

中性子ビーム @ 産総研

(国研) 産業技術総合研究所

計量標準総合センター

松本哲郎

トピックス

- ・ 中性子のニーズ
- ・ 産総研の中性子施設について
- ・ どういった中性子が発生できるか
- ・ 中性子量（フルエンス（ cm^{-2} ））評価法
- ・ 信頼性の評価

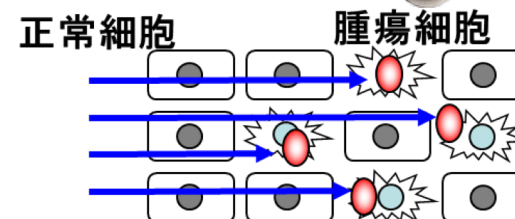
中性子

産総研：X線、 β 線、 γ 線、**中性子**
→計測技術の研究
→線量 (Sv) の基準 (国家標準)
：放射能 (Bq)



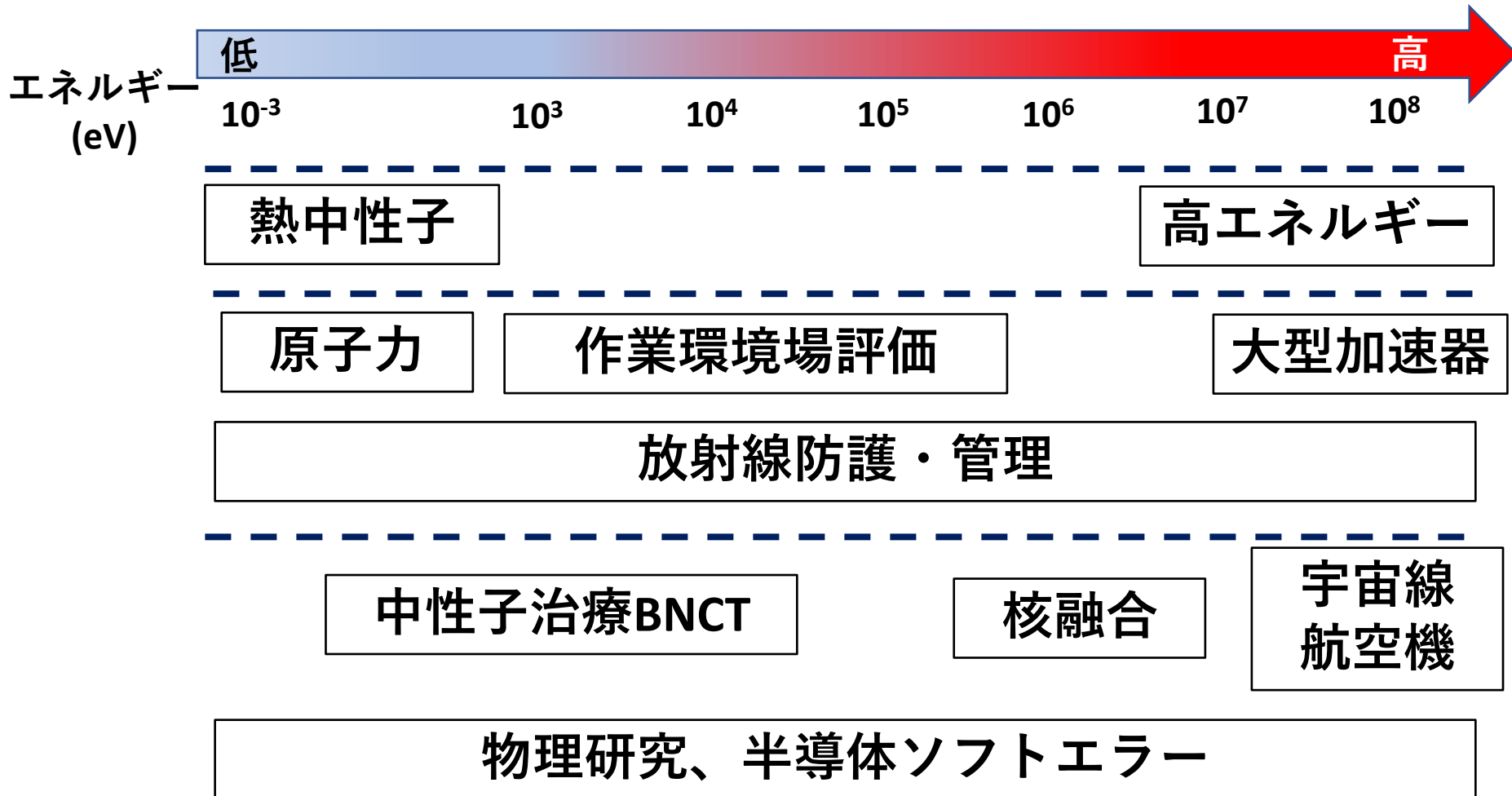
中性子利用の目的

- ・原子力、加速器施設：放射線防護
- ・半導体ソフトウェア
- ・放射線防護目的以外の中性子検出器開発、測定技術開発
- ✓ BNCT (中性子医療)
- ✓ 環境中性子測定
- ✓ 遮蔽
- ✓ 原子核物理、宇宙物理

