

添付資料

## 目次

添付資料 1: 外部有識者委員会委員名簿.....	1
添付資料 2-1: 1.【臨界実験装置】概念検討整理表.....	3
添付資料 2-2: 2.【低出力炉/パルス炉】概念検討整理表.....	5
添付資料 2-3: 3.【中出力炉】概念検討整理表.....	7
添付資料 2-4: 4.【スペクトルシフト炉】概念検討整理表.....	9
添付資料 2-5: 5.【革新炉開発炉】概念検討整理表.....	11
添付資料 3: もんじゅサイトにおける試験研究炉の配置検討.....	13
添付資料 4: 各炉型の建設費等概算.....	31
添付資料 5: 国内試験研究炉の運転経費等について.....	33
添付資料 6: 国内試験研究炉利用実績データ.....	35
添付資料 7: 試験炉許可基準規則ともんじゅサイトで考慮すべき条件の検討.....	45
添付資料 8: 試験研究炉のニーズに関する整理.....	67
添付資料 9: 試験研究炉の経済性評価.....	91
添付資料 10: 外部有識者委員会における主な意見.....	113

## 「もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査」

## 外部有識者委員会 委員名簿

令和元年9月現在  
(五十音順・敬称略)

- 委員長 上坂 充 東京大学大学院工学系研究科 原子力専攻 教授
- 委員 新居 昌至 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 研究炉加速器技術部研究炉技術課 マネージャー
- 委員 宇根崎 博信 京都大学複合原子力科学研究所 原子力基礎工学研究部門教授
- 委員 宇埜 正美 福井大学附属国際原子力工学研究所 所長 〈利用運営TF 主査〉
- 委員 岡本 孝司 東京大学大学院工学系研究科 教授
- 委員 来馬 克美 福井工業大学工学部原子力技術応用工学科 教授
- 委員 後藤 俊治 理化学研究所 放射光科学研究センター先端光源開発研究部門 部門長 高輝度光科学研究センター 光源基盤部門 部門長
- 委員 佐野 忠史 近畿大学原子力研究所 准教授 〈概念検討TF 副主査〉
- 委員 柴山 充弘 東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設 教授
- 委員 滝井 太一 日立GE ニュークリア・エナジー株式会社 原子力計画部 主管技師
- 委員 竹田 敏一 福井大学附属国際原子力工学研究所 特任教授
- 委員 中島 健 京都大学複合原子力科学研究所 副所長 〈概念検討TF 主査〉
- 委員 福家 賢 東芝エネルギーシステム株式会社 パワーシステム事業部  
パワーシステム企画部 参事
- 委員 福島 昌宏 日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所  
原子力基礎工学研究センター 分離変換技術開発 ディビジョン  
核変換 システム開発グループ 研究主幹
- 委員 芳原 新也 近畿大学原子力研究所 准教授
- 委員 前田 洋一 福井県 地域戦略部 部長
- 委員 三浦 幸俊 日本原子力研究開発機構 理事
- 委員 横溝 英明 総合科学研究機構 理事長
- 委員 若林 源一郎 近畿大学原子力研究所 准教授

※ ●：概念検討タスクフォース ○：利用運営タスクフォース  
(両タスクを兼務とする委員は、左側を主とし右側は兼務とする)



## 1. 【臨界実験装置】 概念検討整理表

炉型		臨界実験装置
概要	目的	既存の2つの臨界実験装置（KUCA-AとFCA）の機能を融合することで、広範囲な中性子スペクトル場(高速～熱)の構築や炉心構成の変更が容易である特徴を活かし、新型炉開発における核特性評価、核変換システム(ADS)の基礎研究や核データ・解析計算コード検証などに利用する。 原子力に携わる技術者・研究者にとって備えるべき基本的な技術として、炉心設計から炉心構築、原子炉運転、データ収集・分析までを一貫して実体験できるの試験研究炉であり、原子炉の安全性確保の観点からも重要である。
	特徴	【特徴】 ・中性子スペクトル場(高速～熱)の柔軟性 ・燃料、組成、炉心形状の多様性があり、炉心構成の変更が容易 ・設備の追加、改造が比較的容易
	主な利用	【基礎基盤技術】 ・以下の新型炉等の核特性評価 次世代軽水炉、次世代高速炉、SMR、MA専焼炉、熔融塩炉等 ※1、※2 ・ADSの実験的研究（ターゲット材の核特性評価も含む）※1 ・新燃料や新材料（冷却材、被覆材、BP）の炉心特性評価、実証、確認 ・核データ及び解析コード検証 ・核データの積分評価 ・炉物理基礎研究(未臨界反応度測定法開発、反応度特性等) ・中性子検出器の基盤技術開発 【人材育成】 ・炉物理・炉工学基礎教育、安全管理実習 ・炉心設計手法、各種放射線計測手法の技術継承 【国際協力】 ・炉物理、ADS研究の中核的施設
設備概念	原子炉出力、型式	固体減速型 最大熱出力:数kW以下
	炉心等	【炉型】 ・固体減速型（参考：FCA、KUCA-A架台） 【炉心形状】 ・直方体炉心(最大35×35格子) ・燃料及び減速材等を研究目的に応じて組合せて炉心を構築するため、目的に応じた柔軟な模擬実験が可能 【炉心構成】 ・燃料：低濃縮U金属燃料(板状)、その他のピン状燃料（MA及びMOX燃料※1） ・冷却材（模擬物質含む）：プラスチック、黒鉛、Na、Pb、Bi等 ・反射材：劣化U、黒鉛、SUS、Zr等 ・吸収材：B <sub>4</sub> C、Hf等 ・ターゲット材：Pb、Bi、W等 【制御材、制御方法】 ・概念設計で決定
	燃料調達	・熱外～高速スペクトル場の構築には、FCA施設が保有する低濃縮U金属燃料を活用 ・熱スペクトル場の構築には、燃料（U-Mo合金など）の新規調達が必要 ・MA及びMOX燃料を使用する場合(※1)、新規調達が必要
	冷却系	空冷 冷却不要 但し、MA及びMOX燃料を使用する場合(※1)、実験上の温度制御のため強制空気循環が必要
	格納系	
	原子炉関連主要設備	・核燃料物質貯蔵設備 ・核燃料・RI取扱設備 ・計測制御系統施設 ・放射性廃棄物廃棄施設（気体、液体、固体） ・放射線管理施設 ・換気空調設備 ・電源設備
	照射・実験ポート等	・微小反応度測定装置:1～2基 ・サンプル・中性子検出器用駆動装置:2基 ・サンプル昇温・温度調整装置:1基 ドップラー測定、熔融塩等の液体燃料(※2)のニーズへの対応するため
	付属実験設備	・多様な中性子源での未臨界実験に対応するため加速器を併設 DT加速器：1基 電子線加速器（LINAC）又は陽子加速器（FFAGのアップグレード）：1基 ・実験上の温度制御のため強制空気循環装置（MA及びMOX燃料を使用する場合※1） ・実験用小型フード：2基（α核種、β核種）
	設備全体構成等	・原子炉施設に、加速器施設を併設 ・原子炉施設に教育実習棟（講義室、実習室、化学実験室を含む）を併設 ・遠隔教育のためのサテライト施設あるいはインターネットラボ ・外部ユーザーの受入れ窓口、実験準備室、控室等を備えたユーザーズオフィス
	運転・保守管理	・Daily運転 ・年間200～220日運転 ・運転員：2班6人（3人／班） ・機械室要員：3～4人、放管：2人、加速器運転：2人 ・研究者（テーマ毎）

評 価	SWOT	強み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 広範囲な中性子スペクトル場及び炉心組成(※1)の多様性、炉心と燃料へのアクセス、変更、組替、装置の設置が容易であるため、新型炉の核特性評価や核データ・解析コード検証に柔軟に対応可能</li> <li>・ 未臨界炉と加速器を組み合わせたADSに向けた基盤研究（未臨界測定、ターゲット材の実証）</li> <li>・ 高精度な反応度、反応率測定</li> </ul>
		弱み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 中性子束レベルが低いため、燃焼、材料照射、RI製造等は不可</li> <li>・ 核セキュリティ強化に伴うPu燃料の最小化、U燃料の低濃縮化等により、実験に使用できる核燃料は限定される。MA燃料及びMOX燃料を大量に使用する場合(※1)には、製造、輸送、設備対応、運用、管理に係る費用が別途要（コスト高）。</li> </ul>
		機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 福井大学国際原子力工学研究所との連携</li> <li>・ 若狭湾エネルギー研究センターとの連携</li> <li>・ 北陸・中京・関西圏の大学とのネットワーク</li> <li>・ 原子力人材育成へのIAEAの支援</li> <li>・ 国際的なニーズが見込める。特に、高速炉臨界実験装置として、BFS（露）のみが現存し、その他のZPPR(米)、ZEBRRA(英)、MASURCA(仏)は廃炉又は廃止措置決定。</li> </ul>
		脅威	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ MA燃料及びMOX燃料を使用する場合(※1)、核セキュリティの強化やコストの不透明さ</li> <li>・ 加速器と原子炉の併設に関する規制の不透明さと建設コスト増大</li> <li>・ 技術者、運転者、研究者の減少（施設完成時までの育成・技術継承が不可欠）</li> <li>・ 交通の便やもんじゅ廃止措置の影響等は他の炉型共通</li> </ul>
		技術成立性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 概念設計において、既存の装置の設計に立脚した検討（①熱中性子炉臨界実験装置KUCAをベースにした高速中性子スペクトル領域への拡張、②高速炉臨界実験装置FCAをベースにした熱中性子スペクトルへの拡張）を行い、その両者のいずれかの型式を選択することで、技術的な課題を最小化にすることができる。</li> <li>・ ADSや新型炉の模擬実験においてMA及びMOX燃料を大量に使用する場合(※1)には、コスト以外に、取扱性、冷却、核セキュリティ等の技術的な課題が予想される。</li> </ul>
	経済的成立性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建設費 236億円</li> </ul>	
	将来性		

※1 ADSや革新炉の部分模擬実験においてMA及びMOX燃料を大量に使用する場合、上記の建設費以外に、製造、輸送、設備対応、運用、管理に係る費用が別途要。一方で、限定的な核特性評価となるが、少量な燃料サンプルを用いた実験が有効である。

※2 ドップラー測定装置はFCAで設計、使用の実績あり。溶融塩等の液体燃料を扱う装置は装置設計等の開発要素が大である。

2. 【低出力炉/パルス炉】 概念検討整理表

炉型		低出力炉	パルス炉
概要	目的	環境（圧力、温度、化学環境等）を模擬した条件での燃・材料の照射損傷基礎研究など原子炉工学実験を主要テーマとする。	中性子パルス運転による中性子ビーム利用研究を主要テーマとする。
	特徴	<b>【最大中性子束】</b> 500kW運転（OSURRの事例から推定） 熱中性子： $1.5 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 高速中性子： $1.0 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ 垂直実験孔：可能限り多数設ける 中性子ビームライン：なし	<b>【中性子束】</b> 定常出力：250kW 最大パルス出力：30MW 最大パルス出力時中性子束： $5.5 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ パルス数：数～10 Hz 中性子ビームライン：4
	主な利用	<b>【基礎基盤技術】</b> ・環境を模擬した小規模な燃・材料の照射研究（ループ型照射施設による環境を模擬したその場照射試験） ・中性子検出器開発・校正  <b>【照射利用】</b> ・現行軽水炉、次世代炉の材料・燃料照射損傷に関する研究 ・RI製造（ $^{192}\text{Ir}$ ）、RIの研究開発  <b>【ビーム利用】</b> ・中性子ラジオグラフィ（静止画像撮影） ・放射化分析、即発ガンマ線分析  <b>【人材育成】</b> ・原子力技術者の育成（原子炉工学、安全管理等） ・照射・ビーム技術OJT ・人材育成の拠点として一般、中高生の見学、研究生の研修、放射線防護研修による原子力技術者・研究者の裾野拡大  <b>【国際的位置付け】</b> アジア諸国等との共同研究、研修者の受け入れで、アジア諸国の原子力基盤研究の拠点とする	<b>【基礎基盤技術】</b> ・核データ測定（熱～冷中性子領域）  <b>【照射利用】</b> ・低線量照射効果の実験 ・RIの研究開発  <b>【ビーム利用】</b> ・放射化分析 ・中性子ラジオグラフィ（静止画像撮影） ・中性子散乱・回析実験に関する萌芽研究  <b>【人材育成】</b> ・中性子散乱・回析実験研究者の育成（照射・ビーム技術OJT等） ・原子力技術者の育成（原子炉工学、安全管理等）  <b>【国際的位置付け】</b> アジア諸国等との共同研究、研修者の受け入れで、アジア諸国の原子力安全研究の拠点とする
原子炉出力、型式	スイミングプール型（自然対流軽水冷却） 500kW	強制対流軽水冷却	
設備	炉心等	・炉心形状 ・燃料仕様 ・制御方式 制御方式 緊急停止系 ・減速材  型式：軽水減速、軽水冷却 <b>【炉心形状】</b> ・直方体炉心 ・燃料：低濃縮（20%未満）板状燃料（ $\text{U}_3\text{Si}_2$ ） ・燃料、照射孔、反射体等の配置を目的に応じて変更可能  <b>【構造概念】</b> 垂直実験孔数を可能な限り多くする（本文図2-2参照）	・型式：軽水減速、軽水冷却 <b>【炉心形状】</b> ・直方体コンパクト炉心（目的：中性子密度を上げる） ・燃料：低濃縮（20%未満）板状燃料（ $\text{U}_3\text{Si}_2$ ） （又はトリガ燃料）  <b>【構造概念】</b> （本文図2-5、図2-6参照）
	燃料調達	特に問題なし	
概念	冷却系	冷却材	軽水
		冷却方式	自然対流冷却
		主要機器	流路仕切り筒  強制対流冷却 ・一次冷却ポンプ：2台 ・熱交換器 ・二次冷却ポンプ：2台 ・二次冷却ファン
		非常用冷却	—

格納系		原子炉建屋		
設 備 概 念	原子炉関連主要設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブプール（燃料貯蔵、照射キャプセル、反射体等の保管）</li> <li>・気体廃棄物処理施設</li> <li>・固体廃棄物処理施設</li> <li>・液体廃棄物処理施設</li> <li>・可燃性廃棄物焼却施設</li> <li>・廃棄物保管施設</li> <li>・水ガス供給設備</li> <li>・電気・水・ガス供給設備</li> </ul>		
	照射・実験ポート等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・垂直実験孔：多数（環境制御可能な照射リグ挿入）</li> <li>・空気・水力輸送ラビット：多数</li> <li>・炉内照射環境（温度等）の制御と計測用設備。</li> <li>・中性子ラジオグラフィ用サーマルカラム</li> <li>・ループ型環境照射装置：将来の革新炉実験炉開発実験や複合環境照射試験等の研究開発にフレキシブルに対応</li> <li>・ビーム実験装置 2台（炉室）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・垂直実験孔：数本（細径）</li> <li>・空気・水力輸送ラビット：数本</li> <li>・中性子ラジオグラフィ用サーマルカラム</li> <li>・ビームライン：4本</li> <li>・ビーム実験装置 6台（炉室）、10台（ビームホール）</li> </ul>	
	付属実験設備	①高燃焼度燃料の照射試験、燃料破損試験を行わないケース・小規模PIE施設（キャプセル解体、試料取り出し。PIEは機械的特性試験、金相試験等を実施） ②高燃焼度燃料の照射試験、燃料破損試験を行うケース 上記の小規模PIE施設に加え、十分な中性子遮蔽能力を有し、機密性の高いセルが必要であるが、当面は小規模PIE施設を用いた研究に対応する。		
	設備全体構成等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉施設に教育実習棟（講義室、実習室、化学実験室を含む）を併設</li> <li>・遠隔教育のためのサテライト施設あるいはインターネットラボ</li> <li>・外部ユーザーの受入れ窓口、実験準備室、控室等を備えたユーザーズオフィス</li> <li>・敷地近辺に外部ユーザーが長期滞在可能な宿泊施設</li> </ul>		
	運転・保守管理	運転時間 要員	Daily運転（必要に応じてWeekly運転） <b>【運転員】</b> Daily運転：3人×2班 Weekly運転：3人×4班 <b>【設備等】</b> 機電4人、放管4人	
評 価	SWOT	強み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・優れた中性子放射化分析</li> <li>・教育訓練に適した規模</li> <li>・シンプルな構造</li> <li>・施設内へのアクセスの容易さ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・優れた中性子ビーム利用研究</li> <li>・施設内へのアクセスの容易さ</li> </ul>
		弱み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・限られた数のアプリケーション</li> <li>・運転日数の制限</li> <li>・RI製造や材料照射は非常に限られる</li> </ul>	
		機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・福井大学国際原子力工学研究所との連携</li> <li>・若狭湾エネルギー研究センターとの連携</li> <li>・北陸・中京・関西圏の大学とのネットワーク</li> <li>・原子力人材育成へのIAEAの支援</li> </ul>	
		脅威	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交通の便</li> <li>・もんじゅ廃止措置作業の影響</li> <li>・通信環境の改善</li> <li>・放射性廃棄物の処分</li> </ul>	
	技術成立性	既存低出力炉をベースとして炉心構成、炉心周辺施設の設計が可		<ul style="list-style-type: none"> <li>・パルス発生機構の要素技術開発</li> <li>・パルス運転時の核熱安全評価</li> </ul>
経済的成立性	建設費 253億円		建設費 238億円	
将来性	将来の研究ニーズに沿った炉心変更、実験設備の改変が容易			
備考				



## 3. 【中出力炉】 概念検討整理表

炉型		中出力炉
概要	目的	中性子ビーム利用を主目的とし、熱外、熱、冷中性子源等により利便性の高いスペクトルを実現し、大型施設では実施困難な条件による実験を可能とすることで、JRR-3との定常中性子コミュニティを構築する。また、中性子散乱研究はJRR-3、J-PARCや放射光施設と調和的に用いることで、物質の構造情報を多方面から探索することができ、新物質・新材料の研究・開発のパイオニアとしての役割を担う。
	特徴	<b>【最大中性子束】</b> 炉心中心部： $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> /s 垂直実験孔： $10^{12}$ ~ $10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> /s ビームライン：炉室 $10^9$ n/cm <sup>2</sup> /s、ビームホール $10^8$ n/cm <sup>2</sup> /s 実験装置部： $10^6$ ~ $10^7$ n/cm <sup>2</sup> /s (試料位置)
	主な利用	<b>【基礎基盤技術】</b> ・核データの取得、精度検証（軽水炉、高速炉等）  <b>【照射利用】</b> ・RIの研究開発、短半減期医療用RIの製造（JRR-3との連携） ・複合環境下照射損傷基礎研究  <b>【ビーム利用】</b> ・中性子ビーム利用研究（中性子散乱、ラジオグラフィ（動画撮影）、放射化分析） ・分析やイメージング技術による産業利用 ・低速陽電子ビーム利用研究  <b>【人材育成】</b> 共同利用研究施設として国内の研究者・技術者に幅広く研究開発の場を提供することで、国際競争力の回復及び学術研究レベルの底上げを図る。 ・原子炉教育（炉工学、安全管理等） ・研究利用及び炉の建設・運転・保守を通じて中堅・若手研究者の養成（OJT）、原子力関連分野における技術継承 ・中性子利用の普及啓発  <b>【国際協力】</b> IAEAやFNCAのネットワークを活用し、世界の研究炉と相互補完な利用の再構築を図る。 ・FNCA人材養成プロジェクト支援
設備概要	原子炉出力、型式	スイミングプール型、強制対流軽水冷却 ~10MW
	炉心等	・炉心形状、構成（燃料、反射体、照射機能等） ・燃料仕様 燃料組成・形態 形状、要素、体数等 ・制御方式 制御方式仕様（制御棒等） 緊急停止系 ・減速材  <b>【炉心形状】</b> ・円柱炉心 or 六角柱 <b>【炉心構成】</b> ・ $U_3Si_2$ （他炉の実績を踏まえてU-Mo燃料を導入） ・反射体：Be、グラファイト等 ・制御材：ホウ素、ハフニウム等 ・熱中性子減速材：重水 ・冷中性子減速材：液体水素
	燃料調達	年間約10体の燃料を調達する必要がある。
	冷却系	軽水 軽水強制対流冷却(炉心で発生した熱は、一次冷却水を強制循環することにより取り出し、熱交換器から二次冷却水に移して冷却塔から大気中に放散)
	主要機器と仕様（機器仕様等）	・一次冷却ポンプ：2台 ・熱交換器 ・二次冷却ポンプ：2台 ・二次冷却ファン
非常用冷却	・自然循環方式	
格納系	原子炉建屋 約27.5m×36m	
原子炉関連主要設備	・未使用燃料貯蔵設備 ・使用済燃料貯蔵設備 ・気体廃棄物処理施設 ・固体廃棄物処理施設 ・液体廃棄物処理施設 ・可燃性廃棄物焼却施設 ・廃棄物保管施設 ・電源設備（非常用電源含む）	

設 備 概 念	照射・実験ポート等		<ul style="list-style-type: none"> <li>・垂直実験孔：3～5本</li> <li>・空気輸送ラビット：2本</li> <li>・水力輸送ラビット：2本</li> <li>・炉内照射環境（温度等）の制御と計測用設備。</li> <li>・冷中性子源：1～2個</li> <li>・陽電子発生装置：1個</li> <li>・ビームライン：熱中性子用4本（炉室3本、ビームホール1本） 冷中性子用4本（炉室1本、ビームホール3本） 陽電子ビームライン1本 汎用ビームライン1本</li> </ul>
	付属実験設備		<p>【ホットラボ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・詰換え用セル：1基</li> <li>・PIE用セル：2基</li> <li>・医療用RI製造用：3～5基</li> <li>・分析用フード：5台</li> </ul> <p>【炉室】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子回折・散乱装置</li> <li>・中性子ラジオグラフィ</li> <li>・模擬炉心（未臨界炉心）（必要時）※1</li> </ul> <p>【実験利用棟】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子回折・散乱装置</li> <li>・小角散乱実験装置</li> <li>・即発γ線分析</li> </ul>
	関連施設等		<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉施設に教育実習棟（講義室、実習室、化学実験室を含む）を併設</li> <li>・遠隔教育のためのサテライト施設あるいはインターネットラボ</li> <li>・外部ユーザーの受入れ窓口、実験準備室、控室等を備えたユーザーズオフィス</li> <li>・敷地近辺に外部ユーザーが長期滞在可能な宿泊施設</li> </ul>
	運転・保守管理	・運転時間、期間、稼働率	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1～2週間連続／サイクル</li> <li>・年間250日程度運転</li> <li>・運転員：4班20人（5人／班）</li> <li>・機械室要員：4～5人</li> <li>・利用設備運転員：4～5人、放管：4人</li> <li>・実験補助員数名</li> </ul>
評 価	SWOT	強み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・種々のスペクトル利用による基礎研究から先端応用まで幅広い分野を網羅</li> <li>・JRR-3との相互補完による中性子科学の持続的発展</li> <li>・実験配置の自由度の大きさを生かした、未臨界炉心の設置等革新炉のモックアップ試験が可能</li> </ul>
		弱み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RIの量産は困難</li> <li>・定期検査の項目と期間</li> <li>・セキュリティによるアクセスの悪化</li> <li>・持続的な予算と人員の確保</li> </ul>
		機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>低出力炉のケースに加え</li> <li>・西日本に集中する放射光施設</li> <li>・KURの廃止予定</li> <li>・JRR-3との相補的關係</li> <li>・医療用RIの国内安定供給への期待</li> </ul>
		脅威	<ul style="list-style-type: none"> <li>低出力炉のケースに加え</li> <li>・規制の強化</li> <li>・未臨界炉への規制の枠組みの適用</li> <li>・使用済燃料の処分</li> </ul>
技術成立性	機器製造、燃料調達、規制対応等（類似原子炉等を参考）	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 既存炉の経験を反映できる。</li> <li>2. U-Mo燃料の開発は実用段階に入りつつあるが、現在のところ実装した試験研究炉はない。シリサイド燃料での設計を進めつつ、先行するKUCAや海外での実績を踏まえながら、順次U-Mo燃料に変換する。</li> </ol>	
経済的成立性	類似原子炉等を参考とし、昨年度調査参考を見直す	・建設費 542 億円（8MW出力で評価）	
将来性		実験配置の自由度を活かし、未臨界炉心の設置等モックアップ試験利用が可能	

※1 炉心からの中性子を利用して隣接実験室に未臨界炉心を組み立て特性試験を実施。当初計画には含まない。

## 4. 【スペクトルシフト炉】概念検討整理表

炉型		スペクトルシフト炉
概要	目的	炉心部で燃料と軽水の割合を調整し、高速中性子から熱中性子の幅の広いスペクトル場を提供し、炉物理実験で得られる核反応データを通して原子炉基礎研究や新型炉（MA核変換、革新炉等）の設計に利用する。
	特徴	<b>【最大中性子束】</b> 炉心中心部： $10^{14}$ n/cm <sup>2</sup> /s （高速中性子： $\sim 10^{13}$ n/cm <sup>2</sup> /s） ビームライン： $10^{10} \sim 10^{12}$ n/cm <sup>2</sup> /s 実験装置部： $10^6 \sim 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup> /s
	主な利用	炉心中心部の高速スペクトル場において照射孔を設置し、MA装荷燃料、構造材料の照射試験を実施し、照射後試験によりMA核変換量、材料健全性を確認できる。炉心中心部と炉周辺部の間には減速材ゾーンを設け、炉周辺部では熱中性子スペクトル場を提供する。この熱中性子スペクトル場を用いた照射実験及びビーム取り出しによるビーム実験が可能である。減速材ゾーンの厚さを変更することにより、炉周辺部でのスペクトルの異なる場を提供することができる。このスペクトル場を用い、種々の核種のエネルギー依存性データを取得できる。また、取り出したビームを利用し生物照射研究を行う。
		<b>【基礎基盤技術】</b> ・多様な中性子場における炉物理基礎研究 ・MA核変換新型炉の研究 ・核反応データ測定試験 ・材料損傷データ測定試験 ・検出器開発 <b>【照射利用】</b> ・燃料・材料照射基礎研究 ・生物照射 ・短半減期医療用RIの製造・開発 <b>【ビーム利用】</b> ・熱/冷中性子散乱実験 ・放射化分析/即発γ線分析 ・中性子ラジオグラフィ（動画撮影）等 <b>【人材育成】</b> ・原子力技術者の育成（炉工学、安全管理等） ・炉物理計測、照射・ビーム利用等のOJT <b>【国際協力】</b> 本施設と関連研究を踏まて幅広い中性子スペクトル場の国際的活用、高速炉を含む革新炉開発の国際協力研究などが考えられる。
設備	原子炉出力、型式	スイミングプール型、強制対流軽水冷却 ～2MW
	炉心等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炉心形状、構成</li> <li>・燃料仕様</li> <li>・制御方式</li> <li>・緊急停止系</li> <li>・減速材</li> </ul>
		<b>【炉心形状】</b> ・直方体 約1.2m×約1.2m×0.7m程度（U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> ） <b>【炉心構成】</b> ・シリサイド燃料（U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> ） or U-Mo板状燃料（濃縮度や組成は概念設計で決定する。） ・炉心中心部に稠密燃料を配置し、周辺をドライバ燃料で囲む。 （稠密燃料配置案に対し実績のある燃料（19枚板）にCd材を一部使用する又は反射材構成を工夫することで高速中性子を得る代案あり） ・炉心中心領域に高速中性子スペクトルを供給できるエリアを設ける ・ドライバ炉心領域に熱中性子スペクトルを供給できるエリアを設ける ・反射体：Be、グラファイト等（概念設計で決定する。） ・制御材：ホウ素、ハフニウム等（概念設計で決定する。） ・熱中性子減速材：グラファイト、軽水
	燃料調達	稠密燃料が必要
概念	冷却系	軽水
	冷却材	軽水
	冷却方式	炉心で発生した熱は、一次冷却水を強制循環することにより取り出し、熱交換器から二次冷却水に移して冷却塔から大気中に放散する。
	主要機器と仕様（機器仕様等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次冷却ポンプ：2台</li> <li>・熱交換器</li> <li>・二次冷却ポンプ：2台</li> <li>・二次冷却ファン</li> </ul>
	非常用冷却方式	自然循環
格納系		—
原子炉関連主要設備		<ul style="list-style-type: none"> <li>・未使用燃料貯蔵設備</li> <li>・使用済燃料貯蔵設備</li> <li>・気体廃棄物処理施設</li> <li>・固体廃棄物処理施設</li> <li>・液体廃棄物処理施設</li> <li>・可燃性廃棄物焼却施設</li> <li>・廃棄物保管施設</li> <li>・電源設備（非常用電源含む）</li> </ul>

設 備 概 念	照射・実験ポート等		<ul style="list-style-type: none"> <li>・炉心照射（高速～熱中性子等幅広い中性子照射）</li> <li>・垂直実験孔：1～2本</li> <li>・空気輸送ラビット：1～2本</li> <li>・水力輸送ラビット：1～2本</li> <li>・炉内照射環境（温度等）の制御と計測用設備。</li> <li>・冷中性子源（必要時）：1～2個（冷中性子減速材必要）</li> <li>・ビームライン：高速中性子用 1本 中速中性子用 1本 熱中性子用 2～5本 冷中性子用 必要時 ラジオグラフィ 2本</li> </ul> <p>（注）本数は暫定（概念設計で検討）</p>
	附属実験設備		<p>【ホットラボ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・詰換え用セル：1基</li> <li>・PIE用セル：2基</li> <li>・医療用RI製造用：3～5基</li> <li>・分析用フード：5～8台</li> </ul> <p>【炉室】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子回折・散乱装置</li> <li>・中性子ラジオグラフィ</li> </ul> <p>【実験利用棟】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子回折・散乱装置</li> <li>・小角散乱実験装置</li> <li>・即発ガンマ線分析</li> <li>・放射線分析・測定装置（炉内照射箱等の計測）</li> <li>・生物飼育室</li> </ul> <p>（注）電源容量、火器使用を概念設計で考慮必要</p>
	関連施設等		<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠隔教育のためのサテライト施設あるいはインターネットラボ</li> <li>・外部ユーザーの受入れ窓口、実験準備室、控室等を備えたユーザーズオフィス</li> <li>・敷地近辺に外部ユーザーが長期滞在可能な宿泊施設</li> </ul>
	運転・保守管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・運転</li> <li>・要員</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Weekly運転（火～木）</li> <li>・年間150日程度運転</li> <li>・運転員：4班20人（5人／班）、放射線管理4名</li> <li>・機械室要員：4～5人</li> <li>・実験専属研究員、利用設備運転員 テーマに応じて4～5名以上（必須）</li> </ul>
評 価	SWOT	強み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅広い中性子スペクトル利用による基礎研究から先端応用まで幅広い分野を網羅。</li> <li>・特に、将来の高速中性子利用のための核データ、材料損傷データ等の基礎的研究に利用できる。また、生物照射が可能</li> </ul>
		弱み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RIの量産は困難</li> <li>・定期検査の項目と期間</li> <li>・セキュリティによるアクセスの悪化</li> <li>・持続的な予算と人員の確保</li> </ul>
		機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地元大学、研究機関の関与</li> <li>・京大炉、近大炉、JAEAの炉との協同体制</li> <li>・全国の大学との連携、ネットワーク</li> <li>・原子力人材育成へのIAEAの支援</li> </ul>
		脅威	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全規制の不透明さ</li> <li>・使用済燃料の処分</li> </ul>
	技術成立性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存技術で対応可能だが、スペクトル硬化のための稠密燃料密度と冷却パス確保の最適化検討が必要（前述の代案あり）</li> </ul>
経済的成立性		<ul style="list-style-type: none"> <li>・建設費 401億円</li> </ul>	
将来性		<ul style="list-style-type: none"> <li>将来の中性子利用研究のツールとして多様な中性子スペクトル場が提供可能</li> </ul>	

5. 【革新炉開発炉】 概念検討整理表

炉型		革新炉開発炉		
		大型照射試験炉	HP (ヒートパイプ) 冷却小型炉	
概要	目的	<p>研究対象革新炉 現在、国内外で検討されている革新炉の多くは次世代炉である。次世代炉は多種多様であるため、これら全体の開発に寄与できる試験炉を検討した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・次世代炉等</li> <li>-ナトリウム高速炉                     <ul style="list-style-type: none"> <li>サイト内高速炉サイクル施設 IFR</li> <li>モジュール式タンク型ナトリウム冷却炉 (PRISM)</li> <li>金属燃料Na冷却高速炉 (PRISM)</li> <li>小型高速炉 (4S) 等</li> </ul> </li> <li>-高温ガス炉                     <ul style="list-style-type: none"> <li>ペブルベット型高温ガス炉 (Xe-100) 等</li> </ul> </li> <li>-熔融塩炉 (MCFR)</li> <li>-その他 (鉛炉、超臨界圧炉、ガス高速炉)</li> <li>-ヒートパイプ冷却超小型炉</li> <li>-小型軽水炉                     <ul style="list-style-type: none"> <li>高経済性小型軽水炉 (BWRX-300) 等</li> </ul> </li> <li>-軽水冷却高速炉 (RBWR)</li> </ul>	<p>研究対象革新炉 現在、国内外で検討されている革新炉の多くは次世代炉であり、最近ではヒートパイプ技術を適用した小型炉や、既存の軽水炉技術を用いたSMRの開発も盛んである。これらの中、技術的革新性が高いと考えられるヒートパイプ炉開発の実験炉から中性子ビームを取り出し中性子散乱実験等を行うシステムの概念を検討した。</p>	
	特徴と主な利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型試験炉 (VTR相当を想定)</li> <li>・炉の建設・運転を通じた革新炉開発</li> <li>・燃料・材料照射</li> <li>・RI製造</li> <li>・人材育成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉出力を40MWとすると、高強度の中性子ビーム利用研究が期待される。</li> <li>・放射化分析、中性子ラジオグラフィ (動画撮影)、人材育成</li> </ul>	
設備概念	原子炉出力、型式	100MW、Na冷却	40MW、HP冷却	
	炉心等	鉛ループ、熔融塩ループ、ガスループ、鉛-Biループ等環境制御照射試験ループをもつ照射試験炉 燃料：LEU-PU	<ul style="list-style-type: none"> <li>・型式：モジュール化燃料、原子炉構造：プレハブ一体構造</li> <li>・一次冷却 (熱移送)：Naヒートパイプ</li> <li>・燃料：UO<sub>2</sub>orUN、濃縮度19.5%</li> </ul>	
	燃料調達	特に問題なし	特に問題なし	
	冷却系	冷却材	Na	Na (一次系の熱移送)
		冷却方式	強制対流冷却	ヒートパイプ冷却
		主要機器	1次冷却系 (Na)、2次冷却系 (Na)	ヒートパイプ
		非常用冷却	1次系、2次系からの崩壊熱除去システム (空冷)	
	格納系	格納容器	なし	
	原子炉関連主要設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サブプール (燃料の仮置き、照射キャプセル、反射体等の保管)</li> <li>・気体廃棄物処理</li> <li>・固体廃棄物処理施設</li> <li>・液体廃棄物処理施設</li> <li>・可燃性廃棄物焼却施設</li> <li>・廃棄物保管施設</li> <li>・水ガス供給設備</li> <li>・電源設備</li> </ul> 以上の関連設備の規模はJMTR以上の規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>・気体廃棄物処理</li> <li>・固体廃棄物処理施設</li> <li>・電源設備</li> </ul>	
	照射・実験ポート等	鉛ループ、熔融塩ループ、ガスループ、鉛-Biループ等環境制御照射試験ループ	中性子ビームライン	
付属実験設備	大規模ホットラボ Na洗浄施設	Na洗浄施設		
関連施設等	原子炉建屋、ホット試験施設、Na洗浄施設、ユーテリティー施設、SF一時保管施設等を含め施設全体敷地：250m×350m	ビームホール		
運転・保守管理	運転時間	長時間連続運転 運転員：6人×5班、機電*：20人、放管：10人 *設備運転含む	長時間連続運転 運転員：6人×5班 機電*：20人、放管：10人 *設備運転含む	
	要員			
評価	SWOT	強み	様々な次世代炉の試験に適用可能	ヒートパイプ冷却SMR開発と中性子ビーム利用研究
		弱み	プラントコストの高さ	原子炉の詳細設計経験なし
		機会	世界的に高速中性子場が不足している研究環境	SMR開発の萌芽研究
		脅威	米国VTRの運転開始によるユーザーの減少、もんじゅサイトの敷地 (狭隘)	もんじゅサイトの敷地 (狭隘)
	技術成立性	1. ループ (Pb、Pb-Bi、熔融塩) の冷却性能・システム安全の確認などフィージビリティ検討が必要 (Na、Heガス冷却は常陽、JMTRでの実績があるが、鉛、ビスマス、熔融塩ループの実績はない)	1. ヒートパイプ冷却炉の詳細設計とヒートパイプの熱移動性能評価等フィージビリティ検討が必要 2. 安全規制を新たに検討する必要がある。	
経済的成立性	建設費 2,500億円 (VTR参照)	不明		
将来性	様々な革新炉に対応できる点、高速炉の技術維持という点で将来性あり	革新炉開発の萌芽研究		



## もんじゅサイトにおける試験研究炉の配置検討

もんじゅサイトにおける試験研究炉の配置検討では、本文 2.1.10 で検討された(1)試験研究炉(臨界実験装置+加速器施設:以下、まとめて「臨界実験装置」と称する。)と、(2)試験研究炉(低出力炉、中出力炉、パルス炉、スペクトルシフト炉:以下、まとめて「低・中出力炉」と称する。)の主要施設のレイアウトと建屋寸法を基に、これらの試験研究炉施設をもんじゅサイトに設置する場合の場所、配置、土木工事について検討した。その結果は、以下のとおりである。

### 1. 試験研究炉施設の大きさ

#### 【臨界実験装置】

原子炉建屋、加速器施設及び制御棟の主要施設の配置と建屋寸法は、本文 2.1.10 図 2-10 の臨界実験装置のとおりとする。その他に研究炉施設の運転・研究等に必要な付帯施設として、廃棄物処理・保管施設、研究管理棟、資材庫、受電施設等を隣接して設置する。本施設の設置に必要な設置スペースは、施設建屋周囲に道路及び周辺防護柵を設ける幅約 10m のスペースを確保すると、図-1 に示すように、原子炉施設区域(約 115m<sup>L</sup>×55<sup>W</sup>)と付帯施設区域(約 65(+10)m<sup>L</sup>×77<sup>W</sup>)を合わせて約 180m<sup>L</sup>×77m<sup>W</sup> の敷地広さが必要である。

#### 【低・中出力炉】

原子炉建屋、ホットラボ及び制御棟の主要施設の配置と概略寸法は、本文 2.1.10 図 2-11 の低・中出力炉のとおりとする。その他の付帯施設として、廃棄物処理・保管施設、研究管理棟、資材庫、受電施設等を設置する。本施設の設置に必要な設置スペースは、施設周囲に道路及び周辺防護柵を設ける幅約 10m のスペースを確保すると、図-2 に示す敷地広さ約 185m<sup>L</sup>×77m<sup>W</sup> が必要になる。

図-1の臨界実験装置の設置に必要な敷地広さと図-2の低・中出力炉の設置に必要な敷地広さは、2つの施設ともほぼ同じ(約 185 m×77m)である。なお、原子炉建屋等の主要施設以外の研究管理棟、廃棄物処理・保管施設、資材庫、受電施設等の付帯施設の寸法は、京都大学複合原子力研究所の施設を参考に暫定設定したが、今後の設計で見直すものとする。また、これらの付帯施設のほか、試験研究炉を使用する外部研究者、技術者等を受け入れるユーザーズオフィス、駐車場等の施設は、もんじゅサイト内のスペースが限られていることから白木地区等のサイト外の場所に設置するものとする。

## 2. もんじゅサイト内に設置可能な場所の検討

### 2.1 試験研究炉の設置候補場所

もんじゅサイト内の試験研究炉の設置候補場所として、図-3 に示す①～⑨の場所を検討した。9ヶ所の場所の状況と課題等を表-1 に示す。

もんじゅサイト内で臨界実験装置又は低・中出力炉が設置可能な場所は、1.に示した必要な設置スペースから見て、図-4 と図-5 に示すように、⑦もんじゅ原子炉施設場所又は⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所(⑥と⑧を合わせて必要スペースを確保)の 2箇所である。⑦もんじゅ原子炉施設場所に設置可能になる時期は、もんじゅ廃止措置終了後(廃止措置計画認可申請書では 2047 年に終了予定。)になる。

早期に設置可能な場所は、⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所である。

⑥と⑧の場所に設置する場合は、もんじゅ廃止措置と干渉しないこと(試験研究炉の建設・運転がもんじゅ廃止措置作業や解体廃棄物保管等の妨げにならないこと)が前提となる。現在、原子力機構では燃料体の取出し後の具体的な解体計画を検討中である。この解体計画が作成され時点で、⑥と⑧の場所を試験研究炉の設置場所として使用することの可否・課題を検討・調整する必要がある。

## 2.2 試験研究炉の設置場所の地質・地質構造

### (1) 原子力規制委員会のもんじゅ敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合による調査

原子炉施設を設置する場合、本文 4.1 に示すように、試験炉設置許可基準規則(第 3 条、第 4 条)において、設置する地盤は十分な支持力がある安定した地盤であることが要求されている。山側資材置場(EL+132m)と焼却炉場所(EL+115m)の地質・地質構造については、原安協が行った平成 30 年度「もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査」の委託業務成果報告書の 5.1.4 で述べているように、白亜紀後期～新生代古第三紀暁新世ダニアン期～始新世ヤプレシアン期(6,600 万年～4,780 万年前)の火成岩(江若花崗岩)の岩体の上に形成された河成段丘上の場所である。この場所の地盤について、原子力規制委員会の「高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」(平成 25 年 5 月～平成 29 年 3 月)により、もんじゅサイト内破碎帯の調査の一部として露頭調査が行われた。有識者会合の報告書では、「山地／段丘境界(敦賀半島中央部にある L-2 リニアメント北西延長の焼却炉場所の南側付替水路に沿った境界)の付近で行われた露頭の剥ぎ取り調査では、基盤を覆う堆積物に変位・変形を及ぼす断層は存在していない。ただし、断層が山地／段丘境界よりも東側に分布する低位段丘堆積物下を伏在している可能性も否定できない。」。また、全体評価として「L-2 リニアメント北部及びその延長部には、後期更新世以降に活動した断層は存在せず、文献等で指摘される L-2 リニアメントは、差別侵食による侵食地形である可能性が高いと判断する。」とし、今後の課題として「白木-丹生断層と L-2 リニアメントの関係に関する詳細な解析、もんじゅ敷地内破碎帯の更なる評価を進める上でデータを追加・拡充すること。」とされている。(平成 30 年度委託業務成果報告書 5.1.4 を参照。)

### (2) 原子力機構等による地質調査

山側資材置場の地質・地質構造については、図-6A、B、図-7A、B、C の各中の断面図に示すように、山側資材置場の地盤は EL+約 100m の花崗岩岩盤上に約 10m の堆積層があり、その上に厚さ約 20～30m の盛土がされている場所である。同図中に、原子力機構が以前に実施したボーリング調査位置(深さ約 20～40m)を示す。採取されたボーリングコア(盛-3)の花崗岩の一部に粘土化帯が見られる。一方、焼却炉場所の地盤は、EL+約 100m の岩盤上に堆積層があるが、盛土が余りない場所である。この場所で行われたボーリング調査(深さ約 20～30m)のボーリングコア(盛-2)の花崗岩部の一部にシルトを挟んだ割れ目が見られる。また、岩盤の位置(地表面からの深さ)と堆積層の厚さは、場所によって異なっていることから、地質調査によりこれらの分布を調べ、杭基礎長さ等を定める必要がある。なお、焼却炉場所付近の地下約 60m(EL+約 55m)に白木地区から浦底地区に抜ける敦賀第 1 トンネル(原子力災害制圧道路)工事が行われている。このトンネル工事の際の地質データが参考情報になり得る。

以上のとおり、試験研究炉を山側資材置場と焼却炉場所に設置する場合は、もんじゅ廃止措置と干渉しないことが大前提であるが、この場所の地盤及び周辺斜面について原子力規制委員会が定める「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」と「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評



価に係る審査ガイド」に従い、詳細な地質・地質構造調査を行い、設置場所としての適性を確認する必要がある。

### 3. ⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所における試験研究炉の配置検討

本配置検討では、(1)臨界実験装置又は(2)低・中出力炉を早期に設置可能な場所として、⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所に配置することを想定した場合の配置検討を行った。検討では、原子力機構から提供を受けたもんじゅサイトの等高線図の上に 1.の大きさの試験研究炉を設置する場合について、以下のケースの検討を行った。

#### 3.1 臨界実験装置

##### ケース A: (図-6A)

本ケースは、原子炉建屋、加速器施設及び制御棟を、EL+132m の山側資材置場及び周囲斜面を EL+128m まで掘削・拡張した約 144m<sup>L</sup>×75m<sup>W</sup> のスペースに設置するケース。

これらの施設建屋は耐震 B クラス又は C クラス相当になるので、KUCA 等の基礎構造<sup>\*1</sup>と同様に、EL+約 100m の岩盤まで長尺の杭(約 23m)を打ち込み支持する構造とする。研究管理棟、受電設備等の付帯設備は、EL+115m の焼却炉場所に設置する。なお、これらの場所は、地表面から堆積層・岩盤まで深さが図-6A 中の C-C 断面に示すように場所によって異なることから、地質・地質構造調査により、地盤の地質性状とともに正確な深さ・分布を調査する必要がある。

##### ケース B: (図-6B)

本ケースは、ケース A と反対に、原子炉建屋、加速器施設及び制御棟を、比較的盛土が少ない EL+115m の焼却炉場所の山側資材置場側斜面及び周囲斜面を掘削・拡張した約 115m<sup>L</sup>×55m<sup>W</sup> のスペースに設置するケース。

これらの建屋は、ケース A と同様に、焼却炉場所の EL+約 92m の岩盤まで杭(約 18m)を打ち支持する構造とする。研究管理棟、受電設備等の付帯設備は、EL+132m の山側資材置場に設置する。本ケースの場合は、2.2 で述べたように、焼却炉場所地盤に断層がある可能性があるため、地質調査を行い、地盤性状を見て設置位置と基礎構造を検討する必要がある。

(\*1 KUCA の原子炉建屋は厚さ約 2m の基礎盤を長さ約 11m の PC 杭で支持する構造、UTR-KINKI の原子炉本体は厚さ 0.9m の基礎を長さ約 19m のコンクリート杭で支持する構造としている。)

#### 3.2 低・中出力炉

##### ケース A: (図-7A)

本ケースは、原子炉建屋、ホットラボ及び制御棟等を、EL+132m の山側資材置場及び周囲斜面を EL+125m まで掘削・拡張した約 144m<sup>L</sup>×72m<sup>W</sup> のスペースに設置するケース。

低・中出力炉において原子炉建屋が耐震 S クラス相当の建屋(耐震重要施設<sup>\*2</sup>)になる場合は、EL+132m の盛土地表面から盛土を取り除いて EL+約 100m の岩盤まで掘削する。この際、周囲の盛土部の掘削法面が崩れないように約 1:2 の勾配で掘削する。原子炉建屋は、岩盤上に基礎基盤を築いて設置する構造<sup>\*3</sup>とする。原子炉建屋は、本文 2.1.10 図 2-11 に示すように原子炉プール水面を地表面(地上 1 階)とし建屋地下部の深さは 18m の建屋である。原子炉建屋底部を EL+約 100m の岩盤上に直接設置する場合は地表面レベルが EL+約 118m となるが、山側資材置場の地表レベル(EL+132m)から EL+118mm までの掘削土が残土として出る。この残土量を減らすため、岩盤上に厚さ

約7mのコンクリート基礎基盤を設置し、その上に原子炉建屋を設置することにより、原子炉建屋地上1階の地表面は、EL+125mになる。ホットラボ建屋と制御棟は耐震Bクラス又はCクラス相当となるので、EL+約100mにある岩盤まで打ち込んだ杭で支持する杭基礎構造とする。一方、研究管理棟、受電設備等の付帯設備は、EL+115mの焼却炉場所に設置する。

