中性子イメージング装置の検討

齊藤泰司、伊藤大介、鬼柳善明、篠原武尚

目的

- 一般的に使用する中性子エネルギーについては、熱中性子と冷中性子利用が中心となっており、冷中性子に比べ熱中性子の方が透過力が高いという特徴がある。一方、冷中性子は位相コントラストなどの新たな手法の利用や手法そのものの開発が可能となる。即ち、各々、フォーカスする対象が異なるため、**熱中性子**と**冷中性子**それぞれ**独立したビームラインを検討**する。
- 研究炉特有の制限を考慮し、より生産性・利便性を向上させる設計指針の構築
- **熱外および高速中性子の利用については別途検討**する。

熱中性子イメージング

- **高強度・大面積ビームを利用した短時間露光**による、**高速度撮像**、**3次元CT**、**実機を用いたオペランド計測**を特色とするのが妥当である。また、工業製品のような大型の被写体を配置できるように**サンプルエリアを広く**とることが望ましい。
- 実機を用いたオペランド計測や、熱流動計測のためには、広いサンプルエリアに加え、**電源や冷却水などの補器類の整備が必要**。
- 炉室での作業は、立入制限もあり、**可能な限り、炉室外に照射室を設置**する。
- 大型・高重量の被写体を搬入するため、トラックサイズドア、天井クレーン、耐荷重性のあるステージが必要。

冷中性子イメージング

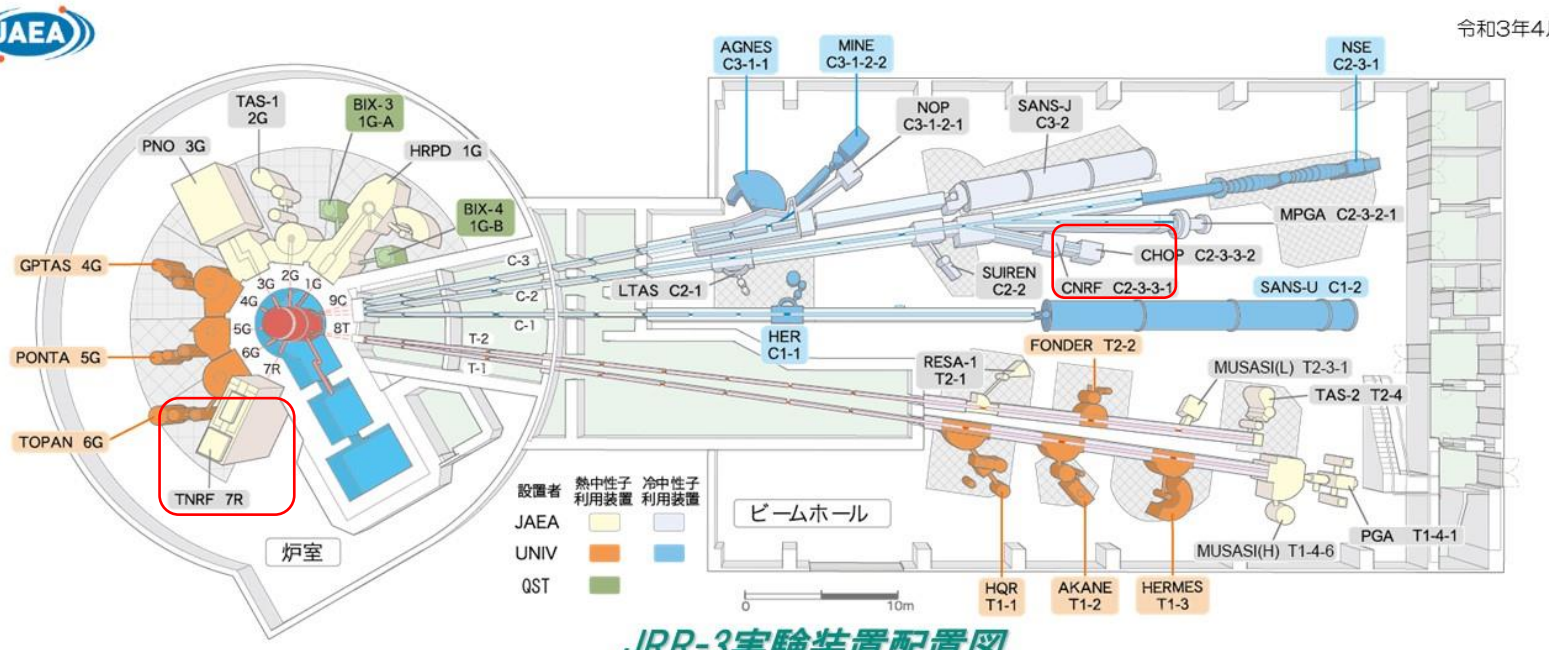
- **高コントラスト・高位置分解能を利用した精細な計測**および**偏極などを利用した革新的なイメージング**を特色するとする。このため、**ビーム制御を行うための光学系を配置**できるよう、ビーム進行方向に広いエリアを確保し、フレキシブルに使えるビームラインとすることが望ましい。これ等の機能を利用することによって産業応用に加えて、材料科学など、広くサイエンス応用に展開できる。
- **熱中性子と同様、炉室外のガイドホールに設置**する。
- 利便性を考慮すると、**他のビームラインと干渉しない独立したスペース**が望ましい。