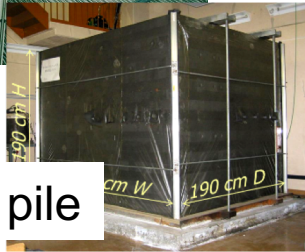


中性子フルエンス、
スペクトルの正確な
評価

中性子

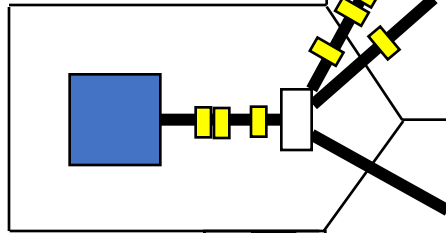


Facility (since 1982)



Graphite pile

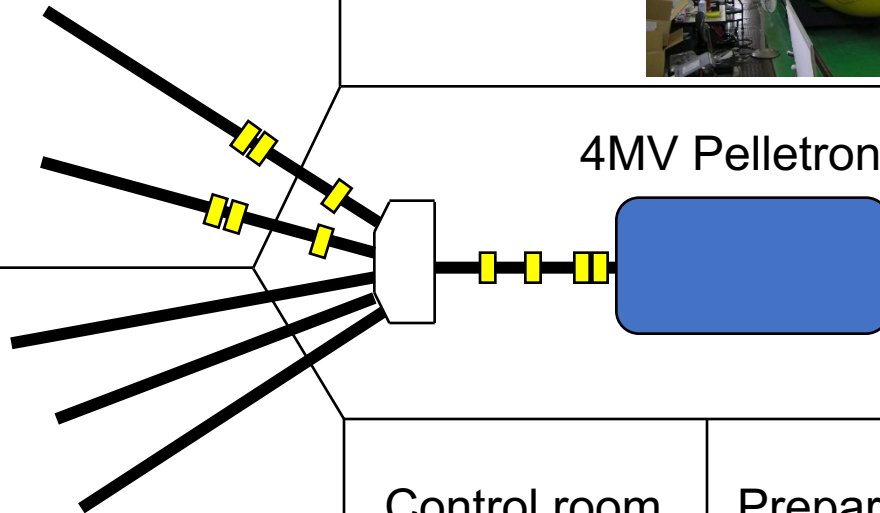
300kV Cockcroft Acc.



Neutron room



4MV Pelletron Acc.



