



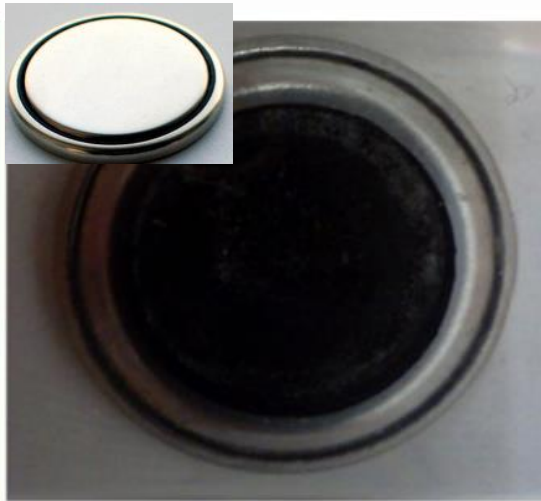
パルス熱外中性子を利用した 軽元素にも適用可能な 複数元素定量イメージング手法の開発

○石川 裕卓 佐藤 博隆 加美山 隆

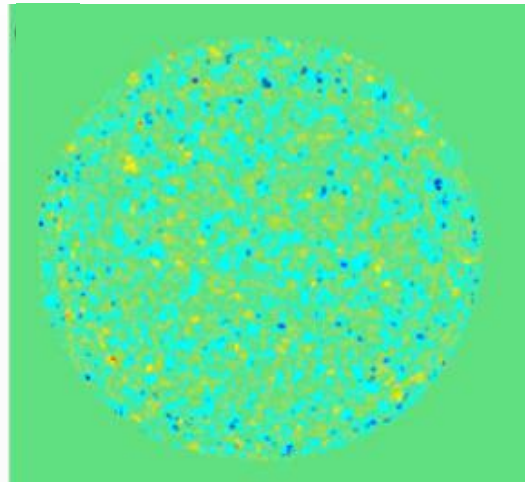
北海道大学大学院工学院

中性子ラジオグラフィの特長と課題

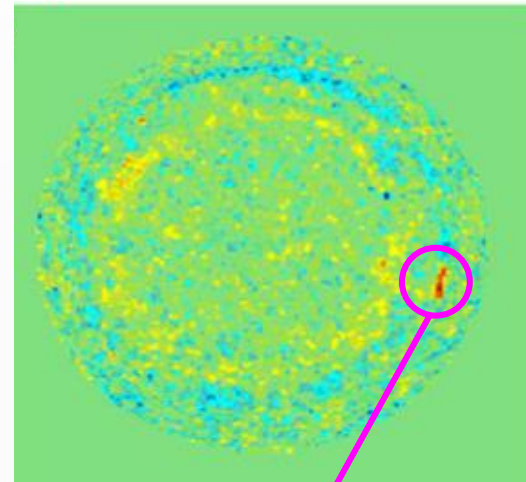
例: Liイオン電池



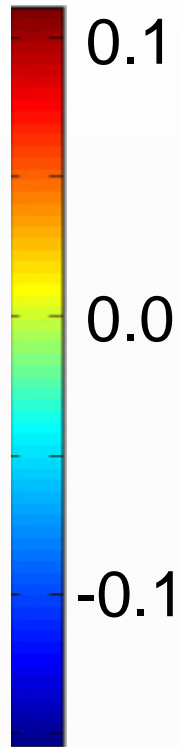
過充電2分後



過充電40分後



コントラスト差



graphite / $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$

A. Same *et al.*, J. Appl. Electrochem. 42 (2012) 1-9.

金属Li と Li_2CO_3

- 中性子は容器内の軽元素を非破壊で可視化
- ラジオグラフィの定量精度は10%程度

Li元素・C元素・O元素、それぞれの定量はできない

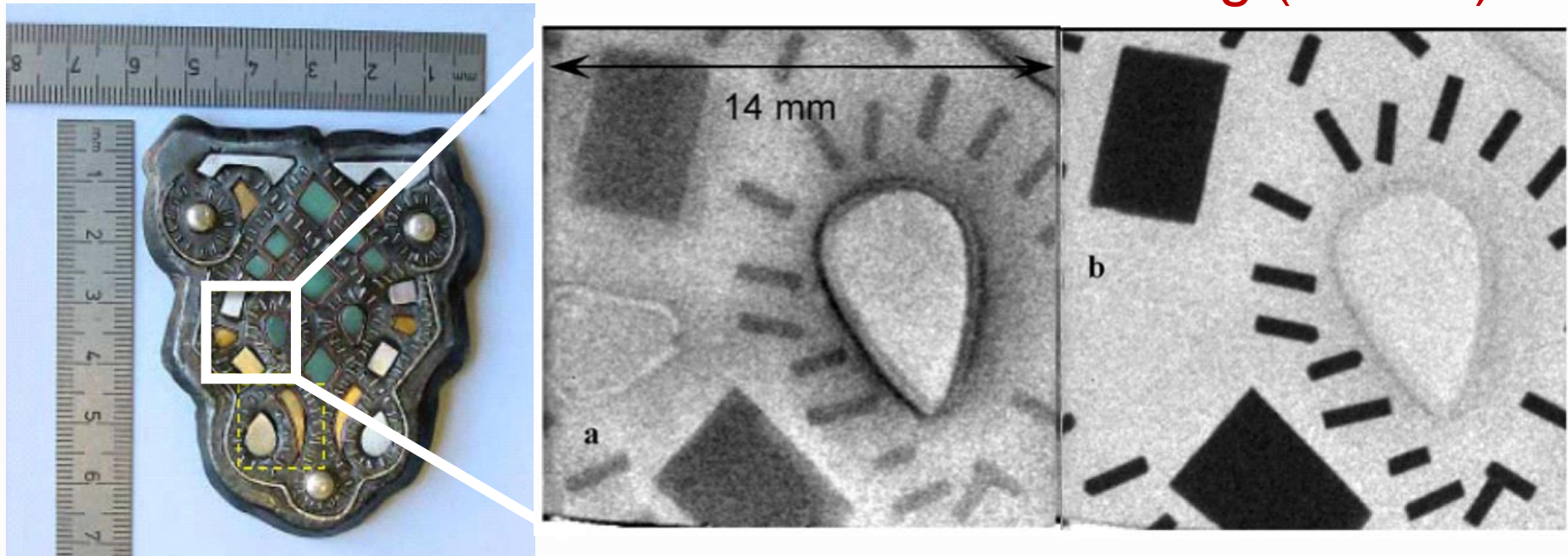
→ **元素毎の定量イメージングはできない**

中性子共鳴吸収イメージングの特長と課題

例:文化財 (Fe, Ag, Cu)

1-100 eV

Ag (5.3 eV)