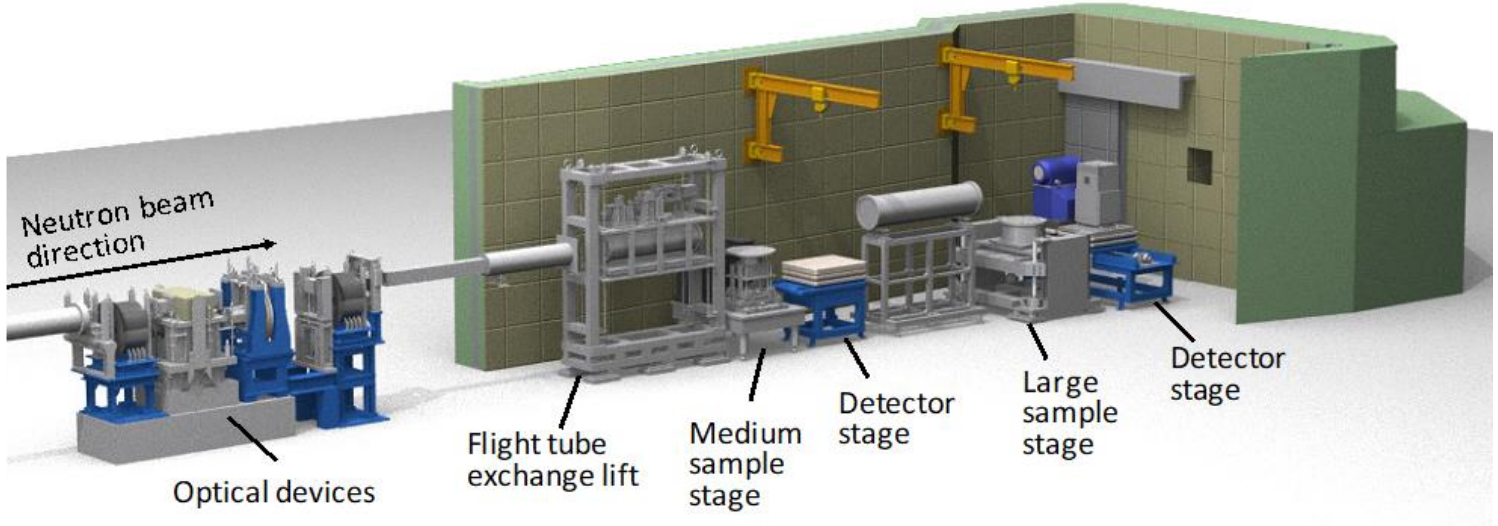
日本の現状

JRR-3：**白色中性子**
- TNRF：熱中性子（炉室）
  - 照射場所はあまり広くない
  - 高強度
- CNRF：冷中性子（ガイド）
  - 狭い
  - 小視野撮影

J-PARC ：**パルス中性子**
- RADEN：冷中性子
  - 照射場所は広い
  - 色々な実験
    - 位相イメージ
    - 磁場イメージ

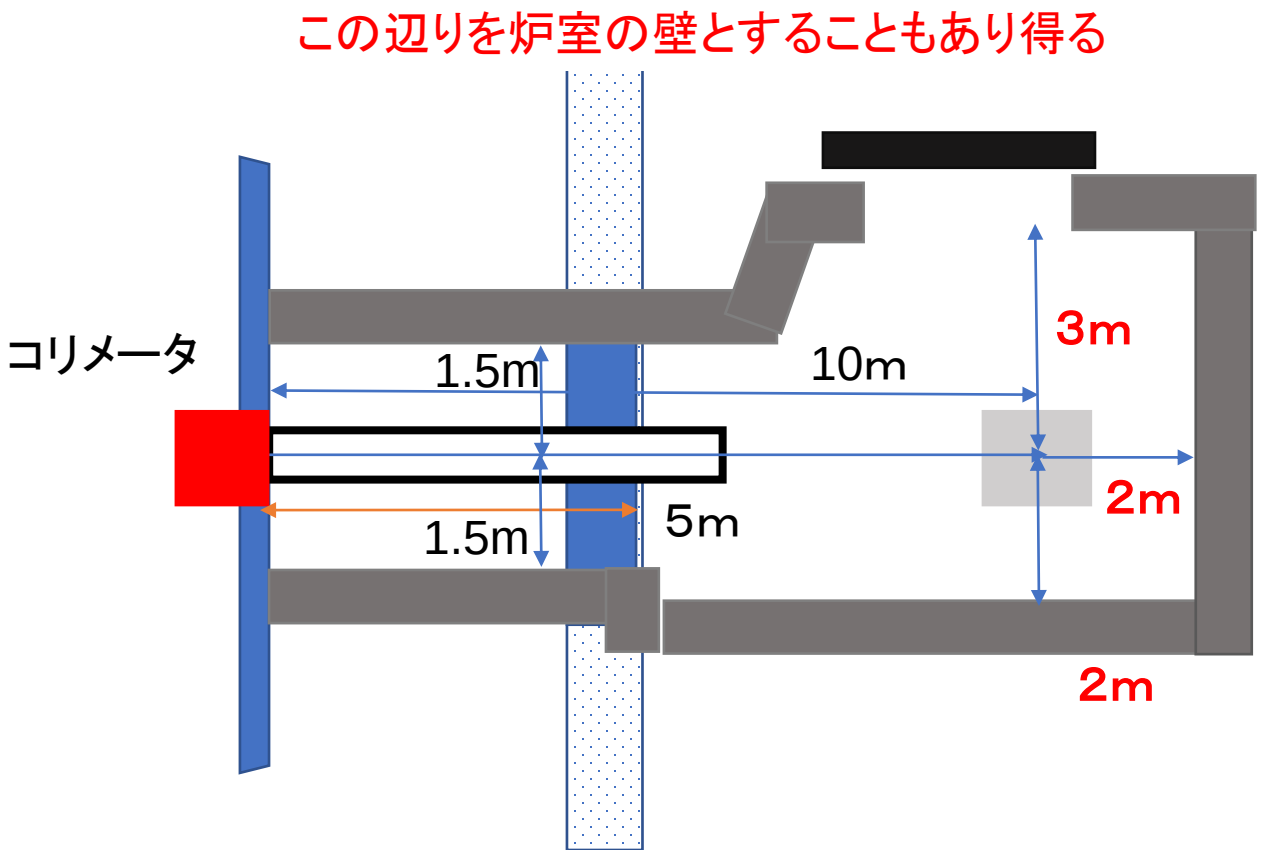
原子炉におけるイメージングでは、海外に比べて冷中性子イメージングが弱い。
位相、偏極、エネルギー選別など未実施

