

「研究用原子炉の在り方に関する『見解』策定に向けて
研究用原子炉の在り方検討小委員会における検討

京都大学 中島 健

研究用原子炉の在り方検討小委員会

設置目的より

- 我が国の研究炉はJMTR廃炉の決定やKUR・JRR-3の老朽化など危機的状況
- 一方、新たな研究炉の建設も検討中
- このような状況を鑑み、今後の我が国の研究炉の在り方を早急に検討

設置期間: 令和3年2月25日～令和5年9月30日

小委員会 メンバー

大倉 典子	芝浦工業大学名誉教授・SIT総合研究所特任教授、中央大学大学院理工学研究科客員教授	中島 健	京都大学複合原子力科学研究所長・教授
柴田 徳思	株式会社千代田テクノル大洗研究所アドバイザー、東京大学名誉教授	土谷 邦彦	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構高速炉・新型炉研究開発部門大洗研究所 環境技術開発センター材料試験炉部長
関村 直人	東京大学大学院工学系研究科教授	永井 康介	東北大学金属材料研究所付属量子エネルギー材料科学国際研究センターセンター長・教授
竹田 敏一	大阪大学名誉教授	橋本 憲吾	近畿大学原子力研究所教授
矢川 元基	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学名誉教授	林 眞琴	アイダエンジニアリング株式会社顧問
中嶋 英雄	岩谷産業株式会社中央研究所技術顧問(常勤)、大阪大学名誉教授	村田 勲	大阪大学大学院工学研究科教授
宇埜 正美	福井大学附属国際原子力工学研究所所長・教授	山室 修	東京大学物性研究所教授
海老原 充	早稲田大学 教育・総合科学学術院教授、首都大学東京名誉教授	山本 章夫	名古屋大学工学研究科総合エネルギー工学専攻教授
大沼 正人	北海道大学工学研究院量子理工学部門教授	和田 茂	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所研究炉加速器技術部長
小原 徹	東京工業大学科学技術創成研究院ゼロカーボンエネルギー研究所教授		

委員長: 中島健、副委員長: 永井康介
幹事: 小原徹、和田茂

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

これまでの議論では、ビーム炉と照射炉が対象。

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	JAEA/東海
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	燃料挙動実験	2020/3/24	
TCA*	臨界装置(C.A.)	0.2	1962	炉物理実験		
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*	均質炉 (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		JAEA/大洗
HTTR	高温ガス炉	30,000	1998	HTGR プラント試験	2021/9/22	
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	京都大学
KUCA	C.A.	0.1	1974	炉物理実験	2017/6/21	

* 廃止決定(6基)

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定

【前回の提言】

研究と産業に不可欠な中性子の供給と 研究用原子炉の在り方(2018年8月)

- (1) 科学技術を支える放射光及び中性子施設の充実は重要
JMTRの廃炉による照射炉の消滅、ビーム炉の高経年化は大きな懸念、
早急な改善が必要
- (2) 最も重要なことは、**照射炉の建設**を早急に進めること
出力はJMTRと同程度(40~50MWth)、照射試料を扱う実験施設が必要、
建設までの間のユーザー支援が必要
- (3) 中性子ビーム利用促進のため、**JRR-3の早期の再稼働**を進める
冷中性子源の増強と中性子導管のスーパーミラー化等の**高度化**を図る
ことが必要、**JRR-3次期炉の検討**を早急に進めるべき
- (4) 研究炉の建設や運営に対する費用について、**関係省庁で適切な負担の
在り方を検討**することが必要(今後の産業利用、発電炉安全性研究での
研究炉利用増加)
人材育成が必要、研究炉は人材育成に大きく貢献

最近の動き

- HTTR運転再開(2021年7月30日～)
 - 高温ガス炉開発、熱利用技術(水素製造)等
- JRR-3共用運転開始(2021年7月12日～)
 - 中性子ビーム利用、照射(RI製造)等
- 新試験研究炉の設計開始(2020年～)
 - 「もんじゅ」サイトに設置する中出力のビーム炉
- JMTR後継炉検討委員会の議論(2019年～)
 - 照射炉のニーズ・課題の整理、後継炉概略仕様
- KURの運転終了時期の決定(2022年3月)
 - 2026年5月をもってKURの運転を終了
- その他
 - 原子力エネルギー利用政策の見直し(2022年～)
原発再稼働促進、次世代革新炉の開発

