

次世代炉物理実験施設検討に関する提案

令和2年9月18日
原子力学会炉物理部会
人材育成WG 研究炉SWG

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故を経験した我が国では、原子力を取り巻く国内の社会情勢は厳しく、国民の原子力への不信・不安の解消にはいたっていない。このような状況のもと、気候変動やエネルギー安定供給の観点から今後も原子力エネルギー利用を進めていくのであれば、安全性の確保を大前提とした上で、多様な社会的要請の高まりも見据えた原子力関連技術のイノベーションを促進することが必要である。このためには、技術課題解決に向けた不断の努力が不可欠であるが、こうした取組みを支える基盤技術の現状は極めて厳しいものがある。特に、これまでに原子力分野の人材育成や技術開発で重要な役割を担ってきた臨界集合体を含む研究炉の多くは、廃止措置対象となり、既存の施設の維持・管理も極めて厳しい状況となっている。

このような状況の中で、日本原子力学会炉物理部会では、原子炉物理分野で今後取り組むべきことをまとめた「原子炉物理分野の研究開発ロードマップ 2017年版」(以下、2017RM)を取りまとめた。炉物理部会では、2017RMの具現化に向けて、部会としての活動や部会員が参画するプロジェクトを通して貢献できる可能性があるものとして人材基盤を取り上げ、具体的なアクションプランの候補の検討を行う人材基盤WGを設けた。人材基盤WGでは、「人材育成のための既存の研究炉・関連施設の活用推進ならびに次世代炉物理実験施設の提案」を目的に、研究炉SWGを設置した。本提言は、研究炉SWGにおいて、炉物理分野の人材育成だけにとどまらず、原子力の研究開発を進める観点も含めて、原子力の基盤技術やイノベーション創出を支える基盤施設である研究炉の役割を改めて見直し、研究炉の今後のあり方に対する提言を取りまとめたものである。

なお、2018年7月に閣議決定された第5次エネルギー基本計画では、軽水炉技術の向上を始めとした技術課題の解決に積極的に取り組む必要があるとしている。具体的には、以下のような技術開発を進めるとしている。

- ✓ 万が一の事故のリスクを下げていくため、過酷事故対策を含めた軽水炉の一層の安全性・信頼性・効率性向上に資する技術開発
- ✓ 安全性の高度化に貢献する技術開発
- ✓ 原子力利用の安全性・信頼性・効率性を抜本的に高める新技術等の開発

また、こうした取組みを支えるために、人材育成や研究開発等に必要試験研究炉の整備を含めた人材・技術・産業基盤の強化を進めるとしている。

2. 現状整理

○ 炉物理の Vision と Mission

提言を取りまとめるにあたって、炉物理部会の基本方針である、炉物理の Vision（果たすべき役割・目的）と Mission（Vision を達成するためにおこなうべきこと）を改めてここに示す。この Vision と Mission は、2017RM の検討において策定されたもので、炉物理分野の「あるべき姿」を示している。

炉物理の Vision

原子核分裂反応を主とした中性子と原子核の相互作用を中核とする学術分野において、原子力システムで発生する様々な物理現象を深く理解し、安全に制御することにより、人類社会の健全かつ持続的な発展に寄与する。

炉物理の Mission

- [1] 人類社会に対する核燃料物質の資源価値を最大化し、客観的な指標とともに人類社会にとって最適な原子力利用のあり方を提示する。
- [2] 安全性の向上を最優先とすることを前提に、原子力利用のライフサイクルを通じたエネルギー安全保障性・環境調和性・経済性を向上させる利用方法を追求する。
- [3] 原子力システムで生じるミクロレベルからマクロレベルに至る様々な物理現象を対象とし、その理解の精度を高める。
- [4] 原子炉が原子炉たる理由を説明できる唯一の学術分野であることを念頭に、学術及び技術分野としての炉物理を発展させながら後世に引き継いでいく。
- [5] 人類社会にとって有益な原子核反応の活用方法を追及する。

○ 次世代炉物理実験施設に対するニーズ

炉物理実験施設が人材育成に不可欠であることは論を待たないと思われる。ここでの人材育成は、炉物理研究に携わる研究者だけでなく、炉物理を学生に教育する立場の教員や原子炉の設計・運転に携わる人材を含めた幅広い人材の育成を意図している。近年は、計算機の能力向上とシミュレーション技術の進化を背景として計算科学が急激に進化しており、炉物理分野においてもモデリング&シミュレーション技術の開発は重要な開発課題である。将来的には、仮想空間で原子炉の運転を模擬することができるようになるかもしれないが、これらは「未知」の領域に研究には限界があり、また「リアル」を経験するという教育の観点からも、実際の実験装置を使用した実験研究や実験教育は必要不可欠である。炉物理実験を用いた技術開発を通して得られる炉心設計や臨界制御等の要素技術は、炉物理に携わる人材が備えるべき基本的な技術であるといえる。様々な安全規制上の制約で、炉物理実験施設を使用した実験は困難になりつつある。しかし、それらの規制上の制約への対応を含めて、炉物理実験施設における実験は、炉物理だけでなく原子炉の安全確保の観点からも重要な機会となりうる。したがって、今後もモデリング&シミュレーション技術の開発と実験研究を両輪とした研究開発が必要である。