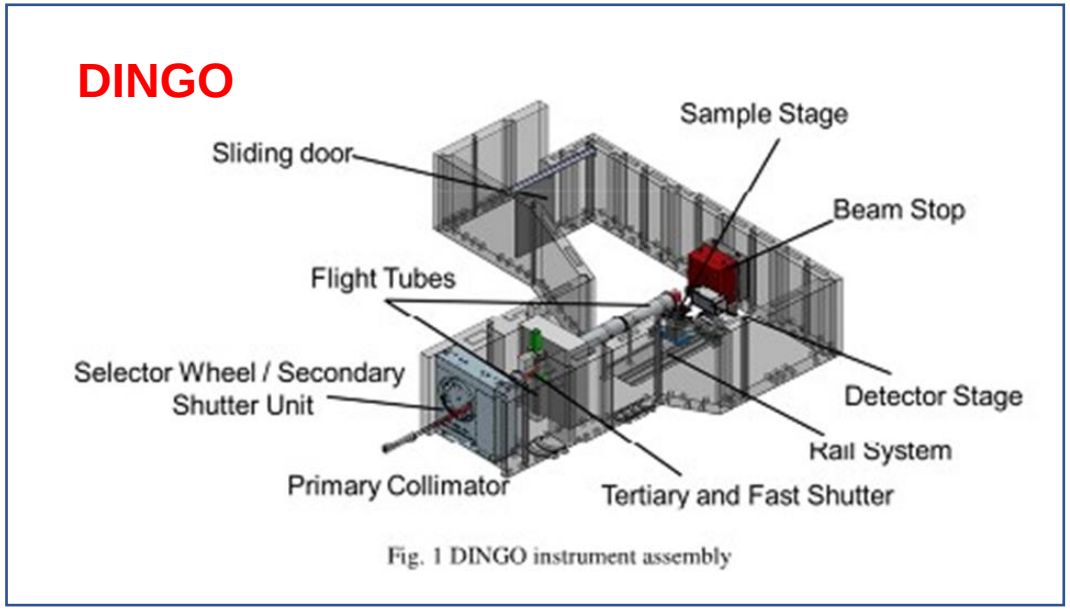




熱中性子イメージングラインのデザイン案

＊ピンホールコリメータ　10 mm, 40 mm （DINGOの例）
＊L/D　最大1000とすると　10mmコリメータで10mの距離が必要。
＊コリメータを炉遮蔽壁内に設置するとすると、測定位置はそこから10mで、その後ろを2mくらい空けると遮蔽壁まで13mとなる。
高速度撮影のビームサイズ　A4サイズ（空間分解能は落ちても広く見られる方がよい）
ガイドホールへ設置できるか？強度重視なのでどうか？アクセスは？

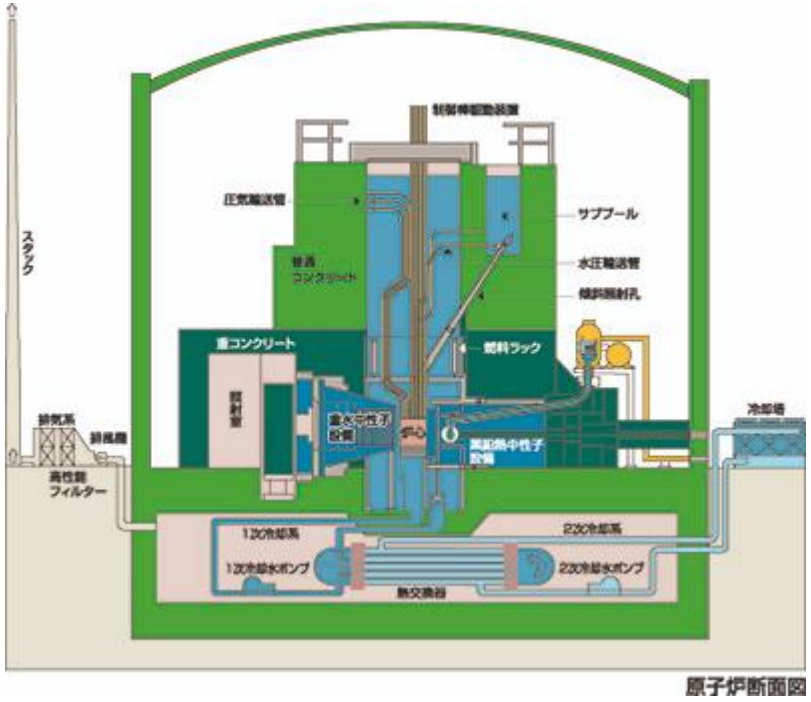




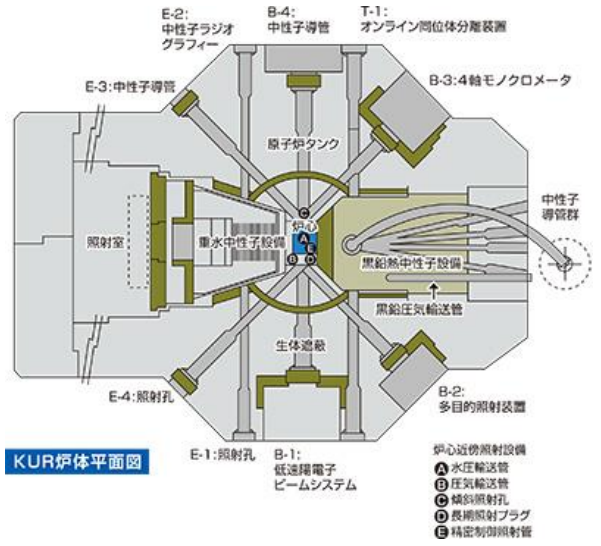
KURのサイズ

KUR:　直径28m、地上高22m、地下7m

- **<u>原子炉本体から、炉壁までの距離は10m弱</u>**
- 格納容器の役割を果たすため、ドーム状（円筒状）が必須
- 定期検査では、水封（リークテスト）が実施される



