

計算コードPHITSを利用した X線計測の改善

東京大学新領域

渡邊理, 青井優樹, 山崎響, 江尻晶, 辻井直人, 高瀬雄一

PHITS ver. 3.11 粒子・重イオン輸送計算コード Particle and Heavy Ion Transport code System

- Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Pi-En Tsai, Norihiro Matsuda, Hiroshi Iwase, Nobuhiro Shigyo, Lembit Sihver and Koji Niita, “Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02”, J. Nucl. Sci. Technol., 2018,
- <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1419890>
- Yosuke Iwamoto, Tatsuhiko Sato, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa, Takuya Furuta, Shin-ichiro Abe, Takeshi Kai, Norihiro Matsuda, Ryuji Hosoyamada and Koji Niita, Benchmark study of the recent version of the PHITS code, J. Nucl. Sci. Technol. 54:5, (2017) 617-635.

背景

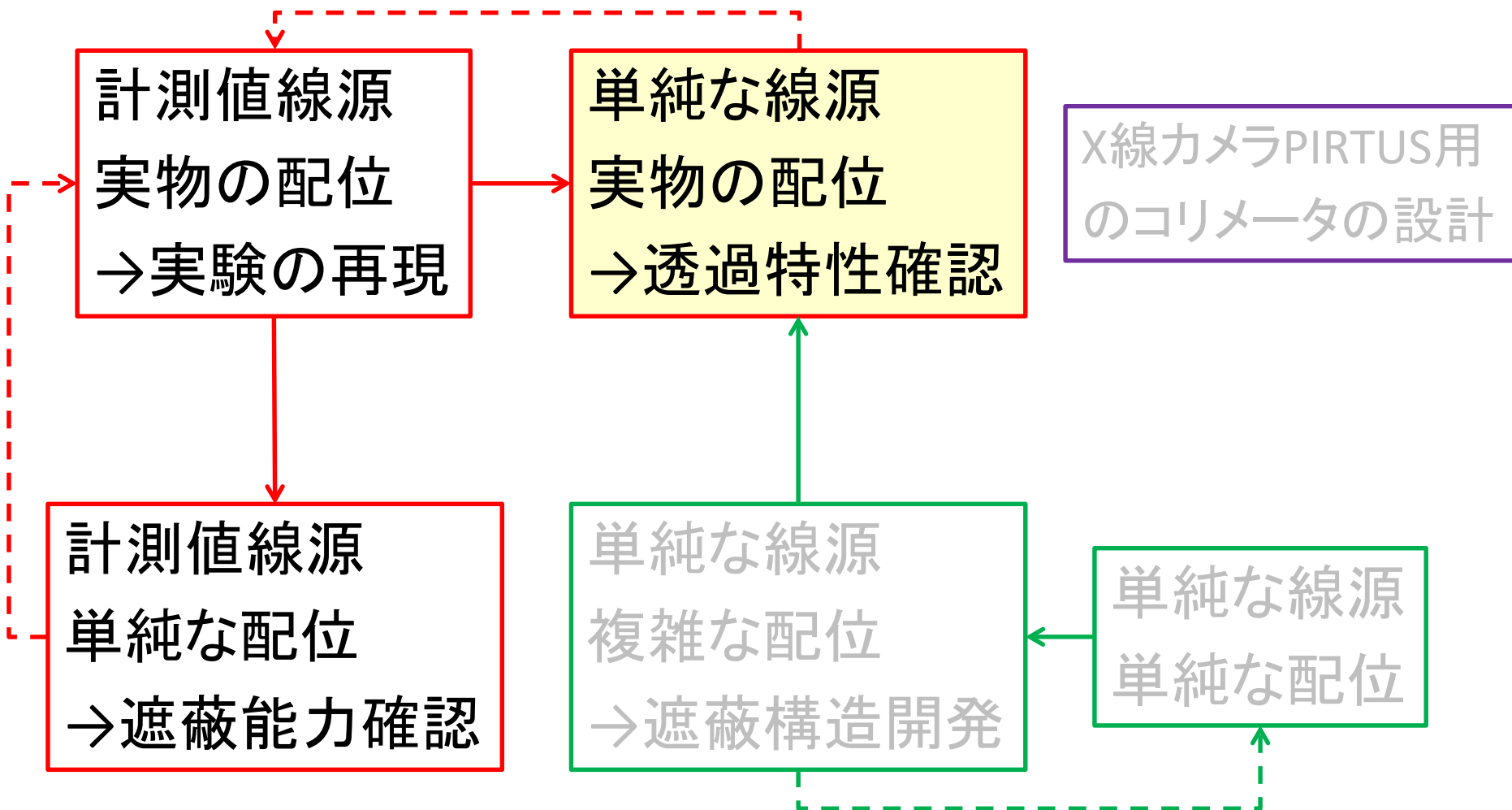
X線計測を用いて、プラズマに対する、200MHz電磁波加熱・電流駆動への影響を調べる。

• コリメータの後ろに検出器を並べる分布計測。

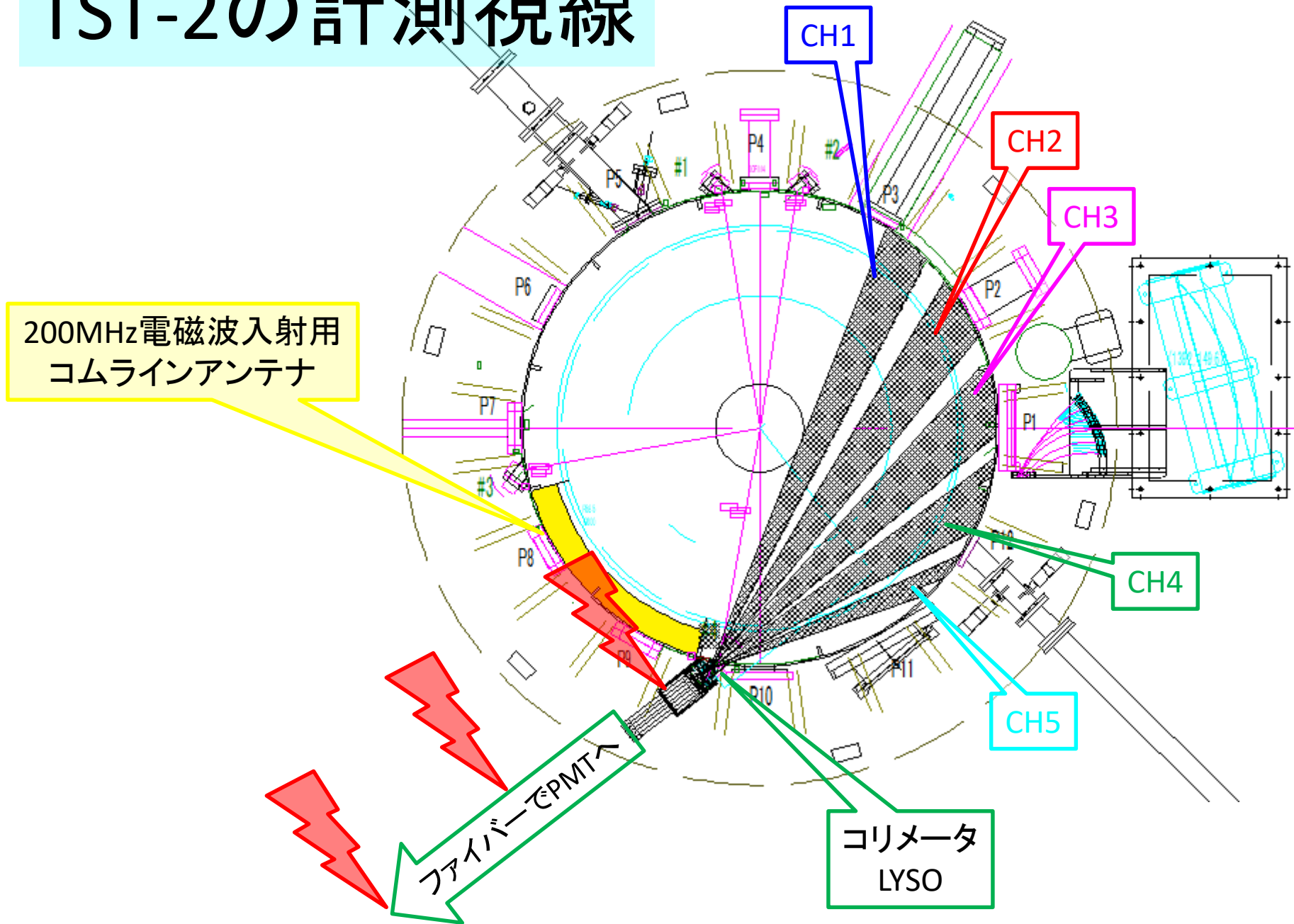
- 計測されるプラズマからの信号は三種類。(他外来)
 - 視野内のプラズマから来るX線
 - 遮蔽できずに透過減衰したノイズX線
 - 構造物で散乱減衰したノイズX線

