

J-PARC大強度パルス中性子源の特長とその利用技術

(世界最高性能のJ-PARCパルス中性子源の開発と
中性子イメージング技術)

日本原子力研究開発機構

甲斐哲也

J-PARC (大強度陽子加速器施設、茨城県東海村)

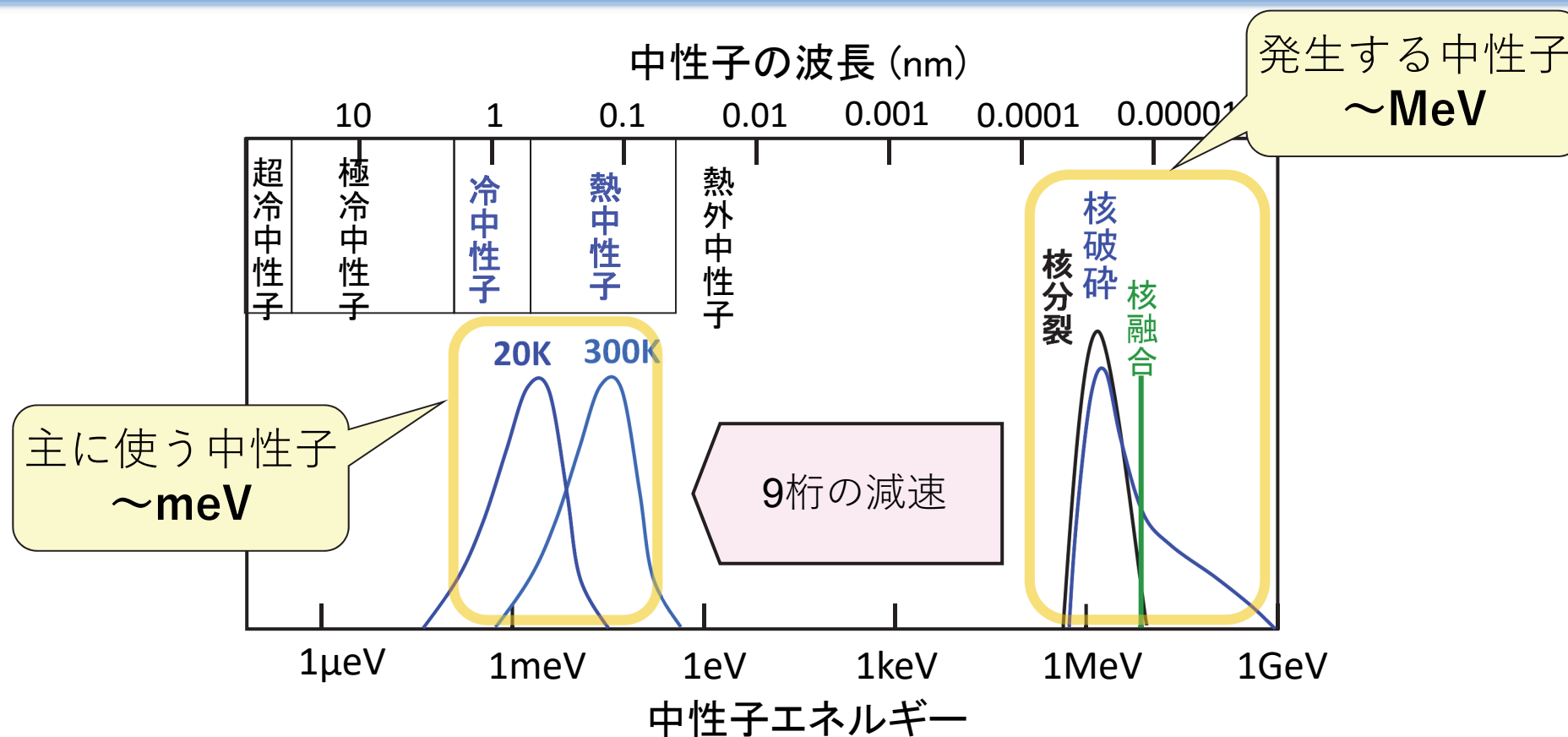
Japan Proton Accelerator Research Complex



物質・生命科学実験施設（MLF）のビームライン配置



中性子利用研究に用いるエネルギー（波長）

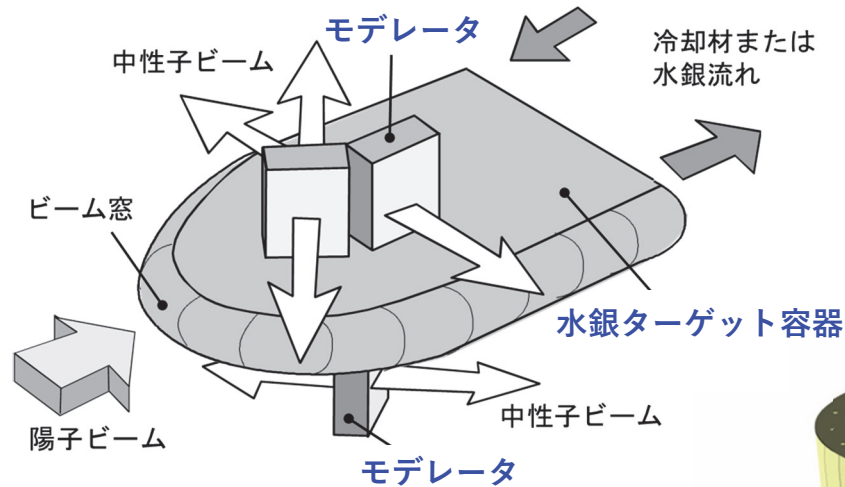


- 核反応で発生する中性子のエネルギーは**~MeV**
- 実験に使用するエネルギー(**~meV**)まで**減速**して使用
- 減速、中性子パルスの整形: **モデレータ**

中性子源の
性能を決定

中性子源の構成

水銀ターゲットとモデレータの配置の概念



水銀ターゲット

3GeV陽子 1 個から約75個,
毎秒 10^{17} 個の中性子を生成.

モデレータ (3 台)

15気圧, 20K (-253°C) の
液体水素を循環.

反射体

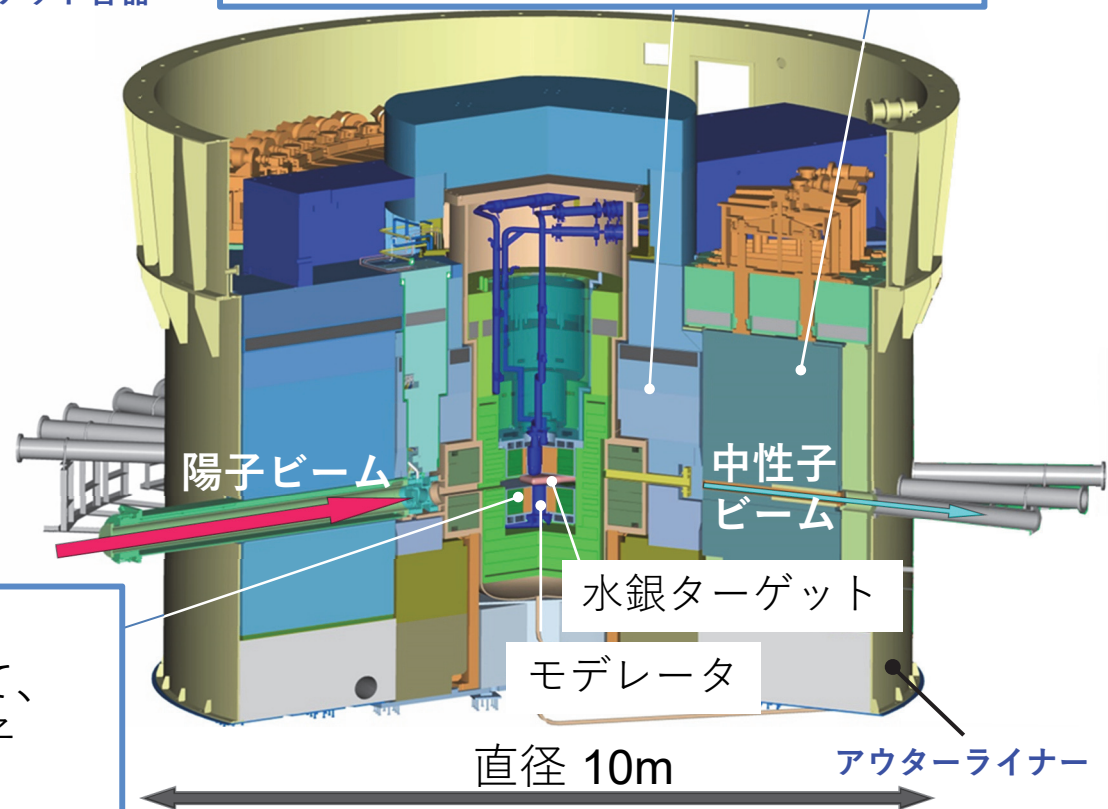
中性子をベリリウムで反射して、
外部への散逸を抑制し、中性子
ビーム強度を最大化.

