

3

近畿大学 1 ワット原子炉の現状と将来展望 (近畿大学 原子力研究所)

近畿大学原子力研究所 所長 山西 弘城

2021年11月11日で臨界60周年を迎えた。学生・院生が原子炉実習を行える原子炉施設は、京都大学 KUCA とこの近大炉のみであるので、我が国の原子力人材育成の一翼を担っている。研究利用は、1988年から大阪大学工学部を窓口とした「原子炉利用共同研究」で毎年約20の研究課題が進められてきたが、大阪大学の都合で今年度で終了とされる。次年度から文部科学省の「共同利用・共同研究拠点」に認定されるように申請予定である。

近畿大学 1 ワット原子炉の現状と将来展望

近畿大学 原子力研究所
山西弘城

1. はじめに

近畿大学原子炉 (UTR-KINKI=University Teaching and Research reactor-KINKI : 熱出力 1 W、以下、近大炉) は、初臨界から 60 周年を迎えた。同原子炉は、我が国最初の民間・大学原子炉として 1961 年 11 月 11 日に初臨界に達し運転を開始して以来、近畿大学学生のみならず、他大学学生等の原子炉教育・訓練並びに広範な原子力研究に利用されてきた。学生・院生が原子炉実習を行える原子炉施設は、京都大学 KUCA とこの近大炉のみであるので、我が国の原子力人材育成の一翼を担っている。研究利用は、1988 年から大阪大学工学部を窓口とした「原子炉利用共同研究」で毎年約 20 の研究課題が進められてきたが、大阪大学の都合で今年度で終了とされる。

2. 近畿大学原子炉の設置経緯

UTR は、昭和 34 年 (1959 年) 東京国際見本市晴海会場に米国が出展していた小型の研究教育用原子炉で、昭和天皇、皇后両陛下も会場に訪れ視察された。また、近畿大学初代総長・世耕弘一も視察され、将来原子力が重要なエネルギー資源になると考えられ、その原子炉の購入を決意し奔走した。設置機関として、1960 年に原子力研究所を設立し、同年 8 月に原子炉の設置が認可された。その原子炉が民間及び大学 1 号炉として 1961 年に最大熱出力 0.1 W の極低出力炉として東大阪本部キャンパスへの導入実現にこぎつけた。また、同年次に理工学部原子炉工学科を設立した。原子炉の特徴は、極低出力であるため残留放射能が微量で安全性が高く、運転操作も容易で、わかりやすい構造であるため、原子炉を直接見て、燃料に直接触れ、自ら運転・実験ができるなど、初めて原子力を学ぶ学部学生等の実学教育及び一般の方々の原子炉研修に極めて適した原子炉である。この実物の原子炉を用いた教育・研究を通じて将来の原子力・放射線関連技術開発や研究を担う人材を育成していくことは、近畿大学の建学の精神である『未来志向の「実学教育と人格の陶冶」』と合致する。

3. 近畿大学原子炉の構造と特徴

設置の当初の出力は 0.1W であったが、昭和 49 年に設置変更許可を得てパワーアップし、現在は 1W を定格 (最高) 熱出力としている。原子炉には燃料および軽水減速材を納めた 2 つの燃料タンク (図 2 では、「炉心タンク」) があり、これらを囲むように黒鉛反射体、制御棒および同駆動機構



