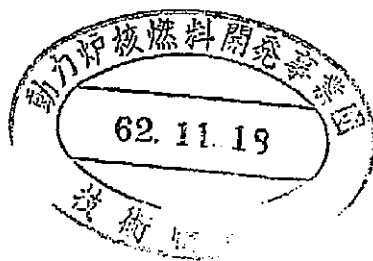


本資料は2001年11月30日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

## 高速増殖炉システム国際会議出張報告

1987年9月



動力炉・核燃料開発事業団



社 内 一 般

PNC [N2600 87-001

1987年 9月

## 高速増殖炉システム国際会議出張報告

澤井 定<sup>1)</sup>

堀 雅夫<sup>2)</sup>, 小松純治<sup>3)</sup>

高橋忠男<sup>4)</sup>, 岡林邦夫<sup>5)</sup>

### 要 旨

昭和62年9月13日～17日、米国ワシントン州において開催された米国原子力学会及び欧州原子力学会主催の高速増殖炉システム国際会議 (Fast Breeder Systems International Conference) に出席し、招待論文の発表、各国との討論・意見交換を行った。

本会議には、主催者の予想を上まわる15ヶ国約 350名 (米 約200, 日本約40, 仏国 約30, 西独 約30, 英 約10, ソ連 4, 他) が参加し、盛会であった。

本会議の概要は以下の通りである。

- 
- 1) 動力炉・核燃料開発事業団理事
  - 2) 同、動力炉研究開発本部副本部長
  - 3) 同、東海事業所主任研究員
  - 4) 同、高速増殖炉もんじゅ建設所副所長
  - 5) 同、動力炉開発推進調整部実証炉技術開発室長

## 1. 開発計画

- 各国とも長期的にはFBRの開発が必要かつ重要と考えている点では一致していた。
- 西側では、日本以外の国の今後のFBR開発計画は明確ではなく、次のFBR実証炉の建設計画をはっきり示したのは日本のみであった。
- FBRの実用化には、R&Dと並行して、間隔をあまりあけずにプラントを建設し、経験を得て行くことが必要という意見があった。

## 2. 各国の開発の方向

- 米国は、建設コスト低減と安全性の増進に力点を置いたLMFRの開発を推進し、FFTFを1991年までに金属燃料に切りかえるなど、金属燃料路線を推進して行く。
- ヨーロッパ連合は、大型炉共通設計を進めるなど、結束を固めるべく努力して行く。
- ソ連は、BN-600の経験を踏まえ、BN-800の建設に着手しており、増殖性を重視するなどの独自のFBR路線を進めて行く。

## 3. 燃料サイクル

- 発電プラントの開発建設計画に対する燃料サイクル開発についての関心が強かった。
- ヨーロッパにおいては、大型炉を対象とした再処理施設の共同設計を進めるとの報告があった。

## 4. 国際協力

- 国際協力の重要性は、以前にも増して協調されていた。
- 資金を節約するためには、相互補完により協調実施して行くことが求められていた。

## 5. 技術報告

約 150件の報告（招待論文を含む）があり、特に目を引いたものは下記の項目であった。

- スーパーフェニックス炉の炉外燃料貯蔵槽のリーク個所発見の速報。
- PFRの蒸気発生器でのナトリウム-水反応（本年2月に発生）の状況速報。
- フェニックス炉での高燃焼度化のための燃料マネジメント方法の報告。

- PFR, FFTF, フェニックスの各炉におけるテスト燃料による破損運転経験の報告。
- 日本の各機関からの大型炉設計研究の報告。

#### 6. 次回の会議開催

- 高速炉に関する今回の会議は、20年程前からほぼ4年間隔で米国、欧州において開催されてきたが、次回（1991年）は是非日本でという声が多かった。

なお、大洗での研究開発成果をまとめたビデオ（3種）、成果レポートは、ランチプログラムとして、また特設ブースを用いて紹介し、好評を博した。

# 目 次

第1章 会議の概要 .....	1
1.1 はじめに .....	3
1.2 会議の運営 .....	3
1.3 会議の基調 .....	4
1.4 高速炉開発計画 .....	5
1.5 トピックス .....	9
1.6 おわりに .....	10
第2章 各セッションの概要 .....	15
2.1 セッションの構成 .....	17
2.2 各セッションの座長及び提出論文 .....	18
2.3 セッション別概要 .....	32

## 第1章 会議の概要

## 1.1 はじめに

昭和62年9月13日から17日にわたって、米国ワシントン州パスコのRed Lion Motor Innで開催された「高速増殖炉システム国際会議」(Fast Breeder Systems International Conference)の概要を報告する。

本会議は米国原子力学会(Power Division及びEastern Washington Section)並びに欧州原子力学会が主催者(Sponsor)となり、米国原子力学会(Reactor Operation Division及びSafety Division)、日本原子力学会、米国電力研究所並びに米国エネルギー省が協賛者(co-sponsor)となって、国際原子力機関(IAEA)の協力の下に開かれた。

本国際会議のテーマは、「得られた経験と経済的な発電への道(Experience Gained and Path to Economical Power Generation)」であり、これは過去に達成したことの確認と高速増殖炉システムの将来の見通しに力点を置こうとするものである。すなわち、高速増殖炉の開発において練り上げられた技術の到達度は驚くべきものであり、高速増殖炉システムは40年に及ぶ全世界の広範な研究開発、原型プラントの建設と運転、そして最終的には商業発電によって裏打ちされており、現在進められている先進的なシステムに関する研究は産業界が将来への新しい道を描くことを促すものであるという視点に立っている。

これは、2年前の昭和60年7月にフランスのリヨンで開催されたIAEA主催の“International Symposium on Fast Breeder Reactors”のテーマ“Experience and Trends”を継承するものといえよう。

## 1.2 会議の運営

本会議は、1982年から5年間かけて準備されたものである。昨年春からは、会議の運営及び会議プログラムに関する国際委員会(International Steering and Technical Program Committee; 議長M. D. Carelli〔米国WHAESD〕、共同議長D. E. Simpson〔米国WH-Hanford〕及びW. Marth〔西独KfK〕)によって、会議の構成及び論文募集の作業が本格化した。この国際委員会に日本の論文コーディネータとして堀雅夫副本部長(動燃事業団)が参加した。

本会議の構成を表1に示す。会議のセッションは先進的設計、建設及び運転経験、燃料サイクル、経済性、安全性、許認可及び基準類と広い範囲に渡っており、これらのセッ

ョンで発表された論文によって、高速増殖炉システムの実用化を目標として行われている世界的な開発努力について、その全スペクトルを見渡すことができよう。加えて、開会及び閉会の総会並びに第2日目夕方のパネル・セッションは、世界中の増殖炉計画の現状と将来について概観する機会を与えている。

会議プログラム委員会の選考を経て、最終的に本会議に提出された論文は150編に上る。その内訳は、表2に示すように招待論文（口頭発表）31編、投稿口頭発表論文48編及びポスターセッション発表論文71編である。これを地域別に見ると、西欧、米国及び日本の3極が中心になっている。「提出論文の著者リストは、まるで世界の高速増殖炉開発の人名録(Who's Who)を見るようである」と本会議のProceedingsのまえがきに記されている。

本会議の出席者は、主催者の予想を上回る15ヶ国約350名（米 約200、西欧 約70、日本 約40、ソ連 4、その他）であり、盛会であった。

本会議の最終的なプログラムは直前まで公表されず、会議の運営が心配されたが、現地に着いてみると、長い期間をかけて準備しただけあって、会議の運営は見事であった。これは会議出席の事前登録者が300名を超え、財政上の見通しが明るかったことも寄与している。地元のWestinghouse-Hanford Company及びボランティアの人々が会議の運営に協力した。視聴覚機材については経験豊かな専門家の指導の下で普段着の高校生が操作するようなほほえましい光景も見られ、運営委員とボランティアが一体となって会議が円滑に進むように努めていた。

### 1.3 会議の基調

会議の基調は、フランスの高速増殖炉開発の主ともいえるG. Vendryesが欧州原子力学会を代表して行った開会演説に見ることができよう。彼は、この演説のテキストを会議に出席した沢井理事を通して動燃事業団の林理事長に献呈している。その要旨は次の通りである：

世界的にエネルギー情勢が緩和基調で推移し、核分裂エネルギー（原子力発電）の必要性が低下して、ウラン資源需給が緩和しているため、天然ウランの有効利用を目的とする高速増殖炉への関心が低下している。

このような状況の下で、高速増殖炉について大規模な国際会議を開くことに対して、ど



ういうつもりなんだと驚く人も多いだろう。

しかし、世界のエネルギー需要及び消費の成長が続くことは不可避であり、人類はいずれウランの核分裂エネルギーを再び積極的に利用するようになるであろう。かくして、原子力発電が再びしかるべき地位を占めるようになれば、必然的に高速増殖炉への関心が高まってくると信じる。

40年間に及ぶ高速増殖炉開発の成果は優れたものである。高速増殖炉の経済性について議論するとき、技術の発展の可能性を見落としてはならない。高速増殖炉の資本費は近い将来にはまだ軽水炉をいくらか上回るようになるだろうが、その差は燃料サイクルコストが低いことによって補われるであろう。

高速増殖炉の実用化時期は10年前に考えられていた時期よりも先送りになっているが、我々はこの遅れを活かして、忍耐づよく、着実に改良を加えていかなければならない。この努力は経済性の追求のみならず、高速増殖炉に特有の安全上の好ましい特長をさらに活用することにも向けるべきである。

このような努力は研究開発だけでは達成できず、実プラントの建設によって直接的経験を得る必要がある。この建設間隔を余り長くすると、現在得ている知識とノウハウという財産が不毛なものになるであろう。

原子力発電の将来性一般に対して、また特に高速増殖炉の将来性に対して全面的に信頼していることを述べて演説を終える。

#### 1.4 高速炉開発計画

##### (1) 米国DOEの方針

安成弘教授（東海大）が議長を務めた初日午前の総会で、米国エネルギー省（DOE）の原子力エネルギー担当次官補代行J. Vaughan は、“Ensuring the Future of Nuclear Power—Our ‘Window of Opportunity’”と題する発表を行い、次のような考え方を示した。

彼は原子力発電全般の必要性が低下している現状について、G. Vendryesと同様の認識を述べた後、このような状況から、原子力発電の将来を確保するという共通の目標に向かって関係者が努力する上で、歴史上今しかないという好機（a unique “window of

opportunity” ) を迎えていると述べ、この機会にDOEは次の方針で臨むとしている。

- 1) 先進的な技術の適用における教訓(代表例: ChallengerとChernobyl)に学び、「安全第一」で行く。
- 2) 先進的な技術の適用、特に原子力発電における適用に伴う危険と報酬について公衆の正しい理解を得るようにする。
- 3) 必要に応じて、現在の軽水炉を発電用に継続使用することに対する信頼を再度確立する。
- 4) 先進的な炉とこれに伴う廃棄物管理及び増殖の必要性への対応を含めた燃料サイクルについて、最適な技術と経済性を確立する努力を継続する。
- 5) 似通った目的に対する計画の費用を分担すること及びそれぞれのやり方の必然性を理解することができるまでに、国際協力を強化する。

方針4)において、液体金属冷却高速炉(LMFR)については、次のように考えている:

- a) 米国では増殖が必要になるのは少なくとも30年先と思うので、次の15ないし20年間の中期的ニーズに対応する当面の開発課題は、増殖性に重きを置かず、コスト低減と安全性の増進の2点に力点をおいたLMFRの開発である。(増殖性が必要になった時に、炉心設計上どう対応すればよいかということはかなりよく分かっている。)
- b) LM(F)Rの基準燃料として金属燃料を選択した。酸化物燃料に関する広範なデータベースはバックアップ用として維持する。この選択は、長期的に見て、金属燃料が静的安全性、燃料サイクルの経済性、燃料性能、廃棄物管理、展開の柔軟性及び低コストで実証できる点で、有利になる可能性があるという判断に基づくものである。
- c) 最近の予算の制約の中で、モジュラープラントを中心とするLM(F)Rの開発は着実に進展を示しており、現在のスケジュールによれば、1988年にはプラントの基本仕様を選定し、さらに進んだ概念設計を開始する計画である。そして、1993年末までにLM(F)R開発計画の成果をとりまとめるとともに、民間産業界へ働きかけ、実証炉計画の具体化を図る考えである。
- d) 実証炉計画を進めている各国の多くが酸化物燃料路線を進んでいることは承知しているが、それらの諸国も金属燃料路線に関心を示しているし、米国もまた酸化物燃料による

大型炉心設計は育ちうるバックアップとして維持したいので、諸外国での技術の進展を把握したいと考えている。このような観点から、国際的に研究開発資金及びマンパワーが限られているこの時期に、研究開発の重複を最小とし、必要にして十分な成果を挙げるために国際共同計画を確立することを希望し期待する。

## (2) 西欧の共同開発計画

西欧の高速増殖炉に関する基本的な考え方はG. Vendryesの開会演説に見られる通りである。初日の総会の招待論文“The European Breeder Programme”によれば、西欧では高速増殖炉の実用化時期を21世紀の初期と見ており、それまでの長い（四半世紀程の）過渡期を乗り切るために、開発資金とマンパワーを最も効果的に利用し、開発努力の重複を避けることを狙って、共同開発体制を構築しつつある。

現在の共同開発計画は1984年1月の政府間合意覚書に基づいており、まず研究開発に関する協力体制を早期に確立する努力が進められている。共同研究開発の主目的は発電コストの低減であり、これを達成するための基本的な開発目標として、1) プラント寿命の長期化（40年以上）、2) 稼働率の向上、3) 出力規模の増大、4) 20%台の高燃焼度、5) 安全技術の改良、の5項目を掲げている。

なお、セッション3の招待論文3.1によれば、プラント寿命の長期化の鍵となる高温構造設計指針に関して、西欧共通指針を策定することを目的として、メーカー間（ANSALDO、INTERATOM、NNC及びNOVATOME）でフランスの指針RC-C-MRの修正及び補足を検討する委員会が発足したとのことであり、研究開発から生産技術へ一歩進んだところまで協力体制ができつつあると見られた。

最終日の午後の総会で、A. Eitz（RWE）が西欧の電気事業者（仏EdF、英CEGB、西独RWE、伊ENEL）を代表して、“Considerations Concerning the Future of FBR's in Europe”を発表し、西欧の共同開発体制を一層強化するために、電気事業者が率先して重要なステップを進めたことを述べている。すなわち、European Fast Reactor Utility Group（EFRUG）の下に、技術ワーキンググループを設置し、西欧諸国にとって共通の、調和のとれたプラント概念を規定すべくいくつかの研究計画に着手している西欧産業界とのインターフェイスの役割をさせるようにした。

