

炉物理部会・核データ部会・「シグマ」特別専門委員会合同セッション
「研究炉や臨界実験装置の将来計画と今後のあり方」

(2) 研究炉・臨界実験装置の現状と将来計画

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

1. はじめに

研究炉や臨界実験装置の必要性について、2010年から2012年にかけて、日本学術会議の放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会内に設置された研究用原子炉のあり方検討小委員会において「研究炉のあり方について」が審議され、その結果を反映した取り纏めが2013年10月16日付で提言として報告されている^[1]。その審議では、研究炉の維持と強化の方策について、中長期の視点と全国的な観点から検討する必要があるとの認識をもとに、我が国における研究炉のあり方について議論が行われた。具体的には、①研究炉の役割と位置付け、②研究炉の安全・安定運転の確保、③研究炉の燃料問題への対応、④研究炉の運営・利用体制の強化について検討され、その結果、研究炉に対して、「その利用のメリットや必要性とともに、原子炉施設としてのリスクがあり、そのリスクに対処するための真摯な取り組みが不可欠であるが、我が国における学術、科学・技術の発展の観点から、研究炉の利用を今後も安定的に維持・継続していくことが重要である」と述べている。また、日本中性子科学会の次世代研究用原子炉検討特別委員会では、「次世代研究用原子炉の建設に向けて」の検討が行われた^[2]。

ここでは、これらの結果を参考に、研究炉や臨界実験装置の現状と将来について考える。ただし、人材育成については陽的に含めないこととする。

2. 研究炉や臨界実験装置の役割と現状

2.1 研究炉や臨界実験装置の利用目的

研究炉や臨界実験装置は、法令上は「試験研究の用に供する原子炉」に属し、実験炉を含む。日本学術会議では、以下のように述べている。

我が国では、研究炉は、原子力開発の初期段階から設置された施設であり、原子力の

研究・開発、人材育成、研究者・学生の研究・教育に役立てられてきた。また、研究炉で得られる中性子は、基礎研究、産業、医療にも利用されるなど、研究炉は我が国の学術、科学・技術、産業の発展に貢献してきた。その実績からも、研究炉は多くの分野で学術、科学・技術の発展に必要な研究基盤施設であり、安定・定常的に維持すべき施設である。

日本学術会議では、研究炉及び臨界実験装置の具体的な用途を以下のように分類した。

- ① エネルギー利用（材料試験、等）
- ② 学術利用（基礎物理、物質科学、工学、生物、農学、生体物質、薬学、医学、等）
- ③ 産業利用（リチウム電池、燃料電池、化粧品、プラスチック材料などの新製品開発）
- ④ 医学・治療利用（BNCT、アイソトープ製造）
- ⑤ 放射線科学・技術（測定技術・装置、等）
- ⑥ 人材育成（原子力工学者、放射線科学・技術者、材料学者、研究者、外国人原子力技術者、等）
- ⑦ 波及効果・国際貢献

その利用目的をもとに、現時点での我が国の実験炉や原型炉を含む研究炉及び臨界実験装置の一覧を表1に示す。表より明らかのように、JRR-3MがJRR-3の改造であることを考慮すると、研究炉（JRR-3M、JRR-4、NSRR、JMTR、UTR-KINKI、KUR）や臨界実験装置（TCA、FCA、STACY、TRACY、NCA、KUCA）は、STACY及びTRACYを除くと、1960～1970年代に運転が開始され、すでに40～50年が経過している。利用目的を見ると、研究炉の場合、産業利用、医学・治療利用、放射線科学・技術、人材育成である。ただし、JMTRとNSRRの場合にはエネルギー利用も含まれる。一方、臨界実験装置の場合、エネルギー利用と人材育成である。ここで、エネルギー利用について、核データ及び炉物理の観点からもう少し詳しく見ると、研究炉の場合は中性子源としての利用であり、臨界集合体は原子炉の開発を目的とする。人材育成では原子炉の運転経験の蓄積や原子炉理論の把握等の教育であると考えられる。

- ① 放射線源や中性子線源
 - －照射による効果や影響の調査研究
 - －放射性核種の生産
 - －計測機器等の開発
- ② 原子炉の開発
 - －実験的に核的特性の調査研究
 - －現行原子炉や新たなアイデア、新概念による核反応制御機構の追加や改造

