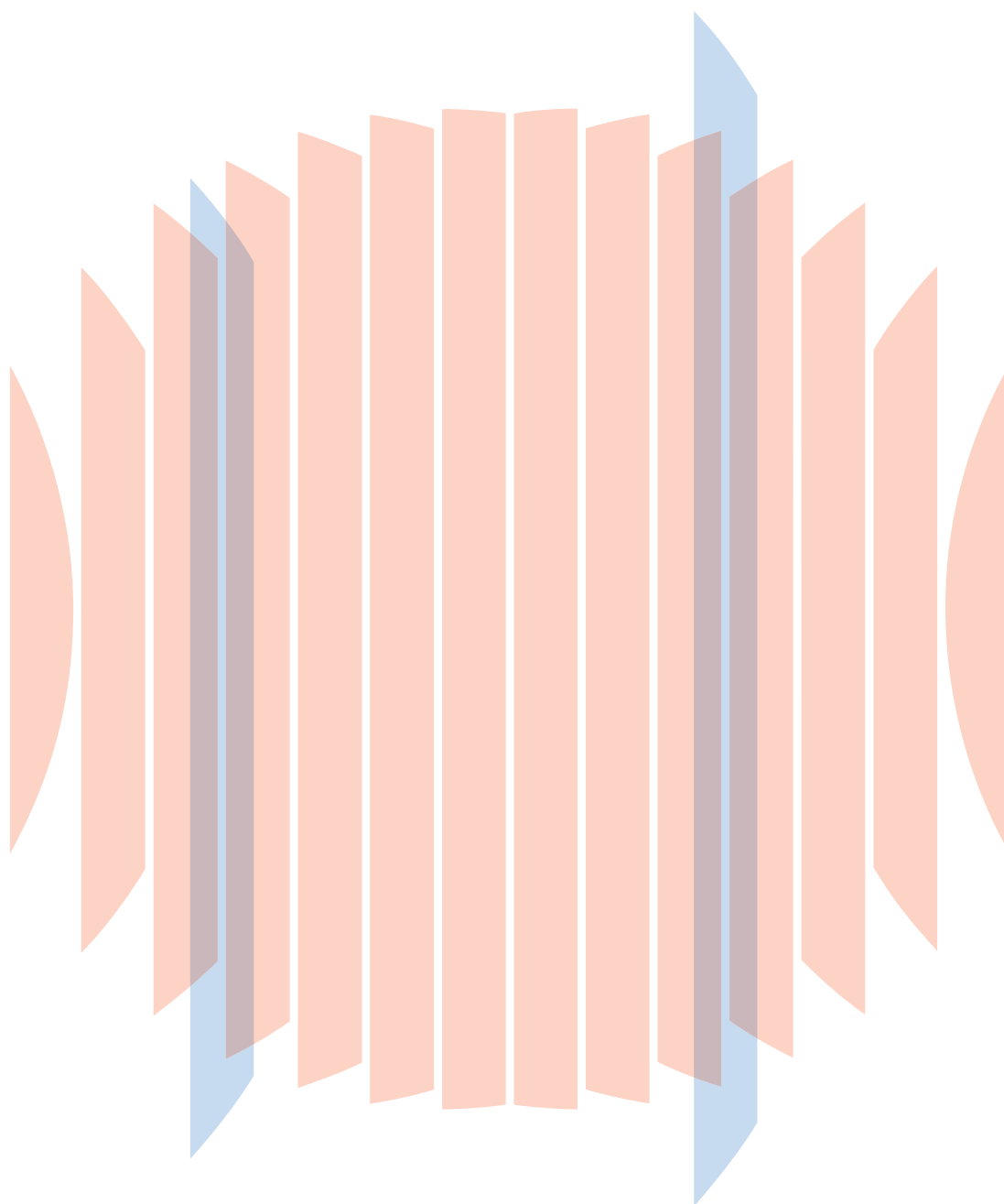


季報 エネルギー総合工学

Vol. 33 No. 1 2010. 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】			
原子力と国際競争力	早稲田大学 特任教授	岡 芳 明	1
【寄稿】			
波力発電の壮大な風景—日本の波力発電の可能性—	三井造船(株) 事業開発本部 本部長補佐	黒 崎 明	2
【寄稿】			
メガワット級海流発電への挑戦	(社)エンジニアリング振興協会 理事	梅 田 厚 彦	13
【寄稿】			
原子力輸出の際の一指針 —原子力導入を表明した国々へのGDPモデルの適用と考察—	(株)東芝 原子力事業部 技監	飯 田 式 彦	21
【調査研究報告】			
ケミカルルーピング燃焼技術 —エネルギー・ペナルティーを伴わない革新的燃焼技術—	プロジェクト試験研究部 主管研究員 プロジェクト試験研究部 部長	吉 田 一 雄 小野崎 正 樹	29
【調査研究報告】			
海外の再生可能エネルギーの国内利用について (その2：システムの経済性検討) ～発電用燃料等としての可能性について～	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 川崎重工業(株) 技術開発本部 技術企画推進センター 上級専門職	渡 部 朝 史 村 田 謙 二 神 谷 祥 二	36
【調査研究報告】			
エネルギーに関する公衆の意識調査	エネルギー技術情報センター 主管研究員	下 岡 浩	42
【事業報告】			
平成22年度 事業計画	(財)エネルギー総合工学研究所		50
【研究所の動き】			57
【第32巻通巻目次】			59
【編集後記】			63

巻頭言

原子力と国際競争力



岡 芳明（早稲田大学 特任教授）

地球環境保護とエネルギー安定供給の利点から原子力への期待が高まり、東京大学では学部の環境・エネルギーコースや大学院の原子力国際専攻に非常に優秀な学生が多く入学するようになった。日本のみならず米国や中国の大学などでも優秀な学生が多数、原子力工学科に入学するようになったと聞いている。まさに「原子カルネサンス」である。

日本の原子力には「国際化」というパラダイムシフトが生じた。これにいかにかうまく対応し発展できるかが問われている。国際的に通用するかどうかで判断・行動する必要がある、これまでの常識だけでは必ずしも途は開けまい。

このパラダイムシフトは大学も例外ではない。フランスのグランゼコールの学生は政府給費生で数カ月の海外留学も義務付けられている。これに対して「日本の大学では奨学金は貸与で海外留学の費用もない」などと不平を言っても始まらない。課題はこれだけではないし、他国の方法が我々にとって最善とは限らない。自ら責任を持って工夫し実行するしか方法はないのである。東京大学では数年前に原子力国際専攻と原子力専攻（専門職大学院）を開設し、原子力の再構築を果たした。実用の進展に対応する10数科目の原子力教科書も出版中である。「グローバルCOEプログラム」の資金もいただいて全力で努力してきたつもりではある。しかし、途なお遠い感がある。

「日本が危ない」のではなかろうか？日本の繁栄が20年後も可能か心配である。「日本凋落の危機感が国民全体に無い」のではと心配である。危機感を共有し、50年前にもどってチャレンジする必要があるのではないか。

日本の原子力技術は世界のトップランクである。「原子力」で日本の未来に貢献しなくてはならない。「日本村」,「縦割り」,「原子力村」を脱却し、大学、電力、メーカ、研究開発機関、行政機関などがそれぞれの役割を「国際化」のキーワードで見直して、それを果すことがまず求められている。優秀な人材は国際競争力の重要な要素である。

[寄稿]

波力発電の壮大な風景 —日本の波力発電の可能性—

黒崎 明 (三井造船㈱
事業開発本部 本部長補佐)

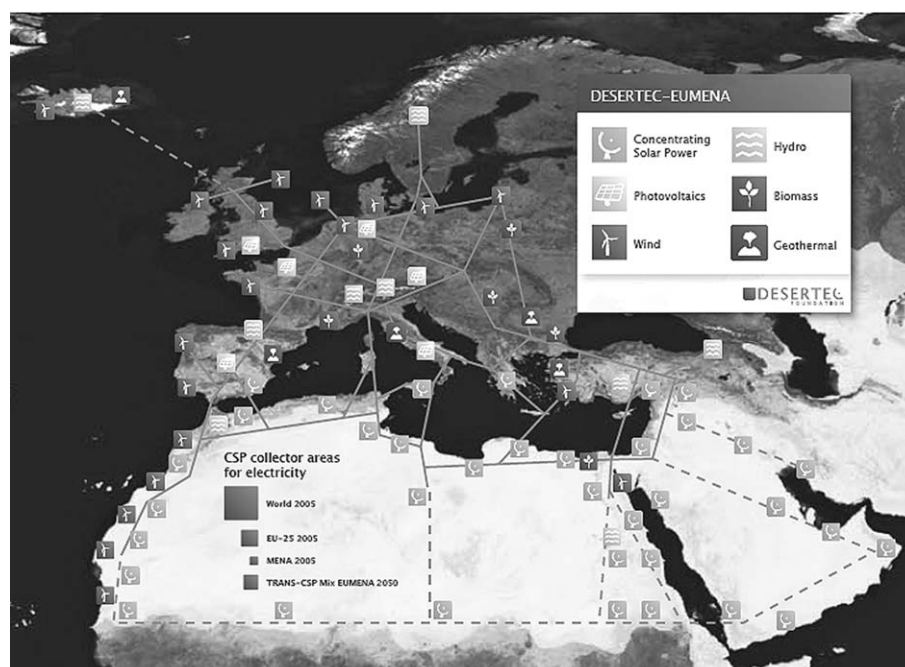


1. はじめに

2009年12月、コペンハーゲンでの第15回国連気候変動枠組条約締結国会議（COP15）では具体的な二酸化炭素（CO₂）削減目標が設定できなかったものの、各国が削減努力を続けることで合意した。国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、地球温暖化防止には大気中の温暖化ガス濃度を450ppmに抑える必要があると分析している。国際エネルギー機関（IEA）は、これを実現するには電源構成の約60%が原子力や再生可能エネルギーなど温暖化ガスを排出しない電源になることが必要としている。

こうした中、国土を海洋に接する国々は、洋上風力の大規模導入や、波力・潮力を有望な再生可能エネルギー源と位置づけ、その開発・導入に対し様々な支援策を講じている。例えば、欧州では、北アフリカなどでの太陽光発電の電力を欧州に輸送するため、大陸に跨る海底電力ケーブル敷設など、海洋利用を戦略的に進めている（図1参照）。その有様は、かつての列強諸国が海洋再生可能エネルギーの争奪に舞台を移してしのぎを削っているかのようなものである。

地球温暖化対策、魅力ある国内市場の不在、国防をめぐる周辺環境の変化など国家的に大きな問題を抱える中、日本の海洋は、広大さ、



（出所：DESERTEC FOUNDATIONホームページ）

図1 欧州のDESERTECプロジェクト

手付かずの巨大国内市場、地政学的重要性という、国益と安全保障に直結する三要素を備えている。

日本の領海と排他的経済水域（EEZ）は、世界第6位の広さを有する。ここに賦存する膨大な海洋再生可能エネルギー資源の有効活用を計ることは、CO₂削減に寄与するのみならず、雇用や税収に直結する巨大な国内産業の創出にもつながる。

また、日本の海洋政策は、東アジアの政治的安定とも無縁ではない。田中伸男IEA事務局長は「日本は、欧州に学び、電力会社間の送電網を拡充して連系すれば再生可能エネルギーを増やし、さらに、需要が急増する中国、韓国に接続して東アジア全体で再生可能エネルギーを増やせるかもしれない」と述べている⁽¹⁾。このように、海洋再生可能エネルギーはわが国にとって、温室効果ガス削減とエネルギーセキュリティの確保を超えた重要な意味をもつ。

2. 世界の再生可能エネルギーの風景

（1）温暖化ガス削減における電力の重要性

日本では、石炭、石油、天然ガスなど一次エネルギーの供給量と最終エネルギー消費量は2000年以降頭打ちであるが、この間も電力消費は増え続けており、今後もこの傾向は続くと考えられる。また、世界的にも先進国では同様な傾向にあるものと見られる。他方、

一次エネルギーを電力に転換する際の損失は60%と大きく、一次エネルギー全体でみても27%程度になる。電力消費拡大傾向、電力転換時の損失、自然エネルギーによる代替余地から見て、電力供給構造の転換はCO₂削減対策のなかでも最重要課題である。

（2）電力供給構造

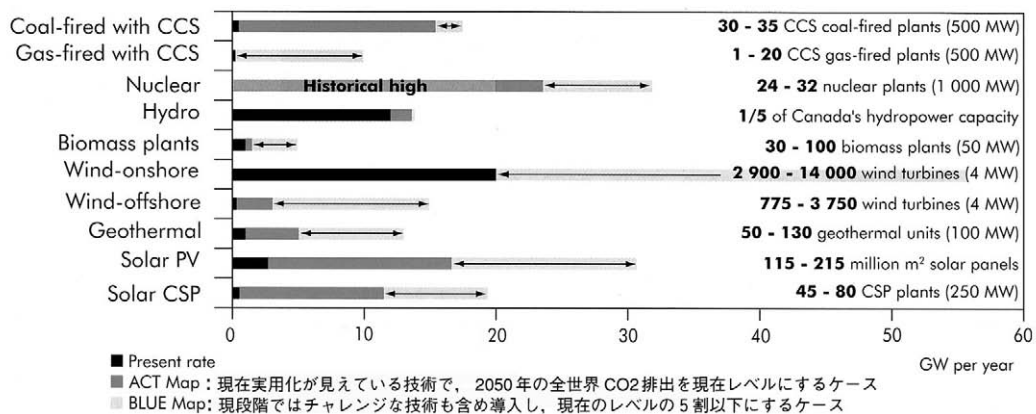
世界の発電設備容量は約4,000GW、このうち日本は約240GWである。中国は800GWに迫る勢いで伸びている。年間総発電量でみると、世界は約15兆kWh、日本は約1兆kWhとなる。再生可能エネルギー（水力を除く）についてみると、世界では風力約120GW、太陽光約8GWで、最近では毎年30GWを上回るペースで増加している。今は原子力の372GWには及ばないが、再生可能エネルギーが原子力を抜き去る日は遠くない。

日本の再生可能エネルギーでは、風力と太陽光がそれぞれ2GW程度で、風力の立地は頭打ち傾向にある。このためわが国では、もっぱら太陽光に期待が集まっている。

（3）再生可能エネルギーと海洋利用の風景

IEAのエネルギー技術シナリオは、2050年にCO₂半減を実現するためには、あらゆる新エネルギー・低炭素電源が恐るべき規模で必要になるとしている（図2参照）。

欧州はじめ諸外国では、地球温暖化防止の



（出所：Energy Technology Perspectives 2008, IEA）

図2 IEAのエネルギー技術シナリオ



(出所：European Offshore Wind Conference and Exhibition 2009)

図3 欧州の洋上風力発電プロジェクトマップ（一部）

観点だけでなく、新産業創出、産業競争力強化、地域共同体強化の観点から、再生可能エネルギーの導入拡大のために海洋利用が大胆に進められている。英国は2020年に電力需要の4分の1（32GW）を賄う世界最大の洋上風力発電所を完成させる計画で、この内の15GWをドイツ企業が受注した。欧州全体で稼働、許可済、申請中の洋上風力は合計68GWにのぼるとみられる。（図3参照）

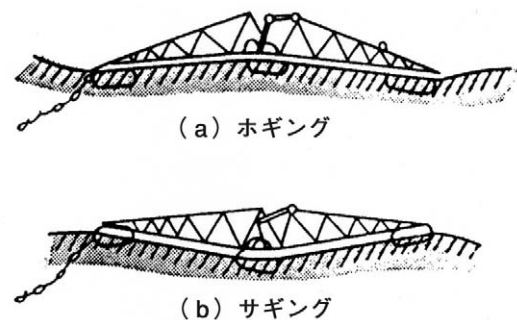
2009年末には、洋上風力発電用として世界最長の海底送電ケーブル（BorWin-I）が、工期26カ月と4億ユーロを投じて完成した。容量400MW、全長200kmの高電圧直流送電ケーブルで、送電損失は7%以下と報じられている。

3. 波力発電を巡る動向

（1）わが国の波力発電開発—逝きし世の面影⁽²⁾

「巖頭に悍馬を立てよ」。この言葉が相応しい男たちの中に、日本の波力発電の創始者益田善雄氏がいる。戦後、航空プロペラ技術者の間で小型風力発電の研究開発が盛んな中、海軍にいた益田は波力発電の開発に取り組み、

自衛隊在籍中、さらには海洋科学技術センター（2004年から独）海洋研究開発機構）に転進後も一貫して波力発電の研究に取り組んできた。益田の世界的な業績に、1964年には世界初の航路標識ブイへの実用化、大出力波力発電の実証実験「海明」プロジェクト（1975～86年）がある。益田は洞察力に溢れた人で、今日世界中で開発されている波力発電装置の多くは、様々な益田式を発展させたものといえる。例えば、1947年に益田が考案し、実験を重ねた三浮体システム（図4参照）は、現在英国などで実証実験が進められているペラムス（後出）の原型とみることもできる。



(出所：益田善雄『日本の波力発電』)

図4 益田による三浮体波力発電システム



(出所：海洋研究開発機構ホームページ)

寸 法：全長80m×幅12m×高5～7 m
 発電方式：振動水柱型空気タービン方式
 定格出力：1,000kW（目標）
 設置海域：山形県由良沖，水深40m



(出所：海洋研究開発機構ホームページ)

寸 法：全長50m×幅30m×高12m
 発電方式：タンデム・ウエルズタービン方式
 定格出力：110kW（目標）
 設置海域：三重県五ヶ所湾沖，水深40m

図5 波力発電装置「海明」，「マイティーホエール」外観と主要諸元

1975年，世界の先陣を切って海洋研究開発機構が始めた大出力波力発電の実証実験「海明」プロジェクトは，1979年には，米国，英国，カナダおよびアイルランドが参加するIEAの国際協力プロジェクトとなった（図5参照）。

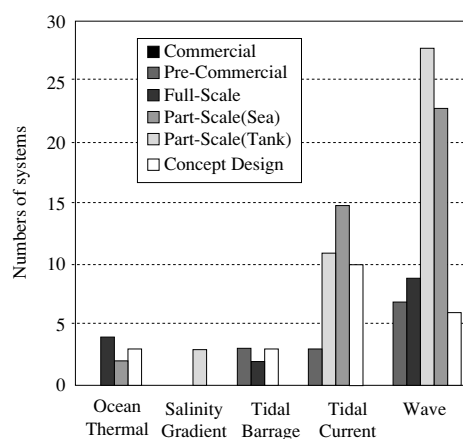
1985年7月～1986年6月の第3次海上実験では，年間190MWhの発電と陸上への送電に成功したが，発電出力は満足できるものではなく，電力単価は360円/kWhと，経済性にはほど遠いレベルであった。

こうして，大出力波力発電の実証実験は関係者にとって不本意な結果に終わったが，その足跡は世界の技術史に刻まれ，また，多くの反省材料を世に残した。益田が，失敗原因の1つに，実験目的達成より安全性を優先したことを挙げているのが印象的である⁽³⁾。

1998年には捲土重来をかけて「マイティーホエール・プロジェクト」が始まったが，これも実用化に足る性能を引き出すに至らず，2002年3月に終了した。結果的にわが国最後のプロジェクトになってしまった（図5参照）。

（2）大ブームとなっている世界

日本の停滞とは対照的に，世界では100を超える海洋再生可能エネルギー開発プロジェクトが様々な研究ステージで進んでいる（図6参照）。このうち波力・潮力，なかでも波力発



(出所：An IEA OPEN Technology Bulletin Article, July 2008)

図6 様々な海洋エネルギー変換プロジェクト

電が最も有望視され，実用化も近いとみられる。国別には，英米が先行している。

また，諸外国は海洋再生可能エネルギーに対して様々な助成，優遇措置を設けている（表1参照）。国土を海洋に接する主要国中，なんら優遇措置を設けていない国は日本を除いて1つもないといってよい。

中国について若干触れておく。2005年2月全人代常務委員会で「再生可能エネルギー法」が採択され2006年元日施行された。地方政府においても，中央政府の政策に基づき，各地域の状況に合わせて地域毎の「利用計画」を制定することとしている。再生可能エネルギーを「風力，太陽，水力，バイオマス，地熱，海洋エネルギ

表1 波力・潮力に対する主要国の優遇措置（事例）

国名	優遇措置	価値
イングランド	再生可能エネルギー証書の価値	€0.1/kWh
スコットランド	同上（潮力発電） 同上（波力発電）	€0.15/kWh €0.25/kWh
ポルトガル	波力発電の固定買取価格	€0.23/kWh
アイルランド	海洋発電の固定買取価格	€0.22/kWh
米国	US Treasury Grant設備補助金 米国経済再生法の補助金、保証 波力・潮力にDOEの開発補助金 州政府独自の優遇措置	30% 未定 \$50million 独自
オーストラリア	連邦政府の設備補助金 州政府の設備補助金 固定買取価格 再生可能エネルギー証書	30% 最大20% 本文参照 A\$0.05/kWh

一等の非化石エネルギー」と定義し、海洋エネルギーには、波力と潮力が含まれている。潮力発電の普及が先行しているが、昨年、小規模ながら世界初の風力・波力・太陽エネルギー複合発電所を広東省・珠海市の担杆（Dangan）島に設置したとみられる。

（3）実用化に近い波力発電装置

近年は、水深が深く波高の大きい沖合で多数の小規模装置アレイを設置するのがトレンドになっており、「ペラミス」（Pelamis）と「パワーブイ」（PowerBuoi）が最も実用化に近いものと見られる。

スコットランドのオーシャン・パワー・デリバリー社が開発した「ペラミス」（図7参照）は、直径3.8mの円筒形浮体4台が連結した蛇のような姿をした重量750トンの装置である。各浮体連結部にシリンダーポンプ2台と可変容量型モータ1台を組み合わせた油圧装置があり、波で連結部が折れるとピストンでオイ

ルが押され、そのオイルで発電機を回す。2008年9月に北ポルトガル沖に750kW機が3基設置され、ポルトガル政府が約32円/kWhの固定価格買取（FIT）で支援する世界初の商用波力発電とうたわれたが、その後、故障が発生し改修中と報じられた。

米国のオーシャン・パワー・テクノロジー（OPT）社が開発した「パワーブイ」（図8参照）は、ポイントアブソーバー型の波力発電装置で、構造がシンプルでかつ大部分が水中に没しているため、安全性や信頼性で有利と見ている。米国ニュージャージー沿岸に定格40kW級の初期の試験機を1台設置し、2005年10月からの1年間と2008年8月から現在まで稼働している。この間、台風や12m以上の波浪に耐えている。「パワーブイ」は、スペインで世界最大の再生可能エネルギー会社イベルドロラとスペイン政府との合弁事業として建設が進められている1.39MWの波力発電所に採用され、2008年9月に定格40kW改良型の装置を設置した。また、



図7 「ペラミス」の外観

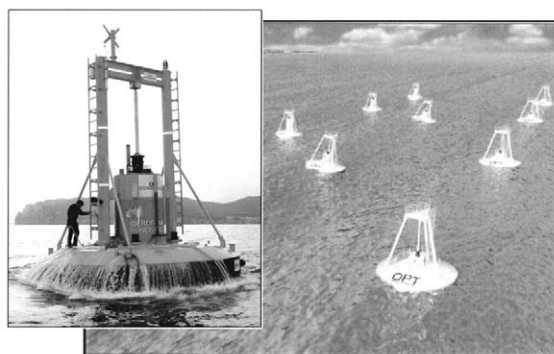


図8 「パワーブイ」の外観と設置想像図

今春にはスコットランドのオークニーに定格150kWの装置を設置する予定である。同社は、海底に設置される系統連系機器の開発も進めており、近く、英国コーンウォール沖合ウェーブ・ハブの海底に設置する予定である。

（４）動き出した商業発電プロジェクト

OPTと大手建設企業が進めていたオーストラリア・ビクトリア州ポートランド沖合の19MW波力発電プロジェクト計画に対し、政府補助金が決定された。総投資額は2億3,300万豪ドル（約186億円）とみられる。同計画は、6年計画の中を3フェーズに分け、大型化とコストダウンのステップを折り込んでおり、実証試験と商業発電をつなぐモデル発電事業のような位置づけと考えられる。優遇措置としては、連邦政府・州政府の設備補助金45%、初年度32円/kWh、6年度以降16円/kWhの電力引取価格に再生可能エネルギー証書（現在相場4円/kWh）が付加される。モデル発電事業と言っても、「どんぶり勘定」の中で損失を補填するようなものではなく、事業期間20年の高収益事業として計画されている。いよいよ本格的な商業波力発電時代の幕開けと言ってよい。

因みに、このプロジェクトは、政府の産業再生事業の公募（競争的資金）に対して応募のあった40プロジェクトから採択された4件

のうちの1件である。採択された他のプロジェクトは、地熱発電2件、バイオマスと風力のハイブリッド1件である。

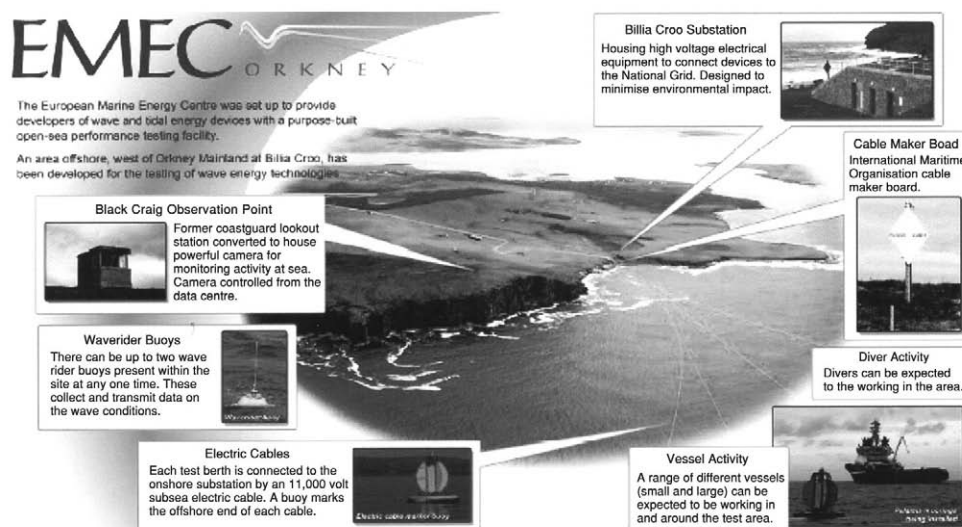
さらに、昨年末には、OPTと米国オレゴン州政府の間で、定格100MW波力発電所のフィージビリティ・スタディーについて覚書が交わされた。

