

日本の研究炉の現状

名称	運転開始年	熱出力	燃料のタイプ	状況	
旧原研	JRR-1	1957	50kW	硫酸ウラン水溶液	解体済
	JRR-2	1960	10MW	U-Al合金	解体中
	JRR-3	1962	10MW	金属ウラン	改造済
	JRR-3M	1990	20MW	シリサイド	運転中
	JRR-4	1965	3.5MW	シリサイド	運転中
	JMTR	1968	50MW	シリサイド	運転中
	JMTR-C	1965	100W	U-Al合金	解体済
	NSRR	1975	23GW(パルス)	U-水素化ジルコニウム	運転中
	HTTR	1998	30MW	酸化ウラン	運転中
	STACY	1995	200W	溶液系燃料	運転中
	TRACY	1995	5GW(パルス)	溶液系燃料	運転中
	VHTR-C	1985	2kW	酸化ウラン	解体中
	FCA	1967	2kW	金属ウラン, Pu-Al合金	運転中
	TCA	1962	200W	酸化ウラン	運転中
旧JNC	JOYO	1977	140MW	混合酸化物	運転中
	DCA	1969	1kW	酸化ウラン, 混合酸化物	解体中
京大	KUR	1964	5MW	シリサイド	運転中
	KUCA	1974	100W	U-Al合金, U-Al	運転中
東大	YAYOI	1971	2kW	金属ウラン	停止予定
日立	HTR	1961	100kW	酸化ウラン	解体済
	OCF	1962	0.1W	U-Al合金	解体済
東芝	TTR-1	1962	100kW	U-Al合金	解体中
	NCA	1963	200W	酸化ウラン	運転中
立教大	TRIGA-2	1961	100kW	U-水素化ジルコニウム	解体中
武蔵工大	TRIGA-2	1963	100kW	U-水素化ジルコニウム	解体中
近畿大	UTR-KINKI	1961	0.1W	U-Al合金	運転中

日本原子力学会
将来必要となる共同利用に供する研究施設検討
特別専門委員会報告

原子力安全システム研究所
三島嘉一郎

(特別専門委員会主査)

研究炉定義(発電はなし)

JOYO
-中口

cf. エニクス, tlvp
飛電炉

阪大-山口
工

日本の現状

- 我が国では、原子力開発の初期段階から研究炉を設置し、研究開発、人材育成に取り組み、研究者・学生の研究・教育に貢献
- 現在、研究炉の多くは設置後40年以上経過
 - ・ 東大炉は2011年3月運転停止予定
 - ・ KURは2016まで運転、その後は？
 - ・ JRR3Mは改造後20年経過
 - ・ JMTRは改修し、2030年頃まで運転
- 研究炉とその関連施設を将来どうするかは喫緊の課題

海外の状況

■ 北米地域

- ・ 世界の研究炉の約1/4がこの地域で稼動中
- ・ 長期運転の研究炉も出力を制限し運転を継続
- ・ 原子力研究開発のほか、RI 製造や半導体ドーピング等、産業利用も

■ 欧州

- ・ 独ではミュンヘン工科大FRM-IIが2004年に運転開始 (活発な利用)
- ・ 仏では2014年運開を目指し大型照射炉JHRを建設中、世界各国の研究機関による共同利用を推進 (シリアブルベッツ)
- ・ ホットラボでは、独の国際超ウラン元素研究所 (ITU)、仏のラウエ・ランジュバン研究所 (ILL) などが国際研究の拠点に

■ アジア・オセアニア地域

- ・ 韓国、中国、オーストラリアで最新の研究炉が運開または建設中

✓ 研究目的だけでなく医療用RI製造などの産業用にも研究炉が積極的に利用されている

最新の研究炉の例

稼働中の研究炉

- FRM-II (ドイツ) : 2004年臨界、20MW、中性子科学、ラジオグラフィ、半導体製造、BNCT、教育訓練
- HANARO (韓国) : 1995年臨界、熱出力30MW、中性子科学、ラジオグラフィ、BNCT、RI製造、放射化分析、材料試験、燃料開発、半導体製造、教育訓練

