

原子力システム研究開発事業

(放射性廃棄物減容・有害度低減技術研究開発 タイプB)

核変換システム開発のための長寿命MA核種の
高速中性子捕獲反応データの精度向上に関する研究

研究代表者 片渕 竜也（東京工業大学）

岩本修、木村敦、岩本信之、中村詔司、Gerard Rovira、
遠藤駿典（JAEA）、堀順一、芝原雄司（京都大学）

令和4年2月2日

目次

1. 研究の背景
2. 研究目標と全体研究計画
3. 研究成果
 - － 項目① 中性子フィルター装置の開発
 - － 項目② NaI検出器を用いた中性子捕獲断面積測定
 - － 項目③ MA試料中のPu分析技術の開発
 - － 項目④ MA核データファイルの整備
4. まとめ

研究の背景

核変換処理システムによる放射性廃棄物の減容・有害度低減

- 加速器駆動型システム(ADS)、高速炉 etc.

ADS設計において核データ誤差が炉物理パラメータの不確かさに影響

➔ 現状のMA核データはADS 設計の要求精度を未達成 (SG26 報告書)

➔ MAの捕獲断面積の影響が大きい

- 中性子エネルギー:

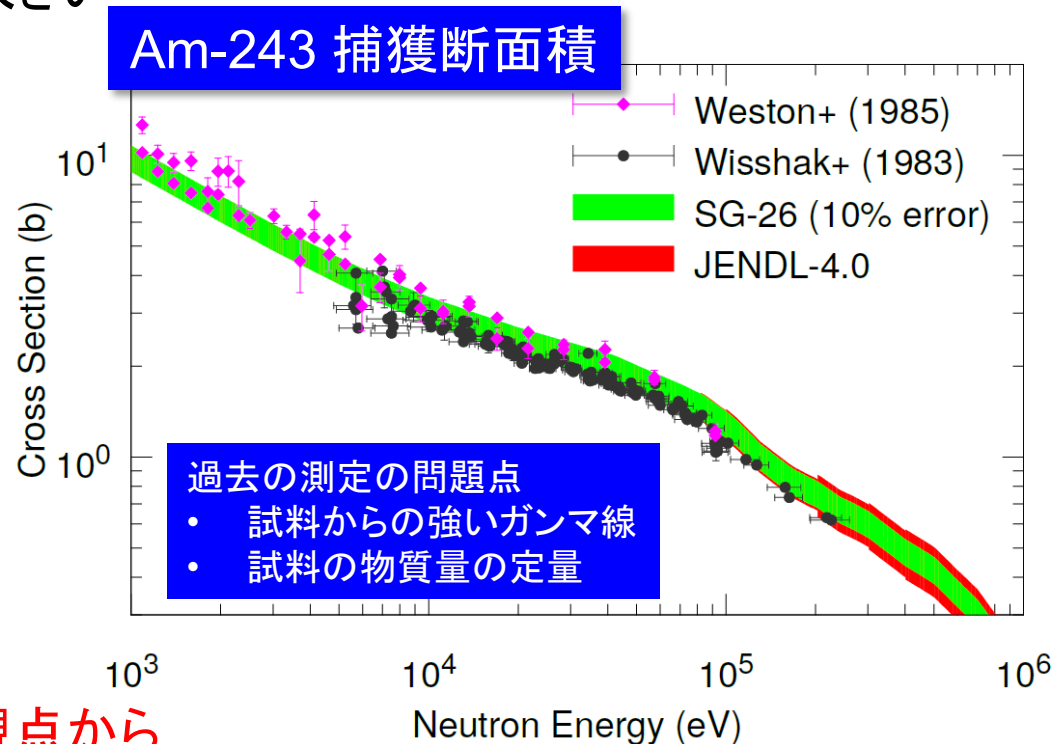
0.5 keV~500 keV

- 測定値が少ない
- 測定値の間に食い違い

- 現状の評価誤差>10%
- 評価断面積の誤差に反映

- 本研究: 目標精度 5%

現状誤差を半減するという観点から



研究の目標、計画

目標

世界最高強度のJ-PARCパルス中性子ビームを活用し、核変換システム開発に必要とされる高速中性子エネルギー領域における**MA核種の中性子捕獲断面積の精度向上**を目指す。

