には、90年比6%削減という極めて厳しい目標が課せられた。

政府は、京都議定書の目標を達成するために法的枠組みの整備を始めた。1998年6月に

は、内閣総理大臣を本部長とする「地球温暖化対策推進本部」において、「地球温暖化対策推進大綱」を取りまとめた。これに関連して、通産省が「省エネ法」の改正案を、環境庁が「地球温暖化対策推進法案」を国会へ提出し、1999年4月に「改正省エネルギー法」と「地球温暖化対策の推進に関する法律」が施行された。

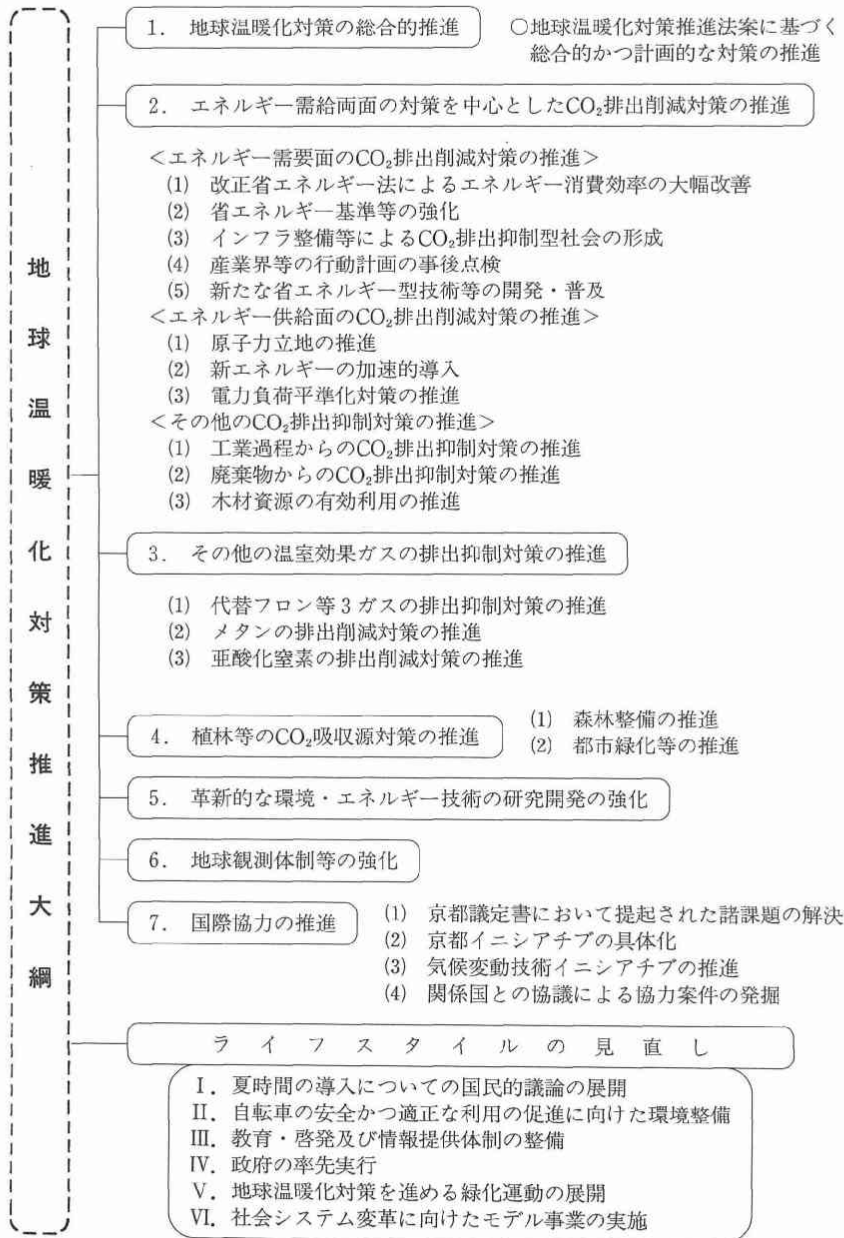
2.1 地球温暖化対策推進大綱

地球温暖化対策推進大綱は、京都議定書において約束した温室効果ガス6%削減の目標達成のため、2010年に向けて緊急に推進するために策定された。主要な対策を以下に挙げる。

- ① エネルギー需給両面の対策を中心とした二酸化炭素(CO₂)排出削減対策の推進
自動車の燃費基準及び家電・OA機器等の省エネ基準へのトップランナー方式の導入、革新的技術の駆使をはじめとした省エネルギーや新エネルギー導入並びに原子力立地の推進を中心としたCO₂の排出量削減対策等
- ② 植林等のCO₂吸収源対策の推進
- ③ 京都イニシアチブの具体化等国際協力の推進

④ サマータイムの導入についての国民的議論の展開をはじめとした国民のライフスタイルの見直し
 なお、地球温暖化対策推進本部は、本大綱

の着実な実施を図るため、毎年、地球温暖化対策の具体的措置の推進状況を点検し、必要に応じその内容を見直すこととなっている。



出所：環境総覧 通産資料調査会 1999

図1 地球温暖化対策推進大綱に基づく施策の体系

2.2 地球温暖化対策の推進に関する法律

本法律は、2010年に向けて推進すべき地球温暖化対策に関し、各主体（国、地方公共団体、事業者および国民）の責務を明らかにし、国が対策の「基本方針」を定めること、国と自治体が「実行計画」を定めること、企業の自主的取組みや国民の取組み促進のための推進員の委嘱や推進センターの指定などがうたわれている。概要は、以下のとおりである。

(a) 対象とする温室効果ガス

京都議定書にある6種類のガス(CO₂、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン、パーフルオロカーボン、六ふっ化硫黄)を取組みの対象とする。

(b) 国、地方公共団体、事業者、国民の責務

① 国の責務

国は総合的な対策を策定、実施するとともに、自らの事業に関し排出抑制のための措置をする。また、地方公共団体、事業者、国民に技術的な助言をする。

② 地方公共団体の責務

その区域の自然的社会的条件に応じた排出抑制のための施策を推進する。自らの事業に関し排出を抑制し、そのための実行計画を策定する。事業者や国民に情報を提供する。

③ 事業者の責務

排出の抑制に努め、国と地方公共団体が実施する施策に協力する。相当量のガスを排出する事業者は、抑制するために策定した計画と、その実施状況を公表するよう努める。

④ 国民の責務

日常生活に関する排出抑制のための措置を行い、国と地方公共団体の施策に協力する。

(c) 国民の取組みの支援

① 都道府県知事は、住民に対しきめ細かな啓発活動、助言等を行う地球温暖化防止活動推進委員を委嘱することができる。

② 普及啓発活動を推進するために、国と都道府県は地球温暖化防止活動推進センターを指定し、センターで啓発、広報、情報提供、調査等をする。

2.3 省エネ法の改正

「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（省エネ法）は、オイルショック時の1979年に制定され、約20年間わが国のエネルギー使用効率向上の実現に寄与してきたが、COP3の結果を踏まえ、地球温暖化抑制の一層の推進をはかるために改正された。主なポイントは、以下のとおりである。

