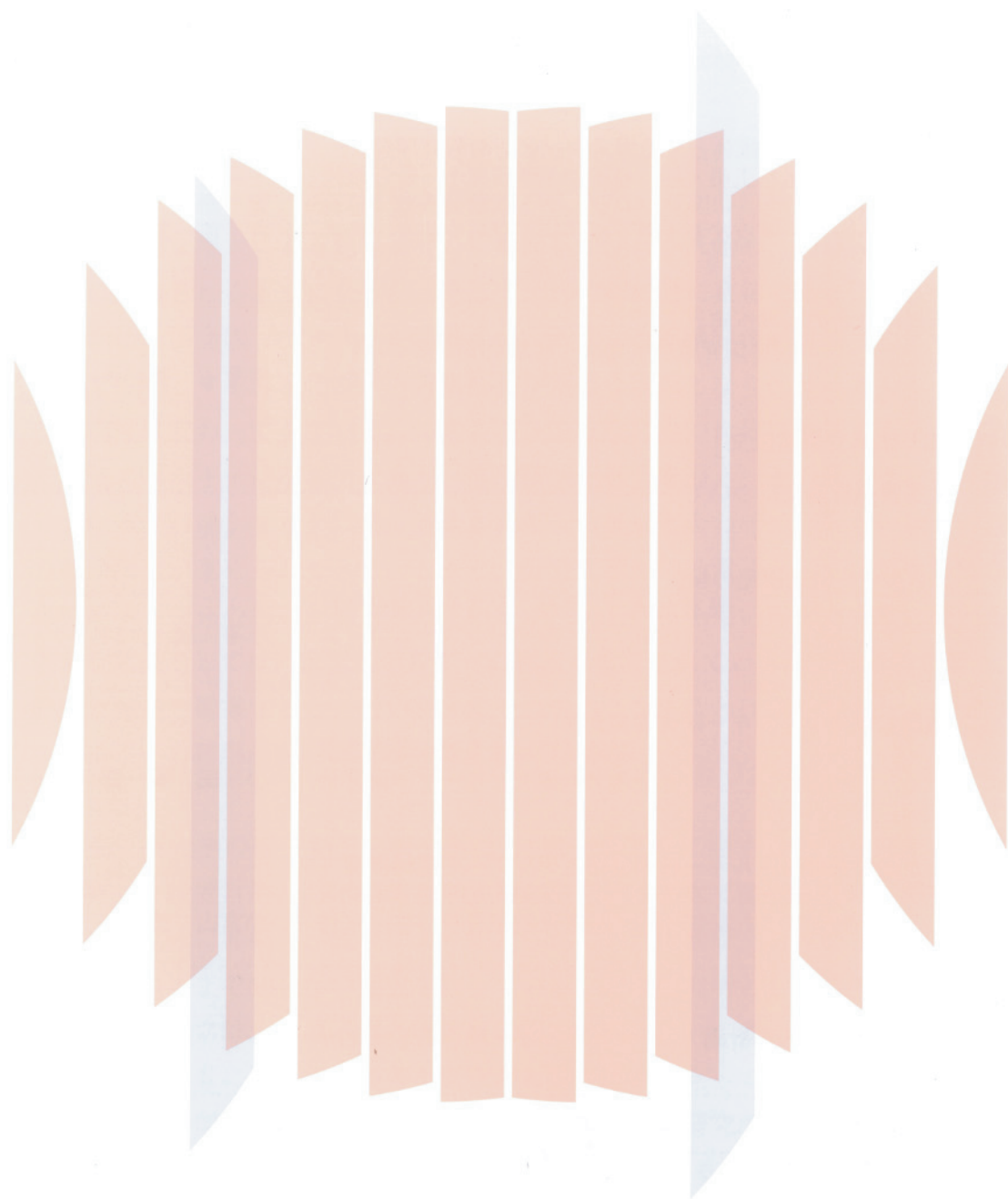


季報 エネルギー総合工学

Vol. 32 No. 1 2009. 4.



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】 エネルギーと地球環境 東京工業大学 原子炉工学研究所長 教授	有 富 正 憲	1
【座談会】 二酸化炭素回収・貯留の現状と将来 (独)産業技術総合研究所 主幹研究員 三菱重工業(株) 技監・主幹プロジェクト統括 東京電力(株) 技術開発研究所長 (財)地球環境産業技術研究機構 主席研究員 新日本製鐵(株) 技術総括部 部長 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 研究理事	赤 井 誠 飯 嶋 正 樹 原 築 志 村 井 重 夫 米 澤 公 敏 足 田 知 士	3
【寄稿】 超臨界CO ₂ を作動媒体とするガスタービンの研究開発 東京工業大学 原子炉工学研究所 特任教授 プロジェクト試験研究部 部長 東京工業大学 原子炉工学研究所長 教授	宇多村 元 昭 蓮 池 宏 有 富 正 憲	20
【寄稿】 低炭素社会の転換へ向けて (独)国立環境研究所 地球環境研究センター 温暖化対策評価研究室長	甲斐沼 美紀子	31
-----【特集 大島賞懸賞論文】-----		
大島賞懸賞論文について		37
【最優秀賞】 エネルギー技術戦略の検討 東京大学 工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース	小平 翼 他13名	38
【優秀賞】 政府によるエネルギー研究開発支援について (財)地球環境産業技術研究機構 システム研究グループ 研究員	小 田 潤一郎	48
【優秀賞】 わが国の長期エネルギー技術戦略とアジアへの国際展開 米国 ローレンスバークレー国立研究所 客員研究員 (財)日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット付	小宮山 涼 一	52
【事業計画】 平成21年度 事業計画 (財)エネルギー総合工学研究所		63
【研究所の動き】		69
【第31巻通巻目次】		71
【編集後記】		75

巻頭言

エネルギーと地球環境

有富 正憲 (東京工業大学
原子炉工学研究所長 教授)



石油ショックを受け、多様化や長期にわたる安定供給が可能性を求めて石油に代わる代替エネルギー源の開発が進められてきた。しかし、世界的なエネルギー消費の急速な増大による地球規模の環境問題が注目され始め、地球環境問題が世界的に議論されるようになった。そして、1997年12月に京都で第3回気候変動枠組条約締約国会議（COP3）が開催され、所謂、京都議定書が締結され、二酸化炭素を中心とする温暖化ガスの排出削減が重要な課題となり代替エネルギー開発の方向性は変わってきている。エネルギーを安全にかつ大量に輸送する手段として電気エネルギーは不可欠であり、高度情報化社会を迎え、その重要性は益々増している。石油ショック以来、省エネルギーの推進と合わせて、新しい種々の電力源の開発が進められてきた。しかし、分散電源や補助電源としては再生可能な自然エネルギーの利用が推進されているが、化石燃料を用いる火力発電に変わる主要な電源としては、水素エネルギーの利用も検討されているが、経済的な製法、貯蔵と輸送を勘案すると、近い将来にその中心となることは困難であり、原子力エネルギーの利用が中心になると考える。

東京工業大学の原子炉工学研究所は、「原子炉工学に関する学理及びその応用の研究」を設置目的として昭和31年4月に研究施設として産声を上げ、昭和39年4月に研究所に昇格し、政令により規定されていた附置研究所となり、今日までその名称のままで50余年の歴史を持っている。附置研究所として規模は余り大きくないが、設立時から原子力と放射線応用の分野において多くの優れた研究成果を上げるとともに、多くの優秀な研究者と教育者が巣立っていった。しかし、平成16年4月に国立大学法人化となった際に全体の附置研究所が中期目標に記載される大学の附属研究所に変わり、平成22年度から始まる第2期中期目標からは、共同利用・共同研究拠点の資格を得た附置研究所のみが中期目標に記載され、その他の研究所の統廃合を含めた運営は大学に委ねられるようになった。

このような状況の下で、原子炉工学研究所は培ってきた原子力科学技術を基盤として、エネルギー長期安定供給に向け、安全性の向上、核廃棄物低減、電気のみならず水素や熱利用等多様なエネルギー供給等を目指す「革新的原子力システム研究」、再処理及び廃棄物処理・処分の側から核燃料サイクルを抜本的に見直し、核燃料資源の長期的マネジメント方策、軽水炉から高速炉への移行期及び高速炉時代へと展望した核拡散抵抗性の高い再処理技術、核燃料資源のリサイクル利用の徹底及び核燃料サイクルから発生する放射性廃棄物の徹底削減と合理的な処理・処分による環境負荷低減を目指す「アクチノイドマネジメント研究」、平和で安全・安心な生活を保障する社会の構築を目的とし、これまで本研究所で萌芽させた核拡散抵抗性の高いプルトニウムの製造技術と燃料としての利用技術の基盤となる科学技術と原子力システムの安全研究等を実施する「グローバル原子力セキュリティ研究」と陽子ビームを1.90MeV前後で加速・制御できる小型RFQ型線形加速器を用いたホウ素中性子捕捉療法用照射システムの開発、癌細胞の選択性の高いホウ素化合物、癌細胞への運搬技術に関する研究等を実施する「高度放射線医療研究」の4つのミッション主導型の原子力研究課題を推進することを企画しており、世界の先端研究との融合するために「国際的な知のネットワーク」を構築して研究を推進することを考えている。併せて、新しい学問分野を創生するための基礎・基盤研究として、(1) 量子線と粒子線の物質との複雑な相互作用の解明と放射線のDNAへの影響など医療工学分野、(2) 加速器を用いた環境場(大気、水質、土壌等)の計測技術、(3) エネルギー高効率材料の創成、(4) 放射線、レーザー、超音波等を用いた画像処理・システムの診断技術、(5) 原子力の先端技術を用いた有害廃棄物処理技術等を実施し、次の中期目標における国際共同研究の柱を模索する。また、半数以上の学外委員から構成される運営委員会を組織し、研究所の運営大綱、本学における原子力研究分野の方向性、共同研究課題分野、および所長が諮問する事項を議論し、研究者コミュニティの意見が反映できる開かれた研究所を目指す所存でいる。

このような附置研究所に生まれ変わり、地球環境に優しい持続性のある原子力エネルギーの平和利用に関する研究を推進することにより社会に貢献するためには、原子力工学分野はもとよりエネルギー工学分野、環境工学分野の研究者コミュニティの一層の支援をお願いする次第である。

二酸化炭素回収・貯留の現状と将来

赤 井 誠 (独)産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 主幹研究員

飯 嶋 正 樹 (三菱重工業(株) 機械・鉄構事業本部
プラント・交通システム事業センター
環境・化学プラントプロジェクト部
技監・主幹プロジェクト統括

原 築 志 (東京電力(株)
技術開発研究所長

村 井 重 夫 (財)地球環境産業技術研究機構
CO₂貯留研究グループリーダー 主席研究員

米 澤 公 敏 (新日本製鐵(株) 技術総括部 部長
環境部環境リレーションズグループ 部長兼務
人事・労務部人材開発グループ 部長兼務

司会 正 田 知 士 (財)エネルギー総合工学研究所
研究理事



はじめに

国内外で高まるCCSへの関心

司会 二酸化炭素(CO₂)の回収貯留(CCS)は、地球温暖化防止のために、化石燃料の燃焼に伴って発生するCO₂を大気中に排出せず

地中、あるいは海中に貯蔵する技術です。最近、とみにCCSに対する関心が高まっていて、国際会議や参加者の数が大きく増えています。国内でも「G8洞爺湖サミット」(2008年7月)でCCS実証を支持する宣言が出されたり、経済産業省のCCS研究会が再開されたり、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」がスタートし、日本CCS調査(株)が設

立されるなど、関連する動きの活発化が目立っています。ただし、CCSの実施までには中長期的な視点でさまざまな検討が必要と考えられます。

本日は、CCS分野でご活動の皆様方にお集まりいただき、それぞれの立場からCCSの現状をレビューするとともに、その将来について語っていただきたいと思います。よろしくお願いします。

まず、それぞれのお立場からの現状認識とレビューをお話しいただきたいと思います。

CCSに対する現状認識と課題

大局的な見地で判断を迫られるわが国

赤井 私がCCSに携って20年を超えたところです。私自身、最初は実験室で実験を始めて、90年代初めにエネルギー総合工学研究所の「火力発電プラントからのCO₂回収システムに関する調査」で飯嶋さんたちとCCSの包括的な性能とコストの評価をやったことが大きかったと思います。

CCSについて、最近は地中貯留が叫ばれることがほとんどですが、今、地中貯留の旗を振っているノルウェーのスタットオイル社なども当初は海洋貯留の国際プロジェクトをやろうと世界中を宣伝して歩いていましたし、90年代初めは世界のどこでも海洋貯留への関心が高かったわけです。ところが、地中貯留がEOR（Enhanced Oil Recovery）として石油増産に利用できるなどの利点があるために、オイルメジャーを中心に、今は地中貯留一辺倒になっています。しかし、日本にとって海洋貯留をどう考えるかというのはまだ課題であるし、地中と海洋の根本的な違いをきちんと認識していかないといけないと思っています。

エネ総工研のスタディの時に今後の課題など色々書いたのですが、今考えても当時とは



赤井 誠

(独)産業技術総合研究所
エネルギー技術研究部門 主幹研究員

とんど変わっていないという気がします。例えば、CCSは何らかの政策を考えない限り、経済的メリットがないという点です。経済的なインセンティブが働くEORでのプロジェクトに参加し、ノウハウを蓄積して将来に備えればいいのではないかと15年ぐらい前の報告書に書かれています。今からノウハウを蓄積しても遅いので、今後日本はCCS技術とどう関わっていくか、国内でやるのか、世界でやるのか、あるいはどこかに参加するのか、そういったことを大局的に判断すべき時期に来ていると思います。

RITEの活動から見るCCSの現状

村井 (財)地球環境産業技術研究機構（RITE）が何をしてきたか、また、今どういう変わり目にあるのか紹介したいと思います。

図1に示すように、RITEでは地中貯留技術の研究開発を行ってきました。陸域で実証試験をし、今、海域、海底下へ向かっています。また、地中貯留に関連して地熱や蛇紋岩を利用する探索的な研究も地中貯留の技術オプションとして行ってきました。将来、ローカルなCCSというものも出てくるのではないかと考えがあるからです。

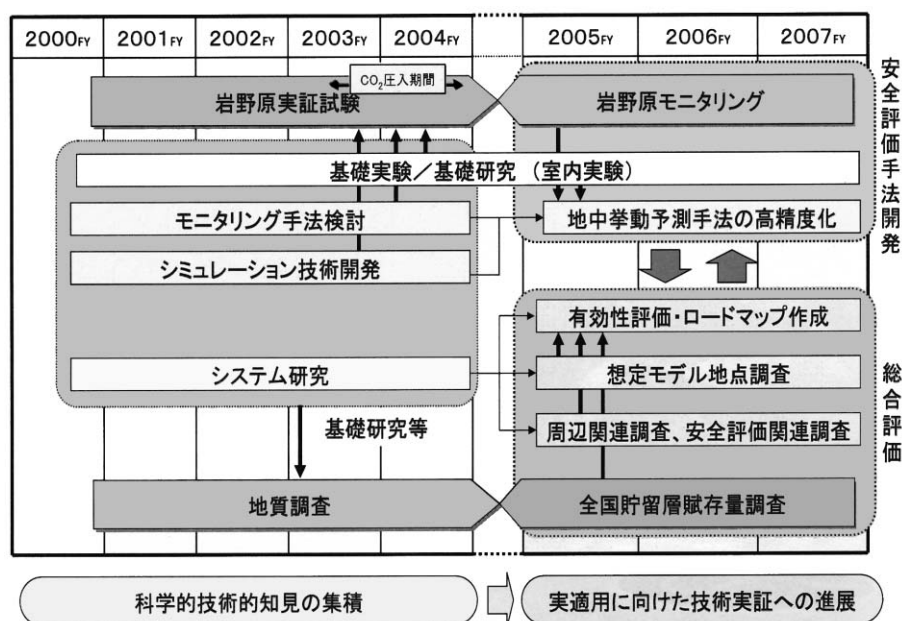


図1 RITEによるCCS研究開発の実施内容（2000年度～2007年度）

海洋の利用は、地球のCO₂循環をうまく利用する技術だと思っていますが、世界に1つしかない海ですので、慎重に影響評価をやる必要があることから、若干時間がかかるのではないかと考えています。

地中貯留については、新潟県長岡市岩野原で1万トン規模の実証試験を行ないました。この実証試験は、圧入性を調べ、CO₂の挙動を確認し、それをシミュレーション予測するという3段階で行い、基礎的に日本でも地中貯留が可能であることをはっきりさせたのが成果だと思っています。また、総合評価を通じて、大規模実証試験が必要だということになり、現在、日本CCS調査㈱が手がけている大規模実証試験に向けた流れを作りました。

今後の課題として、安全評価手法の開発、日本国内での貯留ポテンシャルの確定、10万～100万トンの大規模実証、コスト低減などが挙げられます。

現在の世界の主なCCSプロジェクトを見ても、着工してオペレーションに入っているプロジェクトは少なく、これも課題ではないかと思っています。

2008年12月に総合科学技術会議の評価検討会で大規模実証試験が評価されました。今後

は、大規模実証を行なう、安全評価手法を検討し信頼醸成を図っていく、基礎技術の開発もやるということになっています。

経済産業省のCCS研究会でも、大規模実証試験実施に必要ということで、安全面、環境面の課題を検討しているところです。課題が明らかになったところで、RITEとしては重点を置き直して、CCS実現に向けていきたいと思っています。

具体的に動き始めた欧米

飯嶋 90年代初めから、CCSを目標とした開発と色々なフィージビリティスタディに取り組んできました。当時、我々メーカーの立場として、化学用途やEOR用途をターゲットにしてきました。

最近、外部からフィージビリティスタディや実証プロジェクトへの参画要請をかなり受けています。一番活発なのはヨーロッパ、アメリカ、カナダそしてオーストラリアの電力会社を中心です。それまで、我々は化学用途とEOR用途で産油国と話を進めていたのですが、2年ぐらい前から急に世界が様変わりしたという感じです。とは言え、国によってか

なり温度差があります。アメリカなどはまず勉強だという感じです。これに対して、ヨーロッパは、本格的にCCSの大型実証試験をやる上で、電力業界も取り組んでおいた方がいいという判断から、相当具体的な動きが出てきています。

今、CCSは研究開発段階がほぼ終わり、大型実証、商業化段階へ入り始めたところです。特に、貯留側の準備ができていないとCCSはできません。そういう面で、欧米は着実に進んでいると思います。アメリカでは、米エネルギー省（DOE）の「リージョナルパートナーシップ」で貯留の調査と実証試験が始まっています。場所に恵まれていることもあり、いざとなればできるという状況です。ヨーロッパは。北海地域に十分な地層がありますし、陸域でもある程度調査ができています。

当社の場合、回収プラントに集中していますが、欧米では貯留の準備が着実にできてきているので、今後の状況を見ながら、メーカーとして必要なアクションをとっていこうとしています。

CCSに対する電力業界の認識

原 電力会社としては、エネルギーのセキュリティ（Energy）、環境保全（Environment）、経済成長（Economy）の3Eを同時に達成することが重要と考えています。石炭利用から見たCCSの重要性、火力発電高効率化の取組みの重要性、CCS技術への取組み状況の3点をお話したいと思います。

石炭は安定供給と経済性で優れますが、環境面ではやや課題があります。そこで、クリーンコールテクノロジーで石炭の高効率利用を進めていくことが重要だと考えています。特に、今後、電化進展でエネルギー需要増大が想定されるアジア諸国では、発電のメインが石炭火力になるということで、それが世界におけるCO₂排出量の大幅増加につながることを考えると、世界全体で2050年までに50%

以上のCO₂削減を達成するには、CCSが重要技術の1つであり、その実用化の期待は大きいと考えています。一方、CCSには、技術面、経済性の面で多くの課題があることも認識しています。この課題克服、潜在的な課題を明らかにするためにCCSの技術開発に取り組むたいと考えています。

CO₂排出を抑制するには、まず火力発電の高効率化を進めることが重要だと考えています。CCSは有効な技術ですが、現状ではエネルギー消費が非常に大きいために、同じ電力を得ようとするCO₂排出量が増加してしまう場合もあります。CCSによるエネルギー効率の低下をカバーするためにも、火力発電の高効率化の技術が重要です。日本の電力は数十年にわたって石炭利用技術の効率化努力を進めてきていまして、現在、クリーンコール技術は世界最高水準にあると考えています。具体例としては、電力9社と電源開発(株)で設立した(株)クリーンコールパワー研究所で空気吹きIGCCの実証試験を実施しています。この技術開発はかなり進んでいて、2008年秋には2,000時間の長時間運転試験にも成功し、良好な試験結果が得られております。また、電源開発と中国電力では酸素吹きのIGCC開発に取り組んでいます。空気吹きと酸素吹きの両技術のIGCC実証試験を実施していることは日本の強みだと思っています。これらの技術を日本国内だけでなく、世界各国に適用して、世界のCO₂排出量削減に貢献していきたいと考えているところです。

CCSの要素技術はある程度確立されてきたということですが、トータルシステムとしての技術開発はまだ始まったばかりで、実用化にはまだ時間がかかると考えています。CCS実施には多くの課題があって、潜在的な課題を明らかにするためにも、調査、技術開発が重要だと考えています。

そこで、電力会社としては、日本CCS調査(株)に当初から参画しています。現在、当社ではNEDOプロジェクトとして、日本CCS調査(株)

の委託でIGCC実証機から排出されるCO₂をいわき沖の枯渇ガス田に貯留するプロジェクトの分離回収部分のフィージビリティスタディを行っているところです。こういったCCSの実証試験には数百億円規模の費用がかかると言われています。輸送や貯留面も含めて様々なリスクがあることから、国の主導のもとでCCSの技術開発を実施し、コストなどの課題をしっかりと評価した上で導入を検討していくべきだと考えています。

CCSに対する鉄鋼業界の認識

米澤 鉄鋼連盟は「セクトラルアプローチ」ということで、世界の鉄鋼会社と一体となって地球温暖化防止に向けた開発と活動を行っています。地球温暖化防止策として、CCSは1つの重要な技術だと考えています。我々鉄鋼の仲間では、京都議定書の第1約束期間(2008～2012年)、2020～30年の中期、そして2050年の長期の視点で、世界の鉄鋼業としてどうあるべきかを議論し、技術開発に取り組んでいます。

第1約束期間の目標達成に向けては、さらに徹底した省エネルギー努力と技術の海外移転をしながら、経済団体連合会の「自主行動計画」を達成すべく行動しているところです。

中期においての課題認識は2つあります。1つは、今後の鉄鋼材料の需要を考えると、鉄鉱石の還元が製鉄プロセスの主体であることは間違いなく、その中で、日本ではほぼ普及し終わっている我々の世界最高水準の省エネルギー技術を途上国やこれから鋼材需要や鋼材生産が伸びていく国にいかに移転していくかということです。

もう1つは、鉄製品を通じていかに温暖化に対応していくか。自動車の高張力鋼板やエネルギーロスの少ない電磁鋼板を作りながら間接的に地球温暖化に貢献していこうと思っています。先ほどの中期のタームで鉄鋼プロセスを考えた時、例えば今議論されているよ



村井重夫

(財)地球環境産業技術研究機構
CO₂貯留研究グループリーダー
主席研究員

うな20～30%のCO₂排出削減は、熱力学的にも不可能です。そこで、製鉄所というサイトではなく、製品を通じてグローバルな視野で地球温暖化対策に貢献できる方法がないか模索しているところです。

問題は長期です。日本としても、世界としても目標がありますので、抜本的な削減を図らなくてはなりません。中期までは、技術をどこまで適用したらどれぐらいCO₂排出量が下がるかということで「フォアキャスト」で積み上げて考えていこう、長期はCO₂排出量を半減させるにはどんなことをしなければいけないだろうかということで「バックキャスト」で議論してきました。

2003年以降、世界鉄鋼協会の会議のワーキンググループで、どうすれば製鉄プロセスにおいて抜本的なCO₂削減ができるか、各国、各地域の技術者で議論しました。ポイントは4つあります。1点目は石炭利用についてです。石炭が供給の安定性と経済性の面から、今後とも鉄鉱石還元の主要ファクターであることは間違いありません。石炭を使う以上CO₂が出るので、CCSを適用していくことが1つの選択肢となります。

2点目は鉄鉱石の重要な還元剤としての水素適用です。ただ、どうやってCO₂と切り離

された「グリーンハイドロジェン」を入手するかという問題を解決しながら、水素の適用性を検討していこうとしています。

3点目が電気直接鉄の還元をしていこうということです。エネルギーとしては10倍かかりますが、クリーンな電気が手に入る時代になれば、CO₂の発生はゼロに近くなるわけですから、そうした発想も重要だろうということです。

4つ目はバイオマス。これは地域性があります。カナダを中心とした北米、南米、それから豪州ではバイオマス適用が盛んに検討されています。

4つの中で、日本としての取組みとしての数年間議論しているのは、CCSの鉄鋼プロセスへの適用と水素の還元剤としての活用についての開発です。

2008年7月にNEDO委託事業として、鉄鋼5社とエンジニアリング会社6社に鉄鋼連盟も入り、「COURSE50（コース50）」という、2050年に向けた抜本的な製鉄プロセスからのCO₂削減プロジェクトが始まっています。ここでは、CCSと水素還元がテーマになっています。

CCSに関しては、我々は、経済的、商業的に安定したCO₂分離回収技術の開発に注力しています。我々は地下（貯留）に関する技術を持っていないので、自らが貯留技術を開発するのではなく、国主導で進められている貯留技術開発と上手く連携していくというのが基本思想です。

分離回収については、我々はRITEのCOCS（低品位廃熱を利用する二酸化炭素分離回収技術開発）に参画していましたので、そこでの検討の延長として「化学吸収法」の技術開発・改良を進めていこうとしています。化学吸収には大量のエネルギーが必要ですが、ここには製鉄プロセスの未利用廃熱の活用を考えています。これに限らず、物理吸着を含むいくつかの選択肢をあげながら、どういった分離回収法が、製鉄プロセスにとってベストなのか、経済的にベストなのか、あるいは圧力や成分の面で貯留側とマッチングするのか、こうした基礎研究をま

ず10年やっ払いこうと考えています。

新たなプロセスの普及に20年にかかる鉄鋼プロセスの性質上、2050年に向けた体制整備を考えて、2030年までには技術確立しようということで、開発に着手したところです。

CCS推進に向けた「圧力」の今後

司会 CCSは、世界的に動きが活発化していますが、単純な経済原理に基づいてすぐできるものではありません。一方で、「洞爺湖サミット」での実証推進を支持する宣言のように、政策的な推進圧力がかかり始めているということがあります。赤井さんは国際会議や「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）などの活動に参加される中で、そういう圧力がこの先どれぐらいの速度で高まっていくと感じていますか。

赤井 私が最初にCCSに関する圧力を感じたのは、京都会議の次にアルゼンチンで開かれたCOP4（国連気候変動枠組条約第4回締約国会議）あたりからです。その頃からサウジアラビアが表立ってCO₂対策としてのCCSの有効性の認知を会合で主張し始め、その後、IPCCへの指針が出て、「二酸化炭素の回収・貯留に関する特別報告書」が2005年秋に出ました。これは、CCSが科学的、技術的に評価されたということで、その後色々なことが飛躍的に進展するきっかけになったと思います。

90年代半ばから90年代末にかけてDOEのCCS担当者たちの最大の目標は、日本の予算に追いつくことでした。当時、日本のCCS予算は約10億円程度でしたが、アメリカはその数分の1ぐらいでした。ところがその後、数年で、日米の順位が入れ替わり、今ではアメリカの予算額は桁違いに多くなっています。アメリカはCCSをやろうと思えば、国内どこでも、いくらでも注入できます。サイト探しには手間がかかりません。CCS研究が大規模実証段階に近づくにつれ、日本が、アメリカ

の後塵を拝している感じになっています。

そういった中で、「洞爺湖サミット」において2010年までに開始して、2020年までに少なくとも20カ所の大規模実証プロジェクトを実施すべきということが明示されたのも、CCSが政策的にも重要な技術の1つとして認知されたことの表われだと思えます。

今の世界の色々な動きを見ると、G8宣言は1つの大きな圧力であり、CCS関係者もこれを「錦の御旗」に色々なことを推し進めようとしているところがあります。

飯嶋 最近、ヨーロッパでの国際会議に出ていますと、温暖化対策を本気でやるつもりだと感じます。彼らは、地球の平均気温が2℃以上高くなると、気象災害が幾何級数的に増加する。そうすると、今すぐ手をつけないと間に合わない。だからすぐやるんだと言います。今度は化石燃料の利用を前提にすると、CCSをやらない限りCO₂を減らすのは無理なのです。ヨーロッパ主導のビジネスモデルを作ってしまうと背景もありますが、根本的には温暖化対策に早急に取り組まないと気象災害が急速に増えてくるという懸念からの動きだと私は思っています。

米澤 私も2003年から国際鉄鋼協会（IISI、現World Steel Association）の「CO₂ブレークスルー」という2050年に向けた抜本的技術開発に参画してきましたが、ここ数年、ヨーロッパの取り組み姿勢が急激に変わってきています。

ヨーロッパは、2050年というターゲットを前倒ししたり、通常は考えにくい電気による鉄鉱石還元などについても、あらゆる可能性を考えていかないと鉄鋼業が生きていけなくなるという危機感を強く持っているわけです。

CO₂大幅削減の達成に向けたCCSの課題

司会 CCSのこれからについてですが、CO₂大幅削減という長期目標達成に向けた準備を進

めていく上でどういう課題があるか、お話しいただければと思います。

原 まず、技術的な課題についてですが、CCS技術は、ある程度確立されているという見方もありますが、我々から見ると、発電効率の低下、大容量化の点で課題が残っており、適用は簡単ではないということを実感しています。

特に、CCSの運転に必要なエネルギーが膨大で、発電効率が20%以上低下するという試算もあります。最新鋭の石炭火力の発電端効率が43%ぐらいですが、その効率が30%台前半、昭和30年代前半レベルまで低下してしまうことになります。逆に言えば、同じ量の発電を行うには、燃料が20%以上余分に必要になるということです。こういうことを考えますと、分離回収コストの低減に向けて革新的な技術開発を進めることが重要になってくると思います。また、CO₂の分離回収は大量のガスを扱うために設置スペースがかなり大きくなりますから、設備のコンパクト化も考えていかなければいけません。

