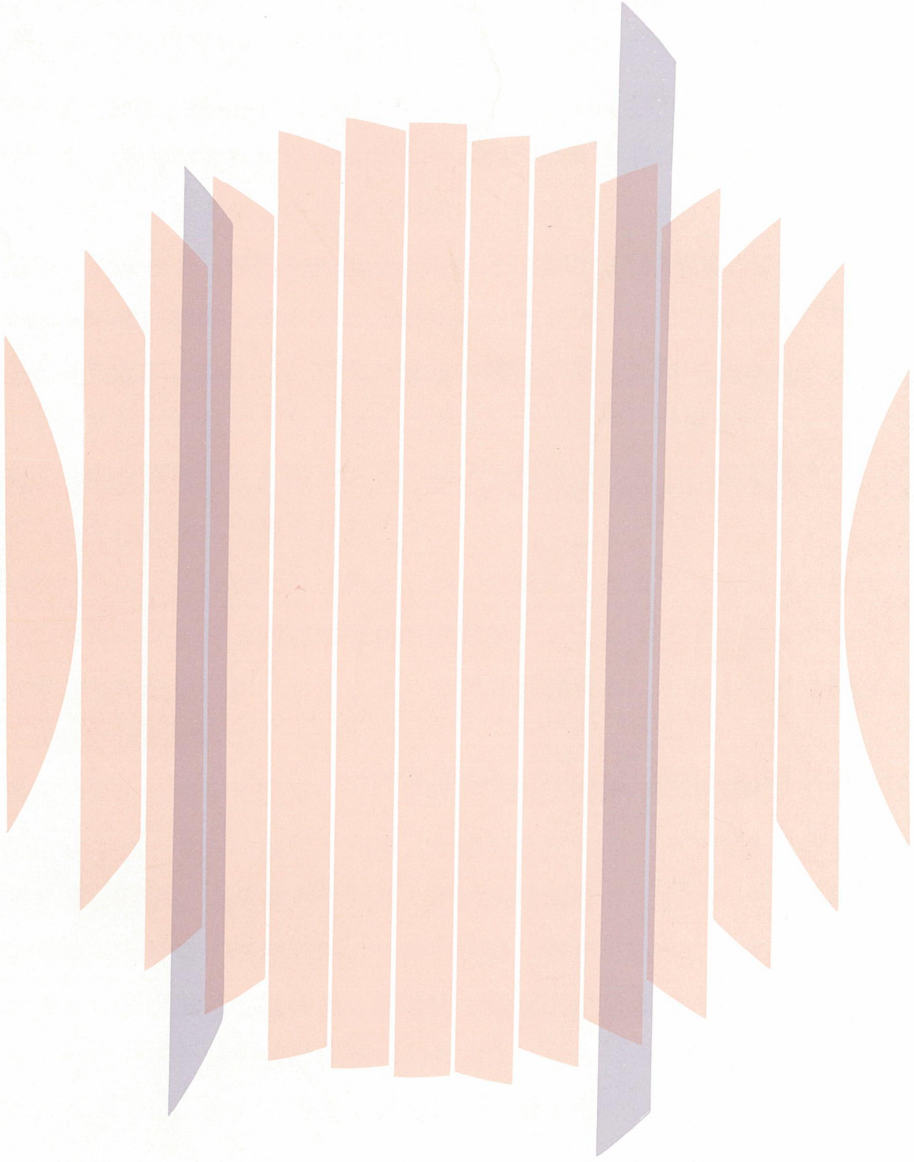
ISSN 0286-3162

季報 エネルギー総合工学

Vol. 13 No. 1 1990. 4.



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

目　　次

プルトニウム利用と核不拡散 ……動力炉・核燃料開発事業団　理事長　石　渡　鷹　雄…… 1

原子炉廃止措置に関する最近の海外動向……三　井　英　彦…… 3

インドネシアの電力事情と原子力開発……麓　　弘　道……16

新型原子炉の研究開発について……栗　山　和　重……27

深部天然ガスに関する海外の研究開発状況……中　野　重　夫……39

研究所のうごき……57

「原子力テレフォン質問箱」の開設について……61
——㈶原子力工学試験センターからのお知らせ——

第12巻通巻目次……62

プルトニウム利用と核不拡散

動力炉・核燃料開発事業団
理事長 石 渡 鷹 雄

世界のエネルギー需要は，21世紀に入り途上国の需要増加が特に著しく，世界全体では，現在の3倍にも達するとの予測もある。そのため最も利用しやすいエネルギー源である石油は，長期的には逼迫の可能性大であり，CO_2排出抑制が求められることなどから，石油に依存しないエネルギー源の開発が国際的に更に重要さを増してくるものと思う。日本などの先進工業国は，技術が作り出すエネルギーとしての原子力開発と利用をより積極的に推進することにより，世界のエネルギー需給，更には地球環境問題に貢献していくことが求められる状況になってくるであろう。

原子力開発利用のためには，ウラン資源の確保が前提条件になる。そのウラン資源は我が国には殆ど皆無であり，海外に依存しているが，世界規模で見ても天然ウランの利用可能な埋蔵量も有限であり，原子力利用が拡大すれば天然ウラン需給が逼迫してくるのは容易に予測される。

我が国は，このような状況に対処していくために，天然ウラン資源を現在の利用率の60倍にも増大させ得る高速増殖炉の開発をナショナル・プロジェクトとして取組み，動燃事業団は原型炉「もんじゅ」を福井県敦賀市に平成4年には初臨界を迎えるべく建設を進めている。

高速増殖炉による原子力発電にとっては，「使用済燃料を再処理し，発電中に新たに生まれたプルトニウムの回収と利用」が必要不可欠の条件となる。我が国は，原子力利用を平和目的に限り進めており，その大原則を守っていくためにもプルトニウムという機微な物質の平和利用の技術的実証，核不拡散への対応と国際社会でのコンセンサス作りへ向けて技術面・制度面での努力が必要である。

これまでの我が国の核不拡散体制への対応は，ＩＡＥＡの保障措置への取組みの例に見られるように，極めて優秀であるとの評価を得ているが，受身であることは否めない。

世界に率先してプルトニウム利用を進めていかなければならない国情の我が国としては，核不拡散（ＮＰＴ）体制を維持・強化するための貢献，我が国のプルトニ

ウム利用計画を国際的にもより分かりやすいものにする努力，更には核不拡散性の高い利用技術システムの開発をより一層進めていく必要がある。

動燃事業団は，原子力委員会のもとに決められた「原子力開発利用長期計画」の中で，長期的には，プルトニウム利用の技術的基盤を支えるセンターとしての役割を与えられ，高速増殖炉を中心にプルトニウム利用体系の実現に向けて研究開発を進めているが，プルトニウム利用の国際社会でのコンセンサスを得ることを常に念頭においた開発が重要だと思っている。（いしわたり　たかお）

原子炉廃止措置に関する最近の海外動向

三　井　英　彦

1. はじめに

わが国で運転中の原子力発電所は，1989年6月現在で37基，29,280MWの設備容量を有し，1988年度実績で全発電量の約27%を原子力発電が占めるに至っている。このように近年わが国のエネルギー供給における原子力発電の担う役割はますますその重要性を増しつつあるが，一方，原子力発電施設がその寿命を全うした後の管理及び処理処分（いわゆる廃止措置）についても，長期的視点に立って調査研究を進めておくことは重要なことである。このような観点から，当エネルギー総合工学研究所は通商産業省資源エネルギー庁の委託を受け，原子炉廃止措置に関する調査研究を実施している。

調査研究の一環として，当研究所は昨年10月海外調査団を編成し，ベルギー・ブラッセルで開催された欧州共同体（ＥＣ：以下ＥＣと記す）委員会主催の「1989年原子力施設廃止措置国際会議」（1989 International Conference on the Decommissioning of Nnclear Installations）（以下国際会議と記す）に参加したほか，西独及び米国の廃止措置関連諸機関を訪問し，調査を行ってきた。

以下，本海外調査を通してみた海外における廃止措置の現状と動向について述べてみたい。

2. 海外調査の概要

本海外調査は，1989年10月22日～11月 5日の15日間にわたり，主として

(1) 廃止措置に係る規制

(2) 廃止措置廃棄物の再利用

(3) 廃止措置技術・工法

の３項目に関する調査を行うことを目的として実施したものであり，その前半において上記国際会議に出席し，後半において関連諸機関への訪問調査を行った。

調査団は秋山　守東京大学教授を団長に，総勢11名で構成された。**表１**に調査団の構成を示す。

3. 国際会議を通してみた現状と動向

3.1 会議の概要

1989年10月24日から同年10月27日までベルギー・ブラッセルで上記国際会議が開催された。本国際会議は，1984年５月22日から同年５月24日までルクセンブルグで開催されたＥＣ第１次５ヶ年計画に関する国際会議に引き続いて開催されたもので，その概要は次の通りである。

・背景と目的　：ＥＣ委員会がＥＣ加盟国に委託し推進している，廃止措置に係る研究開発の，第

2次5ケ年計画（1984～1988年）の成果報告と専門家による討議を目的として開催された国際会議である。

・主　　催　：ＥＣ委員会
・開催場所　：ベルギー・ブラッセル
・参加国　　：19ケ国
・参加人員　：375人
・論文発表分野：廃止措置に係る全分野（**表2**参照）
・論文発表件数：82（**表2**参照）
・プログラム　：**表2**に記載

3.2　会議の特徴

登録された参加国と参加人員は19ケ国，375人である。その主要な内訳は次の通りである。

国　名	参加人員	論文発表件数
西ドイツ	82	25
フランス	54	28
イギリス	46	22
イタリー	24	6
米　国	7	1
日　本	45	1

表1　調　査　団　の　構　成

1.	秋山　守	東京大学工学部原子力工学科教授
2.	阿部　清治	(財)原子力環境整備センター調査役
3.	浜崎　正信	廃炉確証試験実施委員会委員（(財)原子力工学試験センター）
4.	堀田　修	富士電機㈱原子力事業部技術部主幹技師
5.	前田　幸彦	四国電力㈱原子力政策室課長
6.	緒方　善樹	三菱重工業㈱軽水炉技術部軽水炉開発課
7.	大浦　正人	㈱日立製作所日立工場原子力設計部
8.	杉浦　正明	(財)原子力工学試験センター開発部主任研究部員
9.	蔦川　雅洋	㈱東芝原子力プラント技術部主査
10.	宅間　正夫	東京電力㈱原子力業務部部長
11.	三井　英彦	(財)エネルギー総合工学研究所副主席研究員

本国際会議はＥＣの委託研究成果報告会という性格上参加者及び論文発表件数がＥＣ諸国に偏るのは当然であるが，それにしても目立つのは参加人員，論文発表件数とも西ドイツ，フランス，イギリスが圧倒的に多いこと，米国の参加者が極めて少ないことである。

3.3　論文発表分野

表2にみられるように，廃止措置に係る全ての分野がセッションⅠからセッションXVにわたって網羅されており，最終セッションXVのパネル討論で締め括られている。

技術的には，廃止措置容易化設計，遠隔操作，解体技術，放射線(能)測定，輸送，金属溶融，除染，換気，廃棄物処理等廃止措置に係る技術分野の全てにわたっているということができる。目立つのは，発表分野についても西ドイツ，フランス，イギリスの3国が全ての分野にわたってほぼ同じ件数の発表をしていることである。

表2　1989年　ＥＣ廃止措置国際会議発表論文一覧（1/2）

セッション / 発表国	I 開会セッション	II 廃止措置政策	III 廃止措置容易化設計	IV 解体及び除染のための遠隔操作	V 解体技術	VI 放射能測定方法	VII 廃棄物発生量の予測と処分の見通し	小計
西ドイツ	③運転主体側から見た廃止措置に係わる重要事項	（②イギリスに同じ） ③リンゲン炉格納容器の負圧抑制 ⑤* 廃止措置に関するデータバンク／被曝線量とコスト		⑤放射性機器の水中切断用計測制御システムの開発	①水中切断技術の開発 ④放射化機器切断のためのＥＣＭ技術 ⑥アブレッシブウォータジェットによる鋼材の水中切断 （⑧イギリスに同じ）	①曲面の汚染測定システム ③極低レベル放射性廃棄物に対する計測技術の最適化 ⑤ニーダアイヒバッハ解体での廃棄物の測定装置	②燃料組立プラントの廃止措置新技術に関する試験（低ウラン放射能の無制限開放に対する考察）	13(3)
フランス	①* 加盟国の原子力施設の廃止措置（実績と計画） ②廃止措置に関する規則経験と政策	（⑤西ドイツに同じ） ⑥* 原子力施設の各種材料を無制限放出する為の基準	①試験用ループを用いたコバルトフリー合金の弁への適用実験 ④大型ＦＢＲの廃止措置に及ぼす設計の影響 ⑥廃止措置容易化するために採用された設計	①レーザと組合わせた多関節ロボット ③現存する遠隔操作用密閉型モジュールワークショップの改良 ⑥水中プラズマアーク切断遠隔試験装置の開発と二次生成物測定	（②イギリスに同じ） ③熱交換器電熱管及び配管の内側からのアークソーによる切断 ⑤原子力施設解体のための高圧アブレッシブウォータジェットの改良	⑥原子力産業への金属廃棄物の無制限再利用のための測定及び弁別技術	①キャダラッシュ燃料製造施設グローブボックス解体作業の概要 ④プール型ＦＢＲ解体で発生する放射性廃棄物量の評価	16(4)
イギリス	（①フランスに同じ）	②* 原子力発電所建屋の劣化評価及び格納容器の長期間の安定性と密封性 ④マグノックス炉の解体を遅らせる場合に考えられる放射線影響	②内側にコンクリートブロックを有するプレストレストコンクリート原子炉容器の解析及び実験	④ＧＣＲの解体用ロボットと工員の改良	②* 水中プラズマ切断の固体及び気体状二次生成物 ⑦マイクロ波による生体遮蔽壁表層剥離 ⑧* 放射性コンクリート構造物解体用爆破技術	②γ線スペクトルの小ピークの解析に対する新手法と，土壌のγ線モニタ用検出器システム ④ＷＡＧＲの廃棄物のサンプリングと分析手法の開発 ⑦廃止措置後の跡地の残留放射能測定技術	③廃止措置廃棄物の管理のためのシステム評価方法の実証 ⑤ＥＣ及び西ヨーロッパで発生する廃止措置廃棄物	13(4)
イタリー			③現場におけるコンクリート表層の有機材注入とポリマー処理 ⑤再処理プラントの廃止措置を容易化する新設計としてのラック移動システム	②レーザ切断の廃止措置への適用に関する研究				3
ＥＣ	④廃止措置分野におけるＥＣのＲ＆Ｄ活動	（⑥フランスに同じ）		⑦The Teleman Programme			⑥ＥＣ諸国の放射性廃棄物処分の現状と見通し	4(1)
ベルギー								
オランダ								
ソ連		①* ＩＥＡメンバー諸国における原子力発電所廃止措置の政策						1(1)
ブルガリア		（①ソ連に同じ）						1(1)
スウェーデン								
スペイン								
日本								
米国								
延発表国数	5 (2)	10(8)	6	7	10(4)	7	6	51(14)
正味論文数	4 (1)	6 (4)	6	7	8 (2)	7	6	44(7)

注記：(1) 複数国の共同発表は筆頭国に＊印をつけた。他の国は（　）。論文数，国数の（　）は共同発表分を示す。(2) ○印の番号は発表順を示す。(3) セッションXVの欄にはパネリストを記載した。

表2　1989年　EC廃止措置国際会議発表論文一覧（2/2）

セッション / 発表国	Ⅷ 大型輸送容器と処分容器	Ⅸ 再利用又は処理の観点からみた鋼鉄廃棄物の溶融	Ⅹ 廃止措置を目的とした除染技術	Ⅺ 廃止措置を目的とした換気とフィルタリング技術	Ⅻ 廃止措置廃棄物の処理	XIII 金属の再利用と廃止措置方法	XIV 大規模な廃止措置	XV（パネル討議）廃止措置／その成果と今後の課題	合計
西ドイツ	①* 低レベル放射性金属を用いた大型廃棄物収納容器の開発	②原子力施設から発生する放射性金属廃材の溶融 ③ＥＩＲＡＭプラントでの放射性廃棄物溶融の第一報 ⑥鋼鉄の溶融における難測定核種の挙動	①全システムの除染完了までのプロセス （⑥イギリスに同じ）	③水中切断による放射性副次生成物の拡散と濾過 ④コンクリート除染技術用フィルタシステムの最適化 ⑥* 各種切断技術と関連フィルタシステムの分析		②除染及び溶融の直接処分との比較	①解体及び除染技術の大型炉への適用	K. Hubenthal	25(7)
フランス	②繊維強化鉄筋コンクリート製大型廃棄物収納容器	⑤蒸気相中の輸送現象によるステンレス鋼成分の分離	③ＦＢＲの一次冷却系の解体前除染 ⑤化学ゲル，電解モップ研磨材を使った除染 ⑧コンクリート表面除染用熱技術	②解体作業で発生する気体プレフィルタ装置 ⑤* プラズマアーク及びレーザ切断から生ずる二次系生成物の測定と評価 （⑥西ドイツに同じ）	②大型廃棄物のポリマーコーティングによる汚染の固定化 ⑤廃止措置で発生する放射性黒鉛ブロックの処分のための処理	①解体された原子力施設から回収された極低レベル放射性の銅及びアルミニウムの放射線の影響	③ＰＩＶＥＲガラス固化施設の除染及び解体	P. Tanguy（座長） L. Gillon	28(6)
イギリス	③中レベル廃棄物輸送用大型遮蔽容器	①廃止措置で発生する汚染鋼鉄廃材の溶融	④ＷＡＧＲの熱交換器除染技術の開発 ⑥* 処理の容易な電解液を用いる電気化学除染	①熱切断により生ずるエアロゾル処理の換気とフィルタリング技術 （⑤フランスに同じ）	③溶解性ケイ酸ナトリウムを用いた放射化コンクリート片の固定化	④ＧＣＲ廃止措置に関する電力会社の見解	②ＭＯＸ燃料組立施設の廃止措置	J. Holland	22(6)
イタリー			②ガリリアノのiの小型弁と給水加熱器電熱管の化学除染と超音波除染の試験 ⑨除染への提言	（⑤フランスに同じ）				A. Bertini	6(1)
EC	（①西ドイツに同じ）			（⑥西ドイツに同じ）				S. Finzi	6(3)
ベルギー					①ＭＯＸ燃料加工工場の大型グローブボックスの解体	③汚染されたステンレス鋼の安全かつ経済的な再利用のための重要なパラメータ			2
オランダ					④汚染コンクリートの分離			C. D. Andriesse	1
ソ連									1(1)
ブルガリア									1(1)
スウェーデン		④低レベル汚染鋼鉄の溶融							1
スペイン			⑦浸水表面の除染用密閉型電解研磨システム					A. L. Garcia	1
日本							④ JPDR 解体の進展		1
米国							⑤シッピングポート炉廃止措置の完了		1
延発表国数	4 (2)	6	10(2)	11(7)	5	4	5	—	96(25)
正味論文数	3 (1)	6	9(1)	6(2)	5	4	5	—	82(11)

注記：(1) 複数国の共同発表は筆頭国に＊印をつけた。他の国は（ ）。論文数，国数の（ ）は共同発表分を示す。(2) ○印の番号は発表順を示す。(3) セッション XV の欄にはパネリストを記載した。

今回の発表は全て招待講演という形をとっており，自発的な発表ではないので，件数で判断するのは危険であるが，**表2**からわかるように，廃棄物処理関連（セッションⅦ，Ⅷ及びXII）14件，再利用関連（セッションIX及びXIII）10件，除染9件，解体技術8件，遠隔操作及び放射能測定各7件といった順になっている。また，廃止措置容易化に関する発表がなされたのも，今後の動向をみる上で注目に値しよう。

日本と米国の各1件はそれぞれＪＰＤＲとシッピングポート炉の解体撤去に関する招待講演で，ＥＣは日米の動きに注目しており，日米と国際協力をしていかなければならないという認識が非常に強い（廃止措置のフェーズについてみると，既にシッピングポート炉の解体撤去を完了した米国が最も進んだフェーズにあり，目下ＪＰＤＲを解体撤去しているわが国が米国に次ぐフェーズにあるということができる）。

3.4 論文発表内容

国際会議全体の特徴及び廃止措置の現状と動向を把握する上で，セッションⅠとXVが重要な役割を果たしているので，まずこの2セッションについて述べ，そのあとで主要な技術･工法について簡単に触れることにする。

3.4.1 ＥＣ諸国の現状認識と課題

開会セッション（セッションⅠ）では，イギリス，フランス，西ドイツ及びＥＣから4論文が発表された。これらを総括すると次のようになる。

・廃止措置は最終的には解体撤去を目指すべきであり，それが技術的，経済的に可能であることが実証されてきている。
・しかし，その事例がまだ多くはないので，データの蓄積をはかり，解体やコストについてより詳細に検討していくことが重要である。
・と同時に，廃止措置についての社会的合意形成に十分配慮しなければならない。
・そのためには，廃棄物の再利用を含めて，安全な廃棄物管理と放射線防護が重要であり，廃止措置に係る規制の確立及び資金の確保が重要である。
・廃棄物の再利用あるいは廃止措置コスト等に重要な役割を果たすのがデミニミス・レベルである．再利用については国際的な合意が不可欠であり，そのためにもデミニミス・レベルの設定が緊急の課題である。
・廃止措置に伴う跡地の利用についてもその考え方や基準を定める必要がある。

開会セッションにおいて以上のような認識あるいは課題が開陳されたが，セッションXVのパネル討論においても上記に関連する議論が展開された。パネリストの発言をキーワード的に要約すると次のようになる。

・P. Tanguy 氏（フランス，座長）

　解体技術，放射線防護，廃棄物処理処分等についてはそれなりの成果を得てきた。将来の課題は次の通り。

　・ＥＣ域外との国際協力(特に日本，米国)・ＥＣの廃止措置計画の妥当性の検証・ヨーロッパ基準の制定・社会的受容

・C.D. Andriesse 氏（オランダ）

　鉄材の再利用や廃棄物の基準によって経済性が大きく変わる。基準がなぜ低すぎるのか問題である。世界的に見直すべきである。

・K. Hubenthal 氏（西ドイツ）

・安全な廃止措置は実現可能・コスト，廃棄物，R＆Dが最重要課題・国際協力の推進・EC基準の作成

西ドイツにおける重要課題は次の通り。

・最終処分場（この有無が解体の意思決定の重要な要因）・コストと資金調達・法令と許認可（よりフレキシブルに）

・A. L. Garcia 氏（スペイン）

・デミニミス・レベルの決定・最終廃棄物貯蔵所に関する基準・廃棄物のパッケージング，線量・放射能測定，コスト・再利用・資金調達・社会的受容

・J. Holland 氏（イギリス）

・社会的受容……最終処分場に関する基準とデミニミス・レベル

・A. Bertini 氏（イタリー）

・デミニミス・レベルの早期確立……1 Bq/g が妥当・社会的受容

・L. Gillon 氏（フランス）

・コスト・米国，日本に注目すべし・デミニミス・レベルの早期確立・社会的受容

・S. Finzi 氏（EC）

・EC第3次R＆D計画に向けて勇気づけられた・技術の大型への適用に特別の努力が必要・コスト・社会的受容

以上の発言から，①デミニミス・レベルや最終処分(貯蔵)場に関する基準の作成　②EC域外との国際協力(特に日本と米国)　③社会的受容　④コスト　等が重要な課題として認識されていることがよく理解できる。

