



# 「もんじゅ」サイトの新試験研究炉の 設置に向けた取り組み

福井大学附属国際原子力工学研究所  
所長・教授 宇埜正美

## “「もんじゅ」の取扱いに関する政府方針”

- 平成28年12月の原子力関係閣僚会議において、「もんじゅ」を廃止措置し、**「もんじゅ」サイトに将来、新たな試験研究炉を設置することを決定。**

## 我が国の試験研究炉に係る状況

- **施設の高経年化や新規制基準への対応等により多くが廃止の方針**となっており、東日本大震災後に再開した試験研究炉は6施設のみ。
- **我が国の研究開発・人材育成を支える基盤がぜい弱化**している状況。

## ● 試験研究炉の役割

- ・ **カーボンニュートラル実現へ向けた取組が世界規模で加速**
- ・ **エネルギー安全保障の確保に対する期待**
  - ・ 安全確保を大前提とした原子力の安定的な平和利用の推進
  - ・ 今後増加する原子力施設の廃止措置への着実な対応
- **試験研究炉を利用した高度な原子力人材の継続的な確保・育成強化が重要**

**中性子利用技術は学術のみならず、産業利用でも発展**

- **中性子利用需要に対応した研究基盤(試験研究炉)の維持・整備が重要**

**人材育成・中性子利用の基盤として試験研究炉の重要度が増加**

- 「もんじゅ」サイトに設置する新たな試験研究炉の在り方について、文科省審議会等を通じて検討を行った結果、**①我が国の研究開発・人材育成を支える西日本における中核的拠点としての機能の実現、②地元振興への貢献**の観点から、**中性子ビーム利用を主目的とした中出力炉に絞り込み。**
- 令和2年度より概念設計及び運営の在り方検討を開始
- 令和4年12月に詳細設計段階以降の**実施主体に日本原子力研究開発機構を選定し、引き続き京都大学、福井大学の協力を得つつ、設計検討を推進。**



原子力機構、京都大学、福井大学の三者が中核的機関となり、各々の主担当業務において主導的な役割を果たすとともに、中核的機関の主要メンバーによる「全体統括チーム」を組織し、全体進捗管理を行う。

(出典 ⑦)

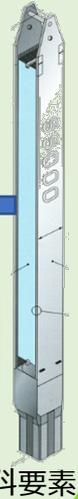
- ◆ 原子力機構（代表機関）：「試験研究炉の設計・設置・運転」  
役割分担 試験研究炉の設計やもんじゅサイトの知見を活かし、主に概念設計と地質調査を担当
- ◆ 京都大学（参画機関）：「幅広い利用」  
役割分担 利用ニーズの整理、及びKURの利用運営経験を活かした利用運営の在り方検討を担当
- ◆ 福井大学（参画機関）：「地元関係機関との連携構築」  
役割分担 地元産業界との橋渡し活動、地元関係機関との連携構築に向けた制度の検討を担当

