

2022年1月17日  
第30回放射線利用総合シンポジウム

# 京大複合原子力科学研究所の近況

京都大学複合原子力科学研究所  
中島 健





# 京都大学 複合原子力科学研究所とは

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

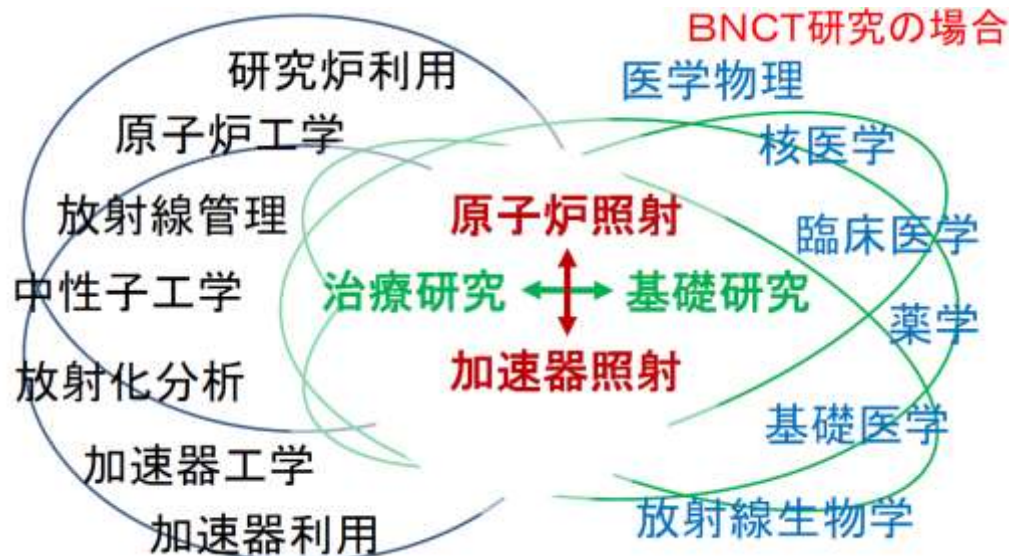
原子炉という実験ツール(実験フィールド)の提供

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

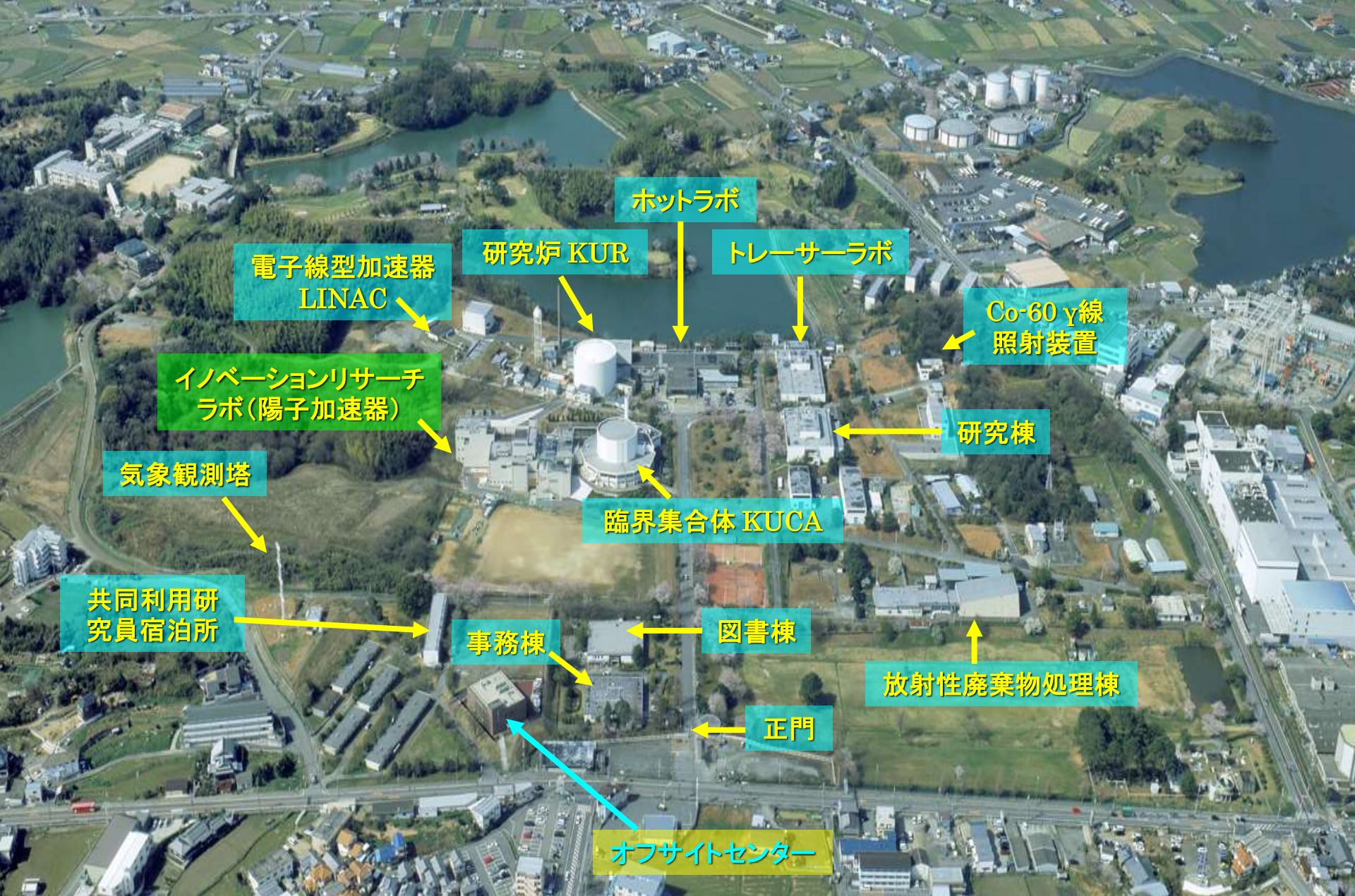
研究フィールド(研究内容・研究装置等の融合的発展)の提供



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



# 複合原子力科学研究所敷地

敷地面積: 約10万坪



臨界集合体実験装置  
(KUCA)

