

新試験研究炉における イメージング装置の検討状況

伊藤 大介

鬼柳、篠原、齊藤、大平

KYOTO UNIVERSITY

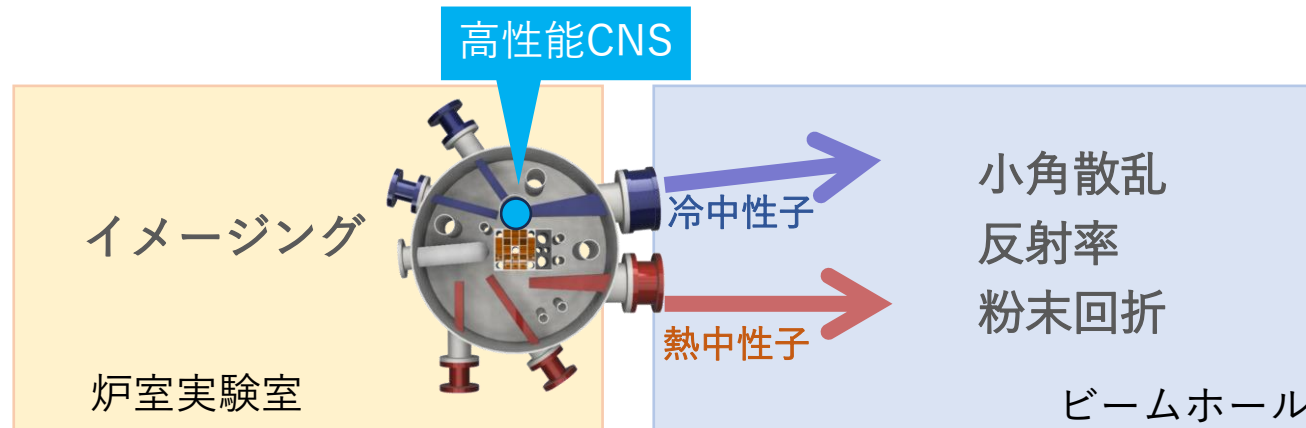
京都大学



新試験研究炉における実験装置

優先設置装置 — まずはこれから

中性子小角散乱	中性子粉末回折
中性子イメージング	中性子反射率測定



後続整備装置 — 多様化・高度化

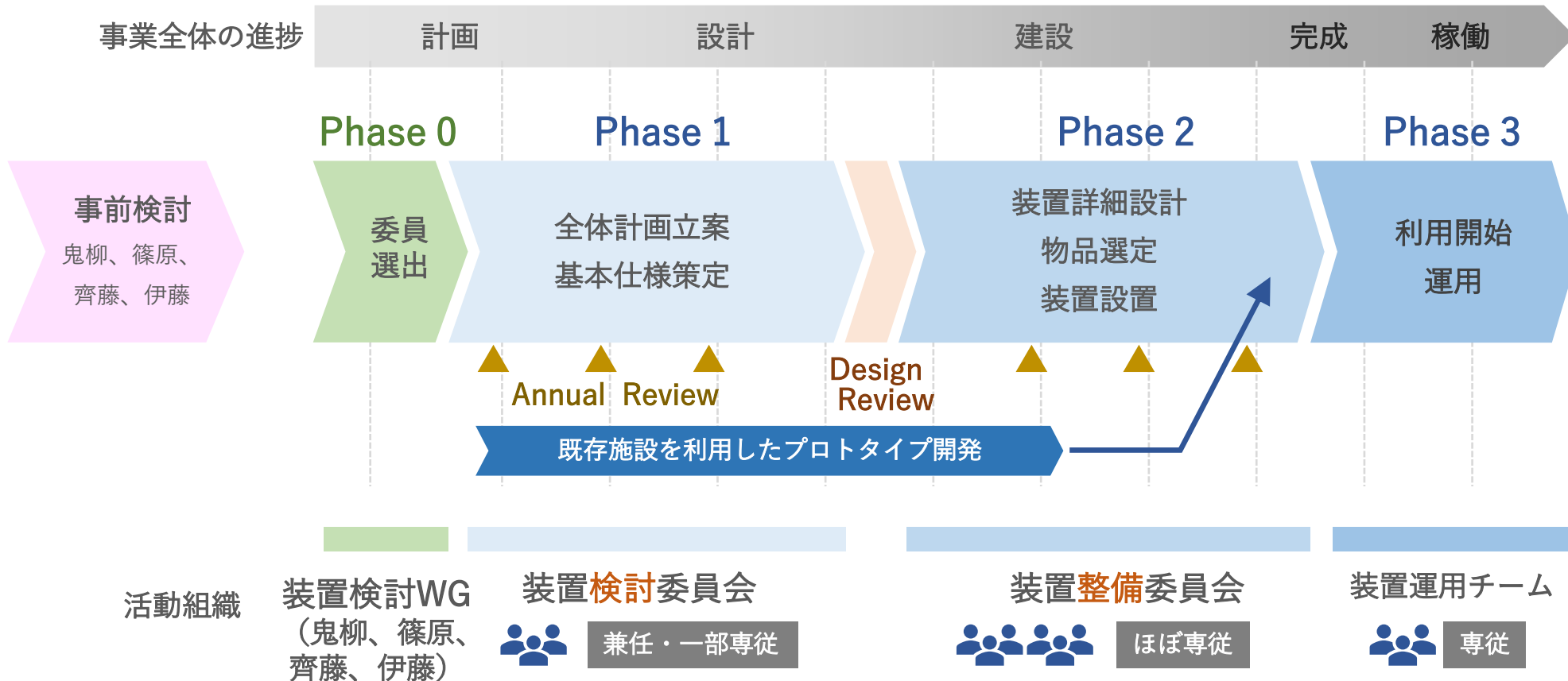
後続整備する実験装置の例