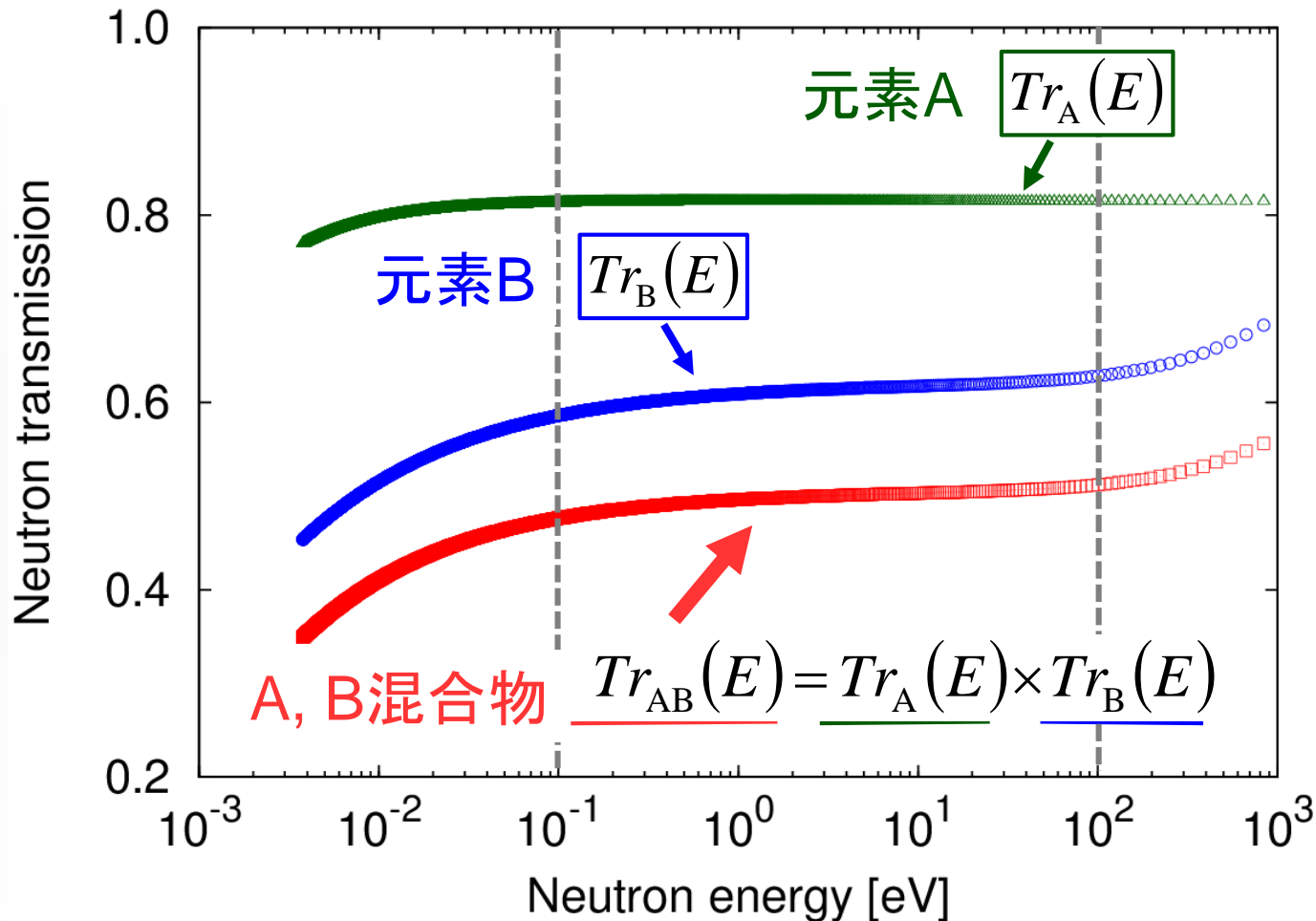


A. S. Tremsin *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. 59 (2012) 3272-3277.

- 複数元素の同定・定量イメージングが可能
- 定量精度はおよそ数%~10%程度

しかし、軽元素のイメージングは難しい。

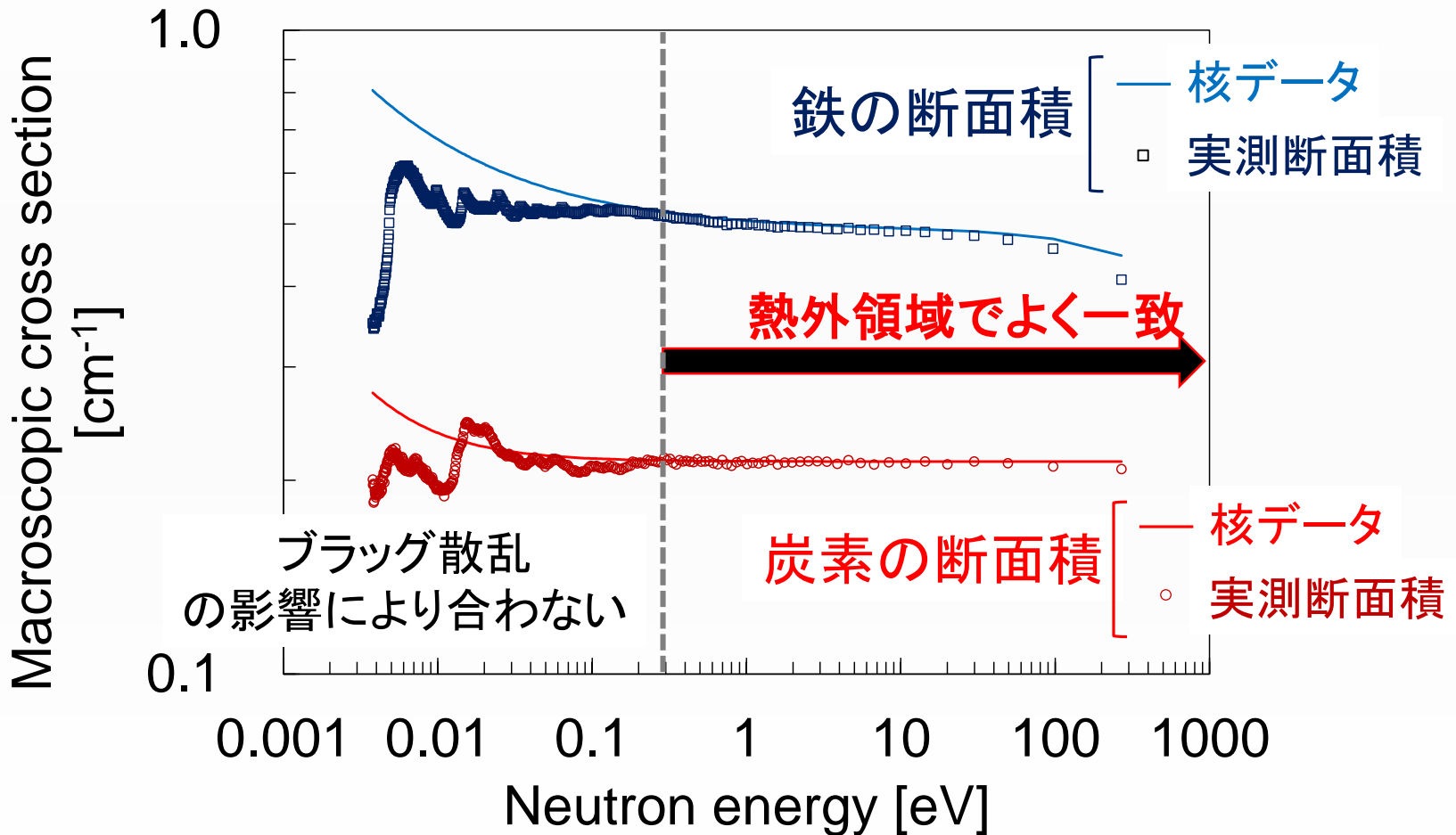
