



# 新試験研究炉の実験装置の検討状況

京都大学複合原子力科学研究所（KURNS）

新型研究炉開発利用センター

杉 山 正 明

# 本日の内容

- これまでの経緯
- 今後の装置検討の進め方
- 既存施設との相補的連携の在り方
- 運転開始後の支援体制の在り方

# 本日の内容

- **これまでの経緯**
- 今後の装置検討の進め方
- 既存施設との相補的連携の在り方
- 運転開始後の支援体制の在り方

# 京大複合研のミッション

2020年9月に文科省より

もんじゅサイトの新試験研究炉の概要を発表

- 熱出力:10MW未満
- 性格:中性子ビーム利用を主とする試験研究炉
- 目的:(広い意味での原子力分野)  
研究開発・人材育成・地元振興  
→最先端の装置により実現
- 位置付け:西日本における中核的試験研究炉  
→地元+西日本(+全国の学術・産業利用)を受入

2020年11月から(文科省委託事業)

「概念設計と運営の在り方検討」事業が開始

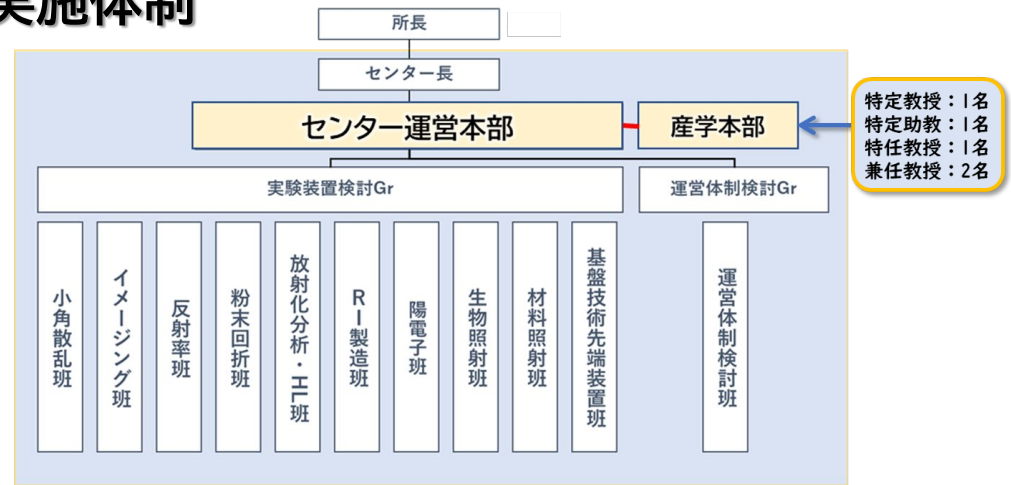
- 中核機関:JAEA・福井大・京大(KURNS)
  - JAEA: 全体統括+原子炉設計・設置・運転
  - 京大複合研:幅広い利用
  - 福井大: 地元関係機関との連携構築

ただし、役割分担は硬直的でなく各項目を全体で検討しながら進める。

2023年4月から本格的「詳細設計」事業に移行  
(枠組みは変更なし)

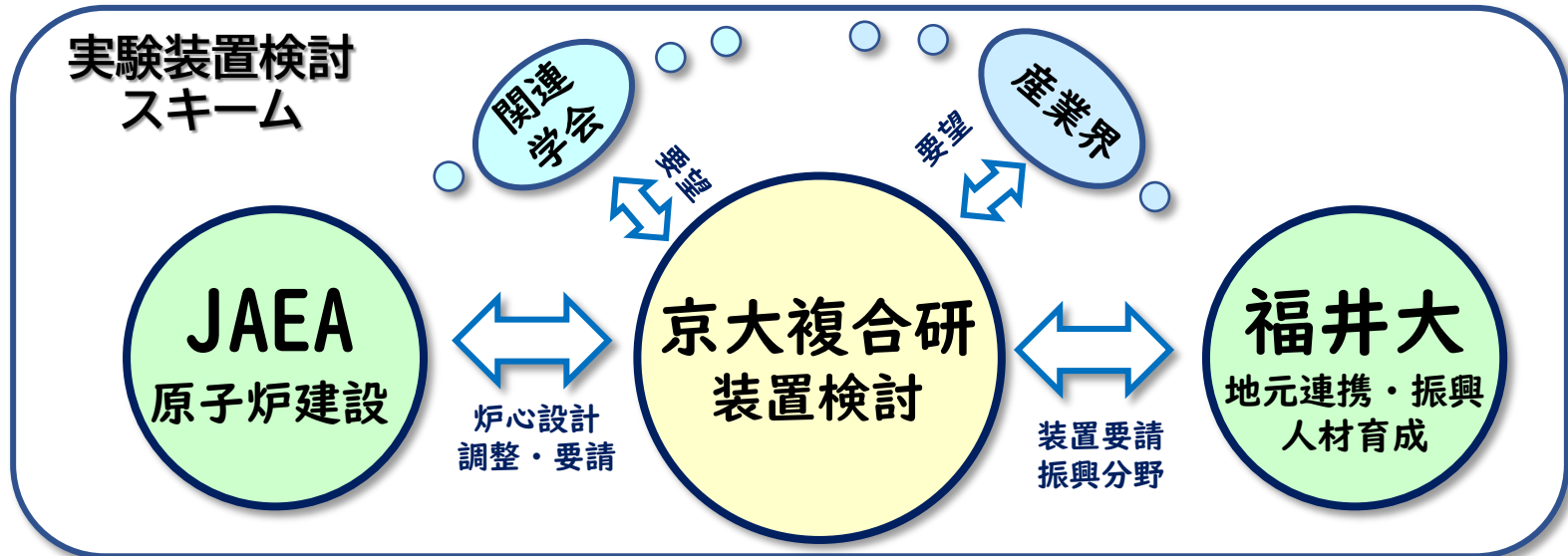
## 京大複合研実施体制

1. 新型研究炉開発・利用センターの設置
  - 所内各所より専門家を集結  
(23名:10研究室、技術室)
  - 専任部門(産学部門)+主任部門(1研究室)  
+兼任部門で構成→専任部門の増強を希望
  - 検討班を設置⇒各班に専門家を分散配置し、  
TFと直接連携(TFについては後述)
2. 所内のほぼ全ての人事公募において  
「新試験研究炉の活動」を組み込む



幅広い利用の検討 ➡ 実験装置・利用体制(含む人材育成・産業利用)

