

原子力第一船 むつ の遮蔽
効果確認実験に係る *PHITS*
によるベンチマーク解析

簡易遮蔽計算コードレビューWG

1

松田 規宏、延原 文祥、平尾 好弘

もくじ

- 簡易遮蔽計算コードレビューWG の活動
POKER（点減衰核積分法）
- ベンチマーク実験の概要
- PHITS による解析結果
〔Counter〕機能 を用いた解析
- まとめ

WG の活動

- 日本原子力学会 放射線工学部会
「簡易遮蔽計算コードレビューWG」 (第1期)
(簡易遮蔽解析コードレビューWG) , 2016.01~
- 第3期, 2020.02~ (連携)
放射線安全規制研究戦略的推進事業
「ICRP 2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究」
- 第4期, 2023.05~
(添付図書)
「原子力第一船むつ遮蔽透過実験ベンチマーク解析」



POKER の紹介

(国産の簡易遮蔽計算コード!!)

POKER

光子 (ガンマ線) の簡易遮蔽計算コード

Shielding Dose Calculation Code with Point Kernel Techniques



最新のICRP勧告とデータに基づく光子の遮蔽計算

- 最新の線量換算係数、同位体放射線データ、30MeVまでの光子・原子相互作用データ

放射線施設の遮蔽計算と許可申請・届出を行う人のために

- 原子力規制庁の規制研究を通じた監修

放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (ICRP2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究)

純国産100%

- 日本原子力学会放射線工学部会簡易遮蔽計算WG
国立研究開発法人のガチ遮蔽研究者
原子力・放射線施設の遮蔽設計・申請を担う遮蔽実務家
遮蔽計算を熟知した本職プログラマー



4



POKER
Community



PointKernel.com

ベンチマーク解析 (PHITS)

- Benchmark study of particle and heavy-ion transport code system using shielding integral benchmark archive and database for accelerator-shielding experiments, J. Nucl. Sci. Technol. 59 (2022).
- その他 (J-PARC、HSS06※、
核内カスケード※※、Inter-comparison)
@ SATIF

※ HSS06 : Hadronic Shower Simulation Workshop, 2006
<http://conferences.fnal.gov/hss06/>

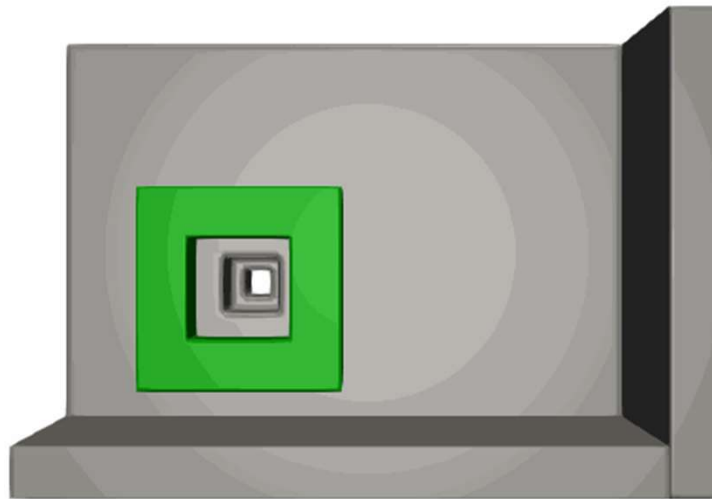
※※ Benchmark of Spallation Models (IAEA)
<https://www-nds.iaea.org/spallations/>

ベンチマーク解析を行う上で

- 計算体系を詳細かつ正確に造る！
PHITS によるシミュレーションとは、
ヴァーチャルな世界 に実験体系を構築し、
体系内での放射線の振る舞いを観察する。
- “if” が実現できる世界 を堪能しましょう。
 [Counter] 機能 を用いた解析