分離回収技術は、機械系や化学系の技術で、輸送貯留技術は土木に近い技術です。それぞれ独立した技術が川上と川下でドッキングしているという感じですから、2つの技術は相互に制約となる条件は少ないと考えられます。要するに、分離回収したCO₂の取り扱いさえ明確にしておけば色々な組み合わせが可能ということで、分離回収、輸送貯留、それぞれの技術を有する企業が責任をもって技術開発を行っていくことが自然ではないかと考えています。

次に、経済的な課題について言うと、CO₂価値が高くなればCCS導入が進む可能性が高まると考えられます。そのための準備を今から進めていくことが重要なのですが、昨今のヨーロッパでの排出権取引価格を見ていますと、2008年7月頃は約30ユーロ／トンでしたが、今は約10ユーロ／トンです。ユーロベースで半年間に3分の1に、円ベースでは5分の1ぐらいに落ちているのです。これは、

CO₂価格が環境価値だけで決まっているのではないことを示唆しています。やはり、CCSの導入インセンティブをどう考えるかは簡単ではないと思います。

CCSの経済性は、CCS設備の増加に伴う効率低下で増える燃料費とCO₂削減によって減る排出費用のバランスで決まってきます。わが国のCCSコストが高くなるのは、やはり燃料価格がアメリカや欧州などよりも高いからです。さらに、CO₂価値の上昇は国民にとっての経済的負担になることも考えなければいけません。地球温暖化対策の重要性と経済へのダメージの両方を考えることが大切になってきます。

以上のような観点から、とにかくCCSのコスト低減に向けた技術開発を国を挙げてやっていくことが必要だと思っています。ただ、実際の導入段階では、経済的負担がより小さい他の温暖化対策との比較になるだろうと考えています。例えば、原子力発電の促進や火力発電の高効率化、需要家サイドでのヒートポンプ給湯器のような高効率機器の導入などです。

政策的課題について言えば、CCSのコスト低減など実用化に向けた課題解決は国の役割に期待しています。電力会社としては、国が主導する実証試験に協力してCCSの技術開発を推進していきたいと考えています。最終的なCCS設計については、技術的課題、経済性などを考慮して、事業者が個別に判断することが基本ではないかと思っています。

CCS研究会では、周辺環境への影響評価に関する検討が行われています。CO₂の漏洩は危険性が低いという見解が示されていますが、地元住民の了解が不可欠です。そのためにもCCS設備のセッティングやモニタリングなどのCO₂漏洩に対する安全基準の制定が必要だと考えています。また、社会的受容性も十分に認識して進めていかなければならないと考えています。貯留したCO₂の長期間に及ぶ管理や不測の事態による漏洩への対応などについては、国による管理をお願いしたいという要望を持っています。



原 築 志

（東京電力(株) 技術開発研究所長）

国際協調面、海外展開では、既に「炭素隔離リーダーシップフォーラム」(CSLF)や「クリーン開発と気候に関するアジア太平洋パートナーシップ」(APP)に代表される協力的セクトラルアプローチが実効的で、実績も出てきています。具体的な取り組みとして、既設石炭火力の熱効率の維持向上のためのピアレビューを実施しています。それから、運用保守技術の技術移転によって、既設プラントの効率を上げるという実績もあげているということです。また、電気事業連合会の試算によると、超々臨界圧発電(USC)や石炭ガス化複合発電(IGCC)などの新技術の導入、運用改善によって、世界全体の石炭火力発電所で、2030年で約19億トンのCO₂削減ポテンシャルがあります。特に、中国やインドは石炭火力の電力量比率が高いので、日本の高効率技術の適用でCO₂の大幅削減が期待できるということです。将来的には、日本のCCS技術を活用した協力的セクトラルアプローチも考えられるということです。

最後に、CCS以外の温暖化対策との比較評価ですが、CCSは太陽光発電などの再生可能エネルギーに比べればはるかに有効な手段だと考えていますが、CO₂削減コストの観点からは、原子力や最新鋭の高効率コンバインド

サイクル（MACC）には劣るというのが実態です。しかし、原子力では立地制約、MACCではLNG等燃料資源の枯渇といった問題も考えていかなければなりません。やはり、エネルギーの安定供給の面で優位な石炭の環境改善を図るCCSは有力なCO₂削減手段の1つだと考えています。

電力会社としては、これまでもエネルギーの安定供給の観点から、電源のベストミックスも進め、同時に原子力の推進、火力発電の高効率化によるCO₂の排出抑制の取り組みを進めてきています。引き続きこの方向で地球温暖化抑制に資する取り組みを進めていきたいと考えています。将来、経済的な観点を勘案して、CO₂排出量の大幅削減を達成するために再生可能エネルギーの導入を図りつつ、原子力発電、MACCやIGCC等による発電の高効率化、CCSという3つの柱をやっていくことになるのではないかと考えています。発電側、需要側の双方からバランスよく温暖化対策を進めていくことが必要ではないかと考えています。

飯嶋 原さんが指摘された技術的課題、経済的課題について、まさにそのとおりだと思います。

技術的に、最新鋭の石炭火力でもCO₂回収に発電電力の20%を消費します。CO₂は重いので、石炭1トンからCO₂が約3トン出てくることになります。圧縮するだけでも発電電力の約8%を消費するのです。圧縮動力をいきなり半減というのも不可能です。やはり理論的にできることとできないことを見極めてCCSをやっていかないといけないと思います。IPCCの分析でも、CCSをつけると発電コストが数十%あがるとなっています。

経済的課題ですが、やはりベストはCO₂の有効利用です。大量に、経済的に使えるのはEORぐらいです。産油国との協調もなかなかできていませんが、先進国、産油国が協力しながら、石油の回収率を上げ、石油の安定供給に資する取り組みが必要だと思います。

村井 RITEは、3年ほど前にトヨタからの依頼で中国でCCSをEORに活用する調査を行なったことがあります。自動車は、行く行く電気に依存する。その電気は、やはり世界的に石炭火力に依存することになる。特に中国への展開を考えると、確実に石炭火力になる。その中でCO₂を減らす手はないかということで、石炭火力からのCO₂を中国におけるEORに使ったらどうかという提案がトヨタからなされ、その候補地を探すための調査をRITEが行なったのです。その結果を踏まえ、大慶油田でのEORを提案したところ、今、資源エネルギー庁の石炭課で本格的に調査するための具体的な交渉を中国側と行なって頂いています。そういう意味でEORというのは1つの糸口になると思います。

米澤 国際競争を展開する素材メーカーとして、現京都議定書に基づくルールでCCSを自ら行うとなると、如何にそのコストを圧縮してもCO₂排出削減義務を負わない海外同業者に比べて大きな経済的負担が発生し、国内生産の競争力が失われるばかりではなく、エネルギー効率の悪い海外での生産が増え、結果として世界的なCO₂排出量が増えてしまうという構造的な問題があります。CO₂排出の大幅削減技術としてCCSが重要な手段であることは前にも述べましたが、そのために自らできることは、CO₂分離回収を最小コストでやるための技術開発であり、CCSの経済的負担や社会的基盤の整備などは公共的な立場に立って国主導で進めて頂きながら、世界の鉄鋼業が共通の立場で地球温暖化対策に取り組むことができるルール作りを作り上げることが先ずは必要だと考えています。

また、CCSの実用化に関しては、貯留サイトと排出サイトという「動けない者同士」のマッチングといった別の課題があります。例えば、国内の発電所も製鉄所も貯留候補地と全く無関係に立地しているということ、またEORのようにある経済性を生み出せる場所は

国内には殆どなく世界的にも偏在しているということです。このような状況を冷静に認識した上でCCSが本当に国内のCO₂の抜本的削減策となりえるのかを判断していくことが重要だと思っています。

続きましてCCS技術の時間的な見方ですが、我々は、CCS技術そのものが今後100年、200年も有効な技術とは考えていません。というのは、現在還元剤として使用している石炭も限られた資源ですし、将来的には石炭に替わる還元プロセスに切り替えて行かざるを得ないからです。長期的には、水素、あるいは電気が鉄鉱石の還元に使われるようになるでしょう。世の中で言われているように、CCS技術は「グリーン電力」や「グリーン水素」ができるまでの「CO₂削減の架け橋的な技術」と考えています。

では、その逆にCCS実用化が何時なのかという時間軸ですが、この実用化時期の考え方によって我々が取り組んでいるCO₂の回収技術も変わってくるという問題があります。これまで我々は製鉄プロセスの関係で常温常圧のガスからCO₂を回収する技術として「化学吸収法」を中心に開発に取り組んできました。この回収技術は多くの熱を使用するという課題があります。一方、ヨーロッパでは「グリーン電力」普及を前提に、高炉から出るCO₂を電気を多く消費する「物理吸着法」で回収するという発想で開発に取り組んでいます。時間軸や周辺環境の見方によって周辺技術が変わり、結果としてCCSを構成する要素技術の適性が変わることを考えておく必要があるということです。短期的な技術開発ではないため、この議論を十分やっていく必要があると思っています。

最後に、日本の貯留ポテンシャルについては、早く明確な数値を出していただきたいと思っています。これがCCS実用化における大きな指標となるのですから、「RITEがやった調査を少しでも早く深めて頂きたい」それが正直な気持ちです。

赤井 CO₂の大幅削減として、供給側ではCCSによるゼロエミッション化、原子力、再生可能エネルギーの導入くらいしかありません。需要側では、なるべく電力、水素、バイオマスに集中することになると思います。バイオマスは単なる燃料でなく、カーボン源にすべきだというのが私の持論です。50～70%のCO₂削減となると、そういう極端な世界を思い描かざるを得ないと思っています。

原さんが課題として触れられたCO₂価値についてですが、私は基本的に技術屋であることもあって、ETS（排出量取引制度）のようなCO₂価値をマネーゲームの材料にする仕組みはとんでもないと思います。そういう仕組みに頼っては、30年、40年の投資を判断しなければいけないCCSのような技術の導入などできるわけがありません。ヨーロッパも「ポスト京都」ではETSの仕組みに替えてCCSの財源にしようというオプション方式を導入するとか言っていますが、所詮はETSに飾りをつけただけです。私は、30ドル/トン、40ドル/トンといった価格で実施可能となるというのはとんでもなくて、60/トン、80ドル/トン、場合によっては初期プラントだと100ドル、200ドル/トン以上の値段がないととてもやっていけないと思います。そういったものがこの先数十年にわたってミニマム価格として保証されない限り、投資はできないというのがビジネスではないかと思っています。部分的にETSのような仕組みに頼るのは良いかもしれませんが、安定した価格設定がないといけません。ですから、日本でもそういうマネーゲームに陥る危険性のあるオープンマーケットのETSが導入されることには個人的に反対です。それは短期的に効果がある形で民間事業者同士がやりとりする仕組みとして収めておくべきで、フリーの投資家が入ってくるような場には絶対しないで欲しいと感じています。

あと、個人的関心として、「ポスト京都」では、CCSをツールとできる国際連携の仕組み、即ち京都議定書における、クリーン開発メカニ

ズム（CDM）や共同実施（JI）的な“メカニズム”の導入が絶対必要だと思っています。CCSのCDMへの適用性については、日本からの2件の方法論の提案を契機として、数年にわたって議論されて、未だに結論が出ず、再度CDM理事会に返されています。実効的な排出削減効果が期待できるCCSがすんなりと認められないことも含めて、CDMの問題点は非常にクリアになってきています。1つのCCSプロジェクトで、今のCDMプロジェクトのいくつかに匹敵する効果のあるものについては、「ポスト京都」でニューメカニズムを作るべきだと思っています。その議論の中から、「原子力も同じだ」ということにならないかという絵を私は描いていますが、そういう議論なら、日本が世界を引っ張っていったいいかなと思っています。

司会 経済的なことを考えると、まずはEORでCCSを導入することになるという話がありましたが、EORは日本では基本的にできないわけですから、どこか海外へ持っていかなければいけません。輸送コストの問題、産油ガス国との協力関係など様々な課題がありますね。

飯嶋 東京電力も中東の発電所に一部出資されています。まず、そういうところでCO₂を回収して、ユーザーに供給することから取り組むべきだと思います。

経済性の面からは、当然、CO₂を有効に使うところからCCSを始めなければいけないのですが、日本での一番の問題はやはり貯留面だと思います。わが国は、堆積層が米欧に比べて少ないし、断層も多く、私は本当にどれくらいの量が貯留できるのだろうか？と思っています。是非、国として徹底的に調べて、できるだけ早く明確にしていきたい。欧米の動きがこの2、3年ものすごく加速しています。彼らの言うとおりに、2020年以降、新設火力は全部CCS付きとなりかねません。わが国ではCCSはここまでしかできないということが明確であれば、最終的に日本で回収



米澤 公敏

新日本製鐵(株) 技術総括部 部長
環境部環境リレーションズグループ 部長兼務
人事・労務部人材開発グループ 部長兼務

したCO₂を液化して産油国に持って行ってEORに使うなど、国際協調を含めて早めに取り組むべきだと思います。

原 私も個人的には、基本的には似たようなことを考えています。貯留部分で、日本の見通しがどうなるか非常に大きな課題です。日本には海外ほどの貯留ポテンシャルはないとも言われています。飯嶋さんがおっしゃったように、過渡期においては、分離回収したCO₂を輸送してEORに用いるのも選択肢の1つかなと思います。

村井 日本の貯留ポテンシャルについて、RITEで調査して、1,461億トン、現実的には52億トンぐらいではないかという報告をしました。地震探査船で石油、石炭等を調査したときのデータを用いて計算した結果です。本当はきちんとCCSのための調査、試掘、地震探査をやる必要があります。

それが日本CCS調査(株)がやろうとしている大規模実証です。2008年度は調査段階ですが、まさにサイト選定のところでは、貯留の可能性のある場所を具体的に調べて、21年度には実際にいくつかの掘削をやって確認していこ

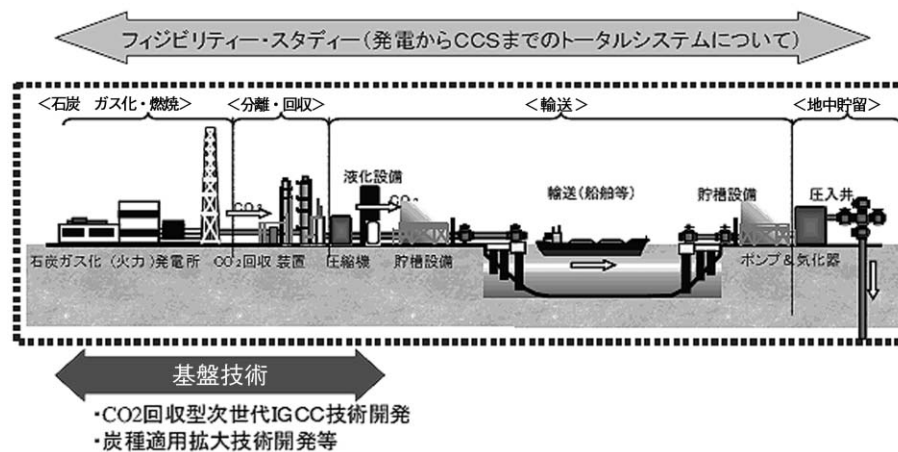


図2 NEDO「革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト」

うということに進んでいます。スピードが十分なのか。予算規模が日本として目いっぱいなのか分かりませんが、もっと予算があれば、もっと大々的に実証試験をやるべきではないかと思います。

マッチングの問題については、NEDO「革新的ゼロエミッション事業」の中で色々な検討が始まっています。これもフィージビリティスタディ段階で、実際に試掘をして確認しようという話はまだありません。また、この中にはマッチングのために船で輸送することをもう一度きちんと検討しようという動きがあると聞いています。船を使うとなるとコストが上がるのもやむを得ないと思いますが、日本としては取り入れていく必要があるのではないかと思います。

司会 NEDOの「革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト」には、当研究所も参加して、全体システム評価を担当しています。このプロジェクトの中では、具体的な地点を想定した上でのパイプラインや海上輸送を含む輸送方式の評価が行われています。ところで、枯渇油ガス田やEORの場合は、言ってみれば貯留ポテンシャルは石油ガスの生産段階で既に調査済みだということですね。一方、新たに貯留に適した地層を探しそのポテンシャルを評価するというのは莫大な費用が必要と考えられますが、この点について日本の状況については先ほどお

話しがありましたが、世界の状況はどのようなものでしょうか？

飯嶋 例えば、アメリカだと7つの地域に分けた「セブンリージョナルパートナーシップ」というのがあって、地域ごとに貯留地層の調査、一部試掘、少量のCO₂を入れての実験が結構広く実施されています。特にアメリカの場合、メキシコ湾岸には油・ガス田が多くCO₂を入れる場所がどこにでもあります。このように、貯留層の準備は割合進んでいます。

赤井 ヨーロッパやアメリカでも貯留ポテンシャルについて、RITEがやっているような活動をやっている、アメリカにも「アトラス」という全米賦存量マップみたいなものがあります。その他に、中国やインドの評価をしようという活動も国際協力で行っています。しかし、日本がそれほど遅れているというわけではありません。

ただ、私の問題意識はスピード感にあります。私が注目してきたのは、ヨーロッパやアメリカの戦略的なプログラムの組み方です。アメリカでは、連邦レベルのプロジェクトと「リージョナルパートナーシップ」の活動との組み合わせでCO₂隔離を根付かせるために必要な投資が行われてきています。それに比べ、日本のCCS投資は、予算編成を見る限り、そうではない期間が長く続いてきたと思います。今回の大型実証

の圧力があって初めて、数百億円規模の資金をつぎ込もうということになってきました。

戦略的取組みという点では、多分、欧米から比べると日本は10年近く遅れているという気がします。逆に、日本はその方向にいけばモメンタムも強くて、政権が変わったぐらいで予算が大幅に削減されたりはしないという良さがあります。今回の日本CCS調査(株)の大規模実証への投資を契機にそのような方向に進むのではと期待しています。しかし、大規模実証への関心に集中しがちな時期だからこそ、逆にRITEでやってきた、あるいはこれからやろうとしている地に足のついた研究の重要性が絶対に高まってくると考えています。

米澤 2009年という今の時期、我々はCO₂削減策として広く選択肢を見ながら考えており、分離回収も我々のスケジュールで進めているというのが実状です。我々は、2050年には現在国内鉄鋼業から排出されている二酸化炭素2億トンのうち2～3割を削減することを先にご説明しました。今現在、1カ所の製鉄所からのCO₂排出は年間約1,500万トンです。そうすると年間300万～400万トンのCO₂を1カ所の製鉄所で削減する必要があります。CCS技術かつ国内で対応するとした場合、それだけのCO₂貯留ポテンシャルが近辺にあることが必須条件となります。技術を実証することも大事だとは思いますが、結果としてミスマッチに至ることがないように、グローバルな戦略について国と良く議論しておくことが先決だと考えています。

赤井 米澤さんが言われたように、1カ所で数百万トン、地域によっては発電所も製鉄所もあって、集中してCO₂が出てきます。そういう場所の側に、年間1,000万～2,000万トンのCO₂を圧入できる貯留サイトがなければ、いきなり経済性が落ちるのです。そうすると、CCSをやるかやらないか判断が変わってきます。ですから、国が本当にやるべきことの1つは、少なくとも何カ所か確実な貯留サイト

を示して、産業界の投資判断の根拠の1つになる情報をそろえることだと思います。

米澤 グローバルな視点に立てば、豪州から石炭を買ってきて、結果として排出されるCO₂を液化して豪州に返すといった解もあると思います。今、8,000円／トンで議論している経済性が2,000～3,000円／トンまで縮まってきた時に、適用可能な輸送コストが算出されてくると思います。欧米では、EORの場合、CO₂を200～300km運んでいると聞きます。ですから、CO₂発生源と貯留サイトとの距離的なマッチングは重要判断項目ではありますが、マッチングしていなくても解があるのではないかと考えています。

赤井 ヨーロッパでも、北海では、排出源との距離などの点で経済的に有利ではあってもそれほど規模の大きくない貯留層が存在しています。このような貯留層をターゲットとして巨大な投資が必要なパイプラインを敷設してしまったら後の負担が大き過ぎるというので、船で輸送して1つの貯留層がいっぱいになると次の貯留層に入れるということも考えられています。CO₂の船輸送は必ずしも日本だけが考えている話ではないと思います。

CO₂の船輸送ということになると、日本の良い点は、ほとんどの大型排出源が海側にあることです。また、最近になって一部のNGOから、内陸にある発電所にCCSを付けた時の水の大量使用が問題だという指摘がなされています。河川沿いに立地するプラントにおいて冷却塔で大量の水を使用している場合については、使用済みの水を環境負荷の小さな形で循環できるかという問題が出てくると思います。しかし、日本は幸いにそういう問題がなく、それが日本のメリットになるのではないかと考えています。

司会 先ほど米澤さんのおっしゃったことですが、日本の発電所・製鉄所を考えると、1

つの排出源からのCO₂排出量でもすごく大きいので、基本的に液化して海外に運んでいかなければならない可能性が高いということでしょうか？

米澤 そこは戦略の中で色々な組み合わせがあると思います。海外も含めて、広くFSを実施していかなければいけません。もちろん近くに十分な貯留サイトがあるかも知れません。色々な組み合わせを考えること、国内外の貯留ポテンシャルを検討してもらいたいと思います。

原 色々なCO₂削減策があるので、それとの整合性を図っていかなければならないと考えています。CO₂の削減価値についてコンセンサスが得られ、社会的価値として利用されてくれば、その中で長期を見通して原子力がいいのか、CCSがいいのかという話もあります。CCSの採用に関しても、何でもかんでもCCSが良い、技術開発の成果を必ず使うということでもなく、事業者がメリット・デメリットを考えて導入するかしらないか決めるという話もあります。CCSだけについても日本で貯留する道も、海外に輸送していく道もあります。

分離回収を1つの技術、輸送貯留もまた別の技術と考え、それをいかにコンバインして経済的に成立させ、CO₂を減らしていくかといった戦略が必要ではないかと考えています。

今後の展望

司会 今、CCSの課題について色々な側面からお話しいただきました。既に今後の展望についてもかなりお話しいただいていると思うのですが、さらに追加のご発言をいただきたいと思います。

原 政策面では、法令や安全基準の整備が必要だと思います。価格の話も含めて社会的受



飯嶋 正樹

三菱重工業(株) 機械、鉄構事業本部
プラント・交通システム事業センター
環境・化学プラントプロジェクト部
技監・主幹プロジェクト統括

容性をどうしていくのか。最終的なCCSの導入の可否については、技術的、経済的な評価結果のもとに事業者で判断していきたいということが政策的課題だと思います。

研究開発面での展望としては、我々がコミットしている分離回収部分の低コスト化、設備の大容量化、コンパクト化が必須だと思います。これら課題は簡単に解決できるものではありませんが、課題解決に向けてできる限りCCSの研究開発をやっていないと、なかなか経済的な判断のところに辿り着かないだろうという認識でいます。リスクも大きく、非常に長期にわたるCCSのような技術については、やはり国主導のプロジェクトを前提として、これに協力して技術開発に取り組んでいくという姿勢でいきたいと思っています。

電気事業としての展望ですが、やはり3Eの同時達成を大きなミッションにしています。そのためにはできるだけ環境負荷の小さい石炭の高効率利用ということで、CCSへの期待は大きいです。ただ、経済的な痛みを国民が背負わなければいけないということなので、その辺のバランスを考えていかないとはいけません。そんなことから、まずは原子力の利用率向上、火力の高効率化、省エネ

ギー技術といった、経済的負担が小さい対策を着実に進めていくことが必要だと思います。特に、火力の高効率化はあらゆる面で進めています、やはりCCSによる効率低下はどうしても否めません。ですから、火力発電の高効率化にはかなり積極的に取り組んでいくべきだと思います。

CO₂の大幅削減という観点から、CCSは有望な技術です。経済的な課題を解決することで温暖化対策の切り札になる技術に仕上がってくればいいなと考えているわけですが、とにかく国の主導するプロジェクトに積極的に協力して、CCSを実現させたいというのが電力会社としての立場です。

米澤 繰り返しになりますが、国内鉄鋼業は2020年までの中期に関しては、抜本的な削減が非常に難しい中で、省エネルギー技術の海外移転、革新的な要素技術の開発で足下を固めていこうと考えています。2050年に向けての抜本的な対策の1つとして、CCSは非常に重要だと思っています。これについては電力とまったく同じで、まず経済的な負担に関する受容性や長期のモニタリングといった社会インフラは、国主導で明確な指針を検討していただきたいと思っています。

開発面では、こういった製鉄プロセスが将来考えられるのか、「化学吸収法」によるCO₂回収に限定することなく、選択肢を広げ、「グリーン電力」や水素も含めて、既成概念にとらわれることなく開発を進めていきたいと思っています。

いずれにしろ、国の主導は出口を強く求めているのですが、まだ我々は模索段階ですので、色々な選択肢を消さずに、基本方針を固めるまでの最初の10年は研究開発の支援、あるいは、産官学の協力でじっくりと研究開発をやっていきたいと思っています。

そのためにも、最初の10年は出口議論に偏ることを避け、産官学の協力でじっくりと研究開発をやっていき、骨太の基本方針を固め

て行きたいと思っています。

飯嶋 まず政策面での要望です。CO₂は世界のどこで減らしても温暖化対策としての効果は同じです。そういう意味で現在CDMとして自体がCCSが認められていませんが、「ポスト京都」でのいい枠組みをつくって頂いたり、やはりわが国では貯留ポテンシャルで不安があるので、世界のどこで減らしても良くて、それをわが国主導でやれば、減らした分にカウントされる仕組みを早く作って欲しいし、そういうことが具体的にできるように、海外との働きかけをしていくべきではないかと思っています。1つは産油国とEORでやれば、場所によってはコストをかけずに儲かるビジネスにもなり得ます。

研究開発の面では、大規模実証の実施で技術が進歩すればコストも下がってくるだろうし、それを早くやりながら、商業的に使えるようにしていかなければいけません。我々、プラントメーカーとしては、ビジネスが完全にグローバル化している今、技術開発を継続しながら、世界中に先進技術を提供することで、国内の雇用維持もできるのではないかと。それに引き続き力を入れていくことにしています。

村井 RITEとしては、今まで実証試験をやってきて、今度の日本CCS調査(株)の大規模実証試験に大変期待しています。

1つは、コストの見直しができることです。もう少し実際のデータが出てくることを期待しています。今は3,000円／トンが目標になっていますが、実際にいくらかかるかははっきりしてくると思います。

貯留では、現在、1つの井戸で圧入できるCO₂量は10～50万トン／年ぐらいではないかと思っているのですが、実際に日本の数カ所でやれば一体どのぐらいになるのか、その見極めができるのではないかと。それが日本における貯留ポテンシャルの判断要素になると思います。

また、今回初めて、CO₂を回収し貯留するという一貫システムをやるので本当の作業上の問題が把握できると期待しています。

それから、技術的には、大偏距掘削で沿岸から海底下へ斜め掘りがやられると思います。その技術が本当にCO₂の場合に使えるのか。それもはっきりするということで、期待しています。

RITEとしては、社会インフラのベースになる安全、環境面に注力して、支援していけるところを開発していければと思っています。

国には全体をバックアップしていただきたい。また予算規模ももっと大きくしていただくと、もう少し色々活動できるとしています。

赤井 CCSの今後については、2020年までに、どのくらいの規模のCCSが、どのくらいの数できるのか注目点だと思います。

しかし、そもそもなぜ日本がCCSをやるのか。例えば、2050年に50%、80%といったCO₂の大幅削減が必要だということに対して、たとえコストがかかろうとCO₂を削減するんだという点について、政策担当者と一般人を含めた合意があれば進む話かも知れません。しかし、現状ではまだ合意を得るのはなかなか難しいと思われます。「日本だけが8割削減しました」と言えれば、なかなか格好いいかも知れませんが、それは難しいと思います。ただ、例えば、日本が中期目標と長期目標を合わせた目標設定を含めたシナリオを書いて、「ポスト京都」の新メカニズムの検討、船での輸送といったオプションも含めて、日本が世界でどうやってお金儲けをしていくかアイデアを検討してみて、これは50%削減ぐらいやっても、もしかしたらうまくやれば儲かるかもしれないという絵が描ければ、例えばCCSなどの削減技術に対するインセンティブも働くのではないのでしょうか。どういうアイデアがあるのかといわれても即答はなかなか難しいのですが。

そんな観点から、産業界の方々は色々検討



正田 知 士

(財エネルギー総合工学研究所
研究理事)

されているとは思いますが、やはり地球のことも大事ですけど、日本がどうやって子孫に良い社会を残せるかというのも大事で、日本の生きていく道を前提として、考えてみるというのも面白いかなと思っています。

司会 わが国が世界的な視野を持ってCCSの戦略を策定していくためには、まだまだやるべきことが沢山残されているということですね。

赤井 CCSを日本がやるべきかやらざるべきか、その判断はなかなか難しいと思います。技術開発が大切なのは違いないので、国内で2つ、3つの大規模実証はやっていいと思っています。その先やっていいかどうかは私自身もまだ判断がついておりません。

私自身は、20年前から、CCSはプラントのサイクルにしてせいぜい一世代から二世代に対して適用する技術であるべきで、2100年にはもうやめようよという風潮になってなければいけないと考えています。化石燃料に依存しつつCO₂排出削減のためにCCSに頼るというエネルギー供給構造に執着していると、比較的資源量の多い石炭であっても、確認埋蔵量からいくと、多分21世紀中にはピークを迎えてしまうと思います。実際には石炭は現在の

確認埋蔵量の10倍ぐらいあるといった説もありますが、それでもサステイナブルではない。CCSをブリッジングテクノロジーと呼ぶのはこれを意味していますが、実際には化石燃料使用とCCSの組み合わせに反対する環境NGO等を懐柔するために、いわばポーズとして使われる向きもあるという印象を持っています。これは、殆どの長期的エネルギーシナリオ分析の結果においてCO₂排出削減へのCCSの寄与が2050年、2100年に向けて単調に増加するという傾向が示されるということにも現れているのではないのでしょうか。そうではなく、CCSがブリッジングテクノロジーであるということを明確に示したシナリオが必要だということです。私自身も、長年苦勞してやっと、ある極端な仮定の下で初めて、2070年ぐらいでCCSがピークを打ってフェードアウトしていくというシナリオを描けたところですが、ブリッジングテクノロジーと主張するのなら、そういったシナリオを共有することも必要ではないのでしょうか。