本ケースでは、後の4.2に示すように掘削土量が約44万 $m^3$ と多いことから、掘削残土を少なくするため、掘削土の一部を建屋周囲にEL+約100からEL+125mまで埋め戻すとともに、EL+125~150mの斜面にも戻して斜面を原状回復(原状斜面形状に戻して植栽)する。耐震Sクラス相当の原子炉建屋を設置する地盤と周辺斜面については、2.2(2)に示した原子力規制委員会の審査ガイドに従って詳細な地質・地質構造調査を行い、設置場所としての適性を確認する必要がある。また、掘削土で再盛土した斜面の安定性評価を行い、必要によりコンクリート枠等による法面保護施工を行うものとする。

#### ケースB:(図-7B)

本ケースは、ケースAと反対に、原子炉建屋、ホットラボ、制御棟等を、盛土が比較的少ないEL+115mの焼却炉場所の山側資材置場側斜面及び東側山斜面(土砂流出防護保安林の指定区域)を掘削・拡張した約144m<sup>L</sup>×124m<sup>W</sup>のスペースに設置するケース。

原子炉建屋は、EL+約92mの岩盤に築いた厚さ約5mの基礎基盤上に設置する。制御棟とホットラボ建屋は、岩盤まで打ち込んだ杭で支持する杭基礎構造とする。研究管理棟等の付帯設備は、EL+132mの山側資材置場に設置する。本ケースの場合は、東側山斜面(土砂流出防備保安林の指定区域)を切土する土量が大きく、残土量が約27万 $m^3$ になる。また、焼却炉場所の東側山斜面を広く切土する必要があり、森林法による保安林指定解除手続き<sup>\*4</sup>が必要である。本ケースの場合は、2.2で述べたように、焼却炉場所地盤に断がある可能性があるため、地質調査を行い、地盤性状を見て設置位置・基礎構造を検討する必要がある。

#### ケースC:(図-7C)

本ケースは、ケースAと同様な施設配置であるが、掘削残土量をケースAより更に削減するため、山側資材置場をEL+125mまで掘削した掘削土の一部を焼却炉場所(EL+115m)に移してEL+125mまで盛土して山側資材置場と焼却炉場所の地表面をEL+125mに揃え、その上に研究管理棟等を設置するケース。

本ケースの場合、山側資材置場の斜面を掘削した掘削土を焼却炉場所の盛土(約82,000 $m^3$ )に使用するので、土木工事の残土は少なくなる。また、原子炉建屋等の原子炉施設区域と付帯施設区域の地表面(GL)が同じレベルになり、行き来し易くなる利点がある。但し、新しく盛土する焼却炉場所盛土部の締固めが必要となり、ケースA、Bと同様に原子炉建屋の設置場所の詳細な地質・地質構造調査が必要である。

(<sup>\*2</sup> 想定する事故時の敷地周辺の公衆が受ける被ばく実効線量が5mSvを超えるおそれがある施設は、耐震重要施設(Sクラス)に分類される。試験研究炉の耐震重要度分類は、設置場所の気象条件、敷地条件での周辺公衆の被ばく実効線量で区分されるので、この評価に必要な気象条件(気象観測データ)、地形データが必要。)

(<sup>\*3</sup> KURの原子炉建屋は地下約7.3mの地盤の上に、厚さ約1.5~2.4mの基礎盤を設置して支持する構造。JRR-3の原子炉建屋は、地下約10.75mの砂質泥岩層の上に厚さ2.3mの基礎盤を設置して支持するベタ基礎構造としている。)

(<sup>\*4</sup> 保安林の樹木を伐採する場合は、森林法による許可が必要。また、もんじゅサイトは、若狭湾

国定公園内にあるため、原子炉施設を設置する場合は、いずれのケースも、環境影響評価をすると共に、自然環境・景観を出来るだけ保全するようにして自然公園法による許可を得る必要がある。)

#### 4. 試験研究炉を設置する場合の土木工事の検討

臨界実験装置又は低・中出力炉を⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所に配置する場合の土木工事に関し、3.に示した5ケースについて、工事方法、土木工事の土量(掘削土量、戻し土量、残土量)及び概算土木工事費の検討を行った。

##### 4.1 工事方法

試験研究炉を⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所に設置する場合の土木工事は、図-6A、6B 及び図-7A、7B、7C 中の各施設の設置断面図に示すように、各施設建屋底部の基盤面を所定の深さに設置するため地表面から掘削工事(床掘)を行う。この際、掘削法面が崩れないように周囲の斜面を掘削(切土)する。法面勾配は、岩盤部とその上の堆積層では1対1とし、崩れやすい盛土部は1対2とし、高さ5~10m 毎に小段を設ける。周囲斜面の掘削範囲を各図中に示す。所定の深さ及び範囲の掘削をした後、基礎基盤の施工、杭の打設工事を行い、各施設建屋の地下階を立ち上げる。

掘削した土砂は、ダンプトラックでサイト外のストックヤード(仮置場)に運搬して一時保管する。建屋が地表階まで立ち上がった段階で、ストックヤードから掘削土の一部をサイト内に運搬して建屋周囲を埋戻し、更に地上階から屋上階まで建屋を立ち上げる工程を想定する。ストックヤードに残った残土は、土砂処分場(土捨場)まで運搬する。

##### 4.2 土木工事の土量

上記3.の5つの設置ケースにおける掘削土量、埋戻し土量及び残土量は、図-6A、6B 及び図-7A、7B、7C 中に示した平面図及び断面図の寸法から概算土量を算出した。各ケースの土量(地山ベース)を表-2 に示す。臨界実験装置の場合は、建屋を杭基礎構造にすると掘り込む深さが浅くて済むことから、掘削土量は、ケースAとケースBとも約14万 $m^3$ である。一方、低・中出力炉の原子建屋が、耐震Sクラス相当の建屋になる場合、岩盤まで深く掘削しその上に基礎岩盤を築いて原子炉建屋を設置すると、土木工事の掘削土量はケースA、B、Cのいずれも約44万 $m^3$ (もんじゅ土木工事の掘削土量の約1/5)になる。残土量はケースCでは約4万 $m^3$ と比較的少ないが、ケースA、Bの残土量は12~27万 $m^3$ になる。大量の掘削土の搬出方法の検討、ストックヤード及び残土の土捨場の確保が必要である。

掘削土質((土砂、礫を含む土砂、軟岩、硬岩等)の割合は、場所によって異なる。掘削費用、運搬費用の単価も土質によって異なる。臨界実験装置のケースAと低・中出力炉のケースA、Cでは、盛土60%、堆積層30%、花崗岩10%と仮定し、掘削費及び運搬費を算定した。また、掘削土を運搬する場合の体積は、ほぐし率として盛土と堆積層は1.2倍、岩盤は1.5倍として算定した。

土木工事においては、設置場所の岩盤深さ・分布、岩質等によって掘削深さ、範囲及び掘削土量、工事期間、掘削費用等が異なってくるので、設置場所の詳細な測量、地質・地質構造調査の結果で見直す必要がある。

##### 4.3 土木工事費

試験研究炉を設置する場合の土木工事の工程は、施工場所の草木伐採—所定範囲・深さの掘削、

斜面切土－掘削土の搬出－法面保護、建屋周囲の埋戻し、道路付替え、残土処理等の各工程が必要である。ここでは、土木工事の概算工事費は、平成 31 年度施工パッケージ型積算方式標準単価表(国土交通省)に基づき算定した。表-2 に、(1)臨界実験装置 2 ケース、(2)低・中出力炉 3 ケースの土木工事の概算工事費(消費税、土捨場の確保費用等は含まず。)に示す。例として、臨界実験装置のケース A と低・中出力炉のケース C について、想定した条件、単価及び概算費用の算定表を表-3 に示す。

土木工事費は、掘削する土質とその割合により掘削・運搬費用が変わる。原子炉建屋の基盤となる花崗岩岩盤に軟弱箇所があればコンクリートグラウト注入処理が必要になる。掘削した斜面の法面保護工事は、法面整地＋植栽を想定したが、コンクリート枠等による法面保護工が必要な場合は、工事費のコストアップ要因になる。また、掘削土のストックヤードと最終土捨場の場所は不明のため、ストックヤードまでの運搬距離は 6km、ストックヤードから最終土捨場までの距離は 10km と仮定したが、運搬距離が変われば運搬費が変わる等の不確定要素が多くある。土木工事費については、試験研究炉の概念設計・詳細設計、設置場所の地質・地質構造調査とこれに合わせた土木工事の実施設計を行い、算定する必要がある。

## 5. まとめ

試験研究炉をもんじゅサイトに設置する配置検討として、臨界実験装置と低・中研究炉について、図-1 と図-2 に示した施設構成・配置と建屋寸法を想定し、これらの施設の設置可能な場所と施設の配置及び土木工事について検討した。その結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 試験研究炉の設置に必要なスペースは、2 つの施設ともほぼ同じで、原子炉施設区域は約  $120\text{m}^{\text{L}} \times 56\text{m}^{\text{W}}$ 、付帯施設区域は約  $65(+10)\text{m}^{\text{L}} \times 77\text{m}^{\text{W}}$  で、敷地広さは約  $185\text{m}^{\text{L}} \times 77\text{m}^{\text{W}}$  となる。
- (2) もんじゅサイト内でこの広さの試験研究炉の設置可能な場所は、設置スペースから見て、⑦もんじゅ原子炉施設建屋場所と⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所の 2 箇所である。このうち早期の設置が可能な場所は、⑥+⑧の場所である。但し、この場所に設置するには、もんじゅ廃止措置と干渉しないこと、設置場所の地盤が試験研究炉の設置に適性であることが条件となる。
- (3) 試験研究炉を⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所に設置する場合の検討ケースとして、2 つの試験研究炉について施設配置と土木工事量と土木工事の概算費用を検討した。表-4 に配置検討結果の纏めを示す。

### (a) 臨界実験装置

原子炉建屋等は耐震 B クラス又は C クラス相当になり、建屋の支持を杭基礎構造にすると掘削土量はケース A, B とも約 14 万  $\text{m}^3$  になる。ケース A の場合は、杭基礎長さが約 23m で、ケース B に比べ約 5m 長くなる。本試験研究炉施設の土木工事費は、約 14 億円(消費税、土捨場の確保費用は含まず。)である。

### (b) 低・中出力炉

低・中出力炉の原子炉建屋が耐震 S クラス相当になる場合、岩盤まで掘り込み基礎基盤を築いてその上に原子炉建屋を設置し、その他の施設建屋は杭基礎構造を想定した。この場合の掘削土量はケース A, B, C とも約 44 万  $\text{m}^3$  である。残土量はケース C が少なく約 4 万  $\text{m}^3$ 、ケース A, B では約 12~27 万  $\text{m}^3$  になる。本試験研究炉施設の土木工事の概算費用は、約 45 億円(消費税、土捨場の確保費用は含まず。)となる。

低・中出力炉の場合の課題としては、土木工事で大量に発生する掘削土の搬出方法の検討、残

土の土捨場の確保が必要である。また、研究炉施設の耐震重要度分類は、設置場所の気象条件、敷地条件での想定事故時の公衆に与える実効被ばく線量により区分する。耐震重要度分類のための公衆の被ばく線量評価に必要な気象観測データの取得が必要である。低・中出力炉の原子炉建屋が耐震 S クラス相当になる場合、設置場所の地盤及び周囲斜面について詳細な地質・地質構造調査を行い、設置場所としての適性を確認する必要がある。

以 上

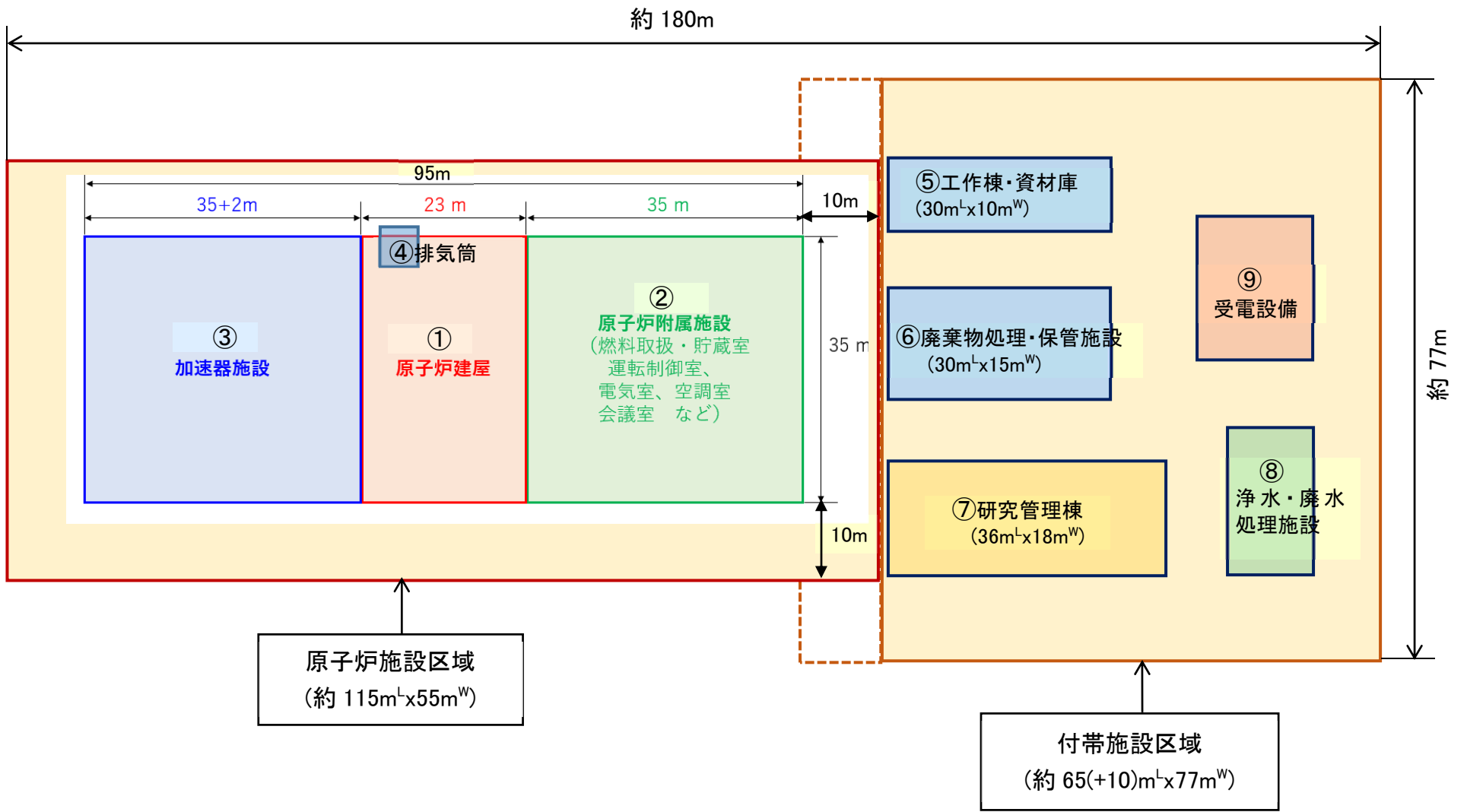


図-1 臨界実験装置の施設平面図

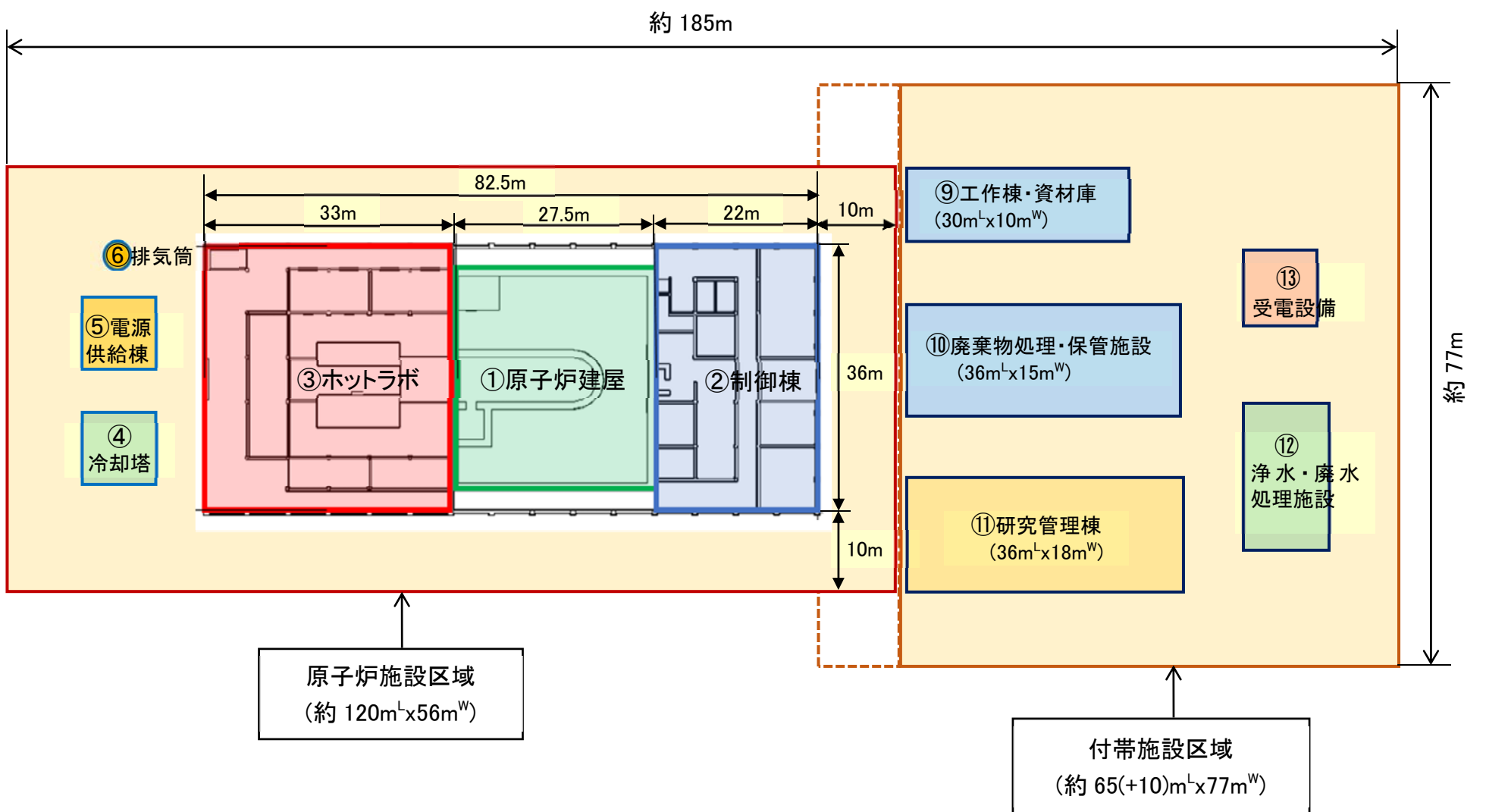


図-2 低・中出力炉の施設平面図

(低出力炉、中出力炉、パルス炉、スペクトルシフト炉)



(国土地理院地図より)

図-3 もんじゅサイト内の試験研究炉の設置候補場所(①～⑨)

表-1 もんじゅサイト内の試験研究炉の設置候補場所

番号	場所名	広さ	場所の状況	備考
①	固体廃棄物貯蔵庫前	約 55m×25m (EL+42m)	保守資機材、核燃料・廃棄物容器等の搬出通路。	廃止措置作業と干渉する可能性あり。
②	原子炉建屋山側倉庫場所	約 60×45m (EL+42m)	電源車等の緊急時対策設備保管庫の設置場所。	廃止措置作業と干渉する可能性あり。保管庫の移設が必要。
③	管理棟前駐車場	約 60m×55m (EL+21m)	駐車場。地下に非常用 DG 等の補機冷却用海水管が敷設。	廃止措置作業と干渉する可能性あり。
④	荷揚岸壁	約 120m <sup>L</sup> ×40m <sup>W</sup> (上部 100m×30m) (EL+5m)	もんじゅ建設時の掘削土で海岸部を EL+5m まで埋め立てた荷揚岸壁。	想定津波高さは EL+8.2m。津波対策として EL+約 10m まで嵩上げが必要。
⑤	防波護岸上部	約 160m×20m (EL+25m)	もんじゅ建設時の掘削土で海岸部を埋め立てた防波護岸。その後、原子炉建屋背後斜面の掘削土を盛土。定検時の資材等の置場。	防波護岸の盛土部で、幅が狭い。
⑥	山側資材置場	約 130m×54m (EL+132m)	山側斜面にもんじゅ建設時の掘削土で約 30m の厚さに盛土した場所。資材置場として使用したが、現在は空きスペース。	盛土斜面を掘削して、約 150m×100m まで拡張可能性あり。地質調査が必要。
⑦	もんじゅ原子炉施設場所	約 300m×170m (EL+21～42m)	もんじゅの主建屋(原子炉建屋と原子炉補助建屋、メンテナンス建屋、タービン建屋、DG 建屋)が設置されている場所。	もんじゅ原子炉施設の廃止措置終了(2047 年)後に使用可能。地質調査(破碎帯の活動性)が必要。
⑧	焼却炉場所	約 85m×70m (EL+115m)	一般焼却炉と資料庫が設置されている場所。盛土はなし。	焼却炉と資料庫が移設できれば、使用可能。地質調査が必要。
⑨	環境監視棟場所	約(140m×70m)/2 (EL+27m)	環境監視棟と駐車場の場所。もんじゅ建設時の掘削土で海岸部を埋立て、EL+27m まで埋戻した地盤。	環境監視棟の移設が必要。

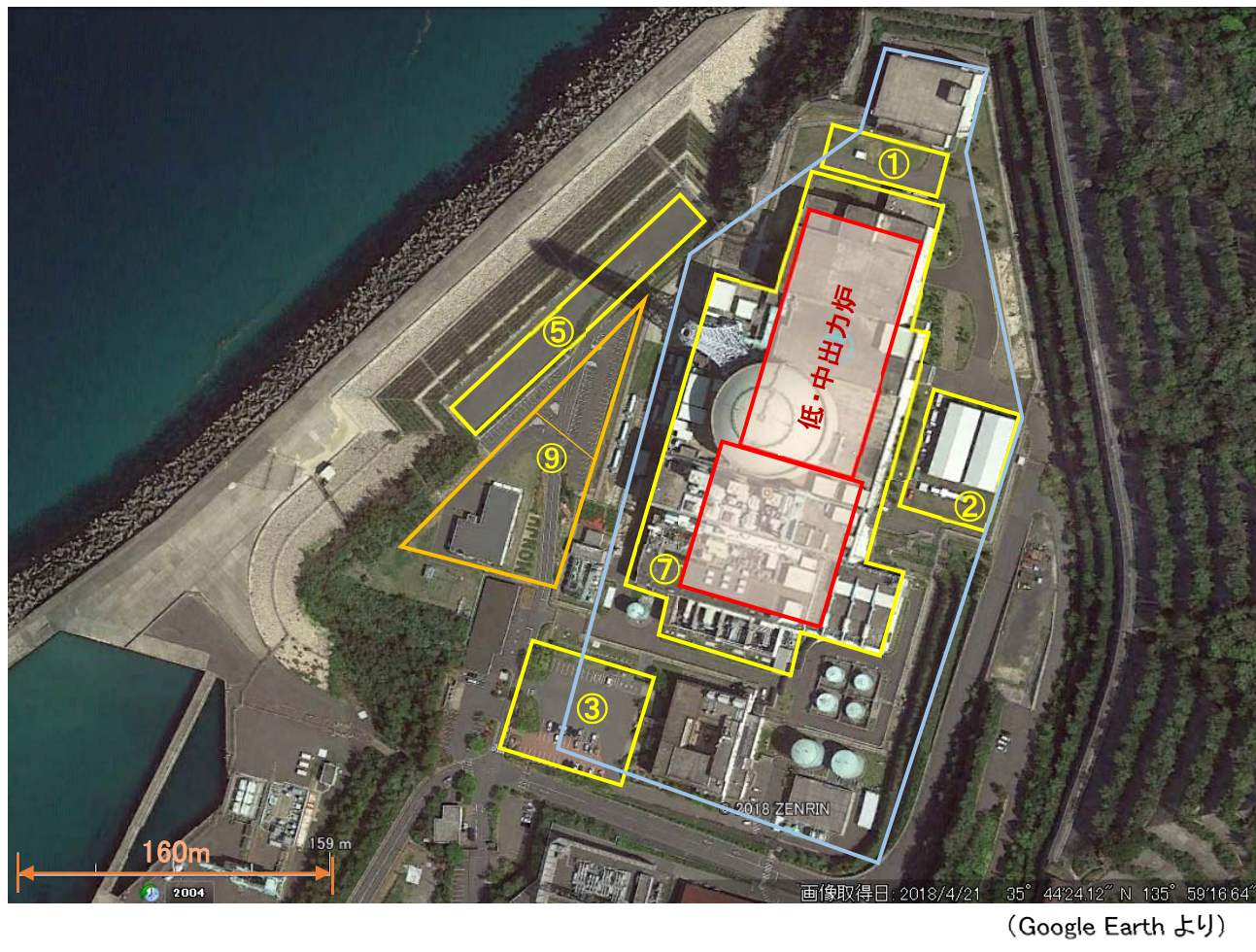


図-4 低・中出力炉を⑦もんじゅ原子炉施設場所に重ねた場合の図



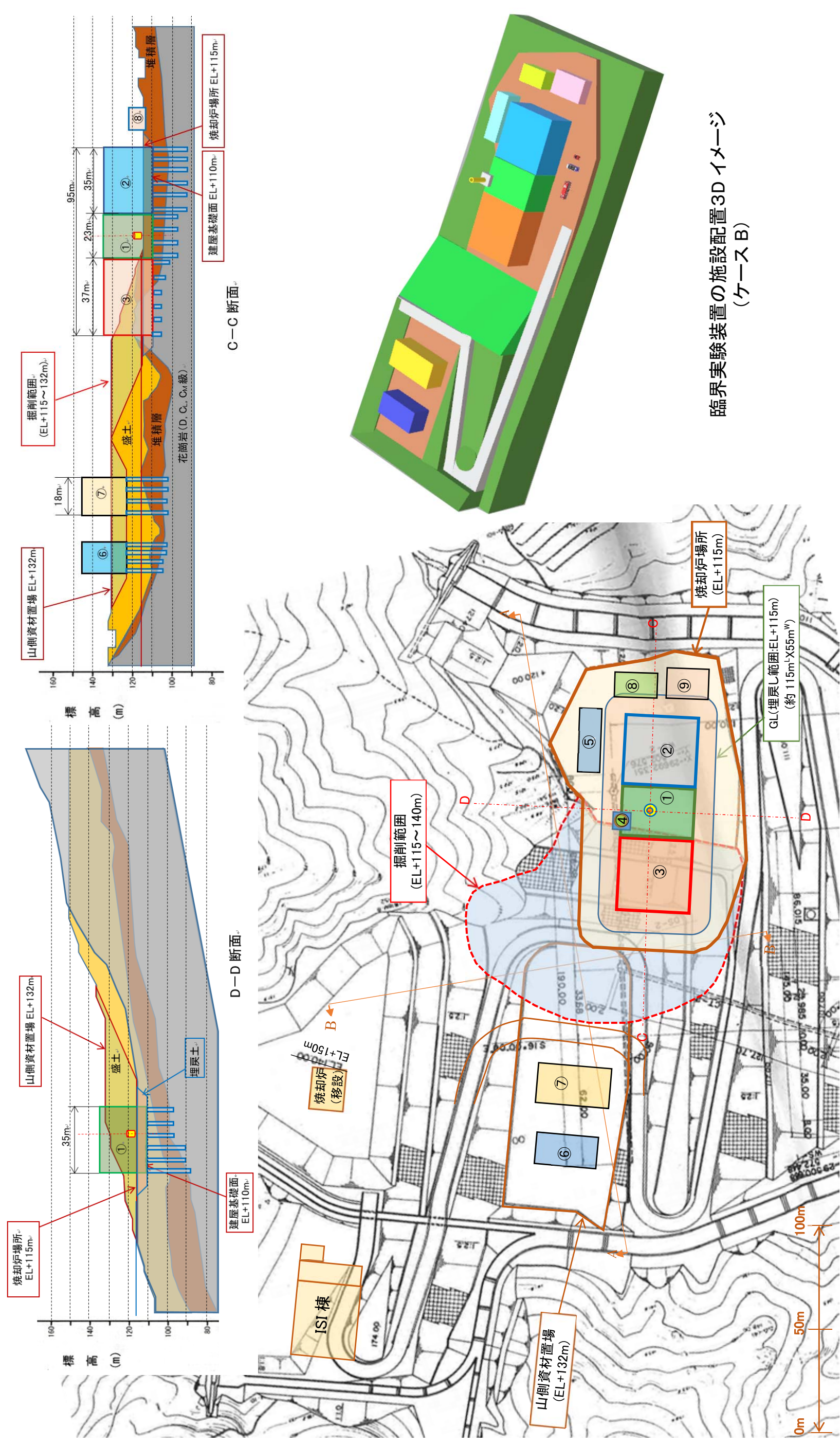
図-5 低・中出力炉の原子炉施設を⑥山側資材置場、付帯施設を⑧焼却炉場所に重ねた場合の図



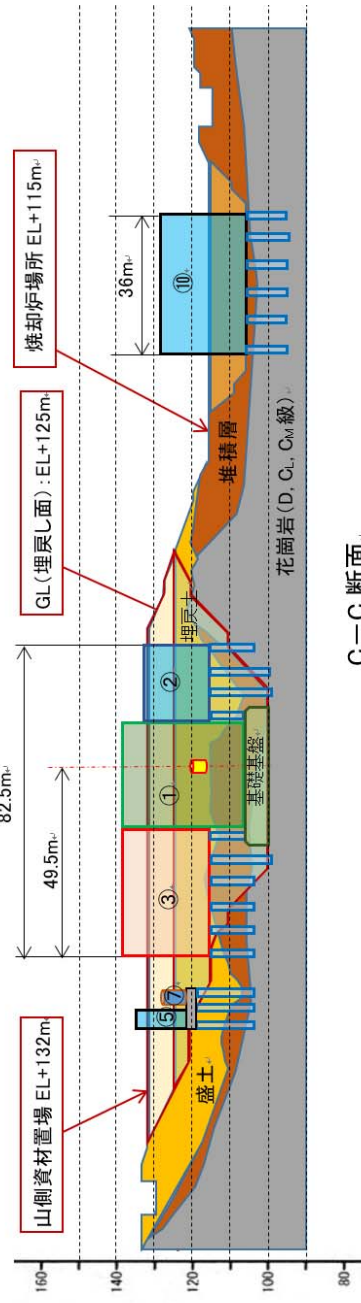
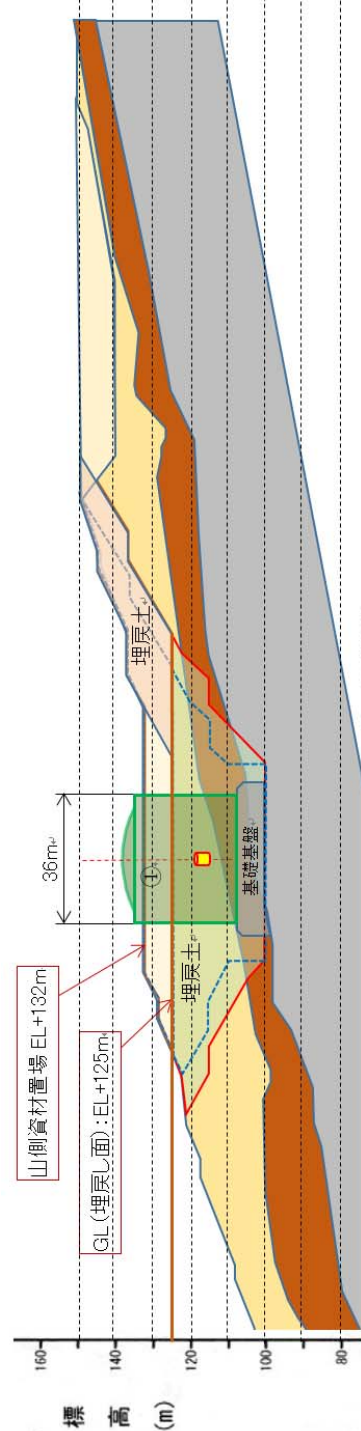


No.	施設名称	想定外形寸法 (m)
①	原子炉建屋(炉室) (臨界実験装置)	23mL x 35mW x 24.5mH (地上 19.5m、地下 5m)
②	原子炉附属施設 (運転制御室、燃取・貯蔵設 備、電気室、空調室等)	35mL x 35mW x 24.5mH (地上 19.5m、地下 5m)
③	加速器施設	37mL x 35mW x 24.5mH (地上 19.5m、地下 5m)
④	排気筒	1.5mΦ x 32mH
⑤	工作棟・資材庫	30mL x 10mW x 21mH (地上 12m)
⑥	廃棄物処理・保管施設	30mL x 15mW x 21mH (地上 12m)
⑦	研究管理棟	36mL x 18mW x 21mH (地上 12m)
⑧	浄水・廃水処理施設	20mL x 12mW x 8mH
⑨	受電設備	20mL x 15mW x 8mH
⑩	焼却炉場所～ISI棟への 迂回道路	幅員 7m

図-6A 臨界実験装置の山側資材置場への配置検討図

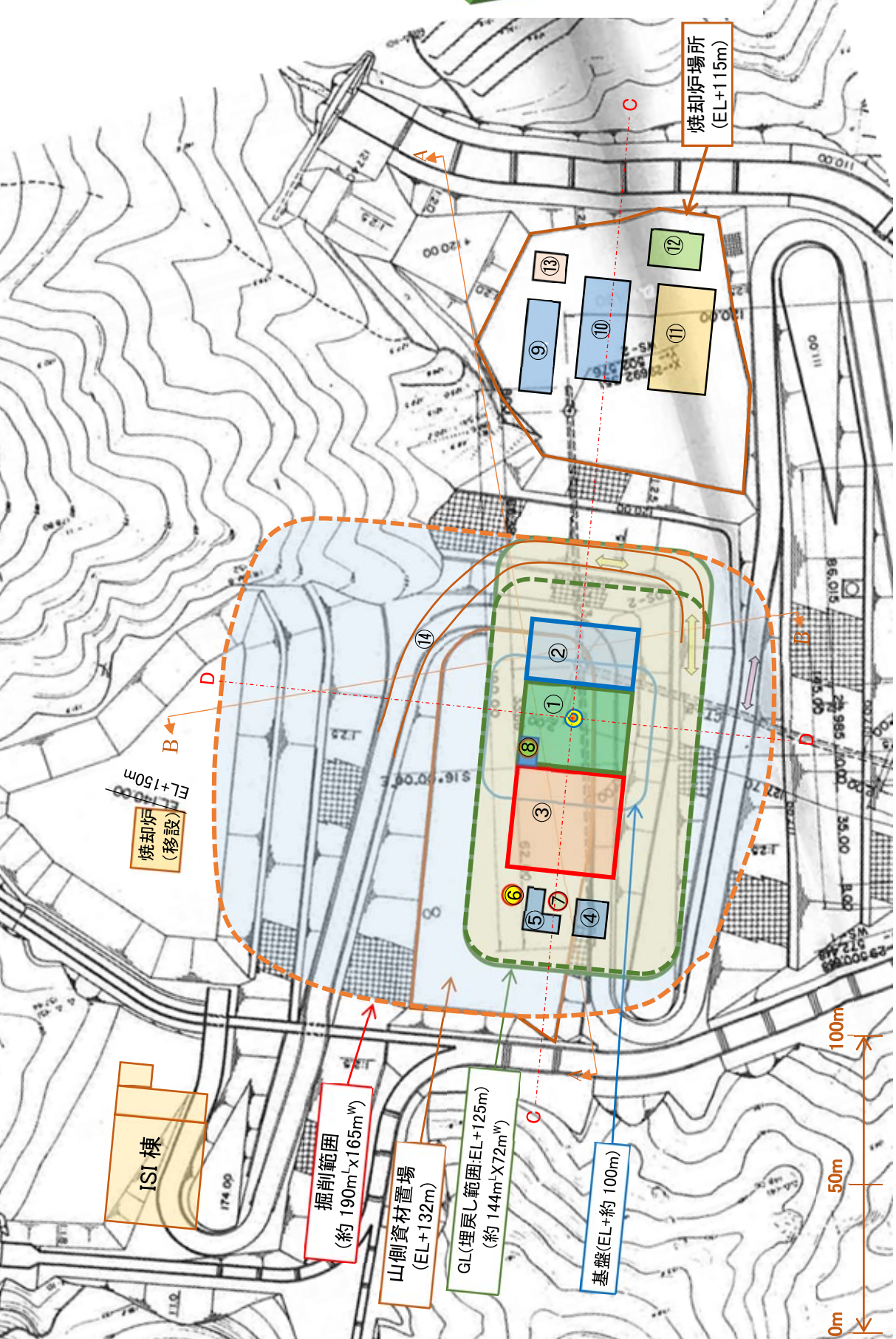


臨界実験装置の施設配置3Dイメージ  
(ケースB)

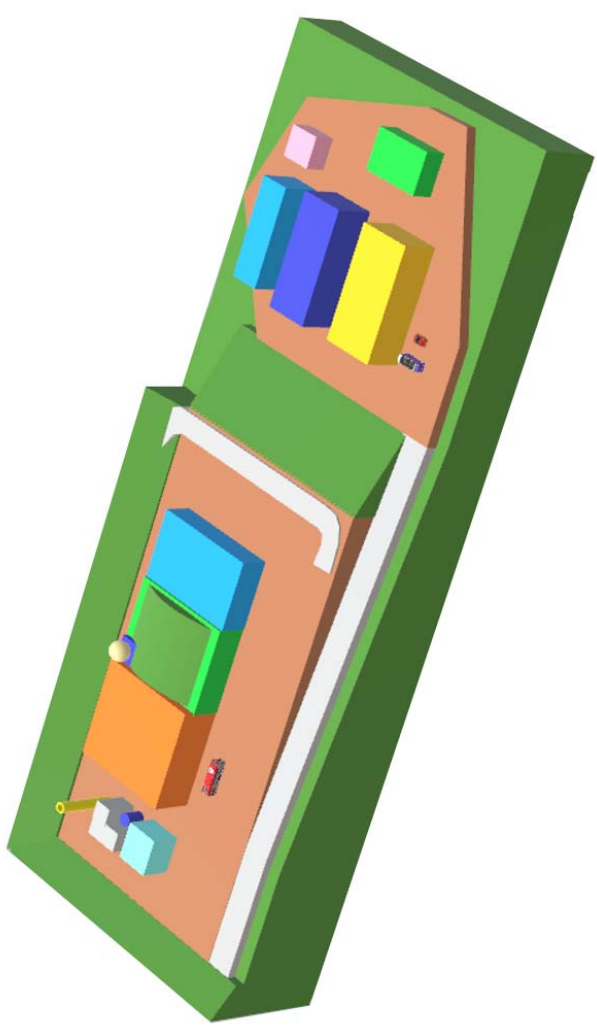


D-D断面

C-C断面

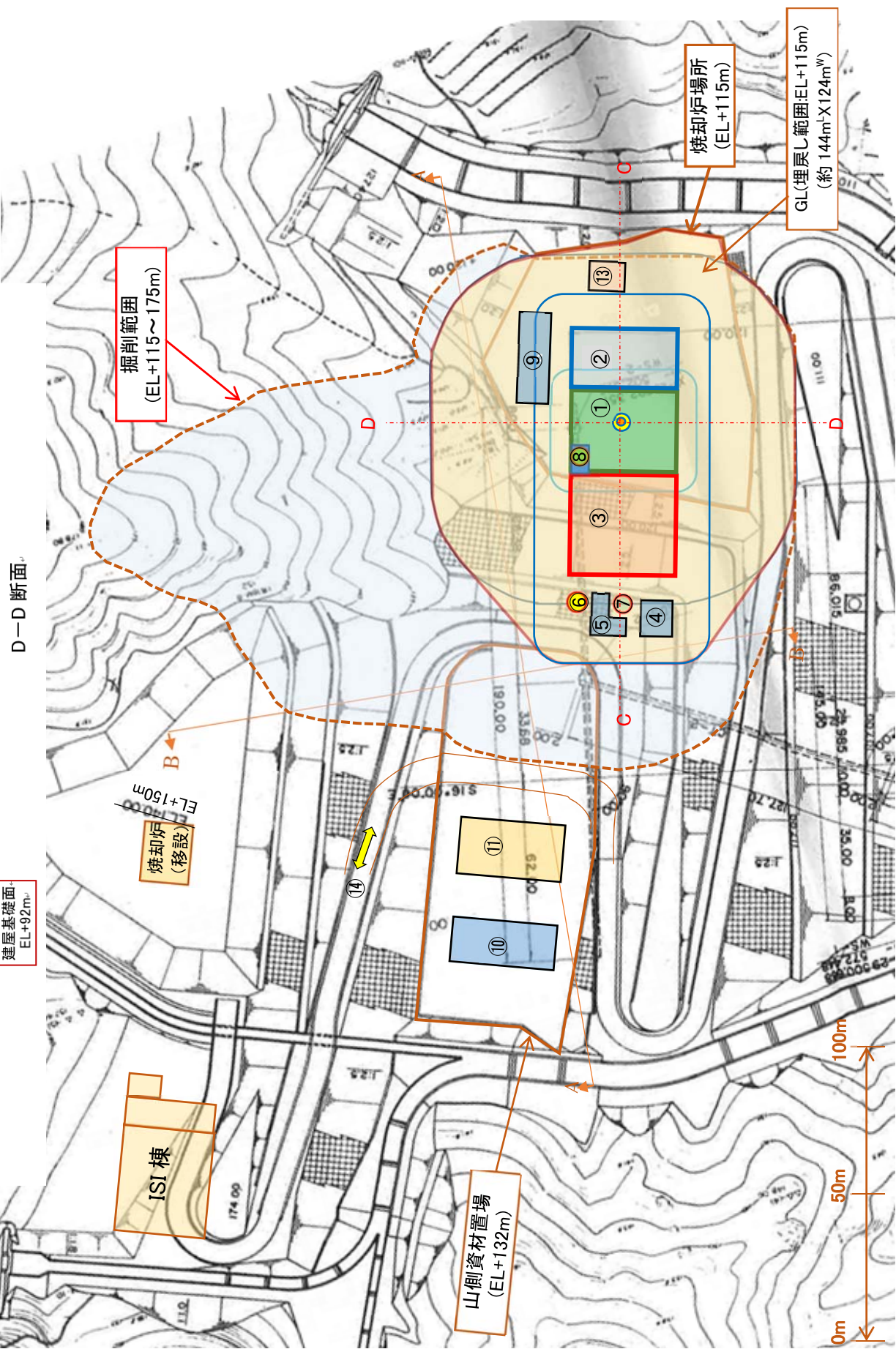
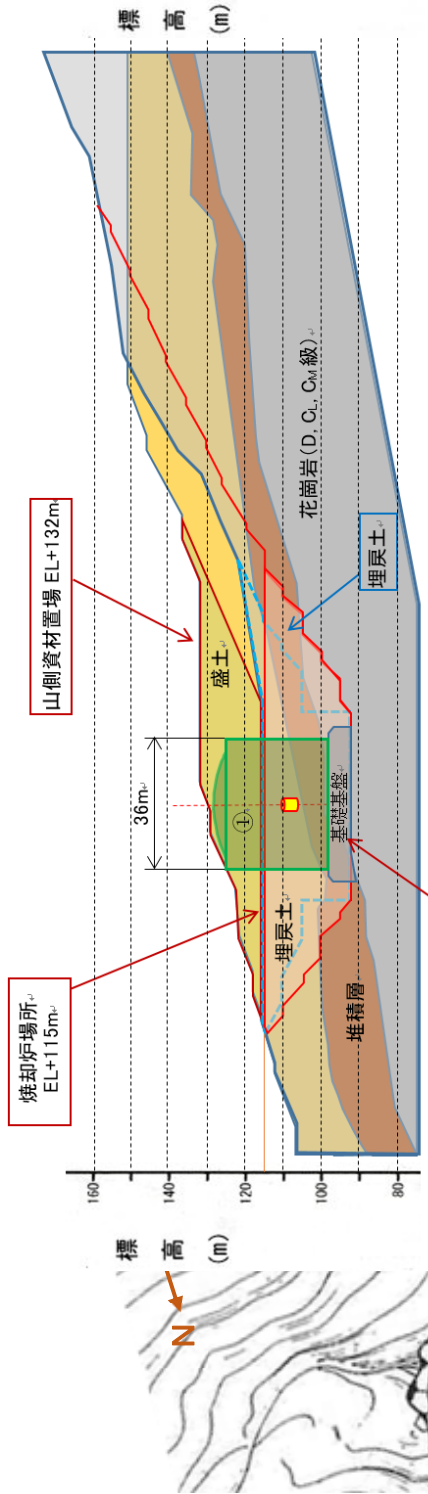
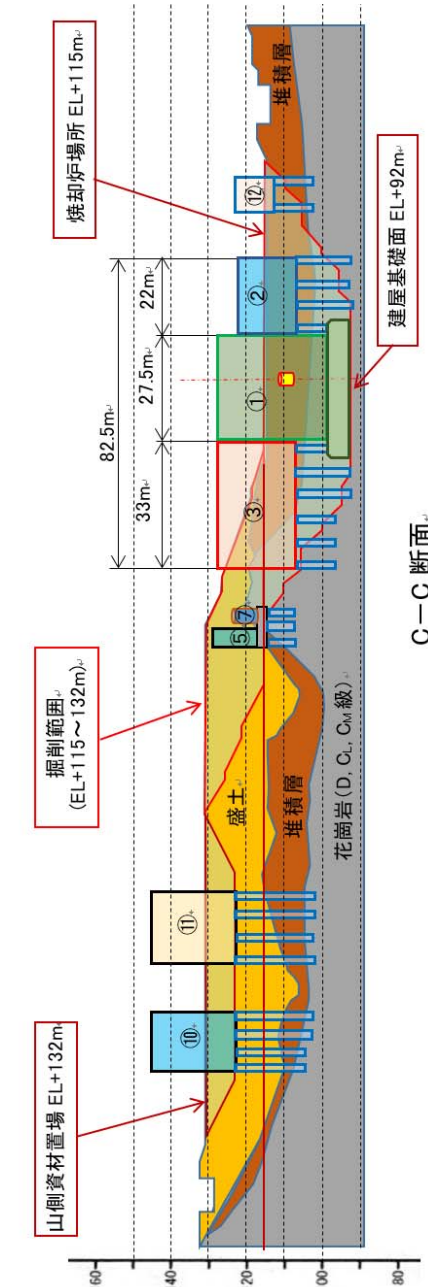


No.	施設名称	No.	施設名称
①	原子炉建屋(炉室)	⑧	高架水槽
②	制御等(ヒームホール)	⑨	工作棟・資材庫
③	ホットラボ	⑩	廃棄物処理・保管施設
④	冷却塔	⑪	研究管理棟
⑤	電源供給棟	⑫	浄水・廃水処理施設
⑥	排気筒	⑬	受電設備
⑦	貯水槽		



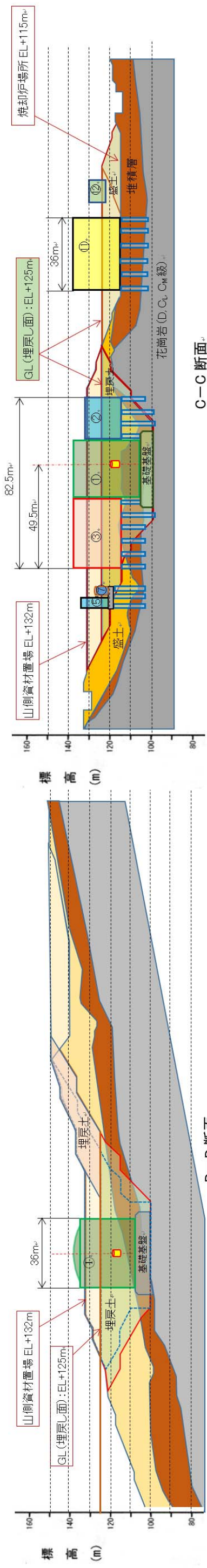
低・中出力炉の施設配置3Dイメージ  
(ケースA)

