

新たな試験研究炉の設置の経緯と計画*

令和5年1月26日

日本原子力研究開発機構

峯尾 英章

*:本稿は、文部科学省の令和3年度科学技術試験研究委託事業「もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」の成果の一部を含んでいる。

【H28.12】新たな試験研究炉の設置

- 原子力関係閣僚会議において、「もんじゅ」を廃止措置に移行する旨の政府方針を決定した際、将来的に「もんじゅ」サイトを活用し、新たな試験研究炉を設置することとされた。

【R2.5】炉型候補の選定

- 文部科学省は、新たな試験研究炉に関する調査を実施(H29～R1)。炉型候補を複数選定。

【R2.9】中出力炉への絞り込みと概念設計等の公募

- 文部科学省は、地元福井県・敦賀市の意見聴取、文科省の審議会での議論を経て、中性子ビーム利用を主目的とした試験研究炉に絞り込んだ。
 - 西日本における原子力の研究開発・人材育成の中核的拠点としてふさわしい機能の実現と地元振興への貢献の観点で絞り込み
 - 2020年度より概念設計に着手し、2022年度中に詳細設計を開始

【R2.11】概念設計等の開始

- 原子力機構、京都大学及び福井大学が文部科学省委託事業の中核的機関として採択され、概念設計及び運営の在り方検討を開始した。

【R4.12】実施主体の選定

- 文部科学省は、「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の詳細設計段階以降の実施主体に、京都大学及び福井大学と連携して進めるものとして、原子力機構を選定した。

【R5.1】説明会の開催

- 「もんじゅサイト試験研究炉の企画競争方式による調達に向けた説明会」を開催。

文部科学省は委託調査の結果及び審議会での議論を踏まえ、中性子ビーム利用を主目的とする中出力炉に絞り込んだ

✓ 中性子ビーム利用を主目的とする炉の利点

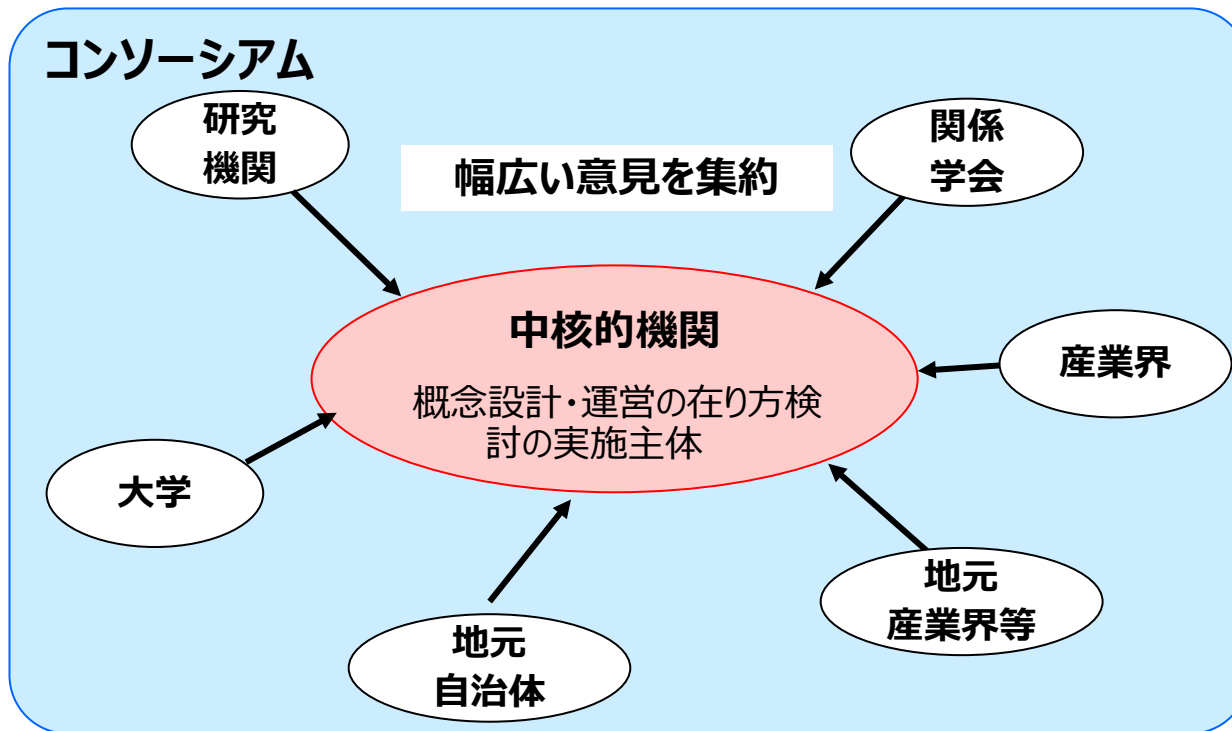
- 中性子ビームによる物質の構造解析、内部イメージング等、材料・ライフサイエンス等の幅広い分野の応用研究、人材育成に適する
- 産業界からの幅広い利用が期待できる
- 炉出力の規模から、年間5,000～10,000人日の利用が見込まれる

✓ 概略建設費： 500～550億円程度

- | | |
|---------------------|-------|
| • 原子炉設備 | 379億円 |
| • 輸送管やビームポート、実験棟等整備 | 90億円 |
| • 土木工事等(土捨て含まず) | 45億円 |
| • 管理棟 | 8億円 |

※ より具体的・現実的な建設費を詳細設計の中で算定し、
国の審議会等において検証

中核的機関(原子力機構、京都大学、福井大学)に加えて、本試験研究炉の利用ニーズを有する学术界、産業界、地元関係機関等からなるコンソーシアムを構築し、幅広い意見を反映しながら概念設計及び運営の在り方検討を実施



※中核的機関の役割

原子力機構：「試験研究炉の設計・設置・運転」

- 試験研究炉の設計やもんじゅサイトの知見を活かし、主に概念設計と地質調査を担当

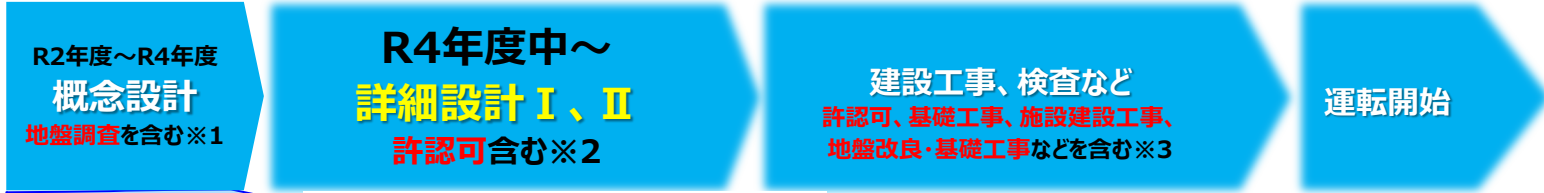
京都大学：「幅広い利用ニーズ集約とサービス提供」

- 利用ニーズの整理、及びKURの利用運営経験を活かした利用運営の在り方検討を担当

福井大学：「地元の大学、研究機関、企業等との連携構築」

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

R4年度中に、地元のご理解をいただきつつ、詳細設計(※2)を開始すべく取組む



※1 予備的調査(1年目)
本格調査(2年目、3年目)

※2 詳細設計を細分化し詳細設計Ⅰ、Ⅱとする
詳細設計Ⅰ：設置許可申請のための設計
詳細設計Ⅱ：設置許可取得及び建設のための
設工認取得のための設計

※3 設工認を段階的に取得しつつ建設着手
建設後、運転開始に向けた使用前検査を実施

文科省委託事業の期間

| 項目 | R2年度 | R3年度 | R4年度 | R5年度～ |
|-------------|------|---|--------------------|--|
| 1. 概念設計 | | 炉心の検討 → | 設備・施設レイアウトの検討 → | <div style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 10px; text-align: center;"> 詳細設計 (R4年度中に開始) </div> <ul style="list-style-type: none"> ・今年度中に詳細設計を開始すべく取組む ・コンソーシアムを通して利活用に関するニーズや意見を集約 ・設置に向けた実施主体は原子力機構 |
| 2. 地質調査 | | 予備的調査 → | 本格調査 → | |
| 3. 運営の在り方検討 | | 利用ニーズ整理、人材育成・利用運営・ 地元との連携構築のための仕組みの検討 → | | |

今後、以下のような方針で事業を進めていきたい

- ✓ R4年度中に**概念設計を終了**し、原子炉の設置に向けた許可申請を行うための**詳細設計に着手**



- ✓ R5年度に、原子炉設置許可申請書の作成にあたり**技術的な支援を受ける主契約企業を選定**するとともに、**詳細設計を進める**



- ✓ R6年度に、詳細設計を実施するとともに、**設計の作業計画の策定を行う**

新たな試験研究炉の炉心概要*

令和5年1月26日

日本原子力研究開発機構

辻本 和文

*:本稿は、文部科学省の令和2年度科学技術試験研究委託事業「もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」の成果の一部を含んでいる。

多種多様な試験研究炉の設置、運転、管理の実績から得た知見を反映するとともに、グレーデッドアップローチの考え方に基づき、炉の安全性を合理的、体系的に計画し、プラント全体としての機能向上を図る。