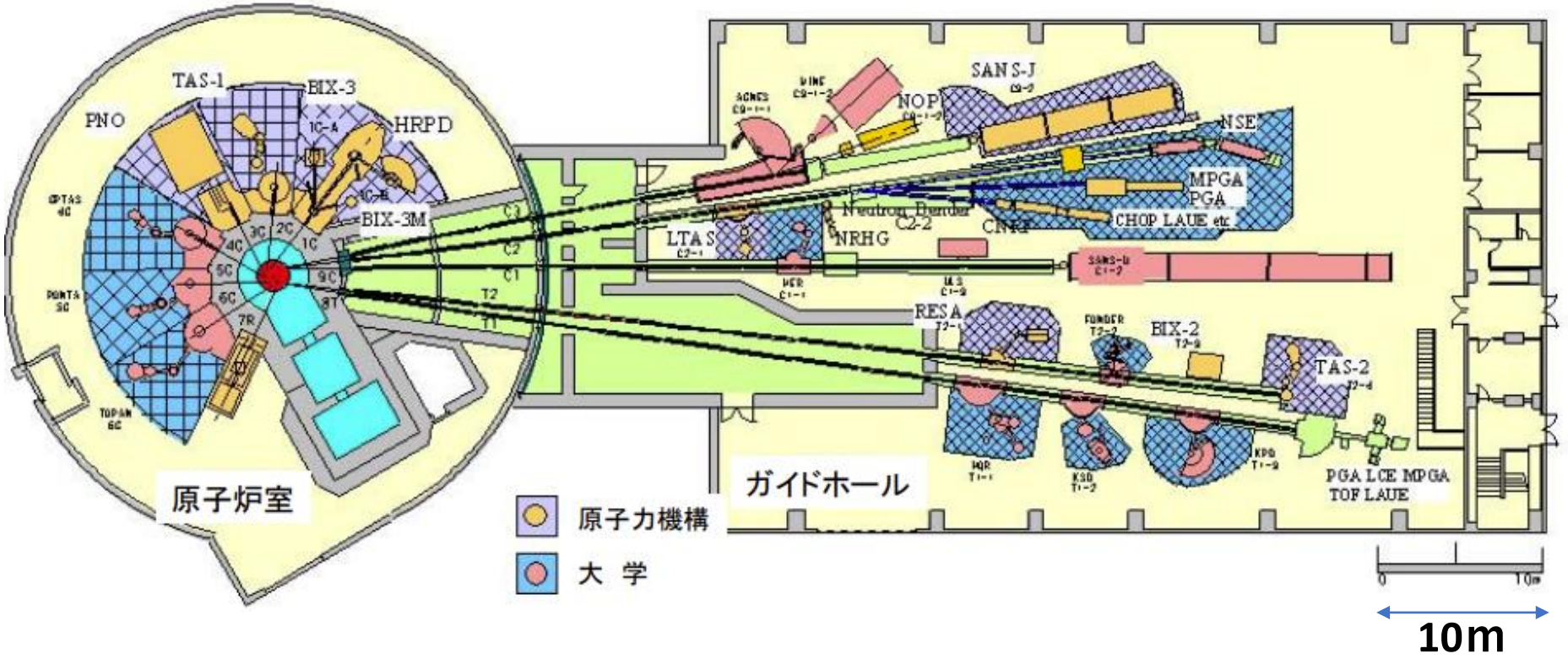
原子炉断面図



KUR炉体平面図

JRR-3のサイズ

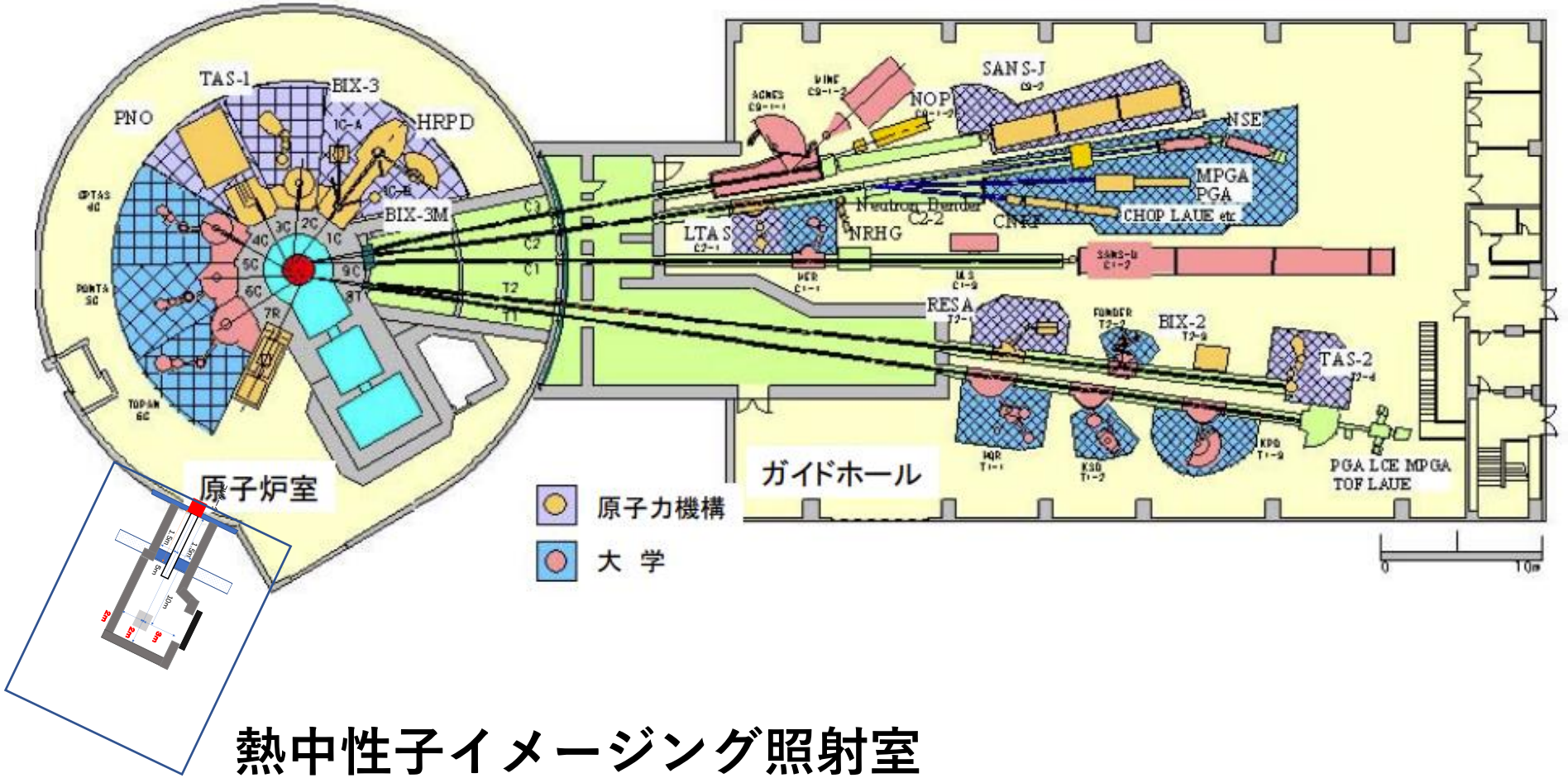
JRR-3:　直径33m



燃料プールのサイズは、φ4.5m×8m程度（KURも同等）
現在の**TNRFと炉壁までの距離は、10m強**となっている。
（設備自体の長さは、数m程度）

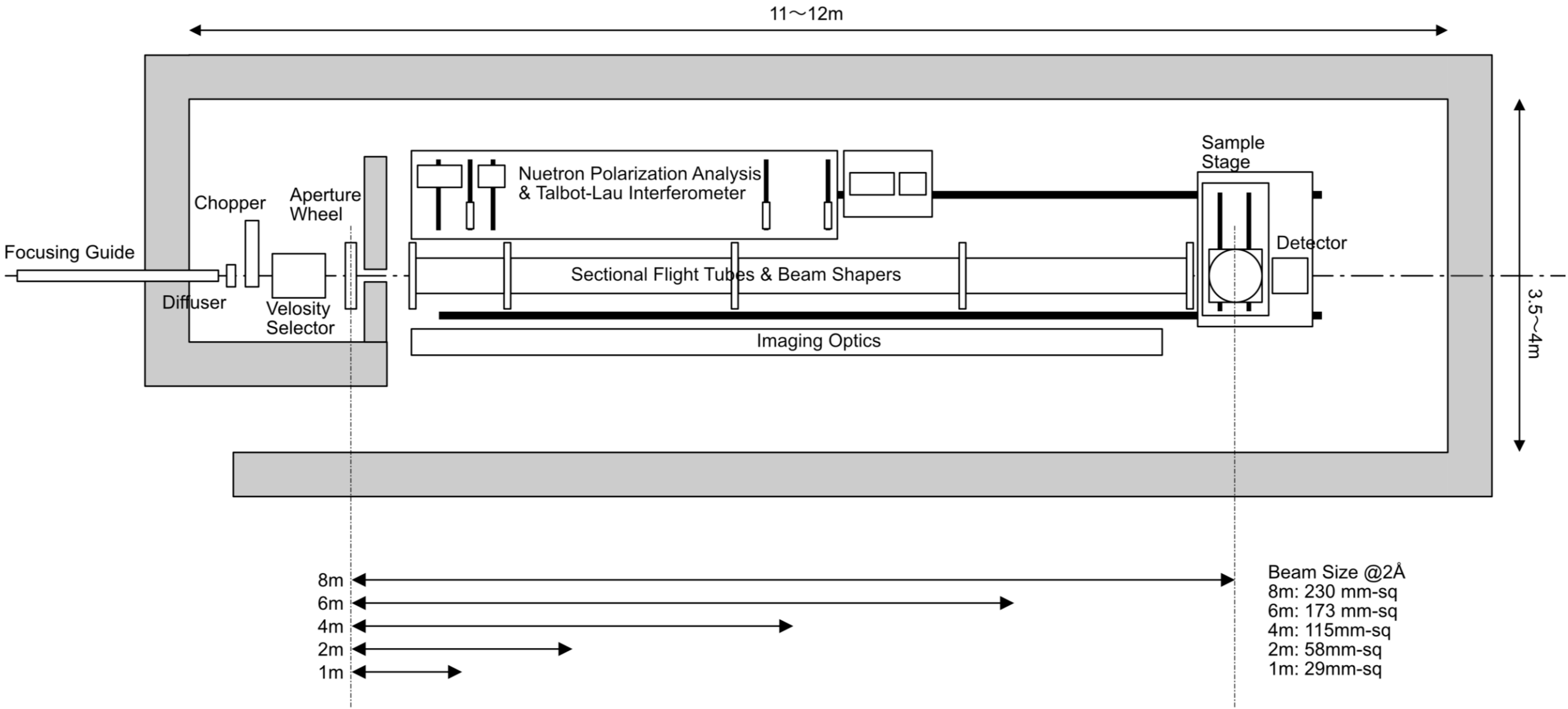
新研究炉のサイズ

KUR（5MW、直径28m）、JRR-3（20MW、直径33m）との比較から、
新研究炉では10MW、直径30mと（一応は）想定されている



熱中性子イメージング照射室

冷中性子イメージング装置デザイン案



基本仕様

- 空間分解能：数ミクロン～100ミクロン
- **FoV：1cm以下～20cm角**まで
- **L/D：200 ~ 2000程度**
- 時間平均中性子束：10^8 n/cm^{2}s（最小L/Dでの数字）（集光条件ではもう1.5桁大きくしたい）
- 実験空間　　ビーム軸方向：8m以上（ビームサイズを考慮）