表1 国内の研究炉及び臨界集合体と利用目的（参考文献[1]から引用、ただし、一部変更）

機関	場所	原子炉（運転開始年/初臨界年）		利用目的						
				エネルギー利用	学術利用	産業利用	医学・治療利用	放射線科学・技術	人材育成	波及効果・国際貢献
JAEA	東海	JRR-3M	(1990)		○	○		○	○	
		JRR-4	(1967)				○			
		NSRR	(1975)	○						
		TCA FCA STACY TRACY	(1962) (1967) (1995) (1995)	○					○	
	大洗	JMTR	(1968)	○	○	○			○	○
		HTRR	(1998)	○						
		JOYO	(1977)	○						
	敦賀	MONJU	(1995)	○						
	東芝	川崎	NCA	(1963)	○					
	近大	東大阪	UTR-KINKI	(1961)		○				○
京大	熊取	KUR	(1964)		○		○	○	○	
		KUCA	(1974)	○					○	

2.2 研究炉や臨界実験装置の現状

現在（2015年5月）、表1中の研究炉や臨界実験装置は、新規規制基準への対応を行っており、どの炉も運転が休止の状況にある。これに対して、研究炉のユーザーからの早期再稼働を求める動きが多数あると聞く。

再稼働後には、前述したように、多くの研究炉や臨界実験装置は初臨界達成時期や運転開始時期からかなりの年数が経過していることから、現行装置の高経年化対策や新規研究炉の建設などの課題に直面する。言い換えれば、研究炉や臨界実験装置の寿命を考える必要がある。老朽化や高経年劣化の具体的な対策を考えると、たとえば計測系等の場合、所定の性能を維持する新たな機器の更新によって対応が可能であるのに対して、炉心構成材料の照射損傷の場合、中性子照射量すなわち炉出力と運転時間に依存する。このことから、臨界実験装置の場合は、その出力が低いため、構成材料の経年劣化を考えることはほとんど必要ないと考えられる。一方、今回の新規規制基準対応のような法令改正への対応に対して、古い施設の場合、その対応のために新たな機能や設備の追加等を行う必要が生じるが、様々な制約からその対応が非常に困難になる場合がある。つまり、臨界実験装置の場合、老朽化あるいは高経年化とは、物理的な内容より、法令対応上の内容が大きいと言える。

また、研究実施の観点から、実験に要求する測定精度などの仕様は、臨界実験装置が建設された頃からは大きく異なってきている。特に、最近の核特性評価では、誤差評価解析が進歩し、IRPhEPのフォーマット^[3]に見られるように、実験に求められる精度や誤差評価等への要求レベルが高く、詳細になってきている傾向がある。現行臨界集合体は、このような要求に応えることができるであろうか？ この点を検討し、要求を満たすための改造や新規臨界実験装置の建設が必要な状況に直面しつつあると考える。

2.3 研究炉や臨界実験装置の今後の計画

現在、我が国の研究炉及び臨界実験装置に関して、改造を実施または計画中の装置は、以下の通りである。

① 研究炉

計画はない（構想はある？）

② 臨界実験装置

STACY（改造中：H23年改造開始、H30年臨界予定）

改造のポイント：固体燃料のみ使用

燃料濃縮度の拡大

V_m/V_f 1.9～15 → 0.9～11

TEF（核変換実験施設）（計画中）

H28年度 TEF-T（核変換工学実験施設）建設開始予定

H30 年度 TEF-P (核変換物理実験施設)

一方、海外の状況として欧米での一例を見ると、以下のように、今後に向けて、前向きに次期装置を計画していると言える。

- 米国

研究炉

- ATR (1967～)
- NRAD (1977～)
- HFIR (2007 年改修、今後数十年間中性子ビームを用いた研究と RI 生産に利用)

臨界実験装置

- Nevada National Security Site (NNSS) 中の National Criticality Experiments Research Center (NCREC)^[4]へ集結 (PLANET, COMET, FLATTOP, GODIVA IV)

- 欧州

研究炉

- JHR (2007～2016 年建設、2017 年運転開始予定)

臨界実験装置

- MINERVE、EOLE の後継機
- VENUS 炉の改造 (ADS 実験へ)

我が国においても、今後も原子力開発を行っていくのであれば、研究炉や臨界実験装置の利用ニーズ等を再考するとともに、将来にむけて適切に対応する必要がある。

3. 将来へ向けて

3.1 将来に向けた研究炉や臨界実験装置への対応

前節で述べたように、我が国の研究炉については、施設や装置のアップグレードを検討する時期にきていると考えられる。たとえば、日本学術会議の提言^[1]の中の「研究炉の後継と将来の研究炉の検討」において、「出力 5MW 以下の小型研究炉である KUR 及び JRR-4 がシャットダウンした場合、我が国ではホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) などの先駆的・開拓的な研究に適した柔軟性の高い研究の場を失うことになる。BNCT については、将来的には加速器中性子源による治療施設が開発されることが望まれているが、その実現に必要な研究を含めて同様の先駆的・開拓的な研究や人材育成にも適した研究炉が必要であり、対策案を提示する必要がある。」と指摘している。このことは、他の研究炉や臨界実験装置についても、同様のことが言える。とはいえ、現在の我が国の財政状況を考慮すると、現行の研究炉や臨界実験装置の建設に向けて努力されてきた先人達のご苦労以上に、厳しい状況であると言わざるを得ない。よって、核データや炉物理のコミュニティに

