

早稲田大学・東京都市大学 共同原子力専攻
第18回未来エネルギーフォーラム・シンポジウム

加速器による核データ研究の進展

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
岩本 信之

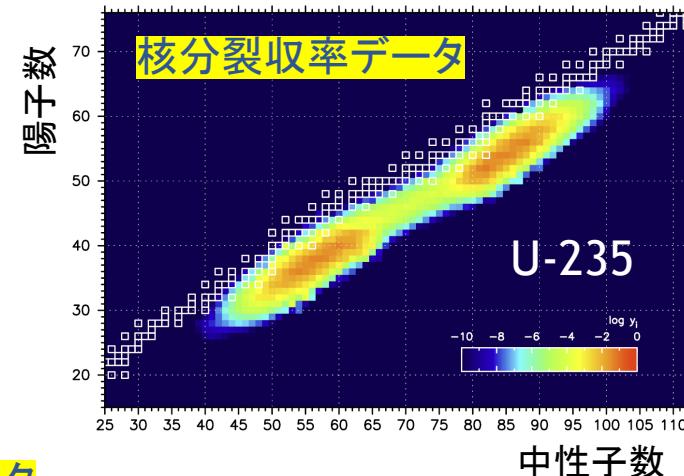
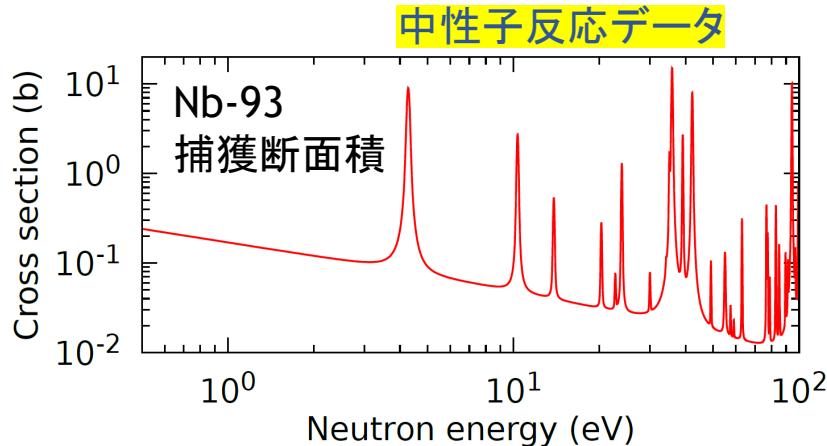
1

- ① 核データとは
- ② 大強度陽子加速器施設(J-PARC),
物質・生命科学実験施設(MLF)
核破碎中性子を利用した中性子断面積測定
- ③ ニュースバル放射光施設
レーザーコンプトン散乱ガンマ線を利用した
中性子生成断面積測定
- ④ まとめ

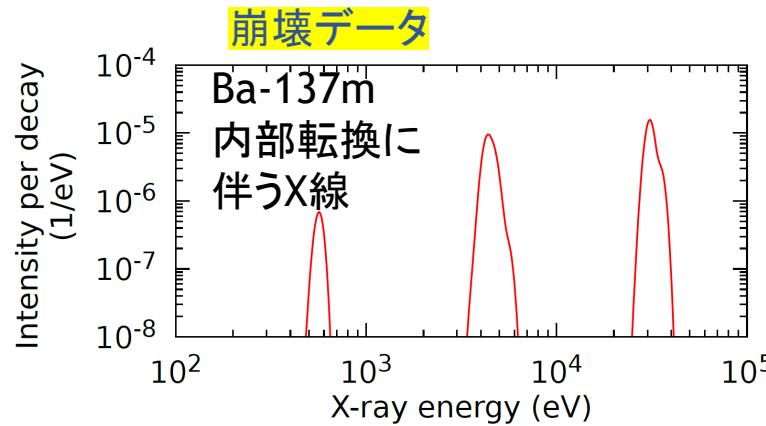
① 核データとは

核データとは

- 電子の質量や真空中の光速と同じ**物理定数**の一つ
- 原子核と中性子や陽子、ガンマ線(光子)などとの**反応の起こり易さ(断面積)**・
核分裂生成物の生成割合(**核分裂収率**)・**崩壊様式**などの情報のこと



1 b(バーン)= 10^{-24} cm^2



原子力の技術開発や放射線の影響評価を行うための**基盤データ**

JENDLの開発

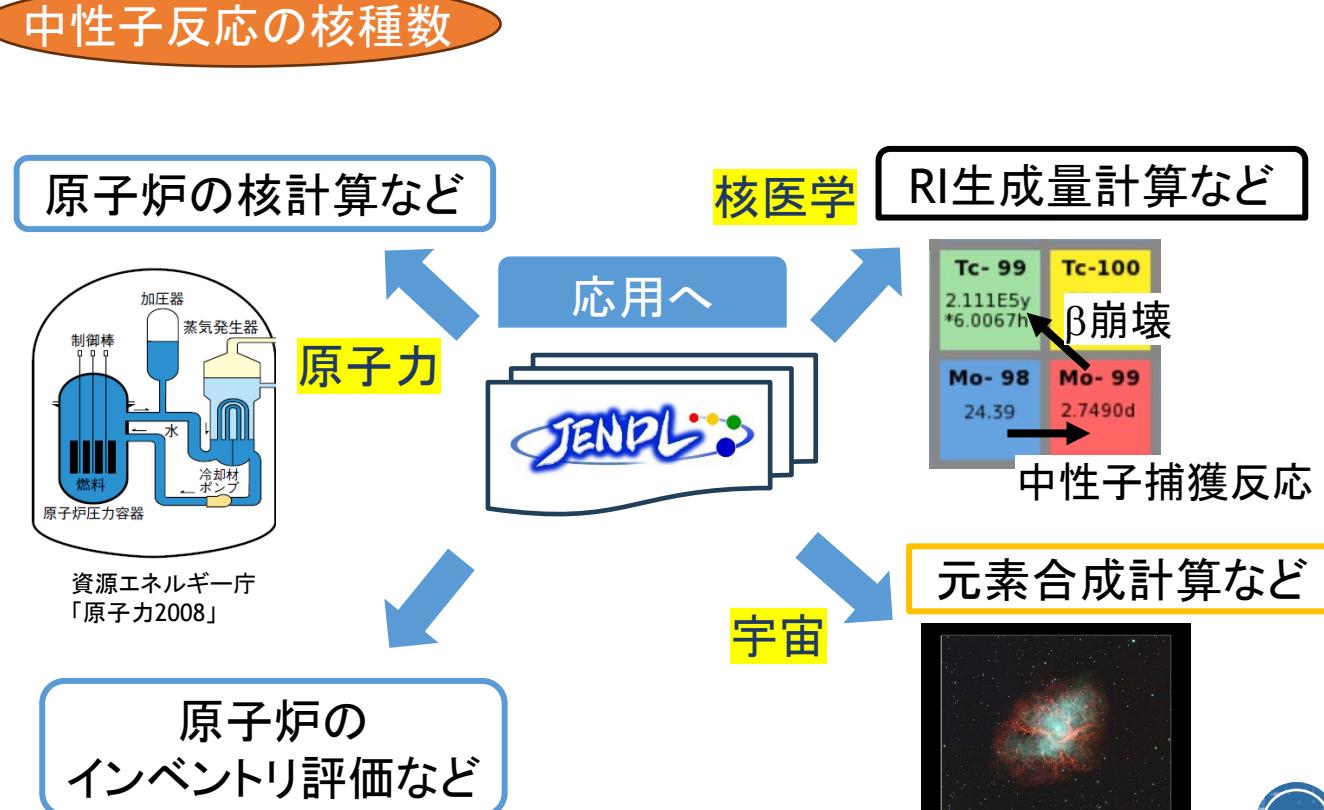


- JAEAではこれらの核データを編集した評価済核データライブラリ (Japanese Evaluated Nuclear Data Library; JENDL)を開発
 - 1977 JENDL-1 (72核種) 高速増殖炉研究
 - 2010 JENDL-4.0 (406核種) 軽水炉の高燃焼度化・長寿命化研究
 - 2021 JENDL-5 (795核種) 原子力安全、廃止措置研究