コンクリート透過実験

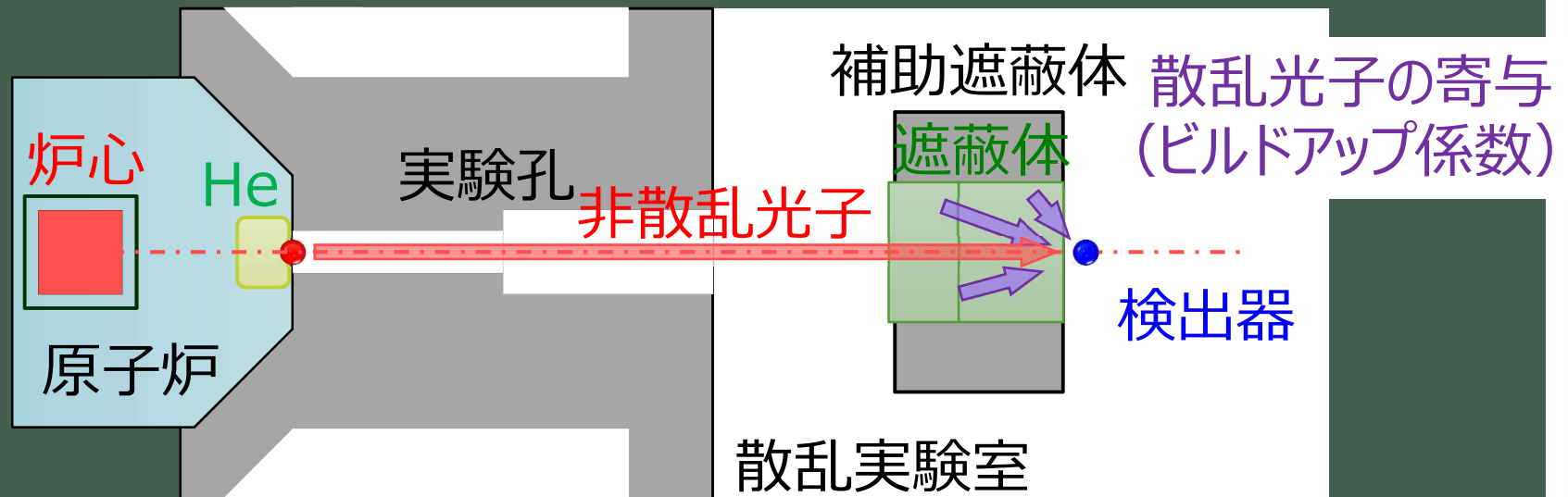
JRR-4 散乱実験設備



(再現した範囲)

