

京都大学複合原子力科学研究所

外部評価報告書

二〇二〇年三月

京都大学複合原子力科学研究所
外部評価委員会

京都大学複合原子力科学研究所 外部評価報告書

2020年3月

京都大学複合原子力科学研究所
外部評価委員会

外部評価書の発刊にあたって

京都大学原子炉実験所は、1963年に「原子炉実験およびこれに関連する研究」を行う全国共同利用研究所として発足し、2010年からは共同利用・共同研究拠点として活動を行っている。また、2018年4月からは複合原子力科学研究所と改名し、新たな歩みを始めるとなった。また、2004年の国立大学の法人化に伴い、6年を単位とする中期目標・中期計画の第1期が開始され、現在は第3期の活動を行っているところである。

今回の外部評価を行うに先立って2019年に2012-2017年度の自己点検・評価を行い、その結果を踏まえて今回の外部評価をお願いした。従って、今回の外部評価における評価期間は2012-2017年の6年間となる。しかし、評価期間終了直後に研究所の改名が行われ、それに伴うさまざまな改革が実施されることとなった。外部評価委員会は2019年10月に開催されたため、評価期間終了後から評価委員会開催までの間の研究所の主な動きも評価委員会にて報告を行い、評価に加えて頂いた。

今回の評価では、第2期の3年目から第3期の2年目までを評価期間とし、さらにその後の1年半の期間の主な活動を追加している。共同利用・共同研究拠点の第2期の中間・期末評価は大変厳しいものであり、第3期は「KUR停止を視野に入れた変革の時期」と位置付けたことから、今後の方向性を決定づける重要な時期となっている。さらにKURが臨界後50年以上、KUCAも40年以上が経過している。これだけでも、第4期中期計画・中期目標期間中に研究所のあり方が大きく変わらざるを得ないことが予想される。このような時期だからこそ、研究所の現状をしっかりと評価して頂き、その外部からの意見を大切にしなければならない。そういう意味でも、岐路に立つ研究所の今後を考えるにあたって、本評価結果は最も基本的で重要な材料である。

外部評価委員の皆様方は、それぞれ極めて多忙であるにもかかわらず、快く引き受けて頂き、かつ種々の貴重なご意見を賜ることができました。ここに深くお礼を申し上げます。

2020年3月

京都大学複合原子力科学研究所
川端 祐司

目 次

はじめに

1. 京都大学複合原子力科学研究所 外部評価委員名簿	1
2. 評価	2
2-1 評価ランク	2
2-2 評価内容	3
(1) 研究活動	3
(2) 教育活動	5
(3) 国際交流	6
(4) 社会連携	7
(5) 管理・運営	9
(6) 将来構想	11
(7) 総合評価	12
3. 提言	14
4. まとめ	18
附録1. 外部評価委員会次第	22
附録2. 外部評価委員会 配布資料一覧	23
附録3. 外部評価委員会から提出された評価意見	24
附録4. 海外の研究者による関連分野の評価書	42
附録5. 複合原子力科学研究所からの説明資料(パワーポイントデータ)	61

はじめに

京都大学複合原子力科学研究所の外部評価委員会が、2019年10月9日に、同研究所にて開催された。これは直近の京都大学複合原子力科学研究所の研究、教育、国際協力、社会連携、組織運営などを客観的に評価するとともに、今後に向けての提言を取りまとめることを目的としている。

京都大学複合原子力科学研究所の前身は、京都大学原子炉実験所である。同実験所は、原子力委員会の定める原子力長期計画と日本学術会議の勧告に基づいて、大学における原子力研究を推進するため、1963年4月に設置された。京都大学研究用原子炉（KUR）をはじめとする種々の実験設備を用いて、原子炉による実験およびこれに関連する研究を実施してきた。(1) KUR等から発生する中性子や放射線を用いた物理・物性・照射効果・RI製造・医療照射研究、(2) 原子炉本体の特性・開発などに関連する炉物理、炉工学の研究、(3) 原子力安全管理研究、環境放射能研究などを推進している。

2018年4月には、京都大学複合原子力科学研究所と改組し、共同利用・共同研究拠点として、学問領域の特性を生かしつつ、拠点の枠を越えた連携による異分野融合・新分野創成に向けた取組を推進する活動に取り組んでいる。

これらの研究・教育活動、国際交流や社会連携などの取り組みを、第三者の立場から客観的に評価するため、さまざまな分野の第一線で活躍されている方々を外部評価委員としてお招きし、外部評価委員会を設置した。委員会は、委員名簿にある通り、京都大学複合原子力科学研究所の研究・教育活動に関連する専門家、広く学術界を俯瞰する立場の研究者、研究所が立地する地域の代表などの方々に構成されており、専門的な観点から研究目標の達成度、学術的価値、地域への貢献や交流など、幅広い視点で客観的に評価されるものと考えられる次第である。

先に述べたとおり、外部評価委員会は2012年度から2017年度の6年間の評価を行うことを旨とするが、2018年度に複合原子力科学研究所として組織が一新されたことから、それ以降の実績についても評価に含めることとした。評価委員会では、京都大学複合原子力科学研究所よりそれぞれの活動についてプレゼンテーションをしていただき、活動報告や自己評価についての説明を受けた。十分な時間を質疑応答にとつていただくとともに、研究所の見学の機会を設けていただいた。これらを通じて評価委員各位には、京都大学複合原子力科学研究所の活動について十分にご理解いただいたと考える。

今や、大学で教育・研究用の原子炉を所有・運転しているのは京都大学と近畿大学のみである。いうまでもなく、京都大学複合原子力科学研究所は、大学における研究炉と関連する研究施設を活用した研究ならびに教育の中心的な役割を果たしてきた。多くの学生がKURや京都大学臨界実験装置（KUCA）を用いて、原子炉実習を体験し、わが国の原子力分野の一線を担う研究者・技術者として活躍している。このような取り組みを今後とも発展させていくためにも、本評価委員会の提言を真摯に受け止めていただき、長所はますます伸ばし、

問題点として指摘されるところは十分に検討いただき、適切な改善策を講じていただくよう要望する。

各委員の意見・提言にもとづき本報告書は作成されており、多くの有益な指摘が含まれている。これら提言を踏まえ、京都大学複合原子力科学研究所が、今後ともわが国の原子力研究・教育の主導的・主体的な役割を果たされることを切望する。

山口 彰
東京大学大学院工学系研究科 教授
外部評価委員会委員長

1. 京都大学複合原子力科学研究所 外部評価委員名簿

家 泰弘	日本学術振興会	理事
金谷 利治	高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所	教授
切畑 光統	大阪府立大学研究推進機構 BNCT 研究センター	センター長
中尾 清彦	熊取町	副町長
中西 友子	星薬科大学	学長
山口 彰	東京大学大学院工学系研究科	教授

(所属・職名は 2019 年 10 月現在)

参考 研究評価意見書を提出して頂いた海外研究者

Eberhard H. Lehmann

Former Head of the “Neutron Imaging & Activation Group”,
Laboratory for Neutron Scattering & Imaging,
Paul Scherrer Institute, Switzerland
International Society for Neutron Radiography (ISNR) President
2010-2014

Imre Pázsit

Professor,
Nuclear Engineering, Applied Physics,
Chalmers University of Technology, Sweden

Alessandro Usiello,

Professor,
Clinical Biochemistry and Clinical Molecular Biology,
University of Campania, Italy

Tao Zhang

Director of Mössbauer Effect Data Center.
Dalian Institute of Chemical Physics,
Academician of Chinese Academy of Sciences,
Vice-President of Chinese Academy of Sciences

2. 評価

2-1. 評価ランク

評価ランクとは、各評価項目（研究活動、教育活動、国際交流、社会連携、管理・運営ならびに将来構想）に対してS：非常に良い、A：良い、B：普通、C：要改善、を記述するものである。それぞれの評価基準の詳細は特に規定せず、各委員の自主的な判断による評価として頂いた。なお、以下の一覧表では、各委員の氏名は伏せて記載している。

表 外部評価結果 (S,A,B,C) 一覧

S:非常に良い

A:良い

B:普通

C:要改善

委員 項目	1	2	3	4	5	6
研究活動	S	A	A	S	S	S
教育活動	S	S	A	A	A	A
国際交流	B	A	B	A	A	S
社会連携	S	S	S	S	S	S
管理・運営	A+	S	A	A	S	S
将来構想	A	A	A	A	A	S
総合評価	S	A	A	A	S	S

2-2. 評価内容

外部評価委員会において、評価委員の方々から、(1)研究活動、(2)教育活動、(3)国際交流、(4)社会連携、(5)管理・運営、(6)将来構想、(7)総合評価、に対する評価ランク及び評価コメントを頂いた。各委員から頂いた回答そのものは本報告書の後の部分に添付することとし、ここではそれらをまとめたものを示す。コメントは、原則として原文のまま記載している。

(1) 研究活動

KUR と KUCA を中心とした施設を利用した研究はユニークで重要な成果が得られている。特に、中性子など量子線を活用した研究が国民生活の水準向上と自然現象の解明や産業応用に貢献したことは大きな成果である。とりわけ BNCT（注：ホウ素中性子捕捉療法）の実用化に向けての研究は、その成果を高く評価されるべき所であり、複合研の存在感を示す実績と言える。

人員や予算が減少し施設管理にリソースを割かれる中で、研究成果を着実に上げていることは高く評価すべきであると考えます。

中性子イメージング研究ユニットの発展には期待したい。原子力技術の応用分野として高いポテンシャルと可能性があること、これまでの実績と社会の理解が乖離していると考えます。医療応用に加えて産業応用として新しい柱の一つになると期待され、産学連携の推進、成果のアピールの方法を工夫して、原子力技術の広がりを見せていただきたい。複合研が新しい原子力の価値を発信していただくことに期待している。

KUR や加速器施設、ホットラボラトリーなど他では保有できない実験施設を有効活用し、共同利用・共同研究を進め、成果を上げてきている。特に、BNCT を積極的に進めてきた成果は大きい。

さらに、原子炉実験所から複合原子力科学研究所への名称変更を行ったことにも表れているが、単なる実験装置（実験施設）の提供による共同利用から、ユニット制の導入など研究のフィールドの提供による原子力に基盤を置く共同研究の場として発展を目指しており、ユニットの活動や論文数の増加にもその成果が読み取れる。特にイメージングユニットでは、全国的な活動の広がりを見せている。ただ、そのことを広くアピールする努力も必要ではないかと感じる。

がん医療における BNCT に対する期待は高く、本研究所が長年の研究の積み重ねによって BNCT をここまで育て上げた功績は賞賛に値する。

伴侶動物への BNCT 適用は興味深い応用分野と思われるが、実験動物による研究ともヒト患者への臨床応用とも異なる位置づけが微妙な問題を含んでいる。ヒトへの臨床応用へのフィードバックには病理解剖など飼い主の理解協力が必要となる局面がある

し、(ヒト患者を差し置いて) 伴侶動物だけで閉じるのでは社会一般の理解が得られない可能性がある。

共同利用・共同研究に関して、研究炉停止の影響もあって、加速器ベースの研究課題へと重心が移りつつある。住友重工のサイクロトロンが多目的中性子源として活用されることが見込まれており、その有効活用が期待される。

KUR、KUCA、加速器などの充実した設備や施設を用いた共同利用研究(民間も含む)は活発に行われており、着実に成果を挙げている。“プロジェクト採択共同利用研究”制度の導入は、複合研が主体的に研究課題を設定し主導できる制度であり、研究成果の向上や高度化に繋がっていると考えられる。

その中で、複合研が先導する C-BENS(注:サイクロトロン加速器 BNCT 照射システム)を用いた癌-BNCT 研究は、社会的インパクトの強い研究課題であり、その成果が次世代の癌治療に繋がることから地域社会からも支持され高く評価できる。

研究者数や予算が漸減する中で原著論文数は増加の傾向にあり、粒子線物質科学研究本部や放射線生命医科学研究本部においては、論文数は多くないが、国際的に評価の高い学術誌に掲載されるなどの成果を挙げている。今後も、質の高い研究展開が継続して行われることを期待する。

共同利用件数、産学連携研究、共同利用をベースとした論文数などの研究活動指標は何れも増加傾向にあり評価できる。

さらなる研究活動の活性化と高度化を目指した領域横断的な研究ユニット制の導入は、やや遅きに失した感はあるが評価できる。

C-BENS を用いた世界初の加速器 BNCT を開始するとともに再発悪性脳腫瘍及び頭頸部腫瘍に対する治験をスタートさせたことは高く評価される。

新規制基準対応では、他の同様研究炉に先駆けて KUR の運転再開を果たすとともに、新たな装置を共同利用に供し新規ユーザーの開拓を図った結果、これまで以上の論文数の増加をもたらした。

研究活動ではイメージングなどの中性子科学分野や生命・医科学分野が大きく進展してきており、BNCT 治療については、京大複合原子力科学研究所での知見を元に、実際にふたつの病院での治療が開始されるに至ったことは大きな成果である。

共同研究については、共同利用件数は、運転休止期間があったにもかかわらず増加の一途を辿っている。特に過去 5 年間の共同利用論文数は 2 倍に増加し、研究分野は大きく広がってきており、異分野融合が大きく進んでいることは高く評価される。

(2) 教育活動

新たな研究活動が展開される中で大学院生数は順調に推移している。一方、学位取得数は2012年以降、5名以下と低迷している。学位取得者は将来の研究・教育を担う人材であり、解決方策を模索する必要があるように思う。

原子力人材育成については、人材輩出に多大な貢献をしており、京都大学複合研の努力に敬意を表す。近年は海外学生向けの実験教育が定着しており、国際化への貢献も大である。原子力教育については2018年日本原子力学会賞貢献賞を受賞し、学術界からも高く評価されている。

多くの原子力関連の施設を持つ複合原子力科学研究所の原子力関連における教育の役割は大きい。実際、KUCAを用いた他大学、最近では海外学生も受け入れた実験教育は大きく評価できる。

原子力に関わる実践的教育の場としてKUCAを利用した実習の機会を提供していることは極めて貴重であり、もっと評価されてしかるべきである。

協力講座として指導する大学院生はもう少し多くてもよいと思われる。しかしながら、全般的な大学院進学率低下の中で、さらに学部生からは見えにくい研究所という不利な条件もあることを想えば、短期的に状況を改善することは難しいかもしれない。

協力講座として、博士前・後期課程の大学院生の教育に関わることは、教員の研究モチベーションを高める上でも重要であり、積極的な院生の受け入れを図っていくべきである。特に博士後期課程の院生数が、原子核工学を除いて少ないのが危惧される。

全国大学院生を対象にしたKUCAを用いた実験講義等は、総受講者数で3,800名(～2017)を超え、学生にとって直接原子炉にふれる貴重な経験となっており、原子力人材育成で大いに貢献している。

国内だけでなく国外(韓国等)の学生にも英語での講義を行うなど人材育成でも貢献している。

実際に原子炉があるので、他の施設では不可能な実物に沿った教育活動がきちんと行われている。

(3) 国際交流

協定締結研究機関数、共同研究数は着実に増加しており、国際交流は着実に進展していると評価できる。部局間学術交流協定締結大学については平成 24 年を最後に新規締結大学はないことは懸念事項である。(注：評価期間が平成 24 年までであることから、その後は記載されていない。平成 26 年に 2 件、平成 27 年に 2 件、平成 28 年に 1 件、平成 29 年に 1 件締結されている。) また具体的な連携活動が不明である。

教員の海外派遣の増加や共同研究制度の改革による海外研究者の受け入れ、また国際シンポジウムの開催など評価できる。一方、外国人研究者の受け入れの多くがシンポジウムへの参加によるものであり、今後共同研究をベースにした海外連携の強化が望まれる。

諸外国の数多くの研究施設と国際交流協定を締結しているようであるが、それらのすべてがアクティブであるとは思えない。実質的なものとそうでないものを一度整理してみてもどうか。協定は相手のあることなので、無理にターミネートすることもないと思うが、長期間有名無実になっているものをそのままにしておくのも印象が良くない。

多数の国の研究機関、大学と MOU を結んで国際交流を進めており、シンポジウムの開催、外国人研究者の受け入れ、教員の海外派遣も活発に行われている。

外国人研究者の共同利用への参加を認めるなどの制度改革も評価できる。

複合研が先導する BNCT 研究に関しては、国際ワークショップの開催や連携強化が図られているが、継続した取り組みが求められる。

国際交流では、研究者の受け入れ・海外派遣ともに拡大している。特に受け入れでは米国、欧州の交流に加え東南アジア等の交流が増加し、交流がグローバル化・活発化している。

共同利用研究における外国人研究者の参加については、採択課題の研究代表者の研究協力者として参加が可能となるよう改革を行い、受け入れ体制を整えた。

海外からは、学生数より研究者の受け入れ人数がはるかに多く、また増加してきていることは、国際共同研究が順調に発展してきていることを示している。特に、BNCT 関連の連携が進んでいる。

(4) 社会連携

大学の研究機関とはいえ、社会との関係、地元との関係は極めて大切である。まず、京都大学複合研においては地元との良好な関係を構築されていることに敬意を表したい。熊取町との関係に加え、関西地区においても科学に関する講義・実験などの教育を小・中学性から一般向けまで行っている。これらは、エネルギーや原子力技術を理解していただくとともに、社会との良好な関係構築、原子力研究に対する信頼感醸成に多大な貢献をしている。

中性子利用 (BNCT) を発展させ、医療技術として社会に定着させたことは高く評価される。その技術を一般病院に展開させたことは注目に値する。社会からのニーズの高い技術が実用化され、社会に定着していく姿は、科学技術の理想的なあり方の一つである。

評価者は、福島にて開催された京都大学のシンポジウムに参加・講演した経験がある。その折、KURAMA の説明を伺った。迅速な対応、ニーズに応じた技術の改良、普及させる努力に関する活動には、強い印象を受けた。この成果を評価したい。

BNCT 研究 (治験にまで進んでいることは大いに評価できる) は、BNCT 推進協議会の設立につながるなど、複合原子力科学研究所の社会貢献の大きな柱になっている。熊取アトムサイエンスパーク構想に積極的に貢献するなど、地元との良好な関係を築き上げている。原子力施設を有する本研究所にとって、地元との良好な関係なくしては成立せず、高く評価できる。

原子力関連施設ということで、特に地域コミュニティとのコミュニケーションには心を砕いている。長年にわたって地元との良好な関係を維持して運営していることは賞賛に値する。

民間企業と連携して BNCT 用の加速器を共同開発し、これを中性子源に用いる所謂 C-BENS BNCT の研究治療を推進し治験にまで発展させた功績は大きい。また、地元の熊取町や大阪府と連携して、癌-BNCT の医療拠点の構築推進や普及、広報に大きく寄与し、地域との信頼関係を築いたことは高く評価できる。

当該研究所開発の自動計測システム KURAMA (II) が社会実装され、福島第一原子力発電所の事故対応に貢献したことも評価できる。

KURAMA 開発：東電福島第一原子力発電所事故への対応及びより良い原子力防災の確立という社会からの強い要請に応えたこと並びに県民の安全安心に大いに寄与した。

熊取アトムサイエンスパーク構想：地元熊取町の総合計画に位置づけられており両者で協力関係を継続している。

BNCT 推進協議会：産官学連携や医療拠点と研究拠点等における国内外ネットワーク形成方策等を検討するための活動を行っている。

原子力安全に関する周辺自治体等との関係・連携：関係自治体等との適切な関係・連携が維持されている。

BNCT の医療効果が示されるにつれて、京大複合原子力科学研究所は社会からの期待が大きくなってきている。特に地元との関係が非常に良い。福島原発事故後、環境放射能測定装置（KURAMA）が開発され、現場での放射能汚染測定に大きな役割を果たしてきていることは高く評価される。

(5) 管理・運営

大学において、原子力研究施設を管理・運営しつつ、研究と教育を進めていくことの困難さは十分に理解できるところである。京都大学複合研は、いち早く新規制基準に対応し、KUCA ならびに KUR の再稼働を果たしたことは言うまでもなく特筆すべき成果である。

管理・運営業務は円滑に実施して当然と見られがちである。職員数、予算ともに減少傾向にある状況で通常通りの職務遂行がなされたことは高く評価すべきところである。特に、福島第一事故後の安全への取り組みの活動について、高く評価すべきところである。その活動により、KUCA と KUR の再稼働が実現された。

研究所執行部のリーダーシップのもと管理運営は以前に比べて大きく改善されている。特に、安全面では新規制基準へ適切に対応して研究用原子炉の再開を行ない、共同研究を開始したことは高く評価できる。

他の多くの大学附置研究所と同様、運営費交付金および教職員の定員数の削減が研究所運営に深刻な影響を与えている。

原子炉の安全管理は至上命題であり、複合研は厳しくなる一方の規制に真摯に対応している。発電炉と研究炉の特性を無視したような規制の在り方に振り回され、安全管理のために多くの人員と労力が費やされて、研究活動が圧迫されている現状は真に気の毒であるが、社会的受容性の観点からやむを得ないところである。

競争的資金や外部資金の獲得への努力が数字となって表れていることは評価できる。

従来の3研究本部体制を、所長のリーダーシップが発揮できるより機動的、弾力的な組織に変更するなどの自己改革を着実に実行しており、評価できる。

新規制基準や規定変更に伴う安全管理に適応するための組織体制の変更は、職員数が漸減する中においても適正に実施されている。特に新基準に対応した施設変更や改良は厳しい予算状況下においても確実に実施されている。

人員や予算の漸減、共同研究の件数増加、原子力利用や原子力学を取り巻く厳しい社会環境の変化、燃料を巡る不確実な課題が想定・山積する中で、中・長期的な視野と展望に立った将来計画は適切であり、経過に沿った着実な運営が望まれる。

今期はとりわけ炉の停止及び新規制基準の対応に大変なご苦勞があったものと拝察する。新規制基準対応では、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた電源喪失時の対応等安全機能を強化するとともに、新規制基準に長期にわたり真摯に対応し他に先駆け適合性確認を終え運転再開を果たした。

運営：

- ①研究組織：助教層の高齢化傾向に着目し将来を見据えた対策を講じている。
- ②安全管理：東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた電源喪失時の対応及びその他一般安全機能（外部電源、水源）の強化を図った。
- ③事務組織等：2017 災害対策指針改正を受け防災業務計画に緊急時活動レベル（EAL）を設定した。
- ④財政：運営費交付金等が減少しているなか科研費等外部資金の獲得に努め、研究炉停止の影響を最小限に止めながら研究を遂行した。

新規制基準対応：申請準備に時間を要するも、長期にわたり真摯に対応し適合性確認を終え運転再開を果たした。とりわけ他に先駆け再稼働したことを高く評価する。

近い将来、研究内容の大きな変革が迫られる可能性を持ちつつ、予算や人員数が減少する中、組織の再編成ならびに新基準対応などを非常に効率よくかつ適切に行ってきている。

(6) 将来構想

将来構想を描くにあたり、環境要因や外的要因に影響されるところが大きく、そのことが将来構想の自由度を狭めていることは否めない。加速器とホットラボを活用した量子線利用研究、それを実現させるために研究ユニットを発展させるという姿は、現状を外挿する限りでは適切なビジョンと言える。

使用済み燃料の米国引き取り期限（2026年）を目処に KUR の停止を見据えた将来計画は致し方ない。その上で、加速器をベースにした「多様な粒子線（放射線）・RI 利用」を標榜した方向性とユニット制などをもとにした特徴的な研究の育成は無理のない将来構想と思われる。

中性子をはじめとする放射線・RI 利用に関する将来構想の基本的考え方として、「可能なかぎり加速器ベースの中性子源に置き換える」ことと、「研究炉については、将来不可避の停止・廃炉を見据えつつ、特徴ある研究・教育活動に特化してゆく」方針は適切な判断と思われる。

KUR の停止が想定される中で、加速器をベースとする中・長期的計画と将来構想は、不確定な要素を多く含むものの、適切で実現可能な方向性であると評価できる。将来構想を実現するための研究ユニット制は、複合研のさらなる活性化、高度化、革新に繋がる鍵になると考えられ、さらなる進展を着実に図っていくことが求められる。

複合研の長期的な姿として掲げられている、“大学の付置研究所としての(普通の)姿”や“研究成果の最大化を無理なく目指せる体制に移行”は共感し理解できる処であるが、要求性が高まっている大学共同利用施設としての両立への明確な道筋が示されていないのは残念である。

長期的に目指す研究所の姿：これまでの将来計画検討の経緯を踏まえ、現時点において的確な方向性を示すもの。

研究ユニット制等：ユニット制が円滑に運用され最大の研究成果を挙げることを期待する。

原子炉から加速器へ中心的な利用施設の変化を見据え、非常に具体的な将来構想案を纏めている。中期・長期の全体計画は原子力研究の将来の在り方を深く考えたものであり、高く評価される。

(7) 総合評価

原子力関連の研究組織は、新しい規制要求への対応や、研究ビジョンの再構築、リソースの削減、経年化した施設の保全などといった問題に苦勞している。その状況で、複合研は、研究、教育、社会貢献について着実な進展を見せている。

研究成果については、複合研の特徴や強みを生かした組織運営がなされ、研究戦略が構築されている。特に KUR と KUCA、それに関連する多様な施設の安全な管理・運営、並びにそれら施設を活用した研究に優れた成果を上げている。

地域や社会への貢献には大きな価値を置いていることが理解できた。積極的に地域との交流をする姿勢、社会への貢献を行った実績は特筆される成果である。

将来構想については、我が国の今後の方向性を定めるにあたり、KUR と KUCA をはじめ、実績を積んできた組織として国全体の方向性を示唆するリーダーシップを発揮していただきたい。京都大学複合研という組織の制約を超えた広い視野での提言や戦略の発信を期待する。

研究用原子炉、加速器施設、ホットラボラトリーなどの原子力関連の施設を有し、共同利用・共同研究を推進し関係するコミュニティに貢献して来たことは高く評価できる。また、研究においても、長く続けている BNCT は目に見える成果を生み出し、ユニット（特にイメージング）の活動も広く全国的な広がりを見せており、その効果が出てきている。KUCA をベースにした教育活動もしっかりと行われている。

福島原発の事故の影響で原子炉の規制が強化され、管理基準への対応に多大の時間と労力を費やすることになった。かなり長期にわたって研究炉の停止を余儀なくされたことは残念である一方、そのことによって将来に向けて研究炉だけには頼らない活動のあり方を真剣に検討する機会を得たと前向きに捉えるべきであろう。ユーザーコミュニティにおいてもそのような状況を踏まえて意識の変化があったものと思われる。

複合研が我が国を代表する原子力科学の大学共同利用研究施設として、学術の進展に貢献・寄与してきた功績は大きく高く評価できる。特に、癌-BNCT の研究成果は、地域の原子炉に対する負のイメージを、目に見える形で軽減、一新させる働きをしており、さらなる進展と医療実現が期待される。

複合研は、想定される将来の厳しい運営環境の到来に備え、ユニット制に代表される従来の組織と異なる弾力的で連携・協働を柱とする機能強化の構想・計画を策定、実行しつつある。目標の明確化と間断の無い自己改革を行い、原子力科学研究の共同利用機関として、また学術研究、教育の中核機関としての一層の発展を望みたい。

安全性を図りつつ、研究・教育・国際交流の更なる発展を目指し、具体的な研究所の在るべき姿の議論を重ねている。使用済燃料の米国返送期限が迫る中、適切な管理・運営がなされてきており、我が国の原子力関連の教育・研究の要となっている。

また、BNCT の治療効果が発信されてきたことは、社会における量子ビーム全体についての見方を変えるという大きな成果をもたらした。

3. 提言

(1) 研究活動

従来の研究本部制が必ずしも陳腐化しているとは言えず、それぞれに相応の成果を上げている。むしろ、ユニット制にすることにより、研究施設に根ざした研究体制が脆弱化したり、研究施設を維持・管理する部門とモチベーションが乖離したりする懸念もありうると思う。ユニット制に移行する場合には、目的志向の研究組織と運営管理を担う部門との連携を強化する方策を考える必要があると考える。

(2) 教育活動

今後は、社会人向け、原子力の新規導入国向けのカリキュラム開発など、さらに発展させる可能性がある。教育用原子炉施設の合理的な運営について、国全体のリーダーシップを発揮することが望ましい。研究炉の規制に係る活動そのものも原子力人材育成の一環であるし、教育施設としての有効活用のため、利用率の向上、柔軟な運用の実現に貢献することも期待される。

京大だけでなく他の大学の学部生、社会人、外国人留学生に向けたアピール（HPの活用とも含めて）を積極的に行っていく必要がある。KUCAにおける他大学や海外学生に対する実験教育が、複合研への大学院進学に繋がるような方策は考えられないだろうか。

(3) 国際交流

研究者の交流実績の多くは会議やシンポジウムへの参加者であるという説明をうけた。京都大学複合研の施設の活用、研究への外国人研究者の参加を募り、研究所を国際研究拠点化することを前向きに検討してはどうか。また、若手の研究者の海外派遣を計画的に進め、将来の研究展開や組織・人的交流の充実を検討してはどうか。

国際連携は、優れた研究成果を挙げるための手段であって、それ自体が目的ではない。「国際化」がキーワードの一つになってプレッシャーがかかることもある現在であるが、決して無理をすることなく、国際交流によって得られるものとそれに費やする労力とのバランスを見据えて適切に取り組むことが望まれる。

(4) 社会連携

広報に関して言えば、BNCT研究のパイオニアとして複合研が果たした功績が、一般社会には必ずしも十分に理解されていないように思われる。例えば『BNCT開発史』のような冊子の編集なども一考に値するのではないだろうか。

(5) 管理・運営

大学の研究炉では、その利用目的、リスクの大きさに応じたグレイディドアプローチの考え方に則り、研究教育効果の観点から施設の重要性を訴え、適切な管理・運営のあり方を提言する積極的な取り組みもあってよいと感じる。そのような働きかけにおいて日本の原子力研究組織としてリーダーシップを発揮していただきたい。

(6) 将来構想

KUCA は、研究・教育に価値ある施設であり、利用継続とする。同時に福井炉の影響を受ける可能性を指摘するが、福井炉計画は KUR や KUCA の将来ビジョンに影響されることも事実である。全般に、将来構想が受け身の発想で制限されているように感じられる。「複合原子力科学の共同利用・共同研究拠点として発展」を標榜するならば、福井炉などを含めたサテライト的構想などを提言することもありえるのではないか。

現状のリソースや施設を時間軸について外挿した将来構想だけでなく、制約条件を取り払った場合の自由な発想の将来構想も描いてはどうか。研究ユニットの研究活動は、京都大学の枠を超えた学際融合、産学連携型へとすでに進みつつあるように思う。

サイクロトロンを活用した BNCT さらには陽電子、中性子利用施設を備え、共同利用・共同拠点の役割を続けることは評価できるが、今後財政的な対応にも十分に考慮していくべきである。

住友重工のサイクロトロンが BNCT 研究の役割を経て、中性子ビームの多目的利用マシンとして再利用される計画とのことである。単なる汎用装置ではなく特徴を出せる装置となるよう、知恵を絞ることが望まれる。

(7) 総合評価

京都大学複合研は日本の原子力研究・教育の中心的な役割を果たした組織の一つであり、全国的な視点で研究所の将来構想を語っていただきたいし、我が国の原子力研究・教育全体を見据えて、国家的視点から方向性を提言していただくことを期待する。

研究所のあり方について、国際化への取りくみの議論を深めて良いのではないか。大学の研究炉は、国際的に共同利用することは必然的であるかもしれないし、特に大型研究施設を用いる原子力研究は国境をまたいで実施される傾向にあると思う。複合研を国際研究拠点として発展させていくためのビジョンを構築するための活動を行っても良いのではないか。