図 1 近大炉の本体

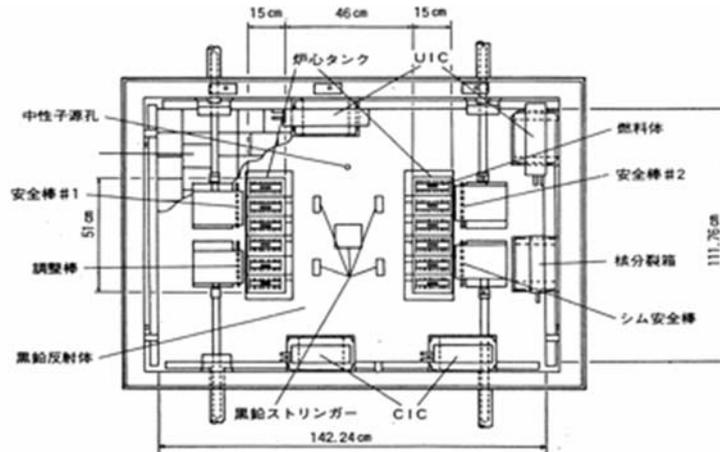


図2 近大炉の炉心

から炉心が構成される。また、円筒型鋼板製生体遮蔽タンク内に炉心が収容された構造で、炉心上部のコンクリート遮蔽上蓋の一部に附属実験設備が取り付けられる。生体遮蔽タンクの外形は、直径約4 m、高さ約2 mの円筒形で、遮蔽は湿砂（水を含んだ砂）によってなされている。遮蔽材がこのような物質であるのは、この原子炉が移動設置式であったことに由来する。生体遮蔽により、炉心から放出される中性子線とガンマ線を減弱させ、原子炉運転中であっても原子炉周辺での通常の作業を可能にしている。

近大炉は、濃縮ウランを燃料とした軽水減速黒鉛反射非均質型熱中性子炉で、米国・アルゴンヌ国立研究所のArgonaut原子炉を原型として、American-Standard社によって開発および製作された、2つの燃料領域からなる炉心（2分割炉心）を持つ一種のタンク型原子炉である。定格出力は1 Wで、いわゆるゼロ出力原子炉として運転されるため、減速材循環系、冷却系および浄化系などのプロセス系を持たず、原子炉の運転によって生ずる廃棄物が極めて少ないのが特長である。

2分割炉心を採用した理由は、以下の通りである。(1)炉心部に広い“dry access”領域を設けて、減速水の存在に制約されない実験を可能にする。(2)分割された炉心の中の中央黒鉛反射体部の熱中性子束分布をほぼ平坦とし、かつ比較的大型の実験試料をこの部分に挿入しても、炉の特性に大きな影響を与えないためである。2つの燃料タンク（図中では、炉心タンク）の間隔は約46 cmと大きく離れており、したがって、分割炉心間の核的結合度（中性子どうしの結びつき）は小さくなるように設計されている。

中央反射体部の熱中性子束は、中心水平面で $0.8\sim 1.2\times 10^7\text{ cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ とほぼ平坦であるが、Cd比は5~7程度で、中性子の減速効果が弱い（under-moderated）傾向がある。これは減速水が燃料タンク内にしか存在しないためである。

近大炉の反応度係数は、燃料温度係数、減速材温度係数およびvoid係数はいずれも負であり、固有の自己制御性を持っている。また、燃料はウラン・アルミ合金をアルミで被覆した平板状MTR型で、熱伝達性は極めて良好で、上記の温度係数による内部フィードバックに速やかに応答する。さらに、冷却システムを持っておらず燃料タンク内の減速水は静止しているため、その結果、外乱の入る可能性も極めて少なく、安定性に優れている。

以上のように、① 近大炉は出力が1Wと極めて低く、熱はほとんど発生しない。このため、冷却が不要であり、安全性が極めて高い。② 燃料は2か所に分割して設置されており、その間の空間は中性子のフラックスがほぼ一定であるので、中性子照射実験などに利用可能であ

る。さらに、③ 運転中であっても原子炉室内の空間線量率が低いので、原子炉の近くで作業することが可能である。これらから、「近大炉は、日本でもっとも気軽に利用できる原子炉である」と言える。

4. 近畿大学原子炉の研究利用

4-1) 全体計画の概要

近大炉を用いて行う研究は、主に以下の3領域である。

1. 原子炉物理・原子炉応用に関する研究
2. 原子炉化学・放射化学に関する研究
3. 生物の放射線影響に関する研究

原子炉物理に関する研究では、原子炉そのものの特性を明らかにする目的で、原子炉内での事象を測定して、測定結果に基づいて考察・議論する。原子炉応用に関する研究の1つに、放射線計測手法の開発がある。原子炉は運転状態では、定常的に中性子線とガンマ線を発生し、混在場を形成する。また、中性子線のエネルギー領域は熱中性子線から速中性子線までの広い領域である。このような放射線場において、各成分の弁別測定を確認できる場を提供する。さらに、近大炉は安全に出力変更ができるので、0.01Wから1Wまでの異なる炉出力での定常場を提供できる。原子炉運転中であっても漏洩線量率が低いため、原子炉近傍で作業が可能である。そのため、測定器材を原子炉近傍で扱えるので作業性が良い。原子炉化学・放射化学に関する研究では、主に放射化分析に用いられる。考古学試料等を炉心中央部に置いて、炉出力1Wで数時間にわたって中性子線を照射する。照射試料で生成された放射性核種と量を特定することによって、微量元素分析ができる。生物の放射線影響に関する研究では、細胞やマウス等の生物試料を炉心中央部に置いて、炉出力1Wで数時間にわたって照射する。炉心中央部はドライエリアであり、常温で大気圧の環境にある。また、線量は毎時0.2 Gy程度なので、生物試料を死滅させる線量ではない。照射場は中性子線とガンマ線の混在場である。この混在場における照射と併せて、当施設所有のX線発生装置による照射から、中性子線による影響を評価することも可能となる。

