

---

# KURRIパルス中性子源核的特性の 予備評価

京大院工： 安部 豊, 不破康裕, 田崎誠司  
京大炉： 日野正裕, 川端祐司

# はじめに

---

## ■ 背景

- KUR後における中性子ビーム利用のための中性子源  
→ 使用済燃料の問題で2016年以降の運転が不透明
- 中性子ビーム利用の裾野拡大, 潜在的需要の発掘  
→ 大学部局規模で維持管理可能な中小規模中性子源
- KURRIにおけるFFAG陽子線加速器の開発(ADSR利用)  
→ 比較的小型で高エネルギー, 高出力, 短パルスの陽子加速器

## ■ 目的

- KURRIで開発中のFFAG加速器をベースにしたパルス中性子源の核的特性の予備評価

# FFAG陽子加速器

- 解析で想定したFFAGスペック

---

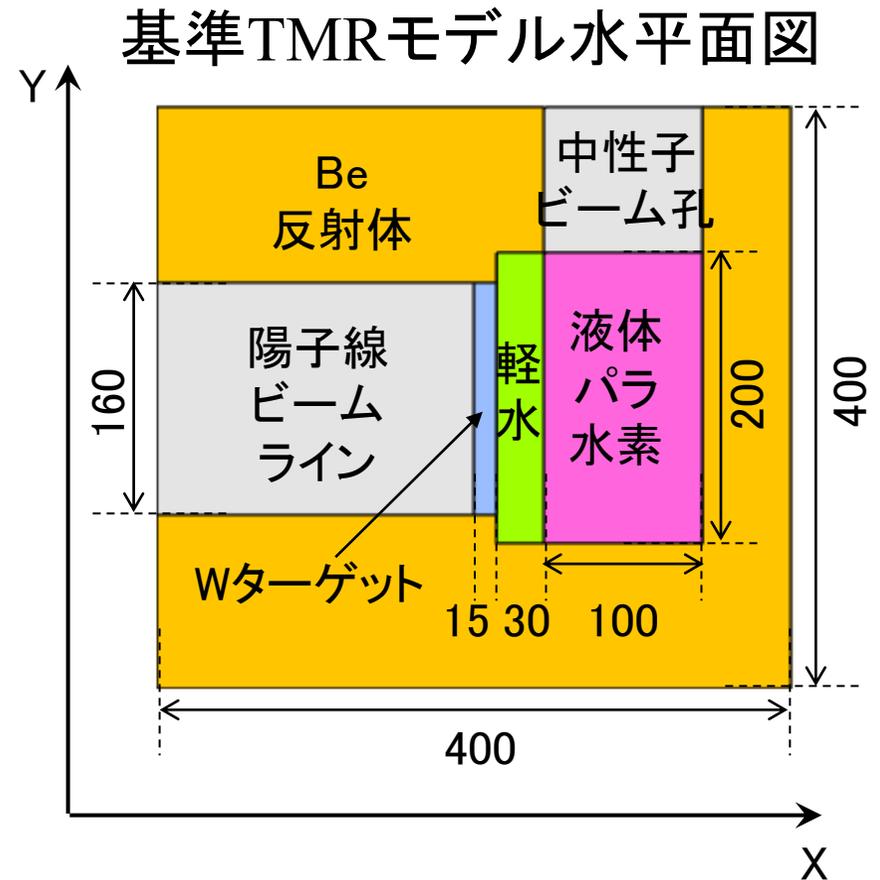
陽子エネルギー	150 MeV
平均電流	5 $\mu$ A
パルス幅	40 ns
パルス内平均電流	12.5 A
パルス周波数	10 Hz
平均出力	0.75kW