# 実験装置検討

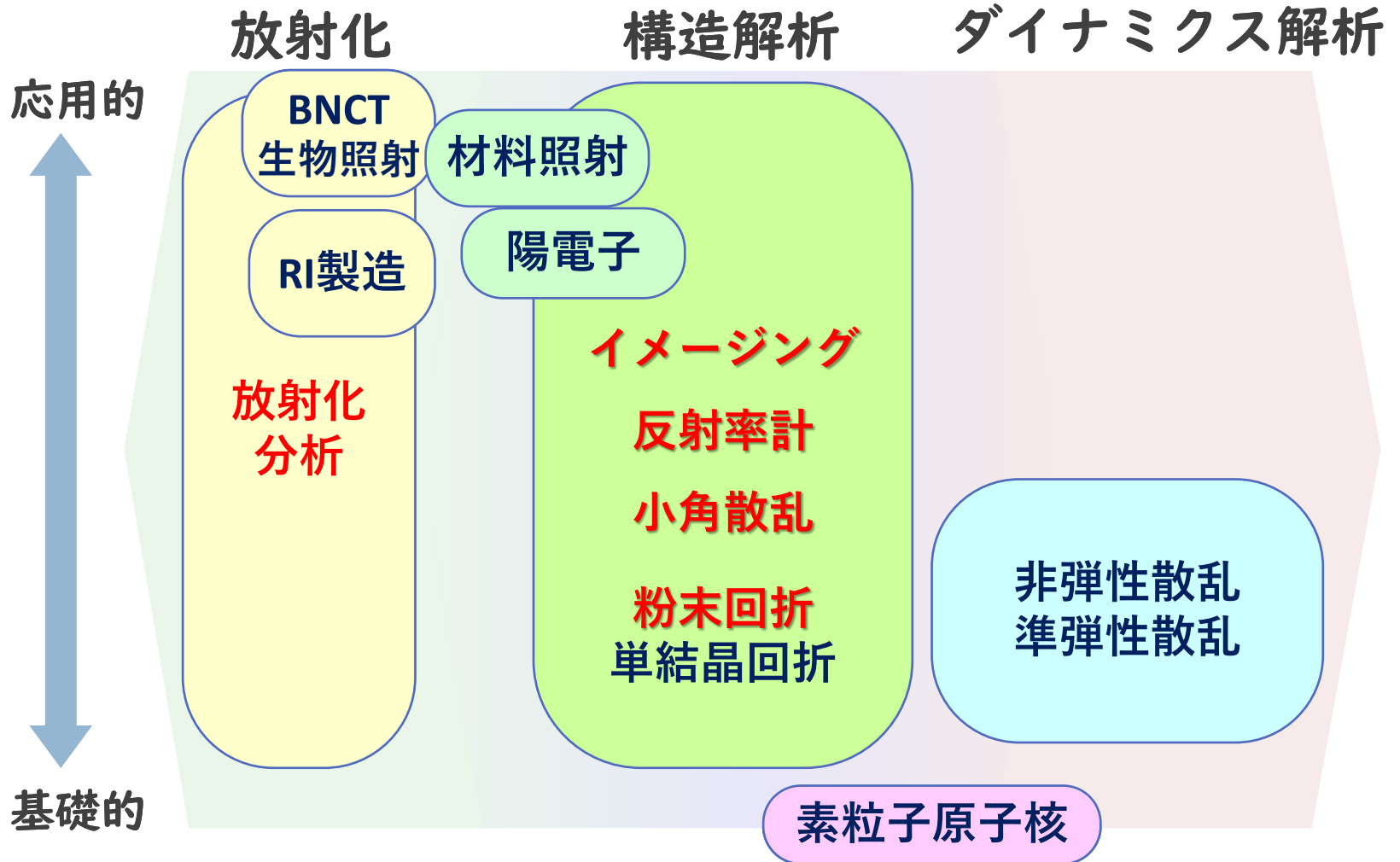


## 設置実験装置検討内容

1. JAEA・福井大と意見・情報交換
2. 国内の装置の利用状況調査（参考資料1）
3. 学識経験者・装置建設経験者・中性子施設建設経験者から情報収集（参考資料2）
4. コミュニティからの要望の受付（参考資料2）
5. 産業利用分析
6. 海外装置動向調査（参考資料3）

以下の様に装置を分類↓

# 設置候補装置の分類



初期装置としては、**基礎・応用にわたって利用可能な装置**を選択  
 → 学術利用・産業利用ともに多くのユーザが見込める装置

# 1次・2次整備装置の案

## 1次整備装置(First5)

- ◆ 中性子小角散乱装置
  - 技術的要件: 冷中性子を利用し、試料位置において $10^6$  n/cm<sup>2</sup>/s以上の中性子束が得られることが望ましい。装置に付随して、試料温度調節装置や磁場印加装置等の付属装置が必要となる。装置のビーム方向の占有サイズは20~30 mであり、中性子導管の末端に設置する。
  - 概算設置費用: 7~12.5億円
- ◆ 中性子イメージング装置
  - 技術的要件: 熱中性子と冷中性子の両方の利用形態があるが、ここでは冷中性子利用の装置について記述する。中性子束は $10^8$  n/cm<sup>2</sup>/s程度、ビームの平行度を示すL/D比が200以上あることが望ましい。高空間分解能、高コントラスト、及び偏極・位相イメージングを実施するため、光学系を設置するスペースを必要とする。装置のサイズは12~15 m(ビーム方向)×4 m(幅)で中性子導管末端に設置する。
  - 概算設置費用: 2.2~5億円
- ◆ 中性子回折装置
  - 技術的要件: 高位置分解能を実現するため中性子波長の比較的短い熱中性子を利用する。試料位置では、単色で $10^5$  n/cm<sup>2</sup>/s以上の中性子束が得られることが望ましい。中性子導管末端に設置するが、ビームを分岐して利用することも可能。偏極デバイスや集光光学系を設置するスペースを考慮すると、装置のサイズは3~5 m(ビーム方向)×3 m(幅)程度を必要とする。
  - 概算設置費用: 5.3~8.8億円
- ◆ 中性子反射率測定装置
  - 技術的要件: 冷中性子を利用し、試料表面での反射を測定するため水平型のビーム取り出しを必要とする。試料位置において $10^5$  n/cm<sup>2</sup>/s程度の中性子束が得られることが望ましい。低バックグラウンド放射線で偏極デバイスや集光光学系を設置するスペースを考慮すると、装置のサイズは2~5 m(ビーム方向)×2 m(幅)程度を必要とする。
  - 概算設置費用: 3.5~7億円