実験体系（POKER/PHITS用）

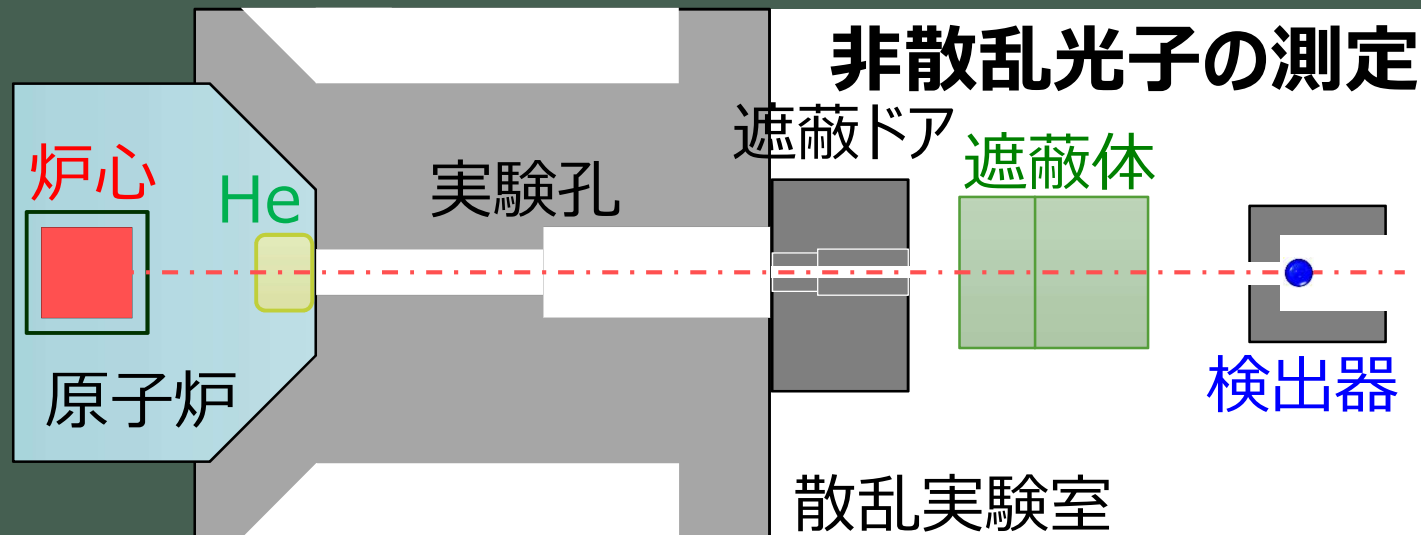
- 実験体系（JRR-4 散乱実験設備）



- 線源要素：
炉心、ヘリウムタンク、ボラル板、実験孔
- 遮蔽体： 普通コンクリート / 重コンクリート

実験体系（PHITS用）

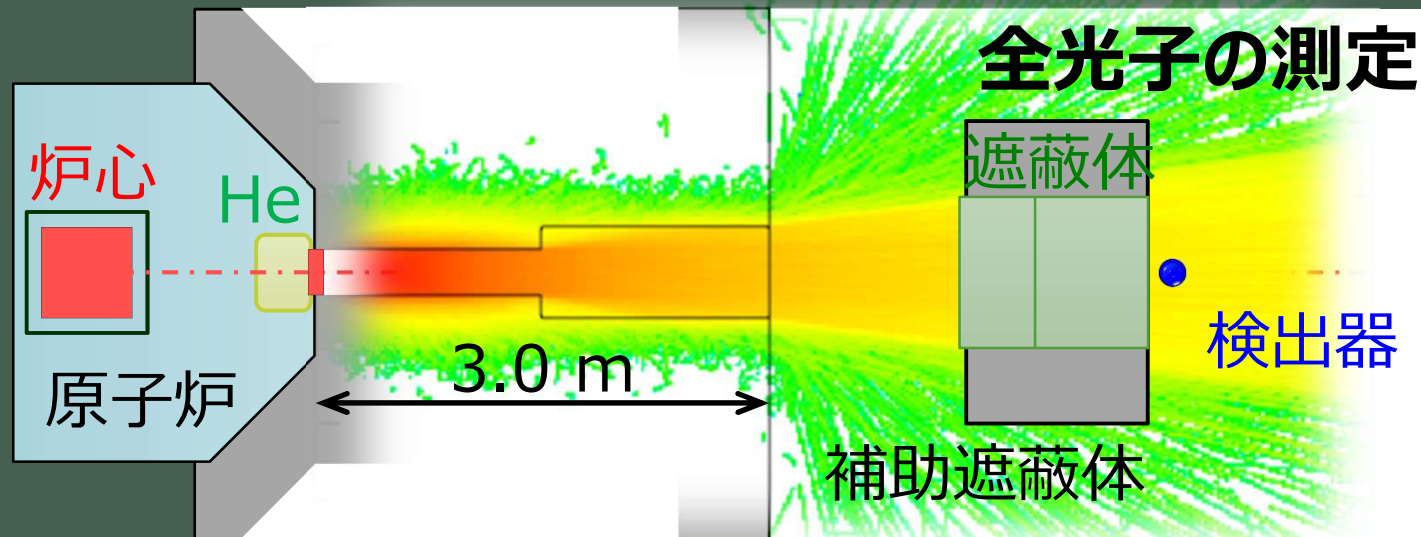
- 実験体系（JRR-4 散乱実験設備）



- 線源要素：
炉心、ヘリウムタンク、ボラル板、遮蔽ドア
- 遮蔽体： 普通コンクリート / 重コンクリート

線源（実験孔）の設定

- 実験体系（JRR-4 散乱実験設備）



- 線源の 位置・放出角度：
炉心 → 実験孔の炉心側、±20度



モンテカルロ法らしさを失わないように！

計算結果 (C/M)

