

第 2 回日米 JUPITER 解析会議

白方 敬章*
Keisho Shirakata

1. まえがき

JUPITER (Japanese-United States Program of Integral Tests and Experimental Researches) 実験の解析結果を日米両国で比較するための専門家会議が1981年10月19～26日に東京で開かれた。米国側の出席者は ANL の Harold F. McFarlane (応用物理部解析応用室長)、Peter J. Collins (同室員)、GE社の

Samuel L. Stewart (新型炉システム部門核評価マネージャー)、DOE の David H. Jones, Charles L. Larson (動燃大洗工学センター駐在員) の5名であった。日本側の出席者は動燃FBR本部の炉物理関係者、動燃の委託によりJUPITER実験の解析を行ったFBEC、東芝、日立、MAPI、富士電機の5社及び原研、阪大の7機関の解析担当者、電事運のオブザーバーの合わせて26名であった。写真1は出席者の記

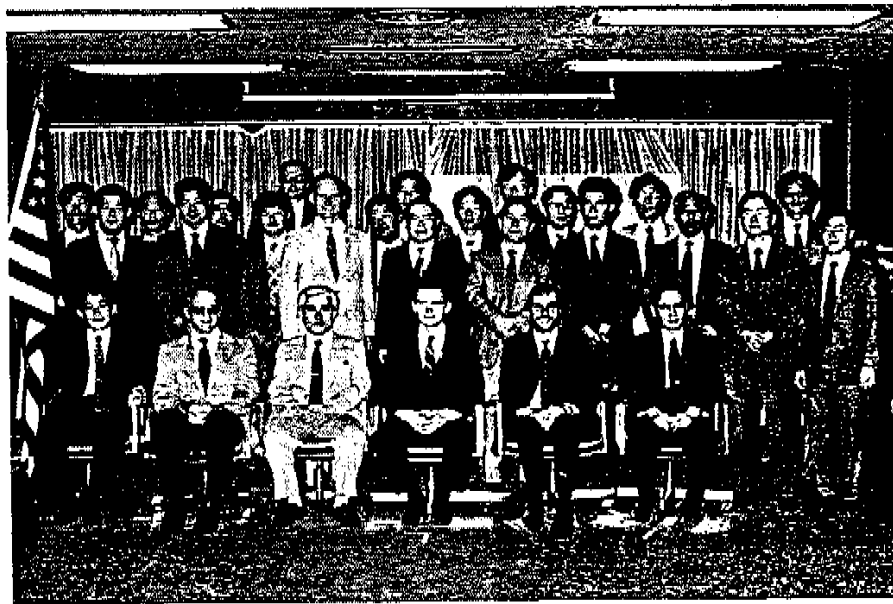


写真1 第2回日米 JUPITER 解析会議出席者

* 高速増殖炉開発本部: Fast Breeder Reactor Development Project

84 技 術 資 料

急写真である。会議は動燃本社で4日間にわたって開催され、その外に米側参加者はこの機会に動燃大洗工学センター及び原研東海研究所を1日ずつ訪問して施設の見学、炉物理関係者との意見交換を行った。

2. JUPITER 計画フェイズ I

JUPITER 計画は、動燃が日米高速炉協力協定に基づいて米側 DOE との共同研究として実施して来た大型高速増殖炉の臨界実験計画であり、大型炉の炉心設計と核設計法の評価に必要な情報を得ることを目的としている。実験は Pu-3 トンを有する ANL-Idaho の ZPPR (Zero Power Plutonium Reactor) 装置を用いて 1978 年 4 月から 1979 年 8 月にかけて ZPPR-9、10 という 2 つの集合体で行われたもので、JUPITER 計画の中で将来のものと区別するため JUPITER 計画フェイズ I と呼んでいる。フェイズ I は 700~900MW 級 2 罐体均質炉心のベンチマーク実験であり、基本的な核特性の情報をクリーン炉心、EOC (End of Cycle) 炉心、BOC (Beginning of Cycle) 炉心において測定し、核特性の炉心サイズ効果を調べ、現在の解析法の精度を評価することを目的としている。

3. 実験解析

JUPITER 実験の解析は日米双方でそれぞれ独立に進められて来た。日本では 1978 年以来動燃の委託により 7 機関が分担して実施している。そして 7 機関の解析担当者を中心に月 1 回程度 JUPITER 検討会という会合を開いて国内での解析作業の調整、解析結果の交流を図っている。日米解析会議のための日本側の準備もこの会合の場を中心に行われた。

米側では ZPPR の運転・管理の責任を持つ ANL の応用物理部が実験だけでなく解析も行っている。また JUPITER 実験に関しては GE も独自の解析を行っている。