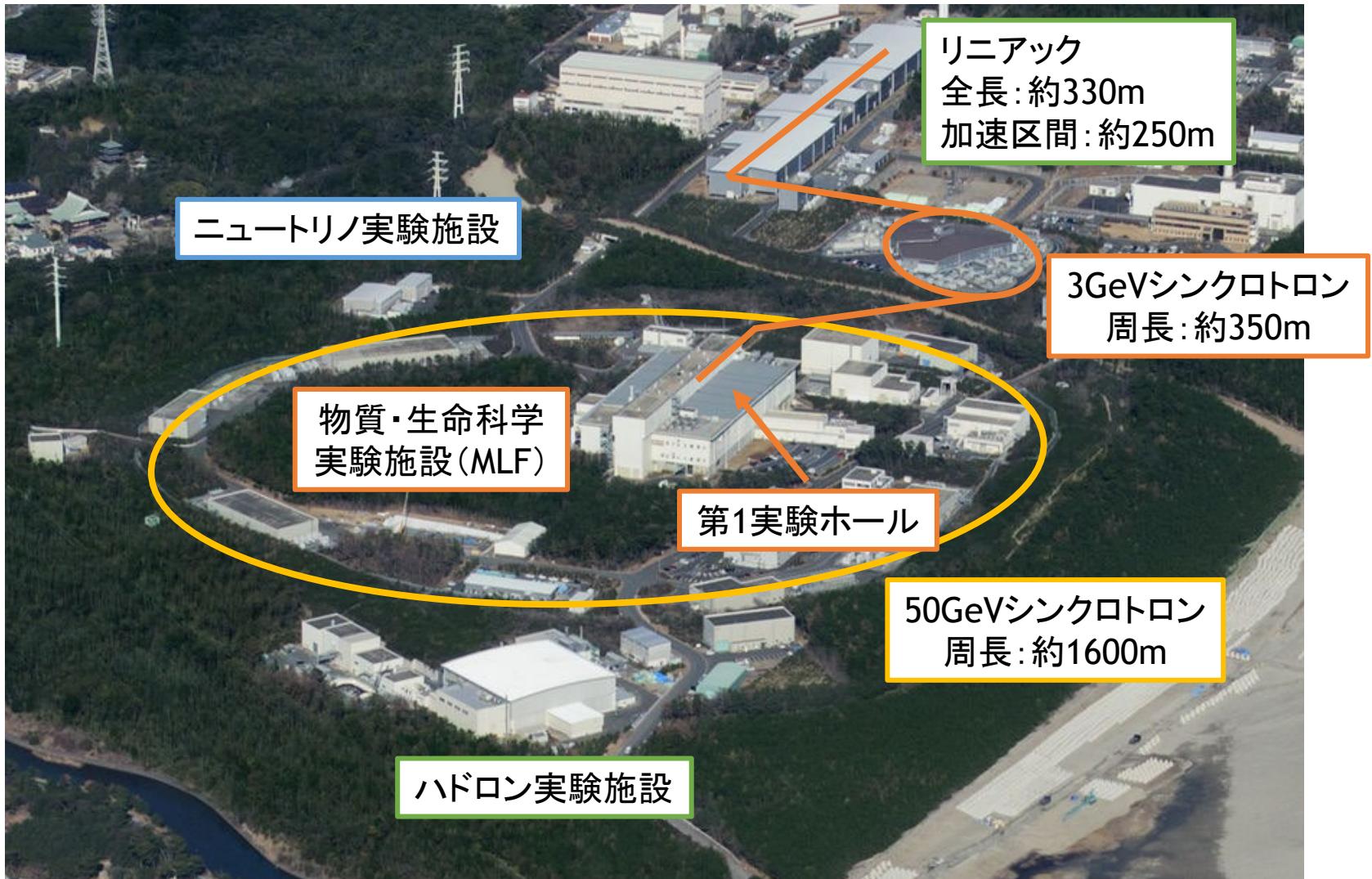
大学やJAEAと連携・開発

11サブライブラリ	
中性子反応	中性子反応の核種数
熱中性子散乱則 w/京大	
核分裂収率 w/東工大	
崩壊データ	
陽子反応	
重陽子反応	
アルファ粒子反応 w/IAEA	
光核反応	
光子-原子	
電子-原子	
原子緩和	



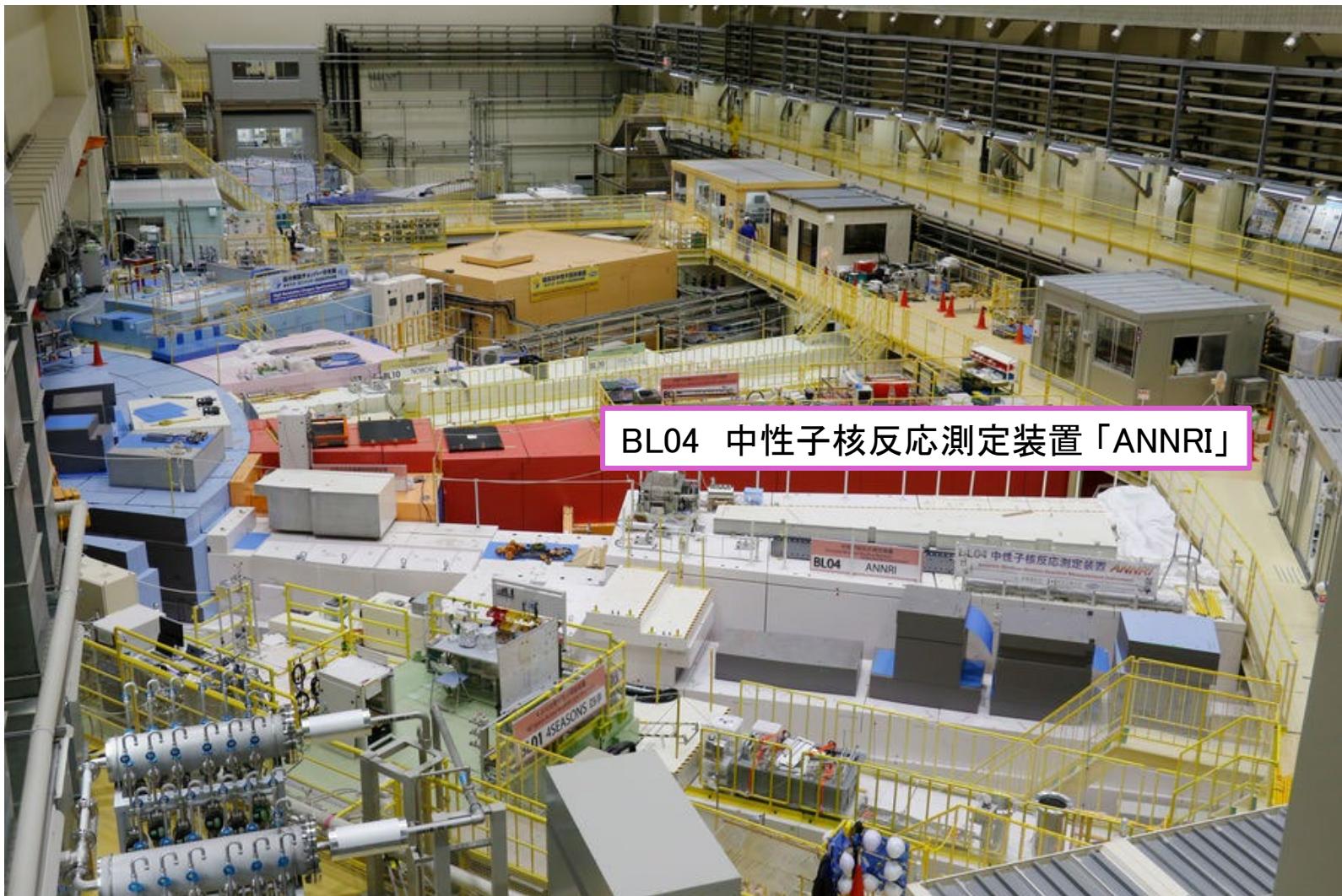
- ② 大強度陽子加速器施設(J-PARC),
物質・生命科学実験施設(MLF)
核破碎中性子を利用した中性子断面積測定

