令和 5 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 6 年 2 月 2 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

第一部／研究所の将来計画

2.　全体概要　（京大複合研）杉山 正明 … 3

3.　ソフト班での議論　（京大複合研）奥地 拓生 … 6

4.　ハード班での議論　（京大複合研）日野 正裕 … 8

第一部／質疑応答　…12

第二部／活躍する若手研究者

5.　創発研究者　（京大複合研）高田 匠　…16

6.　卓越研究員　（京大複合研）渡邉 翼　…22

第三部／施設の整備・維持・強化、今後の方向性

7.　全体概要　（京大複合研）三澤 毅　…33

8.　ＫＵＲ廃止措置　（京大複合研）堀 順一　…36

9.　ホットラボ改修　（京大複合研）沖 雄一　…40

10. ＫＵＣＡ燃料低濃縮化と今後の展望　（京大複合研）北村 康則 …44

11. 加速器施設の強化　（京大複合研）田中 浩基 …48

第四部／全体討論

12. 会場からの質問に所長が回答する　…52

13. 閉会挨拶　（京大複合研）杉山 正明 …63

令和５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　…65

１．開会挨拶

（京大複合研）三澤　毅

開会挨拶

令和５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。複合研の安全管理担当副所長をしております、三澤です。本日午前中の司会を務めさせて頂きます。どうかよろしくお願い致します。

本日はお忙しい中 沢山の方にこの研究会にご参加いただき、誠にありがとうございます。この短期研究会は毎年この時期に行っている研究会でございまして、これまでは京大以外の大学または研究所の現状などを伺いながら、この研究所の将来計画について議論するということが多かったのですが、皆さまご存じの通り研究用原子炉ＫＵＲがあと２年少しで停止を迎えることになっておりまして、その中で所の将来計画について早急に策定して、実行に移さなければいけない状況になっています。本日の研究会は複合研所員のみの発表とさせていただいていますが、所外から参加して頂いている先生方につきましても、活発に参加して頂き、貴重なご意見を賜りたいと思いますので、どうかよろしくお願いいたします。

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．第一部／研究所の将来計画

全体概要

（京大複合研）杉山　正明

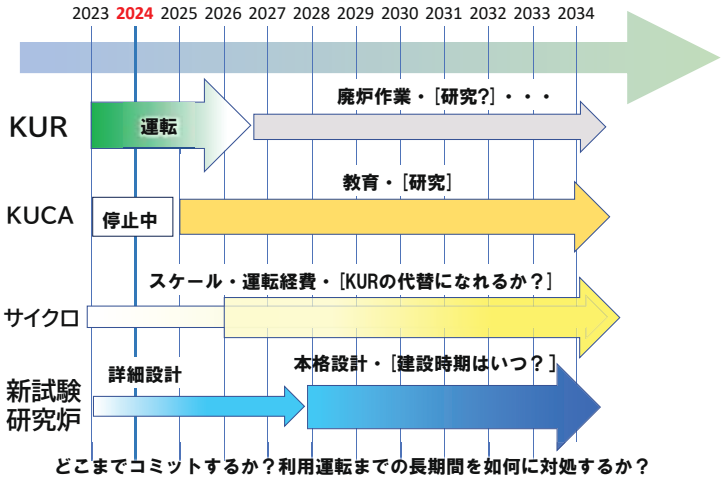
京都大学複合原子力科学研究所 将来計画短期研究会 2024/2/2

京都大学複合原子力科学研究所 将来計画委員会

Make KURNS Better！ = MKB委員会 活動開始・中間報告

杉 山 正 明

研究所のこれからの10年間



京都大学複合原子力科学研究所 将来計画委員会

Make KURNS Better = MKB委員会

委員会構成

委員	井上	倫太郎	
	奥地	拓生	
	杉山	正明	委員長
	日野	正裕	
	堀	順一	
	八島	浩	
	渡邉	翼	
事務	岩瀬	智博	
オブザーバー	黒﨑	健	
	三澤	毅	
	山手	章	

詳細検討班構成

ハード班	日野	正裕	班長
	堀	順一	
	八島	浩	
ソフト班	井上	倫太郎	
	奥地	拓生	班長
	渡邉	翼	

できうる限り多くの所員の方から将来構想はお聞きする予定であり、全所員の方がMKBの議論に実質的に参加して頂くことを考えております。

所員のみなさんが研究所の将来を自分自身の問題として考えていただき＋将来計画に取り組んでいける体制の構築が大切であると思っております。

スケジュール

委員会構成

Phase 1: 現状認識＋共通化(2023年度)
1. 本研究所の問題点
   1.1. 施設的な問題点
   1.2. 学術的な問題点
   1.3. 組織運営上の問題点
2. 本研究所利点
   2.1. 施設的な問題点
   2.2. 学術的な問題点
   2.3. 組織運営上の問題点
3. 本研究所リソース＝持っているもの
4. 本研究所の目指すもの
5. 所内インタビューによる補強

これらの議論から得たいもの
「我々は何であるか？」
「我々は何を目指すべきなのか？」

Phase 2: 将来計画検討・立案(2024年度)
Phase 3: 将来計画実現化活動(2025年度以降)

⇒学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想(ロードマップ)等への応募

Phase 1活動

1. 第1回MKB委員会 2023/07/26
   - 研究所の歴史と研究所の現状認識・分析(人員・予算・共同利用・論文数・科研費・外部資金)

   ハード班：所内大型施設からの視点による現状分析・将来可能性の探索
   ソフト班：所内研究活動からの視点による現状分析・将来可能性の探索
2. 第2回MKB委員会 2023/09/21
   - 各班の検討結果発表及び討論

   各班にて再検討会
3. 第3回MKB委員会 2023/11/07
   クロストーク検討1
   - ソフト班からの意見：ハード班の検討結果を踏まえて
4. 第4回MKB委員会 2023/11/22
   クロストーク検討2
   - ハード班からの意見：ソフト班の検討結果を踏まえて
5. 第5回MKB委員会 2023/12/14
   - 所員の方との意見交換

現状分析
ー目に見える指標からー

施設系の分析

1. KUR: 2026年5月運転停止。廃止措置に移行。
2. KUCA: 低濃縮化後、教育＋研究に有効に利用
3. Co-60: 利用停止。廃止措置に移行
4. LINAC: 高経年化の懸念はあるが今後も利用価値が高い
5. HL: 改修の計画もあり、有効利用の可能性は高い
6. 30MeV Cyclotron: 遮蔽強化等のテコ入れが必要
7. 150MeV FFAG(将来計画では対象から外れている)
8. Tracer: 今後も利用価値が高い

課題は？

- KUR:廃炉措置を研究に展開できるか？
- KUCA:教育から研究にも展開するか？
- LINAC:高経年化対策の論理
- HL: 改修の論理・価値の創造
- 30MeV Cyclotron:遮蔽強化等の論理
- Tracer:利用法検討 皆さんの意見は？

将来計画において
所内の論理だけでなく、外部も納得させられるだけの期待できる成果とその価値の提示が重要

成果系（論文＋外部資金etc）

1. 論文発表（件数）：多くはない
2. 論文発表（質）：Top10%も含め、High IFも出てはいる
3. 論文（その他特徴）：多岐分野に渡っている
4. 研究費（科研費）：採択率は低い
5. 研究費（総額）：少なくはない（受託・創発・CREST・AMED等）

課題は？

- 研究活性化の方策
- 研究所の多様性の活用
- 研究費獲得ー論文発表のサイクル化
- ー部分野でなく所全体での活性化

将来計画において

- 安全管理体制との共存
- 人材有効活用
- 所内施設の更なる活用
- 外部施設との連携策

皆さんの意見は？

MKB：議論のまとめ

ー現状分析を踏まえー

1. 我々は何であるか

- 研究炉および種々の装置を用いて積み重ねてきた
  「多様な放射線・放射性物質を用いた装置・測定技術及びこれらを用いた最先端学術研究を行う専門家集団」
  である。
- 装置・測定技術開発及び学術研究は、
  「所内外の共同研究および独自研究」
  によって推進されてきた。

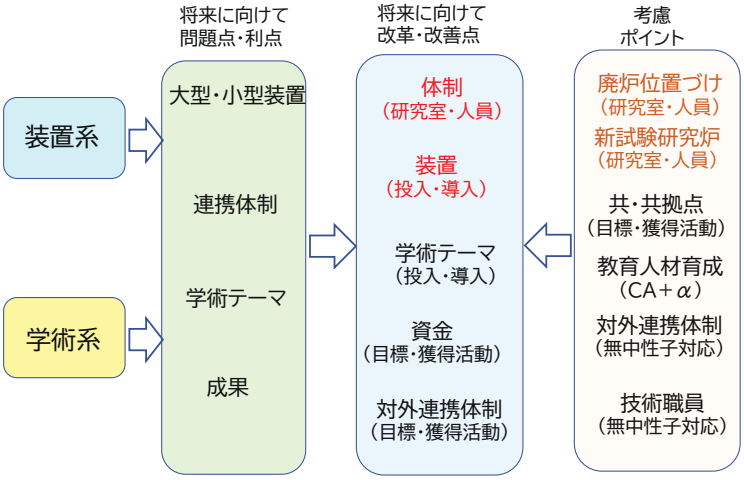
2. 今後どうあるべきか

- 経験豊かな多様な放射線・放射性物質を用いた専門家同士の協業・共創によるこれまでの学術の発展・新たな学術創出を目指す
  ＝複合原子力科学の再定義及び推進
- 施設としては共同利用・研究拠点を維持を目指す。（大型ではなく）
- 施設のみならずソフト（試料作成等）の独自性も伸ばす
- 上記の目的のため所内施設の再活性化・外部施設のとの連携構築
- 放射線および原子力関連教育

3. 我々の全体を俯瞰した留意点

- 現有装置（ハード）と現有技術（ソフト）とのクロスオーバー
- 生み出すべき学術・技術またはその素地

経験豊かな多様な放射線・放射性物質を用いた専門家同士の協業・共創による
これまでの学術の発展・新たな学術創出を目指して



新たな複合研構築しましょう！

We will make KURNS better

真のMKBは

We have Made KURNS Best!

ご清聴ありがとうございました

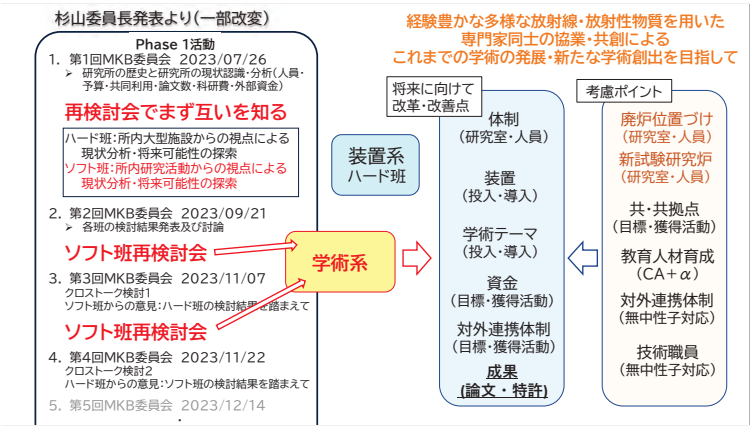
３．第一部／研究所の将来計画

ソフト班での議論

（京大複合研）奥地　拓生

MKB委員会
ソフト班　議論の報告

奥地拓生　粒子線基礎物性研究部門
渡邊翼　粒子線腫瘍学研究センター
井上倫太郎　粒子線基礎物性研究部門



MKB ソフト班 の議論の抜粋

【位置づけ】
研究のアイデアからはじまるつくりかた →ソフト班
施設を中心としたつくりかた　　→ハード班

【役割】
所の研究力強化をいかに行うかを検討。（概念的な）課題は以下のとおり
・大型施設（サイクロ, 電子線, 他施設 など）の利用
・小-中型施設の利用 (共同利用施設として供している機器)
・組織のあり方（既存の人材の有効活用も）
・他、研究力強化に資するシステムつくり
※複数の課題があり、それぞれの優先順位が微妙に異なるため、論点を明確にした上で（論点がずれないように）1つずつ解決する必要がある

【我々は何であるか】
複合原子力科学の再定義が必要
・原子力だけに一本化しない形での再定義が良いのではないか？

【今後どうあるべきか１】
教育についての貢献をどうするか
・全学教育・日本の中の放射線教育に貢献しており、それが継続的に学生・教員が複合研に興味を持つモチベーションにもなっていた。
→（再定義に基づく）教育に対する新たなアプローチも必要
→海外学生・研究者の受け入れ体制の整備なども

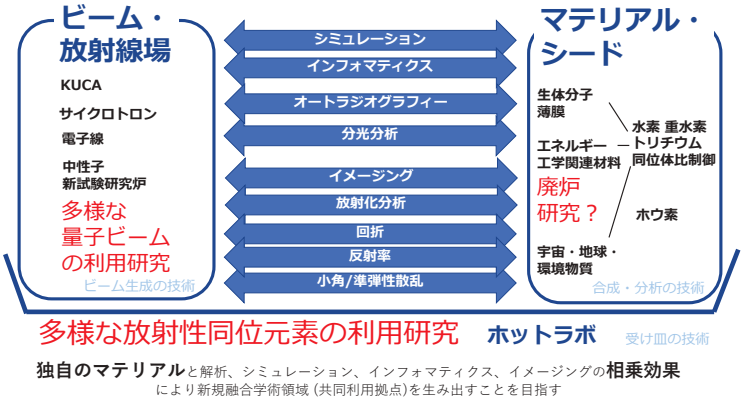
国際共同研究力の強化をどうするか
・野心のある海外の若手研究者・研究者の卵・ポスドクを受け入れる
→研究所のスタッフが責任を持ってメンターを務める

【今後どうあるべきか２】
国内共同研究力の強化をどうするか
・大型装置に加え、電子顕微鏡など中小型装置の強化による研究力向上→技術職員と教員とのインターラクションで研究のレベルが上がるはず
・マテリアル作成（熊取）から照射 (他施設含)までをサポートする
→所内外の大型施設利用とうまく連携
→将来的には、福井炉ができればビームライン利用法設計にもつながる

以上の議論は全部、ボトムアップ型の方向。それを大事にしていきたい
・所内でのインタビュー等も今後進めたいので、よろしくお願いします。

【複合研の論文・研究生産性、評価システムについて】
【共同利用について】【分室設置】【所の研究の柱に含めることは？】

最後に３人の相互インタビューからつくりはじめた将来像をお示しします



４．第一部／研究所の将来計画

ハード班での議論

（京大複合研）日野　正裕

京都大学複合原子力科学研究所 将来計画委員会

Make KURNS better = MKB委員会
ハード班
活動開始・中間報告

日野 正裕
堀 順一
八島 浩

活動歴

Phase 1活動

1. 第1回MKB委員会 2023/07/26
   - 研究所の歴史と研究所の現状認識・分析(人員・予算・共同利用・論文数・科研費・外部資金)

   ハード班:所内大型施設からの視点による現状分析・将来可能性の探索
   ソフト班:所内研究活動からの視点による現状分析・将来可能性の探索
2. 第2回MKB委員会 2023/09/21
   - 各班の検討結果発表及び討論

   各班にて再検討会
3. 第3回MKB委員会 2023/11/07
   クロストーク検討1
   - ソフト班からの意見:ハード班の検討結果を踏まえて
4. 第4回MKB委員会 2023/11/22
   クロストーク検討2
   - ハード班からの意見:ソフト班の検討結果を踏まえて
5. 第5回MKB委員会 2023/12/13

ハード班:所内大型施設からの視点による現状分析・将来可能性の探索

第1回ハード班検討 2023/8/4
第2回ハード班検討 2023/8/23
「我々は何であるか?」
「我々は何を目指すべきなのか?」
について、ハード班で検討

第3回ハード班検討 2023/10/2
第4回ハード班検討 2023/10/27
我々の論理は外部の審議に
十分耐えうるか?に留意しつつ、
ハード面からの検討

第5回ハード班検討 2023/11/13-21
第6回ハード班検討 2023/12/6-11
(メールベース)
解決すべき問題点、
全所一丸となるための、
ハードとソフトの融合のあり方等

複合原子力科学研究所が、2026年のKUR停止後、京都大学の研究所として、何を目指してどのように活動していくべきか?そのためにはどのようなことが必要か。我々は何者であるか?を意識して、

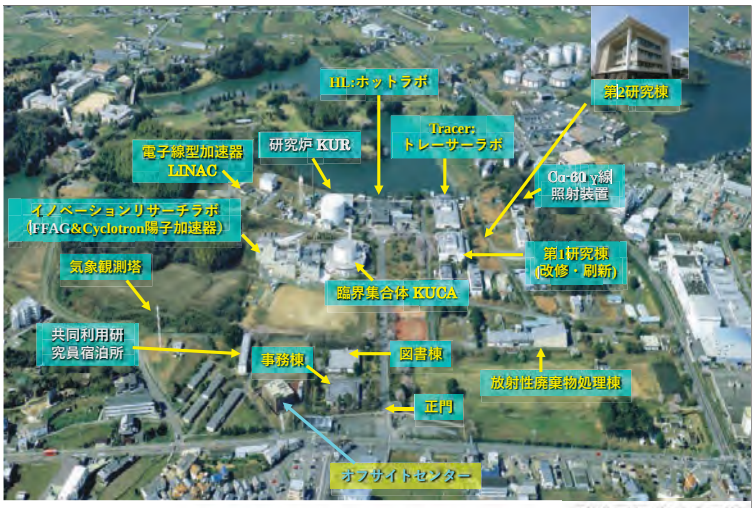
まず京都大学一員として、基本理念及び国際卓越大学院大学で目指すこと等の現状を確認し、施設関連の概要を把握し、論点を整理しつつ、意見交換を行った。

京都大学は、創立以来築いてきた自由の学風を継承し、発展させつつ、多元的な課題の解決に挑戦し、地球社会の調和ある共存に貢献するため、自由と調和を基礎に、ここに基本理念を定める。
https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/about/operation/ideals/basic

研究:京都大学は、研究の自由と自主を基礎に、高い倫理性を備えた研究活動により、世界的に卓越した知の創造を行う。京都大学は、総合大学として、基礎研究と応用研究、文科系と理科系の研究の多様な発展と統合をはかる。

教育、社会との連携、運営の項目もある。複合研の1教員としては、研究の自由と自主を基礎に、独自研究を発展させ、学生をはじめとする後進の育成に貢献することだが、ここで最も考えるべきは、組織としてのあり方、将来計画とする。

原子炉実験所からの歴史があり、どのようにスクラップ&ビルドをするか。現有施設の責任も当然ある。今後も、共同利用・共同研究拠点(共共拠点)として活動を行うことが自由な研究をする場を維持する上でも重要として議論を行った。



複合原子力科学研究所敷地

敷地面積:約10万坪

ハード班の所内大型施設の現状把握と議論のポイント

共同利用共同研究拠点(共共拠点)であることが自由な研究をする場を維持する上で重要、そこで現状施設を確認
KUR(2026年5月をもって廃止措置に移行する。)×
HL(改修の計画も進んでおり利用ニーズは高い。)○
KUCA(低濃縮化後有効に利用する義務が課されている)○
LINAC(高経年化の懸念はあるが今後も利用価値が高い)○
Co-60(利用停止。廃止措置に移行する。)×
30MeV Cyclotron(遮蔽強化等のテコ入れが必要)○
150MeV FFAG(将来計画では対象から外れている。)×
Tracer(今後も利用価値が高い)○

○において、「共共拠点」の中に位置づける直接研究に結び付くことは何か?実現可能性(費用対効果等も考慮した)競争力や複合研の目指す方向との整合性、議論できるアイテムを整理し、具体案(整備計画等)へどうまとめられるかの対応から必要。

×で、業務が無くなる訳ではないことに注意。KUR等「廃止措置」は組織として粛々と進めることであり、KUR廃止措置があるから、研究するという立ち位置にはならない(廃炉研究によってKURの廃止措置を合理的に進められる可能性はある)。ただめったにない特徴的なこととして、関係する研究フィールドの人が集まる場(ハブ)としての可能性は探るべきである。