研究用原子炉  
(KUR)

イノベーションリサーチラボ  
(FFAG陽子加速器・加速器BNCT)

## 複合原子力科学研究所の主要3施設

**KUR** : 1964年6月初臨界

**KUCA**: 1974年8月初臨界

イノベーションリサーチラボ: 2004年3月竣工

# 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

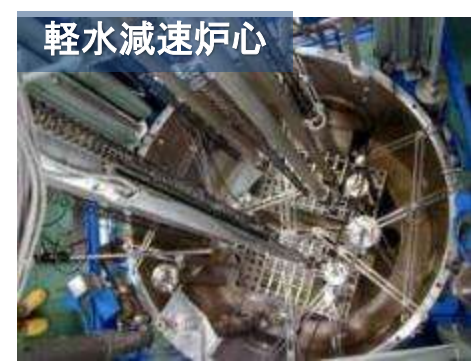
# 京都大学臨界実験装置:KUCA (Kyoto University Critical Assembly)

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)

停止のみ  
でOK

中性子を利用するための装置



# 京都大学研究用原子炉:KUR

(Kyoto University Research Reactor)

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



KURの炉心

## 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)



# 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

(元興寺文化財研究所)

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:兵庫県教育委員会蔵)



経筒



XRG



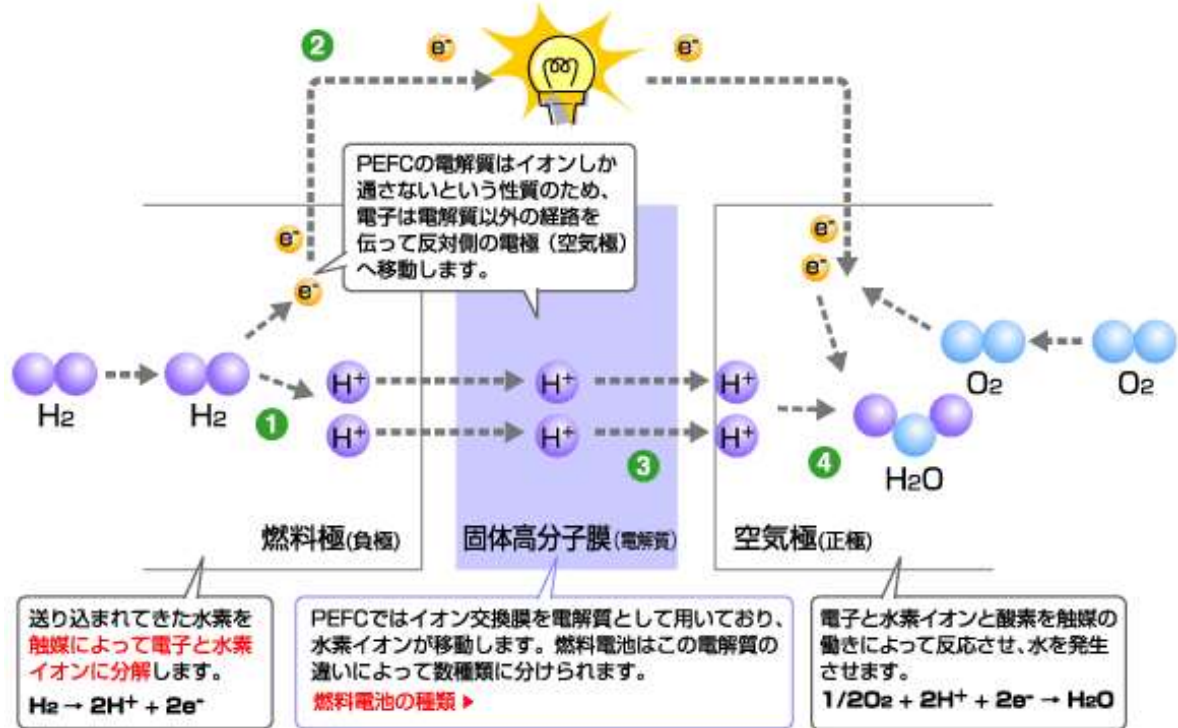
XRG



NRG

# 小型固体高分子形 燃料電池内の 水分測定

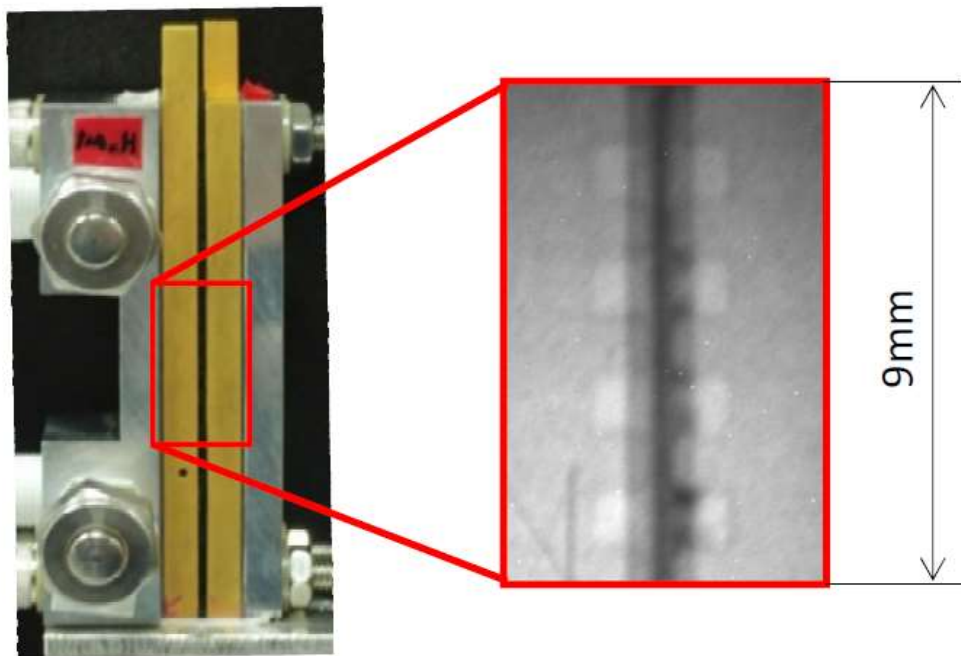
(神戸大・浅野他)



## 空気極側に発生する 水分挙動を観察

## 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ジ  
<https://www.osakagas.co.jp/rd/fuelcell/pefc/pefc/index.html>より)

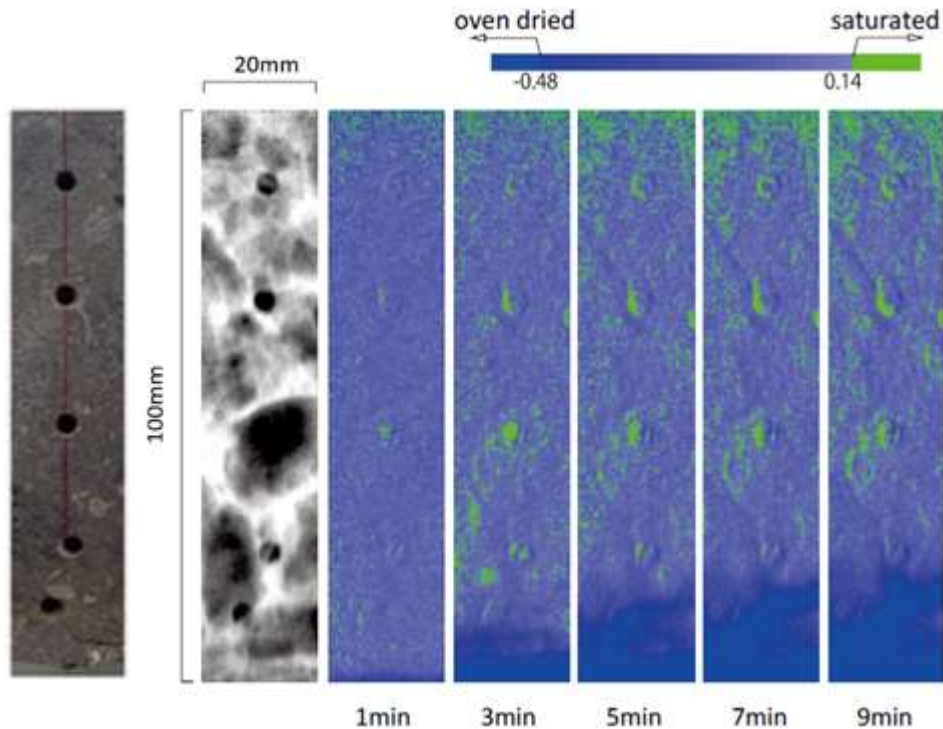


(村川他、中性子イメージングカタログ  
 (中性子施設ハンドブック)、p.l-56)

# 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。



爆裂後



爆裂前



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)

# 小惑星探査機 はやぶさ (MUSES-C)

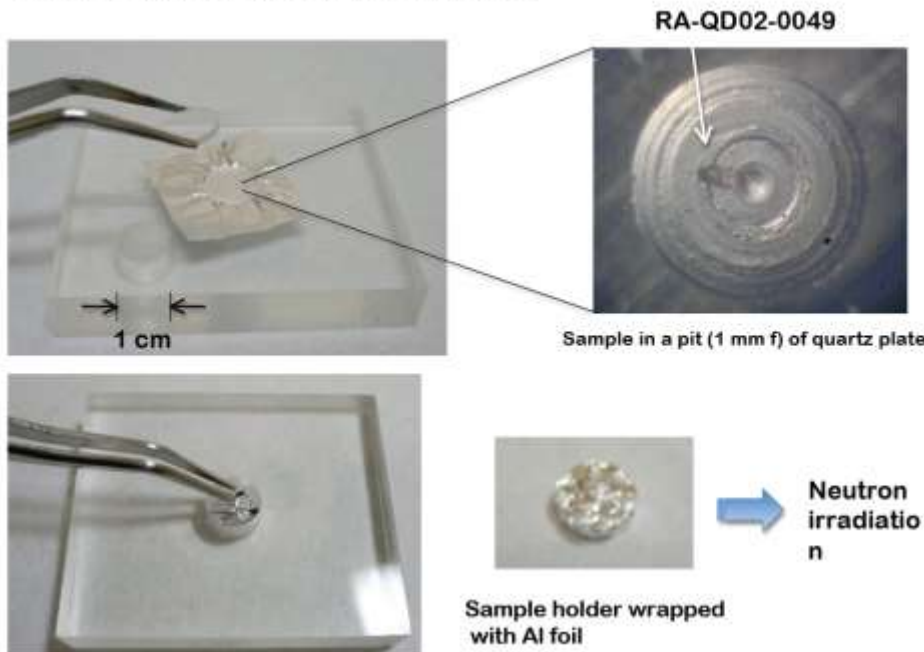


打ち上げ: 203年5月9日  
大気圏突入: 2010年6月13日



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

## Sample preparation for NAA



中性子放射化分析法による固体試料中の微量元素の  
定量(2010年～現在)