透過率スペクトルのエネルギー依存性



- **透過率スペクトル**は異なる依存性を持つ複数のスペクトルからなる。
- スペクトルの依存性は**元素に固有**→各元素の量を推定できるはず。

FeとCの全断面積のエネルギー依存性

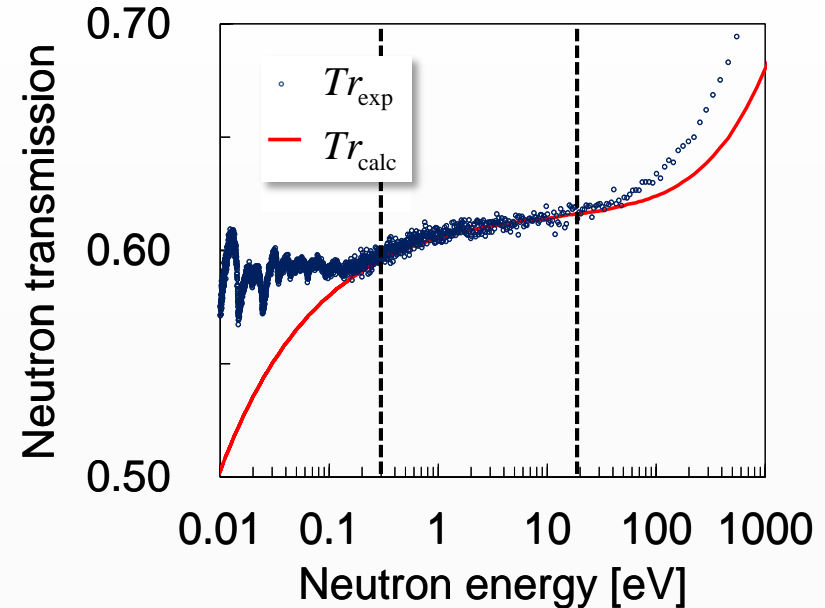
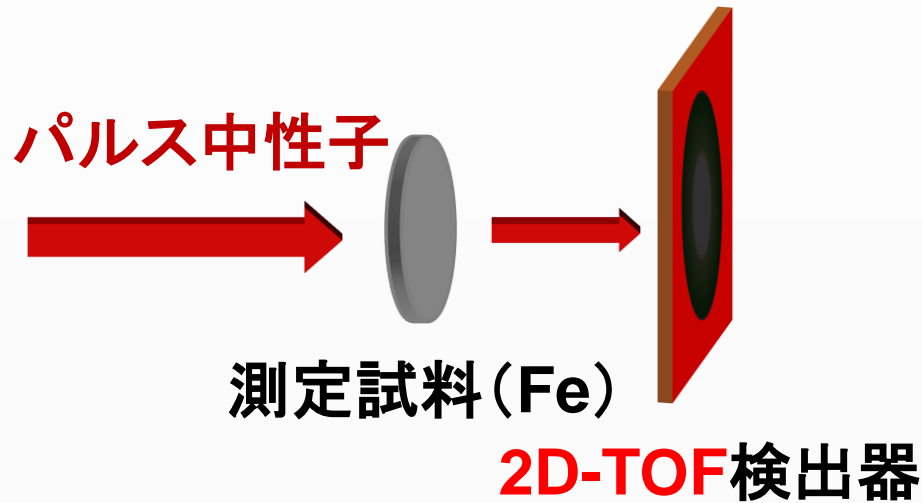
各元素の全断面積の依存性は**核データ**にまとめられている。



熱外中性子の核データを利用することで、元素の定量が可能

パルス熱外中性子透過法による定量方法

1. 透過率スペクトルの測定



2. Lambert-Beerの式を使ってフィッティング

$$Tr(E) = \exp(-N\sigma(E))$$

投影原子数密度 (パラメータ) 核データ (既知)

投影原子数密度 [cm⁻²] = 原子数密度 [cm⁻³] × 厚さ [cm]