① 第1種エネルギー管理指定工場（従来のエネルギー管理指定工場）への義務づけ
年間の燃料使用量が原油換算で3,000kl以上、または電気使用量が年1,200万kWh以上の従来のエネルギー管理指定工場は、「省エネの取組みに関する将来計画」の作成と、国への提出が義務づけられる。

② 第2種エネルギー管理指定工場の指定と義務

年間の燃料使用量が原油換算で1,500kl以上、または電気使用量が年600万kWh以上のすべての工場・事業場、オフィス、デパート、ホテル、学校、官公庁等が「第2種エネルギー管理指定工場」として指定され、指定された工場等は、エネルギー管理

員を選任し、エネルギーの使用状況の届け出が義務づけられる。

③ 省エネ基準に関するトップランナー方式の導入

自動車や家電・OA機器などの指定機器^(注)

の省エネ基準については、現在商品化されている製品の中で、最も優れた機器の性能以上の基準に設定するという「トップランナー方式」を導入する。

(注) ①ガソリン乗用自動車、②エアコン、③照明器具（蛍光灯）、④テレビ、⑤複写機、⑥電子計算機、⑦磁気ディスク装置、⑧ガソリン貨物自動車、⑨VTR、⑩電気冷蔵庫、⑪ディーゼル乗用自動車、⑫ディーゼル貨物自動車

京都議定書の目標を達成するための対策に関して、様々な議論が行われているが、現時点での政府の対応案としては表1に示すものがある。

なお、COP3を契機に、政府は、地球温暖化対策途上国支援として、1998年度から5年間で3,000人の温暖化対策関連分野の人材育成や最優遇条件（金利0.75％、償還期間40年）による円借款、地球温暖化防止技術の移転等を盛り込んだ「京都イニシアチブ」を発表している。

3. COP3以降の国際動向

COP3の京都議定書では、先進国に対する温室効果ガス排出削減のための数値目標や政策措置を定め、また、目標達成に柔軟性を与える先進国間の「排出権取引」や「共同実施」、途上国との間で排出削減のための事業を行う「クリーン開発メカニズム(CDM)」等いわゆる「柔軟性措置」の新たな国際制度を導入している。そして、先進国は2005年までに意味のある対策を示すこと、次の約束期間（2013年以降）の交渉を2005年に開始することが決まった。また、柔軟性措置の詳細、吸収源の詳細、不遵守の場合の規定などの未決定事項のつめは、第4回締約国会議(COP4)以降に先送りされた。

一方、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2001年の第3次評価報告書の作成に向けて動き出している。

3.1 COP4の概要

1998年11月2日から12日にかけて、南米アルゼンチンの首都ブエノスアイレスでCOP4が開催された。会議は、2000年の第6回締約

表1 わが国における温室効果ガス削減6％達成のための対策の内訳

▲2.5%		CO ₂ 、メタン、亜酸化窒素の排出抑制
	▲2.0%	現在の想定を越えた技術革新、国民各層における更なる努力によるもの
	▲0.5%	エネルギー起源以外のCO ₂ 、メタン、亜酸化窒素に係る対応
▲3.7%		土地利用の変化と森林活動による吸収
+2.0%		代替フロン等(HFC、PFC、SF ₆)の排出抑制
▲1.8%		共同実施、排出権取引などの活用

出所：産業技術審議会、エネルギー・環境技術開発部会、基本問題検討小委員会
中間報告（平成10年6月）

国会議 (COP6) までにCOP3で検討された諸事項を決定するための行動計画、いわゆる「ブエノスアイレス行動計画」を採択したが、国際制度等の中身には踏み込んでなく、今後のタイムテーブルと論点の整理にとどまったということで、実質的に大きな進展は見られなかったというのが大方の見方である。

主要項目に関する結果を以下に示す。⁽²⁾

(a) 資金メカニズム (途上国への資金援助)

気候変動枠組条約は、第11条で先進締約国が開発途上締約国に対し、資金、技術移転を行う責務があることを定めているが、これらに関する制度化は進んでおらず、途上国から不満の声が絶えなかった。この問題についてCOP4では、資金制度面で、世界銀行などが管理する地球環境ファシリティ (GEF) を活用し、途上国が自国の温暖化対策の現状などを条約事務局に報告する仕組みを整えるための交渉を進めることが決定した。

(b) 柔軟性措置 (京都メカニズム)

京都議定書に盛り込まれた柔軟性措置は、排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズムの3つである。^(注)

これらの柔軟性措置の仕組みについて、COP4では、開発途上国の要求に応じてクリーン開発メカニズムを重視し、詳細は2000年に開催されるCOP6までに決定することを目指すことになった。

なお、第5回締約国会議 (COP5) は1999年に予定されており、ヨルダンが開催国として立候補している。

(c) 途上国問題

1995年の第1回締約国会議 (COP1) での合

意により、途上国は温室効果ガスの削減目標を課されていない。COP4においては、議長国であるアルゼンチンより「非附属書I国 (途上国) の自発的参加」に関する議題が提案されたが、途上国側からの強い反対により、議題から削除された。なお、クリーン開発メカニズムについては、中南米諸国及びアフリカ諸国が前向きの立場を明確に示すなど、従来の途上国側の一枚岩がくずれる徴候が出てきたことは注目される。

(d) 条約上の課題 (気候変動の悪影響又は対応措置の実施による影響への対処)

COP4では、小島嶼国など地球温暖化で水没が懸念される国々や、温暖化防止による化石燃料の消費減少で経済状況が悪化すると主張する産油国などへの、温暖化の悪影響に対する補償問題や、削減目標が達成できない場合の罰則規定、温暖化対策として各国が取るべき政策措置などについて、今後専門家会合などで検討することが合意された。

(e) 森林のCO₂吸収

森林によるCO₂の吸収については、京都議定書で1990年以降の「植林」、「再植林」、「森林の減少」について、その吸収及び排出量を化石燃料起源のCO₂排出などに合算することが認められた。

森林などによるCO₂の吸収については科学的知見が不十分であり、量の評価について科学的な検討が必要である。この点について、1998年6月に開催された補助機関会合では、森林によるCO₂の吸収に関して、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) に検討を要請した。IPCCは2000年5月に特別報告書を出すこ

とが予定されている。今回のCOP4での合意では、京都議定書による「植林」「再植林」の定義など、専門的な事項はこのIPCC報告書を待って検討に入ることとしている。

(f) 遵守問題

京都議定書の遵守問題を検討するため、科学上及び技術上の助言に関する補助機関(SBSTA)と実施に関する補助機関(SBI)の共同作業グループを設立することが決定した。COP6での決定を目的とし、今後、作業グループを中心とした検討が進められることとなった。

