

超小型衛星搭載用 GEM X線検出器の開発

吉田 勇登

佐藤 宏樹

(東理大/理化学研究所)

(芝浦工大/理化学研究所)

岩切 渉³、内山 慶祐^{1,2}、榎戸 輝揚⁴、
北口 貴雄¹、武田 朋志^{1,2}、玉川 徹¹、三原 建弘¹

1.理化学研究所 2.東理大 3.中央大 4.京都大

Contents

1.イントロダクション

2.HVモジュールの特性調査

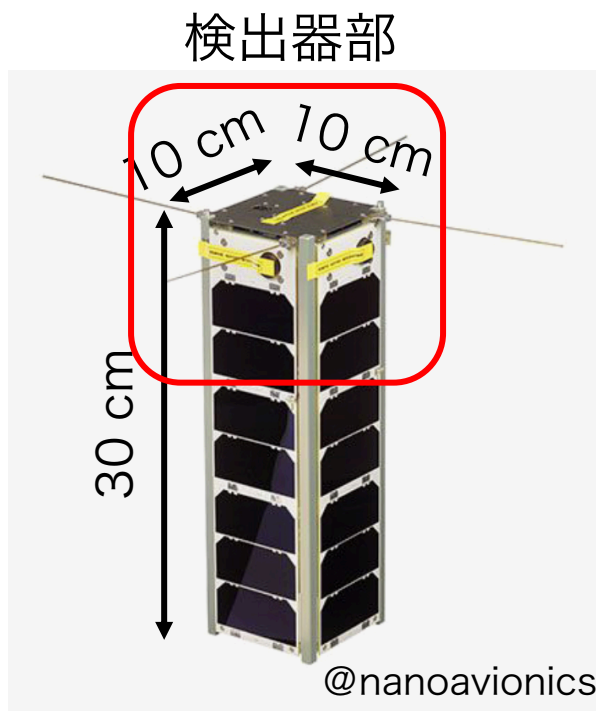
3.Backgroundの減衰シールド調査

1.1 超小型衛星製作背景

- ▷ 理研とJAXAは全天X線モニター-MAXIを運用中
- ▷ MAXIはスキャン観測⇒1天体を見る時間は~1分/周回90分



MAXIが発見した突発天体を追観測する衛星を計画

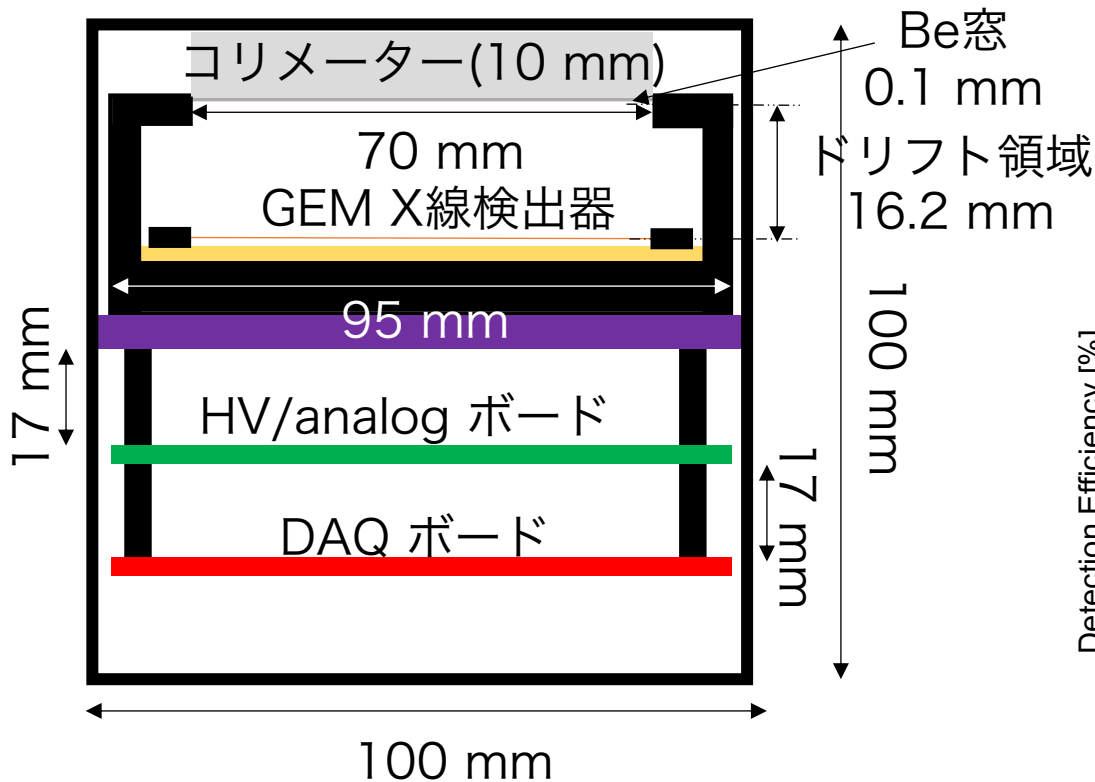


3U規格のCubeSat

- ▷ CubeSatで十分実現可能
 - ⇒ 10 cm x 10 cm x 30 cm (3U規格)を想定
 - ・ MAXIと同等の有効面積(~20 cm²)
 - ⇒ 10分の観測で統計量は10倍に
 - [
 - ・ 大型衛星の1%程度の予算
 - ・ 1年程度の短期間で製作可能
- ▷ 2021年秋頃の打ち上げを予定

1.2 GEM X線検出器

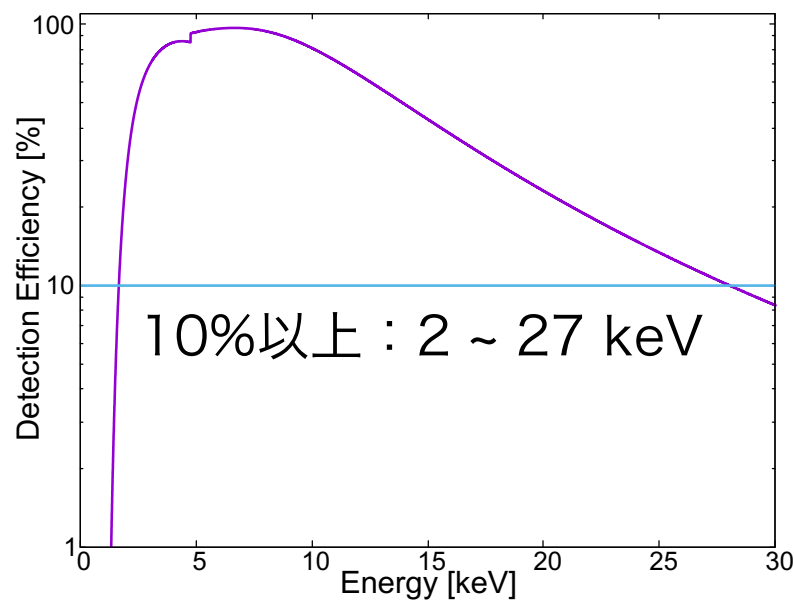
検出器部断面図 1 kg以内



▷ 検出効率

▷ 封入ガスはXeCO₂(95%/5%)