- 全光子 (散乱光子込み)

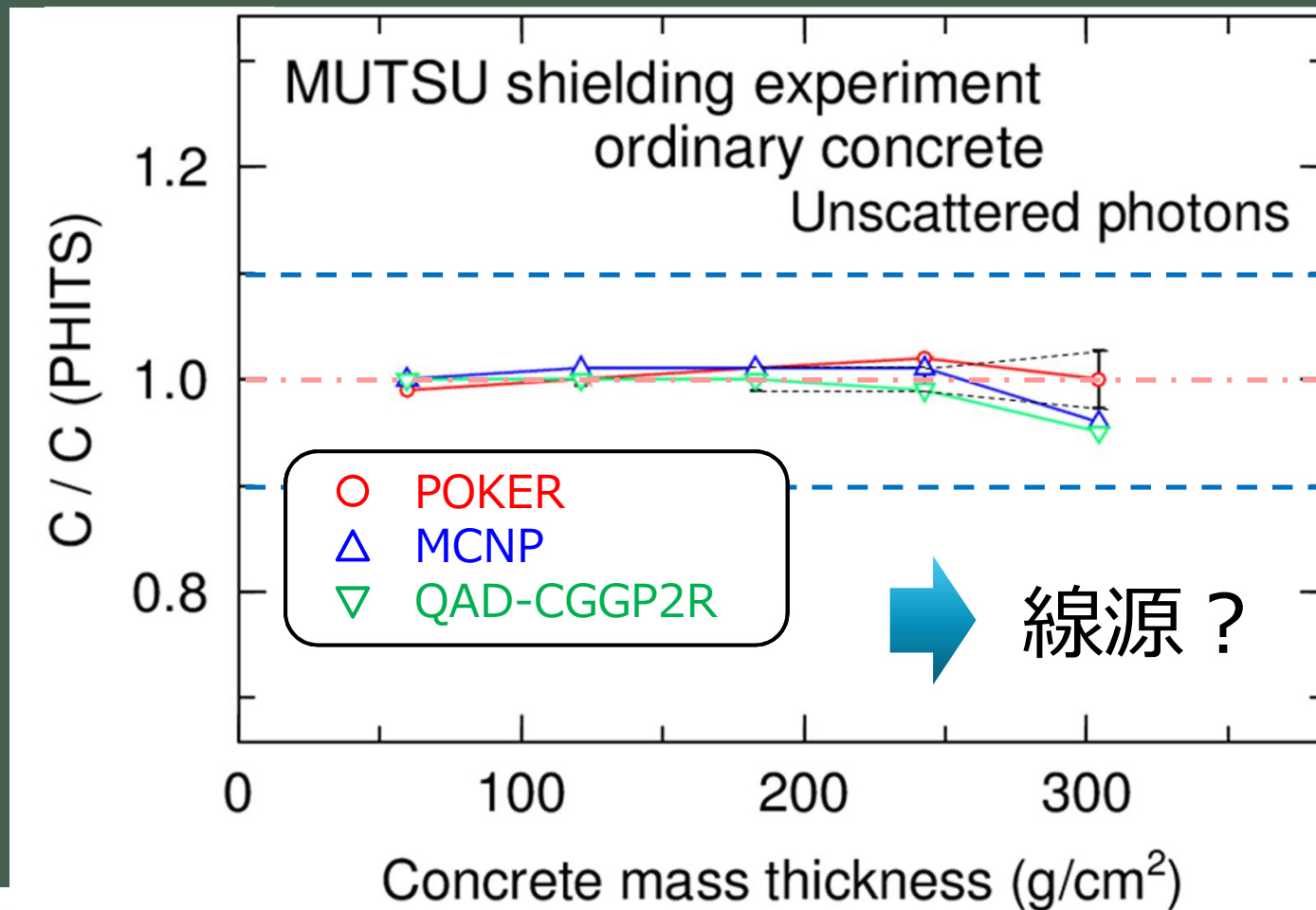
PHITS による計算結果(C) は、測定結果(M) に対して10%以内 でよく一致した。(重コン 100 cm を除く。)