西欧では、既存の協定に基づいて、次の実用規模の増殖炉の建設に直ちに着手するような現実のニーズはないので、西欧共通炉型を得るための最適化及び仕様統一の研究期間として5年間を想定している。なお、今から5年後の1992年には西欧諸国の間で共通炉型の存在となじみのよい電気市場の自由化を促進する協定が発効すると見込んでいる。

EFRUGは効率的に開発を推進するためには、電気事業者と設計及び研究開発に当たる機関とがより密着して事に当たる必要があると考え、製造業者に対して、前述の研究のための作業計画、所要資金及び作業分担について合意に達するような検討を本年末までに行うように要請した。

西欧共通炉型に関しては、CDFR、Super-Phenix2 (RNR1500) 及びSNR2といった個々のプラント概念の間には差異が見られるが、少なくとも、混合酸化物燃料を用いるプール型炉という点で一致しており、技術的にはすでにかなり収束していると見ている。なお、2日目のパネルでH. Henniesは西独が炉型をループ型からプール型に切り換えて後、10年近い年月をかけて研究を進めており、もうループ型に戻ることはないと言っている。

### (3) 日本からの発表

我が国からは、初日の総会で「日本の高速増殖炉開発の現状」を澤井定理事（動燃事業団）が発表して、開発状況の総括報告を行い、これを受けて実験炉常陽の運転経験、高温構造設計指針の整備、原型炉もんじゅの建設状況及び燃料サイクル開発の現状について、いずれも招待論文として発表し、着実に開発が進んでいることを印象付けた。

2日目夕方のパネルでは、近藤駿介教授（東大）が、本年6月に原子力委員会が策定した「原子力開発利用長期計画」に基づいて、我が国の今後の高速増殖炉開発について、開発目標、開発ステップ及び開発方策を示すとともに、軽水炉と経済性において競合しうる炉概念を追求している現状を紹介した。

3日目の設計/安全性関係のセッションでは、藤家洋一教授（東工大）が、原子力安全委員会の「原子力施設等安全研究年次計画」に基づいて、高速増殖炉に対する安全理論の構築及び先駆的かつ体系的な安全研究の枠組みを中心に安全研究の展開について発表した。

3日目の先進的デザインのセッションで、中川弘部長（原電）が、我が国における建設コスト低減のための設計研究の展開について発表したのに続いて、最終日の総会では、岩越米助取締役（原電）が、前述の原子力長計、電気事業連合会社長会決定及び高速増殖炉研究開発運営委員会における検討に基づいて、実証炉1号を中心に今後の具体的な開発計画を発表した。

これらの発表により、本会議の出席者は、西側諸国では日本が今後の高速増殖炉開発に対して最も明確な計画を持っているという印象を受けたものと見られる。

我が国における高速増殖炉プラントの経済性を追求するための設計研究の成果に関しては、主としてポスターセッションによりメーカー各社の技術者から発表された。特に初日のポスターセッション「経済的設計のための新概念」では全25件中、日本の発表が12件（日米共同3件を含む）を占め、プラントモデルの展示もあり、我が国の活発な設計研究活動を印象付けた。出席者の中には多方向への設計研究の展開を見て、次の段階のプラント概念の絞り込みに関心を寄せる人もいた。

#### (4) ソ連の動き

初日午前の総会における発表によれば、ソ連の高速増殖炉開発は1950年代の初めから進められており、BOR-60までの建設を第1段階として、1965～85年の第2段階ではBN-350及びBN-600の建設、運転によりループ型炉とプール型炉の両方の経験を含めて多くの経験が得られた。現在は第3段階であり、今後は最近着工したBN-800に対して同型炉を複数基建設するとともに、BN-1600へと出力規模増大を図ることになる。

BN-800は増殖比1.3～1.4を目標として、できるだけ高くとろうとしており、ソ連は増殖性を重要視している。

### 1.5 その他の話題

#### (1) 燃料サイクル

高速増殖炉システムの経済性を論じる上で、発電プラントの建設費あるいは運転、保守費の低減はもとより、燃料の製造、再処理等の燃料サイクルコストについても、その見通しについて検討する必要がある。この観点から、本会議では、全体の15セッション

のうち、セッション5及び7の2セッションが燃料サイクルにあてられ、経済性に焦点を当てて、各国、各機関の燃料サイクル開発の動向が将来展望を含めて報告され、討議が行われた。

西欧においては混合酸化物燃料とピューレックス法による再処理路線を変更しないという報告があった。また今世紀中に西欧の高速増殖炉プラントが必要とする燃料は現状の混合酸化物燃料製造施設の能力で充分供給できると考えている。再処理については従来のプロセスの簡素化、廃棄物発生量の低減化を目標とした研究開発が積極的に進められ、経済的な燃料サイクルの確立を目指している。また大型炉を対象とした再処理プラントの共同設計を進める報告があった。

米国はこの3年間に燃料サイクル分野で大きな変化をみせ、主流である酸化物燃料に対して、金属燃料とその再処理あるいは長寿命燃料の開発を新しいテーマとしている。現在、米国では再処理に関する実証プラントの建設計画はないが、1,300MWeプラントの炉サイトに共存した酸化物燃料用35t/Yの燃料サイクル施設の概念設計とコスト評価についての報告があった。

日本からは混合酸化物燃料製造、プルトニウム転換技術やFBR燃料サイクルの開発状況について動燃における研究開発が招待論文として発表され、注目をあつめた。

各国とも軽水炉と経済的に競合できることを目標に燃料サイクルコストの低減と安全性を重点に開発を進めており、その中で国際協力の重要性が強調された。

## (2) 注目された話題

- Super-Phenixの炉外燃料貯蔵槽のナトリウム漏洩箇所発見の速報
- PFRの蒸気発生器で本年2月に発生したナトリウム-水反応の状況速報
- Phenix炉心での燃料管理による高燃焼度化
- PFR, FFTF及びPhenixの各炉におけるテスト燃料による破損運転経験の報告

## 1.6 おわりに

本会議の閉会に当たり、会議運営委員会のM. Carelli 議長が4年に1回この国際会議を開催することにしたいと提案し、次回は1991年（昭和66年）に行われることになった。こ

の会議はこれまで米国及び欧州で開催されてきたが、今回は是非日本でという声が舞台裏で聞かれた。

これは会議（ホテルビジネス）の話であるが、高速増殖炉開発自体についても、西側の世界では、混合酸化物燃料による大型炉を主たる路線とする西欧共同開発計画及び日本の開発計画並びに原子力発電復興への経過的な施策として金属燃料による中小型炉路線を進む米国の開発計画の3極構成の中で、後発開発国である日本が次第にリーダーシップを取ることを求められる気運が感じられた。これを物語るエピソードのひとつとして、高橋副所長（動燃）が原型炉もんじゅの建設の進捗ぶりを発表し終えた時、フランスの出席者から握手を求められ、「これまではフランスが旗を振ってきたが、これからは日本が旗を振れ」といわれたことを記す。

表 1 会議の構成

Session No	月／日（曜日）	Session 名
—	9／14（月）	開会あいさつ
1	”	増殖炉計画
2	”	運転経験 I
3	”	許認可、安全性及び基準類
4	”	経済的設計のための先進的概念
5	9／15（火）	燃料サイクル I
6	”	建設経験
7	”	燃料サイクル II
8	”	炉心設計関係
—	”	2030年の LMR はどんなものか？
9	9／16（水）	今後の進路
10	”	経済性
11	”	設計／安全性関係
12	”	プラント設計関係
13	9／17（木）	先進的設計
14	”	運転経験 II
15	”	増殖炉の将来
—	”	閉会あいさつ



表 2 提出論文 150件の内訳

	招待論文	口頭発表論文	ポスター論文	小計
西 欧	11	26 <sup>1)</sup>	26	63
米 国	8	14	24	46
日 本	8	7 <sup>2)</sup>	20 <sup>3)</sup>	35
ソ 連	3	0	0	3
その他	1 (IAEA)	1 (中国)	1 (イスラエル)	3
小 計	31	48	71	150

1) 西欧-米 1件を含む。2), 3) いずれも日-米3件を含む。

## 第 2 章 各セッションの概要

---

本付録は、下記機関の会議出席者が分担して作成した。

日本原子力発電㈱

動力炉・核燃料開発事業団

㈱電力中央研究所

㈱日立製作所

川崎重工業㈱

三菱重工業㈱

㈱東芝

高速炉エンジニアリング㈱

## 2. 1 セッションの構成

Session No.	月/日 (曜日)	時間帯	Session 名	種 別
—	9/14 (月)	9:00-9:15	開会あいさつ	—
1	"	9:15-12:00	増殖炉計画	総 会
2	"	13:30-16:30	運転経験 I	口頭発表
3	"	"	許認可, 安全性及び基準類	"
4	"	"	経済的設計のための先進的概念	ポスター
5	9/15 (火)	9:00-12:00	燃料サイクル I	口頭発表
6	"	14:00-17:00	建設経験	"
7	"	"	燃料サイクル II	"
8	"	"	炉心設計関係	ポスター
—	"	19:30-21:00	2030年の LMR はどんなものか?	パネル
9	9/16 (水)	9:00-12:00	今後の進路	口頭発表
10	"	13:30-16:30	経済性	"
11	"	"	設計/安全性関係	"
12	"	"	プラント設計関係	ポスター
13	9/17 (木)	9:00-12:00	先進的設計	口頭発表
14	"	"	運転経験 II	"
15	"	14:00-16:25	増殖炉の将来	総 会
—	"	16:25 16:30	閉会あいさつ	—

## 2. 2 各セッションの座長及び提出論文

### SESSION 1

#### BREEDER PROGRAMS (増殖炉計画)

(All Invited)

Co-Chair: M. Lawrence (USA)

S. An (Japan)

- 1.1 Ensuring the Future of Nuclear Power; Our Window of Opportunity --  
J.W. Vaughan, Jr.
- 1.2 The European Breeder Programme--G. Cicognani, A.M. Broomfield, R. Lallement,  
W. Marth
- 1.3 Present Status of FBR Development in Japan--S. Sawai, Y. Iwakoshi
- 1.4 Fast Reactor Development Stages in the USSR--O. D. Kazachkovsky, L. A. Kochetkov

### SESSION 2

#### OPERATING EXPERIENCE I (運転経験 I)

Co-Chair: C. L. Peckinpaugh (USA)

Y. Fujiie (Japan)

- 2.1 Experience from Prototype and Test Reactors in Western Europe--A.M.  
Broomfield, M. Gelee, C.V. Gregory, W. Koop, W. Marth (invited)
- 2.2 Superphenix Startup and Operation--A. Mergui, C. Acket, G. Labat, C. Schneider  
(invited)
- 2.3 Operating Experiences and Programs at the Fast Flux Test Facility and the  
Experimental Breeder Reactor- II --R. A. Hunter, D. J. Newland, G. L. Lentz, J.  
R. Hunter (invited)
- 2.4 Operating Experiences of Experimental Fast Reactor JOYO--M. Hori, Y. Nara
- 2.5 Mixed Oxide Fuel Development--R. D. Leggett, R. P. Omberg
- 2.6 Development in PFR of High Burn-Up Fuels for Economic Power Generation--

- K. M. Swanson, A. M. Broomfield, G. A. B. Linekar, K. Q. Bagley, D. J. Wilkes
- 2.7 The Reactor Physics Measurements Carried Out During the Commissioning of Super Phenix--J. Gourdon, J. C. Gauthier, G. Flamenbaum, D. Leteinturier, B. Mesnage, M. Vanier, C. Berlin, J. Ladet, P. Bergeonneau, M. Salvatores, H. Stark

### SESSION 3

#### LICENSING, SAFETY AND STANDARDS (許認可, 安全性及び基準類)

Co-Chair: P. DeJonghe (Belgium)

E. Guthmann (Germany)

- 3.1 Codes and Standards - An European Point of View -- R. L. Roche, F. Corsi, C. H. A. Townley, K. Vinzens, M. De Bacci (invited)
- 3.2 Key Issues in LMFBR Structural Design Guide -- K. Okabayashi, A. Imazu, I. Nihei, N. Kanegae, K. Kuwabara, T. Nagata (invited)
- 3.3 Experience Gained During the Commissioning and Related Licensing Phase of The SNR-300 -- F. H. Morgenstern, W. Buerkle, G. Hendl (発表なし)
- 3.4 Inherent Safety Features and Licensing Plan of the SAFR Plant -- E. B. Baumeister, J. E. Cahalan, R. T. Lancet, J. C. Mills, R. D. Rogers, P. D. Rutherford, D. C. Wade
- 3.5 Inherent Safety and Design Certification of PRISM -- N. W. Brown, A. E. Dubberley, B. K. Genetti, G. L. Gyorey, A. Hunsbedt, R. E. Murata, S. K. Rhow, T. Wu, E. K. Fujita, W. A. Ragland, R. A. Wigeland
- 3.6 An Examination of Reliability of Critical Items in Liquid Metal Reactors: An Analysis by the Centralized Reliability Data Organization (CREDO) -- B. L. Humphrys, M. J. Haire, K. H. Koger, J. F. Manneschildt, K. Setoguchi, R. Nakai, Y. Okubo
- 3.7 Qualification of LMFBR-Piping-Systems for External and Internal Event-Loads by Strain Assessments -- K. Vinzens, K. A. Busch, L. K. Severud
- 3.8 Recommended Practices in Elevated Temperature Design: A Compendium of

Breeder Reactor Experiences (1970-1986) -- B.C. Wei, W.L. Cooper, Jr., A.K. Dhalla

SESSION 4

ADVANCED CONCEPTS FOR ECONOMIC DESIGN (経済的設計のための先進的概念)

(Poster Session)