基本方針

①高い安全性

- ハザードポテンシャル（潜在的リスク）の最小化
- 炉心冠水維持、崩壊熱除去の容易さ
- 安全機能の多重化、多様化

②安定性（高稼働率）の確保

- 燃焼度の確保による長期連続運転
- 最小限のスクラム要求、堅固な設計によるトラブル回避
- 保守の容易さ、点検期間の短縮化

③経済性に優れた設計

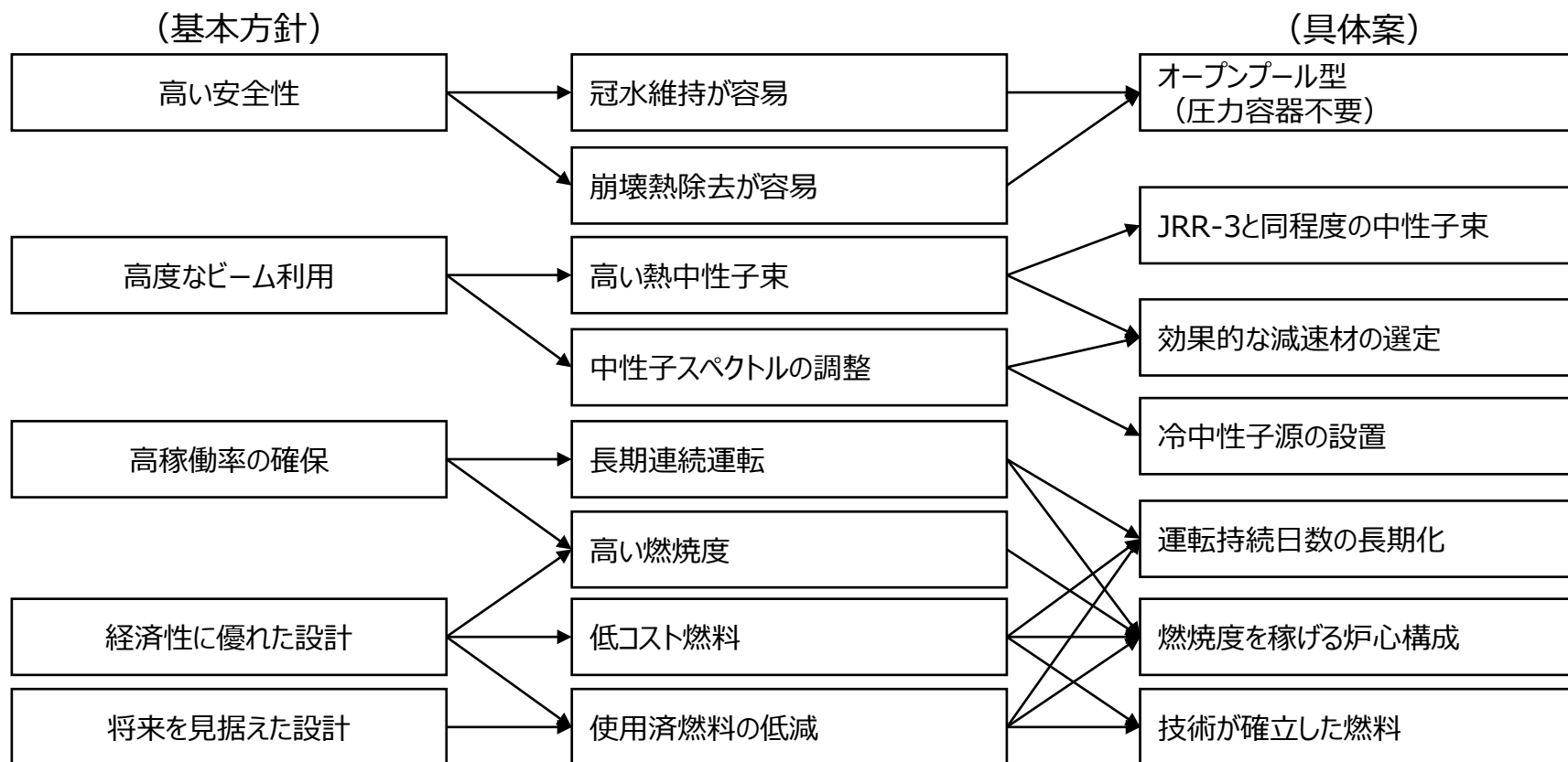
- 既存の技術の応用、高価な構成要素の低減、汎用品の活用
- 設置予定地の省スペース化、設備・機器のユニット化、パッケージ化
- ランニングコスト、メンテナンスコスト、ユーティリティコストの低減

④利便性

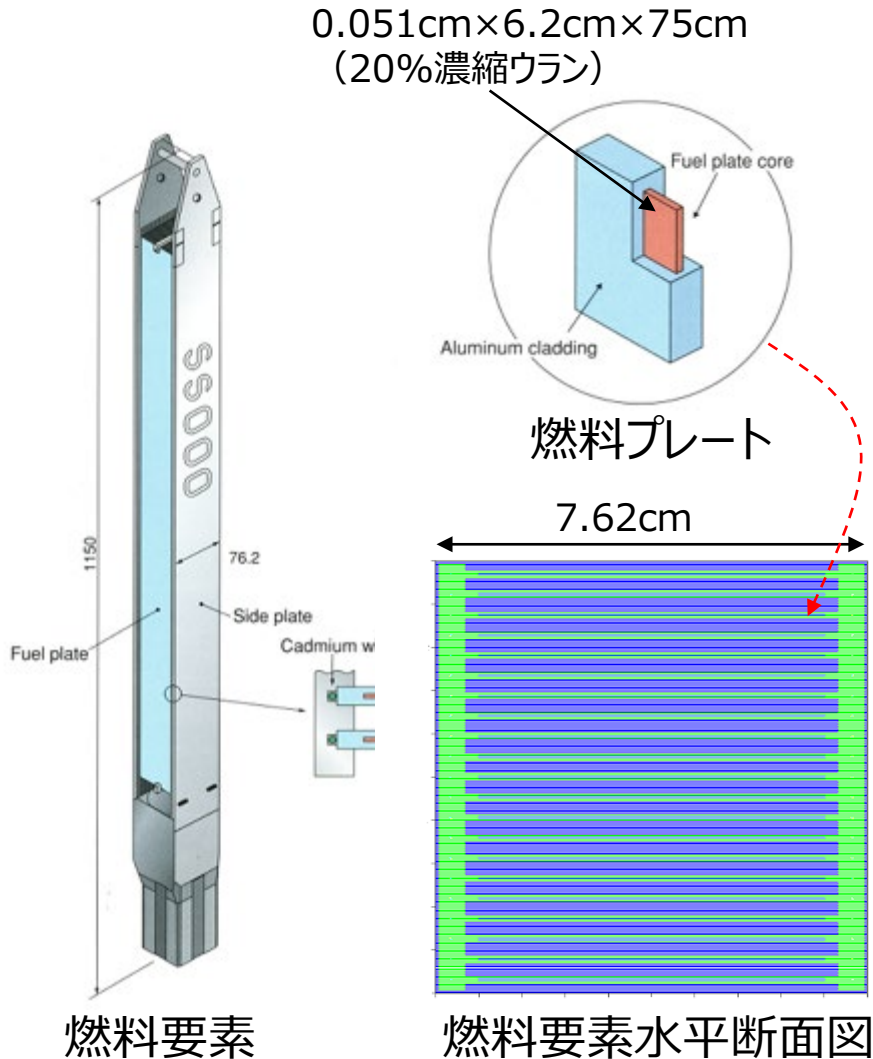
- 利用者のアクセス性の確保、核セキュリティ上の安全確保など合理的な配置
- 実験装置の搬出入の容易さ、補助的実験・計測装置及び利用スペースの充実

⑤将来性

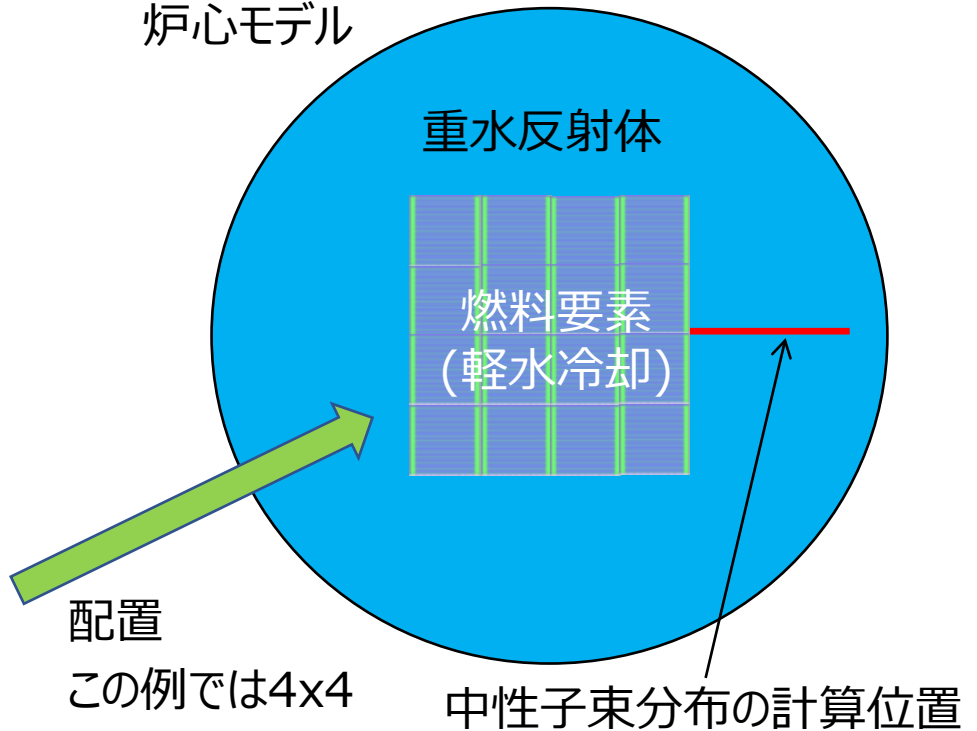
- 新たな研究提案に対応できる柔軟な実験環境
- 低濃縮高密度ウラン燃料の採用、使用済燃料の処理処分の方策



| 項目 | 現状の目標 | 現状の達成見通し | 備考 (JRR-3参考値) |
|----------------|--|----------|---|
| ・ 熱中性子束 | 10 ¹⁴ (n/cm ² /s) 以上 | 達成見込み | 1.0~2.0×10 ¹⁴ n/cm ² /s |
| ・ 運転持続日数 | 400日以上 | 達成見込み | 約370日 |
| ・ 燃焼度 (燃料要素1体) | 80 GWd/t以上 | 達成見込み | 約100 GWd/t |