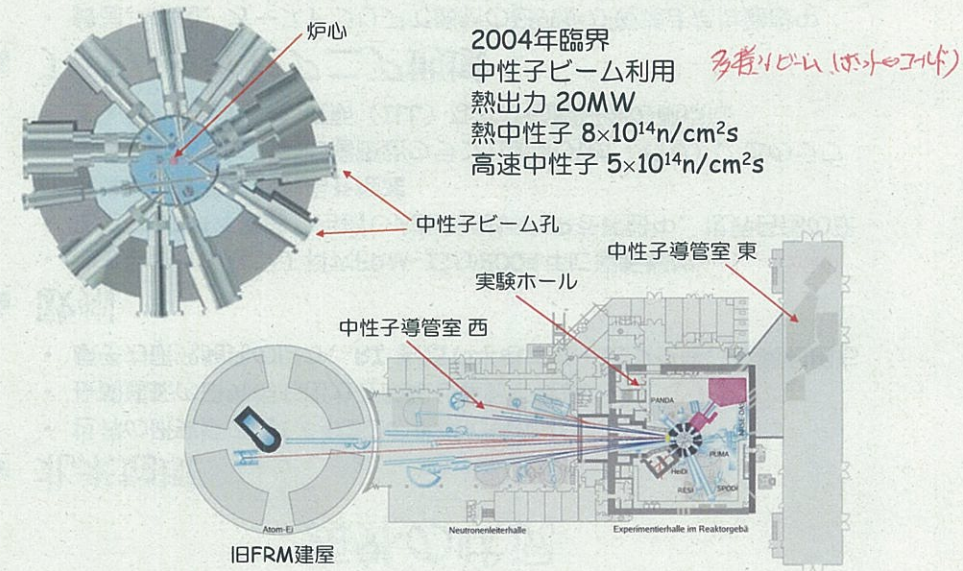
建設中の研究炉

- CEFR (中国) : 2010年臨界、ナトリウム冷却高速炉、65MW
- JHR (フランス) : 2014年臨界予定、照射炉、100MW、軽水減速/冷却
- JSA (ヨルダン) : 2010年臨界予定、未臨界集合体、訓練目的
- PIK (ロシア) : 100MW、軽水減速/冷却、重水反射体、中性子散乱、照射
- TRR-II (台湾) : 20MW、中性子科学、BNCT、放射化分析、RI製造、半導体製造

計画中の研究炉

- JRTR (ヨルダン) : 5MW、軽水減速/冷却、RI製造、ラジオグラフィ、放射化分析、教育訓練
- TRR-2 (タイ) : 5MW、軽水減速/冷却

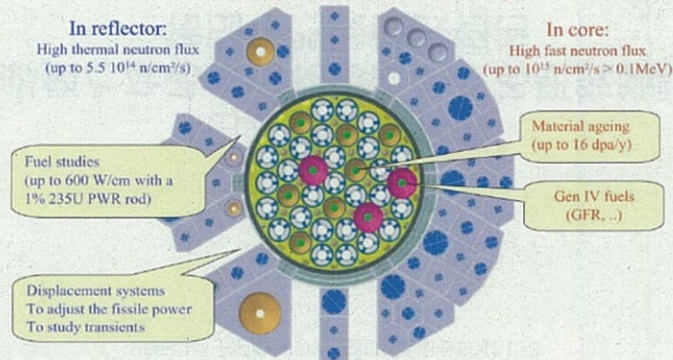
ビーム利用研究炉の例：FRM-II



大型多目的研究炉の例：Jules Horowitz Reactor

- 2014年運転開始目標
- 熱出力 100MW
- 熱中性子束 $5.5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2\text{/sec}$
- 高速中性子束 $1 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2\text{/sec}$

20 simultaneous experiments coupled with 4 cells, bunkers, fission product on line laboratory, ...