4-2) 研究利用の目指す役割

- ① 「近大炉は、日本で利用できる数少ない原子炉のうちの1つである」。原子炉を用いた研究を推進する役割を持つ。
- ② 「近大炉は、日本でもっとも気軽に利用できる原子炉である」。中型原子炉での実験を始める前に、新しい着想を気軽に試すことができる施設である。新規に始める実験を試行する施設としての役割を持つ。
- ③ 原子炉では、安定的に核分裂によって生じた放射線を試料に照射することが可能である。同一の放射線場を用いて行った測定や照射を比較する役割を持つ。この比較によって、手法や結果の差異が鮮明になり、このことを通じて、手法の標準化を促進させ、その結果、データの信頼性を向上させる。
- ④ 近大炉は、原子力研究を目的とした活動として、原子炉物理、放射線計測、放射化分析、放射線生物、医療、考古学など広範な分野の研究に利用されている。放射線照射を軸に、異分野交流の役割を持つ。
- ⑤ この実物の原子炉を用いた教育・研究を通じて将来の原子力・放射線関連技術開発や研究を担う人材を育成していく役割を持つ。

4-3) 研究利用の必要性

原子力工学のみならず広範な理工学及び医学分野においても原子炉を利用する研究・教育の必要性は不可欠でありながら、日本における大学設置の研究教育用原子炉は京大の2基と近大炉のみである。日本学術会議の勧告において、研究用原子炉の有効活用並びに全国の研究者が共同利用できるような予算上の措置を講ずるよう指摘がなされた。当時の文部省はこれを踏まえて、1980年に近大炉の共同利用経費の予算措置を講じ、利用に関する契約を結んで共同利用研究を発足し、1981年1月に開始した。1988年より近畿地区の代表校として、大阪大学を窓口とする「近畿大学原子炉等原子炉利用共同研究」に移行した。全国の大学や研究機関の研究者からの応募に基づいて、毎年10~25の研究課題(約200名の教員・院生等)が採択され、利用されてきた。研究課題の募集は、大阪大学大学院工学研究科が窓口で行われ、運営委員会の審査を経て採択されてきた。その事業は、国立大学法人化後も歴代の大阪大学大学院工学研究科長によって引き継がれ完全に執行されてきた。しかしながら、現在の工学研究科長が本事業を令和3年度をもって終了することを決定し、2021年3月に近畿大学原子力研究所に通知した。これによって、令和4年度以降に「利用共同研究」を継続する公的な予算根拠を失ってしまった。令和4年度からも引き続き全国の研究者が近大炉を共同利用できる枠組みを新しく構築することが必要である。

4-4) 研究利用で期待される効果、意義

利用共同研究によって、実物の原子炉を利用してデータを取得する機会を全国の関連研究者に提供することができる。原子炉物理に関する研究では、反応度等の炉特性データの取得や未臨界性に関する実験が可能となる。原子炉での試料照射は中性子線とガンマ線の混在場で行われる。放射線計測に関する研究には、各成分の弁別測定を確認できる場を提供する。放射線の生物影響に関する研究では、この混在場における照射と併せて、当施設所有のX線発生装置による照射から、中性子線による影響を評価することも可能となる。

(関連研究分野の発展や新規研究分野の創出への寄与)

計算機の発展により、計算機によるシミュレーション計算が手軽に行えるよう一般化されてきた。実物の原子炉を用いて取得したデータを、シミュレーション計算結果と比較照合することで、それぞれの手法が高度化されて、結果として高い信頼性を持つ研究成果となることが期待できる。