J-PARC 航空写真



画像提供:J-PARCセンター

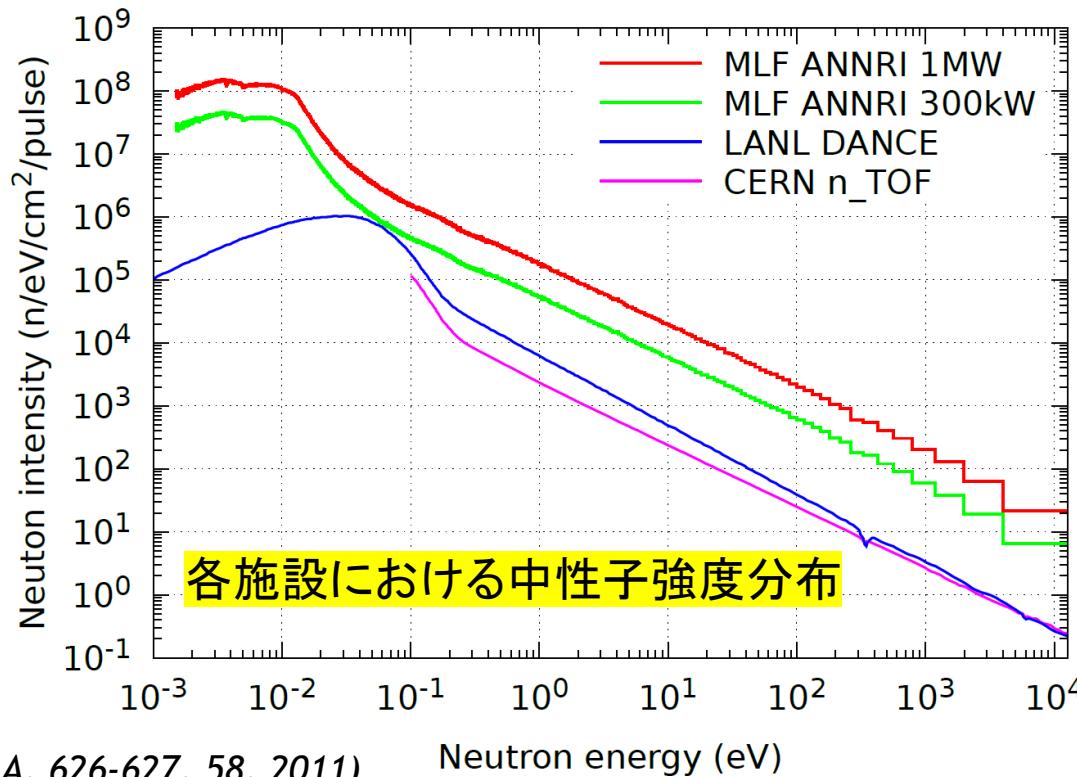
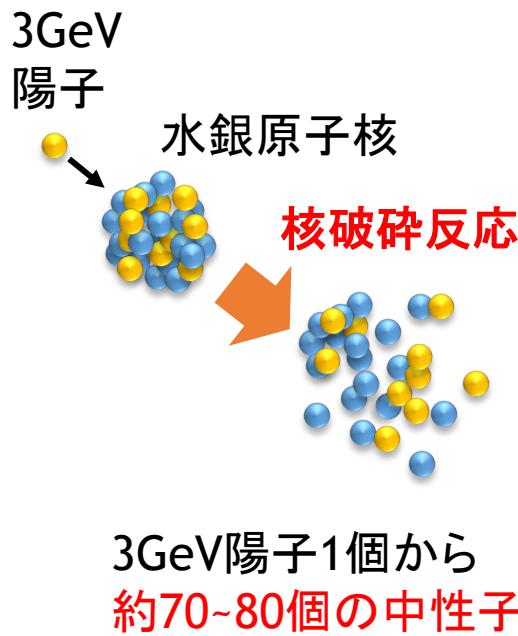
MLF 第1実験ホール



画像提供:J-PARCセンター

陽子加速と大強度中性子

- リニアックで負水素イオン(陽子1個, 電子2個)を400MeV(光速の71%)まで加速
- 3GeVシンクロトロンで陽子を3GeV(光速の97%)まで加速
- MLFの液体水銀標的に3GeV陽子を入射
- 陽子と水銀による原子核破碎反応で中性子が大量に発生
- 中性子は減速材(超臨界水素)を通り、エネルギーが幅広く分布