（５）海洋エネルギー実証試験場

欧州では多くの実証試験場が整備され、海洋エネルギーの研究開発が支援されている。このうち、英国の欧州海洋エネルギーセンター（EMEC）とウェーブ・ハブが有名である。

EMEC（図9参照）は、EUのなかでスコットランドが誘致競争を勝ち抜いた施設であり、装置性能、耐久性、信頼性の評価、標準化を目的に世界に利用を公開している。2年先まで予約が埋まる活況であると聞き及んでいる。

また、英国の南西地域開発局（SWRDA）は、コーンウォール沖合10マイルの海域に、世界最大の波力発電基地ウェーブ・ハブを、今夏完成予定で建設を進めている。4km×2kmの海域を4海区に分割し、各海区に1型式の波力発電装置アレイが設置される。発生した電力は海底ケーブルで送電し陸上の電力グリッドに系統連系される。実証試験と発電基地を兼ねたような施設とみられる。



（出所：EMECホームページ）

図9 欧州海洋エネルギーセンター（EMEC）

(6) 産業の波及効果

波力発電から広範囲な産業に波及効果が出始めている。IBMやBoschなど、これまで無縁であったようなIT大手や自動車部品大手が、海洋再生可能エネルギー分野をこれからの有望市場とみて参入戦略を強めている。

定格5GW波力発電所建設に使われる素材や部品は、鋼材300万トン、係留索3,000km、コンクリートケーソン1,000万トン、波力発電装置1万基用の油圧機器、電気制御機器、IT機器など、となる。

(7) 再生可能エネルギー間の競争力

普及時の波力発電設備コストは約4億円/MW（年間400基量産ベース）、発電単価は15円/kWhと、他の再生可能エネルギーに比べ遜色ない（表2参照）。

4. 日本における波力発電の可能性

(1) 日本周辺の波力の賦存量

波力発電の出力に影響するパラメーターは波高、波周期および波パワー密度である。

波高については、有義波高という一般には聞き慣れない名前が代表している。天気予報で波高といえばこの有義波高をさす。海の波は不規則であり、この波形記録から、ゼロ・アップ・クロス法と呼ばれる方法で、一波ずつ波高と周期を読み取り、波高の大きい順に数えて全体の3分の1の波高の平均値を有義波高 $H_{1/3}$ と呼んでいる。

計測機器が発達していない時代、海の波の観測は人間の目視観測で、このデータは長い年月にわたって多く蓄積されているが、これ

を活用するためには目測波高とだいたい対応するような波高を定義する必要があった。これが有義波高 $H_{1/3}$ であり、統計理論上必ずしも重要な意味を持つものではない。

波高の確率分布は「Rayleigh分布」と呼ばれ、1,000個の波の最高波高の期待値 H_{max} と有義波高との関係は $H_{max}=1.933H_{1/3}$ となる。すなわち、数時間の間に現れる最大波高は有義波高の約2倍と考えてよい。

波パワーは、1mの幅を通る波パワー密度 W （仕事率）として表され、正弦波を仮定すると、波高 H （m）と周期 T （秒）を用い、

$$W=0.98H^2 \times T$$

として計算できる。海の波は不規則波の成分波である正弦波のパワーを加え合わせたものが実際の波パワー W^* になる。有義波を用いて近似的にこれを求めると

$$W^*=0.49H_{1/3}^2 \times T_{1/3}$$

となる⁽⁴⁾。

日本の沿岸に打ち寄せる波パワーの賦存量を36GWとする報告がある⁽⁵⁾。沿岸の平均波パワー密度は7kW/m（水深50m以下の実測値による）程度であり、総海岸線長を5,200kmとして計算した値である。沖合に設置される波力発電を対象とするにはあまりに控え目な値になっている。

水深が深い沖合での波パワーは、15～20kW/mと現在の観測地の2～3倍の値になる。また、上記海岸線長5,200kmには伊豆小笠原諸島が全く含まれておらず、南西諸島についても沖縄本島と奄美大島の二島しか含まれていない。日本の海岸総延長は実に3万5,000kmで、全長100kmを超える海底電力ケーブルも珍しくなくなった今日では離島と離島の間の海面も波力発

表2 再生可能エネルギー間の競争力（OPT社分析）

	波力発電※ （パワーバイ）	太陽光発電	太陽熱発電	風力発電
設備コスト (\$million/MW)	3.9	7.2—10.4	4.3—5.9	1.5—3.1
発電コスト （¢/kWh）	1.5	50—134	24—34	8—16

※波力は年間400台建造時のコスト

電の適地となりうる。さらに、波パワーの一部が波力発電装置に吸収される効果と、周辺の風によって励起される効果とどちらが大きいのかという疑問もある。このように、沖合の波パワー賦存量を的確に言い当てたデータは今のところ存在しない。私見を述べさせて頂くと、波パワー密度15~20kW/m、沖合線長1万km、風による復元効果を2倍とすれば日本の波パワーの賦存量は300GW~400GWとなる。

(2) 波力発電のポテンシャル

太陽が風を起し風が波を起ししながらそのエネルギーを濃縮（エネルギーの濃縮現象）する。波のエネルギー密度は、太陽の約20倍、風の約4倍にもなる。このことから、波力発電は風力発電に比べて設置密度を大きくとることができる。また、波力発電装置は海上露出部が小さく上空の風を乱す影響が小さいことから、波力発電を洋上風力発電の間を埋めるように設置することもできる。

風力発電装置の出力特性（あるいはパワーカーブ）は、風速を変数として定義されるが、波力発電装置の出力特性は、波高と周期の2つの変数に対して定義される。このため、電力変換制御システムは風力に比べて複雑である。発電性能は、波パワーの電力への変換効率（エネルギー変換効率）でみる場合と、風

力と同じように装置の定格最大出力に対する実際の年間平均出力の割合（設備利用率）で見る場合がある。

「マイティーホエール」のように、波の進行方向に向かって一定の幅で波力を取り込む方式では、発電性能としてエネルギー変換効率をみることが多いが、「パワーブイ」や「ペラミス」のような装置では、波幅を適切に定義できないので、設備利用率が用いられる。最近の先進的な装置のエネルギー変換効率と設備利用率はともに30%程度とみられる。したがって、波パワー賦存量の3%を利用することにすれば、定格設備容量30~40GWの波力発電設備を設置することになる。

(3) 日本の波力発電の適地と経済創出規模

冬場の日本海は波が荒いことで知られるが、年間平均の波パワーから判断すると、太平洋側に設置するのが有利である。太平洋側の年間平均波パワーは、日本列島全域にわたり十分な大きさがあるが、経済的には陸地からの近さが決め手になる。こうしたことから波力発電の適地は、北方領土の南方沖、銚子沖、房総沖、伊豆小笠原諸島沖全域、南西諸島沖全域など（図10参照）であり、陸上送電網と連系すれば、本格的な再生可能エネルギー源に位置づけるに十分な広さがある。



（出所：波力発電検討会資料）

図10 日本近海における波力発電の適地

仮に、定格5GWの波力発電設備を設置すると、そこから生まれる経済規模はおよそ、

■設備建設： 2兆円（耐用年数30年）

■電力販売： 3,100億円（年間）

■設備運用： 630億円（年間）

これは、波力発電に限定した規模であり、洋上風力との併設や漁業、地域振興と組み合わせた効果を2倍程度として、こうしたフィールドを日本全体で10カ所設置すれば、その経済規模は30年間累計で約150兆円に及ぶものと試算できる。こうした新しい国内市場は、大きな雇用と税収につながるほか、海外の投資家から見ても魅力溢れる新興市場ではなかろうか。

（４）波力発電技術

波力発電技術は、コンバーター（あるいは波力発電装置）、係留技術、アレイ（配列）技術、海中送変電技術、さらには運転・保守技術などで構成されるシステムの全体と捉えるべきである。

コンバーターについては、日本の「失われた10年」の間に欧米で可能性のある全てのアイデアが試されたと思えるほど多くの機種が開発途上にあり、そのいくつかは実用化の入り口に立つまでに進化した。今後も、単機出力の大型化やリニア発電採用による効率化などの改良が継続的に行われるものと見られる。こうしたなかで、全体として、おびただしい数の特許が権利化あるいは出願されているとみられ、これがかいくぐっての独自開発は、今からではまず不可能と思われる。このため、海外の優れた製品技術を導入し、日本企業の優れた製造技術で建造するというのが現実的な対応と見られる。幸いにして、日本は欧米企業から先端的技術の供与を憚られる筋の国ではない。また、幸いにして、市場は日本国内であり、海外の優れた技術を憚る理由も無い。この「世界的新興市場」の目をみはる成長は例外なく海外からの技術と投資に始まり、時間とともに現地化（ここでは国産化）が進行する。

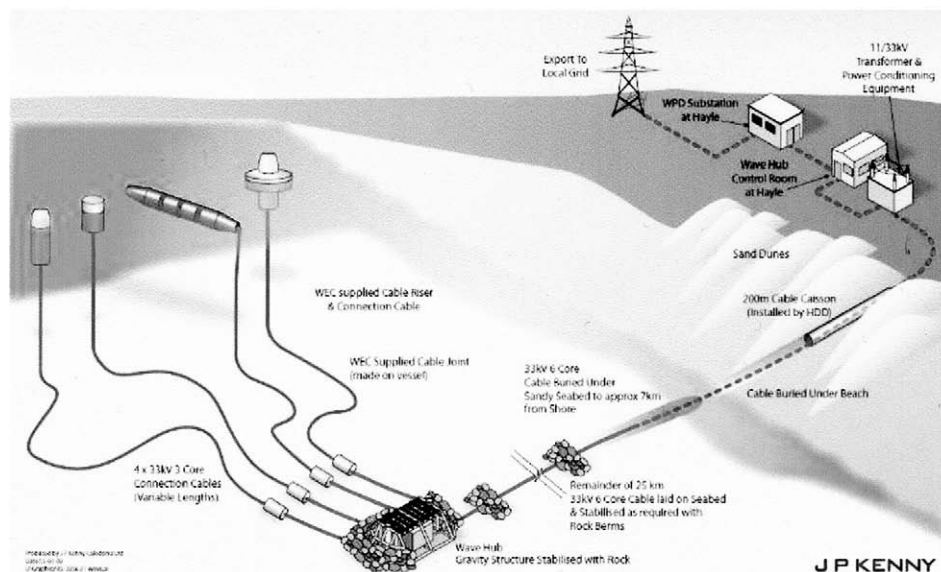
日本では波浪状況と海底地形から、海外での実績に比し水深100mを越えるような比較的深い海に立地することが想定され、係留技術やアレイ技術が重要となる。コンバーターを海外から技術導入するといっても、システム全体について技術的検証を避けて通ることはできない。まずは、実海域実証実験が不可欠である。

（５）日本の海洋エネルギー実証実験場

本格的普及を目指すためには、波力発電システムの完成度を高めることはもちろんのこと、運用経験とデータの蓄積が不可欠である。このため、1日も早く実海域実証実験場を整備する必要がある（図11参照）。

東京都を呼びかけ人として昨年7月に設置された波力発電検討会は波力発電の適地を検討し、波パワーと地域特性の両面から伊豆大島周辺海域を実証実験場の候補地とした。離島では既存電源の発電コストが高いことから、波力発電のような新しい再生可能エネルギー電源も取り入れやすいという背景もある。

また、伊豆大島は海を挟んで電力の大消費地に近く、海上交通の便もよい。さらに、こうした実験場が日本の首都東京に設置されるということになると、実現すれば、世界的な注目が集まり、地域経済への波及効果は計り知れないものになろう。こうしたインパクトのある立地であれば、波力だけでなく、洋上風力・潮力など他の海洋再生可能エネルギー、水産、海洋情報サービスなど複合的、多面的な開発拠点とし、さらには、世界に開かれた東アジア・環太平洋のセンターに位置づけるなど、欲望は際限なく湧いてくる。が、いずれにしても地域振興を絡め離島発電を入口として、実海域実証実験、さらにはモデル発電事業を通じ技術改良とコストダウンを進めながら、徐々に全国的普及に広げていくのが現実的なシナリオと考えている。



(出所：SW Wave Hub Cable-Seabed Sediment Study, Report 2057, April 2009, METOC)

図11 実証試験場のイメージ（ウェーブ・ハブ計画より）

（６）波力発電の経済性目標と導入目標

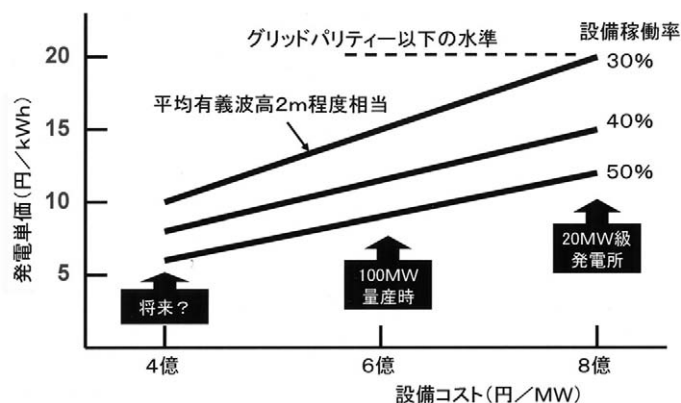
実証実験後いきなり商業的発電事業に進むのではなく、中間に、モデル発電事業ともいうべき比較的小規模（定格設備容量で10～20MW）な段階で再生可能エネルギー電源としての完成度を高めていくことが結果的に早道であると考えている。前掲オーストラリアのビクトリア・プロジェクト（定格19MW）もそうした位置づけのプロジェクトである。

モデル発電事業に対して、2分の1程度の設備補助を行えば平均グリッドパリティ程度の電力引取価格で商業的に成立し、継続的な運転と評価が可能になる。このように、普及の段階に応じて適時適切な支援策を講じて

いけば、規模の効果と経験曲線により発電コストは早い時期に10円/kWh台に下がると思われる。（図12参照）

ただし、普及初期の発電所規模は小さいため、海底電力ケーブルなどのインフラは相対的に高コストになるので、発電所には負担能力がない。当面の間、戦略的に公共インフラとして整備されるべきである。

波力発電は「新エネルギー」として認められておらず、国としての導入目標があるわけではないが、筆者は、実証実験場やインフラ整備がタイムリーに進めば、2020年に300MW、2030年に3GW、2050年に30GW程度の目標設定は無理のない範囲と考えている。



(出所：世界の最新動向を基に三井造船が独自に推定)

図12 日本における波力発電のコスト

5. おわりに

世界はCO₂換算年間270億トン、日本は14億トンを排出している。温暖化の影響が既に物理的・生物学的に表れている可能性が高く、氷河や永久凍土の減少、湖沼や川の水温上昇、生態系の変化、海水の酸性化などが起きていることについては広く知られている。IPCCのシミュレーションによれば、何も手を打たなければ地球の平均気温は2100年に約6℃上昇する。IPCCは100年後以降の予測は出していないが、科学的な裏づけには至っていない最悪のシナリオとして、温暖化がある臨界点を超過して進行するとフィードバックが働かなくなり、温暖化が際限なく続いて生活が大きな打撃を受け文明が後退する、あるいは、人類が激減・絶滅するといった見方もある。

宇宙は130億年前のビッグバンで生まれ（米物理学者ジョージ・ガモフ）、50億年前に太陽が、46億年前に地球が誕生した。40億年前には原始生命が誕生、6億年前からカンブリア爆発と呼ばれる生物の多様性が始まり約1,000万年という短期間に種を多く増やした。650万年前に生物の大量絶滅（隕石落下原因説）があった後、500万年前にようやく最初の人類の祖先（猿人）が現れるのである。太陽の寿命は100億年といわれ既に50億年を経過し、数億年後には太陽の膨張により、地球の高温化が始まるとされる。

空海24歳の戯曲「三経指帰」の一節に「地球などはいつまでであるのかわからない。ヒマラヤ山はなるほど天に届くほど高いが、それも地球の最後の日には火に焼かれ灰になってしまうのである。大洋はなるほど広いが、水が涸れて消え、かぎりなく広がっているとみられるこの大地もどろどろになって消えてしまうのである。天にあこがれる以外に生きる方法はない」⁽⁶⁾。人類は宇宙の塵から生まれて宇宙全体や人類存在の意味を考えるまでによりやうやく進化を遂げた。数億年と思しき人類の余命を、現代人の無作為により数百年に縮

めてしまうことなどおよそあってはならないことであろう。

地球温暖化問題は、紛れもなく全人類が地球規模で取り組むべき安全保障問題であるという共通理念の下、各国はそれぞれの地域性と国益との折り合いを計りながら戦略的に取り組みつつある。

日本では、陸上立地の制約のなかで再生可能エネルギーの大規模導入を計らなくてはならない地域性から、海洋への進出は理にかなう。一刻も早く海洋再生可能エネルギーを「新エネルギー」として、世界的スケールで戦略的に普及を計ることが期待される。2020年CO₂削減目標25%のうち10%を海外からの排出権購入に依存し、その支払いに数兆円を充てるといふ、その一部を海洋再生可能エネルギーへの投資にまわすことも考えてみてはどうだろうか。

参考文献

- (1) 日経ビジネス, 2010年1月18日号
- (2) 渡辺京二, 『逝きし世の面影』, 平凡社ライブラリー, 2005
- (3) 益田善雄, 『日本の波力発電』, 霞出版社, 1987
- (4) マリンフロート推進機構編, 『波と浮体』, 2005
- (5) 高橋重雄, 『日本周辺における波パワーの特性と波力発電』, 港湾技術研究資料No.654, 1989
- (6) 司馬遼太郎, 『空海の風景』, 中央公論新社, 2005

[寄稿]

メガワット級海流発電への挑戦

梅田 厚彦 (財) エンジニアリング振興協会
理事



1. はじめに

20世紀のエネルギー革命は、石炭から石油への流体革命であった。21世紀に起きつつあるエネルギー革命は、化石エネルギーから非化石エネルギーへの「低炭素化（グリーン）革命」である。この「グリーン革命」をより仔細に見ると、エネルギー源の陸地から海洋へというオーシャン化の流れ、すなわち、「グリーン・オーシャン革命」の胎動がある。

四方を海に囲まれたわが国は、国土の約11倍の排他的経済水域（EEZ）を有している。日本がEEZに保有する潜在的資源・エネルギー量を含めると、日本は「エネルギー小国」から「エネルギー大国」になる可能性があるとも言われている。

海洋には、運動エネルギー（波、潮流、海流等）、海水の温度差エネルギー、海洋生物のバイオマス・エネルギー等、多様な海洋エネルギーがある。利用形態は、電気エネルギーに変換する発電利用が一般的である。海流発電とは、海流の運動エネルギーを電気エネルギーに変換して取り出す技術とシステムの総称である。

(財)エンジニアリング振興協会は、2006年10月、青森県の意向を受け、産・学・県を母体とする「大間崎潮流発電実用化委員会」（委員長：湯原哲夫 東京大学特任教授）を協会内に設立し活動が続けている。この活動がメガワット級海流発電システムの開発へと進化し、平成20～21年度には、(財)機械システム振興協会から定格2 MWの「メガワット級海流発電

システムの実用化に関するフィージビリティスタディ」を受託した。協会内に設置されている「海洋開発フォーラム」の有力メンバーで構成する検討委員会（委員長：山口一東京大学教授）を発足させ検討を行った。本稿では、その検討の軌跡の一部を紹介する。

2. 海流エネルギーの特性とその存在量

(1) 海流と潮流

海の流れには、潮流（tidal current）と海流（ocean current）がある。潮流とは、天体の潮汐力による潮の干満によって変わる水平流であり、海流とは、一定の方向に沿って流れる海水の流れである。両者の違いは、海水の流れが一定か変化するかである。潮汐の影響を受けた潮流は、1日に2回「潮止まり」と言う流れが停止する状態が生じる。これに対し、海流は地球の自転に影響されていることから、常に一定方向に流れる。それ故、流速等他の一定条件下では、海流発電の方が潮流発電よりも多くの発電量を得られる。

(2) 海流エネルギーの特徴

海流エネルギーは賦存量が大量であるばかりでなく、予測可能性が高い。風力の場合、風速、風向等の変化を正確に予測することは非常に難しいが、海流は、風力に比べれば、流速や流向の変化の大きさと頻度が小さい。

また、海流は液体であるため気体の約800倍もエネルギー密度が高く、効率の高いエネル

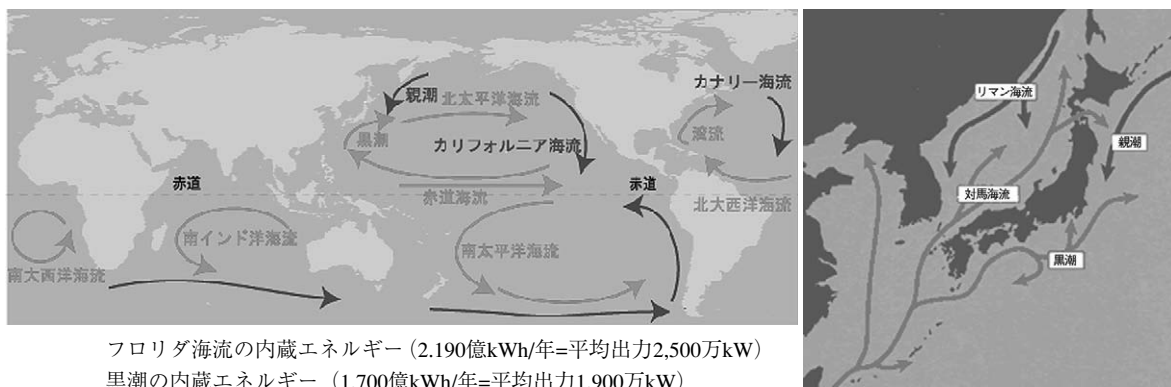


図1 世界の海流の現状

ギー源であり、気体よりも大きな圧力や抗力が生じる。

(3) 海流エネルギー資源量

海流は世界中の海に存在する。特に、流量が多量な海流は大陸の東側に存在している。北米大陸ではフロリダ海流、アフリカ大陸ではモザンビーク海流、ユーラシア大陸では日本近海を流れる黒潮がある。

エネルギー資源としての海流調査は極めて少ないため、海流エネルギー資源量の把握は、断片的な状況にある。日本では、1979年に科学技術庁資源調査会が調査を行っている。本政府調査によると、フロリダ海流のエネルギー内蔵量は、年間2,190億kWh（平均出力2,500万kW）。黒潮では、年間1,700億kWh（平均出力1,900万kW）で、流速が1 m/s以上の海流域では年間900億kWh（平均出力1,000万kW）と推定されている（図1参照）。

3. 海流発電への取り組み

(1) 海流発電のコンセプト

1956年、最初の海流発電の概念がフランスで発表された。そのコンセプトは、風力発電機を模したプロペラ方式で、理論出力は流速3 m/s時で1 ℓ当たり13.8kWと見積もられていた。

1970年代に入り、米国のウッズホール海洋研究所と海洋大気局（NOAA）が、フロリダ海流を利用するプロペラ方式の海流発電構想

を発表した。この研究では、直径73m、ハブ直径12mのタービンを回し、流速2.1m/s時に6,360kWの出力が得られると報告されている。

また、1974年、マサチューセッツ工科大学（MIT）の研究チームは、上記タービンを直列4段に設置した1基20MWの海流発電構想を発表している。さらに、縦軸のローター方式も検討され、1.4MWのサボニーニアスローター10基をセットにした14MWの発電方式も発表している。

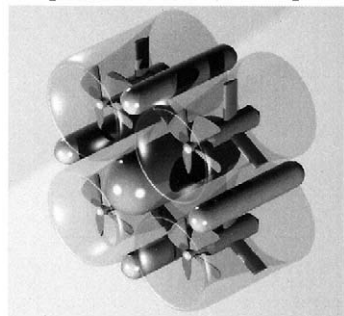
(2) 海外の現状—米国、台湾

現在、海流発電に取り組んでいる国は、日本、米国、台湾など3カ国程度である。

米国の「フロリダプロジェクト」では、オーシャン・リニューアブル・パワー社が流速1.5m/s以上のフロリダ海流域で、約500kWの発電モジュールを海底に設置する実証試験計画がある。台湾では、台湾大学を中心に「黒潮プロジェクト」があり、2012年に実証試験、2014年に20MWの発電を行う構想を発表している（図2参照）。

世界の海流発電への取り組みは、潮流発電や潮汐発電、波力発電に比べると数が少ない。これは、海洋エネルギー開発に熱心な英国や北欧の取り組みが遅れていることが影響している。欧州諸国では、地形の変化を活かした潮流発電や潮汐発電、良質な波力が得られる波力発電を優先させている。