異分野の研究者が参画することで、新規課題の創出と、既存課題への多方面からの課題解決アプローチが期待される。今後の注目すべき研究領域として、医療と宇宙を挙げる。医療では、放射線によるがん治療としてホウ素中性子捕捉療法(BNCT)が進展を見せている。BNCTでは、熱中性子線を含む低エネルギー領域の中性子線を用いる。原子炉はこの領域の照射を得意としていて、安定的に照射できる。近大炉の放射線照射場を正確に測定評価する技術を持てば、他施設でのBNCT関連の照射場の評価に応用できる。宇宙に関する研究領域では、速中性子線が対象となる。現状でも放射線の生物影響分野の研究が推進されているが、宇宙開発が発展する上で、速中性子線による生物影響の研究がますます重要になってくる。

(若手研究者の育成への寄与)

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉をはじめ、現存する発電用原子炉の廃炉を行う必要がある。また、地球温暖化を防止するカーボンニュートラルを実現する上で、原子力発電の役割が大きくなる可能性がある。この状況に於いて、原子力工学を担う研究者養成が必要で

ある。この研究者養成において、実物の原子炉を利用する経験は不可欠である。若手研究者や大学院生は、シミュレーション計算を得意とする者が多い傾向にある。実物の原子炉を用いた実験データ取得によって、実事象とシミュレーション計算結果とを比較する機会に遭遇して、深く考察できるようになることが期待される。また、医療分野における放射線利用を進める上で、当該課題の研究に寄与できる人材を育成する意義は大きい。

5. 近畿大学原子炉の教育利用・人材育成

近大炉は、熱出力 1W であり、発電用でない原子炉であるが、初学者や一般の方の原子炉理解の助けになる。その特長は、①原子炉本体の構成が簡素であり、主要なものが一つの視野に入り親近感を持てるので、構造と原理を理解しやすい。②極低出力のため冷却不要で安全性が高い。③核分裂生成物の量が少ないので、停止直後でも炉心へのアクセスが容易である。④原子炉運転体験での臨場感と緊張感によって強烈な印象が得られ教育効果がある。などである。

5-1) 大学における原子力人材育成のための実習

実習では、主に、学部学生の原子炉運転、制御棒校正、反応度測定、中性子計測、中性子ラジオグラフィ等の実習を行っている。実物の原子炉を使ったこれらの実習は、常に緊張感を持っての実習であり、原子力や放射線に対する興味関心が刺激され、教育的効果が高いと好評である。

近畿大学の学部学生を対象とした「原子炉運転実験実習」は、2002 年まで本学理工学部原子炉工学科、その後電気電子学科エネルギーコースの学生が必須科目として受講しており、60 年間で延約 4,000 名が受講した。2022 年 4 月に理工学部エネルギー物質学科が新設され、現在の電気電子工学科エネルギー環境コースの教育内容が引き継がれ、原子炉実習も行われる。

我が国の原子力人材育成において、近大炉は京都大学の臨界集合体 (KUCA) と並んで、実物の原子炉での実習が行える施設として、中核的な役割を果たしている。他大学の学部学生を対象とした「原子炉運転実験実習」は、西日本の大学が中心に数十年前から大阪大学、神戸大学、名古屋大学、九州大学、徳島大学の 5 校が自費で毎年約 40 名～ 60 名が、また 2007 年からは、経済産業省委託事業「人材育成プログラム事業」(3 年間)の採択に伴い、福井大学、福井工業大学、東海大学、摂南大学の 4 校が加わった。標準的には実習は 2 日間行われ、原子炉運転実習が必修であるが、実験内容は近畿大学のカリキュラムから選択した。2013 年からは、文部科学省国際原子力人材育成イニシアティブ事業に採択され、韓国慶熙 (キョンヒ) 大学校と近畿大学の原子炉を利用した実習を行ってきた。近大炉が新規制基準審査合格に対応するために停止していた期間 (2014 年 2 月～2017 年 3 月) は、韓国慶熙大学校の原子炉実習を実施できたため、我が国での原子炉実習経験者ゼロを回避することができた。同事業の 2013 年からの 3 年間は、韓国慶熙大学校、九州大学、名古屋大学、近畿大学の 4 大学で実施したが、参加校が増えて、2021 年度は 11 大学と高専機構が参加している。

令和 2 年度からのイニシアティブ事業は、コンソーシアムを形成してオールジャパンで原子力人材育成にあたる体制としているが、そこでも近畿大学は京都大学と共同で、原子炉実習の拠点として関わっている。