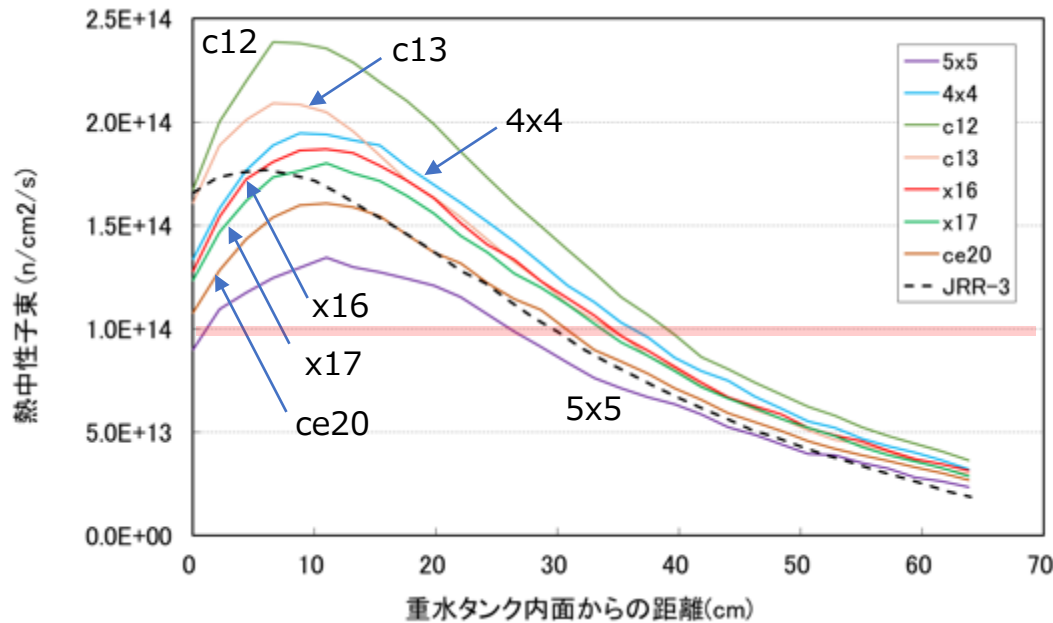


炉心モデル



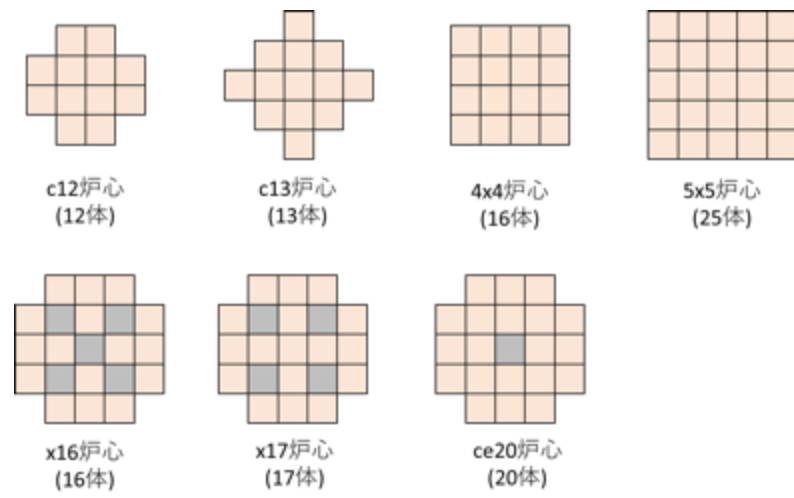
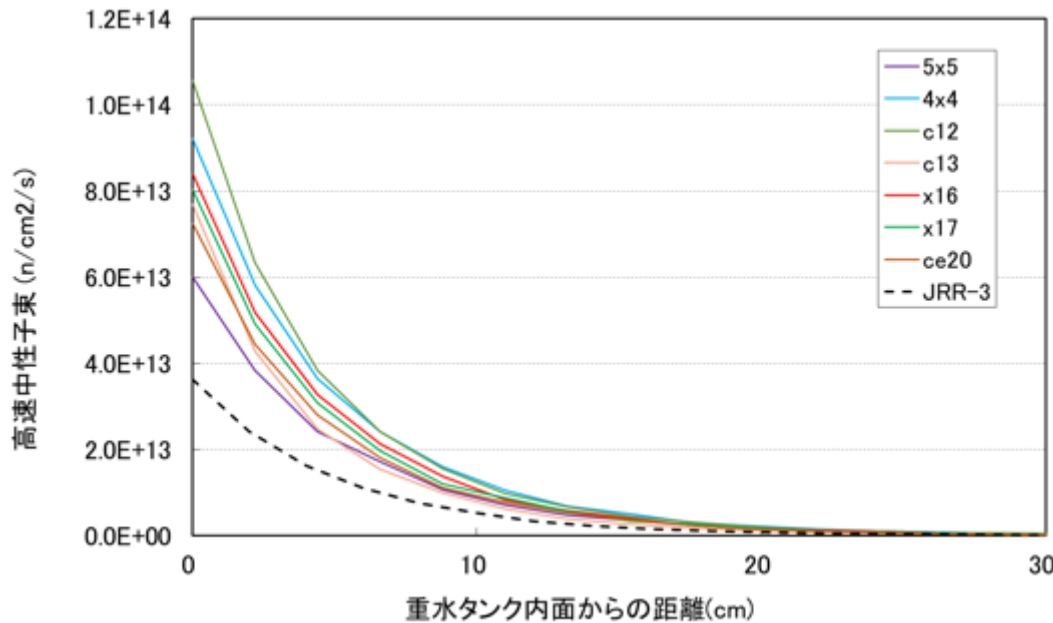
※ 燃料は別途調達予定

- ✓ 計算は、MVPコードとJENDL-4.0を基本的に使用。
- ✓ 臨界調整は燃料要素体の軽水領域にボロンを添加して実施。
- ✓ 燃焼計算コードはMVP-BURNを使用。

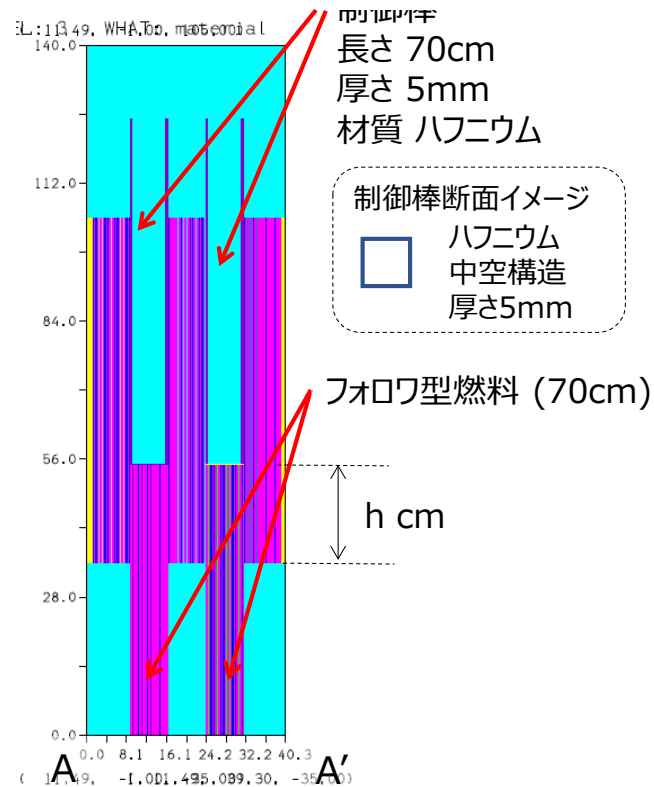
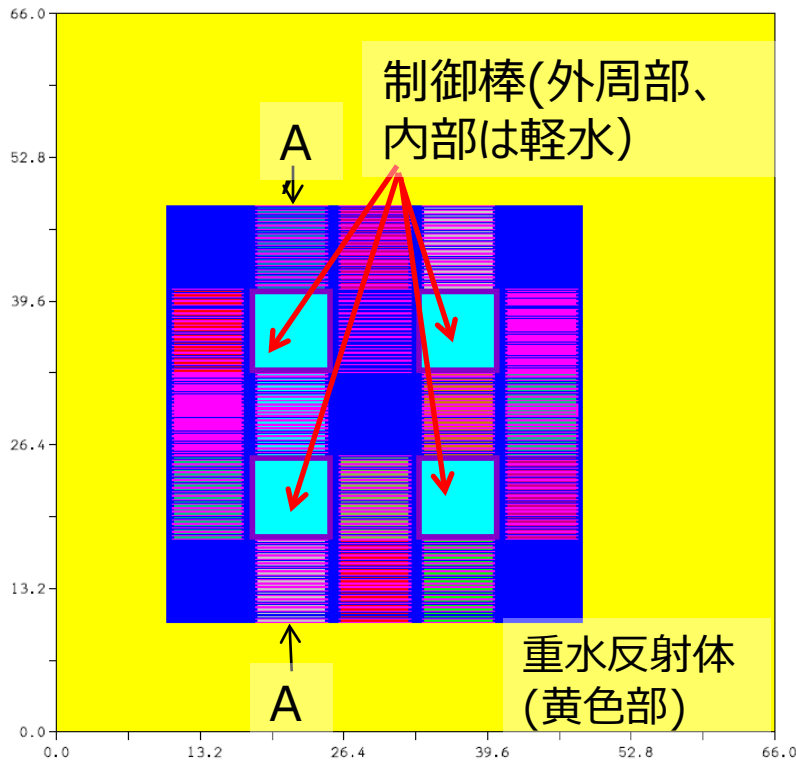


熱中性子束分布および高速中性子束分布の計算結果

- ・今回の解析では、目標とした熱中性子束($1E+14$)を上回る結果を得た。
- ・なお、高速中性子束の結果でJRR-3が低いのは、燃料領域から重水タンクまでに距離があるため。



※熱出力10MW (JRR-3は20MW)



【臨界計算結果 (213日運転時点の組成使用)】

- ・臨界位置： $h = 44\text{cm}$
($k_{\text{eff}} = 1.0050 \pm 0.0004$)
- ・制御棒価値(0cmと70cmの k_{eff} の差からの簡易計算)： $7.492 \pm 0.006 \text{ \%}\Delta k/k$