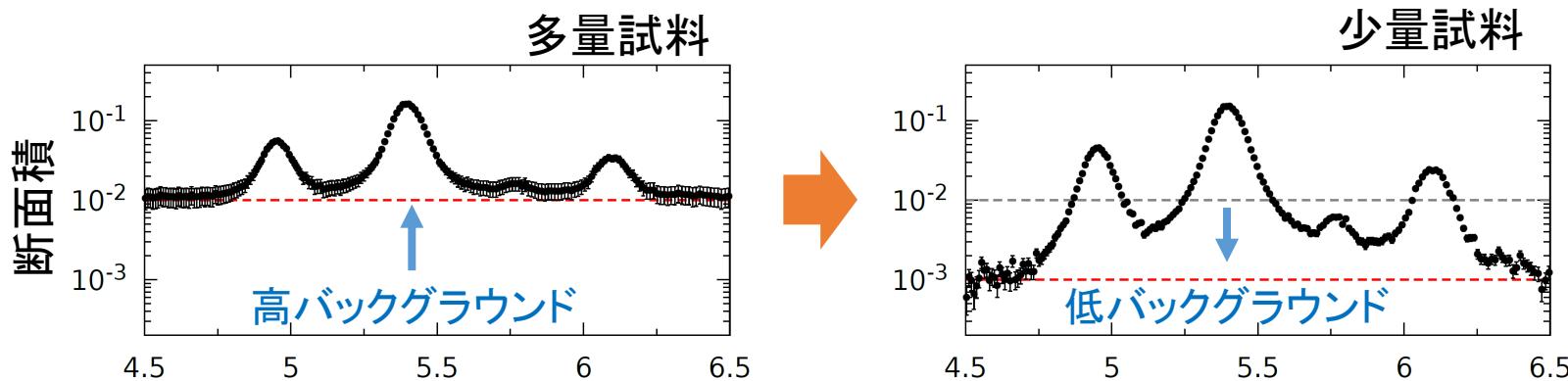


大強度中性子のメリット

- 試料に照射する中性子数の増加により、試料量を減らしても、
従来と同じイベント数(統計精度)で測定が可能



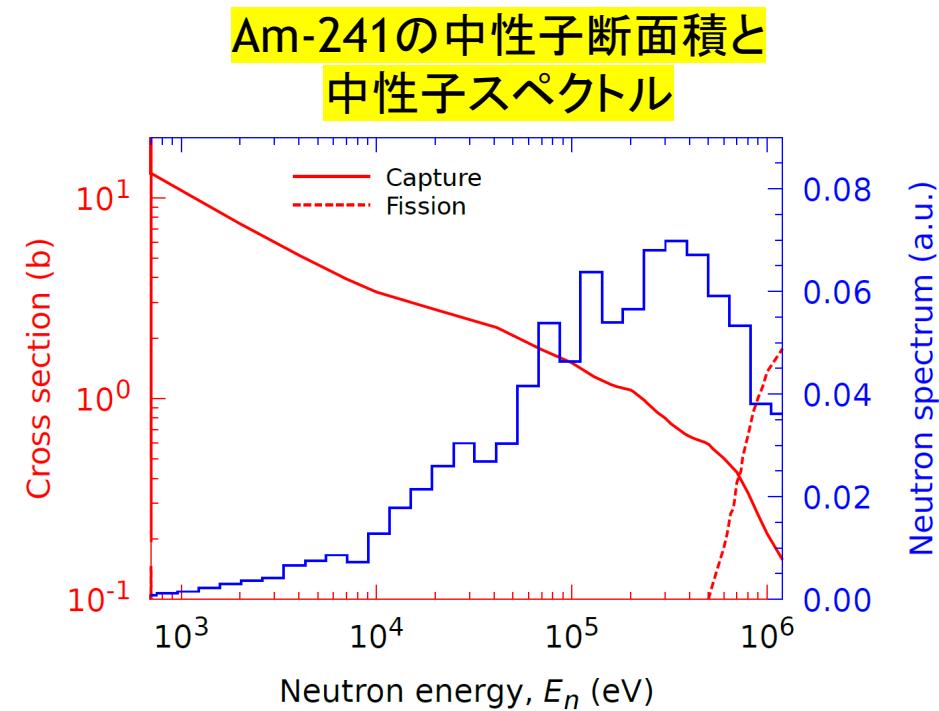
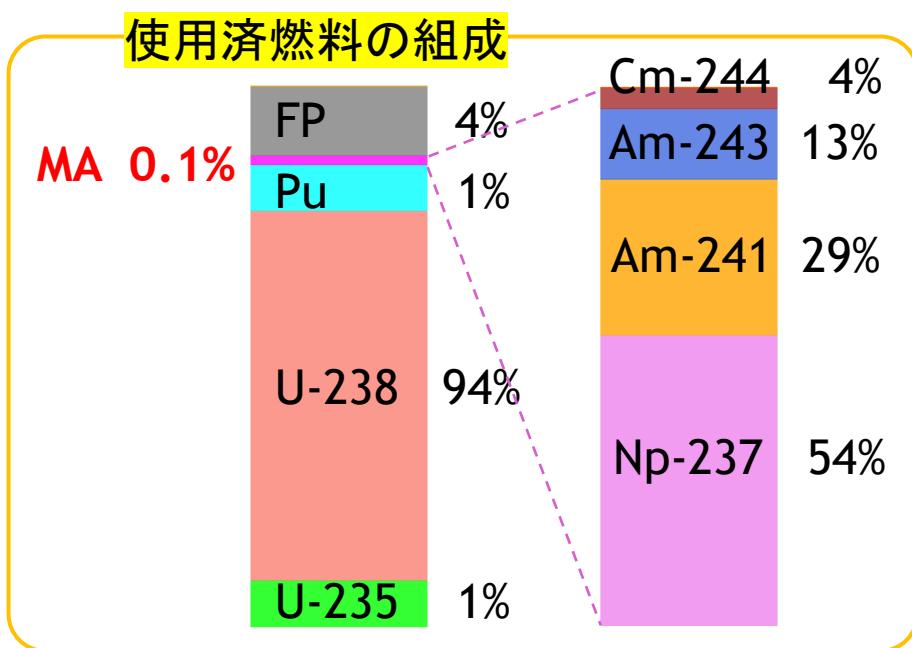
- 試料が放射性である場合、試料量を減らして、放射性崩壊で
生じるガンマ線などによるバックグラウンドの低減が可能



放射性核種の断面積測定に有利

メリットを生かした研究

- 加速器駆動未臨界システムなどを用いた核変換による長寿命核種の減容
 - 放射性毒性の強いマイナーアクチニド(MA)
- ネプツニウム Np-237、アメリシウム Am-241,243



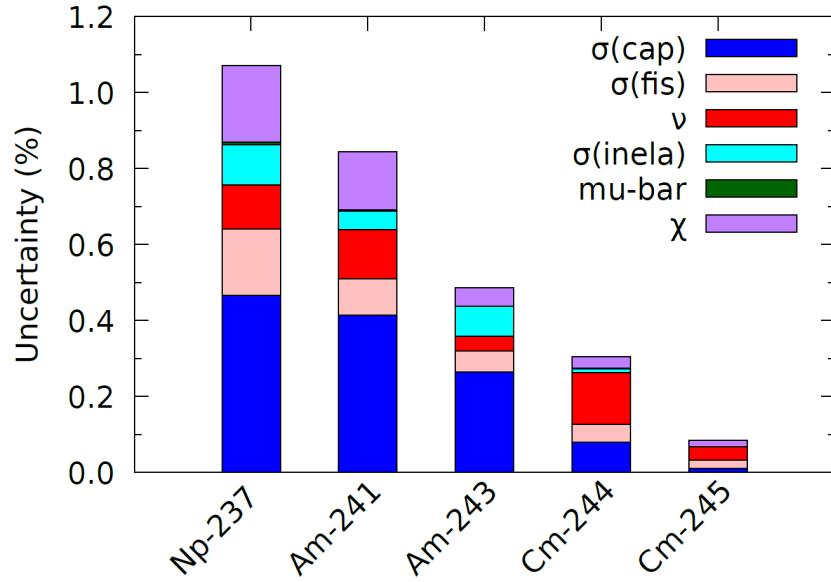
核変換システムの核特性(未臨界度など)や対象核種の核変換効率の評価に、これらの中性子捕獲断面積の精度向上が必須

メリットを生かした研究

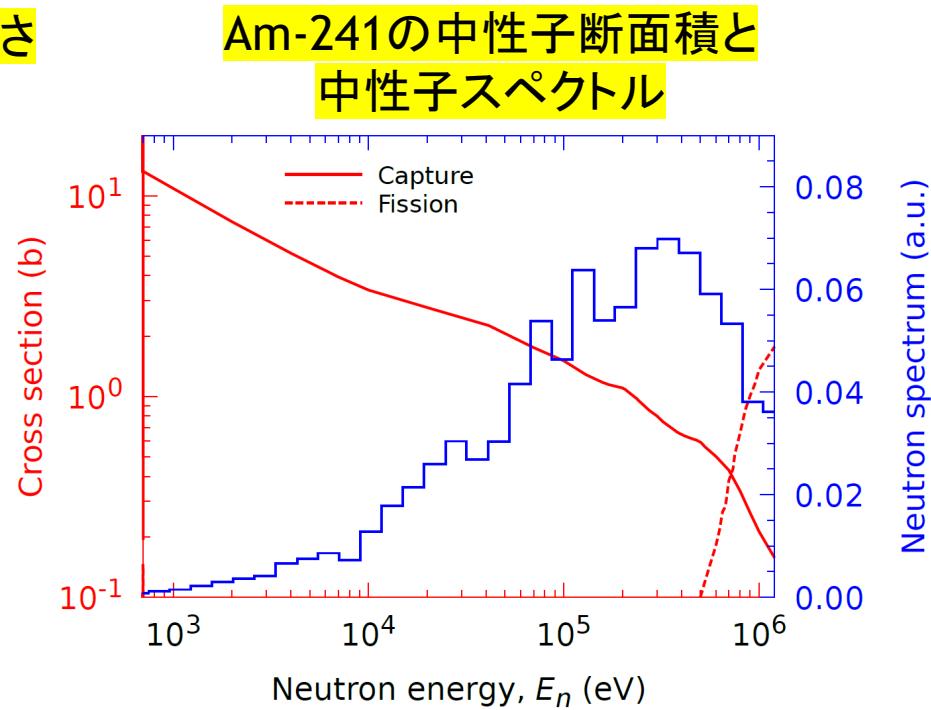
- 加速器駆動未臨界システムなどを用いた核変換による長寿命核種の減容
 - 放射性毒性の強いマイナーアクチニド(MA)