全体計画

研究項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
① 中性子フィルター装置の開発	中性子フィルター装置の設計・製作 ←→		中性子スペクトルの測定 ←→	
② NaI検出器を用いた中性子捕獲断面積測定	信号処理法の開発 ←→	データ収集系の試験 ←→ 試料回転装置の製作 ←→	J-PARCでの断面積測定 ←→	
③ MA試料中のPu分析技術の開発	MA試料分析手法の開発 ←→		分析標準試料の整備 ←→	MA試料の分析 ←→
④ MA核データファイルの整備	スペクトル導出法の開発 ←→		核反応理論解析 ←→	核データの評価 ←→

項目① 中性子フィルター装置の開発

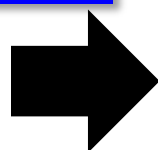
J-PARCは中性子ビーム量を増やすために**ダブルバンチモード**という特殊な運転を行っている。

2つの異なる中性子発生時間が存在し、異なるエネルギーの中性子が同時に試料に到達する。断面積測定障害となる。

中性子フィルターにより特定のエネルギーのみ選出し(単色化)、ダブルパルスによる中性子エネルギーの混在を解決する。

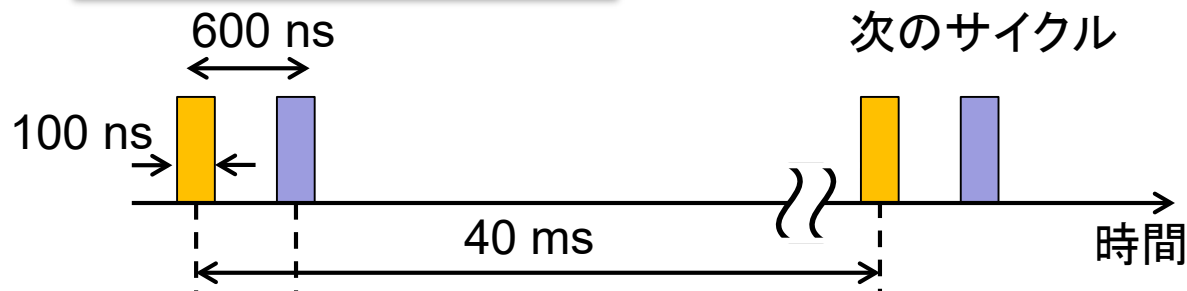