- 偏極小角散乱装置、極小角散乱装置
- 冷中性子イメージング装置
- 中性子回折装置(残留応力、単結晶)
- 偏極中性子反射率装置

- 即発ガンマ線分析装置
- 大強度三軸分光装置
- 中性子技術開発装置
- TOF型非弾性散乱装置
- 研究者や企業が独自に設置する装置

熱中性子イメージング装置の状況

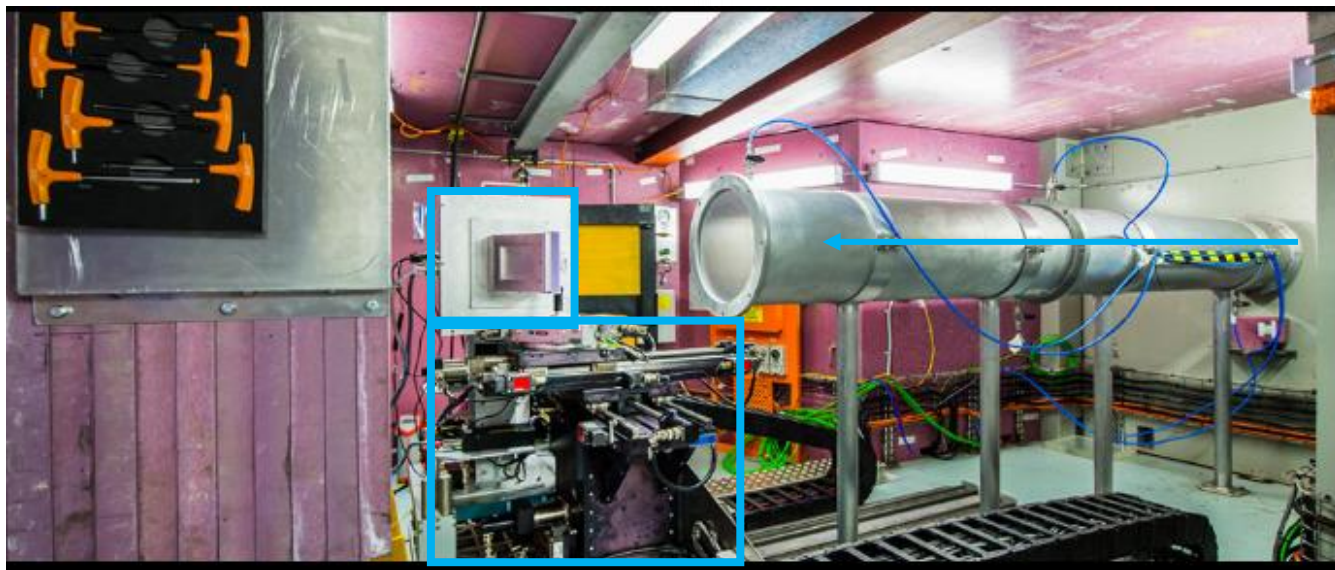
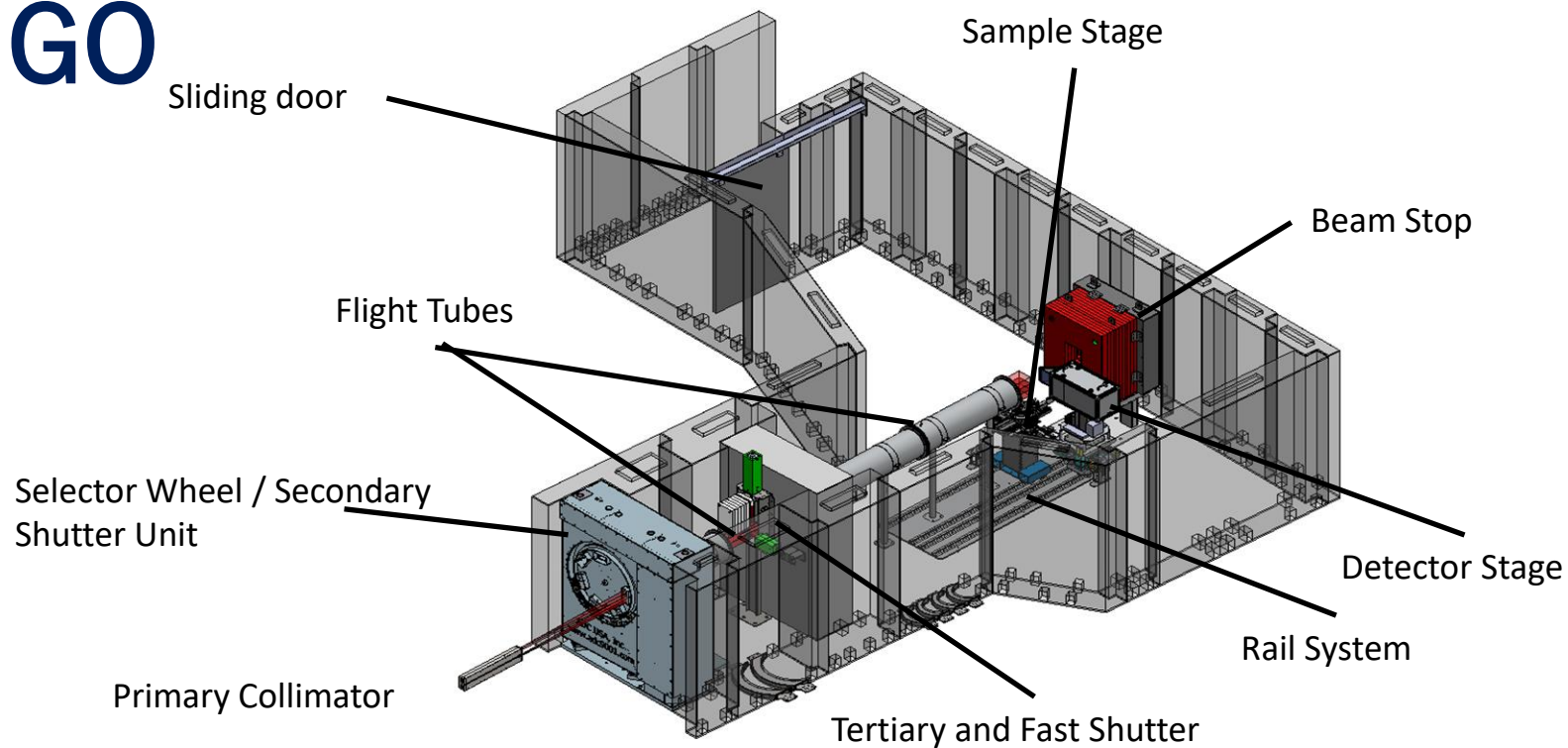
実験装置ごとにタスクフォース(TF)を編成