において、従来のような単にニーズを提示するのではなく、人材の英知と経験を鑑みると、より積極的に関わって、今後の新しい施設のあり方や仕様までも検討する必要があるであろう。

たとえば、次期装置の建設に向けた対応は、設計・建設に要する期間を考えると早急に開始する必要がある。また、その対応については、仕様のみならず、国際的な観点での検討が必要である。これらへの対応は、20年以上ものブランクを経て新たな研究炉や臨界実験装置を検討するのであるから、言うまでもなくオールジャパン体制で取り組み、その技術継承に努める必要がある。その際、参考文献[5]及び[6]は、その検討に役立つと思われる。以下に、研究炉及び臨界実験装置について、個別に検討すべき項目を、筆者の思いつくままに示す。

- 研究炉

- 建設する理由（利用分野・利用目的、戦略性）の明確化
- ライバル（加速器、外国）との関係（役割分担）
- ユーザーの確保
- 有すべき機能・仕様（線源の質・量）
- 維持管理体制

- 臨界実験装置

- 本当に臨界実験装置は必要か？
今後の研究での利用分野（研究テーマ）は？
人材育成での利用の場合、シミュレーションで代用できないのか？
- 仕様・性能の高度化
- 維持管理体制

ぜひ、これを契機に、核データや炉物理のコミュニティが、他のコミュニティの範となるような検討等を進めていって頂きたいと、筆者は切に願う。

3.2 将来に向けて、研究炉や臨界実験装置を維持・運営する上での課題

次期装置の検討とともに、研究炉や臨界実験装置を維持・運営する上での課題がある。特に、近年は、核データや炉物理分野での実験に従事する人が、計算コード開発や計算による評価を行う人たちに比べて少なくなっている傾向が感じられる上に、震災以後の若い世代の原子力離れが拍車をかけている状況である。その点でも、維持・運営する上での課題は、将来に向けての重要な課題であると言え、その危機感を共有するとともに、対策についても早期に検討着手する必要がある。

研究炉や臨界実験装置の安全・安定運転の確保や利用体制等が重要である。このためには、その利用目的に応じたメリットや必要性、原子炉施設としてのリスクがあり、その規模も様々であることから、それぞれの規模に応じて、適切な対策と対応が求められる。ま

た、研究用原子炉の利用に伴って発生する放射性廃棄物、特に使用済燃料の問題については、発電用原子炉の場合とは異なり、その量は少ないが、その処理処分について適切な対策が求められる。

－ 安全・安定運転の確保

施設の安全性・先端性を継続的に確保することが必要である。特に以下の点を重要な解決すべき課題として挙げる。

- 安全・安定運転のための運営費用やマンパワーの不足
- 発電用原子炉をベースにした安全対策・評価への対応
- 運転維持費の確保・削減の取組み（燃料の共同購入など）
- 現行炉の寿命（京大炉（2016年以降）、JRR-4（2016年以降）、JMTR（20年後）及びJRR-3M（20年後））と国内外の研究炉との連携強化
- 廃炉措置と使用停止後の長期管理

－ 燃料問題への対応

個別の設置事業者での対応では困難なことが多々あることから、国としての政策的観点から中長期的な方策を早急に示す必要がある。

研究炉及び臨界実験装置の燃料は主に米国籍であることから、使用済燃料については、米国への返還が基本である。また、昨今の核セキュリティ上からも米国への返還が強く求められる。しかし、その返還は米国との契約交渉であり、多額の費用等が発生する。そこで、使用済燃料については、長期貯蔵を視野に入れて、対米返還交渉を進めることが重要である。その一方で、再処理の可能性検討、直接処分を含めた使用済燃料の処分方策の具体的検討を並行して行っていく必要がある。その際、対米返還以外の方策については政策的検討とともに法的整備が必要であり、国の対応が求められる。

- 使用済燃料の処理処分等（対米への返還に係る諸問題、最終的処理処分等）
- 新燃料の確保
- 新燃料及び使用済燃料の保障措置及び核物質防護対応

－ 研究炉の運営・利用体制の強化

研究炉の利用については、学術研究への適用と同時に産業界のニーズにも応える必要があり、また、原子力と科学・技術の適切なバランスを保つ必要もある。全国共同利用制度や共用促進法のような仕組みの下で適切に運用されることが必要である。また、国内の研究炉を更に効率的、有効に、そして合理的に活用するために、統一的な利用体制（プラットフォーム）の構築が望まれる。