司会 ありがとうございます。CCSに深い関心をお持ちの皆様方にお集まりいただいて、

いろいろ語っていただきました。基本的には、石炭はCO₂の大発生源ではあるけれども、今後も非常に重要なエネルギー源として使われ続けるであろうと考えられる。言うまでもなく、石炭以外の化石燃料も使い続ける。だからその利用の高効率化およびCCSが温暖化対策として非常に重要で、かつそれに対する期待は大きい。しかしながら、同時に大変な課題があちこちにたくさんありますよと、こういうことをお話しいただきました。CCSに必要な大量のエネルギー消費の削減および貯留場所の確保が課題であり、これらの克服のために、様々な技術開発、貯留地点の選定および貯留ポテンシャルの評価、国際共同が重要であることが指摘されました。莫大なコストが予想されることについて政策的な支援が必要であることも指摘されました。

本日のお話が季報の読者さらには社会のCCSについての理解を深め、将来のCCS進展の力になればと期待しております。本日は本当にありがとうございました。

[寄稿]

超臨界CO₂を作動媒体とする ガスタービンの研究開発



宇多村 元昭 (東京工業大学原子炉工学
研究所 特任教授)

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 部長)

有富 正憲 (東京工業大学
原子炉工学研究所長 教授)



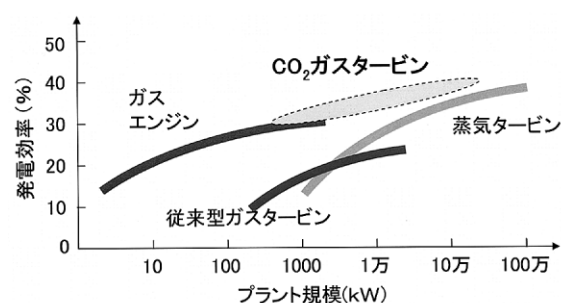
1. 緒言

二酸化炭素 (CO₂) を臨界点近傍の超臨界状態で圧縮すると、実ガス効果により理想気体に比べて所要動力が減少する。また、CO₂は常温近傍に臨界点がある。これらの熱力学的性質を組み合わせると、理論上はCO₂を作動流体にして中低温度域の熱源から高い熱効率のガスタービンサイクルを構成できる^{(1),(2)}。これを実現すれば、未利用の低温工場排熱や再生可能エネルギーから発電できる。しかし、蒸気ランキンサイクルを凌駕するほどの熱効率を得るには、サイクルに含まれる再生熱交換器の温度効率を95%以上にする必要がある。ゆえに、CO₂サイクルの実用化には、耐圧性に優れた高性能コンパクト熱交換器の開発が必須である。著者らは、水力径が0.5mm程度の流路を刻んだ複数の金属板を拡散接合により一体化したマイクロチャンネル熱交換器を開発し、その伝熱相関式と熱交換器の設計手法を明らかにした^{(3)~(5)}。この熱交換器は、母材の強度を保持できるので耐圧性に優れ、単位体積あたりの伝熱面積が非常に大きい。他方、作動流体が超臨界CO₂の擬臨界

点を通過するので再生熱交換器のピンチポイントが器内に生じ、この現象が所要の再生効率の達成を阻害することがわかり、これを緩和するサイクル構成の特性を明らかにした⁽⁶⁾。これらの要素技術をもとに超臨界CO₂ガスタービンの原理検証実験を計画した。本報告では、サイクルの原理、要素技術ならびに小規模実験の概要と設計課題について述べる。

2. 市場と特徴

図1は各種発電方法の効率のトレンドを発電容量に対して示したものである。最近の技



(石炭・重質油の利用の場合、HHV基準、GE・従来型GTはガス化効率75%と仮定)

図1 発電効率とプラント規模の関係

術革新で、1MWe以下ではガスエンジンが、また、500MWe以上の大容量では蒸気タービンの効率が高い。超臨界CO₂ガスタービンはそれらの中間の容量（1～100MWe）の市場をターゲットにし、産業用蒸気タービンの取替え需要を想定している。ガスエンジンは大容量化の傾向があるが、内燃機関でありクリーンな燃料を対象とするのに対して、CO₂ガスタービンは閉サイクルの外熱式なので、熱源の選択範囲が広いという特徴がある。例えば、バイオマスの燃焼ガスや高炉ガスなど粒状物質を含むガスも熱源として利用できる。

3. 超臨界CO₂ガスタービンの原理

(1) 圧縮率係数

ガスタービンの熱サイクルから取り出せる正味の仕事Qは、式（1）のように、タービンの仕事W_tから圧縮に必要な仕事W_cを引いたものになる。Wは式（2）のように定義され、

圧縮率係数 z の関数になる。一般のガスタービンに用いられる作動流体の z の値は、1 の近傍でほとんど変化しないが、超臨界CO₂ではこれが大きく変化する。

$$Q = W_t - W_c \quad (1)$$

$$W = \int_{P_1}^{P_2} V dP = \int_{P_1}^{P_2} z(P, T) \cdot R T dP / P \quad (2)$$

t: タービン c: 圧縮機 R: ガス定数, P: 圧力, T: 温度

図2はCO₂の圧縮率係数 z の圧力、温度依存性を示す。臨界点（T=304 K, P=7.38 MPa）の近傍では z が急激に減少する。z が小さい経路に沿って圧縮すると、式（2）により圧縮動力を低減できる。そこで、臨界点近傍で圧縮機を動作させ、理想気体に近い（z が1に近い）領域でタービンを駆動すれば式（1）でQが大きくなり効率の高い熱サイクルを構成できる可能性がある。図3はタービン仕事に対する圧縮仕事の割合を示す。従来のオープンサイクルに比べて、CO₂サイクルでは圧縮動力が大幅に低減し正味出力が増大することが分かる。

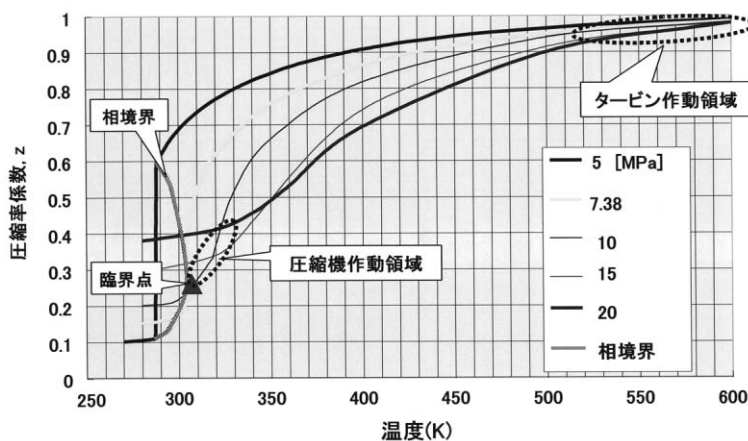


図2 CO₂の圧縮率係数zの圧力・温度依存性

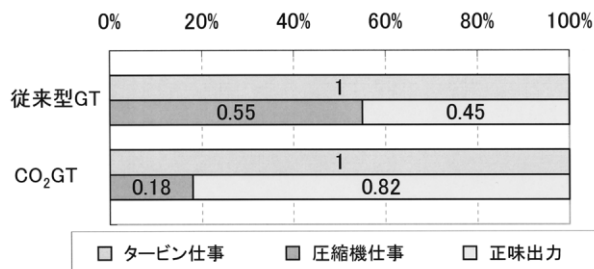


図3 タービン仕事に対する圧縮仕事の割合の比較

(2) クローズドブレイトンサイクルとその課題

図4はクローズドブレイトンサイクル（以下ブレイトンサイクルと略称する）と呼ばれる。外部熱源から熱の供給を受けて発電する場合の最もシンプルなサイクルである。圧縮機で加圧された作動流体は再生熱交換器と加熱器で加熱された後、タービンで膨張仕事をする。この一部は圧縮機の動力に消費され、残りで発電する。タービン排気の持つエンタルピーは再生熱交換器で回収され、冷却器で温度を調節された後に圧縮機に導入される。このサイクルの中で作動流体が最も低温低圧となる圧縮機入り口で、超臨界圧を保持し、温度を臨界温度よりやや高い位置に設定する。

このサイクルの熱効率を表1に示す条件により計算した。断熱効率の入力値は最新鋭のターボマシンの値を採用した。結果を図5に示す。タービン膨張比が1.2～1.7の範囲に解が存在していない。仮に解があればその領域に熱効率が最大になる傾向がみられる。解が得られないのは、次項に述べる再生熱交換器の伝熱制限によるもので、これによりタービン入口温度800Kの場合の熱効率は38%に制限されている。

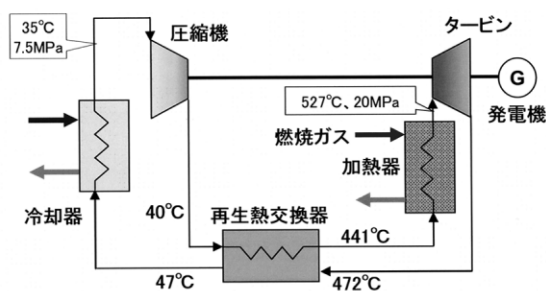


図4 クローズドブレイトンサイクル

表1 サイクル計算条件

項目	単位	値
冷却器出口（圧縮機入口）温度	K	308
タービン断熱効率	-	0.93
圧縮機断熱効率	-	0.9
加熱器圧力損失係数 PR_{HXY}	-	0.012
冷却器圧力損失係数 PR_{PHY}	-	0.01
再生熱交換器温度効率 η_{hx}	-	0.98

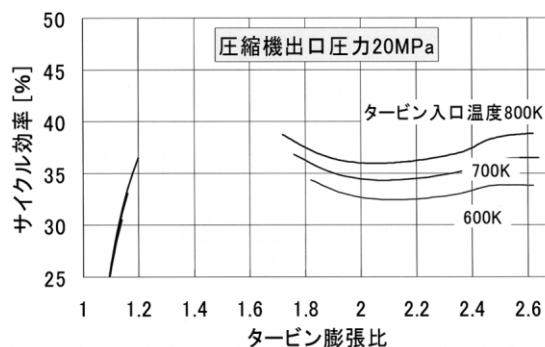


図5 サイクル効率とタービン膨張比の関係

4. 伝熱制限とその対策

(1) 伝熱制限

図6は、図5のタービン入口温度800K、タービン膨張比1.73における再生熱交換器内のCO₂の温度分布を示す。流体は対向流で、高温側温度効率が0.98に保持されている。高温側温度効率は次式で定義される。

$$\eta_{hx} \equiv (T_{li} - T_{le}) / (T_{li} - T_{2i}) \quad (3)$$

添え字1: 高温, i : 入り口,
添え字2: 低温流体, e : 出口

高温流体の圧力は20MPa、低温流体では7.5MPaである。流体間温度差が最小となるピンチポイントは、物性値が一定とみなせる場合は通常高温側流体の出口に生じる。この場合、伝熱面積を増せば η_{hx} は1に漸近する。しかし図6の場合はこれが器内（距離0.6付近）に存在している。ピンチポイント温度差はゼロ以下にはなれないので、高温側流体の出口温度 T_{le} は伝熱面積を増やしてもある値以下に

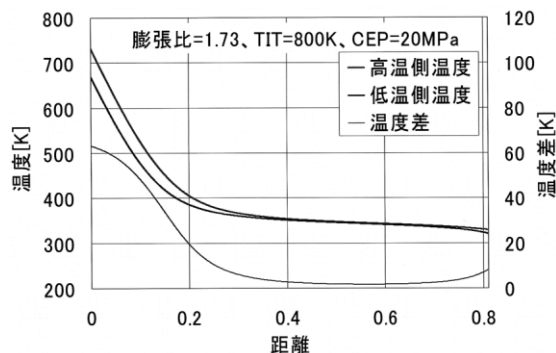


図6 再生熱交換器内の作動流体温度分布

はなれない。このため、高温側温度効率に上限が生じ、その値が所与の値0.98より小さければ設計条件を満たす熱交換器が作れない。この原因は、超臨界CO₂の物性値、特に比熱の振る舞いにある。図7は擬臨界点近傍の物性値の変化を示す。擬臨界点は物性値が極大もしくは変曲点を持つ位置の圧力・温度の組み合わせで定義される。図より擬臨界点で比熱が極大値を持つことがわかる。臨界圧力に近づくほど極大値は大きくなる傾向がある。臨界圧力に近い高温流体が熱交換器の中でこの近傍を通過すると、高温流体の軸方向温度変化が小さくなり、流体間温度差が縮小し、それが高じるとピンチポイントが内部に発生する。

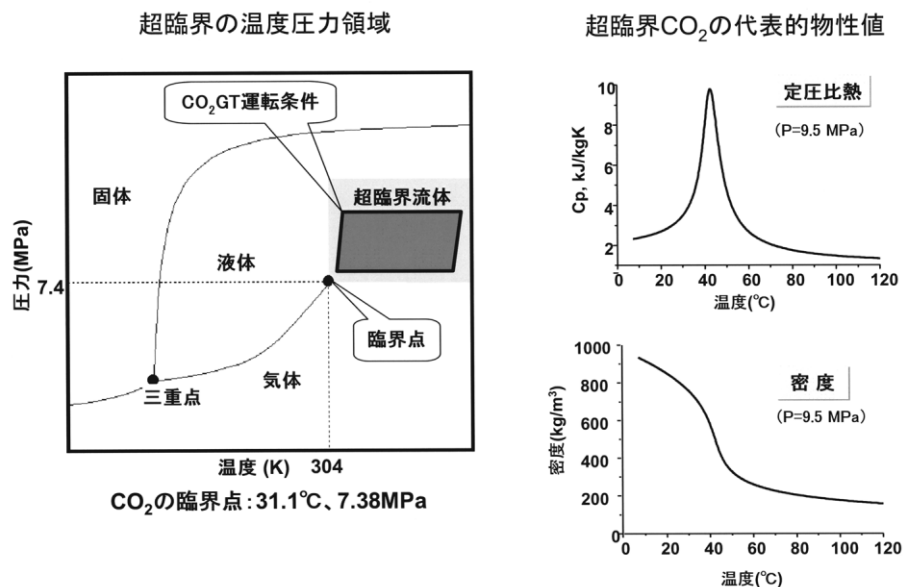


図7 CO₂相図と臨界点近傍での物性値の変化

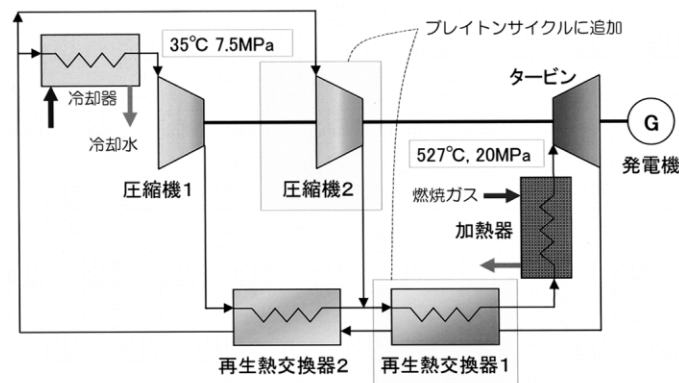


図8 分流再圧サイクル

(2) 分流再圧サイクル

伝熱制限を緩和するためのサイクル構成(分流再圧サイクル)を図8に示す。このサイクルの特徴は、圧縮機を増設するとともに再生熱交換器を2分割し、ピンチポイントが発生する熱交換器を高温流体下流側に位置する再生熱交換器2に隔離する点にある。これにより、容量の大きい再生熱交換器1で高い温度効率を確保して全体の再生効率を向上させ、高いサイクル効率を得る。高温流体を再生熱交換器2の出口で分岐し、一部のみを冷却するため、系外に捨てる熱が少なくなる分、熱効率が向上すると理解することもできる。表1の計算条件での本サイクルの熱効率予測値を図9に示す。タービン膨張比は2.3とした。

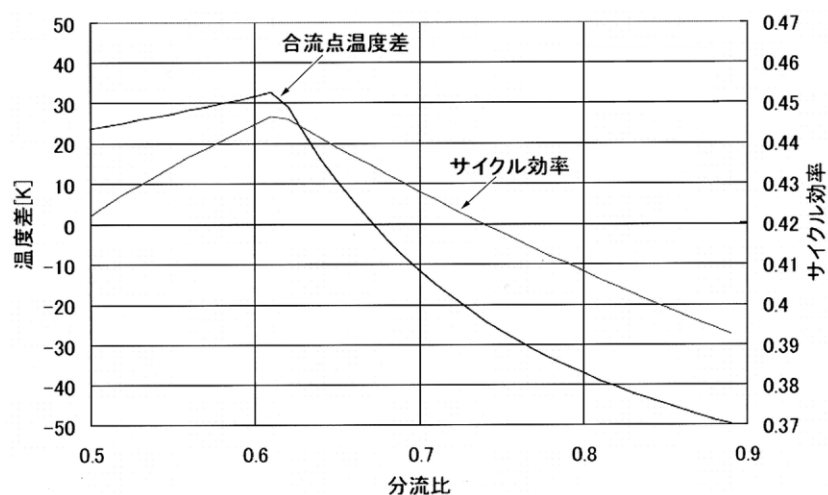


図9 分流比が熱効率に及ぼす影響

熱効率は分流比（＝被冷却流体循環量/全循環量）の関数になり、サイクル合流点で2つの支流の温度の一致を要請しない場合、最大値は44.6%になる。このときの分流比は0.61、温度差は32 Kである。他方、分流比が0.66で温度が一致し熱効率は最大値より1 %程度低下する。分流再生サイクルはブレイトンサイクルの熱効率を8%程度上回り、伝熱制限の緩和に有効であることがわかった。

分流比に最適値が存在する理由は以下の通りである。ロス法の考え方に立脚すると、分流比を低下すれば熱効率が增加するのは理解できる。分流比0.61から熱効率が低下に転じるのは、圧縮機1側の流量が低下すると再生熱交換器2の出口温度が上昇し再生熱交換器2に内部ピンチが生じて再生効率が低下するためである。

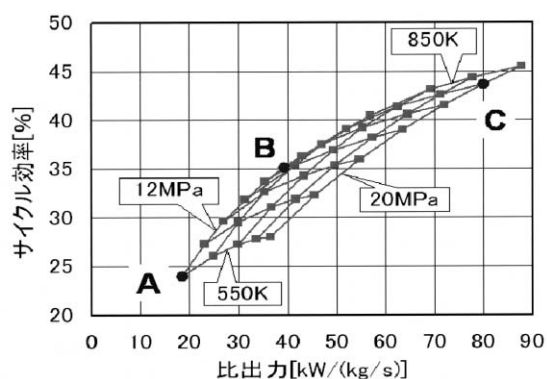


図10 サイクル熱効率と比出力との関係

図10は所与のタービン入り口条件（温度，圧力）ごとにタービン膨張比を最適化した時の熱効率と比出力との関係を示す。この計算では合流点での流体温度は等しいと仮定した。図中の記号A，B，Cは開発のステップを示している。後述する原理検証実験の条件はA（TIT=550K, CEP=12MPa）である。

図11は熱効率に対するタービンと圧縮機の断熱効率の感度解析結果を示す。タービンの断熱効率低下0.2（絶対値）に対する熱効率の低下が8%（絶対値）に対し、圧縮機では4%の低下（絶対値）とタービンの2分の1と感度が低い。これよりタービンの断熱効率向上がより重要であることが分かる。

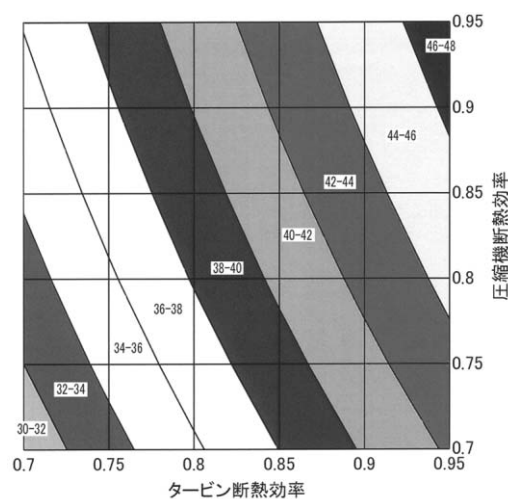


図11 断熱効率が熱効率に及ぼす影響

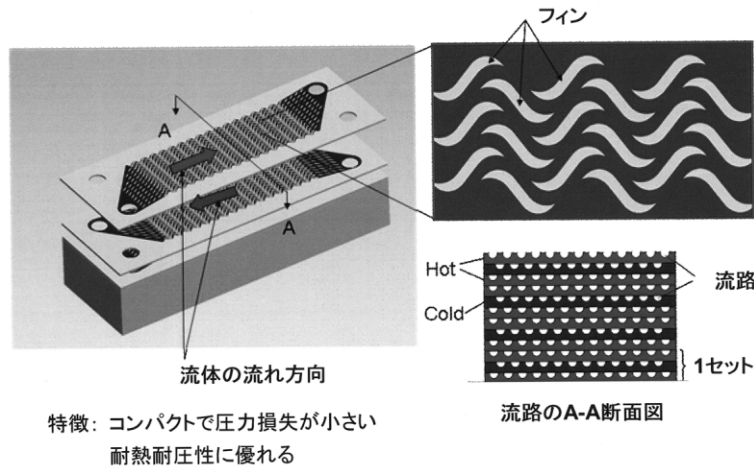


図12 S字フィンマイクロチャンネル熱交換器

5. 再生熱交換器の開発

(1) マイクロチャンネル熱交換器

高い熱効率を有する超臨界CO₂ガスタービンを実現するには高温側温度効率が0.98という高い値を達成できるコンパクト熱交換器の開発が必要である。従来、CO₂ガスタービンの実現を阻んでいたひとつの理由がここにある。図12に実験機で採用予定のマイクロチャンネル熱交換器の概要を示す。厚さ1mm程度の金属プレートに2次元流路を刻み、低温流体のプレートを高温流体のプレートで挟んで重ね合わせたものを一組として複数組積層している。積層した板を拡散接合するとプレート間の境界面が消失し一体化するので、母材

の強度を保持できる。耐圧・耐熱性に優れた構造であり超臨界CO₂サイクルに好適である。

著者らは図示するようなS字フィンの流路構造を開発した。この伝熱面はHeatric社の従来品（ジグザグ流路）に比べて低圧損（従来比4分の1）である⁽⁴⁾。超臨界CO₂試験ループの実験から得たS字フィンの局所伝熱係数と圧力損失係数の相関式は次式で与えられる。

$$Nu = \alpha D_h / \lambda = 0.219 Re^{0.619} Pr^{0.358} \quad (4)$$

$$f = \Delta P \left(\frac{D_h}{L} \right) / \left(\frac{\rho}{2} G^2 \right) = 2.294 Re^{-0.25} \quad (5)$$

$$D_h = 4V / A \quad (6)$$

実験範囲は、2.5 < P < 12.5 MPa, 298 < T < 553 K, 0.59 < D_h < 3.2 mmであり、式 (4) (5) (6) は

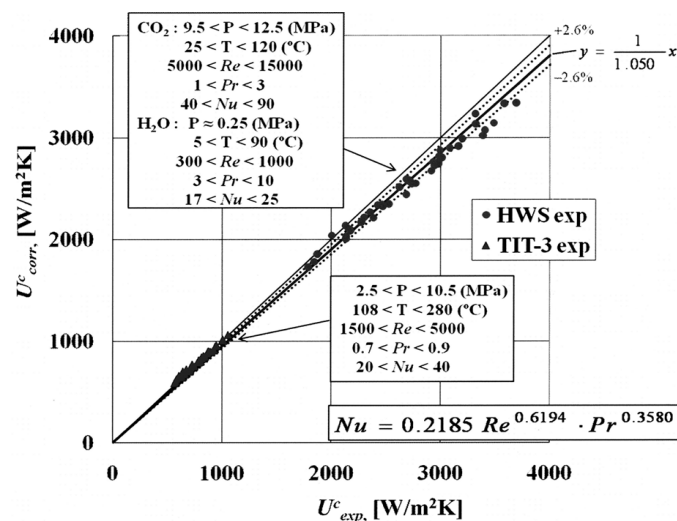


図13 伝熱相関式の精度検証

水とCO₂の両方で成り立つ。図13は平均総括熱伝達率の実験値と式(4)を用いた予測値との比較を示す。両者の誤差は5%である。式(4)の伝熱係数は円管における強制対流熱伝達率を与えるDittus Boelterの式の約2倍大きい値を与える。

(2) 再生熱交換器の温度効率の影響

圧力損失係数を入力値として与える代わりにサイクル計算に式(4)(5)を取り込み、再生熱交換器の必要伝熱面積と圧力損失を求めた。こうすることにより、サイクルの最適解が得られたときに同時に熱交換器の寸法が求まる。すなわち、サイクルからの要請と整合性が取れた

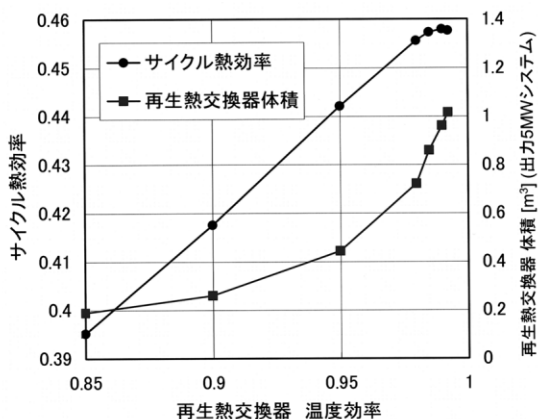


図14 再生熱交換器温度効率と熱効率の関係

形で熱交換器のハード仕様を決定できる。結果を図14に示す。横軸は高温側温度効率である。サイクル熱効率は温度効率98%付近でピークを示す。これより温度効率を上げると、熱交換器が長くなり圧損が増大してタービン入り口圧力が下がる負の影響が、温度効率を上昇させる正の効果を上回るからである。温度効率が95%以上になると必要長さ(体積)が急激に増える。適正な温度効率の選択はプラントコストミニマムの視点から定める必要がある。図15は、発電出力5MWeの実機を対象として再生熱交換器を設計した例を示す。熱交の形式、マイクロチャンネル熱交換器の材料、S字フィンの寸法(水力等価直径0.59mm(MCHE1)と1.06mm(MCHE2))をパラメータにした。高温側温度効率を95%とした。MCHE1の所要体積は円管熱交の120分の1である。材質による差は小さいので、耐熱、耐圧性を考慮して、SUS材を選択するのが適当と考えられる。

6. ターボマシンの設計

(1) 2.3MWe級実機の概念設計

Meanline法に基づきターボマシンの形状、寸法と空力特性を評価した。設計評価ツール

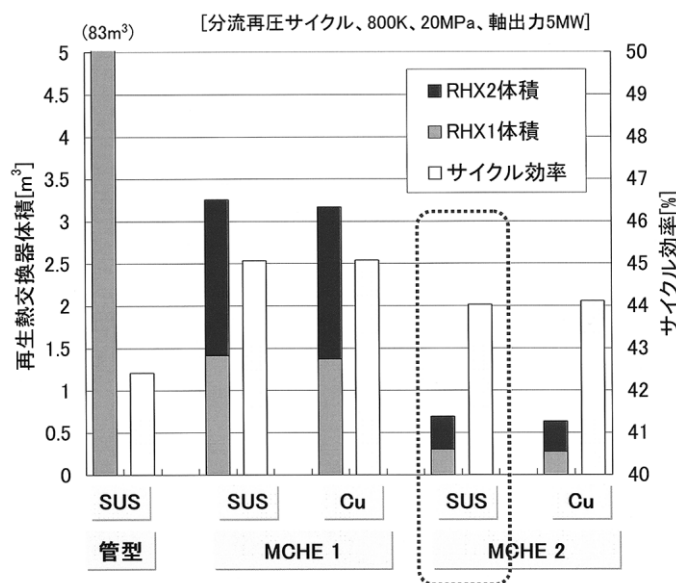


図15 5MWe級発電容量の再生熱効果木の所要体積比較

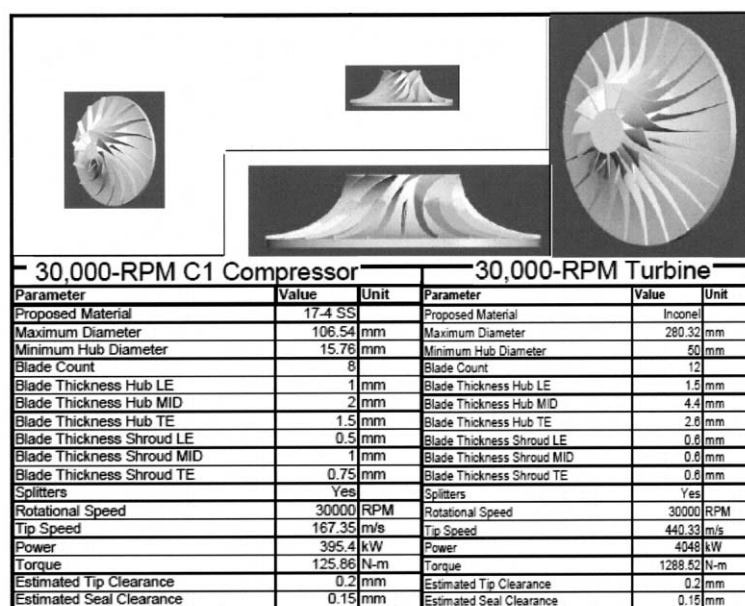


図16 2.3MWe級ガスタービンの圧縮機（左）とタービン（右）の寸法仕様

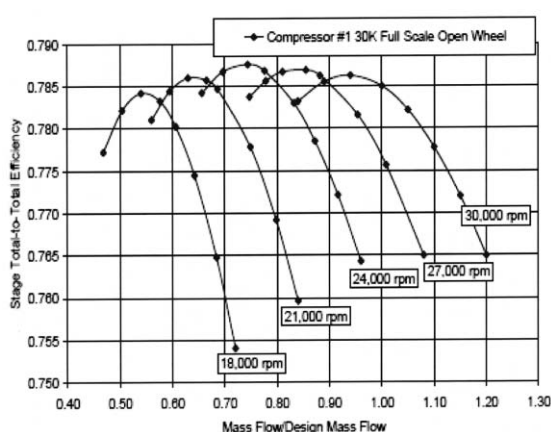


図17 圧縮機1の部分負荷運転時の断熱効率

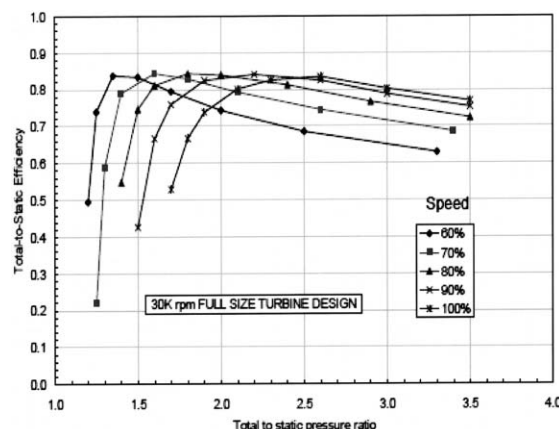


図18 タービンの部分負荷運転時の断熱効率

として、Concepts NREC社のCOMPALとRITALを用いた。物性値関数にはNISTを用い実ガス特性を考慮した。計算条件は、TIT=823.2K, CIT=305.2K, CEP=20MPa, タービン膨脹比=2.8, 定格回転数は30,000rpmとした。既出の図10のC点に近い設計条件である。図16は圧縮機1とタービンの翼車形状と寸法を示す。圧縮機・タービンともにラジアル型で、圧縮機は8枚の羽とスプリッターからなり、タービンは翼車径が大きいのので12枚の翼と同数のスプリッターからなる。翼車外径はそれぞれ、106mm, 280mmである。図17, 18は圧縮機とタービンの部分負荷特性を示す。両方