活動状況1

- 第1回会合(2021年7月22日)
 - 委員自己紹介、委員会設置趣旨の説明
 - 委員長等の選出
 - 試験研究炉の現状紹介の後、今後の進め方等について議論
 - 試験研究炉に関するロングスパンの議論が不足
 - 社会にとっての必要性・役割・目的の議論が必要
 - 研究炉利用の役割を明確にし、計画的に何をやっていくかを示すべき
- 第2回会合(2022年1月26日)
 - 現状の分析・今後の進め方について
 - 学術的な視点から我が国に必要な研究基盤としての試験研究炉の長期的な在り方を議論(試験研究炉に関するロードマップの策定、対応する課題の抽出)
 - JRR-3 の現状と今後の予定、JMTR 後継炉検討の状況を確認

活動状況2

- 第3回会合(2022年3月31日)
 - 中性子科学会におけるロードマップ検討状況、研究炉を用いたRI製造の現状と課題、「もんじゅ」サイトの新試験研究炉の検討状況、臨界実験装置の現状等を確認
 - 今後も研究炉と加速器の両方が必要、試験研究炉のロードマップ検討中(中性子科学会)
 - RI製造における加速器と研究炉の棲み分けが必要、またターゲットの確保や関連取扱い技術も含めた議論が必要・RIの生成と製造は異なる(RI製造)
 - 人材育成は社会人も対象とすべき(臨界実験装置)
 - 今後の進め方
 - 「見解」策定を目指し、その構想を今後検討する、海外との連携や国際分業についての検討も必要
 - ビーム炉ではJRR-3後継炉も考えるべき、臨界実験装置も対象に

JRR-3の再稼働

- 令和3年2月26日に平成22年11月19日以来の高出力運転を達成し、原子炉の性能を全て満足することを確認
- その後、様々な調整運転を経て、令和3年7月12日から供用運転を開始
- 運転再開にむけて、冷中性子導管の原子炉建家内、ビームホール内のC2及びC3ラインの一部をNiミラーからNi/Tiスーパーミラーに変更した。その結果、約2.5倍の強度となった。

課題など

1. JRR-3の安定運転が前提
 - ①照射利用の掘り起こしが必要
 - ②利用ニーズがある医療用RIの安定供給が必要 ← ⁹⁹Mo国産化の取り組み
 - ③照射後試験施設の高度化が必要
2. 確実な高経年化対策の実施 ← 改造後約30年経過(建屋・排気筒は約60年)
3. 使用済燃料の処分 ← 2029年度以降の使用済燃料の返還は未定
4. 技術者の確保及び人材育成(運転員、照射利用、RI等)

JMTR後継炉の検討(1)

- ・原子力機構は、理事長の下に機構内外の有識者で構成する「JMTR後継炉検討委員会」を設置し、JMTRの後継となる新たな照射試験炉(以下「新照射試験炉」という。)の建設に向けた検討等を開始。
(平成31年3月～令和3年12月までに6回の委員会を開催。令和4年3月末までに実施計画(案)を策定。)

● 新照射試験炉の概略仕様の検討結果

- 新照射試験炉に係る主要仕様(ホットラボ含む)、建家の構成及び各施設・設備の基本概念、利用性の向上、設計方針等について整理。(参考資料1、2、3&4参照)
 - ・ JMTRをベースとした熱出力50MWの新照射試験炉の設置
 - 最適な炉心構成や運転出力を選択した運転が行える汎用性が高い炉心構造
 - 将来の新たなニーズに対応した照射設備の新設等が可能な拡張性の高い建家構造
 - ・ 工作施設・技術開発試験施設の設置、近隣施設との連携、照射利用しやすい環境の整備

「新照射試験炉の概略仕様の検討において考慮すべき事項等」に対応し、
「新照射試験炉が取り組むべき課題」に係る照射試験が行える見通し。

● 新照射試験炉設置後の運営方法の検討結果

- 新照射試験炉の設置決定後は、国際協力体制、産学官が参画する新照射試験炉の運営利用委員会や照射利用専門部署の実務体制を整備し、ユーザーが利用しやすく、利用ニーズにきめ細かく対応した照射試験、海外炉等との相互補完によるRIの安定供給等が行えるユーザーフレンドリーな運営を行い、照射利用を促進。(参考資料5&6参照)

新照射試験炉を高稼働率で運転し、社会的要請・利用ニーズに確実に応えていくとともに、これを通じて高い国際競争力を保ち継続的にイノベーションを創出。

JMTR後継炉の検討(2)