1.我々は何であるか

- 研究炉および種々の装置を用いて積み重ねてきた
  「多様な放射線・放射性物質を用いた装置・測定技術及びこれらを用いた最先端学術研究を行う専門家集団」
  である。
- 装置・測定技術開発及び学術研究は、
  「所内外の共同研究および独自研究」
  によって推進されてきた。

「多様な放射線・放射性物質を用いた装置・測定技術及びこれらを用いた最先端学術研究を行う専門家集団」あえて原子力の言葉を使わなかった意図(研究そのもので立つべき)は理解

しかし、現状は(研究で立つためにも)、「原子力」の言葉は必要。広義の原子力分野は広く、具体的に行う、目指す「原子力」研究の可視化が必要(特に、狭義では、廃炉、革新炉等の研究)。

2.今後どうあるべきか

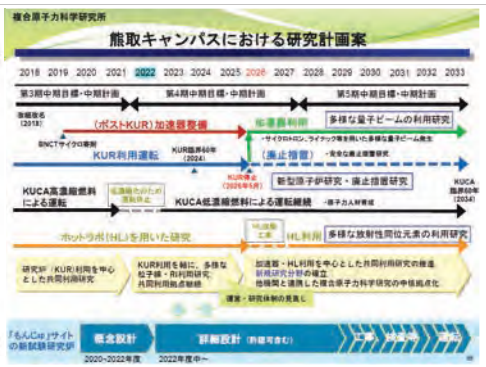
- 経験豊かな多様な放射線・放射性物質を用いた専門家同士の協業・共創によるこれまでの学術の発展・新たな学術創出を目指す
  ＝複合原子力科学の再定義及び推進
- 施設としては共同利用・研究拠点を維持を目指す。(大型ではなく)
- 上記の目的のため所内施設の再活性化・外部施設のとの連携構築
- 放射線および原子力関連教育

大型装置(KUR)にもう頼れないが、組織全体(熊取にある施設だけではない)としては共同利用・研究拠点維持を目指すべき。ネットワーク型の共同利用共同研究拠点(共共拠点)として、施設を持つJAEAとの連携が有望。連携するには、WIN―WINの関係となることが必要であり、複合研がコミットすることによる先方のメリットが重要。

例えば、「もんじゅ」サイト新試験研究炉計画は、長期で大規模な機関連携の好事例となるのではないか。

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



組織として目指すべきアイテムは、R4年度の短研報告書にほぼあると考える。
大事なことは具体的な計画と行動。

京都大学複合原子力科学研究所

共共拠点として、連携型を目指す。研究に繋がり、ハード的にも裏打ちされ、外からの評価に耐えうる「具体的な」連携構築が必要(連携研究室の総和ではなく、連携から新たな知見、成果が掛け算になること期待)。人が育つ・集まる組織を目指す方向がいる。

多様な量子ビームの利用研究、多様な放射性同位元素利用研究、新型原子炉研究・廃止措置研究
前者2つは研究を進める手段としての方向性。一方、原子力研究は研究の目的であって手段ではない。原子力研究も、多様な量子ビームや多様な放射性同位元素利用なしに実施は難しい。
重要なキーワードであり、より具体的にあり方を整理をすることが必要。

その論理は外部の審議に十分耐えうるか？

4. ハード面からの検討点

- 現有施設(サイクロ・ホットラボなどなど)の取捨選択：以下論点
  「所内外の連携＝複合原子力科学を活かすことができるか？」
- KURの廃止措置の位置づけ(研究／作業)
- 複合(多様な放射線利用)ではなく狭義の原子力科学をどこまで取り込むか？取り込まないか？

原子力の次の柱とは何か？を探るべき。
新試験研究炉を出口とするなら、JRR-3の利用・活性化へのコミットが必須で、東海サイトのような出島も当然検討すべき。ただ、熊取に拠点があり、複合原子力研究の芽を絶やさず、霧散しないよう注意。

- (狭義の)原子力研究の方向性：
  次世代革新炉開発に向けた研究：
  新型炉燃料開発のための基礎研究
- 廃止措置を含むバックエンド研究(一例)
  燃料デブリ分析
  廃棄物量・潜在的有害度の低減に向けた研究
- KUCA, LINAC, HLの特徴を最大限に生かし、他機関との連携を図ることで原子力研究及び人材育成の拠点形成を検討等

「もんじゅ」サイトの新試験研究炉

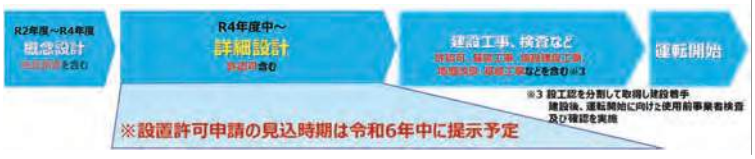
中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉を「もんじゅ」サイトに設置

- 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

- 概念設計：2020年度～2022年度
  - 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(KNRR)」を設置
  - 福井大：産業利用、地元との連携(企業、県、市など)

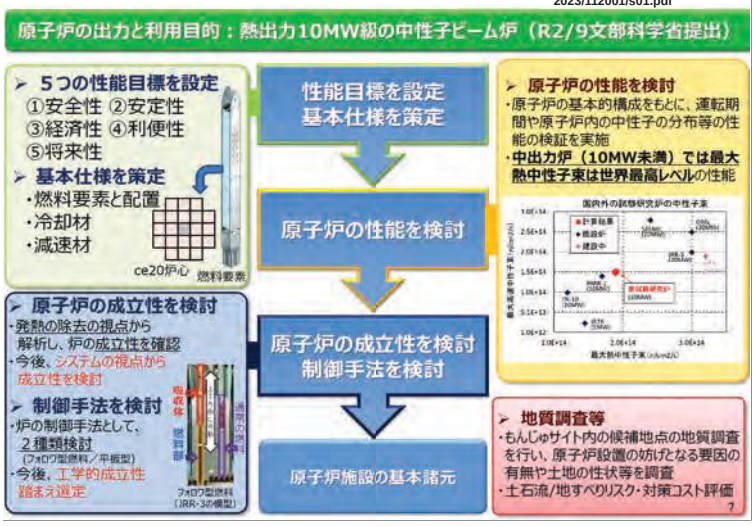
  JAEA、京大、福井大に加え、学術界、産業界、地元関係機関等からなるコンソーシアムを構築し、幅広い意見を反映しながら概念設計及び運営の在り方検討を実施
  コンソーシアム会合等、新試験研究炉推進室HPに掲載
  https://www.jaea.go.jp/04/nrr/jp/

- 詳細設計：2023年度～(2023年3月に詳細設計を開始)
  - 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産学共同研究部門を設置



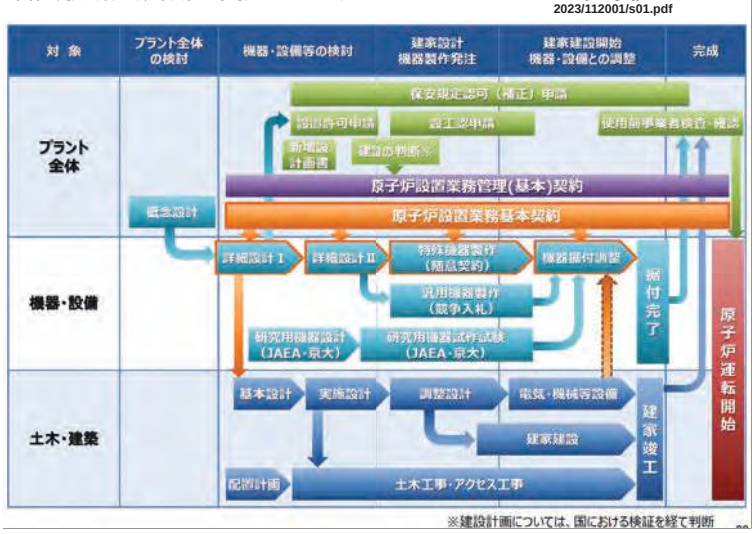
新試験研究炉 概念設計検討活動成果@JAEA

第1回コンソーシアム会合:https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/112001/s01.pdf



新試験研究炉設置業務の主な流れ@JAEA

第1回コンソーシアム会合:https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/112001/s01.pdf



新試験研究炉 利用装置選定について

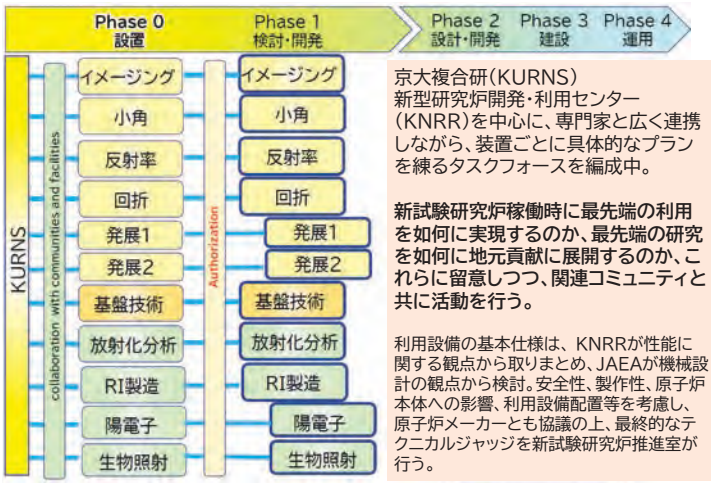
新試験研究炉は多岐にわたる革新的研究成果やイノベーション創出が期待でき、「国際公共財」として世界に誇れる施設を目指す。研究者を中心に広く人が集まる魅力的な施設となることが重要で、10MWの性能を最大限に活かすビーム利用設備としては冷中性子源(CNS)を充実させること、そして優先5装置(小角散乱、イメージング、回折、反射率、放射化分析)をまず選んだ

学術・産業利用において試料環境等で特徴を出すことを念頭に、優先装置を複数台持つ形を基本とし、10MW研究炉の性能を活かすために、ビーム利用:4+11=15、照射利用5の合計20台の装置を想定

想定照射利用:
放射化分析
RI製造
材料照射
陽電子ビーム
生物照射

今後詳細と優先順位を決める

実験装置設計に向けて(タスフォース編成)

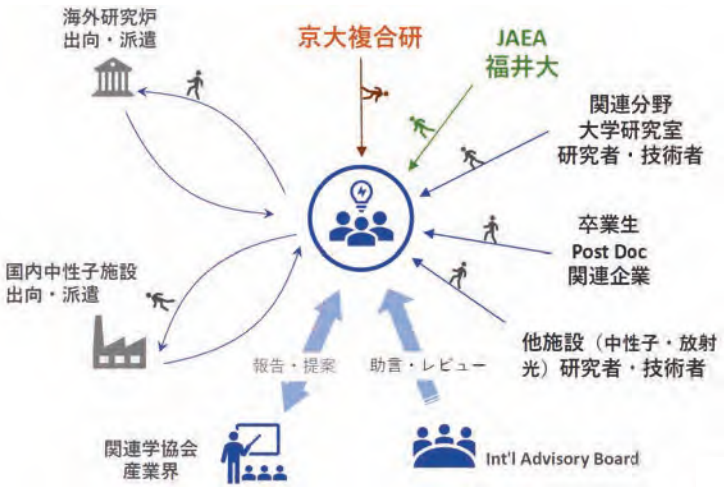


京大複合研(KURNS)
新型研究炉開発・利用センター(KNRR)を中心に、専門家と広く連携しながら、装置ごとに具体的なプランを練るタスクフォースを編成中。

新試験研究炉稼働時に最先端の利用を如何に実現するのか、最先端の研究を如何に地元貢献に展開するのか、これらに留意しつつ、関連コミュニティと共に活動を行う。

利用設備の基本仕様は、KNRRが性能に関する観点から取りまとめ、JAEAが機械設計の観点から検討。安全性、製作性、原子炉本体への影響、利用設備配置等を考慮し、原子炉メーカーとも協議の上、最終的なテクニカルジャッジを新試験研究炉推進室が行う。

タスクフォース構成:関連コミュニティと共に発展



まとめ

- 我々は多様な放射線・放射性物質を用いた装置・測定技術及びこれらを用いた最先端学術研究を行う専門家集団として、複合原子力科学を推進する
- KURという大型のハード(施設)は無くなるが、共共拠点維持を目指し、所内施設の再活性化・外部施設との連携構築を強化する(Win-Win)
- KUR等「廃止措置」は組織として粛々と進める必要がある
- 複合研がコアとなり、研究コミュニティの発展に寄与することが重要であり、各ハード(施設)の具体的な整備計画(廃止措置含)、競争力及び実現可能性の確認と実施が必要。大きな新しいハードを伴う長期の連携計画(チャンス)として「もんじゅ」サイト新試験研究炉計画がある

- 新試験研究炉稼働時に最先端の利用を如何に実現するのか、最先端の研究を如何に地元貢献に展開するのか、これらの課題達成が非常に重要。長期的視点の研究・装置開発を通じて、関連コミュニティと共に発展し、より高いレベルでこれらの課題解決を目指すことは、放射線及び原子力関連教育・持続可能性のある複合原子力科学研究の推進に寄与すると信じる。全所一丸となり(専門家集団の一員、自分事として)、新たな複合研を構築する将来構想・その実施を開始する時期にいる

新たな複合研構築しましょう!
We will make KURNS better

真のMKBは
We have Made KURNS Best!

ご清聴ありがとうございました

第一部／研究所の将来計画 質疑応答

三澤： ありがとうございます。それでは皆様からのご質問、ご意見を伺いたいと思います。

≪チャットからの質問≫

10:58:46 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：

京大の施設も含め、全国の大学の原子力施設は老朽化が進んでいると思うし、管理も大変になっていると思う。全部の大学の施設の管理を JAEA に委託して、研究のみ大学(ハードは JAEA、ソフトは大学)の体制はできないか。そうなれば MEXT も関連することになる。

11:20:00 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：

BNCT は患部へのホウ素集積が関与する。これを拡張していくと、体のいろんな器官にどんな物質が入っていくか、脳の関門を入る物質、入らない物質の研究を物質の RI トレーサーで調べる、肺、心臓、前立腺に入っていく物質を RI トレーサーで調べる等、体内物質循環学を始めると、医学のがん研究、免疫研究に役立つのではないか。

杉山： チャットにコメントを頂いていますので、まず私が答えられる範囲内で答えさせて頂き、三澤先生にも関連するかもしれませんので補強などお願いしたいと思います。まず研究施設の JAEA 委託はできたらいいなと思うことはありますが、JAEA さんの立場もありますし、KUR はこれから停止し、廃炉措置になってきますので、全般的に大きなところで議論する話かと思います。各論に踏み込ませていただきますと、日野先生からもお話がありましたように、JAEA さんとは新試験研究炉プロジェクト、またそれ以外のことでも共同でさせて頂いていますので、その中で連携して、原子炉本体のことに関しては JAEA さんにやって頂くところが多いかと思いますし、ソフト的なことは我々の装置が関連します。三澤先生をはじめとして研究炉を運営する方々の非常に豊富な知識もありますので、限定的ではなく、うまい具合にクロスオーバーしてできればいいと思っています。BNCT のお話も、確かに BBB を通るか通らないかが非常に大きな問題と思っております。こういう研究も所内の方々が推進していただき、１つのキーとして、ソフト的な研究に活かしたいと思っております。また新試験研究炉やサイクロトロンの施設もありますので、実際にそのような所へ展開できれば施設的にはいいと思っている次第です。コメントありがとうございます。

三澤： ありがとうございます。深澤様お願いいたします。

深澤： NFD の深澤です。非常に僭越且つ直感的な話で恐縮ですが、MKB 委員会は非常に良く、これからの将来像に期待したいですが、内部委員だけで構成されていて少し閉鎖的という感じがします。最近流行りの第三者評価や外部評価も必要ではと思いますがいかがでしょうか。

杉山： ありがとうございます。おっしゃられた方向へ当然行くべきと深く認識しています。お話を聞いて頂きましたように、所内の中身を絞り出して色々調べようということで、所内でもコンパクトに人を集めて立ち上げた状況とご理解いただけると嬉しいです。所内の方々も「こんなことやってたんだ」と今初めて聞いて頂いたかと思います。所内の議論を集めた段階で、外部の先生にもぜひ入っていただいて議論を進めたいなと考えております。最初の所がコンパクトに始まったところですので、お許しいただけると嬉しいです。

深澤： 分かりました。ありがとうございます。

杉山： 大変貴重なコメントありがとうございます。

三澤： 篠原先生、お願いいたします。

篠原： 先ほど深澤先生が言われたことをお伺いしようかと思っていました。杉山先生のおっしゃる通りで、まずは中の先生方、共同利用研究所と言っても、結局は中の先生方との共同利用といいますか、引っ張っていくような研究が無いと人が集まって来ませんので、今の方向でご議論頂けたらと思うのですが、是非どこかの時点で共同利用のユーザーの声が入る何らかの形をとって頂ければと思います。共共拠点の形は維持するということですが、ネットワーク型をお考えということですが、ハードウェアなどが分散することなどを踏まえてネットワーク型の共共拠点を目指すという方向でしょうか。

杉山： まずは後者の方ですが、狭い委員会の中での議論であって全所的な合意事項ではないことを踏まえた上ですが、現時点ではおっしゃる通りの方向かと思っております。そうなって来るとやはり、篠原先生のような方に色々ご協力をお願いしたい。最初のコメントのとおり外部の先生のご意見を聴かなければならないのは全くもってその通りです。また、先生の言われたように、大事なキーポイントはリーディングするサイエンスがあってこそ人が集まって来るし、そこは必ず作っていかなければならない。その芽がないかと色々調べてみると、これは十分にあるのではと思ってい

ます。その辺のことも我々の中で議論を収めていてはいけないので、篠原先生にもお話をお聞きしたいと思います。その際は是非ご協力をお願いします。

三澤： 先ほどチャットの方に隅田様から各施設を JAEA で管理するようにしてはどうか、とご質問がありました。これについては、以前に検討したこともありましたが、施設を移管するのは中々厳しいということでした。次に作る福井の研究炉は JAEA が管理をして、設計建設段階から京大等の利用者も含めて行うという新しいやり方、非常に良いやり方で進めたいと考えているところです。

篠原： もう一件気になっているのは教育面です。放射線や放射能は、大学で人材育成をするのが、特にハードウェア面では本当に難しくなってきています。京大炉はそういう役割をかなり果たしてきたので、将来的にも、教育・人材育成の場を提供するといいますか、福井炉にもかなり教育人材育成を入れた形を検討いただけたらと思います。人材育成は非常に大事ですので、その辺りもぜひよろしくお願いいたします。

杉山： 肝に銘じて、しっかり考えていきたいと思います。ありがとうございます。

三澤： 他にいかがでしょうか。この後は様々な施設の今後の活用も含めたお話があります。今お話頂きましたハード班での議論は午後の発表とも結びついていますので、もし何かありましたら、最後の全体討論でもコメント頂き、そこで合わせてソフト面の対応もご意見を伺いたいと思っているところです。

中島： 先程、篠原先生の教育の話もあり、隅田様からの原子力機構での拠点化みたいなお話もありました。原子力学会の中でもアゴラ委員会の中では施設の拠点化の話も進めており、それについては文科省ともやり取りをしている状況です。そこは、私も参加しており、複合研からは山村先生も参加頂いています。教育につきましても、文科省が音頭をとっている「原子力教育ネットワーク」 ANEC は京大も参加しており、取りまとめは所長の黒﨑先生がやっておられます。そういう枠組みがありますので、これらを使って研究と教育の国内での連携を上手くやって行けば、先ほどの共共拠点ネットワーク型にも繋がるかと思った次第です。

杉山： ありがとうございます。おっしゃる通りだと思います。今回のお話をお聞きになられた方は、若干感じられたと思いますが、内部のあるコアな部分で話をしている印象が多少あったかと思っています。ただし、それを発展させていきたいと思っておりますので、今、中島先生がおっしゃったような外部のネットワークの情報や議論を是非とも教えて頂き、中に活かした上で、中島先生を始めとして先生方のご協力