原子力教育において、これまでに京都大学複合研の果たした役割はきわめて重要であった。また将来に向けても、国内外からの期待は大きいものがある。国内のみにとどまらず、アジアあるいは極東地域での原子力教育の拠点として貢献されることを期待する。

将来計画も原子炉の停止を見据えたものであり、状況を考えると仕方がないが、財政的基盤をより強固にして確実にしていくことが望まれる。

産業界との連携については、申請資格の改善など努力は認められるが、あまり効果が見えてこない。今後の研究所運営を考えると、民間からの資金導入は重要な視点であり、多くの資源を持つ複合原子力科学研究所として、その民間活用を積極的に考える必要がある。

広報活動があまりよく見えず、より積極的な外部に対するアピールの強化が必要である。社会の変化も取り入れ、HP だけでなく SNS などを利用した広報も取り入れていくべきではないか？

将来構想に示された全体方針は妥当なものと思われるが、原子力科学の貴重な共同利用・共同研究拠点として、ユーザーコミュニティとのコミュニケーションを密にし、協力を得つつ将来構想の実現を目指していただきたい。

将来像として“加速器、HL 等を活用した多様な粒子線(放射線)・RI 利用”を看板化、移行する方針は妥当な判断であると云えるが、そのための周到な人事計画を今から考慮すべきと思われる。

将来の KUR の停止を想定すれば、それまでの期間、現在、イノベーションラボラトリに設置され、寄付されるサイクロトロン型加速器の適切な運用が、ユニット制導入後の研究・運営の重要な要素ツールとなっている。イノベーションラボラトリの改築、この加速器の有効活用について、より具体的な活用計画の策定を望みたい。

加速器活用の一環として、獣医 BNCT や産業利用が計画されているが、これらの促進には大学内ベンチャーの設立などによる産学連携が有効な手段と考えられる。大学本部と連携しながら、大学内ベンチャーの設立検討を望みたい。

新たな中性子源(熊取サイト)として装置の導入など具体的に検討・準備されている。主要装置の今後については、使用済燃料、施設の高経年化問題及び国の政策等先行き不透明な部分もあるが、関係機関とも連携・協力し学術研究及び人材育成を支える基盤を整え「くまとりサイエンスパーク」構想を推進されたい。なお、①KUR: 炉停止等(時期含む)による共同利用研究への影響(量的減少) ②KUCA: 福井炉(もんじゅ跡地)計画の影響(炉存廃及び教育・人材育成) ③FFAG: 停止による研究への影響(ADS 研究等) ④BNCT の進捗などは、地域社会の関心が高く適時適切な情報提供が必要。

全体的に非常に良く運営されてきており、得られた研究成果は非常に高いと判断される。ただ、現在の研究所の管理・運営は非常に良い状態であるものの、その要となる人物の後継者の育成にいつも配慮していただきたい。

研究所の諸経費が増加していく中、アカデミックな研究といえども、共同研究の有料化を

図っていても良いのではないかとされる。

これから力を入れる分野に生命系があるが、RIの製造も積極的に取り組んでほしい。

4. まとめ

外部評価委員の方々から、(1)研究活動、(2)教育活動、(3)国際交流、(4)社会連携、(5)管理・運営、(6)将来構想、(7)総合評価、に対する評価ランク及び評価コメントを頂いた。複数の委員から類似の意見を寄せられた項目に関して、その趣旨の要約を以下に再掲する。

(1) 研究活動

KUR、KUCA、加速器施設、ホットラボラトリー等の他では保有できない実験施設を利用して共同利用・共同研究を進めている。特に、中性子など量子線を活用した研究が国民生活の水準向上と自然現象の解明や産業応用に貢献したことは大きな成果である。

原子炉実験所から複合原子力科学研究所への名称変更を行ったことにも表れているが、単なる実験装置（実験施設）の提供による共同利用から、ユニット制の導入など研究のフィールドの提供による原子力に基盤を置く共同研究の場として発展を目指しており、ユニットの活動や論文数の増加にもその成果が読み取れる。

がん医療における BNCT に対する期待は高く、本研究所が長年の研究の積み重ねによって C-BENS を用いた世界初の加速器 BNCT を開始するとともに再発悪性脳腫瘍及び頭頸部腫瘍に対する治験をスタートさせたことは高く評価される。

中性子イメージング研究ユニットの発展には期待したい。原子力技術の応用分野として高いポテンシャルと可能性があること、これまでの実績と社会の理解が乖離していると考ええる。また、このユニットは全国的な活動の広がりを見せている。ただ、そのことを広くアピールする努力も必要ではないかと感じる。

(2) 教育活動

原子力に関わる実践的教育の場として KUCA を利用した実習の機会を提供していることは原子力人材育成上、極めて貴重である。2018 年日本原子力学会賞貢献賞を受賞し、学術界からも高く評価されている。

一方、学位取得数は 2012 年以降、5 名以下と低迷している。学位取得者は将来の研究・教育を担う人材であり、解決方策を模索する必要がある。協力講座として、博士前・後期課程の大学院生の教育に関わることは、教員の研究モチベーションを高める上でも重要であり、積極的な院生の受け入れを図っていくべきである。特に博士後期課程の院生数が、原子核工学を除いて少ないのが危惧される。

(3) 国際交流

協定締結研究機関数、共同研究数は着実に増加しており、国際交流は着実に進展していると評価できる。ただし、それらのすべてがアクティブであるとは思えない。外国人研究者の受け入れの多くがシンポジウムへの参加によるものであり、今後共同研究をベースにした

海外連携の強化が望まれる。

(4) 社会連携

原子力関連施設ということで、特に地域コミュニティとのコミュニケーションには心を砕いている。長年にわたって地元との良好な関係を維持して運営していることは賞賛に値する。

中性子利用（BNCT）を発展させ、医療技術として社会に定着させたことは高く評価される。その技術を一般病院に展開させたことは注目に値する。社会からのニーズの高い技術が実用化され、社会に定着していく姿は、科学技術の理想的なあり方の一つである。

福島事故の際における KURAMA 開発において、迅速な対応、ニーズに応じた技術の改良、普及させる努力に関する活動には、強い印象を受けた。その後も開発を継続し、社会実装されている。良い原子力防災の確立という社会からの強い要請に応えたこと並びに住民の安全安心に大いに寄与した。

(5) 管理・運営

研究所執行部のリーダーシップのもと管理・運営は以前に比べて大きく改善されている。特に、いち早く新規制基準に対応し、KUCA ならびに KUR の再稼働を果たしたことは言うまでもなく特筆すべき成果である。

他の多くの大学附置研究所と同様、運営費交付金および教職員の定員数の削減が研究所運営に深刻な影響を与えている。管理・運営業務は円滑に実施して当然と見られがちである。職員数、予算ともに減少傾向にある状況で通常通りの職務遂行がなされたことは高く評価すべきところである。

人員や予算の漸減、共同研究の件数増加、原子力利用や原子力学を取り巻く厳しい社会環境の変化、燃料を巡る不確実な課題が想定・山積する中で、中・長期的な視野と展望に立った将来計画は適切であり、経過に沿った着実な運営が望まれる。

(6) 将来構想

将来構想を描くにあたり、環境要因や外的要因に影響されるところが大きく、そのことが将来構想の自由度を狭めていることは否めない。中性子をはじめとする放射線・RI 利用に関する将来構想の基本的考え方として、「可能なかぎり加速器ベースの中性子源に置き換える」ことと、「研究炉については、将来不可避の停止・廃炉を見据えつつ、特徴ある研究・教育活動に特化してゆく」方針は適切な判断と思われる。

加速器とホットラボを活用した量子線利用研究、それを実現させるために研究ユニットを発展させるという姿は、現状を外挿する限りでは適切なビジョンと言える。将来構想を実現するための研究ユニット制は、複合研のさらなる活性化、高度化、革新に繋がる鍵になると考えられ、さらなる進展を着実に図っていくことが求められる。

(7) 総合評価

原子力関連の研究組織は、新しい規制要求への対応や、研究ビジョンの再構築、リソースの削減、経年化した施設の保全などといった問題に苦勞している。その状況で、複合研は、研究、教育、社会貢献について着実な進展を見せている。

複合研が我が国を代表する原子力科学の大学共同利用研究施設として、学術の進展に貢献・寄与してきた功績は大きく高く評価できる。特に、BNCTの研究成果は、地域の原子炉に対する負のイメージを、目に見える形で軽減、一新させる働きをしており、さらなる進展と医療実現が期待される。積極的に地域との交流をする姿勢、社会への貢献を行った実績は特筆される成果である。

将来構想については、我が国の今後の方向性を定めるにあたり、KUR と KUCA をはじめ、実績を積んできた組織として国全体の方向性を示唆するリーダーシップを発揮していただきたい。京都大学複合研という組織の制約を超えた広い視野での提言や戦略の発信を期待する。

総括

京都大学複合原子力科学研究所の外部評価委員会により、同研究所の、(1)研究活動、(2)教育活動、(3)国際交流、(4)社会連携、(5)管理・運営、(6)将来構想について外部評価を実施した。

研究活動については、その成果を高く評価する意見が多勢であり、特に医療応用について実用化までに至る重要な進展が見られる。研究進捗のフェーズはもちろん一様ではないが、分野間で研究成果の充実度に若干のアンバランスを指摘する意見もあった。いずれの研究ユニットも遠くない将来の廃止措置を見据えた研究の方向性として、適切であるとの評価を踏まえ、それぞれの分野で意義ある研究成果が継続的に生み出されることを期待する。一方で、これら研究成果を発信し、原子力科学の貢献を社会から理解いただく努力もまた研究所のミッションのひとつであると考えられる。社会には、原子力技術や放射線の利用について、必ずしも理解と支持が浸透しているとは言い切れず、大学からの発信はそのような状況の改善に一役を果たすのではないかと考えるところである。

教育活動については高い評価を得ている。特に KUCA が我が国の原子力人材育成に果たした役割が大きいことがうかがい知れる。一方、学位取得者が少ないことから、大学院教育についての懸念が示された。研究と教育は一体であり、将来につながる布石でもある。研究所の特徴を生かして魅力をアピールすることにより、研究と教育の相乗効果が発現されるよう工夫されることを期待する。

国際交流に関する活動は着実であるものの、卓越した成果が見られないようである。研究拠点として発展するためには国際化は必須であり、研究所の特徴を踏まえた国際共同研究を強化するなどひとつの方策であろう。

社会連携については多くの委員から高く評価されている。原子力分野の研究施設として、地元と良好な関係を構築していること、放射線利用医療技術の実用化につなげ社会に成果を還元していることなどは特筆すべき点である。これら事例は、組織・教員・職員の意識の高さがうかがえる事例である。

管理・運営は KUCA と KUR の再稼働を実現し、安全に運転していることから、しっかりとなされていることが実証されている。しかしながら、リソースの観点から円滑な管理・運営に限界が近づいていることを示唆する状況であることも現実である。持続的な組織運営・施設管理がなされるよう、具体的なプラン（改善策）を示し、外部に対しても働きかける必要性を感じる次第である。

将来構想についても評価委員の様々な意見にもとづき評価を行った。研究所のさまざまな制約や境界条件がゆえ、それらに縛られすぎた構想となっている印象は否めない。短期的には蓋然性と実効性を踏まえた実現可能な構想として示すことは大切である。一方で、複合原子力科学研究所には優れた研究・教育の実績があることを踏まえ、国全体の方向性を示したり、リーダーシップを発揮したりするべく幅広い長期的視点による将来構想を提示することも原子力コミュニティや社会が複合原子力科学研究所に期待することの一つではないか。

本評価委員会のいずれの委員も、評価委員会を通じて、京都大学複合原子力科学研究所の実力と施設の充実ぶり、スタッフの意欲の能力の高さを実感したものである。総じて、新しい組織、京都大学複合原子力科学研究所としての成果・業績は優れており、高い評価に相応しいものと考え。第二期の中間・期末評価以降、組織の改革につとめ、将来構想に真剣に取り組む、議論してきた様子がうかがい知れる。このようなスタッフ各位の努力には敬意を表したい。今後は KUR 廃止措置を見据えつつ、研究の成果充実と新たな研究所へと変革・飛躍を実践することになる。京都大学複合原子力科学研究所の発展と大いなる貢献を願う次第である。

附録1.

外部評価委員会次第

日時：2019年10月9日（水）10：00～19：00

場所：（午前の部）複合原子力科学研究所・（午後の部）関空ジョイテルホテル

（集合：複合原子力科学研究所 図書棟会議室）

10：00～ 挨拶／出席者・日程紹介（川端所長、瀬戸副所長、中島副所長）

10：15～ 所内視察（KUR、KUCA、イノベーションリサーチラボ（BNCT））

11：50～ 外部評価委員との意見交換

<昼食・懇談>

=====関空ジョイテルホテルへ移動=====

（会場：関空ジョイテルホテル 会議室）

司会：黒崎教授

13：10～ 外部評価委員・議事予定・陪席者の紹介

13：20～ 開会挨拶・近況報告 川端所長

13：40～ 研究活動、教育活動、国際交流、社会連携等の活動報告 瀬戸副所長

14：10～ 研究ユニットの概要報告 鈴木教授、齊藤教授、杉山教授

15：10～ 休憩

15：20～ 管理・運営に関する報告 中島副所長

15：50～ 将来構想に関する報告 川端所長

16：20～ 外部評価委員会委員による会議
（評価内容、まとめの方針、今後の予定等の審議）

17：20～ 休憩

17：30～ 意見交換会

19：00～ 閉会挨拶 川端所長

附録 2.

外部評価委員会 配付資料一覧

①所内刊行物

要覧、施設と研究のご案内、ASKvol.24

②複合原子力科学研究所外部評価委員会座席表

③複合原子力科学研究所外部評価委員会次第

④複合原子力科学研究所外部評価委員会委員名簿

⑤複合原子力科学研究所自己点検・評価報告書(2012-2017)

⑥拠点中間評価結果、拠点中間評価用調書

⑦令和元年度「外部評価委員会」評価表

⑧複合原子力科学研究所外部評価報告書作成スケジュール

⑨複合原子力科学研究所からの説明資料(パワーポイントデータ)

- ・近況報告
- ・研究活動、教育活動、国際交流、社会連携等の活動報告
- ・研究ユニットの概要報告（鈴木教授）
- ・研究ユニットの概要報告（齊藤教授）
- ・研究ユニットの概要報告（杉山教授）
- ・管理・運営に関する報告
- ・将来構想に関する報告
- ・海外の研究者による関連分野の評価書 一式

⑩京都大学原子炉実験所外部評価報告書（2013年3月）

附録3. 外部評価委員会から提出された評価意見

(各委員の評価ランク記載は削除させて頂きました。)

委員名 家 泰弘 _____

(1) 研究活動 (共同利用含む)

評価コメント：

がん医療における BNCT に対する期待は高く、本研究所が長年の研究の積み重ねによって BNCT をここまで育て上げた功績は賞賛に値する。

伴侶動物への BNCT 適用は興味深い応用分野と思われるが、実験動物による研究ともヒト患者への臨床応用とも異なる位置づけが微妙な問題を含んでいる。ヒトへの臨床応用へのフィードバックには病理解剖など飼い主の理解協力が必要となる局面があるし、(ヒト患者を差し置いて) 伴侶動物だけで閉じるのでは社会一般の理解が得られない可能性がある。

共同利用・共同研究に関して、研究炉停止の影響もあって、加速器ベースの研究課題へと重心が移りつつある。住友重工のサイクロトロンが多目的中性子源として活用されることが見込まれており、その有効活用が期待される。

(2) 教育活動

評価コメント：

原子力に関わる実践的教育の場として KUCA を利用した実習の機会を提供していることは極めて貴重であり、もっと評価されてしかるべきである。

協力講座として指導する大学院生はもう少し多くてもよいと思われる。しかしながら、全般的な大学院進学率低下の中で、さらに学部生からは見えにくい研究所という不利な条件もあることを想えば、短期的に状況を改善することは難しいかもしれない。

(3) 国際交流

評価コメント：

諸外国の数多くの研究施設と国際交流協定を締結しているようであるが、それらのすべてがアクティブであるとは思えない。実質的なものとそうでないものを一度整理してみるかどうか。協定は相手のあることなので、無理にターミネートすることもないと思うが、長期間有名無実になっているものをそのままにしておくのも印象が良くない。

国際連携は、優れた研究成果を挙げるための手段であって、それ自体が目的ではない。「国際化」がキーワードの一つになってプレッシャーがかかることもある現在であるが、決して無理をすることなく、国際交流によって得られるものとそれに費やす労力とのバランスを見据えて適切に取り組むことが望まれる。

(4) 社会連携

評価コメント：

原子力関連施設ということで、特に地域コミュニティとのコミュニケーションには心を砕いている。長年にわたって地元との良好な関係を維持して運営していることは賞賛に値する。

広報に関して言えば、BNCT研究のパイオニアとして複合研が果たした功績が、一般社会には必ずしも十分に理解されていないように思われる。例えば『BNCT 開発史』のような冊子の編集なども一考に値するのではないだろうか。

(5) 管理・運営

評価コメント：

他の多くの大学附置研究所と同様。運営費交付金および教職員の定員数の削減が研究所運営に深刻な影響を与えている。

原子炉の安全管理は至上命題であり、複合研は厳しくなる一方の規制に真摯に対応している。発電炉と研究炉の特性を無視したような規制の在り方に振り回され、安全管理のために多くの人員と労力が費やされて、研究活動が圧迫されている現状は真に気の毒であるが、社会的受容性の観点からやむを得ないところである。

競争的資金や外部資金の獲得への努力が数字となって表れていることは評価できる。

(6) 将来構想 (研究ユニット含む)

評価コメント：

中性子をはじめとする放射線・RI 利用に関する将来構想の基本的考え方として、「可能なかぎり加速器ベースの中性子源に置き換える」ことと、「研究炉については、将来不可避の停止・廃炉を見据えつつ、特徴ある研究・教育活動に特化してゆく」方針は適切な判断と思われる。

住友重工のサイクロトロンが BNCT 研究の役割を経て、中性子ビームの多目的利用マシンとして再利用される計画とのことである。単なる汎用装置ではなく特徴を出せる装置となるよう、知恵を絞ることが望まれる。

(7) 総合評価

評価コメント：

福島原発の事故の影響で原子炉の規制が強化され、管理基準への対応に多大の時間と労力を費やすことになった。かなり長期にわたって研究炉の停止を余儀なくされたことは残念である一方、そのことによって将来に向けて研究炉だけには頼らない活動のあり方を真剣に検討する機会を得たと前向きに捉えるべきであろう。ユーザーコミュニティにおいてもそのような状況を踏まえて意識の変化があったものと思われる。将来構想に示された全体方針は妥当なものと思われるが、原子力科学の貴重な共同利用・共同研究拠点として、ユーザーコミュニティとのコミュニケーションを密にし、協力を得つつ将来構想の実現を目指していただきたい。

(1) 研究活動（共同利用含む）

評価コメント：

KUR や加速器施設、ホットラボラトリーなど他では保有できない実験施設を有効活用し、共同利用・共同研究を進め、成果を上げてきている。特に、BNCT を積極的に進めてきた成果は大きい。

さらに、原子炉実験所から複合原子力科学研究所への名称変更を行ったことにも表れているが、単なる実験装置（実験施設）の提供による共同利用から、ユニット制の導入など研究のフィールドの提供による原子力に基盤を置く共同研究の場として発展を目指しており、ユニットの活動や論文数の増加にもその成果が読み取れる。特にイメージングユニットでは、全国的な活動の広がりを見せている。ただ、そのことを広くアピールする努力も必要ではないかと感じる。

(2) 教育活動

評価コメント：

多くの原子力関連の施設を持つ複合原子力科学研究所の原子力関連における教育の役割は大きい。実際、KUCA を用いた他大学、最近では海外学生も受け入れた実験教育は大きく評価できる。

(3) 国際交流

評価コメント：

教員の海外派遣の増加や共同研究制度の改革による海外研究者の受け入れ、また国際シンポジウムの開催など評価できる。一方、外国人研究者の受け入れの多くがシンポジウムであり、今後共同研究をベースにした海外連携の強化が望まれる。

(4) 社会連携

評価コメント：

BNCT 研究（治験にまで進んでいることは大いに評価できる）は、BNCT 推進協議会の設立につながるなど、複合原子力科学研究所の社会貢献の大きな柱になっている。熊取アトムサイエンスパーク構想に積極的に貢献するなど、地元との良好な関係を築き上げている。原子力施設を有する本研究所にとって、地元との良好な関係なくしては成立せず、高く評価できる。

(5) 管理・運営

評価コメント：

研究所執行部のリーダーシップのもと管理運営は以前に比べて大きく改善されている。特に、安全面では新規規制基準へ適切に対応して研究用原子炉の再開を行ない、共同研究を開始したことは高く評価できる。

(6) 将来構想（研究ユニット含む）

評価コメント：

使用済み燃料の米国引き取り期限（2026年）を目処に KUR の停止を見据えた将来計画は致し方ない。その上で、加速器をベースにした「多様な粒子線（放射線）・RI 利用」を標榜した方向性とユニット制などをもとにした特徴的な研究の育成は無理のない将来構想と思われる。サイクロトロンを活用した BNCT さらには陽電子、中性子利用施設を備え、共同利用・共同拠点の役割を続けることは評価できるが、今後財政的な対応にも十分に考慮していくべきである。

(7) 総合評価

評価コメント：

研究用原子炉、加速器施設、ホットラボラトリーなどの原子力関連の施設を有し、共同利用・共同研究を推進し関係するコミュニティーに貢献して来たことは高く評価できる。また、研究においても、長く続けている BNCT は目に見える成果を生み出し、ユニット（特にイメージング）の活動も広く全国的な広がりを見せており、その効果が出てきている。KUCA をベースにした教育活動もしっかりと行われている。

将来計画も原子炉の停止を見据えたものであり、状況を考えると仕方がないが、財政的基盤をより強固にして確実にしていくことが望まれる。

○ 複合原子力科学研究所の評価の詳細と提言をお願いいたします。

- 産業界との連携については、申請資格の改善など努力は認められるが、あまり効果が見えてこない。今後の研究所運営を考えると、民間からの資金導入は重要な視点であり、多くの資源を持つ複合原子力科学研究所として、その民間活用を積極的に考える必要がある。
- 広報活動があまりよく見えず、より積極的な外部に対するアピールの強化が必要である。社会の変化も取り入れ、HP だけでなく SNS などを利用した広報も取り入れていくべきではないか？

(1) 研究活動（共同利用含む）

評価コメント：

- ・KUR、KUCA、加速器などの充実した設備や施設を用いた共同利用研究（民間も含む）は活発に行われており、着実に成果を挙げている。“プロジェクト採択共同利用研究”制度の導入は、複合研が主体的に研究課題を設定し主導できる制度であり、研究成果の向上や高度化に繋がっていると考えられる。
- ・その中で、複合研が先導する C-BENS を用いた癌-BNCT 研究は、社会的インパクトの強い研究課題であり、その成果が次世代の癌治療に繋がることから地域社会からも支持され高く評価できる。
- ・研究者数や予算が漸減する中で原著論文数は増加の傾向にあり、粒子物質科学研究本部や放射線生命科学研究所においては、論文数は多くないが、国際的に評価の高い学術誌に掲載されるなどの成果を挙げている。今後も、質の高い研究展開が継続して行われることを期待する。
- ・共同利用件数、産学連携研究、共同利用をベースとした論文数などの研究活動指標は何れも増加傾向にあり評価できる。
- ・さらなる研究活動の活性化と高度化を目指した領域横断的な研究ユニット制の導入は、やや遅きに失した感はあるが評価できる。

(2) 教育活動

評価コメント：

- ・協力講座として、博士前・後期課程の大学院生の教育に関わることは、教員の研究モチベーションを高める上でも重要であり、積極的な院生の受け入れを図っていくべきである。特に博士後期課程の院生数が、原子核工学を除いて少ないのが危惧される。京大だけでなく他の大学の学部生、社会人、外国人留学生に向けたアピール（HP の活用とも含めて）を積極的に行っていく必要がある。KUCA における他大学や海外学生に対する実験教育が、複合研への大学院進学に繋がるような方策は考えられないだろうか。

(3) 国際交流

評価コメント：

- ・多数の国の研究機関、大学と MOU を結んで国際交流を進めており、シンポジウムの開催、外国人研究者の受け入れ、教員の海外派遣も活発に行われている。
- ・外国人研究者の共同利用への参加を認めるなどの制度改革も評価できる。
- ・複合研が先導する BNCT 研究に関しては、国際ワークショップの開催や連携強化が図られているが、継続した取り組みが求められる。

(4) 社会連携

評価コメント：

- ・民間企業と連携して BNCT 用の加速器を共同開発し、これを中性子源に用いる所謂 C-BENS BNCT の研究治療を推進し治験にまで発展させた功績は大きい。また、地元の熊取町や大阪府と連携して、癌-BNCT の医療拠点の構築推進や普及、広報に大きく寄与し、地域との信頼関係を築いたことは高く評価できる。
- ・当該研究所開発の自動計測システム KURAMA (II) が社会実装され、福島第一原子力発電所の事故対応に貢献したことも評価できる。

(5) 管理・運営

評価コメント：

- ・従来の 3 研究本部体制を、所長のリーダーシップが発揮できるより機動的、弾力的な組織に変更するなどの自己改革を着実に実行しており、評価できる。
- ・新規制基準や規定変更に伴う安全管理に適応するための組織体制の変更は、職員、数が漸減する中においても適正に実施されている。特に新基準に対応した施設変更や改良は厳しい予算状況下においても確実に実施されている。
- ・人員や予算の漸減、共同研究の件数増加、原子力利用や原子力学を取り巻く厳しい社会環境の変化、燃料を巡る不確実な課題が想定・山積する中で、中・長期的な視野と展望に立った将来計画は適切であり、経過鵜に沿った着実な運営が望まれる。

(6) 将来構想 (研究ユニット含む)

評価コメント：

- ・KUR の停止が想定される中で、加速器をベースとする中・長期的計画と将来構想は、不確定な要素を多く含むものの、適切で実現可能な方向性であると評価できる。将来構想を実現するための研究ユニット制は、複合研のさらなる活性化、高度化、革新に繋がる鍵になると考えられ、さらなる進展を着実に図っていくことが求められる。
- ・複合研の長期的な姿として掲げられている、“大学の付置研究所としての(普通の)姿”や“研究成果の最大化を無理なく目指せる体制に移行”は共感し理解できる処であるが、要求性が高まっている大学共同利用施設としての両立への明確な道筋が示されていないのは残念である。
- ・将来像として“加速器、HL 等を活用した多様な粒子線(放射線)・RI 利用”を看板化、移行する方針は妥当な判断であると云えるが、そのための周到な人事計画を今から考慮すべきと思われる。

(7) 総合評価

評価コメント：

- ・複合研が我が国を代表する原子力科学の大学共同利用研究施設として、学術の進展に貢献・寄与してきた功績は大きく高く評価できる。特に、癌-BNCTの研究成果は、地域の原子炉に対する負のイメージを、目に見える形で軽減、一新させる働きをしており、さらなる進展と医療実現が期待される。
- ・複合研は、想定される将来の厳しい運営環境の到来に備え、ユニット制に代表される従来の組織と異なる弾力的で連携・協働を柱とする機能強化の構想・計画を策定、実行しつつある。目標の明確化と中断の無い自己改革を行い、原子力科学研究の共同利用機関として、また学術研究、教育の中核機関としての一層の発展を望みたい。

○ 複合原子力科学研究所の評価の詳細と提言をお願いいたします。

- ・将来の KUR の停止を想定すれば、それまでの期間、現在、イノベーションセンターに設置され、寄付されるサイクロトロン型加速器の適切な運用が、ユニット制導入後の研究・運営の重要な要素ツールとなっている。イノベーションセンターの改築、この加速器の有効活用について、より具体的な活用計画の策定を望みたい。
- ・加速器活用の一環として、獣医 BNCT や産業利用が計画されているが、これらの促進には大学内ベンチャーの設立などによる産学連携が有効な手段と考えられる。大学本部と連携しながら、大学内ベンチャーの設立検討を望みたい。

(1) 研究活動（共同利用含む）

評価コメント：

- ・ C-BENS を用いた世界初の加速器 BNCT を開始するとともに、再発悪性脳腫瘍及び頭頸部腫瘍に対する治験をスタートさせたことは高く評価される。
- ・ 新規規制基準対応では、他の同様研究炉に先駆けて KUR の運転再開を果たすとともに、新たな装置を共同利用に供し新規ユーザーの開拓を図った結果、これまで以上の論文数の増加をもたらした。

(2) 教育活動

評価コメント：

- ・ 全国大学院生を対象にした KUCA を用いた実験講義等は、総受講者数で 3,800 名（～2017）を超え、学生にとって直接原子炉にふれる貴重な経験となっており、原子力人材育成で大いに貢献している。
- ・ 国内だけでなく国外（韓国等）の学生にも英語での講義を行うなど人材育成でも貢献している。

(3) 国際交流

評価コメント：

- ・ 国際交流では、研究者の受け入れ・海外派遣ともに拡大している。
特に受け入れでは米国、欧州の交流に加え東南アジア等の交流が増加し、交流がグローバル化・活発化している。
- ・ 共同利用研究における外国人研究者の参加については、採択課題の研究代表者の研究協力者として参加が可能となるよう改革を行い受け入れ体制を整えた。

(4) 社会連携

評価コメント：

- ・ KURAMA 開発：東電福島第一原子力発電所事故への対応及びより良い原子力防災の確立という社会からの強い要請に応えたこと並びに県民の安全安心に大いに寄与した。
- ・ 熊取アトムサイエンスパーク構想：地元熊取町の総合計画に位置づけられており両方で協力関係を継続している。
- ・ BNCT 推進協議会：産官学連携や医療拠点と研究拠点等における国内外ネットワーク形成方策等を検討するための活動を行っている。
- ・ 原子力安全に関する周辺自治体等との関係・連携：関係自治体等との適切な関係・連携が維持されている。

(5) 管理・運営

評価コメント：

- ・運営：①研究組織：助教層の高齢化傾向に着目し将来を見据えた対策を講じている。
②安全管理：東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた電源喪失時の対応及びその他一般安全機能（外部電源、水源）の強化を図った。
③事務組織等：2017 災害対策指針改正を受け防災業務計画に緊急時活動レベル（EAL）を設定した。
④財政：運営費交付金等が減少しているなか科研費等外部資金の獲得に努め、研究炉停止の影響を最小限に止めながら研究を遂行した。
- ・新規制基準対応：申請準備に時間を要するも、長期にわたり真摯に対応し適合性確認を終え運転再開を果たした。とりわけ他に先駆け再稼働したことを高く評価する。

(6) 将来構想（研究ユニット含む）

評価コメント：

- ・長期的に目指す研究所の姿：これまでの将来計画検討の経緯を踏まえ、現時点において的確な方向性を示すもの。
- ・研究ユニット制等：ユニット制が円滑に運用され最大の研究成果を挙げることを期待する。

(7) 総合評価

評価コメント：

- 研究活動：
- ・C-BENS を用いた世界初の加速器 BNCT を開始するとともに、再発悪性脳腫瘍及び頭頸部腫瘍に対する治験をスタートさせたことは高く評価される。
- 社会連携：
- ・KURAMA 開発：東電福島第一原子力発電所事故への対応に加え、より良い原子力防災の確立という社会からの強い要請に応えたこと及び県民の安全安心に大いに寄与したことを評価したい。
- 管理・運営：
- ・新規制基準対応では、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた電源喪失時の対応等安全機能を強化するとともに、新規制基準に対して長期にわたり真摯に対応し他に先駆けて適合性確認を終え運転再開を果たした。

