

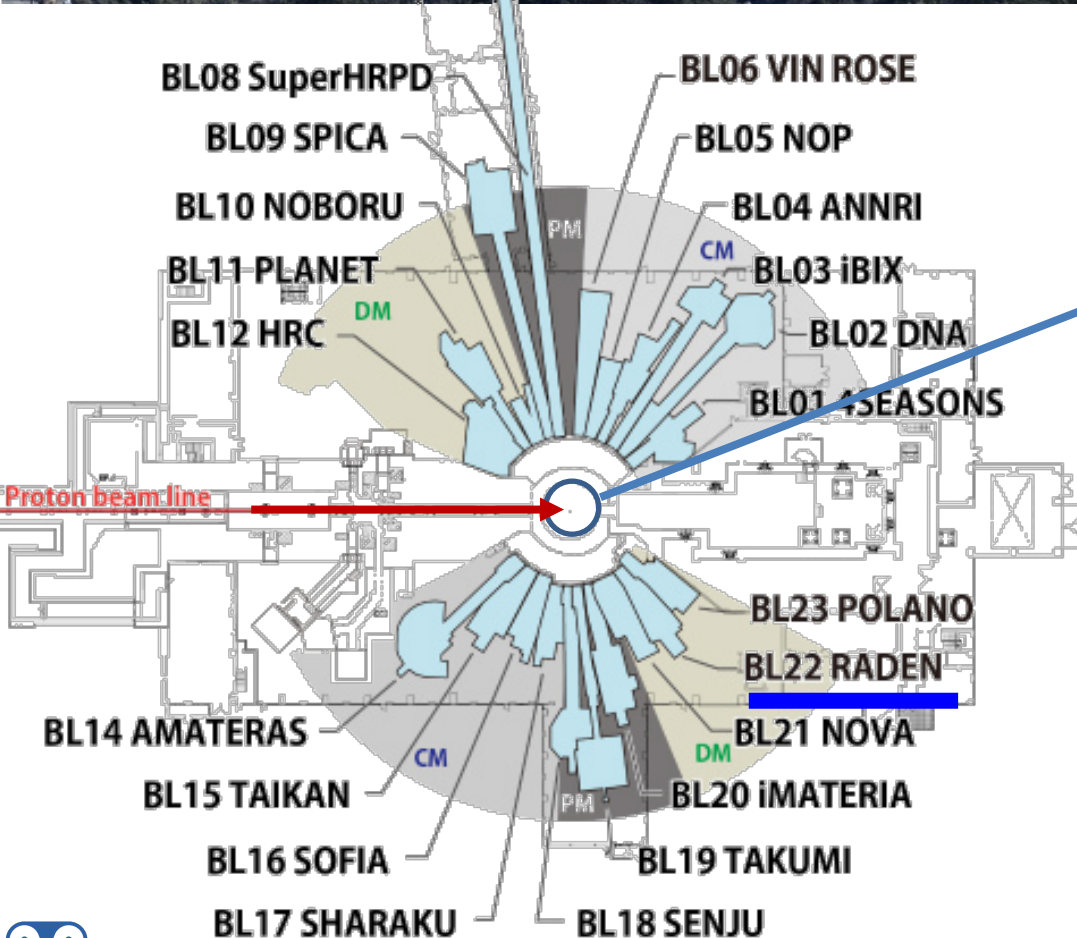
J-PARCのパルス中性子イメージング装置 螺鈿の現状

日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター
篠原 武尚

takenao.shinohara@j-parc.jp

螺鈿装置メンバー

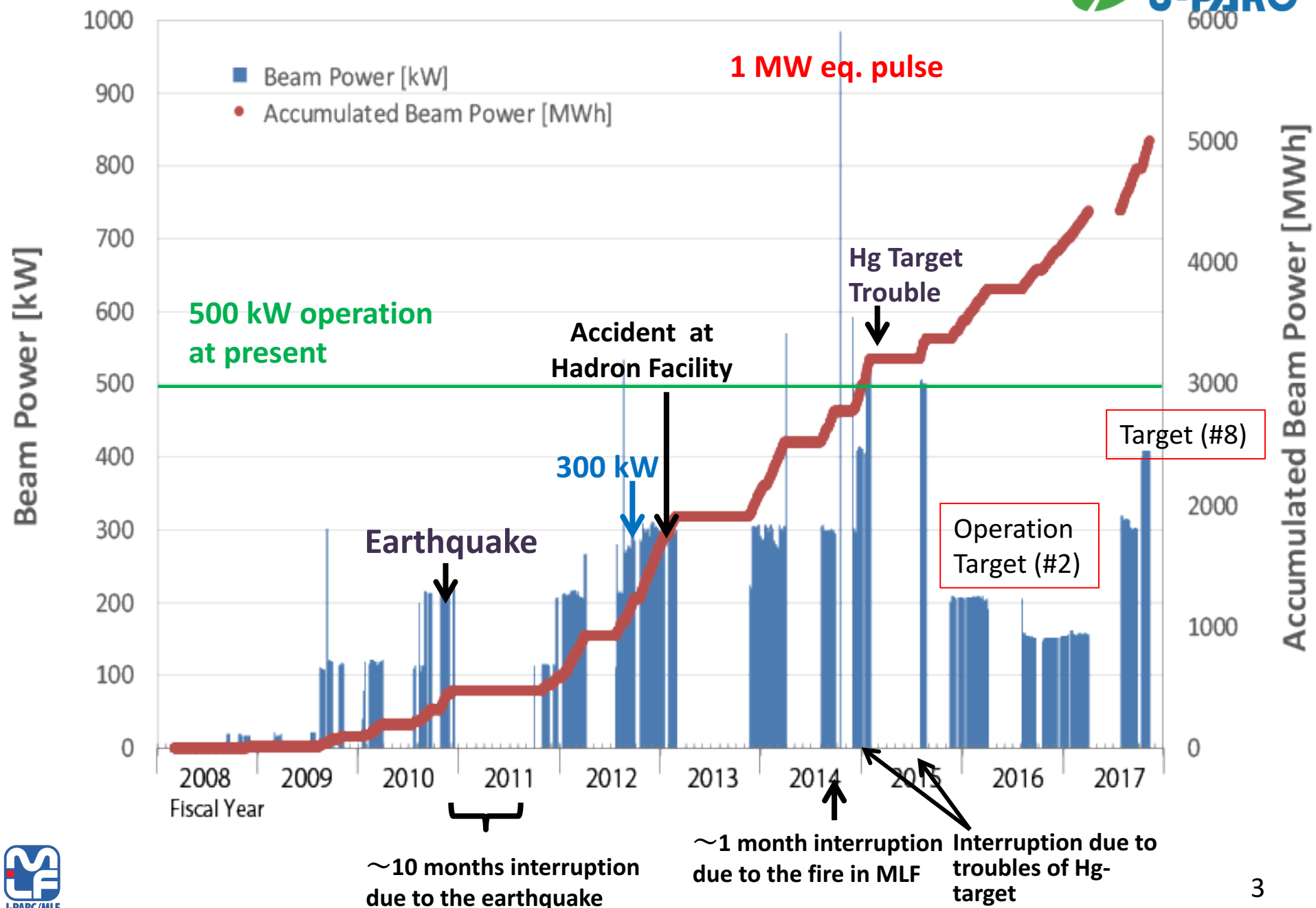
甲斐哲也、及川健一、瀬川麻里子、中谷健、
廣井孝介、蘇玉華、關義親(J-PARC)
林田洋寿、J.D. Parker、松本吉弘、桐山幸治 (CROSS)
鬼柳善明(名古屋大)