⇒ 上記の中核的機関に加えて、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する。

## 原子炉の出力と利用目的：熱出力10MW級の中性子ビーム炉（文部科学省提案）

### ✓ 5つの性能目標を設定

- ①安全性 ②安定性 ③経済性
  - ④利便性 ⑤将来性 の5点
- を高い次元で満足することを目標として設定



### ✓ 基本仕様を策定

- ・燃料要素と配置
- ・冷却材、減速材等の仕様を決定し、原子炉の基本的な構成を決定



性能目標を設定  
基本仕様を策定

### ✓ 敷地内地質調査

- ・もんじゅサイト内の候補地点の地質調査を行い、原子炉設置の妨げとなる要因の有無や土地の性状等を調査

原子炉の性能を検討

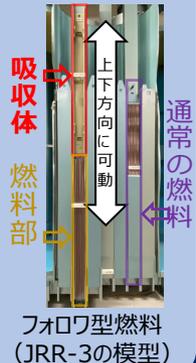
### ✓ 原子炉の性能を検討

- ・原子炉の基本的構成をもとに、運転期間や原子炉内の中性子の分布等の性能の検証を実施
- ・JRR-3の半分の出力で同等の性能が得られる見通しを得た

項目	現状の見通し
炉内熱中性子分布	JRR-3と同等
運転持続日数	JRR-3と同等

### ✓ 原子炉の成立性を検討

- ・原子炉を発熱の除去の視点から解析し、成立性を確認
- ・今後、原子炉システムの視点から成立性を検討

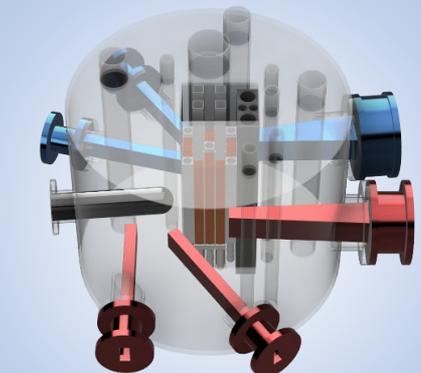


### ✓ 制御手法を検討

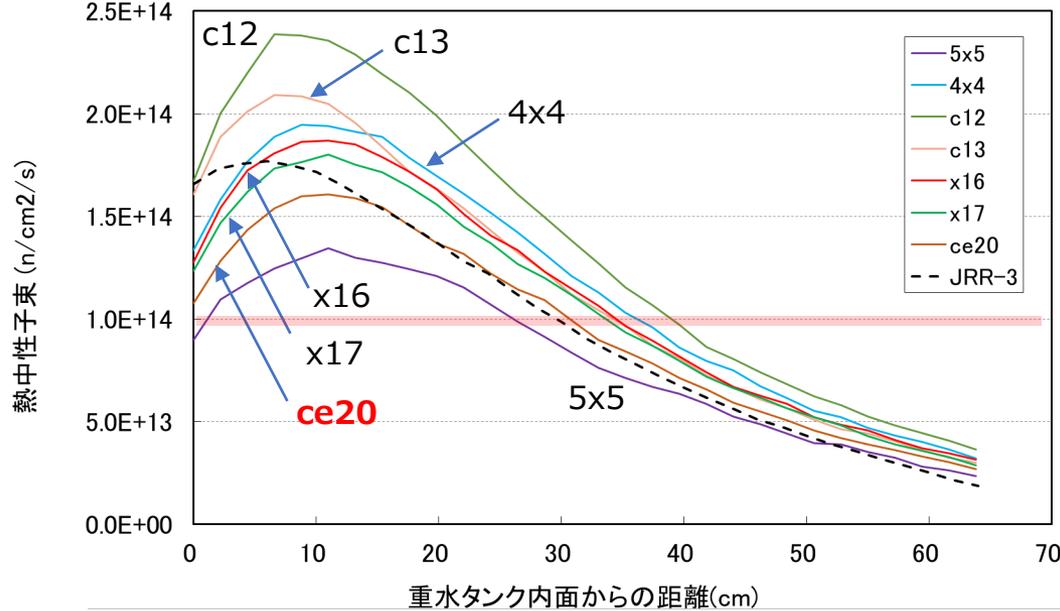
- ・炉の制御手法として、2種類の方法を検討 (フォロー型燃料/平板型)
- ・今後、工学的に成立するかを踏まえて選定

原子炉の成立性を検討  
制御手法を検討

原子炉設置許可申請に向け、  
専門企業の協力を得て、今後より詳細な設計活動へ

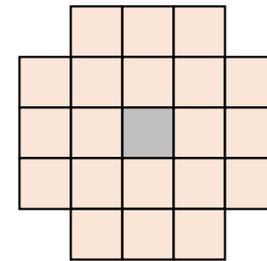


現在の炉心部のイメージ



## 中性子束分布・燃焼特性解析結果

・今後、ce20炉心 (燃料集合体20体)をベースに、制御棒や反射体等の配置を検討。



燃料要素体  
アルミニウム (照射孔を想定)

ce20炉心

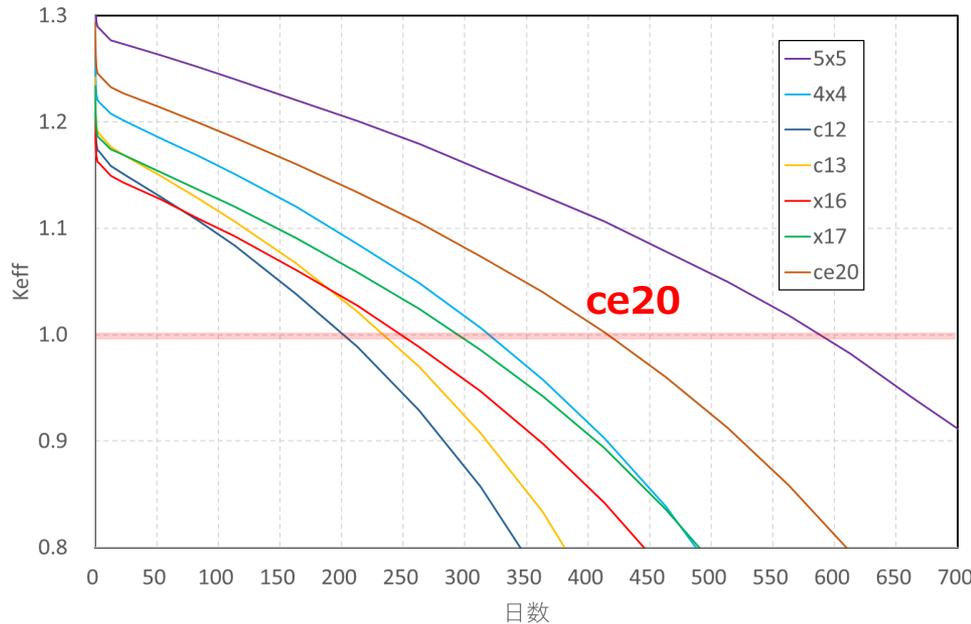
燃料領域の周囲に重水を配置

※熱出力10MW (JRR-3は20MW)



## 主な検討項目

- ・制御要素 (タイプ、配置)
- ・炉心冷却 (冷却性能、プール水深)
- ・照射利用
- ・炉心配置 (反射体、実験孔)



