令和4年度

京都大学複合原子力科学研究所 将来計画短期研究会 報告書

令和5年2月6日開催

京都大学複合原子力科学研究所

目 次

1.	開会挨拶	(京大複合研)	三澤	毅	··· 1
2.	複合原子力科学研究所の近況	(京大複合研)	中島	健	3
3.	量子ビーム生体高分子統合研究センターについて	(京大複合研)	杉山	正明	13
4.	「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉につい	いて (JAEA)	峯尾	英章	20
一関	月係機関の状況 一				
5.	近畿大学 原子力研究所	(近大)	山西	弘城	29
6.	東京大学 原子力専攻	(東大)	阿部	弘亨	39
7.	東京工業大学 ゼロカーボンエネルギー研究所	(東工大)	加藤	之貴	44
—才	ポスト KUR に向けた検討―				
8.	新型原子炉・廃止措置研究	(京大複合研)	黒﨑	健	···52
9.	多様な量子ビームを用いた研究	(京大複合研)	田中	浩基	61
10.	多様な放射性同位元素を用いた研究	(京大複合研)	山村	朝雄	68
11.	総合討論				···76
12.	閉会挨拶	(京大複合研)	五十嵐	康人	···85

令和4年度 京都大学複合原子力科学研究所 将来計画短期研究会 プログラム …87

1. 開会挨拶

(京大複合研) 三澤 毅

開会挨拶

令和4年度 京都大学複合原子力科学研究所の将来計画短期研究会を開催したいと思います。前半の司会を務めさせて頂きます、副所長の三澤です、どうかよろしくお願い致します。本研究所は、原子炉実験所として1963年4月に設立され、まもなく60周年になります。この間 KUR を中心とした原子炉施設等を用いて共同利用研究を中心に運営してきたところでございますが、皆さまご存知のとおり、昨年4月に2026年5月をもちましてKURの運転停止を正式に発表したところでございます。

またその一方で、福井県のもんじゅサイトには、新しい研究用原子炉の設置が計画されているところでございまして、我々複合研といたしましても、その概念設計の段階から企画に参画しているところでございます。このように研究所として大きな転換期を迎える中、我々は将来計画について現在どのようにするかを検討しているところでございます。本日の研究会では、その将来計画につきましてご報告させて頂きますと共に、関係機関のみなさまから機関の状況についてご報告等頂くと計画しているところでございます。このような中で、我々の研究所の将来計画を是非皆様からどのようにすればいいかのご意見を賜りたいと思っているところでございます。どうか活発なご議論をお願いしたいと思います。

京都大学複合原子力科学研究所 副所長 (安全管理担当) 三 澤 毅

2. 複合原子力科学研究所の近況

(京大複合研) 中島 健

2023年2月6日 将来計画短期研究会

複合原子力科学研究所の近況

中島 健

京都大学複合原子力科学研究所

2023年2月26日 放射線教育フォーラム 令和4年度第3回勉強会

京都大学研究用原子炉の現状と今後

京都大学複合原子力科学研究所 中島 健

研究用原子炉 (研究炉)とは

研究炉の役割による分類

これまで我が国に設置された研究炉の役割は主に以下のとおり

- 中性子ビーム利用(ビーム炉) 中性子をプローブとして分析等を行う炉: JRR-3、KUR等
- 材料照射(照射炉) 各種材料等の中性子照射を行う炉: JMTR等
- 新型原子炉開発 新しい原子炉開発のための炉:HTTR、常陽等
- 炉物理実験(臨界実験装置) 臨界量等の核的特性研究を行う炉:STACY、KUCA等 原子炉物理の実習(人材育成)にも有用

日本の研究炉の現状

 名称	型式	出力 (kW)	運転 開始年	用途	運転再開日 (定検終了 日)	設置者
JRR-3	プール型	20,000	1990	多目的利用	2021/2/26	
JRR-4*	プール型	3,500	1965	多目的利用		
NSRR	トリガ炉 (パルス)	300 (23,000,000)	1975	燃料举動実験	2020/3/24	
TCA*	臨界装置 (C.A.)	0.2	1962	炉物理実験		JAEA/ 東海
FCA*	C.A. 高速炉	2	1967	炉物理実験		
STACY	C.A. 均質炉	0.2	1995	炉物理実験	(非均質炉に改造中)	
TRACY*	均 賞炉 (パルス)	10 (5,000,000)	1995	臨界事故実験		
JMTR*	タンク型	50,000	1968	多目的利用		
HTTR	高温ガス炉	30,000	1998	HTGR プラント 試験	2021/9/22	JAEA/ 大洗
JOYO	高速炉	140,000	1977	FBR 燃材料照射		
NCA*	C.A.	0.2	1963	炉物理実験		東芝
UTR -KINKI	アルゴノート型	0.001	1961	多目的利用	2017/4/12	近畿大学
KUR	タンク型	5,000	1964	多目的利用	2017/8/29	
KUČA	止決定(A.基)	0.1	1974	炉物理実験	2017/6/21	京都大学

研究炉の課題

- 施設の廃止・高経年化
 - 6基が廃止を決定、運転継続する8基のうち40年以下は3基 (JRR-3:31年、STACY(改造中):26年、HTTR::23年)
 - 研究開発・人材育成に必要な基盤の弱体化 (国内の照射炉が無い状況)
 - → 廃炉に伴う廃棄物処分の負担(研究所廃棄物の処分)
- 規制の強化/変化

新規制基準への対応、核/RIセキュリティ対応、新検査制度への対応 品質マネジメントシステムの導入(保安活動)

- → 施設の維持管理負担の増加
- 使用済燃料処分の方法

米国引取り期限(使用期限2026年5月)後の措置

- ・使用済燃料の将来の取扱い(処分の方法)が未定
- 放射性廃棄物処分の方法 研究施設等廃棄物の処分事業の予定が未確定
- 人員・予算など

大学運営費・人員が減少、研究炉経験者の減少(設計、建設、運転・管理) (→「もんじゅ」サイトの新試験研究炉への期待)

参考:研究炉使用済燃料の米国への引き渡しについて

- 国内研究炉の使用済燃料は、米国との取り決めにより米国へ引き渡すこ ととなっている。この取り決めは、米国が核不拡散の観点から国外の試験 研究用原子炉の使用済燃料を引き取る政策として実施されたものであり、 当初は2006年5月までに取り出された使用済燃料を、2009年5月までの間 に引き取る内容であった。
- その後、米国は使用済燃料の引き取り政策を10年間延長し、2016年5月 までの使用と、2019年5月までの引き取りとした。
- さらに、米国オバマ政権の主導により、核セキュリティ・サミットが2010年か ら2年おきに4回開催されたが、そのうちの第3回核セキュリティ・サミット (2014年、オランダ・ハーグ)において、JAEA所有の高濃縮ウラン及びプ ルトニウムを返還すること、及び米国が我が国の研究用原子炉使用済燃 料を継続して引き取ることが日米首脳による共同声明として発表された。 この結果、日本の研究用原子炉の使用済燃料に対する米国の引き取り 政策が10年間延長される(2026年5月まで使用、2029年5月までに引き取 り)こととなった。



2026年5月を超えて使用した研究炉使用済燃料は処分方法が未



https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/technical/analysis/analisis_04.html



https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/technical/analysis/analisis_04.html

関連サイト

https://www2.kek.jp/ja/newskek/2004/janfeb/neutron2.html

KEK 静かな観察者

https://mlfinfo.jp/ja/aboutmlf/neutron.html

J-PARC MLF 中性子実験

chrome

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.pwri.go.jp/caesar/lecture/pdf01/riken-03.pdf

中性子とは 清水裕彦 KEK

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.aec.go.jp/jicst/N C/iinkai/teirei/siryo2019/siryo8/1.pdf

日本の中性子利用研究と施設連携 鬼柳善明

https://www.rd.ntt/se/media/article/0042.html 中性子線とは?性質から応用まで解説 NTT

https://www.mext.go.jp/a menu/shinkou/ryoushi/detail/1323226.htm

中性子利用事例集 MEXT

https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/neutronbl.html

茨城県中性子ビームライン

関連サイト

https://rada.or.jp/neutron/what/

中性子とは RADA

https://rada.or.jp/neutron/what/

中性子ビームの利用 RADA

https://www.htc.co.jp/12cyuseishi/gijyutsu.html

技術解説書 (中性子関連技術情報)

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.jstage.jst.go.jp/article/mls/23/3/23_89/_pdf/-char/ja

中性子ビーム利用への招待 石井慶信

http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/bunka4/siryo3/siryo9.htm

中性子科学分野における研究開発の意義・将来展望 1999年11月29日

https://www.jsns.net/blank

日本中性子科学会「波紋」中性子入門講座

大学が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基づつ設置」(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」
- 2010年~: 共同利用・共同研究拠点認定(文部科学省)
- 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

Kyoto University, Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science (KURNS)

原子炉実験所から複合原子力科学研究所へ

原子炉実験所

原子炉という実験ツール(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

複合原子力科学研究所

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。

研究組織·主要設備等

- 研究組織:3研究部門、2研究センター
- 22の研究分野
- 協力講座:理学、工学、医学、農学、エネルギー科学
- 研究ユニットの設置(2018年~): 期限付きプロジェクト 量子ビーム生体システム解析・応用ユニット 中性子イメージング研究ユニット 生命分子動態解析ユニット
- 主要設備等
 - 研究用原子炉KUR
 - 臨界集合体実験装置KUCA
 - •電子線型加速器 (ライナック)
 - Co-60ガンマ線照射設備
 - •イノベーションリサーチラボ (FFAG陽子加速器,陽子サイ クロトロン)
 - 放射性廃棄物処理施設
 - 放射線管理施設

安全管理組織 研究炉主任技術者 ○ 研究炉部 臨界装置主任技術者 ○ 臨界装置部 ○ 放射線管理部 計量管理責任者 ▲ 核物質防護管理者 ○ 放射性廃棄物処理部 実験設備管理部 陽子加速器管理室 ○ 健康科学センター 実験用核燃料部 安全管理本部 事務管理部 中央管理室 核燃料管理室 △ 各研究部門等 品質管理室 RI管理室 所長 原子炉安全委員会 放射線障害防止委員会 総長 内部監查委員会(内部監查責任者) 品質保証責任者 ■安全管理組織図 (2021年4月1日現在)

複合原子力科学研究所の主要設備

複合原子力科学研究所では研究用原子炉をはじめとする多くの施設 を維持管理し、共同利用研究や共同研究等における実験的研究に供し ている。









Hot Laboratory

停止のみ



複合原子力科学研究所敷地

數地面積:約10万坪

京都大学研究用原子炉: KUR (Kyoto University Research Reactor)

水冷却型研究炉(最大熱出力5,000kW)

短期の冷却が必要

ウラン濃縮度約20%の板状燃料を使用

•1964年6月:初臨界(同年8月1,000kW達 成)

•1968年7月:5,000kW達成(出力アップ) •2010年5月:低濃縮ウラン炉心に移行

京都大学臨界実験装置: KUCA (Kyoto University Critical Assembly)

原子炉の基礎的研究を実施

- 初臨界:1974年8月
- 最大熱出力 100W:冷却不要
- 複数架台(炉心)方式
 - ▶ 軽水減速架台(C架台)
 - ▶ 固体減速架台(A、B架台) (減速材:ポリエチレン、黒鉛など)

中性子を利用するための装置







研究炉と発電炉の比較

The state of the s		
	研究用原子炉KUR	福島第一発電所
目的	中性子発生(研究 用)	発電
運転状態	低出力、低温、低圧	高出力、高温、高圧
熱出力(kW)	5000	1号機: 138万、2~5号機: 238万 6号機: 329万
燃料(集合)体の重さ (kg)	約6	約250
ウラン装荷量 (トン)	最大0.037	1号機:69、2~5号機:94 6号機:132
	約 25 後の燃料の冷却	約400 (6号機の場合) 停止後も長期にわたる
冷却不要 運転中の圧力	は短期間で可	燃料の冷却が必要
KUR(出力5,000kW)の	場合、停止後の発熱量が	が小さいため、燃料はタンク内の

KUR、KUCAの主な利用内容

研究炉用原子炉KUR

- ・中性子ビーム利用(中性子散乱・回折、ラジオグラフィ、など)
- 中性子照射(放射化分析、RI製造、など)
- その他: 医療照射(BNCT)、陽電子ビーム、など
- ・教育(主に京大の学生・院生)

共同利用件数 (通常時) 年間約200件、約4000人日

臨界実験装置KUCA

- 炉物理関係研究(未臨界度測定、ADS実験、Th炉開発)
- 検出器開発
- その他: 廃炉技術開発
- ・教育(全国の大学の学生など)

京都大学研究用原子炉:KUR

タンク型の軽水冷却軽水減速熱中性子炉(出力5MW) 中性子源としての利用が主

一般研究、材料照射、放射性 同位元素生産、開発研究およ び教育訓練を目的とした研究 用原子炉

主な利用内容 (研究テーマ)

- 中性子ビーム利用 中性子散乱・回折、ラジオグラ
- 中性子照射
- 放射化分析、RI製造等
- 医療照射 (BNCT) 、陽電子ビーム
- 利用 教育

主に京大の学生・院生

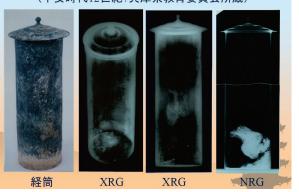


中性子イメージング(中性子ラジオグラフィ)

金属を透過し、水素に敏感

化財研究所) 兵庫県朝来市一乗寺経塚出土青銅製経筒

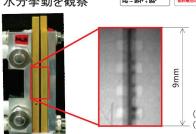
(平安時代12世紀:兵庫県教育委員会所蔵)



小型固体高分子形 燃料電池内の 水分測定

(神戸大・浅野他)

空気極側に発生する 水分挙動を観察



05 **→** 0 4 電子と水素イオンと酸素を触媒の 働きによって反応させ、水を発生 させます。 1/202 + 2H⁺ + 20⁻ → HaO 固体高分子燃料電池(PEFC)の

発電の原理

(大阪ガスホームペー https://www.osakagas.co.jp/rd/fuel cell/pefc/pefc/index.htmlより)

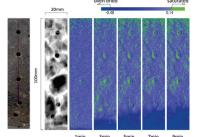
(村川他、中性子イメージングカタログ

(中性子施設ハンドブック)、p.I-56)

コンクリートの爆裂

(東京理科大・兼松他)

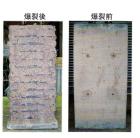
- 火災などの急激な高温加熱によって部材 表層部分のコンクリートが飛散・剥離。
- 高層建物に使用される高強度コンクリー ト (組織が緻密) が爆裂に不利。



高温加熱下におけるコンクリートの中性子イメージング

(兼松他、中性子イメージングカタログ(中性子施設ハンドブック)、p.I-53)





Sample preparation for NAA

小惑星探査機 はやぶさ

(MUSES-C)

打ち上げ:203年5月9日

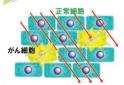
大気圏突入:2010年6月13日

地球重力圏外にある天体の固体表面に着陸しての サンプルリターンに世界で初めて成功

【中心研究者】関本 俊(京都大学原子炉実験所)、海 老原 充(首都大学東京) 【研究協力者】 大槻 勤(京都大学原子炉実験所)など

- 【研究概要・成果】♪ 小惑星イトカワより、はやぶさ探査機が持ち帰った粒子の中性子放射化分析。従来の放射化分析法を改良し、標準岩石中の
- 微量元素を特密に定量。汎用的な元素分析法であるICP-MSを用いた手法に比べ、より正確な分析値が得られることを示唆。

ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)



10

KUR医療照射の件数

総計584件(1974~2019年度)

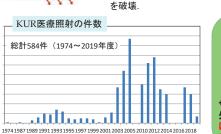
انجستالات

年 度

- ホウ素を含有した薬剤を標 的細胞(癌細胞)に注入.
- 熱中性子を照射.
- ホウ素が熱中性子を捕獲 し、α粒子とLi粒子に分裂.
- これらの粒子が、標的細胞 を破壊



加速器によるBNCT治療





サイクロトロンベース熱外中

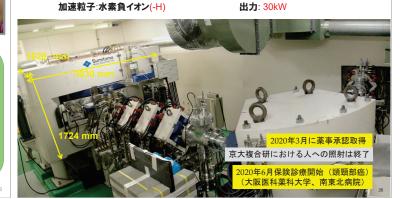
住友重機械工業社

サイクロトロン型式:HM30

に設置

加速エネルギー:30MeV

陽子電流: 1mA 出力: 30kW



京都大学臨界集合体実験装置:KUCA

(Kyoto University Critical Assembly)







軽水減速炉心

固体減速炉心

主な利用内容 (研究デーマ)

- 炉物理関係研究(未臨界度測定、ADS実験、Th炉開発)
- 検出器開発
- その他: 廃炉技術開発
- ・教育(全国の大学の学生など)



炉物理実験教育

実験の目的

原子炉を用いた基礎的な炉物理 実験・放射線計測実験、および原 子炉運転実習を行うことにより、原 子炉の原理・核特性・安全性・法的 規制等を理解する。

実施対象学生と実施計画

対象学生:京大学部学生、全国大 学院生

受入人数:京大20名、全国大学院 生150名 実施頻度:年に7 回程度

(全国大学院生実験とは別に韓国と 中国の学生が参加する英語による 同じ実験を行っており、そこに参加 する大学院生も募る)

月曜日: 登録手続き、保安教育(テストを含む)、金線準備



















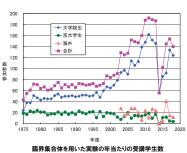


KUCAを用いた実験教育

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

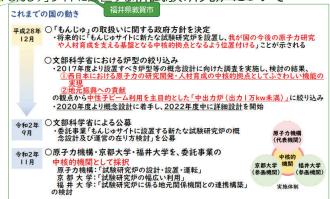
2021年 参加者総数 4530名







「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉について



原子力機構が受託した概念設計事業(2020~2022年度)に参加し、試験研究炉の 利用の在り方を検討中 → 2023年度より詳細設計を開始

最近の規制動向

○2017年原子炉等規制法改正による新検査制度の導入 (2020年4月から運用開始)

- これまで、国が行ってきた「施設定期検査」、「使用前検査」は廃止となり、 これに代わり「定期事業者検査」、「使用前事業者検査」を事業者が実施 → 独立した検査の実施要求
- 原子力規制委員会は事業者の保安活動全般を包括的に検査(原子力事 業者の責任を明確化)
 - → 検査官によるフリーアクセスの実施

○「震源を特定せず策定する地震動」への対応

- 2021年4月21日に、基準地震動の策定のうち、震源を特定せず策定する 地震動に 関する基準が改正され、全国共通に考慮すべき地震動(震源を (地震動)については、従来から考慮済の『留萌地震』に 加え、今回新たに『標準応答スペクトル』に基づく評価が追加で求められ ることとなった。
 - → KUR(基準地震動の追加が必要):2021年12月設置変更承認申請済 (審杳中)

32

研究炉の今後の方向性

KUCA

燃料の低濃縮化実施 (濃縮度20%未満) 【核セキュリティサミットにおける日米合意】

- ▶ HEUの撤去(米国へ引き渡し:完了)、LEUの入手(製造、搬入)
- ▶ 上記にかかる設置変更等各種手続きを実施中 (2022年4月28日付 設置変更承認取得、その後製造にかかる手続き 中)
- ⇒ KUCAは低濃縮燃料炉心に転換し、研究・教育を継続する
- **KUR**

使用済燃料:2026年5月米国引取り期限

- この期限を超えて運転した場合に発生する使用済燃料の取扱いが未定
 - 2026年5月を超えた運転は、困難な状況
- (なお、運転長期化の場合には、計測制御系統の大幅な更新が必要)

規制強化、施設の高経年化、運営費・人員削減等により、将来にわたる研 究炉(KUR)の維持が困難な状況

⇒ KURは2026年5月をもって運転を終了する

第4回核セキュリティサミット(2016年@ワシントン)において、京都大学臨界集合体 実験装置(KUCA)の高濃縮燃料の米国返送及び燃料低濃縮化に関して、日米で合意され

複合原子力科学研究所 熊取キャンパスにおける研究計画案 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 第3期中期目標·中期計画 第4期中期目標·中期計画 第5期中期目標·中期計画 改組改名 (2018) 多様な量子ビームの利用研究 加速器利用 (ポストKUR)加速器整備 ・サイクロトロン、ライナック館を用いた名様な量子ピーム条件 BNCTサイクロ客所 KUR**臨界**60年 KUR利用運転 (廃止措置)・安全な廃止措置研究 新型原子炉研究・廃止措置研究 KUCA 臨界60年 KUCA高濃縮燃料 低濃縮化のため 運転休止 KUCA低濃縮燃料による運転継続・原子カ人材育成 による運転 HL教授 エキ HL利用 多様な放射性同位元素の利用研究 ホットラボ(HL)を用いた研究 KUR利用を軸に、多様な 粒子線・RI利用研究 共同利用拠点継続 加速器・HL利用を中心とした共同利用研究の推進 研究炉(KUR)利用を中心 とした共同利用研究 新規研究分野*の確立 他機関と連携した複合原子力科学研究の中核拠点化 運営・研究体制の見直し 新型原子炉研究・廃止措置研究:原子力の安全性向上に係る研究、廃止措置に関する基礎的研究等 多様な放射性同位式素の利用研究:放射性廃棄物、核医薬に対応したアクチノイド基礎・応用研究等 多様な量子ビームの利用研究:BNCT適応太に係る基礎研究、量子ビームを用いた各種研究等

今後について

- ▶KURについて、米国の使用済燃料引取にかかる使用期限(2026年5月) をもって運転を終了する。
- ▶ポストKURの共同利用研究に向けて、複合原子力科学研究所における 代替中性子源を適切な時期までに整備し、これまで実施してきた中性 子利用に関する研究・教育の継承を目指す。さらに日本原子力研究開 発機構のJRR-3等、学外の中性子源の利用も進める。
- ▶また、既存のホットラボラトリ等の施設の再整備により、核燃料及び 放射性同位体元素を用いた新たな複合原子力科学研究の展開を進める。
- ▶KUCAについては、炉心変更が容易で、かつ、様々な炉心を構成できる 世界的にも貴重な実験装置であることから、核セキュリティ・サミッ トにおける日米共同声明に従い、全ての高濃縮ウランの米国への引き 渡しを完了させ、さらに低濃縮ウラン燃料を用いた炉心への転換を行 い、今後も実験研究、学生等の人材育成等を実施していく。

管理区域内立入者(一時立入者)に対する注意事項

立会者は、見学等により管理区域に立入る一時立入者に対して、 立入り前に以下の注意事項を教育すること。

①管理区域内では、専用の履物 (靴又はスリッパ) 又はシューズカバーを着用しなければならない。

- ②管理区域内では、ガラスバッジ、ポケット線量計等、研究所から貸与される所定の放射線測定器を着用 しなければならない。ただし、見学等の場合にあっては、代表者が着用することをもって、これに代え ることができる。
- ③管理区域内にみだりに物品を持ち込んではならない。
- ④管理区域内では、飲食、喫煙又は化粧をしてはならない。
- ⑤管理区域内では、みだりに物品に手を触れてはならない。
- ⑥管理区域内では、みだりに床や机に物品を置いてはならない。
- ⑦管理区域から退出する際は、必要に応じて除染設備で手を洗浄した後、ハンドフットクロスモニタ等で、 手、履物及び衣服等の汚染検査を行わなければならない。
- ⑧退出の際は、履物を交換し、又はシューズカバーをとらなければならない。
- ⑨管理区域内で着用した履物、シューズカバー等をみだりに管理区域外に持ち出してはならない。

中央管理室長 RI管理室長

放射線管理部長

- 9 -

複合原子力科学研究所とは

- 1963年(昭和38年):京都大学附置全国共同利用研究所として設置 名称は京都大学原子炉実験所
- 設置目的:「原子炉による実験及びこれに関連する研究」
- 2010年~:共同利用•共同研究拠点認定(文部科学省)
- 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

Kyoto University, Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science (KURNS)

- > 研究組織:3研究部門、2研究センター 22の研究分野、協力講座:理学、工学、医学、農学、エネルギー科学

研究用原子炉KUR(出力5,000kW)、臨界集合体実験装置KUCA 電子線型加速器(ライナック)、Co-60ガンマ線照射設備 イノベーションリサーチラボ(FFAG陽子加速器,陽子サイクロトロン) 放射性廃棄物処理施設、放射線管理施設