(注)これらは、従来、「柔軟性メカニズム」等の呼び方がされてきたが、COP4においては、「京都メカニズム」と呼ぶこととされた。

- ①「排出権取引」とは、先進国間で排出量を商品のように売買する仕組みのことであり、類似の例として米国内のSO₂排出量の売買制度はあるものの、国際間の適用例はない。
- ②「共同実施」とは、先進国間で共同でCO₂削減プロジェクトを実施し、それによる削減量の一部をそのプロジェクトに資金を出した国の削減分として認める制度である。
- ③「クリーン開発メカニズム」とは、先進国と途上国が共同でプロジェクトを実施し、それによる削減量の一部を当該プロジェクトに資金を出した先進国の削減として認める制度で、資金の一部は島嶼国など影響の大きい国への資金供与に使われる。対策を実施しなかった場合の排出量(ベースライン)の水増しの可能性などの問題点が指摘されている。

3.2 IPCCの動向

IPCCは、平成7年に温暖化の予測、影響、対策を網羅する総合的な評価を行い、その成果を第2次評価報告書として取りまとめ、平成8年7月に開催された気候変動枠組条約第2回締約国会議に提出した。平成9年には、同条約の補助機関からの要請により、温室効果ガス安定化水準に関する知見など議定書交渉に必要な科学的情報を複数取りまとめた。さらに、京都議定書に対応して第3次評価報

告書及び排出量の推計のガイドラインの作成計画を策定し、2001年に第3次評価報告書を出すために、報告書の大筋を決定し執筆者の選定に入った。第3次評価報告書は、地域別の評価(気候変動による影響および適応策について社会経済的な観点も含めた地域分析、緩和策について地域の市場ベースでの費用対効果等)を重視し、途上国やビジネス・非政府組織(NGO)からの参加者を積極的に取り込む方向で検討が進められている。⁽³⁾

なお、第3次評価報告書の作成に向けて、日本は、IPCCの副議長国となっている。

3.3 各国の取組み

排出権取引等の地球温暖化対策への欧米の取組みを以下に紹介する。⁽⁴⁾

(1) アメリカ

COP3において、米国は、2010年を目途に90年比7%の温室効果ガス削減目標が課せられたが、現在のCO₂排出ペースが続けば、90年比20%の増になるとも言われている。このような危機感からか市場原理を活用した温室効果ガス削減策として、排出権取引が検討されている。

1999年3月上旬、温室効果ガス排出権取引の国内市場づくりを目指した法案「温室効果ガス自主削減法案」が議会に提出され、審議がはじまっている。

法案は、企業が96~98年に排出した温室効果ガスの量(年平均)を「許容枠」に設定し、99年以降の排出量をこれより減らした企業が余った枠を他の企業に売却することを政府が認めるというもので、参加は、企業の自主判断に委ねる。

(2) 欧州

欧州では、規制強化とからめて排出権取引を検討する動きが広がり始めている。

デンマーク議会は、1999年3月上旬、2000年から電力部門でCO₂の総量規制を導入することで合意した。電力業界全体の排出量を2003年までに90年比27%減らすように義務づけ、電力会社ごとに許容枠を配分し、これを超えるとCO₂1トン当たり40デンマーククローネの税を政府に払う義務が生じる。

ノルウェーでは、温室効果ガス排出量の8～9割を過去の排出実績に応じて製造、運輸、サービス業などに割り当てる総量規制導入を検討している。

ドイツは、1999年4月よりガソリンや電力などエネルギーの消費に課税する「環境税」を導入したが、省エネなどでCO₂排出を減らした企業への課税を減免するなどのアイデアも検討されている。

4. 地球温暖化への適応策

近年、地球温暖化を示す現象、例えば、極地の氷棚のひび割れや崩壊、高山の頂を覆う氷河の後退、温度変化に敏感な珊瑚礁の白化現象等が報告されている。このような温暖化現象は、長期的にみた場合、気候の自然変動の範囲内にある可能性もあるといわれるが、IPCCの第2次評価報告書では、

「気候への人間活動の影響は既に現れており、温室効果ガスの排出に対して何らかの対策をたてないと、2100年には約2℃の平均気温の上昇、約50cmの海面水位の上昇、極端な高温等の気象変動の顕現化が予想される」ように警告を行っている。

地球温暖化対策には、「緩和策 (mitiga-

tion)」と「適応策 (adaptation)」がある。緩和策は、積極的にCO₂などの温室効果ガスの大気への放出を抑制する対策であり、CO₂の排出抑制や固定化等がある。緩和策に関する技術に関しては、経済性や適用性を含め、これまでに多くの研究や検討例がある。これに対し適応策は、将来温暖化した場合にその影響を少なくさせる対策であり、温暖化しつつある気候に自然に、あるいは計画的に順応していこうとするもので、予期される温暖化の悪影響を緩和するとともに、温暖化を上手く利用しようとする対策である。因みにIPCCの第2次評価報告書によれば、「適応可能性 (adaptability)」「適応 (adaptation)」については、

「適応可能性は、予測される、あるいは実際の気候変動に対して、システム内での実行性、プロセスあるいは構造的可能性を示す。適応は、自発的に起こるものと計画的に行うものがあり、条件の変化に対応して、あるいは事前に予測して実行される」ように記述されている。

適応策を検討し、適応を計画的に進めるためには、温暖化の進行やその影響を予測、抽出したり監視していく必要がある。すなわち、温暖化により予想される変化（気温の上昇、海面上昇、海洋の循環パターンの変化等）が遺伝子、人間の健康、木材、食料等の生産、空気や水の質、沿岸地域や都市化地域のインフラストラクチャー等にどのような影響を及ぼしうるかを正しく評価し、それに基づいて対策を立てることである。適応策に関しては、IPCCの第2次評価報告書に取り上げられているが、いまのところ研究や報告は少ない。

適応策が温暖化対策として国際的にも注目

されている理由としては、現在でも途上国では、気候変化の生態系、社会・経済への影響が大きく、これを回避するだけの経済的な余力がないため、できるだけ安価に、また効果的に変化しつつある気候に合わせることが必要なこと、さらに温暖化は現在の状況を悪化させる可能性があるために、数10年から100年単位での長期的温暖化に今から計画的に備える必要があることが挙げられる。⁽⁵⁾

適応策として考えられるものを以下に挙げる。

①熱ストレス対策

- ・新しい気象条件にあったエアコンの開発と普及
- ・ビルの断熱性、遮光、ブラインド、換気設備の導入
- ・都市化地域への植樹

②疾病対策

- ・マラリア等のワクチンの開発と普及
- ・媒介生物の撲滅
- ・バクテリア利用等による水の浄化
- ・公共の健康監視

③農業対策

- ・穀物品種の変更
- ・バイオテクノロジーによる新種の開発
- ・導管等効率的灌漑システムの導入
- ・気候変化にあった農作業時期の変更

④沿岸地域対策

- ・計画的撤退策：沿岸地域の開発の取り止め、見直し
- ・順応策：土地利用や建築法規の修正
塩水に強い作物の開発
- ・防護策：防波堤、堤防、護岸等の設置
塩水浸入障壁の設置