国内外の研究炉の将来見通し

	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
発電炉の研究開発計画	既設軽水炉	運用による高度化	将来展望	運転長期化	
	次世代軽水炉	基本設計	詳細設計	次世代軽水炉の世代	
	FBR	研究開発		実証炉	実用炉
主な国内研究炉の運転計画	JRR3M				
	JRR4				
	JMTR				
	KUR				
比較的新しい主な海外研究炉	1995年～	HANARO (韓)			
	2004年～	FRM-II (独)			
	2006年～	OPAL (豪)			
	2010年～	CARR (中)			
	2014年～	JHR (仏)			
産業利用	パワー半導体製造、医療用RI製造、中性子利用(散乱、回折、ラジオグラフィ)の増加				

開発・安全実証、産業利用、学術利用のための研究炉がなくなる

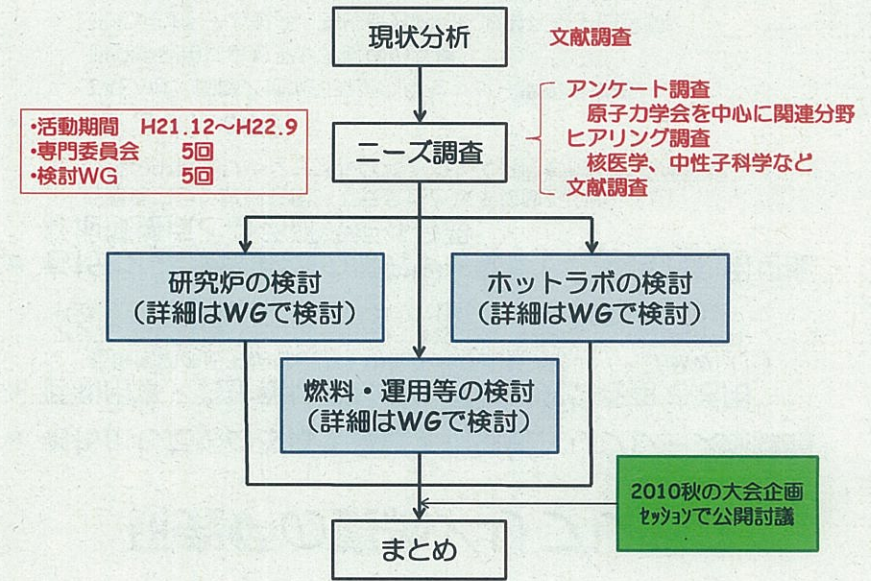
長寿命化

原子力学会特別専門委員会

- **名称** 「将来必要となる共同利用に供する研究施設検討」特別専門委員会
- **設立趣旨(概要)**
世界的には、各国で原子力計画が検討され、アジア各国で新規の原子力開発が行われようとしている。
日本では、原子力開発の初期の段階から大学に研究用原子炉が既に設置から40年以上経過し、国の原子力政策を計画どおりに推し進めるためには、新しい研究用原子炉についての検討を開始する必要があることから、原子力学会に特別専門委員会を設置し、全国的でかつ幅広い視点での検討を行う。
- **活動項目**
特別専門委員会で以下の項目について調査検討を行う。
(1)利用ニーズ調査、(2)研究用原子炉の検討、(3)ホットラボの検討、(4)運営体制の検討
- **設置期間** 平成21年10月1日～平成22年9月30日(1か年)
- **委員(16名)**

<ul style="list-style-type: none"> 【主査】 三島嘉一郎 (原子力安全システム研究所) 【幹事】 岡本孝司 (東京大学)、山名元 (京都大学)、山口彰 (大阪大学) 【委員】 佐藤正知 (北海道大学)、永井康介 (東北大学)、上坂亮 (東京大学)、山本章夫 (名古屋大学)、竹田敏一 (福井大学)、小野公二 (京都大学)、出光一哉 (九州大学)、大山幸夫 (原子力機構)、此村守 (原子力機構)、石塚和雄 (原産協会)、曾根田直樹 (電中研)、笠井滋 (エネルギー総合工学研究所) 	<ul style="list-style-type: none"> <委員会活動実績> 全5回 【平成21年度】 第1回 平成21年12月14日 第2回 平成22年2月17日 【平成22年度】 第3回 平成22年4月26日 第4回 平成22年7月1日 第5回 平成22年9月7日
--	--