説明項目

- •次期体制について
- KUR. KUCAについて
- 「もんじゅ」サイトの新試験研究炉について
- ●その他(工事等)
- ●研究体制について
- •今後に向けて

次期体制について(2023年4月~2025年3月)

•所長

黒﨑 健

●副所長

杉山 正明(研究教育担当) 三澤 毅(安全管理担当)

KURについて(現状)

- 2022年度はKUR炉心タンクの健全性調査等*により、下半期から共同利用 運転を開始
- 利用運転の期間は10月18日~2月9日の予定であったが、トラブルにより 運転開始が約1ヶ月遅れ、11月15日~2月22日に変更
- その後は、計画通り運転
 - *健全性調査:炉心タンク・配管の健全性確認のために、10年以内毎(約7年毎)に超音波 厚み計による肉厚測定等を実施

KURのトラブルについて

2022年9月、2次冷却設備外観検査の実施中に2次循環ポンプNo.1出口側 2次冷却水配管(呼び径200A)にあるドレン用配管(呼び径25A)からの微量 な漏水を発見。その後の調査により、該当箇所に腐食による減肉及び微細 なピンホールを確認。また、No.2にも有意な減肉を確認。

No.1~3のドレン用配管を交換(No.3は予防保全)。

KUCAについて(現状)

- 燃料低濃縮化のため、運転休止中(2023年度も利用運転の予定はない)
- 低濃縮化にかかる設置変更申請は2022年4月28日付で承認 → 現在、燃料製造にかかる設工認の対応中
- これまでKUCAで使用していた高濃縮ウラン燃料は全て米国へ撤去済 → 核燃料使用施設の保安規定が廃止となり、内規を制定
- 核物質防護規定変更により2022年11月より、核セキュリティ区分変更 (構内入域方法の変更)

参考:核セキュリティ協力に関する日米共同声明(抜粋)

本日 両国は 京都大学院界集合体事験装置(KUCA)の全てのHFU燃料を米国に撤去し、希 釈し、恒久的に脅威を削減するために協働するとの表明により、世界規模でのHEUの保有量の 最小化の取組に貢献するための両国の更なる決意を示す。この撤去は、技術的及び経済的に WT-LOAMILLA MARCHEU燃料を利用する原子炉からLEU燃料を利用する原子炉が開かる原子炉からLEU燃料を利用する原子炉が良い燃料を利用する原子炉が増加する原子炉が増加する原子炉が増加する原子炉が開かれている。KUCAは、核テロリストによる盗難や使用のリスクをもたらさない燃料を用い 関連研究や人材育成といった重要な役割を引き続き果たすこととなる。

(第4回米国核セキュリティ・サミット 2016年4月1日)



文部科学省 MINISTRY OF EDUCATION.
SCIENCE AND TECHNOLOGY-JAPAN

京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)における高濃縮ウラン燃料の 米国への撤去が完了しました

令和4年8月10日

核セキュリティ・サミットにおいて決定された京都大学KUCAの高濃縮ウラン燃料撤去が完了したこと から、柳孝文部科学審議官とジル・ルビー米国国家核安全保障庁長官は、その成果を評価するととも に、引き続き日米協力を推進することを確認しました。

京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)は、同大学複合原子力科学研究所に設置された実験用の原子 炉で、原子炉工学に関する基礎研究や学生実験に利用されています。

KUCAの高濃縮ウラン燃料は、第4回米国核セキュリティ・サミット[※](平成28年3月31日~4月1日)の核 セキュリティ協力に関する日米共同声明において、世界規模での高濃縮ウランの保有量の最小化の取組 に貢献するために米国へ撤去することが決定されました。

この度、日米両国の協力の下、同撤去が完了したことから、ジル・ルビー米国国家核安全保障庁長官 は8月8日に文部科学省を訪問し、柳孝文部科学審議官と共にその成果を評価し、引き続き世界の核セ キュリティ強化に向け日米協力を推進することを確認しました。

なお、KUCAは今後低濃縮化ウラン燃料へ切替え、運転を継続予定です。

第4回米国核セキュリティ・サミット https://www.mofa.go.jp/mofai/dns/n s ne/page25 000349.html

KUR,KUCAの今後について

- ➤ KURについて、米国の使用済燃料引取にかかる使用期限(2026年5月)以降の 運転を行わないことを京都大学として決定し、公表した。(2022年4月5日記者会見) 京都大学ホームページ 「京都大学における研究用原子炉(KUR)等の今後の在り方につ いて I https://
- ▶ ポストKURの共同利用研究については、複合原子力科学研究所における代替 中性子源を適切な時期までに整備し、これまで実施してきた中性子利用に関す る研究・教育の継承を目指す。さらに日本原子力研究開発機構のJRR-3等、学 外の中性子源の利用も進める。
- ▶ また、既存のホットラボラトリ等の施設の再整備により、核燃料及び放射性同位 体元素を用いた新たな複合原子力科学研究の展開を進める。
- ▶ KUCAについては、炉心変更が容易で、かつ、様々な炉心を構成できる世界的 にも貴重な実験装置であることから、核セキュリティ・サミットにおける日米共同 声明に従い、全ての高濃縮ウランの米国への引き渡しを完了させるとともに、低 濃縮ウラン燃料を用いた炉心への転換を行い、今後も実験研究、学生等の人 材育成等を実施していく。
- 新試験研究炉の設計に関しては、KURの経験を活かし、利用者にとって利用し やすい環境整備、最先端の研究が実施できる場の構築を目指す。

研究炉使用済燃料の米国への引き渡しについて

- 国内研究炉の使用済燃料は、米国との取り決めにより米国へ引き渡すこ ととなっている。この取り決めは、米国が核不拡散の観点から国外の試験 研究用原子炉の使用済燃料を引き取る政策として実施されたものであり、 当初は2006年5月までに取り出された使用済燃料を、2009年5月までの間 に引き取る内容であった。
- その後、米国は使用済燃料の引き取り政策を10年間延長し、2016年5月 までの使用と、2019年5月までの引き取りとした。
- さらに、米国オバマ政権の主導により、核セキュリティ・サミットが2010年か ら2年おきに4回開催されたが、そのうちの第3回核セキュリティ・サミット (2014年、オランダ・ハーグ)において、JAEA所有の高濃縮ウラン及びプ ルトニウムを返還すること、及び米国が我が国の研究用原子炉使用済燃 料を継続して引き取ることが日米首脳による共同声明として発表された。 この結果、日本の研究用原子炉の使用済燃料に対する米国の引き取り 政策が10年間延長される(2026年5月まで使用、2029年5月までに引き取 り)こととなった。

2026年5月を超えて使用した研究炉使用済燃料は処分方法が未定

中性子ビーム利用を主

目的とした中出力炉を

「もんじゅ」サイトに設置

・西日本における原子力の研究

開発・人材育成の中核的拠点 ・地元振興への貢献

KUR「廃止措置実施方針」より 廃止措置作業全体を数段階に区分し、安全性 を確保しつつ次の段階へ進むための準備を行い ながら着実に進める。なお、各段階の具体的な 解体の方法については、廃止措置計画申請時ま KUR廃止措置の流れ(案) 「IRR-4等の事例を参考に作成] でに決定し記載する。 2036注1 2026.5 2028-2029 20?? 廃止 廃止措置終了確認 運転終了 廃止措置準 汚染状況等各種調査 (一部施設等解体 注2)) 除染・解体撤去 ^{注2)} 管理区域解除 (炉) 停止 米国 10年程度の冷却

0 廃止手続 (停止後2年程度) 廃止措置に基づく規制(原子力規制検査等の実施) 現状の運転停止中に相当する維持管理が必要 (停止後から10年程度) 残存する施設等の規模に応じた維持管理が必要 (停止後から10年程度) ※ 廃止措置完了までの期間中は、施設等の状況に応じた安全管理 ^{注3)} が必要。

注1) 放射性廃棄物処分事業開始の時期が不明なため、解体撤去作業等の開始時期が大きく遅れる可能性がある。 注2) 解体対象施設等は、廃止措置計画策定時に決定する。 注3) 放射線電影能分名体・液体・循体の放射性原棄物処理・管理施設等の維持管理を行う。

「もんじゅ」サイトの新試験研究炉

- 概念設計:2020年度~2022年度(実質2年半程度)
 - JAEA:全体統括、炉心設計、地盤調査
 - 京大:利用ニーズ、利用設備の設計、利用(運用)の在り方 「新型研究炉開発・利用センター」を設置
 - 福井大:産業利用、地元との連携(企業、県、市など)

JAEA、京大、福井大に加え、学術界、産業界、地元関係機関等からなるコンソーシアムを構築 し、幅広い意見を反映しながら概念設計及び運営の在り方検討を実施 コンソーシアム委員会の開催状況については、JAEAホームページに掲載

- 詳細設計:2023年度~(2022年度中に詳細設計を開始)
 - 設置許可申請に必要な仕様等を決定→設置許可申請(JAEA)
 - JAEAが詳細設計の実施主体となり、福井大・京大の協力のもと計画を推進 → JAEAと研究契約を締結し、研究経費により所内に新たな研究部門を設置の予定

建設工事、検査など 運転開始 午認可、基礎工事、肥政是ix 地盤改良・基礎工事などを含 ※3設工認を段階的に取得しつつ建設着手 建設後、運転開始に向けた使用前検査を実施 ※2 設置許可取得及び建設のための 設丁認取得に向けた詳細設計 ※1 予備的調査(1年目) 本格調査(2年目、3年目)

その他(丁事等)

• 研究棟改修 · 增築

第一研究棟 (新棟) 第一研究棟(現研究棟) 工事期間2023.6~2024.1 完成

工事期間2022.5~2023.2 完成 🛶 約2カ月遅れ

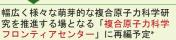


- 実験排水設備改修 工事期間2022.11~2024.1 屋外実験排水管(非放射性)及び実験排水処理設備の改修
- 周辺監視区域フェンス更新 工事期間2022.10~2023.5 守衛所改修

研究体制について

3研究部門+2センター(規程上の組織)

- 原子力基礎工学研究部門
- 粒子線基礎物性研究部門
- 放射線生命科学研究部門
- ポストKURの研究テーマに対応 した研究部門に再編予定*
- ・安全原子カシステム研究センター
- ・粒子線腫瘍学研究センタ



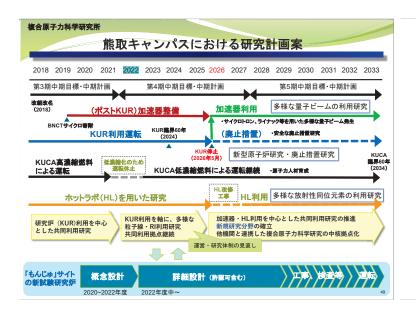
以下は、内部組織として設置した組織

研究ユニット(第1期:2018~2021年度、第2期:2022~2024年度)

- ・ 量子ビーム生体システム解析(代表者:鈴木実)
- ・応用ユニット中性子イメージングユニット (代表者:齊藤泰司)
- ・ 生命分子動態解析ユニット (代表者:杉山正明)

センタ-

- 新型研究炉開発・利用センター (2020年~) ➡ 将来?
- ・量子ビーム生体高分子統合研究センター (2022年~)



今後に向けて(課題等)

- 共同利用研究の柱であるKURの休止時期決定 ポストKURの研究所の在り方
 - →ロードマップへの対応、「原子炉による実験およびこれに関連する研究」の見直し
- 施設の廃止・高経年化 多くの施設が所設立当時に設置(約60年前)
- ・ 規制の強化/変化 施設の維持管理負担の増加

研究開発・人材育成のため の基盤強化が必要

- 使用済燃料(SF)及び放射性廃棄物処分の方法
 - 米国引取り期限(使用期限2026年5月)後のSFの処分方法が未定

 - 研究施設等廃棄物の処分事業の予定が未確定
 - → 廃炉に伴う廃棄物処分の負担
- 人員・予算など
 - 大学運営費・人員が減少(←管理等の業務量は増加)
 - → 大学ファンドへの期待
- 原子力政策の変化

大学に対する人材育成、基盤研究への期待

3. 量子ビーム生体高分子統合研究 センターについて

(京大複合研) 杉山 正明



KURNS将来計画短期研究会 (2023/2/6)

生化学・生物物理学・計算機科学の協奏による

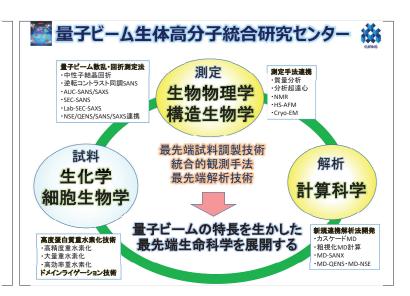
生命分子動態解析ユニット

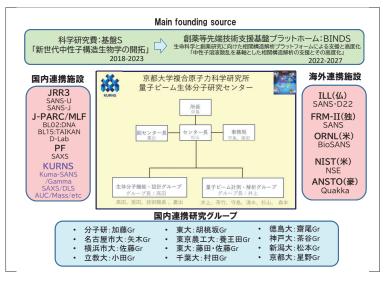
量子ビーム生体高分子統合研究センター について

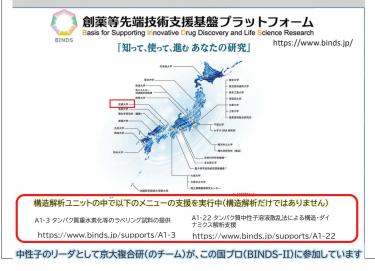
世界初の試料を調製し 世界初の観測手法を駆使し 世界初の解析技術を開発し 誰もみることのできなかった生命現象を解明する

京都大学複合原子力科学研究所

杉山正明









量子ビーム生体高分子統合研究センター

所内グループ間研究会(年2回)

- QPID kick off meeting 2022/6/3 13:00-15:00 by Zoom

- ZOZZOGO Program あいさつ&QPIDの狙い(杉山) BINDSの紹介(杉山) 研究・技術紹介
 - 死・技術紹介Ligationの現状(奥田)散乱測定の現状(井上)研究紹介(茶竹)研究紹介(高田)
- 自由討論 (時間があれば)
- - 10/24 13:00-15:00 by Zoom
- 2022/ Program けじめに (杉山)
- はじかご (多山) 非安報告 1. SANS-Uの現状 (寺島) 2. Liquitonプロジェクト (奥田) 3. 高田グループから現状報告など 連携体制について 1. 連携研究 2. 前研究株での連携 3. 共同利用物品 その他

- 招待講演会(不定期) Dr. Heloisa Nunes Bordallo
 University of Copenhagen
- 2022/6/2 10:00-11:30
- 図書棟会議室

- 図書帳で議至 The remarkable science made possibleby using neutrons scattering Dr. Jia-Jhen Kang Jülich Centre for Neutron Science 2022/10/18 10:00-11:30
- 図書棟会議室
- 図音体伝統主 Conformational investigation on bottlebrush polymers in semi-dilute solutions

所内連携研究体制 1. 共同研究 ・ Crystallin ・ 納豆キナーゼ

- 機器連携 SAXS 分析超遠心
- カが起逐心 キャピラリー電気泳動 質量分析(LC/MALDI/ESI)

3. 共同機器設置(新研究棟) • 超純水

試料調製技術・KIDS project Kumator Deuteration Station project, タンパク質重水素化技術開発 【技術的課題】 高精度重水素化 高効率重水素化 大量重水素化 コスト削減(重水回収) 【社会的課題】 試料支援 BINDSを通して現在3件の支援を開始 技術公開 HP・論文で公開 技術展開 J-PARC/MLF(Bio部門)に技術支援

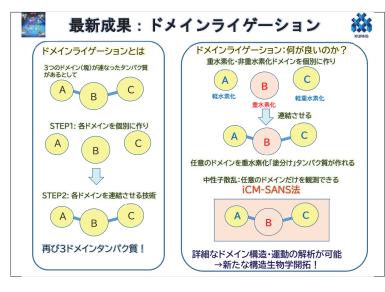
国際連携

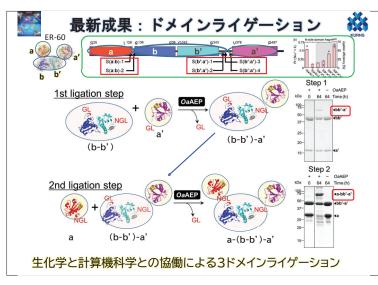
国際ネットワークDUNETに参加

https://deuteration.net/

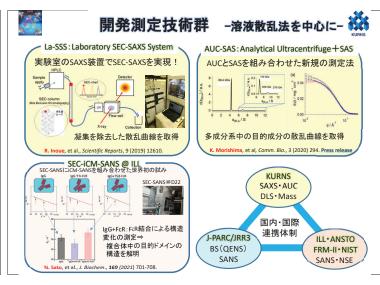


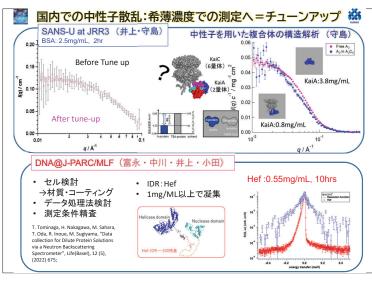
滋 「中性子散乱測定を目指した重水素化技 術の統合プロトコル」作成・公表 重水素化率検定 重水素化タンパク質 DANS 質量分析 Scattering 重水回収システム 重水比率検定 中性子散乱測定 プロトコル:下記URLよりどなたでもDLしてご利用できます。 http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSBNG/activity.html uda, et al., "Deuteration Aiming for Neutron Scattering", B. Physicobio., 8 (2021) 13-15. doi.org/10.2142/biophysico.b v18.003.













散乱データの解析

1. 全原子分子動力学シミュレーション

- 生体高分子の動きを原子単位で解析
- ニードルングラン マー・マー・スティー 高分解能で、反応サイト内の原子の動きから大きなスケールのドメイン運動までカバー
- 特に**中性子準弾性散乱 (QENS, NSE)** の解析に有効 計算コスト (時間・お金) がかかる

開発推進:QST河野Gr +慶応共口Gr

2. 粗視化分子動力学シミュレーション

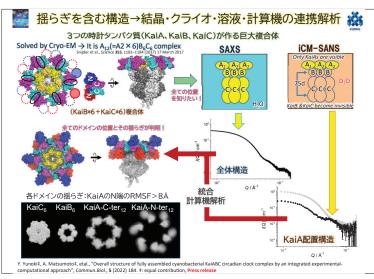
- ・生体高分子の動きをアミノ酸単位(粗視化)で解析 ・高効率で取りうる多くの構造のサンプリングが可能
- 特に分解能的に小角散乱 (SAXS・SANS) の解析に有効
 個々の原子の動きは追跡できない

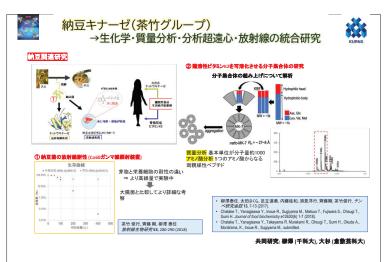
開発推進:京大杉山Gr. (清水主体)

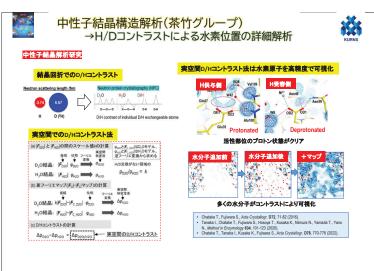
- 全原子MDと粗視化MDの利点を取り込む
- 構造が固い領域や原子レベルの構造解明が不要な領域は粗視化MD 構造の揺らぎが大きい領域や原子レベルの構造解明が必要な領域は
- 両者をカップル

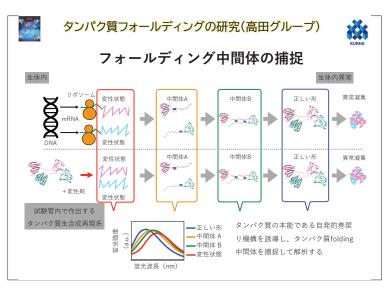
M. Shimizu*, A. Okuda, K. Morishima, R. Inoue, N. Sato, Y. Yunoki, R. Urade, M. Sugiyama*, "Extracting time series matching a small-angle X-ray scattering profile from trajectories of molecular dynamics simulations", Scientific Reports, 12 (2022) 9970

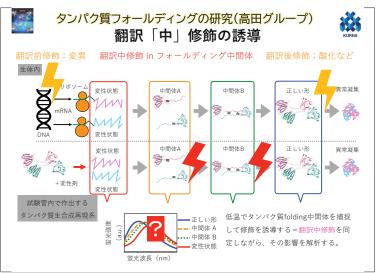


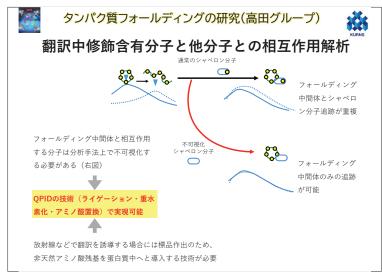


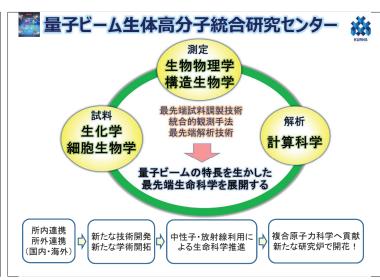














3. 量子ビーム生体高分子統合研究センターについて 質疑応答

三澤: 杉山先生ありがとうございました。それではご質問がありましたら挙手をお願い致します。

中西: 杉山先生の素晴らしいご研究を、色々聞かせていただきました。水素のこと、重水素に置き換えたり、揺らぎが分かったり、非常に新しい発見があり研究はかなり大きく進んだと思うのですが、昨今は、それが夢でもいいのですが、それによって何が分かるかの出口も求められることが多いと思います。それに対しては、それぞれの研究にあるもしれないのですが何か一つくらい、これが分かったので将来薬になるとか、色々な可能性を少し教えて頂ければと思います。

杉山: 中西先生ありがとうございます。おっしゃる通りのところがあり、常々我々も考え ています。正直ベースで言いますと、ホラ吹きと怒られてしまうところもあるので すが、思っているのは、例えば今回の Covid-19 のことも含めて溶液中でまず、結晶 ではつくけれど、溶液ではつかないという話があります。 その作用機序がどうなっ ているかを知りたいところが一つ、そのための手法を今回しっかりとお話しなくて 大変申し訳ないです。結晶構造やクライオは氷ですが、そうではなく動き回ってい る溶液、セル、細胞、生体に近い中で作用機序がどうなっているかを知りたいのが 一つ狙いで、より創薬等々の実際の現場に近い状態をやれるのが一つの狙いです。 もう一つは、あまり言うと怒られてしまうので、そういうところも踏まえた上でお 聞きくださればと思いますが、例えば、今コンピューターシミュレーションが発達 し、阻害剤のヒット確率が色々計算されていますけれど、100%結晶構造を基に計算 をやってここであったらハマりますと言われても、実際はハマらない場合があるわ けです。その理由は何かと考えた時、我々は先程お話しましたドメインが動いてい るから、結晶構造ではなく動いている構造だと、例えば入口に入れなくなるなどの 動きがあり、阻害剤がキーポイントにアクセスできないのでは、と考えています。 ではどうやって動いているかを知りたいこと、逆にミューテーションを入れるとか、 何かで阻害剤をコントロールできれば、さらに有効な薬などが開発できるのではと 考えています。ここは私の夢に近いところで、将来のアウトプットになるかもと考 えているところでございます。

中西: どうもありがとうございました。

三澤: 鬼柳先生お願い致します。

鬼柳: 科研費 S の時代から比べると随分また発展したなと思って、今日聞いておりました。 国際連携という話がありましたけど、研究者レベルでの連携ですか、それとも機関 同士での連携ですか、というのが一つと、それから DNA の実験データ、あれだけ 大きな分子でもエラスティック的なものがあり、全体的にディフュージブに動いて いるように見えたのですが、そういう解釈でよろしいでしょうか。