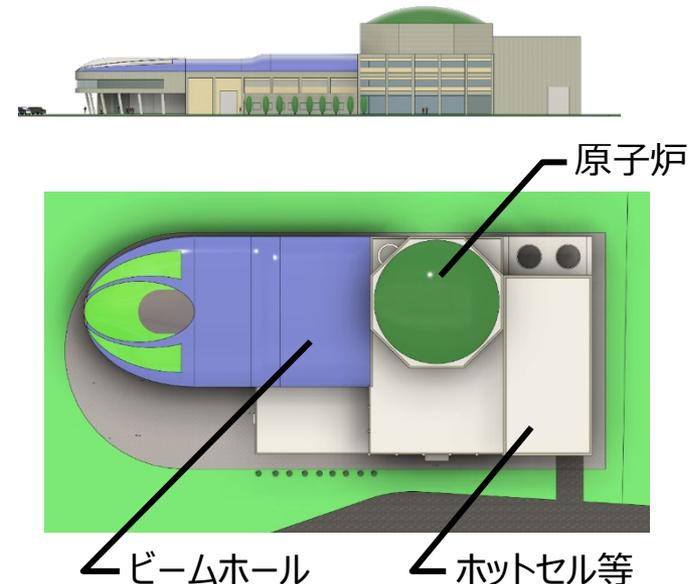
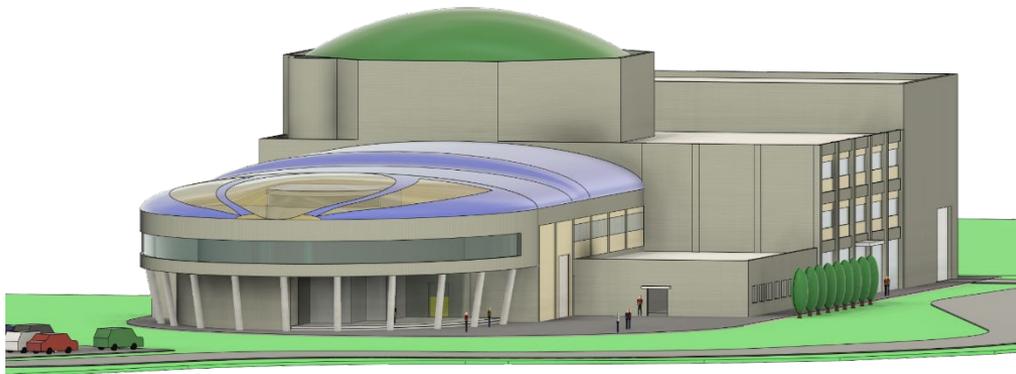
## 1. 炉心概念検討

- ✓ 核的評価（臨界性、出力ピーキング係数等）、熱的評価（限界流速、燃料心材温度等）の成立性の検証を行い、制限値を満足する設計であることを確認した。
- ✓ 制御手法においては、フォロー型と平板型をそれぞれ使用した場合の配置等を構築した。
- ✓ 原子炉の安全解析に向けて、反応度係数の解析を実施した結果、冷却材温度係数、冷却材ボイド係数、ドップラ係数は、全て負の値であり、全ての反応度効果が負の反応度フィードバック特性を持つという設計条件を満たしていることを確認した。

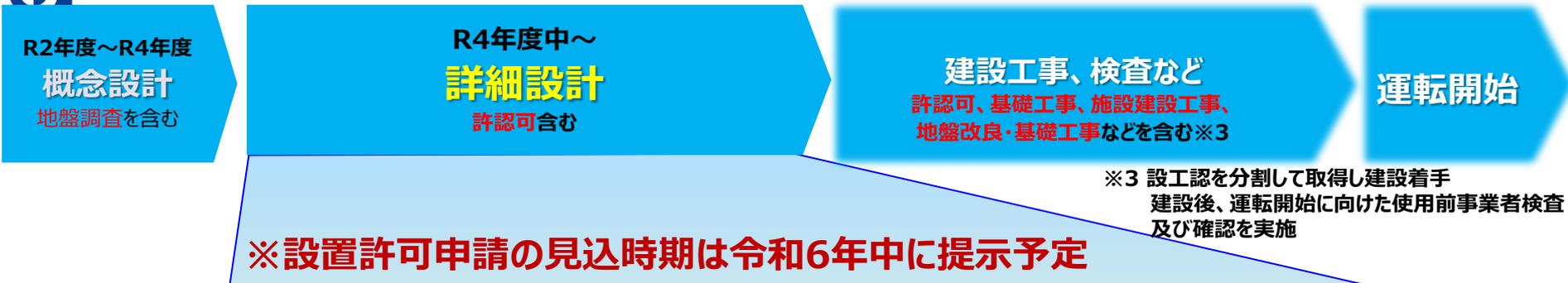
## 2. 運転計画検討に向けた予備検討

- ✓ 燃料シャッフリングによる炉心寿命の延長効果を検討した結果、炉心寿命の延長と燃料の効率的な使用が可能な結果を得た。
- ✓ 運転計画立案のために、JRR-3を参考にメンテナンスに必要な期間等を整理した。

## 3. 新試験研究炉の完成予想図(イメージ)



# 詳細設計検討スケジュール



項目	詳細設計Ⅰ	詳細設計Ⅱ
許認可 手続		設置許可申請 △ → 審査 → △ 設置許可取得 設工認申請 (分割申請) → 審査 → △ 設工認取得
設置許可申請 のための設計	設置場所に関する状況の調査 (気象、地盤、地震等) 施設重要度分類、設備、機器の基本仕様策定 ハザード (リスク源) の特定、防護対策	
設工認取得の ための設計 (分割申請)		本体設備、冷却系設備、計測制御系設備、廃棄設備、放射線管理設備、使用済燃料保管設備、利用設備、ユーティリティ設備等に関する詳細設計 一般構造設計、耐震設計、耐津波設計等
管理棟・敷地造成工事 (設工認対象外)	→	