## 2次整備装置(AdvanceX)

### 同種装置複数設置による測定対象の多様化

- 偏極中性子小角散乱装置, 極小角中性子散乱装置
- 大強度熱中性子イメージング装置
- 中性子回折装置(残留応力測定)、中性子回折装置(単結晶用4軸解析装置)
- 偏極中性子反射率装置

### 照射実験装置を補完するビーム実験装置

- 即発ガンマ線分析装置

### 先端的な学術研究に資する装置の設置

- 大強度熱中性子利用三軸分光装置、大強度冷中性子利用三軸分光装置
- TOF型冷中性子非弾性散乱装置
- 中性子制御検出技術高度化のための開発試験装置
- 陽電子分光

## 1次整備装置(First5)

### ◆ 放射化分析装置

- 技術的要件: 複数の気送・水力照射設備を設置。異なるエネルギーや線量率での照射に対応。任意時間での試料照射と取出しを可能に。標準試料の同時照射を不要とする $k_0$ 法への対応。
- 概算設置費用: 4.8~9.6億円

## 2次整備装置(AdvanceX)

### 先端的な利用に供する装置

- 生物照射/BNCT
- RI製造(学術研究用)
- 素核物理学関連装置

# 本日の内容

- これまでの経緯
- **今後の装置検討の進め方**
- 既存施設との相補的連携の在り方
- 運転開始後の支援体制の在り方



# 装置整備体制案

KEY POINT：中性子に関する装置は、ほぼ全て固有の測定目的に合わせた一品物として製作・設置・調整を行う（市販品・専門メーカーは存在しない）  
**= 研究者が最新の学術・装置・技術を駆使し製作**



- 装置毎に専門家集団によるタスクフォース（TF）を設置する（First 5：必須、Advance:順次）（具体的活動内容は参考資料4）
- TFメンバー：KURNS＋専門家（JAEA、ISSP、各大学・研究機関）＋産業界からの参加も期待＝All Japan体制＋更に若手研究者の参加を進める（参考資料5）

## 設置TF群

### ビーム系実験装置

小角散乱	粉末回折計
冷中性子イメージング	反射率計
三軸分光	大強度粉末回折
熱中性子イメージング	陽電子分光

### 照射系実験装置

放射化分析	
材料照射	生物照射・BNCT
研究用RI製造	素粒子原子核物理

2023年度



装置検討WG  
(TF phase 0)

2024年度以降



装置検討委員会  
(TF phase 1)

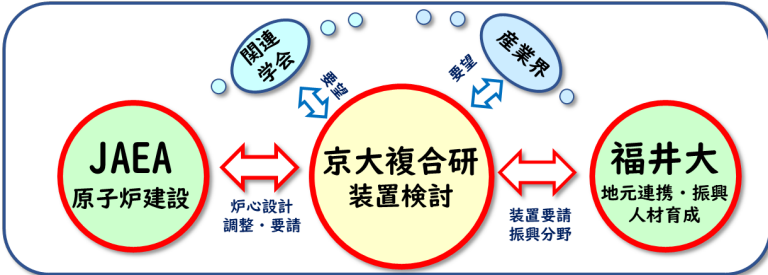
## TF活動状況・今後

活動目的	TF phase Iの人選
活動期間	2024年3月まで
活動内容	2回程度の会議

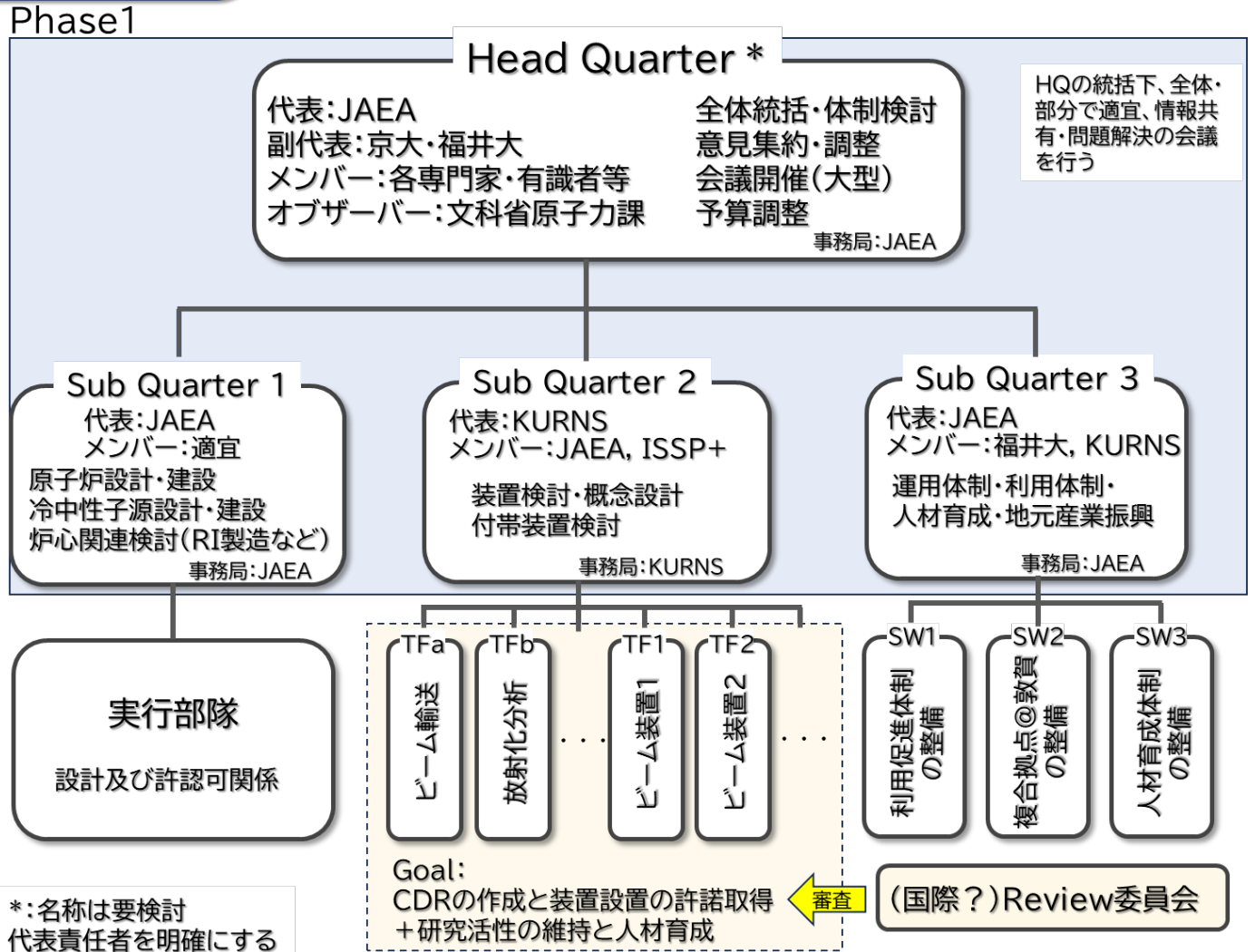
活動目的	新試験研究炉の実験装置仕様検討
活動期間	3年程度
活動内容	現状調査・課題抽出・特徴づけ・基本仕様策定
アウトプット	Conceptual Design Report

