

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」

(3) 炉物理研究からの研究炉や臨界実験装置の必要性

京都大学原子炉実験所

三澤 毅

misa@ri.kyoto-u.ac.jp

我が国は 1957 年の JRR-1 の運転開始以降、多くの研究炉や臨界実験装置が建設され炉物理研究を中心とする原子力に関する基礎研究、中性子利用、原子力研究者の人材育成教育などの目的で広く利用されてきた。しかし、1995 年に運転を開始した日本原子力研究開発機構の NUCEF 以降に新規炉の建設が行われておらず、ほとんどの炉において高経年化対策が必要となってきたが、このような状況は日本国内に限ったものではない。2014 年の時点でこれまでに約 770 基の研究炉が世界各国において建設されてきたが、現在運転を継続しているのはその約 1/3、さらにその 2/3 は運転開始から 30 年以上が経過した経年化炉であり、今後の研究炉の利用については日本国内のみならず各国で議論を進める必要がある。

この高経年化問題に加え、我が国においては東電福島第一原子力発電所の事故以降、研究炉や臨界実験装置に対する新しい規制基準が施行され、その対応のための施設の維持管理が大きな負担になっている。また核セキュリティの観点から国内の臨界実験装置用の高濃縮ウラン燃料や Pu 燃料を米国に引き渡すことが検討されており、新規に低濃縮ウラン燃料を入手できないと運転が継続できない恐れがあるなど、研究炉や臨界実験装置を取り巻く状況は近年非常に厳しいものになっており、既に運転停止を決めた炉も出てきている。

研究炉や臨界実験装置の今後の必要性ということを考えたとき、将来における廃炉作業を含めた原子力利用の人材育成のための基礎実験を行うことができる現場としての役割については論をまたないが、実際には炉物理分野等での研究を目的とした利用がないと予算確保の面からこれらの施設を今後維持していくことは難しいと思われる（海外には人材育成の目的に特化した研究炉が数多くあるが、残念ながら国内ではそのような利用方法の炉は考えられていない）。本稿では筆者が運転管理業務に関わっている臨界実験装置である京都大学原子炉実験所（京大炉）の京都大学臨界集合体実験装置（KUCA）を

取り上げて、これまでの研究利用の内容や利用状況をまとめつつ、今後の炉物理研究等の観点から見た臨界実験装置の必要性について述べてみたい。

KUCA は 1974 年に運転を開始した最大出力 100W の京都大学が保有する臨界実験装置で、固体減速炉心と軽水減速炉心という異なる形式の炉心を有するため様々体系の炉心を構成することができ、さらに併設された DT 反応によるパルス状中性子発生用の加速器、または 2009 年に導入された中性子発生用の FFAG 陽子加速器と炉心とを組み合わせ利用することができるという特徴を持っている。これまでに全国共同利用施設として大学や研究機関の研究者に広く利用されてきて、年間の運転時間は図 1 に示す通りで、年平均で約 840 時間の運転(学生実験や保守のための運転時間を含む)が行われてきた。

運転開始以降、約 40 年が経過しているが、その間の利用目的の変遷を簡単に振り返ってみる。

1985 年頃までの最初の 10 年間は KUCA の設置目的の 1 つであった京大 2 号炉(HFR)の開発のための基礎実験を中心に行っており、他の大学の共同利用者が研究内容を自由に決めることはできなく、HFR に関連した研究内容での共同利用をお願いしていたような状況であった。もう 1 つの研究テーマはトリウム利用炉であり、これも KUCA の当初に設置目的となっていた研究テーマであった。

その後の 10 年間くらいは KUCA 側の依頼に基づく実験ではなく、各大学の研究者が独自の発想で実験を計画した共同利用が行われた。主なテーマとしては、高転換軽水炉の模擬実験、未臨界度測定など臨界安全性に関連した実験、炉心安定性を評価するための実験、などであり、さらに計算コード検証のためのベンチマーク実験データの取得も主な目的となっていた。本来、臨界実験装置の利用目的としては、炉物理の理論検証、新型炉開発、ベンチマーク実験という 3 つの実験内容が重要な柱であると考えられるが、この時期はそれらすべての実験を行っており、KUCA の利用方法が成熟されつつあった時期であったと言える。

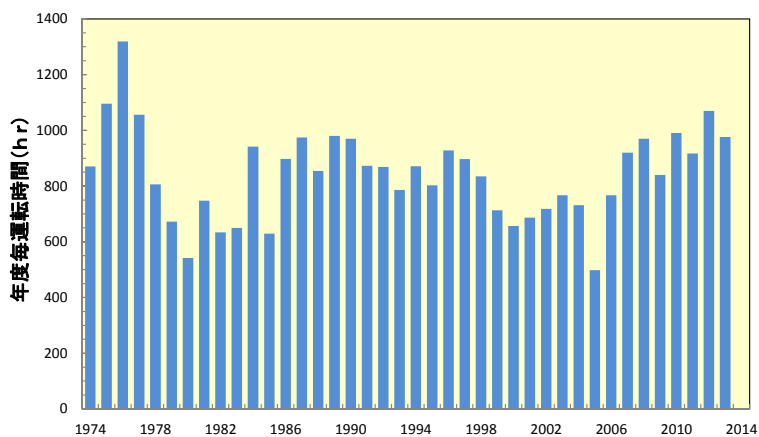


図1 KUCA年間運転時間の推移(h r) (平成27年3月現在)