- 4.1 FFTF Performance Measurements for Safety, Productivity and Control -- D. J. Newland, P. R. Praetorius, T. A. Tomaszewski
- 4.2 Improvement Possibilities in Liquid-Metal Reactors Using Liquid-Metal MHD Energy Conversion -- A. Barak, L. Blumenau, H. Branover, A. El-Bohr, E. Greenspan, Y. Sapir, E. Spero, S. Sukoriansky
- 4.3 The Advanced SWEC Hybrid LMR -- G. Garabedian
- 4.4 SAFR Plant Construction -- R. R. Hren, J. E. Waugh
- 4.5 SAFR Reactor Assembly Fabrication -- E. Guenther Jr., J. P. Cook
- 4.6 PRISM Plant Design -- C. E. Boardman, J. P. Maurer, C. R. Snyder, R. Nilsen
- 4.7 PRISM Multi-Module Control -- Y. Dayal, W. R. Daniel, D. C. Gaubatz, L. C. Pugh, S. K. Rhow, W. K. Wagner
- 4.8 RNR 1500 Project - Safety Vessel Anchored to Concrete: An Interesting Economic Solution with an Aim to Better Safety -- E. Ballot, J. L. Costaz
- 4.9 MHI-WH Compact 1000 MWe Pool-Type FBR for Demonstration Plant -- T. Meshii, K. Hida, K. Nakamura, M. Fukuda, M. Hayano, R. Vijuk, J. D. Mangus, J. M. Livingston, J. E. Sharbaugh
- 4.10 Cost Reduction Study of a 1000 MWe Loop-Type Demonstration Fast Breeder Reactor -- H. Nakagawa, H. Kobayashi, T. Meshii, A. Sugawara, K. Hida
- 4.11 Studies on Top Entry System for Cost Reduction of LMFBR -- H. Kobayashi, K. Ido, Y. Maita, K. Hamada, T. Fujimoto
- 4.12 New Conceptual Design for Commercial Breeder Reactor: Panel-Type SG Accommodated Pool-Type LMFBR Which Has No Intermediate Loop -- T. Akimoto,

- N. Tanaka, M. Uotani, Y. Kagayama, S. Maita, A. Shiga, H. Hashimoto
- 4.13 The Further Cost Reduction Plan for LMFBR -- K. Hida, Y. Mimura, I. Minatsuki,  
K. Fujimori, K. Hirota
- 4.14 Very Compact Reactor Structure Concept for Commercial LMFBR's -- H. Kobayashi,  
T. Inagaki, N. Nakao, Y. Tachi
- 4.15 A New Approach to Simplified LMFBR Plant Design -- M. Sato, N. Handa
- 4.16 Containment Cell Roof Slab for Compacting Double Pool Reactor -- S. Hattori,  
T. Akimoto, M. Uotani, T. Otubo, M. Miyahara, Y. Kumaoka
- 4.17 Development of a Thermal Protection Structure for Reactor Vessels of Pool-  
Type LMFBR -- I. Kinoshita, M. Uotani, T. Fukada, K. Hashiguichi, O. Ozaki,  
T. Sano, K. Okada
- 4.18 Seismic-Isolated Large Double Pool LMFBR Approach -- Reactor Assembly and  
NIB Layout -- S. Hattori, T. Akimoto, N. Nakano, M. Madokoro, D. R. Riley
- 4.19 Seismic-Isolated Large Double Pool LMFBR Approach -- Sodium-Water Reaction  
-- T. Akimoto, S. Hattori, A. Ohtsuki, N. Yoshioka, D. R. Riley
- 4.20 FFTF Fuel Handling Experience, 1979-1986 -- D. M. Romrell, D. M. Art, R. D.  
Redekopp, J. B. Waldo
- 4.21 SAFR Fuel Handling -- C. E. Jones Jr.
- 4.22 Study on Advanced Fuel Handling System -- N. Takahashi, H. Morishita, N.  
Kanegae, A. Niimi
- 4.23 Superphenix 1 Fuel Handling System and Adaptation to Superphenix 2 -- Y.  
Grangier, M. Dalmas
- 4.24 Asymptotic Cycle Plants -- S. Runge, A. Despretz, C. Boulinier, Y. Couty
- 4.25 PRISM Fuel Cycle -- I. N. Taylor, E. A. Aitken, M. L. Thompson

SESSION 5

FUEL CYCLE I (燃料サイクル I)

Co-Chair: R. H. Allardice (U. K.)

J. P. Mustelier (France)

- 5.1 The Fast Breeder Reactor Fuel Cycle--H. H. Hennies (invited key-note speaker)
- 5.2 The Fast Breeder Fuel Cycle in Europe - Present Status and Prospects --  
J. Megy, R. H. Allardice, K. Ebert, J. M. Morelle, P. Venditti (invited)
- 5.3 Present Status of FBR Fuel Cycle Development in PNC -- K. Uematsu, J. Komatsu  
(invited)
- 5.4 Progress on FBR Fuel Cycle Developments in the U.S. -- F. L. Culler (invited)
- 5.5 Research and Development for Fast Breeder Reprocessing and Waste Management  
in the Federal Republic of Germany -- G. Baumgaertel, R. Kroeber, H. Stoeber,  
R. Randl
- 5.6 Marcoule Pilot Reprocessing Plant Construction and Startup--L. Patarin, J. Le  
Bouhellec, J. J. Fabre, J. M. Farrugia, G. Revol

## SESSION 6

### CONSTRUCTION EXPERIENCE (建設經驗)

(All Invited)

Co-Chair: A. Mergui (France)

L. Kochetkov (USSR)

- 6.1 Experience Drawn from the SPX 1 Construction -- J. Escalona, H. Noel, A.  
Casini
- 6.2 Construction Experience of SNR 300 -- W. Buerkle, A. W. Eitz
- 6.3 Experience on Construction, Commissioning and Full-Scale Operation  
Introduction of the BN-600 Fast Reactor Power Plant -- V. I. Anikin,  
L. A. Kochetkov, O. M. Saraev
- 6.4 Construction of Prototype FBR MONJU -- T. Takahashi, O. Yamaguchi
- 6.5 Construction of Experimental FBR PEC -- G. Patrone, F. Amelotti
- 6.6 Liquid Metal Reactor Cost Reduction and Improved Plant Design - A United  
States View -- S. Golan



## SESSION 7

### FUEL CYCLE II (燃料サイクルII)

Co-Chair: J. Komatsu (Japan)

W. March (Germany)

- 7.1 Anglo-French Activities on FBR Reprocessing Plant Design -- R. H. Allardice  
A. E. Barbe, J. M. Courouble, W. L. Wilkinson
- 7.2 Fast Breeder Reactor Fuel Reprocessing R&D: Technological Development for a  
Commercial Plant -- J. Colas, D. Saudray, J. A. Coste, J. P. Roux, A. Jouan
- 7.3 Concept of an Advanced FBR-Purex-Process -- K. Ebert, E. Henrich, H. Schmieder
- 7.4 Lessons Learnt from Fuel Fabrication for SNR 300 -- W. Stoll
- 7.5 Concept for a small Co-located Fuel Cycle Facility for Oxide Breeder Fuels  
-- W. D. Burch, R. E. Lerch, J. G. Stradley
- 7.6 A Versatile Facility at Windscale, U.K., for the Fabrication of Experimental  
Mixed Uranium Plutonium Oxide Fast Reactor Fuel -- H. M. MacLeod, G. R.  
Chilton, J. A. Dodd
- 7.7 Design, Construction and Role of the Marshall Fuel Cycle Development  
Laboratory at Dounreay -- W. Batey

## SESSION 8

### REACTOR CORE DESIGN ASPECTS (炉心設計関係)

(Poster Session)

- 8.1 Design Criteria for FBR Core Components: An Overview of the Methodology  
Developed in France -- D. Desprez, A. Bernard, A. Ravenet, J. L. Boutard, D.  
Moulin
- 8.2 Core Structural Design : A Comparison of Alternatives -- A. F. Curzon, K. F.  
Allbeson, W. D. Barnes, M. Dostal
- 8.3 Feasibility Study on Pool Type DFBR Reactor Structure -- H. Nakagawa, A.

Sakurai, S. Abe, H. Kawakami

- 8.4 Effective Assessment of Cracks and Life Prediction by the Computer Code EASY  
-- C. Mattheck, D. Munz
- 8.5 Improvements in the Structural Design of the Next Fuel and Blanket Assemblies  
of Superphenix -- P. L. Marmonier, J. C. Nervi, A. Ravenet, J. Rion, J. Boudaille,  
J. M. Brunon
- 8.6 PRISM Reactor Design and Development -- W. Kwant, A. E. Dubberley, A. Hunsbedt,  
L. J. Nemeth, E. E. Olich, M. R. Patel, N. L. Ramsour, S. K. Rhov, C. Schatmeier
- 8.7 SAFR Backup Oxide Core Design -- E. B. Baumeister, R. A. Doncals, L. D. Felten,  
R. A. Markley
- 8.8 Feasibility Study of Ultra Long Life Core with Oxide and Carbide Fuel -- S.  
Hattori, M. Tokiwai, T. Nishimura, Y. Tanaka, T. Ishii, H. Osada, K. Itoh, K. Hibi
- 8.9 Compact and High Burnup Axially Heterogeneous Core Design for 1000 MWe  
LMFBRs -- R. Masumi, K. Kurihara, K. Kawashima, K. Inoue
- 8.10 FFTF Fuel Management -- C. L. Bennett
- 8.11 An Example of European Collaboration: The European Accident Code and its  
Benefits from the Comparative Exercise of the Whole-Core Accident Codes  
Group -- G. van Goethem, W. Balz, H. U. Wider
- 8.12 Core Monitoring of Fast Breeder Reactors: Evolution of Ideas After  
Superphenix I -- J. Graveleau, C. Berlin, E. LeBorgne, G. L. Fiorini, M. Sztark
- 8.13 Measurement of the Fuel-to-Coolant Heat Transfer Coefficient of Superphenix  
I Fuel Elements -- M. Edelmann, M. Vanier, B. Berthet, C. Essig
- 8.14 Reactivity Control in Large LMFBRs -- D. E. J. Thornton, R. F. Burstall, H.  
Maxfield
- 8.15 Analyses of Eigenvalue Bias and Control Rod Worths in FFTF -- J. V. Nelson, K.  
D. Dobbin, D. W. Wootan, L. R. Campbell
- 8.16 Reactivity Anomalies in the FFTF - An Evaluation of Data from Cycles 1  
Through 8 -- B. J. Knutson, R. A. Harris

- 8.17 A Self-Actuated Reactor Shutdown System Using Eductor Aspirated Sensing Flow -- R.K. Sievers, M.H. Cooper
- 8.18 Experimental Devices Used for Startup Operations of the Superphenix Core--J. C. Nervi, A. Eyraud, P. Marmonier, B. Mesnage, J.C. Perrigreur, F. Rouches, L. Verset
- 8.19 Drift Phenomenon of the Sodium Outlet Temperatures of KNK II Fuel Subassemblies Caused by Insoluble Corrosion Products -- G. Finke, H. Richard, K. Ch. Stade
- 8.20 Ten Years Experience with Failed Fuel at KNK II: Operation, Detection and Localization -- H. Richard, K. Ch. Stade
- 8.21 KNK II Experience with Local Flux Tilting to Locate Defective Fuel Subassemblies -- G. Hoffmann, S. Jacobi, K. Schleisiek, G. Schmitz, L. Stieglitz, M. Becker
- 8.22 The Cooling Disturbances Indication and Analysis System CODINAS--An On-Line Temperature Noise Surveillance of KNK II Subassemblies -- G. Weinkoetz, L. Krebs, H. Martin
- 8.23 Methods of Pattern Recognition for Boiling Detection in Fast Breeder Reactors -- K. P. Scherer
- 8.24 The TOAST Irradiation Test - Study of Fuel Specifications and Fabrication Tolerances -- H. J. Ritzhaupt-Kleissl, K. R. Kummerer
- 8.25 Dispersion Strengthened Ferritic Alloy Cladding for High Burnup FBR Fuel Pins -- A. Delbrassine, A. de Bremaecker, L. De Wilde, B. Kazimierzak, M. Lippens, A. Pay, S. Pilate

#### EVENING PANEL

What Will The LMR Look Like in 2030? (2030年のLMRはどんなものか?)

Chair: E. Zebroski (USA)

SESSION 9

PATH TO THE FUTURE (今後の進路)

Co-Chair: R. Lallement (France)

S. Kondo (Japan)

- 9.1 Evolution of Cost Effective Design Features of LMFBR in Japan -- H. Nakagawa, K. Okabayashi, S. Hattori (invited)
- 9.2 Fast Breeder Reactors: The Second Wave of Nuclear Power -- R. D. Vaughan, M. Kohler, J. Leduc (invited)
- 9.3 A Path to a Fast Breeder Reactor Future in the United States--J. J. Taylor, E. Rodwell, J. M. Yedidia (invited)
- 9.4 CRIEPI/EPRI Joint Studies - A Path to the Future -- D. R. Riley, S. Hattori
- 9.5 Improvements to be Made to FBRs to Enhance Their Competitvity -- M. Sauvage, J. Bouchard
- 9.6 The RNR 1500 (or Superphenix 2) Detailed Preliminary Design -- M. Barberger, H. Noel, N. Lions
- 9.7 Design and Safety Aspects for the Nuclear Island of SNR 2 -- W. Buerkle, M. Koehler

SESSION 10

ECONOMICS (経済性)

Co-Chair: J. M. Giglio (USA)

A. W. Eitz (Germany)

- 10.1 Power Generation Cost of the SNR 2 in Comparison to German LWR -- A. Eitz, U. Wolff, R. Riethmueller
- 10.2 The Effect on Costs of Building Fast Breeder Reactors Identical to SPX 1 in Batches -- M. Charrault, J. F. Macqueron, Y. Grangier, J. Leduc, R. Lion
- 10.3 Economics of the Modular Reactor As New-Generation Nuclear Power -- S. Hattori

- 10.4 Economics of the PRISM Modular Nuclear Power Plant -- R. Asamato, B. A. Hutchins,  
D. D. Law, G. F. Pavlenko, C. R. Snyder
- 10.5 Sodium Advanced Fast Reactor (SAFR) Economics -- J. E. Brunings, K. W. Foster,  
E. M. Larson
- 10.6 Evaluation of the Feasibility of a Utility Financed Power Generation Facility  
at the FFTF -- J. R. Honekamp, S. Guttenberg, J. Sanders, J. K. Sedore, K. Sugden
- 10.7 Economic Case for FBRs in India -- P. Roy
- 10.8 Energy Modeling: Nuclear Energy as China's Main Energy After 2040 with FBR  
as a Key Way -- Guo Xingqu

SESSION 11

DESIGN/SAFETY ASPECTS (設計/安全性關係)

Co-Chair: F. E. Pierantoni (Italy)