具体的活動スケジュール案は参考資料6・7

# Project全体との装置整備連携体制案



「概念設計」→「詳細設計」と進化したため、あらためて、中核機関間の連携とプロジェクトの統括的推進を目指した体制を構築し、その中で装置検討も行う



- キャラバン活動
- 人材誘致・関心醸成
- ・ 会社訪問
  - ・ 大学訪問
  - ・ シンポジウム開催

\*: 名称は要検討  
代表責任者を明確にする

審査

# 本日の内容

- これまでの経緯
- 今後の装置検討の進め方
- **既存施設との相補的連携の在り方**
- 運転開始後の支援体制の在り方

# 新試験研究炉プロジェクトにおける問題点

**問題** Phase1→Phase2=10-15年⇒実務活動まで長期間が存在する  
**課題** 装置建設・運用のための「人材育成」「技術継承」「学術発展」「産業活性」を途絶えさせず「原子力科学振興・人材育成」を行っていくか？

## 対策案:既存中性子施設を利用(活性化)プロジェクト

Three Research Institutes Program+=ALL JAPAN



### 実際の中性子施設を活用

- JRR-3利用  
→既存装置整備  
→人員配置・教育  
→空ポート活用+新装置建設(モック)
- KURNSサイクロ+ホットラボ

両施設の装置・人員を相互連携

### 利点

- 多様な原子力人材育成
- JRR-3利用活性化
- 蓄積・開発された技術の継承・発展  
→分光装置群(JAEA/ISSP)  
→新規測定・関連技術開発
- 新試験研究炉装置の開発・建設へ活用

### 問題点

- 全施設の同意形成
- 資金調達

# 新試験研究炉プロジェクトスケジュールと既存施設との連携案

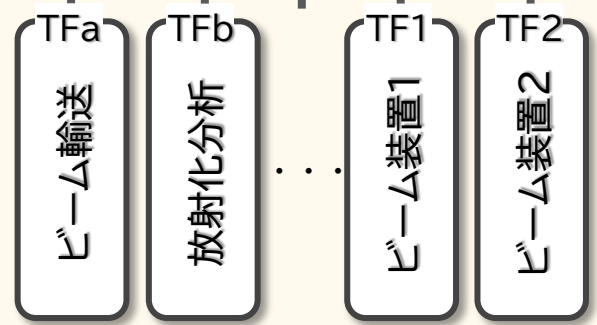
## Phase 1

### Sub Quarter 2

代表: KURNS  
メンバー: JAEA, ISSP+

装置検討・概念設計  
付帯装置検討

事務局: KURNS



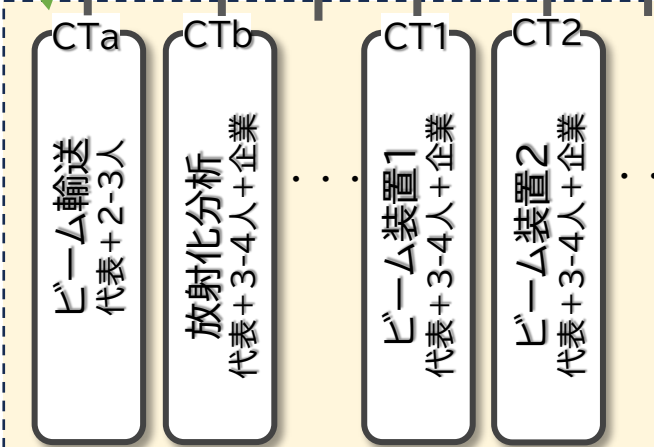
Goal: CDRの作成と装置設置の許諾取得

## Phase 2

### Sub Quarter 2+

代表: JAEA/KURNS  
メンバー: CT代表  
各装置建設チーム(CT)意見調整  
予算調整等

事務局: JAEA



Goal: 装置建設+運用計画  
SQ2+は縮小し、CTを充実

Review委員会

審査

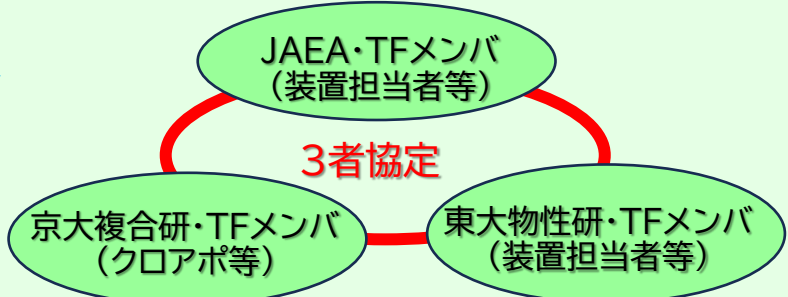
合格

不合格  
再検討

### Point

- 人材・技術・学術・産業育成
- JRR-3の活用
- 京大複合研活用
- ALL Japan体制
- ALL 分野体制
- 海外人材交流
- 持続的プロジェクトへ

人材・産業・技術・学術育成  
発展(TRIP+)プロジェクト



事務局: 合同

留意点

- 施設間の合意
- 単なる装置の更新としない
- 現場の負担を増やさない

参加者の流れ

参加者の流れ

# 本日の内容

- これまでの経緯
- 今後の装置検討の進め方
- 既存施設との相補的連携の在り方
- **運転開始後の支援体制の在り方**

# 運転開始後の体制を見据えた検討項目

## 施設運営機関

- A1：原子炉運転管理
- A2：装置利用整備・高度化  
TF/CTから人員を養成
- A3：施設共用  
共同利用・専用利用等  
外部ユーザー対応

## 学術・産業利用振興

- B1：学術振興：研究センター設置  
大学等研究機関を誘致  
例：ナノ・バイオ研究など
- B2：産業利用1：コンサルタント機関  
他施設(含む地元既存施設)と連携
- B3：産業利用2：企業研究所誘致