パネル討論の最後に，座長は，今後の課題として

・工業スケールの信用度……安全性とコスト

・安全性を規制する行政当局の信用度……安全の監視と担保

・一般公衆の意見の信用度……正しい知識の普及と浸透

を確立していくことが重要であると締め括った。

3.4.2 技術・工法

多分野においていろいろな技術・工法が取り上げられているが，その中から主要な技術・工法についてまとめると次のようになる。

(1)　廃止措置容易化

その重要性が指摘されながら，過去における国際会議，シンポジウム等において表立って取り上げられなかった廃止措置容易化について，今回1セッションが設けられ，フランス，イギリス及びイタリーから発表があったことは注目してよいことである。その内容は，コバルトの低減化，生体遮蔽壁等の構造物の放射化部分のブロック化，腐食生成物の低減，プラント配置，記録等に関するもので，着実に検討されていることは評価に値する。廃止措置容易化については，わが国においても1985年から3年間にわたり当研究所で検討しているが，米国においては，目下，原子力規制委員会(NRC)が廃止措置容易化に関するレギュラトリ・ガイドを作成中であり，今後とも海外の動向に注目していく必要がある。

(2)　解体・遠隔操作

解体技術としては，水中プラズマ切断，水中アークソー切断，レーザー切断，電気化学的切断，砥粒ウオータジェット切断，マイクロウエーブによる生体遮蔽層の除去等が発表されており，また，これらの切断技術と結びついたロボット技術や水中切断の計測・制御技術に関する発表があった。目新しい技術は特にみられないが，着実に実績を積み重ねて

いるということができる。

(3) 放射線（能）測定

廃棄物の表面汚染測定や土壌のガンマ線検出等，廃棄物の再利用，跡地の解放等を目指した低／極低レベルの放射線(能)測定技術を中心に西ドイツ，フランス及びイギリスから7編の報告があった。測定装置は比例計数管，Ge検出器，液体シンチレーション等を用いたもので，コンベンショナルなものである。

(4) 再利用・溶融

再利用についてはフランス，西ドイツ，ベルギー及びイギリスからそれぞれ1件ずつ発表があった。内容は，放射線の影響，放射性廃棄物の廃棄と除染，溶融の比較，安全性と経済性等に関するものであった。また，溶融については，イギリス1件，西ドイツ3件，フランス1件，スウェーデン1件の発表があり，いずれも放射性金属の溶融特性や溶融の経験に関する内容のもので，この分野がかなり進んでいることがよく理解できた（西独の発表者の所属する会社GNS社(Gesellschaft für Nuklear Service) とジンペルカンプ社(Siempelkamp) については別途訪問し調査したので後述する)。

(5) 除染

除染に関しては西ドイツ，フランス，イギリス，イタリー及びスペインから合計9件の発表があった。内容は，西ドイツ・リンゲン(Lingen)原子力発電所における LOMI-化学除染，イタリー・ガリリアノ(Garigliano)原子力発電所における化学除染，超音波除染，イギリス・WAGRにおける化学除染等のほか化学ゲルを用いた除染，電解除染，ブラスト除染，振動による除染等である。この分野でも着実に経験，実績が積み重ねられている。

4. 廃止措置関連機関の調査を通してみた現状と動向

—廃棄物の再利用を中心として—

本海外調査の後半は西ドイツ及び米国の廃止措置関連機関への訪問調査を行った。調査した機関は，西ドイツのバイエルン州政府(規制)，ニーダーアイヒバッハ(Niederaichbach)原子力発電所(技術・工法)，GNS社及びジンペルカンプ社(再利用)，米国のTMI－2及びドレスデン原子力発電所(技術・工法)，原子力規制委員会(NRC)及びテネシー州政府(規制)，QRC社(Quadrex Recycle Center)及びSEG社(Scientific Ecology Group)(再利用)の合計10機関である。これらの諸機関について行った調査のうち，ここでは再利用に焦点を絞ってその現状と動向について述べてみたい。

4.1 規制

4.1.1 米国原子力規制委員会（NRC）及びテネシー州政府

米国では廃止措置等によって発生する廃棄物の再利用に関する全米大の規制・基準は存在していない。但し，その再利用を含む廃棄物の処理処分に関する規制についてNRCと合意している州は全米50州中29州あり，これらの州はアグリーメント・ステイト(Agreement State)と呼ばれている。NRCは，これらの州から提出された再利用を含む規制内容について，連邦エネルギー規則(10CFR)やその他の規制と矛盾がないかどうかをチェックした上で，これらの州にその規制を委ねる旨の合意文書を発行し，規制を委ねている。テネシー州はその一つである．従って，テネ

シー州政府はＮＲＣとの合意に基づいてその規制を行うことができ，後述のＱＲＣ社及びＳＥＧ社に放射性廃棄物処理事業に関するライセンスを付与している。

なお，ＮＲＣは現在，廃止措置廃棄物のみならず，汚染の恐れのある部品，材料等を規制免除するためのポリシー・ステイトメント(Policy Statement)を作成中である。そのベースとなっているのは「ＩＡＥＡ安全シリーズNo.89」である。

ＮＲＣでは，以上の他に，**3.4.2.**(1)で述べたように，廃止措置容易化に関するレギュラトリー・ガイドを作成しており，1990年末には公表するということである。

4.1.2 西ドイツにおける再利用のための基準

西ドイツでは，「原子力の平和利用及びその危険の防護に関する法律」(いわゆる原子力法) 9 a条において廃止措置廃棄物等の再利用が規定されており，再利用が不可能なものはやむをえず処分するという考え方をとっている。

西ドイツにおける再利用のための基準は次のようになっている。

(1) 廃棄物の放射能が次の条件を満足する場合には無制限使用が可能である。

全比放射能　≦0.1Bq/g　及び
表面汚染密度*≦0.37Bq/㎠(β, γ に対して)
≦0.037Bq/㎠(α に対して)
*100㎠以上での平均値

(2) 次の条件を満足する場合には，非放射性スクラップと一緒に溶融するために放出することができる。

全比放射能　≦1Bq/g　及び
表面汚染密度*≦0.37Bq/㎠(β, γ に対して)
≦0.037Bq/㎠(α に対して)
*100㎠以上での平均値

(3) 全比放射能が0.1Bq/g を越え，1Bq/g 以下の場合には工業向使用（管理下での使用）が可能である（例：レール，圧延用ローラ材，建築用鋼材等)。

4.2 廃棄物の再利用

4.2.1 米国における再利用

(1) ＱＲＣ社(Quadrex Recycle Center)

ＱＲＣ社はカリフォルニア州キャンベルに本社を置くエンジニアリング会社で，放射性廃棄物の処理はテネシー州オークリッジで行っている。1982年に米国でははじめてこの種の業務を開始し，現在では多数の原子力発電所から出てくる廃棄物の処理を行っている。

1) 実績

1982年の業務開始以来現在まで，金属100万立方フィート，紙，ウェス等45～50万立方フィートを処理しており，現在では金属20万立方フィート/年，紙，ウェス等25～30万立方フィート/年のペースで処理を行っている。**図1**に処理フローを示す。**図1**から，金属廃棄物のうち72%がスクラップとして放出され，13%が再使用等に回されていることがわかる。

2) 処理技術

処理技術として次に掲げる技術が用いられている。

① Shear Stress Cleaning：高圧フレオン洗浄で，ルース汚染の除染に適用
② Aqueous Laundry：水溶性洗濯装置で，プラスチック類の除染に適用
③ Planing：木材の表層剥離
④ Abrasive Grit Blast：ブラスト除染
⑤ Chemical Cleaning：化学除染

⑥ Electropolishing：電解除染

⑦ Bailing：紙，ウェス等の圧縮

⑧ Supercompaction（>1000トン）：紙，ウェス等を200ℓドラム罐に入れ，ドラム罐毎プレスで減容

⑨ Incineration：焼却

⑩ Efficient Packaging：機械的切断による減容

⑪ Advanced Survey and Release：同種同形状の廃棄物の自動化による効率的サーベイ

3) ライセンス

テネシー州は，**4.1.1**で述べたように，アグリーメント・ステイトの一つであり，州政府がライセンスを交付することができるので，ＱＲＣ社は，放射性廃棄物処理事業のライセンスをテネシー州政府から取得している。

放射性廃棄物としての取扱を要しない放出レベルは次の通りである。

β，γ（ルース汚染）：1000dpm/100㎠

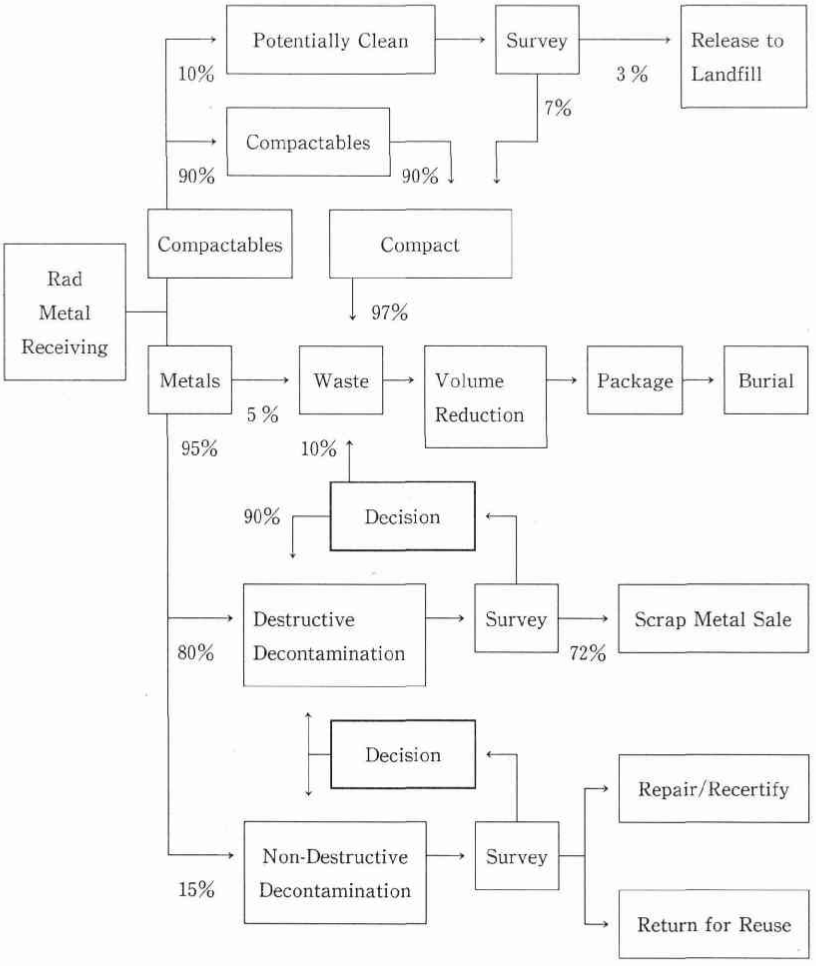


図1 処理フロー（ＱＲＣ）

β, γ（タイト汚染）：4000dpm/㎠

α（ウラン）　：1000　〃

α（ウラン以外）：　20　〃

米国では表面汚染についてのみ規制があり，物質内部に放射能が存在する場合の規制はなく，放出することはできない。従って，金属溶融の基礎技術は有しているものの，その導入計画はない。

処理後，放出する際のサーベイは全数を3段階で行っている（現場作業員のサーベイ，サーベイ専門スタッフによるサーベイ，ＱＣ／ＱＡ担当者によるサーベイ）。

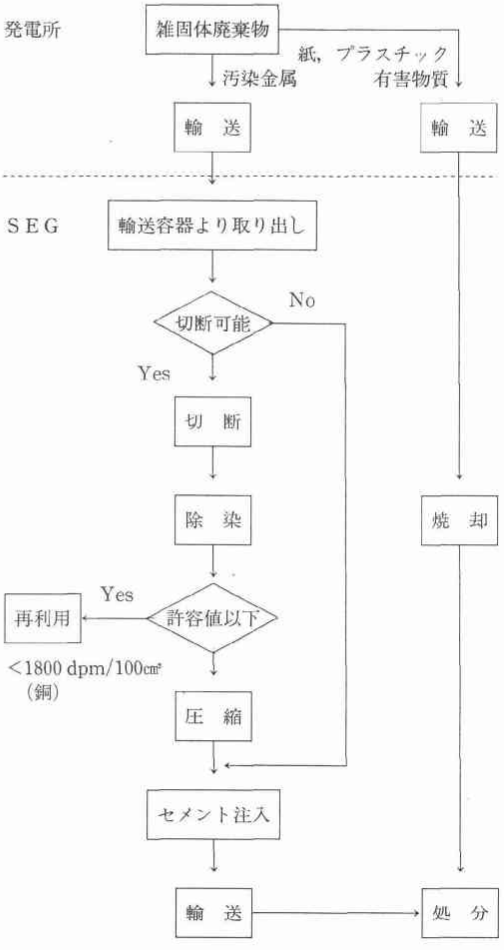


図2　処理フロー（ＳＥＧ）

(2)　ＳＥＧ社(Scientific Ecology Group)

ＳＥＧ社はテネシー州オークリッジにあり，原子力発電所から発生する雑固体廃棄物を減容処理し，処分場に処分するまでの事業を行っている。**図2**に処理フローを示す。

ＳＥＧ社は現在特に再利用を目的とした処理は行っていないが，銅については，1800 dpm/100㎠以下であれば再利用業者に売り渡している。

現在採用している除染技術はブラスト除染と電解除染である。銅を再利用に放出する際のサーベイはスミヤ法で行っている。

また，現在金属の溶融設備はない。

4.2.2 西ドイツにおける再利用

(1)　ＧＮＳ社（Gesellschaft für Nuklear Service）

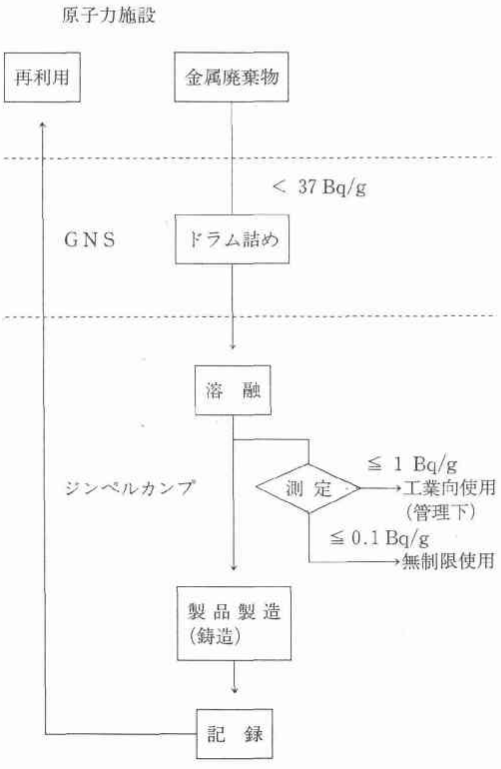


図3　処理フロー（ＧＮＳ）

西ドイツ・エッセンにあるＧＮＳ社は1976年に原子力施設のサービス会社として設立され，原子力施設から出てくる廃棄物の処理と放射性廃棄物の輸送・貯蔵容器の供給を行っている。原子力施設から入ってきた金属廃棄物はＧＮＳ社で切断され，200ℓドラムに収納されて，後述のジンペルカンプ社（Siempelkamp）に送られ，ジンペルカンプ社で放射性廃棄物の輸送・貯蔵容器を製造する際の原料として再利用される。ジンペルカンプ社で製造されたこの容器はＧＮＳ社を経由して再び原子力施設に納入される。このフローを**図3**に示す。

ＧＮＳ社は，1981年からジンペルカンプ社と共同で製品開発を行っており，両社は1986年から放射性廃棄物の輸送・貯蔵容器「モザイク」（**図4**参照）を製造・供給している。これまで約1000個を製造・供給し，現在200～300個/年のペースで製造・供給している。「モザイク」の素材の⅓は再利用された金属であり，残りの⅔は一般材料である。比放射能は1 Bq/g以下である。

(2) ジンペルカンプ社（Siempelkamp）

西ドイツ・クレフェルト（Krefeld）にあるジンペルカンプ社は放射性廃棄物再利用のための溶融—製品化のライセンスを持っている西ドイツで唯一の会社であり，1976年より原子力分野の鋳造品の製造を開始した。1981年

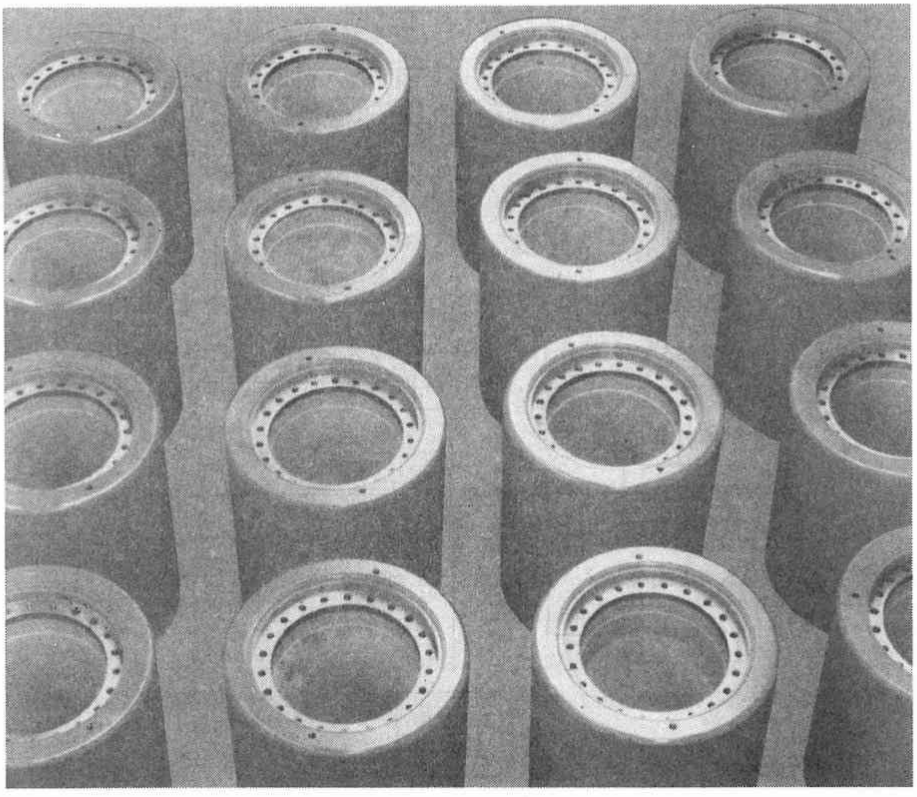


図4　「モザイク」

には放射性廃棄物の溶融—再利用を開始し，現在まで2000トン以上の放射性廃棄物を溶融し，前述の「モザイク」（**図4**）や遮蔽材等に再利用している。

1989年11月現在約1000トンの溶融待ちがあり，さらに今後4年間にわたり7000トンの受注が既に決定している等，事業は商業ベースにのっているということである。

ジンペルカンプ社は原子力施設から200 Bq/g以下（α核種を含む場合は100Bq/g以下）の放射性金属廃棄物を受け入れ，これを溶融炉で溶融し，製品化した後，再び原子力施設に戻している。ジンペルカンプ社における再利用の流れを**図5**に示す。

ジンペルカンプ社には3.2トン容量の溶融炉があり，1ロットの溶融に対して，金属，スラグ，フィルターダストの各々から1サンプルをとり，Ge検出器でγ線計測を行っている。法規上は1 Bq/g以下であれば工業用製品向再利用が，また，0.1Bq/g以下であれ

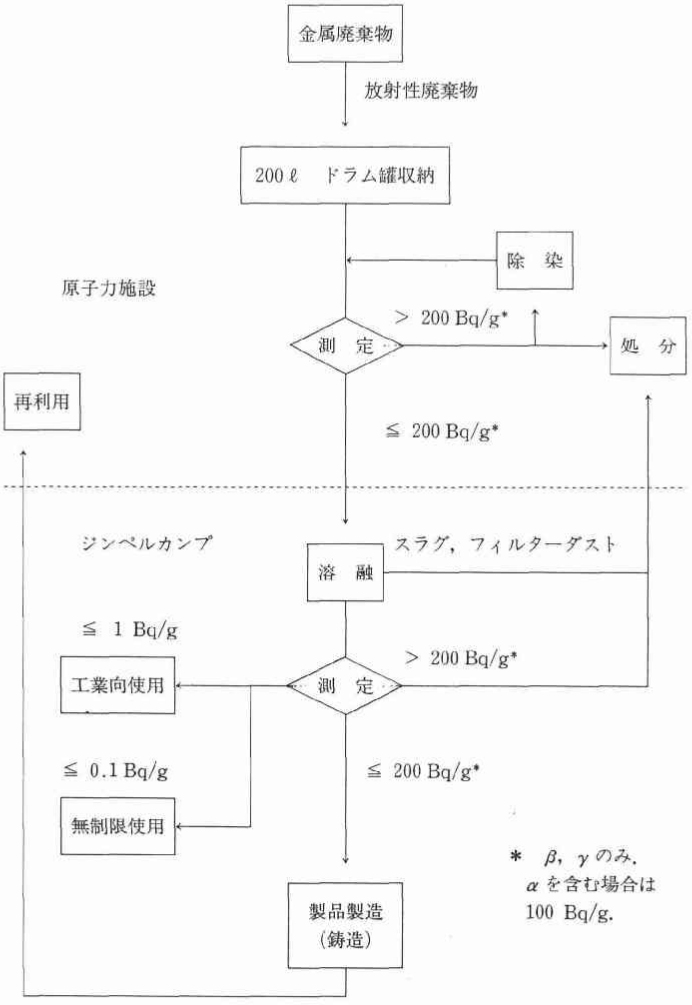


図5 処理フロー（ジンペルカンプ）

ば無制限再利用が可能であるが，製品は全て原子力施設に戻しているということである。

5. むすび

ベルギー・ブラッセルで開催された国際会議及び廃止措置関連機関の訪問調査を通してみた廃止措置に関する最近の海外動向について述べた。

国際会議の開会セッション及びパネル討論において開陳されたＥＣ諸国の課題はわが国における課題でもあり，国際的な視野をもって解決していかなければならない。そのためにも，ＩＡＥＡあるいはＯＥＣＤ／ＮＥＡ等の国際機関をはじめとして海外諸国の動向には今後とも注目していく必要がある。

廃止措置技術・工法については，今後さらに経験と実績が積み重ねられ，「工業スケールの信用度」の確立に向かって大きく前進するであろう。また，廃棄物の再利用については，米国及び西ドイツの事例にみられるように，既に事業化している国もあり，わが国においてもなお一層活発な検討がなされるようになるであろう。

廃止措置に係る諸課題に対し，国際会議のパネル討論において座長が行った総括は今後の進むべき方向をよく示していると思われる。

最後に，今回の海外調査に当たり，通商産業省資源エネルギー庁原子力発電課をはじめ，電力会社，原子力メーカー他多数の関係機関のご支援をいただいた。ここに深く感謝の意を表する次第である。(みつい　ひでひこ　副主席研究員)