今後も原子力利用を続けていくためには、安全性・信頼性・効率性を高めるための技術開発を進めるための不断の取組みが炉物理に限らず最重要課題である。このような観点から、炉物理実

験施設に対して以下のようなニーズがあると考えられる。

- ✓ 軽水炉の一層の安全性向上に向けた新たな取組みの実証試験の場。例えば、例えば軽水炉では事故耐性燃料としてセラミックス複合材被覆管など従来の燃料概念の延長ではないものが現在検討されており、将来にわたりさらに多様な炉心燃料の形態へと広がりを見せることが考えられる。また、新材料の導入により運転燃料温度域等の運転条件が変化する可能性もあり、炉物理試験による実証データの取得や解析手法の検証が必要となる。より実証主義になっている原子力規制の観点からも、新たな概念の実証の場としての炉物理実験施設が必要である。
- ✓ 利用目的のないプルトニウムは持たないとする原則の下で、当面は軽水炉で MOX 燃料を利用するが、使用済 MOX 燃料の処理・処分の方策については、引き続き研究開発を進めながら検討する必要がある。使用済 MOX 燃料に含まれる高次化したプルトニウムに関する実験データは数少なく、高次化プルトニウムを再び原子炉で使用するには、炉物理実験の拡充が望まれる。
- ✓ 資源の少ない我が国が、核燃料を有効に活用する方策を国内外に示していくことがより重要である。2018 年 12 月に決定された高速炉開発の「戦略ロードマップ」では、今後は、各メーカーが各自の知恵や創意工夫を活かし、主体的に技術開発を推進し、「もんじゅ」などで培った技術・人材も最大限活用しつつ、これまでのようにナトリウム冷却高速炉に絞らず、さまざまなタイプの高速炉についても可能性を追求していくこととされている。新たな高速炉概念の実証においては、炉物理実験施設での実証試験が必要不可欠である。
- ✓ 米国や欧州では、小型モジュール炉や熔融塩炉を含む革新的な原子炉開発が進められている。我が国においても、民間による発想をもとにした原子力イノベーションを推進する動きがある。こうした、これまでの原子炉概念にとらわれない革新的な原子炉概念の研究開発を進めるための模擬実験の必要性。

○炉物理実験施設の現状

これまでに示したように、炉物理の Mission を達成していくためには、炉物理実験施設は人材育成・教育の場としてだけでなく、研究開発を進めていく上でも重要な役割を果たすと考えられる。国内の主な炉物理実験施設を表 1 に示す。この表に示した施設のうち、TCA、TRACY、NCA については既に廃止の方針が示されている。残りの施設の状況を以下に示す。

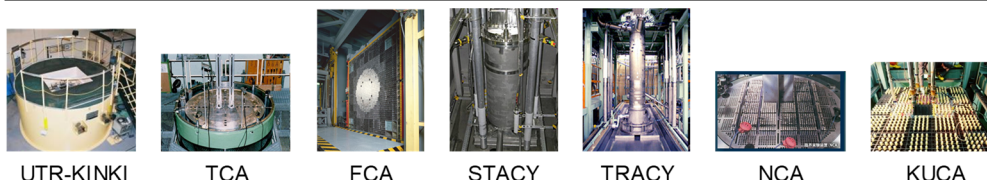
- ✓ UTR-KINKI は、2017 年に、わが国の試験研究炉として最初に最終官庁検査に合格し、2017 年 4 月から学生・教員を対象とした原子炉実習運転を再開している。
- ✓ KUCA は、2017 年に最終官庁検査に合格し、2017 年から共同利用実験等及び学生を対象とした原子炉実習運転を再開している。現在は、2016 年の核セキュリティサミットにおける日米合意に基づき、使用している高濃縮ウラン燃料を 2021 年度までに米国に移送するとともに、低濃縮ウランを用いた炉心へ移行するための各種作業を行っている。
- ✓ STACY は、これまでの「溶液燃料を用いる臨界実験装置」から「固体燃料及び軽水を用い

る臨界実験装置」への更新改造を計画している。更新改造後は、TCA のようにウラン燃料棒（濃縮度 5%以下）を格子状に配置し軽水を給水して臨界とする臨界実験装置となり、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しに係る臨界管理技術開発等を目的に、デブリ材料を模擬した物質やデブリ模擬体を使用した臨界実験を行う計画である。2018 年 1 月に原子炉設置変更許可を取得し、現在は更新改造に向けた準備を進めている。