特別専門委員会 検討の流れ



ニーズ調査

- **アンケート調査 (平成22年2月～4月)**
対象：原子力学会、機械学会、中性子科学会、放射化学会、等 (物理)
- **ヒアリング調査 (平成22年1月～8月)**
 - ・ RI利用の現状と将来、炉を利用したRI製造ニーズ.....アイソトープ協会、千代田テクノロ
 - ・ 核医学でのRI利用の現状と将来、RI供給等.....近大：細野教授
 - ・ がん治療としてのBNCTの将来、炉利用ニーズ.....京大：小野教授
 - ・ パワー半導体製造の現状と将来、炉利用ニーズ等.....新金属協会、SUMCO、三菱電機
 - ・ 中性子科学における中性子利用と炉利用ニーズ.....京大：福永教授、川端教授、森本教授
- **文献調査 (アンケート調査を補完)**
 - ・ 原子力委員会「原子力政策大綱」(平成17年)
 - ・ 日本学術会議「人類社会に調和した原子力学の再構築」(平成15年)
 - ・ 日本原子力産業会議「研究炉のあり方に関する報告書」(平成12年)
 - ・ 日本原子力研究開発機構「わが国における材料試験用原子炉の役割とJMTRのあり方等に関する検討報告書」(平成17年)
 - ・ IFEフォーラム、他「レーザー中性子源による新産業創生調査研究委員会報告書」(平成22年)
 - ・ OECD「原子力の科学技術で必要とされる試験研究施設」(2010年)

ニーズ調査結果

項目	調査結果	見通し
原子力エネルギー・利用	原子力エネルギーを利用に際しては、原子力の安全研究ができる施設を維持することは必須(材料照射、燃料開発、安全研究など) (原子力利用の増大に伴い必要性も増大)	増大
RI利用	RI 流通量の9割以上は医療分野。 診断用は横ばい、治療用は増加の傾向	やや増加
核医学	Mo-99の需要は世界的に増加するが、日本では横ばい(院内製造RIIによるPETが増加)。 安定供給の観点からは国産が必要	やや増加
中性子科学	中性子散乱・回折、中性子ラジオグラフィの産業利用今後とも増加 熱、冷、極冷、超冷中性子で、高中性子束が必要	適用分野拡大
半導体製造	中性子ドーピング法はパワー半導体を品質良く製造できる唯一の方法 パワー半導体の需要は伸張、条件が整えば国内生産は十分考えられる	増加
BNCT	治療は加速器でもできるが研究には原子炉が必要	横ばい
人材育成	原子力エネルギー利用における人育成の最重要基盤である研究炉やホットラボ施設を維持することは必須 海外の原子力新興国への人材育成への協力に際しても研究炉等の施設は必須。	増加

研究炉基本仕様に対する要望

■ 多様な利用ニーズ

- エネルギー利用 → 原子力立国
- 中性子科学 → 科学技術立国
- 低価格化で産業利用 (RI生産、パワー半導体製造) も
- 教育・訓練に利用し、原子力人材育成にも貢献

■ 高い性能要求

- 高出力、高中性子束、幅広いエネルギー領域 (高速から極冷まで)

■ ユーザーのアイデアを実現できる施設の整備

- 高温高圧水ループ、熱流動ループ、照射設備の標準化

■ ユーザーの利便性に配慮した運用

- 発電炉の規制の準用から合理的な研究炉の安全規制へ
 - 安定した炉の運転・運営、機動性、利便性 (許認可、稼働率)
 - 柔軟性、自由度 (照射手続き、改造工事、運転計画)
- 利用者に魅力的な研究炉
 - 技術的観点 (照射技術の高度化、照射試験の迅速化、技術支援)
 - 施設の観点 (照射キャプセルの標準化・規格化等)
 - コストの観点 (運転・保守経費の節減、研究の費用、新たな料金制度)
 - 機密保持 (民間企業の利用を考慮した制度、審査手続き)

将来の研究炉として考慮すべきニーズ等

■ 原子力エネルギーの技術開発・安全実証のニーズ

- 高速中性子束ならびに熱中性子束での燃料・材料等に関する照射試験が高速炉開発、次世代炉開発、原子力発電所の有効利用などに必要
- 高い出力、中性子束が必要

■ 中性子科学における先駆的研究のニーズ

- 科学技術力向上とノーベル賞にも繋がるような先駆的研究のニーズが着実に増加
- この分野のニーズはきわめて多様であり、個々の研究ニーズ単独としてではなく、中性子科学研究全体として捉えるべきであることに留意