R. Pontier (IAEA)

- 11.1 Safety Research Consideration for LMFBR in Europe -- W. Marth, C. B. Cowking,  
G. Heusener, F. Penet, M. Pezzilli (invited)
- 11.2 A New Safety Approach in the Design of Fast Reactors -- R. J. Neuhold, J. F.  
Marchaterre, A. E. Waltar (invited)
- 11.3 Japanese Activities and Viewpoints of FBR Safety R&D -- Y. Fujiie (invited)
- 11.4 Creys-Malville Power Plant; Influence of Safety Considerations on Design and  
Cost -- P. Barrau, A. Autieri, J. P. Marcon
- 11.5 Experience Gained from Safety Studies Related to SPX1 -- Consequences for  
New Trends in Safety Criteria and Associated R&D -- J. Moreau, P. Anzieu, P.  
Bergeonneau, G. L. Fiorini, B. de Braquilanges, B. Carlucc
- 11.6 Thermal Hydraulics Investigations of Decay Heat Removal Systems by Natural  
Convection for LMFBRs -- H. Hoffman, D. Weinberg, I. Ishihara, K. Marten, H.  
Tschoeke, H. H. Frey, K. Dres, R. Lauer
- 11.7 Feasibility Study of Primary Sodium-Heated Steam Generator -- H. Nakagawa,

N. Kanegae, T. Tsuchiya, K. Mori, H. Tsuda, K. Hamada, S. Midoriyama

11.8 Passive Safety Testing at the Fast Flux Test Facility -- D. M. Lucoff

## SESSION 12

### REACTOR PLANT DESIGN ASPECTS (プラント設計関係)

(Poster Session)

- 12.1 SAFR Passive Decay Heat Removal Features -- R. Z. Litwin, A. V. von Arx, C. B. Martin
- 12.2 Status of Optimisation of the Decay Heat Removal System of the SNR 2 -- W. Rossbach, D. Broadley, L. Cinotti, F. Hofmann
- 12.3 Decay Heat Removal of Super-Phenix -- Experience Gained on Sodium-Air Exchangers During Startup Tests -- P. Debergh, C. Oberlin, A. Suescun, R. Dupraz
- 12.4 Development for Intermediate Heat Exchangers in an Advanced Pool-Type LMFBR -- F. Namekawa, S. Ninomiya, H. Nei, S. Maruyama, I. Taguchi, K. Kawamura, T. Fukada
- 12.5 PRISM Intermediate Heat Exchanger Design -- S. M. Cho, B. C. Ezra, R. H. Johnson, A. H. Seltzer
- 12.6 Advanced Concepts on Intermediate Heat Exchanger System and Basic Experiments -- K. Miyazaki, A. Iwasaki, Y. Manabe, N. Yamaoka, S. Inoue
- 12.7 The Creys-Malville Plant Steam Generators -- T. Zuber, F. Forestier
- 12.8 Benefits of Performance - Enhancement Inserts in LMR Steam Generators -- W. Veljovich, M. Gabler, K. Kim
- 12.9 Analysis and NaK Experiment on Electromagnetic Flow Coupler -- K. Miyazaki, T. Horiba, S. Inoue, N. Yamaoka, K. Yokomizo, T. Sano, M. Terada, T. Kiyokawa
- 12.10 Studies on Applicability of Flow Coupler to LMFBR Plant -- S. Hattori, T. Akimoto, T. Takuma, Y. Sagayama, K. Nemoto, K. Yoshida, T. Kiyokawa, M. Terada, E. Wachi, T. Sano, T. Takagi, H. Araki

- 12.11 Annular Flow Coupler-Incorporated Double Pool Reactor Approach: Compact Sodium Cooled Reactor Module of 150 MWe -- S. Hattori, Y. Yoshinari, N. Nakao, Y. Shibata, T. Ikeda
- 12.12 The Interest of Using EMP's as Main Pumps for the Secondary Systems in the Breeder Reactors -- J. Rapin
- 12.13 Design of an Inducer Pump for SAFR -- C. Dunn, M. J. Gabler
- 12.14 Design of LMR Elevated Temperature Non-Nuclear Piping - Structural Design Criteria Selection -- K. R. Jaquay
- 12.15 Monitoring of Structural Integrity in CDFR -- G. Seed, C. H. Mitchell
- 12.16 Monitoring of Filling of Secondary Cold Traps in Phenix and Superphenix 1 -- C. Latge, F. Perret, J. Guinez, Y. Cadoret
- 12.17 Improvement of the Leak Detection on Large Sodium Piping Systems -- D. Antonakas, A. Ardellier, R. Blanc, C. Casselman, J. C. Malet
- 12.18 Integrated Leak Rate Test of the FFTF Containment Vessel -- M. L. Grygiel, R. H. Davis, D. L. Polzin, W. D. Yule
- 12.19 Radionuclides in Fast Breeder Reactors -- H. Feuerstein
- 12.20 Radiological Operating Experience at FFTF -- W. L. Bunch, P. R. Prevo
- 12.21 Heat Transport System Cell Dose Rates -- W. L. Bunch, W. F. Brehm, H. P. Maffei, W. P. Stinson

### SESSION 13

#### ADVANCED DESIGNS (先進的設計)

Co-Chair: D. E. Simpson (USA)

J. Villeneuve (France)

- 13.1 Design of PRISM, An Inherently Safe, Economic, and Testable Liquid Metal Fast Breeder Reactor Plant -- R. C. Berglund, F. E. Tippetts, L. N. Salerno, P. R. Pluta, G. W. May, R. Nilson
- 13.2 The Sodium Advanced Fast Reactor -- R. D. Oldenkamp, E. Guenther, S. Golan

- 13.3 Development of Pool Type Reactor Concept -Short and Medium Term Proposals  
-- G. Arnaud, M. Aubert, G. Arene, J. Lefevre
- 13.4 LMFBR Ultra Long Life Cores -- J. E. Schmidt, R. A. Doncals, C. A. Porter,  
S. V. Andre, L. M. Gundy
- 13.5 Westinghouse-MHI Innovative Pool-Type FBR: Designed to Meet the Economics of  
Today -- J. Mangus, G. Brown, J. Livingstone, R. Lowrie, J. Sharbaugh, R. Tupper,  
K. Hida, Y. Mimura, I. Minatsuki, K. Nakamura, K. Koyama
- 13.6 Approach to an Economical Core Design for Commercial LMFBRs -- T. Inagaki,  
H. Kuga, K. Kaneto, M. Ohashi, K. Kurihara
- 13.7 Advanced Core Concept APC Aiming at High Discharge Burnup of 150 to 200  
MWd/Kg -- T. Inagaki, H. Kuga, M. Suzuki, T. Yokoyama, Y. Kumaoka, M. Yamaoka

#### SESSION 14

##### OPERATING EXPERIENCE II (運転経験II)

Co-Chair: A. M. Broomfield (U. K.)

A. Van t' Hoft (The Netherlands)

- 14.1 Five Years Operating Experience at the Fast Flux Test Facility -- R. J.  
Baumhardt, R. A. Bechtold
- 14.2 Assessment of the Availability and Viability of the French PHENIX Fast  
Breeder After 12 Years' Operation -- J. Guidez, J. A. Jolly
- 14.3 Phenix- Fuel Management to be Used in Order to Reach High Burnup Values --  
P. Coulon, J. C. Moroni, P. Courcon
- 14.4 An Assessment of Fuel Cladding Failure Experience at PFR -- C. V. Gregory, T.  
A. Lennox, E. A. Trevillon
- 14.5 Experiment Event Identification Experience in PPTF -- J. A. Rawlins, D. W.  
Wootan, R. E. Schenter, F. Schmittroth, M. W. Goheen, F. E. Holt, R. A. Bechtold,  
W. L. Bunch
- 14.6 U. K. Steam Generator Design Studies -- O. Hayden



14.7 The Future Steam Generators -- T. Zuber, F. Forestier, S. Valentini, M. Torresi

SESSION 15

BREEDERS FUTURE (増殖炉の将来)

(All Invited)

Co-Chair: E. A. Evans (USA)

A. Brandstetter (Germany)

15.1 LMFBR's and the Role of IAEA -- N. L. Char, R. E. Pontier, V. Arkhipov

15.2 Considerations Concerning the Future of FBR's in Europe -- R. Carles,  
D. A. Davis, A. W. Eitz, F. Velona

15.3 Fast Breeder Reactors for Energy Security -- W. M. Jacobi

15.4 Perspective on LMFBR Development in Japan -- T. Itakura, S. Sawai

15.5 Advanced Fast Reactors for Nuclear Power of the Nearest Future -- L. A.  
Kochetkov, A. A. Rineisky

## 2. 3 セッション別概要

### 開会あいさつ

セッション1（総会）の開始に先立って、主催者側（ANS, ENS）のあいさつがあり、地元を代表して、E. A. Evans(米)から歓迎のことばがあった。

主催者側（ENS）を代表して、G. Vendryes(仏)はおおむね次のような開会演説を行った：

- (1) 世界的にエネルギー情勢が緩和基調で推移し、核分裂エネルギー（原子力発電）の必要性が低下して、ウラン資源需給が緩和しているため、天然ウランの有効利用を目的とするFBRへの関心が低下している。
- (2) 米国のエネルギー省はもはやLMFBRについて語ろうとせず、公衆対策として増殖性との関係をあいまいにしたまま、LMRを取り上げるようになっている。
- (3) このような状況の下で、FBRについて大規模な国際会議を開くことに対して、どういふつもりなんだと驚く人も多いただろう。
- (4) しかし、世界のエネルギー需要及び消費の成長が続くことは不可避であり、これを満たすために、人類は他のエネルギー源とともに、いずれウランの核分裂エネルギーを再び積極的に利用するようになるであろう。かくして、原子力発電が再びしかるべき地位を占めるようになれば、必然的にFBRへの関心が高まってくると信じる。
- (5) 40年間に及ぶ長期的なFBR開発の成果は、Super phenixのEVSTにおけるナトリウム漏洩などの小さな失敗を除けば、非常にすぐれたものである。
- (6) FBRの経済性について、技術の発展の可能性を考慮せずに単純な比較をして結論を出すのは間違っている。FBRの資本費は近い将来にはまだLWRをいくらか上回るようになるだろうが、その差は燃料サイクルコストが低いことによって、十分埋め合わせることができよう。
- (7) FBR実用化時期は10年前に考えられていた時期よりも先へ延びているが、我々にはこの遅れを活かして、FBRを忍耐づよく、着実に改良していかなければならない。この努力は、経済性の追求のみならず、FBRに特有の安全上の好ましい特長をさらに活用することにも向けるべきである。

- (8) このような努力は研究開発だけでは達成できず、実プラントの建設によって直接的な経験を得る必要がある。この建設間隔を余り長くすると、現在得ている知識とノウハウという財産が不毛なものになるであろう。
- (9) 原子力発電の将来性一般に対して、また特にFBRの将来性に対して全面的な信頼を表明して、あいさつを終える。

#### セッション1 増殖炉計画

オープニングの総会（プレナリー・セッション）として、主要国の増殖炉計画について、総括的な報告がなされた。すべて招待講演である。アメリカ、ヨーロッパ、日本、ソ連の順に報告がなされ、当初予定されていたインドの報告は取止めとなった。独自に炭化物燃料の路線を進めているインドの不参加には一部で失望の声も聞かれた。

今回の会議の基調テーマは、増殖炉に関する「これまでの経験ならびに経済的発電への道」であるが、会議の主催国であるアメリカとヨーロッパの開発計画はそれぞれに転機を迎えているように思われる。

アメリカでは依然として軽水炉の建設が滞っており、増殖炉へのニーズはかなり先のものとの認識が一般である。当面は増殖率を問わない液体金属炉（LMR）に焦点をしばり、燃料サイクルコストの観点から金属燃料をリファレンスとするなどのDOE方針が示されている。また、4年前にCRBRの建設を中止した経緯があり、原型炉というステップを踏まずに実用炉に至るパスが模索され、モジュラー型LMR路線が採用されつつある。

1988年にリファレンスとするプラント概念を選定し、設計をつめて、1993年に実証試験に着手する計画が立てられている。

一方、ヨーロッパでは、フランスが既にSPX-1を運転中であるが、この経験にもとずいた軽水炉との経済性比較は、増殖炉にとって必ずしも有利なものとはいえない。

プラントの経済性を高める方向で、開発目標の見直しがせまられるとともに、開発費の有効活用をはかるため、R&Dに関する協力体制を早期に確立する努力が進められている。

1984年の政府間協定の一本化に始まって、民間協定の一本化も進められつつある。各国のR&Dを調整するためのAGT（ワーキンググループ）が組織され、次期ターゲットプラントを共通化するための調整が進行中である。

日本の現状については、動燃 沢井理事より発表された。動燃の設立によりスタートした日本の増殖炉の開発は、10年を超える実験炉常陽の運転経験を経て、原型炉もんじゅの設計ならびに建設が順調に進んでいること。これらの開発を支える多くのR & Dが大洗工学センターを中心に成功裏に進められて来たこと。R & Dの進捗に当っては、国際協力が重要な役割を果たして来たことなどが強調された。実証炉については、日本が明確なアクションプログラムを有していること。原電を中心にして、国内の開発体制が整備されつつあることなどが各国の注目を集めた。

ソ連の増殖炉の現状は、ループ型の原型炉であるBN-350とタンク型の原型炉であるBN-600の両方の建設、運転経験を経ていよいよ実証炉の段階に達している。次期プラントとしてはタンク型のBN-800が採用され、その設計も最終段階にある。BN-800の基本仕様（プラント出力、炉型、増殖率など）の選定に当っては国内でかなりの議論があった模様であるが、最終的にはBN-600をベースに経済性、安定性を一層追求したとするプラント概念が採用されている。

## セッション2 運転経験I

本セッションは第1日目の午後に、午前の総会に引き続いて、ポスターセッションを含めた3つのセッションが平行して進められたものの1つである。ヨーロッパ、米国及び日本で運転中のFBRの運転経験全般について総括的な報告と、FFTFとPFRにおける燃料開発、Super Phenixの炉物理特性に関する報告がおこなわれた。

連続運転経験全般について報告されたのは、仏のPhenix、英のPFR、独のKNK-II、米国のEBR-II、FFTF及び日本の常陽である。全体として、これらの運転特性は良好で、Phenixのここ13年間のload factorは60.3%、EBR-IIはここ11年の年平均capacity factorは70%を越えている。FFTFの運転稼働率も高く、米国のこの2つのFBRの運転経験から、LMRは80%を越える稼働率が達成可能であることを示している。

しかしながら、Super PhenixとSNR-300の初期トラブルや、各実験炉の機器のNaリークや振動、燃料破損など、数多くのトラブルを経験していることが、報告された。

燃料破損はPhenix、PFR、KNK-II及びFFTFともかなりの数を経験している。Phenixは11本、PFRは12本、KNK-IIは4本破損している。FFTFも何本かの破損が

あったが、いずれもDN法で検出でき、またタグ法が有効であった。KNK-IIでは燃料破損が検出された後も、炉の運転が続けられた。常陽は、現在までのところ燃料破損は起こっていない。