23 Neutron Beam Ports
Operation :20
Commissioning: 1

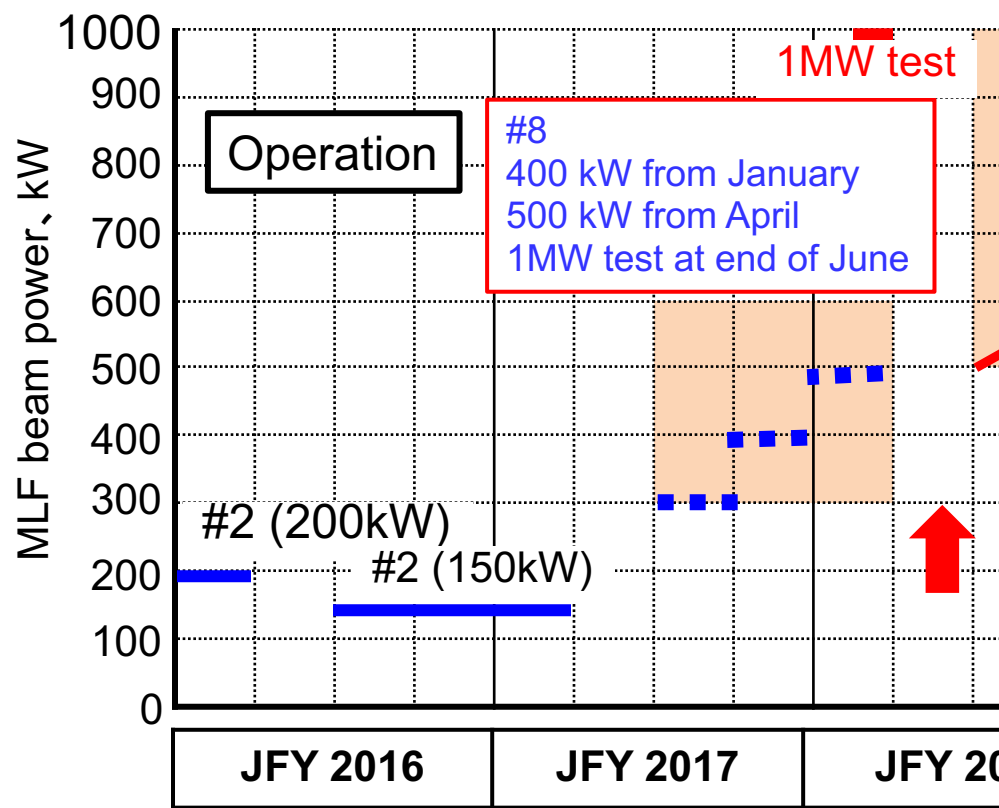
4 Muon Beam Ports

J-PARC Beam Power History



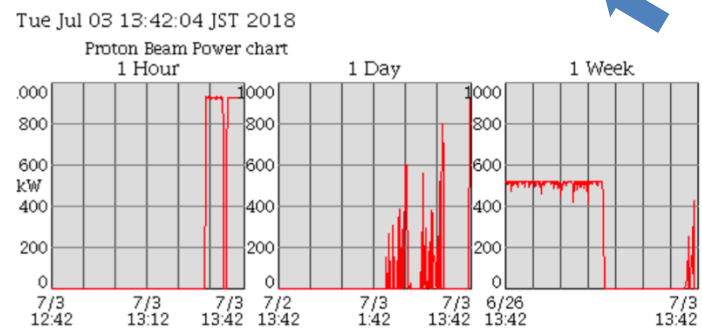
Scenario for 1MW Beam Power Operation

We are expecting full-power

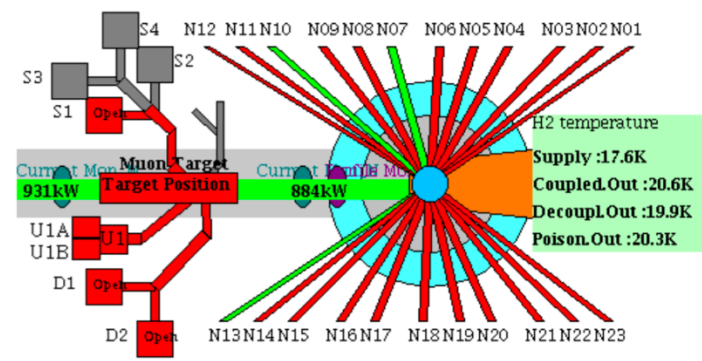


Status

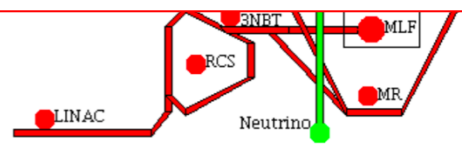
MLF Beam Power :931kW
Tue Jul 03 13:42:04 JST 2018



Tue Jul 03 13:42:04 JST 2018



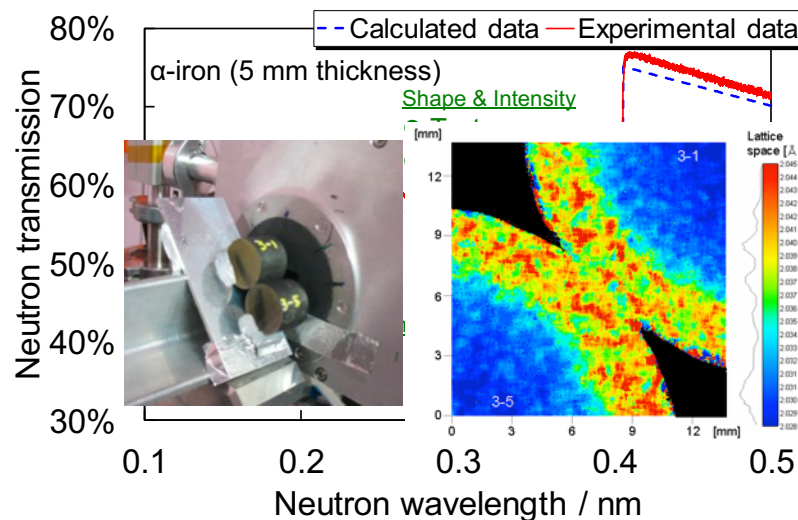
Succeeded in 1MW operation on July 3rd.



中性子と物質等との相互作用のエネルギー依存性を解析
→ 物理量の空間分布を可視化

- ✓ TOF分析 → エネルギー依存性の測定に適している
- ✓ エネルギー（波長）分解能が高い → $\Delta\lambda/\lambda < 0.5\%$
- ✓ 幅広いエネルギーの中性子が使える → 冷中性子(meV)～熱外中性子(keV)

パルス中性子はエネルギー分析型イメージングに最適

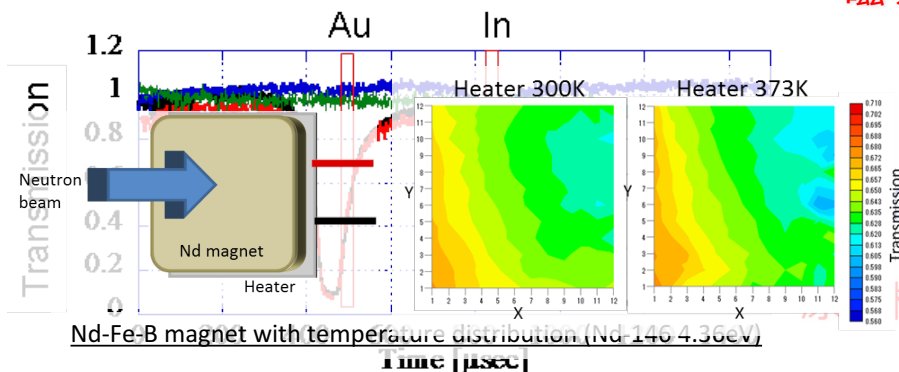
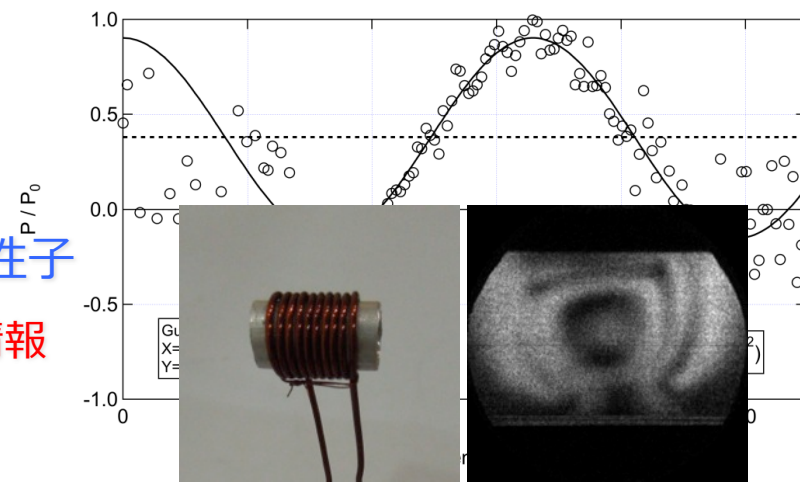