- 一方で、非散乱光子 は、...

	測定結果 (M)		PHITS 3.20 (C)		C/M	
	厚さ (cm)	非散乱光子 Unscattered / Total photons	全光子	非散乱光子 Unscattered / Total photons	全光子	非散乱光子 Unscattered / Total photons
遮蔽体： 無	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00
遮蔽体： 普通コンクリート	25.2	1.06E-01	2.39E-01	1.18E-01	2.36E-01	1.11
	50.1	1.48E-02	4.56E-02	1.62E-02	4.42E-02	1.10
	75.3	2.13E-03	9.19E-03	2.57E-03	8.24E-03	1.21
	100.5	3.43E-04	1.81E-03	4.65E-04	1.68E-03	1.35
	125.4	5.70E-05	3.78E-04	8.71E-05	3.40E-04	1.53
遮蔽体： 重コンクリート	25	3.52E-02	9.26E-02	3.94E-02	9.68E-02	1.12
	50	2.17E-03	7.64E-03	2.25E-03	7.74E-03	1.04
	75.1	1.33E-04	6.82E-04	1.42E-04	6.24E-04	1.07
	100.1	7.11E-06	6.04E-05	1.01E-05	5.09E-05	1.42

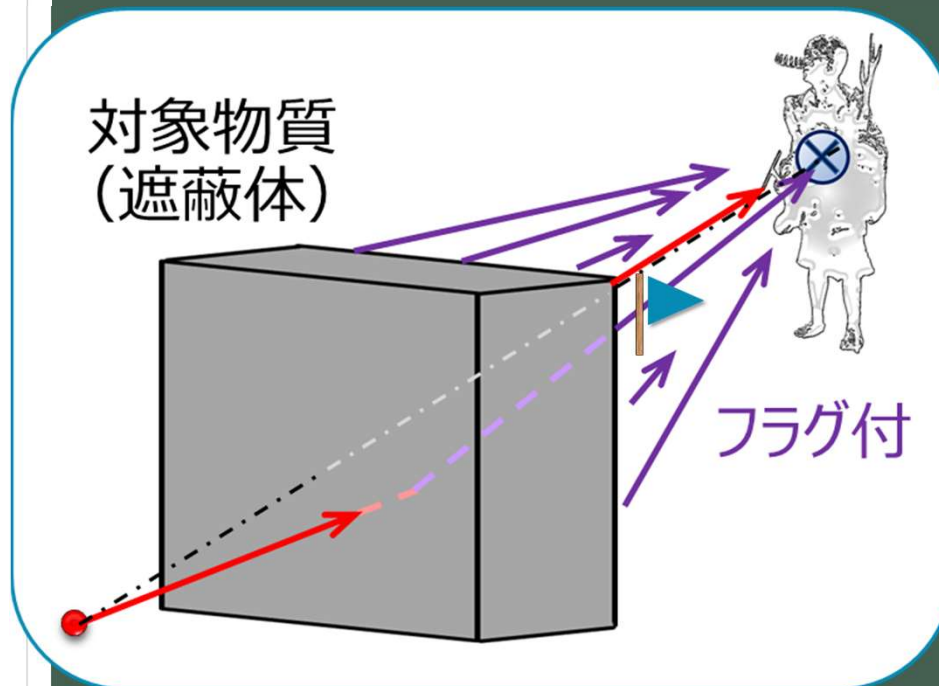
計算結果 (C/C)