【台湾大学黒潮プロジェクト】



タービン直径: 10m
定格出力: 500kW×4機

【米国フロリダプロジェクト】



1ユニット定格出力
65kW×8ユニット=500kW

図2 世界の海流発電機開発

(3) 海流発電のベンチマーク：潮流発電の現状

海流発電と潮流発電の原理は，流体の運動エネルギーをタービン翼により回転運動に変化させると言う意味で，基本的には同じである。

2007年5月，(財)エンジニアリング振興協会は，先進国事例調査の一環として，潮流発電システム開発で世界をリードする英国のマリン・カレント・タービン（MCT）社を訪問した。訪問当時，MCT社は商業用潮流発電機“SeaGen”の第1号機（世界最大の定格1.2MW）の実証段階にあった。幸運にも，北アイルランドのH&W社工場で組立て中の発電機を見学できた。センターポールを中心に600kWの発電機を2機水平に搭載したツイン方式で，600kW発電用のブレード（羽根）の直径は約16mであった。風力発電機用のブレードと違って，気体の約800倍の密度の中で回転させるため，ブレードの部材構成は，ルート部フランジがスチール鋳物，スパア部分が炭素繊維

強化プラスチック（CFRP），リブとスキン部分がガラス繊維強化プラスチック（GFRP）と一様ではなく，かなりの工夫と苦労の後があった。

風力発電と同様，潮流発電の場合も一定流速の下で高出力を得るには，回転面積を大きくする必要がある。従って，タービン翼の直径をできるだけ長くすることがクリティカル・ポイントになる。MCT社製ブレードの直径16mは世界の最高水準であるが，今後，直径20mへ挑戦するとのことである。

我々の訪問後，第1号機は，ベルファーストの南東約40kmにあるStrangford海峡（水深27m）に設置され，干潮から満潮までの6時間15分の間に平均5MWhを発電している（図3参照）。北東イングランド電力の送電網に系統連系し，年間350MWh（約1,500軒相当）を供給している。MCT社は，今後，複数機による商業展開する予定である。



図3 英国MCT社の潮流発電機（第1号実証機）

4. メガワット級海流発電のコンセプト

(1) 日本の取り組み

黒潮海流発電のアイデアは、1970年頃から存在していた。1973年、海洋開発審議会は、「海洋エネルギー資源及び空間の開発利用を目的にした21世紀に及ぶ長期展望にたつ海洋開発の基本構想と推進方策」を検討した。この中で、5年間の開発期間を①調査研究、②基礎技術研究、③実用技術開発の3段階に分けた実用化計画を提案した。もし、これが実行されていたならば、今頃は世界に冠たる海流発電王国になっていたことであろう。

驚くことに、当時の海流発電のコンセプトは現在のメガワット級海流発電の考え方と酷似している。すなわち、実用化段階での小規模発電所で出力1～5MW、中規模発電所で5～10MW、大規模発電所では500MWの構想を持っていた。当時はMITの直径75mの6枚羽根プロペラ型発電機が構想されていた模様である。

しかし、直径75mの海流発電用のプロペラ型の羽根を製作することは、現在の技術でも不可能な状況にある。プロペラ型のブレードの直径の長さは、現在でも10m台が限界である。

(2) 開発理念と設計指針

メガワット級発電のコンセプトは、新エネルギー間競争の中で生き残れるデバイスの開発にある。このためには、経済性、環境性、社会的受容性に優れていることが要求される。このような観点から、開発理念として以下の項目を重視した。

- ① 持続可能な競争力
- ② 環境に優しい、安定的なエネルギー供給
- ③ 国、市場、社会による受容

また、その基本的な設計指針として、以下の指針を掲げた。

- ① 世界最先端を凌駕する出力
- ② 環境に優しく良質、安定的な発電システム
- ③ 市場、地域と共生する仕組み

世界最先端の出力を発揮するための技術的要素としては、長直径の大型ブレードによる経済性の発揮がポイントになる。従来のプロペラ型のブレードでは直径10m台の壁が存在する。この壁を越えるために活用しようとしているのが、ループ型ブレードである。

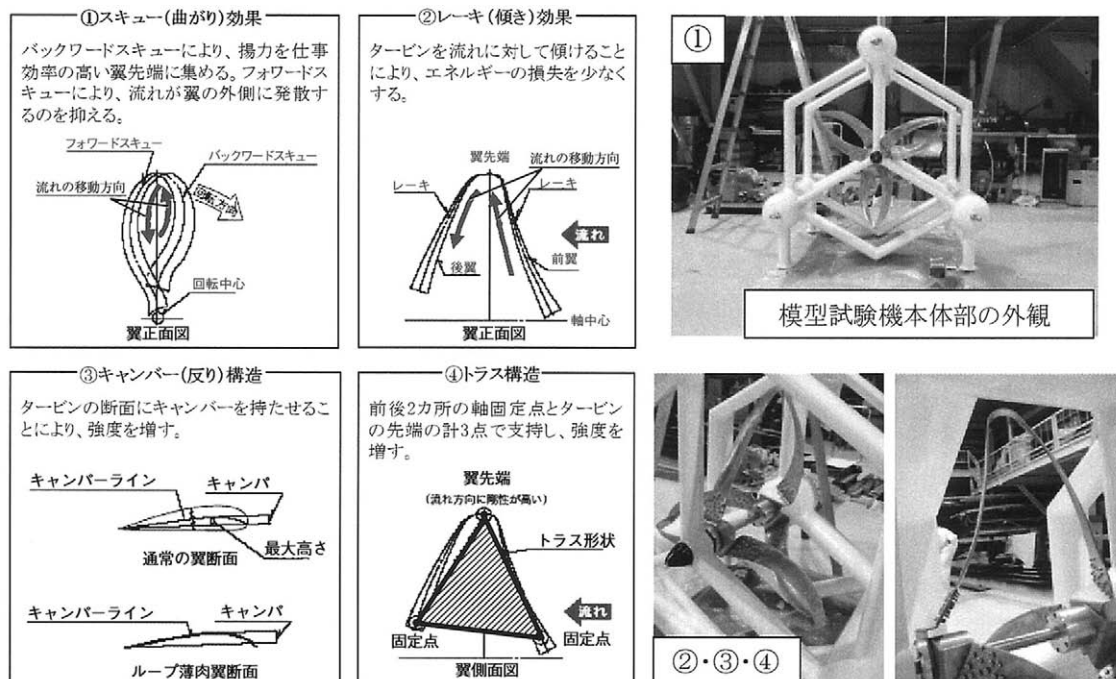


図4 ループ型ブレードの特徴

(3) ループ型ブレード

ループ型ブレード（図4参照）は、小型風力発電機用に開発された日本独自の方式である。ループ型の特徴は、薄板をループ状に曲げることにより、ブレードの直径を20m以上に大きくできることである。風力発電分野では既にプロペラ式の大形ブレードが実用化済みであり、ループ型がこの分野に参入することは可成り難しい状況にある。しかし、海流発電分野すなわち液体分野においては、ループ型の特徴（大きいブレードの可能性）をより生かせる可能性がある。

この他、ループ型ブレードには、スキュー効果による揚力の先端部分への集中、トラス構造によるブレードの補強効果などがある。

(4) 発電出力

発電出力は、単位当たりのコストを低減する上で重要な要素である。風力発電等の新エネルギーに経済性で負けないためには、定格出力2MW（流速2.5m/s）レベルが目標となる。この

出力を得るには、理論上ブレードの直径を約33mにする必要がある。これまでは、このような長径のブレードの製作は困難視されていた。しかし、ループ型ブレードの実験によって、ループ型ブレードの強度ばかりでなく、発電性能面でもその効果が確認された。（図5参照）。

(5) 潜行浮体方式

直径33mのブレードを支えるフレームとして、浮体構造物がある。今回の浮体構造の特徴は、潜行浮体方式である。すなわち、発電時には海中に潜行させるが、メンテナンス時には海面に浮上させる方式である。このため、浮体構造物には、浮力調整タンクを具備した形になる。また、流体力学的観点から流速の増加と強度を考慮して六角形のフレームを採用している（図6参照）。係留方法は、頻繁な台風来襲や船舶の航行等の日本海域の特性を考慮して海底からの係留方法を採用している。

因みに、海中での発電機の設置位置は、係留の条件を考慮して海面から20m以深で200m以

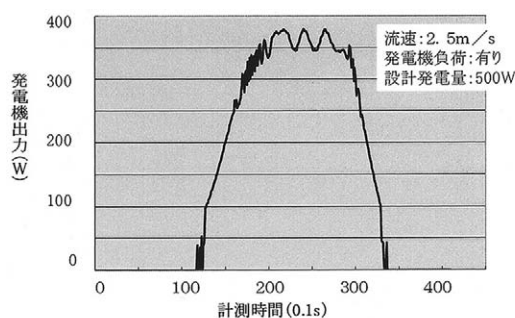


図5 室内実験における発電出力の変化

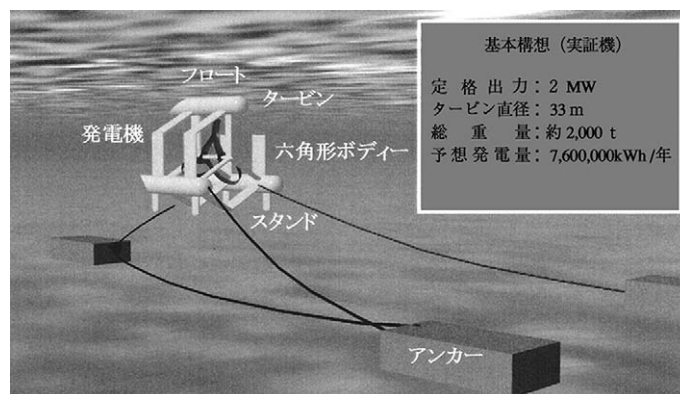


図6 ループ潜行方式の概念図

浅の最も流速の高い海中に浮遊させることを考えている。

5. メガワット級海流発電の実現可能調査

ループ型メガワット級海流発電のコンセプトの実現可能性を探るため、「メガワット級海流発電システムの実用化に関するフィージビリティ調査（FS）検討委員会」が設置され、平成20～21年度の2年間、その調査と検討が行われてきた。以下にその内容を紹介する（図7参照）。

（1）FSの目的・目標、検討内容

本FSの目的は、メガワット級海流発電システムのコンセプトの実現可能性を検討し、同発電システムの基本設計と課題の抽出を行うことである。このため、基本性能の確認、実

用のためのコンセプト・デザインの確立および課題の抽出を行った。その対象範囲は、タービンプレード、浮体、係留の3点を重点的に行った。すなわち、発電性能の確認、流体抵抗の確認、浮体形態、係留方式などの基本性能の確認を行うことにある。その方法として、① 模型試験機の製作、② 模型試験機による性能試験、③ データの収集、④ 解析・評価、⑤ 課題の抽出、⑥ 改善策の検討手順でFSを進めた。

（2）試験内容と結果の概要（図8参照）

① 発電性能試験

実証機の1/50スケール模型機を作成し、100mの室内プールにおいて、2.5m/s相当の流速で曳航試験を行った。今回は、発電機をタービンの上部に取り付けざるを得なかったことから、摩擦抵抗などを考慮して発電目標値を500Wに設

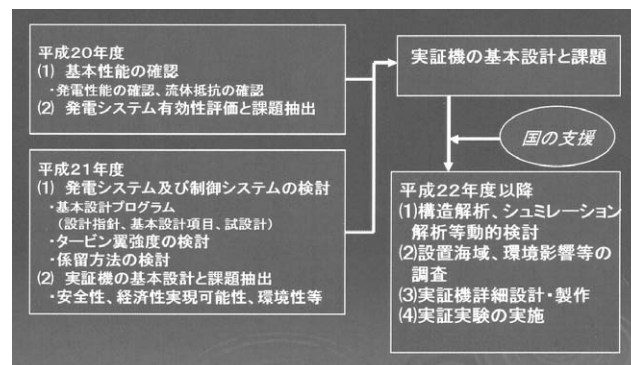


図7 メガワット級海流発電のシステム基本設計プログラム

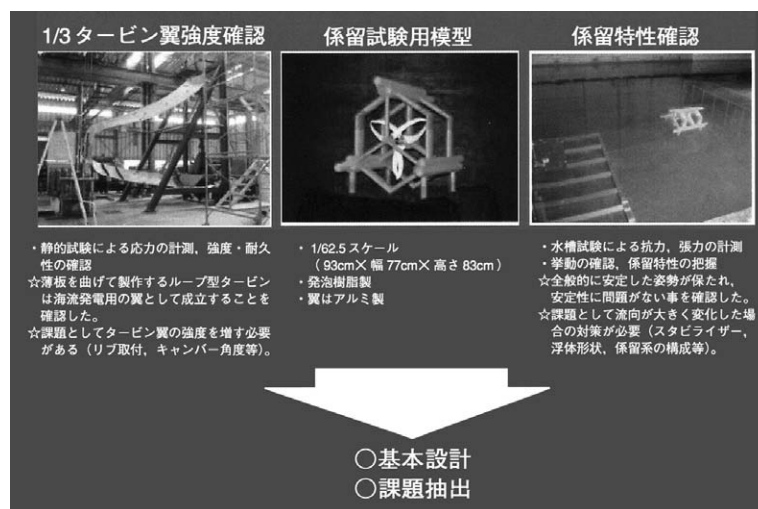


図8 FS試験内容と結果概要

定した。試験結果は、約20秒間380W水準の発電を行うことが出来た。この試験結果から、MW級の発電が可能であることを確認した。

② タービン翼の強度確認試験

実証機ブレードの1/3スケールのタービン翼を製作した。試験用タービンの仕様は、長さ5.5m高さ4.9mのスチール製を使用した。これに、流速2.5m/s相当の荷重をかけて、効力が最大になるタービン回転停止時の荷重(2,463kg)に対する応力計測、最大出力時のスラスト相当の荷重(2,304kg)に対する応力計測を行った。その結果、ループ型タービン翼が海流発電用ブレードとして成立することを確認した。しかし、先端部分にかかる応力が大きいことが判明したことから、ブレード各部の応力を小さくすることが指摘された。

③ 係留力に関する試験

本試験では、実証機の1/62.5スケールの模型機を製作し、抗力および張力の計測、流体力係数および浮体挙動の確認、係留特性の把握を行った。浮体模型の仕様は、長さ93cm、幅77cm、高さ83cmの発砲樹脂製で、錘の出し入れで浮力調整が可能なものにした。但し、ブレードはアルミ製である。

抗力試験については、流水中における抗力を六分力計で計測する方法で行った。試験条件は、流速、傾斜角、タービン状態(回転、

固定、無し)の組み合わせを43条件で行いデータの取得を行った。

張力試験についても、流水中および波浪流水中での係留系に作用する張力を張力計で計測した。試験条件は、流速、流向、波高、タービン状態(回転、固定)、係留状態(4種類)の組み合わせによる64条件で行った。

上記の試験結果、水流中の浮体の挙動は、流速や係留状態によって変動が見られるものの、全般的に安定した姿勢が保たれ、安定性に問題がないことを確認した。しかし、流れの方向が大きく変化した場合には、浮体を正対させるような対策(スタビライザー、浮体形状、係留系の構成など)を講じた方がより安定性を増すとの指摘がなされた。

(3) 試験結果の考察と基本設計

今回の静的な試験では、基礎的なデータの取得、主要な点の性能および強度等の確認、全体システムのコンセプト・デザインの有効性の確認ができた。その結果、ループ型海流発電のコンセプトに特段大きなマイナス結果は見られなかったが、必要な改良点も確認された(表1、表2参照)。その概要は以下の通りである。

- 出力性能試験結果、当初予定出力の80%程度の電力の出力が確認された。
- ブレードの荷重試験結果、現在のループ型形状に特段の問題は見いだせなかったが、ブレードの先端部分およびハブの部分に予

表1 基本設計書の概要

環境	設置場所	深度	200m
		海流(定格)	2.5m/s
		海流(最大)	3m/s
		流向	±15deg
浮体	本体部	離岸距離	3km
		全長	58m
		全幅	48m
		全高	52m
		総重量	3900tf
		総排水量	9000tf
	タービン部	深度保持方式	浮力調整および鉛直索による
		タービン	ループウイング型3枚ブレード
		外径	33m
		翼形状	ループウイング規格
	発電機部	ハブ間距離	13m
		ローター回転数	約4rpm
		定格出力	2000kW
係留装置	動力伝達部	定格流速	2.5m/s
		ナセル構造	円筒耐圧構造
	方式	耐圧深度	300m
			4点係留+4点鉛直索方式
	係留負荷	流れ方向最大値	2600kN
		15°回頭時最大値	3800kN
		浮力最大値	3900kN
	係留索	最大張力	4700kN
		ワイヤーロープ	索2本にて最大張力に耐えること φ56mm×240m
	係留ベース部	アンカーチェーン	φ56mm×50m
		アンカー	200t×4個

表2 FSで抽出された課題

詳細設計における課題	○本F/Sではタービン翼の静的強度試験、水槽試験等を元に基本設計を行った。 本F/Sの試験結果に対する課題解決および、自然条件における本発電システムの動的変化に関するデータを取得するために、シミュレーションプログラムを用いた解析をふまえて、詳細設計を進める必要がある。
海域選定における課題	○システムの基本設計の終了に対応して、想定海域の流況調査を開始し、実証試験に向けての海域を選定する必要がある。 ○海流発電の本格的導入のためには、対象海域・地域の社会的背景も含めた、国による流況調査、環境調査の実施が必要。
法制度における課題	○海流エネルギーを「新工新法」に位置づけ、政策的な支援対象とされるよう、国や関係機関等への提言等を行っていくことが必要である。

想以上の荷重が掛かることが判明したので、何らかの補強の必要性が指摘された。

- 係留試験結果、浮体形状および係留方式に関して安定性の問題が無いことが確認された。しかし、流れの方向が大きく変化した場合または大きな波動生じた場合には、浮体の挙動に影響を及ぼすことが判明したので、より安定性を高めることの検討が指摘された。

今回の試験結果は静的な試験結果であるものの、次のステップへ進む上で大きな自信に繋がる結果である。今後は、今回の試験で収集したデータや知見を活用して、外的条件を加えた動的シミュレーションと構造解析を行う必要がある。最適な実証機設計開発のためには、コンピューターによる構造解析、機能解析、動的シミュレーション解析は不可欠なプロセスである。これらの動的解析や試験等を踏まえて、メガワット級海流発電の技術的課題の改善が進み、システムの経済性はさらに前進することになる。

6. おわりに：課題と展望

現在、政府では「新成長戦略の策定」、「エネルギー基本計画の見直し」、「地球温暖化基本法」、「EEZ及び大陸棚の保全及び利用のための拠点整備等に関する法律」などが審議されている。

海流発電をはじめとする海洋エネルギー開発は、政府が進める政策に貢献できる分野である。海洋開発が秘めている潜在力は膨大かつ多面的である。クリーンで安定的なエネルギー供給、CO₂削減効果、新海洋産業としての経済・雇用創出、海外新市場開拓、技術・エンジニアリング促進、地域開発等が期待できる。にもかかわらず、日本の海洋開発が遅々としている理由には、陸上開発には比べ大きなリスクとコストがかかることである。近年、世界の海洋エネルギー資源開発への政策展開は目を見張るものがある。英国をはじめ

めとする欧米先進国ばかりでなく、韓国や中国も大きな国家予算を投入し、海洋政策の強化を図っている。

2007年、日本国政府は海洋基本法を成立させ、内閣に総合海洋政策本部を発足させた。その背景には、日本も世界の潮流に乗り遅れないとの認識があった。今将に、日本が固有の資源として持っている海洋資源を新たな経済成長と環境対策に活用する時期が訪れた。これを実現するためには、海洋開発に伴うリスクを低減させ、官民で分担する新たな制度設計が求められている。

今後、日本が海洋エネルギー産業を育成して行くには、少なくとも以下に掲げる施策が必要である。

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">① 海洋エネルギー開発計画の策定② 新エネルギー利用等に関する特別措置法（新エネルギー法）への位置づけ③ 海洋エネルギー産業政策と支援制度の整備④ 海洋エネルギー開発のインフラ整備（例えば、実証フィールド創設、海況環境マップ、送電施設の整備、利害調整手続き制度の創設等）⑤ 海洋エネルギー研究・技術開発への集中的支援措置及び電力買取制度の創設 |
|---|

今後、このような適切な制度設計と支援措置の下、海洋エネルギー産業への事業参入が促進され、10年後または20年後に、海洋エネルギー産業が日本の経済成長と雇用の確保の中核産業として、また地球環境に貢献する環境産業として次世代を担う産業に成長することを切望する。

参考文献

- (1) 財団法人エンジニアリング振興協会、「大間崎潮流発電実用化委員会 報告書」、平成20年3月
- (2) 科学技術庁 資源調査会、「黒潮の運動エネルギーの段階的開発利用に関する調査報告」、昭和54年1月
- (3) 海洋エネルギー資源利用推進機構・再生可能エネルギー協議会、平成20年および21年 海洋エネルギー資源国際フォーラム（フォーラムテキスト）、
- (4) “Taking Tidal Stream Technology towards Commercial Reality” “Progress with Tidal Turbines” 2007, “Pioneering Tidal Stream Technology” 2008 MCT社 資料
- (5) 財団法人機械システム振興協会／財団法人エンジニアリング振興協会、「メガワット級海流発電システムの実用化に関するフィージビリティ」報告書、平成21年3月および平成22年3月

[寄稿]

原子力輸出の際の一指針 —原子力導入を表明した国々へのGDPモデル適用と考察—

飯田 式彦

(株)東芝 原子力事業部
技監



1. はじめに：原子力ビジネスに沸く韓国

2009年12月28日、歓喜の写真が韓国紙面を飾った。アラブ首長国連邦（UAE）の原子力発電所建設契約の締結について、それに貢献したイ・ミョンバク大統領の顔写真入りで大々的に報じたのである。これにより、大統領の支持率は、2010年1月4日には10%台から57%に跳ね上がった。14日には韓国がヨルダンへの研究炉輸出の最終事業者に選定され、15日にはトルコ

で2基目の建設契約を締結すると報道された（3月に実現）。25日には一度落札に失敗したオランダのアイソトープ生産施設の契約に向けて再挑戦を開始。24日からのインド訪問でイ・ミョンバク大統領は、原子力輸出協力を力を入れた。1月13日には、2030年までに80基の原子炉を輸出するとして原子力ビジョン（知識経済部：原子力発電輸出産業化戦略）が担当省により策定され、その実現のため7年間で406億円の研究開発投資が決定したことが報じられた。

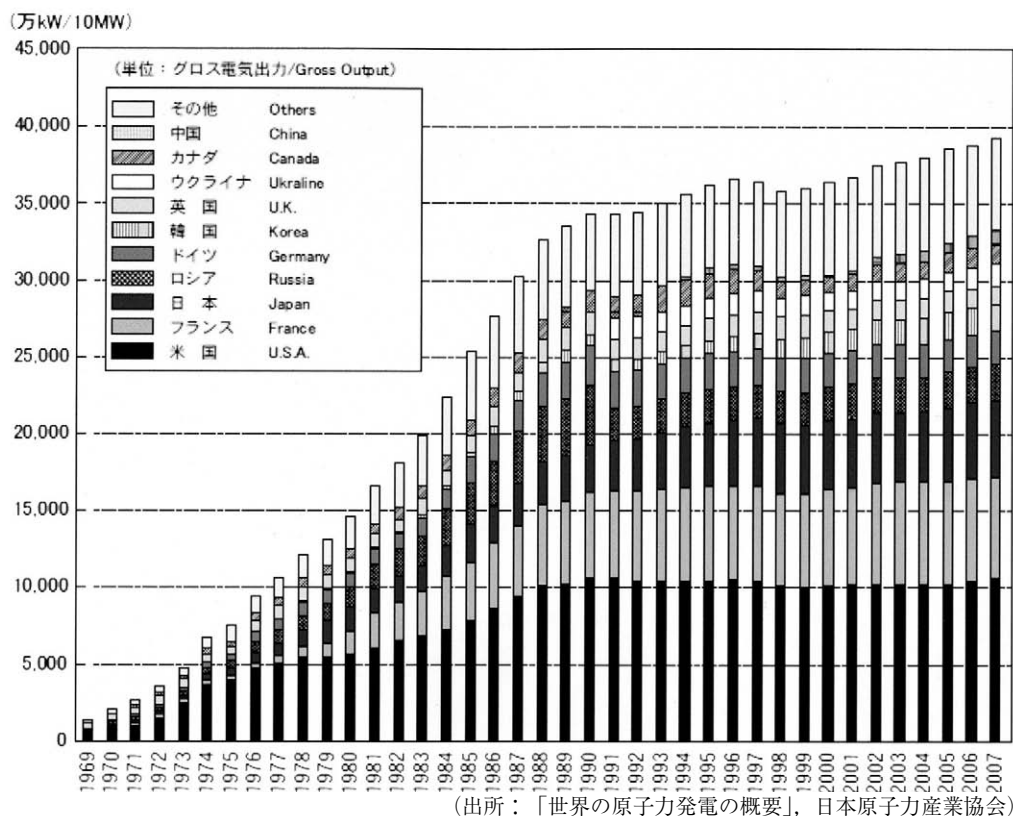


図1 世界の原子力発電所の設備容量推移

2月になると、韓国輸出入銀行は、原子力輸出に寄与する企業が低利融資を受けられる金融支援策（総額9,000億円）を策定した⁽¹⁾。

これらの出来事は原子力の「現在」を象徴している。今後、追設も含めて新しく原子力導入を表明している国は60カ国を超える。と同時に、原子炉の輸出能力を蓄積した新しい国が台頭し始めた。世界の原子力産業は「原子力の復興」を超えて新しい時代を模索し始めたといえよう。

本稿では、まず、新しく原子力を導入すると表明している国々について、経済レベルに応じた分類を試みる。次に、それらの国々にとっての原子力導入の要件を考察する。その結果として、原子力輸出の際の指針を提案したい。