中性子フィルターによる単色化

連続スペクトル
中性子ビーム

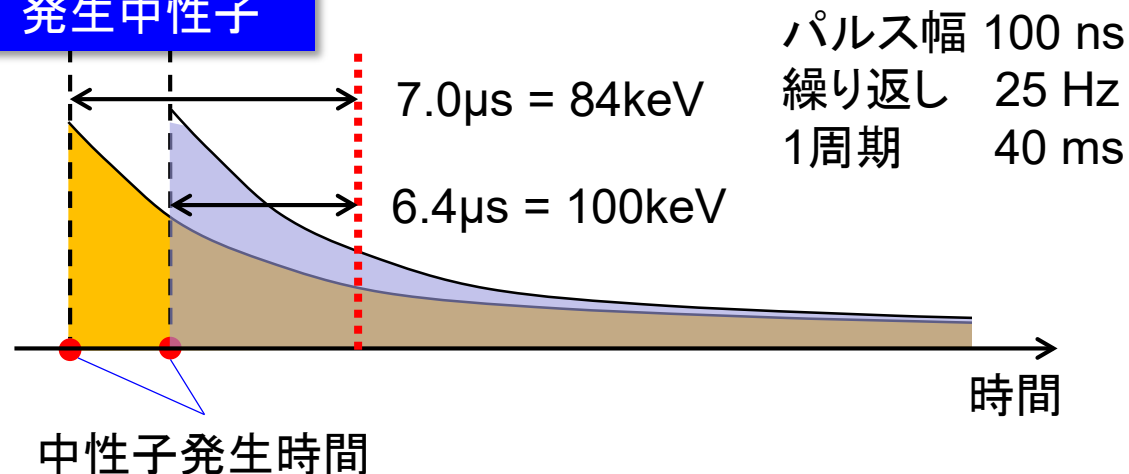


単色ビーム

陽子パルスの時間構造



発生中性子

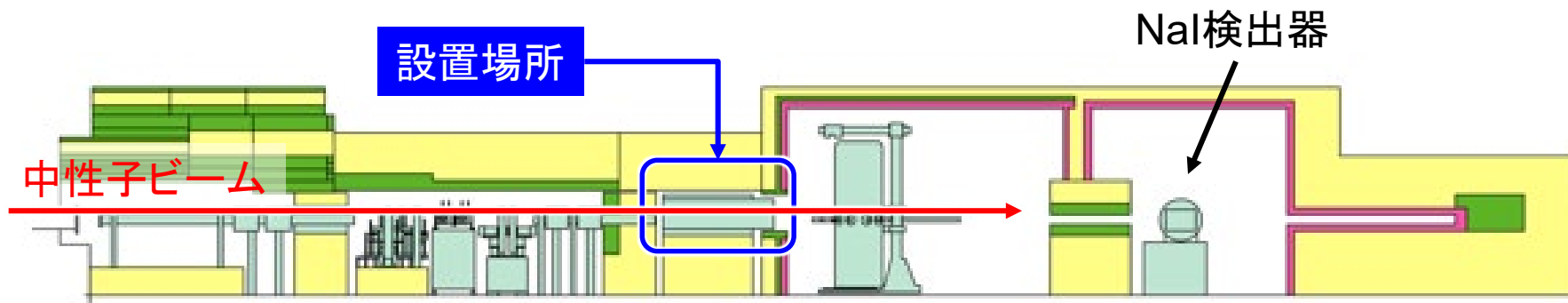


中性子フィルター装置の設計・製作

中性子フィルター装置を設計・製作し、性能評価のため、J-PARC及び東工大ペルトロン加速器において透過中性子の測定を行った。性能評価の結果、透過率が高く、バックグラウンドの小さいFe、Si、Crフィルターを実試料の測定に選定した。

製作した中性子フィルターをANNRIの可変コリメータ内に設置

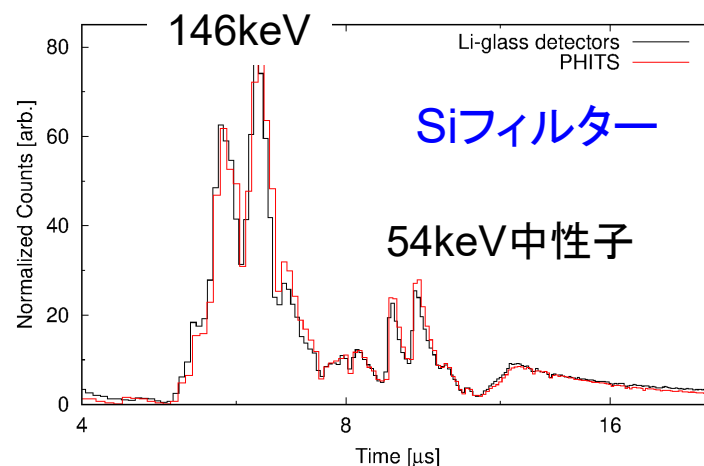
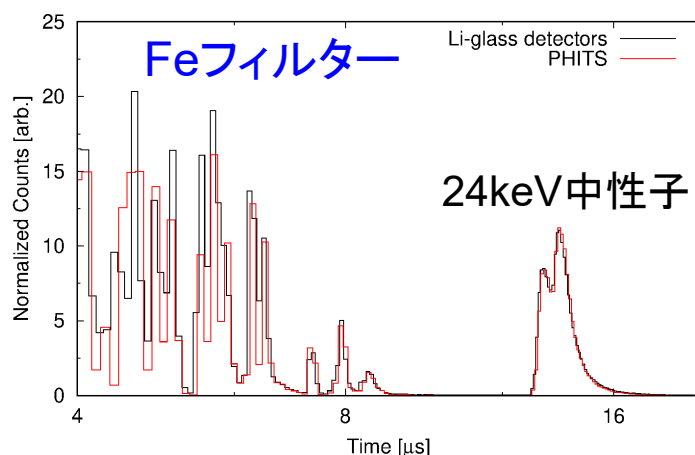
	En (keV)	厚さ (cm)
Fe	24	20
Si	54, 146	30
Cr	47, 137	30



中性子フィルター装置の評価試験

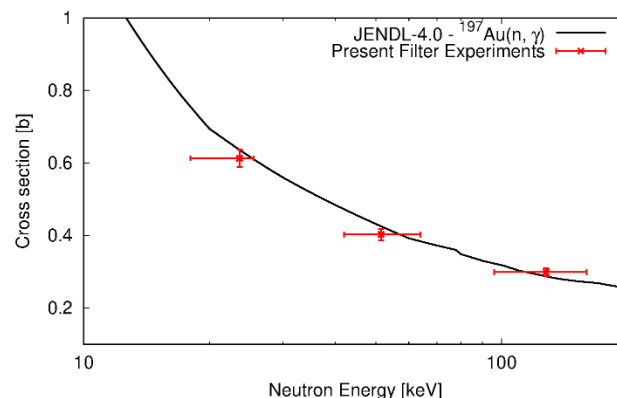
測定した中性子スペクトルとモンテカルロシミュレーションを比較し、設計通りのフィルター性能を持つことを確認した。