中性子シャッター

厚さ 2 m の鉄遮蔽体を上下駆動
中性子ビームの通過/遮断を制御

遮蔽体

鉄鋼とコンクリートを主要材料と
し、高エネルギー中性子を遮蔽。
ステーション全体で約4,000トンの
鉄鋼材料.

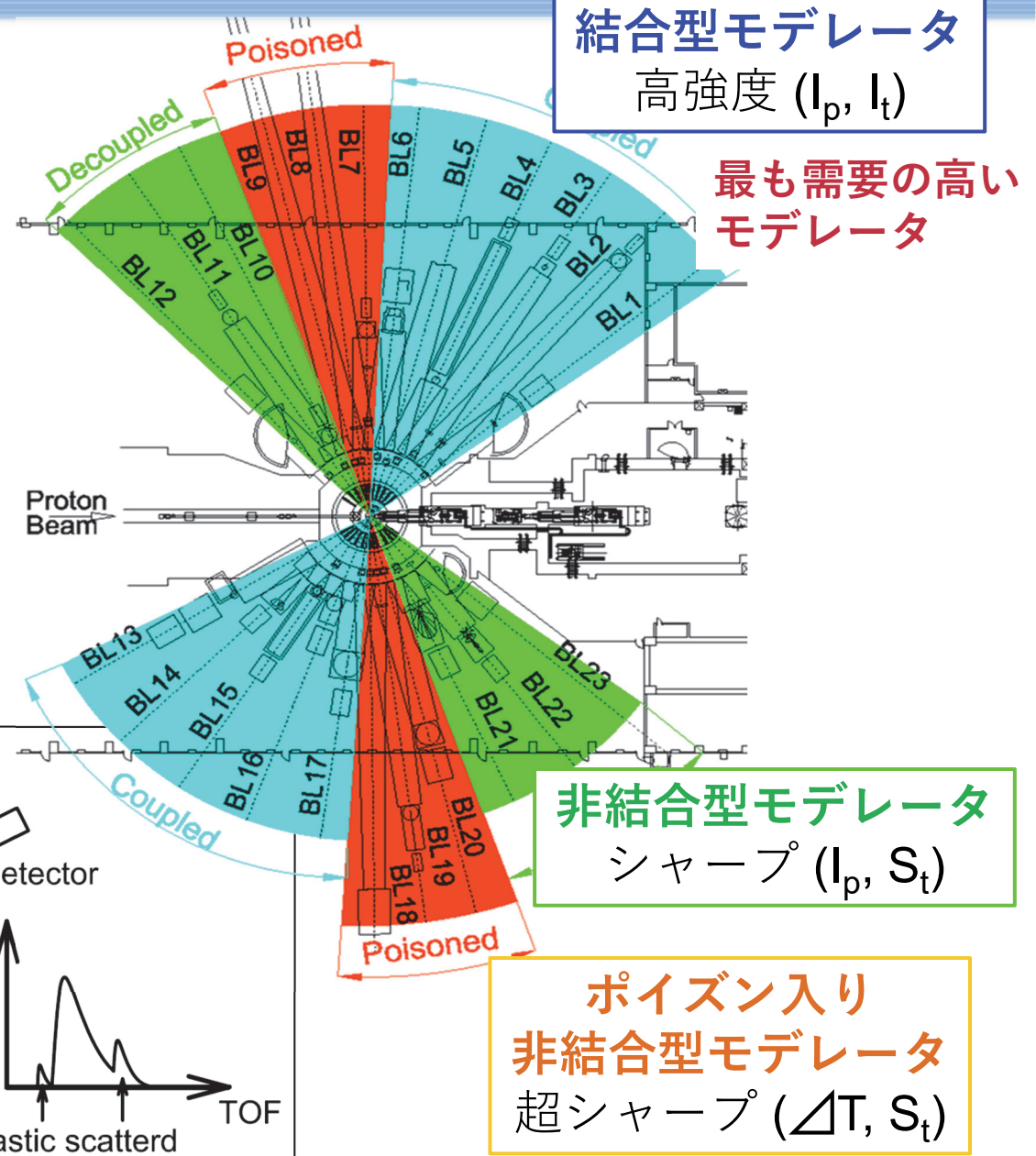
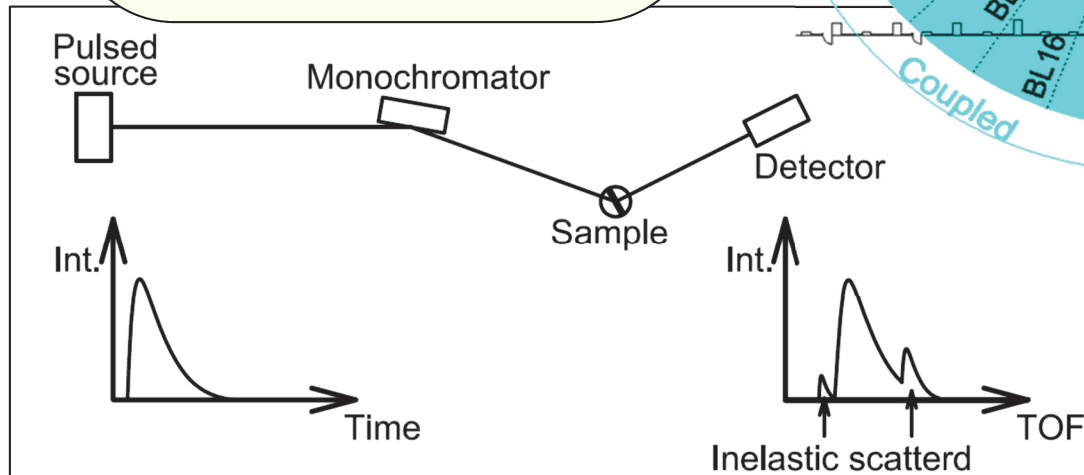
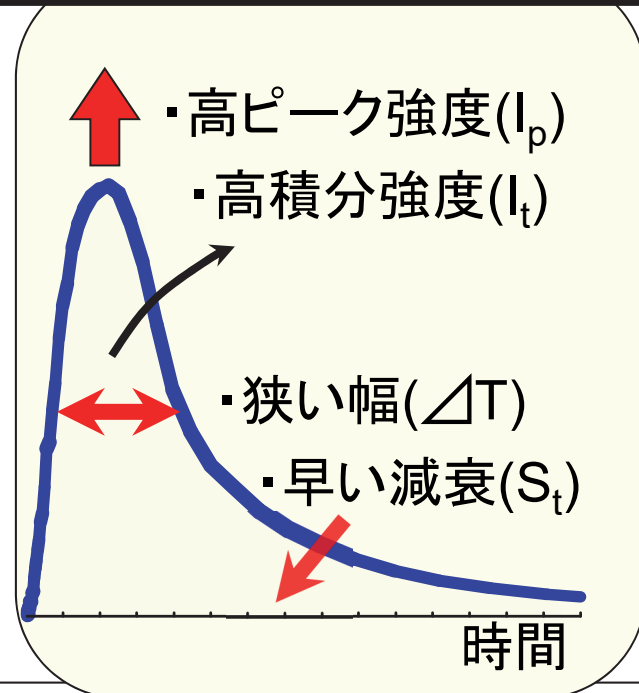