■ 中性子核変換シリコンドーピングやRI製造などの産業利用

- BNCTは医療研究用として極めて高いニーズが高く、国民からの要望も強い。
- これらの産業利用は、特定の産業、個人に対する利益に繋がる分野とも考えられることから、受益者が相応の負担をするべきという原則を適用するという考え方もあり、運転資金などの分担が課題

将来にわたり必要と考えられる研究炉

■ ビーム利用研究炉

- JRR-3M、JRR-4、KURが停止することになれば、後継研究炉が必要
- 炉外ビーム利用中心の中小型研究炉に要求される性能は、科学技術の発展の観点から決め、その性能の範囲内で産業利用 (半導体製造、RI製造、BNCT) の拡大を目指す

■ 大型多目的研究炉

- 要求される基本性能...中性子束・スペクトルの調整、汎用性、ホットラボ併設、年間稼働率70%目標、建設費、燃料費、維持管理費等のコスト低減
- 多様なニーズへの対応...汎用性、パワー半導体製造設備、RI製造専用照射設備、基礎研究等のための中性子ビームの利用

■ 高速中性子利用研究炉

- 高速炉サイクル実用化のための研究開発

■ 臨界集合体規模の小型研究炉

- 軽水炉の高度化、高速炉の高燃焼度化、高度化燃料開発、国内外人材の炉物理実験教育などに対応できる臨界集合体規模の小型研究炉が必要
- 多様なニーズに応える複数架台方式が有力
- FCA、TCA、KUCA等の活用/将来構想
- 海外にも存在する小型研究炉
- 以上を踏まえ、将来の小型研究炉のあり方を検討すべき

研究炉の集約/リプレース

■ 老朽化した炉の改修や高経年化対策、リプレースが課題

■ 低利用率・資金難に苦しむ世界の研究炉を有効活用

- 高稼働率の研究炉は出力・中性子束が比較的高い (~20MW以上) :
アジアでは日本3基 (うち1基は常陽)、韓国1基、中国3基 (うち1基はHTR)、インド3基 (うち1基はFBTR)、インドネシア1基、パキスタン1基、北朝鮮1基

■ 老朽化した低利用率の研究炉を整理し、多目的利用可能な地域拠点となる研究炉を建設

- 低濃縮ウラン燃料を用いて安全性と核不拡散を向上
- 広域の中核 (リージョナルCOE) として共同利用できる研究炉

■ リージョナルCOE

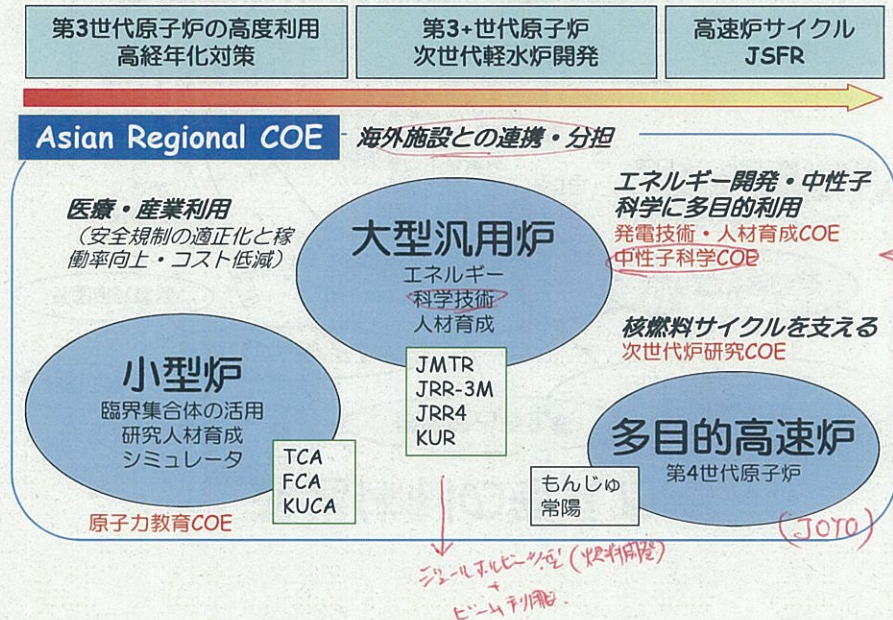
- IAEAは、国際/地域研究炉利用センター構想を支援 アジア拠点
- 研究炉利用によりアジア諸国の支援
- 研究炉は原子力教育と基礎研究開発に必要な基本的設備
- 原子力新規導入国では多様な原子力人材の育成が急務