ネプツニウム Np-237、アメリシウム Am-241,243

臨界性に対するMAの核反応ごとの不確かさ



Am-241の中性子断面積と
中性子スペクトル

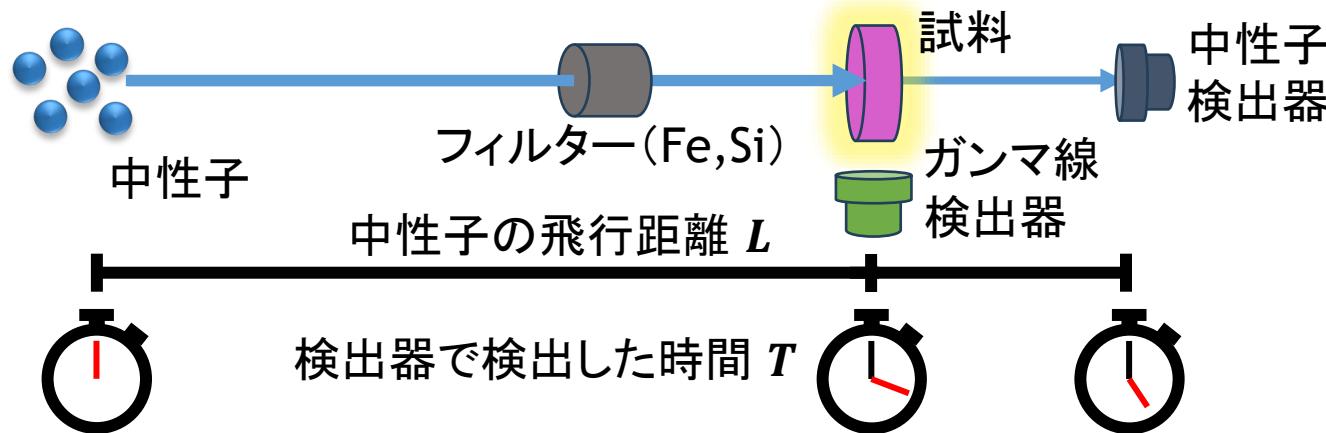


(H.Iwamoto+ JAEA-Research 2014-033)

核変換システムの核特性(未臨界度など)や対象核種の核変換効率の評価に、これらの中性子捕獲断面積の精度向上が必須

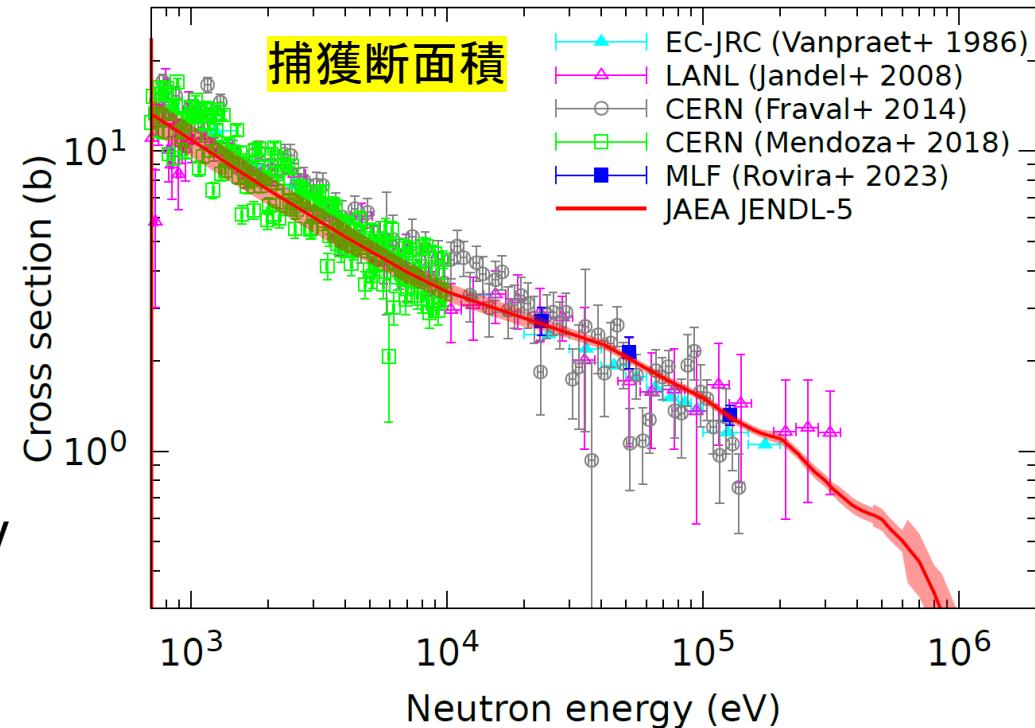
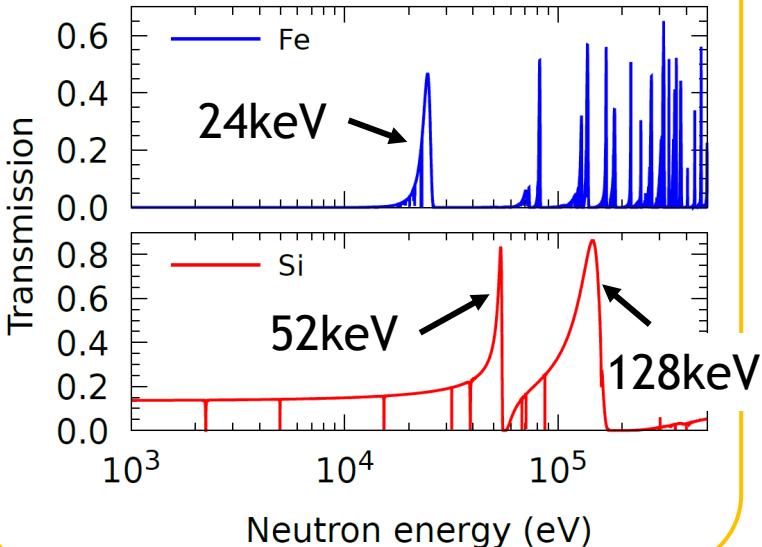
Am-241試料の測定①

