

原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ
研究炉・ホットラボ等活用研究プログラム 事後評価総合所見

研究開発課題名：京大炉（KUR）及びホットラボの利用高度化に関する研究					
研究代表者（研究機関名）：川端祐司（国立大学法人京都大学）					
再委託先研究責任者（研究機関名）：堀史説（公立大学法人大阪府立大学）					
研究期間及び予算額：平成20年度～平成22年度（3年計画） 119百万円					
項目	要 約				
1. 研究開発の概要	<p>中小型研究炉としての京都大学原子炉（KUR）及びホットラボの特徴的利用高度化を進めるため、医療照射（BNCT）用治療中線量モニターの開発研究、短寿命核種を利用した放射化分析やビーム収束型即発γ線分析等による微量元素分析システムの開発研究、原子力材料における中性子照射の定量的力学特性影響及び欠陥集合体挙動研究、並びに大電力利用中性子ラジオグラフィによる二相流研究を行うこと、また、併せてこれらの技術開発研究を安全に遂行するための合理的な放射線安全管理技術の開発を行うことを目的とする。</p>				
2. 総合評価	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30px; text-align: center; vertical-align: middle;">A</td> <td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中型熱中性子束研究炉である京都大学原子炉（KUR）の特色を生かした利活用プランに適合したインフラの整備が進み、優れた成果が挙げられている。今後、共同利用等を通してKURの特長を活かした研究や人材育成プログラムが進展すると期待できる。特に世界を先導する立場にある硼素中性子捕捉療法（BNCT）の研究がさらに進展すると思われる。 </td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> S) 極めて優れた成果が挙げられている A) 優れた成果が挙げられている B) 一部を除き、相応の成果が挙げられている C) 部分的な成果に留まっている D) 成果がほとんど挙げられていない </td> </tr> </table>	A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中型熱中性子束研究炉である京都大学原子炉（KUR）の特色を生かした利活用プランに適合したインフラの整備が進み、優れた成果が挙げられている。今後、共同利用等を通してKURの特長を活かした研究や人材育成プログラムが進展すると期待できる。特に世界を先導する立場にある硼素中性子捕捉療法（BNCT）の研究がさらに進展すると思われる。 		<ul style="list-style-type: none"> S) 極めて優れた成果が挙げられている A) 優れた成果が挙げられている B) 一部を除き、相応の成果が挙げられている C) 部分的な成果に留まっている D) 成果がほとんど挙げられていない
A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中型熱中性子束研究炉である京都大学原子炉（KUR）の特色を生かした利活用プランに適合したインフラの整備が進み、優れた成果が挙げられている。今後、共同利用等を通してKURの特長を活かした研究や人材育成プログラムが進展すると期待できる。特に世界を先導する立場にある硼素中性子捕捉療法（BNCT）の研究がさらに進展すると思われる。 				
	<ul style="list-style-type: none"> S) 極めて優れた成果が挙げられている A) 優れた成果が挙げられている B) 一部を除き、相応の成果が挙げられている C) 部分的な成果に留まっている D) 成果がほとんど挙げられていない 				
3. その他	<p>・ 医療照射用計測システムの実用化、微量元素総合計測システムの特異な試料分析への適用等、各テーマで開発整備した設備を使った、さらなる具体的な研究成果が出来るだけ早い時期に挙げられることを期待する。合理的放射線管理に関する研究は定常的に取り組むべき課題であり、本プロジェクト終了後も継続し、さらなる成果を挙げてもらいたい。</p>				