設工認を取得  
できたものから  
製作・工事着手

## ワーキンググループ2 「幅広い利用運営」 (主査：京大)

### 中性子ビーム利用を主目的とする中出力炉



- 持続可能性が期待できる幅広い利用運営
- 中性子ビームに加え中性子照射も含めた多目的利用
- 汎用性・先端性・多様性のバランスがとれた実験装置群の設置

### 「国際公共財」として世界に誇れる施設へ

- 関連学協会等の専門家との議論を通じて方針の妥当性を確認
- 社会や科学の進展に合わせて中長期的な視点で装置の実現を目指す体制構築



# ビーム実験装置の検討結果

汎用性や利用頻度が高い以下の4つの装置を最優先で設置し、新試験研究炉の存在意義のアピールが重要

## ①中性子小角散乱装置 (Small Angle Neutron Scattering)

試料に入射した中性子ビームが散乱する角度と強度の関係から、**原子や分子の集合構造のサイズ・形状を解析**する実験装置

高分子・ゲル、**新素材、電池、エネルギー材料**  
タンパク質・核酸、**薬剤開発**  
金属、**鉄鋼、金属工業**



JRR-3 SANS-U

SANS: <https://kmayumi.issp.u-tokyo.ac.jp/equipment/tokai/>

## ②中性子イメージング装置 (Neutron Imaging)

入射した中性子ビームの透過率の違いにより、**機械や配管、植物などの内部の構造や現象を可視化**するための実験装置

機械、**自動車産業、宇宙航空産業**  
熱流動、**原子力産業**  
素子・合金、**電池、エネルギー材料**  
植物、**農業**



JRR-3 TNRF

NI&ND: <https://jrr3uo.jaea.go.jp/about/>

## ③中性子反射率計 (Neutron Reflectivity)

斜めに入射した中性子ビームが反射したときの角度と強度の関係から、**試料表面や界面の密度や粗さを解析**するための実験装置

接着・界面活性、**素材産業、化学産業**  
摺動・潤滑、**機械工業、自動車産業**  
多層膜、**磁性材料、センサー**

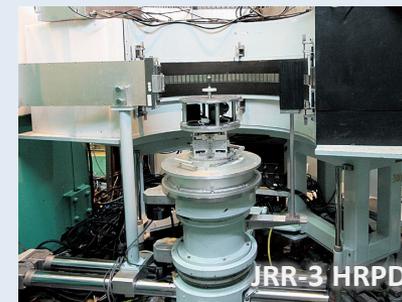


JRR-3 MINE

## ④中性子回折装置 (Neutron Diffraction)

試料によって散乱された中性子ビームの回折パターンから**結晶構造等を解析**するための実験装置

金属・セラミックス・ガラス  
**金属工業、素材産業**  
構造材料・部材  
**プラント、自動車産業**  
電極材・素子  
**電池、エネルギー材料、磁性材料**



JRR-3 HRPD

【注】CNS(Cold Neutron Source):冷中性子源装置

- ①放射化分析設備を最優先で設置
- 10MWの新試験研究炉の性能を最大限活かすため、②～⑤の設備も重要

- 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<sup>99</sup>Mo製造や<sup>177</sup>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

## ①中性子放射化分析

環境試料、宇宙・地球化学的試料、生体試料等进行分析のために広く利用されている。非破壊的方法で多元素分析が可能である。

重金属・不純物  
 化学・繊維産業、資源、環境  
 コンクリート  
 土木、建設  
 半導体  
 電子産業



## ②RI製造

医薬利用RI製造は強いニーズがあり、研究炉の特長も活かす。どのレベルまで実現できるのか、今後の詳細な検討が必要。

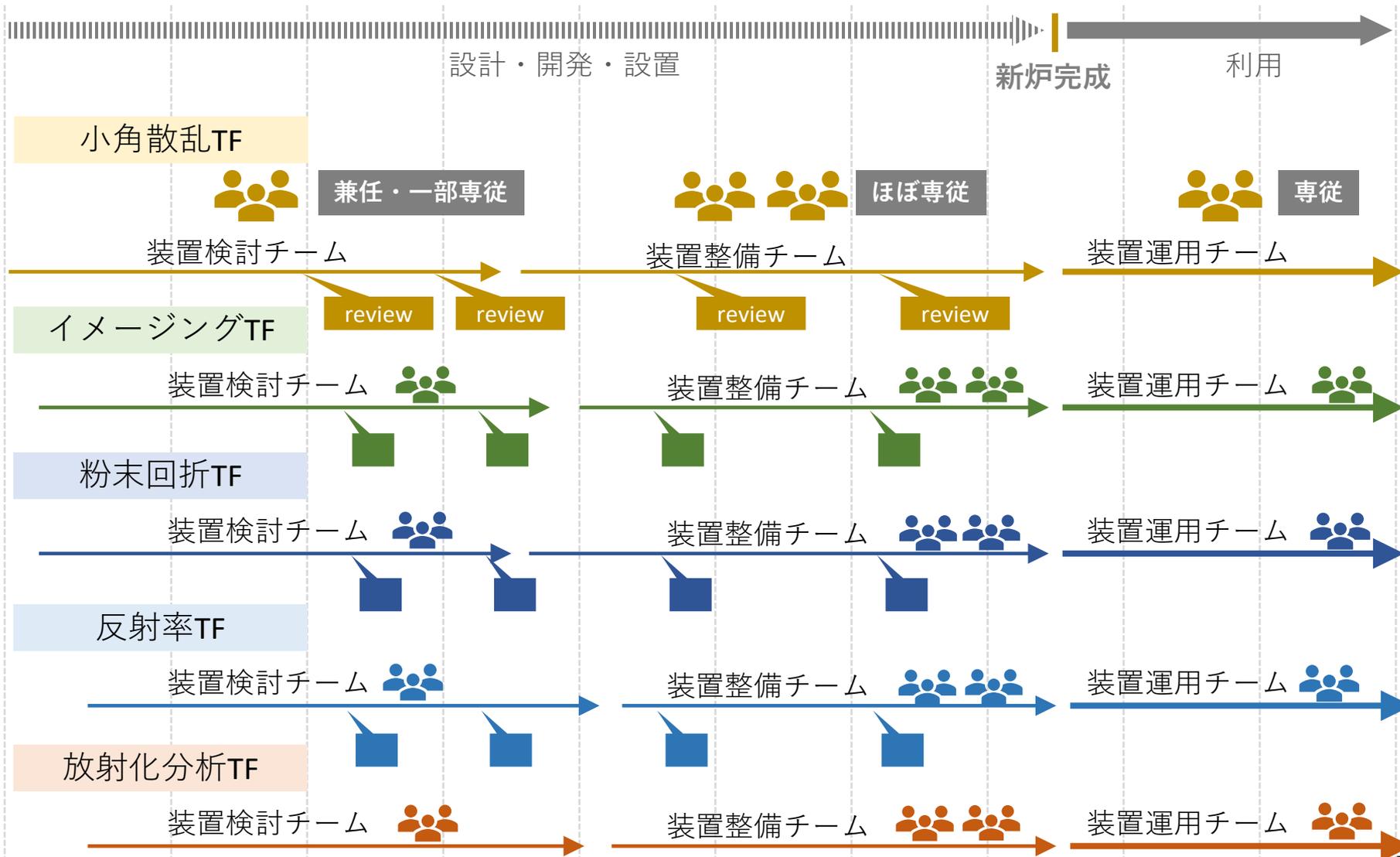
医療用RI  
 核医学診断、核医学治療  
 工業用RI  
 非破壊検査、滅菌  
 農業用RI  
 食品照射、害虫駆除