そこで今回の会議には JUPITER 実験の解析

を行っているこれらの全機関から代表者が出席した。

4. 第 2 回会議

最初の日米 JUPITER 解析会議は 1980 年 9 月に米側の ANL-Idaho で開かれた。今回の会議はそれに続く、2 回目のものである。第 1 回会議では ZPPR-9 の解析結果が主に議論されたが、今回はその後行われた ZPPR-10 の解析結果を中心に、ZPPR-9 もきめてフェイズ I 実験全体の解析結果を総合的に比較検討するのが目的である。その意味でフェイズ I 実験の解析に関する日米間の総括りの会議である。なお、会議における議論を効率的に進めるため、発表内容をまとめた報告書を会議の 1 か月前に両機関で交換した。

5. 報告と議論

表 1 は会議の議題を項目別に分類したものである。括弧内は日米のどちらが報告したかを示している。予め配布された報告書に基づいて、これらの各項目が報告され、議論された。

会議の主要議題は 1. ZPPR-10 解析である。ZPPR-10 は A、B、C、D の 4 フェイズから成り、10 か月にわたって実験が行われたものである。その解析結果が日米双方から報告され、特に比較検討された。議題 2. 及び 3. は ZPPR-9、10 解析に付随して掘り下げられた研究。JUPITER 実験解析に関係なく行われたが内容の関連がある研究、或いは JUPITER 実験解析の立場から関心の深い研究であり、この機会に報告され、議論されたものである。特に 2.3、2.8、3.1 の 3 件は、日本側の要求に基づいて米側が準備したものである。

核データの立場からすれば臨界実験は核データの積分評価の方法であり、また設計の立場からすれば臨界実験は定数作成など核設計法を検証する手段である。そういうわけで 3. の議題がトピックスとして報告され、議論された。議題

* 白方敬章、池上哲雄：動力炉技報、No.37、79 (1981)

* 井上晃次、他：原子力誌、23 (5)、310 (1981)

動力炉技報 No.41 1982. 3

技 術 資 料 85

表 1 第 2 回日米 JUPITER 解析会議の議題

1. ZPPR-10 解析(日、米)	2.8 ZPPR-3 制御棒価値の解析(日、米)
1.1 臨界性	3. 評価済核データ及び多群定数作成に関するトピックス
1.2 反応率分布と反応率比	3.1 ENDF/B-IV 及び V による核特性計算結果の比較(米)
1.3 物質反応度価値	3.2 JENDL-2B のベンチマークテスト(日)
1.4 Na ボイド反応度	3.3 JFS-3-J2 と JENDL-2B-70 による ZPPR-9、10 解析結果の比較(日)
1.5 制御棒価値	3.4 修正断面値セットによる ZPPR-9、10 の解析(米)
2. 臨界実験及び解析に関するトピックス	4. その他のトピックス
2.1 セル内ブレード非対称配列及び炉心組成不均一の効果(日)	4.1 大型高速炉の核特性外挿誤差(日)
2.2 臨界実験体系の非均質効果に対するベンチマーク実験(米)	4.2 FCA 燃料スランピング実験の解析(日)
2.3 モンテカルロ法による ZPPR-6/7 の詳細解析(米)	5. JUPITER 計画フェイズ II
2.4 統一拡散係数による ZPPR-9 Na ボイド反応度の解析(日)	5.1 JUPITER フェイズ II 実験計画(米)
2.5 Na ボイド反応度予測精度の総合評価(米)	5.2 ZPPR-13 計画と米 LDP 計画の関係(米)
2.6 制御棒セルのセル定数作成法(日)	5.3 JUPITER フェイズ II 実験計画に対するコメント(日)
2.7 ^{238}U capture 積分測定法の相互比較(米)	

4. の 2 件は JUPITER 実験解析に直接の関連はないが、炉物理の分野における日本の最近の活動として報告された。

議題 5. の JUPITER 計画フェイズ II というのは、次期 JUPITER 計画として大型非均質炉心のベンチマーク実験を日米共同研究で将来実施しようという案であり、ここ数年米日双方で検討されているものである。

表 1 の順序に従って項目別に内容の概要及び主な議論を次に述べる。

議題 1. ZPPR-10 解析

日本側は評価済核データ・ライブラリー JENDL-2B を用いて、最終的には繰過補正を考慮した、3 次元計算結果と同等の解析を行った。米側は核データ・ライブラリー ENDF/B-IV を用いて、ANL が MC²-II/SDX コード・システムによる解析を、また GE が炉心設計法によ