○ 複合原子力科学研究所の評価の詳細と提言をお願いいたします。

【評価の詳細】

○研究活動：

- ・C-BENS を用いた世界初の加速器 BNCT を開始するとともに、再発悪性脳腫瘍及び頭頸部腫瘍に対する治験をスタートさせた。

○管理・運営：

- ・今期はとりわけ炉の停止及び新規規制基準の対応に大変なご苦勞があったものと拝察する。新規規制基準対応では、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた電源喪失時の対応等安全機能を強化するとともに、新規規制基準に長期にわたり真摯に対応し他に先駆け適合性確認を終え運転再開を果たした。
- ・財政面では、運営費交付金等が減少しているなか科研費等外部資金の獲得に努め、研究炉停止の影響を最小限に止めながら研究を遂行した。

【提言】

- 「複合原子力科学創生プラットフォーム」構築：ユニット制が十分機能を発揮し、共同研究を通じて新たな研究分野を創造し結果大きな成果を生み、複合原子力科学が発展し続けることを期待する。
- 将来構想：新たな中性子源（熊取サイト）として装置の導入など具体的に検討・準備されている。主要装置の今後については、使用済燃料、施設の高経年化問題及び国の政策等先行き不透明な部分もあるが、関係機関とも連携・協力し学術研究及び人材育成を支える基盤を整え「くまとりサイエンスパーク」構想を推進されたい。

なお、①KUR：炉停止等（時期含む）による共同利用研究への影響（量的減少）②KUCA：福井炉（もんじゅ跡地）計画の影響（炉存廃及び教育・人材育成）③FFAG：停止による研究への影響（ADS 研究等）④BNCT の進捗などは、地域社会の関心が高く適時適切な情報提供が必要。

(1) 研究活動（共同利用含む）

評価コメント：

研究活動ではイメージングなどの中性子科学分野や生命・医科学分野が大きく進展してきており、BNCT 治療については、京大複合原子力科学研究所での知見を元に、実際にふたつの病院での治療が開始されるに至ったことは大きな成果である。

共同研究については、共同利用件数は、運転休止期間があったにもかかわらず増加の一途を辿っている。特に過去 5 年間の共同利用論文数は 2 倍に増加し、研究分野は大きく広がってきており、異分野融合が大きく進んでいることは高く評価される。

(2) 教育活動

評価コメント：

実際に原子炉があるので、他の施設では不可能な実物に沿った教育活動がきちんと行われている。

(3) 国際交流

評価コメント：

海外からは、学生数より研究者の受け入れ人数がはるかに多く、また増加してきていることは、国際共同研究が順調に発展してきていることを示している。特に、BNCT 関連の連携が進んでいる。

(4) 社会連携

評価コメント：

BNCT の医療効果が示されるにつれて、京大複合原子力科学研究所は社会からの期待が大きくなってきている。特に地元との関係が非常に良い。福島原発事故後、環境放射能測定装置（KURAMA）が開発され、現場での放射能汚染測定に大きな役割を果たしてきていることは高く評価される。

(5) 管理・運営

評価コメント：

近い将来、研究内容の大きな変革が迫られる可能性を持ちつつ、予算や人員数が減少する中、組織の再編成ならびに新基準対応などを非常に効率よくかつ適切に行っている。

(6) 将来構想（研究ユニット含む）

評価コメント：

原子炉から加速器へ中心的な利用施設の変化を見据え、非常に具体的な将来構想案を纏めている。中期・長期の全体計画は原子力研究の将来の在り方を深く考えたものであり、高く評価される。

(7) 総合評価

評価コメント：

安全性を図りつつ、研究・教育・国際交流の更なる発展を目指し、具体的な研究所の在るべき姿の議論を重ねている。使用済燃料の米国返送期限が迫る中、適切な管理・運営がなされてきており、我が国の原子力関連の教育・研究の要となっている。

また、BNCT の治療効果が発信されてきたことは、社会における量子ビーム全体についての見方を変えるという大きな成果をもたらした。

○ 複合原子力科学研究所の評価の詳細と提言をお願いいたします。

全体的に非常に良く運営されてきており、得られた研究成果は非常に高いと判断される。

ただ、現在の研究所の管理・運営は非常に良い状態であるものの、その要となる人物の後継者の育成にいつも配慮していただきたい。

研究所の諸経費が増加していく中、アカデミックな研究といえども、共同研究の有料化を図っていても良いのではないかと思われる。

これから力を入れる分野に生命系があるが、RI の製造も積極的に取り組んでほしい。

(1) 研究活動（共同利用含む）

評価コメント：

KUR と KUCA を中心とした施設を利用した研究はユニークで重要な成果が得られている。特に、中性子など量子線を活用した研究が国民生活の水準向上と自然現象の解明や産業応用に貢献したことは大きな成果である。とりわけ BNCT の実用化に向けての研究は、その成果は高く評価されるべき所、複合研の存在感を実績と言えると考える。

人員や予算が減少し施設管理にリソースを割かれる中で、研究成果を着実に上げていることは高く評価すべきであると考え。従来の研究本部制が必ずしも陳腐化しているとは言えず、それぞれに相応の成果を上げている。むしろ、ユニット制にすることにより、研究施設に根ざした研究体制が脆弱化したり、研究施設を維持・管理する部門とモチベーションが乖離したりする懸念もありうると思う。ユニット制に移行する場合には、目的志向の研究組織と運営管理を担う部門との連携を強化する方策を考える必要があると考える。

中性子イメージング研究ユニットの発展には期待したい。原子力技術の応用分野として高いポテンシャルと可能性があること、これまでの実績と社会の理解が乖離していると考え。例えば（中性子ではないが）ミュオンで福島第一原子力発電所の溶融炉心の可視化に応用されたことなど、知られていないようである。医療応用に加えて産業応用として新しい柱の一つになると期待され、産学連携の推進、成果のアピールの方法を工夫して、原子力技術の広がりを示していただきたい。

複合研が新しい原子力の価値を発信していただくことに期待している。

(2) 教育活動

評価コメント：

新たな研究活動が展開される中で大学院生数は順調に推移している。一方、学位取得数は 2012 年以降、5 名以下と低迷している。学位取得者は将来の研究・教育を担う人材であり、解決方を模索する必要があるように思う。

原子力人材育成については、人材輩出に多大な貢献をしており、京都大学複合研の努力に敬意を表す。近年は海外学生向けの実験教育が定着しており、国際化への貢献も大である。原子力教育については 2018 年日本原子力学会賞貢献賞を受賞し、学术界からも高く評価されている。

今後は、社会人向け、原子力の新規導入国向けのカリキュラム開発など、さらに発展させる可能性がある。教育用原子炉施設の合理的な運営について、国全体のリーダーシップを発揮することが望ましい。研究炉の規制に係る活動そのものも原子力人材育成の一環であるし、教育施設としての有効活用のため、利用率の向上、柔軟な運用の実現に貢献することも期待される。

(3) 国際交流

評価コメント：

協定締結研究機関数、共同研究数は着実に増加しており、国際交流は着実に進展していると評価できる。部局間学术交流協定締結大学については平成 24 年を最後に新規締結大学はないことは懸念事項である。また具体的な連携活動が不明である。

研究者の交流実績の多くは会議やシンポジウムへの参加者であるという説明をうけた。京都大学複合研の施設の活用、研究への外国人研究者の参加を募り、研究所を国際研究拠点化することを前向きに検討してはどうか。また、若手の研究者の海外派遣を計画的に進め、将来の研究展開や組織・人的交流の充実を検討してはどうか。

なお、本評価項目に関して意見を付記したい。研究組織の評価はその学術成果や社会への貢献、経済活動への寄与などで測るものであり、国際交流はそれらを実現するための方法、それを評価軸に上げることは適切なものか疑問を感じる。卓越した研究を行う過程で、国内・国際の区別なく研究者間の交流が自然と生まれるものではないか、現実には多くの外国人研究者が日本で研究者として活躍しているのが現実である。

(4) 社会連携

評価コメント：

大学の研究機関とはいえ、社会との関係、地元との関係は極めて大切である。まず、京都大学複合研においては地元との良好な関係を構築されていることに敬意を表したい。熊取町との関係に加え、関西地区においても科学に関する講義・実験などの教育を小・中学性から一般向けまで行っている。これらは、エネルギーや原子力技術を理解していただくとともに、社会との良好な関係構築、原子力研究に対する信頼感醸成に多大な貢献をしている。

中性子利用 (BNCT) を発展させ、医療技術として社会に定着させたことは高く評価される。その技術を一般病院に展開させたことは注目に値する。社会からのニーズの高い技術が実用化され、社会に定着していく姿は、科学技術の理想的なあり方の一つである。

評価者は、福島にて開催された京都大学のシンポジウムに参加・講演した経験がある。その折、KURAMA の説明を伺った。迅速な対応、ニーズに応じた技術の改良、普及させる努力に関する活動には、強い印象を受けた。この成果を評価したい。

(5) 管理・運営

評価コメント：

大学において、原子力研究施設を管理・運営しつつ、研究と教育を進めていくことの困難さは十分に理解できる場所である。京都大学複合研は、いち早く新規制基準に対応し、KUCA ならびに KUR の再稼働を果たしたことは言うまでもなく特筆すべき成果である。

管理・運營業務は円滑に実施して当然と見られがちである。職員数、予算ともに減少傾向にある状況で通常通りの職務遂行がなされたことは高く評価すべきところである。特に、福島第一事故後の安全への取り組みの活動について、高く評価すべきところである。その活動により、KUCA と KUR の再稼働が実現された。

一方で、大学の研究炉では、その利用目的、リスクの大きさに応じたグレイデッドアプローチの考え方に則り、研究教育効果の観点から施設の重要性を訴え、適切な管理・運営のあり方を提言する積極的な取り組みもあってよいと感じる。そのような働きかけにおいて日本の原子力研究組織としてリーダーシップを発揮していただきたい。

(6) 将来構想 (研究ユニット含む)

評価コメント：

将来構想を描くにあたり、環境要因や外的要因に影響されるところが大きく、そのことが将来構想の自由度を狭めていることは否めない。加速器とホットラボを活用した量子線利用研究、それを実現させるために研究ユニットを発展させるという姿は、現状を外挿する限りでは適切なビジョンと言える。

KUCA は、研究・教育に価値ある施設であり、利用継続とする。同時に福井炉の影響を受ける可能性を指摘するが、福井炉計画は KUR や KUCA の将来ビジョンに影響されることも事実である。全般に、将来構想が受け身の発想で制限されているように感じられる。「複合原子力科学の共同利用・共同研究拠点として発展」を標榜するならば、福井炉などを含めたサテライト的構想などを提言することもありえるのではないか。

現状のリソースや施設を時間軸について外挿した将来構想だけでなく、制約条件を取り払った場合の自由な発想の将来構想も描いてはどうか。研究ユニットの研究活動は、京都大学の枠を超えた学際融合、産学連携型へとすでに進みつつあるように思う。

(7) 総合評価

評価コメント：

原子力関連の研究組織は、新しい規制要求への対応や、研究ビジョンの再構築、リソースの削減、経年化した施設の保全などといった問題に苦勞している。その状況で、複合研は、研究、教育、社会貢献について着実な進展を見せている。

研究成果については、複合研の特徴や強みを生かした組織運営がなされ、研究戦略が構築されている。特に KUR と KUCA、それに関連する多様な施設の安全な管理・運営、並びにそれら施設を活用した研究に優れた成果を上げている。

地域や社会への貢献には大きな価値を置いていることが理解できた。積極的に地域との交流をする姿勢、社会への貢献を行った実績は特筆される成果である。

将来構想については、我が国の今後の方向性を定めるにあたり、KUR と KUCA をはじめ、実績を積んできた組織として国全体の方向性を示唆するリーダーシップを発揮していただきたい。京都大学複合研という組織の制約を超えた広い視野での提言や戦略の発信を期待する。

○ 複合原子力科学研究所の評価の詳細と提言をお願いいたします。

京都大学複合研は、KUR と KUCA を中心とした施設群を生かした研究・教育活動に優れた特徴がある。この点に関しては充実した研究成果が達成されていると評価する。また、安全確保についてこれら施設群の運営について、規制当局との協議・対応を適切に実践している。研究施設群の維持管理、適切な運用は研究・教育活動の推進において不可欠であり、この面においても関係者のご尽力に敬意を表する。

京都大学複合研は日本の原子力研究・教育を中心的な役割を果たした組織の一つであり、全国的な視点で研究所の将来構想を語っていただきたいし、我が国の原子力研究・教育全体を見据えて、国家的視点から方向性を提言していただくことを期待する。

研究成果を社会に発信し、実用化し、社会に還元するという事は、あらゆる分野において求められる。京都大学複合研では、BNCT 技術をはじめ、そのような取り組みが実践されており高く評価される。あわせて、立地地域や関西圏などにおいて実施している社会貢献活動は評価すべきものである。結果として、大阪府、熊取町などの自治体と良好な関係を構築していることは、大学の関係部署の方々の努力が大きいものと推察される。

研究所のあり方について、国際化への取りくみの議論を深めて良いのではないかと。大学の研究炉は、国際的に共同利用することは必然的であるかもしれないし、特に大型研究施設を用いる原子力研究は国境をまたいで実施される傾向にあると思う。複合研を国際研究拠点として発展させていくためのビジョンを構築するための活動を行っても良いのではないかと。

原子力教育において、これまでに京都大学複合研の果たした役割はきわめて重要であった。また将来に向けても、国内外からの期待は大きいものがある。国内のみにとどまらず、アジアあるいは極東地域での原子力教育の拠点として貢献されることを期待する。

附録 4. 海外の研究者による関連分野の評価書



Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI
Schweiz
+41 56 310 21 11
www.psi.ch

Dr. Eberhard H. Lehmann
Abteilung LNS
WBBA/122
direkt +41 56 310 2963
eberhard.lehmann@psi.ch

Prof. Y. Kawabata
Kyoto University
Japan

Villigen PSI 3. October 2019

Comments on the Neutron Imaging Activities at the Kyoto University Research Reactor in 2018-2019

Dear Prof. Kawabata,

I was asked by Dr. Saito to give comments on the activities in neutron imaging at your institute. This I will do with pleasure because I follow the Japanese developments since my first visit in Japan for ITMNR-2 in 1995 continuously. I was also head of the advisory team for the new beam line at JPARC, now named RADEN, and chaired ISNR from 2010 to 2014.

General Situation

As in other countries, the researchers with neutrons have a hard time after the Fukushima accident due to the increased safety issues for all reactor based sources. In the consequence, all Japanese reactors were shut down and a reconsideration of their safety has been started. The larger reactor in Tokai-mura is still out of operation, but there is hope for a return to normal operation within this decade.

Therefore, it is of very high importance that the Kyoto University reactor is operational and continues with the experimental program. Next to RADEN (JPARC) it is the only place where competitive neutron imaging activities can be performed in Japan. Although the small accelerator based systems have a high reputation in Japan and are well networked, their performance is not yet on the level of the reactor-based installations.

Installations at the Kyoto University reactor

With a power of 5 MW the reactor is a source of medium intensity, enabling a lot of interesting studies. There are two beam lines available for NI activities, E2 looking to a heavy water tank and B4 with well-defined infra-structure and higher flux level. The E2 beamline is limited in intensity, field-of-view and space for experiments. It is to consider to improve the performance in different respect to make it more user-friendly, more flexibled and powerful.

The B4 installation have more beam intensity, much more space and already some userlab installations. From the given material, it was not clear if there is a cold source usable for that B4 beam line.

The availability of two different and independent NI facilities is very comfortable for the user program. However, it would be important to have an upgrade of the E2 installation in the near future.

Experimental Program

The team at the Kyoto University reactor have traditional activities in various fields where neutrons deliver a high contrast, in particular for water and its distribution. Next to the measurements in static radiography, many investigations have been done with dynamic imaging, in particular for two-phase flow measurements (under certain conditions). This competence has been increased by the collaboration with other institutes in Japan and Korea.

Next to the research in applied material science there are also activities in collaboration with industrial partners. In the delivered material it was not mentioned if the studies were performed on a commercial basis.

Many new trends in NI are not yet visible in the delivered results such as:

- Neutron tomography as a routine method
- Phase contrast imaging
- Imaging using polarized methods
- High resolution imaging
- Energy-resolved imaging
- Data fusion with X-rays
- Investigation of activated materials

It has to be decided strategically if the team stays on its traditional methodical program or will spend more effort on further methodical developments in order to extend the user options.

Involved Manpower

The team at the Kyoto University reactor has a high competence grown over many years. In the delivered list, nothing is mentioned about the education program, in particular with PhD and master students.

Next to the production of the raw data it is more and more important to focus on data treatment and professional image processing and analysis. This aspect needs to be solved by the education and training of suitable students and the involvement of related experts.

Obtained Results

The 13 studies mentioned in the delivered report are carefully done and provide quantitative results on a high level. There is an established user community which will continue and perform similar and more detailed studies in the future.

However, it has to be considered if the mentioned methodical developments will widen the user portfolio and increase the scientific output.

Unfortunately, there was no reference list about recent publications given to me.

Therefore, I cannot judge the scientific level of the research activities in the period under discussion.

Future Plans

Being the only strong reactor based neutron source for NI for the moment, it has to be considered how to use the delivered neutrons best possible. An upgrade of E2 and an optimization of B4 should be discussed within the Japanese NI community carefully. If this is impossible for E2, another suitable beamport should be taken into account too.

Final Recommendations

The user community has to be increased and diversified by means of new methodical approaches and the attraction of alternative research partners and industrial collaborators. There are templates in the global NI community for such options, which can be followed under the particular local conditions. Topics in energy research, electro-chemistry, bio-medical and environmental investigations have to be considered more in the future by using dedicated NI techniques.

I very hope for a progressive development in NI at the Kyoto research reactor and in Japan generally.

Sincerely

Paul Scherrer Institut

Dr. Eberhard H. Lehmann

Expert Neutron Imaging
former Head of the «Neutron Imaging & Activation Group»
Laboratory for Neutron Scattering & Imaging
ISNR President 2010-2014



Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI
Schweiz

+41 56 310 21 11
www.psi.ch

Villigen PSI, 3. Oktober 2019
Seite 4/4

Evaluation of the research and educational activities in KURNS (formerly KURRI)

Preface

When evaluating the research and educational activities for the past 5-6 years period, account must be taken of the fact that the sharpened nuclear regulatory rules after the Fukushima accident have also affected the activity of KURRI adversely. The KUR and KUCA reactors were shut down for more than 3 years from 2014 to 2017. This affected both the experiments, method development, and the medical work using the BNCT method at KUR. Despite of this, the intensity of the research, as well as the interest of collaboration, visits and study trips to KURRI did not show any decrease. This shows the substantial potential of the research capabilities and the attractiveness of the institute very convincingly. The success of bridging this hard period successfully is a huge merit of the researchers and the management of the institute.

In my review of the research activity I will primarily comment on the areas with which I had a direct contact and exchange. This concerns the Division of Nuclear Engineering Science, the units Nuclear System, Research Reactor Safety and Nuclear Material Control; further, the Research Center for Safe Nuclear System, the unit Thermal Energy System. I have also some insight into the research of the Division of Quantum Beam Material Science, the units of Materials Radiation Effects (positrons) and Nuclear Beam Material Science (KURAMA), and the Particle Radiation Oncology Research Center, the unit Particle Radiation Oncology, and will leave some comments also on these. I will also comment briefly on public outreach activities and the education. However, it should be clear that my comments cover by no means all research, only concern the areas with which I am familiar with.

Somewhat unconventionally, I included a few photos as illustrations. All the photos included were taken by myself, and not collected from the internet, thus they are a proof of my own experience with the research performed at KURRI/KURNS.

General

KURRI/KURNS is a strong national resource, representing a solid knowledge base of nuclear science and engineering, traditional reactor physics, neutron and radiation physics, reactor thermal hydraulics, materials science, and medical applications of radiation physics. There are

unique experimental facilities, and the research reactors KUR and KURRI are indispensable assets, in particular in the face of the often quoted fact that the number of research reactors worldwide continuously decreases. The coupling of a 150 MeV proton accelerator to KUCA constitutes the first spallation source driven ADS (accelerator driven system) in the world, which is also a unique asset.

While maintaining the general traditional knowledge base, most of the research concerns innovative applications in all areas of nuclear science, including new nuclear systems, new detection methods and new applications of radiation physics. The scientific output is extensive and is of high quality, as is manifested in publications in international journals, proceedings, conferences and workshops held in KURRI/KURNS or organised by its researchers, and contributions at conferences.

The institute has a very active network of international collaboration. This includes both hosting visitors for both short and long term basis, as well as visiting universities and research centres abroad. Hosting of foreign students for laboratory exercises belongs also to this category. The development of international collaborations is also reflected on the increase of joint publications with international collaboration partners in the recent years.

Division of Nuclear Engineering Science

Reactivity measurement methods

Experimental and theoretical work on methods of experimentally determining reactor kinetic parameters, such as delayed neutron fraction, and in particular measuring reactivity in critical and subcritical source-driven systems, is in the absolute frontline of international research. Measurements made in KUCA by a pulsed neutron source, and the theoretical work around the development of the methods is highly cited internationally. A particular new development in this area is the elaboration of a new paradigm of stochastic reactivity measurement methods, in which the former pulse counting technique is replaced by the use of the current of fission chambers. A new method of extracting the same statistical information (first and second moments of the number of pulses) from the mean and the variance of the fission chamber signals was elaborated recently by Profs. Kitamura and Misawa. This method is free from the dead time problem, hence it is very promising in applications of power reactor systems, in particular in high power ADS. Part of the work was made during a visit of Prof. Kitamura to Chalmers, which was a very fruitful collaboration, since we were working on a similar

method (using detector currents instead of pulse counting) for multiplicity counting in nuclear safeguards.

Development of new detector types

KURRI has been driving the development of thing, fiber based neutron detectors since quite some time back. Such detectors are suitable for making high spatial resolution measurements and are applicable even in narrow spaces (see the inset), which is very advantageous in several applications. Researchers at the Division of Nuclear Engineering Science of KURNS have followed up, or rather are driving, the development in this area. They switched from the first prototypes (LiF-ZnS tip on an ordinary fiber) to applying wavelength shifting fibres for higher light transmission. Recently they promote even replacing the neutron converting part with LiCaF, which produces a significantly higher light output.



This technology offers a number of advantages in applications, including the possibility of using them in current mode in high fluxes, hence again avoiding the dead time problem. The efforts of KURNS scientists are quite unique in this area and my own research group also draws advantages of the new possibilities offered by these detectors.

Development of Monte-Carlo methods

It is worth mentioning the high quality research in the development and application of novel Monte Carlo methods, performed (Research Reactor Safety, T. Yamamoto). Certain new applications require a basic development of new Monte Carlo methods, and KURNS excels also in this field. Monte Carlo calculations have traditionally been used for static, and lately for time dependent cases, to calculate the traditional neutron flux. However, with the recent development of power reactor noise diagnostic methods, which are performed in the frequency domain, the need arose to calculate the space- and frequency dependent transfer functions of realistic, spatially inhomogeneous cores and driving sources. This requires the handling of complex (real + imaginary) quantities, for which traditional Monte-Carlo methods are inapplicable. Significant developments were made in KURNS in this area, which are internationally noted.

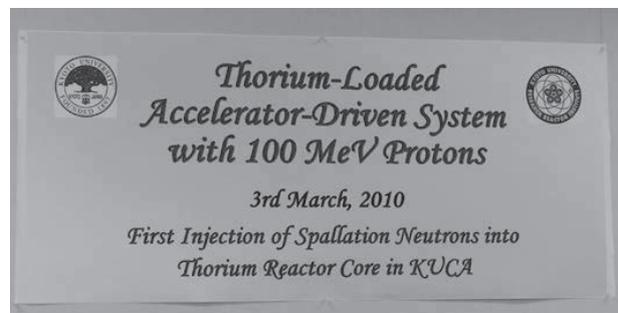
Nuclear safeguards

There is also interesting work being performed in the field of nuclear safeguards, especially regarding handling of spent fuel, where the very deep reactor and nuclear physics expertise of KURNS comes to a good use. Very interesting studies are being made for the development of proliferation resistant fuel cycle for next generation reactors, as well as there is work going on for detection and identification of special nuclear material (SNM).

However, in the view of undersigned reviewer, this activity could, and should, be significantly expanded, by running more research projects in his area. The group of the reviewer has been participating in the work of the Non-Destructive Assay (NDA) group of the INMM (Institute of Nuclear Material Management), in particular by attending the INMM annual meetings. I have been missing the presence of KURRI/KURNS in the NDA work of the INMM. There is a huge theoretical and experimental knowledge base piled up in KURRI/KURNS (such as the theory of neutron fluctuations; Monte Carlo simulations; expertise with neutron and gamma detection methods and new detector types etc), which would make it possible to take a leading position in the international research community. In particular, this would definitely increase the international visibility of the research in KURRI/KURNS. The INMM is as large as (has about as many members) as the whole ANS, and in the US is it one of the most financed research areas in nuclear science and engineering. Even if the threat of international terrorism, which is the main driving of the US efforts, is by far not as large in Japan as in the US, in my view intensifying the KURNS activity in this field would bring many benefits.

The spallation source driven ADS

The coupling of a 150 MeV proton cyclotron (FFAG accelerator) to KUCA via a spallation target represents the world's first spallation based ADS (also called KART, Kumatori Accelerator-driven Reactor Test Facility). This is a world unique facility in which a number of pioneering experiments



were performed, such as the first spallation-driven ADS experiment with a thorium loaded core, as marked in the plaque shown in the illustration to the right. The value of the facility

and the research performed is also indicated by the fact that the results were accepted as IAEA benchmark data, and hence are made accessible to the international research community. So far four volumes were published on the research performed between 2014 and 2018.

Division of Quantum Beam Material Science

Positron annihilation spectroscopy

Although I am not active in the area any longer, I have been continuously aware of the outstanding KURRI activity in positron annihilation spectroscopy (PAS) with slow positrons for fission and fusion material science, started up and led for a long time by Prof. T. Yoshiie (now retired). PAS has a very strong standing in Japan with a number of research groups such as in Tsukuba (2 groups) and Sendai/JAEA. Whereas the other groups use accelerators with pulsed beams, hence they can make positron annihilation lifetime (PALS) measurements, the KURRI group uses stationary sources, and use Doppler broadening and angular correlations (ACAR). For a long time their measurements were based on radioactive sources, but recently a new, reactor based facility was constructed at the KUR reactor. Such a facility has a much larger positron flux, hence the accuracy and the sensitivity of the Doppler and ACAR measurements can be improved by several orders of magnitude. In addition, methods for making pulsed measurements have also been developed lately. There are no more than a handful of such facilities world-wide, hence the KURNS facility must be considered as an important national resource. The facility was also adversely affected by the shutting down of the KUR between 2014-17, and obviously also the uncertainty about the long term operation of the KUR is a matter of concern (as it is to the BNCT activity, mentioned below).

KURAMA

I have seen the first version of KURAMA (Kyoto University RAdiation MApping system, a GPS-aided mobile radiation monitoring system) during a visit to KURRI in 2012. Prof. Misawa was presenting the system to the local media (see inset), for the TV news. I have immediately recognised the great value of the KURAMA



concept, which was developed in response to the nuclear disaster caused by the Fukushima Daiichi nuclear power plant. In 1979, the legendary Alwin Weinberg, in a speech addressed to the ANS summer meeting which was fully devoted to the Three Mile Island accident with the

title “Can we fix nuclear energy?”) he listed a number of points he claimed to be vital for the survival of nuclear energy. One of those was that one must give the possibility to civil members of the population, especially those living close to nuclear installations, that they themselves can read out radiation levels, like they read out their electricity meters, instead of waiting for announcements in the media. To me KURAMA is the perfect tool in the spirit of the late Dr. Weinberg, who should definitely be delighted to see it working. It is an indispensable tool to restore and maintain public acceptance of nuclear power and to have control (overview) over the situation if an accident should happen.

I was so much fascinated by the concept that when Chalmers and the University of Gothenburg arranged a JSPS Activity Seminar in Göteborg last year, I invited Dr. Minoru Tanigaki to give a talk at the seminar. He kindly accepted the invitation and gave a much appreciated talk with the title “Development of the car-borne on-line real-time environmental monitoring system KURAMA and its operation in Fukushima” at the JSPS Activity Seminar “Environmental radioactivity – experience from Japan and Sweden”, held in Göteborg, Sweden, November 15-16, 2018, Wallenberg Conference Center at University of Gothenburg (Appendix 1)

Particle Radiation Oncology Research Center

Even if I am not specialist in the field, I have followed the world-wide effort in developing the BNCT method of treating malignant tumours. In Sweden such an activity was set up at the research reactor R2-0 in Studsvik (where also the Swedish students in nuclear engineering did lab exercises), with even clinical trials having been performed. However, the last two research reactors, R2 and R2-0 were shut down permanently in 2005, hence this activity was discontinued.

The work in KURRI/KURNS is impressive from at least two points of view. One of these is that radiation therapy methods have been applied not only to malignant tumours, but also to infectious diseases and other type of skin disorders (see inset). The other is that in addition to the reactor beam-



based BNCT method, an accelerator-based BNCT method was also developed, based on a 30 MeV cyclotron. The accelerator-based BNCT represents a milestone, since this technology is

ready to be moved to a hospital, which opens new and more patient-friendly levels of treatment.

Miscellaneous

In addition to the above, without going into any details, I list a few more items/fields on which I have more or less direct or indirect indications/knowledge that excellent research is performed in KURRI/KUNRNS. These areas are:

- Neutron radiography;
- Imaging methods; not the least, real-time imaging of two-phase flows;
- Reactor thermal hydraulic research in general.

In addition, KURRI/KURNS conducts a very valuable public outreach activity through annual open days for schoolchildren. This is definitely a nice service to the public and is very useful for spreading factual information on nuclear energy, its benefits and risks, in a popular science manner.

Publications

I have already referred to the extent and high quality of the publications on the research conducted in KURNS. Here I only want to take up another aspect. Since I have been Executive Editor for Annals of Nuclear Energy since 2013, I have several times invited KURRI researchers to perform reviews of articles. Reviewing other authors' papers is a demanding task, and it gives insight to the knowledge level of individual researchers sometimes much better than their own publications. In this respect I am very much impressed, and satisfied, with the high quality reviews I received from several KURRI/KURNS scientists. In addition to the high quality of the review, as a rule, the researchers I invited for a review have been very responsive, and delivered their review always on time. By this way they do a valuable service to the international community, in times when the number of publications is constantly increasing and it is more and more difficult to find qualified reviewers who accept the invitation for a review.

Education

In 2003 I submitted my comments on the quality of the lab exercises which our students in Chalmers were lucky to enjoy until 2010. Since due to an international agreement between France and Sweden, after that time our students had to go for lab exercises to France,

unfortunately I do not have any new information to communicate. I would rather refer to my previous report, emphasising the high quality and high value of the exercises.

Conclusions

As it should be clear from the above, my overall judgement is that the research and development work performed in KURRI/KURNS, the variety and novelty of the research projects and ideas, as well as the education in experimental reactor physics, holds the highest international standard. I wish and hope that the activity, as well as access to the experimental facilities, will continue and possibly expand, by this way making it possible to tackle even more challenges of future reactor systems and other applications of nuclear science and engineering.

