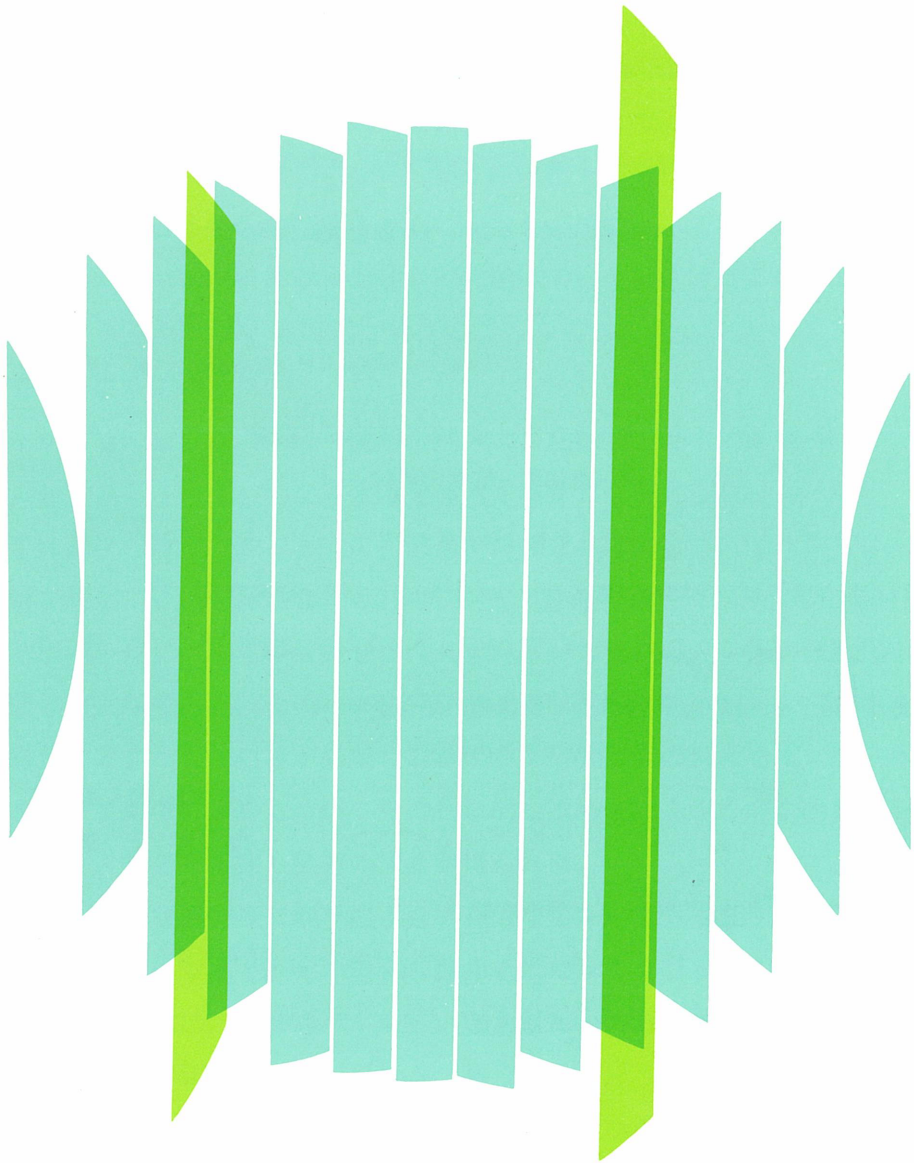


季報 エネルギー総合工学

Vol. 18 No. 4 1996. 1.



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】	エネルギー競争市場における R & D	
	関西電力㈱ 取締役副社長 北 田 幹 夫…	1
【理事長対談】	規制緩和とこれからのエネルギー産業	
	通商産業省 資源エネルギー庁 長官官房審議官 並 木 徹	
	㈱エネルギー総合工学研究所 理事長 山 本 寛…	2
【寄稿】	世界エネルギー会議東京大会を振り返って	
	——エネルギーと人類の将来を皆が考へた 6 日間——	
	㈱世界エネルギー会議東京大会組織委員会 専務理事事務局長 横 堀 恵 一…	16
【寄稿】	ヨーロッパ諸国における高レベル放射性廃棄物処分プログラムの現況	
	コレンコ・パワー・コンサルティング社 (スイス)	
	シニア・プロジェクト・マネジャー カラーマン ツナボイル	
	抄訳 主管研究員兼企画部長補佐 蛭 沢 重 信…	27
【調査研究報告】	都市エネルギーセンター型燃料電池の導入調査	
	——最適導入容量の検討——	
	主任研究員 高 瀬 哲…	49
【海外出張報告】	ロシアにおけるメタンハイドレートの研究開発状況	
	主管研究員 寺 崎 太二郎…	62
【海外出張報告】	米国における T R U 廃棄物の処分場について	
	——W I P P の概況——	
	専門役 和 達 嘉 樹	
	主任研究員 土 田 達…	75
【海外出張報告】	スタンフォード大学滞在記	
	主任研究員 黒 沢 厚 志…	84
【訪問記】	北陸電力㈱『アリス館志賀』	
	I A E 女性研究員取材チーム…	92
【随想】	エネテクトリーム21 (その12)	
	「出力50万kW突破 (1996年 3 月), “それからの地熱発電”」	
	与志耶 劫 紀…	98
【研究所のうごき】		117
【編集後記】		119

巻頭言

エネルギー競争市場における R & D

関西電力(株)

取締役副社長 北 田 幹 夫



昨年9月、オックスフォードで電気事業研究国際協力機構(IERE)の総会が標
題のテーマで開催され、その戦略セッションに参加した。

電力市場の競争環境が厳しくなり、切り詰めた予算の中で研究開発をいかに進
めていくか、ということが議論の中心であった。国によっては、長期を要し、コ
ストがかかり、リスクを伴うような研究開発テーマは避けて、短期間に成果が
得られ、できるだけ早く実用化に移せるようなものに焦点を絞らざるをえなく
なっているようであった。

日本からは、限られた人員、費用、時間で研究開発を効率的に進めるために、
「リエンジニアリング」的な考え方を導入することを提案した。

従来は個々の研究分野ごとにその成果が評価されてきたが、これからは、各研
究分野が相互に連係を保ちながら、エネルギー資源の安定確保、電力の安定供給、
コスト削減、更には地球環境保全等様々な角度から見た研究全体の最適化を追求
することが大切である。そのためには、個々の技術開発の方向性やテンポを自律
的に修正するような仕組みが必要であること、研究開発の情報をインターネット
などを使って緊密に連絡し合い、その具体的な進め方はIEREの企画委員会で検
討すること、などを提案し大方の同意が得られた。

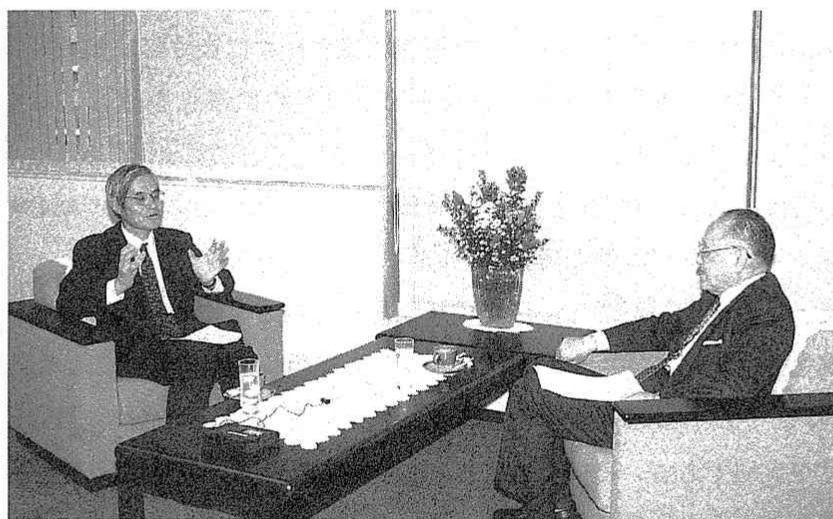
長期的展望で研究開発に取り組まなければならない電気事業が、短期的経済性
のみを追うことになると、その本来の使命を果たせなくなるのではないかと懸念
される。電気事業は、経営環境が厳しいときであっても、将来のための研究開発
という「種もみ」は残すように努めるべきであると思う。

このような観点からも、エネルギー総合工学研究所の役割に期待したい。

「規制緩和とこれからのエネルギー産業」

並木 徹 (通商産業省 資源エネルギー庁
長官官房審議官)

山本 寛 ((財)エネルギー総合工学研究所
理事長)



平成8年(1996年)は エネルギー政策における規制緩和元年の年

山本 いよいよ平成8年を迎え、21世紀まであと5年となりました。エネルギー行政の分野では、昨年12月をもって石油、電力、都市ガスの分野等における規制緩和の体制が確立されました。平成8年は、文字どおり「エネルギー政策における規制緩和元年」といえましょう。

本日は、並木審議官に「規制緩和とこれか

らのエネルギー産業」というテーマで、新年の抱負をお伺いしたいと考えます。並木さんは、平成5年6月以来資源エネルギー庁長官官房審議官という大変な重責を担うポストに長く在任しておられ、この間、エネルギー政策の分野は変化の激しい時代であり、ご苦労も多かったことと思います。ご感想は、いかがでございましょうか。

並木 なかなか一言では言いにくいのですが、大変な2年半という気がしますし、反面、大変充実した、言わば仕事に恵まれたという

気持ちもいたします。

まず、原子力の分野では、プルトニウム輸送で「あかつき丸」の問題が大変大きな話題になりました。日本のエネルギーの中で、原子力の位置付けをどうするかが大変難しい時期であったわけです。特に、国際的世論と、地元、国内、あるいは国民的世論とを、いかに理解し、融和を図るかが重要であったかと思えます。

また、この時期には、原子力委員会からは「原子力開発利用長期計画」（平成6年6月）が出されました。また並行して、平成6年度には総合エネルギー調査会の各部会でも精力的な議論がなされ、今後の環境対策、あるいはエネルギー・セキュリティの観点から、原子力、およびいわゆるリサイクル事業の位置付けが出された時期であり、非常に意義深い期間であったと思います。

二番目は、今後21世紀に向け日本は非常に厳しい経済環境にありますけれども、経済活動の基盤となるエネルギーの安定供給と利用の効率化との両立を図ることを目的に、石油、電力、ガスのエネルギー各分野にわたり、事業規制の見直しあるいは緩和を進めたことですが、その意味では重要な変革の時期であったかと思えます。

三番目は、ちょうどこの期間、大型・自然災害の発生があり、特に昨年初めの阪神大地震、水では一昨年夏の渇水騒ぎ、一転して昨年夏の大水害と、これらの安全対策についても考えることが多い期間でした。

山本 直接ご担当の原子力関係ですが、日本の原子力開発初期の頃に策定された方針が、そのままほとんど変わらず現在に至っており

ます。昨年夏には、例えば新型転換炉（ATR）の実証炉計画見直しの話が出てきたり、また核燃料サイクルについては、初期のころにはあまり明確なことは分りませんので、さほど細部まで決まっていたわけではありませんが、いまになり、核燃料サイクル関係でいろいろな厳しい情勢が出てきております。このように原子力政策分野では、大変ご苦労が多いかと思っていますが、いかがでしょうか。

並木 原子力には、やはり、諸先輩が営々と築き上げてこられた成果があるわけです。また、先ほど申し上げましたように、原子力にエネルギーの主要な役割を担わせ、さらに先を見据えて、プルトニウムリサイクルを着実に進めていくという方針は、基本的には堅持されています。しかし、アメリカ、あるいはヨーロッパ諸国においては、原子力開発をもちろん進めてはいますけれども、それぞれの国に経済成長鈍化の情勢にあり、また、石油、天然ガス価格に相対的経済性がある状況の中で、日本としていかに原子力を進展させていくのか、という問題があります。

ATRにつきましては、昨年原子力委員会において、大間実証炉の建設中止の決定がなされました。現在は、経済性について、電気事業全般にわたる効率化の追求あるいはコストダウンの要請が高まる時勢にあります。従来のATRの技術開発は、プルトニウムの利用技術、あるいは結果として軽水炉国産技術のレベルアップに相応の成果は上げてるわけですが、実証炉建設中止の決断には、我々資源エネルギー庁として、あるいは私自身としても、このATR建設プロジェクトを進めてきた立場の者でもあり、大変残念に思っています。



並木 徹氏

(通商産業省 資源エネルギー庁)
長官官房審議官

しかしながら、エネルギー技術の開発について、大筋は堅持していく方針ですが、それぞれのプロジェクトのタイミングとか、その取捨選択については、関係各界の英知を集めて、原子力委員会などの場でご議論いただくべきものと思っております。

エネルギー政策における規制緩和の狙いと

エネルギーコストの低減

山本 現在進められている規制緩和と密接な関連があり、その狙いの一つでもありますエネルギーコストの低減が、いま声高に叫ばれています。コスト問題は、通産省が非常に造詣が深い分野です。この低減には今後大変な努力が求められると思いますが、どうお考えでしょうか。

並木 最近、経済成長、エネルギー供給、地球環境を三位一体にしていますが、やはりエネルギーの場合、安定供給とコストの両立が昔からの非常に大きな課題でした。一つには原子力、天然ガス、または自然エネルギーを含めた石油代替エネルギー、あるいは省エネルギー技術が、この20年間に相当普及して

まいりました。その結果として、石油価格自体が、物価上昇全体の中でみますと、昭和48年の石油ショック以前の水準に下がっており、これは非常に幸せなことだと思います。

もう一つは、欧米、あるいは日本も含めて、先進諸国がいわゆる低成長時代に入り、エネルギー需要の伸びも相対的に少なくなってきた中で、どういう政策の選択をするかということです。

当然のこととして、21世紀に向けた課題が二つあり、一つは環境問題への対応、もう一つは経済成長が見込まれる途上国に予想されるエネルギー需要増への対応でして、長期的視点からの安定供給と経済性をさらに考えていく必要があります。このため長期的安定供給、並びに長期的コスト問題について、政府、あるいは総合エネルギー調査会等で議論願っているところです。

山本 エネルギー価格がただ高い、高いと言っているだけでは何も解決しません。円レートの上下に大きく関係しますが、今の100円台で落ち着けば、原子力はかなりの影響を受けるかと思います。再処理費用も高いといわれていますね。それから、遠からず発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分についても、地下坑掘削の工事にしては膨大な工事費がかかりそうだ、という話もありますね。日本では土木工事費が外国に比べてものすごく高いといわれていますが、これは本当に高いのですか。円の実勢が影響しているのか、その辺がよくわからないのですが、通産省の方はどのように把えてみえますか。

並木 今、理事長がおっしゃいましたように、いわゆる内外価格差の問題があります。やはりエネルギーに係る電気料金、石油価格など

では、比較するにはいろいろな数字がありますけれども、大ざっぱに言って5割高とか、あるいは倍というような数字もあるわけです。コストを構成する人件費、土地代、設備費など、これらは現行の1ドル100円あるいは昨年前半の80円台というような高値になりますと、どうしても価格差が出ます。産業の基盤となるエネルギーであり、需要業界からは、何とか努力して下げてほしい、例えば輸出企業では輸出競争力を保ちうる水準まで下げてほしいという、非常に強い要請がありますね。

円レートと国内産業全体の関係についてはさまざまな議論があります。同じレートで、例えば半導体とかコンピューターなどは、輸出されていく。一方、基礎素材型産業は、燃料費とか、エネルギーコストのシェアが高いこともあり、やはり国際価格競争が厳しい状況にあります。全体の経済運営でいえば、内需振興型の産業構造とか投資構造にするとかが必要です。土地問題など、一極集中の弊害を含めて、構造的ひずみを是正し、全体として均衡化を図っていく必要があろう、と思うわけです。

これとは別に、エネルギー産業自身も、可能な範囲は最大限の努力をする。そういう努力を通じて需要家に対して貢献していく、これが基本的な方向だと思います。

規制緩和と積極的な通産省の狙い

山本 傍から見ると、規制緩和については通産省が一番熱心だという印象を受けます。他の省庁は、その点どうも進歩が乏しいように思うんですが。

並木 役所間に熱意の差はないと思います。一つは、21世紀には人口の高齢化が進み、若年層、中堅層の労働力、あるいは人材が相対



山本 寛氏

(財)エネルギー総合工学研究所
理事長

的に少なくなるわけです。若年層不足の時代に入り、一人ひとりが将来に向け一所懸命、やり甲斐があることを考えていく必要があると思います。

もう一つ、日本の場合には基本的には国際協調というか、国際間の平和が重要になります。平和な国際社会の中で国際協調を進めようとするとき、やはりある程度の国際的分業が必要になります。特にわが国の周囲にある新興工業経済・地域(NIES)、中国、東南アジア諸国連合(ASEAN)、そういう国々の立ち上がり時に、日本が戦後50年さまざまな成長過程で取得してきた産業技術の成果を、自分たちの内に閉じ込めておくのが許容される時代ではないわけです。

戦後50年、日本の産業技術は非常に高い成果を上げてきたわけですが、21世紀に新しい産業の発展に向けて限られた資金・人材を投入していくとき、既成産業の中に規制的部分があって、そこで国民経済なり、エネルギーが浪費されているのであれば問題であり、規制緩和していくことが望ましいのではないかと考えたわけです。

電気事業新時代と各エネルギー産業の対応

山本 通産省関係の規制緩和は、電力を初めとして、ガス、石油とも軌道に乗っており、制度改正については、電気、ガスは昨年、石油は本年からの施行になりました。今後、政策として、一層の推進が図られることとなりますが、どこに重点を置かれることになるのでしょうか。

並木 改正電気事業法は昨年4月に国会を通過し、その実施のための政省令が10月18日に公布になり、12月1日から施行となりました。また、規制緩和の具体化が進行して昨年10月下旬、新料金体系に基づき、電力10社と、ガス6社から、料金変更の申請が出され、同12月19日に認可になっております。今回の電気事業法改正は、地域独占状態にある電気事業に対して競争的環境をどのように加味していくか、あるいは電気事業の効率化をいかにして図っていくかという、時代の要請に対応した法律改正でありました。

その大きなポイントの一つは、ご案内のとおり、独立発電事業者（IPP、Independent Power Producers）の導入です。先ほど申しました電力10社以外にも、例えば鉄鋼業とか、あるいは石油化学工業とか、そういう業界の会社に自社設備により、一定量以上の、非常に安い電力の供給が可能なプロジェクトがあるとき、新たに「卸電力市場」として制度化し、その電力を受け容れようというものです。狙いは、IPP導入による電力価格の低廉化であり、また夏季ピーク時電力需要が非常に高かつ尖鋭化し、設備の使用効率低下も出ていますので、IPP設備の活用により、トータル効率の向上を図ろうというものです。

具体的には昨年11月、電力6社がそれぞれの入札事前説明会を開催し、平成8年度から7年間の需要対策の中で、6社合計でおよそ265万kWの電力購入計画を示しております。もし提示電力が全部入ったとしますと、年平均70万kW弱になります。現在の長期計画ですと、電力10社合計で平均560万kW／年という発電設備の増設計画ですから、およそその十数％相当の設備能力になります。併せて、電力の「卸託送」という制度も整備し、卸発電の自由化を進めました。

2番目の改正点は、新しい形態の売電事業の創設です。最近、コージェネといひまして、ビルや地域に熱電供給を行う事業がでてきています。そのような計画が成立するところに対して、法律用語で「特定電気事業」という言い方にしましたが、コージェネによる電力を直接需要家に供給できる制度も設けました。

それから、太陽光発電のような小規模の新エネルギー、あるいは再生可能エネルギーについては、従来、複雑な保安規制がネックになって実用化に至らない面もありました。例えば太陽光発電設備は、工場生産により品質管理が容易であり、「電気用品」扱いにして一括処理できる制度に改正しました。このような規制緩和の導入により、コスト的にも、環境対策的にも効率化が進むものと思っています。

さらに、料金制度の見直しも行いました。「ヤードスティック方式」という方式の導入です。その方式は、効率化推進の程度から電力10社を3グループに分類し、各社の進捗を情報公開により一般需要家が客観的に見られるような形にする一方、料金値上げ申請時の査定、評価の目安にする方式で、非効率な会社には一段と努力していただく方向で料金

査定することにもなっております。行政官庁としましては、需要家の要請に対応し、合わせて情報開示を含める方向で規制緩和を進めておりますので、効率化の成果が上がることを期待しているところであります。

山本 先ほど話が出ましたIPPにしても、あるいはコージェネにしましても、使うのは化石燃料ですね。その中で、石油の使用は、国際エネルギー機関（IEA）による石油火力抑制の申し合せがあり、電力会社はベースロード用の石油専焼火力の新增設を控えております。ところが、今回の電力市場自由化により導入されるIPPの電源は、多くが化石燃料を使用し、その中で石油が相当量に達すると思います。これは地球環境対策上何か矛盾しているような感じがしますが。

並木 国としましては、総合エネルギー調査会において、2010年のエネルギー需要見通し、及びエネルギー供給目標についての議論をしていただきました。その中には「新規施策追加ケース」を含め、地球環境対策としての温室効果ガスの排出量についても十分ご議論をいただいた上での供給目標が出されております。それを踏まえて、電気事業審議会の需給部会の中で、石炭、石油、天然ガス、原子力などの分野別に、CO₂排出量を含めてリーズナブルかどうかをチェックしておるわけです。

実は、2000年、あるいは2010年のCO₂排出抑制値は、それ自体なかなか達成が難しい目標でありまして、それぞれの分野における努力を前提とした数値であります。しかしながら、今後は各電力における分散型電源を含めた化石燃料の使用程度とか、電力輸送、さらに家庭の省エネルギー状況などを総合的に議論し

ていくべきと思っています。省エネルギー法の改正など、今後の模様を見た上で、皆さんにご議論をいただき、対策を検討してまいりたいと思います。

新しい電力政策下における原子力発電

山本 これからは、改正電気事業法の施行により、大きな変革の時代に入るわけです。私も強い関心とともに期待の眼で見えております。しかし、懸念されますのが原子力の開発でして、新しい電力政策の下では、原子力発電の立地はどうなるのでしょうか。かえってマイナスに働くということはありませんか。

並木 原子力発電の立地にはリードタイムが大きく時間がかかりますし、巨額の投資を必要とします。当面の短期的な電源開発となると、アメリカがよい例ですが、現下の国産の石炭や天然ガス火力の開発ということとなり、原子力の新增設がなかなか進まないのが実情です。

日本の場合も、先程のIPPも含めて、より短期的な指向になっていかないかとの懸念があると思います。やはり改正電気事業法と、安定供給性の確保の両面において、一方では政府がいかなる枠組を作るかということと、他方では電気事業者がどう受け止めて対応するかによると思います。特に、電力供給の効率化について、今回の法改正の中で電力会社に要請いたしましたことは、今後21世紀に向けて、日本の産業、経済がかかえる困難さを考えますとき、当面の電力供給の効率化についても相当意を決して臨む必要があるということです。わが国の産業と経済がかかえている絶対的な環境の厳しさの中で、電力、石油、ガス等の各エネルギー産業が知恵を絞り、最大限可能



な効率化を進めていただくということです。

一方、長期的なセキュリティ及び長期的な経済性については国の役割も含めてなかなか難しいところです。エネルギーについては各国それぞれの国内資源事情その他、いろいろな意味で状況が相違します。日本の場合、いかなるスタンスで考えていくべきかということですが、まず資源が国内にないというのは間違いのないところです。

また、これまでは中国、ASEAN、韓国等を含めて、近隣諸国から石油、天然ガス等を輸入することができましたが、2000年、2010年の時代になると、これらの国々が石油等の輸入国になる見通しです。このような事態になれば、わが国にとっては石油の供給安定性とか、価格の問題も含めて、潜在的なリスクが大きくなることは間違いありません。その場合、日本は国民の勤勉性に基づく技術力で補完していくとしたときに、やはり原子力は非常に大きなオプションであろうと思います。

それから、日本は、この20年間、いろいろな意味で公害、環境対策の推進を世界に先駆けて実施し、大きな成果を挙げてきました。今後、先ほどのCO₂排出抑制を含めた地球環境対策の推進に、世界から期待される先導役

の立場に立つべきことを考えますと、安全性確保とともに核の不拡散、平和利用にも最大限の努力を払いながら、原子力開発を着実に進めていかねばなりません。日本は、大転換を嫌う国柄でもあり、先ほどの理事長のお話のように、原子力の開発計画は、過去に築き上げた実績を踏まえ、これらを生かしつつ着実に進展させることになると思います。

従って、原子力発電の開発の必要性は、今後とも変えることはないと思います。

世界を先導する

日本のエネルギー・環境の技術と政策

—WEC東京大会、APEC大阪会議より—

山本 平成7年(1995年)10月8日から13日までの間、「世界エネルギー会議(WEC)第16回東京大会」が日本コンベンションセンター(幕張メッセ)で開かれました。アジアで開かれた最初の定期大会である東京大会の意義と、各国の対応について、どういう印象を持たれましたか。

並木 大変盛大な会議でした。(財)世界エネルギー会議東京大会組織委員会をはじめ、関係者のご苦勞に衷心より敬意を申し上げます。東京大会の意義の第一は、理事長がおっしゃいましたとおり、WECの定期大会がアジアで初めて開催されたことだと思います。各国から大勢の関係閣僚が来日され、我々主催者側としても非常に名誉に思った次第です。やはりアジアの経済成長が著しく、それに伴うエネルギー・環境問題への取り組みの中で、特に日本の技術・姿勢に世界の注目が集中されてるわけです。

かねてからエネルギー・環境への協力については、日本政府も産業界の方々も、それぞ

れの分野分野で、積極的な提案をされてこられたわけです。そういう意味で、この会議は、世界へ、それからハイライトが当たっているアジアに対しても、非常に強いアピールを送ったと思っています。

会議から受けた印象では、世界の多くの石油業界、ガス業界の方からは、石油、天然ガスの資源賦存量や最近の技術開発等も含めて、エネルギー安定供給にやや楽観的なお話があったように思います。それはそれとして、いずれにしても、今後の経済成長を考えたとき、まだかなりの長期間、石油あるいは石油関連製品の供給がエネルギーの大宗を占めるわけで、それに不安がないのは大変よいことかと思えます。やはり、エネルギー使用の効率化、経営の効率化については、西側諸国、特に機器サプライヤーの方々は、大変関心が高かったように見受けました。

ご案内のとおり、昨年11月アジア太平洋経済協力会議（APEC）大阪会議が開催され、環太平洋諸国の首脳が一堂に会し、貿易・投資の自由化その他についての協議がなされました。日本は、環境、エネルギーに関する数多くの積極的な提案を行った中で、「アジア太平洋エネルギー・リサーチセンター」設立の提案を行い、本年半ばの設立の見通しとなりました。環太平洋の諸国は、ヨーロッパと異なり、国々の状況が全部違うわけです。それで、最初からいきなり共通組織が作れる状況でもありません。まず、情報交換、データベースの構築あたりからスタートし、エネルギー需給の実態を各国が共通に認識するための「エネルギー需給見通し」の作成と、電力インフラ投資円滑化のための指針策定の2点が、短期に対処する計画項目になりました。また、

エネルギー供給途絶のリスクに関する事項を含めた「エネルギー政策目標」は、1997年からの中期的課題といたしました。APEC大阪会議では、「行動指針」に基づく、これらの「行動計画」をまとめて、成功へと導きました。

山本 WECの趣意文に載ったところを見ると、エネルギー関係に補助金がたくさん出ているような話が見えます。確かに、石炭にはドイツ、イギリスあたりで補助金が出ているのは知られていますが、世界的に見て、そのあたりの補助金というのは相当出てるんですか。

並木 ご案内のように、ウルグアイラウンドで研究開発の補助金に関する合意がありまして、いわゆる産業助成的な補助金は国際的にある一定レベルに合わせることであり、あまり直接的で企業化段階に近いものは、極力見合わせるようになっております。

欧米を見渡したとき、特にアメリカではエネルギー絡みの予算は削減されつつあるという感じはいたしますね。ですから、許される補助金、政府助成が何で、産業助成的なものが何かというのは、区別して議論されるべきと思っています。

例えば、石炭のガス化ですと、今ヨーロッパではオランダでプロジェクトをやっています。政府レベル、あるいはヨーロッパ共同体レベルとか、いろんな形があると思いますけれども、エネルギーについて政府の金が出てないかというと、それは必ずしもそうではないようです。

山本 ドイツの例にみられるように、石炭などに国が行う助成が国民合意の上ならそれでいいのですが、その結果原子力の推進は随分影響を受けているようですね。

並木 そうです。ドイツでは産業界も政府も、

原子力をエネルギーとして認めるかどうか、
今ペンディングになっています。

釈迦に説法とはいいますが、21世紀に入り、インドとか中国の経済成長が進んだとき、エネルギー供給と環境保全について、グローバルにいかに取り組んでいくかが大問題になります。先進国に関しては、CO₂の排出抑制目標や対策は、およそのところ見通され、ほとんど問題はありません。しかし、途上国が伸びたときの対応策は、地球規模でのコンセンサスがありません。戦後、西側自由世界ではアメリカが中心になり全世界のリーダーシップをとってきたわけですが、冷戦、湾岸戦争が終焉した90年代、アメリカの指導力に陰りがみえ、これからは逆に問題解決にしばらく時間がかかると思います。やはり、このような世界情勢の変化を踏まえ、環境保全とか、原子力で言えば安全性確保を、技術も含めて定着させていくには、強い決意とそれなりのイニシアティブが必要だと思います。

研究所創立18周年を迎えて

並木 これからは、攻守ところを変えて、私の方から山本理事長にお話を伺うこととします。(財)エネルギー総合工学研究所(エネ総工研)は、本年の3月末で設立18周年になりますね。エネルギー工学分野における我が国最初の「総合的シンクタンク」としてスタートし、大変大きな成果を発揮されたと思っています。18年を振り返り、設立当時の構想、エピソード、裏話などをお聞かせいただけれ

ばと思います。

山本 詳しくは、「季報エネルギー総合工学」の研究所創立15周年記念特集号(1993年4月号)に載っておりますので、手短かに申し上げますが、昭和50年第一次石油危機の後のことですが、東京大学の秋山守教授、近藤駿介教授、鈴木篤之教授という当時まだ少壮だった方々の間で、それまで進められてきた日本のエネルギー政策や技術開発政策に一貫性、整合性が乏しいと思われるところがあるのではないかという感触から、将来を見据えたまとまりのある政策提言があってしかるべきではないかとの議論がなされ、体系的なエネルギー技術開発政策を提言する場所(シンクタンク)をつくったかどうかという話が起きたわけです。

翌年の昭和51年、設立準備室を大学構外の本郷につくり、今の3人の教授に若干の若い人が加わり、話が進められていたようです。私も折りあるごとに参加しました。

そのうちに、財団法人を設立しようということになり、設立許可申請を通産省に出したわけです。通産省ではしばらくの間は動きがありませんでしたが、昭和52年夏頃から資源エネルギー庁総務課を中心に、設立に向けご尽力して頂けることとなりました。当時、資源エネルギー庁の総務課におられた平田辰一郎さん*、それから、その下にみえた三代真彰さん**のご尽力をいただき、当時の総務課長真野温さん***のお力添えがあつて、日の目を見ることになったわけです。

*現職：新産業技術研究所 所長

前歴：昭和61年 資源エネルギー庁技術課長にて通産省退官。前衆議院議員

**現職：資源エネルギー庁 原子力発電安全管理課長

***現職：住友電気工業(株) 特別顧問

前歴：昭和57年 基礎産業局長にて通産省退官

このほか、準備段階でお世話になった方々を申しますと、経団連では、当時の会長土光敏夫さん、エネルギーには大変ご熱心な方でした。電力業界では、当時の東京電力（株）副社長田中直治郎さん、研究所の設立構想に共鳴をいただき、多大のサポートを下さいました。電気事業連合会では、当時の副会長、正親見一さんには熱意ある推進役を買っていただきました。このような大勢の方々のご支援を賜り、当研究所は、昭和53年、スタートに漕ぎ着けたわけです。

並木 私も電気事業連合会の副会長の正親さんと山本先生が相談されたという話を伺ったことがあります。研究所はどのような構想で、いかなる事業からスタートされましたか。

山本 最初に、この研究所でやりたい3つの柱が議論になり、それを基に研究所の性格付けを説明したわけです。その3つの柱というのは「エネルギー技術データベースの整備」、「システム評価手法の確立」および「受託プロジェクトによる調査研究の遂行」です。最初の2つの柱は、基礎的な調査研究、三つ目の柱は、その基礎的研究成果を活用しながら国や民間の外部要請に応える具体的な研究分野に関するものです。

その柱の一つとしての「エネルギー技術データベースの整備」については、現在も各技術分野について作業を進めています。データベースをつくるのは容易なことではございません。現在、平成5年度から9年度にかけて、調査研究プロジェクトの企画立案、効率的推進、成果のとりまとめ公表に有用なデータベースを構築するという「新たな構想」の下に、コンピュータを利用したエネルギー技術データベースの構築を目指して取り組んでおります。

次に取扱うテーマの時間的な範囲ですが、長期的あるいは超長期的なテーマは対象範囲外としました。それは、当所の規模、能力を越えた範囲と認めざる得なかったからです。ですから、中期的あるいは中長期的なテーマに絞って研究構想を立てたということです。

特に設立当初は、早く目にみえる成果を出して当所の存在をアピールしたいこともあり、比較的当所のポテンシャルを生かせる中期的テーマを手掛けました。例えば、超重質油分解、ローカルエネルギー利用可能性あるいはアルコール利用可能性等に関わる調査、F Sが挙げられます。

ローカルエネルギー利用可能性の調査は、平田さんのご提案によるものですが、ローカルエネルギーの掘り起こしです。当初は、これには非常に精力的に取り組みました。鹿児島県の現地にも随分参りました。これはかなりまとまったことができたと思います。ですけど、事業化は私たちのシンクタンクの事業範疇外にあり、現在は（財）新エネルギー財団の方でやっておられます。

人材の確保・養成が鍵となる

シンクタンクの運営

並木 その後は、政府、民間からのさまざまな調査研究を受託し活動されているわけですが、その間、景気変動もあって、経営には随分ご苦勞もあったと思います。何に一番ご苦勞されたでしょうか。

山本 お蔭さまで通産省からは大変なバックアップをいただき、また電力業界等エネルギー関係各社の皆様には賛助会員となって支援して頂いております。昭和61年度には不況のため受託研究が落込み賛助会費の引上げをお

願いしましたが、それ以降は国等の関係機関、賛助会員各社のご理解とご支援に恵まれ、比較的順調に受託事業を拡大してくることができました。しかしながら、昨今のバブル崩壊等の状況にかんがみ、諸経費の節減を図るとともに業務の効率化に所員一丸となって努めているところです。

並木 まあ改めてそう言われますと恐縮です。やはり、エネ総工研のようなシンクタンクの場合、調査研究能力、特に政策提言能力は、詰まるところ優秀な人材の確保、養成にあると思います。はえぬき人材の養成と、出向者人材の組合せなど人材確保の面でどのような考えで取組んで来られたのでしょうか。

山本 確かにおっしゃるとおりでございます。シンクタンクの活動は物づくりをするわけでも実験をやっているわけでもありません。

「人材」次第です。したがって、初期のころには、かなり仕事のできる有能な人に入っていただきました。この研究所が継続性をもって政策提言ができてきたのは、これらのはえぬき人材の確保と活躍があったからです。

ただ、ここで大変難しいのは、同じ仕事を長年続けますと、マンネリ化したり、個人的には飽きがくる可能性もあります。その点で、私が非常に有難いと思いますのは、関係の民間会社から相当数の方に、また通産省からも1人出向していただいていることです。年齢構成の高齢化が進まぬよう、働き盛りの方に入れ代わり立ち替わりきていただいていますので、研究所に新風を吹き込み活気をもたらしていると思っています。

このように、各研究分野の中核となる「はえぬき人材」の確保・育成と、専門分野が異なり当研究所のポテンシャルを補完してくれ

る「出向者人材」を組合せてきたことが、人材政策としてはよかったと思います。

また、はえぬき人材の研究員に対しては、以前から「いつまでもこの研究所にいるようではだめだ。自分で非常に大きな成果をあげ、それを持って外に出ていく位の気構えでやって欲しい」と言ってきました。しかし、これは言うべくして難しいことかもしれません。

昔、通産省の工業技術院の研究所ですと、自分で行った技術開発をもって民間に出られた方が随分みえました。私は、ここの研究所でも何か自分で一つやって、それを身につけて企業に出ていくような気骨のある人が育てほしい、すなわち、ここの研究所がエネルギー技術分野のリサーチャーの養成機関であればよい、という気持ちがあったわけです。

文化が左右するシンクタンクの性格

並木 シンクタンクの活用は、ここ20年ぐらい日本で非常に大きな課題でしたし、いろいろな試行錯誤もありました。エネ総工研は、この18年間、多くの成果を挙げてこられたわけですが、いま理事長がおっしゃったように、今後国際化が進む中、研究員の流動性の問題がありますね。おっしゃったように、国立研究所でも大学でもそういう試みをしております。これに伴う給与制度や年金制度の問題がありますが、組織としてもこれからの研究所の社会制度として受け止め、改革する方向で議論はしておるわけです。

それはそれとして、将来を見通し過去18年のご経験を踏えて、また、アメリカとヨーロッパでは若干の違いはありますが、そういう海外シンクタンクのあり方にかんがみ、さらに、アジア諸国を含め海外協力が広まる将来

を見越した上で、我が国のシンクタンクのあり方につき、何か所感がありましたらお願いします。

山本 シンクタンクは、アメリカが数が一番多く、活発な仕事をしています。しかし、アメリカと日本、あるいは他の国々とも、それぞれ違う文化を持っており、同じようにはいってません。アメリカの場合、個人として活躍している方が多く、また、その個人の集まりでできているシンクタンクが多いですね。

ところが、日本のシンクタンクの多くは、民間ですとどこかの企業に、あるいは企業グループに帰属しています。例えば、三菱系、住友系にまた証券会社系に、大きなシンクタンクがあります。いわゆるアメリカ型のシンクタンクとはかなり違いますね。アメリカのシンクタンクは個人の寄り集まりでして、政策的な提案、提言を議会などにしているところが多いわけです。日本の場合は、ほとんど役所から委託されたテーマをやっているところが多く、その点、同じシンクタンクと申しましても非常に違いがあります。

しかし、これはやはり文化の違いだと思います。日本人の場合、個人よりむしろ人の集まりで組織として何かをやっていくのが今までのやり方ですので、なかなかアメリカ流にはいかないと私は思っています。しかし、日本のやり方も、日本なりにいいところがあると思います。

ヨーロッパでは、イギリスのシンクタンクは古くから歴史があります。その他、ヨーロッパ大陸にもいろいろシンクタンクがありますけれども、やはり国によってそれぞれ違いますね。アメリカだけがその中で特別なのは、個人が、個々に独立していろんなことをやる

という国民性にに基づいている、という感じがしますね。

並木 今、通産省でも、技術開発とか企業のあり方を議論するとき、例のベンチャー企業が話題になります。大学で、あるいは民間研究機関でも、若い研究者には収益が見込める研究結果が出ると、たちまち事業化して、いわゆる一獲千金を狙う個人ブレイのムードがありますね。とにかく、最近の若い人は、昔に比べ文化というか社会制度の違いで、個人意識が強いようです。アメリカとの比較では、まだまだ低いようですが、成り行きに任せれば、アメリカ並みになるかといえ、必ずしもそうなるわけでもないようです。

山本 徐々に、変わってきているのは事実だと思いますけれども、やはり、おっしゃったように急にとはいきませんね。

並木 もう一つは、アメリカのシンクタンクを見ますと、大学の方も役所の人も、あるいは企業の人も含めて、仕事の流動性みたいなものがあります。専門のシンクタンクにさっと移り、一定分野での提言作成などの仕事にある期間携わるというケースが極めて多いわけですが、そういうやり方の流動性も、日本の場合、非常に難しいと思いますね。

山本 日本も、アメリカ同様に終身雇用制でなくなれば、それは随分変わってくると思います。やはり今は会社に帰属した格好で、個々人が社会で動いていますと、流動性はなかなか難しいですね。

「顔が見える」エネルギー総合工学研究所に

並木 ちょっと具体的な話に戻ります。エネ総工研は、基本的には中期の活動ということで、いわゆる実際的なところを見据えながら

事業展開するということですが、先年、「エネルギー総合工学研究所第二次中長期ビジョン」（平成5年3月改訂）として、平成5年から5年間の活動の方向性が打ち出され、「実力強化と対外展開の時代」をモットーに掲げてみえます。ここで、将来に向かっての、研究所運営のご抱負をお伺いできればと思います。

山本 以前に通産省の若い方々から、「エネ総工研の顔がよく見えない」という指摘があったことは承知しています。

結局、これは我々がやっていることが国等からの受託が主体（民間受託は2割程度）であるため、調査研究の成果は委託報告書の提出という形になり、国のエネルギー技術政策（研究開発計画）に直接反映させるという扱いであるためだと思うのです。最近では、国等の委託研究の成果は、原則として公表されるようになりましたので、当研究所でも成果発表の機会は増えています。

私は、この研究所が外部に向けもっと発言しないと顔が見えてこないと考えまして、所員にも、「発表できるものはできるだけ発表なさい」と言ってきています。まだ、私の期待するレベルまで実現していませんが。

一方、当研究所独自のエネルギー技術政策に関する提言は、自主研究に基づかなければなりません。先ほど申し上げたこととも関連しますが、自主研究を自分で考え、積極的にやれば、自ずと研究成果がでるわけで、その成果が世に問われますと、次の仕事の依頼とか外部への招聘を受けることになると思います。これからもその方向に向かって努力してまいりたいと思っています。

もう一つは、当所は設立18年になります。多数の調査資料、研究成果の蓄積があるわけ

です。それを接続して内部で有効に使用することがまず第一ですけれども、世間からも有用される途を拓きたいと考えています。これは発足以来の宿願で、容易ではありませんが、今、エネルギー技術データベースを基にしたそういう体系づくりを進めており、これはしっかりとやりたいと思っています。

それができれば、ここの研究所の顔、それにこの研究所の得意な分野を世の中に認めていただけることになると思います。この研究所の顔をもっとはっきり見せられれば、それに越したことはないと思っています。

エネルギー技術につきましても、できれば未来予測などを何年かに一遍ぐらい行えるようになれば大変結構なことだと思っています。当研究所では、平成5年6月に、当時の資源エネルギー庁長官の要請を受けて、「2050年への挑戦—21世紀の技術とエネルギービジョン」を発表しましたが、大きな反響を呼び、4,000部以上が講読されました。このビジョンは、国の長期エネルギー需給見通しが2010年断面であるのに対し、その先の「2030年及び2050年におけるわが国の一次エネルギー供給構成の見通し」を、若い世代の学識経験者の協力を得て、まとめたものです。

並木 今ご案内のとおり、昨秋、科学技術基本法が成立し、その基本計画へ科学技術予算倍増の盛り込みを進めています。やはり研究開発は、最後は人材に尽きると思います。そういう意味では、大学、国研に関しても、阻害要因となります終身雇用、ポスト面の処遇などの問題を抱えていますが、研究者の内外交流の促進を含め、新しい時代に向け優れた研究者の確保について、活発な議論がなされつつあります。

もう一つは、エネルギー、環境問題を考えますと、どうも先が見えないといいますか、ヨーロッパ、アメリカや先進国だけでは解決できない話です。資源的にも環境的にも、あと30年、50年たったとき、本当に不安なく、いかにこれを解決するかは、大変な課題と思うわけです。

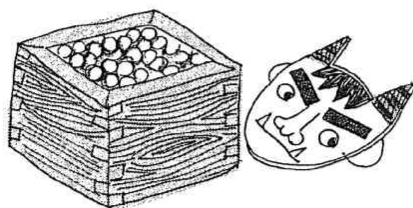
やはり我々、通産省も、そういう意味では、研究開発のあり方とか、民間研究機関の果す役割が課題と思っています。それは必ずしも国内だけの問題ではなく、先ほど申し上げましたように、どうもアジアの重要性が増し、エネルギー需給、あるいは人材養成も含めて、課題になってきそうということです。21世紀に向けて、先ほどの理事長の言葉をお借りし

ますと、「顔が見える」といいますか、そういう提言や研究を是非今後ともお願いしたいと思うわけです。

山本 今おっしゃいましたように、エネルギー問題は環境問題と密接に関連しております。先々の見通しが非常に見えづらいところですね。私どもも、そのような中で何らかの予測ができて、世の中の方々にお示しできれば大変幸せだと思っています。一層の努力を傾注したいと考えている次第です。

並木 是非今後ともよろしく願ひいたします。

山本 きょうは長時間どうもありがとうございました。



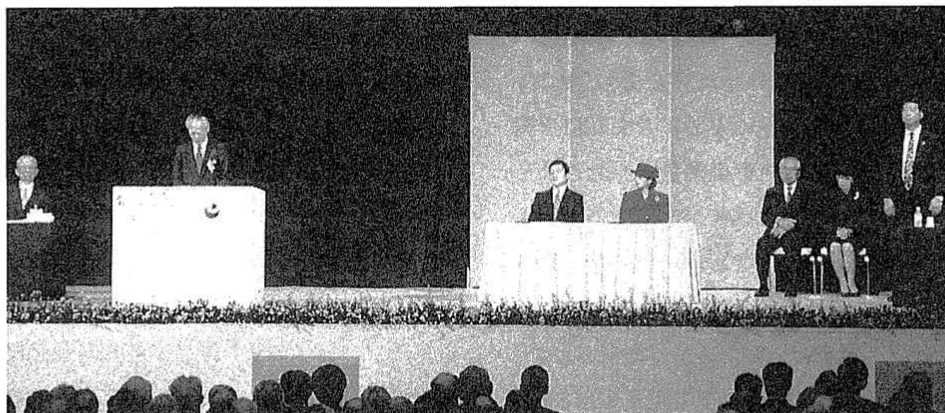
〔寄稿〕

世界エネルギー会議東京大会を振り返って

—エネルギーと人類の将来を皆が考えた6日間—

横堀 恵一

(財)世界エネルギー会議
東京大会組織委員会
専務理事・事務局長



大会開会式 — ご臨席の皇太子殿下、同妃殿下と祝辞を述べる村山総理大臣

はじめに

世界エネルギー会議 (World Energy Council, WEC) の第16回 (東京) 大会が平成7年10月8日から13日まで幕張メッセで開かれた。本大会では、世界の84か国、19国際機関から5,200人を越える参加者 (同伴者等を含む) が集まり、併催の展示会、世界エネルギー展東京'95 (World Energy Fair in Tokyo '95) も62,000人の入場者を迎える等大規模なものとなったが、無事終了した。

本大会では、
「エネルギーと人類の将来—われわれは何を

求められているか—」

(Energy for Our Common World-What will the Future ask of us?)