飛行時間法による中性子透過率・捕獲断面積測定



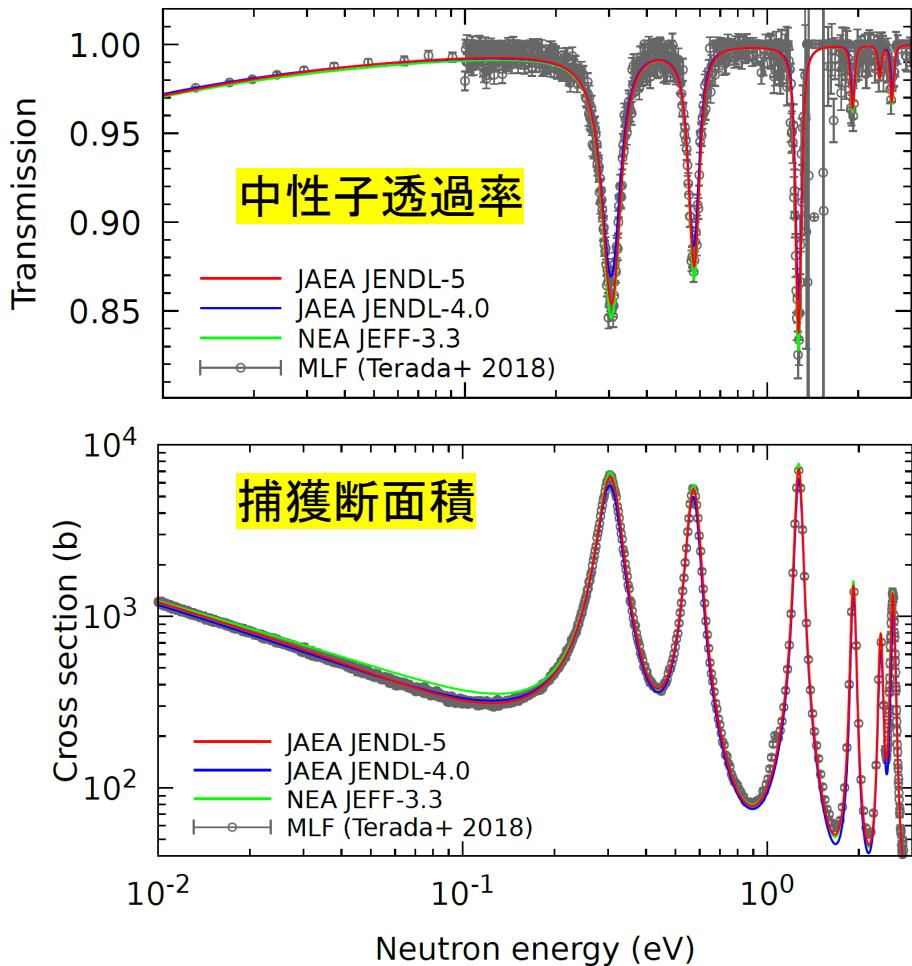
フィルター法を応用した測定

→ バックグラウンドの低減が可能



Am-241試料の測定②

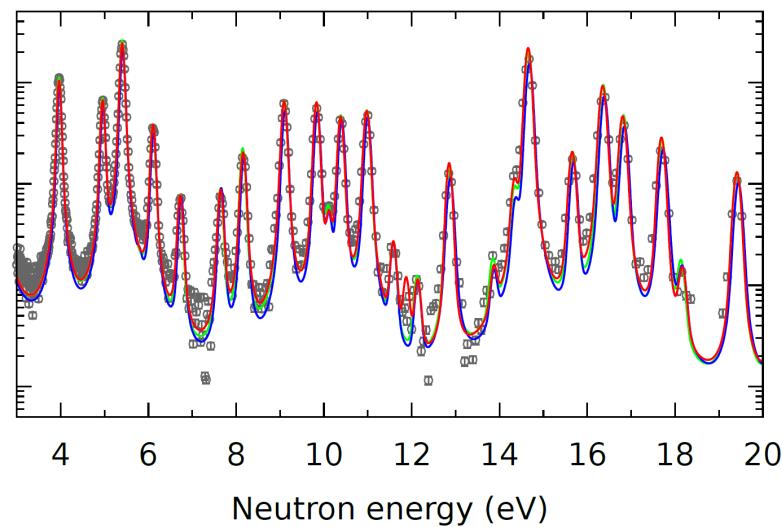
- 低エネルギー領域の捕獲断面積は、軽水炉における生成量の推定に重要
 - EC-JRC施設の測定では熱捕獲断面積が 749 ± 35 bと報告
(684 ± 39 b@JENDL-4.0)



Am-241試料
質量 7.5 ± 0.1 mg
(957.4 ± 0.5 MBq)

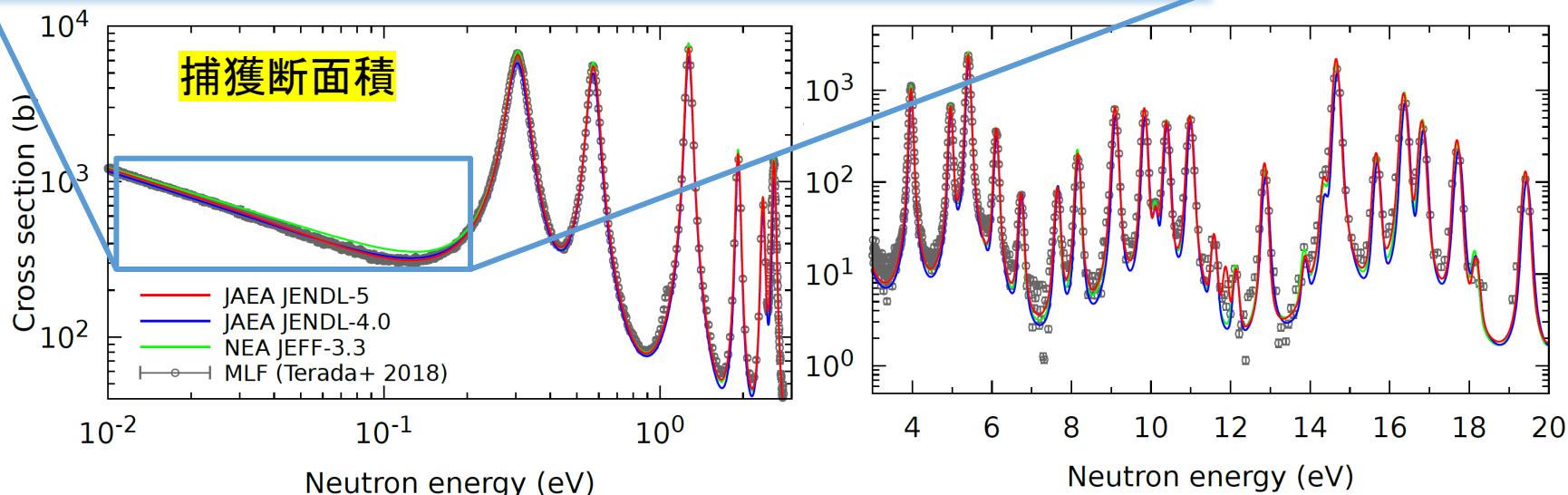
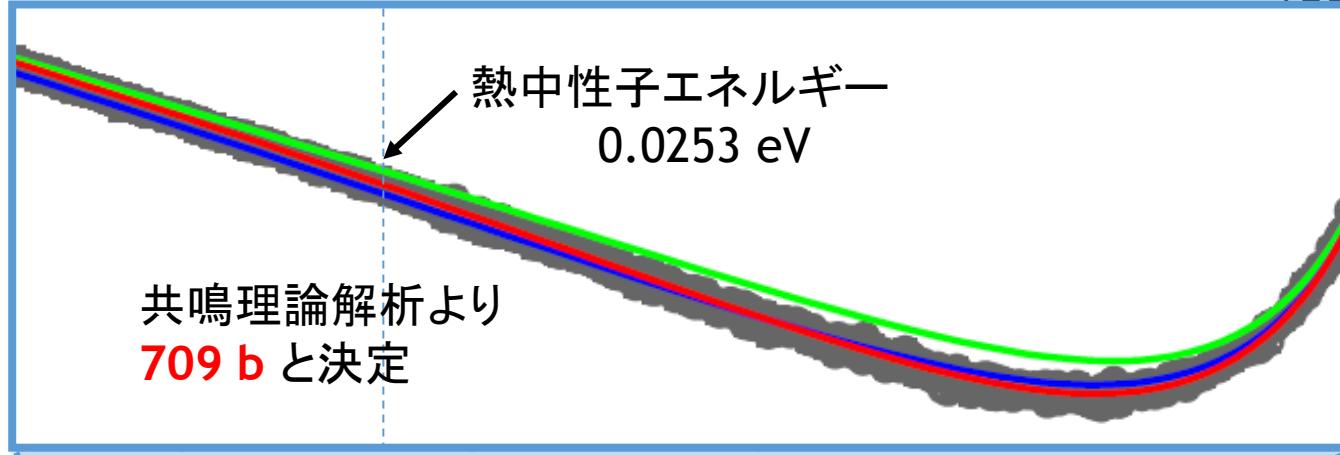
Am-241試料@EC-JRC
質量 324.6 ± 1.2 mg

$\frac{1}{43}$



Am-241試料の測定②

- 低エネルギー領域の捕獲断面積は、軽水炉における生成量の推定に重要
 - EC-JRC施設の測定では熱捕獲断面積が 749 ± 35 bと報告
(684 ± 39 b@JENDL-4.0)