※BNCT: ホウ素中性子捕捉療法

照射場だけではなく、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。今後ビーム利用、照射利用間で建設を念頭に優先順位をつける必要がある。

装置整備の検討・整備計画を練る**タスクフォース(TF)**を実験装置ごとに編成する



### (1) 伴走型連携

産業利用として有力な中性子ビーム、照射利用技術を検討し、既存炉のトライアルユースを促すなど地元企業との意見交換、情報発信を進め、先行事例を踏まえて地元産学官連携のしくみ(福井スタイル)を構築。

### (2) 学内教育

学内を中心に中性子利用のセミナーを実施。

将来的には福井大内に部門を設置してカリキュラム構築し、中性子利用に長けた人材を輩出する。

### (3) 福井県の事業への協力

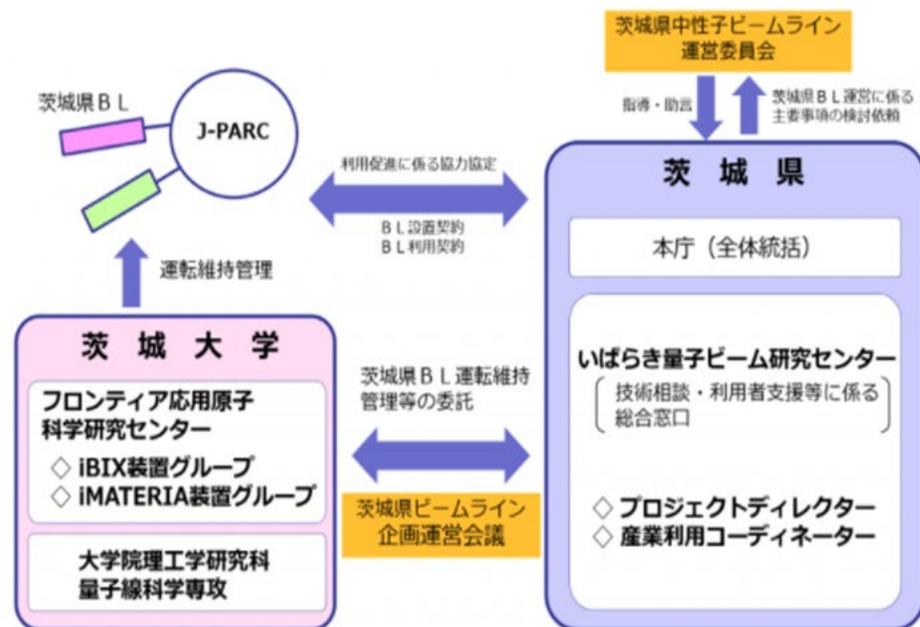
福井県と連携して情報発信・ニーズ調査活動を行う。

## 事例 茨城県の産業利用拡大に向けた取り組み

◇ 茨城県はJ-PARCに専用のビームラインを持ち、運営管理を茨城大学に委託。

◇ 産業利用拡大に向けて、以下の取組を実施している。

- ・公募制度等を利用した研究支援
- ・研究会・報告会等の開催
- ・学会・展示会等へのブース出展
- ・コーディネーターによる利用拡大・利用支援活動
- ・産業団体の設立支援・活動連携
- ・人材育成
- ・ユーザーの利便性を高める制度導入