を得て共共拠点の形を維持できる形に持っていきたいと深く思っている次第です。

三澤： ありがとうございます。それでは今日の午前中はこれまでにさせて頂きます。

５．第二部／活躍する若手研究者

創発研究者

（京大複合研）高田　匠

＜創発的研究支援事業とは＞

1.1.1 創発的研究支援事業の概要

本事業は、特定の課題や短期目標を設定せず、多様性と融合によって破壊的イノベーションにつながるシーズの創出を目指す「創発的研究」を推進するため、既存の枠組みにとらわれない自由で挑戦的・融合的な多様な研究を、研究者が研究に専念できる環境を確保しつつ原則7年間（途中ステージゲート審査を挟む、最大10年間）にわたり長期的に支援します。

具体的には、大学等の研究機関における独立した又は独立が見込まれる若手を中心とする研究者からの挑戦的で多様な研究構想を募集します。また、創発的研究の実施機関は日本国内の研究機関に限定し

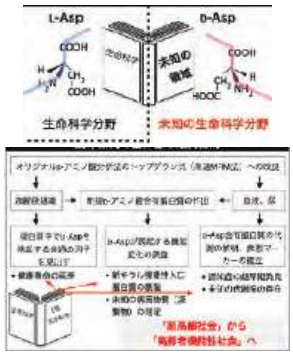
本事業のこうした特徴を最大限に活かして、未来のノーベル賞につながるような成果が創出されることを期待しています。また、ここで得られた経験や知見が、他の制度や大学等の取組にも広がることで、我が国の研究環境全体が改善されることも強く期待しています。

D型アミノ酸

1

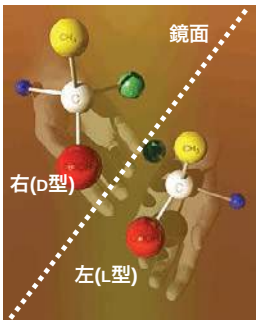
＜課題名：蛋白質中D-アミノ酸を基盤とした未知生命科学研究領域の開拓＞

アミノ酸にはL型とD型の二種類あり、そのうち蛋白質を構成するのはL型アミノ酸のみとされてきた。しかし最近、蛋白質中のL型アミノ酸がD型アミノ酸へと変化する現象が発見された。従来の生命科学では説明できない病気の原因や、生命現象の謎を解き明かす答えが蛋白質中D型アミノ酸の役割にあると考え、その役割を解明する研究を進める。



2

L-型アミノ酸とD-型アミノ酸



- 各アミノ酸は2つの形で（D型とL型）存在
- 光学活性以外の物理的・化学的性質は同一
- 蛋白質になるのはL型のみ

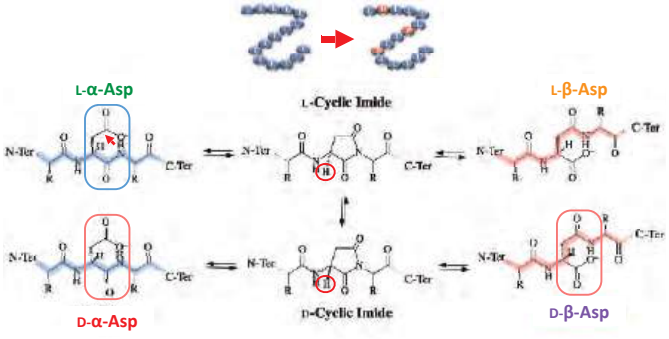
3

結合型のアミノ酸と遊離型のアミノ酸

蛋白質中のD-アミノ酸	ペプチド中のD-アミノ酸	D-アミノ酸分子
• 老化に伴い形成	• 酵素的に合成 • タンパク質が酵素消化され形成する場合	• 酵素的に合成
結合型D-アミノ酸		遊離型D-アミノ酸

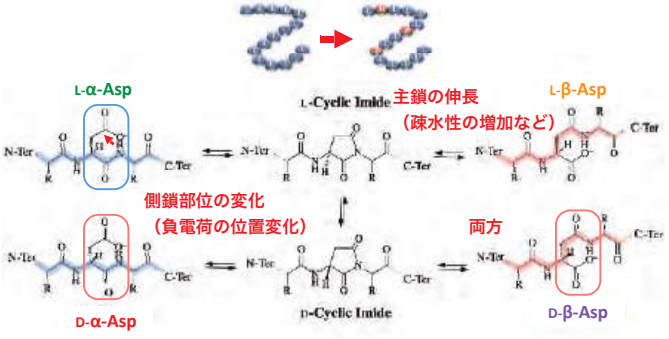
4

蛋白質中における結合型アスパラギン酸の異性化（D化）機構



5

蛋白質中における結合型アスパラギン酸の異性化（D化）の意義



実際には未知：（原因）人為的に導入したモデル蛋白質を作出する技術的困難

加齢性疾患と結合型D-アスパラギン酸の関係

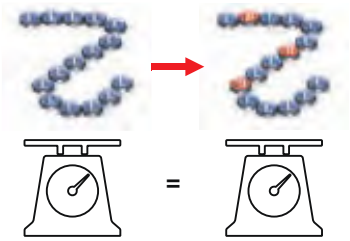
片手構造の維持＝ホモキラリティー　　ホモキラリティー破たん＝加齢性疾患発症

紫外線に曝される部分で増加

生体内各部位で見られる蛋白質中アミノ酸（Asp）のホモキラリティー破綻

→新しい『分子レベルの加齢』の定義

これまでに検出・数値化が困難であった理由



質量が等しく分析が困難

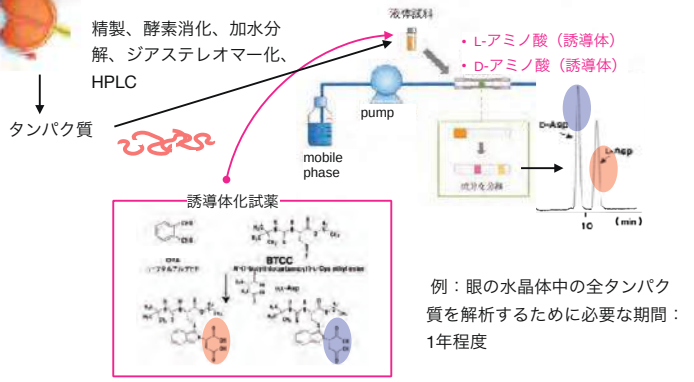
蛋白質中のD-Asp部位の決定法

ジアステレオマー法(1990-)	LC-MS酵素法(2015-)	LC-MS/MS+MS法(2022-)
タンパク質の分画	酵素消化	酵素消化
酵素消化	追い酵素消化 x3	LC-MS
ペプチドの分画	LC-MS	
質量分析によるペプチド同定		
加水分解 蛍光ジアステレオマー誘導体化		
HPLCで分離しL/の比率を算出		
プロテインシーケンサーで α-, β-結合の決定		

D-Aspの検出・評価：
加水分解、ジアステレオマー化後のHPLC

精製、酵素消化、加水分解、ジアステレオマー化、HPLC

タンパク質

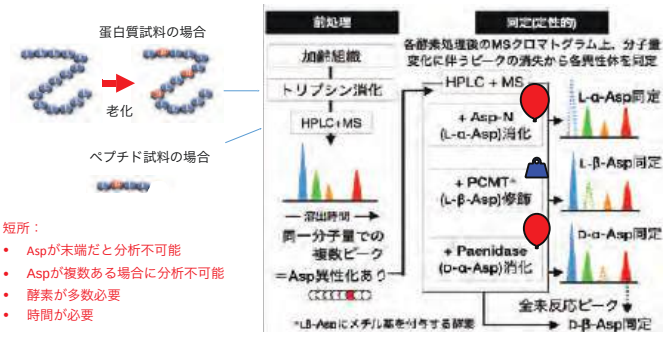


例：眼の水晶体中の全タンパク質を解析するために必要な期間：1年程度

蛋白質中のD-Asp部位の簡便な決定法

ジアステレオマー法(1990-)	LC-MS酵素法(2015-)	LC-MS/MS+MS法(2022-)
タンパク質の分画	酵素消化	酵素消化
酵素消化	追い酵素消化 x3	LC-MS
ペプチドの分画	LC-MS	
質量分析によるペプチド同定		
加水分解 蛍光ジアステレオマー誘導体化		
HPLCで分離しL/の比率を算出		
プロテインシーケンサーで α-, β-結合の決定		

簡便・網羅的



短所：

- Aspが末端だと分析不可能
- Aspが複数ある場合に分析不可能
- 酵素が多数必要
- 時間が必要

蛋白質中のD-Asp部位の決定法

ジアステレオマー法(1990-)
- タンパク質の分画
- 酵素消化
- ペプチドの分画
- 質量分析によるペプチド同定
- 加水分解
蛍光ジアステレオマー誘導体化
- HPLCで分離しL/Dの比率を算出
- プロテインシーケンサーで
α-, β-結合の決定

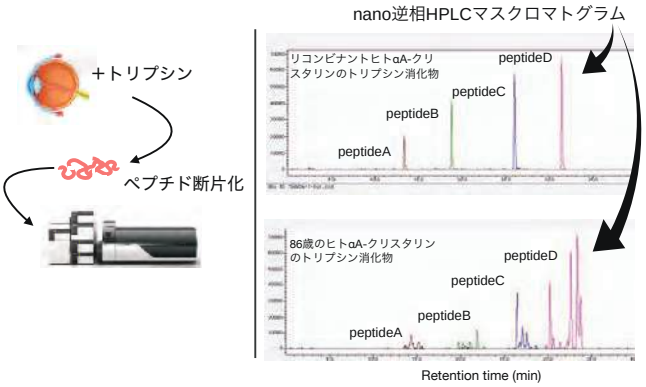
LC-MS酵素法(2015-)
- 酵素消化
- 追い酵素消化 x3
- LC-MS

MS/MS+MS法(2022-)
- 酵素消化
- LC-MS

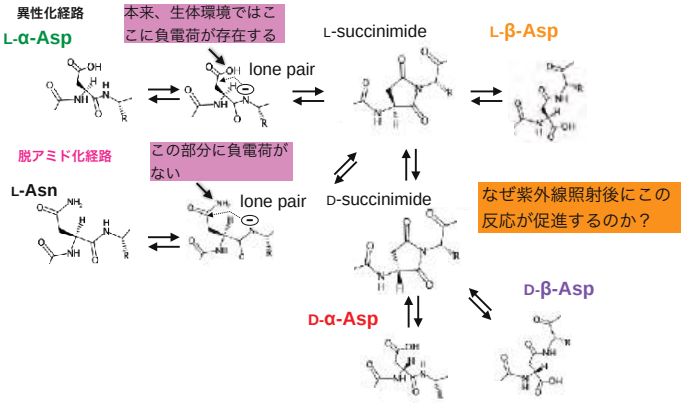
迅速・簡便・網羅的

例：眼の水晶体中の全タンパク質を解析するために必要な期間：2日程度

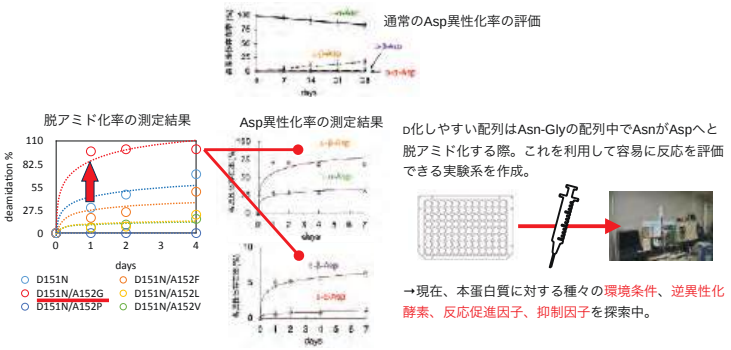
加齢後水晶体中に多量に蓄積するAsp異性化



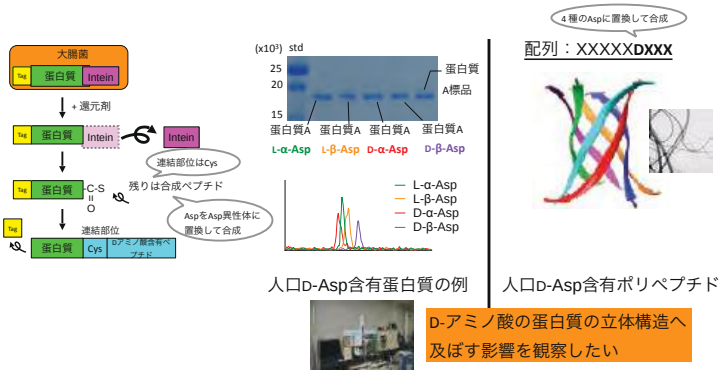
進行中研究1：
D体化促進または抑制因子スクリーニング研究のためのモデル蛋白質の作出



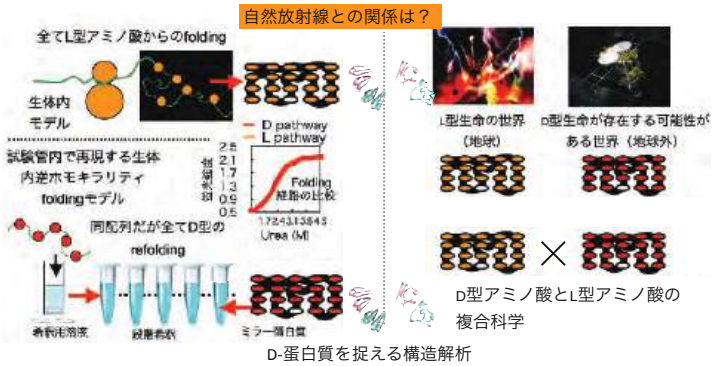
進行中研究1：
D体化促進または抑制因子スクリーニング研究のためのモデル蛋白質の作出



進行中研究2：D-Asp含有蛋白質の作出



進行中研究2の発展研究構想：D型アミノ酸とL型アミノ酸の複合科学



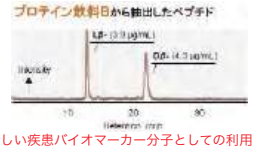
進行中研究3：D-Asp含有ペプチド同定手法の開発

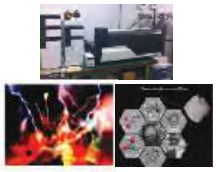
D化しやすい配列をもとに当該配列が加工食品や生体内に局在すると仮説を立て分析系を確立。

新しく開発した分析系

蛋白質試料 → HPLC → 質量分析装置 → L-α-Asp含有ペプチド / L-β-Asp含有ペプチド / D-α-Asp含有ペプチド / D-β-Asp含有ペプチド

HILIC＋光学分割＋フラグメンテーション



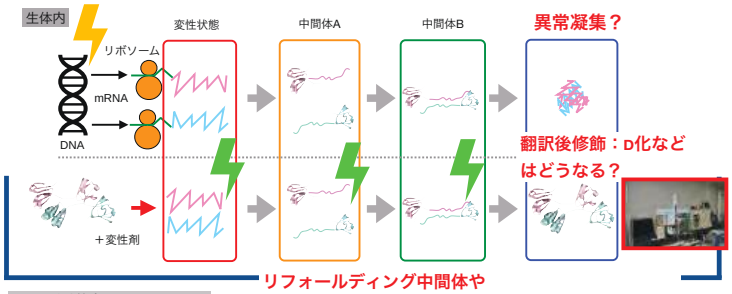


- 新しい疾患バイオマーカー分子としての利用
- 新しい味覚の評価系
- 生命の起源解明研究への応用

Naraoka. et al. (2023)

その他：蛋白質内部で生じるD型アミノ酸の調査

翻訳前修飾：変異 **（放射線存在下でのタンパク質生合成）**

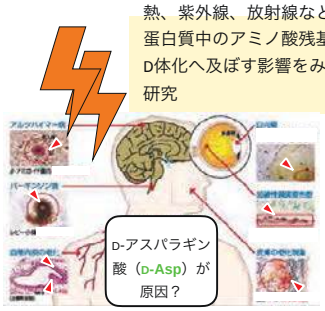


試験管内で再現する
タンパク質生合成再現系

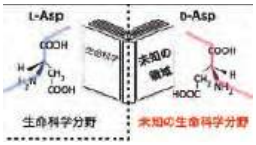
リフォールディング中間体や蛋白質の異常凝集過程を解析したい（溶液構造解析）

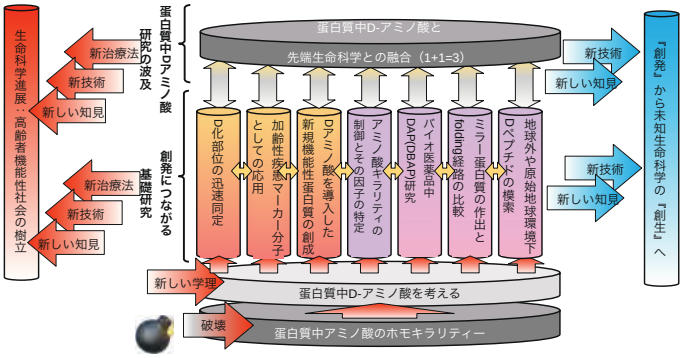
D型アミノ酸からなるパラキラルライフサイエンス

熱、紫外線、放射線などが蛋白質中のアミノ酸残基のD体化へ及ぼす影響をみる研究



D型アミノ酸で老化を理解する





第二部／活躍する若手研究者
創発研究者 質疑応答

杉山： ありがとうございました。放射線の、ここの研究所の将来というのも今回ありますので、研究所内での連携や、放射線の利用を含めた研究所の将来についてお考えがあれば教えてください。

髙田： 今日は、あまりお話をしませんでしたが、私はフォトダメージ、様々な自然放射線が蛋白質や蛋白質のフォールディング中間体に及ぼす影響の解析もしています。その中で損傷後蛋白質の構造解析に関しては、様々な散乱実験、水の中にある蛋白質の挙動、ダイナミクスを見るための構造解析などをご教示頂きながら進めていきたいと考えています。一方で、紫外線は現在の地球上に限らず、原始地球や、宇宙の中にも多量に存在します。人類は現在、厳しい自然放射線環境下での生活はしておりません。そういう所に出た際に蛋白質に対して放射線が及ぼす様々な影響を見ていきたいと考えています。

白川： 貴重なお話ありがとうございました。1 点、フォローできてないだけかもしれませんが、アスパラギングリシンが D 化しやすいとのことでしたが、その条件は例えば生体内の何処でとか、試験管内だけの話なのかを教えて頂けますでしょうか。

髙田： はい。この反応は化学反応ですので pH、温度に大きく依存します。従って中性よりやや塩基性であれば、非常に速い速度で進行すると考えています。また高温であれば高温であるほど進行すると考えています。従って、生体内の pH、温度では十分進行しうる反応だと思いますし、食品等の加工時など、高温をかけたときに顕著に進行していると思われます。

白川： わかりました、ありがとうございました。

杉山： 髙田先生どうもありがとうございます。

６．第二部／活躍する若手研究者

卓越研究員

（京大複合研）渡邉　翼

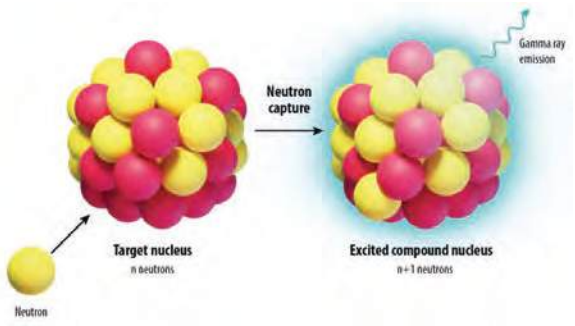
ホウ素中性子捕捉療法の基礎放射線生物研究

渡邉 翼

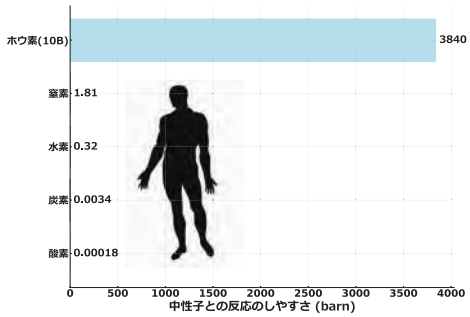
京都大学複合原子力科学研究所
粒子線腫瘍学研究センター 准教授

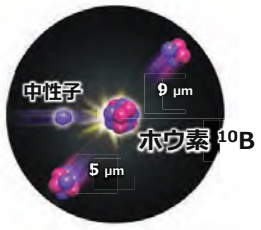
ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy

エネルギーの小さい中性子 は 原子に吸収(捕獲)される
中性子捕獲反応

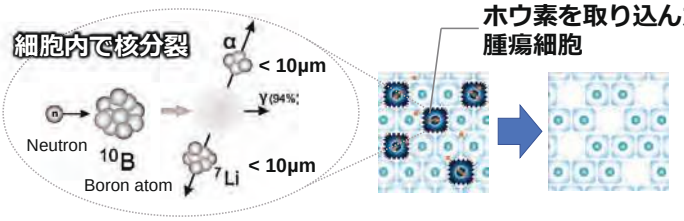


ホウ素 は 身体構成原子に比べて 中性子を吸収しやすい
中性子捕獲反応





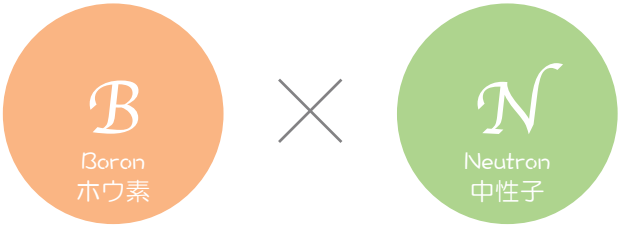
ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



Good !!