▷ 気圧は1.2 atm



▷ 検出器は円筒型

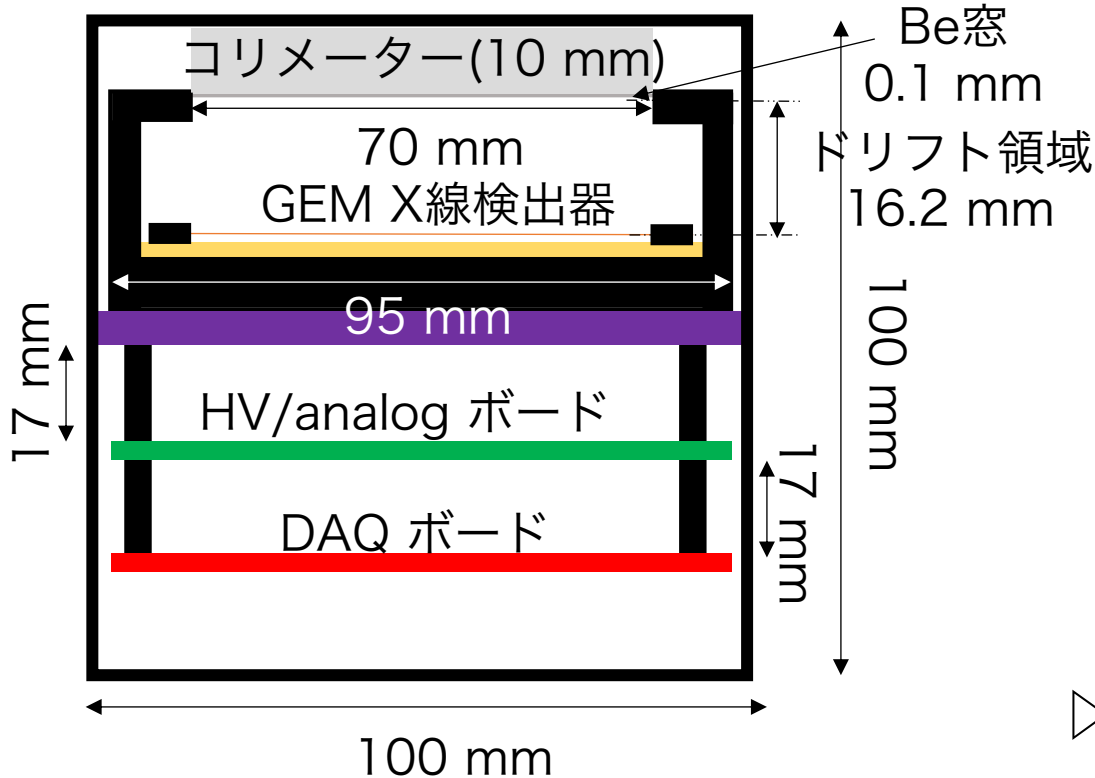
▷ GEMを用いたガス検出器を採用

▷ MAXIと同じエネルギー領域を狙う

▶ HVモジュール検討とバックグラウンドシールド検討を発表する

1.2 GEM X線検出器

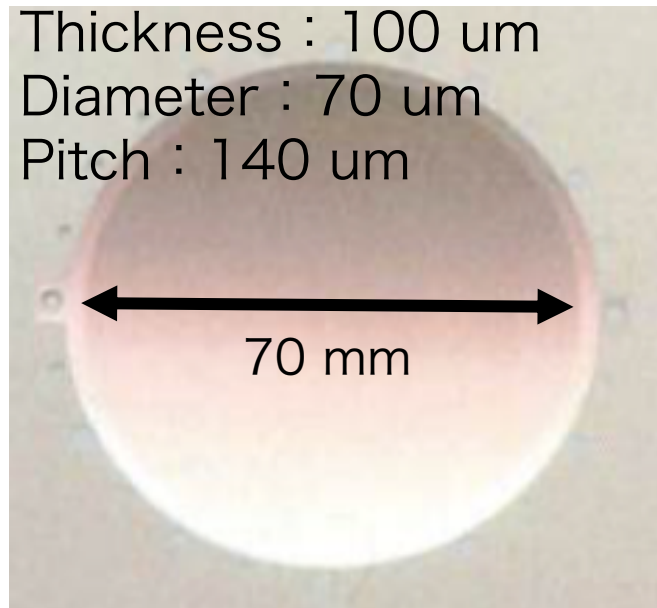
検出器部断面図 1 kg以内



- ▷ 検出器は円筒型
- ▷ GEMを用いたガス検出器を採用

▷ GEM(LCP)

Thickness : 100 μm
Diameter : 70 μm
Pitch : 140 μm



- ▷ 環境試験をクリアした規格で作成したGEM
- ▷ 形を円形に変更

▶ HVモジュール検討とバックグラウンドシールド検討を発表する

Contents

1. イントロダクション

2. HVモジュールの特性調査

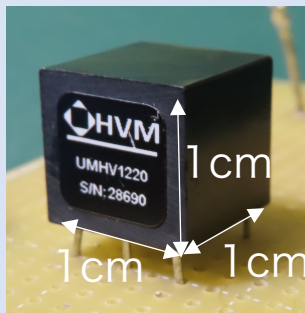
3. Backgroundの減衰シールド調査

2.1 使用予定の小型HVモジュール

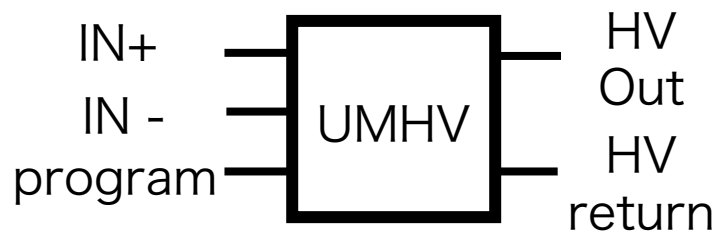
HVモジュールに求められる条件

- ▷ 高さ17 mmに収まる**大きさ**
- ▷ 重量制限に負担をかけない**質量**
- ▷ **安定した電圧供給**

UMHV series (HVM Technology)



UMHV1220

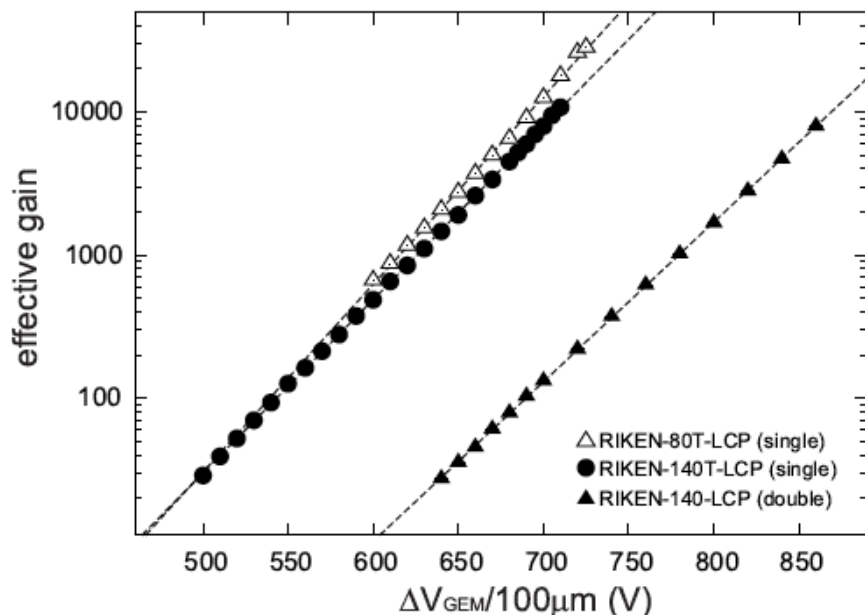


- ▷ DC-DC コンバータ
- ▷ 重さ : 4.1 g
- ▷ 最大出力 : 2000 V

- ▷ **大きさ**と**重さ**は十分許容できるモジュール
- ▷ 実際に動作させ、**リップル**と**温度特性**を検証

2.2 HV出力変動の許容値の見積もり

- ▷ GEMはCathodeとAnodeの電位差によってGainが変動
- ▷ 今回はArCO₂(70%/30%)のGainを参考にする



@ Tamagawa et al 2009

Gain curve

- ▷ Gain ~ 1000を想定
- ▷ $\Delta V_{gem} = 630 V$ を基準

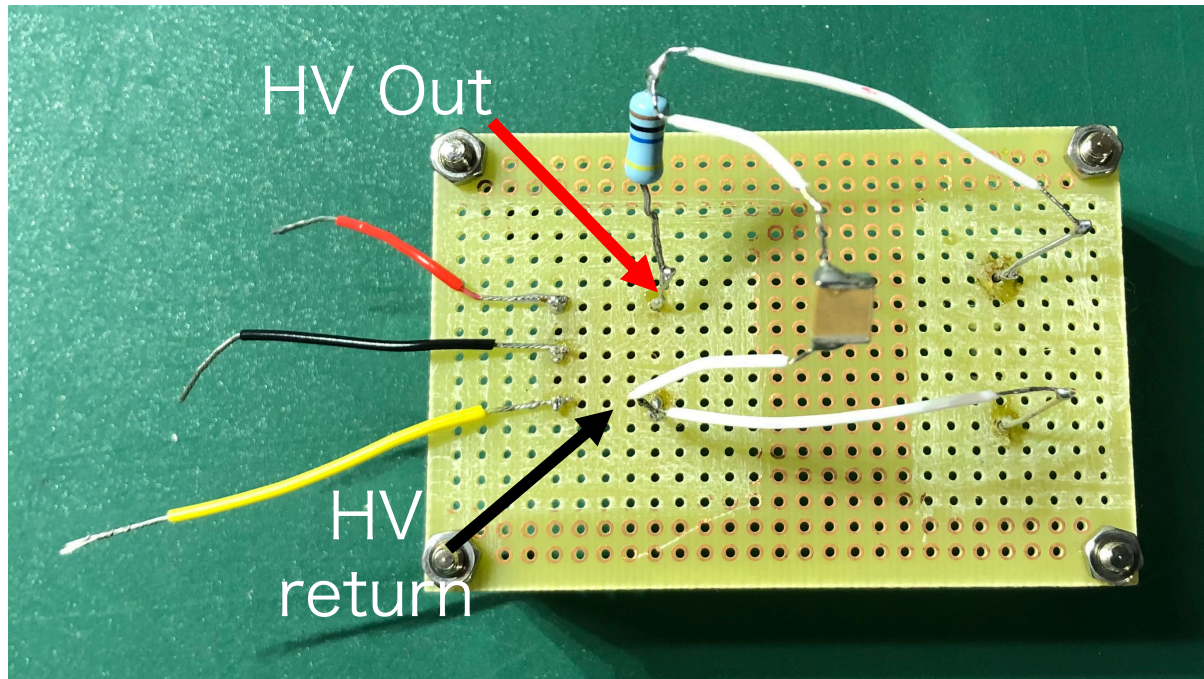
ΔV_{gem} の変動率	Gainの変動率
0.5 %	9.2 %
1 %	19.4 %
2 %	42.6 %