研究目的

熱外中性子の透過分光を利用して、軽元素を含む複数元素の定量イメージングが可能な手法を開発する。

● Liイオン電池内のLi化合物

● 鉄中のさび

● ゴム中の添加剤

などの定量イメージング

目標とする精度は10%以内

発表内容

本手法の実証実験を行った。

- 単体試料に対して本手法を適用した結果
- 二元素の試料に対して本手法を適用した結果

実証実験の実験体系

北海道大学電子LINAC施設の熱中性子源にて行った。

加速器条件

加速エネルギー	出力	パルス幅	繰り返し周波数
34 MeV	1 kW	3 μ s	50 Hz

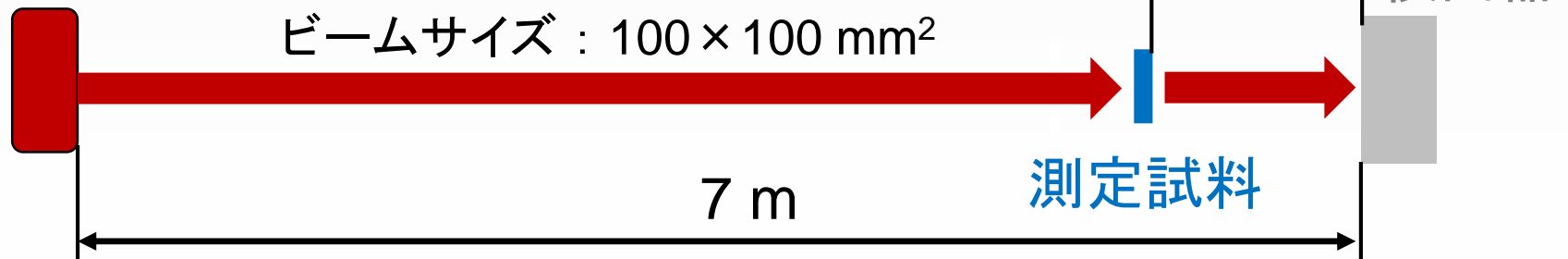
中性子源条件

ターゲット	減速材
鉛	ポリエチレン

実験体系

パルス中性子源

ビームサイズ : 100 × 100 mm²



測定試料

単体試料及び二元素から構成される試料を用意した。

選定試料

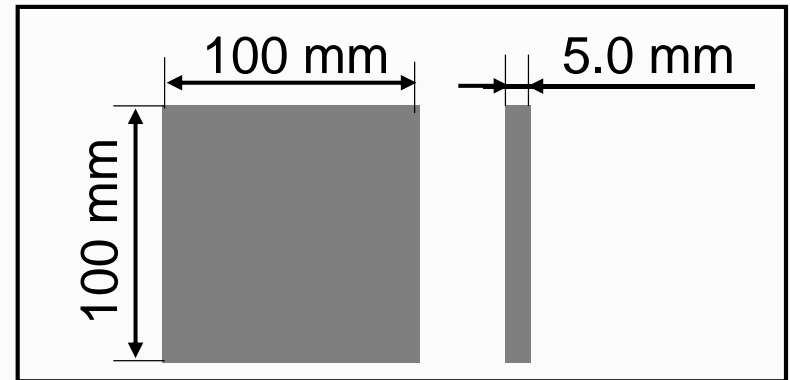
単体試料

- ・鉄 (5.0 mm厚)
- ・炭素 (5.0 mm厚)

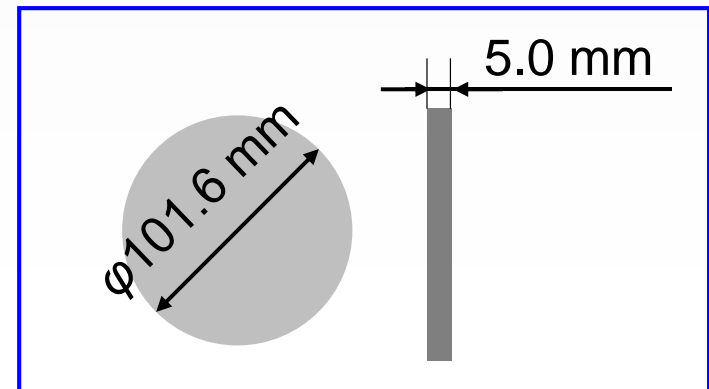
二元素試料

- ・酸化鉄 (Fe_3O_4)
- ・酸化チタン (TiO_2)