崩壊熱の自然循環による除熱試験は各炉とも重要な試験結果として報告した。PFRでは、ポンプ停止時に、強制循環から自然循環にスムーズに移行することを確認している。Phenixでも定格運転に入る前に試験をおこなっているが、1982～3年に特別な燃料アセンブリを使って詳細な試験を再度おこなっている。KNK-IIでも同様な試験をおこなっていて、自然循環除熱の有効性を報告した。常陽も自然循環試験をおこなっている。

原子炉容器の上部のNa蒸着の経験もいくつか報告された。PFRでは、中性子吸収体のマグネットにNa蒸着がおこり、棒の落下が起ることがあった。Phenix制御棒駆動機構の上部にNa蒸着がおこり、制御棒の落下が起こった。これはアルゴンガスの流れが原因していた。Super Phenixでは、大回転プラグのまわりにNa蒸着がおこったため、断熱材を追加して解決している。常陽でも回転プラグのまわりにNa蒸着が起り、その対策の報告があった。SNR-300でも回転プラグや制御棒のガイド管にNa蒸着があり、トラブルの原因となった。

Naの漏洩事故も数多く報告された。Phenixでは中間熱交換器の2次系のNa漏洩があり、すべての熱交換器を修理した。最近では1982年に再熱器にNaリークがあり、1984年には再びIH XでNa漏洩が起こった。又、1986年には主配管でもNaが漏洩した。

Super PhenixのEVSTからのNa漏洩については、かなりくわしい報告があった。漏洩箇所は、タンクの底から約3mのところであった。現在修理方法を検討しているところである。

SNR-300では、NaストレージタンクからNa漏洩が起った。その他のNaタンク、合計10基すべてに同様なクラックが発見された。場所が悪く修理は困難を極めた。原因はサビから発生した水素と溶接部の残留応力と考えられた。

変わったトラブルでは、ガスのまきこみがあげられる。KNK-IIの炉心では、カバーガスからのガスバブルが炉心に入り、炉がスクラムしたことがある。Super Phenixでは、炉容器壁冷却用のNaがせきから落下するところで、ガスをNa中にまきこみ、超音波法によるNa透視装置の信号に影響を与えた。

ポンプについては、FFTFで運転初期に交換している。Phenixでも今年2次系のポンプの振動が大きくなって交換している。常陽のポンプも、カバーガス中でのガスの自然対流を

防止するためNaのオーバーホール、改修をおこなっている。

SGについては、PFRの数多くの水リーク事故をはじめ、最もやっかいなトラブルであるとの報告が各国から出された。PFRでは今年の2月もリークが起ったが、今回はかなりの大リークであり、ラプチャ板が破裂し、Naの放出が起った。Phenixでは、1982年から1983年にかけて、4回同じ様なNa-水反応事故が、SGで発生した。KNK-IIでは小さな水リーク事故がスペーサ附近の溶接部で起ったが、大きな問題にはならなかった。EBR-IIは2重管型SGであるが一度も水漏洩事故を起していない。ただ、Super heaterで、二重管の間のギャップコンダクタンスの変化を一度経験し、修理をおこなった。

FFTFでは燃料ダクトを、スエリングの小さい改良オーステナイトステンレス鋼(D9)、さらには全くスエリングの起らないフェライト/マルテンサイト合金(HT9)の照射試験をおこなっている。

PFRでも、燃焼度をあげるための開発計画が進んでいる。このため、燃料ピンの径を変えること、被覆管の材質を変えることなどをおこない照射を進めている。

Super Phenixでは、運転開始時に炉心特性をつかまえるために数多くの特性試験をおこなった。核特性だけでなく、熱流動特性を調べるため、例えば、1,000点を超す熱電対で温度計測がおこなわれた。これらの結果は予測と極めてよい一致を示した。

将来計画として、FFTFではSGをつけることを考えている。来年には決定される。とりつけるまで4年はかかる。SGは常陽でもとりつけることを検討している。これに対しては、いずれも具体的な内容に関しての質問が出され、関心の強さが示された。

### セッション3 許認可、安全性及び基準類

本セッションの論文8件(内、発表7件。論文3.3は発表予定者がSNR-300の許認可関連の業務により出席できず、発表なし。)は、次のように分類される。

	分 類	該 当 論 文 番 号
A	高温構造設計を中心とする基準類に関するもの	3.1, 3.2, 3.7, 3.8
B	安全性と許認可に関するもの	3.3, 3.4, 3.5
C	機器の信頼性に関するもの	3.6

#### A. 高温構造設計を中心とする基準類について

論文3.1（発表者：仏CEA R. L. Roche）は、従来西欧5ヶ国（仏、英、独、伊、E C）がそれぞれの原子炉規制の枠組の中でFBRの技術基準類を定めて来たが、5ヶ国のFBR協力基本協定ができたので、これからは西欧共通基準の策定に向うとしている。参加各国のメーカ、電力、規制当局共に総論として賛成であり、基準策定のための研究開発計画については、分担の考え方ができつつあるとのこと。基準策定に当っては仏のRCC-MRが指導的な役割を果たす（たたき台となる）であろう；西欧のメーカ（AN-SALDO, INTERATOM, NNC及びNOVATOM）の間ではRCC-MRの修正及び補足を目的とする委員会が発足したとのこと。

なお、発表者 Rocheは西欧のFBR規格基準W/Gの議長を務めている。RCC-MRはAFCEA（仏の原子力規格協会というべきか）が1985年に初版を刊行した。RCC-MRが軽水炉に対するASME Sec. IIIに該当するものであり、RCC-MRはそのFBR版であるが、RCC-MRは non-mandatoryである。

論文3.2では、FBRの高温構造設計指針に関して、PNCが原型炉「もんじゅ」の建設のためにPNC設計指針を策定し、規制当局の審査を経て1984年に発表したこと。これは、ASMEのCode Case N-47に基づいているが、それが概念規定に止めている規則に対して研究開発の成果に基づいて具体的指針を与え、弾性解析による設計の適用範囲を拡げていることが示された。また、本年からは、実証炉1号の設計の主体であるJAPCを中心にPNC、CRIEPI及びメーカの緊密な協力の下に実証炉1号の高温構造設計指針を検討するW/Gが発足しており、高温容器の座屈、進行性変形、クリープ疲労の防止など溶接継手の強度評価をkey issuesとして、PNC設計指針を基盤とするFBR高温構造設計指針の高度比の取組みが始まったことが紹介された。

非弾性解析による設計方法の開発と炉型（プール型）との結びつきについて、関心が寄せられ（西独、K. Vinzens）、非弾性解析技術の開発は炉型と無関係であるが、一般に原子炉容器が大きくなる程、非弾性解析による設計の必要性が大きくなる傾向にある旨が述べられた。

論文3.8（発表者；米DOE B. Wei）は、CRBRPの建設中止により当面FBRプロジェクトを失った米国が、1970年以降のFFTF、CRBRPの建設におけるFBR高

温構造設計の経験を集大成するために、DOEの助成の下にWRCのPVRC高温設計小委員会で行った約2年間の作業の概要を紹介したものである。

この作業には西欧が参加、協力している。日本は積極的に参加はしなかったが、PVRCの小委員会には加わっており、別途報告書（ドラフト）を入手している。当然のことながら内容的に新しいことはないが、総集編としてよくとりまとめている。

本論文のFigure 1は「解析による設計」に対する米国の考え方をよく表わしている。

論文3.7（発表者；西独INTERATOM K. Vinzens）は、運転状態IVに属するような発生頻度の低い動的荷重に対して、FBRのナトリウム配管の健全性を示すために、応力対強度評価に替えて、ひずみ評価手法を用いることを紹介したトピカルなものである。

本件は、SNR-300の許認可にからんで生じた課題であり、SGにおける水漏洩事故時の2次系配管の動的荷重（SGが無液面型のため荷重が厳しい。）に対する健全性に主たる関心があると見られる。SNR-300の配管構造設計に関しては従来から米国のWH Hanfordが協力しており、本件も両者が実験研究を行っている。繰返し荷重による進行性変形（Ratcheting）により、ひずみが増大する実験結果が注目される。

## B. 安全性と許認可

安全性と許認可に関してはSNR-300の例と米国のSAFR、PRISMでの動きについて報告があった。

SNR-300については、論文によれば、これまでいくつかの問題はあったものの現場作業の許認可については順調に進んで来て、非原子力のコミッショニングは1987年の初めまでにはほぼ完了した。しかし、1986年半ば頃から許認可当局は政治的動機から厳しい態度を取始め、沢山の基本事項に関わる疑問を提して来たと報告。今ここに至って何でという気持が強く表われており、連邦政府の原子力行政から何とか解決の糸口を見つけ出したいとの希望であったが、事が政治的動機から出たものだけに楽観は出来ないとしている。

米国のSAFRとPRISMについては、いずれも炉の固有の安全性により運転員の操作、外部エネルギー供給なしにスクラムなしのDBAに対し対応出来る特性を付与することにより許認可を得やすくしようとしているもので、1号機の許認可取得と同時に許認可スケジュールの不確定さを除くために“設計の証明”（Design Certification）を得てその



後のプラントの許認可をサイトデペンデントなものだけに限定しようと図っている。

S A F Rについては、N R Cとの公式な許認可活動とそれに先立つ非公式な接触の2つの活動に分け、既に非公式接触は昨年からはじめており、S A F Rの概念設計そのもの及び安全上の重要問題点を識別することによりS A F R用の許認可指針を作るのに大変有効だったとしている。

P R I S Mでは“設計の証明”のためにG Eとして10CFR50 に新しいAppendixを追加することを提案している由。G EとしてはP R I S M 1号機をライセンスなしでD O Eのサイトに原型試験炉として建設することを希望しているようである。

#### C. 機器の信頼性について

D O EとP N CがスポンサーになっているO R N LにあるC R E D Oの紹介があった。これは1979年から米国でF F T FとE B R - IIのデータを集め始めていたものにP N Cが1985年から参加したものであるが、C R E D OはL M R機器データの世界最大の宝庫であり、E T E C、W社A E S D、P N C大洗といった実験施設を始めとしてE B R - II、F F T F、J O Y Oの 21000台の機器と約1300件の事故の情報が含まれている。また、機器運転総時間は控え目に見ても約35億時間に達している。

C R E D Oは新型炉の機器の信頼度、稼働率、保修率データベースの一大センターであると同時にデータ分析センターであり、分析の一例として、信頼性にクリティカルな機器を信頼性の序列をつけてリスト化したものが紹介された。

#### セッション4 経済的設計のための先進的概念

F B Rの経済的設計のための進歩的概念について種々のプラント全般に関して25件の発表があった。

本国際会議の全発表に占める日本の割合が約20%（日本約30件/計約 150件）であったのに対して本セッションでは日本が約50%（12件/25件）を占めており、日本における高経済性F B R概念の評価研究が積極的に行なわれていることを示している。

米国ではモジュラータイプのF B RプラントであるP R I S M、S A F Rに関する発表が主要で他にF F T Fの経験、改良等の発表があった。

欧州の発表は3件であったが他の同様なセッション（8, 9セッション等）で約20件もの発表があり欧州でもFBRの改良高性能化について、SPX1, SPX2を中心に検討が進められている。

以下に各論文（論文番号で示す。）の要約を示す。

- 4.1 F T Fの最近の数年間のプラント性能検出についての進展について報告。早期警報システムは種々の測定値に基づき、運転及び安全に関する管理上の決定をサポートする機能を有する。また、プラント主要性能、運転、メンテナンス等の性能表示機能とフォーマット化されたレポート作成機能を有する。（発表；WH, Hanford）
- 4.2 プラント効率の向上、エネルギー交換システム設計の単純化、及びNa-水反応の可能性の低減を目的として、LMRにおいてMHD Iエネルギー変換の技術が検討され、有効であるとの見通しが得られた。（発表；AEC I, Ben-Gurion Univ Israel）
- 4.3 2次系を1次Naを内包する1つのタンク内に収めた革新的ハイブリッドタイプのLMR設計が報告され、プール型炉やループ型炉と比較して大きなコスト低減効果を有することが示された。（発表；SWEC（米））
- 4.4 SAFRプラントの建設上の特徴について報告。小型原子炉ユニットを組み合わせる方式とし工場生産を取り入れることが最大の特徴。（発表；ベクテル社）
- 4.5 SAFRの原子炉内各種構成要素の製作法及び据付けについて紹介。原子炉構成要素の工場生産期間は約3年弱でサイトでの組み立て期間は約1年である。（発表；CE社）
- 4.6 PRISMのプラント設計全般について報告。モジュール別工場生産の活用、免震法の採用。炉停止後の除熱法、二重管SGと腎臓型IHXを用いた熱輸送システムについて紹介、またReactor Buildingのモジュール区分について説明し建設法について説明。（発表；GE社）
- 4.7 複数のモジュールを有するPRISMの制御法について報告。PRISMは複数のパワーユニットを有するため、プラント全体の出力変更のための運転制御についてそのシステムを発表した。さらに制御のシミュレーション解析結果について説明した。（発表；GE社）
- 4.8 RNR1500におけるメインベッセル外側のコンクリートに固定された安全ベッセルについて報告。設計の単純化とコスト低減を目的として、炉容器とその冷却系の改良が検

討されている。(発表; EDF (仏))

- 4.9 MHI-WHのプールタイプ実証炉について報告。分割型UCS, 階段状ベースマツト, 外気導入, 空調非安全系化等により, 建設費を軽水炉の1.5倍にできるとしている。モデルを用いて解説し, 炉壁冷却, N<sub>2</sub>チェイス等に質問多数。(発表; 三菱重工; WH)
- 4.10 1000MWeのループタイプ実証炉について報告。トップエントリ, 分割型UCSを含む新型燃料交換機構を中心にコスト低減について解説。1/50模型を用いて説明。(発表; 原電, 三菱重工)
- 4.11 ループ型プラントコスト低減のためのトップエントリシステムの確認試験について報告。熱流動, 振動耐震の観点から試験を行ないその成立性を確認した。(発表; 原電, 三菱重工)
- 4.12 FBRのコスト低下法として2次系削除のためのSG概念について報告。SG概念, Na-水反応検出法について発表があった。検出法について質問, コメントが多数。(発表; 電中研, 三菱重工, MAPI)
- 4.13 FBRの実用化のための方策について報告。1200MWe出力の実用炉を対象に出口温度550℃, 燃料の高燃焼度化等により将来のコスト低減化の概念について説明。(発表; 三菱重工, MAPI)
- 4.14 革新技術を用いてコンパクト化を計る。1000MWeタンク型炉について報告。3次元免震, CRD共用型燃交機, 金属水素化物遮蔽体によりタンク, 原子炉建物のコンパクト化を実施。炉容器径を約14mにできている点に関し質問多数。(発表; 原電, 日立)
- 4.15 800MWe規模高経済性プラントについて報告。電力需要の成長度合いに広く対応するための中容量プラントについて経済性向上として2ループのタンク型炉を提案。質問多数(発表; 東芝)
- 4.16 ルーフスラブを鋼製のセル型構造にし, 上下移動型の炉心部構造の採用により, ダブルタンク型炉の2次容器径を1000MWe級で20mとすることができた。(発表; 電中研, 東芝)
- 4.17 炉容器の熱遮蔽構造に関して, 下記の2つのタイプを考え, 実験と解析によって比較検討した。熱遮蔽構造はガスダム構造とパイプ充填ボックス構造であり, 両者の基本特