・フローワ型制御棒4本を炉心内に設置した場合の制御棒価値を評価し、炉停止に必要な反応度価値が得られることを確認した。

新たな試験研究炉の実験設備概要*

令和5年1月26日

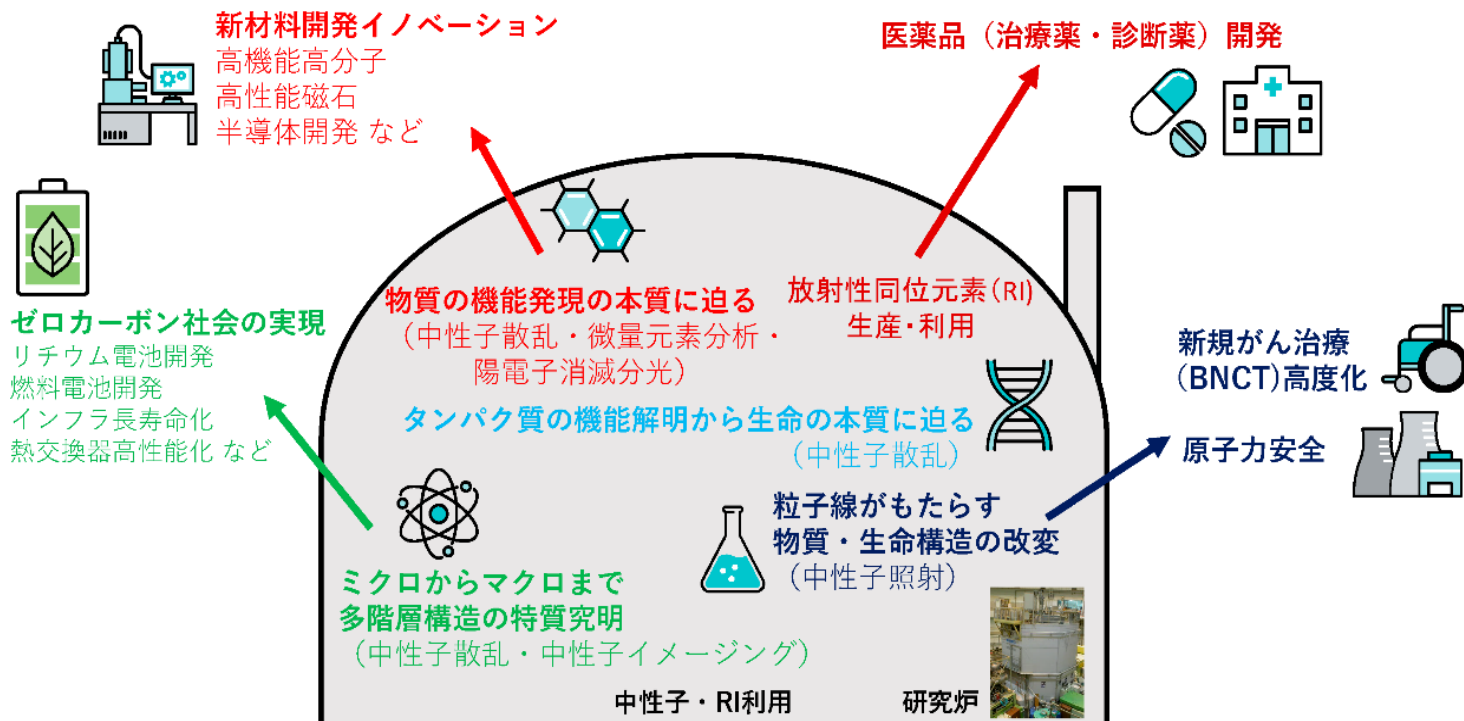
日本原子力研究開発機構

新居 昌至

*:本稿は、文部科学省の令和2年度科学技術試験研究委託事業「もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」の成果の一部を含んでいる。

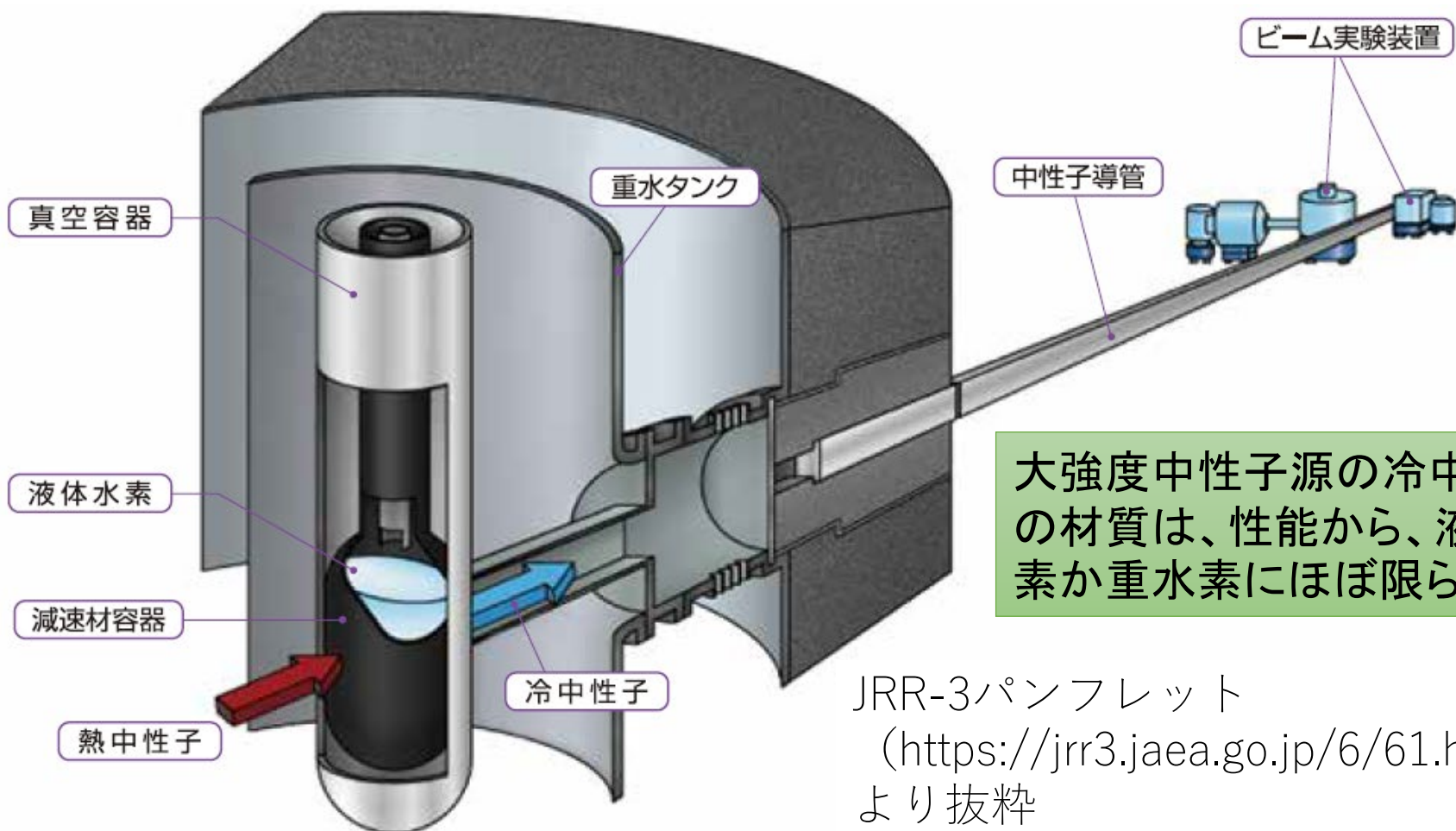
新試験研究炉は多岐にわたる革新的研究成果やイノベーション創出が期待でき、「国際公共財」として世界に誇れる施設を目指すことが重要。10MWの性能を最大限に活かすビーム利用設備としてはまず冷中性子源(CNS)が挙げられる

新研究炉が拓く未来 本質を究明する基礎研究に基づく革新的イノベーション創成
次世代日本・世界を創る人材育成



物質の静的・動的構造解析や元素分析等をより高感度かつ精密に行うためには、熱中性子ビームだけではなく冷中性子ビームの利用が非常に重要

核分裂した高速中性子 ($\sim 2\text{MeV}$) は、重水とビリヤード的に散乱して、速度を落とし、熱中性子 ($< 0.5\text{eV}$) となる。それをCNSはさらに冷やし、冷中性子 ($< 0.005\text{eV}$) を供給する



大強度中性子源の冷中性子源の材質は、性能から、液体水素か重水素にほぼ限られる

JRR-3パンフレット
 (<https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm>)
 より抜粋

安定的に定常中性子ビームが供給できる研究炉では、遮蔽を少なくし装置をコンパクトにできるため、多くの装置がビームラインに設置可能である。汎用性や利用頻度が高い装置について最優先で設置し、新試験研究炉の存在意義をアピールするため、下記の4つの装置を提案

①小角散乱装置 ● 冷

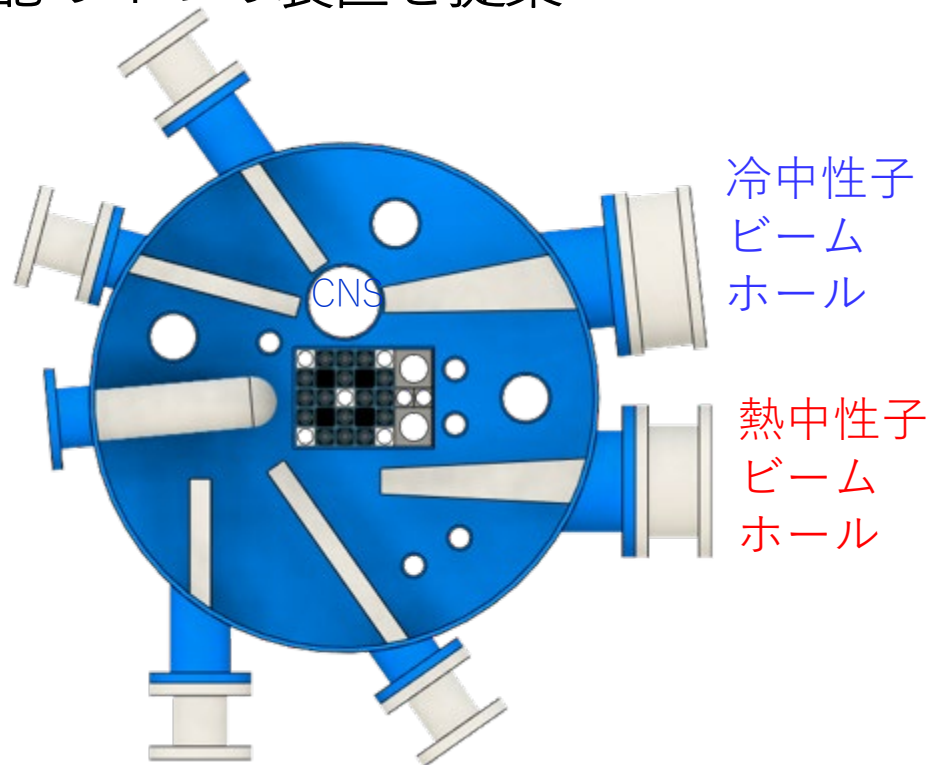
②イメージング装置 ● 熱 ● 冷

③回折装置 ● 熱

④反射率装置 ● 冷

● 熱 主に熱中性子利用

● 冷 主に冷中性子利用



中性子強度等の装置性能が重要だが、特長を出す試料環境(例えば、他施設では測定困難な放射化した試料測定等)検討も重要

汎用性や利用頻度からまず①放射化分析装置が挙げられる。
ただしビーム利用同様、10MW研究炉の性能を最大限活かすため、
② RI製造（開発）以降、⑤までの照射利用装置検討も重要。