ブラッグエッジ

結晶組織情報

偏極中性子

磁場情報



中性子吸収

核種・温度情報

RADEN -Energy-Resolved Neutron Imaging System-

世界最初のパルス中性子イメージング専用ビームライン

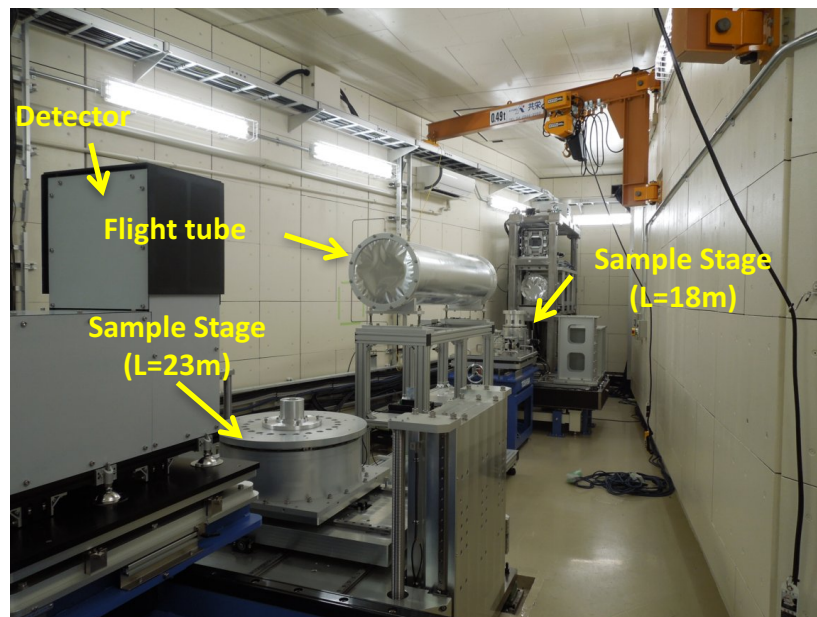
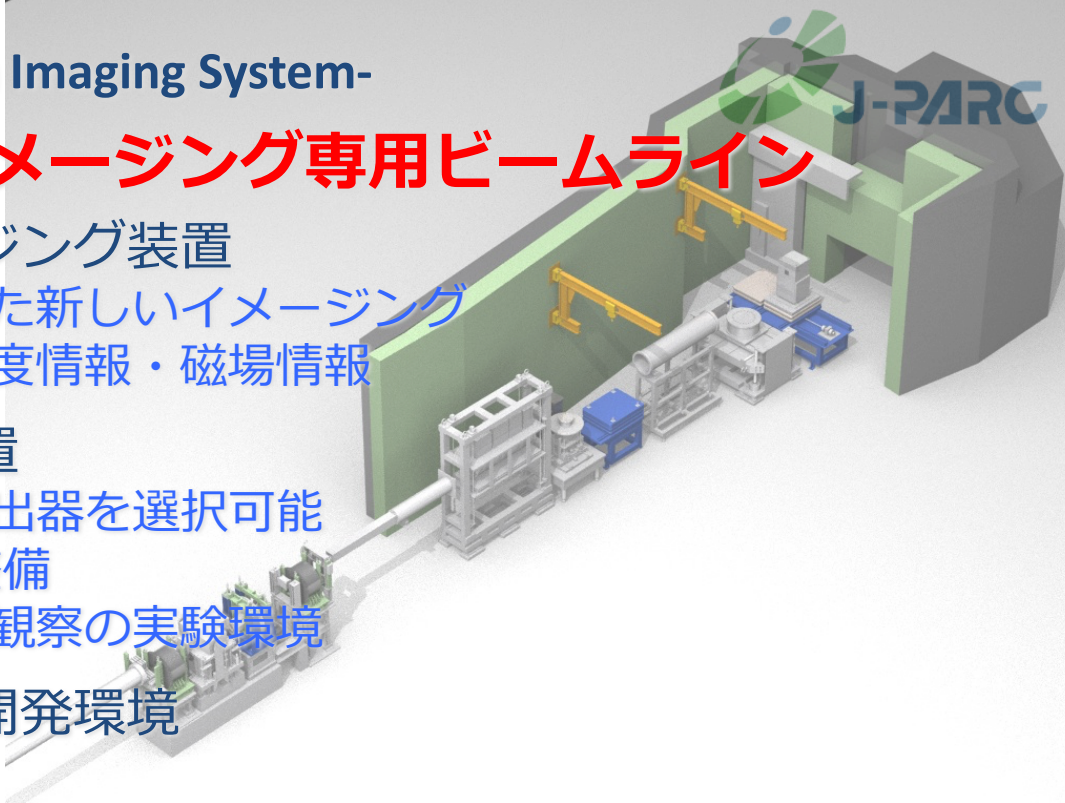
エネルギー分析型中性子イメージング装置

- ・パルス中性子の特徴を活かした新しいイメージング
→核種情報・結晶組織情報・温度情報・磁場情報

高性能中性子ラジオグラフィ装置

- ・FOVと空間分解能に応じて検出器を選択可能
- ・高速CT再構成用計算環境を整備
- ・大型試料、特殊環境、その場観察の実験環境

新しい中性子イメージング技術開発環境



波長範囲

$\lambda < 8.8 \text{ \AA} @L=18\text{m}$

$\lambda < 6.9 \text{ \AA} @L=23\text{m}$

波長分解能

$\Delta\lambda/\lambda = 0.26\% @L=18\text{m}$

$\Delta\lambda/\lambda = 0.20\% @L=23\text{m}$

時間平均中性子束 (< 0.5 eV)

$2.6 \times 10^7 \text{ n/sec/cm}^2 @L/D=180$

$1.6 \times 10^7 \text{ n/sec/cm}^2 @L/D=230$

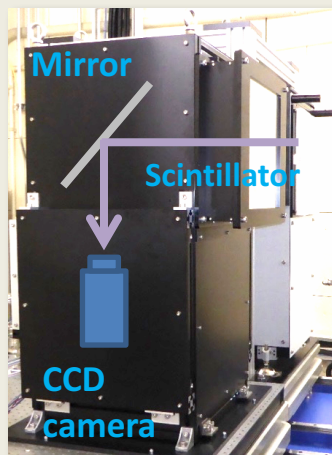
ビームサイズとL/D

- ・中性子回折検出器
ブラッグエッジデータの高精度化
- ・ガンマ線検出器
共鳴吸収データの解析補助
- ・3次元偏極度解析装置
磁場イメージング用
- ・Talbot-Lau干渉計
位相イメージング用
- ・試料高温加熱装置
- ・ユーティリティ
冷却水、ガス導入、電力、圧縮空気、クレーン

	Collimator	100x100	50.1mm ϕ at 3.1m	26.4mm ϕ at 4.3m	15mm ϕ at 8m	5mm ϕ at 8m	2mm ϕ at 8m
L=23 m	L/D (calc.)	230	400	720	1000	3000	7500
	L/D (measured)	251	446	715	990	3005	-
	Beam Size (calc.)	100	250	300	144	173	181
	Beam Size (measured)	103(H) 104(V)	263(H) 265(V)	300(H) 301(V)	209(H) 162(V)	230(H) 197(V)	210(H) 197(V)

RADENで利用可能な検出器

Camera type

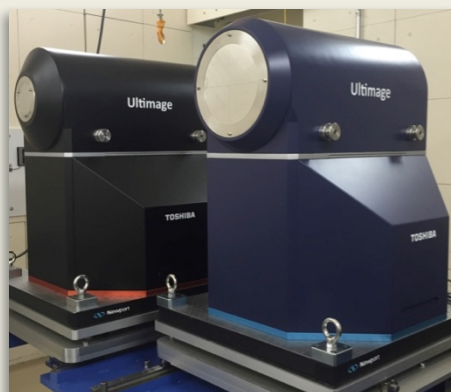


Single-mirror CCD camera

- Andor iKon-L, EMCCD
- $\Delta x > 50 \mu\text{m}$
- No TOF
- Automated system for CT

Neutron Color I.I.