性を把握した。(発表; 電中研, 東芝, 三菱)

- 4.18 免震大型ダブルプール型炉における原子炉構造及び原子炉ビルディング配置検討について報告。本構造ではベッセルのうす肉化, 合理化した炉上部機構等により重量を大幅に低減できる。この結果原子炉ビルも大幅にコンパクト化できる。(発表; 電中研, 日立, E P R I)
- 4.19 免震大型ダブルプール型炉におけるNa-水反応について報告。ダブルプール型炉ではNa-水反応が従来炉に比較し大幅に緩和されることを説明。初期スパイク圧は従来炉の1/7 ~ 1/4, 準定常圧は1/5から1/3である。(発表; 電中研, 日立, M A P I, E P R I)
- 4.20 F F T Fの1979年から1986年までの燃料取扱い経験について報告。F F T Fでは1979年11月の初装荷燃料装荷から1986年までに9サイクルを経ており, その間の下部出し入れ輸送キャスク, 中間燃料貯蔵設備, 閉ループベッセル外部移動設備等についての経験及び問題点について報告。(発表; W H Hanford)
- 4.21 S A F Rの燃料取扱いについて報告。燃料取扱いは安全性, 経済性, 操作の容易性等から検討されている。またS A F Rでは使用済燃料を1年間炉内貯蔵するため, その発熱は少ない。(発表; R I社)
- 4.22 燃料取扱い設備の高性能化について報告。プラントコスト低減の面から燃料取扱い設備について検討。特に使用済燃料の貯蔵から移送までについては種々の概念について比較検討を実施。欧州からの細部質問多数。(発表; 原電, 川崎重工)
- 4.23 スーパーフェニックス1の燃料取扱設備とスーパーフェニックス2における改良について報告。上記改良は設備の単純化と取扱速度の増大, 及び自動シーケンスの最適化で取扱時間は約60%に低減できる。(発表; Electricite De France)
- 4.24 仏におけるF B Rの燃料サイクルについて燃料製造, 運転, 再処理まで全体について報告。2010年までの再処理設備のオプション検討について説明。(なお本発表は論文のみでポスター掲示及び説明はなし。)(発表: C. E. A. COGEMA(仏))
- 4.25 P R I S Mの燃料サイクルについて報告。P R I S Mは金属燃料, 酸化物, 燃料両者の適用が可能であり, 燃料サイクルについても両者について検討を実施した。またそれぞれの再処理コストについて評価した。(発表; G E社)

## セッション5 燃料サイクルI

高速炉の経済性を論じる上では発電プラントの建設費あるいは運転、保守費の低減はもとより、高速炉燃料の製造、再処理等の燃料サイクルコストの低減についても同時に検討し、その経済性を追求することが重要であることはいうまでもない。

そのため、今回の会議では、全体の15セッションのうちセッション5及び7の2セッションが燃料サイクルにあてられ、経済性に焦点をあてて各国、各機関の燃料サイクル開発の動向を将来展望も含め報告され討議が行なわれた。

セッション5では、各国の燃料サイクルの活動状況、将来の開発計画等について7件の総合的報告がされた。

最初にカールスルーエの Hennies氏から金属燃料とその再処理にも言及しながら、これまでの燃料サイクルをレビューする基調報告が行なわれた。この中でヨーロッパFBR運営委員会は従来からのMOX燃料及びPurex法再処理の路線を変更することはないと確認したと明言され、一方で米国が金属燃料に目を向けているのと対象的な動きを示し印象的であった。

CEAからヨーロッパにおける燃料製造及び再処理に関する施設仕様、運転実績、R&D計画等の報告がされた。燃料製造施設に関しては、現状の製造能力にて今世紀中は、ヨーロッパのFBRプラント用燃料は十分まかなえると判断されている。再処理プロセスについては英国、西独、フランスにて従来プロセスの簡素化、あるいは廃棄物発生量の低減化を目指したR&Dが積極的に進められているようである。この報告に対して、再処理コスト低減のR&Dが強力に進められているがどの程度の効果が期待できるのかとの質問もあったが特に明解な回答は用意されていなかった。

PNCからはMOX燃料製造施設、プルトニウム転換施設等の概要とその運転実績の報告、更にはFBR燃料サイクルの開発状況やホットで工学試験のできる施設の計画概要が報告された。

米国の現状についてはEPR Iからの報告があった。米国では発電プラント自体の開発計画は大きく停滞しているものの、燃料サイクル部門に関しては、この3年間で大きな変化をみせ、主流である酸化物燃料と併行して金属燃料及びその再処理、あるいは長寿命燃料の研

究が進められている。FBR燃料に関する課題としては運転開始時の燃料を濃縮ウランにするか、あるいはプルトニウムにするか、酸化物か金属か、燃料再処理はオンサイトか遠隔設置か、あるいは時期をずらしての処理とするか等の選択があり、軽水炉燃料コストと競争できるものとするを目標として各種研究が進められている。しかし、米国には現在FBR燃料再処理の実証炉プラントに関する建設計画はなく、これなしでは実際の燃料コスト、安全性等の評価が難しいとの訴えもきこえ、現在の米国のFBR開発の苦悩が示された。国際協力面では、米国は、日本、英国、西独との間で関係があるが、特に日本に対してDOE-PNC間の協力をベースに期待するところ大のようであった。どの様な体制で開発を進めるのか、開発資金は十分かとの質問があったが、EPRIとしては電力が主体で進めるのがよいと思うが米国の電力会社は数が多くまだ具体的に話し合った事はない、又資金も少ないとの不満が示された。西独カールスルーエからは、FBR再処理に関するR&DとしてPurex法を改良し経済性と安全性を追求したプロセス開発をしていること、また廃棄物処理では軽水炉技術をそのまま単純にFBRに適用するのは廃棄物組成が異なるため難しく、FBRに適合した新プロセスの開発を進めているとの報告があった。国際協力の面では、現在原子炉側で実行されている様なヨーロッパ内協力を燃料サイクルでも行うべしとしているが、来世紀のはじめ頃に予定される商用規模の燃料サイクルに向けて共同のR&Dをできるだけ早くスタートすることが必要であるとしている。

フランスCEAからはマルクールパイロットプラントの増強を図った新たなFBR再処理施設の概要及び運転実績の紹介があった。

1962年にスタートアップしたパイロットプラントではラプソディー、KNK-1の燃料を、また1978年からはフェニックス燃料の再処理をしたが、1977年にこの増強計画が承認され、本年度夏に新プラントとして運転が再開された。報告は、この新プラントの各ユニット写真を用いて行なわれたが、これらは最新情報につき予稿集には載せられていない。報告内容は技術的な話題に限られ、本セッションのテーマであるフランスの開発展望は言及されなかった。

## セッション6 建設経験

本セッションは各国の運転中若しくは建設中のプラントを中心に、その設計から建設への

過程で得られた経験についての発表が行われた。

筆頭は仏、SPX-1の建設経験に関するNOVATOMEの発表であり、先ず設計段階で配慮した点の発表があり、これらが構造設計基準に反映された(RCC-MR)。建設の過程で得られた経験としては、SPX-1のプロジェクトがヨーロッパ10ヶ国に亘る大プロジェクトであること、単品の発注先は各国の数多くのメーカーに亘るため、その調整が一大事であった点が強調された。そのため、異なった言語、規格・標準の統一が必至となり、人々は先ずフランス語を話すことからスタートしたという。常々国際協力上言語の障壁に悩む我々にとってもうなずける話である。各国、各メーカーは最大限の努力を払い、スペックと製品の相違など、いくつか生じた問題点も協議により解決し、合意の上で進められた等多国間プロジェクトの苦勞と成功を謳っていた。従って、予定工期よりの若干の遅れはあったが、設計から仕様決定の期間(1971~1977)、製作・建設(1978~1984)、臨界(1985.9.7)、定格(1986.12.9)の工程を振り返ると、従来プラントから見ても十分早いといえる。Q&Aでこの遅延がコストアップ要因になったのではという問いに対し、各国間の調整に要した遅れであり、コストアップとは関係ない旨の回答があった。最後にEVS Tドラムの漏洩(1987.6.26~)に触れ、現在漏洩箇所を発見し、補修中であるとのこと。

次いで西独INTERATOMより、SNR-300の建設経験の発表が行われた。SNR-300は建設を1985年に終了し、1986年以来燃料受入れ態勢を整えているが、未だに実行できないのは連邦政府の許認可が滞っているのではなく、Local Licence Authorityによる審査のためである旨強調し、PAの難しさを改めて認識させた。同審査では、HCDA対策(コアキャッチャ鋼製格納施設)、ISI、自然循環などプラントの安全思想に立ち返った議論を繰返すこととなった不満を表明していた。その他、建設時のトピックスとして、ダンプタンクの漏洩とその補修(水素脆化割れ)、Na固着の問題、コミッショニング試験時のDHR系の温度測定など、いくつかのトラブルとその解決により貴重な経験を得た。とにもかくにもLocal Licence Authorityの質問に答えるために、工事の遅れのみならず、多額の資金を要しているとのことであった。

ソ連のBN-600はBN-350の建設経験を踏まえ、1967年よりベロヤルスク・サイトでの建設が開始された。1979年にはNaを充填し、Physical Testを終え、1980年には伝熱流動試験、機械系試験を実施し、同年9月には80%運転を行い、1981年12月に定格運転に達している。建

設時、特に注意を払った点の一つとして、原子炉構造据付時の機器間の温度差（ダイヤグリッド、IHX、炉心支持構造物、主容器）があり、熱電対やストレイン・ゲージで計測しながら190℃に昇温させたとのこと。定格運転到達以降順調に運転しており、ここ数年の稼働率は72～74%にも達している。BN-600のSGは小型モジュールを多数基設置している故か事故の話は特にはなく、また、チェルノブイリ発電所との関連も言及されなかった。BN-600の発電単価は熱中性子炉の2.5倍以上の発電単価となっているが、このためFBRを断念するのではなく、今後経済性向上を図れるものと考えているようである。

日本よりは、福井県白木地区に建設中の原型炉もんじゅの発表があった。本発表は建設中のサイト、機器の施工状況などをタイムリーに紹介したもので、新鮮な印象を与えた。現在、CVの施工を完了しており、その溶接線長は10kmに及び、半分をサイトで溶接したとのこと。工事はon scheduleで進捗しており、今後主要な機器の据付、建物工事等を鋭意進めて行き、臨界は1992年に予定している。Co-Chairman (Kochetkov) よりCVの設計条件について質問があり、発表者から論文に記述の通り回答があったが、十分理解できてないようであった。

イタリーはSPX-1への参加などはよく知られているが、自国のプラントは忘れられがちである。実験炉PECの発表はその意味でも意義深く、120Mwtと小型ながら遅れをとらないとする姿勢を伺わせた。従って、発表も建設中の写真を含め新鮮味があり、工事進捗率も91%に達しており、今後の動向が注目される。

米国は建設経験という観点からはFFTFでは旧聞に過ぎるためか、CRBRPの建設経験を踏まえ、本セッションとしては異例の今後の設計展望について発表があった。これはコスト削減に重点を置き、小型モジュール、Naの固有の安全特性の利用、合理的設計アプローチなど思想を明らかにし、NSSSとBOPとのコスト分担の要因分析などからBOPに力を注ぐべき点を強調した。アーキテクト・エンジニアリング・サイドの発表者という点は勘案するとしても、PRISM、SAFRといった小型炉の設計概念を論理立てていることは事実であろう。

## セッション7 燃料サイクルII

本セッションでは7件の報告があり、各機関で進められている燃料サイクルの開発活動が、特に経済性向上の観点から具体的に報告された。このセッションは、セッション6のFBR



プラントの建設経験と併行して進められたこともあり、参加者が約30名と小人数であった。司会者から燃料サイクルコストの低減がFBR実現のために重要であることが改めて強調された後各報告に入った。

先づ、FBR再処理プラントの英-仏共同設計プロジェクトについて、フランス側から報告された。フランスはマルクールにて、また英国はドンレイにてFBR再処理パイロットプラントが運転され、多くの実績を積んでいることから、英-仏は商用プラントに関する詳細設計を共同で行うことになった。政府間協定としては、1984年1月にFBR原子炉系の共同開発のサインがされたが、それを受けて燃料再処理プラントについても両国の燃料会社の間で中間規模の再処理プラントの設計を具体化する覚書が結ばれ、現在実施に関する協定の合意を見つつある段階にある。現在は、フランスはマルクールに建設を予定しているMAR600 (50~60トン/年) を、また英国ではドンレイサイトに隣接して設置を予定しているEDRP (70トン/年) の設計を進めているが、全ての協定が完了した暁にはそれらを一本化し、ヨーロッパ第2の実証炉 (SPXIは第1) とともに両設計の特徴をとり入れた再処理プラントの具体化を図ろうとしている。

報告ではMAR600とEDRPのスケープ、設計思想、設計仕様等について比較し、今後共同設計を進める上で技術的には大きな問題がないとの確認を得たとしている。国の政策、立地等については、くい違いがあるものの将来性には楽観的であるとの見解も示された。

フランスのCEAからは、商用プラント開発にむけてのR&Dに焦点をあてた報告があった。これまでの再処理プラントの運転とR&D経験などについて施設の写真を用いて紹介し、これらの経験をベースに現在設計を進めているSPX-Iを対象とした50トン/年商用プラントの概要、R&D内容などの報告があった。

西独のIHCHからは、FBR用Purexプロセスの改良概念の報告があった。在来のPurexプロセスは、フローがかなり複雑であり廃棄物の種類及び発生量が多いので、現在KfKでは、これを改良するために、前処理工程、コロイドセパレータ、オフガス精製系等を有した新フローを提案し、この実証のためのR&Dの紹介がなされた。

西独のALKEMからはSNR-300用燃料製造の経験報告があった。

ORNL/WHハンフォードからは、1300MWeプラント隣接設置の酸化物燃料用小規模燃料サイクル施設の概要設計に関する報告があった。設計要求として、Na付着燃料の受入れと