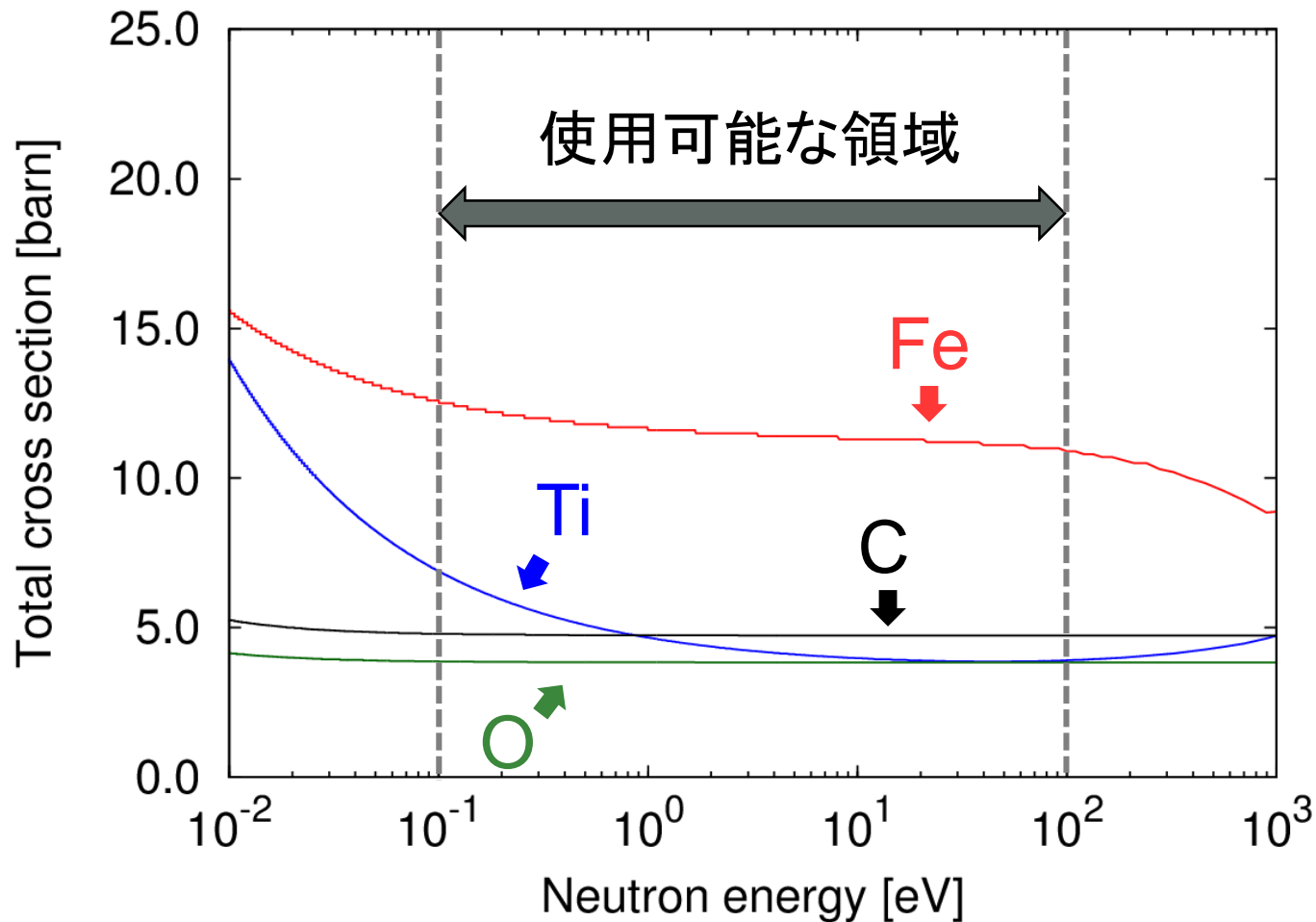
単体試料サイズ



二元素試料サイズ



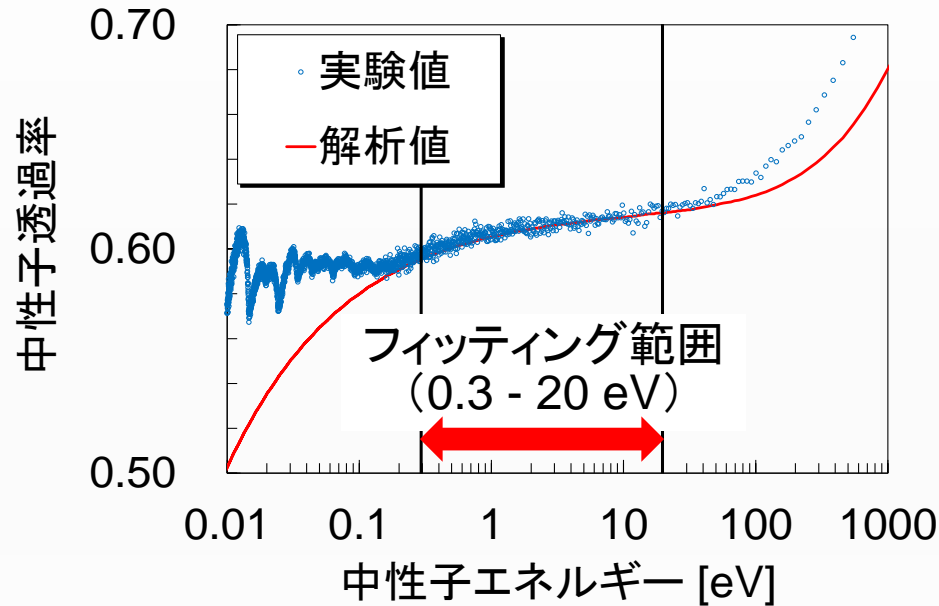
試料元素の全断面積エネルギー依存性



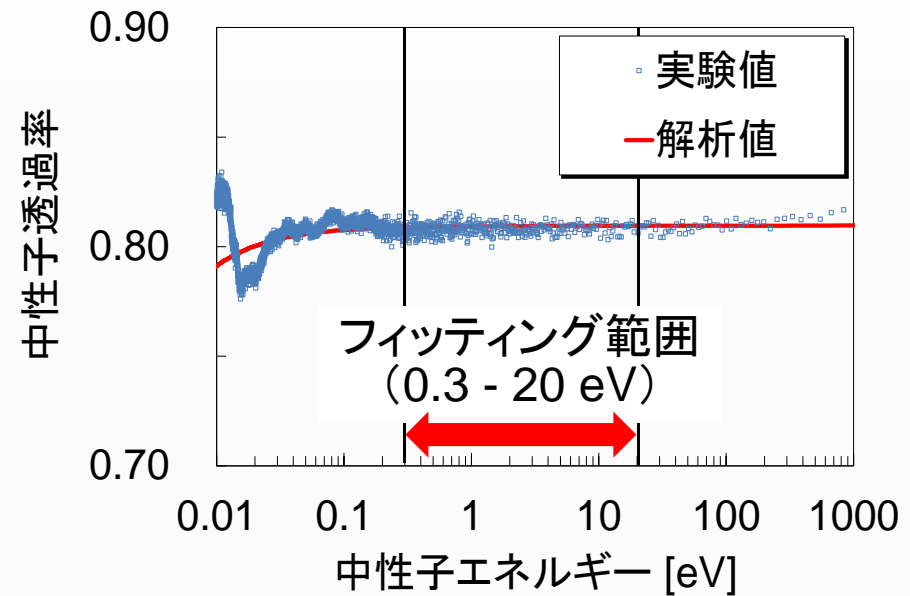
- Tiは、Feに比べてエネルギー依存性が大きい
