

28. 原子炉実験所

I	原子炉実験所の研究目的と特徴	28-2
II	分析項目ごとの水準の判断	28-3
	分析項目 I 研究活動の状況	28-3
	分析項目 II 研究成果の状況	28-5
III	質の向上度の判断	28-7

I 原子炉実験所の研究目的と特徴

原子炉実験所は、京都大学の附置研究所かつ全国大学の共同利用研究所として、昭和 38 年に「原子炉による実験及びこれに関連する研究」を行うことを目的に設置された。

全国共同利用研究所として総合的・学際的な観点から原子力の基礎・基盤的な研究教育活動を行うとともに、創造的・革新的で安全な原子力システムの創生と俯瞰的視野を持った複合量子科学分野の人材育成に貢献する拠点研究所となることを目指している。中性子を含む粒子線利用を積極的に行い、高次医療や生命科学研究そして新テクノロジー材料科学、物質科学の斬新な基礎研究を展開し、国内・国際連携研究を発展させることを目的としている。

世界最大規模の施設を有する日本原子力研究開発機構が国策に沿った原子力開発を推進するのに対し、原子炉実験所では、研究者の自由な発想と興味に基づいた基礎研究を重視し、中・長期的な基盤を支え、総合的・学際的な視点さらには創造的・革新的な視点から原子力の課題に取り組み、大学の特色を活かして自主的な研究を原子力基礎科学の分野で行っていることが特徴である。

さらに、粒子線物質科学や放射線生命医科学の分野において、核現象や放射線を利用した、物質科学研究、生命の研究、がん治療等の医学の研究を行うとともに、これらのすべてを総合した量子複合科学の創生を目指している。これらの研究を通じて、基礎科学あるいは一般産業技術等に派生的に展開できる広範な成果を積極的に探求し、派生的な学術的成果や技術的な成果・発明等を一般社会や産業活動に積極的に反映することにより、原子力に根ざしながらも非原子力への発展性を追求している。

[想定する関係者とその期待]

全国の国公立大学・公的研究機関に所属する共同利用研究者からの、中性子線等を複合的に研究に利用する共同利用研究推進母体としての期待。関連学会等、学術機関からの基盤的拠点としての期待。特に原子力関連団体からの健全な原子力研究推進への貢献についての期待。

II 分析項目ごとの水準の判断

分析項目 I 研究活動の状況

(1) 観点ごとの分析

観点 研究活動の実施状況

(観点に係る状況) 原子炉実験所では、研究体制は3つの研究本部に整理し、学内外、異分野との交流を図りながら、「複合量子科学」の創成を目標としてきた。この構想に沿って、原子力基礎科学、粒子線物質科学、放射線生命医科学研究本部として研究を進めている。

1) 医療照射 (BNCT) 及び関連基礎研究

従来の熱中性子による BNCT から熱外中性子による研究へと変わり、対象とする腫瘍も脳腫瘍と悪性黒色腫のみの状態から離脱した。特に 2001 年に世界最初の再発頭頸部癌に対する BNCT を成功させた。また、多発病巣を有する肝臓癌や複雑な腫瘍形状の悪性胸膜中皮腫に対する開拓的 BNCT も世界で最初に実施した。

また、放射線が発がんに及ぼす研究としては、発がんの主経路が DNA 損傷起源ではなく非 DNA 損傷 (タンパク損傷) 起源であるとする新説を提案し、その検証を進めている。さらに放射線の生命への影響を理解するため、放射線照射によって蛋白質構成アミノ酸に生じた酸化、ラセミ化、異性化、架橋などが、どのような過程を経て高次構造に影響を及ぼし、その結果として機能低下、病態へと至る様子について研究している。