なお、適応策を評価するには、緩和策と同

様にその2次的効果も考慮する必要がある。すなわち、適応策が、経済的にも環境的にも2次的な利益をもたらすものであれば、気候変化に関係なく導入する価値があり（no-regret adaptation）、2次的効果を伴わない場合は、適応の効果や他の基準から評価されるべきである。

5. おわりに

COP3の「京都議定書」を踏まえ、地球温暖化対策に向けて内外の動きが活発化している。わが国では、2010年に向けた「地球温暖化対策推進大綱」が策定され、国際的には、COP4においてCOP3で検討された諸事項決定の行動計画を採択、また、IPCCでは第3次評価報告書作成に向けて動き出している。

地球温暖化問題への対策としては、これまでも様々な方法が提案されているが、単一対策による解決方法は困難であり、適用可能な各対策を平行して進めていく必要がある。本稿では、「緩和策」とともに温暖化対策の柱である「適応策」を紹介したが、適応策の研究はまだ緒についてばかりであり、今後の一層の進展を期待したい。

参考資料

- (1) 吉江照一、地球温暖化問題とその対応についての概要、季報エネルギー総合工学 第20巻 第4号、1998
- (2) 環境庁プレス発表、1998、11.16
- (3) IPCCに関する最近の動向、(財)地球産業文化研究所ホームページ
<http://www.gispri.or.jp/upframe4.html>
- (4) 日本経済新聞朝刊、1999、4.12
- (5) 原沢英夫、IPCC気候変動と変化に対する適応策ワークショップ報告、地球環境研究センターニュース、通巻第87号、Vol.8、No.11

〔技術解説〕

クリーンエネルギー自動車レポート (第5報)

— 水素燃料電池自動車の導入シナリオ (1) —

蓮 池 宏 (財)エネルギー総合工学研究所
プロジェクト試験研究部 主任研究員



1. はじめに

当研究所では、通産省工業技術院のWE-NET (水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術) プロジェクトの一環として、平成10年度に「水素自動車の導入シナリオの研究」を行った。この研究では、水素燃料電池自動車 (水素 FC 車) の開発状況、経済性、法規制、導入シナリオ、導入支援策、課題等を取りまとめた¹⁾。本稿では、研究成果の主要部分を2回に分けて紹介する。

ここ2～3年の間に燃料電池自動車 (FC 車) に対する関心が非常に高まり、多くの解説や紹介記事が書かれ、講演会やシンポジウムでもFC車についての発表が行われてきた。その中で最近では「FC車の燃料は何になるのか」という議論を、しばしば見かけるようになってきている。FC車の燃料としては、水素、メタノール、ガソリンが主な候補となっているが、筆者の知る限りでは「三者の中でメタノールが最も有望」という声が多い。そして多くの解説記事において「水素はインフラストラクチャが問題であり、

水素FC車の実現可能性は低い」とされている。

果たしてそれは目的を得た評価であろうか。

現在日本では年間約2億 Nm³ の工業用水素が販売・消費されている。これは発熱量で換算するとガソリン65,000kl (年間1,000 l のガソリンを消費する乗用車6.5万台分) に相当する。水素 FC 車の効率がガソリン車の3倍とすると、約20万台の水素 FC 車を動かすことができる。すでにわが国には、これだけの水素を供給するインフラ (製造設備と流通体制) が存在しているのである。

「自動車用の水素インフラ」は今では存在しないが、それは水素を使う自動車がないからであって、技術的な問題があるのではないはずだ。それでは経済性はどうか。技術的に可能でも自動車用燃料として経済的に成立しなければ、水素FC車の実用化はあり得ない。

今号では、このあたりの問題意識に対する検討結果を中心に述べることにしたい。

2. 水素供給システム

水素は下記に示すような種々の方法により

本シリーズは筆者の都合により約2年間休載していたが、この間もクリーンエネルギー自動車を取り巻く情勢は日々変化してきている。筆者も世の中に遅れを取らないよう、再度連載を始めることとした。なお、第1～4報に対して10件を超えるコメントや問い合わせを頂いた。紙面を借りてお礼申し上げるとともに、今後とも引き続き読者諸兄のご批判をお願いしたい。E-mail: hasuike@iae.or.jp

得ることができる。

- ① 水の分解（電気分解・熱化学法・光化学法）
- ② 炭化水素系原料（天然ガス・石油・メタノール・石炭・バイオマス等）の改質・分解
- ③ 副生水素（コークス炉ガス・石油精製・食塩電解等）

わが国における工業用水素の製造方法の主力は食塩電解プラントからの副生水素であるが、これは供給余力がほとんどなく、水素FC車が普及した場合の供給源としては期待できない。

自動車用に水素を用いるには、安定かつ大量に供給できるルートの構築が必要になる。そのような観点から、水素FC車が本格的に導入された場合の水素供給方法のオプションを整理したのが図1である。図中、太線の部分は商業ベースでの運用が確立している部分である。WE-NETプロジェクトの究極的な目標システムは、図の上半分に示すように、

海外の再生可能エネルギーを液体水素タンカーで輸送し、水素の国内輸送を経て利用するという形であるが、上流から下流までのインフラの構築には多くの時間と費用を要する。

これに対し、天然ガスなど既存の一次エネルギーを利用するシステム、具体的には、

- (a) 供給ステーションにおいて都市ガスやメタノールの改質により水素を得るシステム
 - (b) 供給ステーションにおいて商用電力を用いて水電解を行い水素を得るシステム
- が考えられる。

これらは、インフラの建設が最小限で済み技術も確立されているので、短中期的な自動車用水素の供給方法として有望である。実際、工業用水素の供給方法としても、水素の需要先で天然ガスやメタノールの改質により水素を製造するオンサイト型水素製造装置の導入が増加している。一定規模の需要があれば、既存の水素製造工場から輸送するより、オンサイト型水素製造装置の方が安価な水素を安定して