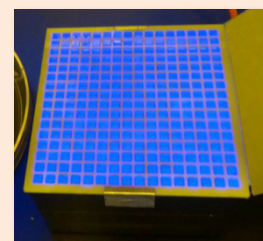
- High-resolution ($\Delta x = 100 \mu\text{m}$)
- High-speed (10k, 30k, 100k fps)



Counting type

nGEM

- Micro-pattern
- ^{10}B (10% eff.)
- FOV: $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- $\Delta x = 1 \text{ mm}$, $\Delta t = 15 \text{ ns}$, $< 0.5 \text{ Mcps}$



LiTA12

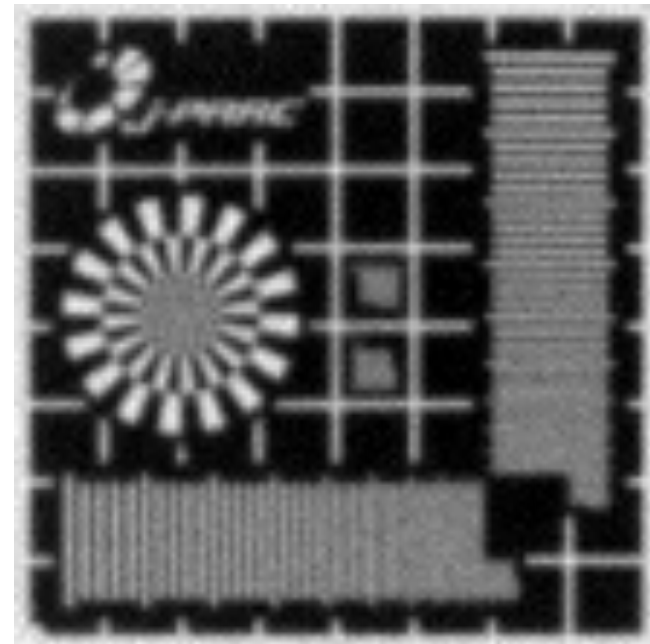
- Li-glass scint. (23% eff.)
- FOV: $5 \times 5 \text{ cm}^2$
- $\Delta x = 3 \text{ mm}$, $\Delta t = 40 \text{ ns}$, 6 Mcps

μNID

- Micro-pattern
- ^3He (26% eff.)
- FOV: $10 \times 10 \text{ cm}^2$
- $\Delta x = 0.1 \text{ mm}$, $\Delta t = 0.25 \mu\text{s}$, 1 Mcps



空間分解能の比較

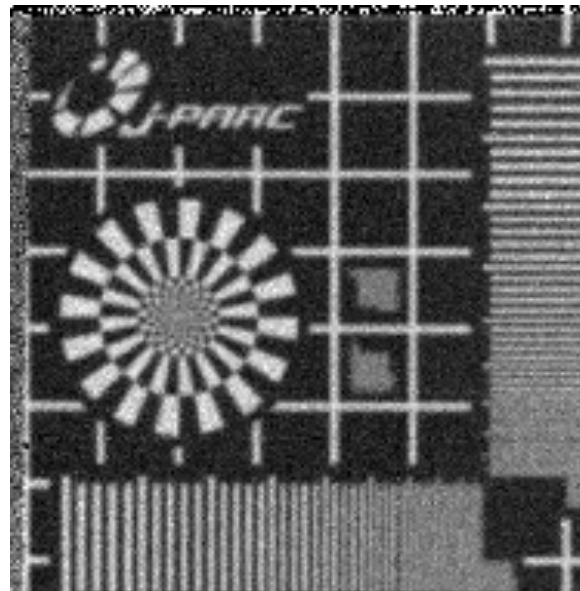


nGEM

Spatial resolution: 1 mm

Count Rate: < 0.2 Mcps

Efficiency: 10%

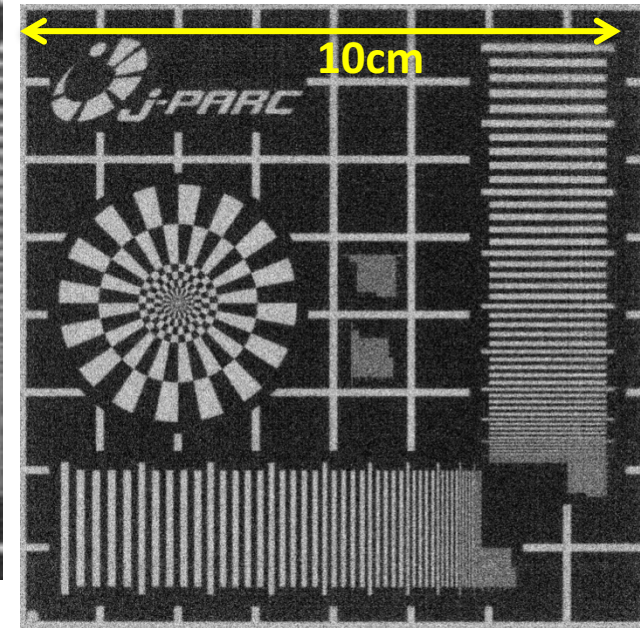


B-μNID (1.6atm)

Spatial resolution: 0.45 mm

Count Rate: > 22 Mcps

Efficiency: 3 ~ 5%



μNID

Spatial resolution: 0.1 mm

Count Rate: 1 Mcps

Efficiency: 26%

μNID : Now available for user programs.

B-μNID : Development of ^{10}B layer for higher efficiency is needed.

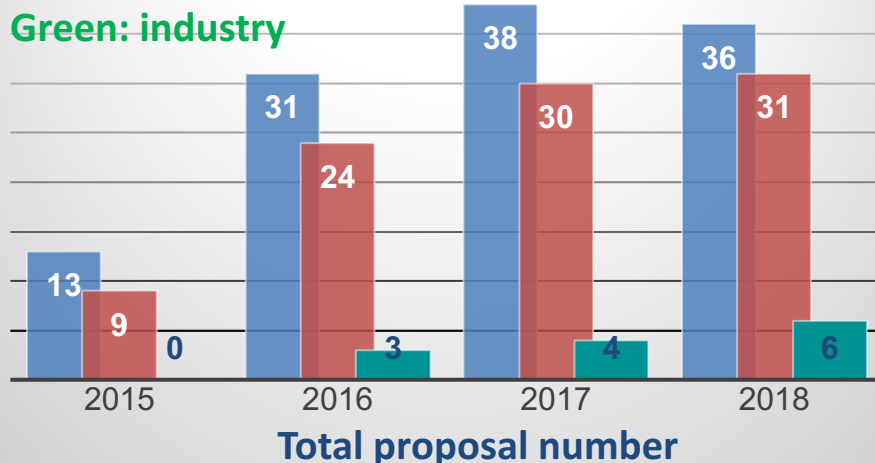
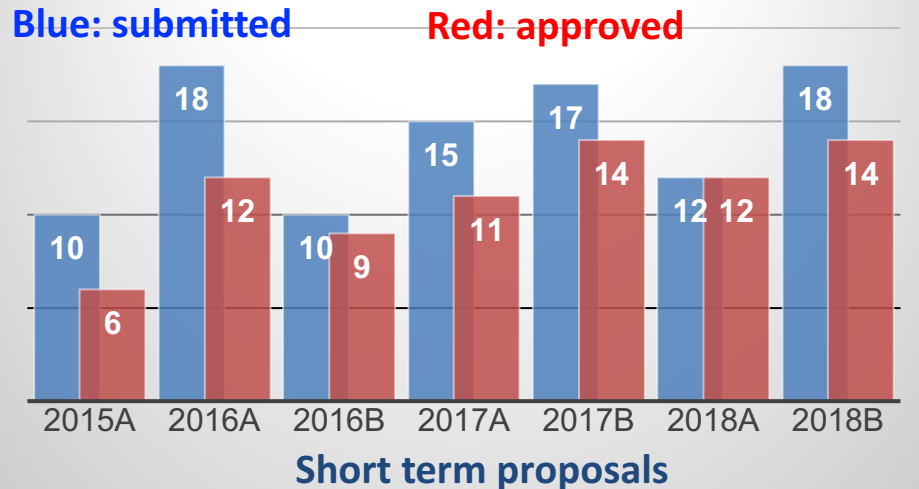
Smaller pitch read-out board is under testing. **400μm -> 200μm**

LiTA12 : Under development. Centroiding and super resolution methods worked to make better spatial resolution.