核分裂後の影響が10μm以下の範囲にしか及ばない
殺細胞性が高い　細胞1つの直径程度

BNCT: 薬剤と放射線治療の組み合わせにより成り立つ治療

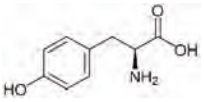


化学療法(抗がん剤)　　放射線治療

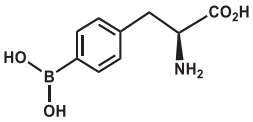
BNCT: 薬剤と放射線治療の組み合わせにより成り立つ治療

化学療法(抗がん剤)

「メラニン」の原料は アミノ酸 チロシン



チロシン

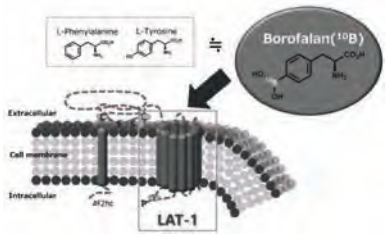


ホウ素薬剤L-BPA
(L-Boronophenylalanine)

メラノーマ

Mishima Y et al. Lancet 1989;2:388-9.

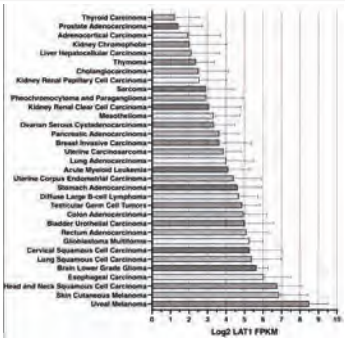
ホウ素薬剤L-BPAは トランスポーターLAT1・LAT2 を介して分布



●LAT1を発現する腫瘍細胞 = BPAを取り込む腫瘍細胞

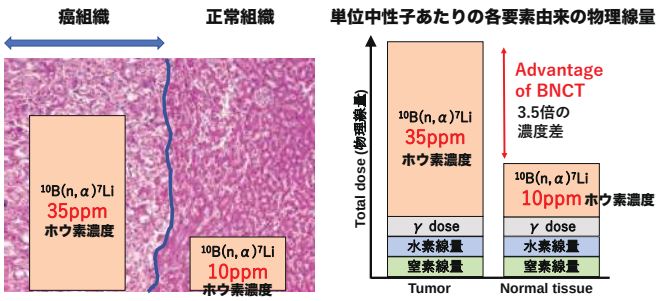
Wonghthai P, Kanai Y et al. Cancer Sci 2015;106:279. (右図) 中嶌秀紀 薬学雑誌 2022;142:155-164.

TCGA database: LAT1 expression of various tumors



Tsubasa Watanabe et al. JRR 2022

癌組織と正常組織のホウ素濃度の差が線量の差となる
ミクロレベルで線量に差をつけられる特異な放射線治療



BNCTの現状の課題と解決法の可能性

BNCTをさらに良い治療とするために 基礎研究の方向性として考えられること

- 中性子の深部到達距離問題改善
- 新規のBNCT用ホウ素薬剤を開発する (次世代のホウ素薬剤)
- BNCTの治療効果の改善
- BNCTが適応できる「がん」の種類を増やす (現状、頭頸部がん)

2024年2月2日令和5年度将来計画短期研究会(粒子線腫瘍学研究センター 渡邉翼)

BNCTをさらに良い治療とするために 基礎研究の方向性として考えられること

- 中性子の深部到達距離問題改善
- 新規のBNCT用ホウ素薬剤を開発する (次世代のホウ素薬剤)
- BNCTの治療効果の改善
- BNCTが適応できる「がん」の種類を増やす (現状、頭頸部がん)

BNCT治療効果の改善
癌の不均一性とBNCT効果の解明

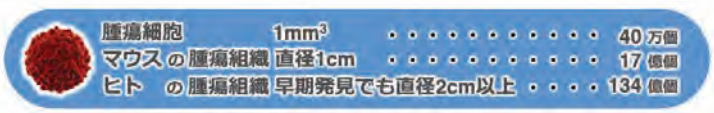
BNCT用のホウ素薬剤開発 は 抗がん剤 とは方向性が 異なる

ホウ素中性子捕捉反応が起こる確率: 3300 barn, 中性子フルエンス 1.00E+12, 細胞直径20μmとすると・・・

ホウ素濃度 1.2 ppm(^{10}B 3 億個/cell) で捕捉反応1回起こる

ホウ素濃度 20 ppm(^{10}B 60 億個/cell) で捕捉反応約17回

癌の不均一性に対抗できる薬剤はどんなものか？

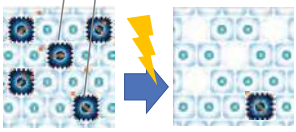


すべての腫瘍細胞の性質が全く同一ではない
腫瘍細胞は増殖に伴い遺伝子変異を蓄積していく

BNCTにより腫瘍を完全に治すには、
億単位の数 の 性質が少しずつ異なる腫瘍細胞それぞれに、
中性子照射により致死に至るに十分量のホウ素集積が必要

癌の不均一性の問題

癌の不均一性がもたらすホウ素薬剤の腫瘍内分布への影響

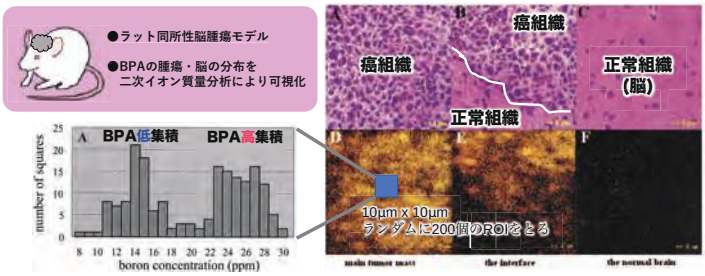


ホウ素薬剤を取り込んだ腫瘍細胞

ホウ素薬剤の取り込みが弱い腫瘍細胞

腫瘍残存、再発につながる可能性がある

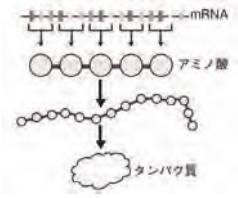
栄養要求性に依存し、不均一分布を改善させたBPAでも腫瘍内の分布はまだ不均一



BPAの取り込みは二峰性分布を示した

K. yokoyama et al. Radiation Research 2007;167:102.

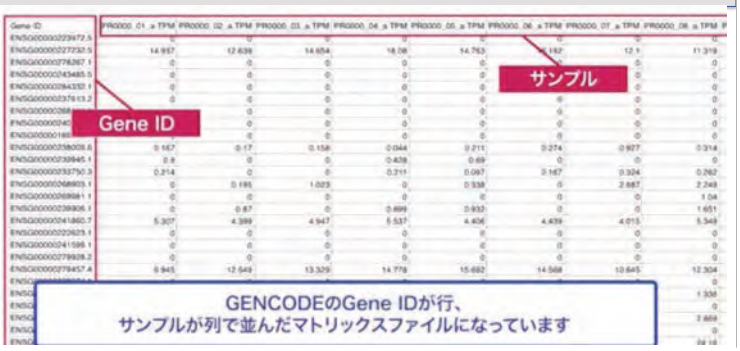
次世代シーケンサー技術 + バイオインフォマティクス がん細胞の遺伝子発現を調べる



次世代シーケンサー

●組織の特徴はどんなタンパク質を作っているかによってわかる
●タンパク質は遺伝子から作られるmRNAを鋳型として作成
●技術の進歩（次世代シーケンサー）により、
関連する遺伝子を網羅的に調べられるようになった

次世代シーケンサー技術 + バイオインフォマティクス がん細胞の遺伝子発現を調べる



single-cell RNAseq analyses

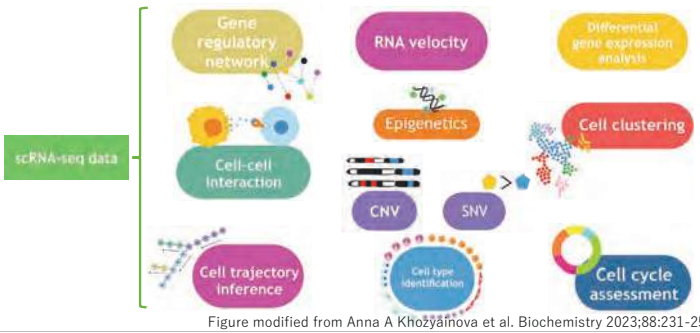
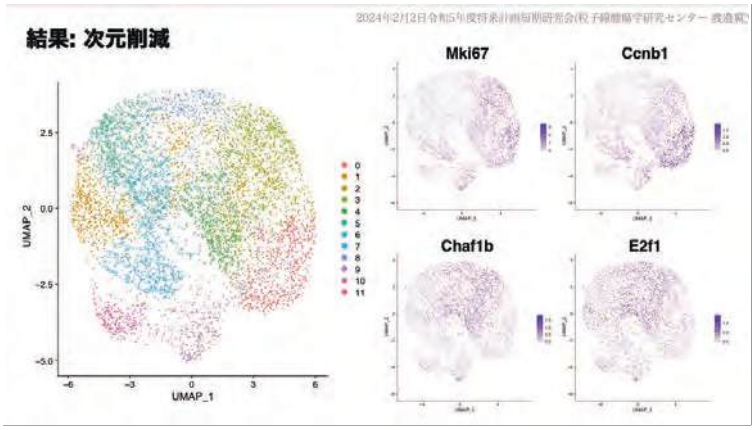
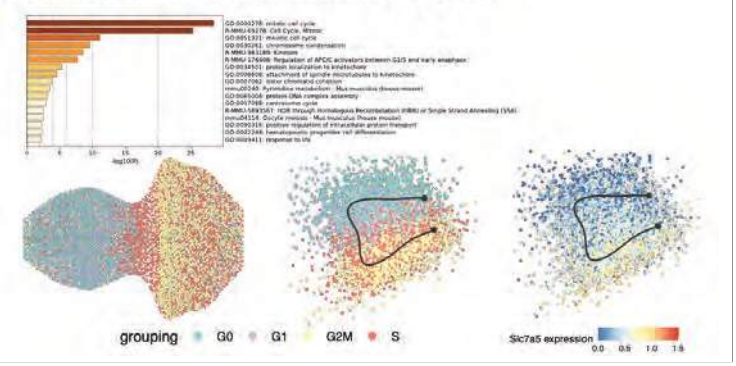


Figure modified from Anna A Khozyainova et al. Biochemistry 2023;88:231-252.

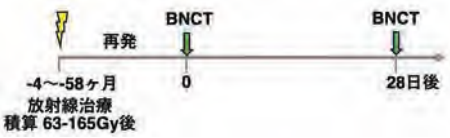


結果: GO解析・擬時間(pesudotime)・系譜解析



中性子の複数回照射

台湾原子炉 頭頸部癌患者での2回照射Prospective PI/II traial



●400mg/kg BPA (180mg/kg/h 2h) ->照射中減速
1回目BNCT処方線量 GTV D80 20Gy-Eq以上
粘膜 > 10Gy-eq 容積最小になるように
視神経・視交差 < 8Gy-eq
^{18}F-BPA PETでのF-BPA取り込みT/N > 2.5

●2回目BNCTの処方線量は安全性重視
必ずしもGTV D80 20Gy-Eqにこだわらない

●2年OS 47%, 2年局所制御 28%

●急性期抜粋 17例中 (抜粋)
粘膜炎 Gr3 5例, Gr1-2 10例
腫瘍の縮み Gr3 1例, Gr1-2 4例
頚動脈出血 Gr4 1例, Gr3 1例
喉頭浮腫 Gr4 1例

●晩期有害事象 17例中 (抜粋)
軟部組織壊死 Gr3 1例, Gr1-2 3例
骨壊死 Gr1-2 3例
脳神経障害 Gr3 2例

●治療効果は良好

●再照射であることが多いことを踏まえ、適応の慎重な判断は必要

● BNCTは高LETであるが、分割照射に関しては
細胞周期依存性のBPA取り込みの不均一性が緩和され治療効果が向上する可能性がある

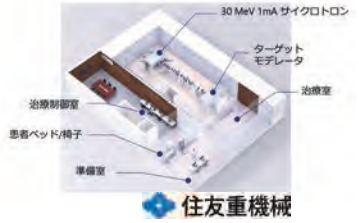
Ling-Wei Wang et al. Int J Rad Oncol Biol Phys 2016;95:396-403.

ホウ素中性子捕捉療法の適応疾患の拡大

2024年2月2日令和5年度将来計画短期研究会(粒子線腫瘍学研究センター 渡邉翼)

ステボロニン®
一般名 ボロファラン(^{10}B)

BNCT治療システム NeuCure



STELLA PHARMA　住友重機械

薬剤および機器	●ホウ素製剤（ステラファーマ） 販売名「ステボロニン®点滴静注バッグ9000mg/300mL」 一般名称「Borofalan(^{10}B)」 ●BNCT治療システム（住友重機械工業） 販売名「BNCT治療システム NeuCure®」 一般名称「ホウ素中性子捕捉療法用中性子照射装置」 ●BNCT線量計算プログラム（住友重機械工業） 販売名「BNCT線量計算プログラムNeuCure®ドーズエンジン」 一般名称「ホウ素中性子捕捉療法用治療計画プログラム」

BNCT用ホウ素薬剤: L-BPA

フェニルアラニンのホウ素誘導体(L-Boronophenylalanine, ボロファラン^{10}B)

APPROVED

頭頸部がんに対するBNCTの適応

日本人のがん全体の3% (年33000人)

・切除不能な局所進行，または局所再発頭頸部癌

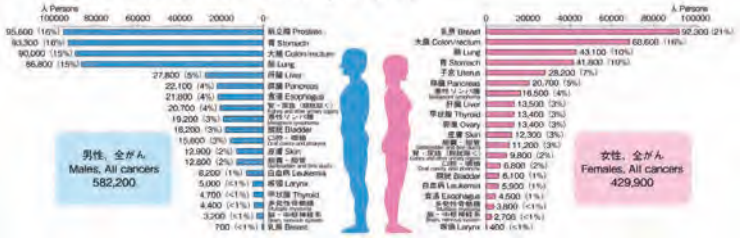
※BNCTに十分な知識・経験を持つ医師のもとで施行
※放射線治療・薬物治療にて治療効果が見込める場合はその治療を優先する

承認条件
・BNCTに十分な知識・経験を持つ医師の下で施行
・製造販売後一定数の症例に係るデータが集積されるまでの間は、全例を対象に使用成績調査を実施
・使用に当たって医療従事者への放射線被ばくが合理的に実行可能な限り低減できるよう適切な措置を講ずる

がん の統計:
がんになる(罹患する)人は年101万人 (日本, 2020)

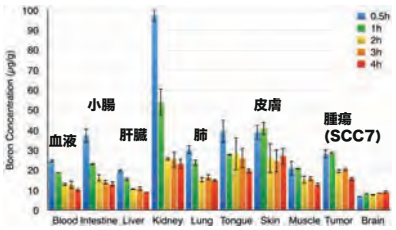
(2) 部位別予測がん罹患数 (2020年)　頭頸部癌 がん全体の3% (年33000人)

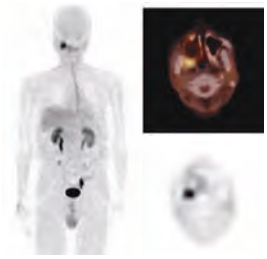
Projected Number of Cancer Incidence by Site (2020)



がんの統計2021 公益財団法人がん研究振興財団

ホウ素薬剤L-BPA正常組織にも分布

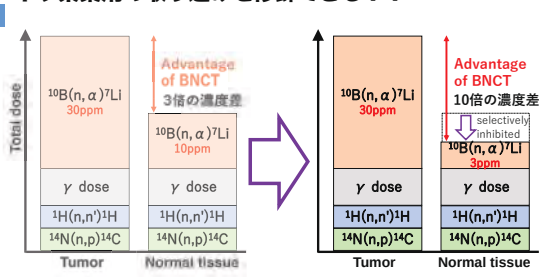




マウス動物実験, 単回皮下投与　　BPAの^{18}F PET製剤, 単回極小量 静脈投与

(左図) Tsubasa Watanabe et al. BMC Cancer 2016;16;859. (右図) 日本中性子捕捉療法学会ホームページ

ホウ素薬剤の取り込みを修飾できる？？



相対的に(または選択的に)、
腫瘍組織よりも正常組織のホウ素薬剤(L-BPA)の取り込みを抑制することができれば、
腫瘍と正常組織の線量の差をよりつけることができ、治療効果比が上がる。

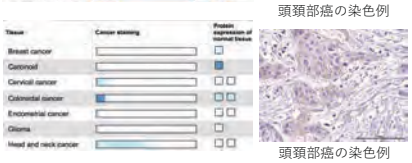
課題解決の方向性: ホウ素薬剤L-BPAの薬剤集積の修飾

腫瘍細胞へのL-BPA集積を保ちながら正常細胞へのL-BPA集積を抑制する

LAT-1

頭頸部癌の染色例

LAT-2

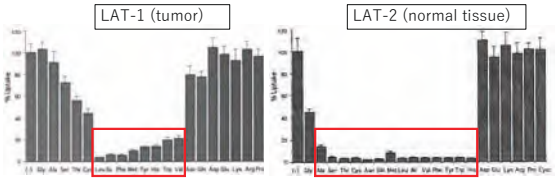


頭頸部癌の染色例

・**多くの腫瘍組織でLAT-1は発現が亢進**しているのに対して、
LAT-2は腫瘍組織での発現が亢進していない。

Database from "THE HUMAN PROTEIN ATLAS".