図-7A 低・中出力炉の山側資材置場への配置検討図



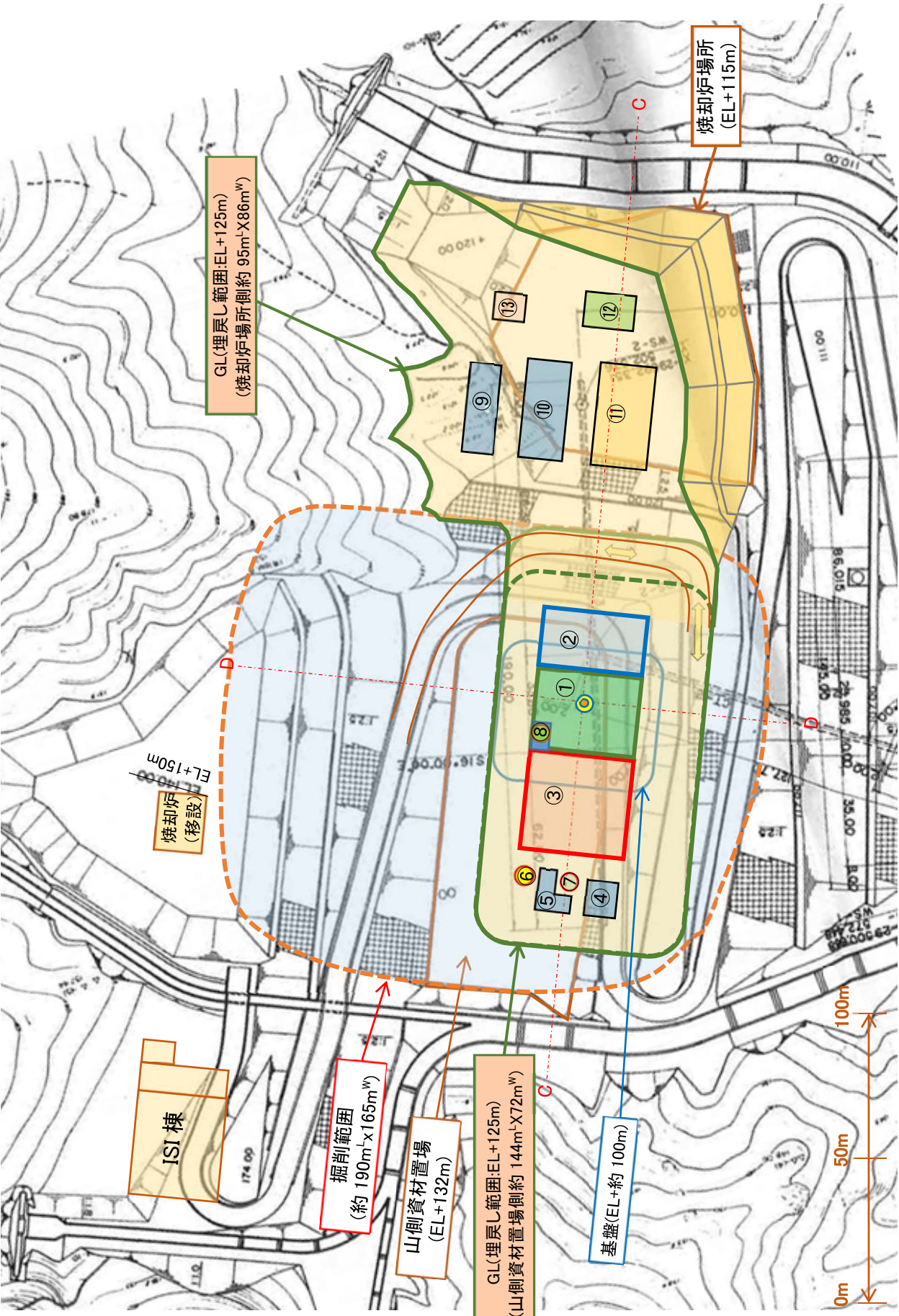
No.	施設名称	想定外形寸法 (m)
①	原子炉建屋(炉室) (原子炉、SFプール等)	27.5mL × 36mW × 30mH (地上 12m、地下 18m)
②	制御棟(ビームホール) (ビーム実験室、制御室等)	22mL × 36mW × 17mH (地上 8m、地下 9m)
③	ホットラボ (セル、換気空調系等)	33mL × 36mW × 21mH (地上 12m、地下 9m)
④	冷却塔	10mL × 10mW × 10mH
⑤	電源供給棟	10mL × 10mW × 10mH
⑥	排気筒	2.5m Φ × 20mH
⑦	貯水槽	3m Φ × 5mH
⑧	高架水槽	6m Φ球 × 17mH
⑨	工作棟・資材庫	30mL × 10mW × 21mH (地上 12m)
⑩	廃棄物処理・保管施設	36mL × 15mW × 21mH (地上 12m)
⑪	研究管理棟	36mL × 18mW × 21mH (地上 12m)
⑫	浄水・廃水処理施設	20mL × 12mW × 8mH
⑬	受電設備	10mL × 10mW × 8mH
⑭	焼却炉場所~ISI棟への迂回道路	幅員 7m

図-7B 低・中出力炉の焼却炉場所への配置検討図

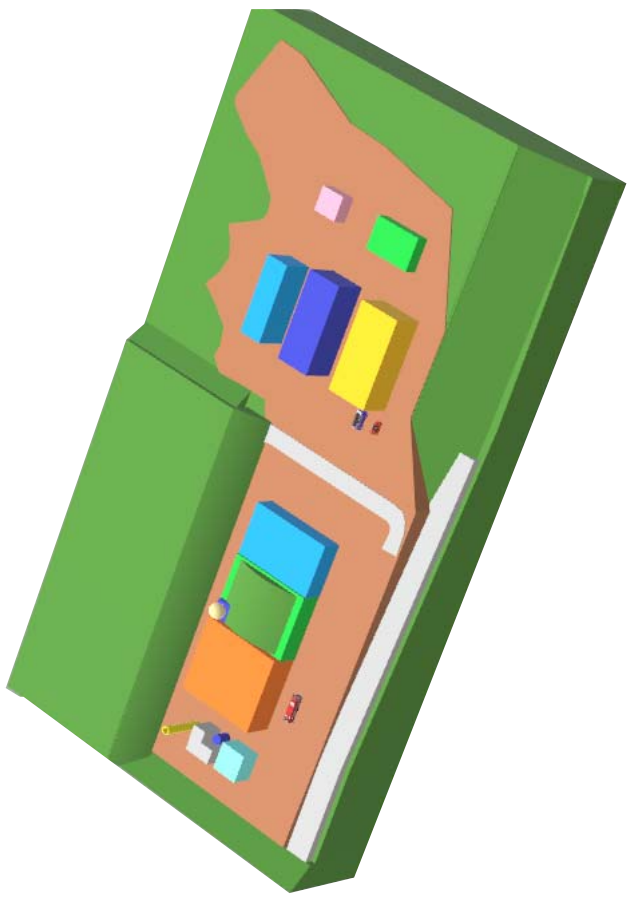


C-C 断面

D-D 断面



No.	施設名称	No.	施設名称
①	原子炉建屋(炉室)	⑧	高架水槽
②	制御等(ビームホール)	⑨	工作棟・資材庫
③	ホットラボ	⑩	廃棄物処理・保管施設
④	冷却塔	⑪	研究管理棟
⑤	電源供給棟	⑫	浄水・廃水処理施設
⑥	排気筒	⑬	受電設備
⑦	貯水槽		



低・中出力炉の施設配置3Dイメージ  
(ケースC)

図-7C 低・中出力炉の{山側資材置場+焼却炉場所盛土部}への配置検討図(平面図)

表-2 試験研究炉を⑥山側資材置場+⑧焼却炉場所に設置する場合の土木工事のまとめ表

(単位 m<sup>3</sup>)

試験研究炉	設置場所	掘削土量	埋戻土量	残土量	土木工事費	備考
(1)臨界実験装置	ケース A 山側資材置場 (GL: EL+128m)	約 139,000	約 58,000	約 81,000	約 14 億円	図-6A
	ケース B 焼却炉場所 (GL: EL+115m)	約 136,000	約 45,000	約 91,000	約 13 億円	図-6B
(2)低・中出力炉	ケース A 山側資材置場 (GL: EL+125m)	約 440,000	約 316,000	約 124,000	約 44 億円	図-7A
	ケース B 焼却炉場所 (GL: EL+115m)	約 438,000	約 171,000	約 267,000	約 45 億円	図-7B
	ケース C 山側資材置場+ 焼却炉場所盛土部 (GL: EL+125m)	約 444,000	約 403,000	約 41,000	約 43 億円	図-7C

表-3 もんじゅサイトにおける試験研究炉の土木工事費(概算内訳)

工事費集計(1)ケースA 139000m<sup>3</sup> (臨界実験装置)

種別	工種	細目	単位	概算数量	概算単価	直接工事費	備考
土木工事	伐採工	伐木、除根80*135m	m <sup>2</sup>	10,800	940	10,152,000	
	掘削工	盛土(N)掘削、N値30-50、60%	m <sup>3</sup>	83,400	900	75,060,000	全量の60%と想定
	"	堆積層(S)掘削、N値30-50、30%	m <sup>3</sup>	41,700	1,200	50,040,000	全量の30%と想定
	"	花崗岩(Gr)掘削、D-C級、10%	m <sup>3</sup>	13,900	2,500	34,750,000	全量の10%と想定
	既存道路撤去工	幅7m、長さ250m	m <sup>2</sup>	1,750	1,200	2,100,000	
	迂回道路舗装工	幅7m、長さ250m	m <sup>2</sup>	1,750	5,700	9,975,000	
	埋戻し工	山側資材置場EL.123~128地表まで	m <sup>3</sup>	37,500	540	20,250,000	
	"	EL.128~135の斜面を原状回復盛土	m <sup>3</sup>	7,500	470	3,525,000	
	法面工	現状回復盛土法面(山側資材置場上160*40m)	m <sup>2</sup>	6,400	2,900	18,560,000	(法面整形+植栽の場合)
	排水工	迂回道路側溝	m	500	6,200	3,100,000	
	"	現状回復盛土法面(山側資材置場上)	m	450	6,200	2,790,000	
	掘削土構内運搬	ストックヤードへの運搬 運搬距離6km	m <sup>3</sup>	170,970	1,230	210,293,000	
	埋戻し用土砂構内運搬	ストックヤードからの運搬 運搬距離6km	m <sup>3</sup>	54,000	1,230	66,420,000	地山解し率:盛土と堆積層は1.2、 花崗岩は1.5
	掘削土処分場まで運搬	構外処分場への運搬 運搬距離10km	m <sup>3</sup>	116,970	1,900	222,243,000	
建屋基礎部整地	施設設置平面	m <sup>2</sup>	10,725	310	3,325,000		
直接工事費(単純合計)						732,583,000	
直接工事費 計						805,841,300	作業時間制限による割増し10%を考慮
数量は概略地形、構造に基づき算出							
諸経費の算定	直接工事費					805,841,300	
	共通仮設費	率分計上	5.45%			43,918,000	道路構造物工事
		(共通仮設費への施工地域を考慮した補正係数)	1.50			65,877,000	大都市(2)
		重機回送費				120,775,000	
		純工事費				992,493,300	
	現場管理費	19.88%				197,308,000	道路構造物工事
		(現場管理費への施工地域を考慮した補正係数)	1.20			236,770,000	大都市(2)
	工事原価				1,229,263,300		
	一般管理費	9.60%			117,986,000	工事原価500万~30億円以下	
概算工事費 計						1,347,249,300	(消費税含まず)

工事費集計(2)ケースC 444000m<sup>3</sup> (低・中出力炉)

種別	工種	細目	単位	概算数量	概算単価	直接工事費	備考
土木工事	伐採工	伐木、除根170*70m	m <sup>2</sup>	11,900	940	11,186,000	
	掘削工	盛土(N)掘削、N値30-50、60%	m <sup>3</sup>	266,400	900	239,760,000	全量の60%と想定
	"	堆積層(S)掘削、N値30-50、30%	m <sup>3</sup>	133,200	1,200	159,840,000	全量の30%と想定
	"	花崗岩(Gr)掘削、D-C級、10%	m <sup>3</sup>	44,400	2,500	111,000,000	全量の10%と想定
	既存道路撤去工	幅7m、長さ500m	m <sup>2</sup>	3,500	1,200	4,200,000	
	迂回道路舗装工	幅7m、長さ500m	m <sup>2</sup>	3,500	5,700	19,950,000	
	埋戻し工	EL.100~115、原子炉建屋基礎~付属建屋基礎まで	m <sup>3</sup>	49,875	540	26,933,000	
	"	EL.115~125、105~115(焼却炉場所):最終地表まで	m <sup>3</sup>	241,125	470	113,329,000	焼却炉場所の盛土量:87,000m <sup>3</sup>
	"	EL.125~150の斜面を原状回復盛土	m <sup>3</sup>	112,000	470	52,640,000	焼却炉場所の盛土斜面:3,750m <sup>2</sup>
	法面工	現状回復盛土法面(山側170*70m,谷側150*25m)	m <sup>2</sup>	15,650	2,900	45,385,000	(法面整形+植栽)
	排水工	迂回道路側溝	m	1,000	6,200	6,200,000	
	"	現状回復盛土法面(山側170*70m,谷側150*25m)	m	1,250	6,200	7,750,000	
	掘削土構内運搬	ストックヤードへの運搬 運搬距離6km	m <sup>3</sup>	546,120	1,230	671,728,000	地山解し率:盛土と堆積層は1.2、 花崗岩は1.5
	埋戻し用土砂構内運搬	ストックヤードからの運搬 運搬距離6km	m <sup>3</sup>	483,600	1,230	594,828,000	
	掘削土処分場まで運搬	構外処分場への運搬 運搬距離10km	m <sup>3</sup>	62,520	1,900	118,788,000	
	建屋基礎部整地	施設設置平面	m <sup>2</sup>	10,368	310	3,214,000	
	原子炉建屋基礎岩盤清掃	原子炉建屋基礎:32.5*41m	m <sup>2</sup>	1,333	9,900	13,192,000	
建屋基礎コンクリート	原子炉建屋基礎:32.5*41m、厚さ7m	m <sup>3</sup>	9,300	19,400	180,420,000		
直接工事費(単純合計)						2,380,343,000	
直接工事費 計						2,618,377,300	作業時間制限による割増し10%を考慮
数量は概略地形、構造に基づき算出							
諸経費の算定	直接工事費					2,618,377,300	
	共通仮設費	率分計上	5.45%			142,702,000	道路構造物工事
		(施工地域を考慮した補正係数)	1.50			214,053,000	大都市(2)
		重機回送費				392,431,000	
		純工事費				3,224,861,300	
	現場管理費	19.88%				641,102,000	道路構造物工事
		(施工地域を考慮した補正係数)	1.20			769,322,000	大都市(2)
	工事原価				3,994,183,300		
	一般管理費	7.47%			298,365,000	工事原価30億円超	
概算工事費 計						4,292,548,300	(消費税含まず)

表-4 もんじゅサイトにおける試験研究炉の配置検討結果(まとめ)

試験研究炉	設置場所	配置	土木工事	課題等
(1)臨界実験装置 (図-1)	山側資材置場 (ケース A: 図-6A)	原子炉建屋・加速器施設等を山側資材置場(EL+128m)に設置、研究管理棟等を焼却炉場所(EL+115m)に設置。	掘削土量: 約 14 万 m <sup>3</sup> 残土量 : 約 8 万 m <sup>3</sup> 工事費 : 約 14 億円	<ul style="list-style-type: none"> <li>・もんじゅ廃止措置との干渉性</li> <li>・耐震 B クラス又は C クラス施設としての設置地盤の地質・地質構造調査</li> <li>・土捨場の確保</li> <li>・法面保護工法の検討</li> </ul>
	焼却炉場所 (ケース B: 図-6B)	(1)ケース A とは逆に、原子炉建屋・加速器施設等を盛土が少ない焼却炉場所(EL+115m)に設置、研究管理棟等を山側資材置場(EL+128m)に設置。	掘削土量: 約 14 万 m <sup>3</sup> 残土量 : 約 9 万 m <sup>3</sup> 工事費 : 約 13 億円	
(2)低・中出力炉 (図-2) (低出力炉、中出力炉、パルス炉、スペクトルシフト炉)	山側資材置場 (ケース A: 図-7A)	原子炉建屋・ホットラボ等を山側資材置場(EL+125m)に設置、研究管理棟等を焼却炉場所(EL+115m)に設置。 (ユーザーズオフィツス、炉外試験装置等が必要な場合は、白木地区等のサイト外に設置。)	掘削土量: 約 44 万 m <sup>3</sup> 残土量 : 約 12 万 m <sup>3</sup> 工事費 : 約 44 億円	<ul style="list-style-type: none"> <li>・もんじゅ廃止措置と干渉性</li> <li>・耐震 S クラス施設としての設置地盤と周辺斜面の詳細地質・地質構造調査</li> <li>・気象観測データの取得と被ばく線量評価及び耐震重要度分類</li> <li>・大量の掘削土の仮保管場所への搬出</li> <li>・土捨場の確保</li> <li>・法面保護工法の検討</li> </ul>
	焼却炉場所 (ケース B: 図-7B)	(2)ケース A とは逆に、原子炉建屋・ホットラボ等を盛土が少ない焼却炉場所(EL+115m)に設置、研究管理棟等を山側資材置場(EL+132m)に設置。	掘削土量: 約 44 万 m <sup>3</sup> 残土量 : 約 27 万 m <sup>3</sup> 工事費 : 約 45 億円	
	山側資材置場+焼却炉場所盛土部 (ケース C: 図-7C)	(2)ケース A と同様に原子炉建屋・ホットラボ等を山側資材置場(EL+125m)に設置。研究管理棟等は、焼却炉場所を EL+125m まで盛土した場所に設置。(掘削土の一部を焼却炉場所の盛土に使用して残土量を削減し、土木工事費を低減。)	掘削土量: 約 44 万 m <sup>3</sup> 残土量 : 約 4 万 m <sup>3</sup> 工事費 : 約 43 億円	





各炉型の建設費等概算

建設費	費用項目	臨界実験装置	低出力一定運転炉 500kW	中出力炉 ～10MW	低出力パルス炉 250kW	スペクトルシフト炉 2MW	革新炉開発炉 (大型照射試験炉) 100MW	革新炉開発炉 (HP冷却小型炉) ～40MW
	原子炉設備 (既設炉実績から出力ベ ースで算出) (次頁参 照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉建屋(60億)</li> <li>原子炉本体(25億)</li> <li>燃料取扱及び貯蔵施設(2億)</li> <li>電気設備(24億)</li> <li>機械設備(24億)</li> <li>核物質防護施設等(7億)</li> </ul> 計 142 億	140 億	379 億※	120 億	240 億	2,500 億 (VTR 参照)	500 億
	追加原子炉設備 (上記近似式に含まれな い)	MA 燃料、MOX 燃料製造費 数百 g 程度：30 億 (既存施設で 対応) 数 kg 程度：500 億 (別途製造施 設が必要) その他、発熱量、放射線量の高い これらの燃料の取扱いには、実験 上の冷却設備、専用貯蔵設備(+20 億)が追加が必要となる。	なし	なし	パルス発生機構 5 億	なし	なし	なし
	燃料費 (原料、製造、輸送分) 注：不確定要因大	熱炉用追加燃料費(10 億) FCA 燃料再加工(4 億)	低濃縮板状燃料 ～20 億 <sup>注</sup>	～20 億 <sup>注</sup>	低濃縮板状燃料 ～20 億 <sup>注</sup>	～20 億 <sup>注</sup>	金属合金 (HALEU, LEU+Pu, DU-Pu) (原子炉設備を含む)	UO <sub>2</sub> or UN (原子炉設備を含む)
	実験設備 <ul style="list-style-type: none"> <li>実験棟 (建物)</li> <li>炉内照射設備 (輸送管等)</li> <li>ホットセル</li> <li>ホットラボ</li> <li>ビームポート (ビーム数)</li> <li>分析室</li> <li>冷中性子関係</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験棟 (建屋)、分析室、加速 器建屋は、原子炉設備費又は試験 装置費に含まれる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>即発ガンマビーム</li> <li>太径キヤプセル</li> <li>中性子ラジオグラフィ</li> <li>ホットセル</li> <li>水カラビット</li> <li>分析室</li> <li>ループレ環境照射装置 (5 億)</li> </ul> 計 40 億	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験棟、実験設備 (輸送管、ビームポー ト、中性子導出カラ ム、RI 等) 一式 90 億</li> <li>(冷中性子源は原子炉 本体を含む)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>即発ガンマビーム</li> <li>中性子ビームライン</li> <li>細径キヤプセル</li> <li>中性子ラジオグラフィ</li> <li>気送ラビット</li> <li>ホットセル</li> <li>分析室</li> </ul> 計 40 億	実験設備一式 (照射設備、ビームポ ート (6 本)、取扱い セル、実験関連設備) 95 億  冷中性子源一式 20 億	<ul style="list-style-type: none"> <li>ループレ照射施設</li> <li>太径キヤプセル</li> <li>ホットラボ</li> <li>水カラビット</li> <li>分析室</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子ビームライン</li> </ul>
	試験装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>加速器</li> <li>ビーム実験装置</li> <li>放射線分析装置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>陽子又は電子加速器： 装置(最大 10 億) + 建屋(15 億)</li> <li>DT 加速器 (1 億)</li> <li>ドップラー装置 (1 億)</li> <li>サンブル昇温装置 (1 億)</li> <li>サンブル・中性子検出器</li> </ul>	実験装置は利用者負担	実験装置は利用者負担	実験装置は利用者負担	実験装置は利用者負担	実験装置は利用者負担	実験装置は利用者負担

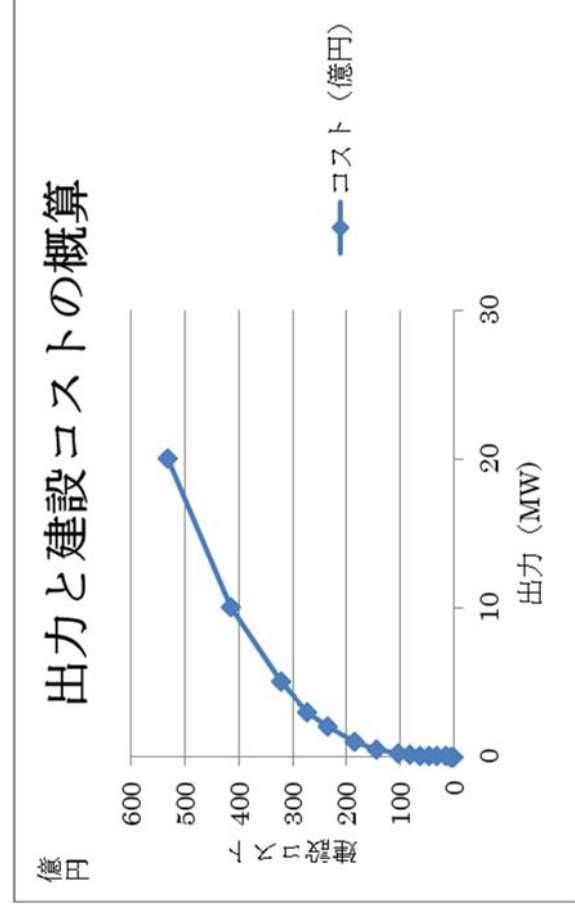
→検討フェイズの異なる炉型

		臨界実験装置	低出力一定運転炉	中出力炉	低出力パルス炉	スペクトルシフト炉	革新炉開発炉 (大型照射試験炉)	革新炉開発炉 (HP 冷却小型炉)
		用駆動装置 (1 億) ・微小反応度測定装置 (1 億) ・放射線分析 (1 億) 計 31 億						
	その他 飼育室等		飼育室等 (実験棟に含)	飼育室等 (実験棟に含)	飼育室等 (実験棟に含)	飼育室等 (実験棟に含)		
原子炉・実験設備	総計	217 億	200 億	489 億	185 億	2,500 億	不明	不明
研究・管理事務棟 (研究室、会議、事務)		5 億円	8 億円	8 億円	8 億円	原子炉設備を含む	15 億	
土木等工事費 (施設費除く)		14 億	45 億	45 億	45 億	—	—	
<b>【建設費 総計】</b>		236 億	253 億	542 億	238 億 (+開発費)	401 億 (+開発費)	2,500 億 (+開発費)	不明
年経費	設備点検・維持、諸経費	0.5 億(加速器運転費含む)	1 億	2 億	1 億	2 億	?	?
	取替燃料費 (年)	なし	なし	4 億 (調査要)	なし	4 億 (調査要)	なし	?
要員	運転・保守、放管 (試験関係要員は除く)	Daily 運転 運転 6 人 (3 人/班) 機電 4 人、放管 2 人 加速器運転 2 人	Weekly 運転 運転 12 人 (3 人/班) 機電 4 人、放管 4 人	Weekly 運転 運転 20 人 (5 人/班) 機電 10 人*、放管 4 人 *含設備運転	Weekly 運転 運転 12 人 (3 人/班) 機電 4 人、放管 4 人	Weekly 運転 運転 20 人 (5 人/班) 機電 10 人*、放管 4 人 *含設備運転	長期運転 運転 30 人 (6 人/班) 機電 20 人*、放管 10 人 *含設備運転	長期運転 運転 30 人 (6 人/班) 機電 20 人*、放管 10 人 *含設備運転
備考		※原子炉設備費は、制約条件の高い TEF-P の設計に基づいて算出した建設費を参考にした。	※仮に 8MW 出力として概算					

→検討フェイズの異なる炉型

注) 以下の施設費、要員は含めていない (運営組織を踏まえて検討必要)

- ① 試験研究炉の設計費用
- ② 研究者居室、ネットワーク環境、食堂、宿泊施設 (必要時)
- ③ 教育・訓練に関連する施設 (必要時)
- ④ 敷地周辺環境監視施設と要員
- ⑤ 試験研究炉の核物質防護施設 (防護施設、要員) (非公開事項)
- ⑥ 新規制基準対応 (緊急対策室、耐震、竜巻、大規模損壊対応など) (耐震対策は建設費 1 割増?)
- ⑦ 試験研究関係研究者・技術者 (試験計画・実施、装置操作等)
- ⑧ 試験研究炉管理運営者 (管理、総務等)



## 国内試験研究炉の運転経費等について

既存の国内試験研究炉の年間運転経費、運転方法、建設費について表 1 にまとめた。

## 〈運転経費〉

運転経費は、IAEA RRDB (Research Reactor Data Base) の 2019 年 12 月より引用したが、その内訳は研究炉によって異なる。

JRR-3 が 18 億円、JMTR が 11 億円であり、燃料費、保守費の他に人件費を含めている。京都大学複合原子力研究所の KUCA が 0.24 億円で保守費、KUR が 1.7 億円であるが保守費と研究所全体の放射線管理費、放射性廃棄物管理費を含めており、人件費は含んでいない。また、近畿大学の UTR-KINKI は、保守費と核セキュリティの警備費を含め約 2 億円である。

上記のほか、定期的に燃料調達費が必要となるが、KUR の例では週に 5MW 運転を 1 日、1MW 運転を 2 日とした場合、年間約 8 体程度の取替燃料が必要となる。

## 〈運転方法〉

運転方法については、KUCA、UTR-KINKI は単日運転 (Dally 運転)、KUR は主に週運転 (Weekly 運転)、JRR-3、JMTR は長期連続運転に分類される。

KUCA の運転は、2019 年度の年間利用計画から、施設定期検査 (以下、定検) が 11 週、保守が 8 週、利用が 33 週 (学生実験 9 週、共同利用 24 週) と算出される。

UTR-KINKI は、定検が 14 週 (合格証交付までの期間を含む)、利用が 34 週、その他 (年末年始、夏期休暇) が 4 週となっている。

KUR の運転についても、2019 年度の研究炉年間運転計画によれば、定検が 24 週、保守が 9 週、利用運転が 19 週である。利用運転は、週運転 (1MW 運転 2 日間、5MW 運転 1 日間) の場合と、単日運転の 2 パターンがあり、それぞれ 17 週と 2 週である。なお、定検には、地震監視装置の更新に伴う使用前検査日数も含まれているが、概ね年間の約半分程度の日数が定検に充てられている。

JRR-3、JMTR は、1 サイクル 26 日～30 日の長期連続運転であり、年間 6～7 サイクルの運転計画を組む。長期連続運転を行うためには、運転員は交代勤務を行い、それ以外に支援要員が必要となる。

## 〈建設費〉

建設費は、UTR-KINKI、KUR については昭和 36 年度版原子力白書より、JRR-3、JMTR は JAEA 施設中長期計画 (2019 年 4 月改定) よりそれぞれ引用し、参考として提示した。

表 1 国内試験研究炉の運転経費、運転方法

項目	低出力炉		中出力炉		高出力炉	
	UTR-KINKI(1W)	KUR (5MW)	JRR-3(20MW)	JMTR(50MW)		
年間運転経費 (注 1)	KUCA (100W) 0.24 億円*	2 億円*	1.7 億円*	18 億円*	11 億円*	廃止措置申請中
運転方法 運転日数	Dally 運転 (約 5 日/週、 33 週/年間) **	Dally 運転 (約 5 日/週、 約 34 週/年間)	Weekly 運転** (約 3 日/週、 19 週/年間) ***	長期連続運転 (26 日/week、 6~7 week/年間)	長期連続運転 (30 日/week、 最大 5 week/年間)	
建設費 (参考) (注 2)	—	1.6 億円	26 億円 (土地購入費を含む)	約 320 億円 RI 製造設備 4 億円	75 億円 改造費約 60 億円	
備考 (建設時期等)	1974 年 (S49 年) 8 月 臨界 *保守費 **2019 年度の年間利用 計画より算出	1961 年 (S36 年) 11 月 臨界 *保守費、核セキュリテ イの警備費	1964 年 (S39 年) 6 月 臨界 *保守費及び研究所全 体の放射線管理、放射 性廃棄物管理費 ** Weekly 運転と Dally 運転 ***2019 年度の研究炉 年間運転計画より算出	1990 年 (H2 年) 9 月改 造炉臨界 (JRR-3 の建屋を利 用) *人件費、燃料費、保守 費	1968 年 (S43) 3 月臨界 *人件費、保守費	

(注 1) 運転経費は IAEA RRDB(2019 年 12 月)より引用

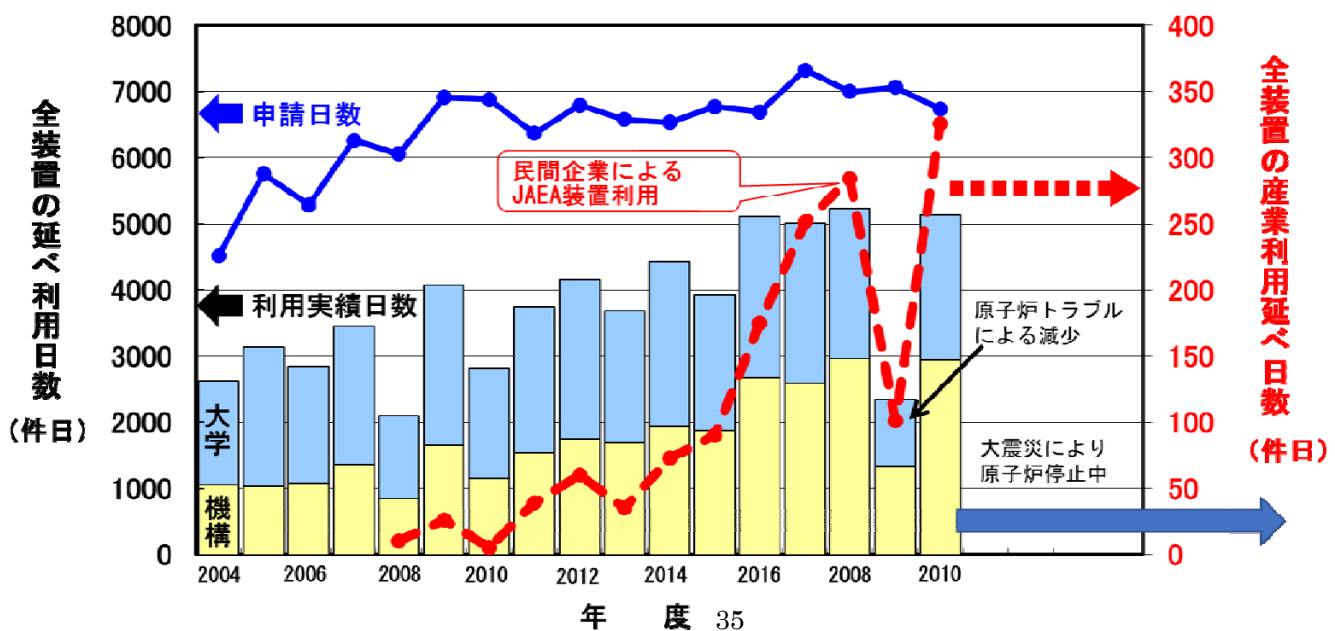
(注 2) UTR-KINKI、KUR の建設費は昭和 36 年度版原子力白書より引用

JRR-3、JMTR の建設費は JAEA 施設中長期計画 (2016 年 12 月) より引用、(参考: HTTR (H10 年臨界) の建設費は 846 億円)

# 国内の試験研究炉利用実績データ

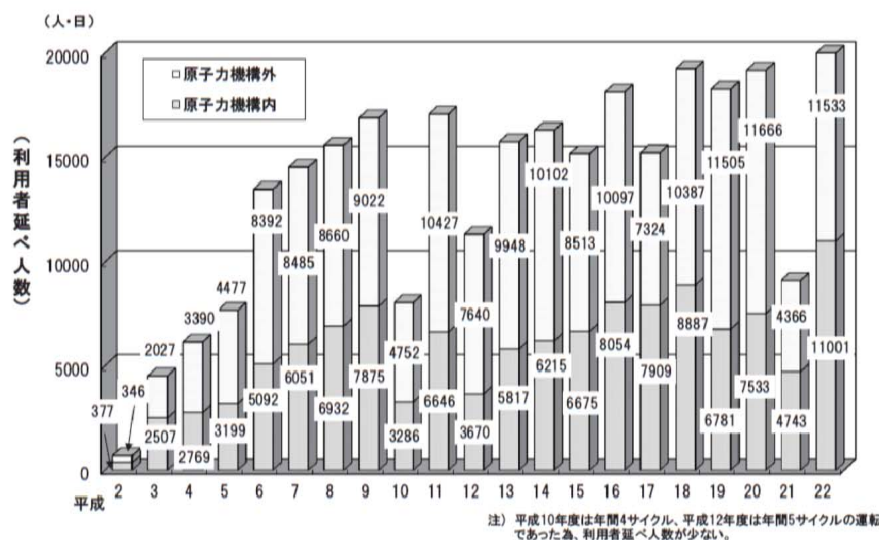
## JRR-3 中性子ビーム実験利用実績 2010年度実績

- ◎ 利用ニーズは増大していたが、大震災でストップしたままである
- ◎ 申請日数約6,600件・日 (JAEA利用約2,700件・日、外部利用約3,900件・日:2対3) に対し、利用は8割、2割が不足

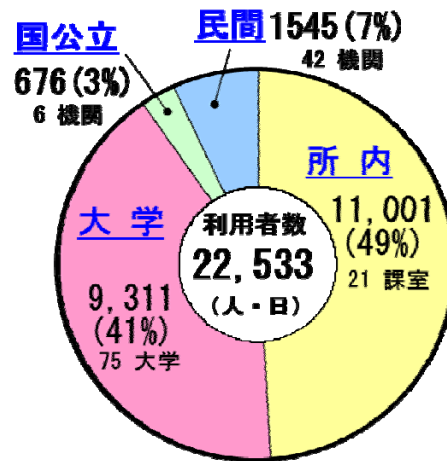


# JRR-3中性子ビーム実験利用実績

◎ 中性子ビームの利用延べ人数は、約22,500人日 (JAEA約50%、JAEA以外は約40%が大学、民間は7%程度 (2010年度))



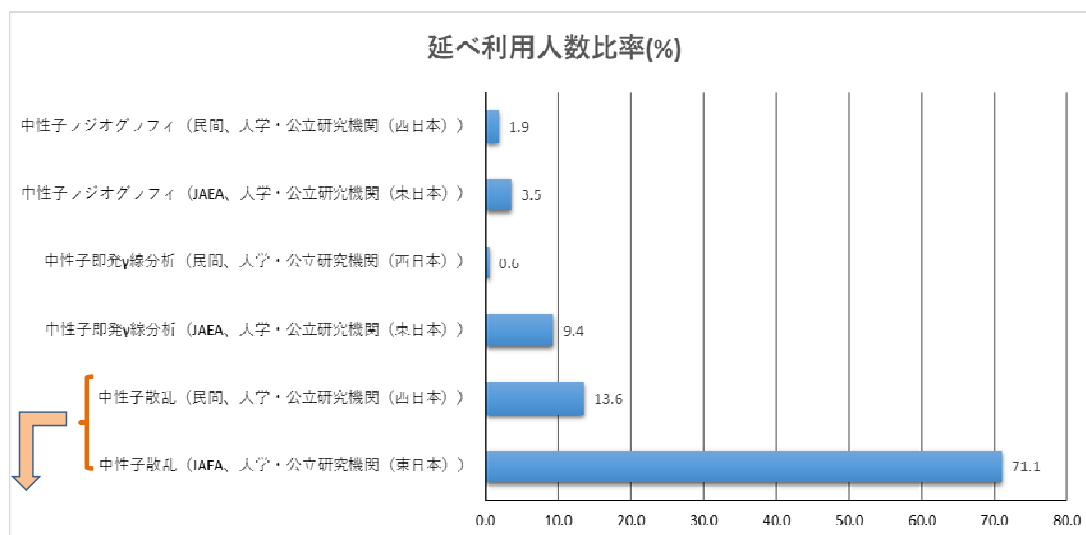
ビーム利用の年度推移\*1



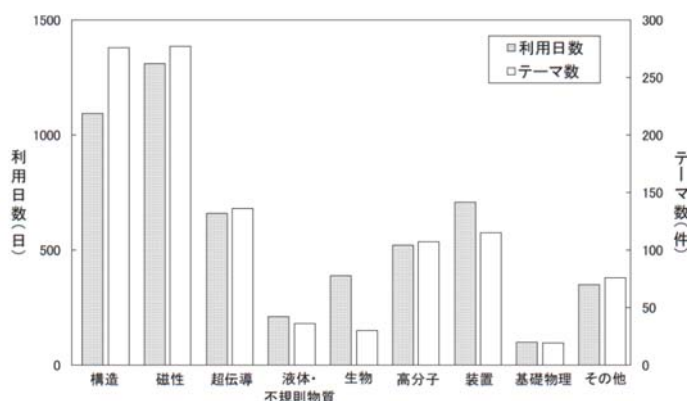
ビーム実験利用 (2010年度) \*2

\*1 出典:JAEA-Review 2011-053平成22年度研究炉加速器管理部年報  
\*2 出典:つるが国際シンポジウム2019

# JRR-3中性子ビーム実験利用実績



ビーム利用分野 (2010年度)



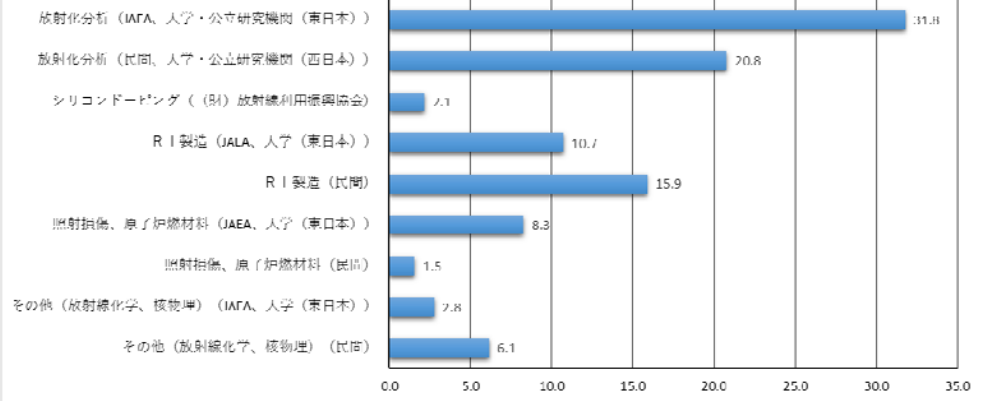
中性子散乱の利用分野 (2010年度) \*1

2019年11月JAEAより情報提供

\*1 出典:AEA-Review 2011-053平成22年度研究炉加速器管理部年報

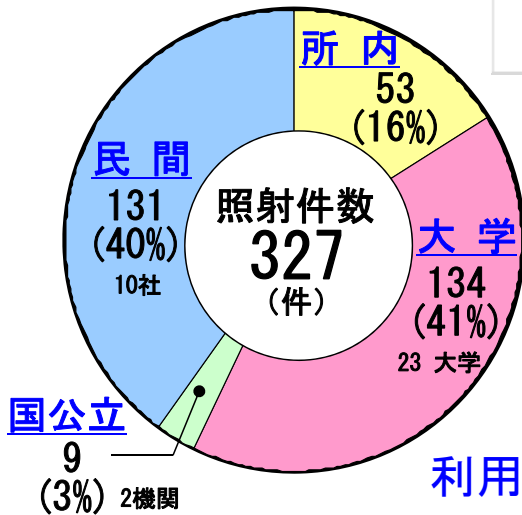
# JRR-3 照射利用実績

延べ利用人数比率(%)



## 照射の利用分野 (2010年度)

2019年11月JAEAより情報提供



## 利用実績 (2010年度)

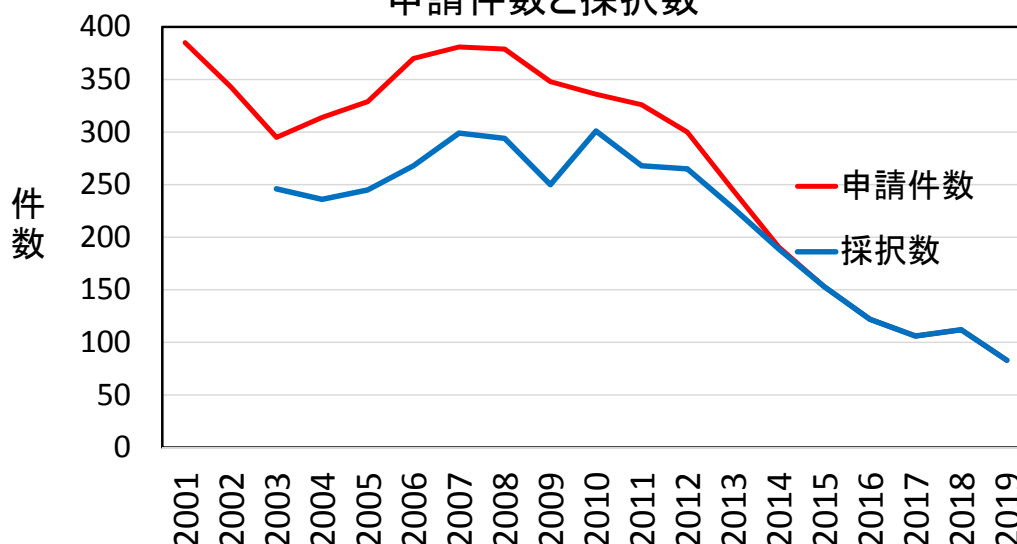
出典 : つるが国際シンポジウム2019 4

# JRR-3の中性子散乱 外部利用(大学実験装置)

◎震災前(～2010)は申請課題数が300件超、採択課題数は約270～300件であったが、震災以来、申請数・採択数は漸減。2012年度以降は採択課題の一部を海外実験支援として実施

## 中性子散乱全国共同利用

申請件数と採択数



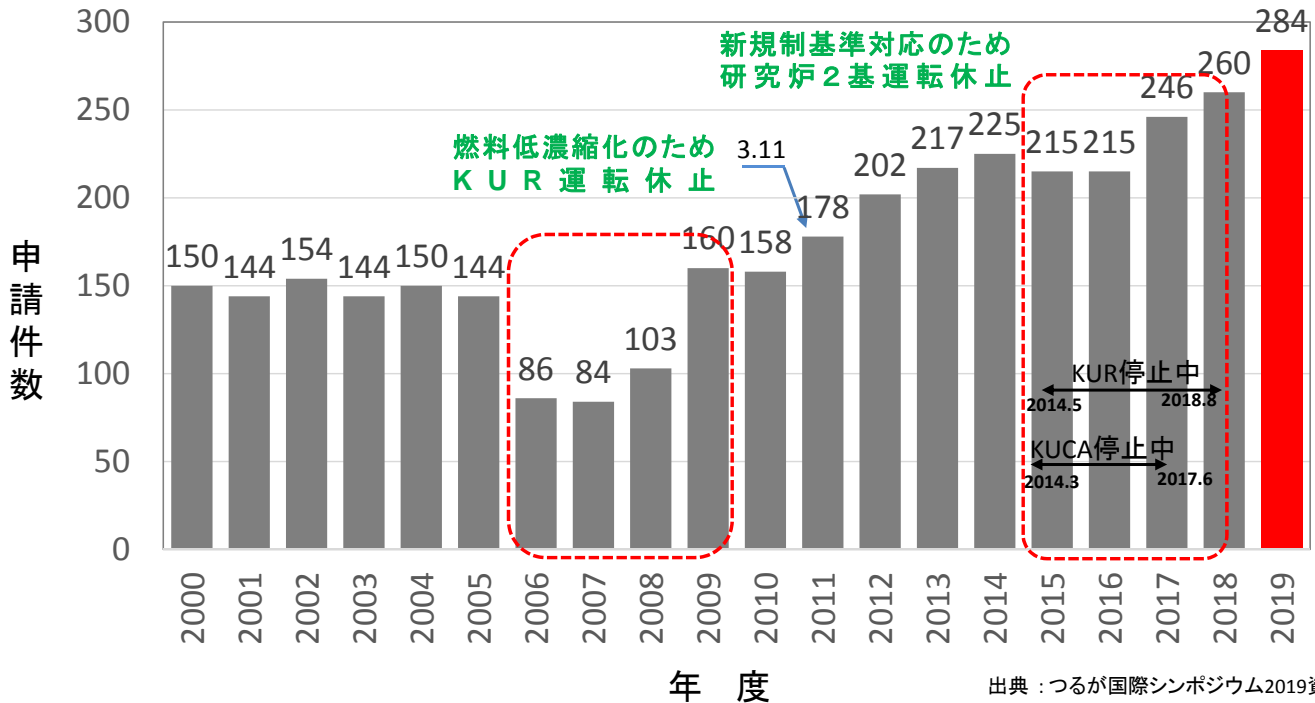
# 研究所全体での共同利用実績

## 共同利用件数

年間 約 200件、約 4000人日

(KUR稼働時)

(注) 研究所全体の共同利用件数であり、  
原子炉以外の加速器等の利用を含む



# 共同利用実績

	H22年度 (2010年度)	H23年度 (2011年度)	H24年度 (2012年度)	H25年度 (2013年度)	H26年度 (2014年度)
件数	158	178	202	217	225
全人数(人)	1092	1341	1337	1098	993
学生数(人)*	380	455	462	370	246

\*共同利用に参加する学生は、修士論文や  
博士論文を作成するための実験研究を実施

出典：原子力科学技術員会 原子力人材  
育成作業部会(第3回、H27年10月)

分類		KUCA	KUR及び周辺実験設備、ホット ラボラトリ、加速器(電子線ライ ナック、陽子加速器FFAG)等	全体
人材育成	教育(学生等)	46人日	431人日	477人日
	訓練(院生)	108人日	1,932人日	2,040人日
基礎研究(職員)		115人日	2,821人日	2,936人日
合計		269人日	38	5,184人日



# 複合原子力科学研究所における人材育成

実験名称	使用施設	対象者	H25年度実績 参加人数（人日）/ 実施頻度	目的
炉物理実験 教育 〈教育に分類〉	・KUCA	・京大学部学生 ・国内大学院生 ・国外  (計 903人日)	17人×5日=85人日 146人 24人 170人×4日=680人日 (計 765人日)	原子炉物理基礎 放射線計測 炉施設の安全管理
原子炉工学 応用実験 〈教育に分類〉	・KUR、周辺実験設備 ・ホットラボラトリ ・電子線ライナック ・FFAG(陽子加速器) ・KUCA	・京大原子核専攻 の大学院生	17名 17名×5日=85人日	原子炉工学の各種 実験技術
原子炉安全 教育 〈訓練に分類〉	・KUR、周辺実験設備 ・ホットラボラトリ ・電子線ライナック ・FFAG(陽子加速器) ・KUCA	・理系を専攻する学 部学生、大学院生 ・社会人	・5コース 44名、期間は3日～5日 → 144人日	我が国の原子炉安 全を担う人材を育成