のテーマの下にエネルギー問題について議論が行われ、その結果を閉会式において「結論と勧告」として採択した。そこでは、現在の安定的なエネルギー需給情勢に安住するのではなく、なお地球人口の4割 (20億人) が商業エネルギーの恩恵に浴していない現状と将来の持続的発展の要請に鑑みて、エネルギー価格の適正化、長期的な技術の開発・利用、業界・政府・消費者間の協力等の必要性を謳っている。

70年以上に亘るWE Cの歴史の中で東京大会は、日本のみならず、東アジアでも初めての大会であった。本稿では、5年以上に渡った準備も含めて、この大会を振り返ってみたい。

世界エネルギー会議の沿革

WE Cの歴史は、1924年、ロンドンでの世界動力会議（World Power Conference）第一回大会に始まる。世界動力会議は、電力技術関係の国際的な団体で、初期の大会には、エジソンやアインシュタインが出席したり、論文を提出している。活動が中断した第二次世界大戦の後、電力以外のエネルギーも対象とし、また、社会的・経済的問題も扱うようになり、組織の名称も英文ではWorld Energy Conference、更に、World Energy Councilとなった。和文名称は、いずれも、世界エネルギー会議である。

WE Cの加盟国は、毎年若干の加入・脱退があるが、約100か国に及び、各国の組織を国内委員会（Member Committees）と呼ぶ（正確には、香港、台湾等も含むので、「国及び地域」であるが、便宜的に「国」とする）。日本では、（社）日本動力協会に世界エネルギー会議日本国内委員会が置かれている。

WE Cの本部は、ロンドンにおかれ、組織としては、会長（President）、事務局長（Secretary General）の他、決定機関としての執行理事会（Executive Assembly, EA）、その下に、管理委員会（Administrative Committee, AC）、プログラム委員会（Programme Committee, PC）及びスタディーズ委員会（Studies Committee, SC）の3常設委員会がある。

定期大会は、当初6年間隔で開かれたが、

最近は、3年間隔である。EAは、毎年1回、3常設委員会は、毎年2回ずつ開かれる。定期大会は、SCとPCの下で大会の合間の3年間実施される調査、研究の報告も行われるので、WE Cの活動の纏めの場と世界の官民のエネルギー関係者の交流の場との二つの面を持つ。

東京大会開催迄の準備

前述のように、過去15回の大会の多くが欧米地域で開催され、広義のアジア・太平洋地域で開かれたのは、メルボルン（1962）とニュー・デリー（1983）のみである。ただし、日本では、戦前（1929）、戦後（1966）に1回ずつ、部会（Sectional Meeting）が開かれた。

日本は、エネルギー資源には恵まれないが、その消費量では、米、旧ソ連（あるいはロシア）及び中国に次ぎ、世界第4位の規模で、エネルギー輸入量では、世界最大の市場である。この意味で、大会開催国になるのが16番目というのは遅い感じもある。日本での大会開催が決まったのは、1989年の第14回大会（モントリオール）の際のEAであった。東京地区での開催を決めたのは、翌90年のブエノス・アイレスのEAであった（会場は、施設規模、宿泊等関連施設の利便性等から幕張メッセとなった）。

日本における準備体制として、1990年に関係業界団体により、「世界エネルギー会議第16回大会準備委員会」が発足し、翌1991年初頭に「世界エネルギー会議東京大会組織委員会」に改組され、同年4月に財団法人となった。当組織委員会の会長には、生田豊朗・（財）日本エネルギー経済研究所理事長が、副会長には、（社）日本動力協会会長兼世界エネルギー

会議日本国内委員会委員長(当初、堀一郎氏、1994年より、宮原茂悦氏)の他、電気事業連合会、(社)日本電機工業会、石油連盟、(社)日本ガス協会及び日本石炭協会のエネルギー業界5団体の長が、また理事として、関連業界団体の長がそれぞれ就任された。名誉会長には、平岩外四・(社)経済団体連合会会長(現在名誉会長)をお願いした。更に、平成4年7月に皇太子殿下を名誉総裁に推戴した。

大会行事の中核であるテクニカル・プログラムについては、茅陽一・東京大学教授(現在同名誉教授・慶応義塾大学教授)を委員長とするテクニカル・プログラム委員会(Technical Programme Committee, TPC)が大会テーマの選定、論文募集要項、日程編成、担当者割当て等に当たった。大会の講演者、議長等の選定はロンドンの本部事務局との分担で行われ、TPCの提案は、PCで議論され、了承されるという手続きであるため、TPC側からは効率性、成果双方の点で満足しがたい面もあった。しかし、大会運営面においては、日本の産・学・官のエネルギー専門家を広く動員しただけの成果は大きかった。

東京大会のテーマは、「エネルギーと人類の将来—われわれは何を求められているか—」(Energy for Our Common World - What will the Future ask of us?)であることは、前述したが、その狙いは、地球的、長期的、行動指向的なエネルギー問題の議論の盛上がりにあった。地球的というのは、国連成立から50年を経て、地球社会としての一体性も現実化し、また、エネルギー市場も世界的に統合化が進んでいるという認識に立つ。また、長期的視点は、21世紀を間近に控え、エネ

ギー多消費型の工業化文明の進展した20世紀に環境問題の深刻化が進んだことを省みて、持続的発展に適うエネルギーの開発・利用を求め、長期的な取組が必要との認識から求められる。更に、WEC大会は、官民のエネルギー関係者の国際的な交流の場であり、意思決定者の集団なので、行動指向的な議論を求めるのは、当然であろう。

テクニカル・プログラムは、このテーマの下で募集論文を中心に組み立てられ、特に、基調講演(Keynote Addresses, KA)、論文セッション(Papers Sessions, PS)及び総括セッション(Review Session, RS)の構成では、テーマを以下の4部会テーマに分解して、13論文セッションを設けた。

第一部会 「エネルギーと経済発展」

第二部会 「将来の持続可能なエネルギー供給」

第三部会 「より効率的なエネルギー利用」

第四部会 「より良い環境のためのエネルギー」

部会と論文セッションの詳細については、表1を参照してほしい。また、この表では、大会のテクニカル・プログラムの中の世界的なエネルギー問題を広く取り上げる、招待講演(Global Energy Addresses, GEA)及びパネル討論(Round Tables, RT)、更に、WECの3年間の調査・研究報告をする作業部会(Working Groups, WG)等のセッションも示した。

東京大会の特色を出すために、二つの工夫がなされた。一つは、モントリオール大会で始まった若人によるエネルギー問題の討論会をユース・エナジー・シンポジウム(Youth

表 1 セッションタイトル

論文セッション (PAPERS SESSIONS) 第1部会：エネルギーと経済発展 PS 1.1：エネルギー・インターフェイス PS 1.2：エネルギー・資源・供給 PS 1.3：国際・地域協力 PS 1.4：発展途上国および旧ソ連・東欧圏のエネルギー 第2部会：将来の持続可能なエネルギー供給 PS 2.1：エネルギー・供給システム PS 2.2：化石エネルギー新技術 PS 2.3：非化石エネルギー技術 PS 2.4：エネルギー供給の社会的側面 第3部会：より効率的なエネルギー利用 PS 3.1：効率的エネルギー利用技術 PS 3.2：省エネルギー政策 第4部会：より良い環境のためのエネルギー PS 4.1：地球環境問題 PS 4.2：環境対策技術 PS 4.3：環境政策 招待講演 (GLOBAL ENERGY ADDRESSES) GEA 1：21世紀に向けてのエネルギーシステム GEA 2：転換期の世界におけるエネルギーの地政学 パネル討論 (ROUND TABLES) RT 1：エネルギー・政府規制と市場競争の調和 RT 2：アジア太平洋地域におけるエネルギー開発：課題と展望	RT 3：生活とエネルギー：理想と現実 RT 4：エネルギー開発と金融：成功例と失敗例 RT 5：交通問題と環境：技術でどこまで解決できるか？ RT 6：エネルギーと環境：2100年からの視点 WEC調査報告 (WEC WORKING GROUP SESSIONS) WG 1 (Plenary)：WECプロジェクト総括セッション WG 2：中・東欧圏のエネルギー WG 3：経済的手段と環境問題の解決 WG 4：発展途上国のエネルギー開発と財政 WG 5：エネルギーの合理的利用 (交通、ハイテク、政策) WG 6：地域のエネルギー・環境問題 WG 7：長期エネルギー展望 WG 8：火力・原子力発電所の運転実績 WEC新刊紹介 (NEW WEC PUBLICATIONS) WEC講演 (SPECIAL CONGRESS ADDRESSES) SCA 1：気候変動に関する議論と今後 SCA 2：電気事業経営とTQC 日本のエネルギーセミナー (JAPAN ENERGY SEMINAR) JES 1：長期かつ地球的規模でのエネルギー問題の課題 JES 2：長期かつ地球的規模でのエネルギー協力の課題
---	--

Energy Symposium, YES)として大会の総括セッションに報告させるように、大会行事としての有機的関連性を持たせたことである。次世代の意見の尊重は、長期的展望を目指す大会の性格にも適うものがあった。

他の一つは、開催国のエネルギー問題に焦点を当てる「日本のエネルギー・セミナー」

(Japan Energy Seminar, JES)を最終日の行事として設定したことである。エネルギー産業やエネルギー政策についての日本からの情報発信を狙ったものである。

大会行事には、この他、開会式、閉会式、文化の夕べ、同伴者行事等の社交文化行事、工場・施設見学(Technical Visits)、会議中・

会議後の観光旅行、併催行事としての展示会等がある。これらの企画・立案のため、社交文化行事については総務委員会が、工場・施設見学及び観光旅行についてはツアー委員会が、展示会については広報・展示委員会が設けられて、検討を行った。更に、特に同伴者行事や旅行について同伴者としての視点等からの検討のために夫人委員会を総務委員会及びツアー委員会の諮問機関として設けた。これらの行事は、過去の大会、特に前回のマドリッド大会の例を参考にして検討が行われた。但し、展示会については、前回は、セビリヤ万博と時期が重なり、開催されなかったが、本部等の勧めもあり、実施することとなった。また、後述の千葉県の支援行事として休日の10月10日に日本文化の日として県内のボランティアによる華道、茶道等の実演が行われることとなった。更に、毎年行われる電源地域の特産品・芸能等の紹介をする「ふるさとじまん市」がこの時期に行われることとなった。

大会の準備には、この他、宿泊施設の確保、輸送計画、予算等が重要である。これらの計画は、前述の総務委員会において検討された。予算の上では、大会登録料以外に寄付金募集が重要であった。特に、円高傾向の中で、日本の物価の相対的な高さが目立ち、登録料も高く設定し難く、景気低迷の中での寄付金募集にも困難が伴った。しかし、予算の再検討による支出の削減と共に、経団連の支援、大蔵省の指定寄付、関係業界のご理解等により、必要な収入も確保し得た。また、この過程で、(財)千葉コンベンション・ビューローを中心に地元公共団体・経済団体、当組織委員会を構成員とする「世界エネルギー会議千葉協議

会」が結成され、支援行事等が検討された。ここでは、前述のボランティア行事のほか、輸送計画、ホテル・地元商店の対応等が議論された。

東京大会の状況

東京大会の日程は、10月8日(日)から13日(金)まで表2のとおりである。これに先立ち、常設委員会が4、5両日、EAが6日に開かれた。この期間中の参加者は、表3の通り、同伴者、YES参加者、招待者を含め、5,200人で、日本と海外の参加者がほぼ半半ずつであった。また、展示会の来場者は、62,000人を数えた。

大会の開会式は、生田会長の開会の辞に始まり、名誉総裁である皇太子殿下、同妃殿下ご臨席の下、皇太子殿下の開会宣言、ゴメス・デパブロスWEC会長、オットEA議長の挨拶、村山総理大臣、橋本副総理兼通産大臣、沼田千葉県知事の祝辞と続き、平岩名誉会長の閉会の辞で締め括った。

大会の議論は、9日(月)の基調講演に始まり、13日(金)の閉会式での「結論と勧告」の発表で終わった。

基調講演は、前述の4部会の論点を紹介するもので、それぞれ、キム・チュルス・世界貿易機構(WTO)事務局次長、J.S.ジェニングス Royal Dutch Shell 副会長、M.P. フレスコGE副会長及び那須翔・東京電力(株)会長が登壇した。また、この日は、もう一つの全体会合のWG1で、WECの3年間の調査・研究の総括報告が行われ、並行会合としてPSとWGも開かれた。昼には、B.ボリーン気候変動に関する政府間パネル(IPCC)議長による気候変動問題についての特

表 2 大会日程・主要行事

日 程	会 議 ・ 式 典	社交行事・文化行事・ツア	展 示 会
10/ 8 (日)	開会式	観迎レセプション (プリンス, ニューオータニ)	世界エネルギー展 東京 '95
10/ 9 (月)	基調講演 (KA) 特別講演 (SCA) 論文セッション (PS) WEC調査報告 (WG)	モーニングセッション テクニカル・ビジット 観光ツアー	
10/10 (火) (体育の日)	招待講演 (GEA) 論文セッション (PS) パネル討論 (RT) WEC調査報告 (WG) WEC新刊紹介	日本文化の日 テクニカル・ビジット 観光ツアー	
10/11 (水)	論文セッション (PS) パネル討論 (RT) WEC調査報告 (WG)	文化の夕べ モーニングセッション テクニカル・ビジット 観光ツアー	
10/12 (木)	特別講演 (SCA) パネル討論 (RT) WEC調査報告 (WG) 総括セッション (RS)	モーニングセッション テクニカル・ビジット 観光ツアー	
10/13 (金)	日本のエネルギーセミナー 閉会式	送別晩餐会 (東急, ヒルトン, シェラトン, プリンス, ニューオータニ)	
10/14 (土)		ポストコンGRESS ツアー出発	

表 3 WEC 東京大会参加者内訳

	海 外	日 本	計
正 参 加 者	1,809	2,259	4,068
同 伴 者	622	273	895
Y E S	103	39	142
招 待 者		98	98
計	2,534	2,669	5,203

(注) プレス 405 (内同伴者 3) 人を含む。
85ヶ国, 19国際機関

別講演が行われた。

その他の全体講演としては10日(火)に二つの招待講演 (GEA) が行われ, 「21世紀に向けてのエネルギーシステム」のテーマで R. V. ジョルダナーノ・ブリティッシュ・ガス会長, 葉青・中国国家計画委員会副主任及び D. ヤーギン・ケンブリッジ・エナジー・リサーチ・アソシエーツ社長が, 「転換期の世界における

エネルギーの地政学」のテーマで A. ジロー・元フランス工業大臣, E. Z. ナワクウィ・ザンビア・エネルギー・水開発大臣及び豊田章一郎・(社)経済団体連合会会長がそれぞれ講演した。この日から, RT が始まり, PS, WG の議論も合わせて, 12日(木)の総括セッションに至った。総括セッションでは, E. エル・シャウカウィ・エジプト電力・エネルギー省技術顧問, G. M. スフリジオッティ・ソツイエタ・キミカ・インテルナツィオナーレ社長, 江崎格・資源エネルギー庁長官及び P. ガドネックス・フランス・ガス社長が各部会ごとの議論の取りまとめを発表した。更に, YES 代表者により若人たちの議論の結果の報告も行われた。また, 12日の昼には, 小林庄一郎・関西電力(株)会長の「電気事業経営と TQC」と題するもう一つの特別講演が行

われた。

13日(金)の午前中には、JESが開かれ、第一部「長期的かつ地球規模での日本のエネルギー問題の課題」では、H.シュテグIEA前事務局長の基調講演に続き、日本のエネルギー業界代表として、安部浩平・中部電力㈱会長、出光裕治・石油連盟会長、渡辺宏・(社)日本ガス協会会長、菊池功・(社)日本電機工業会会長及び杉山和男・電源開発㈱社長からの討論が行われた。第二部「長期的かつ地球規模での日本のエネルギー協力の課題」

では、江崎格・資源エネルギー庁長官の基調講演に続き、サルベ(インド)、スジャーナ(インドネシア)、レオ・モギー(マレーシア)、ビライ(フィリピン)及びエギアガライ(スペイン)の各エネルギー関係関係及びP.J.アダム Black & Veatech 会長の海外代表からの討論が行われた。

以上の討論の場において、日本側は、各セッションの開催国側副議長(Host Vice-Chairmen, HVC)をTPC委員(表4)

表4 テクニカル・プログラム委員名簿(HVCとしての担当セッション)

(委員長)	茅 陽 一	慶應義塾大学大学院 教授	
(副委員長)	宮 副 信 隆	石油連盟 常務理事	(Div 1)
	川 路 恭 郎	東京電力(株) フェロー	(Div 4)
	鈴 木 耕 三	(社)日本ガス協会 常務理事	(Div 3)
	野 田 豊 司	(株)明電舎 取締役副社長	(Div 2)
(委 員)	竹 内 正 明	大阪ガス(株) 取締役研究開発本部副本部長 兼研究開発所長	(PS 4.1)
	森 詳 介	関西電力(株) 支配人企画室長	(PS 3.2)
	富 永 博 夫	埼玉工業大学 教授	(PS 2.4)
	竹 村 洋 三	(財)省エネルギーセンター 常務理事	(RT 3)
	中 井 毅	資源エネルギー庁 長官官房企画調査課長	
	木田橋 勉	新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事	(PS 2.1)
	村 上 昌 三	新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事	(PS 4.2)
	八 木 達 雄	中部電力(株) 取締役企画室部長	(PS 4.3)
	山 保 太 郎	電源開発(株) 取締役	(PS 1.1)
	矢 島 昭	(財)電力中央研究所 理事	(RT 1)
	三 神 正 博	東京ガス(株) 国際部国際企画グループ マネージャー	(PS 1.3)
	澤 口 祐 介	東京電力(株) フェロー	(PS 2.3)
	阿 部 進	(株)東芝 専務取締役	(RT 6)
	橋 本 幸 雄	(社)石油学会 常務理事	(RT 4)
	中 島 泰 夫	日産自動車(株) 常務取締役総合研究所長	(RT 5)
	藤 目 和 哉	(財)エネルギー経済研究所 常務理事	(RT 2)
	眞 勢 修 平	三井鉱山(株) 理事技術開発部長	(PS 2.2)
	奥 出 克 洋	三井物産(株) 顧問	(PS 1.2)
	河 村 友 槌	三菱重工業(株) 特別顧問	(PS 1.4)
	鈴 木 敏 夫	三菱電機(株) 取締役制御製作所長	(PS 3.1)
(幹 事)	山 地 憲 治	東京大学 教授	
(副 幹 事)	鈴 木 浩	三菱電機(株) 電力変電技術部長	

のほぼ全員に加え、(主としてPS, RT及びWG), 安西邦夫・東京ガス(株)社長(GEA1), 多田公熙・中国電力(株)社長(GEA2), 原田正・石炭協会会長(JES1)及び坂上富士男・(社)日本動力協会専務理事(新刊紹介, NWP)が務められた。また、議長として、岡久雄NEDO前理事長(PS4.2), 茅TPC委員長(KA, RS), 生田会長(SCA)及び宮原副会長(JES2)が務められた外, RTパネリストとして、大西正文・大阪ガス(株)会長(RT1), 佐波正一(株)東芝相談役(RT2), 鶴巻良輔・昭和シェル石油(株)相談役(RT5)及び加納時男・東京電力(株)常務取締役(RT6)が、WGパネリストとして、阿比留雄・日本原子力発電(株)社長及び横堀(WG3), 広瀬通孝・東京大学助教授(WG5)並びに茅教授(WG7)が登壇した。

13日午後に閉会式が行われ、オット、ベーカー新旧両議長による「結論と勧告」の紹介、リンゼイ事務総長による総括報告、ゴメス・デ・パブロス及び生田新旧両会長の引継ぎ、生田会長からD.D.ジョーダン・ヒューストン大会会長への引継ぎが行われ、ヒューストン市と千葉市が姉妹都市であることからジョーダン氏への松井旭・千葉市長からの花束贈呈等が行われた。開会と閉会の辞は、開会式と同様、それぞれ、生田会長、平岩名誉会長により行われた。

これらの大会行事を通じて、各会合がほぼ定時に開始、終了し、出席状況も極めて良好であったこと、活発な議論が行われたこと、日本からの出席者がおよそ半分で海外の参加者との意見交換も良く行われていたこと、会議後の議論の要約報告もほぼ指定時間内に作成され、効率的であったこと、致命的な事故

がなかったこと等は、大きな成果であったと考える。他方、今後の運営の課題として議論の時間が不十分であった等の批判もあるほか、経費節減と効率化の見地から導入したCD-ROMが原稿入手の遅れもあって、大会開始後に到着する等の問題もあった。

関 連 行 事

大会関連行事として、上記の会合に関連するのが、YESである。この参加者は、日本からの27名(内女性6名)を含め、39国内委員会から123名(内女性34名)が参加した。この運営にあたっては、電気学会と機械学会両学会の若手メンバーにアドバイザーとしての協力を得た。全体会合、グループ別討議、一般公開セミナー(吉川弘之・東京大学総長及びボリーン教授の講演)による構成であった。討議結果は、前記のとおり、RSに報告されたが、内容的にもしっかりしている、との評価であった。

展示会は、会場の幕張メッセの3ホールに国内83社(展示面積5,322m²)、海外91社(同3,020m²)、計174社(同8,342m²)、とかなり一杯の出展状況であり、来場者も当初予想の5万人を上回る、62,000人であった。出展内容も幅広いエネルギー生産・利用機器、技術、情報にわたり、政府展示もあり、一般入場者にも親しみやすく感じられた。

期間中の工場・施設見学の希望参加者は、大会開会前に収容能力を上回るころが多かったが、現実の参加者が申込数を下回り困ったが、それでも過去の大会を上回る規模(1,200名)となった。見学先の多くは、京浜・京葉工業地帯のエネルギー関連施設であったが、筑波学園都市等の試験研究機関も含まれ

ている。

大会期間中の観光旅行は、関東地方が中心で、1,645名が参加、終了後のもの (Post-Congress Tour) は、日本各地と韓国で、234名が参加した。後者は、施設見学も組み込まれており、訪問先の企業が幹事として、参加者への支援を行なった。

社交文化行事の内、歓迎レセプションは幕張の2ホテル、晩餐会は幕張及び浦安市舞浜の5ホテルを会場として開かれた。開会式当日は、生憎雨で、レセプションは室内で行なわれたが、両ホテルが隣同士であって、行き来できたこと、ホテル側の柔軟な対応でアトラクションも可能だったことから、円滑に進んだ。皇太子殿下、同妃殿下も海外からの出席者等のご挨拶をお受けになり、レセプションも盛り上がった。晩餐会は、二つの地区に分けざるを得ない上、特に、招待者席の無断欠席者への対応に苦労があったが、全体的に、大きな不満を残さず、終了し得た。また、閉会式終了後、晩餐会前に、サヨナラ・ドリンクの機会を設けて好評であった。

10月11日(水)の夜には、「文化の夕べ」として、能と狂言(国立能楽堂にて「紅葉狩り鬼揃」と「蝸牛」)、歌舞伎(国立劇場にて「俊寛」)、日本の踊り(浦安市文化会館にて日本民族舞踏団)及びコンサート(サントリー・ホールにて小林研一郎指揮、東京フィルハーモニー交響楽団)の上演が行われた。

同伴者プログラムとしては、10月9日、11日、12日にモーニング・セッションとして、それぞれ市村萬次郎丈による外国人のための歌舞伎教室、(社)霞会館衣紋道研究会による十二単の着装及び坂東真理子・埼玉県副知事による講演「日本社会における女性の役割」

が行なわれ、好評を博した。また、10日には、千葉県の支援プログラムの「日本文化の日」として、茶道、華道、書道、着物着付け、武道等実演が行なわれ、883名の参加があった。また、11、12両日には、習志野市及び千葉市のご好意で、それぞれ、谷津干潟訪問ツアー及び千葉市街観光ツアーが開催された。この千葉の支援プログラムには、地元のボランティアが多数参加され、心の籠ったもてなしとなった。

以上の他、大会開催時期と重なった、電気じまん市、千葉グリーン・フェア、朝日ソーラー・カー・ラリー等も大会参加者の息抜きの場を提供した。

「結論と勧告」の要点

大会閉会式で報告された「結論と勧告」は、前文、課題、結論及び勧告から成るが、重複する部分もあるので、筆者なりに要約すれば次のとおりである。

課題として、1992年以来のエネルギー分野での展開は、エネルギー供給危機がなかったばかりでなく、生産能力の拡大、規制緩和等の制度的改革、生産・利用技術の進歩、エネルギー企業の活動範囲の拡大等で、楽観的に見えるが、今なお電力等の商業エネルギーの供給を受けず世界人口の4割(20億人)の窮状に対処し、今後の不可避な人口増加、経済発展の必要性、環境への配慮を満たす長期的に持続可能な開発への道筋を達成するため、今から行動する必要がある、と指摘する。

結論と勧告は、重複が多いが、以上の状況認識に基づき、取るべき行動として、一朝一

夕の解決は不可能であり、そのためには、費用がかかるとの認識を示し、エネルギーに関する補助金の段階的撤廃、環境費用を含む全費用を反映した価格の実現をまず、訴える。更にその他の措置として、以下を求めている。

- ① 商業エネルギーの供給を受けない世界人口4割(20億人)の窮状打開のための政府間国際協力。
- ② 政府・業界による長期的に持続可能な開発の理解増進のための教育・啓蒙
- ③ 新再生可能エネルギー^{*}の商業的供給、エネルギー効率化促進のための官民の研究開発費の増加と効率化
- ④ 政府・業界による技術開発と正確な情報提供による原子力発電への公衆の受容れ確保
- ⑤ 政府・規制者による競争の有効化と市場の長期的思考への誘導
- ⑥ 政府、私企業及び最終需要者の間の新たな協力関係(Partnership)の形成

東京大会後の会合では、日本側のエネルギー関係者の間でこの結論と勧告に関して、補助金廃止については、エネルギーの社会的性格との関連、国別の状況の違いから一律には扱えないのではないか、原子力発電に対し消極的ではないか等の批判がある。前者については、そのような面もあるが、むしろ日本では、公害・安全対策から外部費用の内部化も相対的に進んでいるので、日本にとって、好ましい議論と思う。また、後者について、各国の対応は、まちまちであり、安全対策が不十分な国もあるので、安全対策の重視は必要

である。但し、大気汚染を伴わない平常な運転状況での原子力発電の長所は、認識されるべきである。総体的に、この結論と勧告は、満足し得ると考える。

東京大会の成果

東京大会の成果としては、次の点が指摘される。

第一に、日本で初めて開かれた、エネルギー関係の最大級の国際会議であり、多数の日本の参加者にとり、エネルギー問題の国際的広がり、日本の抱える問題との対比について、例えば、規制緩和問題についての考え方の多様性が実感を持って、考察できたことである。同時に、海外からの参加者も日本のエネルギー問題、例えば、日本における原子力発電所の安全性への取組、エネルギー利用効率向上、将来のアジア・太平洋地域におけるエネルギー自給度の低下への懸念等について理解を深め得たことであろう。この成果をもたらした一因は、指導的な立場の日本のエネルギー関係者が多数大会に参加されたことであろう。

第二に、内容に若干の不満はあるにせよ、かなり釣り合いの良く取れた、大会の「結論と勧告」が円滑に作成されたことである。大会のテーマの長期的、地球的視野で行動指向的な問い掛けに対する回答としても適切と考える。

第三に、地元千葉県関係者を含め、日本での大型の国際会議開催についての有益な経験を積み、自信を付けたことである。大会の議

^{*}「新再生可能エネルギー」には、太陽、風力、地熱、近代的バイオマス及び大規模水力が含まれる。

論の内容のみならず、参加者への対応について、高い評価を得たことは、大きい。参加者が、また、日本に対して、好印象を持って、帰国したことも大事なことである。関係者各位のご尽力の賜物である。

第四に、東京大会では、幾つか新たな試みを実施したが、いずれも概ね成功であった。YESのRSへの報告、JESの採用、CD-

ROMの導入、大会晩餐会の金曜夜の開催(従来は木曜夜)とホテルでの分散開催等がこれである。CD-ROMについては、前述のように、到着が遅れたが、品質的には高く、汎用性もあり、利用者には好評であった。これらは、いずれも質を損なわずに、会議運営の効率性や費用節減に効果があった。今後のWEC大会運営に参考になると期待したい。



〔寄稿〕

ヨーロッパ諸国における高レベル 放射性廃棄物処分プログラムの現況*

カーラマン ツナボイル** (コレンコ・パワー・コンサルティング社
シニア・プロジェクト・マネージャー)

抄訳 蛭沢重信 (財)エネルギー総合工学研究所
主管研究員 兼 企画部長補佐)



1. 序

高レベル放射性廃棄物 (HLW: 使用済み燃料の再処理により発生する高放射性の固化廃棄物あるいは使用済み燃料そのもの) は、発熱量が許容されるレベルに下がるまでの40~50年間中間貯蔵されることになる。従って、HLWの処分およびそのための地質構造を利用した地下処分場が直ちに必要になるというわけではない。

しかしながら、2020~2030年までの期間は、重要な課題の解決のため、並びにサイト調査とサイト選定のために有効に活用せねばならない。

従って、HLW管理における第一のステップは、HLWの安全な中間貯蔵ということになる。HLW管理における今日の状況は、主に、原子力発電所サイト (湿式あるいは乾式オプション) あるいは原子力発電所サイトから離れた集中中間貯蔵施設サイト (乾式または湿式オプション) における使用済み燃料集

合体の中間貯蔵、さらに使用済み燃料集合体を再処理した後のHLW固化体の中間貯蔵である。HLW固化体の中間貯蔵は、現在のところ再処理プラント (つまり、ラ・アーグあるいはセラフィールド) のサイトで実施されている。しかしながら、再処理に関する二国間協定によれば、再処理の委託者は、再処理廃棄物 (HLWガラス固化体を含む) の返還を引き受けなければならないことになっている。

2. HLW管理の選択肢

いくつかの国における現行の燃料サイクル管理基本方策を大別すれば、3つのカテゴリに分類しうる。(図1参照)

- 再処理を含む「閉じた燃料サイクル」
- 使用済み燃料集合体 (SFA) の直接処分を含む「ワンス・スルー・サイクル」
- SFAの長期中間貯蔵を含む「状況待ち (wait and see)」オプション。この管理プログラムは、目下評価検討中である。

* 本ペーパーは、(財)エネルギー総合工学研究所 第122回月例研究会 (1995年2月) の講演資料に、その後の状況進展を加筆修正されたものである。

** Kahraman Tunaboylu

Senior Project Manager Nuclear Technology and Safety Colenco Power Consulting Ltd.(Switzerland)

燃料サイクルに関する現在の考え方は、二つの異なる方向に分けることができる。

	決定待ち	直接処分 ワンススルー	再 処 理
アルゼンチン	●		●
ベルギー			●
ブラジル			●
ブルガリア	●		●
カナダ		●	
中国			●
チェコ	●		●
フィンランド	●	●	●
フランス			●
ドイツ		●	●
ハンガリー	●		●
インド	●		●
イタリア	●		●
日本			●
韓国	●		
リトアニア	●		
メキシコ	●		
オランダ			●
パキスタン	●		
ロシア			●
スロバキア	●		●
スロベニア	●		
南アフリカ	●		
スペイン	●		●
スウェーデン		●	
スイス	●		●
英国	●		●
ウクライナ	●		●
米国		●	

図1 各国の使用済核燃料管理の方針

① 伝統的な燃料サイクル（閉じたオプション）

使用済み燃料を再処理し、エネルギー源であるウランおよびプルトニウムを再利用するこの戦略の技術的および安全性のフィージビリティは、スイス、ドイツ、フランス、日本、ロシアおよびイギリスにおいてすでに立証されているが、商業規模では未だに達成されていない。最近の燃料サイクル市場（低濃縮ウランおよび濃縮価格）および高コストのプルトニウム・ウラン混合酸化物（MOX）燃料製造および再処理に関する最近の情勢は、このオプションが「ワンス・スルー」方策と比較して、競争力のないものにしている。

これは、特に、世界的規模での高速増殖炉技術開発からの撤退によるところが大きい。ヨーロッパでは、高速増殖炉は、2010～2030年頃に商業規模での実現が見込まれているが、熱中性子炉でのウランとプルトニウムの再利用は1～2サイクルに限定されている。このことが、今日、このオプションを極めて魅力のないものにしている。将来、一方で再処理とMOX燃料加工費を下げ、他方でウラン価格および濃縮価格が結果的に上昇して、これが原因となって変化が起こる可能性もある。

さらにこのオプションは、ヨーロッパ内および世界的にすべてのバックエンド廃棄物管理施設については、許認可上の困難を抱えるというハンディキャップを背負っている。

② 「ワンス・スルー」燃料サイクル

使用済み燃料集合体の長期中間貯蔵を伴う方式で、この方法のコストが低いことを考慮したとしても、使用済み燃料集合体中に残る未利用の有用なエネルギー源であるウランとプルトニウムを捨ててしまうという不利な点がある。さらに、このオプションは、超ウラン（TRU）核種がより多量に処分されることで、「閉じたサイクル」よりも環境面のリスクが高い。

両案の支持者は、いずれの選択がより有利かを示すべく努力している。しかし、ウラン供給、MOX製造および特に、使用済み燃料あるいは再処理廃棄物の最終処分に要する費用の価格設定に多くの不確実性があるため、双方の案を経済性の点から正確に示すことは難しい。

③ 「状況待ち（wait and see）」シナリオ

最も現実的な戦略である。しかし、このシナリオを採用すれば、貯蔵容量を長期間にわ

たって確保しなければならないことにつながる。長期間、例えば30～50年間の「状況待ち（wait and see）」の後、使用済み燃料を再処理することは、原子力発電所から燃料を取り出した後5～10年後に再処理するのに比べて技術的に容易であり、従って安価にできる。

各国はそれぞれの状況に応じて、使用済み燃料を直接処分するか、使用済み燃料を再処理した後の廃棄物を処分するかを決めることになる。ここで、最も重要な判断条件の一つは、再処理施設を持つか否かということである。再処理する国は、高レベル廃棄物固化体を処分することとなる。しかし、高レベル廃棄物ばかりでなく、セメント、あるいはビチューメン固化の低レベル廃棄物（特に、TRU核種を含む廃棄物）は、高レベル廃棄物と同様の深部地下処分場に処分しなければならない。このことは、処分費用を増大させることになり、使用済み燃料の「ワンス・スルー」（直接処分）オプションを有利なものにする。

図1に示すように、アメリカ、スウェーデン、ドイツ、フィンランドおよびカナダは、使用済み燃料の直接処分を選択している。再処理施設を持たないその他の国は、「状況待ち（wait and see）」を採用しており、将来の状況変化に応じ、前記2方策の選択の余地を残している。

再処理を選択している国（フランス、イギリス、日本）でも、イギリスのように使用済み燃料の直接処分のオプションを考慮しているところもある。

3. 欧州諸国における高レベル廃棄物処分プログラムの現状

2020年～2030年まで十分な時間があるが、

できるだけ早期に高レベル廃棄物の安全な処分の実現可能性を実証する必要がある。このことは、原子力による安全なエネルギーの生産について公衆が持つ高い関心からも重要である。

将来、この問題に対する国際的な解決策を見出すことは可能であろうし、また、望ましいことであるが、このことは、国内問題として解決することを避けてよいということを意味するものではない。

従って、ヨーロッパでは、原子力発電を行っている国は、すべてこの課題にそれぞれ各国独自の解決策を見出そうと努力している。いくつかの異なる処分方法を検討している国について、代表的な例を以下に述べる。

3.1 スイスの高レベル廃棄物処分プログラム

スイスでは、燃料サイクル管理の2案（再処理する場合と再処理しない場合）が二者択一で検討されている。従って、使用済み燃料の直接処分、または、使用済み燃料を再処理した後の中レベル廃棄物／高レベル廃棄物の処分が可能性のあるオプションである。

スイスの電力会社は、両方のオプションをオープンにしておく意向である。

(1) 処分コンセプト

○ 高レベル廃棄物と長寿命中レベル廃棄物の地層処分を見込んでいる。処分場は、立坑により、あるいは傾斜坑になる可能性もあるが、これらによりアクセスする深部施設になる予定である。（図2～4参照）

結晶質岩（花崗岩、片麻岩）および堆積岩のOpalinus ClayおよびLower Freshwater

Molaseが母岩として検討されている。処分場は、設置する深さに母岩があり、地下水の流れが微少で容易に予測できる場所で、かつ地質構造学的に動的でないところに設置されねばならない。このようなファクター

を考慮した結果、スイス北部の平原地域を潜在的な立地地域として選定した。安全解析のために必要な地圏のデータを取得するとの観点から、この地域の地質学的および水文地質学的状況が調査されてきている。

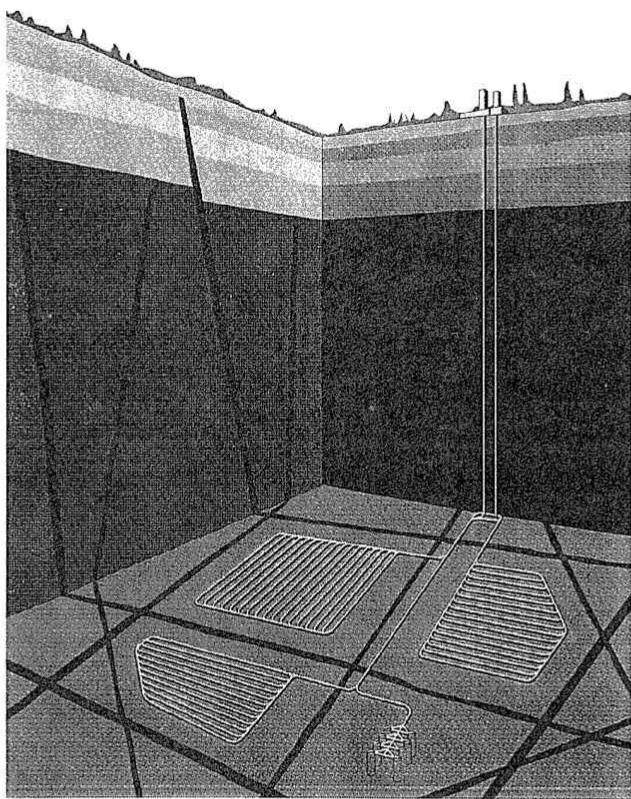


図2 深部地中処分概念図

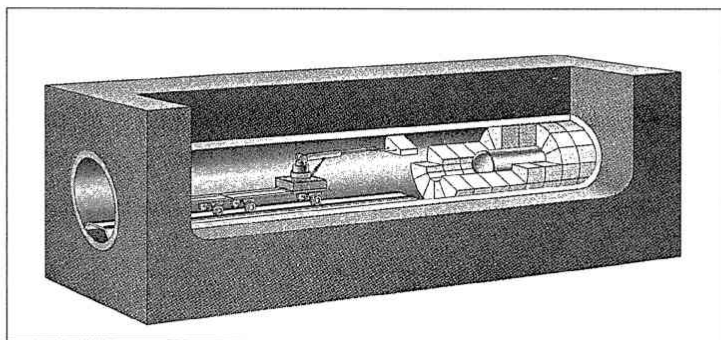


図3 水平坑道処分概念図

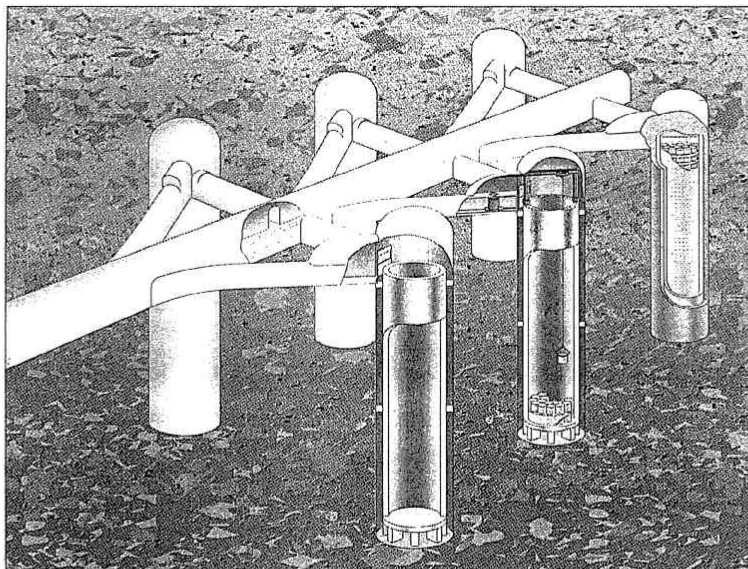


図4 処分孔処分概念図

- データバンクによりデータを集中管理する総合的な品質保証システムを確立し、処分場に受け入れられた廃棄物容器すべてについて正確なデータを提供する。このデータバンクは、製造・処理から、中間貯蔵・輸送を経て、処分場の特定な位置に設置するまでの、廃棄物の履歴を文書化するものである。
- 処分場は、既設の原子力発電所の運転期間中に発生する廃棄物量に応じて、規模が決められる。