---



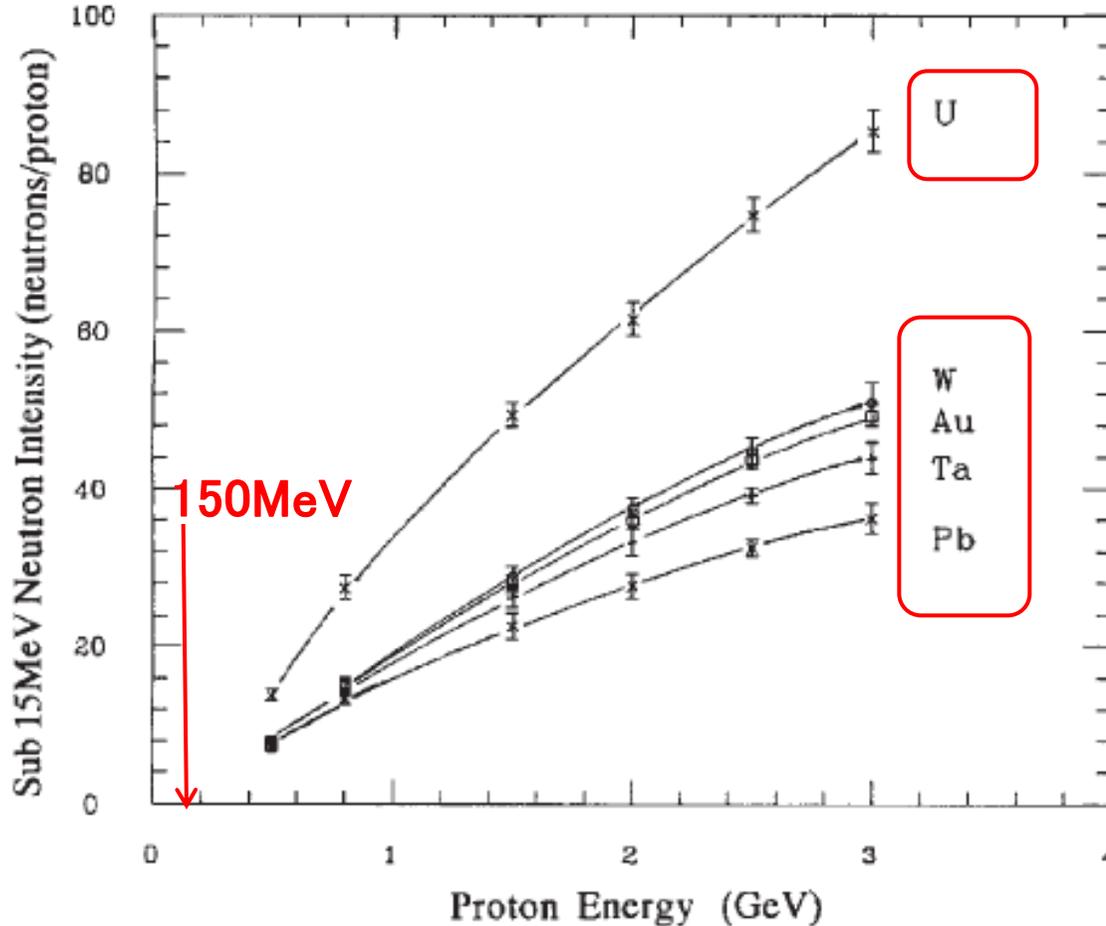
# TMR核特性の評価手順

- TMRモデル核特性パラメータ
  - (1) ターゲット材料・寸法(円柱)
  - (2) 反射体材料・寸法(立方体)
  - (3) 減速材寸法(直方体)
- 中性子束の評価点  
中性子ビーム孔の冷減速材表面  
(ピーク強度, 時間平均強度)
- 中性子輸送解析コード, 核データ  
PHITS Ver. 2.09  
DLC-200/MCNPDATA (ENDF/B-V)