出典：原子力科学技術員会 原子力人材育成作業部会(第3回、H27年10月)資料を  
編集し、H25年度実績を追加(複合原子力科学研究所より情報提供)  
H25年度実績は、令和2年1月 複合原子力科学研究所より情報提供

8

# 複合原子力科学研究所における人材育成

項目		期間 (日)	学生		院生		企業、地方自治体等		計	
			人	人日	人	人日	人	人日	人	人日
1	原子炉工学実験	3	4	12	4	12	2	6	10	30
2	地震・津波安全教育	3		0	4	12	21	63	25	75
3	中性子医療基礎教育	3	3	9		0		0	3	9
4	放射線安全教育	5		0	4	20	1	5	5	25
5	放射性物質取扱安全教育	5	1	5		0		0	1	5
6	計		8	26	12	44	24	74	44	144

\* 令和2年1月 複合原子力科学研究所より情報提供

# 複合原子力科学研究所における人材育成

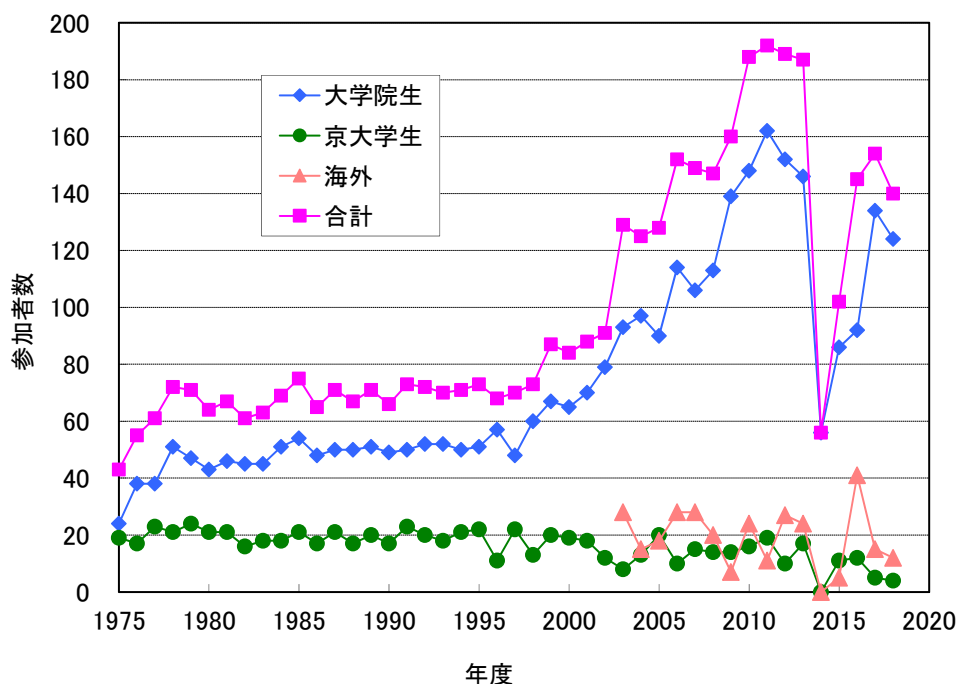
京大複合原子力科学研究所における利用人数（H25実績）総計表（人日）

区分		KUCA			KUR、周辺実験設備、ホットラボラトリ、電子線ライナック、FFAGなど			合計		
		共同利用	炉物理実験	計	共同利用	原子炉工学 応用実験 (注)	原子力安 全教育 (注)		計	
人材 育成	教育	学生等	46	765	811	431	85	0	516	1,327
	訓練	院生等	108	0	108	1,932	0	70	2,002	2,110
		企業、 地方自治体、 海外	—	0	0	—	0	74	74	74
基礎研究（職員）			115	—	115	2,821	—	—	2,821	2,936
計			269	765	1034	5,184	85	144	5,413	6,447

(注1) 原子炉工学応用実験及び原子力安全教育は、KUCAでも一部実施しているが主たるKUR等で集計  
共同利用は採択により実施されるもの

10

## KUCAの教育利用実績



学生実験受講者数

年間 約 150名

(累積) 4,000名以上

国内; ~120名/年

大学院学生実験: 全国11大学  
(国立9、私立3)が参加

国外; ~30名/年

2003年度: 韓国学生実験開始

# UTR-KINKIの利用実績(2017年度)

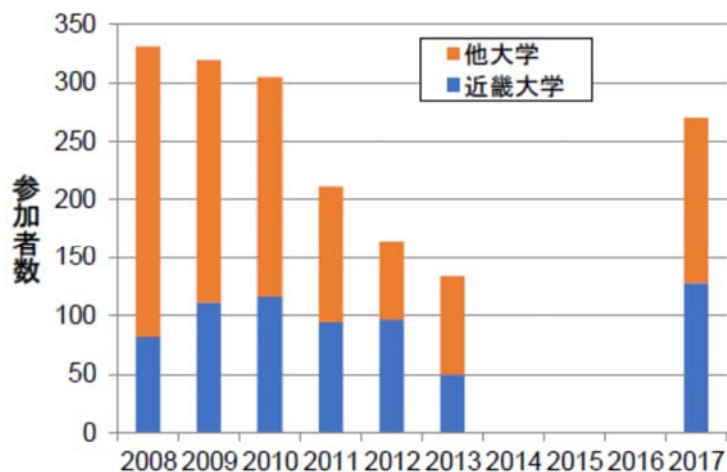
◎ 教育実習で年間約600名弱(学生実験教育約300名、教員・企業研修等約170名)、研究で約100名が利用。  
 その他約1,200名の見学者があり原子力のPA、普及活動に寄与

利用者区分	人数(人)	期間	人・日	備考	
学生実験教育 利用					
学内	128	297	3	国内外の11大学(海外は韓国・慶熙大学)	
学外	169		2		338*
教育・訓練 利用					
学校教員	68	168	2	理科教員を対象とした原子炉実験研究会	
高校生	63		2		126*
企業研修	22		2		44**
外国人	10		2		20**
卒業生	5		2		10**
*教育に分類					
**訓練に分類					
***基礎研究に分類					
研究(開発) 利用					
学内利用	45	105	1	課題数 : 32件	
共同利用	60		2		120***
大阪大学が窓口、共同利用研究課題数: 16件					
合計	570		1223		
(参考) 見学者	1227				

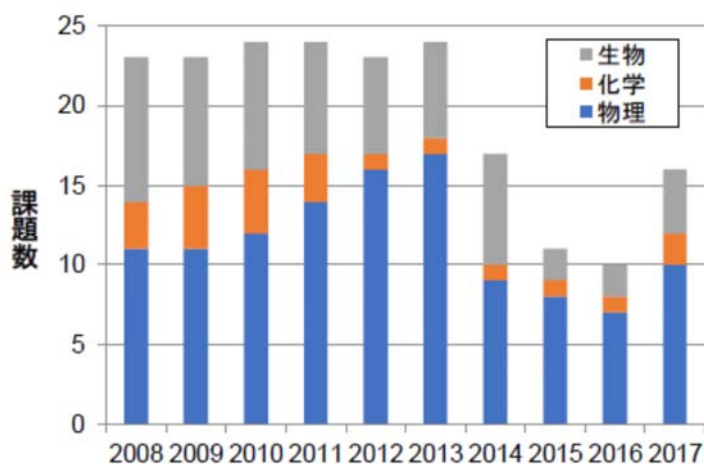
2019年11月近畿大学より情報提供 12

# UTR-KINKIの利用実績(2017年度)

◎ 学生実験は約300名(学生270名、ティーチングアシスタントを含む)、研究利用は約100名。研究利用の課題数は32件で、そのうち共同利用による研究は大阪大学を窓口として16課題を実施。最近では物理系で中性子測定技術の開発が多く、原子炉物理実験や原子力・放射線教育のための教材開発もある。



UTR-KINKIを用いた原子炉実習参加数の推移(学生)(教育利用)



UTR-KINKI等を用いた共同利用研究計画の採択課題数の推移(研究利用)

## JRR-3の運営組織

組織・主な業務	職員等の人数 (請負等含)	小 計 (名)
<b>研究炉の管理・運営</b>		
研究炉の統括	4	86
庶務・利用促進	8	
研究炉の運転・保守	35	
利用装置の運転・保守	27	
炉の技術管理・SFの輸送	12	
<b>放射線管理</b>		
放射線管理第1課 研究炉管理チーム	5	5
<b>特定設備の管理</b>		
JRR-3の換気・空調等の特定設備の管理	6	6
<b>実験装置担当者等</b>		
物質科学研究センター所管	20	25
原子力基礎工学研究センター所管	2	
J-PARCセンター所管	3	
計		122

2019年11月JAEAより情報提供

14

## 京都大学複合原子力科学研究所の安全管理運営組織

組織名	人数(注)	備考
安全管理本部	32 名(注)	中央管理室、核燃料管理室、品質管理室、RI管理室
研究炉部	37 名	KURの運転、維持管理
臨界装置部	11 名	KUCAの運転、維持管理
放射性廃棄物処理部	7 名	
放射線管理部	11 名	
実験設備管理部	38 名(注)	実験設備の保守、維持管理
実験用核燃料部	7 名	
事務管理部	22 名	
合 計	105 名	

(注)安全管理本部及び実験設備管理部の人員数は兼務を含む。

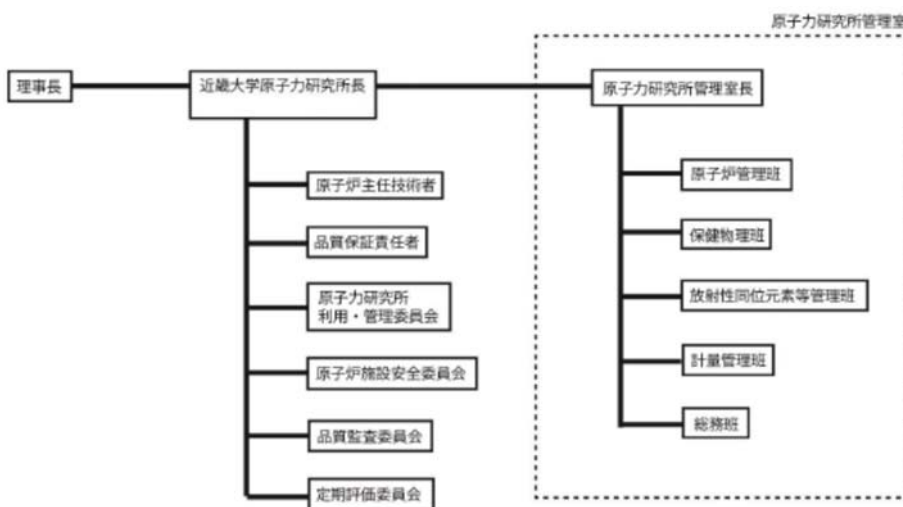
# 京都大学複合原子力科学研究所の運営組織



研究所HPより 16

## UTR-KINKIの運営組織

○ 近畿大学原子炉(UTR-KINKI)は教育訓練用原子炉として、2017年3月に運転を再開、教員は運営・教育・研究を行っており運営人数は16名

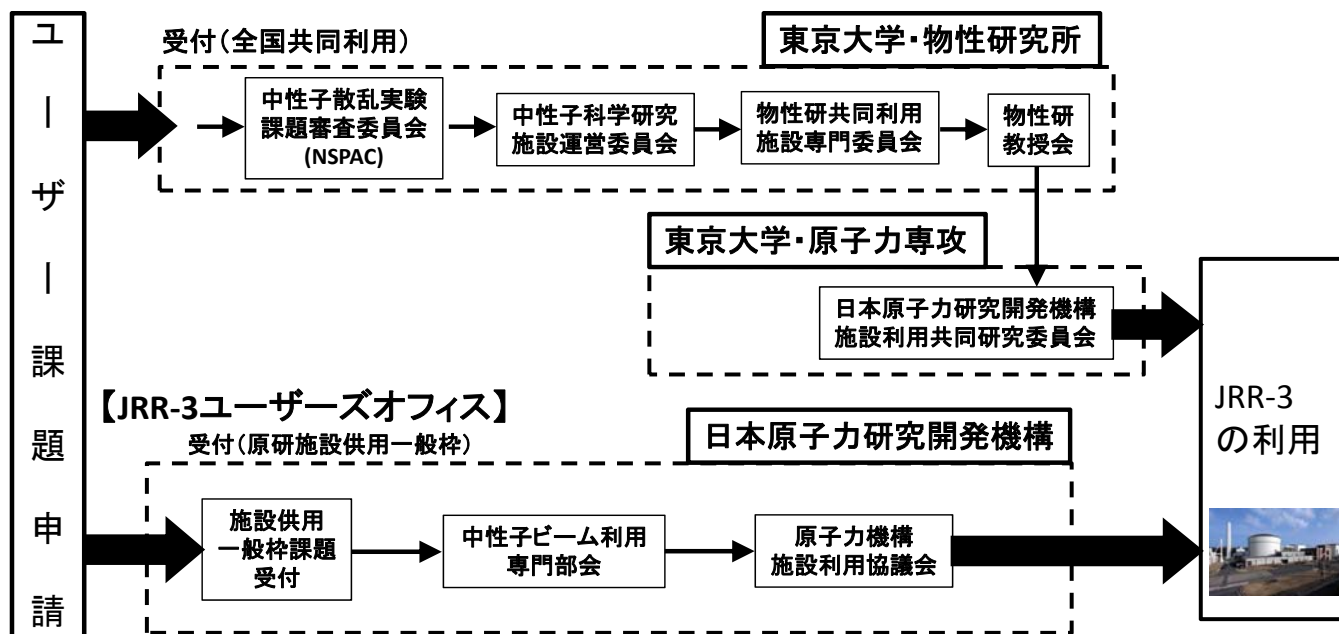


運営要員数(2019年4月現在)

教員・職員数	16名
教員	10名
技術員	2名
事務員	4名

近畿大学原子力研究所の原子炉施設保安に関する組織図

# JRR-3利用実験課題の公募・審査制度



## 試験炉設置許可基準規則ともんじゅサイトで考慮すべきサイト条件の検討

### 1. 国内における研究炉の規制に関する調査

原子炉施設に関する規制は、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて、大幅に見直しされ、強化がなされ、新規規制基準が策定・施行された。新規規制基準に適合するための既設の試験研究炉（UTR-KINKI、KUR、KUCA、JRR-3、NSRR等）の設置変更許可（承認）申請に対して、平成25年に制定・施行された「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下、試験炉設置許可基準規則という。）」と規則の解釈、及び「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」等の各種の審査ガイド、審査指針、技術基準等に従って審査が行われている。

もんじゅサイトに新たに試験研究炉を設置する場合も、その設置許可申請に当たり同様の規則、審査ガイド等に適合するように施設の設計・安全評価等を行う必要がある。

平成31年度調査では、試験研究炉に適用される試験炉設置許可基準規則の出力区分（低出力炉・臨界実験装置及び中出力炉、高出力炉）に応じた規制内容の違いと、この基準規則に対する既設の試験研究炉の対応状況の調査を行い、これを基に、試験研究炉をもんじゅサイトに設置する場合の出力区分に応じた施設設計への規制要求と考慮すべきサイト条件を調査・検討した。その結果は、以下のとおり。

#### 1.1 試験炉設置許可基準規則

試験研究の用に供する原子炉施設（以下、試験研究炉。）に適用する試験炉設置許可基準規則は、平成25年12月に施行され、その後、既設の試験研究炉の設置変更許可（承認）申請の審査を行う中で、出力区分に応じた規制内容の見直し（事故時の影響程度に応じた規制：グレーデッド・アプローチの適用）が行われ、規則の解釈に反映されている。

##### (1) 出力の違いによる規制内容

試験炉設置許可基準規則では、水冷却型研究炉は、原子炉出力に応じて3区分〔低出力炉（臨界実験装置を含む）は500kW未満、中出力炉は500kW以上～10MW未満、高出力炉は10MW以上～50MW〕に区分されており、規制要求・程度が異なる。図-1に低出力炉、中・高出力炉及び実用発電炉に対する規制程度の比較を模式的に示す。低出力炉は、自然対流で炉心冷却可能であり、事故時の外部への影響が小さいことから規制上の要求程度は緩和されている。（ナトリウム冷却型高速炉、ガス冷却型原子炉では出力区分なし。）

試験炉設置許可基準規則の各条項における出力区分に応じた規制要求内容の違いを表-1に示す。もんじゅサイトに設置する試験研究炉として、6つの炉型が検討されている。今後、選定された炉型の試験研究炉の出力に応じて規制対応をする必要がある。

##### (2) 耐震重要度の分類

試験研究炉施設の設計に大きな影響を与える建屋構築物、各施設・設備の耐震重要度の分類（区分）は、上記の出力区分とは別に、想定する安全機能の喪失事故時に受けるサイト周辺の公衆の放射線被ばくの実効線量に応じて分類するとしている。試験炉設置許可基準規則（第4条第2項の解釈の別記1）において、分類する実効線量の判断基準は、表-1の添付図-1のとおりである。

公衆に与える被ばく実効線量は、1回の事故時にサイト外に放出される放射性物質(Kr、I等)による内部被ばく線量と炉心からの直接ガンマ線とスカイションによる外部被ばく線量の1年間の合計被ばく実効線量で区分される。内部被ばく線量の評価は、炉心から放出される放射性物質が大気中に拡散し公衆が吸入・摂取する放射性物質の核種と量で評価するので、このためのサイトの原子炉施設の設置場所での気象データが必要である。また、炉心からの直接ガンマ線とスカイションの被ばく線量は、公衆までの距離、遮蔽物等の条件で評価するので、これらのサイト地形条件が必要である。表-2の添付図-1にNRRRの施設に関する耐震重要度分類の評価例を示す。

もんじゅサイトに設置する試験研究炉の耐震重要度分類をするためには、原子炉施設を設置するサイト条件(炉心燃料に蓄積されている放射性物質の量と放出率、サイトの気象データ、サイト境界までの距離等)を設定し、公衆が受ける想定事故当たりの実効線量を評価する必要がある。

## 2. 新規制基準に対する既設の試験研究炉の対応状況

既設の試験研究炉は、新規制基準に適合するための設置変更許可(承認)申請を平成26年に行い、2~4年の長期の審査を経て許可(承認)を得ている。原子炉出力、設置場所が異なる試験研究炉の新規制基準の対応状況の例として、UTR-KINKI(近畿大学:出力1W)、KUCA(京都大学:臨界集合体)、KUR(京都大学:5MW)及びNSRR(原子力機構:300kW+パルス)、JRR-3(原子力機構:20MW)について、設置変更許可(承認)申請書のサイト条件に係る主な条項の記載内容を表-2に比較して示す。

既設試験研究炉の耐震重要度分類は、1.1.(2)の評価を行って区分けしている。上記の試験研究炉のうち、KURとJRR-3の炉心及び原子炉停止系等は耐震Sクラスの施設としている。NSRRはパルス運転のピーク出力は高いが、設置許可の運転条件で蓄積される燃料体中の放射性物質による事故時の公衆の被ばく線量は5mSvより小さく、耐震Sクラス施設に相当しないとしている。

各試験研究炉では、申請時に原子炉出力、サイト条件に応じて施設の設計・評価条件を設定して申請した。その後、原子力規制委員会は、平成26年~平成30年の設置変更許可(承認)申請書の審査を行う中で、試験研究炉の基準規則に関して、事故時の影響程度を考慮し、耐震重要度分類の被ばく線量の見直し、評価する自然事象の条件(グレーデッド・アプローチを取り入れた竜巻、火山及び外部火災等の評価条件)の見直しを行い、試験炉設置許可基準規則の解釈に取り入れた。

## 3. もんじゅサイトに設置する試験研究炉のサイト条件

もんじゅサイトに設置する試験研究炉は6つの炉型が検討されている。上記2の既設試験研究炉の設置変更許可(承認)申請書の設計・評価条件を参考に、もんじゅサイトに試験研究炉を設置する場合に考慮すべき出力別(高出力炉/中出力炉及び低出力炉/臨界実験装置)の主なサイト条件(案)について検討した結果を表-3に示す。

なお、もんじゅサイトに試験研究炉を建設する場合の関連法令として、試験炉設置許可基準規則の他に、環境影響評価法、自然公園法、森林法等の法令もあり、所要の設計対応と許可手続きが必要である。(平成29年委託業務成果報告書8.4を参照。)

以上の規制に関する調査の結果、試験研究炉に対する試験炉設置許可基準規則上の施設設計要件、考慮すべきサイト条件(地盤、地震、津波、外部自然条件等)は、グレーデッド・アプローチの考え方が適用され、出力が500kW未満の低出力炉/臨界実験装置の場合と500kW以上の高出力炉/中出力炉の場合で異なっている。特に、施設設計に大きな影響を及ぼす耐震重要度分類については、想定す



る事故状態における周辺公衆の被ばく線量によって分類される。公衆の被ばく線量は、炉心に内包される放射性物質の種類・量及び施設外への放出率、炉心位置から公衆までの距離、放出される放射性物質の拡散状況(サイト気象条件)等を適切に評価し解析する必要がある。この評価のためには、原子炉設置位置における地質調査と合わせて、サイト気象観測データの取得が必須である。これらの情報を基に、もんじゅサイトで選定・設置される試験研究炉の出力規模に応じて、施設設計・評価条件を設定する必要がある。また、試験研究炉の耐震重要度分類に関する規準等について、今後、リスク評価等に基づく基準規則の見直しがなされる場合は、それに応じて施設の設計・評価条件の見直しを行っていく必要がある。

以上

#### 参考資料

- (1) 原子力科学研究所原子炉設置変更許可申請書(JRR-3 原子炉施設)(平成 30 年 11 月完本版)
- (2) 原子力科学研究所原子炉設置変更許可申請書(NSSR 原子炉施設)(平成 30 年 1 月完本版)
- (3) 京都大学原子炉実験所原子炉設置変更承認申請書(研究用原子炉の変更)(平成 28 年 9 月完本版)
- (4) 京都大学原子炉実験所原子炉設置変更承認申請書(臨界実験装置の変更)(平成 28 年 5 月完本版)
- (5) 近畿大学原子力研究所原子炉設置変更許可申請書(平成 28 年 3 月 30 日)
- (6) 高速増殖原型炉もんじゅ原子炉施設廃止措置計画申請書(平成 29 年 12 月 6 日)
- (7) 高速増殖原型炉もんじゅ原子炉施設廃止措置計画申請書(一部補正、平成 30 年 2 月 23 日)

[実用発電炉]

[中・高出力研究炉] (500kW～50MW 水冷却炉)		[低出力研究炉] (500kW 未満)
重大事故	意図的な航空機衝突	
	放射性物質の拡散抑制対策	
	格納容器破損防止対策	
	炉心損傷防止対策	
内部溢水に対する考慮	多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止	内部溢水に対する考慮
自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)	内部溢水に対する考慮 自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)	内部溢水に対する考慮 自然災害に対する考慮 (火山、竜巻、森林火災など)
内部火災に対する考慮	内部火災に対する考慮	内部火災に対する考慮
電源の信頼性	電源の信頼性	電源の信頼性
その他の設備性能	その他の設備性能	その他の設備性能
耐震・耐津波性能 (耐震重要度分類 Sクラスの設備・機器は、基準地震動及び基準津波の策定が必要。活断層がある箇所の設置は不可。)	耐震・耐津波性能 (Sクラスの設備・機器は、基準地震動及び基準津波の策定。活断層がある箇所の設置は不可。)	耐震・耐津波性能 (Sクラスの設備・機器なし。)

(低出力炉には要求されないが、高出力炉又は中出力炉に要求される規則条項：  
第 31 条、33 条、34 条、35 条、38 条、39 条、40 条)

図-1 新規制基準で強化された規制基準項目の実用発電炉と試験研究炉の比較

(新規制基準を踏まえた NSRR の安全対策について、平成 30 年 6 月 1 日、原子力機構の資料を参考に作成。)

表-1 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」における  
試験研究炉の出力区分による規制内容の比較

条 項	高出力炉 (10MW 以上～50MW 以下)	中出力炉 (500kW 以上～10MW 未満)	低出力炉(500kW 未満)、 臨界実験装置	備 考
第 2 章 試験研究用等 原子炉施設				
第 3 条 地盤	耐震重要施設(Sクラス)は、第 4 条の地震力が作用した場合でも十分な支持力がある地盤、変形した場合でも安全機能が損なわれない地盤、変位が生じる恐れがない地盤であること。 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤(活断層の露頭がない地盤)であること。	耐震重要度施設(Sクラス)に該当しない施設の地盤は、支持力がある安定した地盤とするが、耐震重要施設に対する地盤要求(第 3 条 2 項の変形、3 項の変位)はない。(グレーデッド・アプローチ)	耐震重要度施設(Sクラス)に該当しない施設の地盤は、支持力がある安定した地盤とするが、耐震重要施設に対する地盤要求(第 3 条 2 項の変形、3 項の変位)はない。(グレーデッド・アプローチ)	実用炉設置許可基準解釈の第 3 条を準用。 原子炉施設の耐震重要度分類は、基準規則別記 1 により分類。事故時の周辺公衆の実効被曝線量が 5mSv を超える施設が S クラス。0.05～5mSv の施設は B クラス。0.05mSv 以下は C クラス施設。地質・地質構造の調査による地盤の適性評価が必要。
第 4 条 地震による損 傷防止	原子炉施設は地震力に耐えること。 S クラスの施設は、想定する地震力に対して安全機能が損なわれないこと。 周辺斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれないこと。	同左。 S クラスにならない施設は、建築基準法等に基づく地震動を参考にして設定し、耐震性を評価。 S クラスがない施設では、共振のおそれのある機器は動的地震動に代えて建築基準法の地震動でも可。(グレーデッド・アプローチ)	同左。 S クラスにならない施設は、建築基準法等に基づく地震動を参考にして設定し、耐震性を評価。 S クラスがない施設では、共振のおそれのある機器は動的地震動に代えて建築基準法の地震動でも可。(グレーデッド・アプローチ)	実用炉設置許可基準解釈の第 4 条の規定を準用。 試験研究炉施設の耐震重要度分類の方法は、基準規則の別記 1「試験研究用等原子炉施設の耐震重要度分類の考え方」による。(添付図-1)
第 5 条 津波による損 傷防止	S クラスの施設における津波評価と設備要求は、実用炉設置許可基準解釈を準用。 重要安全施設は、津波の遡上波が到達しない高さに設置。津波防護施設及び浸水防止設備、津波監視設備を設置。	S クラスにならない施設は、過去の記録、現地調査等を踏まえた影響が最も大きい津波で評価して対策。(グレーデッド・アプローチ)	S クラスにならない施設は、過去の記録、現地調査等を踏まえた影響が最も大きい津波で評価して対策。(グレーデッド・アプローチ)	実用炉設置許可基準解釈の第 5 条を準用。 S クラスにならない施設は、周辺の過去の記録、現地調査等により評価した津波及び科学的技術的知見を踏まえて最も大きな津波を想定。
第 6 条 外部からの衝 撃損傷防止	自然現象が発生した場合の安全機能の損傷防止。 重要安全施設は、想定される自然事象による衝撃及び設計基準事故時の応力を適切に考慮。 人為的事象によるもの(故意は除く)による安全機能の損傷防止。	同左。S クラスにならない施設の評価条件は、サイト周辺の観測されたデータ等に基づき評価する。(グレーデッド・アプローチ)	同左。S クラスにならない施設の評価条件は、サイト周辺の観測されたデータ等に基づき評価する。(グレーデッド・アプローチ)	自然現象(洪水、竜巻、地滑り、森林火災等)及び人為的事象(航空機落下、飛来物、爆発等)の評価。対象となる自然現象は、最新の科学的技術的知見を踏まえて適切に予想されるもの。 「航空機落下」については、「実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の評価基準について」等に基づき、防護設計の要否について確認。
第 7 条 不法侵入等の 防止	人の不法侵入、妨害破壊行為の防止とサイバーテロの対策	同左。	同左。	施設内で取り扱う核物質と量により区分。
第 8 条 火災による損 傷防止	火災の発生防止と検知、消火設備の設置と破損・誤作動による安全機能の損傷防止	同左。	同左。	
第 9 条 溢水による損 傷防止	溢水発生時の安全施設の機能維持、放射性物質を含む液体の管理区域外への漏えい防止	同左。	同左。	
第 10 条 誤操作の防止	誤操作の防止のための措置	同左。	同左。	
第 11 条 安全避難通路 等	避難通路と照明の確保	同左。	同左。	
第 12 条 安全施設	安全重要度に応じた安全機能の確保。重要度の高い施設は多重性又は多様性及び独立性、運転中試験性を確保。飛来物に対する対策。	同左。 (グレーデッド・アプローチ)	同左。 (グレーデッド・アプローチ)	第 12 条は、設計基準事故に対する要求。第 40 条の事故の拡大防止に必要な施設には適用しない。炉出力に応じた安全重要度分類の分類例を添付表-1に示す。

条 項	高出力炉 (10MW 以上～50MW 以下)	中出力炉 (500kW 以上～10MW 未満)	低出力炉 (500kW 未満)、 臨界実験装置	備 考
第 13 条 異常過渡変化 及び設計基準 事故の拡大防 止	原子炉施設の異常過渡変件事象及び設計基準事故 の発生防止及び拡大防止のための設備		同左	「水冷却型試験研究用原子炉施設の安全評 価に関する審査指針」及び「発電用原子炉施 設の安全解析に関する気象指針」を適用。 「周辺の公衆に対して著しい放射線被ばくのリ スクを与えない」ことの判断については、「水冷 却型試験研究用原子炉施設の安全評価に関 する審査指針」解説に示されている「 <u>周辺公衆 の実効線量の評価値が発生事故当たり5mSv を超えなければ「リスク」は小さいと判断する。</u> なお、これは、 <u>発生頻度が極めて小さい事故 に対しては、実効線量の評価値が上記の値を ある程度超えてもその「リスク」は小さいと判断 できる。</u> 」との考え方による。
第 14 条 外部電源の喪 失対策設備等	非常用電源設備の設置、全交流電源喪失に対する 対策		同左	
第 15 条 炉心等	原子炉固有の出力抑制特性を有すること。 反応度制御、原子炉停止機能、燃料体、炉心支持 構造物の健全性の確保		原子炉固有の出力抑制特性を 有すること。 <u>臨界実験装置はこの 限りでない。</u> 反応度制御、原子炉停止機能、 燃料体、炉心支持構造物の健全 性の確保	
第 16 条 燃料体等の取 扱施設及び貯 蔵施設	燃料体の損傷防止、臨界防止、冷却の維持		同左。	
第 17 条 計測制御系統 施設	監視、制御機能の保持、設計基準事故時の監視、 記録		同左。	「発電用軽水型原子炉施設における事故時の 放射線計測に関する審査指針」を参考。
第 18 条 安全保護回路	異常・事故状態の検知、安全停止系と工学的安全施設 の自動作動、 多重性又は多様性、独立性の確保 燃料体及び原子炉の健全性確保 外部からの不正アクセスの防止		同左。	
第 19 条 反応度制御系 統	炉心反応度の制御		同左。	
第 20 条 原子炉停止系 統	原子炉の停止、未臨界維持、2 つ以上の独立した停 止系(制御棒一本固着を想定) 原子炉固有の出力抑制特性		同左。	
第 21 条 原子炉制御室 等	原子炉施設の健全性監視、 制御室の居住性と避難口の確保 制御室外からの原子炉停止装置		同左。	
第 22 条 放射性廃棄物 の廃棄施設	排出する気中・水中の放射性物質濃の低減処理、液 体廃棄物の漏洩防止、固体廃棄物の処理		同左。	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目 標値に関する指針」と「放射性液体廃棄物 処理施設の安全審査に当たり考慮すべき事 項ないしは基本的な考え方」を参考。
第 23 条 保管廃棄施設	保管容量の確保、放射性廃棄物の漏えい防止、拡大 防止		同左。	
第 24 条 工場等周辺に おける直接ガ ンマ線等から の防護	直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による工場 周辺の空間線量率の低減		同左	「発電用軽水型原子炉施設の安全審査におけ る一般公衆の線量評価について」(平成元年3 月27日原子力安全委員会了承)を参考に、 ALARAの方針で施設を設計し、空気カーマ で、1年間当たり50マイクログレイ以下に管理。

条 項	高出力炉 (10MW 以上～50MW 以下)	中出力炉 (500kW 以上～10MW 未満)	低出力炉 (500kW 未満)、 臨界実験装置	備 考
第 25 条 放射線作業従 事者の防護	作業従事者の放射線障害の防止、放射線管理施設 の設置		同左。	
第 26 条 監視設備	運転時、異常時、事故時の放射線量、濃度の監視 (サンプリング、線量等のモニター)		同左。	「発電用軽水型原子炉施設における放出放射 性物質の測定に関する指針」と「発電用軽水 型原子炉施設における事故時の放射線計測 に関する審査指針」を参考。
第 27 条 原子炉格納施 設	通常運転時の負圧維持と漏えい抑制(漏洩率)、事 故時の放出放射性物質の低減		同左。	閉じ込め機能の喪失でも周辺公衆への影響 が小さい場合は、原子炉建屋の負圧維持は不 要。
第 28 条 保安電源設備	非常用電源設備の設置と容量の確保、多重性又は 多様性及び独立性の確保。 外部電源喪失でも、原子炉を未臨界に移行、維持で きる。燃料体の崩壊熱を除去できること。		同左。	「重要安全施設」については、「水冷却型試験 研究用原子炉施設に関する安全設計審査指 針(平成3年7月18日原子力安全委員会決 定)」の「添付 水冷却型試験研究用原子炉施 設の重要度分類に関する基本的な考え方」を 参考。
第 29 条 実験設備等	実験設備等に異常が発生した場合でも原子炉安全 性が損なわれないこと、放射性物質の著しい漏えいが ないこと 実験設備等の動作状況等が原子炉制御室に表示で きる。制御室との相互の連絡できる場所とするこ と。		同左。	
第 30 条 通信連絡設備 等	設計基準事故が発生した場合の工場内の人に対す る通信連絡設備の設置、原子炉施設外と通信連絡で きる多重性又は多様性を確保した通信回線を設置。		同左。	
第 3 章 水冷却型研究 炉に係る原子 炉施設				
第 31 条 外部電源喪失 対策設備	外部電源が喪失した場合、必要に応じ、原子炉停止 系の作動に必要な非常用電源設備、全交流電源喪失 した場合の蓄電池その他の電源を設置。 中出力炉又は高出力炉で原子炉停止後、強制冷却 を必要とする原子炉は、 <u>信頼性の高い非常用電源から 電源を供給すること。</u>		同左。  低出力炉は通常、自然対流条件 で運転されているので、そのた めの非常用電源は不要。(グレー デッド・アプローチ)	本条の解釈に、水冷却型研究炉の低/中/高 出力炉の分類定義あり。  第 31 条第 2 項は、中出力炉と高出力炉に対 する要求。
第 32 条 炉心等	原子炉固有の出力抑制特性を有すること。通常、過 渡、設計基準事故時に燃料の設計許容限界を超えない こと。炉心冷却を維持すること。		同左。	
第 33 条 一次冷却系設 備	破損、漏洩の発生防止、冷却能力の維持、水位低 下の防止。 中出力炉又は高出力炉にあつては、一次冷却系統 設備からの一次冷却材の漏えいを検出する装置を有 すること。		同左。  但し、低出力炉は一次冷却材の 漏えい検出は不要。 (グレーデッド・アプローチ)	第 33 条第 1 項第 5 号は、中出力炉と高出力 炉に対する要求。
第 34 条 残留熱除去設 備	中出力炉又は高出力炉に係る原子炉施設には、燃 料の許容設計限界を超えないように、原子炉容器内 において発生した崩壊熱その他の <u>残留熱を除去するこ とができる設備を設置すること。</u>		本条項は適用されない。 (グレーデッド・アプローチ)	第 34 条は、中出力炉と高出力炉に対する要 求。
第 35 条 最終ヒートシン クへの熱輸送	中出力炉又は高出力炉に係る原子炉施設には、原 子炉容器内において発生した残留熱及び重要安全施 設において発生した熱を除去するため、 <u>最終ヒートシン クへ熱を輸送することができる設備を設置すること。</u>		本条項は適用されない。 (グレーデッド・アプローチ)	第 35 条は、中出力炉と高出力炉に対する要 求。
第 36 条 計測制御系統 施設	炉心及び冠水維持設備及び格納容器設備等の健全 性を確保・制御する設備を設置。これに必要な監視パ ラメータの設定。		同左。	設計基準事故時の計測制御系統施設は、「発 電用軽水型原子炉施設における事故時の放 射線計測に関する審査指針」の「Ⅱ. 事故時

条 項	高出力炉 (10MW 以上～50MW 以下)	中出力炉 (500kW 以上～10MW 未満)	低出力炉(500kW 未満)、 臨界実験装置	備 考
				の放射線計測の基本的な考え方」を参考とする。
第 37 条 原子炉停止系 統	二つ以上の独立した反応度制御系を設置。通常運 転、過渡、設計基準事故時に未臨界への移行と維持。 制御棒 1 本の固着を想定。	同左。		
第 38 条 原子炉制御室 等	原子炉施設の健全性を確保するパラメータの監視。 安全性を確保するための手動操作。制御室の居住性 確保と避難口。制御室外での原子炉停止装置の設 置。 中出力炉又は高出力炉の原子炉施設には、必要に 応じて、 <u>原子炉制御室以外の場所から試験研究用等 原子炉内の燃料体の崩壊熱を除去し、かつ、必要なパ ラメータを監視するための装置を設置すること。</u>	同左。  低出力炉は、原子炉制御室外 からの炉停止装置は必要である が、炉内燃料体の崩壊熱除去とそ の監視のための装置は不要。 (グレーデッド・アプローチ)	第 38 条第 3 項は、中出力炉と高出力炉に対 する要求。	
第 39 条 監視設備	原子炉施設内及び周辺監視区域境界の放射線モニ ター。設計基準事故時の迅速対応のための情報の表 示設備の設置。 中出力炉又は高出力炉の監視設備のうち常設のも のには、 <u>非常用電源設備、無停電電源装置又はこれら と同等以上の機能を有する電源設備も設置すること。</u>	同左。  常設の監視設備のための非常 用電設備等の設置は必ずしも要 求されない。	第 39 条第 2 項は、中出力炉と高出力炉に対 する要求。	
第 40 条 多量の放射性 物質等の放出 事故の拡大防 止	中出力炉又は高出力炉の原子炉施設は、発生頻度 が設計基準事故より低い事故であって、当該施設から 多量の放射性物質又は放射線を放出するおそれがあ るものが発生した場合において、当該事故の拡大を防 止するために必要な措置を講じること。	本条項は適用されない。 (グレーデッド・アプローチ)	第 40 条は、中出力炉と高出力炉に対する要 求。 第 40 条に規定する「当該事故の拡大を防 止するために必要な措置」とは、事故の発 生及び拡大の防止、放射性物質の放出によ る影響の緩和に必要な常設又は可搬型設 備の設置及び手順の策定等である。(炉心 の冠水維持設備と水源、チャコールフィルタ 換気設備、使用済燃料貯蔵設備への代替 注水設備、未臨界維持対策等が必要。)	
第 41 条 準用	準用条項			
第 4 章 ガス冷却型原 子炉に係る条 項	第 42 条～第 54 条(出力区分はなし。)			
第 5 章 ナトリウム冷却 型高速炉に係 る条項	第 55 条～第 61 条(出力区分はなし。)			
別記 1	試験研究用等原子炉施設に係る耐震重要度分類の考え方 1. 基本方針 試験研究用等原子炉施設の耐震設計上の重要度分類は、試験研究用等原子炉は一般的に発電用原子炉に比べて出力が小さく、また、その規模・型式が多種多様であることから、「施設の特徴を踏まえ、安全機能の喪失を起こした場合の放射線による公衆への影響の程度に応じて、耐震設計上の区分」を行うこととする。具体的には、内蔵する放射性物質の外部への放散を仮定した場合の公衆の放射線被ばく程度(以下「機能喪失時の想定影響」という。)によって、重要度分類を行うことを基本方針とする。			
	2. 試験研究用等原子炉施設に係る耐震重要度分類の方法 2. 1 分類の方法に係る考え方 試験研究用等原子炉施設における設備・機器等の耐震重要度分類は以下によることとする。以下は、耐震重要施設(Sクラス施設)について考え方を示したが、Bクラス施設についても同様の考え方をとることができる。 ① 各試験研究用等原子炉施設において、停止機能、冷却機能、閉じ込め機能の全てが失われた場合を想定し、その影響が大きい試験研究用等原子炉施設については耐震重要施			

条 項	高出力炉 (10MW 以上～50MW 以下)	中出力炉 (500kW 以上～10MW 未満)	低出力炉 (500kW 未満)、 臨界実験装置	備 考
	設を必要とする試験研究用等原子炉施設として選定する。  ② ①の分類に基づき、耐震重要施設を必要とする試験研究用等原子炉施設に選定された場合は、当該試験研究用等原子炉施設の個別設備・機器等について、停止機能、冷却機能、閉じ込め機能のそれぞれの喪失を組み合わせた想定により、耐震重要施設に該当する設備・機器等を選定する。  これらの、分類の考え方にに基づく具体的な分類方法を別記1の2. 2及び2. 3に示す。 2. 2 試験研究用等原子炉施設全体としての具体的な分類の方法 (添付図-1 の 2.2) 2. 3 試験研究用等原子炉施設に係る個別の設備・機器等の具体的な分類の方法 (添付図-1 の 2.3)			

添付表-1 試験研究炉の出力規模別の安全機能の重要度分類の例

7-3-3-7-3

**異常状態発生防止機能 (PS)  
の重要度分類例 (参考用)**

安全機能	構築物、系統及び機器	重要度クラス		
		高出力炉 (10MW以上 50MW以下)	中出力炉 (500kW以上 10MW未満)	低出力炉 (500kW未満)
過剰な反応度の印加防止	制御棒ストッパ機構	2	2	2
炉心の形成	炉心支持構造物	2	2	2
	燃料要素	2	2	2
炉心の冷却	1次冷却系設備	2	3	3
	2次冷却系設備	3	3	3
放射性物質の貯蔵	核燃料貯蔵設備	3	3	3
	放射性固体・液体廃棄物処理施設	3	3	3
燃料を安全に取り扱う機能	核燃料取扱設備	3	3	3
冷却材の循環	1次冷却系設備 (主循環ポンプ)	3	3	3
プラント計測・制御	反応度制御系、計測制御系	3	3	3
冷却材へのFP 放射防止	燃料被覆材	3	3	3
(照射ループ設備) 冷却材/バウンダリ 保護機能	外套管	2	3	-
	耐圧管	2	3	-
試料冷却	1次系	2	3	-

(注) -は原子炉施設により該当しない場合があることを示す。  
 [出典] 科学技術庁原子力安全局安全調査室(監修):改訂8版 原子力安全委員会 安全審査指針集、大成出版(1994)

7-3-3-7-4

**異常状態影響緩和機能 (MS)  
の重要度分類例 (参考用)**

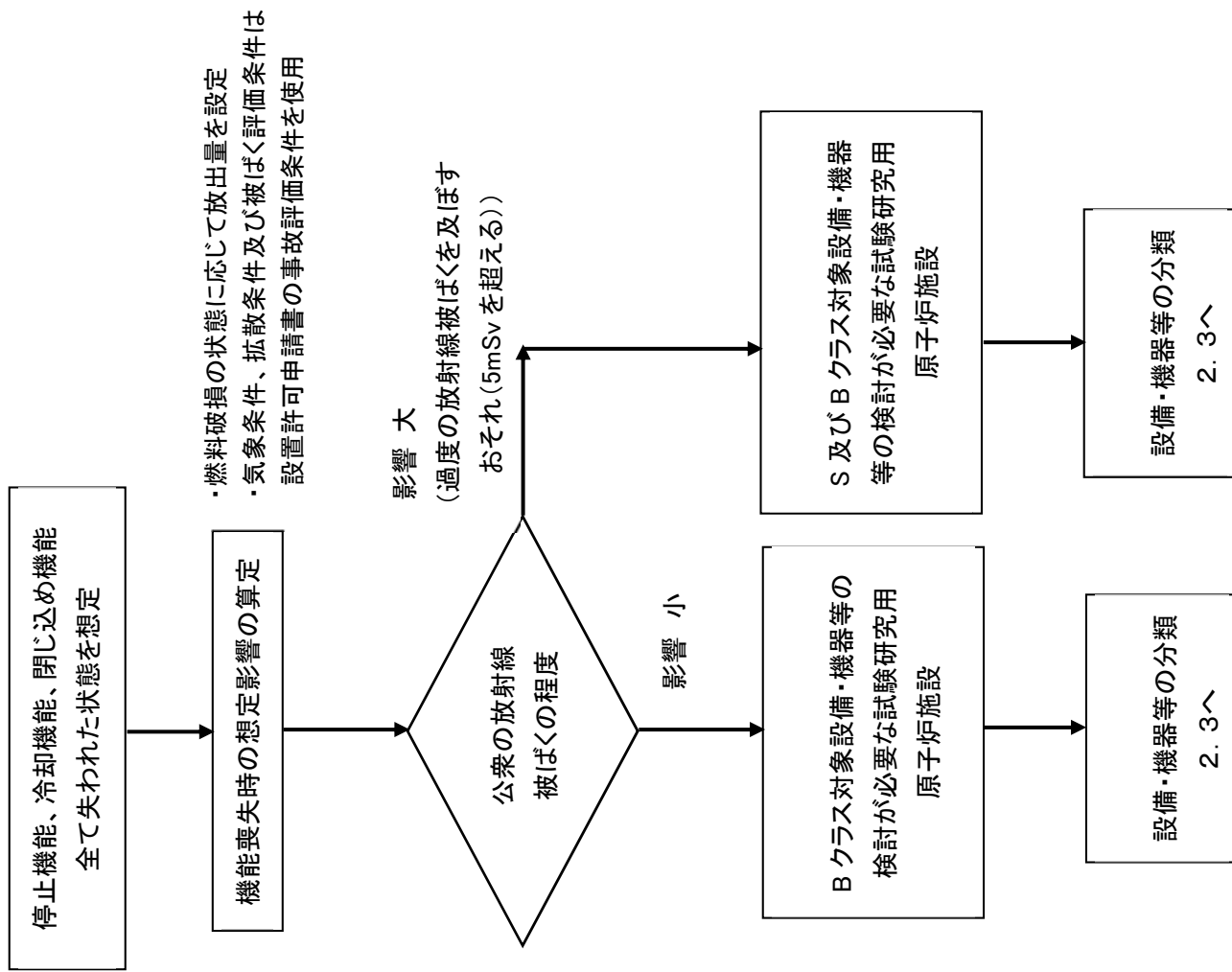
安全機能	構築物、系統及び機器	重要度クラス		
		高出力炉 (10MW以上 50MW以下)	中出力炉 (500kW以上 10MW未満)	低出力炉 (500kW未満)
原子炉の緊急停止及び未臨界維持	制御棒、スクラム機構	1	2	2
停止後の炉心冷却	崩壊熱除去設備 (補助ポンプ等)	2	3	-
炉心の冠水維持	サイフォンブレーカ、冠水維持バウンダリ	2	2	-
放射性物質の閉じ込め、遮へい及び放出低減	非常用排気設備	2	2	3
	原子炉建屋、排気筒	2	2	3
工学的安全施設及び停止系への作動信号の発生	安全保護系 停止系	1	2	2
	工学的安全施設	2	3	3
安全上重要な関連機能	非常用電源設備	2	2	-
事故時のプラント状態の把握、緊急時対策上重要なもの	原子炉建屋内放射線モニタ	2	2	2
	原子炉プール水位計、使用済燃料貯蔵プール水位計	3	3	3
	通信連絡設備、消火系、避難通路、非常用照明	3	3	3
制御室外安全停止	制御室外原子炉停止装置	3	3	3
原子炉圧力上昇緩和	逃がし弁	3	3	-
(実験設備) 炉心の冠水維持に必要な機能	水平実験孔 (水止用板)	2	2	-
(照射ループ設備) 保護機能	安全弁、逃がし弁	2	3	-
特に重要な計測	圧力計、温度計	2	3	-