2) 原子力研究

原子力研究としては、CO₂削減の切り札とみなされている原子力発電に関わる諸問題を解決するための取り組みが行われている。

電子線型加速器を中心とした中性子源を用いた核データの測定・評価に関する研究を全国の研究者と実施し、マイナーアクチニド核種及び長寿命核分裂性物の核データ測定を行う。また、未臨界度測定法、中性子スペクトル及び中性子束分布測定法の開発を中心に京都大学臨界集合体実験装置 (KUCA) を用いた ADS の炉物理に関する研究を共同利用研究として進める。さらに核燃料サイクルの基礎化学研究として、重元素と同位体の化学を探り、先進的リサイクル化学工学を目指す研究を進めてきた。高温融体 (溶融塩及び液体金属) 中でのアクチニドの化学的特性研究、核燃料や放射性廃棄物の化学処理法に関わる研究、化学分配平衡に現れる特異な同位体効果等に関わる研究を進めて来た。また、将来の大、巨大地震時の地震被害軽減を目的とした地震動予測手法の開発研究やその応用として地震動予測を行うなど、原子力施設の耐震安全性向上に関する研究を行っている。

3) 原子炉応用研究

原子炉からの熱中性子を用いた放射化分析による微量元素分析を環境研究等幅広く利用するばかりでなく、²³⁵U の核分裂反応を利用して生成した放射性核種をトレーサーとして用いるための調製方法を確立し、医生物、環境科学、核化学などの分野での研究のために応用している。

さらに原子炉から発生する中性子ビーム等の粒子線を利用し、物性研究等が活発に行われている。例えば、エネルギー材料として、水素貯蔵材料、超イオン伝導材料 (リチウム 2 次電池)、燃料電池材料の構造学的研究を行っている。また生体構造研究では、ヒトの酸素運搬 (脱着) 機構を、その分子中に存在するアミノ酸のプロトンに着目してこれを直接観察し、ヘムの鉄原子とプロトンの関わり、また酸素脱着における 4 次構造変化 (ペルツ機構) のトリガーとなる分子境界のアミノ酸プロトンの役割 (ボーア効果) について明らかにした。

短寿命放射性同位元素を利用した短寿命メスbauer分光を実施している。これにより、超微粒子系およびナノチューブ等のナノマテリアルおよび特異な電子状態を有する凝縮系に対して、電子状態、存在状態および凝縮体内における機能についての研究を実施した。

さらに、原子核研究分野では、核分裂反応により生成される中性子過剰核を対象とした核構造に関する研究を行った。

観点 大学共同利用機関、大学の全国共同利用機能を有する附置研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の実施状況

(観点に係る状況) 原子炉実験所の共同利用研究は、公募により研究課題の申請を募集する。共同利用研究が対象とする研究分野は、①冷中性子・中性子散乱、②核物理・核データ、③炉物理・炉工学、④物質科学、⑤環境地球科学、⑥生命医科学、⑦中性子捕捉療法、⑧ラジオグラフィ・照射利用、⑨超ウラン・核化学、⑩保健物理・廃棄物の 10 研究分野である。共同利用研究は、一般公募による研究である「通常採択」と、所の研究者が中心となって課題を設定し、広く研究グループを構成して行う「プロジェクト採択」の 2 つの形態で行っている。

KURの利用の他に、ホットラボはアクチノイド化学・工学研究や燃料サイクルの研究者らにとって重要な実験の場であることからその利用数も多く、それら放射線関連施設の活用を積極的に行っている。また、KUR後の次期中性子源として、加速器駆動未臨界炉心(ADS)を考えており、その加速器としてFFAG加速器が最有力候補と位置づけている。FFAGとKUCAを組み合わせた炉心体系の研究等については近い将来に共同利用を開始する予定であり、中性子源として完成した際にはKUR後継の主力中性子源として、共同利用に供することになる。

平成 18 年度から、燃料の低濃縮化のため KUR が約 3 年間の休止期間に入った。通常の活動が行われた平成 17 年度は、合計 144 件の共同利用研究(通常採択、プロジェクト採択、臨界集合体共同利用研究)を採択し、実際に共同利用研究に来所した研究者の延べ人数(人日)は合計 4175 人日であった(国公立大学 17 校、私立大学 34 校、その他研究所等 15 機関)。プロジェクト採択は、7 つの研究課題に対して、55 の研究チームが参画して研究を行った。KUR を通算 1403 時間、KUCA を通算 472 時間運転して共同利用研究に提供した。