る解析を行った。解析結果は、臨界性については体系依存性は殆どなく、実効増倍係数 k_{eff} の計算値は実験値に対して日本側は 0.8%、ANL は 1.6% 低目である。反応率分布の C/E 値(計算値/実験値)は日米とも径方向依存性が見られ、内外炉心境界でピークを持つ。 ^{238}U (n, f) はプランケット最内層で 10% 以上過大評価する。 ^{238}U (n, γ)/ ^{239}Pu (n, f) は炉心平均で日米とも約 8% 過大評価する。物質反応度は日米で燃料核種は 5~13%、15~21% それぞれ過大評価し、構造材核種は約 20、30% それぞれ過大評価する。 UO_2 サンプル・ドップラー反応度は日米でそれぞれ約 12、7% 過小評価する。Na ボイド反応度は日本側は約 30%、ANL は 10~20% 過大評価する。制御棒価値は日米とも計算値と実験値の一致が比較的良好。

議題 2. 臨界実験及び解析に関するトピックス

動力炉技報 No.41 1982. 3

2.1は ZPPR-9, 10の内側炉心セル・パターンが左右非対称であることによる効果、及び炉心組成が径方向で僅かに異なることによる効果を調べたものである。非対称効果は反応率分布、制御棒価値などに数%効くことが明らかになり、実験解析に際してこの効果を補正する必要があることがわかった。

2.2はプレート・セルの非均質効果、ストリーミング効果などを調べることを目的とした米国の単位セル・ベンチマーク実験計画の紹介であり、ZPPR-12として1981年11月開始、期間6か月で実施される予定であるという。

2.3は従来の1次元セル計算法による解析とモンテカルロ法による解析の違いを特性別に論じたものであり、 k_{eff} で0.6% Δk も違うことが指摘された。

2.4は従来の Benoist の拡散係数に対してボイド領域と周辺の燃料領域の干渉効果を考慮した、いわゆる統一拡散係数によるNaボイド反応度の解析であり、漏洩項が効いて来る炉心・フランクセット境界付近で計算値の顕著な改善が見られることがわかった。

2.5は過去長年の ZPPR による Na ボイド実験とその解析のレビューである。単一バイアス・ファクターは全ケース平均で1.14 (C/E値) であり、この値が実験機の設計に十分よい精度で適用できるという。

2.6は現在開発中の新しいセル定数作成法を JUPITER のピン制御棒の実験解析に適用したものである。その結果従来の方法による計算値に対して2~5%低目の値を与えることがわかった。

2.7は $^{238}\text{U}(n, \gamma)/^{239}\text{Pu}(n, f)$ の8%過大評価の原因究明のため、ANLが行った $^{238}\text{U}(n, \gamma)$ 測定法の開発及び測定精度の検証である。その結果現段階では、実験側に本質的な原因は見つからなかったという。

2.8は従来日本で計算値と実験値が合わなかった ZPPR-3 制御棒価値の測定例について、日米で問題点の検討を行ったものである。その結果計算上の原因が1つ明らかになり、不一致の程度が緩和された。

議題3. 評価済核データ及び多群定数作成に関するトピックス

3.1は外国に対して公開されている ENDF/B-IVと未公開のVによる解析結果の比較である。Vによる解析結果は実効増倍率、 $^{238}\text{U}(n, \gamma)/^{239}\text{Pu}(n, f)$, $^{238}\text{U}(n, f)/^{239}\text{Pu}(n, f)$ 、燃料核種の物質反応度、Na ボイド反応度など、IVによる解析で問題のあった特性についてC/E値が改善される方向であるという。

3.2は JENDL-2B のベンチマーク・テストであり、多数の臨界集合体の実験について解析結果を他の核データ・ライブラリーによる結果と比較したものである。その結果 JENDL-2B による計算値は全体として JENDL-1 よりも実験値に合う方向であるが、Na ボイド反応度は過大評価の傾向が却って進むことが明らかになった。

3.3は炉定数セット JFS-3-J2 と JENDL-2B-70 による解析結果を比較したものである。これらは共に JENDL-2B を処理して作成されたものであるが、前者は後者に対していわゆる REMO 補正、自己遮蔽因子のスプライン内挿などの点で処理方法が改善されている。前者による解析結果は後者に比べて物質反応度とドップラー反応度で顕著な差が出ることが明らかになった。

3.4は ENDF/B-IV による炉定数を ZPR と ZEBRA 炉心の積分実験値で修正した炉定数を作成し、ZPPR-9, 10 解析に適用したものである。その結果、 k_{eff} , $^{238}\text{U}(n, \gamma)/^{239}\text{Pu}(n, f)$ などの特性解析のC/E値が大幅に改善されたという。