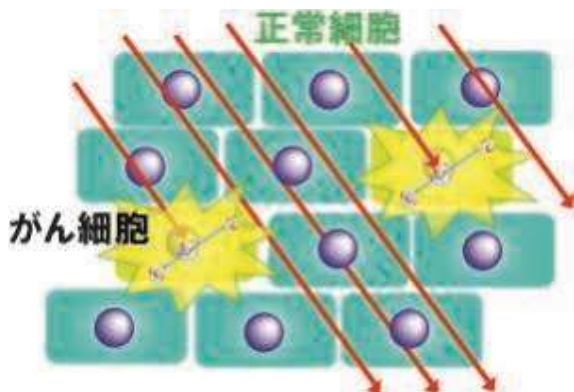
【中心研究者】 関本 俊(京都大学原子炉実験所)、海老原 充(首都大学東京)

【研究協力者】 大槻 勤(京都大学原子炉実験所)など

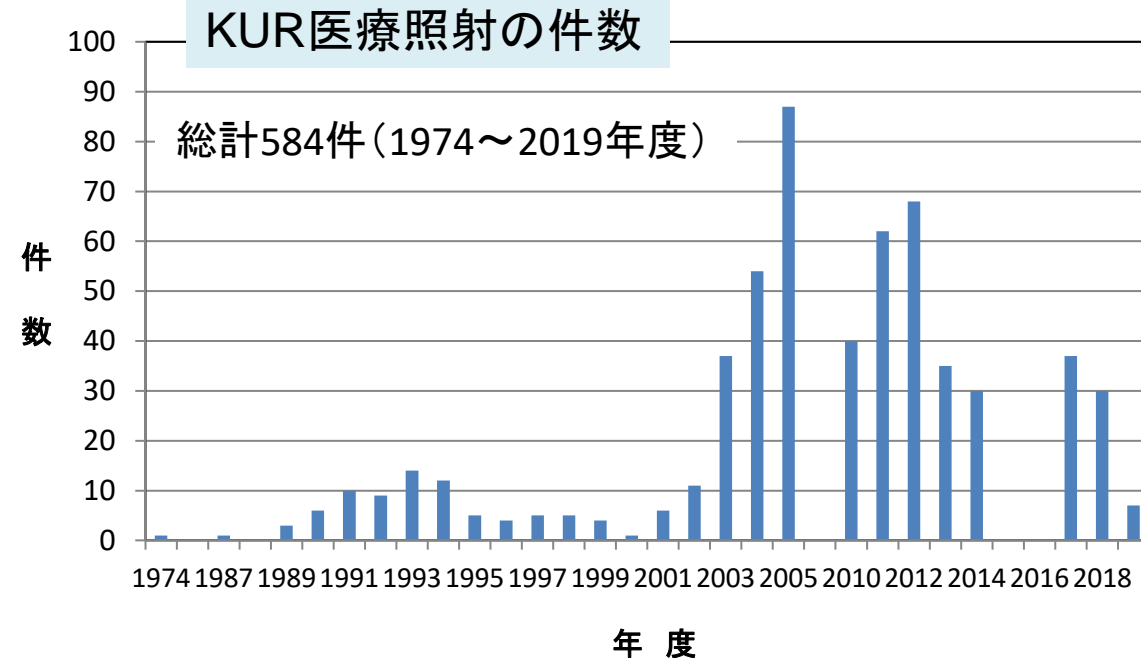
### 【研究概要・成果】

- 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精密に定量。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)



1. ホウ素を含有した薬剤を標的細胞(癌細胞)に注入.
2. 熱中性子を照射.
3. ホウ素が熱中性子を捕獲し、 $\alpha$ 粒子とLi粒子に分裂.
4. これらの粒子が、標的細胞を破壊.



## 加速器によるBNCT治療



サイクロトロン加速器ベース熱外中性子発生装置。2012年に治験開始。(世界初の加速器を用いたBNCT照射装置)

# 世界のBNCT施設

FiR-1フィンランド研究炉  
(1999-2012) 318例

R2-0スウェーデン研究炉 (2001-2007) 52例

HFR-Petten 欧州委員会研究炉 (1997-2006) 30例

LVR-15チェコ研究炉 (2000-2004) 5例

TRIGA II Pavia  
イタリア研究炉  
(2002-) 2例

IHNI中国医療専用炉  
(2014-) ≥ 3例

THOR 台湾研究炉  
(2010-) ≥ 34例

HTR日立炉 (1968~1974) 13例  
JRR-3原研三号炉 (1969) 1例  
JRR-2原研二号炉 (1990-1996) 33例  
JRR-4原研四号炉 (1999-2011) 107例  
MuITR 武蔵工大炉 (1977-1989) 108例

KUR 京大炉 (1974, 1987-)  
584例

MITRマサチューセッツ工科大学炉  
(1959-1961, 1994-2003) 48例

BGRRブルックヘブン黒鉛研究炉  
(1951-1958) 28例  
BMRRブルックヘブン医学研究炉  
(1951-1961, 1994-1999) 71例