# ターゲットの検討(材料)

- 中性子Yieldの陽子エネルギー依存性



## 劣化ウランターゲット

- ターゲット廃棄物
- 遅発中性子によるパルス幅増加

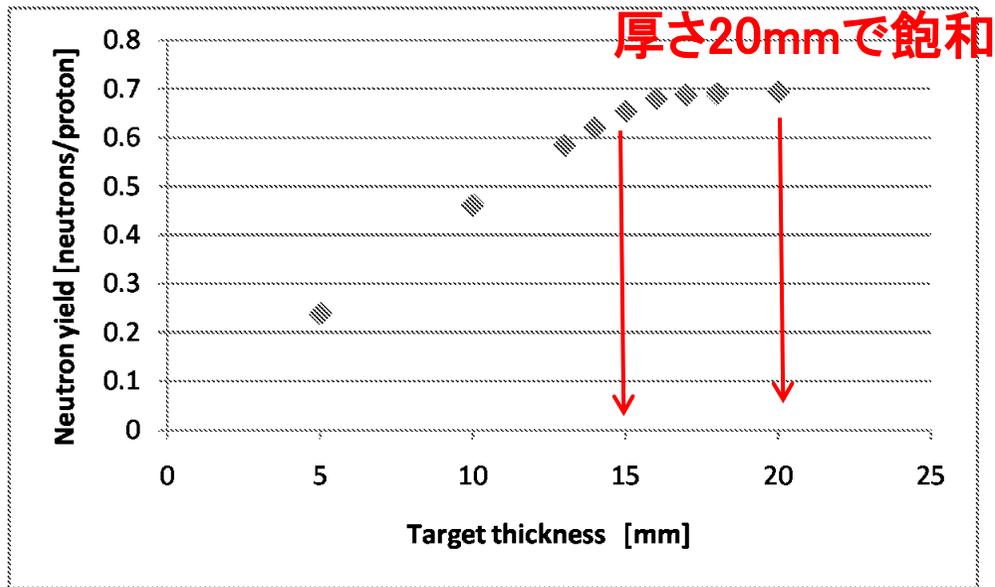
## 非アクチノイドターゲット

核子数密度が大きいほどYield増加

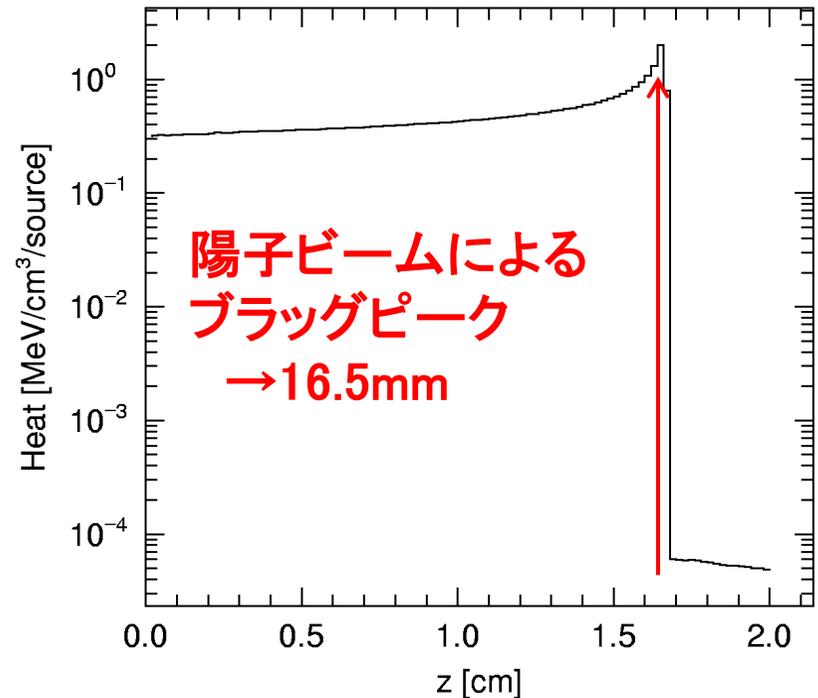
ターゲット材料:  
→ タングステン(W)

# ターゲットの検討(厚さ)

- 中性子Yieldのターゲット ( W ) 厚さ依存性



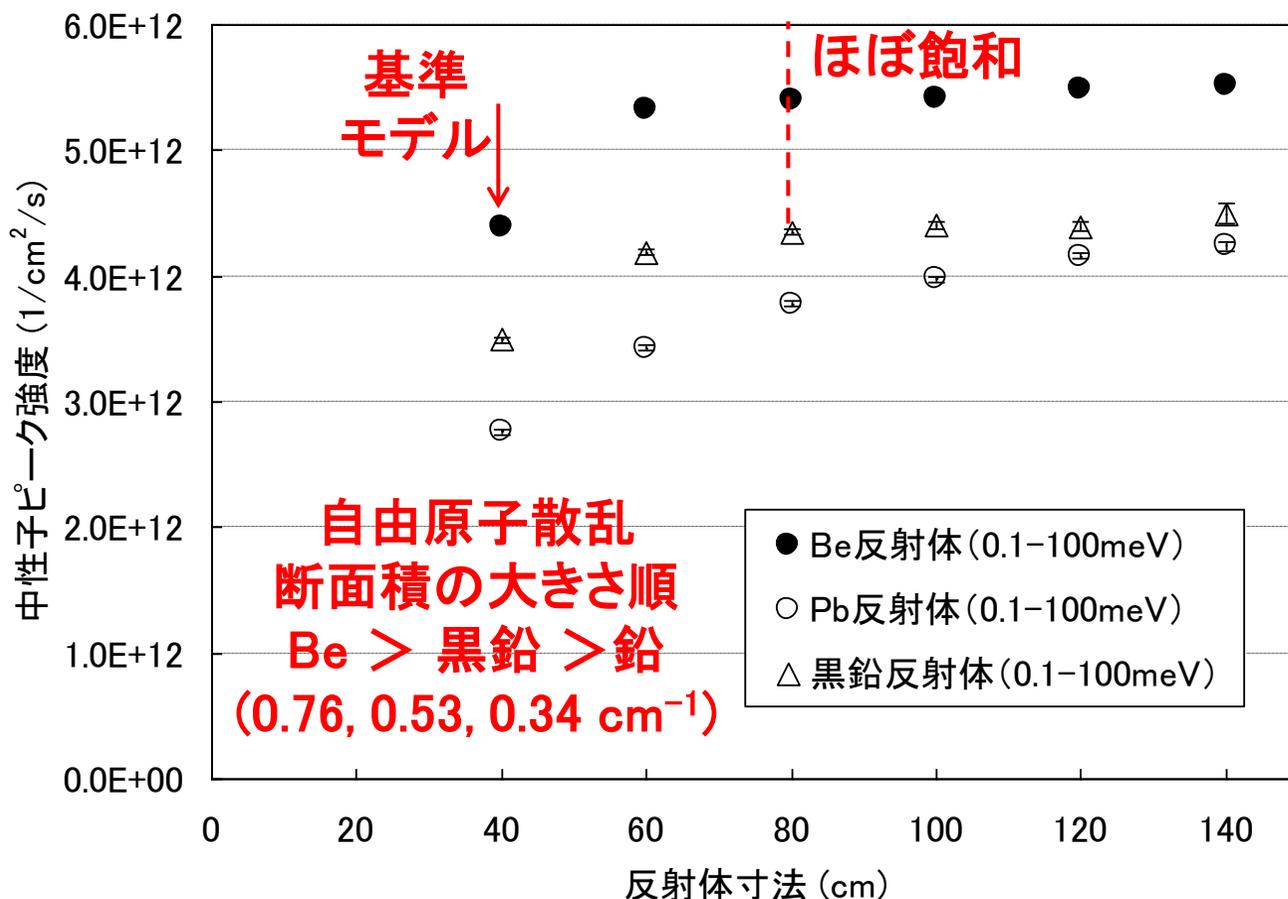
- 陽子ビームのWターゲットへの熱付与(厚さ20mm)