インドネシアの電力事情と原子力開発

麓　　弘道

1. まえがき

インドネシアの国民一人当りの商業一次エネルギーの消費量は，1987年度9.4GJ/Cap.であり，フィリピンの11.0GJ/Cap.，タイの14.7GJ/Cap.，マレーシアの35.5GJ/Cap.に比べるとまだまだ低い水準にある。特に電力については，国民一人当り200kWh/年に過ぎず，日本の5,500kWh/年に比べて遙かに小さい事が分かる。インドネシアでは，電力事業は，国営の電力公社が独占して事業を行っている。国営電力公社（ＰＬＮ）は，家庭の電化に努めているが，配電サービスを受けているのは，都市部でまだ50%前後，田舎では，まだ10%程度，全国平均で20%程度である。国営電力では，過去20年間電力設備の増強に力を入れており，設備容量で20年間平均15.6%の年率で設備を増強してきた。この間の売上の増加は年平均15%であり，昨年は，20,027.3GWhを売電している。

表－1にインドネシアにおける1976年から1988年までの電力需要の伸びをセクター別に分けて示す。電力公社全体としては，この間年率17%の高率で電力需要が増加しているが，民生用と工業用に区別すると民生用が15%程度であるのに比し，工業用は，20%以上の成長率を示している。またこれに対して自家発の成長率は，13.3%に過ぎないので，全体として自家発から電力への移行が進んでいる事が窺える。いずれにせよこの期間の総電気需要は，年率15%で成長しており，同期間のインドネシア経済がＧＮＰで年平均5.1%でしか成長していないことを考えると，潜在的な電力需要がかなりインドネシアにはあると考えられる。

88年度の設備容量は，8,529MWであり，この外に工場を中心とする自家発電が6,631MW設置されているとの事である。ジャワ島では，1990年に水力1,965MW，地熱140MW，石油火力1,800MW，ガスタービン645MW，石炭火力1,600MWの設備計画を持っている。ジャワ島以外では，水力165MW，石油火力310MW，ガスタービン593MW，ディーゼル1,702MW，石炭火力130MWとなっている。人口の集中しているジャワ島では，50万kWの送電網が完備しており，比較的大規模の電力開発が可能である。現在石炭火力発電のユニット当りの発電規模は，従来の40万kWから60万kWへと増大している。インドネシア政府は，石油資源の国内消費を出来る限り少なくするよう考えており，電力公社の電源開発計画の中でも，新規の石油火力の計画はない。**表－2**に国営電力公社による電源開発計画を示す。これによると2000年の電源容量をジャワ島で

16,235MW, ジャワ以外の総計で6,180MWと予定している。ジャワ島では，水力発電の開発の余地が殆ど無いため，増加分は，主に石炭と天然ガスにより供給される予定となっている。ジャワ島以外では，人口密度が低いので現状ではディーゼル発電への依存が高いが今後の開発計画では，水力と豊富にある天然ガスによる発電を中心に考えている。原子力発電の利用に関しては，2000年までの電力公社の電源開発計画にはまだ載っていないが，インドネシアの国家エネルギー委員会（BAKOREN）では，2000年以降の電源立地として原子力発電の導入も考慮した計画の策定を考えているので，新しい2010年までの電源開発の計画立案の中で原子力発電がどの様に扱われるのか注目されている。

表－1　インドネシアにおける電力需要の変遷

	電力消費量（GWh）				
	1976/77	1981/82	1986/87	1988/89	成長率（%）76/77—88/89
電力公社供給分	3,031.0	7,845.5	14,786.3	20,027.3	17.0
住居用	1,419.5	3,425.3	5,648.8	7,274.6	14.6
工業用	927.7	2,469.2	6,183.1	9,086.7	20.9
公共用	683.8	1,951.0	2,954.4	3,666.0	15.0
自家発電	4,239.4	5,115.0	9,836.4	18,930.0	13.3
協同組合	—	—	138	—	—
計	7,270.4	12,960.5	24,760.7	38,957.3	15.0

注) Electric power supply in Indonesia: Development plans and major issues toward the 21st century, Dr. Ing. Nengah Sudja, State Electricity Corporation より

表－2　国営電力公社による長期電源開発計画

ジャワ島の電源系統

（単位：MW）

電源種別	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
水力	1,965	1,988	2,047	2,580	2,580	2,580	2,580
地熱	140	140	415	415	415	415	415
石油	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800	1,800
ガスタービン	645	1,045	645	280	40	340	540
天然ガス	—	—	900	1,500	1,500	1,500	1,500
石炭	1,600	1,600	2,400	4,200	7,200	9,600	12,600
総計	6,150	6,573	8,207	10,775	13,535	16,235	19,435

ジャワ島以外の電源系統

（単位：MW）

電源種別	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002
水力	165	303	347	716	1,489	2,259	2,580
地熱	—	—	15	20	50	68	68
石油	310	310	310	285	285	260	260
ガスタービン	533	299	299	284	265	290	685
ディーゼル	1,702	1,737	1,706	1,710	1,676	1,768	1,840
石炭	130	130	415	555	645	695	785
天然ガス	—	354	807	807	807	840	1,194
総計	2,840	3,133	3,899	4,377	5,217	6,180	7,290

注）Electric power supply in Indonesia: Development plans and major issues toward the 21st century, Dr. Ing. Nengah Sudja, State Electricity Corporation より

次に電力に係わる問題としてインドネシアのエネルギー資源事情を簡単に紹介する。インドネシアの石油生産は，1977年に年間６億1,500万バーレルに達したがその後減少傾向にある。原油確認埋蔵量は，米国エネルギー省の1984年の推定によれば，210億バーレルと言われており，未生産分は，100億バーレル程度と言われている。これは，年産５億バーレルで計算して約20年分に相当する。1982年以来石油探査に関する投資が減って来ており，中東と違い大きな油田の発見は少なく，中小規模の油田が多い。政府は，石油の国内消費を抑える政策を取っているが，現在石油消費の大部分を占めているのが，灯油軽油であり，照明・厨房用としての需要が未配電部落で多い事を示している。現在インドネシアでは，自動車の販売が新記録を作るように輸送に関する石油需要が急激に延びており，国内の鉄・非鉄産業やセメント，肥料工場と言ったエネルギー多消費産業の成長にともないインドネシアの石油輸出能力は，今後漸減して行くものと予想されている。国内の消費を抑えるには他のエネルギー源の開発，省エネの普及を進めて行かなければならない。

石油代替エネルギー源として期待されているのが石炭である。インドネシアの石炭生産量は，1986年の大臣談話では255万トンと言われていたが，第５次５か年計画では1989年度に600万トンの生産をするとしている。インドネシアの石炭の内，経済的に採炭して利用可能な賦存量は１億ないし２億トンと推定されている。これらは，スマトラ島のオンビリン地区，ブキットアッサム地区，そしてカリマンタン島に存在しており，電力需要が集中しているジャワ島には，利用可能な石炭資源はない。したがって，ジャワ島のスララヤやスマランの石炭火力発電所に持ち込んで利用するには，石炭運搬の為のインフラストラクチャーの整備が重要である。実際スララヤ火力では，一部オーストラリア産の石炭を使って発電が行われていた。石油と同様インドネシアでは，開発した石炭を輸出することを考えている。第５次５か年計画では，1993年度には，1,500万トンの生産量の内630万トンを輸出に回す計画である。

次に天然ガスであるが，インドネシアの天然ガス確認埋蔵量は，約50兆立方フィートと言われている。これは，1985年生産量約1.6兆立方フィートで換算すると30年分となる。現在インドネシアは，世界最大の天然ガス輸出国であり，日本の市場の半分強を占めている。しかしまだ，多くのガス田が適当な市場がないので未開発で残されている。1986年で生産されたガスの内63%がＬＮＧとして輸出されているが，アンモニアの製造など工業原料として使われる比率が次第に高くなって来ている。今後，他の天然ガス資源国がＬＮＧの市場に参入して来ると予想され，インドネシアの天然ガスの輸出競争力も長期的には次第に弱まるものと予想されている。

最後に原子力発電の燃料であるウラン鉱石については，カリマンタン島に存在する事が分かっている。インドネシア原子力庁は，1980年代前半に，フランスからの技術協力を得てカリマンタン島から鉱石を採鉱して，200kgのウランの分離，精製を行った。カリマンタンのウラン鉱石は，ウランの含有量が世界の水準に較べて低く，鉱床迄の道路などのインフラも整備されていない。現在のようにウラン価格の低迷が続き，近い将来に価格の上昇が

期待できない状況では，新たに国際的に通用する品位のウラン鉱脈を見つける探査に投資して回収できる見込みは極めて少ない。従って，ウラン資源の存在は明らかなものの，当面カリマンタンのウラン鉱脈に関する本格的な探査は，行われないものと考えられる。

2. インドネシアにおける原子力開発の歴史

インドネシア原子力庁は，1988年12月にその前身である原子力委員会創設から数えて30周年をスルポンの原子力研究施設で祝った。スカルノ前大統領には，インドのネール首相と同様次の時代は原子力利用という認識があり，1954年のアイゼンハワー大統領の原子力の平和利用宣言と共に原子力研究所の設立を進め，1964年には，米国から輸入したトリガ型のスイミングプール型研究炉をバンドンに設置して臨界に成功した。この原子炉は当初750kWの定格出力であったが，その後改造して現在は定格1MWとなっている。主に放射性同位元素の生産や中性子のビーム実験，化学・生物の実験に使われた。この原子炉に続いて，インドネシア独自で教育研修用の小型原子炉をインドネシアで唯一原子力関連の学科を持つガジャマダ大学のあるジョクジャカルタに設置する計画が進んだ。この原子炉は，1979年に臨界に達した。現在この施設は，インドネシアで唯一の学部レベルの原子炉工学に関する常設コースを開設している。対象となる研修員は，インドネシア原子力庁の職員及び，ガジャマダ大学の学生・職員である。

こうして蓄積した原子力工学に関する経験を基に，1980年代から新たに研究所を統合する目的で計画されたスルポンの原子力研究施設用地内に多目的研究炉，ＭＰＲ－30及びその付帯施設の建設というプロジェクトが始まった。このプロジェクトは，インドネシアに5×10^{14}という世界の第一線の研究炉にひけを取らない高中性子束の研究炉を建設し，インドネシアで本格的な原子力技術の研究をインドネシア人の手で進めて行こうとする野心的な国家プロジェクトである。この研究炉は，インドネシアに対して，当初から国際原子力機関が20%以上の濃縮ウランの供給を認めなかったため，世界で初めて低濃縮の燃料で高中性子束をねらう原子炉となった。その後カーター大統領が全面的に将来は20%以上の濃縮ウランの利用を研究炉についても認めない方向を示したので，このインドネシアの研究炉が結果的に20%濃縮ウランで現在の高中性子束を実現させる世界で最初のモデルケースとなった。研究炉の受注については，米国のゼネラルアトミック社と西独のインターアトム社が最後まで競ったが，最終的に，西独のインターアトム社が受注した。その外に付帯施設として**表－3**に示すように，８つの研究施設が完成または一部建設中である。これらの施設は，約32ヘクタールの敷地に建設されており，400億円程度の外貨が投入されていると言われている。

この研究炉利用の目的として，大型の研究炉の運転管理に関する経験を積み来るべき原子力発電の導入に際して十分な経験を積んだ技術陣，そして運転員を確保しておくことを考えていることは言うまでもない。既に研究炉の運転管理部門から発電炉の炉心評価に関する作業チームが発足している。

研究炉利用の研究目的としては，主に次の３つが考えられている。

1. 中性子ビームを用いた物性その他の材料研究
2. 核燃料を始めとする原子炉材料の照射研究
3. 放射性アイソトープの生産

中性子ビームを用いた材料研究は，研究炉を利用した研究の代表的な研究テーマであり，中性子散乱実験や中性子によるラジオグラフィー（非破壊検査）等が対象となる。これらは，非常に高度な技術であるが，研究炉利用には，常に付随してくるテーマであり，発展途上国と言えども研究炉を導入するに当たっては，大きな研究テーマの一つとしてこの基礎分野の研究を進めて行かなければならない。核燃料の照射試験は，インドネシア原子力庁で試作した動力炉用の燃料を照射しようとするものである。試験装置として炉心で長期間照射するほかに，原子炉の負荷追従運転を模擬したパワーランプテスト装置も設置されている。放射性アイソトープの生産は，医療用，工業用のアイソトープを生産し，国内及び海外に輸出することを考えている。

そのほか，放射性廃棄物の処理施設や国内用のX線管を供給しようとするエンジニアリ

表－3　多目的研究炉ＭＰＲ－30とその付帯施設一覧

施設名	契約国	施設概要	完成予定
研究炉燃料製造施設	西独	研究炉用燃料の製造 （酸化、アルミナイド、シリサイド燃料）	完成済
多目的研究炉ＭＰＲ－30	西独	スイミングプール型研究炉（出力30MW）	完成済
放射線冶金研究所	西独	照射後試験施設（ホットラボラトリー）	９１
工学的安全性研究所	イタリア	熱水力安全性研究（熱ループ試験装置）	９０
実験用燃料製造施設	イタリア	動力炉用燃料製造施設（実験用燃料の製作）	完成済
原子核メカノエレクトロ研究所	カナダ	工学センター（大型構造物，電子回路の製作・補修）	完成済
放射性廃棄物処理施設	フランス	放射性廃棄物の固定化（セメント固化，焼却，減容）	完成済
放射性アイソトープ生産施設	米国	照射ターゲットからのアイソトープの分離・精製 （医療用、工業用）	完成済
中性子ビーム利用施設	日本	中性子ビームを利用した物性研究 （中性子回折、中性子ラジオグラフィー）	９３

ングセンター，サイクロトロン，原子炉の熱水力を解析する工学安全研究センターなどの施設が整えられている。

次に原子炉以外の原子力関連技術の開発について述べる。インドネシア原子力庁は，ジャカルタ郊外のパサールジュマットに放射線利用研究センターを持ち，放射線利用に関する研究を続けてきた。この研究センターには，国際原子力機関の地域協力プロジェクトにより，ガンマ線照射施設と低エネルギー電子線照射施設が完成している。ここでは，放射線による天然ゴムラテックスの放射線架橋や食品照射，合板の表面処理などが研究されている。天然ゴムの放射線架橋については，既にパイロット規模の照射施設が完成しており，一部研究用以外に試験的に照射したラテックスを民間に供給している。これらの研究成果は，着実に上がっており，現在は，産業への技術移転を進めて行く計画となっている。これらの施設における放射線の利用経験は，原子力発電導入への技術的支援の一助となると考えられる。

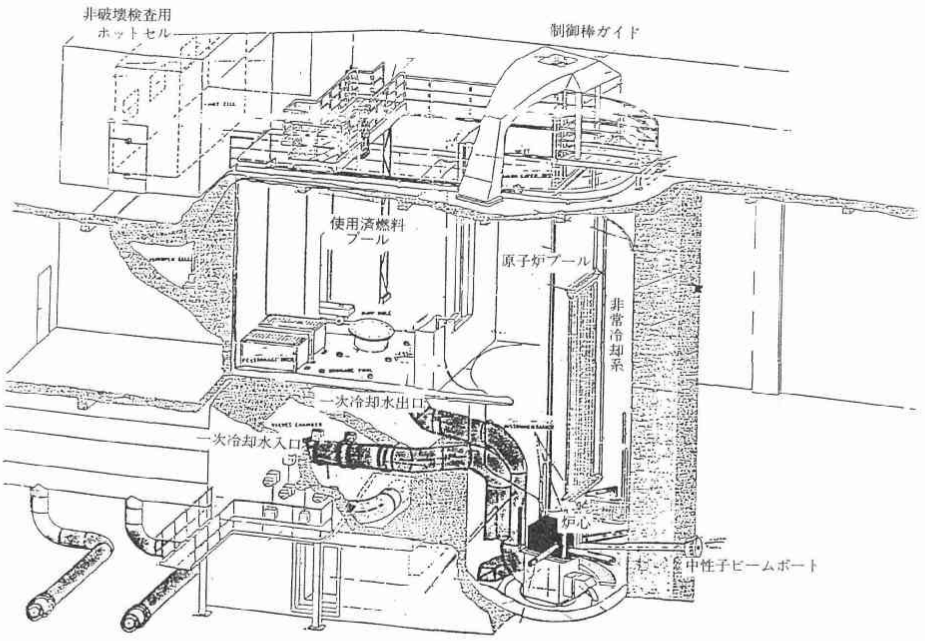
放射線の管理については，インドネシア原子力庁の放射線防護・標準センターが被爆管理，測定器の較正を行っている。

3．スルポン研究センターの概要

現在インドネシア原子力庁には，1MWのトリガ型原子炉を中心とするバンドン研究センター，100kWの教育用原子炉を中心とするジョクジャカルタ研究センター，ガンマ線照射施設・低エネルギー電子線照射施設を持つアイソトープ・放射線利用研究センターやウラン鉱石を研究しているセンター，放射線管理・標準を行っているパサールジュマット研究所群，30MWの試験研究炉を中心とするスルポン研究センターの4つの大きな研究所とカリマンタン島のウラン鉱石採鉱現場，中部ジャワの原子力発電所立地候補地に現場事務所がある。これらの研究所の内，最新の設備を投入したスルポン地区には，若い研究員を積極的に集めて勢力的に研究活動を進めている。ここではスルポンの研究施設の概要を紹介することとする。

スルポンの研究センターの中核を成すのは，多目的研究炉ＭＰＲ－30である。この研究炉は現在初代の原子力庁長官，SIWABESSY氏の名前をつけてＲＳＧ－ＧＡＳ（多目的研究炉 G. A. SIWABESSY）と呼ばれている。この研究炉の概念図を**図－1**として示す。この研究炉は開放型の強制冷却スイミングプール型の研究炉である。炉心から水面まで13メートルの深さがある。燃料は，低濃縮で高中性子束を得るために，ウランの密度を上げなければならないので，当時西ドイツで開発していた酸化燃料（U_3O_8）が用いられた。一方日本では，研究炉の低濃縮化の為に金属ウランを用いたアルミナイド型の燃料が採用された。これらの燃料は，何れも現在では過渡的な燃料と考えられてきており，最終的にはＭＰＲ－30もよりウラン密度を上げることが可能なシリサイド型の燃料に置き変わるものと考えられている。燃料は平板型で21枚を一つの燃料要素にまとめている。冷却は軽水を用いて反射体にベリリウムのブロックを用いている。このブロックに6つの中性子導管が結ばれており，その中の一つがとなりの中性子ビーム実験棟に結ばれる計画となっている。

照射施設としては，炉心のすぐ脇へ放射化



図－1　多目的研究炉ＭＰＲ－30概念図

分析のため水力ラビットが４系列，エアーによるラビットが１系列つながっている。炉心内には，４つの照射孔（主に放射性アイソトープの生産用）と中央部に大きな照射孔（動力炉燃料の照射用）が予定されている。その他，原子炉の負荷追従運転に備えた出力変動試験装置（パワーランプテスト装置）が設置されている。この装置のすぐ横には出力変動試験を終えた後の燃料や照射試験を済ませた燃料の健全性を調べるための非破壊試験用の中性子ラジオグラフィーが準備されている。その他非破壊検査用としてプール上部に３つのホットセルが完備しており燃料のスウェリングの様子やコリメータを通じたガンマ線のスキャニングをすることが可能である。また，原子炉炉心に近接した所に，７インチのシリコン単結晶まで照射可能な中性子ドーピング施設が据え付けられている。また，イタリアの技術協力によりインパイルループが近日中に据え付けられる予定である。

多目的研究炉ＭＰＲ－30は，1982年に契約し，1983年に着工し，1987年６月に臨界に達した。同年８月にスハルト大統領の出席を得て落成式を行った。その後原子炉はいくつか初期トラブルに見舞われたが，1988年10月に初期炉心の目的出力10.7MWに達し，1989年11月には第３炉心で18.4MWを達成した。定格の30MWには，1991年初頭に到達予定である。

多目的研究炉ＭＰＲ－30の付帯施設として原子炉と同時に完成したのが研究炉燃料製造施設である。この施設は，西ドイツのニューケム社からライセンスを導入して建設されたものである。現在ニューケム社の研究炉用燃料製造部門は，フランスのセルカ社に吸収されているが，ライセンスについては，移動は

なくインドネシア原子力庁で製造された燃料については，技術料をどこにも払わないでよいこととなっている。この施設は，ウラン燃料をフッ化物の形で搬入して，これを酸化ウランまで変換する工程が第一工程となっている。これを更に４フッ化ウランを経由して金属ウランに還元する工程も持ち合わせている。こうして得られたウラン燃料を用いて現在ＭＰＲ－30用の酸化燃料と米国の技術協力を得て製作したシリサイド燃料が生産されている。当初は，劣化ウランを用いて製作技術の修得に努め，平成２年に初めてインドネシア原子力庁で製造した燃料がＭＰＲ－30の炉心に装荷される予定である。インドネシア原子力庁では，酸化物燃料については自信を持っているが，シリサイド燃料については，当面１体を炉心に入れて１年間照射試験を行う予定でいる。

その次に完成したのが放射性廃棄物処理施設である。この施設は1988年12月に落成した。設計はフランスのＳＧＮ社が行った。放射線管理区域での作業衣のランドリーサービスと放射性廃液の受け入れ，蒸発管による液体廃棄物減容処理系がある。ビニール等の固体廃棄物についてはパッキングによる減容処理を行う。また，焼却炉も準備中である。液体廃棄物については，本格的なセメント固化による廃棄物の固定が行われる。放射性アイソトープ製造施設から生じる核分裂生成物を含む廃液や核燃料製造施設からのウランを含む廃液は，今の所この施設では処理されない事となっている。

1989年12月には，放射性アイソトープの製造施設と実験用核燃料製造施設が落成した。また，情報処理センター，機械・電気エンジニアリングセンター，そして材料科学研究センターも活動を始めた。放射性アイソトープ生産施設は，米国ジェネラルアトミック社の技術により完成したもので日本にもない本格的な医療用のテクネチウムの生産施設を初めとする分離用ホットセル，移動用のコンベアーシステム，品質保証用の機器類が揃っている。生産は，主に93%濃縮のウランを塗布したステンレスキャプセルを照射して核分裂生成物から目的とする核種を分離する。一部の核種については，中性子によるｎ－ガンマ反応による生産を考えている。また，医療用のＫＩＴを生産するため，超クリーンルームを用意して生産する体制にある。

実験用核燃料製造施設は，イタリアのアンサルド社の技術により建設されたものである。この施設は，当初重水炉用の燃料製造用に設計されていたが，インドネシアでは，現在最初の動力炉は軽水炉の可能性が高いのでこの施設を用いて，ジルコニウム被覆の軽水炉試験用燃料の製作が計画されている。この施設には，イエローケーキから酸化ウランの形に精製するプロセスが付随している。

情報処理センターは，米国製のＶＡＸ－8550というスーパーミニコンを設置して，原子炉の核計算や熱水力計算を行っている。エンジニアリングセンターは，現在輸入に頼っているＸ線管の国産化とこの施設で要求される補修の為の大型構造物の加工を行う予定である。材料科学研究センターは，中心となる中性子ビーム関連の施設はまだ完成していないが走査電子顕微鏡ほかの基礎的な物理・化学の測定機器を整備しつつある。