Göteborg, 8 October 2019

Imre Pázsit

Chalmers University of Technology



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA
LUIGI VANVITELLI

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E
TECNOLOGIE AMBIENTALI
BIOLOGICHE E FARMACEUTICHE

Rome, August 18th 2019

SCIENTIFIC EVALUATION

Biochemical Gerontology

Professor; Noriko Fujii

Associate professor; Takumi Takata

Post-Doctoral researcher; Ingu Kim

Research topics

This laboratory aims to elucidate the correlation between various post-translational amino acid modifications (racemization, isomerization, deamidation and oxidation) caused by aging, gamma-irradiation, UV irradiation, and protein function.

Research background

In the World, this group has been a pioneer in the study of amino acid racemization and isomerization in lens proteins during aging and the cataractogenic process. The study of amino acid racemization the transformation of one enantiomer (L-form) into its mirror image (D-form) - in proteins has not been popular until the last 30 years based on two main reasons: i) scientists have not paid much attention to the presence of biologically uncommon D-amino acids in living organisms because it was believed that proteins are composed exclusively L-amino acids; and ii) the detection of D-amino acids in proteins was technically very difficult.

Università degli Studi della Campania
Luigi Vanvitelli
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Biologiche e Farmaceutiche
Via Vivaldi, 43,
81100 Caserta
T.: +39 081 1234567890
F.: +39 081 1234567890
E.: xxxxxxx@unina2.it
www.distabif.unina2.it



Research activities

The research activities of this group are the following: 1) Discovery of the specific D-aspartyl (Asp) residues in lens proteins, 2) Elucidation of the mechanism of D-Asp formation in proteins, 3) Influence of D-Asp formation on the protein, and 4) Development of LC-MS/MS methods for D-Asp analysis in proteins .

The details of the research are described below.

1) Detection of Asp isomers in lens protein:

Dr. Fujii et al. were the first in the World to discover by chemical analysis that Asp58 and Asp151 in α A-crystallin and Asp36 and Asp 62 in α B-crystallins, which are main proteins in lens, were highly inverted from L-isomer to the D-isomer and isomerized from the normal α -linkage to the β -linkage of the peptide-bond.

2) Mechanism of isomerization of Asp in proteins:

Dr. Fujii et al. demonstrated that D-Asp formation in protein occurs via a succinimide intermediate. L-succinimide is formed by intramolecular cyclization when the carbonyl group of the side chain of the L- α -aspartyl residue is attacked by the nitrogen of the amino acid residue following the Asp residue and then L-succinimide may be converted to D-succinimide. The D- and L-succinimide are hydrolyzed at either side of their two carbonyl groups, yielding both β - and α -Asp residues, respectively. Four isomers, L α -Asp, L β -Asp, D α -Asp and D β -Asp, are therefore simultaneously formed in the protein under physiological conditions. The rate of succinimide formation depends on the residue neighboring the Asp residue. When the neighboring amino acid has a small side chain as found in glycine (Gly), alanine (Ala) or serine (Ser), succinimide forms readily because there is no steric hindrance. In addition to the effects of adjacent residues, Asp may also be susceptible to racemization when the residues are located in flexible regions.



That is why isomerization of Asp does not occur uniformly but at specific Asp residues. Accordingly, the hot spots of Asp isomers in lens crystallin are located in flexible regions and the side chain of the next amino acids is small.

3) The influence of Asp isomerization on protein structure and function:

The presence of D-Asp in a protein can cause major changes in protein structure because the different side chain orientations can induce an abnormal peptide backbone. In addition, the β -linkage of Asp may cause elongation of the main chain of the protein. Therefore, isomerization of Asp would induce a significant effect on the secondary and tertiary structures of the crystallins as well as the quaternary arrangement of lens proteins. In fact, samples of lens α -crystallin containing large amounts of D β -Asp from elderly donors (80 years old) undergo abnormal aggregation to form massive and heterogeneous aggregates with reduced chaperone activity.

4) Development of D-Asp analysis in proteins using LC-MS/MS:

Historically, the determination of specific D- and β -Asp sites in proteins was carried out by very complicated and time-consuming chemical analysis. Recently Fujii group succeeded in the differentiation of peptides containing L α -Asp, L β -Asp, D α -Asp and D β -Asp-isomers by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry (LC-MS/MS). Although the mass of these isomeric peptides are exactly same, the peptides containing Asp isomers are separated into multiple peaks and elute at different retention times on the LC. Based on this property, the specific sites and amounts of Asp isomers in any protein can be readily determined without relying on complex chemical analyses.

International activity

In 2004 Dr. Fujii and colleagues established the D-Amino Acid Research Society, which was the first society in the world to solely focus on D-amino acid research.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA
LUIGI VANVITELLI

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E
TECNOLOGIE AMBIENTALI
BIOLOGICHE E FARMACEUTICHE

Since then, the domestic D-amino acid research meeting was held every year and the international conference every few years. As of 2019, the Society has 300 members, comprising researchers whose expertise include chemistry, biochemistry, physical chemistry, analytical chemistry, molecular biology, enzymology, pharmacology and medicine. Dr. Fujii was the first president of the Society – a position she held for several years - and organized the first international conference of D-amino acid research.

Dr. Fujii's group actively participated and presented on multiple occasions at the International Conferences on the Origins of Life, the International Society of Eye Research, and the International Conference on Lens.

Future study

The importance of D-amino acids in proteins is limited not only to the lens but also to age-related diseases such as Alzheimer's disease, age-related macular degeneration (AMD), multiple sclerosis and other disorders of protein misfolding. The LC-MS/MS method enables to detect unknown D-amino acids in proteins and the characterization of these isomers will be very useful for understanding the etiology of these diseases.

This group's research has the extraordinary intellectual and technical potentials to open up new scientific avenues and shed light on the origin of biological chirality. The mechanism underlying the onset of age-related diseases may be solved by considering the idea of "parachirality," where D-amino acids are incorporated in the L-amino acid kingdom of life.

General evaluation

The research of Dr. Fujii's group is at the forefront of worldwide studies involved in the protein-bound D-amino acid and protein structure changes in human tissue.

Università degli Studi della Campania
Luigi Vanvitelli
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Biologiche e Farmaceutiche
Via Vivaldi, 43,
81100 Caserta
T.: +39 081 1234567890
F.: +39 081 1234567890
E.: xxxxxxxx@unina2.it
www.distabif.unina2.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA
LUIGI VANVITELLI

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E
TECNOLOGIE AMBIENTALI
BIOLOGICHE E FARMACEUTICHE

This group has made many seminal contributions to the field of D-amino acids and their connection with both aging and the origin of life. One-handedness of biomolecules is a prerequisite for the emergence of terrestrial life. This group will continue to be an International key contributor in the D-amino acid research field.

Alessandro Usiello (PhD)

Full Professor

Clinical Biochemistry and Clinical Molecular Biology.

Department of Environmental, Biological and Pharmaceutical Sciences and Technologies (DISTABIF).

The University of Campania, L. Vanvitelli, Caserta, Italy.

Director

Behavioral Neuroscience Laboratory.

CEINGE, Biotecnologie Avanzate S.c.a.rl.

Via Gaetano Salvatore 486

80145 Naples- Italy

Tel:++39-081-3737-899

Fax:++39-081-3737-808

Università degli Studi della Campania

Luigi Vanvitelli

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Ambientali Biologiche e Farmaceutiche

Via Vivaldi, 43,

81100 Caserta

T.: +39 081 1234567890

F.: +39 081 1234567890

E.: xxxxxxx@unina2.it

www.distabif.unina2.it



中国科学院大连化学物理研究所
Dalian Institute of Chemical Physics
Chinese Academy of Sciences



Phone: +86-411-84379711; E-mail: medc@dicp.ac.cn
Web sites: www.medic.dicp.ac.cn; www.mossbauer.info

Beijing, 26 September, 2019

Evaluate, from an international viewpoint, the scientific and technological value of Nuclear Radiation Physics laboratory, Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, which is headed by Professor Makoto Seto.

Mössbauer spectroscopy is well known as a powerful and well-established method, and it is used in a wide variety of scientific applications; one of the most outstanding features is that element specific information on electronic and phonon states can be obtained. This laboratory actively proceeds the studies on the Mössbauer effect using short-lived γ -ray sources generated with the research reactor and accelerators at the Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University. Since there are very few laboratories in the world that can measure the Mössbauer effect using such short-lived γ -ray sources, this laboratory is very valuable and useful. Using not only short-lived sources but also long-lived γ -ray sources, many researches have been carried out constantly. In fact, many researchers in the world have performed collaborative researches with this laboratory and have made fruitful results. These results were attained with the devoted supports including data analysis done by young staff members. The improved and maintained equipment in the laboratory enables the measurement at low temperatures and high magnetic fields. Furthermore, they are actively promoting the use of synchrotron radiation as a γ -ray source, and the members of the laboratory have developed the world's first nuclear resonant inelastic scattering method and synchrotron radiation based absorption Mössbauer spectroscopy. They are pioneers as new methodologies and, surprisingly, the methods have been developed to stages where they can actually be applied to a wide variety of scientific fields. It is worth noting that they have been constantly achieving numerous new results in the fields from fundamental physics to biological sciences, and followings are some of recent publications.

- “X-ray pumping of the ^{229}Th nuclear clock isomer”: *Nature* **573** (2019) 238.
- “Evolution of Superconductivity with Sr-Deficiency in Antiperovskite Oxide $\text{Sr}_{3-x}\text{SnO}$ ”: *Sci. Rep.* **9** (2019) 1831.
- “Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopy Definition of O^2 Intermediates in

大连市中山路 457 号 116023 www.dicp.ac.cn
457 Zhongshan Road, Dalian 116023, China



- an Extradial Dioxygenase: Correlation to Crystallography and Reactivity: J. Am. Chem. Soc. **140** (2018) 16495.
- “Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic Definition of Peroxy Intermediates in Nonheme Iron Sites”: J. Am. Chem. Soc. **138** (2016) 14294.
 - ^{61}Ni Synchrotron Radiation-Based Mössbauer Spectroscopy of Nickel-Based Nanoparticles with Hexagonal Structure” Sci. Rep. **6** (2016) 20861.
 - “Synchrotron-radiation-based Mössbauer Spectroscopy of ^{40}K in Antiferromagnetic Potassium Nanoclusters in Sodalite”: Phys. Rev. B **91** (2015) 140101(R).
 - “Predominance of Covalency in Water-Vapor-Responsive MMX-Type Chain Complexes Revealed by ^{129}I Mössbauer Spectroscopy”: Dalton Trans. **43** (2014) 8767.
 - “Synchrotron Radiation-Based Mössbauer Spectra of ^{174}Yb Measured with Internal Conversion Electrons”: Appl. Phys. Lett. **104** (2014) 082411.
 - Elucidation of the Fe(IV) =O Intermediate in the Catalytic Cycle of the Halogenase SyrB₂”: Nature **499** (2013) 320,
 - “Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic and Computational Study of High-Valent Diiron Complexes Relevant to Enzyme Intermediates”: Proc. Natl. Acad. Sci. USA **110** (2013) 6275.
 - “Slow Processes in Supercooled *o*-Terphenyl: Relaxation and Decoupling”: Phys. Rev. Lett. **109** (2012) 115705.

These research results are very impressive and reaches significant milestones. They are one of world's top runners in this filed. Their activities are very precious and should be promoted more from the viewpoint of science. Moreover, two young scientists, who graduated from this laboratory, received IBAME (The International Board on the Applications of the Mössbauer Effect) Young Scientist Awards (Dr. Ryo Masuda in 2015, Dr. Makina Saito in 2019; <http://ibame.org/?q=node/28>). This award is authoritative award for young scientists in this field. Therefore, the education in this laboratory is very effective and valuable. However, considering their activity, the environment of their experimental studies (experimental space, budgets, etc) are not enough. Constant and rich support from Kyoto University for their activities should be afforded.

Yours sincerely,

Professor Tao Zhang
Academician of Chinese Academy of Sciences
Director of Mössbauer Effect Data Center
Vice-President of Chinese Academy of Sciences



京都大学 複合原子力科学研究所 外部評価 (近況報告)



川端祐司
京都大学
複合原子力科学研究所

関空ジョイテルホテル 会議室
令和元年 10月 9日



京都大学 複合原子力科学研究所とは

- 日本学術会議:「関東及び関西の大学に研究炉を1基ずつ設置」(1955年)
- 原子力委員会:原子力開発利用長期基本計画:「大学における基礎研究及び教育のための原子炉はさしあたり関西方面に1基設置し、」(1956年)
- 1963年(昭和38年)京都大学附置全国共同利用研究所として**京都大学原子炉実験所**設置
- 設置目的:「原子炉による実験及びこれに関連する研究」

• **2018年(平成30年)4月**
京都大学複合原子力科学研究所と改名



原子炉実験所の主要3施設

KUR :1964年6月初臨界: **H29 8月29日** 再稼働

KUCA:1974年8月初臨界: **H29 6月21日** 再稼働

イノベーションリサーチラボ:2004年3月竣工

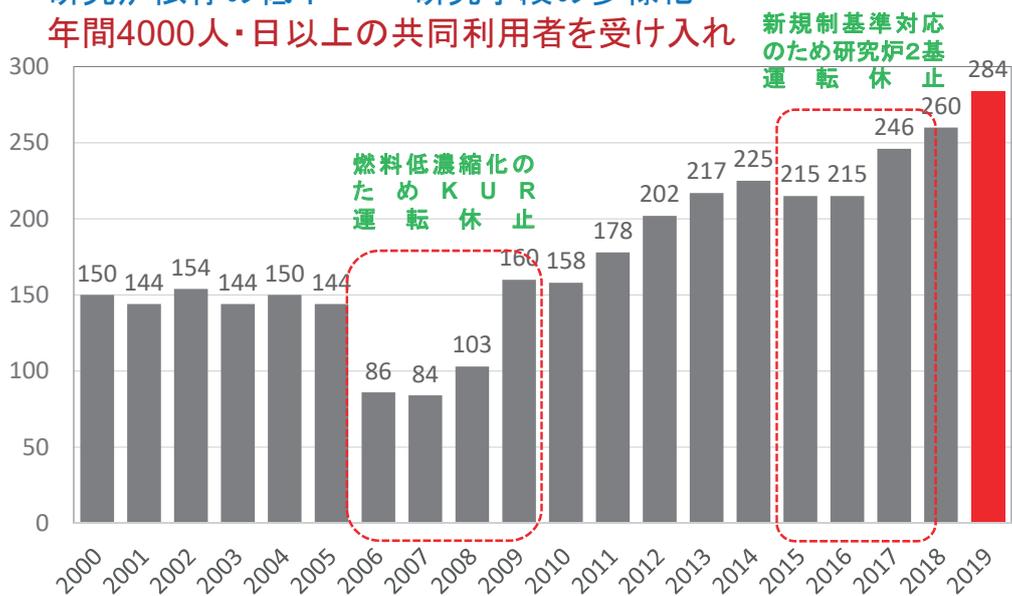
2研究炉:新規制対応のための長期停止を乗り越えて順調に稼働

共同利用研究課題数の変遷

共同利用件数の増加継続 → 研究活性化

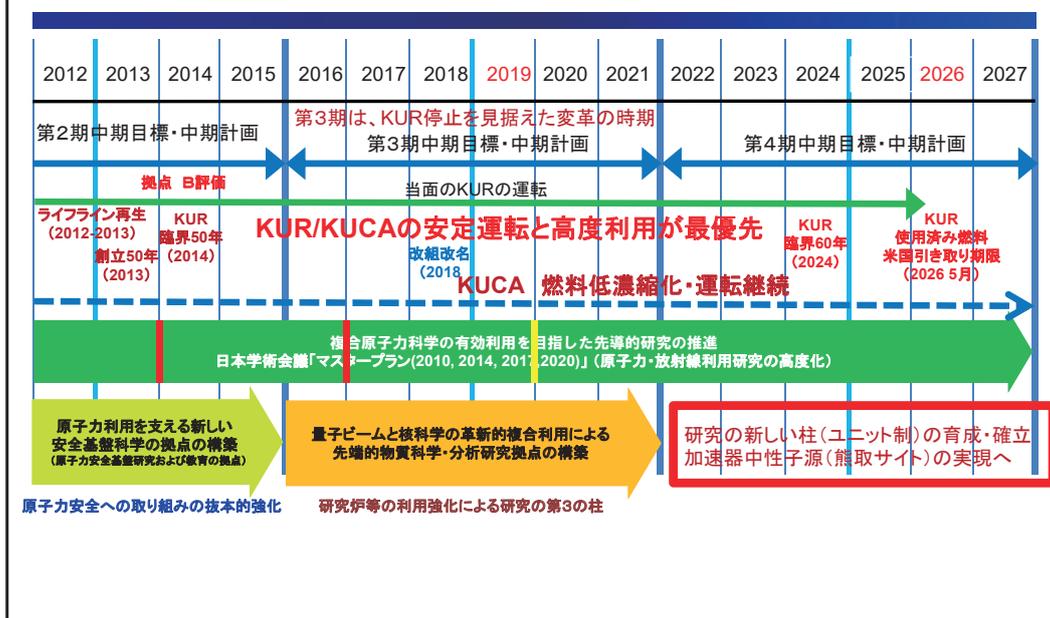
研究炉依存の低下 → 研究手段の多様化

年間4000人・日以上共同利用者を受け入れ



研究所の将来について

全体計画



共同利用・共同研究拠点評価

評価区分	第2期中間評価 (H25)	第2期末末評価 (H27)	第3期中間評価 (H30)
S	3	3	3
A	9	9	7
B	2	2	4
C	0	0	0

理工学系
(大型設備利用型)

評価区分	第2期中間評価 (H25)	第2期末末評価 (H27)	第3期中間評価 (H30)
S	7	7	2
A	8	9	9
B	2	1	6
C	0	0	0

京都大学

前期末評価(H27) (B評価)

総合評価

(評価コメント)

共同利用・共同研究拠点として、原子力安全の人材育成事業を立ち上げるとともに、原子力科学分野の共同利用の重要性を訴え、学会会議から提言が出されるに至るなど、コミュニティへの役割を一定程度果たしている。また、原子炉の再稼働に向けた努力がなされている点についても**一定の評価**ができる。

一方、拠点の責に帰さない部分もあるが、拠点の中核となる研究用原子炉が停止しているとともに、科研費の採択状況や論文数が十分でないことから、今後は、引き続き研究用原子炉の再稼働に尽力するとともに、原子力人材を育成する戦略や研究拠点としての今後の発展について具体的な方向性を検討する必要がある。

今回中間評価(H30) (A評価)

総合評価

(評価コメント)

研究用原子炉を共同利用に供し、分野融合や学際型の共同利用・共同研究の推進に取り組み、成果論文も増加傾向にあることから、関連研究者コミュニティの発展に貢献していると**評価**できる。

一方、外国人研究者との共著論文の比率が低く、国際性が高いとは言えない。

研究組織の再編については、所長のリーダーシップの下、ユニット制の導入による異分野融合や新分野創成の取組が**進められており**、今後、外部評価などを通じて、その**効果を可視化**することが期待される。

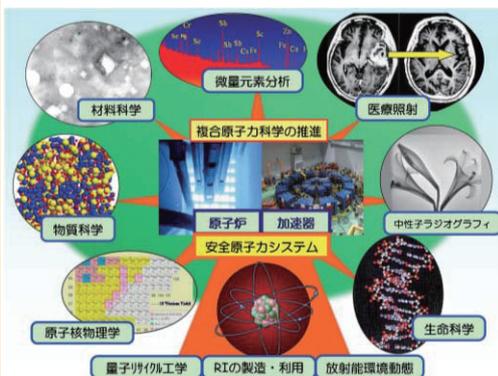
複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進

人類社会の持続的発展には原子力・放射線の利用が必要である。本計画では、**研究炉・加速器を用いる共同利用・共同研究**を軸に、**複合的な原子力科学**の発展と有効利用に向けた先導的研究を推進し、その拠点を形成する。

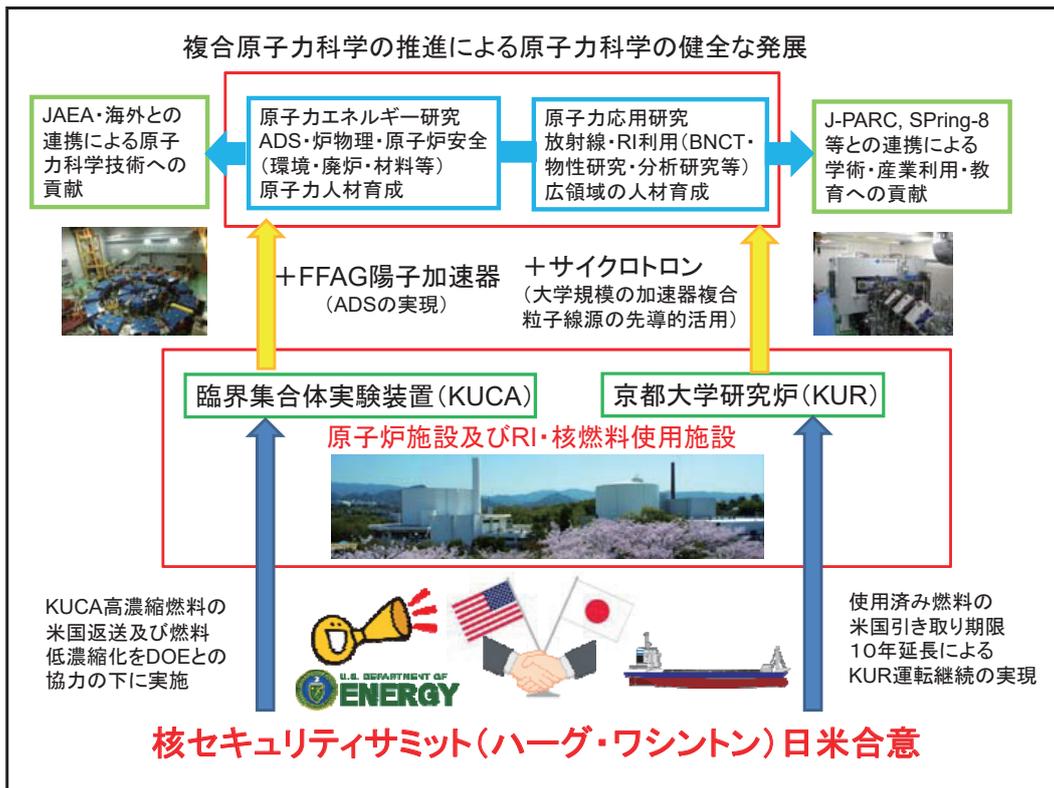
1) **研究炉・加速器を用いた物性・分析研究の深化**: 研究炉(KUR/KUCA)・陽子線加速器(FFAG)、電子線形加速器、Co-60ガンマ線照射施設、X線回折・小角散乱装置、各種微量元素分析装置等の多様な施設・装置を有機的に利用し、研究者の自由な発想に基づく多様な研究環境を実現する。

2) **粒子線やRIを幅広い基礎研究に利用する原子力技術応用研究(BNCT等)**: 原子炉・加速器施設及びホットラボラトリー・レーザー施設を利用し、中性子線をはじめとする粒子線や原子炉で生成させたRIの複合的な活用を行う。特に新規サイクロトロンは、中性子・陽子・陽電子の利用を可能とする複合粒子線源であり、KURの補完・代替の役割を担い、新規研究分野の開拓を可能ならしめる。

3) **原子力エネルギー利用に関する諸問題を解決する原子力研究(ADS等)**: 研究用原子炉(KUR/KUCA)ばかりでなく、高エネルギー陽子加速器(FFAG)と原子炉(KUCA)との結合を実現させた世界で唯一のADSを中心として、使用済み燃料や福島事故問題をはじめとする原子力エネルギーの諸問題に関する基礎研究を行う。核セキュリティサミットにおいて、京都大学研究用原子炉(KUR)の使用済み燃料米国返送期限の10年延長が実現し、さらにKUCAの高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化合意に向け日米交渉が進行中である。



複合原子力科学の全体像



長期的(10年程度)に目指す研究所の姿

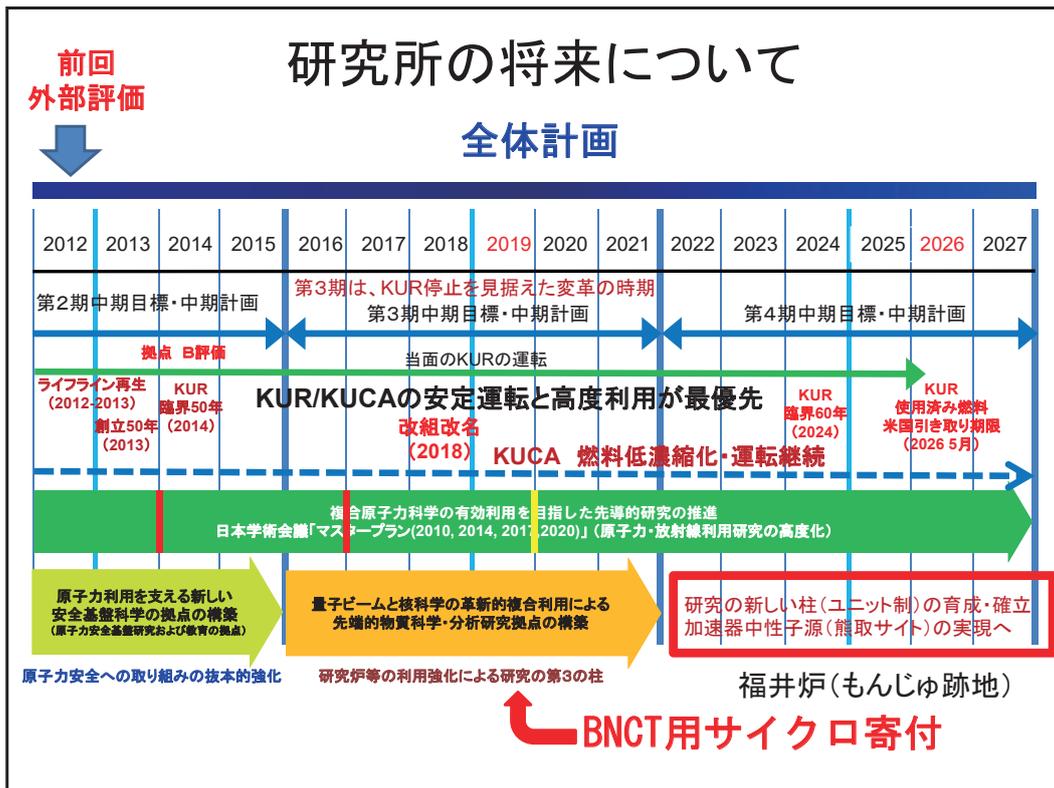
大学の付置研究所としてのあるべき(普通の)姿を目指す
研究成果最大化を、大学として無理なく目指せる体制に移行

**研究力強化と安全管理体制変革対応の両立
長期的な一貫性のある研究所運営**

**約10年先を目途にKUR停止を検討し、
加速器・HL等を活用し
「多様な粒子線(放射線)・RI利用」を看板化**

多様な粒子線: 中性子・陽子・電子・ガンマ線・X線 + α
RI利用等のホットラボラトリー活性化

KUR停止による「共同利用の量的減少」は不可避
特徴的(とんがった)研究の育成が必須



中型中性子源の役割を果たすために
京大炉は改名し、新たな一步を踏み出す

京都大学 原子炉実験所
 Research Reactor Institute, Kyoto Univ.
 (KURRI)

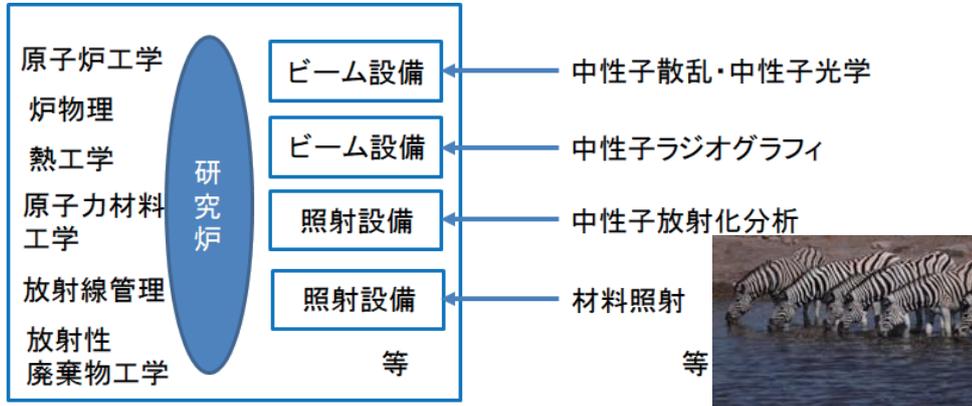
↓

京都大学 複合原子力科学研究所
Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science
(KURNS)
 改名 平成30年4月1日

「なぜ改名したのか」 → 今後の方向性の提示

研究推進形態の進化（初期段階）

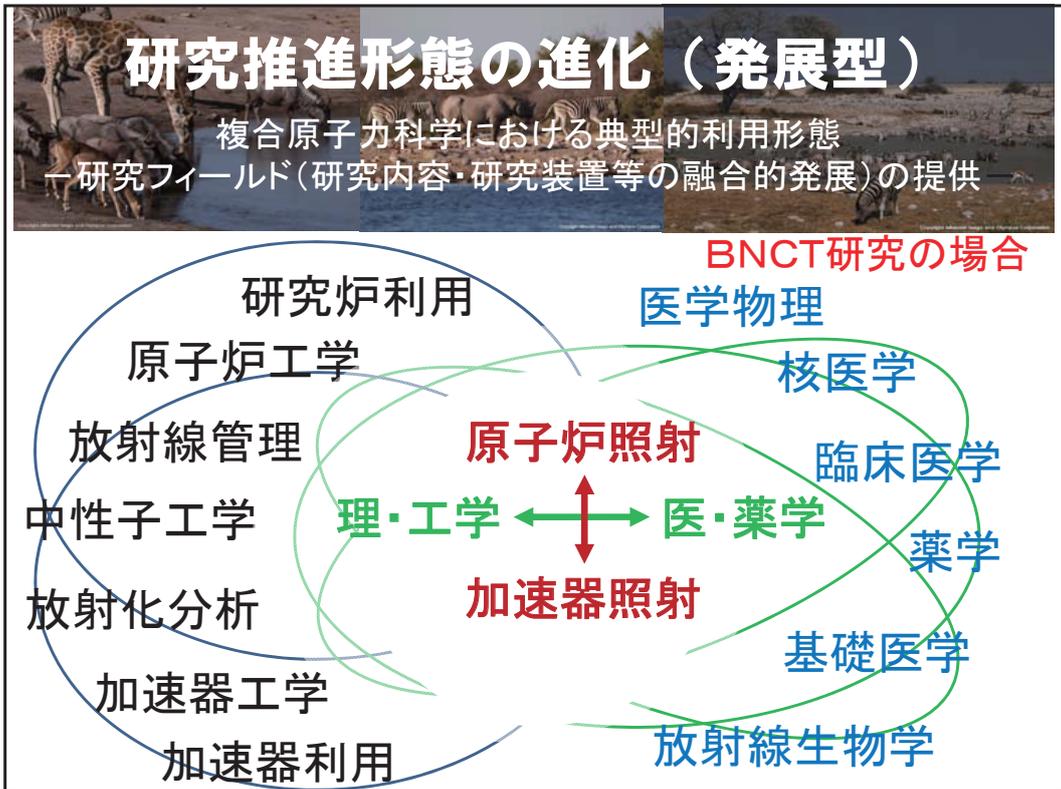
原子炉実験所における典型的利用形態
 これまでの原子力研究の場合
 —実験フィールドの提供—