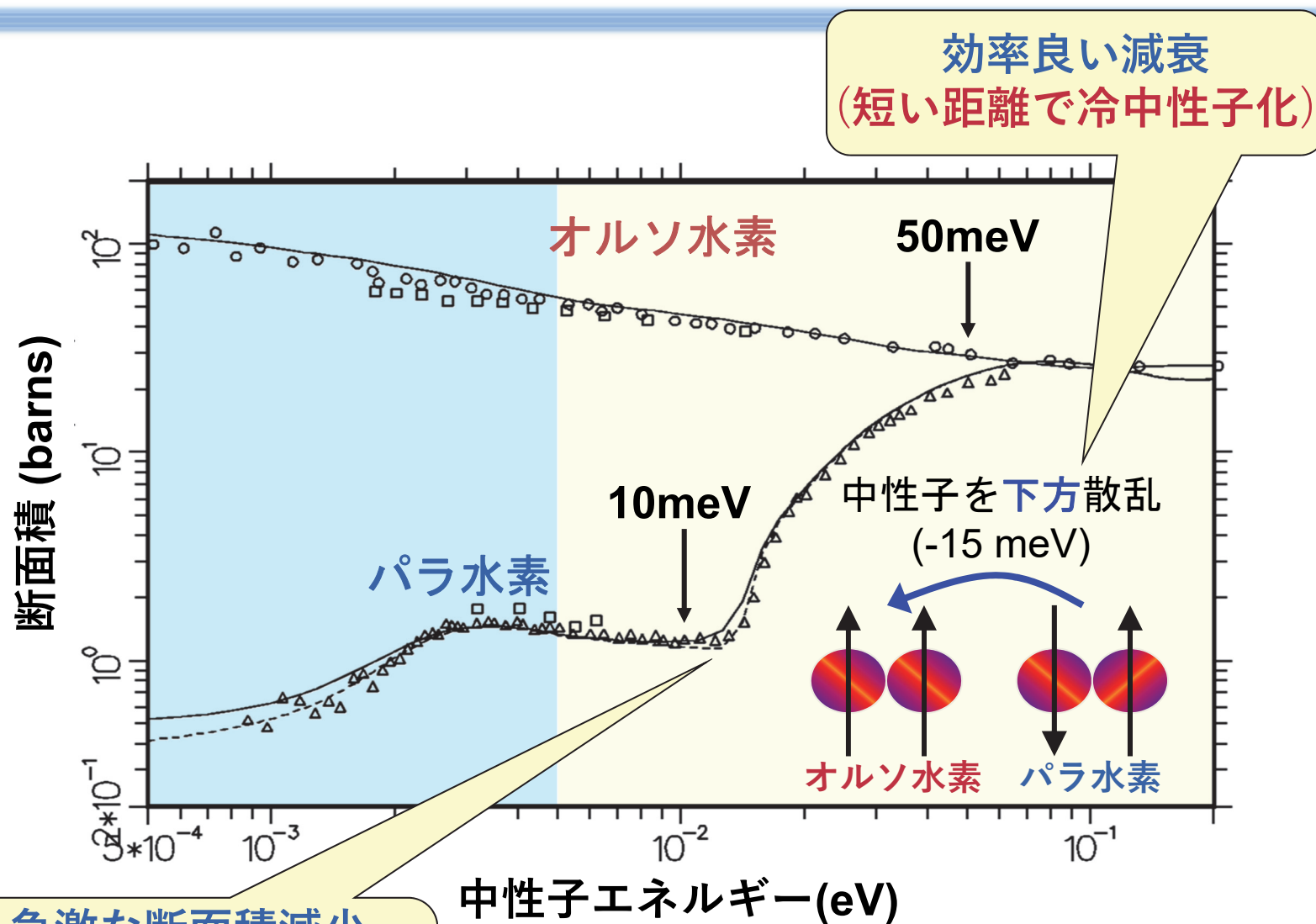
アウターライナーの搬入
(常陸那珂港から)

実験装置が求める中性子特性とモデレータ

中性子ビームの重要な4因子



パラ水素とモデレータの性能

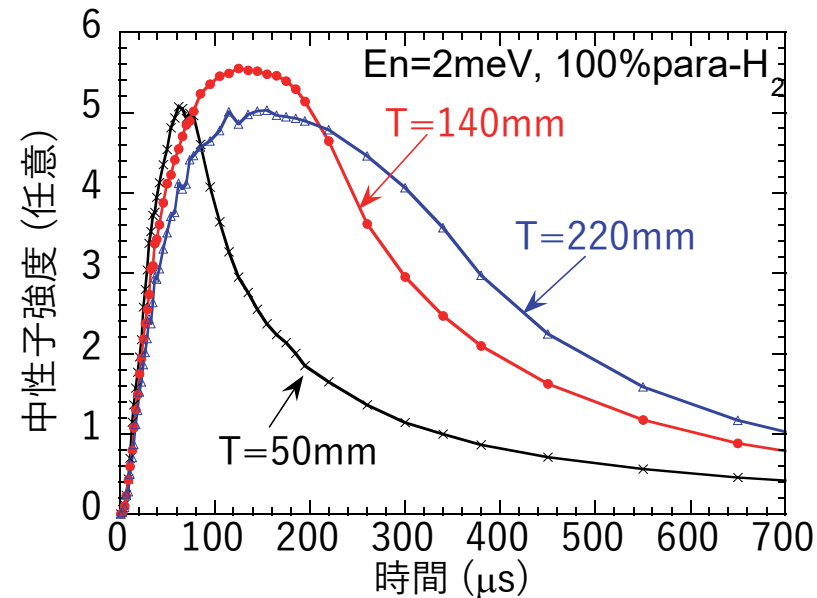
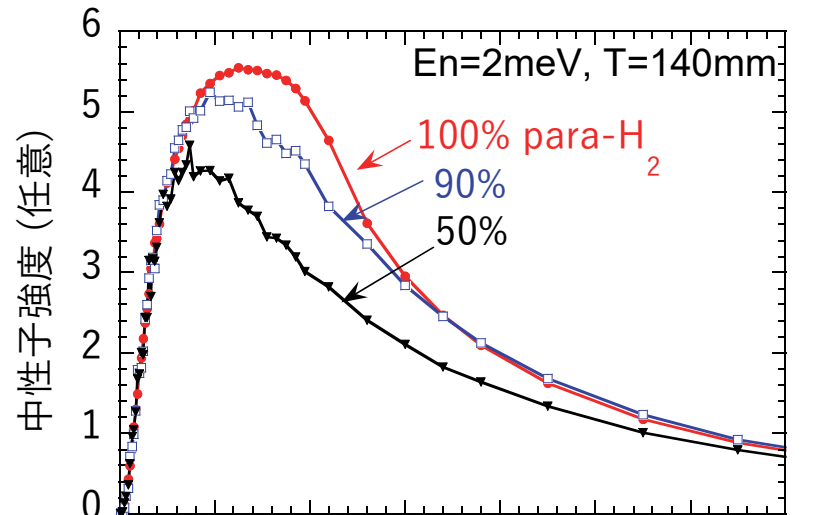