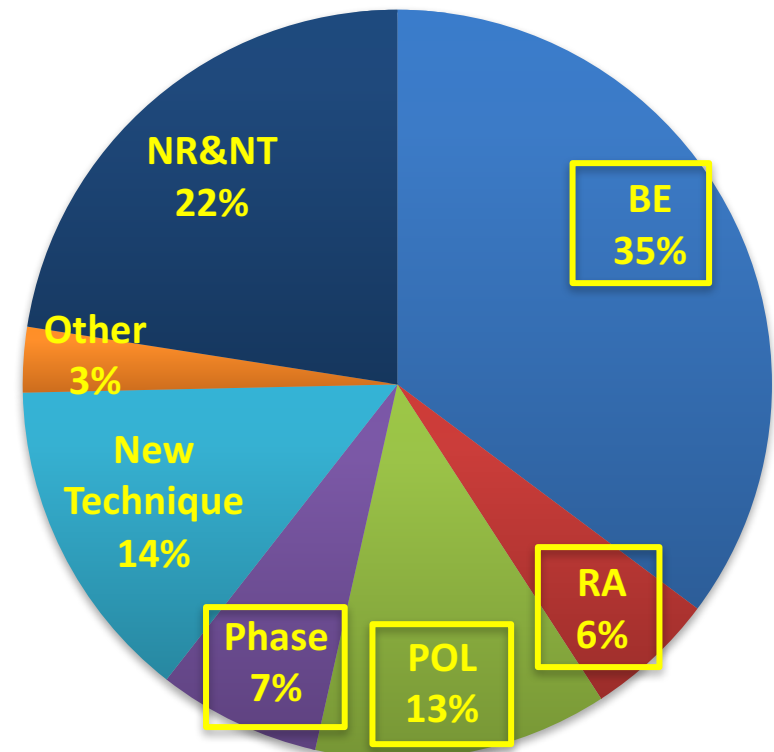
RADENの利用状況

- ✓ 2018年度の利用日数:176日
- ✓ 採択済み一般課題数:26課題
- ✓ 採択済み長期課題数:3課題

年間実施課題数は30課題程度
産業利用関係は徐々に増加
課題の約60%がエネルギー分析を活用

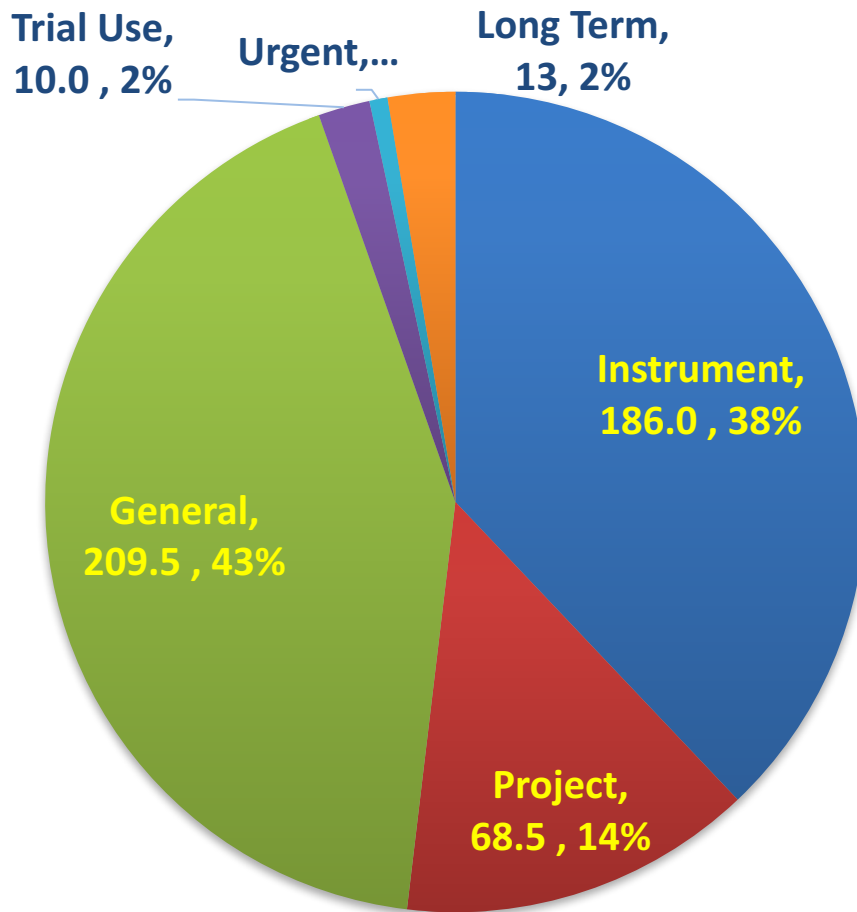


Proposals classified by technique
(from 2015 to 2018A)

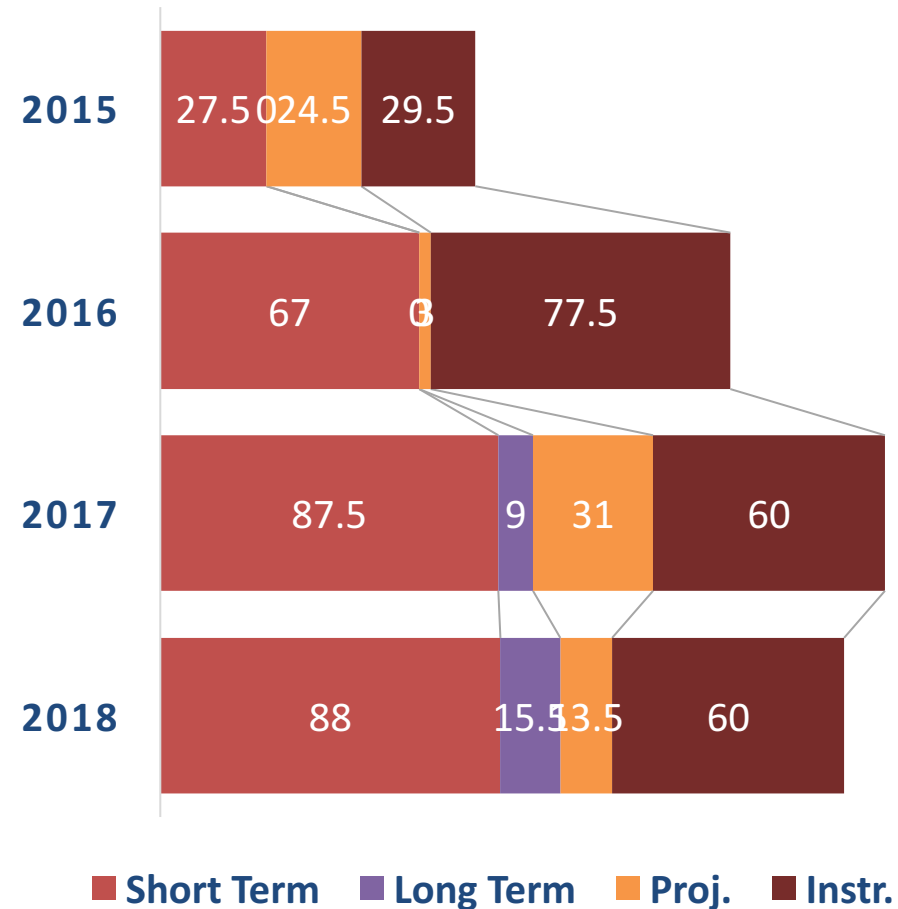


RADENの利用状況

Approved beam time in days
(accumulated from 2015)



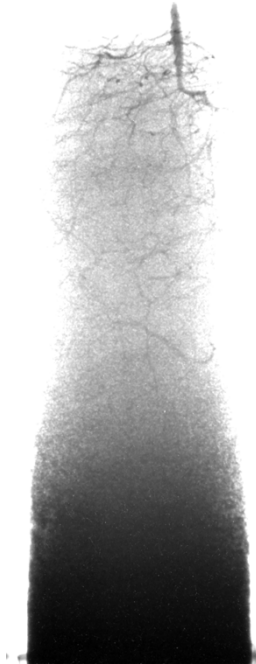
Approved beam time in days
(Yearly trend)



コミッショニング中は年間のビームタイムの
半分以上を内部で使用
→一般課題の利用日数割合を70%まで増加

Internal use (instrument + project use) is
gradually reduced.