2. 原子力導入を表明している国々の1人当たりGDP

2007年末までに世界で運転されている原子力発電所は435基、合計出力は3億9,224万1,000kWである（図1参照）。また、同時点での建設中の原子炉は43基、計画中の原子炉は53基にのぼる。計画中の原子炉は、インド（8基）、中国（8基）、が突出しており、右肩あがりの経済成長とともに原子力への関心が高まっていることがわかる（巻末付表参照）⁽²⁾。さらに長期

的には、2050年に炭酸ガス排出量を半減するためにより多くの原子力導入に関する試算が国際機関を中心に行われている（図2参照）⁽³⁾。

現在、60カ国を超える国々が原子力導入に関心を示している⁽⁴⁾。しかし、表1に示すように、現在の経済成長が著しい国だけが原子力導入に関心を示しているわけではない。原子力導入を表明している国々はさまざまな経済レベルにあり、1つの集団、例えば日本からの輸出対象国、として扱うことは適切ではない。また、原子力導入のインセンティブも各国で異なる。原油など資源輸出に依存している国々ではその資源を将来にわたり温存させることが原子力の導入目的でもあるし、また、別の国々では、炭酸ガス放出削減のために、石炭火力発電を天然ガス発電に移行させる努力を行いつつ、将来の国力向上をにらみ原子力を少しでも拡大する苦勞も買っている。さらに、別の国々では、環境政策が支持され、新エネルギーと原子力の割合を同時に拡大させることに国民は大きな違和感をもたない。

まず、原子力の新規導入を表明している国々の経済レベルを「1人当たり国内総生産（GDP）」で見てみよう（表1参照）⁽⁵⁾。中東については、石油価格が急騰した2000年以降は国民意識の成熟度を現す経済指標としてかならずしも適切とは考えられないため、本稿では1999年の1人当たりGDPを適用した。中

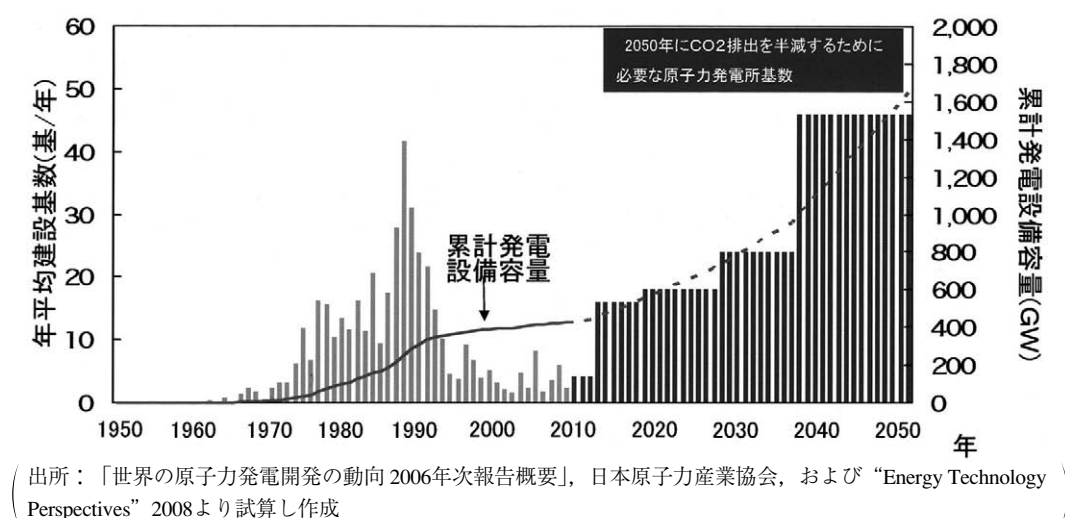


図2 2050年までの原子力導入ビジョン

表1 原子力導入を表明している国々の1人当たりGDP

(米ドル)

国名	GDP	国名	GDP	国名	GDP	国名	GDP	国名	GDP
ノルウェー	94386	シンガポール	38972	ハンガリー	15522	ブラジル	8295	インドネシア	2238
オランダ	52499	日本	38457	ラトビア	14963	アルゼンチン	8171	エジプト	2162
スイス	68433	スペイン	35116	リビア	14479	マレーシア	8118	モンゴル	1975
スウェーデン	52180	イスラエル	28408	リトアニア	14085	ブルガリア	6560	フィリピン	1845
フィンランド	51588	スロベニア	27148	ポーランド	13846	南アフリカ	5684	ヨルダン	1719
アメリカ	47439	カタール	21389	クウェート	13358	中国	5000	ナイジェリア	1402
ベルギー	47289	チェコ	20759	ロシア	11806	イラン	4600	イエメン	1171
オーストラリア	46824	韓国	19136	ベネズエラ	11388	アルジェリア	4588	セネガル	1066
フランス	46037	UAE	18193	トルコ	10479	タイ	4116	シリア	1043
カナダ	45085	スロバキア	17646	メキシコ	10199	チュニジア	3955	ベトナム	1042
ドイツ	44728	エストニア	17532	バハレーン	10025	ウクライナ	3909	パキスタン	1022
イギリス	43733	台湾	16987	ルーマニア	9310	イラク	3007	インド	1017/1900
イタリア	38998	クロアチア	15633	カザフスタン	8718	モロッコ	2827	ガーナ	739

(出所：IMF, “World Economic Outlook 2009” を基に作成)

国は省間の格差が大きく、中国平均（1人当たりGDP3,266米ドル；2008年）を使うことは適切ではない。したがって、原子力を運転、建設、計画している、東部地区の複数の省（広東、福建、山東、江蘇）の1人当たりGDP⁽⁶⁾を平均した約5,000米ドルを適用した。インドも平均では1,017米ドルであるが、デリー准州は1,900米ドルである。

3. 経済レベルの分類とGDPモデル

(1) 選択消費に着目した経済レベルの分類

1人当たりGDPを用いた経済レベルの分類で最も有名な方法は、国際復興開発銀行（世界銀行）が利用している「低所得（935ドル以下）」、「下位中所得（936ドル以上3,705ドル以下）」、「上位中所得（3,706ドル以上1万1,455ドル以下）」、「高所得（1万1,456ドル以上）」である⁽⁷⁾。しかし、本稿で対象とするエネルギー供給源に関心が高く原子力を導入すべく準備を進めている国に関する考察においては、世界銀行の分類は適さない。別の観点として、経済成長と停滞を繰り返しつつ発展を続けたサイクルごとにGDPを記述することが考えられる。日本の例では、1955年の「神武景気」

という第3サイクルから、2002年から始まる第14サイクルをGDP分類のための指標にできる。しかし、日本の景気循環はあまりにもローカルな要素が多いので、経済成長とともに変化する個人の消費意識を分類の基礎におくほうが普遍性を持つと考えられる。

そこで、本稿では、個人の消費意識の変遷とともにその市場の形態が変化してきたミネラルウォーターの市場推移に着目し、新しいGDP分類を試みる。かつて日本の高度成長期（1955年～74年までの20年間）の到達点を象徴するかのようになり、「選択消費」という言葉が使われてきた。1960年代後半には選択消費黎明期の象徴ともいえるキャラクターグッズが登場する。生活必需品ではない商品を購入する「選択消費時代」に移行したのである。水道水のかわりにミネラルウォーターを消費するようになったことも1つの例である。ミネラルウォーターの消費の推移を追跡すると下記のように個人の消費意識の変化、あるいは価値観の変化について一定の結果を得ることができる⁽⁸⁾。

- ① 1967年：ウィスキー水割り業務用のミネラルウォーターが登場

- ② 1970年代：ウイスキー水割り業務用での消費が本格化
- ③ 1982年：ペットボトルが登場
- ④ 1984年：家庭用ミネラルウォーターの普及
- ⑤ 1990年：家庭用ミネラルウォーター需要が業務用を超える
- ⑥ 2000年：ペットボトルの回収率が12%
- ⑦ 2004年：ペットボトルの回収率が51%

① は、選択消費の時代が始まった時期と考えることができる。④は、国民一般のレベルで選択消費の意識やそうした価値観が普及し始めた時代に突入していることを示す。そして、⑤に至り、一般の国民が均一にミネラルウォーターを享受していることになる。⑦において、新しい価値観すなわち、環境意識、が定着し始めた。

こうした消費意識や価値観の変化を1人当たりGDPと関係づけてモデル化を試みる。これにより、1人当たりGDPをもってその社会の特徴を記述することとする⁽⁹⁾。

上記①のミネラルウォーターの登場は、生活のための必需消費形態に加えて選択的な消費形態が芽生える時期を示唆している。必需消費形態が終了する1960年代後半の1人当たりGDPは約50万円である。本稿では、1人当たりGDP50万円以下をもって必需消費を経済活動の主体としている集団と定義する。

上記④の家庭用ミネラルウォーターの普及とは、選択消費が社会の価値観に大きな影響を与え始めた時期と解釈できる。1980年初期の1人当たりGDPは約200万円である。本稿では、

1人当たりGDPが50万円以上200万円以下をもって必需消費から選択消費に転換しつつある集団と定義する。

上記⑤の家庭ミネラルウォーター需要が業務用を超える時代（選択消費が定着し社会）は、成熟を迎えた時期と読み替えることができる。1990年代中期の1人当たりGDPは約400万円である。本稿では、1人当たりGDPが200万円以上400万円以下をもって、成熟段階に移行した集団と定義する。

その後、日本の経済は低迷するが、消費停滞の中にも新しい価値観が芽生え始めた。それを特徴づける上記⑦、すなわちペットボトルの回収率が50%を超える時期の1人当たりGDPは約400万円である⁽¹⁰⁾。

以上から、次のGDP分類が提案される。

分類Ⅰ	1人当たりGDP：50万円以下
分類Ⅱ	1人当たりGDP：50万円～200万円以下
分類Ⅲ	1人当たりGDP：200万円～400万円以下
分類Ⅳ	1人当たりGDP：400万円以上

（2）分類毎の技術姿勢

本稿では、分類ごとに、技術姿勢をまとめた（表2参照）。技術姿勢については、経済形態から演繹されよう。

分類Ⅰの国々の経済形態は「追いつけ型」である。追いつけ型の経済にあつては、技術姿勢は、「先行技術を真似る」ことに全力を注ぐ。

分類Ⅱの国々の経済形態は、「追いつけ型」ではあるが、「先行技術を自前化」し、世界での自国の存在感をまずは確保ことを目標としている。

表2 1人当たりGDPによる経済レベルの分類

分類	小分類	経済形態	消費形態	技術姿勢
分類Ⅰ	GDP<50万円	追いつけ型	生活必需消費	先行技術を真似る
分類Ⅱ	50万円<GDP<200万円	追いつけ型	生活必需消費から選択消費へ移行	先行技術を自前化
分類Ⅲ	200万円<GDP<400万円	一部産業でトップランナーに	選択消費	先行技術の改良、改善
分類Ⅳ	GDP~400万円	トップランナーから転落	選択消費の中に新価値観、付加価値重視が芽生える	技術停滞
	GDP>400万円	新産業創出		技術革新

分類Ⅲの国々の経済形態は「一部産業でトップランナー型」である。もっとも、この市場は少数の先進国が作り上げた市場であり「他人の土俵」である。技術姿勢は、「先行技術の改良、改善」といえよう。

分類Ⅳは、さらに2つの集団に分類される。90年代半ばの日本はここに入るが、「技術は停滞」し、トップランナーから転落し2000年以降1人当たりGDPは400万円を下回っている。その代わりに環境を大事にする新しい価値観が芽生えている。これが1つの集団を構成する。一方、米国は1960年から80年半ばの「プラザ合意」まで現在の日本のような停滞社会に陥った。しかし、その後、この停滞から抜け出し「新産業創出型」ともいえる経済形態に転換した。転換後の技術姿勢は「技術革新型」といえよう。これがもう1つの集団を構成する。

4. GDPモデルの原子力への適用

(1) 原子力導入を表明している国々の分類

原子力を今後導入すべく新しく手を上げた国々、かなり前から原子力導入に向けた準備を進めている国々、これまで原子力発電所を運転しているが、改めて建設拡張を考えている国々の1人当たりGDPを整理した表1を、前章で定義したGDP分類に従って改めて図示する(図3参照)。

20カ国が分類Ⅰに、25カ国が分類Ⅱに、8

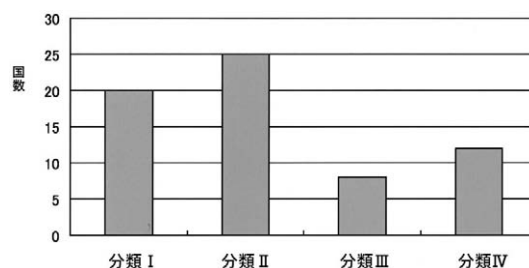


図3 1人当たりGDPによる分類に対応する国数

カ国が分類Ⅲに、12カ国が分類Ⅳに該当する。新しく原子力を導入することに意欲、または関心を示す国々は、分類Ⅰと分類Ⅱが大半を占める。経済形態は「追いつけ型」であり、先行技術を真似ることからはじめ、技術習得を目指す、国々である。分類Ⅲと分類Ⅳの国々は、比較的環境意識が高く、新エネルギーと原子力との共生を目指す。分類の特徴上、従来の原子炉の型式からの差異化をめざし、具体的には発電性能や安全性能で付加価値を追求した型式の原子炉に関心を示す。このように、それぞれの分類ごとに原子力に対する要望が異なる。こうした違いは、それぞれの国の経済形態や消費形態を反映した国民の意識の違いから生じる。当社の経験からそのことについて以下に述べる。

(2) 原子力に対する要望の背景：「4S」の経験

当社は、燃料交換を不要にし核不拡散性を高め、自然現象を最大限活用したデザインで安全

- 装荷した燃料を交換することなく30年間運転可能なNa冷却高速炉
- 自然現象を活用した安全設計(自然に炉停止と崩壊熱除去)
- 静的機器の採用でメンテナンス量の低減
- 工場生産で短納期
- 日本で発案・開発

熱出力	30MWt、135MWt
電気出力	10MWe、50MWe
冷却材	ナトリウム
燃料	金属ウラン燃料
反応度制御	移動式反射体

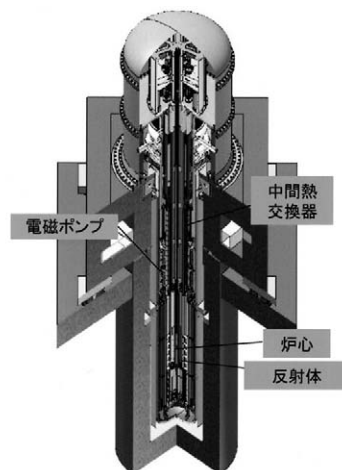


図4 4S (Super-Safe, Small and Simple) 炉の構造

性を高めたユニークな小型のナトリウム冷却型原子炉「4 S (Super-Safe, Small and Simple)」⁽¹¹⁾の広報活動を1990年代初めに開始した。

「4 S」の原子炉構造を図4に示す。「4 S」は当初から上述の分類Ⅰに属する国々への導入を目的とした設計を目指した。

[燃料交換不要の設計]

分類Ⅰに属する国々、特に当時の途上国では、複雑な原子炉運転操作に精通した人員は望めないため、まずは、多くの人手を要する燃料交換を不要としてプラントを最後まで運転する設計を優先させた。

燃料交換間隔を長く設計する方法にはいくつかあるが、燃料をできるだけ多く炉心に装荷し、かつ高速中性子下で一部の親物質を核分裂性物質に転換しつつ、そして高い密度の燃料を用いることを「4 S」の設計方針とした。

燃料の交換間隔が長くなっても運転に必要な機器の寿命が短く、頻繁に交換が必要だと運転員の削減にはつながらない。重要機器である高速中性子炉制御棒の運転経験によれば、制御棒ペレットの割れが生じ核的な寿命前に交換を余儀なくされている。したがって、制御棒を使わない炉心制御方式が望まれた。

「4 S」では高速中性子の平均自由行程の長さに着目し、炉心を外から囲む反射体により、炉心を臨界にするだけでなく30年間にわたり燃焼制御も可能となるような様々な工夫を行っている。反射体そのものはプラント寿命中交換不要である。

[燃料被覆管破損時でも運転続行できる工夫]

運転を容易にするための他の重要な要因は、燃料被覆管の破損が検出された場合の処置に関するものである。被覆管が破損して酸化燃料と冷却材が接触すると、化合物を形成してさらに破損部位が拡大することが知られている。したがって、運転を止め、破損燃料の位置を特定して、さらに破損燃料を取り出す操作が必要となる。このため複雑な運転操作

が必要とされる。これは「4 S」を設置する地域ではとても考えられない難しい作業になる。燃料被覆管が破損しても、そのまま運転を継続しても破損が拡大もせず、運転を続行できる方法が必要であった。そのために、被覆管の中に冷却材と同じナトリウムを封入した金属燃料を採用した。被覆管が破損しても運転を続行できることが米国の試験炉で実証されている。

[さらなる要望]

運転操作の容易な原子炉は運転に関する導入国の負担を減らすはずであった。しかし、途上国または先進国の隔離地域ではさらに広範な項目が要望された。

1993年までに、北アフリカ諸国、中東バレーンと「4 S」炉導入の要件を議論している。2000年以降は、米国アラスカ州、カナダアルバータ州やその他の地方の州住民や地方電力会社からの要望を把握した。米国もカナダも上記GDPモデルの分類Ⅳに入るが、エネルギーを渴望している州の該当地域は、州都や隣地から隔離された地域であり住民の意識は分類ⅠあるいはⅡである。

「4 S」広報活動の経験は、そのまま分類ⅠやⅡで対象とする国の原子力モデルを考察する場合に適用できる。順不動にその要望の要点を以下に示す。「4 S」の最大の特徴である運転操作の容易性だけでは足りなかったのである。

- 建設実績・運転実績またはこれと同等なもの
(NRC設計承認は最低レベル)
- 許認可の全面支援
(許認可体制・組織新設などの負担を軽減、既得認可部分を利用)
- 施設の運転
(ニーズは蒸気や電気であり原子力施設の運転は提案元で)
- 安定した燃料供給
(燃料調達提案元で)
- 使用済み燃料の引き取り
(環境優先であり地元から引き取ることが条件)
- プロジェクト費の融資
- プロジェクト費の事前の確実性
- 現在利用しているディーゼル発電に比べて安価なコスト

色分	要求事項	分類Ⅰ、Ⅱ	分類Ⅲ、Ⅳ
	付加価値		テロ対策 発電性能向上 単純性 多様性 廃棄物処理 など
	燃料供給		
	使用済み燃料引き取り		
	許認可支援		
	原子力施設の運転		
	建設・運転実績		
	安価な建設コスト		

図5 原子力GDPモデル

これらをGDPモデルに適用することにより、新しく「原子力GDPモデル」を定義することができる。一方で分類Ⅰや、の国々では、原子力施設に付加価値（テロ対策，発電性能向上，単純性，多様性，高レベル廃棄物処理，など）を期待している。1人当たりGDPに応じて要望の力点が異なるのである。

図5に、「原子力GDPモデル」としてそれらを現してみた。単純化のために，分類Ⅰと分類Ⅱの国々，分類Ⅲと分類Ⅳの国々をそれぞれ1つにまとめる。前者で1人当たりGDPが200万円以下の国々は，建設実績・運転実績のある発電所（最低でNRC設計承認）とその国力に見合う安価な建設コストを同程度のウェイトで求める。後者の1人当たりGDPが200万円を越える国々は，安価な建設コストを求めつつも従来の発電所を一段と改良改善し，テロ対策，発電性能の一段の向上，単純性，多様な安全設備，また究極的には廃棄物消滅，が要求仕様に入るだろう。

分類Ⅰ，Ⅱの国々を輸出対象とするとき，優先すべきは，① 建設実績または運転実績のある原子炉型式のもとで，② 建設コストをいっそう低減し，③ 施設の運転またはそれに変わる運転組織を導入し，④ そしてその国の許認可体勢を全面的に支援することである。さらに，国によっては，⑤ 使用済み燃料の引き取り，を要求される。韓国のUAEに対するアプローチはこの全てを満たしていたと言えよう。

5. まとめ

追設も含め原子力を新しく導入すると表明している国は現在60カ国を超える。と同時に，原子炉を輸出できる能力を蓄積した新しい国が台頭し始めた。本稿では，新しく原子力を導入すると表明している国々を経済レベルに応じて分類する試みをおこない，あわせてそれらの国々が原子力を導入するための要件を考察した。これを原子力モデルとして提案した。この「原子力GDPモデル」で示したように原子力輸出には対象国ごとに異なるアプローチが重要である。

参考文献

- (1) 朝鮮日報，中央日報を中心に多くの記事がウェブサイト「uae 原子力 - Google ニュース」にある
- (2) 「世界の原子力発電所の概要（プレスキット）」，原子力産業協会，2008年11月
- (3) “Energy Technology Perspective 2008,” OECD/IEA
- (4) “International Conference on Access to Civil Nuclear Energy held in Paris March,” 2010
- (5) IMF “World Economic Outlook 2009”
- (6) 「中国統計概要 2009年版」
- (7) World Bank Indicators 2009
- (8) <http://www.waterlife.jp/waterpedia/knowledge/knowledge/Data01.html>
- (9) 「平成21年版 経済財政白書-危機の克服と持続的回復への展望」，内閣府
- (10) ベットボトルリサイクル推進協議会ウェブサイト
- (11) N. Handa “Use of Super Safe, Small and Simple LMRs to Create Green Belts in Desertification Area” Trans. ANS vol.60, 1989

付表 世界の建設・計画中の原子力発電所

国・地域	運転中 In Operation		建設中 Under Construction		計画中 Planned		合計 Total		Country Region
	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	
1 米国	10,606.1	104			120.0	1	10,726.1	105	U.S.A.
2 フランス	6,602.0	59	163.0	1			6,765.0	60	France
3 日本	4,958.0	55	256.5	3	1,494.5	11	6,709.0	69	Japan
4 ロシア	2,319.4	27	615.4	8	550.0	5	3,484.8	40	Russia
5 ドイツ	2,137.1	17					2,137.1	17	Germany
6 韓国	1,771.6	20	680.0	6	280.0	2	2,731.6	28	Korea
7 ウクライナ	1,383.5	15	200.0	2			1,583.5	17	Ukraine
8 カナダ	1,342.5	18					1,342.5	18	Canada
9 英国	1,195.2	19					1,195.2	19	United Kingdom
10 スウェーデン	938.4	10					938.4	10	Sweden
11 中国	911.8	11	790.0	8	800.0	8	2,501.8	27	China
12 スペイン	772.7	8					772.7	8	Spain
13 ベルギー	611.7	7					611.7	7	Belgium
14 台湾	516.4	6	270.0	2			786.4	8	Taiwan
15 インド	412.0	17	316.0	6	680.0	8	1,408.0	31	India
16 チェコ	386.0	6					386.0	6	Czech
17 スイス	337.2	5					337.2	5	Switzerland
18 フィンランド	280.0	4	170.0	1			450.0	5	Finland
19 スロバキア	220.0	5					220.0	5	Slovakia
20 ブラジル	200.7	2			135.0	1	335.7	3	Brazil
21 ブルガリア	200.0	2			200.0	2	400.0	4	Bulgaria
22 ハンガリー	194.0	4					194.0	4	Hungary
23 南アフリカ	189.0	2			11.0*	2	200.0	4	South Africa
24 リトアニア	150.0	1					150.0	1	Lithuania
25 ルーマニア	141.2	2	211.8	3			353.0	5	Romania
26 メキシコ	136.4	2					136.4	2	Mexico
27 アルゼンチン	100.5	2	74.5	1			175.0	3	Argentina
28 スロベニア	72.7	1					72.7	1	Slovenia
29 オランダ	51.0	1					51.0	1	Netherlands
30 パキスタン	46.2	2	30.0	1			76.2	3	Pakistan
31 アルメニア	40.8	1					40.8	1	Armenia
32 イラン			100.0	1	36.0	1	136.0	2	Iran
33 インドネシア					400.0	4	400.0	4	Indonesia
34 エジプト					187.2	2	187.2	2	Egypt
35 イスラエル					66.4	1	66.4	1	Israel
36 トルコ					N/A	3	N/A	3	Turkey
37 カザフスタン					N/A	1	N/A	1	Kazakhstan
38 ベトナム					N/A	1	N/A	1	Vietnam
合 計	39,224.1	435	3,877.2	43	4,960.1	53	48,061.4	531	Total
()内は前年値	(38,704.8)	(429)	(2,940.4)	(35)	(5,217.4)	(47)	(46,862.6)	(511)	(previous year)

*出力判明分のみ

The unknown output is not included.