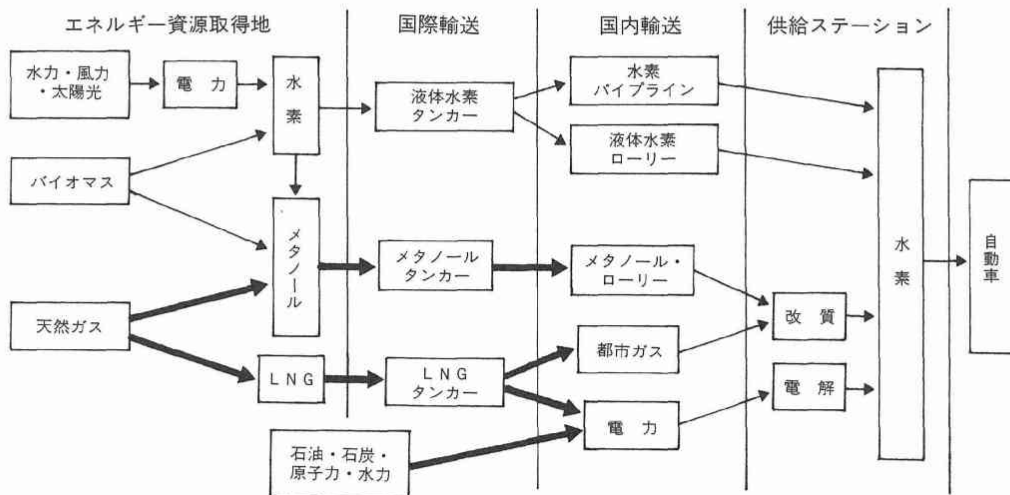


図1 水素燃料電池自動車への水素供給方法のオプション⁽¹⁾

供給できることが導入の要因となっている。

本研究では、このような既存のエネルギーインフラを活用する水素供給方法を中心に検討を進めた。

図2は、都市ガスを原料とするオンサイト型水素製造装置のプロセスフローの例⁽³⁾である。このような装置が、複数の国内エンジニ

アリング会社等から発売されており、自動車用水素ステーション向けにも、こうした水素製造装置がベースになると考えられる。実用化されているプラント規模は水素製造能力として数10~1,000 Nm³/h程度であり、これも自動車用水素ステーションとして丁度よい規模である。

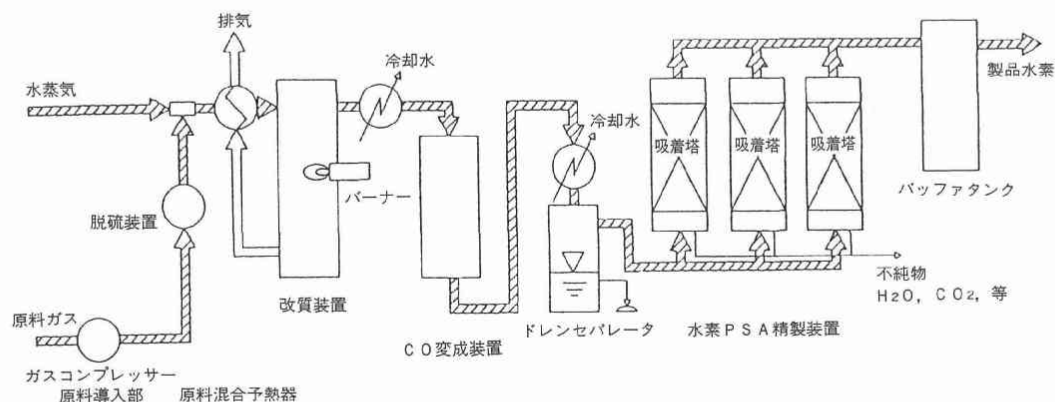


図2 オンサイト型水素製造装置のプロセスフロー (例)⁽³⁾

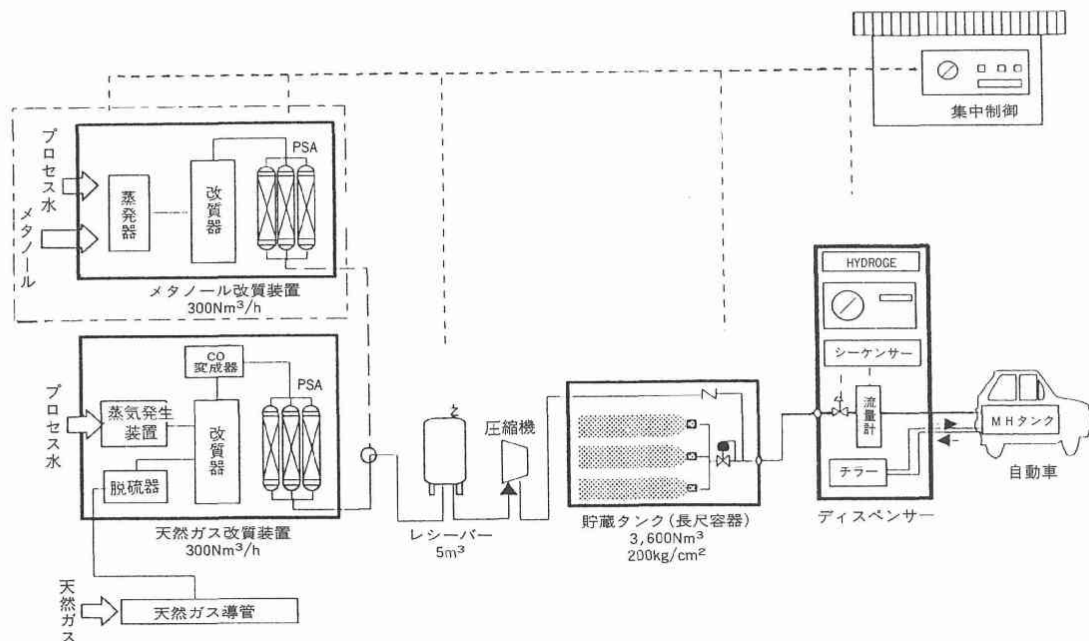


図3 燃料改質式水素製造・貯蔵・供給ステーションの構成 (例)⁽²⁾

WE-NET プロジェクトでは、平成9年度に天然ガスやメタノールを原料とする水素製造・貯蔵・供給ステーションの概略設計を行っており⁽²⁾、平成11年度から開始される第Ⅱ期計画(5年間)では、実プラントも建設される予定である。設計されたシステムの構成(例)を図3に示す。図3では貯蔵方法として高压ボンベが想定されているが、水素吸蔵

合金の利用も考えられる。

3. 水素燃料電池自動車の経済性

(1) 水素の供給コスト

最近、国内外で実施された自動車燃料用水素の供給コストの試算例として、WE-NET プロジェクトにおける検討結果⁽¹⁾を表1に、

表1 高压水素のコスト見積⁽¹⁾

(単位: 円/Nm³-H₂)

項 目	天然ガス改質	メタノール改質	アルカリ水電解	PEM水電解
設備費	17.6	17.6	16.9	15.7
人件費	2.9	2.9	2.9	2.9
変動費 都市ガス	14.1	—	—	—
メタノール	—	27.6	—	—
電力	4.9	4.4	54.5	48.8
その他ユーティリティ	0.4	0.3	0.5	0.5
計	39.9	52.8	74.8	67.9