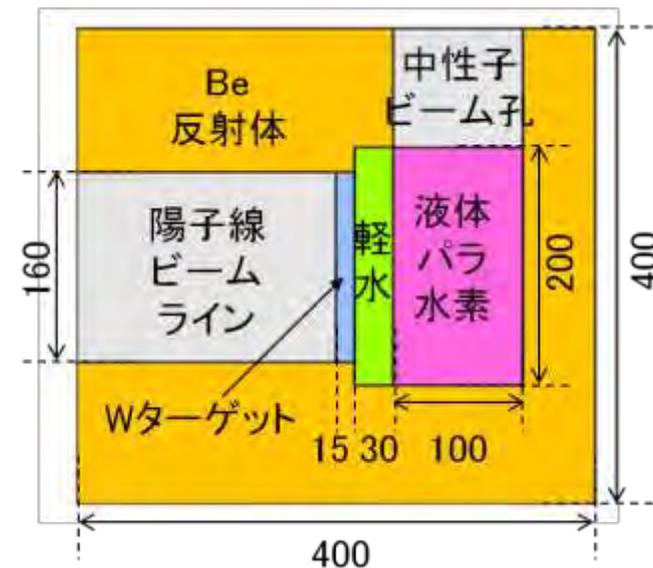
熱付与を低減させるためブラッグピークをはずす  
→ Wターゲット厚: 15mm

# 反射体の検討(材料・寸法)

- 中性子束の反射体材料・寸法依存性



立方体1辺の寸法を変更  
(減速材などはそのまま)



- 寸法: 40~140cm
- 材質: Be, 黒鉛, 鉛

反射体材質・厚さ → Be, 寸法80cm

# 減速材寸法の検討(1)

- 中性子束の減速材寸法依存性 (YZ方向)  
パラ液体水素における中性子拡散距離:  
熱中性子: 約5cm, 冷中性子: 約8cm

## 減速材, ターゲットのYZ方向寸法

(X方向寸法は基準モデルと同じ)