## 各項目の連携が重要

## 地元振興・人材育成・教育

- C1：北陸地方を中心とした関西地区  
大学との共同研究
- C2：地元企業との共同研究の充実
- C3：大学の中性子関連学科の充実
- C4：若年層（中・高校生）への教育

京大複合研としてはTF活動を通してA3に貢献し、運転後はB1への関与、更にCの各項目にも貢献したいと考えている

# Dream:試験研究炉による真の人材育成・地元振興は？

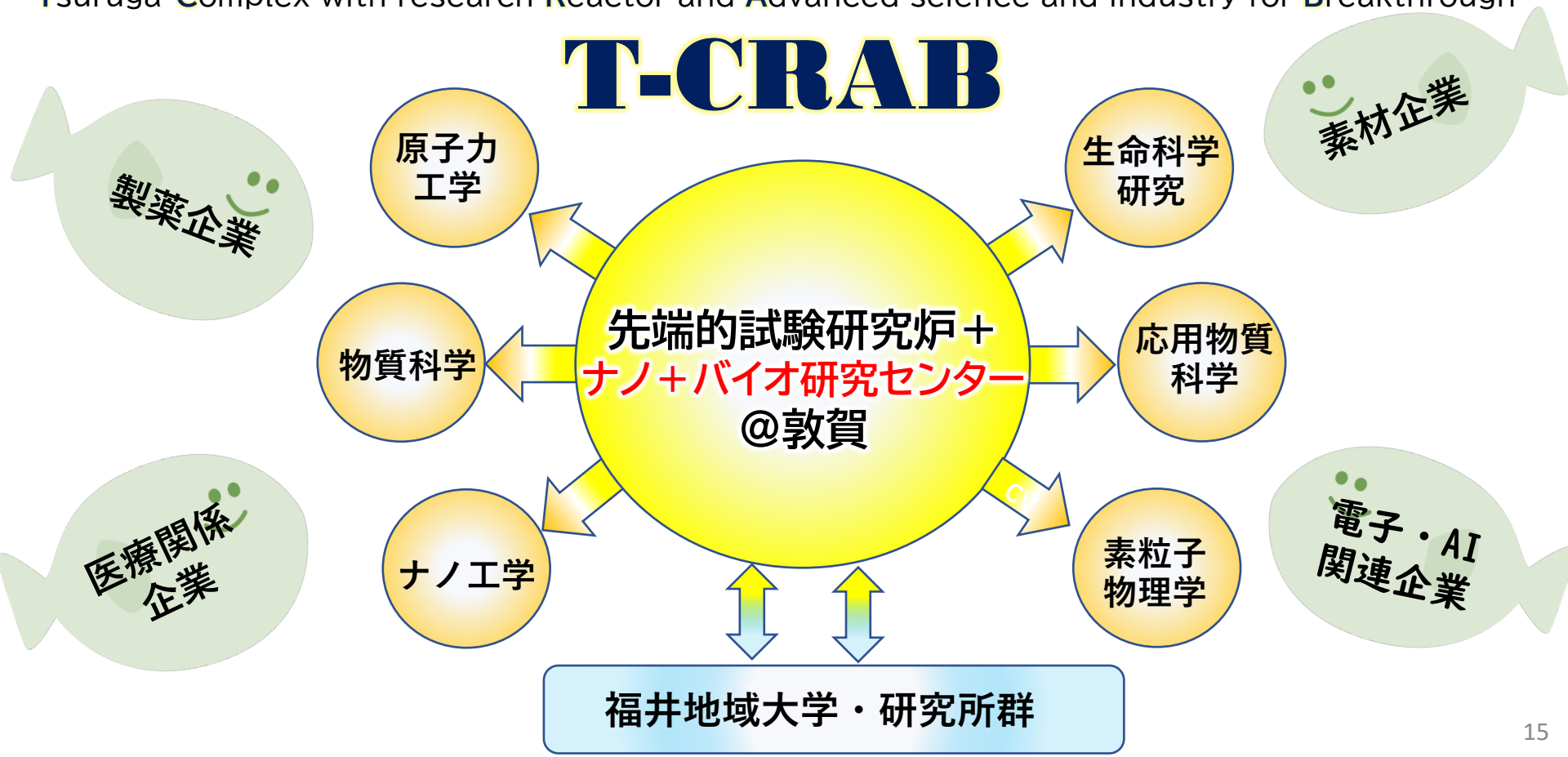
- 地元貢献・将来発展を考えると、原子炉を作れば良いのか？
- 試験研究炉は何ができるか？何で貢献できるか？
- 知と技の集積地を作り出し、将来にわたる財産となす

## 研究炉を中心とした地域振興＝サイエンスシティへ

研究炉のみでなく中性子を補完する研究装置も備えた「統合的学術研究施設(センター)」の提案

Tsuruga-Complex with research Reactor and Advanced science and industry for Breakthrough

# T-CRAB





# まとめ

1. 京都大学複合原子力科学研究所は、新試験研究炉プロジェクトにおける「幅広い利用検討」という任務を「実験装置及び関連事項の検討」と捉えて、所内に「新型研究炉開発・利用センター」を設置し検討を進めてきた
2. 「実験装置」は、プロジェクトの主目的の「(原子力分野) 研究開発・人材育成とそれを通じた地元振興」を意識し、かつ長期間にわたって利用される、国際公共財である視点も持ち、学術コミュニティ・学識経験者・産業界と議論を通じ、適切な装置選択の検討を行ってきた
3. 現時点で、汎用性・協働性から5つの設置を初期候補とし、更に多様な活用性・先端性等も考え、5装置以外の装置の検討も行っている
4. 装置検討のために装置ごとにタスクフォースを設置し、具体的な検討を進めている
5. 現時点で「概念設計」から「詳細設計」にフェーズが変わったこともあり、プロジェクトの統括組織と職掌を明確にしたグループを設置し、より円滑かつ強力にプロジェクトを推進することが必要でないかと考えている
6. プロジェクトはビームが出るまでに長期間を要し、その間にも継続的な原子力分野「人材育成」「技術継承」「学術発展」「産業活性」が必要である。既存施設(JRR-3・京大複合研サイクロ等)を利活用した中性子利用活性化プロジェクトも必須である
7. 更なる地域の発展を考えると、研究炉のみでなく中性子を補完する研究装置も備えた「統合的学術研究施設(センター)」を設置し、「研究炉を中心としたサイエンスシティ」が究極の目標ではないだろうか