杉山: 分かりました。最初のご質問は、現状では機関同士には出来ていませんが、装置同 士での連携です。例えばある装置で先程 SEC-SANS の話をさせていただきました が、そういうのを共同で開発しましょうと話して、我々からもメンバーを送り込み、 勉強しつつ一緒にやりましょう、というのが現状になっています。DNA の頂いたご 質問を理解出来て居るか分からないですが、DNA なのでインコヒーレントのスキ ャッタリングで水素を見ていますけど、Oのスケールから言って単なるサイトとい うよりは、ドメイン全体がどれほど激しく動いていますか、という話になっていま す。ドメインの一つがどれだけ激しく動いているかを見るのがバックスキャッター ですけど、先生のご質問はコーポラティブの連携運動の方ですかということかもし れないですが、残念ながらバックスキャッターでは見えないです。今回はお話させ て頂かなかったですが、スピンエコーもやっています。中西先生にも先程お話しま したけど、時定数がどこまでかも出来ればやりたいと思っています。1 つのドメイ ンがどんな風に動いているかがバックスキャッター、それの共同運動がどういう動 きをするかがスピンエコー、それが全体的に合っていますか、というのを見るのが SANS。全部マッチングを取っていきます。さらにNMRやクライオ電顕の構造と合 わせていくのが、これからの仕事かと思っている次第です

鬼柳:ありがとうございました。

4.「もんじゅ」サイトに設置する 新試験研究炉について

(JAEA) 峯尾 英章



*来へげんき To the Future / JAEA

令和4年度京都大学複合原子力科学研究所

「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉について

令和5年2月6日

日本原子力研究開発機構 **峯尾英章**

(JAEA) 内容

- 1. 意義・経緯
- 2. スケジュール
- 3. 検討体制
- 4. 令和3年度までの取組状況
- ○概念設計
- ○地質調査
- ○運営の在り方検討
- ○地元関係機関との連携構築に向けた検討
- 5. 令和4年度の取組
- ○概念設計
- 6. 「もんじゅ」サイト試験研究炉の今後の進め方

((JAEA)) 「もんじゅ」サイトでの新たな試験研究炉の設置について

試験研究炉の役割

カーボンニュートラル実現へ向けた取組が世界 規模で加速

- ・ エネルギー安全保障の確保に対する期待
- ・ 安全確保を大前提とした原子力の安定的な平和利用の 推進
- 今後増加する原子力施設の廃止措置への着実な対応
- 試験研究炉を利用した高度な原子力人材の継 続的な確保・育成強化が重要

中性子利用技術は学術のみならず、 産業利用でも発展

中性子利用需要に対応した研究基盤 (試験研究炉)の維持・整備が重要

経緯·背景

"「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針"

平成28年12月の原子力関係閣僚会議にお いて、「もんじゅ」を廃止措置し、**「もんじゅ」サイ** トに将来、新たな試験研究炉を設置すること

我が国の試験研究炉に係る状況

- 施設の高経年化や新規制基準への対応等に より多くが廃止の方針となっており、東日本大 震災後に再開した試験研究炉は6施設のみる
- 我が国の研究開発・人材育成を支える基盤 がぜい弱化している状況。

((JAEA)) もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉に関する経緯

【H28.12】新たな試験研究炉の設置

○ 原子力関係閣僚会議において、「もんじゅ」を廃止措置に移行する旨の政府方針を決定した際、将来的に「もん」 じゅ」サイトを活用し、新たな試験研究炉を設置することとされた。

【R2.5】炉型候補の選定

【R2.9】中出力炉への絞り込みと概念設計等の公募

- **文部科学省は、**地元福井県・敦賀市の意見聴取、文科省の審議会での議論を経て、中性子ビーム利用を主目的と した試験研究炉に絞り込んだ。

 - 2020年度より概念設計に着手し、2022年度中に詳細設計を開始

【R2.11】概念設計等の開始

○ 原子力機構、京都大学及び福井大学が文部科学省委託事業の中核的機関として採択され、概念設計及び運営 **の在り方検討を開始**した。

【R4.12.23】実施主体の選定

○ 文部科学省は、「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の詳細設計段階以降の実施主体に、京都大学及 び福井大学と連携して進めるものとして、原子力機構を選定した。

【R5.1.26】説明会の開催

○「もんじゅサイト試験研究炉の企画競争方式による調達に向けた説明会」を開催。

3

5

人材育成・中性子利用の基盤として試験研究炉の重要度が増加

- 「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の在り方について、文科省審議会等を通じて検討を行った 結果、①我が国の研究開発・人材育成を支える西日本における中核的拠点としての機能の実現、 ②地元振興への貢献の観点から、中性子ピーム利用を主目的とした中出力炉(10MW未満)に絞込み。
- 令和2年度より概念設計及び運営の在り方検討を開始(令和4年度中に詳細設計を開始予定)

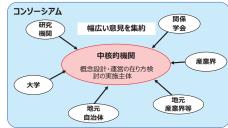
((JAEA)) もんじゅサイト試験研究炉のスケジュール

R4年度中に、地元の理解を得つつ、基本設計を含む詳細設計 I を開始すべく取組む



((JAEA)) もんじゅサイト試験研究炉検討の体制

中核的機関(原子力機構、京都大学、福井大学)に加えて、本試験研究炉の利用ニーズを有する学術界、産業界、 地元関係機関等からなるコンソーシアムを構築し、幅広い意見を反映しながら概念設計及び運営の在り方検討を実施



※中核的機関の役割と体制

- 原子力機構: 「試験研究炉の設計・設置・運転」 ・ 試験研究炉の設計やもんじゅサイトの知見を活かし、主に制 ・ 体制: 理事長直下の組織として新試験研究炉準備室を設置 主に概念設計と地質調査を担当

京都大学:「幅広い利用ニーズ集約とサービス提供」 利用ニーズの整理、及びKURの利用運営経験を活かした利用運営の在り方検討を担当

- 体制: KURの利用運転の実績を活かす、複合原子力科学研究所全所的な対応体制として、 京大新型研究炉開発・利用センター(KNRP)を設置

福井大学:「地元の大学、研究機関、企業等との連携構築」

地元関係機関との連携構築に向けた制度の検討を担当

((JAEA)) 幅広いご意見をいただく体制で概念設計や検討を実施

1. コンソーシアム委員会の構成

【地元機関】

地元自治体:福井県、敦賀市

地元産業界等:福井県商工会議所連合会、敦賀商工会議所、日華化学、東洋紡

<u>地元研究機関</u>:若狭湾エネルギー研究センター

【関係学会、大学】: 日本原子力学会、日本中性子科学会、近畿大学

【産業界】: 日本原子力産業協会、日本アイソトープ協会、放射線利用振興協会、

中性子産業利用推進協議会

【中核的機関】JAEA、京大、福井大

2. コンソーシアム委員会の成果

【開催実績】

R3年3月以降、これまで4回、いずれも福井大学附属国際原子力工学研究所にてプレスオープンで開催 【開催成果】

概念設計や運営の在り方の検討の状況を報告し、試験研究炉設置の基本的な方向性をはじめとする幅 広いご意見をいただいている。

- ・産業利用の推進、地元振興への貢献、研究拠点としての地域活性化への貢献、利用の際の使い勝手 やアクセス
- ・中性子を利用する人材及びそれを指導する人材の育成
- ・ 既設の施設を用いるトライアルユース等の支援 等

6

(JAEA) 令和3年度までの取組状況

1. 概念設計

- 炉心の検討: 設計目標を設定し、 炉心の構成を検討。 設計目標を達成できる 炉心構成に絞り込み
- 設備・レイアウトの検討:幅広いコミュニティからのニーズを整理し、実験装置群 の構成案を検討。冷中性子源の性能予備検討、ビーム実験装置整備案、照 射実験装置案、付帯施設・実験支援環境、ホットラボラトリ等の検討を実施

2. 地質調査

- ○ボーリング調査(R2(100m)、R3(200m))を実施、設置に支障となる脆弱 な地層構造の有無を確認
- ○地表地質踏査、ボーリングコア分析を実施

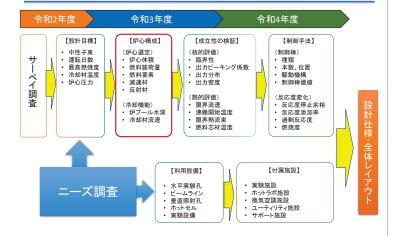
3. 運営の在り方検討

○運営体制の検討課題の抽出を実施

4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討

- 伴走型連携: 産業利用技術としての中性子利用経験、地元企業・機関との交 流として、中性子利用の情報提供や利用可能性について対話を実施
- 新試験研究炉への**地元企業等の関与を促進する仕組み**を検討
- セミナー等による福井大学における学内教育、**県との連携での講習会**開催

(JAEA) 1. 概念設計 炉心の検討



((JAEA)) 1. 概念設計 炉心の検討 設計目標の設定(R3年度までの取組)

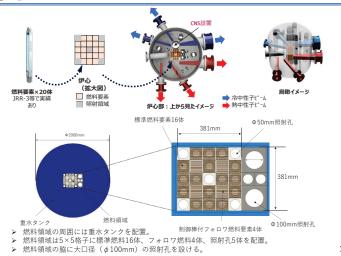
基本方針を定め具体的な設計目標を設定し、これを満足しうる炉心を計算により検討



項目	現状の目標	現状の達成見通し	備考 (JRR-3参考値)
・熱中性子束	10 ¹⁴ (n/cm²/s) 以上	達成見込み	1.0~2.0×10 ¹⁴ n/cm ² /s
• 運転持続日数	400日以上	達成見込み	約370日
・ 燃焼度(燃料要素1体)	80 GWd/t以上	達成見込み	約100 GWd/t
• 燃料表面最高温度	60℃以下(通常運転時)	達成見込み	58℃ (平均)

(JAEA

1. 概念設計:概念設計で明らかにした炉心部のイメージ



8

((JAEA)) 1. 概念設計 設備・レイアウトの検討(R3年度までの取組) (1)

京大複合原子力科学研究所で新型研究炉開発・利用センター (KNRR)を設置

○幅広いコミュニティ(日本中性子科学会、日本放射化学会、日本原子力 学会材料部会等)・専門家との意見交換・収集からニーズを整理し、魅力 的な実験装置群の構成案を検討

世界に誇れるビーム利用には冷中性子源が重要

○冷中性子(※)を得る冷減速材として水素、重水素の性能を評価:重水 素が水素よりも優れた性能を有することを確認

※冷中性子: Iঝギーが5meV未満 熱中性子より波長が長く高分子や生体分子の 構造解析に適する

ビーム実験装置整備: コミュニティとの議論に基づき汎用性や利用 頻度が高い装置で最優先で設置すべきものを特定

○小角散乱装置(冷)、イメージング(熱、冷)、回折計(熱)、反射率計(冷)

(冷):主に冷中性子利用、(熱):主に熱中性子利用

○上記に加えて今後ますます多様化する学術研究や産業利用のため整備す べき装置も検討

11



((JAEA)) 1. 概念設計 設備・レイアウトの検討(R3年度までの取組) (2)

照射実験装置整備:

○**放射化分析**: 非破壊で(貴重な試料の高確度な)微量元素分析。加え て次を検討!

▶ RI製造: 99Mo/99mTcや177Lu等の医療用RI製造(開発含む)

▶材料照射:精密温度制御等自由度の高い中性子照射場

▶ 陽電子ビーム:原子空孔(欠陥)探索等(ビーム利用との相乗効果)

▶ 生物照射: BNCT基礎研究を中心に生物的照射効果基礎研究

付帯施設・実験支援環境:利用者にとって利便性が高く効率的な 実験が可能になる設備や環境を検討

○資料準備室、機器分析、情報処理環境、自動操作·遠隔操作

ホットラボラトリ(HL)等の検討:試験研究炉に隣接し照射後試 料の扱いを可能とするHLの検討

○放射化分析・トレーサ製造、治療・診断用途のRI製造、材料照射、生物 照射

12

((JAEA)) 2. 地質調査(R3年度までの取組) (1)

地質調査の目的:試験研究炉の設置を直ちに阻害するような候補地の地下構造 の有無の確認

- 岩盤は、どれだけ掘れば出てくるか?
- 岩の種類や硬さはどうか?
- 大規模な破砕帯やすべり面となるような脆弱部は存在していないか?

- ○ボーリング調査(R2年度:100m、R3年度:200m、検層:ボーリング孔を利用した測定) ○地表地質踏査(候補地周辺)
- ○コア分析

令和2,3年度調査の結果等

- ○**約24m以深で花崗岩**。ボーリングのコア観察、BTV(ボアホールTV)の結果から、深度200m の範囲には小規模な破砕帯が分布するものの、大規模な破砕帯やすべり面となるような脆 弱部は確認されていない(但し、確認された破砕帯の特性については確認中)
- ○コア観察の結果から、花崗岩風化部の厚さは数m程度の可能性
- ○岩級区分やPS検層の結果から、候補地の岩盤は、構造物の支持地盤となり得る性能 (硬さ) を有している可能性が高い
- ○地質調査のデータ分析や調査計画に関して、**外部の専門家による技術的レビュー**を開始

抽出した令和4年度以降の課題

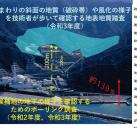
- 土石流に関するリスク評価が必要
- ○高角度の破砕帯、割れ目の調査(斜め方向のボーリング実施等)
- 花崗岩風化部厚さの空間分布の把握(物理探査実施等)

13

(JAEA)) 2. 地質調査(R3年度までの取組) (2)



令和2年度 ボーリング調査地点



確認された破砕帯は6万万 **螺蛇された破砕中は6月別** (うちなみに、R2年度ポーリング孔は8カ所) いずれの破砕帯も規模は小さく、R2年度に確認された破砕帯との 連続性は確認されなかった 著しい粘土化を伴う破砕帯は確認されなかった R3年に採取され。

((JAEA)) 3. 運営の在り方検討(R3年度までの取組)

施設利用に関するユーザーの声を収集するとともに、下記の検討 範囲で調査分析。以下を今後検討すべき項目として抽出した。

- ▶ 効率的運営を実現し全体統括調整機能を有するコンソーシアム体制の検討
- ▶中性子利用に関するユーザーへの全国的サポートを行う大学等の連合体の検討
- ▶中性子利用人材育成組織の検討
- ○利用設備(設備保守·技術運用)
 - > 余裕ある実験環境、DX対応(自動化、遠隔化)の検討
- ○利用制度(課題審査、共同利用)
 - ▶ユーザーフレンドリーな利用の運営環境、安全管理優先との両立
- ○ユーザーサービス(施設体制)
 - ▶滞在環境、交通、市街中心部オフサイト拠点の検討
- ○新試験研究炉の**運用開始に向けた準備活動を行う体制**
 - ▶ 運用開始までの既存施設を用いた実験装置開発や人材育成
 - ▶中性子利用経験が少ない地元企業が積極的に利用できるような準備活動 (トライアルユース) 等

15

(JAEA) 4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討(R3年度までの取組) (1)

(1) 伴走型連携(※)

1)産業利用技術の検討

- ▶ 中性子ビーム利用とRI製造について専門家意見を聴取
- ▶ 産業利用経験と地元企業意見の聴取(JRR-3利用、中性子回折利用、放射光利用)、試験 研究炉利用人材の育成
- ▶ 産業利用参画連携のしくみ:茨城県の中性子産業利用取組の聴取

2) 地元企業・機関との交流

- ▶ 福井県の地元企業と金属・機械加工、樹脂加工、化成品、セラミックス材料製造・加工といった 多岐にわたる技術分野において、中性子利用の情報提供や利用可能性について対話を実施
 - 企業からの意見:大学と連携による技術支援・サポート体制の充実、柔軟な利用運営、地元企 業の利用促進と広範囲での活用策、トライアルユース制度の充実等

3) 地元企業・機関の参画と連携のしくみ検討

- ▶ 専門知識を持つ大学教員が企業と連携して課題に取り組む「伴走型連携」を、トライアルユース **検討を通じて進めていく**ところ
- ▶ 連携構築のための取組:試験研究炉の計画と利用内容の周知、利用の講習会・技術支援、 トライアルユース、他施設との連携、県内外の産業・経済界との連携、複数企業による勉強会
 - ※: 単なる実験装置の提供だけでなく、実験装置を用いた計測・評価等に関する具体的な要望を踏まえ た、実験内容の提案や解析まで含め支援する連携



14

((JAEA)) 4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討(R3年度までの取組) (2)

(2) 学内教育等

1) もんじゅサイトの試験研究炉セミナーの開催

▶講演: 医療用RI製造、BNCT、反射率法による 薄膜評価等、セミナー終了後アンケートを実施 参加者:37名(第1回), 29名(第2回) 大学生、大学院生の他、医学系大学教員、医学系企業

薬学系大学教員も参加





2) 福井県との共催講習会・セミナー

- ightharpoonup 日本原子力学会若手連絡会 $\underline{\mathbf{Y}}$ oung $\underline{\mathbf{G}}$ eneration $\underline{\mathbf{N}}$ etwork 若手勉強会: 福井県からの参加も含め、メーカー、大学・研究機関等の若手を中心に約50名が参加
- ▶ 講演:中性子散利、RI製造

第 23 回 YGN 若手勉強会

医療・生命科学に貢献する原子炉の役割。 -新たな試験研究炉がもたらす産業イノベーションの可能性--

日本原子力学会 若手連絡会 共催: 国立大学法人 福井大学 福井県 公益財団法人 原子力安全研究協会





(3) 福井県による嶺南Eコースト計画に基づく取組との連携

福井県の試験研究炉に関する取組状況を共有し、コンソーシアム委員会で紹介



令和4年度の取組について

1. 概念設計

- 炉心の検討:**制御要素の検討**等。RI製造を含めた試験研究炉の活用方策を検討
- ○設備・レイアウトの検討
 - ▶ 炉室、ガイドホール、ビームラインや大型実験装置のレイアウト
 - ▶ ホットラボラトリ等使用施設の仕様の検討

2. 地質調査等

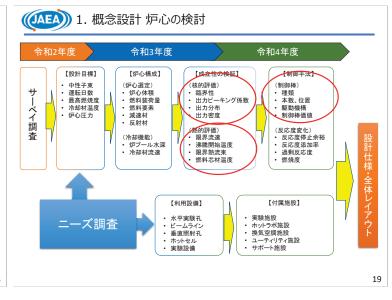
- ○地質調査及び土石流に関するリスク評価(土石流シミュレーション等)等
 - ▶ 地すべりや土石流についての調査や工学的対策、その技術的成立性や所要コスト等の評価に関する予 備的検討をもんじゅサイト内の複数の地点について実施中

3. 運営の在り方検討

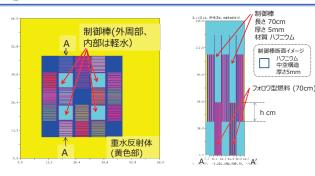
○学術利用と産業利用の双方を調和させた開放的な運営体制の検討

4. 地元関係機関との連携構築に向けた検討

- 伴走型連携による潜在的な中性子利用需要の掘り起こし、将来のユーザーの育成の ため、セミナー等を開催(学内セミナー、講習会等)。トライアルユースを促進する制度や関 心のある企業を支援する窓口となる主体の整備に関する検討
- 人材育成拠点とするための**大学の役割や中性子利用の専門教員の配置**等の検討。



((JAEA)) 1. 概念設計:制御要素および配置検討



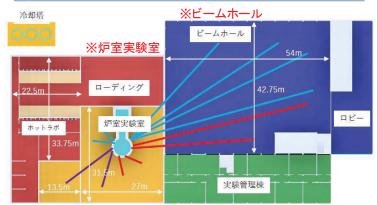
【臨界計算結果(213日運転時点の組成使用)】

 $(keff = 1.0050 \pm 0.0004)$

・制御棒価値(0cmと70cmのkeffの差からの簡易計算) : 7.492 ±0.006 %△k/k

・フォロワ型制御棒4本を炉心内に設置した場合の制御棒価値を評価し、炉停止に必要 な反応度価値が得られることを確認した。

1. 概念設計:たたき台として検討している実験装置スペース



国際公共財として世界に誇れる利用施設を目指すには、CNSはもち ろん、広いビームホール、使いやすい炉室実験室の実現が必須。関 連分析装置や拡張性も重要。

((JAEA)) 「もんじゅ」サイト試験研究炉の今後の進め方

- 原子力研究開発·基盤·人材作業部会(令和4年12月13日開 催)において、「**令和5年度以降は国内唯一の原子力の総合的研** 究機関であるJAEAが実施主体となり、引き続き京都大学、福井 大学の協力を得つつ、学術界、産業界、地元関係機関等から幅 広い意見を集約しつつ計画を進めていくことが重要」とされた。これ を受けて、令和4年12月23日に、原子力機構は、文部科学省より、 「もんじゅ」サイトの新試験研究炉計画の詳細設計段階以降におけ る実施主体に選定。
- 「もんじゅ」サイトの新試験研究炉計画の推進にあたっては、安全確 保を最優先に、引き続き京都大学、福井大学の協力を得て、学術 界、産業界、地元関係機関等から幅広い意見を集約しつつ、立地 地域並びに国民の皆さまのご理解を得ながら着実に進めていく。
- 今年度中に地元の理解を得ながら、詳細設計を開始するべく取組を 進める。

20

((JAEA)) 参考) 原子炉の主な仕様(1/3)

項 目		仕 様		
型式		軽水減速軽水冷却重水反射体付スイミングプール型		
熱出力		10MW		
最大熱中性	子束	$1.5 \times 10^{14} \text{n/cm}^2/\text{sec}$		
炉心	形状	直方体		
	格子数	25		
	寸法	約 40cm×40cm×高さ約 75cm (燃料有効長)		
燃料	種類	U ₃ Si ₂ -AI分散型		
	濃縮度	約20%		
	要素形状	板状(ETR型)		
	被覆材	アルミニウム合金		
	燃料枚数	標準燃料:19枚/要素 フォロワ燃料:16枚/要素		
	炉心装荷数	20体		
	可燃性吸収体	あり (カドミウムワイヤ)		

22

(JAEA)) 参考)原子炉の主な什様(2/3)

項 目		仕 様			
減速材		軽水			
冷却材		軽水			
冷却方式		強制循環下向流			
流量		600~2,000 m³/h			
反射体		重水			
原子炉主要	構造材	アルミニウム			
制御棒	吸収体	ホウ素 または ハフニウム			
	型式	フォロワ型 または 平板型			
	本数	フォロワ型:4本 平板型:6本			
生体遮へい体		プール内軽水、重コンクリート、普通コンクリート			

((JAEA)) 参考) 原子炉の主な仕様(3/3)

項目	仕 様
	水平実験孔
	水力ラビット管
	気送管
炉心まわり実験設備	垂直照射孔
	多目的照射孔
	予備照射孔
	冷中性子源(液体水素減速材)
	小角散乱装置
ビームライン試験装置	イメージング装置
(最優先4機器)	回折装置
	反射率装置

24

((JAEA)) 参考) 代表的な実験装置と産業利用への寄与



SANS:https://kmayumi.issp.u-tokyo.ac.jp/equipment/tokai/

((JAEA))参考) 新試験研究炉設計のポイント

【優先して考慮すべきポイント】

- 〇熱出力10MW未満
 - ⇒原子炉圧力容器を使用しない ✓ オープンプール型 ✓ 崩壊熱が非常に小さい⇒原子炉停止後の強制冷却を必要としない
- ○燃料の健全性を維持するための設計基準
 - / 冷却材を沸騰させない
 - ✓ 炉心の冠水維持

【その他考慮すべきポイント】

- ✓ 高線量放射性廃棄物の低減⇒炉心構造物の主要材料はアルミニウム合金
- ✓ 良質な熱中性子の生成
- ⇒燃料領域の周囲に重水を配置 ✓ 良質な冷中性子の生成 ⇒Cold Neutron Sourceを設置
- ✓ 中性子ビーム利用
- ⇒ビームの取出し、ビームホールの設置 ⇒照射設備、照射後処理施設の設置
- ✓ 中性子照射利用 ✓ 利便性の確保
- ⇒アクセス性、実験スペース、核セキュリティ等を
- 考慮した合理的な配置

27

25

((JAEA)) 参考) 原子炉の設計に関する留意事項(1/2)