- 非散乱光子 は、計算コード間(C/C) でよく一致した。



[Counter] 機能 を用いた解析

- フラグ  を立てて、観察対象の放射線 を弁別
(散乱 / 非散乱 光子)



解析と同時に、ビルドアップ係数 も試算

厚さ (cm)	普通/重 コンクリート	
0	1.07	1.07
25	2.16	2.64
50	2.91	3.86
75	3.54	4.67
100	4.02	5.70
125	4.49	---

まとめ

- 簡易遮蔽計算コードレビューWG の活動の一環として、光子の「コンクリート透過実験」を対象としたベンチマーク解析を実施した。
(この報告書は、近日公開予定です。)
- 普通コンクリートの遮蔽体 に対する **PHITS** の計算結果は、測定結果をよく再現した。(±10%)
- **PHITS** の 妥当性検証 (Validation) は、これまでも数多く行われてきているが、今後も皆さまのご協力をお願いします。

おしまい

ご清聴ありがとうございました。

補足資料

光子のエネルギースペクトル

- Pulse height distribution

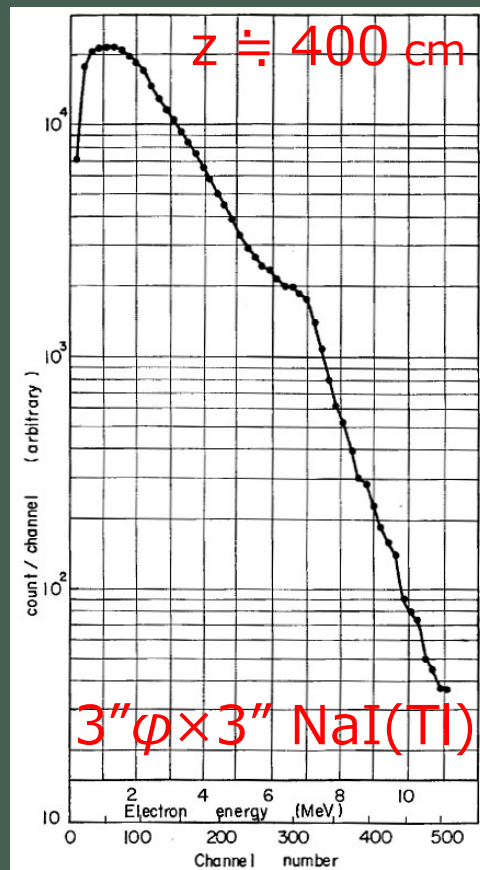
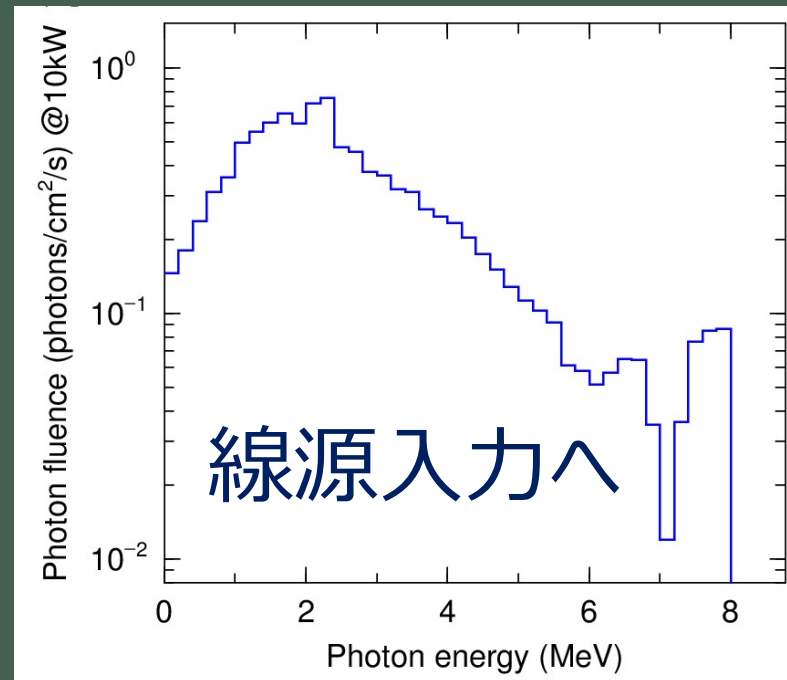