Liガラス検出器による中性子飛行時間スペクトル測定



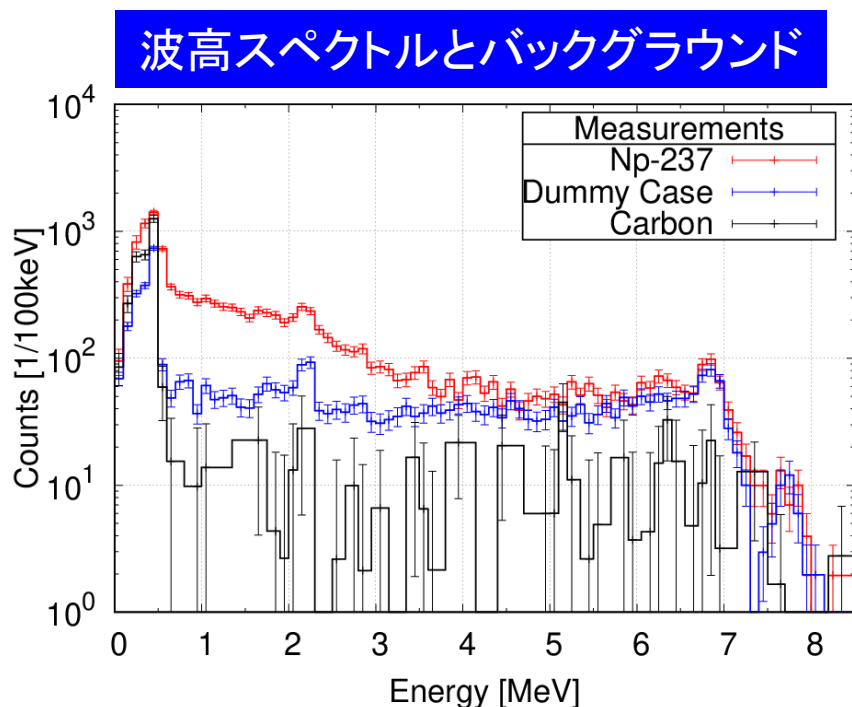
製作したフィルター装置を用いて、Au 試料の捕獲断面積測定を行い、得られた断面積が評価値とよく一致した。装置が断面積測定において十分機能することを実証した。