注: 都市ガス価格: 39.3円/Nm³, メタノール価格: 40.0円/kg, 電力価格: 東京電力高压季時別電力B

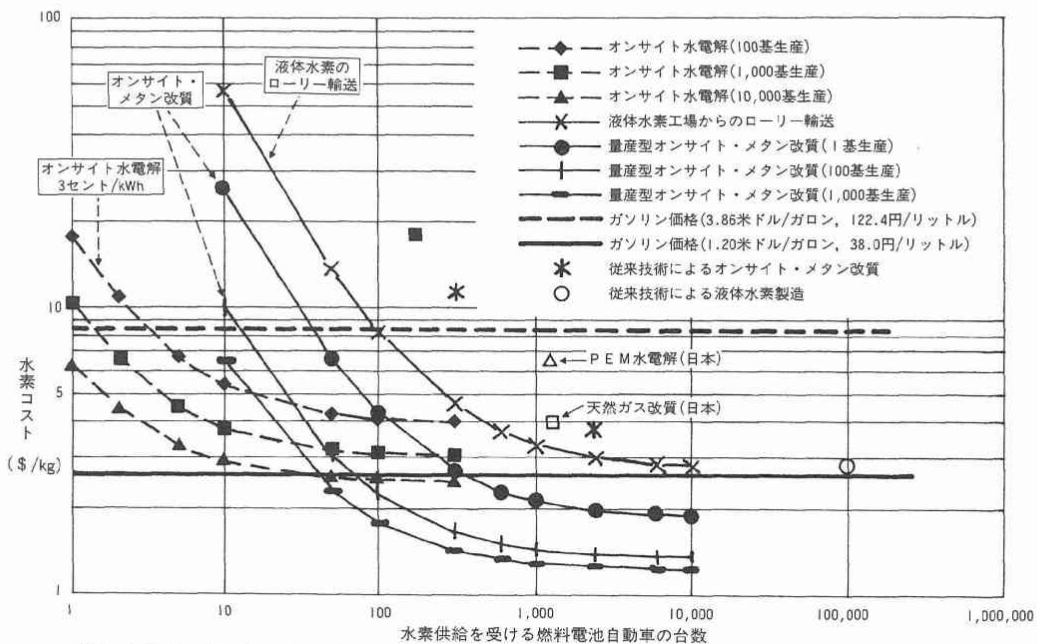


図4 米国における自動車用水素供給コストの試算例

米国エネルギー省の委託研究結果⁽³⁾を図4に示す。これらの検討では、近い将来において相対的に安いコストでの水素供給を実現できる方法として、天然ガス（都市ガスあるいはメタン）の改質、水電解などが取り上げられている。

表1に示すように、わが国における検討では天然ガス改質が最も安く、次いでメタノール改質、PEM（固体高分子電解質）水電解、アルカリ水電解の順となった。各方式のエネルギーコストが仕上がりの水素供給コストに大きく影響するが、ここでは近い将来の導入時に適用される可能性の高い価格体系を採用している。具体的には、原料天然ガスの価格としてはCNG（圧縮天然ガス）自動車用のCNGステーション向けの都市ガス価格を、メタノール価格としては化学工場向けタンクローリー渡しの市場価格を、電気料金としては高压電力の季時別料金を用いた。

図4は米国の検討結果であり、表1の天然ガス改質とPEM水電解の結果（120円/\$と仮定）も書き込んである。同じ供給能力の設備で比較した場合、米国の検討結果の方が安くなっている。これは、原料の天然ガスや電気が安いことに加えて、設備費も米国の方が安く見積もられていることによる。また、水素供給プラントの生産数が増えれば、さらにコストが低減することが示されている。

(2) 自動車用燃料としての水素の経済性

表1に示したわが国における水素供給コストを、既存の自動車用燃料の価格と比較すると表2のとおりである。発熱量当たりで比較した場合、水素のコストは、最も安い天然ガス改質の場合でも、ガソリン等の自動車燃料

の価格より高くなる。

しかしながら、自動車燃料としての経済性は、車両の効率（燃費）を加味して評価する必要がある。

表2の燃料価格等に燃費の要因を加えて、水素FC車とその他の自動車の燃料コスト

表2 各種自動車燃料のコスト（価格）の比較

燃 料	コスト（価格）	低位発熱量当たり
水 素	40 円/Nm ³	15.5 円/Mcal
ガ ソ リ ン	90 円/ℓ	11.3
軽 油	75 円/ℓ	8.6
L P G	55 円/ℓ	9.0
C N G	72 円/Nm ³	7.2

注）水素以外の燃料価格は1999年初頭の代表値。

燃料代(千円)/10万km)

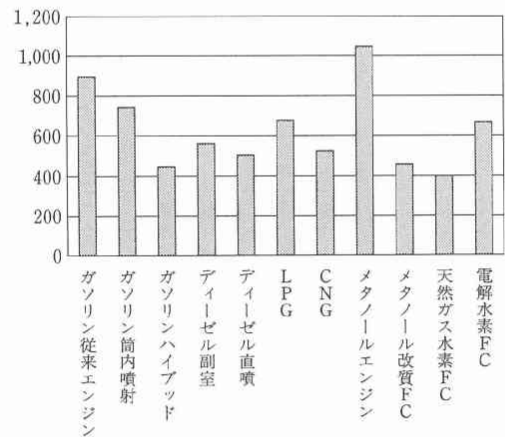


図5 水素燃料電池自動車と各種自動車の燃料コストの比較⁽³⁾

（10万km走行時の燃料代）を比較した結果が図5である。

燃料電池と内燃エンジンの熱効率の差（水素FC車の走行燃費は発熱量ベースで従来ガソリンエンジン車の3.125倍とした）が、燃料コストに大きく影響しており、天然ガス改質水素を用いるFC車は、ここで取り上げた

自動車の中では燃料コストが最も安くなることが示されている。水素の原料となる都市ガスの価格は CNG 自動車用の料金を想定したが、同じ都市ガスを利用する CNG 自動車と比較しても、自動車の燃料コストとしては水素 FC 車の場合の方が安くなっている。メタノール改質 FC 車との比較でも、天然ガス改質水素の水素 FC 車の方が有利である。

このように水素は、単純な発熱量ベースで見た場合には既存燃料よりコスト高であるが、燃料電池自動車という水素に適した利用機器を用いることで、最終サービス（自動車では走行）のところで見れば、現状の技術とエネルギー価格体系においても十分なコスト

競争力を有するようになる。

(3) 経済的に成立するシステム例

前項までの検討結果に基づき、近い将来において水素 FC 車が経済的に成立するシステム例をまとめてみると、表3～5のとおりである。

まず、水素製造・供給コストについては、表3に前述の表1に示した値を再掲した。コストの内訳で比率が大きいの、設備費と原料費（都市ガス）である。設備費の基になるのが水素製造供給設備の建設費である。設備建設費は、表4に示したとおり総額約2.3億円と見積もられているが、これは実用化1号機クラ

表 3 水素燃料電池自動車が経済的に成立するシステム例

(① 水素製造・供給コスト)⁽¹⁾

項 目	コ ス ト (円/Nm ³ -H ₂)	備 考
設備費	17.6	天然ガス改質方式, 300Nm ³ /hr
人件費	2.9	1 人, 年間800万円
変動費 都市ガス	14.1	都市ガス価格39.3円/Nm ³
電 力	4.9	—
その他ユーティリティ	0.4	上水, 工業用水
合 計	39.9	—

表 4 水素燃料電池自動車が経済的に成立するシステム例

(② 天然ガス改質式水素ステーションの建設費)⁽¹⁾

項 目	金 額 (百万円)	備 考
改質装置	61	パッケージ型 (脱硫, 改質, 変成, 蒸気, 純水, 制御系を含む)
精製装置	47	PSA 式
ガス圧縮貯蔵設備	43	圧力 20MPa
その他機器	40	—
建 屋	15	—
工 事 費	20	—
合 計	226	—