研究炉の有効利用と新たな利用体制の構築に当たっては、新規の測定法や装置の開発とともに利用支援を担う強力なスタッフの充実と、そのための人材育

成を進める必要があり、既存の枠組みにとられない新たな体制の構築が不可欠である。

- ユーザーフレンドリーな利用体制の構築とその維持（施設所有者から適当に独立した共同利用体制の構築、施設側と利用者側のインターフェースになる人材の育成）

4. おわりに

筆者は、日本学術会議の提言^[1]や日本中性子科学会の検討^[2]をもとに、筆者の独断と偏見で、「今後、我が国にとって、真に研究炉や臨界実験装置が必要か？」について、これからの世代の人たちを中心に熱く議論して頂きたい一心で、原子力学会の核データ部会・炉物理部会合同企画セッションにおいて講演を行い、かなり過激な内容を紹介した。筆者の得意の分野である臨界実験装置についても、人材育成の観点から、臨場感を味わうためには必要な装置と指摘されている。しかし、昨今の映画やゲームを見ると、これらも一種のシミュレーターと考えることができ、かなりの臨場感を味わうことができる。また、反応度事故等の体験は、シミュレーターなら体験できる。さらに、シミュレーターに新規規制基準への対応はない。反面、その性能を維持向上する必要はある。このように、リアルの体験とバーチャルの体験を両方旨く組合せて、従来より進化した人材育成方法があると筆者は考える。また、学術的なニーズも数年では、新たな装置を建設する理由に至るであろうか？ 費用対効果も重要な検討要因である。たとえば、これまでの臨界実験装置では、その建設目的が人材育成のみのケースはなく、新型炉の核特性測定を目的に建設されたものが多い。このような状況を踏まえると、松浦祥次郎氏が電気新聞「時評」に寄稿された「人材育成と先進型炉開発」^[7]が大きな示唆を与えていると思う。この記事の一部を以下に紹介して、筆を置くことにする。

『人材育成の重要性は常に言われ続けてきている。我が国の原子力分野では、特に3.11以後その声が高い。しかし、減少や終焉に向かってゆく産業への若い人材の参入は、いくら声を大きくしても、必要性を説いても、若者の挑戦を掻き立てるのは無理な相談ではなかろうか。やはり将来に役立つ新しい可能性への挑戦こそが魅力であり、また若者はその挑戦でしっかり育つ。

若者が原子力に魅力を感じる仕事は先に述べたような、より新しい炉システムの構想・構築であろう。3.11の教訓をしっかりと踏まえたうえで、我が国こそが「究極的に安全な炉構想」、「核分裂生成物の処理を含む原子炉システム」に挑戦し始める時期ではないか。もう少し具体的に言えば「反応度事故フリー、かつ冷却材喪失事故フリーで核分裂連鎖反応を持続させる体系」、かつ連続して核分裂生成物の処理もその中に含む原子力システムである。この構想は、おそらく多くの科学・技術的困難に遭遇するであろう。そこにこそ最

も重要な基礎・基盤研究の種が見えるに違いない。意欲のある若者がそれを見過ごすはずはない。』

参考文献

- [1] 日本学術会議 基礎医学委員会・総合工学委員会合同放射線・放射能の利用に伴う課題検討分科会、「研究用原子炉のあり方について」（2013年10月16日）
- [2] 日本中性子科学会 次世代研究用原子炉検討特別委員会 報告書 「次世代研究用原子炉の建設に向けて」（2012年12月）
- [3] EVALUATION GUIDE FOR THE INTERNATIONAL REACTOR PHYSICS EXPERIMENTS EVALUATION PROJECT (IRPhEP)、 NEA/NSC/DOC(2013)2
- [4] National Criticality Experiments Research Center、
<http://www2.nstec.com/Documents/Fact%20Sheets/NCERC.pdf>
- [5] Morgan C. White, Todd A. Bredeweg, Peter J. Jaegers, Albert C. Kahler III, and Robert C. Little; “Planning for Critical Assembly Experiments for Stockpile Stewardship and Global Security,” LA-UR-11-05923, http://nnsa.energy.gov/sites/default/files/nnsa/09-12-multiplefiles/white_EDIT.pdf
- [6] The Mission and Vision of the USDOE Nuclear Criticality Safety Program for the Fiscal Year 2009-2018, http://www.efcog.org/wg/sa_cs/docs/NCSP-MV-COMPRESSED.pdf
- [7] 松浦祥次郎；「人材育成と先進型炉開発」、電気新聞「時評」、（2015）