1. 目的・目標	<p>京大炉は日本唯一の大学付置中型熱中性子研究炉であり、これまでも全国共同利用に供してきた。しかし、近年維持管理費の削減が続き、基盤的研究装置類の老朽化・陳腐化の問題を抱えている。原子力機構に所属する研究炉等の中性子源は、日本の国家戦略に基づき、世界最大規模を実現することでその役割を達成してきた。それに対し、京大炉は、大学付置として学術・教育における基礎基盤的役割を果たしてきている。また、全国共同利用研として、大学関係者を主とした研究者に研究の場を提供してきたばかりでなく、多くの学生が訪れる教育の場としての役割も大きい。この様に国家的・社会的重要性の高い施設であり、その役割を今後も確実に果たす必要がある。この様な役割を十分に果たせるように、KUR 及びホットラボの利用高度化を行うことが目的である。</p> <p>また現時点は、KUR の運転再開が再開され、さらに団塊世代の退職によって入ってきた新しい人材がまさに活動を大きく羽ばたかせようとしているタイミングである。この時期に、若手研究者に適切な研究環境とチャンスを与えることは、研究者として大きく育てることになり、それは今後数十年にわたって日本の学術に大きな効果をもたらすことになる。この様な若手研究者育成も、本申請の目的である。</p> <p>これらの目的を果たすため、本研究では以下の点を目標とした。</p> <p>1) 京大炉は何を目指すか</p> <p>中小型炉としての機動性を持ち、広いユーザーへの汎用性を確保しつつも、京大炉ならではの特徴的研究を遂行する。大学付置共同利用研究所として、日本及び世界の学術基盤を支える役割を認識し、中小型中性子源の理想的なあるべき姿を追求する。</p> <p>2) どの様な研究を目指すのか</p> <p>京大炉で実施する研究は、高いピークを有すると共に、国内外の研究者に広く使われる汎用性と便宜性を有しなければならない。さらに、汎用的利用分野であっても「京大炉ならではの」という特徴を持たなければならない。その様な観点から、京大炉・ホットラボで実施されており、今後もさらに発展すると考えられる分野は以下ようになる。①旗艦的研究分野（京大炉として誇る最も主要な研究分野）：BNCT を主とする医療照射研究、②汎用的研究分野（潜在を含めて多くのユーザーが存在しており、広い学問体系に対して基盤的役割を持つ研究分野）：放射化分析関連研究、中性子イメージング（中性子ラジオグラフィ等）、③特徴的研究分野（京大炉でしか実施できない極めてユニーク性の高い研究分野）：精密制御照射等。</p> <p>これらの研究分野を進展させ、高い研究レベルと広い汎用性を実現することを目標とする。但し、本申請では、上記の分野から最も緊急性が高くかつ効果的な項目に絞った提案を行っている。</p>
----------	--

2. 研究成果

【研究開発項目(1) 医学生物照射のための線量評価高度化に関する研究】

[得られた成果]

これまでも 30cm 四方にも及ぶような広い「面」に対する二次元的な線量評価が要望されていたが、技術的な困難さのため行われていなかった。また、医療照射における患者への正確な投与線量の決定及び基礎実験における線量決定を行うためには、照射中に線量をリアルタイムに（微分型）測定しておき、予定積算線量到達時に照射を停止できることが要求されてきている。本研究では、KUR 重水中性子照射設備の線量評価高度化のために上記性能を満たすリアルタイムモニタを開発することにより、世界的に見ても他の追従を許さない BNCT 研究が推進されている場である KUR 重水設備において、実験環境のさらなる高度化を達成した。

【研究開発項目(2) 微量元素総合計測システムの開発と応用研究】

[得られた成果]

KUR にはこれまでも放射化分析を実施するための設備が整備されており、多くの利用研究がなされてきた。しかし、生成する放射性同位元素の寿命（半減期）が短い場合には、試料移送及びハンドリング時間が必要であることから測定核種に制限があった。そのため、測定核種を広げるための短寿命核種測定ステーション、さらに半減期の制限のない即発 γ 線分析装置(PGAA)を整備した。この様にいくつかの装置を補完的に完備し、総合的な考えに基づいた短寿命核種測定システムは、世界的にもユニークなものである。またこれらに加え、中性子を用いた微量元素測定システムを補完する微量元素測定装置を整備することにより、全体として極めて新規性の高い「微量元素分析総合システム」の構築が実現した。

特に、スーパーミラー中性子導管室における PGAA においては、従来の装置設計とは全く異なる方針を打ち出し、中性子ビームライン上に、広い試料設置空間が確保できることや同時に中性子ラジオグラフィを実施できるようにしたことが最大の特長である。それにより、同一試料に対し、PGAA と同時に中性子ラジオグラフィを施し、分析箇所的位置情報を与えることにより、比較的大きな試料における、位置情報を伴った局所元素分析などの利用も期待される。さらに、試料設置空間の広さを活かして試料環境整備装置を導入することにより、化学反応などの条件制御を行いつつ in situ で微量元素測定を行うことが可能である。このような特徴を持った PGAA 施設の前例は無く、世界唯一のユニークな施設となっている。