Ion exp. room

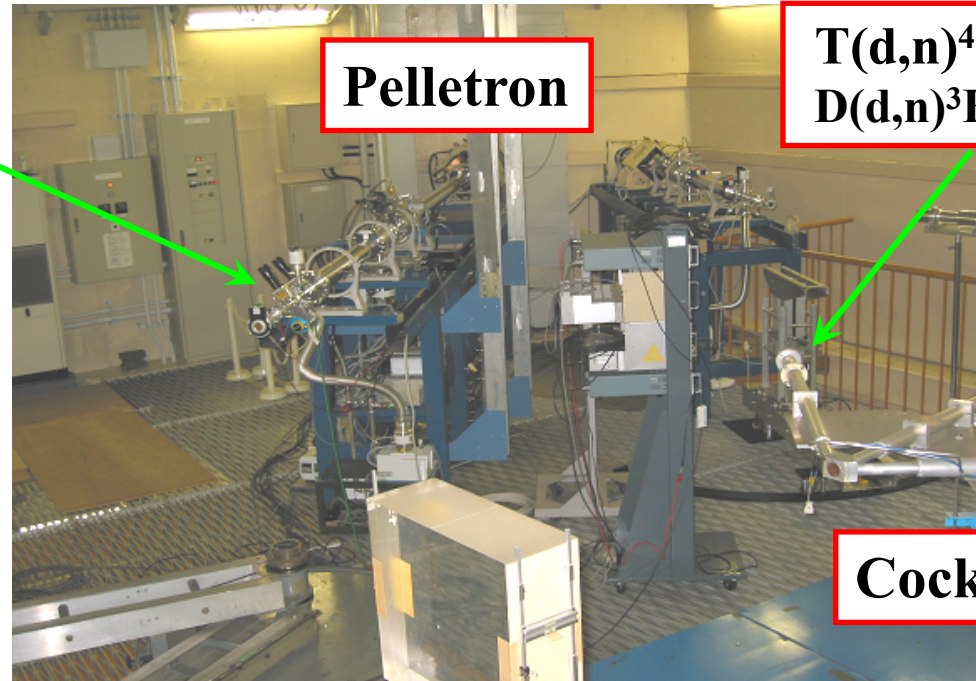
Control room

Preparation room



Neutron room

${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$
 $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$
 ${}^9\text{Be}(\alpha,n){}^{12}\text{C}$
 $\text{T}(d,n){}^4\text{He}$
 $\text{T}(p,n){}^3\text{He}$



Pelletron

$\text{T}(d,n){}^4\text{He}$
 $\text{D}(d,n){}^3\text{He}$

Cockcroft

- 中性子→電荷をもたない→室内散乱:バックグラウンド
- 部屋のサイズ: 11.5m × 11.5m × 11.5m
- アルミのグレーティングフロア
→壁等による散乱の影響を極力低減

Neutron standards (Accelerator)

| Energy | Neutron Production | Accelerator | Measurand Range @1m (cm ⁻² s ⁻¹) | Unc. (k=2) |
|----------|---|--------------------------|--|---------------|
| 24 keV | ⁷ Li(p,n) ⁷ Be with Fe Filter | Pelletron | 4.0 x 10 ⁰ ~ 2.0 x 10 ² | 8.7% |
| 144 keV | ⁷ Li(p,n) ⁷ Be | Pelletron | 9.0 x 10 ⁰ ~ 9.0 x 10 ² | 4.4% |
| 565 keV | ⁷ Li(p,n) ⁷ Be | Pelletron | 2.5 x 10 ¹ ~ 2.5 x 10 ³ | 4.4% |
| 1.2 MeV | T(p,n) ³ He | Pelletron | 1.6 x 10 ⁰ ~ 1.4 x 10 ³ | 7.0 % |
| 2.5 MeV | D(d,n) ³ He | Cockcroft | 1.3 x 10 ⁰ ~ 2.6 x 10 ² | 6.4% |
| 5.0 MeV | D(d,n) ³ He | Pelletron | 1.0 x 10 ¹ ~ 1.0 x 10 ³ | 6.2% |
| 8.0 MeV | ⁹ Be(α,n) ¹² C | Pelletron | 1.0 x 10 ¹ ~ 1.0 x 10 ³ | 5.5% |
| 14.8 MeV | T(d,n) ⁴ He | Cockcroft | 1.5 x 10 ¹ ~ 3.0 x 10 ³ | 3.2% |
| 45 MeV | ⁷ Li(p,n) ⁷ Be | Cycrotron (QST-TIARA) | 5.0 × 10 ⁰ ~ 2.1 × 10 ⁴ | 13% |

線量計校正のために用意しているエネルギー点 (ISO8529)

H. Harano, T. Matsumoto, et al., AIP Conf. Proc. 1099 915 (2009).

T. Matsumoto et al., AIP Conf. Proc. 1099 924 (2009).

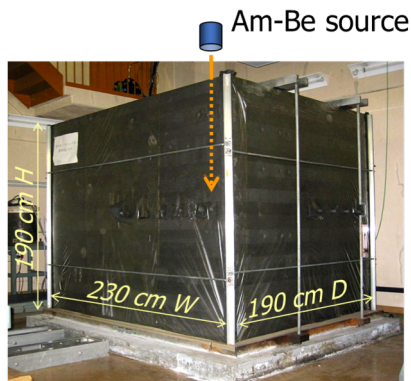
T. Matsumoto, A. Masuda, et al. J. Nucl. Sci. Technol. 54 (5), 529-539 (2017).