そのNa除去、100体分の貯蔵容量、処理量35トン/年、燃料製造容量130体等をベースとしたシステム概念設計、燃料サイクルコスト評価等が紹介された。建設費の評価額が低すぎるのではないかとこの質問があったが、これまでの設計経験あるいはF F T Fの経験を踏え十分信頼できる評価であるとの回答をしていた。

U K A E A の Windscaleからは試験用F B R燃料製造施設であるF A C E Tの概要報告があった。F A C E Tは、英国のP F R及び他のヨーロッパ諸国のF B R用の実験用燃料の製造用として設計されたもので、多様な燃料製造に対応できる仕様を有し、1988年11月運転開始が予定されている。発表では特に遠隔操作性、被曝低減対策等に重点を置いた報告がされた。

U K A E A の Dounreay N P D Eからは、ドンレイの Marshall Laboratoryの紹介があった。この実験施設は、英国の再処理技術開発のために1986年、5.8Mポンドの建設費を投じて建設されたものである。報告は、スライドを用い、施設の全景から各ユニット機器、分析装置類の説明にて行なわれた。説明が具体的であったためか、聴講者からはPu取扱量はどの程度か？検査分析装置はどんなものがあるか？グローブボックスの大きさはどんなものか？などかなり細かい質問がでて、それなりに活発な情報交換がされていた。

## セッション8 炉心設計関係（ポスターセッション）

本セッションでは全部で25件の論文の発表があったが、平行して建設経験のセッションもあったので、それほど多くの出席者は見られなかった。このセッションの国別発表論文はフランス5件、イギリス2件、日本3件、西ドイツ8件、米国6件、伊・ベルギー1件の計25件である。項目別ではプラント全般にわたるもの2件、炉心設計9件、燃料設計3件、炉心モニタリング関係4件、その他7件である。

G E は P R I S M 原子炉構造について、I H X は Kidney shell I H X を採用し、ホットとコールドNaの熱伝達を最小にするためダウンカマは二重管としていること、C R D については drive-motor をもっており、スクラム失敗の時でも炉心へ挿入できること、R V A C S , Head Access Area ( H A A ) は免震構造となっており水平方向の加速には十分な余裕をもっていること等を強調していた。

一方 R I は S A F R のバックアップとして酸化物燃料炉心設計を実施し、設計解析結果で

はいずれの設計要求をも満足していること、長寿命化の点では金属燃料炉心より若干まっさっているが、炉心が大きくなると inherent safetyの面から capital costは高くなる等の紹介があった。

フランスからは S P X - I を用いての燃料から冷却材への熱伝達係数の測定結果、スタートアップ時に炉心特性を測定するために使用した試験計測装置の報告があった。この種の試験計測装置は経験に依存するところが多々あるので常陽、Phenix、S P X - I の経験が、もんじゅ、さらには実証炉へと反映されることが望まれる。

西独は K N K - II を用いての破損燃料位置検出方法（ガスサンプリング法、flux tilting 法、D N 法）の紹介があった。K N K - II のような小さな炉心では位置検出が可能であるが、大型炉心になるとこの方法では十分なものではないと、発表者も感じているようであった。

日本からは 3 件の発表があった。原電・東芝は炉心上吊型原子炉構造についてであるが、ホットプール流動、吊胴座屈、及び流体制振の R & D 成果を説明し、日本での耐震条件での構造開発状況をアピールした。日本のタンク型炉の耐震特性に興味のある米国人からの質問が多く、設計そのものより部分モデル試験の実施条件についての質問があり、特に流体制振構造に関心もたれた。

電中研・三菱の酸化物燃料、炭化物燃料の超長寿命炉心の発表では、プラント寿命中（30 年間）燃料無交換型 F B R のフィージビリティを明らかにし、新しい設計概念をアピールした。被覆管の材料、ダクトレス集合体等の炉心構造物に対する質問が多く、核的な質問はあまり出なかった。

日立のコンパクト型高燃焼度軸方向非均質炉心設計についての発表では、3次元炉心設計コードを使用して、制御棒計画を含めて炉心構成を最適化し、燃料集合体本数の削減、運転長期化及び高燃焼度化を図ったことをアピールした。炉心設計者が少なかったせいもあり核的な質問はあまりみられなかった。

#### パネル・セッション 2030年のLMRはどんなものか？

本セッションは会議の第2日目夕方7:30~9:00に行なわれ、西暦2030年代の実用化にはFBRはどうなっているだろうか、実用化にどうもって行くのだろうか、そのパスについてパネルディスカッションされた。自由な雰囲気でも議論を活発化させるためにもということで、

夕食後のこの時間帯が選ばれたと思われ、出席者は 150名程度であった。

パネラー

E. Zebroski (米, E P R I), 議長

M. Levenson (米, Bechtel)

H. Hennies (西独, K f K)

L. Kochetkov (ソ連, Obniuski)

S. Kondo (日本, 東京大学)

J. Griffith (米, D O E)

R. Hall (英, C E G B)

R. Lallement (仏, C E A)

まず、各パネラーから、命題に対する状況分析とか、FBR実用化のパスについて、見解が提言された。

(1) E. Zebroski

議論の幅を与えるため、FBRの設計オプションのマトリックスや再処理のオプションならびにプルトニウムの使用形態の今後の動向予測等を説明。

(2) M. Levenson

動力の発生システムの基本概念をFuel-Energy, Extractor-Steam or Electricityとすれば、FBRの基本概念は、まだまだ改良の余地がある。軽水炉の過去に行なわれたシステムの単純化は目をみはるものである。継続的な Technical DevelopmentとDeploymentで、FBRの基本概念は、Evolutionされる余地をもっている。

(3) H. Hennies

西独の状況として、人口動態、SNR-300の課題を説明すると共に、今後のFBRの姿として、環境対策、増殖性、燃料タイプ、再処理等を考えて行かなければならないが、time-costも重要である。西独はタンク型炉に切換えてから10年近く設計研究をしており、もうループ型炉には戻らないであろう。

(4) L. Kochetkov

BN-350, BN-600をやってFBRの稼働率はあがりつつある。今後も、FBRプラントを設置して行くことにしているが、技術の進展は、revolutionalよりも、evolutionalが

良い。

設計のオプションとして、安全性の見地から、コンテインメント、その他に、vented fuel、自然循環力の活用、電磁ポンプの利用等が考えられる。

(5) S. Kondo

日本の原子力委員会が1987年にまとめた長期計画のキーポイントを説明、2030年にはLWRと競合できるようにする。コスト低減のアプローチには“Low Capital Cost (material volume, construction time)”と“Low Running Cost”(maintenance cost, low fuel cycle cost)である。コスト提言の evolutionはDemo-1~Demo-2~Demo-3とやって行く。設計のオプションも、プール型orトップエントリーループ型、一重管SG or 二重管SGとあり、再処理プラントも考えて行かねばならない。

いずれにしても、Talent for Inventionが必要である。これこそエジソンのいった1% inspiration and 99% perspirationである。

(6) J. Griffith

DOEは、module, metal fuel, pyrometal reprocessingで、FBRのsecond aspectsを作りつつある。PRISMとSAFRをinnovativeなideaでやっているし、existing product lineで考えている。2030年のinnovative nuclear enterpriseに向けて。

(7) R. Hall

FBRの実用化に向けて、1) utility involvement, 2) the needs, 3) plant targets, 4) technical trade-off, 5) plant design が重要だ。設計をひとつに絞ることが開発費を安くする。

(8) R. Lallement

UtilitiesもGovernmentも今の線を持続して行きたいと考えている。増殖性は必要だが、緊急の問題とは認識していない。LMRではなくFBRだ。決してrevolutionalではない。SPX-1の建設、SPX-2及びSNR-2の設計をやってきたが、2030年はそんなにちがったものにはならないだろう。ただし、燃焼度を上げて、コンポネントの信頼性も増進させる。来世紀には、SPX-2のSGが正解だったかどうかはわかる。

以上のパネラーの発言に対し、次のようなコメントがだされた。

Golan : 開発途上国に Oilのようなやさしいエネルギーを使わせて、先進国はFBRのエネルギー

ギを使う。即ち単純なマーケットメカニズムが脱する必要があるのでないか。

Stoll : 炭化物とか窒化物燃料は？

(Lallement : いくつもおいかける時間がない)

他に2～3のコメントがあったが、時間もなくなり、これといった議論のないまま、Zebroski が「Destination がなくPathをみつけているのかも知れない」、今後のFBRはmore compact plant, computer code aided, modularization, vented fuelになって行くのかと締めくくった。

## セッション9 今後の進路

日本(2件)、米国(1件)、欧州(4件)の将来炉研究概要に関する発表があった。

各国共FBRをLWRと競合するため色々な努力がなされている。日本は、建設費をLWRの1.5倍以下とする実証炉合理化設計等アクティブな活動を印象づけた。

以下に各論文(論文番号で示す)の要約を示す。

- 9.1 経済的にLWRに競合し得るLMFBRに関する原電、動燃及び電中研の設計研究について紹介した。特に建設費LWRの1.5倍以下をターゲットとした原電のループ型及びタンク型合理化設計を重点に発表され、その成果に対し各国から強い関心が示された。  
(発表; 原電)
- 9.2 全世界における将来のエネルギー需要予測と、FBRの必要性を説明した。また、現状のヨーロッパの大型炉設計の基本概念が紹介された。CDFR(英)、SPX-2(仏)、SNR-2(西独)はいずれも1450MWe、直径～20mのタンク型炉である。さらにコスト低減を目指したヨーロッパ共同の設計としては2次系3ループ、タンク系～17.5mのプラントがある。(発表; Novatom)
- 9.3 米国におけるFBR開発戦略について説明した。即ち、過去のLWR建設における種々の問題点を反省し、ライセンシング、製作性、金属燃料による燃料サイクル等により発電コストを、石炭火力やLWRより安くする考え方を述べている。(発表; EPRI)
- 9.4 電磁フローカプラー、ダブルプール、免震、サーマルストライピング、IFR、その他電中研のFBRに関する研究を紹介した。これらの研究項目に関して各国より多数の質問が出た。(発表; EPRI)

- 9.5 建設費及び燃料サイクルコストを低減するための将来型FBRの設計概要が示された。  
～5年後，～10年後，～20年後の3段階についてのNSSS概念がある。これらは主に  
炉心，原子炉構造，燃交機，配置に関するものである。（発表；CEA）
- 9.6 SPX-2のプラント設計がSPX-1と比べて説明された。全体配置図，各設備の  
合理化検討の説明，物量削減効果（単位電気出力当りのNSSS物量はSPX-1より  
45%減少）等が示されている。（発表；NOVATOM）
- 9.7 SNR-2のプラント設計概要について説明された。原子炉建物は円筒型，8直管S  
GがSPX-2と異なる。コスト低減の戦略としては，適切な安全系と現実的な設計基  
準でNSSSのコストを削減すると共に，BOPを非常に削減することによりLWRに  
競合させようとしている。（発表；Interatom）

#### セッション10 経済性

本セッションは，3日目の9月16日午後に開催され，100人前後収容できる部屋に50～70  
人が参加した。

冒頭に座長から，経済性はFBR再始動のためのキーとなるものであるとの挨拶があった。  
発表件数は合計6件で，米から3件，西独，仏，日からそれぞれ各1件であった。予定さ  
れていたソ連と中国からの発表はなかった。

それらの内容は，プラントのモジュラー化による経済性を論じたものが多く（5件），モ  
ジュラー化したプラントと軽水炉や石炭火力等との定量的な比較を示したもの（10.1，10.4，  
10.5）もあった。また，実験炉（FFTF）に発電設備を取り付けることによる経済性を論  
じたもの（10.6）もあった。

これらは，FBRが今後さらに発展してゆくためには，経済的に軽水炉と対抗できること  
が必要であるとの観点に立って検討したものであり，小型モジュラー化，SPXと同一型式  
の複数大型プラントの建設，燃料サイクルの考慮，崩壊熱除去系のパッシブ化などによるコ  
ストダウンが論じられた。

プラントの小型モジュラー化については，日から1件（10.3）と米から2件（10.4，10.5）  
発表があった。設計，製作の簡素化による間接費の削減と許認可の期間の短縮，習熟効果，  
建設工程の短縮などによるコストダウン効果が示され，コスト計算上，従来のスケール則に

よる大型化のコストダウン効果よりも、モジュラー化によるコストダウン効果が大きく、従来のスケール則は修正が必要との指摘があった。

複数の大型プラント（SPX-1）の建設によるコストダウンについて、仏から報告（10.2）があり、12基目には、約40%のコストダウンが可能とのことであった。

このような報告に対して出された質問では、再処理設備に関するものが多かった。FBRと軽水炉の燃料サイクルコストの比較上、再処理設備の建設費と運転費をどのように考慮したか、などの質問があった。アメリカでは、小規模の発電会社が多く、再処理設備までも含めたプラント全体を発電会社が所有することが困難と予想され、商業用再処理プラントの建設主体と建設費負担方法などが未確定であることなどが、これらの質問の背景と思われる。

また、コストダウンが安全性やメンテナンス性に影響しないかどうか、コストの計算上習熟効果をどのように含めたか、軽水炉とのコスト比較上軽水炉のモジュラー効果を考慮に入れるべきではないかなどの質問があった。

F T Fに発電設備を取り付ける構想は、他の5件と内容的にやや異なるが開催場所がF T Fの隣接地であることもあって、多くの質問が出された。

発表者から、現在は概念検討の段階であって、これから出資者の決定、許認可申請時のD O EとN R Cの調整など、今後の課題が多く、ゴーとなるには時間を要するとの回答があった。

このセッション全体として、今後のF B R発展のキーとされる経済性向上のために、これまでに各種のコストダウン対策が発表されている。今後は、安全性、許認可性、メンテナンス性を維持しつつこれらをいかに実現するか、検討すべき時期に来ているとの印象をうけた。

## セッション11 設計/安全性関係

本セッションは会議の3日目午後、ポスターを含めた3つのセッションが平行して進められたもののひとつであり、出席者は約100名程度であった。ヨーロッパから4件、米国から2件、日本から2件の系8件のPaperの発表があり、冒頭に、ヨーロッパ、米国、日本から次期プラントに向けた安全性のアプローチとその研究状況ならびに今後の動向の紹介があった。

この中で、Y. Fujiie（日本）は、日本の原子力安全委員会が、国の安全研究年次計画の一環として、実証炉1号を始めとする今後のF B R大型炉を対象とする安全基準の策定、安全



審査に当たっての判断基準の整備等に資する安全研究を体系的かつ先駆的に実施するために策定したFBR安全研究年次計画（～1990）について、安全論理の構築と安全研究の枠組を中心に紹介した。