導出した金の断面積と評価値との比較

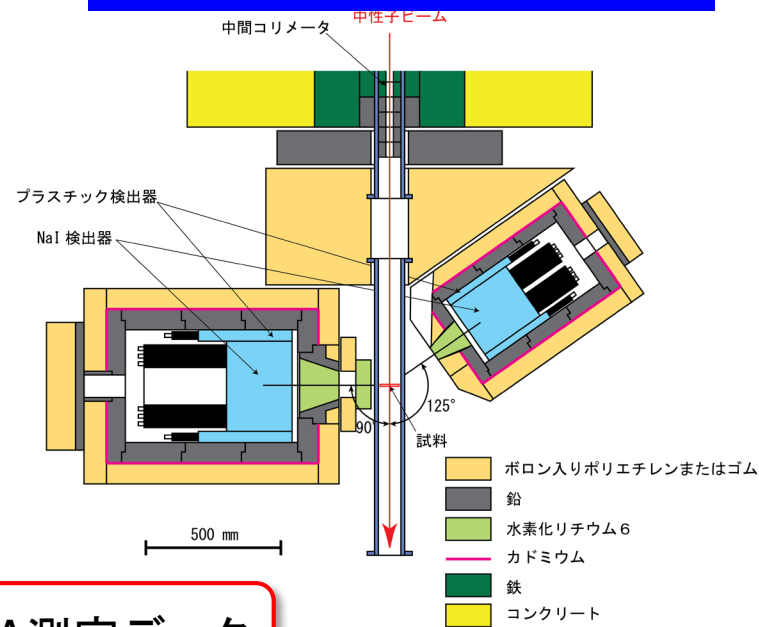


② NaI検出器を用いた中性子捕獲断面積測定

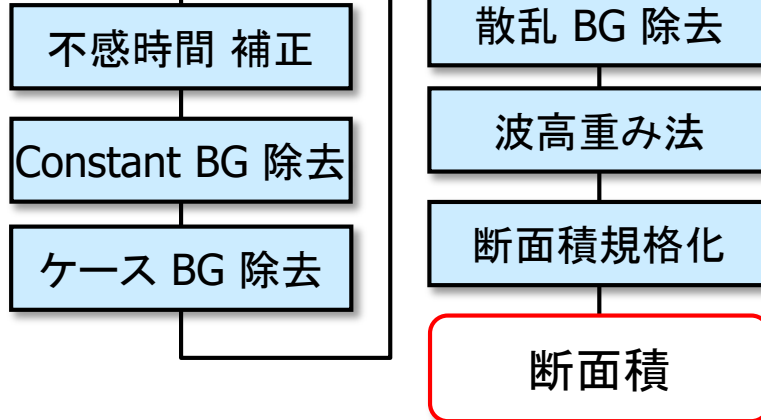
- J-PARC の高強度中性子ビーム及びMA試料からの崩壊ガンマ線による高計数率環境下でも計測が行えるようNaI 検出器の信号を処理する高速データ収集技術を開発した。
- 中性子フィルター装置を用いて ^{237}Np 及び ^{243}Am の測定を行った。得られた実験データを解析して中性子捕獲断面積を導出した。



NaI検出器と実験セットアップ

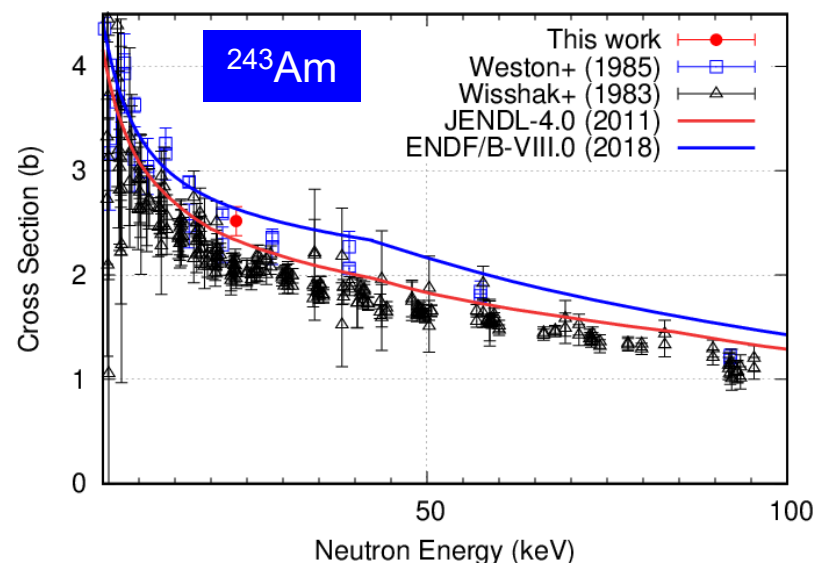
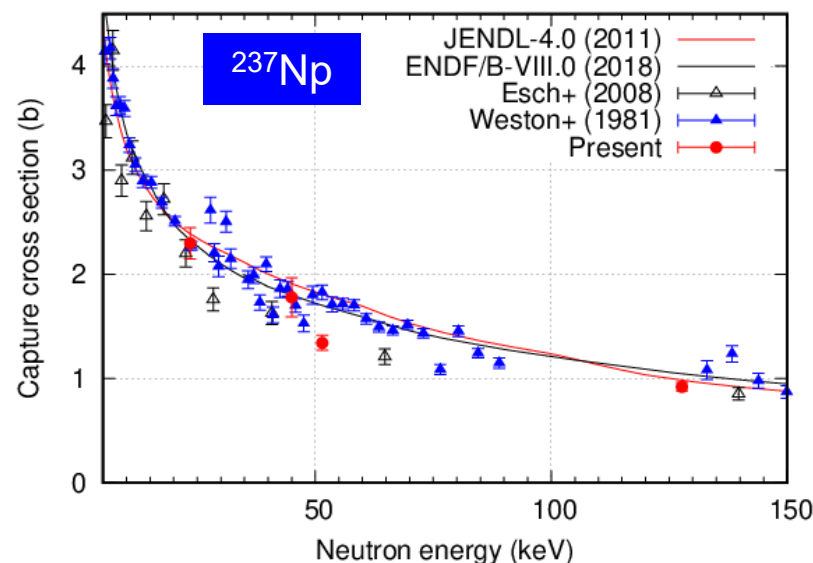