【研究開発項目(3) 大電流利用二層流研究対応中性子イメージング装

置の開発】

【得られた成果】

X線と比較すると、中性子は金属を透過しやすく水素等の軽元素に対して敏感であるという特徴がある。その結果、中性子イメージングではX線を用いた場合と相補的な情報が得られる。たとえば、金属容器中の水の沸騰状況を研究するような二層流研究は、原子炉安全研究にとって非常に重要であり、かつ中性子を用いなければならない研究分野である。中性子ラジオグラフィの二層流研究への応用は日本が得意とする分野であり、これまでも世界をリードしてきた。しかし、異常時の研究炉本体への電気ノイズによる影響の可能性を排除しきれないため、原子炉棟においてこのような大電力を使用した実験を行うことは実質的に難しく、現状では世界的に見てもこのような実験を実施できる施設はない。KURでは、中性子導管を利用することにより原子炉本体から距離的に離れたスーパーミラー中性子導管室で実施すること、また原子炉とは独立した電力供給ラインを新たに整備することによって、研究炉の安全性に影響することなく大電力利用実験を可能にすることにより、世界的に見てもまったくユニークな施設を実現した。

【研究開発項目(4) 材料照射測定用照射後試験装置の整備】

【得られた成果】

KURには、世界で唯一の低温照射装置(LTL)及び世界的に見ても数の少ない精密制御照射(SSS)装置が、材料照射装置として整備されている。本課題では、これらによって照射された試料から、精密な物理量を計測できるように、引張試験機等の整備を行った。その結果、世界的に見てもユニークな、制御された照射場における材料試験研究環境を整備することができた。

【研究開発項目(5) 合理的管理のための放射線管理】

【得られた成果】

研究用高レベル放射線施設(研究炉・ホットラボ)は、商業用原子力施設などに比べきわめて多様な放射線作業環境を持つという特色を有している。このような特徴を活かし、従来の管理対象である作業の放射線レベルや汚染状態だけでなく、作業者の特性を考慮した管理を行うことで、より安全かつ合理的な管理が可能であることを示すことができた。

【論文、特許等】

【査読論文 3編】

- Y. Saito, S. Sekimoto, M. Hino, Y. Kawabata, "Development of Neutron Radiography Facility for Boiling Two-Phase Flow

Experiment in Kyoto University Research Reactor”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A651(7011)36-41.

- K. Takamiya et al. “A new preparation method for neutron monitor using ink-jet printer” Proc. Radiochim. Acta (2011), in print.
- Q. Xu, H. Yamasaki, K. Sato and T. Yoshiie, “Can helium actually improve the mechanical properties of a metal?”, Philosophical Magazine Letters, Vol. 91, no. 11(2011)724-730.

[国際会議プロシーディングス 11編]

- Y. Kawabata, “Present Status of KUR and Related Facilities”, 1st Asia-Oceania Conference on Neutron scattering, Tsukuba, Japan, 2011, 298
- Y. Kawabata, “Future plan of KURRI in “Japanese Master Plan of large Research Projects”, Proceedings of 11th Japan-Korea meeting on Neutron Science, Seoul, Korea, 2011, 7.
- Y. Kawabata, “KUR Facility report”, Proceedings of 10th Korea-Japan meeting on Neutron Science, Sendai, Korea, 2010, 13.
- Y. Kawabata, “KUR report”, Proceedings of 9th Japan-Korea meeting on Neutron Science, Pusan, Korea, 2009 12.
- H. Tanaka, Y. i Sakurai, M. Suzuki, S. Masunaga, T. Mitsumoto, G. Kashino, Y. Kinashi, Y. Liu, Y. Kawabata, T. Yagi, T. Misawa, K. Ono, A. Maruhashi, “Development of a Neutron Flux Monitor Using a Small Scintillator Coupled with Quartz Fiber for a Cyclotron-Based Boron Neutron Capture Therapy”, 2010 IEEE nuclear Science Symposium Conference Record, Tennessi, U. S. A, N34-307
- K. Takamiya et al. “Neutron Distribution Measurements at Research Reactors Using A New Neutron Monitor” Second International Conference on Application of Radiotracers in Chemical, Environmental and Biological Sciences, Oral, November 12, 2010 (Kolkata, India)
- R. Okumura et al. “NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AFTER THE FUEL CONVERSION TO LOW ENRICHED URANIUM AT KYOTO UNIVERSITY RESEARCH REACTOR” 13th International Conference on Modern Trends in Activation Analysis, March 17, 2011 (Texas, USA)
- S. Sekimoto, Present status of NAA using Research Reactor in Japan -Kyoto University Reactor (KUR)- (Oral presentation) , FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia) Workshop on Research Reactor Utilization, Hachinohe (Japan), Sep. 2009.