5-2) 原子炉運転・実験研修会等の原子力知識普及活動

原子力専攻学生の原子力人材育成は、もちろん大切であるが、原子力・放射線に興味を持ち、将

来原子力を学ぶ意欲のある子どもたちを確保することも重要である。そのためには、初等・中等教育に携わる小・中・高等学校教員の先生方が体験して自信をもって教育にあたること が効果的であるとの思いから、1987年より「小・中・高等学校教員のための原子炉研修会」を実施してきた。原子炉と放射線は原子力平和利用の両輪をなす存在との認識から、研修会 は二つの内容から構成し、一つは原子炉に係る実習・講義であり、残りは放射線を主とした 実習・講義である。受講生の募集は、民間団体の協力を得て全国規模で行われ、現在も継続 しており、これまで35年間で延約5,800名が受講した。今年度はコロナ禍のもとでしたので 例年の半数の人数に制限して、三密を避けて行った。同研修会では、実際に原子炉を運転し、 放射線実験を体験していただいて、その結果として、参加者が原子炉・放射線についての科 学的な知識と判断力を習得して、実際の教育現場で役立てていただいている。

6. おわりに

原子力平和利用が本格化して半世紀余り、近畿大学は、原子炉創設者・近畿大学初代総長・ 世耕弘一の実学教育の精神の元、早くから教育・研究用小型原子炉を保有し、大学内にとど まることなく門戸を開いて、日本の原子力の発展のため、研究、原子力人材育成、原子力知 識普及活動等に寄与してきた。今や、我が国における研究炉は、原子力・放射線関係の研究・ 開発、人材育成、研究者・学生の教育・研究さらに産業・医学への応用にも供され、国民の生 活向上に深く浸透した重要な基盤施設となった。

東京電力福島第一原子力発電所事故に端を発した「新規制基準」は、熱出力1Wの試験研究 炉である近大炉にも及んだ。「新規制基準」に対応するために2014年2月から原子炉を停止 し、審査・検査対応を行い、2017年3月にすべての審査・検査に合格した。試験研究炉とし ては一番乗りの合格であり、その年の4月に再稼働を果たした。原子炉施設を一私大である 近畿大学が維持していくのは容易なことではない。近大原子炉が60周年を迎えられたのは、 すべての関係者のご協力のもとに、初代総長の熱い想いを継承してきたからに他ないと思う。

我が国における原子力の研究・教育の基盤施設である研究炉は、他の先進国に比べ脆弱で ある上、さらに近大炉を初めとして各施設が老朽化を迎えようとしている。役割を終えたと 判断される研究炉については、その役割を引き継ぐ引継炉の計画を具体化するなどの措置を 早急に講じなければ我が国の原子力分野は世界から取り残されてしまう。今後、我が国は、 国の確固たる政策と支援のもと、教育・研究炉の安定運転を継続し、夢と希望が持てる原子 力分野の研究・教育の発展が望まれる。

参考文献・資料

[1] 近畿大学原子力研究所ホームページ

<https://www.kindai.ac.jp/rd/research-center/aeri/>

[2] 伊藤哲夫；近畿大学における原子力人材育成，「学術の動向」2015年6月号 pp. 44-47.

[3] 伊藤哲夫；近畿大学原子炉55年の歩みと今後の役割，FBNews No. 482（2017年2月） pp. 1-5.

講演者略歴



山西 弘城 (やまにし ひろくに)

所 属 近畿大学 原子力研究所 所長・教授
住 所 〒577-8502 大阪府東大阪市小若江3-4-1
連 絡 先 TEL/FAX : 06-4307-3095、E-mail: yamanisi@kindai.ac.jp
学 職 歴 1986年 名古屋大学 工学部 原子核工学科卒業
1991年 名大院・工学研究科原子核工学専攻博士課程後期課程単位修得退学
1994年 博士(工学)(名古屋大学)
1991年 文部省核融合科学研究所安全管理センター 助手
(研究機関の名称変更、助教授昇任)
2011年 近畿大学 原子力研究所 准教授 (2013年から教授)
2019年 近畿大学 原子力研究所 所長 現在に至る

研究・活動分野など 専門は、環境放射線測定、放射線安全管理。核融合研では、安全管理業務の他に、当時の次期計画であった重水素プラズマ実験を準備するために、環境放射線・放射能測定、放射線遮へい計算や放射線監視システムの構築などに従事した。東京電力福島第一原発事故後対応の、「“オール近大” 福島県川俣町復興支援プロジェクト」では子供たち全員の線量測定、除染研究で主導的役割を果たした。