①放射化分析：非破壊で（貴重な試料の高確度な）微量元素分析

②RI製造：特に ^{99}Mo 製造や ^{177}Lu 等の医学利用RI製造（開発含む）

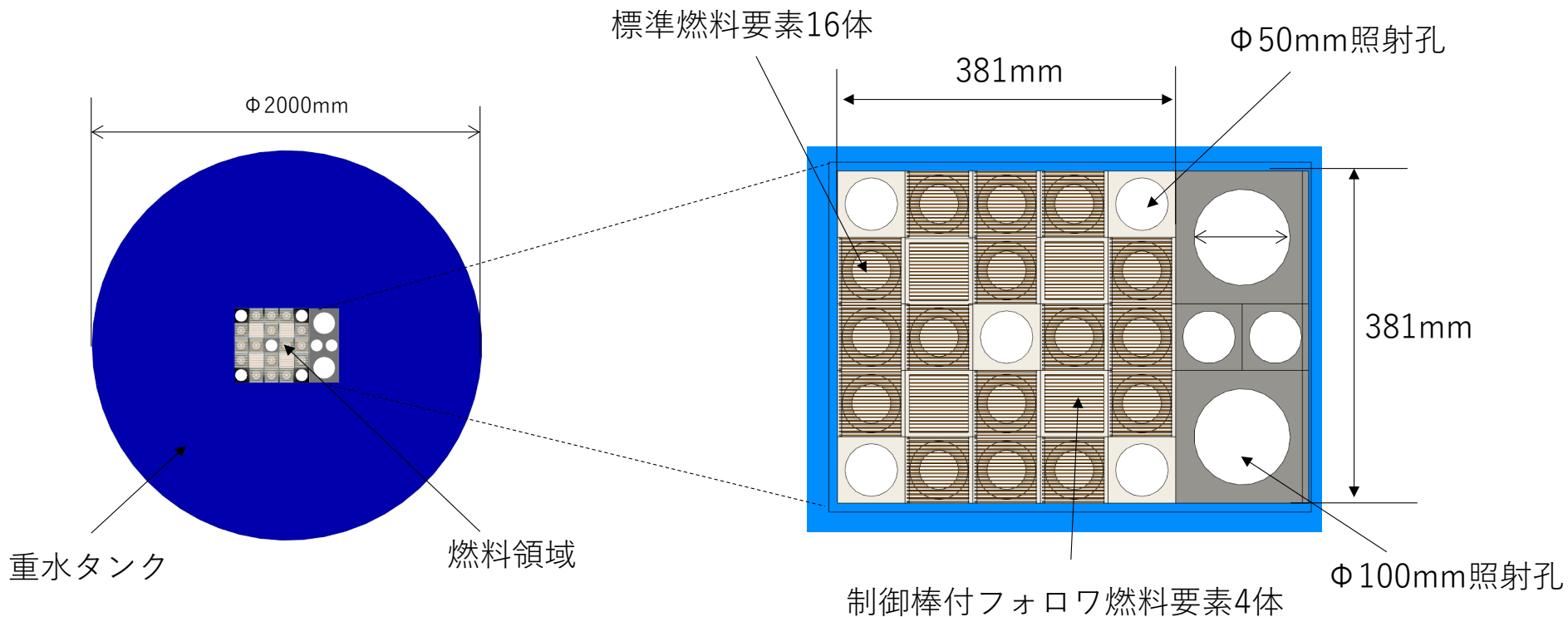
③材料照射：精密温度制御等自由度の高い高速中性子照射場

④陽電子ビーム：原子空孔（欠陥）探索等（ビーム利用との相乗効果）

⑤生物照射：BNCT基礎研究を中心に生物的照射効果基礎研究

炉心領域：②、③ 重水反射体領域：①、② 水平実験孔：④、⑤

ホットラボラトリ（ホットラボ）や分析装置等の付帯設備が必須。日本放射化学会、日本アイソトープ協会、日本薬学会、日本原子力学会材料部会、生物照射関係の学協会からアンケート等により意見を求め、それぞれの研究分野におけるホットラボの用途と必要な機能や設備の検討も進めている。



- ✓ 燃料領域の周囲には重水タンクを配置。
- ✓ 燃料領域は5×5格子に標準燃料16体、フォロワ燃料4体、照射孔5体を配置。
- ✓ 燃料領域の脇に大口径（φ 100mm）の照射孔を設ける。

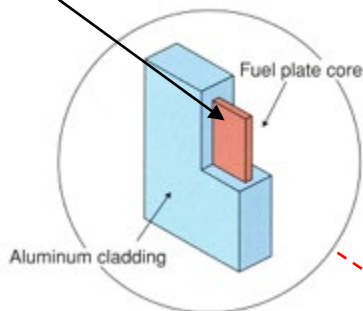
原子炉の仕様概要

| 項目 | | 仕様 |
|---------|--------|---|
| 型式 | | 軽水減速軽水冷却重水反射体付スイミングプール型 |
| 熱出力 | | 10MW未満 |
| 最大熱中性子束 | | 1.5×10^{14} n/cm ² /sec |
| 炉心 | 形状 | 直方体 |
| | 格子数 | 25 |
| | 寸法 | 約 40cm × 40cm × 高さ約 75cm (燃料有効長) |
| 燃料 | 種類 | U ₃ Si ₂ -Al分散型 |
| | 濃縮度 | 約20%- ²³⁵ U |
| | 要素形状 | 板状 (ETR型) |
| | 被覆材 | アルミニウム合金 |
| | 燃料枚数 | 標準燃料：19枚/要素 フォロワ燃料：16枚/要素 |
| | 炉心装荷数 | 20体 |
| | 可燃性吸収体 | あり (カドミウムワイヤ) |

| 項 目 | | 仕 様 |
|----------|-----|-----------------------------|
| 減速材 | | 軽水 |
| 冷却材 | | 軽水 |
| 冷却方式 | | 強制循環 |
| 流量 | | 600～2,000 m ³ /h |
| 反射体 | | 重水 |
| 原子炉主要構造材 | | アルミニウム合金 |
| 制御棒 | 吸収体 | ホウ素 または ハフニウム |
| | 型式 | フォロワ型 または 平板型 |
| | 本数 | フォロワ型：4本 平板型：6本 |
| 生体遮へい体 | | プール内軽水、重コンクリート、普通コンクリート |

| 項 目 | 仕 様 |
|------------------------|-----------------|
| 炉心まわり実験設備 | 水平実験孔 |
| | 水カラビット管 |
| | 気送管 |
| | 垂直照射孔 |
| | 多目的照射孔 |
| | 予備照射孔 |
| | 冷中性子源 (液体水素減速材) |
| ビームライン試験装置 (最優先4機器) | 小角散乱装置 |
| | イメージング装置 |
| | 回折装置 |
| | 反射率装置 |

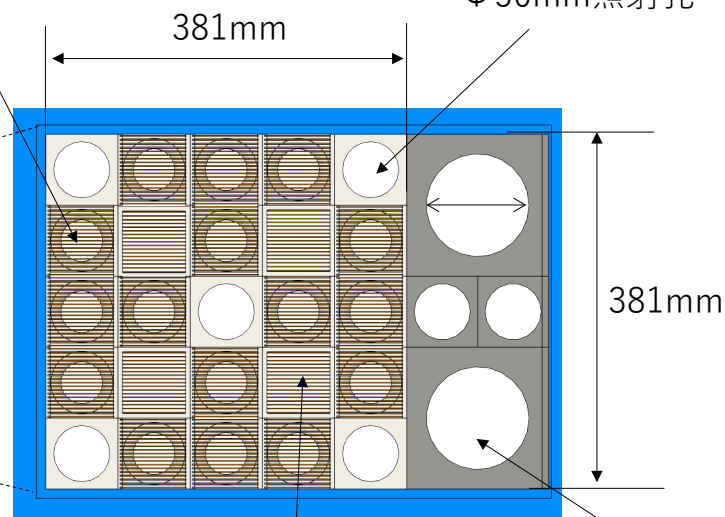
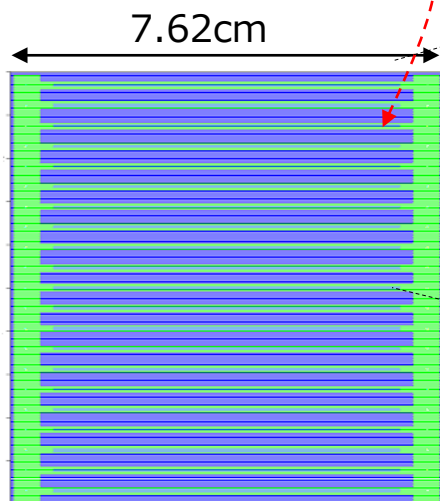
0.051cm×6.2cm×75cm
(20%濃縮ウラン)