将来の研究炉の概念

- 燃・材料照射が可能で、ビーム利用のニーズにも応えられる**大型多目的研究炉**
 - 出力は100MW程度、中性子束は 10^{15} 以上 *シールドビームのイメージ*
- **高速炉ならびに核燃料サイクル開発に利用できる多目的高速研究炉**
 - 我が国の重要施策である高速炉核燃料サイクルの開発
 - 仕様は、常陽及びもんじゅとの関連を考慮しながら、多様な燃料（金属燃料や窒化物燃料など）を利用でき、乾式再処理施設を備えるなどにより、国産燃料（再処理プルトニウム）を安定供給でき、多目的研究炉を補完する位置づけとなりうるもの
- **教育用小型研究炉**
 - 原子力人材育成政策と整合する教育用研究炉を我が国で維持すべく、ニーズを定量的に把握するとともに教育用研究炉構想を検討する必要がある。
 - 海外（特にアジア諸国）との連携、協力を考慮。

我が国の原子力開発と将来必要な研究炉

- 第3世代、第4世代の開発ニーズに合わせて、海外（特にアジア諸国）との連携を考慮しながら順次研究炉を計画・設置する



国内のホットラボ（既存施設）

場所	機関	施設名	付随する原子炉・加速器等	研究目的・対象分野					主な機器・設備等
				燃料	炉心材料	機器	再処理廃棄物	放射線照射	
東海	JAEA	燃料試験施設(RFEF)	JRR	○					
		NUCEF					○		TREACY STACY
		WASTEF (H37以後の予定)					○		
		J-PARC					○		照射設備
大洗	JAEA	NDC材料HL		○	○				
		NDC燃料HL		○	○		○	○	
大洗	JAEA	JMTRホットラボ	JMTR	○	○				
		照射燃料集合体試験施設(FMF)	JOYO	○	○				
		照射燃料試験施設(AGF)	JOYO	○			○	○	
		照射材料試験施設(MMF)	JOYO		○				
		NFDホットラボ		○	○	○			
高崎	JAEA	ホットラボ	JMTR		○	○			
高崎	JAEA	コバルト60照射施設						○	照射設備
		電子線加速器						○	照射設備
		イオン照射研究施設(TIARA)	TIARA						照射設備
羽咋市	先端医学・薬学研究センターホットラボ						○	PET, SPOT	
名古屋	名大	各種実験棟			○				
大阪	阪大	各種実験棟							
熊取	京大	各種実験棟		○	○		○		
播磨	Spring-8	各種実験棟					○	放射線・医学利用施設	

ホットラボに関わる課題等

- 現有施設の高経年化（将来の見通しは？）
- ホットラボを必要とする研究の将来展望
 - ・ 次世代軽水炉燃料の実用化後の燃料改良等
 - ・ 既設軽水炉の高経年化対策研究
 - ・ 高速増殖炉用燃料開発
 - ・ MA核種等高度リサイクルに関する研究の本格化
 - ・ 放射性廃棄物に関する研究
 - ・ 大規模産業利用の支援等
 - ・ 学術研究ツールとしてのホットラボ施設の減少
- 重要な基礎基盤研究に関わる拠点研究施設の不足
- 現有施設の汎用性の低さ（用途の分離や外部利用の制約）
- 試験物質の入手、輸送への制限
- 安全規制や法体系による研究への制約
- 研究施設等廃棄物の蓄積