RA-6 アルゼンチン研究炉  
(2003-) ≥ 9例

# サイクロトロンベース熱外中性子源

イノベーションリサーチラボ(医療棟)に設置

住友重機械工業社

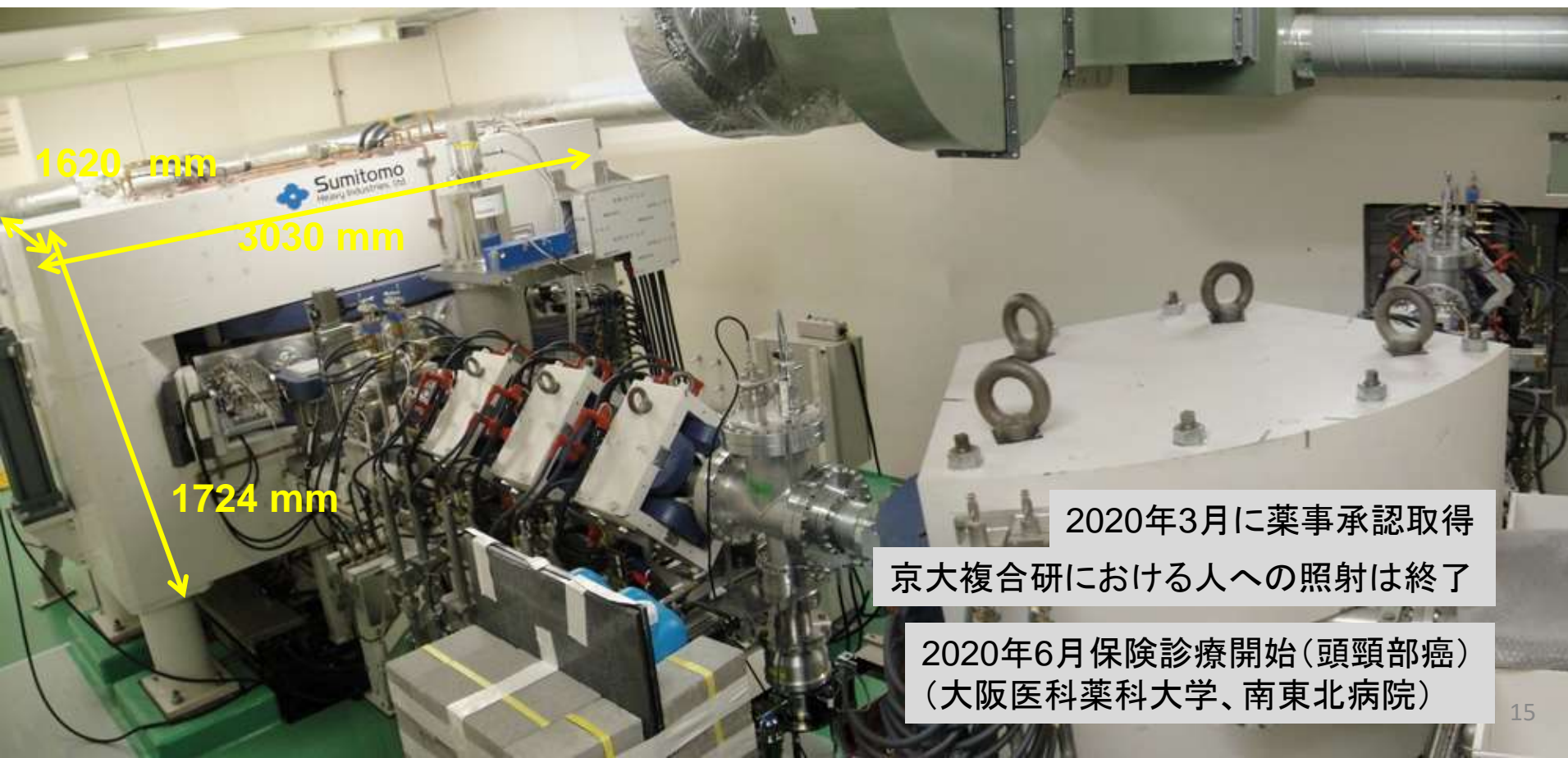
サイクロトロン型式:HM30

加速粒子:水素負イオン(-H)

加速エネルギー:30MeV

陽子電流: 1mA

出力: 30kW



2020年3月に薬事承認取得  
京大複合研における人への照射は終了

2020年6月保険診療開始(頭頸部癌)  
(大阪医科薬科大学、南東北病院)

# 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(研究テーマ)

- 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



- 火曜日：臨界近接実験、金線・金箔の照射



- 水曜日：制御棒校正実験、中性子束分布測定(放射化量測定)