(2) 安全の側面

- 高レベルおよび長寿命中レベル放射性廃棄物の最終処分の安全性は、多重バリアシステムによって保障されることになっている（図5，6を参照）。
- 高レベル放射性廃棄物は、耐浸出性のガラス・マトリックス中に固化される。放射性物質は、ガラス・マトリックスの中に分

子状に分散した形で埋まっている。ガラスブロックは、1000年以上の長期にわたる隔離を保証するため、鉄製容器の中に封入される。この容器自身は天然のベントナイト粘土を使用した人工バリアによって囲まれるが、このバリアは、10,000年以上もの期間にわたり、放射性核種の移行を有効に抑制することができる。最終処分場と地表間の地圏は、たとえ漏出しても、放射性物質の移行を抑制する役目を果たす。これにより、長寿命核種に対しても生物圏からの十分な隔離が保証される。

- 長寿命中レベル放射性廃棄物（TRU廃棄物）も、同じく固化された状態で処分される。セメントまたはその他の適切な物質による耐浸出性の廃棄物マトリックスが、第一の封じ込めバリアを構成している。その他のバリアは、空隙部へ充填したセメントモルタル、コンクリートおよびベントナイトによる内張りを持つ円筒状のサイロ、

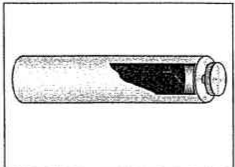
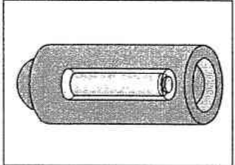
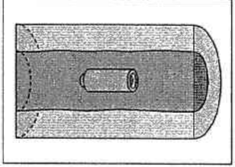
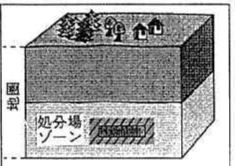
ガラス・マトリックス（鋼製鑄型内） ●ガラスの低腐食率 ●放射線による損傷に対する高い耐性 ●均一な放射性核種の分布 ●腐食生成物が放射性核種を取り込む	
鋼製容器 ●完全に廃棄物を1000年以上隔離する ●腐食生成物は化学緩衝物として作用する ●腐食生成物が放射性核種を取り込む	
ベントナイト埋め戻し材 ●長期再浸潤時間 ●溶解質の低い移行率（拡散） ●放射性核種移行の遅延（収着） ●化学的緩衝 ●浸出液における放射性核種の低い溶解度 ●コロイド・フィルター ●可塑性（物理的じょう乱の後の自己回復）	
地質的バリア 処分場ゾーン： ●小さい地下水流束 ●有利な水文化学特性 ●機械的安定性 地層： ●放射性核種移行の遅延（収着、マトリックス拡散） ●放射性核種濃度の低下（希釈、放射性崩壊） ●人工バリアの物理的防護（たとえば、氷河による浸食）	

図5 高レベル廃棄物の安全バリアシステム

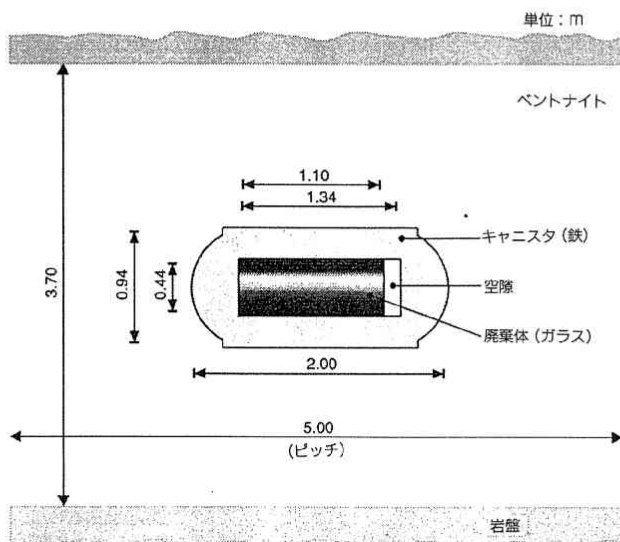


図6 Kristallin-1 安全評価で想定した人工バリアシステム

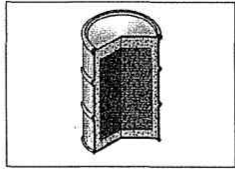
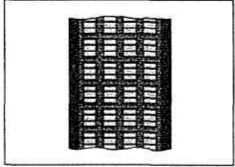
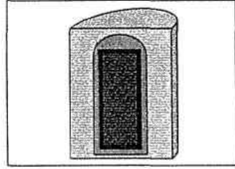
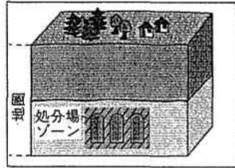
固体マトリックス（セメント，あるいはビチューメン） ●低い放射性核種放出率	
サイロ，埋め戻し材及び廃棄物ドラム （コンクリート，セメントしっくい，鋼鉄） ●化学的緩衝 ●溶解質の低い移行率 ●放射性核種の収着 ●放射性核種の低い溶解性 ●ガス放散が可能	
外部ベントナイト充填 ●水のアクセスを減少させる（低水圧伝導性） ●放射性核種の放出を遅延させる（拡散／収着） ●可塑性（物理的じょう乱の後の自己回復） ●コロイド・ファクター	
地質バリア 貯蔵場ゾーン： ●小さい地下水流束 ●有利な水文化学特性 ●機械的安定性 地圏： ●放射性核種の移行の遅延（収着，マトリックス拡散） ●放射性核種濃度の低下（希釈，放射性崩壊） ●人工バリアの物理的防護（たとえば氷河による浸食）	

図7 長半減期中レベル廃棄物（TRU）の安全バリアシステム

そして最後に母岩自体による構成となっている（図4，7を参照）。

- サイトの地質学と最終処分場の技術的構造に関するデータから，および搬入される廃棄物の特性とから，最終処分の安全性に関する定量的評価を引き出すのに必要な科学的方法が開発され，さらに国際的な比較作業の中で検証された。最終処分場内で進行する過程は自然界でも生じる。従って，自然界で見られる系と比較いわゆるナチュラルアナログすることで，処分場の安全性を評価するための数学モデルの信頼性を裏付けることができる。

- 処分場は，何らかの監視や管理（コントロール）を行なわなくとも長期間安全でなければならない。廃棄物の回収は技術的に容易であるが，長期安全性の観点から採用されることはない。積極的な安全機能を持つ管理方法，あるいは，要求される長期安全性を脅かす恐れのある管理方法は，検討の対象にならない。

(3) サイト選定プログラム

前述のとおり，地域的な堆積岩の調査，堆積岩と結晶質岩の両方から得られる調査結果の評価，および最終的には，限定した地域調

査を行い、高レベル廃棄物、長寿命中レベル廃棄物、および使用済み燃料の処分場サイトが2000年までに確立するのが望まれる。

これに関する手順と目標は、次のとおり。

- 1989年に行ったシブリングゲン (Sibilingen) のボアホール掘削調査をもって、スイ

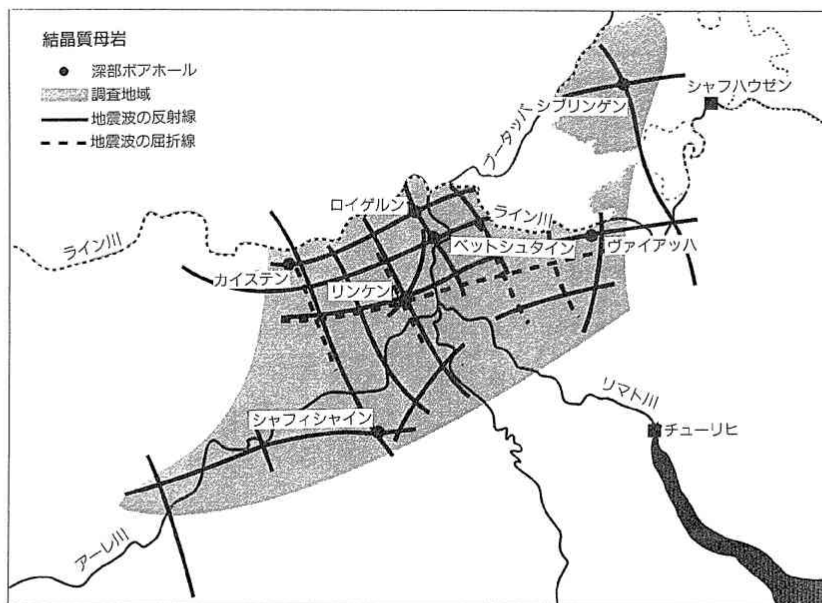


図8 スイス北部結晶質岩の深部ボーリング地域

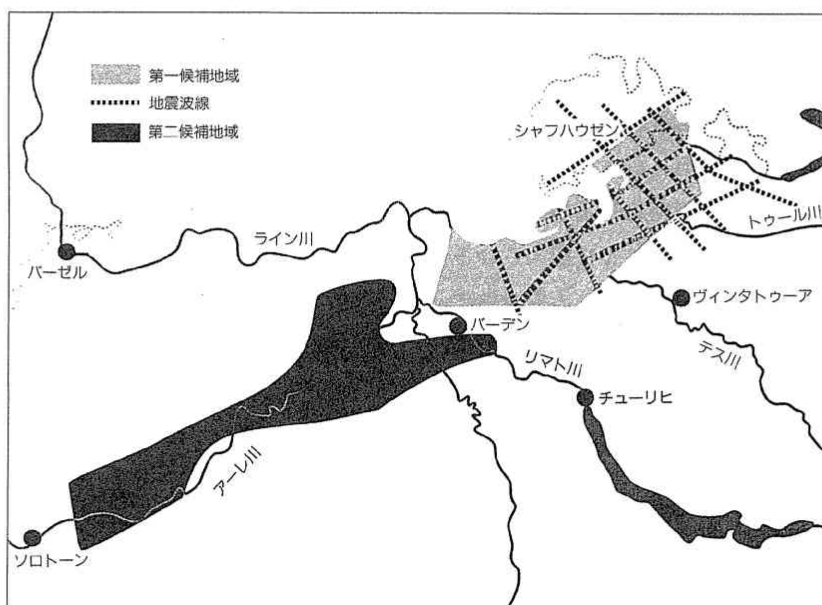


図9 Opalinus 粘土の調査地域

ス北部における結晶質岩深部掘削計画は終了した(図8参照)。結晶質岩の調査結果は、総合資料として1993年末に、安全評価レポートとして1994年に公表された。

- 1991年から1993年にかけて行われた Opalinus Clayに関する作業の重点は、アールガウ、シャフハウゼンおよびツールガウ各州、ならびにソロトーン州とベルン州のジュラ山地の南麓で行われた地震調査であった(図9参照)。1989年11月28日に発効した予備調査に関する規則によれば、このような調査は連邦政府による許認可を必要とするものではない。

- これと並行して、Lower Freshwater Molasseに対する地域調査が実施された。この調査結果については、連邦レベルで専門家の検討が行われ、今後の進め方が検討される予定になっている。サイト選定の実現可能性を実証するには連邦政府の許認可を必要とし、どの母岩が選ばれるかによって多少の延長調査が必要とされる。

- 2000年までに適切なサイトを特定することを目標とする。

最後にサイトの最終決定前に、処分場候補地の現地に深部地下岩盤研究施設の建設を必要とする。一方すでに試験および調査技術の開発のために、アルプス山中のグリムゼル峠の結晶質岩中に地下研究施設が設置されている。

3.2 ドイツの高レベル廃棄物処分プロジェクト

(1) 岩塩層への高レベル廃棄物と使用済み燃料処分の状況

ドイツでは、原子エネルギー法で、再処理が使用済み軽水炉燃料の廃棄物管理の標準オプションとして規定されている。電力会社は、

1989年の半ばにドイツ国内の再処理プラントの建設を放棄したが、少なくとも当面の期間にはフランスとイギリスとの間に結んだ再処理契約により使用済み燃料の再処理が行われる。再処理から発生する廃棄物は、ドイツに返還される。このうち、発熱廃棄物は岩塩層に設置する処分場に処分される予定であり、このためニーダーザクセン州ゴアレーベンの岩塩ドームでは、処分場を設置するための掘削が行われてきている。概念設計では全てのクラスの廃棄物を対象に容量 $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ を提案しているが、高レベル廃棄物と使用済み燃料集合体の処分が中心となっている。

深さ840~1100mの地点に、岩塩層に多数の水平坑道と垂直坑道を掘削し、延長約25kmの処分ギャラリーを設置する予定である。

ドイツでは、使用済み燃料の処分に関する研究が、1979年以来行われてきている。1984年までには技術的な概念は開発され、使用済み燃料を再処理する場合と直接処分する場合の総合的な比較研究が行われた。このような研究結果に基づき、連邦政府は1985年1月に使用済み燃料の再処理は技術的に実現化が困難であり、経済的にも適正でないため、使用済み燃料の直接処分の開発を進めるべきである、との決定を下した。電力会社は1989年にドイツ国内での再処理施設建設を放棄したため、使用済み燃料の直接処分が、将来ドイツにおいて廃棄物管理政策の中心的な課題になるとみられる。従来の原子エネルギー法では、直接処分よりも再処理と再利用に重点が置かれていたが、再処理と直接処分を並行して扱えるように改定作業が進められている。

ドイツでは、使用済み燃料を再処理せずに処分する研究は、技術的には実施可能などこ

ろまで到達している。ゴアレベンは、処理と容器封入を行うパイロットプラントが建設中であり、処分関連の実証試験が1：1（実規模）のスケールで行われている。さらに、再処理廃棄物と使用済み燃料の双方に対して共通処分場のレイアウトと最適化研究が実施されている。また、使用済み燃料処分に対する安全防護のコンセプトが開発され、現在、国際原子力機関（IAEA）とヨーロッパ原子力連合（Euratom）の場で議論されている。このように現在進行中の活動の結果は、ドイツにおける発熱廃棄物のための最初の処分場

の許認可手続きに先立ち十分な時間的余裕をもって明らかになる予定である。

(2) 処分コンセプト

使用済み燃料の処理と処分に対しては、2つの方法が検討されている。

- 一つは、POLLUXキャスクを用いて水平坑道に処分する（標準コンセプト）
- 二つ目は、POLLUXキャニスタを用いたボアホール中への処分（バックアップ・コンセプト）

この2つの方法で行う使用済み燃料の処理

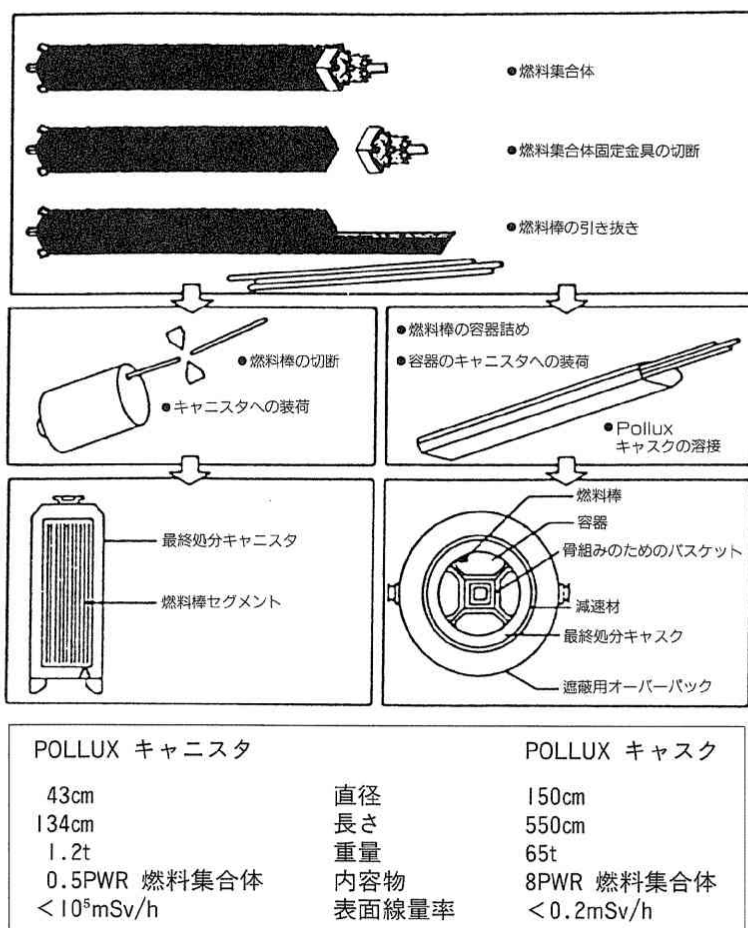


図10 軽水炉燃料集合体の処理技術

と容器封入の手順を系統的に図10に示す。

プロセスは、燃料集合体の解体からスタートする。標準コンセプト(図10の右欄に示す)では、固定化した燃料棒がキャスクの中に定置され、その周囲は遮蔽用のオーバーバックが施される。このようなパッケージはPOLLUXキャスクと呼ばれ、輸送、中間貯蔵および処分のすべてに対応できるように設計されている。キャスクの長さは約5.5m、直径は約1.5mで、重量は燃料棒を装荷した状態で65トン程度である。処分場では、水平坑道内に処分される。

使用済み燃料の処理と封入処理については、補完的な検討もされてきている。そのコンセプトは、図10の左欄に示すPOLLUXキャニスタを用いるものである。この場合、解体して単体になった燃料棒は約1mの長さにカットされる。この概念の長所は、処分場内での取り扱いと定置の技術が再処理固化廃棄物の場合と同様にできることである。つまり、処分水平坑道の床から下方にボアホールを掘削し、その中にキャニスタを定置するものである。

処分場におけるPOLLUXキャスクの取り扱いと定置の手順を図11に示す。定置する場所において、キャスクは搬送車から下され処分場所に定置される。水平坑道内でのキャスクの定置作業が終了すると、坑道を直ちに岩塩で埋め戻す。

(3) POLLUXキャスクシステム(図12参照)

一体のキャスクには、PWR燃料集合体10体まで収納可能である。

熱設計：使用済み燃料およびMOX燃料で

平均燃焼度55GWd/t以下

CASTORキャスクで用いられた中性子減速材の概念が、POLLUXキャスクにも適用された。CASTORキャスクは、燃料集合体の輸送と中間貯蔵のために用いられているキャスクである。遮蔽用オーバーバックを含めキャスク全体が処分のために岩塩中に定置される。この概念は最終的に決まったものではなく、変更の可能性もある。

3.3 ベルギーにおける高レベル/TRU廃棄物の処分プロジェクト

約20年前、モルにあるベルギー原子力研究センター(CEN/SCK)は、高放射性廃棄物の深部処分施設を設置するために、処分場として可能性のある地層を特定し、定量化するための調査に着手した。まもなくCEN/SCKは、ベルギー北部に広がる様々な深さのBoom粘土が可能性のある地層であるとの結論に達した。同研究センター地下の深さ230mに厚さ90mの層が存在するのを利用し、CEN/SCKは、地上と原位置(実際の地下の場所)で物質の特性を把握するための研究開発プログラムを開始した。

地下研究施設の設置を行い、高放射性処分実験サイト(HADES)プログラムを実行した。この地下研究施設を中心にした研究開発は、1980年代のはじめに最も活発に行われた(図13参照)。プログラムの第一期の数年間に収集された実験データに基づき、1986年から1988年の間に発熱固化廃棄物の処分場としての予備的安全解析を実施した。これは、欧州共同体のプロジェクトとして始められた地質学的隔離システムの性能評価(PAGIS)の一部として行われたものである。

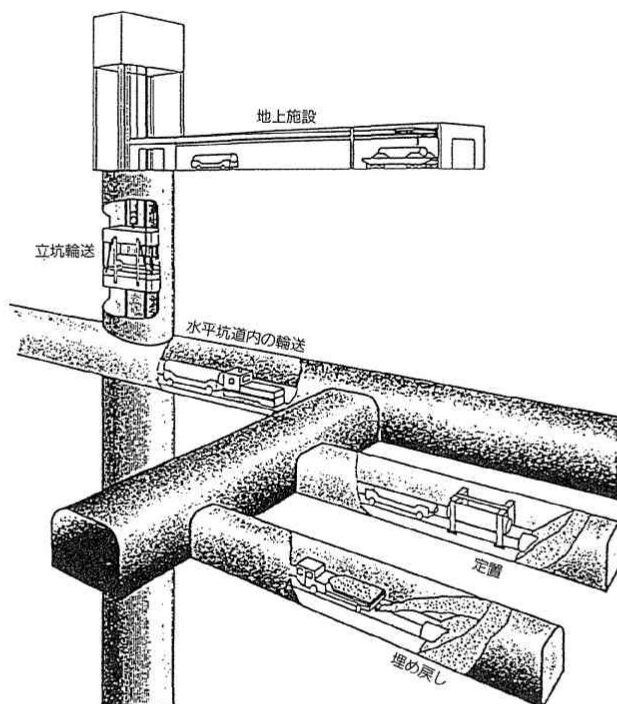
(1) 設計基準

処分場の設計は、次の2つの原則に基づいて決められる。

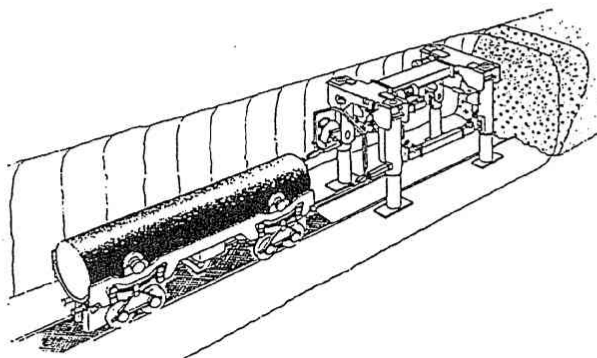
- ・ 処分場の建設により粘土層の厚さに偏りがでないように、処分場はできる限り水

平に保つべきである。

- ・ 粘土層が、処分場ギャラリーの周囲の粘土層の数メートルにダメージを与える可能性があるニアフィールドの影響を限定的なものにし、放射性廃棄物の処分に対

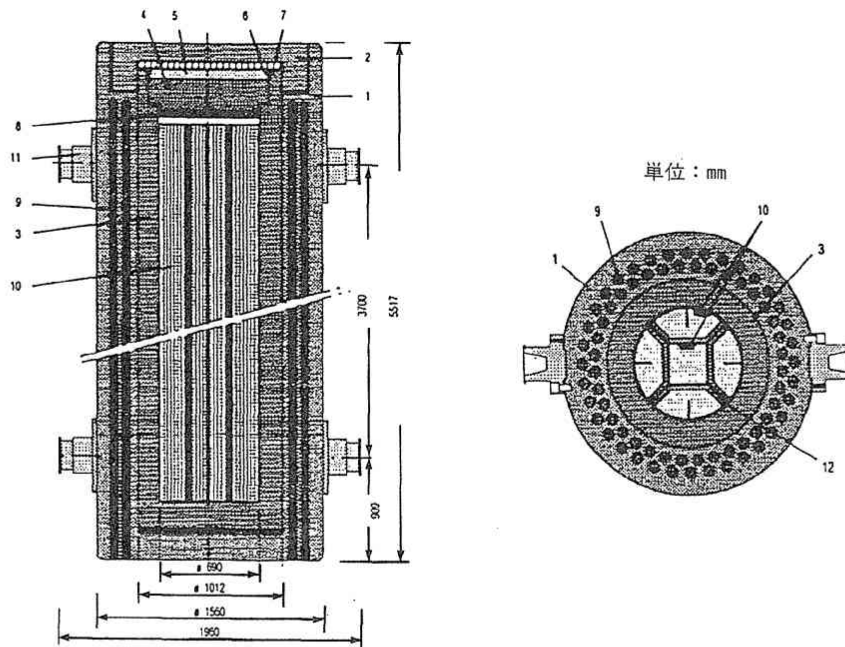


(1) 全体図



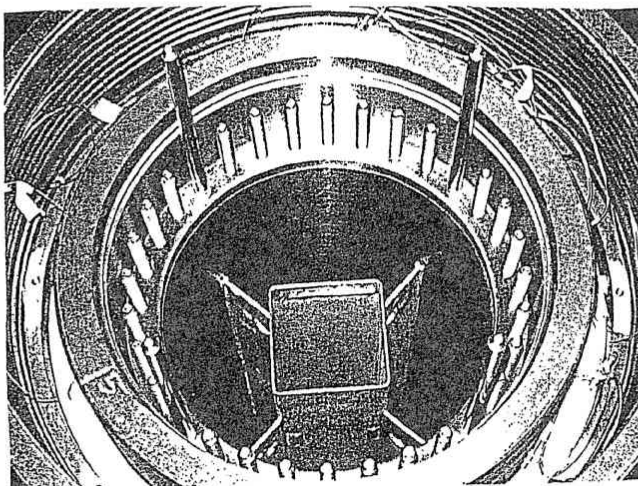
(2) 定置位置部分

図11 POLLUX キャスク定置の手順



- 1.遮蔽キャスク 2.遮蔽用のふた 3.最終処分キャスク
4.第一のふた 5.溶接した第二のふた 6.溶接のつぎ目
7.緩衝材 8.減速材(板) 9.減速材(棒) 10.燃料棒
11.トランニオン 12.バスケット構造物

(1) 構造概要図



(2) 内部写真

図12 POLLUX キャスク

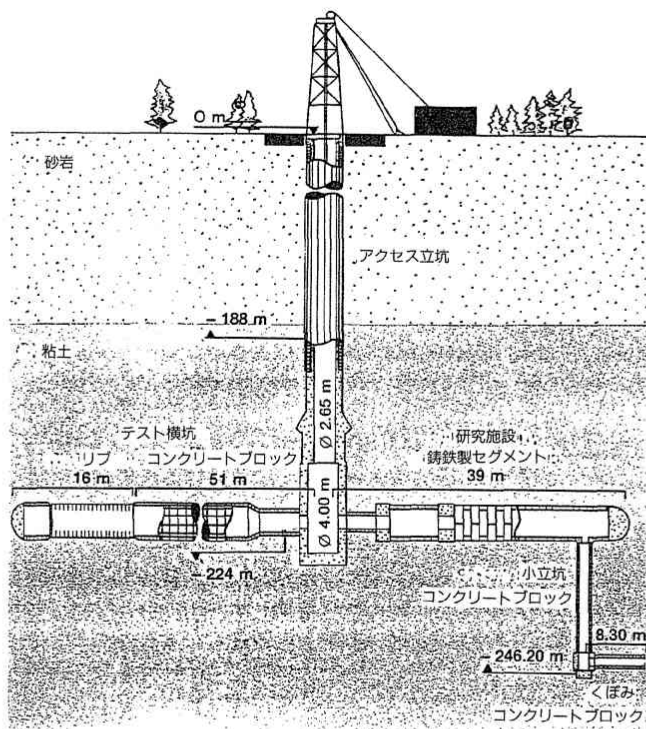


図13 HADES 地下研究施設

して極めて効果的に働くことを有効に利用する。

このような原則は、以下の一連の設計基準として具体的に表示されている。

- ① 廃棄物処分は、水平坑道内で行う。(図14 参照)
- ② 温度は、次の場所で一定の上限値レベルを越えてないものとする。(現在検討中)
 - ・ガラスマトリックス内部
 - ・粘土層中
 - ・処分施設上部の透水層の中

従って、廃棄物キャニスタを固化した直後に地層処分することは禁止とする。廃棄物キャニスタは、熱を大気中に放出できる地上施設に一時貯蔵するものとする。熱放

出が十分減少するまでの時間はおよそ50年と見込む。

- ③ 発熱廃棄物は、その他の廃棄物と離して処分する。
- ④ 掘削区域周囲に生じる掘削影響領域を極力小さくするように、処分場ギャラリーの直径は最小限にする。
- ⑤ 粘土層を保護するため、ガス発生とそれによる圧力上昇を最小限に抑える。
- ⑥ 処分場の最終的な形態では、処分場に存在する残存空隙の存在をある程度認める。
- ⑦ 100℃以上の温度においては固化廃棄物からの核種の浸出率が増加するとの観点から、初期の温度の高い期間は廃棄物が水と接触しないようにある種の防水対策が必要

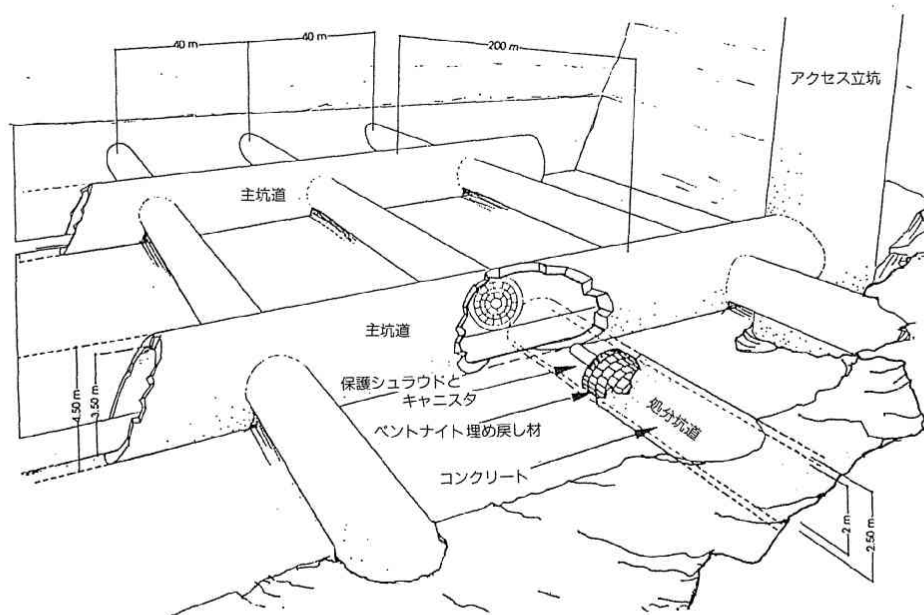


図14 坑道の構造概要 (ネットワーク)

とみられる。(図15参照)

- ⑧ PAGISレポートに従い、人工バリア (ニアフィールド) は、安全性のための防護対

策としてではなく、地層の擾乱を最小限にくく止めるために設計する。

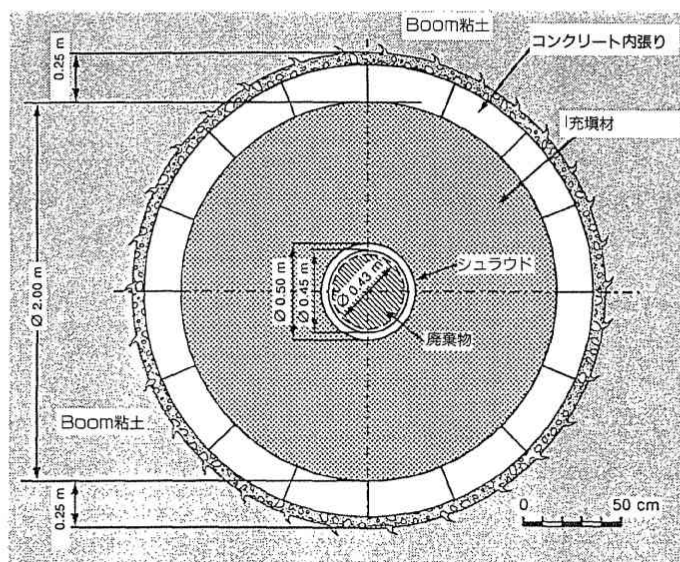


図15 処分坑道の断面図

(2) 処分場のタイムスケジュール

1985年に、放射性廃棄物・核物質管理国家機関 (ONDRAF/NIRAS) は、SAFIR (安全評価と実現可能性に関する中間報告書) と呼ばれる最初の現状報告書の作成に着手した。これは、1974年から1988年までに行われた研究開発および調査結果のレビューを行ったものである。

このレポートは、①研究開発状況进行评估する、②処分の母岩としてBoom粘土の可能性进行评估する、さらに③ONDRAF/NIRASが作成する将来計画に関する提言の公式化、これらを目的とし、1989年に政府当局に提出された。そこで採用された標準シナリオは、処分場の建設を2020年までに行うこととしている。新しい実証施設において、大規模なフィージビリティテストがまもなく完了する予定である。

1995年中には、予備的安全報告書が政府当局に提出される予定である。このレポートは、上述した詳細調査結果および異なる処分戦略を考慮してまとめられる予定である。このレポートが政府当局により承認されると、施設の場所と設計が決定されることになる。

3.4 フランスの高レベル/T R U廃棄物の処分コンセプト

フランスは、他の国々と同様に、長寿命廃棄物の深部地層処分 (400~1000m) を予定している。このタイプの処分は、21世紀のはじめまでに開始される予定である。(容量は、T R U廃棄物が80,000m³および高レベルガラス固化体が3,000m³である。)

使用済み核燃料の再処理から発生する高レベル廃棄物とT R U廃棄物は、深地層に処分

される予定である。処分場内の処分エリアは、数百mの間隔においてそれぞれ設置される。

フランスには処分場の安全な操業と長期間の安全性に関する設計クライテリアはあるが、サイト特性調査はまだ予備的な段階である。

フランス国家廃棄物管理庁 (ANDRA) は、地下研究施設の潜在的サイトに関する最初の5年間にわたる調査結果を1995年2月に提出した。フランスでは、4つの母岩層を検討対象にしている。

- ・ Parisian Basin (Aisne) の北部の粘土層
- ・ 花崗岩
- ・ フランス東部の岩塩層
- ・ フランス西部の頁岩層

1991年12月30日に発効した廃棄物管理法によれば、高レベル廃棄物とT R U廃棄物の管理方策として3つの選択肢をあげたが、そのうちの一つは少なくとも二つの地下研究施設を建設することとしている。ANDRAでは、最終的なサイト選定に備えるため、1年あるいはそれ以上の時間をかけて4つの候補地について調査研究を行うこととしている。その結果をみて、1996年の半ばには地下研究施設の建設申請を行う予定である。同法は、研究用に必要な量を除き、地下研究施設に実際の廃棄物を持ち込むことは禁止している。しかし、長期安全性に関する要求事項とクライテリアを満足することができれば、地下研究施設のうち一つあるいはそれ以上を高レベル廃棄物/T R U廃棄物の最終処分場にすることは可能である。

処分場概念の特徴

フランスの現実的な処分概念は、高レベル放射性廃棄物の長期安全性の観点からオーバ

ーバックに依存しないものとなっている。オーバーバック以外の次のものから構成されるバリアシステムによって、規制で要求される長期間の安全性は十分保証できると考えられている。

○ 人工バリア

- ・ガラス固化体
- ・ステンレス製のキャニスタ
- ・埋め戻し材（掘削し、破碎した岩石）
- ・ボアホール、トンネルおよび立坑のプラグ

および

○ 天然バリア（地質学的母岩）

このことは、遅くとも地下研究施設の許認可手続き中には明らかにされる。

ベルギーのコンセプトと同じく、フランスの処分場は水平坑道を採用する予定である。しかしながら、高レベル放射性廃棄物は、図16に示すように深く掘削するボアホール中に定置される予定である。一方、TRU廃棄物はサイロの中に処分される。

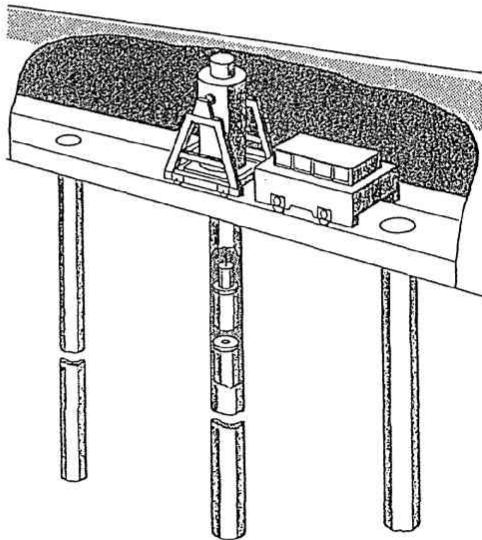


図16 深部ボアホールの概念

長期にわたる地層へのダメージを防ぐように、すべての開口部は埋め戻し材として掘削した岩石によって埋め戻される。この処置によって処分場周辺の地層の鉱物学的な健全性を元どおりに回復するとともに、地表に残る掘削残滓を極力減らすことができる。

母岩として岩塩ドームを選定する場合には、ドイツのゴアレーベンに類似した処分場概念になる。

高レベルガラス固化体の最終処分ではオーバーバックの使用は考えられなかった。ガラスキャニスタは垂直に掘削するボアホールに直接定置される予定である。しかし、放射線防護の要求事項から、ラ・アーグでは遮蔽付きの輸送キャスクがガラスキャニスタの取り扱いと輸送に用いられている。処分場においても同様のキャスクが用いられる予定である。地上で通常使われる輸送キャスクの重量は112tであるが、処分場で使うキャスクは重量制限のため約50tになる予定である。

廃棄物を定置し終えたボアホールは、最終的な密封のために厚さのあるコンクリートプラグで封入するまでの期間、ボアホールにアクセスできるように、遮蔽性のあるドアで閉鎖する。すべてのボアホールに廃棄物が定置され、トンネルが埋め戻された後、トンネルは厚いコンクリートのプラグで密閉される。その後立坑についても同様の措置がなされ密封される。

処分ボアホールにおける廃棄物パッケージの落下事故によって坑道が汚染することのないように、特別な排気システムが設計される。ボアホールからの空気の流れは独立した系のパイプに集められ、フィルターを通して大気中に排出される。操業中のボアホールは負圧

に保たれる。

放射線分解や腐食により地下施設で発生する放射性のガスや水素は、拡散あるいはボアホールへの排気システムにより一定の適正值以下に保たれる。

3.5 スウェーデンの高レベル廃棄物処分プロジェクト

スウェーデン核燃料・廃棄物管理会社（SKB）に課せられた責任の一つは、スウェーデンの放射性廃棄物の最終処分をいかにして、また、どこで行うかを調整することに関して提言を行うことである。規制当局によるレビューと承認を得た後、SKBは必要な施設を設計・建設し、廃棄物の最終処分を実施しなければならないことが決められている。

スウェーデンおよびフィンランドでは、使用済み燃料集合体を直接処分することになる。

(1) 処分場（設計）の主要諸元

スウェーデンにおける処分場安全の基本原則は、処分場は多重バリアを基本にしなければならないとしている。つまり、処分場の安全は、単一なバリアのみに依存してはならないということである。従って、銅製キャニスターによって長期間にわたり廃棄物を地下水から隔離することができるとしても、放射性核種が処分場から漏出する場合を想定して、母岩が果たす役割について研究しておくことも重要である。

処分場の設計の基本として、以下の原則がある。

- 最終処分は、地表の影響から処分場を防護することのできる深さ（すなわち、300～

700m）の結晶質岩で、構造的に弱いゾーンによって囲まれた（離れた）一つあるいはそれ以上の岩体中とする。

- 廃棄物は、一つ一つ独立した銅製キャニスターに封入処理する。燃料の量、サイズおよび処分場内での幾何学的な配置のパターンは、キャニスターの表面温度が100℃より十分低くなるように選択する。
- 廃棄物は、周囲の地下水から廃棄物を隔離し、廃棄物からの放射性核種の放出を妨げるか遅らせるように複数の異なるバリアで囲むものとする。
- 処分場は、安全の機能が長期間のサーベイランスや検査に依存しない計画とする。使用済燃料集合体は、銅製キャニスターに収納し、結晶質母岩中の水平坑道に掘削したボアホール内に定置する（図17参照）。処分される廃棄物の量は、2010年までに7,800 tUとなる。

廃棄物を定置するボアホールは、ベントナイト粘土が健全性を保つことのできる温度範囲内になるように配置される。また、ボアホール間は、ボアホール間に水の移行経路ができないように間隔を保つものとする。ベントナイトは、その特性を少なくとも130℃まで保つことができると考えられている。余裕をみて限界温度を設計上100℃にしなければならない。温度のみからボアホールの配置を考慮すると、沸騰水型原子炉（BWR）燃料集合体12体（原子炉から取り出した後40年経過のもの）あるいはそれ相当の加圧水型原子炉（PWR）燃料集合体を収納したキャニスターは、中心間距離を25mにとって掘削される水平坑道から中心間距離5mごとに掘削されるボアホールに定置される。しかし、ボアホー

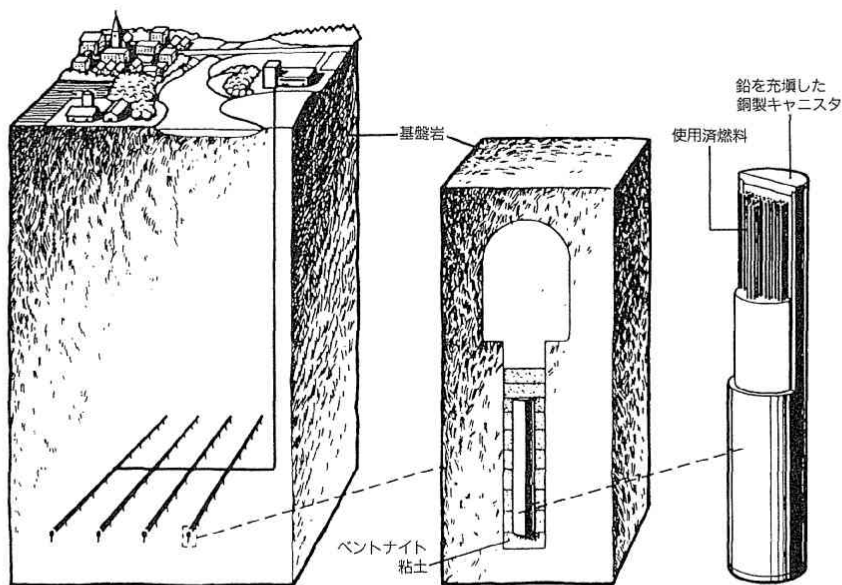


図17 結晶質岩中への核燃料廃棄物最終処分の設計概要

ル間の水文特性への影響をさけるためには6mが望ましいため、現時点では、ボアホール間の距離として6mを考えている。

上記のような想定に基づけば、スウェーデンの使用済み燃料処分計画では、処分場の水平坑道は25,000m、ボアホールは28,000mが必要になる。

キャニスタとしては、複数のものが考えられている。銅および鉄からなるキャニスタがまず選定された。銅の厚さは6cmあり、おそらく数百万年間は腐食によって貫通することはないと思われる。また、燃料中にある核種のアルファ崩壊によりヘリウムガスが発生するが、キャニスタの降伏限界を越えることはありえない。銅製キャニスタは、使用済み燃料集合体を長期間隔離するものと期待される。

キャニスタは、高密度に圧縮されたベントナイトによって囲まれる。水平坑道は、平行した掘削になっており、大きな断層により隔

離した岩塊内にある。断層の位置ははっきりしており、将来たとえ地震活動があっても、岩塊は元来の状態を保つようになっている。

水平坑道とボアホールは、地下水の経路とならないようにプラグで密封される。

(2) 結論

SKBの安全評価によれば、結晶質岩中の深部に長期間安定な人工バリアを備えて建設される処分場は、適度の裕度をもった安全要求事項を満たすことを示した。そのような処分場の安全は、放射性物質を収着し、移行を遅延させるという意味では、周囲の岩盤の能力にはわずかに依存するだけである。岩盤の主な機能は、人工バリアの長期間にわたる性能が損なわれることのないように、長期間にわたり安定した構造的および化学的安定性を維持することである。

SKBは、処分場立地に係る安全関連の要

求事項を示したが、これによればSKBがスウェーデン国内で調査してきた殆どのサイトは満足できるものであると考えられている。

スウェーデンの処分場概念の長期安全性は、人工バリア（銅製キャニスタ）により依存するものとなっている。しかし、フラクチャゾーンと透水係数を注意深く考慮して適切なサイトを選定すべきであるとしている。