海外装置とその視察

国名	都市名	施設名	中性子源	装置名・ ビームライン名	パワー	視察
アメリカ	Gaithersburg	NIST	NBSR原子炉	BT-2 (熱中性子) NG6e (冷中性子)	20MW	
	Sacrament	UC Davis	TRIGA原子炉	(熱中性子)	1 MW	
	Oak Ridge	ORNL	HFIR	CG-1D (冷中性子)	85MW	
オーストラリア	Sydney	ANSTO	OPAR原子炉	DINGO (熱中性子)	25MW	2023.3 大平
韓国	Daejon	KERI	HANARO原子炉	(熱中性子)	30MW	
スイス	Villigen	PSI	SINQ陽子加速器	NEUTRA (熱中性子) ICON (冷中性子)	1 MW	
ドイツ	Munich	TU Munich	FRM-2原子炉	ANTARES (冷中性子) NECTOR (高速中性子)	25MW	2023.12 齊藤、伊藤
ハンガリー	Budapest	KFKI	WWS-M原子炉	(熱中性子)	10MW	
フランス	Grenoble	ILL	High-Flux 原子炉	NeXT (冷中性子)	57.3MW	2023.12 齊藤、伊藤
南アフリカ	Pelindaba	NECSA	SAFARI原子炉	SANRAD(熱中性子)	20MW	