※ 基準の値から上昇した割合を変動率とした

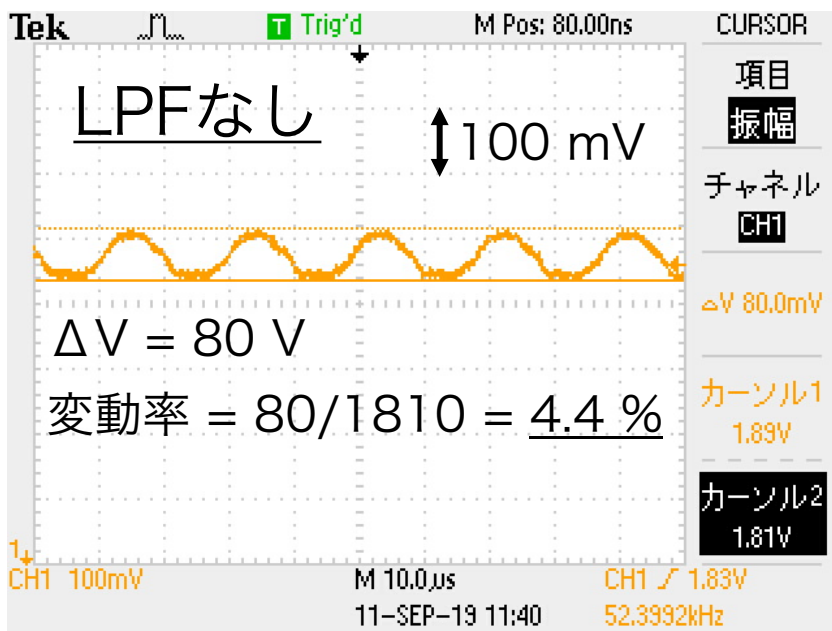
- ▷ 分解能は20%程度を想定しているので ΔV_{gem} の変動率は**0.5%**が許容値とする

2.3 リップルの評価

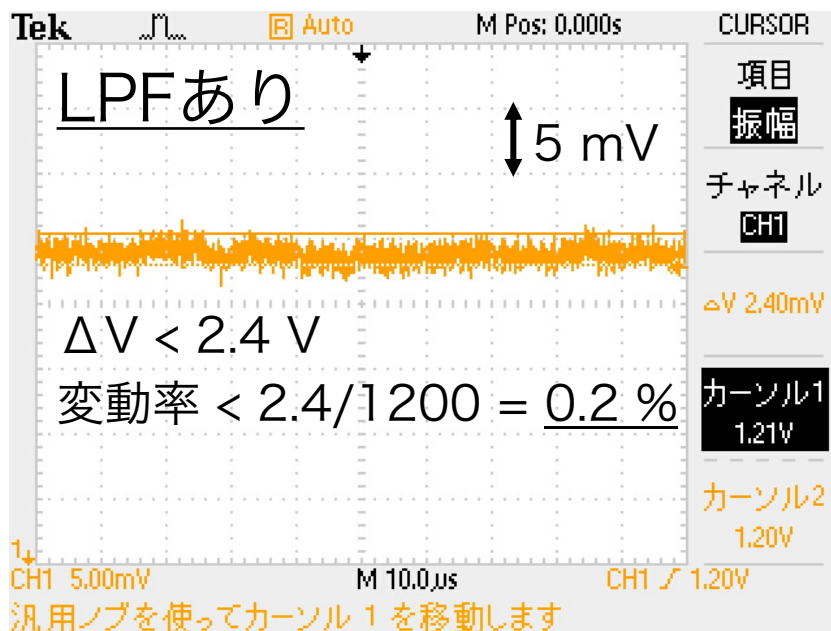
- ▷ DC-DCコンバータの内部回路で整流しきれない成分が
リップルとして出現
⇒ 周波数は内部の発振回路に依存
- ▷ RCローパスフィルタを用いて減衰



2.3 リップルの評価



- ▷ 周波数：~ 50 kHz
- ▷ 出力の持つリップル



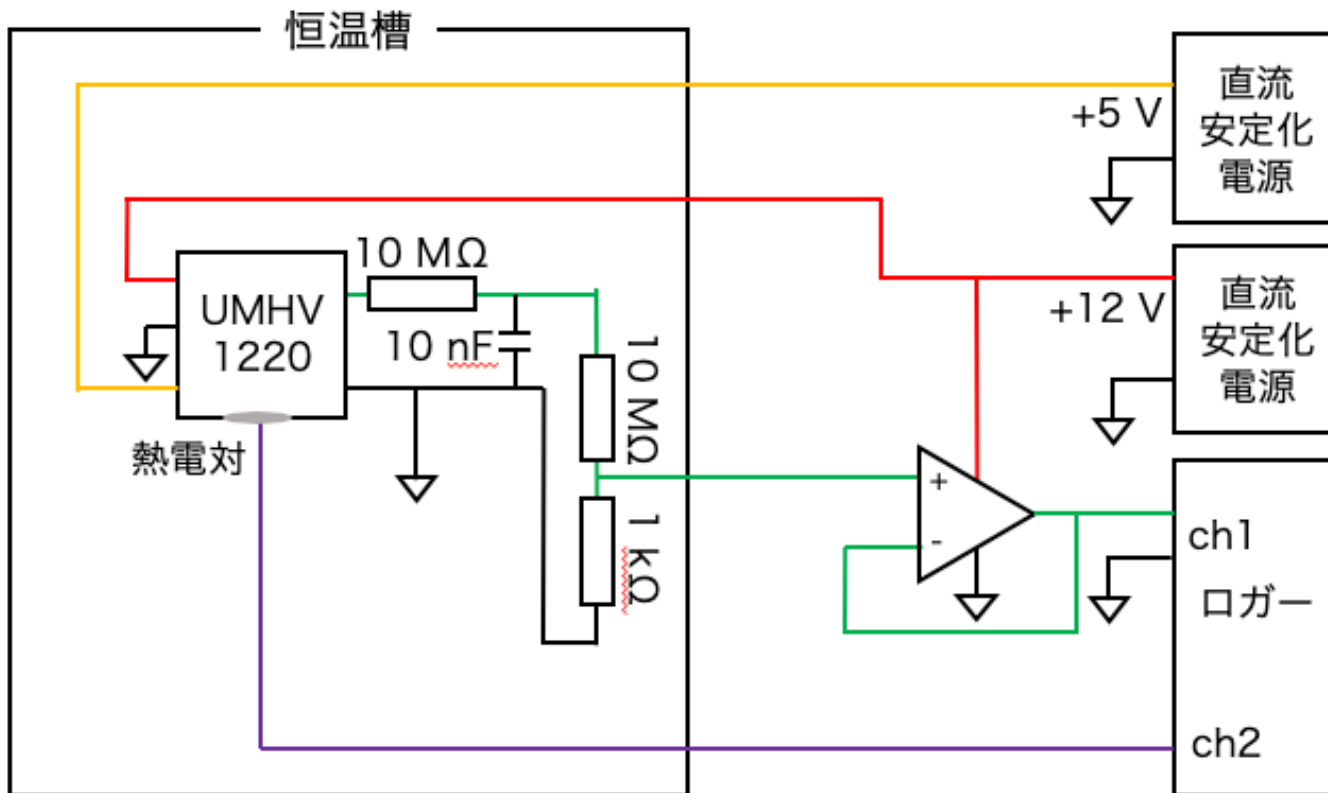
- ▷ カットオフ周波数：1.6 Hz
- ▷ $R=10\text{M}\Omega, C=10\text{nF}$