3.6 フィンランドにおける高レベル放射性廃棄物処分プロジェクト

(1) 処分コンセプト

フィンランドは、BWRの使用済み燃料を結晶質岩中に処分する計画である。処分場のレイアウトは、中央のトンネルと各々平行し

て掘削される処分トンネルで構成される（図18参照）。中央トンネルは、処分場エリアをループを描くように掘削される。処分場のトータルエリアは、約250m×860mである。3本の互いに近接した立坑が地表から処分場に掘られる。それぞれ、キャニスタの運搬用立坑、作業員の昇降用立坑および作業用立坑である。

総掘削量240,000m³のうち、立坑の掘削によるものが32,000m³、処分トンネルの掘削によるものが136,000m³である。その他残りは、中央トンネルと補助スペースの掘削によるものである。キャニスタの処分ホールを含む処分場は、段階的にはではなく、操業を開始する前にすべてが掘削され建設される予定である。

ACP（Advanced Cold Process）キャニス

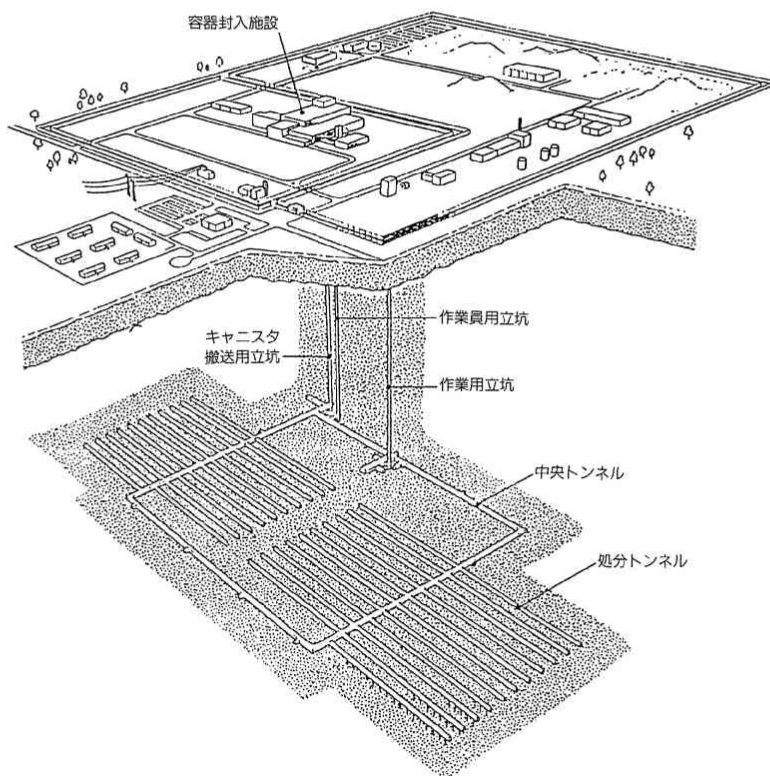


図18 容器封入および処分施設

タは、水平に掘削される処分トンネルから垂直下方に掘削するホールに定置される予定である(図19参照)。各ホールには一体ずつのキャニスタが定置される。処分ホール内でキャニスタは、極めて透水係数の小さいベントナイトで取り囲み、周囲の岩盤とキャニスタの間の緩衝材となる。各処分トンネルは、キャニスタをすべてのホールに定置後直ちに砂とベントナイトの混合物で埋め戻される。

地上の廃棄物処理施設は役割を終了すると解体、撤去され、同じ処分場に処分される。最終的に、中央トンネルと立坑は砂とベントナイトの混合物で埋め戻される。

母岩の状況に応じて、レイアウトの最適化を図るため、数種の代替案を用意してフレキシビリティをもたせてある。キャニスタを定置するホール間の距離、処分トンネルの長さ

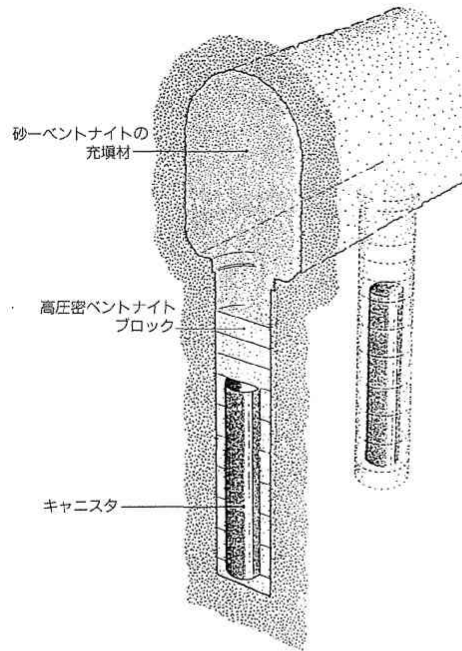


図19 処分トンネルに定置したACPキャニスタ

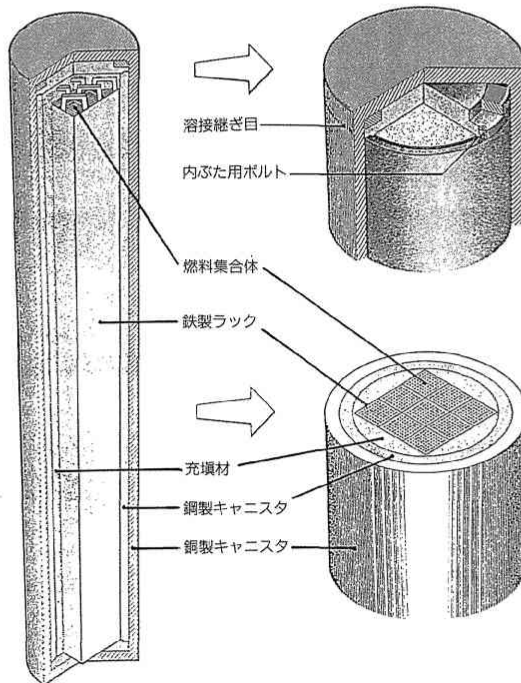


図20 使用済燃料用ACPキャニスタの構造

や立坑の位置などは、地域の条件に応じて調整が可能である。

(2) 使用済み燃料キャニスタの設計 (ACP キャニスタ)

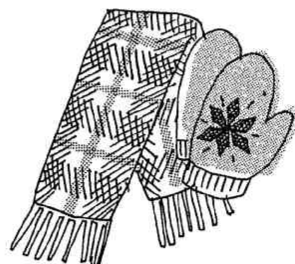
まず、ACPキャニスタの概念図を図20に示す。キャニスタは、鉄製の内張り部と外側の耐腐食性銅製部で構成される。直径は0.8m、長さは4.5m、筒壁の厚さは銅部分が60mm、鉄部分が55mmである。一つのキャニスタには、9体のBWR燃料集合体が収納される。燃料集合体を収納し密封したキャニスタの重量は、キャニスタの設計や充填材にもよるが、14,000から19,000kgの間である。

TVOの処分計画では、使用済み燃料の総量

は、1,840TUと見積もられており、これは約1,200体のACPキャニスタに相当する。1,200体のACPキャニスタを製造するのには約8,000tの銅と5,000tの鉄を必要とする。

(3) 結論

スウェーデンの計画と同様、フィンランドの使用済み燃料の処分概念は、安定した人工バリアに比較的多く依存するものとなっている(銅/鉄キャニスタ)。1985年以来、詳細調査のためにフラクチャゾーンが少なく透水係数の小さい場所を選定すべく数カ所のサイトで調査が行われている。処分場の選定は2000年頃までに、建設開始が2010年頃までに、そして操業開始が2020年頃に予定されている。



都市エネルギーセンター型燃料電池の導入調査
— 最適導入容量の検討 —



2. 都市再開発地域における都市エネルギー センター型燃料電池最適導入容量の検討

① 電力及び熱を供給する分散型エネルギー供給システム。

等をあげている。そして、電力・熱需要密度が高いという観点から、

- の3つの地点（本調査ではこれら3つの地点をまとめて「都市再開発地域」と言う）を、その立地可能性のある地点としている。そこで本調査ではそれらの地点で、都市エネルギーセンター型燃料電池の導入すべき最適な容量（以下「最適容量」と記す）を検討した。

2.1 燃料電池最適容量の考え方

都市エネルギーセンターの導入目的は、エネルギーの効率的な利用による経済性及び省エネルギー性の向上である。その主機である

燃料電池は、発電と同時に排熱を利用できる熱源機器でもあり、その容量が都市エネルギーセンターの経済性及び省エネルギー性を大きく左右する。

従って、燃料電池容量は、上記センターの導入目的である経済性及び省エネルギー性の2つの観点から決定されるべきであり、本調査では都市エネルギーセンターに設置する燃料電池の最適容量を、次のとおり定義し決定することとした。

なお、経済性を表す指標としては、長期的経済性の観点から都市エネルギーセンターの「年間総経費」を用い、省エネルギー性の指標としては「年間一次エネルギー消費量」を用いる。

燃料電池最適容量は、一つの都市再開発地域において、電力と熱を個別に供給する従来型のシステムに比べ、

◆ 経済性からみた最適容量：

都市エネルギーセンターの年間総経費が最小となる容量

◆ 省エネルギー性からみた最適容量：

都市エネルギーセンターの年間一次エネルギー消費量が最小となる容量と定義した。

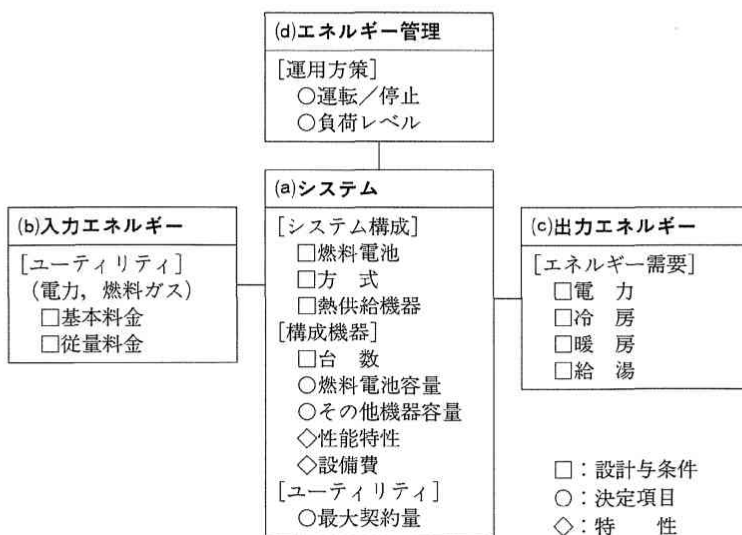
2.2 燃料電池最適容量の算出方法

(1) 燃料電池容量に対する影響因子

燃料電池最適容量を経済性及び省エネルギー性から決定するためには、多くの複雑な要因を考慮しなければならない。図1に、都市エネルギーセンターの(a)システム、(b)入力エネルギー、(c)出力エネルギー、(d)エネルギー管理、に大別して影響因子を示す。

図1において、□印を付けた因子は燃料電池最適容量等を決定するための与条件、○印を付けたものは決定すべき項目、◇印を付けたものは決定項目から付随的に決定される特性を表している。

このように、燃料電池最適容量を決定するためには、与条件を設定するとともに、これ



(出典) 伊東・横山：コージェネレーションの最適計画、産業図書（1990）を基に作成

図1 都市エネルギーセンター燃料電池最適容量に対する影響因子

ら因子を総合的に考慮しなければならない。

(2) 機器規模最適計画法

一般に、燃料電池等を含むコージェネレーションシステムにおいて原動機等の機器容量を決定する場合、種々の設計パラメータ（原動機等の機器容量や運転方法等）を予め設定し、それぞれのケースについて経済性または省エネルギー性を計算し、各ケースの計算結果を比較、評価することが行われている。この場合、設計パラメータの組合せが膨大になり、多大な計算時間が必要となる。

そこで、本調査では電力・熱需要規模に応じたコージェネレーションシステムの最適機器容量と機器運用方法とを同時に決定できる「コージェネレーションシステムの機器規模最適計画法」^{1), 2)}（以下「最適計画法」と記す）

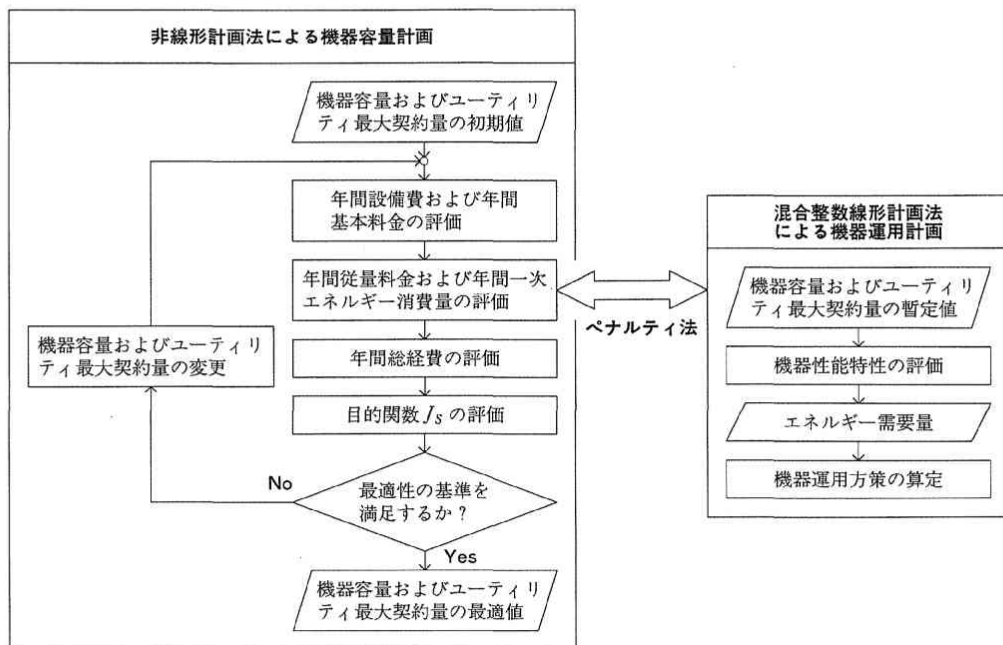
を適用することとした。

最適計画法は、与えられた機器構成等の設計と条件と種々の制約条件のもとで、設定した設計目的（目的関数）を満足させる設計変数（機器容量等）を求める手法である。

詳細な解法等は文献2)に譲ることとし、最適計画法の基本的な計算フローを図2に示す。

(3) 年間総経費、年間一次エネルギー消費量の算出方法

経済性からの目的関数である年間総経費は、年価法によって年間設備費と年間運用費の和として求められる。最適計画法では、各構成機器の初期設備費を機器容量の関数として表し、年間設備費を評価する。一方、年間運用費はユーティティー基本料金とユーティティー従量料金等の和として算定する。ここ



（出典）横山・伊東：コージェネレーション・システムの設備容量計画における多目的最適化
エネルギー・資源, Vol.15, No.3, (1994)

図2 最適計画法の計算フロー

で、基本料金は各ユーティリティの最大契約量の関数として表され、従量料金は、年間の機器運用方策に基づいて決定されるユーティリティ消費量から算出される。

$$\text{年間総経費} = \text{年間設備費}^{(*1)} + \text{年間運用費}^{(*2)}$$

年間設備費は、各機器の初期設備費をC、償却時残存価値率をs、年間利率をi、資本回収係数をR、機器耐用年数をnとすると、次式で表される。

$$\begin{aligned} *1 \text{ 年間設備費} &= C \times \{ R(1-s) + i s \} \\ \text{ここで,} \\ R \text{ (資本回収係数)} &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \end{aligned}$$

また、都市エネルギーセンターの年間運用費は、ユーティリティ料金以外に機器の維持管理費及び借室費を考慮し、これらはいずれも機器容量の関数として表し評価した。ユーティリティは電力と燃料ガスであることから、年間運用費として考慮した費目は以下のとおりとなる。

$$*2 \text{ 年間運用費} = \text{維持管理費} + \text{借室費} + \text{買電費} + \text{燃料ガス費}$$

省エネルギー性からの目的関数である年間一次エネルギー消費量は、ユーティリティ従量料金と同様に、年間の機器運用方策に基づいて決定されるユーティリティ消費量から算出される。従って、年間一次エネルギー消費量は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{年間一次エネルギー消費量} &= \\ &\text{買電電力量の一次エネルギー換算消費量} \\ &+ \text{燃料ガスの一次エネルギー換算消費量} \end{aligned}$$

次に、制約条件としては、各月毎に設定した12代表日における各時間のエネルギー需要に対して、各構成機器の性能特性を表すエネルギーの入出力関係、各エネルギーフローについてのエネルギーバランス等を考慮する。また、機器容量算出においては、機器容量の余裕率を考慮するため、各代表日の平均的エネルギー需要に加えて、ピーク時におけるエネルギー需要に対しても同様の関係式を考慮する。

2.3 都市エネルギーセンター設計と条件の設定

(1) 電力供給形態の設定

設計と条件の中の(c)出力エネルギーの条件設定に当たって、先ず都市エネルギーセンターの燃料電池発生電力の「供給形態」を設定する必要がある。

改正前の電気事業法では、都市エネルギーセンターから都市再開発地域内の一般需要家に電気を供給することは、一般電気事業者が実施する場合以外は、一定の条件を満たす限定された需要家に供給する場合の「特定供給」以外は認められていない。

従って、一般電気事業者以外の者が都市エネルギーセンターから電力供給を実施する場合、燃料電池は「自家発電設備」として、その発生電力をセンター内電力にのみ供給する場合と、一定の条件を満たす限られた需要家に電力を供給する場合の、「特定供給」の2つの電力供給ケースしか考えられない。

しかしながら、改正後の電気事業法では、新しい電力直接供給の事業形態として「特定電気事業」が認められており、一般電気事業者以外の者が都市再開発地域内の一般需要家

に直接電力を供給することが可能である。

そこで、本調査では都市再開発地域における燃料電池導入可能量試算の前提として、次の2つの燃料電池発生電力の供給形態を設定した。

◆ 自家発電ケース：

都市エネルギーセンターの所内電力需要にのみ供給する電力供給形態

◆ 特定供給ケース：

都市エネルギーセンターの所内電力需要と都市再開発地域内の一般需要家の両方に供給する電力供給形態

ただし、電力供給は一般電気事業者からの買電を併用して行うとする。

図3に、都市エネルギーセンターのエネルギーフローを示す。

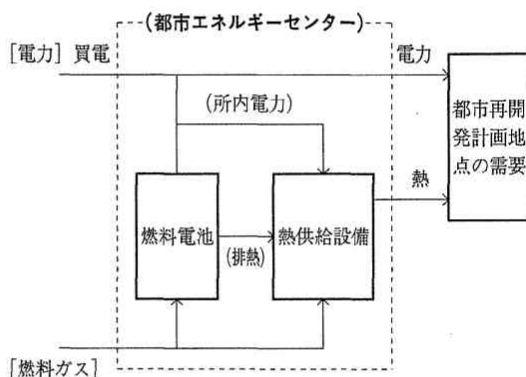


図3 都市エネルギーセンターのエネルギーフロー

(2) 電力・熱需要の設定

都市再開発地域の電力・熱需要を、事務所型、商業施設型、住宅型の3つの需要パターンに分類し、それぞれ電力、熱需要について、

- ・各月の12代表日（平日）の各時間値
- ・夏季ピーク日の各時間値
- ・冬季ピーク日の各時間値

を設定した。各需要パターンの特徴及び熱負

荷種別は、表1のとおりである。

表1 需要パターン別の熱負荷及び熱供給条件

需要パターン	需要パターンの特徴	熱負荷
事務所型	事務所ビルの比率が高く、工場及び作業場、学校等の建物も含まれる。日負荷が、就業時間の昼間帯に集中する。	冷房 暖房
商業施設型	店舗（デパート等）、病院・診療所、ホテル等の建物比率が高い地域。日負荷の昼間需要が夜間まで引続いて存在する。	冷房 暖房
住宅型	集合住宅の比率が高い地域	冷房 暖房 給湯

(3) システム構成

都市エネルギーセンターのシステム構成は、熱需要の大きさ、種類、使用エネルギー等の条件により種々の機器構成が考えられる。本調査では燃料電池導入の有無による経済性、省エネルギー性比較という観点から、最適容量計算に簡便に適用できる電動ターボ冷凍機、吸収式冷凍機及び蒸気ボイラを組み合わせた電気・ガスを併用するシステム構成（以下「FC活用方式」と記す）を採用した。

また、経済性、省エネルギー性を比較するために、各システムにおいて燃料電池を用いるFC活用方式と燃料電池の無い従来方式のシステム構成を設定した。

事務所型と商業施設型は熱負荷が冷房、暖房であることから、燃料電池低温排熱を50℃で回収する「システムA」、住宅型は冷房、暖房に加え給湯負荷に供給することから、燃料電池低温排熱を38℃で回収し吸収式ヒートポンプで昇温する「システムB」とした。

表2にシステム構成の概要を、図4にそれぞれのシステム構成図を示す。

表2 都市エネルギーセンターのシステム構成

需要パターン	システム構成機器
事務所型	<システムA> 燃料電池：夏モード(蒸気取り出し) 低温排熱を50℃で回収 電動ターボ冷凍機 吸収式冷凍機(蒸気二重効用等) 蒸気ボイラ 等
商業施設型	
住宅型	<システムB> 燃料電池：夏モード(蒸気取り出し) 低温排熱を38℃で回収 電動ターボ冷凍機 吸収式冷凍機(蒸気二重効用等) 吸収式ヒートポンプ 蒸気ボイラ 等

(4) システム機器の特性と建設単価等の設定

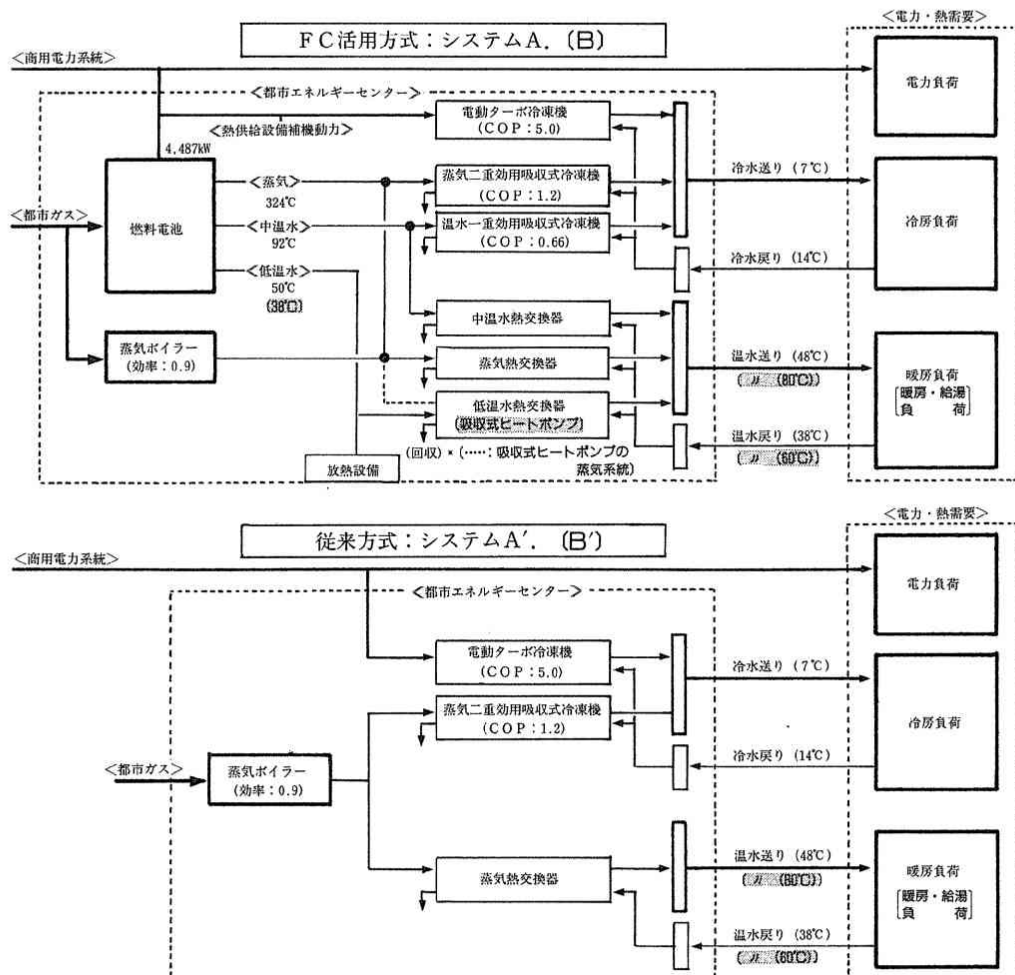
① 燃料電池

都市エネルギーセンター型燃料電池の特性並びに建設単価等の諸元は、本格的な商用機までの開発段階を3段階に分け設定した。

表3に、開発段階別に設定した特性等の諸元を示す。

各開発段階別の発電効率等の設定の考え方は、以下のとおりである。

- ・発電効率：各段階とも、定格時の送電端効率は組合開発機とほぼ同等である



(注) 図中の□内はシステムBの機器名、諸元を表す。

図4 都市エネルギーセンターのシステム構成

表3 燃料電池の開発段階別特性等

特性 開発段階	建設単価 [万円/kW]	発電効率 (送電端) ^{*4} [%]	蒸気回収 率 ^{*4} [%]	設置面積 [㎡/kW]
試験導入機 ^{*1}	90	41.3	8.3	0.27
初期商用導入機 ^{*2}	60	42	9	0.18
本格商用導入機 ^{*3}	25	42	15	0.1

(注) 開発段階別特性の考え方は以下のとおり
^{*1}: PAFC研究組合開発機と同様の特性
^{*2}: 燃料電池メーカーヒアリング調査結果を参考に設定
^{*3}: 他の大型コージェネレーション原動機仕様をもとに検討した燃料電池要求仕様
^{*4}: 定格時の値を示す

が、開発段階が進につれて補機動力の低減が進み、部分負荷効率が改善される。

- ・排熱特性：排熱量は各段階とも同じであるが、開発段階が進につれて蒸気回収率が向上する。
- ・設置面積：本格商用導入機では、設置面積がオンサイト機並にまで低減される。

② 熱供給機器

都市エネルギーセンターの熱供給機器の特性、建設単価を表4に示す。

表4 熱供給機器の特性と建設単価

熱供給機器	特性等 COP ^{*2} (定格時)	建設単価 [円/(kcal/h)]
電動ターボ冷凍機	5.0	33.1
吸収式冷凍機		
蒸気二重効用	1.2	33.1
温水一重効用	0.66	66.1
吸収式ヒートポンプ	1.65	20.0
蒸気ボイラー ^{*1}	0.9	18.6

^{*1}: 蒸気ボイラーは熱効率を示す。
^{*2}: COP, 熱効率とも定格時の値を示す。

③ エネルギー単価

自家発電ケース、特定供給ケースそれぞれの一般電気事業者からの買電料金及び燃料ガス単価を表5に示す。

なお、特定供給ケースにおける一般電気事業者からの買電料金は、特定地点に一般電気事業者が供給する場合の電力料金と同じ単価で購入すると設定した。

表5 都市エネルギーセンターのエネルギー単価

	電力料金 (買電電力)	燃料ガス単価
自家発電ケース	[高圧電力乙契約相当] 基本料金: 1,700円/(kW・月) 電力量料金: 11円/kWh ^{*1}	2円/Mcal
特定供給ケース	<事務所、商業施設> [業務用電力契約相当] 基本料金: 1,610円/(kW・月) 電力量料金: 17円/kWh ^{*1} <住宅> [従量電灯甲契約相当] 電力量料金: 24円/kWh ^{*2}	2円/Mcal (4.6円/Mcal時の計算も一部のケースで実施)

^{*1}: 高圧電力、業務用電力の電力量料金は通年平均化した値
^{*2}: 最低料金及び使用量別料金を含む平均化した料金として設定

④ 機器耐用年数、残存価値率及び年間利率
都市エネルギーセンターシステム機器の耐用年数等は、機器毎に以下のとおり設定した。

- ・機器耐用年数：燃料電池セル 5年
その他の機器 15年
- ・残存価値率：燃料電池セル 0%
その他の機器 10%
- ・年間利率：4.5%

(5) 都市エネルギーセンターの一次エネルギー消費量計算諸元

省エネルギー性からの目的開数である年間一次エネルギー消費量は、センターで年間に使用するユーティリティ（燃料ガス及び買電電力）消費量から以下の数値をもって、一次エネルギー消費量に換算した。

- ・燃料ガス：10,880kcal/㎡³N
[5,000kW級燃料電池発電プラント設計ベース]
- ・買電電力：2.4677Mcal/kWh

[火力平均熱消費率(受電端),
変換効率=34.85%相当]

3. 最適容量計算結果

3.1 経済性からみた燃料電池最適容量の計算結果

都市再開発地域の需要パターン別,規模別,燃料電池開発段階別及び電力供給形態別に,経済性から評価した都市エネルギーセンター燃料電池最適容量の計算結果を,表6に示す。

(1) 燃料電池開発段階別最適容量

① 試験導入機, 初期商用導入機

住宅型の特定供給ケースを除き,各需要パターンとも最適容量が得られない(表6で,0.0と記載されている各欄)結果となった。

これは,従来方式に対してFC活用方式の年間総経費が少なくなる最適な燃料電池容量が存在しないことであり,燃料電池の建設単価が90~60万円/kWでは経済的な導入が困難であることがわかる。

表6 経済性からみた燃料電池最適容量

[単位: MW(発電端)]

開発段階及び 供給形態 燃料ガス 単価 需要パターン		①試験導入機		②初期商用導入機		③本格商用導入機			
		自家発電ケース	特定供給ケース	自家発電ケース	特定供給ケース	自家発電ケース	特定供給ケース		
		2円/Mcal		2円/Mcal		2円/Mcal		4円	6円
事務所型	5万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	—	—
	20万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	—	—
	40万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	—	—
	70万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	—	—
	100万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	7.5	5.6
商業施設型	5万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	—	—
	20万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	—	—
	40万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	—	—
	70万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.9	—	—
	100万㎡	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0	10.4	3.9
住宅型	5万㎡	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.4	—	—
	20万㎡	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	1.4	—	—
	40万㎡	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	2.8	—	—
	70万㎡	0.0	0.0	0.0	1.1	0.2	4.9	—	—
	100万㎡	0.0	0.0	0.0	1.6	0.3	7.0	6.9	6.3
<参考> 計算に用いた 主要諸元		[燃料電池] 建設単価: 90万円/kW 設置面積: 0.27㎡/kW		[燃料電池] 建設単価: 60万円/kW 設置面積: 0.18㎡/kW		[燃料電池] 建設単価: 25万円/kW 設置面積: 0.10㎡/kW			

(注) 表中の

(—): 計算を実施していないこと

(0.0): 計算を行ったが最適容量が“0”となったことを示す。

② 本格商用導入機

これに対して、燃料電池建設単価が25万円/kWである本格商用導入機仕様では、設定した買電料金及び燃料ガス単価であっても、年間総経費が従来方式に比べ削減出来る経済的な燃料電池容量（最適容量）があることがわかった。

この場合燃料電池最適容量は、電力需要が自家発ケースに比べ大きい特定供給ケースの方が大きな値となっており、燃料電池導入においてはある程度まとまった電力需要が必要であることがわかる。

③ 住宅型需要の最適容量

住宅型需要パターンの特定供給ケースでは初期商用導入機仕様においても最適容量が得られた。

これは、住宅型における一般電気事業者からの買電料金を24円/kWhと、他の需要パターンの業務用電力相当の買電料金17円/kWhに比べ高く設定したためであると考えられ、燃料電池建設単価60万円/kWであってもFC活用方式により電力供給を行った方が年間総経費が安くなることを示している。

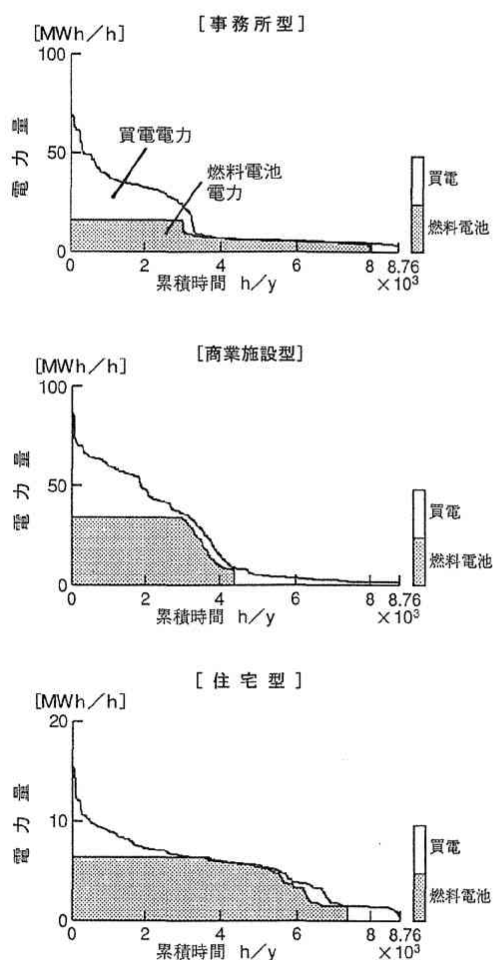
なお、一部のケースについて燃料ガス単価4, 6円/Mcal時の最適容量も算出したが、ここの考察は省略する。

(2) 最適容量時の電力供給量と発電量の年間変化

図5に、本格商用導入機・特定供給ケース、建物規模100万㎡、燃料ガス単価2円/Mcalにおける燃料電池最適容量時の、電力需要に対する燃料電池発生電力と一般電気事業者からの買電による供給の状況を、負荷持続曲線で表す。負荷持続曲線は、横軸に1年分の時

間を、縦軸に1時間当たりの電力量をとり、年間を通じて電力需要の高い時間順に、時間当たりの電力需要量及び燃料電池発生電力量を並べたものである。

図中の■部分は、燃料電池発生電力、□部分は買電電力により供給したことを表している。なお、電力需要は、都市再開発地域の電力需要と都市エネルギーセンター所内電力需要との合計である。



[本格商用導入機、特定供給ケース、建物規模100万㎡、燃料ガス単価2円/Mcal]

図5 需要パターン別電力負荷持続曲線 (燃料電池最適容量時)

3.2 経済性からみた燃料電池最適容量の考察

各需要パターン間の経済性からみた燃料電池最適容量に関する考察を行うために、最適容量計算過程のデータを用いて年間総経費の変化と最適容量の関係について検討を行った。

(1) 燃料電池導入比率と年間総経費の変化

本格商用導入機・特定供給ケース、建物規

模100万㎡、燃料ガス単価2円/Mcalの最適容量計算における年間総経費等の変化を図6に示す。

図は、各需要パターン間の比較を容易にするために、以下に定義する燃料電池導入比率を横軸に、従来方式の年間総経費に対するFC活用方式の年間総経費の比率（年間総経費比率）を縦軸に示した。

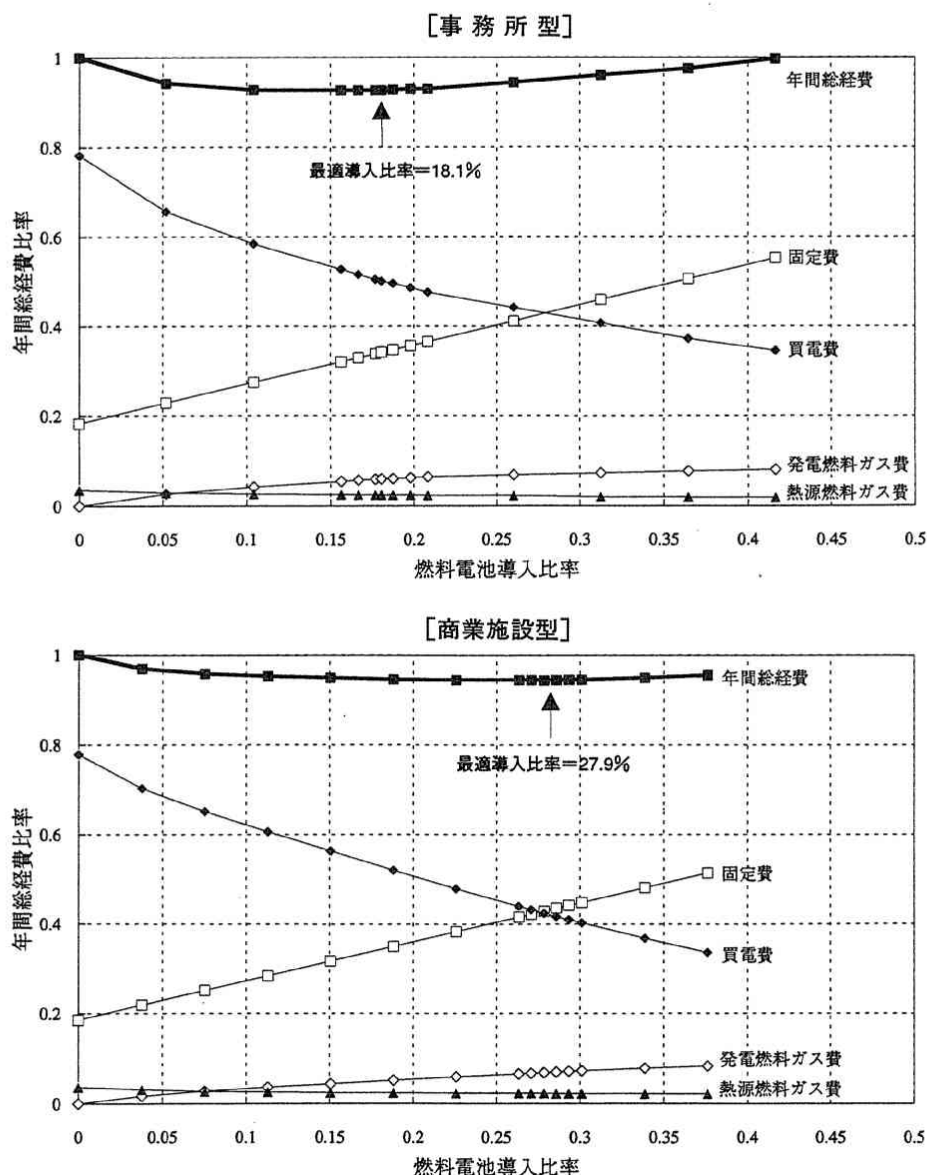
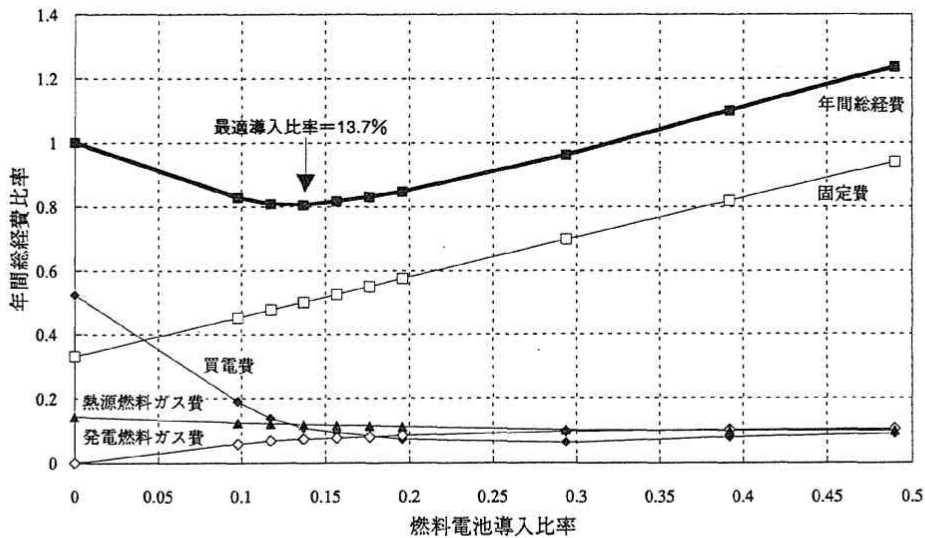


図6 燃料電池導入比率と年間総経費の変化（その1）

[住宅型]



[本格商用導入機, 特定供給ケース, 建物規模100万㎡, 燃料ガス単価 2円/Mcal]

図6 燃料電池導入比率と年間総経費の変化 (その2)

燃料電池導入比率[%] =

$$\frac{\text{燃料電池導入容量[MW]}}{\text{従来方式の買電最大契約量}^{\ast 1}[\text{MW}]} \times 100$$

*1: 従来方式の買電最大契約量

= 地域電力需要ピーク値

+ 従来方式の都市エネルギーセンター所内電力

また、図中に示した年間総経費内訳の固定費には、設備費、維持管理費及び借室費が含まれる。

いずれの需要パターンとも燃料電池導入比率が高くなるに従って固定費及び発電燃料ガス費は増加するが、買電費及び熱源燃料ガス費は減少し、これらの合計である年間総経費には最小点が存在することがわかる。この年間総経費が最も小さくなる導入比率に対する燃料電池容量が最適容量である（以下、最適容量時の導入比率を「燃料電池最適導入比率」と記す）。

(2) 年間総経費構成内訳

年間総経費の内訳を見た場合、年間総経費に占める割合は固定費と買電費が大きく、発電燃料ガス費及び熱源燃料ガス費の割合は固定費、買電費に比べ非常に小さいことがわかる。しかも、これら2つの燃料ガス費は導入比率が変化しても大きく変化しない。

これは、燃料電池の発電効率、排熱回収率及び排熱利用率が、年間総経費に殆ど影響していないことを示している。

(3) 最適容量と年間総経費削減率

表7に、各需要パターン別の燃料電池最適容量、燃料電池最適導入比率及び以下に定義する年間総経費削減率をまとめる。

特定供給ケースの各需要パターンに対する燃料電池最適導入比率は、商業施設型が最も大きく、次いで事務所型、住宅型の順となっている。しかし、年間総経費削減率は、住宅

型、事務所型、商業施設型の順で大きくなっており、年間総経費削減の観点からは住宅型の導入効果が最も高い結果となった。

表7 燃料電池最適容量と最適導入比率及び年間総経費削減率

需要パターン	最適容量 [MW]	最適導入 比率[%]	年間総経費 削減率[%]
事務所型	17.3	18.1	7.4
商業施設型	37.0	27.9	5.6
住宅型	7.0	13.7	19.4

* 本格商用導入機・特定供給ケース、
建物規模：100万㎡、燃料ガス：2円/Mcalの値

3.3 省エネルギー性からみた燃料電池最適容量の計算結果

都市再開発地域の需要パターン別、規模別、燃料電池開発段階別及び電力供給形態別に省エネルギー性から評価した燃料電池最適容量の計算結果を表8に示す。

これらは、経済性から評価した最適容量に比べ非常に大きな値になっており、FC活用方式が省エネルギー性の面では非常に優れていることがわかる。

ただし、これは従来方式の電力供給効率を、

表8 省エネルギー性からみた燃料電池最適容量

[単位：MW（発電端）]

開発段階 供給形態 需要 パターン・規模		①試験導入機		②初期商用導入機		③本格商用導入機	
		自 家 発 ケ ー ス	特定供給 ケ ー ス	自 家 発 ケ ー ス	特定供給 ケ ー ス	自 家 発 ケ ー ス	特定供給 ケ ー ス
事 務 所 型	5万㎡	0.6	2.2	0.6	2.3	0.6	2.4
	20万㎡	2.4	8.8	2.3	9.0	2.3	9.4
	40万㎡	4.7	17.5	4.7	18.0	4.6	18.8
	70万㎡	8.3	30.6	8.1	31.5	8.1	32.9
	100万㎡	11.8	43.8	11.6	45.0	11.5	47.0
商 業 施 設 型	5万㎡	0.9	3.4	0.9	3.4	0.9	3.5
	20万㎡	3.5	13.4	3.6	13.6	3.4	13.8
	40万㎡	7.0	26.8	7.1	27.2	6.8	27.5
	70万㎡	12.5	46.9	12.5	47.6	11.8	48.1
	100万㎡	17.8	67.1	17.8	68.0	16.9	68.8
住 宅 型	5万㎡	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5
	20万㎡	1.5	2.0	1.5	2.0	1.7	2.0
	40万㎡	2.9	3.9	3.0	3.9	3.3	3.9
	70万㎡	5.1	6.8	5.3	6.8	5.8	6.8
	100万㎡	7.3	9.8	7.6	9.7	8.3	9.7
<参考> 計算に用いた燃料電池等の主要諸元		F C 発電効率：41.3%(定格時) F C 蒸気回収率：8.3%(定格時)		F C 発電効率：42.0%(定格時) F C 蒸気回収率：9.0%(定格時)		F C 発電効率：42.0%(定格時) F C 蒸気回収率：15.0%(定格時)	
(一次エネルギー換算) 燃料ガス：10,880kcal/㎡ ³ N 買電電力：2.4677Mcal/kWh [火力平均熱消費率（受電端），変換効率=34.85%相当]							