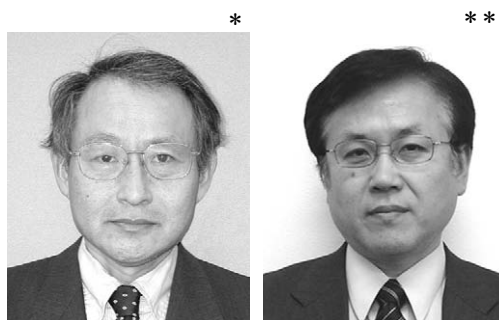
(出所：「世界の原子力発電の概要」，原子力産業協会，2008年11月)

~~~~~  
[調査研究報告]

ケミカルルーピング燃焼技術  
—エネルギー・ペナルティーを伴わない  
革新的燃焼技術—

吉田 一雄<sup>\*</sup> (プロジェクト試験研究部  
主管研究員)

小野崎正樹<sup>\*\*</sup> (プロジェクト試験研究部  
部長)



~~~~~  
1. はじめに

地球温暖化を抑制するため、様々な二酸化炭素(CO₂)削減技術の開発が行われている。中でも二酸化炭素回収貯留(CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage)技術は、燃料から発生するCO₂を大幅に削減する技術として実現性が高いため、研究開発や実証が幅広く進められている。CCSにおけるCO₂分離・回収には、石炭ガス化複合発電(IGCC)のような高圧からの燃焼前回収、燃焼後排ガスからの回収、微粉炭火力の酸素燃焼などの技術がある。いずれもCO₂回収のために余分なエネルギー消費、いわゆる「エネルギー・ペナルティー」が生じ、プラントでは総合効率が、発電では発電効率が大幅に低下する。このエネルギー・ペナルティーは、CCS関連設備設置の際の追加的な費用となると共に、CCS普及の大きな障害となっている。

このような中、近年、エネルギー・ペナルティーを伴わない新たな燃焼法として、「ケミカルルーピング燃焼」(CLC: Chemical Looping Combustion)が注目されている。CLCは空気を燃料に直接接触させるのではなく、金属酸化物(酸素キャリア)を介して燃料と反応させる。それによって、燃焼ガスはCO₂と水分となり、CO₂回収が容易となる。いわば、燃焼と同時にCO₂回収を行う技術である。

本稿では、本質的にCO₂回収が組み込まれた燃焼技術であるCLCについて、世界の研究・開発の動向を紹介する。

2. 経緯

金属酸化物を利用して燃料を酸化させる原理は米国で発明され、純粋なCO₂製造法として特許を得ている⁽¹⁾。燃焼法の1つについては、石田愈(いしだまさる)東京工業大学教授(現名誉教授)が20余年前から本格的に研究を始め、1994年に発表した論文のタイトルで“Chemical Looping Combustion”という名称を初めて用いた。当時はサーマルノックス(NO_x)の発生が少ない燃焼法として、東工大を中心に活発な研究が行われていた⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。金属酸化物粒子を流動化させ、循環させると言う高度な技術を要することもあって、その後も大学を中心に基礎研究が続けられてきた。

現在では、本質的にCO₂回収を行う有効な手段として、諸外国、特に、欧州連合(EU)を中心に、大学や公的研究機関、民間企業で、CLCの研究・開発が進んでいる。熱重量分析を用いた実験室規模の実験から、120kWth級のパイロットプラントでの試験や概念設計まで、幅広く、研究開発が行われている。また、燃料についても、従来はメタンや天然ガスのような気体燃料が中心であったが、現在ではCO₂削減効果が大きい石油系の重質な液体燃料や石炭などの固体燃料に対象が移りつつある。EUの他、米国や中国、韓国でも実験室規模の試験やパイロットプラントでの開発が行われているが、残念ながら、日本では若干の研究が続けられているに留まっている。

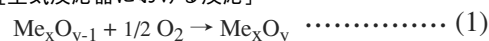
3. ケミカルルーピングの原理

CLCは、空気と燃料とが直接接触せず、酸素キャリア粒子によって運ばれる酸素が燃料を酸化させるもので、理論的には燃料からCO₂と水のみが生成する燃焼法である。特徴として、燃焼ガス中にほとんど窒素が含まれず、水を凝縮させると容易にCO₂のみを取り出せることから、CO₂回収の面から注目されている。

CLC装置の構造は、空気反応器と燃料反応器とで構成され、その間を酸素キャリア粒子が循環するものである（図1参照）。現実の反応装置としては、互いに連結した2基の流動床反応器を用い、その反応器間に酸素キャリア粒子を循環させる構造となる（図2参照）。

図2中、空気反応器では、金属（酸化物）粒子が空気中の酸素と反応して酸化する（式1）。

〔空気反応器における反応〕



酸化した酸素キャリア粒子は、サイクロンで排ガスと分離され、燃料反応器へと送られる。燃料反応器では高温の酸素キャリア粒子と燃料とが接触し、酸素キャリア粒子中の酸素と燃料とが反応（式2）する一方、酸化した酸素キャリアは還元され、再び空気反応器へ戻るというプロセスを繰り返す。

〔燃料反応器における酸化物と燃料との反応〕

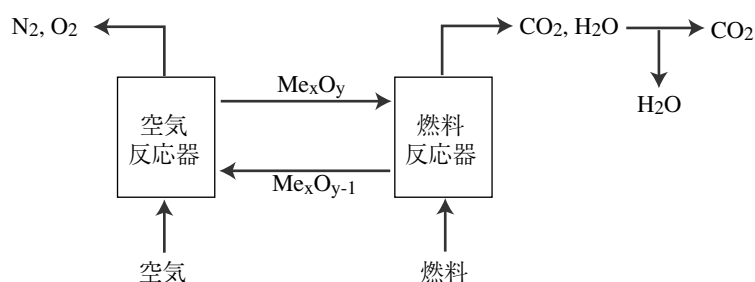
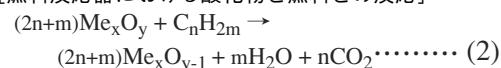


図1 ケミカルルーピング燃焼（CLC）の概念⁽⁵⁾

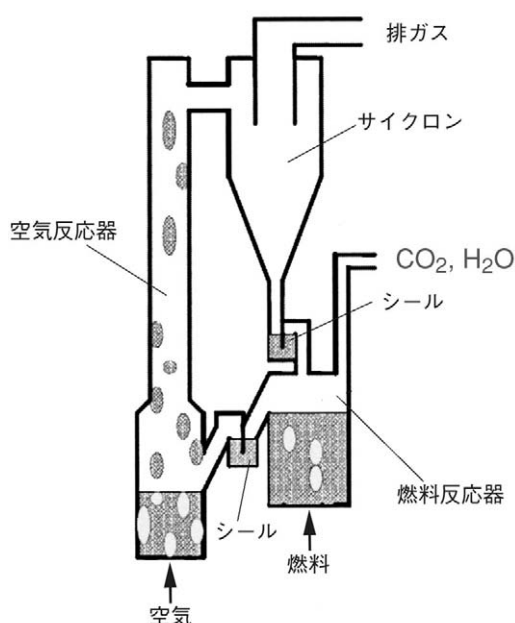


図2 CLC装置⁽⁶⁾

空気反応器からは窒素と残存の酸素が排出される。一方、燃料反応器からは、CO₂、水、未燃の炭化水素や不純物が排出される。燃料にイオウや窒素を含む場合には、ガスに硫黄酸化物や窒素酸化物が含まれる。各反応器からのガスは、スチームを発生して熱回収し発電に供する。

空気反応器には、酸化反応の速度が大きいので循環流動床が使われ、燃料反応器から上部に酸素キャリア粒子を吹き上げる。サイクロンで分離された酸素キャリア粒子は、ガスシール部を通り燃料反応器に送られる。燃料反応器には、燃料が十分に滞留する気泡流動床が使われることが多い。このように、酸素キャリアを流動化させ、循環させる技術と、酸素キャリアとなる粒子の選定が技術開発のポイントである。

反応器の温度は、従来1,000℃が上限であったが、石田らの研究では、Fe₂O₃/Al₂O₃系で1,200℃に上げることに成功しており、ガスタービンに使用できる温度領域となっている。

4. 酸素キャリア粒子

酸素キャリアには金属酸化物が使用される。初期の研究では、反応性が高く、しかも酸素の運搬量が大きいため、実験室規模の研究では主にNiO/Niが用いられていた。しかし、NiO/Niは高コストなうえ、発がん性もあることから、次に示す性能を満足する金属酸化物

- 酸素および燃料と高い反応性を有する（一般に酸素との反応性は高いため、燃料との反応性の方がより重要）
- 燃料を完全にCO₂と水とに転換する能力を有する
- 粒子が凝集し難く、破碎や摩耗に対して強い
- 生産コストが低く、環境への影響が小さい
- 高温に耐える

を引き続き探索している状況である。

現在までに評価された代表的な酸素キャリア粒子には、NiO/Ni の他、Fe₂O₃/Fe₃O₄、Mn₃O₄/MnO、CuO/Cuがある。表1にこれら粒子の特徴を示す。鉄およびマンガンの酸化物は低コストであるが酸素運搬能が低く、反応性も比較的低い。銅は反応性が高く酸素運搬能も高い。比較的成本が高く、融点が比較的低い。NiO/Niには、熱力学的に燃料がCO₂とH₂Oへと変わる転換率に上限（最大99%～99.5%）がある。このように、酸素キャリア粒子はそれぞれ長所と短所を併せ持つが、実際のプラントでどのような酸素キャリアを用いるかは、燃料や運転条件などによって変わる。

現在、工業的に利用可能な酸素キャリア粒子として、人工的に合成された粒子や粉碎した天然鉱石が考えられている。合成粒子は、通常、比表面積が大きく不活性な担体に活性な酸化物材料を担持した構造となっている。合成粒子と天然鉱石の酸素キャリアについて、代表的なものを以下に示す。

合成粒子

- 活性材料：NiO/Ni、CuO/Cu、Mn₃O₄/MnO、Fe₂O₃/Fe₃O₄、複合酸化物（例えばCuMnO₃）
- 担体：Al₂O₃、TiO₂、SiO₂、ZrO₂、セピオライト、ベントナイト、Al₂MnO₄等の不活性材料
- 熱処理温度：通常900～1,300℃

天然鉱石

鉄鉱石、マンガン鉱、イルメナイト

合成粒子の製造法としては、一般的なスプレー乾燥法、真空冷却法、含浸法、析出法、スピンドラッシュ乾燥法などがある。スプレー乾燥法よりも真空冷却法の方が、製造される酸素キャリアはより完全な球体に近づくという。しかし、大量生産時の生産コスト

表1 代表的酸素キャリアの特徴⁽⁶⁾

	Fe ₂ O ₃ /Fe ₃ O ₄	Mn ₃ O ₄ /MnO	CuO/Cu	NiO/Ni	備考
R _o	0.03	0.07	0.20	0.21	R _o : 粒子中の自由酸素の割合
反応性	←減少 増加→				
製造コスト	←減少 増加→				
健康・環境				—	
熱力学				—	NiO：転換率は最大で99.5%
CH ₄ との反応			+		CuO：CH ₄ と発熱反応
融点			—		Cu：1085℃

はスプレー乾燥法の方が低コストになるといわれている。また、燃料に石炭を使用する場合には、石炭に含まれた灰と容易に分離するために粒子径が大きいことが望まれる。要求される粒子のサイズにより適切な製造方法が採用される。

酸素キャリアとして使用される天然鉬石の中で最も有望と考えられているのが、イルメナイトである。これはFeとTiの複合酸化物(FeTiO_3 , $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$)で、鉄の酸化物が酸素キャリアの役割を果たす。イルメナイトはTiの一般的な原料で、自然界での賦存量も多く低コストでの大量供給が可能であることから商業プラントでの使用が考えられている。現在は、石炭を燃料とした場合の性能評価が行われている。燃焼した石炭の灰分を分離して系外に排出する際に、酸素キャリアの一部も一緒に排出されてしまうので、安価なイルメナイトが適当と考えられている。

5. 技術課題

酸素キャリア粒子の開発以外に、CLCの実用化には次のような様々な技術課題がある。

流動床による燃焼や発電技術では、常圧流動床燃焼 (AFBC) や加圧流動床燃焼 (PFBC) の実用化を図ってきたわが国の経験が役に立

つであろう。今後、数メガワット規模の実証段階を経てスケールアップ技術を蓄積していくことが重要である。

- 2塔からなる流動床間で酸素キャリア粒子の循環を行なうための流動化機構
- 燃料反応器で燃料がほぼ完全燃焼する反応機構
- 燃料に含まれるイオウを除去する機構
- 流動床内および酸素キャリア移送配管における摩耗
- 酸素キャリア循環におけるガスのシール
- 石炭使用では灰と酸素キャリアの分離、系外への抜き出し方法
- 重金属、微量元素の挙動

6. ケミカルルーピング研究の現状

ケミカルルーピングの実験は当初はガス燃料を対象に行なわれてきた。この分野の先駆者である石田東工大名誉教授は、2000年にはパイロットプラント規模の空気反応器の外側を囲む燃料反応器からなる二重円筒型の内部循環型装置による燃焼実験を行なった。その後、我が国での研究があまり活発に行なわれない間に、欧米では10kWthから120kWthに及ぶパイロットプラント規模の研究が精力的に進められてきた。2010年2月に訪問した、スウェーデンのシャルマーズ工科大学⁽⁸⁾では、Lyngfelt教授が10年以上にわたりCLCの研究を続けており、10kWthの装置を製作し、南アフリカの石炭やメキシコの石油コークスを用いた燃焼実験を行ってきた (図3参照)。燃焼反



図3 シャルマーズ工科大学の10kWthパイロットプラント⁽⁷⁾

応器では950℃、空気反応器では1,000℃弱であった。現状では固体燃料を完全燃焼するに至らず、燃料反応器排ガスにはメタンやCOが含まれている。今後、10分以上の滞留時間の確保、さらには多段反応器の使用など、様々な試みがなされるであろう。

ウィーン工科大学⁽⁹⁾では、Pröll博士を中心に、活発に研究活動を行っている。同大学ではEUのプロジェクトで建設した150kWth規模パイロットプラントで実験を行い、天然ガスを燃料とした場合には、ほぼ完全に燃焼させることができた。固体燃料は今後の課題となっている。

一方、米国では、米Alstom社⁽¹⁰⁾が米国DOEの補助を受けて65kWth規模のパイロットプラント試験を実施した。米Alstom社はCaSO₄/CaSの粒子を循環している。次のステップとして石炭による3 MWthのプロトタイプ装置の建設を目指している。また、大学ではオハイオ州立大学のL.S.Fan教授が基礎研究を行っている。

7. EUにおけるCLC共同研究・開発

EU諸国での研究には、多国間での共同実施という特徴がある。その中心は、大学では上述した、スウェーデンのシャルマーズ工科大学とオーストリアのウィーン工科大学であり、公共研究機関ではスペイン国立研究協議会(CSIC)やフランス国立石油研究所(IFP)、オランダ応用科学研究機構(TNO)、ノルウェー産業科学技術研究所(SINTEF)である。また企業では、仏Alstom社や電力会社の独Vattenfall社が中心メンバーとなっている。

本章では、これまでのEUの共同研究・開発の流れと、現在実施中のプロジェクトについて説明する。このような多国間での研究プロジェクトを目的や研究段階に応じて柔軟に運営していく方式は、わが国にとっても参考となる。

(1) GRACEプロジェクト(終了)

FP5(欧州研究開発第5次フレームワーク計画)のもと、2002～2003年に実施された。参

加者は、シャルマーズ工科大学、ウィーン工科大学、CSIC、仏Alstom社。このプロジェクトでは、酸素キャリアの開発と天然ガス用10kWth装置の設計、製作、運転を行った。

(2) CCCC EU-RFC(終了)

シャルマーズ工科大学、ウィーン工科大学、CSICが2002～2005年に実施した。このプロジェクトでは石炭からの合成ガスの生成を検討し、この目的のために300Wthの装置の設計、製作を行った。また、酸素キャリアの開発も行った。

(3) ENCAP(終了)

FP6(欧州研究開発第6次フレームワーク計画)のもと、IFPがリーダーとなり2004年～2007年に実施された。参加者はさらに広がり、シャルマーズ工科大学、ノルウェー科学技術大学(NTNU)、TNO、SINTEF、仏Alstom社、Siemens社。このプロジェクトでは石炭を用いた実験を行っており、10kWthの装置を使用している。また、酸素キャリアの開発も行った。

(4) CLC Gas Power(終了)

FP6のもと、2006～2008年に実施された。参加者は、ウィーン工科大学、Tallinn工科大学(TUT、エストニア)、CSIC、仏Alstom社、Shell社等。この研究の成果は以下の通りである。

- スプレー乾燥法による天然原材料を用いた酸素キャリアの200kgまでの大量製造法の確立
- 1,000時間以上の連続運転の達成
- 120kWthの大型装置(ウィーン工科大学)
- 高温条件での実績(Tallinn工科大学)
- 2種類の酸素キャリアを混合することで燃料の転換率が向上

(5) Cachetプロジェクト(終了)

FP6のもと、2006～2008年に実施された。参加者は、シャルマーズ工科大学、ウィーン工科大学、CSIC、仏Alstom社、IFP、SINTEF等。本プロジェクトはケミカルルーピング改質に関する研究で、それに適した酸素キャリアの開発も行われた。

(6) ECLAIR (実施中)

ECLAIR (Emission Free Chemical Looping Coal Combustion Process) は4年間行われる予定の多国間プログラムで、現在実施中である。このプロジェクトはEUのRFCS (Research Fund for Coal and Steel) のもとで行われており、ファンドの性格上、石炭のCLCに関する研究・開発が行われている。本プロジェクトの参加団体と役割分担を図4に示す。



図4 ECLAIRプロジェクトの役割分担

ECLAIRプロジェクトでは、酸素キャリアとしてイルメナイトを用いる計画である。同時にそれ以外の酸化物の開発・評価もシャルマーズ工科大学が中心となって行う予定で、良いものがあれば同大学に建設する100kWh級のパイロ

ットプラントで評価されることになっている。

また、ドイツのDarmstadt工科大学に1MWthのプロトタイプ・プラントの建設を行っている。このプラントは2010年6月完成予定で、その後試運転を経て2011年初めに石炭燃焼の実験を開始する予定である。

8. ケミカルルーピングの応用

ケミカルルーピングは金属酸化物を循環使用し酸化、還元を繰り返して、原料炭化水素を酸化させると言う意味で、燃焼だけではなく様々な利用が考えられる。米国Alstom社⁽¹⁰⁾は、CaSO₄/CaSの系を用いた場合について、① CO₂回収燃焼、② 合成ガス製造、③ CO₂回収水素製造を提案している(図5参照)。合成ガス製造にあつては、空気からの酸素量を減らし、燃料反応器における酸化反応が一部分で終了することでCOや水素を製造する。

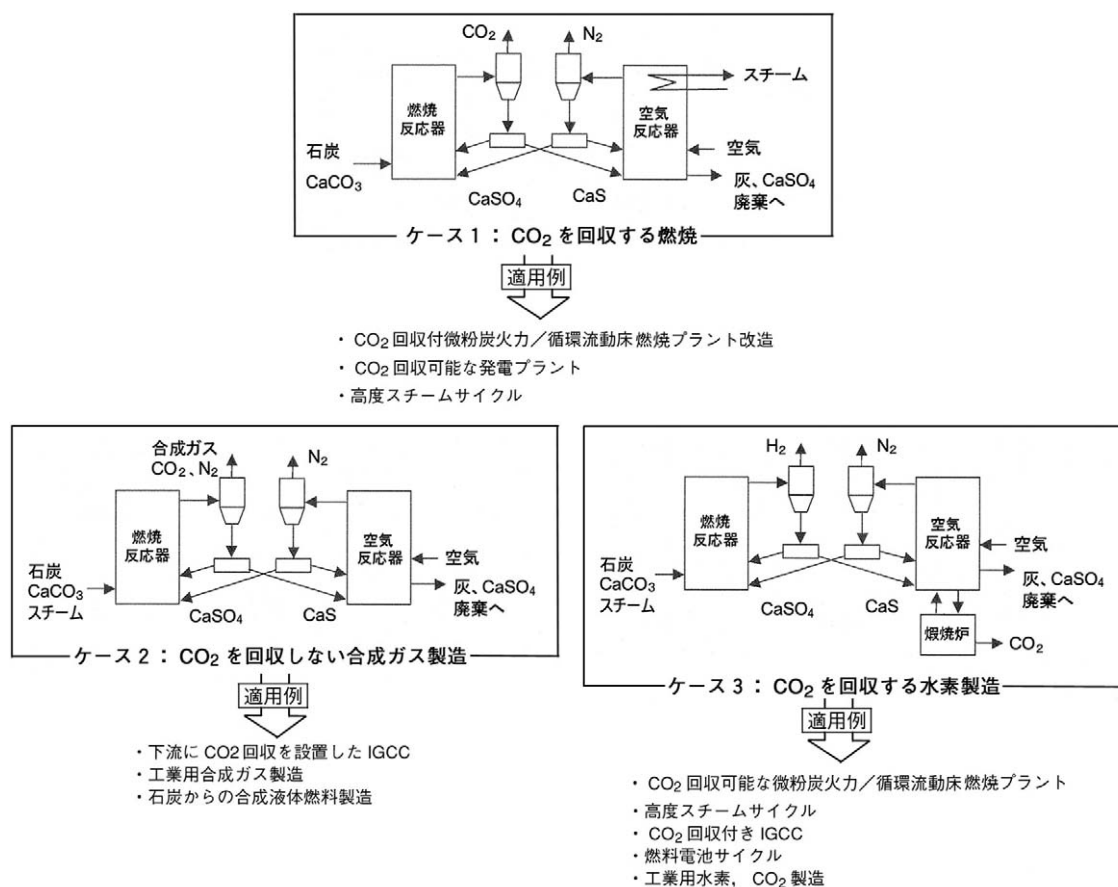


図5 米Alstom社提案によるケミカルルーピングの応用例⁽¹⁰⁾

わが国で研究開発が進められたHyPr-RINGは、石炭を600から700℃の低温ガス化装置内でCaOの存在下でガス化することで、水素を主とするガスを製造する技術で、広い意味でのケミカルルーピングである。

9. 経済性

小型のパイロットプラント規模での試験を実施している段階で、正確な経済性評価は難しいが、米Alstom社⁽¹⁰⁾はカルシウム系でのCLCについて概念設計を実施した。その結果、空気による循環流動床燃焼（CFB）に比べ、装置容積は48%、装置重量は65%になり、建設コストは大幅に低減できるとしている。発電コストとしては、微粉炭火力ではCO₂回収を行わない場合には4セント/kWhであるのが、CO₂回収の費用を加算すると急激に上昇する一方、CLCではCO₂回収コストに関わらず5～6セント/kWhであり、CO₂のavoided cost（回避コスト）は11～13米ドル/トン-CO₂と推定している。

このように、今後、CO₂回収の義務付けやCO₂排出へのペナルティーが制度化されると、CLCは経済性を有する有力な技術になると考えられる。

10. おわりに

石田名誉教授が“Chemical Looping Combustion”と命名し、国内で2000年にパイロットプラント規模の実験まで実施しながら、燃焼技術として未完成のまま宙に浮いていたのが、CO₂回収の必要性から欧米でいち早く見直されてきた。

石炭火力発電技術は、発電効率向上を目指し、IGCCと次世代超々臨界圧発電（A-USC）の方向に向かっているが、CO₂回収を付加すると発電効率が6～12%低下するとも言われている。効率低下分を補うために、燃料を余分に燃焼させることになる。そのような状況でエネルギ

ー・ペナルティーを伴わないCLCは、現段階では技術課題が多くあるものの、「技術戦略マップ2009」⁽¹¹⁾に記載のように、2020年以降を目指した次々世代の燃焼、発電技術として位置づけられる。先達の苦勞を無にすることなく、地球環境保全と資源有効利用の双方に資するCLCは、わが国でもしっかりと取り組んでいかなければならない技術であると考えている。

参考文献

- (1) W. K. Lewis and E. R. Gilliland, “Production of pure carbon dioxide,” US patent No. 2,665,972. 1954.
- (2) M. Ishida and H. Jin, “A novel combustor based on chemical-looping reactions and its reaction kinetics,” J. Chem. Eng. Japan, 27(3), 296-301, 1994.
- (3) M. Ishida, H. Jin, and T. Okamoto, “A Fundamental Study of a New Kind of Medium Material for Chemical-Looping Combustion,” Energy & Fuels, 10, 958-963, 1996.
- (4) M. Ishida, H. Jin and A. Novel, “Chemical-Looping Combustor without NO_x Formation,” Industrial and Engineering Chemistry Research, 35, 2469-2472, 1996.
- (5) A. Cuadrat, A. Abad, et al., “Behaviour of Ilmenite as Oxygen Carrier in Chemical-Looping Combustion,” ECM 2009 FOURTH EUROPEAN COMBUSTION MEETING, Vienna, Austria, April 14 - 17, 2009.
- (6) A. Lyngfelt, M. Johansson, and T. Mattisson, “Chemical-Looping Combustion - Status of Development,” 9th International Conference on Circulating Fluidized Beds (CFB-9), Hamburg, Germany, May 13-16, 2008.
- (7) Lyngfelt教授提供.
- (8) C. Linderholm, Nicolas Berguerand, et al., “Chemical-looping Combustion of Solid Fuels in a 10kWth Pilot,” 1st International Conference on Chemical Looping, IFP-Lyon, France, 2010.
- (9) T. Pröll and H. Hofbauer, “Operation of a chemical looping plant up to 150kW fuel power: results for a nickel-based oxygen carrier and discussion of further scale-up scenarios,” 1st International Conference on Chemical Looping, IFP-Lyon, France, 2010.
- (10) Alstom, “CLC Coal Power Technology Development Prototype,” CO₂ Capture Technology Conference, USDOE/NETL, Pittsburgh, 2009.
- (11) 経済産業省, 「技術戦略マップ2009 (エネルギー分野)」, 2009

〔調査研究報告〕

海外の再生可能エネルギーの国内利用について (その2：システムの経済性検討) ～発電用燃料等としての可能性について～

渡部 朝史

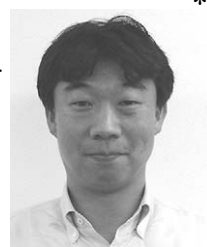
(プロジェクト試験研究部
主任研究員)

村田 謙二

(プロジェクト試験研究部
参事)

神谷 祥二

(川崎重工業(株) 技術開発本部
技術企画推進センター
上級専門職)



*



**



1. はじめに

当所では、風力を水素製造のエネルギー源とした国際的な水素エネルギーシステムのシステム概念を構築し、同システムの経済性検討を行ったうえで、既存火力発電所の発電用燃料と比較することで、国際的な水素エネルギーシステムの成立可能性について検討した。