  高さ：ビーム高さ+2m程度(低温実験、電磁石の使用を考えて)
  幅：ビームを中心に+/-2m程度
- **ピーク波長は２～３Åくらいを想定**

デバイス類

光学系

- **モノクロメータ**　（速度選別機の方が良い）
- **diffuser**（ガイド管の構造を消すため）
- **可変aperture**（ L/D可変用、ドラム式？）
- 整形スリット（ビームサイズ調整）+飛行管（分割式）
- 上流ガイド管（集束型？ストレート？　ビームを拡大するなら集束型にして、aperture位置に焦点を持ってくる。）
- チョッパー（TOF実験のため）（フレームオーバーラップを考慮するなら3台だがスペース次第。）
- 結像光学系（白色対応であればNISTと同じくミラー。レンズの色消しが実現したらレンズが良い。）
- 位相用回折格子、偏極解析用機器（偏極素子・回転子）

検出器

- 通常のCCD撮像系+高分解能用CMOS撮像系+光IIを用いた増幅系
- TOF対応はオプショナルとする。

試料周辺機器

- 試料ステージ（耐荷重　750kgくらい）水平：50cm程度（ビーム退避のため、片側に偏心）、 上下30cm程度、回転
- CT・ラミノグラフィ用小型ステージ
- 風防（高分解能撮像用）

まとめ

（基本的考え）

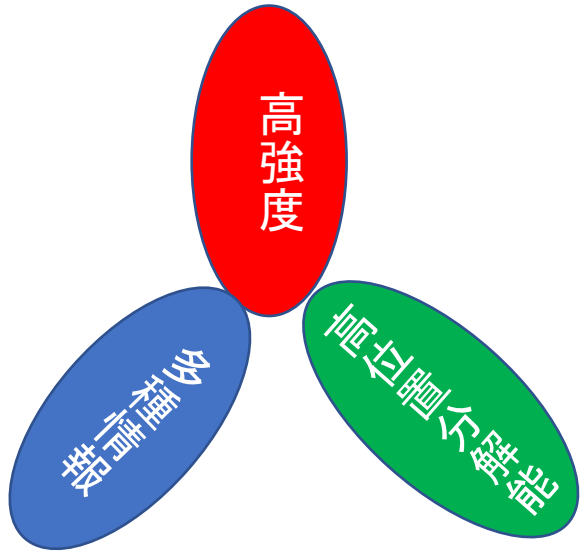
1．新試験研究炉でも最大性能をだして、多少時間がかかってもJRR-3でできるような実験を行うべきではないか。
2．世界の情勢と比較して日本が劣っているところを補填することができるような施設にする。
3．**JRR-3で出来ない実験**ができるようにする。（例えば燃焼実験など）→規制の問題（運用の仕方で検討）

（そのためのイメージング装置）

1．**熱中性子と冷中性子の2本のビームラインを設置**する。
2．高速中性子イメージングは熱中性子ラインで出来るようにするか、さらにもう1本用意する。（？）
3．**熱中性子は高強度を目指す**。（短時間測定、低コントラスト被写体、稼働条件下での実験）
4．**冷中性子は色々なデバイス**（ガイド管、エネルギー選別機、偏極素子など）をおけるようにする。
（新手法による測定また新手法の開発）
5．**実験エリアを広く**する。
熱は横の広さが比較的大事（大きなサンプルの撮影と保管）
冷はビームライン方向の広さが必要（デバイスの設置など）
フレキシブルに使える冷中性子イメージングライン