アミノ酸トランスポーターの基質選択性



・Vertical axis
= ^{14}C-Leucin uptake by competition assay

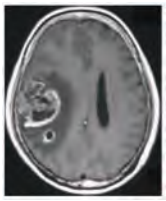
・Substrate specificity
LAT-1 Leu, Ile, Phe, Met, Tyr, His,
LAT-2 Leu, Ile, Phe, Met, Tyr, His,
, Ala, Ser, Thr, Cys, Asn, G
→LAT-2はLAT-1よりも基質特異性が低い

Table 1. LAT expression and function

Protein	Gene	Substrates
LAT1	SLC7A5	Leu, Ile, Phe, Met, Tyr, His, Trp, Val
LAT2	SLC7A8	Gly, Ala, Ser, Thr, Asn, Gln, Met, Leu, Ile, Val, Phe, Tyr, Trp, His
LAT3	SLC43A1	Met, Leu, Ile, Val, Phe
LAT4	SLC43A2	Met, Leu, Ile, Val, Phe

(LAT1) J Bio Chem 1998;273:23629. (LAT2) J Biol Chem 1999;274:19745. Wang et al. Am J Cancer

アミノ酸トランスポーターの基質選択性



がん細胞は
発現が亢進している**LAT-1**により
L-BPA取り込み

周囲の**正常組織**は
LAT-2により
L-BPAを取り込み

LAT1, LAT2
共通の**基質**

LAT2のみの**基質**

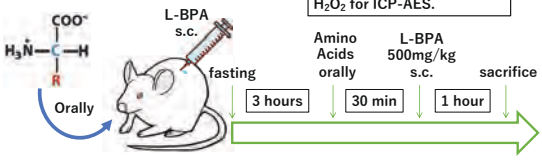
【LAT-1の基質】	【LAT-2の基質】
Leu, Ile, Phe, Met, Tyr, His, Trp, Val	Leu, Ile, Phe, Met, Tyr, His, Trp, Val Ala, Ser, Thr, Cys, Asn, Gln

・LAT-2のみの基質(図の赤)を用いて競合阻害すれば、
腫瘍組織に比べて正常組織のL-BPAの取り込みを抑えられる？

【Exp 1: 複数のLATの基質を用いたスクリーニング】

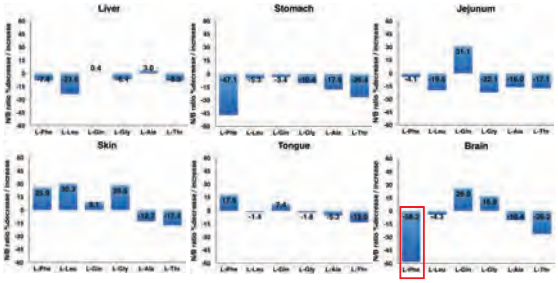
・**C3H/HeN (♀, 4wk) mouse**
・**3時間の絶食後、複数のアミノ酸1000mg/kgを経口投与**
・**L-BPA投与1時間後に、血液・肝臓・胃・空腸・皮膚・舌・脳の組織内ホウ素濃度を、ICP-AESを用いて評価。**

※Tissue samples were digested with $HClO_4$ and H_2O_2 for ICP-AES.



Tsubasa Watanabe et al. Cancer Letters 2016;370:27-32.

【Exp 1:複数のLATの基質を用いたスクリーニング】

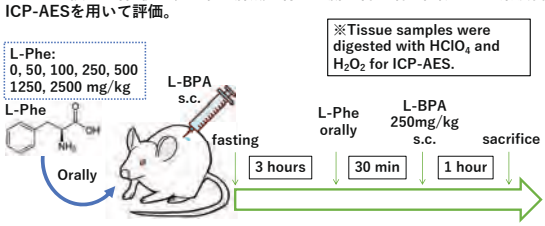


・1000mg/kgのL-Pheを前投与することで、L-BPA投与後の特に脳の組織内ホウ素濃度が減少した。

Tsubasa Watanabe et al. Cancer Letters 2016;370:27-32.

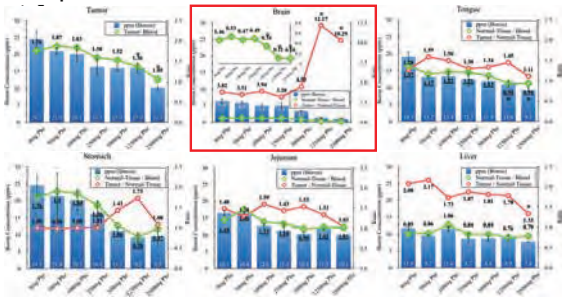
【Exp 2: L-Phe前投与のホウ素分布への用量依存的影響を評価】

・C3H/HeN (♀, 4wk)マウスの大腿皮下へSCC7 ($3x10^5$)細胞を移植
・3時間の絶食後、L-Phe 0 - 2500mg/kgをそれぞれ経口投与
・L-BPA投与1時間後に、血液・肝臓・胃・空腸・舌・脳の組織内ホウ素濃度を、ICP-AESを用いて評価。



Tsubasa Watanabe et al. Cancer Letters 2016;370:27-32.

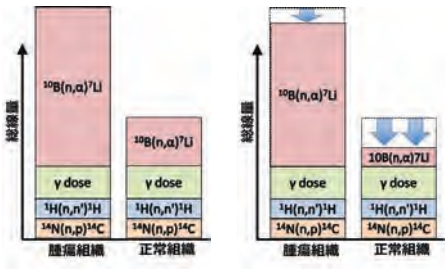
【Exp 2: L-Phe前投与のホウ素分布への用量依存的影響を評



・高用量のL-Pheは相対的に腫瘍組織よりも正常脳の取り込みをより抑制した
→高用量のL-Pheにより T/N ratio (Tumor tissue / brain ratio of ^{10}B concentrations)が改善した。

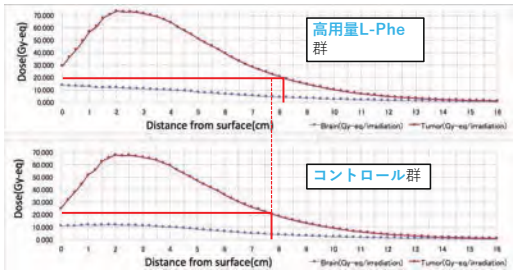
Tsubasa Watanabe et al. Cancer Letters 2016;370:27-32.

実験2: 小括



・前処置により脳において、
腫瘍組織 と 正常組織のホウ素濃度比が上昇した

解析: 高用量L-Phe前投与により腫瘍の深部線量も改善



腫瘍組織の20Gy以上照射される深さが軸上で7.85cmから8.12cmへ増加

・腫瘍組織の**より深部へ線量が付与**できるようになった。

まとめ

・**必要なBNCTの生物研究 は 新規のホウ素薬剤開発だけはない。**
・**BNCTは既に臨床で用いられている技術であるが、保健適応がゴールではない。**
・**むしろ臨床に用いられはじめたからこそ、治療効果改善、適応拡大のための基礎的研究がますます重要となっているフェーズに入っている**

第二部／活躍する若手研究者
卓越研究員 質疑応答

杉山： ありがとうございました。非常に興味深いお話で、最後は今後の展開もお話頂きました。一番気になったのは先ほどの３％というところで、現状は有効でない癌があって、私のような素人は、ホウ素があって当たって壊れるという、癌の種類そのものにはあまり関係ないのかなと思っていたのですが、有効でない理由はほかの所にも集まってしまうから、正常組織に対する影響を減らすことが大事だとお話がありました。癌そのものでも、今はあまり効いてないけど、効いてない何らかの理由があって、それを突破するという話はあるのですか。それとも有効でないのは、癌の周りの組織が薬剤を吸い過ぎてしまう組織に居るからということに限られるのですか。

渡邉： 癌の BNCT 抵抗性と色々な癌に適応できるかは、独立した因子です。BNCT 抵抗性に関しては、BPA を用いる BNCT に関しては BPA を取り込むようなタンパク質が分かっており、そのタンパク質の発現がたまたま少ない癌細胞が何億個という腫瘍組織の中に隠れていて、ホウ素薬剤の取り込みが十分でなく、たまたまそこに到達する中性子の量も十分でないというのが重なって、腫瘍が残存して残るということが発生します。これが BNCT 抵抗性の原理と考えられ、つまり BNCT 抵抗性に関して、BPA を取り込むタンパク質の発現で評価できる部分があります。他方で色々な癌に BNCT を適応できないのかという課題に関しては、ホウ素薬剤の取り込みの腫瘍による違いと中性子の到達度の両方の影響が考えられます。BNCT の保険適応疾患になっている頭頚部癌は全体のがんの３％程度の頻度にすぎません。適応拡大に関して生物学的には 2 つ課題があります。１つは先程と同様ですが BPA が集積するかはタンパク質 LAT 1 の発現に依りますが、ある程度どんな腫瘍が LAT1 をたくさん発現しているのかのデータはありますし、実際にどれくらい BPA が腫瘍に集まるかどうかは、PET 検査などを用いて BPA を可視化することができますので、画像診断の技術を用いて BNCT の適応を個別判断するのも１つの戦略かと思います。もう一つ、適応に関しては安全に BNCT ができるかどうかというのが同様に大事で、癌が消えても患者さんが亡くなっては意味がないですので、癌の周りにある正常組織にいかにホウ素が集まらないかが大事です。例えば頭頚部癌であれば粘膜にホウ素薬剤がある程度集まるのですが、胃ろうを作って栄養を担保したり、点滴したりして粘膜炎の影響を緩和しながら治療ができますが、お腹は腸管に穴が開くと死亡に繋がるような重篤な副作用になることもありますので、そういうことがない新規のホウ素薬剤を開発するのも 1 つの方向性です。今の BPA をより良く使うという意味で、BPA の分布を修飾するなど正常な組織に焦点を当てるというの

も BNCT の研究の重要な方向性かと思っています。

鬼柳： 薬剤の方面から色々な面白いお話をありがとうございます。細胞周期で取り込みの違いがあって、それを補うために台湾では 2 回照射をしている話があったのですが、これは 2 回照射以外に解決する方法はないのでしょうか？

渡邉： もちろんあります。細胞周期に影響を及ぼすような薬剤との併用は 1 つの方向性ですし、今まさにその研究を行っているところです。

鬼柳： どうもありがとうございました。

杉山： ありがとうございました。隅田様からチャットにご質問を頂いていますので、後からチャットへご回答いただければと思います。

≪チャットでの質疑応答≫

14:12:53 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：
中性子と反応するのは B-10 が大きいが、N は小さくても量が多くある。この窒素の副反応の影響は評価しているか。

14:36:46 発信元: 渡邉 翼（京大複合研）:
N の要素は重要な因子であり、すべての解析・計算で N の影響を鑑みた上での解釈をおこなっています。

14:19:50 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：
放射線治療における副作用で、葉酸、ビタミン C、ビタミン E を多く取り込んだ栄養療法(QOL の観点)による副作用低減の検討はされているか。

14:38:55 発信元: 渡邉 翼（京大複合研）:
そのような方向性 1 つの研究の方向性だと思います。「放射線治療における」ということで私は BNCT の研究ですのでそのような研究をしていませんが、正常組織の BPA 取り込みを修飾する因子として、アミノ酸に限らず他のものは可能性として考えられると思います。

14:22:19 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：
患部に直接 BPA を注入して BNCT 療法は行われているか。

14:39:59 発信元: 渡邉 翼（京大複合研）:
現状 BPA は低分子であり静注・点滴で患部に集まる為そのような少なくとも BPA においては局注は、（溶解性の問題を解決していなかった当初は行われていました

が)、現在は静注・点滴による投与が基本です。

14:50:42　発信元: 隅田幸生@放射線相談室 ：

前立腺がんには患部に BPA 無理と思う。局注による BNCT は検討されないか。前立腺がんは高齢者に多く有用と思う。

14:53:32　発信元: 渡邉 翼（京大複合研）:

以下の 3 点で前立腺がんに対しての BNCT はいまいちです。

1）前立腺は放射線治療(X 線 IMRT)でかなり高い治癒率があり、重粒子線・陽子線も狙っている疾患で、BNCT でしかも手間がかかる局注でというのは、方向性として分が悪いです。
2）また、前立腺で難治だとホルモン抵抗性、再発ですが、そのような場合主に骨転移など全身疾患になっており、局所治療の出番がありません。
3）前立腺がんは少なくとも TCGA では LAT1 の発現が弱い腫瘍の 1 つです。Gleason Score が高い悪性度の高い前立腺がんはそれでも LAT1 発現しており、可能性は残りますが、BPA 局注よりも他の治療が優先されるかとは思います。

７．第三部／施設の整備・維持・強化、
今後の方向性　―全体概要―

（京大複合研）三澤　毅

2024.2.2　将来計画短期研究会

施設の整備・維持・強化 今後の方向性

― 全体概要 ―

安全管理本部長
三澤 毅

京大複合研の主な設備等

- 研究用原子炉（KUR）
- 臨界実験装置（KUCA）
- ホットラボラトリ
- 加速器施設
  - 電子線LINAC
  - サイクロトロン
  - FFAG
- Co-60ガンマ線照射装置

- その他、共同利用に供している装置

研究用原子炉（KUR）

- 2026年5月で運転停止予定
  - 米国との使用済燃料の処分に関する協定に基づく期限が主な理由
- 運転停止後、できるだけ早く廃止措置に入る予定
  - 廃止措置計画の申請
  - 使用済燃料の米国への返送
  - 施設の解体、解体廃棄物の処理・処分

KURの旧排気塔について、「放射性廃棄物でない廃棄物」としての処分を実施中

臨界実験装置（KUCA）

- 2021年で高濃縮ウランでの運転を終了
  - 高濃縮ウランは米国へ返送済み
- 現在、低濃縮ウランの利用のための準備中
  - 許認可対応、燃料製造

- 2024年中の運転再開を目指す

ホットラボラトリ

- 原子炉照射した物質の 各種試験、化学処理、放射能測定等を行う施設
  - 非密封RI, 核燃料を取り扱うことができる

- KUR運転終了後に大幅な改修を行なう予定

電子線LINAC

- 電子ビーム 6～46 MeV、パルス幅2 ns～4 μs
- 電子線、X線、放射光、中性子の利用

- 装置の改修を行い今後も利用を継続する予定

陽子サイクロトロン

- 30MeV、約1mA
- BNCT治験に使用

- 今後の中性子源としての重要な設備
  - 陽子ビーム強度変更による中性子発生量の増加
  - ビームライン周辺の遮蔽追加による利用可能時間の増加
  - （さらに） ビームラインの追加

7

FFAG 陽子加速器

- 2009年から利用開始した加速器
  - 150MeV, 1nA
  - KUCAと組み合わせたADS実験、材料照射実験等で使用

- 2024年度以降の利用予定は未定
  - 電気代の高騰
  - 共同利用への対応が難しい

8

Co-60 ガンマ線照射装置

- 最大414TBqの^{60}Coを利用することができる装置
- 2007年に線源更新

- 2023年度末で利用終了予定
  - 線源更新費用の高騰
  - 2019年から施行されたRIセキュリティ対応の管理負担増大
  - 装置の信頼性への不安

9

研究棟の改修

- 2023年度に旧研究棟（第1研究棟）が改修され、隣接して第2研究棟が建設された
  - 安全管理設備の改修、安全管理居室の集約
  - コールドの実験室の整備

第2研究棟（地上3階、地下1階）

新中央管理室 監視盤

10

８．第三部／施設の整備・維持・強化、

今後の方向性　―KUR 廃止措置―

（京大複合研）堀　順一

KUR廃止措置

京都大学複合原子力科学研究所　堀　順一

KURの今後の在り方について

2022年4月に京都大学としてKURの今後の在り方について以下の方針を決定した。

- **KURについては、米国の使用済燃料引き取りにかかる使用期限（2026年5月）をもって運転を終了する。**なお、運転終了後の廃止（解体）作業については、**京都大学研究用原子炉・廃止措置実施方針**において、放射性廃棄物処分事業開始の見通しが立ち、工法等が確立した段階で実施することとしており、また、その資金は国からの支援を要望することとしている。そのため、本廃止（解体）作業にかかるKURの廃止措置については、安全性を最優先とし、かつ着実に実施するために、発生する放射性廃棄物の処理処分の方法の確立と必要な経費確保に関して、文部科学省との協議を進めるべきである。

使用済燃料の状況

KUR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月までの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。KURで使用した高濃縮ウラン燃料は、この引き取り政策により、上に述べたとおり2007年までに全て米国に引き渡されている。なお、低濃縮ウラン燃料については、使用済燃料はまだ発生していない。

その後、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、日本原子力研究開発機構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（2029年5月までに引き取り）こととなった。**

廃止措置実施方針

原子力規制委員会は、原子力施設の稼動停止から廃止へのより円滑な移行を図るため、廃止を実施する前の早い段階から、廃止措置を実施するための方針（以下「廃止措置実施方針」という。）を作成し公表することを、原子力事業者に対して義務付けることを決定した。この決定に基づき、京都大学複合原子力科学研究所では、2基の原子炉施設（KUR及びKUCA）と核燃料の使用施設について、将来の廃止に向けた「廃止措置実施方針」を作成のうえ、2018年12月28日付けで当研究所のホームページにて公表した。

https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/safety/decommission

廃止措置実施方針の変更の記録

作成若しくは変更又は見直し	作成・変更等を行った日付	作成・変更等の内容	作成・変更等の理由
作成	2018年12月28日	廃止措置実施方針の作成	原子炉等規制法の改正に伴う法令要求に基づく作成
変更	2019年10月10日	研究用原子炉の原子炉設置変更の承認	研究用原子炉の原子炉設置変更が新たに承認されたため。なお、本変更は当廃止措置実施方針の内容に関わるものではない。
変更	2023年7月10日	研究用原子炉の原子炉設置変更の承認	研究用原子炉の原子炉設置変更が新たに承認されたため。なお、本変更は当廃止措置実施方針の内容に関わるものではない。
見直しによる変更	2023年12月15日	「放射性廃棄物でない廃棄物」という分類の追記　等	当初作成から5年ごとの見直しに伴う変更

廃止措置実施方針の抜粋（1/2）

- 解体の対象となる施設及びその解体方法
  1. 速やかに解体により廃止措置を行う施設
  2. 放射性廃棄物処分事業開始の見通しが立ち、解体工法、放射能汚染の測定方法等が確立した段階で解体を実施する施設
  3. 解体によらないで廃止措置を行う施設
- 核燃料物質の管理及び譲渡し

  使用済燃料については、わが国が原子力平和利用に関する協力のための協定を締結している国の再処理事業者である米国エネルギー省（DOE）に引き渡す予定である。

  なお、使用済燃料の引き渡し完了以降に廃止措置を開始する予定であり、引渡しまでの期間は現状の管理体制で保管を行う。
- 核燃料物質による汚染の除去
  1. 核燃料物質による汚染の分布とその評価方法

     廃止措置開始時における実際の汚染分布については、廃止措置を開始するまでに、運転実績、空間線量、汚染サーベイ結果等に基づき評価した上で作成する。
  2. 除染の方法

     被ばく量、除染効果、放射性廃棄物発生量等の観点から、化学的又は機械的方法を効果的に組み合わせて実施する。作業環境上必要な機能に影響を及ぼさないよう、被ばく低減対策を講じて除染作業を実施する。除染係数（除染前後の表面線量率の比）が目標値に達するまで原則実施する。

廃止措置実施方針の抜粋（2/2）

- 廃棄する核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の発生量及び廃棄

発生時期	放射能レベル	推定発生量（本）（200L ドラム缶換算）
廃止措置開始まで	L3（放射能レベルの極めて低いもの）	約200本(*1)
廃止措置期間中	L2（放射能レベルの比較的低いもの）	約400本(*2)
	L3（放射能レベルの極めて低いもの）	約600本(*2)
	NR（放射性廃棄物でない廃棄物）	約500本(*2)

(*1) 現状の保管廃棄量および年間の発生量から推定
(*2) 解体撤去する施設の体積推定値から推定して計算。ドラム缶充填率は平均で90%とする。

- 廃棄措置の行程

項目	（廃止措置前）	スケジュール
機能停止・燃料譲渡	▬▬▬▬（3年）	
汚染状況等各種調査		▬▬（3～5年）
解体		▬▬▬（5～10年）*
汚染状況等各種調査および除染		▬▬（3～5年）
固体廃棄物搬出		▬▬（3～5年）
管理区域解除		▬▬（3～5年）