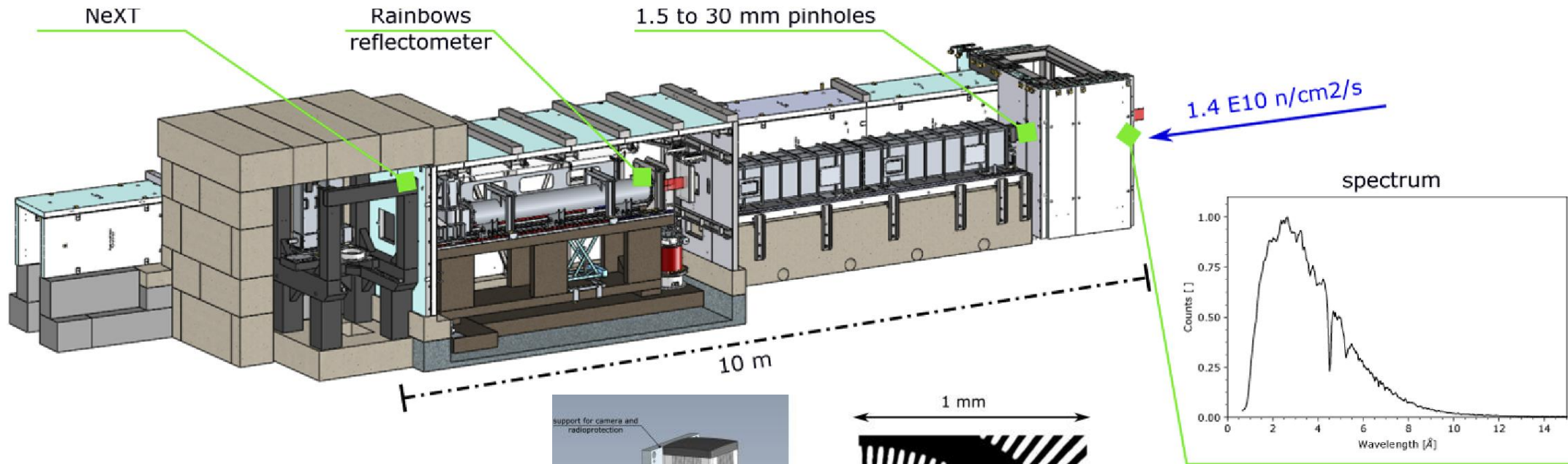
ANSTO DINGO



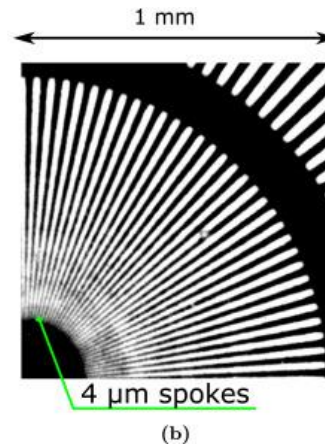
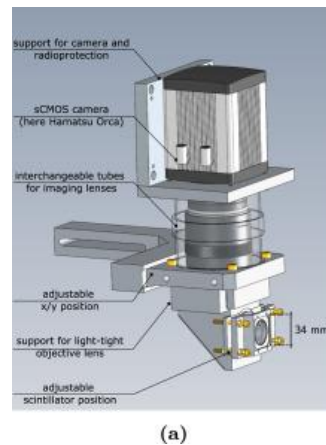
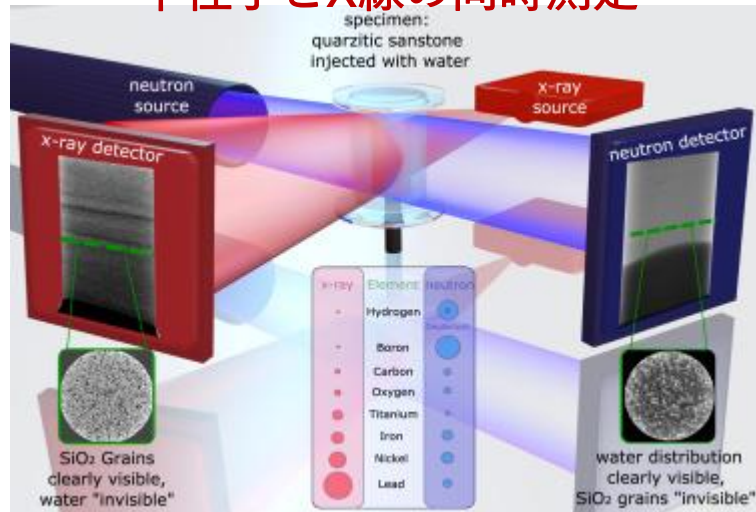
Neutron microscope $\sim 5 \mu\text{m}$

- 検出器、試料台がそのまま動く様子
- 照射室内部に照射室専用の工具、ボンベなどが置いてあった。中性子ラジオグラフィを実施するときは試料や装置の設置が大変なのでやりやすいと思う。
- 歴史的な試料のイメージングが多い。

ILL NeXT

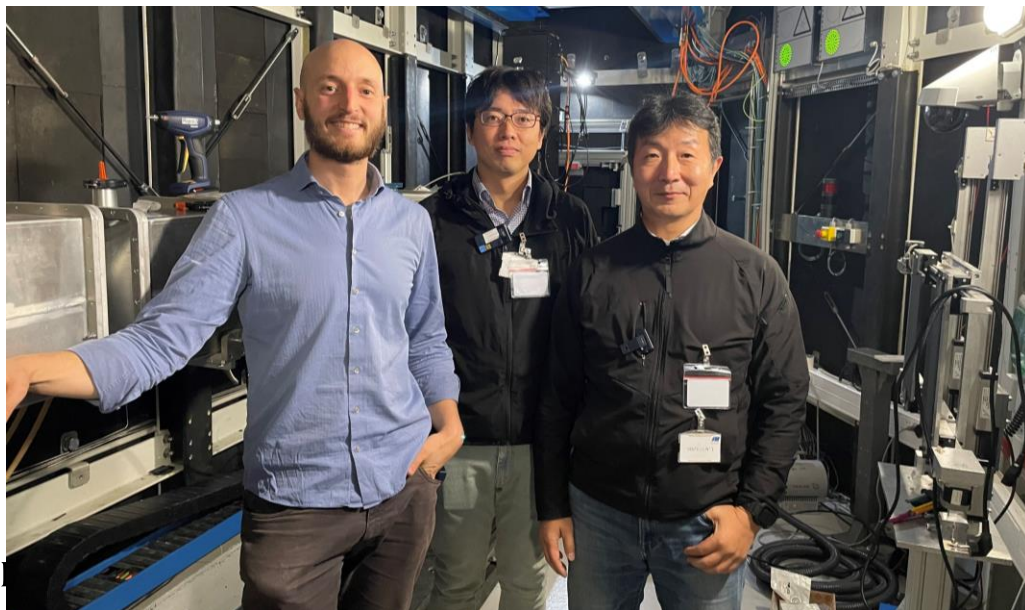
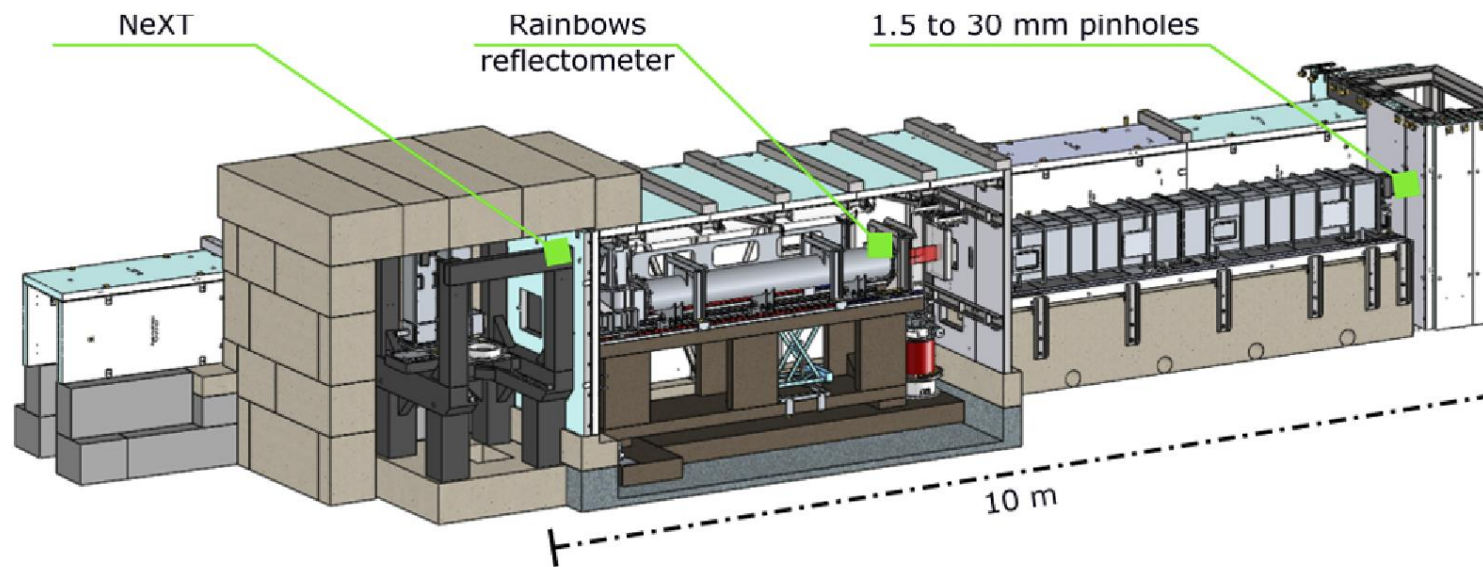