## (2) 学内教育(もんじゅサイトの試験研究炉セミナー)

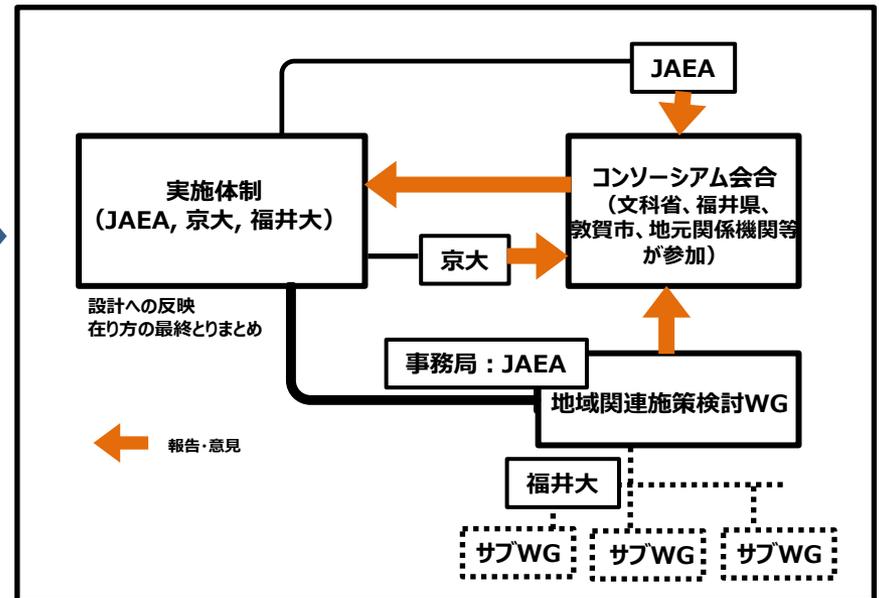
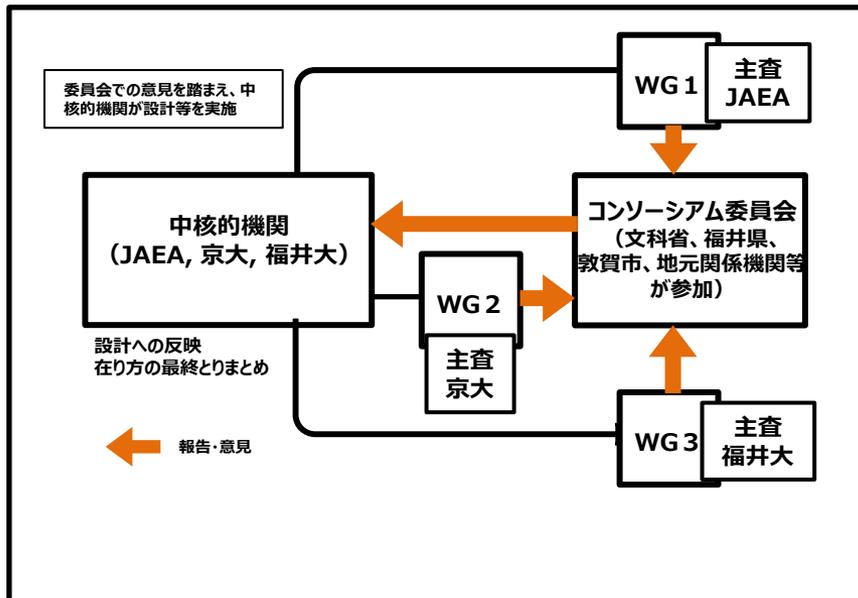
### 1) 令和3年度

- ・「試験研究炉による医療用RI製造の現状と課題」  
日本原子力研究開発機構・居昌至
- ・「BNCT用ホウ素薬剤の開発現状と課題」  
大阪府立大学BNCT研究センター・切畑光統
- ・「中性子反射率法を用いた薄膜の構造評価」  
高エネルギー加速器研究機構・山田悟史
- ・「水環境中における高分子ブレンド薄膜の構造」  
福井大学・平田豊章

### 2) 令和4年度

- ・「新試験研究炉へ 臨床医のお願い」  
金沢大学・絹谷清剛
- ・「核医学治療 ～研究開発の現状～」  
量子科学技術研究開発機構・東達也
- ・「ソフトマター材料への中性子散乱の基礎」  
京都大学複合原子力科学研究所・井上倫太郎
- ・「中性子散乱による高分子材料の研究」  
三重大学・鳥飼直也

- 文部科学省の委託事業において、ステークホルダーに検討の進捗状況を報告し、事業の進め方の意見を伺う場としてきたコンソーシアム委員会については、令和5年度以降、原子力機構への補助事業とされた後も、「**コンソーシアム会合**」として引き続き開催する。
- これまでのワーキンググループ（WG）は事業の進捗に伴って改組し、「伴走型連携」や人材育成のあり方の検討のみならず、新試験研究炉の利用に向けた複合的な研究拠点整備、利用促進体制の検討などをより具体的に検討するため「**地域関連施策検討WG**」を新たに設ける。
- 原子力機構、京都大学、福井大学に加え、地元自治体からの参画を要請し、また、県内の教育・研究機関や企業等にも必要に応じ参加を要請し、利用促進法人の決定後には当該法人も加える形としたい。
- 地域関連の施策については、本WGからコンソーシアム会合に検討状況の報告を行う。WGの下には、論点に対応して、関係機関の担当者によるサブグループを適宜設けて議論を積極的に進める。



# 新試験研究炉設置に係る関係機関間の協力協定締結 (出典 ⑪)



University of Fukui

【令和5年5月8日(月)】

新試験研究炉の計画を着実に進め、我が国の今後の原子力研究や人材育成を支える基盤となる中核的拠点として整備していくため、国立大学法人京都大学及び国立大学法人福井大学との連携を目的とした協力協定を、三法人の長の立ち会いの下、締結

## 【代表的な協力分野】

### ○京都大学－原子力機構

新試験研究炉に係る計画・設計・建設

### ○福井大学－原子力機構

新試験研究炉の利用(特に中性子ビーム及び照射)に係る人材確保と育成

### ○京都大学－福井大学

原子力研究や中性子利用に係る学部・大学院学生の教育



福井大学 京都大学 原子力機構  
上田 学長 湊 総長 小口 理事長



三機関 署名者含む

## 地域関連施策検討WG

○サブグループでの検討内容をとりまとめ、コンソーシアム会合に報告するとともに、国や県の施策として明確にすべき事項は「嶺南 E コースト計画」へ反映

【構成】原子力機構（事務局）、福井大学、京都大学、福井県、敦賀市、美浜町、若狭湾エネルギー研究センター、文部科学省（オブザーバー）、資源エネルギー庁（オブザーバー）