- 1. もんじゅサイト内の設置場所に係る制限を考慮する。
- 2. スイミングプール型の試験研究炉を参考にする他、炉の特 殊性を考慮する。
- 3. 発電炉に比べて熱出力及び冷却水温度・圧力が著しく小 さいこと、炉の構造、使用目的等の差異を考慮する。
- 4. 安全審査において安全性を十分に立証しうる解析及び対 策を講ずる。
- 5. 中性子ビーム実験、照射試験、RI製造の実施を主目的と し、諸実験が十分効果的に実施し得るとともに、実験設備 と炉の運転保守並びに安全性を合理的、体系的に計画し、 プラント全体としての機能向上を考慮する。

((JAEA)) 参考)原子炉の設計に関する留意事項(2/2)

- 6. 高い稼働率が得られるよう、燃料交換、保守、点検に対する省 力化及び供用期間中の検査、点検の短縮化を考慮する。
- 7. 既存技術の応用、高価な構成要素の低減、汎用品の活用並 びに設備・機器のユニット化、パッケージ化等の採用を積極的に 考慮し、必要に応じて新規性や先進性の高い技術も採用し、 経済性に優れた設計とする。また、供用期間中のランニングコス ト、メンテナンスコスト、ユーティリティコストの低減も考慮する。
- 8. 工事の簡略化、工期の短縮化を考慮する。
- 9. 設計に必要な諸試験は、安全審査及び今後の設計に反映し うるものとする。
- 10.建家の配置及び建家内の区画、間取りは、利用者のアクセス 性及び安全性の確保とともに核セキュリティの確保を考慮する。
- 11.実験利用施設の配置計画及び今後の拡張性を考慮する。

JAEA) 参考) コンソーシアム委員会及び委員会における主な意見

- 地元機関:福井県、敦賀市、福井県商工会議所連合会、敦賀商工会議所
- 地元企業(日華化学、東洋紡)、地元研究機関(若狭湾エネルギー研究センター)
- アカデミア: 日本原子力学会、日本中性子科学会、近畿大学 産業界: 日本原子力産業協会、日本アイソトーブ協会、放射線利用振興協会、中性子産業利用推進協議会

中核的機関の専門家

開催実績

- 第1回 令和3年3月23日 附属国際原子力工学研究所(敦賀市内) + おうイン○ 第2回 令和3年10月27日 Mは原国際原子力工学研究所(敦賀市内) + オンライン
- 第2回 令和3年10月22日 附属国際原子力工学研究所 (敦賀市内) + オンライ:
 第3回 令和4年3月24日 附属国際原子力工学研究所 (敦賀市内) + オンライ:
 第3回 令和4年3月24日 附属国際原子力工学研究所 (敦賀市内) + オンライ:

第1回 コンソーシアム委員会における主な意見 【地元自治体】

・人材育成のみならず産業利用の推進を。地元企業に優先的に 利用させる仕組み等を検討。 ・KURが2026年で運転停止であり、<u>早期の運転開始</u>が重要。

- ・嶺南Eコースト構想の1つであり、県としても組織的に支援。 ・経済面でどの程度地元に貢献するか教えてほしい。企業の研究
- ・KURの利用実態など今後の検討の参考として詳細を知る必要が

- ・中性子利用は地元企業にとって未知であり、伴走型支援が重要。 ・人材育成面では、地元企業の若手社員の育成にも役立てたい。
- ・敦賀市の地元企業は下請が多く、企業育成が重要。 アクセスが悪い点について、市街地にラボをおいてリモート利用等
- ・原子力への若い世代の人気が下降しており、魅力の発信が必要。
- 【地元産業界】

【アカデミア(関係学会)】

- ・関係学会でも期待が大きく、利用の検討やセミナー開催により 関心を高めたい。 ・新規の研究炉新設は久々であり、使い勝手良く長く使われる
- 炉にすることが重要。
- ・地域振興では、<u>地元と共生するモデルケースに</u>することが重要。
 ・シンボリックな成果をどう創出するかが重要。

【原子力・放射線利用関係の産業界】

- \cdot 先端分野だけでは支持は広がらず、医療・産業など幅広い利 用が重要。
- ・利用スケジュール策定など運用の透明性確保、企業のタイム リーな利用ができる仕組みが重要。 ・医療の裾野は広く、<u>医療での地域振興の検討</u>も必要では無
- いか。
- ・輸入に頼る医療用RI製造への期待が高く、それに適した設計
- ・<u>合理的な規制の在り方</u>を本格的に検討すべき。 30

((JAEA)) 参考) コンソーシアム委員会における主な意見

第2回 コンソーシアム委員会における主な意見

【地元自治体】

- 産業利用のために多くの研究者が訪れていただくことが地域振 **国として重要な要素である**
- RI製造に対する期待が高いが、価格的にメリットがある仕組み を十分検討することが重要
- ・研究炉によって付加価値の高い産業を如何に作っていくかが振 興には非常に重要。どんな産業が研究炉に合うか考えてほしい
- 工夫して可能な限りビームライン、ホットラボ、研究管理棟等に 面積が割けるように検討してほしい
 国の原子力政策での研究炉設置に関する位置付けを示した
- 上で、研究炉による人材育成、経済の活性化、放射性医薬 品取扱い安全性に関する正確な情報発信等をお願いしたい

【地元産業界】

- 研究炉の利用は、ビームの活用とRI製造の照射がポイント
- 研究炉を利用する場合の技術的レベルは高くないので、福井 大学と連携して利用していけるようにしてほしい
- 経済界としては、研究炉を活用する以上、地域を盛り上げたいとの強い思いがある。
- ボーリング調査では、他で破砕帯で揉めている状況があるので、 しっかりと調査して欲しい。





【アカデミア(関係学会)】

- 中核的機関の各WGの連携(特にWG1とWG2)は重要
- 冷中性子源としての役割が重要でJRR-3で検討されたノウハウを活かして行うと、その上回る性能をもつ研究炉が期待できる
- 産業利用の推進のため、中性子利用のベースとなる人材育成、 専門家を育成できる環境を整備して伴走型支援を可能にしてほ しい。冷中性子の利用の人材育成も必要
- ・研究庁は原子力学会として起影師の一つで<u>必要性、魅力がある</u>ものとして企画していたきまい。一方、学会では、研究庁の<u>認知</u>度はまた第2ないため、二人を間き、知恵を出してもらう取組も必要。協力は惜しまないので是非行って欲しい。
- 大学教育の中で研究炉の計画が進んでいることを教材、講義の 中で広めることが、これから関わってくる人達に必要 【原子力・放射線利用関係の産業界】

- 物質構造解析には、中性子回析に加えてX線回析が使われている。X線や放射光の利用を薦めることも考えて欲しい
- ・ 計画段階から廃止措置あるいはリプレースを考慮して進めるべき
- RI精製等を考えた場合、建物・付属施設も必要。
- 沢山のビーム実験孔を挿入できるように考えてほしい



31

((JAEA)) 参考) コンソーシアム委員会における主な意見

第3回 コンソーシアム委員会における主な意見

【地元自治体】

- ・現在だけでなく、新知見を取り入れてニーズの方向性の見定めや<u>、将来の環境変化に応じて設備設計を見直すことも含めて検討</u>を。
- ・多くの研究者、学生、企業が集まり賑わいのある研究拠点となり、地域活性化の要になっていくことを期待。
- ・建設、運転、利用に際して<u>地元企業が参加できるような技術力の支援・サポートが</u>必要。 ・色々な機会を作って<u>情報発信等をして地元の関心・理解を深めて</u>いべことが必要。
- ・既存の試験研究炉を用いた<u>トライアルユースなどの支援の作り方</u>について検討す。 ・実験装置やその他の施設を十分に整備できるように<u>山を削る等して可能な限り敷地を確保</u>を。 ・<u>RI製造に関して、産業的・経済的な広がりの種</u>があると認識。

・トライアルユースや人材育成を含めて上手く繋ぎ、中性子ビーム利用に馴染むことが必要。

- 【アカデミア(関係学会)】
 ・学会、産業界、教育に活用されるべきであり、日本の原子カ分野にとって<u>大変重要な位置付けの試験研究炉と認識</u>。

 - ・子会、産業界、教育に活用されるべきであり、日本の原子力分野にとって大<u>多軍要な位面付けの試験研究がた認識</u>。 ・<u>どの様なゴール・参を目指すがの具体的なイン・ジを</u>共有る必要。 ・日本にとって将来続けて使っていける良い研究所になるための<u>イメージを具体化するタスクを手掛けること</u>が必要。 ・原子力学会の中に、研究専門委員会の形で部会機断的に研究炉のニーズ、提塞について議論する場を設けることを提案。 ・<u>MC間の連携を進め、炉心設計の最適化</u>により、装置によってはJRR-3を凌ぐ性能を期待できるよう、引き続き検討の連携を。 ・実験設備・ヘのアウセス性、リモート実験の可能性、DX化によるデータ共有・公開、放射化した材料の散乱実験、実験のロボット化等 の最先端技術リリユーラコとによる最先端の研究施設を目指して、更に検討を。 ・特定先端大型研究施設への認定の可能性も含めてた検討を。

【原子力・放射線利用関係の産業界】

- ・<u>プレーテッドアプローチによる合理的な設計、番音</u>が必要。 ・KUR、JRR-3に比べて、<u>中性子利用コーザーのメリット(照射孔へのアクセス性、ユーザーエリアの広さ等)</u>の整理が必要。 ・KUR・JRR-3では困難な距射済材料の実験が可能になると、商用原子炉の長寿命化の研究や、廃炉時の材料分析に役立ち原子力発電産業の発展に繋がるメリットがあると認識。
- 何でもできるとのことではなく、特長を出して、できることのメリットをアピールすることが必要。

4.「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉について 質疑応答

三澤: 峯尾様ありがとうございました。今のご発表につきまして、ご質問ございましたら、 挙手のボタンを押していただきたいと思います。

畑澤: どうもありがとうございます。今、新しい試験研究炉の準備状況をお聞きして、大変安心しております。 私共アイソトープ協会で医療用の RI の供給が大変国際的に厳しい状況になっておりまして、国内で製造する方向で JAEA に大変ご尽力頂いて進めている所です。JRR-3 で製造の計画が具体的に進んでいますが、原子炉の場合はどうしても運転休止期間があるということで、一台の体制ではなかなか無理があること、それから複数の原子炉からの供給が必要であることが分かっています。福井の新しい試験研究炉に RI供給という意味で JRR-3と2つのサイトで休止期間をオーバーラップしない形で供給して頂ければ大変よろしいかなと思っているところですが、休止期間は試験研究炉にもあるのでしょうか。 それが第一点、第二点は RIの供給という意味で JRR-3の方と協調して供給計画を組める体制ができるものでしょうか。

率尾: ありがとうございます。運転持続日数は一年もあるような形ですが、当然原子炉ですから必ず定期事業者検査は行いますから、その期間は止まると思います。運転計画等をまだ検討しきれていませんので、その期間がどの位の長さになるかは申し上げられないですが、止まる期間があることは確かでございます。RI製造は確かにおっしゃるように複数の炉でおこなって、切れ目なく供給ができることが、検出、あるいは治療の2つのRIの使い方があると思いますが、その双方に重要であることは我々も理解しております。課題の一つはRIを作るというか照射までは出来るけれども、その先ですね。分離、生成して薬までに高めるそのプロセスまでを含めた検討が必要になってくるかと考えています。そういった枠組みは私共だけでは中々進みませんで、例えば国でRI製造についてこのような方針でしかももんじゅサイトを使っていくような、生成までを入れたあるいは薬を作るところまでのプランでいかないと具体的にならないかと考えているところでございます。いずれにしてもRI製造のニーズが非常に強いことは我々も認識しているところでございます。

三澤: ありがとうございます。それでは鬼柳先生お願い致します。

鬼柳: 詳しいお話ありがとうございます。一つお願いになるかもしれないのですが、この中性子源として見た時に、冷中性子が非常に大事で、特に重水素の冷中性子源が性能を決める上で非常に重要だと思うので、是非実現して頂きたいと考えています。

その実現性の目途を教えていただきたいのと、もう一つ人材育成は非常に重要なのですが、どうしてもこれから人が少なくなり、精鋭少数で運営していくと思うのですが、その時に IT 化とかを進めていかなければならないと思うのですが、そういうことは考えておられますか。

峯尾: はい、冷中性子源につきましては、確か京大のほうでも重水素を使った場合と、通常の水素を使った場合についての性能を比較した検討をこの試験研究炉の検討の中で行い、重水素がかなり有効だとも認識しております。実際にどの程度の大きなタンクを用意しなければいけないかなど、炉心の脇に設けるということですから結構チャレンジングだなと思いますが、せっかく作るのでチャレンジしたいと思います。それから運用に係る人員が少ないところで、先程も申し上げたように DX 等の併用は考えていくべきところですが、安全確保の観点でどの程度 IT が使えるかは、規制との兼ね合いのあるところは難しいかなと感じております。そのあたりは中島所長や三澤副所長にお伺いしたほうがいいのかもしれませんけど、人力でやらなければいけないところがあると思います。そこは周りを見ながら。世界の試験研究炉はここ10年でも新しいものが出来ていると思いますので、そういった安全の考え方も参考にしたいと考えています。

鬼柳: どうもありがとうございました。

5. 関係機関の状況/近畿大学 原子力研究所

(近大) 山西 弘城



関係機関の状況





近畿大学原子力研究所

山西弘城

UTR-KINKI



- □ UTR: University Teaching and Research Reactor
- □ 定格熱出力: 1.0 W
- □ 日本初の民間原子炉
- □ 日本初の大学原子炉





教育:61年

研修会:35年

近畿大学原子炉の沿革

東京国際見本市に米国が教育用原子炉を出展し、東京晴海埠頭で18日間運転。 近畿大学初代総長・世耕弘一が教育用原子 炉の購入を決断。

近畿大学に原子力研究所を設置 大学構内に原子炉を設置(大学・民間第一号

パーティン。 11月11日に臨界に達し、熱出力0.1Wで運転 開始。

新規制基準に対応するため運転停止。

熱出力を1Wにパワーアップ。

試験研究炉の新規制基準施行。

2014年 (平成26年) 全ての審査・検査を完了し、新規制基準の下 で運転する最初の試験研究炉として研究・教 育利用を再開。



昭和天皇・皇后両陛下による原子炉ご視察 の様子(1959年5月12日)



近畿大学原子力研究所の沿革

1961年:大学構内に原子炉を設置。大学・民間第一号原子炉。

11月11日に臨界に達し、熱出力0.1Wで運転開始。

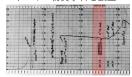
理工学部に原子炉工学科を設立。 1974年: 熱出力を1Wにパワーアップ。

1981年:全国大学研究者による原子炉等利用共同研究開始 共同利用:41年

1987年:原子炉実験研修会開始

2002年:原子炉工学科廃止 再編成で電気電子工学科エネルギー工学コース新設

2022年:エネルギー物質学科を設立



近畿大学原子炉 (UTR-KINKI) 初臨界 (1961年11月11日)

近畿大学原子炉の特長



- > 二分割炉心 大型試料の照射が可能。分割炉心間の中性子分布が平坦でド ライ領域のため、試料挿入が容易。速中性子成分が比較的大きく生物実験 に適している。
- ▶制御棒(4本) 中性子吸収材としてカドミウムを使用。

近畿大学原子炉の特長



▶最大中性子束 (中央ストリンガー孔内中央部)

熱中性子:1.2 x 10^7 [cm $^{-2}$ s $^{-1}$] 速中性子: 1.3 x 10^6 [cm $^{-2}$ s $^{-1}$]

補償型電離箱

- ▶教育的配慮 黒鉛反射体中の様々な場所に照射試料や検出器が挿入できるような設計になっており、基礎的な中性子計測や原子炉物理実験がしやすい。
- ▶わかりやすい構造 原子炉として最小限の要素で構成。
 - → 燃料、制御棒、減速材、反射体、遮蔽体、放射線検出器

近畿大学原子炉の概要

- UTR-KINKI (University Teaching and Research reactor):大学での教育訓練を目的として設計・製作された米国製の原子炉。
- 1961年11月11日初臨界。日本初の民間原子炉・大学原子炉。
- 熱出力1W:きわめて安全性が高く、炉心への接近や燃料操作が容易。学生 自ら運転操作をすることができる。
- 現在わが国の大学が保有する原子炉は、近畿大学のUTR-KINKI、京都大学の KUCA、KURの3基のみ(KUCAは現在運転停止中。KURは2026年5月に運転終

国内に残された数少ない実習の場であり、貴重な原子力教育資源として原子 力人材育成に活用されている。











近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

> 利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

> 遠隔実習システム 中等教育など

近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

> 利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

> 遠隔実習システム 中等教育など

研究利用と利用共同研究

▶ 学内利用

使用登録者の所属:原子力研究所、理工学部(生命科学科・電気電子工学科)、薬学部、薬学総合研究所

毎年 約30課題 (RI施設利用を含む)

「近畿大学原子炉等利用共同研究計画」

▶ 原子炉を利用した照射実験を推進するため、1981年(昭和 56年)1月に開始。大阪大学が窓口となって運用。 **令和3年度で終了**

令和4年度からは、近畿大学主催で実施

- 対象:国公私立大学・国立研究機関・独立行政法人に所属する教員・研究者およびこれに準ずる者。
- 研究課題:物理系・化学系・生物系に分かれ、近畿大学原子 炉等利用共同研究運営委員会の審査で採択課題を決定(毎年 12月頃募集)。

「近畿大学原子炉等共同利用研究計画」 採択課題数の推移



「近畿大学原子炉等共同利用研究計画」 令和4年度の採択課題

中性子源落下による未臨界体系の反応度測定(IAFA) 原子炉

中性子照射局が子材料の高電水電丸特性に関する研究(臺田上高等) 核セキュリティのための検出器開巻・試験(IAEA) 板状BeOを利用した中性子線・γ線混在場でのγ線測定に関する研究(東京都立大学) BNCT大強度中性子ビーム計測用リアルタイム中性子モニターの特性評価(筋衝大学校) 中性子用線量計測材料の特性評価(静岡大学) Ⅲ族窒化物半導体を用いた中性子イメージングセンサーの開発(静岡大学) 中性子センサのための半導体ダイヤモンド合成と中性子検出特性評価(静岡大学)

医療用リニアックの中性子場を模擬した水晶体サイズレベルの中性子束密度測定とその3次元マッピング(徳島大学)

BNCTのための3次元ゲル線量計の中性子線に対する応答特性に関する研究(広島国際大学) ホウ素添加液体シンチレータによるホウ素線量分布の直接観測に関する研究(九州大学) 新しい光ファイバ型中性子検出器の開発に関する研究(九州大学) 中性子によるDNA損傷とその修復の分子機構(東京工業大学)

生物影響

原子炉中性子線によって生じるDNA損傷種の解明(岡山大学)

近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

遠隔実習システム 中等教育など

日本の大学原子炉

◆近畿大 UTR-KINKI (1 W) (東大阪市) RUR (100 kW) 1961-2001 ◆立教大 (横須賀市) ◆武蔵工業大 MITRR (100 kW) 1963-1989 (川崎市) KUR (5 MW) 1964-(能取冊 ◆東京大 弥生 (2 kW) 1971-2011 (東海村) KUCA (100 W) ◆京都大 1974-(熊取町)

現在、原子炉を保有する大学は、近畿大学と京都大学 の二大学のみである。

日本の原子力教育を担っている

近畿大学原子炉の教育利用

学生実習(高等教育)

- 原子炉の運転を含む、原子炉物理、放射線計測に関する実習。
- ・ 近畿大学の他、文部科学省・国際原子カ人材イニ シアティブ事業により国内14大学の学生の実習に 利用されている(実習参加学生数:約200名/年)。
- 高専生を対象とした実習にも利用されている(1回/ 年開催)。



中学・高校の理科教員、中学生・高校生を対象とした原子炉実験研修会を開催。

(国際・一般

- ・ IAEAとの協力による外国人技術者・研究者の研修。
- ・ 原子力関連企業の社員研修などにも利用。







近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

遠隔実習システム 中等教育など

原子力人材育成

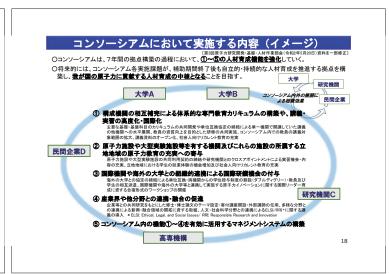
近大炉(UTR-KINKI)を用いた原子炉実習 主な参加大学;

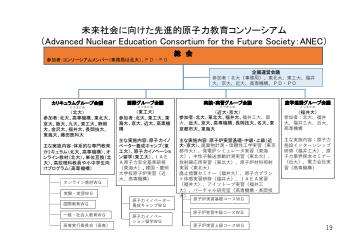
> 京大、阪大、名大、九大、福井大、 福井工大、東海大、東京都市大

文部科学省国際原子力人材育成イニシアティブ事業 に採択され、最高のS評価をいただいた。

平成25年度〜平成27年度の3年間 平成28年度〜平成30年度の3年間 平成31年度〜令和3年度の3年間

令和2年度スタートの7年間の事業 全国6拠点のうちの1つに選ばれている。









令和4年度 国際原子力人材育成イニシアティブ事業 シンポジウム(成果報告会)

未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム (ANEC)

実験・実習グループ会議

近畿大学原子力研究所 若林源一郎

国際原子力人材育成イニシアティブ事業: 令和5年1月「成果報告会」資料から抜粋・一部追加

実験・実習グループ会議

検討内容

- ・コンソーシアム内での実験・実習のプログラムの整理。 日程等の調整。
- 単位互換や事前事後勉強用のオンライン教材の整備。
- 募集窓口の一本化や学生の選抜方法についての検討。
- その他必要事項。

とりまとめ:近畿大・京都大

北海道大·東北大·福井大·近畿大·京都大·高専機構·長 岡技科大·名古屋大·東京都市大·東海大·JAEA

実験・実習プログラムの実施状況

(拠点)近畿大・京都大

- 原子炉実習
 - > 基礎コース(近畿大)

 - 6-12月に9回開催。参加人数:9大学から126名
 - ▶ 中級コース・臨界実験(京都大・近畿大)
 - 開催日:6/13-15、6/15-17
 - 参加人数:5大学から15名
 - ▶ 中級コース・未臨界実験(京都大・近畿大)
 - 開催日:7/11-13、7/20-22
 - 参加人数:4大学から16名
 - ▶ 上級コース(京都大・名古屋大・近畿大)
 - 開催日:7/5-8参加人数:4大学から10名

eactor Experim Introduction to Nuclear Reactor Experime Springer, Singapore (2023). (Open Access)

原子炉実験入門

> 体系的な実習教科書の整備

• UTR-KINKIを用いた実習の英文教科書を出版(2022年11月)。



実験・実習プログラムの実施状況

原子炉実省「基礎コース」(近畿大)									
	大学	実施日	参加者数						
1	名古屋大学	6/21-22	18						
2	福井大学	7/20-22	16						
3	大阪大学	8/26	5						
4	東京大学	9/5	3						
5	福井工業大学	9/7-9	21						
6	東京都市大学	9/15-16	23						
7	九州大学	9/20-21	15						
8	東京都立大学	9/27-28	12						
9	東海大学	11/30-12/2	13						





- 今年度はすべて対面で実施。
- 新たに東京都市大学と福井工業大学が実習を単位化。
- 昨年度出版した実習教科書「原子炉実験入門」(京都大学学術出版会)を活用。

実施状況

◆原子炉基礎実習

- 近畿大原子炉施設をフル活用した実習 により、原子炉物理や放射線計測の基本
- ・ 原子炉運転や保安教育を通じて法令に基づく運転管理・放射線管理を理解。
- 実物の原子炉を自ら運転した感動、講義 で学んだ知識の現場における実践。
- 基礎知識の必要性・重要性を実感。

保安教育 法令及び保安規定、近畿大学原子炉 の構造と特性、原子炉施設の見学 ▽IP-ME-171に、原丁炉配成の見字 原子炉連転管理 起動前点検、起動操作、出力 変更操作、定格出力運転、停止操作。点検 原子炉特性測定 臨界近接、制御棒校正、原子 炉内中性子東分布測定 放射線利用 中性子ラジオグラフィ、放射化と半減期測定

減州測定 <mark>放射線管理</mark> 中性子・γ線の空間線量率測定、漏 洩γ線エネルギースペクトル測定





原子炉実習「上級コース」(京都大・名古屋大・近畿大)