- C, Oは、エネルギー依存性がほとんどない

単体試料に対する実験結果

鉄



炭素

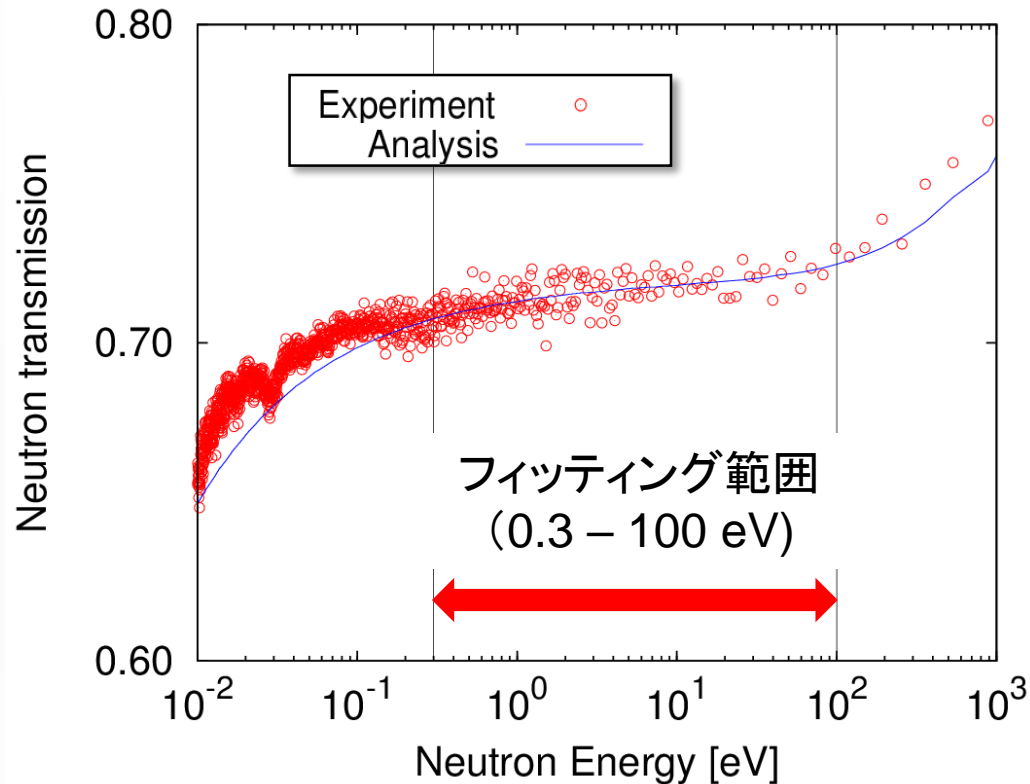


試料	重量計算値* [cm ⁻²]	解析値(投影密度)** [cm ⁻²]	差 [%]
鉄	4.35×10^{22}	4.29×10^{22}	-1.4
炭素	4.51×10^{22}	4.49×10^{22}	-0.5

