

国際会議から見た最近の動力炉開発

望月 恵一 *

昭和46年9月、「常陽」建設部の平山部長、下田課長らとフランス、エキザンプロバンスにおける高速炉に関する国際会議およびスイス、ジュネーブにおける第4回原子力平和利用会議に出席したのでその概況と感想をのべる。

1. 高速炉国際会議

—フランスAix-en-Provence—

1. 1 はしがき

1971年9月2—4日、フランス、エキザンプロバンスにおいて、フランス原子力庁CEAとアメリカ原子力学会ANSの共同主催で高速炉に関する国際会議が開かれた。出席者総数485人で、このうち日本からは11名出席した。

ジュネーブ会議が、やや儀式的であるのにくらべ、この会議は、討論を主体としたため、自由活発で、逆に収斂し難いくらいであり、その意味で興味があった。

開会に際しF. Ortolí 科学技術大臣が来賓として挨拶があった後技術セッションに入った。

セッションは、基礎問題、安全、運転経験、建設経験の4つに分れる。いわゆるパネル形式で東大、安教授が安全セッションに、また「常陽」の平山部長が建設経験のセッションにパネルメンバーとして出席した。

1. 2 基礎問題

座長としてドイツ、カールスルーエのHäfeleから基礎問題の概要が述べられた。すなわち、燃焼、スエリング、短中性子寿命、ドブラ係数、ボイド係数、冷却材など諸問題は重大問題ではなくなってきた。むしろ、燃料では被覆材内面の腐食や在来からの照射クリープなど問題が残

り、燃料加工費を安くするため、当分はややピン直径を太くしたい、またループ型かプール型かは、さらに検討すべき事項であると述べられた。

これに対し仏CEA、米AIから工学的およびハードウェア関係について、また英UKAEAからは商業規模炉の機器の信頼性が、また米AIから10項目の基礎問題が紹介された。ピンを太くする点を仏CEAは支持し、英UKAEAは賛成しなかった。ユラトムなどから原型炉を照射研究に利用すべきとの説も出された。米GGAからガス冷却高速炉の利点が強調され、燃料はNa冷却と同じと言われたが座長やUKAEAから反論された。スエリング、燃料交換サイクルについても議論がなされた。

1. 3 安全

座長としてUKAEAのF. R. Farmerから安全問題の概要が述べられた。すなわち、Na火災、Na—水反応、過熱、熱除去、反応度挿入率、突沸、高い出力密度、冷却材喪失、安定性など解決不可能な問題ではない。残るのは燃料溶融、衝撃波の問題だがモデルや実験解釈に不確実な点が多い。沸騰Naにより炉心周囲の破損、高温燃料による接触面の溶融、事故時の反応度最大挿入率、機械エネルギーへの変換率など問題であるが、特にFPガスの噴出を仮定するとサブアセンブリ内での事故は悲観的であるのでモデルの再検討、ならびに早期にサブアセンブリの異常を発見する方策が必要となる。

これに対し、仏CEAは賛成、APDAはフェルミ炉で、適切な信号をとれば、溶融事故を防げたこと、また異常発見計算機の採用をのべ、

* 動力炉・核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部

独代表は、炉心の振動を注意し、英UKAEAは衝撃波は炉内構造物でかなり弱められると述べた。安教授は日本での安全研究の概要とを見る段階)問題点(炉内実験の必要度、破損の徴候、を指摘した。米代表から格納容器の健全性および古い重要な問題、たとえば燃料の移動に注意すべしと発言があった。英UKAEAから安全性の問題は第1世代から第2世代に入っている。今の本当の問題はサブアセンブリの異常を早く発見するための計装である、ただし将来はこれを炉心全体の信号として検出できるようにしたいと言われた。

1. 4 運転経験

座長に米GE社のK-Cohen氏がなり、まず7つの討議すべき点をあげた。すなわち、1)燃料では破損した燃料による汚染対策、破損燃料検出、位置ぎめ、破損伝播の可能性など。2)燃料交換では交換サイクル、変形した燃料の取出、交換機の故障、誤動作の矯正。3)計測制御については実績、信頼性、新しい計測法、破損燃料検出位置ぎめ、制御棒駆動経験。4)Na技術としては汚染、材料、運転期間。5)補助施設としてコールドトラップ、予熱回路、小型機器の運転経験。6)熱伝達機器については設計基準、機器動作原理の確立、炉外試験など。7)稼働率に関して、起動の難易、近接の可能性などである。

特に彼の強調した点は、工学的問題がなお多く残っていること、過去の経験の将来炉への効果、燃料の総括的照射結果の解釈の難しさ、破損燃料位置ぎめの必要性、燃料構造の変化による反応度変化、弯曲した燃料の取出などであり商業規模炉の早急な建設をいましめていた。