- 原子炉物理と放射線計測を専門とする大学院生を 対象として近大炉とKUCAを用いた専門的な実習 を整備
- 原子炉物理及び中性子計測に関する専門的な実習 プログラムを開発
- 参加学生を対象として、Zoomにより事前講義・ 演習を実施
- 近大炉において3泊4日の実習を実施(7/5-7/8)
- 参加学生: 4大学 10名
- ・UTR-KINKIの特色を活かした専門的な実験(ソースジャーク法、炉雑音測定)を実施
- 学生主体の原子炉運転実習として、必要な運転操作を学生自身が実施
- 近大炉において、実習手順・内容等がKUCAと異なることを確認。KUCAを想定した事前講義内容をR4年度以降修正する。 内容がやや盛沢山であったため、参加学生のレベルや重点的 に教育したい内容を踏まえ、継続的に改善する。









近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

> 利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

> 遠隔実習システム 中等教育など

原子炉遠隔実習システムのイメージとねらい



- 近畿大学での実習後、所属大学に帰ってからフォローアップ実習 を継続。一過性のイベント開催・短期集中による消化不良の解消。 施設立入制限の問題を緩和し、近畿大学での実習に参加できな
- かった学生にも実習参加の機会を提供。
- 旅費が確保できない場合でも、最低限の実習参加を保証すること により、単位化、正規課目化が容易に。

実施状況

◆ 原子炉遠隔実習システムを活用したオンライン実習

- ・ 近畿大学で実習に参加した学生へのフォローアップ実習ではなく、実習全体を
- 学生は自宅から各自のPCやタブレット端末で実習に参加
- チエはロモルのヨロッパドメフレット端末へに乗回に参加。 いただけではなく、複数の移動中継がメラ(タブレット端末)を用意。実況映像を交え、原子炉見学や講義も含めた実習指導をライブ配信。
- TV会議システムにZoomを使用。参加者は自宅からZoon チャット機能などZoomのコミュニケーション機能を有効活用。



VC:ヴァーチャルコンソール

製作した原子炉仮想 コンソールの画面

実施状況









近畿大学原子炉の利用

研究利用 学内利用

> 利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

遠隔実習システム 中等教育など

教育利用(中等教育)

▶ 理科教員対象の原子炉実験研修会(1987~)

目的 実際に原子炉を運転し、放射線に関する基礎的な実験を体験することによって、原子炉・放射線についての科学的な知識と判断力を習得し、実際の教育現場で役立てること。

ている

典型的な1泊2日コースの内容

講義 . 保安教育 放射線の基礎知識 原子炉の基礎知識 放射線の健康影響

実験

♥ 原子炉見学 原子炉運転体験 中性子ラジオグラフィ 環境放射線測定 放射線の性質(遮蔽・距離の逆二乗則)

令和4年度実績

7月下旬~8月初旬 2日コース×2回 1日コース×2回 参加者;16名/回

ている。

◆平成24年度から中学理科に「放射

◆放射線教育の実践例の紹介も行っ

線」が取り入れられたことを受けて、近年は放射線教育に力を入れ

34

教育利用(中等教育ほか)

次世代を担う人材を

中学生・高校生を対象とした原子 炉実験研修会を開催 (2022年11月)



国際貢献・企業研修等



IAEA研究炉 (2019年7月)

- IAEAからの依頼により新規原子力導入国の技 術者・研究者を対象とした研修を実施
- 国内原子力関連企業の社員研修に活用
- 福井県主催の原子炉体験実習(2022年12月)
- ・ 年間1000人程度の見学者を受け入れ (学校・報道・一般)

低濃縮化・高濃縮ウラン燃料の返還 (1)

- 近大原子炉は米国から購入した高濃縮ウラン(HEU)燃料 を使用。
- 2008年に初めて米国エネルギー省から接触があり、HEU燃 料の返還を要請された。
- HEU燃料返還輸送に要する巨額の経費を私立大学として負 担できないこと、わが国の原子力教育にとって大きな損失となることから、原子炉の低濃縮化を含めて米国と協議を継続。



2022年9月27日、日米間 原子炉の低濃縮化とHEU燃料の 米国への返還に合意。

- 核セキュリティサミットを経て 他施設のHEU燃料返還が進み 近大の燃料が国内最後のHEU燃 料となったことから、2021年に 文部科学省から協力要請。
- 2022年9月、日米当局間でSOI (意思表明)を締結。「原子炉 を低濃縮化した後にHEU燃料を 返還すること」を確認。

35

近畿大学原子炉の利用

研究利用 所内利用

利用共同研究 受託研究

教育利用 原子力人材育成(ANEC)

遠隔実習システム 中等教育など 近畿大学原子炉の利用

研究利用 所内利用

利用共同研究(前年度12月公募)

受託研究(応相談)

教育利用 原子力人材育成(ANEC)(ANECへの参画を)

遠隔実習システム

中等教育など 原子炉見学(随時受付)

研修会(応相談)

研修会(中高生、教員)

1 Wのフレンドリーな原子炉を役立てて 教育・研究、理解促進を盛り立てていきましょう

38





37

ご清聴ありがとうございました

関係機関の状況

近畿大学原子力研究所 山西弘城

5. 関係機関の状況/近畿大学 原子力研究所 質疑応答

五十嵐: ありがとうございました。非常に興味深いお話で、私自身も遠隔実習は受けて みたいほど非常に興味深かったと感じております。会場からのご質問などを受け 付けたいと思います。

中島: 山西先生ありがとうございました。いくつか質問があるのですが、まず一つは今度 低濃縮化すれば燃料については長く使えるかと思いますが、施設全体としては今動 いている炉では一番古いということで、あちこち手を入れなければならないかと思 います。その対応や今後の見通しがあれば教えて頂きたいと思います。

山西: ありがとうございます。おっしゃるように、なかなか古い原子炉ではありますので、うまく使っていかないといけないです。特に建物もその当時に建てられたもので、建物の検査を定期的にしながら耐震が必要かどうか、補強をすべきかなど、その辺を相談しながら対応していきたいです。あとは常温常圧の原子炉ですので傷みが少ないですが、色々な検出器の健全性ですとかも適宜見ていきたいと思います。ありがとうございます。

中島: ありがとうございます。特にお金がかかるところについて、大学の中ではしっかり と手当して頂いているのでしょうか。

山西: 大学にはだいぶ重要視して頂いています。制御棒の駆動装置に関して、数年前に調整棒のモーターが悪くなり更新しました。保全の水平展開として、すべての制御棒駆動装置の更新について中長期予算計画に入れていただいています。

中島: どうもありがとうございました。

五十嵐:ありがとうございました。続きましてJAEAの深澤様よろしくお願いいたします。

深澤: 反射体としてカーボン、グラファイトを使っていますけど、カーボン 14 の生成量は かなり多いのでしょうか。

山西: その辺は調べたことが無いです。カーボン14は計っていないです。

深澤: イギリスのガス炉でカーボン 14 が結構生成しているという報告が出ていまして、 試験炉ですからそれほどは生成していないと思いますけど。 山西: 出力が1Wですし、熱がかかることがありませんので、そこから脱離するのは考えにくいかとは思います。

深澤: 分かりました。ありがとうございます。

五十嵐: 他にいかがでしょうか。篠原先生お願い致します

篠原: どうもありがとうございました。私自身は近大炉を使ったことがないので、参考に聞きたいのですが、令和3年度から阪大の共同利用を終了して、近大自身でされていると伺ったのですが、体制というか内容的にはあまり変わらない形で行われているのでしょうか。

山西: はい。内容としては変わっておりません。(2021 年度までは)近畿大学原子炉の共同利用は大阪大学工学研究科を窓口として研究課題を受け入れてきました。そこでは(1981 年から)文部科学省予算で原子炉利用料と利用に伴う旅費が手当されてきました。(2021 年 3 月 3 日に)大阪大学工学研究科長より「工学研究科として、近畿大学原子炉の利用共同研究の予算を(令和 4 年度分から)ゼロとすることを決定した」との意向が伝えられ、終了することになりました。近畿大学としては、原子炉を用いた教育研究は、近畿大学のためだけに閉じるのではなく、日本全国に開かれるべきものと考えていて、これまでと同様に利用されています。

篠原: 昨年その話を聞いたので大変ですね。ありがとうございます。

五十嵐: そろそろお時間となりました。山西先生ありがとうございました。

6. 関係機関の状況/東京大学 原子力専攻

(東大) 阿部 弘亨

東京大学弥生炉の状況について

東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻 阿部弘亨 概況

東京大学の高速中性子源炉「弥生」においては、1971 年の初臨界の後、全国他大学・研究機関の共同利用施設として、高速中性子を用いた多くの特徴ある研究と教育を行って来た。

新たな研究教育活動を展開するに際し、既存の研究設備の運用見直しの一環として、2009 年に運転の永久停止と廃止を決定し、現在は廃止措置段階にある。

2018年8月に高濃縮ウランの米国返還が決定され、2021年末に返還された。現在は、ウラン切粉の処分並びに炉本体の除染作業を実施中である。

.

米国返還について

- ・試験研究炉のウラン燃料の返還
 - JAEAによるFCA燃料の返還
- ・米国への返還は、核物質防護対策の厳しい高セキュリティ輸送であり、大学がこうした大掛かりな輸送を行うことは珍しい。
- また、今回の荷役港で高セキュリティ輸送を行うことは初めてのこととなった。
- ・東大は、この分野で多くの実績のある原子力機構の支援をいただくことで米国返還輸送を進めることとなった。

燃料切断工程

- ・A、B、C 3 体のディスク形状の弥生炉高濃縮 金属ウラン燃料+SUS被覆材
- 当初は、JAEAへ譲渡し国内処理の計画
- JAEA側の条件により、SUS 製被覆材の剥離 及び重量制限による小片化の必要
- ワイア放電加工機による水中での切断を選定
- ワイヤの材質選定等に困難あり
 - ・ 当初は真鍮 →切り粉多く銅不純物低減のため×
 - ・最終的にWとした →作業速度低
 - ・ 米国返還決定後、作業加速のため真鍮を再採用



ワイヤ放電加工機

4

3

米国返還までの経緯

- ・弥生炉の燃料が非常に低い燃焼度であることから、米国では未照射ウラン相当としてサバンナリバーの施設で希釈処分することし、日本側に提案
- ・米国提案を踏まえ日本側はB型輸送容器として輸送することとした
- 容器の制限から燃料の切断は依然求められ、東大では切断作業を継続
- スラッジを含む汚染した水は蒸留
- ・発生したスラッジについては、米国の保管基準を満足できないことから、国内処分することとし、JAEAへの輸送を実施予定である







蒸留装置 5

米国輸送

- TSP(Transport Security Plan): セキュリティ輸送計画の策定
- ・輸送時の核物質防護対策の特徴:
 - ✓施設と異なり防護対象が移動するため、セキュリティ事案が発生する場所、 シナリオ、事象進展等が多岐にわたり、評価は非常に複雑
 - ✓事業所外運搬となることから、治安機関を含む関係機関との連携が重要また、SafetyとSecurityのインターフェースに対する考慮も必要
- 電気事業者が核燃料輸送で用いる照射済核燃料輸送船 (英国) を利用
- 一般港からの搬出となったことによる多数のステークホルダー規制庁、文科省、国土交通省、海上保安庁、警察、JAEA、、、
- ・輸送当日はトラブルなく無事に任務を果たすことが出来た
- ・2022 年5 月の日米首脳共同声明にて言及 →文部科学省局長表彰

6

訓練から実行まで

- 机上試験、実地訓練、要素訓練など多数の訓練
- ・知見を共有し要領書等に落とし込む作業
- ・全ての関係者が参加し東大出発から港到着までの陸上輸送訓練を実施
- 積載隊、輸送隊、警備隊により輸送。走行を乱さないための工夫やリ スク排除に関する知見を取得
- 侵入者を模擬した核物質防護システム性能訓練
- 警察、警備会社、運送会社等、各機関との通報連絡体制の構築
- 最後に、総合リハーサル訓練により、輸送の品質管理システム上の観 点からチェック、輸送全工程における輸送物の位置情報の共有化方法 や非常事態発生時の対応方針の確認

廃止措置の今後

- 東大弥生炉の廃止措置は、3 段階の工程で計画
- ・原子炉本体の解体を要せず、放射化は限定的であり、廃棄物発生 量が少なく、廃棄物の搬出先を設置変更承認書で定めた特徴
- 廃止措置計画第一段階では、
 - ・ 高濃縮ウランの譲渡、搬出
 - ・高濃縮ウラン切粉は原子力機構への譲渡の予定
 - ・原子炉の運転に供した劣化ウラン燃料については、核燃料物質の使用施設 に管理替え
- ・ 第二および第三段階では、
 - ・燃料切断および回収のために作製した設備機器等の除染、廃棄物化措置
 - 放射性廃棄物とそれ以外の仕分け作業後に外部搬出の計画
 - ・ 放射性廃棄物量の精査および廃棄体化のための評価等に着手した

8

廃止措置後の将来

- 現在の主眼は廃止措置計画の着実な実行にある
- その完了に全組織的に取り組んでいる
- ・ 廃止措置後の将来は未だ描き切れていない段階
- 世界的要請となっている技術的課題への挑戦
 - 医用RI製造、医療応用
 - 小型恒盟発
 - 原子カマネジメント
- 幅広いステークホルダとの連携 大学
 - 国研
 - 政府(規制、推進)
 - 地元、自治体、
 - 電力会社、企業等

- 専門職大学院を活用した技術者育成 (炉主任、核燃主任)
- 廃止措置中の弥生炉の後継機導入によるリアルな教育活動
- ・ 幅広い人材育成機能の実現、研究者育成 シミュレーターとの併用によるリアルな教育

東京大学、他大学も含めた幅広い実習活動 企業研修の積極的導入による人材育成の社会的貢献

マネジメント、核セキュリティ、Security by Design、 炉工学、材料開発、放射線物理学、Front endからBack end、核拡散抵抗性、等を含めたトータルな研究

医療応用も含めた幅広い原子力利用を志向

医学物理士、放射線取扱主任者などの育成 中性子工学と加速器工学の融合による新分野の開拓 ありがとうございました

10

9

6. 関係機関の状況/東京大学 原子力専攻 質疑応答

五十嵐: 阿部先生どうもありがとうございました。色々伺っているとこちら研究所との共 通点が非常に多いなと感じたところです。私共も燃料の返送をようやく終えたとこ ろでございますし、今後3年後にはKURが停止ということで同様のステップが必 要です。共通して取り組んでいける課題が沢山あると感じました。では、出席の方 からご質問、コメント等あればお受けしたいと思います。

深澤: 技術的に教えてください。サバンナリバーで希釈するということですが、劣化ウランで希釈するのでしょうか。

阿部: 高濃縮ウランです。

深澤: 高濃縮ウランを高濃縮ウランで希釈するのですか。

阿部: 238 と混ぜるという意味だと思うのですが、希釈をして再利用すると伺っていますが、詳細は私達も教えて頂けてないです。

深澤: 分かりました。やはり濃縮度を落とすわけですね。

阿部: 詳細は分かりませんがそうだと思います。

深澤: あと日本のスラッジ処理ですが、これも希釈するのですか。

阿部: このスラッジに関しては私達の所では希釈は出来ませんので、JAEA さんに引き取って頂いて、多分一部は JAEA さんの方で何かの実験に再利用して頂けると期待しています。期待できないお答えで申し訳ないですが、どういう使い道かまでは把握してないです。

深澤: ありがとうございました。

中島: 阿部先生 ご説明ありがとうございました。非常に面白いというかご苦労が良く分かりました。我々も似たような経験をして、五十嵐先生からあった通りですが、私共も今後 KUR の廃止ということで、色々弥生のご経験を引き継いでというか情報共有させて頂いて、大学としての廃炉をしっかりできるようにしたいと思いますので、今後共よろしくお願いいたします。一つ質問として、今後の計画の中で弥生の後継

機の導入というような、微妙なニュアンスでしたが原子炉を入れるというお話でしょうか。以前、上坂先生の時には、電子ライナックか何か、パルス中性子源のようなものを入れたいというお話もチラッとお聞きしたのですが、もし今の時点で何か 具体的に考えておられるのであれば教えて頂きたいと思いますがいかがでしょうか。

阿部: まだ海のものとも山のものとも言えないところで恐縮ですが、私達としてはできたら原子炉の後継機を入れさせて頂いて、それを使った専門職大学院教育を充実させていきたいと。一方で RI 製造とか、日本が今抱えている大きな問題も認識しておりますので、そこについても並行して考えていきたいと。具体的には例えば重照射研究設備(HIT)に使えなくなってしまった加速器のスペースがありますのでそこをうまく活用していくとか、色々な形の展開を期待したいと思っているところでございます。是非一緒にさせていただければと思います。

中島: 廃炉だけじゃなくて、研究の面も一緒に協力出来ればと思いますのでよろしくお願いいたします。ありがとうございました。

7. 関係機関の状況/東京工業大学ゼロカーボンエネルギー研究所

(東工大) 加藤 之貴



内容

- <u>-----</u> 1. ゼロカーボンエネルギー研究所
- 2. エネルギービジョン
- 3. 蓄熱とP2H2P
- 4. ケミカルヒートポンプ
- 5. 炭素循環産業プロセス(ACRES)
- 6. Tokyo Tech GXI
- 7. まとめ

でした ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

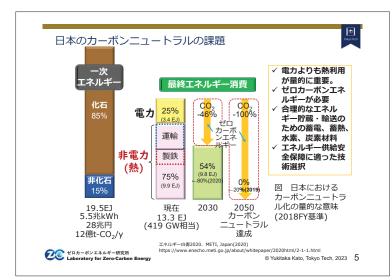
© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 2

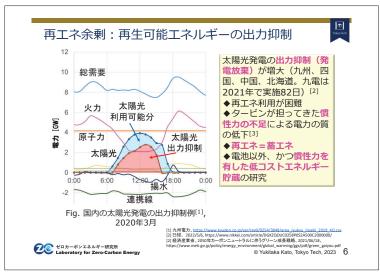


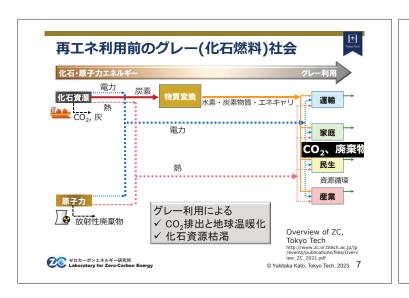


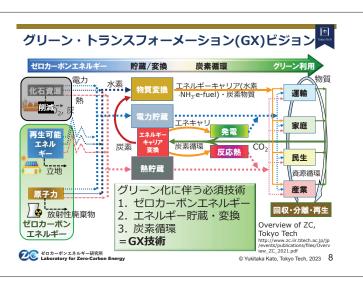
でした。 ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

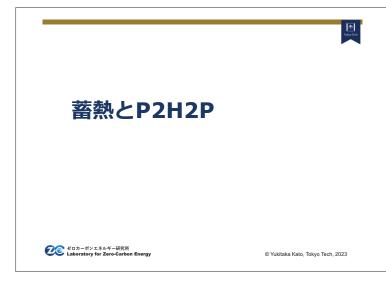
© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023

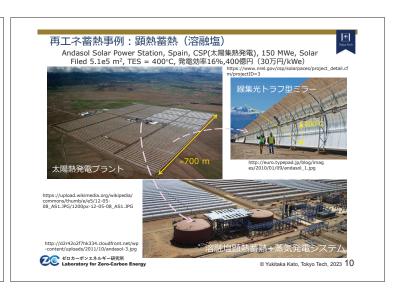
















© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 13

【 ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

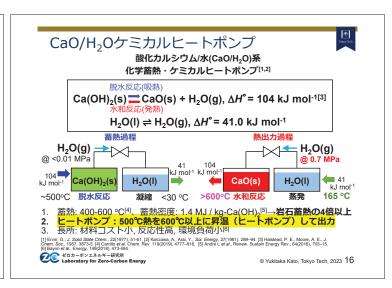


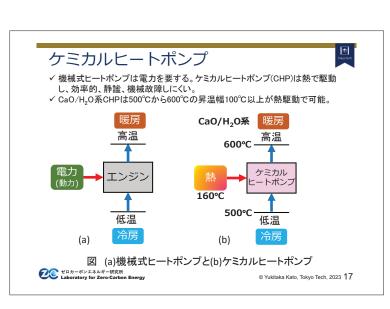
ケミカルヒートポンプ

2億 ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023

・短時間、小規模→電池 (高コスト) 化学蓄熱の熱出力密度 ・長期間、大規模、低コスト→蓄熱 MetalHydrid Battery Combustion [GJ/m³] 10 density Conventional upper limit Output Outp 化学蓄熱(=電 1. 池) 2. 潜熱蓄熱 3. 顕熱蓄熱 800 1000 後考: Kato, Energy Technology Roadmaps of Japan, 2016. (参考: Kato, Energy Technology Roadmaps of Japan, 2016) 正明 加藤、伝統 Page 46-47, v60n1, January, 2021. © Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 15







大規模蓄エネ

大担模車エネに対する蓄エネ技術比較(推定値)

表 大規模再工不に対する畜工不技術比較(推定)										
蓄エネ手法	蓄電池	蓄熱	水素							
蓄電	充電	加熱	水電解							
貯蔵形態	電池	蓄熱材	液体水素							
発電	放電	蒸気タービン	H ₂ タービン							
蓄電効率	◎ (90%)	△ (40%)	△(<40%)							
コスト	Δ	0	Δ							
慣性力	×	0	0							
自己放熱	0	0	×液体水素 ◎ 高圧水素							
貯蔵安全性	\triangle	0	×							
大規模化	0	0	Δ							
装置製造国	×海外輸入	◎国産	◎国産							

蓄熱はコスト、 発電の慣性 力、安全性 で大規模蓄 エネに適して いる。

ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 19

炭素循環産業プロセス (ACRES)

ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023

カーボンニュートラル製鉄, iACRES



外部エネ(再エネ)→CO+水素→CO+H₂製鉄

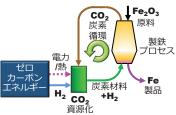


Fig. 炭素循環製鉄iACRESの構成

iACRES: Smart ironmaking based on Active Carbon Recycling Energy System Y. Kato, ISIJ Int'l, 50(1), 181(2010).

ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

> 炭素循環製鉄

- 条相項級数 ゼロカーボンエネルギー (ZCE)を用いたカーボン ニュートラル(CN)炭素材料 の循環供給によるゼロカー
- ボン製鉄 水素製鉄、MIDREX、 MIDREX H₂を超える究極の CN製鉄プロセス スクラップ利用を含む物質 循環も包含可能.