中性子とX線の同時測定



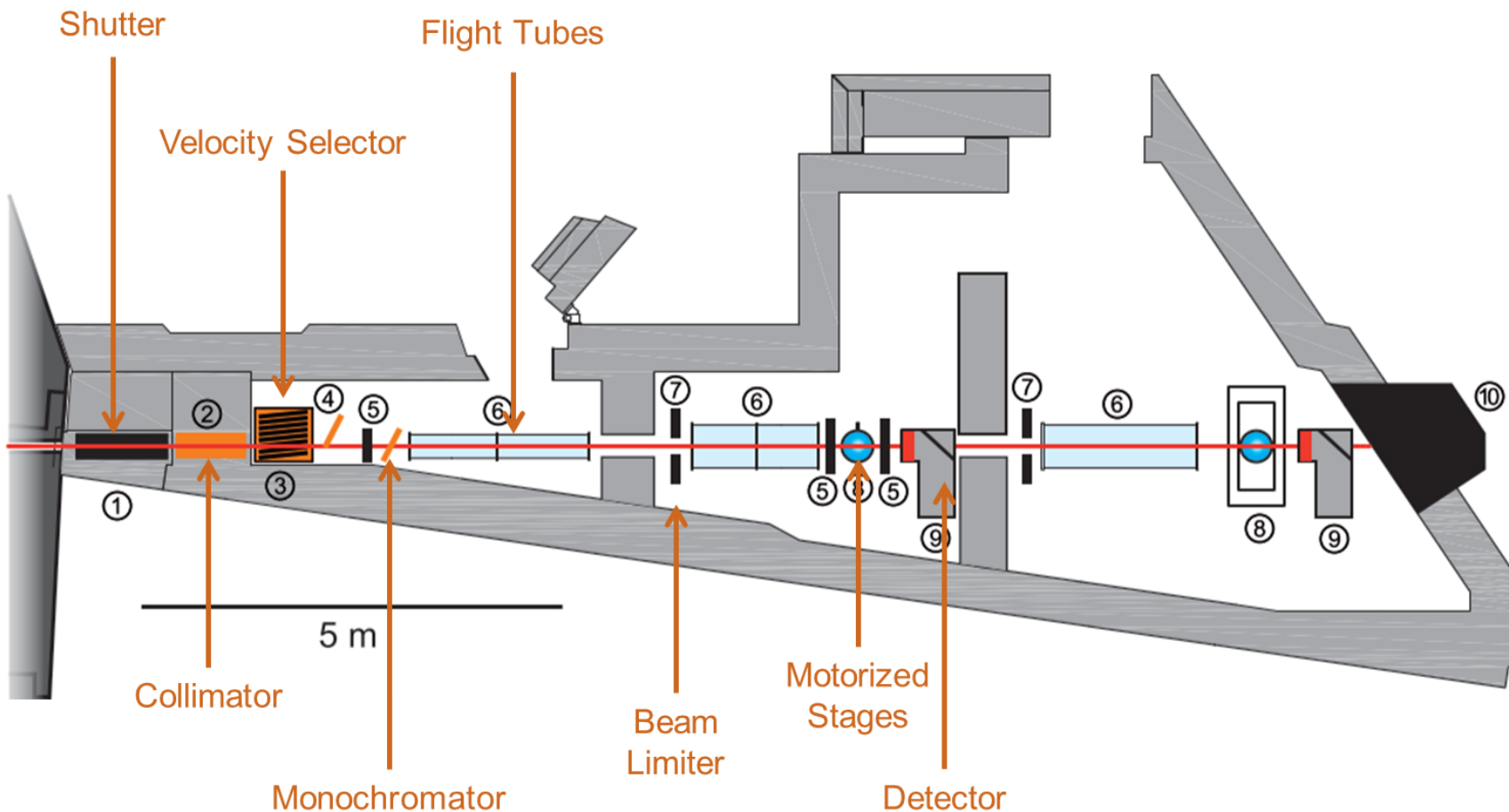
- 高い中性子束: 2.5×10^9 at 5 m, with L/D 140
- 高空間分解能撮像: $\sim 3.5 \mu\text{m}$
- 視野、分解能に合わせてそれぞれの撮像系を用意してある