R. E. MacFarlane, "Cold-moderator scattering kernel methods",
LA-UR-98-655, Los Alamos National Laboratory, 1998.

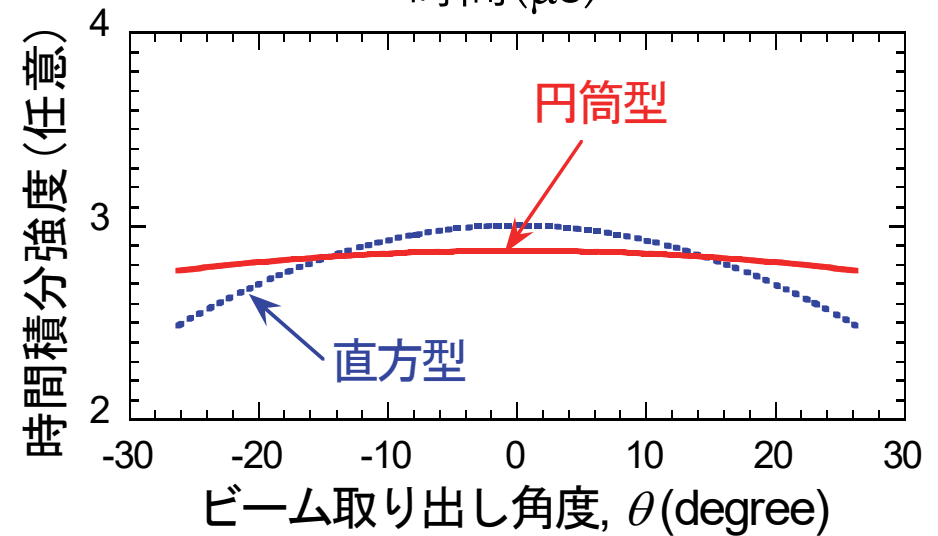
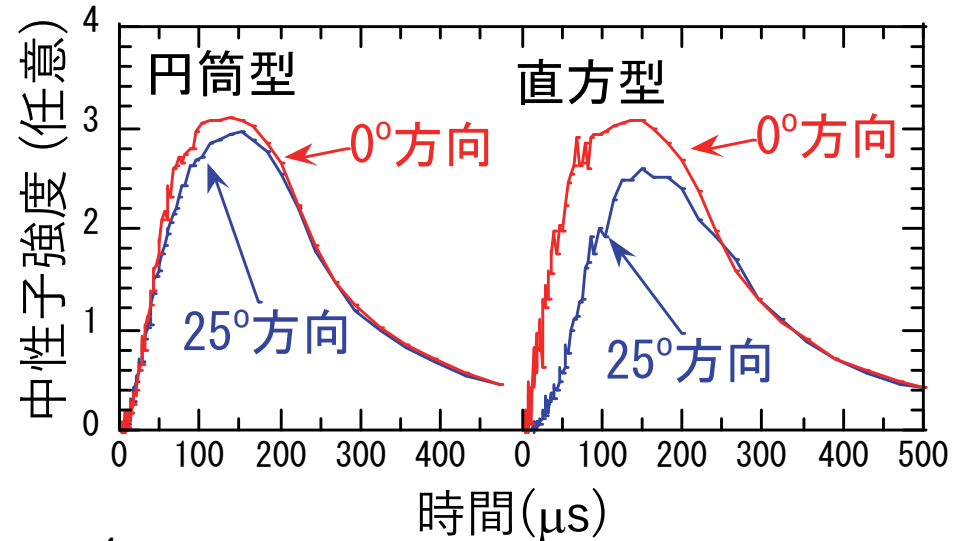
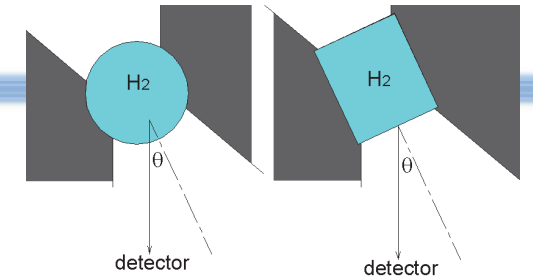
結合型モデレータの高性能化研究

8/20

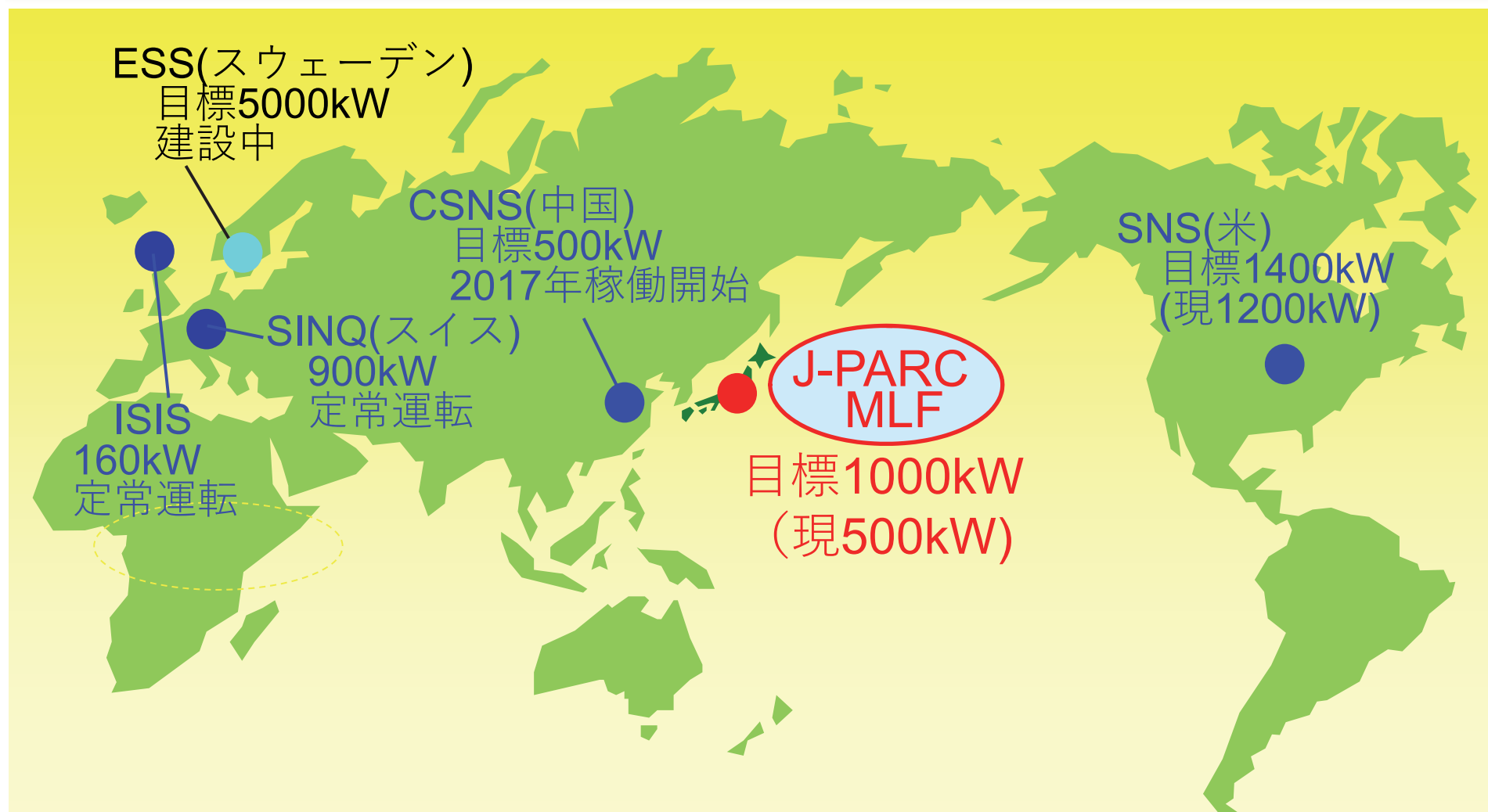
モデレータ厚さ、パラ水素濃度の影響



円筒型 vs 直方型



加速器を用いた世界の大強度中性子源



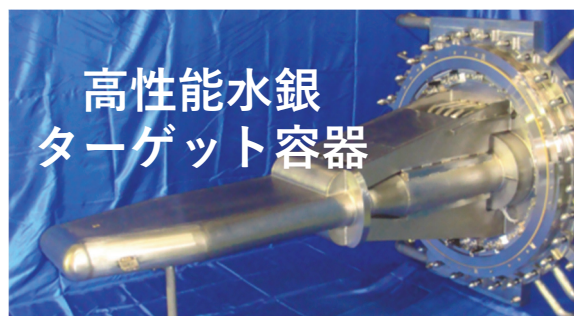
- SINQは連続ビーム、その他はパルスビーム
- 世界の主要な国々で大強度中性子源の開発が進行中

J-PARC MLF (物質・生命科学実験施設)



J-PARC

JAEAの技術開発の成果



高性能結合型
モデレータ

パルス当たりの中性子強度
J-PARCが世界一に！



単位: 10^{12} n/(sr·pulse)