### サブグループ 1

利用促進体制の整備

主査：原子力機構

（事務局：原子力機構、福井大学）

#### 【構成】

原子力機構、福井大学、京都大学、福井県、敦賀市、美浜町、若狭湾エネルギー研究センター、文部科学省（オブザーバー）

#### 【検討事項】

- ・利用促進法人の役割、所掌範囲
- ・トライアルユースの実施に向けた準備
- ・地元産業への利用促進策
- ・医療用 R I 製造等の産業利用に向けた検討
- ・理解促進の向上策

### サブグループ 2

複合拠点の整備

主査：原子力機構

（事務局：原子力機構）

#### 【構成】

原子力機構、福井大学、京都大学、福井県、敦賀市、文部科学省（オブザーバー）

#### 【検討事項】

- ・整備が必要な設備
- ・規模感
- ・間取り
- ・整備予算獲得に向けた準備
- ・福大敦賀キャンパスとの連関性

### サブグループ 3

人材育成

（主体：福井大学）

#### 【構成】

原子力機構、福井大学、京都大学、福井県（オブザーバー）、文部科学省（オブザーバー）

#### 【検討事項】

- ・新試験研究炉の中核となる中性子利用を専門とする人材の育成に向けたロードマップ等



- もんじゅサイトの新試験研究炉について、福井大のミッションは引き続き「地元との連携構築と人材育成である」
- 昨年度までの概念設計において、  
「地元企業の要望の1つに大学と共同研究したい」  
「カリキュラムを受講するのは、配属した研究室の教員が中性子を利用する学生である」
- 福井大の教員に中性子を利用した研究をしてもらう  
(研究ファームを通じた支援)
- 中性子を利用する福井大の教員が必要とするカリキュラムを準備する (カリキュラム構築)
- 本年度は学内セミナーにおいて、中性子利用する福井大教員の研究を紹介してもらうと同時に、学生に知ってほしい学問や研究の紹介を外部の講師にお願いする (合わせて1コマ)

## 試験研究炉における中性子科学研究の調査研究

試験研究炉の運営に福井大が参画するに当たり、運営に関わる研究／教育関係者の理解促進に向けたセミナー・研究会を開催。理解醸成により試験研究炉運営検討グループを形成（設置）。

- 活動内容
- 福井大が利用する試験研究炉設備（ビームラインやホットラボ）の検討
  - 試験研究炉に福井大が参画する母体組織構成の検討
  - 10年先を見据えた試験研究炉・中性子利用の情報を学生・研究者・企業向けに発信

### 試験研究炉コンソーシアム

- JAEA（試験研究炉準備室）
- 京大複合研
- 福井大N研

### 関連学会／団体

- 日本中性子科学会
- 日本原子力産業協会
- 日本原子力学会
- 日本アイソトープ協会
- 放射線利用振興協会
- 中性子産業利用推進協議会

### 国・行政・規制

- 文科省
- 福井県
- 敦賀市

### 県内研究機関

- 福井工大
- 県工技センター
- 若エネ研

### 産業関連

- 県内企業
- 商工会議所

### 教育機関

- 県内中学高校
- 教育委員会

### 福井大学 中性子利用研究検討会

- 研究会・セミナー開催
- 学生向け中性子利用講座・体験会開催
- 見学会開催

### 【参画組織】

#### 原子力研究・中性子利用

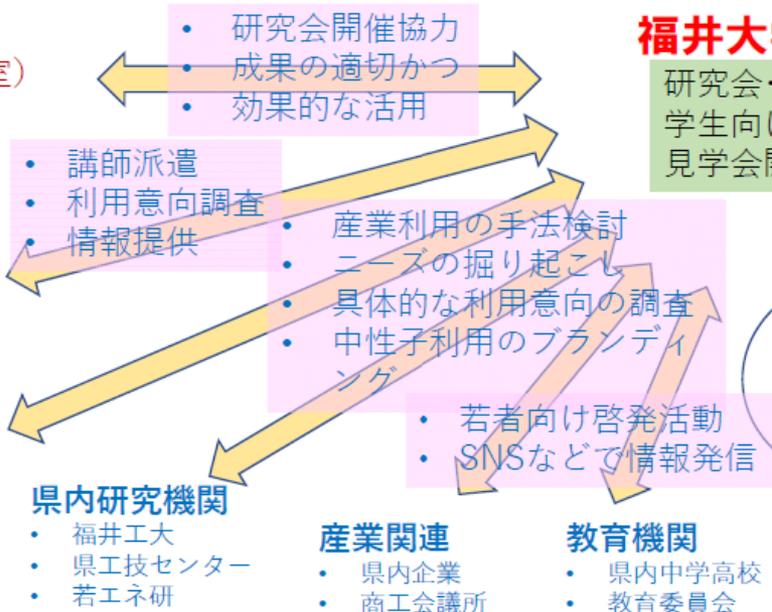
- 附属国際原子力工学研究所
- 工学系部門（N講座，P講座他）
- 高エネルギー医学研究センター

#### 産業利用・伴走型支援

- 産学官連携本部

#### 中性子利用教育・ブランディング

- 地域創生推進本部
- 教育・人文社会系部門





- 福井大教員の研究等で必要な中性子利用に関係する講義
- 学内セミナーを開催(1コマ90分:)
  - 研究紹介
  - 先端研究例等
- セミナーは3回程度(次年度以降も予定)
  - オンラインで実施
  - 参加者:試験研究炉関係機関
- 講義資料(配布用ppt)を教科書を想定
- zoom録画をオンデマンド講義ビデオ