Neutron standards (Sources)

Neutron fluence

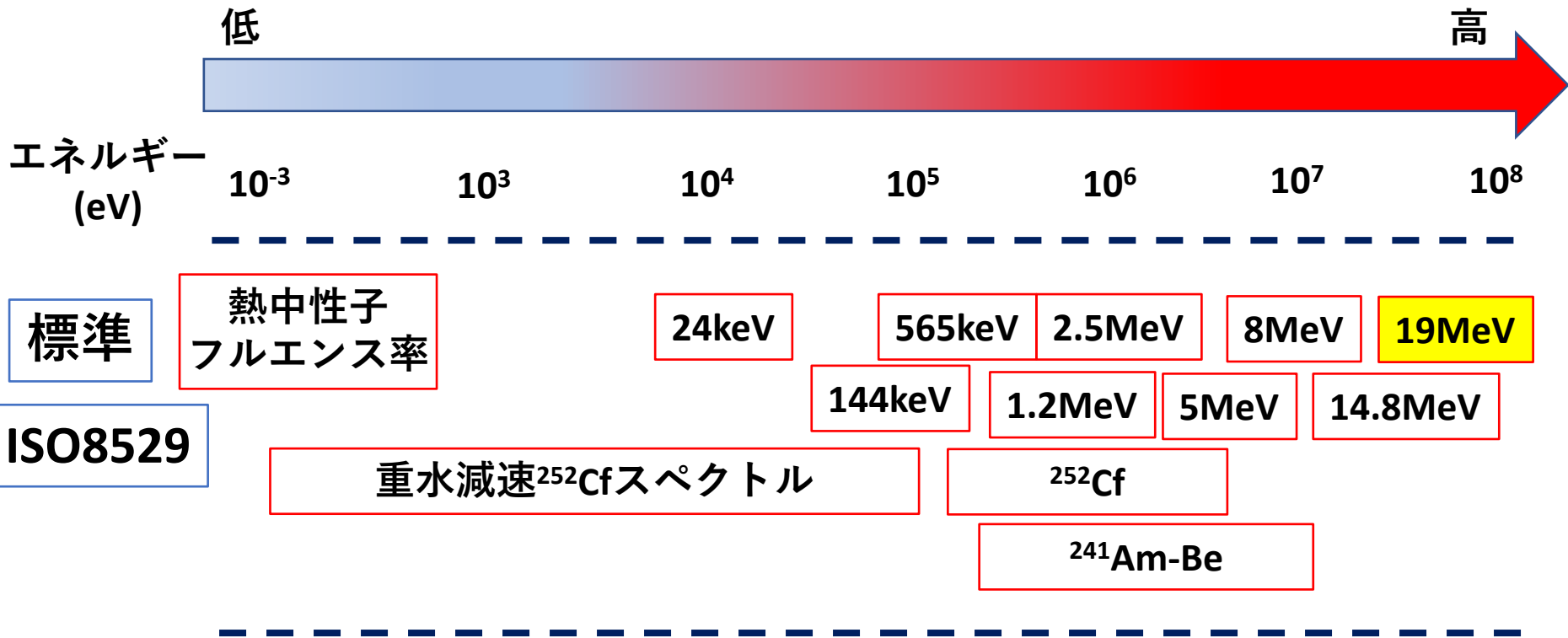
| Field | Neutron Production | Measurand Range @1m (cm ⁻² s ⁻¹) | Unc. (k=2) |
|----------------------|--|--|---------------|
| Thermal | Moderated neutrons with a graphite pile | 5.0 x 10 ¹ ~ 1.0 x 10 ⁴ | 2.8% |
| ²⁴¹ Am-Be | Bare | 1.6 x 10 ⁰ ~ 7.4 x 10 ¹ | 2.8% |
| ²⁵² Cf | Bare | 8.0 x 10 ⁻¹ ~ 8.0 x 10 ¹ | 3.6% |
| D ₂ O-Cf | Moderated neutrons with a heavy water tank | 7.0 x 10 ⁻¹ ~ 7.0 x 10 ¹ | 8.9% |

黒鉛減速
→熱中性子

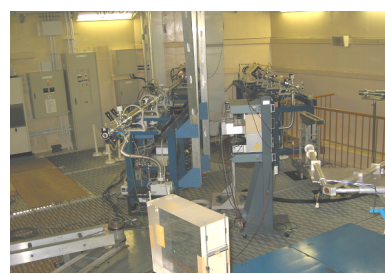
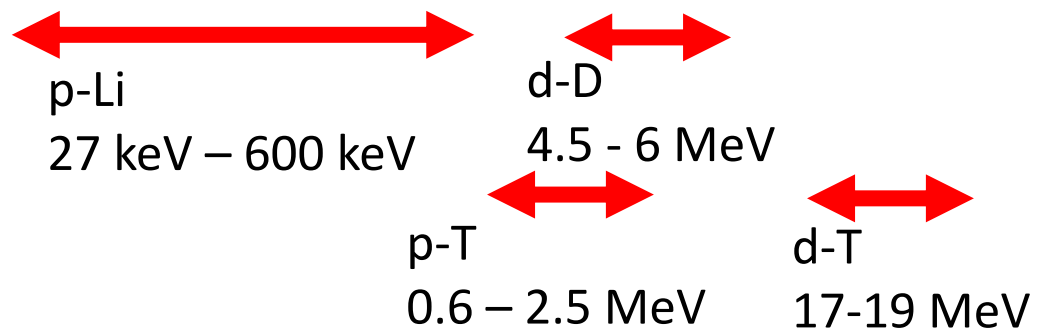