MA測定データ



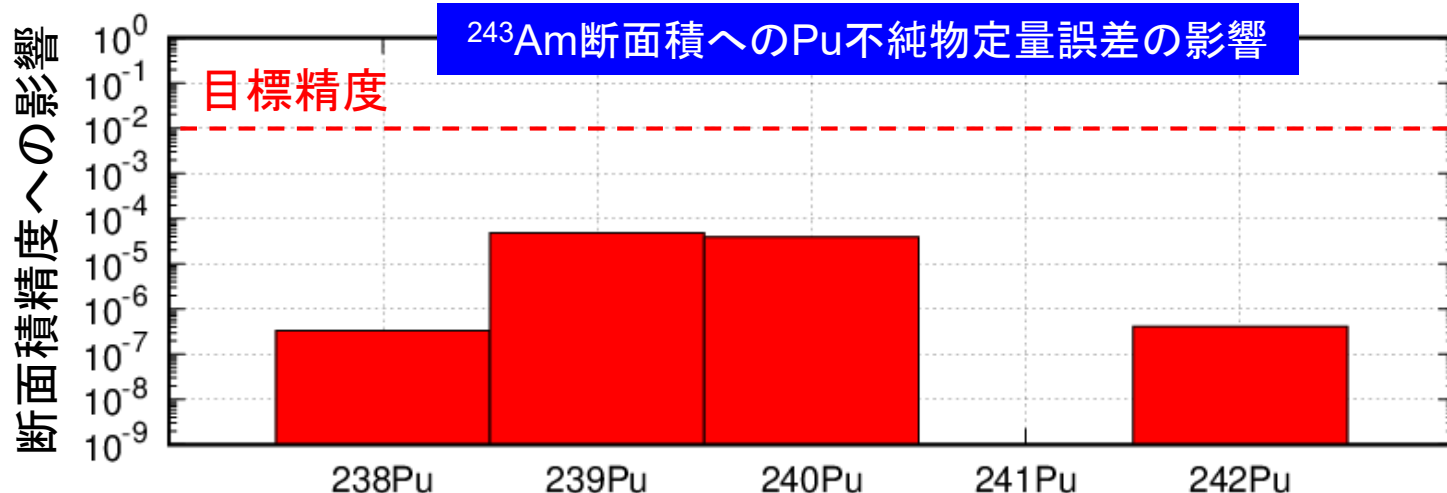
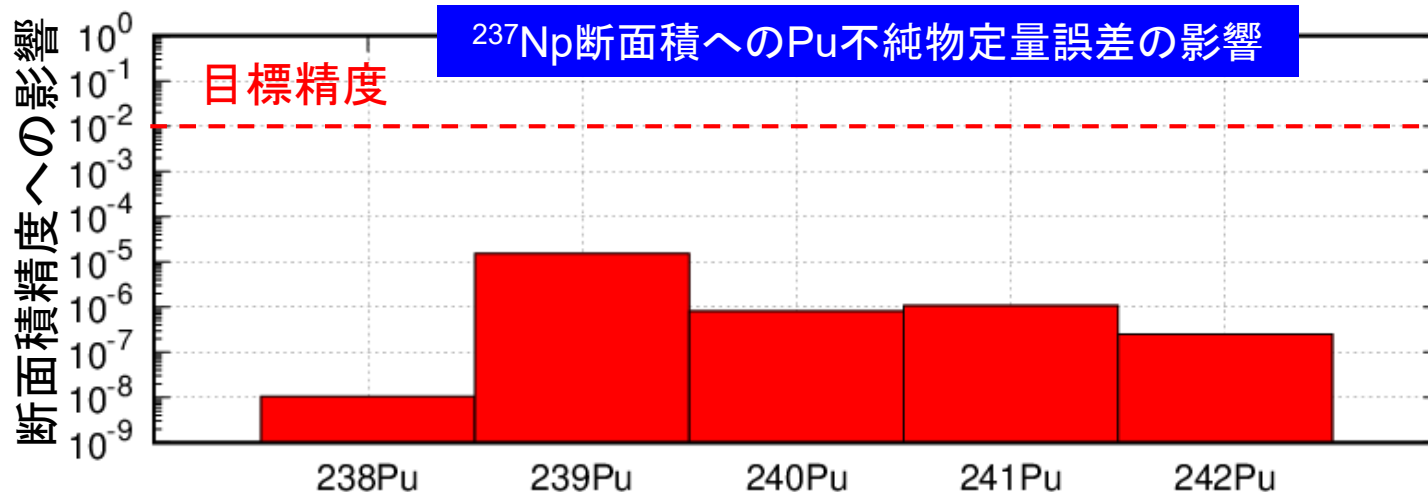
得られたMAの中性子捕獲断面積