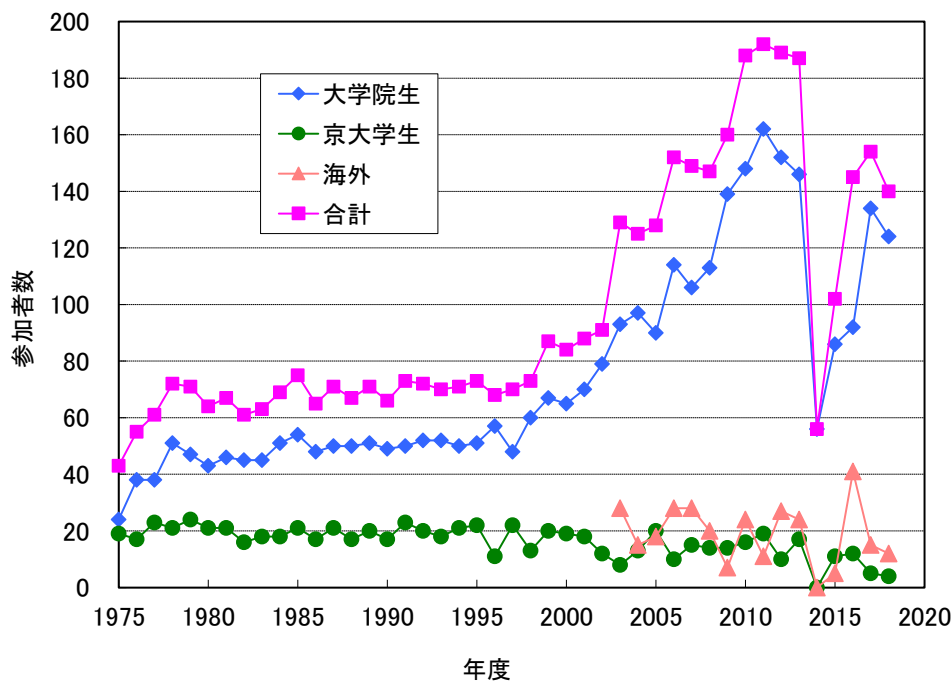


- 木曜日：運転実習、討論会

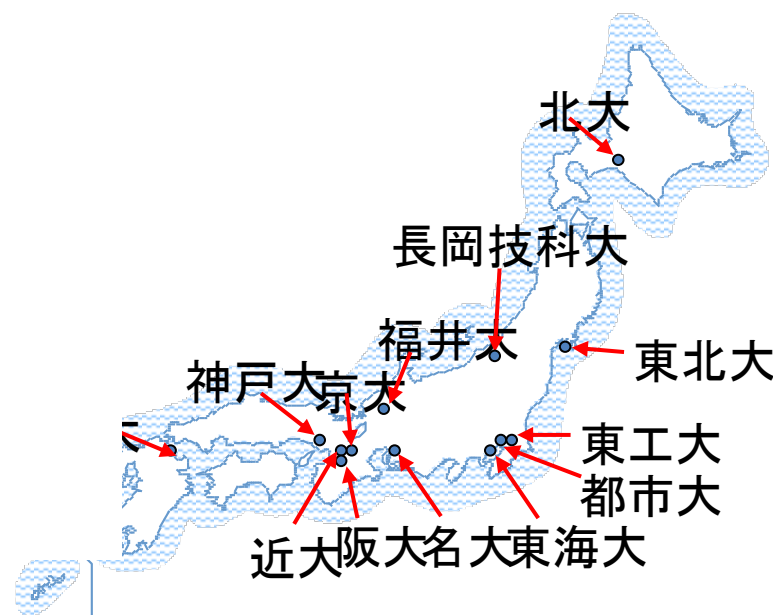


# KUCAを用いた実験教育

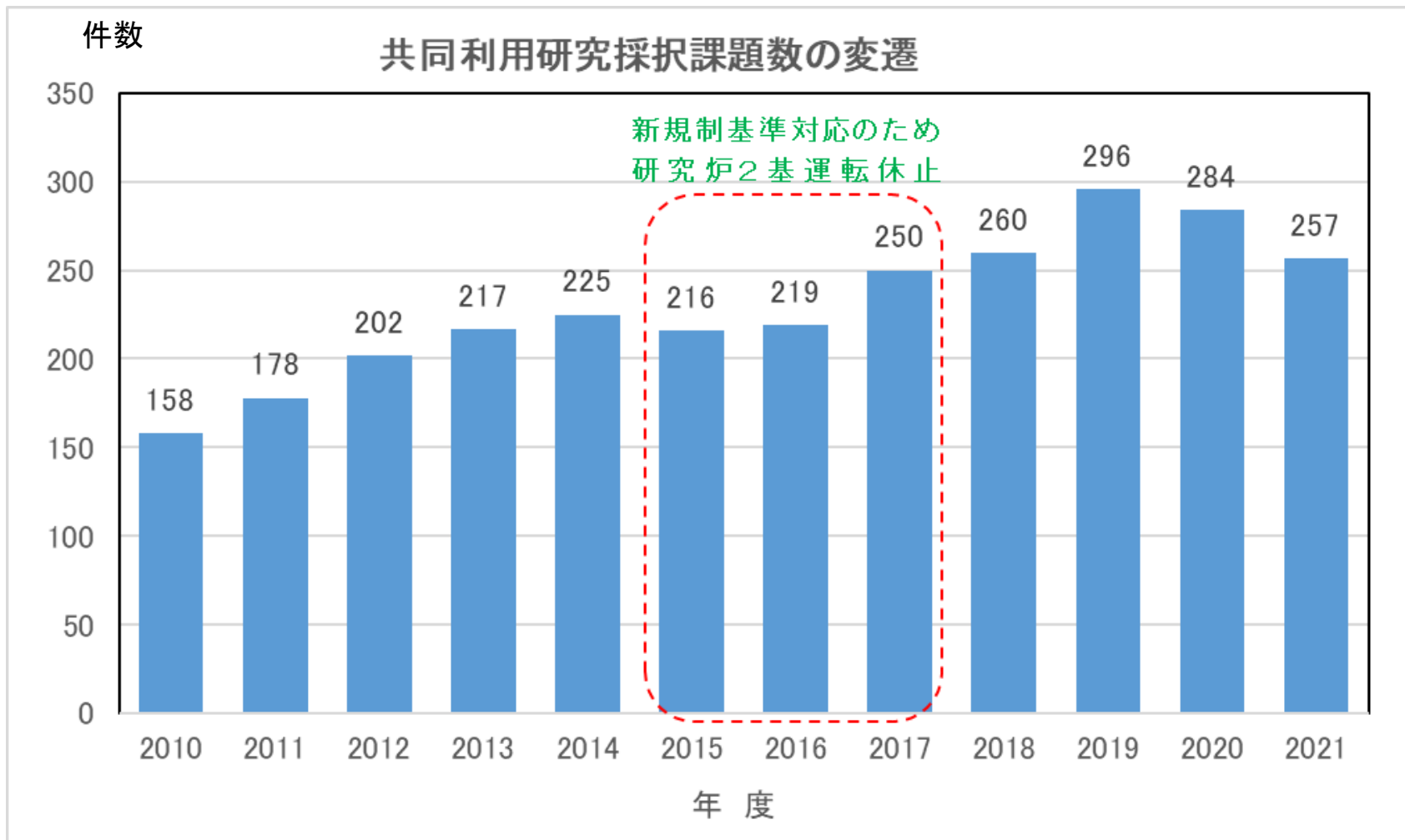
1974年 臨界集合体(KUCA)初臨界  
 1975年 KUCAを用いた大学院生実験を開始  
 2003年 海外の学生向け実験を開始  
 2010年 参加者総数 3000名到達  
 2019年 参加者総数 4472名