とも適切な運転線を選べば、60%回転数まで定格運転時の断熱効率の値（圧縮機で0.785, タービンで0.84）を維持できる。サイクル熱効率、既出の図11より、40%程度となると予測される。

（2）実機の寸法

産業用発電設備としては、スペース効率は実用化に重要なファクターである。図19は出力2.3MWeの実機の寸法を、2 MWeの蒸気タービンと比較して示す。市場で調達可能な永久磁石型の発電機を想定した。超臨界CO₂ガスタービンの体格は、蒸気タービンの2分の

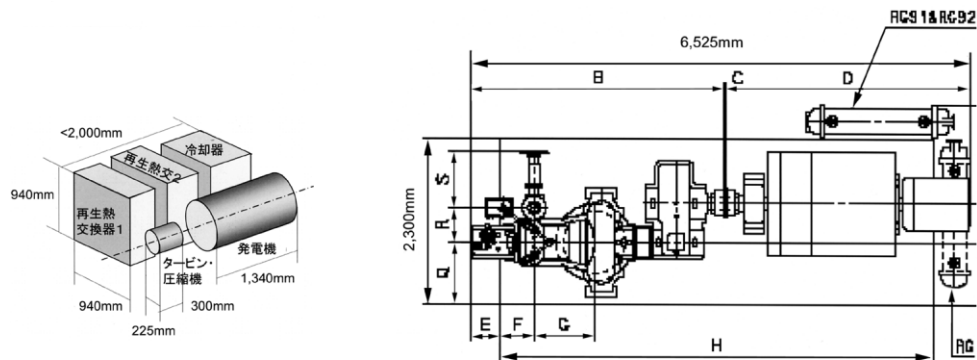


図19 2.3MWe臨界CO₂ガスタービン（左）と2MWeの蒸気タービン（右）の体格

1程度であるが、蒸気タービンにはこの他に復水器、給水加熱器、給水ポンプなどが加わり、それを含めたスペース効率を比較すると、超臨界CO₂ガスタービンがいかにコンパクトであるかがわかる。また、相対比較でガスタービン本体のサイズが非常に小さいことがわかる。これは、作動流体の密度が水の5分の1～2分の1程度と、水蒸気に比べて大きいことによる。

7. 原理検証実験

以上の検討に基づいて、超臨界ガスタービンサイクルの原理検証を目的とした実験を計画した。

（1）小型ターボマシンの設計

タービン入り口温度(TIT)・圧力(TIP)を550K,12MPa、流量1.2kg/sとし、サイクル計算

によりタービン膨脹比を最適化した。ターボ機械の設計パラメータは式（7）により算出した。

$$\left. \begin{aligned} n_s &= \frac{\omega \sqrt{V}}{(H_{ad})^{3/4}} \\ \eta &= g(n_s) \\ d_s &= f(n_s) \\ D &= \frac{d_s \sqrt{V}}{(H_{ad})^{1/4}} \end{aligned} \right\} (7)$$

n_s : 比速度(-)
 V : 流量(m^3/s)
 H_{ad} : 断熱熱落差(J/kg)
 ω : 角速度(rad/s)
 η : 断熱効率(-)
 d_s : 比直径(-)
 D : 翼車外径(m)

ここで、関数はBalje.O.E.⁽⁷⁾によった。この手法は理想気体を想定しているので、圧縮機の実ガス効果を近似的に取り込むためガス定数に圧縮率係数 z を乗じた等価ガス定数を用いた。ラジアルタービン、遠心圧縮機を想定した断熱効率、熱効率、出力の計算結果を図20に示す。この仮定は、回転数が40,000rpm以上120,000rpm以下の範囲で正しい。熱効率が最大になる回転数は100,000rpmであり、この時の圧縮機、タービンの翼車外径はそれぞれ20mm, 30mmとなる。

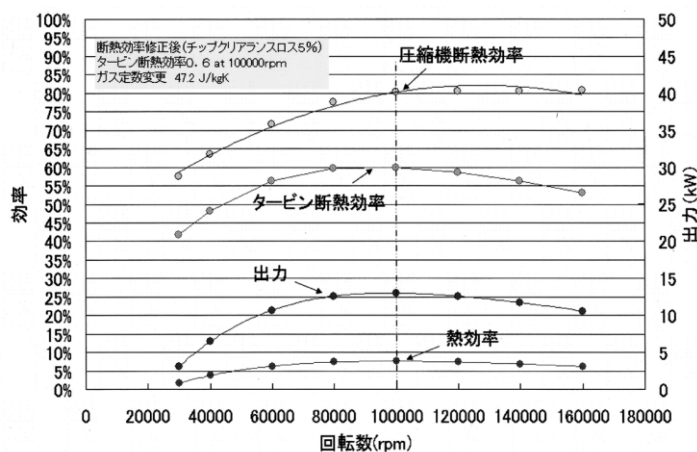


図20 原理検証用ターボマシン設計仕様の回転依存性

5軸の加工機械で金属塊から削りだせる見通しである。ただし、チップクリアランスや強度を保つための翼の肉厚などが空力損失の原因となり、図20に示す圧縮機の断熱効率を低下させる要因になりうる。しかし、このロスも小型機に固有の事象で、スケールアップにより縮小するので深刻な問題ではない。圧縮機の翼車径がタービンに比べて小さいのは、圧縮機では作動流体の密度が2～2.5倍大きいからである。この事実と、タービン効率の最大値が相対的に低速側にあることを考慮すると、圧縮機とタービンを別軸に配置するか、同軸なら回転数が圧縮機とタービンとで独立に選択できるtwin-spoolにするのが望ましいと考えられる。モータ発電機と圧縮機、タービンを一体型として組み上げる場合には約4 MPaという大きな差圧と高速回転に耐える軸受け構造と差圧の緩和に工夫を要す。ガス軸受けもしくは磁気軸受けの採用を検討している。

(2) 実験ループ

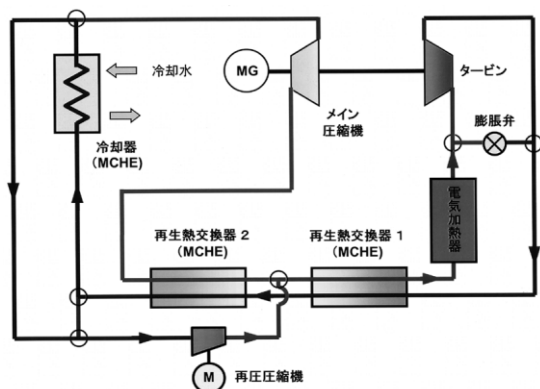


図21 実験装置フローシート

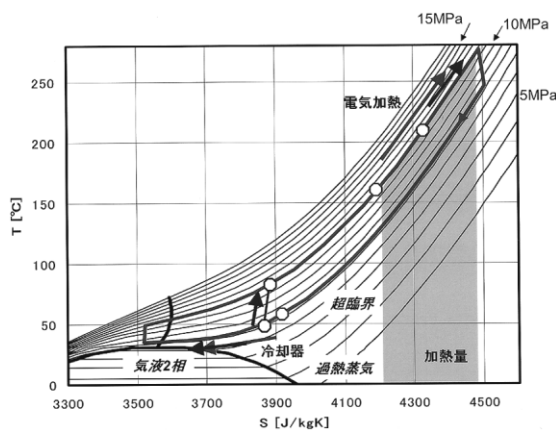


図22 実験機のT-s線図

図21は実験装置のフローシートを示す。ループの配管径は高压側が25A，低压側（タービン排気側）が40Aである。加熱器容量は160kWである。3種の実験を計画している。それぞれ、①再圧縮機-加熱器-膨張弁-冷却器からなるループを構成し、圧縮機の動力低減確認試験，②主圧縮機 - タービン - 再生熱交換器1，2 - 冷却器からなるループを構成し、ブレイトンサイクル運転試験，③これに再圧縮機を追加した分流再圧サイクル運転試験である。図22は②と③のサイクルのT-s線図を示す。閉ループの内部の面積がサイクルから取り出される動力に相当する。図に例示する加熱量はブレイトンサイクルの場合を示す。

(3) 圧縮機の入口条件の制御

① 圧縮機の運転線

図23はCO₂圧縮過程の z の変化を示す。臨界圧力・温度はそれぞれ7.38MPa，31℃である。臨界点近傍から12MPaまでの二種の圧縮経路を示す。ポリトープ効率は80%である。圧縮経路MC1は入り口温度が34.85℃，MC2は33℃，入り口圧力はいずれも8.15MPaである。いずれの経路も、擬臨界点（破線）の温度よりも低温側に存在している。MC2は、圧縮過程でほぼ z の下包絡線上を移動している。この経路は式(1)の W_c （所用動力）が最小となる最適な圧縮経路である。MC1とMC2との比較から、圧縮機の所要動力の入り口温度に対する感度が極めて高くその制御が重要であることがわかる。既出の図11で熱効率の圧縮機断熱効率に対する感度

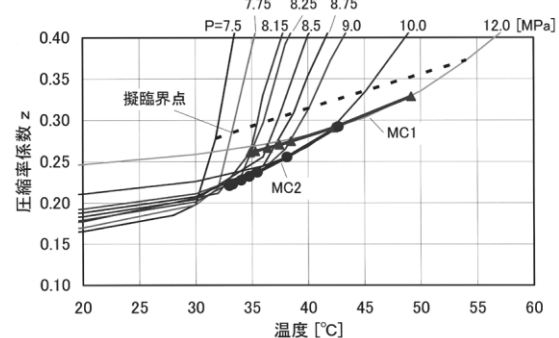


図23 圧縮過程における超臨界CO₂の圧縮率係数

が鈍感であることに触れた。その理由は圧縮率係数 z の性質に依存している。圧縮機動作点の熱力学的最適化（所要動力の最小化）問題は、理想気体の場合と異なり断熱効率の大小だけでは論じられず、相図での圧縮経路の選択に係ることが判明した。このような状態変化の存在が、理想気体を前提とする従来のガスタービンの設計常識と異なる点である。

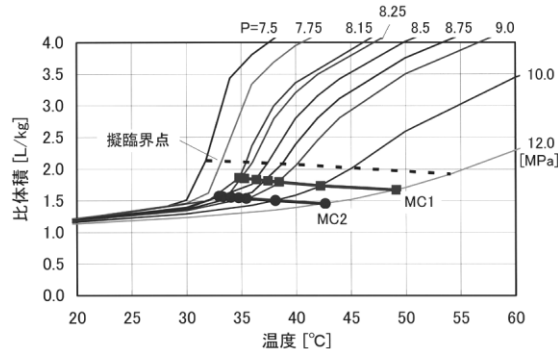


図24 圧縮過程における超臨界CO₂の比体積

② 比体積

図24は圧縮過程中の比体積の変化を示す。熱力学的状態を擬臨界温度よりも低温側に保持して圧縮すれば、流体密度は高く、圧縮中の流体の密度変化が小さいことがわかる。オープンサイクルガスタービン用圧縮機と異なるところである。これより、CO₂サイクルを最適化する圧縮機はポンプに近い設計になると考えられる。状態が圧縮機内で擬臨界点を横切ることがあると、急激な膨張が生じるので動作が不安定になることが予想される。そのような運転を避けるためには、例えば圧縮機入り口温度を入り口圧力の擬臨界温度（図24の事例では36℃）よりも低くする必要がある。一方、前項の検討から圧縮機入口温度を33℃より高くすることが求められる。起動時このような狭い運転領域をどのように確保しながら定格運転に到達させるか、要するに起動曲線の作成が運転制御上の課題である。

8. 結言

超臨界CO₂を作動媒体とするガスタービンの原理、設計課題と要素技術の開発について概観した。その結果に基づき発電出力2.3MWe級のプラントの概念設計を行い、所要スペースを明らかにした。蒸気タービンサイクルに比べて、プラントの体格を2分の1に縮小できることがわかった。原理検証実験の規模を検討し、現状の加工技術、製作可能な高速回転モータ発電機の回転数の制約から、循環流量1.2kg/sとタービン入り口の運転変数を定めた（550 K, 12MPa）。この条件下で圧縮機を設計し、その性能を推定した。さらに、高性能化と安定運転を保証する圧縮機の運転上の制約条件を明らかにした。実験ではまずシステムの自立運転を目指し、次いで10kWeの発電を目指す。

本論文の一部は、NEDO技術開発機構の委託事業「高性能熱交換器を用いたCO₂ガスタービンサイクルによるバイオマス発電の技術開発」および「超臨界CO₂を作動流体とする高効率ガスタービン発電の研究開発」の成果によるものである。

参考文献

- (1) Angelino, G., 1969, "Real gas effects in carbon dioxide cycles," ASME Paper No. 69-GT-103, American Society of Mechanical Engineers.
- (2) Frutschi, H.L., 2005, Closed-cycle gas turbines, ASME publications, pp.164-169.
- (3) Tsuzuki, N. Kato, Y. and Ishizuka, T. 2005, High performance printed circuit heat exchanger, HEAT-SET2005, France.
- (4) Nikitin, K., Kato, Y. and Ishizuka, T., 2007, Experimental thermal-hydraulics comparison of microchannel heat exchangers with zigzag channels and S-shaped fins for gas turbine reactors, paper 10826 ICONE-15, Nagoya, Japan, April 22-26.
- (5) Utamura, M., Nikitin, K. and Kato, Y., 2008, A generalized mean temperature difference method for thermal design of heat exchangers, IJNEST, Vol. 4, No. 1.
- (6) Utamura, M., Nikitin, K., 2008, Characteristics of a closed cycle gas turbine with supercritical CO₂ as working fluid, Proc. HEFAT2008 paper MU1.
- (7) Balje, O.E., 1981, Turbomachines, John Wiley and Sons, Inc.
- (8) Anderson, M.R., Private communication, 2008.

[寄稿]

低炭素社会への転換に向けて

甲斐沼 美紀子 (独)国立環境研究所 地球環境研究センター
温暖化対策評価研究室長



1. はじめに

頻発する豪雨被害や猛暑日の増加、氷河の大幅な減少など、「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)がかつて予測した事象が、予想以上に早く観測されており、国際社会は低炭素社会への移行を真剣に検討する必要にせまられている。

2008年7月に開催されたG8北海道洞爺湖サミットでは、長期目標として、「2050年までに世界全体の温暖化ガス排出量を少なくとも50%削減するとの目標を、世界全体の目標として採用することを求めるとの認識」で一致した。

欧米の主要国では既に、2050年までに60から80%の温室効果ガスの削減目標を設定している。先進国は1990年の排出量に比べて、2020年までに25から40%の、2050年までに80から90%の温室効果ガス排出量を削減する必要があるとの指摘もある⁽¹⁾。

京都議定書で規定されている日本の削減義務は1990年比6%であるが、これは第一歩であり、日本は2050年までにおよそ60から90%近くの排出削減が必要である。これができないと我々の社会は、気候変動の被害で多くのリスクを負うことになる。

2. 70%削減する技術的ポテンシャル

国立環境研究所が中心となって行った「脱温暖化2050プロジェクト」では2050年における日本の排出削減必要量を、1990年の排出量

の70%とすることを目標におき、その実行可能性について検討し、技術的なポテンシャルがあることを明らかにした⁽²⁾。

但し、低炭素社会の実現にあたっては、次のような前提を考慮している。まず、一定の経済成長を維持する活力ある社会であり、現在享受しているレベルのエネルギーサービスを維持すること。また、水素自動車などの革新的な技術は想定しているが、核融合などの不確実な技術は想定していない。原子力などは既存の国の長期計画との整合性をとっている。さらに、その具現化のために必要となる炭素排出コストの市場への内部化などの政策措置については、言及していない。

このような前提のもとで、二酸化炭素(CO₂)排出量70%削減は、エネルギー需要の40%削減とエネルギー供給の低炭素化によって可能となる。この2050年のCO₂排出量70%削減に関わる技術の直接費用は、年間約7兆円から9兆9,000億円と見積もられる。これは想定される2050年の国内総生産(GDP)の約1%程度と見られる。

ポテンシャルの推計には、まず、2050年の将来像を描くことから始めた。

3. 70%削減した日本低炭素社会の姿

2050年の将来像にはどのようなものがあるか。人々はどのような社会に生きたいのか。人々が想像する将来社会のあるべき姿はそれぞれに異なる。すべての人に受け入れられる

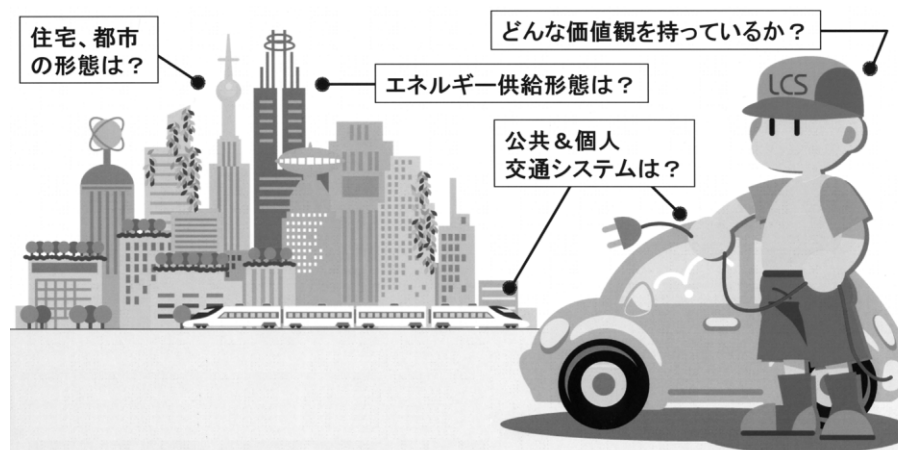


図1 社会のイメージを描く（シナリオA：活発～変化が速い～技術志向の社会のイメージ）

将来像は存在し得ないから、描かれる将来像は一般に複数となる。ここでは2つの社会像、シナリオAとBを紹介する。社会像を描く際には、価値観やエネルギー供給形態、交通システムなどの想定が必要となる（図1参照）。

〔国土・都市のシナリオ〕

シナリオA（活力、成長志向型）は、活発な、回転の速い、技術志向の社会であり、シナリオB（ゆとり、足るを知る型）は、ゆったりでややスローな、自然志向の社会である。こうした設定や指標の推移は、従来のさまざまな日本社会長期将来見通しと大差なく、諸想定範囲内に収まっている。実際には、この両シナリオが調和しながら混在しつつ進行するものと思われる。

シナリオAでは1人当たりGDPの成長率を年率2％に、シナリオBでは1％と想定しているが、エネルギー消費に直結するサービス（暖房や移動、オフィス環境など）は、利用する人々の姿を想像しながら、現状よりも適度に向かう程度に設定した。つまり、24時間冷暖房がつけっぱなしの住宅や、人々がどこでも好きなところに住むことで多くの長時間の移動が発生するような都市構造など、過度なサービスの供給は想定していない。

〔人口・世帯の推計〕

人口は、2000年に1億2,700万人だったのが、少子高齢化の継続により2050年にはシナリオAで9,500万人、Bで1億人まで減少する。世帯数は、高齢者や未婚者等の単身世帯の割合が増加するため、1世帯あたりの構成員が減少するため、減少率は人口より小さくなると推計した。2000年で4,700万世帯が、2050年には、シナリオAで4,300万世帯、Bで4,200万世帯になる。

〔産業構造の推計〕

エネルギー多消費産業である鉄やセメントの国民1人当たり生産量は、現在、欧米先進国の2倍程度である。公共事業は鉄やセメントに対する需要が大きい。2050年になると公共事業は一巡し、新規需要が大幅に減少すると想定した。また、アジア地域の需要に対しては、日本企業による現地生産が増加すると想定した。これによって、2050年の日本の粗鋼生産量は6,000万から7,000万トン、セメント生産量は約5,000万トン程度になり、国民1人当たり生産量はおおむね欧米先進国レベルになる。シナリオA、Bに共通して、サービス業の進展、電気機械・輸送機械産業の増加、エネルギー多消費型産業の縮小がみられ、これは従来の諸見通し等⁽³⁾と大差ない。また、活発社会（シナリオA）での、商業等のサービス業、電気機械・輸送機械等の製造業の伸びが顕著である。

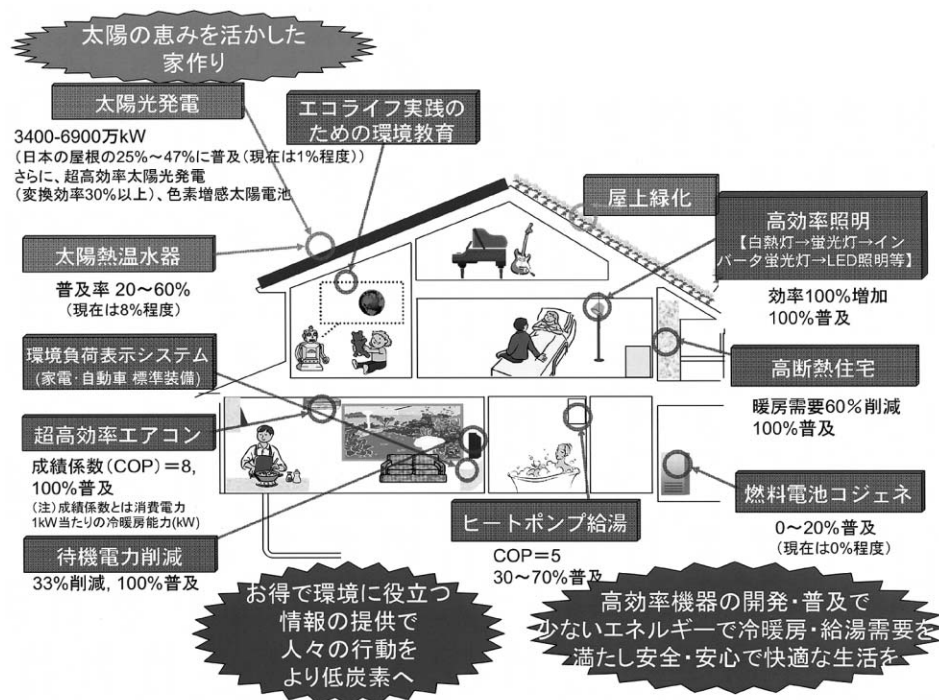


図2 低炭素社会における家庭 —快適な居住空間と省エネの両立—

4. 低炭素社会実現の可能性

2つの社会でのサービス需要を満足させるための必要エネルギー量を集計して、2000年のエネルギー需要から、4割程度削減したエネルギーで、生活レベルを維持できると推計された。例えば、家庭部門では、再生エネルギーの活用、省エネルギー技術の導入、高断熱住宅の導入によって削減は可能であると推定される(図2参照)。

部門別のエネルギー需要量削減率(2000年比)は、以下のように見積もられる。幅は、想定した2050年社会のシナリオによる差である。

産業	構造転換と省エネルギー技術導入などで30~40%
運輸旅客	適切な国土利用, エネルギー効率改善, 炭素強度改善などで80%
運輸貨物	物流の高度管理, 自動車エネルギー効率改善などで50%
家庭	建て替えにあわせた高断熱住宅の普及と省エネルギー機器利用などで40~50%
業務	高断熱ビルへの作り替え・立て直しと省エネルギー機器導入などで40%

部門別には運輸、家庭部門でのエネルギー需要削減がかなり可能であるのに比して、産業での削減が小幅にとどまっている。これは、国際競争にさらされている産業では安価なエネルギー源に頼り、化石燃料の利用量を大幅に削減することが難しいことや、産業プロセスの変更が難しいことなどによる。

5. 低炭素社会に向けた12の方策

70%削減を2050年に実現するには、どの時期に、どのような手順で、どのような技術や社会システム変革を導入すればよいのか、それを支援する政策はどのようなものがあるかを、検討することが重要である。「2050日本低炭素社会」シナリオチームでは、これを12の方策としてまとめた⁽⁴⁾。

ある対象分野での低炭素化を進めるためにとった技術的対策、社会制度改革、推進施策の効果は、その分野だけにとどまらず、他の対象分野の低炭素化を進めるものともなる。例えば、家庭・オフィスを対象にした低炭素化では、直接には高断熱住宅の普及や太陽エ

表1 低炭素社会に向けた12の方策

	方策の名称	説明	CO ₂ 削減量
1	快適さを逃さない住まいとオフィス	建物の構造を工夫することで光を取り込み暖房・冷房の熱を逃がさない建築物の設計・普及	民生分野 シナリオA:56MtC シナリオB:48MtC
2	トップランナー機器をレンタルする暮らし	レンタルなどで高効率機器の初期費用負担を軽減しモノ離れしたサービス提供を推進	
3	安心でおいしい旬産旬消費農業	露地で栽培された農産物など旬のものを食べる生活をサポートすることで農業経営が低炭素化	産業分野 シナリオA:30MtC シナリオB:35MtC
4	森林と共生できる暮らし	建築物や家具・建具などへの木材積極的利用、吸収源確保、長期林業政策で林業ビジネス進展	
5	人と地球に責任を持つ産業・ビジネス	消費者の欲しい低炭素型製品・サービスの開発・販売で持続可能な企業経営を行う	
6	滑らかで無駄のないロジスティックス	SCM で無駄な生産や在庫を削減し、産業で作られたサービスを効率的に届ける	運輸分野 シナリオA:44MtC シナリオB:45MtC
7	歩いて暮らせる街づくり	商業施設や仕事場に徒歩・自転車・公共交通機関で行きやすい街づくり	
8	カーボンミニマム系統電力	再生可能エネ、原子力、CCS 併設火力発電所からの低炭素な電気を、電力系統を介して供給	エネルギー 転換分野 シナリオA:95MtC シナリオB:81MtC
9	太陽と風の地産地消	太陽エネルギー、風力、地熱、バイオマスなどの地域エネルギーを最大限に活用	
10	次世代エネルギー供給	水素・バイオ燃料に関する研究開発の推進と供給体制の確立	
11	「見える化」で賢い選択	CO ₂ 排出量などを「見える化」して、消費者の経済合理的な低炭素商品選択をサポートする	横断分野
12	低炭素社会の担い手づくり	低炭素社会を設計する・実現させる・支える人づくり	

(出所：「2050日本低炭素社会」シナリオチーム，2008b)

エネルギー利用が有効であるが、エネルギー供給側の低炭素化や自然エネルギー利用促進も寄与する。逆に、自然エネルギー推進には家庭などでの利用場面拡大が必要である。「見える化」の促進や環境教育は、すべての施策を下支えする。また、削減に向けては、いくつかの技術的社会的障壁があり、それらを取り除くには、順序だった手順で時間をかけてゆく必要がある。こうした相互関係を念頭に置きながら、効果の大きさを勘案して程よくくりでまとめたものが、ここでいう「方策」である。

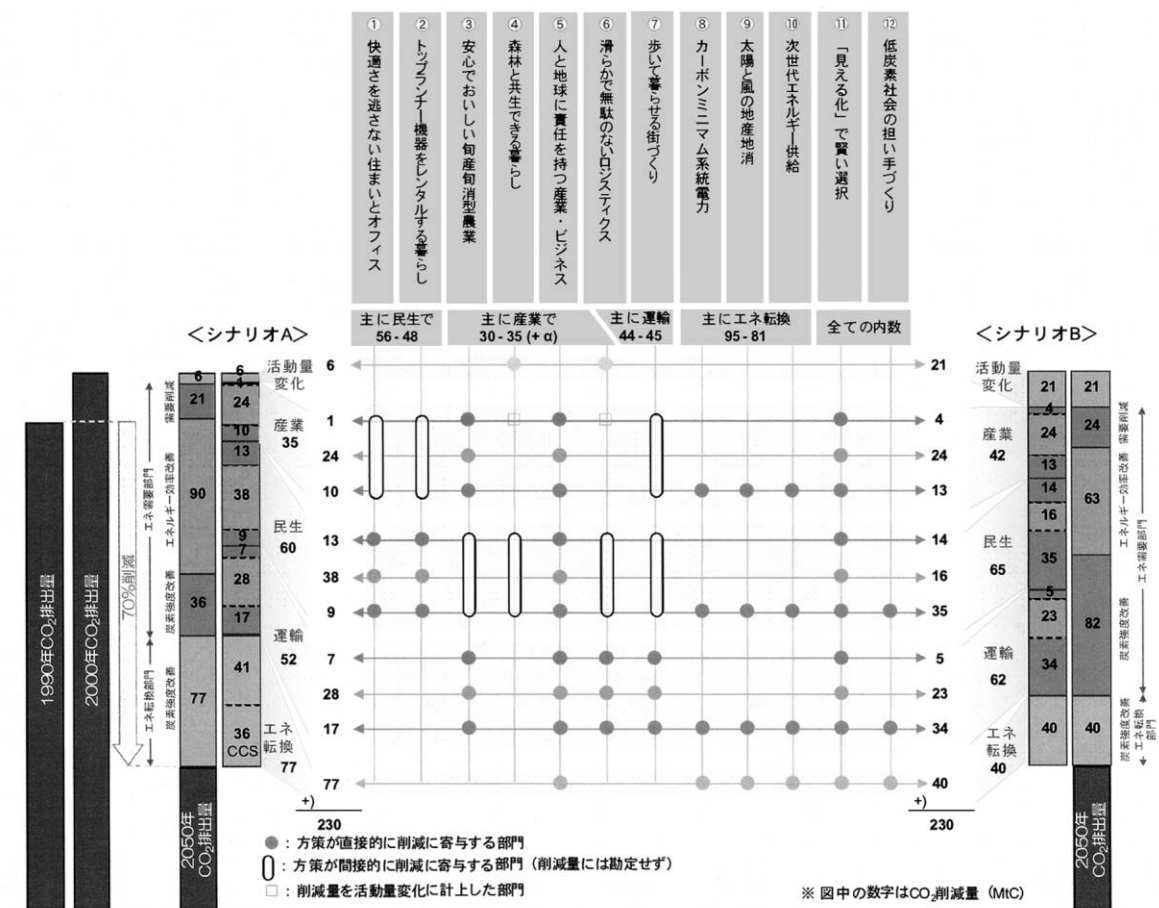
モデル研究から得られた効果的削減可能分野について、その分野でとりうる対策とそれを推進する政策を組み合わせた12の方策を、有識者の意見も加えて、構成した。(表1 参照)。1, 2は住宅オフィス系, 3, 4は農林業, 5は産業, 6, 7は運輸系, 8, 9, 10はエネルギー供給系, 11, 12はすべての分野を横断する方策といえよう。