フランスは、SPX-1の開発プロジェクトおよび建設経験からの安全性確保のコスト分析や次期プラントへの反映方策を、西独はpassive safetyな設計上重要となる自然循環崩壊熱除去システムの炉内流動研究成果を発表し、特にヨーロッパコミュニティの安全性研究アプローチの協調の進展、大型炉建設を完了したうえでの次期プラントへの取り組みのベースの豊富さを感じさせた。

また米国は、冒頭の新しい安全性アプローチの発表に関連して、FFTFを利用したpassive safety Testingのほやほやの成果と今後のサポートプログラムの紹介をし、FBR-IIのpassive safety feature demonstrationからさらにDOE新戦略の展開のベースを確固たるものにしようとする意欲を具体的に肌を感じさせるものであった。

日本からは、冒頭発表とは直接の関連性はないが、2次系削除の可能性をさぐる一次系SGのフィージビリティスタディの紹介があり、本 sessionの性格上、leak detection criteria や許認可側の反応はどうかという質問がだされ、それなりに新鮮な感覚を聴衆に与えたと思われた。

なお、海外の発表分について、特筆すべきは次のとおり。

（ヨーロッパ）

- (1) Chernobyl の影響は、周知のとおり、ヨーロッパコミュニティの中でも国によってちがうが、次期プラントの設計アプローチとして、Breeder Containment 及び man-machine interface を今後さらに深く吟味して行く。
- (2) さらにPassive safety considerationを強化して行く。特に崩壊熱除去系は一次系から取り出し、自然循環を追求する。
- (3) 米国のnew approachとはfriendly competitionな関係を保ちつつ、酸化燃料、large poolで行く。
- (4) SPX-1 の経験から、安全対策のコストはプラント建設費の約8%を占めた。HCDA対策、seismic stability、崩壊熱除去が大きく占めている。次期プラントへ lessonを反映する。

(米国)

- (1) Defense in Depthのフレームは変わらないが, third defence を A T W S 対象とする。
- (2) L M R の設計アプローチは, pool, metal fuel, intrinsic passive safetyである。
- (3) 設計概念は I F R conceptとして普偏化され, P R I S M および S A F R の安全性アプローチは共通。
- (4) F F T F を金属燃料にする計画を検討中。
- (5) F F T F では1986年から passive safety testing のプログラムを開始した。G E M, P L O T A をやったが, 将来は, “demonstration of technical Specification surveillance method verifying core passive safety feedback coefficient” までもって行く。

#### セッション12 プラント設計関係 (ポスターセッション)

プラント設計に関わる21件の研究が発表された。このうち, 日本からは5件の発表があった。

傾向としては, 米国からは P R I S M, S A F R に関するシステム機器のペーパースタディ, 及び F F T F での運転経験, 仏からは S P X - 1 の起動試験結果をベースとした解析, 評価, 日本からはフローカプラーの実験やそれを応用したプラント設計が中心となっていた。

米国では R I の報告件数の多さが目立った。例えば, S A F R の S H R S については, R A C S (安全系) と D R A C S (非安全系) の解析結果, インデューサーポンプの設計, また, S A F R の 2 次系配管 (高温で非原子力級) のための構造設計方法の検討などである。

また, F F T F での格納容器漏洩率試験結果が報告されていた。

仏からは, スーパーフェニックス-1 関連で3件の発表があった。

1 件は S H R S に関するものである。S P X - 1 では原子炉容器内に D H X を, また別に I R A C S と 2 系統の S H R S を保有している。S P X - 1 の起動試験時, D H X の性能試験を実施した所, 予想以上の性能を確保出来たので, S P X - 2 では I R A C S を取る設計としたことの妥当性を確認したとの説明があった。実験に基づいたデータと, それを反映しての次設計への取り組みはやはり説得力も有り, 発表者も自信にあふれておりその姿勢は見直さうものが多い。また, 残り2件の S G, コールドトラップについても同様であった。

イギリスからはNNCが、LBBを実証するための構造破壊試験結果を報告しており、タイムリーな話題として注目されていた。

一方、日本の研究発表に対する反応は以下の通りである。

〔12.4〕稠密型IHXを用いたタンク型設計であり、質問としては、IHXの流動及び構造健全性、更に、その合理化効果等が中心となった。

〔12.6〕1次系のNaを入れたTubeと水・蒸気系のTubeを同一の液体金属を入れたTankへ配置したAdvanced IHXを考案し、その各種基礎実験を行ったものであり、質問としては、中間媒体の特性（特にNa、水との反応の有無）、ヒーターとクーラー間のギャップに対する考え方などであった。

〔12.9〕Nak-78を用いたフロープラーの実験結果を報告した。その実験において、76%の効率を確保したことに対して一様に賛辞が寄せられた。また質問としては、実用化に向けての磁場の冷却、ダクトの設計等についてのものが主であった。

〔12.12〕フロープラーの原理及び設計例、さらに高温Na中試験結果と実機に適用を前提とした解析結果を報告した。質問としては、電磁ポンプとの原理の違い、実機設計を対象としたサイズ、ポンプ能力等、またNa中試験に関する実験条件（材料等）、効率が主であった。また、実用化の時期、フロープラーの有効性等、開発の基本に触れるものもあった。

〔12.11〕モジュラー型（150MWe）のダブルプール原子炉に環状フロープラーを適用して、直径8m、高さ13.5mの容器の中に、2次系まで含めた全原子炉系を納めたコンパクトな原子炉概念を報告した。質問としては、システムが斬新であるため、原理、構成に関するものが主であった。PRISM、SAFRのレビューを行った元DOEのMr. Yievikも興味を示していた。

他に、日本からは、動燃事業団が、実験解析の3種類のビデオを用い、（大口径ペローズ、Naリーク試験、炉内ストラティフィケーション挙動）デモンストレーションを行った。

当日のポスターセッションは、第1日目のそれと比較して、若干人出が少なかったが、動燃のブースは常に人を集め、やはり前記のSPX-1と同様実験による説得力の強さを示した。

### セッション13 先進的設計

米国の将来炉 (PRISM, SAFR), 仏の将来炉及びWHと三菱共同設計による革新タンク炉に関するプラント設計説明が発表された。また炉心設計に関し, WHから超長寿命炉心, 東芝及び日立から~20万Mwd/tの燃焼度の炉心設計が説明された。

議長の講評としては, PRISMとSAFRは出力規模がちがうが, スケールメリット, 学習効果についての結論は出ていない。プラント設計に関し新しいアイデアが出ているが, コストダウンのみでなく, メンテナンスetcまで含めてフィージビリティを検討する必要がある。炉心設計は全世界が高燃焼度化に動いている。将来的にダクトレスコアは, 魅力的な面が多いが, 機械的な面や安全上からも検討が必要。

以下に各論文(論文番号で示す)の要約を示す。

- 13.1 PRISMのプラント設計概要について説明された。金属燃料炉心, 免震パッド, FFDL, モジュラー化された建物等新しい図が示されている。又, 金属燃料炉心におけるスクラム失敗事象の解析結果, 経済性評価結果も見られる。(発表; GE, Bechtel, UEC)
- 13.2 SAFRのプラント設計概要について説明された。スクラム失敗事象の解析結果, PRA, PWRとの物量比較等も示されている。(発表; RI, CE, Bechtel)
- 13.3 SPX-2をさらに合理化する将来炉のアイデアが紹介された。内容は, IHX, SG, 1次ポンプ, 2次系配管, 炉内構造物, 炉心, 燃取等に関するものである。(発表; CEA, NOVATOM)
- 13.4 運転サイクル間隔, 燃料寿命10年の超長寿命炉心について発表。低出力密度, 酸化物燃料での10年炉心を検討しそのメリットについて評価。(発表; WH, 三菱)
- 13.5 大型のタンク型炉のNSSS全体を1000m<sup>3</sup>以下の格納容器に収納し, 炉容器を下部支持+Pb-Bi浸漬とした革新的原子炉について発表があった。(発表; WH, 三菱)
- 13.6 ダクトレス燃料集合体とAHC炉心を併用する概念により, 実証炉1号機の3.3mの炉心径のまま商用炉段階で200Gwd/t, 24ヶ月連続運転を達成できる見通しを得た。今後, 高燃焼用材料の開発, 熱水力特性の実験的確認が必要。(発表; 原電, 日立)
- 13.7 APC炉心概念で150Gwd/tから200Gwd/tの燃焼度を達成できる見通しを得た。高燃焼度炉心実現のためにはフェライト鋼等のスエリング, クリープに高耐性を示す材料開発

が必要。(発表; 原電, 東芝)

#### セッション14 運転経験II

本セッションの発表は7件である。大別すると、プラントの運転実績に関するもの2件、燃料管理に関するもの3件、SGの設計研究に関するもの2件である。

14.1ではFFTFの過去5年間の設備利用率の実績が示されたが、FFTFの利用率は極めて高く、順調な運転が継続していることがうかがわれる。また主要成果としてGEM (Gas Expansion Module)を使用した固有安全性の試験や、IDS (Interim Decay Storage Facility) を用いた自然循環熱除去模擬試験などが紹介されたが、いずれもモジュラー型プラントへの適用をねらった試験である。将来計画として、FFTFを金属燃料の照射用に組みかえる計画、2次系にSGを設置して108MWの発電プラントに改造してゆく計画などが注目を集めた。

14.2はPhenixの12年間の運転実績の報告である。稼働率の低下に関して要因分析がなされており、PhenixではIHXおよびSGの故障とそれに伴う補修が、稼働率の低下の主因をなしている。また、計画外の炉停止も平均すると月1回程度発生しており、かなり頻発しているという印象を受ける。

燃料管理に関する発表3件のうち、14.3はPhenixの燃料管理手法(炉心内でシャフリング)の改善に関するものである。新しい管理手法を適用することにより、燃料の到達燃焼度(これまでの実績: 内側90,000Mwd/t, 外側115,000Mwd/t)が著しく改善され、150,000Mwd/tが達成できる見通しとなったとの報告が注目された。Phenixにおいては、照射に伴う燃料の変形挙動についてもかなりデータが蓄積されつつある。

14.4および14.5の報告はいずれも燃料破損の経験に関するもので、PFRならびにFFTFの経験が報告された。燃料破損検出の方法としては、CG法、DN法、タグガス法のいずれも有効であることが実証されるとともに、燃料破損後も継続照射した場合の燃料挙動のデータも蓄積されつつある。また、核分裂生成物(Cs)の1次系内における挙動についても貴重なデータが得られつつある。

14.6および14.7は将来型のSGに関する設計研究の報告である。前者はイギリスのCDFR用SG、後者はイタリアとフランス共同のSPX-2用SGに関するもので、いずれも直

管型伝熱管を基本とした貫流型SGである。伝熱管も9Cr1Mo鋼をベースとした材料を使用しているところも共通している。ヨーロッパでは、次期プラントに向けて、各国のプラント基本仕様の横通しが検討されつつあり、SGに関してはCDFRとSPX-2の間でかなり仕様の共通化が進められていることがうかがわれる。

## セッション15 増殖炉の将来

先ずIAEAからPontierが世界のFBRの状況reviewを行い、IAEAがそれとどう関係してきたかを述べた。内容はFBRの問題は現在経済性の達成にあり、安全性は既にLWR並みに十分になっている、更にヨーロッパでは設計側も認可側もHCDAをDBAから外すことに一致して居り経済性の改良に大きくつながると報告した。これらに関連してIAEAの主催してきた会議とIWGFR (International Working Group on Fast Reactors) の活動と出版活動を紹介した。将来への展望としてLWRの1.20倍を目指して、SPXの次のプラントがヨーロッパでは考えられているが、FBRの採用の規模は当初の期待程は大きくない。しかしFBRの重要性は不変であるし、停滞でもない、IAEAは今後FBRの発展に協力していくと結んだ。

次いでヨーロッパのUtility連名のペーパーでBitz氏が報告したが、ヨーロッパの状況としてPool型、酸化物燃料という基本方針を延べ、技術的な展望 (Passive DHR S等よく知られた話) を述べた。ヨーロッパのUtilityがどういう意見を示すか大いに興味があったが、残念ながら期待はずれで極めて内容の薄いものであった。FBRのNeedsは不変であると結んだ紋切り型の話であった。

日本からは原電の岩越氏が我が国の開発体制の、2030年までの開発計画を示し、世界中で2030年頃までの具体的計画を示した唯一の発表となった。日本の燃料サイクルの確立方策について質問があり、PNC沢井氏から関連する研究開発の展開を中心に回答がなされた。

USAはWH HanfordのJacobiがどうしてアメリカの現状がこんなになってしまったか、(アメリカの石油価格及びエネルギー需要との関係を述べた) 今迄FBRでどんなことが技術的に確立されているかを、手際よくまとめ、米国もフランスや日本のように的を絞って(あまりあちこちと手広くR&Dをやって浪費をやらずに) 前進を図るべきであると強調した。アメリカは何故 Large (FBR) Plant をやらないのかとの問いに対し、Utility もい

ずれば Large Plantを欲しくなるだろうとの推測を述べていた。

ソ連は Tnzovが代読を行い、主としてBN-600を改良したBN-800、更に BN-1600の計画を述べた。BN-800はBN-600と同じ大きさのR/Vでポンプ、IHXの外径はそのままで、中性子しゃへいを削ってcoreを大きくする、R/Vサポート方式を変えて耐震性を改良する。更に、coreは3領域、蒸気条件はオーステナイトステンレス鋼をSGに使わないように全体の温度レベルを下げる、またNa-水の境界面積を下げるために steam/steamのreheaterを採用する等の変更があるとのことであった。BN-1600 は更にその先の話であるが、プール型、MOX燃料（均質炉心のバックアップとして完全に互換性のある非均質炉心を高増殖性確保のため考えている）、モジュラー型SG（主案）、代案としてsingle-shellのmicromodular type SGを計画している。いずれにしてもソ連は現状ではエネルギー政策上の必要性からではなく、FBR技術全体の習得について力をいれており、もちろん燃料サイクルの完全な確立もその計画の中にとりいれていると報告された。

#### 閉会あいさつ

閉会に先立ち Calleri氏より4年に1回このFBR国際会議を開催することにしたいとの提案があり、次回は1991年に行なわれることになった。

最後にWestinghouse Hanfordの Evans氏が自動車もスチームエンジンからガソリンエンジン、電気と変って来たが、LMRも今会議のパネルで色々な案が出た、またチャーチルがある時檜の木が育つのに何年かかると植木屋にきいた所50年かかるとの答を聞いて、それなら今すぐ植えようと思った故事を引いて、FBRの開発も着実に推進しようと結んだ。