（注）記載した所要年数は暫定値である。
*放射性廃棄物処分事業開始の見通しが立ち、解体工法、放射能汚染の測定方法等が確立する時期よって期間が延長される可能性がある。

7

NR（放射性廃棄物でない廃棄物）について

原子力施設における「放射性廃棄物でない廃棄物」の取扱いに関するガイドライン

NRの判断方法

(1) 汚染のおそれがない管理区域において設置された資材等

適切な汚染防止対策が行われていることを確認した上で、適切に管理された使用履歴、設置状況の記録等により汚染がないことを判断した場合はNRとする。

(2) 汚染のおそれがある管理区域において設置された資材等

適切な汚染防止対策が行われていることを確認した上で、適切に管理された使用履歴、設置状況の記録等により汚染がないことを判断した場合はNRとする。

汚染された資材等については、汚染部位の特定・分離を行った場合には、残った汚染されていない部位はNRとする。

当面は、信頼性を高める観点から、適切な測定方法により念のための放射線測定評価を行い、測定結果が理論検出限界曲線の検出限界値未満であることを確認する。

(3) 汚染のおそれがない管理区域で使用された物品

（以下略）

(1) 汚染のおそれがある管理区域で使用された物品

（以下略）

8

NR（放射性廃棄物でない廃棄物）処分の準備

- 原子炉施設保安規定の改訂（2021.4.1）

（放射性廃棄物でない廃棄物の管理）第96条の2 を追加

管理区域内において設置された金属、コンクリート類、廃油、プラスチック等であって放射性廃棄物でない廃棄物として廃棄又は資源として有効利用しようとする場合に必要な事項を定めた。

- 原子炉施設保安指示書の改訂（2023.1.17）

放射性廃棄物でない廃棄物の管理の手順を定めた。

- NR処分の適用例を紹介

9

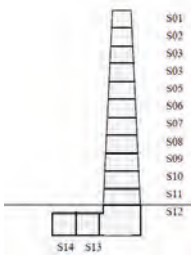
旧スタックのNR処分

- KURの鉄筋コンクリート製の高さ35mの排気棟（スタック）の改修を平成25年9月～12月にかけて実施した。具体的には鉄筋コンクリート製から鋼製に改修した。（平成25年7月18日設工認申請、同8月13日承認、平成26年2月13-14日使用前検査）
- 旧スタックは14分割されて一時管理区域に保管していた。
- NR処分手続きを開始した。

<u>NR手続きの流れ</u>

実施計画の申請、承認
↓
汚染のおそれのある箇所の特定・分離
（2024年1月31日～3月8日に実施）
↓
念のため測定
↓
NRとして処分

10



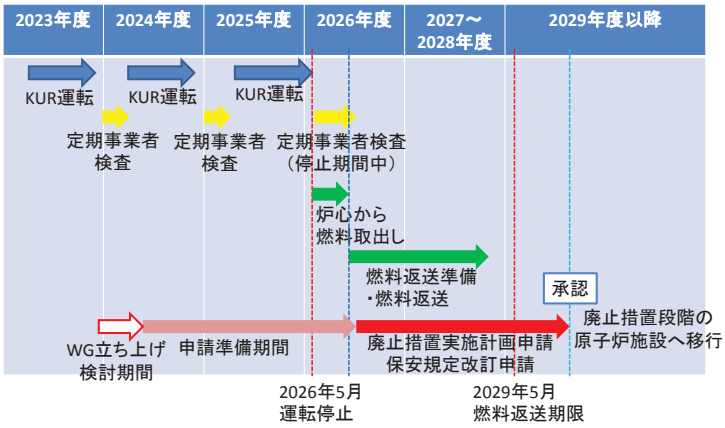
旧スタックの分割と保管状況
（右は作業直前にブルーシートを外した状態の写真）

11

内面剥離作業の様子

12

KURの今後のスケジュール



廃止措置実施計画の申請時期は原子力規制庁と要相談

KUR廃止措置に向けての課題

- 機能維持設備の特定
- 施設の特性評価
  - 放射化量の計算、評価
- 機器・構造物の除染
  - 除染方法の検討
- 放射性廃棄物の処理・処分
- 機器・構造物の解体
- プロジェクトマネジメント
  - 工程管理、作業管理

KUR炉室の最終的な利用方法を早急に議論する必要がある。

９．第三部／施設の整備・維持・強化、今後の方向性　―ホットラボ改修―

（京大複合研）沖　雄一

将来計画短期研究会
2024/02/02
@京大複合研

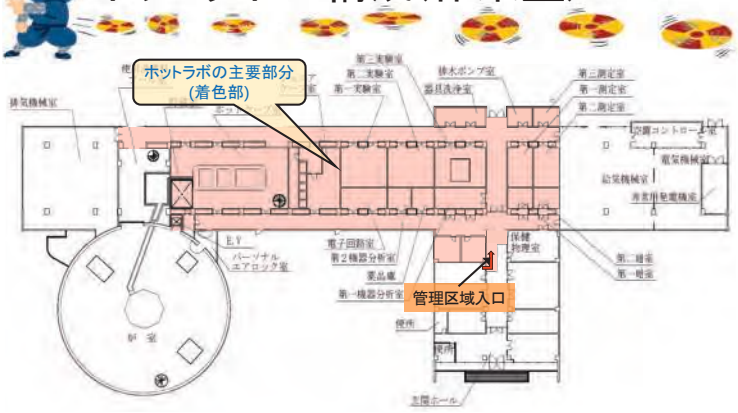
ホットラボ改修

放射線取扱主任者
沖　雄一

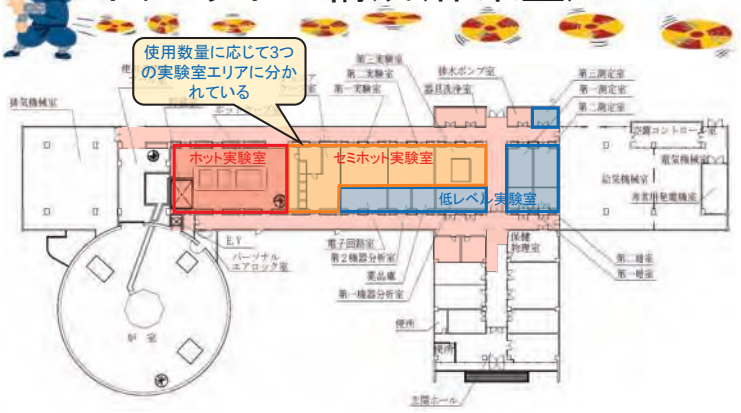
本日お話しすること

- 本所のホットラボの構成と特徴
- 現状と問題点
- KUR運転終了後、何が変わるか
- 改修の方向性と改修案
- その他(~~改修の予定期間と、費用見積もり~~など)

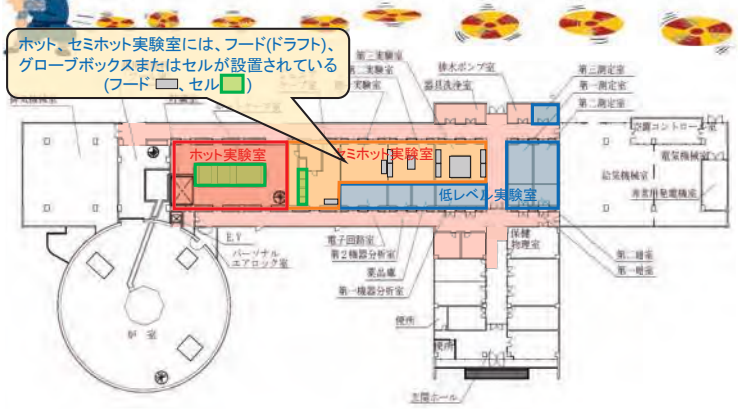
ホットラボの構成(作業室)



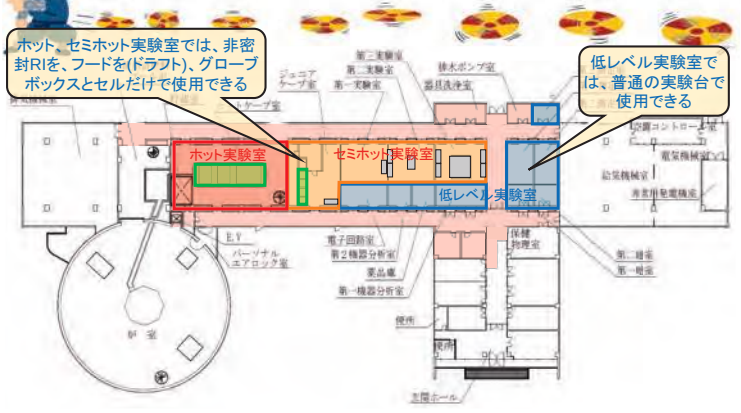
ホットラボの構成(作業室)



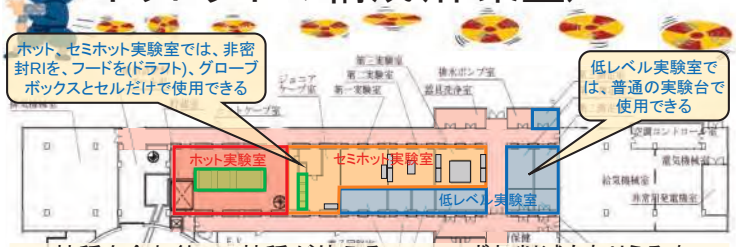
ホットラボの構成(作業室)



ホットラボの構成(作業室)



ホットラボの構成(作業室)



- α核種を含む約500核種が使える。 ⇒いずれ削減もありうる(短半減期核種など)
- 作業場所が決定的に不足している。(実験の都合だけでなく安全の観点からも)
- ジュニアケーブセル、ホットケーブセルなどが有効に使えていない。
- 核燃との混在の問題

ホットラボは今後どうなる？

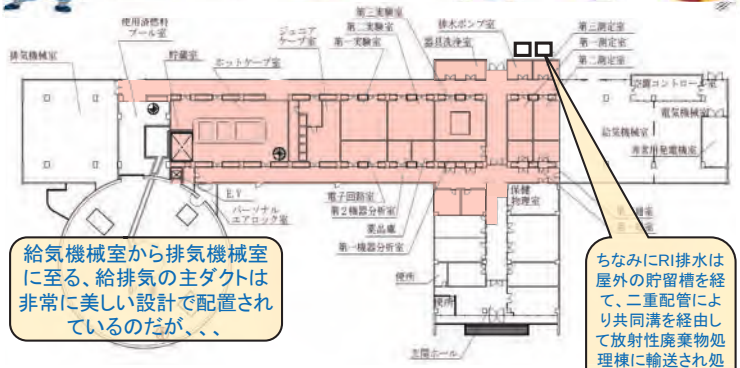
KURが終了したら

- 大数量(～数100 MBq)を扱う実験が減る。
  - 医療用RIや メスバウア測定等の一部など
- 共同利用者が減る。

高経年化の観点から(要改修)

- 建物　雨漏り、亀裂等
- フードの更新
- 排気系統全般、特に排気ダクトの主管
- 流し(汚染検査室など)

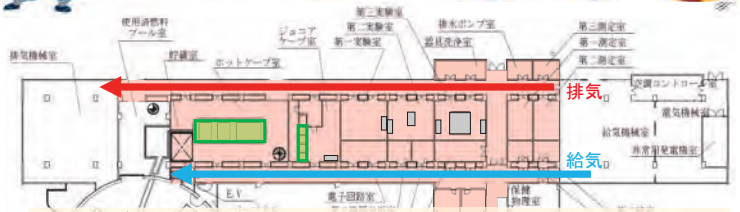
ホットラボの構成(排気系統など)



給気機械室から排気機械室に至る、給排気の主ダクトは非常に美しい設計で配置されているのだが、、、

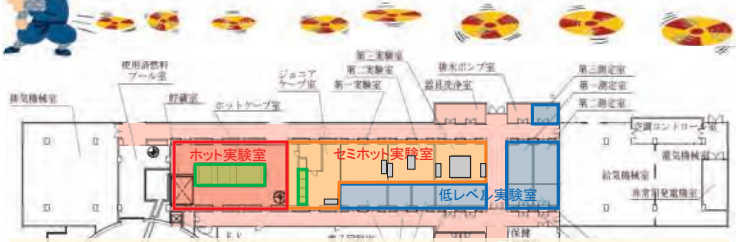
ちなみにRI排水は屋外の貯留槽を経て、二重配管により共同溝を経由して放射性廃棄物処理棟に輸送され処理される

ホットラボの構成(排気系統など)



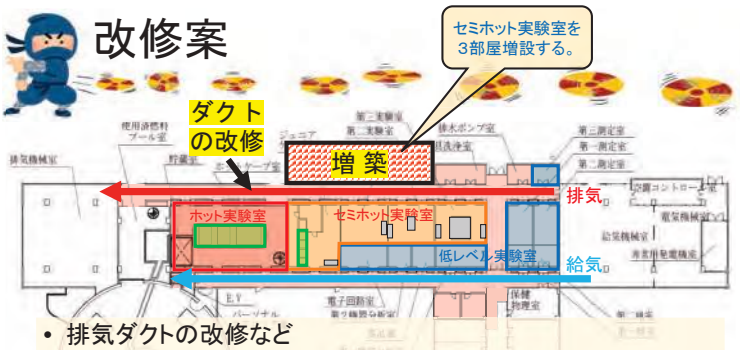
- **排気ダクトが廊下の地下に嵌め込まれている(構造上の問題)。**
  - ⇒非常にメンテナンスがしにくい。
  - ⇒ダクトの位置を変更すべき
  - ⇒または、床面から容易にアクセスできるようにする。(点検口等を設置)

セミホット実験室の作業場所が少ない問題



- 第一実験室などの整備 ⇐現在、主にカプセルの開封に使用
- ジュニアケーブセルの整備
- 整理整頓
- 抜本的な解決 ⇒実験室を増やす。

改修案



- 排気ダクトの改修など
- 増築して作業室を増やす。(以前検討されたことあり)
  - ⇒ RIと核燃をうまく分けられる可能性

まとめ

- 非常に多くの核種が使用できる施設を維持する。
- 高経年化および構造上の問題あり ⇒特に排気ダクト
- 非密封RIの作業場所が少ない ⇒増築の可能性？
- どこまで改修するか？ ⇒安全の確保・向上が最重要

その他

- 教育用スペースがない。(非密封RIの取扱い教育など)
- 管理区域入口から汚染検査室までの導線の改善

13

おわり

14

10. 第三部／施設の整備・維持・強化、今後の方向性

―KUCA 燃料低濃縮化と今後の展望―

（京大複合研）北村　康則

令和５年度 京大複合研 将来計画短期研究会 2024/2/2

第三部
施設の整備・維持・強化、今後の方向性

～ KUCA燃料低濃縮化と今後の展望 ～

京大複合研（臨界装置部）　北村康則

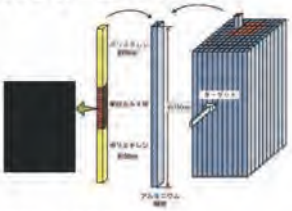
KUCAの概要

- 大学が所有する唯一の臨界集合体
- 最大熱出力 100 W
- 初臨界：1974年8月
- 複数架台方式
  - 固体減速架台×２（A架台、B架台）
  - 軽水減速架台×１（C架台）
- 高濃縮燃料の返送完了、2021年から一時停止中
- 低濃縮化後、運転再開へ

固体減速炉心
（B架台）

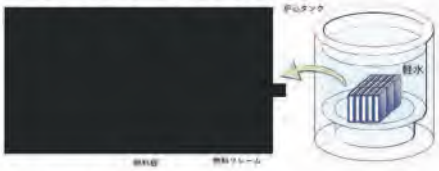
軽水減速炉心
（C架台）

固体減速炉心の概要



- 燃料要素：ウラン、トリウム
- 減速材：ポリエチレン、黒鉛
- 反応度制御設備：6本の制御棒（中性子吸収材はホウ素）
- 非常用制御設備：中心架台（1本以上の燃料集合体を装荷、落下することにより炉心領域から分離）

軽水減速炉心の概要



- 燃料要素：ウラン
- 減速材：軽水
- 反射材：軽水
- 反応度制御設備：6本の制御棒（中性子吸収材はカドミウム）
- 非常用制御設備：ダンプ弁（開放により軽水を排水）

高濃縮ウラン燃料を使ったKUCA

- KUCAは、1974年の初臨界以来、軽水減速・固体減速架台共に高濃縮ウラン（HEU）を用いて運転
- 以降、東北地方太平洋沖地震の後、制定された「新規制基準」の適合に係る審査期間（数年間）、運転を中断したが、大きなトラブルはなかった

5

KUCAの燃料低濃縮化

- 2016年の第4回核セキュリティ・サミット@米国ワシントン（以下、外務省HPより）

第4回米国核セキュリティ・サミット日本・進捗状況報告書

平成28年4月1日

京都大学臨界集合体実験装置（KUCA）の低濃縮化

2016年核セキュリティ・サミットにおいて，日米両国は，KUCAを高濃縮ウラン燃料から低濃縮ウラン燃料に転換し、高濃縮ウラン燃料を全量撤去する取組を共同で実施することを発表した。

→ KUCAの利用は、低濃縮化後も続く

固体減速架台（A, B-core、Dry core）

- ウランシリサイドに代わる新しい研究炉用の燃料として開発が進められているウラン・モリブデン（U-Mo）アルミニウム分散型燃料を使用
- U-Mo燃料は1990年代から研究開発
  - ウランシリサイド燃料よりウラン密度が高い
    U_3Si_2:[redacted]g/cm^3　U-7Mo：[redacted] g/cm^3
  - 照射試験を実施　（燃焼度80%まで）
- UにMoを7wt%混ぜたU-7Moの粉末をアルミニウム中に分散　　（[redacted] g/cm^3、U密度：[redacted] g/cm^3）
- U-Mo燃料で臨界とする世界初の研究炉の予定
- 従来のKUCAのU-Al合金燃料と異なり被覆材が必要

7

U-7Mo クーポン燃料

[redacted]

U-7Mo クーポン燃料

テスト用 U-Moクーポン燃料

軽水減速架台（C-core、Wet core）

- KURなど世界各国の研究炉で使用実績のあるウランシリサイド（U_3Si_2）・アルミニウム分散型燃料を使用
- 燃料長板の形状（厚さ、外寸、燃料ミート部外寸）は現在のHEU燃料と全く同じ
- U_3Si_2のU密度は[redacted]g/cc　（JRR-3などと同じ）
- 燃料以外の炉心構造、制御系、計装系、核的制限値等は変更無し
- 燃料フレームは従来のHEU用のものを使用
  - C30、C35、C45 燃料フレーム
  - C30フレームはC60フレームとしても利用

10

軽水減速架台 燃料

これまでの経緯のまとめ

- 2016/04/01　核セキュリティサミット@米ワシントン
  「KUCAを低濃縮化し、高濃縮ウラン燃料の全量撤去を行う」
- 2019/05/31　低濃縮化に係る設置変更承認申請
  2022/04/28　承認（原規規発第2204282号）
- 2022/04/28　軽水減速炉心用燃料要素製作に係る設工認申請
  2023/08/01　承認（原規規発第2308012号）→ 現在、製造中
- 2022/05/19　固体減速炉心用燃料要素製作に係る設工認申請
  2023/08/01　承認（原規規発第2308011号）→ もうすぐ、製造開始

- **2023/11/29　燃料貯蔵棚＆トリウム貯蔵庫に係る設工認申請**
- **2023/12/08　低濃縮化に係る保安規定変更承認申請**

Now!!