臨界集合体を用いた実験の年当たりの受講学生数



# 共同利用研究の状況



概数としては 共同利用件数（通常時）  
年間約200件、約4000人日

# 福島第一原発事故後の研究炉再稼働までの経緯

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

※試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則の施行

# 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

- 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(震源を特定せず策定する地震動)**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  
今後、審査が行われる予定

# 原子炉施設の安全管理上の課題

- 人員・経費
  - 安全規制・セキュリティ強化への対応のための人員・経費の増加
    - 新規制基準により新たに設置あるいは規制対象となった設備の維持管理対応
    - 新規制基準で要求される緊急時対応要員の増加
    - 安全管理の品質マネジメントシステム対応
    - 新検査制度、RIセキュリティ導入への対応、など
- KUR使用済燃料(SF)の取扱い
  - 2026年5月までに生じたSFはDOEが受入れ(2029年までに返送が必要)
  - 以後の受入れは(原則)行われない(← 期限の延長は行われない見込み)
  - 2026年以後の運転は困難な状況
- KUCA燃料の低濃縮化
  - 日米合意に基づくHEU燃料の撤去及びLEU燃料炉心への転換を実施
    - 設置変更を含む各種手続きが必要
- 施設の高経年化対応(主にKUR)
  - 当面は維持可能、長期利用のためには大規模更新が必要
    - 廃止措置に向けた検討が必要(人員、予算、廃棄物の処分)

# 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)、LEUの入手(製造、搬入)
- 上記のための設置変更等各種手続きの実施
- 低濃縮炉心の特性測定(炉物理試験):その後、運転継続

- KUR

2026年5月:米国のSF引取り期限

この期限を超えて運転した場合に発生するSF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

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、日米で合意された。

# 「もんじゅ」サイトに設置する新試験研究炉について

## -これまでの経緯-

### これまでの国の動き

- 平成28年 12月
- 「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針を決定
    - ・将来的に「もんじゅサイトに新たな試験研究炉を設置し、我が国の今後の原子力研究や人材育成を支える基盤となる中核的拠点となるよう位置付ける」ことが示される
  - 文部科学省における炉型の絞り込み
    - ・2017年度より設置すべき炉型等の概念設計に向けた調査を実施し、検討の結果、
      - ①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としてふさわしい機能の実現
      - ②地元振興への貢献
    - の観点から中性子ビーム利用を主目的とした「中出力炉(出力1万kw未満)」に絞り込み
    - ・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

- 令和2年 9月
- 文部科学省による公募
    - ・委託事業「もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」を公募

- 令和2年 11月
- 原子力機構・京都大学・福井大学を、委託事業の**中核的機関として採択**
    - 原子力機構:「試験研究炉の設計・設置・運転」
    - 京都大学:「試験研究炉の幅広い利用」
    - 福井大学:「試験研究炉に係る地元関係機関との連携構築」の検討



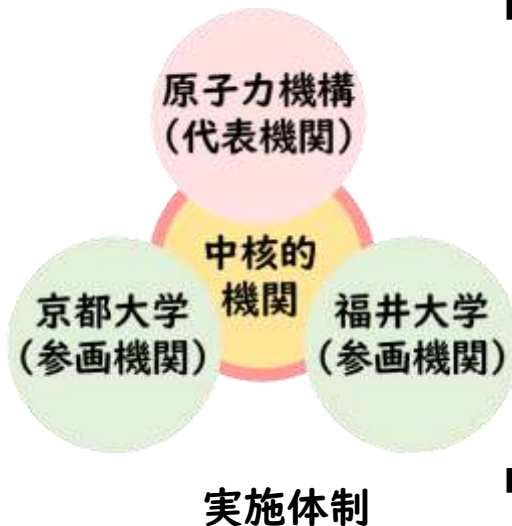


# 新試験研究炉の状況

## 文科省委託事業概要

- 事業名：もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討
- 事業期間：令和2～4年度
- 事業内容：(1)コンソーシアムの構築 (2)運営のあり方検討 (3)概念設計

## 中核的機関



- 各中核的機関が適切な役割分担のもと、我が国にとって重要な試験研究炉の設計・建設に向けて、組織をあげて対応する
  - ✓ JAEA：「もんじゅサイト試験研究炉準備室」を立ち上げ原子炉の知見、もんじゅサイトの知見を持つ人材を糾合
  - ✓ 京都大学：KURの利用運転の実績を活かす、複合原子力科学研究所として全所的な対応体制を構築\*
  - ✓ 福井大学：学長を長とするタスクフォースのもとに、産学官連携本部も加わる体制を構築
- コンソーシアムでの意見を集約しつつ、アイデアと最新技術を盛り込み、研究開発、人材育成、地元振興に貢献する試験研究炉を目指す

\* 新型研究炉開発・利用センター 設置(2021年5月)