これらの施設の外に，1990年末までに完成予定の施設として，工学的安全性試験センタ

ー，照射後試験研究センター，そして1993年完成予定の中性子ビーム試験施設が現在建設中である。工学的安全性研究センターは，原子炉に於ける熱水力関連の試験研究を原子炉を模擬したループを作り安全性を確認するものである。ループとしては，軽水炉を模擬したループ（標準の１バンドルで実験可能）と蒸気発生器を模擬したループがある。また，多目的研究炉の炉心内にインパイルループを設置する予定である。

照射後試験研究センターは，西ドイツのコンソーシャムが現在建設中であり，３つのホットセルを持った施設である。ここでは照射後の燃料を切断したりしてその健全性を確認する。

最後に完成予定の施設が中性子ビーム試験施設である。この施設は，原子炉からの中性子導管の設置についてフランスのアルカテル社が技術指導し，中性子利用施設は日本のコンソーシャムが受注している。

4．日本との技術協力

日本とインドネシアで最初に研究協力が結ばれたのは，インドネシア原子力庁と日本原子力研究所の高崎研究所が放射線の利用に関して1984年に結んだ研究協力取り決めである。これにより，放射線利用に関する両国間の協力が始まった。同協定は，国際原子力機関の地域協力プロジェクトと共にインドネシアの放射線利用に関する技術水準の向上に大いに貢献した。尚，同協定は，1989年４月に更に５年延長することが決まった。

研究炉に関する技術協力が始まったのは，1985年に日本政府が国際協力事業団（ＪＩＣＡ）を通じてインドネシア政府に中性子回折装置の無償単独機材供与を決めてからである。この装置は，1987年に多目的研究炉ＭＰＲ－30の実験ホールに搬入され，1988年には，中性子ビーム試験を終えてインドネシア側に引き渡された。これを機に国際協力事業団による原子力関係の個別専門家の派遣事業がスタートした。そして1988年３月には，日本原子力研究所とインドネシア原子力庁との間で，新たに研究炉利用と安全，放射性アイソトープの生産と利用，放射線防護と放射性廃棄物の管理について研究協定を結んで研究炉利用についても積極的に技術支援を進めて行く事となった。

民間ベースでは，海外電力調査会が窓口となって原子力発電の技術的な事に関するセミナーを1987年から毎年開いている。

5．今後の展望

スハルト大統領は1989年８月に原子力発電のインドネシアへの導入に関するフィージビリティースタディーを，中部ジャワのムリア地区を建設候補地として進めるようインドネシア原子力庁長官に指示した。更に1989年12月のスルポン原子力研究施設の落成式典に於て，2010—15年のインドネシアの電力需要を27,000MWと推算し，7,000MWを新たに電源立地しなければならないと説明した。そしてこの不足分を原子力発電他の新エネルギーで賄わなければならないとすると共に原子力の安全性に触れ，十分に気を付けて運転すれば，原子力発電の安全性は確立されていると述べた。これらの発言を受けてインドネシアの電源開発計画が見直されていると伝えられており，インドネシアがどの時点で原子力発電の導入を考えるのか2010年までの電源開発計画

の発表が注目されている。原子力発電の導入に関しては，過去国際原子力機関と米国ベクテル社が1980年代前半に行っている。また，立地候補地の地質的安全評価については，1980年代半ばにイタリアが調査報告を行い，フランスがそのレビューを行っている。地質的には日本に極めて近いと言われており，日本からの技術移転が特にサイトの地震学的安全性に関して望まれる。

新聞報道によると原子力発電所の立地に関するフィージビリティー調査は，４年ぐらいかかると考えられており，その後安全審査を経て建設にはいるとすると最も早く進んだとして2000年代前半という原子力発電の導入時期が考えられる。いずれにせよ，実際に建設するには膨大な資金が必要であり，ＢＯＴ方式（建設主体が運転も行い売電収入で建設資金を回収する）などの資金調達も議論されよう。ＢＯＴ方式で発電する場合電力料金は国の裁量で決めることになっているので，資金の回収は困難であると指摘する向きもある。

インドネシア周辺の国を見ると1989年８月のアセアンサミットでは，マレーシアのマハティール首相も将来的な原子力発電の導入に関して積極的な発言をし，スルポンの多目的研究炉ＭＰＲ－30を利用した共同研究の可能性をスハルト大統領に打診した。また、タイも原子力発電の導入について真剣に検討を始めているとの事である。

この様に21世紀にかけて原子力発電の導入を真剣に検討している国として中国に続いてアジア地域でインドネシアの名前が挙がってきている。今後のインドネシアの原子力政策の動向が注目される。(ふもと　ひろみち　日本・インドネシア科学技術フォーラム)

新型原子炉の研究開発について

栗　山　和　重

1．まえがき

近年，CO_2の増加による温室効果，酸性雨による森林等の被害等地球規模の環境破壊が問題になってきており，将来，発展途上国を中心にエネルギー需要が大幅に増加すると見込まれ，今後のエネルギー政策が問題となってきている。

また，ＴＭＩ，Chernobyl事故が起こり，一旦原子力発電所の事故が発生した場合，その影響範囲が大きいことから，反原発の動きが活発化し，スウェーデン，イタリア等において，原子力発電所の廃止，増設中止を決定していること，アメリカにおいて1978年以降原子力発電所の発注がないこと，我が国においても，新規立地点の開発が進まないこと等原子力発電所の建設が進みづらくなってきている。

そこで，これらを打開する１つの方策として，より安全な原子炉の開発が提唱され，各方面で色々なアプローチが進められ，固有安全炉や静的炉等の概念が検討されてきた。

ここでは，去年の夏にアメリカで開かれた２つの国際会議を中心に新型炉の研究開発状況を紹介する。

2．第２回ＳＭＳＮＲセミナー会議より

第２回 Small and Medium Sized Nuclear Reactors（以下ＳＭＳＮＲ）セミナーが米国 San Diego において，Post SMIRT会議として，1989年 8月21日～23日に開催された。この会議には，約20ヵ国，約150人の参加者があった。この会議では，環境問題とエネルギー消費量から，今後のエネルギーの在り方についての議論から始まり，現在検討中の中小型原子炉の紹介等について行われた。

会議の主な内容について，以下に紹介すると，

・世界のエネルギー消費量の伸びは，鈍化しているが，依然伸び続けており，特に電力消費量は，エネルギー消費量の伸びより高くなっている。（現にアメリカ等では，電力が不足ぎみになって来ている。）

これらの伸びを支えるには，化石燃料か原子力の利用に頼るしかない。

・ＩＡＥＡの予測によると，先進国での原子力の伸び率は，電力消費量の伸び率に一致し，途上国に置いては，原子力のシェアが伸び続け2005年までに投入される原子力発電容量の25％が途上国に設置されると予想している。

・現在，各国で中小型炉の研究開発が進められているが，最近の原子炉の設計の取組は，フランス，西ドイツ，日本等は，大型炉の改

良を中心に行っており，アメリカでは，並行して，小型炉の開発，さらに，高温ガス炉，増殖炉の開発も進めている。スウェーデン，イギリス等では，主に小型炉の開発を進めている。

アメリカにおける開発状況をさらに紹介するため，ＮＲＣの報告を引用すると，

ＮＲＣの新型炉の開発では，(1)改良型軽水炉(2)新型軽水炉(3)新型の非軽水炉を考えており，これらを**表１**に示す。

これらの原子炉についても，従来と同様，深層防護思想による安全確保の考え方は，変わらない。また，炉心損傷確率は，10－５／炉・年以下である必要がある。

改良型軽水炉での問題点は，severe accident の扱いに関するものが問題となっている。

新型軽水炉についても，同様に考えなければならない。

更に，新型原子炉（新型軽水炉，新型の非軽水炉）については，つぎの共通した目標を掲げている。

・標準化した設計認定

・設計の単純化と安全性の向上を静的安全システムにより達成

・ヒューマン・エラーの排除

・小型化（モジュラー化）

新型の非軽水炉については，以下の項目についてさらに検討する必要がある。

・事故の範囲

・ソースタームの決定

・深層防護の決定

・緊急時計画の決定

・制御室設計等

現在，新型軽水炉として，ＡＰ－600 の検討が始まっている。

新型の非軽水炉の検討については，原型炉が必要であり，設計認定も先になる。

その外，このセミナーでは，ＳＩＲ（ＣＥ等），ＳＰＷＲ（原研），ＰＩＵＳ（ＡＢＢ），ＰＲＩＳＭ（ＧＥ），ＨＴＲ（ＩＡ，ＧＡ）等について，設計，安全解析，経済性等について紹介があった。

表１　ＮＲＣにおける新型原子力炉開発

REACTOR CONCEPT		DESIGN CHARACTERISTICS				
Category	Type	Unit Output (MWe)	Coolant	Moderator	Coolant Temp. @ Core Outlet	Designer/Country
Advanccd LWR	Evolutionary ALWR (CE80+, ABWR)	1200	Water	Water	600 F -615 F	W,GE,CE/U.S.
	Passive ALWR (AP600, SBWR)	600	Water	Water	600 F	W,GE/U.S.
Developmental LWR	Integral LWR (SIR)	325	Water	Water	600 F	C-E/U.S.
	Integral LWR (PIUS)	640 (+ Var)	Water	Water	500 F	ABB Atom/Sweden
Advanced HWR	CANDU-300	450	Heavy Water	Heavy Water (Calandria)	590 F	AECL/Canada
Other Developmental Reactors	HTGR (MHTGR)	135 (× 4)	Helium	Graphite	1268 F	GA/U.S.
	LMR (PRISM)	165 (× 3)	Sodium	N/A	905 F	GA/U.S.

3．　IAEAシカゴ会議より

International Workshop on The Safety of Nuclear Installation of The Next Generation and Beyondが米国 Chicagoにおいて，1989年８月28日～31日に開催された。この会議には，約18ヵ国，約200人の参加者があった。この会議は，環境問題から，今後のエネルギー政策についてエネルギー効率の向上とエネルギーの中で非化石燃料を増やす必要がある。現状のエネルギーの中では，原子力が有望である。さらに，増加するためには，安全性の向上が必要である等が議論された。

会議の主な内容について，紹介すると，

・地球の温室効果や酸性雨の影響について，説明がされ，これを減少させるには，非化石燃料を増やし，省エネルギーをしなければならず，さらに，今後のエネルギー消費量から，2030年頃には，約2000基の原子炉が必要となってくることが指摘された。

プラントの安全の向上策の取り組み方について，国(個人)毎に，異なり，現行炉の改善による向上(フランス，西ドイツ等)，単純化，静的化による向上や固有安全性を持つMHTGR，MFRの開発による向上等が上げられた。

結論として，環境問題に対して，原子力は，非常に有効な手段であり，今後原子力を有効に活用するには，より安全な原子力が必要であり，一つには，現在の炉（軽水炉）をさらに安全性を向上させた原子炉(改良型軽水炉，新型軽水炉等)，一方，それ自身の持つ安全性を利用した原子炉（固有安全炉MHTGR，MFR等）の開発が必要である。

この開発には，国際的な協力が望まれる。

4．アメリカにおける新型炉開発状況

先に述べた様に各国で新型炉の開発が進められているが，官民一体となって開発を進めているアメリカにおける新型炉開発状況について，参考として紹介する。

アメリカでは，1983年にMITにより，今後の原子力発電所の建設を再開させるためには，大幅に単純化を図った原子炉開発が必要であることが提言された。

それを受けて，DOE，EPRIによる新型炉の開発が始まった。

表２に示すようにこの計画は，大型軽水炉，静的小型軽水炉に関して行われてきている。

EPRIは，電力を中心にそれぞれの炉形に対して設計要求書の作成及びプラント設計概念を確立することを目標としている。

さらにDOEがこれらの開発をサポートし，検証試験，詳細設計，NRCの設計証明取得等をメーカと行っている。

DOEは，この計画で1989年の９月に，AP－600（WH），ABWR（GE）にしぼり，研究開発を行うことを決定した。

5．日本型中小型軽水炉の開発の背景と目標

(1)　開発の背景

日本では，改良標準化，高度化計画に代表されるごとく従来より一貫した原子力ポリシーが確立されており，官民一体となった協力体制と相俟って高信頼度水準の軽水炉運転実績を展開できるようになった。

改良標準化（第一次～第三次）の中でも一貫して掲げられた指標は，

・　高信頼度技術と高い安全水準の維持
・　安定した電力供給のための高稼動率プ

ラント実現への挑戦

・　（作業員の受ける）放射線量の極限までの低減化努力

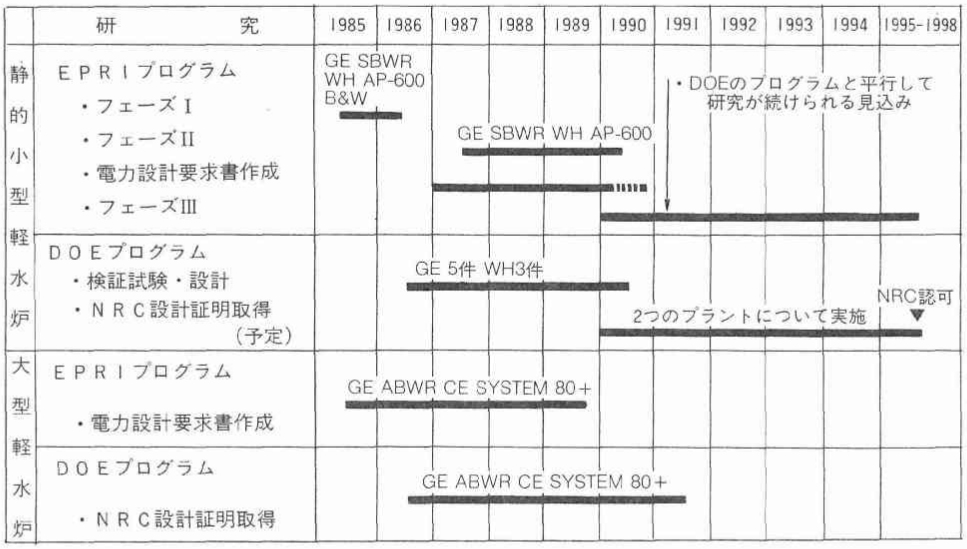
・　廃棄物量の抜本的低減

などであり，国内外のプラントの運転実績に

・　さらに保守性，信頼性を向上させる

・　老朽原子力プラントの代替（廃炉措置後の跡地利用，原子炉の運転終了に合わせてサイト空き地に新規プラントを建設出来る可能性がある等）

表 2　EPRI/DOE 改良型軽水炉開発プログラム



裏付けされるProven技術の採用と，Test before useの慎重な開発・改良姿勢がベースとなって目標が達成されてきた。これらの背景の下で，改良型軽水炉（ABWR／APWR）が大型軽水炉として開発が完了し，高い安全性･信頼性と経済性が示されるに至った。

また，近年，電力需要の伸びが大きくなり，電源確保の必要性が叫ばれていることから，さらに，以下の点を中心に今後解決を図る必要のあると思われる課題が考えられる。

① 新規立地が困難

・　立地可能な地点の拡大（狭い土地，内陸，都市近接，埋め立て，バージ等への立地）

② 経済性の向上（原油価格，円高においても原子力の経済性上の優位を維持する）

・　QC，QAの容易化，規制の容易化，安全性，信頼性向上，保守容易化

・　電源の大規模遠隔化に伴う送電コスト増大，系統安定性低下への対応

③ 酸性雨，CO_2 放出対策等への対応

・　熱源としての化石燃料使用の抑制（原子力の多目的利用）

④ 国際協力（licensing の協力，輸出，国際的貢献）

⑤ 電力需要の伸びの急激な変動への対応容易化（建設期間短縮，プラント規模シリーズ化）

従って，今後の軽水炉の高度化展開として

は，改良型軽水炉（135万kW）と共存ないし，さらに競合し，かつ上記課題になんらかの対応が可能と考えられる新概念に基づく中小型軽水炉の開発が重要テーマの一つとなる。

日本では，改良型軽水炉（ＡＢＷＲ／ＡＰＷＲ）が大型炉の代表プラントとして開発は

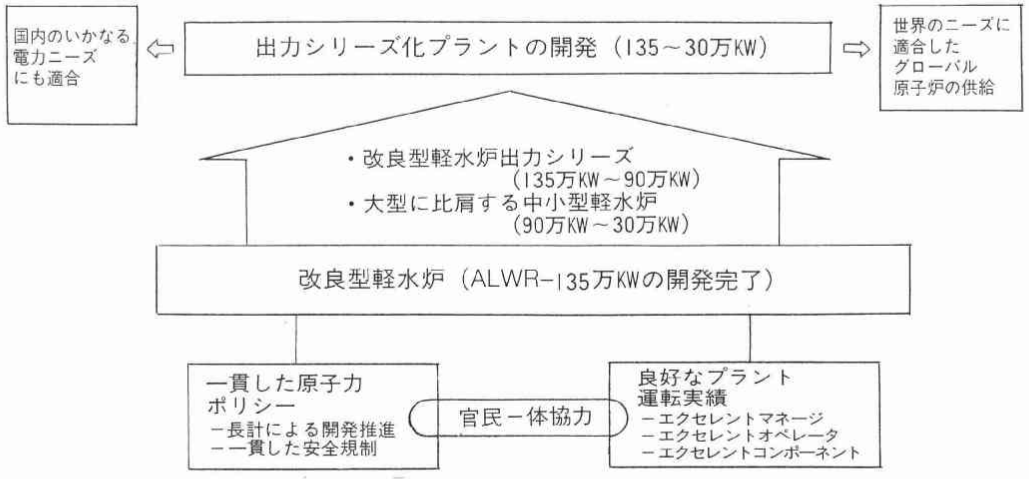


図１　開発の背景と目標

完了しているが，この高度化計画では開発途上国を含めた全世界のニーズに応えるべく日本型プラントの特性を維持したグローバルな原子力プラントを完成し国際的にも貢献するという観点から大型炉～小型炉に至り，性能／経済性の両面からの改善を図ることが，目標となる。以上の関係を**図１**に図示した。

(2)　日本型中小型軽水炉の目標

日本型軽水炉の特徴は，日本での運転実績に基づく高い信頼性，安全性を維持したプラント特性を有することであり，日本型次世代軽水炉としては，

・　Key となる機器，設備の性能，信頼性が著しく高いこと

従って日本でのProven Technologyに十分裏付けられた技術をベースにすること。

・　国内において採用されている“Prevention Maintenance”の思想に代表されるように故障，トラブルの予防保全に力点を置いた運転のしやすいプラントであること。

・　深層防護思想に基づいた十分な安全設備を確保していること

が前提となる。

これらをふまえた日本型中小型軽水炉のプラント特性は，以下の要求事項を満たすものである。

①　改良型軽水炉と同程度以上の経済性を有すること

すなわち，発電単価が大出力炉－小出力炉で等価なこと。

特に，中小型軽水炉では，簡素化，静的化に基づく新概念により超工短技術，系統簡素化の採用が容易であり，建設単価の低減を図る。

また，炉心出力密度の低い特徴を活かした長期サイクル運転により高い稼動率（～95%）を実現する。

②　運転性，保守性の面で使い勝手のよいプ

ラントであること

安全裕度の拡大による運転性の向上を図る。

「使い勝手のよいプラント」は，“Prevention Maintenance”をより完全に遂行する上でも重要な要因である。

特に中小型軽水炉では，メインテナンスフリー設計の適用範囲拡大が容易なこともあって，保守面での作業軽減を図る。

③ 立地面での選択が広がること

設備簡素化等を図った小型軽量プラントであり，かつ，プラント１基当たり敷地占有面積が小さいという，中小型軽水炉の特徴を生かし，耐震性の向上（免震を適用し易い），狭あいサイトでの立地性向上を図り，立地面での選択を拡大する。

④ 標準化適用範囲が拡大されていること

設備簡素化等を図った，小型軽量プラントという中小型軽水炉の特徴を生かし，耐震設計上の制約のフリー化，工場製作範囲の拡大を図ることにより，サイト固有の条件に左右されることなく標準化適用範囲をさらに拡大し，許認可性，経済性の向上を図る。

⑤ 長寿命化プラント対応技術を採用すること

低出力密度の炉心を採用できるので原子炉圧力容器の寿命は伸びる。

この特徴を生かすために，各Keyコンポーネントについての Repairbility を向上し，長寿命化要求に応えられるようにする。

⑥ 高い安全性を有すること

日本型中小型軽水炉の安全性は，改良型軽水炉（ＡＢＷＲ／ＡＰＷＲ）と同等以上の水準を目指すものである。

中小型軽水炉としては，安全余裕を確保する上で，系統の簡素化，パッシブ化等はいかに経済的に，簡単に実現できるかという観点から十分な検討を行ってゆくべきである。

以上をまとめて，**図２**を作成した。

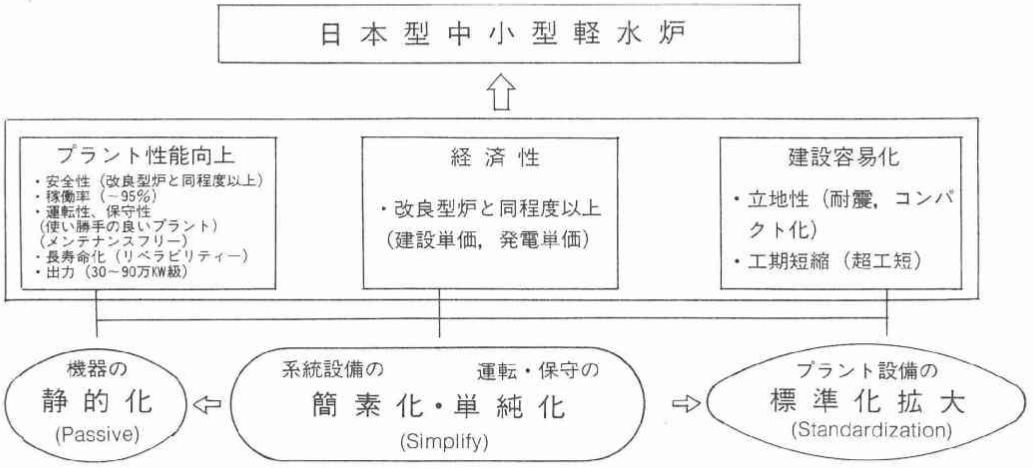


図 2　日本型中小型炉の目標

日本型中小型軽水炉の目標を，経済性，プラント性能向上，建設容易化の３つのグループに大別して示しており，また最終的な中小型軽水炉の成立要件としては，経済性である

ことを強調している。また，これらの目標を実現するためのフィロソフィー，考え方としては，簡素化・単純化，静的化，標準化拡大の3つを選定している。この3本柱の中心である「簡素化，単純化」は，系統設備の合理化，システムの単純化を意味し，その中で，運転余裕が拡大されるもので，この「簡素化・単純化」は，プラント設備の「標準化範囲を拡大」することにつながり，また，安全系等の「静的化」を包含している。（この3つの考え方は，矢印で示すように，おのおのが中小型軽水炉の目標を達成するべく作用することになる。従って，達成する必要があるのは経済性等の目標であって，簡素化・単純化等の考え方は，目標達成をサポートする手段である。）