討論に入り、米APDAからFermi炉の蒸気発生器の漏洩、燃料の弯曲、その写真撮影、誘導予熱系の低効率、ペローシール故障など、独はKNKの火災、UKAEAはDFRでの2次回路の火災、冷却材の遅いダンプ系や頻繁な燃料交換、ベント燃料系の破損検出への不便、破損燃料をもった運転、遅発中性子検出法の低感度など、仏CEAから破損燃料を持ったままの運転、Naサンプリング系の開発、交換器の改造、

Na透視器が述べられた。

1. 5 建設経験

ソ連のKazachkovskiiが欠席したので座長に仏CEAのCarleがなり概要を述べた。原子炉容器その他の組立工事、材料、炉内可動部品の開発、Na系が「不透明」なことの対策、建設費はPhenixで約2000フラン/KWe(燃料は除く)、運転成果がわかるのは5年の月日がかかるため、次期の炉への反映の難しさ、および軽水炉と対抗して大形FBRを建設する対策などをのべた。

討論に入りUKAEAはステンレス鋼の利用、水テストの必要性、建設費が150ポンド/KWeとのべ、独Interatomは防火対策7項目をあげ、平山部長は「常陽」の建設状況をのべた。米代表から原子炉容器に「第3の障壁」の有無が尋ねられ、Phenixはあり、SNRはあるも建設上好ましくない、PFRはなく、その必要性を仮想事故から導くこと自体に疑問と言う。また耐震設計SNRの建設費(100~600×10⁶\$)が議論になった。

1. 6 閉会

閉会にあたり、CEA、Vendryesがかなり長時間にわたりこの会議のレビューとまとめをした。そのあと前日米代表から提起された質問「基本的問題がたくさん出されたが、もしここに十分な予算が与えられたら、何にそれを使うか？」について各パネルメンバーの答が紹介された。

Häfele(独)：もし金があれば、もう一つ大型増殖炉を作り、信頼ある機器計装をマスターしたい。

Villeneuve(仏)：蒸気発生器その他、研究を広範囲に拡大したい。

Marsham(英)：信頼性あるCFRをすること、それを加速するのに使いたい、またやや出力が犠牲になるが、プラントにフレキシビリティを持たせ、将来容易に機器の交換ができるようにしておきたい。

DeStordeur(ユラトム)：燃料材料の照射試験炉としてFR-3を早急に作り、ここで異種の冷却材の試験や異常状態の試験も可能にする。

また高度な計装のついた大きな試験ループを作りたい。

Dieckamp (米) : もし 2×10^9 \$ があるとすればその 1×10^9 \$ をもって 2 台のデモンストレーションプラントを作り、残りの 1×10^9 \$ をもって安全性研究を加速し、確信を持ちたい。

1. 7 おわりに

以上、この会議は議論百出で、まとめ難く、座長は苦勞したと思われるが、それだけにジュネーブ会議とは違ったおもしろみがあった。

基本問題セッションで Häfele はやや誇張した言い方だったかもしれないが、提案した燃料ピン加工問題は、少なくとも、紀元 2000 年以降まで見通した LMFBR の開発の仕方の一つの示唆として興味あった。もちろん、彼の説に対して工学的な諸問題やスエリングがなお問題であると Cohen などから反論が出ている。

安全セッションでは Farmer は持論であるサブアサンプリ暴走に、座長としても議論を集中しなかったようだが、米国側の意見とは異なるようで、この会議でもそれが現われた。

運転経験では Cohen の采配が良く、波乱なくまとめられた。

建設経験では、建設費の議論は興味があった。

ただし、英仏ともに予想より安いのは不思議なくらいであった。閉会の時の各パネルメンバーの仮想投資のコメントでは、とにかく実用規模炉や大型試験施設を早急に作り、運転して実際の体験を得てはじめて信頼性あるものとなるということであり、同感するところであった。

なお、最終日 9 月 4 日は午前 Phenix の現場見学、午後は近傍の名所見物と、CEA、ANS はなかなか上手に計画をたててあった。

2. ジュネーブ会議

2. 1 ジュネーブ会議の報告はたくさん出ているので、ここでは私の出席したセッション A 1-10 の簡単な概要と感想を述べます。

2. 2 セッション A 1-3 は、軽水炉やガス炉の建設および運転経験です。軽水炉は今やソ連を含め世界各国が所有しており、稼働率はかなりよいが、どこでも全燃料の 1% 程度の燃料

破損があり、そのまま運転を続けている。インドでは 2 年間で排ガス放射能が 500 倍以上上り、ドイツは破損燃料集合体の中から破損燃料ロッドを探し出し、新品と交換して再使用する大胆なことをしている。また、大きな機械的事故を起し、その放射線下での修理が幾つか報告されている。英国のガス炉 (MK-1) の燃料破損は 0.1% 程度のようなだ。総括して各国とも実際の運転保修経験を得始めている。