Roots of Soybean



測定の安定性が向上

測定途中での停止等の問題が改善

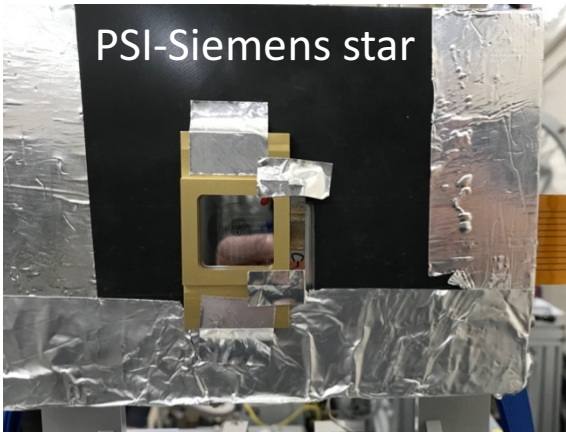
測定時間の短縮に向けて制御系の改良を実施中

エネルギー範囲を限定した測定

熱外中性子を用いた強吸収観察対象の撮像

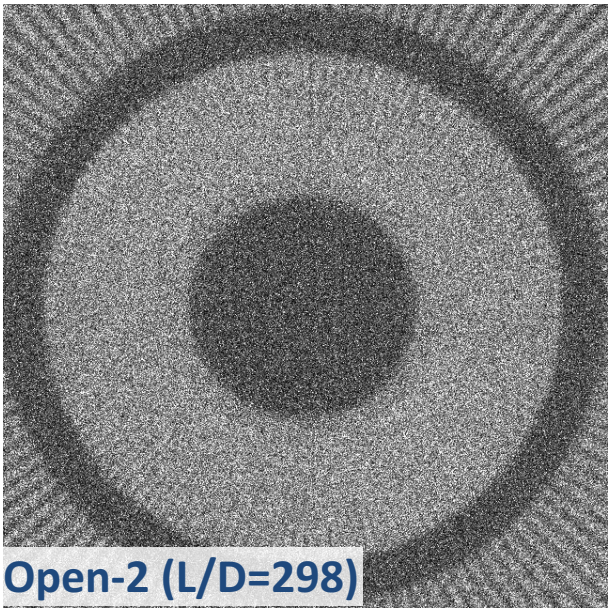
計数型検出器を利用した飛行時間分析と組合せた実験 (Parkerさん)

Fine spatial resolution ~ 15 μm (Thanks to Dr. A. Tremsin)

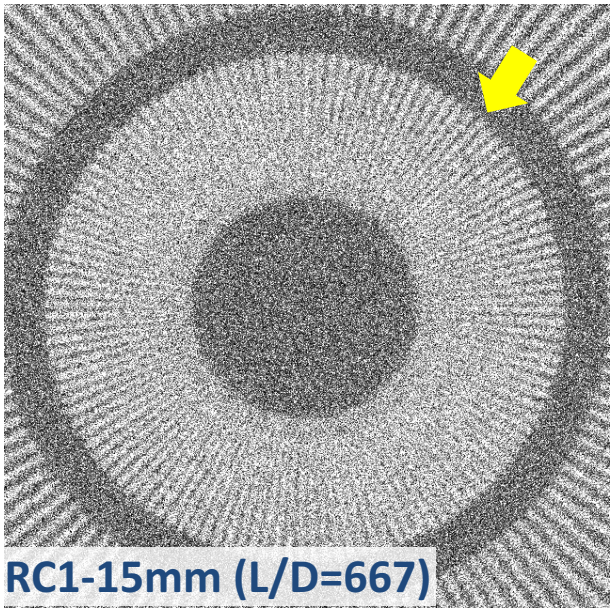


PSI-Siemens star

MCP detector

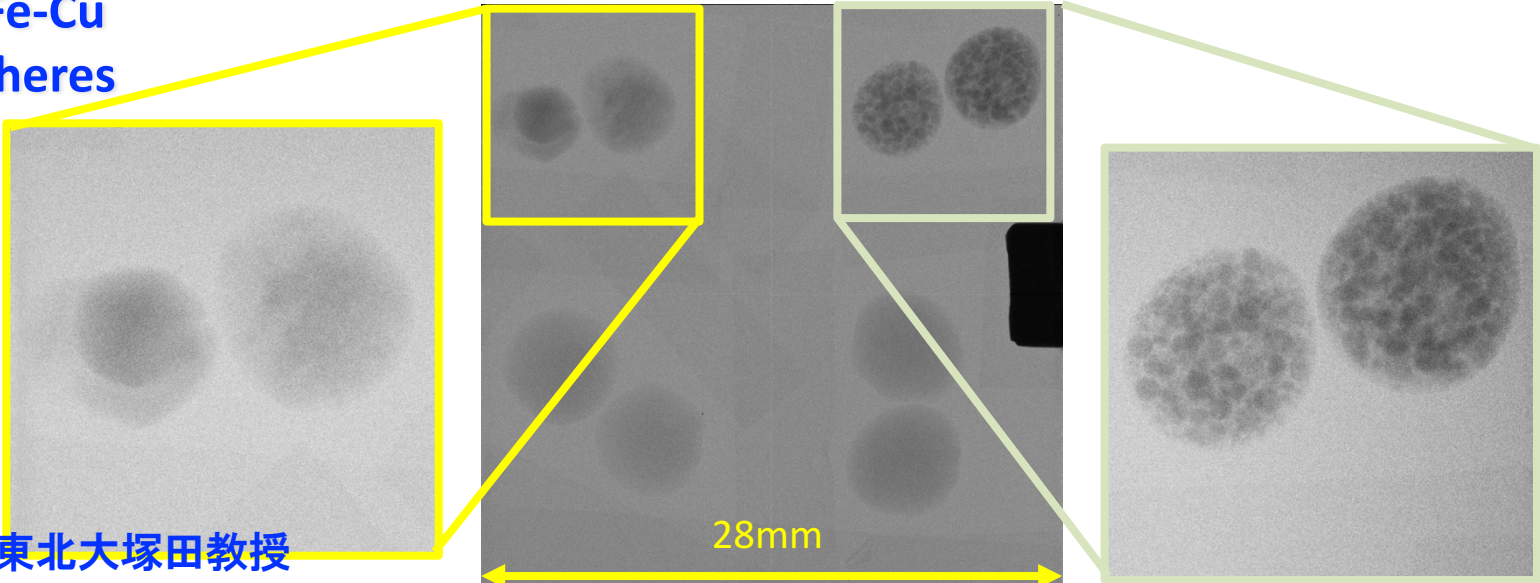


Open-2 (L/D=298)



RC1-15mm (L/D=667)