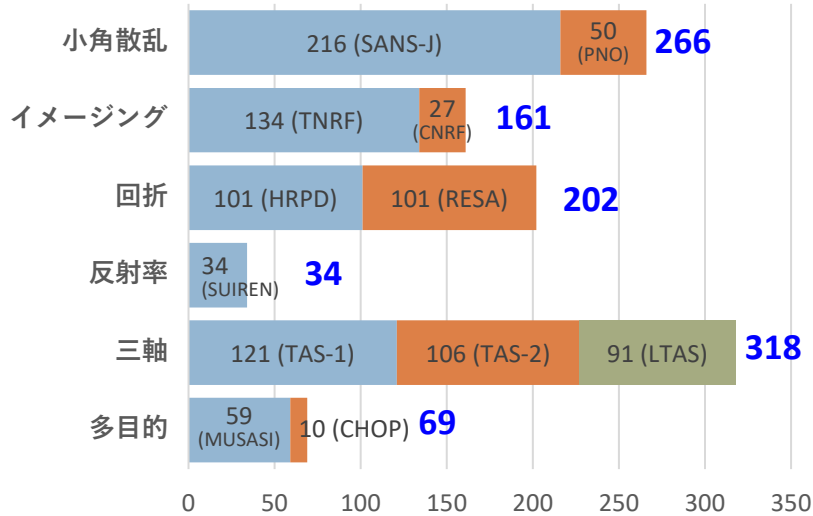
**ご清聴ありがとうございました**



# 參考資料

# 参考資料1: 装置種別ごとの利用状況調査例

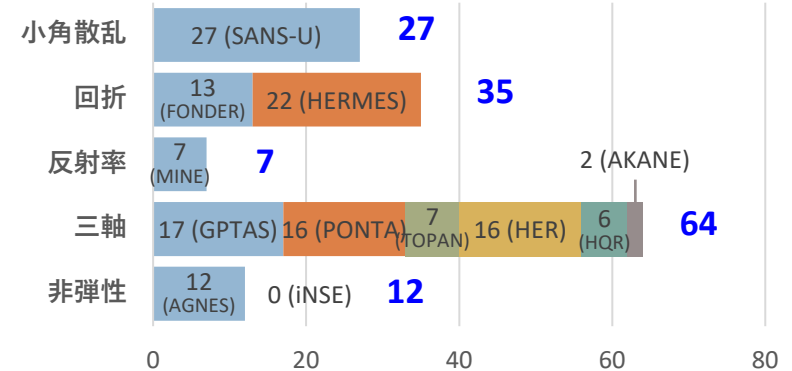
## JRR3-JAEA



JRR-3 JAEA管理装置の施設供用課題：希望日数(2021)

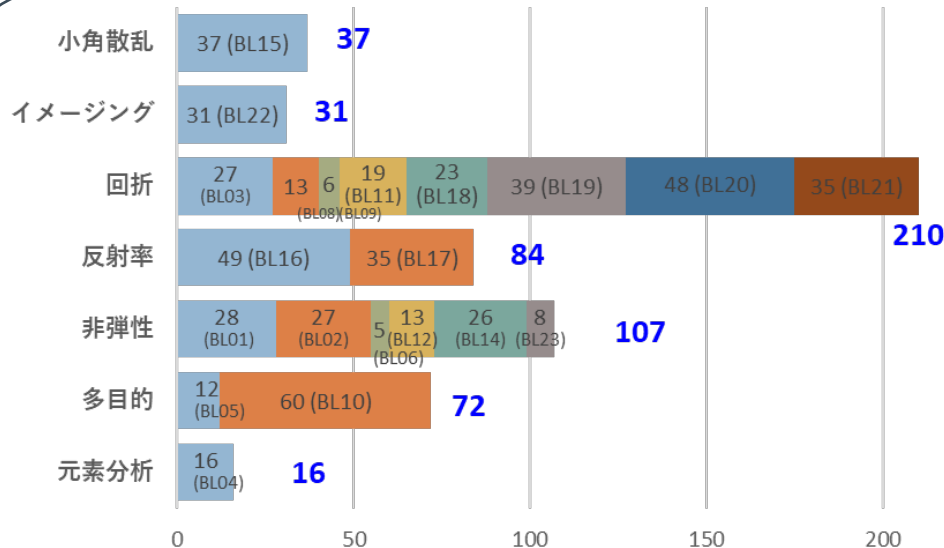
[https://conference-indico.kek.jp/event/136/contributions/3035/attachments/2087/2584/O3\\_Matsue.pdf](https://conference-indico.kek.jp/event/136/contributions/3035/attachments/2087/2584/O3_Matsue.pdf) p13より集計

## JRR3-ISSP



JRR-3 大学管理装置の採択課題数(2022)

[https://nsl-appl.issp.u-tokyo.ac.jp/files/appl/proposal2022\\_summary.pdf](https://nsl-appl.issp.u-tokyo.ac.jp/files/appl/proposal2022_summary.pdf)より集計



## JPRAC/MLF

J-PARC MLF ビームラインの採択課題数(2022 A期, B期, 通年期合算)

<https://mlfinfo.jp/ja/proposals/2022A.html>

<https://mlfinfo.jp/ja/proposals/2022B.html>

<https://mlfinfo.jp/ja/proposals/2022.html>

[https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/list\\_industrial.html](https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/list_industrial.html)

[https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/list\\_innovative\\_research.html](https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/list_innovative_research.html) より集計

日時	文書名	提出者
2021年2月16日	福井県もんじゅサイトに新設される試験研究炉への要望	日本放射化学会新研究炉検討委員会
2022年1月	もんじゅ跡地試験研究炉の材料照射試験設備に対する提言	原子力学会材料部会
2022年11月22日	要望書	核物理委員会
2022年12月17日	要望書	日本中性子科学会
2023年7月14日	新試験研究炉における大強度低速用電子ビーム施設設置のお願い	日本陽電子科学会