なお、炭素税や排出量取引のような分野横

断的に効果を持つ経済的手法は、一部の方策の中において政策として組み込まれているが、方策そのものとしては挙げていない。経済的手法を追加することによって、価格効果が入れば12の方策は全体としてさらに効果を発揮するものと考えられる。また、公共事業、資本市場など社会資本整備は、低炭素社会に向けて適切になされていることが前提となっている。

図3は12の方策による削減効果を示している。ここでは、各方策のカバーする範囲とそれらの相互関係を示し、シナリオごとの部門別要因別CO₂削減量の集計値を示している。1つの方策は複数要素や複数部門の削減に寄与するが、同様に1つの部門・要素別の削減には複数の方策が寄与している。

削減可能量は、方策ごとではなく、横断的な対策ごとに集計している。それらを更に、エネルギー需要側／エネルギー転換側別、あるいはサービス量変化／エネルギー効率改善／炭素強度改善といった対策別、あるいは



(出所: 「2050日本低炭素社会」シナリオチーム, 2008b)

図3 低炭素社会に向けた12の方策によるCO₂削減効果

産業／民生／運輸／エネルギー転換といった部門別に再集計している。図3に示される230MtCは、2000年のCO₂排出量に対して2050年70%削減を実現するために必要な削減量である。

例えば、縦方向に見ると、方策1「快適さを逃さない住まいとオフィス」は、産業部門によって開発された対策が、民生部門で普及されることで暖房や冷房のエネルギー消費に伴うCO₂排出量が削減される。そこで産業部門は間接的な削減に寄与しているが、直接的な削減は民生部門で行われるとした。そして、方策1と2が一緒に行われることで民生部門のCO₂排出量が56から48MtC削減されると推計した。横方向に見ると、主に方策1から7と方策11によって民生部門の需要削減における13から14MtCのCO₂削減とエネルギー効率改善

における38～16MtCのCO₂削減が実現されるが、方策1, 2, 5, 11が直接的な削減に寄与し、残りの方策3, 4, 6, 7は間接的に寄与するとした。なお、方策4「森林と共生できる暮らし」では、鉄やセメントを代替することでCO₂削減に寄与するが、その削減効果は「活動量変化」に計上している。

以上のようにして、12の方策を組み合わせることにより、2050年70%削減は可能である。産業部門では30から35MtC、民生部門では56から48MtC、運輸部門では44から45MtC、エネルギー転換部門では95から81MtC、活動量の変化により6から21MtCの削減が見込まれる。

6. 低炭素社会に向けた取組み

世界は今、20世紀のエネルギー多消費文明

から転換し、いかに少ないエネルギーで豊かな生活を実現するかに挑戦する、低炭素革命ともいうべき、新たな転換期にきている。日本で低炭素社会を実現できることを示すことが、アジア、そして世界の低炭素社会実現に大きく貢献する。

「2050日本低炭素社会」プロジェクトでは、2050年に70%削減するという目標達成のために、2050年からさかのぼって、今、そしてこれから何をしてゆかねばならないかを検討するバックキャストイングの手法を使って、日本の低炭素社会の姿を描いた。

2050年の社会でどのようなエネルギー利用（あるいはCO₂排出）になっているかから出発し、そのような姿を実現するためにはどのような行動・技術選択、社会改革をなさねばならないか、そしてそのためにどのような政策・手段をとることが考えられるかを「方策」としてまとめた。将来の技術進歩などを考えると、対策は遅い方が経済的に有利であるという議論があるが、必要な社会インフラの形成には時間がかかり、一気に実現しようとすると資源、資金、労働力の制約が生じかえって経済的に不利になる可能性が高い。

気候変化への対応は、明確な目標に向かって、順序立てた整合性ある政策展開が必要であり、効果的である。12の方策はCO₂を削減

する1つの処方箋である。処方箋はこれ1つではなく、また、多くの人が係ってはじめて実現できるものである。

最後に、今回検討した70%削減が可能な2050年の社会像や、そこに至る道筋を示す処方箋が1つの土台となり、低炭素社会に向けた取り組みが進展することが期待される。

[謝辞]

環境省地球環境研究総合推進費（S-3：脱温暖化2050プロジェクト）の成果を中心に紹介した。ここに記して研究参画者およびプロジェクト支えて下さった方々に感謝する。

参考文献

- (1) Den Elzen, M.G.J. and M. Meinshausen, 2006. Multi-gas emission pathways for meeting the EU 2°C climate target. In “Avoiding Dangerous Climate Change” (eds. Schellnhuber, H.J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T. and Yohe G.), pp.299-09. Cambridge University Press.
- (2) 「2050日本低炭素社会」シナリオチーム, 2008a. 2050日本低炭素社会シナリ：温室効果ガス70%削減可能性検, 環境省地球環境研究総合推進費 研究チーム報告書. <http://2050.nies.go.jp/index.html>
- (3) 内閣府編「2005. 日本21世紀ビジョン」303pp. (独) 国立印刷局
- (4) 「2050日本低炭素社会」シナリオチーム, 2008b. 低炭素社会に向けた12の方策, 環境省地球環境研究総合推進費 研究チーム報告書. <http://2050.nies.go.jp/index.html>

大島賞懸賞論文について

当研究所は、昨年創立30周年を記念して「わが国のエネルギー技術戦略はいかにあるべきか」をテーマとして、当研究所の創設に尽力された故大島恵一先生（東京大学名誉教授、元OECD科学技術工業局長）のお名前を冠した大島賞懸賞論文を募集いたしました。平成20年5月15日から9月30日の募集期間の間に応募のあった16件の論文を対象にして、学識経験者をはじめエネルギー分野における専門家の厳正なる審査を経て、下記3件を優秀作として選定いたしました。

受賞論文3件の内容は、本号に掲載の通りです。

最優秀賞1件

小平翼氏等14名（東京大学工学部システム創成学科環境・エネルギーシステムコース）

論文題目： 「エネルギー技術戦略の検討」

優秀賞2件

小田潤一郎氏（財地球環境産業技術研究機構）

論文題目： 「政府によるエネルギー研究開発支援について」

小宮山涼一氏（米国エネルギー省ローレンスバークレー国立研究所、財日本エネルギー経済研究所）

論文題目： 「わが国の長期エネルギー技術戦略とアジアへの国際展開」

また、受賞者に対する表彰式を、平成21年2月27日（金）14時より、航空会館内会議室（東京都港区新橋）にて開催し、その際最優秀作について受賞記念講演が行われました。

表彰式当日は、受賞記念講演に続いて東京工業大学名誉教授大島榮次先生による特別講演が行われました。



〔大島賞懸賞論文 最優秀賞〕

エネルギー技術戦略の検討

小平翼・野沢俊樹・宮地将斗・山田真也・國分 朝菜・
吉村 高紀・遠藤 洋一・大中 温・渡辺圭・鈴木一弥・
田代 浩樹・カムパナートシルワ・藤井宏昌・佃真衣
(東京大学 工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース)



概 要

本論文では、独自にわが国の超長期ビジョンを構築し、ビジョン実現に向けたわが国のエネルギー技術戦略を提案している。短期的、局地的な技術戦略は、臨機応変かつ多様性にあふれた戦略が理想である。しかし、わが国全体かつ長期的なエネルギー技術戦略は確固たる指針を基に提案されるべきである。

ビジョン策定にあたっては、まずエネルギー情勢の現状把握を行った。エネルギー資源、地球環境、政治経済という3つのパートに別れ、情報収集に取り組んだ。そして、情報収集の成果と既存の超長期ビジョンに関する文献を参考に、独自の超長期ビジョン「E-RISE」を構築した。これら検討方法については第3章にて述べている。

第4章では超長期ビジョン「E-RISE」を提案している。「E-RISE」には、豊かで快適な生活を実現するという決意が込められている。具体的には、「E-RISE」はエネルギー供給構成を工夫することでエネルギーの使用を制限されることのない社会の実現を目指している。そのため、わが国のとるべきエネルギー戦略の骨子として2100年までの一次エネルギー消費、電化率、電源別電力供給構成の理想の推移を示し、エネルギー技術戦略提案の礎としている。

「E-RISE」実現に向けて重要となる技術は、発電技術（火力、原子力、自然エネルギー）とエネルギー保存技術（蓄電池）である。火力発電技術は発電効率の改善、原子力発電は高速増殖炉の早期実用化、自然エネルギーは太陽光発電の効率改善、蓄電池は長寿命化、早期実用化が特に重要である。第5章では、これらの技術実用化が2100年までのどのような段階で必要とされているかを示し、戦略を提案している。

第6章では、技術戦略を実行する際の戦略マネジメントに関する提案として、エネルギーマップの作成とエネルギー省の創設を提案している。短期的な戦略の変更や軌道修正を円滑に行い、長期エネルギービジョンの実現を担う主体の明確化と、マネジメントを支援するツールの提案である。

本論文では、「わが国のエネルギー戦略は戦略的であるべきだ」ということを一貫して主張している。戦略的なエネルギー技術戦略とは、長期的にはビジョンを構築し、将来から逆算することで実現に向けた行動を抽出し実行することであり、短期的には社会情勢を鑑みて最適な選択肢を選定することである。私たちの超長期ビジョン「E-RISE」は資源制約・環境制約の厳しさが増す世界において、模範となるエネルギー構造を示している。世界の先頭に立ってこのようなエネルギー構造を実現し、技術力によって世界に貢献することがわが国の歩むべき道である。

1. はじめに

社会の発展には資源とエネルギーが必要である。都市化・機械化された現代の人間社会では、人々が生きるためにもエネルギーは求められている。課題は多岐にわたり存在するが、国家繁栄と社会存続の基盤となるエネルギーと資源の確保は、最も優先順位の高い課題である。

近年、価格高騰に代表されるエネルギー資源問題と地球温暖化に代表される環境問題の深刻化により、エネルギーと資源に関する議論が過熱している。主な論点はエネルギーの安定供給の実現と地球システムの持続であるが、実に多様な視点、視座、視野から展開されており、問題の全体像が掴みづらくなっている。

しかし、エネルギー問題の本質的な論点は実に単純である。すなわち、「人々が恒久的に幸福な生活を営むためには、どのようなエネルギー供給形態を実現すべきか」というものである。

つまり、エネルギー問題の解決には社会が目指すべきエネルギー供給のビジョンとビジ

ョンを実現するエネルギー技術戦略が必要である。そのため、本論文ではエネルギー、資源、環境に関する世界の状況を踏まえ、我が国が目指すべきエネルギー供給形態及び実現に向けたエネルギー技術戦略を提案する。

エネルギー戦略は短期的には社会情勢を踏まえた臨機応変な対応が望ましい。しかし、長期的には後手の対応を基本として戦略と呼ぶことはできない。わが国の長期的なエネルギー戦略は、あるべき姿を描き、その実現を担う戦略であるべきだ。

本論文ではこのような立場のもとにエネルギー戦略ならびに技術戦略を提案したい。

2. 背景

近年、エネルギーを巡る情勢は混迷を極めている。世界的な基幹エネルギーである化石資源は、アジアを中心とした世界的な需要の拡大と、生産量増加の鈍化、採掘の高コスト化により、価格の急騰が生じている。

このようなエネルギー資源価格の急騰が一過

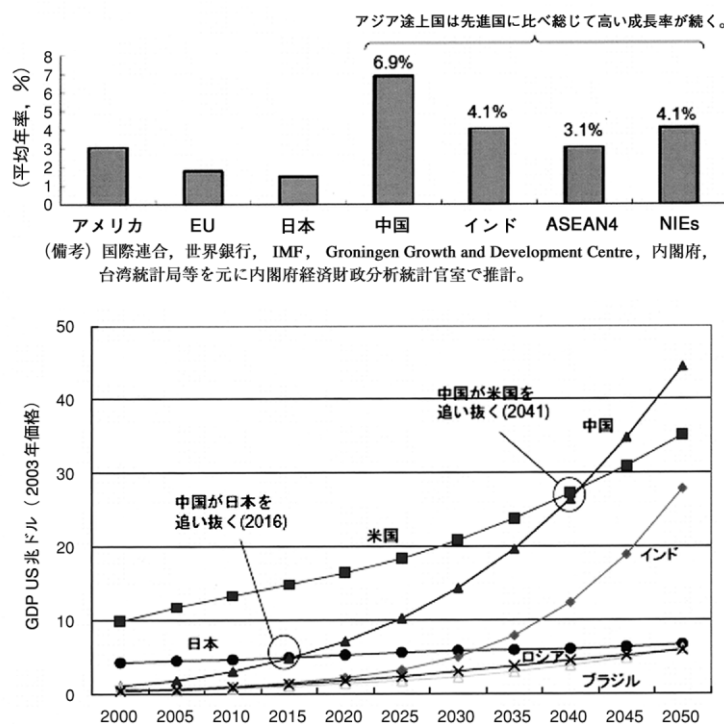


図1 世界の経済成長率見通し⁽¹⁾

性のものであるとは考えにくい。まず、中国・インドの人口と経済発展は持続すると考えられる⁽²⁾（図1参照）。加えて、現在投資が盛んに行われている新興国の台頭はおおいに考えられる。また、1970年から2005年の35年間で世界のエネルギー需要は約2倍となった⁽³⁾。この間、人口の増加率は約1.5%、GDP成長率は約3%である。加えて、今後の世界人口の推移については図2のような推測がされている。

2030年までの人口の増加率は約1%である。また、経済成長率とエネルギー需要には強い相関関係があることが知られている。つまり、今後も人口と1人当たりのエネルギー需要が増えると考えられる。

以上より、将来的に資源の需要は拡大し、エネルギー資源の価格は降下するどころか、さらなる上昇を続けると考えられる。資源価格の高騰によって生じるエネルギーの経済的な枯渇は避けなければならない。

一方で、環境への関心も世界的に高まっている。環境問題の代表ともいえる気候変動問題に関しては、化石資源の使用に伴う深刻化が危惧されている。気候変動が人間社会に与えるダメージは深刻である⁽⁴⁾。現在、世界ではCO₂を筆頭に温室効果ガスの排出が地球温暖化を加速させる速度で行われていると推定されている。高度の低い島国や砂漠地帯に近接する地域への

被害は甚大であり⁽⁴⁾、気候変動問題は世界が抱える喫緊の課題である。

しかしながら、環境保護が人間の生活よりも優位に立つということが国際的、国内的に合意されるとは考えにくい。なぜなら、環境に対する普遍的な志向は、「人類が生きていくために良好な環境を維持する」というものであるからである。加えて、世界の多くの地域ではこれまでに化石資源の大量消費が起きておらず、化石資源を消費して繁栄を果たしてきた先進国とは差異があるというのは至極妥当な意見である。つまり、世界のエネルギーの消費を抑制することは現実的に困難である。

以上を勘案すると、1つのシンプルな解決策に到達する。それは、環境調和性の高いエネルギー供給構成を世界全体で実現していくことである。すなわち、エネルギー問題と気候変動問題を前にエネルギー消費を抑制するのではなく、環境調和的なエネルギー構造を実現することが的確かつ現実的な対応と考えられる。

わが国は、高い技術力と問題意識を持ちながら、このような混沌としたエネルギー情勢、複雑な環境問題を前に、十分な対策を実行できていない。事実、京都議定書の目標達成は困難を極めている。

将来的な気候変動による被害に関しては、日本は地理的に影響を受けにくいとも考えら

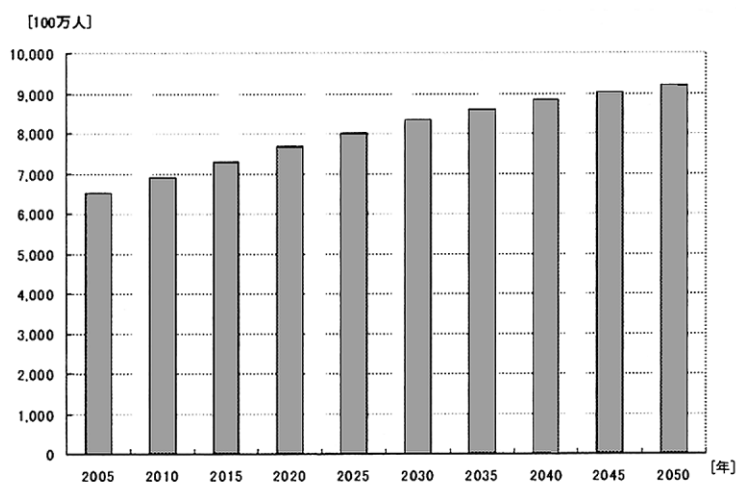


図2 世界人口の推移⁽⁵⁾

れるが、環境問題は世界の問題であり、過去の外部不経済に加担した責任を果たすために日本は対策を施すべきである。

日本はこれまで外交力と技術力を武器に経済成長を遂げてきた。しかしながら、現状では21世紀において経済成長、豊かな生活を維持することは難しい。幸運にも、わが国には高度経済成長期を支えた技術力があり、環境分野においては世界トップレベルの実力を備えている。必要なのはビジョンと戦略、そして実現への意志である。わが国が恒久的に繁栄を続けるためのエネルギービジョンならびにエネルギー技術戦略が求められている。

3. 検討方法

本論文は、東京大学工学部システム創成学科学環境・エネルギーシステムコースの有志学生14名が行った活動「Channel to Earth」の成果をまとめたものである。活動では、「問題の全体像が見えねば的確な対策の提案は困難」という理念のもと、地球温暖化、エネルギー問題の全体像を把握し、最適な対策を提案することを目標とした。

メンバーは資源・エネルギー、地球・環境、政治・経済、の3つのパートに分かれ、6カ月に渡って文献調査と研究機関への調査を行った。文献調査では「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)の報告書や、経産省や環境省が発表している文書等を参考とした。研究機関としては、本コースの先生方をはじめ、国立環境研究所、高速増殖炉もんじゅ、経産省等を訪問し助言を頂いた。その後、3パートの活動成果を踏まえ、わが国がとるべきエネルギー戦略を考案した。加えて、日本エネルギー経済研究所、国立環境研究所に所属される専門家の先生方からもフィードバックを頂いた。

活動の成果発表は2008年5月に開催された東京大学の学園祭で行い、数多くの企画の中から、学術部門2位に選ばれた。

また、この実績をもとに2008年6月に京都で

開催された「世界学生環境サミットin京都」に参加し、世界各国の学生との意見交換を行った。文献調査に加え、専門家の方々を中心にお話を伺い、多くの方々の意見を参考に考案したのが本論文で述べるエネルギー技術戦略である。

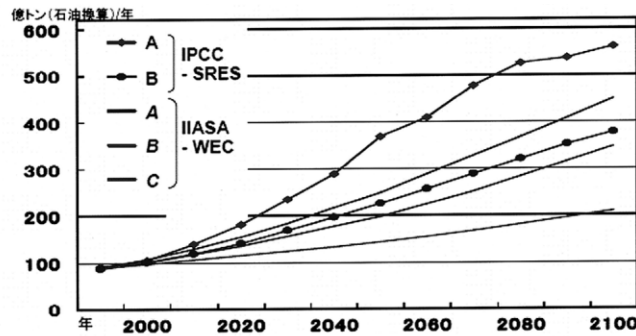
本論文において特徴的な点は、バックキャストリングを用いた点である。バックキャストリングとは、戦略を考える際に、まず将来のビジョンを明確に定め、そのビジョンから逆算して必要な戦略を考える手法である。これは長期エネルギー技術戦略のように不確実性を含む事柄を考える際には非常に有効な手法である。何故なら予めビジョンが定まっているため、社会情勢変化によって戦略の修正を余儀なくされた際にも、方向性を見失うことがないからである。これは戦略をマネジメントする上で大きな利点である。以上の理由から我々はバックキャストリングを採用した。また、問題の全体像を把握するという活動の目標を達成するため、可能な限り多くの技術・政策を対策の選択肢として検討した点も特徴的である。多くの選択肢の中から経済や地球環境に及ぼす影響が大きな要素を抽出し、中心に据えて戦略を構築した。

4. わが国のエネルギービジョン

長期的なエネルギー技術戦略はビジョンを描き、実現に向けて計画されるべきである。計画の際には、将来における最低限の仮定を置かなければビジョンは妥当性を保てない。そこで、既存の文献を参考に将来に対する仮定をおき、今後の一次エネルギー消費量、電化率、電源別供給構成の推移をExcelを用いた簡単な試算により求めた。

(1) 仮定

参考文献を基に社会情勢に関する仮定をおいた。エネルギー消費に関わりの深い人口に関しては、国立人口問題研究所が公表する2100年までの人口予測を用いた。1人当たりのエネルギー



※ IPCCのSRESシナリオや、IIASAのWECの試算では、シナリオによる幅があるものの、いずれもエネルギー消費が増加することが見通されている。
 【IPCC-SRES】 A: 高度経済成長が続き、新技術や高効率技術は早期導入が進む、地域格差が縮小するケース B: 中流なケース
 【IIASA-WEC】 A: 高成長ケース、B: 中流ケース、C: エコロジー投資ケース

図3 世界のエネルギー消費の将来展望⁽⁶⁾

一消費に関しては、エネルギー需要の増加と効率改善の相殺により、一次エネルギー消費量は変わらないが、消費形態が低炭素型へと移行するとした。図3では、2050年には世界のエネルギー消費が倍増すると予測されている。また、気候変動問題への対応として、キャップ・アンド・トレードの導入が京都議定書を嚆矢に実現しており、わが国でも自主参加型の排出権取引が施行されている。

このため、今後世界的に資源制約、環境制約の厳しさが増すことを仮定している。

(2) ビジョン

前述した仮定のなかでわが国が豊かな社会を持続、発展するには現状のエネルギー供給形態を変化させなければならない。参考文献を基に、私たちは最終エネルギー消費の構成と電力の供給構成に関する2100年までのビジョン、「E-RISE」を図4、図5、図6のように描いた。

すなわち、「E-RISE」はエネルギーの利用形態を化石資源ではなく、主に電気へシフトさせ、その電力を原子力と自然エネルギーによって供給することを意味する。

電気は使用時に環境に負荷をかけることなく、生産する際の環境マネジメントを徹底することで、環境調和的な21世紀の基幹エネルギーとなる。

また、排出係数を用いた試算によれば、この際のCO₂排出量は図7である。

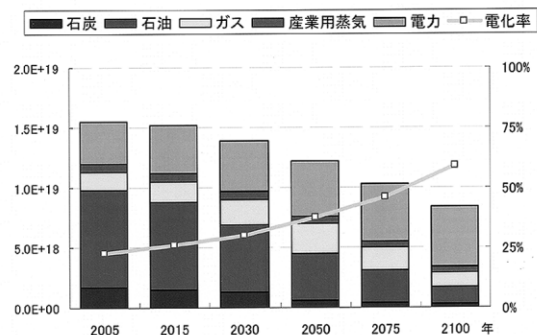


図4 「E-RISE」形態別の最終エネルギー消費

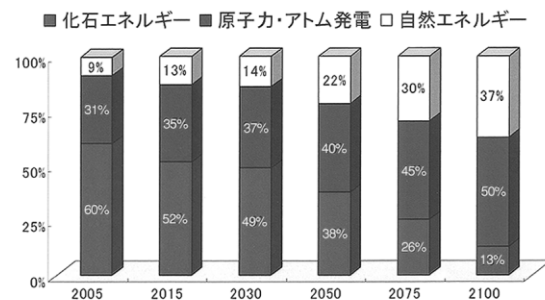


図5 電力供給構成の推移（2005 - 2100年）

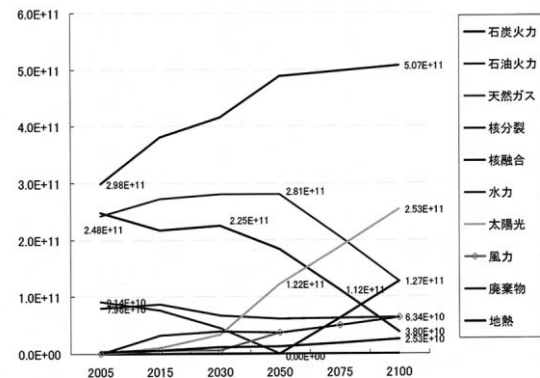


図6 電力別電力供給量の推移

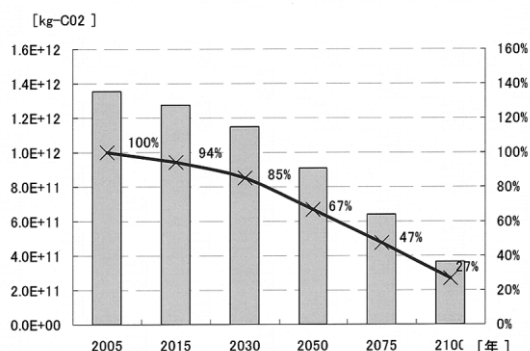


図7 二酸化炭素排出量の将来推計

「E-RISE」が実現できれば、わが国はエネルギー問題の大部分から解放され、人々は豊かな暮らしを享受できる。

「E-RISE」の実現は不可能ではない。水素に比べ、電気は既存のインフラを応用できる。今後の整備も比較的容易である。電力供給の確保に関しては、原子力導入の障害は社会受容性の問題であり、物理的には可能であり、自然エネルギーも太陽光発電の発電効率が現状の約10%から、30%～50%まで技術改良され、助成等の措置と合わせれば、競争力は現在とは比較できないほど高まり、台頭することは大いに考えられる。

また、経済的な面から見ても、「E-RISE」実現の必要性がある。2005年における日本の原油輸入に対する支出は約10兆円で、貿易支出の約20%を占めていた。2008年現在においてエネルギー価格は軒並み倍増している。そのため、エネルギー資源全体に対する日本の支出は20兆円を越すと推定できる。2050年に世界の需要が2倍、そして時間とともにエネルギー利得率(EPR)が下がり、原油採掘にかかるコストが増加すると仮定すれば、支出が100兆円に近づくことも現実味を帯びている。原油は原材料として加工もされるため、単なる消費に終わらない部分も存在する。しかし、それらを考慮に入れたとしてもエネルギー供給構成が現状維持の場合、2050年までに年間の支出額が国家予算の規模に及んでしまう。このような支出はわが国が自立した持続可能なエネルギー供給システムを確立しない限り恒久的に生じる支出である。

エネルギー技術への投資を惜しまずに、先行投資することこそ、わが国の恒久的発展を約束すると思われる。

5. ビジョン実現に向けたエネルギー技術戦略

「E-RISE」実現に向けてわが国が重点的に取り組むべきはエネルギー生産技術と、エネルギー保存技術である。エネルギー消費に関する効率改善は民間の競争によって実現されることを想定する。エネルギー生産技術は、電力(火力、原子力、自然)、エネルギー保存技術は蓄電池を対象にそれぞれの技術戦略について述べる。

(1) 火力発電

今後も火力発電の占める割合は大きく、2050年の時点でも火力発電の総発電量に占める割合は40%程度である。資源制約と環境制約を鑑みて、高効率化を実現することが必要である。現在、火力発電の燃料となっているのは石炭・石油・天然ガスである。これらの特徴を以下の表1に示す。

本論文では、石炭ガス化、燃料電池使用、エクセルギー再生の3つの技術を使って火力発電の高効率化を図っている。

石炭ガス化とは石炭を水と反応させて水素と一酸化炭素を作り出すことである。これによって天然ガス火力の高効率化を実現させたコンバインドサイクルが実現され、石炭火力の発電効率も50%を超えることができる(IGCC)。なお、天然ガス火力の最新のコンバインドサイクルでの発電効率は55%程度となっている。

表1 火力発電燃料の比較

	石炭	石油	天然ガス
発電効率 [%]	40%強	40%	50%弱
CO ₂ 排出量 [gCO ₂ /kWh]	975	742	608・519 (GTCC)
価格	安い	高い	中程度

燃料電池を火力発電に組合わせることでさらなる効率化を図ることができる。石炭火力は石炭ガス化を行うことによって燃料電池も使えるようになっており、天然ガスも改質を行うことで水素に変換することができるので、燃料電池を使うことができる。燃料電池をガスタービンコンバインドサイクルに組み合わせることで得られる発電効率は石炭火力（IGFC）で55%、天然ガス火力で60%と見込まれている。

また、エクセルギー利用を燃料電池・ガスタービンと組み合わせることで見込まれる効率は石炭火力で65%、天然ガス火力で70%にも達すると考えられる。

次に、時系列に沿って火力発電の技術戦略のロードマップを提案する。現在、石炭火力は40～43%、天然ガス火力は50%弱の発電効率である。2015年にはIGCCを実用化し、石炭火力の効率を45%程度へと改善する。2030年には、IGCCが普及され、石炭火力効率が50%を越え、天然ガス火力も平均効率が60%まで改善する。2050年には燃料電池を組み合わせ、また、エクセルギー利用も実現する。そして、天然ガス65%、石炭60%を達成する。2075年～2100年は天然ガス70%、石炭65%まで改善する。

以上を達成するために適切な制度を整備し、補助金を拠出することが必要である。石炭火力発電の高効率化技術を獲得することができれば、中国・インド・アメリカなど多くの石炭火力発電所を持つ国に発電所の技術を輸出することで日本に利益を還元することができる。

（２）原子力

エネルギー資源の保有量の少ないわが国では、原子力エネルギーは非常に重要な位置を占めている。燃料費の高騰による影響を受けやすい火力発電に対し、原子力発電は燃料費がコストに占める割合が少ないという経済的長所を持つ。現時点でわが国の原子力技術は世界トップクラスであり、今後ともこの分野で世界をリードし、より利用拡大していくことが今後数十年

のエネルギー戦略における大きな柱となる。具体的には、2100年に電力の50%を原子力で賄うようにしたい。そのためにどれだけ原子力の利用量を増やすべきかを図8に示す。