さらに次の 10 年間である 2005 年頃までの間は、上記の実験に加えて加速器利用を含め KUCA を中性子照射場として利用する実験、例えば検出器開発や人体ファントム実験など、通常の中性子源としての研究炉の利用目的に近い実験が行われるようになった。これは臨界実験装置の新しい利用方法であると考えられる。また、加速器と炉心とを組み合わせた新しい装置である加速器駆動システム (ADS) の基礎実験も開始されるようになった。

そして、最近の約 10 年間では、核燃料物質を利用できる施設ということで核セキュリティ対策関連の新しい研究テーマの実験も行われるようになったが、この時期の最も特徴的なこととして、原子力関連メーカーとの共同実験 (エルビア装荷実験、核燃料デブリの臨界安全性に関する実験) が行われたことが挙げられる。現時点では京大炉の規定上から KUCA をメーカーの研究者が共同利用として単独で用いることはできないが、大学とメーカーとの共同研究の一環として KUCA を用いた実験を行うようになってきた。

ここ 10 年間の研究テーマは図 2 のようになっている。京大炉の研究プロジェクトとして進めている ADS に関する研究が多く占めているが、ADS 研究の中には未臨界度測定に関する研究や測定技術に関する研究が含まれているため、これまで通り幅広い研究課題での実験が行われていることがわかる。

これらの KUCA のこれまでの利用方法を整理した上でこれからの炉物理研究のための臨界実験装置の利用を考えてみると、やはり先にも述べた炉物理の基礎実験、新型炉開発、ベンチマーク実験が 3 本柱になることには変わりはないと考えられる。

炉物理研究の基礎実験を考えたとき、今後全く新しい炉物理理論が構築されることは考えにくい、これまでの理論を拡張し、実験精度を向上するというような目的での新しい理論とそれを検証するような実験は実施されていくであろう。例を挙げるとすれば、未臨界の炉物理がある。これはこれまで再処理施設等の臨界安全性研究の一環として研究が行われていたテーマであるが、現在では核燃料取扱い施設の問題ばかりではなく、ADS の運転中の安全性確保、東電福島第一原子力発電所の廃炉に向けた作業のひとつである溶融デブリの取り扱い、バックエンドでの核燃料取扱い、核セキュリティの問題など、核燃料の未臨界状態を対象とする研究テーマが数多くある。例えばこのうち、未臨界度測定は古くから取り組まれてきた研究課題であるが、深い未臨界状態に対しては未だに信頼有る方法は確立されていないのが実情であり、今後も臨界実

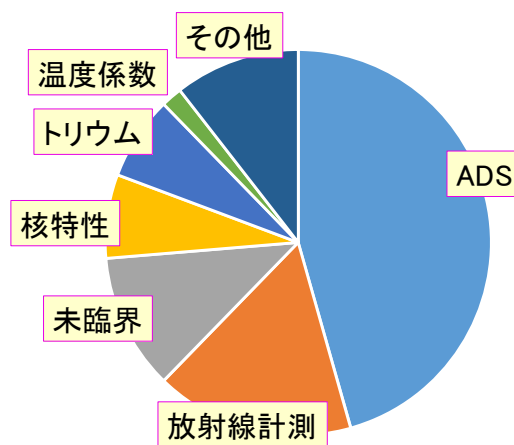


図 2 KUCA での研究テーマ

験装置での研究が行われると思われる。

2 番目の新型炉開発に関連した実験としては、現在行われているトリウム利用や ADS 研究など、実用化までにはまだまだ研究開発が必要な様々な炉型の研究は特に大学での研究課題として今後も重要な位置を占めるであろう。そして、3 番目のベンチマーク実験としては、新型炉開発のための核データの検証などのための基礎データを取得するための実験、さらに現行の軽水炉や高速炉の炉設計の高度化のために要求される実験データを取得するための実験も臨界実験装置を用いた重要な課題と考えられる。特に、現行の炉型の高度化のための研究はメーカーとの共同研究が欠かせない。

これらの3本柱に加え、研究炉や加速器のような強力中性子源と RI 中性子源の隙間を補う中性子源も臨界実験装置の重要な役割であると考えられる。この臨界実験装置は強度を自由に変更でき、中性子スペクトルもある程度変更可能な中性子照射場として利用することができ、さらに KUCA のように加速器中性子源と組み合わせることで、その利用範囲を拡げることができると考えられ、これまでの KUCA の実績にあるような放射線計測、核融合関連装置開発、保健物理などの分野での利用が期待できる。

以上、KUCA を例に取り上げて今後の臨界実験装置の研究利用について述べてみたが、今後の利用形態を考えると、①国内の大学や研究機関の研究者による共同利用、②国外の大学や研究機関の研究者による共同利用、③メーカーの研究者による共同利用（共同研究を含む）、があり、これまでの①に加えて②が行われるようになると考えられるが、臨界実験装置の役割をより広くしその必要性をより高めるためには③の利用方法が重要であると考えられる。

現在、国内では京都大学と近畿大学のみが大学として研究炉を保有しているが、先にも述べた新しい規制基準に対する対応、核セキュリティの強化に対する対応ばかりではなく、原子力防災に対する対応、さらに今後、新しい規制基準が追加・変更されたときのバックフィットへの対応などが必要になってくることを考えると、大学という組織が今後も原子炉を維持管理していくことができるかどうか問題となっており、研究炉や臨界実験装置を利用している研究者の間でこの問題を議論して頂くことを強く願っている。