隙間から侵入する・反射して後ろから回り込むなどの、信号を歪める原因を計算で再現を試みる。

実験データの検証と遮蔽構造の開発



TST-2の計測視線



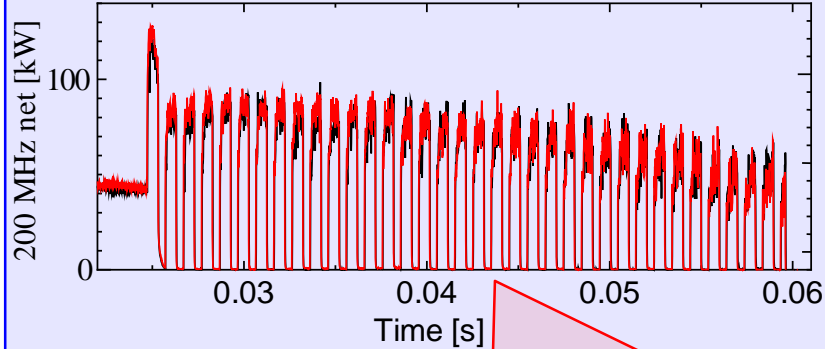
200MHz電磁波 変調実験

20-110msまでプラズマ電流を維持

200MHz電磁波を15-60msの間、入射。

SN165830

SN165832

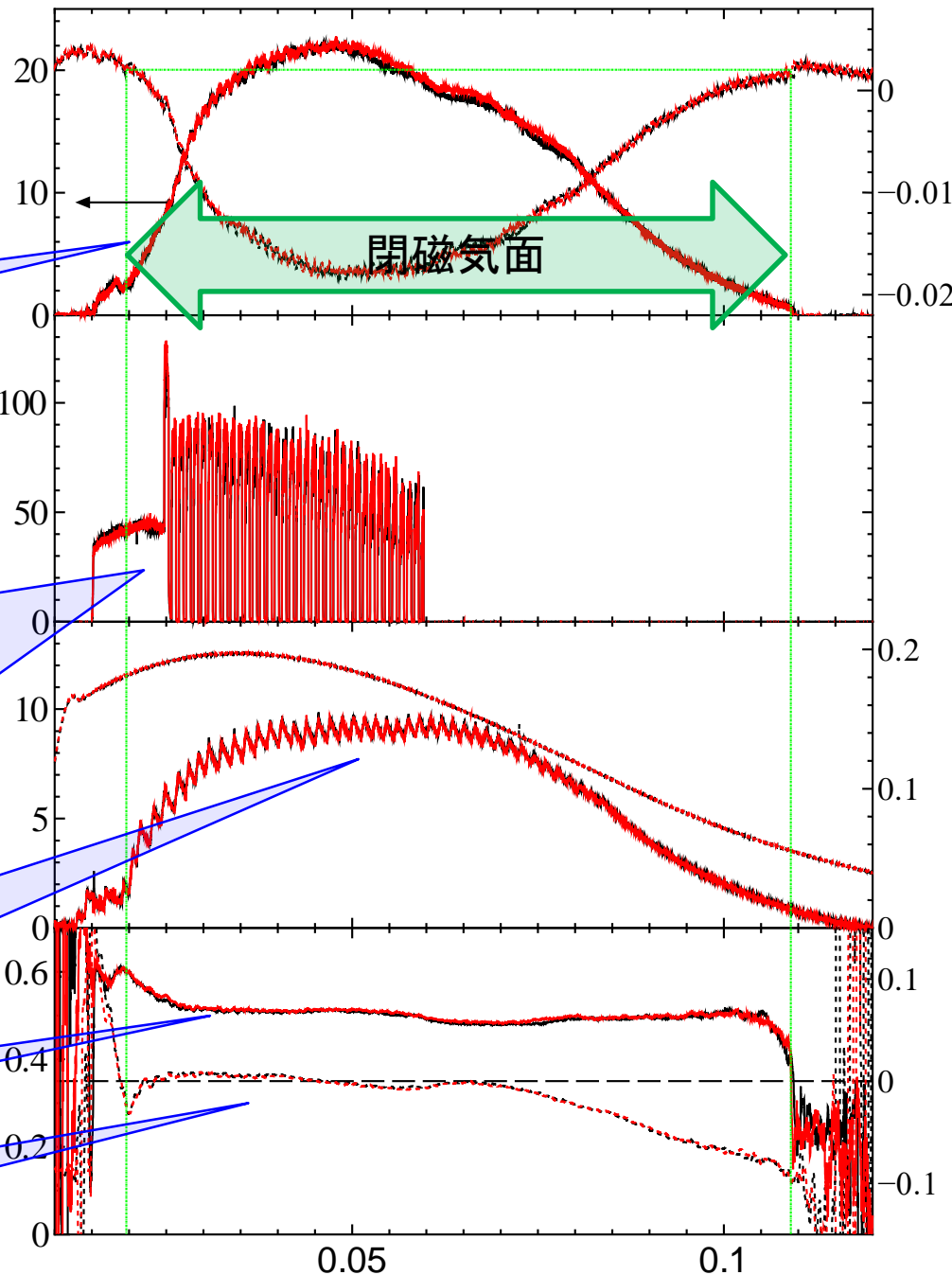


25-60msの間、200MHz電磁波を、1kHz
で変調。
X線信号を、山谷に分けて積算。

垂直磁場は、65msまではほぼ一定。

最外殻磁気面 $R_{OUT}=0.51$ m

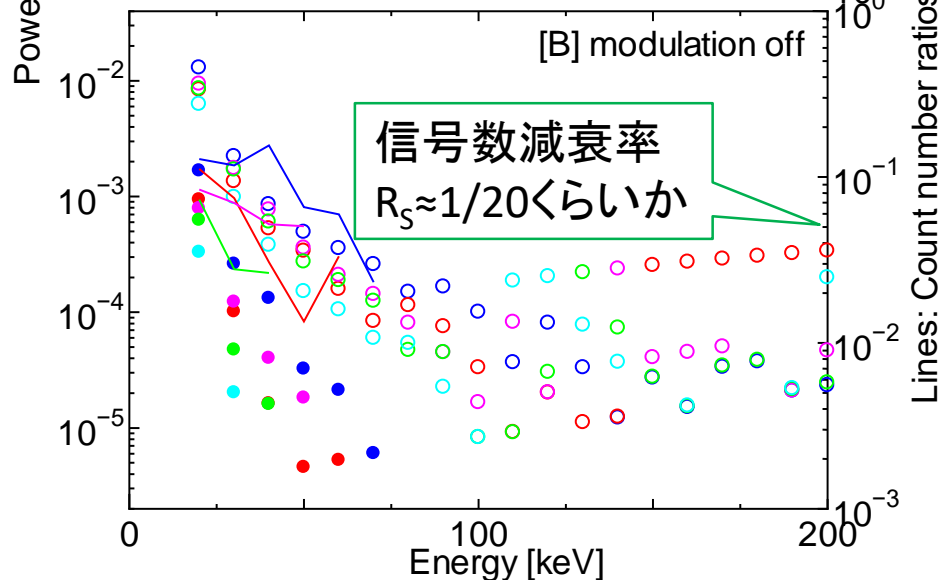
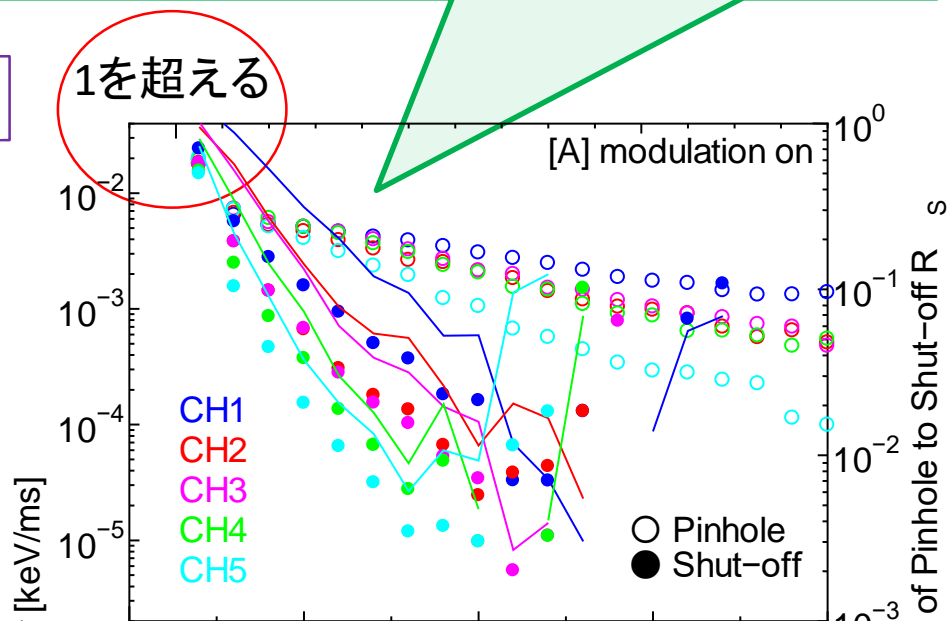