(注) -は原子炉施設により該当しない場合があることを示す。  
 [出典] 科学技術庁原子力安全局安全調査室(監修):改訂8版 原子力安全委員会 安全審査指針集、大成出版(1994)

(水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計審査指針の添付資料「水冷却型試験研究用原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する基本的な考え方」より)

添付図-1 試験炉設置許可基準規則の別記1より:試験研究炉施設の耐震重要度分類の分類方法

2.2 試験研究用原子炉施設全体としての具体的な分類の方法



2.3 試験研究用等原子炉施設に係る個別の設備・機器等の具体的な分類の方法

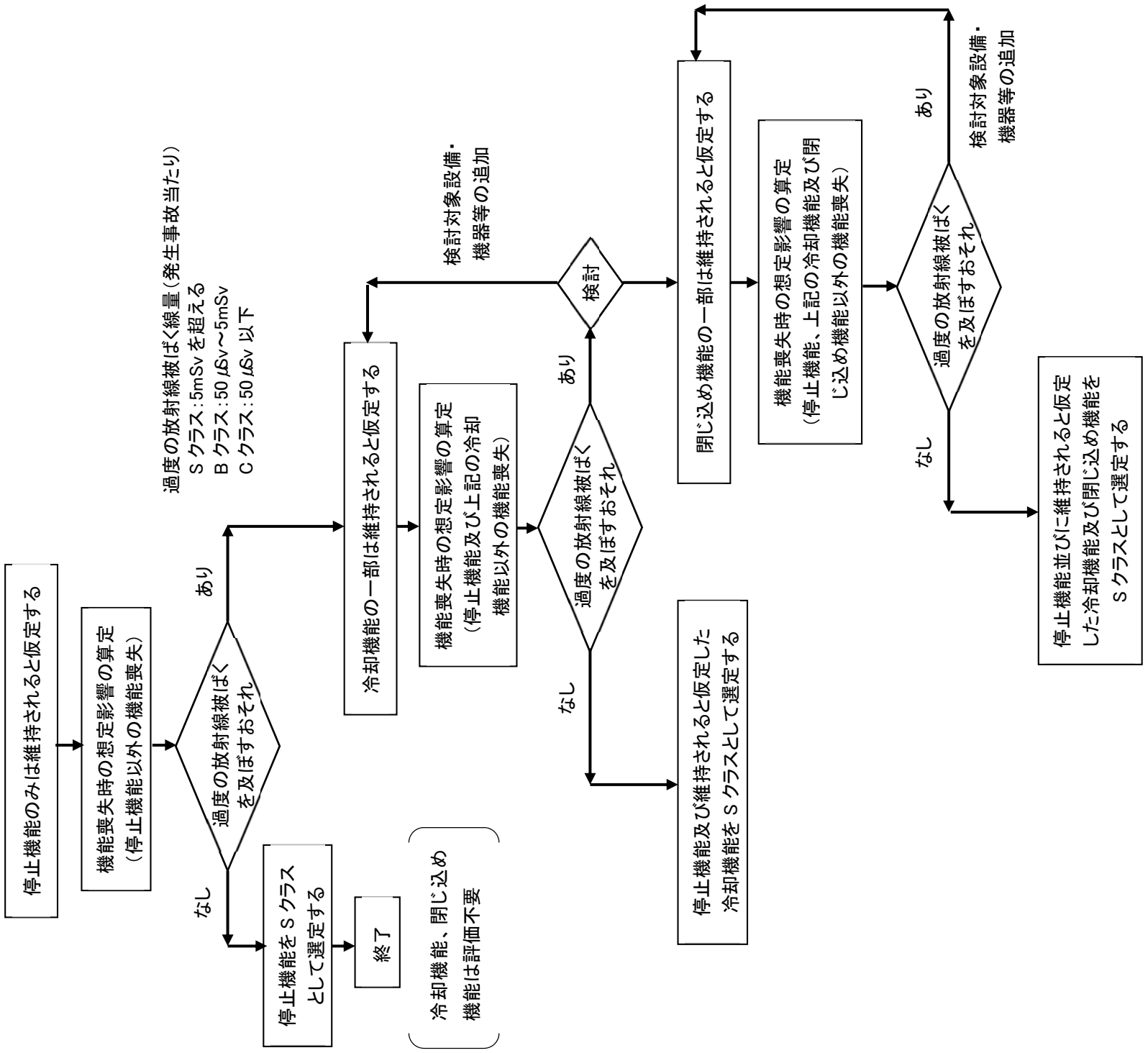




表-2 試験炉設置許可基準規則(サイト条件に係る条項)に対する既設試験研究炉の対応

条項	規則内容	NSRR (300kW+パルス)			KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)	
		低出力炉		高出力炉	中出力炉		臨界実験装置		極低出力炉	
第3条	試験研究用原子炉施設の地盤: (1) 原子炉施設は、十分な支持力がある地盤に設置 (2) 耐震重要施設の地盤は、変形した場合でも安全機能が損なわれない地盤 (3) 耐震重要施設の地盤は、変位が生じるおそれがない地盤	原子炉施設は、十分な支持力がある基盤岩(久米層)に設置している。 JRR-3 原子炉建屋は、地下約 10.74m にある砂質泥岩層の上に設置。この基礎地盤(久米層)について、24 本(敷地全体 56 本)のボーリング調査を含む詳細な地質・地質構造の調査を実施。地震時荷重を合わせた建屋荷重(接地圧:0.74N/mm <sup>2</sup> )に対し十分な支持力(2.0N/mm <sup>2</sup> )がある地盤であると評価。 耐震重要施設(原子炉及び原子炉停止装置等)が設置される基礎地盤のすべり安全立ちは 2.5 で、判断基準の 1.5 を上回る。また、基礎底面の傾斜は 1/3900 で、判断目安の 1/2000 を下回っており、いずれも安全機能に支障を与えない地盤であると評価。 耐震重要施設(S クラス)の施設は、炉心・燃料、冠水維持設備、下部遮蔽体、使用済燃料プール、原子炉停止装置等である。 安全上重要施設の PS-1 施設はない。原子炉停止系、安全保護回路は MS-1 施設である。	原子炉施設は、地下約 45m の丘陵地に設置されている。その地盤は、GL-175m 以深に花崗岩の基盤岩があり、その上に厚さ約 165m の大阪層群と約 10m の粘性土層の表土がある。基準地震動 Ss による最大鉛直応力約 774kN/m <sup>2</sup> に対し、地盤の短期許容応力度は 1500kN/m <sup>2</sup> であり、十分な支持力がある。 原子炉施設が設置されている地盤の地震時の最小すべり安全率は 1.9 で評価基準値 1.5 を上回る。また、原子炉建屋基礎の傾斜角は、評価基準値の 1/2000 以下である。 原子炉建屋が設置する基礎は、堅固な洪積地盤(大阪層群)であり、液化化は生じない。 地殻変動による基礎地盤の変形影響については、Ss 対象の中央構造線断層帯と上町断層帯から約 5km 以上離れており、地表地震断層の影響はない。 KUR の耐震重要施設(S クラス)は、炉心及び冠水維持設備、原子炉停止設備及び使用済燃料プール室プールである。 敷地周辺、敷地内におけるボーリング調査、微動アレイ調査等により、敷地内での基盤岩、大阪層群には断層を示唆するような不規則性は認められず、将来活動する可能性のある断層はない。	原子炉施設は、地下約 6m に原子炉建屋の耐震耐力を確保できる粗砂層があり、地下約 19m に炉心部の耐震耐力を確保できる粗砂層がある。原子炉本体は深さ 19m の粗砂層まで打ち込んだ杭基礎で支持している。 KUCA は、耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はない。 (炉心の架台支持構造と中心架台駆動装置、ダンプ弁、制御棒案内管、第 2 固体廃棄物倉庫が B クラスの施設。) (原子炉施設の設計基準事故の燃料の機械的破損の場合、周辺公衆の被ばく線量は 0.18μSv と評価。設置変更承認申請書には、耐震重要度分類に係る全機能喪失時の周辺公衆の被ばく線量評価の記載なし。)	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。 原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。	原子炉施設には耐震重要施設(S クラス)に該当する施設はなく、(3)は適用されない。
第4条	地震による損傷の防止: (1) 原子炉施設は、地震力に十分に耐えるもの	第3条の実効線量評価の通り、耐震 S クラスの施設はない。 B クラス、C クラスに応じた耐震設計を行う。	耐震 S クラスの施設(原子炉等)の耐震設計評価を行うための基準地震動 Ss は、中央構造線断層帯と上町断層帯による地震(M8.0)を内陸地殻内の検討用地震、南海トラフ	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	耐震 S クラスの施設はない。B クラス、C クラスの施設は、建築基準法に基づく静的地震力による耐震設計評価を行う。	

条項	JRR-3 (20MW)		NSRR (300kW+バリス)		KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)	
	高出力炉		低出力炉		中出力炉		臨界実験装置		極低出力炉	
第4条 (続き)	規則内容	方向 650cm/s <sup>2</sup> を策定。解放基盤は標高-341m。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。また、PS-1 及び MS-1 の重要安全施設はない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	フの巨大地震(M9.0)を検討用プレート間地震として選定。解放基盤表面は、GL-181m	KUR の耐震重要度分類： 耐震重要施設(S クラス)：炉心及び冠水維持設備(炉心タンクとその生態遮蔽、燃料と炉心支持構造物、炉心直下の一次系配管等)、原子炉停止設備(制御棒、案内管等)及び使用済燃料プール室プール(炉心取り出し直後の燃料)。 B クラス：一次冷却系配管、燃料貯蔵ラック、放射性廃棄物倉庫、原子炉建屋、核計装・プロセス計装盤、非常用電源設備等	KUCA の耐震重要度分類： S クラス施設なし。 B クラス施設は、炉心の架台支持構造と中心架台駆動装置、ダンプ弁、制御棒案内管、第2 固体廃棄物倉庫。その他は、C クラス施設。	施設の耐震重要度分類： S クラスに該当する施設なし。 B クラス施設は原子炉停止系で、その他はCクラス。建屋施設、機器等は静的地震力で評価。  施設の安全重要度分類： PS-1,MS-1 の重要安全施設はなし。原子炉停止系・安全保護系のみ MS-2。		
		(2) 地震力は、施設安全機能喪失時の影響程度に応じて算定 原子炉建屋屋根、周辺建屋と排気筒は耐震補強をする。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。また、PS-1 及び MS-1 の重要安全施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(原子炉建屋)の周辺(50m 以内又は斜面高さの 1.4 倍以上)には評価対象の斜面はない。	耐震重要施設を含む KUR の敷地周囲には、評価すべき対象の斜面はない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	
第5条	規則内容	(3) 耐震重要施設は、大きな影響を及ぼす地震力に対して安全機能が損なわれないこと	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	
		(4) 耐震重要施設は、斜面的崩壊に対して安全機能が損なわれないこと	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はない。C クラスの燃料棟、機械棟、照射物管理棟建屋は、建築基準法等を参考に耐震補強工事を実施。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	耐震重要施設(S クラス)の施設はなく、また周囲に急傾斜崩壊危険箇所等の区域になる斜面もない。	
第6条	規則内容	津波による損傷の防止： (1) 原子炉施設は、大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して、安全機能が損なわれないこと	JRR-3 の北側にある久慈川から約 3km 離れていることから、洪水による被害は考えられない。	原子炉施設は標高約 9m にあり、久慈川から約 2.3km。洪水による被害は考えられない。	敷地周辺に雨山川、坊主池等があるが、原子炉施設に影響を及ぼす水害記録はない。大阪府の洪水リスク表示図では 200 年に 1 度の降水に対しても水浸リスクはない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	
		外部からの衝撃による損傷の防止： 安全施設、重要安全施設は、次の事象に対して安全機能を損なわれないものであること (1)自然現象 ① 洪水	JRR-3 の北側にある久慈川から約 3km 離れていることから、洪水による被害は考えられない。	原子炉施設は標高約 9m にあり、久慈川から約 2.3km。洪水による被害は考えられない。	敷地周辺に雨山川、坊主池等があるが、原子炉施設に影響を及ぼす水害記録はない。大阪府の洪水リスク表示図では 200 年に 1 度の降水に対しても水浸リスクはない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	行政機関による津波遡上評価高さの約 6m に対し、原子炉設置位置は標高約 9m にあり津波は到達しない。	

条項	規則内容		NSRR (300kW+バリス)		KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)	
	JRR-3 (20MW) 高出力炉	低出力炉	低出力炉		中出力炉		臨界実験装置		極低出力炉	
第6条 (続き)	② 風(台風)	敷地付近で観測された瞬間最大風速は44.2m/s。風荷重設計は建築基準法に基づき行う。	水戸地方気象台観測データの瞬間最大風速を考慮する。		過去の最大瞬間風速は32.4m/s。原子炉建屋等は建築基準法による基準風速34m/sで設計している。台風の接近の恐れがある場合は原子炉停止等の措置を講じる。		KURと同じ。		東大阪市の告示1454号にある基準風速32m/sの風荷重に耐える構造とする。	
	③ 竜巻	JRR-3の竜巻に対する評価は、F3(最大風速92m/s)で、飛来物は乗用車(ミニバン)を想定して評価。この風速では建物の倒壊はないが、飛来物により建屋壁が裏面剥離し、剥離物の炉心及び炉心構設設備への衝突により、炉内燃料体(32体)が機械的に破損した場合と使用済燃料プールの燃料(130体)が全数損傷した場合を想定。 JRR-3の竜巻影響評価では、事故時のU-Si-AI分散型合金板状燃料からの核分裂生成物の放出割合を0.04%として公衆被ばくを評価した結果、小児内部被ばくと線被ばくを評価した総効線量は $4.7 \times 10^{-1} \text{mSv}$ であり、Sクラスの判断基準(5mSv)を超えない。 原子力規制委員会決定(H28年11月)の核燃料施設等における竜巻・外部火災の影響評価ガイドにより、事故時の被ばく線量が5mSvを超えないので、JRR-3で評価する竜巻は、グレーテッドアプローチ(等級別扱い)を適用し、敷地周辺(20km以内)での過去の最大竜巻(F1:最大49m/s)で評価することになった。	NSRRには重要安全施設はない。敷地周辺半径20km内の過去の記録の最大竜巻は、F1(最大風速49m/s)で評価。飛散防止対策を実施。F3の敷巻を想定した場合の風圧及び飛来物による建屋損傷を評価し安全機能を損なうおそれがない設計であることを確認。		竜巻に対しては、原子炉発電所の竜巻影響評価ガイドを参考に最大風速92m/s(F3)で評価し、建屋構造健全性が確保できるため安全施設を損なう恐れはない。 竜巻の接近する恐れがある場合は、車両の退避、原子炉を停止等の処置をし、また固体廃棄物倉庫のドラム缶を固縛する等の飛散防止措置を講じる。 (KURは安全上の機能別重要度分類のクラス1(PS-1, MS-1)の施設はない。クラス2のうち、外部事象に対する重要安全施設は、原子炉建屋地上階の制御棒、炉心タンク及び非常用DG発電機。)		竜巻に対しては、原子炉発電所の竜巻影響評価ガイドを参考に最大風速92m/s(F3)で評価し、建屋構造健全性が確保できるため安全施設を損なう恐れはない。 竜巻の接近する恐れがある場合は、車両の退避、原子炉を停止等の処置をし、また固体廃棄物倉庫のドラム缶を固縛する等の飛散防止措置を講じる。		敷地周辺の過去の竜巻はF1(最大風速49m/s)であるが、想定する竜巻は、日本で過去最大の竜巻(F3:最大風速92m/s)とする。 竜巻による飛来物は、車両(トラック)を想定。想定最大風速は保守的に100m/sとし、風圧、気圧差、飛来物の衝撃荷重を組み合わせた荷重で評価。 竜巻被災が予想される場合は、原子炉停止、建屋周辺の機材の固縛等の措置を講じる。(設工認申請書の固縛治具強度評価では風速92m/s。)	
	④ 凍結	水戸地方気象台観測データの最低気温は-12.7℃。これに適切な余裕を考慮し、凍結防止対策を行う。	水戸地方気象台観測データの最低気温を考慮。凍結防止対策を講じる。		能取気象観測所で観測された最低気温は-4.9℃。安全機能を有する施設、屋外施設は凍結防止措置を講じる。		能取気象観測所で観測された最低気温は-4.9℃。安全機能を有する施設のうち屋外の廃水タンクの凍結に伴う体積膨張による破損を防止するためタンク水位管理(約2/3で排水)をする。		大阪管区気象台で測定された最低気温は-7.5℃。凍結により安全が損なわれない設計とする。	
	⑤ 降水	水戸地方気象台の過去の1時間最大降水量は、81.7mm。原子炉施設は、TP+約19mにあり、敷地に降った雨は、太平洋に流れるので、降水や洪水による被害はなし。	原子炉施設は標高9mにあり、降った雨水は海に流れるので、降水による安全機能の損傷はない。		能取気象観測所で観測された最大1時間降水量は67mm。雨水は排水路で集水し敷地外に排水する。原子炉建屋は高い位置にあり、浸水による安全機能の喪失のおそれはない。		KURと同じ。		地域の100年確率の1時間降水量の76mmに対し保守的に80mmを想定。この降水量に対して、十分な排水能力のある設備とする。	

条項	JRR-3 (20MW)		NSRR (300kW+バリス)		KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)	
	高出力炉		低出力炉		中出力炉		臨界実験装置		極低出力炉	
第6条 (続き)	⑥ 積雪	水戸地方気象台で観測された最大積雪量は32cm。茨城県建築基準法条例に基づき積雪量は40cmを想定して設計。	茨城県条例に基づく積雪量を参考に、建屋構造設計をする。	大阪管区気象台の観測記録では、敷地周辺の最大積雪量は18cm。安全機能を有する施設は大阪府建築基準法施行令の定める積雪に耐える設計とし、必要により除雪する。	KURと同じ。	過去の最大積雪深さは18cm。積雪は東大阪市建築基準法の29cmを想定し、これを超える場合は除雪する。				
	⑦ 落雷	建築基準法に従い、避雷針を設置し落雷による火災を防止する設計とする。	建築基準法等で要求される避雷針等を設置。安全機能を損なうおそれがない設計であることを確認。	建築基準法、消防法等で要求される避雷針(保護レベルIV)を設置。	雷害防止対策として避雷針の設置等を行う。落雷発生が予測される場合は、原子炉停止等の措置を講じる。	落雷時のサージ電流、電源喪失に対して安全機能が損なわれない構造とする。				
	⑧ 地滑り	東海村自然災害ハザードマップでは、土砂災害警戒区域又は土砂災害特別警戒区域はなく、地滑り被害はない。	東海村ハザードマップでは、原子炉施設の場所に土砂災害警戒区域及び土砂災害特別警戒区域はない。	熊取町の土砂災害防止法による警戒区域指定区域から数百m離れており、また原子炉施設敷地内に急峻な傾斜地はないことから、地滑りにより安全施設の安全機能を損なうおそれがない。	KURと同じ。	原子炉施設は、急傾斜崩壊危険箇所、土石流危険渓流域、土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域に位置せず、地滑りは評価せず。				
	⑨ 火山の影響	半径160km圏内の火山で完新世に活動した11火山と活動性が否定できない2火山を対象に施設への影響を評価。これらの火山の土石流、噴石、火山ガス等の影響なし。降下火砕物の層厚は極微量である。 降下火砕物の想定では、原子炉建屋の閉じ込め機能の喪失を想定しても周辺公衆の被ばく実効線量は5mSvを超えないことから、グレーテッドアブローチを適用して耐震B.Cクラスと同等の想定をし、富士山宝永噴火の降灰量を参考に、降灰量を初日に8cm、総量を16cmと想定して対応。	半径160km圏内の火山からの火山灰(降下火砕物)は極微量。 降灰が多くなる場合は、5cmを超えないように除灰作業をする。火山灰除去対応は、降灰量を16cm、初日降灰量を8cmとして想定。	半径160km圏内に活動可能性のある火山が3火山あるが、原子炉施設まで十分な隔離距離があり、火砕流、火山性有毒ガス等が原子炉施設に影響を及ぼすおそれはない。火山からの降下火砕物(テフラ)の堆積厚さは最大2cmで設計されている。火砕物が堆積した場合は、火砕物の除去、原子炉停止等の処置を講じる。	半径160km圏内に活動可能性のある火山は3火山あるが、原子炉施設まで十分な隔離距離があり、溶岩流、地滑り等、火砕密度流、果敢制有毒ガスが原子炉施設に影響を及ぼすおそれはない。 鬱陵火山からの降下火砕物の層厚は最大2cmと想定し、設計されている。火砕物が堆積した場合は、火砕物の除去、原子炉停止等の処置を講じる。	半径160km圏内の第四紀に活動した火山で活動性のある3火山を抽出。敷地からの距離は50km以上あり火砕物密度流、噴石等の影響なし。 鬱陵-隠岐テフラは約2cmであったので、降下火砕物層厚は3cm、密度1.5g/cm <sup>3</sup> として評価。これを超える場合は、灰降しをする。				
	⑩ 生物学的事象	換気系が枯葉等の影響を受けない設計とする。	換気系への枯葉混入を想定し、安全機能に影響がない設計とする。	安全機能上必要となるケーブルや電源設備等は小動物(ネズミ等)の影響(ケーブルの断線、短絡等)を受けないように設計する。	KURと同じ。	鼠等の小動物、昆虫類の侵入等に対して安全機能が損なわれない設計とする。				
	⑪ 森林火災等	JRR-3の外部火災の影響について、10kmの範囲の森林等の火災源について評価した結果、JRR-3の安全性に影響を与えないことを確認。 原子力規制委員会決定(H28年11月)の竜巻・外部火災の影響評価ガイドでは、事故時の周辺被ばく線量が5mSvを超えない場合は、10kmの範囲ではなく、隣接の森林火災を想定することで	NSRRには重要安全施設はないので、隣接森林の火災を想定し、安全機能を損なうおそれがない設計であることを確認。原子炉建屋と周辺森林の距離は、草木を伐採・管理し、30mの離隔距離を確保する。自衛消防隊で対応。	敷地外の山林は、原子炉施設から数百m離れている。敷地内の森林境界と原子炉施設との間に延焼防止エリア(隔離距離)を取り、予防散水活動を行うことで原子炉施設への延焼を防止し安全機能喪失がないよう管理。火災が発生した場合、原子炉停止措置等を講じる。	KURと同じ。	原子炉施設から最も近い森林は約6km先で、敷地周辺に森林はない。周辺住宅等の火災に対して安全機能が損なわれない設計とする。				

条項	規則内容	NSRR (300kW+バリス)			KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)		
		低出力炉		高出力炉	中出力炉		臨界実験装置		極低出力炉		
第6条 (続き)	(2)人為的事象	よいことになった。									
	① 飛来物(故意でない航空機落下等)	JRR-3への航空機落下確率は $6.1 \times 10^{-8}$ 回/炉・年で、防護対策が必要な $10^{-7}$ 回/炉・年以下である。	NSRRへの航空機落下確率は $7.6 \times 10^{-9}$ 回/炉・年で、防護対策が必要な $10^{-7}$ 回/炉・年以下である。	KURへの航空機落下確率は、 $1.1 \times 10^{-8}$ 回/炉・年で、防護対策が必要な $10^{-7}$ 回/炉・年以下で、設計上の考慮は必要としない。	KUCAへの航空機落下確率は、 $1.7 \times 10^{-8}$ 回/炉・年で、防護対策が必要な $10^{-7}$ 回/炉・年以下で、設計上の考慮は必要としない。(KUCAへの落下確率は、KURより少し大きい。)	原子炉施設(標的面積 $400\text{m}^2$ )に対するi航空機落下確率は $5.8 \times 10^{-9}$ 回/年で、防護設計は不要。航空機(B747)落下による火災(隔離距離76.9m)の場合に機能が損なわれない設計とする。					
	② ダムの崩壊	敷地周辺には原子炉施設に被害を当てる大規模なダムはない。	久慈川には大規模ダムはなし。	原子炉実験所の東南約2.5kmに用水用ダムがあるが、ダムが崩壊しても施設方面に水が流れ出すおそれはない。	KURと同じ。	敷地はダム、河川から離れており、ダム崩壊の影響なし。					
	③ 爆発	近隣(半径10km以内)の工場等の火災・爆発、 $10^{-7}$ 回/炉・年を超える範囲の航空機落下による火災について評価。原子炉建屋コンクリート外壁温度は $200^\circ\text{C}$ 以下でJRR-3の安全機能に影響を与えないことを確認。	半径10km以内の工場等の危険物等の爆発を想定。危険限界距離を上回る隔離距離を確保することで安全機能が損なうおそれがない設計であることを確認。 半径10km以内の工場等の火災を想定。施設壁表面温度が材料強度に影響がないよう設計であることを確認。	原子炉発電所の外部火災影響評価ガイドに基づき、航空機落下による火災影響を評価。原子炉建屋壁の温度は外壁許容温度の $200^\circ\text{C}$ を下回る。 原子炉実験所の近隣にある危険物取扱施設の火災影響について、航空機落下による火災を重畳しても原子炉建屋壁温度は $200^\circ\text{C}$ を下回る。 周辺道路の燃料輸送車両の火災及び車両爆発の飛来物、並びに周辺10km内にある石油コンビナートの火災が原子炉建屋に影響を及ぼすおそれはない。	KURと同じ。	原子炉施設から5m離れた管理棟、約50m離れた住宅、1km以内のガソリンスタンドの火災・爆発、構内の危険物保管庫の爆発等を想定。また、航空機落下による火災も想定。 これらの火災に対して原子炉建屋の壁温度が $200^\circ\text{C}$ 以下になるようにする。					
	④ 近隣工場等の火災										
	⑤ 船舶の衝突	原子炉施設は、海岸から約600m離れており船舶の衝突はなし。	海岸線から約230m離れており、船舶衝突の可能性なし。	原子炉施設は、港湾から約5km離れており、船舶の衝突の可能性はなく、設計上の考慮を必要としない。	KURと同じ。	原子炉施設は、沿岸部から約20km内陸にあり、また河川から約6km離れているので、船舶の衝突は考慮せず。					
	⑥ 有毒ガス	施設周辺で有毒ガスが発生した場合は、必要により原子炉を停止し退避する。停止操作のため運転人が長期間にわたって留まることは不要。	外部火災による煤煙、有害ガスにより安全機能が損なわれない設計としている。	外部火災に伴う煤煙、有毒ガスが安全施設の機能、原子炉制御室の居住性に影響を与えるおそれはない。	KURと同じ。	有毒ガスが発生する事象の場合は、原子炉を停止。原子炉制御室が使用不能の場合は、給気機械室内の異常事象時原子炉停止装置で停止する。					
⑦ 電磁的障害等	安全施設は電磁干渉や無線電波干渉等により安全機能が損なわれない設計とする。	電磁的障害により安全機能が損なわれない設計とする。	安全保護回路、核計装設備等は金属躯体に収納、ケーブルはシールド同軸ケーブルを用いる等により電磁的障害がないように設計する。	KURと同じ。	安全保護系を構成する回路は、電磁波の侵入防止措置をする。						

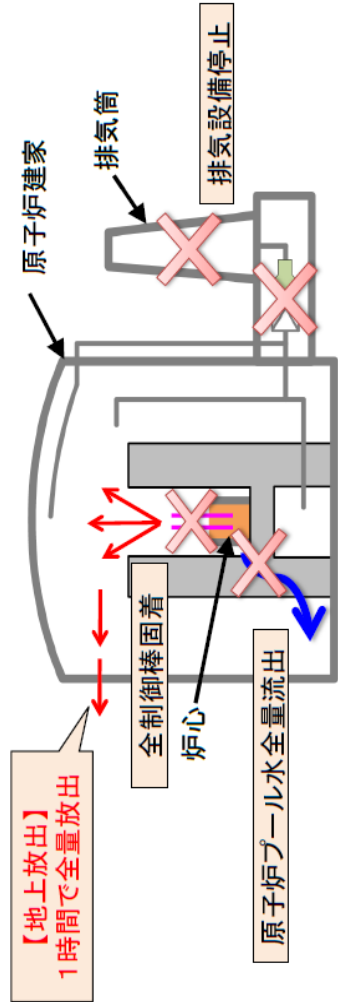
条項	NSRR (300kW+βバリス)		KUR (5MW)		KUCA (100W)		UTR-KINKI (1W)	
	低出力炉	高出力炉	中出力炉	臨界実験装置	極低出力炉			
第7条	<p>人の不法な侵入等の防止</p> <p>原子炉施設への人の不法な侵入を防止する。原子炉制御に使用するコンピュータは外部と遮断して使用する。また、コンピュータウィルスが混入しないように留意する。</p>	<p>核物質防護対策の一環として、物理的障壁を持つ防護区域、接近・入出力管理、サイバートロ対策等を講じる。</p>	<p>原子炉施設への外部から侵入、爆発物等の物件の持ち込みを防止する措置を講じる。サイバートロを含む不正アクセス行為を防止するため、原子炉施設及び核物質防護設備の操作に係る情報システムは外部から独立したシステムとする。</p>	<p>原子炉実験所の正門に人の侵入を防止する守衛所を設ける。臨界集合体棟へは許可された者のみの立入りとし、炉室には実験所職員の同行を必要とする。原子炉施設等の情報システムは、外部から独立したシステムとする。</p>			外部からの人の不法な侵入は、核物質防護規定に基づき、入出管理をして侵入防止をする。原子炉制御盤は電子計算機を使用しない装置とし、不正アクセスを防止。	
第22条	<p>放射性廃棄物の廃棄施設：</p> <p>通常運転時に周辺監視区域の外に空気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できる処理能力を有すること。</p>	<p>JRR-3、NSRR等の各原子炉施設から放出される放射性希ガスの線、トリウム、気体廃棄物及び液体廃棄物中の放射性希ガスの濃度は約11 μSv/y。</p>	<p>KURの通常運転時にスタックから放出される放射性物質(Ar-41とトリチウム)による一般公衆の被ばく美効線量は、前者が7.5 μSv/年、後者が1×10<sup>-3</sup> μSv/年で、合計約7.5 μSv/年と評価される。</p>	<p>KUCAの通常運転時に放出される気体廃棄物(Ar-41)による敷地周辺の被ばく線量は無視し得るほど低い。液体廃棄物中に放射性物質が含まれる可能性はない。</p>			原子炉施設からのFP及び放射化物の放出は微量であり、一般公衆に放射線障害を及ぼすおそれはない。	
第24条	<p>周辺における直接ガンマ線等からの防護：</p> <p>通常運転時に原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイガンマ線による原子炉施設周辺の空間線量率を十分に低減できること。</p>	<p>通常運転状態で、敷地境界のガンマ線量は、年間2 μGyと評価され、研究所全体としての目安線量の年間50 μGy以下。</p>	<p>通常運転時のKURからの敷地境界付近の直接スカイガンマ線及び2次ガンマ線による年間空気カーマは最大で15.0 μGyである。KUCA及び固体廃棄物庫からのガンマ線を合わせた原子炉実験所全体の年間空気カーマは43.2 μGyとなり、目標目安線量の50 μGy/年を下回る。</p>	<p>敷地境界付近のKUCA及び固体廃棄物倉庫の固体廃棄物からの直接スカイガンマ線及び2次ガンマ線による年間空気カーマは最大で28.2 μGyである。</p>			通常運転時の敷地境界(原子炉から約45m)での通常運転時の直接ガンマ線とスカイガンマ線による年間空間線量は、最大0.22 μGyで、50 μGy/年以下。	
第40条	<p>多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止：</p> <p>高・中出力炉において高・中出力炉から大量の放射性物質又は放射線を放出する恐れがある事故が発生した場合に、当該事故の拡大防止に必要な措置を講じたものであること。</p>	<p>多量の放射性物質等を放出する事故で5mSvを超える恐れがある事故の拡大防止するため、可搬型汲上ポンプ及び発電機、原子炉停止用のホウ酸、作業員の被ばく低減のための空気呼吸器等の防護資材を備える。</p> <p>想定する事象は、基準地震動を超える地震と原子炉停止機能喪失の多重故障、地震と冷却材流量喪失、地震と冠水維持機能喪失とし、発生防止と拡大防止対策(影響緩和対策)をとる。</p>	<p>低出力炉(500kW未満)であるので、本条項は該当せず。</p>	<p>KURの多量の放射性物質等を放出する事故として、①電源喪失における崩壊熱除去機能喪失+地震と②炉心流路閉塞における崩壊熱除去機能の喪失+地震の事象を想定。②の事故の場合、溶融した燃料要素1体の希ガス100%、ヨウ素60%の放出による被ばく線量は4.3mSvで、放射性プルーム及びスカイガンマ線のガンマ線による被ばくは2.5mSvとなり、合計6.8mSv。</p>	<p>低出力炉(500kW未満)であるので、本条項は該当せず。</p>	<p>低出力炉(500kW未満)であるので、本条項は該当せず。</p>		

条項	規則内容	JRR-3 (20MW)	NSRR (300kW+パルス)	KUR (5MW)	KUCA (100W)	UTR-KINKI (1W)
第40条 (続き)	高出力炉 また、JRR-3は研究炉であるが、発電用原子炉に対して要求されている大規模損壊事象の発生を想定し、影響緩和対策をとる。	低出力炉	中出力炉 想定した事故の拡大防止策として、炉心水位低下防止設備による水止め、可搬式消防ポンプ等による注水、ホウ酸水投入等の事故拡大防止措置を講じる。	境界実験装置		



### 耐震重要度分類(Sクラスの有無の評価1/2)

地震により原子炉施設の全ての安全機能が喪失した場合の影響を評価し、その結果に基づきSクラスの有無を確認する。



地震による機能喪失の想定

評価条件	項目	想定の保守性
出力	300kW	定出力運転の最大値での運転
運転時間	8時間/日 × 5/週	年間の許可最大時間(5.2MWd)の運転
燃料要素	被覆管の破損	内包する核分裂生成物の全量放出
	停止機能喪失	全制御棒が臨界位置で固着
機能喪失	冷却機能喪失	原子炉プール水が全量流出
	閉じ込め機能喪失	フィルタ除去効率を考慮せず建家から放出

- 燃料内の核分裂生成物の量:  $(0.3\text{MW} \times 8\text{h} / 24\text{h}) \times 52\text{d} / \text{y} = 5.2\text{MWd} / \text{y}$  ( $> 130\text{MW} \times 3 / \text{パルス} \times 365\text{d} = 1.5\text{MWd}$ )
- TRIGA型燃料(20%EU-水素化Zr合金燃料)からの希ガスの原子炉建屋内への放出率は  $7.94 \times 10^{-4}$ 、よう素は  $3.97 \times 10^{-4}$  とし、大気中へは、この全量が1時間で放出されるとして評価。
- 気象条件は、設置許可申請書の事故評価条件と同条件で評価。

#### 参考文献

- 新規規制基準を踏まえたNSRR(原子炉安全性研究炉)の安全対策について、平成30年3月、原子力機構
- 試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則への適合性「NSRR施設」  
一安全上重要な施設の評価について一、原子力機構



### 耐震重要度分類(Sクラスの有無の評価2/2)

地震による機能喪失に係る公衆被ばく評価結果

評価項目	評価結果
直接線、スカイシャイン線による影響	ガンマ線による実効線量 $1.17 \times 10^{-2}$ mSv/h 中性子線による実効線量 $2.1 \times 10^{-12}$ mSv/h <b>年間の実効線量 約 0.5 mSv</b>
燃料要素の被覆管破損に伴う核分裂生成物の放出	よう素の吸入による小児の実効線量 <b><math>8.6 \times 10^{-2}</math> mSv</b> よう素及び希ガスからのガンマ線外被ばくによる実効線量 <b><math>2.9 \times 10^{-3}</math> mSv</b>

#### > 照射物管理棟及び燃料管理棟への影響

地震により照射物管理棟及び燃料管理棟の崩壊が想定されるが、照射物管理棟は、放射化した実験物を貯蔵する建家であること、燃料管理棟は、未使用の燃料要素を貯蔵する建家であることから、核分裂生成物の放出によって公衆影響を与えることはない。また、照射物管理棟は、遮蔽の機能を有しておらず、その損傷は、平常時の放射化物からの直接線及びスカイシャイン線による被ばく影響を上昇させるものではない。

停止機能、冷却機能及び閉じ込め機能の喪失を想定しても、周辺公衆に対し放射線被ばくが5mSvを超えることはない。⇒耐震Sクラス施設ではない。⇒施設を耐震B及びCクラスに分類し、耐震設計を行う。

- 周辺公衆の評価点は、原子炉建家から周辺監視区域の最短居住区までの距離610m、高低差20m。
- 評価点での直接ガンマ線は約0mSv/h、スカイシャインガンマ線は  $1.17 \times 10^{-2}$  mSv/h。(原子炉建屋の遮蔽効果は考慮せず。)
- 周辺公衆が受ける1年間の被ばく実効線量は、炉心内線源の減衰を考慮し、約0.5mSv/年( $< 5\text{mSv}$ )と評価。
- 原子炉建家と制御棟は耐震Cクラスとなるが、耐震Bクラス施設・装置(炉停止系と原子炉プール)を内包する建物であるので、内包している施設、装置の支持機能を要する建物として耐震Bクラス相当の設計評価を実施。

### 添付図-1 試験研究炉における耐震重要度分類のための周辺公衆への影響の評価例(NSRRの例)

表-3 もんじゅサイトに設置する試験研究炉の設計・評価に係るサイト条件(試験炉設置許可基準規則の関係条項)

条項	規制内容	もんじゅサイト条件(暫定条件)		設定根拠・理由等	備考
		高出力炉/中出力炉	低出力炉/臨界実験装置		
第3条	<p>試験研究用原子炉施設の地盤:</p> <p>(1) 原子炉施設は、十分な支持力がある地盤に設置</p> <p>(2) 耐震重要施設の地盤は、変形した場合でも安全機能が損なわれない地盤</p>	<p>高出力炉/中出力炉</p> <p>試験研究炉施設の設置場所の地盤条件に関する詳細情報がない。</p> <p>設置場所(山側資材置場と焼却炉場所等)の地盤について「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従って地質・地質構造の調査を行う。</p> <p>地質データが得られるまでは、研究炉設置場所の地盤構造は、原子力機構が作成した概略図を参考に施設建屋の配置設計を行う。</p>	<p>低出力炉/臨界実験装置</p> <p>試験研究炉施設を⑥山側資材置場(E+132m)と⑧焼却炉場所(E+115m)に設置する場合、⑥の場所の地盤の既地質調査は、地表から深さ約 20~30m の浅いボーリング調査 6ヶ所、⑧は4ヶ所のみである。抜き取った花崗岩コアの1部に粘土化帯(破砕帯)が見られる。</p> <p>原子力規制委員会の有識者会が平成 25~29 年に行ったもんじゅ敷地内破砕帯に関する調査において、⑧の南側付替水路沿い地下に断層が伏在している可能性も否定できないとの評価になっている。</p> <p>これらの場所の地盤について「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従って詳細な地質・地質構造の調査を行い、原子炉設置地盤としての適性を評価する必要がある。なお、焼却炉場所付近の地下を通過している白木-浦底間の敦賀第1トンネル工事の地質図も参考になり得る。</p> <p>これらの地質データを基に、耐震重要度施設の地盤について、支持力、すべり安定性、傾きの解析評価を行う。</p>	<p>もんじゅは、EL+42.8m(GL)の海側に設置されている。</p> <p>試験研究炉をEL+132mの山側資材置場に設置する場合、標高差が約 100m あり三方に山斜面があるため、風速、風向等が異なる可能性がある。</p>	
第4条	<p>地震による損傷の防止:</p> <p>(1) 原子炉施設は、地震力に十分に 耐えるもの</p>	<p>耐震重要施設(S クラス)に該当する施設がある場合は、評価に使用する基準地震動等は、「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に従って設定し、耐震設計評価を行う。(震源を特定しない地震動の見直しが行われた)</p>	<p>耐震重要施設(S クラス)に該当する施設の地盤について、上記地質調査結果を基に、基礎地盤及び周辺斜面の安定性について、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価の審査ガイド」に従って基礎地盤のすべり、支持力、傾斜、変形、活断層の有無を評価する。</p>	<p>耐震重要施設を設置する地盤に、将来(約 12 万年前以降)活動性のある断層がないことを立証するデータを求められる。</p> <p>もんじゅサイトの南側(焼却炉場所から約 900m 離れて位置に白木一丹生断層(約 9700 年前に活動した断層)がある。原子炉建屋の地盤に破砕帯がある場合、これが白木一丹生断層と連動して動かないことを立証する評価が必要。</p>	<p>現在、山側資材置場に係る基準地震動の評価はなしい。概念設計では、もんじゅの耐震設計評価用の基準地震動を暫定的に使用するこ</p>



条項	規制内容	もんじゅサイト条件(暫定条件)		設定根拠・理由等	備考
		高出力炉/中出力炉	低出力炉/臨界実験装置		
第4条 (続き)	(2) 地震力は、施設安全機能喪失時の影響程度に応じて算定	場合、もんじゅサイトの基準地震動に影響があるか検討が必要。)		「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド」に従って、もんじゅ敷地の基準地震動、弾性設計地震動を策定し、建屋・構築物等の入力地震力の算定をする。B.C クラスの建物・構築物等の地震力は、建築基準法による静的地震力を設定する。 また、各施設の安全機能上の重要度分類を行う。 原子炉施設・機器の耐震重要度分類、安全機能の重要度分類をする場合の評価フローと判断基準は、安全機能(炉停止機能、冷却機能及び閉じ込め機能)の喪失を想定した場合のもの じゅサイト周辺の公衆の被ばく実効線量である。(試験炉設置許可基準規則の解釈の別記1) Sクラス:5mSvを超えるおそれがある施設 Bクラス:50 $\mu$ Sv~5mSv 未満 Cクラス:50 $\mu$ Sv以下の施設。 この被ばく評価に必要となる原子炉設置場所(地上、排気筒の高さ)での気象観測データの取得が必須。(第3条(2)と同じ)	とが考えられる。(Ss-Dの水 平方向は760gal、垂直方向は507gal、断層モデルを一部補正した場合のSs-1の水 平方向は995Gal。)
	(3) 耐震重要施設は、大きな影響を及ぼす地震力に対して安全機能が損なわれないこと				
第4条	(4) 耐震重要施設は、斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれないこと	耐震重要施設(Sクラス)に該当する施設がある周辺斜面については、斜面の地質調査結果を基に、基準地震動に対して斜面のすべり安定性について評価する。	耐震重要施設はないが、周辺の山斜面及び切土斜面が崩壊しないことの建築基準法上の対策・評価が必要。	研究炉施設の炉心等が耐震重要施設になる場合、これを収容・支持する原子炉建屋の損壊等による炉心等の損壊を防止する必要がある。 もんじゅサイトは丘陵地であり、山側資材置場、焼却炉場所の周囲には、傾斜角が20~25°の山斜面が幾筋もある。これらの斜面について、「敷地内及び周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」に従って地質調査を行い、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に従って、基礎地盤及び斜面に関するすべり安定性の評価をする必要がある。(判断基準は、動的解析で1.2以上。)	
	津液による損傷の防止:				
第5条	(1) 原子炉施設は、大きな影響を及ぼすおそれがある津液に対して、安全機能が損なわれないこと	もんじゅ頑強性評価におけるもんじゅサイトの荷揚岸壁で想定される津波高さは、EL+8.8m。敦賀市の津波ハザードマップの津波高さは、EL+5mであり、津液が被るので、津液対策が必要。山側資材置場はEL+132m、荷揚岸壁のレベルはEL+115mであるので、津液は到達しない。	もんじゅ頑強性評価に設置する場合は、津波の影響はないといえるが、設置許可申請書では、もんじゅサイトに影響する過去の津波の記録、自治体で津波評価等の情報を記載することが求められる。		
第6条	外部からの衝撃による損傷の防止: 安全施設、重要安全施設は、次の事象に対して安全機能を損なわれないものがあること				
	(1)自然現象				
	① 洪水	もんじゅサイト周辺には大きな川はない。山側資材置場と焼却炉場所は、山側の傾斜地にあり、洪水のおそれはない。国土数値情報地図情報では、土石流危険区域の指定区域に入っていない。		但し、焼却炉場所は、以前に沢筋であった場所で上流に砂防ダムがある。大量の降雨があった場合に、上流から土石流等が発生しないかどうか調査が必要。	
	② 風(台風)	敦賀市の観測記録では、日最大風速は1950年9月3日の30.4m/sで、日最大瞬間最大風速は2018年9月4日の47.9m/s。もんじゅの耐風設計では、室戸台風の最大風速45m/s、最大瞬間風速約63m/sを基に設計風速を設定している。 研究炉施設の耐風設計条件は、敦賀市の建築基準法施行令上の基準風速32m/sとする。		JRR-3, KUR, UTTR-KINKIの風荷重設計は、建築基準法による基準風速で評価。	

条項	規制内容	もんじゅサイト条件(暫定条件)		設定根拠・理由等	備考
		高出力炉/中出力炉	低出力炉/臨界実験装置		
第6条 (続き)	③ 竜巻	日本で発生した最大竜巻のフジタスケール F3 (最大風速 92m/s)に余裕を加え、最大風速 100m/s、竜巻コア半径 30m として評価する。飛来物の建屋に対する影響評価、固縛対策は F3 の竜巻で評価する。	重要安全施設がない研究炉施設は、敷地周辺の過去の最大竜巻で評価。 (廃止措置段階のもんじゅでの竜巻影響評価の風速は、サイト近傍の過去の最大竜巻 F2 クラスの最大風速 69m/s としている。)	もんじゅ施設の竜巻影響評価は、「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に従って、基準竜巻の F3 に余裕を見て最大風速 100m/s で評価している。	
	④ 凍結	敦賀市の積雪記録の日最低温度は 1904 年 1 月 27 日の -10.9℃。もんじゅサイトの安全機能を有する施設、屋外施設は凍結防止措置を講じる。			
	⑤ 降水	敦賀市の降水記録の日最大 10 分間降水量は 2014 年 6 月 12 日の 23.5 mm、最大 1 時間降水量は同日の 54.5mm。もんじゅ建設時の 200 年確率降水強度は 140mm/h としているが、研究炉施設の降水設定条件は、平成 26 年に改訂された福井県の降雨強度式による敦賀の降水量の 10 分:166mm/h、60 分:65mm/h と同様とする。(なお、もんじゅ山側資材置場付替水路の豪雨時排水設計では、平均降雨強度は約 230mm/h としている。)		山側資材置場と焼却炉場所の斜面地下に地下水が流れている。地下水排水ルートとして、排水管が埋設されている。試験研究炉を設置する際に、この既設排水管に当たらないように避けるか、当たるとする場合は新たに設置する必要がある。	
	⑥ 積雪	敦賀市の積雪記録の月最新積雪は 1981 年 1 月 15 日の 192cm。もんじゅ施設の積雪条件は、積雪厚さ 200cm、密度 0.3g/cm <sup>3</sup> (6000N/m <sup>3</sup> )としている。研究炉施設の積雪条件も同様とする。			
	⑦ 落雷	落雷時のサージ電流、電源喪失に対して安全機能が損なわれない構造とする。			
	⑧ 地滑り	国土交通省の国土数値情報土砂災害危険箇所データでは、⑥山側資材置場と⑧焼却炉場所は、急傾斜地崩壊危険区域、土砂災害警戒区域、土石流危険渓流と土石流危険区域及び地滑り危険箇所と地滑り危険区域のいずれの指定区域にもなっていない。 研究炉を設置する場所の盛土部を掘削した後の斜面は、地滑り・崩壊が生じない対策(傾斜約 30°以下で 5m 毎に小段を設置、斜面の擁壁、植栽、水抜き等)を講じる。 耐震 S クラスの施設がある研究炉施設については、基準地震動による周辺斜面の動的すべり安定性評価(判断基準は 1.2 以上)を行い、安全機能に影響がないようにする。			
	⑨ 火山の影響	半径 160km 圏内の火山からの火山灰は、灰層厚さ 13cm、密度 1.5g/cm <sup>3</sup> 。保守性を考慮して 1500N/m <sup>2</sup> とする。		火山の影響については、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従って、調査・評価を行う。 最近の大山からの火山灰厚さ調査結果により、美浜発電所の火山灰厚さを 10cm から約 13cm に見直された。もんじゅサイトも同様な見直しが必要になる可能性あり。	
	⑩ 生物学的事象	原子炉施設内への小動物の侵入、非常用換気系等への枯葉混入等により安全機能が損なわれないようにする。		もんじゅサイト内に時折、猪等の侵入がある。	
	⑪ 森林火災等	重要安全施設を含む研究炉施設は、10 km の圏の火災源の影響を評価。重要安全施設がない場合は、隣接森林火災を評価(建屋外壁コンクリートの表面温度は 200°以下)し、必要な防火対策を講じる。	試験研究炉の出力が 500kW 未満の研究炉では、周囲 10km までの火災源の調査は不要であり、隣接する森林等の火災に対する評価を行う。 (グレーテッドアプローチ)	試験研究炉の出力が 500kW 未満の研究炉では、周囲 10km までの火災源の調査は不要である。(グレーテッドアプローチ) もんじゅサイトの研究炉施設では、周辺森林の火災により安全機能が損なわれないように適切な離間距離を確保し、消火対策を講じる。(もんじゅ子炉建屋等の周りには、常設・可搬式消火ポンプ、自衛消防隊の消防車を設置している。)	