（将来のテーマ）

自動車・機械業界、素材業界など



大型・厚物・薄物・
細部・稼働

高速中性子イメージングの検討　（A-FNSを対象として）
厚いサンプルの定量的イメージングに向けて

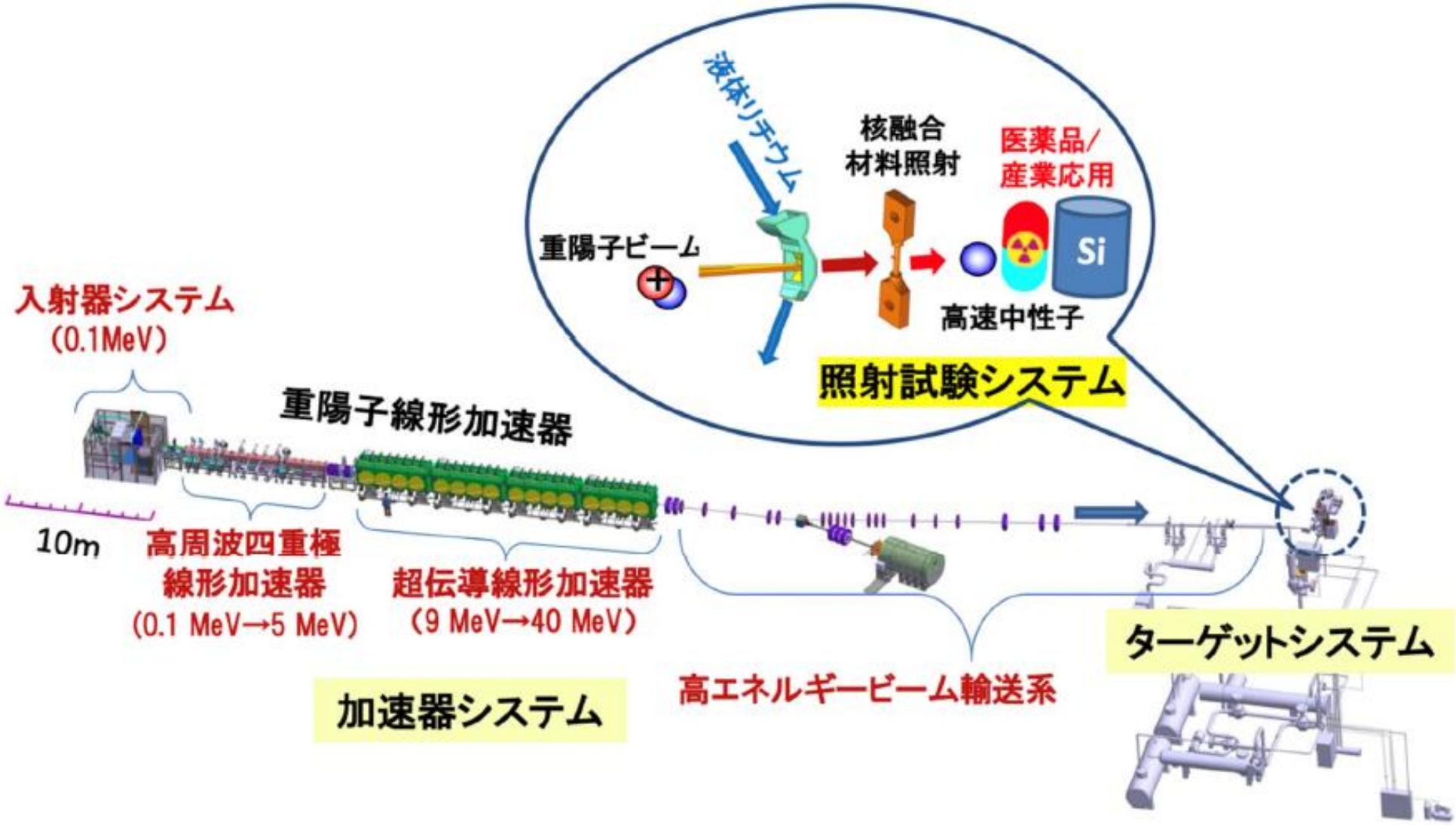


図2.3-1　A-FNS主要機器構成図

A-FNS　ターゲットと照射場の概要

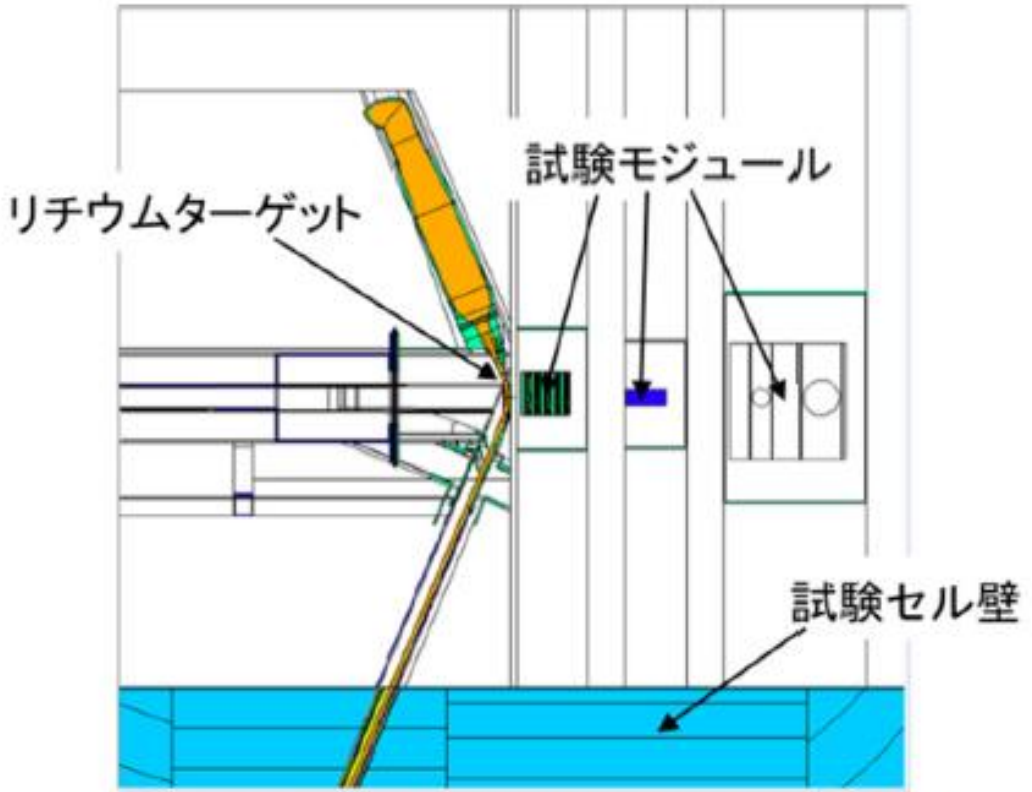


図4.4.1.1-2　MCNP幾何形状の縦断面図