エネルギー分析型 中性子イメージング技術の開発

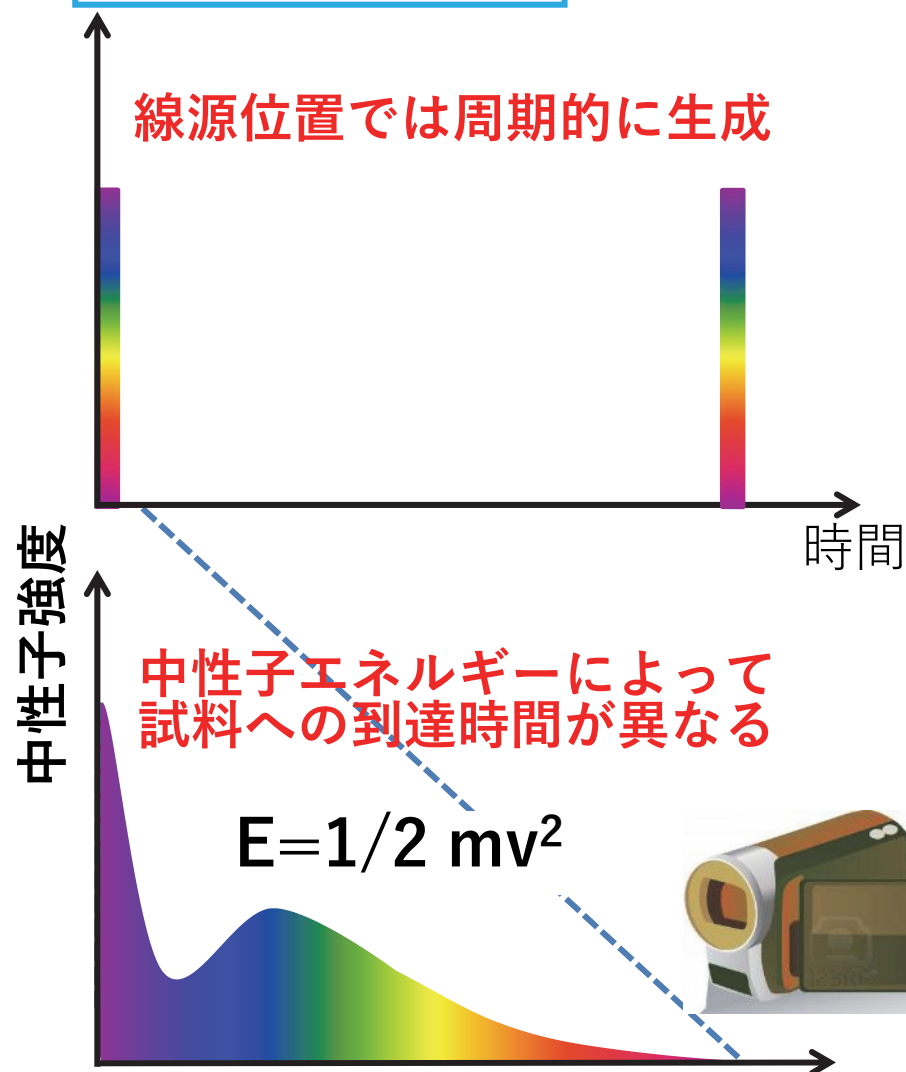
定常中性子源とパルス中性子源

定常中性子源



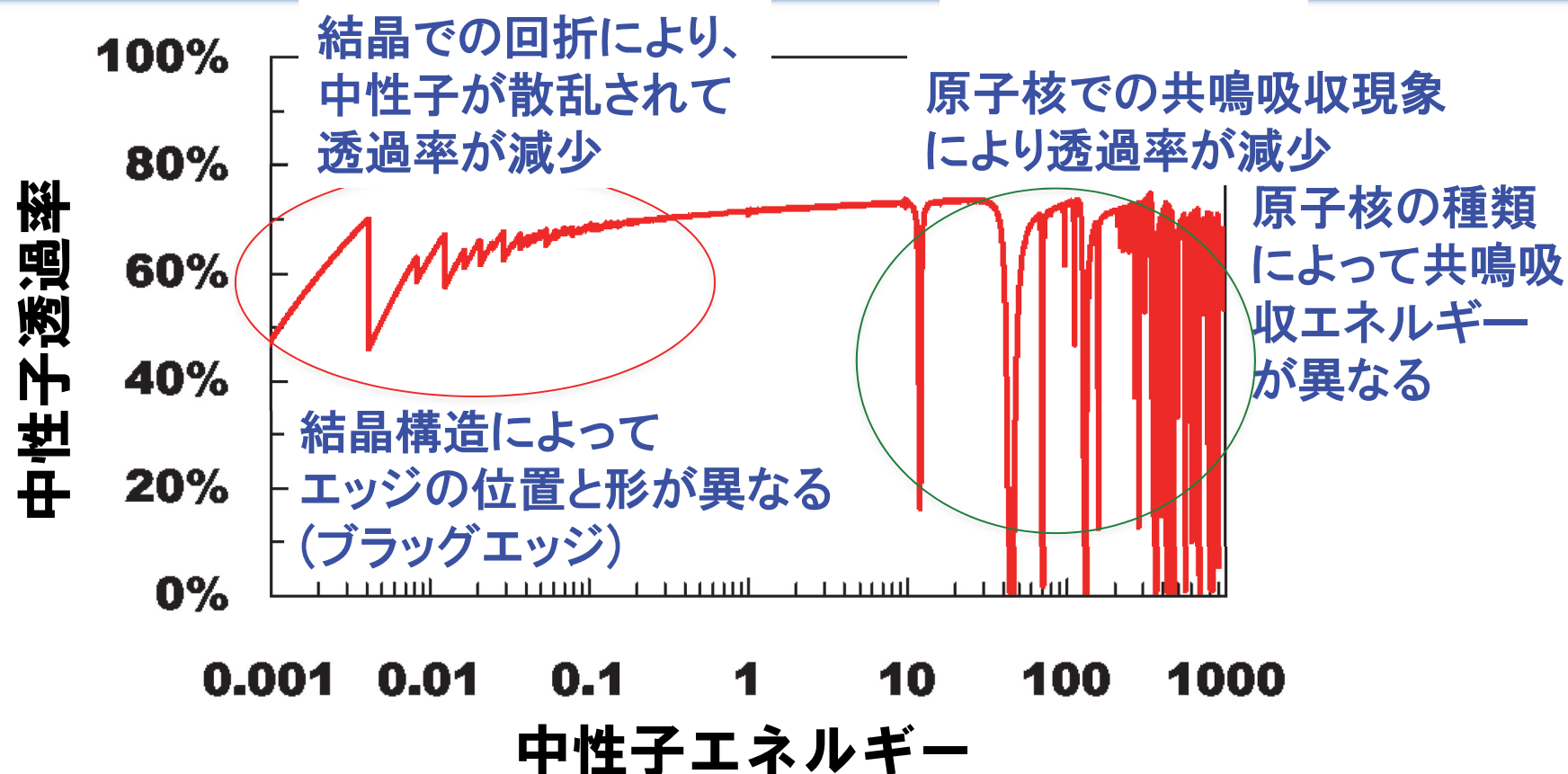
パルス中性子源

線源位置では周期的に生成



中性子の飛行時間からエネルギーを分析 (飛行時間分析法)

中性子反応のエネルギー依存性

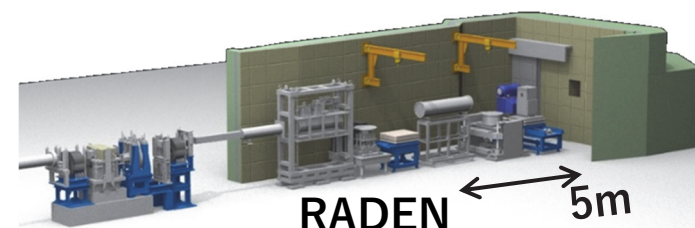


中性子反応のエネルギー依存性を解析

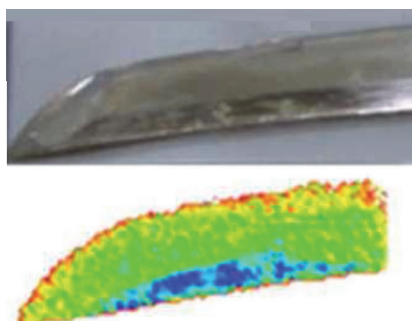
- ブラッグエッジイメージング (結晶)
- 共鳴吸収イメージング (元素、温度)
- 磁気イメージング (磁場)

エネルギー分析型中性子イメージング装置「RADEN」

- J-PARCの中性子源の特長を活かす**世界最初のエネルギー分析型**中性子イメージング装置。
 - 高性能のラジオグラフィ装置としても機能。
高空間分解能、大面積、広い実験室空間
 - エネルギー分析型の**技術開発をリード**。
- 従来の中性子ラジオグラフィの枠を超えた3種類の**定量的な最先端イメージング**手法。