(1) 減速材 (YZ方向):  $20 \times 20$ cm

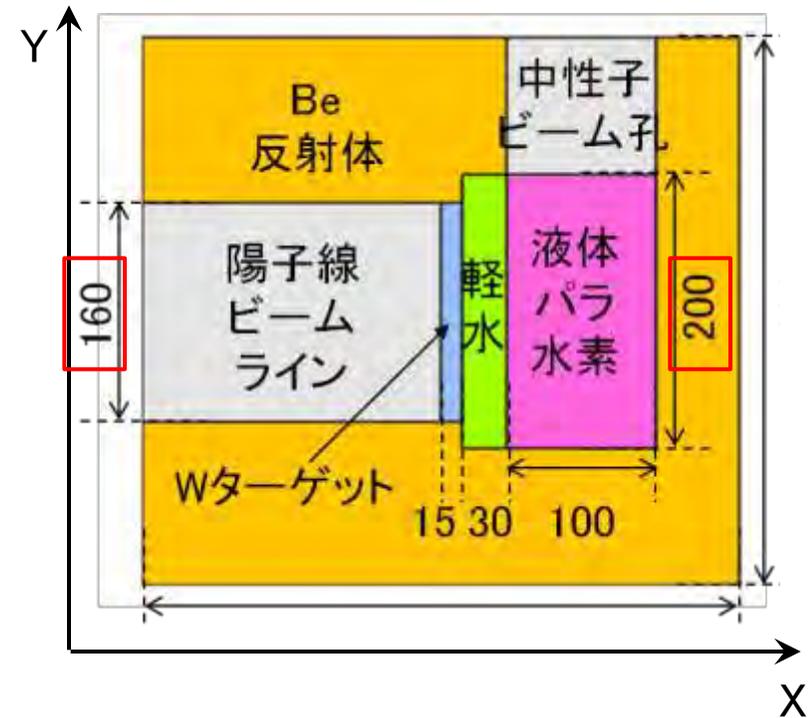
ターゲット直径: 16cm

(2) 減速材 (YZ方向):  $10 \times 10$ cm

ターゲット直径: 8cm

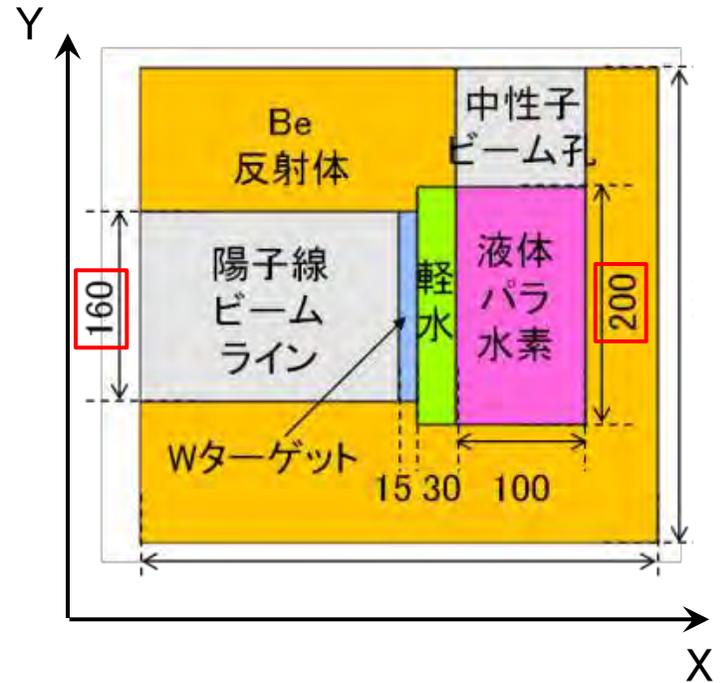
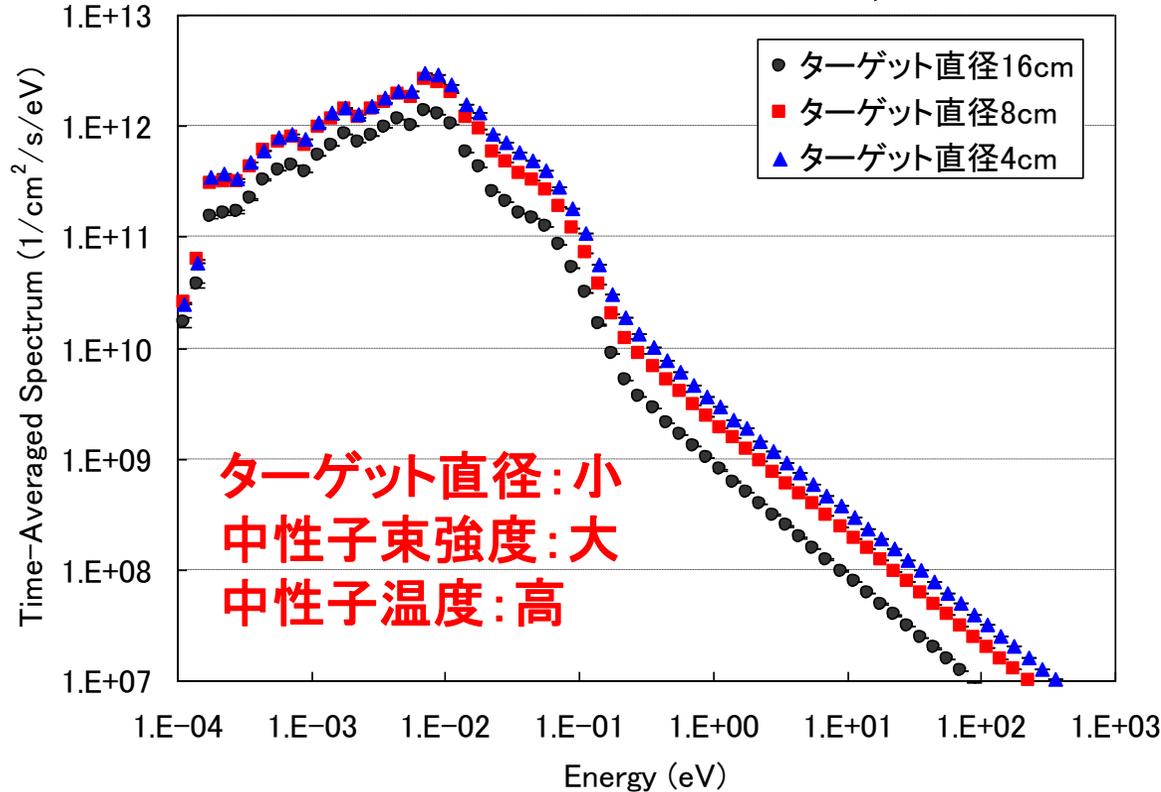
(3) 減速材 (YZ方向):  $6 \times 6$ cm

ターゲット直径: 4cm



# 減速材寸法の検討(2)

- 時間平均中性子束スペクトルのY, Z方向寸法依存性



- 反射体 中性子束強度, パルス幅 (0.1~100meV)

ターゲット直径 (cm)	16	8	4
時間平均中性子束 ( $1/\text{cm}^2/\text{sec}$ )	2.6E+10	5.2E+10	7.0E+10
中性子ピーク強度 ( $1/\text{cm}^2/\text{sec}$ )	5.4E+12	1.1E+13	1.4E+13
中性子パルスFWHM ( $\mu\text{s}$ )	2.6E+02	2.2E+02	2.2E+02