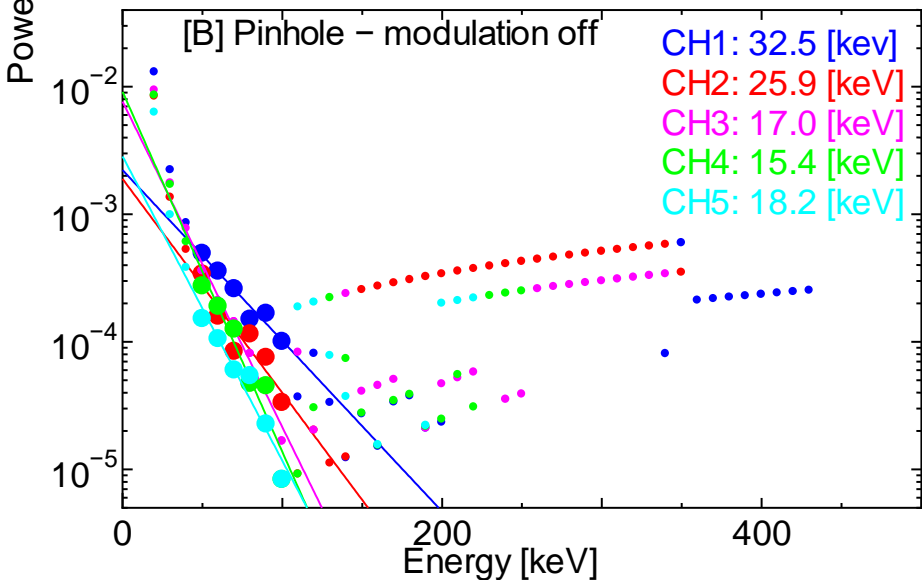
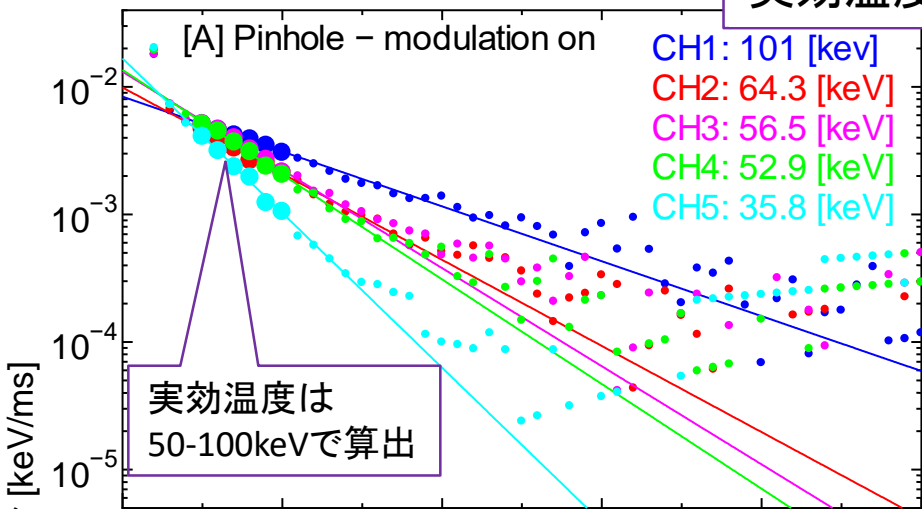
磁気軸 $Z_{m_{axis}}$ は、ほぼ赤道面



CH1:内側視線 CH5:外側視線

ピンホールからの信号数と、シンチレータを鉛で遮蔽した場合の信号数の比率線 R_S 。

実効温度

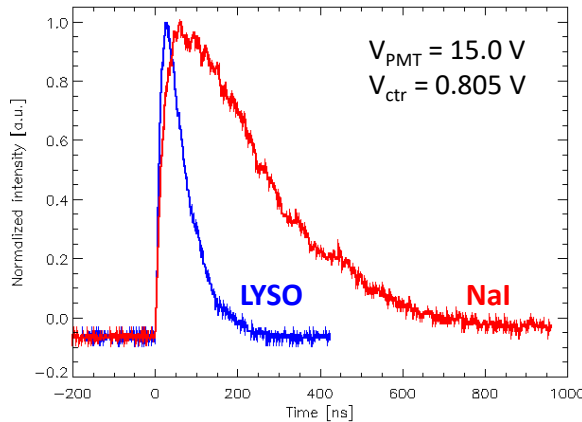


Lines: Count number ratios of Pinhole to Shut-off R_S

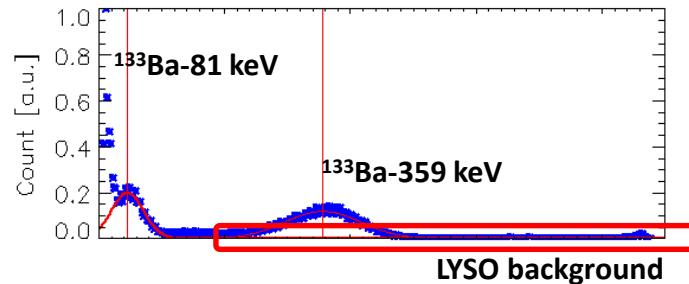
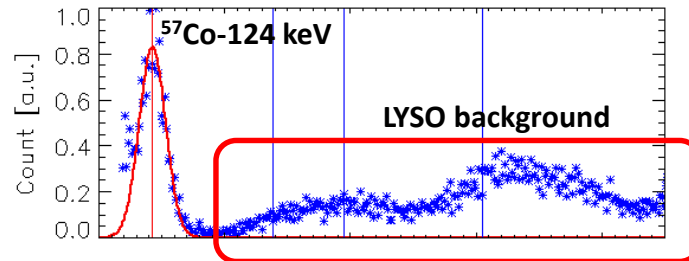
LYSO ($\text{Lu}_{1.8}\text{Y}_{0.2}\text{SiO}_5:\text{Ce}$) について