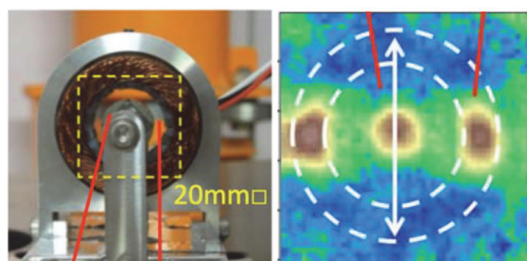


日本刀



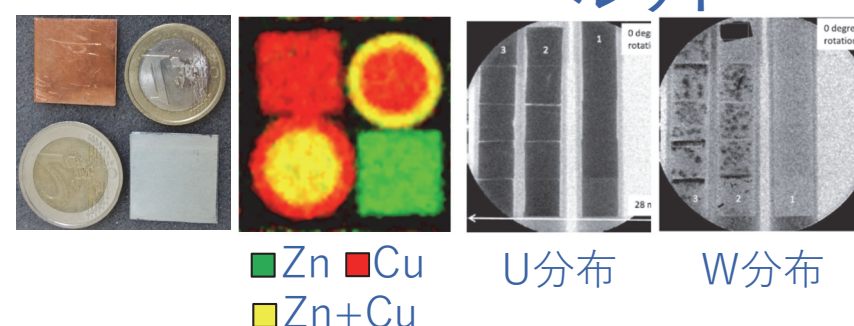
ブラッグエッジ
イメージング
(**結晶**情報)

モーター



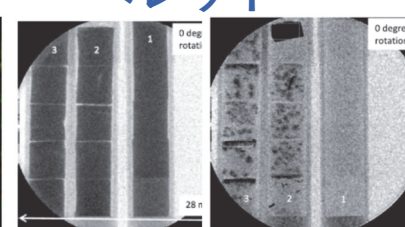
偏極中性子
イメージング
(**磁場**情報)

ユーロ硬貨



共鳴吸収イメージング
(**元素**情報、**温度**情報)

模擬核燃料
ペレット^[1]



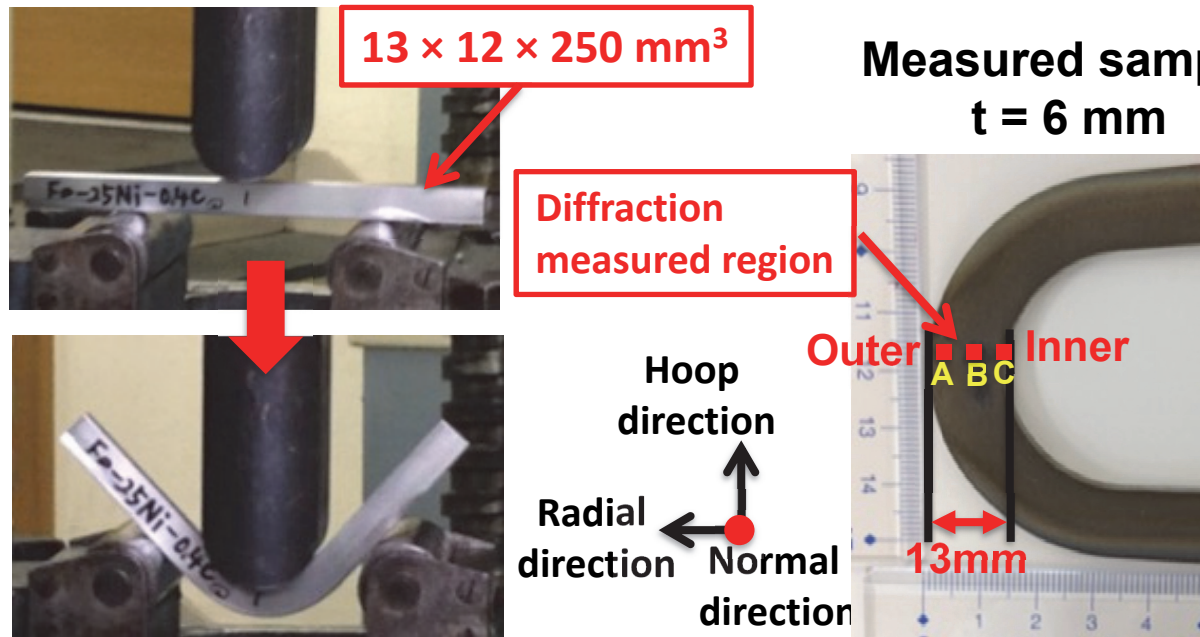
U分布 W分布

■ Zn ■ Cu
■ Zn+Cu

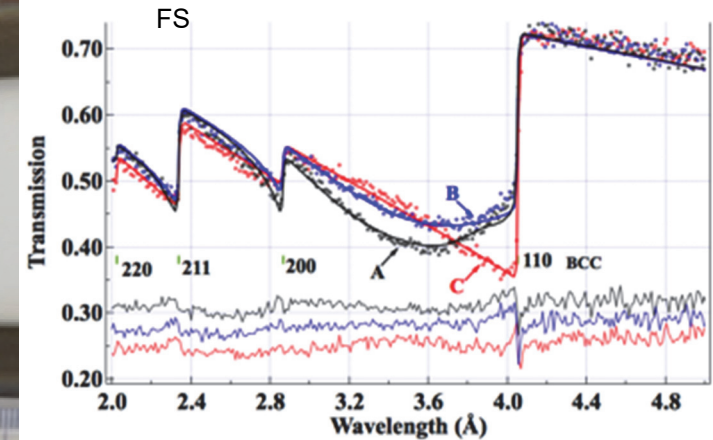
[1] A.S. Tremsin, et al., J. Nucl. Mat. 440 (2013) p.633

ブラッグエッジの実験例 曲げ加工材の微細組織構造評価

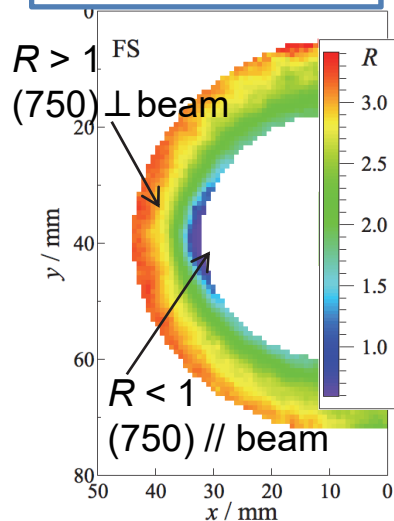
Y.H. Su, et al., Phys. Procedia 88 (2017) p.42



