

原子力歴史構築賞

(4) 高速炉臨界実験装置 (FCA)

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究部門
岡嶋 成晃
okajima.shigeaki@jaea.go.jp

高速炉臨界実験装置 (FCA) は、高速炉の炉物理研究を目的として 1963 年に設計が開始され、1965 年から建設され、1967 年 4 月 29 日初臨界を達成した。同装置は水平 2 分割型集合体と呼ばれる型式であり、固定側及び移動側に分割された 2 つの集合体から成る。原子炉運転時にはこの 2 分割された集合体が密着状態に保たれ、停止時及び燃料装荷作業時には分離状態となる^{1,2)}。実験炉心は、板状の燃料要素 (ウラン、プルトニウム) 及び模擬物質 (ナトリウム、ステンレス等) を装填した燃料引出しを、集合体を構成する正方形の格子管に装荷して、組み立てられる。この燃料要素と模擬物質の組成比率を系統的に変えることが可能なことから、FCA において構築可能な実験炉心の燃料組成や炉心形状の自由度が大きく、炉心の中性子スペクトルは中速スペクトル炉から高速炉まで多岐にわたるのが特長である。また、板状の燃料要素等の使用により、炉心内のナトリウムボイド領域の拡大や炉心溶融の過程を段階的に模擬することも容易に可能である。

初臨界達成後、FCA は、ウラン燃料を利用して高速炉の炉物理実験技術の習得と経験の蓄積を行うとともに、濃縮度の異なるウラン燃料及びプルトニウム燃料の入手を図り、1974~1975 年には我が国で初めてプルトニウム燃料の使用が可能な臨界実験装置に改造された。この 1970 年代には、実験炉「常陽」及び原型炉「もんじゅ」の模擬実験を実施し、両炉の安全審査、原子炉の設計に必要な炉物理データを提供した²⁾。

その後、装置の特長を活かし、新型中速・高速炉の概念検討に必要な核特性の検証を目的として、軸方向非均質炉心、高転換軽水炉、金属燃料高速炉を始め、様々な革新炉の模擬実験を実施してきた^{2,3,4,5)}。軸方向非均質炉心は、実施当時、径方向非均質炉心が世界で提唱される中、ユニークな概念として注目され、その後の軸方向非均質炉心研究の先駆けとなった。一方、高転換軽水炉模擬実験では、水を模擬する模擬物質として発泡ポリスチレンの導入により、ボイド状態を系統的に模擬したユニークな実験を実施した。この発泡ポリスチレンの導入は、BWR のボイド状態を模擬する軽水炉系の臨界実験へ影響を与えた。

また、燃料組成の自由度の高さや多様な中性子スペクトル場の特長を利用して、核データ評価に必要な基礎的積分データ、高速炉の安全性評価に必要なドップラー効果、ナトリウムボイド効果及び炉心溶融時における反応度効果等の実験データが取得された。さらに、それらの解析を通して、我が国の高速炉物理の発展に大きく貢献してきた。特に、1970年代には、臨界実験で得られた積分データに、実験誤差の範囲内で解析値が一致するように群定数を修正して、高速炉の諸特性の計算に利用する方法に関して、理論的基礎の確立、具体的な方法と実用性の提示にFCAで取得された実験データが利用された^{2,6)}。また、1980年代に実施された中性子スペクトルを系統的に変化させた7つの体系におけるマイナーアクチノイド（以後、MA）核種の積分実験は、測定当時から現在に至るまで、MA核種の断面積評価に非常に有用な実験データであると世界的に評価されている⁷⁾。さらに、プルトニウム燃料のみの体系を含む遅発中性子国際ベンチマーク実験（1995～1998年）が5カ国7機関の参加によって行われ、原子炉の動特性に重要な遅発中性子データの評価に大きく役立つと共に、国際的な貢献を果たした⁸⁾。ドップラー効果測定では、様々な模擬炉心においてU-238に関する測定を行い実験データベースの充実化を図ると共に、世界最高2000℃までの測定を実施して、高速炉におけるU-238ドップラー効果評価に大きく貢献した⁹⁾。この測定技術と中性子スペクトル場の特長を活かして、現在、軽水炉のドップラー効果評価の実験を実施している。

新たな実験手法の開発では、高速炉系の臨界性を系統的に取扱うことを目指した密度係数法（ある物質の密度を一様に変化させた時の反応度変化から組成及び体積の異なる炉心の臨界性を実験値から外挿により求める手法）の開発¹⁰⁾や炉停止マージンや燃料交換時の安全確認における重要課題であった大きな負の反応度の測定法の開発¹¹⁾が行われた。特に、高速中性子スペクトル測定において、反跳陽子計数管装置を開発し高い評価を得た¹²⁾。また、もんじゅの起動試験における箔を用いた反応率分布測定技術の開発へも寄与した。