図8が示すように、目標達成には現在の倍以上の発電量が必要となる。そのためにどのような技術、方策が必要となるかを考察する。

原子力の利用を拡大する上で障害となるのが資源枯渇の問題である。原子力エネルギーの燃料のウランは石油や石炭と同様に枯渇資源であり、現在の利用法だと今後数十年で枯渇するといわれている。ウランの利用年数を増やすためにも利用できる資源の量が数十倍となる高速増殖炉を可及的速やかに導入する必要がある。高温ガス炉は開発段階の技術であるが、完成すれば発電の高効率化だけでなく、熱源としての産業利用が可能になる。更に未来のエネルギーとして、核融合炉がある。核融合炉は資源の枯渇の心配がなく、さらに放射性廃棄物も出ない。まだ開発段階の技術で、実用化には100年かかると言われているが、超長期を見据える上では重要な技術となる。以上の技術には骨太の投資を行い原子力が2030～2050年の基幹エネルギーとなることを原子力の技術戦略とする。

また、重要な問題として社会的受容性がある。原子力については使用量を増やすことに抵抗感を感じる人々も多い。今後原子力の利用拡大において、マイナスイメージを払拭することは必要不可欠である。そのために、「原

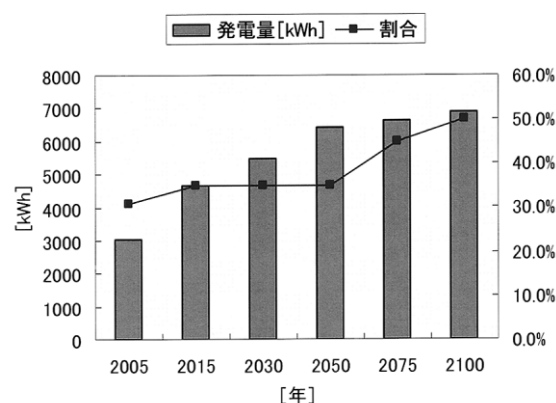


図8 原子力の発電量と割合の推移

子力発電」という核兵器・放射能といったものに結びつきやすい名前ではなく「アトム発電」に改名することを提案したい。新たな名前の下、「危険だから使用しない」のではなく、「必要なだからより安全に使用する」という、より積極的かつ建設的な姿勢を持ち、人々の理解を得るべきである。

(3) 自然エネルギー

エネルギー資源の枯渇や地球温暖化問題への対策を考慮すると、エネルギー源がほぼ無尽蔵で、かつクリーンな自然エネルギーはエネルギー問題の解決に有効手段となりうる。また、自然エネルギーは貴重な国産エネルギーである。その中でも特に、太陽光発電がわが国にとって重要な技術となる。なぜなら、日本は風況に恵まれず、広大な農地の確保が困難なわが国では風力発電やバイオマスから大量のエネルギーを得ることは難しいからである。我々の試算では住宅の90%、オフィスの75%に高効率の太陽光発電システムを設置すると、電力の20%以上を太陽光発電で賄えるという結果を得た（図9参照）。

しかし現時点での太陽光発電の利用量はごく僅かである。今後、わが国においてより多くの太陽光発電を実現するためにはどのような技術が必要なのかを考えたい。

太陽光発電のコスト高の原因はエネルギー変換効率の低さと、原料となるシリコンの価格高騰である。幸い、官民ともに太陽光発電

を重要視していることもあり、高効率化や太陽電池の薄膜化などの研究に積極的な投資が行われている。今後は、シリコン型に代わる新たな太陽電池として、薄くても高効率が可能なCIS型や、変換効率は低いものの安価な色素増感型など、それぞれの特色を活かし、応用範囲を拡大することが重要となる。とはいえ、今後も太陽光発電の中心的役割は住宅への電力供給であると考えられる。

また、革新的な技術（現在では量子ドットを用いた太陽電池の概念設計がなされている）により今の2倍、3倍の変換効率を実現することが可能だといわれている。実現すれば現在46円/kWhのコストを火力発電のコストである7円/kWhまで下げることができる。2030年頃までに現行の技術の発展でコストを15円/kWhに、2050年頃までには革新的技術を完成させ、更なるコストダウンを図ることを太陽光発電における技術戦略とする。また、太陽光発電の出力は不安定であり、夜間には発電できないため、得た電力を有効に利用するためには蓄電池の技術の発展が不可欠である。蓄電池については次に紹介する。

(4) 二次電池

「E-RISE」のエネルギー供給構成の推移では、将来的に再生可能エネルギーの利用が急激に拡大する。この再生可能エネルギーの大量導入を実現するためには高性能の二次電池が必要不可欠である。

系統電源につなぎ、安定供給性を依存している自然エネルギーの現状の利用形態では、供給量が調整可能な火力発電が必要であり、自然エネルギーの長所が十分に発揮されない。

自然エネルギーを自在に扱えることを可能にするのが蓄電池である。自然エネルギーの発電地近辺に自然エネルギーの発電量の数日分の容量を持つ蓄電池を設置することで系統電源につながずに安定供給することが可能となる。

蓄電池の中では、リチウムイオン電池が最も有望である。現在でもコンピュータや携帯

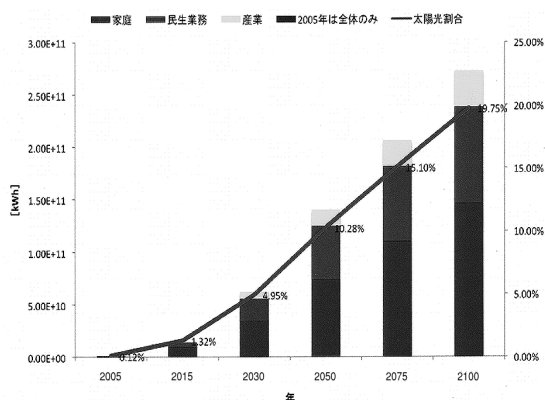


図9 太陽光発電の発電量と割合の推移

電話などの高性能が要求される場面で使われており、2009年から登場する電気自動車にも使われることが決まっており、すでに使用の裾野が広いことが分かっている。リチウムイオン電池は大容量・高出力という特徴を持ち、長寿命化にも期待が持てる蓄電池である。

蓄電池は現在さまざまな種類が開発されており、新たなエネルギー供給構造を支える役割を担うものである。緊急性からも早期の実用化が必要であり、リチウムイオン電池の生産・普及を集中的に支援することはわが国のエネルギー技術戦略に必要不可欠である。

6. エネルギー技術戦略のマネジメント

以上、超長期ビジョン「E-RISE」、並びに実現に向けた各々のエネルギー技術戦略を述べた。しかし、どれほど緻密に練られた技術戦略であれ、戦略の実施を担うマネジメントシステムが必要である。ここではソフト面とハード面の両面から提案を行う。

まずはソフト面として「エネルギーマップ」の構築を提案したい。エネルギーマップとはエネルギー供給、消費、自然エネルギーポテンシャルといったエネルギーに関するわが国全土の情報を地図上で可視化するツールである。先の技術戦略での方針として原子力・自然エネルギーの供給力を高め、化石資源依存から脱却していくということであったが、こちらはわが国全体のエネルギー技術戦略である。ローカルな技術戦略は地理的・社会的特色を考慮して構築されるべきである。地図上で包括的なエネルギーの情報を視覚的に示し、多様な戦略構築を可能とするエネルギーマップをおおいに活用することで、技術戦略は完成度を増すと考えられる。

次にハード面である。ハード面の提案は「エネルギー省」の創設である。論文で示すのはわが国の超長期エネルギー技術戦略であるが、同時にエネルギーを巡る世界情勢を考慮して短期的な戦略を見直し、立案する役割が

必要となる。現在は経済産業省に資源・エネルギー庁が設置されているが、今後のエネルギー情勢の混迷と海洋資源開発が加速されていくことを想定し、エネルギー省が創設されるべきである。創設にあたり、問題解決に十分な人員と資金を確保し、エネルギー問題は国家として取り組むべき非常に優先順位の高い課題であることを明確に宣言する。エネルギーは環境省、経済産業省の対象範囲ともなりうるが、主導権を発揮し、連携をとることでより確実かつ効率的な問題解決を行うことをエネルギー省の役割とする。

以上が技術戦略を円滑にマネジメントし、実現するための提案である。

〔謝辞〕

「Channel to Earth」の準備、また、本論文の執筆にあたっては多くの方々のご協力をいただきました。

東京大学工学部システム創成学科環境・エネルギーシステムコースの先生方には、有形・無形の多大なご支援をいただきました。内容の調査を行ううえで、先生方にお話を伺い、問題に関してより理解を深めるとともに、貴重な意見をいただくことができました。ありがとうございます。特に、アドバイザーとして工学系研究科原子力専攻・上坂充教授には長期間携わっていただきました。ありがとうございました。

超長期エネルギービジョンの提唱をされている湯原哲夫東京大学特任教授には、超長期ビジョン「E-RISE」の策定の際にご相談させていただきました。暗中模索の作業に指針と希望をいただきました。ありがとうございました。

東京大学サステイナビリティ学連携研究機構住明正教授には、IPCCの評価報告書を理解する上で必要となる基礎知識や地球温暖化問題に関する先生自身の意見を聞かせてくださいました。

東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻・島田 莊平准教授には石炭火

力発電などの化石エネルギーについて幅広くお教えいただきました。

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻・幸田栄一准教授には、火力発電のロードマップを製作するにあたって、ご助言を頂き、また、技術について様々な説明をしていただきました。

国立環境研究所の亀山康子様には、発表用のポスターに対して改善点を指摘していただきました。第三者に発信するときに伝わりやすいポスターを作る上で大きな助けとなりました。

環境省の瀬川恵子様には「環境政策論」のご講義をいただきました。また、参考資料を紹介していただき、温暖化問題を学ぶ上で非常に助かりました。ありがとうございました。また、環境省の吉田宏克様には排出権取引に関してご説明いただきました。ありがとうございました。

参考文献

- (1) 環境省 総合環境政策局 環境計画課：超長期ビジョンの検討について（報告）
- (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」
- (3) IEA: World Energy Outlook 2002
- (4) IPCC: Assessment Report4 WG2
- (5) UN, World Population Prospects: The 2006 Revision
- (6) IAE:超長期エネルギー技術ロードマップ報告書（超長期エネルギービジョン2100）
- (7) 「2050 日本低炭素社会」プロジェクトチーム：「2050 日本低炭素社会シナリオ」
- (8) 持続型社会研究協議会：「持続型社会へ向かうエネルギービジョン」
- (9) IPCC: Assessment Report4 WG1,3
- (10) 経済産業省：Cool Earth-エネルギー革新技術計画
- (11) IAE:エネルギー分野における技術戦略マップ
- (12) 「J-COAL」ホームページ
- (13) 「電中研レビュー」電力中央研究所
- (14) 「JOGMEC石油／天然ガス レビュー ‘04／1・3」

[大島賞懸賞論文 優秀賞]

政府によるエネルギー研究開発支援について

小田 潤一郎 (財)地球環境産業技術研究機構
システム研究グループ 研究員



概 要

政府によるエネルギー研究開発支援は、絶対的な単一の根拠を基に議論できる性質の問題ではなく、複数の価値基準，社会的要求，公益性を複眼的に考察し，その有用性と課題を相対化し議論する必要がある。

政府によるエネルギー研究開発支援が有用である1つ目の理由は，エネルギーセキュリティの対策強化である。特に，産油国との交渉力を強化するためには，潜在的に石油消費の削減が可能な技術開発を事前に行っておくことが望ましい。2つ目の理由は，二酸化炭素（CO₂）削減の社会的要求の高まりである。課税，キャップ・アンド・トレードといった方策だけで大幅なCO₂削減を実現しようとする，国民の反対や弊害が大きい。ライフスタイルや社会インフラの変化も，単独ではCO₂削減の量が期待できない。仮に大幅なCO₂削減を目指すのであれば，技術開発を主軸にしつつ，課税や社会システムの変革との相乗効果を狙った方策が有効である。

公平をきすため，政府によるエネルギー研究開発支援の課題についても同様に見る。第一に不確実性への対処という課題がある。政策が効果を発揮するためにも政策は長期的に継続し安定である必要があるが，税収の効率的な利用という観点からは，新たな知見に基づいた柔軟な運営が理想的には求められる。第二に公益性の定量化が難しいという課題がある。研究開発の目的が，単に技術の普及ではなく，エネルギーセキュリティへの貢献，科学技術力の強化，新たな技術オプションの発掘，波及効果となると，これら便益の定量評価は難しい。従って「高い公益性が見込めるため，研究開発を実施・継続する必要がある」のか，「研究開発を実施・継続するため，高い公益性があると主張する必要がある」のかの区分は容易ではない。第三に rent-seeking，より平たくは「敗者は政府に取り入るのが上手いが，政府は勝者を選ぶのが下手」という課題がある。

このように政府によるエネルギー研究開発支援には課題も多いが，それでもなお，エネルギーセキュリティの強化，CO₂削減の実現を達成するためには，なんらかの政府支援が必要かつ不可欠である。研究開発をより有効にするためには，ディマンド・プルとテクノロジー・プッシュの予期せぬ融合を活用する，という不確実性を逆手にとる視点も必要である。

具体的な研究開発の方向性としては，1）原子力やCCSに関する（社会的側面の）研究，2）間欠性電源，リアルタイム電力料金，PHEV，EVの有機的融合，3）太陽光発電と二次電池という自立型電源に誘発される省エネ機器の活用，が現時点で有望であり，また各技術の設備費低減に関しては中国製造業の技術の活用が期待される。

1. はじめに

(1) 問題の性質

エネルギー技術戦略は、少なくともエネルギーセキュリティ、CO2制約のみならず、産業の国際競争力にからむ問題であり、本質的に「国家百年の計」が求められる。このようにエネルギー技術戦略が極めて重要な問題である一方、その重要性に比べ正面から議論されることがあまりに少ないのは、それが、百家争鳴の議論となりやすい難しい問題だからだろう。

このような難しい問題を議論するに当たり、まず、結論から明確にすることは読者の負担を最小化するためにも有効である。ここで、二種類の結論が考えられる。一つは、「政府によるエネルギー研究開発を大いに推進すべき」という結論である。この結論を採用したならば、明快な主旨を持つ歯切れの良い論文となったはずである。

もう1つの結論は、「政府による研究開発支援は課題が多いが、それでもなお、何らかの政府による研究開発支援が必要である」というものである。本論文は、むしろこの歯切れの悪い結論を採用する。問題の性質から、これを支える絶対的かつ単一の根拠がある訳ではない。政府による研究開発の課題と有用性を複眼的に考慮し、研究開発以外の方策と相対化した上での結論である。なお、本論文は、一般論と具体論（個々の技術が持つ個性に注目）の両者に配慮し、次のような構成としている。

(2) 全体の構成

次の2章では、政府によるエネルギー研究開発の一般論な課題を議論する。本論文で「政府によるエネルギー研究開発を大いに推進すべき」という明快な結論を採用できなかった理由がここにある。3章では「なぜ今後も政府による支援が必要か」について一般論を軸に述べる。2章は課題を、3章は有用性を

それぞれ述べているという点で、これらは互いに対をなす。

4章ではハイブリッド車という具体的な技術を軸に、「予期せぬ波及や融合」の活用がより良い研究開発にとって重要であることを述べる。5章では今後の研究開発に対する具体的な提案を行い、6章で以上をまとめる。

2. エネルギー研究開発の課題

「わが国のエネルギー技術戦略はいかにあるべきか」という問いは、一言で言えば難問である。「政府によるエネルギー研究開発支援はいかにあるべきか」と言いなおすと、それはなおさらである。難問であるのは、そこに課題が存在するためである。

第1に不確実性への対処、継続性と柔軟性という課題がある。政府による研究開発支援は、技術開発・普及に長期のリードタイムを要し、その間に技術開発の成果が社会に広く拡散するため、技術開発主体が投資に見合うリターンを十分確保できない分野でその必要性が高い。あるいは「魔の川、死の谷、ダーウィンの海」という不確実性や障壁があるため政府による支援が求められる。政策が十分な効果を発揮できるよう、政策は長期的に継続し安定である必要がある。さらには、現実の合意形成において「柔軟な政策」は「何も決めていないこと」と同じであり、そもそも「柔軟な政策」は存在しえないという側面もある。

一方、研究開発には不確実性がつきものであるため、税収の効率的な利用という観点からは、新たな知見や社会的要請に基づいた柔軟な運営が理想的には求められる。そういった意味では、政策の柔軟性が求められる。

第2に、公益性の定量化が難しいという課題がある。税収の効率的な使用も誰もが否定しがたい価値であるが、研究開発の目的が、技術の開発普及だけでなく、エネルギーセキュリティへの貢献、科学技術力の強化、技術オプションの発掘、異分野への波及効果と

なると、これら便益の定量化はより困難となる。そのため、ある技術において「高い公益性が見込めるため、研究開発を実施・継続する必要がある」のか、「研究開発を実施・継続するため、高い公益性があると主張する必要がある」のかの区分は容易ではない。

第3に、どのような「手続き」により行うかという課題がある。最終的には、少数の専門家によりトップダウン的に決定せざるを得ないし、また研究開発の「中身」が整っていればよく、意思決定手続きはこれに至るまでの単なる「手続き」である、との考えがこれまでの本流であろう。

一方、rent-seekingの問題、より平たくは「敗者は政府に取り入るのが上手いが、政府は勝者を選ぶのが下手」という格言、さらには「手続き」の公正性がその技術の社会的側面へ跳ね返る可能性を考えれば、こういった「手続き」も重要と言える。Gadonneixは「(エネルギー政策の)意思決定の参加者を、専門家だけではなく、より広げるべき」と発言している⁽¹⁾。もちろん、意思決定の参加者を広げたら、rent-seekingの問題を含め全ての問題が解決するというより、むしろより問題を深刻にし新たな問題を生み出す可能性すらある。そのため「手続き」をどう進めるべきかという議論は単純ではない。

なお、研究開発はその実施段階において誹謗中傷や反対運動を受けがちである。そのため、現実に研究開発を前進させるため「本研究開発によって必ず規定の成果を得ることができるし、高い公益性が見込める」という発言が政府や研究開発実施者に求められる可能性がある。このような状況は、理念的に求められる説明責任、インフォームド・コンセントをより難しくする。

以上、政府研究開発の課題について議論してきたが、より重要なことは、課題と有用性を複眼的に考察することであろう。次に、政府研究開発の有用性について議論する。

3. 政府によるエネルギー研究開発支援の有用性

(1) エネルギーセキュリティに関して

日本の諸条件、すなわち安価な国内資源を持たず、近隣諸国との関係が成熟せず、中東などの遠方から石油やガスを輸送する必要がある、オイル・メジャーやナショナル・フラッグ・カンパニーといった上流部門をかかえる巨大な石油会社を持たず、また強力な「軍事力」を保有していないという点から、従来からエネルギーセキュリティの重要性が指摘されてきた⁽²⁾。これまでの歴史的経験、例えば1937年、1941年にそれぞれ行われた日本への石油の輸出制限と禁輸、1970年代のオイル・メジャーの行動を振り返れば、一日本人としてとある思いを抱かざるを得ない。これまで省エネ法や石油備蓄など、数多くの政策が実施されてきたが、さらなる対策強化の必要性が指摘される⁽³⁾。

エネルギーセキュリティの一側面として、交渉力（バーゲニングパワー）強化の必要性も指摘される⁽⁴⁾。これを平たく言えば、日本側が産油国側と交渉する際に、「こちらとしては他に（技術の開発や普及によって石油消費量を削減する）選択肢がある」ことを相手に認識させ、できる限り妥当な条件を獲得できるようにする、ということである。この観点から、石油消費量の削減が潜在的に可能な技術の研究開発を事前に行っておくことが望ましい。

(2) エネルギー起源CO₂排出量の削減について

① 課税とキャップ・アンド・トレード

まず考えられるのが、エネルギー価格を課税などで上昇させる方策である。これまでの経験から、家庭部門、業務部門の小規模事業者、運輸部門の価格弾力性は決して大きくはない。そのためCO₂削減の量を確保するには、大幅な課税、例えばガソリンへの課税額をこ

れまでの3倍程度の150円/ℓとする必要がある。ただし、こういった課税増額は幅広い国民の賛同を得られにくい。

もう1つの方向性は、石炭やC重油、ガスを大量に消費（販売）している大企業に対し、炭素税やキャップ・アンド・トレードを導入する方策である。これは国民の賛成を得やすいかもしれないが、高額な炭素税や、生産量抑制を必要とする厳しいキャップは、国際競争にさらされている素材産業の生産地を海外に移す誘因となる。これは京都議定書のような枠組みには大いに役立つが、世界全体の排出減につながらず、国内の雇用が減るといった意味で弊害が大きい。また、電気事業者やガス会社の場合は、それぞれ料金の値上げが必要となる。

まとめると、大幅なCO₂削減をもたらす程の増税は国民の反対が根強く、厳しいキャップは弊害が大きい。それでもなお、CO₂削減を進めるというのであれば、ゆるやかな課税増額が望ましい⁽⁵⁾。仮に大幅な削減が必要であれば、他の方策も組み合わせる必要である。

② ライフスタイルや社会インフラの変化

メディアの活用や環境教育によって人々の価値観やライフスタイルを変革させ、結果的にどの程度のCO₂削減が期待できるのであろうか。より重要なことに、その費用対効果はどの程度であろうか。また、コンパクトシティや無料貸し出し自転車といった社会インフラの変化によってどの程度のCO₂削減が期待できるのであろうか。

仮想的に考えれば、これらは大幅なCO₂削減のみならず経済的便益をもたらす。職場に近い場所に住み、家では食器洗い乾燥機、洗浄温水便座を使わず、小さなテレビを見て、デスクスタンドとフットライトで生活をする。さらに、雨水を利用し、ゴミを自然乾燥させてから出せば優等生だ。

これは、ある1人がこのような行動を実行できたから、他の全ての日本人も同様の行動

をするべきと道徳や倫理に訴えればよいという問題ではない。常識的な現代人であれば、日本全体のCO₂削減という文脈でこういった方策がいかに頼りないかを知っている。さらに言えば、無駄が多く浪費が当たり前で既に車社会が進んでいる地域において、こういった社会システムの変革は効果的であるが、日本はそうではない。CO₂削減の量を期待するには、他の方策も組み合わせる必要がある。

③ 技術による対応

大幅な課税が難しく、社会システムの変革が単独では期待できないとなると、CO₂削減のために技術による対応が欠かせないことがより一層説得力を持つ。ただし、ここで言いたいのは、課税、社会システム、技術という3要素は相互依存的関係にあるため、これらの相乗効果を発揮するような政策の組み合わせを実施すべきであり、中でも技術は鍵となる要素であるということである。2章で議論したように、政府によるエネルギー研究開発支援は課題も多いが、それでもなお、CO₂削減が必要であれば、研究開発を活性化する必要がある。

技術がCO₂削減にとって重要である理由の1つは、技術が進んでいけば同様のコストをかけるにしろより多くのCO₂削減を達成できるためである。「温暖化は道徳的、倫理的問題であり、コストは度外視してでもCO₂削減を行うべき」という主張もなされるが、現状の日本の財政状況や社会保障への支出要求から明らかのように、これは有効な議論ではない。CO₂削減量を最大化するためにも、コスト効率的な方策が必須であり、多様な技術開発を行った方が良い。

日本における技術開発の活性化は日本にとって望ましいばかりでなく、その波及を通じて世界にとっても望ましい。米国が京都議定書を批准せず、カナダが達成を断念し、また次期枠組み（2013年から2020年）が紛糾している要因の1つは、安価な削減技術が存在しないためである。

中長期的な議論として「温室効果ガスの大幅削減と濃度安定化というIPCCが示したシナリオは達成可能か？」という問いに対し、Hoffertは「マンハッタン計画に匹敵する規模の、壮大な工学的努力が必要」と答えている⁽⁶⁾。これは、中国、インドを含め世界各国が大幅なコスト負担までして自国の削減を進めるのは期待できないし、まして途上国が非電力と非動力を主体としたライフスタイルを愛好すると考えにくいためである⁽⁵⁾。

(3) 研究開発の有効性に関するまとめ

技術はリバウンド効果を生むという言う意味で万能でないし、唯一の解でもない。さらに2章で指摘したように技術向上を促す政府研究開発も課題が多い。それでもなお、ここで示したようにエネルギーセキュリティ、CO₂削減という社会的要請から、技術は特に重要である。とりわけ大幅なCO₂削減を実現するためには、技術向上を目指した研究開発の活性化を主軸としつつ、課税と社会システム変革との相乗効果を発揮できるよう政策を組み合わせる必要がある。

以上、政府によるエネルギー研究開発の課題と有効性について述べてきたが、次に具体的技術を挙げ、より良い研究開発について考える。

4. よりよい研究開発とは

伝統的にテクノロジー・プッシュとディマンド・プルのどちらがイノベーションにつながるか、という議論がなされてきた。この議論では多くの場合、どちらに重点を置くべきかという、いわば両者が背反の関係にあることを前提としている。

次に、こういった一般的議論から離れて、具体的な議論として実際に市販化されたハイブリッド車（以下HEV）について見てみる。現代においてHEVの本格的な市販は1997年末に始まり、2008年現在、国内外の自動車会社はHEVのより大幅な販売計画を打ち立ててい

る。HEVの市販化成功が広く認識されるまでほとんど予想されていなかったプラグインハイブリッド車（以下PHEV）も、2010年の市販化が計画されている。PHEVは需要端で短期的な燃料代替性を持つため、石油危機のようなショックにとりわけ強い。これはエネルギーセキュリティ確保のためには石炭液化が不可欠だとされていた時代には、予想もつかなかったことである。またPHEVと電気自動車（以下EV）は、蓄電装置の開発、充電スタンドの普及といった意味で、相乗効果がある。

そもそもHEVやPHEVは冗長的構造が避けられず、さらにEVが伝統的に持つ蓄電装置の課題（コスト、耐久性、重量）も一部内包するため、本格的な市販は難しいとされてきた。この市販化を可能としたのは第1に技術者・経営者の努力と言えるが⁽⁷⁾、次の2つの要因も関連したと思われる。1つ目は、携帯電話やノートパソコンに見られるモバイル機器の大量普及により、二次電池の高性能化がもたらされたことである⁽⁸⁾。これは、小型軽量の二次電池が必要という市場のニーズが技術向上をもたらしただという点で、ディマンド・プルと呼べる現象である。2つ目の要因は、EVに関する過去2回にわたる国家プロジェクトの実施である。EV量産化という国プロの目的は達成されなかったが、この国プロにより培った技術は、後のHEV開発に影響を与えたとされる⁽⁷⁾。HEV開発へ影響を与えることは、EVの国プロにとって予期せぬことではあるが、これはテクノロジー・プッシュの一形態と言える。

この2つの要因はそれぞれが予期せぬことであり、異分野での出来事である。さらに言えば、これら要因は結果としてHEVやPHEVに貢献したという予期せぬ融合をはたした。研究開発においては、このようにテクノロジー・プッシュとディマンド・プルが予期せず発生し、しかも、これらの予期せぬ融合により技術革新が生まれることもある、という視点が必要である。

5. 具体的な技術を含めた提案

(1) 原子力と炭素回収貯留の研究

石油価格高騰により風力、太陽光、バイオマスなどの非化石燃料へ代替が進むというのは、完全な間違いではないが正確でもない。実際には石炭への代替が進むし、また石油の消費が落ち込むほどの価格高騰長期化を産油国は望んでいない。IEAが発表した今後の見通し（基準シナリオ）で、2030年の時点で世界の化石燃料のシェアが80%超であることは、なんら驚くことではない⁽⁹⁾。従って、原子力や炭素回収貯留（以下CCS）は、CO₂削減の量を確保するために、特に重要となる。一般に議論されるCO₂削減目標や安定化目標は、原子力やCCSなしに達成できるほど生易しいものではない⁽¹⁰⁾。

ここで原子力の歴史を振り返れば、これまで工学的側面に重心があり、社会的側面の研究は必ずしも十分ではなかった。工学的な成立可能性の検証、工学的な安全性の確保は重要かつ不可欠であるが、社会的側面の研究も同時に（できれば事前に）進める必要がある。

ここで言いたいのは、社会的側面の研究を進めれば、単純に社会的反発が少なくなり、立地や稼働率向上が容易になるということではない。むしろ、事前に社会的側面の研究を進めることで、社会的側面に配慮した研究開発とは何かを把握することが重要である。とりわけCCSは現在研究開発の初期段階でありその必要性は高い。こういった社会的側面の研究は、砂漠での大規模太陽熱発電、宇宙太陽光発電といった潜在的にポテンシャルの高い巨大技術にも示唆を与える。

(2) ハード技術と社会システムの同時進行的な変革

太陽光発電と風力発電は特に社会的注目度が高いが、設備費、稼働率、さらには発電の間欠性により発電電力量は依然として小さい（世界の風力・太陽光の発電電力量シェアは

2005年時点で0.6%⁽¹¹⁾）。間欠性電源は発電電力量に占めるシェアが大きくなるに従い（例えばシェア15%程度）、系統安定性を確保するため送電設備の増強やバックアップ電源に加え、平滑化用の蓄電装置も必要となる。このようなコスト負担を、民間企業に対し強制したり、あるいは電気料金を大幅に上昇させそのコストを回収したりすることは、社会的にも、また日本の国際競争力という観点からも賢明ではない。

ところで以上の議論は、現状の社会システムを前提としている。次世代の社会システムとして、リアルタイム電力料金を広範囲に導入し、そのリアルタイム電力料金を前提とした自動制御式のヒートポンプ給湯器や蓄熱式冷暖房、さらには先に挙げたPHEVやEVを有機的に結びつけたらどうだろうか。

この次世代システムでも課題はある。コストと技術的な成立可能性である。さらに、このようなシステムの導入を図るには、既存の法律や制度、慣習を大幅に変更する必要があるため、社会の幅広い合意が不可欠である。特にシステム変更の実施主体となる電気事業者にとってシステム変更の過渡期を含め十分な経済合理性があり、電気事業者自らが自発的に行動する必要がある。ただし以上のような次世代システム導入により、風力・太陽光の発電電力量に占めるシェアが合計で仮に15%程度と現在より大幅に増えた場合でも、耐えられない程のコスト負担だったのがある程度低下することが期待できる。既に本システムに関連する研究はNEDOや民間企業が数多く実施しており、今後のより活発な研究開発が期待される。

(3) 途上国農村向けの自立型電源・家電製品の活用

非電化地域や、電力供給が不安定な途上国農村部において、太陽光発電と二次電池の組み合わせによる自立型電源が注目されている。このシステムにおいて電気容量や価格の制約

から、使用する家電製品はLED照明のように出力が小さいながらも目的とするサービスを提供できるよう、「エネルギー効率が格段に優れていなくてはならない」という強力な市場ニーズが存在する。