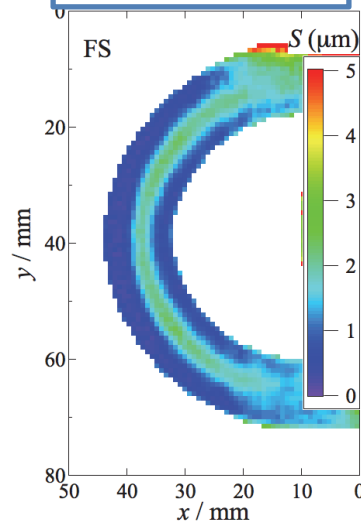
Transmission spectra



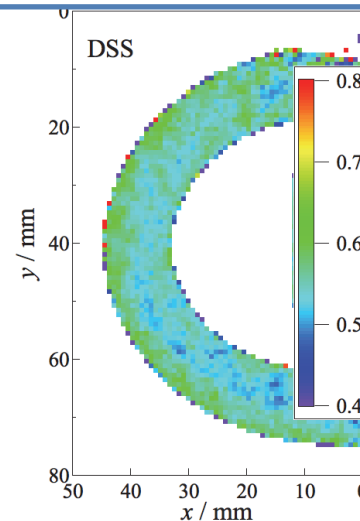
Texture variations



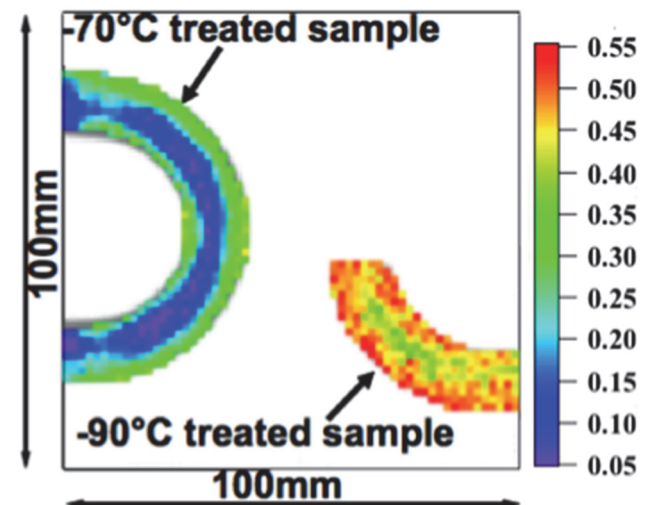
Crystallite size



Ferrite volume fraction

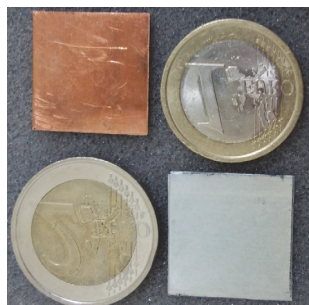


Martensite volume fraction

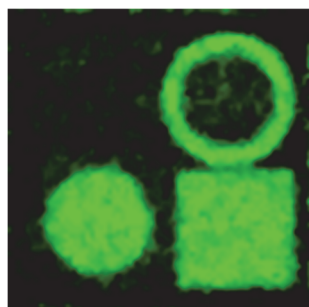
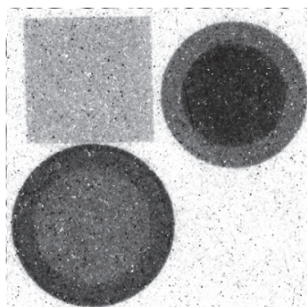


Coefficient of the MD function, R , the degree of the preferred orientation.

試料写真



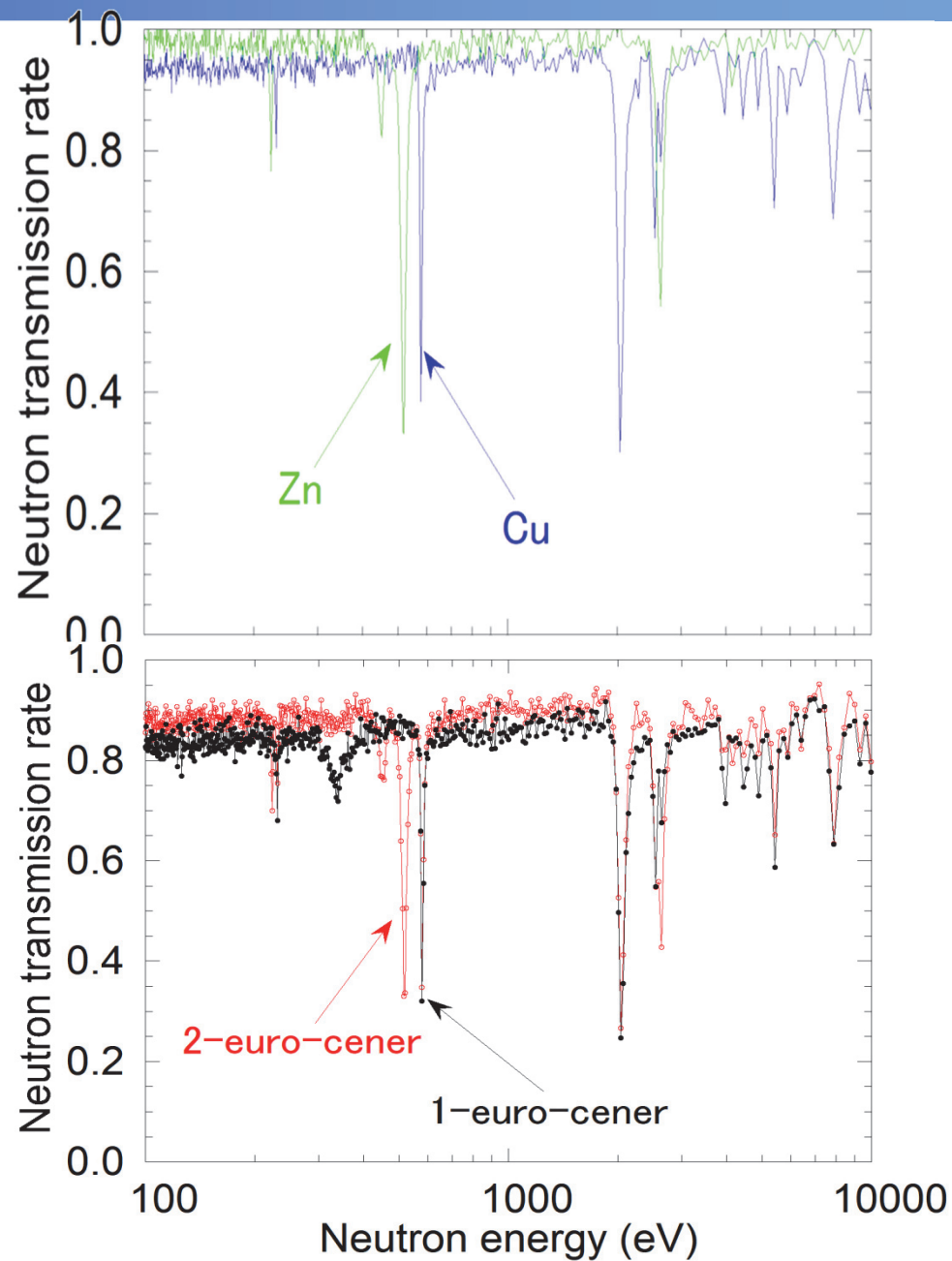
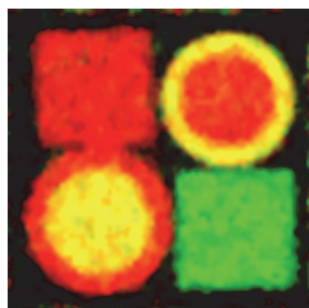
透過像
(エネルギー毎)



0.5 keV (Zn)



2 keV (Cu)