- S. Sekimoto, Present status of NAA using Research Reactor in Japan -Kyoto University Reactor (KUR)- (Oral presentation) , FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia) Workshop on Research Reactor Utilization, Beijing (China), Sep. 2010.
- NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AFTER THE FUEL CONVERSION TO LOW ENRICHED URANIUM AT KYOTO UNIVERSITY RESEARCH REACTOR, Ryo Okumura, Koichi Takamiya, Yukihiro Nakano, Shun Sekimoto, Yasushi Saito, Yuji Kawabata, Hajimu Yamana, 13th International Conference of Modern Trends in Activation Analysis, College Station (USA) March 13-18, 2011
- Q. Xu, “Low-temperature Neutron Irradiation Tests of Superconducting Magnet Materials Using Reactor Neutrons at KUR” ,Cryogenic Engineering Conference & International Cryogenic Materials Conference (Spokane Washington, June 13-17, 2001)

[専門誌解説記事 1編]

- 川端祐司、高宮幸一、関本俊、齋藤泰司、徐 龍、田中浩基、高橋千太郎、「京都大学研究用原子炉(KUR)利用設備整備計画の概要」、非破壊検査協会(2010) vol. 59, No. 2, pp62-67.

[国内学会 9編]

- 田中浩基、櫻井良憲、三澤毅、八木貴宏、鈴木実、増永慎一郎、川端祐司、小野公二、丸橋晃、「石英ファイバーとシンチレータを用いた中性子捕捉療法用 中性子モニタの開発」、原子力学会 2010 年秋の大会 北海道大学 平成 22 年 9 月 15 日-17 日 国内
- 瀧本真己、高宮幸一、柴田誠一、奥村 良、中野幸広、J. H. Moon、S. H. Kim 「インクジェットプリンタを利用した簡便で高精度な中性子分布測定法の開発」2011 日本放射化学学会年会・第 55 回放射化学討論会、口頭、2010 年 9 月 27 日 (大阪)
- 高宮幸一、瀧本真己、関本 俊、奥村 良、中野幸広、柴田誠一「京都大学原子炉実験所における放射化分析実験の現状」2011 日本放射化学学会年会・第 55 回放射化学討論会、口頭、2010 年 9 月 27 日 (大阪)
- 川端祐司、高宮幸一、齋藤泰司、徐 龍、田中浩基、関本 俊、高橋千太郎
「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブによる(KUR)及びホットラボ利用高度化の実施」、日本原子力学会、2011 年秋の大会、I03.
- 川端祐司、「複合原子力科学の推進について -京都大学原子炉実験所の将来計画案として-」、日本中性子科学会 第 10 回年会、東北大学、2010 年、p. 9.

- ・田中浩基、櫻井良憲、三澤毅、八木貴宏、鈴木実、増永慎一郎、川端祐司、小野公二、丸橋晃、「石英ファイバーとシンチレータを用いた中性子捕捉療法用 中性子モニタの開発」、日本原子力学会、2010年秋の大会、北海道大学.
- ・山崎裕之、徐 虬、曹興忠、佐藤紘一、川端祐司、義家敏正、「ニッケルの強度に及ぼすヘリウムの影響」、日本金属学会 2010 年秋期大会（北海道大学）
- ・川端祐司、高宮幸一、関本俊、齋藤泰司、徐 虬、田中浩基、高橋千太郎、「KURにおける特徴的利用高度化計画—中小型中性子源としてのKURが生き延びるために—」、日本中性子科学会 第9回年会、いばらき量子ビーム研究センター、2009年、p. 44.
- ・川端祐司、高宮幸一、齋藤泰司、徐 虬、田中浩基、関本俊、高橋千太郎、
「原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブによる京大炉(KUR)及びホットラボ利用高度化計画」、日本原子力学会、2009年秋の大会、I45.