- 中性子フィルター装置を用いて ^{237}Np 及び ^{243}Am の測定を行い、得られた実験データを解析して中性子捕獲断面積を導出した。
- 過去の測定値よりも高い精度で断面積を決定した。
- ^{243}Am の過去の測定値との比較からWisshakらの測定値が今回の測定値よりも17%程度低い値であることが分かった。Wisshakらの報告では試料の物質量の決定方法の詳細を述べておらず、物質量の誤差を過小評価している可能性がある。



③ MA試料中のPu分析技術の開発

表面電離型質量分析装置(TIMS)を中心にMA 試料のPu 不純物の分析を行った。定量誤差の断面積精度に対する影響を1%以下とすることができた。

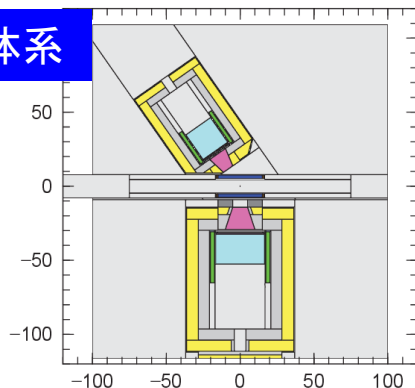


④ MA核データファイルの整備

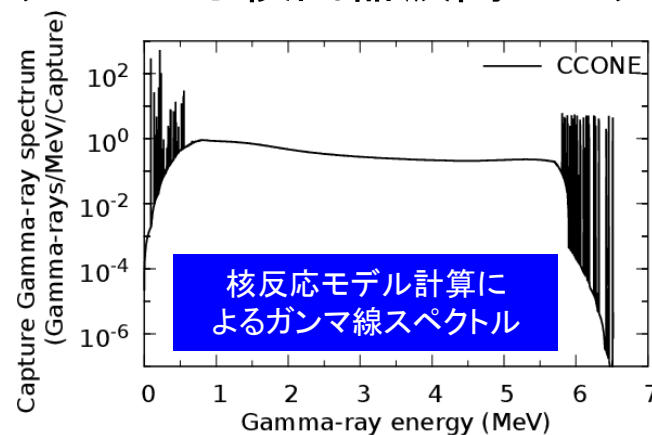
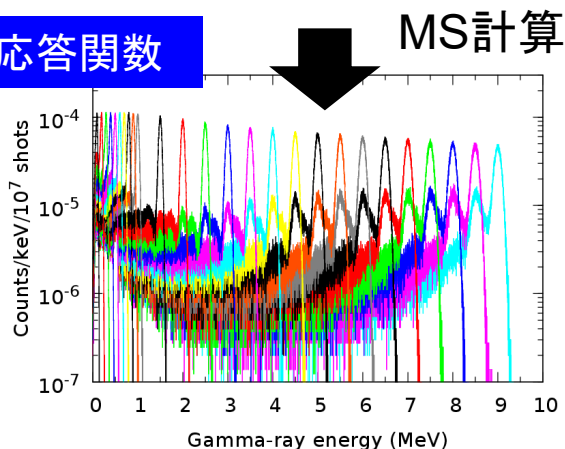
捕獲ガンマ線スペクトルに特に着目し、核データ評価を行う(スペクトル導出法の開発)