- ❑ 2000年に Lu_2SiO_5 と Y_2SiO_5 から合成 [D. W. Cooke, et al, *J. Appl. Phys.*, vol. 88(12), pp.7360-7362, Dec. 2000.]
- ❑ NaIと比べ数倍高速かつ75%程度の光量が得られ、高密度のため光電吸収比が大きい (より高エネルギーまで感度を持つ)
- ❑ LYSO結晶中に2.6%含まれる ^{176}Lu が放射する ~ 600 keVのX線による自己汚染が問題

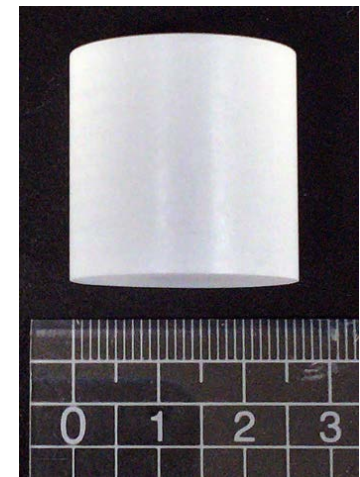
NaIより数倍短いシンチレーション光の減衰時間



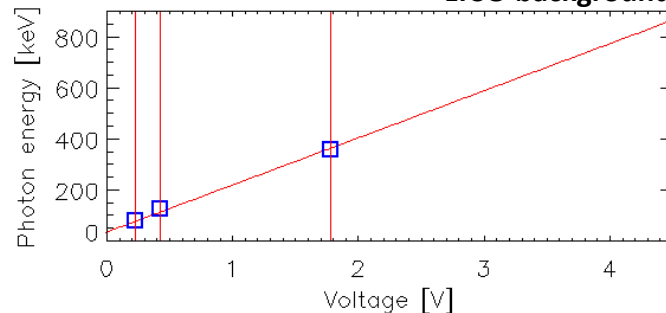
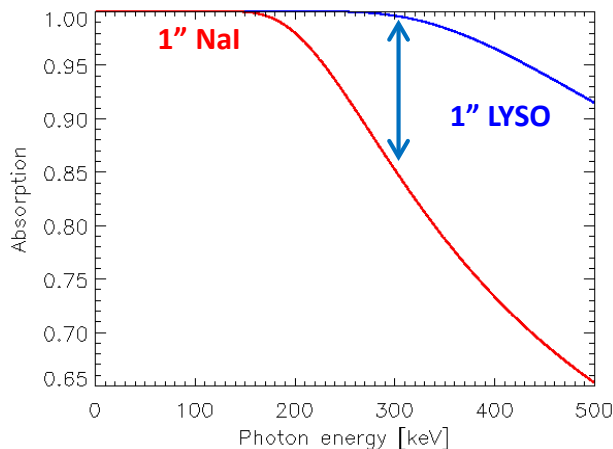
^{176}Lu に由来する自己汚染 (1" x 1" 結晶で約3.5 kcps)



1" LYSO結晶



高い実効原子番号による高い吸収効率

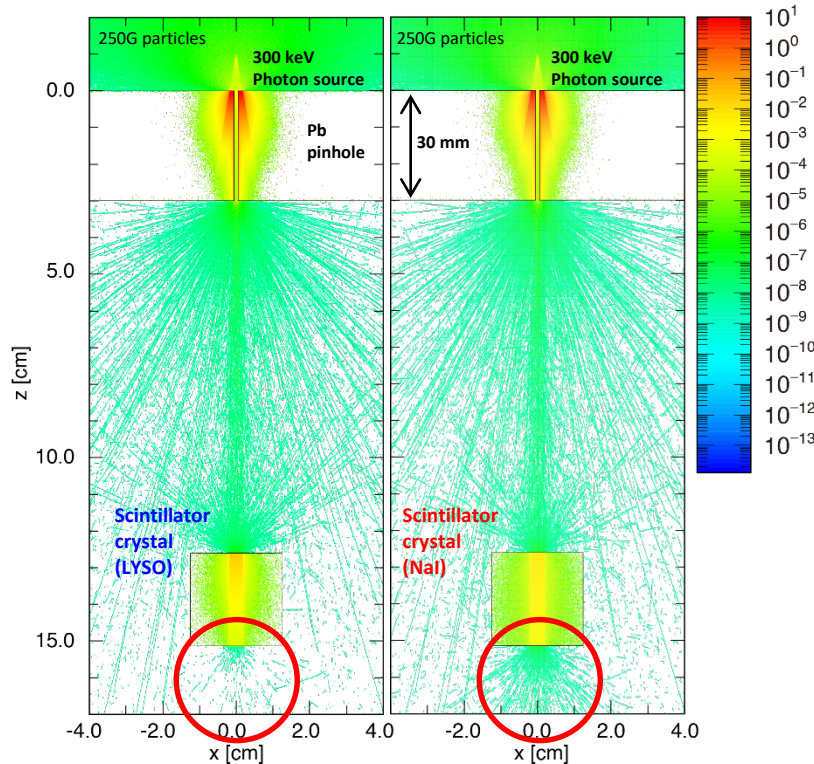


LYSO (Lu_{1.8}Y_{0.2}SiO₅:Ce) について②

NaIとの特性値の比較

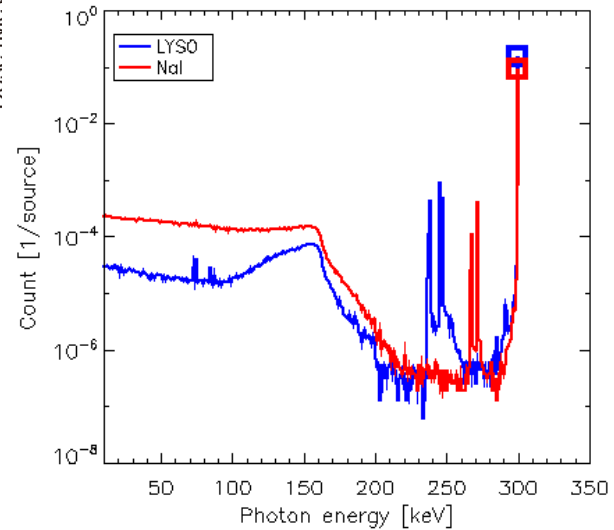
Scintillator	Relative efficiency	Decay time	Wavelength	Density
NaI(Tl)	100 %	230 ns	415 nm	3.67 g/cm ³
LYSO	75 %	40 ns	420 nm	7.20 g/cm ³