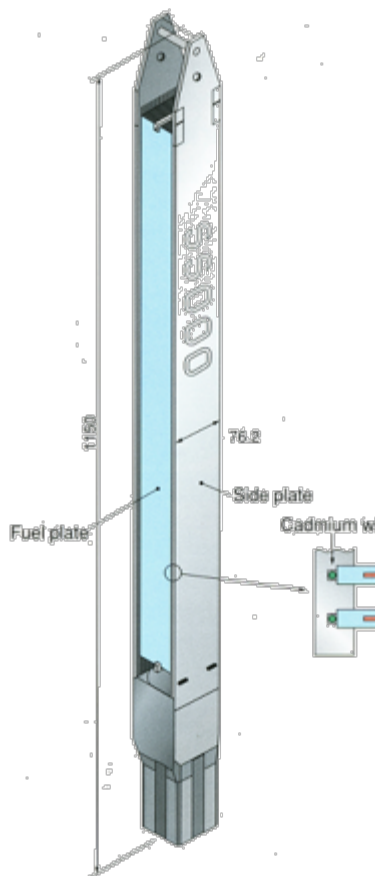
燃料プレート

標準燃料要素16体

Φ 50mm照射孔

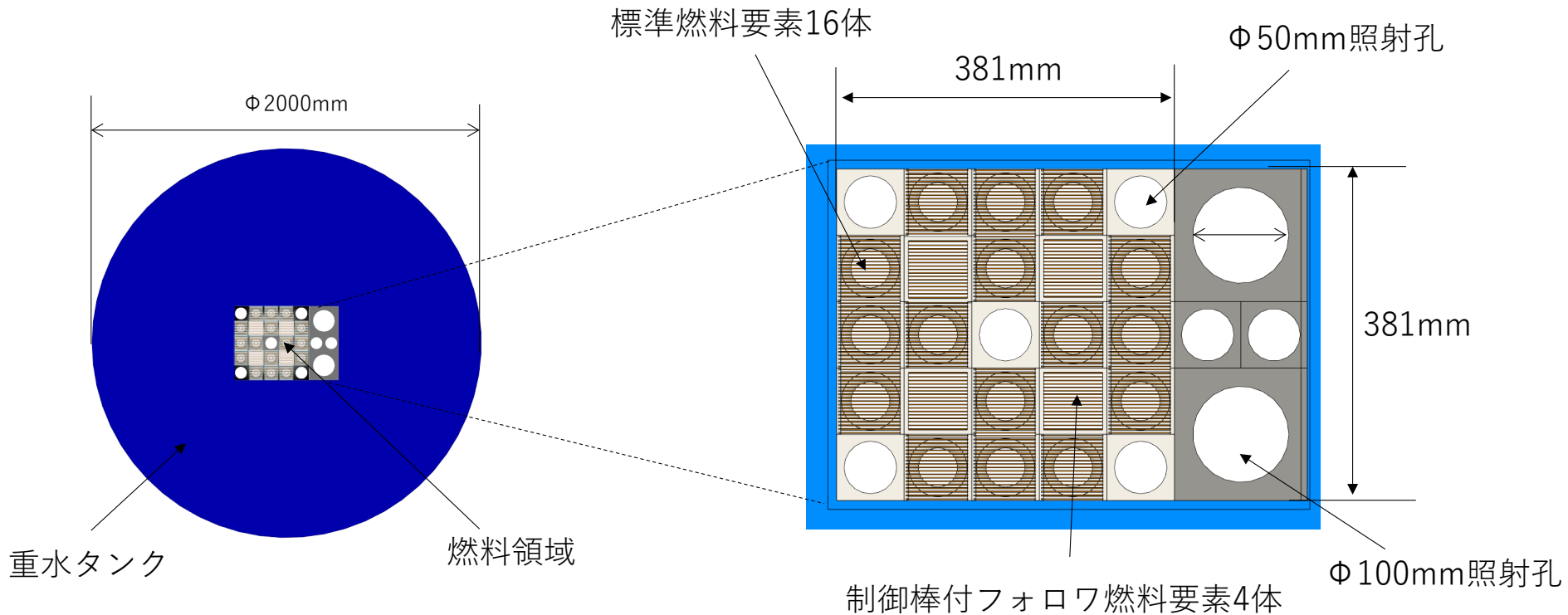


制御棒付フォロワ燃料要素4体

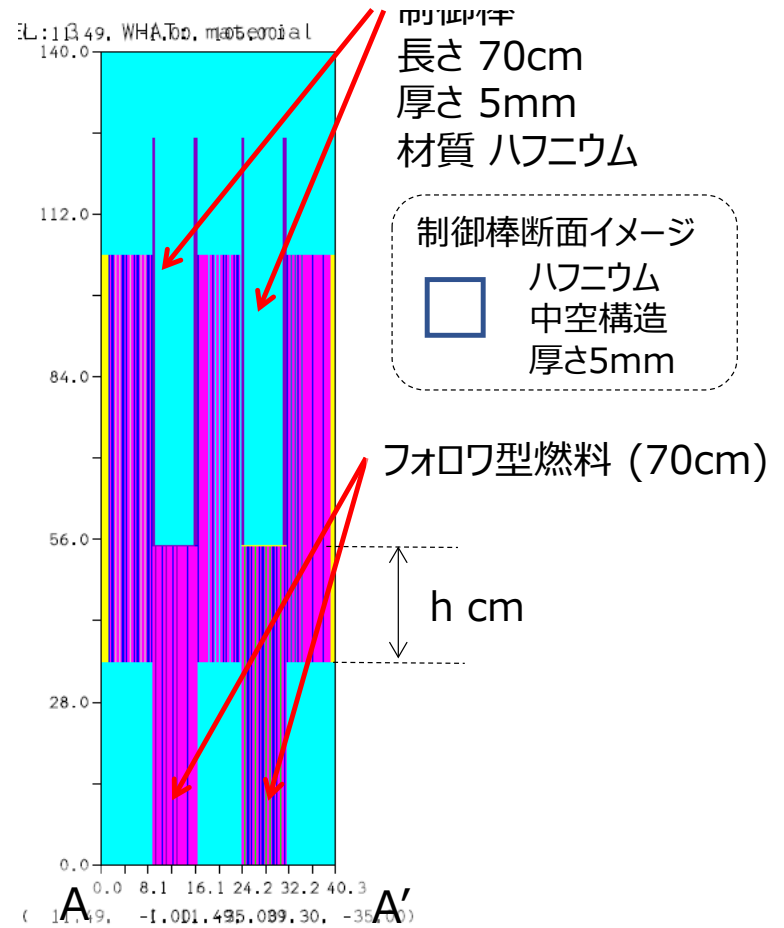
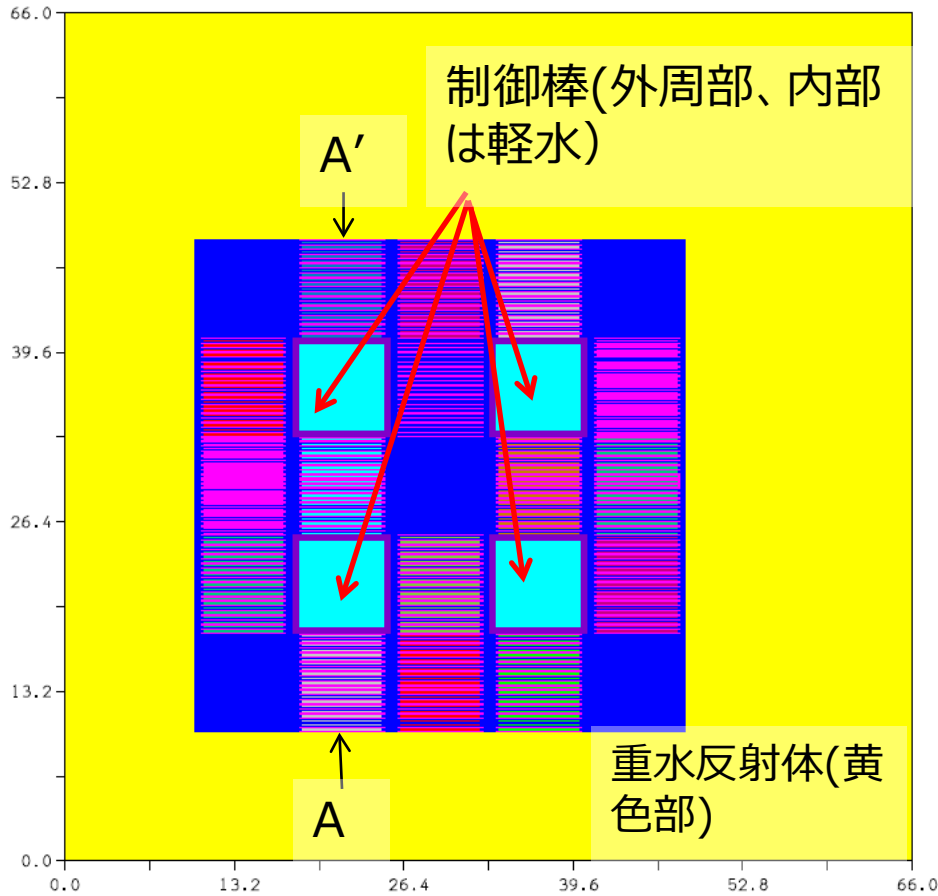


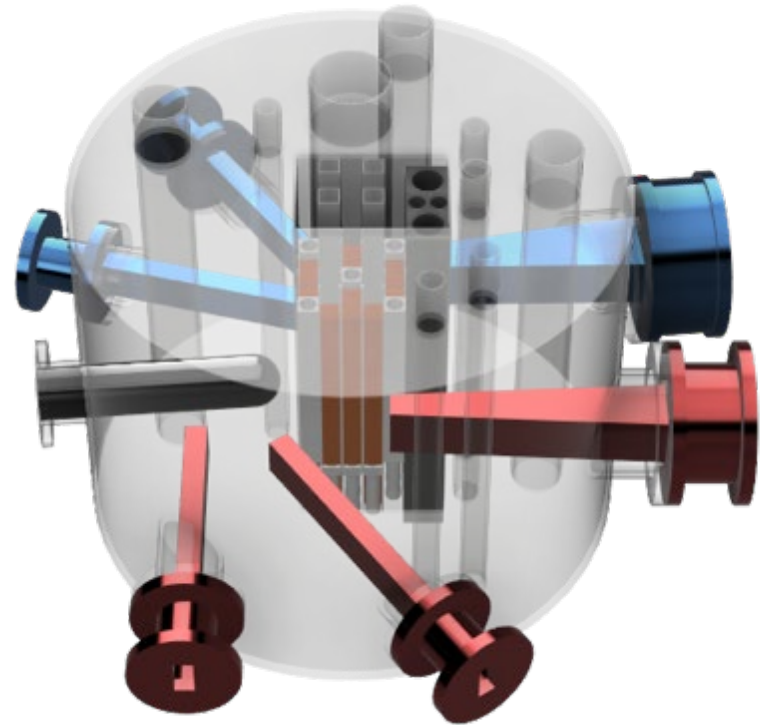
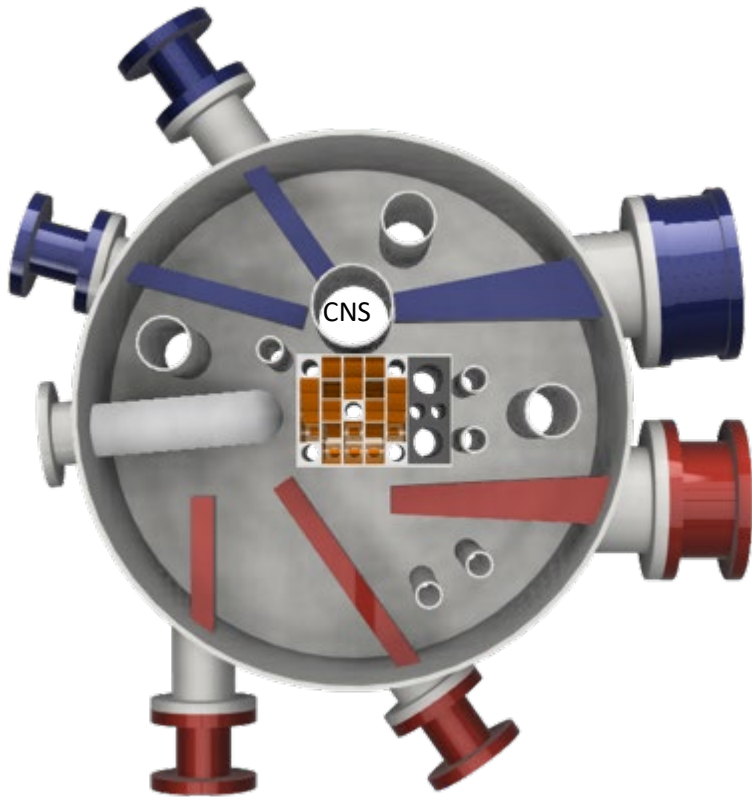
燃料要素