重水減速
→熱外





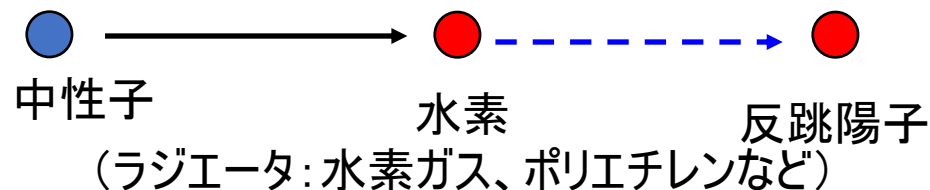
単色中性子可能範囲



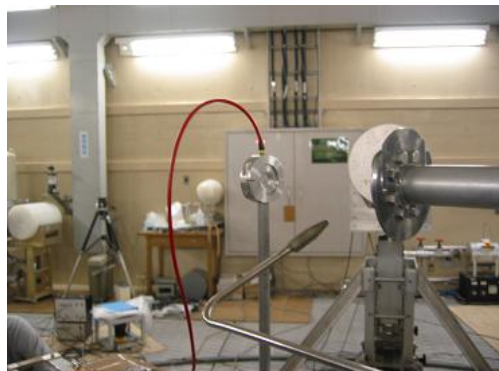
中性子量の評価

中性子フルエンス (cm^{-2})

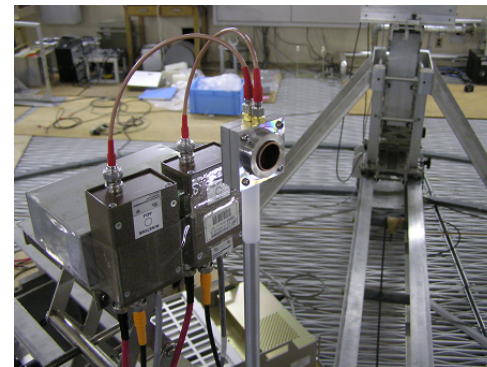
荷電粒子生成反応を利用:
反跳陽子測定法



水素比例計数管
144keV、565keV



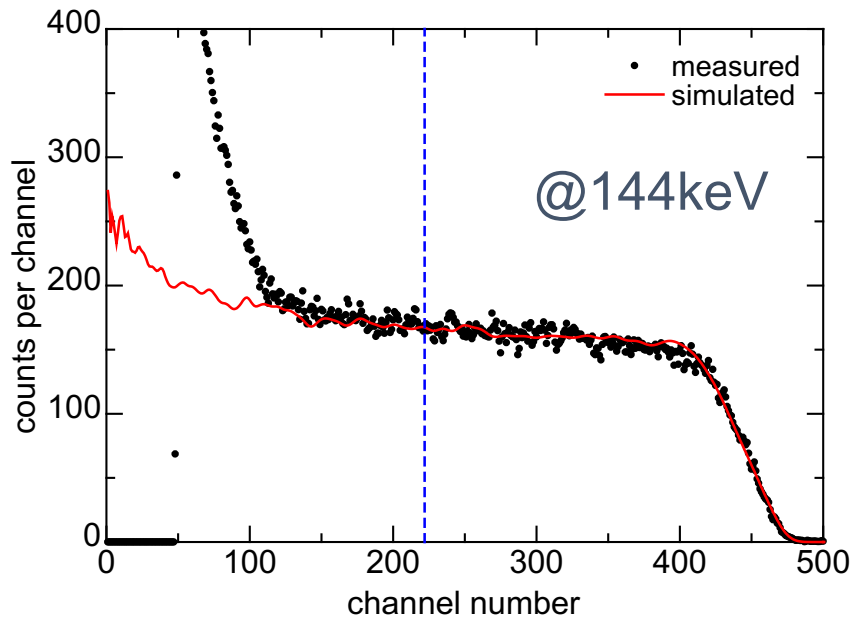
Thick Radiator
検出器
2.5MeV、5.0MeV
ポリエチレン板
Si検出器