先進国は、これまで家電製品の大型化多機能化により、さらには食器洗い乾燥機や温水洗浄便座など新たな家電の普及により、効用も増加したが電力消費量も増加した。これに対し、太陽光発電と二次電池の組み合わせは、テレビや冷蔵庫、洗濯機に関して、小型で出力が小さい製品が好まれる。仮にこういった省エネ製品が大量に広まれば、先進国の市場にも導入される可能性が中長期的に考えられる。これは従来難しいとされてきたライフスタイルの変革をもたらす可能性もある。

問題は太陽光発電と二次電池の価格、耐久性であるが、Prahaladによれば、企業が現地の実情を綿密に調査した上で商品開発を行い適正なビジネスモデルを構築すれば、市場規模が巨大なため、企業は適正な利潤を確保しつつ、貧困削減につながる可能性がある⁽¹²⁾。省エネ性に優れた家電製品は、日本企業の得意な分野であり、さらなる研究開発の活性化が望まれる。

（４）中国製造業の技術の活用

温暖化の議論において、CO₂排出削減を進めるには先進国から途上国への技術移転が必要という意見も聞かれる。ここで提案するのは、この話とは全く逆に、「中国製造業の技術を世界で活用すべき」という話である。例えば、真空管型太陽熱温水器は、放熱が少なく寒冷地でも使用できるが、日本では価格が高い（50万円以上）などの理由で普及は進んでいない。一方、中国では安価に販売され政府の補助金なしで大幅に普及しており、2007年時点で世界の太陽熱パネルの76%を中国が占める（価格競争が激しく、品質の問題や技術開発の停滞が懸念されている）⁽¹³⁾。日本で求められる品質が厳しいとはいえず、圧倒的に安

く作る中国製造業の技術の活用に注目すべきである。現に一定の品質基準を満たす商品が欧州へ輸出されている。

他にも、トップヘビーなコスト構造を持つ風力発電、太陽光発電など、中国製造業の技術の活用が期待される。これらは例え最高品質の製品より10%エネルギー効率に劣っても80%安い方が競争力を持つ。中国製造業の技術の活用は、何も日本の企業に頼らず中国企業の製品を輸入すればよいという話ではない。中国製造業は垂直分裂型の製造業である。中国製造業の技術の活用とは、付加価値の高い製品（基幹部品など）は日本企業が開発製造し、他は中国企業にゆだねるといった「住み分け」をいかに進めるかということである⁽¹⁴⁾。政府の研究開発や普及政策により、このような民間ベースの活動を活性化することが期待される。

6. まとめ

- ・ 政府によるエネルギー研究開発（支援）がこれまでなされてきたが、その予期された成果、予期せぬ結果（成功と失敗の両方）を広くとらえると、政府によるエネルギー研究開発（支援）は課題を多く抱えるが、その課題を含めてもなお有効であり、一定の役割を果たしつつあると判断できる。
- ・ 今後、エネルギー技術に求められる複数の特性、すなわちより低い環境負荷、より低位の費用、社会的側面への配慮、より安定的な供給から考えて、技術のさらなる向上が欠かせない。
- ・ 技術のさらなる向上のためには、ダイヤモンド・プル（民間による研究開発と政府による普及政策）と、テクノロジー・プッシュ（政府による研究開発支援）の予期せぬ相乗効果を活用することが有効である。
- ・ 政府によるエネルギー研究開発支援は、技術単独で考えるのではなく、エネルギーへの課税、社会システムの変革といった要素

と組み合わせ相乗効果を図ることで、より効果的となる。

- ・ その上で、具体的な研究開発の方向性として、1) 原子力やCCSに関する(社会的側面の)研究、2) 間欠性電源、リアルタイム電力料金、PHEVやEVの有機的結合、3) 太陽光発電と二次電池という自立型電源に誘発される省エネ機器の活用、が現時点で有望であり、また各技術の設備費低減に関しては中国製造業の技術の活用が有効である。

参考文献

- (1) Gadonneix, P., WEC特別講演, WECローマ大会, 2007年12月3日.
- (2) 有沢広巳編, 日本のエネルギー問題, 岩波書店, 1963.
- (3) 十市勉, 21世紀のエネルギー地政学, 《エネルギー》世界の情勢とわが国の戦略, 産経新聞出版, 2007.
- (4) 石油産業活性化センター, アジアのエネルギー・セキュリティと日本の役割に関する調査, 日米共同研究会, 1999.
- (5) Lawson, N., An Appeal to Reason, A Cool Look at Global Warming, Overlook Duckworth, 2008.
- (6) Hoffert, M., Are the IPCC scenarios “unachievable”? Nature 452, p.509, 2 April 2008.
- (7) 碓義朗, ハイブリッドカーの時代: 世界初量産車トヨタ「プリウス」開発物語, 光人社, 1999.
- (8) 杉山大志, 今中健, 21世紀日本のエネルギーシステムシナリオ—電化の進行と温暖化対策—, 電力中央研究所報告, Y06018, 2007.
- (9) IEA, World Energy Outlook 2007, China and India Insights, p.74, Paris, 2007.
- (10) IEA, Energy Technology Perspectives 2008, Scenarios and Strategies to 2050, 2008.
- (11) IEA, Energy Balance of Non-OECD countries, 2007.
- (12) Prahalad, C., The Fortune at the Bottom of the Pyramid, Eradicating Poverty through Profits, Wharton School Publishing, 2004. スカイライトコンサルティング訳, ネクスト・マーケット: 「貧困層」を「顧客」に変える次世代ビジネス戦略, 英治出版, 2005.
- (13) <http://www.rsc.org/chemistryworld/Issues/2007/November/SolarPowerHeatsUpInChina.asp>
- (14) 丸川知雄, 現代中国の産業: 勃興する中国企業の強さと脆さ, 中公新書, 2007.

[大島賞懸賞論文 優秀賞]

わが国の長期エネルギー技術戦略とアジアへの国際展開

小宮山 涼一 (米国エネルギー省 ローレンスバークレー国立研究所 客員研究員)
(財団法人エネルギー経済研究所 計量分析ユニット付)



概 要

今後、世界のエネルギー消費と二酸化炭素（CO₂）排出量は、アジアを中心に増加するため、地球温暖化のリスクを抑制するには、アジアのCO₂排出抑制が急務となる。このため、先進国だけのCO₂削減だけでは温暖化に対処することはできず、CO₂排出量の急増が今後予想されるアジア途上国での地球温暖化対策の強化が必要になる。このため、日本は今後、自国の優れたエネルギー・環境技術を武器に、省エネルギー協力など円滑な技術移転により、アジア途上国の環境負荷削減に貢献し、国際的なエネルギー安定供給の確保、地球温暖化問題へ効果的に対応していくことが求められる。アジアでは、化石資源の大量消費、CO₂排出量増加、石油の輸入量急増を抑制することが、エネルギー安定供給確保と温暖化問題を克服する上で重要な課題となる。そのため第一に、エネルギー転換部門、最終消費部門での省エネルギー技術等の導入を通じて、供給の太宗を占める化石資源の高効率利用、環境適合的利用を進め、第二に、原子力、再生可能エネルギー等の非化石燃料の導入を拡大することが、アジアにおける持続可能なエネルギー市場実現に向けた確実な対応策となる。特に、アジアのエネルギー需給の安定化から見れば、IGCC（石炭ガス化複合発電）など石炭の高効率利用技術を活用した環境適合的な石炭利用や、バイオ燃料、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド車、燃料電池自動車など石油系燃料を直接消費しない技術の普及、原子力の安定供給等が特に有効である。これらを踏まえ、日本で既に実用化、普及している技術や、今後の研究開発によりわが国が世界をリードすると見込まれる有望な技術を、アジア途上国に移転することにより、世界全体でのCO₂排出量を大幅に削減できると期待されることから、技術移転や普及支援策などの技術協力を講じることが重要な課題となる。日本はエネルギー技術戦略を考える際、国内だけで完結した技術戦略ではなく、アジア全体を視野に入れた内外一体のエネルギー技術戦略の策定がより一層求められる。日本は、国際的に優位性を持つ省エネ、環境技術、エネルギー安全保障政策面での進んだ経験・知見を活用して、アジアでの地域協力を主導し、アジアのエネルギー問題の解決に資する更なる革新的な技術分野の確立を進め、わが国のエネルギー環境技術のアジアへの国際展開を通じて、自国の経済発展の原動力に転換させることが求められる。

1. はじめに

エネルギー問題、地球環境問題への関心が世界的に高まっている。経済のグローバル化を背

景に、アジア途上国の工業化、都市化が急速に進み、ダイナミックな経済力の発展を遂げる中、世界のエネルギー消費はアジアを中心に増え続け、エネルギー供給面での世界的な量的不足や

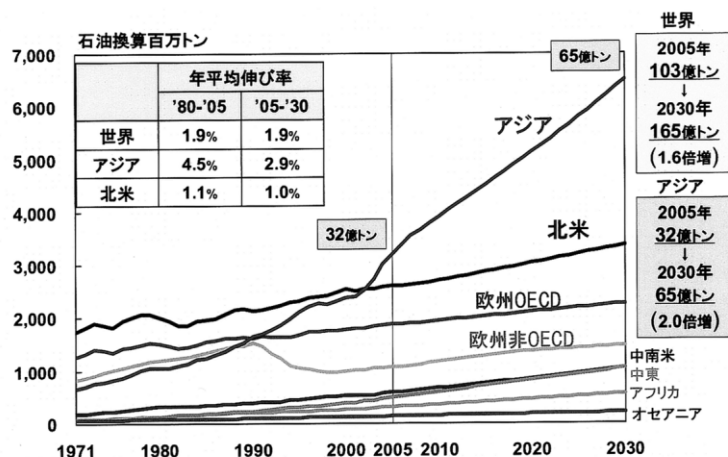


図1 世界の一次エネルギー消費⁽¹⁾

脆弱性の高まり，それに伴うエネルギー価格の高騰や地球環境問題の深刻化が一層懸念されている。特に，巨大な人口を抱える中国やインドでエネルギー需要が急増し，国際エネルギー市場の不安定要因となっている。

今後も世界のエネルギー消費とCO₂排出量は，アジアを中心に増加する。アジアは旺盛な経済成長を背景に，2030年までの世界のエネルギー消費の伸びの5割を占め，需要は2倍へ急増し，北米地域を大きく引き離し世界最大のエネルギー市場となる⁽¹⁾（図1）。

同様に，世界のCO₂排出量の伸びの5割強をアジアが占め⁽¹⁾，地球温暖化のリスクを抑制するには，アジアのCO₂排出抑制が急務となる。このため，先進国だけのCO₂削減だけでは温暖化に対処することはできず，CO₂排出量の急増が今後予想されるアジア途上国での地球温暖化対策の強化が必要になる。中国などアジア諸国におけるCO₂排出量の急速な増加を見れば，日本の国内対策の効果はグローバルに見れば限定的である。このため，日本は今後，自国の優れたエネルギー・環境技術を武器に，省エネルギー協力など円滑な技術移転により，アジア途上国の環境負荷削減に貢献し，国際的なエネルギー安定供給の確保，地球温暖化問題へ効果的に対応し，持続可能性のある国際エネルギー市場の秩序を創造していくことが求められる。

国際的なエネルギー問題，地球環境問題の深刻化という公益的課題の解決に資するわが国のエネルギー技術戦略とは何か。エネルギー環境技術を通じた国際貢献を考える際，特に，エネルギー需要，CO₂排出量の増加が最も顕著であるアジアのエネルギー市場安定化に向けた技術戦略を描くことがわが国にとって重要となる。アジアのエネルギー市場を取り巻くリスク要因について分析しながら，国際的視点で，わが国のエネルギー技術戦略のあるべき姿とその実現に向けてのポイントを考えてみたい。

2. アジアのエネルギー需給とわが国のエネルギー技術戦略

2030年のアジアのエネルギー供給の構成を展望すると，急速に拡大する需要を賄うエネルギー源は，石炭を中心とした化石資源が依然として中核にある⁽¹⁾（図2）。新エネルギー，原子力，水力などの非化石燃料も，地球環境への対応策として重要な役割が期待されるが，現実的には，急増する需要に柔軟に対応するには化石燃料に頼らざるを得ない。さらにアジアでは本格的な自動車社会の到来，自動車保有台数の増加を反映して，石油消費が急速な伸びを示すが，アジア域内には豊富な石油資源が存在しないため，域外からの石油輸入が大幅に増加し，石油の安定供給の確保が必

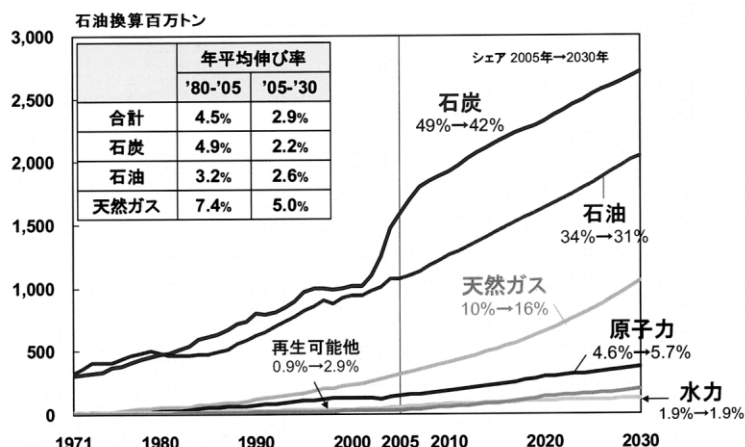


図2 アジアの一次エネルギー消費量（エネルギー別）⁽¹⁾

須の課題となる。

このようにアジアでは、化石資源の大量消費，CO₂排出量増加，石油の輸入量急増を抑制することが，エネルギー安定供給確保と温暖化問題を克服する上で長期的にみて重要な課題となる。しかしこれらの課題を単独ですべて解決する技術や政策は存在せず，長期的な視座に立ち，複数の技術対策を組み合わせる必要がある。そのため第一に，エネルギー転換部門，最終消費部門での省エネルギー技術等の導入を通じて，アジアで供給の太宗を占める石炭，石油など化石資源の高効率利用，環境適合的利用を進め，第二に，原子力，再

生可能エネルギー等の非化石燃料の導入を拡大することが，上記の課題の解決に向けた確実な対応策となる。

また日本は，多くの省エネルギー技術や環境技術分野において国際的な技術優位性を誇っており，政府も，特定の将来有望な革新的技術について積極的な研究開発，普及支援策を講じる見込みである⁽²⁾（図3）。これらを踏まえ，日本で既に実用化，普及している技術や，今後の研究開発によりわが国が世界をリードすると見込まれる有望な技術を，アジア途上国に移転することにより，世界全体でのCO₂排出量を大幅に削減できると期待されることから，技術移転，



図3 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術⁽²⁾

普及支援などの技術協力をアジア各国と講じることも重要な課題となる。

以上を踏まえ、特にアジアへの国際貢献という観点に立てば、次の3つの視点が、わが国の長期的なエネルギー技術戦略を考える上で重要なポイントになる。① 省エネ技術等による化石資源の有効利用、② 原子力/再生可能エネルギー等の非化石燃料の導入拡大、③ 技術移転を通じた地球環境問題への対応

① 省エネ技術等による化石資源の有効利用

化石資源の高効率利用、すなわち、あらゆる消費段階での省エネを進めることが、アジアのエネルギー安定供給と地球温暖化抑制の達成のために不可欠である。省エネによってエネルギー消費の伸びを抑えられれば、石油や天然ガスなどの化石燃料の需要抑制につながり、資源の保全に寄与し、エネルギー安全保障を高め、資源争奪の緩和に役立つ。また、環境影響の緩和という点でも省エネは有効であり、CO₂だけでなく、石油や石炭を燃焼する際に発生する硫黄酸化物や窒素酸化物などの汚染物質の削減にもなり、大気汚染対策にもなる。以下に、特にアジアにおいて有効であると考えられる技術対策を挙げる。

石炭の有効利用

アジアでは飛躍的な経済発展、生活水準の向上に伴い、利便性の高い電力消費が今後急増する。このためアジアで資源量が豊富で経済性に優れた石炭火力が、国内資源を有効活用する政策目標とあいまって、今後も最大の電力供給源となり、アジアでは石炭がエネルギー供給の中心的役割を担う。特に、経済成長が著しい中国、インドなど豊富な石炭資源を保有する国で石炭火力が大幅に拡大する。このようにアジアにとって石炭は、長期的に不可欠なエネルギー供給源であり経済的優位性はあるが、環境負荷が高いため、石炭の有効利用が鍵を握る。石炭火力の高効率化や、IGCCなど石炭の高効率利用技術を活用した

環境適合的な石炭利用など、環境面での対応強化がより一層重要となる。特にIGCCでは、石炭のガス化に際し、燃焼ガスの段階でCO₂を分離・回収するCCS（CO₂回収・貯留）と組み合わせることが容易であり、CO₂排出量の大幅な削減が期待できる。またIGCCは、従来型の微粉炭石炭火力で利用が困難である灰融点の低い石炭が活用可能であるため、利用炭種の拡大につながり、IGCCの実用化を通じて輸入国の拡大も見込めるため、石炭の安定供給に貢献する。エネルギー安定供給、経済性の観点から、アジアで豊富な石炭を、技術移転等を通じて効率的に利用することは極めて重要であり、発電分野などでの技術優位性のある日本の果たすべき役割は大きい。

石油の有効利用

アジアをはじめとする発展途上国での石油は今後、自動車社会の到来を受けて、消費の急増が見込まれる。このため、ハイブリッド自動車導入などによる燃費効率改善、バイオ燃料、電気自動車、天然ガス自動車、プラグイン・ハイブリッド車、燃料電池自動車など石油系燃料を直接消費しない技術の普及や、先進的な公共交通システムなど石油をより消費しない構造へのシフトを通じて、アジアの石油消費を抑制することが重要な課題となる。特に、日本車の燃費効率の高さは世界屈指であり、自動車分野での日本の技術協力の意義は大きいと考えられる。

特に電気自動車（EV）は、燃料の生産・供給から走行までのエネルギー総合効率で見れば、ガソリン車、ディーゼル車、ハイブリッド車と比較して最も効率が高い。このため、自動車分野における燃料多様化とともに、省エネに大きく貢献すると考えられる。ただしEVは、短い航続距離がネックとなるため、リチウムイオン電池など、低コスト、高エネルギー密度を誇る電力貯蔵技術の開発が重要となる。また、中長期的視点で見ても、ガソリンなど石油系液体燃料の利便性が依然高い

と見込まれることから、内燃機関を備えたハイブリッド車に充電用プラグを装備し、充電した電力のみで走行できるEVの特徴を備えたプラグイン・ハイブリッド車も重要な技術開発分野である。水素を燃料とする燃料電池車は、将来的に再生可能エネルギーから水素が製造可能になれば、大幅なCO₂削減が可能になる。そのためには、量産によるコスト削減効果が欠かせず、燃料電池のコスト要因である白金触媒の使用量低減等が重要な課題となる。EV、プラグイン・ハイブリッド車、燃料電池車は、課題は残るが、既に実用化された技術であるため、今後の普及促進に向けて、水素燃料の供給インフラや急速充電設備などの周辺技術の整備開発も重要な課題となる。また、アジア諸国は旺盛な経済成長に伴い、国内物流が活発化し、貨物部門でのトラック輸送が増加すると見込まれ、貨物トラックの主要燃料であるディーゼル燃料の高効率利用も重要となる。この中で、窒素酸化物や粒子状物質を取り除く技術の発達により、本来の利点である燃費効率のよさを発揮できるようになったクリーンディーゼル車の普及拡大が大きな役割を担う。

また石油の安定供給の確保には、運輸部門での石油代替燃料の普及推進が重要な課題となる。その中で、バイオエタノール等のバイオ燃料は、食糧問題との競合を回避して普及すれば、石油代替燃料の1つの有力な選択肢になりうる。現在、バイオ燃料の増産が、原料となるトウモロコシなどの穀物価格高騰の原因となり、新たな危機を生んでいるため、食糧や原材料利用との競合を緩和する技術開発が重要である。このため、農作物でも商品価値が無い茎や、エネルギー作物と呼ばれる原料作物など、食糧問題と直接競合しないセルロース系のバイオマスを分解、発酵させてエタノールを作る技術開発や、食糧生産に適さない土地でバイオ燃料の原料作物を栽培する研究開発が重要となる。

さらにアジアでは、石油の需要増大とともに、需要の白油化（重油構成比の低下）と品質規格の高度化（品質のクリーン化）が同時に進捗しつつある現在、石油下流部門（精製設備の高度化、品質強化に関連する技術等）での技術協力も重要な役割を果たす。また、大気汚染問題の克服に向けた石油製品の品質向上も重要となる。その意味では、特に日本の石油産業は世界でも有数の厳しい品質基準（超低硫黄ガソリン）への対応を済ませており、アジアにおける環境対策面での技術協力の中心的役割を担うことが期待される。

天然ガスの有効利用、その他省エネ技術の活用

天然ガスは、環境負荷が化石燃料の中で最も低いが、石炭に比較すると供給コストが高いため、発電部門、民生部門等での地球環境対策強化を目的にした更なる利用拡大のためには、経済性の向上が不可欠である。今後、米国や欧州でも、環境対策の面から天然ガスの需要が大幅に増加し、日本は世界最大のLNG輸入国だが、2010年代には米国が日本を抜くと見られる。このため、国際的なLNG需要増加を踏まえ、天然ガスの高効率利用が重要となる。特に、日本では、熱効率が50%台後半に達するガス複合発電が実用化されており、複合発電は、省エネとCO₂削減が同時に進む点で優位性がある。また、天然ガスから製造される合成燃料であるDMEやGTLの技術開発も、液体燃料の安定供給の面から重要な技術オプションとして位置づけられる。

この他にも効果が大きいと考えられる技術は、産業・民生部門では高性能工業炉、鉄鋼分野の排熱・排ガスの回収・再利用（高炉炉頂圧発電、コークス排熱回収設備）、IT（情報技術）を活用したエネルギー管理システム（HEMS、BEMS）、断熱材による建物の断熱性能の強化やパッシブ建築物の導入、高効率ヒートポンプ（給湯、冷暖房）、

コージェネレーション、発光ダイオード(LED)等の次世代高効率照明、送電ロスの削減、パワーエレクトロニクスを活用などである。この中で、日本の優位性を発揮できる技術は数多くあり、これらの技術を移転することにより、アジア全体ではかなりの効率改善が実現できる。

② 原子力/再生可能エネルギー等の非化石燃料の導入拡大

省エネや天然ガスへの燃料転換だけでは、地球温暖化の下での持続的発展は望めない。省エネには限界があり、燃料転換ではCO₂排出はゼロにならない。超長期的視点からみれば、技術を活用してCO₂排出が少ない自前の資源を作り出すこと、すなわち、エネルギー利用の脱炭素化とエネルギー自給率向上が、国産資源が乏しく、CO₂排出が急増するアジアにおいて最重要課題となる。この要請に応じる技術は、原子力と再生可能エネルギー以外に存在せず、これらをアジアにおける将来のエネルギー供給の中核とする革新的エネルギー技術開発が重要となる^{(3),(4)}。

地球温暖化問題の深刻化やエネルギー資源価格の高騰により、現在、原子力発電が世界的に再評価されている。域内資源の乏しいアジアでは、原子力は、安定供給の確保、環境問題の克服を進める上でその役割は大きく、原子力を中核的なエネルギー供給源と位置付け、そのシェアの維持拡大が重要となる。中国、インドを含めてアジア途上国では、原子力の導入比率が相対的に低く、電力需要の急増が予測される同地域での原子力拡大は、安定供給上のメリットが特に大きい。ただし、エネルギー自由化の時代に原子力という選択肢を維持するには、原子力の経済性をさらに高め、原子力発電の競争力強化を図ることも必要となる。また、原子力(軽水炉)で消費されるウラン資源も可採年数約80年の有限な枯渇資源であり、超長期的に原子力を利用するには、高速増殖炉による本格的なプルトニウム

利用が不可欠である。このためには現在まで形成された貴重な技術資源を継承し、グローバルな視点から長期的に増殖炉開発を進める必要がある。また、プルトニウムやウランのリサイクル利用によって原子力の資源価値を大幅に引き上げるという核燃料サイクルの意義を理解することが必要であり、長期的に実現すべき地球規模での公益的課題となる。よって国際動向を踏まえ、今後、急速な原子力の増加が見込まれるアジアにおいて、使用済み燃料を再処理する体制の整備を検討すべきであり、この分野における地域協力が重要となる。とくに日本は、国際的に優位性を持つ原子力先進国として培った技術・ノウハウなど開発支援・安全／運用管理、周辺機器・設備の供給等も含めて、さらに発展させ、原子力分野のアジアでの地域協力を主導する積極的な役割を担うことが期待される。

太陽光発電、風力発電、バイオマス等の新・再生可能エネルギーは、国産エネルギーとしても、温暖化対策としても、長期的に見て極めて重要な技術オプションとして位置付けられる。特に太陽光発電は、日本は依然、国際的な技術優位性を有しており、更なる技術開発と、積極的な国際展開が期待される。一般に、再生可能エネルギーをより一層拡大する場合、コストが高く経済面での優位性が劣る場合が多い。このため、実効性が高く効率的な普及支援制度や、技術革新を目指した研究開発予算の拡大、関連産業を支援する政策の導入など総合的な技術戦略が求められる。導入促進策として、通常の電力価格より高い値段で再生可能エネルギーの買い取りを義務付ける固定価格買い取り制度や、電力事業者が電力販売量の一定量を再生可能エネルギーによる電力にすることを義務付けるRPS(Renewable Portfolio Standards)があるが、近年、“グリーン電力証書”が日本特有の制度として注目されている。再生可能エネルギーで発電された電力に値段をつけ、証書という形で具体化したのがグリーン電力証書であり、

各企業は、この証書を自主的なCO₂排出量削減活動として利用できる。今後、日本のみに限られているグリーン証書取引を国際標準にし、国際的な制度に拡張することも有望である。また、太陽光発電や風力発電の大規模導入のための課題は、天候条件により発電量が変動し、周波数や電圧などを安定させることが難しくなる点である。よって、系統安定化技術や蓄電池システム、バックアップ電源などの総合的な整備開発も必要となる。

③ 技術移転を通じた地球環境問題への対応

今後CO₂排出量の急増が予想されるアジア途上国では、一般に、太陽エネルギーやバイオマス資源が豊富であると同時に、エネルギー利用の効率改善の余地が大きく、省エネルギーの潜在量が大きいと言われ、技術協力の余地は極めて大きい。また、費用の安い削減方策が多く存在し、アジア途上国への省エネ・環境技術などの円滑な技術移転による環境負荷削減は、技術供与国、移転国双方により大きな費用対効果をもたらすものと期待される。また、省エネ技術は、わが国にとってビジネスチャンスとしても大きな可能性を秘めている。京都メカニズムの一つであるクリーン開発メカニズム（CDM）を活用して省エネ技術を売り込むことも可能である。このような技術移転を含む国際的なエネルギー開発は今後ますます重要性を増し、アジア途上国に対して日本が技術移転や資金協力、人材育成などの取り組みを一層強化することが重要となる。

また、技術移転、その普及促進には、制度面での支援も不可欠である。新技術の普及には、国や企業、消費者などが一体となった取り組みが必要である。企業が開発した省エネ型製品を消費者が積極的に選択できるように、エネルギー効率の表示義務化や税制面での購入支援など、政策面での支援も不可欠である。わが国における省エネ政策であるトップランナー制度や、省エネラベリング制度などで培

ったノウハウの提供などでの地域協力もアジアにおいて有効であろう。

3. おわりに

アジア諸国は、同じエネルギー消費国としての立場を共有するため、地域として協調的なアプローチが求められる。エネルギー・環境問題はアジア共通の課題であり、かつ各国間の共同歩調をとりやすいテーマであり、アジア各国が積極的にコミットすることが、各国単独による取り組みだけでは得られない、アジア全体でより大きな利益を生むことが期待される。そして、このアジアにおける地域協力こそ、国内資源に乏しく、国際エネルギー情勢に対し脆弱な状態にある日本が、アジアにおいて牽引的役割を担うべき長期的課題である。よって、日本はエネルギー技術戦略を考える際、国内だけで完結した技術戦略ではなく、アジア全体を視野に入れた内外一体のエネルギー技術戦略の策定がより一層求められる。日本は、国際的に優位性を持つ省エネルギー技術や環境対策技術、エネルギー安全保障政策面での進んだ経験・知見を活用して、アジアでの地域協力を主導し、アジアのエネルギー問題の解決に資する更なる革新的な技術分野の確立とエネルギー技術戦略を構築し、わが国のエネルギー環境技術のアジアへの国際展開を通じて、自国の経済発展の原動力に転換させることが求められる。

参考文献

- (1) 財団法人日本エネルギー経済研究所，“アジア/世界エネルギーアウトLOOK2007,” 第399回 定例研究報告会 2007年10月
- (2) 経済産業省, Cool Earth-エネルギー革新技術計画, 2008年3月
(<http://www.meti.go.jp/press/20080305001/20080305001.html>)
- (3) 財団法人エネルギー総合工学研究所, “超長期エネルギー技術ロードマップ報告書（超長期エネルギービジョン2100）,” 2006年3月
(<http://www.iae.or.jp/research/result/cho06.html>)
- (4) 財団法人エネルギー総合工学研究所, “エネルギー分野における技術戦略マップ（エネルギー技術戦略2007）,” 2007年4月
(http://www.iae.or.jp/research/result/ene_map_2007.html)

平成21年度 事業計画

(財) エネルギー総合工学研究所

1. 基本的な考え方

(1) 当研究所は、昨年、創立30周年を迎えており、これまで、わが国のエネルギー工学分野の中心的な調査研究機関として、産・学・官の緊密な連携の下、各エネルギー技術分野における専門的な知見を集め、技術的側面から総合的に調査研究を行い、その成果の普及に努めてきた。技術は、わが国が国際社会で優位性を維持向上する上で不可欠な資産であり、将来のリスクに対応し得る強靱なエネルギー戦略の構築・実現に貢献するものと考えられる。当研究所は、今後とも「エネルギーの未来を拓くのは技術である」との認識の下、エネルギー技術に係る調査研究等に取り組んでいく所存である。