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 21

固体酸化物電気分解セルSOECによるCO2還元



SOEC: solid oxide electrolysis cell



Disk-type SOEC basic structure and operating principle

Kato, Japan Patent 2018-140934(2018)

でした。 ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 22

金属支持固体酸化物電気分解セルの開発状況



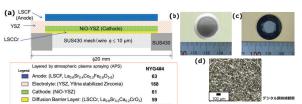
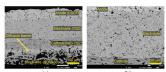


Fig.1 MS-SOEC (a) Cross section, (b) Anode side (c) Cathode side, (d) Mesh at cathode side



ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

Fig. 2 SEM images of crosssection of the NYG4 MS-SOFC after SOEC experiment (a) Whole layers, (b) Cathode/electrolyte/Anode

Numata, Kato, ISIJ Int'I, 59(4), (2019). Kato, Japan Patent 2018-140934(2018)

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 23



Tokyo Tech Green Transformation Initiative

グリーン・トランスフォーメーション・イニシアティブ

Tokyo Tech GXI

文部科学省ミッション実現加速化経費(教育研究組織改革分(組織整備))

【事業目的】
政府方針である2050年カーボンニュートラル(CN)実現のためにはグリーン・トランスフォーメーション(GX, 緑転, CN化に応じた産業及び社会の構造の変化)が必須である。GX社会を先導[Initiation)する研究活動の推進とスタートアップの強化, 産業・社会連携の実質化を進めるために本事業Tokyo Tech GXIを展開する。

でした。 ゼロカーボンエネルギー研究所 Laboratory for Zero-Carbon Energy

© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023 24

GXIオープンイノベーション



- 1. 本学400名のエネルギー 研究関連教員と産学官・ 地域・市人とのGXオー プンイノベーションによ
- プンイノベーションによるCN実現の加速。
 2. 40社のエネルギー関連企業による産学連携委員会を組織。ベンチャー育成。
- 成。 3. GXI実証研究。GXI共研 拠点の展開。GX研究の 拠点化,新たな学術の創 成を目ざす。

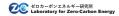


図2 Tokyo Tech GXIの オープンイノベーションネットワーク

いよいよのご発展願っております。 ありがとうございました**。**



http://www.zc.iir.titech.ac.jp/en/



© Yukitaka Kato, Tokyo Tech, 2023





7. 関係機関の状況/東京工業大学ゼロカーボンエネルギー研究所 質疑応答

五十嵐: ありがとうございました。昔だと R&D と言っていた部分だと思いますけど、非常にチャレンジングで私個人としては非常に興味深いと思ったところは、蓄熱の実証プラントがすでに海外では沢山あるということを聞く機会がありませんでしたので、非常に興味深く伺っていたところです。

加藤: 蓄熱研究開発分野は 20 年前は日本がリードしておりましたが、現在は海外で急速 に進んでいます、本会で蓄熱の重要性を認識頂けるのは幸いです。溶融塩蓄熱はスペインなどで太陽熱蓄熱で先行し、現在はアメリカの原子炉 Natrium などに応用されつつあります。日本も競争力を維持してほしいと感じます。

五十嵐: ありがとうございます。出席の方からご質問、コメント等ございましたらお願い いたします。深澤様お願い致します。

深澤: 今度、(※注:東京工業大学が)東京医科歯科大学と一緒になるということで、前のご講演にもあったように医療用、医学分野への応用も期待されるというか、プレッシャーがかかってくるのではと思うのですが、いかがでしょうか。

加藤: プレッシャーとして、事務的な煩雑な作業がありますが、研究開発は是非協力して 進めいと思っています。京都大学様は学内に医学部と原子力両方を有することが大 きな利点です。今回の統合で医科歯科大と本学原子力関係者が協力できることは新 たな利点になりえます。本学が進めてきた加速器研究等を医療応用に今後展開でき れば思います。もちろん既に世界レベルの成果を挙げられている京都大学様から教 えを請いながら何か出来ればと思っています。来年位に新たなご報告できるかもし れません。

深澤: ありがとうございました。

五十嵐: ありがとうございます。他にいかがでしょうか。 中島先生どうぞ。

中島: ありがとうございました。かなり幅広いお話聞かせていただきました。研究所がゼロカーボンということなので、原子力だけに特化しないで広い目で見ることが大事かと思っています。研究所なのであまり教育というところが打ち出しにくいのかと思いましたが、確か冒頭のところで人材育成の教育的な話もあったかと思います。今後の原子力人材も含めて、こういった幅広い視野の人材の育成を、どのような形

でされているかお話を伺えればと思います。

加藤: ゼロカーボンエネルギー研究所に名前が変わりましたが、本研究所は大学院原子核工学コースを引き続き運営します。大学院には 40 人/年が進学しています。学生それぞれ学部のバックグラウンドが異なり、授業は全て英語なのですが、原子炉物理から核燃料サイクルまで皆熱心に学んでくれています。原子力の多目的利用、グリーントランスメーションに関しては新年度から授業エネルギー・グリーン・トランスメーションを新設を予定しています。当コースは学部が無く大学院のみですが、学部向けに原子力基礎授業を行っており 200 名位が履修しています。エネルギー供給安定保障として核燃料サイクルの価値を多くの学生が理解し、評価してくれています。国際教育プログラムを進め欧米と学生交換を進めています。留学生は学生の1~2割で、各研究室で英語での交流が進んでいます。本コースと MIT 原子力科学工学科とで授業料不徴収、単位互換の学生交換を行っており、双方の学生が大変良い成長をしてくれています。原子力に対して学生は前向きであり、彼らが研究者としてより良く成長できるよう適した学修環境を作っていければと考えています。

中島: どうもありがとうございました。非常に精力的に教育にも取り組んでいることがよくわかりました。

加藤: ありがとうございました。

五十嵐: それでは時間になりました。加藤先生ありがとうございました。

8. ポスト KUR に向けた検討/ 新型原子炉・廃止措置研究

(京大複合研) 黒﨑 健

1/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

2/34

R4年度 京都大学複合原子力科学研究所将来計画短期研究会

ポストKURに向けた検討 新型原子炉・廃止措置研究

黒﨑 健

2023年2月6日 オンライン (Zoom)

0. 目次

- 1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 2. 新型原子炉を巡る動向
- 3. 廃止措置を巡る動向
- 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究
- 5. おわりに

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

3/34

1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)

- 1.1. 複合研をとりまく状況
 - 施設の老朽化
 - 安全規制強化への対応
 - KUR運転停止 (2026年5月)
 - ✔ 米国による使用済燃料の引き取り期限
 - KUCA燃料低濃縮化
 - 福井県の新試験研究炉

KURの運転終了について説明する京都大複合原子力 科学研究所の中島健所長(京都市左京区・京都大)

出典:京都新聞HP、京都大原子炉、2026年に運転終了へ「使用済み燃料行き先見えない状況」、2022年4月5日

4 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

4/34

- 1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 1.2. 複合研の将来計画とロードマップ #1
 - 2020年度からロードマップを策定(毎年更新)
 - 2020年度版ロードマップ
 - ✔ ロードマップの枠組み案(施設ベースの年次進展、2020-2035)の提示
 - 2021年度版ロードマップ
 - ✔ 施設のスケジュールの更新
 - ✔ 研究の方向性の提示
 - ✓ 他機関との連携・民間活用・新規施設導入の検討

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)

1.2. 複合研の将来計画とロードマップ #2

中期日標・中期計画	第	100			8	4.88					8	518			第	6期
主要施設/学術・研究	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
KUR/			81 用	運転	KU	停止(快	(中) (2	26.5)	-			廃止排	n .			
放射化分析、中性子回折、中 性子イメージング、RI製造、 陽電子消滅、BNCT、廃止措 置関連研究等				廃止推	曹华(省											
	直転 (及	直接地 和	, –				8)	用運転	活濃級的	料)					or 5 so R	
原子炉物理実験、核データ、 ADS、新型原子炉研究、原子 力人材育成等	燃料	5連結化	•													
ホットラボ・トレーサ様/		KURIE	伝と連動	した利用	が中心	KUR停1	検討中	(2026.5			KUR運転	とは独立	した利用			
印研究、開射試料分析、デブ リ・放射性廃棄物研究、核医 事研究、アクチノイド科学等			10.0	(孝正後)	申けた	F-(3)	福井	サイトを	意識し	:#60!	E情					

図 ロードマップ(各施設の年次展開)、一部のみ掲載

出典:京都大学複合原子力科学研究所ロードマップ (2021年度版)

5/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

6/34

- 1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 1.3. 研究の方向性、三つの柱
 - 新型原子炉・廃止措置研究(黒崎、堀)
 - ・ 多様な量子ビームを用いた研究 (田中)
 - 多様な放射性同位元素を用いた研究(山村)

7/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

8/34

- 1. はじめに (ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 2. 新型原子炉を巡る動向
- 3. 廃止措置を巡る動向
- 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究
- 5. おわりに(ポストKUR時代の複合研での原子力研究)

2. 新型原子炉を巡る動向

- 2.1. 新型原子炉を巡る最近の動向 #1
 - 原子力政策の転換(2022.12.22、GX実行会議(第5回))
 - ✓ 次世代革新炉の開発・建設
 - ✓ 運転期間の追加的延長
 - ✔ 核燃料サイクル推進、廃炉の着実かつ効率的な実現、最終処分の実現に向けた抜本強化

図 次世代革新炉の開発・建設 今後の道行き

出典:GX実行会議(第5回)、資料2「GX実現に向けた基本方針(案)」、2022年12月22日

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

2. 新型原子炉を巡る動向

2.1. 新型原子炉を巡る最近の動向 #2

- 次世代革新炉とは?
 - ✔ 革新軽水炉 ✓ 小型軽水炉
 - ✔ 高速炉
 - ✔ 高温ガス炉
 - ✔ 核融合、その他

9/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

10/34

2. 新型原子炉を巡る動向

- 2.2. 次世代革新炉の種類 #1
 - 革新軽水炉
 - ✓ SRZ-1200、iB1350、EPR2等

出典:第4回革新炉WG、資料3「カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ(骨子案)」、2022年7月29日

表 炉型ごとのボートフォリオ

図 三菱重工が発表した革新軽水炉SRZ-1200 (2022年9月30日)

出典:https://www.mhi.com/jp

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

2. 新型原子炉を巡る動向

2.2. 次世代革新炉の種類 #2

- 小型軽水炉 (SMR)
 - ✓ VOYGR、BWRX-300、UK-SMR、玲龍一号 (ACP100) 等

11/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

12/34

2. 新型原子炉を巡る動向

- 2.2. 次世代革新炉の種類 #3
 - 高速炉
 - ✓ もんじゅ、Natrium™、BN-600シリーズ等

図 VOYGRと大型PWRとの比較(サイズ感)

出典:第2回革新炉WG、資料6「NuScale社のSMR開発について」、2022年5月19日

図 Natrium™の統合エネルギーシステム (IFS)

出典:第2回革新炉WG、資料4「TerraPower社の高速炉開発について」、2022年5月19日

13/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

14/34

2. 新型原子炉を巡る動向

2.2. 次世代革新炉の種類 #4

- 高温ガス炉
 - ✓ HTTR、Xe-100、U-Battery等

図 HTTRの熱利用試験と水素製造

出典:第1回革新炉WG、資料7「国内の新型炉技術開発の現状と社会ニーズへの対応」、2022年4月20日

2. 新型原子炉を巡る動向

2.2. 次世代革新炉の種類 #5

- 核融合、その他
 - ✓ ITER、溶融塩炉(例:IMSR)、浮体式原発(例:アカデミック・ロモノソフ)、マイクロ炉等

図 MHIが開発を進めるマイクロ炉

図 アカデミック・ロモノソフの全景

出典:第1回革新炉WG、資料8「三菱革新炉開発の取組み」、2022年4月20日 出典:https://ja.wikipedia.org/wiki/アカデミック・ロモノソフ

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

15/34

0. 目次

- 1. はじめに(ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 2. 新型原子炉を巡る動向
- 3. 廃止措置を巡る動向
- 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究
- 5. おわりに (ポストKUR時代の複合研での原子力研究)

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

16/34

3. 廃止措置を巡る動向

- 3.1. 廃止措置の種類
 - 1Fの廃止措置
 - 商用炉(例:美浜1、2号機)の廃止措置
 - ・ 試験研究炉や研究開発段階にある原子炉の廃止措置

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

17/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

18/34

3. 廃止措置を巡る動向

- 3.2. 廃止措置の内容 #1
 - 1Fの廃止措置
 - ✓ 燃料デブリの取り出し、汚染水処理、使用済燃料取り出し、除染、廃棄物処理、施設の解体等

3. 廃止措置を巡る動向

3.2. 廃止措置の内容 #w

- 商用炉(例:美浜1、2号機)の廃止措置
 - ✓ 使用済燃料取り出し、除染、廃棄物処理、施設の解体等

図 汚染水対策 (左) と3号機内の様子(右) のイメージ

出典:東京電力ホールディングス株式会社HP、廃炉作業の現状

図 美浜1、2号機の廃止措置の全体工程(約30年間、4段階に区分して段階的に進める) 出典:関西電力株式会社HP、あくなく安全性の追求、廃止措置

19/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

20/34

3. 廃止措置を巡る動向

3.2. 廃止措置の内容 #3

- ・ 研究開発段階にある原子炉(例:もんじゅ)の廃止措置
 - ✓ 燃料体の取り出し、ナトリウム抜き取り、除染、廃棄物処理、施設の解体等

3.2. 廃止措置の内容 #4

試験研究炉の廃止措置状況

3. 廃止措置を巡る動向

- ▶ 設置変更許可済:8
- > 設置変更許可由請中:1
- ▶ 廃止措置段階:16

図 試験研究用および研究開発段階にある原子炉施設

出典:原子力文化財団、原子力・エネルギー図面集、7-2-4

図 もんじゅにおける2次冷却系ナトリウムの抜取り(左)と燃料体取出し(右)

出典:高速増殖原型炉もんじゅHP

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

21/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

22/34

- 1. はじめに(ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 2. 新型原子炉を巡る動向
- 3. 廃止措置を巡る動向
- 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究
- 5. おわりに (ポストKUR時代の複合研での原子力研究)

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

- 4.1. 新型原子炉に関する研究 #1
 - 次世代革新炉の開発・建設に資する研究
 - 原子力工学を構成する主要な六分野
 - ✔ 核燃料工学
 - ✔ 原子炉材料科学
 - ✓ 原子炉物理学
 - ✔ 放射線工学 ✔ 原子炉工学
 - ✔ 原子力化学

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

23/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

24/34

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

- 4.1. 新型原子炉に関する研究 #2
 - 次世代革新炉の開発・建設に資する研究
 - 原子力工学を構成する主要な六分野
 - ✓ 核燃料工学 —— - ● 新燃料開発(事故耐性燃料、高耐食性ジルコニウム合金等)
 - ✓ 原子炉材料科学
 - ✓ 原子炉物理学
 - ✓ 放射線工学
 - ✔ 原子炉工学 ✔ 原子力化学
- 照射試験 など

燃料製造

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

- 4.1. 新型原子炉に関する研究 #3
 - 次世代革新炉の開発・建設に資する研究
 - 原子力工学を構成する主要な六分野

 - ✓ 原子炉物理学
 - ✔ 原子炉工学

- ✔ 原子力化学

- 56 -

材料の経年劣化(応力腐食割れ等) 接合 など

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究 4.1. 新型原子炉に関する研究 #4 4.1. 新型原子炉に関する研究 #5 次世代革新炉の開発・建設に資する研究 次世代革新炉の開発・建設に資する研究 原子力工学を構成する主要な六分野 原子力工学を構成する主要な六分野 ✔ 核燃料工学 ✔ 核燃料工学 ✔ 原子炉材料科学 ✔ 原子炉材料科学 ✓ 原子炉物理学 — ──● 炉心設計 ✔ 原子炉物理学 ✔ 放射線工学 ✓ 放射線工学 -● 核データ 一● 放射線計測 ✔ 原子炉工学 ✔ 原子炉工学 臨界安全 放射線利田

25/34

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健 27/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健 28/34 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究 4.1. 新型原子炉に関する研究 #6 4.1. 新型原子炉に関する研究 #7 次世代革新炉の開発・建設に資する研究 次世代革新炉の開発・建設に資する研究 • 原子力工学を構成する主要な六分野 • 原子力工学を構成する主要な六分野 ✔ 核燃料工学 ✔ 核燃料工学 ✔ 原子炉材料科学 ✔ 原子炉材料科学 ✔ 原子炉物理学 ✓ 原子炉物理学 ✔ 放射線工学 ✔ 放射線工学 ✓ 原子炉工学 — ✔ 原子炉工学 ---● 原子炉の設計 ✔ 原子力化学 熱流動 ✓ 原子力化学 --- ● 核燃料サイクル ● 原子力安全 • 燃料再処理 ● 原子力規制 など

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

• 中性子拡散

● 炉物理実験 など

✔ 原子力化学

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

4.2. 廃止措置に関する研究 #1

- 1F、商用炉、試験研究炉や研究開発段階にある原子炉の廃止措置に資する研究
- 廃止措置研究を担う三分野
 - ✓ 1F廃止措置工学

 - ✔ 廃止措置社会科学

29/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

4.2. 廃止措置に関する研究 #2

- 1F、商用炉、試験研究炉や研究開発段階にある原子炉の廃止措置に資する研究
- 廃止措置研究を担う三分野
 - ✓ 廃止措置工学 —
 - ✓ 1F廃止措置工学
 - ✔ 廃止措置社会科学
- -● 廃炉技術開発 放射線計測
 - 放射線管理
 - 除染

 - 廃棄物処理・処分(保管)
 - ナトリウム技術 など

- ✓ 廃止措置工学

- 57 -

26/34

✔ 原子力化学

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

- 放射線防護
- 放射線管理
- 加速器 など

• 高レベル放射性廃棄物処理・処分 など

30/34

31/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

32/34

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

4.2. 廃止措置に関する研究 #3

- 1F、商用炉、試験研究炉や研究開発段階にある原子炉の廃止措置に資する研究
- 廃止措置研究を担う三分野
 - ✔ 廃止措置工学
 - ✓ 1F廃止措置工学 —

- ✔ 廃止措置社会科学
- 燃料デブリ
 - 遠隔操作・ロボット
 - 各種計測技術
 - 汚染水処理 など

4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究

4.2. 廃止措置に関する研究 #4

- ・ 1F、商用炉、試験研究炉や研究開発段階にある原子炉の廃止措置に資する研究
- 廃止措置研究を担う三分野
 - ✔ 廃止措置工学
 - ✓ 1F廃止措置工学
 - ✔ 廃止措置社会科学 ――― 核セキュリティ

 - 地域共生 ● 原子力政策
 - 原子力防災
 - 経営マネジメント など

R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

33/34 R4年度複合研将来計画短期研究会でのプレゼン/2023.2.6/京都大学・黒崎 健

34/34

0. 目次

- 1. はじめに(ポストKURに向けての複合研の取り組み)
- 2. 新型原子炉を巡る動向
- 3. 廃止措置を巡る動向
- 4. 新型原子炉と廃止措置に関する研究
- 5. おわりに

5. おわりに

ポストKUR時代の複合研の原子力研究

- 研究の方向性:三本の柱の一つとしての「新型原子炉・廃止措置研究」
- ・ 広く原子力工学に含まれるものであれば、どういったものでもテーマになりうる
- 複合研の「新型原子炉・廃止措置研究」=体系的で一通りの原子力工学研究

(人材育成の分野では、各大学が協力し合う体制を構築しつつある、例:ANEC)

出典:https://anec-in.com/、未来社会に向けた先進的原子力教育コンソーシアム [ANEC]

8. ポスト KUR に向けた検討/新型原子炉・廃止措置研究 質疑応答

五十嵐: 黒﨑先生ありがとうございました。ポスト KUR 時代のお話を頂きました。早速 手が挙がっております。篠原先生お願い致します。

篠原: ありがとうございます。非常に面白い話をお聞かせいただいたのですが、特に新型の原子炉のところで、6つ位書いてあって非常によく一般的にすべて網羅できることが分かったのですが、例えば本当に複合研でやろうとした時に、いくつかの炉のパターンがあるうちのどれかに集約するのか、もしくは全く新しいものを考えるのか、全部やるのか、その辺はどうでしょうか。

黒﨑: これは難しいです。次世代革新炉はものすごく幅広いです。例えばですが、高速炉に特化したような研究所にすることも一例として無いことは無いですが、難しいのではと思っていまして、多様性というか、広く貢献できるような研究所がいいのではと思っています。

篠原: あまり広げすぎてもなかなか。

黒﨑: そこは考えているところで、さあどうしたものかなというところが、正直なところです。

篠原: 見渡してみて、複合研が得意そうなところがだんだん出て来るでしょうね。

黒崎: そうですね。今回私の方からは、新型原子炉と廃止措置の話だけをしましたが、この後、田中先生と山村先生から別の観点からの、もう後2本の柱の話が出てきます。 そちらはそちらでやりつつ、こちらでは何をするかという話なので、なかなか難しいです。

篠原: 昔京大炉は、トリウム炉をやったりしていたので、何か特色があると面白い気がします。

黒﨑: 小型の原子炉の話とか、だから原子炉を置くとなるとまた難しい。結局原子力工学 は総合工学なので、何かをやっていればどこかに貢献できるという話があるので、 とは言ってもあまり総花的になると発散するかなと思います。

篠原: またよろしくお願いいたします。

五十嵐: ありがとうございます。他にはいかがでしょうか。深澤様お願い致します。

深澤: 高温ガス炉について一点教えて頂きたいのですが、GX会議のロードマップを見ると、一番早く高温ガス炉が運転開始して、尚且つもうすぐ基本設計が始まるという感じで書いてあるのですが、これは HTTR の後継機が実証炉として決まっているのでしょうか。

黒崎: ここは議論がありまして、作ることが決まっているわけではないと思います。高速 炉についてもそうだと思いますけど、作っていきたいという気持ちがあるからこの ようなロードマップになっているので、作るのが決まっていると言えなくもないで すが、今具体的に何を行っているかというと、このようなものを作る時にどのよう な組織で作っていくかという体制を考えようとしている状況かと思います。

深澤: これを見ると 2023 年基本設計開始ですから、もうすぐですね。

黒﨑: 確かに、そういう意味ではもう体制を早く決めてやっていくというところですが、 これは別のところで議論が進んでいるというところです。

深澤: 分かりました、ありがとうございます。

五十嵐: 他にはいかがでしょうか。この後の総合討論では、黒﨑先生がモデレーターです のでまたよろしくお願いいたします。ありがとうございました。 9. ポスト KUR に向けた検討/ 多様な量子ビームを用いた研究

(京大複合研) 田中 浩基



ロードマップ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #多様な量子ビームの利用研究 ・量子ビームを用いた生体分子のナノスケール構造研究

巨大タンパク質複合体による概日リズム制御 -小角散乱と計算科学の統合アプローチー Y. Yunoki, M. Sugiyama, et al., Communications Biology, 5:184. 京大プレス発表より



凝集体や解離成分が共存する溶液中から、ABC 複合体を 選択して観測すること。

ゲルろ過クロマトグラフィー (SEC) による成分分離と連結 して X 線・中性子小角散乱 (SAXS・SANS)

高い運動性を持つ KaiA の挙動を解明するために、複合体の中から KaiA を選択して観測すること。

重水素化ラベル試料を用いた逆転コントラストマッチング (iCM) 法:重水素化ラボ

原子力科学研究所

成果

ロードマップ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #多様な量子ビームの利用研究

・量子ビームを用いた生体分子のナノスケール構造研究

生体高分子のサンプル形成 には重水素化が必須

世界の主要中性子施設には 重水素化施設を標準装備

ESS: Deuteration and Macromolecular Crystallisation (DEMAX) ISIS: ISIS Deuteration Facility ILL: Deuteration Laboratory) by Life Science group

ORNL: Bio-Deuteration laboratory ANSTO: National Deuteration Facility



- A. Okuda , "M. Sugiyama et al., *Biophys. Physicobiol.* **18** (2021) 16-27.
 "R. Inoue. "M. Sugiyama et al., *Sci. Rep.* **11** (2021) 2555.
 N. Sato, "M. Sugiyama et al., *J. Biochem.* **169** (2021) 701-708.
 M. Yagi-Utsumi, M. Sugiyama, K. Kato at al. *Sci. Rep.* **6** (2020) 1540.
 R. Yogo, , "M. Sugiyama, K. Kato et al., *Biochem. Biophys. Rep.* **12**(201 M. Sugiyama et al., *Sci. Rep.* **6** (2016) 35567.
 "R. Inoue, "M. Sugiyama et al., *Sci. Rep.* **6** (2016) 29208.