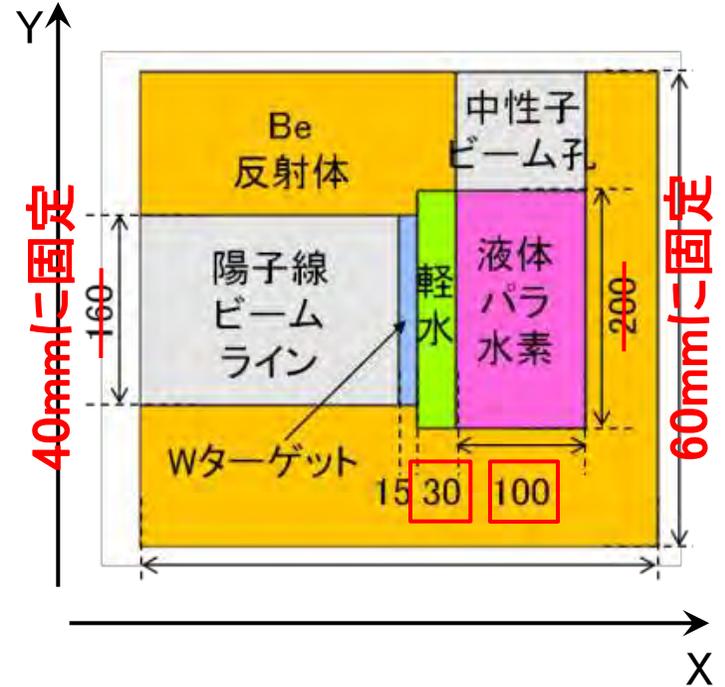
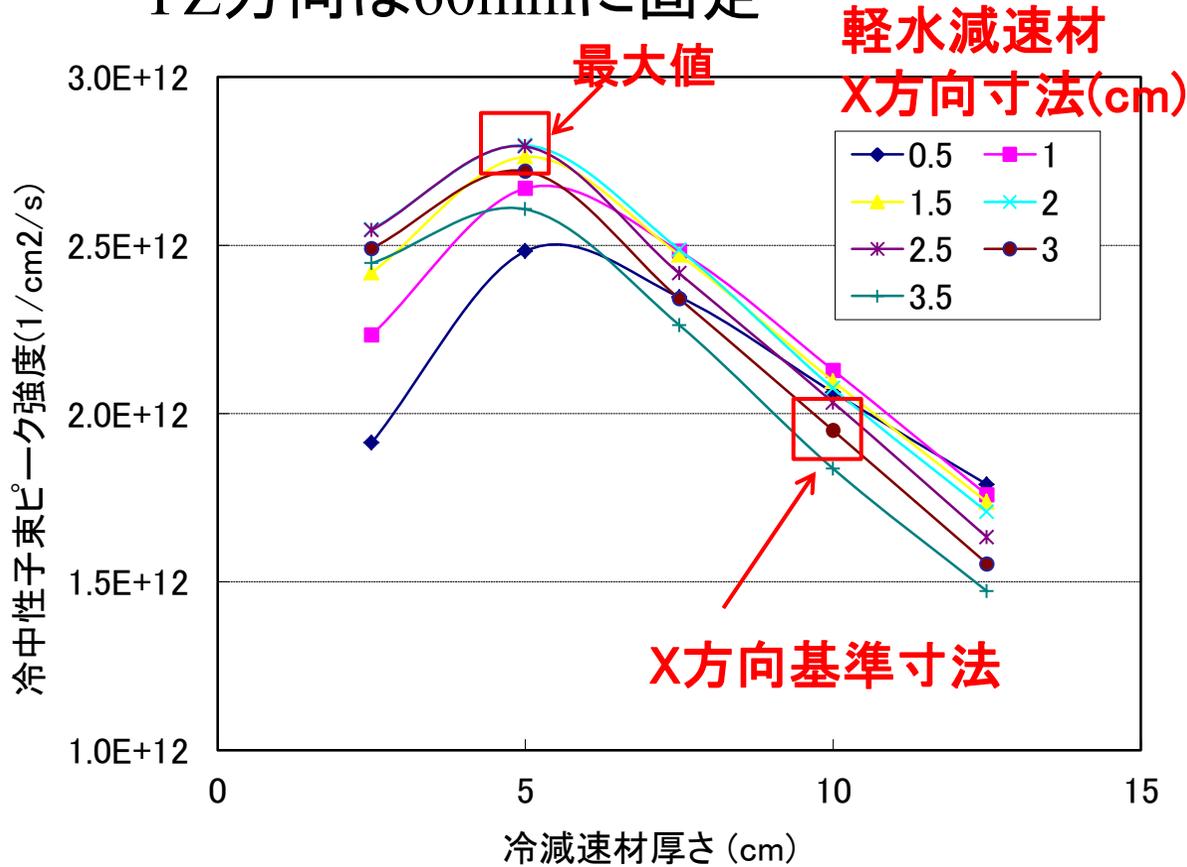
最適寸法 (YZ方向)

ターゲット径: 4cm  
減速材: 6 × 6cm

# 減速材寸法の検討(3)

- 冷中性子束強度(0.1-5meV)の減速材寸法依存性(X方向)

YZ方向は60mmに固定



最適寸法  
(X方向)