# 新試験研究炉：概念設計

- 原子炉本体施設
  - ・ R2年度：炉及び炉心の主要設計仕様について検討を開始
  - ・ R3年度：熱出力、炉心形状、燃料の種類、冷却材等を設定、設計目標の具体化
  - ・ R4年度：燃料の装荷量、制御棒、反射体、炉心配置等の具体的な炉心体系を設定
  - ・ JAEAがこれまで得た知見を反映するとともに、グレーデッドアプローチの考え方に基づき、炉の安全性を合理的、体系的に計画
- 利用設備
  - ・ R3年度以降：中性子を十分効率的に利用できるビーム設備、照射設備、実験設備等の概念設計を実施
  - ・ 「幅広い利用運営」WGと連携し、汎用性及び実用性が高いもの、今後の原子力分野の発展につながる独創性との両立を考慮
- 施設レイアウト
  - ・ R3年度以降：原子炉本体施設、実験施設、ホットラボ施設、運転に必要な各種付属設備の建屋を含むプラント敷地内の建屋・構造物の配置概念を検討
  - ・ 省スペース化、工事の簡略化、工期の短縮化、利用者のアクセス性の確保、実験装置の搬出入の容易さ、核セキュリティ上の安全確保なども考慮

# 新試験研究炉：概念設計のスケジュール



※1 予備的調査(1年目)  
本格調査(2年目、3年目)

※2 設置許可取得及び建設のための  
設工認取得に向けた詳細設計

※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

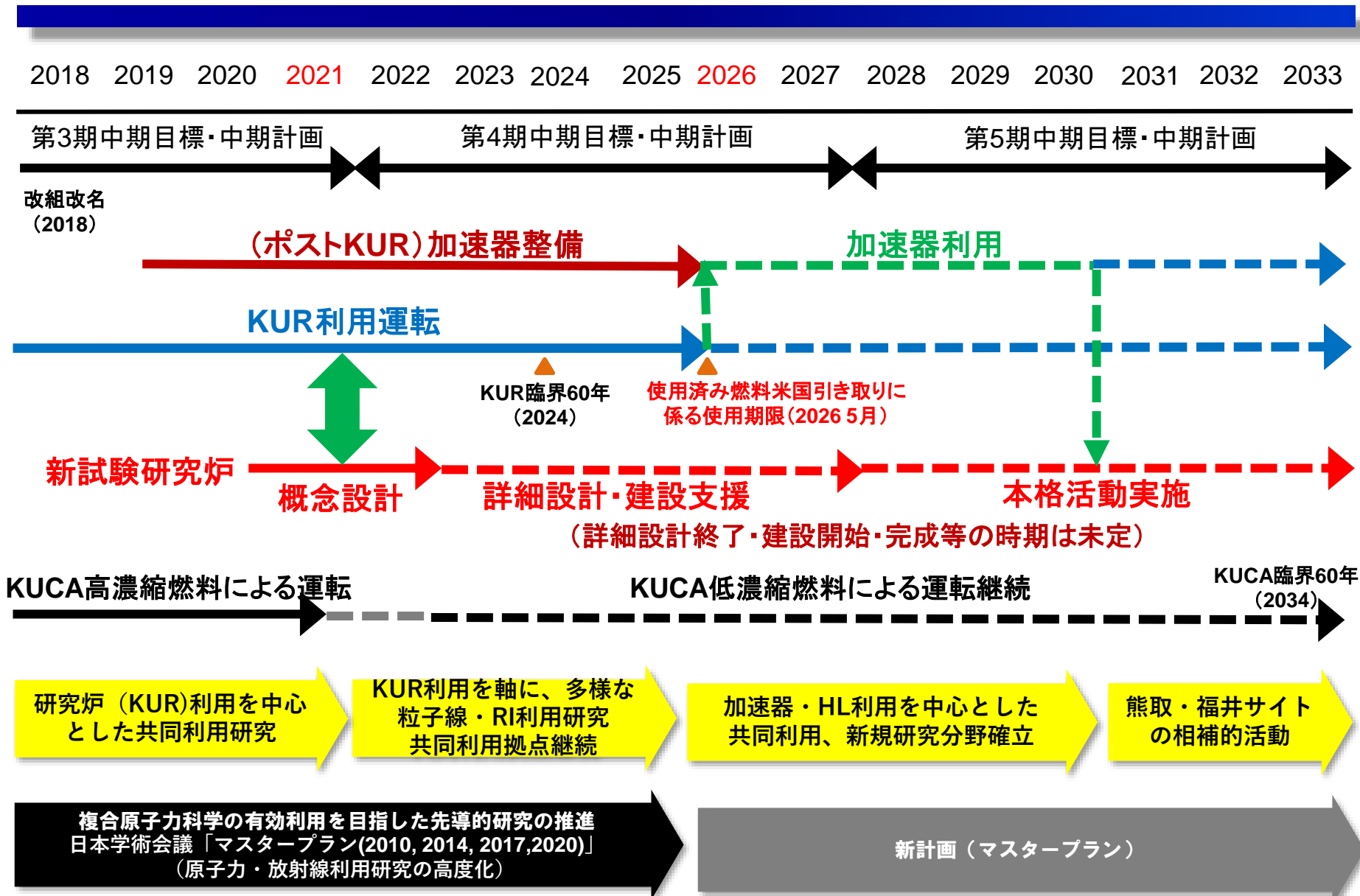
概念設計は公募事業として実施しているが、その後の詳細設計以降の事業形態は未定。

## 当該事業の期間

項目	R2	R3	R4	R5～
運営の在り方検討		利用ニーズ整理、人材育成・利用運営・地元との連携構築のための仕組みの検討		
概念設計		炉心の検討	設備・施設レイアウトの検討	詳細設計 (R4年度中に開始)
地質調査	予備的調査	本格調査		

福井県では、概念設計期間中に、県内企業の研究炉(中性子)利用者育成事業として、KURの見学・利用体験ツアーを予定している。

# 複合原子力科学研究所の全体計画案



# 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)以降の取り扱いを、京都大学として早急に検討・決定する。
- 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。