- ▷ $R=10\text{M}\Omega, C=10\text{nF}$ のフィルタで許容値まで減衰可能

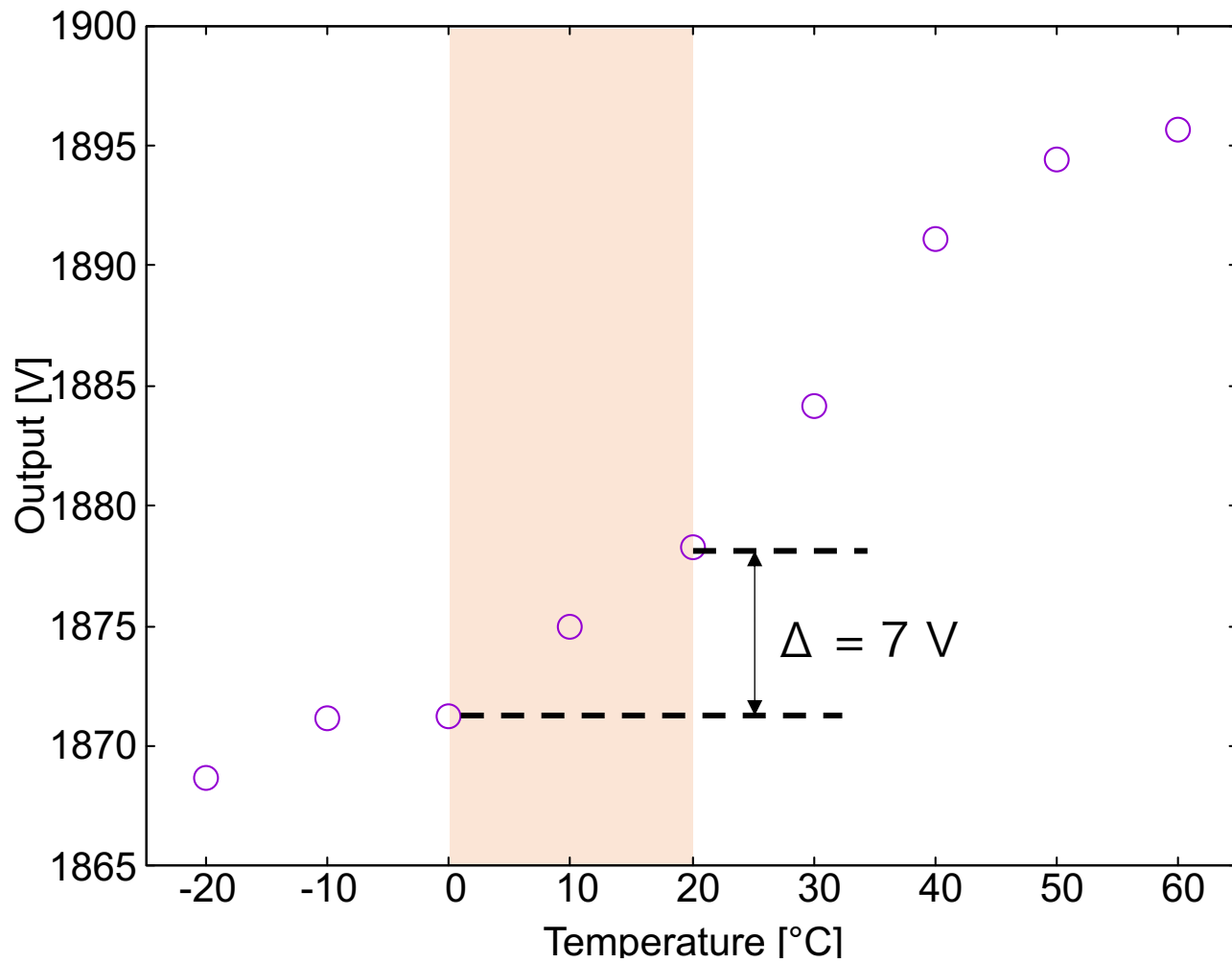
2.4 温度特性の評価

- ▷ 衛星の運用温度は日照の影響で0 ~ 20°Cの範囲で変動
- ▷ モジュールの温度依存性も確認しておく必要がある

実験set-up -20 ~ 60°C



2.4 温度特性の評価



▷ 変動率は0.4 % ⇒ 許容範囲に収まる。

2.5 まとめ

HVモジュールの求められる条件

- ▶ CubeSatは大きさと質量の制限があるため、**小型かつ軽量**であること
- ▶ GEM-X線検出器の測定精度を向上させるため、**安定した高電圧印加**が可能であること

検証結果

- ▶ UMHVは大きなリップルを持つがRCローパスフィルタを用いれば4.4%⇒**0.2%**まで減衰できる
- ▶ 運用予定の温度範囲内では出力の変動は**0.4%**である
- ▶ UMHV1220はリップル・温度特性において小型衛星プロジェクトに採用できる性能を持っている

Contents

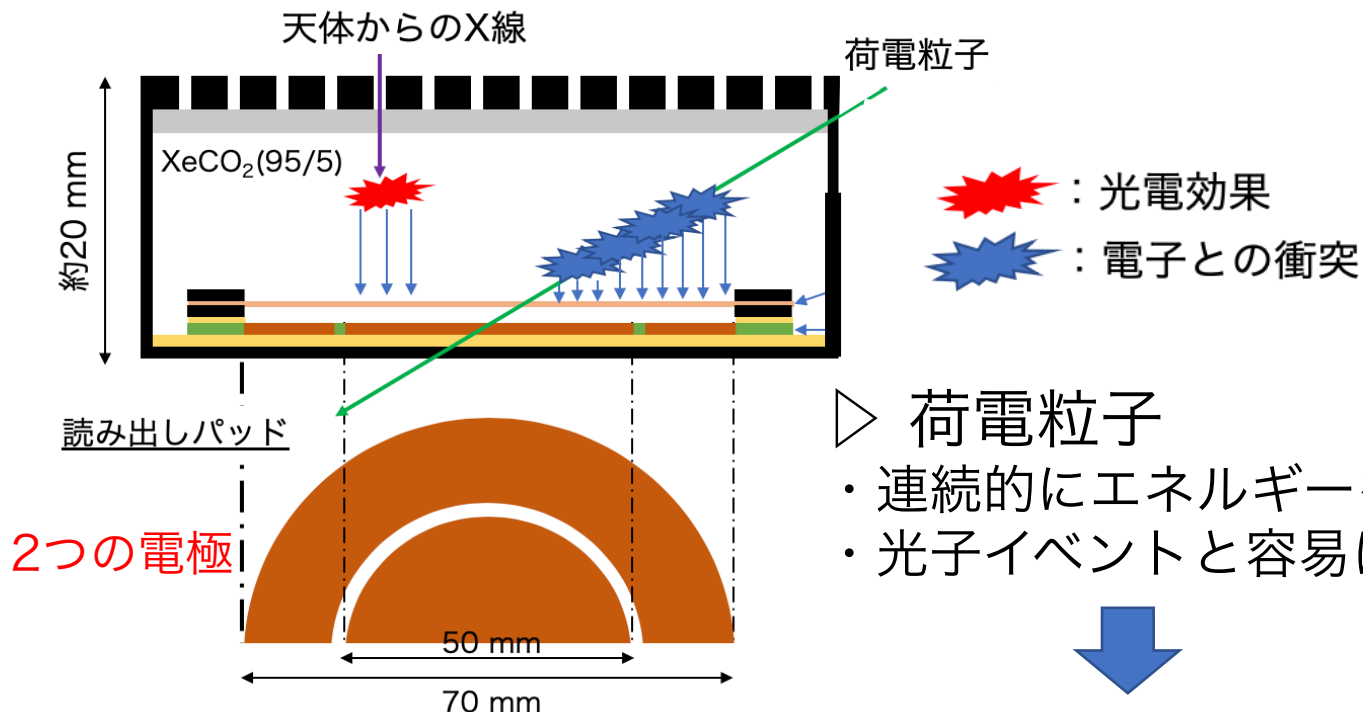
1. イントロダクション

2. HVモジュールの特性調査

3. Backgroundの減衰シールド調査

3-1. バックグラウンド～荷電粒子とCXB～

- ▷ バックグラウンドには荷電粒子とCXBがある。
- ▷ 宇宙X線背景放射 CXB (Cosmic X-ray Background)
 - ・ 遠方の活動銀河核に由来するほぼ等方的なX線放射