6. 日本における新概念軽水炉の概要

受動的安全性あるいはシステムの簡素化等の革新的な炉概念を取り入れて，より高い安全性と経済性を追求した革新的な新概念軽水炉の設計は，スウェーンのアセアトム社が1981年頃から設計・検討を行っているＰＵＩＳ炉が一つの契機になっている。

ここでは，現在日本において検討が行われており，設計が洗練されてきていると考えられる HSBWR, TOSBWR-900H, TOSBWR-900P, MS-300（**図 3 ～ 5** 参照）を選定し，同規模従来炉及び改良型軽水炉との間で比較を行うことで，中小型炉の概要を紹介する。参考として，米国において検討が行われている SBWR, AP-600（**図 6，7** 参照）を並記する。

また，比較項目としては，経済性，需要の

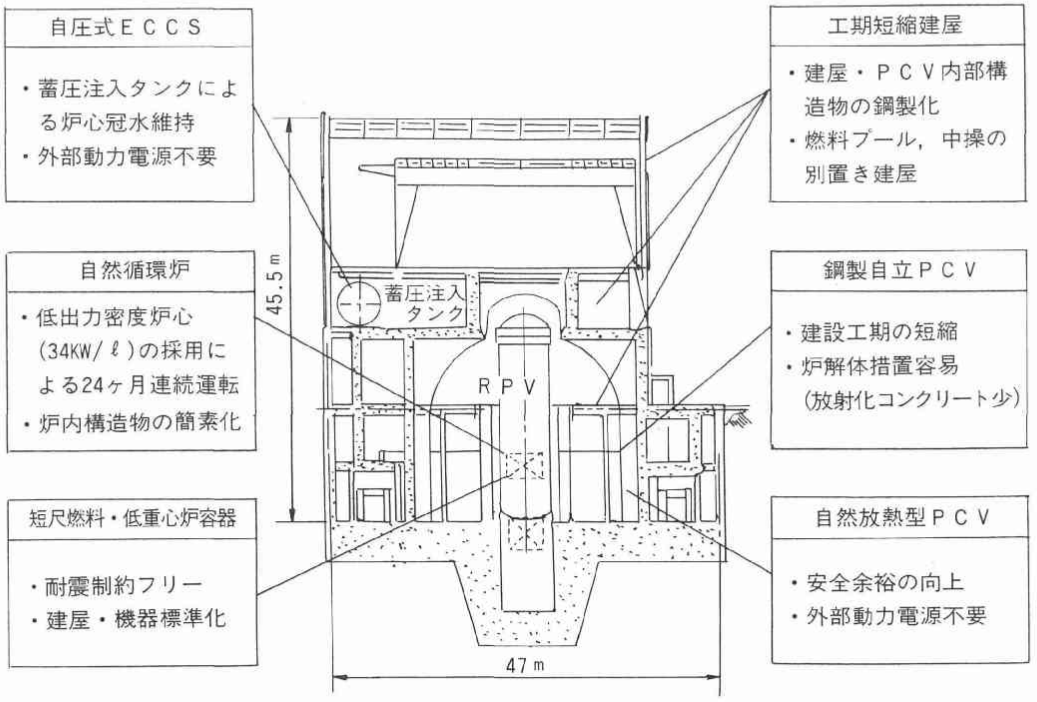


図 3　ＨＳＢＷＲ—600稲念図

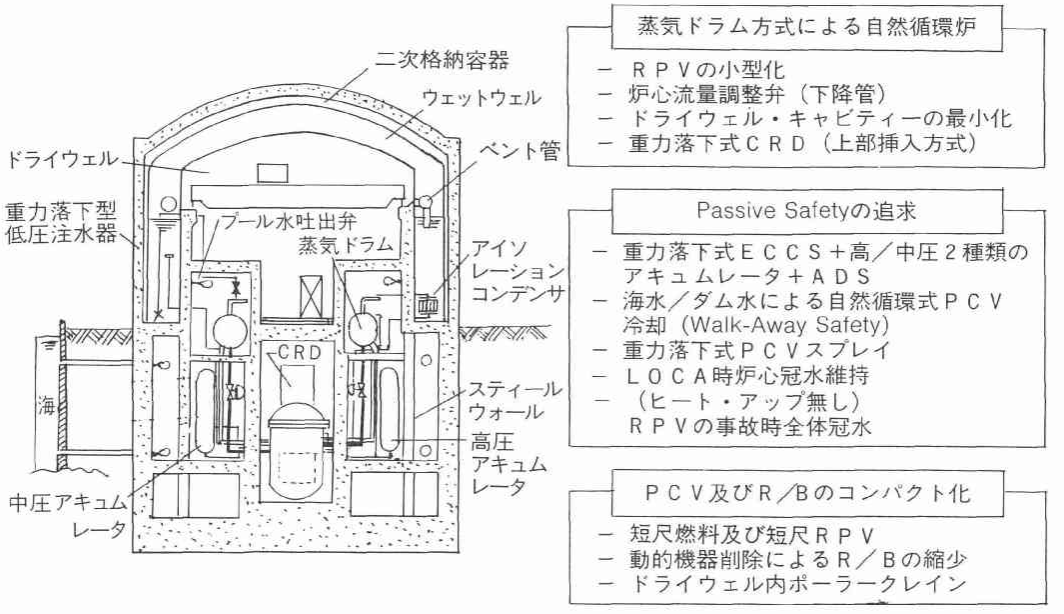


図 4　ＴＯＳＢＷＲ－900Ｐ概念図

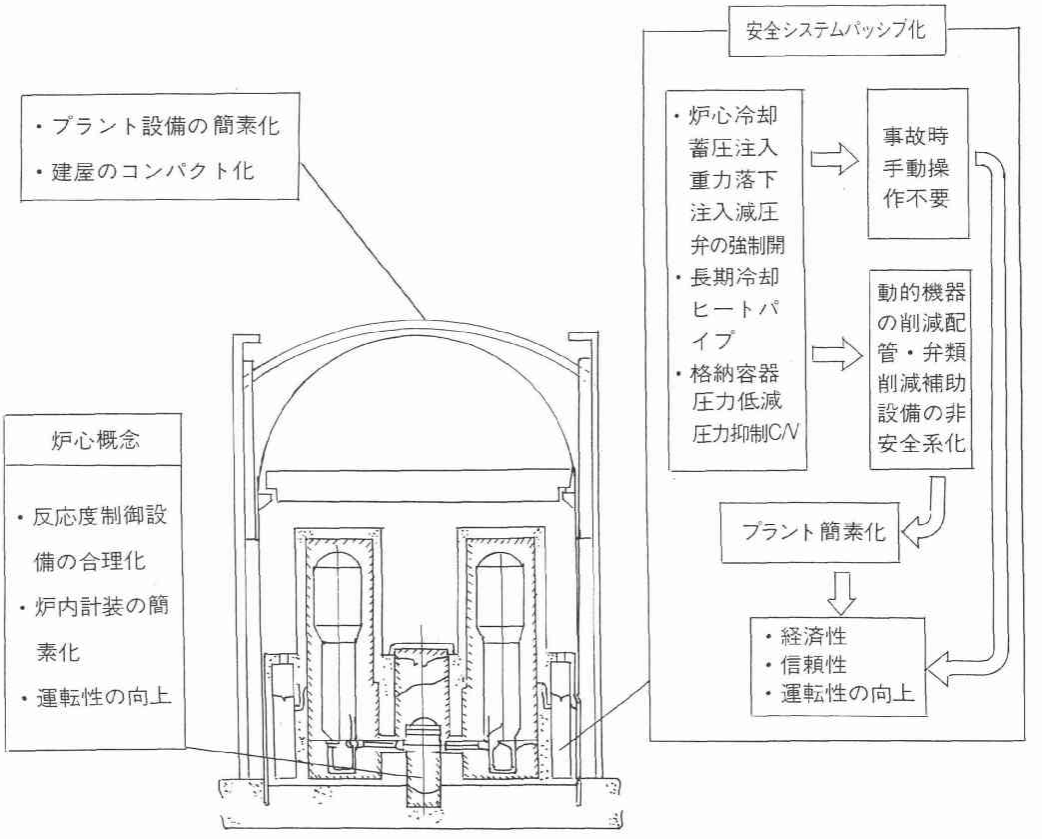


図 5　ＭＳシリーズ概念図

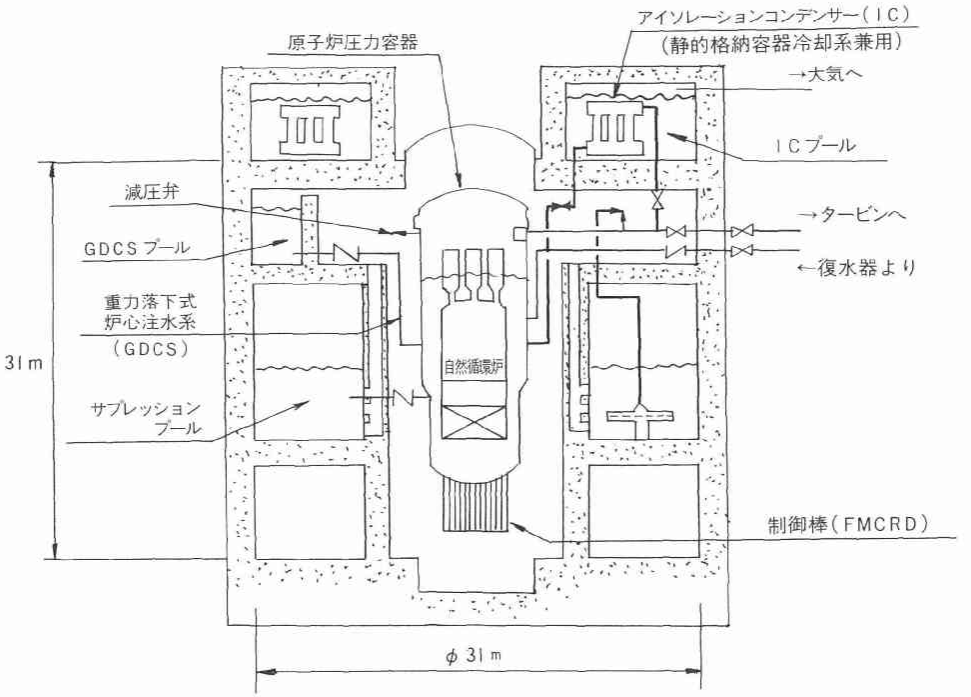


図 6　ＳＢＷＲ原子炉概念図

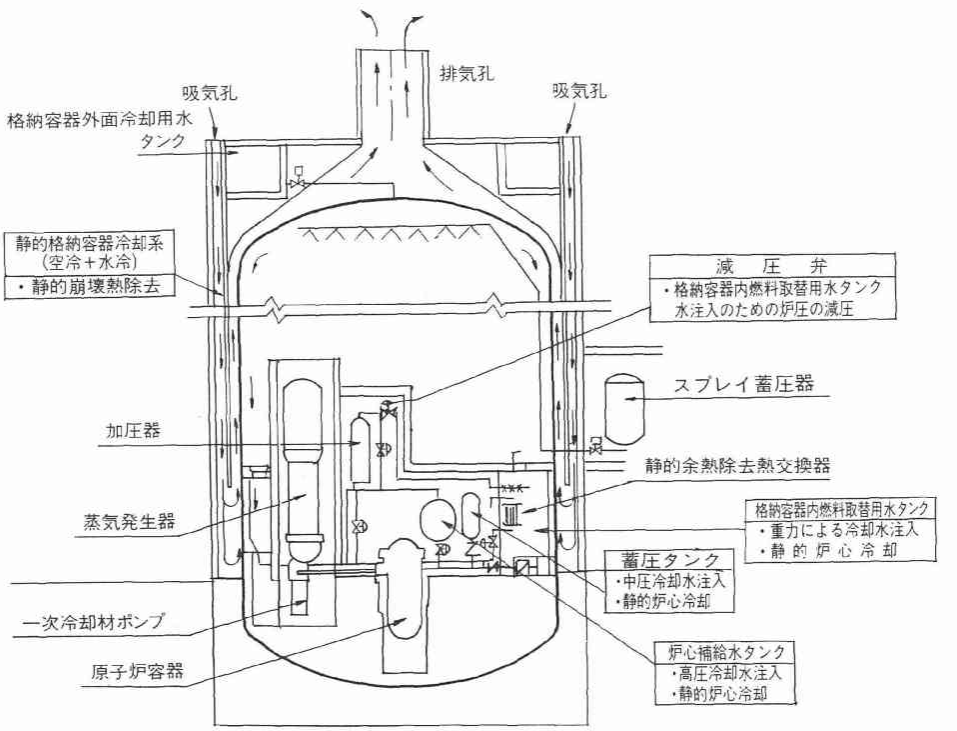


図 7　ＡＰ―600概念図

表3　検討結果の概要（その1）

炉型 / 検討項目		B W R 新型中小炉（B W R）				現行炉	改良型炉	P W R 新型中小炉（P W R）		現行炉	改良型炉
		HSBWR	TOSBWR−900H	TOSBWR−900P	SBWR	BWR600MWe	ABWR	MSシリーズ	AP−600	PWR600MWe	APWR
プラント出力 開発状況 開発の狙い		日立 60万kWe級 概念設計 改良型BWRに比肩する出力シリーズ化プラントの開発 ・高性能・高経済型 ・耐震条件によらない標準化設計 ・運転管理の簡単化 ・小型炉固有の安全系の採用	東芝 30万kWe級 概念設計 ・実証技術ないしは短期間の確証技術で建設できるプラントとする ・建設コスト低減を図り自然循環型原子炉とする	東芝 30万kWe級 概念設計 ・既存設計技術の活用 ・出力600MWe級以下とし安全系をパッシブ化 ・自然循環型原子炉 ・炉心流量制御を可能にする	GE 60万kWe級 概念設計EPRIーズフェ2（1987.10.〜1990.3）等 1.コスト競争力 2.エクセレントプラントの構築 3.投資リスク低減 ・ヒューマンファクターの設計への反映 ・簡素化と安全裕度向上 ・建設容易性向上 ・規制の定常化	—	—	三菱 30〜60万kWe級 概念設計 従来型PWRに基づく超簡素化プラント開発 ・開発途上国導入の為の信頼性経済性向上 ・既存設計技術の活用による系統設備簡素化 ・安全系の単純化静的化による信頼性向上	WH 60万kWe級 概念設計EPRIフェーズ2（1987.10〜1990.3）等 1.コスト競争力 2.エクセレントプラントの構築 3.投資リスク低減 ・ヒューマンファクターの設計への反映 ・簡素化と安全裕度向上 ・建設容易性向上 ・規制の定常化	—	—
主な特徴	原子炉	自然循環型 （気水分離器なし） 低出力密度炉心	自然循環型 低出力密度炉心	自然循環型 （蒸気ドラム方式） 低出力密度炉心	自然循環型 低出力密度炉心	強制循環型	強制循環型	低出力密度炉心	低出力密度炉心		スペクトルシフト型
	原子炉系 主蒸気系 再循環系	ライン2本 （なし）	ライン2本 （なし）	ライン2本	ライン2本 （なし）	ライン4本有	ライン4本有	（軸シール型1次冷却材ポンプ使用）2ループ	（キャンドモータ型1次冷却材ポンプ採用）2ループ	同左2ループ	同左4ループ
	安全系	逃し安全弁 ＋蓄圧式ECCS 蓄圧式ボロン注入系等 （ポンプ不要）	逃し安全弁 ＋ポンプ （ポンプ駆動）	逃し安全弁 蓄圧式＋重力落下ECCS （ポンプ不要）	減圧弁 ＋重力落下ECCS （ポンプ不要）	逃し安全弁 ＋ポンプ （ポンプ駆動）	逃し安全弁 ＋ポンプ （ポンプ駆動）	蓄圧注入系 重力落下注入方式 減圧弁の強制開 長期冷却にヒートパイプ使用 （ポンプ不要）	静的余熱除去冷却器 重力落下＋蓄圧式ECCS 格納容器内部スプレイ系 （ポンプ不要）	蓄圧注入系 ＋ポンプ （ポンプ駆動）	蓄圧注入系 ＋ポンプ （ポンプ駆動）
	非常用電源系	バッテリー ＋保安用ディーゼル	バッテリー ＋非常用ディーゼル	バッテリーのみ	バッテリーのみ	バッテリー ＋非常用ディーゼル	バッテリー＋ 非常用ディーゼル	バッテリーのみ	バッテリーのみ	バッテリー ＋非常用ディーゼル	バッテリー ＋非常用ディーゼル
	格納容器	自然放熱型PCV採用 （RHR系統のバックアップ） （下置外周プール）	RCCV	自然放熱型PCV採用 （ウォーターウォール方式） 重力落下PCV内部スプレイ	静的格納容器冷却系採用 （アイソレーションコンデンサー方式）	鋼製PCV	RCCV	ヒートパイプ式自然放熱型格納容器 （鋼製）	自然放熱型鋼製CV採用 重力落下格納容器外部スプレイ	鋼製CV	PCCVあるいは鋼製CV
	その他	低重心高耐震型原子炉 （低重心炉心，免震構造） 超工短構造 （低階層建屋，鋼板／鉄骨構造多用）	—	重力落下式制御棒 静的安全システム採用 （アイソレーションコンデンサー）	静的安全システム採用 （蒸気インジェクター，アイソレーションコンデンサー）	—	—	ケミカルシム削除 上部挿入型可動式中性子検出器	—	—	—

表3　検討結果の概要（その2）

検討項目＼炉型		B W 新型中小炉（B W R）				現行炉	改良型炉	P W 新型中小炉（P W R）		現行炉	改良型炉
		HSBWR	TOSBWR−900H	TOSBWR−900P	SBWR	BWR600MWe	ABWR	MSシリーズ	AP−600	PWR600MWe	APWR
要因 設備単純化	主蒸気管 再循環系 ECCS 非常用電源	4本→2本 なし 単純化（ポンプ削除） ディーゼル容量低減	4本→2本 なし — 変化なし（3台）	4本→2本 なし 単純化（ポンプ削除） ディーゼル削除	4本→2本 なし 単純化（ポンプ削除） ディーゼル削除	4本 有 — （3台）	4本 有 — （3台）	〔核計装〕員数低減 単純化（ポンプ削除） ディーゼル削除	〔化学体積制御系〕 簡素化 単純化（ポンプ削除） ディーゼル削除	— — — （2台）	— — — （2台）
要因 建屋容積低減	原子炉建屋（R／B）	最適化と外周プール（下置）方式による体積低減（$9.0\times10^4m^3$）	最適化による体積低減（$6.5\times10^4m^3$）	最適化による体積低減（補助建屋含まず）（$3.5\times10^4m^3$）	最適化による体積低減（$14.0\times10^4m^3$）	$20\times10^4m^3$	$16.7\times10^4m^3$	$11.0\times10^4m^3$	R/B 最適化による体積低減	$15.4\times10^4m^3$	$20.0\times10.4m^3$
								$15.6\times10^4m^3$	T/B 最適化による体積低減	$15.6\times10^4m^3$	20.6×10^4
	タービン建屋（T／B）	同　左 （$10.5\times10^4m^3$）			TCDF−52採用による簡素化（$13.6\times10^4m^3$）	$7\times10^4m^3$	$25\times10^4m^3$	$8.8\times10^4m^3$	補助建屋 最適化による体積低減	$10.4\times10^4m^3$	$7.0\times10^4m^3$
建設期間（マット開始から運開まで）		約32ヶ月 ・低階層建屋構造 ・鋼板／鉄骨構造多用 ・建屋／PCV並進 ・大ブロック化，パッケージ工法	約34ヶ月 （同　左）	約34ヶ月 （同　左）	約42ヶ月以内	約45ヶ月 —	約48ヶ月 —	約39ヶ月以内 （同　左）	約42ヶ月 （同　左）	約45ヶ月 —	約48ヶ月以内 —
稼働率向上	①運転期間	低出力密度炉心（34kW/ℓ）による24ヶ月運転可能	低出力密度炉心（42kW/ℓ）による24ヶ月運転可能	低出力密度炉心（40kW/ℓ）による24ヶ月運転可能	低出力密度炉心（36kW/ℓ）による24ヶ月運転可能	（50kW/ℓ）（15ヶ月サイクル可能）	（50kW/ℓ）（18ヶ月サイクル可能）	低出力密度炉心（56.5kW/ℓ）による22ヶ月運転可能	低出力密度炉心により（74kW/ℓ）18ヶ月運転以上が可能	（100kW/ℓ）（15ヶ月サイクル可能）	（79kW/ℓ）（18ヶ月サイクル可能）
	②定検期間	40日 ・単純化による定検短縮	48日 ・単純化による定検短縮	48日 ・単純化による定検短縮	・単純化による定検短縮	70日程度	55日	48日以内	30日未満	60日程度	40日
	③稼働率	約95%	約94%	約94%	—	約85%	約90%	約93%	約95%	約87%	約93%
燃料	燃焼度	低出力密度によりFPガス放出量減少，停止余裕確保の容易化が図れ，高燃焼度化に有利である。				—	—	FPガス放出量減少，ケミカルシム廃止によるPH調整用リチウム量減少に伴う腐食量減少（MSのみ）等より高燃焼度化に有利		—	—
サイクル	サイクル費	高燃焼度化が容易なことと合わせサイクル費を数%～10%程度低減できる可能性あり。				—	—	同　左		—	—
経済性（目標）		改良型軽水炉比で発電単価10%低減	改良型軽水炉比で発電単価同等以下	改良型軽水炉比で発電単価同等以下	1999年運開30年間均等化コストで6.5c/kWh以下	—	—	改良型軽水炉比で発電単価同等以下	1999年運開30年間均等化コストで6.5c/kWh以下	—	—
従事者被ばく線量		単純化による定検量低減により1定検当たり線量は少なくなる。				—	—	同　左		—	—
廃棄物量低減		長期サイクル化に伴い年当たり廃棄物量は低減する。				—	—	同　左		—	—
敷地利用率		・大型炉2基と小型炉4基で等価。従って出力当たりの利用率は大型炉並み ・小型炉は配置計画上コンパクトのためサイト面積の有効利用が図れる ・地下立地，第4紀層立地，免震構造，海上立地等の新立地方式に対する適用性にも優れている				—	—	同　左		—	—
運転性	通常時	・簡素化による信頼性向上				—	—	同　左		—	—
	事故時	・事故時運転員の要介入時間を著しく遅くし運転裕度を増すことができる。				—	—	同　左		—	—
需要の伸びに対するフレキシビリティー（作りたい時に作れる）		・建設期間短縮の効果で，計画—運開までの時間が短くなるため即応性がある。 ・中小型のため投資効率も良い。 ・標準化による許認可の簡素化，容易化の効果が大きい。 ・モジュール化，バージの採用が容易で，更なる工短の可能性もある。				—	—	同　左		—	—
標準化効果		耐震性に関する標準化，系統設備の簡素化による標準化範囲の拡大が期待できる。				—	—	同　左		—	—
長寿命化		低出力密度と自然循環型原子炉によるペッセルの大型化とあわせて長寿命化は容易となる。				—	—	低出力密度により長寿命化は容易		—	—
廃　炉		廃止時点での放射化レベルが低いこと，及び系統，設備の簡素化により廃棄物量が低減し容易。				—	—	同　左		—	—
概念の大型化		静的システムの成立性：大型化は可能であるが経済的バランスを考慮する必要がある。 自然循環炉　：ペッセルの大型化を伴うため経済的バランスを考慮する必要がある。 超短工期建設工程　：機器の大型化でメリットは減少する。				—	—	減速材置換設備：大型炉へ適用可能	キャンドモータポンプ：配管ノズル数増加に対し検討が必要	—	—
								パッシブ安全系：経済的バランスを考慮する必要がある			