注) 水素製造能力: 300Nm³/hr

スを想定したもので、建設実績が増えるにしたがって低減される余地は相当に大きいと考えられる。原料費を決める要因は、都市ガスの単価とプラントのエネルギー効率であるが、これらについては、近い将来においては今回の想定値から大きな変化はないと考えられる。

次に燃料コストであるが、表5に示すように、小型バンの場合で、水素FC車は74万円、基準となるガソリン車は169万と計算される。

水素FC車の車両コストは総合経済性から逆算して設定した。すなわち、ここでの想定車種：小型バンにおけるガソリン車の生涯総費用が319万円と見積もられることから、水素FC車も生涯総費用が319万円となるように、車両価格を245万円と設定した。

この車両価格245万円の内訳を考察したも

のを表5に示した。ガソリン車と共通な部分の費用は120万円と推定される。これと245万円との差額：125万円以内に、FC車特有のコンポーネント費用を収めることが必要になる。FC車特有のコンポーネントとしては、燃料電池、二次電池、コントローラ、モータ、水素吸蔵合金タンクがある。このうち、二次電池、コントローラ、モータについてはガソリンハイブリッド自動車における実績を参考に費用を推定した。燃料電池および水素吸蔵合金タンクは量産の実績がないので、量産時の目標単価等から費用を設定したが、水素燃料電池の単価10千円/kW、水素吸蔵合金(吸蔵能力2%)の単価3千円/kgは、開発目標としては実現可能性のある妥当な値と考えられる。なお、水素搭載量2.2kgの場合、小型バンでは約200kmの航続距離が確保できる。

ここに示した数字はあくまでも一例であ

表5 水素燃料電池自動車が経済的に成立するシステム例
(③ 総合経済性)⁽¹⁾

	ガソリン車	水素FC車	備 考
車 両 価 格 <a> (千円)	1,500	2,450	—
内 訳	共通部分	1,200	—
	エンジン+変速装置	250	—
	その他ガソリン車専用	50	燃料タンク、排ガス処理装置等
	燃料電池	—	300 10千円/kW×30kW
	二次電池	—	200 8千円/kW×25kW
	インバータ	—	200 —
	モ ー タ	—	150 最大出力50kW
	水素吸蔵合金タンク	—	400 合金 3千円/kg×110kg, 水素貯蔵量2.2kg
燃 費 	8.0 (km/ℓ)	8.11 (km/Nm³)	水素FC車の効率率はガソリン車の3.125倍とした
生涯走行距離 <c> (km)	150,000	150,000	15,000km/年×10年
燃料単価 <d>	90 (円/ℓ)	40 (円/Nm³)	—
生涯燃料費 <e> (千円)	1,690	740	<d>×<c>/
総合費用 (千円)	3,190	3,190	<a>+<e>

注) 車種：小型バン

り、車種や車のコンセプトによって成立する条件は当然異なってくる。しかしながら、少なくともオーダー的には、水素 FC 車は水素燃料の製造・供給の面、車両コストの面、さらにユーザーにとっての総費用の面からも、近い将来にガソリン車と同等の経済性を有するシステムが構築できる可能性があると言える。

4. 本号のまとめ

本号では、水素の供給の部分を中心に、水素 FC 車が近い将来において技術的・経済的に十分成立する可能性があることを示した。

冒頭に触れた「水素はインフラが問題」という評価は、半分は当たっている。自動車用水素ステーションを何千ヶ所、何万ヶ所も建設するのは容易なことではない。しかしそれは、メタノールでも CNG でも抱えている問題であり、水素だけが特に致命的な欠点を有しているわけではない。インフラの問題だけを取り上げて、水素 FC 車の早期実用化は困難と結論づけてしまうのは判断を誤ることになる、と筆者は考えている。

なお、燃料の評価を行う際の重要な視点の

一つである CO₂ 排出量については、WE-NETプロジェクトでも詳細な検討を行っている⁽¹⁾。また、本シリーズでも第4報で概略の計算結果を示した。結論はどちらもほとんど同じであり、天然ガスから製造した水素を利用する水素 FC 車は、CO₂ 排出量がガソリン車の30~40%程度に削減される（エネルギー資源の採取から自動車の走行に至るまでの全燃料サイクルにおける CO₂ 排出量で評価）。この検討内容の詳細については、別の機会に改めて報告したい。

次号では、水素 FC 車の導入手順について10~30年程度の時間軸の観点を加えた検討結果を紹介する予定である。

参考文献

- (1) (財)エンジニアリング振興協会、水素利用国際クリーン・エネルギー・システム技術(WE-NET)サブタスク7、平成10年度成果報告書、平成11年3月。
- (2) 同上、平成9年度成果報告書、平成10年3月。
- (3) 竹本、オンサイト型水素発生装置、クリーンエネルギー、Vol. 7, No. 2, 1998。
- (4) D. B. Bell, et al., "Ford's R&D Activities on Direct-Hydrogen PEM Fuel Cell Systems", The 15th International Electric Vehicle Symposium, October 1998。

研究所のうごき

(平成11年4月2日～7月1日)

◇ 第52回理事会

日 時：6月18日(金) 12:00～13:10

場 所：経団連会館(9階) 906号室

議 題：

- 第一号議案 平成10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 評議員の委嘱について
- 第三号議案 その他

◇ 月例研究会

第168回月例研究会

日 時：4月23日(金) 13:30～15:30

場 所：東海大学校友会館 望星の間

テーマ：

- 1. 原子力先進システム(自己完結型燃料サイクルシステム)について
(日本原子力研究所 エネルギーシステム
研究部 炉物理研究グループリーダー
大杉俊隆氏)
- 2. 原子力先進システムに関する一電力のリ
サイクル研究例(現実的視点から)
(東京電力(株) 技術開発部 原子力研究
所 リサイクルグループマネージャー
主管研究員 滝沢昭彦氏)

第169回月例研究会

日 時：5月28日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館7階 702・703会議室

テーマ：

- 1. メタンハイドレートの資源量と環境関連
研究の動向
(㈱地球科学総合研究所 取締役技術部長
青木 豊氏)
- 2. ガスハイドレートによる天然ガスの輸
送・貯蔵技術について
(プロジェクト試験研究部 主管研究員
兼子 弘)

第170回月例研究会

日 時：6月25日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 6階 601会議室

テーマ：

- 1. 分散型電源としての固体高分子膜燃料電
池(P E F C)の開発状況
(筑波大学名誉教授 燃料電池開発情報セ
ンター 常任理事 事務局長 本間琢也
氏)
- 2. 分散型電源としてのマイクロガスタービ
ンの利用動向について
(東海大学 工学部 生産機械工学科 教
授 伊藤高根氏)