条項	規制内容	もんじゅサイト条件(暫定条件)		設定根拠・理由等	備考
		高出力炉/中出力炉	低出力炉/臨界実験装置		
第6条 (続き)	(2)人為的事象				
	① 飛来物(故意でない航空機落下等)	「実用発電用原子炉施設への航空機の落下確率の評価基準については、試験研究炉施設の標的面積に対する故意でない航空機落下確率を評価する。衝突確率が判断基準(10 <sup>-7</sup> 回/炉・年)を超える場合は、「実用発電用原子炉に係る航空機影響評価に係る審査ガイド」に従って評価し、必要により衝突対策を行う。	「実用発電用原子炉施設への航空機の落下確率の評価基準については、試験研究炉施設の標的面積に対する故意でない航空機落下確率を評価する。衝突確率が判断基準(10 <sup>-7</sup> 回/炉・年)を超える場合は、「実用発電用原子炉に係る航空機影響評価に係る審査ガイド」に従って評価し、必要により衝突対策を行う。	もんじゅ施設の航空機落下確率は、約 7.4×10 <sup>-8</sup> 回/炉・年との評価となり、故意でない航空機の落下対策はせず。試験炉設置許可基準規則では要求がないが、研究開発段階発電用原子炉の基準規則では、テロによる故意による大型航空機衝突の評価・対策が必要。JRR-3 では、原子力発電所の大規模損壊事故に対する評価もしている。	
	② ダムの崩壊	山側資材置場と焼却炉場所脇の付替水路の上流約 600mに小規模の砂防ダムがある。この砂防ダムが崩壊した場合の影響を評価する。			
	③ 爆発	半径 10km 以内の工場等及びサイト内燃料タンク等の火災・爆発、並びに、10 <sup>-7</sup> 回/炉・年を超える範囲の航空機落下による火災に対して、研究炉施設の安全機能に影響を与えないこと(建屋外壁の許容温度以下)を評価し、必要により消火設備、隔離距離等の防火対策を講じる。	低出力炉(500kW 未満)では、サイト内及び近隣の火災源の火災及び航空機落下時の燃料火災を想定して評価する。火災影響評価は、高出力炉/中出力炉と同じ。		
	④ 近隣工場等の火災				
第7条	⑤ 船舶の衝突	もんじゅの荷揚岸壁には 3000トン級の船舶が着岸する。この際に船舶が岸壁に衝突する可能性がある。しかしながら、山側資材置場は E+132m の位置にあり、荷揚岸壁から約 800m 離れているので、衝突の影響はない。		外部からの火災の影響については、「原子力発電所の外部火災影響評価に関する審査ガイド」に従い評価する。	
	⑥ 有毒ガス	外部火災による煤煙、有害ガスにより安全機能が損なわれない設計とする。			
	⑦ 電磁的障害等	電磁的障害により安全機能が損なわれない設計とする。			
	人の不法な侵入等の防止				
	原子炉施設への人の不法な侵入、爆発物等の持ち込み、不正アクセス行為を防止する設備を設置すること。	原子炉施設への不法な侵入等に対し、防護柵、探知施設、監視装置の設置、及び出入管理、サイバ一テロ対策等を行う。			
第22条	放射性廃棄物の廃棄施設:				
	通常運転時に周辺監視区域の外の空気中及び周辺監視区域の境界における水中の放射性物質の濃度を十分に低減できる処理能力を有すること。	「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」(昭和50年5月13日原子力委員会決定)を参考に、周辺公衆の線量を合理的に達成できる限り低くする。(ALARA) 通常時の廃止措置作業中のもんじゅ施設と研究炉施設から放出される放射性気体廃棄物及び放射性液体廃棄物の摂取等による周辺公衆の被ばく実効線量(目標値)は、2つの施設を合わせて年間 50 $\mu$ Sv を超えないようにする。	参考:もんじゅの第1段階の廃止措置の通常作業中に放出される放射性気体廃棄物(希ガス)による公衆の被ばく実効線量は、敷地境界(ESE 方位約 690m)で 5.2×10 <sup>-4</sup> $\mu$ Sv/y。また、放射性液体廃棄物の摂取による希ガスのガンマ線による実効線量は 0.7 $\mu$ Sv/y と評価している。		
第24条	周辺における直接ガンマ線等からの防護:				
	通常運転時に原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による原子炉施設周辺の空間線量率を 10 $\mu$ Sv/y 以下に抑えること。	通常時の廃止措置作業中のもんじゅ施設と研究炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線を合わせたもんじゅサイト境界の空間線量率(目標値)は、二つの施設を合わせて年間 50 $\mu$ Sv を超えないようにする。	山側資材置場からもんじゅ敷地境界までの最短距離は、約 200m。もんじゅ原子炉施設からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による空気カーマは、運転を前提とした格納容器からの空気カーマを引いた値で、50 $\mu$ Gy を下回る。参考:KUIRの原子炉建屋から坊主池対岸までの距離は約 160m。京都大学の原子炉サイト		

条項	規制内容	もんじゅサイト条件(暫定条件)		設定根拠・理由等	備考
		高出力炉/中出力炉	低出力炉/臨界実験装置		
	分低減できること。	Gyを超えないようにする。		境界の空間線量は、KURの31.6 $\mu\text{Gy/y}$ とKUCAの11.6 $\mu\text{Gy/y}$ を合わせても50 $\mu\text{Gy/y}$ 以下と評価している。	
第40条	<p>多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止:</p> <p>高・中出力炉においては、原子炉冷却機能の喪失等による大量の放射性物質等の漏えい事故について評価し、事故拡大防止に必要な措置(常設/可搬式装置等)を講じる。</p> <p>(廃止措置に入ったもんじゅでは、大規模損壊事象として、燃料池の水抜けと全数燃料破損、故意による大型航空機衝突に対する大規模火災、一次系ナトリウム火災について評価している。燃料池の全燃料体が破損し希ガス、よう素が放出した場合の敷地周辺の被ばく線量は、<math>2.53 \times 10^{-3} \text{mSv}</math>。その場合のガンマ線のスカイシャインによる線量は、<math>2.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}</math>で、年間<math>0.175 \text{mSv/年}</math>と評価。)</p>	<p>中・高出力炉については、原子炉冷却機能の喪失等による大量の放射性物質等の放出に必要措置(常設/可搬式装置等)を講じる。</p> <p>(廃止措置に入ったもんじゅでは、大規模損壊事象として、燃料池の水抜けと全数燃料破損、故意による大型航空機衝突に対する大規模火災、一次系ナトリウム火災について評価している。燃料池の全燃料体が破損し希ガス、よう素が放出した場合の敷地周辺の被ばく線量は、<math>2.53 \times 10^{-3} \text{mSv}</math>。その場合のガンマ線のスカイシャインによる線量は、<math>2.0 \times 10^{-2} \mu\text{Sv/h}</math>で、年間<math>0.175 \text{mSv/年}</math>と評価。)</p>	<p>低出力炉(500kW未満)であるので、本条項は該当せず。</p> <p>(低出力炉、臨界実験装置は、強制冷却不要で、事故時の炉心燃料中の放射性物質の放出による影響は小さい。)</p>	<p>中・高出力炉における多量の放射性物質等の放出の事象想定は、JRR-3及びKURでの事象想定を参考に設定する。</p> <p>KUR(中出力炉)の想定と対策:</p> <p>KURの多量の放射性物質等を放出する事故として、①電源喪失における崩壊熱除去機能喪失+地震と②炉心流路閉塞における崩壊熱除去機能の喪失+地震の事象を想定。②の場合、溶融した燃料要素1体の希ガス100%、ヨウ素60%の放出による被ばく線量は4.3mSvで、放射性ブルーム及びスカイシャインのガンマ線による被ばくは2.5mSvとなり、合計6.8mSv。想定した事故の拡大防止策として、炉心水位低下防止設備による水止め、可搬式消防ポンプ等による注水、ホウ酸水投入等の事故拡大防止措置を講じる。</p>	

# 試験研究炉のニーズに関する整理

## 1. 整理の目的

平成 29、30 年度に実施したニーズに関する調査では、国内外の研究炉による活動実績の文献調査や、企業や学術有識者からの意見聴取により今後のニーズを調査してきた。

令和元年度は以下の内容について検討を行った。

- ① ニーズ調査の基本要件、②国内外の研究炉での利用実績の調査と分析、③ニーズ調査の結果概要、④利用目的別の研究炉や付属設備等への機能要件の整理、⑤個別ニーズの課題対応等である。

## 2. 研究炉のニーズ調査の基本要件

研究炉の選定の前提となるニーズの整理は、以下の要件を踏まえて行っている。

### ① 研究炉の利用ニーズの項目と範囲

ニーズの動向を把握するための基本要件となる利用先は、IAEA を始め国内外での研究炉の利用実績の報告をまとめると以下のようになる。

- i) 教育・訓練 ii) 中性子放射化分析 iii) 即発ガンマ線放射化分析 iv) 放射性同位元素製造 v) 地質分析 vi) 核変換による Si 変換不純物注入 vii) 中性子ラジオグラフィ viii) 中性子散乱による材料構造分析 ix) 陽電子源利用技術 x) 中性子捕捉治療
- 燃料・材料照射 XII) 計測器の試験や校正

### ② ステークホルダーと研究炉ニーズとの関係

- i) 政府や地方自治体：国際間の競争・協調を目指す技術開発戦略、社会・経済政策に基づく研究開発のロードマップ、核医学へ取り組み戦略等の政策立案に貢献する活用ニーズ
- ii) 学術・科学技術組織：学生の教育・訓練方針、研究開発の国際連携戦略、先端的施設・計測技術研究開発戦略、研究開発の中核形成方針等に貢献する活用ニーズ
- iii) 医学界：より高度で安価な医療を目指した先端診断手法開発、治療装置の改善等に貢献する活用ニーズ
- iv) エネルギー業界：人材育成、原子力安全文化醸成、サービスの提供等に貢献する活用ニーズ
- v) 農業界：収穫効率向上や干ばつ耐性のある作物品種に向けた放射性同位体トレーサー技術の適用、微量元素の分析によるモデル化等に貢献する活用ニーズ
- vi) 一般工業界：多様な計測/観測手段開発、イノベーションに繋がる技術、ラジオグラフィの適用、放射性同位元素の活用、材料元素分析や構造分析等に貢献する活用ニーズ

### ③ 研究炉の現在と将来のニーズの把握

ニーズは、現在の利用から、将来の利用に亘って見通しておく必要があり、推定方法には以下の方法がある。

- i) 現在の実績をベースにしてこの傾向が継続するとの前提で利用ニーズを推定する方

法

- ii) 関係する事業の市場調査に基づく将来予測等を参照して利用ニーズを推定する方法
- iii) 学術研究や事業経営等の専門家の将来展望を聞き取り調査等によって利用ニーズを調査する方法
- iv) 夫々の個別ステークホルダーに対してニーズ調査を行う方法

等があり、時間的、経費的な制約の条件を加味して選択しているが、今回の調査では、

- iv) 項目を除いた方法で把握することとした。

- ④ ニーズは、国や研究機関、学術界等の研究開発の政策方針（ロードマップ等）や戦略的な方針決定に役立つものであること

ニーズは、炉の規模や形式に依存することや、かつ粒子加速器等との使い分け等も考慮し、ニーズの内容の整理にはこの点も考慮しておく必要がある。この内容は、研究炉への要件として纏めた。

### 3. 研究炉の利用実績の調査

平成 29 年度の調査時から、国内外の利用実績の調査を行ってきた。データとしては、IAEA 研究炉のデータベース（IAEARRDB）や諸文献、国内の研究炉所有機関から報告されている報告書等を参照にした。これらの調査結果と分析の結果を以下にまとめる。

#### ① 炉出力毎の利用分布

2.①で述べた利用項目について、研究炉を臨界実験装置と、出力別に分類した研究炉の規模別に、IAEARRDB 2019 年 7 月に報告されている利用炉数、それらの利用割合及び利用によって得られている目的（これは利用目的によって記載単位は異なっている）等を整理し、炉出力毎の利用分布を表 1 に示す。

表1 炉出力別利用概要

項目	炉出力 500kW以下 (1.9基)	炉出力 200kW未満 (1.9基)	炉出力 100kW未満 (1.9基)	炉出力 50MW未満 (1.4基)	炉出力 50MW以上 (6/14基)
人材育成	炉別使用基数	59.7% (49/82基)	89.4% (17/19基)	59.2% (16/27基)	53.3% (5/15基)
	使用基数の相対比	35.7% (49/137基)	12.4% (17/137基)	11.6% (16/137基)	3.6% (5/137基)
	炉別応用数と割合	7,945人 (99.8人/基)	1,897人 (99.8人/基)	1,044人 (58.6人/基)	241人 (16.9人/基)
	応用数の相対比	63.6% (7,945/12,448人)	15.2% (1,897/12,448人)	8.3% (1,044/12,448人)	1.9% (241/12,448人)
訓練	炉別使用基数	51.2% (42/82基)	84.2% (16/19基)	70.3% (19/27基)	71.4% (10/14基)
	使用基数の相対比	30.4% (42/138基)	11.5% (16/138基)	13.7% (19/138基)	7.2% (10/138基)
	炉別応用数と割合	506人 (6.1人/基)	255人 (13.4人/基)	296人 (11.4人/基)	1307人 (96.2人/基)
	応用数の相対比	18.1% (506/2,791人)	9.1% (255/2,791人)	10.6% (296/2,791人)	43.2% (1,307/2,791人)
放射化分析	炉別使用基数	57.3% (47/82基)	78.9% (15/19基)	66.6% (18/27基)	64.2% (9/14基)
	使用基数の相対比	43.5% (47/108基)	13.8% (15/108基)	16.6% (18/108基)	8.3% (9/108基)
	炉別応用数と割合	94,947h (1157.6h/基)	20,025h (1053.9h/基)	12,111h (448.5h/基)	8,156h (582.1h/基)
	応用数の相対比	65.2% (94,947/145,514h)	13.7% (20,025/145,514h)	8.3% (12,111/145,514h)	5.6% (8,156/145,514h)
工製造	炉別使用基数	23.1% (19/82基)	57.6% (11/19基)	66.6% (18/27基)	71.4% (10/14基)
	使用基数の相対比	22.7% (19/80基)	13.7% (11/80基)	22.5% (18/80基)	12.5% (10/80基)
	炉別応用数と割合	129,010kg (1573.3kg/基)	41,300kg (2173.6kg/基)	82,700kg (3062.9kg/基)	37,674,720kg (2,691,651kg/基)
	応用数の相対比	0.2% (129,010/59,092kg)	0.6% (41,300/59,092kg)	1.3% (82,700/59,092kg)	19.7% (37,674,720/59,092kg)
S1ドレーピング	炉別使用基数	2.4% (2/82基)	2.4% (2/82基)	33.3% (9/27基)	35.7% (5/14基)
	使用基数の相対比	8.3% (2/24基)	8.3% (2/24基)	37.5% (9/24基)	20.8% (5/24基)
	炉別応用数と割合	83,001t (41,500.5t/基)	83,001t (41,500.5t/基)	5,345t (2,672.5t/基)	83,001t (5,914.4t/基)
	応用数の相対比	21.3% (83,001/389,352t)	21.3% (83,001/389,352t)	4.0% (5,345/389,352t)	63.1% (83,001/389,352t)
ラジオグラフィ	炉別使用基数	23.1% (19/82基)	57.6% (11/19基)	62.9% (17/27基)	71.4% (10/14基)
	使用基数の相対比	27.9% (19/68基)	16.1% (11/68基)	25.0% (17/68基)	14.7% (10/68基)
	炉別応用数と割合	656h (34.5h/基)	1,182h (116.6h/基)	4,194h (155.3h/基)	10,933h (780.9h/基)
	応用数の相対比	3.9% (656/21,737h)	5.4% (1,182/21,737h)	19.2% (4,194/21,737h)	50.2% (10,933/21,737h)
製丸	炉別使用基数	8.5% (7/82基)	21.0% (4/19基)	37.0% (10/27基)	71.4% (10/14基)
	使用基数の相対比	15.5% (7/45基)	8.8% (4/45基)	22.2% (10/45基)	22.2% (10/45基)
	炉別応用数と割合	800h (9.7h/基)	72h (3.7h/基)	5,172h (191.5h/基)	40,596h (2899.7h/基)
	応用数の相対比	1.1% (800/70,810h)	0.1% (72/70,810h)	7.3% (5,172/70,810h)	57.3% (40,596/70,810h)
実験	炉別使用基数	4.8% (4/82基)	4.8% (4/82基)	18.5% (5/27基)	14.2% (2/14基)
	使用基数の相対比	28.5% (4/14基)	28.5% (4/14基)	35.7% (5/14基)	14.2% (2/14基)
	炉別応用数と割合	695件 (22.4件/基)	695件 (22.4件/基)	3件 (0.2件/基)	20件 (1.4件/基)
	応用数の相対比	96.3% (695/628件)	96.3% (695/628件)	0.4% (3/628件)	3.1% (20/628件)
材料・燃料調製	炉別使用基数	3.7% (2/53基)	21.0% (4/19基)	40.7% (11/27基)	50.0% (7/14基)
	使用基数の相対比	3.7% (2/54基)	7.4% (4/54基)	20.3% (11/54基)	12.9% (7/54基)
	炉別応用数と割合	26.4% (14/53基)	15.7% (3/19基)	22.2% (6/27基)	57.1% (8/14基)
	応用数の相対比	21.2% (14/66基)	4.5% (3/66基)	9.0% (6/66基)	12.1% (8/66基)
原子力基礎技術(実証試験、第4世代炉、商業炉、核廃止、ADSや核変換などを含み、燃料・材料開発を除く)	炉別使用基数	47.1% (25/53基)	5.2% (1/19基)	7.4% (2/27基)	14.2% (2/14基)
	使用基数の相対比	48% (25/52基)	1.9% (1/52基)	3.8% (2/52基)	3.8% (2/52基)
	炉別応用数と割合	20.7% (17/82基)	5.2% (1/19基)	11.1% (3/27基)	35.7% (5/14基)
	応用数の相対比	53.1% (17/32基)	3.1% (1/32基)	9.3% (3/32基)	15.6% (5/32基)
その他(他の利用や不明)	炉別使用基数	3.7% (2/53基)	21.0% (4/19基)	40.7% (11/27基)	50.0% (7/14基)
	使用基数の相対比	3.7% (2/54基)	7.4% (4/54基)	20.3% (11/54基)	12.9% (7/54基)
	炉別応用数と割合	26.4% (14/53基)	15.7% (3/19基)	22.2% (6/27基)	57.1% (8/14基)
	応用数の相対比	21.2% (14/66基)	4.5% (3/66基)	9.0% (6/66基)	12.1% (8/66基)

※2019.5.1\_AEA R508(Research Database)をもとに作成 ch Reactor Database)をもとに作成



## ② 利用割合の評価と表示に関する試み

表 1 の炉出力毎のデータを整理し、分析した結果を表 2 に示す。この表には、炉出力別の炉基数（利用数）及び目的毎の基数とその利用率を示した。更にその利用率を相対的に比較するために、利用率と利用率の平均値との比として「特化係数」を算出した（緑色表示）。また、この特化係数に基づいて、利用度合いの定性的な比較が可能になるような評価記号を記載した。

この評価記号は特化係数の数から、◎：利用機会が非常に多い（1.5 以上）、○：利用機会が多い（0.8~1.49）、△：利用機会はやや少ない（0.5~0.79）、∴：利用機会は少ない（0.1~0.49）、×：利用機会はない（0.1 未満）とした。

この特化係数は、この表の列方向に示した出力について、利用率の平均値と利用目的の利用率の比で、「平均値からのずれの大きさ」を示す数字である。

表 2 利用割合評価表 <列方向の比較による評価>

利用目的	臨界・未臨界実験装置	低出力炉		中出力炉		高出力炉		計
		超低出力	低出力	中低出力	中出力	高出力	超高出力	
出力範囲		500kW以下	2MW未満	10MW未満	20MW未満	50MW未満	50M以上	
炉基数	53	82	19	27	15	14	14	224
炉存在割合	0.237	0.366	0.085	0.121	0.067	0.063	0.063	
教育 基数 (利用率) 特化係数	36 (0.679) 2.15 ◎	49 (0.597) 2.25 ◎	17 (0.894) 2.05 ◎	16 (0.592) 1.43 ◎	8 (0.533) 1.26 ○	5 (0.357) 0.72 △	6 (0.428) 0.86 △	137
訓練	32 (0.603) 1.91 ◎	42 (0.512) 1.93 ◎	16 (0.842) 1.93 ◎	19 (0.703) 1.70 ◎	9 (0.600) 1.42 ○	10 (0.714) 1.44 ○	10 (0.714) 1.43 ○	138
放射化 分析	5 (0.094) 0.30 ∴	47 (0.573) 2.16 ◎	15 (0.789) 1.81 ◎	18 (0.666) 1.61 ◎	8 (0.533) 1.26 ○	9 (0.642) 1.30 ○	6 (0.428) 0.86 ○	108
RI 製造	0 ×	19 (0.231) 0.87 ○	11 (0.578) 1.36 ○	18 (0.666) 1.61 ◎	12 (0.800) 1.89 ◎	10 (0.714) 1.45 ○	10 (0.714) 1.43 ○	80
Si ドーピング	0 ×	2 (0.024) 0.09 ×	0 ×	9 (0.333) 0.81 ○	4 (0.266) 0.63 △	5 (0.357) 0.72 △	4 (0.285) 0.57 △	24
ラジオグラフィ	0 ×	19 (0.231) 0.87 ○	11 (0.578) 1.33 ○	17 (0.629) 1.52 ◎	7 (0.466) 1.10 ○	10 (0.714) 1.45 ○	4 (0.285) 0.57 △	68
散乱	0 ×	7 (0.085) 0.32 ∴	4 (0.210) 0.48 △	10 (0.37) 0.90 ○	10 (0.666) 1.57 ◎	10 (0.714) 1.45 ○	4 (0.285) 0.57 △	45
医療	0 ×	4 (0.048) 0.18 ∴	0 ×	5 (0.185) 0.45 ∴	3 (0.200) 0.47 ∴	2 (0.142) 0.29 ∴	0 ×	14
燃・材料 照射	2 (0.037) 0.12 ∴	16 (0.195) 0.74 △	4 (0.210) 0.48 △	11 (0.407) 0.99 ○	4 (0.266) 0.63 △	7 (0.500) 1.01 ○	10 (0.714) 1.43 ○	54
基礎研究、 核物理	14 (0.264) 0.84 ○	23 (0.280) 1.06 ○	3 (0.157) 0.36 ∴	6 (0.222) 0.54 △	2 (0.133) 0.31 ∴	8 (0.571) 1.16 ○	10 (0.714) 1.43 ○	66
原子力 基盤技術	25 (0.471) 1.50 ○	16 (0.195) 0.73 △	1 (0.052) 0.12 ∴	2 (0.074) 0.18 ∴	0 ×	2 (0.142) 0.29 ∴	6 (0.428) 0.86 ○	52
その他	3 (0.056) 0.18 ∴	17 (0.207) 0.78 △	1 (0.052) 0.12 ∴	3 (0.111) 0.27 ∴	3 (0.200) 0.47 ∴	5 (0.357) 0.72 △	0 ×	32
利用率の 平均値	0.315	0.265	0.436	0.413	0.423	0.494	0.500	

この表により、どのような利用方法が、どのような炉型で利用されているかが分かり、炉型を選定した場合にはどのようなニーズに対応可能であるかどうかを知ることが出来る。

#### 4. 利用ニーズ調査の概観と課題

平成 29 年度から実施した文献調査や、訪問によるニーズ調査で取り上げたニーズを、潜在的なニーズ（想定されるニーズ）と顕在化しているニーズ（訪問等により調査したニーズ）とに比較し、それを整理する上での問題点や懸念事項を整理して表 3 に示す。

表 3 利用ニーズの調査結果及びニーズを研究炉で実現する上での課題

ニーズ	潜在的なニーズ (想定されるニーズ)	顕在化しているニーズ (訪問等により調査した ニーズ)	問題点等
教育	<ul style="list-style-type: none"> <li>大学教育での研究炉及び熱流動装置、シミュレータ等を利用した統合型人材育成ツールの利用</li> <li>E ラーニング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MEXT、METI の人材育成ロードマップによる原子力人材育成</li> <li>JAEA・原産協会による人材育成ネットワーク、分科会によるニーズ</li> <li>学術会議・原子力学会による研究炉の役割</li> <li>IAEA 枠組みでの国際的 大学連携</li> <li>熱流動装置、保全モックアップ、シミュレータ等の複合的なツールは必要（京大 N 教授、東大 K 教授、首都大 Y 教授、近大 W 準教授）</li> <li>敦賀駅前へのサテライト施設（リモート実験、研究炉の管理・監視、シミュレータ設置、データ解析計算センター）構想（福井大 U 教授 つるが国際シンポジウム講演）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>対象学生数情報の精査（MEXT 情報では原子力系入学者は毎年 300 名程度であるが在学学生数は約 800 名、6 年間の在学学生数との不整合</li> <li>原子力系以外の学生数の把握が出来ていない</li> <li>研究炉を中心に据えた人材育成機能装置の具体的なイメージ化と大学教育での利用意向の不確定さ</li> </ul>
訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力発電関係企業以外の研修生受け入れ可能性（医学、保健物理、ビーム科学、バイオ関係）、企業からの訓練受け入れ</li> <li>国際社会人研修</li> <li>規制官研修・訓練</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>規制庁の人材育成計画</li> <li>原子力委員会有識者ヒアリング議事録</li> <li>電力会社・メーカーとも自社教育で充足しており、当面公的機関での対応不要</li> <li>FNCA を通したアジア圏の連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業者の訓練支援内容の構築（電力関係、一般製造業、建設・建築業、農業・食品産業等）</li> <li>公的施設・設備利用の可能性</li> <li>東アジア圏連携による研修生交流の活性化</li> <li>規制関係職員の研修計画への協力枠組み</li> </ul>
放射化分析	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>半導体工業、高分子工業、医薬品工業、環境管理事業者等微量元素の混在・含有物質の定量・非破壊分析</li> <li>非鉄金属、鉄鋼製造業等の低原子番号元素を対象とした不純物分析（PGA による分</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中性子科学者からは、工業的な利用ニーズは勿論、環境学、考古学、製品の産地同定等幅広く存在しているが、具体的な宣伝が不十分で活用されていない（東大 S 教授、早稲田大学 E 教授）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>セミナーによる、非原子力産業や他学術的分野への宣伝やトライアルユース等の試行枠組みの構築が不十分</li> <li>学术界での認知度の低下対応</li> </ul>

	<p>析)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・体内組織中のヨウ素等の分析</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオ、薬剤、医療関係の分析技術開発</li> </ul>		
RI 製造	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Mo-90 は粒子加速器を含め、世界各国の大型・超大出力型で進出は難しいが、研究炉による安定供給を前提にした、Au-198、Ir-198、Lu-177 等は魅力のある医療用の放射性同位元素である。</li> <li>・非破壊分析用の Ir-198 も需要は大</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・TAT 関係の RI 製造プロセス開発</li> <li>・医療用新規 RI の探索</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒアリング時の情報では、Mo-90 は輸入から加速利用に移行、左記の RI の需要は、医療用、工業用でニーズの存在は確認(検査会社、RI 取り扱い団体、研究機関専門家のヒアリングより)</li> <li>・海外の新設の研究炉での計画にも積極的にこのニーズを記述している</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・具体的な RI 精製から販売等のサプライチェーンが不透明なため、将来事業展望が未完</li> </ul>
Si ドーピング	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・将来の大電力制御素子の需要(電気自動車、スマートグリッド構築等)からみると半導体製造事業では必須の技術で、新規の SiC、窒化化合物等と比べて価格競争的にはここ数十年の需要はある(矢野経済研究所展望)</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・Si 以外の半導体での不純物生成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要な半導体原料製造事業者(信越化学、SAMUCO 等)は MEXT の調査によれば、国内研究炉の利用は当面考えていない(米国、豪州、西欧等の研究炉を利用)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今後の半導体原料事業(現在の世界的なシェアは約 70%)の将来を見据えると、このような傾向は日本技術の競争力を低下させるために、国内で安定にサービスできる研究炉の検討を進めても良いのではないかと思われる。国内での取り組み戦略の構築が必要</li> </ul>
ラジオグラフィ	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・X 線では不可能な低元素や特殊元素の中性子吸収力の差により幅広い非破壊検査にニーズはある。また断層写真、動画の作成</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・超高分解能検出技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラジオグラフィは機械の内部を流れる流体の映像化、コンクリート中の水分挙動、農作物や花卉の水分移動等の観察に有効であるために、宣伝をすれば利用者は増える(京大 K 教授)</li> <li>・コンクリート中の水分分布測定は福井県でも関心を持つ業者は存在する可能性はある(福井県工業試験センター)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの業界で、ラジオグラフィへの認知度は低い。セミナー等の宣伝やトライアルユースの枠組みの検討をすべき。</li> </ul>
散乱	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの先端材料開発の基幹技術である構造解析のツールとして、多くのニーズが考えられ、発電事業を始め、自動車工業、鉄鋼・非鉄工業、高分子工業、製薬産業、食品産</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中出力以下の研究炉では測定精度が低い、スーパーミラー等の技術の利用である程度の産業利用は可能になる場合もある。(京大 K 教授、東大 S 教授)</li> <li>・Li イオン電池の実用化には粉体回折は要望な</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・散乱技術へのニーズ調査においては、将来事業への「Wants」なのか、「Needs」なのかの識別は重要であることを認知した上で整理をする必要がある。</li> <li>・実施経験のある企業</li> </ul>

	<p>業等日本の産業の過半を占める製造業で利用する特徴のあるニーズは数多く存在する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・残留応力測定：火力・原子力発電所配管類検査、鉄道車輪・歯車検査、自動車工業等金属加工部品検査、炭素強化繊維の残留応力、鉄筋コンクリートの残留応力</li> <li>・粉末回折：Li イオン電池の粉末材中の Li 分布測定、燃料電池電極材特性測定、超電導物質の構造同定、</li> <li>・単結晶回折：生体高分子や DNA 等の結晶構造解析</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高感度検出技術開発、信号処理・表示の自動化技術</li> </ul>	<p>手段（電気メーカー）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・車両向け軽量化新規材料開発や、残留応力測定技術は有望な技術（自動車部品メーカー）</li> <li>・原子力関連企業（材料、プラント）からは特段のニーズへの要求は見られなかった</li> <li>・試料取り扱い、信号処理等の自動化の要請（自動車部品メーカー）</li> </ul>	<p>は、大型研究炉や加速器中性子、放射光、等の利用戦略を構築しているが、研究炉利用のメリットを理解する企業は限定的である。このためのニーズ発掘のための枠組みを検討すべきである。</p>
燃・材料照射	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料・材料照射は、原子力の安全確保には必須な技術課題であり、小出力炉から高出力炉まで、中性子束の大小に関わらず試験のニーズは存在</li> </ul> <p>【学術利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規材料の開発のための照射試験や金属材料の照射挙動のモデル化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型炉での小試験片照射から、大型炉で高中性子フルエンス照射まで、現行炉の安全性・経済性の追求の面から必要（福井大 F 教授、福井工大 H 教授）</li> <li>・照射材料試験設備、照射キャプセル開発等の施設の設置（福井大 U 教授、つるが国際シンポジウム講演）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・学術面でのニーズはあるが事業者のニーズは不明であり、欧米の活動に比べてニーズが少ないように見えることは将来に向けて不安</li> </ul>
基礎、研究核物理	<p>【学術・産業利用共通】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子利用による、陽電子消滅法による材料評価、核励起レーザー、中間子やニュートリノ等の利用研究及びバイオ技術等、バイオ関係技術等国内外での研究は今後も継続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・陽電子消滅法は、KUR での実績があり、今後実用化に向けた取り組みを展開（福井大 U 教授 つるが国際シンポジウム）</li> <li>・原子炉利用のニュートリノ関係研究の実施、DNA の放射線損傷や BNCT 基礎研究等の展開（福井大 U 教授 つるが国際シンポジウムの講演）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究には特有のリスクを伴うが、リスクを乗り越える支援策の構築が必要</li> </ul>
原子力基盤技術	<p>【産業利用】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子・<math>\gamma</math> 線遮蔽体の開発、中性子検出器の校正試験や開発、臨界実験装置による炉心設計、電子機器の照射効果等は継続して行うことは大きなニ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料試験設備に加え、炉内計装設備の設計機能の充実、ふげんの RI 施設の移転（福井大 U 教授 つるが国際シンポジウム講演）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・規制当局からの要請（ニーズ）、電力会社、メーカーからのニーズの調査方法の検討</li> </ul>

	ズ <b>【学術利用】</b> ・ADS 等の新規技術開発 ・臨界実験装置を用いた革新炉開発 ・先端的放射線検出器の開発		
--	--	--	--

#### 5. 利用ニーズに対応する研究炉の機能要件

4 項で述べた、主要なニーズについて、これを研究炉で実現するための要件を項目ごとに整理し表 4 に示す。この要件は、国内外の研究炉の利用実績を整理した文献<sup>6)</sup>を基にまとめたもので、研究炉の設計時に利用できるように利用上で必要となる設備・装置等の経費の概要も記載した。さらに、研究炉で利用する場合の費用や、国内外での利用実績を可能な限り定量化して示した。

表 4 新規試験研究炉に必要な機能・運用要件

中項目	利用目的	研究炉への機能要求			運用上の要件			
		出力・中性子束	施設への要件	設備・装置の要件	所要時間	人材	資金	その他の情報
一般向け ア～	一般市民、生徒、その他の関心のある学生のレベルに近づき、原子炉施設の使用や講義、また、核出力や放射線同位体元素を用いて、運転の効果や半導体測定実験を行う理解促進活動	全ての出力レベルで対応可	管理区域区分やセキュリティ区域の確保や明瞭、関係者の連絡や説明及び特権確保の確保	・モニタリング用の放射化された燃料分取出し及びマルチチャンネルアナライザ(MCA) ・汚染検出体験用実験と出射線用材料 ・ボグレット総量計などの安全管理材料	1～2時間	講演やリモートセッションが可能な原子炉運転員が必要	海外総経生用実験 ・近大炉1,227名(2018年の実績) ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・ANST12\$/人・2h	
物理学 および生物・医学系の学生教育	施設の見学と放射化分析による中性子利用の体験	10 <sup>11</sup> nV程度のフラックスが望ましい	・照射システム ・放射線測定器 ・マルチチャンネル分析器 ・座学用講義室	追加導入は不要 高度な装置は1～4週間	1～2日間 (8～15時間)	追加要員不要	・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・ANST160\$/人・24h	
放射線防護および放射線工学の学生教育	学生や関係者に向け、実践訓練を行い習得要件を会場 放射化分析、ラジオグラフィ、臨界時の中性子応答などの体験	全ての出力レベルで対応可	・照射システム ・放射線測定器 ・マルチチャンネル分析器 ・座学用講義室	放射線防護材料や消耗品などの提示	2～3日間 (10～20時間)	追加要員不要	・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・ANST160\$/人・24h	
原子力工学の学生教育	原子炉の業務利用カリキュラムによる教育 1.原子炉利用実験 2.原子炉利用実験 3.修士課程学生のための高度化した研究・訓練 4.発電炉運転員を目指した訓練	全ての出力レベルで対応可 訓練は、10 <sup>11</sup> nV以上 数100kWの出力が望ましい	上記施設に加え、ビーム実験が行えるビーム管が必要 放射線防護取得が必要な施設、熱流動施設との組み合わせ	・中性子スベグトルおよび中性科学で使われる中性子や他の粒子測定に必要な装置 -ガス流比例計測器 -シンチレーション -ゲルマニウム -中性子放射化ホイル -電圧検出器 ・臨界実験へのアプローチに必要な装置 -三フッ化ホウ素 - <sup>18</sup> Oまたは核分裂チャネル -複数の中性子検出システム&増幅器&読み出し装置	導入教育 (5～10日間) 実験参加の学生は実験期間中(1～4週間)	学生への指導にも対応可能な原子炉運転員が必要	・原子炉利用実験 (50～500万円) ・計数及び分析システム用検出器 (200～700万円) ・近大炉では上記2項を合わせ 約130名の学生が登録 (2018年) ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・米岡カンサス大学 ・IAEA FROB(2019年7月)による国内研究炉での教育 -KLUC 90名 -UTR KINKI 260名 -KUR 300名 ・IAEA FROB(2019年7月)による国内研究炉での訓練 -UTR KINKI 20名 -KUR 200名	
原子力発電所 運転員研修 (若CPD教育)	訓練内容 1.行政・組織に関連した事項 2.原子炉関連の知識 3.原子炉利用実習	低出力 →核加熱開始時の原子炉運転訓練 高出力 →加熱時点以降の原子炉運転訓練	上記の施設に加え、機器、保守、点検、訓練用機材	・併用シュミレーター ・非破壊検査機器 ・保守作業 ・機器(遠隔操作機器を含む)	短期5～10日間 長期2～6週間	高度な技術者各指導致える技術者(技術士、博士課程修了者)	・教育用シュミレーター (～300万円) ・保守作業モックアップ (～200万円) ・保守作業機器 (～10万円)	・研究炉・熱流動・シュミレーターなどの教育設備の活用主体や各大学、企業などの利用計画の立ては必須 ・DEラニニング制度の推進 ・母体の制定と運用方法の検討が必須条件 ・海外からの研修生制度の発着しと新規立案も必須 ・教職員研修 近大炉43名(2018年)

利用目的		利用の概要		研究への要件			研究上の要件		その他の情報	
中項目	小項目	出力・中性子束	施設への要件	設備・装置の要件	所要時間	人材	資金			
中性子放射線分析 (NA)	<p>・ 試料中に含まれる元素が中性子照射により生成された放射性核種から放出される元素特有な放射線の測定をすることにより含まれている元素含有量の定量的、定量的測定の方法。</p> <p>・ 30kWi以上の研究炉の利用が多く、設備費用は他の中性子ビーム利用の分析法と比較すると安価で、かなり大規模の試料まで非破壊で分析出来ることが特徴</p> <p>・ 主な分析のための放射線の計測</p> <p>-ガンマ線測定と放射線分析</p> <p>-遅発中性子測定</p>	<p>・ 利用実績では1Wi以上の炉の利用率は高く、ルーチン的に使用される炉が多数</p> <p>・ 10<sup>7</sup> nV程度の利用率もあるが、精度の高い分析には、遅延でも10<sup>10</sup>~10<sup>13</sup> nVのレベルの研究炉の使用が多い</p>	<p>・ ほとんどどの分析は熱中性子炉が多く、軽水炉の研究炉では、照射場所は炉心近傍が理想的、照射時間に対する照射断面積が重要である。照射断面積が大きい炉が有利</p> <p>・ 照射断面積内の中性子束の安定性(1%以下)の変動や場所的均一性が重要</p> <p>・ 照射のために自動試料移送装置が必要、そのためにフラッシュシステムが使われる</p> <p>・ 照射後、利用者への放射線防護のための、小型キヤプセルの準備と持ち出し管理システムが必要</p>	<p>・ 計測装置： ガンマ線分光測定システム(鉛シールド、ガンマ線スペクトル解析、解析ソフトウェアを必要とする) ・ 自動試料移送装置： 照射断面積内の中性子束の安定性(1%以下)の変動や場所的均一性が重要 ・ 照射のために自動試料移送装置が必要、そのためにフラッシュシステムが使われる</p> <p>・ 照射後、利用者への放射線防護のための、小型キヤプセルの準備と持ち出し管理システムが必要</p>	<p>・ 短寿命核種 (10秒~3分) ・ 中寿命核種 (数分~数時間) ・ 長寿命核種 (数週間~数日)</p>	<p>化学及び核物理学の経験を持つ人材を1~2名必要</p>	<p>・ 燃料取扱い系 (2000万円) -ラビット ・ 燃料自動交換機 (700万円) -計測系 (700万円) -ガンマ線分光測定システム (100cm<sup>2</sup>×15cm) 重量物 50kg中の非破壊分析 ・ 遅発中性子測定用の検出器 ・ 大気中物質 (XRF) 検出器、自動分析装置 ・ 人体採取物質 (毛髪、ツメ中の有機物質Asなど) ・ 樹木などの採取した有機物質抽出によるハイオモニタ</p> <p>・ 利用例 (JRR-3: 22年) -食品中のホウ素 -コンクリート中の水分 -タンクステン中の水分 ・ JRR-3 (H22年度) 重水炉の再稼働による再稼働試験 (174日うち稼働試験日数は68日 (40%)) ・ JRR3での利用料金 (2019年4月) 32,230円/日 (商業利用)</p>	<p>・ 放射線計測の専門家 ①比較測定：質量当たりの放射性元素の濃度を測定され、試料の物理・科学的特性や照射する中性子束に依存 ②化学純度：安定な核種の同位体組成の低下 ③放射性物質の純度：他の放射性物質の混在をさけること ・ 典型的な放射性同位体製造の例 -<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Mo 親生成器を使った製品 -<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Mo: 製品、国内の約80%を占め、市場規模は約200億円 (2016年) -<sup>176</sup>Yb (n,β-) <sup>177</sup>Luに より<sup>177</sup>Lu β線源内であり、入院治療が不要</p>		
	<p>・ 中性子の照射と同時に照射する核種を計測し、低原子番号から高原子番号までの元素を測定する方法</p> <p>・ 測定対象元素 (主に有機物質中) -低原子番号元素 ホウ素、炭素、酸素、水素、窒素、リン、硫黄 -高原子番号元素 ホウ素、カドミウム、ガドリニウム、サマリウム</p>	<p>・ 500kWi以上の研究炉利用</p> <p>・ 一般的には照射面が10<sup>6</sup> nVより大きい熱中性子または冷熱中性子ビーム</p> <p>・ 分析対象元素によっては10<sup>6</sup> nV程度でも可能 (B,CdSm,Gd,Hfなど)</p>	<p>・ 重過形ビーム管 (コリメータ付) ・ ビーム管への真空状態維持のため、ヘリウムガス充填するための配管系と試料交換装置</p>	<p>・ シールド付γ線検出器と高分解能(n型ゲルマニウム)検出器による高分解能ガンマ線分光システム (11MeVγ線) ・ コンピュータベースのMCA ・ 検出器のγ線、中性子線検出</p>	<p>数秒~数10分</p>	<p>施設設計、運営には、核物理学化学者が必要。低過試料を使用する場合は、照射断面積に合った試料が必要。</p>	<p>高品質の中性子ビーム、効率的な中性子の回収、ガンマ線検出器による高分解能測定による試料中の水分、ホウ素、炭素、酸素、水素、窒素、リン、硫黄の測定</p>	<p>・ サブライチエーションと施設設計の決定 (精製、封入、輸送容器等) ・ 追加設備の設計、建設設計と試運転、検査及び修理、安全管理、放射線計測の目的、放射線計測不能時の放射線計測利用不能時の対応等の費用は、規模により決まり、1~50億円と幅が広い</p>		
放射線同位体製造	<p>・ 放射性同位体元素の製造の一般的なプロセスは照射試料の製造、照射、照射済み試料の処理施設への輸送、試料の処理、密封カプセル化、品質管理、エンドユーザーへの輸送</p> <p>・ 中性子束による核分裂や放射線によるプロセスを経て放射性同位体元素が生成される</p> <p>・ 原子炉に於ける放射性同位体の製造は、様々な出力の原子炉で利用可能で、200Wi以上の研究炉で製造されているが商業的な製造は10MW以上が多い</p>	<p>・ 商業生産では中性子束の高い研究炉が使用されることが多いが、低出力炉でも短半減期の同位体の製造が可能</p> <p>・ 照射プロセスでは、正確な照射時間の制御のほか、安定した中性子束が重要</p> <p>・ 主要な商業性のある同位体の製造可能な研究炉出力</p> <p>-<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Mo (200Wi以上) -<sup>131</sup>I (200Wi以上) -<sup>60</sup>Co (200Wi以上) -<sup>192</sup>Ir (200Wi以上) -<sup>177</sup>Lu (200Wi以上) -<sup>225</sup>Rn (200Wi以上) -<sup>225</sup>Rn (200Wi以上) -<sup>225</sup>Rn (200Wi以上)</p>	<p>・ 炉心部での照射カプセル設計、製造、検査、廃棄、廃棄物の処理施設への輸送 ・ 照射断面積の計測用センサー ・ 照射後の試料の処理 (精製や計測のためのホウソウボックスおよびその運搬設備) ・ 原子炉運転への影響評価 -燃料の放射線への影響 -核加熱による炉心温度の上昇 -生成される放射性同位体の評価 -蒸気発生によるカプセル内圧 -放射線レベルと放射線遮蔽</p>	<p>・ 放射線同位体元素の製造の一般的なプロセスは照射試料の製造、照射、照射済み試料の処理施設への輸送、試料の処理、密封カプセル化、品質管理、エンドユーザーへの輸送</p> <p>・ 中性子束による核分裂や放射線によるプロセスを経て放射性同位体元素が生成される</p> <p>・ 原子炉に於ける放射性同位体の製造は、様々な出力の原子炉で利用可能で、200Wi以上の研究炉で製造されているが商業的な製造は10MW以上が多い</p>	<p>・ 利用期間の目安 -トレーサのアプリケーション (6ヶ月) -照射された供給源 (6~12ヶ月) -小規模医療アプリケーション (6ヶ月~2年) -照射断面積及び工業用非密封源 (2~10年) ・ 照射断面積 (10<sup>12</sup> nV以下) -<sup>41</sup>Ar, <sup>198</sup>Au, <sup>38</sup>Cl, <sup>64</sup>Cu, <sup>96</sup>Mu, <sup>24</sup>Naを100MBqの製造が1日で製造可能 ○ 照射断面積 (10<sup>12</sup> nV以下) -<sup>60</sup>Co, <sup>51</sup>Cr, <sup>125</sup>I, <sup>192</sup>Ir, <sup>177</sup>Lu, <sup>96</sup>Mo, <sup>96</sup>Re, <sup>153</sup>Sm, <sup>153</sup>Xe, <sup>90</sup>Y, <sup>166</sup>Ybを10日程度 ○ 照射断面積 (10<sup>14</sup> nV以上) では、<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Moを3~4週連続して製造し、<sup>252</sup>Cf, <sup>75</sup>Sa, <sup>117</sup>Sn, <sup>188</sup>Sr, <sup>188</sup>W/<sup>188</sup>Reも併せて製造可能</p>	<p>供給される同位体の利用範囲及び多様な照射施設の人員、放射線計測レベルが必要。</p>	<p>・ 放射線同位体製造の専門家 ①比較測定：質量当たりの放射性元素の濃度を測定され、試料の物理・科学的特性や照射する中性子束に依存 ②化学純度：安定な核種の同位体組成の低下 ③放射性物質の純度：他の放射性物質の混在をさけること ・ 典型的な放射性同位体製造の例 -<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Mo 親生成器を使った製品 -<sup>99m</sup>Tc/<sup>99</sup>Mo: 製品、国内の約80%を占め、市場規模は約200億円 (2016年) -<sup>176</sup>Yb (n,β-) <sup>177</sup>Luに より<sup>177</sup>Lu β線源内であり、入院治療が不要</p>			