Fig. 2.40 Pulse height distribution of gamma-rays obtained by NaI (Tl) spectrometer
reactor power: 10 kW
shielding door: 52.9 mmφ beam

逆マトリクス法 で変換

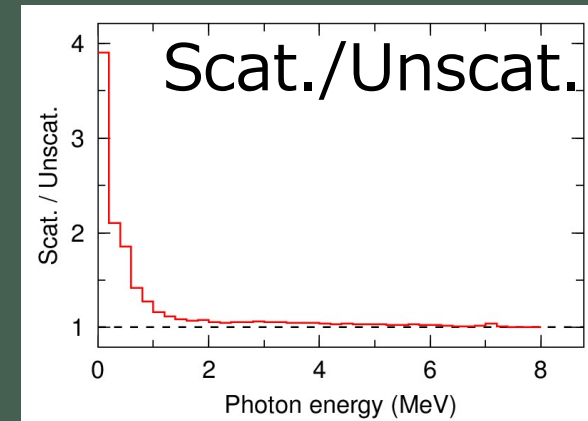
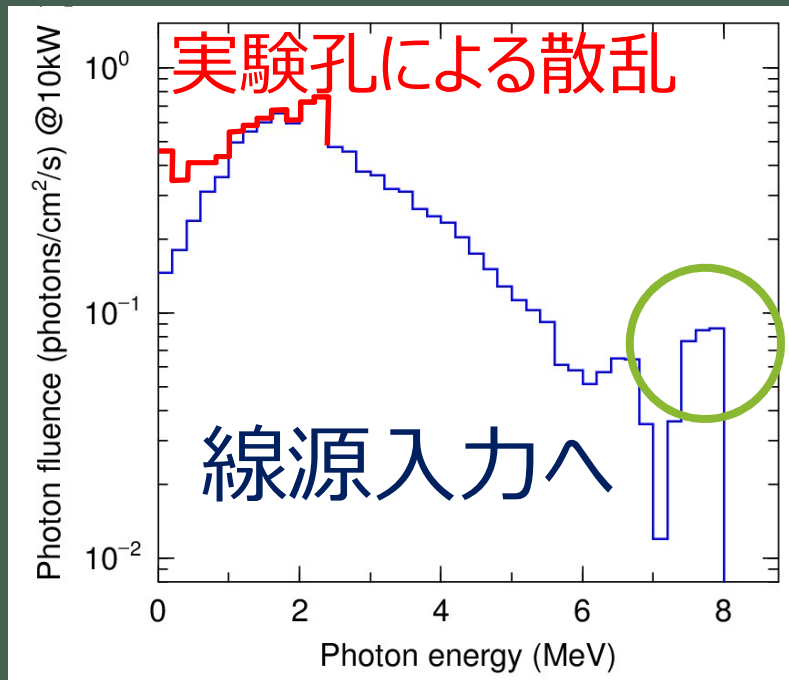


Energy spectrum



線源に関する課題

- Energy spectrum



鉄の捕獲ガンマ線？
(6 MeV付近や7.6 MeV)

ただし、

燃料： U-Al 合金 (Al)