コリメートされた300 keVのX線ビームを入射した際の光電比の比較

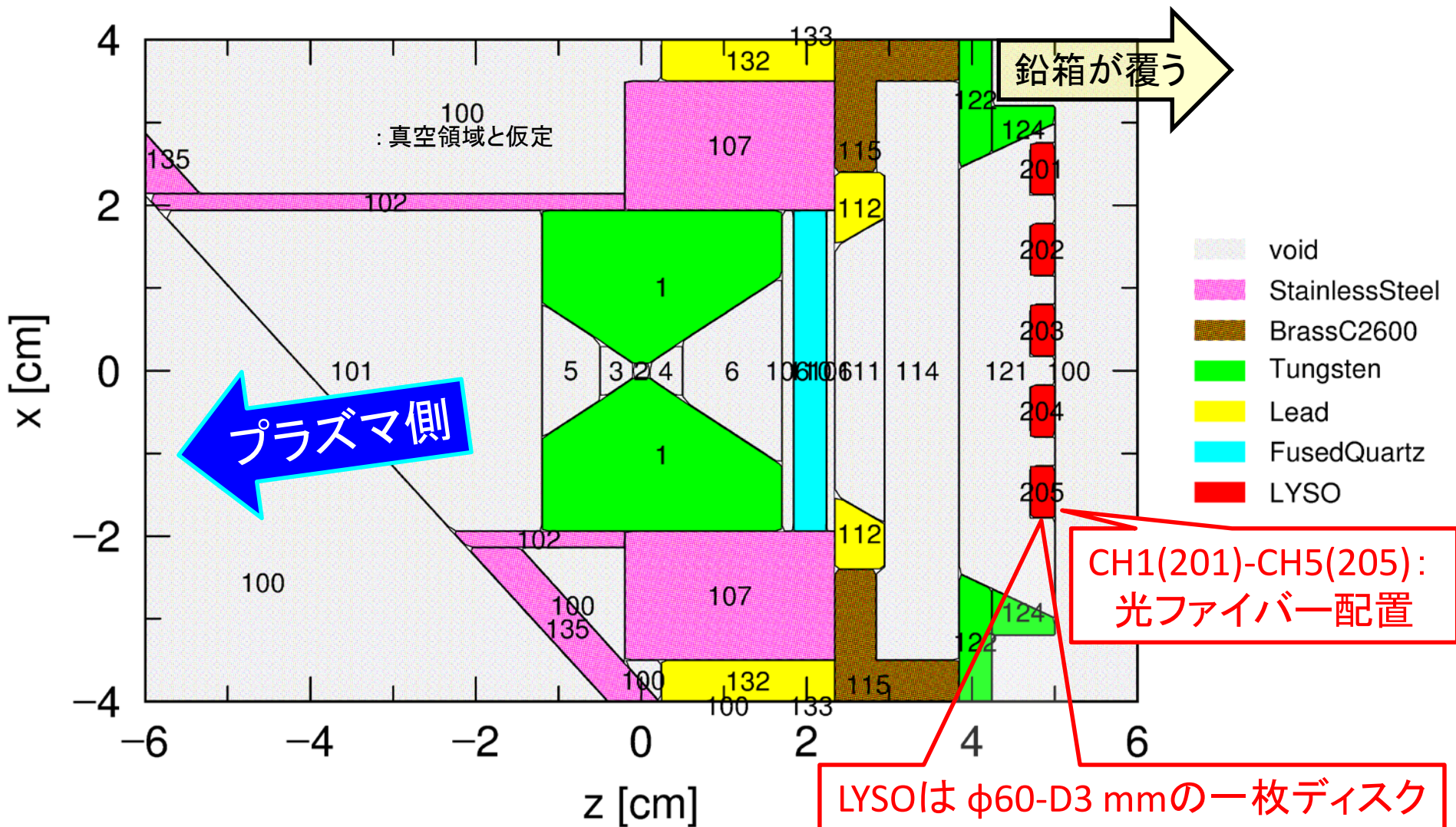


$$\frac{\text{Photopeak}}{\text{All}} = 95.2\% \text{ for LYSO}$$

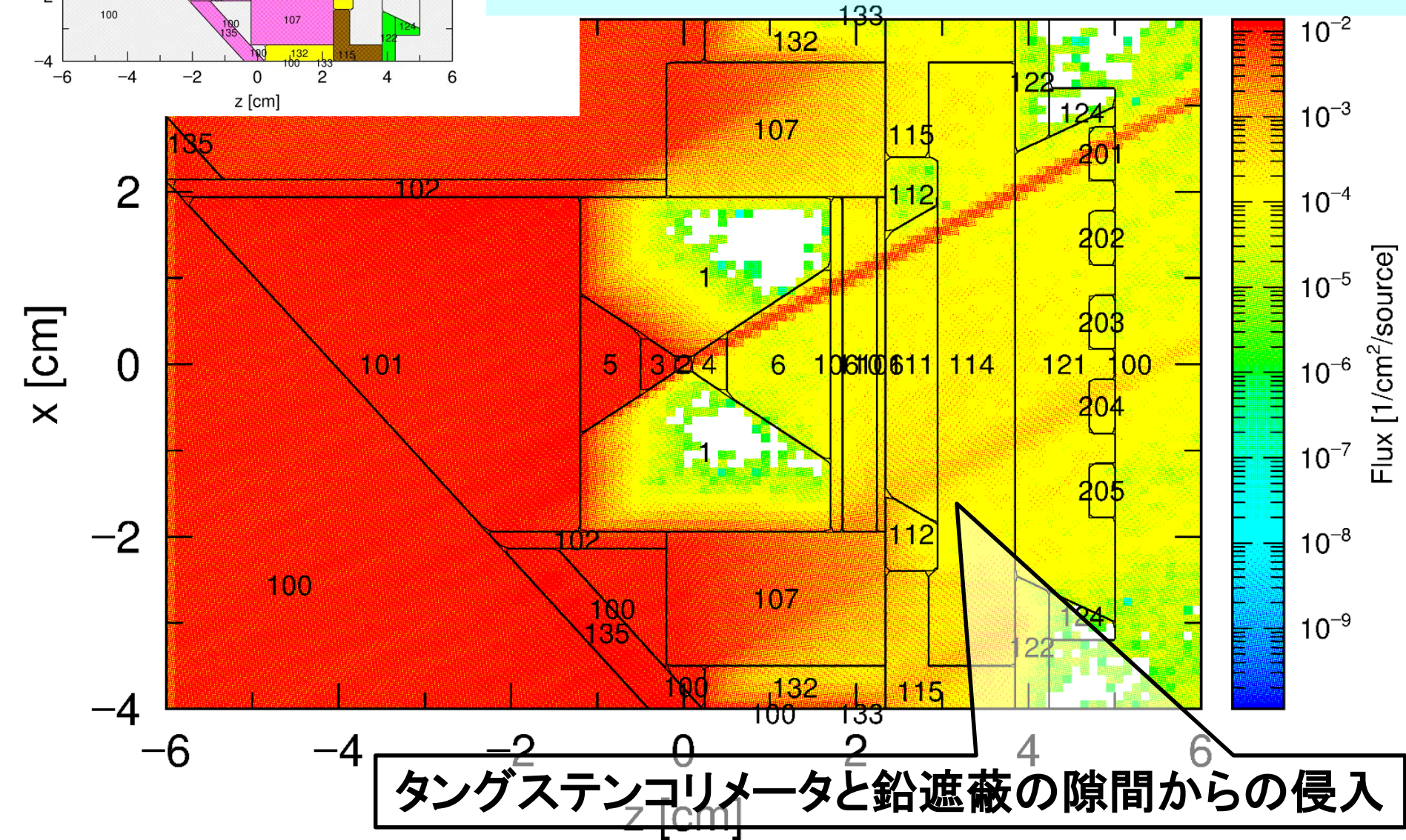
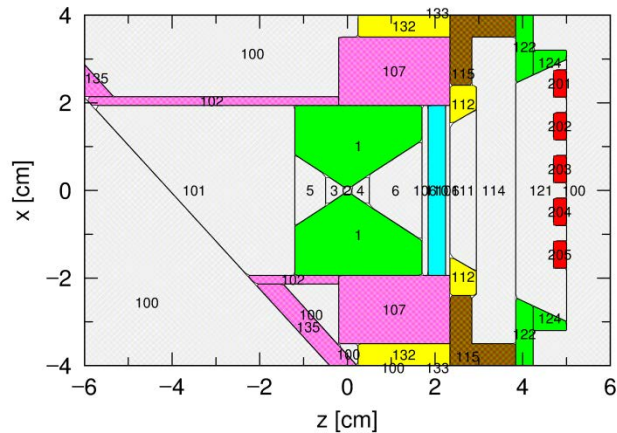
$$\frac{\text{Photopeak}}{\text{All}} = 76.7\% \text{ for NaI}$$