実験装置を中心に、同分野の研究者がそれぞれグループを形成
 異分野間の交流は少ない

研究推進形態の進化（発展型）

複合原子力科学における典型的利用形態
 —研究フィールド(研究内容・研究装置等の融合的発展)の提供—





最終的には
すべての研究分野に対して
複合・融合化を実現することで
研究の革新性をもたらし
成果の高度化を行う

そのような場を作り、融合を促す

マスタープラン2020 より

研究所ライフラインの本格整備: 非常用電源システム・特高受変電設備等、幅広く所内のライフライン再生工事を本格実施。新たな計画に耐えうる所内基盤を整備済。(H24~25: 20億円以上)。

研究用原子炉運転継続環境の整備

KUR/KUCA運転継続: ハーグ・ワシントン核セキュリティサミットにて、KUR使用済み燃料の米国返送期限の10年間延長及びKUCA高濃縮燃料の低濃縮化及び運転継続を日米合意。

KUR/KUCAの新規制対応: 運転及び共同利用再開。

所要経費(総額97億円)。

- 1) サイクロトロン複合粒子線源: 小型陽子サイクロトロンを利用して中性子、陽電子、陽子棟を利用した多様な粒子線利用装置群を設置。KURを補完・代替する機能を担わせる。
- 2) KUCA高濃縮燃料米国返送・低濃縮燃料入手経費
- 3) 運用経費



ライフライン強化として
立て替えられた変電所

○「提言 発電以外の原子力利用の将来のあり方について」平成26年 日本学術会議 原子力利用の将来像についての検討委員会 原子力学の将来検討分科会

「我が国における中性子利用は、長期的方向性としては、その主体を研究炉から加速器ベース量子ビーム施設に移して行くことが望ましい。……適正規模の研究炉施設を維持・運営することが望まれる。」

熊取町
第3次総合計画
2008年～2017年

地元・熊取町との 極めて良好な関係の構築

みんなが主役
「やすらぎと健康文化のまち」

大学とのまちづくりネットワーク

専門性に特化した大学等の立地の優位性を生かし、住民や行政などが大学等との交流活動を積極的に展開し、学術研究の成果を広く地域に還元する学術文化都市のネットワーク。

- 大学等との役割によるさまざまなまちづくりの課題への対応
- 「熊取アトムサイエンスパーク構想」の推進

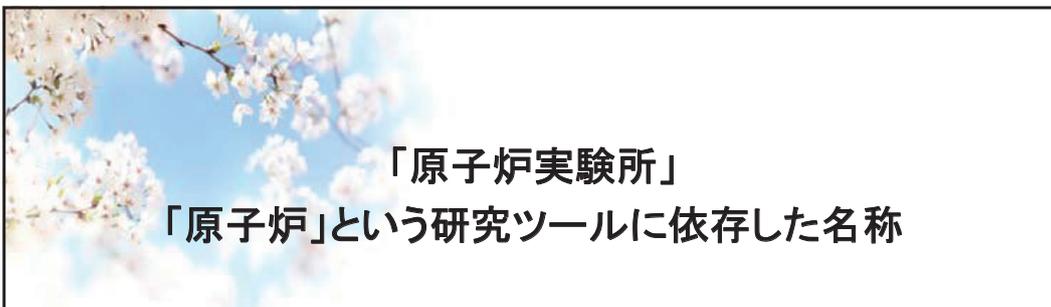
第4次総合計画(2018-2027年)

(所長が策定委員会の副委員長として参加)

「大綱5 健全で安定した持続可能なまちをめざします」

「目標を達成するための施策」に

「京都大学原子炉実験所の研究成果の地域社会への還元をめざした
「熊取アトムサイエンスパーク構想」の実現に、関係機関と連携しながら
京都大学原子炉実験所とともに取り組みます。」と明記。



「原子炉実験所」 「原子炉」という研究ツールに依存した名称

複合原子力科学研究所

ツールとしての研究炉は依然重要だが
研究分野の重要性はツール(原子炉・加速器)には依存しない。

増加し続ける共同利用研究に答え、
複合原子力科学分野の拠点として活動を推進する。



京都大学 複合原子力科学研究所 外部評価



(研究活動、教育活動、国際交流、
社会連携等の活動報告)



研究活動

原子力基礎科学研究本部：

(原子力基礎工学研究部門と安全原子力システム研究センターから構成)

- ◆ 核エネルギーシステムの研究
- ◆ 核エネルギーシステム開発に関連した熱特性ならびに材料などの研究
- ◆ 放射性同位元素、放射性廃棄物の取扱いおよび利用に関する研究

粒子線物質科学研究本部：

(粒子線基礎物性研究部門)

- ◆ 中性子を含む粒子線を利用した物質・生命科学の研究
- ◆ 放射性同位元素の生成・利用による物質・核科学の研究
- ◆ 中性子を含む粒子線の制御機器に関する開発研究

放射線生命医科学研究本部：

(放射線生命科学研究部門、粒子線腫瘍学研究センター)

- ◆ 粒子線高度医療の確立を目的とする生物・医学的基礎研究
- ◆ がん治療を目指すライフサイエンスの研究
- ◆ 生物に対する放射線影響の基礎研究

研究活動

(1) 研究用原子炉(KUR)

①重水熱中性子設備、②冷中性子源・長波長中性子設備、③中性子導管、④低温照射設備、⑤精密制御照射装置、⑥オンライン同位体分離装置、⑦各種の照射設備、⑧B-2照射設備、⑨中性子イメージング装置

(2) 臨界集合体実験装置(KUCA)

①固体減速架台(2基)、②軽水減速架台、③パルス中性子発生装置、等

(3) Co-60 γ 線照射施設

(4) ホットラボラトリ

(5) トレーサラボラトリ

(6) 中性子発生装置(電子線型加速器)

(7) 熱特性実験設備

(8) イオンリサーチラボ(FFAG)

(9) その他分析装置など

- これにより、中性子、放射線、放射性物質等を利用した研究教育上、国内の他大学では実現できない特殊で大きな規模の実験環境を提供してきた。
- これらの実験設備を共同利用研究に提供するとともに、外部との共同研究(民間との共同研究等)や全国大学の大学院学生等の実験教育にも使用している。

3

研究活動

■共同利用研究

通常採用共同利用研究

全国大学(国立大学法人、公立、私立)、公立の研究所の研究者が自由に研究を申請できる。

研究の支援

プロジェクト採択共同利用研究

原則として所の研究者が中心となり機動的に行うべきプロジェクト的課題を設定して全国の研究者と研究グループを構成して研究を行う

研究を主導

■運営費交付金による独自の研究活動

■科研費による研究

■競争的資金(公募研究など)による研究

■受託研究

■共同研究(民間との共同研究など)

■外部機関における研究への参画(研究協力を含む)

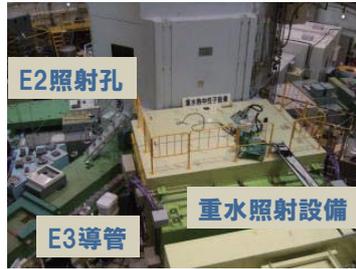
国内機関での研究チームへの参画

国際的共同研究

国内実験施設の利用

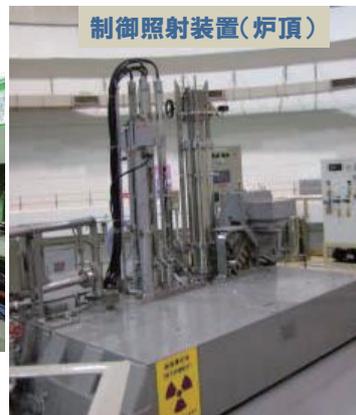
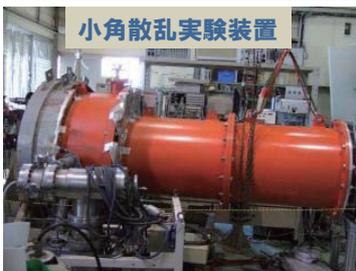
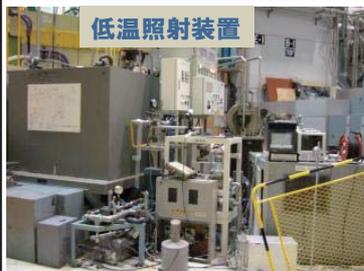
4

研究活動

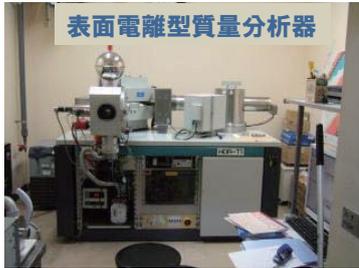


5

研究活動



研究活動



7

研究活動

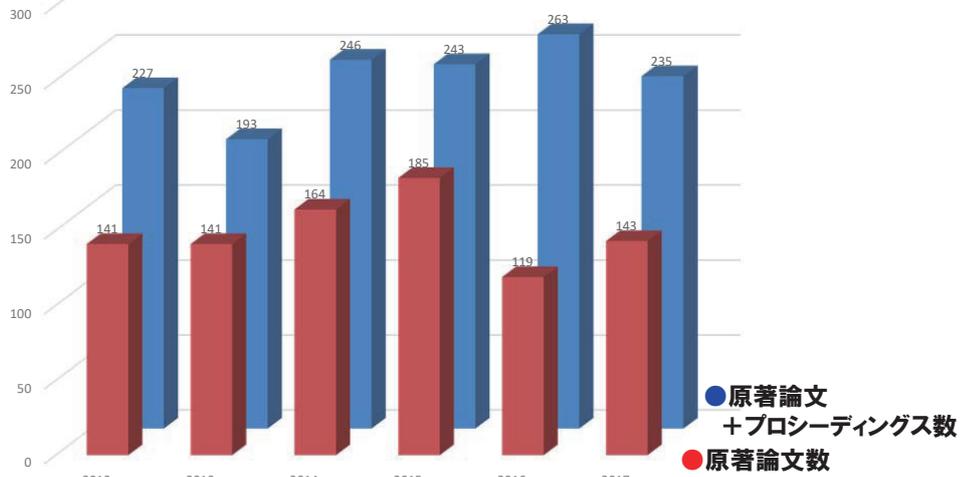


住友重機械工業社
サイクロロン型式: HM30
加速粒子: 水素負イオン(-H)

加速エネルギー: 30MeV
陽子電流: 1mA
出力: 30kW

研究活動

論文数（年度）推移



9

研究活動

原子力基礎科学研究本部：

- ◆ 鉄の水素脆化防止の新手法提案 (Sci. Rep., 7 (2017) 16927.)
- ◆ 世界初のADSによるMA核変換技術の実証実験に成功
- ◆ 放射線によりプラスチックで生じる光の伝搬を高純度化により大幅改善 – 基礎研究から除染作業での放射線計測へ貢献 – (Appl. Phys. Lett., 103 (2013) 161111.)
- ◆ 生活環境に持ち出して使用できる残留放射能濃度を試算 – 高レベル放射性廃棄物から取り出したパラジウムの再利用へ – (J. Nucl. Sci. Technol. 55 (2018) 1490.)

粒子線物質科学研究本部：

- ◆ 自然界で最小の励起エネルギーをもつ原子核状態の人工的生成に成功 – 超精密「原子核時計」実現に大きく前進 – (Nature 573 (2019) 238.)
- ◆ ガラスが熱で変形しやすいのはなぜか、原子レベルで一端を解明 (Nature Commun., 8 (2017) 15449.)
- ◆ 高分子のらせん構造を自在にあやつる – 溶媒が支配する右巻き／左巻き構造形成の仕組みを解明 – (J. Am. Chem. Soc., 140 (2018) 2722.)

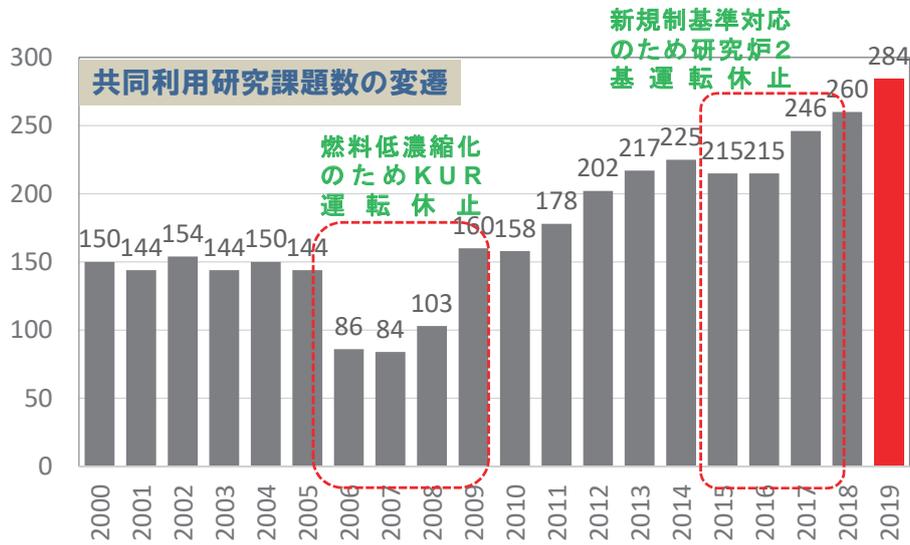
放射線生命医科学研究本部：

- ◆ ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) によるがん細胞殺傷効果の理論的な予測に成功 – 新しい薬剤の開発や治療計画の最適化に役立つ数理モデルを開発 – (Sci. Rep., 8 (2018) 988.)
- ◆ 血中のD-アミノ酸含有ペプチドの検出とその同定に成功 (PLoS ONE 12 (2017) e0189972)
- ◆ 安定な膜蛋白完全4量体複合体の調製 (Science, 362 (2018) 829.)

10

研究活動

共同利用件数の増加継続 → 研究活性化
 研究炉依存の低下 → 研究手段の多様化
 年間4000人・日以上共同利用者を受け入れ



11

研究活動

◆ 国際化の推進(平成28(2016)年度~)

外国研究機関の研究者が研究協力者としての参加を認める

◆ 産学連携の推進(平成29(2017)年度~)

科研費申請資格のある法人の申請を認める

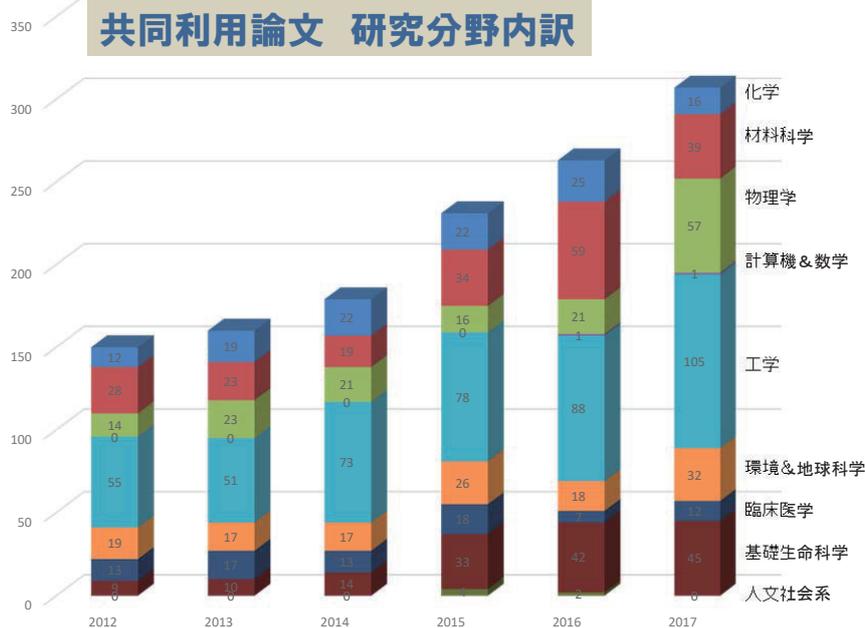
民間の研究者の研究協力者としての参加を認める



12

研究活動

共同利用論文 研究分野内訳



13

研究活動

ユニット制

* 異分野融合の促進について
 本研究所には異分野融合を行えるポテンシャル
 (さまざまな研究者が集い、これら異分野の専門家が深く議論できる環境)

このような異分野融合を促進するための「しくみ」を構築

- ◆ 粒子線生体システム解析・応用ユニット
鈴木 実(京大複合研)
- ◆ 中性子イメージングユニット
齊藤泰司(京大複合研)
- ◆ 生命分子動態解析ユニット評価
杉山正明(京大複合研)

14

教育活動

協力講座 専攻大学院生数（実数）（平成29（2017）年度）

研究科	専攻	学年		合計
		修士	博士	
理学	物理学・宇宙物理学(物理第一)	1	0	1
	物理学・宇宙物理学(物理第二)	7	1	8
	化学	3	1	4
	生物科学	1	0	1
工学	機械理工学	7	1	8
	原子核工学	2	8	10
	物質エネルギー化学	3	0	3
	都市環境工学	1	1	2
エネルギー科学	エネルギー基礎科学	6	1	7
	エネルギー社会・環境科学	5	1	6
農学	地域環境科学	1	2	3
合計		37	16	53

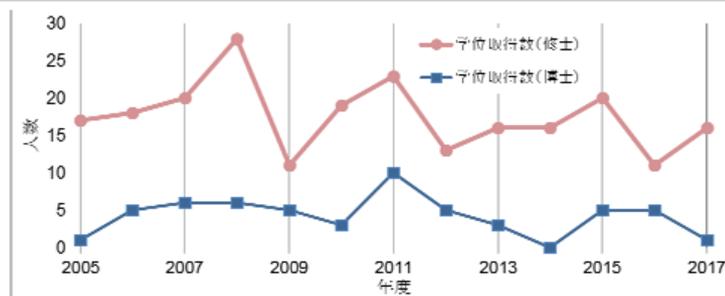
15

教育活動

平成元(1989)年以降の原子炉実験所における学部学生および大学院生の推移



平成17(2005)年度-平成24(2012)年度の原子炉実験所における学位取得数の推移

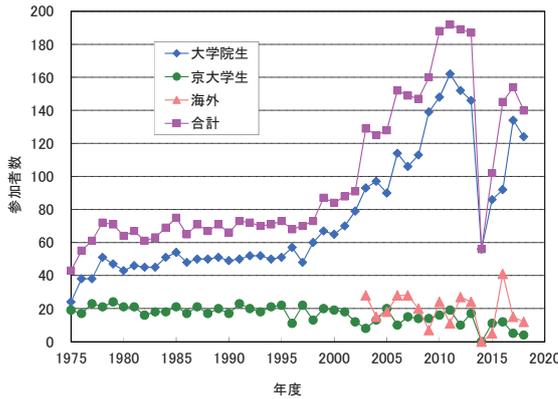


16

教育活動

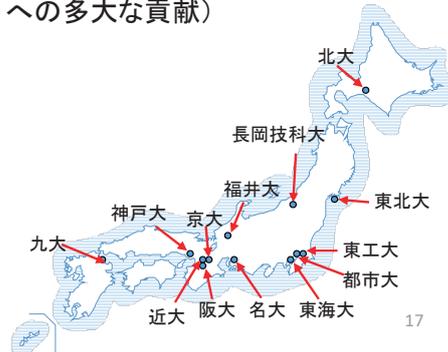
KUCAを用いた実験教育

- 1974年 臨界集合体(KUCA)初臨界
- 1975年 KUCAを用いた大学院生実験を開始
- 2003年 海外の学生向け実験を開始
- 2010年 参加者総数 3000名到達
- 2017年 参加者総数 4100名超



臨界集合体を用いた実験の年当たりの受講学生数

平成30(2018)年: 日本原子力学会炉物理部会賞 貢献賞 (新規基準対応再稼働による炉物理教育及び教育への多大な貢献)



国際交流

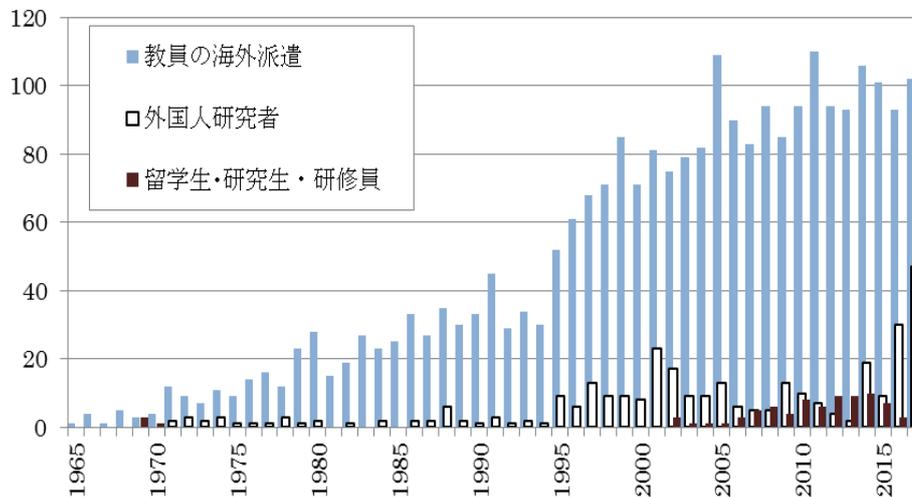
原子炉実験所との国際研究交流の相手先



国際会議、シンポジウムの開催実績(平成24-29(2012-2017)年度): 19件
国際会議招待講演: 17件

国際交流

留学生・外国人研究者の年度別受入れ実績と教員の海外派遣



19

国際交流

国際交流に関する取り組み

● 共同利用制度改革

平成28年度から、共同利用研究においても外国人研究者の参加が可能
申請代表者ではなく、国内の研究代表者の課題の研究協力者
⇒原子炉施設への立ち入りに関する法的・倫理的問題を解消しつつも研究の自由度を確保

● 原子力安全基盤科学研究プロジェクト(福島第一原子力発電所の事故を契機に開始)この事故の教訓を風化させることなく国際的な研究連携の基に原子力安全研究を推進するため、2012年より国際シンポジウムを開催

● ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)

2013年より国際ワークショップを開催するとともに、関係国(台湾、イタリア、ドイツ)との連携促進と国際拠点の創成のための活動を行い、共同研究契約等を締結するなどの取り組みを実施

20

社会連携

熊取アトムサイエンスパーク構想

原子炉実験所の「くまとりサイエンスパーク構想」の研究成果を地域社会や産業に還元する仕組みを構築しようと、平成18(2006)年に「熊取アトムサイエンスパーク構想―地域に根ざし、世界に広がる科学の郷―」を熊取町、大阪府、京都大学で締結

- (a)産業や地域への活用
- (b)中性子を利用したがん治療の促進

BNCT推進協議会

平成26(2014)年に、ホウ素中性子捕捉療法について、実用化と普及のために必要な課題の整理ならびに今後の取組指針及び関西における拠点形成について検討し、とりまとめることを目的として設置

同年9月:「革新的がん治療法BNCTシンポジウム」(主催:三井住友銀行、共催:BNCT推進協議会、後援:内閣府・文科相・厚労省・関係大学・関係学会等)を東京で開催

21

社会連携

加速器BNCTによる治験

2007年8月 京大炉と住友重機械工業と共同研究開始

2008年12月 C-BENSインストール

2009年3月 中性子発生試験開始、施設検査合格

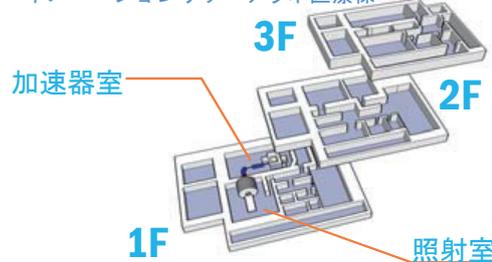
2012年10月 再発悪性神経膠腫に対する治験

(大阪医科大、ステラファーマ株式会社、住友重機械工業)

2014年2月 頭頸部癌に対する治験

(川崎医科大、ステラファーマ株式会社、住友重機械工業)

イノベーションリサーチラボ医療棟



京都大学複合原子力科学研究所



Cyclotron Based Epithermal Neutron Source(C-BENS)

本研究で開発したC-BENSは、南東北病院と大阪医科大学にも導入

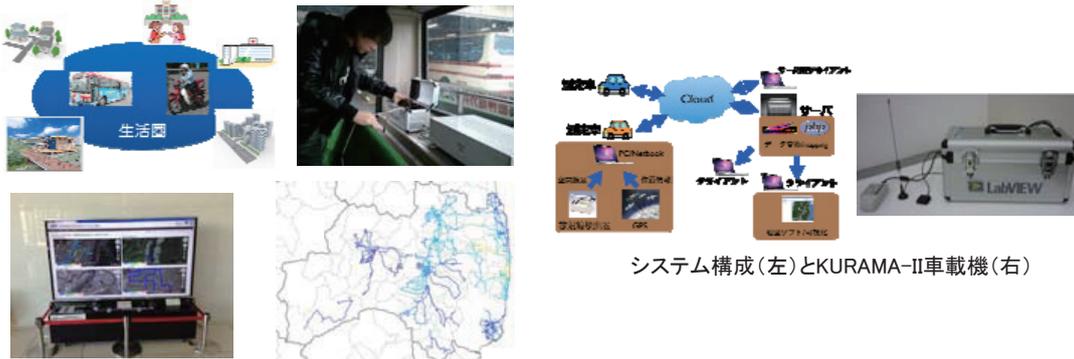
22

KURAMA開発

(平成23(2011)年3月11日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故は、国際的な尺度においても最も重大な事故であり、未曾有の原子力災害)

**大学の附置研究所である実験所の独自性の発揮された事故対応の取り組み:
GPS連動型放射線自動計測システムKURAMAおよびその発展型のKURAMA-II**

50台のKURAMA-IIを福島県全域の路線バス等に搭載、生活圏における定常的な監視体制を確立。県民の安全安心に大きく貢献(H25～京大・福島県・JAEAの共同事業)



システム構成(左)とKURAMA-II車載機(右)

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

◆ 京都大学複合原子力科学研究所
粒子線腫瘍学研究センター

鈴木 実

1

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

目的

京都大学複合原子力科学研究所(以下、複合研)では、中性子線、陽子線、電子線、X線、RIからのアルファ線、ベータ線、 γ 線など様々な量子ビームが利用可能である。

本研究ユニットの目的は、所外、所内からの異なった複数の研究分野からの研究者が参画する、以下の2つの研究を実施するための創造的な研究プラットフォームとして機能することである。

- 量子ビームを使用して、主として中性子捕捉反応をベースにした生体(ヒト、動物、植物を含む)システムの解析研究
- 量子ビームの主として医療応用研究

2

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

研究課題

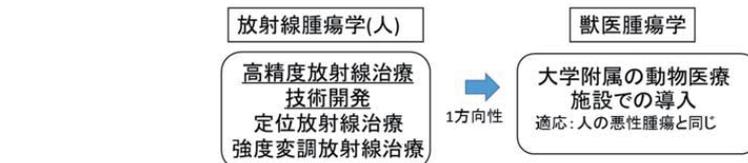
- ・中性子捕捉療法(照射)研究
 - ・ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の臨床研究
 - ・BNCT基礎研究(新規薬剤研究、放射線生物学研究、医学物理研究)
 - ・Gadolinium-中性子捕捉療法(Gd-NCT)の基礎研究
 - ・伴侶動物へのBNCT展開にむけた基礎研究
 - ・ホウ素中性子捕捉反応による育種にむけた基礎研究
- ・同位体(RI)医療応用研究

* : KURNSで将来、新規研究課題として成立するか否かを明らかにしていくところからのスタート

3

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

・伴侶動物へのBNCT展開にむけた基礎研究



■ おもな放射線治療の種類 (この他にも通常の放射線治療も実施しています)

- 

回転型強度変調放射線治療
(Volumetric Modulated Arc Therapy: VMAT)
照射装置が動物のまわりを回転しながら、連続的にビームの形を腫瘍の形に変形させます。さらに、照射中に装置の回転速度とビームの出力(線量率)を変化させることにより、不必要な部位への照射を避け、いびつな腫瘍形状に合わせた線量分布を作り出します。回転しながら連続的に照射することで、一部の治療時間を通常の強度変調放射線治療の約 1/5~1/3 に短縮でき、動物の麻酔の負担を最小限にできる革新的な照射法です。通常は標準的な分割照射に用いますが、後述する SRT・SRS にも VMAT 技術を応用することがあります。
- 

定位放射線治療
(Stereotactic Radiation Therapy: SRT, Stereotactic Body Radiation Therapy: SBRT)
特種なビーム成形装置を取り付けて、微小のビームを腫瘍のある 1 点を中心に細くよくように照射します。これを 1~3 回、異なる方向から同一点を中心として照射 (non-coplanar DCAT 法) することで、腫瘍部位に効果的に線量を集中させる方法です。照射領域を腫瘍部位に限らせ、周囲の正常組織にほとんど被ばくを被せないため、全治療線量を 2~3 日間集中して照射します (2~3 回の連日照射)。主に脳腫瘍の治療や頭部がんの治療に用いられます (SRT) が、肺転移などの体幹部病巣の治療にも用いることが可能です (SBRT)。3 日程度で治療が終了するため、遠方からお越しの場合でも短期間の滞在で治療が可能です。
- 

定位手術的照射、放射線外科療法
(Stereotactic Radiosurgery: SRS)
上記の定位放射線治療をさらに増強したもので、全治療線量を 1 回で照射してしまう方法です。非常に高い線量を一括投与することで、遠隔放射線抵抗性の腫瘍にも有効な治療法です。ガンマナイフ、サイバーナイフという治療名称がつけられるように、放射線治療というよりは外科療法に近いコンセプトの治療法です。メスで切り取る代わりに放射線で腫瘍部位を集中的に「焼き尽くす」治療法です。小動物では、脳腫瘍の治療において、従来の第一選択である手術に代わる、患部を温存できる新治療法として臨床応用されています。また、比較的形骸の小さな加齢性脳腫瘍 SRS で治療することができます。大きな病変や、高度正常組織に浸潤している病変が不明確な腫瘍には適用できません。

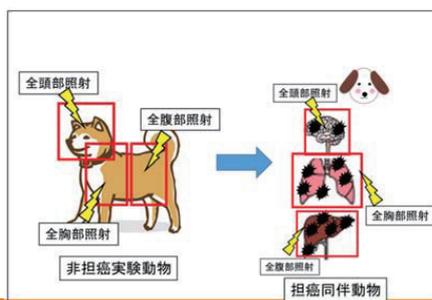
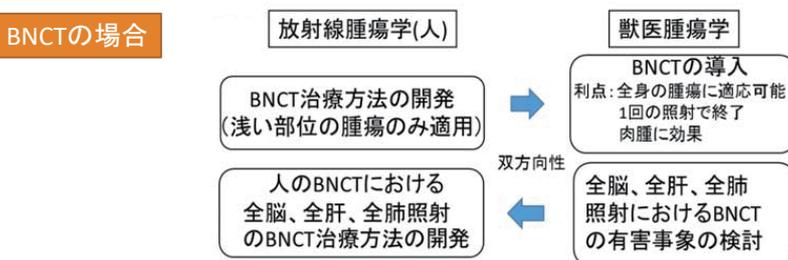
北海道大学動物医療センターHPより
<https://www.vetmed.hokudai.ac.jp/VMTH/department/radiotherapy/info1.html>

4

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

・伴侶動物へのBNCT展開にむけた基礎研究

BNCTの場合



5

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

獣医学分野へのホウ素中性子捕捉療法への展開に向けて

(湯川記念財団森一久寄金研究会)

「BNCT における重要未解明課題と獣医 BNCT 研究への期待」

小野公二 大阪医科大学・BNCT 共同医療センター・センター長

「伴侶動物に対する全臓器照射 BNCT の検討」

鈴木 実 京都大学複合原子力科学研究所・教授

「BNCT の獣医療へ応用についての総括（総合討論）」

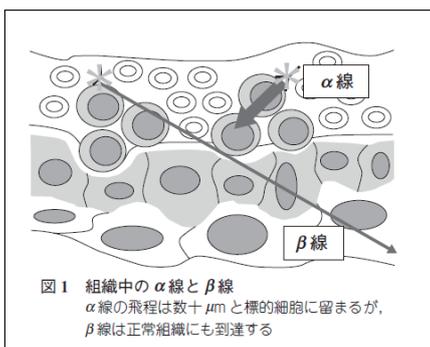
司会：久保 喜平 大阪府立大学・名誉教授

6

量子ビーム生体システム解析・応用ユニット

・同位体(RI)医療応用研究

α線内用療法の現状と展望

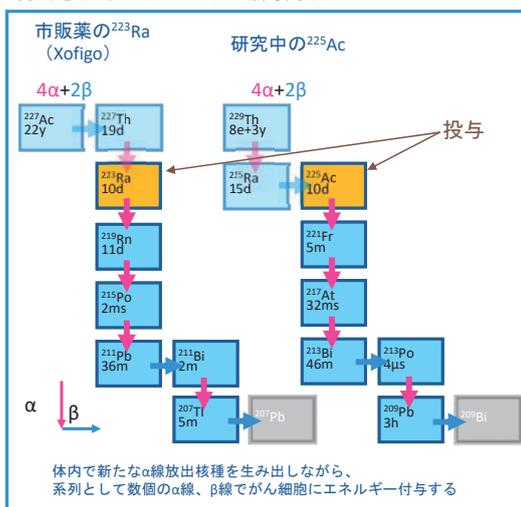


・・・このためα放出核種が腫瘍にうまく局在すれば、周囲の正常組織の不要な被曝が少なくなる。その一方で、α放出核種を腫瘍部位に選択的に運ぶドラッグデリバリーの手法が不可欠である。・・・

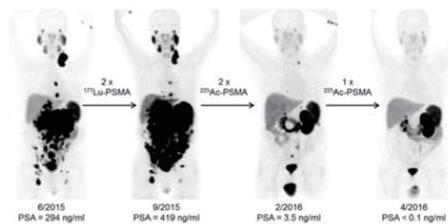
Isotope News 2013年7月号 No.711

アクチノイド崩壊系列によるα線療法

利用されるアクチノイド崩壊系列



顕著な治療成績をあげるようになってきた



α線核薬による伝播性がんの治療例
Clemens Kratochwil, et al., J. Nucl. Med., (2016).