KUR が停止した平成 18 年度からは、KUR 以外の実験設備を共同利用研究に優先的に提供した。また、KUR 休止中の補完措置として、外部の研究炉(日本原子力研究開発機構(JAEA)の研究炉(JRR-4)及び韓国原子力研究所(KAERI)の研究炉(HANARO))を利用した共同利用研究を実施した。平成 19 年度の、主な装置の運転状況は、KUR は休止中、KUCA は通算 916 時間、中性子発生装置(電子線型加速器)は例年の約 1.2 倍の約 2055 時間、 γ 線照射設備は 5008 時間である。多くの装置が年間を通して利用された。

以上のように、主力施設である KUR を停止しても、平成 19 年度で合計 100 件の共同利用研究を採択し、合計 13 の専門研究会やワークショップを開催した。来所した共同利用研究者の延べ人数(人日)は合計 2860 人日であった。このように非常に多くの研究者の来訪があり、多くの研究活動が実施されている。

(2) 分析項目の水準及びその判断理由

(水準) 期待される水準を上回る

(判断理由) 原子炉実験所は、永年にわたって着実に共同利用研究を実施してきたが、平成 18 年度からの KUR の停止は極めて重大な事態であった。しかし、KUR 以外の設備を十分に活用し、特に以下に述べるような活動を行うことによって、従来からの研究分野の活性化を行うばかりでなく、将来に向けた準備を進める等、活発な研究展開を進めることができた。

- ① 今後の長期の共同利用推進のため、海外からの KUR 新ウラン燃料購入の準備を着実に進めた。
- ② 将来の新型中性子源としての ADS 開発研究を進めている。特に、FFAG 加速器の開発及び KUCA との組み合わせによる加速器駆動未臨界炉心体系の整備を行った。
- ③ KUR 停止時における共同利用機関としての使命を果たすため、韓国原子力研究所と協定

を結ぶ等して、HANARO や JRR-4 といった所外の研究炉を利用して共同利用研究を継続できるプログラムを実施した。

④平成 18 年度から KUR が停止したにもかかわらず、全国の国公立大学・公的研究機関に所属する共同利用研究者との共同研究が高いレベルで維持された

⑤KUCA を用いた実習教育は他のどこでもできないユニークな原子力教育として、日本全国の大学だけでなく、韓国の大学連合やスウェーデンの大学にも公開したプログラムとして実施した。

分析項目 II 研究成果の状況

(1) 観点ごとの分析

観点 研究成果の状況(大学共同利用機関、大学の全国共同利用機能を有する附置研究所及び研究施設においては、共同利用・共同研究の成果の状況を含めること。)

(観点に係る状況) 当実験所を使った共同利用研究により全国で発行された原著論文数は、144 報(H18)、151 報(H17)、184 報(H16)、154 報(H15)、149 報(H14)、117 報(H13)、171 報(H12)となっている。中期計画が開始された平成 16 年から 3 年間の平均原著論文数は 160 報/年であり、それ以前の 4 年間の平均 148 報/年から 1 割近く増加している。このことから、中期計画開始後の研究活動はそれ以前に比較して活性化したと言える。

医療照射(BNCT)では、2001 年以降、臨床研究対象の拡大に伴い多くの研究機関の研究者が共同研究に参加し、基礎と臨床をあわせた共同研究のグループは 15 グループに達した。こうした研究グループの拡大の結果として、2006 年度末での KUR における BNCT 実施総件数は 270 例を超えたが、そのうち半数以上は 2001 年以降に実施したものである。2000 年以降、査読付きの欧文誌に 66 の学術論文を発表した。