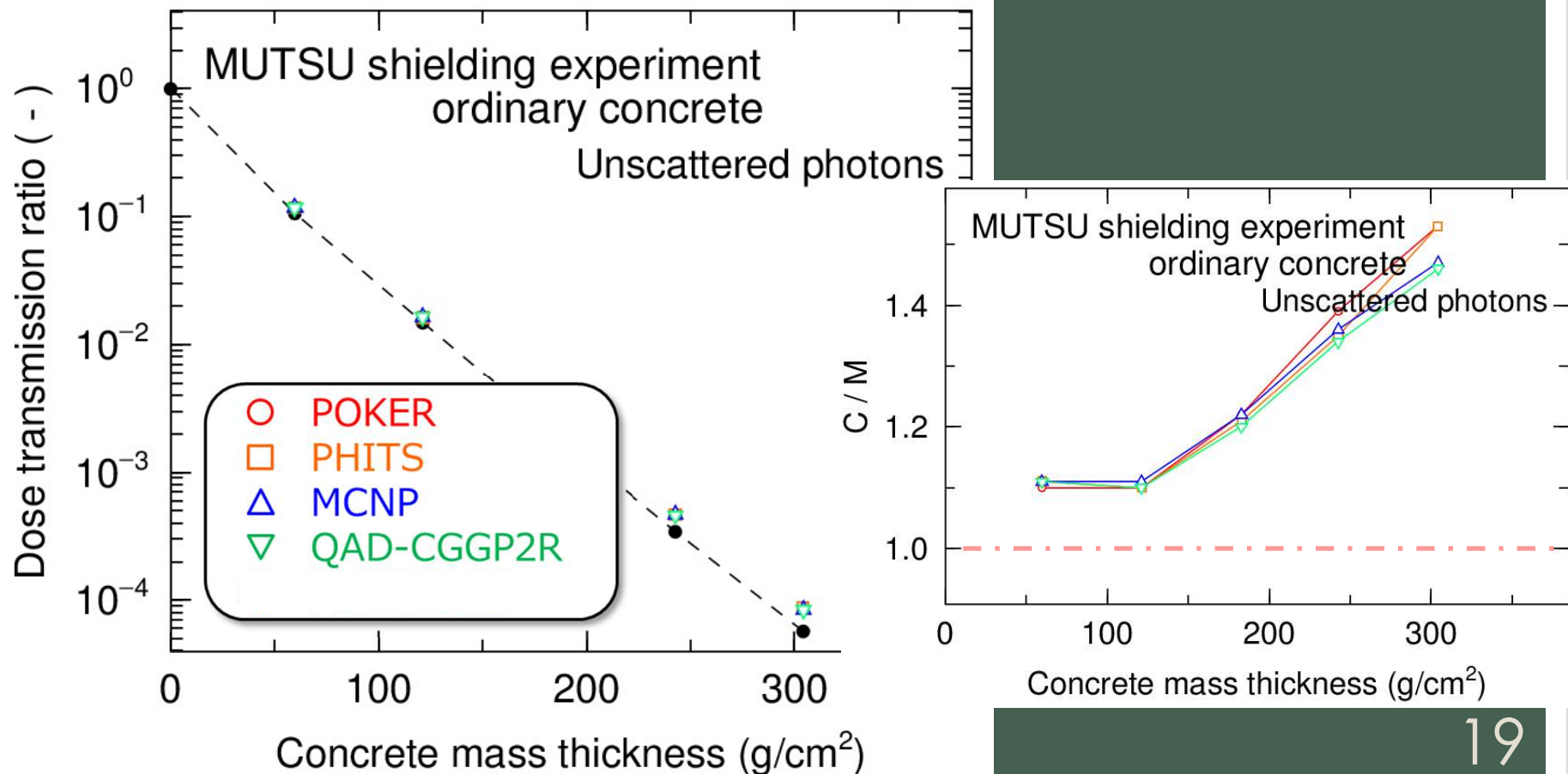
反射体： 黒鉛 (Al)

制御板： ボロン入り

ステンレス鋼

計算結果 ALL (C/M)

- 非散乱光子 は、遮蔽体の厚さ により差異が拡大



計算結果 ALL (C/M)

- 全光子は、遮蔽体の厚さに関わらずほぼ一様の差異