一般電気事業の受電端における火力平均熱消費率=2.4677Mcal/kWh(変換効率=34.85%相当)で評価した結果である。

省エネルギー性から評価した燃料電池最適容量は、各開発段階別仕様においてほぼ同様の値が得られた。

これは、燃料電池以外の熱機器等の特性が同一であると設定したこと、並びに燃料電池発電効率等特性の違いが僅かであったためと考えられる。

4. まとめ

都市再開発地域における、都市エネルギーセンター型燃料電池の経済性及び省エネルギー性からみた最適導入容量の試算・検討を行った。これらの結果を総括すれば、以下のことが言える。

① 経済性からの導入を前提とした場合：

燃料電池の建設単価が25万円/kW以下にならないと導入は見込めない。その場合、特定供給ケースのように相当規模の電力需要が必要である。

② 省エネルギー性からの導入を前提とした場合：

経済性からの導入容量に比べて非常に大きな導入容量が見込める。ただし、一般電気事業者の火力発電設備においては、高効率なLNGコンバインドサイクル発電等が採用されてきていることから、省エネルギー性の優位性を保つには排熱条件等のさらなる改善が必要と考えられる。

なお、本調査で設定した特定供給ケースでは、電力供給を一般電気事業者からの買電を

併用して行うとしたが、改正電気事業法の「特定電気事業」は、自前でピーク需要を供給可能な設備容量を有することが条件となっていることから、燃料電池を活用する都市エネルギーセンターで特定電気事業を実施する場合の燃料電池容量は、供給先のピーク需要に合わせた容量が必要である。

1994年12月に策定された国の「新エネルギー導入大綱」では、燃料電池について、2000年度に約20万kW、2010年度に約220万kW程度の導入を目指すとしている。実用化に最も近いリン酸型燃料電池の導入については、本調査結果からも明らかなように設備コストのさらなる低減が大きな課題であり、信頼性の検証も必要である。関係者の努力が実り早期に本格的導入が進むことを期待したい。

本調査は、当研究所に「都市エネルギーセンター導入にかかわる調査・検討ワーキンググループ」を設置して実施したものであり、調査の実施に際して多大なご協力をいただいたWG委員並びに最適容量計算について技術指導いただいた大阪府立大学工学部・伊東教授に、紙面を借りて感謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 横山・伊東・赤木：コージェネレーション・システムの機器規模最適計画法(第1報、手法の提案と最適化の効果の検討)；日本機械学会論文集，C編，56巻，522号，p. 519-526 (1990)
- 2) 伊東・横山：コージェネレーションの最適計画；p. 116，産業図書 (1990)

〔海外出張報告〕

ロシアにおける メタンハイドレートの研究開発状況

寺 崎 太二郎 (財)エネルギー総合工学研究所
主管研究員



1. はじめに

シベリアは、ロシアの国土の大半を占める程の広大な面積を誇っている。そこは天然資源の宝庫といわれ、石油、天然ガス、石炭、鉱物資源などが豊富に存在するが、近年これらに加えて多量のメタンハイドレートが眠っていることがわかって来た。しかし、このような天然のメタンハイドレートがシベリアにおいて見つかったのも元はといえば、人工的なガスハイドレートによって苦しめられたからと云えなくはない。

シベリアの寒冷地に建設された化学プラントの高圧ガスラインや天然ガスパイプラインにおいて、ガスハイドレートの形成が原因とみられる閉塞トラブルが頻発したのは1930年代から1940年代にかけてであった。そのため、旧ソ連ではガスハイドレートに関する研究が盛んに行われた。その結果、ガスハイドレートは低温・高圧であるほど生成し易いことが明かになり、シベリアの永久凍土地帯の下には天然のガスハイドレートが存在し得ることがわかった(ストリジエフ, 1946)。

1960年代になって、天然のガスハイドレートがエニセイ川流域のメソヤハやレナ川流域のビリューイにおいて実際に発見された。メソヤハでは天然ガスの商業的な生産が1970年

に開始され、現在に至っている。

一方、1970年代以降には海洋の地質学的調査によって、カスピ海や黒海の湖底・海底下にもメタンハイドレート層が存在することが明かになった。近年はアメリカやカナダの研究者との共同調査によって、オホーツク海でメタンハイドレートの存在が確認されたり、バイカル湖でその存在を示唆する海底面疑似反射(Bottom Simulating Reflector, BSR)が観測されたりしている。

ロシアは、このようにメタンハイドレートに関する調査、研究、開発において豊富な実績を有しており、我々が参考とすべき点が多々あると思われる。

2. 調査計画

今回の調査目的は、主としてメソヤハにおける探査、開発、生産の実態を調査することであり、併せてオホーツク海等のフィールド調査の状況、メタンハイドレートの物性や探査技術に関する研究状況などを調査することである。調査は、平成7年9月17日から27日にかけて11日間の日程で行われた。調査団には、非在来型天然ガス基礎調査委員会の石井吉徳委員長に団長として、同ワーキンググループの奥田義久主査に副団長としてご参加いただき、さらに専門家5名に参加していただ

いた。なお、当所から事務局として1名参加した。

調査先は、表1に示したようにロシアの大学、国立研究機関、ガス会社等で、地理的には図1の位置にある。

表1 ロシアにおける調査先

調 査 先	主な面会者
モスクワ国立大学 地質学部永久凍土学科	エルショフ教授 チュビリン助教授 バルムシン助教授
ノリリスク・ガスプロム メソヤハ・ガス田	アレクサドリディ社長 コット副社長 ボロブコフ博士
全ロシア海洋地質・鉱物 資源研究所	ギンスブルグ博士 (ノリリスクにて面会)
国立地質探査アカデミー	ノモノフ教授

3. 調査内容

3.1 モスクワ国立大学

モスクワ国立大学は、モスクワの南西、雀

が丘と呼ばれる高台にあり、灰白色の大きな建物が秋の深まりつつある木々の中にその偉容を誇っていた。これは、第二次大戦後スターリンがドイツの捕虜に建てさせたゴシック様式の建築物で、モスクワに7つあると聞いた。外から見た壮麗さとは裏腹に、内部は照明が少なく暗く、廊下の床や壁の傷みも激しいように見受けられた（図2参照）。

大学は18学部から成っており、教員・学生合わせて約50,000人という大規模なロシア最高学府である。従って、入学することは大変難しいらしく、通訳をしてくれたアジア・アフリカ学科の学生ドロフィエフ君も、2年浪人して入ったとのことであった。

我々が訪れた永久凍土学科 (geocryology) は、地質学部の1学科で既に40年の歴史をもち、永久凍土を専門に研究している世界唯一の学科である。教授8人、助教授7人、その

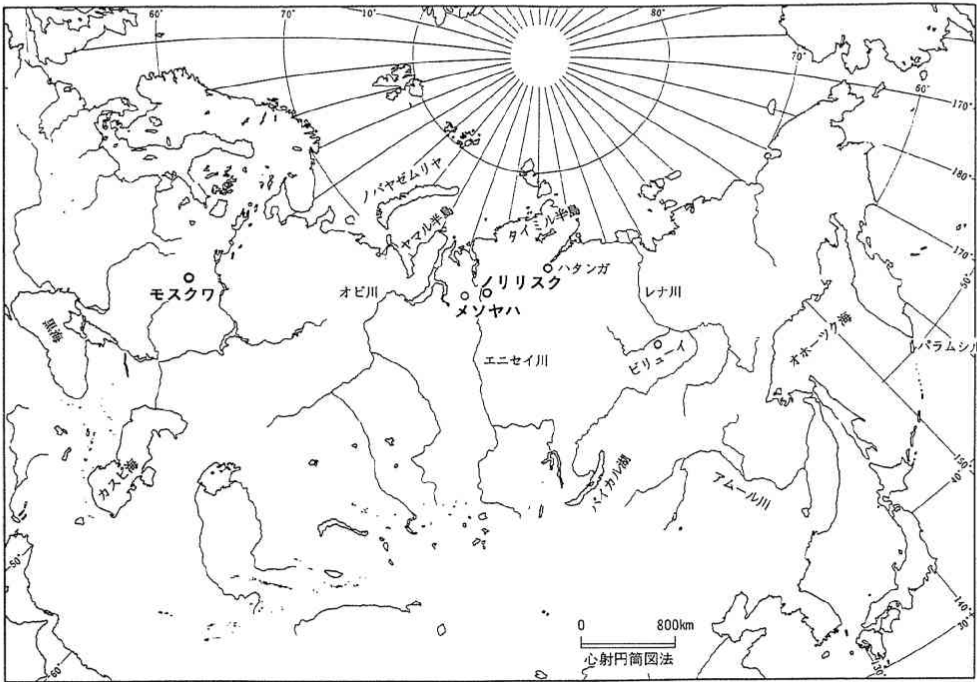


図1 今回の調査に関連した場所と位置



図2 モスクワ国立大学正面玄関

他の研究者30人，補助員等45人，学生・院生100人で構成されている。我々は，地質学部長でもある学科主任教授エルショフ博士，及び助教授のチュビリン博士，パルムシン博士に面会した。ちなみに地質学部には約3,000人が所属し16学科に分れている。

永久凍土学科には，①地球の歴史から見た永久凍土の研究，②工学的見地から見た永久凍土の研究，③地球温暖化に伴う永久凍土変化の予測研究，④惑星の永久凍土研究，⑤凍土の物理化学，の5つの講座がある。

ガスハイドレートの研究は，凍土の物理化学に関する研究の一環として行われていた。彼らは，ハイドレートの生成融解条件等を明かにするため，人工合成によるハイドレートやフィールドで採取したコアを用いて研究を進めていた。

人工合成によるハイドレート研究は，1987年に始められた。空隙を有する媒体（砂）を充填した高压反応容器中へ100kg/cm²程度のメタンガスを圧入し，容器ごと大型の冷蔵庫に入れて低温に保つという方法でハイドレートの合成を行っている（図3参照）。このように

方法，装置とも非常にシンプルなものであるが，着実に成果をあげている。

彼らは，これらの研究成果の1つとして「自己保護（Self Preservation）」と呼んでいる現象を報告している。これは，生成したハイドレート塊を容器から取り出して大気圧下においても温度を0℃以下に保てば，分解速度が極端に遅くなるという現象である。理由は，初期の分解によって生じた水分が氷となり塊の表面を覆って内部のハイドレートを保護するからだと彼らは説明している。

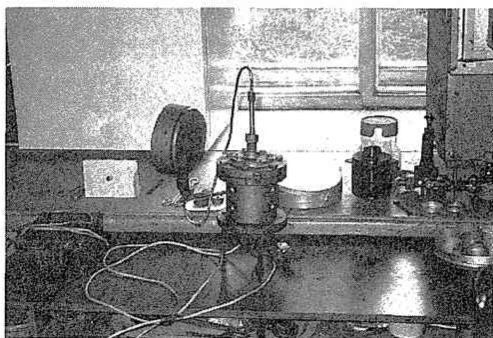


図3 メタンハイドレート合成用高压反応容器

このような基礎実験以外に，彼らはヤマル半島における国内共同調査プロジェクトに参

加している。この調査は、石油資源開発を主目的とするものであり、彼らはこのプロジェクトの中でハイドレート研究を分担している。1985年に最初の掘削を行い、1989年以降毎年掘削しているとのことであった。夏期は環境への影響から掘削は禁止されているらしく、冬期に30本ほど掘削される。掘削深度は200~500m(400mが凍土とメタンハイドレート層との境界)である。ごく普通のサンプラーによってコアを採取し、物理測定、ガス分析を行っている。採取したコアサンプルの一部は、自己保護現象を利用して低温実験室(0℃に保持された室)に保存されている(図4参照)。

このヤマル半島の研究に関して、現在、カナダ地質調査所と共同研究の計画が進行しているようであり、エルショフ教授は我々に対しても以下のような共同研究の提案をされた。

- ① ポーラスな堆積物中におけるハイドレートの生成機構に関する研究
- ② ヤマル半島におけるハイドレート層の試掘と分析

国からの研究費は非常に少ないらしく、研究に必要な経費はヤマルプロジェクト関連から捻出しているようである。彼らが現在行っているプロジェクトの例からいえば、1プロ

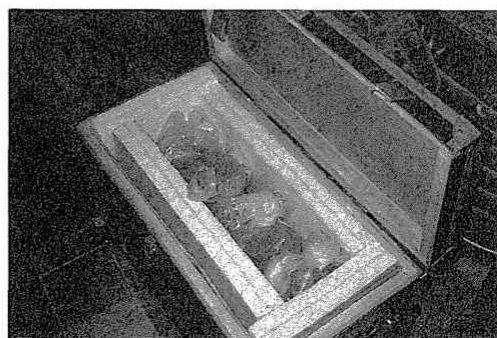


図4 低温実験室に保存されているコアサンプル

ジェクト100万円程度でも共同研究が可能と思われる。

3.2 ノリリスク・ガスプロム

ノリリスクは、西シベリアのエニセイ川流域、北緯70度近くのところに建設された人口30万人の工業都市である。1935年に街の建設が始められて以来、国の経済、国防のためにニッケル、銅、コバルトなどの鉱業、精錬業が盛んに行われてきた。

空港は、ノリリスクとエニセイ川のほとりのドジンカのちょうど中間にあり、街までバスで約1時間かかった。途中では精錬工場のものおぼしき大きなプラントが見えたり、既に人が住まなくなりゴースタウンと化したアパート群が現われたりした。街は、ほぼ同じ高さの建物が整然と並んでいる、いかにも計画的に造られた街という印象を与えた。通りや建物の周囲にほとんど木が見えないというのも人工色を強めていた一因と思う。

我々は、ノリリスクで唯一のホテルに投宿した。入り口は、木製のがっしりしたドアで3重に仕切られており、酷寒の地に来たことを実感した。

(1) ノリリスク・ガスプロム

ノリリスク・ガスプロムは、西はエニセイ川西岸から東はタイミル半島までをテリトリーとし、ジョイント・ストック・カンパニーの組織形態をとっているガス会社である(ロシアは現在12のガス会社に分かれている)。従業員は2,000人。

事業分野は、生産、供給に加えて掘削まで含んでおり、生産されたガスはニッケル鉱業等の工業用とノリリスクの暖房、発電等の民

生用に消費される。生産ガス田は、現在メソヤハ、セベルノソレニン、ユージノソレニンの3つがあり、それらからの生産量は年間50億m³である。

メソヤハ近辺のガス田は、南方のウレンゴイ・ガス田とは約300km離れている。欧州への遠距離パイプラインはウレンゴイを通っているが、そことはパイプラインがつながっていないため、供給エリアはノリリスクー帯に限られている。生産ガス田からノリリスクまでのパイプラインは、セベルノソレニン～ユージノソレニン～メソヤハ～ノリリスクとつながっており、全長は300kmを越え、凍土上に敷設

されている。ドジンカでエニセイ川を越えるが、川の近くでは永久凍土層が無いのでパイプラインは地下に埋設されている。ドジンカにはガスコンデンセートの処理施設がある。

ユージノソレニンには3枚のガス層があり、一番深いガス層の深さは2,600mである。過去10年間にかなりの生産を行い、100以上あった生産井は現在32に減っている。ユージノソレニンからさらに北西に28km離れたセベルノソレニンは、まだ新しく130の生産井が稼働している。これら2つは、メソヤハとは全く別の地層で、ガスハイドレートとは無関係な層から生産しており、ガスコンデンセートを

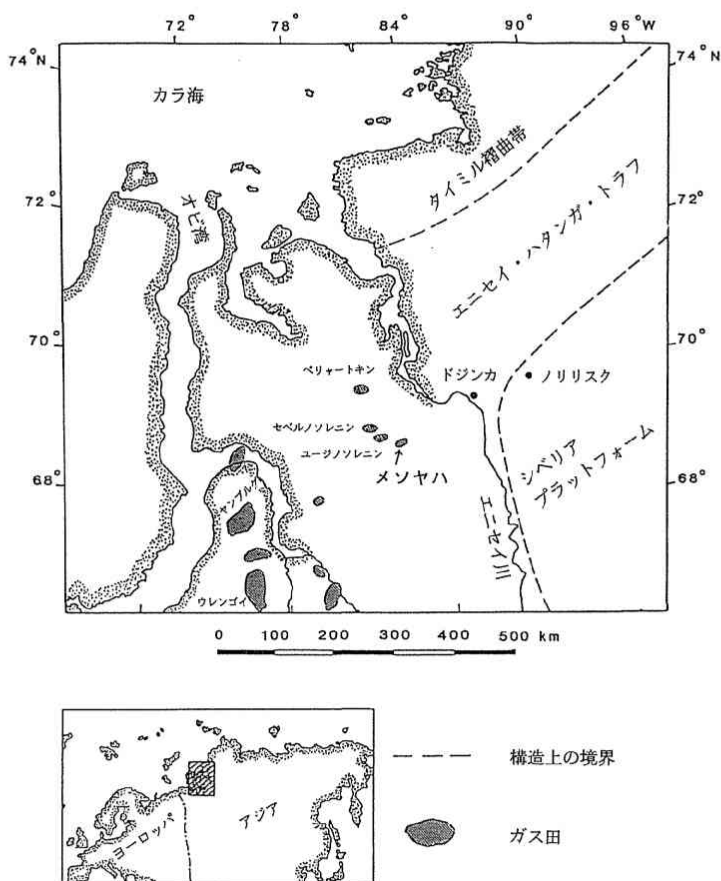


図5 メソヤハ・ガス田の位置 (クラソン及びフィンレー, 1992に追記)

含んだ通常のガス田である。生産量は、両方合わせて1,400万 m^3 /日で、1年を通して生産しており、既に全埋蔵量の70%を生産してしまった。これに対し、メソヤハは生産量が少なく、需要が多い夏期（6～9月）だけ生産しているようである。

将来は、セベルノソレニンのさらに西北に位置するペーリャートキン・ガス田から生産される予定である。このガス田の深度は2,600mで、埋蔵量は1,460億 m^3 規模と推定されているが、ハイドレートは存在しない。1997年までにセベルノソレニンからペーリャートキンまでのパイプラインの建設が完了し、2000年には生産がスタートする予定である。パイプライン用資材は日本製といわれている。

(2) メソヤハ・ガス田開発の経緯

メソヤハは、西シベリア堆積盆の北西部、オビ湾とエニセイ川の間位置する（図5参照）。メソヤハにおける探鉱の初期目的は、炭化水素鉱床の存在を確認することであった。

1964～65年に反射法地震探査によって堆積盆中の背斜構造でガストラップが発見された。試掘を行ったところ、深度810～860mの白亜紀セノマニアン層のドルガン砂岩層で、2層の天然ガス鉱床が発見された。

47本の井戸を掘削し、1970年に天然ガスの生産を開始した。当時の生産量は、12～15万 m^3 /日であった。当時はメタンハイドレートに対する認識がなかったため、通常の方法で掘削が進められたが、特にメタンハイドレートの影響と見られるトラブルはなかった。

探鉱に際して、次のような興味深い現象が見られた。

① 電気検層の結果では高密度である特徴

を示すにもかかわらず、そこから採取された砂岩のサンプルの空隙率は20～35%もあり、しかも何も充填されていなかった。

② マイクロゾンデによる検層では比抵抗が高く、液体が存在する特徴を示すが、空隙内にもし水が含まれているならば比抵抗は低いはずである。

③ 地層温度は9.3℃と高いので、氷は存在できない。

これらの現象は、メタンハイドレートの存在を仮定すると無理なく説明できるとみられた（シェシュコフ、1972）。しかし、試掘によってサンプルを回収しても、地上では圧力、温度が変化してしまい、固体のメタンハイドレートを確認することは出来なかった。そこで、マコゴン博士らによるメタンハイドレートの生成条件に関する基礎的研究やギンスブルグ博士らによるフィールド調査が行われた。なお、ギンスブルグ博士の調査については、後述する。

結局、2層あるガス層のうち、上層はメタンハイドレート層、下層はフリーガス層と結論されたが、生産は下層からがほとんどで、上層からはガスの産出はほとんどなかったといわれる。

(3) メソヤハ・ガス田視察

ノリリスクからメソヤハまでは250kmもあり、エニセイ川を越えなくてはならないため、15人乗り程度の大型ヘリコプターで飛んだ。ヘリコプターは、メソヤハとノリリスク間の天然ガスパイプラインに沿って飛行し、ノリリスクを出てエニセイ川まで30分、メソヤハまでは1時間25分を要した。

眼下には蛇行した川や三日月湖が多く見ら



図6 エニセイ川ドジンカ付近

れ、大小の池が無数にちらばっていた。パイプラインは折れ線グラフのような形状でラインを描きながら凍土上を延びていた。それに沿って道路が続いているように見えるが、エニセイ川には橋がなかったので、道はそこで途切れるのだろう。また、貨物鉄道がノリリスクからエニセイ川川辺のドジンカまで延びており、それで運ばれた非鉄金属生産物がここからエニセイ川を利用して積み出される。このあたりの水深は50mもあるそうだ(図6参照)。

メソヤハ・ガス田はツンドラの真只中にあ

った。そこには、約50本のガス井、ガスの集積所、気液分離器、メタノール注入設備等がある他、セベルノソレニン〜ノリリスク間の天然ガスパイプラインの圧力ステーション、ガス処理プラントがある(図7参照)。また、管理棟の他に食堂・宿泊施設が整えられている。全従業員は70人で、これらの人達は12時間労働で15日間働き、その後15日間休むというサイクルで働いている。夜間は7〜10人である。

1995年の生産は、6月の下旬から9月30日まで行われ、視察当日は4本のガス井から生

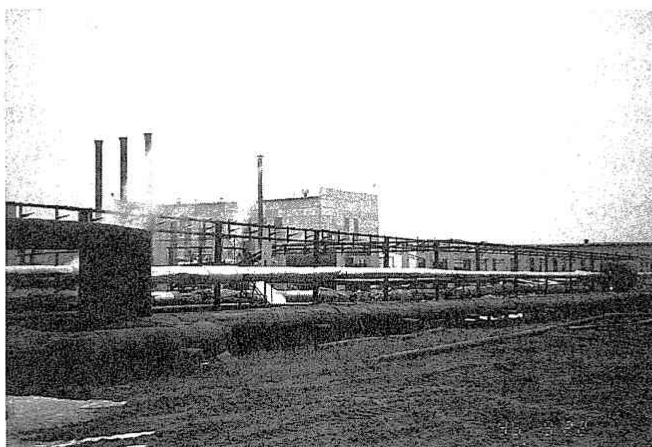


図7 メソヤハ・ガス田

産されていた。つまり、このガス田の役割は夏期のピークロード用で、生産量は年によってちがう。ちなみに、1994年は全く生産されなかったという。

オペレーション室では、パソコンによってパイプラインの圧力が監視されており、パイプラインの各所における現在の圧力などを見ることができる。パイプラインのメソヤハにおける圧力は22kg/cm²、最も西のセベルノソレンでは29kg/cm²であるが、冬季には高められる。一方、メソヤハ・ガス田の地層圧力は、生産開始当初は70kg/cm²であったが、現在は約60kg/cm²である。セベルノソレンでは198kg/cm²であったのが120kg/cm²に下がっているとのことである。

オペレーション室がある管理棟の外には、ガスコンデンセートの分離・処理設備があった。

ガスの集積所は、管理棟から少し離れた場所にあった。生産井の番号が付けられた直径10cm程度のパイプが何本も建屋内に引き込まれ、一つのタンクに集められていた。現在生産中のガス井から来ているパイプ#2、#124、#130は白く厚い霜で覆われていた。

ガスの集積所に隣接してメタノール注入設備があった。パイプラインにおけるハイドレート生成を抑制するためである。個々の圧力は、#2、#130で60kg/cm²、#124で41kg/cm²と上記の3本の生産井では高くなっていた。また、中には161kg/cm²と高いものもあったが、多数は22kg/cm²を示しパイプラインの圧力と同じだった。このメタノールは井戸に注入されているが、井戸の中にパッカーがないので、単純に上からガスの圧力を上回る圧力で押し込む方式らしい。従って、これらのメタノール注入圧は、生産井の孔口でのガス圧を示していると考えられる。

この後、キャタピラー車で、ガス田の中心にある#130の生産井を見にでかけた。生産井のあたり一面はツンドラ特有の地衣類等が生えている草地であったが、その中に丈が30cm程度の黄色っぽい細い木が多く生えていた。白樺らしい。生産井はそういう中にぽつんと立っており、地中から立ち上がるパイプは直径約25cmで、その上にバルブと圧力計、メタノール注入用の細い配管、集積所まで延びている直径10cm程度のガス配管がつながっている高さ3m程度の構造物であった(図8参照)。

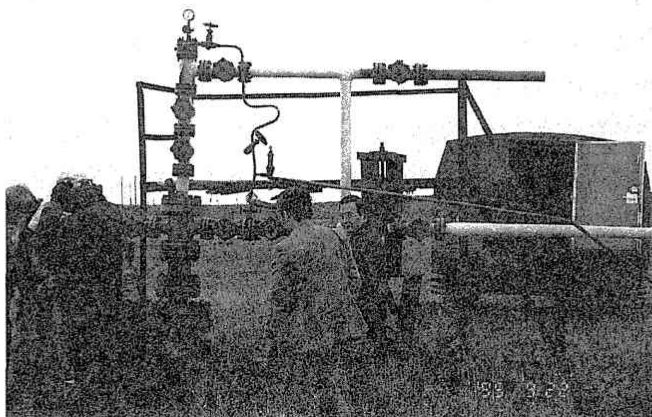


図8 メソヤハ・ガス田の生産井

3.4 ギンスブルグ博士

ギンスブルグ博士は、現在サント・ペテルブルグにある全ロシア海洋地質・鉱物資源研究所 (All Russian Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean) の海洋石油・ガス予測部門の長である。メタンハイドレートに関しては、かつてノリリスクに何年も住んでメソヤハのフィールド調査を行っており、初期の調査結果 (1973) をまとめたサピルらの共著者でもある。また、メソヤハ以外にカスピ海、オホーツク海・バラムシル島等の調査も行っており、最近「海底のガスハイドレート」という本をロシア語で出版した。

彼は、我々と同じ時期にフィールド調査を兼ねてサント・ペテルブルグからメソヤハを訪れ、我々と面談してくれた。その時の面談の内容は、以下に示すようにメソヤハやオホーツク海におけるフィールド調査等に関するものであった。

(1) メソヤハ・フィールド調査

彼によれば、メソヤハのハイドレート研究において、天然ハイドレートの存在を示す直接的な証拠はまだ得られていない。ハイドレートの存在を考える上でガスと水の境界の深度が変化しているかどうかとも重要であるが、これもよくわかっていない。彼は直接的な証拠を得るために、現在も生産井のガスのヘリウム濃度を測定している。

これまでの調査では、生産休止中の#142の井戸では温度が異常に低くなっている場所があることや、深度800~850mの位置でヘリウムの濃度が異常に高いことがわかった(図9, 図10参照)。ギンスブルグ博士は、これらの現

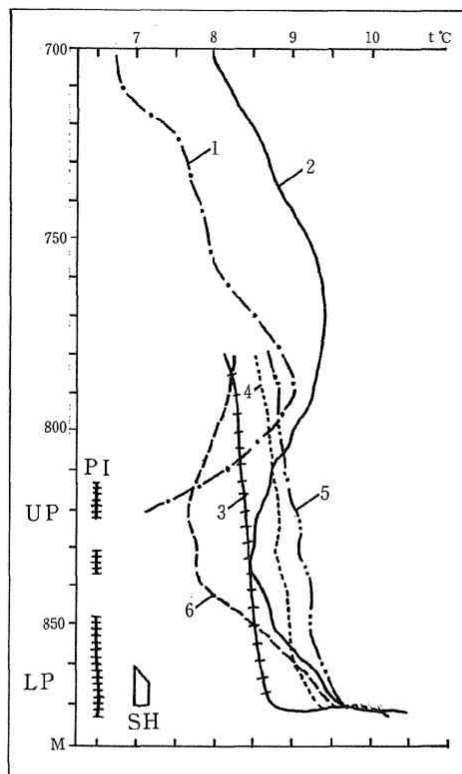


図9 坑井内温度の負の異常(ギンスブルグ, 1993)

(1, 2, 6: 坑井密閉時、3, 4, 5: 生産時、SH: チュービング下端、PI: パーフォレーション区間、UP: 上層、LP: 下層)

象について考察した結果を1993年にハーグで行われたアメリカ石油地質学者協会 (American Association of Petroleum Geologists) の大会でポスター発表し、ロシア語の論文も出している。内容はつぎのようなものである。

メソヤハでは約50本の井戸があるが、それらの多くは生産を停止しており、検層も行われていない。1979年に、停止中の#142の井戸からガス試料を採取し、ヘリウム濃度の分析を行ったところ、それらの中の1つには、他より10倍も濃度の高いヘリウムが含まれていた。また、その試料ガスが採取された位置より上部には、異常に温度が低い場所があった。

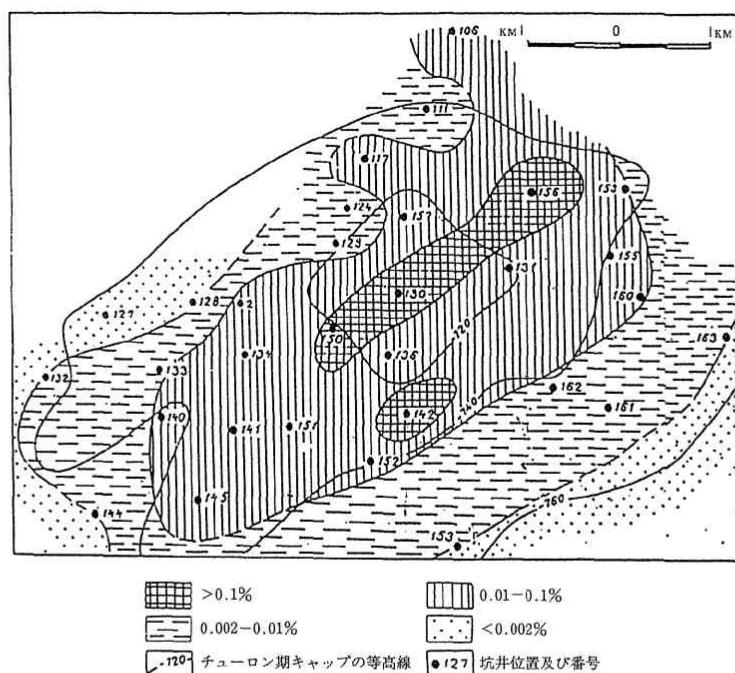


図10 メソヤハ・フィールドのヘリウム濃度の分布（ギンスブルク，1993）

ギンスブルグ博士は、これらの現象は上部のガスが下部に流れて温度が下がり、そこに人為的なハイドレートが出来たため、その時ヘリウムはハイドレート中に取り込まれないのでガス側に濃集されたのだと解釈した。

彼は、他の井戸でもヘリウム濃度を測定してみた。その結果、一般的にヘリウム濃度は、生産中は低下し、生産を停止すると上昇する傾向があることがわかった。測定されたヘリウム濃度の範囲は、ガスの生産が一時停止された1970年代後半には0.0005～0.65%の広がりがあった。ちなみに、西シベリアのセノマニアン層のガス中のヘリウム濃度は0.002～0.036%の範囲にある。つまり、通常値と比較して、異常に低い所と異常に高い所があるということがわかった。平面的な分布を見ると構造の中心で高く、周縁部では通常濃度よりも低い傾向がある。この周辺の低い部分は

天然のハイドレートの分解の影響であり、高い部分は人為的なハイドレートの生成の影響であると彼は考えている。

メソヤハ・ガス田において通説になっている「生産量から予想されるほど圧力が低下しなかったのは、メタンハイドレートの分解を示唆している」という見方について意見を求めると、これはガス田の多くの生産井のデータを総合的に解析した結果ではないので、はっきりしたことは言えないだろうということであった。メソヤハにおけるガスの生産において、フリーガス以外にメタンハイドレートの分解がどの程度生産に関与しているについては、ギンスブルグ博士独自の考えがあるように見受けられた。いずれにしろ、この問題ははっきり結論づけられたわけではなく、現在もギンスブルグ博士は米国地質調査所（デンバー）のコレット氏と共同研究を続けている。

(2) 海洋調査

海洋のメタンハイドレートに関しては、1995年の海域技術会議 (Offshore Technology Conference) で『海底のガスハイドレート量の評価：理論的、経験的研究方法』と題して以下のような発表を行っている。

海洋におけるメタンハイドレート量の評価は、多くの研究者達によって試みられているが、ハイドレート層の広がり、厚さ、均一性、堆積物空隙中の含有率等、未だはっきりしない点が多く、これまでの推定値は過大な傾向がある。そこで、深海掘削計画 (Deep Sea Drilling Project, DSDP) 等のデータを利用して推定を行ったところ、海域のメタンハイドレート量は 10^{15}m^3 程度と見積ることが出来た。この値は、従来のものと比べて1～2桁小さいものである。

オホーツク海でのハイドレートの研究については、「海洋地学通信 (Geo Marine Letters)」のギンスブルグ博士ら (1993) の資料、及び「海洋学 (Oceanology)」のゾネンシャインら (1987) の資料に基づいて以下のような説明をしてくれた。

オホーツク海では、海底から海中へのメタン滲出に関する調査を行っているうちに、



図11 オホーツク海で回収されたメタンハイドレート (ギンスブルグ撮影)

1987年、メタンハイドレートが発見された。

1991年の調査では、水深620～1,040mの大陸斜面の10ヶ所からメタンが滲出しているのが観測され、このうち1ヶ所では海面が非常に静かであった時、海面付近で直径1mm程度の微細な気泡が見えたという。また、10ヶ所の中の1ヶ所からは5本のコアよりメタンハイドレートのサンプルが回収された (図11参照)。これら5本のコアは、直径250m以内の範囲に分布していた。コアを調べたところ、メタンハイドレートは海底下0.3～1.2mの浅部に存在しており、メタンは微生物起源のものであった。

海底下の地層から上昇してくるメタンの大部分は、海底面から海中へ滲出し海洋表面に達する。この過程を定量的に評価するためには、さらに調査が必要である。この地域の掘削を国際深海掘削計画 (Ocean Drilling Program, ODP) に提案しているが、マルチチャネルの地震探査データがない等の理由で受け入れられていない。

このように、ギンスブルグ博士はメタンハイドレートに関して海域・陸域両面で精力的にフィールド調査を行っており、今後も注目すべき存在である。

3.5 ノモコノフ博士

ノモコノフ博士は、1921年生まれで現在74歳、地震探査の専門家である。これまで主として在来型石油資源の探査に従事して来られる一方で、ポーランド、ブルガリア、インド等国外においても地球物理学者として活躍された方である。1973年以降、国立地質探鉱アカデミー (State Geology Prospecting Academy) の地震探査部門の教授の職にある。我々は、ロシアにおける地震探査技術の現状を知

るため、ノモコノフ博士に面会した。

ノモコノフ博士によれば、旧ソ連圏の陸域においては地震探査の手法によってハイドレートの存在が確認されたことは無く、現在もそういう試みはなされていないだろうということであった。ただし、近年カナダ地質調査所を中心としてメタンハイドレートに関する研究が精力的に行われていることは承知しており、我々に対してもロシアの凍土下のメタンハイドレートを対象にした調査・研究の機会があれば、地震探査を通じて協力したい、ということであった。

陸域におけるハイドレートの探査について、現状のやりかたでは非常に難しい点があるのは承知している。しかし、シベリアの凍土の下にメタンハイドレートが分布していることは明かであり、資源問題、あるいは環境問題と関連してメタンハイドレートの研究は非常に重要である、という意見であった。

過去においてヤマル半島やウラル山脈西方で大々的な掘削が行われてきたが、時にガスの暴噴があり火災が発生したこともある。当時は何もわからなかったが、深度が浅かったことを考え合わせると、ガスハイドレートに関連したガスであった可能性が強いと、博士自身の体験を語っておられた。

一方、ロシアの海域におけるハイドレート調査に関しては、1980年代後半に地質省 (Ministry of Geology) がスポンサーとなっ て行われた黒海東部の調査に参加した。これは、石油・天然ガスを対象として実施されたもので、地震探査の中でBSRが観測され、その結果は論文として発表されている (ノモコノフら、1988)。

ノモコノフ博士等によって報告された黒海

のBSRは、水深1,600から2,000mの地震記録断面上の往復走時で海底下約0.5秒の所に現れているが、細部についての判読は難しく、メタンハイドレートに起因するBSRかどうかの判断はなされていない。しかし、黒海ではメタンハイドレートの存在が既に確認されていること (イエフレモバ、ジジチェンコ、1974; ギンスブルグラ、1990)、及びDSDPの掘削地点379 (黒海) の海底下400m付近における地震波速度異常、掘進率の低下、密度の低下等のデータを参考にして、ノモコノフ博士等は上記地震記録断面上のBSRをメタンハイドレートに起因するものと結論づけている。

ノモコノフ博士は現在予算的な制約もあり、経済的に安価で出来る浅層高分解能反射地震探査法を用いて調査を行っているということであった。同博士はメタンハイドレートの探査にもこの手法を適用することを提案されたが、陸上の地震探査記録においてもBSRがメタンハイドレート探査指標となり得るのか、あるいは他に良い指標があるのかについては言及されなかった。

4. おわりに

今回の調査結果をまとめると以下のようになる。

- ① モスクワ国立大学は、凍土学科の研究設備を見る限りでは、研究する環境は決して恵まれたものとは言えない。しかし、優秀な人材が揃っており、研究成果は着実にあがっているようである。エルショフ教授グループは、ヤマル半島において外部組織と共同で調査を行っており、我々にも共同研究の呼びかけがあった。これは、現在進行中のプロジェクトであり、お互いの研究資

源を有効に活用するという意味からも検討に値するといえる。

- ② メソヤハ・ガス田は、当初在来型のガス田として開発されたため、探査、掘削等に関して我々が望んでいるようなデータが揃っているとは言い難い。また、現在も生産中であり、生産する立場からいえば出てくるガスの由来は二義的なものと云えよう。従って、今後もギンスブルグ博士らによる基礎的な調査は続けられるであろうが、ノリリスク・ガスプロム自らが大きめにハイドレート層をターゲットにした調査を行うとは考えにくい。

このような状況に加えて、彼らとの交渉、交通の不便さ、自然条件の厳しさ等を考えると、地震探査や坑井掘削のような大規模な作業を伴う共同調査は、我々にとってそれほどメリットはないと思われる。

- ③ ギンスブルグ博士は、メソヤハ・ガス田の調査、オホーツク海の調査等、メタンハイドレートに関して海域・陸域両面で精力的にフィールド調査を行っており、今後も引き続き交流していくべき存在といえる。
- ④ ロシアの探査技術については、ノモコノフ教授を通してその一端を垣間見ることができたが、特に注目に値するものはなかった。この分野については、我々が独自に新

しい道を切り拓いて行かなければならないであろう。

次に、今回の調査において感じたことを記しておきたい。

ロシアにおけるメタンハイドレートに関する文献数を調べると、1969～1975年に1つのピークがある。ちょうどメソヤハ・ガス田が発見され、マコゴン博士やギンスブルグ博士が研究に没頭していた頃にあたるが、それからもう20年以上たっており、関係者の中には第一線から退いた人も多いようである。モスクワでお会いしたノモコノフ博士は70歳を越しておられたし、メソヤハでは、当時直接開発に従事した人に会うことはできなかった。

最近の様々な混乱の中で、過去の貴重な資料がどういう形で残されているのか、今回の調査過程で一抔の不安を覚えた。

最後に、今回の調査においてロシアの関係者との折衝で大変お世話になったマコゴン（テキサスA&M大学）及び石崎武志（北海道大学低温科学研究所）の両氏、また本報告をまとめる上で何かとご教授いただいた調査団のメンバー、石井吉徳、奥田義久、青木豊、近藤健比古、四宮孝章、棚橋学、中村元の各氏に心より感謝申し上げます。

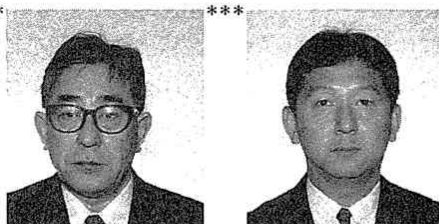
〔海外出張報告〕

米国における T R U 廃棄物の処分場について*

— W I P P の概況 —

和 達 嘉 樹** (財)エネルギー総合工学研究所
専門役

土 田 達*** (財)エネルギー総合工学研究所
主任研究員



1. はじめに

我が国における超ウラン元素 (T R U) 廃棄物の処分は, 「原子力の研究, 開発及び利用に関する長期計画」(原子力委員会, 1994年6月)において, α 核種の放射能濃度が区分目安値(約1GBq/t)よりも高く, 浅地中処分以外の地下埋設処分が適切と考えられるもの(即ち, T R U廃棄物)については, 高レベル放射性廃棄物処分方策との整合性を図りつつ, 民間再処理事業等が本格化する時期を考慮し, 1990年代末を目途に, 具体的な処分概念の見通しが得られるよう技術的検討を進めることとしている。

T R U廃棄物は長寿命廃棄物であるため, その処分は国際的にも地層処分が適切と考えられており, 各国とも地層処分の計画を進めている。しかし, 地層の種類, 処分方式, 処分時期等は, 国により様々である。その中で米国は, T R U廃棄物処分場としてW I P P (Waste Isolation Pilot Plant) を建設し, 処分を実施する段階にある。

W I P P は, 岩塩層中に設けられた処分場であり, 岩塩層が存在しない我が国にとって全面的に参考になるものではないが, 立地選定経緯, 処分関連施設, 処分システム等になからず参考になる点があると考え, ここにW I P P について, 調査時の知見を中心にその概要を紹介する。

2. 調査状況

平成6年度, 科学技術庁より受託した「T R U廃棄物中深地層処分シナリオ調査」の中で, 以下のとおりW I P P の現況調査を行った。

① 期 日: 1994年10月10日, 11日

② 場 所:

・サンディア国立研究所 (S N L)

アルバカーキ, ニューメキシコ州

・W I P P

カールスバッド, ニューメキシコ州

③ 調査項目:

・米国における放射性廃棄物管理

・W I P P プロジェクトの概要

* 本報告は, 科学技術庁からの委託研究「平成6年度T R U廃棄物中深地層処分シナリオ調査」の一部を含むものである。

- ・ WIPPの地上・地下施設
- ・ 安全性能確認試験の状況

3. TRU廃棄物の管理体制

米国における放射性廃棄物管理は、基本的には放射性廃棄物を次の3つに分類して行っている。すなわち、低レベル廃棄物、TRU廃棄物、高レベル廃棄物である。ここでTRU廃棄物は、原子番号92より大きく、半減期20年より長い核種によって汚染されたもので、濃度は 100nCi/g (3.7GBq/t) よりも高いものと定義されている。

規制面について述べると、規準に関する監督官庁は、低レベル及び高レベル廃棄物と同じく環境保護庁 (EPA) になっている。処分施設の許認可に関する監督官庁は、低レベル及び高レベル廃棄物は原子力規制委員会 (NRC) であるが、TRU廃棄物はEPAとなっている。これは、TRU廃棄物に有害