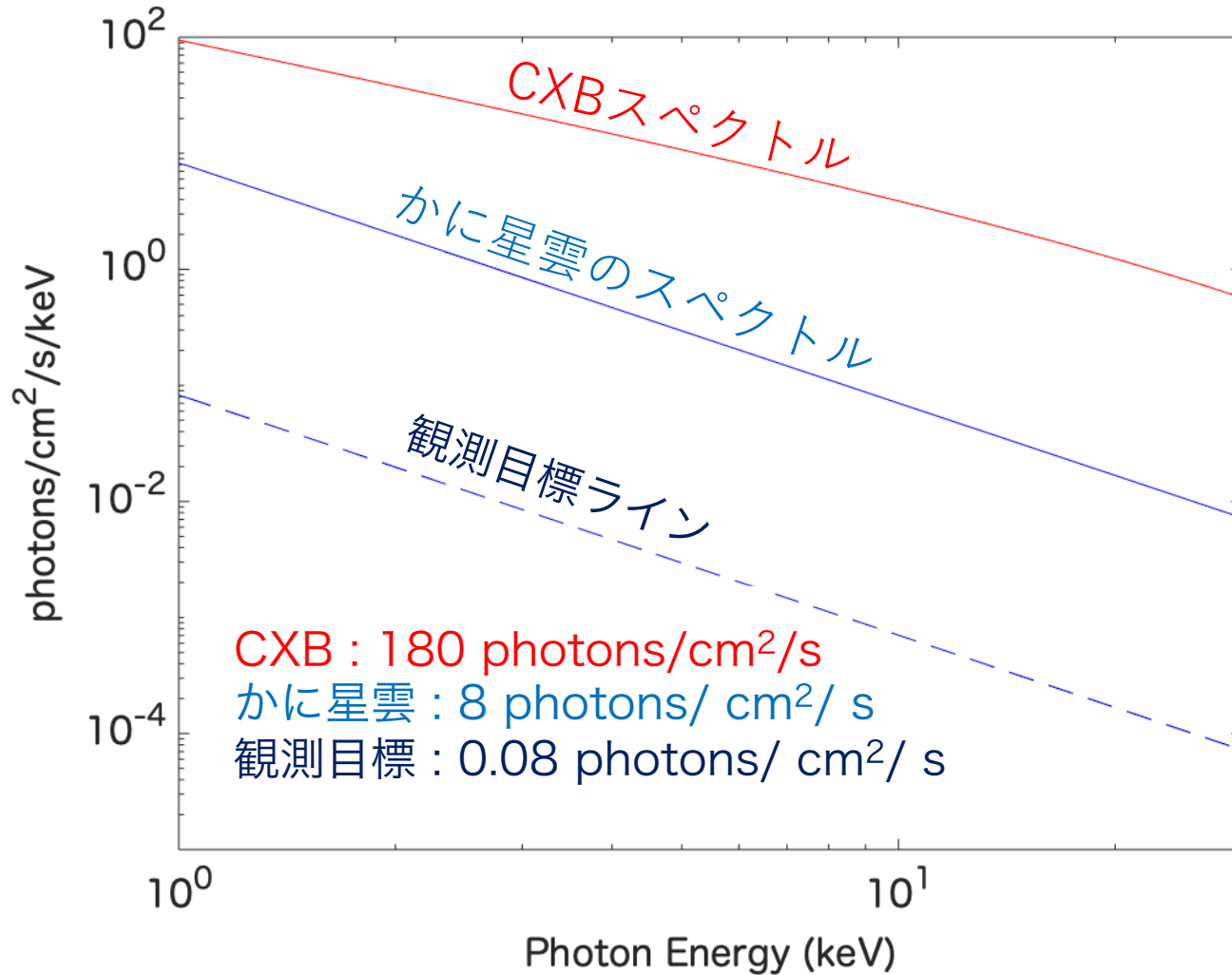


- ▷ 荷電粒子
 - ・ 連続的にエネルギーを落とす
 - ・ 光子イベントと容易に区別可能

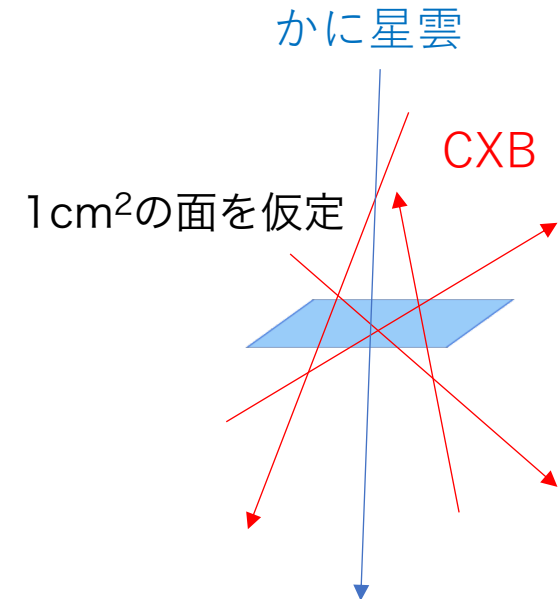
- ▷ CXBを減衰させるのに最適なシールドを検討することを目的とする。

3-2. CXB遮蔽の必要性

CXBとかに星雲のスペクトル関数



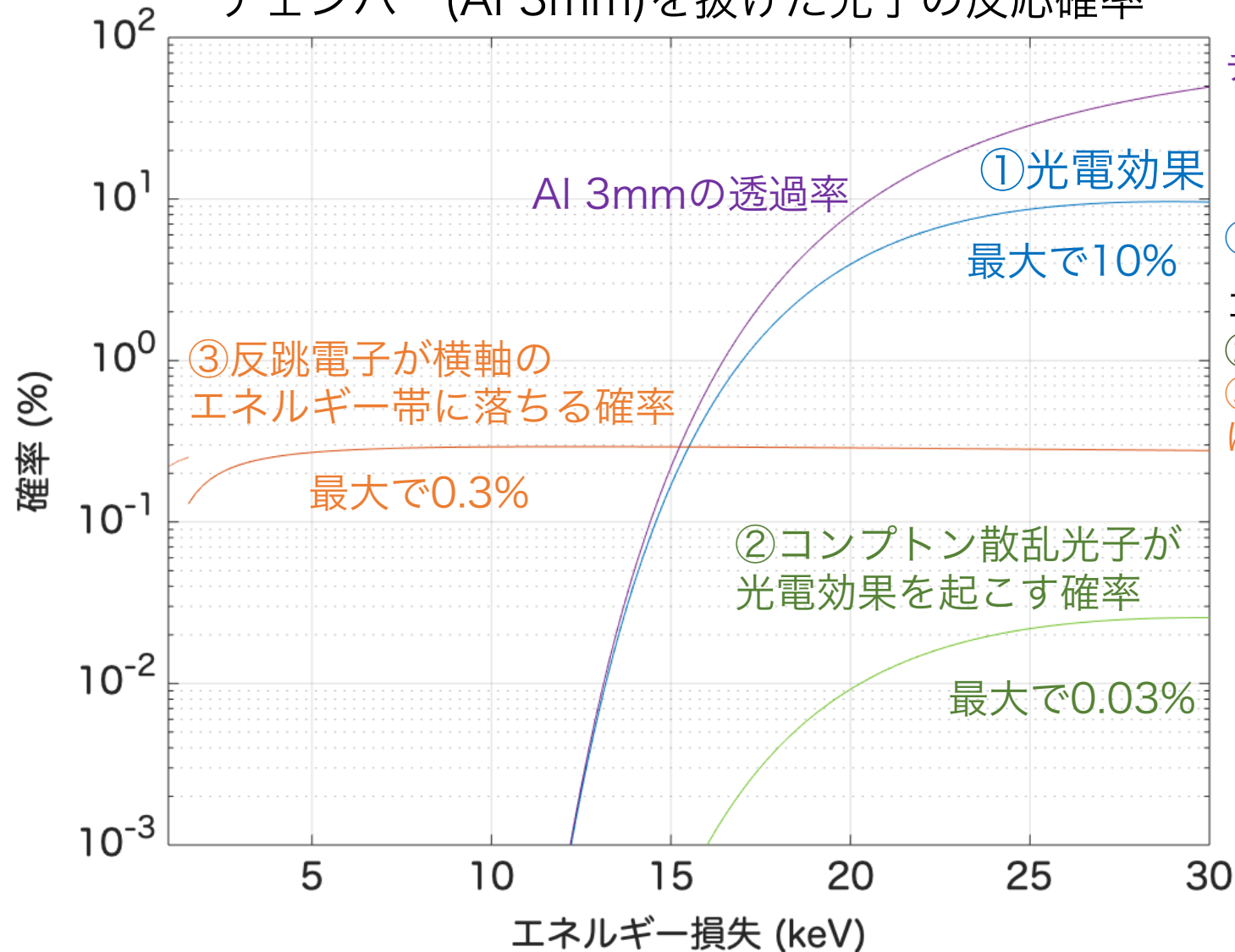
かに星雲は安定して輝く
最も明るいX線源



かに星雲は1方向から
CXBは4 π から
飛んでくる
(CXBは4 π で積分)