[国内研究会 20編]

- ・川端祐司、「京都大学炉（KUR）及びホットラボの利用高度化に関する研究」、原子力システム研究開発及び原子力基礎基盤戦略イニシアティブ平成22年度報告会資料集、2011年、科学技術振興機構、37-40.
- ・川端祐司、「京大炉の現状と将来計画」、「中性子イメージング」専門研究会（平成22年度、2011年、No.1.
- ・川端祐司、高宮幸一、関本俊、齋藤泰司、徐虬、田中浩基、高橋千太郎、「原子力基礎基盤研究イニシアティブ 研究炉・ホットラボ等活用研究プログラムによる京大炉（KUR）利用活性化の取り組み」、原子力設備の在り方を考えるシンポジウム、東京大学武田先端知ビル、2010年.
- ・川端祐司、「京大炉の現状と利用計画」、「中性子イメージング」専門研究会（平成21年度、2010年、No.1.
- ・川端祐司、「中小型炉としての京大炉（KUR）利用の現状」、日本非破壊検査協会・放射線分科会、2009年、NDI 資料10433.
- ・川端祐司、「京大炉の現状と利用計画」、「中性子イメージング」専門研究会（平成20年度、2009年、No.1.
- ・川端祐司、高宮幸一、齋藤泰司、徐 虬、田中浩基、高橋千太郎、「KURの特徴的利用の高度化に向けて ～原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ 研究炉・ホットラボ等活用研究プログラム採択課題の概要～」、第43回京都大学原子炉実験所学術講演会、京都大学原子炉実験所、2009年、講演報文集9-14.

- 田中浩基、櫻井良憲、鈴木実、増永慎一郎、木梨友子、菓子野元郎、劉勇、三澤毅、八木貴宏、川端祐司、丸橋晃、小野公二、密本俊典、矢島暁、筒井裕士、佐藤岳実、浅野智之、「石英ファイバーを用いた中性子モニターの BNCT 中性子源への適応」、平成 21 年度京大炉専門研究会「研究炉及び加速器中性子源を用いた中性子捕捉療法の高度化に関する研究会」京都大学原子炉実験所 平成 22 年 2 月 19 日-20 日 国内
- 田中浩基、櫻井良憲、鈴木実、増永慎一郎、木梨友子、近藤夏子、三澤毅、八木貴宏、川端祐司、丸橋晃、小野公二、密本俊典、「BNCT 用 中性子ラインセンサの開発」、平成 22 年度京大炉専門研究会「研究炉及び加速器中性子源を用いた中性子捕捉療法の高度化に関する研究会」京都大学原子炉実験所 平成 23 年 2 月 18 日-19 日 国内
- 瀧本真己、「インクジェットプリンターを利用した簡便で高精度な中性子分布測定法の開発」、京都大学原子炉実験所「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」専門研究会、口頭、2011 年 1 月 25 日 (大阪)
- 高宮幸一、「放射線検出と元素分析」、プラズマ分光分析研究会 2011 筑波セミナー in Kyoto、口頭、2011 年 7 月 8 日 (京都)
- 関本 俊、「研究用原子炉を利用した中性子放射化分析」、関西原子力懇談会主催、第 2 回 原子力関係科学技術の基礎的研究の動向調査委員会 (2010 年 1 月、大阪)
- 関本 俊、「KUR の現況&その他」、京都大学原子炉実験所専門研究会「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」(平成 22 年 1 月 26 日)
- 関本 俊、「放射化分析法による宇宙・地球科学的試料の化学組成の分析について」 京都大学原子炉実験所学術講演会 (平成 23 年 1 月 28 日)
- 丸橋基邦、岩瀬彰宏、堀史説、徐虬、佐藤紘一、義家敏正、「電子線照射した Fe-Cu 合金における照射効果の Cu 濃度依存性」、京都大学原子炉実験所専門研究会「材料照射効果と応用」(2010 年 12 月 17 日)
- 山崎裕之、徐虬、曹興忠、佐藤紘一、川端祐司、義家敏正、「ニッケル引張強度に及ぼすヘリウムの影響」、京都大学原子炉実験所専門研究会「材料照射効果と応用」(2010 年 12 月 17 日)
- 丸橋基邦、岩瀬彰宏、徐虬、佐藤紘一、義家敏正、堀史説、「電子線照射した Fe-Cu 合金における照射効果の Cu 濃度依存性」、材料照射効果の解明と照射技術の高度化ワークショップ (2010 年 12 月、大阪)
 - 丸橋基邦、岩瀬彰宏、徐虬、佐藤紘一、義家敏正、堀史説、「電子線照射による Fe-Cu 合金への欠陥導入の銅濃度依存性」、材料物性工学談話会発表会(2011 年 1 月、大阪)
- 高橋千太郎、「原子炉実験所の概要と放射線管理について」、原子力安

	<p>全研究協会、原子力・放射線に関する教育職員セミナー、2010. 8、大阪</p> <ul style="list-style-type: none">・高橋千太郎、「原子力事業所の作業環境と放射線管理」、大阪府緊急被ばく医療初級講座、2010. 3、大阪
--	--