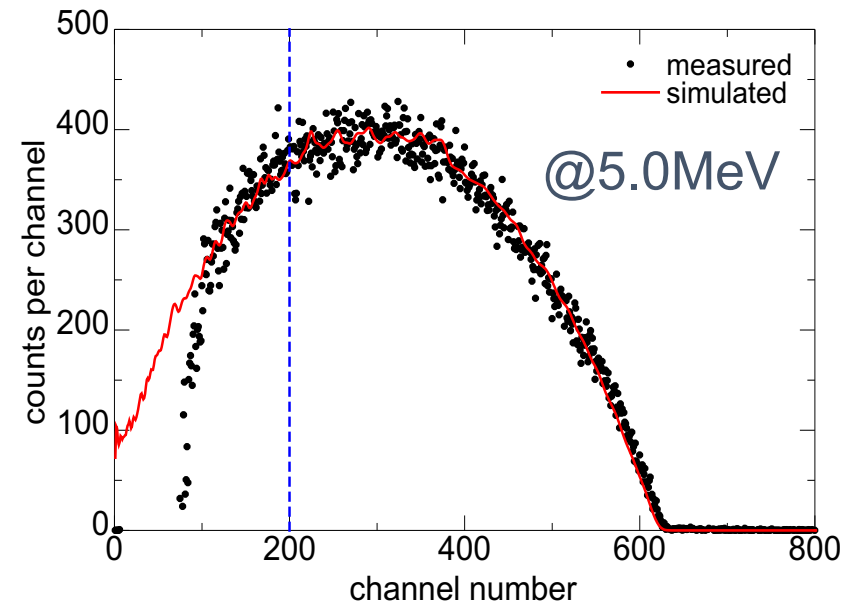
ΔE -E型Thick Radiator
検出器--8.0MeV
ポリエチレン板
Si検出器(ΔE)
Si検出器(E)

中性子量の評価（データ処理）

- ・エネルギースペクトル: MCNP-ANT code (ions & neutrons)
→ターゲット核種 & 厚さ、イオン種、イオンエネルギー、チャンバー.
- ・検出器応答計算: NRESP-ANT code.
- ・実験データとのフィッティング → フルインスの決定