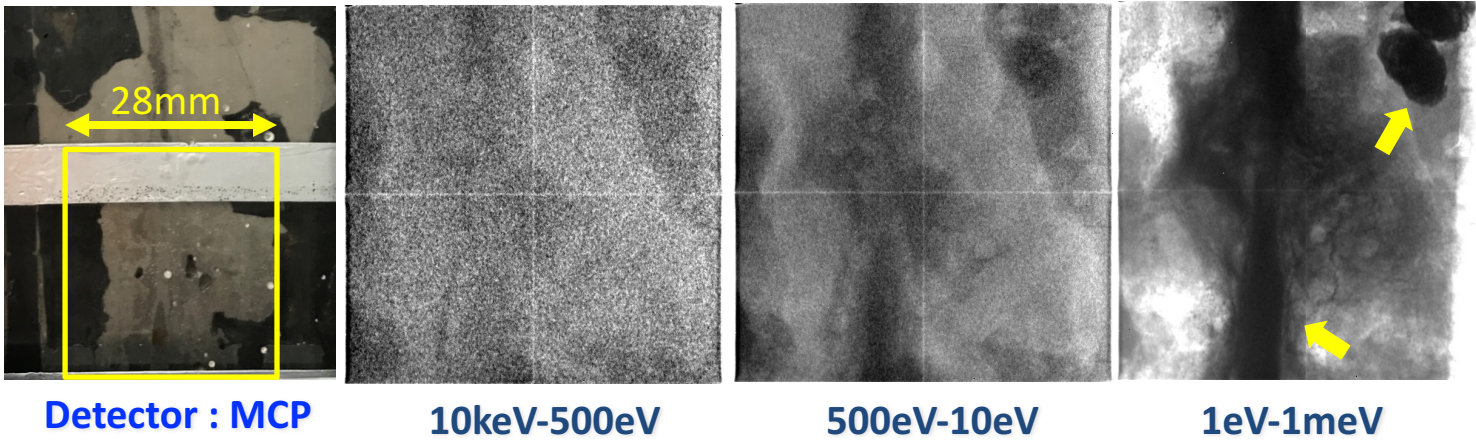
Co-Cu, Fe-Cu
alloy spheres



28mm

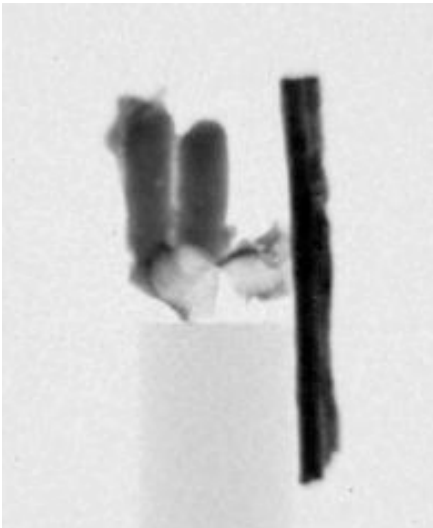
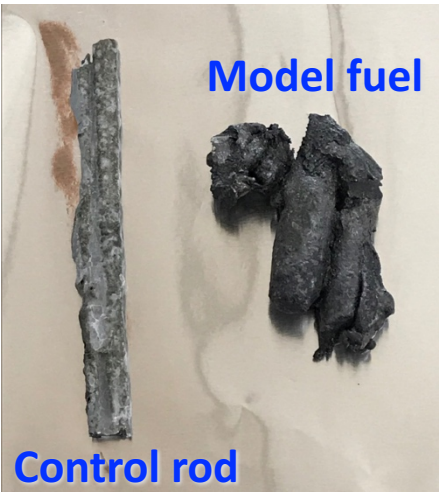
To clarify Boron concentration in melted fuels

Energy dependent radiography



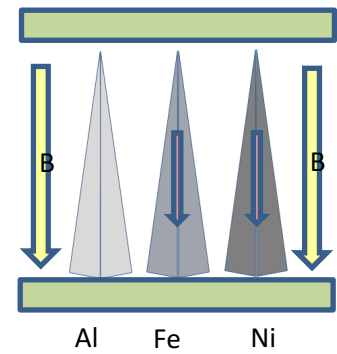
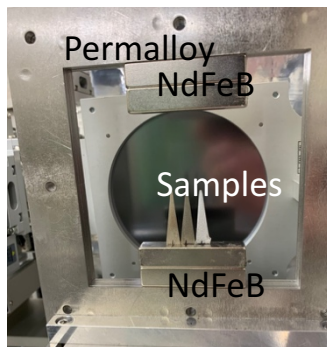
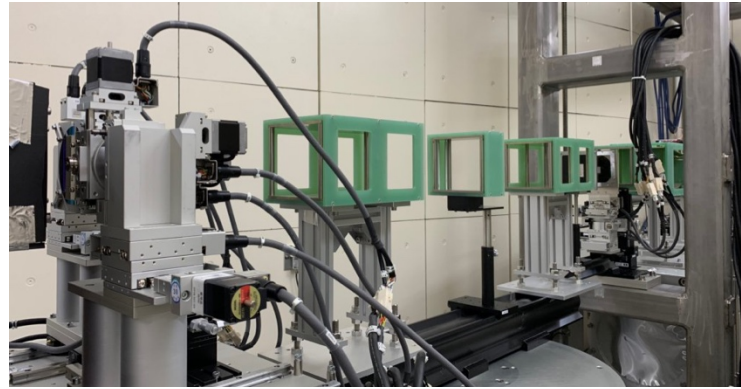
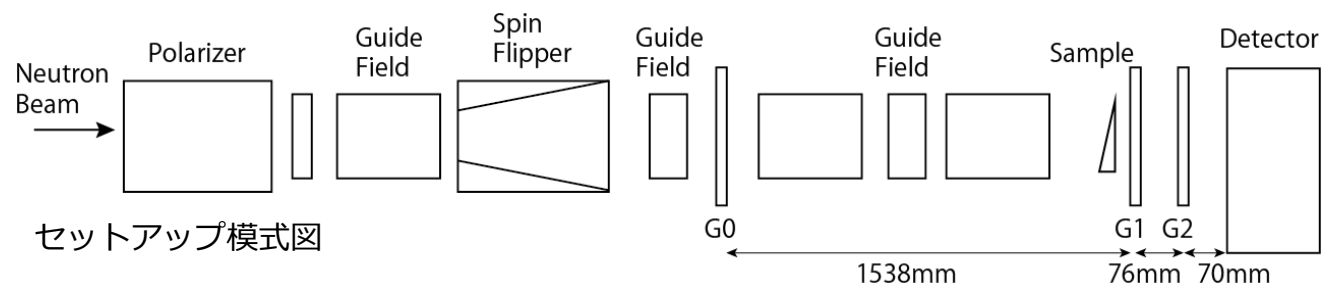
Epi-thermal neutron tomography

For strong absorption material study

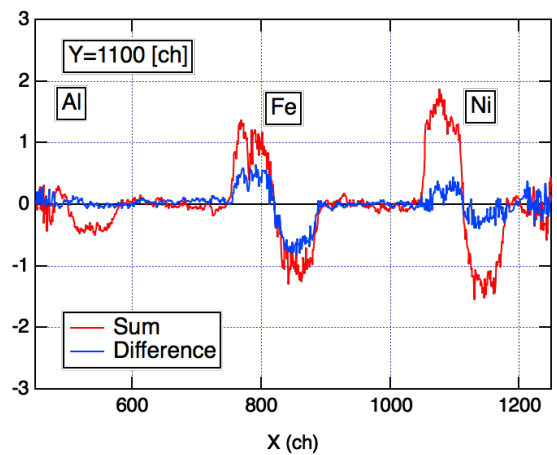
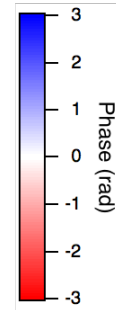
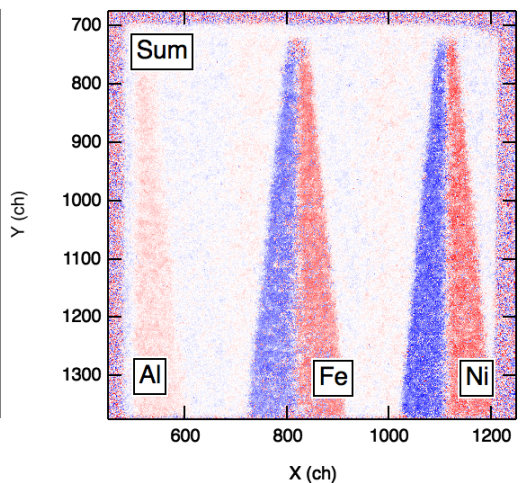
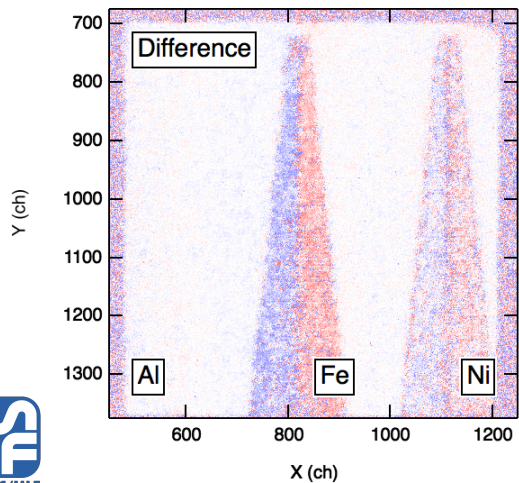