- ✓ FCA は、2014 年の核セキュリティサミットにおける日米合意に基づき、使用していた高濃縮ウランおよびプルトニウム燃料を米国に移送した。現在は、残った低濃縮(約 20%)ウランで実験は可能な状態であるが、新規制基準への適合性確認に向けた具体的な計画は無い。

表 1 国内の主な炉物理実験施設

| 名称 | 設置者・設置場所 | 型式 | 主な燃料 | 初臨界 |
|----------------------|----------|-----------|-------|-------|
| UTR-KINKI 近畿大学原子炉 | 近畿大 | 軽水減速黒鉛反射 | U | 昭和36年 |
| TCA 軽水炉臨界実験装置 | JAEA | 軽水減速型 | U, Pu | 昭和37年 |
| FCA 高速炉臨界実験装置 | | 水平2分割型 | U, Pu | 昭和42年 |
| STACY 定常臨界実験装置 | | 溶液燃料タンク型 | U | 平成7年 |
| TRACY 過渡臨界実験装置 | | 溶液燃料タンク型 | U | 平成7年 |
| NCA 東芝臨界実験装置 | 東芝 | 軽水減速型 | U | 昭和38年 |
| KUCA 京都大学臨界実験装置 | 京都大学 | 軽水及び固体減速型 | U, Th | 昭和49年 |



以上に示したように、我が国の炉物理実験施設は、新規制基準や核セキュリティ対策への対応等による管理コストの増大、限られた人的資源、核セキュリティサミットの声明に基づく核物質の最小化といった制約等の多くの困難に直面していると言える。また、表 1 から明らかなように、比較的新しい STACY および TRACY を除いて、昭和 30~40 年代に建設された古い施設であり、今後も設備を発展的に更新していくことは極めて困難であるといえる。

使用可能な施設を可能な限り使い続けることは不可欠ではあるが、限られたリソースを有効活用し、将来にわたって炉物理の Mission を果たしていくために炉物理部会として新たな実験施設の提案に積極的に関わっていくことが必要であると考えます。

3. 次世代炉物理実験施設に対する提言

これまで示してきたように、炉物理に携わる人材育成・教育だけでなく、炉物理研究のためにも、現在利用可能な研究炉ならびに関連施設の積極的な活用は必要である。しかしながら、既存の炉物理実験施設は40年以上前に建設されたものが多く、設備の発展的な更新も困難なために、実施できる実験は限りがある。したがって、炉物理教育・研究に今後も活用できるような様々な炉物理実験が可能な新たな施設と使用する核燃料の確保が望まれる。

次世代炉物理実験施設に求められる機能

- ✓ 炉物理の観点からは、様々な炉心組成や中性子スペクトルを模擬可能な臨界集合体に対するニーズが高いが、ある程度の出力が必要な炉心動特性実験等に対しては研究炉が必要。したがって、臨界集合体を第一優先として考えるが、京都大学複合原子力科学研究所のように、臨界集合体とある程度の出力を有する研究炉を設置することが理想的である。
- ✓ 一つの臨界集合体あるいは一つの施設で、幅広い炉心概念の炉物理実験が可能な装置が必要。シミュレーション技術開発と実験研究を両輪として研究開発を進めるという観点からは、シミュレーションでの再現性を考慮した実験体系が容易に構築可能であることが望ましい。また、多様な炉心の模擬性を確保するという観点からは、KUCAやFCAのような固体燃料や模擬物質を使用した臨界実験装置が望ましい。

運営・利用体制

現在のように、炉物理実験施設の運営・利用を個別の設置事業者が対応することは、人材も含めた運用コストの面からも今後ますます困難になると考えられる。施設の安全性・先端性を継続的に確保するために必要な運営費用やマンパワーを一事業者が負担するには限界があるため、炉物理部会も含めたコミュニティ全体で支える仕組みを検討する必要がある。例えば、宮城県仙台市で建設が計画されている次世代放射光施設は、国の主体として国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構が施設を建設し、一般財団法人光科学イノベーションセンターを代表機関とする、同財団、宮城県、仙台市、国立大学法人東北大学、及び一般社団法人東北経済連合会で構成される民間・地域パートナーが、財源も含めた「官民地域パートナーシップ」によって施設の整備・開発を進めることとしている。新たな炉物理実験施設についても、このような産官学が一体となった施設整備・運営の実現を目指すべきであり、炉物理部会がこうした議論に積極的に関与していくことが求められる。

安全運転の確保

安全確保が大前提ではあるが、現在の規制基準は発電用原子炉をベースにしたものであり、炉物理実験施設には最適化されていない部分がある。試験研究用原子炉に対する規制基準や核セキュリティ・防災対策を原子炉の規模に応じた適切なものとするのが望まれる。

以上。