アルファ線療法・研究に必要なRI量の製造

1症例あたり投与必要量：～100 kBq/kg体重 × 4投与 → 24MBq/60kg

日本で1年間の必要量：2.5 × 10 MBq × 2000件 = 50 GBq

Ac-225の製造量の増強：

- 東北大学：0.75gのU-233からAc-225 300kBq/2wを生産
- 複合研でJAEAのリソース10g U-233を譲り受けることができれば、Ac-225 3MBq/2wを調製できる。

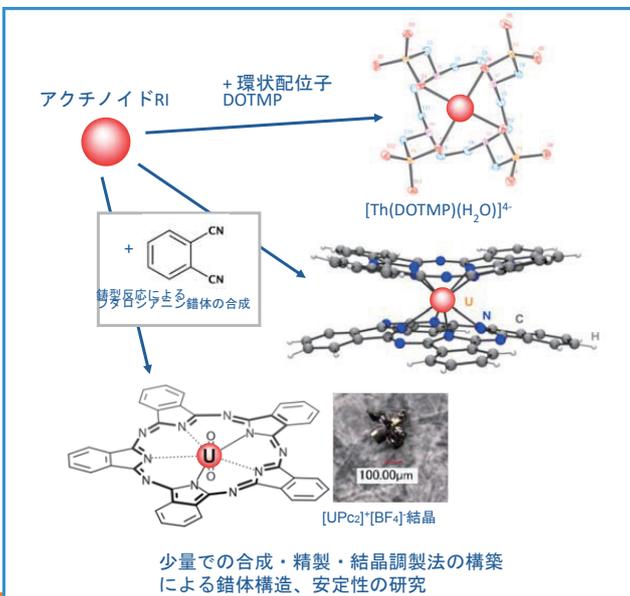
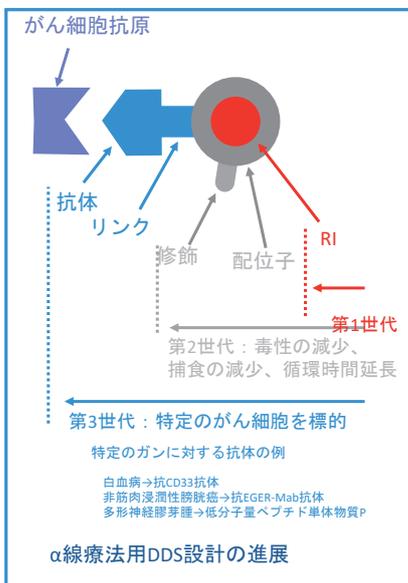
期待されるRI核種

- 金属イオンの錯形成の性質：DDS構築のため配位子置換活性ではないもの (RaよりAcの方が好ましい)
- 安定核種までの崩壊系列で多数のα線を放出するもの
- 製造と供給が容易なRI核種であること

α線療法用DDSの設計・研究

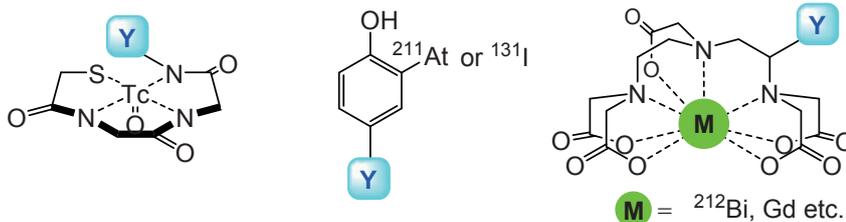
原理構築と効果検証が進んでいる

アクチノイドに適用可能な配位子の研究とこれを用いた抗体リンクの研究へ



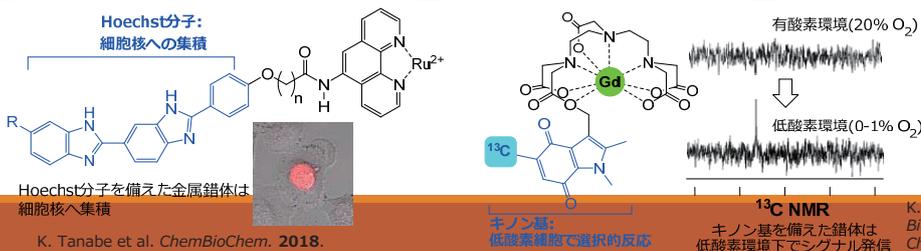
研究計画

- 薬剤を細胞内特定器官や病的組織に運搬するシステムの開発
金属イオンの配位子、標的集積性をもつ分子の化学合成と殺細胞効果の評価

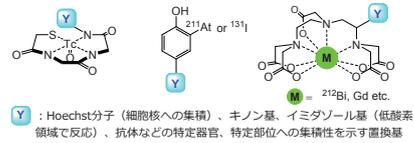
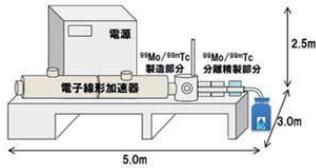


Y : Hoechst分子 (細胞核への集積)、キノン基、イミダゾール基 (低酸素領域で反応)、抗体などの特定器官、特定部位への集積性を示す置換基

- これまでの研究成果 (核移行性金属錯体と低酸素応答性金属錯体の開発)



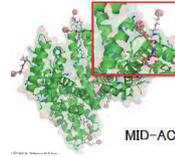
- 同位体 (RI) 医療応用研究



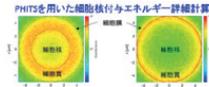
連携・協力



Drug delivery System



α線療法用DDS合成
所外共同利用研究者



同位体製造研究
同位体利用科学研究分野
アクチノイド物性化学研究分野

生物(動物)実験
粒子線腫瘍学分野
粒子線生物学分野

マイクロドジメトリー
粒子線医学物理学
研究分野

本ユニットの課題

研究環境 (設備・ヒト・研究資金)

・設備

- ・原子炉(ホットラボ)、TL棟、電子線加速器室の管理区域1体化
- ・イノベーションリサーチラボ医療棟でのイヌ等の照射環境の整備

・ヒト

- ・これまでの所外共同研究対応業務に加えてのユニット研究事務・実験補助業務 (実験補助員のカット、事務補助員が存在しない)

・研究資金

外部競争資金の獲得を目指す。



中性子イメージング研究ユニット 概要と成果

安全原子力システム研究センター
齊藤泰司



報告内容

- 国内の中性子イメージング施設の現状
- 中性子イメージングの現状
- 中性子イメージングの課題
- ユニットの構築と研究体制
- KURにおける応用研究例
- 研究ユニットとしての研究例
- まとめ



国内の中性子イメージング設備

HUNS(35MeV, 30mA)
 $10^3 \sim 10^4 \text{ n/s/cm}^2$ @7m
 Cold-fast neutrons

RANS(7MeV, 100μA)
 $\sim \text{few} \times 10^4 \text{ n/s/cm}^2$ @5m
 Thermal neutron

KUANS
(3.5MeV, 100μA)
 $\sim 5 \times 10^2 \text{ n/s/cm}^2$
 @5m@0.35kW
 Thermal neutron

SHI-ATEX
(18MeV, 20μA)
 $\sim 2 \times 10^5 \text{ n/s/cm}^2$
 Thermal

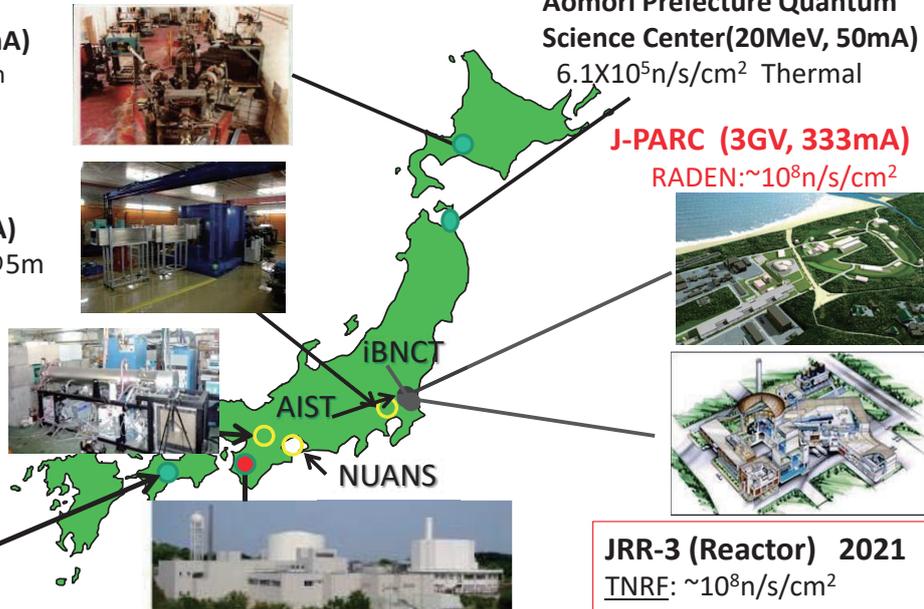
KUR(Reactor): Thermal
 E2: $\sim 4 \times 10^5 \text{ n/s/cm}^2$ @5MW
 B4: $\sim 10^{6 \sim 7} \text{ n/s/cm}^2$ @5MW

KURNS-LINAC
 (40MeV, 100mA)
 $\sim 10^3 \text{ n/s/cm}^2$

Aomori Prefecture Quantum Science Center(20MeV, 50mA)
 $6.1 \times 10^5 \text{ n/s/cm}^2$ Thermal

J-PARC (3GV, 333mA)
 RADEN: $\sim 10^8 \text{ n/s/cm}^2$

JRR-3 (Reactor) 2021
 TNRE: $\sim 10^8 \text{ n/s/cm}^2$
 Thermal neutron
 CNRE: $\sim 10^7 \text{ n/s/cm}^2$
 Cold neutron



中性子イメージングの現状

単なる中性子透過像を従来、“中性子ラジオグラフィ”と呼ばれていた

- 高強度中性子源
- 冷中性子～高速中性子
- J-PARC



高機能化、高性能化

- 画像解析技術
- 高速度撮像技術
- パルス撮像技術
- エネルギー選別技術
- フェーズコントラスト

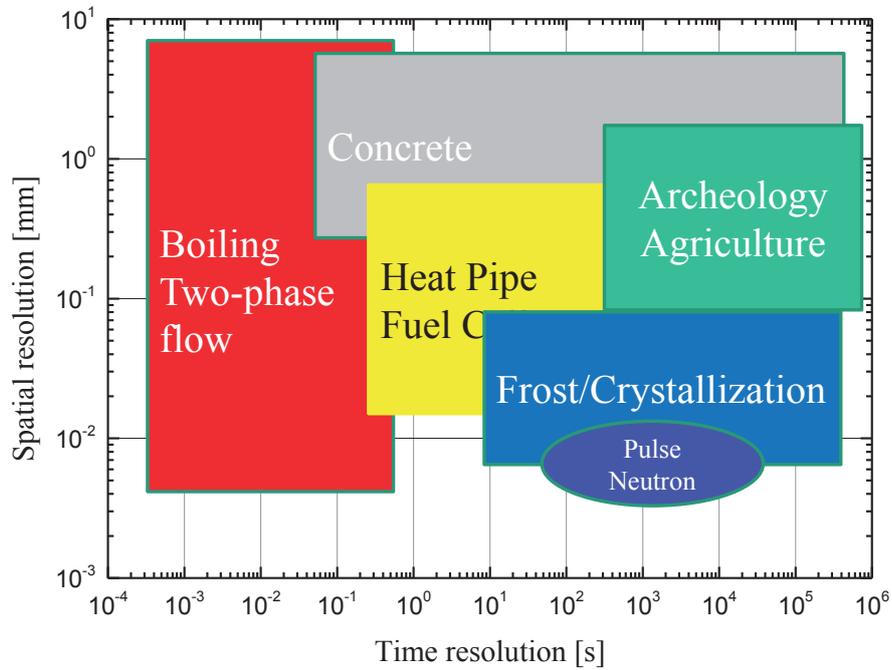
高機能化・高度化の一方、定常中中性子は未だ多く利用されている

- 金属の透過性が良い
- 水素化合物、Gd、Cd、B、Liなどは大きな断面積をもつ
- 水であれば5mmの厚さで、約1/10に減衰する
- 容易に透過像が得られ、直感的に理解しやすい

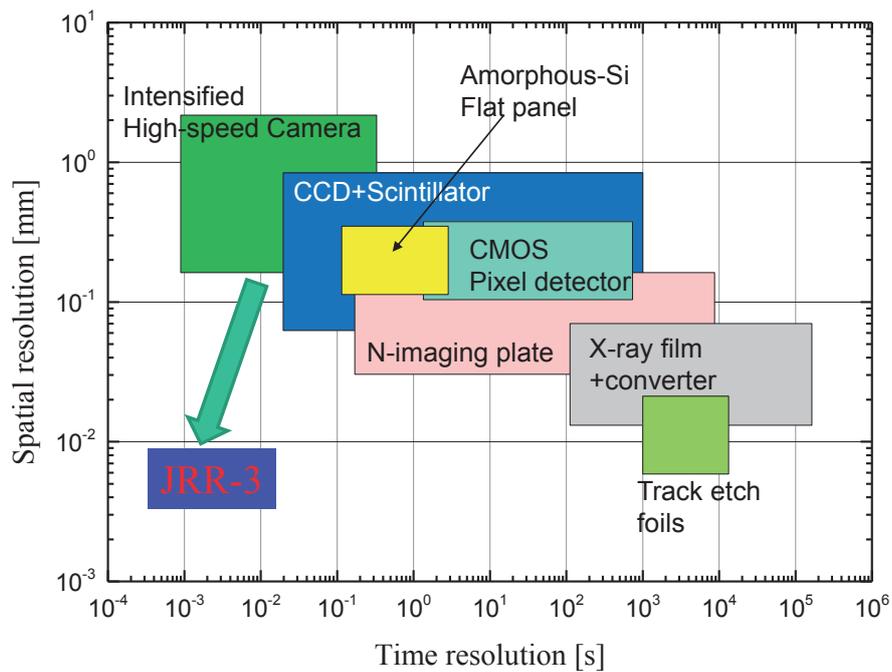
中性子応用研究の拡大、線源の利用法の確立



応用研究に求められる時空間分解能

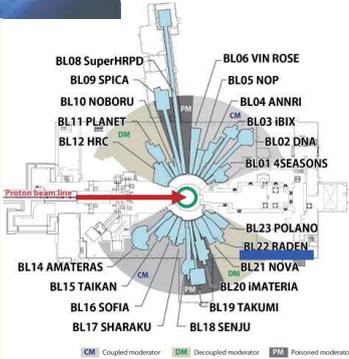


定常中性子源におけるイメージング技術の現状

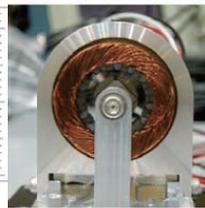
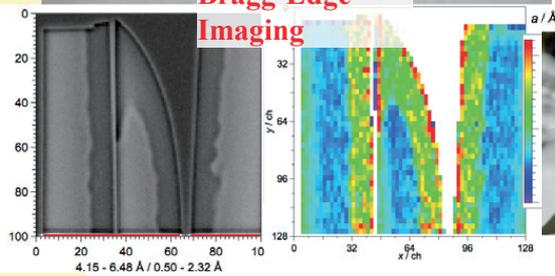




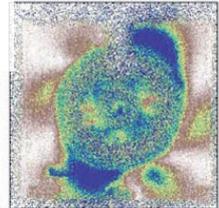
パルス中性子イメージング@J-PARC



Bragg-Edge Imaging



Magnetic Imaging



B4中性子導管を用いた熱流動研究



従来、炉室内で実施困難であった実験が可能となった

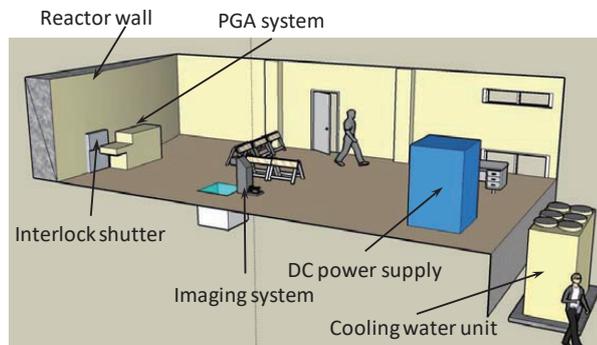
- ✓ 大きな試験部の導入
- ✓ 高温・高圧実験
- ✓ 可燃性、毒性のある物質の使用
- ✓ 火気の使用



KUR E2-Port



JRR-3 TRNF



KUR B4-Port



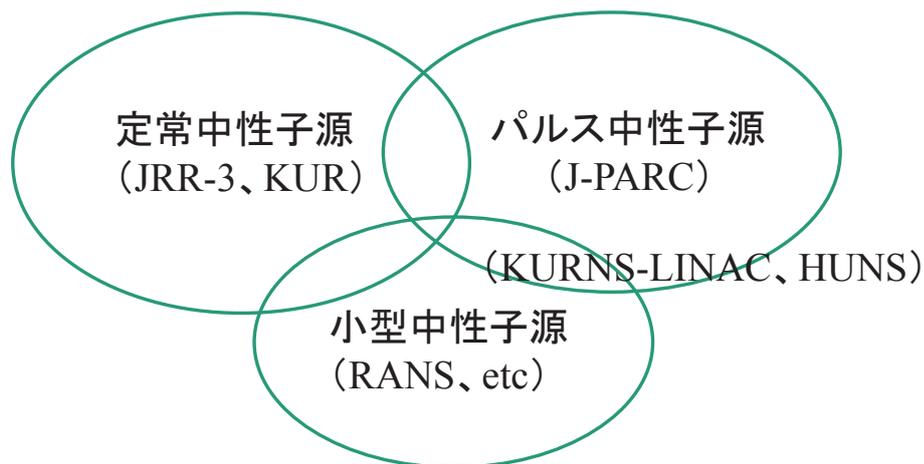
中性子イメージングにおける課題

- 応用研究の拡大(試料環境、中性子利用の認知)
- 空間分解能と時間分解能の両立
 - ✓ 検出器の最適化(量子効率、空間分解能、残光特性)
 - ✓ 時空間フィルタの高度化
- 標準化手法の確立(ビーム性状、撮像系、処理法)
 - ✓ 撮像法、解析法の標準化
 - ✓ CT処理におけるソフトの共通化・標準化
 - ✓ 画像ノイズ、画像ボケの復元手法の高度化
- 限られた中性子源の有効活用(大型→中型(KUR)→小型)

定常中性子源、パルス中性子源、共通の課題



中性子イメージング研究ユニット



- 高時間分解能、高空間分解能化(大型中性子源の高度利用)
- 基本サンプルの撮像データ共有化、解析手法の標準化
- 定量化法(CT、重心処理、逆解像度分析、etc)
- 中性子光学系、撮像系の高度化⇒小型中性子源への応用



研究体制

複合研

齊藤 泰司、日野 正裕、堀 順一
伊藤 啓、佐野 忠史、伊藤 大介
中村 秀仁、小田 達郎

北海道大学

加美山 隆、佐藤 博隆

名古屋大学

鬼柳 善明、広田 克也

JAEA

酒井 卓郎、飯倉 寛
篠原 武尚、甲斐 哲也

関西大学

梅川 尚嗣、網 健行

神戸大学

浅野 等、村川 英樹



KURにおける共同利用研究

- **原子力工学**
 - ・液体金属二相流、多孔質内二相流(京大)
- **機械工学**
 - ・燃料電池、コンパクト熱交換器、**ヒートポンプ**(神戸大)
 - ・強制流動沸騰、着霜・除霜(関西大)
 - ・**フラット型ヒートスプレッド**(鹿児島大)
- **化学工学**
 - ・超臨界水反応場(重質油改質、ナノ粒子生成)(東北大)
- **建築工学**
 - ・**セメント硬化体**(茨城大)、高強度コンクリート爆裂現象(東京理大)
- **農学**
 - ・**植物研究(もみ殻湛水のメカニズム)**(岩手大)
- **物理学**
 - ・中性子-³He吸収反応を介したHeエキシマの蛍光(名大)
- **産業応用**
 - ・**工業製品開発へ向けた技術開発(名大)、etc**
 - ・**イメージング撮像技術の高度化と応用**
 - ・**Talbot-Lau干渉計**、検出器開発(京大、JAEA)、**共鳴吸収イメージング**



E2ポート
B4ポート
CN3
LINAC

燃料電池内の水分挙動(神戸大・浅野)



固体高分子形燃料電池(PEFC)

問題点

固体高分子膜の含水率がプロトン伝導に影響
発電で生じた水が電極層へのガス拡散を阻害

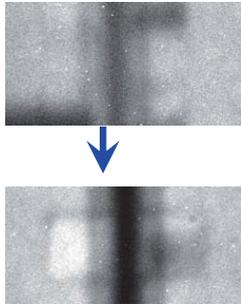
利用システム

KUR B4ポート

計測分解能の要求

固体高分子膜 : 50 μm
電極層 : 30 μm
ガス拡散層 : 190~300 μm

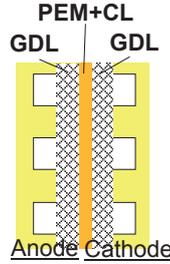
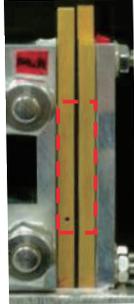
ピンホールコロリメータによる
空間分解能向上



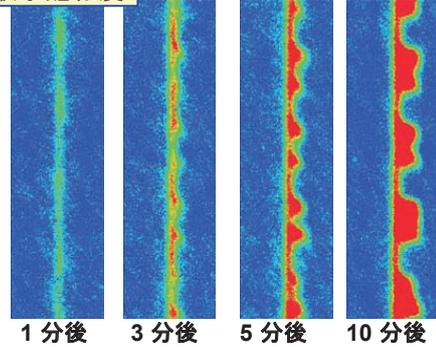
評価項目

水の分布(固体高分子膜含水率,
ガス拡散層内水分布)と
発電性能を同時計測

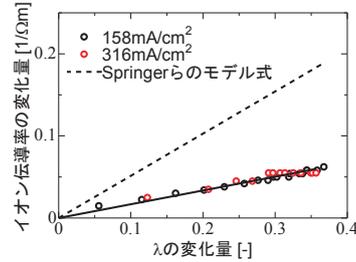
試験セル



液水飽和度



含水量とイオン
伝導率の関係



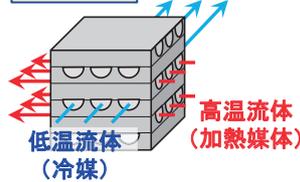
コンパクト熱交換器内の可視化(神戸大・浅野)



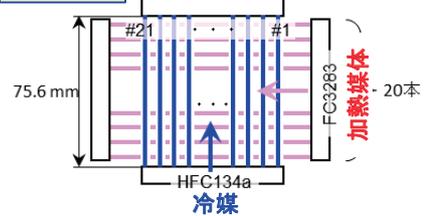
拡散接合コンパクト熱交換器



内部構造



試験部



問題点

加熱媒体の流動方向によって熱流束に
分布を生じ、冷媒偏流につながる恐れ

評価項目

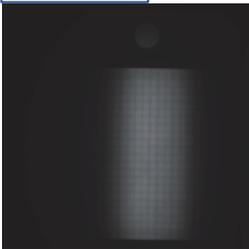
並列流路内冷媒蒸発流のポイド率(全体積
に対する蒸気の体積割合)分布計測

利用システム

KUR B4ポート

熱交換器をスライドさせて
5回に分けて撮影

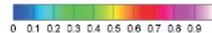
可視化画像



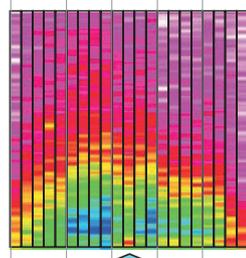
比較演算から
ポイド率分布
を計測

ポイド率分布

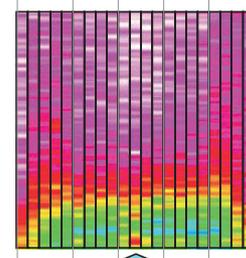
21本の流路で移動平均



加熱媒体: 460 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$



加熱媒体: 920 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$



通常(定常)条件下における再冠水現象(関西大・梅川)

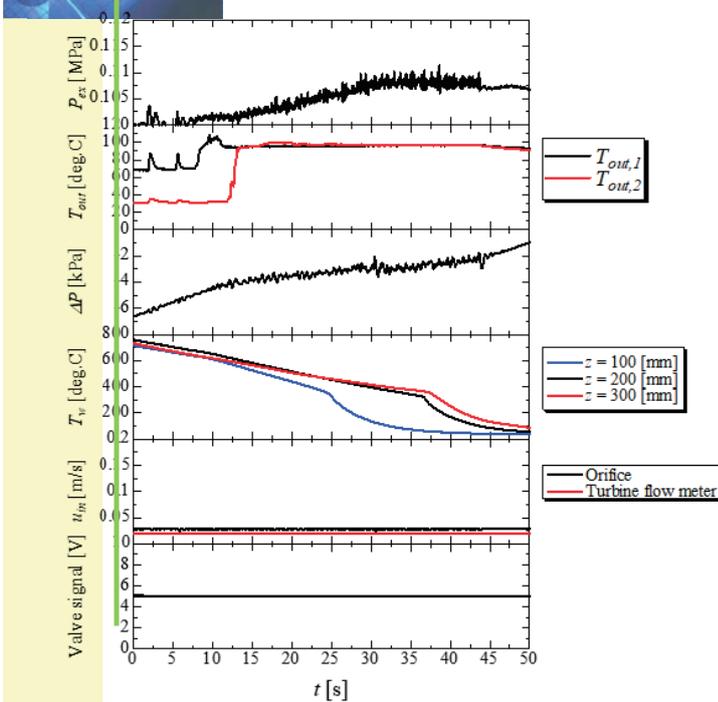
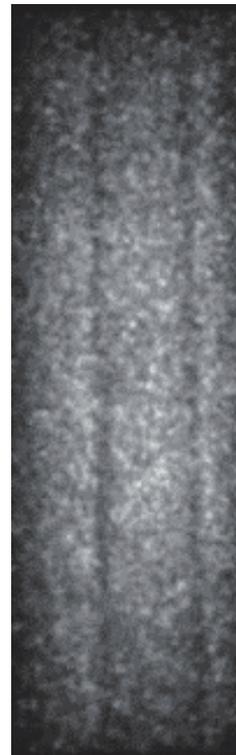


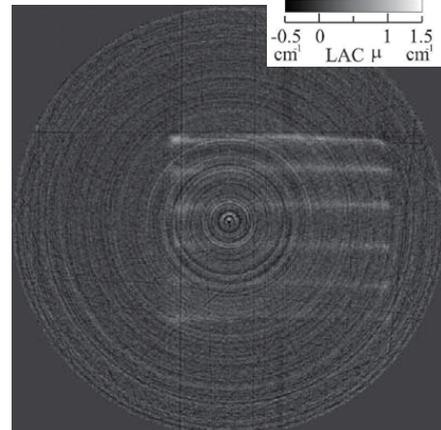
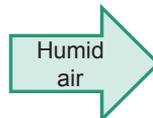
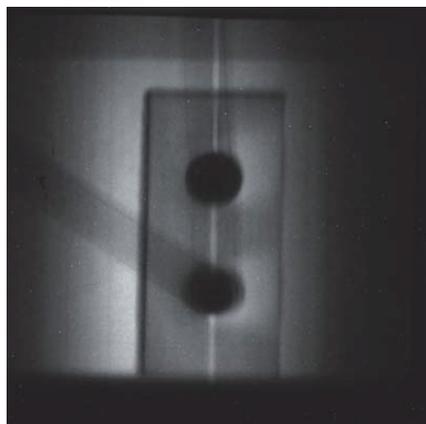
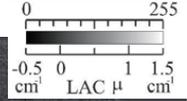
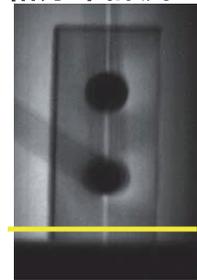
Fig. Various value transition under non-energized state1 (Di-21, $u_0 = 0.02$ [m/s])



中性子CTイメージングによる熱交換器の3次元着霜分布計測 (関西大・松本)