A model body for the Core Material Melting and Relocation (CMMR) study

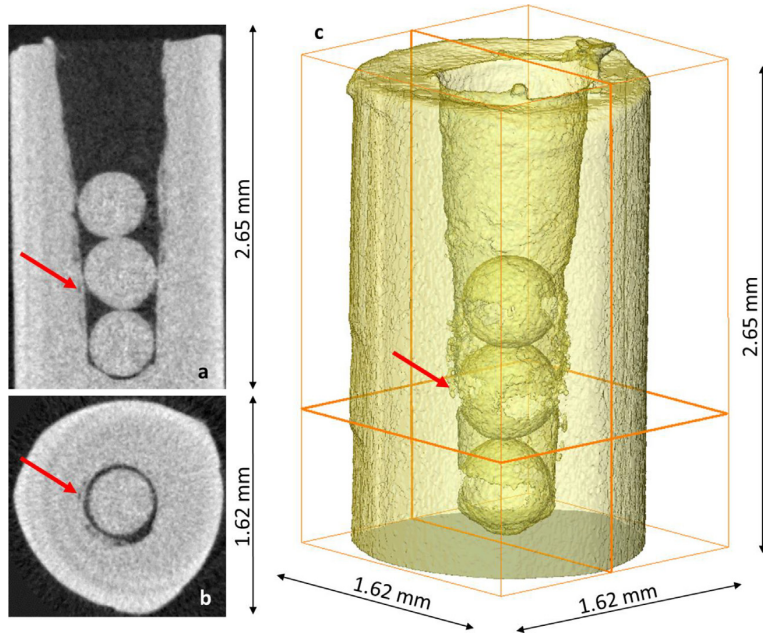
磁気有感型位相イメージング実験(偏極中性子位相イメージング)



三角錐形状サンプル (Al, Fe, Ni)

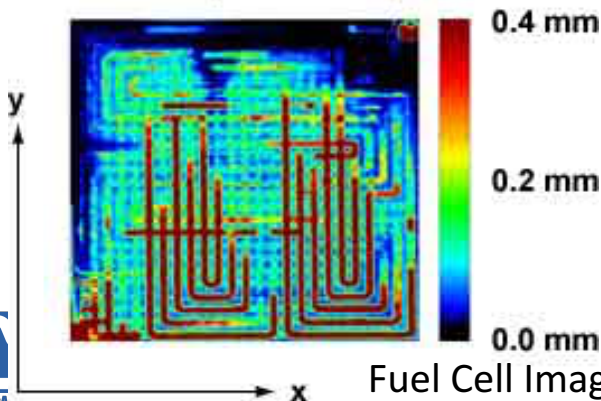


世界のイメージング技術の動向 → 空間分解能の向上は不可欠



By Dr. P. Trtik@PSI MethodsX 4(2017) 492

Image of water distribution with
thickness represented by color



Fuel Cell Imaging @NIST

中性子顕微鏡プロジェクト @PSI, NIST

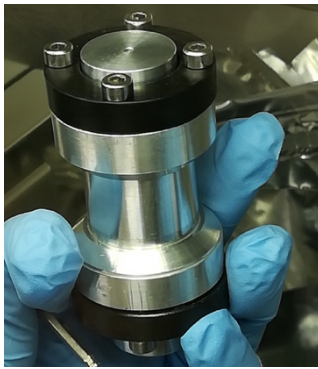
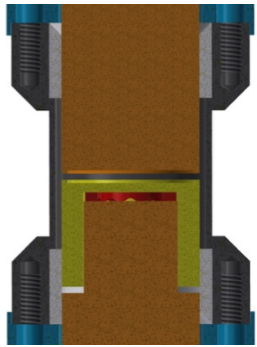
1 μ mの空間分解能がターゲット

RADENの現状の技術

- カメラ型 : CCDカメラで40 μ m
- 計数型 : μ NIDで100 μ m

改善方法

- CMOSカメラの短時間撮像データの重心処理
NIST, HZBで実証済みの技術を導入
- 暗箱のデザインの見直し
GdOxシンチレータ
光学レンズ配置の再検討
- μ NIDに使用する μ PIC読出し基板の微細化 (MEMS- μ PICのテスト)



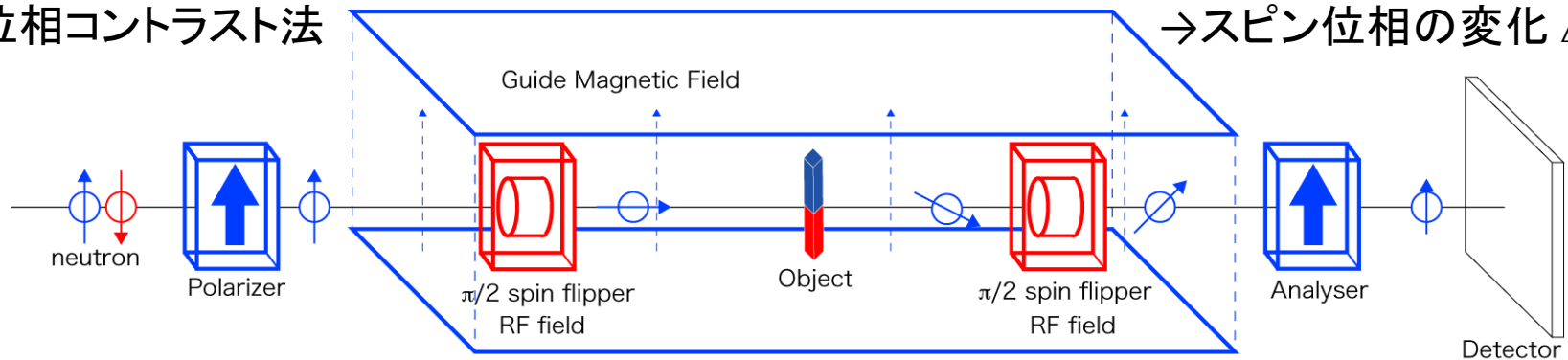
Liイオン2次電池内の電流密度分布の解析

電流が作る磁場の解析し、電池内部の電流分布を可視化

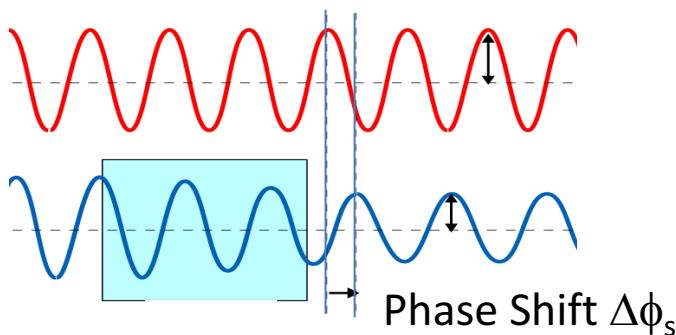
→ 地磁場の1/10程度の磁場

スピン位相コントラスト法

試料による磁場
→ スピン位相の変化 $\Delta\phi_s$



検出器位置で得られる偏極度の振動



$$\Delta\phi_s = \omega_s t = \gamma B_s \cdot L_s / v \quad (\text{Ramsey method})$$

$$\Delta\phi_s = 2\omega_s t = 2\gamma B_s \cdot L_s / v \quad (\text{Spin interferometry})$$

位相変化の感度 < 1 degree

→ $3 \mu\text{T} \cdot \text{cm}$ for $\lambda = 6 \text{ \AA}$

(偏極度解析 → $400 \mu\text{T} \cdot \text{cm}$)

- J-PARC/MLFのパルス中性子イメージング装置「螺鈿」は2015年より共用運転中
- エネルギー分析型中性子イメージング実験の本格的な実用化・応用研究を推進
- 空間分解能の向上に関する試験を開始。今後さらなる高空間分解能化に向けた開発を進める。
- 位相イメージング開発を推進中。まもなく実際の利用が可能になる予定。
- エネルギー分析型イメージングの高度化として、偏極中性子イメージングの磁場感度の向上を目指す。
- **利用相談・研究協力は随時受け付けています**
実験に関する質問・技術開発や実験環境への要望
→ **遠慮なくお問い合わせ下さい**