- 核反応モデルから計算したガンマ線スペクトルから検出器波高スペクトルの導出法を開発

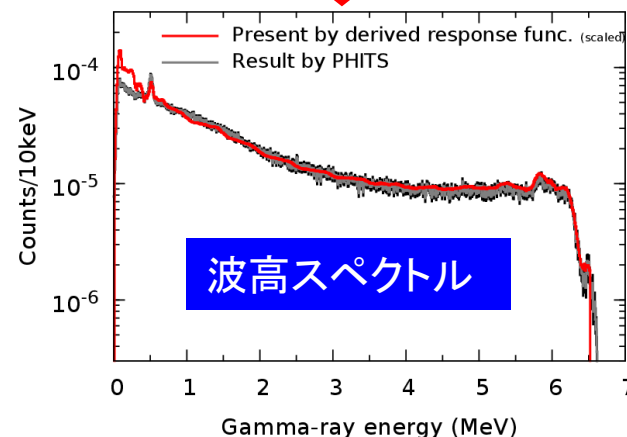
検出器模擬体系



検出器応答関数

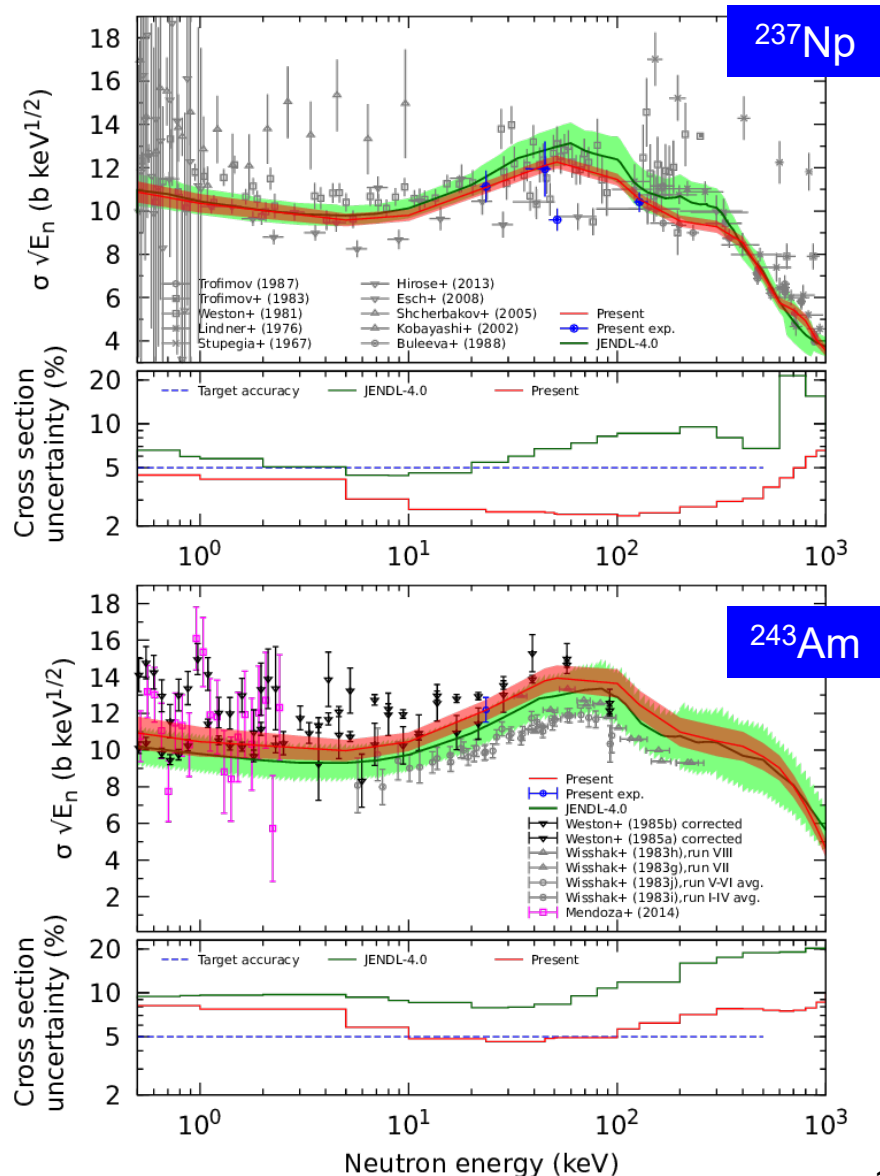


スペクトル導出



核データ評価結果

- 開発したスペクトル導出法により実験値と比較することで最適な理論計算パラメータを決定した。これらの結果を基に、高速中性子エネルギー領域における捕獲断面積の評価を行い、PH ガンマ線スペクトルと整合する捕獲断面積を導出した。
- 本研究で得られた ^{237}Np 及び ^{243}Am の中性子捕獲断面積の測定結果を含め、KALMAN コードで行った共分散評価により中性子捕獲断面積の評価精度を概ね5%以下もしくはは従来不確かさの半分以下とすることができた。



まとめ

- 中性子フィルター法を核破砕中性子源へ世界で初めて適用した。これによりJ-PARC 陽子ビームのダブルバンチ運転による問題を解決し、高精度な断面積測定を可能とした。
- 本研究で得られた中性子捕獲断面積は、過去の測定値よりも高い精度で決定された。特に ^{243}Am については36年ぶりに高精度化が達成された。
- 本研究で行った試料の不純物の定量は一般的に行われている方法に比べ5桁以上感度が高い。そのため、本研究で得られた断面積は過去の測定に比べ試料起因の不確かさが格段に小さい。

研究効果

- 本研究開発により高精度化されたMAの中性子捕獲断面積データは、核廃棄物の減容・有害度低減のための核変換システムの研究開発に活かされることが期待される。
- 開発された高精度核データ測定・評価技術は、原子力分野で求められる核データの高精度化だけでなく、宇宙核物理などの他分野への波及効果も期待される。