変化に対する即応性，敷地の有効利用，運転・保守性の項目を重点的に検討すると共に，長寿命化，廃炉等次世代炉に要求されうる性能についても，合わせて調査した。調査，検討の結果を**表3**にまとめる。

これらのプラントの特徴として，安全系を静的化することにより，安全系の単純化，非常用D／Gの削減等による運転・保守性の向上，炉心の低出力密度化による24ヶ月運転可能による稼働率の向上，単純化・標準化による建設工期の短縮等が可能なことがある。

これらにより，現行プラントと比較して，全ての面において性能向上の可能性を有していることが分かる。

7．おわりに

世界の総エネルギー消費量は，増え続けている。これらの伸びを支えて行くには，化石燃料か原子力の利用が不可欠である。しかし，現在，地球の温室効果や酸性雨による環境への悪影響が叫ばれている。

このような現状を解決するための有効なエネルギー源は原子力と考えられる。

しかし，現状の原子力ではＰＡ上，問題が多い。そこで，これを解決するため，より安全でより経済的な新型原子炉の開発が望まれるであろう。（くりやま　かずしげ　主任研究員）

深部天然ガスに関する海外の研究開発状況

中　野　重　夫

1. はじめに

天然ガスは，クリーンで利便性に富む化石燃料として広く用いられ，現在既に全世界の1次エネルギー消費の約2割を占めるに至っている。さらに，昨今，これに原子力推進の停滞，地球環境問題の深刻化といった新たな要因も加わって，天然ガスへの期待は一層の高まりを見せている。

その資源量については，現在，石油とほぼ同程度とする推定が有力であるが，将来，深部天然ガス（以下〝深部ガスと表記〟）をはじめとする所謂非在来型の天然ガス資源が新たに開発されれば，資源量，賦存地域ともに飛躍的な拡大を期待することができる。

こうした背景から，最近，欧米諸国では上記非在来型天然ガスについての幅広い開発研究が進められているが，ここでは，その代表例として，現在スウェーデン，スイス，カナダにおいて進行中の三つの深部ガス開発プロジェクトを取り上げ，概要を紹介する。

2. 深部ガスとは？

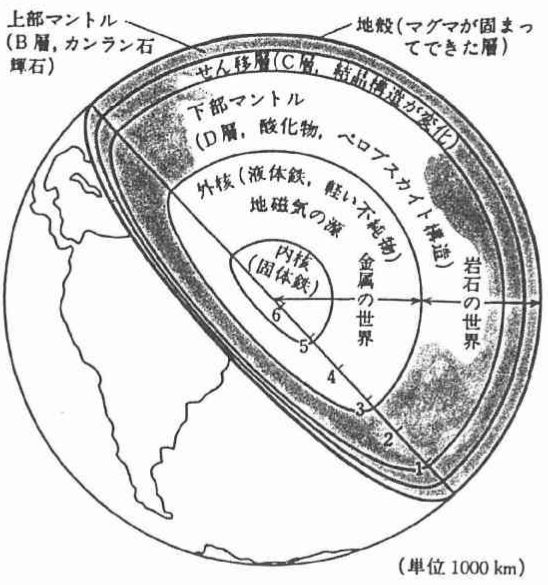
いきなり本題に入る前に，まず，そもそも「深部ガス」とは何かということについて筆者なりに整理をしておきたい。

一般に深部ガスと総称されているものを大別すると，次の二つに分類することができるのではないかと考える。一つは，地殻深部に資源として存在するガス，即ち，在来の天然ガス資源よりも一層深いところに存在するガス（**図－1**の分類①），そしてもう一つは，地球深層（マントル）起源のガス，つまり地球の非常に深いところに由来するガス（同分類②）である。

①地殻深部に資源として存在するガス
②地球深層（マントル）起源のガス（無機起源ガス）
(1) メタン説……DEEP EARTH GAS，ゴールド説
(2) CO_2変成説……〔$CO_2+4H_2\rightarrow CH_4+2H_2O$〕，脇田説

図—1　「深部ガス」の分類

このように，同じ「深部ガス」と言っても，両者ではその〝深部〟の意味するところがそれぞれ全く異なっている。即ち，**図－2**の地球のカット・モデルで見ると，前者については，地殻と呼ばれる地球表層のほんの薄皮部分がその対象であるのに対し，後者では，そのさらに下部の，マントルと呼ばれる地球の約⅔を占める広大な領域（**図-2**の黒塗りの部分）を指して〝深部〟と称している。このため，後者を論じる際には，往々，地球の生成・進化と原始大気組成の変遷というような問題にまで遡った議論がなされることになるのである。



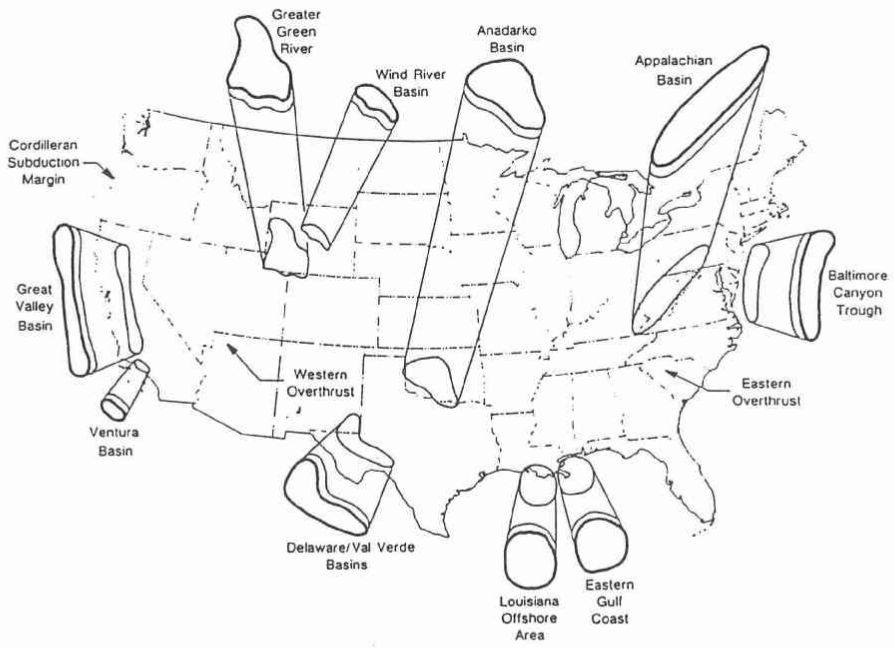
図－2　地球内部の構造の模式図
（岩波書店「図説地球科学」より）

なお，分類②の地球深層起源のガスについては，**図－1**に示したように現在二つの主要な説がある。一つはアメリカ国籍の高名な天文学者 Thomas GOLD の主唱する地球深層ガス（Deep Earth Gas）説[1]で、地球創成時に由来する始源的なメタンがマントルの中に封じ込められているとする説，もう一つは東京大学の脇田教授の説[2]で，もともとの物質はマグマ中の炭酸ガスであり，これがある特殊な条件下における火山活動で変成してメタンになるとする説である。

有機起源，無機起源という石油・天然ガス資源の起源論の観点からすると，上記分類①は原則として起源を問わない概念であり，一方，分類②は，由来がマントルであることから当然無機起源のガスということになる。従って，分類①はときに②をも含み得るより広義の概念であり，最近の深部ガス開発の考え方の傾向は，この①を目指す方向にあるように思われる。即ち，有機・無機といった起源論にあまり拘泥することなく，地下深部に豊富に存在する可能性のある未開発の天然ガス資源を幅広く柔軟に開発してゆこうとする考え方がその主流となっているように見受けられる。

その代表的な例が，米国エネルギー省（DOE）が進めている深部ガス（"Deep Source Gas"）の検討である。地殻深部の，従来とは別様の貯留構造の下に大量の天然ガス資源が存在するとの想定に基づいて，堆積盆地の深部，沈み込みの境界部分，オフ・ショア等を対象に，貯留構造や資源量に関する評価検討が行われている[3]。（**図－3**参照）

また，次章で紹介するスイスの深部ガス開発プロジェクトの基本姿勢も，後述するように，上記の考え方に沿ったものと捉えることができよう。



図－3　米国(ＤＯＥ)における深部ガスの検討例
(第28回国際地質会議におけるＤＯＥ資料より)

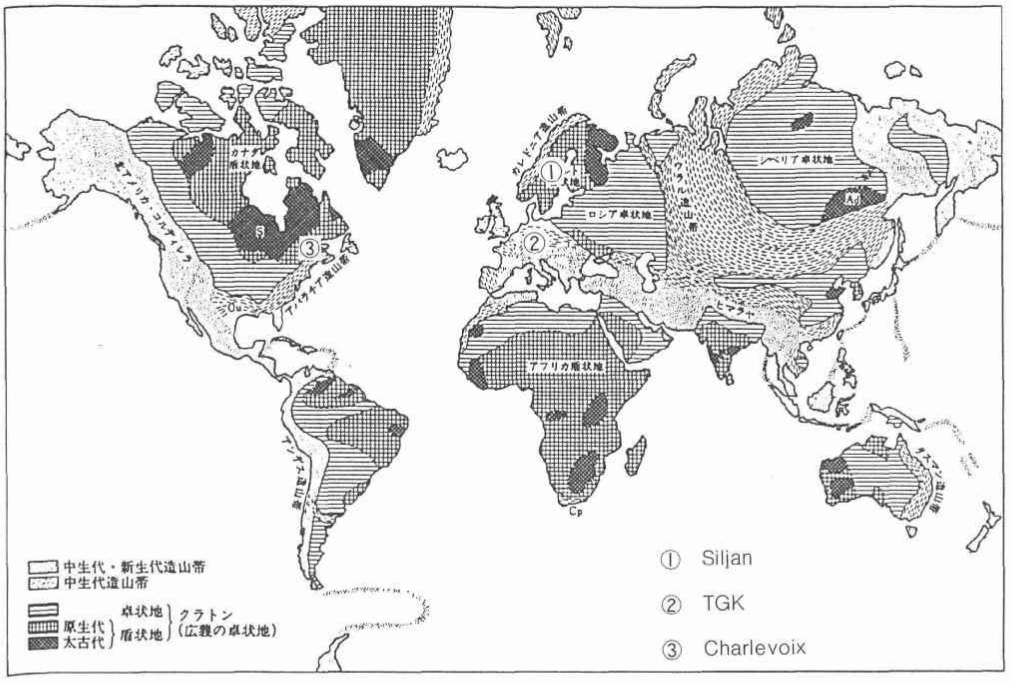
3．深部ガス開発プロジェクトについて

(1)　全体概要

各論の前に，まず，今回紹介する三つの深部ガス開発プロジェクトを横並びで眺めてみたい。概要を**表－1**に，また対象地域およびその地質状況を**図－4**に一括して示す。

表－1　深部ガス開発プロジェクト

	名　　称	推 進 主 体	掘削地・地質状況	経 緯 と 現 状
1	SILJAN プロジェクト (スウェーデン)	スウェーデン電力庁	隕石孔，スカンジナビア楯状地	・1983年開始 ・掘削深度6,779m ・第３次掘削計画を準備中
2	TGK プロジェクト (スイス)	SULZER/SWISS PETROL	アルプス山地，ヘルベチア帯	・1987年開始 ・地表予備調査終了 ・掘削地決定に向けての詳細調査開始
3	CHARLEVOIX プロジェクト (カナダ)	ABIOGENIC FUELS LTD.	隕石孔，セントローレンス地溝帯	・1986年開始 ・地表予備調査終了 ・詳細調査開始予定



図－4　深部ガスプロジェクトの実施地域
(岩波書店「図説地球科学」より。一部筆者加筆)

三者のうちでは，スウェーデンのSILJANプロジェクトが最も先駆的なもので，国営の電力会社であるVATTENFALLによって1983年に始められ，SILJAN環状体と呼ばれる今から数億年前に出来た隕石孔の跡地を開発対象地域として，既に地下約7,000mに達する掘削が行われている。現時点においては，これが実際の掘削にまで進んでいる唯一のプロジェクトである。

スイスのTGKプロジェクトは、SULZER(スイスの大手産業機械メーカー)，SWISSPETROL（国内石油・天然ガス資源の開発会社）等で組織された連合体，TIEFENGASKNSORTIUM(深部ガスコンソーシアム)が推進するもので，アルプス山地のヘルベチア帯という，地層が非常に複雑に褶曲した地域を開発対象として1987年に開始され，予備的な地表調査を経て，現在掘削地決定に向けての調査が進められている段階にある。

カナダのCHARLEVOIXプロジェクトは，セントローレンス川沿いの隕石孔跡地を開発対象とし，ABIOGENIC FUELS LTD.という会社法人（以下ＡＢＦと略記）を設立して1986年に開始されたもので，こちらも現在予備的な地表調査が終了し，今年(1990年)の夏からより詳細な事前調査に移行する段階にある。

これら３つのプロジェクトには主要な共通点が二つ存在する。

第一の共通点は，いずれのプロジェクトにも，前章で触れた地球深層天然ガスの主唱者T. GOLDが関与しているという事実である。

表－２の関連年表にみるとおり，先ず83年に開始されたSILJANプロジェクトについていえば，これに先立つ82年に　GOLD　が

VATTENFALLに招聘されて意見具申を行い，これを契機に始められたものであり，プロジェクト開始後も，しばらくは技術顧問のような形で関与していたという経緯がある。また87年に開始されたＴＧＫプロジェクトについても，85年にGOLD等がSWISS-PETROLの依頼を受けて事前検討を行い，その結果と提言を踏まえて実行に移された。さらにCHARLEVOIXプロジェクトについては，推進主体のＡＢＦ設立の立役者の一人がＧＯＬＤであり，一面ではその個人プロジェクトのような性格すら有している。勿論，これらはいずれも資源開発をその基本目的とするプロジェクトであって，ＧＯＬＤ説を実証するためのものではなく，開発当事者も折に触れてこのことを強調しているが，上述したように，少なくともその開始のいきさつにＧＯＬＤおよびＧＯＬＤ説が強く関与していることは共通の事実として指摘することができよう。

なお，年表にみられるように，SILJANプロジェクトの背景には，1979年のスリーマイル島の原発事故によって一層の高揚をみた反原発機運の中で，翌80年に国民投票が行われ，2010年を目処に原子力発電を原則廃止する方向が確認されたというスウェーデンの国内事情があることを付け加えておきたい。これを機に，電力会社は原子力に代わるエネルギー・オプションを手当てしなければならない状況に立たされた訳で，SILJANプロジェクトはその一環としての試みと位置づけることができる。

もう一つの共通点は，その開発対象地域の地質的な特徴である。

図－4 で明らかなように，これらの地域は先カンブリア紀というまだ生物が極端に少な

表－2　深部ガス開発プロジェクト関連年表

	1970～	1980～	1990～
エネルギー環境	●'73 第1次石油危機 '79● スリーマイル島事故 '79● 第2次石油危機 ●'80 ●'86 チェルノブイリ事故	スウェーデン国民投票	●2005 CO_2規制？ ●2010 原子力全廃
GOLD説の展開		●'80 〝SCIENTIFIC AMERICAN〟に寄稿 ●'87 〝DEEP EARTH GAS〟出版 ●'88 同上邦訳出版	
SILJAN プロジェクト		●'82 GOLD招聘 ⊙'83 基礎調査開始 ●'86 掘削開始	●'90～ 第3次掘削計画
TGK プロジェクト		'85● GOLD等が事前検討 ⊙'87 TGK設立，基礎調査開始	●'92～ 深部掘削開始予定
CHARLEVOIX プロジェクト		'86● 〝ABF〟設立 ⊙'87 基礎調査開始	●'91 深部掘削開始予定

かった時代の岩石が主体となっているところで，いずれもこれまでの石油・天然ガスの探査が主な対象としてきた所謂〝堆積盆地内の背斜構造〟の存在とは全く無縁の地域であるということである。従って，もしこれらの地域で期待どおり天然ガスが産出されれば，これは従来の常識を完全に覆す画期的な出来事と評価することができるのである。そして同時にこれは，わが国のようにこれまで殆ど石油・天然ガス資源に恵まれることの無かった国々に取って大きな福音ともなるであろう。

(2) SILJAN プロジェクト

①経緯と現状

SILJAN プロジェクトの開発は，**表－3** のように PHASE－1から4までに分けることができる。ここで PHASE－1から3までは実績，PHASE－4が今後の計画である。

表－3 ＳＩＬＪＡＮプロジェクトの概要

		期　間	目　的／内　容	予算(¥)	成　果
ＰＨＡＳＥ－１		1983～85	掘削地点決定のための各種基礎調査	40億	GRAVBERG に決定
ＰＨＡＳＥ－２		1986～87	深部ガス探査のための掘削－１ （目標 7,500m）		6,337mまで掘削
ＰＨＡＳＥ－３		1988～89	同上，掘削－２ （目標 7,500m）	6億	6,779mまで掘削
ＰＨＡＳＥ－４	①	1990	現状井による補足試験，および新掘削地点の選定	2億	
	②	1990～	深部ガス探査のための掘削－３ （目標～8,500m）	20億	

ＰＨＡＳＥ－１は，掘削地点決定のための基礎調査で，83～85年の足掛け３年にわたって実施され，その結果，GRAVBERG というSILJAN 隕石孔内の場所が最終的に選定された。

PHASE－2が，GRAVBERG における掘削その１で，86年から87年にかけて，目標深度を7,500mにおいて掘削が行われた。掘削は難航し，当初の資金も尽きて，6,337mまで掘ったところで休止を余儀無くされた。なお，ここまでの予算が約40億円といわれ，このうちの半分を VATTENFALL が負担し，残り半分の１/３づつを，スウェーデン政府，GAS RESEARCH INSTITUTE（米国のガス事業関係の研究機関，ＧＲＩと略称）およびスウェーデンの民間投資家からの資金により手当てした。また，実務作業の推進のために VATTENFALL の子会社として DALA DEEP PROSPECTING COMPANY (DDP) という会社組織が設立され，現在に至っている。

所要資金の調達を含めて体制を建て直し，同じ GRAVBERG の井戸で掘削その２に挑んだのがＰＨＡＳＥ－３である。88年から89年にかけて，当初目標の7,500mを再度目指して掘削が継続された。（予算約６億円）　しか

しながらここでもやはり掘削に難渋し，ついにはそれ以上の掘進が不可能となって，結局最終深度6,779mで中止に至っている。

ＰＨＡＳＥ－４は今後の計画で，今年（1990年）の夏から，これまでの現象をよりよく理解するために現状井を使って各種補足試験を実施し，これをもとに新たな掘削地点を選定して掘削その３を進めようとしている。

②開発対象地域について

SILJAN はストックホルムの北西約300kmにある風光明媚なところである。（**図－５**参照）

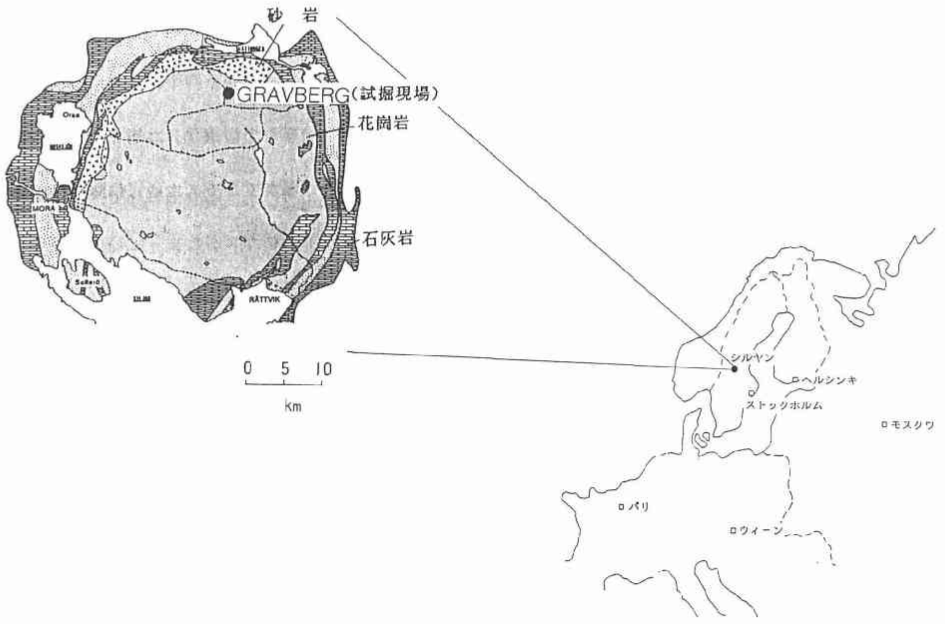
その有名な隕石孔はきれいな環状構造をもち，SILJAN リング，SILJAN 環状体と呼ばれている。今から３億６千万年程前のものといわれ，外円の直径が約50km，内円が約30kmという大きなもので，ヨーロッパで最大の隕石孔である。

なお，このあたり一帯は，スカンジナビア楯状地と呼ばれる非常に古い花崗岩質の基盤岩地域である。

なぜ開発対象地域として隕石孔が選ばれたかについては，以下のような説明がある。

まず，隕石が地表に落下した時の大きな衝撃によって地下に非常に深い亀裂が生じ，地球深層からのガスの通路が確保された。同時にその衝撃で地下の岩盤が細かく破砕され，ガスが移動し，溜まりやすい状況ができた。さらに地表に近い部分では，衝突時に発生した大量の熱により岩盤の一部が溶け，それが再凝固して，非常に緻密な，所謂キャップ・ロックのようなものが形成された可能性もある。

こうした想定の下に，この記念すべき深部ガス開発第１号プロジェクトの対象地域として隕石孔跡地が選定されたということである。

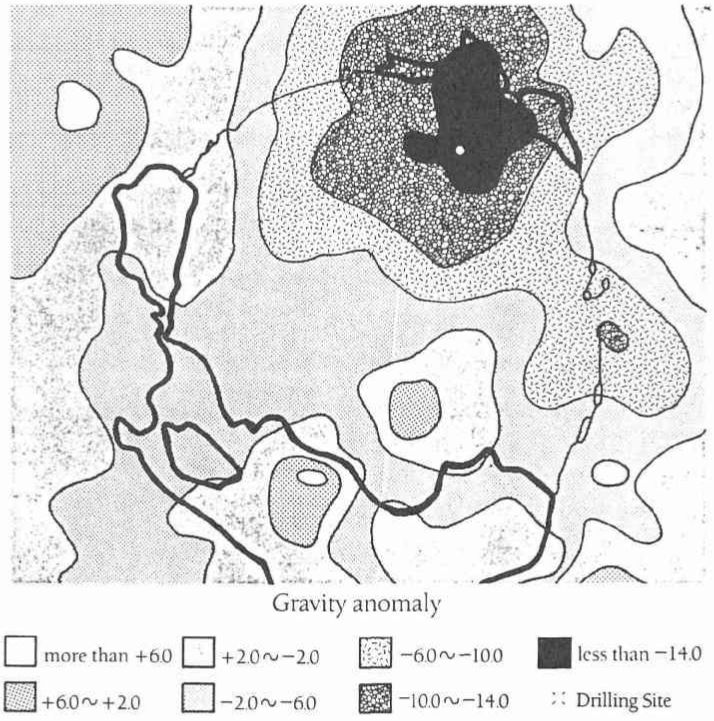


図－５　ＳＩＬＪＡＮ隕石孔について

③　掘削地点の決定

ＰＨＡＳＥ－１の予備調査によって掘削地点として最終的に決定されたのは，隕石のインパクトの中心からずっと北に外れたGRAVBERGというところであった。その決定理由として，下記の２点が挙げられている。