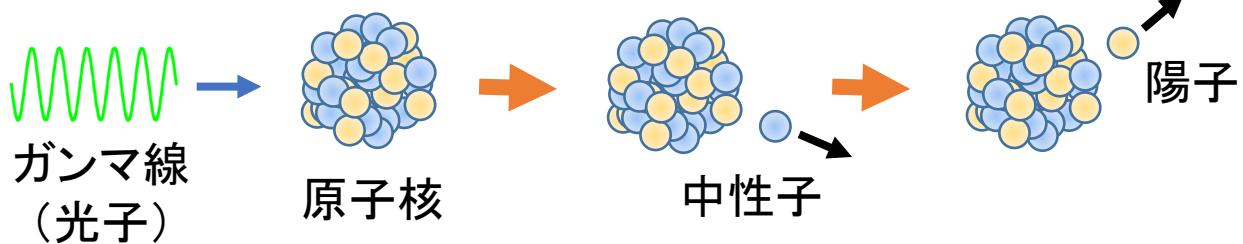


Am-241, 243やNp-237などのMA核データの信頼性を向上

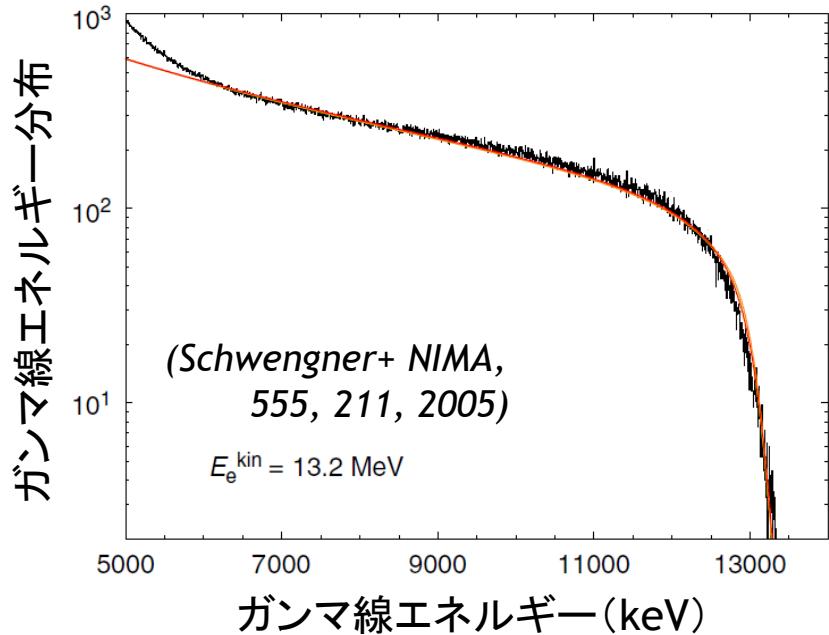
③ ニュースバル放射光施設 レーザーコンプトン散乱ガンマ線を利用した 中性子生成断面積測定

光核反応

- 原子核がガンマ線を吸収して、持ち込まれたエネルギーを粒子やガンマ線で放出



- 電子(陽電子)が物質と相互作用するとガンマ線(制動放射線)を発生
 - 制動放射線は電子のエネルギーを上限として連続的に分布
- 電子線加速器からの電子により発生したガンマ線による施設の放射化
 - 光核反応で生成される中性子量を推定することが重要