テーパ型コリメータを利用した TST-2のHX計測構造図

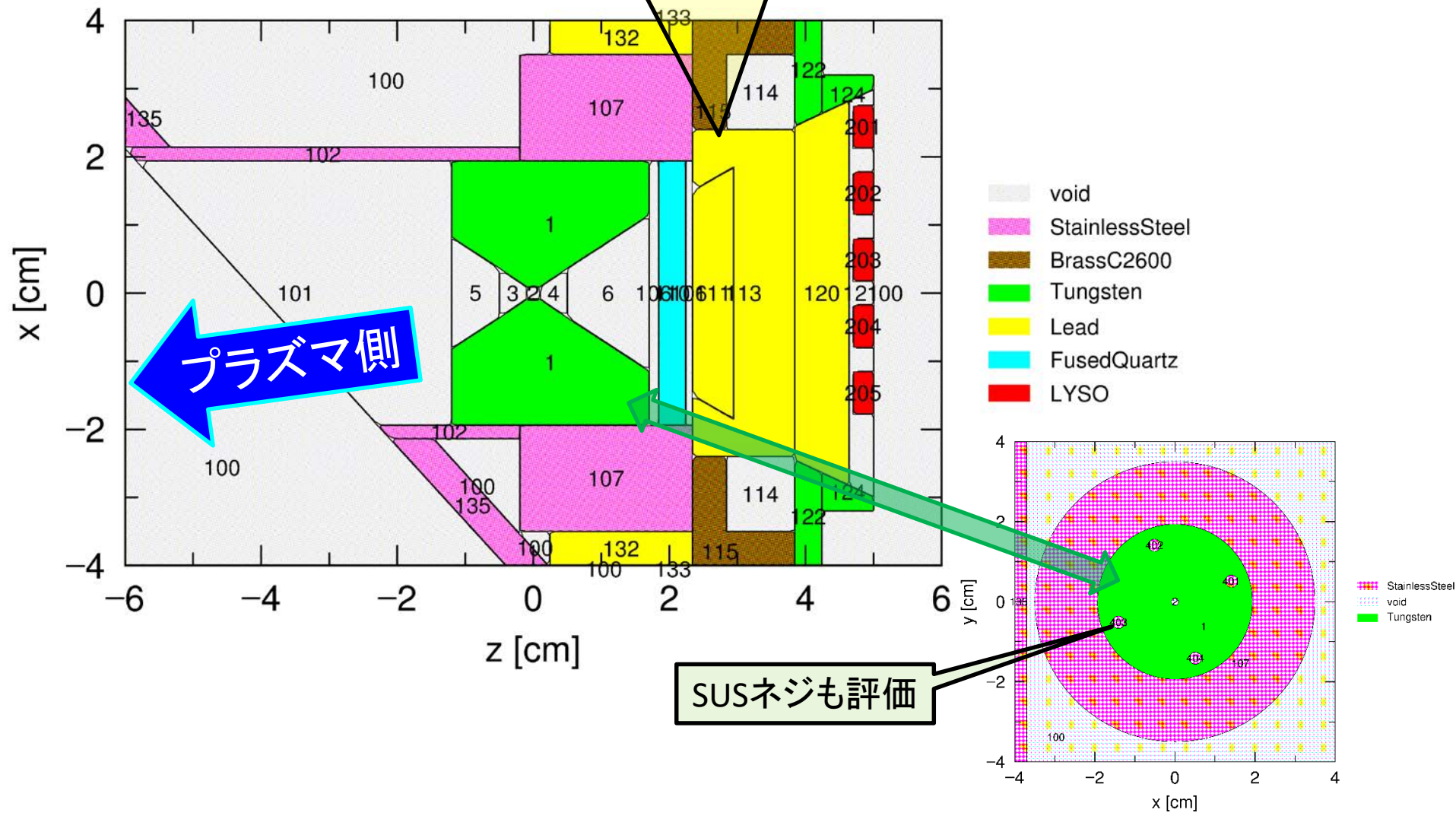


ピンホールとCH1(201)が 直線となる光源から侵入

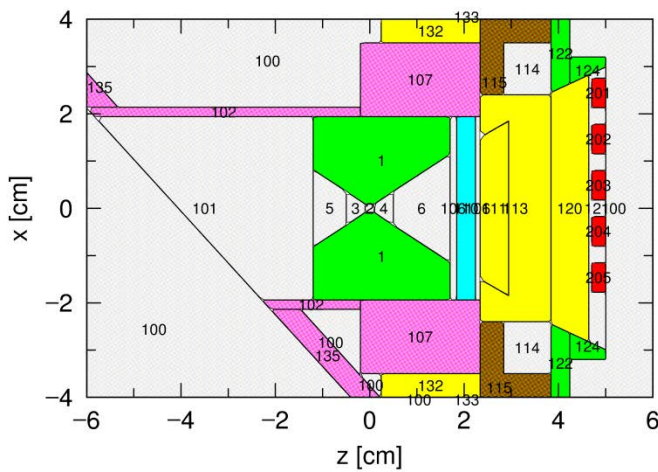


コリメータから信号を遮断してみる

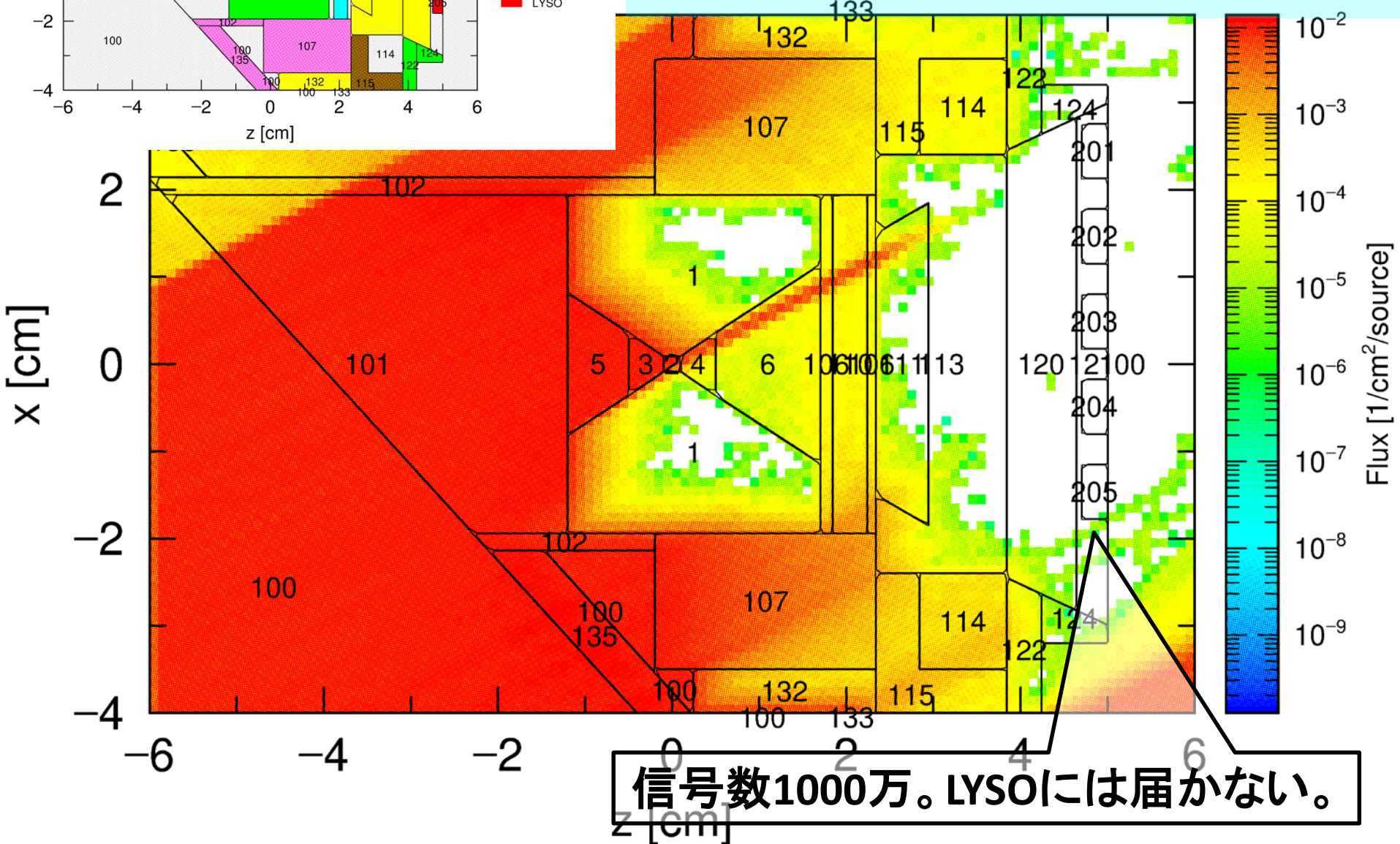