国内: J-PARC D-lab.と技術提携・連携

国外 : Deunet (<u>https://deuteration.net/</u>) の<u>参画を計画</u>

複合研:重水素化施設の中枢 新試験研究炉への展開

courtesy by Dr. R. Inoue

至力科学研究所

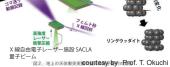
ロードマップ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #多様な量子ビームの利用研究

- ・量子ビームを用いた宇宙,地球,惑星,環境物質の水素(同位体)の状態解析研究
- ✓ 無機物質系を含め、水素同位体濃度を幅広く制御する合成施設への拡張に より、他機関とさらに強く連携した共同利用環境の提供が可能となる。新試験研究炉への展開

ステン (Legging) Conference of the Conference of





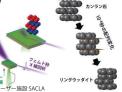


図1、誕生したばかりの太陽系での地球の成長の様子

京子力科学研究所

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #多様な量子ビームの利用研究 ・中性子ビーム利用の高度化に関する研究・装置開発

中性子ビーム利用の高度化に関する研究

- ・中性子ビーム利用による共同利用研究の推進 ・世界最高の多層膜中性子(集光)ミラーの高度化・ ・中性子(スピン)位相に注目した新たな利用 ・開発共績に基づく施設設計 新試験研究炉への展開
- 装置盟群

 - 開発技術の中性子外の展開

CN-3@KUR









courtesy by Prof. M. Hino

原子力科学研究所

ロードマッフ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #多様な量子ビームの利用研究

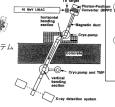
・陽電子ビームによる照射材料の評価研究 材料中のナノ空孔

低速陽電子ビーム→ 材料中のナノ 空隙のプローブ、新材料開発に有用





KURは2026年5月までの運転 →陽電子ビームも止まる



LINACであればKUR停止前に着手可能

後継の低速陽電子ビーム設備のプラン
(*c) 1 市販RI (Na-22) ベースのビーム
・設備と管理は簡略化
・強度は低下 6x10~3 105 e+/s
・半減期 (2.6y) ごとに新線源購入
(2) 加速器ベースのビーム
・強度はKURビームを越せる
・陽子サイクロトロン (RI、制動放射) 、電子線INAC (制動放射) が候補
・ ためは線管中が重要

- ・放射線管理が重要

新試験研究炉への展開

30年前に複合研LINACを使った萌芽的 研究あり 해度:4x10⁷e+/s

courtesy by Prof. A. Kinomura

ロードマップ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画 #**多様な量子ビームの利用研究**

複合放射線を用いた医学物理・放射線生物学研究

医学物理学研究

サイクロトロンを用いた 中性子源の利用

放射線計測を駆使した品質保証法 共同利用展開

- 照射手法の高度化
- 治療計画の高度化 最適なエネルギー探索

放射線生物学研究

- ・抗腫瘍効果メカニズム解析・効果増強方法の模索
- 適応拡大のための基礎研究

獣医学RNCTへの展閲

他施設連携・国際展開 LVR-15-Czechi Hd EP: Northerla Staby(2002/2

京都大学複合原子力科学研究所

ロードマップ

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画

複合放射線を用いた医学物理・放射線生物学研究

✓ 新型原子炉研究・廃止措置研究

(京大、JAEA、東工大、近大・・・ 原子力システム研究開発事業 2021年度~)

・ ・革新炉開発に必要な核データ整備

革新炉開発に向けた研究(Linac、KUCAを利用)

密封線源による共同利用の継続維持と発展

- ・ライナック照射線源所形が ・地施設で照射した線源作成 外部機関との連携 ・放射光(SPring8 KEK-PF) でのメスパウアー分光との連携 ・先進的なメスパウアー分光の応用実験の開発
- スバウアー分光に関する唯一無二の主要拠点としての機

✓ 多様な放射性同位元素の利用研究

・メスバウアー分光法を利用した研究

・多目的液体金属ループによる原子力熱流動研究 中性子ラジオグラフィを用いた高精度計測

減速材に対する熱中性子散乱則データの整備 構造材に対する荷電粒子放出反応の核データ整備

・加速器(サイクロトロン)を用いた 放射化分析・RI利用研究

新試験研究炉への展開

courtesy by Prof. J. Hori,K.Takamiya,K.Ito,S.Kitao

多様な量子ビームを用いた研究

研究テーマベースのロードマップ 第4-5中期目標・中期計画

ポストKUR時代における複合原子力科学研究を推進するため #多様な量子ビームの利用研究

J-PARC、JRR-3、SPring8、KEK-PF etc.との連携

- ・量子ビームを用いた生体分子のナノスケール構造研究
- ・量子ビームを用いた宇宙、地球、惑星、環境物質の水素(同位体)の状態解析研究

- 重水素化施設、水素同位体合成施設 他大学・研究機関との連携を強化するためハブ機能化 (海外含む) ・中性子ビーム利用の高度化に関する研究・装置開発
- ・多目的液体金属ループによる原子力熱流動研究:サイクロトロン ・メスバウアー分光法を利用した研究:電子線ライナック
- ・陽電子ビームによる照射材料の評価研究 :電子線ライナック
- ・サイクロトロンを用いた放射化分析・RI利用研究
 - 新試験研究炉への展開
- ・革新炉開発に向けた研究 電子線ライナッ
- ・複合放射線を用いた医学物理・放射線生物学研究:サイクロトロン

電子線ライナック・サイクロトロンの活用

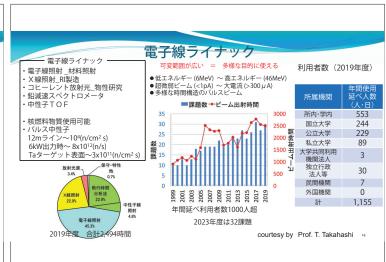
多様な量子ビームを用いた利用研究 電子線ライナック、サイクロトロン

京都大学複合原子力科学研究所 ロードマップ #多様な量子ビームの利用研究

中期目標・中期計画 2029 2030 2031 2032 2033 2023 2024 2025 2026 2027 UR/ KUR オンライン同位体分離装置 ・開電子ビーム ・中性子小角散乱装置(CN2) ・中性子光学・検出器評価(CN3) 3.8x10⁶(n/cm² s) ・中性子イメージング E2:4.8x10⁵(n/cm² s)10(W)x75(H) ・ホウ素中性子捕捉療法(BNCT) 電水粉備5x10⁹(n/cm² s) 人材育成等 ・放射性廃棄物研究、核B 研究、アクチノイド科学等 重水設備:5x109 (n/cm2 s)

電子線ライナック





電子線ライナック

パルス中性子の利用

核データ測定研究

- 熱中性子捕獲断面積の高精度化
- TOF測定に用いるサンプル量の高精度決定技術開発 全断面積測定を組み合わせた共鳴パラメータの決定 非破壊分析研究
- 新たな中性子源開発
- 核種定量技術の高精度化
- 可視化技術の高度化(イメージング)物性値評価方法の高度化(形状・温度)

中性子検出器開発、放射性エアロゾル測定方法の研究

- 各種材料の吸収分光測定
- Lバンドの優位性
- イメージング分光光源開発(円偏光分光システム、平面波CCR)分光法開発(テラヘルツ波電子線分光法)

電子線の材料照射への利用

低エネルギー(~8MeV)の利用 有意な放射化がなく照射試料をすぐに持ち出 し可能

ロリ形 mmオーダーの透過力 室温~高温(500度)までの試料温度精密制御 電気ヒーターによる照射前のプレヒート 照射中はパルス繰り返し数による温度制御

水冷または強制空冷による冷却 ヘリウム雰囲気中での照射(酸化防止) 液体窒素温度での照射装置

新たに生物照射も

制動放射X線の利用(RI製造)、医療用RI

メスバウアー線源 研究所内にメスバウアー分光の研究 短寿命のRIを製造し線源として供給 -分光の研究拠点

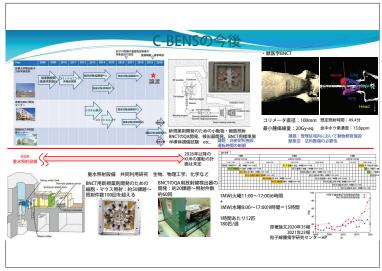
(γ,n)反応による医療用R I

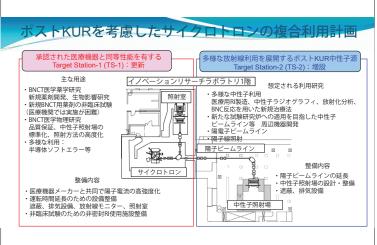
京都大学複合原子力科学研究所 ロードマップ #多様な量子ビームの利用研究 中期目標・中期計画 第3期 第5期 主要施設/研 整備・改造計画を進め、多様な粒子線源 経費について考慮する必要あり。 電子線ライナック/ ついて、所として積極的に支援をしないことを決定 引き続き、施設を担当する所員と対話を重ねる。 o60ガンマ線照射装置/

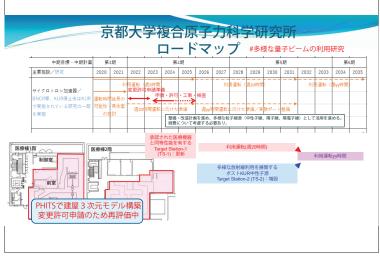
サイクロトロン

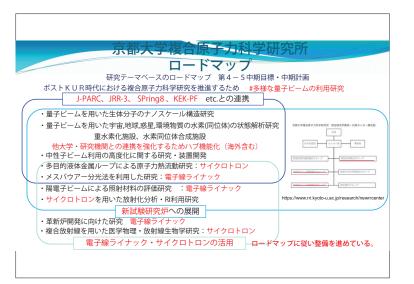












9. ポスト KUR に向けた検討/多様な量子ビームを用いた研究 質疑応答

五十嵐: 田中先生どうもありがとうございました。幅広にお話を頂きました。出席の皆さまからコメント、ご質問お受けしたいと思います。畑澤様お願い致します。

畑澤: アイソトープ協会の畑澤と申します。田中先生大変ありがとうございました。ご発表の中で医療用の RI の製造ということが出てまいりましたが、 どういう核種を想定なさっておられるかが第一点、第二点は量的にどの位の量を想定なさっているかを教えていただければと思います。よろしくお願いいたします。

田中: ありがとうございます。実は、この後に山村先生からお話があるかもしれないのですが、サイクロを使ったビームですと高速中性子が出ますので、(n,2n)や (n,3n)反応でアクチニウムなどができるのではないかと考えています。製造して供給する位のレベルというのは考えてございません。研究としてどういった反応であれば効率よく RI ができるかなどの基礎研究ができる場としての提供と考えています。

畑澤: ありがとうございました。

五十嵐: 他にいかがでしょうか。篠原先生お願い致します。

篠原: どうもありがとうございます。非常に色々なことをお話しされ、私自身があまり整理できていないのですが、要するにライナックやサイクロを、KURが止まった時に一部のニーズを満たせるようなことを考えられているという理解で宜しいでしょうか。

田中: はい、おっしゃる通りで、KUR は偉大でして、放射化分析をやろうとすると 10 の 12 乗~13 乗のフラックスが必要ですが、サイクロでそれだけの中性子を出すのが 中々難しいです。どちらかというとビームを取り出して、BNCT の研究や、ラジオグラフィなどのある程度面積を持ったビームを使った研究などに限られてしまうか と思います。

篠原: 今まで KUR でされていたユーザーというか、ビーム的な利用をカバーできるとい うか、ライナックなどを持つのでしょうか。

田中: 全然カバーできないところで、重水設備も今、80件程受け入れているのですが、サイクロの方でやろうとしても、おそらくその半分位しか受け入れられないかと考え

ています。KUR でやっていたことを全てそのままスイッチするのはマシンスペックとしても難しいかなと考えています。

篠原: それでも新しいことも含めて、いろいろな研究を維持できるということですね。

田中: そうです。

篠原: はい、ありがとうございます。

五十嵐: ありがとうございます。この後の総合討論もありますのでそちらでもご議論頂けるかと思います。田中先生どうもありがとうございました。

10. ポスト KUR に向けた検討/ 多様な放射性同位元素を用いた研究

(京大複合研) 山村 朝雄





京都大学複合原子力科学研究所 R4年度将来計画短期研究会

ポストKURに向けた検討

多様な放射性同位元素を用いた研究

2023.2.6 15:50-16:15

原子力基礎工学研究部門 アクチノイド物性化学研究分野 山村朝雄

本稿は前回の下記報告以降の議論をまとめたものです。 ・山村、ホットラボの整備と今後の研究展開,R2年度将来短研(2021) 多くの方々との議論に基づいていますが、文責は山村に帰します。

/ 28

0. 緒言

- 1.複合研とポストKUR
- 2.ロードマップ2021
- 3.組織再編案

2

事務作成資料、所員会議資料に基づき作成 複合研とポストKUR 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 H30 R1 R2 R3 R4 R5 R6 R7 R8 R9 R10 R11 R12 R13 R14 R15 第3期中期目標·中期計画 第4期中期目標·中期計画 第5期中期目標·中期計画 京大 KUR廃止措置 LINAC運転 概念設計 詳細設計·建設支援 本活活動実施 研究炉 研究棟新営+リノベ+移転 レンタルラボの運用 研究棟 ポストKUR 安全な原子力、原子カイノベーションを 実現する新しい複合原子力科学の推進 KURに加え、 多様な粒子線・RI利用研究 KUR利用研究 組織再編 超機再編 の準備 KUR代替施設機 ロードマップ 福井邦関係機関 福井邦関係機関 2021版 連携構築 内部組織としての 対合係 アフロンティアセンター設置

ロードマップ (2021年版)

- ・ 複合研ならではの学術
- ・複合研の立ち位置(京大、共・共拠点、日本の原子力・放射線研究 教育、等における)への配慮
- ・他機関との連携、民間活用、新規施設の導入

中期目標・中期計画	第	3期			第	4期					第	5期			第	6期
主要施設/学術・研究	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	203
ホットラボ・トレーサ棟/ RI研究、照射試料分析、デブ		KUR運	伝と運動	した利用	が中心	KUR停止	(検討中)	(2026.5	0		KUR運転	とは独立	した利用	8		
リ・放射性廃棄物研究、核医 栗研究、アクチノイド科学等	校画 KULF中上後は向けた事情 福井サイト引き返し本がらの事情 DI製法、優から応込病事、廃し世際(用事する甘油工の会大)のためのブ佐郎															
	~-	ション・	整備を	進める。												

所員会議資料に基づき作成 組織再編案 現在 (2022.2) R8年度 (案) 所長 所長 - X部門 (多様な量子ビーム利用研究) ・物質・生命、材料、地球・宇宙・環境 ・新しい試験研究所、医療応用 ・量子ビーム源・加速器開発 原子力基礎工学研究部門 粒子線基礎物性研究部門 Y部門(多様な放射性利用元素利用研究) 放射線生命科学研究部門 安全原子力システム研究センター Z部門(新型原子炉研究・廃止措置研究) 粒子線腫瘍学研究センター 原子力安全、安全管理、放射線、放射性廃棄物 SMR、廃止措置、原子力人材育成 原子力社会科学 -- 研究ユニット 研究ユニット 複合原子力科学フロンティアセンター 級 ロバス・ナスパイナン ロンティア ヒンノ 裏広く様々な物芽的研究、若手・女性研究者がPIとして活躍できる場 - 原子力教育・人材育成を担う所内閣版を整備、複合原子力科学ダブルディグリー等 - 編井県に設置予定の試験研究炉開発を担う所内閣線を強化 ---新型研究炉開発・利用センター 点線は内規・申し合せに基づく所内組織 KUR代替施設を保有する機関 (例: JRR-3、J-PARC、SPring-8、PF) 新しい試験研究炉に関係する機関 (例: JAEA、編井大学)



I. 学術・研究

- 1.背景
- 2.各分野の状況
 - a. RI利用
 - b. メスバウアー分光
 - c. 放射化分析
 - d. 核医薬・医療用RI供給
 - e. アクチノイド基礎
 - f. アクチノイド応用

7

I-1. 背景

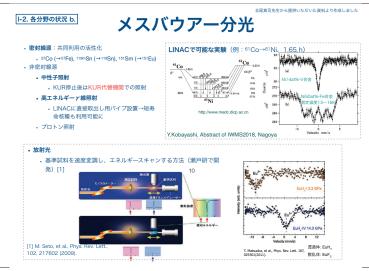
背景

RIの供給

- ・多くを輸入に依存、安定な供給が期待[1]
- ・成長戦略フォローアップ(2021/6/18閣議決定): 「試験研究炉等を使用したRI製造」
- 原子力委員会・医療用等ラジオアイソトーブ製造・利用専門部会アクションブラン (2022/5/31) →診断用RI (⁹⁹Mo/⁹⁹mTc) とα線治療用RI (²²⁵Ac、²²¹At) を提示
- 放射性廃棄物処理のための技術開発[2]
 - 人間の生活環境から数万年に渡り隔離・管理することはハードルが高い
 - 分離技術と核変換技術
- 原子力における人材育成
 - ・複数機関が連携して一体的に人材育成を行う体制としてANEC「未来社会に向けた先進 的原子力教育コンソーシアム」
- 京都大学複合原子力科学研究所(改名・改組:2018年)
 - ・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の推進、その拠点の形成

[1] 日本学術会議, 発電以外の原子力利用の将来のあり方について, 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, (2014) . 8





I-2. 各分野の状況 c. 放射化分析 • 分析法として類のない利点を有する ・化学的要因に影響されない トレーサビリティの確立、国際標準開発の活動 実施施設 研究炉: KUR、JRR-3、 (→将来の福井炉) · LINAC: J-PARC、東北大電子光、複合研 · 展望 [1.2] ・中性子放射化分析(NAA)→KUR、JRR-3でのko標準 化法の導入、福井炉でのNAA いくつかの宇宙物質におけるCoとNi ・即発ガンマ線放射化分析 (PGA) →KUR or 福井炉、 の含有量の相関 イトカワ粒子RA-QD02-0049 の全体像 (A) と部分像 (B) の 後方数品電子画像 [3] Ebihara, Sekimoto, et al., Science, 333, 1119 (2011). H分析にも期待 [1] 2020/6段階の将来計画まとめ [2] 放射化分析ロードマップ、放射化学、43 (2021) 11. 阪大がサイクロを新規設置→複合研のLINACと相補的に運営 できれば、西日本の体制として望ましい。 第4期中計 (2022-27) 第5期中計 (2028-33) 福井炉 活用する施設 JRR-3との連携 HL、LINAC→福井炉

「E2. 各分野の状況 d. 核医薬・医療用RI供給

- 近年注目されるセラノスティックス放射性医薬品
 - 177Lu製造は2つの手法:
 - 化学分離で高比放射能が可能な間接法が有望
 - ・量産に向けて多くのR&Dが必要
- 医療用RI供給への要求
 - 放射性核種純度、放射化学的純度、**比放射能**、化学的純度
- 品質管理(GMP、API)
- レギュラトリーサイエンス(飛散率[1]、ガイドライン)
- 複合研に期待される事項
 - ・研究から商用に移行する中間規模の段階
 - ・日本は研究段階で20-30年の遅れ
 - 福井炉のバックアップ (研究コミュニティ、分離 精製技術開発)

[1] T. Yamamura, et al., Radiation Safety Management, 19 (2020) 35. 木村寛之先生の資料、脳山卒偏先生、日野正裕先生らとの議論を参考にしています。

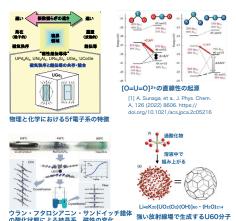


三浦勉先生、篠原厚先生、高宮辛一先生との議論を参考にしています。

I-2. 各分野の状況 e.

アクチノイド基礎

- 物理と化学における5f電子 系の「価数揺らぎの速さ」 に基づくさまざまな特性
- 研究例
 - ・相対論的効果・電子相関 を含む高精度量子化学計 算:[O=U=O]²+直線性起 源
 - 放射線に強いフタロシア ニン錯体の研究
 - ・重・超アクチノイド元素 の化学研究に向けた基礎 研究
- 展望 (例)
 - ・強い放射線場で生成する U60分子、物性等が未知



I-2. 各分野の状況 f.

アクチノイド応用

- MA分別保管技術の開発により、廃棄物量・潜在的有害度の低減
 - 分離技術(抽出・吸着等)
 - ・ (U,MA)O2固溶体製造手法、保管体製造プロセス
- デブリに関するメソスケールの物性科学研究
 - ・デブリの経年劣化
- 有用元素・核種の回収法(例:Thからの^{228/224}Raの回収技術)





Ⅱ. 連携

] C. Tabata, et al., J. Molecular tructure, 1277 (2022) 134870.

1.全体

II-2.現状 a.

- 2.現状 (a. ホットラボ、b. 炉規法対応)
- 3.方向性(a. 核医薬・RI供給、b. 放射光、c-d. 共創拠点)

15

II-1. 背景

背景 (連携)

• 廃棄物、設備の問題

- 研究施設等廃棄物
- ・原子力学会「原子力アゴラ」調査専門委員会・大学等核燃およびRI研 究施設検討・提言分科会
- アクチノイド研究に関する欧米の動向
 - ・BNL、LANL等の加速器で生成した物質の研究→ORNL HLで取り扱い
 - ・基礎研究の拠点を集約(EU JRC-ITU、CEA ATALANTE、米国INL)、大学は共同利用可能
- ・ 従来の連携活動
 - 全国共同利用・共同研究拠点(京大複合研、東北大金研)
 - ・ J-Actinet (2013-、JAEA-京大-東北大の施設利用)

16

ハブとして機能するホットラボ (アクチノイド、原子力化学分野)



II-2.現状 b.

アクチノイド分野における炉規法に対応した 日本型ネットワークの構築

佐藤憲昭・基盤(S)研究(2008-2012)の狙い



ユーザーの声

- 装置の維持管理には、その場所にコアユーザー必要
 - データが出る状況を維持 することが重要

II-3.方向性 a.

核医薬RI供給・研究拠点に向けて

- 新しいRI核種を実験しやすい環境は国内にない
- ・ ICP-MS/MSによる品質管理
- コールド実験
- RI動物体内動態研究
- 医学・薬学コミュニティとの連携
- 安定的なRI供給サービス、研究環境構築
 - 「医薬用RI製造プラットフォーム」複合研+KUR 代替施設(JRR3+福井炉)
 - ・cf. 短寿命RIプラットフォームと、阪大での²¹¹At の研究環境
 - ・能取I INACとの連携
- 福井炉併設のホットラボとの補完性
 - ・ 商用RI製造等を中心 →研究コミュニティ@熊取

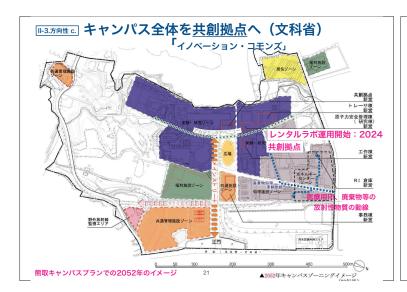


RI核医薬研究施設として定評がある MURR (MU Research Reactor)

比放射能の重要性

	低分子化合物	中分子化合物 (ペプチド)	高分子化合物 (抗体・タンパク質)
分子量	<500	500~2000	>10000
柳的特異性	中程度	高い	高い
母体の合成法	化学的	化学的、生物的	生物的
標闆条件	豊富	限定的	限定的
64	MAO THE OH		16
	[""]FDG	インジウムペンテトレオ チド(***In)	イブリッモマブチウキセ タン(*Y)





□-3.方向性 d. 共創拠点(提案)「フロンティア分析センター」

- 管理区域で国内に例がない装置があると、 利用者の幅が広がる
- ・XRD等一般的装置は研究室管理で良い
- 運営方法に工夫が必要 →福井炉の補完的施設としての一 体運営が良いのでは
- ゲルマ等の特定の測定装置をまとめて管理
- ・共同利用、技術サポートのため、安全管理に携わってい た技術関係者の配置先としても考えられる

「高咸度装置」の例

分析内容	核種の同定、 定量	配位子構造、ラ ベリング	表面・元素	低温構造	表面の原子付 着・配列状況	化合物構造
装置	ICP-MS/MS	NMR	SEM-EDX	(Cryo-) TEM		単結晶構造解析
装置イメージ					Today .	
用途	核医薬、デブ リ、MA	核医薬、デブリ		物質、生命	廃炉、物質	核医薬、デブ リ、アクチノイ ド
研究例		No Pu Ac	廃炉、デブリ、 化合物の形状、 元素分析			

Ⅲ. 施設

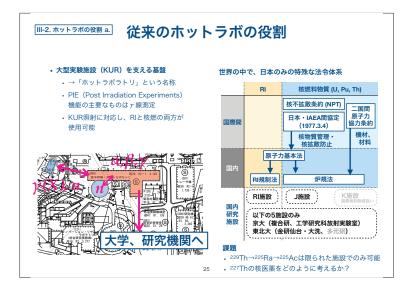
1.背景

2.ホットラボの役割 (a. 従来、b. 今後) 3.将来像(a. 運用・管理、b. 主役に向けて) III-1. 背景

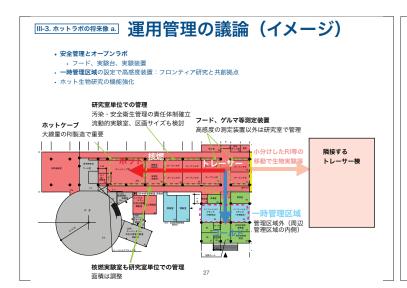
背景 (施設)

- ・文科省・国立大学法人等施設(長寿命化)整備計画
 - ・ キーワード:産業界との連携(オープンラボ等)、教育 研究の機能強化、地方との共創 [1]
 - ポストKUR時代の用途に向けてリノベーション、整備 を進める [2]

[1] 文部科学省, 次期国立大学法人等施設整備計画策定に向けた最終報告」について, (2020) [2] 京都大学複合原子力科学研究所, ロードマップ (2023/年度版), (2022).