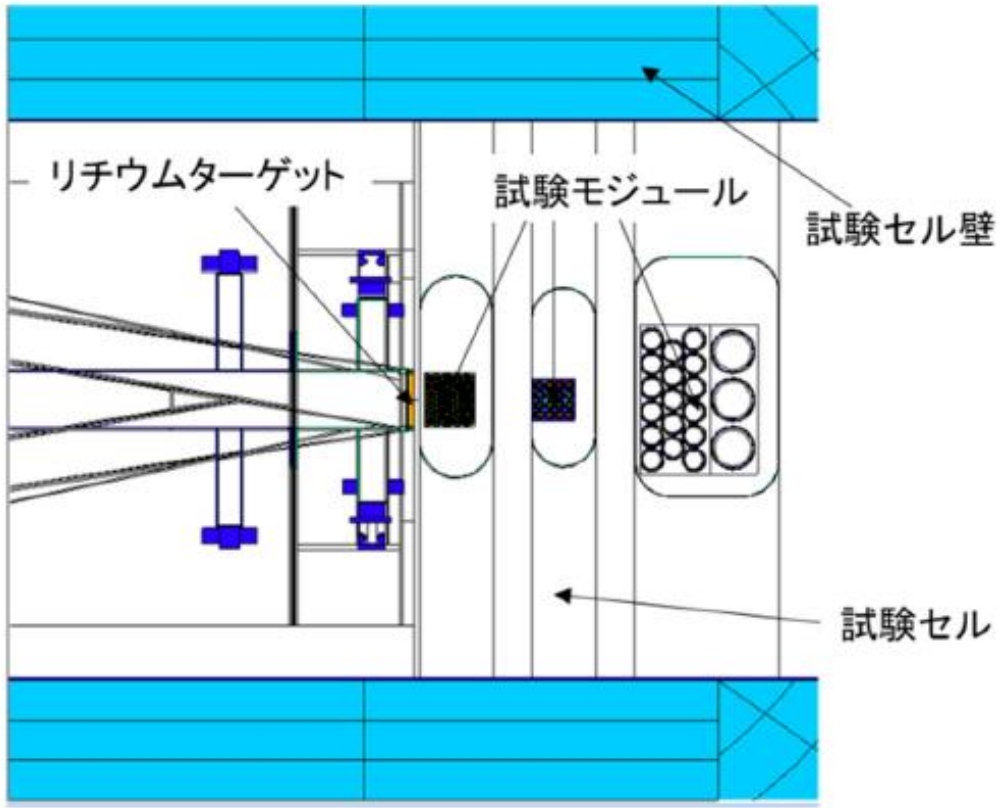


図4.4.1.1-3　MCNP幾何形状の横断面図

A-FNS　中性子ビームの多目的利用の概念

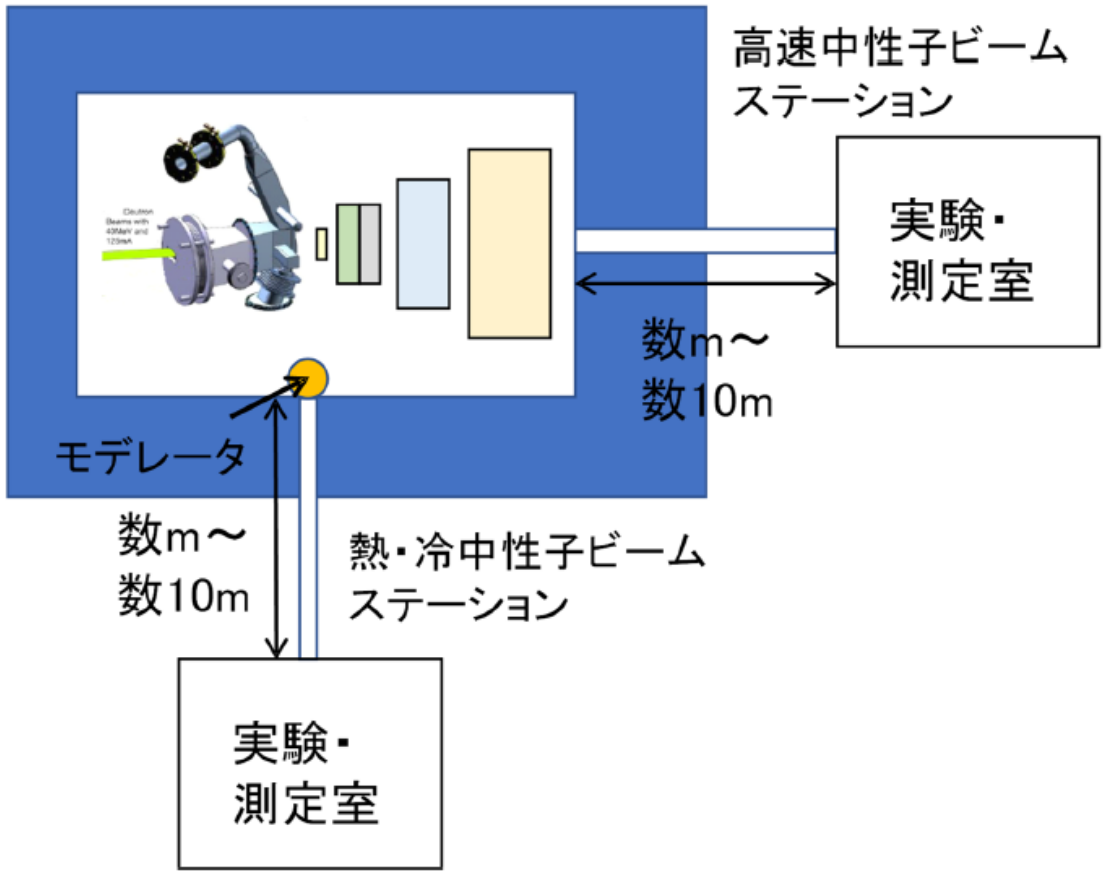


図 4.4.12.3-3　多目的利用ビーム孔システムの概念図

検討項目

①対象とする中性子のスペクトル、強度
②検出器の検討（PP＋ZnSなど）
③シミュレーションを用いた中性子透過像の生成および定量化法の検討