3-3. シールドなしの場合のX線の影響

チェンバー(Al 3mm)を抜けた光子の反応確率



チェンバー壁面を透過



XeCO₂ガス中
で

①光電効果

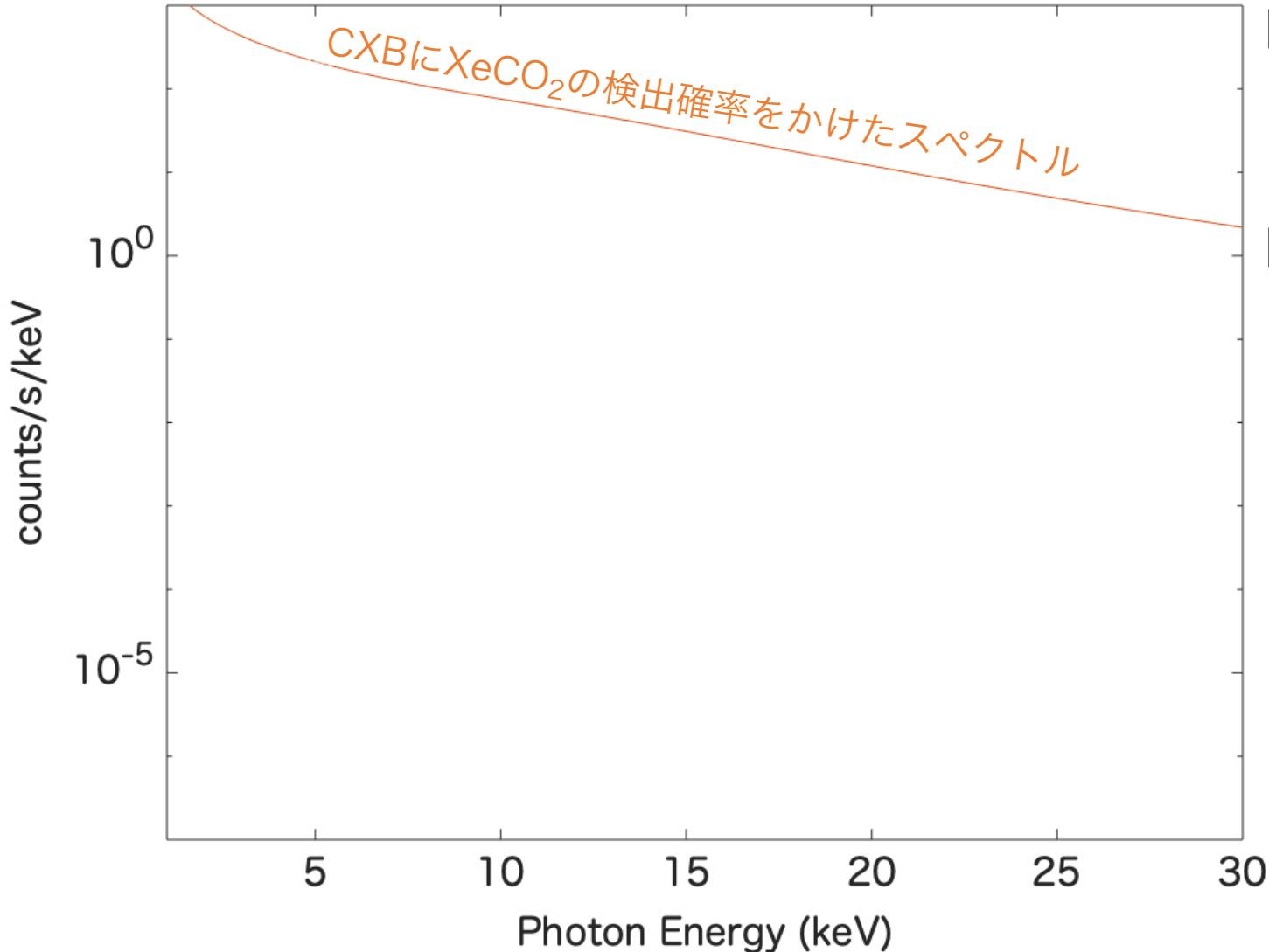
コンプトン散乱

②散乱光子が光電効果

③反跳電子が2-30keV
に落ちる

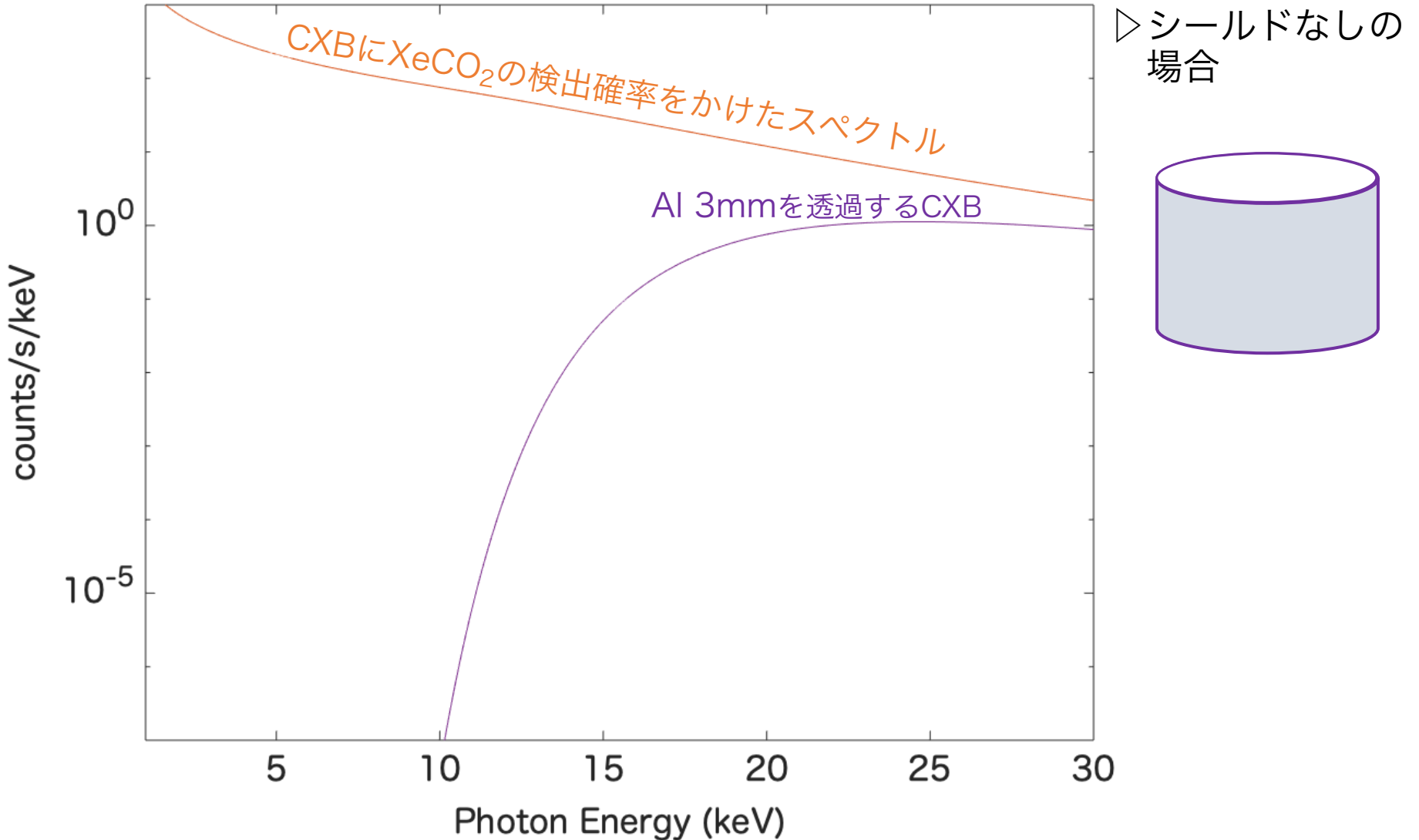
▷シールドなしの
場合だとCXBの
10%が検出され
る。

3-4. CXBバックグラウンド比較

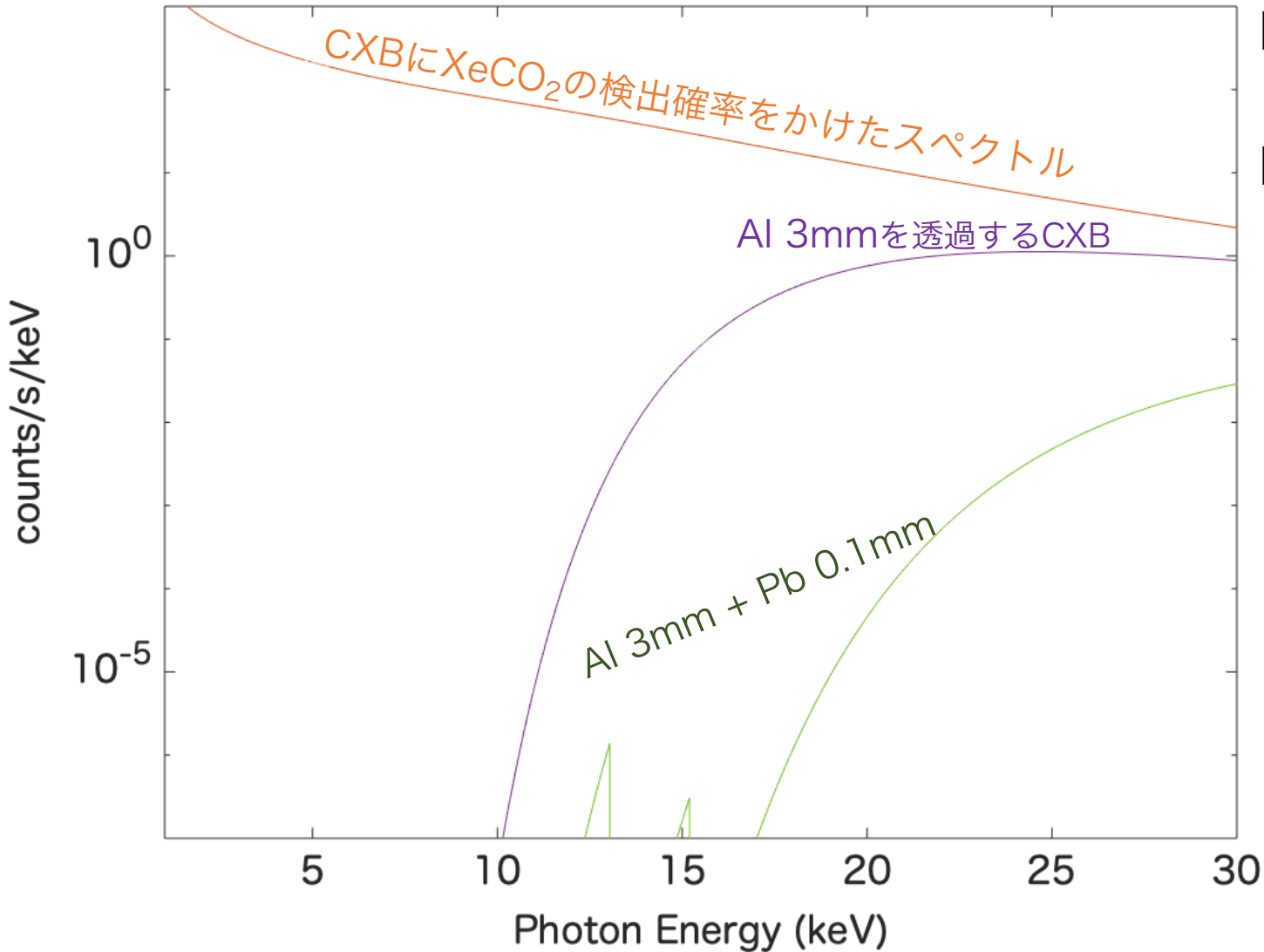


- ▷ シールドを仮定して、CXBバックグラウンドの比較を行う。
- ▷ 遮蔽なしの場合

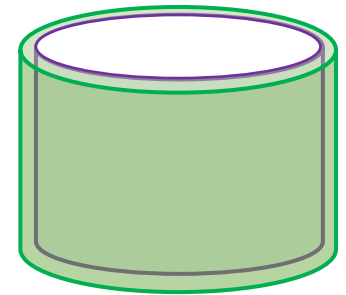
3-4. CXBバックグラウンド比較



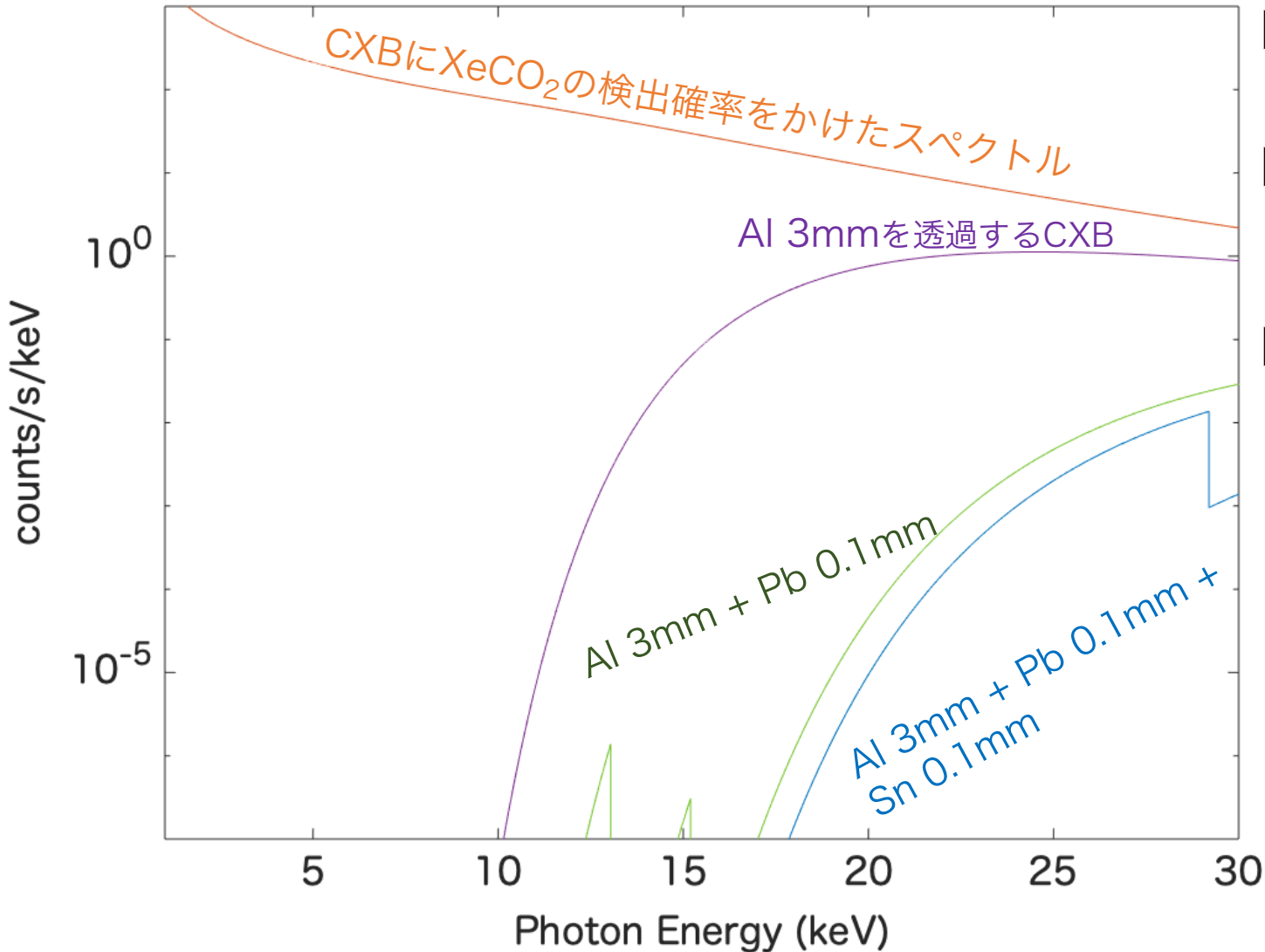
3-4. CXBバックグラウンド比較



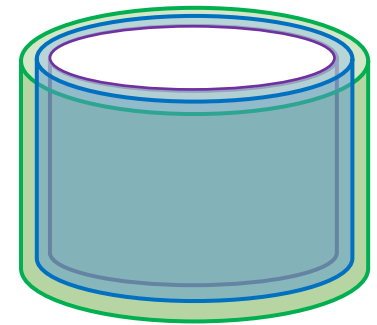
- ▷ 重金属を用いたシールドを仮定
- ▷ 鉛 0.1mmのシールド有の場合



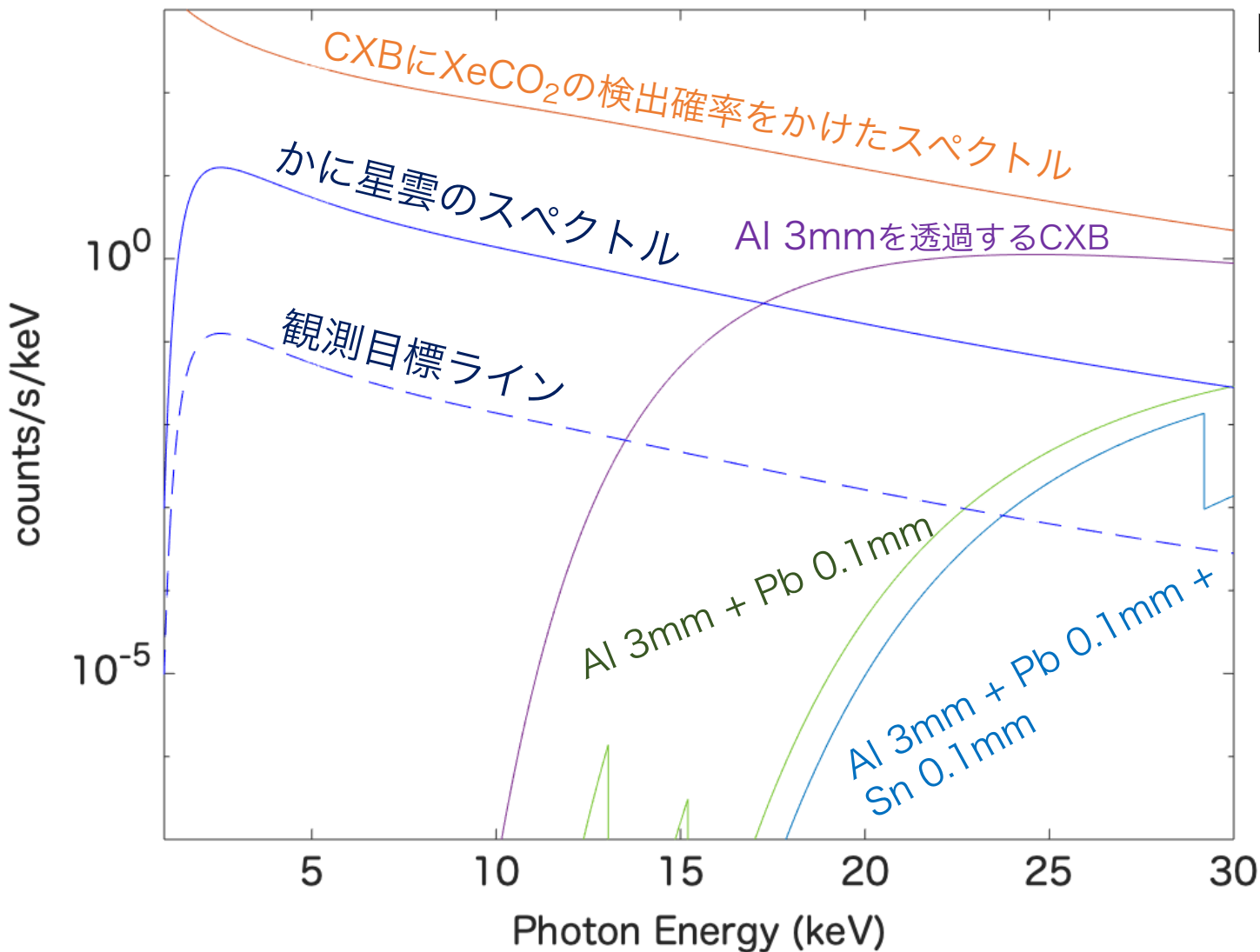