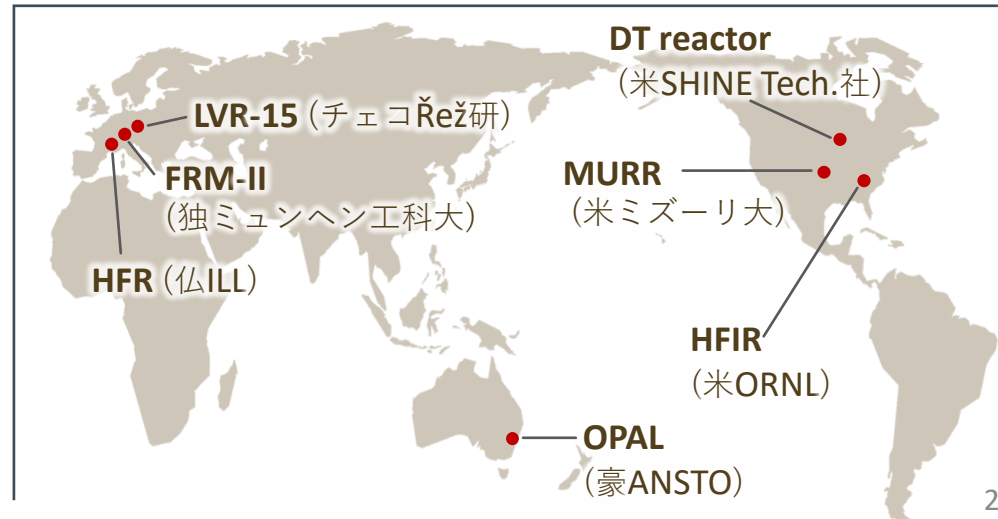
## コミュニティ・学識経験者等との意見交換等

時期	参加者	内容	時期	参加者	内容
2022年通期	日本中性子科学会ロードマップ委員会ワーキンググループ	中性子ビーム利用実験装置とそれを用いた中性子科学研究に関する情報収集と意見交換	2021年10月	中性子科学研究者	中性子利用固体物理測定に関する情報収集と意見交換
2021年9月	中性子科学研究者	中性子小角散乱測定に関する情報収集と意見交換	2021年12月	陽電子科学研究者	京大複合研専門研究会（陽電子科学とその理工学への応用）での報告と意見交換
2021年8月	日本原子力学会材料部会	放射化分析についての勉強会	2021年12月	中性子科学研究者	京大複合研専門研究会（中性子イメージング）での報告と意見交換
2021年8月	日本放射化学会	核化学夏の学校での意見募集	2021年12月	日本放射化学会	新研究炉検討委員会
2021年9月	中性子科学研究者	中性子利用ダイナミクス測定に関する情報収集と意見交換	2022年1月	日本原子力学会材料部会	提言受領
2021年9月	中性子科学研究者	中性子反射率測定に関する情報収集と意見交換	2022年2月	中性子科学研究者	中性子利用固体物理測定に関する情報収集と意見交換
2021年9月	日本原子力学会材料部会・水科学部会・各区燃料部会	照射関連アンケートの実施	2022年2月	中性子科学研究者	中性子イメージングに関する情報収集と意見交換
2021年9月	日本中性子科学会中性子施設連携ワーキンググループ	講演及び意見交換	2022年3月	RI製造に関する研究者	京大複合研専門研究会（アクチノイド物性科学とその応用）での報告と意見交換
2021年9月	日本原子力学会材料部会	「照射炉利用関連研究開発の現状と国内照射炉の必要性」における講演			

## 海外の先端的研究炉の視察調査

- 中核的機関（JAEA、京大、福井大）のメンバーが海外研究炉等を視察し現地職員から直接情報を収集

日時	訪問国	訪問先	主要な視察項目
2023年2月	米国	① ミズーリ大学 - MURR ② オークリッジ国立研究所(ORNL) - HFIR ③ SHINE Technology社 - DT reactor	① 原子炉による医療用RI製造とそれを支える高稼働率 ② 高出力の原子炉を用いた医療用・研究用のRI製造 ③ 重陽子加速器を用いた未臨界体系による <sup>99</sup> Mo製造計画
2023年2月, 3月	ドイツ チェコ	① ミュンヘン工科大 - FRM-II ② Řež核物理研究所 - LVR-15	① 大学運営による先端的ビーム実験装置や産業利用の状況 ② 中型炉による照射実験の現状とホットラボの活用
2023年3月	フランス	ラウエ=ランジュバン研究所(ILL) - HFR	世界最高性能のビーム炉による最先端研究とそれを支える技術支援、ならびにILLを中心とした立地都市の研究拠点形成
2023年3月	オーストラリア	原子力科学技術機構(ANSTO) - OPAL	ビームホールの実験装置を用いた研究活動の状況や、放射化分析設備の運用、RI製造の廃棄物処理の状況