ILL NeXT



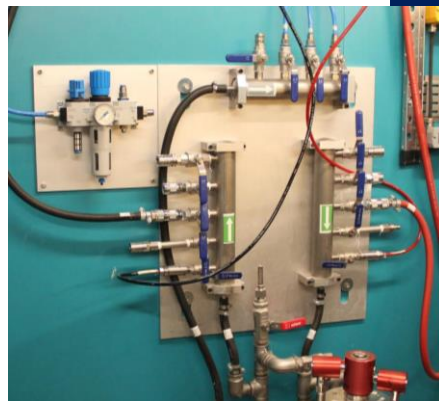
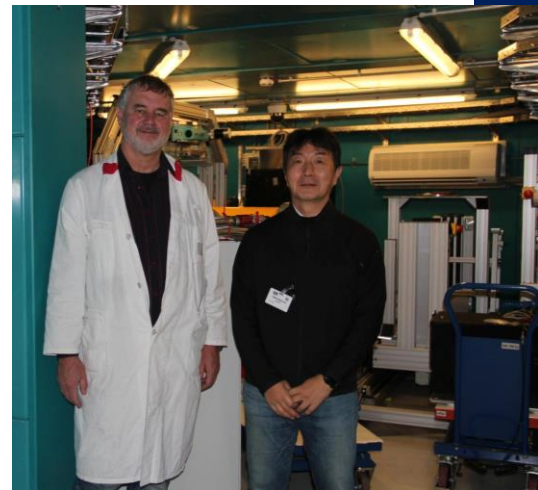
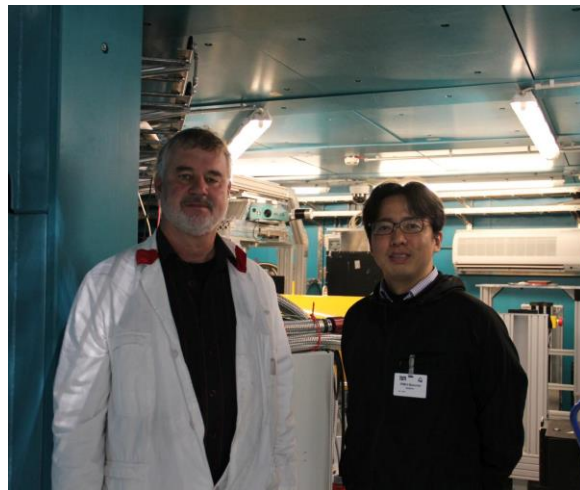
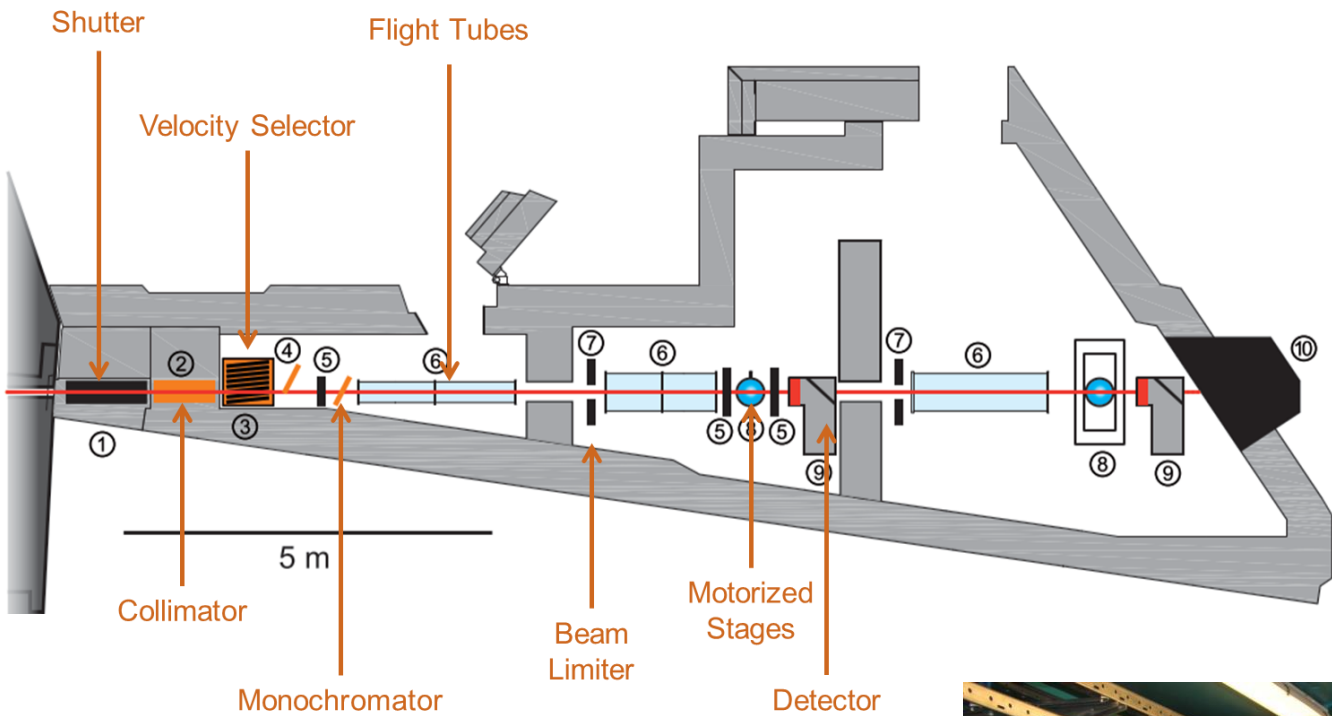
KYOTO U