将来のホットラボの検討

■ 将来のホットラボのニーズ

- ・ 基幹エネルギーである原子力（軽水炉だけでなく、高速炉・高温ガス炉等の将来炉を含む）の開発・建設・運転におけるデータ取得や実証試験を行うにはホットラボが不可欠
- ・ 構造材料や燃料自身の照射後試験や化学処理（再処理）試験を行うための重遮蔽セルを有するホットラボから、アクチニド研究、アルファ-気密性を有する軽遮蔽セルやグローブボックス設備を持つ施設等まで、幅広いスペックの施設が必要

→ 統合的なホットラボ

■ 統合的なホットラボの考え方

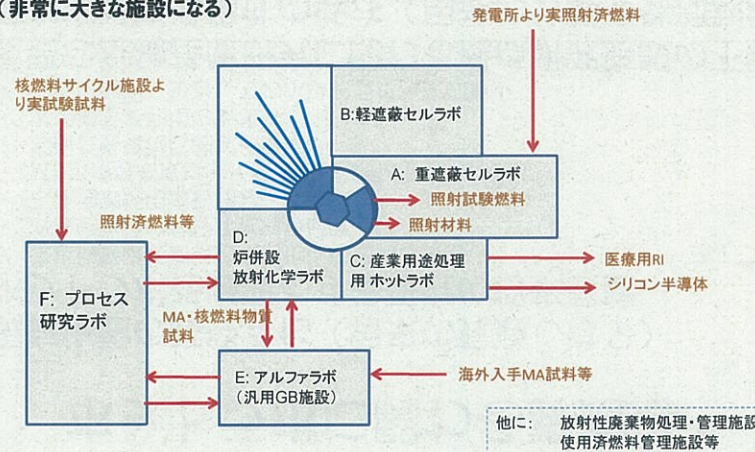
- ・ 研究炉設置への併設を基本として、ホットラボ機能を集約化
- ・ 放射化学用途と燃料照射試験用途との共存
- ・ 研究炉との併設による機能（短寿命対応、試料輸送問題の緩和）を活かす
- ・ 多様な照射燃料への対応（炉型によるラボ機能の固定化を排除）
- ・ MA等の確保と研究への供給を可能とする
(照射済燃料からの放射性核種回収精製機能等→試料入手の海外依存からの脱却)
- ・ 軽遮蔽セルやグローブボックスの利用による、放射化学研究など機動性の高い施設
- ・ 材料の高度な分析設備と強い連携

ホットラボの概念

(比較的な大きな施設のイメージ)

研究炉に併設して照射後試験等を合理的に実施できる機能統合型施設
(機能を限定することで、施設規模は変更可能)

(非常に大きな施設になる)