金属が混在することに関係する。

処分については、TRU廃棄物は高レベル廃棄物と同様、地層処分を方針としている。1980年の「核委任に関する国家安全及び軍事利用法 (Public Law 96-164)」によりWIPPの設置が決まり、1989年、ニューメキシコ州カールスバッド近郊の岩塩層に、エネルギー省 (DOE) 施設として、地上施設及び地下施設が建設された (図1参照)。ここに、1970年以降に発生した国防 (軍事) 廃棄物としてのTRU廃棄物を処分する予定になっている。

4. WIPPの立地

(1) 立地の経緯

地質調査所が、1962年、パーミアン・ベースン (二疊紀盆地) が処分場に最適と報告し、それに基づき、オークリッジ国立研究所が岩塩層実験を行った。

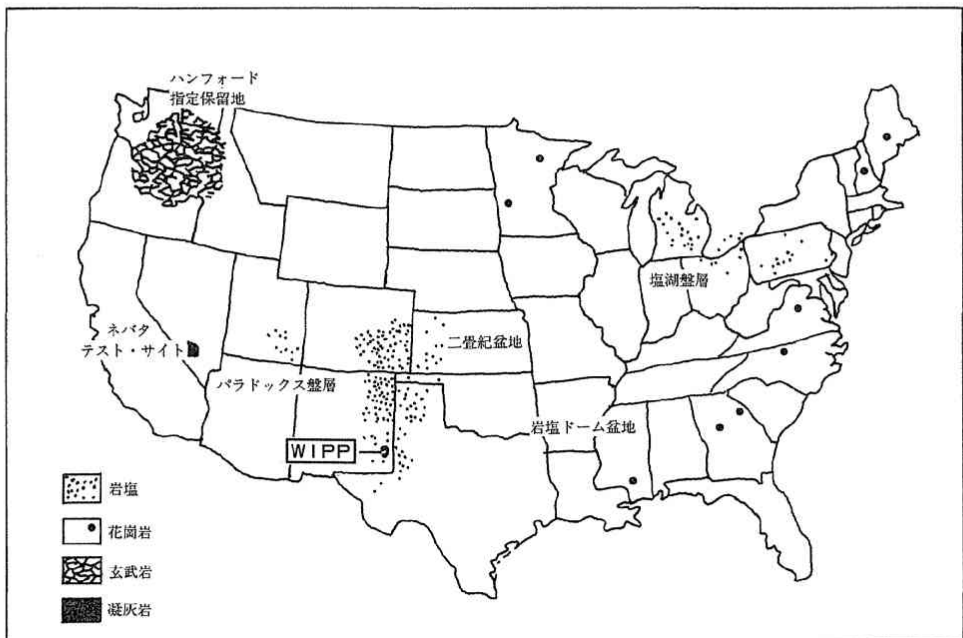


図1 WIPPの位置と地質

岩塩層の有利な点として、

- ① 広範囲に堆積した岩塩層は、ほとんど地震活動のない安定な地層地帯に存在している。
- ② 岩塩層の堆積は、ほとんど水循環が存在しないことを意味している。
- ③ 岩塩層は比較的掘削が容易である。
- ④ 塩のプラスチック性と少量のブライン（飽和塩水）の存在により、掘削中に発生するクラックを自己閉合する性質がある。

実験結果を踏まえ、ニューメキシコ州東部に分布する二疊紀盆地が選ばれた。その理由として、

- ① 有数の安定した岩塩層が広く分布しており、深さ、純度、層厚ともに処分に最適である。
- ② 2億2千万年以上の古い安定地層で、地震や断層活動が少ない。
- ③ 石油や金属鉱山などの地下資源の大規模な開発が行われていない。
- ④ 人口密度も低く、国有地である。
- ⑤ 降雨量が少ない。

などが、挙げられている。

(2) サイトの地質特性

WIPPサイトの地質断面を図2に示す。WIPPが対象とする岩塩層は、地表面下150mから1,250mまで厚さ約1,100mで、ラスラー(Rustler)、サラド(Salado)、カステール(Castile)と呼ばれる層から構成されている。この中で処分施設は、サラド層中の地下約655mに建設されている。その上のラスラー層は帯水層であるが、湧水は非常に少量である。カステール層は約400mの厚さで無水石膏

と塩化物から成り、ここに人間活動の侵入がない限り、被圧塩水が処分場に接触することはない。その下のベル・キャニオン(Bell Canyon)層は、約300mの厚さの帯水層で、砂岩、頁岩、シルト岩、石灰岩から成っている。

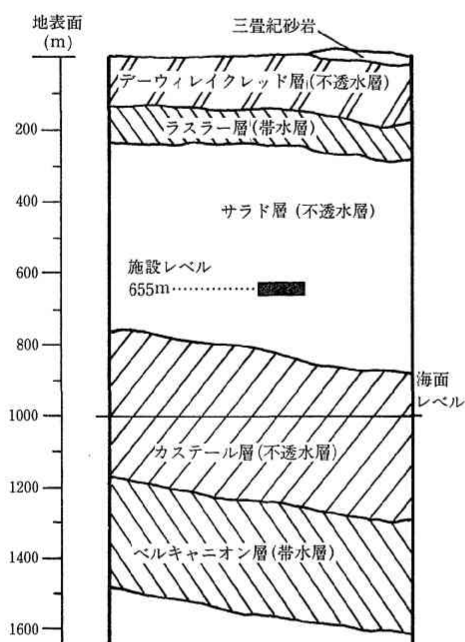


図2 WIPPサイトの地質断面

5. WIPP施設の概要

WIPPは、ニューメキシコ州カールスバッドの南東約40kmに位置し、カールスバッド市内から車で約45分かかる。途中は、丘陵などの見られない平坦な地形で、ブッシュ程度しか生えていない砂漠が見渡す限り続いており、人家は見当たらない。所々に小さな石油掘削場や比較的大きな湖沼が散在する。湖は高濃度の塩湖で、真っ白に輝き、湖岸には結晶化した塩が一面に見られた。

WIPPの全景を図3に、また地上・地下施設のレイアウトを図4に示す。計画された

地上・地下施設は数年前にほぼ完成していた。ただし、地下施設のTRU廃棄物処分エリアについては、調査時には処分ルームは8パネルのうち1パネルしか完成しておらず、残りの7パネルは、操業開始後に先行パネルへの実廃棄物定置作業と並行して掘削する予定となっている。

設備構成は次のとおりである。

- ① 敷 地：41,440,000㎡
- ② 地上施設
 - ・ 廃棄物取扱い建屋
 - ・ 排気フィルター建屋
 - ・ その他ユーティリティー建屋群
 - ・ 岩塩ストックヤード
- ③ 地下施設
 - ・ 立坑設備（4本）：
廃棄物立坑，排気立坑，入気立坑，

建設・岩塩排出立坑

・ 坑道設備：全て，GL.-655m

メンテナンス及び処分エリア，実験
エリア

6. WIPPの地上施設

(1) 輸送と廃棄物分類

WIPPには、全米のDOE施設からTRU廃棄物が運搬、搬入される計画である。トラック輸送中の安全性については、トレーラは常時人工衛星を使用してDOEが監視するシステムを採用している（図5参照）。

WIPPでは、TRU廃棄物を放射能レベルに応じて2分類しており、低レベルのものをCH（Contact-Handled）TRU廃棄物、高レベルのものをRH（Remote-Handled）TRU廃棄物と呼んでいる。

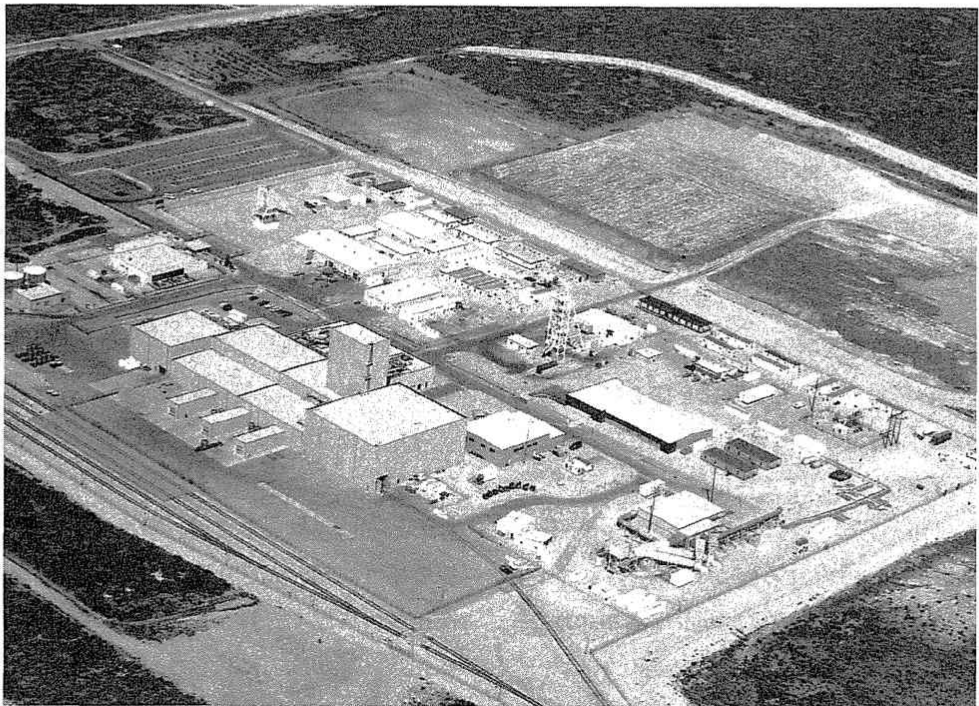


図3 W I P P の 全 景

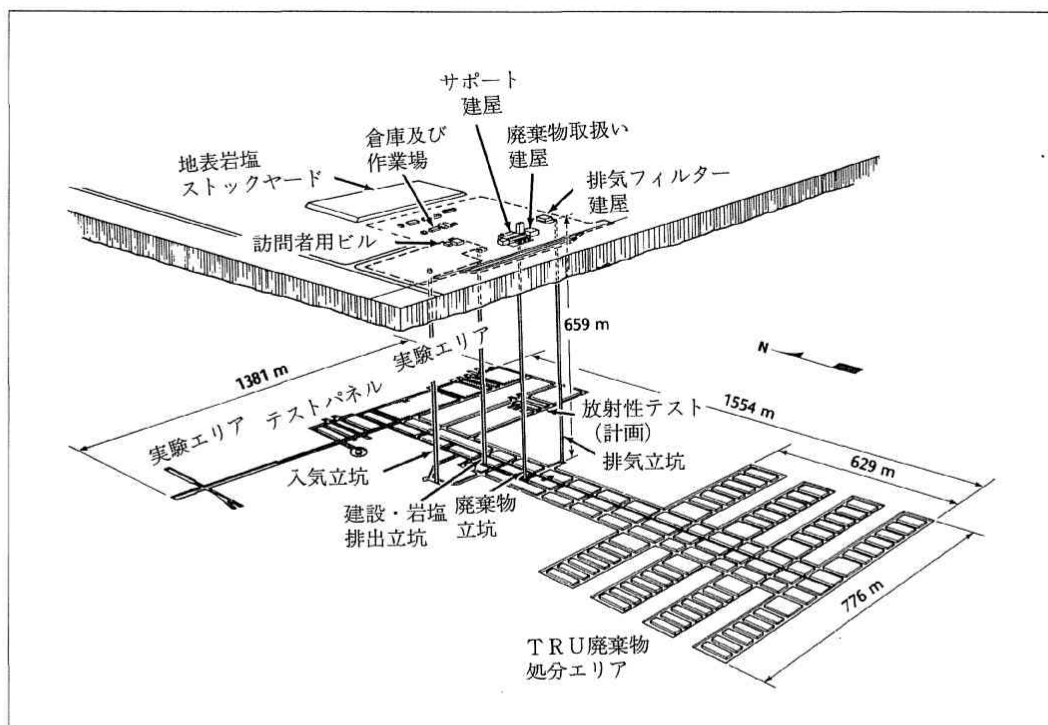


図4 WIPPの地上・地下施設のレイアウト

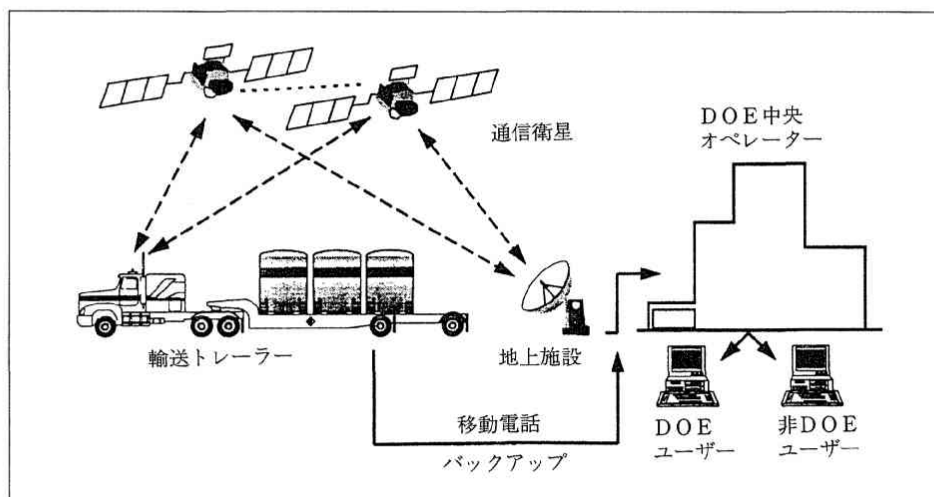


図5 TRU廃棄物輸送監視システム

CH-TRU廃棄物輸送用のコンテナは、TRUPACT-II (TRU Packaging Transporter)と呼ばれており、200ℓドラム缶7本

を2段重ねで計14本収納できるもので、ステンレス製の厳重な二重構造になっている(図6参照)。このコンテナは通常事故だけでな

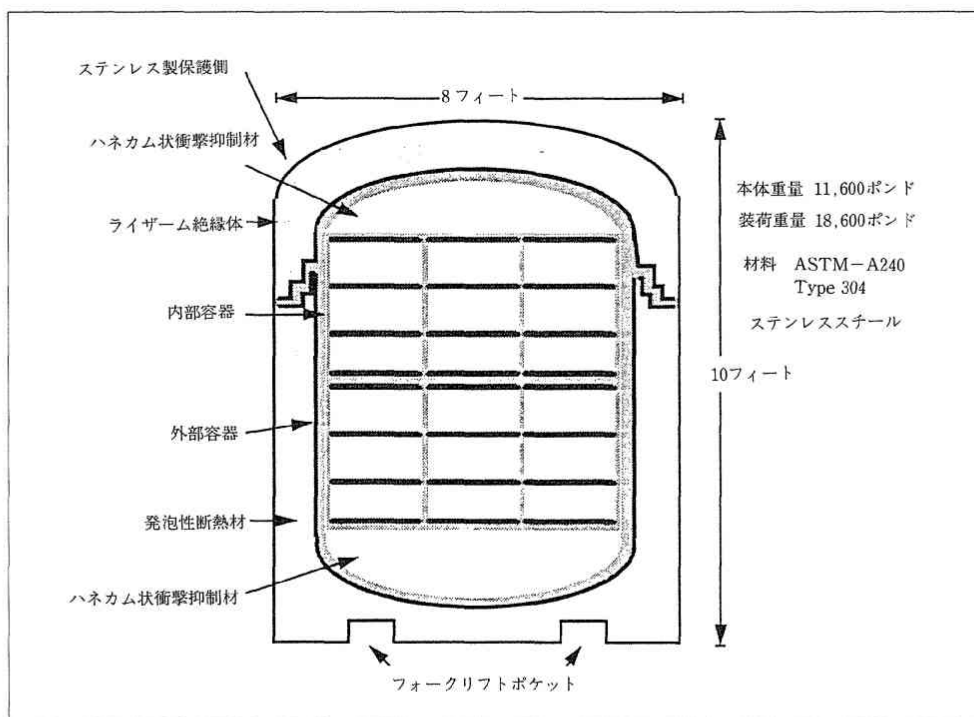


図6 CH-TRU廃棄物輸送用コンテナ

く、国際原子力機関（IAEA）のタイプBテストに準拠して、落下試験、火災試験及び浸水試験等の仮想事故条件下での性能確認試験がなされている。コストは、約\$300,000/個とのことである。

(2) 廃棄物取扱い建屋

地上施設の中心施設である廃棄物取扱い建屋の中に、CH-TRU廃棄物取扱いエリアがある。

- ・ 建屋は3つの受入れ口を有し、内部は外部への漏洩防止のため負圧設計になっている。
- ・ 建屋の使用状況は、調査時にはTRUPACT-IIと7缶2段重ねのドラム缶が見られた。
- ・ CH-TRU廃棄物は、現在、内圧をか

けたテント内かトレンチ内に一時貯蔵になっている。

- ・ 全体の97%を占めるCH-TRU廃棄物の受入手順は、トラックによる搬入→輸送容器の表面線量率測定→輸送容器の蓋はずし→クレーンによる廃棄体の取出し→廃棄体の表面線量率の測定及び損傷の有無確認→埋設専用容器への詰め替え（廃棄物パッケージ）となっている。
- ・ 高レベルのRH-TRU廃棄物は、ステンレス製キャニスター中に固化されて搬入される。その後、リモートハンドリングにより特別なホットセル内で検査され、地下の処分ルームへ移送される。

7. WIPPの地下施設

地下施設の概要を以下に示す。

(1) 立坑

立坑は4本あり、地下施設内の通行には、建設・岩塩排出立坑を使用する。エレベーターは、5～6人乗りで、地下655mまでの所要時間は約4分ほどである。

(2) 地下坑道（図7参照）

坑道内は、6～7人乗りの電動カーにより移動する。坑道内の岩塩は、全体に茶系色を帯びており、塩の結晶と粘土の混合物の様相を呈していた。

地下坑道の大きさは、幅約10m×高さ約4mの矩形断面で、表面には掘削機械（ロードヘッダー）の切削跡が縞状に残っており、大部分は支保工がなされていない。立坑下の坑底部分や坑道の一部区間では、坑道壁面安定のためロックボルトとメッシュ・エクスパンドメタルを使用しているが、吹付けコンクリートは採用していない。

網目状の坑道内は、エリア間の仕切りは二重扉だが、岩塩のクリープにより、鋼板の座屈が散見された。



図7 地下坑道

(3) 処分ルーム

処分パネルは全部で8つあり、各パネルは7ブロック（1ブロック：幅10m×高さ4

m×長さ90m、図8参照）の構成で、前述のごとく第1パネル分だけ完成していた。全処分空間は約205,000m³、処分容量は200ℓのドラム缶で850,000本、170,000m³である。

処分は、廃棄物パッケージをブロック内に定置し、浸水の心配がないことから、単に岩塩により埋め戻す簡易な方法により行われる。



図8 処分ブロック

8. 安全性能確認試験

地下実験エリアでは、各種の実証的試験が行われており、以下に視察したものを紹介する。

(1) シール材適性試験（図9参照）

床面に掘削した数本の縦型井戸の中程を、

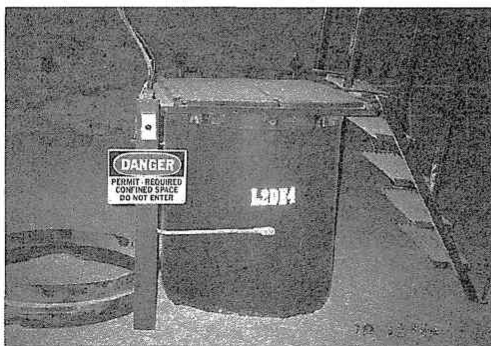


図9 シール材適性試験

材料、方法を変えてシーリングし、その上部に漲水し、下部より漏洩量を検知する比較試験を行っていた。

(2) 天井落下試験

天井補強なしの場合に、天井落下に至るまでの保持期間の調査で、1983年9月に測定開始、1992年2月天井落下が発生している。

図10が天井変位の測定結果で、変形速度は最初の1年目が8インチ/年、その後の7年間は3インチ/年と緩やかであったが、1990年9月頃から急上昇し、崩壊に至っている。

これは、岩石の物理試験結果を用いて解析した崩壊予測時間の約1/2とのことである。この結果、地下坑道が崩壊により自然閉塞に至る予測期間を、250年から100～150年に変更している。

なお、これは処分ブロックの天井落下にも適用されるが、処分では岩塩による埋戻しを行うことから、WIPP側では何ら影響がないとの見解をとっている。

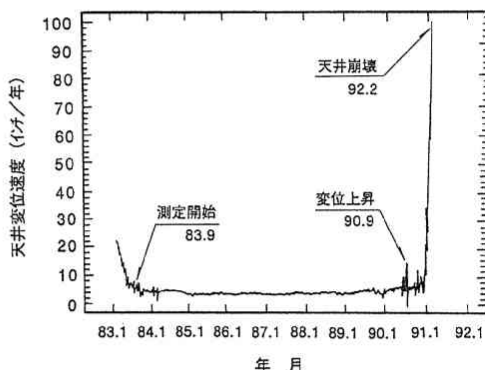


図10 天井変位の測定結果

(3) 岩塩中の塩水漏出試験 (図11参照)

一般に、岩塩中には空隙水あるいは結晶水の形で微量の水分が含まれている。これらはブライン (飽和塩水) と呼ばれ、坑道よりト

ンネル・ボーリング・マシンを用いて内径約3mの円形坑道を掘削し、被圧されたブラインの浸出挙動観測を行っている。今までに、ブラインの浸出は確認されていない。

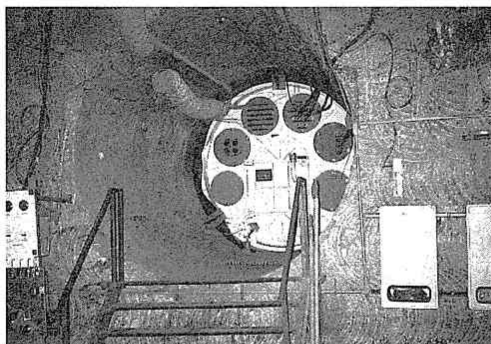


図11 岩塩中の塩水漏出試験

(4) その他

- ① 地下空間は温度17～18℃ぐらい、全体にドライな環境になっている。塩埃を抑えるため、時々通路に水が散布されている。
- ② 天井落下試験で予想外に早く崩壊があり、坑道の長期維持には、坑道断面が矩形より馬蹄形の方が適するようである。

9. おわりに

WIPPについてまとめると、次のようになる。

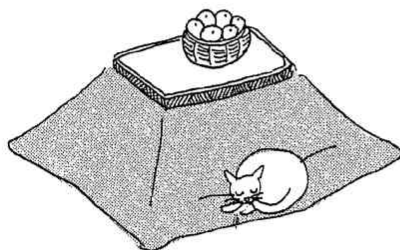
- ・ WIPPサイトは、地質の安定性、岩塩の自己シール性及び岩盤としての強固さ、地下水位が低いこと等から、総合的にTRU廃棄物の処分に適した環境と考えられる。
- ・ WIPPは、目標の施設建設が完了し、性能評価に必要な各種の実証的試験もほぼ終了している。ニューメキシコ州及び地元カールスバッドの支援もあり、1998年の操業開始に向け、順調に進捗中といえる。

- ・ 最近の情報によると、1995年10月のWIPP処分決定計画（DDP）の改正により、CH-TRU廃棄物の処分開始は、1998年4月と設定された。一方、RH-TRU廃棄物の処分開始は、2002年の計画となっている。

終りに、調査にあたり、お世話になった訪問先の方々及び、科学技術庁の関係者の方々にお礼を申し上げる。

〔参考文献〕

- [1] 放射性廃棄物管理ガイドブック(1994), 日本原子力産業会議
- [2] '88～'93年ソーソン廃棄物管理国際会議参加米国視察団報告書(1988), 日本原子力産業会議
- [3] ストリバ国際シンポジウム参加調査団報告書(1994), 原子力安全研究協会
- [4] WIPP Disposal Decision Plan, Revision 2, October 6, 1995.



〔海外出張報告〕

スタンフォード大学滞在記

黒 沢 厚 志 (財)エネルギー総合工学研究所
主任研究員



1. はじめに

私は、この1年間、スタンフォード大学エネルギー・モデリング・フォーラム (EMF, Energy Modeling Forum) へ客員出張する機会に恵まれた。出張中に、昨年、季報第17巻4号に『エネルギー・環境モデルの現状と展望』と題し報告をした。今回は、主観を交えながら記憶の薄れないうちに、エネルギー関係のトピックを中心に1年間の滞在を振り返ってみた。

2. 大学と授業風景

サンフランシスコ空港から南に30分ほど車でフリーウェイ101を走ると、全米屈指の研究実績を持つ総合大学、スタンフォード大学の出口サインが見えてくる。鉄道王スタンフォードは、大学を創設した際、土地売却を禁じるルールを定めた。そのため、今なお、正門を入りチャペルまでの椰子の樹が茂る道からキャンパス中心部を経て、農場、ゴルフコース、線形加速器のある周辺部まで、非常に広大なキャンパスが広がっている。また、キャンパス南部に隣接したサンノゼまでの地域は、いわゆるシリコンバレーといわれるエリアで、ヒューレット・パッカート、サン・マイクロシステムズ、シリコングラフィックス等、

スタンフォード大学のスピノフをはじめとした、コンピュータならびにバイオテクノロジー関連のハイテク企業が集中している。

滞在していたエネルギー・モデリング・フォーラムは、教え子であったヒューレット、パッカートに会社設立を勧めたターマン教授にちなんで命名されたターマン・エンジニアリング・ビルディングの4階にある。同じ階のエレベータのそばには、オペレーションズ・リサーチ学科の教授陣の写真が貼ってあり、ノーベル経済学賞を受賞した名誉教授アロー、数理計画法の代表的手法のひとつである線形計画法の権威ダンチッヒ教授などの名前を見ることができる。ダンチッヒ教授はかなりの高齢であるが、現役で授業を担当している。

客員滞在中は、聴講生として授業に参加することが可能であり(4学期制のスタンフォードでは、学部、修士あたりまでの学生は、毎回の授業の宿題、中間・期末とほとんど毎月ある試験で絞られる)、冬学期は石油工科大学院向けの授業を覗いてみた。それは、最近幕張メッセで開催された「世界エネルギー会議」の前回マドリッド大会をまとめた、「明日のためのエネルギー(Energy for Tomorrow)」他1冊のテキストをプレゼンテーショ

ン形式でディスカッションする、週1回夜7時から9時までの2時間コースである。設備を遊ばせない発想と、教授と学生の都合で決まる授業の時間設定にまず驚いた。一方通行の講義形式でないインタラクティブなディスカッションは想像以上に活発だった。授業でいかに他の学生をリードしたかが評価されるシステムを採用していることもあり、もともと社会的にもプレゼンテーションの訓練を受けている学生は、中身は普通のことを言っているのだが役者のようにうまく喋る者がいる。議論への参加もオープンであり、聴講生といえども授業に参加しないことは許されず、頻繁に日本のエネルギー事情について質問が飛んでくる。

また、この授業を担当している教授の別の授業「エネルギー資源」のフィールドトリップにも参加した。これは、エネルギー生産現場を直接見ることができるよい機会であった。安価な石油に依存した自動車（高いガソリンスタンドでも小売価格で日本の3分の1以下）、飛行機を主な移動手段とするカリフォルニアなので、どのフィールドトリップも通勤ラッシュを避けるため、早朝7時頃に大学に集合し、そこから大学のバスで（教授、学生は運転手を兼ねていることもある）目的地に向かう日帰りの旅である（図1）。

●サンアルド油田

油田というものを近くで見るのは初めてだった。スタンフォードから3時間弱ひたすら南に

走ると、フリーウェイ101沿いに石油を汲み上げるグラスホッパー群の目に付く一角がある（図2）。テキサコおよびモービルが鉱区権を保有する推定埋蔵量10億バレルのサンアルド油田は、カリフォルニアの陸上油田では最大規模である。1947年の発見以来継続して原油

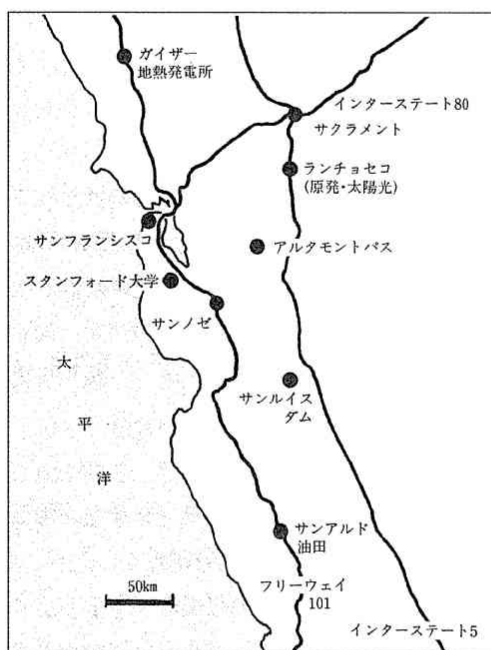


図1 スタンフォード大学周辺とフィールドトリップ訪問地

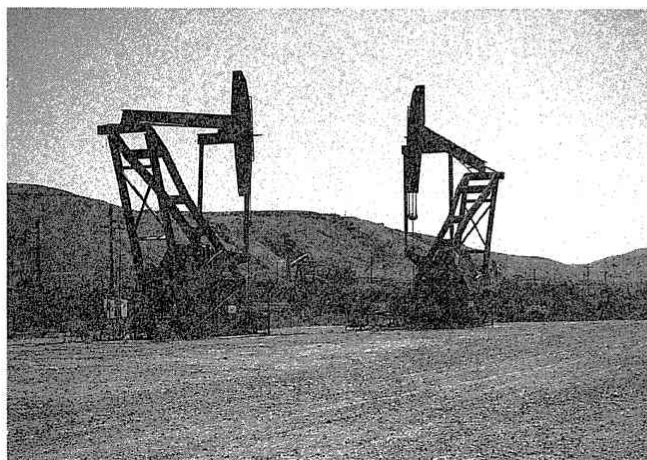


図2 サンアルド油田のグラスホッパー

生産が行われ、2つの油井から産出する原油はピーク時には20,000バレル／日に達したが、その後産出量が低下して1959年からは水攻法、火攻法、蒸気攻法といった二次回収を開始した。特にテキサコ鉾区の枯渇が顕著で、経済的に見合わないグラスホッパーの運転は中止されている。産出原油はかなり粘性の大きい重質油のため、柔軟剤添加処理後パイプラインにより輸送される。また、1991年からは地元公益企業によるガスタービン・コジェネレーション・プラントが運用を開始し、プラントに蒸気を供給している。環境面からは、従来は燃焼させていた副産物の随伴ガスをコジェネレーション用燃料としての活用、硫化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物、一酸化炭素のモニタリングが実施されている。

●サクラメント市公益事業ランチョセコ地区 (原子力発電所、太陽光発電)

アメリカの公益事業の規模は大小まちまちであるが、サクラメント南方に位置するサクラメント市公益事業のランチョセコ地区に

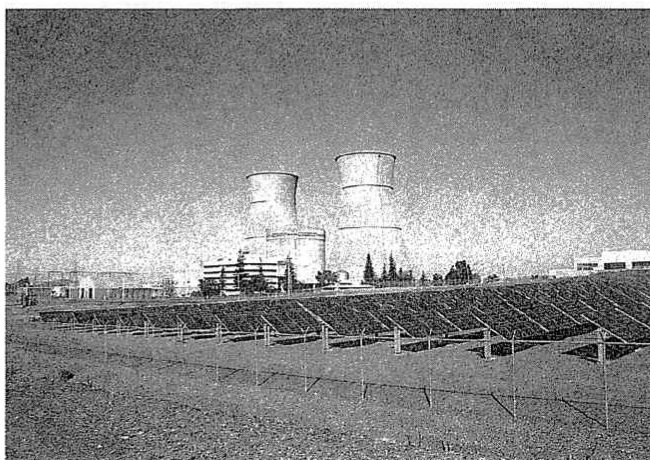


図3 ランチョセコ原子力発電所と太陽光発電実証設備

は、原子力発電、太陽光発電、燃料電池関係の設備があり(図3)、原子力と再生可能エネルギーへのアプローチを自治体レベルで行っている。

2 ループ冷却型の加圧水型原子力発電所は、1974年に発電を開始したが、その後炉の過冷却によるトラブルを経験したため、定期的な住民投票により運転継続の是非をその都度決定している。サイト周辺には海や大河川がないため、最終的なヒートシンクは運河となっているのが大きな特徴である。

また、同サイトにあり1982年にスタートした太陽光発電の実証プロジェクトは、日照等の気候条件に恵まれ、アルコ、モービル、ジェームスなどの企業の参加を得て、分散型電源のパイロットプラントとして、現在はPV-1、PV-2の2ユニット合計で2,000kWの設備容量を有するに至っている。

●サンルイスダム

アメリカの運輸システムの大動脈、インターステートフリーウェイの番号付けは一貫しており、南北が奇数、東西が偶数という原則のもとにそれぞれ南、西から番号が付けてある。5番おきにある幹線的な性格のフリーウェイのひとつに、南はメキシコ国境のサンディエゴまで続いている5号線がある。その5号線と並行し、カリフォルニア州を南北に縦断する約1,000kmの長距離運河(アクアダクト)は、カリフォルニア北部の水資源を南部で利用するため、連邦政府およびカリフォル

ニア州の共同水資源開発プロジェクトにより掘削された。アクアダクト途中の多目的ダム、サンルイスダムにあるジラネリ揚水発電所は、約70万kWの発電能力を有している。

●アルタモントパス・ウィンドパーク

サンフランシスコからベイブリッジを渡り東に約2時間。カーター政権の再生可能エネルギー推進政策を契機として、1981年以来今日までに、20以上のメーカーによる7,300を超える風力発電ユニットが設置されたアルタモントパス・ウィンドパークに到着する。放牧された牛と風車群の組み合わせは、一見異様な風景である(図4)。同地区の総発電容量は約70万kWであり、サンフランシスコの人口をまかなうだけの規模に達している。可変速タービン等の技術革新が進んだため、発電コストは現在キロワット時あたり3~4セントにまで低下してきている。

しかし、見学時は冬季のため夏に吹く卓越風がほとんど吹いておらず、回転している風車は少なかった。ピークカット用電源としては有効であるが、自然条件に左右される不安定なエネルギー源であることを実感した。

●ガイザー地熱発電所

カリフォルニアワインの産地のひとつとして有名なソノマ郡の一角には、世界最大の地熱発電サイト、ガイザー地区がある。同地区に権利を有するウノカル社の権利地区では、1989年には蒸気生産がピークに達したが、その後は増し掘りをして増産効果がなくなってきた。見学した20ユニット合計で約60万kWの出力を持つ発電設備では、熱損失のために発電所は蒸気井から2マイル以内に位置しなければならない、蒸気の有効利用率は17~20%とのことであった。

3. 日米エネルギーワークショップ

地中海性気候のカリフォルニアでは主に冬に雨が降る。日頃の行いが悪いのか、1994年から1995年にかけての雨期は、観測史上でも稀の雨が多いシーズンとなり、ワイン産地として有名なサンフランシスコ北方のナパ、ソノマ両郡あたりは、大洪水に見舞われた。そんな折、サンフランシスコで1月19、20日の両日にわたり日米エネルギーワークショップをやるから参加しませんか、という案内が日



図4 アルタモントパス・ウィンドパーク

本から届いた。

アメリカでは軍事予算削減に伴って軍施設
の縮小、統合が進められており、サンフラン
シスコのゴールデンゲートブリッジのそばに
も最近軍用地ではなくなった、プレシディオ

地区がある。このプレシディオは、歴史的に
はサンフランシスコ講和条約が締結された場
所である。戦後50年というタイミングで日米
のエネルギー関係者が参加する会議の開催地
に、プレシディオ・ゴールデンゲート・クラ

表 日米エネルギーワークショップ討議内容要旨

セッション名	米国側 プレゼンテーション	日本側 プレゼンテーション	ディスカッション
2000年以降の見 通し	- 現在の化石燃料への依存度は高い - 安価な石油・ガス・水力資源は欠乏する可能性あり - 環境、原子力、再生可能エネルギーといった不安定要因を伴うシステムの再構成には時間がかかる - 長期戦略として、最終需要での効率向上、化石燃料と原子力の環境負荷削減、人口抑制等が有効	- CO₂削減等の環境対策、経済成長、人口、エネルギーの長期シナリオの紹介 - 先進国と途上国のエネルギー消費と公平性の問題が重要 - 原子力とバイオマスを拡張した場合、炭素排出削減シナリオが存在	- 土地制約による、バイオ燃料生産と食糧生産のトレードオフに注意 - 米国のエネルギー研究開発政府予算総額は1980年の約3分の1に減少 - 原子力は将来のオプションとしてオープンにしておき、技術ポテンシャル維持が必要 - 運輸エネルギーシステム変更は多額のインフラ投資が必要で急激には困難 - GNPは環境破壊の経済活動を正の効果としてカウントする。現在は他の適当な評価因子がない
需要サイドの 対策	- エネルギー効率向上はコスト削減、生産性向上に効果あり - 市場原理は完全でなく、技術開発促進、市場浸透を進めるため、政府の研究活動は必要 - 原子力重視から、再生可能エネルギーおよび省エネルギー重視へと政府はシフト - 近年削減傾向の政府予算は環境問題意識の高まりにより再度増加の可能性あり	- 日本のエネルギーカスケード利用システム構想、地域熱供給プロジェクトの例の紹介 - 産業廃熱有効利用が重要	- 省エネルギー研究開発を国レベルから国際レベルに引き上げることが必要 - 世界の家電・航空会社が共同開発した代替フロンのように、エネルギー・環境分野でも国際協力と競争が共存可能 - エネルギー節約の倫理観は共通だが、日本ではセキュリティ重視、アメリカでは経済性重視といった視点が異なるため、日米での議論が噛み合わない - カスケード利用は個別技術としては魅力的であるが、実用段階では経済性原理が働き導入されない可能性が強い
供給サイドの 対策	- エネルギー研究開発における技術革新の役割を強調 - 太陽光発電などを例にとり、量産による学習効果に伴う中小規模電源の発電コスト低下トレンド分析を紹介 - 新技術需要拡大による価格低下が見込まれる	- 長期エネルギー需給見通しでは原油安を反映して新エネが下方修正 - 太陽光、ごみ発電、LNG等の高度利用が、新エネ導入シナリオの3本柱 - 電気事業法改正による分散型電源導入促進の規制緩和例もある	- 研究開発促進におけるトレードオフが存在。イノベーション重視では商業化が遅れ、マーケット重視ではエネルギーシステム変更のインフラ投資が必要 - 効率向上メカニズムは地域により異なる。先進国はイノベーション、エネルギー産業民営化、発展途上国は資本蓄積 - 商業化からの基礎研究の保護の必要性 - 政府のリーダーシップの重要性 - 政策アナウンス効果 - 市場原理により新エネ導入が進まない場合の炭素税の有効性
途上国の 持続的発展に 必要な投資	途上国の金融市場が未発達であることが投資阻害要因になっている		- 日本の電力会社、世界の大電力会社(電力サミット)の途上国支援計画の紹介 - 電力系統未整備国のケースではサプライサイドからの援助も必要 - 途上国支援ではニーズ把握が重要 - 途上国支援は自助努力喚起の観点から一部有償が望ましい - 資金援助は巨大プロジェクト中心で、省エネ等の小規模で数が多いプロジェクトは後回しにされがち

ブが選ばれたのも何かの因縁だろう。

この会議は、第1回東京会議に続くもので、約80名の参加者があり、「2000年以降の見通し」「需要サイドの対策」「供給サイドの対策」「途上国の持続的発展に必要な投資」という4セッションで構成された。日米の代表者がプレゼンテーションを行った後、組織代表としてではなく参加者個人としてのフロアからの質問、コメントを重視するフリーディスカッション型のワークショップを意図していた。多くの示唆を含む各セッションの概要を表に示す。

4. ロビンズ氏の講演

4月になるとサマータイムへの切り替えの時期である。冬でもサングラスが手放せないほどの強い日差しが夕方までさらに眩しく感じられ、日中はかなり暑い日も出てきた。霧のサンフランシスコ周辺とは異なり、大学周辺は朝は曇っていても昼間は文字通りカリフォルニアの青い空になり、夏場の暑い日でも湿度が低いので快適である。そんなある日、キャンパス・ニュースという大学新聞を見ていたら、ソフトエネルギーパスの提唱者である、ロッキー・マウンテン研究所のロビンズ氏の講演会告知記事が目に入った。

スタンフォード大学ビジネススクールは、1990年から毎年環境関連の記念講演会を行っており、今年はロビンズ氏に白羽の矢が立った。講演の「ネガワットとハイパーカー」(Negawatts and Hypercars)の主旨は、最終需要の徹底した省エネルギー(省電気エネルギー：ネガワット)、革新的自動車(ハイパーカー)設計等により、エネルギー需要の大幅な抑制を描くシナリオの紹介である。

アメリカのエネルギー需要は石油危機時の予測を大幅に下回っているが、その一因と考えられるのがエネルギー利用効率向上である。氏は、電力部門の効率向上に寄与するのは、エネルギー最終需要における省エネルギー技術のコスト低下、制度的改善(法制度等によるインセンティブの付与)、規制緩和、電力会社の使命と文化的背景の変化といった4要因であると述べた。その結果、「新設電源は高く、省エネは安い」という状況が生じており、エネルギーフロー下流側の効率改善が上流側の設備削減に与えるベネフィットは大きいことが示された。

また、新車燃費は年々向上しており、よりいっそうの向上を図るには、カーボンファイバー等の材料による軽量化、設計プロセスの統合化等による革新的設計が必要であることが指摘された。そして、ガソリン消費抑制にはハイブリッド車が有望であり、現在より1.5～20倍エネルギー効率の優れた設計を追求すると、小型、安全、排出ガス少、コスト安の自動車コンセプトとなることが示された。

5. スタンフォード大学 EMF

1976年に設立されたスタンフォード大学EMFはエネルギーシステムのモデリングに関するトピックを幅広く取り上げ、これまでに計13件のスタディを行ってきた。

現在EMFの活動の中心であり、エネルギー・環境・経済の統合モデルの比較をメインテーマとしたEMF 14の概要については、「季報エネルギー総合工学」第17巻第4号で紹介済みであり、その後目立った進展が見られないので今回は割愛したい。最近明らかになった、新しいプロジェクトEMF 15「競

争時代の電力産業 (A Competitive Electric Industry)」では、電力産業の規制緩和に伴う、料金制度、電源設備投資リスク、分散型電源の可能性、燃料間競合と環境問題、需要サイド管理 (DSM, Demand Side Management) への影響について議論すべく、1995年11月から活動を開始している。

6. コンピュータ環境

アメリカ、特にスタンフォード大学に滞在中でよかったと思うことのひとつに、特にソフト面でのコンピュータ利用環境が充実していたことがある。例えば、スタンフォード大学における電子メール導入の動機のひとつは、ほとんど限界に達していた紙ベースでの学内便のトラフィック軽減にあった。現在は電子メールシステムは不可欠なもので、授業登録から試験時間通知まで、かなりの割合の作業や連絡がオンラインベースで可能となっている。

電子メールも、年間24時間運用されているワークステーション・クラスタを通じてパソコンで読めた。日本語のメールが使えたために、リアルタイムで日本から注文がたくさん舞い込み困ったこともあった。

学内ネットワークへの新規接続、トラブル等に関しては、ネットワーク専門のサービスがあるのでサポートは万全であり、組織内ボランティアに頼ることもある日本とは決定的に違う。インターネット接続環境にあり、WWW (World Wide Web) サーバーを覗けるならば、スタンフォード大学のホームページ "<http://www.stanford.edu>" を見れば、大学の概要が把握していただけると思う。