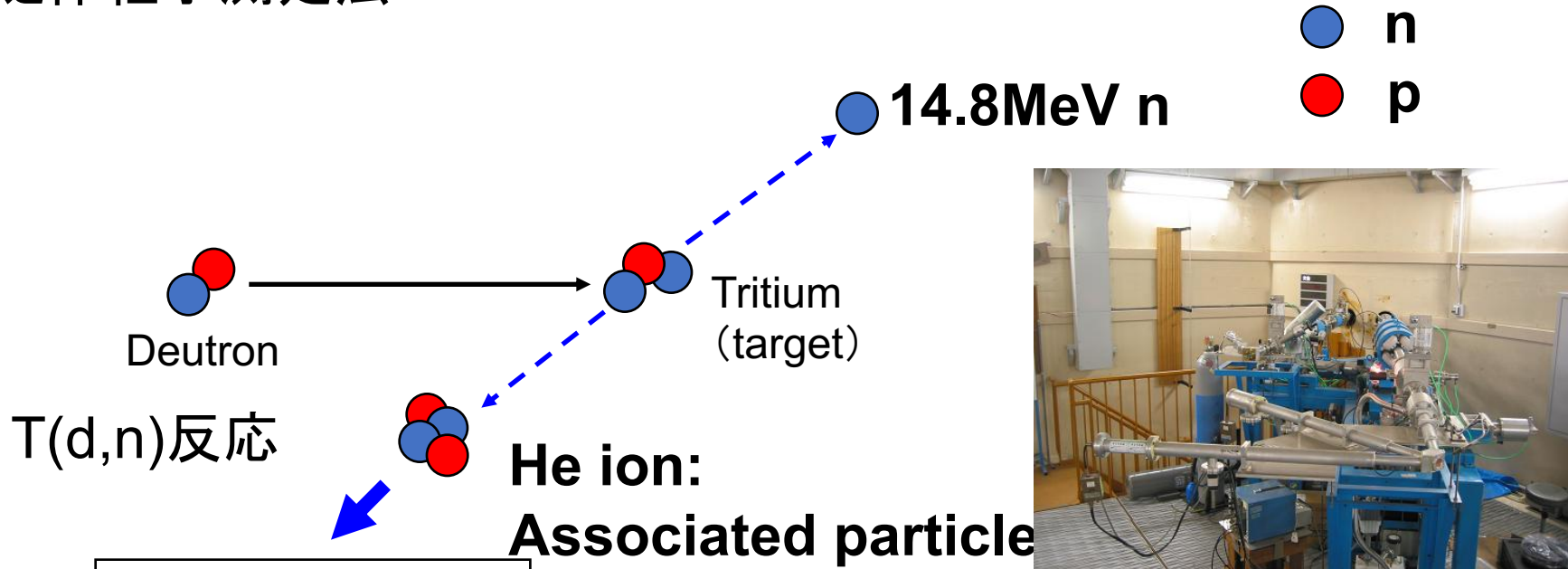
Recoil proton proportional counter



Thick Radiator detector

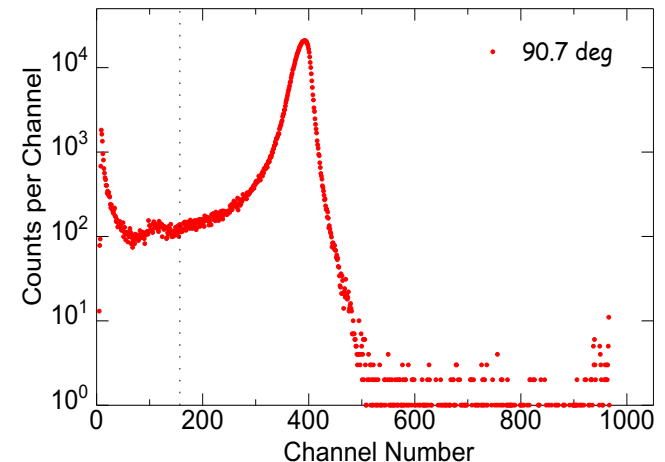
速中性子 (14.8 MeV)

随伴粒子測定法



Si detector
with apertures

基本的に核反応断面積に依存しない
測定手法
→ 良い精度 (1.6% (1 σ))

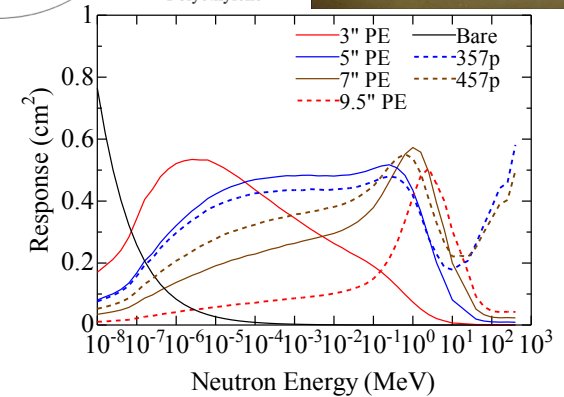
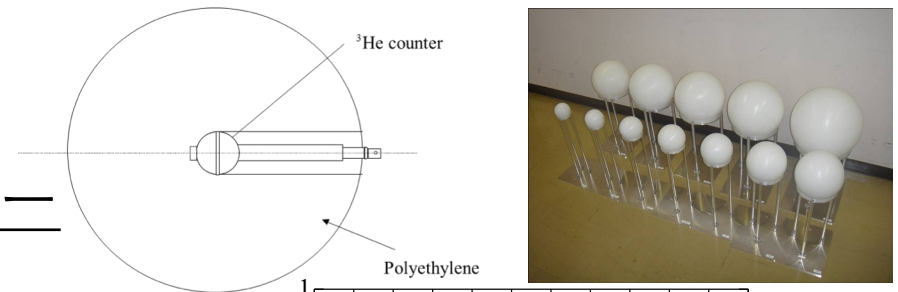