燃料要素水平断面図

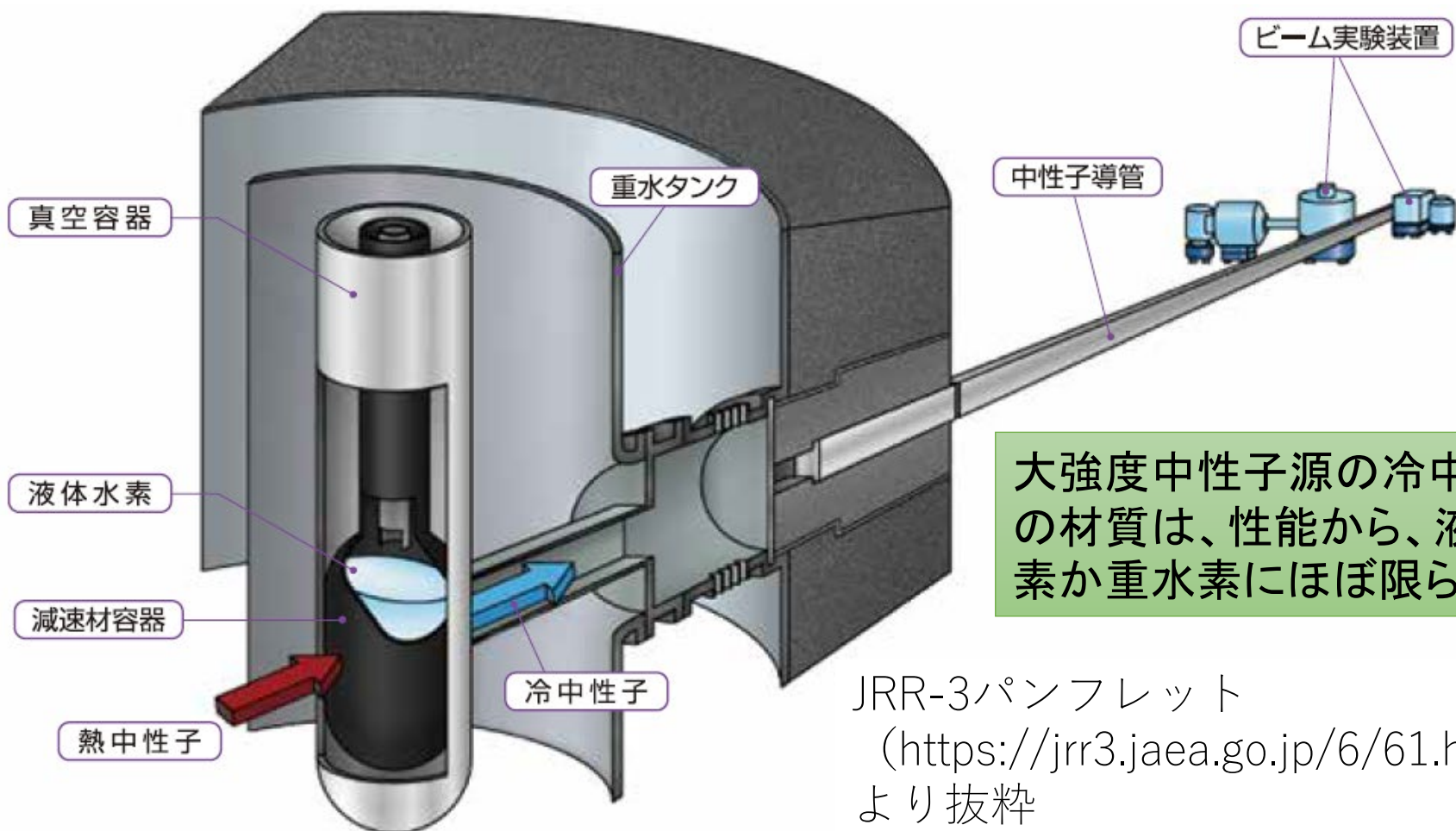


- ✓ 燃料領域の周囲には重水タンクを配置。
- ✓ 燃料領域は5×5格子に標準燃料16体、フォロー燃料4体、照射孔5体を配置。
- ✓ 燃料領域の脇に大口径（φ 100mm）の照射孔を設ける。





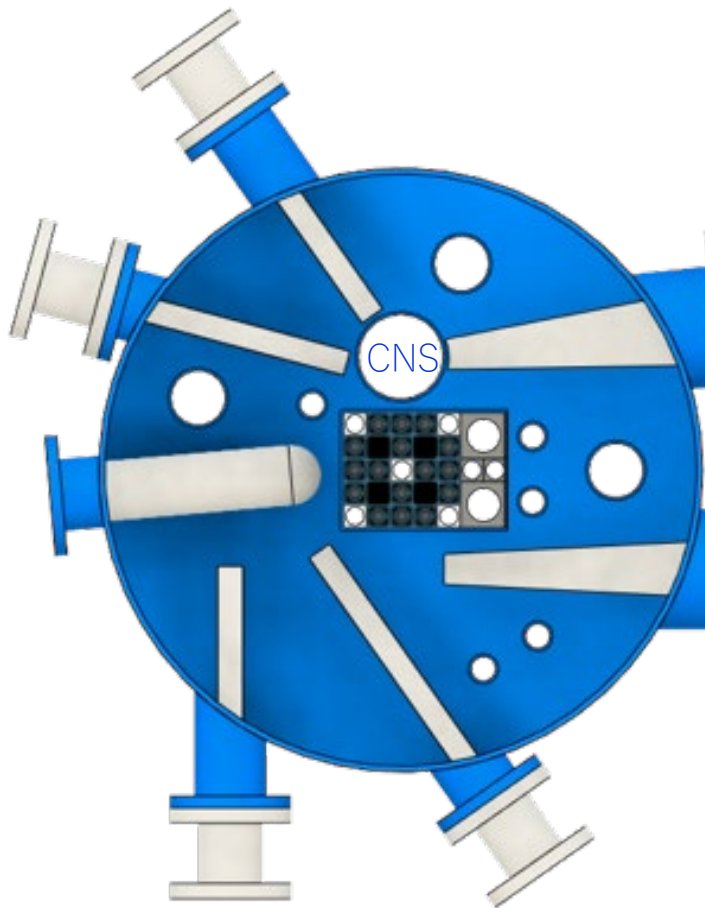
原子炉からの熱中性子($<0.5\text{eV}$)を液体水素で減速することで、冷中性子($<0.005\text{eV}$)を供給



大強度中性子源の冷中性子源の材質は、性能から、液体水素か重水素にほぼ限られる

JRR-3パンフレット
(<https://jrr3.jaea.go.jp/6/61.htm>)
より抜粋

汎用性や利用頻度が高い4つの装置を最優先で設置



冷中性子ビームホール

小角散乱装置 **冷**

回折装置 **冷**

イメージング装置 **熱** **冷**

反射率装置 **熱**

熱中性子ビームホール

熱 主に熱中性子利用

冷 主に冷中性子利用

【優先して考慮すべきポイント】

○熱出力10MW未満

- ✓ オープンプール型 ⇒原子炉圧力容器を使用しない
- ✓ 崩壊熱が非常に小さい⇒原子炉停止後の強制冷却を必要としない

○燃料の健全性を維持するための設計基準

- ✓ 冷却材を沸騰させない
- ✓ 炉心の冠水維持

【その他考慮すべきポイント】

- ✓ 高線量放射性廃棄物の低減⇒炉心構造物の主要材料はアルミニウム合金
- ✓ 良質な熱中性子の生成 ⇒燃料領域の周囲に重水を配置
- ✓ 良質な冷中性子の生成 ⇒Cold Neutron Sourceを設置
- ✓ 中性子ビーム利用 ⇒ビームの取出し、ビームホールの設置
- ✓ 中性子照射利用 ⇒照射設備、照射後処理施設の設置
- ✓ 利便性の確保 ⇒アクセス性、実験スペース、核セキュリティ等を考慮した合理的な配置

1. もんじゅサイト内の設置場所に係る制限を考慮する。
2. スイミングプール型の試験研究炉を参考にする他、炉の特殊性を考慮する。
3. 発電炉に比べて熱出力及び冷却水温度・圧力が著しく小さいこと、炉の構造、使用目的等の差異を考慮する。
4. 安全審査において安全性を十分に立証しうる解析及び対策を講ずる。
5. 中性子ビーム実験、照射試験、RI製造の実施を主目的とし、諸実験が十分効果的に実施し得るとともに、実験設備と炉の運転保守並びに安全性を合理的、体系的に計画し、プラント全体としての機能向上を考慮する。

6. 高い稼働率が得られるよう、燃料交換、保守、点検に対する省力化及び供用期間中の検査、点検の短縮化を考慮する。
7. 既存技術の応用、高価な構成要素の低減、汎用品の活用並びに設備・機器のユニット化、パッケージ化等の採用を積極的に考慮し、必要に応じて新規性や先進性の高い技術も採用し、経済性に優れた設計とする。また、供用期間中のランニングコスト、メンテナンスコスト、ユーティリティコストの低減も考慮する。
8. 工事の簡略化、工期の短縮化を考慮する。
9. 設計に必要な諸試験は、安全審査及び今後の設計に反映しうるものとする。
10. 建家の配置及び建家内の区画、間取りは、利用者のアクセシビリティ及び安全性の確保とともに核セキュリティの確保を考慮する。
11. 実験利用施設の配置計画及び今後の拡張性を考慮する。

新たな試験研究炉の検討の進め方

令和5年1月26日

日本原子力研究開発機構

佐々 敏信

- 最近の調達のあるり方と企画競争契約の採用
- 今回実施していく原子炉設置に係る業務範囲
- 主契約企業の選定方法
- 主契約企業の役割
- 原子炉設置業務の主な流れ

- これまでの公共事業では、設計・施工を分離し、それぞれ競争入札を行うことでコスト合理性を求めてきた。
- 平成20年代以降、国土交通省のガイドライン*等で「**設計者の創造性、技術力、経験等を適正に審査の上、業務の内容にもっとも適した者を選定**」することが推奨され、多くの公共施設や国の大型の試験施設の建設に適用されてきている。
- 試験研究炉の設置においても、同様に**高度な装置設計能力、機器の製作・据付能力、規制当局との対応を支援可能な高い専門知識を具備したメーカーを、多角的視点から選定**することが理想的である。
- また、安全性を担保していくためには、設計時の留意事項を製作時に適切に反映できるように、**設計から製作への業務の連続性に配慮**することが望まれる。
- このため、試験研究炉の新設にあたっては、技術提案（プロポーザル）を求め、比較評価した上で契約を取り交わす「**企画競争方式（RFP: Request For Proposal）**」を採用し、**原子炉設置の主契約企業を選定**する。
- ここでは、**主契約企業の選定に関する考え方**について説明する。

*: 官公庁施設の設計業務委託の在り方について(国土交通省建設審議会・平成3年3月)