私の米国滞在中に日本でもインターネット

ブームなるものが起こったらしく、戻ってきた現在ではかなり環境は改善されつつある。日米の最大の違いは、「ソフト、ハードに熟達した人材層の厚さと戦略的アプローチ」にある。日本でコンピュータ導入を図るとき、従来からどうしても単体のハードウェアに目が行きソフトウェア、ネットワーク、そして最も大事なサポート人材の確保・教育は軽視されている。今後はネットワーク人材の確保、教育に力を注ぎ、研究者が集中して作業に没頭できる環境が必須となろう。

ネットワーク化されたコンピュータ自体は、情報を活用する手段であって目的ではないが、その利用ノウハウを知っているかいないかで今後のビジネスには大きな格差がつくことが日本でも理解されてきた。今後の情報武装は、単にパソコンの台数を増やすのではなく、ノウハウの蓄積・共有、情報センターにおけるサポート人材の育成、そして情報受信に加えて情報発信を行っていくという組織戦略のビジョンとセットで行うことが重要である。

7. おわりに

・エネルギーは完全な「商品」となりうるか？

アメリカでは確実に電気の商品化が進んでいる。滞在していたカリフォルニア州では、送電・配電以外は徹底して自由化する電力市場の規制緩和案が提示され、州公益事業委員会を中心として議論がなされている。また、日米エネルギーワークショップのオプションツアーで訪問したサンフランシスコ市内にあるパシフィック・ガス&エレクトリック社(PG&E)のPR館「エネルギーセンター」では、盛んに家庭での省エネルギーの可能性を

強調しており、エネルギー供給側の展示はゼロである。家庭用および業務用電力需要のカットにより余分な設備投資リスクを回避しようという米国の電力会社の姿勢が現れていて、日本の電力館だったら、エネルギー供給側の展示もあるのが普通であるのとは対照的である。

電気を含めてエネルギーは生活必需材であるが、同時に商品でもある。少なくとも先進国においては、その市場取引が今後の規制緩和によって自由化されていくのは確実なトレンドとなってきた。しかし、その一方で供給安定性等への懸念も指摘されており、メリット、デメリット両方を考慮する必要があるだろう。

・エネルギー研究開発と政府の役割

米国エネルギー省の研究開発予算は確実に減少の方向にあり、D S M等に代表される市場原理の導入により、需要側の経済的インセンティブに訴える手法が、その代替手段として指向されている。規制緩和大潮流のエネルギー部門への適用が有効である場合も多いが、その一方で供給側の研究開発を切り捨て

ていくことは、技術ポテンシャルの確保といった長期的エネルギーセキュリティの面からはマイナスの影響が懸念される。

また、石油危機を契機としたアメリカの再生可能エネルギー研究開発および市場への浸透政策は一定の成果をあげてきた。しかし、今後はエネルギー省の研究開発予算削減、規制緩和による保護の方策撤廃などの影響を受け、徐々にマーケットの試練を経て競争力のないオプションは淘汰される可能性が強い。

技術研究開発の成果は特にエネルギー分野では公共財的性格を強く有しており、私企業の目的は社会的利益ではなく自社の利潤最大化にあるため、政府の役割は極めて重要である。日本においても、第一次石油危機から20年を経過した現在、膨大な投資を行ってきたエネルギー研究開発について技術的および経済的可能性を考慮しながら、そのプライオリティについて再検討すべき時期に来ている。

最後に、紙面を借りて1年間という長期の滞在にあたってご協力を頂いた内外の関係者の皆様に深謝いたします。



北陸電力（株） アリス館志賀

I A E 女性研究員取材チーム

訪問記

秋たけなわの10月30日に、五十嵐・坂口の2人は、石川県羽咋郡志賀町にある北陸電力（株）の「アリス館志賀」「志賀風力・太陽光発電センター」「志賀原子力発電所」の3つの施設を訪問しました。「アリス館志賀」は、1994年4月にオープンしたばかりの、原子力発電やエネルギーに対する電気事業の取り組みなどについてのPR施設です。原子力発電の必要性や安全性、また、太陽光や風力発電に取り組んでいる様子などを勉強してきましたので、どうぞお付き合い下さい。

「アリス館志賀」。まずネーミングが可愛いですね。イギリスの数学者ルイス・キャロルによって書かれた有名な童話「不思議の国のアリス」のキャラクターたちが、原子力という不思議の世界について教えてくれるのだそうです。どんな展示物があるのでしょうか？私たちはウキウキと出かけて行きました。

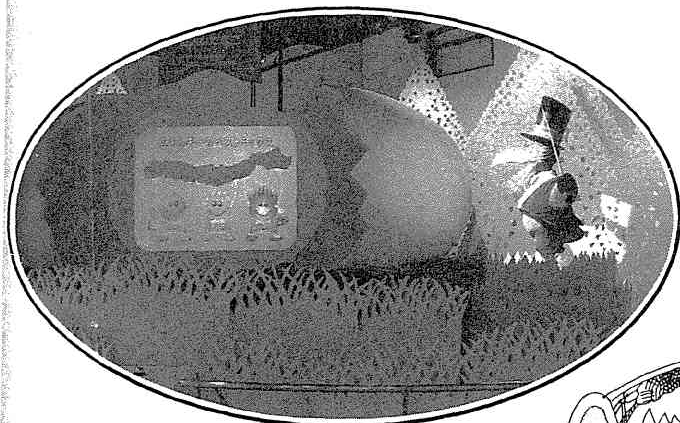
館内に一步入るとまず、「わ～きれ～い。可愛い～い」。

色調や照明が美しい3Fまで吹き抜けのエントランスホールでは、アリスの仕掛け時計が出迎えてくれます。そして、霧のスクリーンに映し出されるウサギとアリスの映像が、館内へと誘います。すごい。最新のテクノロジーです。**ファンタジックです。**本当にアリスと一緒に旅をするような気分になってきました。



不思議の国のアリス：うさぎを追いかけて木のうろに入ったアリスは、次々と不思議なことに出会います。

主な展示物について

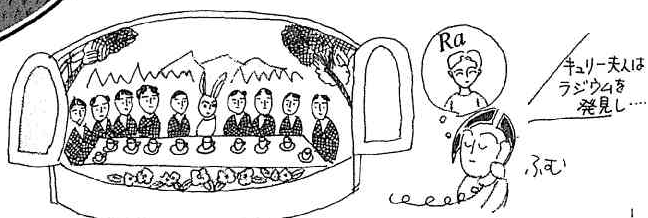


巨大なたまご

アリスとドウドウ鳥が原子力開発のメリットや志賀原子力発電所の必要性を、たまごの中のスクリーンで紹介します。

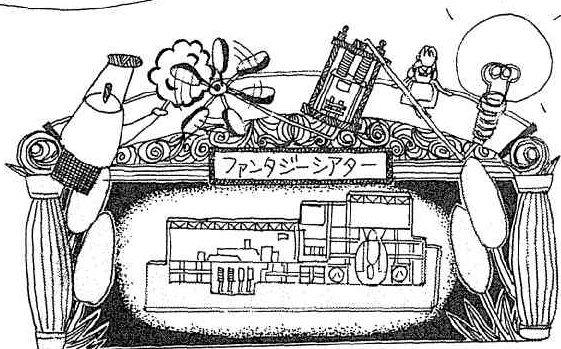
三月うさぎのお茶会

設置してある受話器から、お茶会の雰囲気、原子力開発に貢献した科学者たちの紹介を聞くことができます。



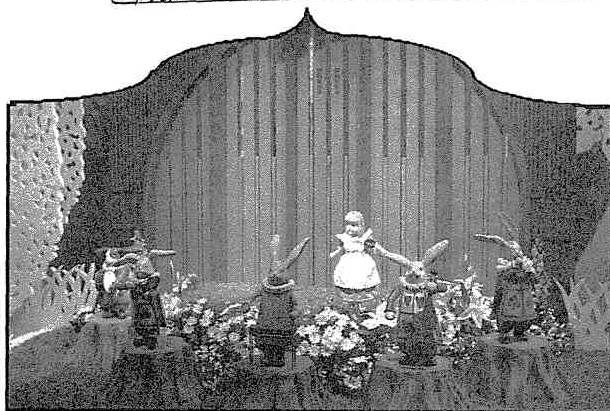
ファンタジーシアター

志賀原子力発電所の1/25模型を舞台に、映像のマジックであちこちにアリスと伯爵ウサギが登場し、楽しい会話をしながら原子力発電のしくみを紹介します。



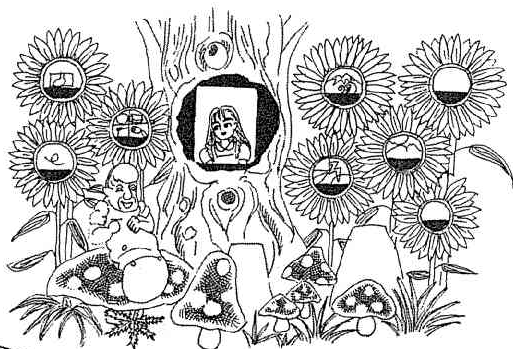
不思議なパイプオルガン

アリスと5匹のウサギ、そして私たちも参加できるミュージカル。楽しい演奏を通し、原子力発電の制御のしくみを学びます。



アオムシ博士の青空教室

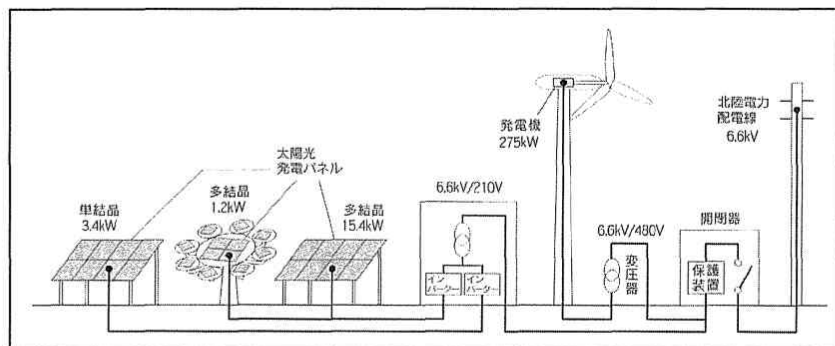
アオムシ博士とアリスが二人で、放射線のことを教えてくれます。ヒマワリの花に映し出される放射線に関するクイズに答えながら、放射線について楽しく学べる青空教室です。



風力・太陽光発電も

～志賀風力・太陽光発電センター～

アリス館を見学する途中に、広報レディーの狭間さん、菅野さんから「志賀風力・太陽光発電センター」について説明していただきました。場所的には、アリス館と原子力発電所の間に位置しており、アリス館の建物の窓からその装置を見ることができます。



← 全体の配線図

ここには、実証試験用「風力発電装置」と「太陽光発電装置」があります。

風力発電設備は、プロペラ型の3枚の羽根がついた風車型の発電施設で、タワーの高さは30m、羽根の直径は28mで、秒速5.5m以上の風が吹くと発電しだし、出力は275kW、年間では約25万キロワット時の発電量が予想されるということです。

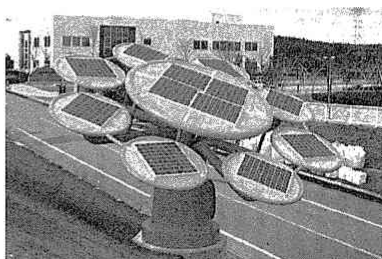
また、太陽光発電装置は多結晶シリコン162枚(139㎡)、単結晶シリコン60枚(25㎡)からなる装置で、出力は合計で20kW、年間では約1万8000キロワット時の発電量が予想されるそうです。

また、この中の1つの太陽電池は、ヒマワリのような黄色い花の形をしており、ビジュアル的に楽しい装置でもあります。

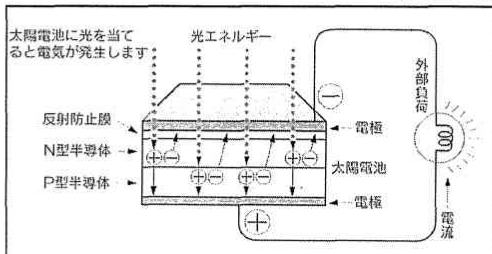


↑ 風力発電装置

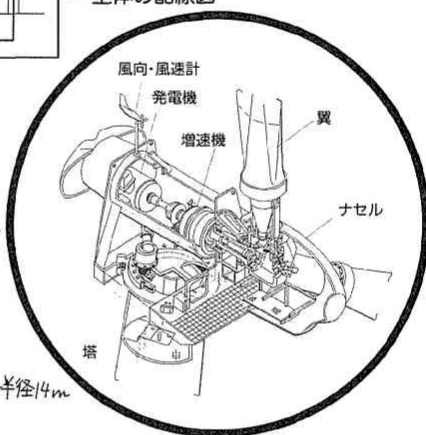
↓ 花形太陽電池



太陽電池のしくみ



中はこうなっています



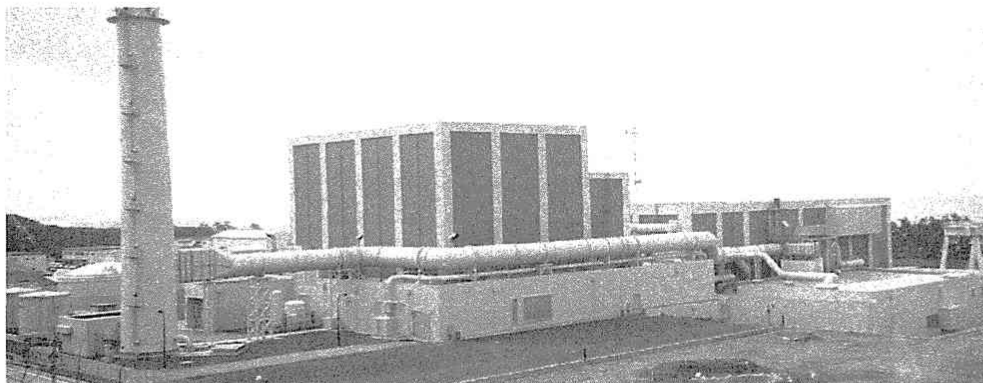
太陽や風力など、普段の生活では特に気にも留めない自然のエネルギーによって発電ができるということは、つまり私たちは自然からの恩恵を生活に役立つ「電気」という形で受け取っているのだということに気がきました。(それはこういった場所での地道な研究開発のお陰だということは言うまでもありません。)将来はよりいっそうの開発が進むことを期待しつつ、次の見学場所である志賀原子力発電所へと向かいました。



発電所はグッド・デザイン

～志賀原子力発電所～

アリス館の隣に建っている志賀原子力発電所は、通産省から平成7年度の「グッド・デザイン施設」に選ばれた、デザイン的にすぐれた発電所です。その理由としては、まず何よりも環境への配慮が挙げられるそうです。その選ばれた秘密にせまってみましょう。



志賀原子力発電所



↑グッド・デザイン
施設選定証

—その理由とは？—

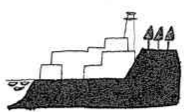
1 防波堤をまっすぐな形(一文字型)にしたことや、船から荷物を下ろす場所(物揚場)からの運搬道路を、「カルバート構造」(メガネ橋のような下部穴あき構造)にすることで、能登半島沿いの潮流を妨げないようにしたこと。



2 海岸の埋め立てを極力少なくして、海岸のなぎさ線や松の林をできるだけ残し、地元の特産の岩のりの藻場(藻が繁殖していて、魚が集まってくる場所)に影響しないようにしたこと。



3 半地下へ発電所を建設することにより、地上からは建物を半分見えないようにして周辺に威圧感を与えないようにし、また重心を低くすることにより、地震に対して強い構造にしたこと。



4 建物の外壁をやわらかい印象を与えるようにアイボリーと淡いブルーにしたこと。



つまり「人と自然にやさしい発電所」というコンセプトが評価されたわけですね。



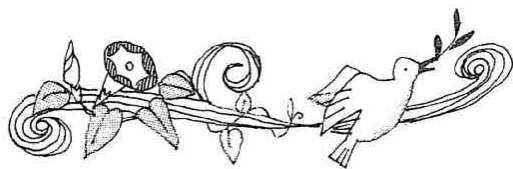
一文字型の防波堤

グッド・デザイン選定制度って？

通産省が昭和32年から実施している制度で、「デザインに関する理解と関心を深めるとともに、商品および施設のデザイン水準の向上を図ることによってゆとりと豊かさに満ちた国民生活の実現と産業の高度化をはかる」のを目的としています。今回志賀原子力発電所は、平成6年度から新設された「施設部門」で原子力発電所としては初めて選定されました。

白山・立山連峰まで見晴らせる日もあります。貯水池には白鳥や合鴨が泳ぎ、とてもおだやかな印象を受けました。





シャトルバスで発電所構内へ



いよいよ発電所の構内に入ります。
アリス館志賀からは1日4便のシャトルバス
が出ていて、一般のお客さんを乗せて30分程
で発電所構内を案内してくれます。バスで守
衛さんのいるゲートを通る時は、**あ、特別
な所に入るのだな**、という緊張を感じ
ました。

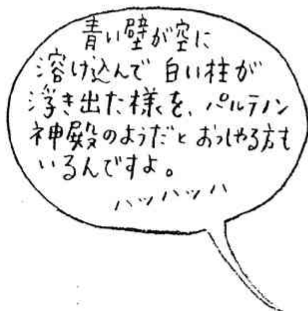
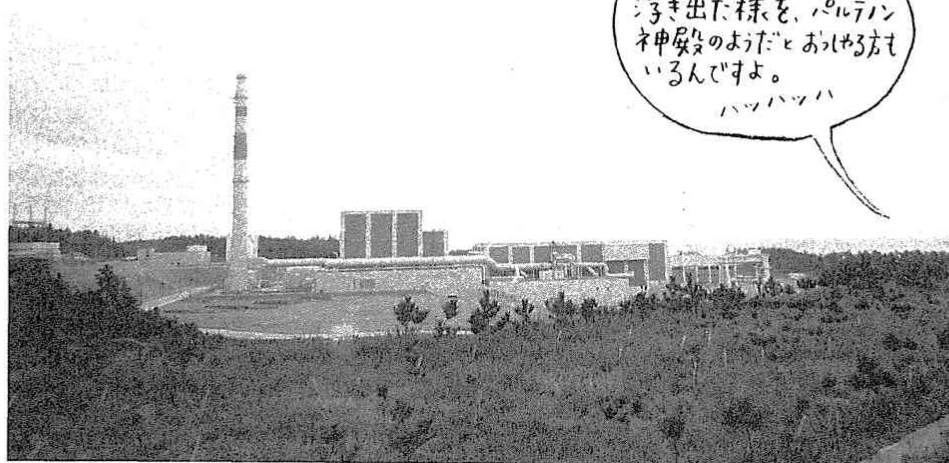
最初に案内された展望室からは、海に向か
ってなだらかに傾斜している発電所全体がゆ
ったりと見渡せます。緑に包まれ、前面は海
で、敷地内もゆとりのある様子です。というの
も、発電所の敷地の半分は自然のままの林な
のだそうです。発電所建設のため山を掘削し
た分は、黒松、とちの木、椎の木、椿など、志
賀町自生の木を中心に、1mに1本間隔で約

24万本が植樹されました。発電所敷地内では
なんと松茸が取れるのだそうですが、
その場所を知っているのは、発電所に勤務し
ている人の中でもごくわずかとか。

目立つ建物は排気塔。地上から100mの高さ
があります。発電所は原子燃料を扱うので、
空気の管理を厳重にしており、主要な建物は
窓を作らず、強制的に空気の換気をしていま
す。発電所の中の空気は約2時間で全部替わ
るとのこと。

1号機の隣では、平成11年度着工の2号機
のための地質調査が行われていました。17年
度運転開始予定で、出力は135万8千KW。54万
KWの1号機と規模は殆ど変わらないというこ
とですから、発電所建設の技術がかなり向上
しているということなのでしょう。

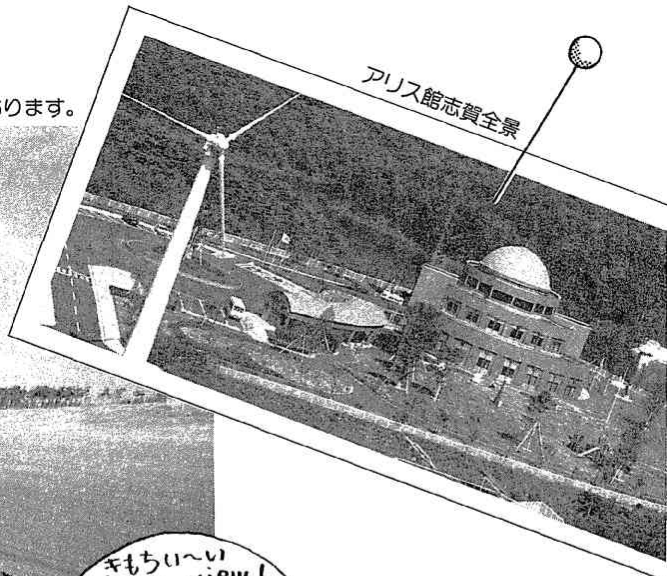
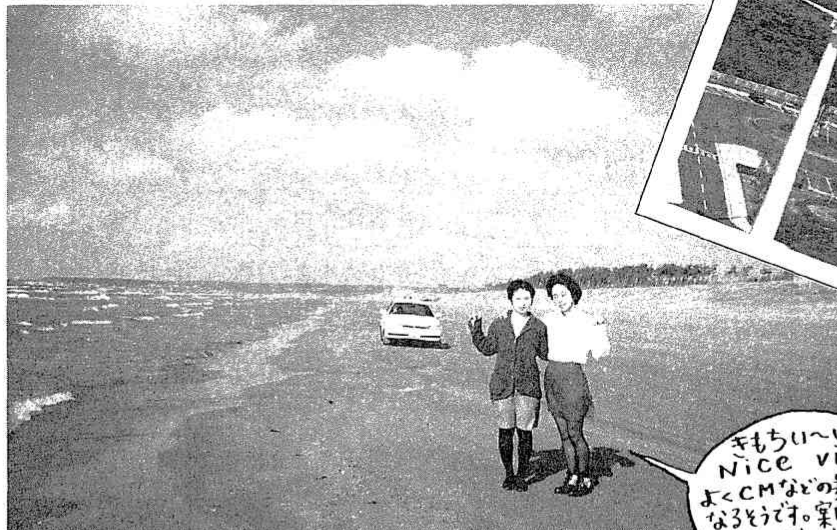
定期点検中ということで発電所の中を見学
できなかったのは残念でしたが、アリス館の
展示、館長や広報レディの方のわかりやすい
説明などで、**原子力発電についての
理解が深まりました。**



志賀原子力発電所
倉久俊 所長

現代によみがえったパルテノン神殿!? 確かにエネルギーを司る神殿ではあります。

アリス館志賀から車で30分程行くと、千里浜渚ドライブウエーがあります。



きもちいい
Nice view!
よくCMなどの舞台に
なるそうです。案内した
アリス館の高橋さん

ありがとう
ございました

取材を終えて

アリス館の来館者は多い日で1日2700人以上だとのこと。志賀原発建設にあたっては、地元や反対派の人々の承諾を得るのに20年を費やしたそうですが、アリス館の現在の盛況ぶりをみると、原子力発電所の地域社会との共生は達成されつつあるのではないかと感じました。<坂口>

核分裂というミクロのことを考えて、小ささよりも大きさを感じました。植物の世界ではバイオテクノロジーが進んでいます。ミクロの世界の制御というのは、人類の幸福に大きく結びついているのだなあ、というのが今回得た実感でした。

ミクロの世界は遠大！（五十嵐）

アリス館志賀 information

- ◆住所／石川県羽咋郡志賀町字赤住ヌ部21番地
- ◆電話／0767-32-4321 ◆開館時間／9：00～16：30
- ◆休館／年末年始

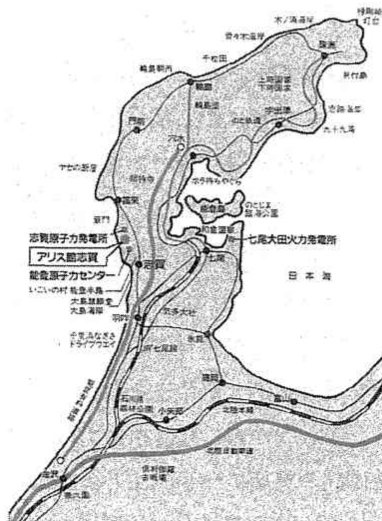
北陸電力㈱の皆様、お世話になりました。



左から志賀原子力発電所所長倉さん、広報レディの狭間さん、五十嵐、坂口、菅野さん、アリス館志賀館長池上さん

交通

◆自動車で／金沢→能登有料道路→西山I.C→国道249号線→赤住…約1時間40分



◆JR線で／金沢駅→（七尾線）→羽咋駅下車→（北鉄バス）→高浜下車、タクシー利用…約2時間

◆バスで／金沢駅→（富来又は門前行特急バス）→高浜下車、タクシー利用…約2時間



「出力50万kW突破 (1996年 3 月) “それからの地熱発電”」

よしや こう き
与志耶 劫 紀

§ 1. 地熱発電出力50万kW突破 (1996年 3 月) の快挙達成

(1) 第1次オイルショックを契機とした地熱 資源開発

わが国の地熱発電開発の調査が本格的に開始されたのは、昭和30年代からと言えるが、国がエネルギー政策として地熱技術開発及び地熱発電開発調査、並びに開発助成の施策要求がなされたのは1973年 (昭和48年) であり、第1次石油ショック (第4次中東戦争による石油価格の大幅値上げと減産) を契機とした。従って、国の予算措置により本格的に地熱資源開発に着手されたのは、昭和49年度からである。この年に、工業技術院における新エネルギー技術開発計画である「サンシャイン計画」が発足するとともに、資源エネルギー庁では全国地熱基礎調査地域において「地熱開発精密調査」が開始され、実施体制として1976年 (昭和51年) 4 月には (財) 日本地熱資源開発促進センターが設立された。

しかしながら、通産省における地熱資源開発体制の整備に一步先んじる形で、1971年 (昭和46年) 7 月環境庁が設置され、1972年 (昭和47年) 6 月には「自然環境保全法」が制定され、環境影響評価の実施が要求されるところ

となった。続いて、1973年 (昭和48年) 10 月には「自然公園法」及び「自然環境保全法」の一部改正が行われ、国立公園及び国定公園内の開発規制が一段と強化された。思うに、地熱資源開発の着手が1年遅れたことこそが、地熱資源開発の全過程を通しての環境庁による開発規制という「法的調整」を受けることとなった要因であるともいえる。

因みに、もう一つの大きな「法的調整」は「温泉法」によるものであるが、「温泉法」が制定されたのは1948年 (昭和23年) 8 月であり (現工業技術院の前身である工業技術庁が設置されたのも、同年同月である。)、通産省が本格的に地熱資源開発に着手した1974年の時点において、「温泉法」は既に26年の運用実績を有していたのである。運用実績を誇る法律が強いのは一般的である。

(2) 1996年 3 月末 (平成 7 年度末) における地 熱発電出力は、50.3万kW (表 1, 表 2 参照)

九州電力 (株) と九州地熱 (株) が鹿児島県山川町に建設を進めていた「山川発電所」 (出力 3 万 kW) が1995年 3 月 1 日に営業運転を開始し、また東北電力 (株) と三菱マテリアル (株) が秋田県鹿角市に建設を進めていた「澄川地熱発電所」 (出力 5 万 kW) も同年 3 月 2 日に営業運転を開始した。

表1 地熱発電所の現状

発電所名	所在地	発電・電部・門 蒸気供給部門	ユニット 数(台)	設備容量 (kW)	認可出力 (kW)	運転開始 年月日	発電方式
森	北海道森町	北海道電力(株) 道南地熱エネルギー(株)	1	50,000	50,000	S57.11.26	D F
澄川	秋田県鹿角市	東北電力(株) 三菱マテリアル(株)	1	50,000	50,000	H7.3.2	S F
葛根田	岩手県雫石町	東北電力(株) 日本重化学工業(株)	1	50,000	50,000	S53.5.26	S F
上の岱	秋田県湯沢市	東北電力(株) 秋田地熱エネルギー(株)	1	27,500	27,500	H6.3.4	S F
鬼首	宮城県鳴子町	電源開発(株)	1	25,000	12,500	S50.3.19	S F
柳津西山	福島県河沼郡 柳津町	東北電力(株) 東奥会津地熱(株)	1	65,000	65,000	H7.5.25	S F
大岳	大分県九重町	九州電力(株)	1	13,000	12,500	S42.8.12	S F
八丁原	大分県九重町	九州電力(株)	2	55,000 55,000	55,000 55,000	S52.6.24 H2.6.22	D F D F
山川	鹿児島県山川町	九州電力(株) 九州地熱(株)	1	30,000	30,000	H7.3.1	S F
事業用計			10	420,500	407,500		
大沼	秋田県鹿角市	三菱マテリアル(株)	1	10,000	9,500	S49.6.17	S F
松川	岩手県松尾村	日本重化学工業(株)	1	※23,500	23,500	S41.10.8	D S
杉乃井	大分県別府市	㈱杉乃井ホテル	1	3,000	3,000	S56.3.6	S F
霧島国際ホテル	鹿児島県牧園町	大和紡観光(株)	1	100	100	S59.2.23	S F
岳の湯	熊本県小国町	廣瀬商事(株)	1	200	105	H3.10.19	D S
自家用計			5	36,800	36,205		
合 計			15	457,300	443,705		

(注) ①発電所の記載順は北海道より事業別及び自家用別

②発電方式：D S…ドライスチーム，S F…シングルフラッシュ，D F…ダブルフラッシュ

※ 22,000kWから23,500kWに増容量（H5年6月）

出典：「わが国の地熱発電の動向（1995年版）」（㈱日本地熱調査会）

表2 地熱発電所の開発状況

発電所・ 地点名	出力 kW	電力会社	開 発 会 社	開 発 年 度							
				平成3	4	5	6	7	8	9	10
葛根田2	3	東北電力	東 北 地 熱 エ ネ ル ギ ー				6/4着工 ▲		8/3運開 ▲		
大 霧	3	九州電力	日鉄鹿兒島地熱				6/11着工 ▲		8/3運開 ▲		
滝 上	2.5	九州電力	出光大分地熱					7/6着工 ▲	8/11運開 ▲		
小 国	2	電源開発	電 源 開 発								
八 丈 島	0.3	東京電力	東 京 電 力								

出典：「わが国の地熱発電の動向（1995年版）」（㈱日本地熱調査会）

平成7年度に入り、東北電力(株)と奥会津地熱(株)が福島県柳津町に建設を進めていた「柳津西山地熱発電所」が1995年5月25日に営業

運転を開始した。この時点(1995年6月)での地熱発電の出力合計は、443,705kWとなった。更に平成7年度中には、東北電力(株)と東北

地熱エネルギー㈱による「葛根田地熱発電所 2号機」(出力3万kW)(1996年3月運開予定)、及び九州電力㈱と日鉄鹿兒島地熱㈱による「大霧発電所」(出力3万kW)(1996年3月運開予定)が営業運転を開始する予定である。

以上のことから、1996年3月末(平成7年度末)における地熱発電は、事業用出力計467,500kW(ユニット数12)、自家用出力計36,205kW(ユニット数5)、合計503,705kW(ユニット数17)となり、**地熱発電出力50万kW突破の快挙を達成することとなる。**これが地熱発電開発20年余の成果である。

(3) 西暦2000年における地熱発電出力は、 55.2万kWの見込み

1995年11月現在、事業用地熱発電として計画が具体化し、もしくは工事中のものは、3ヶ所、出力計4.8万kWである。

九州電力㈱と出光大分地熱㈱による「滝上発電所」(出力2.5万kW)は、1996年11月運開予定である。

熊本県小国町における「小国地点」では、電源開発㈱と九州電力㈱(買電側)との間で開発基本協定が締結され、平成12年度の運開を目指して環境影響調査中である。また、東京都八丈島における「八丈島地点」では、東京電力㈱が平成10年度運開を目指して調査井を掘削中である。なお、この他には至近年中に開発計画が具体化する地点は見当たらない。

以上のことから、**西暦2000年におけるわが国の地熱発電出力は、事業用、自家用合計で55.2万kWと見込まれる。**

(4) 関係者の労苦をねぎらい、盛大な「地熱発電出力50万kW突破記念パーティ」の開催を!

1974年(昭和49年)の通産省における地熱資源開発着手以来では20年余であるが、昭和20年代、30年代、そして40年代の前半までの「先駆的开发努力の時代」から数えると、実に50年近い年月が経っている。戦時中の石油不足の頃を思い浮べつつ、純国産のエネルギー資源であり、かつ火山国として賦存量の大きい地熱エネルギーの本格実用化を目指して奮励努力された諸先達に対し、その労苦をねぎらい、ご功績を記念顕彰すべきであると思われる。

また、それぞれの地熱発電所の調査段階から生産井を掘削し、遂に発電所運開にこぎつけられた地熱開発事業者のご尽力に対しても、深い敬意が払われるべきであるし、社会からもその功績を賞讃されて然るべきと思われる。

年度が変わった平成8年度(1996年)早い時期に、地熱資源開発関係者が、相集い、相持寄って、お互いのための「地熱発電出力50万kW突破記念パーティ」を開催することをご提案致したい。質素であっても、小人数であっても集う人達の心の区切りとなれば良いのではなかろうか。「一息入れよう、ジオサーマルで!」という優しい声が、疲れた男達には心地よく聞えるかも知れない。

§2. 国の「長期エネルギー需給見通し」(1994年9月)、及び「長期電力需給見通し」(1994年6月)における地熱発電開発目標

- ① 国の「長期エネルギー需給見通し」(1994年9月改定)における「地熱エネルギー」の供給量は、1992年度(実績)55万kW(構成比0.1%、原油換算値)に対し、2000年度

100万kℓ(0.2%), 2010年度380万kℓ(0.6%)と大幅増が期待されている。この量には、地熱発電のほか、地熱の直接利用が含まれており、むしろ後者の割合の方が大きいものと推定される。

② 電気事業者による「長期電力需給見通し」(1994年6月)における「地熱発電」による電力供給目標は、1992年度末(実績)設備出力24万kW、電力量15億kWh、2000年度設備出力60万kW、電力量40億kWh、2010年度設備出力280万kW、電力量150億kWhとなっている。これら開発の対象となる地熱発電には、蒸気発電のほか、将来技術である地熱バイナリーサイクル発電や、高温岩体発電の期待値が含まれているものと解される。

③ 平成7年度「電力施設計画」における地熱発電の開発量は、平成11年末(1999年度末)50万kW、平成16年度末(2004年度末)62万kWとなっており、「長期電力需給見通し」に比べ、スローダウンの傾向が著しく、2010年度迄の6年間に280万kW-62万kW=218万kWの地熱発電が揃って運開するとは考え難い。現在、地熱発電のリードタイムは約15年であり、原子力発電の約20~25年に次いで長期化していることから、現在(1995年)の各調査地点における動向から成否は大方判断できると思われる。

§3. これまでの地熱発電開発の特徴

平成7年度末(1996年3月)における地熱発電の出力は、§1(2)で述べたとおり、事業用出力計467,500kW(ユニット数12)、自家用出力計36,205kW(ユニット数5)、合計503,705kW(ユニット数17)である。この時期を断面

として、これまでの地熱発電の開発状況を総括すると、次のような事項が特徴として挙げられよう。

① 発電方式は、すべて蒸気発電であること

地下の地熱貯留層に長期間貯えられている熱水を、生産井を掘削して採取した後、気水分離して発電用蒸気を得る方式である。蒸気発電方式は、他の地熱発電方式に比べて経済性に優れていることは明らかである。バイナリーサイクル発電、高温岩体発電の実用化は、実用規模における実証がまだ確立されていないが、蒸気条件の弱さ、岩石のもつ熱伝導率の小ささ等の基本的特性から判断すると、将来とも蒸気発電より優れた経済性を有することは難しいと思われる。従って、今後とも地熱発電の主体は蒸気発電であるとして、考察していくこととしたい。

② 地熱発電の開発地点は、東北地域と九州地域に集中していること

東北地域を東北電力㈱の供給区域としてとらえると、東北電力㈱の地熱発電は4地点5ユニット、出力合計222,500kWに達する。

一方、九州地域を九州電力㈱の供給区域としてとらえると、九州電力㈱の地熱発電は5地点6ユニット、出力合計207,500kWに達する。これに電源開発㈱の小国地点(熊本県)20,000kWの卸供給分を加えると、合計227,500kWとなる。

両社の地熱発電の出力合計は、実に455,000kWとなり、西暦2000年におけるわが国の地熱発電出力合計552,000kW(事業用、自家用合計)の83%を占めることとなる。

まさに地熱発電の東の横綱、西の横綱というべきであるが、社内上層部及び関係部局の理解をうるための努力、生産井及び還元井掘削における不確実性克服の努力、そして経済性達成のための努力に対し、深い敬意を表するとともに、「本当にご苦勞様でした」と慰勞の言葉を捧げたい。逆境の中で地熱発電開発を進めていくことは、それだけ大変なことだと、広く認識される必要がある。

また、両社とも地熱発電の出力が20万kWを超えていることは、他の一般電気事業者7社（沖縄電力㈱を別枠で考えれば）と比べ著しくアンバランスであり、電気料金のインセンティブ規制体系の下では両社の地熱発電開発負担力は限界があると思われる。化石燃料の価格低減の傾向が定着したため、生産蒸気量が減衰して来た生産井の「補充井」の掘削を見送り、出力低下したままでの運転を求められる地点が、現に出現している。国の生産井掘削費補助金20%の交付を受けたとしても、蒸気代より化石燃料費が安いというわけである。

③ 東北、九州両地域以外の地域には、優勢な地熱資源は発見されていないこと

この表現には異論を唱えられる方が多いと思われる。それは、北海道地域の扱いである。北海道には森地熱発電所（認可出力50,000kW）が昭和57年11月に運開している。しかし、それ以外は、国及び民間の調査が続けられているにもかかわらず、発電所建設の計画策定に迄至った地点は無い。即ち、どの地点も資源量が小さいか、既存の温泉業の反対が強く調査・立地が困難な場合

が多いことによる。従って、今後は、温泉開発が進んでおらず、人口の少ない山間地域における「広域地熱帯」（例えば、阿女罫・豊羽地域等はその可能性があると思われる。）を探していくことが有意義と思われる。

その他の関東、中部、近畿、中国、四国の各地域（地域の用語が必ずしも正確でないが）には優勢な地熱資源は発見されていない。従って、大量の地熱発電の立地は望みえない。

④ 今後の地熱資源開発のフロンティアは、那須火山帯地域の東北6県であること

那須火山帯の地域にある東北6県（青森、秋田、岩手、山形、宮城、福島）の各県には、これまでも松川、大沼、鬼首、葛根田1号、上の岱、澄川、柳津西山の7発電所が運開しており、平成8年3月には葛根田2号が運開するので、平成7年度末（1996年3月）における合計出力は268,000kWとなり、全国出力計552,000kWの49%を占めることとなる。つまり、全国の地熱発電の半分は東北地域の那須火山帯に立地しているのである。また、この地域の日本海側には、鳥海火山帯も走っており、両火山帯にまたがる地域こそ、今後の地熱資源開発のフロンティアとしての意義を有しうるものと考案される。

すなわち、これらの地域は

- (i) 山間地が多く、まだ自然林が広く残されていること
- (ii) 大規模であり且つ過剰揚湯の傾向のある温泉地が比較的少いこと
- (iii) 人口分布が比較的少く、かつ地形は広大であり、開発余力が大きいこと

等、他の地域とは異なる事情が多いと思われる。このため、これらの地域の大部分の市町村では、過疎地域活性化問題を抱えていると考えられるのである。従って、これらの地域については、次の事項も特徴として挙げられよう。

(iv) 地熱資源を、「過疎化現象に悩む当該地域に対し、大地から恵まれたエネルギー」と位置付け、「過疎地域活性化のエネルギー源として、地域社会が共同して多目的に利用する方式」が合意されるならば、今後長期間地下に眠っていた優勢な地熱資源は、地域社会の過疎化からの脱却を支え、地域社会を祝福するエネルギーとして生産されるところとなる。地熱資源は、開発利用されなければ、賦存する意味がない。しかも再生可能エネルギーであるから、鉱物資源のように枯渇することはない。

⑤ 今後の九州地域の地熱開発の期待は、別府一島原地溝における深部地熱開発の成否にかかっていること

大分県から熊本県にかけて横たわる別府一島原地溝には既に大岳、八丁原1、2号、杉乃井、岳の湯の5発電所、出力計125,605kWが運転中であり、更に平成8年11月には滝上発電所（出力25,000kW）が運開する予定であるほか、電源開発(株)小国発電所（出力20,000kW）が計画中であるので、将来的には7発電所、出力合計170,605kWの「地熱発電地帯」を形成することとなる。この他に、§4①に述べるとおり(株)わざによる3地点（小国、九重、久住地点）が開発調査中であるが、蒸気の噴出に成功している調査井はいずれも3,000m級の深度であ

り、従来の概念でいえば「深部地熱」に該当するもので、今後の開発対象として期待される。このため、耐熱性、耐腐食性に優れた掘削、生産技術の開発実用化、経済性向上のための探査技術の高度化などの支援策を急ぐ必要がある。

§4. わが国の地熱発電開発が直面している課題

本稿の目的が「出力50万kW突破（1996年3月）以降における地熱発電の展望を探る」ことにあるので、地熱資源の開発利用の主分野である地熱発電について考察していくこととする。「それからの地熱発電」は「国のエネルギー政策における期待」に込めようのだろうか。また、その期待自体が真剣なものなのだろうかと冷静に分析する姿勢も必要と思う。

現在、地熱発電が直面している課題を整理すると、次の5項目を挙げることができる。

① 地熱開発調査において、大型地点の発見が見られないこと（蒸気発電に限る。）

(社)日本地熱調査会が毎年刊行しているデータブック「わが国の地熱発電の動向」（1995年版）によれば、今後の地熱発電開発の候補地点であるといえる「企業の調査地点」（P54～P55）として示されている計38地点の状況は、次のとおり。

(i) 「大口径調査井・生産井」が掘削されている調査地点は計15地点であり、また掘削本数が5本以上の調査地点は僅か1地点（石油資源開発(株)の^{ひじ}折地点（6本））のみである。因みに、掘削本数の合計は27本に止まっており、平均では1調査地

点当たり2本にみたない。

このことは、国の地熱開発促進調査における「C調査」への肩代り期待もあろうが、地熱開発業者側の見方と態度を如実に示すものと思われる。

- (ii) 掘削された「大口径調査井・生産井」27本のうち、蒸気を噴出したものは僅か6本(4調査地点)である。然も、このうち5本は憐れみの小国地点(3本)、九重地点(1本)及び久住地点(1本)であり、既に運開しているもしくは建設中の発電所を有する地熱開発事業や北海道立地下資源調査所等が着手している他の調査地点では僅か1本しか蒸気を噴出していない。

地熱発電開発のリードタイムは、国ベースの全国調査(37万km²)、広域調査(500～1,000km²)の結果を受けて、地熱開発事業者が着手しての概査(50～70km²)、精査(5～10km²)の段階から「開発調査」(3～4km²)に移行し、そして発電所建設・運開までの間では約15年の長期を要するといわれている。

「わが国の地熱発電の動向」(1995年版)の企業の調査地点において、「大口径調査井・生産井」掘削の段階は、発電所建設に踏切る直前の「開発調査」の段階に該当するものである。従って、「大口径調査井・生産井」が15本～20本以上掘削され、然も蒸気を噴出させた調査井を5～8本程度以上有する調査地点がzeroであるということは、今後新規に地熱発電所の建設に結びつく地点は、§1(3)で西暦2000年における地熱発電出力55.2万kWのカウント対象とした3地点(滝上、小国、八丈島の3地点)以外には、今のところ発見されていないことを