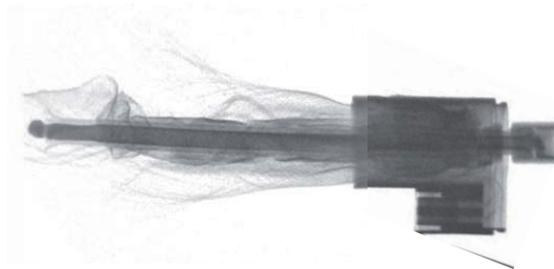
Neutron CT





中性子イメージング研究ユニットの成果例

- J-PARCとKURにおける画像比較 (Talbot-Lau)
- 中性子検出器の高度化 (JAEA、名大)
- 小型中性子源を用いたイメージング技術の開発 (名大)
- 高速熱流動現象の撮像・解析技術の高度化
- 鉛ビスマスの凝固過程の詳細観察 (京大、JAEA、北大)
- 新たな応用研究 (ホットメルト、熔融鉄の可視化)



注入ノズル内のホットメルトの可視化 (KUR E2)

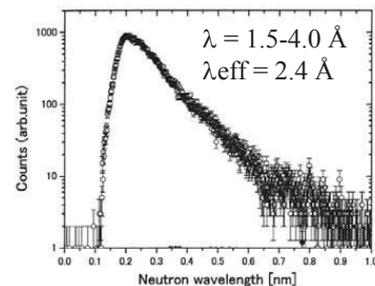


CN-3におけるTalbot-Lauイメージング (日野、関、篠原)

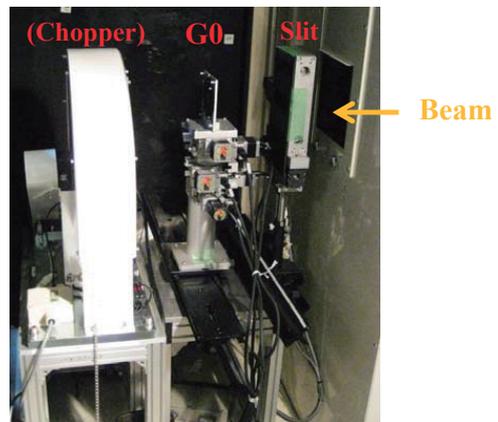
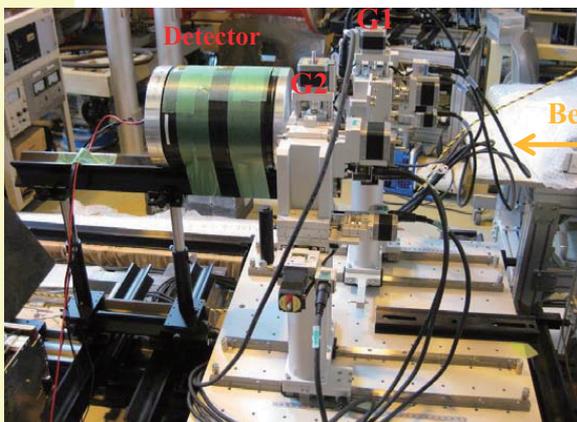
- 低速中性子線評価ポート CN-3
- Continuous beam
- Thermal neutron flux $\sim 10^6$ n/cm²/s @ 1 MW

位相イメージング実験のための環境を整備

- 可搬型干渉計ステージ
- (可搬型CCDカメラ + 暗箱)



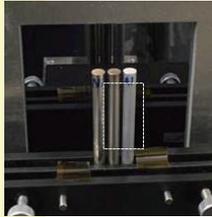
→ J-PARC RADEN用のTalbot-Lau干渉計 ($\bar{\lambda} = 5\text{\AA}$)を用いてビームライン特性の評価



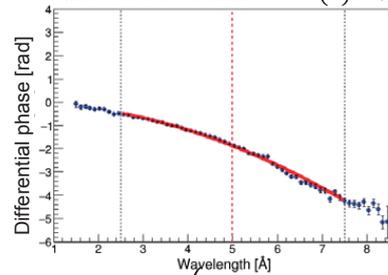
J-PARC 螺鈿における波長分解型Talbot-Lau干渉計の開発

- 微分位相コントラストイメージング $\text{微分位相} \Psi \propto \lambda^2$

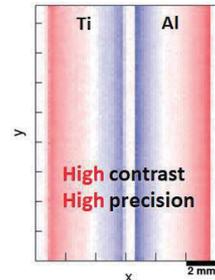
サンプル
Ti, Al rods ($\phi = 5 \text{ mm}$)



中心波長5Åでの微分位相 $\bar{\Psi} \equiv \Psi(\bar{\lambda})$ に換算



波長分解解析で
高確度かつ高精度の
微分位相像を構成



- ビジビリティーコントラストイメージング $\ln\left(\text{ビジビリティー減衰率} \frac{V}{V_0}\right) \propto \text{自己相関関数} G(\Delta x)$
相関長 $\Delta x \propto \lambda$

サンプル
単分散シリカ粉末 (粒径 1 μm)

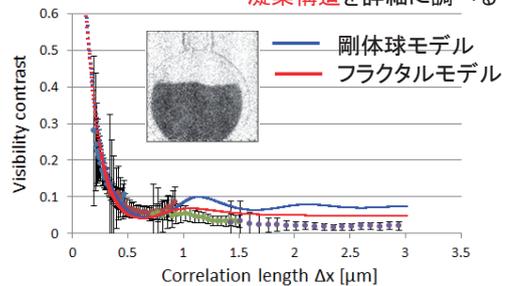


$$G(\Delta x) = \int_0^\infty J_0(q\Delta x) I(q) q dq$$

$$I(q) = nF(q)S(q)$$

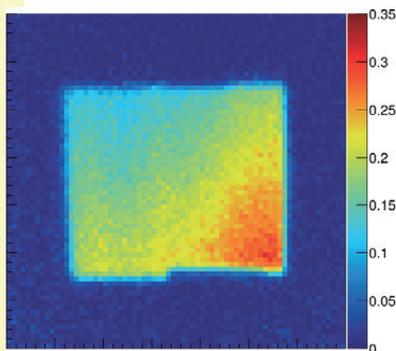
$I(q)$: Scattering intensity
 J_0 : Bessel function
 $F(q)$: Form factor
 $S(q)$: Structure factor

波長分解解析により
凝集構造を詳細に調べる



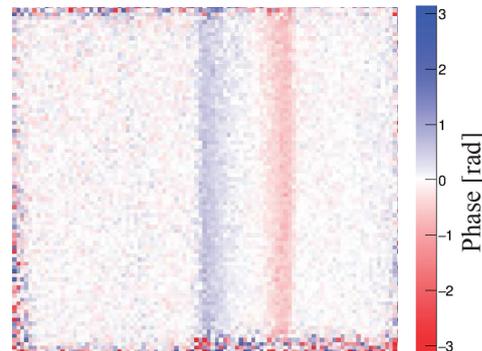
KUR CN-3 位相イメージング実験

- J-PARC 螺鈿用のTalbot-Lau干渉計 ($\bar{\lambda} = 5 \text{ \AA}$) を用いて評価実験を開始
- 検出器 RPMT
- モアレ縞のvisibility分布



→ 格子領域平均 19 %

- アルミロッド ($\phi 5 \text{ mm}$) の微分位相像



40 min. x 5 step, pixel size 0.22 x 0.22 mm^2

→ 位相決定精度 $2\pi \times 0.02 \text{ rad}$

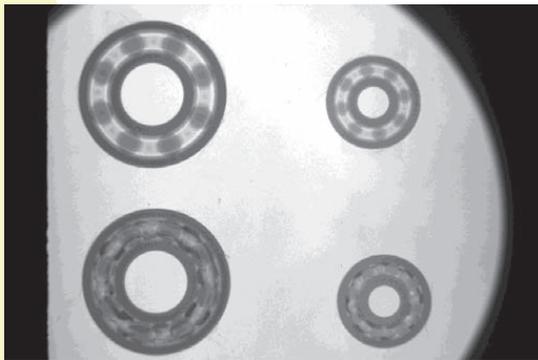
螺鈿波長分解測定時とほぼ同等



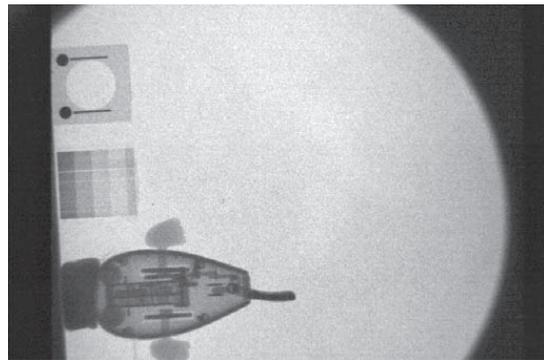
工業製品高度化のための金属間の有機物 及び水素含有物の可視化に関する研究

名古屋大学Gr(広田、土川、栗野他)

- ・産業界で利用されている金属製品+有機材料混合物の透過像を取得することで中性子イメージングの適用可能性を広げる。
- ・加速器駆動小型中性子源でのイメージング画像評価のために画像基礎データを取得する。



軸受けにあるグリスの存在位置の確認



位置分解能評価のためのインジケータ計測



まとめ

- 標準化手法の確立 (KUR, J-PARC, HUNS, KURNS-LINAC)
- 撮像系の高度化 (京大、JAEA、名大)
 - ➡ 中性子イメージングの高度化と信頼性向上
異なる線源のすみ分けの明確化
- 加速器中性子源中性子イメージングの検討 (京大、JAEA、名大)
 - ➡ KUR後の中性子イメージング、産業応用
- 熱流動研究における標準データ構築 (京大、関西大、神戸大)
 - ➡ 熱流動研究の応用拡大、新たな展開
- CT処理におけるソフトの共通化・標準化 (北大、JAEA、京大)
- 画像ノイズ、画像ボケの復元手法の高度化 (京大、JAEA)



中性子イメージング技術のブレークスルー、応用研究の拡大

生命分子動態解析ユニット

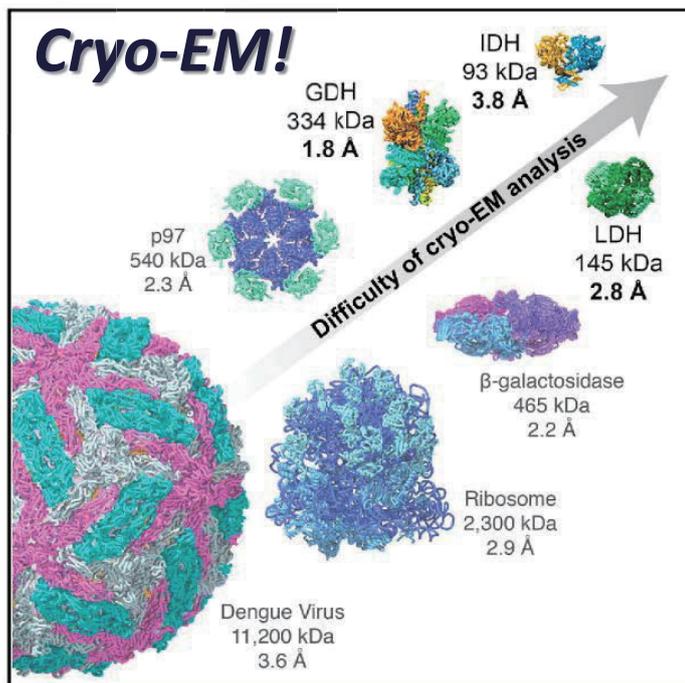
京都大学複合原子力科学研究所

杉山正明



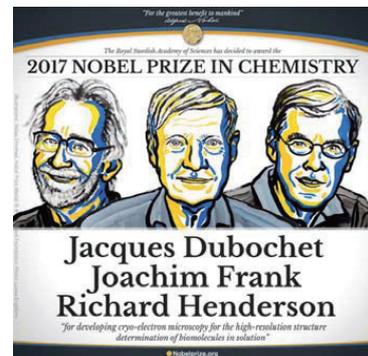
What is a trend in structural Biology?

Graphical Abstract



Merk et al., 2016, Cell 165, 1698–1707

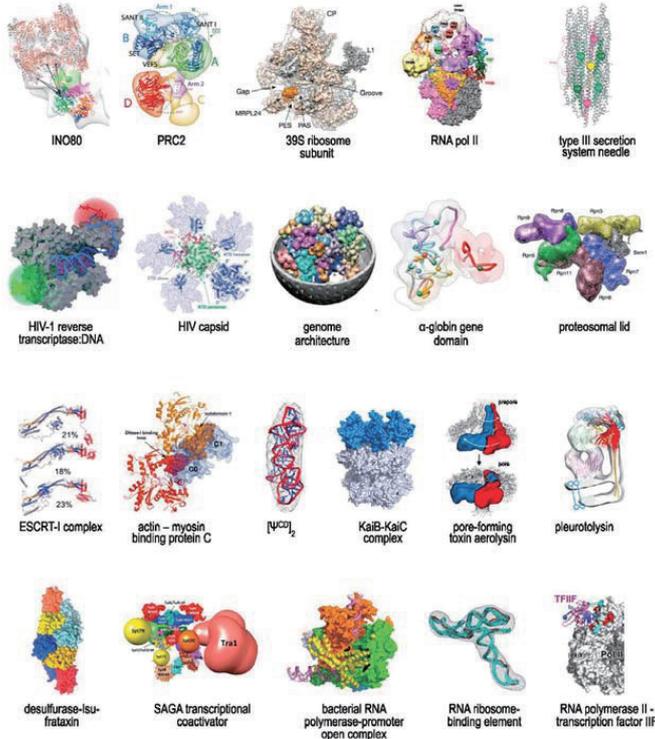
Resolution of Cryo-EM is rapidly Improving!





Hybrid/Integrative Structural Biology

A. Sali et al., Outcome of the First wwPDB Hybrid/Integrative Methods Task Force Workshop. Structure. 23 (2015) 1156



- Cryo-EM
- Crystallography
- NMR
- Native Mass
- MD
- SAXS
- SANS



Direction of solution scattering

Combining Methods
 SAXS/SANS, Crystal Diff, Cryo-EM, HS-AFM, AUC, n-Mass



Solve Complexity

Inner Complexity
 Structure of
 Multi-domains/subunits
 ↓
 Dynamics

System Complexity
 Kinetics of
 Multi-component system
 ↓
 Function



生命分子動態解析ユニット

量子ビームと核科学の革新的複合利用による
先端物質科学・分析研究拠点の構築

- 量子ビーム散乱測定法
- ・逆転コントラスト同調SANS
 - ・AUC-SANS/SAXS
 - ・SEC-SANS
 - ・Lab-SEC-SAXS
 - ・NSE/QENS/SANS/SAXs連携

生物物理学 構造生物学

- 測定手法連携
- ・質量分析
 - ・分析超遠心
 - ・NMR
 - ・HS-AFM
 - ・Cryo-EM

生化学 細胞生物学

- 高度蛋白質重水素化技術
- ・高精度重水素化
 - ・大量重水素化
 - ・高効率重水素化
- ドメインライゲーシオン技術

Inner Complexity

生体高分子
ダイナミクス

計算科学

System Complexity

生体システム
動的機能発現機構

- 新規連携解析法開発
- ・MD-SANX
 - ・NMA-SANX
 - ・カスケードMD

KIDS project



京都大学 複合原子力科学研究所 外部評価 (管理・運営)



中島 健
京都大学
複合原子力科学研究所

関空ジョイテルホテル 会議室
令和元年 10月 9日

運営と研究の ための組織

所長のもと、3研究本部、
事務部、技術室、および安全
管理本部(兼務)と学術
情報本部(兼務)の連携で
運営

(研究本部制は、2018年4月
の組織変更に伴い廃止)

所の重要事項は協議委員
会で審議・決定される。また、
所長は運営委員会、共同
利用運営委員会に重要事
項に関して諮問する。各委
員会には研究計画委員会
等の下部委員会が設置さ
れている。



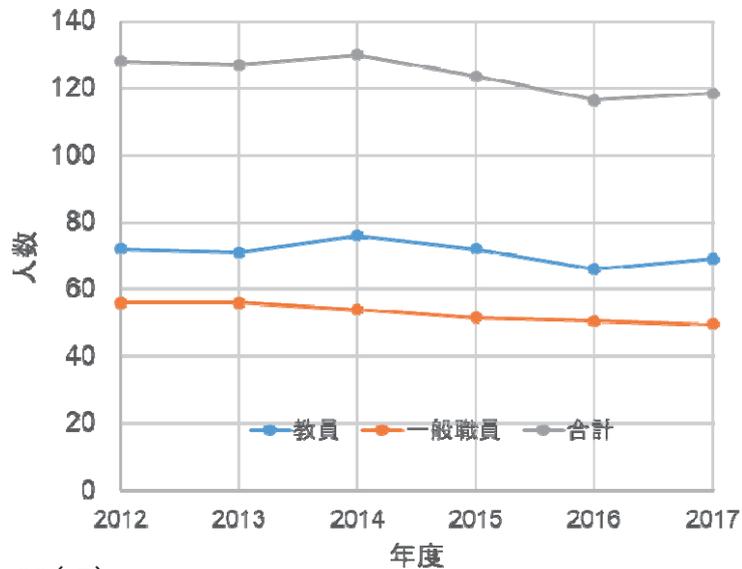
職員数の推移

変動はあるが
職員数は減少
の傾向

合計:-9.5
教員:-3
一般職員:-6.5

定員数の削減
(2012→2017)

教員:87→80(-7)
一般職員:56→51(-5)



5

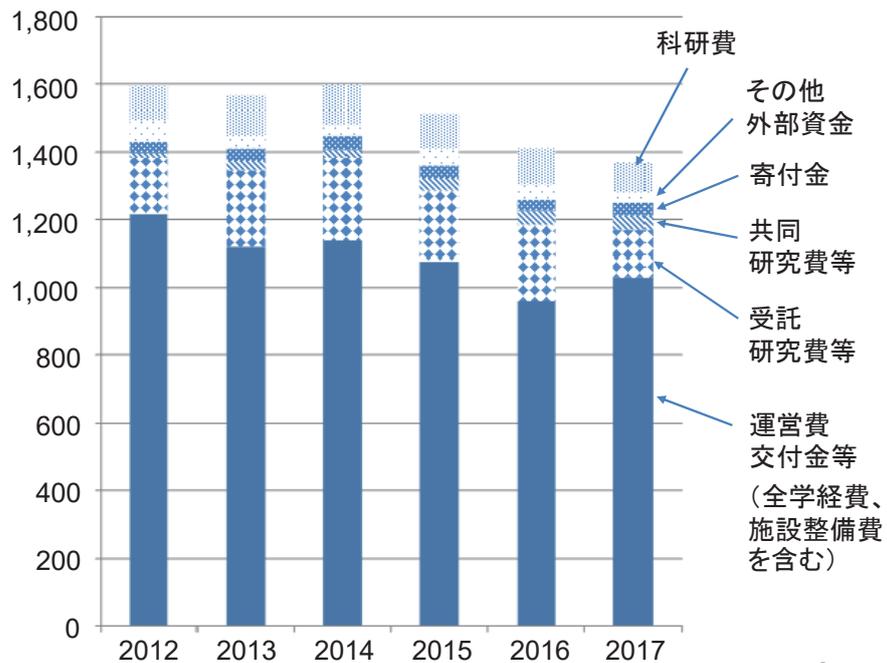
予算額の推移

(百万円)

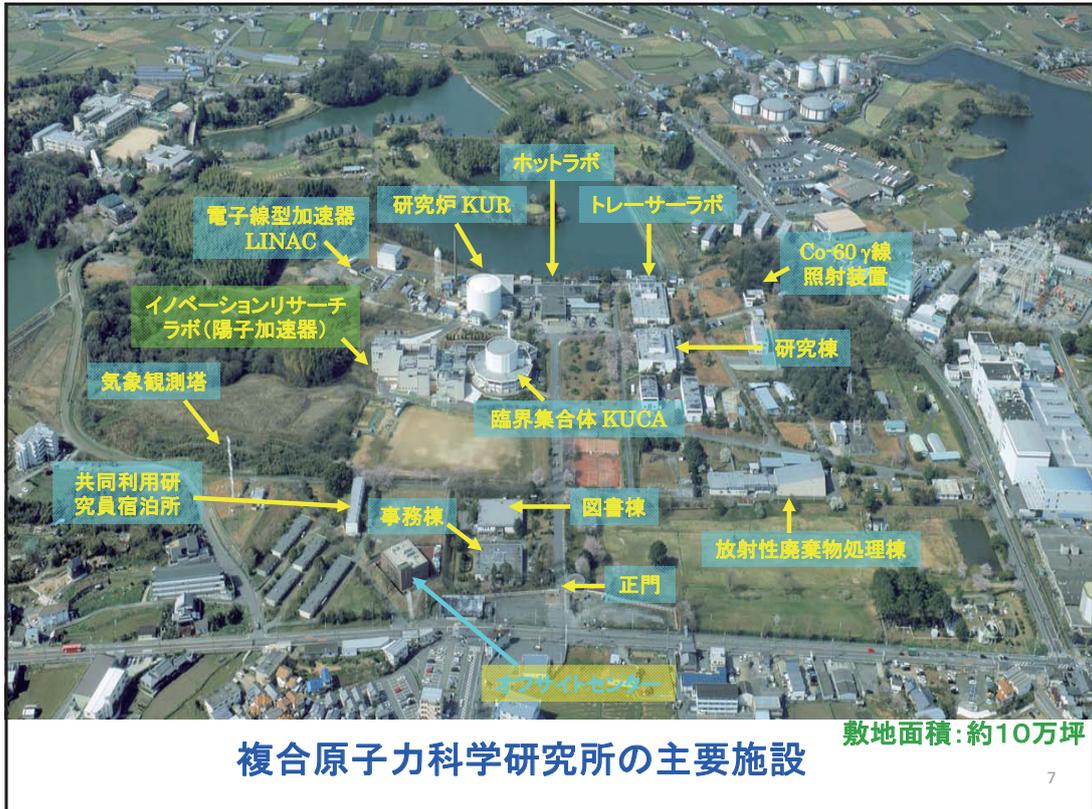
変動はある
が減少の
傾向

外部資金等
件数の変化
(2012→2017)

- ・科研費
61件→81件
- ・受託研究
15件→25件



6



安全管理にかかる状況の変化(2012-2017)

- ① 東京電力福島第一原子力発電所事故*への対応
 - 事故を踏まえた安全機能強化
 - 新たな規制への対応(新規制基準の策定と適合性確認)
- ② KUCA燃料の低濃縮化(2016年日米政府間合意)
 - 高濃縮ウランの米国への撤去
 - 低濃縮ウランの調達
- ③ 炉規法等の改正(2017年2月成立:施行は順次)
 - 検査制度の見直し
 - RI防護措置の義務化 等

主に2018年度
以降に対応

①福島第一原発事故への対応

新規制基準施行前の対応

- 全電源喪失による冷却機能喪失への対応

既存設備の機能喪失への対応(2011年度)

水槽、可搬式消防ポンプ、可搬式発電機



- その他の安全機能の強化

- スタック・排風機更新及び放射性廃水排水管2重管化
- 外部電源の強化(一般安全機能強化)
 - 高架の専用回線1系統を地下回線2系統に変更
 - 汎用設備(通信機器等)の非常用発電機設置
- 水源の強化(一般安全機能強化)
 - 地下水に加えて熊取町水道を導入、浄水場に大容量の水槽を設置



9

福島第一原発事故後の経緯(規制対応)

2011年3月11日	東京電力福島第一発電所事故
2012年9月19日	原子力規制委員会発足
2013年7月8日	原子力発電所の新規制基準施行
2013年12月18日	※試験研究炉の新規制基準施行
2014年3月10日	KUCA停止(施設定期検査開始)
2014年5月26日	KUR停止(施設定期検査開始)
2014年9月30日	KUR及びKUCAの申請
	設置変更承認申請書及び保安規定変更承認申請書を原子力規制庁に提出 —新規制基準適合確認審査のためのヒアリング及び審査会合—
2016年5月11日	KUCA設置変更の承認(合格)
2016年9月21日	KUR設置変更の承認(合格)
2017年2月28日	保安規定変更の承認(2017年6月15日に一部変更承認) —各種工事等の実施、使用前検査、施設定期検査の実施—
2017年6月20日	KUCA施設定期検査の合格
2017年6月21日	KUCA利用運転開始
2017年8月25日	KUR施設定期検査の合格
2017年8月29日	KUR利用運転開始

※試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の施行

10

新規制基準の策定

2011年3月11日 東京電力福島第一発電所事故

2012年9月19日 原子力規制委員会発足

2013年7月8日 原子力発電所の新規制基準施行

新規制基準とは：「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」などさまざまな委員会規則（新たに原子力発電所を建設するため審査を行う際のルール）全般を指す。すでに認可を受けている原子力発電所に対しても新規制基準への適合が義務づけられる＝「バックフィット制度」

2013年12月18日 核燃料施設等（研究炉を含む）の新規制基準施行

- 高中出力炉等、事故時に及ぼす影響が大きい試験研究用等原子炉施設について「多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止」を追加要求（設計基準を超える事故の評価）
- 自然災害（地震・津波、洪水、風、竜巻、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、火山、森林火災等）の評価方法を厳格化
- 外部人為事象（第三者の不法な接近）等に対する考慮を明確化
- 敷地内の外部研究者や見学者等に対する事故の発生の連絡や必要な指示を行うための対策を要求

11

参考「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
【設置許可基準】 水冷却型研究用原子炉(KUR)に適用される条項(34個)

第1条	適用範囲	第23条	保管廃棄施設
第2条	定義	第24条	工場等周辺における直接ガンマ線からの防護
第3条	試験研究用等原子炉施設の地盤	第25条	放射線からの業務従事者の防護
第4条	地震による損傷の防止	第27条	原子炉格納施設
第5条	津波による損傷の防止	第28条	保安電源設備
第6条	外部からの衝撃による損傷防止	第29条	実験設備等
第7条	試験研究用等原子炉施設への人の不法な侵入等の防止	第30条	通信連絡設備等
第8条	火災による損傷の防止	第31条	外部電源を喪失した場合の対策設備等
第9条	溢水による損傷の防止等	第32条	炉心等
第10条	誤操作の防止	第33条	一次冷却系統設備
第11条	安全避難通路等	第34条	残留熱を除去することができる設備
第12条	安全施設	第35条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	第36条	計測制御系統施設
第16条	燃料体等の取扱施設及び貯蔵施設	第37条	原子炉停止系統
第18条	安全保護回路	第38条	原子炉制御室等
第19条	反応度制御系統	第39条	監視設備
第22条	放射性廃棄物の廃棄施設	第40条	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止

12

設置変更の主な内容

- **重要度分類(耐震、安全機能)の見直し**
KUR: 止める(停止)及び冷やす(冠水維持)機能が重要
KUCA: 止める(停止)機能が重要
- **地震、津波、竜巻、火山、外部火災・内部火災・内部溢水等**について、発電炉に準じた手法による評価の実施
KUR: 止める及び冷やす機能の確保(電源も含めた多重性・多様性の確保)
KUCA: 止める機能の確保(停止後の確認のために無停電電源を設置)
- 実験(運転)上不要な機能の取り止め・変更など
KUR: 実験設備取りやめによるスクラム削除
KUCA: 最大出力100W, 積算出力100Wh/月(短時間の1kW運転を削除)
自動制御機能の取り止め、非常用発電機を無停電電源に変更
- 安全評価において**設計基準を超える事象**を想定し、その拡大防止に必要な対策を説明(KURのみ)
→ 冷やす機能の喪失による燃料損傷を想定、対応のための要員の確保
- **設計及び工事に関する品質保証体制**・活動の追記
- 申請書全体について、最新の情報・データへの更新、冗長な記載等の適正化

13

新規制基準への対応(1)

地震・(津波)対策: 基準地震動の策定(KUR)

KURの安全機能(停止・冷却・閉じ込め)が喪失した場合、過度の放射線被ばく(>5mSv)をおよぼすおそれあり。



基準地震動の策定とそれによる耐震安全性の確認が必要

基準地震動の検討

内陸地殻内地震

- 中央構造線断層帯による地震(M8.1)
- 上町断層帯による地震(M8.0)

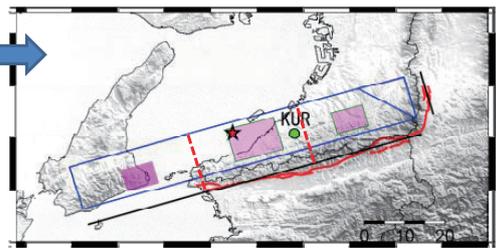
プレート境界地震

- 南海トラフの超巨大地震(M9.0)

プレート内地震

- フィリピン海プレート内地震(M7.4)

影響が最大の中央構造線断層帯を選定



震源断層モデル

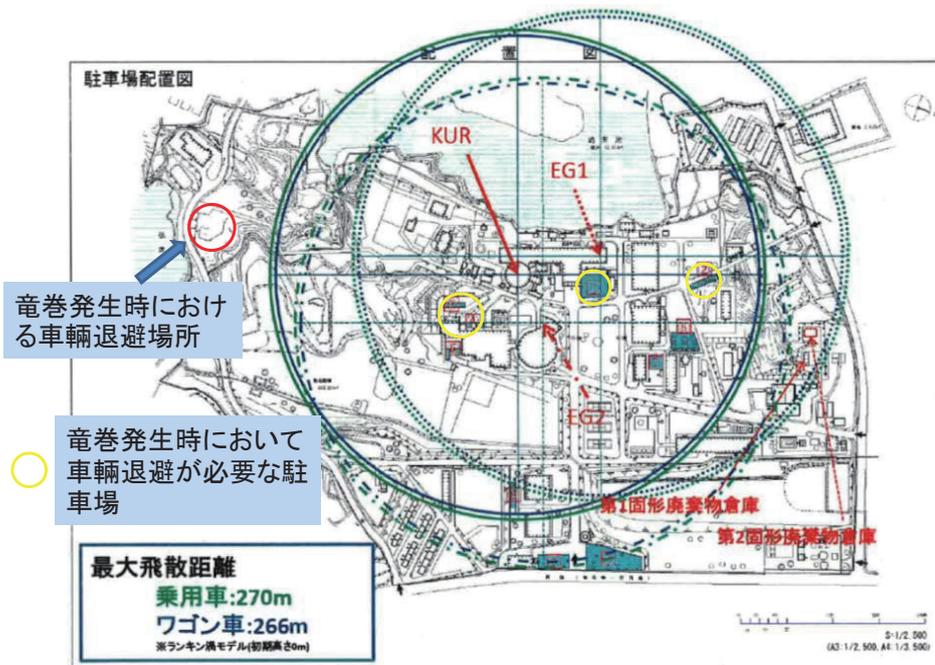
14

新規制基準への対応(2)

- 外部事象(地震・津波以外):洪水、風、**竜巻**、凍結、降水、積雪、落雷、地滑り、**火山**、生物学的事象、**森林火災**等
 - **竜巻**:F3(風速92m/s)を想定し、風力及び飛来物から重要設備を防護(一部施設の補強、固形廃棄物の固縛)
竜巻情報の監視→車両の退避、炉の停止(KUR)
 - **火山**:160km以遠の火山活動により最大約2cmの降下火砕物の堆積を想定→堆積物の除去、炉の停止
 - **森林火災**:早期検知し、延焼防止のために散水を実施。予防散水エリア及び散水栓を整備
- 内部事象:**内部溢水**、**内部火災**
 - **内部溢水**:冷却水等の漏えいを想定→電源系の多重化(KUR)
 - **内部火災**:火災発生防止・早期検知と消火、延焼の防止
→ 物品持込み制限、検知器、防火シャッター等の設置(KUR)
→ ハロン消火設備の設置、ケーブルの保護等(KUCA)