このように、FCAにおいて実施されてきた実験結果、実験技術開発及びその研究成果は、国内外で高く評価され、これまでに5件の日本原子力学会賞を受賞していることから分かるように、今日の高速炉の設計、開発に反映され、FCAは我が国唯一の高速炉用臨界実験装置としてその使命を果たしてきた。

また、FCAは高速炉にとどまらず、岩石型プルトニウム炉心、加速器駆動未臨界炉心等に係わる炉物理実験への利用に見られるように広範囲に活用されてきている。これらに加えて、「常陽」及び原型炉「もんじゅ」の模擬実験を始め多くの実験において、我が国のみならず海外の炉物理研究者や学生が参加し、炉物理実験技術の普及と継承、高速炉開発分野における人材育成に大きく貢献してきている。

現在、世界において高速炉用の炉物理実験装置はFCAを含め3基が稼働中であり、我

が国のみならず世界的にもその果たすべき使命は、今後も大きいと言える。

最後に、FCA の設計開始から数えると 40 余年が経過し、その期間には、多数の方々が直接的あるいは間接的に FCA に関わられて来られました。言うまでもなく、この方々の高速炉開発への熱意とたゆまざる努力の積み重ねが、今回の受賞へと至りました。この誌上を借りて、これらの方々に厚く御礼申し上げるとともに、一緒に今回の受賞を喜んで頂ければ幸いです。また、FCA は、今後も炉物理実験装置としてその使命を果たしていきますので、御支援・御鞭撻をよろしく申し上げます。

参考文献

- 1) FCAパンフレット
- 2) 弘田実弥:「FCAにおける高速炉臨界実験とその解析」、*JAERI 1289* (1983) .
- 3) S. Iijima et al.: “Experimental Study of Nuclear Characteristics of Large Axially Heterogeneous Core Using Fast Critical Assembly,” *J. Nucl. Sci. Technol.*, 26, 221-230 (1989).
- 4) T. Osugi et al.: “Investigation on Criticality and Infinite Multiplication Factor of High Conversion Light Water Reactor Using Zone-Type FCA-HCLWR Core Fueled with Enriched Uranium,” *J. Nucl. Sci. and Technol.*, 26, 477-491 (1989).
- 5) H. Oigawa et al.: “Experiments and Analyses on Fuel Expansion and Bowing Reactivity Worth in Mock-up Cores of Metallic Fueled Fast Reactors at FCA,” *J. Nucl. Sci. and Technol.*, 36, 902-913 (1999).
- 6) H. Kuroi and H. Mitani: “Adjustment to Cross Sections Data to fit Integral Experiments by Least Square Method,” *J. Nucl. Sci. and Technol.*, 12, 663-680 (1975).
- 7) T. Mukaiyama et al., “Actinide Integral Measurements in FCA Assemblies,” *Proc. of the Int. Conf. Nuclear Data for Basic and Applied Science*, (1985, Santa Fe, USA) Gordon and Breach Science Publishers, pp.483-488.
- 8) 岡嶋成晃:「臨界実験装置を用いた高速炉ドップラー効果の研究」、北海道大学学位論文 (1999) .
- 9) S. Okajima, et al.: “Summary on International Benchmark Experiments for Effective Delayed Neutron Fraction (β_{eff}),” *Progress in Nucl. Energy*, 41, 285-301 (2002).
- 10) 飯島勉、他:「FCA V炉心系における密度係数」、*JAERI-M 5890* (1974).
- 11) 溝尾宣辰:「大きな負の反応度の測定に関する研究」、*JAERI-M 7753* (1978).
- 12) M. Obu, K. Shirakata and T. Ichimori: “Proton-Recoil Counter Technique for Measurements of Fast Neutron Spectrum,” *J. Nucl. Sci. and Technol.*, 16, 329-343 (1979).

高速炉臨界実験装置(FCA)

1963	設計開始
1965	建設着工(3月)
1967	初臨界達成(4月29日)
1970 ~ 1974	Pu入手
1974 ~ 1975	格子管拡大工事
1970 ~ 1980	常陽、もんじゅ 模擬実験
1980 ~ 現在	様々な炉物理実験

2009年3月末 現在
 臨界回数 : 6,165 回
 通算運転時間 : 28,419 時間 20 分
 通算出力量 : 171,210 WH

初臨界時の制御室(1967.4.29)

JAEA

図 日本原子力学会創立 50 周年記念式典において紹介された FCA に関するスライド