多くの実験では、制動放射線や陽電子
対消滅ガンマ線を利用
→エネルギー広がりを反映した断面積



各エネルギー一点での断面積測定には、
(準)単色ガンマ線が必要

ニュースバル放射光施設



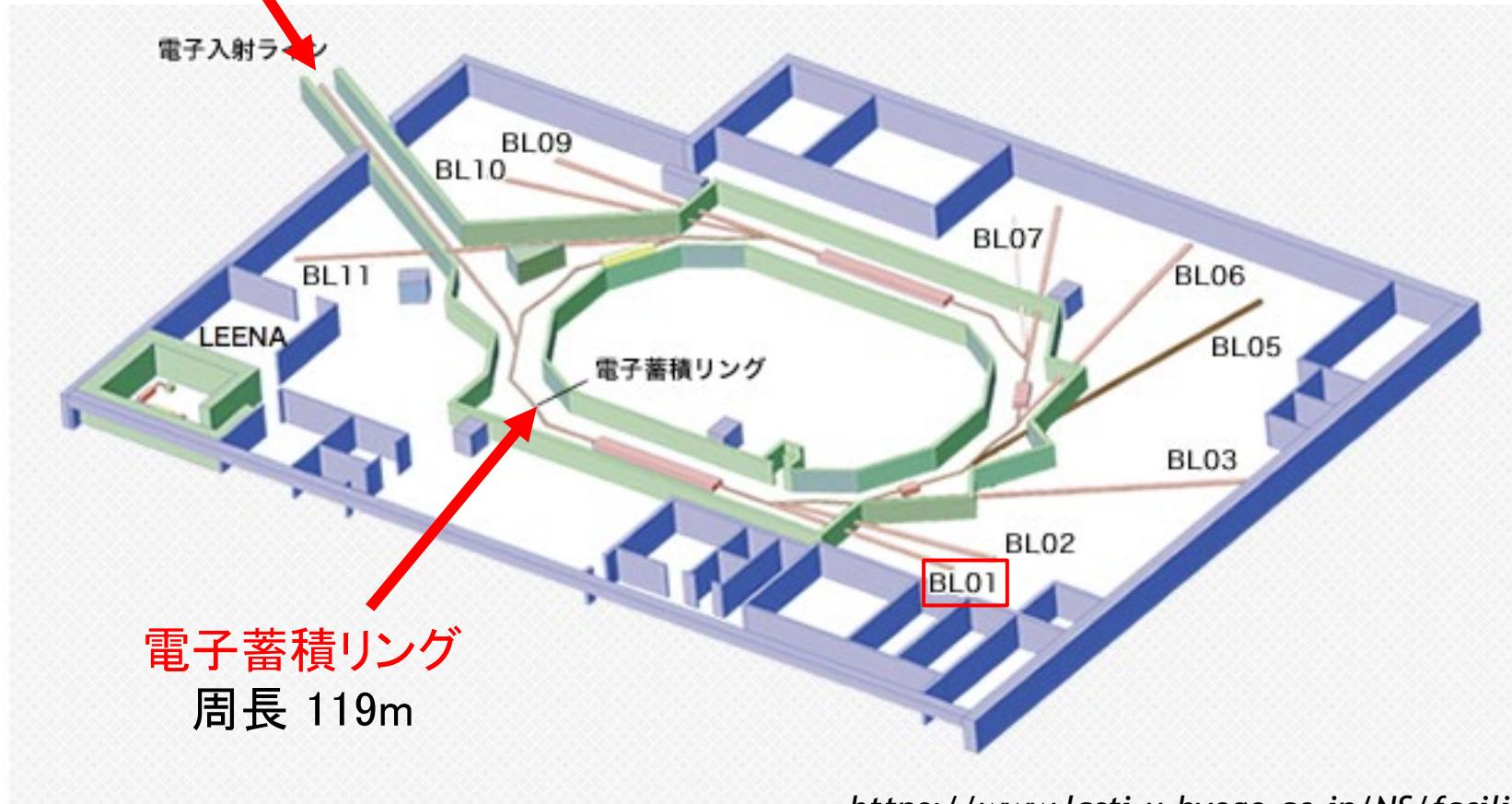
兵庫県赤穂郡上郡町



実験エリアとガンマ線ビームラインBL01

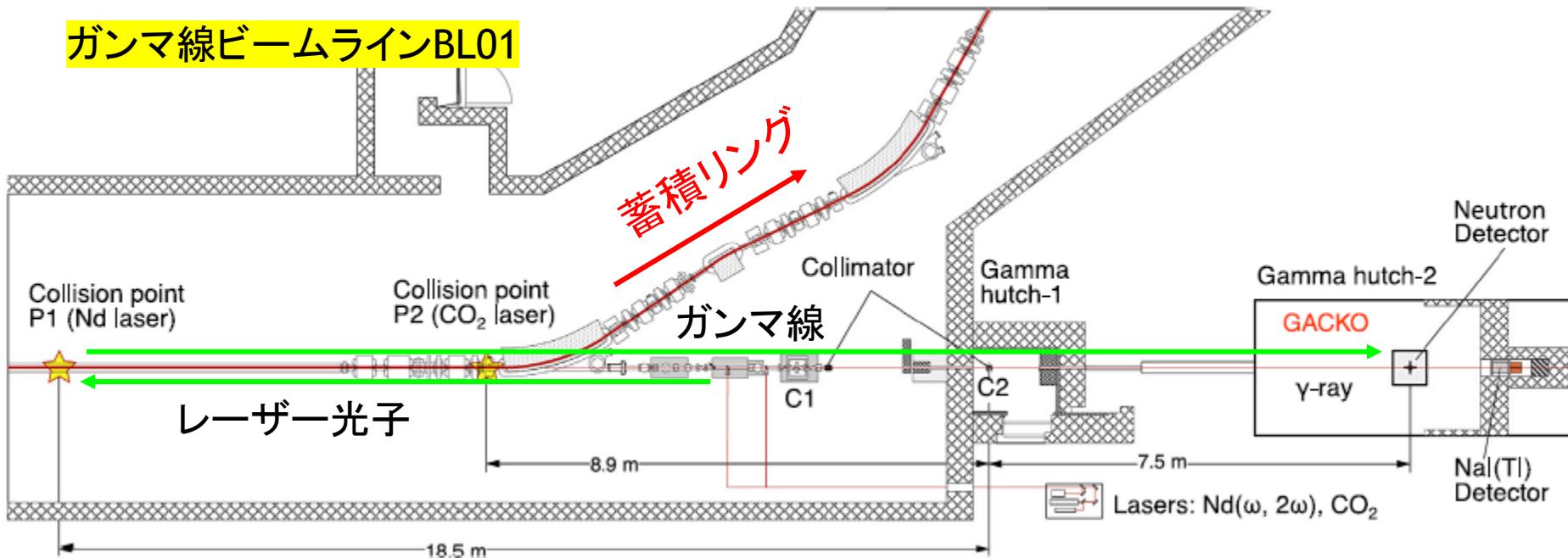


リニアックからの1.0-GeV 電子ビーム



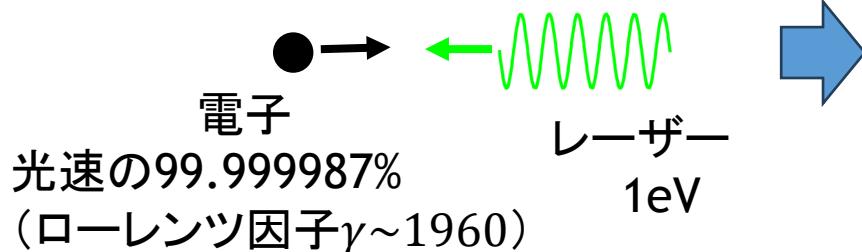
<https://www.lasti.u-hyogo.ac.jp/NS/facility.html>

レーザーコンプトン散乱ガンマ線



(Utsunomiya et al. NIM A896, 103, 2018)

レーザーを相対論的電子に
正面から照射



集束したガンマ線をレーザーの
照射方向と反対に放出

電子

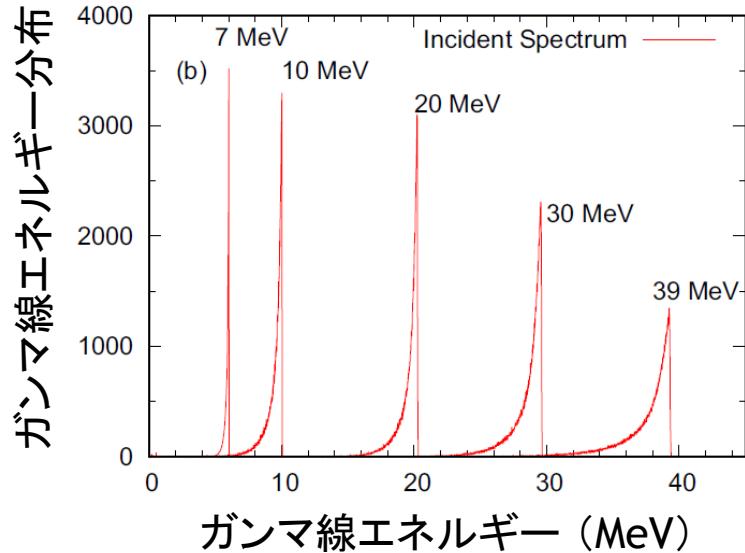
ガンマ線 15 MeV

(レーザーのエネルギーの約 $4\gamma^2$ 倍)

レーザーコンプトン散乱(LCS) → ガンマ線加速器

中性子生成断面積の評価

エネルギー広がり(FWHMで1-3%)が
小さく、低バックグラウンド

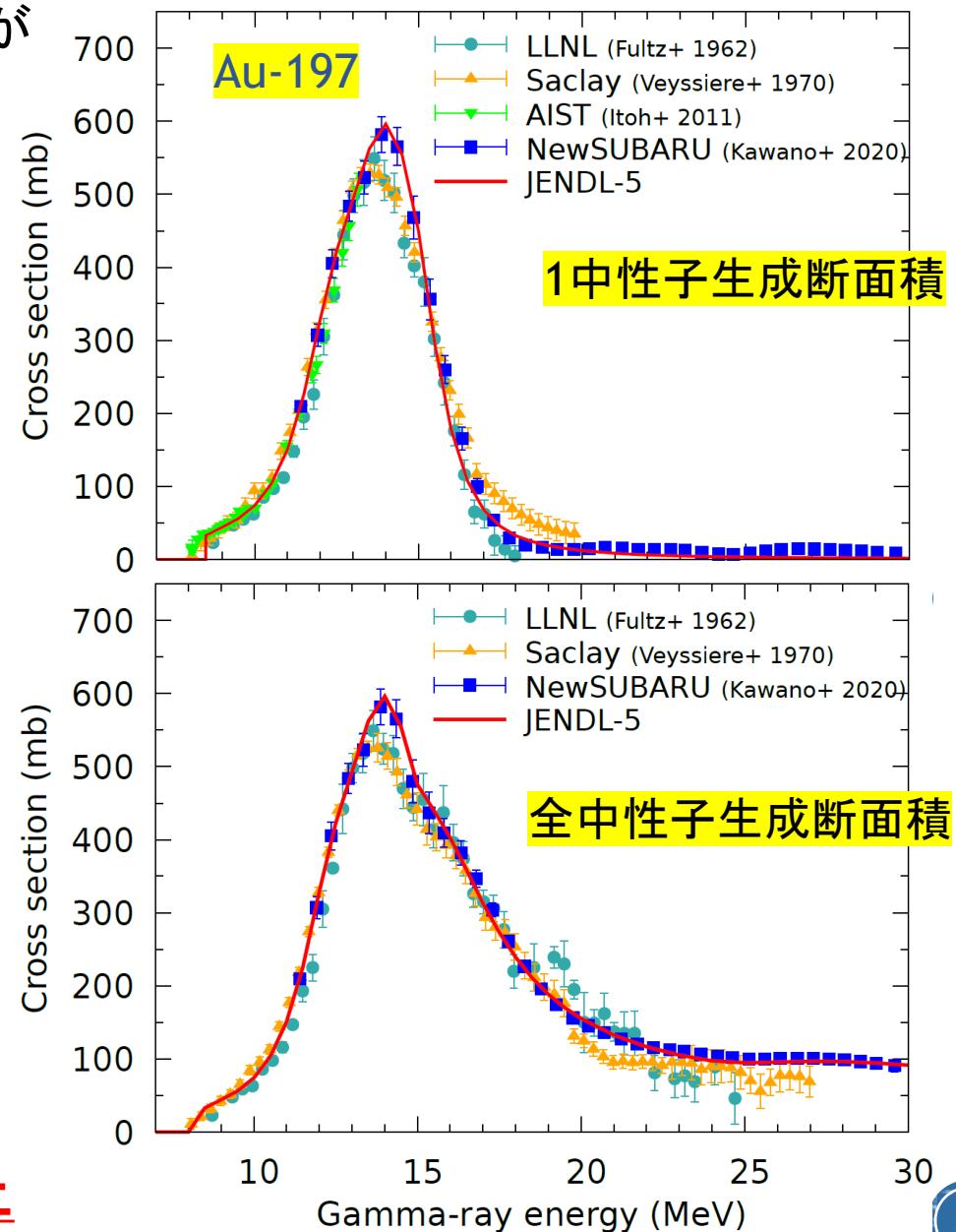


(Kawano,.., NI+ Nucl. Data Sheets, 163, 109, 2020)

陽電子対消滅ガンマ線を利用したLLNL
(米国)とSaclay(仏国)との結果に矛盾

IAEA・国際研究プロジェクト(2016-2019)の一環として、LCSガンマ線で測定を実施

光核反応データの信頼性を向上



② 大強度陽子加速器施設(J-PARC),

物質・生命科学実験施設(MLF)

大強度核破碎中性子を利用した中性子断面積測定

- ◆ MA核データの信頼性を高め、核変換システム諸量の評価精度向上に貢献

③ ニュースバル放射光施設

準単色レーザーコンプトン散乱ガンマ線を利用した中性子生成断面積測定

- ◆ 中性子生成断面積の信頼性を高め、電子線加速器施設における放射化量の推定精度向上に貢献
- ◆ 評価済核データは、IAEA・国際研究プロジェクトで開発したIAEA/PD-2019やJENDL-5に収録