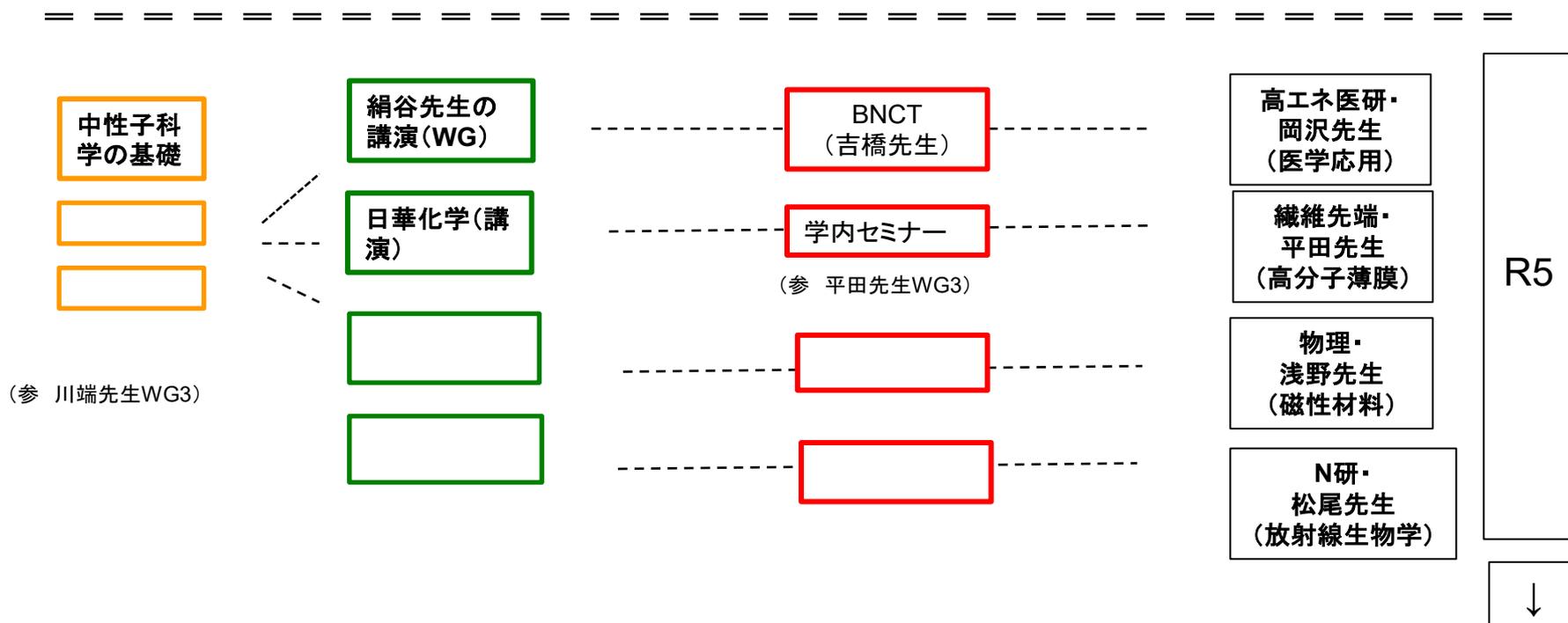
## カリキュラム

基礎 (共通)

動機付け・事例

教員の専門に依存

教員の専門



次年度から、クローポによる特命教員が資料(ppt・動画)の整理や講義科目・講師の提案などのカリキュラムの構築(準備)に携わる他、専門家として学内等からの相談に対応。



# カリキュラムの構築と教員配置(年次計画)

(出典 ⑫より)



＝第四期中計・中目 / ～ (R10) 第五期中計・中目＝

## 人的配置



\*研究ファームからのカリキュラムニーズの汲み取り

\*\*カリキュラム構築・運用／若手教育

\*\*\*カリキュラム運用・研究

## 学内教育

福井大他学生対象



オンラインのセミナー等は外部からの受講も可。正規のカリキュラムもリカレント教育として受講可能にする予定。

「もんじゅ」サイトを活用した新たな試験研究炉の調査・検討」委託事業報告書  
文科省HP (受託:原子力安全研究協会)

- ①平成29年度:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_1.pdf)
- 平成30年度
  - ②1/2:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_2.pdf)
  - ③2/2:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_3.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_3.pdf)
- 令和元年度
  - ④報告書:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_4.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_4.pdf)
  - ⑤添付資料:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_5.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_5.pdf)
  - ⑥参考資料:[https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt\\_genshi-000007535\\_6.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200605-mxt_genshi-000007535_6.pdf)

文部科学省委託事業「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」

JAEAのHP (受託: 日本原子力研究開発機構、京都大学、福井大学)

- ⑦ 第1回コンソーシアム委員会(令和3年3月23日)配布資料  
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2021/032301/s01.pdf>
- ⑧ 第2回コンソーシアム委員会(令和3年10月22日)配布資料  
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2021/102201/s01.pdf>
- ⑨ 第3回コンソーシアム委員会(令和4年3月24日)配布資料  
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2022/032401/s01.pdf>
- ⑩ 第4回コンソーシアム委員会(令和4年11月15日)配布資料  
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2022/111501/s01.pdf>
- ⑪ 科学技術学術審議会 原子力研究開発・基盤・人材作業部会(第16回)  
[https://www.mext.go.jp/content/20230605-mext\\_genshi-000030249\\_6.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20230605-mext_genshi-000030249_6.pdf)
- ⑫ 第1回コンソーシアム会合(令和5年11月20日)  
<https://www.jaea.go.jp/news/newsbox/2023/112001/s01.pdf>