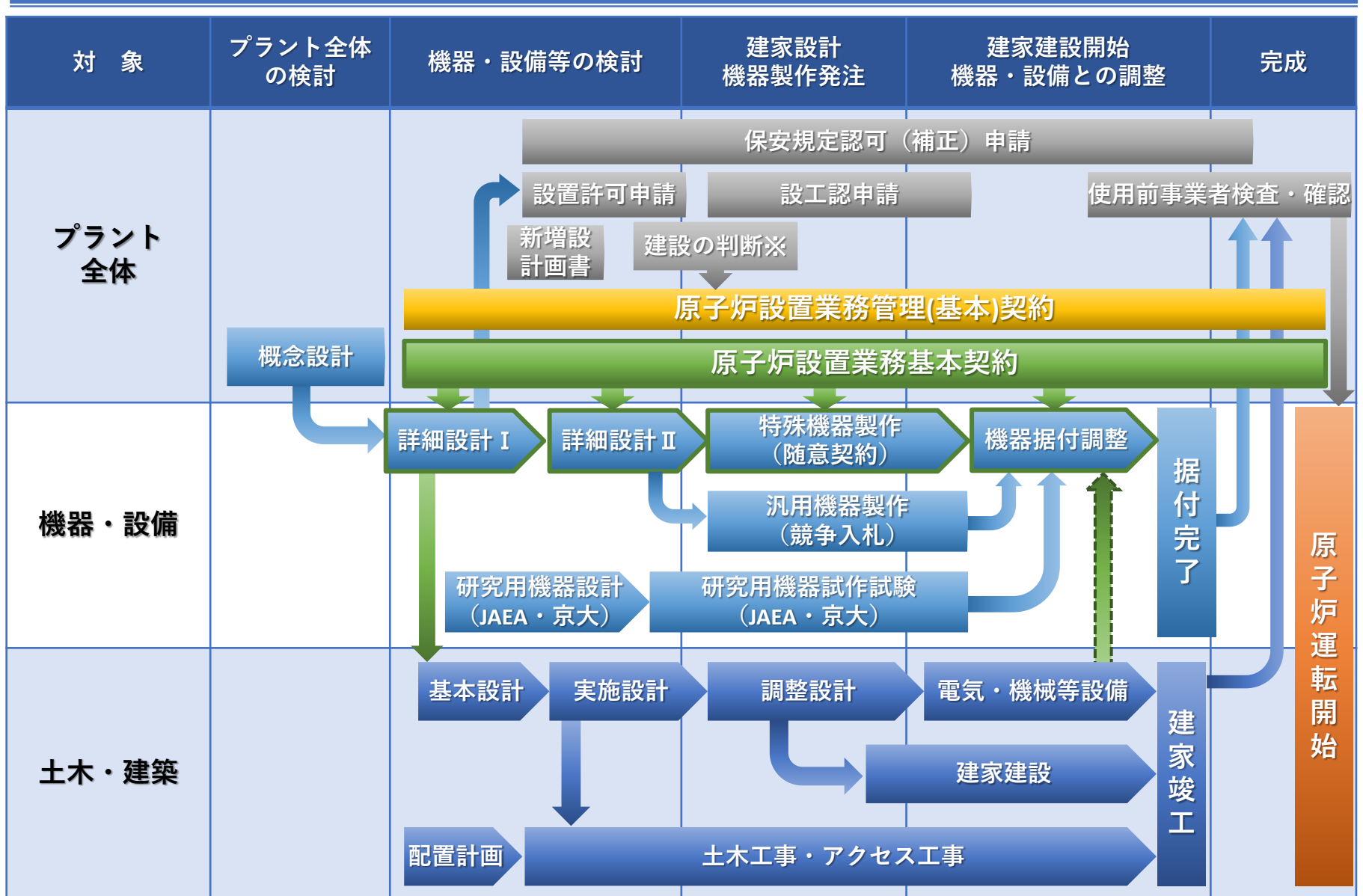
主契約企業が担う原子炉設置に係る業務範囲は、以下のとおり。

- 原子炉本体：
設計及び製作・施工、据付調整
- 原子炉本体以外の、原子炉建家、付属施設等については、協議の上決定する

-
- ✓ 核燃料は、原子力機構が調達する
 - ✓ 原子炉建家の実施設計及び建設は、今後、原子力機構が業者を選定する
 - ✓ 付随する設備のうち、実験装置等については原子力機構が調達を行う

- 原子力機構は、企画競争により選定した主契約企業と、**原子炉の設置に係る枠組み契約（基本契約）を締結**する。
- 主契約企業は、原子炉設置許可を取得するまでの期間、基本契約の下で**詳細設計業務に関する随意契約を行い**、原子炉の詳細な技術仕様を策定するとともに、総工費を積算する。
- 設置許可取得後、原子力機構と主契約企業は、**積算された総工費を踏まえ、原子炉の製作・施工、据付調整、及び統括監理業務に関する随意契約を締結**する。
- ✓ 工程管理、契約内容の調整、経費積算の妥当性については、原子力機構が別途契約する**第三者（コンストラクションマネジメント等）による確認**を実施していくことを検討している。
- ✓ 試験研究炉のあり方に関わる重要な事項については、文部科学省から随時確認を受けつつ、事業を進める。

- ✓ R5年度に、原子力機構は、詳細設計を進めつつ、設置許可申請書の作成にあたり技術的な支援を受ける主契約企業を選定し、主契約企業と協働して、**設計の作業計画の策定に着手**する。
- ✓ R6年度は、主契約企業は、**設計の作業計画の策定を支援**するとともに、**設計経費の積算**を行う。また、**総工費の概算額を積算**する。並行して原子力機構と協働して**詳細設計を進め**る。
- ✓ R7年度以降は、主契約企業は、策定された設計の作業計画に沿って、原子力機構との協働により、詳細設計を引き続き実施し、**原子炉の詳細な技術仕様の策定及び総工費の積算**を行い、原子力機構の**原子炉設置許可申請を支援**する。



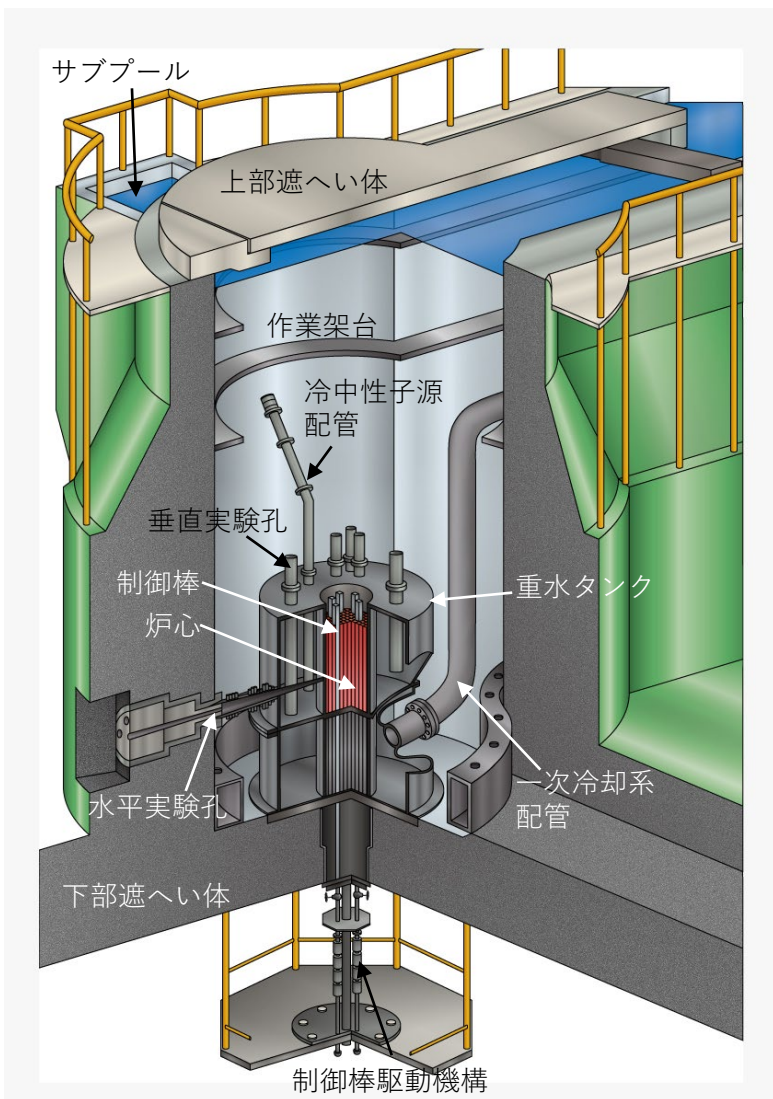
※建設計画については、国における検証を経て判断

- 技術提案を外部有識者を含む委員会により客観的に評価することで、政府の国際調達ルールに基づく競争性や公平性、客観性を担保する。

主な技術審査要件

- ✓ 構想する試験研究炉の概要及びこれに適用する独自技術・手法の提案
- ✓ 提案者の組織体制
 - 経営基盤、技術的能力、人的資源(設計・施工等のフェーズ毎に取り得る履行体制)、計画企画・遂行能力
- ✓ 設計・開発体制
- ✓ 情報管理体制 (設計秘密・核物質管理情報など)
- ✓ TQM(Total Quality Management)
- ✓ 想定されるリスクとその管理
- ✓ 開発実績 (国内外の研究炉/発電炉の設置実績)
- ✓ 運転後の保守管理、部材調達の体制構築

なお、海外から申請する事業者については、貿易管理関連法令及び国連決議等に基づく制裁等の対象でないことが要件となる



| JRR-3の主要諸元 | |
|------------|--|
| 炉型式 | 低濃縮U軽水減速冷却プール型 |
| 熱出力 | 定格出力 20MW |
| 炉心 | 等価直径 約60cm 有効高さ 約75cm |
| 燃料 | UAlx-Al分散型, MTR型板状 235U濃縮度 約20% 燃料要素数 標準型26体 フォロワ型 6体 |
| 制御棒 | 吸収材 ハフニウム(箱型) 本数 6本(フォロワ型と一体) |
| 原子炉 | スイミングプール型 |
| プール | 円形部 直径 約4.5m 深さ 約8.5m |
| 実験設備 | 水平実験孔 9本 垂直実験孔 17本 冷中性子源装置 1基 |

出典：日本原子力学会誌 Vol.32, No.10(1990)

これより質疑応答の時間と致します

- 質問・コメントをお持ちの方は、挙手のリアクションを表示ください
- こちらより指名致しますので、ご所属とお名前を発言された後に質問等をお願い致します。

○頂いた質問と回答につきましては、ご所属と氏名は伏せた形で、後日立ち上げる新試験研究炉準備室のホームページに掲載させていただきます

また、下記メールアドレスにお送り頂いた質問につきましても、同様に個人情報伏せた形でホームページに回答とともに掲載させていただきます。

メールによる質問につきましては、後日実施予定の企画競争契約の公告開始（日程はホームページに掲載）までの期間で受け付けて、回答いたします。なお、企画競争契約に関わらない質問につきましては、随時お受けいたします。

企画競争の入札説明会は、公告後に別途実施致します。

質問用メールアドレス： qa-nrr@jaea.go.jp