「JMTR後継となる新たな照射試験炉の建設に向けた検討報告書」をとりまとめ、文部科学省に提出(令和3年3月)し、原子力研究開発・基盤・人材作業部会に報告(令和3年6月)

● 提案

- ① 我が国における社会的要請や利用ニーズに応え、かつ、国際貢献に資する新照射試験炉を国の公共財に位置づけ、その早期設置決定に向けて新照射試験炉の役割等について国民に十分ご理解いただけるよう、日本学術会議・小委員会などを活用し、**国レベルの透明性の高い議論を進めていくこと。**
- ② 新照射試験炉の早期建設に向けて、原子力規制委員会等との許認可に係る情報共有等を行い、**規制プロセスのリスク低減を図ること。**
- ③ JMTR廃止決定後においても我が国における照射研究を維持し、新照射試験炉の設置までつなげるため、**照射研究の基盤維持、技術継承及び原子力人材育成を行っていくこと。**
- ④ 照射研究の維持及び新照射試験炉による国際協力や国際貢献に向けて、海外における社会的要請や利用ニーズの調査及びプロジェクトマネジメントが行える人材の育成を進め、**国際的なプラットフォームの構築やネットワークの形成を図ること。**

JMTR後継炉の検討(3)

提案に対する対応 ー全体スケジュールー

項目	年度		
	令和4年度	令和5年度	令和6年度～
原子力機構内の委員会等	機構内委員会 (JMTR後継炉検討委員会)		(仮)新照射試験炉 運営利用委員会*
【提案項目】	◆ 建設決定(現時点では未定)		
提案① 新照射試験炉の建設決定に向けた働きかけ	第25期 研究炉の 在り方小委員会等	次期エネルギー 基本計画の検討 ▲ 9/30	
提案② 新照射試験炉の概念検討	概念検討等		詳細設計 建設 運転
提案③ 海外炉を用いた照射試験(代替照射)	海外炉を用いた第1次代替照射		海外炉を用いた第2次代替照射
提案④ 照射試験炉ネットワークの構築	国内外ネットワーク構築・運用		ネットワーク運用 (新照射試験炉の照射利用検討)

* : 産業界、学术界、メーカー等が委員に参画し、照射試験炉の早期建設及び代替照射の促進に係る実務的な議論を実施

- ・ 我が国が持つべき機能として、関連する監督省庁、産業界を巻き込んだ議論に展開
- ・ 新照射試験炉の建設及び照射研究の基盤維持のための照射技術の継承・人材育成を主眼に実施

「もんじゅ」サイトに設置する試験研究炉(1)

経緯

小委員会資料
を基に作成

● 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

- 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を決定。

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。
- 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。

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

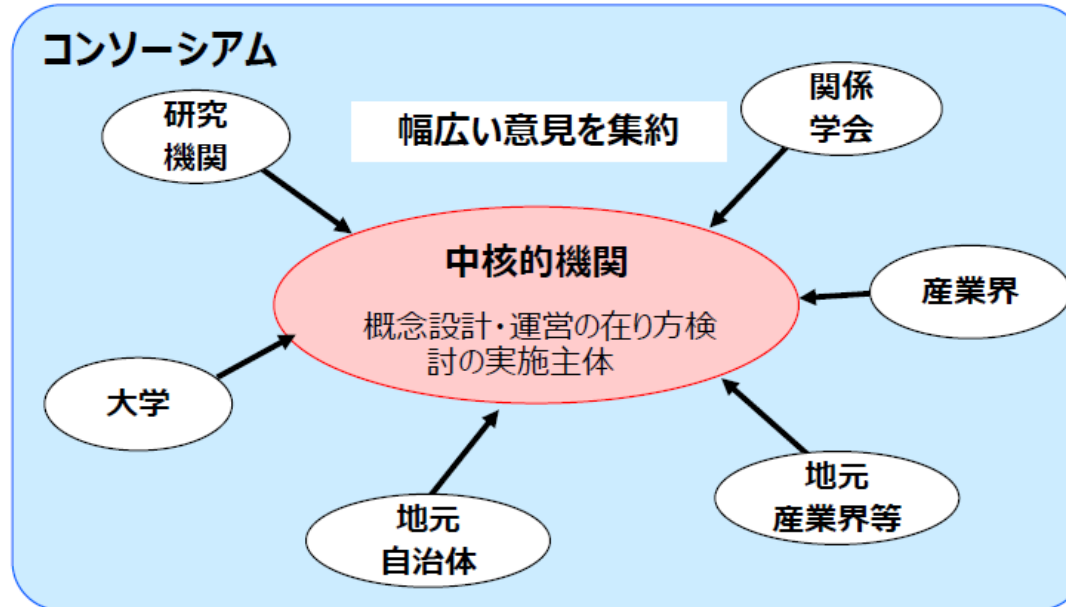
- 「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の在り方について、文科省審議会等を通じて検討を行った結果、**①我が国の研究開発・人材育成を支える西日本における中核的拠点としての機能の実現、②地元振興への貢献**の観点から、**中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉に絞り込み。**
- 令和2年度より概念設計及び運営の在り方検討を開始（令和4年度中に詳細設計を開始予定）