利用目的		研究への要件			研究への要件			研究への要件		
中項目	小項目	利用の概要	出力・中性子束	施設への要件	設備・装置の要件	所要時間	人材	費用	その他の情報	
	単結晶回折	タンパク質や有機・無機材料の単結晶に熱または高温中性子を照射し、種々の方向に散乱される中性子の方向と強度を測定することにより、その結晶の原子配列の構造を知ることが出来る。中でも熱中性子を使用する「4円形回折」は水素や酸素などの軽元素の位置を決める構造決定には有効であるが、データ取得に時間がかかる。このため、広い範囲にわたる中性子エネルギーと大面積検出器を使う「準ラウエ法」が開発され、大規模な時間短縮を実現しているが分解能は大きくなる。産業界用例としては、金属熱処理材料開発、タンパク質構造解析、リチウムイオン電池開発などに使われる。	・4円形回折 熱または高温中性子束 $10^{15}$ nvt以上 ・準ラウエ回折 熱または冷中性子束 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項で述べた内容	バイオ材料では冷凍装置を使うことがあり、異種部冷凍装置の設置が必要(備あり)	・「4円形回折」による単結晶回折」では高出力(500W)でも、数日必要になる場合もある。 ・JRR3BIXでは4日間(備あり)	専門家5~6名	・4円形回折 1~3億円 ・準ラウエ回折 1~6億円		
	原子間距離測定	中性子回折による原子間距離の測定を行って、物質内部の原子間力の分布を測定する方式で、X線では数ミクロンの深さしか評価できないが、中性子では数十mmの深さ方向まで評価できる。産業界用としては、溶接部の強度測定(ボイラー配管・原子力発電所配管などの溶接部)、熱処理による強度変化(製造工程、曲げ加工など)、機械加工による強度変化(冷間加工、鍛造品、切削・研削加工)、機能強化複合材料の強度変化、コンクリートの強度変化などの評価に利用	熱中性子 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項で述べた内容	試料回転試験台 (200~300mm角)	JRR3の場合、1点の測定に数10分必要、試料全体では、3~12日程度必要	専門家5~6名	2.5~5億円	JRR3 64,460円/日 ANST 7040 \$/日	
	金属の合金組成解析(デブスタヤ)	多結晶中の結晶粒(子)の向きや分布を、波長のそろった中性子を照射することによって、大粒の結晶粒から構成される材料や、異種の材料を有する材料の性質を測定する方法であり、最近では、測定時間短縮のために時分測定(TOF)法が採用されるようになってきている。産業界用としては、自動車構造材料の軽量化・高強度化のためにF1エンジンやマグネシウム合金の開発、鉄鋼を低炭素化する製造工程の開発などがあ	熱、高温、冷中性子 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項で述べた内容	試料回転試験台	JRR3の場合、数日2~6日程度	専門家5~6名	5~8億円	JRR3 44,130円/日 ANST 7,550\$/日	
	中性子散乱	中性子の通常の回折は、固体中の原子および分子の平均的結晶学的配列に関する情報を得ることが出来るが、乱散中性子散乱は約0.2~3nm程度の平均から逸脱した原子の分布を求めることが出来る。材料の特殊性を発現する手段として使われる。局所的な磁気特性の変化を評価する場合に有用な中性子を使う	詳細不明	散乱の項で述べた内容						
	液体およびアモルファス材料の回折	ガラスのような液体および非晶質材料は、配列および原子間距離は規則的ではあるが分子の配列はガラスのような静的な配列と、液体のような動的な配列がある。このような状態を研究する方法に、高温(ホット)中性子を使った回折法がある。	詳細不明	散乱の項で述べた内容						
	小角中性子散乱(SANS)	この方法は、平行性の高いビームを照射したときに、非常に小さな角度(1/10000度から5/10000度)で散乱される現象を利用し、ハードマターやソフトマター、生体物質の構造や機能を明らかにする方法である。金属材料や磁性材料の内部の構造の定量化、重水素を吸収させた高分子の構造や特性、生命科学でのタンパク質の異常凝集過程(アルツハイマー病やパーキンソン病)などに利用されている。またこの方法は、1mmから5.0μmまでの範囲構造も顕微鏡的に把握できる。産業界用としては、高強度炭素繊維用磁性材料、炭素繊維の保温状態の観察、金属材料や粘土類磁石などのナノ構造解析などがあ	冷中性子 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項に記載通り	・試料の形態が固体、粉末、液体で、高温から室温まで、磁場の付加、圧力の増加などを行える試料チャンバー ・これらの環境条件を24時間自動制御するシステム、高速データ収録・処理システムなどが必要		5~6億円	ANSTの例 9425\$/日		
	超小角中性子散乱(U-SANS)	高分子などの大規模構造の特定づけのための代替アプローチで熱中性子ビーム利用で比較的安全でコンパクトな方法であるが、異方性分布の特徴づけに重要である2次元情報が得られないことが課題である	熱または冷中性子 $10^{15}$ nvt以上	散乱の項に記載あり	上記設備を利用	JRR3では2~6日	5~6名	2~3億円	JRR3の例 60,400円/日 ANSTの例6,835\$/日	
	中性子反射率測定	中性子の透過率を利用した反射観察により、材料中の表面や界面でのナノメートルより小さな構造を見る方法で、透過率の密度、膜厚、酸化の度合い、表面粗さなどを評価することが出来る。産業界用としては、高分子の多層膜の内部構造の観察、異種多層膜の界面の構造解析などのほか電池隔膜や機能膜の表面構造、メッキ状況評価など多くの応用がある。	冷中性子 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項に記載	温度・湿度制御や、気体流入設備の利用もある	JRR3では2~7日	5~6名	2.5~3億円	JRR3の例 60,400円/日	
	生物学のための準ラウエ回折	準ラウエ回折計は、重水素による同位体置換法で、タンパク質結晶の機能基を置換しやすいため使用される。この方法はX線タンパク質結晶回折計で使用されているものと異様に相補的である。	熱または冷中性子 $10^{16}$ nvt以上	散乱の項に記載	バイオ材料取り扱い設備	不明	5~6名	2~4億円		

中性子散乱技術

利用目的		利用の概要		研究への機能要求				運用上の要件		その他の情報
中項目	小項目	出力・中性子束	施設への要件	設備・装置の要件	所要時間	人材	資金			
中性子 散乱技 術	3軸分光測定	冷、熱、高温 (Hot) 中性子 $10^7$ nvt以上	非弾性散乱分光の最も一般的な形態。3軸回折計では、試料と検出器との間に第3の軸を加えて結晶回折の結果から解析によって散乱中性子のエネルギーを算出する。これらのデータ処理は非常に速いがマルチアナライザースイステムを運用する。データ処理は非常に速いがマルチアナライザースイステムを運用することにより向上可能。JRR3では、単結晶構造と磁気構造の種別測定用のTAS1、極低温条件下の結晶構造や内部励起状態の観測に使うTAS2、冷中性子を利用し高分解能で結晶構造、磁気構造、内部励起などを測定するLTASがある。	散乱の項に記載	3~15日	5~6名	3.5億円~6億円	JRR3 TAS1 : 132,400円/日 TAS2 : 64,600円/日 LTAS : 60,400円/日 ANST 熱中性子3軸 8,265\$/日 冷中性子3軸 8,265\$/日		
	飛行時間型分光測定	熱、冷、または高温中性子 $10^6$ nvt以上	非弾性散乱の分光のために、散乱された中性子の速度変化を観測し、エネルギー変化を知る方法があり、デスク上のチョップを用いて飛行時間型観測する。構造は比較的簡単であり多結晶材料の超超スペクトルの解析は迅速に可能であるが空間的な広範囲に検出器を配置する必要がありコストが高くなる。	散乱の項に記載	不明	5~6名	5億円~8億円	ANST 9,896\$/時間		
	後方散乱分光測定	冷中性子 $10^6$ nvt以上	高分解能の非弾性および準弾性散乱分光法の一般的な形態で、原子及び分子の励起状態を調べる方法である。冷中性子をチョップして単色にし、シリコン単結晶の広角アレイでエネルギー分析をして中性子ビームのエネルギー変化を求める方法で、利用法は簡単であるが装置が高価である。	散乱の項に記載	不明		5億円~8億円	不明		
	中性子スピンエコー法	冷中性子 $10^6$ nvt以上	中性子のラモア歳差運動を利用して中性子の散乱前後の速度を測定し、コロイドやマイクロエマルジョン、界面活性剤などのソフトマターの磁数減少や励起状態の高分解能の研究用に使われる。	散乱の項に記載			4億円~6億円			

## 6. ニーズの課題対応

### ① 人材育成における対象学生の把握

人材育成を研究炉のニーズの一つとしてみた場合、どの程度の学生の教育や社会人の訓練対象者が存在するかは大きな要素である。

この資料の一つとして国の人材育成関係の委員会等使われている統計があり、これを図1に示す。

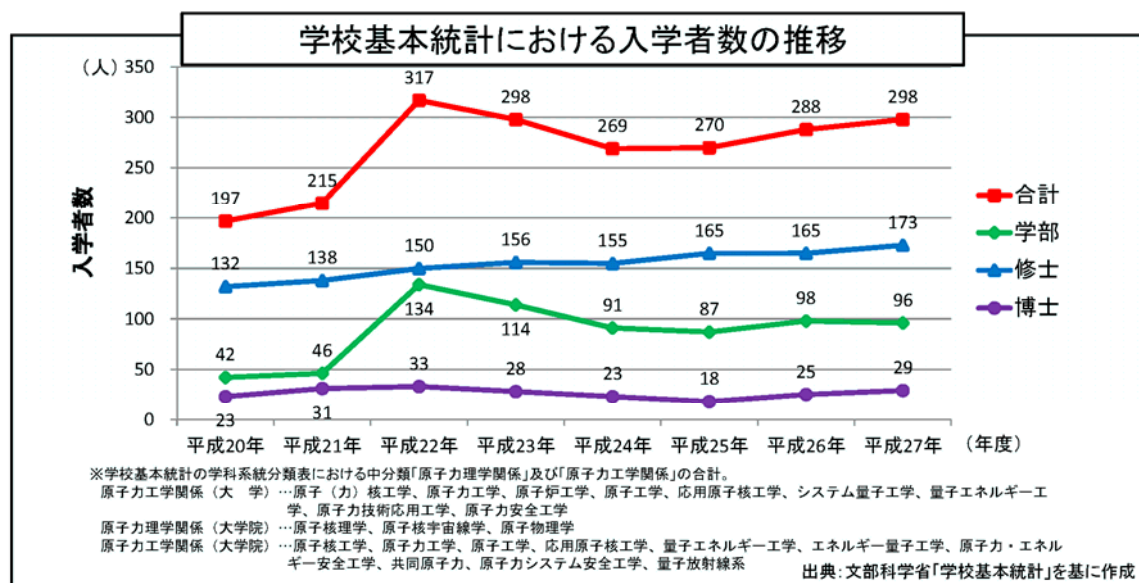


図1 原子力系大学への進学者の数

この資料は、原子力理学及び原子力工学科への入学者の数であり、より長期的に見た資料を参考のために、図3に示す。この図より、原子力関係の履修学生数の現在値として概略300名である。一方、主に学生を対象にした、ほぼ同時期に行われた研究炉を用いた教育・訓練の実績のグラフを図2に示す。

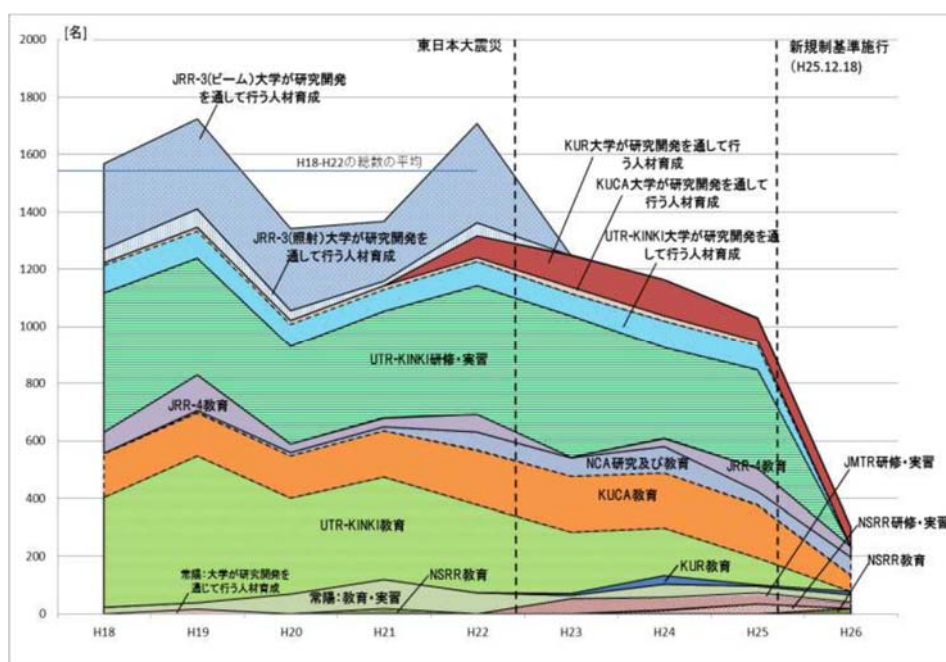


図 2 研究炉を利用した教育の実績経緯

東日本震災以前の教育・訓練数の実績は、平均で約 1,500 名を越しており、この数値と図 1 の違いを分析しておく必要がある (UTR-KINKI は人材育成対象者として主に見学者数を示しており、他の大学や研究機関での学生実験、研究開発を通しての人材育成とは異なることに留意する必要がある)。

一つの試みとして平成 28 年に内閣府が行った、原子力系の学生の育成動向調査をもとに、主要な大学の学生の数を卒業論文の数や定員数等から整理してみた。その結果を、表 5 に示す。この結果、学部、修士の学年当たりの数は 620 名と算出され、文部科学省提示の図 1 の平成 27 年の数値にくらべ約倍増していることになる。

表 5 内閣府調査による原子力系大学・大学院学生数 (平成 28 年調査分)

大学名	学部 学生数 (名)	修士 院生数 (名)	備考
北海道大学	40	30	学部定員総数：120 名、修士定員：33 名
東北大学	37	32	学部定員：35 名、修士：18 名
東京大学	—	29	修士定員：29 名
東京工業大学	—	40	修士定員：40 名
東京都市大学(私立)	32	15	学部定員 (安全工学)：45 名、修士定員：15 名
東海大学(私立)	20	6	学部定員：23 名、修士定員：9 名
早稲田大学(私立)	—	15	修士定員：12 名
長岡工科大学	—	20	修士定員：20 名
福井大学	25	28	学部定員：25 名、修士定員：27 名
名古屋大学	27	15	学部(学科)定員：40 名、修士定員：30 名
京都大学	9	15	学部定員：20 名、修士定員 23 名
大阪大学	20	20	定員不明

大阪府立大学(公)	—	2	修士定員:2名
近畿大学	48	3	学部 学科定員:198名、修士学科定員:28名
神戸大学	9	25	学科定員 40名、 修士学科定員 75名
九州大学	31	27	学部定員 40名 修士定員 28名
合計	298	322	

さらに、原子力理学や原子力工学に取り組んでいる大学としては以下の大学があり、現在でも個別に近大炉等を使った教育を行っている。しかし、これらの大学の学生数については、具体的に把握はできていないため、引き続き調査が必要である。

表 6 原子力理学・工学を教育している大学

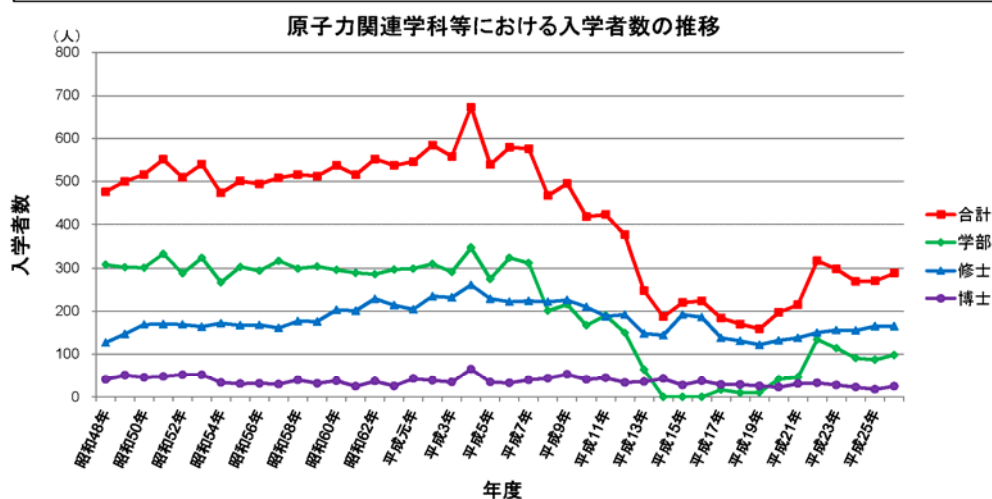
東日本圏内の大学	関西・北陸圏内の大学
室蘭工業大学、八戸工科大学、茨城大学、筑波大学、静岡大学、中央大学、工学院大学、東京理科大学、日本大学、立教大学、	福井工業大学、新潟大学、金沢大学、岡山大学、広島大学、関西大学、同志社大学、大阪電気通信大学

以上、述べたように、研究炉を利用した理学工学系の学生・大学院性は、最盛期に比べると、やや減少しているが現在でも学部学生と修士課程院生で合計 600 名以上と推定でき、図 3 の統計データとは異なった傾向であることがわかる。

### 学校基本統計における学生動向(1)

資料 4-2  
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会  
原子力科学技術委員会  
原子力人材育成作業部会(第1回)  
平成27年7月7日

原子力関連の学科等における入学者数は、平成4年度をピークに減少。平成19年度以降、再び増加に転じたが、東日本大震災以降減少。近年はほぼ横ばいにて推移。



※学校基本統計の学科系統分類表における中分類「原子力理学関係」及び「原子力工学関係」の合計。  
原子力工学関係(大学) … 原子(力)核工学、原子力工学、原子炉工学、原子工学、応用原子核工学、システム量子工学、量子エネルギー工学、原子力技術応用工学、原子力安全工学  
原子力理学関係(大学院) … 原子核理学、原子核宇宙線学、原子物理学  
原子力工学関係(大学院) … 原子核工学、原子力工学、原子工学、応用原子核工学、量子エネルギー工学、エネルギー量子工学、原子力・エネルギー安全工学、共同原子力、原子力システム安全工学、量子放射線系

出典:文部科学省「学校基本統計」を基に作成 1

図 3 長期的な原子力関係大学への入学者数

## ② 人材育成における、規制・電力・メーカー等の対応

学生のメーカーや電力会社への就職状況についての傾向を見ると、図4、図5に示すように、原子力関係学科を卒業した学生は電力で約30%、メーカーでは20%前後である。このことから、入社後の非原子力系社員の教育は重要であると思われるが、ニーズとしては顕在化していない。

この理由は、教育は機密事項の大きな割合を占めているという古典的な見方が多いこと、OJTによる教育・訓練が早道であるとする管理者が多いこと、教育・研修機関への業界知識の面でのスキルへの信頼度が低いこと等が上げられる。

このためにも、人材育成機関の技術力の高度化、実績のある講師陣の採用、斬新で競争力のあるツールの装備等を充実した顧客満足度を考えた人材育成組織を構築してゆく必要がある。

一方、規制人材の教育は、規制組織の特徴から具体的なニーズを見ることはできないが、原子力への理解度は国内最高度を目指すべきであり、そのためにも人材育成への基本である、「知識」、「スキル」、そして「コンピテンス」の育成のために戦略的かつ国内人材育成のモデル的な仕組みを構築すべきであると思われる。

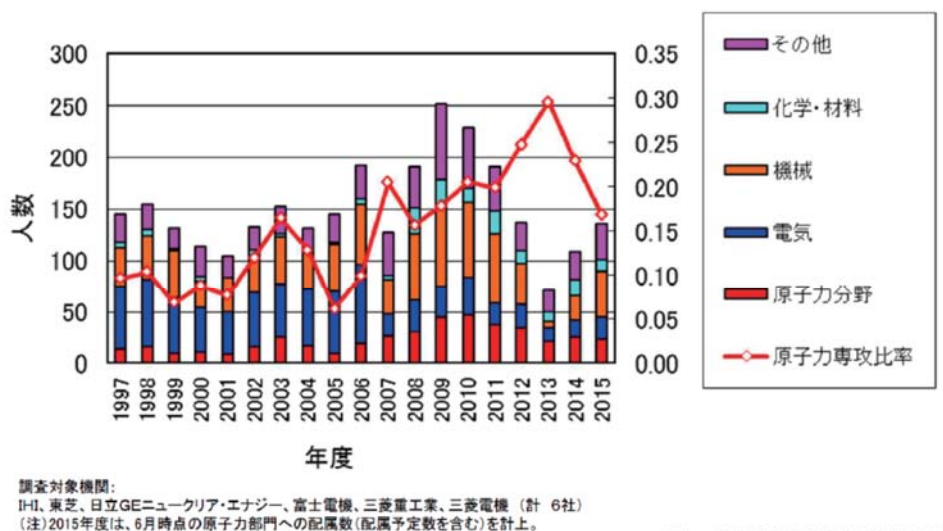
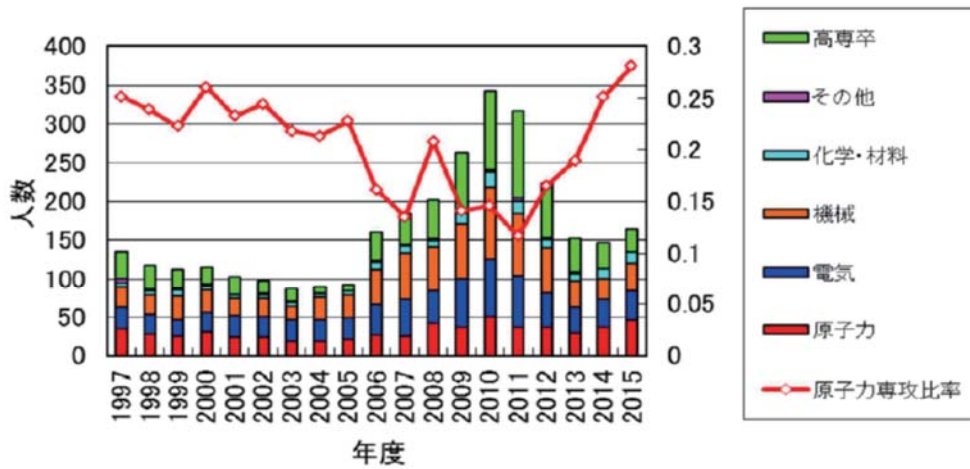


図4 メーカへの就職者



調査対象機関：  
 北海道電力、東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、関西電力、中国電力、四国電力、九州電力、日本原子力発電、電源開発(計 11社)  
 (注)2015年度は、6月時点の原子力部門配属数(配属予定数を含む)を計上。

出典：一般社団法人日本原子力産業協会調べ

図5 電力会社への就職者

③ 人材育成での施設の平行活用について

欧米での人材育成の趨勢を読み取ると、人材育成には研究炉の必要性に加えて、熱流動装置、保全モックアップ、シミュレータ等の技術知識の拡大のためのツールの整備は必須であることが見えてくる。将来に向けての、準備すべき人材育成のツールの検討した結果を図6に示す。

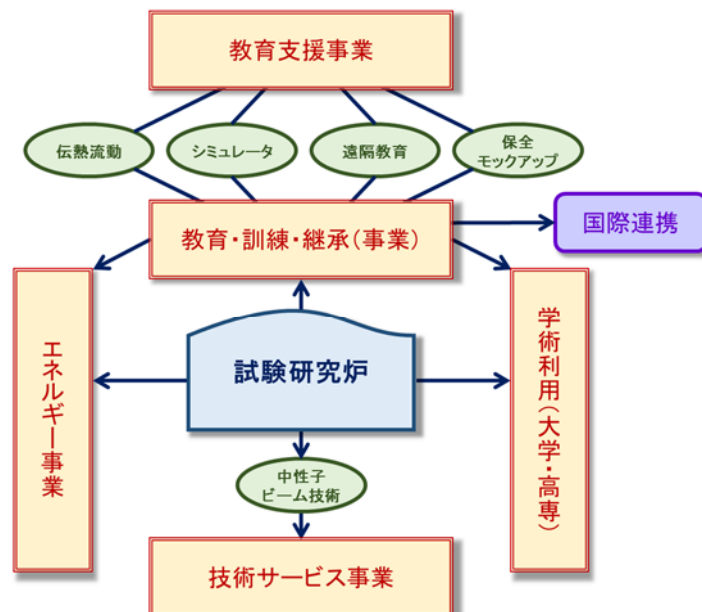


図6 人材育成の中核拠点の基本機能図



また、具備する人材育成ツールの仕様の概要を図 7 のように主要な仕様をまとめ、今後の詳細設計に反映する必要がある。

- ・「**試験研究炉**」：原子炉の起動停止・定常運転に伴う原子炉の動特性等を把握し、パラメータの監視・制御の可能なシステムを有し、非常停止の条件等を起動するメカニズムの理解、原子炉の安全（温度・環境放射能等の監視による確認を含む）運転の体験、核物質管理の基本体験、法定資格取得のための教育ツールの具備
- ・「**熱流動設備**」：冷却材の加温システム、流動ポンプや熱制御システム、ループ監視・制御系、事故模擬設備、作業安全確保システム、非常時注水系モデル、必要に応じて配管破断模擬装置
- ・「**シミュレータ**」：研究炉炉心シミュレータ、PWR/BWR 等の現行運転中の発電プラントシミュレータ、炉心制御シミュレータ、燃料事故シミュレータ、過酷事故シミュレータ
- ・「**保全モックアップ**」原子炉一次系主要機器（ポンプ、バルブ、気水分離機、制御棒駆動装置、加圧器、流体制御装置（ダミー燃料等）、非常用冷却システム（事故時注入系）、2次系機器（蒸気発生器、他）、必要に応じて原子炉容器、炉心部、発電機、開閉器等
- ・「**遠隔教育システム**」：テレビ会議システム、遠隔撮像システム、ソーシャルメディアシステム操作機器、大容量記憶装置
- ・「**スクリーニング関係設備**」：遠隔での学習の仕上げ確認のための集合教育的なスクリーニングや、もんじゅサイトの近隣で稼働中の原子力発電所、関連した運転訓練センターや補修訓練センターの見学に備えた、LAN 設備のある学習用教室・準備室、資料室、移動システム

図 7 具備する人材育成ツールの仕様概要

- ④ 中性子利用技術の利用拡大に向けた枠組み（分析、RI 製造、ラジオグラフィ、散乱、次世代炉・SMR への対応等）

先端研究に使われている装置や施設を一般産業に活用できるまでの教宣活動は容易ではなく、企業の新製品キャンペーンに匹敵するエネルギーが要求される。このための方法論としては、事業主体の決定をしたのち、先行している、「**中性子産業利用推進協議会**」の活動等を参照して、セミナーやシンポジウム開催によるフェース ツー フェースによる教宣活動、機関誌による定期的な情報提供等を行うことも一つの手段である。参考のために、「中性子産業利用推進協議会」のセミナーの開催時の内容の骨子を以下に示す。

#### 「中性子の産業利用」

原子炉中性子源あるいはパルス中性子源で発生させた中性子は、学術研究及び産業利用に広く利用されています。中性子源施設の概要と、中性子の産業応用事例を紹介します。

### 「中性子の基礎」

X線に比較して中性子は、軽元素、磁気、原子運動の検知能力及び物質透過能力において優れています。ある中性子の性質及び特徴を、馴染みの深いX線と比較しながら、平易に解説します。

### 「中性子粉末構造解析」

中性子散乱法のうち最も良く使われている中性子粉末回折法についてその原理や、中性子実験施設に設置された回折装置、回折データ解析等の特徴を解説します。

### 「中性子小角散乱による材料内部の微細構造解析」

中性子小角散乱装置を利用すると、鉄鋼や金属材料中の析出物や介在物等微細な組織の形状、寸法、ならびに分散状態をナノからマイクロメートルのサイズで解析できます。

### 「中性子小角散乱による高分子材料の構造解析」

中性子小角散乱装置及び極小角散乱装置を利用することにより、高分子材料がつくる組織構造をナノからマイクロメートルのサイズで解析できます。

### 「構造物内部の残留応力測定」

中性子はX線に比して侵入深さが極めて大きく、鉄鋼でも25mm程度の内部のひずみや応力を測定することができます。構造物の信頼性に関わる残留応力の測定技術と、配管溶接部やエンジブロック等における残留応力測定例を紹介します。

### 「金属材料の集合組織と複相材料における相分率測定」

パルス中性子源では飛行時間法(Time of flight法)により同時に、複相材料の多数の回折ピークを測定することができます。また、X線に比して侵入深さが極めて大きいため、複相組織を有する金属材料のバルク平均の集合組織や相分率を極めて短時間で測定することができます。測定方法や実材料における測定例を紹介します。

### 「中性子反射率測定」

中性子反射率は、物質界面や薄膜の深さ方向の密度分布の観測に有力な手段です。同位体(重水素ラベル法)や磁気を識別できる中性子の特徴を利用して、ソフトマターの界面・薄膜構造から磁性薄膜の磁気構造まで様々な物質・材料界面の構造観察に幅広く適用することができます。ここでは、反射率法の原理から応用事例まで解説します。

### 「ガラス・非晶質材料の構造解析」

中性子散乱(回折)法は、結晶構造だけでなく、ガラスや高分子等の非晶質材料の乱れた構造を捉えるにも基本的かつ大変有力な手段です。X線と異なり水素等の軽い元素がよく見える、広い運動量空間を測定できる等の中性子の特長と、逆モンテカルロ法による構造モデリング法を併用して、様々なガラス、非晶質材料の構造やその材料の機能を支配する構造的な特徴を把握することができます。ここでは、中性子散乱法の原理から構造モデリング法まで実例を含めて解説します。

### 「準弾性散乱による材料の機能解析」

高温超伝導体や超イオン伝導体等の機能性材料で観測される特異な機能は、物質内部の原

子やスピンの微小運動(ダイナミクス)と深く関わっていますが、ダイナミクスに関する情報は中性子非弾性散乱実験を通じて詳細に得ることができます。従来の構造解析に加えて、中性子非弾性散乱実験によりダイナミクスを測定することにより、機能性材料の最適化設計にブレークスルーをもたらすことも可能です。ここでは、中性子非弾性散乱法の原理から応用まで実例を含めて解説します。

**図 8 中性子産業利用推進協議会 産業応用セミナーの例**  
(中性子産業利用推進協議会の資料を編集)

⑤ 人材育成・学術研究拠点への考察

i) 拠点化の要件

拠点化の創成の要件として最初に取り上げるべき点は利害関係者（ステークホルダー）からの強いニーズに支えられた目標を達成するために設けられる持続可能な枠組みであることを挙げることが出来る。またそれが他の地域にみられない独特の機能をもった枠組みであればさらに望ましいものとして受け入れられると考えられる。

具体的には、将来のエネルギーや先端科学技術や医療・バイオ科学技術の探求や関連する研究機関や事業に貢献できる人材の育成を先端的な研究炉等のツールを活用したコア組織を拠点にして展開する枠組みの構築である。そのための組織は、中心となる学術組織、拠点を活用する衛星的な組織、財源確保や運営を展開する支援組織等の構成が考えられる。

これらの枠組みの推進に当たっては、持続的な財源問題にも配慮すべきであると考ええる。どのような組織が運営の主体になるかを問わず、財源の課題は重要で、建設当時は国の予算等に頼らざるを得ないが、それらは一過性であることを認識して、持続可能性を維持するためには、財源を自ら生み出す努力が必要で、このためにも運営方針にはサービス事業の構想検討が重要な要件である。この例として、諸外国の新規研究炉の建設の計画段階で研究炉によるサービス事業の展開をするための検討を行っていることに注目して、計画を進めるべきであると考ええる。

ii) 福井大学から提示されている拠点化計画

この新たな研究炉や粒子加速器等を中心に据えた、拠点化計画が福井大学宇笠所長より、令和元年 10 月に開催された「つるが国際シンポジウム」において紹介された。

### 3. 福井県嶺南地区での拠点化

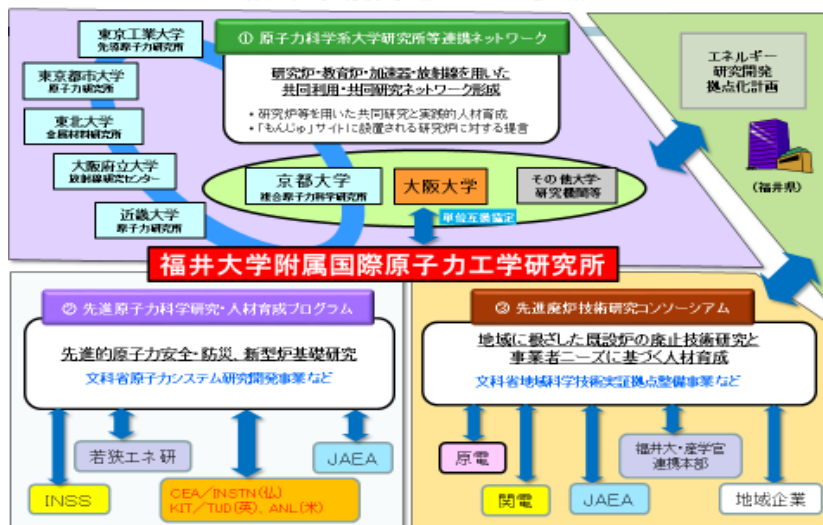


図9 福井県嶺南地区の学術・人材育成拠点化計画の概要

このコンセプトでは、図9に示すように学術分野では従来から技術の積み上げのある「燃料・材料研究」や新規に「ニュートリノを使った撮像技術」及びDNAの放射線損傷や、BNCTの基礎につながる「バイオ関係の研究」等の先端技術の研究開発の取り組み計画を中心にして、他大学や海外研究機関との共同体制や地域の研究開発組織及びエネルギー企業との連携等によって将来技術の研究開発と関連する科学技術や産業界で活躍する将来の人材の育成に取り組むという意欲的な中核化計画である。

学術面では、従来の福井大学の実績に加え、国内大学の経験を取り込んで幅広いエネルギー科学や中性子・放射線科学に取り組むビジョンが提示され、一方では嶺南地区に存在する原子力関係組織や施設の積極的な活用と研究炉と並行して充実される各種試験研究用のツールを用いた人材育成構想等が盛り込まれ、「もんじゅサイトを活用した新たな研究炉構想」の価値を高める枠組みであると思われる。

#### 【参考資料】

- 1) 原子力安全研究協会 “もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査” (平成29年度文部科学省委託業務成果報告書) 平成30年3月
- 2) 原子力安全研究協会 “もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査” (平成30年度文部科学省委託業務成果報告書) 平成31年3月
- 3) IAEA “Research Reactor Database” (2019年7月時点での報告)
- 4) 宇埜正美 “福井県における試験研究炉の利用ニーズ” 文部科学省 つるが国際シンポジウム (2019年)
- 5) 原子力委員会 “原子力分野における人材育成について (見解)” 平成30年2月
- 6) IAEA “Commercial Products and Services of Research Reactors” (IAEA 2013)

# 試験研究炉の経済性評価

## 1. 経済性評価の概要

研究炉の新設や継続運転に伴い、各国とも投資したコストを可能な限り回収して、持続可能なインフラとして維持する方向で運用されている。IAEAでもこれらの動向に伴って、研究炉の事業利用や研究炉のサービス利用に関連する国際会議を数多く開催し、各国の成功例等の紹介や、コスト回収に繋がる諸活動の枠組みの議論の機会を提供している。

米国では大学の研究炉の利用に人材育成でも定額の費用を設定し、ヨーロッパやアジアの研究炉においても放射性同位元素の製造や半導体材料の Si ドーピング等一般産業の事業に繋がるサービスの展開が行われている。

これらの経済的な活動計画は厳密に言えば、企業の経営活動とは異なっているが、基本的な考え方は企業の「投資対効果の分析」と共通の要素がある。

基本的な考え方は、初期投資額を耐用年数で減価償却し、その額を非現金支出原価として、現金支出原価と同様の扱いを行いこれに対して売り上げ収入との差し引きが経済効果となる。

このことを研究炉に当てはめて見ると、研究炉の建設費や燃料調達費等の投資により、経済効果を生み出す活動を一定の耐用年数に亘って展開することになる。経済効果は、運転・保守・維持等の経費と研究炉利用による収入のバランスを損益計算により計画の妥当性の評価が可能となる。

また、この「投資対効果」の基礎的な手法の概念を表 1<sup>1)</sup>に紹介する。

表 1 投資対効果の手法の概要

分類	評価手法の名称	手法の内容	長 所	短 所
時間価値を無視	回収期間法	投資額を経費で除して、この値が1になる時を「回収期間」と定義し、短い回収期間を選択	・計算が容易 ・年間評価のために安全性が高い	・収益性を無視 ・時間的な貨幣価値を無視
	投資資本利益法	毎年の経費を投資額で除して毎年の投資利益率を求める。総投資利益率は毎年の経費の合計から投資額を引き、その値に耐用年数を掛け、その値を投資額で除した値を求め、この額が大きい案を選択	・収益性を重視 ・計算が容易	・時間的な貨幣価値を無視
時間価値を考慮	正味現在価値法 (NPV : Net Present Value)	将来のキャッシュフローを現在価値換算しその合計から投資額を差し引き、大きな値を採用	・収益性を重視 ・貨幣の現在価値を考慮	・計算が複雑
	内部利益率法 (IRR : Internal Rate of Return)	将来のキャッシュフローの現在価値と投資額が一致する割引率を求め (NPV がゼロになる割引率を算出) 割引率の高い案を採用	同上	同上

これらの手法は、プロジェクトの規模や要求される評価精度によって選択され、どの方法にしても基本となるデータは必要で、ここでは以下の項目についての調査やモデル化を行い、経済的な側面からの評価を行うこととした。

**支出・投資的な要素**としては、

- \* 立地費用（購入、借地等）
- \* 土木工事
- \* 建設費
- \* 燃料調達・管理費
- \* 附属施設・設備費
- \* 設備維持管理費
- \* 動力費（電力、軽油等）
- \* エンジニアリング費及びその他（廃止措置引当金等）

であり、**収益面での活動収入や支援資金**等は、

- \* 教育・訓練・見学対応
- \* 各種技術サービス（照射、分析、ラジオグラフィ、散乱解析他）
- \* 学術研究支援サービス
- \* 同位体製造販売
- \* 公的補助金
- \* その他の支援金（コンソーシアムメンバー負担出資金等）

である。

これらの具体的な数値は、検討、設計段階の進捗や法的な規制の制約等の条件が整うことにつれて明確になっていくが、ここでは現在、国内外での実績や計画等参考となるものを可能な限り収集する。

中でも調査の優先順位は建設費の調査と分析、土木工事の主要な課題、燃料の調達費、付帯設備・施設、維持管理費用等の投資的な側面の調査と分析である。また、収益に繋がる実績や計画の調査等を行い、経済的な評価に繋げることとした。

特に建設費については、当初は織り込むことが出来ない種々のリスクによる変動（コンテンジェンシー）についての調査も行い、夫々の炉型の推定値について幅を持たせた検討も行う。

## 2. 建設費の評価

### 2.1 建設費の評価モデルの概要

#### 【評価方法の選定】

研究炉の建設費については、建設費全体が公表されていてもその数は少なく、かつ詳細な内容の公表例はない。原子力発電所の建設コストについては、1980年代からかなり多くの

推定方式が検討され、最近の高出力炉（EPR のような 170 万 kWe）から数万 kWe 級の超小型炉まで、その専門家でなくとも推定ができる手法が提示されている<sup>2)</sup>。しかし、研究炉についての建設費の推定については、報告の数は非常に少なく、極僅かに EU 第 4 世代原子炉の開発のプロジェクト管理の報告<sup>3,4)</sup>に一部見られる程度である。

ここではこれらの報告や、一般の公共施設のコスト評価手法等<sup>5)</sup>を参照して評価を行うこととし、建設費の評価手法として、以下の 3 ケースを取り上げた。

- i) 炉型（プール型、タンク型等）、炉出力、冷却材・減速材の種類、熱出力を仮定して、部品や建屋等の単価及び設計・エンジニアリング費用等を算出して、積み上げる方法である。炉型等が決定している場合は、建設に関係する企業の見積もり作業により精度の高い価格評価が可能であるが、研究炉の規模が未定の場合は精度を上げるためには不確定要素が多く推定費用が高くなる傾向になる。
- ii) 想定される研究炉出力に近い既設の研究炉の建設費用の詳細を調べ、その研究炉の建設業者（習熟性）や時期（利子率の効果）等を勘案して推定する方法である。出力が大幅に異なる研究炉の建設費や運営費の場合は参照した炉の建設費・運営費から外挿や内挿して推定する。i) の方法に比べて比較的合理的に推定可能であるが、参照となる研究炉のデータ入手の可否が必須となる。
- iii) 公表されている研究炉の建設費と出力を変数としてグラフにプロットし、統計処理による近似式を求めて、その式を使って着目する研究炉の建設費を推定する方法である。概略的な価格しか得られないという課題はあるが費用の概要等のデータは少ないものの比較的容易に入手できることから、幅広い炉出力に対応した建設費等を平均的に求めることには有効な方法である。本調査ではこの手法を選択した。

欧米では、これらの手法について、i) 手法をボトムアップ、ii) はその変形例、iii) の手法をトップダウンとも呼んでいる。

この方法は、参考文献 3) からヒントを得たモデルで、この手法の例について述べる。



### 【建設費の炉出力依存モデル】

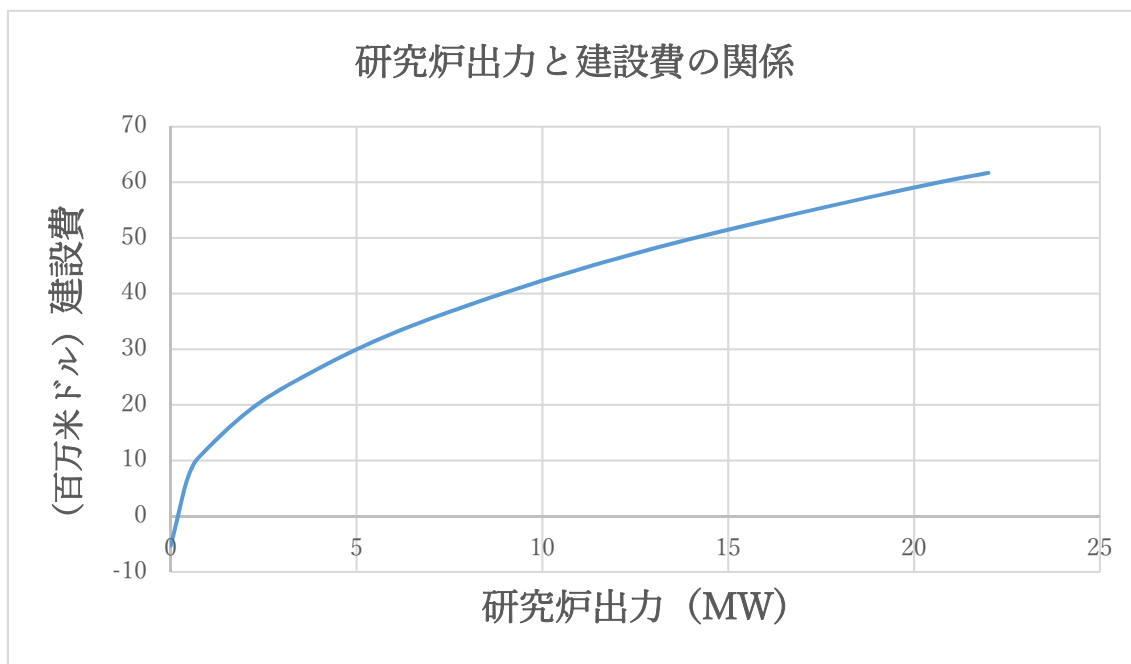


図 1 試験研究炉出力と建設費の関係の例<sup>3)</sup>

図 1 は、スウェーデンの研究者<sup>3)</sup>による事例で、多くの試験研究炉の建設コストに関わるデータを集めて出力別に近似式として整理したもので、

$$\text{建設費 (MUSD)} = -5.264 + 17.53 \times (\text{出力 MW})^{0.434} \dots \dots (2-1)$$

としてその結果を報告している。

この累積関数による近似式が、今回目的とする建設費の算出に累積関数が適していることを示しており、昨年度から建設費の検討にはこのモデル式に倣った手法で検討をすることにしてきた。

### 【前提とした建設費データ】

研究炉の建設費は建設開始や終了時点が大きく異なると、時間経過による割引率の影響を考える必要があるがここでは、ここ 10 年以内に公表されたデータを使うこととして 2005 年から 2018 年までの期間に建設が完了または、建設途中の研究炉の建設費を調査することとした (Lundholm 論文では 5%の割引率でも 10 年程度の期間内であれば割引率の影響は少ないと指摘している)<sup>3)</sup>

平成 29 年度の調査においては軽水冷却の研究炉の建設費については、5MW から 100MW までの試験研究炉を調査し、データを入手している。これらの中で、昨年度において、フランスの JHR(100MW)やオランダの PALLAS 炉(55MW)、オーストラリアの OPAL 炉 (20MW)、韓国の KJRR (15MW)、およびヨルダンの JRTR (5MW) の建設費を選択し、

建設費の評価に使うことのできる近似式を策定することを試みた。近似式を求めるに当たっては、ヨーロッパの高出力炉である JHR と PALLAS 炉は、見積もりの不確定さを補うためにコンティンジェンシー分が含まれていると推定されることから、それを除いた数値を建設費として計上し、20MW 以下の研究炉の建設費は公表値をそのまま使うこととした。

昨年度は、平成 29 年度までの値を使い、近似式をもとめ、令和元年度では、2018 年、2019 年に更新された数値を使って近似することとした。

昨年度の結果では、20MW 以下の 3 種類のデータを用いた近似式が、高出力の研究炉を含めた近似式より、当てはまり率が高いことから、その結果を採用することとした。令和元年度でも、表 2 に示すように、ヨーロッパの研究炉には最新の数値を使い近似式を求めた。

その結果、図 2 に示す結果が得られ、その近似式は

$$\text{建設費 (MUSD)} = 85.32 \times (\text{炉出力 MW})^{0.419} \dots (2.2)$$

として得られ、昨年度の結果とほぼ同程度の近似式となり、20MW 以下の研究炉の建設費だけによる近似式、(2-3)の当てはまり率が上回っていることが分かった。

したがって、近似式は

$$\text{建設費 (MUSD)} = 98 \times (\text{炉出力 MW})^{0.354} \dots (2.3)$$

を使うこととした。

この結果の近似度合いは図 3 に示すグラフのようになっている。

表 2 代表的な試験研究炉の建設費

出力 MW	建設費 MUSD	参照炉	建設企業
5	173	ヨルダン、JRTR <sup>6)</sup>	斗山工業 (韓国)
15	260	韓国、KJRR <sup>7)</sup>	斗山工業 (韓国)
20	280	豪州、OPAL <sup>8)</sup>	INVAP (アルゼンチン)
55	500	オランダ、PALLAS <sup>9)</sup>	INVAP (アルゼンチン)
100	570	フランス、JHR <sup>10)</sup>	FRAMATOM (フランス)