元素分布計測の適応性評価

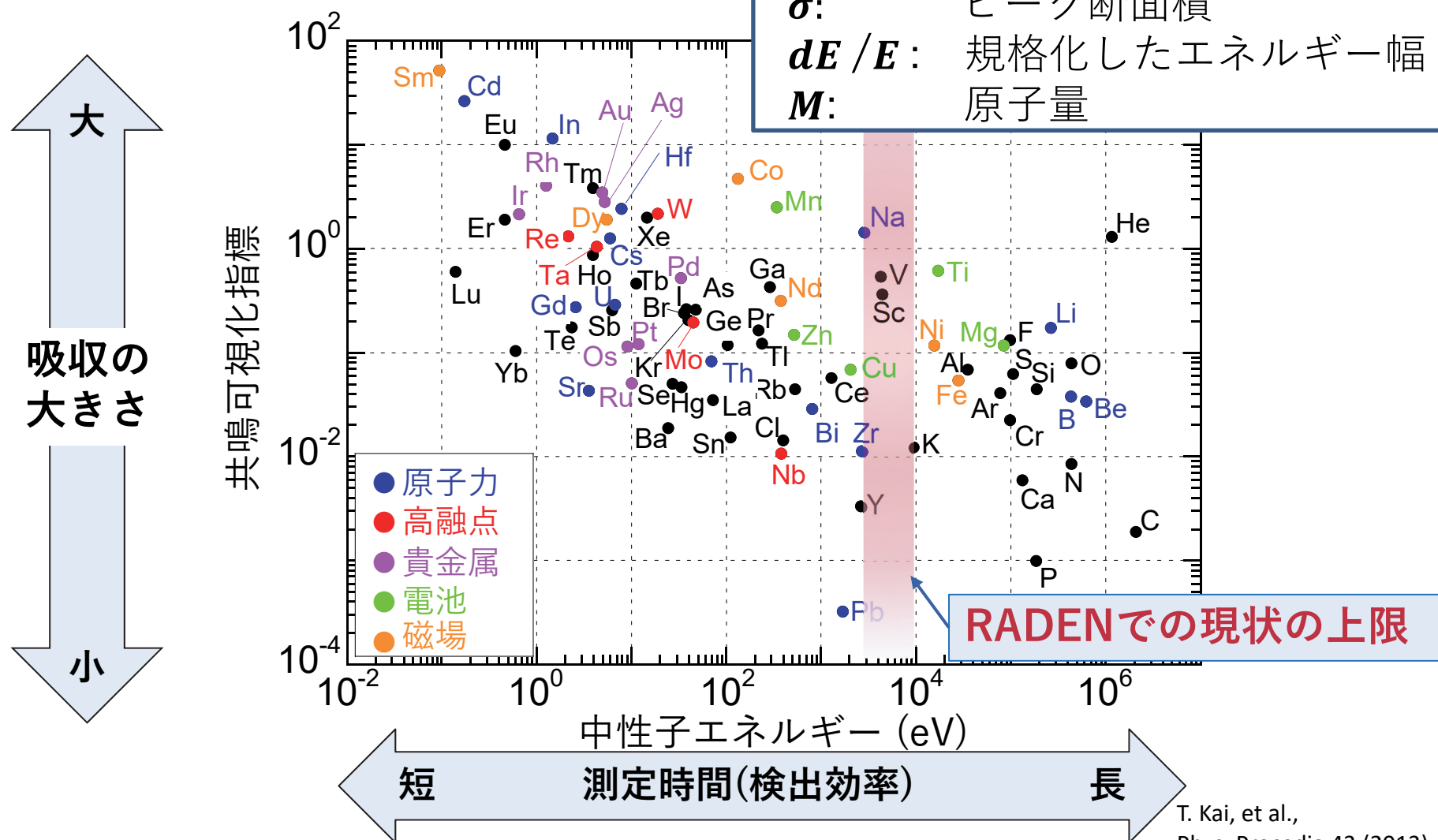
元素毎に共鳴吸収イメージングに最も適した共鳴を選択して比較。

$$\text{共鳴可視化指標} = \sigma \frac{dE}{E} \frac{1}{M}$$

σ : ピーク断面積

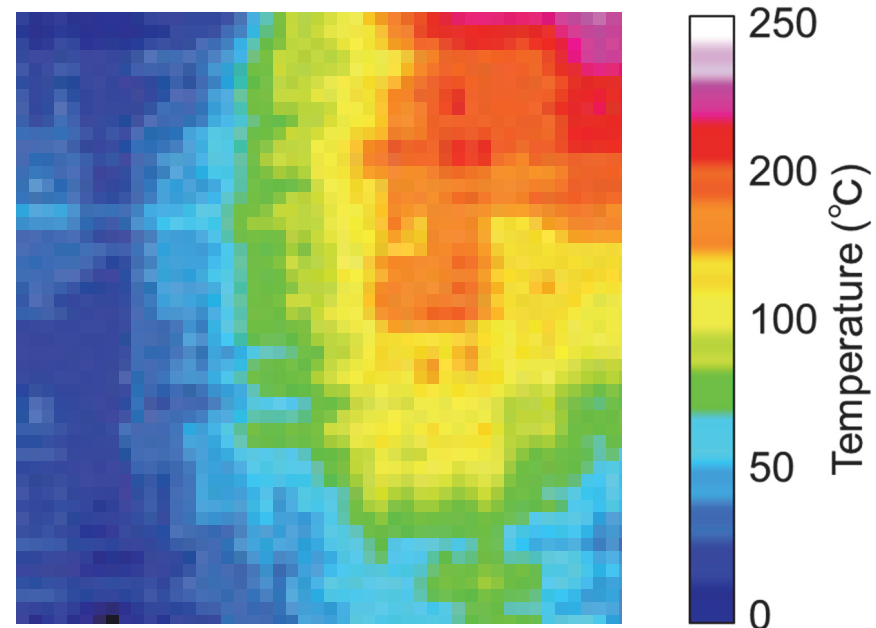
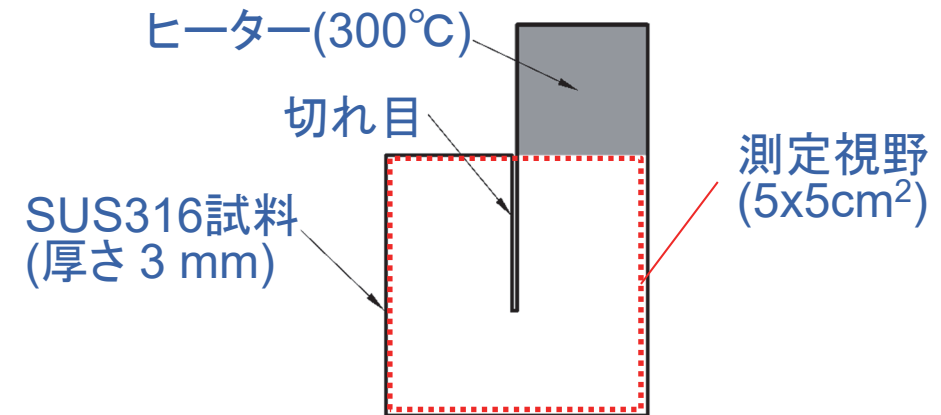
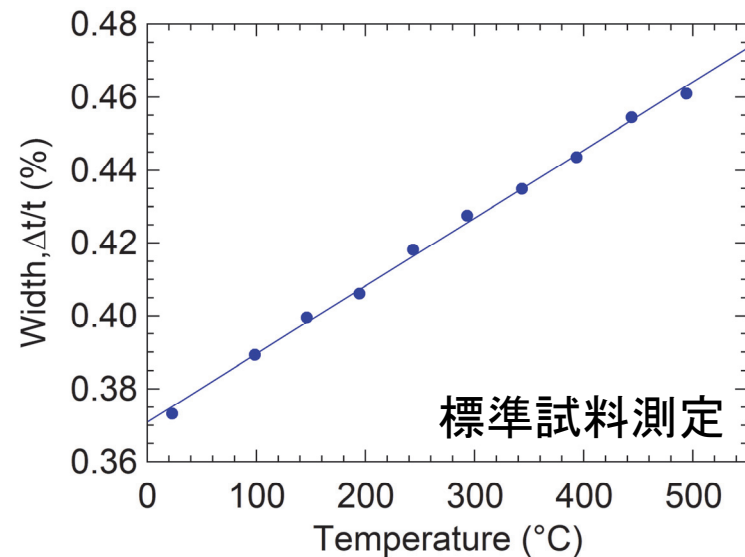
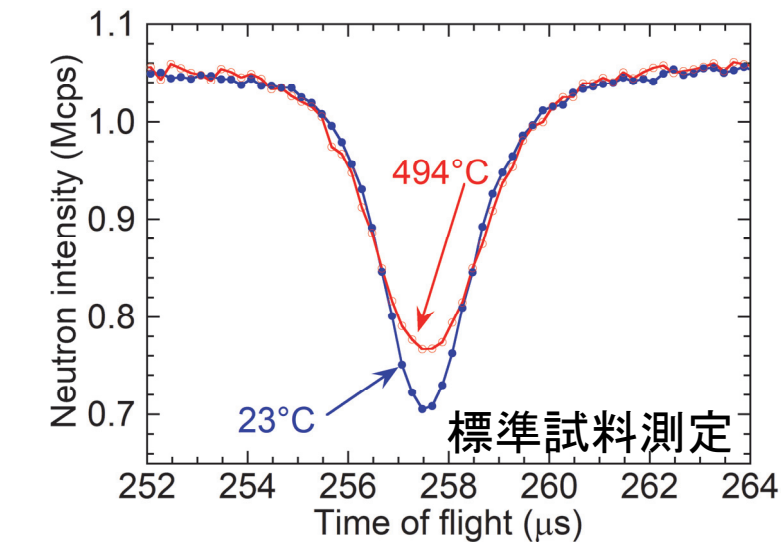
dE/E : 規格化したエネルギー幅

M : 原子量



共鳴吸収イメージング実験例 SUS316の温度分布測定

- 共鳴のドップラーブロードニング解析による温度測定
- SUS316中のMoの共鳴を利用



まとめ

■ J-PARCパルス中性子源の開発

- **パラ水素100%**で最適化したモデレータを採用
 - **円筒形結合型モデレータ**の採用
- 500 kW出力(定格の**50%**)で、既に米国の核破砕中性子源SNSの**パルスピーク強度を凌駕**

■ エネルギー分析型中性子イメージング装置

- **世界で初めて**パルス中性子源に設置
- エネルギー分析型イメージングの**技術開発をリード**
- 次回の**利用課題公募**: 5/17(金)～6/7(金)
<http://j-parc.jp/researcher/MatLife/ja/applying/koubo.html>