12

今後の計画・方針　① 早期の運転再開

- 2024/mm/dd～ 製作した燃料要素について、使用前事業者検査

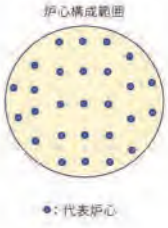
- 2024/mm/dd～ 低濃縮ウラン燃料が研究所に到着
  ただし、１回の輸送ではなく、複数回に分割されて到着
  全ての低濃縮ウラン燃料の輸送が完了するには数年を要する

- 2024/mm/dd～ 低濃縮ウラン燃料を装荷した炉心の性能確認に係る設工認申請
  → できるだけ早期に設工認の承認を得る
  → (1) 到着した燃料で構築できる炉心について、特性試験を実施
  → (2) 到着した燃料で構築できる炉心について、一部使用承認を得る
  → (3) 到着した燃料で構築できる炉心について、共同利用・人材育成を再開

以下、全ての燃料がKUCAに到着都度、(1)～(3)を繰り返し、最終的な使用前確認を得る
幾つの炉心について特性試験を行うかは、今後の設工認の審査の中で決まる
２週間 × (Min 5 ～ Max 40)

今後の計画・方針　② 失地回復(1/2)

- KUCAの低濃縮化に係る設置変更申請の審査には約3年を要した



- 従来は核的制限値等を満足する炉心であれば様々な炉心を構成することは問題なかった　（保安規定で対応し、保安検査等で規制庁が確認）
- 2015年の新規制基準対応の審査では求められなかった要求
- 議論の中で、使用する燃料セルパターン、炉心構成等を完全に網羅する解析を示すことを求められた
- KUCAには、天然ウランやトリウムを含むセル、減速材種類の混在、ゾーン型炉心のような複数の種類の燃料集合体の混在、炉心高さの変更、燃料集合体の配置方法について、広い自由度がある

今後の計画・方針　② 失地回復(2/2)

- 審査を早く進めるために炉心構成の制限を掛けざるを得なかった
  - 燃料セルパターンは1つの炉心で混在させない
  - ゾーン型炉心は組むことができない
  - 天然ウラン、トリウム、黒鉛、重水(軽水炉心）は使用しない
- 2019年度の共同利用実験で構築した炉心のうち、低濃縮化後、約8割は再構築できない
- LEUの運転が開始された後に、設置変更申請を行ってこれらの条件をできるだけ外したいと考えている
  - ただし、「使用する燃料セルパターン、炉心構成等を完全に網羅する解析を示す」という規制委員会・庁の審査方針は堅持

まとめ

- 可能な限り早期の運転再開を目指し、KUCAの低濃縮化に向けての準備を続ける
  - 2025年度中の共同利用・人材育成活動の再開を目指す
- ＬＥＵでの運転再開後に再度設置変更申請を行い、炉心構成等に関する制限を取り除き、本来の臨界実験装置の役割を果たすことができるように努力する

11. 第三部／施設の整備・維持・強化、今後の方向性　―加速器施設の強化―

（京大複合研）田中　浩基

加速器施設の強化

京都大学複合原子力科学研究所
粒子線腫瘍学研究センター
田中浩基

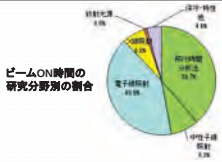
2024年2月2日将来計画短期研究会

電子線ライナック

1965年（昭和40年）

電子線ライナック
- 電子線照射_材料照射
- X線照射_RI製造
- コヒーレント放射光_物性研究
- 鉛減速スペクトロメータ
- 中性子ＴＯＦ

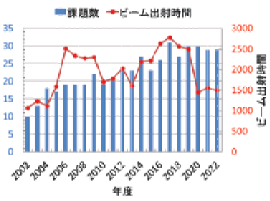
- 核燃料物質使用可能
- パルス中性子
  12mライン～10^4(n/cm^2 s)
  6kW出力時～ $8x10^{12}$(n/s)
  Taターゲット表面～$3x10^{11}$(n/cm^2 s)



電子線ライナック

可変範囲が広い　＝　多様な目的に使える

- 低エネルギー（6MeV）～高エネルギー（46MeV）
- 超微弱ビーム（<1pA）～大電流（>300μA）
- 多様な時間構造のパルスビーム



利用者数（2022年度）

所属機関	年間使用延べ人数（人・日）
所内・学内	363
国立大学	98
公立大学	17
私立大学	79
大学共同利用機関法人	10
独立行政法人等	31
民間機関	16
外国機関	0
計	614

※2020, 2021年度はコロナ禍の影響で運転休止や実験キャンセル
※2022年度はマイクロ波発生装置更新工事のため半年間運転休止

courtesy of Prof. T. Takahashi

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

THz帯ミリ波帯コヒーレント放射光の利用

バンチ内電子数が大きいほど増強度が高い　Lバンドの優位性
- 各種材料の吸収分光測定
- 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）

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拠点
短寿命のRIを製造し線源として供給
・(γ,n)反応による医療用R

電子線の材料照射への利用

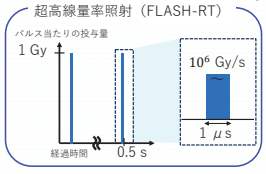
・低エネルギー(～ 8MeV)の利用
有意な放射化がなく照射試料をすぐに持ち出し可能
・ mmオーダーの透過力
・室温～高温(500度)までの試料温度精密制御
　電気ヒーターによる照射前のプレヒート
　照射中はパルス繰返し数による温度制御
　水冷または強制空冷による冷却
　ヘリウム雰囲気中での照射（酸化防止）
　液体窒素温度での照射装置
・新たに生物照射も

電子線を用いた新しい生物照射場について

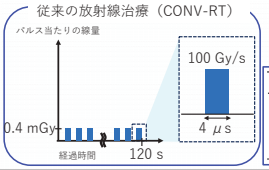
FLASH-Radiotherapy （FLASH-RT）

超高線量率照射により高い抗腫瘍効果を維持しつつ、正常組織に対する障害を抑えられる現象

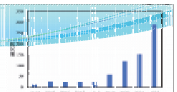
超高線量率照射（FLASH-RT）



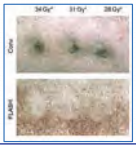
従来の放射線治療（CONV-RT）



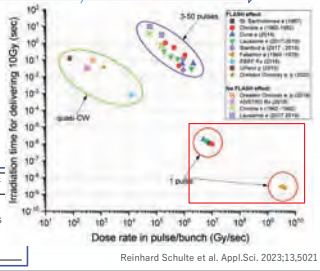
2014 マウス照射 フランス LINAC(electron
2016 ミニブタ照射 スイス LINAC(electron
2019 ヒト照射 スイス LINAC(electron
ヒト 非ランダム化試験 2022 アメリカ サイクロトロン(proton)



ミニブタ皮膚照射



	確実な条件
平均線量率	100 Gy/s
パルス線量率	≥ 10^6 Gy/s
総線量	≥10 Gy
10Gy到達時間	<10 μs



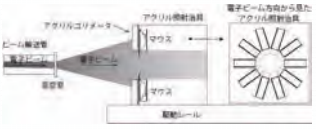
Reinhard Schulte et al. Appl.Sci. 2023;13,5021

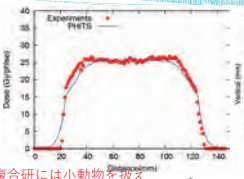
電子線を用いた新しい生物照射場について

	SIT社 FLASH	KURNS-LINAC
電子エネルギー	5-12MeV	7-46MeV
パルス幅	0.2us-4us	2ns-5us
パルス間隔	1-350Hz	single-300Hz
電子銃最大電流	0.25A	10A
尖頭電流	-	6A
RF	3.1MW マグネトロン	13MW+20MW クライストロン

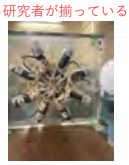
SIT社 electronFLASH機

KURNS-LINAC

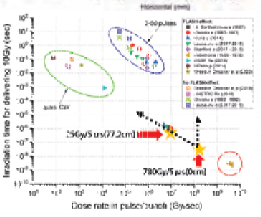




複合研には小動物を扱える研究者が揃っている



世界でトップクラスのFLASH照射場となりえる



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

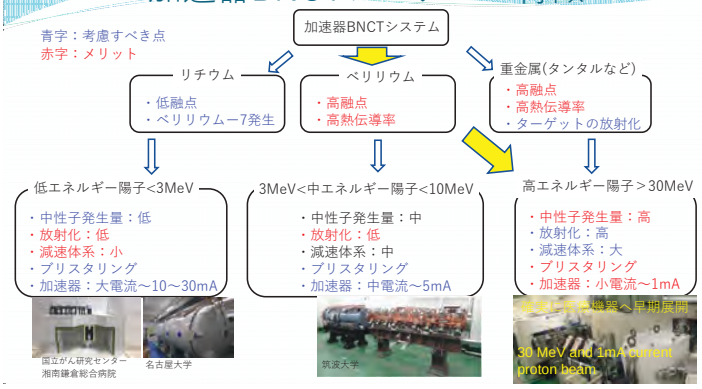
・可変範囲が広い　＝　多様な目的に使える
・古い装置であるが新しい研究領域への応用が期待できる。研究テーマを探索・強化することも重要。

7

サイクロトロン

加速器BNCTシステムの特徴

青字：考慮すべき点
赤字：メリット

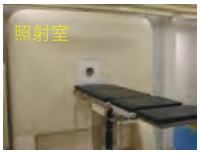


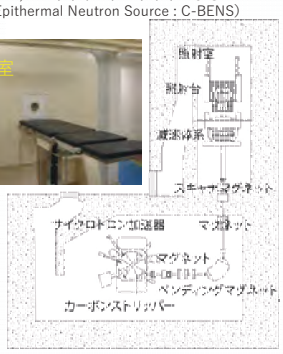
Cyclotron-Based Epithermal Neutron Source : C-BENS

サイクロトロン(30MeV・1mA陽子ビーム)とベリリウムターゲットによる
加速器BNCTシステム（Cyclotron-Based Epithermal Neutron Source : C-BENS）

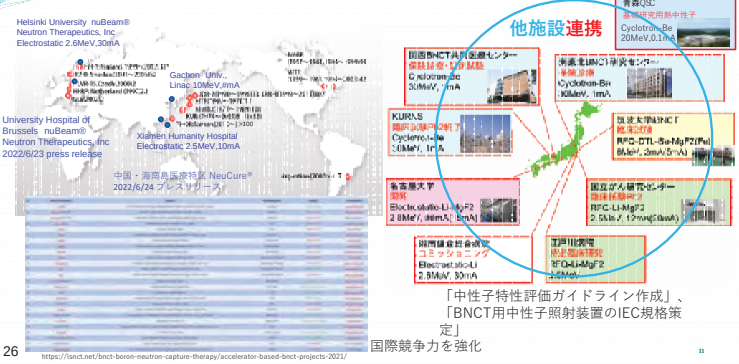
・ブリスタリングの克服
・照射後に鉛遮蔽を設置し放射化による被ばく軽減
・鉛・鉄・アルミ・フッ化物による
モデレーターの実現
・医療機器として承認された世界で唯一の
加速器BNCTシステム

垂直入射イオン源
水素負イオン加速 30 MeV 1mA
RF frequency 73MHz
Average magnetic field 1.2T





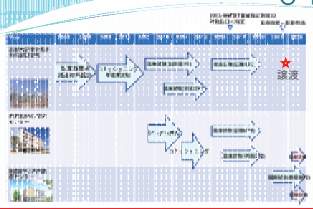
加速器BNCTシステム



https://isnct.net/bnct-boron-neutron-capture-therapy/accelerator-based-bnct-projects-2021/

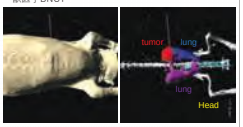
26

C-BENSの今後



新規薬剤開発のための小動物・細胞照射
BNCTのQA開発、検出器開発、BNCT用標準場
半導体損傷試験　etc..

・厭医学BNCT



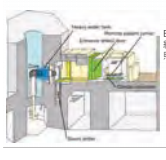
コリメータ直径：100mm　想定照射時間：49.4分
最小腫瘍線量：20Gy-eq　血中ホウ素濃度：13.8ppm

課題：管理区域内において動物飼育施設
獣医法　法的整備の必要性

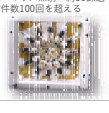
KUR
重水照射設備

2026年以降
KURは運転停止

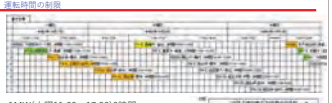
重水照射設備　共同利用研究　生物、物理工学、化学など



BNCT用新規薬剤開発のための
細胞・マウス照射：約50課題～
照射件数100回を超える



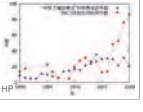
BNCTのQA用放射線検出器
の開発：約20課題～照射件
数約60回



1MW(火曜11:00～17:00)6時間
+
1MW(水曜8:00～17:00)9時間＝15時間

1時間あたり12匹
180匹/週

所著論文2020年35報
2021年24報
2022年21報
2023年34報



粒子線腫瘍学研究センターHP

ポストKURを考慮したサイクロトロンの複合利用計画

承認された医療機器と同等性能を有する
Target Station-1 (TS-1)：更新

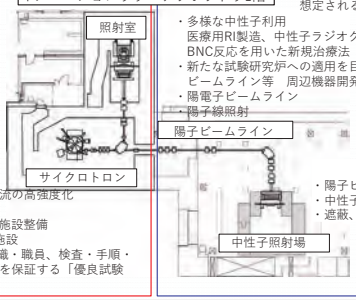
主な用途

・BNCT医学薬学研究
　新規薬剤開発、生物影響研究
・新規BNCT用薬剤の非臨床試験
（医療機関では実施が困難）
・BNCT医学物理研究
　品質保証、中性子照射場の
　標準化、照射方法の高度化
・多様な利用：
　半導体ソフトエラー等

整備内容

・医療機器メーカーと共同で陽子電流の高強度化
・運転時間延長のための設備整備
・非臨床試験のための非密封RI使用施設整備
　GLP(Good Laboratory Practice)施設
：試験施設(場所)の設備・機器、組織・職員、検査・手順・結果等が、安全かつ適切であることを保証する「優良試験所規範(基準)」。

イノベーションリサーチラボラトリ1階



多様な放射線利用を展開するポストKUR中性子源
Target Station-2 (TS-2)：増設

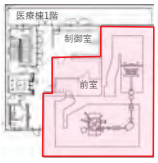
想定される利用研究

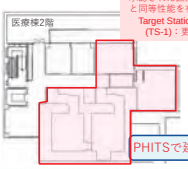
・多様な中性子利用
　医療用RI製造、中性子ラジオグラフィ、放射化分析、
　BNC反応を用いた新規治療法
・新たな試験研究炉への適用を目指した中性子
　ビームライン等　周辺機器開発
・陽電子ビームライン
・陽子線照射

整備内容

・陽子ビームラインの延長
・中性子照射場の設計・整備
・遮蔽、排気設備

京都大学複合原子力科学研究所
ロードマップ





承認された医療機器と同等性能を有する
Target Station-1 (TS-1)：更新

利用運転(週20時間)

利用運転yy時間

多様な放射線利用を展開する
ポストKUR中性子源
Target Station-2 (TS-2)：増設

PHITSで建屋３次元モデル構築

先行していたホットラボラトリ地下ホットケーブ室の変更許可申請の承認が得られたため、
医療棟の申請のヒアリング、申請を進める

出力：1.1mA→2mA
時間：5時間→20時間

まとめ

電子線ライナック

・可変範囲が広い　＝　多様な目的に使える
・古い装置であるが新しい研究領域への応用が期待できる。研究テーマを探索・強化することも重要。

サイクロトロン

・Target Station-1 (TS-1)を更新して、着実に共同利用研究をすすめて研究成果を創出する。
・TS-2はBNCTに限らず、中性子、陽電子、陽子ビームを照射できるポテンシャルを持っている。
　人材、予算、時間を要するので、どのような使い方をするか議論が重要である。

15

ありがとうございました。

12. 第四部／全体討論

会場からの質問に所長が回答する

第四部／全体討論
会場からの質問に所長が回答する

黒﨑： ここからは私が司会進行させていただきます。よろしくお願いいたします。みなさま、長丁場お疲れ様です。ありがとうございます。チャットを中心に活発な議論が出来たと思っていまして、ご質問頂いた方々、ありがとうございます。それぞれのご質問にお答えできているかはわからないですが、一応 これまでに頂いた質問を少しここで共有させて頂きます。全部で 12 個ほどにまとめました。解決しているのもありますが、それぞれについて一応おさらいし、追加で質問があれば挙手機能でお知らせください。

① 原子力・放射線施設の管理（JAEA への委託等の可能性）
JAEA に委託すると効率的じゃないですか？とご質問がありました。三澤先生からご回答いただいた通りで、杉山先生からも新試験研究炉の話と絡めてご回答いただき解決したと考えています。両先生の考えと同じで、中々難しいと思います。確かに JAEA 等で一括管理するのは非常に効率的だと思うのですが、それぞれの組織体や方向性も全く違うのでそう簡単には行かないのかなと思います。一方で、これから作る新試験研究炉等は今から色々なことを考えて設計に組み込むことができますので、管理運営についても上手く連携して、効率化していくことになるかと思います。

② BNCT の発展性・他分野への波及効果
田中先生、渡邉翼先生いかがですか。 BNCT をきっかけに色々な分野発展ができるとか、こんなところにもこの技術は使えるとか、発展性です。

田中： 物理工学の観点でお話しできるかと思うのですが、BNCT は中性子の強度がかなり高い装置になりますので、そういった加速器中性子源が開発され技術革新が行われることで、中性子ラジオグラフィとか、中性子を使った大強度の物理工学にも応用できるのではと考えております。

渡邉： 発展性は色々な方向があると思いますが、まずは BNCT の治療としての方向性は発表でお話しましたが、例えば BNCR、中性子捕獲反応を生物学のツールとして利用するという発展性は 1 つあるかと思います。例えば細胞レベルで反応するような放射線を、組織は色々な層に分かれていて、この層だけを BNCR で除去する効果が組織全体でどう見えるか等、ツールとして BNCR を使う方向性はあります。

黒﨑： ありがとうございます。当然発展性や波及効果があり、そういったことも見据えて当所では研究を進めて行くということだと思います。

③ MKB 委員会と所外（共同利用者等）の方々との関係性

所の将来計画を考えるときに、所外の先生方の意見をどのようにどれくらい反映するかというお話だと理解しています。杉山先生からご回答頂いたとおりですが、まずは所内で意識合わせ・情報共有をします。今はそのステージだと思います。所内といっても、所員は１００名以上いるので、全員とは中々いかなくて、現在は MKB 委員会で、ある種限られた所員で検討中です。この後の共共拠点とも関係しますが、当研究所は京大の附置研究所ですが、全国に開かれた拠点でもあり、共同利用で日本の人材育成に貢献しているところもあります。所外の先生、特に共同利用をされている先生方の意見は当然どこかのタイミングで反映することも必要だと理解していますが、今はまだその時期ではないということだと思います。では、共同利用の先生方の意見をどのような方法で聞くのかということですが、我々の研究所は、共同利用運営委員会や共同利用研究委員会等、所外の先生方のご意見を聞く場を設けており常々機能しています。ある程度研究所の将来計画が定まれば、そういった既存の委員会等々で話を出し、先生方のご意見を聞いて必要に応じ反映していく段取りになると思っております。いずれにせよ KUR 運転停止が２０２６年５月で、そんなに時間はないことも理解しています。近々、色々な先生方のご意見を伺うことになると思っています。

④ 共共拠点の方向性

日野先生からご提案があり、少し議論がなされました。まず前提として共共拠点とは文部科学省が拠点認定している制度で、共同利用・共同研究をする拠点となっています。具体的には、国立大学だと 70 拠点位が認定されています。複合原子力科学研究所も一研究所一拠点で複合原子力科学拠点として認定されているのが前提です。拠点の認定方法にもいくつか種類があり、単独拠点、ネットワーク拠点、あるいはその拠点の方向性で、大型の研究設備を利用するタイプ、共同研究を中心に考えていくタイプ、あるいは理工学系ではなく医学生物学系や人文社会もありますし、異分野融合系など多様な拠点が国立大学で７０拠点程認定されています。その中には更に上のランクの拠点ということで、国際的なところで活躍できる拠点、国際共共拠点というものもあります。残念ながら複合研は国際共共拠点ではなく、単独の大型設備利用型で拠点認定されています。これがまず前提です。重要なのは、活動を評価されることです。丁度今が中間評価のタイミングで、評価される際に A.B.C.などで評価されるのですが、きちんと良い評価を頂いていなければ、拠点としての存在意義が揺らいでくるので、この共同利用・共同研究拠点できちんとした活動をし、