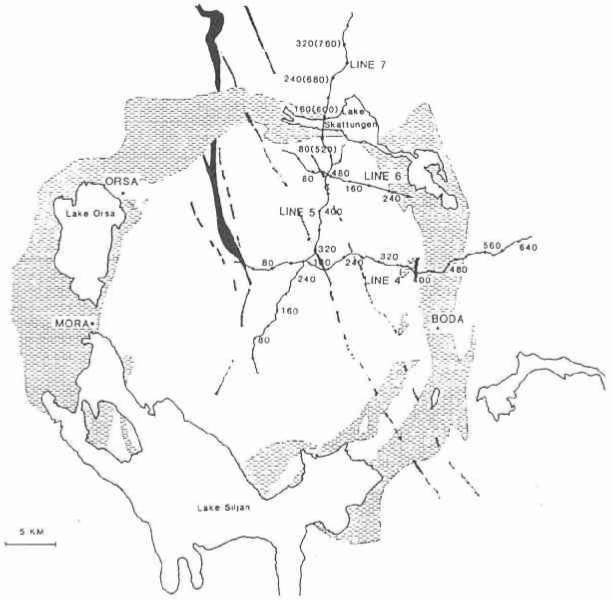
一つは重力測定の結果[4]で，**図－６**にみられるように，大きな負の重力異常がこの北の地域に認められ，GRAVBERGはその重力異常のちょうど中心点に位置していたということである。つまり，このあたりの地下の岩盤が特に細かく破砕されていて，ガスが溜まりやすい状況にあるのではないかと期待された訳である。



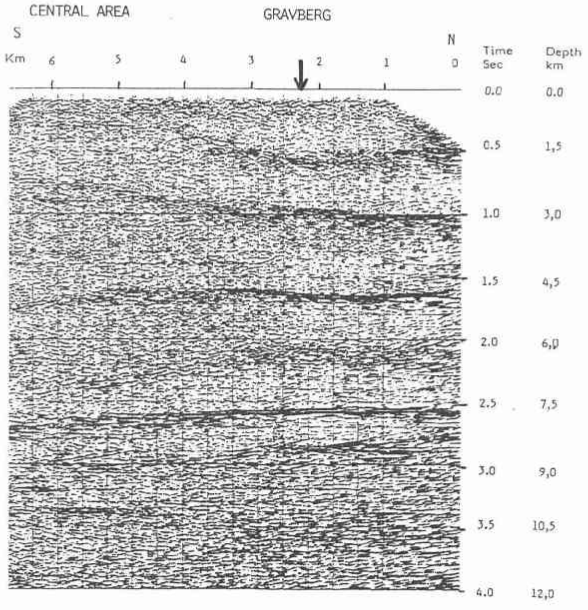
図－６　重力測定結果（Deep Gas Drilling at Gravberg；VATTENFALL 社資料）

この結果を受けて，**図－７**のように，GRAVBERGを中心に東西・南北に測線を設けて地震探査を実施したところ，**図－８**のような非常に興味深いデータが得られた[5]。即ち，何層かの強い地震波反射層が，リングの中心部よりもGRAVBERGの辺りで特に明瞭に認められたのである。こういう層に，下部のガスをトラップするような機能が期待できるのではないかということで，重力測定の結果と併せ，最終的にこの地点が掘削地点として決定された。また，掘削目標深度の7,500mについては，**図－８**のちょうど7,500mのあたりに認められる特に強い反射層（第４反射層）を掘り抜くことを目指して設定された。

因みに，掘削の結果，これらの反射層は，花崗岩中にのちの火成作用で水平に貫入した粗粒玄武岩のシート（岩床）であることが判明している。



図— 7　地震探査測線（Juhlin, 1987）



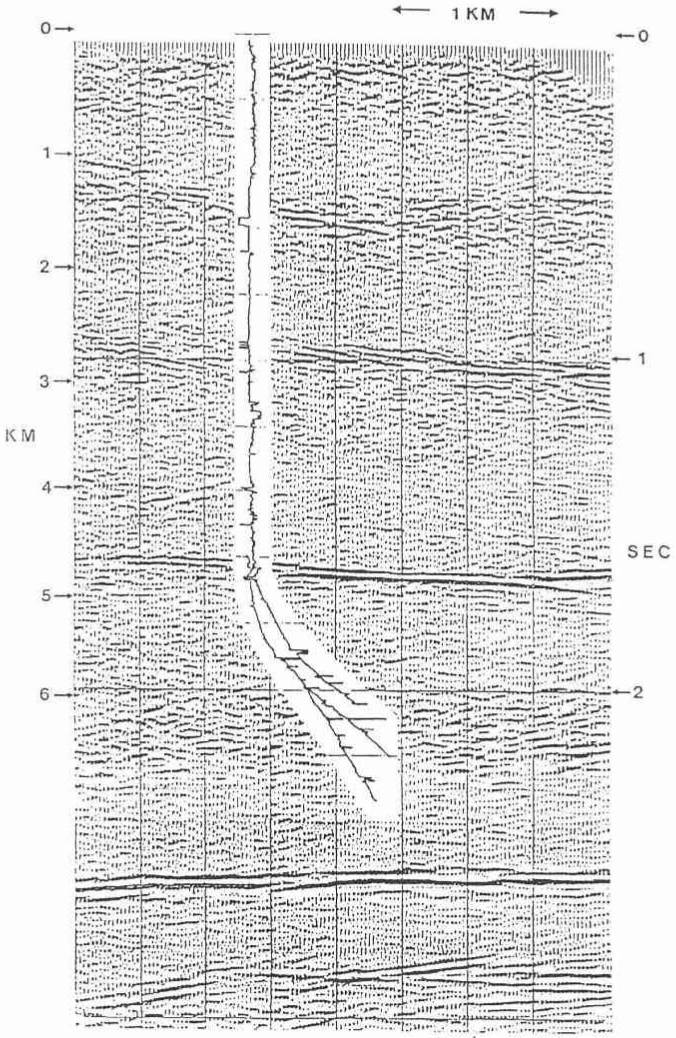
図— 8　地震探査結果（Karlsson, 1987）

④掘削状況

1986年の7月，GRAVBERGにおいていよいよ掘削が開始された。当初は非常に順調で，4,000mまで約3ヶ月で掘り抜けたほどであったが，それ以深の掘削は一転して難航を極め，その結果ついに7,500mの目標深度には到達することができなかった。

その最大の理由が，**図－9**にみられるような大きな穴曲がりの現象である。途中でセメンティングをして枝掘りをするというようなことを何度繰り返してみても，その都度同じ方向に曲がってしまうというトラブルに遭遇し，1989年3月，最終深度6,779mでついに現状井におけるそれ以上の掘削を断念するに至った。このような深部での穴曲りの原因として，当事者は以下の2点を挙げている。

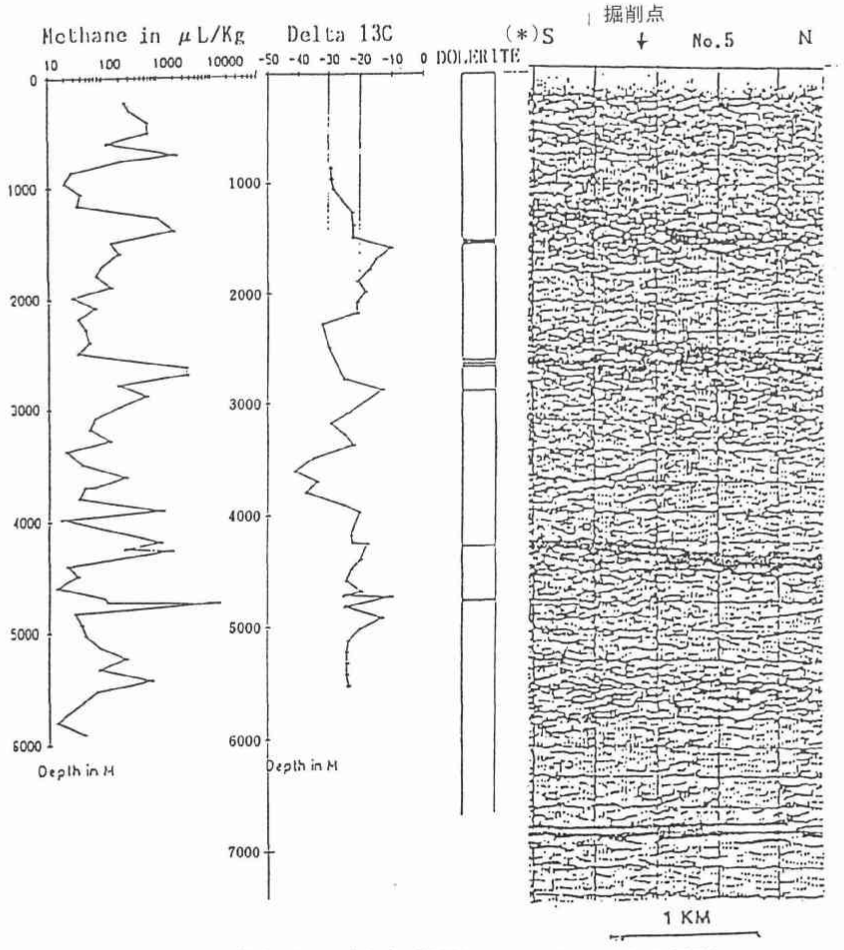
1. スカンジナビア半島では現在でも地殻深部に働く横圧力が大きいこと
2. SILJANでは，深部花崗岩が隕石衝突のために破砕されてこのような圧力に弱くなっていること



図－9　堀削状況（Juhlin, 1989）

⑤検出ガスの分析例

現段階では，天然ガスの資源的存在を示す兆候は認められていないが，カッティングス（循環泥水により回収される掘削時の掘り屑）の中に取り込まれている微量ガスを分析した結果，メタンを主成分とする炭化水素が検出され，しかもそのうちには無機起源の可能性の高い比較的大きな炭素同位体比（$^{13}C/^{12}C$）を持ったメタンが含まれていることが明らかとなった[6]。（**図－10**）



図—10　ガス分析結果の一例（(*)横線部分が貫入粗粒玄武岩層）（星野，1989）

興味深いことに，花崗岩層のカッティングスからのガスと，そこに水平に貫入している粗粒玄武岩層（地震波反射層）のカッティングスからのガスとでは，検出メタンの量もその炭素同位体比も相互にかなり違っており，データが二極分化する傾向が認められている。そして上記の無機起源の可能性の高いメタンは，特に後者の粗粒玄武岩層から検出されている。

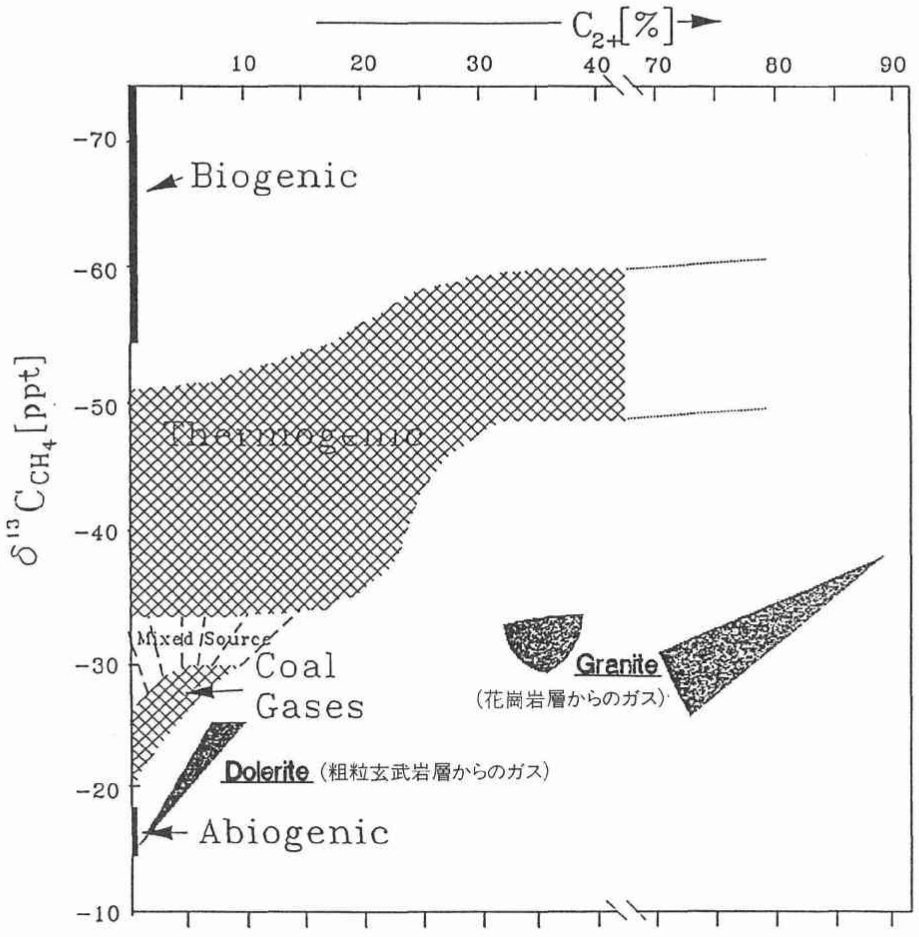
図－10の分析結果を〝起源〟の観点から整理したものが**図－11**である[7]。縦軸がメタンの炭素同位体比で，この場合は下にいくほど同位体的に重い（^{13}Cの比率の高い）炭素ということで，無機起源の可能性が高まることにな

る。図中の起源既知の試料のうち，〝Biogenic〞とは有機物の微生物分解で生成するガス，〝Thermogenic〞とは所謂ケロジェンの熱分解による天然ガス，一番左下の〝Abiogenic〞とあるのが無機起源のガスで，ここでは，深海からマントル物質が噴出していることで有名な東太平洋海膨のガスの例を示してある。

ここに先程のSILJANのガスを記入してみると，粗粒玄武岩層（Dolerite）から検出されたガスの分布領域は〝Abiogenic〞の領域に近く，無機（深部）起源の可能性の高いガスとも考えられる。

⑥その他

ガス分析結果の他にも，いくつかの興味深い現象が認められている。たとえば，掘削時に度々大きな逸水現象（循環泥水が失われる現象）に遭遇したが，これについては，そうした箇所にガスの溜まりやすい破砕構造が存在する可能性を示唆するものと捉えることもできる。



図—11　検出ガスの起源の検討（Kaplan ら，1988）

また，非常に微細なマグネタイトが循環泥水中に大量に取り込まれていたという事実もあった。文献[8]によれば，岩石中の酸化鉄が，ある種のバクテリアの作用により，メタンその他の炭化水素を還元剤として部分還元されてマグネタイトとなることがある。

$$CH_4 + \text{酸化鉄} \xrightarrow{\text{bacteria}} \text{マグネタイト} + CO_2 + 2H_2O$$

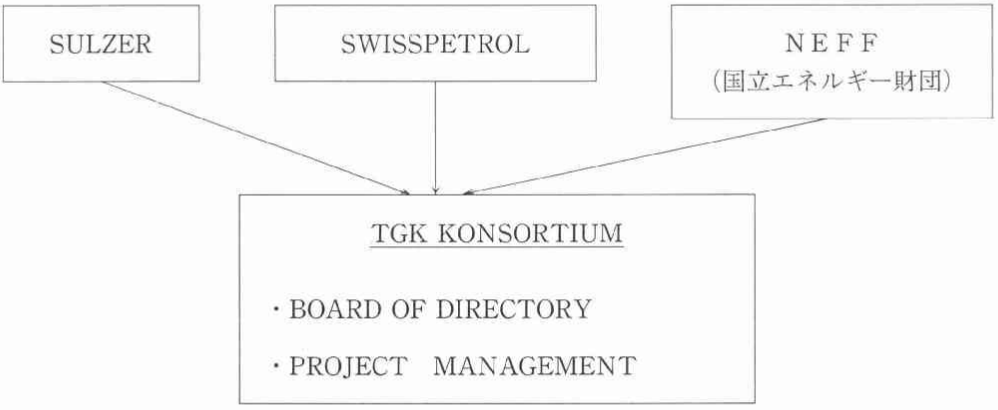
従って，こうしたマグネタイトの存在は，逆にその近傍に炭化水素が存在することの指標にもなりうる訳で，ＧＯＬＤは，上述の現象はＳＩＬＪＡＮにおいて深部からメタンが上昇してきている可能性を示すものと捉えているようである。

以上のような経緯を踏まえ，SILJANプロジェクトは現在，新たな掘削地点を選定してさらに開発を継続してゆこうという状況にある。

(3) ＴＧＫプロジェクト

ＴＧＫ設立の経緯については既に述べたとおりであるが，特に1986年のチェルノブイリの原発事故が大きなインパクトとなり，翌87年の開始をみたといわれている。

その組織体制は，**図－12**に示すように，SULZER, SWISSPETROLおよびスイスの国立エネルギー財団の三者の連合組織である。



図—12 ＴＧＫの組織体制

①プロジェクトの背景

表－4はスイスのエネルギー事情をまとめたものである。石油，天然ガスの占める割合が高く，その殆どを輸入している関係上，エネルギーの輸入依存度が非常に高いという脆弱なエネルギー状況にある。これは，わが国に酷似した状況であり，またSILJANプロジェクトを推進中のスウェーデンもほぼ同様な傾向にあるが，自国の安全保障に殊の外敏感なスイスの国情も反映して，国内資源の開発によりこうした状況を少しでも改善したいという強い熱意があるように見受けられる。

TGKを進めるSWISSPETROLという資源開発会社は，こうした期待と責務を担って1959年に設立された。**図—13**にみられるように，これまで，ヘルベチア帯を中心に35本の試掘井が掘られ，そのうちの一本，29番目にルツェルン近郊に掘った井戸が，小規模とはいう

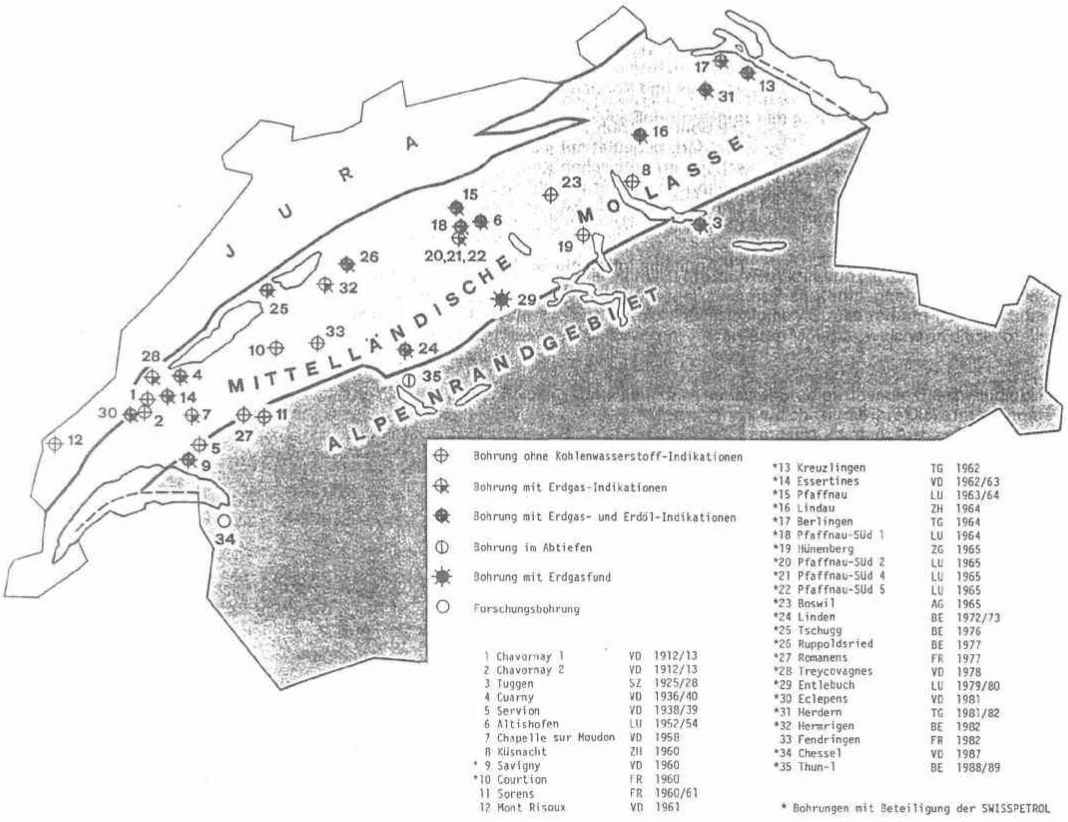
ものの現在商業井として稼働中である。因みに，深度については，つい最近の試掘井で約6,000mの最深実績があるとのことである。

TGKプロジェクトも，いうまでもなくこうしたスイスの国内エネルギー資源開発の一環であり，従来の開発対象地域の更に深部に，より豊富な天然ガス資源をみつけようとする試みである。

表—4　エネルギー状況の比較

国　名（人口，百万人）	1次エネルギー消費の内訳（%）					輸入依存度（%）	消費総量の比較（日本＝100）
	石油	ガス	石炭	電力＊	その他		
スイス（6.1）	66	7	3	20	4	75	6
日本（121）	57	10	18	14	1	80	100
スウェーデン（8.4）	51	1	10	38	—	74	14

（＊水力，原子力）



図—13　スイスの石油・天然ガス資源探査状況
〔SWISSPETROL パンフレット(1988)より〕

②開発対象地域

開発対象地域であるヘルベチア帯は，アルプス山地とジュラ山地に挟まれた地域で，山岳部が地中海からの大きな横圧力によって盛り上がった結果形成された非常に複雑な褶曲構造で名高い地帯である。なお，上述したSWISSPETROLによる探査実績が示すように，ここは必ずしも在来型の石油・天然ガス資源に全く無縁なところという訳ではない。

具体的な掘削予定地としては，現時点では，商業井のあるルツェルン近郊の一帯を考慮しているようである。以下は，関係者が指摘する掘削予定地の特徴である。

掘削予定地域の特徴

・アルプス山地とジュラ山地の間の複雑な褶曲帯（ヘルベチア帯）
・ガスの湧出で古くから知られた地域。最近でもトンネル建設時などで多量のガスの噴出を経験している。
・巨視的にはアフリカ・プレートとヨーロッパ・プレートの境界地域であり，深層からの脱ガスと，これを貯留する異常高圧層の存在が期待できる。
・深部からの天然ガス産出で知られる米国オクラホマのアナダルコ盆地とも地質的類縁性あり。