FRM II ANTARES



- Several other imaging instruments are built following the example of ANTARES
- ANTARES is equipped with many advanced options such as Grating Image, polarized imaging, an X-ray setup, monochromator, velocity selector, etc. → 冷中性子を使った色々なイメージングの展開

- So far most experiments performed in chamber 1 on small samples, limited demand for large samples in chamber 2 → expansion of experimental options in chamber 2 currently ongoing (new detector table, sample stage, nGl, etc.)
- $L/D = 200$, $4 \cdot 10^8 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Cold source



新イメージング装置への要望

- 中性子エネルギーは熱中性子と冷中性子が主である。冷中性子に比べ、熱中性子の方が一般に透過力が高いと言う特長がある。
- 冷中性子は位相コントラストやスピン偏極などの新たな手法の利用や手法そのものの開発などができるフレキシビリティがある。
- 熱中性子と冷中性子、それぞれに、特長がある測定があるため、別個のビームラインを整備することが望ましい。これは、広く産業利用を受け入れるためにも重要である。
- 産業利用の頻度が特に高い中性子イメージングについては、日本の中で常時どこかで実験できる体制が望まれる。

1. 熱中性子イメージング装置

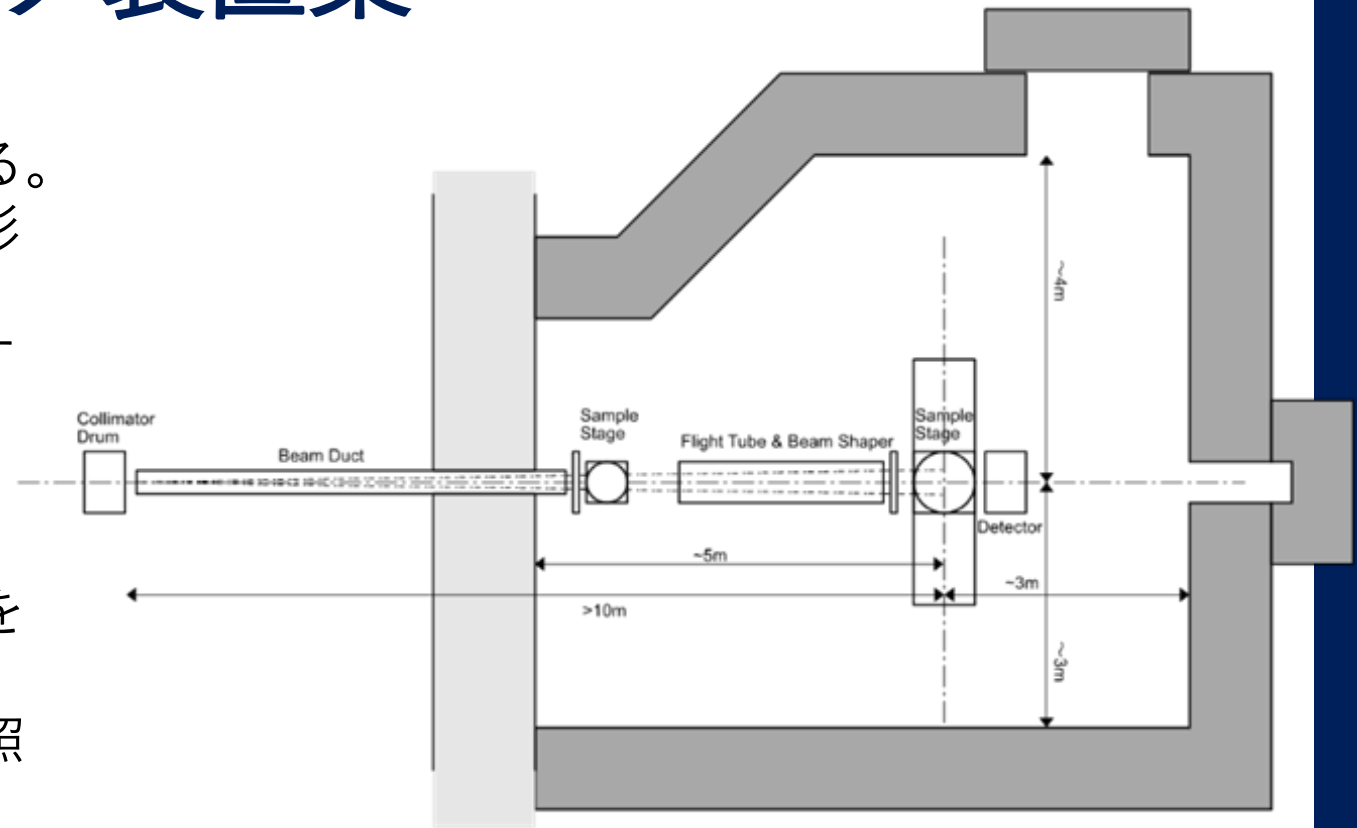
- **高強度・大面積ビーム**。短時間露光による**高速度撮像、3次元CT**。実機を用いた**オペランド計測**を特色とするのが妥当である。
- 工業製品のような大型の被写体を配置できるように**サンプルエリアを広くとる**ことが望ましい。

2. 冷中性子イメージング装置

- 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**を特色とするのが妥当である。
- **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。