平成 16 年以降に所員が受賞した学会賞等は以下の通りである。

平成 16 年度

- 日本放射線腫瘍学会阿部賞
- 日本ポーラログラフ学会志方メダル
- 日本基礎老化学会奨励賞
- 日本原子力学会論文賞
- 日本原子力学会奨励賞
- 日本混相流学会賞技術賞
- 国際癌治療増感研究協会研究奨励賞
- 日本中性子科学会奨励賞

平成 17 年度

- 日本混相流学会技術賞
- 日本ハイパーサーミア学会阿部賞
- 日本放射性腫瘍学会梅垣賞
- 日本原子力学会学術業績賞

平成 18 年度

- 日本医学放射線学会「Silver Medal」
- 日本混相流学会賞奨励賞
- 大学婦人協会守田科学研究奨励賞
- 経済産業省原子力安全功労者表彰(2 件)
- 日本原子力学会貢献賞

平成 19 年度

- 日本医学放射線学会「Silver Medal」

日本地下水学会論文賞
日本混相流学会奨励賞
日本金属学会研究技術功労賞

(2) 分析項目の水準及びその判断理由

(水準) 期待される水準を上回る

(判断理由) 日本原子力学会の論文賞や学術功労賞等、中期計画開始後は毎年平均約6件の学会賞等を受賞しており、原子炉実験所の学術的成果が学会等から評価されていると見なすことができる。また、それ以外にも地震動予測手法として提案したハイブリッド法などは、現在文部科学省や中央防災会議による地震動予測や被害軽減化対策や原子力の分野でも用いられているなど、社会的な貢献も大きい。

中期計画開始後の原著論文数は、それ以前に比べ明らかに増加していることから、研究が活性化されたと見なせる。

Ⅲ 質の向上度の判断

①事例1「BNCT」(分析項目I)

(質の向上があったと判断する取組) 研究活性化として BNCT の治療件数を見ると、1990-2000年までの10年間で78件であったのに対して2001-2005年までの5年間は173件に達している。このことは如何に BNCT ががん治療法として評価されるようになったかを物語るものである。また、このように多くの数の患者を治療するためには、医系と理工学系の良好な協力関係の確立が成功したことを示している。これまでの KUR の経験を基に将来の BNCT の普及・更なる研究の促進を目指した加速器中性子源設置に係る民間との共同計画も具体化し、進行中である。

②事例2「FFAG」(分析項目I)

(質の向上があったと判断する取組) FFAG 加速器は、1953年に原理が提案された加速器であるが、技術的困難により、その後50年近く、陽子加速器として実現されることはなかった。2000年(平成12年)に世界で初めてその開発に成功し、2005年(平成17年)に実用加速器としての文部科学省の学術創世科研費により150MeVFFAG 加速器の開発に成功し、従来のシンクロトロンでは不可能であった100Hzという高繰り返し加速運転を実現した。これらの成果は、国内においては原子炉実験所における加速器駆動未臨界原子炉実験、九州大学の加速器センターの加速器建設に寄与するとともに、国外においても英国でのFFAG 加速器開発(EMMA)、仏国での粒子線ガン治療用FFAG 加速器開発(RACAAM)研究に結実されている。

③事例3「中性子光学」(分析項目I)

(質の向上があったと判断する取組) 中性子光学機器開発に係る研究活動では、中性子ビーム利用研究の基盤技術確立のため、中性子スーパーミラーの開発を行ない、世界最高性能を達成している。また、これらのデバイス応用として、原子炉実験所において発展した「中性子スピン干渉原理」に基づいた中性子散乱装置である中性子共鳴スピンエコー群の開発を行っており、その一つであるMIEZE装置は、その型として世界最高エネルギー分解能を達成している。中性子光学デバイス開発に関する研究基盤は、科学技術振興調整費(H12-16)によって整備され、中性子共鳴スピンエコー装置群の開発は、JST 先端計測機器開発事業(H16-21)として採択されている。