③開発計画

ＴＧＫプロジェクトの開発計画は以下のとおりである。

ＴＧＫプロジェクトの開発計画

ＰＨＡＳＥ－１　（完了）

・準備調査　ヘルベチア帯の地化学調査（土壌ガス，湖沼堆積物等の炭化水素分析）
・予算　￥１億

ＰＨＡＳＥ－２　（1989～1991）

・本格調査　掘削地選定基準の確立，貯留層評価の明確化を目指し，地質，地化学，地球物理調査を実施する。
・予算　￥９億

ＰＨＡＳＥ－３　（1992～1997，５か年）

・試掘井の掘削によるアセスメント
・予算　￥90億

ＰＨＡＳＥ－４

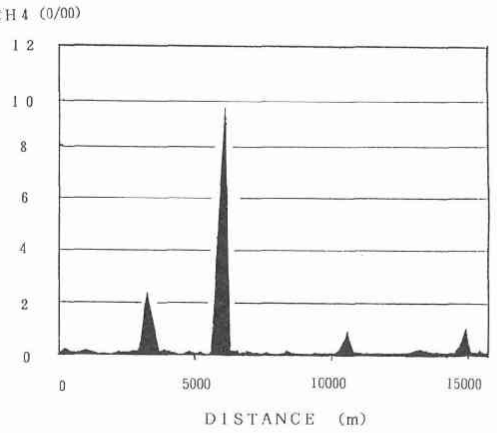
・開発　（予想深度７～９㎞）

図－14はＰＨＡＳＥ－１の準備調査で得られた結果の一例である。掘削予定地域の土壌中のメタンの分析結果で，横軸はサンプリング地点をある基準点からの距離で示している。

このように、特定地点で非常に明瞭なメタン濃度のピークが認められているが，こうし

た地点を地質図にあたって検討した結果，これがほぼ断層線に対応しているようだとする解釈もあり，関係者を勇気づけている。

なお，このＴＧＫプロジェクトは，関係者が米国のアナダルコ・ガス田との類縁性に言及していることからもわかるように，第２章で述べた最近の深部ガス開発の考え方，即ち，起源の問題にはあまり囚われず，より柔軟に深部に存在するガスを開発していこうとする考え方に沿ったプロジェクトであるとの印象を受ける。その非常に着実，堅実な進め方と相俟って，今後の展開を十分注視すべきプロジェクトであろう。



図—14　土壌中のガス分析例
（ＴＧＫ非公式資料）

(4)　CHARLEVOIX プロジェクト

最後に，カナダにおける CHARLEVOIX プロジェクトについて簡単に紹介したい。今回の三つの深部ガスプロジェクトのうちでは最も私的な性格が強く，これまで一般にあまり知られることの無かったプロジェクトである。その実施計画の概要を以下に示す。

CHARLEVOIX プロジェクトの実施計画

・推進母体の設立（1986年）
　〔ABIOGENIC FUELS LTD.〕
・基礎地表調査（1987年に完了）
　土壌ガス，および土壌コアの分析，表面比抵抗の測定，等
・有望地域の詳細調査（1990年）
　地震探査，および浅部試験井（500m程度，数本）の掘削調査
・本格探査ボーリングの実施（1991年～　）

このように，現在は基礎的な地表調査が終了した段階であり，今年(1990年)中にパイロット・ホールの掘削を含む詳細調査を実施し，その結果に基づき1991年から本格ボーリングを目指すという計画である。

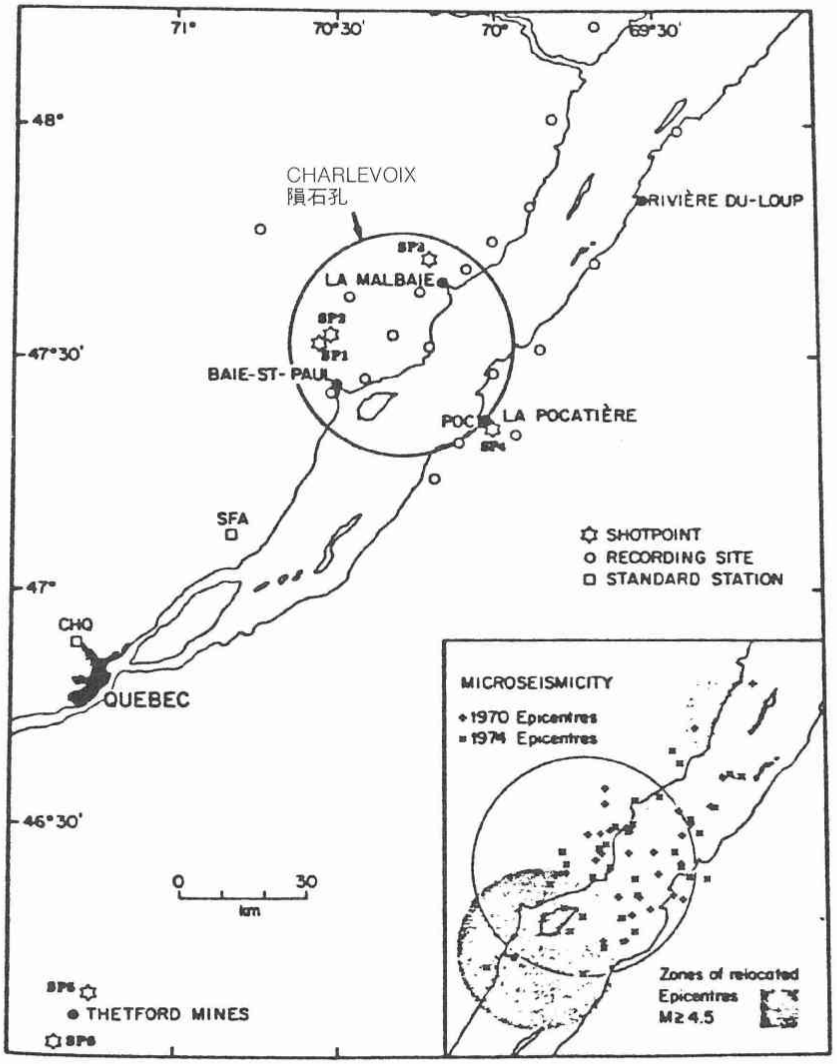
ABIOGENIC FUELS LTD. について

・代表者　；　Robert HEFNER Ⅲ（ＧＨＫ会長）
・出資者（株主）；

ＧＨＫ	1／3
スウェーデンの私企業	1／3
その他投資家	1／3

1986年のＡＢＦの設立には，既に述べたようにＧＯＬＤが大きく関与しており，現在もその役員に名を連ねている。ＡＢＦの代表者は，米国オクラホマにあるＧＨＫという天然ガス開発会社の会長で，鉱区の購入と維持，各種基礎調査の実施といった実際の業務の一切を，現在このＧＨＫが担当している。

開発対象地域は，ケベック州のセントローレンス川の流域にあるCHARLEVOIX隕石孔で，その規模は、直径40～50㎞と、ＳＩＬ-ＪＡＮの隕石孔とほぼ同程度である。(**図－15**)



図—15　CHARLEVOIX 隕石孔（Lyons ら，1979）

セントローレンス川を境にして，その北西側がカナダ楯状地，南東側が中・古生代の造山帯であり，この流域自体が地溝帯（セントローレンス地溝帯）を形成している。ＧＯＬＤは，開発対象が地溝帯の上の隕石孔跡地ということで，ＳＩＬＪＡＮ以上に有望であると考えているようである。なお，このあたりは地震の多発地帯として古来名高く，また断層

に沿って泥火山が幾つも連なっているようなところもあって，活発な地下活動の存在が予想される地域である。

4. おわりに

以上が現在海外において進行中の深部ガス開発プロジェクトの概要であるが，こうした試みに触発されて，昨今，深部ガスへの関心，およびその開発気運が国際的に大きな高まりをみせている。例えば，西ドイツでも昨年（1989年）深部ガスプロジェクトが発足し，その関係者の手により，この5月にハノーヴァにおいて国際エネルギー機関（ＩＥＡ）の深部ガスワークショップが開催される運びとなった。またわが国においても，今年から始まる国の第7次国内石油・天然ガス開発5か年計画において，深層天然ガスに関する基礎調査が進められようとしている状況にある。

多くの優れた特質を有する天然ガスが，地球環境問題の深刻化等によりあらためてその価値を見直され，深部ガスを始めとする非在来型資源の開発にまで関心と期待が向けられるようになったことはまことに喜ばしいことである。

謝辞

本文をまとめるにあたり，清水建設(株)顧問の星野一男氏に多大な御教示を頂きました。紙面を借りて篤く御礼申し上げます。

（なかの　しげお　　主管研究員）

参考文献

(1) 例えば，Gold, T. 1987：Power from the Earth, Deep Earth Gas—Energy for the Future. J. M. Dent & Sons Ltd.
（和訳：エネルギー総合工学研究所地球深層天然ガス研究会：地球深層ガス，新しいエネルギーの創生，日経サイエンス，1988）

(2) Wakita, H. and Sano, Y. 1983：$^{3}He/^{4}He$ ratios in CH_4—rich natural gases suggest magmatic origin, Nature 305, 792—794.

(3) Deep Source Gas, Morgantown Energy Technology Center Technology Status Report, DOE/METC—87/0250, 1987.

(4) Dyrelius, D., 1988：The Gravity Field of the Siljan Ring Structure, Proc. of the Int'l Symposium in Mora and Orsa, 1987, vol. 1, p. 85—94.

(5) Juhlin, C. and Pedersen, L. B., 1987：Reflection Seismic Investigations of the Siljan Impact Structure, Sweden, J. Geophysical Research, vol. 92, p. 14, 113—14, 122

(6) Laier, T., 1988：Light Hydrocarbons in Drill Cuttings from the Gravberg—1 Borehole, Proc. of the Int'l Symposium in Mora and Orsa, 1987, vol. 1, p. 140—147

(7) Jeffrey, A. W. A. and Kaplan, I. R., 1988：Hydrocarbons and Inorganic Gases in the Gravberg—1 Well, Siljan Ring, Sweden, Chemical Geology vol. 71, p. 237—255

(8) McCabe, C., Sassen, R. and Saffer, B., 1987：Occurence of Secondary Magnetite within Biodegraded Oil, Geology vol. 15, p. 7—10

研究所のうごき

（平成２年１月１日～３月31日）

◇　新役員の選任

任期満了に伴う新役員の選任が，３月29日開催の第30回理事会で行われ，下記のように新役員を選任した。

（任期：平成２年４月１日～同４年３月31日）

新役員

理事長	山本　寛	東京大学名誉教授
（所長	山本　寛）	
専務理事	越川　文雄	
常務理事	柴田　誠一	
理　事	秋山　守	東京大学工学部教授
〃	飯田　孝三	関西電力㈱副社長
〃	生田　豊朗	㈶日本エネルギー経済研究所理事長
〃	植田　守昭	㈳日本鉄鋼連盟副会長・専務理事
〃	正親　見一	日本原燃サービス㈱相談役
〃	窪田　雅男	㈶日本産業技術振興協会副会長
〃	近藤　駿介	東京大学工学部教授
〃	佐古　一	㈳日本建設業団体連合会会長
〃	柴崎　芳三	㈳日本瓦斯協会副会長兼専務理事
〃	鈴木　篤之	東京大学工学部教授
〃	鈴木　胖	大阪大学工学部教授
〃	関根　泰次	東京大学工学部教授
〃	富永　孝雄	㈳日本自動車工業会専務理事
〃	野澤　清志	電気事業連合会副会長
〃	能登　勇	石油連盟専務理事
〃	濱田　裕志	㈳日本電機工業会専務理事
〃	平川　誠一	東京大学名誉教授
〃	三井　恒夫	東京電力㈱常務取締役
監　事	小林　實	㈱日本興業銀行常務取締役
	山崎　魏	中部電力㈱副社長

◇理事会開催

第30回理事会

日　時：３月29日（木）12：00～13：30

場　所：経団連会館(9階) 901 号室

議事次第

1. 第１号議案　平成２年度事業計画及び収支予算（案）について
2. 第２号議案　平成２年度運営費借入について
3. 第３号議案　理事及び監事の選任について
4. 第４号議案　その他

◇　月例研究会

第68回月例研究会

日　時：１月26日（金）14：00～16：00

場　所：幸ビル（13階）1310会議室

議　題：

1. 地熱資源量の評価と最近の地熱開発の動向について（地質調査所　地殻熱部長　岡部賢二氏）
2. 平成２年度エネルギー関連予算について（資源エネルギー庁長官官房　総務課　課長補佐　本部和彦氏）

◇　主なできごと

１月９日(火)	第５回エネルギー需要予測検討委員会開催
10日(水)	第１回高プルトニウム利用軽水炉検討委員会開催
11日(木)	第５回中小型軽水炉検討委員会W．G．開催
16日(火)	第２回ＦＢＲ新技術Ｆ/Ｓ検討委員会開催 第１回燃料用メタノール導入に関するアセスメント調査委員会開催 第１回新しいメタノール合成プロセスとその評価作業委員会開催
17日(水)	第４回ＦＢＲ実用化方策検討委員会開催
18日(木)	第１回固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会開催 第３回高度負荷集中制御システム検

討委員会・制御システム分科会開催

22日(月) 第2回地球深層天然ガス実証性調査委員会開催
第1回プルトニウム利用方策開発調査委員会開催
第5回中小型軽水炉検討委員会開催
第4回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会開催

23日(火) 第2回火力発電所の大気影響評価技術実証調査委員会開催
第5回運転自動化関連技術調査委員会開催
第3回高度負荷集中制御システム検討委員会・ロードマネジメント分科会開催

24日(水) 第4回社会的側面検討委員会開催
第1回家庭用電力最適運用機器システム委員会開催

25日(木) 第2回核種移行基礎データ検討委員会開催
第3回無停電電源装置信頼性等評価委員会・専門部会開催
第2回高度負荷集中制御システム検討委員会・専門部会開催

30日(火) 第4回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置手続分科会開催
第3回マクロ影響評価研究委員会開催
第4回FBR新技術F／S実用化段階におけるFBRのイメージ化検討W／G開催
第2回高度負荷集中制御システム検討委員会開催

31日(火) 第67回原子力プラント運転の信頼性に関する研究会開催
第3回経年劣化調査検討委員会開催
第2回固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会開催

2月1日(木) 第3回「エネルギー技術データベース体系化法の開発研究」石炭技術分科会開催

6日(火) 第1回軽油の低硫黄化に関する調査委員会開催

7日(水) 第1回ディーゼルエンジンの超低NOx化に関する調査委員会開催
第8回シミュレーション技術部会開催

9日(金) 第6回意識構造検討会開催
第4回FBR実用化方策検討委員会開催

13日(火) 第2回燃料用メタノール導入に関するアセスメント調査委員会開催

16日(金) 第5回FBR新技術F/Sシステム概念評価検討W/G開催

20日(火) 第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置廃棄物再利用分科会開催
第4回FBR新技術F/S基盤技術評価検討W/G開催
第4回経年劣化調査検討委員会開催

21日(水) 第4回地球深層天然ガス実証性調査分科会開催
第3回実用発電用原子炉廃炉技術調査廃止措置物量等分科会開催
第2回電気自動車電池に関する検討委員会開催

22日(木) 第3回分散型新発電払術実用化実証研究に関する調査委員・幹事会開催
第4回高度負荷集中制御システム検討委員会・制御システム分科会開催

26日(月) 第5回FBR新技術F/S実用化段階におけるFBRのイメージ化検討W/G開催
第2回プルトニウム利用方策開発調査委員会開催

27日(火) 第5回原子炉総合数値解析システム実用化検討委員会開催
第4回高度負荷集中制御システム検討委員会・ロードマネジメント分科会開催

3月2日(金) 第1回軽油の低硫黄化に関する調査エンジン試験分科会開催
第5回地球深層天然ガス実証性調査分科会開催

6日(火) 第6回中小型軽水炉検討委員会開催
第2回新メタノール合成プロセスとその評価作業委員会開催

7日(水) 第5回社会的側面検討委員会開催

8日(木) 第3回実用発電用原子炉廃炉技術調

査委員会開催
第３回固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会開催
９日(金) 第３回次世代ハウスエネルギー供給専門委員会開催
12日(月) 第３回地球深層天然ガス実証性調査委員会開催
第３回小規模石油燃焼機器の環境適合性向上に関する調査委員会開催
第68回原子力プラント運転の信頼性に関する研究会開催
13日(火) 第４回マクロ影響評価研究委員開催
第２回分散型新発電技術実用化実証研究に関する調査委員会開催
第５回高度負荷集中制御システム検討委員会・制御システム分科会開催
15日(木) 第５回ＦＢＲ実用化方策検討委員会開催
第５回高度負荷集中制御システム検討委員会・ロードマネジメント分科会開催
第４回無停電電源装置信頼性等評価委員会・専門部会開催
第３回電気自動車用電池に関する検討委員会開催
16日(金) 第３回火力発電所の大気影響評価技術実証調査委員会開催
第６回ＦＢＲ新技術Ｆ/Ｓシステム概念評価検討Ｗ/Ｇ開催
19日(月) 第３回地球深層天然ガス実証性調査自由検討会開催
第５回ＦＢＲ新技術Ｆ/Ｓ基盤技術評価検討Ｗ/Ｇ開催
第２回次世代ハウスエネルギー供給システム専門委員会開催
20日(火) 第３回ＦＢＲ新技術Ｆ/Ｓ検討委員会開催
第３回無停電電源装置信頼性等評価委員会開催
22日(水) 第３回高度負荷集中制御システム検討委員会・専門部会開催
23日(木) 第４回固体電解質型燃料電池発電システム調査委員会開催
26日(月) 第４回火力発電所の大気影響評価技術実証調査委員会開催
27日(火) 第３回プルトニウム利用方策開発調査委員会開催
28日(水) 第３回高度負荷集中制御システム検討委員会開催
第３回新メタノール合成プロセスとその評価作業委員会開催
第３回燃料用メタノール導入に関するアセスメント調査委員会開催
29日(木) 第５回経年劣化調査検討会開催

◇ 人事異動

○１月１日付
（採用）
敷地　明　主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属
矢島宏一　主任研究員に任命
プロジェクト試験研究部に配属
○３月１日付
（退任）
副主席研究員　幡野　裕（依願退職）
○３月15日付
（採用）
柿沼宇佐　副主席研究員に任命
海外電力調査会業務任命
石丸利道　副主席研究員に任命
プロジェクト試験研究部長兼企画部長任命

◇ その他

外国出張

(1) 松井一秋副主席研究員は、国際エネルギー事情調査及びOECD/NEA中小型炉専門家会議への出席の為，２月１日から２月15日の間，ソビエト及びヨーロッパへ出張した。
(2) ~~谷口武俊主任研究員~~は，AAAS Annnual Meetingに出席･招待講演の為，２月13日から２月20日の間，アメリカに出張した。
(3) 重田潤主管研究員は，米国に於ける化石燃料からCO_2等排気に関わる評価対策技術動向調査の為，２月18日から３月１日の間，アメリカに出張した。
(4) 田村啓一主管研究員は，軽油の低硫黄化動向とディーゼル排気ガス対策調査の為，３月

10日から3月25日の間，西ドイツ，オーストリア，スイス，フランス，ベルギーに出張した。

(5) 谷口武俊主任研究員は，米国に於ける経年劣化問題に関する規制及び研究開発計画の現状調査と航空機分野の調査の為，3月18日から3月25日の間，アメリカに出張した。

（財）原子力工学試験センターからのお知らせ

「原子力テレフォン質問箱」の開設について

原子力に対する関心が高まる中で，一般の人々の個々の質問に対応する情報サービスが求められていることから，平成元年度電源立地推進調整等事業の一環で，平成元年７月から，財団法人原子力工学試験センターに「原子力テレフォン質問箱」を設置しております。

一般の人々が日頃抱いている素朴な疑問に対し、わかりやすく説明を行うとともに、資料の提供など「対話型」（＝双方向型）の広報を行うものであります。

１．設置の目的

一般の人々の個々の質問に対応した情報サービスを提供することにより，エネルギーや原子力に関する正しい知識の普及，並びに原子力への理解の増進を図ります。

２．事業の内容

⑴エネルギー・原子力に関連する諸問題について，電話にてわかりやすく，かつ丁寧に応対します。原則は即答としていますが，データ調査等のため，追って回答する場合もあります。

⑵回答方法は，電話を基本としていますが，必要に応じ書面（パンフ・その他資料）を送付の上，回答する事もあります。尚，データ類や参考資料の要求には極力対応します。

⑶遠距離からの問い合わせに対しては，希望により折り返し電話を掛け直します。

３．事業運営機関

㈶原子力工学試験センター内

〔所 在 地〕〒105 東京都港区虎の門4-3-13　秀和神谷町ビル２階

〔電話受付〕月曜日～金曜日（祝祭日を除く）10：00～12：00，13：00～17：00

フリーダイヤル：０１２０－１１９４－３３（イイクラシ　ササエル　エネルギー）

第 12 巻 通 巻 目 次

VOL. 12, NO.1 (1989. 4)

地球環境問題とエネルギー技術 ……通商産業省工業技術院 院長 飯 塚 幸 三……1
米国における代替エネルギーの動向と環境問題 ……大河内 一 男……2
欧州統一高速炉の研究開発概要 ……大 原 敏 昭……15
電気自動車をめぐる最近の技術動向と商業化への動き ……高 倉 毅……23
平成元年度の資源エネルギー関連予算の概要について ……堀 口 光……32
研究所のうごき ……40
第11巻通巻目次 ……43

VOL. 12, NO.2 (1989. 7)

「持続可能な開発」を求めて ……通商産業省工業技術院 院長 杉 浦 賢……1
業務用ビルにおけるエネルギー管理の実態について ……大久保 克 彦……2
—負荷平準化に関わるアンケート調査結果—
原子力とソフトウェアの信頼性 ……栗 原 利 夫……18
インターエージェンシー (IAEA, UNEP, UNIDO, WHO) ……松 井 一 秋……28
ワークショップ「大工業地帯におけるリスク管理」に参加して
エネルギー産業の経営多角化について ……岸 孝 雄……34
研究所のうごき ……42

VOL. 12, NO.3 (1989. 10) 特集：天然ガス

環境問題と天然ガス ……平 田 賢……1
天然ガスの産状と成因 ……星 野 一 男……6
天然ガス資源 ……山 村 政 彦……15
天然ガスの利用 ……疋 田 知 士……28
地球深層ガスの動向 ……越 川 文 雄……44
研究所のうごき ……52

VOL. 12, NO.4 (1990. 1)

年頭の所感 ……深 沢 亘……1
軽油の低硫黄化をめぐる情勢と
大型ディーゼル車における排気浄化の技術課題 ……田 村 啓 一……2
米国の環境政策と代替燃料自動車について ……蓮 池 宏……19
わが国二次電池産業への期待 ……越 川 文 雄……27
レーザーディスクによる検索システムについての御案内 ……36
研究所のうごき ……37

季報エネルギー総合工学　第13巻第１号

平成２年４月20日発行

編集発行
財団法人　エネルギー総合工学研究所
〒105　東京都港区西新橋１―14―２
新橋ＳＹビル（６Ｆ）
電　話（03）５０８－８８９１

無断転載を禁じます。（印刷）和光堂印刷株式会社