(2) 平成21年度には、創立30周年に当たり策定した「中長期ビジョン」に掲げられる目標実現に向け、これまで蓄積してきた技術的知見を生かし、「総合工学」の視点に立脚した当研究所の総合力が発揮できる調査研究基盤の整備を図っていく。また、昨年4月当研究所内に設置した「原子力工学センター」において、経済産業省が推進する原子力立国計画の柱の1つである次世代軽水炉技術開発事業をその中核機関として着実に推進する。

(3) 昨今、原油価格の乱高下、迫られる地球環境問題への対応等エネルギー・環境を巡る情勢は大きく変動している。また、世界的な金融危機の発生等、政治や経済を巡る情勢も流動的となっている。このような多様なリス

クが存在する状況下において、エネルギー資源の大部分を海外に依存し、かつ、大量に消費しているわが国が、国家存立の基盤であるエネルギーを将来に亘り安定的に確保していくためには、長期的かつグローバルな観点から、戦略的にエネルギー供給確保策を企画立案し、それを着実に実施していくことが必要である。有限の地球に住む我々としては、今世紀中にも顕在化が懸念される人類共通のリスクである資源制約及び環境制約に如何に対処していくかは大きな課題である。

(4) 当研究所は、ここ数年、「超長期エネルギー技術ビジョン」(2005年)、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」(2008年)など、中長期観点からエネルギー技術全般を俯瞰し評価分析を行う事業を実施し、関連する知見を蓄積してきている。今後とも、技術の評価に関し知見の最新化及び深化を図ることにより、エネルギー技術全分野を俯瞰し、エネルギー技術開発のあり方について、長期的かつグローバルな視点に立った調査研究を行っていく。

(5) 「情報」と「評価」は、技術開発戦略を策定していく上で基盤を成すものである。平成21年度には、昨年から本格運用を開始したエネルギー技術情報プラットフォームの更新・改良を進め、最新の技術情報、評価分析結果等の技術的知見を、引き続き、会員企業をはじめとする関係各位に提供していく。また、当研究所の評価分析能力向上の観点から、エネルギー技術の評価ツールの充実を図る。

(6) 当研究所を巡る経営環境には厳しいものがあり、事業収支の改善に向けて一層の経営努力を図ることが急務となっている。また、昨年12月に施行された新公益法人法により、当研究所を含む全ての公益法人は5年以内に新しい法人形態を選択し移行することが要請されている。このような激動する時代環境に適確に対応するためには、成功体験や優位点に安住することなく、これまで蓄積してきた知見を生かし、競争力のある調査研究及び経営両面の基盤の強化を図っていく。

(7) 当研究所は、次のような点にも留意しつつ事業を実施する。

- ① 有望技術の実用化には、国の政策、市場ニーズ、社会の受容性との適合性も必要とされることから、技術と社会との係わりを考慮して、学際的な調査研究の実施、異分野の調査研究機関との連携等による総合的なアプローチを進める。
- ② 調査研究及び技術開発活動の推進にはコンプライアンスの強化が不可欠であり、当研究所の事業に係る協力企業や外注先企業も含め、その徹底を図る。
- ③ 調査研究成果等の適切な普及により、関係機関の当研究所に対する評価向上に努めることにより、IAEブランドの一層の向上を図る。

2. 各エネルギー分野における調査研究等のテーマ

(1) 総合的な見地からの調査研究

- ① エネルギー技術開発戦略に係る調査研究
エネルギーの安定供給、地球温暖化問題の解決の両面から、国、研究機関、民間企業等国内関係機関が有する知見を総合し、必要に応じて国際機関とも協調して、わが国として、中長期的な観点将来を見据えたエネルギー技術戦略策定に係る研究を行う。

② エネルギー技術情報プラットフォームの運用・整備

技術開発戦略を策定していく上で基盤を成す「情報」に関しては、資源制約及び環境制約の克服に資する有望なエネルギー技術について関連する情報を収集・整理し、技術的見地から分析・評価を行い、技術開発戦略の企画立案等に資するように体系化したエネルギー技術情報基盤の整備を図り、関係機関・企業がインターネットを通して、簡便に検索できるエネルギー技術情報プラットフォームの更新・改良を進める。

③ エネルギーシステムの評価手法開発に係る調査研究

技術開発戦略を策定していく上で基盤を成す「評価」については、エネルギー需給の将来想定や新しいエネルギーシステムの導入影響評価のツールであるエネルギーモデルに関し、新しい分析手法について検討評価を行い、従来の手法では評価が難しかった問題への適用可能性について検討を行う。

④ エネルギーに関するアンケート調査研究

今後の開発が期待されるエネルギー技術に関してエネルギー関連企業や大学に対し、また、エネルギーに関する意識に関し一般公衆に対して、アンケート調査を定期的に実施し、その動向に関し調査・分析を実施する。

⑤ エネルギーマネジメントシステムの国際標準化に関する調査研究

現在、エネルギーマネジメントシステムに関し国際標準策定に向けた議論が関係諸国間で活発に行われている。わが国としても、これら活動に適確に対応していくため、エネルギー供給、消費および関連機器の製造・運用を行う組織等の意見を集約し

つつ、各国の標準化動向の調査および国際的な標準策定活動に参画に向けた調査研究を行う。

(2) 新エネルギー・エネルギーシステム関連

新エネルギーは、資源賦存に地域性が大きく、利用形態も多様であるので、供給システムの最適化を図りつつ、長期的な視点から技術開発を推進することが必要である。

平成21年度には、太陽光、太陽熱および風力による発電の開発・導入動向、これら分散型電源の導入拡大に対して電力の安定的・効率的な供給を可能にする次世代の電力システムのあり方について調査研究を行う。バイオマスは、セルロース系バイオマスからの液体燃料製造について技術、LCA、経済性、社会文化等総合的な研究を行い、また、種類や賦存形態に合わせた最適な利用システムに関する調査研究を行う。

産業部門における機器の高効率化、燃料転換、電化等を実現する技術シーズの調査と、省エネルギー、CO₂排出削減ポテンシャル等について調査研究を行う。運輸部門では、電気自動車およびプラグインハイブリッド自動車に関し、市場ニーズとともに、技術開発とコスト低減に応じた普及可能性、効果等について調査研究を行う。

さらに、将来の電力系統や電気自動車利用において重要な役割を担う蓄電技術に関する仕様、技術シーズ、普及効果等の調査研究、ならびに海洋エネルギー等の未利用エネルギーに関する技術動向や技術シーズの調査を行う。

(ア) 次世代の電力系統に関する調査研究

- ① 分散型電源と電力系統との調和に係る調査研究
- ② スマートメータに関する海外動向調査
- ③ スマートグリッドに関する技術動向調査
- ④ ユビキタス電力ネットワークに係る調査研究

(イ) 太陽・風力エネルギーに関する調査研究

- ⑤ 太陽光発電の大量導入のための技術課題に関する調査研究
- ⑥ 集光太陽熱利用技術に関する研究

(ウ) バイオマスエネルギーに関する調査研究

- ⑦ バイオマスからの液体燃料製造に係る総合調査
- ⑧ ベトナムにおける産業廃棄物発電の導入可能性調査
- ⑨ 発電用燃料としての海外バイオマスの導入可能性調査

(エ) 産業部門における省エネルギーに関する調査研究

- ⑩ 超臨界CO₂ガスタービンの研究開発
- ⑪ 産業・業務部門における電化ポテンシャルに係る調査研究

(オ) 電気自動車およびプラグインハイブリッド自動車、その他

- ⑫ プラグインハイブリッド車（PHEV）の導入に係る調査研究
- ⑬ 電気自動車（EV）・プラグインハイブリッド自動車のモデル的導入の調査研究
- ⑭ 蓄電技術に係る調査研究
- ⑮ 未利用エネルギーに係る調査研究

(3) 水素エネルギーに関する調査研究

水素エネルギーは、将来の重要な二次エネルギーとして期待されている。平成21年度には、燃料電池自動車に関し、水素輸送方法の評価、燃料電池自動車・水素インフラストラクチャーの本格普及シナリオの調査研究を、また、家庭用燃料電池に関し、固体酸化物形燃料電池の普及シナリオ、白金等の資源確保に資する燃料電池リサイクル等に係る調査研究を行う。風力等の再生可能エネルギーに由来する水素に関し、海外からの大量輸送システムや技術的成立性等に関し調査研究を実施する。水素供給源に関し、高温ガス炉や製油

所における水素製造について評価等を行う。

(ア) 燃料電池自動車導入に関する調査研究

- ① 水素輸送技術に係る調査研究
- ② 燃料電池自動車の本格普及シナリオに係る調査研究

(イ) 家庭用燃料電池普及に関する調査研究

- ③ 燃料電池リサイクルに係る調査研究
- ④ 固体酸化物形燃料電池の普及シナリオに関する調査研究

(ウ) 海外再生可能エネルギー水素システム等に関する調査研究

- ⑤ グリーン水素（再生可能エネルギー由来の水素）大量輸送システムの調査研究
- ⑥ グリーン水素エネルギーシステムに係るフィージビリティ調査
- ⑦ 光触媒水素及びその他低炭素水素製造技術に係る調査研究

(エ) 原子力水素に関する調査研究、その他

- ⑧ 高温ガス炉水素シナリオに係る調査研究
- ⑨ 高温ガス炉水素調査に係る調査研究
- ⑩ 製油所水素に係る調査研究
- ⑪ 水素に係る技術動向調査
- ⑫ 国内外における水素技術政策動向調査

(3) 化石エネルギー関連

化石燃料は、エネルギー供給の太宗を占めるとともに、地球温暖化問題の解決を図る上で対応策が必要なエネルギーである。

平成21年度においては、石炭、非在来型原油等をガス化・液化して輸送用等の石油代替燃料に変換・利用するシステムや、発電、石油、鉄鋼、非鉄金属等のエネルギー・資源大量消費型産業に関し、二酸化炭素回収・貯留（CCS）技術等を適用した化石燃料利用とCO₂排出削減との最適組合せのあり方に係る調査研究を行う。また、発電所やLNG基地等のいわゆるエネルギー変換インフラの内外の立地

状況を踏まえ、最適な転換・輸送システムの提案とエネルギーモデル評価による将来動向に関し調査研究を行う。

さらに、化石燃料、再生可能エネルギー、金属等の資源を取り巻く供給セキュリティに関する動向調査、供給量の拡大可能性に関する技術動向調査を実施する。

その他、石油関連プラント設備等の寿命予測に係る調査研究等を実施する。

(ア) 化石燃料の高度転換技術（石炭ガス化等）を核としたエネルギーシステム研究

- ① 革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電に係る調査研究
- ② 無触媒石炭乾留ガス改質技術の開発に係る調査研究
- ③ 石油資源開発等へのCCSの活用に係る調査研究
- ④ 石炭からの代替天然ガス（SNG）生産技術に係る調査研究
- ⑤ 世界の石炭ガス化技術動向に係る調査研究
- ⑥ 石炭等からの液体燃料製造の将来動向に係る調査研究

(イ) エネルギー・資源に係る供給ポテンシャル及び動向に関する評価研究、その他

- ⑦ 在来・非在来石油関連資源の動向調査
- ⑧ 太陽熱発電に係る動向調査
- ⑨ 金属・希少元素資源の持続性に係る評価研究
- ⑩ 石油関連プラント設備等の寿命予測に係る調査研究

(4) 地球環境関連

地球環境問題は、昨年開催の北海道洞爺湖サミットでは中心的な議題となり、また、今後数十年から今世紀中葉に向けての温室効果ガス排出量削減の実現に向け、現在、対応が急がれている課題である。

平成21年度においては、地球環境問題に係

る国際的な動向を調査するとともに、エネルギー技術全般に関し専門的な知見を有する当研究所としては、当研究所が有する、気候変動とエネルギー・土地利用などの地球環境システムを分析する地球環境統合評価モデル（GRAPE）を活用して地球環境問題に係る政策に関し調査研究を行う。

- ① CO₂以外の温室効果ガス削減及び土地利用起源CO₂に係る調査研究
- ② ポスト京都議定書の地球環境政策動向に係る調査研究
- ③ 地球環境と地域環境の影響を総合的に評価する手法に係る調査研究

（５）原子力関連

原子力は、実用的な非化石エネルギーであり、エネルギー安定供給及び地球環境問題対応を図る上で重要な役割を担うと評価され、世界的に開発利用が推進されている。

当研究所は、平成20年度に設置した原子力工学センターにおいて、原子力電技術機構（NUPEC）から事業を継承・実施するとともに、次世代軽水炉技術開発事業を開始し、原子力に係る調査研究及び技術開発機能を充実させたところである。

平成21年度においては、現在の原子力発電の主流をなす軽水炉の先にある原子炉に関し、次世代軽水炉技術開発事業を実施するとともに、軽水炉以外の将来型原子炉の技術開発や国際共同研究開発への参画のあり方について調査研究を行う。また、現実化してきた既設軽水炉の廃止措置に係る技術開発等のあり方、高レベル放射性廃棄物処分の進め方に関し調査研究を行うとともに、新しい調査研究領域として、核燃料サイクルに係る技術と制度の両面に係る総合評価、耐震設計モデル、原子力要素技術の他産業への適用性評価等に関し調査研究を実施する。

国が実施する革新的原子力技術開発や人材育成に係る公募管理業務を実施する。また、原子力安全解析事業を実施するとともに、所

内他部門と協調して、原子力分野で培った安全解析に係るノウハウ等をエネルギー分野全般へ適用すべく展開を図る。

1）研究所本部における事業

（ア）次世代原子炉技術等に関する調査研究

- ① 第4世代原子力システム開発に係る国際研究協力
- ② 中小型炉に係る国際研究協力
- ③ 高温ガス炉プラントに係る調査研究

（イ）高レベル放射性廃棄物処理処分に関する調査研究

- ④ 高レベル放射性廃棄物処分の不確実性と安全に関する効果的情報提供に係る調査研究
- ⑤ 高レベル放射性廃棄物処分におけるリスクの取り扱いに係る調査研究

（ウ）新たな調査研究領域に関する調査研究

- ⑥ 核燃料サイクル成立性に係る技術と制度の総合評価
- ⑦ 原子力多目的利用に係る実現可能性評価
- ⑧ 原子力技術の他産業への適用性評価

（エ）公募管理業務その他

- ⑨ 革新的実用原子力技術開発に係る調査研究
- ⑩ 原子力人材育成プログラムに係る人材育成並びに研究環境整備に係る調査研究
- ⑪ 原子力人材に係る調査研究

2）原子力工学センターにおける事業

（ア）次世代軽水炉技術開発

当研究所は、経済産業省の原子力立国計画の柱の1つである次世代軽水炉技術開発事業を、その中核機関として推進する役割を担っている。同事業は、国内既設炉の代替炉及び国際標準炉として、2030年頃の実用化を目指して、国の財政的支援の下、電力会社及び原子炉メーカーとの協力を得て進められており、

平成22年度前半には、当初2年間の技術開発成果を評価し、基本仕様の確定とともに、その後の技術開発計画のあり方について検討を行う中間的な評価が予定されている。平成21年度においては、同事業を関係者との緊密な連携の下、着実に実施し、同評価に向け全力を尽くす。また、次世代軽水炉の円滑な実用化に不可欠な規格基準及び規制高度化、サプライチェーン、人材育成のあり方に関し調査研究を実施する。

(イ) 原子力安全解析

① 原子炉配管の腐食解析に関する研究

原子力発電の推進を図る上で配管の腐食による減肉問題の解決は重要であり、これまでに開発した腐食解析手法を有効に活用し、高経年化プラントにおける減肉配管の耐震安全性に係る研究等を行う。なお、本解析手法の火力プラント等への応用も視野に入れ事業を実施する。

② 高速炉安全解析手法の開発等に関する研究

新技術を活用した高速炉の次世代安全解析手法に関する研究開発の最終取りまとめを行うとともに、研究終了後における本解析手法の活用についても検討を進める。

③ 新エネルギー分野に関する解析研究

原子力分野で培った伝熱・流動解析技術を太陽熱・風力等の新エネルギー分野に活用し、新たな事業展開を図る。太陽熱発電プラント伝熱管内の熱流動挙動の解析に係る研究を引き続き実施するとともに、風力発電に係る気流解析等にも新たに実施する。

(ウ) 耐震・原子炉廃止措置に関する調査研究

④ 軽水炉廃止措置技術の最新状況に係る調査研究

⑤ 軽水炉廃止措置の安全確保に関する民間規格基準整備に係る調査研究

⑥ 原子力産業から排出される廃材のリサイクル利用に係る調査研究

⑦ 設計用動的解析モデルの精度向上に係る調査研究

3. 調査研究成果に係る情報発信

(1) 前号の事業で得られた成果のうち、技術情報として有用度の高いものを編集し、情報提供を行う。これらの調査研究に係る活動内容や成果は、寄稿・投稿、講演会、学会発表、ホームページへの掲載等により公表し、広く利用に供することとする。

(2) 当研究所では、下記の手法により、調査研究成果に係る情報発信を行う。

① 定期刊行物（季報エネルギー総合工学）の刊行

② 月例研究会、エネルギー総合工学シンポジウム、セミナーの開催

③ エネルギー技術情報プラットフォームの整備及び運用

4. その他

(1) 産・学・官の緊密な協力体制の下、関係各分野の専門家による情報交換と共有を実施する場を提供し、適宜、エネルギー技術開発のあり方について提言を行う。

(2) 海外の調査研究機関との交流・連携を深めるとともに、国際プロジェクトへの参画等により、国際協力の一端を担う。

(3) コンプライアンスの強化のために、行動規範、規程等の整備・拡充を図っているが、今後は、内部監査体制の整備等により、その実効性を高める。

研究所のうごき

(平成21年1月2日～4月1日)

◇ 第32回評議員会

日 時：3月5日(木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館(9階) 902号室

議 題：

第一号議案 平成21年度事業計画および収支予算(案)について

第二号議案 中長期ビジョンについて

第三号議案 その他

◇ 第74回理事会

日 時：3月13日(金) 11:00～12:00

場 所：経団連会館(9階) 902号室

議 題：

第一号議案 平成21年度事業計画および収支予算(案)について

第二号議案 常勤理事の退任について

第三号議案 退任常勤役員に対する退職金の支給について

第四号議案 役員報酬規程の一部改定について

第五号議案 中長期ビジョンについて

第六号議案 その他

◇ 月例研究会

第275回月例研究会

日 時：1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. 低炭素社会の実現と高温ガス炉開発の動向(電気/水素/熱利用の時代へ……)
(工学院大学 非常勤講師高温ガス炉プラント研究会 テクニカルアドバイザー 土江保男 氏)

2. 高温ガス炉による水素製造—原子力機構におけるISプロセス研究開発—
(日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 核熱応用工学ユニット ISプロセス技術開発グループ グループリーダー 小貫 薫 氏)

第276回月例研究会

日 時：2月27日(金) 14:00～16:00

場 所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. 大島賞最優秀賞受賞論文講演「エネルギー技術戦略の検討」
(東京大学 工学部 システム創成学科 環境・エネルギーシステムコース4年 小平 翼 氏 他13名)

2. 特別講演「岐路に立つ我が国の石油産業」
(東京工業大学 名誉教授・高圧ガス保安協会 参与 大島 榮次 氏)

第277回月例研究会

日 時：3月27日(金) 13:00～15:30

場 所：航空会館5階501・502会議室

テーマ：

1. 交通分野における二酸化炭素排出削減の中期シナリオ

((独) 国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター長 森口 祐一 氏)

2. バイオマスの自動車燃料への適用

(新日本石油(株) 研究開発企画部 部長 斎藤 健一郎 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：坂田 興

テーマ：水素を中心とした低炭素エネルギー開発
発表先：日本鉄鋼協会 高温プロセス部会

日 時：1月23日

発表者：時松 宏治

テーマ：エネルギーからゼロエミッションへのシナリオの変遷

発表先：京都大学グローバルCOEプログラム「地球温暖化時代のエネルギー科学拠点—CO₂ゼロエミッションをめざして」キックオフシンポジウム

日 時：1月29日

発表者：徳田 憲昭

テーマ：代替エネルギー技術開発の背景・将来展望-化石燃料への依存度を減らすために-

発表先：機械学会・精密工学会共催、山梨講演会
日 時：2月10日

[論文・寄稿]

発表者：内田 俊介

テーマ：Evaluation Methods for corrosion Damage of Components in cooling Systems of Nuclear Power Plants by Coupling Analysis of Corrosion and Flow Dynamics (II) Evaluation of Corrosive Conditions in PWR Secondary cooling System

寄稿先：日本原子力学会欧文誌 (Journal of Nuclear Science and Technology) 2009年1月号 (JNST Vol.46, No.1, pp.31-40)

発表者：蓮池 宏

テーマ：新エネルギーの現状と今後の普及計画
寄稿先：電気協同研究 第64巻第3号 (2009年2月)

発表者：末廣 利恵

テーマ：原子力廃棄物を考える国際市民フォーラム－処分地問題の解決に向けて－廃棄物処分場立地フィンランド，韓国，フランス，カナダからの報告と日本の今後の進め方を考える

寄稿先：原子力学会誌（2009年2月）

発表者：蓮池 宏

テーマ：ビームダウン集光システムにおける中央反射鏡の基本仕様の最適化

発表先：第25回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス（エネルギー・資源学会主催）

日時：1月30日

◇ 人事異動

○3月31日付

（出向解除）

村越俊則 プロジェクト試験研究部主任研究員

○2月16日付

（嘱託採用）

池田崇行 原子力工学センター部長（参事）兼総務部

○2月28日付

（出向解除）

大西 徹 プロジェクト試験研究部主任研究員

（退職）

橋本 孝 原子力工学センター 参事

○3月1日付

（出向採用）

宮崎丈彦 プロジェクト試験研究部主任研究員

○3月31日付

（退任）

高倉 毅 理事

（出向解除）

坂田 興 プロジェクト試験研究部部長（副主席研究員）

中村恒明 プロジェクト試験研究部副部長（主管研究員）

後藤秀夫 プロジェクト試験研究部主管研究員

鳥飼航洋 プロジェクト試験研究部主任研究員

上原 靖 原子力工学センター主任研究員

長峰康雄 原子力工学センター主任研究員

○4月1日付

（退任）

秋山 守 理事長

（嘱託採用）

坂田 興 プロジェクト試験研究部部長（参事）

（非常勤嘱託採用）

後藤秀夫 プロジェクト試験研究部副参事

吉野丈人 原子力工学センター副参事

（出向採用）

後藤信之 プロジェクト試験研究部主管研究員

丹 光義 プロジェクト試験研究部主任研究員

小碓創司 原子力工学センター主管研究員

油江宏明 原子力工学センター主任研究員

（昇格）

黒沢厚志 プロジェクト試験研究部部長（副主席研究員）

第 31 卷 通 卷 目 次

VOL.31, NO.1 (2008.4)

【巻頭言】	地球温暖化と水素エネルギー 横浜国立大学大学院 工学研究院 教授	太田 健一郎	1
【座談会】	次世代軽水炉開発プロジェクト 東京大学大学院 工学系研究科・工学部 システム量子工学専攻 教授 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課 原子力政策企画官 東京電力(株) 執行役員 原子力・立地本部 副本部長 (株)日立製作所 執行役専務 (財)エネルギー総合工学研究所 理事 司会 (財)エネルギー総合工学研究所 専務理事	大橋 弘 忠 新井 憲 一 武藤 栄 齊藤 莊 藏 松井 一 秋 山田 英 司	3
【寄稿】	RPS下における再生可能エネルギーの普及見通し 東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 教授	浅野 浩 志	17
【寄稿】	石油メジャーズの現状と天然ガス戦略 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 プロジェクト推進部	岡崎 淳	26
【調査研究報告】	ベトナム ドンナイ省における産廃発電モデル事業の基礎調査について プロジェクト試験研究部 主任研究員 プロジェクト試験研究部 参事	大西 徹 浅見 直 人	36
【調査研究報告】	合成液体燃料 (XTL) の将来を読む プロジェクト試験研究部 部長	小野崎 正 樹	43
【調査研究報告】	平成19年度エネルギー技術に関するアンケート調査の結果 研究理事 エネルギー技術情報センター長	疋田 知 士	52
【事業計画】	平成20年度 事業計画 (財)エネルギー総合工学研究所		61
【行事案内】	創立30周年記念特別シンポジウム		67
【研究所の動き】			68
【第30巻通巻目次】			71
【編集後記】			75

VOL.31, NO. 2 (2008.7)

創立30周年記念エネルギー総合工学シンポジウム
エネルギーと地球環境の未来を拓く
—エネルギーに対する技術の貢献と戦略—

平成20年 5月15日(木) 経団連ホール (経団連会館14階)
総合司会 常務理事 佐藤 憲一

【開会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 副理事長	並 木 徹	…… 1
【来賓挨拶】	経済産業省 資源エネルギー庁 長官	望 月 晴 文	…… 3
【基調講演 1】	世界のエネルギーセキュリティと地球環境への対応～その 1		
	(財)日本エネルギー経済研究所 専務理事	十 市 勉	…… 5
【基調講演 2】	世界のエネルギーセキュリティと地球環境への対応～その 2		
	米国電力研究所 上級副社長	マイケル・W・ハワード	… 15
【基調講演 3】	世界のエネルギーセキュリティと地球環境への対応～その 3		
	欧州連合 欧州委員会 共同研究センター総局長	ローランド・シェンケル	… 22
【講演】	2050年のエネルギー技術ビジョン ～「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」を中心に		
	(財)エネルギー総合工学研究所 理事	高 倉 毅	…… 28
【講演】	2050年原子力技術ビジョン ～次世代軽水炉から第 4 世代への原子力技術開発戦略		
	(財)エネルギー総合工学研究所 理事	松 井 一 秋	…… 36
【パネルディスカッション】	テーマ：エネルギーに対する技術の貢献と戦略		
モデレーター：	西 尾 茂 文 東京大学 理事・副学長		
パネリスト：	榎 本 晃 章 東京電力(株) 顧問		
	ドミニック・リストリ 欧州連合 欧州委員会 運輸・エネルギー副総局長		
	マイケル・W・ハワード 米国電力研究所 上級副社長		…… 44
【閉会挨拶】	(財)エネルギー総合工学研究所 専務理事	山 田 英 司	…… 55
【事業報告】	平成19年度 事業報告の概要 (財)エネルギー総合工学研究所		…… 56
【お知らせ】	創立30周年記念「大島賞懸賞論文」の募集		…… 58
【研究所の動き】			…… 60
【編集後記】			…… 61

VOL.31, NO. 3 (2008.10)

【巻頭言】 再生可能エネルギーとネットワーク事業者の役割 ～「3つのベストミックス」 東京ガス(株) 代表取締役 副社長執行役員	前 田 忠 昭 ……	1
【寄稿】 合成燃料のライフサイクルアセスメント評価 日本工業大学 工学部 システム工学科 准教授	八木田 浩 史 ……	3
【調査研究報告】 「Cool Earth50」実現に向けた取組み プロジェクト試験研究部 主管研究員	寺 田 保 ……	10
【調査研究報告】 ブラジル提案に関する動向 プロジェクト試験研究部 副部長 主管研究員	黒 沢 厚 志 ……	18
【調査研究報告】 原子力分野における安全解析技術とその応用展開 —安全解析グループの取組み 原子力工学センター 安全解析グループ 部長	内 藤 正 則 ……	25
【調査研究報告】 高レベル放射性廃棄物処分の世代間意思決定とは どのようなことか プロジェクト試験研究部 部長 副主席研究員	蛭 沢 重 信 ……	35
【調査研究報告】 高温ガス炉から供給される水素の経済性評価 プロジェクト試験研究部 主任研究員	石 本 祐 樹 ……	45
【研究所の動き】		52
【編集後記】		54

VOL.31, NO. 4 (2009. 1)

【巻頭言】 年頭所感

経済産業省 資源エネルギー庁 長官 石 田 徹 …… 1

【寄稿】

世界と日本の地熱エネルギー開発動向

(独) 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

地熱資源研究グループ長 村 岡 洋 文 …… 5

【寄稿】

石炭ガス化複合発電 (IGCC) 実証試験の進捗状況

(株)クリーンコールパワー研究所 取締役副社長

石 橋 喜 孝 …… 13

【寄稿】

瀬戸際にあるわが国の風力開発

(株)HIKARUWIND.LAB代表取締役

世界風力エネルギー会議理事

松 宮 輝 …… 23

【調査研究報告】

分散型電源普及拡大に必要な配電線電圧対策費の試算について

プロジェクト試験研究部 主任研究員

浦 田 浩 孝 …… 31

【調査研究報告】

世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発

原子力工学センター 次世代軽水炉開発グループ

部長 副主席研究員

笠 井 滋 …… 41

【調査研究報告】

『水素の有効利用ガイドブック』について

プロジェクト試験研究部 主任研究員

石 本 祐 樹 …… 49

【研究所の動き】 …… 52

【編集後記】 …… 54

編集後記

米国の自動車産業の危機が伝えられている。かの有名なT型フォードが1908年に発売されてから100年を経た今、最早再生不能とまで言われている状況に至った。思うに、T型フォードが今日まで新鮮さを失わない形を創り出せたのに対して、ある時期からアメリカのクルマは形を失ったのではないか？時代が高揚し、その気分を反映した形を作り出せたとき、その形は長く新鮮さを失わないエネルギーを持つのかもしれない。T型フォードまで戻らなくても、第二次大戦後のアメリカの繁栄を象徴する大型乗用車は、アメリカでのみ通用する形であったにせよ、時代を象徴し後世に残るエネルギーを持ち得た。おそらくベトナム戦争あたりから輪郭が崩れ始めたのだろう。

翻ってわが国を見たとき、最近の日本は後世に残る形を生み出せたかと言え、多くの人が首を傾げるだろう。高度経済成長を遂げたわけだが、この成長は機能性や経済性という別種概念に支え

られたものであった。形あるモノの時代は終わって、その後にアモルファスな概念の時代になったと言うことなのだろうか。しかしいわゆる脱工業化社会にあってもモノの生産が無いことにはどうにもならない。そしてそのモノは独自の主張を持つ形を体現することで初めて力を備え、それらの蓄積が文化を形成していくのではないだろうか。

今の世に頼るべき形が失われたとき、人は“レトロ”に向かう。退行現象と切り捨てるのではなく、新しい形を作り出す努力をスタートさせろというサインだと捉えるべきだろう。

エネルギーにはもとより形が無い。しかしエネルギーなしに形あるモノを作り出すことはできない。エネルギーに課せられたこの不変の役割を忘れずに、エネルギーおよびその利用に関する研究を進めて行きたい。

編集責任者 疋田知士

季報 エネルギー総合工学 第32巻第1号

平成21年4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)3508-8894

FAX(03)3501-8021

<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。