コリメータとLYSOの間の空間を鉛封鎖



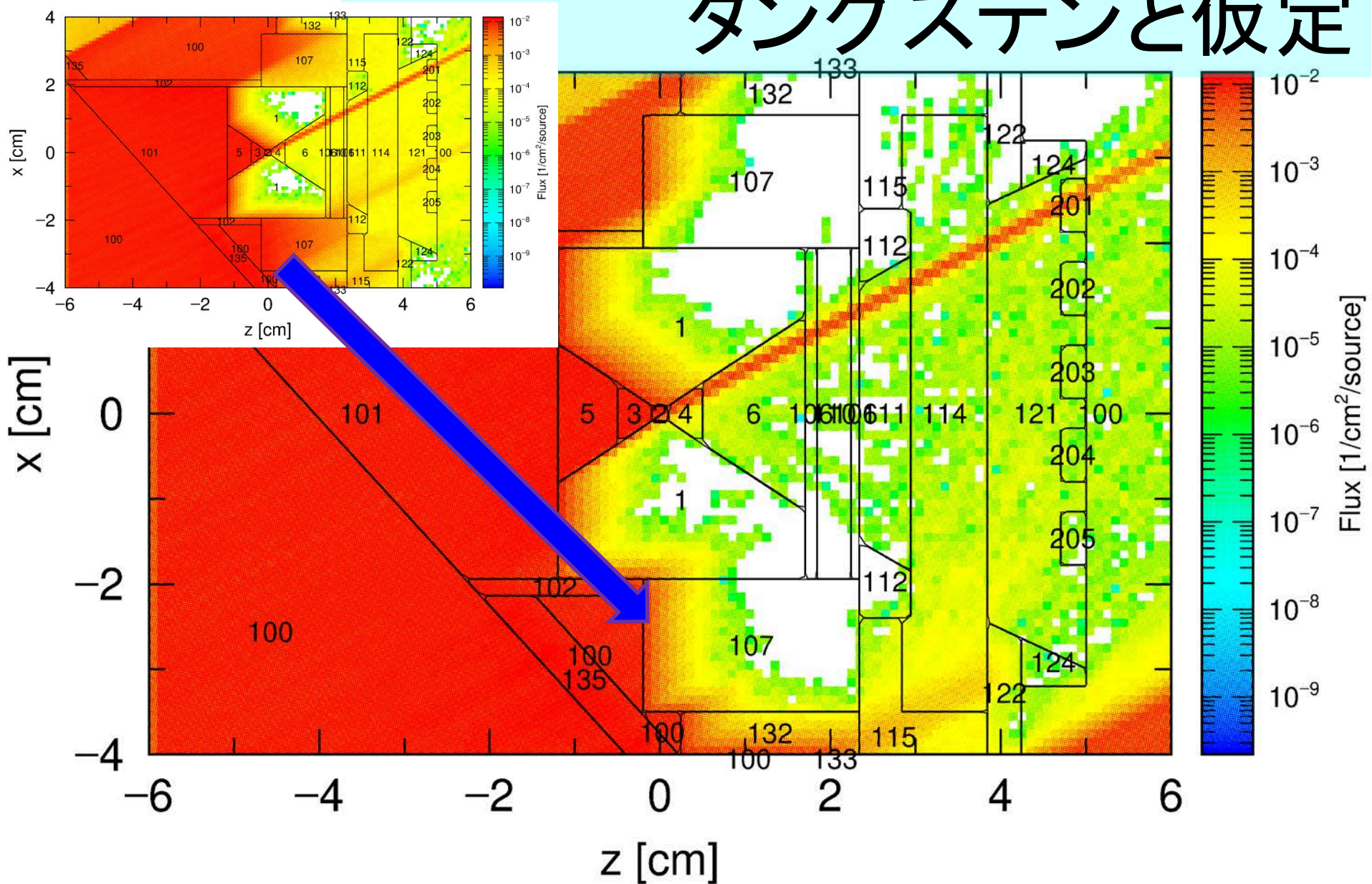
コリメータから信号を 遮断した計算



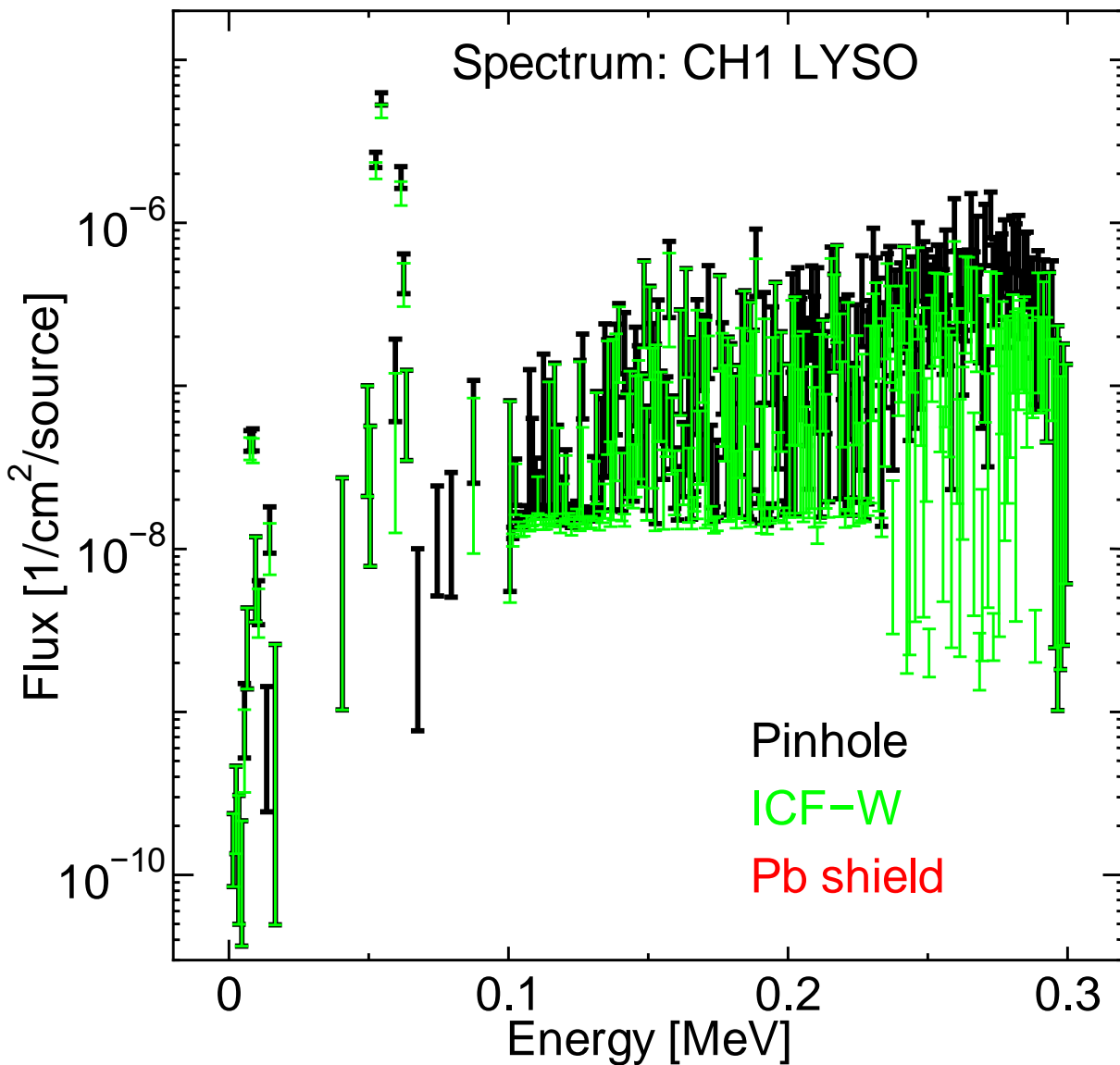
- void
- StainlessSteel
- BrassC2600
- Tungsten
- Lead
- FusedQuartz
- LYSO