前置減速材: 2cm  
冷減速材: 5cm

# パルス中性子源核特性まとめ

- KENSとの核特性比較(冷中性子束強度最大のケース)

項目	KURRI 中性子源モデル	KENS
中性子パルス強度(1/cm <sup>2</sup> /s)	$2.6 \times 10^{13}$	$3.1 \times 10^{13}$
パルス幅( $\mu$ s)	150	100
時間平均中性子束(1/cm <sup>2</sup> /s)	$9.9 \times 10^{10}$	$6.1 \times 10^{10}$
中性子の最確エネルギー (meV)	7	3
陽子エネルギー(MeV)	150	500
陽子時間平均電流( $\mu$ A)	5	6
周波数(Hz)	10	20
出力(kW)	0.75	3
中性子Yield	0.66	19
1パルスあたりの 高速中性子発生数	$2.1 \times 10^{12}$	$3.6 \times 10^{13}$
変換効率 $\eta$	12	1.7

(注1)

(注2)

## 変換効率について

- ・ ターゲット・モデレータ間のカップリング
- ・ ターゲット冷却材, 構造材の有無
- ・ ポイズン有無
- ・ 中性子ビーム孔開口部の大きさ

(注1): KENSの値は下記文献の固体メタン減速特性から推定

鬼柳善明, 「中性子による計測と応用」p38, 日本アイソトープ協会編, 丸善, 1999.

(注2): Y. Ikeda, Neutron Technical Advisory Committee Meeting 2002.10.28-30 資料から推定

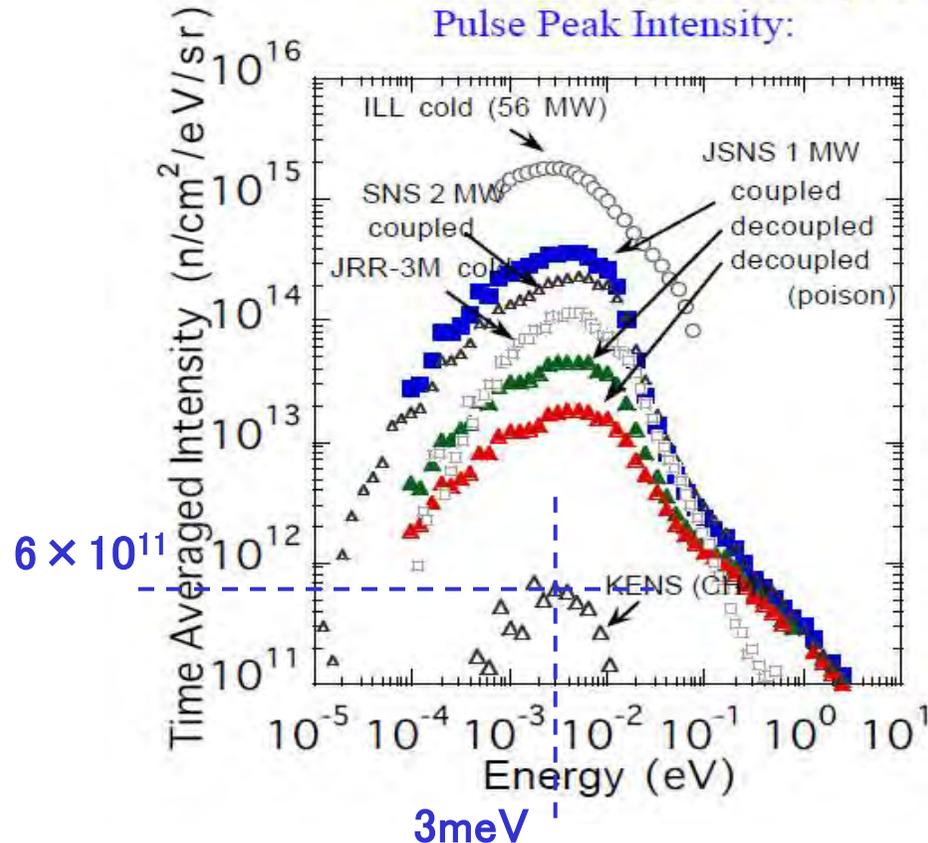
# まとめ

---

- KURRIで開発中のFFAG陽子加速器のスペックを基にパルス中性子源の核特性を評価.
- KURRI中性子源モデル:パルス中性子束強度: $2.6 \times 10^{13}$  (1/cm<sup>2</sup>/s) (KENS ( $3.1 \times 10^{13}$  (1/cm<sup>2</sup>/s))とほぼ同等のパルス強度).
- 本解析ではターゲット冷却材, 構造材などを考慮していないため, 上記の中性子束強度はほぼ理想的条件での上限値と考えられる.
- 工学設計(ターゲット冷却, 構造材料)などを反映させた詳細なモデリング評価が今後必要.