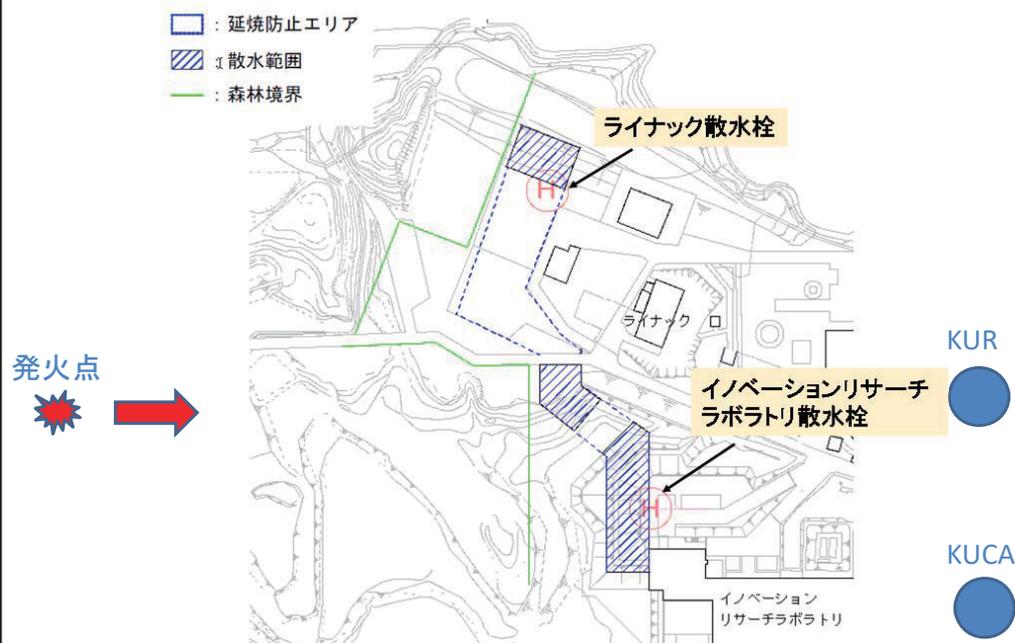
15

竜巻による車両飛散範囲と対策(退避)



16

森林火災に対する延焼防止エリアの設定と予防散水



17

新規制基準への対応(3)

多量の放射性物質等を放出する事故(KUR)
(公衆被ばくが5mSvを超える可能性のある事故)

- **流路閉塞の拡大による放射性物質の放出**
炉心冷却水流路の閉塞による冷却機能喪失
- **冷却材喪失事故(LOCA)の拡大による放射性物質の放出**
LOCA時の冷却失敗などによる冷却機能喪失
- **上記2つの事故への対応策**: 可搬型消防ポンプによる注水を含む緊急注水の実施。炉心タンク上部のシール等による放射性物質拡散の抑制。実験者・見学者等の避難・誘導。放射線モニタリングと地元自治体等への情報提供。
→ **大規模損壊事象への対応も検討**

18

主な工事等(新規制基準対応に関するもの)

- **耐震性の確認(KUR,KUCA共通)**
KUR建屋等の耐震性確認。(書類上の確認)
- **非常用電源の強化**
従来のKUCA用の非常用発電機(EG)をKUR用に変更し、KUR用EGを2台とする(多重化)。監視設備用の無停電電源の容量を増強する。(KUR)
監視設備用の無停電電源の容量を増強する。(KUCA)
- **内部火災対策**
原子炉施設内の可燃物の管理を徹底するとともに、火災報知器・消火設備等を整備。実験孔に防火シャッターを設置。(KUR)
ハロン消火設備、遮熱板を設置し、炉心を防護する。(KUCA)
- **竜巻対策**
非常用電源室(KUCA)の壁厚増強、非常用電源用屋外冷却塔(KUR)の防護設備設置、竜巻監視システムの導入と竜巻発生時の自動車退避等の実施。
- **外部火災対策(KUR,KUCA共通)**
森林火災から施設を保護するため、防火帯(予防散水エリア)整備、散水栓設置、消防体制整備の実施。
- **固形廃棄物倉庫の安全性強化(KUR,KUCA共通)**
倉庫の耐震補強。固形廃棄物の固縛設備を設置(竜巻対策)。

19

防火帯(予防散水エリア)整備の現場写真

〔工事前の現場〕



〔工事後の現場〕



20

非常用電源用屋外冷却塔(KUR)の防護設備設置の現場写真

〔工事前の現場〕



〔工事後の現場〕



21

新規制基準適用後の状況(管理負担の増加)

- **安全設備の増加(点検及び維持管理)**
 - 火災対応設備(消火器、火災報知器、散水設備、監視カメラ等)
 - 通信連絡設備(放送設備、電話機、拡声器等)
 - BDBA対応設備(可搬型消火器、40トン水タンク、止水設備等)
 - 避難通路等(標識、懐中電灯、避難用照明等)
- **安全管理(運用)の増加**
 - KUR運転要員の増加(BDBA対応)
 - 炉室への持込み制限(火災対策)
 - 森林火災発生時の対応(予防散水)
 - 竜巻警報発生時の対応(車両退避)
- **その他**
 - 保安活動への品質保証導入の本格化
 - 防災訓練対応(発電炉並みの対応が必要)
 - 炉規法等の改正に伴う各種の対応(新検査制度、RI規制等)

22

京大研究炉の運転再開

- KUR、KUCAともに3年を超える停止期間を経て、2017年度に運転再開となった。
- 停止期間中は、ほぼ毎週、原子力規制庁(規制委員会)による適合性確認(当初約2年間)及び設計・工事・検査(約1年間)に関する面談や審査会合が行われた。

2017年度の運転状況

- KUCA:2月中旬まで運転後、施設定期検査開始
利用運転:36週、実験教育:162名(累計4,164名)
- KUR :3月中旬まで運転後、定期検査開始
利用運転:13週、BNCT治療研究:37件
2件のトラブル発生(9/20重水漏えい、1/23スクラム)

KURでは2017年度の運転開始後に、2件のトラブルが発生。2018年度以降は、KUR、KUCAともに順調に運転を行っている。(現在、運転を行っている研究炉は、KUR、KUCAと近大炉の3基のみである。)
なお、運転再開後は、点検項目の増加やその後各種規制対応のために安全管理担当者の負担が増加している。

23

② KUCA燃料の低濃縮化(日米政府間合意)

- 2016年に開催された第四回核セキュリティサミットにおいて、KUCAが保管するすべての高濃縮ウラン燃料を米国に撤去し、かわりに低濃縮ウランを用いた燃料に置き換えることの日米合意が行われた。
 - その後の日米関係機関の調整において、米国から2021年度末までにすべての燃料の撤去を完了するよう強い要請があり、これに対応するスケジュールで各種作業が進行中。

③ 炉規法等の改正(2017年2月成立:施行は順次)

- 原子力施設の検査を事業者が自ら検査する義務を課した上で、原子力規制委員会が事業者の保安活動全般を常時チェックできる仕組みとする。(2020年4月施行)
- 危険性の高い放射性同位元素を取り扱う事業者に対し、防護措置を義務づけ、テロ対策を充実・強化する。(2019年10月施行)
→RI管理室の設置(2019年4月)

24

今後について(課題等)

研究炉2基は、新規制基準への適合性確認を終了し、運転を再開した。今後も研究炉を含む施設の安全確保を最優先事項として、以下の課題に対応していく。

- 安全管理の負担増加(人員の確保)
 - 種々の規制対応(新検査制度、RIセキュリティ導入等)のために、合理的な人員配置、外部委託も含めた人員確保を進める。
- 施設の高経年化
 - 当面は計画的な維持管理の実施により対応するが、廃止を含む各施設の長期的な利用計画策定が必要。
- KUCA燃料の低濃縮化
 - 計画的な高濃縮ウランの撤去・低濃縮ウラン入手のための許認可を含む各種作業・対応を進める。
- KURの今後
 - 2026年までに生じた使用済燃料(SF)は米が受入れるが、それ以降は取扱いが未定。(国レベルでの議論が必要)
 - 高経年化も考慮し、KUR廃止も含めた方針の検討及びKUR廃止後の中性子源の確保を進める。

25

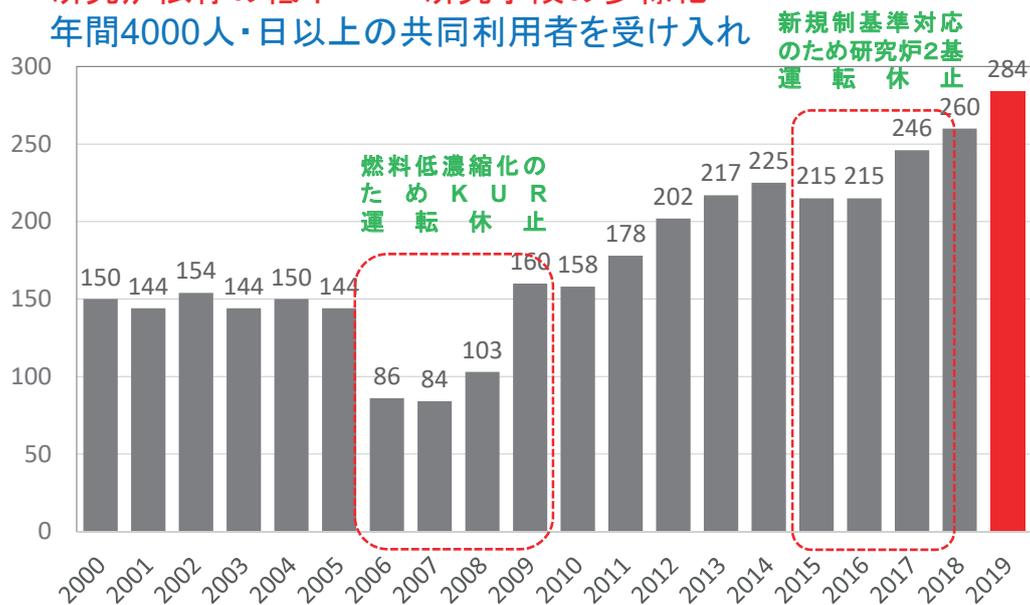


京都大学 複合原子力科学研究所 外部評価 (将来計画)



共同利用研究課題数の変遷

共同利用件数の増加継続 → 研究活性化
 研究炉依存の低下 → 研究手段の多様化
 年間4000人・日以上共同利用者を受け入れ



○「提言 発電以外の原子力利用の将来のあり方について」平成26年 日本学術会議
 原子力利用の将来像についての検討委員会 原子力学の将来検討分科会
 「我が国における中性子利用は、長期的方向性としては、その主体を研究炉から加速器ベ
 ース量子ビーム施設に移して行くことが望ましい。……適正規模の研究炉施設を維持・運
 営することが望まれる。」

研究所基盤整備

研究所ライフラインの本格整備：非常用電源システム・特高受変電設備等、幅広く
 所内のライフライン再生工事を本格実施。新たな計画に耐えうる所内基盤を整備
 済。（H24～25：20億円以上）。

研究用原子炉運転継続環境の整備

ハーグ・ワシントン核セキュリティサミットにて、KUR使用済み燃料の米国返送期
 限の10年間延長及びKUCA高濃縮燃料の低濃縮化及び運転継続を日米合意。
 さらに、新規制対応による運転及び共同利用再開。

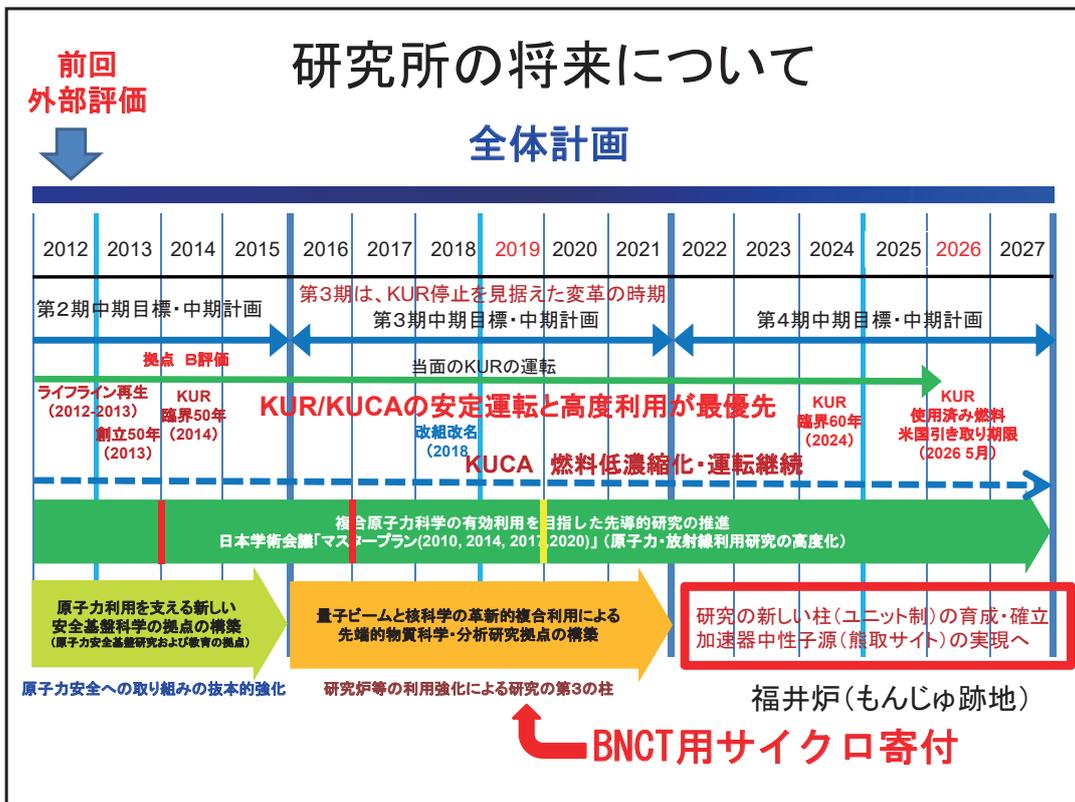
所要経費

1) サイクロtron複合粒子線源：小型陽子サイクロtronを利用して中性子、陽電
 子、陽子棟を利用した多様な粒子線利用装置群を設置。KURを補完・代替する機
 能を担わせる。

→サイクロtron寄付実現：「研究炉から加速器ベース量子ビーム施設へ移行」

2) KUCA高濃縮燃料米国返送・低濃縮燃料入手経費

→米国返送及び低濃縮燃料入手は進捗中：「適性規模の研究炉を維持運営」



長期的(10年程度)に目指す研究所の姿

大学の付置研究所としてのあるべき(普通の)姿を目指す
研究成果最大化を、大学として無理なく目指せる体制に移行

研究力強化と安全管理体制変革対応の両立
長期的な一貫性のある研究所運営

約10年先を目途にKUR停止を検討し、
加速器・HL等を活用し
「多様な粒子線(放射線)・RI利用」を看板化

多様な粒子線: 中性子・陽子・電子・ガンマ線・X線+ α
RI利用等のホットラボラトリー活性化

KUR停止による「共同利用の量的減少」は不可避
特徴的(とんがった)研究の育成が必須

主要装置の今後の今後(検討中) 研究炉

KUR

現在の使用済み燃料引き取り期限(2026年)で
運転停止が予想される
行き先のない使用済み燃料は作らない(地元協定)
→ 廃炉へと向かわざるを得ない

KUCA

高濃縮ウラン燃料米国返送(2022春まで)
低濃縮ウラン燃料入手 → 利用継続(日米合意)
福井炉(もんじゅ跡地)計画の影響を受ける可能性

主要装置・施設の今後(検討中)
主要加速器

サイクロトロン

令和元年10月(今月)末に京大へ寄付
医療機器(現在) → 多目的利用装置
KUR補完施設、KUR停止後は後継主力施設

FFAG

研究炉等の安全管理経費・必要マンパワー激増
→ 経費・マンパワー節減のため停止を検討
CA高濃縮ウラン返送終了時にADS実験終了
現在の大型外部資金終了時に停止も検討

主要装置・施設の今後(検討中)
その他

ホットラボラトリ

大学が所有するものとしては国内最大級
RI利用推進の主力施設として最大限に活用

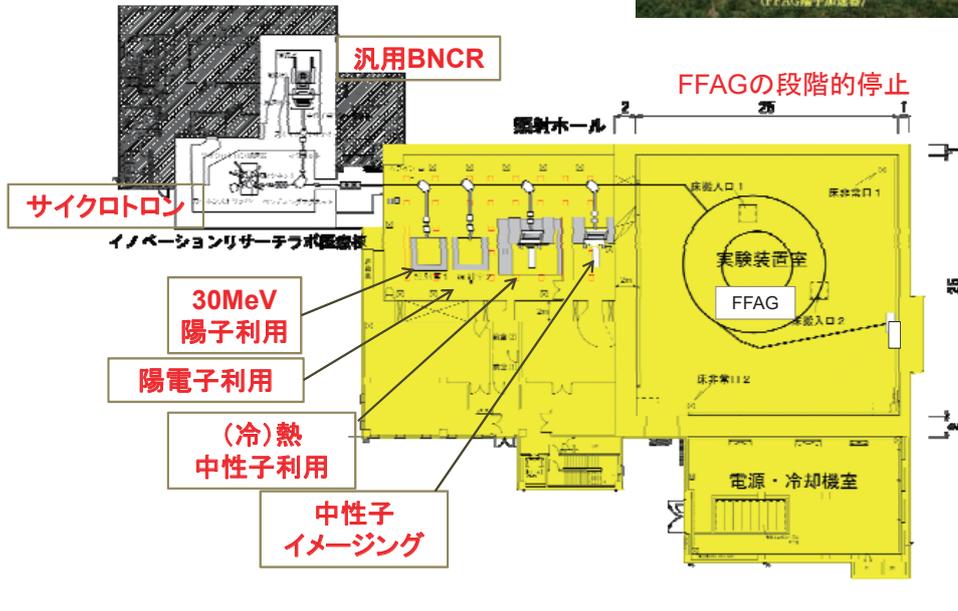
電子線形加速器

老朽化が進むが、利用度は高い
利用及び更新の努力を継続

^{60}Co ガンマ線照射装置

必要経費と利用度(成果)の評価を行い
利用継続可否を検討

将来計画 イノベーションリサーチラボ サイクロtron粒子線源計画



BNCT医療拠点 (西日本)

<https://www.osaka-med.ac.jp/kbmc/>

関西BNCT共同医療センター (高槻、大阪)

東京
Osaka
熊取

京都大学複合原子力科学研究所 (熊取、大阪)

BNCT 研究拠点

BNCT医療拠点 (東日本)

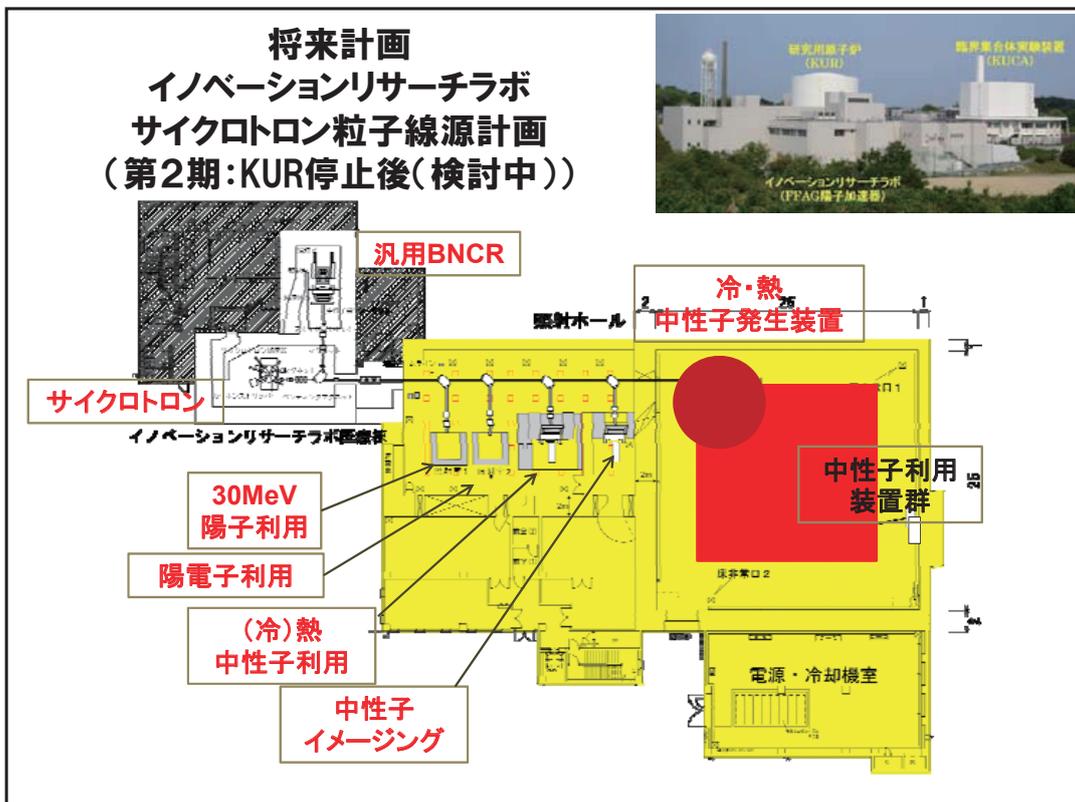
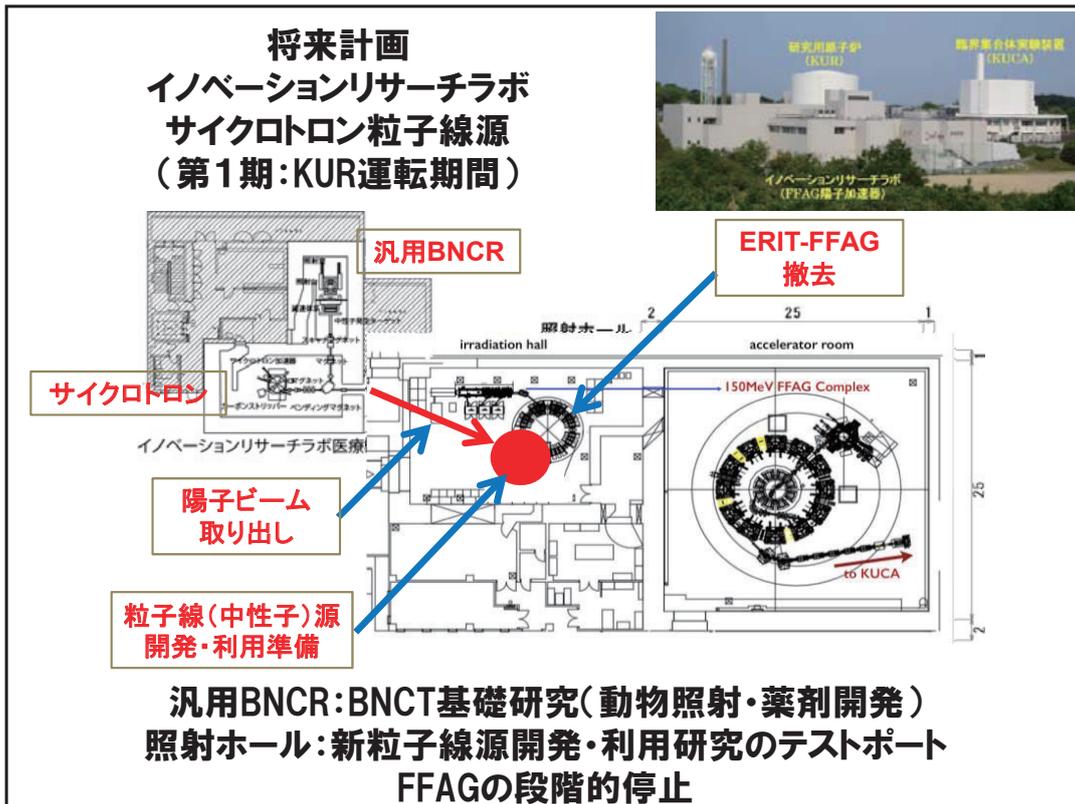
南東北BNCT研究センター (郡山、福島)

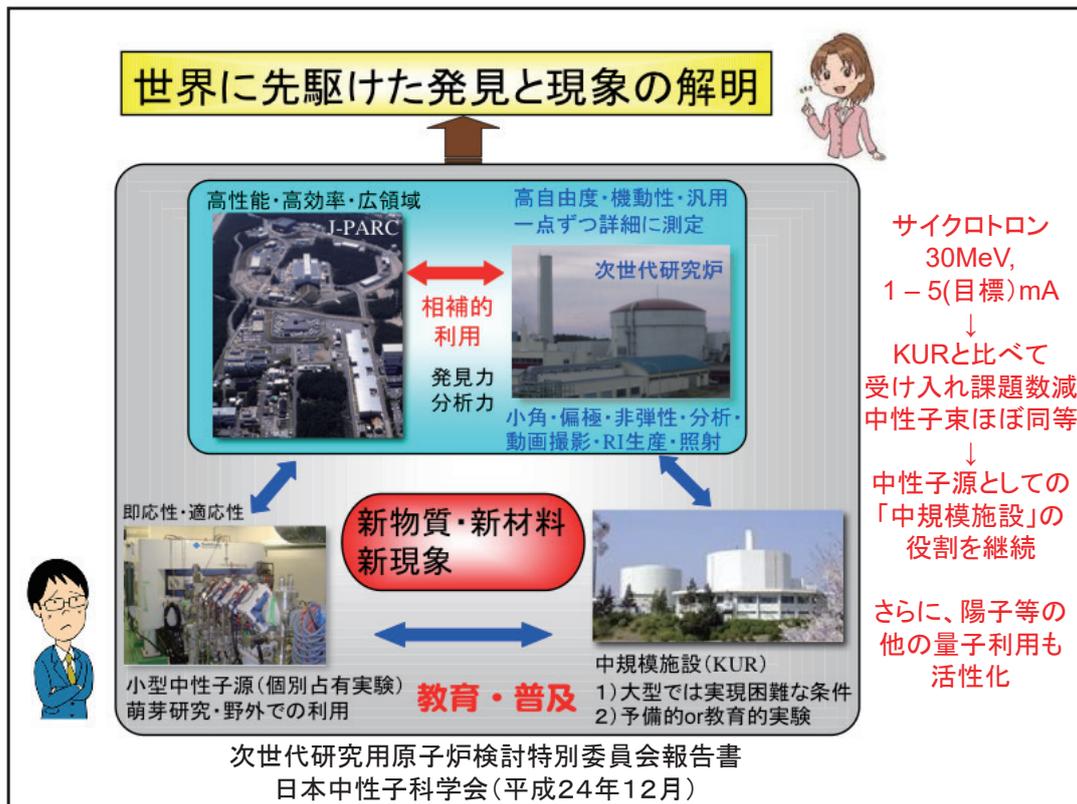
<http://southerntohoku-bnct.com/>

BNCT推進協議会 (大阪府・熊取町・京大・大阪医科大) 「BNCTの早期の実用化のために」

↓

改組検討中 「BNCTの普及・拡大のために」 産官学で取り組む 世界中のガン患者にBNCTを届ける





研究成果最大化のために

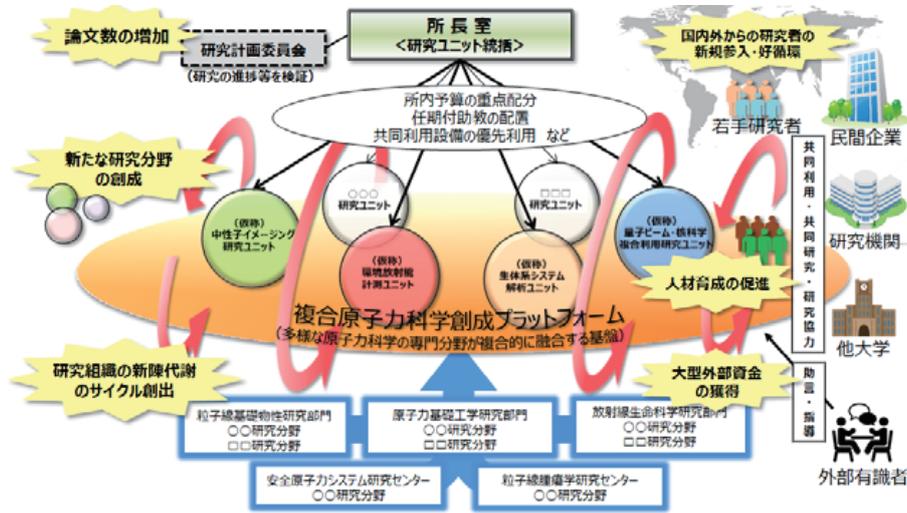
複合原子力科学の共同利用・共同研究拠点として発展

共同利用拠点 → 従来からの活動を継続して活性化
 ユニット制に基づく世界トップクラス研究の育成
 他機関との共同利用共通化・相補利用の充実
 「原子力科学系研究所等連携協議会」の有効利用
 KUCA: 燃料低濃縮化→継続利用・要活性化

共同研究拠点 → 組織としてはこれまで欠けていた機能
 サイクロ粒子線源+所内分析機器による
 「産官学連携研究拠点」の検討: 機器の有償利用
 KUR停止時の所内体制要検討

ユニット制の導入について
 -「複合原子力科学創成プラットフォーム」の構築-

新たな研究組織と既存の研究組織のコラボレーションの創出
 による共同利用・共同研究拠点の機能強化の実現



3 本部解体 → 研究部門や研究センター間の壁を越えた連携・協働

研究ユニットを通じて
 研究所の「柱」となる研究分野を育成

研究ユニット所内検討会
 研究計画委員会主催 (H30.9.27)

- 1) 「量子ビーム生態システム解析・応用ユニット」: 鈴木実
- 2) 「蛋白質異常凝集研究ユニット」: 藤井紀子
 → 「生命分子動態解析ユニット」: 杉山正明
- 3) 「バイオメディエーションユニット」: 木野内忠稔
- 4) 「量子ビーム・核科学複合利用研究ユニット」: 瀬戸誠
- 5) 「環境放射能動態計測研究ユニット」: 大槻勤
- 6) 「中性子イメージング研究ユニット」: 齋藤泰司
- 7) 「中性子核データ研究ユニット」: 堀順一

赤字: 設立済

次期ユニット候補検討中

まとめ

京都大学複合原子力科学研究所は、
原子炉実験所の役割を引き続き果たしつつ
多様な学問分野を融合し、新たな研究分野を創出する
複合原子力科学の拠点として学術・科学技術に貢献する。

原子力エネルギー研究と原子力技術応用研究を両輪とし、
放射線(粒子線)やRIを利用する研究所として貢献する。

中型中性子源(研究炉・加速器)は、
大型施設(J-PARC等)を補完するものとして、
学術・産業に対して重要な役割を果たす。

KUR停止後もサイクロ粒子線源の活用により
現在の共同利用・共同研究拠点の役割を継続して果たす。

外部評価報告書

2020年6月発行

編集 京都大学複合原子力科学研究所外部評価委員会

発行 京都大学複合原子力科学研究所
〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西2丁目
TEL 072-451-2300
FAX 072-451-2600
e-mail: soumu2@rri.kyoto-u.ac.jp

印刷 和泉出版印刷株式会社
〒540-0026 大阪市中央区本町1-1-6
本町カノヤビル
TEL 06-6946-1073
FAX 06-6946-7684
e-mail: info@izumi-syuppan.co.jp