「もんじゅ」サイトに設置する試験研究炉(2)

検討体制

小委員会資料
を基に作成

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术界、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、主に概念設計と地質調査を担当
- 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

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の利用運営の実績を活かす、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(KNRR)を設置

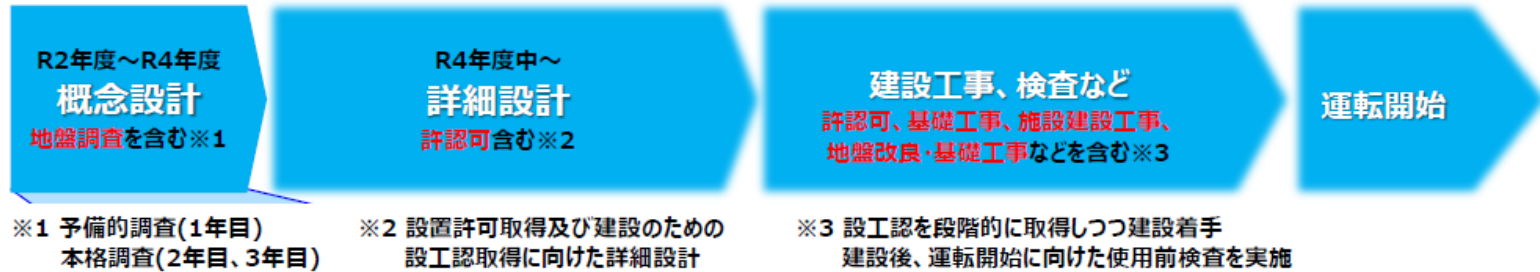
福井大学：「地元の大学、研究機関、企業等との連携構築」

- 地元産業界との橋渡し活動、地元関係機関との連携構築に向けた制度の検討を担当
- 体制：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

「もんじゅ」サイトに設置する試験研究炉(3)

スケジュール

小委員会資料
を基に作成



文科省委託事業の期間

項目	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度～
1. 概念設計		炉心の検討	設備・施設レイアウトの検討	
2. 地質調査	予備的調査	本格調査		詳細設計 (R4年度中に開始)
3. 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		

京都大学研究用原子炉について

2022年3月末に京都大学として、研究用原子炉KUR等の今後の在り方を決定し、4月初めに記者会見にて公表。その骨子は以下のとおり。

- KUR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。
- 代替中性子源の整備及び学外の中性子源の利用を進めるとともに、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研究の展開を進める。
- KUCAは低濃縮ウラン燃料を用いた炉心への転換を行い、今後とも実験研究、学生等の人材育成等を実施していく。

KUR:京都大学研究用原子炉、最大熱出力5MW、主に中性子利用

KUCA:京都大学臨界実験装置、最大熱出力100W、主に炉物理実験

臨界実験装置の状況(1)

6基中2基(STACYとKUCA)が運転を継続

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	
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*	均質炉 (パルス)	10 (5,000,000)	1995	臨界事故実験			
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	
KUCA	C.A.	0.1	1974	炉物理実験	2017/6/21	京都大学	

* 廃止決定(4基)

注: 近畿大学のUTR-KINKI は臨界実験装置ではないが、炉物理の実験教育を実施している装置であることから、表に記載した。

臨界実験装置の状況(2)