◇ 主なできごと

4月13日(火)・第1回原子力社会科学に関する
検討会

15日(木)・第1回非在来型天然ガス基礎調
査委員会

20日(火)・第2回ヒューマンファクタ研究
懇談会

27日(火)・第2回原子力社会科学に関する
検討会

5月11日(火)・第3回原子力社会科学に関する
検討会

12日(水)・第4回システムニーズ・評価委
員会

25日(火)・第4回原子力社会科学に関する
検討会

31日(月)・第3回ヒューマンファクタ研究
懇談会

6月2日(水)・第1回BWRサブチャネル解析
コード(NASCA)のポスト
沸騰遷移への適用性の研究委員
会

8日(火)・第1回実用発電用原子炉廃炉技
術調査委員会

9日(水)・水素エネルギー普及・促進事業
検討打合せ

16日(水)・第5回原子力社会科学に関する
検討会

17日(木)・第1回高温ガス炉プラント研究
会

・第1回エネルギー学に関する検
討会

6月24日(木)・第1回エネルギー研究開発戦略
検討会

28日(月)・第6回原子力社会科学に関する
検討会

◇ 人事異動

○5月31日付

(出向解除)

片野 孝 (プロジェクト試験研究部 主管研
究員)

○6月1日付

(採用)

手塚 瞳 プロジェクト試験研究部 主管研
究員

河本治巳 プロジェクト試験研究部 副主席
研究員

○6月28日付

(出向解除)

吉江照一 (プロジェクト試験研究部部長 副
主席研究員)

○6月29日付

(採用)

内田 洋 プロジェクト試験研究部部長 副
主席研究員

○6月30日付

(出向解除)

鶴岡亮三 (業務部長)

山下高志 (経理部長)

川野忠昭 (プロジェクト試験研究部 主管研
究員)

川本 忠 (WE-NETセンター 主任研究
員)

宇野英樹 (プロジェクト試験研究部 研究員)

○7月1日付

(採用)

笠原章一 経理部長 兼 総務部勤務

佐藤正明 プロジェクト試験研究部 主管研
究員

上岡英之 WE-NETセンター 主任研究
員

大森伸二 プロジェクト試験研究部 研究員

(昇任)

兼子 弘 (プロジェクト試験研究部 主管研
究員)

プロジェクト試験研究部 副主席
研究員

○7月8日付

(採用)

矢野森 明 業務部長

I A E ホームページ開設のご案内

当所は、エネルギー総合工学研究所（I A E）ホームページを、去る 6 月 1 日より開設しました。

当所の活動状況を広く皆様にご紹介し、またエネルギー・環境問題へのご理解を深めていただく際のご参考になればとの願いも込めて、掲載内容を選びました。

まだ、スタート直後で不備な点があるかと思いますが、今後一層の充実に努めてまいりますので、ご利用の上ご忌憚のないご意見をいただきたく、よろしくお願い申し上げます。

1. 内 容

- ・ I A E の 紹 介：当所の概要，設立の目的，沿革，調査研究活動の紹介など。
- ・ E N G L I S H：英語版の I A E 紹介。
- ・ 最 近 の 活 動：「エネルギー総合工学シンポジウム」，「月例研究会」，「調査研究要旨集」，「新エネルギーの展望」，「外部発表」などの活動報告。

特に，「調査研究要旨集」は，当所における主要研究テーマごとの成果概要を示したものであり，また，「新エネルギーの展望」は，時のテーマを選んでの技術解説小冊子ですが，データベース的な狙いもあり図表類を含めて全文掲載しています。

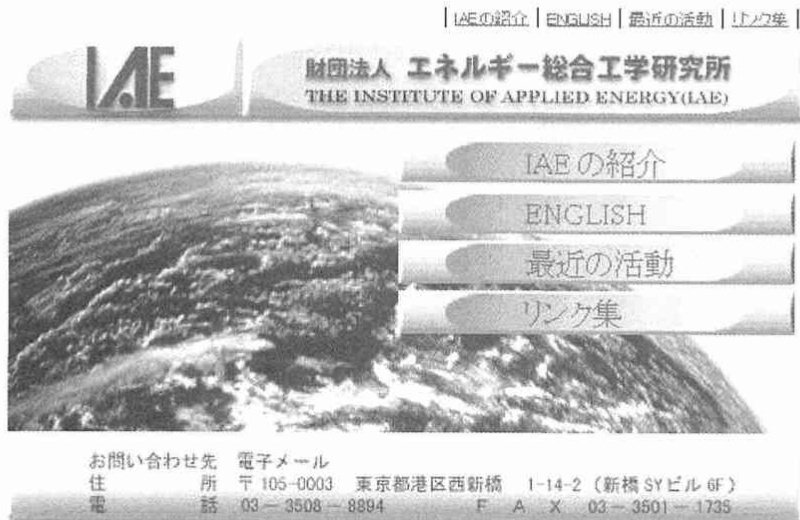
- ・ リ ン ク 集：関係諸団体の H P へのリンク集。

2. アドレス

URL：http://www.iae.or.jp/

3. 備 考

I A E ホームページの扉を次に示します。



編集後記

中国産の卵であるが、日本で誕生したトキの名前が優優と命名された。

本来日本を代表する鳥でありながら、純粋の日本産では産卵を望めぬ高齢のメス（キン）一羽だけとなり、中国産の卵に頼らざるを得なかったもので、誕生を喜ぶと同時にやはり日本のトキが絶えたことに残念な気持ちは残る。一方では、アメリカのハクトウワシのように一時は絶滅危機種に指定されながら、32年振りにその指定から外され、その復活記念式典まで催されるに至った朗報もある（7月3日朝日夕刊）。いずれにしてもこの様な絶滅危機に瀕した動物の種の保存に対する関係者の努力に敬意を表したい。ここで、30年以上も前に「沈黙の春」を著したレイチェル・カーソンが「人類と動物は運命共同体である」とその書で語った言葉が思い出される。自然破壊、乱獲、環境汚染などの人間の行為により、動物の存続が脅かされ、さらに生物連鎖により人間の存続も脅かされるというのがその理由であろうと推察される。

環境を例に挙げたが、エネルギー問題も、今や定説とされる経済発展と環境問題と一体となった調和ある発展とともに戦略なし

にはありえない時代となってきたことを改めて思われる。とはいえ、昨今のように厳しい経済情勢下では、企業・個人ではその推進には限界があり、グローバルで長期的な視点に立ったエネルギー・環境政策がますます重要となってきたようだ。

本号の座談会で取り上げた「今後の電力技術開発のあり方について」は、電力を例にとった場合の技術開発において、産学官のそれぞれの役割を見直し、わが国としてより効率的な技術開発のあり方を考えた「電力技術開発検討会」での議論の要旨を、同会の主要メンバーにご参加願ひ解説していただいたものである。地球環境問題の顕在化や規制緩和などの環境変化の中での技術開発のあり方を提案されたものとして関係者の願ひが込められたものであり、その実効ある推進が期待される。

さわやかな海と山などの自然に触れる機会が多い夏、自然がいつまで我々を楽しませ、リフレッシュさせてくれるかは、結局のところ我々にかかっていることをトキの命名に際して改めて思われた。

小川紀一郎 記

季報 エネルギー総合工学 第22巻第2号

平成11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(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社