中間エネルギー一点の評価

800keV、900keV、6MeVなど
中性子フルエンスの決定
ボナー球を用いたトランスファー

→PE減速材付の ^3He 比例計数管

- ・ 校正
- ・ ガス圧決定
- ・ スペクトル評価
- ・ 対象エネルギーに対する
応答評価

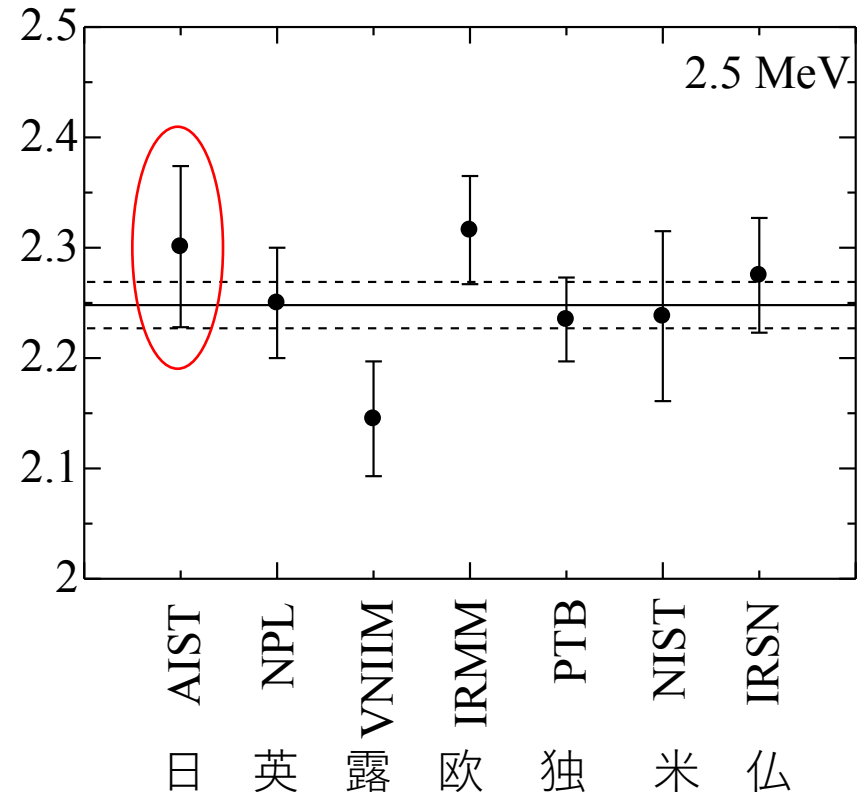
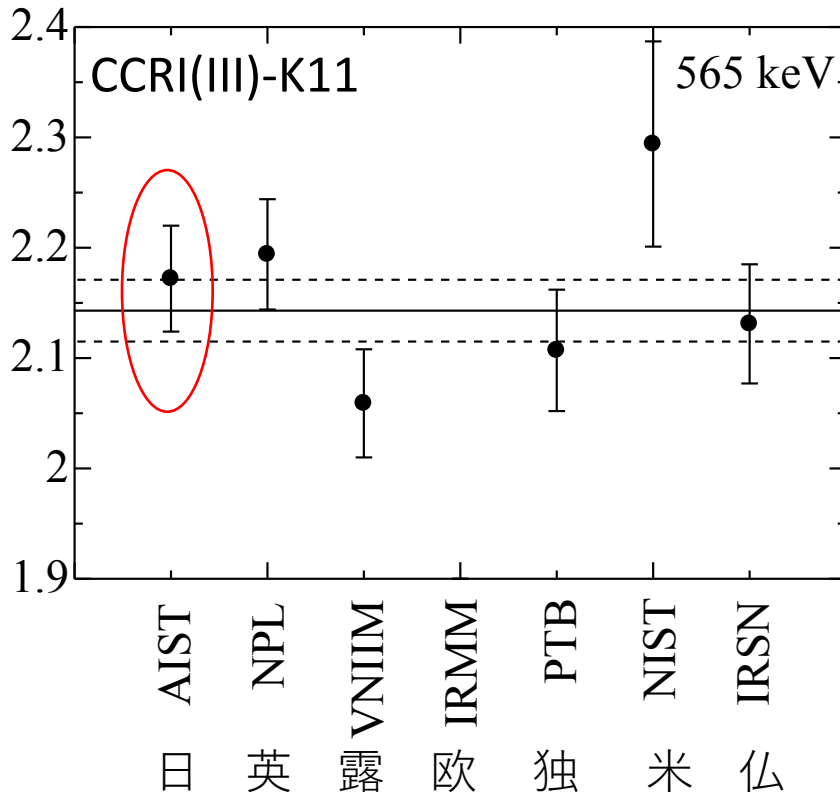


シャドーコーン法
床や台車によって散乱された中性子
による影響 (BG) を引き去る方法





国際比較



海外の研究所と定期的に中性子フルエンス測定
の比較を行い、国家間の整合性

まとめ

- 産総研中性子施設について
- 使用できる中性子エネルギーについて
- 中性子フルエンスの決定方法
- 中性子の測定結果は、定期的な国際比較によって検証

中性子の照射
中性子の測定
中性子の校正

ご相談ください

neutron-ml@aist.go.jp

t-matsumoto@aist.go.jp

HP(「中性子標準」で検索)

<https://unit.aist.go.jp/rima/ract-neu/neutron/newhwp.html>