意味している。

但し、地熱開発促進調査「C調査」の実施により、有望地熱資源が発見され、それが企業の開発調査に進む場合は別である。

② 地熱発電開発調査に対して、温泉業者からの既得権を拠所とした反対が極めて強いこと

§1(1)で述べたとおり「温泉法」が制定されたのは1948年(昭和23年)8月であり、通産省が本格的に地熱資源開発に着手した1974年(昭和49年)時点において、「温泉法」は既に26年の運用実績を有していた。地熱発電、地熱熱水利用のための井戸もすべて、温泉業者用の井戸と同じ土俵で「法的調整」(温泉審議会における審議、掘削許可等)を受ける。温泉業者の立場を推察すると、次のような胸中ではなかろうか。

- (i) エネルギーとしての地熱資源開発が進まなくても、温泉利用業を営んでいくには困らないこと
- (ii) 電気代が高くても、宿泊料金に反映させることができるから、自家発としての地熱発電をやる必要性は弱いこと
- (iii) 但し、宿泊施設の暖房用熱源としては地熱の有効利用は有益であるので、通産省の利子補給等の助成策は活用して石油の節約に協力してもよいこと
- (iv) 温泉業者の間でも過剰揚湯の苦い経験があるところでは、地熱開発業者に割込まれることは避けたいこと
- (v) 距離が離れていて地質構造上熱水系が別であることが明らかであっても、地熱資源の開発が既存の温泉への影響が絶対に無いとの事前立証は不可能であるとして、反対できる間は反対を強く主張して

おくこと

- (vi) 温泉関係者の団体もあり、行政側の理解もあると思われるので、今のままの方が得策と思われること、等

③ 自然公園法に基づく開発規制により、地熱開発調査が可能な地域は大きく制限されること

地熱開発事業者の言い分によれば、「地熱資源開発の有望地域の多くは、自然公園法に基づく特別地域にかかってしまう。第1種特別地域や特別保護地域はともかくとして、第2種及び第3種特別地域での地熱開発もしくは調査については、景観を著しく阻害しない範囲内で許可してほしい。環境庁も政府機関なのだから国のエネルギー政策に協力すべきではないか。まして、地熱発電はCO₂を出さないのだから、環境庁が進める地球温暖化防止行動計画の主旨にも添うものであるのに、おかしいのではないか。」ということになろう。

一方、自然公園内の地熱開発に強い反対姿勢を崩さない環境庁の主張は、仮想討論として立論すれば、次のように整理できると思われる。

- (i) そもそも、「自然公園法」の国会の議決による制定は1957年（昭和32年）6月であり、国立公園のほかには国定公園の規定が加えられた。また、基本法としての「自然環境保全法」が国会の議決により制定されたのは1972年（昭和47年）6月であり、環境影響評価の実施が導入された。1973年（昭和48年）10月には、「自然公園法」「自然環境保全法」の一部改正がなされ、国立公園及び国定公園内の開発行為

について規制強化が国会の議決により図られたところ。

- (ii) 環境庁が国立公園及び国定公園内の開発行為について厳しい規制の運用をしているのは、法律本文に規定され、及び法律本文において政令及び総理府令に任されている命令権限に基づくものであり、国の行政職として当然の運用をしているに過ぎない。法の規定の主旨に悖る緩やかな行政運用をすれば、法律違反として厳しく糾されるところ。

- (iii) 自然景観の保護、自然環境の保全は国民の利益（公益）であるが、一方、国土の総合的、計画的利用、地域エネルギーの開発利用もまた公益であることは十分承知している。このような二つの異なる公益が対立する場合、どのようにして調整するかは、立法の過程で（政府提出法案の場合は、内閣法制局審議及び法律案の各省協議の場で）十分論議され、確立されているものであると考える。

両法の1973年（昭和48年）10月の改正は、昭和48年4月からの工業技術院による全国地熱基礎調査の開始、及び翌昭和49年からの通産省「サンシャイン計画」の発足、及び資源エネルギー庁による地熱開発精密調査の開始を控えた時点でなされたものであり、「間一髪」であったと思われる。当時としては、公害の防止と並んで自然景観の保護も行政目的として実現すべきものとされたのである。

- (iv) 今後国立公園及び国定公園内の開発行為に対する規制運用を変えて欲しいとの要望であれば、両法の改正が国会の議決によりなされるべきと考える。勿論、環境庁

としては、その設置法に基づく権限と責務に照らし、現在の両法に基づく公園内の開発行為に対する規制を大幅に緩和する改正法案の国会提出には、強く反対することとなろう。従って、両法の改正は、議員立法による場合しか在りえないこととなる。

- (v) 国のエネルギー政策には、環境庁も参画しているが、電力を得る電源としては原子力発電やLNG火力発電もあり、1ユニット当たりの出力も地熱発電より20～30倍も大きい。自然公園は国土の限られた区域であり、開発行為から守っていくことが、行政目的としてはより大きな利益があると考ええる。昭和20年代から30年代の「電力不足の時代」にあっては、自然景観に相当優れた地域であっても水力発電の開発が電源開発調整審議会の議を経て認められてきた。今の地熱発電に、このようなエネルギー政策上の不可欠性は、他の電源の開発状況からみて、感じられない。電力業界の熱意もさほど強くないのではないのか。

④ 地熱発電のコスト低減は、限界に来ていること

地熱発電の開発に対しては、資源エネルギー庁により次のような助成措置が講じられている。

(i) 地熱発電所調査井掘削費等補助事業

地熱開発事業者が実施する「開発調査」段階における「調査井の掘削」について補助金（補助率 $\frac{1}{2}$ ）を交付する（昭和55年制度創設）。

(ii) 地熱発電開発費補助事業

地熱開発事業者による地熱発電所設置

に係る坑井（生産井、還元井）掘削について、補助金（補助率20%）を交付する（昭和61年制度創設）。その後、交付対象範囲は蒸気配管、タービン発電設備等今まで拡充されている。（なお、この他に利子補助制度や債務保証制度があるが、本稿では省略する。）

国による全国地熱資源総合調査の成果、地熱開発促進調査の成果は、無償で公開、利用に供される。

地熱発電所調査井掘削費補助金の交付を受けて掘削した調査井のうち噴気をした坑井はそのまま生産井として利用されるので、蒸気コストの低減に寄与することとなる。

上述の地熱発電開発費補助金によるコスト引下げ効果、及び調査井補助金によるコスト引下げ効果を、今後の議論を進める上での目安として評価すれば、2円/㎥h～2.8円/㎥h程度と推定される。（中小水力発電のコスト引下げのための補助効果も、おおよそこの程度のレベルである。）

地熱発電の仕上り原価は、蒸気単価に発電側コスト（5円/㎥h～7円/㎥h程度）が加わったものとなる。今、蒸気単価を10円/㎥hとすると、地熱発電の仕上り原価は15円/㎥h～17円/㎥hとなる。一方、原子力発電やLNG火力の耐用年発電原価が8円/㎥h～9円/㎥h程度であるのと比べると、2倍近い発電原価である。

地熱発電原価の引下げには、④生産井、還元井掘削費の引下げ、⑤用地代、土木工事費の引下げ、⑥タービン発電機等発電部門の建設費の引下げ、⑦運転費、修繕費の削減、⑧発電所出力の大規模化によるスケールメリットの確保等の対策が採用されている。

改正電気事業法の施行（平成 7 年 12 月 1 日）により、インセンティブ規制に移行する新しい電気料金体系と、卸電力市場の開設により 8 円/㎥h～9 円/㎥h の安価な電力が I P P（独立電気事業者）により大量に供給される時代を迎えた現在、地熱発電の前途には絶望的に厳しいものがある。

昨年来の国の「長期エネルギー需給見通し」の改定と、一連のエネルギー関係規制緩和政策の実現過程において、地熱発電は「新エネルギー導入大綱」（平成6年12月）の策定に際しては、「長期エネルギー需給見通し」における「新エネルギー等」に含まれず別掲となっているため、導入促進政策の対象エネルギーとはなりえなかった。また、開発リードタイムが長いこと等の事情から、「卸電力市場」に乗せる電源としても扱われず、「地熱発電は、CO₂等の環境負荷の点で優れ、また純国産エネルギーとして極めて高い供給安定性を有することから、基本的にはベース供給力を担う電源として開発を推進する。」（電気事業審議会需給部会中間報告（平成6年6月）とされている。

また、地熱開発事業者について見ると、㉔新規有望地点が見つかっていないこと、㉕期待の地熱発電促進調査「C調査」は地点選定のための地元同意が進まず、順調な実施が見込めないこと、㉖蒸気単価の引下げも1～2割程度なら何とか努力しようという気にもなるが、半値以下に引下げてIPの卸供給電力との競争を求められる場合、明らかにギブ・アップせざるをえない、㉗実際の地熱発電所の運開に迄こぎつけたプロジェクトについても、大幅な利益が残ることは予想されず、貧困の状態は続くと思込まれること等から、「地熱資源開発は一巡した」との認識は払まっており、新たな前進に向けて意欲が高揚する状況にはない。

従って、「2010年地熱発電開発目標280万kW」 (§2. ②参照)を達成するためには、将来技術である「地熱バイナリーサイクル発電」「高温岩体発電」の大量導入が実現しなければならないこととなる。(図1参照)

地熱資源の開 発 利 用

	開発目標(電力長計)	実 績 見 込 み
1995年	5 0 万kW	5 0 万kW
2000年	6 0 万kW	5 5 万kW
2010年	2 8 0 万kW	?

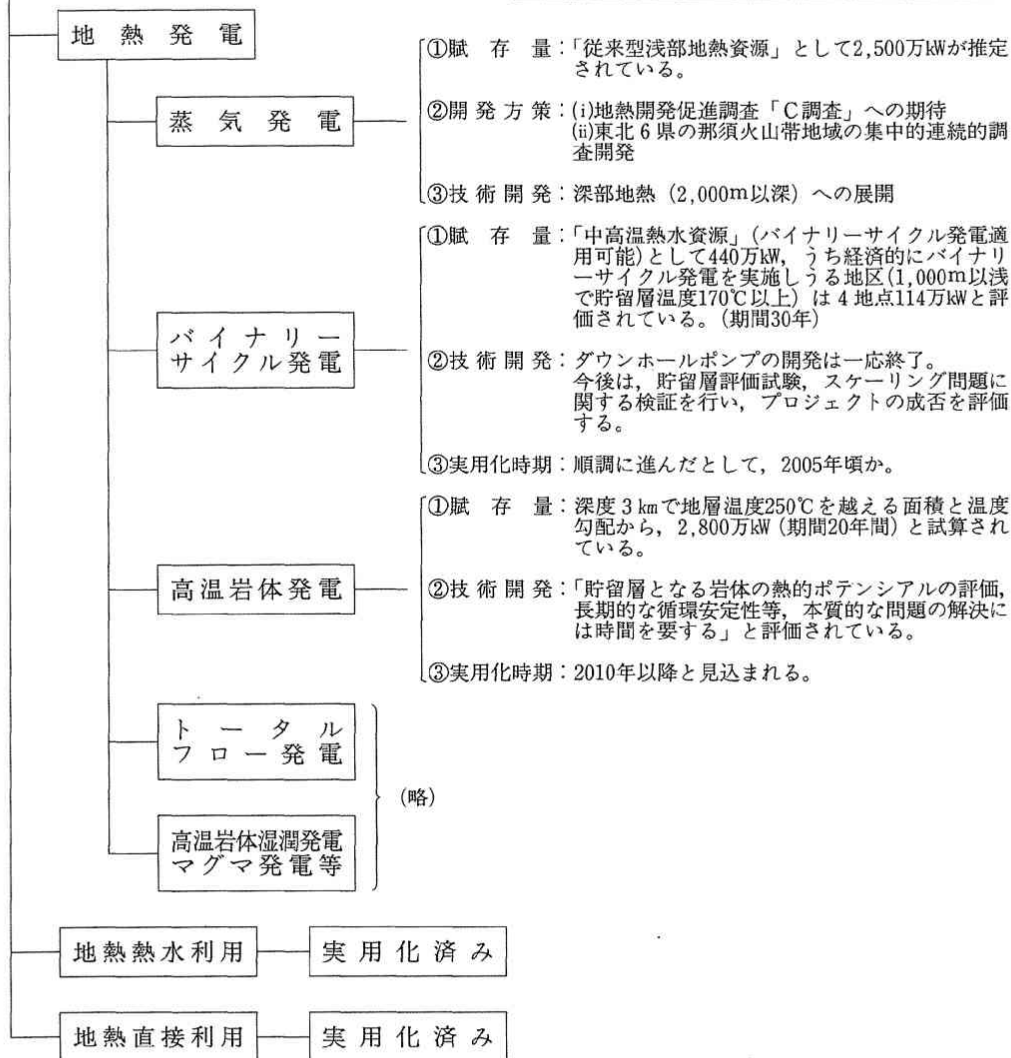


図1 地熱資源開発利用の体系図

〔I〕高温岩体発電技術の実用性に関する考察

高温岩体発電技術が、「サンシャイン計画」において中期的課題として開発対象とされてから久しい。現在は、「原理実証」の段階から

実用性を見究めるための「開発実証」の段階にあるといえる。これまでは、大部分の期間が国際研究協力等による原理実証の段階にあったため、プロジェクトについては原理的実現可能性の論議が多かった。しかしながら、国の

「長期エネルギー需給見通し」における供給目標量、地熱発電開発リードタイムの長期化、地熱開発事業者による開発調査地点の状況等を考慮すると、21世紀社会における地熱発電開発の動向を考察するに当たっては、「高温岩体発電技術の実用性」について本格的論議がなされるべき時期に来ていると思料される。

高温岩体発電の資源的賦存量については、本稿では争わないこととして、その実用性についての「開発実証段階での課題」について提起することとしたい。

「高温岩体発電技術」は、地熱発電の三要素（地熱、地層の割れ目、地下水）のうち、高温の地熱は有るが地層の割れ目に恵まれないため地下水が通らず、地熱熱水が存在しない「高温岩体地域」において、人工的に破碎面を創成して地上から熱媒体として水を注入し、高温岩体から熱エネルギーを回収して発電を行う技術である。この原理自体から、実用性についての開発実証段階での課題を挙げることができる。

- ① 高温岩体の中に伝熱面として人工的に創成する破碎面は、水圧破碎による方式では「複雑かつ広範囲」に発生させることは期待できないこと

破碎面が美しい花びら状に発生する場合には、伝熱面となる破碎面の面積は大きくならないから、高温岩体からの熱回収量は小さな値に止まることとなる。

- ② 岩石を構成する鉱物の熱伝導率は、金属と比べてはるかに小さいから、破碎面の形状が「複雑かつ広範囲」であっても、破碎面の表面に伝えられる熱流量は大きくなりえないこと

このため、地上から熱回収量を大きくす

る目的で注水量を増加させたとしても、回収できる熱量には限界がある。

一方、地熱蒸気発電の場合にあっては、地層の割れ目（断裂帯）に浸透した天水が、長時間（20～30年程度のものもある）かけて高温の地熱帯を通過する際に加熱されて、高温の地熱熱水となっているものを生産井により汲上げるのであるから、地熱熱水は既に十分な熱伝達を受けている点が大きく異なる。

- ③ 熱媒体として注入した水は、乾いた地層に吸収され浸透していくので、全量回収は困難であること

実際の高温岩体地熱発電所の立地（建設着手）に当たっては、環境影響評価を実施し、地元住民にその内容を公開周知しなければならない。この際、乾いた高温岩体の地層に吸収され浸透して回収されない注水が、周辺環境に与える影響について、十分安全であることを立証することを求められる。乾いた地層の中への吸収と浸透は長期間続くものと予想されるから、その範囲の特定は極めて困難と思料される。そして回収されなかった注水による地震、地沁り、山崩れ、湧水異常等の諸問題について明確な立証を与えることは至難のわざと思われるのだが、どうだろうか。

- ④ 熱回収のため坑井に注入する水は、連続して近くの河川から取水することとなり、水利権を獲得する必要があること

建設する高温岩体発電所の出力が大きくなれば、継続して注水する水の量も増えるものと考えられる。また逆に、注水量を小さく取れば、全体として循環する熱媒体の量も少なくなるので熱回収量も小さくなる

ので、スケールメリットを確保しえない。

以上4項目の開発実証段階での課題を挙げたが、特に③及び④は坑井に注入した熱媒体(水)の回収率が相当に悪い(例えば60~70%程度)事態が長期間続くものと、最も厳しい条件を仮定したときの実証課題にすぎないので、運転データの更なる積重ねによって軽い方向に変わる可能性は十分有ることは勿論である。

- ⑤ 高温岩体発電技術が経済性を有しうかどうかの論議は、まだ馴じまないこと

高温岩体発電技術が社会的に受容されうかどうかは、③で述べた環境保全性についての立証に成功するかどうかにかかっていること、及び④で述べた継続的注水量と発電所規模との関係が定量的評価をするに至っていない段階であるという見地から、経済性についての論議はまだ適当でないという主旨である。

〔Ⅱ〕地熱バイナリーサイクル発電技術の実用性に関する考察

バイナリーサイクル発電は、温度200℃程度以下の優勢でない地熱熱水から、バイナリーサイクルを応用して有効な発電を行う技術である。わが国のバイナリーサイクル発電技術が研究開発の対象にとり上げられてから、既に10年以上経過しているが、遅々として成果が上がりず未だ実用化していない。

自噴力の弱い蒸気井から熱水を汲上げる「ダウンホールポンプ」が開発停滞要因となっているが、地上からの投入方式ではなく薄肉円筒(長さ500~1,000m)により吊下げられた先端に、長さ8~10m程度にもなるポンプと駆動モータが取付けられるのだから、共振

の回避、潤滑の確保等ポンプ工学上多くの難題に勇敢な挑戦がなされている。それはそれとして、開発対象となりうる地熱熱水系は、多く賦存するのだろうか。

バイナリーサイクル発電は、システム構成が複雑であるから、機械代は高い。従って、経済性を向上させるために10MW以上の実用機を想定しての技術開発が進められてきた。しかしながら、10MWを超えるような賦存量に恵まれた地点は全国的に見て左程多くはないとされている(数10万kW程度か)。

また、温度250℃以上の地熱熱水を生産井を掘って採取するだけの蒸気発電においてすら、発電原価15円/kWh~17円/kWhの壁に直面していることから、地熱バイナリーサイクル発電技術が十分な経済性を持ちうる迄にはまだ相当な時間を要するものと見込まれる。

§6. 地熱開発起死回生のための「願望のドリーム」

- (1) 1994年(平成6年)9月改訂の「長期エネルギー需給見通し」の2本の柱

一昨年改訂の「長期エネルギー需給見通し」の最大の特徴は、「地球環境対策と直接リンクした最初の長期エネルギー需給見通し」だということである。具体的には、1990年(平成2年)10月地球環境保全に関する関係閣僚会議において決定された「地球温暖化防止行動計画」において示されている温室効果ガスの排出抑制目標の達成を可能とするため、

①強力なエネルギー需要の抑制と、②原子力、地熱、新エネルギー等の非化石エネルギーの導入を最大限見込んだものとなった。

このことから、2000年~2010年におけるエ

エネルギー情勢について、「長期エネルギー需給見通し」の策定に当たっての「二本の柱」が倒れたときのことを仮想してみたら、どうなるのだろうか。

(2) 地熱開発起死回生のための、エネルギー情勢に関する「願望のドリーム」

(1)で述べた「長期エネルギー需給見通し」の策定に当たっての「二本の柱」が倒れたとき、どのようなエネルギー情勢になるのか想定すれば、およそ次のような事態になると思われる。これらを本稿では、地熱開発起死回生のための「願望のドリーム」として記述する。

〔願望のドリーム〕

- ① 極端に抑制されたエネルギー需要は、景気の回復、各産業における省エネルギー推進の余地の払底、国民のアメニティ志向の増大等によるエネルギー使用量の増大等の要因により、需要の伸びの想定値（1992年～2000年の間は1.0%、2000年～2010年の間は0.9%）を大幅に上回って伸び続ける。
- ② 非化石エネルギーの大宗である原子力発電の立地の停滞状況が今後とも続き、このため原子力発電の供給力に大幅な未達分が生じる。
- ③ 非化石エネルギーとして期待された「新エネルギー等」は、供給目標の6割～7割程度しか達成できない。

とりわけ、「新エネルギー等」のエースとして供給量の拡大の大部分を期待された「廃棄物発電」は、(i)電力会社への売渡し電力は「自家発電余剰電力」として昼夜の別に価格、買上げ量が異なること、(ii)廃棄物発電による電力が「自動的に電力会社に引

取られる制度」が実現していないため、買取交渉が長引き、結局売電は見送られ、ごみ焼却施設の所内電力を賄う分の低出力に抑えられるケースが多いこと等から、導入目標量（2000年200万kW、2010年400万kW）の半分程度しか導入が進まない。

- ④ 原子力発電の未達分をカバーするため、LNG火力の開発が急速に拡大する。東南アジアや中近東諸国からのLNGの調達、他国との競合のため限界が見えたときは、天然ガス・メタノールサイクルの技術（メタノール製造技術、高効率メタノール利用複合サイクル発電技術等）が既に完成しているので、天然ガスのエネルギー利用の第2サイクルとして「天然ガスメタノールサイクル」が大型プロジェクトとして開拓される。
- ⑤ 電気事業法の改正（平成7年12月1日施行）により創設された「卸電力市場」は予想以上に急速に拡大して、増加電源設備の3割を占めることとなる。このことにより、発電効率は最高であることを求められない中小規模の火力発電所が多数立地するところとなり、結果的に化石燃料の使用量は増大する。

- ⑥ 石炭火力は、「海面埋立による灰捨て場の確保」を放棄した立地方式の採用により、地元誘致型の立地が円滑に進展する。

以上の6項目の「願望のドリーム」は、「長期エネルギー需給見通し」の策定の手法自体の裏返しとして、極めて高い確度を有しているように思われる。となれば、わが国のCO₂排出量は、長期見通し策定の裏付けとなった「シミュレーション」の排出量の予想値を、大きく超えて増大する状況となる。

(3) “願望のドリーム”に対する国の対応施策

国は、「気候変動に関する国際連合枠組み条約」(1994年3月発効)において国際約束している「地球温暖化防止行動計画」において掲げている「CO₂排出抑制目標」の達成ができないことが明かな事態に直面することとなる。このとき、国はいかなる対応の選択がなされうるのだろうか。

2000年～2010年の時点では、わが国は国連の常任理事国となっているだろうから、地球温暖化防止の分野においても率先垂範して実効ある対策を講じて見せなければならないこととなる。

[CO₂排出大幅増に対する国の対応施策の想定]

- ④ 国の「長期エネルギー需給見通し」の第11次改訂(需要の伸びの追認等)
- ⑤ 地球環境対策のための化石エネルギー使用に関する量的規制の導入(石炭の使用の制限、非化石エネルギー利用の数値目標の設定等)
- ⑥ 廃棄物発電発生電力の自動引取の制度化そして、地熱開発の起死回生の施策として、
- ⑦ 各電力会社における非化石エネルギーである地熱発電、廃棄物発電等による発生電力の導入量(他社からの購入電力を含む)の数値目標化

これらの措置は、地球環境対策としてのCO₂排出抑制を、原子力以外の非化石エネルギーの導入割合の有効数字を評価した上で、電力の経済性に優先させるという価値観の変更により可能となる。この価値観の変更は、国民世論と国会の論議により具体化されることをもって足りる。

“願望のドリーム”で描いたようなエネルギ

ー情勢となり、国の「長期エネルギー需給見通し」の第11次改訂がなされる時期は、そう遠い日のことではない。過去の実績からすれば、遅くとも2000年迄には確実に到来するものと予想される。この機会を逃せば、地熱開発の起死回生の長打を打つ機会永遠に来ないと思われる。

§7. 地熱発電開発の起死回生の打開策 9項目

(1) 地熱発電 “5つの嘆き”

これまで述べて来たとおり、2000年以降の地熱発電開発の目途は立っていない。§4で述べたところから、地熱発電関係者の苦悩を“5つの嘆き”として整理すると、以下のとおり。

- ① 現時点では、有望な大型地点(出力3万kW以上)は見つかっていない。
- ② コスト引下げは限界に来ており、蒸気単価5割の引下げは無理である。
- ③ 原子力以外の非化石エネルギーが有する「地球環境対策上の意義」についての評価が、経済性より上位に置かれていない。
- ④ 温泉法、自然公園法、自然環境保全法は先行法令であり、自然公園区域内の開発規制を改正緩和させるに足る「公益性」の立証は、極めて難しい。
- ⑤ 地熱資源の開発を唱える者は、無茶な予算要求をし、あるいは高い蒸気単価を強要する「風狂の徒」として白眼視される。

このように、地熱開発に携っておられる方達の苦悩を整理してみると、2000年以降の“それからの地熱”の方向を探ることができる。即ち、地熱発電開発の起死回生の打開策の体系が、「発想の転換をもたらし視点」を得た途端に開けてくるのである。

(2) 発想の転換をもたらす視点と、「地熱発電
起死回生の打開策 9 項目」

“5つの嘆き”に対する「発想の転換をもたらす視点」と、この視点から開けて来る「地熱発電起死回生の打開策」は、表 3 に示すとおりである。

A. 国の地熱開発促進調査「C 調査」による新規大型地点の発見を拡大する。

「C 調査」は平成 5 年度から開始された新しい地熱開発促進調査のメニューであり、本来地熱開発業者が行う開発調査の段階まで一歩踏込んで調査を行い、開発リスクの軽減を図ることを狙いとしている。地熱開発業者に資金の余裕が乏しく、巨額の調査費の負担に耐えられない事情を踏えた施策として、最後の期待が寄せられている。即ち、「C 調査」の成果としての有望地点以外は、地熱発電所の開発着手は望み得ないといっても過言でない。しかしながら、「C 調査」の実施については、温泉業者の執拗な反対に会うケースが多く、その継続実施すら難しい状況にある。

B. 東北 6 県における那須火山帯地域の連続的、集中的調査及び開発の推進、並びに発生電力の電力各社分担引取を実現する。

§3. ④で述べたとおり、「今後の地熱資源開発のフロンティアは、那須火山帯地域の東北 6 県である」と考えられる。しかしながら、東北 6 県を供給区域とする東北電力㈱は、§3②で述べたとおり、既に 4 地点、5 ユニット出力合計 222,500kW の地熱発電を抱えており、同社の負担能力には限界があると思われる。このため、東北 6 県内に今後立地される地熱発電所からの電力は、東京電力㈱、中部電力㈱、関西電力㈱など他の電力会社により分担引取られるよう、合意が形成される必要がある。

これら 3 社は、まだ地熱発電を有していない。

C. 地熱開発業者と電力会社は、連携して、地熱発電による電力が若干割高であっても地域住民に受入れ使用して貰えるよう、地域社会との共生関係を確立する。

「新エネルギー等」の中核的位置を与えられた廃棄物発電についても、自家発余剰電力として他の火力電源との競争を強いられており、普及の大きな障害となっている。両者合せての導入量は 2010 年で僅か 1 % 台にすぎないのであるから、地域住民の理解は必ず得られると考えられる。

D. 地熱発電所の開発計画に、地元市町村の参画を求め、熱水の多目的利用のほか、公共福祉施設に対する電力の特定供給もしくは自家用供給を可能とする。

地元市町村による電力の特定供給もしくは自家用供給は、発電原価が 15 円/kWh～17 円/kWh 程度であっても、買電よりは大幅に安いものとなる。

E. 国は、「地球温暖化防止行動計画」(1990 年 10 月策定)に示されている CO₂ 排出抑制目標を達成するため、地球環境保全に関する関係閣僚会議及び総合エネルギー対策推進閣僚会議の合同会議において、

(i) 原子力以外の非化石エネルギー（水力を除く）の導入促進に関し数量目標値を設定する。

(ii) 施策の第 1 段階は既存の行政手続の援用において実現を要求することとし、第 2 段階としては所要の制度改正を行うことを決定する。

F. 国は、インセンティブ規制「新電気料金体系の査定」及び「電気料金の定期的自主評価の国による検証」の方針におい

表3 地熱発電開発打開策9項目の体系

地熱発電「5つの嘆き」	発想の転換をもたらす視点	地熱発電起死回生の打開策
(1)最早、有望な大型地点(出力3万kW以上)は見つかっていない。	①地熱開発業者には、企業としての体力も余力もない。 ②既開発の地点の地熱蒸気売上げからは新規地点の調査・開発に回せる利益は生じない。 ③今後の大型地点の発見は、那須火山帯が通る東北6県に可能性が残るのみで、他の地域は大型地点は望みえない。	A. 国の地熱開発促進調査「C調査」による新規有望地点の発見を拡大する。 B. 東北6県における那須火山帯地域の連続的、集中的調査及び開発の推進、並びに発生電力の電力各社分担引取を実現する。
(2)コスト引下げは限界に来ており、蒸気単価5割の引下げは無理である。	④最早地熱開発業者と電力会社間の地熱蒸気単価を巡る駆引は無用であり、対立は止揚すべきときである。 ⑤地熱開発業者は、地熱資源を自己目的のものと考えず、地域社会から「その開発利用を付託された地域活性化エネルギー」として位置付ける。	C. 地熱開発業者と電力会社は、連携して、地熱発電による電力が若干割高であっても、地域住民に受入れ使用して貰えるよう、地域社会との共生関係を確立する。 D. 地熱発電所の開発計画に、地元市町村の参画を求め、熱水の多目的利用のほか、公共福祉施設に対する電力の特定供給もしくは自家用供給を可能とする。
(3)原子力以外の非化石エネルギーが有する「地球環境対策上の意義」についての評価が、経済性より上位に置かれていない。	⑥「気候変動に関する国際連合枠組条約」(1994年3月21日発効)に基づく国際約束の履行が、経済性に優る上位クライテリアとされ、CO ₂ 排出抑制が制度的強制の下に進められることになれば、新たな価値観に基づく21世紀社会が実現する。 ⑦電力会社における原子力以外の非化石エネルギー(水力を除く。)の導入量は極めて僅か(「長期電力需給計画」(1994年6月)における2010年の導入割合は1.4%にすぎない。)に止まるから、これら非化石エネルギーによる発生電力が若干割高であっても電気料金への影響は有効数字3桁以下となり、公共料金としての差異は感じえないレベルである。	E. 国は、「地球温暖化防止行動計画」(1990年10月策定)に示されているCO ₂ 排出抑制目標を達成するため、地球環境保全に関する関係閣僚会議の合同会議において、 (i)原子力以外の非化石エネルギー(水力を除く。)の導入促進に関し数量目標値を設定する。 (ii)施策の第1段階は既存の行政手続の援用において実現を要求することとし、施策の第2段階としては所要の制度改正を行う。 F. 国は、インセンティブ規制「新電気料金体系の査定」及び「電気料金の定期的自主評価の国による検証」の方針において、「地球環境対策コスト及び新エネルギー(地熱発電を含む。)による発生電力導入コストを経営効率化の対象から除外する。」旨明示して、制度的保証を与える。この査定方針については、公聴会等により地域住民の受容と支持を明確にする。
(4)温泉法、自然公園法、自然環境保全法は先行法令であり、自然公園区域内の開発規制を改正緩和させるに足る「公益性」の立証は、極めて難しい。	⑧昭和20年代から昭和30年代の電力不足の時代であっても、自然景観に優れた地点であっても、電力供給確保が優先するとして水力発電開発が認められていた。 ⑨環境庁設置法に照らし、「地球温暖化防止行動計画」に示されているCO ₂ 排出抑制・削減の緊要性から、新しい観光資源となりうる地域景観創造型のデザインを採用することが前提とされるなら、自然公園内の地熱発電開発は対外的に十分説明可能になると思われる。	G. 国際約束履行のための「地球環境対策としてのCO ₂ 排出抑制・低減の達成」と、自然環境の保護が比較衡量され、CO ₂ を排出しない電源開発のため自然公園内の開発規制が緩和される。
(5)地熱資源の開発を唱える者は、無茶な予算要求をし、高い蒸気単価を強要する「風狂の徒」として、白眼視される。	⑩地熱資源開発関係予算は、新エネルギー開発関係予算の中では、最も投資効率のよい分野であることの立証と周知を図る。 ⑪自己被害者意識を捨て、地域社会の中に身を沈め、地域住民と同じ眼の高さで物を見れば、「浮ぶ瀬」に到達できる。	H. 昭和49年度から投じられた国の予算は決して不十分なものではなかったし、これからも地熱開発業者の開発意欲が喪失しないよう所要の予算を確保する。 I. 地熱資源開発をCO ₂ を排出しない「地球環境対策上優れたエネルギー」として位置付けるとともに、「地域に恵まれたエネルギー」として地域活性化の源として多目的に利用する。

て、「地球環境対策コスト及び新エネルギー（地熱発電を含む）による発生電力導入コストを経営効率化の対象から除外する。」旨明示して、制度的保証を与える。この査定方針については、公聴会等により地域住民の受容と支持を明確にする。

この措置により、電力会社は心配することなく、新エネルギーによる発生電力を若干割高であっても購入することができるが、国は全く資金の支出は必要でないのである。従って、政策担当者の決断のみで実現できるのである。

G. 国際約束履行のための「地球環境対策としてのCO₂排出抑制・削減の達成」と、「自然景観の保護」が比較衡量され、CO₂を排出しない電源開発のため自然公園内の開発規制が緩和される。

H. 昭和49年度から投じられた国の予算は決して不十分なものではなかったし、これから地熱開発業者の開発意欲が喪失しないよう所要の予算を確保する。

〔考察〕

① 通年国家資金投資効果の評価

- ・ 国の地熱関係予算総額：合計2,621億円（昭和49年度～平成6年度）
 - ・ 地熱発電による発電量：合計259億kWh（昭和49年度～平成6年度）
 - ・ 投資効果（国が投じた予算と回収された価値の比較）は、電力価格＝22円/kWhとして換算すると259億kWh×22円/kWh＝5,698億円である。
- 従って、国家資金の投資効果は、2.2倍と評価できる。

② 単年度国家資金投資効果の評価

- ・ 平成6年度国の地熱関係予算額：155.8億円

・ 平成6年度地熱発電による発電量：20.45億kWh
投資効果は、電力価格＝22円/kWhとして、換算すると20.45億kWh×22円/kWh＝450億円であるから、2.9倍と評価できる。

I. 地熱資源開発をCO₂を排出しない「地球環境対策上優れたエネルギー」として位置付けるとともに、「地域に恵まれたエネルギー」として地域活性化の源として多目的に利用することを基本とする。

§8. むすび——“それからの地熱発電” 打開策9項目

§7で挙げた「地熱発電開発起死回生の打開策」の9項目は、国による政策判断さえなされれば実現可能と思われる。但し、国による政策判断の基本は、「国際約束を履行するための地球環境対策としてのCO₂の排出抑制・削減の強化」であるから、国際情勢が逼迫するかどうかにかかっている。即ち、ここにも外圧利用による政策の姿が映っているが、止むを得ないと思われる。

本稿では、エネテクトドリームの手法をフルに活用して、21世紀の地熱発電開発のための発想の転換と政策判断の提案を試みた。関係各位の勇気回復の一助となれば幸いである。

〔参考文献〕

1. 「わが国の地熱発電の動向」（1995年版）
（株）日本地熱調査会
2. 「電気事業審議会需給部会中間報告」
電気事業審議会需給部会（平成6年6月）

3.「平成7年度電力施設計画の概要」

通商産業省資源エネルギー庁（平成7年4月）

4.「地熱エネルギーの事業化促進に関する提言」

財新エネルギー財団新エネルギー産業会議（平成7年5月）

5.「地熱技術開発に関する中間報告書」

産業技術審議会エネルギー・環境技術開発部会評価小委員会地熱評価小委員会（平成6年7月）

6.「新エネルギー導入大綱」

総合エネルギー対策推進閣僚会議（平成6年12月）



出典：「わが国の地熱発電の動向（1995年版）（社）日本地熱調査会」

参考図 国内の地熱発電所及び地熱開発地点

研究所のうごき

(平成7年10月1日～12月31日)

◇ 第1回賛助会員会議(仮称)

日 時: 11月17日(金) 15:00～18:00

場 所: 経団連会館(9階) 901号室

議 題:

1. 寄附行為の一部変更と賛助会員会議(仮称)の新設について
2. 平成6年度事業報告および収支決算
3. 平成7年度事業計画および収支予算
4. 講演「新しいエネルギー開発の将来展望」
(専務理事 吉澤均)

◇ 第43回(臨時)理事会

日 時: 11月24日(金) 12:00～12:50

場 所: 経団連会館(9階) 906号室

議 題:

- 第一号議案 寄附行為の一部変更に伴う評議員会規程の廃止について
- 第二号議案 評議員の委嘱について
- 第三号議案 賛助会員規程の改定について
- 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129回月例研究会

日 時: 10月27日(金) 14:00～16:00

場 所: 航空会館6階 中ホール

議 題:

1. 氷蓄熱式空調システムの運用状況紹介
(東京電力㈱ 営業開発部 ビルシステムプロジェクト 副部長 立田恒彦氏)
2. 氷蓄熱式空調システム技術面の紹介
(㈱日立製作所 空調システム事業部 汎用空調機本部 主任技師 勝又直登氏)

第130回月例研究会

日 時: 11月24日(金) 14:00～16:00

場 所: 航空会館6階 中ホール

議 題:

1. オリマルジョン・プロジェクトの現状
(三菱商事㈱ 電力燃料部 部長代行 荒川昌佳氏)
2. 新燃料オリマルジョン燃料
—火力発電所での運用状況—
(鹿島北共同発電㈱ 鹿島北共同発電所 次長 佐野貢氏)

第131回月例研究会

日 時: 12月22日(金) 14:00～16:00

場 所: 航空会館6階 中ホール

議 題:

1. APECの概要(エネルギーと環境面を中心として)
(通商産業省 資源エネルギー庁 国際資源課 総括班長 山城宗久氏)
2. 東南アジアのエネルギー事情と我が国の戦略
(㈱電力中央研究所 研究開発部 部長 新田義孝氏)

◇ 主なできごと

10月3日(火)・第1回原子炉安全数値解析高度化委員会

4日(水)・第1回自動車用CGTの社会適合性調査委員会

・第1回含酸素軽油の開発可能性に関する調査委員会

・第1回長期電力需要要因分析委員会

11日(水)・第2回高温ガス炉プラント研究委員会

12日(木)・第2回石油活用型スーパーごみ発電システムの普及促進に係わるモデル調査委員会

13日(金)・第2回メタノール利用発電技術総合評価調査委員会

16日(月)・第3回国際視点に立った将来型軽水炉の設計のあり方に関する調査委員会

19日(木)・第2回DSM技術検討委員会

20日(金)・第1回分散型電源動向分析調査委員会

・第2回分散型電源としてのHATサイクルガスタービン実用化

可能性調査委員会
 25日(水)・第6回WE-NE T研究リーダー会議
 31日(火)・第2回WE-NE T安全WG
 ・第1回地球環境対策技術調査研究委員会
 11月1日(水)・第1回WE-NE T革新WG
 7日(火)・第4回国際的視点に立った将来型軽水炉の設計のあり方に関する調査委員会
 ・第2回地層処分研究委員会
 ・第1回非在来型天然ガス基礎調査委員会
 13日(月)・第4回FBR新技術フィージビリティ調査検討委員会
 ・第1回廃炉措置講演会
 ・第2回実用発電用原子炉廃炉技術調査委員会
 20日(月)・第4回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会
 21日(火)・第2回日米欧先進シミュレーション手法研究会
 22日(水)・第7回WE-NE T研究リーダー会議
 28日(火)・第2回含酸素軽油の開発可能性に関する調査委員会
 ・第1回エネルギー環境予測検討委員会
 12月1日(金)・第1回油焚き中小規模のボイラー実態調査委員会
 6日(水)・第2回発電用新型炉プルトニウム等利用方策開発調査委員会
 7日(木)・第4回低質燃料利用高効率発電技術調査委員会
 13日(水)・第4回TRU廃棄物中深地層処分シナリオ調査検討委員会
 14日(木)・第2回長期電力需要要因分析委員会
 15日(金)・第2回分散型電源動向分析調査委員会
 18日(月)・第2回原子炉安全数値解析高度化委員会

20日(水)・第8回WE-NE T研究リーダー会議
 21日(木)・第2回WE-NE T革新委員会
 ・第2回地球環境対策技術調査研究委員会
 26日(火)・第3回分散型電源としてのHATサイクルガスタービン実用化可能性調査委員会
 27日(水)・第1回燃料電池システム調査委員会

◇ 人事異動

○10月1日付

(採用)

田中敏英 プロジェクト試験研究部 研究員
 大野哲雄 WE-NE Tセンター 主管研究員
 島田僚一 新水素エネルギー実証ラボラトリー 主管研究員

(昇任)

森信一郎 プロジェクト試験研究部 主管研究員

○10月10日付

(採用)

高柳英彰 プロジェクト試験研究部 主任研究員

(退任)

原田義也 (プロジェクト試験研究部 主任研究員, 出向解除)

○10月31日付

(退任)

中丸寿男 (プロジェクト試験研究部 副主席研究員, 出向解除)

○12月1日付

(兼務)

常務理事 相馬昭典 事務局長兼務を委嘱(平成8年3月31日まで)

(採用)

永森 茂 プロジェクト試験研究部 主管研究員

編集後記

歴史的な事象と話題が相次いだ激動の1995年が過ぎ、1996年を迎えた。

先ずは、本年の平穏無事を心から願ってやまない。

巻頭言は、関西電力(株)副社長で当研究所の理事でもあられる北田幹夫氏に寄稿いただいた。「エネルギー競争市場におけるR&D」という題で、短期的経済性のみを追求することなく長期的展望で研究開発に取り組むことの重要性を指摘されているが、新年を飾るにふさわしい誠に時宜を得たご指摘を頂いた。

対談は、通産省資源エネルギー庁長官官房審議官並木徹氏と当研究所山本理事長との対談で、昨今の規制緩和の流れを反映して「規制緩和とこれからのエネルギー産業」というテーマで語っていただいた。主に電力規制緩和の狙いと概要、原子力発電推進の在り方、昨年開催のWEC東京大会、APEC大阪会議の要点を通産省の立場から紹介頂くとともに、本年3月末で18周年を迎える当所の歩みと今後の期待に対する理事長の見解も披露され関係者の興味を惹きつける対談となったと考えられる。

エネルギー政策上の紹介記事としては、「WEC東京大会を振り返って」というテーマで同会議組織委員会専務理事・事務局長の横堀恵一氏に寄稿頂いた。同大会終了後で非常に多忙な中ながらも、WECの沿革から東京大会の概要と成果までを見事にまとめられており、事務局一同感激して原稿を頂いた次第である。

エネテクトリームは、「出力50万kW突破

(1996年3月)、それからの地熱発電」というテーマで、我が国の地熱発電の現況と将来見通しが解説され、同時に21世紀へのドリームとして著者の発想の転換による政策提言が大胆に示されている。関係者においては大変興味を持って読んでいただけるものと考ええる。

本誌の目玉の一つである当所女性取材チームによる訪問記は、今回は北陸電力(株)の「アリス館志賀」と「志賀原子力発電所」の見学記事である。不思議の国のアリスさながらにアリス館で率直に驚き、グッド・デザイン賞を受賞した同発電所のデザインに感激するくんだり等女性ならではの感性と視覚にあふれた記述となっている。

昨今、エネルギーと環境のテーマに関しては、規制緩和の推進下におけるエネルギーと環境の調和ある展開、来年我が国での開催が予定されている「気候変動枠組み条約」第3回締約国会議による温室効果ガス削減案策定、アジア域内のエネルギーと環境保全確保等、その論議は国際的、国内的にも益々緊迫化の様相を呈してきた。このような時期であればこそ当研究所に課せられた役割が益々重要になると考えられる。

幸い本号は、このような社会情勢下のエネルギー事情を語るにふさわしい豪華な執筆陣により、充実した内容を盛ることができたと考ええる。

これもひとえに外部寄稿者、面談者の方々のご協力とご理解の賜物であり、ここに深甚なるお礼を申し上げる次第である。

季報編集責任者 小川紀一郎 記

季報エネルギー総合工学 第18巻第4号

平成8年1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 東京都港区西新橋1-14-2

新橋SYビル(6F)

電話 (03) 3508-8891

無断転載を禁じます。(印刷) 和光堂印刷株式会社