プレゼンスを示して高く評価されるのが非常に重要になっています。我々は大型設備利用型で認定されていますが KUR が運転停止することもあり、「本当にそのままでいいですか？」という話です。所内で深く議論し、どの方向性に向いていくか考えないといけない。1 つの方向性として「ネットワーク型」もあるし、共同研究を中心に頑張っていく方向性もあるかもしれません。今はまだ検討中ですが、近々結論を出さないといけないということになっています。

⑤ 教育・人材育成の場としての複合研

私は原子力分野なので、原子力分野のお話しかできませんが、原子力、放射線の分野では、京大複合研は物凄く強く期待され、且つ高く評価されていると認識しています。自身の立場で「高く評価されている」と凄く言いづらいですが、私自身、京大に来る前は別の大学からこの研究所を見ていましたので、そういう意味では外からの目もあると思っています。その視点から見て、教育・人材育成の場として、あるいは原子力の研究場所として複合研は非常に高く業界では評価されています。具体的には、KUCA とかホットラボなど、特に KUCA は目で見て触って実験実習できる貴重な場であると認識されています。午前中に中島先生から少しお話がありましたが、文科省の国際原子力人材育成イニシアティブ事業の中に実験系のグループがあり、そこにも複合研は入っています。特に KUCA を使った人材育成で貢献しようとしているところです。

⑥ 原子力学会での議論（施設の拠点化等）

原子力学会のアゴラ委員会の話を中島先生がしてくださいましたが、学会レベルでも議論されています。例えば放射性廃棄物や廃止措置に入った後に出てくるゴミの取り扱い、研究に使われている色々な所にある核燃料物質等々の管理方法を、もっと日本全体で考えられないかなどの議論は学会でもされています。

⑦ RI 施設や KUR の廃止措置（NR の考え方、廃棄物の取り扱い、外注の可能性）

三澤： NR は放射性廃棄物でない廃棄物で、クリアランスとは違う考え方です。基本的には「汚染されていない、または汚染部位を除去した廃棄物」として取り扱うことでやっています。今現在、我々のところでは、汚染部位を削って処理を行っております。最終的にクリアランスも NR も出来なかったものについては、研究炉の廃棄物としてどこかで管理しなければなりません。どこへ持っていくか決まっておりませんので、それが決まるまでは処分は難しいかと思っています。外注については検討しているところで、外注も含めてやっております。

黒﨑： γ線の照射施設や KUR が廃止措置に入っていきます。γについてはもうすぐですが、その際に色々な諸注意があるがきちんとやっていきます。

⑧ 核セキュリティ、RI セキュリティ、改修に際しての諸対応

三澤： 核セキュリティ、RI セキュリティは結構大変なことではありますが、法令に基づいた対応をしております。改修についても耐震設計、耐震計算等も行ったうえでやっております。

黒﨑： 核セキュリティ、RI セキュリティにつきましては、なかなか公にできない話もありまして、細かなことはこのような場ではお話できないのですが、私自身も見ていて、非常にしっかりやっていると認識しています。改修について、耐震の話があって、三澤先生がチャットで回答してくださったことに尽きますが、原子炉施設等々については新規制基準に則った形で耐震改修がされています。一方、RI 施設に関してはそういったものではないですが、通常の建築物が満たすべきものになっています。

⑨ バージョンアップ後のサイクロトロン加速器の活用の方向性

黒﨑： チャットでやり取りされて解決されていると思いますが、週２０時間や、KUR でやっていたのがどれ位こちらで出来るのかなどお話いただけますか。

田中： 今使っている装置（TS-1）に関しては人用に設計された中性子源です。マウスなどは小さいので熱中性子を照射しますが、強度が少なくなります。今 KUR でやっている照射の半分程度の強度になってしまうので、そういった意味でも課題数は半分くらいになると考えています。TS-2 は 1 つ大きなポートを作る話になりますので、かなり予算、人、物、時間がかかります。陽子線や陽電子などの他の利用との調整も必要になるかと思いますので、すぐに TS-2 が出来る確約はできないですが、TS-2 が出来ればマウス照射用に設計ができます。そうすれば今の KUR の重水設備でやっているような課題の件数が出来るかと思ってはいます。TS-1 で成果を上げ、TS-2 に繋げられるような活動ができればと思っているところです。

⑩HALEU の調達・確保

三澤： 低濃縮ウランに関してあまり詳しく申し上げられないですが、我々のところに来る原料はすでに確保しています。

黒﨑： 三澤先生のご回答のとおりですが、今 HALEU はキーワードで、「ヘイリュウ」と呼びます。私自身が一応核燃料の専門家で原子力にも関わっていますので、少し今の状況をご紹介します。HALEU はウランの中でも核分裂しやすいウランの濃度が 20%未満を狙ったものという理解で良いと思います。天然ウランだと 0.7%、日本の商用炉は 5%未満、原子爆弾になるようなものは 90%以上ですが、この HALEU は 20%未満で、研究炉や今話題の次世代革新炉、米国で考えられているような SMR の燃料として使われようとしています。先程のチャットの質問にもありましたが、今

までこの HALEU は殆どがロシア産でした。ロシアとウクライナの話で今は完全に東側と西側で分断され、ロシア産のウラン燃料の調達が殆どできなくなっている状況で、じゃあどうするのか？というご質問でした。KUCA に関してはきちんと出来ていますが、日本全体で見た時や、アメリカの革新炉開発を進めていく上で 20%未満のウラン燃料をどう調達するかは非常に大きな課題になっています。まだ解決策が出ていませんが、一方で 2020 年代後半に小型 SMR を運転開始するとアメリカは言っていますので、あまり時間がない話でもあります。

⑩ 今後の研究炉・照射炉の行く末

黒﨑： チャットではなく、事前にメールで質問頂いたものです。メールで回答しましたが大切な話なので、私はこう考えているというお話をしたいと思います。今、日本の研究炉・照射炉はどんどん減っています。大学が持っている研究炉で、実験できる原子炉は現在３つしかない。そのうち２つは複合研、１つは近畿大学にあります。人材の方でも少しお話しましたが、原子力人材育成にとって研究炉は非常に重要で、無くなったら困ります。「無くなったら困るけど、どうするのですか？」という質問を頂いていました。もう１つは、照射炉はどちらかというと産業界で非常に必要とされます。例えば、新しい材料を開発して、この材料を原子力発電所の炉心周りのどこかで使いたい、となった時に、いきなり入れて壊れるとだめなので、実際に照射してみて大丈夫だと分かったら使えるという理屈です。物にする前に試験片を照射するとか、照射するための原子炉が必要になってきます。商用炉よりもっと小さくてもいいのですが、必要になってきます。例えば、日本では JMTR がありましたが、廃止措置に入っています。研究炉も今大学には３つだけ、どんどん減っていて、日本はどうするのですか？というご質問でした。日本全体で考えないといけない問題で、答えとして「これ」というものはありませんが、１つは福井県のもんじゅサイトに作ろうとしている試験研究炉が次のものになると思っています。ただ、KUR は２年後に運転停止、新しい福井の試験研究炉が２年後に出来るとは思えないので空白期間は絶対に空いてしまうのが今の我々の置かれた状況です。それを踏まえて出来ることは何かを考えましょう、というのが前者のお話です。後者はマニアックというか、原子力分野でも燃料・材料をやっている人はすごく興味があって、例えば海外にある照射炉を使う時に、海外との連携をどう作るかが重要になります。アメリカの照射炉を使って研究をやっていますが、海外なので手間もお金もかかり、自分の国にある炉ではないので自由勝手に出来ない。産業界は非常に制約がかかる状況下で研究をやっています。なので、日本の中で照射炉も非常に欲しいわけです。JMTR の次の炉が日本で欲しいので、色々動きがありますが、すぐに出来るわけでもないので時間が空いてしまいます。その空いている時間に何をするかを考えないといけないという話になります。暗い話になりますが、結局は何をするにも時間と

お金がかかりますから前もって色々と決めておかないといけないのに、なかなか決め事が上手に進まなくて、KUR が止まりますけど 10 年位は空白期間があきます。JMTR が止まります、日本で照射する場所が無くなりますという状況になっていますので、日本全体で考えないといけない問題だと思っています。

○医療用 RI 製造について

杉山： すでにチャットへお答え申し上げましたが、医療用の RI 製造は非常に大事な問題であることは、認識しています。新試験研究炉は KUR の後継ではないですが、深く関与させて頂いています。その中で我々が検討するのは「装置等々の利用、作成、製造、その有効利用」が主になっており、医療用の RI の学術的な研究に関しての方法論としての検討は行っていますが、我々の作業の範疇には、製品までは取り扱ってないのが現実であります。この問題につきまして、松村先生が非常にお詳しいかもしれませんが、日本全体の研究炉・照射炉の中のネットワークの中で解決する問題と認識しており、ネットワークの中で検討がどのようになっていくかという認識です。

黒﨑： チャットで了解と頂きました。ありがとうございます。

杉山： 大きなところでも取り上げていきたいと思いますが、直ぐに出来るか出来ないかは、何もお答えできません。以上となります。

○ベンチャー企業について

黒﨑： 最後に面白いご質問がありまして、ベンチャーのご質問がありました。今原子力ベンチャーでは核融合スタートアップが出ていて、京大からも出ています。やはり、人材育成の話とも絡みますが、結局若い人に原子力、あるいは放射線に魅力を感じて「こういう分野に進みたい」と思ってもらってこその業界だと思います。ところが、原子力や放射線は、そういう魅力ある分野に映っていない状況が長い間続いています。ベンチャーとか核融合は、実は若い人の魅力を感じるキーワードになるので、うまく使って優秀な若い人にこの業界に入ってもらい、複合研で勉強、研究してもらって、産業界に送り出すという良いスパイラルに乗らないといけないと思っています。その時のイメージ戦略のひとつとしてベンチャーの話はあっていいのかなと思います。複合研は原子力だけじゃなく、色々なことをやっています。今日の渡邉先生や髙田先生の話のように原子力ではない分野が沢山あります。名前は複合原子力ですが、原子力ではないところも沢山あって、非常に研究力も高く、成果も出しているところがあります。可能性としては、そういうところからもベンチャーがあるのかもしれない、と思いました。今はないですが、若い優秀な人が「やってみよう」と思ったら、所として応援できると思っています、という回答になります。

松田： 近畿大学の松田です。近畿大学でも研究や教育が凄く難しいと常日頃から思っていて、１つは社会一般に対して原子力・放射線が知られていないというか、正しく知られていない。私自身のバックグラウンドが医学なので、少しズレているところはありますが、原子力とか放射線というのは発信の仕方が凄く下手なのではないか。先ほどベンチャーという話もありましたが、原子力発電に関しても、「安全だから安全だ」としか一般には聞こえてないのではないか。どう発信したらいいか、研究者としては査読付きの英文論文を出すのがメインだろうと思うが、世の中に上手く原子力や放射線を知ってもらうには、インターネットで検索したらポンと正解が出てくるようなことに近いものがないとなかなか上手くいかないのでは思っています。どのような方法が良いか、黒﨑先生はどうお考えでしょうか。

黒﨑： それを言い出すと２０～３０分は話すので、あまり言わないでおこうと思いましたが、先生のおっしゃる通りです。1960 年代の原子力は超花形で、優秀な人が集まったと聞きます。 そこで原子力の勉強をして産業界に入り、今の原子力に繋がったと聞きます。その 1960 年代と今は何が違うかというところに 1 つの答えがあるかもしれません。1960 年代は商用の原子炉が初めて出来て、これが未来のエネルギーを救うかもしれない、鉄腕アトムだとか、大阪万博の原子の灯だとかに若い人が魅力を感じて、人が集まった。2023-2024 年にかけて原子力政策が大きく変わり、これからやっていくぞとなっているが、人が集まらない状況です。1 つだけ考えていることがあって、どこかに文章を書いて掲載されていますが、修学旅行を使えと提案しています。大阪の子供たちは修学旅行に広島へ行き、広島の原爆ドームで「核は危ない、戦争は悲惨だ」と習う。それはとても良いと思うが、その足で福井の若狭に行けと言っています。 原爆ドームを見た後に、美浜の PR 館で「原子力はこんなところで役に立つ、最先端の技術だ」と両方をインプットするようなことをやってはどうかと色々な場で発言しています。これは１つの例ですが、それくらい思い切ったことをやってもいいのではと色々発言しています。どこか時間があれば、ゆっくり議論させてください。

松田： ありがとうございました。

黒﨑： サイエンスコミュニケーターも大事だと思います。言い出したら沢山ありますが、研究所の将来計画と離れていくのでやめます。最後は、杉山先生にご挨拶頂いてこの研究会を終了したいと思います。ありがとうございました。

≪チャットでの質疑応答≫

14:58:26 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

RI 協会でも機器の廃止措置を取り扱っていると思ったが、相談したのか。

15:06:27 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

使用しない RI 線源については RI 協会に引き取ってもらいますが、原子炉施設の廃止措置は RI 協会は行っていないと思います。

15:08:16 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

確かサイクロトロン等は RI 協会で行ったというようなことを以前シンポジウムか何かで聞いたような気がいます。

15:11:16 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

RI 協会は RI 施設の廃止措置には携わっていると思います。

15:01:52 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

廃止措置でのクリアランス基準に則った NR と考えてよいのか。

15:15:16 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

クリアランスと NR は全く別のもので、NR は汚染がないことが明らか、または汚染部位を取り除いた廃棄物となります。

15:16:47 発信元: 今野力(JAEA) :

排気機械室に色がついていませんでしたが、排気機械室は管理区域ではないのでしょうか？

15:45:45 発信元: 沖雄一（京大複合研) :

排気機械室ももちろん管理区域です。給気機械室は一般区域です。色は作業室につけております。給気機械室以外は管理区域です。

15:18:15 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

最近原子力発電所などは核セキュリティの関係で入域がかなり難しくなったが、ホットラボの核セキュリティは大丈夫か。

15:28:39 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

法令に従って RI 施設についても立入制限などの核セキュリティに対する対応を行っております。

15:22:48 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

改修の際に最近の耐震基準を考慮した設計になっているか。能登半島地震で志賀原発は苦労している。

15:49:22 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

KUR や KUCA 等の原子炉施設については福島事故以降に制定された新規制基準に基づき、重要度に応じた耐震性を有することを確認しています。RI 施設の建屋については一般建築構造物として現状の建築基準法に基づいた耐震性を有するような改修が必要です。

15:45:38 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

この研究会の資料はどこかで見られるようになりますか。

15:50:12 発信元: 総務掛 :

事務局より回答いたします。本日の資料については、後日報告書にまとめまして、ホームページに掲載する予定としております。暫くお時間をいただきますが、掲載出来ましたら本日ご参加の皆様にメールにてお知らせいたします。

15:59:05 発信元: 中村浩之(東工大) :

田中先生に質問です。C-BENS を週 20 時間運転を計画されているとのことですが、KUR と異なり点検に長期間を必要としないため、現在の過密した生物照射は、十分賄えると考えて良いでしょうか？実際には、どのような共同利用のスケジュールをイメージされていらっしゃいますでしょうか？

16:05:45 発信元: 田中浩基(京大複合研) :

メンテナンスのため、ある程度止めることはありますが、毎週照射は可能かと考えております。ですが、C-BENS は人の照射用（熱外中性子）に設計されているため、マウスに照射するには KUR-1MW の半分ぐらいの熱中性子強度になります。受け入れられる課題も半分ぐらいになる可能性があります。できるだけ多くの課題の照射をしていただくような相乗りなど、運用を考えたいと思います。

16:12:38 発信元: 田中浩基(京大複合研) :

TS-2 で新しい熱中性子場を設計し、増設できれば 1MW の 3 倍程度の熱中性子で照射できるようになりますので、

今行われている重水設備の生物照射は賄えると考えています。人材・予算・時間を要するので、どのような使い方するかを含めて今後議論を進めることが重要かと考えています

16:36:28 発信元: 川端 信司 : 👏

16:50:50 発信元: 中村浩之(東工大) :

よく、分かりました。是非、現在の KUR と同様、利用し易い加速器施設の構築を期待しています。よろしくお願いします🙇

15:59:44 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

最近核医学関係で従来の RI 核種で見られなかったような At とか出てきて、RI 手帳に乗っていないようなものが多いが、こういう新しい核種のデータベース等は整備しているか。

16:28:41 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

半減期のデータは十分に整備されていると思いますが、生成量を評価するための断面積については今後も精度向上が必要と思います。

16:06:03 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

燃料の濃縮に関しては従来ロシアがかなりのシェアを占めていたと聞く。低濃縮燃料の入荷は大丈夫か。

16:15:21 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

低濃縮ウランの入手については問題ありません。

16:29:21 発信元: IERE matsumura :

東海大の松村です。医療用 RI としてテクネチウム-99m(99mTc)を我が国で製造する検討が進められています。この親核種の Mo-99 を製造する HFR を検討しています。５％の PWR 用 UO2 ペレットを用いた炉心概念で我が国の需要を満たす Mo-99 が製造できる見通しを得ています。KUR の後継炉として医療などの RI 製造の検討は如何でしょうか。

16:48:38 発信元: 杉山正明（京大複合研）:

東海大の松村先生の KUR の後継炉での医療用 RI 製造に関するご質問を頂きました。もんじゅサイトの新試験研究炉は KUR の後継炉ではありませんが、この炉での検討の有無に関しましては、我々は基本的に装置検討が主務で医療用製品製造に関することまでの検討作業は申し訳ございませんが範囲に入っておりません。この件＝医療用の製品レベルでの製造に関することは、JAEA さんも含んだ日本全体での検討事項と認識しております。

16:50:41 発信元: IERE matsumura :

東海大の松村です。了解です。

16:34:40 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

複合研からベンチャーが出るとかあるのですか。

16:40:45 発信元: 三澤毅（京大複合研） :

今のところ予定はありませんが、今後どのようになるかはわかりません。

16:56:18 発信元: 隅田幸生@放射線相談室 :

サイエンスコミュニケーターのような中間翻訳システムがいいのでは？

13. 閉会挨拶

（京大複合研）杉山　正明

閉会挨拶

ありがとうございます。最後は所長の熱い思いが出て、これからの未来も熱い方向に進めるという雰囲気になりました。皆さま本日はありがとうございました。お時間になりましたので、終了とさせて頂きたいと思います。どうも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）
杉山 正明

令和 5 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

日　　時：2024 年 2 月 2 日（金）　10:30-17:00
開催場所：オンライン

10:30-10:35	開会あいさつ	三澤 毅
10:35-10:45	研究所の近況報告、本日の内容・ねらいの紹介	黒﨑 健
第一部	研究所の将来計画	
10:45-11:00	全体概要	杉山 正明
11:00-11:30	ソフト班での議論	奥地 拓生
11:30-12:00	ハード班での議論	日野 正裕
第二部	活躍する若手研究者	
13:30-14:00	創発研究者	高田 匠
14:00-14:30	卓越研究員	渡邉 翼
第三部	施設の整備・維持・強化、今後の方向性	
14:40-14:50	全体概要	三澤 毅
14:50-15:10	KUR 廃止措置	堀 順一
15:10-15:30	ホットラボ改修	沖 雄一
15:30-15:50	KUCA 燃料低濃縮化と今後の展望	北村 康則
15:50-16:10	加速器施設の強化	田中 浩基
第四部	全体討論	
16:20-16:55	会場からの質問に所長が回答する	黒﨑 健
16:55-17:00	閉会あいさつ	杉山 正明

司会：三澤（午前）、杉山（午後）

令和５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６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