III-3. ホットラボの将来像 b 「KURを支える黒子」から主役へ

「KUMATORIフロンティア・センター」 or 「KUMATORIイノベーション・コモンズ」へ

- ・ホットラボの改修で、最先端研究と人材育成へ
 - 大小数量の核燃・RIの利用が可能:核医薬研究、アクチノイド基礎・応用研究(デブリ研究、長寿命放射性廃棄物(MA)の暫定保管)などで、強力な武器
 - 機能強化:一時管理区域の設定で高感度装置の導入
- フロンティア研究・共創拠点としての活動の提案
 - ・医薬用RI製造プラットフォーム:複合研+KUR代替施設(JRR3+福井 炉)→KUR廃止から福井炉運開までの期間の**活動の基盤**
- 福井炉サイトとの関係 →熊取は独立したサイトとして存続

28

10. ポスト KUR に向けた検討/多様な放射性同位元素を用いた研究 質疑応答

五十嵐:山村先生どうもありがとうございました。それでは出席者からコメントを募っていきたいと思います。ご質問も結構です。最後はホットラボについてかなりチャレンジングなアイディアをご説明いただいたと思います。それでは、深澤様お願い致します。

深澤: 医療用 RI についてお伺いしたいのですが、アクチニウム 225 で前立腺がんを治癒させたのは有名ですが、最初のほうにトリウムジェネレーターでラジウム 228, 224 を作るお話がありましたが、これらの核種もがん治療に有効だと分かっているのでしょうか。

山村: ありがとうございます。その話は、今五十嵐先生もおっしゃったチャレンジングな話の一部になっていまして、ここの可能性を示すためのものではあるのですが、一般的にはトリウムジェネレーター、トリウム 229 からアクチニウム 225 を作るということなのですが、今回お話したトリウムジェネレーターは非常にわかりにくくて恐縮ですが、トリウム 232 になります。トリウム 232 というのは通常はジェネレーターを考えないわけですが、トリウムは子孫に長寿命核種が無いのでかなり強い放射能を生成することはご存知かと思います。その中にこのようなものがありまして、ラジウムを2回通りますけども、かなり間が離れています。ラジウム 224 は短寿命で、投与にも丁度いい位。ラジウム 228 はもっと長いので、何かアクチニウム 225 を作ったりするリソースに使えるかと、実は今研究中です。

深澤:分かりました。ありがとうございました。

五十嵐: それでは篠原先生お願い致します。

篠原: どうもありがとうございました。最後の方のホットラボの話は非常に興味深かったのですが、実はホットラボや RI 施設が非常に貴重で、しかも RI と核燃料両方使えるのは既得権ですが非常に貴重ですので、KUR がダウンした後いかに維持していくかが非常に大事だと思います。いろいろとプロジェクトのお話を頂いて非常に良かったのですが、一つは福井炉のお話にありましたけど、あそこのホットラボは面積がそんなに取れなくて大きな設備ではない気がしますので、いかに独立していても連携するかが非常に大事だという気がします。その辺を踏まえた構想を是非検討頂けたらと思います。もう一つは代替炉で JRR-3 もこれから使うことになるかと思います。前の話で KUR の一部の機能はライナックやサイクロでも出来るといことですが、どうしても原子炉じゃないと駄目という研究がたくさんありますので、

JRR-3 は今でももちろん使えるのですが、複合研経由で使うみたいな共同利用体制を上手く拡張できると、使い勝手のいいのが維持されながら、福井炉ができるまでに時間がありますから、その間放っておくとその種のユーザーはどんどん減っていきますので、いかにキープしながらアクティビティを繋ぐかが非常に大事だと思いますので、そのあたりはホットラボも含めてお願い出来ればと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

山村: 重要なご指摘ありがとうございます。非常に重要な課題だと思っています。是非よ ろしくお願いします。

五十嵐: ありがとうございました。水を差すようで恐縮なのですが、正直なところ恐らく 規制側は、RI の領域と核燃料の領域をもう少し明確にせよと言ってくるのではな いかと規制側と接触していて感じるところです。

篠原: そのような変更申請したら研究領域がかえって狭まってしまう危険があります。

五十嵐: そこは有用なところで、メリットを上手く活かせる形でやっていかないと、変更申請をするとそのようなことは十分あり得るなと思っております。しっかりとした戦略で臨んでいただければと思います。時間が来ております。この後総合討論ですので、黒崎先生にお渡ししたいと思います。

1 1. 総合討論

R4年度 京都大学複合原子力科学研究所将来計画短期研究会

総合討論

所外からの参加者

阿部弘亨(東京大学) 加藤之貴(東京工業大学) 峯尾英章(JAEA) 山西弘城(近畿大学)

所内からの参加者

杉山正明、田中浩基 中島 健、山村朝雄 黒﨑 健 (モデレータ)

2023年2月6日 オンライン (Zoom)

2/2

テーマ

KUR運転終了後の複合研の目指すべき方向性

1963 京都大学原子炉実験所として設置

1964 KUR初臨界

1974 KUCA初臨界

2006 KUR高濃縮ウラン燃料運転終了

2010 KUR低濃縮ウラン燃料運転開始

2010 共同利用・共同研究拠点認定

2018 京都大学複合原子力科学研究所と改名

2022 KUCA高濃縮ウラン燃料返送完了

(以下は予定)

2023~ KUCA低濃縮ウラン燃料運転開始

2026.5 KUR運転停止

20xx 福井県もんじゅサイト新試験研究炉運転開始

設置目的

「原子炉による実験およびこれに関連 する研究」を行うこと

設置目的/理念(哲学)

???

11. 総合討論

黒﨑: 総合討論ではまず、登壇された方にお話を伺う形で進めようと思います。所外からの参加者は阿部先生、加藤先生、峯尾様、山西先生、所内では杉山先生、田中先生、中島先生、山村先生と私になります。時間が限られていますので、主に所外の先生からご意見を伺うこと、会場からもご意見を伺いたいと考えています。加藤先生はご退席されているかもしれませんので、そのように進めさせていただきます。

総合討論のテーマですが「KUR の運転終了後の複合研が目指すべきものはどういったものになるか」を考えていきたいと思います。午前中に中島先生からお話がありましたが、今複合研は 60 歳。1963 年に設置され KUR・KUCA がそれぞれに初臨界を迎え、高濃縮ウランの運転が終了、KUR は低濃縮化をしています。また、共同利用・共同研究拠点に認定され、名称変更も行い、KUCA の高濃縮ウラン燃料の返送が完了している状況です。この間 2011 年の福島第一原子力発電所の事故もあり新規制基準対応もしっかりとやってきました。このあとは予定と記載していますが、KUCA に関しては低濃縮化ウラン燃料で運転を継続しますが、2026年5月には KUR の運転が止まります。また 20XX年には新しい新試験研究炉が運転されるというのが将来見えています。

ここでは方向性と書いていますが、一つは設置目的がポイントになるかと思っています。「原子炉による実験及びこれに関連する研究をおこなうこと」というのが研究所の目的になっています。こちらにも書いていますが、KUCAは引き続き運転するとしても KUR が運転を停止することが控えていますので、そうなった時、その目的というのがこのままでいいのかどうか、ということを議論しなければならないと思っています。またこの目的は、研究所の理念あるいは哲学にも一致するものですので、非常に重要なテーマになります。それはもちろん中に居る我々で考えていくのですが、せっかくの機会ですので、所外の先生方は大変色々な御経験がおありですので、そういった点からご助言を頂ければというのがこの総合討論のテーマになっています。

とは言え、少しネタ出しということで、「原子炉による実験及びこれに関連する研究」というところから、我々は3本柱を立てようということで、今日3つの話をしました。恐らくこの3本柱が一つのポイントになるのかなということがございます。もう一つは、研究所の特徴ということで今日も話がありました。順不同で並べてみましたが、一つは止まるけど原子炉がある、多様な加速器施設、RIとか核燃料物質が使えるホットラボやトレーサー棟があるというところが特徴になりますし、共同利用・共同研究拠点として全国の関連する大学、研究機関と非常に密接な連携が既にあり、これからもそれを強化することが重要であろうと。あともう一つは京都大学ですが大阪府の熊取町にあることもポイントになります。京大から見る

と熊取町は遠隔地になっていまして、大学の中での研究所の立ち位置というところも考える必要があるかと。あと我が国の原子力教育研究というところで、非常に複合研が期待されているという話があります。中に目を向けますと、色々な分野の先生方がこちらに所属していることで多様性が一つ武器になるかと。先程、東工大が東京医科歯科大学と統合するというお話がありましたが、我々の研究所はもう医学研究科との連携といいますか、お医者さんもここで研究をしていまして、最初からできているということがある。それと福井県に新しい試験研究炉ができるのでどう貢献するかということがある。それと福井県に新しい試験研究炉ができるのでどう貢献するかということがある。それと福井県に新しの連携は若干手薄であり、隔地ということもあり学内での学部教育、大学院教育に関しては、研究所ですので手薄になっており、これらを踏まえた上でこの3本柱を見据えつつ KUR 運転終了後の複合研の目指すべき方向性はどういったところなのか、ということを討論していきたいと考えます。

所外の先生方で、まずは本日ご登壇頂いた先生方からお考えをお聞かせ頂きたいと 思っています。まずは阿部先生ご助言お願いいたします。

阿部: 東大の原子力専攻ですけども、規模はかなり小さくてトータル 50 人程で構成される組織で、加速器の建屋が電子加速器、イオン加速器、それから原子炉、それに付随して RI の施設がそれぞれの建屋に分散している構造を取っています。ヒューマンリソースのスケール、それから研究のバリエーションに関しては京大の足元にも及ばない感じではあるのですが、その中で本郷の原子力国際専攻と上手く協力する形で学生さんを呼び込んできて、総合的な原子力の研究を進めていくスタンスでやっています。今日お話を伺っていて、先進的な研究をなさっていて素晴らしいなと改めて感心させられたところがある一方で、我々が考えているこれからの原子力専攻の姿とは異なりますが、京大さんが考えている姿には大きな特徴があって、その特徴を上手く活かしながら将来計画を考えてらっしゃるなと分かりました。ありがとうございました。大変勉強になりました。

サゼスチョンをと言われましても、なかなかできるものではないですが、やはり東と西に分ける考え方が適切なのかという問題は置いておいて、京都大学さん、あるいは福井大学さんをはじめとした西日本側で原子力を牽引していらっしゃる近畿大学さんを含めた機関がうまくコンソーシアムを作り、JAEA さんと上手く協力をしつつ特色を出していけるというところがいいなと思います。私達は茨城の地の利を上手く活かすことがキーワードで、JAEA さんの協力は欠かせないところがありますけど、それぞれの特色を出しながら先進的な研究が進めていけるかなと思っています。ありきたりではあるのですが、今日お話し頂いた内容をより深掘りされれば、より良い将来計画になると期待申し上げます。具体的に無くて恐縮ですが、こ

れから将来計画を立てていく上で考え方が非常に勉強になりましたので、私達としても役に立たせて頂いて私達なりの独自のものを作りたいなと思います。

黒﨑: 阿部先生ありがとうございました。それでは峯尾様よろしくお願いいたします。

峯尾: ありがとうございます。先程ご説明したように新試験研究炉を作っていく、実施し たいというところで12月に選定されました。その前提は京都大学、福井大学とし っかり連携しなさいというのが文科省からの条件ですので、新試験研究炉を作って いく上では色々な面でご協力頂いていますけど、京都大学様には引き続き連携して 頂いて進めていかなければならないところでございます。特に今京都大学さんを中 心にやって頂いているのは、どちらかというと炉よりも中性子利用の実験装置を 色々なニーズを踏まえて、例えば今日お話した小角散乱、中性子イメージング、反 射率計とか回析計、まずはファースト4といいますか優先順位を高くして整備する 装置を絞って頂いたのですが、運転開始は少し先になりますのでその時に最新の装 置にしたいわけです。そういったことも含めて、装置の開発設計を、もちろん機構 も関わっていくつもりですけども、京大さんに主導して頂いて、途中例えば機構の 他の施設で実験装置を実証して頂く等もあるかもしれませんが、いずれにしても運 転開始の時に一番良い状態の装置を炉に設置できればと思いますので、そこに是非 貢献して頂きたいのが一点。それから、敦賀に炉ができれば、駅前にキャンパスも 整備していくことになるだろうと思いますので、例えばそこにサテライトを出して 頂いて。やはり京大さんのブランドは敦賀にとっても魅力的ですので、これはほと んどお願いになってしまいますが、そのような面もあるかと思います。中性子発生 しているだけでは使い物になりませんから、それを利用する部分は京大の方々にご 協力頂いて良い施設にしたいと思っています。そこの貢献を期待したいです。以上 です。

黒﨑: 峯尾様ありがとうございました。では続きまして、近畿大学の山西先生お言葉を頂 戴出来ればと思います。

山西: ありがとうございます。私からは期待を述べるにとどまります。近畿大学では原子 炉を用いた教育を行っていますが、私立大学ですし規模もそれほど大きくないの で、国として原子力人材育成を行うことになると、国立大学に担っていただくのが 看板として重要かなと思っていますので、その点で期待したいです。その原子力人 材育成イニチアチブ事業においては、原子力を専門にする学生だけではなく、他分 野の学生も対象になってきます。原子力はいろいろな分野に繋がっています。まさ に複合研で展開されている研究や研究に関わっている方々の専門分野も様々ですの

で、教育の方にもより多様に深く関わっていただくことを期待したいと思います。 すでに複合研さんはいろいろな分野で先進的な研究をされていて、日本の中でも原子力の大学研究機関としては最大、最高のランクではないかと思います。牽引して頂く立場にあるかと思いますので、そういった立場を利用しながら研究のコミュニティをより発展させていっていただく、そして国際的な役割をフロンティアとしてどう開拓していくかを指し示していただかなければならない立場かなと思います。 以上期待ばかりですが。

黒崎: 非常に参考になるご意見ありがとうございました。目指すべき方向は我々自身が責任を持って決めていくものですが、色々な方のご意見を聞いておきたいということもありまして、会場参加者の皆様からも、「こんな話もありますよ」「こういったのはどうですか?」など、是非この機会にご発言を頂きたいと思います。

深澤: 国内外連携は非常に重要だと思うのですが、皆さんが全く同じ研究をしていても面白くないので、先程篠原先生がおっしゃったように、複合研独自の技術もその連携の中で開発してほしいなと思っています。例えば連携するなら、あなたの大学はここを中心にやる、こちらの大学はここを中心にやる等、上手く住み分け、分担をして日本の原子力界の発展に寄与して頂きたいと思います。例えば1Fの廃止措置に関してはKURAMAが大活躍しました。これは京大の非常に大きな特徴であって成果であると思います。このような一例もありますので、そのようなことを考えながら進めていただければと思います。以上です

黒崎: ありがとうございます。非常に貴重なご意見だと思います。

篠原: コメントというよりも質問に近いのですが、今の研究所の目的を考える際に、もしくはポスト KUR のことも含めて、福井炉にどういう関わり方をするか、沢山期待がありますよね。ただし、組織としてどういう関わり方をするかによって大分違うと思います。原子炉を目的の中に含めるかどうかに関わってきます。そのあたりいかがでしょうか。

黒崎: これは今まさに議論しているところです。進んでいる話なので、詳細設計にこれから入っていきますので、複合研は一定の貢献はする。どちらかというと積極的に関わろうとしています。一方で、熊取で何をやっていくかというところも非常に重要になってきます。両睨みと言いますか、峯尾様のお話にもありましたが、新試験研究炉ができるのが10年、15年くらい先の話ですので、時間軸が異なることもあって、篠原先生からのご質問の、ここにどう関わってそれをどう目的理念の中に落と

し込むかというところは本当に難しいです。難しいことは理解していて、現状も理解しているので、どのように落とし込んでいくかというところでしょうか。

篠原: ユーザーとしては、サテライトでも作ってガッツリと将来の新研究炉でも、KURで培ったノウハウを繋げてほしいと思います。そして、サポートする人、一緒に研究する人が居ないと利用的なことも進まないので、その辺も想定して頂いて考えて欲しいと思います。

黒崎: このお話は、先程の峯尾様の話にもありましたが、福井県からの期待もあって、京都大学が一つのブランドだという話も頂いている一方、熊取で頑張ってきた熊取町での複合研の立場もあって非常に難しいかと思います。そうは言っても何もしないわけにはいかないので、どうにかやっていくことになるというのが今出来る回答になると思います。

中西: どうもありがとうございます。非常に良くわかりました。将来設計ということで一言感想を述べさせてください。ユーザーというのは、色々なことが出来るといって、色々な研究をされ、それぞれに非常に発展して良い成果が沢山あると思いますが、ユーザーはそこで自分に何が出来るかに目が向いて、複合研全体のことはあまり考えない傾向があるのではないかと思うのです。色々な研究が進むことはそれぞれに良いわけですが、なぜユーザーがそういう実験が出来るかというと、長年複合研で培ってきた技術やいろいろな研究蓄積があり、そこで初めて応用研究が出来ていくわけです。ですから、こうだという方向性が決められなくても、いつも全体を見る人と、それから基礎研究と言いますか、今まで培ってきた成果をきちんとアーカイブして議論をするという、両面を保っていっていただければいいなと思っています。以上です。

黒崎: ありがとうございます。

畑澤: 今日一日聞かせて頂いて、原子力の分野で、原子力と言うとすぐエネルギーになるのですが、エネルギー以外でこんなに幅広く豊かな研究が行われていることで良かったと思っています。今は鈴木実先生ですけども、私は小野先生や皆さんとBNCTを一緒に推進してきたものですから、その中で得られた、今はもちろん保険診療になって成果は世の中に還元されましたが、今世の中に必要とされているのは電磁放射線ではなく粒子放射線による生物影響、安全性の限界をどのように科学的にエビデンスを得るかが非常に大きな問題になっています。ですからBNCTの延長線上として粒子放射線の生体影響、特に医療に応用する場合の安全性を確保するため

の基礎研究を是非継続して深めて頂きたいと思います。今回のテーマの中に原子力、放射線、それからRIというキーワードがあり、安全性がキーワードとして見えなかったものですから、原子力と言えば何はともあれ人に対する安全性が前提だと思いますので、そのような研究も是非力を入れて含めていただければと思いました。ありがとうございました。

黒﨑: ありがとうございました。非常に参考になるご意見を会場から頂きました。お時間 になりましたので、簡単にまとめさせて頂いて総合討論を閉めさせていただきま す。

まず阿部先生からは西と東というお話が出まして、連携が非常に重要だと。例えば 西日本で原子力を牽引していく福井大、近大、京大、阪大、神戸大ありますけどそ ういった繋がりを大事にしなさいとご助言をいただきました。

峯尾様からは、新試験研究炉にどういう形で貢献するかという話。出来るのは 10年、15年後なので、そこで最先端の物を入れるためにはどうすればよいか、ということを考えながら装置の設計をしなさいと。サテライトの話もありました。京大ブランドは非常に重要で福井県からの期待も大きいというお話をいただきました。山西先生からは、教育の話ですね。原子力は色々な分野に繋がっていて多様な分野があり、複合研はまさに多様性でデパートであると。色々なものが揃っているので、これを武器にコミュニティを牽引しなさいとのご助言をいただきました。

深澤様からは、連携するにしても複合研の独自の強みがあった方がいいよというお話、篠原先生からは研究所の目的を考える上では福井県の新試験研究炉との関係が 重要なポイントになるというお話をいただきました。

中西先生からは 共同利用・共同研究拠点が我々の立場ですが、その上でユーザー 視点を考えることが重要だよというご助言でした。

畑澤様は、非エネルギー分野で、複合研はかなりきちんと最先端の研究をやっているねとお褒めの言葉を頂き、また BNCT を例に挙げられ、これから発展していきそうな分野についてもご助言いただきました。最後に安全の話が出まして、ご指摘いただいてそう思いました。 S+3E で、Sは何よりも先に来るのは原子力において本当に重要なことで、もちろん当然ですけれども、安全、いわゆる組織として安全管理を行うのはもちろんですけど、安全に関する研究もこれから手掛けていきなさいというお話だと理解しました。

今日はお話を頂いただけでそれに関する回答は、これから我々が考えながら作っていくのですが、今日頂いたご意見ご助言は肝に銘じて考えていきたいと思っています。

中島: 次期所長の黒崎先生がまとめて頂いたので、今更付け加えることは必要無いかも しれませんが、私は3月でここを去り、その後は外からの立場で見守る形になの で、その前に少し発言させてもらいます。まず KUR はこれから停止に向けた準備 を進め、それまではしっかりと利用をしていきます。KUR が停止したとしてもま だここには KUCA という小さいですが原子炉がございますし、サイクロトロンや 電子ライナック、それからホットラボラトリといった大学レベルとしては非常に貴 重で、国内的に、世界的に見ても非常に希少な施設が集約しておりますので、それ らを使ってしっかりとした基礎的研究、近大山西先生からありました原子力教育の 中心的な拠点として、今後も活躍できると私は考えております。福井の新試験研究 炉は大分先になりますが、そちらが動き出せば、少なくとも中性子利用に関する研 究の多くの部分は福井に移らざるを得ないだろうと考えております。その時には当 然ながら京大としてもそれなりの、サテライトなり拠点なりを構築をして、そこに 来るユーザーとしっかり協力しながら新しい中性子利用の研究を開拓していくこと になるものと思います。それまでの間は今ある我々の施設、あるいは外部の中性子 源をうまく利用しながら人材をしっかりと育成していく。先程もありましたけど、 単に原子力人材育成といってもエネルギー利用のための人材だけではなく、研究者 もしっかり育てることを今後は展開していく必要があると思いますので、そういっ たこともやっていきたい。そのためには今日参加して頂いている方、あるいはそれ 以外の方も含めて多くの方のご協力をお願いしたいと思いますのでよろしくお願い いたします。

黒﨑: ありがとうございました。これで総合討論を終了させていただきます。

12. 閉会挨拶

(京大複合研) 五十嵐 康人

閉会挨拶

私から特段に付け加えることはないのですが、昨年は非常に寒い日で、朝に雪が降り積もったことを覚えておりまして、状況を受けて「冬来りなば春遠からじ」みたいなことを言ったかなと思うのですが、今日は昨年度よりももっと具体的な中身が展開されまして、春は別に遠くないのかなと感じました。こういった機会を来年度以降も継続いたしますので、皆様方からのご参加と、是非ともご講演のご希望をして頂けると有難いのかなと感じるところですので、どうぞよろしくお願いいたします。本日は朝早くからありがとうございました。

京都大学複合原子力科学研究所 副所長(研究教育担当) 五十嵐 康人

令和 4 年度度京都大学複合原子力科学研究所将来計画短期研究会 プログラム

日時:2023年2月6日(月) 10:30-

開催場所:オンライン形式

10:30-10:35	開会挨拶	三澤 毅(複合研)
10:35-11:00	複合原子力科学研究所の近況	中島 健(複合研)
11:00-11:30	量子ビーム生体高分子統合研究センターについて	杉山正明(複合研)
11:30-12:00	「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉について	峯尾英章(JAEA)
12:00-13:15	昼休み	
13:15-14:40	関係機関の状況	
	・近畿大学 原子力研究所	山西弘城(近大)
	•東京大学 原子力専攻	阿部弘亨(東大)
	・東京工業大学 ゼロカーボンエネルギー研究所	加藤之貴(東工大)
14:40-14:55	休憩	
14:55-16:10	ポスト KUR に向けた検討	
	•新型原子炉•廃止措置研究	黒﨑 健(複合研)
	・多様な量子ビームを用いた研究	田中浩基(複合研)
	・多様な放射性同位元素を用いた研究	山村朝雄(複合研)
16:10-16:50	総合討論	(モデレータ:黒崎)
16:50-16:55	閉会挨拶	五十嵐康人(複合研)

令和4年度 京都大学複合原子力科学研究所 将来計画短期研究会報告書 (令和5年9月発行)

発行所 京都大学複合原子力科学研究所 大阪府泉南郡熊取町朝代西二丁目 TEL 072-451-2300