その結果を「システムの概念設計」と「経済性検討」の2回に分けて掲載することとし、前回(「季報エネルギー総合工学」Vol.32 No.3, pp.22-30, 2009年10月20日)、システムの概念設計について報告した。今回は「後編」として、システムの経済性検討について報告する。

2. 検討の範囲と前提条件

(1) 検討の範囲

再生可能エネルギー由来水素(パタゴニア地方の風力発電を用いた水素)をLNGコンバインドサイクル発電所の燃料に水素を混燃すると想定し、これまで新設すると想定していた水素タービン発電所は検討の対象外とした。経済性検討の範囲としたシステム概念図を図1に示す。

(2) 事業期間と機器耐用年数

事業期間は30年とし、その間、法定償却年数(例：風力発電なら17年)が過ぎても機器を使用し続けるものと想定する。ただし、水電解水

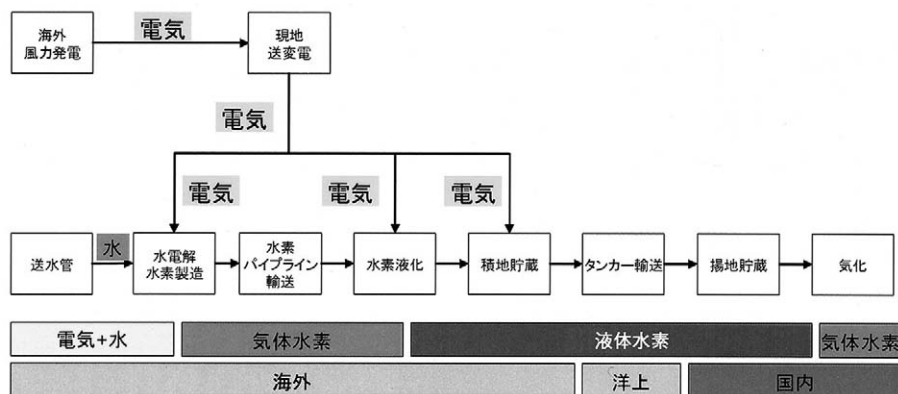


図1 経済性検討の範囲としたシステム概念図

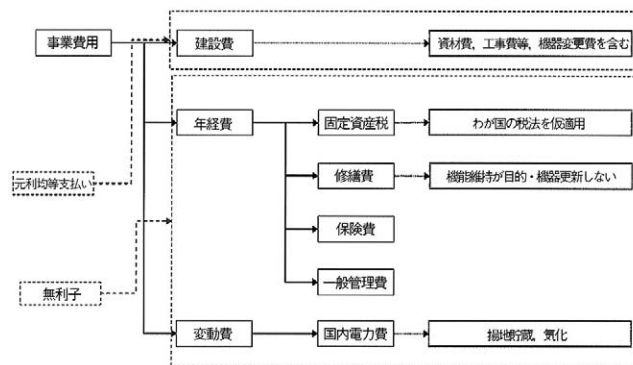


図2 費用費目の内訳

素製造と水素液化は、途中（16年目）で設備を更新することとした。従って、水電解水素製造設備と水素液化設備の建設費は、当初のものは15年の元利均等支払いで、更新設備は、16年目～30年目の15年間の元利均等支払いで返済するものとした。

（3）費用費目内訳

図2に費用費目内訳を示す。建設費は事業年数30年で元利均等支払いとし、そのほかの費用（年経費、変動費）は各年毎にその年の売上からキャッシュで支払われると仮定し無利子とした。年経費は固定資産税、修繕費、保険費、一般管理費からなる。

（4）年経費

設備建設予定地の多くは海外であり、それら海外設備には固定資産税について現地法が適用されることになるが、本検討ではわが国の税法に則り算出した。税率は簿価（残存価額）の1.4%とし、減価償却算出法は定額法で残存価額1円まで償却するとした。

修繕費は要素システム毎に建設コストの一定割合が事業期間中定額で発生するとした。ただし、水電解水素製造と水素液化の中途交換費用は除いた。

保険費はすべての要素システムで建設費の0.6%とし、一般管理費はすべての要素システムで建設費の1.0%とした。

表1に要素システム毎の法定耐用年数と修繕費率とを示す。

表1 要素システム毎の年経費一覧

要素システム	法定耐用年数 (年)	修繕費率 (%)
海外風力発電	17	1.0
現地送変電	22	2.0
送水管	18	2.0
水電解水素製造	10	2.0
水素パイプライン輸送	22	2.0
水素液化	10	3.0
積地貯蔵	10	3.0
タンカー輸送	15	2.0
揚地貯蔵	10	3.0
気化	15	2.0

（5）変動費

表2に検討ケースを示す。検討ケースは「前編」でも示したように3ケースとした。

現有機器とは、その機器が現在既に製品として世の中で活用されている規模を想定した（例えば貯蔵設備のタンク容量は3,000m³を想定）。機器大型化とは、機器規模を大型化し（例えば貯蔵設備のタンク容量は8万m³を想定）コストメリットを考慮したケースのこととした。

エネルギー効率の現在ケースとは、水電解水素製造および液化における電力原単位が現状レベルのケースのこととし、将来ケースとは、電力原単位が現状レベルから向上したケースを指している。

表2 検討ケース

	機器規模	エネルギー効率
ケース①	現有機器	現在ケース
ケース②	機器大型化	現在ケース
ケース③	機器大型化	将来ケース

揚地貯蔵の荷揚げ動力電力と、気化の海水汲み取り用電力を変動費とする。全ケースについて、荷揚げ動力電力量は $4.31 \times 10^6 \text{kWh/年}$ 、海水汲み取り用電力量は $9.11 \times 10^8 \text{kWh/年}$ と算出した。電力単価を 9.76円/kWh としたので、変動費は、揚地貯蔵で約0.4億円/年、気化で約89億円/年となる。

3. 検討結果

(1) 費用総額

図3～図5にケース①～ケース③の費用総額を示す。費用総額は次式で求めた。

$$\text{費用総額} = \text{利子込み建設コスト} + 30\text{年間の変動費}$$

利率は0.5～5.0%まで0.5%刻みで算出した。

費用総額はケース①で約66兆円～約91兆円、ケース②で約44兆円～約60兆円、ケース③で

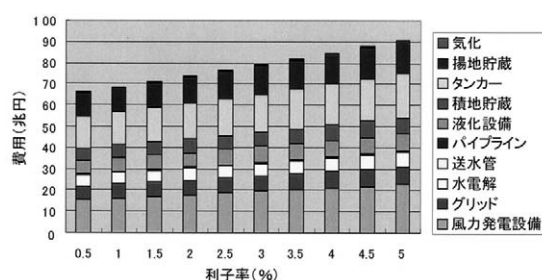


図3 建設コスト (ケース①)

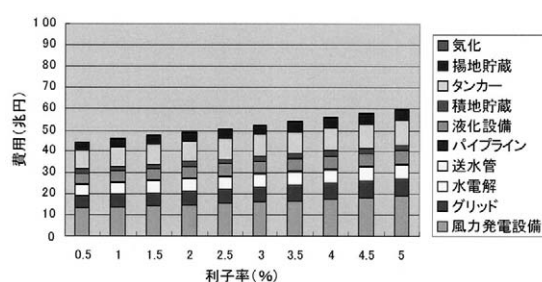


図4 建設コスト (ケース②)

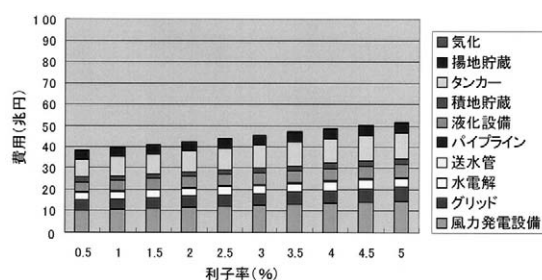


図5 建設コスト (ケース③)

約38兆円～約52兆円と算出した。

ケース①とケース②を比較し、機器大型化によるコスト削減効果を、ケース②とケース③を比較し、エネルギー効率改善によるコスト削減効果を算出する。結果、機器大型化によるコスト削減効果は約3割、エネルギー効率改善によるコスト削減効果は約1割と算出した。

次に、総コストに占める要素システム毎の構成比率を求めた。図6～図8に利率率4.0%のケース①～ケース③のコスト構成比率を示す。すべてのケースで、海外風力発電が最も比率が大きくなり、次いでタンカー輸送が大きい。

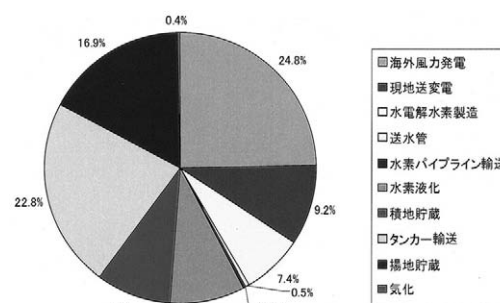


図6 コスト構成比 (ケース①)

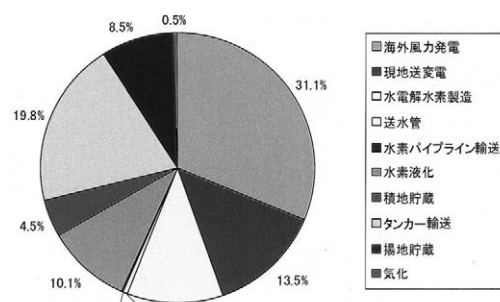


図7 コスト構成比 (ケース②)

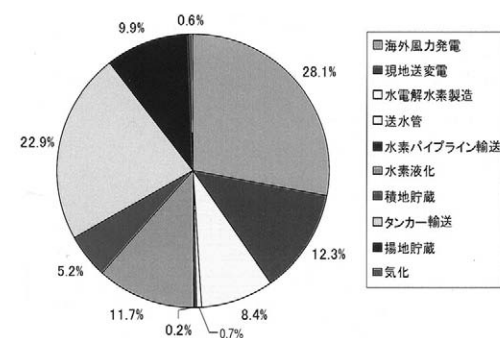


図8 コスト構成比 (ケース③)

(2) CIF (Cost, Insurance and Freight) 価格

図1の海外風力水素～タンカー輸送までの費用総額を30年間で輸送された総水素量で除して、わが国の港まで供給される海外風力発電由来の水素の価格（CIF価格）を算出した。結果を図9～図11に示す。

CIF価格はケース①で38円/Nm³～52円/Nm³，ケース②で28円/Nm³～38円/Nm³，ケース③で24円/Nm³～32円/Nm³となった。

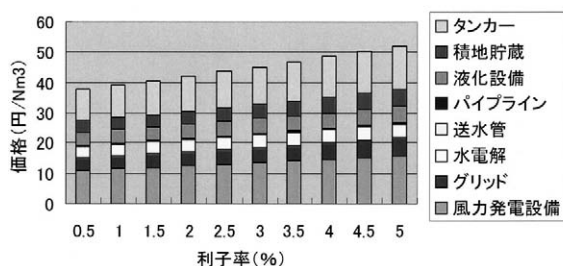


図9 CIF水素価格（ケース①）

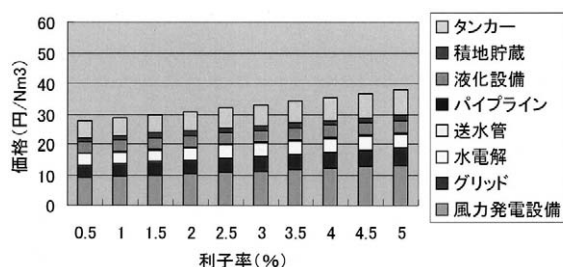


図10 CIF水素価格（ケース②）

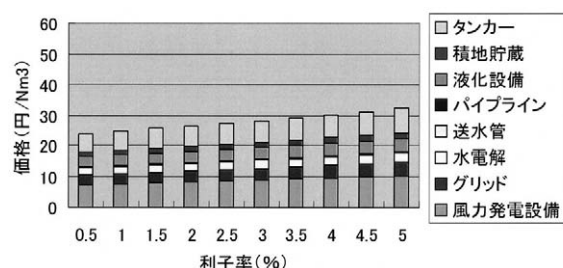


図11 CIF水素価格ケース③

(3) 発電用燃料価格

火力発電所に供給される海外風力発電由来の水素の価格（発電用燃料価格）を算出した。これは、水素のCIF価格に揚地貯蔵および気化に関わる費用を上乗せしたものである。結果を図12～図14に示す。

発電用燃料価格はケース①で47円/Nm³～65円/Nm³，ケース②で32円/Nm³～43円/Nm³，

ケース③で27円/Nm³～37円/Nm³となった。

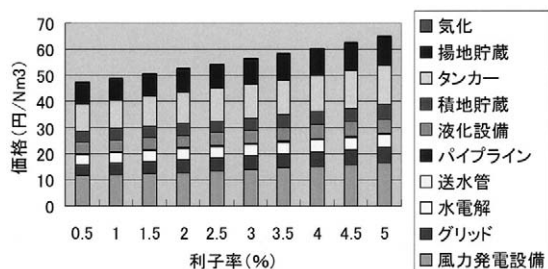


図12 発電用燃料価格（ケース①）

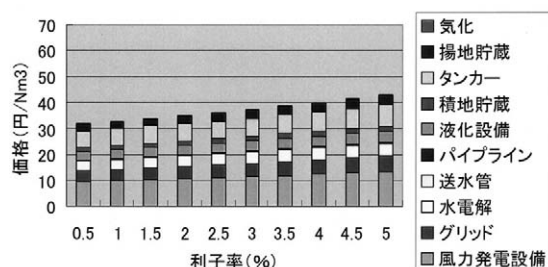


図13 発電用燃料価格（ケース②）

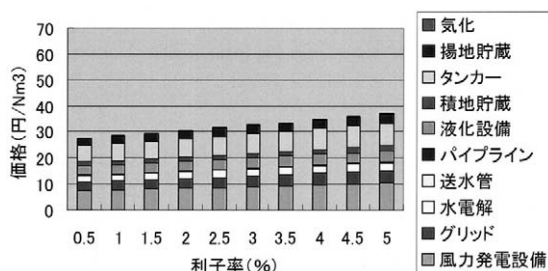


図14 発電用燃料価格（ケース③）

(4) 電力価格に占める燃料費分のコスト

海外風力発電由来の水素を燃料とする発電所送電端電力価格（円/kWh）を算出した。発電所効率はシステム概念設計で設計した水素タービン発電の仕様に準じ、表3のとおりとした。想定した送電端効率は、2020年ごろの高効率天然ガス火力発電で想定されている送電端効率とほぼ等しい⁽¹⁾。結果を図15～図17に示す。

表3 火力発電所の効率

年間稼働率	70.0%
発電端効率	60.0%
送電端効率	54.0%

電力価格はケース①で25円／kWh～34円／kWh，ケース②で17円／kWh～23円／kWh，ケース③で14円／kWh～20円／kWh，となった。

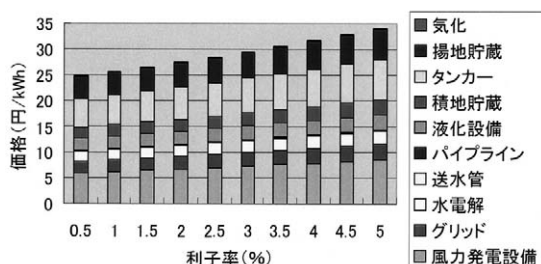


図15 発電所送電端電力価格（ケース①）

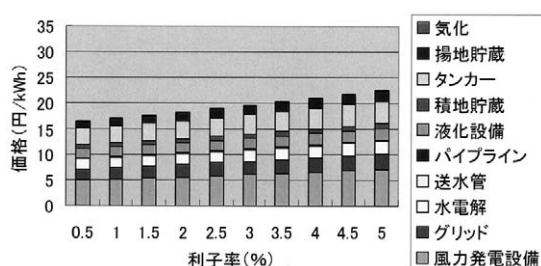


図16 発電所送電端電力価格（ケース②）

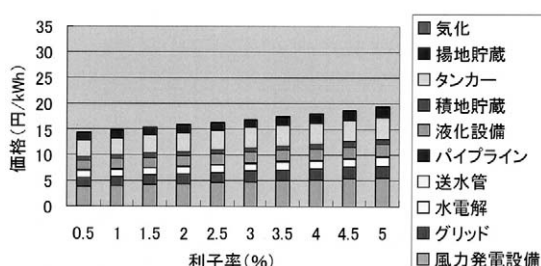


図17 発電所送電端電力価格（ケース③）

（５）熱量としての比較

原油と重油が同等価格であると想定し，わが国の主たる火力発電所で利用されている化石燃料である，重油，LNG，石炭と海外風力発電由来の水素を熱量価格（円／MJ）で比較する。

WTI（West Texas Intermediate）が史上最高の高値をつけ，化石燃料の価格が高騰した2008年6月におけるWTI月平均最高値は133.8\$／バレルであった。原油価格が上昇すれば，LNGおよび石炭も，時間のずれはあるもののその価格は上昇する。至近年における化石燃料のCIF最高価格は，原油では93,300円／*kℓ*，LNGでは81,100

円／*t*，石炭では20,300円／*t*である⁽²⁾。それぞれの熱量（重油：41.9MJ／*ℓ*，LNG：54.6MJ／*kg*，石炭：25.7 MJ／*kg*）⁽³⁾で除すと，1 MJ当りの価格は表4のとおりとなる。

表4 至近年における化石燃料のCIF最高価格

原油	2.23円／MJ
LNG	1.49円／MJ
石炭	0.79円／MJ

また，総合資源エネルギー調査会需給部会における長期エネルギー需給見通しの再計算における想定原油価格は，2030年で169US\$／バレルである⁽⁴⁾。ここから式3.5.1で2030年における化石燃料1MJあたりの価格を想定する。

2030化石燃料価格（円／MJ）＝

至近年における最高価格×166÷133.88

表5に2030年の化石燃料想定価格と海外風力水素の試算結果（価格）を示す。海外風力水素の試算結果（価格）は，本章第3節で算出した発電用燃料価格と次の物性値から算出した。価格に幅があるのは利子率の影響である。

水素1Nm³=0.08994kg，

水素1kg=141.86MJ（HHV換算）

表5 2030年の化石燃料想定価格と海外風力水素価格

		価格	1 MJ当りの単価
	原油	117,800円／ <i>kℓ</i>	2.81円／MJ
	LNG	102,400円／ <i>t</i>	1.87円／MJ
	石炭	25,600円／ <i>t</i>	1.00円／MJ
水素	（ケース①）	47円／Nm ³ ～65円／Nm ³	3.81円／MJ～5.09円／MJ
	（ケース②）	32円／Nm ³ ～43円／Nm ³	2.49円／MJ～3.38円／MJ
	（ケース③）	27円／Nm ³ ～37円／Nm ³	2.15円／MJ～2.92円／MJ

図18に2007年1月～2009年12月の化石燃料価格の推移と表5の水素熱量価格の比較を示す。

機器を大型化し，かつエネルギー効率を改善することで，海外風力由来水素が重油より経済的な場合があることがわかった（LNGお

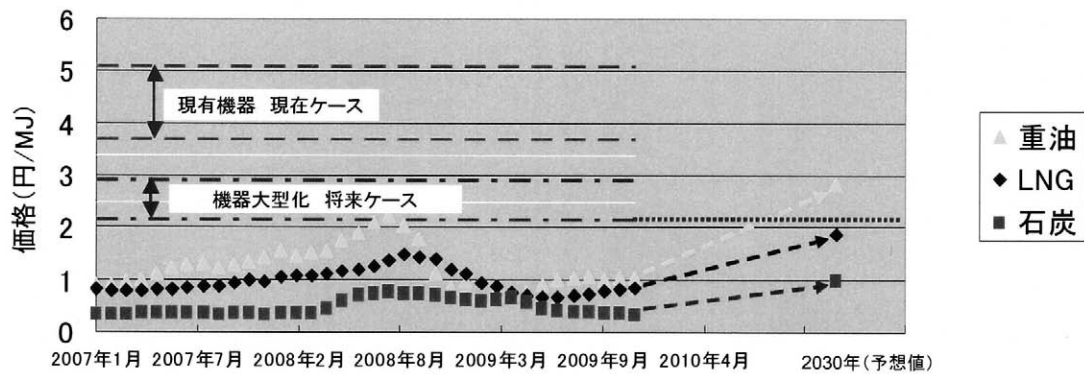


図18 海外風力由来の水素と化石燃料の熱量比較

よび石炭の経済性には及ばない)。表6に発電電力量構成の推移を示す⁽⁵⁾。

平成30年時点で約600億kWhが石油由来の電力と計画されている。本稿の検討結果から、この石油由来の電力を、海外風力由来水素による電力で代替することが経済的に可能であることが示唆された。これは水素量として、送電端効率を54%とすると、約310億Nm³に相当する。

4. まとめと今後の課題

海外風力由来の水素は熱量としての利用では、現在の化石燃料価格と比較して経済性を発揮することは難しいものの、副生水素など工場等で製造した水素と比較すれば充分経済性を有し、将来的には既存石油火力発電所の代替として、LNGコンバインドサイクル発電所の燃料に水素を混燃し発電することが経済的であることが示唆された。

今後の課題として、

- ① 今回は輸送キャリアを液体水素で検討したが、輸送距離に応じた最適輸送キャリアの検討
- ② LNGコンバインドサイクル発電所の燃料に水素を混燃することの技術的検証
- ③ 各要素システム(特に建設コスト・電力単価に大きな影響を与える風力発電・タンカー輸送)の最適化の詳細検討

などがある。

表6 発電電力構成の推移⁽⁵⁾

発電種類	平成20年度 (2008年度) 推定実績	平成21年度 (2009年度)	平成25年度 (2013年度)	平成30年度 (2018年度)
新エネ等	100	109	147	167
揚水	70	89	168	189
一般水力	691	763	768	780
石油等	1,232	1,100	673	591
LNG	2,845	2,676	2,735	2,620
石炭	2,524	2,398	2,294	2,341
原子力	2,554	2,775	3,735	4,470
計	10,017	9,910	10,521	11,147

最後に本調査の実施にあたり、関係者の皆様から深甚なる助言をいただいたことに対して謝意をあらわす。

参考文献

- (1) 経済産業省、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」, p.3, 2008年
- (2) 財務省貿易統計推移 (アクセス日2010年2月8日)
<http://www.customs.go.jp/toukei/srch/index.htm?M=79&P=0>
- (3) 資源エネルギー庁、「2005年度以降適用する標準発熱量の検討結果と改訂値について」, 2007年
- (4) 総合資源エネルギー調査会需給部会、「長期エネルギー需給見通し(再計算)(案)」, 2009年
- (5) 資源エネルギー庁、「平成21年度電力供給計画の概要について」, 2009年4月

エネルギーに関する公衆の意識調査

下岡 浩（エネルギー技術情報センター
主管研究員）



1. はじめに

当研究所は、社会の構成員である公衆の意識がどのようなものであるかについて、平成15年度より首都圏の住民に対して定期的にエネルギーに関するアンケートを行い、計7回調査を実施している。調査の概要は表1の通りである。

表1 調査の概要

- (1) 調査対象：首都圏（東京駅から30 km圏内）の満20歳以上の男女
- (2) 調査数：500人
- (3) 抽出法：割当法（首都圏における性別・年代別人口構成に合わせ、あらかじめ割り当てた目標数に達するまで回答者を選んで調査をする）
- (4) 調査方法：訪問留置法（調査員が対象者宅を訪ね、調査票を渡し、後日、記入された調査票を訪問回収する）
- (5) 調査期間：
 - 第1回目調査（平成15年10月20日～11月17日）
 - 第2回目調査（平成16年10月29日～11月29日）
 - 第3回目調査（平成17年10月28日～11月25日）
 - 第4回目調査（平成18年10月27日～11月24日）
 - 第5回目調査（平成19年10月26日～11月26日）
 - 第6回目調査（平成20年10月24日～11月25日）
 - 第7回目調査（平成21年10月23日～11月20日）
- (6) 質問構成
 - 1) 公衆の一般的な社会や生活に関する意識
 - 2) 公衆のエネルギー問題に対する意識
 - 3) 公衆の原子力発電に関する意識
 - 4) その他

Q25. あなたは、日本は今後も原子力発電の利用を続けるべきだと思いますか、やめるべきだと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

本報告では、前回調査の報告（季報エネルギー総合工学 Vol.32 No.2）に引き続き、原子力発電に対する意識の分析を中心に報告を行う。なお、このアンケートは日本全国の意見を調査したものではないことに注意すべきである。

2. アンケート調査結果の分析

(1) 主な結果

① 利用－廃止意見に否定的方向への変化あり

原子力発電の利用－廃止の意見は、図1に示すように、前回調査までは廃止回答（すぐにやめる、徐々にやめていく）の減少など、肯定的方向に変化する傾向がみられていたが、今回の調査では、この傾向が逆転し、否定的方向に変化した。

特に、廃止回答は前回の調査結果より大きく増加（16%→28%）している。

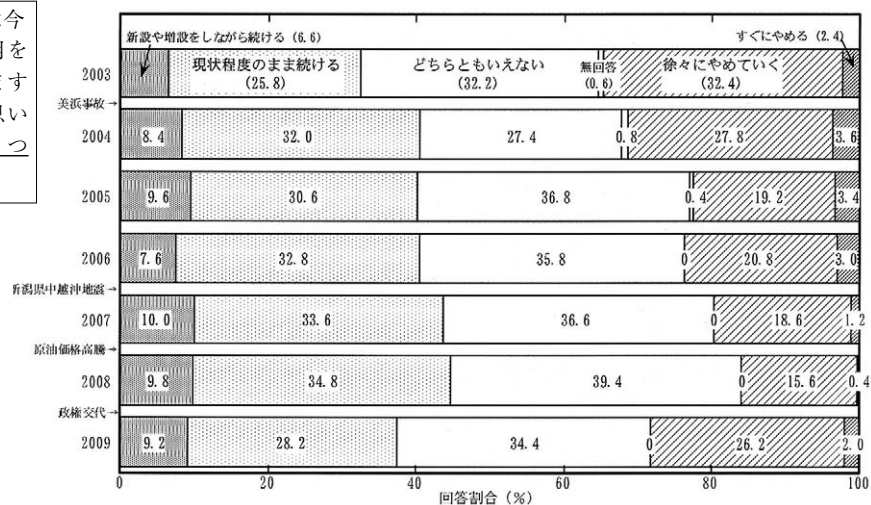


図1 原子力発電の利用－廃止の意見

② 有用－無用感に変化はない

図2に示すように、原子力発電の利用－廃止意見に大きな影響を与える要因と考えられていた有用－無用感をみると、過半数（56%）の人が「有用，どちらかといえば有用」と回答しており，「無用，どちらかといえば無用」との回答は非常に少ない。