運営上の課題等

1. 建設費、運営費

- コンソーシアム等、負担分担の考え方の検討

2. 運営体制

- 法的責任の担い方、運営委員会等の組織

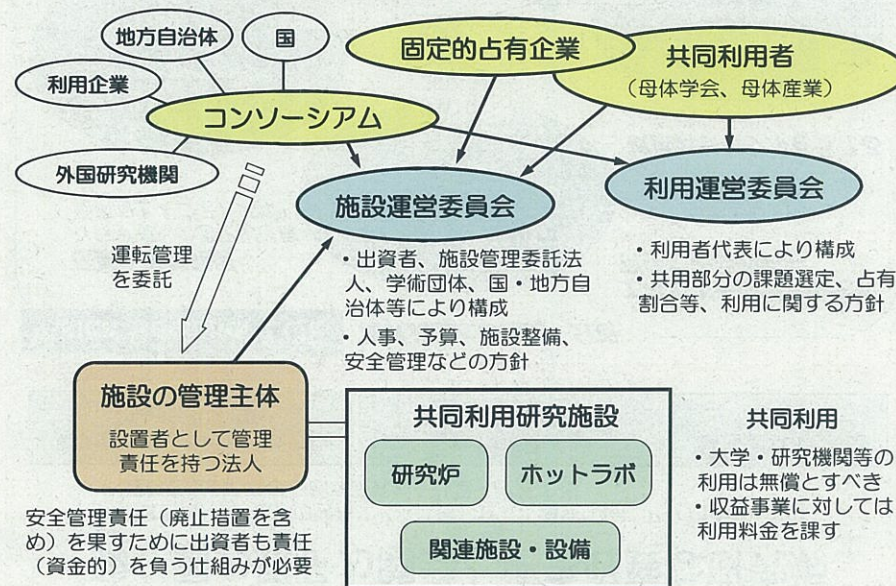
3. 燃料と放射性廃棄物

- 高濃縮ウランの調達、使用済燃料の処分、放射性廃棄物の処分、等の検討

4. 安全規制と立地環境

- 発電炉とは異なる研究炉の特性を踏まえた安全規制、MA取扱量規制による大学等での研究阻害
- アクセスの容易性、地元住民、行政からの支援・支持

運営体制の考え方



燃料と放射性廃棄物

- 高濃縮ウラン燃料の使用は困難
 - 20%未満の濃縮度に限定 *高濃縮燃料RI*
- 採用可能な燃料の仕様は外部要因と密接に関連
 - 供給国、輸送方法、再処理性
 - 20%未満濃縮度のシリサイド、アルミナイドまたはU-Mo燃料
 - ⇒ 炉心設計に制限
- 使用済燃料の処理
 - 国内または国外での再処理が必要（現在は米国に返送）
 - 再処理後の高レベル廃棄物の処分も必要
 - ⇒ 処分までの保管施設が必要
- PIE等で発生する放射性廃棄物の処理
 - 研究施設等廃棄物として処分できるまでの保管施設が必要

特別専門委員会の提言 *(結論)*

- 研究炉とそれを中核とした統合的なホットラボについて、国内外の利用者の把握、燃料調達方法、建設・運営の費用、などの観点から具体化に向けて検討を進めるべき
 - (a) 軽水炉の燃料・材料の安全実証、中性子科学における熱中性子利用、半導体製造を目的とした大型多目的炉
 - (b) 高速～熱中性子が利用できる多目的高速炉 *(5000)*
 - (c) 将来の人材育成を考慮した臨界集合体規模の小型炉

安全規制と立地環境

- 安全規制上の課題
 - 研究の自由度確保及び維持費低減のため、発電炉とは異なる研究炉の特性を反映した規制のあり方が必要
 - ホット施設では核燃料物質とRIとが混在し、原子炉等規制法と障害防止法の二重規制となり、保守管理の重複が発生
 - 再処理事業のRI等の利用、MA取扱い量などの制限により研究に制約
- 立地環境への要望
 - 研究環境
 - ・ 試料準備、加工、分析、保管などのできる付属研究施設
 - ・ 食堂、宿舍、共用研究室、インターネット、図書館などの基本インフラ
 - 立地条件
 - ・ アクセスの迅速性（製造された短寿命RIの輸送手段や配送時間）
 - ・ 試料輸送等の観点から、各大学・研究機関との位置関係
 - ・ 適正な交通費（特に大学利用）
 - ・ 地元住民の理解、行政の支援
 - ・ 宿泊施設、会議場、飲食施設
 - ・ 国際化の視点（アクセス、生活環境、支援体制など）

まとめ

- 低炭素社会を支える原子力
 - ・ 原子力発電・核燃料サイクルの安全性を確認できる研究施設
- 増大が予想される中性子利用
 - ・ 医療用RIの製造、パワー半導体の製造、中性子散乱・回折・ラジオグラフィによる構造解明などを目的とする研究施設
- 原子力教育・研究、人材育成への貢献
 - ・ 実験設備や研究施設の確保、アジア地域を中心とする海外技術者の人材育成
 - ・ 原子力立国を標榜する日本として必須の施設
- 複数の研究施設が必要
 - ・ 幅広い利用者の要望や多数の利用者の需要をカバー
 - ・ 相互補完、バックアップ施設・・・利用の安定性、利用目的に応じた施設の種類
 - ・ 複数施設の連携・協力体制の構築・・・海外施設をも視野
- 建設のリードタイムを考慮
 - ・ 具体的な検討を早期に開始することが必要
- 関係機関や組織が連携しての検討
 - ・ 実施主体を明確にした上で、原子力学会、中性子科学会などの学会や、JAEA、大学、産業界、文部科学省、経済産業省など、産学官の連携・協力による具体的検討の場が必要