熱中性子イメージング装置案

- 従来型の透過撮影の実施を主たる目的とする。
- **中性子強度**を重視し、短時間撮影、動画撮影などをターゲットとする。
- ビーム平行度L/Dについては高速性を重視する小さなものから、数100 μm 程度以下の空間分解能測定が可能なものを目指す。最大L/D \sim 1000 (L/D=176@JRR-3)
- 視野サイズは、工業製品のオペランド撮影を可能とするために、**最低A4サイズ**とする。
- 比較的大きな工業製品を測定できるように照射位置の空間を十分取る。
- **X線-中性子同時測定**



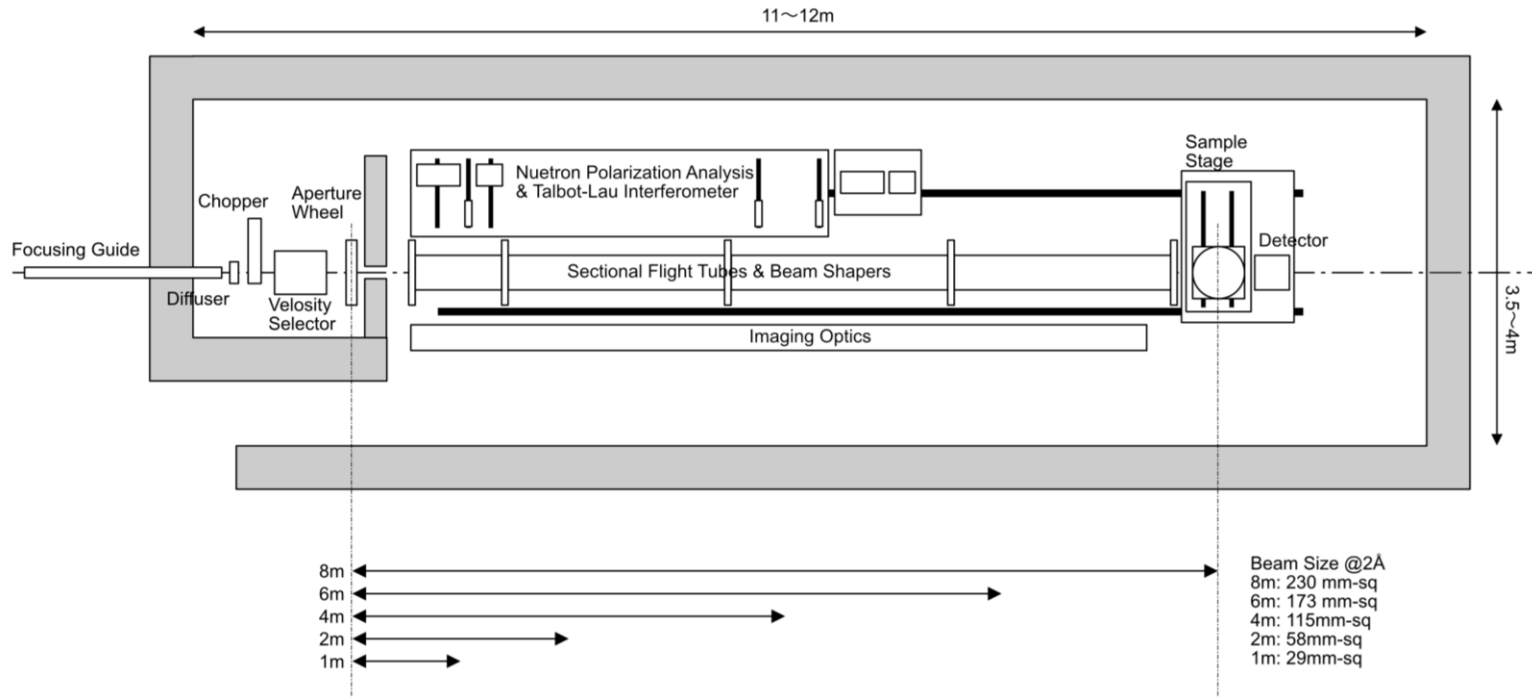
熱中性子イメージング装置のデザイン案

検討課題:

- ✓ 中性子強度を上げる観点からは、炉近くに設置する方が良い。その場合のアクセスの容易さ、測定対象に対する制限が厳しくなるかどうかが問題。
- ✓ 遮蔽などを考えると、できる限り大きなスペースが必要である。

冷中性子イメージング装置案

冷中性子イメージング装置は、数 μm 程度の高空間分解能イメージングおよび偏極中性子、中性子干渉を利用した特殊なイメージング手法の利用、新しい撮像技術の開発を目的とする。



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/cm²/sec (最小L/D) (集光条件ではもう1.5桁大きくしたい)

高強度CNS

- ・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、電磁石の利用を想定)、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

まとめ

(基本的考え)

中性子イメージングは施設毎に特徴がある測定を行っており、今後もこの傾向は続くと考えられる。

1. 西日本の拠点として、多種多様な測定ができることが望ましい。
2. 世界および日本の状況を見て、不足しているところも補完できることが望ましい。
3. アクセス・測定などについて制限が少なく、利用の上で利便性が高いことが望ましい。

(新試験研究炉のイメージング装置として)

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. 熱中性子は高強度を目指す。(短時間測定、大画角、オペランド測定など)
3. 冷中性子は新手法に対応するため、色々なデバイスを置けるようにする。(高空間分解能、位相イメージング、磁気イメージングなど)
4. 実験エリアを広くする。

熱は横の広さが大事(大きなサンプルの撮影と保管など)、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中性子イメージングライン**

(装置建設までに・・・)

1. 情報収集 (WCNR 2023/6, NEUWAVE 2023/9)
2. 既設装置 (TNRF、RADEN等) を用いた開発 (高速撮像、高空間分解能撮像)