これまでも変化はなかったが，今回の調査でも変化はみられない。

③ 安心－不安感の肯定的方向へ変化している

原子力発電の利用－廃止意見に大きな影響を与える要因と考えられていた安心－不安感は，図3に示すように，前回調査で「不安，どちらかといえば不安」回答が減少したが，

今回の調査でも前回とはほぼ同様の結果を示しており，安心－不安感は肯定的方向へ変化しているといえる。

④ 運営に対する信頼－不信感の肯定的方向への変化は変わらず

図4に原子力発電の利用－廃止意見に大きな影響を与える要因と考えられていた原子力発電所の運営に対する信頼－不信感を示す。地震等のあった2007年を例外として，数年前から信頼回答（適切に運営されている，どちらかといえば適切に運営されている）が増え，不信回答（適切に運営されていない，どちらかといえば適切に運営されていない）が減るという肯定的方向への変化は変わっていない。

Q26.あなたは，原子力発電は，今日の社会や人々の生活にとって有用だと思いますか，無用だと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

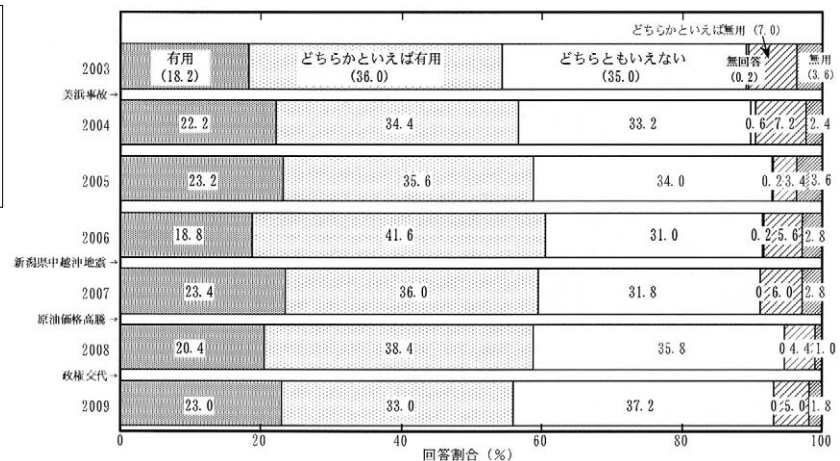


図2 原子力発電の有用－無用感

Q27.あなたは，原子力発電の安全性については，安心していただけますか，不安ですか。次の中から1つだけ選んでください。

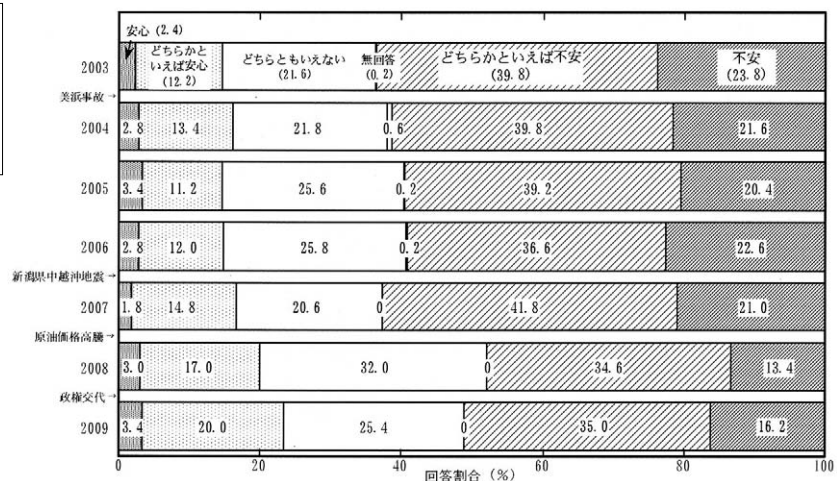


図3 原子力発電の有用－無用感

Q29. あなたは、日本の原子力発電所は適切に運営されていると思いますか、されていないと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

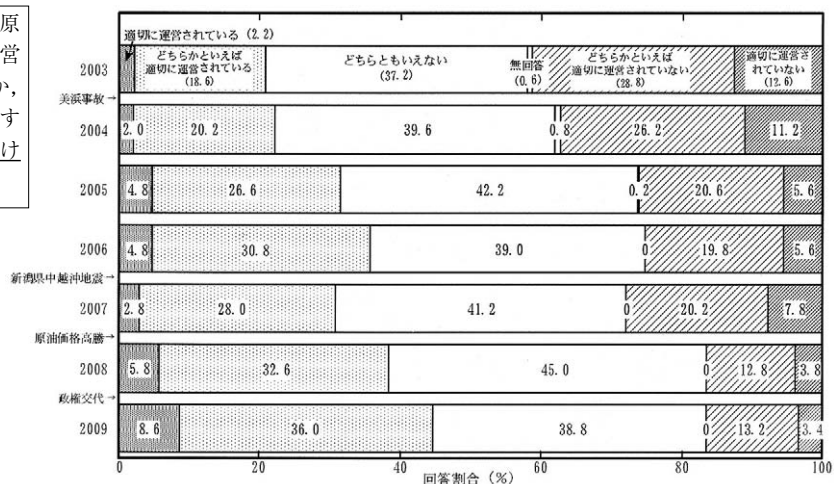


図4 日本の原子力発電所の運営に関する意見

Q35. あなたは、今までの日本の原子力発電所の運転実績をどの様に思っていますか。次の中から1つだけ選んでください。

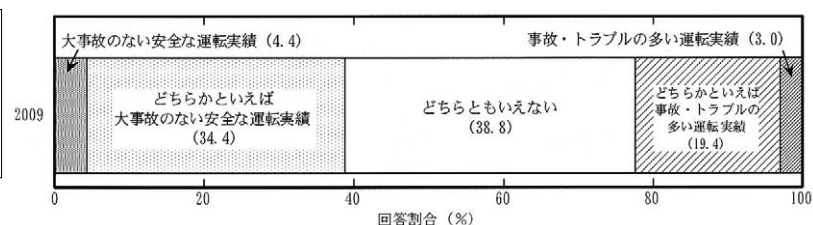


図5 日本の原子力発電の運転実績の評価

図5に今回新たに調査した日本の原子力発電の運転実績の評価（Q35）を示す。評価は割れているが、[重大事故のない安全な運転実績、どちらかといえば重大事故のない安全な運転実績]との回答の方が[事故・トラブルの多い運転実績、どちらかといえば事故・トラブルの多い運転実績]との回答より多い。原子力発電の運転実績の評価は、原子力発電所の運営の適切感や安心－不安感との関係が大きく、安全運転の積み重ねが信頼感と安心感に繋がるといえる。

(2) 意識変化の分析

今回の調査で、原子力発電の利用－廃止意見は否定的方向に変化したが、この利用－廃止意見に対する大きな影響を与える要因と考えられていた[有用－無用感]、[安心－不安感]、[信頼－不信感]は、いずれも否定的方向への変化を見せていない。

従って、この3要因以外の要因の存在が推定され、以下それが何であるか考察を行う。

① エネルギー・環境問題に楽観的になっている

本調査では、原子力のみならず、エネルギー・環境についても対象としているが、図6をみると、エネルギー供給問題について不安を感じるという回答が大きく減少し（74%→62%）、不安を感じないという回答が増えている。

図7をみると、前回調査までは二酸化炭素の排出量を低減できるという回答が減少していたが、今回の調査では逆にそれが大きく増加（54%→64%）している。

すなわち、今回の調査では、首都圏住民はエネルギー・環境問題に楽観的になっているといえる。

② 新エネルギーへの期待が大きくなっている

本調査では、新エネルギーも対象としているが、図8をみると、20年後の日本で新エネルギーを主要なエネルギー源にできるかどうかについての認識は、[できる]との強い意見が大きく増加（32%→45%）している。

Q13. あなたは、今後の日本では、必要なエネルギーを十分に確保できるかどうかというエネルギー供給の問題について、不安を感じますか、感じませんか。次の中から1つだけ選んでください。

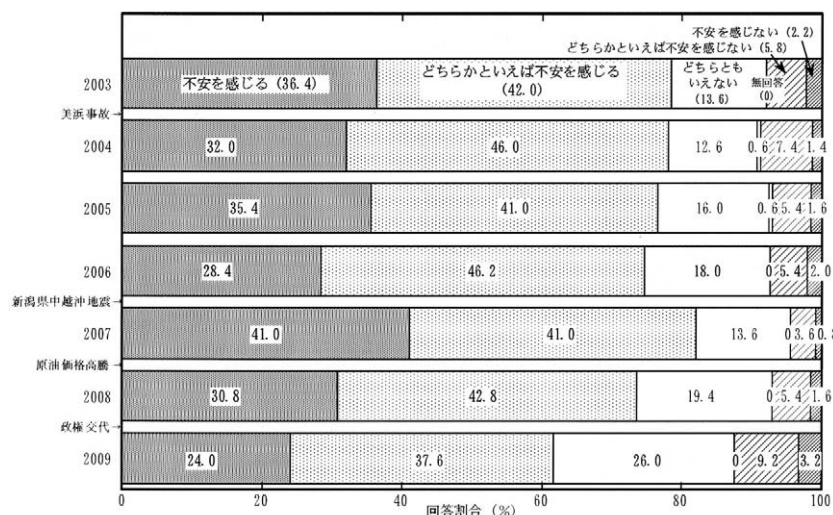


図6 今後の日本のエネルギー供給問題についての不安感

Q16. あなたは、20年後の日本では、熱心に取り組めば、地球温暖化の原因の1つといわれている二酸化炭素の排出量を大幅に下げることができると思いますか、できないと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

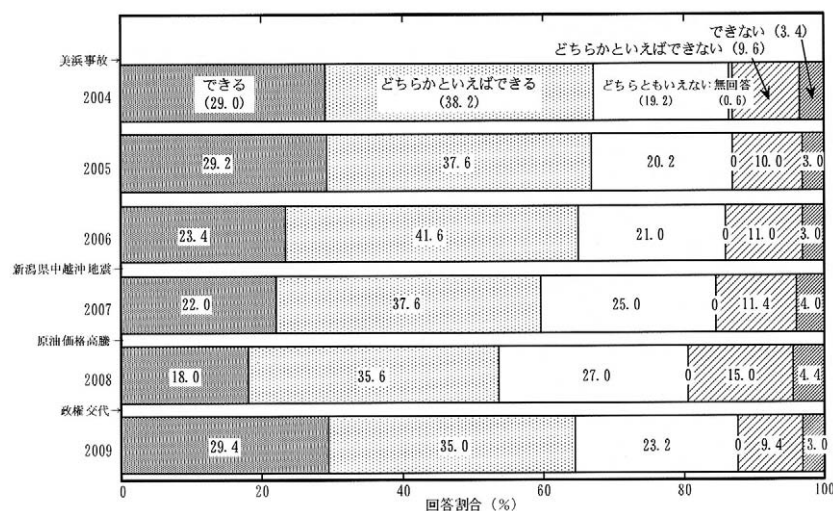


図7 20年後の日本の二酸化炭素の排出量低減可能性についての認識

Q15. あなたは、20年後の日本では、熱心に取り組めば、「新エネルギー（太陽光、風力、地熱など）を主要なエネルギー源にすることができると思いますか、できないと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

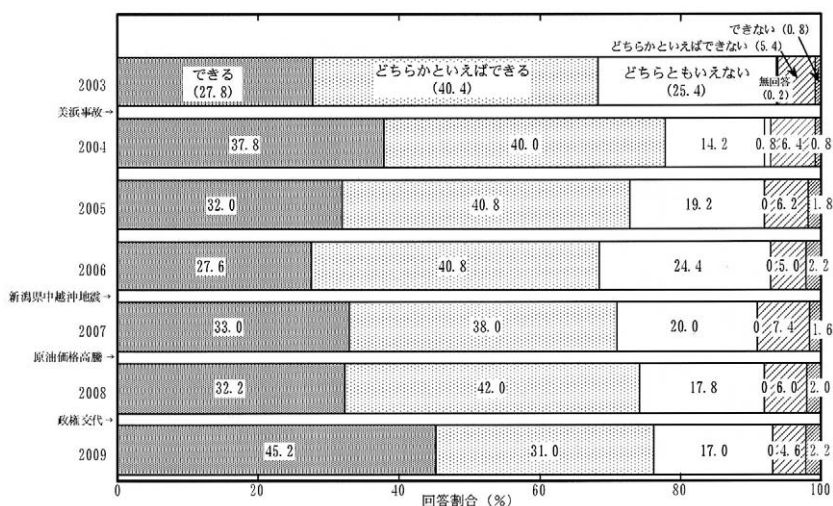


図8 20年後の日本の新エネルギーの利用可能性についての認識

Q17. あなたは、現在の日本で発電量の最も多いのはどの発電だと思えますか。次の中から1つだけ選んでください。

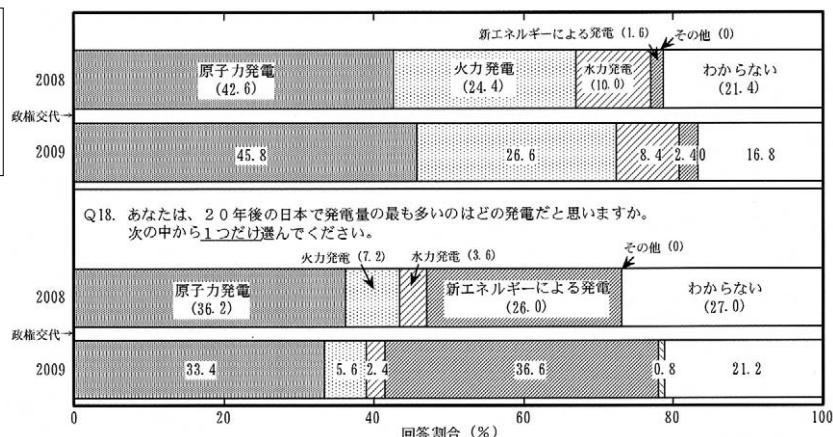


図9 現在の日本の発電量の最も多い電源の認識と20年後の予測

Q16. あなたは、20年後の日本では、熱心に取り組めば、地球温暖化の原因の1つといわれている二酸化炭素の排出量を大幅に下げることができると思えますか、できないと思えますか。次の中から1つだけ選んでください。

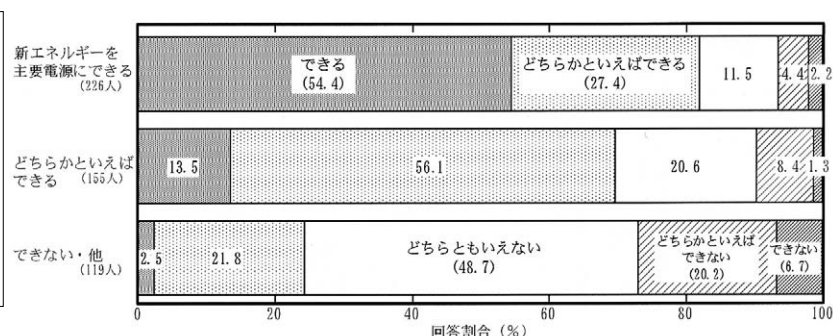


図10 20年後の新エネルギーの利用可能性認識別にみた
20年後の日本の二酸化炭素の排出量低減可能性についての認識

図9をみると、20年後の日本の発電量の最も多い電源の予測は、[新エネルギーによる発電]との回答が大きく増加(26%→37%)しており、新エネルギーへの期待が大きくなっているといえる。

図10は、20年後の新エネルギーの可能性認識(Q15)と20年後の日本の二酸化炭素の排出量低減可能性についての認識(Q16)をクロス集計したものであるが、新エネルギーの利用可能性の認識と二酸化炭素の排出量低減可能性の認識には関係があることがみてとれる。

③ 廃止回答者の中でも有用回答や中間回答が増加している

今回の調査では原子力発電の廃止回答が増加したが(Q25)、廃止回答者の安心-不安感(Q27)、有用-無用感(Q26)がどのようなものになっているのかを図11、図12に示す。

図11をみると、廃止回答者の中で、主に[不安、どちらかといえば不安、どちらともいえない]回答の増加が大きくなっている。

図12をみると、廃止回答者の中で、主に[有用、どちらかといえば有用、どちらともいえない]回答の増加が大きい。一方、廃止回答の中で[無用、どちらかといえば無用]意見はあまり増えていない。すなわち、[無用、どちらかといえば無用]意見が増えて廃止回答が増えたのではない。

以上を踏まえると、不安回答者が廃止回答になることは当然とはいえるが、有用回答者や中間回答者がなぜ廃止回答になったのかについて、更に分析が必要となる。

④ 将来のエネルギーの評価が原子力発電の利用-廃止意見と関係する

廃止回答増加の理由を考えるにあたって、

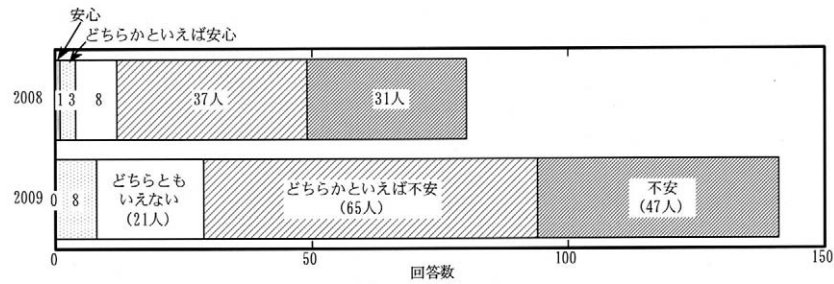


図11 原子力発電の廃止回答者の安心—不安回答数

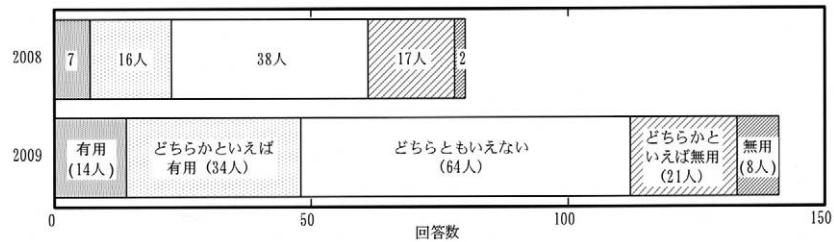


図12 原子力発電の廃止回答者の有用—無用回答数

Q39. あなたが、日本は今後も原子力発電の利用を続けるべきかやめるべきかを考える際に、判断理由としているものは何ですか。次の中から主な判断理由をいくつでも選んでください。

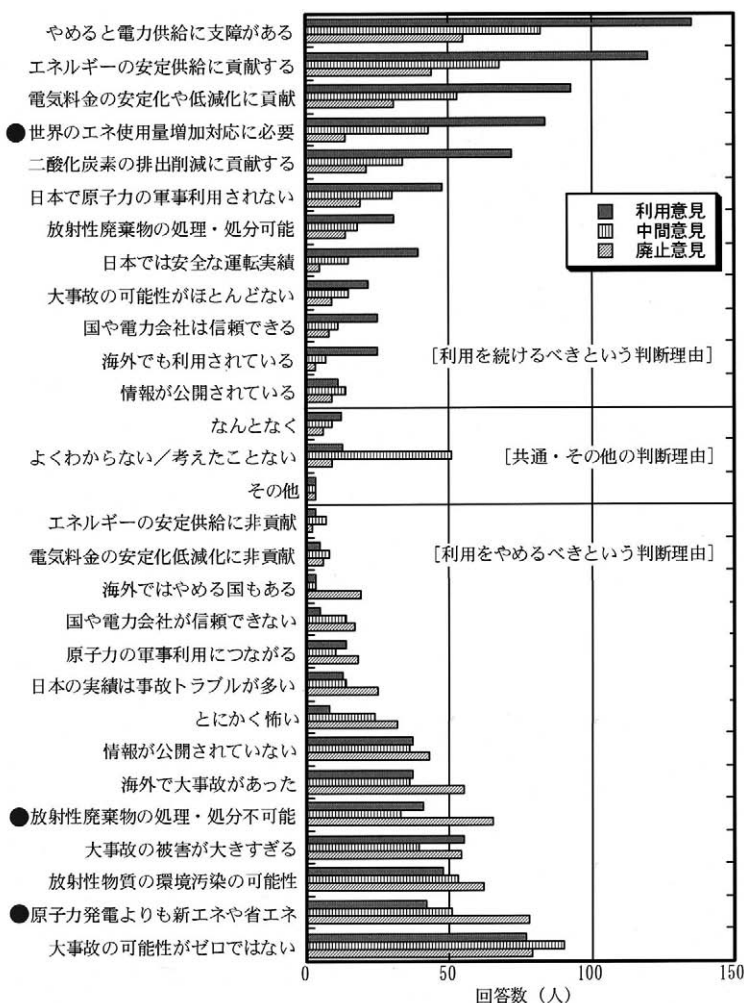


図13 原子力発電の利用—廃止意見の判断理由

Q25. あなたは、日本は今後も原子力発電の利用を続けるべきだと思いますか、やめるべきだと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

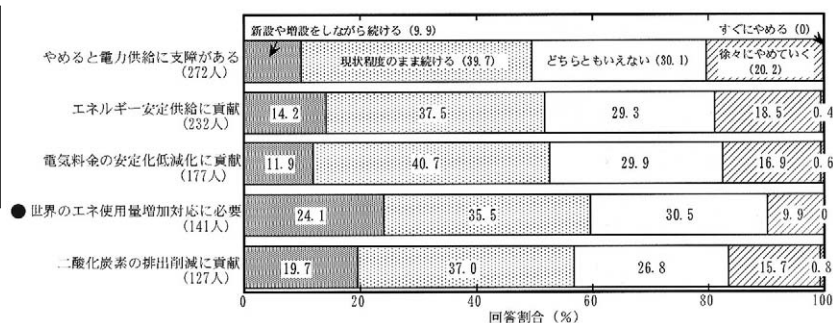


図14 原子力発電の利用を続けるべきという判断理由にみた利用—廃止の意見

Q25. あなたは、日本は今後も原子力発電の利用を続けるべきだと思いますか、やめるべきだと思いますか。次の中から1つだけ選んでください。

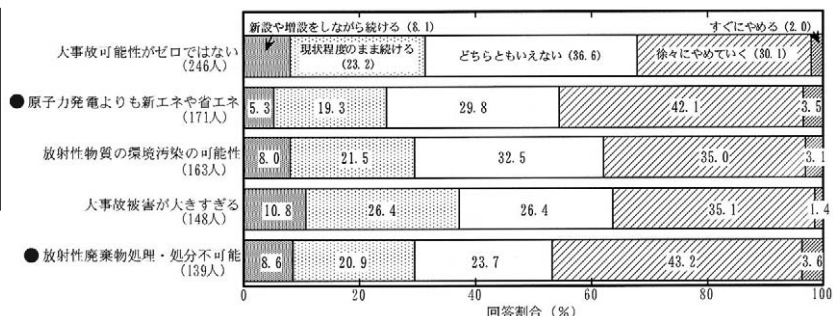


図15 原子力発電の利用をやめるべきという判断理由にみた利用—廃止の意見

今回新たに調査した「原子力発電の利用—廃止の判断理由 (Q39)」と利用—廃止意見 (Q25) をクロス集計した結果を図13～図15に示す。図13は利用—廃止意見別に想定される判断理由それぞれに対する回答数を示したものであり、図14、図15は回答数が多い判断理由を選んで、判断理由別に回答者の利用—廃止意見の回答割合を示したものである。

判断理由の中で、回答数が大きく、その回答者の利用—廃止意見の回答割合の差が大きいものが、利用—廃止意見を分ける比較的大きな要因になっていると思われるが、図13～図15において●印を付けた [原子力発電よりも新エネや省エネを進めるべきだ]、[世界のエネルギー使用量増加に対応するため必要だ]、[放射性廃棄物の適切な処理・処分が実現できない] などがそれに該当する。

その中で、先に示した2つの理由は将来のエネルギーや電力のあり方に係わるものであり、「将来のエネルギーの評価」が原子力発電の利用—廃止意見と関係しているといえる。

3. 廃止回答が増加した理由

原子力発電に対する [有用—無用感]、[安心—不安感]、[信頼—不信任] に否定的方向への変化がないにもかかわらず、「なぜ廃止回答が増加したのか？」という疑問に対し、次のように考察した。

アンケート調査では下記のような結果を得ている。

- ① 地球温暖化問題を重視している
- ② 新エネルギーへの期待がより大きくなっている
- ③ 新エネルギーへの期待と地球温暖化問題の解決認識には関係があり、地球温暖化問題の解決に対し楽観的になっている
- ④ 日本のエネルギー使用量の増大予想が減少し、将来のエネルギー供給に対する不安が減少している
- ⑤ 将来のエネルギーの評価が原子力発電の利用—廃止意見と関係する