3-4. CXBバックグラウンド比較



- ▷ MAXIのデザインを援用
- ▷ 鉛 0.1mmと錫 0.1mmのシールド有の場合
- ▷ 28keVで0.01倍に減衰できる

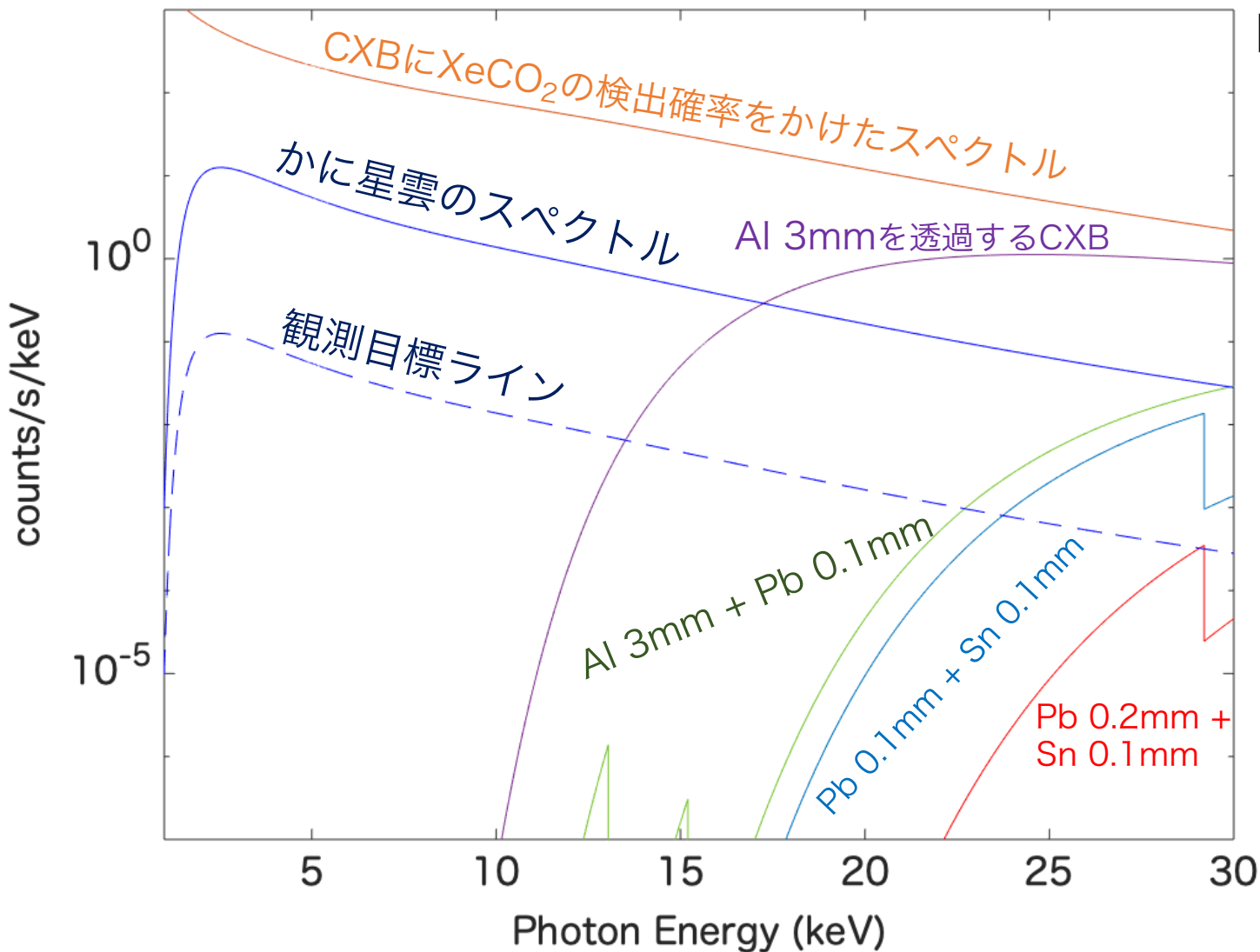


3-5. CXB減衰目標



▷ 観測目標ラインより一桁高いが、モデリング等行うことにより、CXBバックグラウンドを引くことができる。

3-5. CXB減衰目標



▷鉛を0.2mmにすることで観測目標ラインを達成することができた。

▷実際には重さも考慮する必要がある。

▷厚みと重さのトレードオフはGeant4で検討予定。

3-6. まとめ

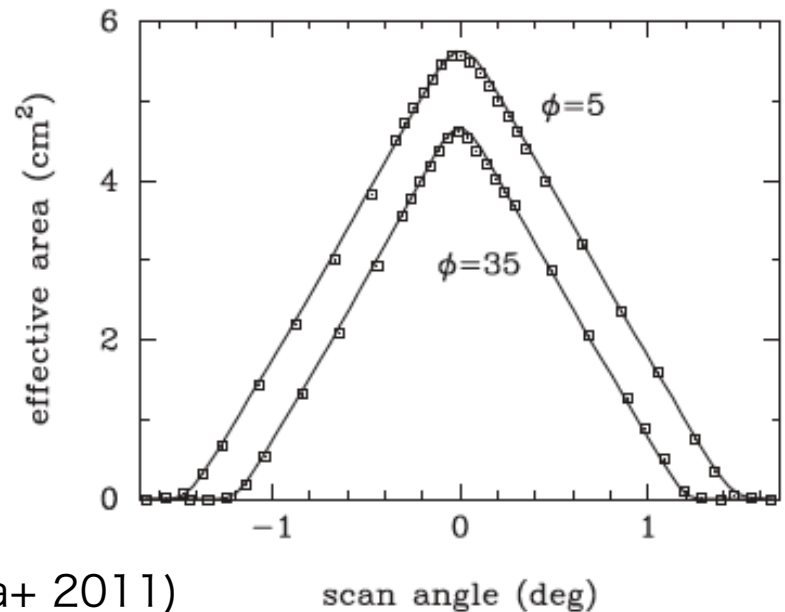
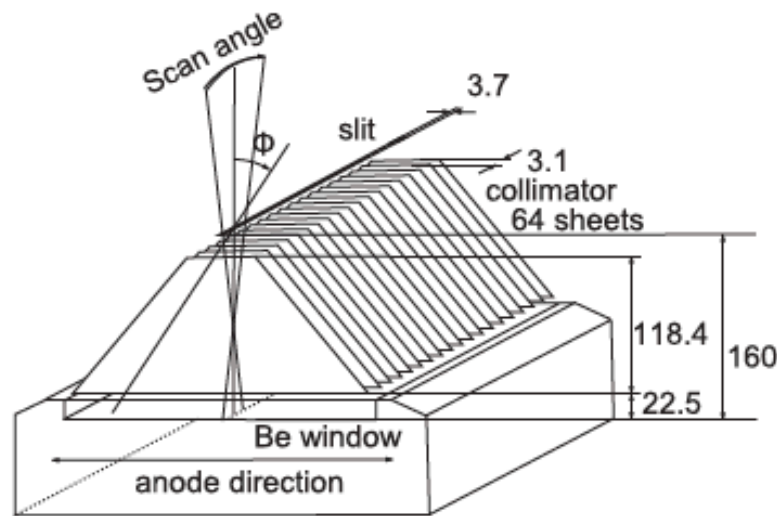
- ▷ CXBのフラックスは、かに星雲のフラックスよりも二桁大きい。
- ▷ シールドなしの場合だと、CXBは一桁しか落ちない。
- ▷ MAXIのデザインを援用しつつ、重金属をシールドに用いることにした。
- ▷ シールドを仮定すると、CXBをかに星雲のスペクトルよりも二桁減らすことができた。
- ▷ 厚みと重さのトレードオフはGeant4を用いて実施予定である。

ご静聴ありがとうございました。

Appendix : イントロの補助スライド