侵入口を塞ぐためICF(107)を タングステンと仮定



300keV入射-CH1(201)スペクトル

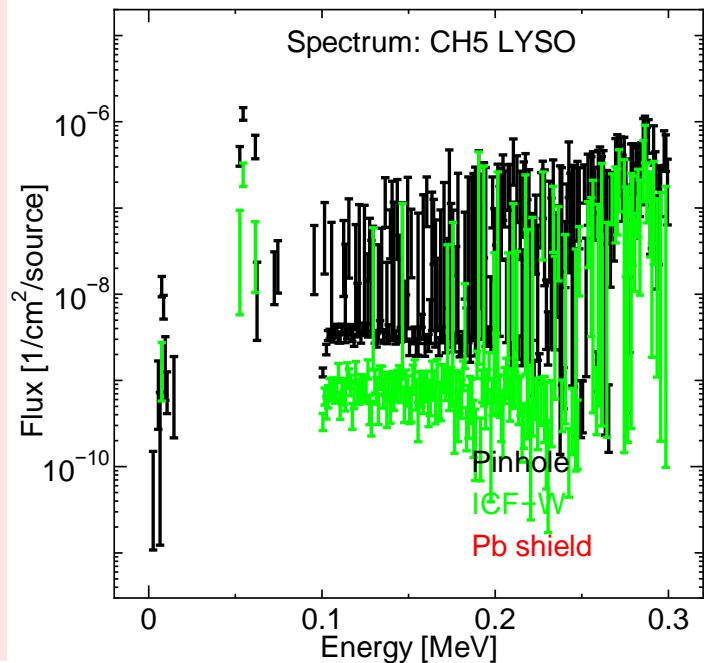
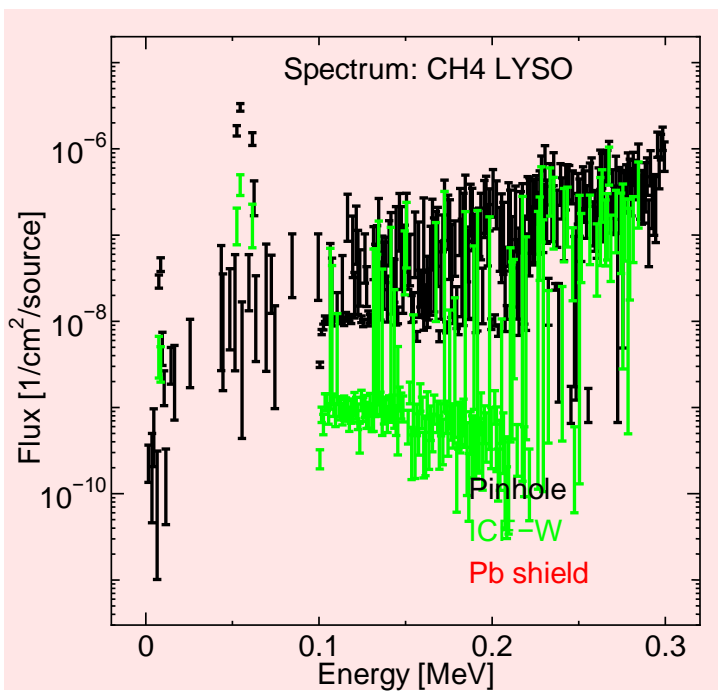
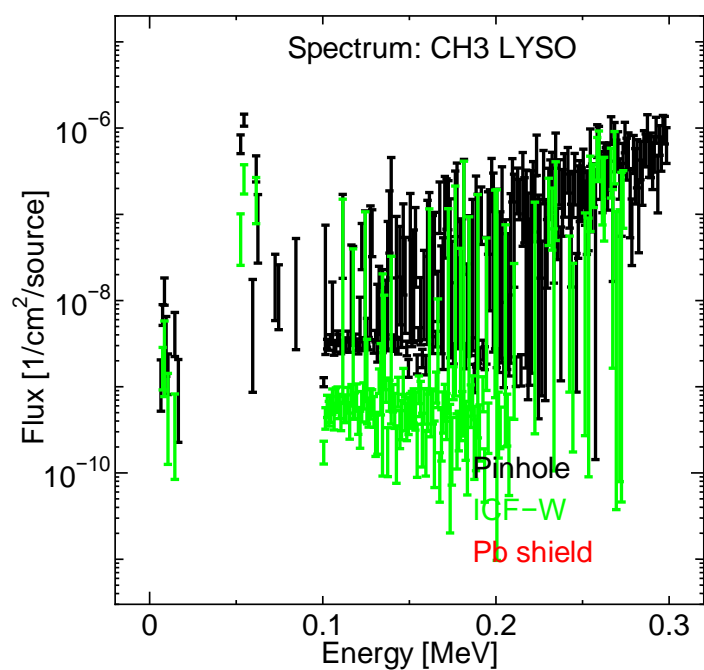
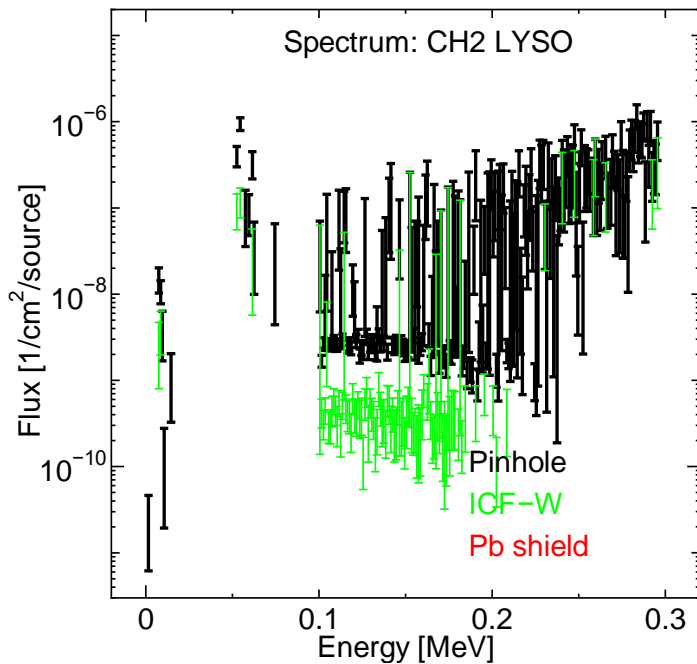


ICFフランジをWに仮定すると、X線信号は多少は減る。

コリメータの後ろで、LYSOの表面すべてを鉛で覆うと、信号はほぼなくなる。

1/20程度という実測値は、高めのエネルギーですら、再現できなかった。

CH1以外の信号



現状

正面からの信号は、実測ではコリメータを塞ぐと1/20程度の減衰。しかし、計算では再現できていない。(信号が0になる。)

計算では、タングステンのコリメータと鉛リングの隙間を抜けてくる(ICFと窓ガラスを透過して差し込む)X線がある。

今後

- 計算と実験データを比較し、コリメータを通過したX以外の信号の、遮蔽物構造物を考える。
- 隙間の減衰・透過特性等、モデル計算を通して、より少ない遮蔽(軽くて取り廻せる遮蔽)で、X線計測を行えるようにする。

PHITS計算の近似

計算セルの中で密度を
平均化する。



壁表面を含むセルを通
る粒子は、左右の例で
は、同じ扱いを受ける

はず