また、社会状況として下記のような状況がある。

- ① 温室効果ガス削減目標の発表（90年比25%減など）
- ② 新エネルギーの話題の増加（太陽光発電の普及，補助制度など）

そこで、首都圏住民の廃止回答者の意識変化は下記のように推測される。

「日本は地球温暖化問題の解決などに努力しなければならないが、今後エネルギー使用量はあまり増大せず，新エネルギーの利用などにより，地球温暖化問題の解決は可能になるであろう。したがって，将来，原子力発電に頼る必要性は小さいのではないか。」

この様な将来のエネルギー問題を楽し観するような意識変化によって，廃止回答（その大部分は「徐々にやめていく」）が増えたのではなかろうかと考えられる。

すなわち，今日の「有用－無用感」が変化していなくても，将来の「有用－無用感」が否定的方向に変化したために「廃止回答が増加した」のではないかと推定される※。

原子力発電推進のためには，原子力発電の有用性，特に将来も有用であるとの説明が，広報に含まれることが必要であろう。

4. おわりに

前回調査ではそれまで変化のみられなかった原子力発電に対する不安回答が減少するという結果が得られたが，今回調査でも前回まで減少傾向にあった廃止回答が反転して増加するという非常に興味深い結果が得られた。

この原子力発電に対する廃止回答が増加するという結果が，今回だけの一時的な現象なのか，また，本報においてはその原因を将来の「有用－無用感」が否定的方向に変化したためと推定したが，その推定が正しいものかどうか，さらなる調査が必要といえる。

最後に，本調査をとりまとめるにあたって，アンケート調査にご協力いただいた方々に対し深く謝意を表します。

なお，アンケート結果は当研究所のウェブサイト（<http://www.iae.or.jp/index.html>）に公開されている。

※「将来の無用感」が「廃止回答」に関係することは「篠田佳彦，鳥井弘之，山野直樹，東京工業大学 21 世紀COE プログラム「世界の持続的発展を支える革新的原子力」，平成19年度社会と原子力の関係に関する社会調査報告書（2007年11月）」においても指摘されている。

平成22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、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、研究及び評価を行い、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、評価、成果の普及等に取り組んでいく所存である。

(2) 昨今、原油価格の乱高下、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、政治や経済を巡る情勢も流動的となっている。

昨年、政権交代により発足した新政権においては、エネルギー・環境が重視され、温室効果ガス排出量削減に関し、短期的に高い目標が設定されるとともに、エネルギー・環境に係る産業や技術が主導する成長戦略が提唱されている。一方、ポスト京都の温室効果ガス削減目標に関する会議（COP15）は国際的な合意に至らず、今後更なる議論が続けられることとなった。

(3) このような多様なリスクが存在する状況

下、わが国が、国家存立の基盤であるエネルギーを安定的に確保し、地球環境問題に対応していくためには、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及び利用方策を企画立案し、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。

当研究所は、「総合工学」の視点に立脚して、産・学・官の緊密な連携の下、中立的な立場から、広範な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調査、研究及び評価を行い、エネルギーや地球環境に係るリスクが、わが国経済社会に与える影響を分析するとともに、これらの影響緩和、さらには問題解決に向けた提言を発信し、国民経済の発展に貢献していくことが重要な任務と考える。

(4) 当研究所は、中長期的な観点からエネルギー技術全般を俯瞰し評価分析するとともに、将来型原子炉、スマートグリッド、クリーンコールテクノロジー及び二酸化炭素(CO₂)回収・貯留(CCS)、グリーン水素等の最新技術に関し調査研究を行ってきているが、引き続き、新たな技術課題を探索するとともに、技術の評価に関する知見の最新化及び深化を図ることとする。

次世代軽水炉技術開発事業に関して、当研究所は、電力会社及び原子炉メーカーの協力を得て中核機関として着実に実施してきてい

るが、本年度前半には、これまでの成果に関し関係機関により中間的な評価や今後の技術開発のあり方に係る検討が行われる予定であり、その結果を踏まえ、同事業を実施していくこととする。

(5)「情報」と「評価」は、当研究所の事業の基盤を成すものである。当研究所が運営す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、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である。本年度において、新政権は公益法人の事業のあり方について見直しを行うこととしており、また、新公益法人法により全ての公益法人は期限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、成功体験や優位性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、競争力ある調査研究及び公正な経営両面で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を図り、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、地球環境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、中長期的な観点から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
技術開発戦略策定の基盤を成す「情報」については、資源制約及び環境制約の克服に資するエネルギー技術に係る情報の収集・分析・評価を行い、関係機関・企業がインターネットを通してアクセスできるエネルギー技術情報プラットフォームの更新・充実を進める。また、エネルギー技術の将来動向に関する当研究所の分析を「アウトルック」として公表する。

- ③ エネルギーシステムに係る評価手法の開発及び充実
技術開発戦略策定の基盤を成す「評価」については、地球環境に係る長期分析が可能な地球環境統合評価モデル(GRAPE)の機能拡張を図るとともに、新たなエネルギーシステム分析評価モデルを導入することにより、エネルギー供給及び需要双方の詳細分析を可能とする体制を整える。

- ④ エネルギーに関するアンケート調査研究
今後のエネルギー技術開発のあり方に関しては企業や大学に対し、また、エネルギ

ーに係る意識に関しては一般公衆に対して、アンケート調査を実施し、その動向を分析する。

⑤ エネルギーマネージメントシステムの国際標準化に関する調査研究

エネルギーマネージメントシステムに係る国際規格（ISO50001）策定に係る国際的な作業は集約しつつあるが、最終案作成に向けて、わが国の知見や意見を適確に反映すべく、引き続き各国の意見や動向を調査するとともに、関連の国際会議や議論に参画していく。

また、これまでの調査研究成果の普及や実践に係る活動に取り組んでいくこととする。

（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、供給から利用に至るシステムの最適化を図りつつ、各種資源・用途の相互比較も念頭に置いて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22年度には、太陽光、太陽熱、風力等の分散型電源の導入拡大に対して、電力を安定的・効率的に供給する次世代電力システムのあり方について調査研究を行う。また、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、経済性、社会等の各面から、種類や賦存形態に合わせた最適利用システムの総合的な調査研究を行う。

産業・業務部門における機器の高効率化を実現する技術シーズの調査や研究開発を行うとともに、今後の更なる省エネルギー戦略の企画立案のためにエネルギー消費の詳細実態調査を行う。運輸部門では、電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車に関する市場ニーズを明らかにし、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。

（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の調和の調査研究及び次世代電力ネットワーク研究会の運営
- ② スマートメーターに関する海外動向調査
- ③ 分散型電源からのアンシラリーサービス供給に関する調査研究

（イ）太陽・風力エネルギーに関する調査研究

- ④ 未利用再生可能エネルギーの利用技術に係る調査研究
- ⑤ 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

- ⑥ バイオマスからの液体燃料製造に係る総合調査
- ⑦ ベトナムにおける産業廃棄物発電の導入可能性調査
- ⑧ 都市ガス事業へのバイオマス利用可能性調査

（エ）産業部門における省エネルギーに関する調査研究

- ⑨ 超臨界CO₂ガスタービンの研究開発
- ⑩ エネルギー消費機器の使用、工場におけるエネルギー消費の実態調査
- ⑪ ヒートポンプに関する海外動向調査

（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 電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車の導入に係る調査研究
- ⑬ 自動車用エネルギーに係る研究会の設立・運営
- ⑭ 蓄電技術に係る調査研究

（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期待され、家庭用燃料電池の市販、燃料電池自動車及び水素供給装置の普及促進等、導入拡大に向けた動きが見られる。

平成22年度においては、短中期的な課題である水素供給及び水素輸送に関し、水素長距離輸送技術、家庭用燃料電池に係る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の調査研究を行う。また、中長期的な課題である風力等の再生可能エネルギーに由来する水素（グリーン水素）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。さらに、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 水素の長距離輸送技術に係る調査研究

（イ）家庭用燃料電池普及に関する調査研究

- ② 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
- ③ 燃料電池リサイクルに係る調査研究

（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

- ④ グリーン水素大量輸送システムの調査研究
- ⑤ 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
- ⑥ 海外で生産される水素の大量輸送、大規模利用及び普及シナリオに係る調査研究

（エ）水素製造に関する調査研究、その他

- ⑦ 製油所における水素生産のあり方に関する調査研究
- ⑧ 高温ガス炉における水素生産及びシナリオに係る調査研究
- ⑨ 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

地球環境問題が喫緊の課題となる一方、当分の間は化石燃料がエネルギー供給の太宗を占めるものと考えられ、化石燃料からの温室

効果ガス排出量の削減を図りつつ、エネルギーの安定供給を図っていくことが重要な課題である。

平成22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、CCS技術等を適用して化石燃料利用とCO₂排出量削減との両立を可能とする低炭素燃料製造システムに係る調査研究を行う。

また、発電所や液化天然ガス（LNG）基地等、関連す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、大学等が有する有望な技術シーズを核として、化石燃料利用に係る革新技術の開発促進に資する調査研究、在来・非在来型の石油関連資源に関しても調査研究を行う。

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、CCS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 低炭素燃料導入に係る調査研究
- 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 海外における石炭等からの液体燃料製造に係る調査研究

（イ）化石燃料利用に関する革新技術に係る調査研究、その他

- ⑥ ケミカルルーピング燃焼技術に係る調査研究
- ⑦ 在来・非在来型石油関連資源の動向調査
- ⑧ 低炭素社会を目指したシナリオの調査研究

- ⑨ 太陽熱利用の技術動向及び海外市場動向に係る調査
- 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、今世紀中頃を目途とした世界の温室効果ガス排出量の半減に向け、国際社会全体として取り組みが進められているが、昨年開催されたCOP15に示されるように、同問題は、途上国と先進国の利害対立などの国際政治、科学技術、経済、社会等広範な分野に関連し、国際合意形成は容易ではない。

平成22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、当研究所が有するエネルギー技術全般に関する専門的な知見を生かし、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。また、非鉄金属を中心に各種金属資源の長期需給について、モデルを活用した調査研究を実施する。

- ① 地球環境政策動向に係る調査研究
- ② 地球環境関連の技術導入可能性に係る調査研究
- ③ 金属資源の長期的需給に係る調査研究

(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。

平成22年度においては、現在、原子力発電の主流をなす軽水炉の先にある将来型原子炉に関し、国際的な競争力を持つ次世代軽水炉技術開発事業を実施するとともに、軽水炉以外の炉型が主となる第4世代原子力システム、中小型炉に関する国際共同研究開発へ引き続き参画する。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等に関し調査研究を行う。さらに、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。

当研究所が運用する各種の評価ツールを活用して調査研究を行うこととし、長期的かつグローバルな視点に立ち、持続可能なエネルギー供給システムに対し原子力がなす寄与に関しGRAPEモデルを活用した評価研究を行うとともに、高速増殖炉導入に向けたシナリオに関しシステムダイナミクスによる核燃料サイクル諸量評価モデル(STELLA)を用いた調査研究を実施する。

また、原子力施設の安全レベル向上に資するため、原子力安全解析モデル(IMPACTコード等)を活用して、原子炉内の事象に関し解析評価を実施するとともに、モデルの改良及び検証解析を実施する。

1) 研究所本部における事業

(ア) 長期的、グローバルな視点に立った調査研究

- ① 持続可能なエネルギー供給システムに対する原子力の寄与に係る調査研究
- ② 高速増殖炉導入に向けたシナリオに係る調査研究
- ③ 高温ガス炉プラント及び原子力多目的利用に係る調査研究
- ④ 世界の原子力開発利用動向に係る調査
- ⑤ 使用済ウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料の貯蔵・再処理に係る調査研究
- ⑥ 原子力安全規制の高度化に係る調査研究

(イ) 高レベル放射性廃棄物処理処分に関する調査研究

- ⑦ 高レベル放射性廃棄物処分の安全確保に係る自主基準に係る調査研究
- ⑧ 高レベル放射性廃棄物処分に係る技術レポートの評価検討
- ⑨ 高レベル放射性廃棄物処分に係るリスク

取扱いの調査研究

(ウ) 国際協力業務

- ⑩ 第4世代原子力システム開発に係る国際研究協力
- ⑪ 中小型炉に係る国際研究協力
- ⑫ 超臨界圧水炉に係る国際研究協力

(エ) 公募管理業務その他

- ⑬ 革新的実用原子力技術開発に係る調査研究
- ⑭ 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

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、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す次世代軽水炉技術開発事業に関し、国の財政的支援の下、電力会社及び原子炉メーカーの協力を得て中核機関として実施してきている。平成22年度前半には、これまでの成果に関し関係機関により中間的な評価や今後の技術開発のあり方に関し検討が行われる予定であり、当研究所は、その結果を踏まえ、同技術開発事業を実施していくこととする。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のあり方に関し調査研究を行う。

(イ) 原子力安全解析

- ① 軽水炉配管の腐食による減肉挙動の解析研究
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配管減肉解析手法に関し、実機配管管理ツールとして実用化すべく、モデルの改良及び精度の向上を行う。
- ② 高速炉安全解析手法の開発等に関する研究
これまで実施して来た高速炉における炉

心損傷事故を想定した解析手法に関し、実証炉への適用を目指した調査研究を実施する。

- ③ 軽水炉安全解析手法の開発等に関する研究
軽水炉の安全レベル向上に不可欠な気液二相流に関する解析モデルの改良を実施するとともに、同モデルの機能を検証する試験解析を行う。

(ウ) 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 軽水炉廃止措置工程等に係る評価研究
- ⑦ 高経年化等が軽水炉廃止措置に与える影響に係る評価研究

(エ) 耐震に関する調査研究

- ⑧ 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、国際協力的一端を担う。

(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22年 1 月 2 日～ 4 月 1 日)

◇ 第34回評議員会

日 時：3 月 12 日 (木) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (5 階) 502号室

議 題：

第一号議案 平成22年度事業計画および収支予算
(案)について

第二号議案 理事および監事の選任について

第三号議案 その他

◇ 第77回理事会

日 時：3 月 19 日 (金) 11:00～12:00

場 所：経団連会館 (4 階) 404号室

議 題：

第一号議案 平成22年度事業計画および収支予算
(案)について

第二号議案 理事 4 役の互選について

第三号議案 役員退職金規程の一部改定について

第四号議案 事務局長の委嘱について

第五号議案 その他

◇ 月例研究会

第286回月例研究会

日 時：1 月 29 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 7 階 701・702会議室

テーマ：

1. サウジアラビアと日本のパートナーシップ
発展について
(アラムコ・オーバーシーズ・カンパニー 東京支店
サード・アルカティーブ博士)
2. エネルギーロードマップに関する動向
(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 黒沢 厚志)

第287回月例研究会

日 時：2 月 26 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502会議室

テーマ：

1. 低炭素社会に向けた蓄電技術への期待
ー電気自動車と再生可能エネルギーー
(財)電力中央研究所 材料科学研究所 領域
リーダー (先進機能材料領域) 上席研究員
池谷 知彦 氏)
2. 燃料電池の現状と山梨大学における研究
発
(山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター
教授 小俣 富男 氏)

第288回月例研究会

日 時：3 月 26 日 (金) 14:00～16:00

場 所：航空会館 5 階 501・502会議室

テーマ：

1. 北米のシェールガス革命
(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
石油開発本部 調査部 調査課 市原 路子 氏)
2. 地球温暖化対策 中期目標の達成に向けて
ー対策と課題
(東京大学 生産技術研究所 特任教授 エネ
ルギー工学連携研究センター 副センター長
金子 祥三 氏)

◇ 外部発表

[講演]

発表者：蓮池 宏、小川 紀一郎、丹 光義

テーマ：超臨界圧CO₂ガスタービン発電システムの
効率特性評価

発表先：(社)エネルギー・資源学会、第26回エネ
ルギーシステム・経済・資源コンファレンス

日 時：1 月 26 日

発表者：松井 一秋

テーマ：次世代炉開発をめぐる最近の動きと今後
の展望

発表先：新春特別講演会、日本原子力情報センター

日 時：2 月 1 日

発表者：松井 一秋

テーマ：次世代炉開発をめぐる最近の動きと今後
の展望

発表先：電気倶楽部

日 時：2 月 10 日

発表者：蓮池 宏

テーマ：超臨界CO₂を作動流体とするガスタービン
発電システム

発表先：ENEX2010 (NEDOブースにおける研究紹介)

日 時：2 月 10 日～12 日

発表者：石倉 武

テーマ：廃止措置関連の国際会議に参加して
- ICEM2009, Avignon2008などのトピックス -

発表先：デコミッショニング研究会

日 時：2 月 19 日

発表者：渡部 朝史

テーマ：国際的な水素エネルギーシステムの経済
性について

発表先：第130回水素エネルギー協会 定例研究会

日 時：2 月 24 日

発表者：坂田 興

テーマ：エネルギー総合工学研究所における新エネルギーへの取り組み

発表先：第2回長岡モノづくりフォーラム

日 時：3月4日

発表者：小野崎 正樹

テーマ：石炭ガス化を中心としたクリーン・コール・テクノロジー

発表先：JCOAL主催 平成21年度「石炭基礎講座」

日 時：3月5日

発表者：渡部 朝史, 蓮池 宏, 村田 謙二, 野口 英樹

テーマ：電気自動車寒冷地走行時における暖房が燃費に与える影響

発表先：平成22年電気学会全国大会

日 時：3月17日

発表者：内藤 正則, 上原 靖, 岡田 英俊, 内田 俊介

テーマ：連成解析による気液二相流中構造物の振動・腐食評価手法の開発

第45報 配管減肉評価手法の評価精度および実機評価性向上（内藤）

第46報 水化学制御による減肉抑制策の有効性評価（岡田）

第47報 水化学制御適用時の減肉速度のトランジェント評価（内田）

発表先：本原子力学会2010年春の大会（会場 茨城大学）

日 時：3月28日

[論文・寄稿]

発表者：松井 一秋

テーマ：原子力発電技術の未来

寄稿先：電気協会誌

日 時：平成22年1月号

発表者：坂田 興

テーマ：第29回水素エネルギー協会大会報告

発表先：水素エネルギー協会誌

日 時：3月31日

◇ 人事異動

○3月31日付

（出向解除）

宮崎丈彦 プロジェクト試験研究部主任研究員

井上方夫 原子力工学センター主任研究員

○4月1日付

（採用）

清田佳美 プロジェクト試験研究部主管研究員

久田 司 原子力工学センター主任研究員

（出向採用）

矢野正高 プロジェクト試験研究部主任研究員

第 32 卷 通 卷 目 次

VOL.32, NO.1 (2009.4)

【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 正 築 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

VOL.32, NO. 2 (2009.7)

【【巻頭言】】

研究所の更なる発展を願って (財)エネルギー総合工学研究所 研究顧問	高 倉 毅	1
---------------------------------------	-------	---

【寄稿】

メタンハイドレート資源開発をめぐる最新の状況 (独)産業技術総合研究所 メタンハイドレート研究センター長	成 田 英 夫	3
--	---------	---

【調査研究報告】

エネルギーモデル分析による合成燃料導入可能性評価 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 部長 副主席研究員	時 松 宏 治 黒 沢 厚 志	12
--	--------------------	----

【調査研究報告】

今後の原子力プラントの合理的な廃止措置のあり方について —具体化する軽水炉廃止措置の実施に向けて— プロジェクト試験研究部兼原子力工学センター 副参事	井 上 隆	18
---	-------	----

【調査研究報告】

ウラン資源のダイナミックス プロジェクト試験研究部 参事	楠 野 貞 夫	28
---------------------------------	---------	----

【調査研究報告】

腐食による配管の減肉挙動解析について 原子力工学センター 安全解析グループ 部長	内 藤 正 則	37
---	---------	----

【調査研究報告】

第24回国際電気自動車シンポジウム参加報告 —現実と希望の狭間に揺れながら— プロジェクト試験研究部 部長 プロジェクト試験研究部 主任研究員	蓮 池 宏 渡 部 朝 史	47
--	------------------	----

【調査研究報告】

エネルギーに関する公衆の意識調査 エネルギー技術情報センター 主管研究員	下 岡 浩	58
---	-------	----

【前理事長の逝去について】

当研究所前理事長秋山守の逝去について		68
追悼の辞 原子力安全委員会 委員長	鈴 木 篤 之	69
秋山先生の思い出 (財)エネルギー総合工学研究所 理事	松 井 一 秋	73

【事業報告】

平成20年度 事業報告の概要 (財)エネルギー総合工学研究所		75
--------------------------------	--	----

【行事案内】

ISO50001 (エネルギーマネジメントシステム国際規格) の策定に関するシンポジウム		77
--	--	----

【研究所の動き】

		79
--	--	----

【編集後記】

		81
--	--	----

VOL.32, NO. 3 (2009.10)

【巻頭言】

電気の使用者の安心・安全に向けて

(財)電気安全環境研究所 理事長

末 廣 恵 雄 ……… 1

【寄稿】

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

齋 藤 健一郎 ……… 3

【寄稿】

欧米における電気事業の動向

(社)海外電力調査会 調査部 副主任研究員

大 西 健 一 ……… 12

【調査研究報告】

海外の再生可能エネルギーの国内利用について

(その1：システムの概念設計)

～発電用燃料等としての可能性について～

プロジェクト試験研究部 主任研究員

渡 部 朝 史

プロジェクト試験研究部 参事

村 田 謙 二

川崎重工業(株) 技術研究所 化学技術研究部

研究一課 上級専門職

神 谷 祥 二 ……… 22

【調査研究報告】

低炭素化に向けたクリーンコールテクノロジーの技術開発

プロジェクト試験研究部 主管研究員

小 西 康 雄 ……… 31

【調査研究報告】

集光型太陽熱発電（CSP）の技術動向

プロジェクト試験研究部 主管研究員

吉 田 一 雄 ……… 43

【調査研究報告】

エネルギーセキュリティと原子力の役割

プロジェクト試験研究部 主管研究員

氏 田 博 士 ……… 54

【調査研究報告】

原子力人材の定量分析と人材育成における課題

プロジェクト試験研究部 参事

波田野 守

プロジェクト試験研究部 主管研究員

氏 田 博 士 ……… 64

【研究所の動き】 …………… 73

【編集後記】 …………… 75

第24エネルギー総合工学シンポジウム
低炭素社会実現に向けた新エネルギーと電力ネットワークの展望

平成21年10月7日(水) 千代田放送会館
総合司会 プロジェクト試験研究部 部長 蓮池 宏

【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 省エネルギー・新エネルギー部長 齋 藤 圭 介	3
【基調講演】	新エネルギー導入拡大と次世代の電力ネットワーク 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授 横 山 明 彦	5
【講演 1】	太陽光発電の拡大を目指して (社)太陽光発電協会 事務局長 岡 林 義 一	16
【講演 2】	洋上風力発電の実現に向けた技術開発 東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 教授 荒 川 忠 一	23
【講演 3】	電気自動車普及促進に向けた取組みについて 九州電力(株) 執行役員 総合研究所長 野 口 俊 郎	35
【講演 4】	エネルギーマネジメントシステムの標準化と新エネルギー —ISO50001の開発状況を踏まえて— (財)エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 主任研究員 石 本 祐 樹	45
【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	50
【研究所の動き】		51
【編集後記】		53

編集後記

最近の言葉遣いで言えば、いまこの国は「草食系」と言うことになるのだろうか。獲物に狙い定めて飛び掛ろうとする猛獣・猛禽類とはとても思えない。全体的に体温も低く、手近の草を食べて、心安らかに暮らすといった感じか。

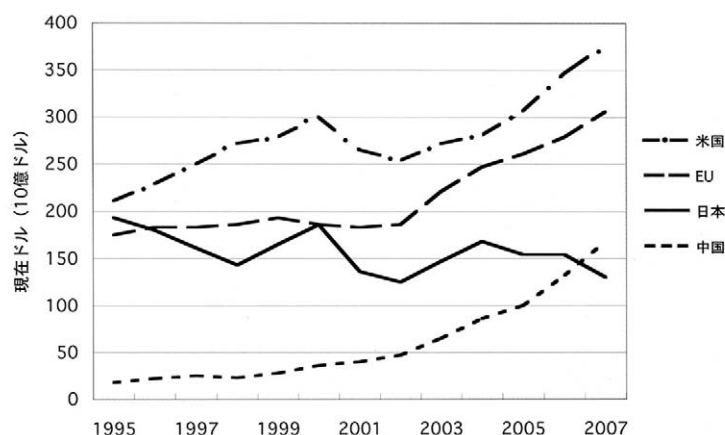
この国が得意としてきたはずの技術立国にも変調をきたしていることが、米国科学財団NSFが今年1月に公表した“Science and Engineering Indicators 2010”に示されている。一例が下図に示すハイテク製品生産高の1995年～2007年の推移である。ここで言うハイテク製品とは、宇宙航空、通信機器および半導体製品、コンピュータおよびオフィス機器、医薬品、科学機器であり、生産高は付加価値基準（最終販売高から国内外からの中間製品購入コストを差し引いたもの）である。2002年以降、米

欧中が増加し続け、特に中国の成長率が高い一方、日本のみが低下傾向を示していることがわかる。また、輸出高についても日本の急落は同様である。

このグラフに示されるハイテク製品の範疇には入らないが、わが国が誇るエネルギー技術の一つとして、世界最高42%の発電効率を商業的に達成している超々臨界圧石炭火力発電技術がある。この技術を、世界中で数多く稼動し続けている効率の低い旧型の石炭火力に適用すれば、莫大な量の二酸化炭素排出削減が実現できる計算になり、これについては技術輸出に向けて官民を挙げた努力が始められているところである。

この例に限らず、まだまだこの国に技術はある。持てる牙や爪を使って、何とかこのどん底から這い上がる努力をしなければならない。

編集責任者 疋田知士



季報 エネルギー総合工学 第33巻第1号

平成22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）株式会社日新社

※ 無断転載を禁じます。