2. 3 セッション A 4-6 は各国の安全性関係、すなわち安全研究、設計、運転、規制、敷地など、対象を広く集めている。Na 冷却高速炉の安全研究が進み、熔融燃料と Na の反応エネルギーから機械エネルギーへの変換率が意外に小さいなど、保守的な設計が緩和され得る実験結果が出ているのが注目される。欧州の軽水炉建設は日本に似ているが、各国とも都市接近を可能にするための検討をしていること、特にドイツでは PWR も BWR も独特の設計であること規格がかなりしっかりできており、工業界の優れていることを感じた。安全性のフィロソフィとしてヨーロッパ、特に英、仏などは米国とちがったたとえば確率論的アプローチを好ましい方法としてとりたいが現実には難しい要素もあるため、特定問題を選んで検討するようだ。日本の安藤、柴田両教授から巾広い日本の安全研究も紹介された。

2. 4 セッション 7-9 は新型動力炉で、まず、Na 冷却高速増殖炉については、今回の会議で日本も世界的な高速炉開発の先頭集団の仲間として認められたことが明確になった。たとえば高速炉開発に関するテレビインタビューには英米ソ仏独および日本からは井上理事長が出席して開かれた。日本の開発の規模と速さには各国とも一驚している。日本の年間投資額では各国とあまり違わなくなってきた。ただし先頭集団とはいっても、そのまたトップを走る英仏両国などは百万 KWe 以上の実用規模炉の問題点を検討している。すなわちコスト、マーケット、燃料入手、再処理、信頼性、大型試験施設、導入時間 (英国は電力需要の低下でこの問題がデリケートである。) など。それに比べると日本

はいまだ実験炉建設の段階にすぎず、今後できるだけ早く「常陽」を立派に作り上げればもう一段、先頭集団内での発言権を得るだろうと思われた。

今回の会議を通じ、安全性に関し保守的設計が緩和され得るデータが出たこと、ただし非常に重大と言うわけではないがたくさんの小さい問題が順次出ていること、軽水炉など従来の炉に対抗してマーケットを拓くためには高速増殖炉の本命である「増殖率」の高いことは、今世紀の遅くなるまで必須事項と考えないで、当分は経済性と信頼性に重点をおいて開発すると言われること、(この点米国の現在のslow but steadyの開発方針は興味ある。)また、Pu燃料の需給、燃料サイクルから言っても高速炉導入は軽水炉など従来の炉と、また新型転換炉とも密接な関連を持たざるを得ないこと、研究開発や製作をする側は大型施設や能力から、また、発注する側は投資額、リスク、電力需要からも多数社が、またある場合には国際協力をもって行っていることを知った。まとめると、高速増殖炉が、その本来の使命と性能を発揮し得るのはだいぶ将来のことであるが、その人類にとっての必要性(米国は今回エネルギー以外に環境上からも必要性を強調した)からも、各国とも今から本当の意味で使える高速増殖炉を作る努力をしているのであり、日本も国全体が一体になって開発しなければならぬものだと感を得ました。

重水減速炉はカナダ、英国両国が運転経験を土台にして、特に加圧重水冷却型はほぼ実用の段階にきたと思われる。カナダ炉のコスト分析に対し各国とも興味を示したことからもうかがえる。沸騰軽水冷却型は英、日、伊の三国で開発が進んでいるが、実用化まで進めるには、カナダも含めた国際協力の推進が有効であろうと

思われた。

高温ガス炉は、最初のトリウム燃料による増殖よりも低濃度ウランの利用で経済的な発電プラントをねらっている。将来はガスタービン利用の直接サイクルからガス冷却高速増殖炉への発展を考えている。英国はドラゴンの経験からHe冷却材温度を1000°Cに達し得ないことはないと言っている。米国は最近、フィラデルフィア電力会社が2×1160MWeの高温ガス発電炉プラントを発生したことは著しいニュースであった。

ガス冷却増殖炉は、それなりに注目すべき点はあるが、その設計その他研究開発はいまだ若く、今後特にHe技術と燃料の開発の成果を見なければならぬ。ソ連が解離ガスを冷却材として用い、化学反応熱の発生、吸収を巧みに利用して熱伝達効率を増しているガス冷却高速炉の報告はアイデアとして興味深かった。

米国、オークリッジ国立研究所で開発した溶融塩炉はきわめてユニークな概念をもち、その実験炉(MSRE)の運転は終了し、現在は大型増殖炉としての可能性の設計研究中であるが、増殖率はさほど大きくとれないようであり、また解決すべき技術的問題がいまだ少なくないようである。

ソ連の黒鉛減速軽水チャンネル沸騰冷却炉は近く2×1,000MWeのレニングラードプラントが完成し、実用段階に入るらしいことは注目に値する。

2. 5 セッションA10のプラントコストでは、資本費が1960年代は120\$/KWeだったが、1977年に予定するものでは300\$/KWeになると予想され、いつ原子力発電が本当に従来の火力発電と対抗できるか疑問に思うが、化石燃料プラントの方も値上りが著しいようであり1970年代おそくには均衡してくるのではないだろうかと思う。