*試料の重量及び体積から算出した投影密度

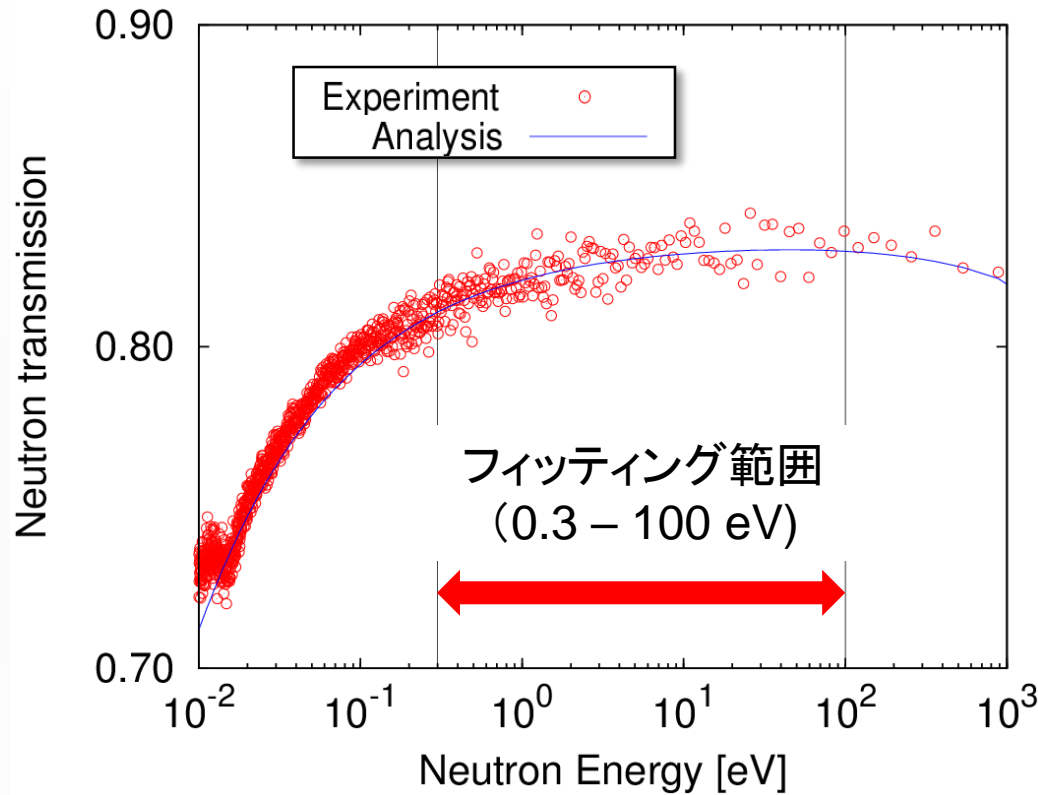
**フィッティングにより求めた投影密度

酸化鉄 (Fe_3O_4) 試料の定量結果



試料	重量計算値 [cm ⁻²]	解析値(投影密度) [cm ⁻²]	元素比	差 [%]
鉄	1.92×10^{22}	2.11×10^{22}	3	+9.9
酸素	2.55×10^{22}	2.39×10^{22}	3.4	-6.3

酸化チタン(TiO_2)試料の定量結果



試料	重量計算値 [cm^{-2}]	解析値(投影密度) [cm^{-2}]	元素比	差 [%]
チタン	1.52×10^{22}	1.51×10^{22}	1	-0.7
酸素	3.05×10^{22}	3.31×10^{22}	2.2	+8.5

まとめ

元素固有の熱外中性子全断面積のエネルギー依存性に着目し、軽元素を含む複数元素の定量手法を開発した。

- 単体試料では、1%程度で定量
- 複数元素試料では、10%程度で定量
- エネルギー依存性が大きい元素では、定量精度が向上

今後

➤ 手法としての課題

- 本手法に適した元素の組み合わせを明らかにする
- 手法の適用範囲を多元素へ拡張する
- 100 eV以上のエネルギー領域を使用するための実験体系の改良

➤ イメージングを行う上での課題

- 試料検出器間距離の最適化