議題4. その他のトピックス

4.1は大型炉の設計体系とその模擬実験体系が異なる場合、バイアス・ファクターを用いた後に尚残ると予想される、核定数の不確かさに起因する核特性予測誤差を評価したものである。その結果同一制御棒パターン間の外挿では制御棒価値、出力ピーキング・ファクターの誤差は共に1%程度であるが、異なった制御棒パターン間の外挿では誤差がそれぞれ5~6%、4~5%に達することが明らかになった。

4.2はFCA VIII-2集合体で行われた燃料スランピング実験を解析したものである。その結果

通常の拡散計算に比べて修正拡散係数による計算、輸送計算はC/E値が逐次改善される方向ではあるが、なお反応度変化を過小評価する傾向が残ることが明らかになった。

議題5. JUPITER計画フェイズII

5.1は現時点におけるANLのフェイズII計画の紹介であり、700MWe級の径方向非均質炉心のベンチマーク実験を1982年5月開始、期間1年8か月で行うというものである。実験の目的は大型非均質炉心の基礎的な核特性の情報及び設計のための工学的データを得ることである。実験は炉心構成を3種類変化させて行うこととし、それぞれZPPR-13A、13B、13Cと呼ぶことにする。13Aは制御棒位置を模擬した24本のNaチャンネルを有するリング状3燃料(炉心)領域のエンジニアリング・ベンチマーク炉心であり、炉心構成は非均質炉心の設計として提案されている体系に基づいている。13B、13CはNaチャンネルのないリング状2燃料領域の物理的ベンチマーク炉心である。13Cは2つの燃料領域に挟まれたリング状内部ブランケットの厚さが13Bの2倍になっている点が違うだけであり、2つの炉心領域間のCouplingの違いによる特性の変化を調べることが主な目的である。ZPPR-13シリーズにおける主たる実験項目は、反応率分布、制御棒値及びその干渉効果、Naボイド反応度、ドップラー反応度、ガンマ線加熱である。

5.2はZPPR-13計画とLDP(Large Development Plant)計画の関係を説明したものである。LDPはCRBR後の米国の高速炉プラント計画であり、現段階の設計研究では900~1250MWeクラスの径方向非均質炉型が考えられている。ZPPR-13計画はLDPのために行われる臨界実験計画の最初のステップであり、大型非均質炉心の基礎的な核特性の情報と設計の初期段階に必要な情報を得ようとするものである。LDPのための臨界実験計画としては、ZPPR-13実験に続いて炉心構成を決めるための実験、設計を確認するための実験、最終的に核的安全性を確認するための実験、などが一応考えられている。

5.3はフェイズII実験計画に対する日本側のコメントである。ANLのZPPR-13実験計画に対しては、FP Build-up、増殖性、高温時のドップラー反応度などの測定ケースの追加を要望する。そのほか、日本側は非均質炉心の臨界実験の経験が浅いこともあって、径方向と共に軸方向非均質炉型の基礎的な物理実験にも興味を持っている。軸方向非均質炉型は高増殖性能が狙えること、HCDA時のエネルギー放出量を低く抑えられる可能性があること、燃料サイクルを通しての出力変動が小さいこと、内部ブランケットにより出力平坦化ができること、などのメリットが考えられる。そういうわけで、径方向だけでなく軸方向の非均質炉型の基礎的な核特性の情報がフェイズII計画の中で得られれば大変興味深いと考えている。

これに対してANLは、軸方向非均質炉型はLDPの炉心構成としても考えられていないこと、径方向と軸方向の非均質炉心の模擬体系を前後して組むことは燃料装荷作業が大変で事実上できないこと、などからZPPR-13計画へは取入れ難い旨を表明した。そしてこの問題については今後日米間で技術的に調整することになった。

6. まとめ

日本側出席者が多かったのに対して米側は出席者が少なかったが、精力的に報告、議論を行い、4日間の会議日程が時間的に足りないほどであった。報告・議論の内容は会議の議事録に収録されている。

JUPITERフェイズI実験とその解析の総括として、次のことが言える。すなわち、

- (1) 解析結果の傾向は日米で本質的な違いは見られない。
- (2) フェイズI実験の実施により、大型均質炉の炉心設計の信頼性が向上し、炉心設計の予測誤差は各特性とも従来の約半分に縮めることができたと考えられる。このことは最初の大規模炉の建設費を大幅に下げることにつながるものと考えられる。
- (3) 均質炉心と核特性を比較するためにも、

大型非均質炉心のベンチマーク実験をJUPITER 計画フェイズIIとして実施することが望まれる。

これらの結論は第2回日米JUPITER解析会議の名において、次回の日米FBR合同調整委

員会へ提出されることになった。

最後にこの場を借りて、今回の会議の開催、米国側参加者の施設見学に際して御協力戴いた多数の関係者各位に対して深く感謝の意を表する次第である。