# KENS中性子束強度の評価方法

- KENS時間平均中性子スペクトル  
Unique Neutron Flux of SNS  
 Time Averaged Intensity: Couple  
 Pulse Peak Intensity:



- 時間平均スペクトル  $\phi_{av}(E)$ :  
 Maxwell 分布を仮定

$$\phi_{av}(E) = \frac{\phi_t}{4\pi} \frac{E}{E_n^2} \exp\left(-\frac{E}{E_n}\right)$$

左図のスペクトルのピーク位置から  
 時間平均全中性子束  $\phi_t$  を評価

- パルス中性子束強度:  $\phi_p$

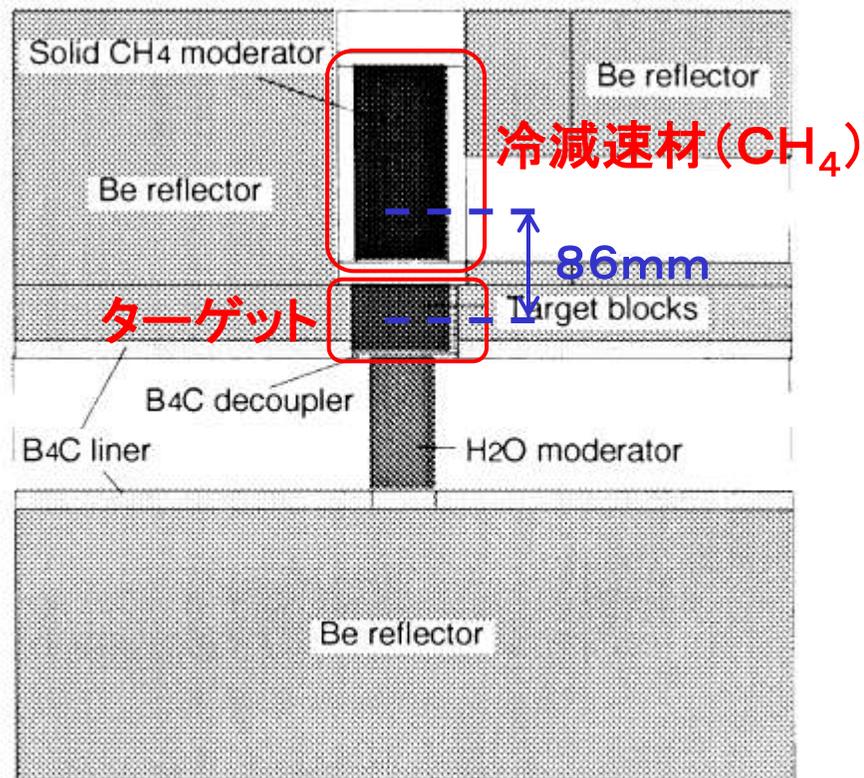
$$\phi_p = \frac{\phi_t}{f t_w}$$

周波数  $f = 20 \text{ Hz}$

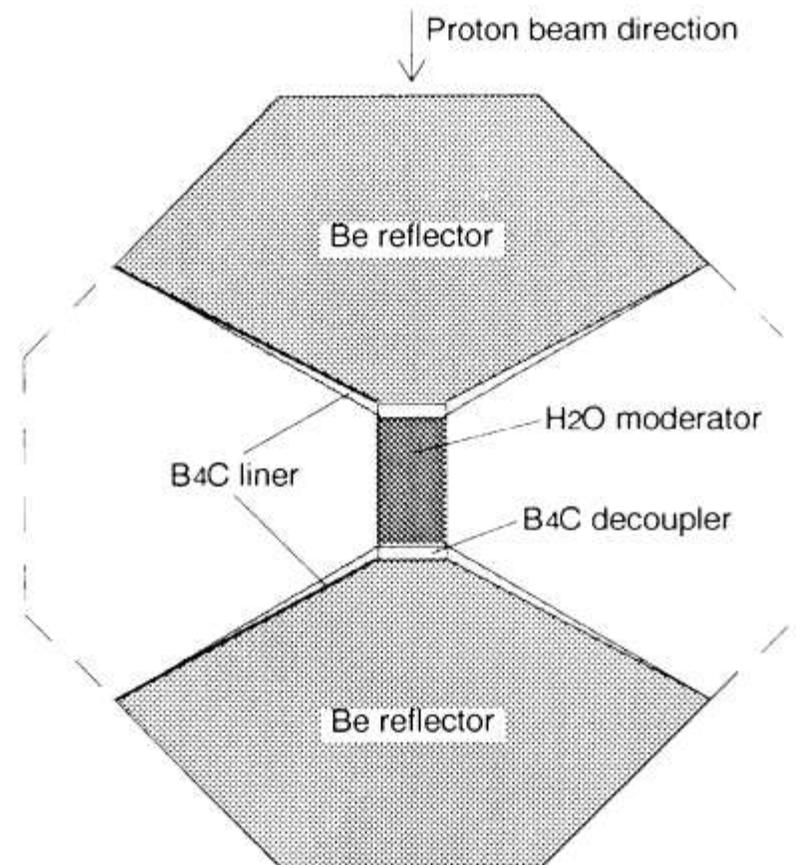
パルス幅 (FWHM)  $t_w = 100 \mu \text{ s}$

# KENSのTMR

- TMR垂直断面図



- TMR水平断面図



# 液体水素散乱断面積

- 液体水素全断面積の中性子エネルギー依存性