## ① 国内外施設の稼働状況調査

- 稼働施設
- 学術のトレンド
- 産業利用の状況
- 従事するスタッフ数
- 利用者数・運用経費

## ② 国内既存施設の課題抽出

- 課題採択率
- 稼働の安定性
- ユーザー受け入れ態勢
- 部品供給、ソフトウェア開発等の状況

## ③ 新試験研究炉での特徴づけ

- 適用可能な新技術
- 他施設との連携・棲み分け
- 地場産業や地域文化と関連する研究・利用

## ④ 広汎な利活用の促進策

- 同時に整備すべき支援実験装置・付帯施設
- 教育・人材育成への利用

## 10-20年後を見据えた基本仕様策定 (アウトプット)

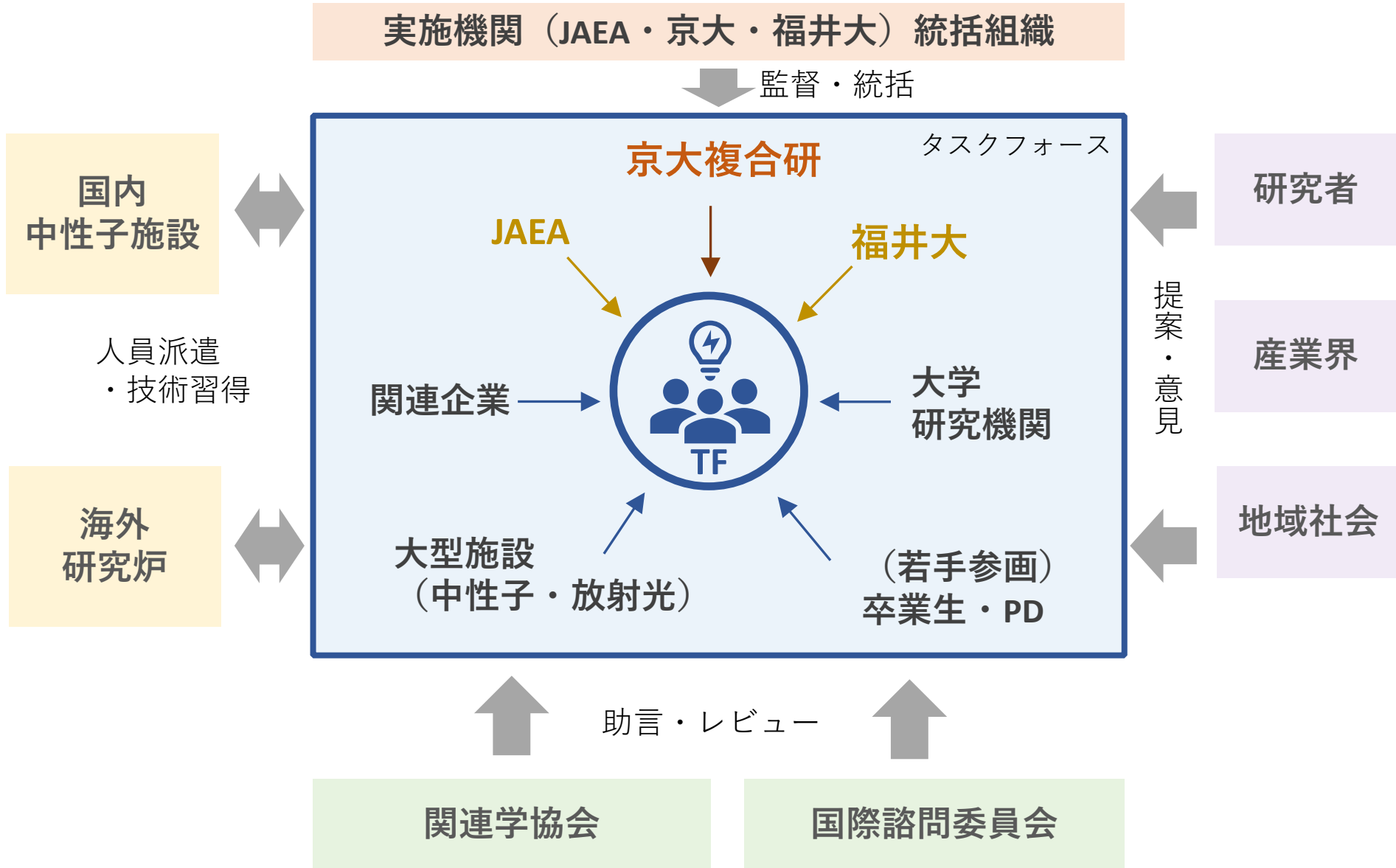
- 先端性⇔汎用性の位置づけ
- 学術利用の重点分野
- 産業利用の重点分野
- 要求されるスペック
  - 上流光学系
  - 検出器
  - 試料環境、自動化
  - データ収集、解析環境
  - DX
- ユーザー規模
- 必要なスタッフ数
- おおよその建設費用

Design Review

## Phase2 装置詳細設計へ

- スケジュール立案
- 体制再構築

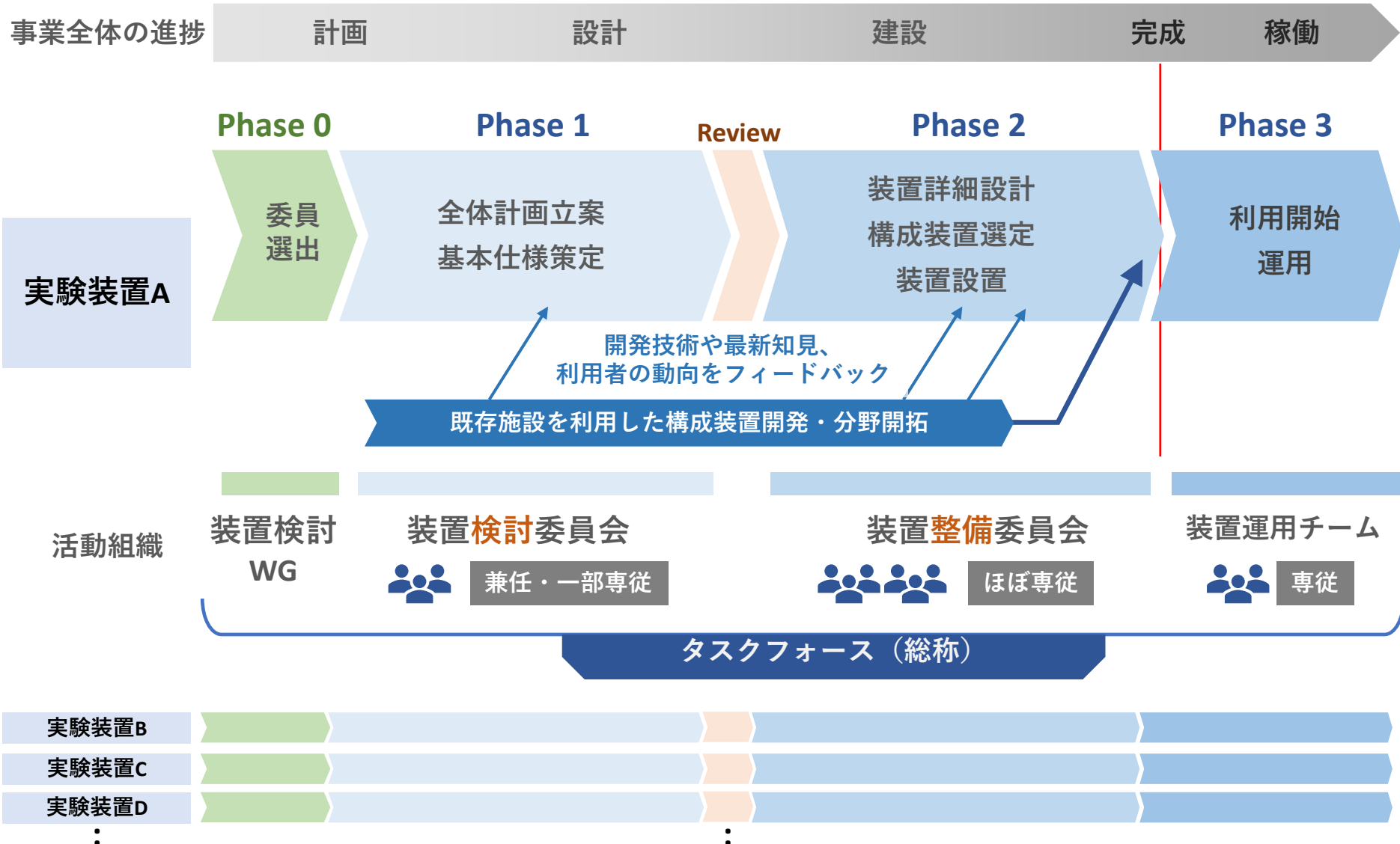
# 参考資料5:タスクフォースの構成





# 参考資料 6 : タスクフォースの活動スケジュール

## 実験装置ごとにタスクフォースを編成



# 参考資料7:全体のロードマップにおけるTF活動の位置づけ

## 全体ロードマップ