- 臨界実験装置の必要性
 - 新型炉開発等で臨界実験装置は必要か
 - 新たな原理等の実証実験、安全審査等における検証データ取得等
 - ✓ どこまでの模擬性が必要か、数値計算で代替可能か
 - 人材育成で臨界実験装置は必要か
 - 炉物理の実習実験等
 - ✓ 異なる炉型の模擬が必要か、シミュレータで代替可能か
- 今後の見通し
 - STACY, KUCA(UTR-KINKIも)により、熱中性子体系の模擬実験及び人材育成は対応可能か
 - 高速中性子体系は必要ないか(⇒ JAEAのTEF-P計画など)
 - 海外との連携は可能か

中性子科学会におけるロードマップ検討

- ロードマップ検討特別委員会において、今後5年程度で実行すべき項目を中性子科学推進ロードマップとしてとりまとめ(2018年)
- その後、ロードマップ検討WG(試験研究炉)を設置して、試験研究炉のロードマップを検討中
- 中性子源として、研究炉(JRR-3)と加速器(J-PARC)があるが、特徴・得意分野が異なり、両装置の相補利用が必要
- 中性子物質科学の継続的発展には人材育成が最重要課題、大学と施設、さらには産業界が一体となり取り組むべき問題

研究炉を用いたRI製造

- ◆ 海外の情勢を見ても、**RI製造で利用されている研究用原子炉の老朽化により、照射場が失われつつあり、今後その縮小してくる照射場の囲い込み等が生じ、安定確保ができなくなる可能性がある**と思われる。
- ◆ このような状況を踏まえ、「**RIの国内炉生産**」は、輸送費低減や輸送手続き簡略化による”製造コストの削減”、“輸送リスクの低減”等の観点からも、**RI安定供給の実現に大きく寄与するものである**。
- ◆ **現時点の国内利用予想としては、医療用RIとしては、主としてがん治療用の α 核種や診断用の ^{99}Mo が、工業用RIとしては、主として非破壊検査用 ^{192}Ir の製造が最も重要になる**と思われる。特に、 **^{99}Mo の安定確保**に関しては、**2026年頃からの供給減少に備え、実現可能性のあるアクションプランを産学官共同で速やかに策定し、国の必須医薬品として達成目標の共有化を図る必要がある**。
- ◆ **RIの安定供給による国民の安全・安心確保の視点**から、トラブルによる国内炉停止を念頭においた「**2基の同様の中性子場の構築**」が実現すれば、**RI製品の機能統一化**がより図られると思われる。
- ◆ **RI製造利用**に関しては、「**原子炉の核的機能だけでなく、照射設備やホットラボの機能検討**」や「**ニーズに合った供用施設の運営管理**」が必要不可欠である。

活動状況3

- 第4回会合(2022年8月2日)、第5回会合(2022年10月12日)
 - 「見解」策定に向けた議論
 - 誰に向けて発出するのかの議論が不足
 - ⇒ まずはステークホルダー(文科省、経産省、産業界、学会等)、見解の内容を実施できる方々(機関等)
 - 前回(2018年)の提言発出以降の状況の変化(新試験研究炉の動き、KUR停止の決定など)を踏まえた見解とする
 - 研究炉の廃止措置に関する検討も必要ではないか
 - 原子力エネルギー政策の動向の反映も
 - 見解の骨子が未だ不明確、さらなる検討が必要
 - 見解を補完するために、シンポジウムを開催するのが良い
 - ⇒ 「原子力総合シンポジウム」のテーマとして検討
 - 今期中に見解が策定できるようにすべき

「見解」に向けて(今後の課題等)

- 新たに設置が決まっているのは「もんじゅ」サイトの中出力ビーム炉のみであり、JMTR後継炉は見通し不透明
 - 原子力利用を進める上では、照射炉が必要、当面は海外炉の利用
医療用RI製造への要求、原発利用の動きへの対応が必要
- JRR-3の再稼働(高出力ビーム炉)
 - 改造から30年以上経過、後継炉の議論が必要
「もんじゅ」サイト炉の位置付け(JRR-3の代替は困難)
- 放射性廃棄物(研究施設等廃棄物)や使用済燃料の取扱いが不透明
 - 地元への説明責任、国による取り組みが必要
- 海外炉の利用・ネットワークの構築
 - 例えば、アジア圏で研究炉ネットワークを構築し、相互利用する
- 臨界装置の今後
 - KUCAとSTACYの2基(+近大炉)で研究開発、人材育成を実施
(高速炉系の実験は不要か)
- 研究炉にかかる経費負担の検討
 - 関係省庁による検討は行われていない
(具体的な設置計画が必要か)