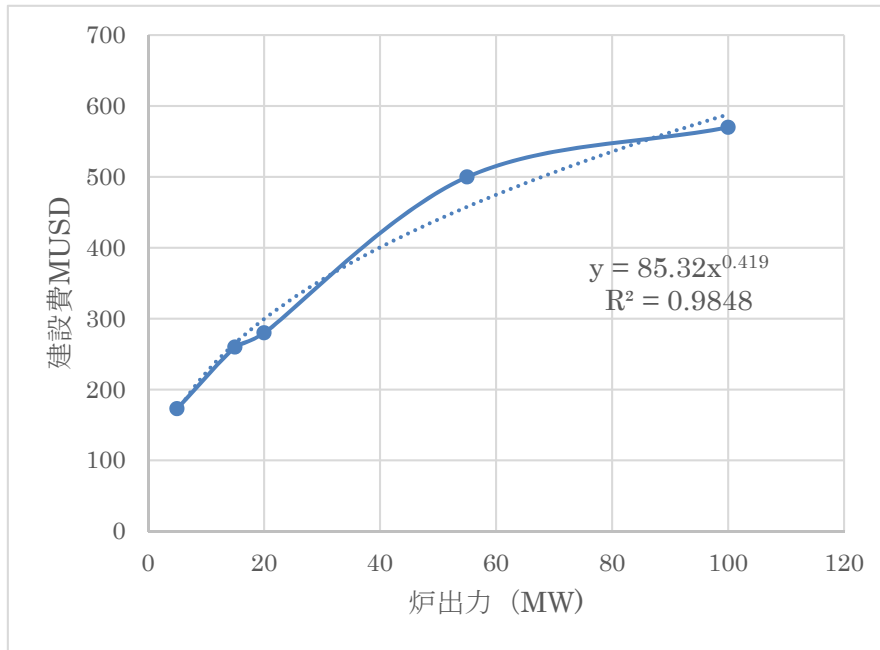


図2 高出力領域まで含む研究炉の建設費

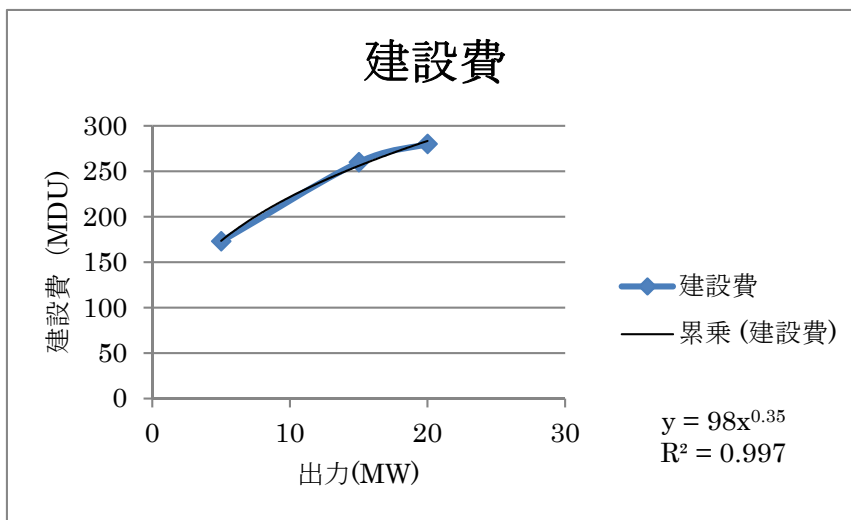


図3 低出力、中出力炉を中心に近似した建設費のトレンド

【新規研究炉の建設費の近似式に向けた考察】

中出力以下の研究炉の建設は、韓国（斗山工業）やアルゼンチン（INVAP）の企業が担当しているもので、特に設計／製造／建設の習熟効果の影響、労働賃金の差、規制条件、国の政策的な支援、見積もり項目の差等もあることが想定される。そのためこれらの値をそのまま我が国の研究炉の建設費（日本のメーカーを想定した場合）とするのは適切でないと考えられる。

今回データとして収集した 2 つの企業は、国内外での研究炉の建設や発電炉の建設に関わった経験もあり、研究炉の建設経験もほぼ同等あることから、韓国企業を代表として取り上げ、その企業による発電炉の建設経験と日本企業による発電炉の差を評価して国別の格差補正をすることとした。

この方法は、表 3 に示すように、1998 年と 2009 年に完成した発電炉の建設コストを韓国、日本、及びヨーロッパの代表であるオランダについて比較したものを利用し、韓国と日本の建設費に対する比率を求めた。発電炉の建設費においては韓国の発電炉の建設コストは世界でもかなり安いという実績があり、2009 年時点で、日本の kWe 当たりの建設費は韓国の約 1.7 倍、またオランダと韓国の場合約 2.7 倍となっている。

このことから、2.3 式による算出価格値を、出力毎に 1.7 倍した値を建設費の推定値とした。

なお、韓国とアルゼンチンの企業による研究炉の建設コストをほぼ同規模であるとした根拠は、オランダで 2018 年に入札が行われた PALLAS 炉では、韓国とアルゼンチン及びフランスの企業が競争の上、アルゼンチンの企業が落札したことから、アルゼンチン企業の価格設定は韓国企業より更に低かったことが想定されるが、この差は、日本と韓国の差ほどは大きくないと考え、アルゼンチン企業の建設費と韓国企業の建設費の差はほぼ同等と推察される。

表 3 韓国と日本、オランダでの発電炉建設費の比較 <sup>1)</sup>

国名	全建設費 (2009 年)	全建設費 (1998 年)	備考
韓国	2,340 USD/kWe	2,260 USD/kWe	PWR
日本	3,940 USD/kWe	3,146 USD/kWe	BWR と ABWR
オランダ	6,383 USD/kWe	—	PWR
日本／韓国	1.68	1.39	
オランダ／韓国	2.72	—	

以上の考察を基に、出力別建設費の算出結果を米ドル表示から円表示に換算(1\$=110 円)して図 4 に示す。

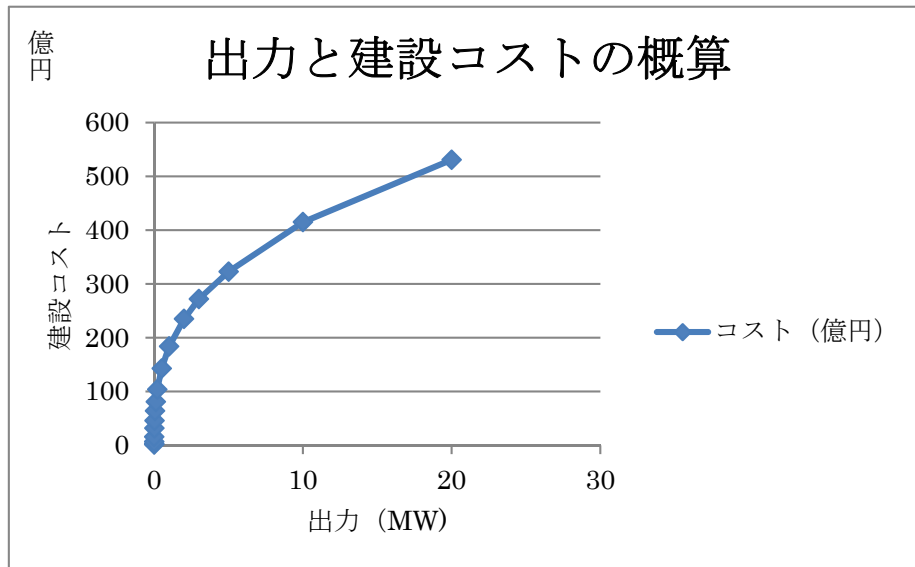


図4 試験研究炉の出力とコストの概算

以上のように数少ないデータから近似式を求め、かつ、外国の建設費と国内の建設費との格差修正を行い、昨年度の5つの炉型（ケーススタディ）に対する建設費を算出した。

なお、計算式としては

$$\text{建設費(億円)} = 185 \times (\text{炉出力 MW})^{0.354} \dots \dots \dots (2.4)$$

を採用することを提案する。

## 2.2 建設費の情報の更新

昨年度の評価を補強するために建設費に関する情報を再度調査し多くの知見が得られたが基本的な建設費の算出モデル式を変更するような新規の情報は見られなかった。

以下にそれらの詳細を示す。

### i) 研究炉の建設費の動向の再調査（運転中、建設中、計画中、構想中）

昨年度の調査結果に追加して、新たに入手した情報により調査結果を更新した。資料の見直しは、2017年以降にIAEAからの出版レポート<sup>12)</sup>、WNAから発行され2019年7月までに更新された国別原子力事情と新興国（Emerging Countries）動向<sup>13)</sup>及び関連研究炉の2019年9月現在のウェブページ<sup>14)</sup>等を参照して、確認と更新を行った。その結果を、水冷却・減速炉について表4に示す。

また金属冷却・減速の研究炉等の情報を表5に示す。

表 4 建設費の調査の結果の更新 (水冷却研究炉)

国名	建設フェーズ	炉名	形式	出力 (MW)	運転開始	建設期間	建設組織	建設費	備考
アルゼンチン	建設中	RA-10	軽水冷却 POOL	20	未定	着工 2014	INVAP	280MUSD(308億円)	変更なし
	建設中	CAREM	PWR 実験炉	100	2019年	6年	INVAP	590MUSD(650億円)	変更なし
豪州	運転中	OPAL	軽水冷却 POOL	20	2006年	6年	INVAP	279MUSD(306億円)	30.R1年度使用
								450MUSD(495億円) (廃棄物建屋追加合計)	追加記載
カナダ	検討中	SLOWPOK	水冷却 NRU 後継機	20	未定	不明	INVAP	500MC\$~750MC\$ (500億円~750億円)	変更なし
フランス	建設中	JHR	軽水冷却 POOL	100	2022年	着工 2007	FRAMA TOM	2015年500M€(700億円)	
								2017年640M€(900億円)	30年度使用 29年度報告書
								・HP掲載 2018年740M€(1,050億円)	追加 R1年度使用
韓国	建設中	KJRR	軽水冷却 POOL	15	2021年	着工 2017	斗山工業	264MUSD(290億円)	30.R1年度使用
								+FSコスト 42M\$ (46億円)	追加記載
オランダ	計画中	PALLAS	軽水冷却 POOL	55	2024年	着工 2019	INVAP	2017年580M€ (810億円)	30年度使用
								2018年640M€(900億円) (再入札)	R1年度使用
ヨルダン	運転中	JRTR	軽水冷却 POOL	5	2016年	着工 2009	斗山工業	173MUSD (190億円)	30.R1年度使用
フィリピン	計画中	NARRA	軽水冷却 POOL	10	未定	工期 5年	未定	330億円~410億円	新規記載
ブラジル	建設中	RMB	軽水冷却	30	2022年	工期 5年	INVAP	500MUSD(550億円) (プロジェクト総額)	新規記載
タイ	検討中	未定	軽水冷却	~10	未定	未定	未定	290~300M\$ (320~330億円)	新規記載

表 5 金属冷却研究炉の建設費

国名	建設フェーズ	炉名	形式	出力	運転開始	建設期間	建設組織	建設費	備考
ルーマニア	検討中	ALFRED	鉛冷却高速炉	120MWe	2025年以降	8年	ANSALD	1,400億円	変更なし
ロシア	建設中	MBIR	Na冷却高速炉	150MWe	2020年	5年	ROSATOM	4,720億円	変更なし
フランス	計画中断	ASTRID	Na冷却高速炉	600MWe	未定		FRAMATOM	・ 913億円 (650M€) (2010年) ・ 1,033億円 (740M€) (2017年)	変更 <sup>14)</sup>
ベルギー	検討中	MYRRHA	鉛冷却未臨界炉	110MW	2036年 (炉の建設に先駆け、287M€で陽子加速器の建設(2019-2026)その後第2期の改造を経て、2036年までに研究炉の建設)	設計4年 建設3年	FRAMATOM	・ 総額960M€ ・ 加速器を除外した費用650M€ (910億円) 2019年見直し価格 1,600M€ (2,240億円)	計画の大幅変更 <sup>15)</sup> (収支バランスの試料追加)
米国	計画中	VTR	Na冷却多目的炉	300MW	2026年	設計3年 建設4年	Ge-Hitachi	・ 2BUSD (2,200億円)	新規記載 <sup>16)</sup>
スウェーデン	検討中	ELECTRA*	鉛冷却高速炉	500kW	未定		未定	・ 60MUSD (建設) ・ 30MUSD (燃料)	

\*European Lead-Cooled Training Reactor

ii) 追加調査結果からの示唆

今年度追加したデータの中で注目される内容は以下の通りである。

① フランスの JHR の建設費の変更と建設期間の変更<sup>14)</sup>

建設費は約 50%程度の高騰、建設期間も 10 年から 15 年ほどに延長されていることは、商用炉の動向（次節に記載）と合わせて考えると、安全規制の対応も含まれるのでは無いかと考えられる。具体的には、建設当事者と規制機関との意識のずれが多くあることが推察され、製造技術の劣化への対応や配慮の不足、建設ノウハウの継承が未熟等原子力リーダーのフランスでさえこのような状況に陥っていることに将来に向けての研究炉を含めた原子力技術の持続可能性について憂慮される事例でもある。

② ブラジルやアルゼンチン等の研究炉計画は、ほぼ予定通りに進められていて建設費や建設期間等の大幅な変更は見られていない。建設には 21 世紀になって力をつけてきたメーカの意欲や意識の高さの影響も有ることが想定される<sup>12)</sup>。

③ 韓国では、現在のところ当初計画との差異はなく、計画は順調に進んでいるように思える<sup>7)</sup>。

④ フィリピンやタイ等の東南アジアの意欲的な計画も見えており、建設時期等はあまり明確になっていないが、研究炉でのアジア連携の枠組みの中で相互協力のテーマとして長

期的な情報交換の必要性が考えられる<sup>12)</sup>。

- ⑤ 特に、フィリピンの新規研究炉の建設費と費用回収の具体的な計画には参考になる多くの情報が含まれていて、欧米との協力や支援の成果とも伺われる<sup>12)</sup>。
- ⑥ オランダの PALLAS 炉計画は、民間主導で計画が進められており、医療用 RI の製造を中核事業に掲げているが、EU 域外（南ア、アジア（中国、韓国、豪州）、米国、ロシア、南米）等との競合や粒子加速器との切り分け等を懸念してか建設費をかなり切り詰める検討も進めているとの情報もある<sup>9)</sup>。
- ⑦ カナダも 2000 年代初頭まで Mo-99 の製造の牽引役を担ってきた NRU の後継機を計画しているようであるが、前記のような国際競争の状況を見据えており、まだ建設に着手していないようである<sup>12)</sup>。
- ⑧ つい最近の情報によると、ベルギーの MIRRHA 計画が大幅に変更になり、炉の出力の増加や、システムの大型化、その他の理由により、当初 960M€だった建設費の総額が、1,600M€と増加し、完成が 12 年延長されて、2038 年完成とかなりの先延ばしになった。  
このことは、EU の計画の中核ともいえるプロジェクトの大幅な変更で、ASTRID のような中止ではないものの第 4 世代炉の開発がいかにか難しいものであるかと物語っているように見える。

## 2.3 建設費の不確実性を補完する検討と建設費見積もりの幅の検討

(コンティンジェンシー等の考え方の評価法の調査と評価幅の設定の検討)

大型プロジェクトの建設費等を算出する場合には、規制対応や物量の価格変動、不慮の工期延長等の不確実性に伴うリスクを回避するために、見積もり額にコンティンジェンシーを計上して幅を持たせて計画を進めることが多い。そこで、研究炉プロジェクトや類似のプロジェクトのコンティンジェンシー等の考え方等を調査し、それを参照して建設費の幅を評価することとした。

### i) コンティンジェンシーの評価法に関する調査

コンティンジェンシーの評価手法は、政策実行や経営推進のために数多くあり、古典的な手法ではあるが実践的な方法として「Markup (値上げ額) 法」がある。これは企業が行う市場の動向や相場感をみて値付けを変更していく手法である。また、最近では、類似のプロジェクトの動向を見て歴史的なコンティンジェンシーの例からの外挿を行い評価する方法も一般的に使われている。

さらに最新で信頼性の高い方法として、夫々のコスト構成項目ごとにコストの高騰・廉価の確率分布を「モンテカルロ法」によって推定する方法が多くの機関で使われている。この統計的な扱いでは、大型プロジェクト等で必須な費用発生について、個別機器の値段、エンジニアリング費用、工事費用等の額の分布を推定し、正規分布、四角形分布、三角形分布、対数的な分布等で近似し、そこから標準偏差の評価により確からしい値を算出して、コンテ



インジェンシーの値として設定している。簡単なモデルは正規分布ではあるが、スウェーデンの Lundholm は、対数分布がより現実に近いとしている。

この手法を駆使して、「米国、EPRI では、概念設計で見積もられた値についてのコンティンジェンシーとして、正規分布による方法では、概念設計という条件から、「50%」を提案する」との結論を出している。

この詳細については、G.Rothwell<sup>23)</sup>の文献の中で、原子炉の設計のフェーズに応じて、AACE (Association for the Advancement of Cost Estimation) International と米国電力中央研究所 EPRI が算出したコンティンジェンシーの割合の変化を示しているが、設計の進捗段階によってリスクが少なくなっている様相がよくわかるデータもある。

表 6 EPRI 等によるコンティンジェンシーの割合

AACE の示した設計・検討段階	AACE の期待している精度範囲	AACE の推定値	EPRI のプロジェクト段階	EPRI の推定値
概念スクリーニング	L:-20~50% H:+30~+100%	50%	—	—
可能性検討 (FS)	L:-15~30% H:+20~+50%	30%	簡素化評価段階	30%-50%
承認段階	L:-10~-20% H:;+5~+20%	20%	事前評価段階	15%-30%
発注・入札段階	L: -5~15% H:+5~20%	15%	詳細評価段階	10%-20%
入札決定段階	L:-3~-10% H:+3~+15%	5%	最終評価段階	5%-10%

このコンティンジェンシーについては、軽水冷却の研究炉の例は文献から見出すことは出来なかったが、表 5 に示す金属冷却の研究炉については、2 例ほど見ることが出来た。

1 つの例は、ベルギーの MYRRHA (57MW、ADS 付きの鉛冷却炉)<sup>15)</sup>で、建設費総額 960M€ (研究炉と粒子加速の総計) に対して 192M€ を見積もっており、この比率は 20% である。

他の 1 つは、コスト評価では参考にしたスウェーデンの ELECTRA 炉で、燃料調達も含めて約 100 億円のうち、約 20% をコンティンジェンシーとして考えている。

さらに、MYRAHHA の評価会議の報告書によれば、一般的な公共施設については 20~30% が通常採用されているという報告もある。

## ii) 最近の原子炉の建設費の高騰

コンティンジェンシーの検討の必要性の例は、最近のフランスやフィンランドでの発電

用原子炉の建設費の高騰と期間延長である。

これをフランスのノルマンディー建設中の EPR についてみて見る。この原子炉は発電量として世界で最も大きな 1,750MW で、旧 AREVANP 社が受注し、その後業務を引き継いだ FRAMATOM が建設中である。

この発電所の建設費は、表 7 に示すように、2005 年の建設決定以来、約 3 倍に増加している。この理由は、規制条件に合致するような土木工事の追加、RPV の製造（溶接）のやり直し等が重なり、当初の予定に比べて約 13 年遅れで運転開始する模様である。

これを見ると費用は 300% 上昇し、かなり大きな値となるがこれは特別な例で、同じ事業者の建設で規制機関も同じである JHR のここ 5 年間の高騰は 50% に収まっていることから、動力炉の特殊な例であると考えても良い。

表 7 EPR フラマンビル建設費と工期の変更の経緯<sup>17)</sup>

年	建設見積もり額	発生事象	予想した運転開始
2005 年	3.3B€ (4,290 億円)*	計画承認	2009 年
2007 年		コンクリート初打設	2012 年
2010 年	5.0B€ (6,500 億円)	工期見直し	2014 年
2011 年	6.0B€ (7,800 億円)	土木工事変更	2016 年
2012 年	8.5B€ (1 兆 1050 億円)	費用見直し	2016 年変更なし
2014 年	変更なし	RPV 設置	2016 年変更なし
2015 年	10.5B€ (1 兆 3,650 億円)	RPV 溶接やり直し	2019 年
2018 年	10.9B€ (1 兆 4,170 億円)	工期見直し	2020 年
2019 年		工期見直し	2022 年

\*この額を 2018 年時点での 에스カレーションを評価すると、4B€ (5,200 億円) と評価される（発電所建設費の最終値 81 万円/kW）

（出典 WNA “Country Report in France” : (2019 年 10 月 Up Date)

iii) 本調査におけるコンティンジェンシーの数値と建設費見積もり幅

以上の調査や考察により、ここでは、コンティンジェンシーは、“「50%」増加する”と設定することとし、これには、工期の延長による割引率の効果、規制条件を満足する機器の改造等を含むことを前提にし、20%という EU での研究炉の例や、一般的な公共事業の 20~30%より大きな値を設定することとした。

それらの仮定の下に、算出した出力別建設費を表 8 に示す。

表 8 出力別建設費と 50%コンティンジェンシー数値

出力 (MW)	近似式による建設コスト 億円	50%コンティンジェンシー 億円
0.10	80	120
0.20	100	150
0.50	140	210
1.0	180	270
2.0	240	360
3.0	270	410
5.0	330	500
10	420	630
20	530	800
50	730	1,100
100	1,080	1,620

(参考) 200m<sup>2</sup>×3mh 建屋の EU (スイス、スウェーデン) での見積もり：2.8 億円<sup>3)</sup>

この結果から、10MW 出力研究炉の場合建設費の推定値は、400 億円～600 億円とみて良い。

### 3. 運転管理・維持管理のコスト<sup>18)</sup>

このコストの範囲は付帯設備費、試験・利用設備機器費、運転保守費、燃料調達・管理費、保険費用等であり、運営にとって重要な支出項目である。

#### i) 燃料調達・使用済み燃料管理費・廃止措置コスト (燃料サイクルコスト)

研究炉の燃料調達や使用済み燃料の管理、再処理等の費用については、

#### IAEA NG-T-4.3 “Cost Aspects of the Research Reactor Fuel Cycle” (IAEA 2010)

でかなり詳細な検討結果が報告されている。この中の設計検討に必要なコストの概要をまとめると表 9 のようになる。

ここでは、廃止措置の費用も報告されている範囲で、取り上げているが、廃止措置費用をどのような経費として充当するかは今後の検討が必要である。

表 9 研究炉の燃料サイクル関係コスト<sup>7)</sup>

項目	単価	備考
19.75%濃縮ウラン価格	11KUSD/kgU~17KUSD/kgU	
19.75%濃縮ウラン輸送費	2KUSD/kgU	ウラン価格の 27%
・ USA からアルゼンチンへの輸送費 ・ 一般的な輸送費	ウラン価格の 10~20%相当	
MTR 燃料の製造費	10KUSD/kgU~30KUSD/kgU	U-Al 合金、UO <sub>2</sub> 、 U シリサイド等
乾式使用済燃料保管施設建設費	100MUSD (設計、許認可、サ イト開発、主要受け入れ施設建 設、ホットセル等	2003 年着工
・ オランダ HABOG 施設 ・ 米国アイダホ ISF	137MUSD	計画中
キャニスター詰込み作業	10KUSD/コンテナ	時間単価 100\$想定
再処理費用	10KUSD/kg~15KUSD/kg	ウラン-アルミ燃料、 シリサイド燃料とも
廃止措置費用	建設費の約 30%	
・ 金属冷却炉	建設費の 7%	
・ 水冷却炉 (フィリピン) ・ 米国の研究炉の経験	200~300MUSD	米国物理学会報告 <sup>22)</sup>

ii) 研究炉の所要経費

平成 29 年度の調査では、IAEA RRDB<sup>10)</sup>を参照して世界の試験研究炉施設における運転員数、所属研究機関の職員数及び経費についての報告をした。昨年度は、これらのデータを基にして試験研究炉の出力を変数とした推定式を導出した。

この結果、組織総人員の算出近似式 ( $y_1$ : 総人数、 $X$ : 研究炉出力: kW) は

$$y_1 = 2.5x^{0.27} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

と表され、当てはまりの度合いを示す決定係数は、 $R^2 = 0.3831$  である。

また、運転員数についても ( $y_2$ : 運転員数) を累乗関数で表すと

$$y_2 = 1.9x^{0.21} \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

決定係数は  $R^2 = 0.4107$  である。

これらの近似式は、出力の低い研究炉の場合のばらつきが大きいために決定係数がかなり低く、制度はかなり低いが、世界中の研究炉のデータであるために、データ選択が困難であったため、この近似式をつかうこととした。そのデータとその傾向を示すグラフを図 5 に示す。

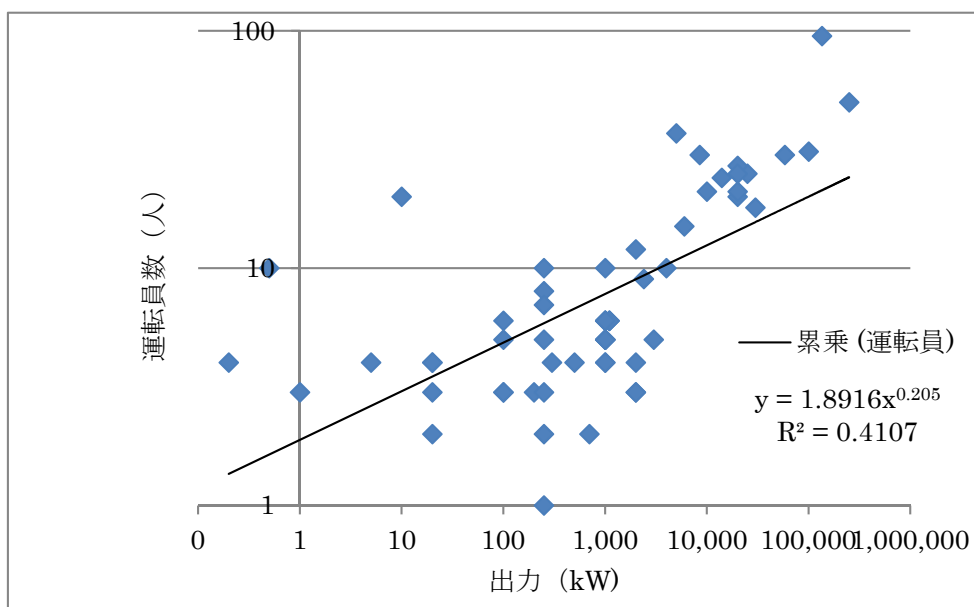


図5 試験研究炉の出力と運転員数の近似

また年経費  $y_3$  (百万円) は、同様の手法で近似し

$$y_3 = 0.60x^{0.71} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

と表すことができ、そのときの決定係数は  $R^2=0.7101$  である。この近似の度合いを図示すると図6のようになる。

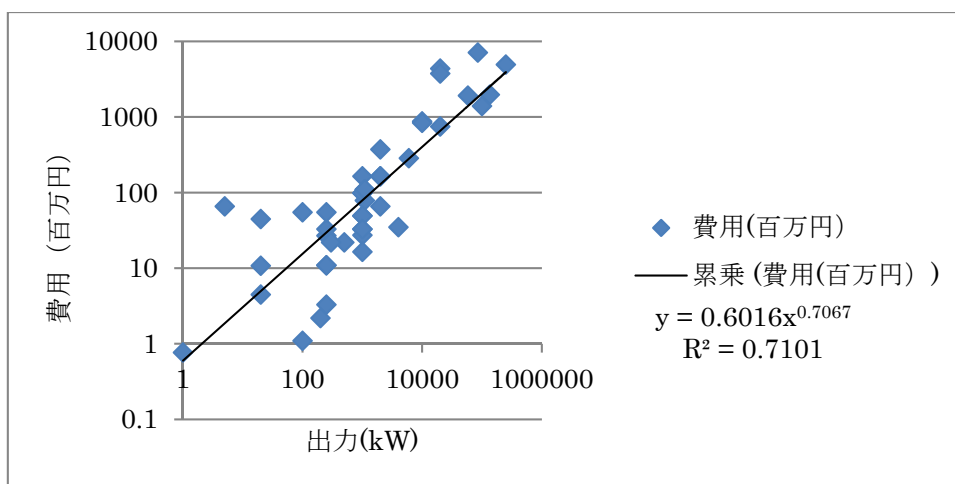


図6 試験研究炉の出力と年経費の近似

#### 4. 研究炉の収入分析

研究炉を利用した収入項目としては、人材育成や見学費用の徴収等から、中性子を用いた各種サービス (分析、ラジオグラフィ、散乱分析、放射性同位元素製造、多様な照射サービ

ス等) のから徴収した各種費用が収入として計上される。

また、政府機関からの交付金、運営に携わる企業や投資家等からの支援金、寄付金等がある。

ここでは、研究炉の利用した時に収入となる額についての評価を試みた。

表 10 には、主な利用についての国内外の利用料の事例とその利用機会について列記した。研究炉の経済性評価には、これらを参考にして枠組みの構築や試算の作業に繋げていくことにしている。

表 10 研究炉利用による収入例 (19.20.21)

利用項目	国内実施の参考データ	国内の事例	海外の事例	
人材育成	教育	・近大 UTR 260 名 ・京大 KUCA 90 名 KUR 300 名 (期間不明)	近大炉、京大炉 費用不明	米国カンサス州立大 学内：100\$/40 名 学外：150\$/40 名
	研修	国内実績 ・近大 UTR 43 名 ・京大 KUR 200 名 (期間不明)	*近大炉 ・1,000 円/人日 ~6,000 円/人日 *JAEA 東海 ・7,000 円/人日	FRAMATOM 訓練センター (旧 AREVA 大学 (独)) ・入門コース 12,280€/3 週 (172 万円/3 週)
ビーム利用 中性子	放射化分析	JRR3 (2010 年実績、除く自己使用枠) ・PGNA 83 日 ・NAA 53 日	JRR-3 ・PGA：1,760 円/日 ~20,130 円/日 ・NAA：80 円/日 ~1,530 円/日	カナダ ・約 80USD/試料 (2011 年時点で北米の市場規模は 20MUSD)
	ラジオグラフィ	JRR3 (2010 年実績、除く自己使用枠) ・熱中性子 87 日 ・冷中性子 11 日	JRR-3 ・410 円/日 ~20,130 円/日	OPAL ・56 万円/日
	散乱	JRR3 (2010 年実績、除く自己使用枠) 延べ日数 788 日	JRR-3 ・2,410 円/日 ~60,400 円/日	OPAL ・55~75 万円/日
照射	RI 製造	JRR3 での生産量は不明	JRR-3 ・10,270 円 ~83,400 円/試料	OPAL：8 億円/年 (Mo-99 中心) フィリピンの計画：50 億円/年
	燃・材料照射		JRR-3 同上	
	Si ドーピング	JRR3 (2003 年) 3.7t JRR4 (2003 年) 0.7t	7,970 円/時間	IAEA 文献 照射費用は 6~7C/g 研究炉での年製造容量(2015 年) ・OPAL(20MW)25t ・IER(5MW)1.2t ・LVR-15(15MW)0.5t ・ORPHEE(14MW)10t ・FRM-2(20MW)15t ・TRR(2MW)0.1t ・MITR(6MW)6t
その他	研究炉見学	近大炉 見学は無料	米国カンサス州立大 学内：100\$/40 名 学外：150\$/40 名 豪州 OPAL 12AUS\$/人/2h	

\*人材育成関連の出典：「原産協会 “初等中等教育に役立つ放射線教育セミナー、イベント、教材及び放射線計測機器貸し出し一覧表 2019 年度版” (2019 年)」

## 5. 海外における収支計画事例<sup>10.15)</sup>

まず、EU で建設・計画中の MYRRHA (ベルギー：57MW、鉛 Bi 冷却)、PALLAS (オランダ：55MW、軽水冷却) 及び JHR (フランス：100MW、軽水冷却) の 3 つの研究炉プロジェクトは建設や建設準備が行われているが、その中で参考になるとと思われる MYRRHA についてその収支計画を紹介する。

### 【建設時の費用】

表 11 MYRRHA の建設費用の内訳

項目	EU 通貨 (M€)	日本円 (億円)	備考
建屋	196	274	ホットラボ、廃棄物管理建屋等はモル研究所と共用
原子炉機器	370	518	陽子加速器を含む価格
エンジニアリング	202	283	
コンティンジェンシー	192	269	合計の 20%相当 EU での引当金は 30~35%
合計	960	1,344	研究炉分は約 650M€ (910 億円) 残り 310M€ (434 億円) 分は粒子加速器分

(1€=140 円)

この研究炉は ADS の成立性を確認するために、原子炉に粒子加速器を結合した構造で、かなり高価になっているが、原子炉本体は 100MW のフランスの JHR の予算額とほぼ同額 (640M€) である。

### 【年経費の収支】

表 12 MYRRHA の年間経費と収入のバランス

経費		収入	
項目	金額	項目	金額
運転経費	46.6M€ 65.2 億円	コンソーシアム出資	25.3M€ 35.4 億円
組織強化費	14.6M€ 20.4 億円	ベルギー研究所への研究支援	2.5M€ 3.5 億円
合計	61.1M€ 85.6 億円	EU からの研究支援	14.6M€ 20.4 億円
		国際プログラムの研究支援	10.0M€ 14.0 億円
		放射性同位元素製造	2.2M€ 3.1 億円
		Si ドーピング	4.5M€ 6.3 億円
		他の産業支援	1.0M€ 1.4 億円
		人材育成やコンサル	1.0M€ 1.4 億円
		合計	61.1M€ 85.6 億円

この経費も大きく見えるが、フランスの ILL 研究所とほぼ同額の出費で、その回収に産業界から 14%程度の収入を見込む等、参考にすべき点もある。

また他の国々でも、研究炉でも外部からの資金を導入する収支計画を公表している例も数多くあり、参考になるとと思われる研究炉の事例を表 13<sup>8)</sup>に示す。

表 13 研究炉での事業による収支計画の事例 7.11)

国名	炉名	出力	運転	人材育成	ビーム利用サービス	照射利用サービス等	建設費
豪州	OPAL	20MW	運転中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・見学：900 円/人、2 時間</li> <li>・教育：565 円/24h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・散乱回折</li> <li>・小角散乱\$395/h</li> <li>・イメージング \$295/h</li> <li>・粉末回折\$310/h</li> <li>・ラウエ回折 \$285/h</li> <li>・応力解析\$295/h</li> <li>・TOF\$415/h</li> <li>・反射率計\$350/h</li> <li>・冷中性子 3 軸分光 \$350/h</li> <li>・高分解能粉末回折\$350/h</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-X 線分光：175/h</li> <li>-物理状態計測：\$175/h</li> <li>-Si ドーピング：27t (2010 年実績)</li> <li>\$2.7M (約 3 億円)</li> <li>-<sup>99</sup>Mo 製造：7,000 6days</li> <li>TBq (約 8 億円) (2016 年実績)</li> </ul>	306 億円 (2006 年)
フィリピン	NARRA	10MW	検討中	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2015 年には 900 名の訓練を実施</li> <li>・事業による収入</li> <li>-修士 108 万円 (100 名)</li> <li>-博士育成費 431 万円 (50 名)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射化分析：年間 2 万サンプル、150 億円収入</li> <li>・検査サービス：検査計測技術で 430 万円程度の収入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RI 製造 (<sup>99</sup>Mo)：50 億円</li> <li>・特許収入：430 万円</li> <li>・Si ドーピングは検討中</li> </ul>	519 億円* (472M\$) 廃止措置は建設費の 7%として計上
ブラジル	RMBW	30MW	検討中	検討対象にせず	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イメージング</li> <li>・散乱</li> <li>・放射化分析等を検討中</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃材料照射</li> <li>・宝石の着色</li> <li>・RI 製造：24 年運転で資金回収</li> <li>・検出器照射</li> </ul>	プロジェクト総額：550 億円 (建設・運転・SF・廃棄物管理、廃止措置を含む)
韓国	KRRR	15MW	建設中	検討対象にせず	考慮せず	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<sup>99</sup>Mo：10 万 Ci、<sup>192</sup>Ir：30 万 Ci、<sup>177</sup>Lu <sup>131</sup>I、<sup>125</sup>I、<sup>51</sup>Cr、<sup>186</sup>Re 等の製造</li> <li>・6~12 インチ Si 照射</li> </ul>	
モロッコ	CENM	2MW	運転中		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ラジオグラフィ (航空機、自動車産業)</li> <li>・放射化分析 (鉱業)</li> <li>・将来は PGA や散乱応用に着手</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<sup>131</sup>I、<sup>99</sup>Mo 製造</li> <li>・将来は <sup>99</sup>Mo 製造を目指す</li> </ul>	
タイ	未定	—	検討中	大学教育 (チュラロンコン大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射化分析</li> <li>・ラジオグラフィ</li> <li>・宝石着色</li> <li>・Si ドーピング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃/材料照射</li> <li>・RI 製造</li> <li>-<sup>131</sup>I、<sup>192</sup>Ir 等</li> </ul>	建設費 290~300M \$320~330 億円

なお、参考資料として、フィリピンの研究炉 (10MW) 計画での、建設時の費用計画についても参考のため表 14 に示した。



表 14 施設の詳細な内訳が明確になっている建設費<sup>12)</sup>

項目	現地価格	ドル換算・円換算
原子炉基本部分	6,860MPhP	134MUSD 148 億円
建屋・研究室等	6,225MPhP	118MUSD 130 億円
ビーム取り扱い装置	259MPhP	4.9MUSD 5 億円
放射化分析自動化装置	519MPhP	9.9MUSD 11 億円
RI 精製施設	518MPhP	9.8MUSD 11 億円
Mo-99 施設	2,075MPhP	39.4MUSD 43 億円
Si ドーピング施設・設備	5,191MPhP	98.6MUSD 108 億円
廃棄物建屋	1,556MPhP	29.6MUSD 33 億円
小計		440.9MUSD 485 億円
廃止措置引当金	小計の 7%	31MUSD 34 億円
建設費合計		472MUSD 519 億円

(1Php=0.0196USD、1USD=110 円)

【参考資料】

- 1) クロスク HP 投資意志決定【基礎】 <https://kurosuku.com./manage>
- 2) US Energy Information Administration “Cost Estimation for Utility Scale Electricity Generating Plants” (US DOE Nov.2013)
- 3) Martin Lundholm “Cost Analysis of Lead Cooled Fast Reactors and the ELECTRA Project” (Department of Nuclear and Reactor Physics Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden 2013)
- 4) Roelofs F “European new build and fuel cycles in the 21st century” (Nuclear Engineering and Design No 241 2011)
- 5) ICEAA “Cost Estimating Techniques -The basic types of cost estimates-”(TRN01 2016)
- 6) WNA “Nuclear Power in Jordan” (2019 年 2 月)
- 7) WNA “Nuclear Power in Source Korea”(2019 年 2 月)
- 8) WNA “Austrarian Research Reactor and Synchrotron” (2019 年 2 月)
- 9) WNA “Nuclear Power in Netherland” (2018 年 11 月)
- 10) WNA “Nuclear Power in France” (2018 年 12 月)
- 11) WNA “Economics of Nuclear Power” (2018 年 12 月)
- 12) IAEA No NG-T-3.16 “Stratigic Planning for Research Reactors (Attached CD)”(IAEA 2017)
- 13) WNA “Nuclear Power in Emerging Countries”(2018 年 11 月)
- 14) CEA HP “Reactor Joule Horwitz”(2019 年 9 月)
- 15) OECD NEA 6881“Independent evaluation of the MYRRHA project –Report by an international team of experts-” (OECD 2009) 及び H.A.Abderrahim “MYRRHA an innovative and unique irradiation research facility”(SCK.CEN 2010) 及び D.DE

- BRUYN、et.al “Recent Progress And Perspectives in the Belgian MYRRHA ADS Programs” (IGORR 2019)
- 16) J.W.Herzeg “US DOE Advanced Reactor R&D Program for Fast Reactors” (March 2018)
  - 17) WNA “Country Report in France” (2019 年 10 月)
  - 18) IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NG-T-4.3 “COST ASPECTS OF THE RESEARCH REACTOR FUEL CYCLE” (2010)
  - 19) 原産協会 “初等中等教育に役立つ放射線教育セミナー、イベント、教材及び放射線計測機器貸し出し一覧表 2019 年度版” (2019 年)
  - 20) ANST HP “Users Access –Instruments-Neutron Scattering” (2019 年 11 月)
  - 21) 日本原子力研究開発機構“共用施設利用料金表” (2019 年 4 月)
  - 22) US APS“Neutrons for the Nation-Discovery and Applications while Minimizing the Risk of Nuclear Proliferation-” (A report by the APS Panel on Public Affairs July 2018)
  - 23) G.Rothwell “Cost Contingency as Standard Deviation of the Cost Estimate for CostEngineering” Cost Engineering Vol. 47/No.7 (JULY 2005)

## 外部有識者委員会における主な意見

「もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉に関する調査」にあたっては、各専門家からなる外部有識者委員会を設置し計 2 回の委員会を開催した。委員会における主な意見は、以下とおりである。

## 〈調査を開始するにあたっての議論〉

- (1) 来年度中に概念設計に着手することを目指し、今年度の調査では候補となり得る様々な炉型を検討することになる。試験研究炉は政府方針によりもんじゅサイトに設置するが、もんじゅの廃止措置との関連では、廃止措置を着実に進めることが最優先課題であり、令和 4 年度に燃料を取り出してその後解体に入っていくというスケジュールは変わらない。地元としては、2022 年度に詳細設計を開始するという話があるので、順調にいけばそれから 10 年くらいで研究炉ができるのではと思っている。
- (2) 概念設計と規制対応の検討を並行して進めるためには IAEA や NRC の動向が参考になるため、グレーデッドアプローチの検討を進めている日本原子力学会等とも連携していく必要がある。革新炉開発炉とスペクトルシフト炉の規制要件は、システムの概念を検討し、概念設計、詳細設計で構築していくことになる。革新炉開発炉の目的は、米国 VTR 計画を参考として SMR や次世代炉の開発のための研究炉を考えている。
- (3) 建設費は今後の規制の内容により概算が変わることが考えられるが、現時点では現行法の体系を基本として、海外炉の事例等から推定する。もんじゅサイトを考えた場合、山を削るのか更地に建設するのにかよって建設費は大幅に変わり、ランニングコストも核物質防護の強化や原災法を勘案すると増加傾向になる。
- (4) 炉型に対する付帯設備や実験設備の検討は、ユーザーやステークホルダーを具体的にイメージする必要がある。臨界実験装置や材料試験炉のように目的がはっきりしていればユーザーは大体把握できる。低出力炉、中出力炉の利用ニーズに関する昨年度の調査結果から、産業界では、自動車産業、高分子化学産業、電力、プラントメーカー、地元企業、学術であれば各大学、技術開発を行っている研究機関、医療関係などが考えられるが、特化するというよりは、原子力研究や人材育成の観点から幅広く考えるべきである。地元としては、特定の目的にしか使えない炉ではなく、地域振興のためのニーズを踏まえ人材育成や産業利用が期待できるものを国にお願いしている。
- (5) もんじゅサイトの敷地面積から JRR-3 や JMTR に相当する規模の研究炉は廃止措置が終了しないと設置は不可能であるとの検討結果である。また、スペクトルシフト炉や革新炉開発炉は大きさのイメージが未確定であるので、候補の敷地に入るかどうかの検討が必要である。

## 〈概念設計に向けた候補となり得る炉型、仕様等〉

- (1) 臨界実験装置は、熱中性子体系 (KUCA) 及び高速中性子体系 (FCA) の双方の実験に対応できる新たな臨界集合体とし、更に加速器を併設することで研究分野の幅が広がる。その場合、加速器の開発要素を出来るだけ少なくして安定に稼働する必要がある。また、Am、Np のよう

な MA などの種々のサンプルの取り扱いを可能にすることや、ドップラー反応度測定などに対応できることも重要である。

- (2) 低出力炉は海外では広く使われている（維持管理が容易であることが大きな要因といえる）。日本の現在の規制では 500kW 未満は緩くなるが、中性子を利用する側からみると高い中性子束が望ましいので、低出力炉は中途半端と思われるかもしれない。中出力クラス以上の試験研究炉は耐震 S クラスになる可能性が高く、その場合は厳しい規制を受けることとなる。
- (3) スペクトルシフト炉は、炉心に稠密燃料を用いて高速中性子炉心場を作り種々の実験ができる特色がある。なお、KUR 規模の燃料、又は少し稠密化した燃料を用い、周りのドライバー領域又は反射体領域にアルミニウムブロックを設置することにより、その外側に高速中性子場を作ることができ稠密燃料炉心の冷却性能の問題はなくなる。
- (4) 炉型については、福井県の振興策の一つと位置付けてユーザーを幅広く集められる施設にするとか、科学的に面白いことを行える施設にする等の意見もあり、世界の状況、国内のニーズ等を含めて調査し種々の炉概念をまとめた。一般的なイメージの研究炉で多くの人を集めるには、出力が大きく実験用のポートも多くある施設が良いが、敷地の制限からここでは既存の軽水冷却型で最大 10MW 程度の中出力炉を検討した。臨界実験装置、スペクトルシフト炉については、研究者集団が使用する施設で原子力技術者の人材育成、基礎研究には有用であり、また、革新炉開発炉は将来の次世代炉に向けた研究炉であり、夫々に特徴がある。
- (5) 来年度から試験研究炉の概念設計に入るが、与えられた時間内で概念設計ができる研究炉としては、開発要素が少ない既存の研究炉の延長線上にある研究炉が有望といえるが、それ以外に、チャレンジングなものを含めた研究炉としてパルス炉、スペクトルシフト炉が考えられる。学生や若手技術者が魅力を感じるために、例えば、中出力炉にスペクトルシフト炉の要素を入れることや、ロボットや AI による遠隔運転や測定技術の高度化など新しい技術開発要素を盛り込むことなどが考えられる。一方、研究炉の管理・運営の視点では、現状の規制は既存の枠組みの中で判断する傾向にあるため、新規性が高い研究炉は規制対応が難しくなるといえる。  
原子力産業の閉塞状況においては研究炉を早く立ち上げることが重要で、魅力ある炉を作る機会へのチャレンジと、研究炉が完成し実際に確実に使ってもらおうことの両方の観点で検討する必要がある。

#### 〈試験研究炉の主な利用分野〉

- (1) 原子炉施設の建設がほとんどない状況において、試験研究炉を建設することは企業の作る人の人材育成の面でも重要である。
- (2) RI 製造については、安定供給が重要であるが国内の研究炉は定期検査で 2~3 ヶ月停止する。そのため現状は半減期が短い医療用 RI は、1 ヶ月に一回程度の頻度で供給できないと海外に頼らざるを得ない。原子力機構では、JRR-3 と JMTR の定期検査時期をずらして交互に運転し Ir、Au を製造した経験がある。RI 供給は、単独組織で行うことは難しいことから、新たな試験研究炉で RI の製造を行う場合、既存施設との組み合わせや、OPAL（オーストラリア）等の海外の研究炉との国際的な連携枠で RI の安定供給を行うことも考えられる。また、原子炉と加速器を含めたネットワークで供給する方法もある。
- (3) 試験研究炉のビーム利用は、高効率中性子導管、冷中性子利用などにより JRR-3 の補完になる

が、JRR-3 の場合、J-PARC と立地が近いこともあり研究者の交流、装置・冷媒の相互利用等で相補的な効果がある。もんじゅサイトの試験研究炉の場合は同様な連携は困難であるため、他の利用で効果を最大化する工夫や、放射光施設や粒子加速器を利用している研究機関との連携で研究炉の利点を生かした利用などが考えられる。

〈試験研究炉の主要設備とレイアウト、配置検討〉

- (1) 低・中出力炉の配置検討では、山側資材置場に原子炉建屋、ホットラボを設置し、研究管理棟は盛土した焼却炉場所に設置するケース（ケース C）が良いと思われる。その場合、もんじゅサイトの山側周辺の地盤に活断層はないことが条件となる。原子力規制委員会のもんじゅサイトの破砕帯調査報告書では、焼却炉場所に沿った南側付替水路付近の地下に断層が伏在している可能性を否定できないとされているが、仮に断層がある場合でも、活動性がなければ施設の設置は可能である。具体的には詳細な地質調査を行い地盤の適性を評価する必要がある。また焼却炉場所に盛土をする場合は、耐震上の問題を考慮する必要がある。
- (2) 耐震クラスの分類は、安全機能喪失時における周辺公衆の被ばく線量の評価により決められるためサイトが広ければ出力が大きくても拡散計算をして被ばく線量が基準値を超えなければ耐震 S クラスにならない場合もあり得る。
- (3) もんじゅサイトには、もんじゅ原子炉施設付近の気象を観測する設備があるが、試験研究炉を山側資材置場に設置する場合は、標高が高く地形の影響を受けるので、その付近の風向・風速・安定度等を測定する気象観測設備が必要と思われる。

以上