MAXIの観測時間

MAXIに用いられている検出器と応答



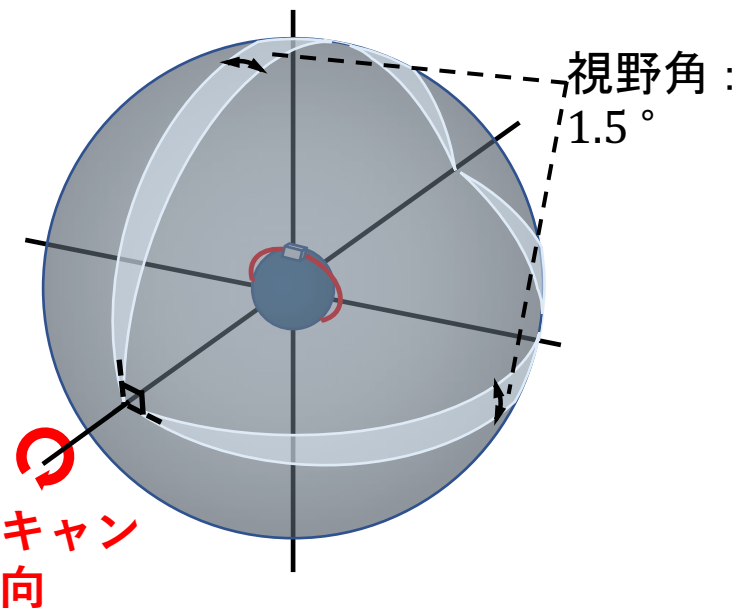
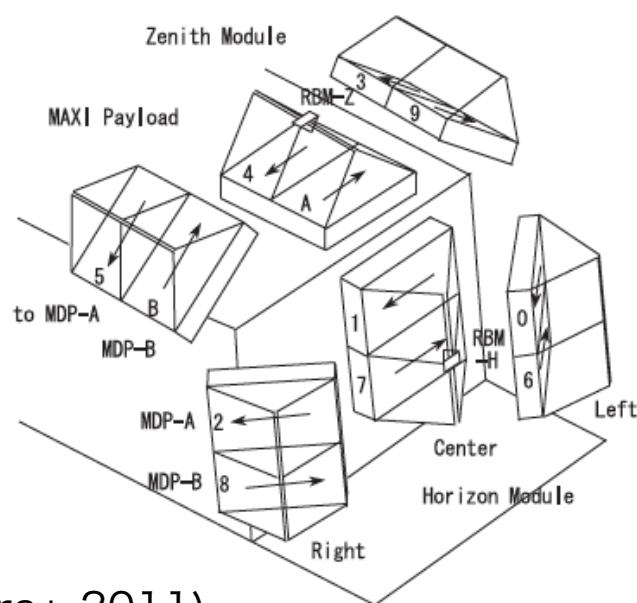
(Mihara+ 2011)

応答のFWHMは 1.5° 程度 \Rightarrow Scan angle の視野は 1.5°

Appendix : イントロの補助スライド

MAXIの観測時間

検出器の配置とスキヤンのイメージ



(Mihara+ 2011)

よって、ある一点を観測できる時間は

$$\frac{92 \text{ min}}{\text{周回時間}} \times \frac{1.5^\circ}{360^\circ} \times \underline{2} \times 60 \text{ s} = 46 \text{ s}$$

方向

Appendix : イントロの補助スライド

有効面積の具体的な計算

開口面積 : 38.5 cm^2

コリメーターの開口率 : 64%

Be窓の支え格子*の開口率 : 70%

より $38.5 \times 0.64 \times 0.7$
 $= 17.2 \text{ cm}^2$

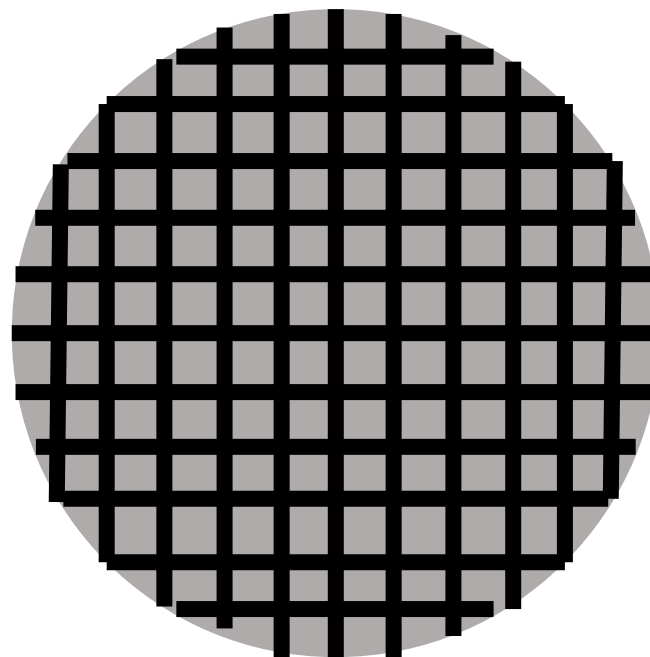
* Be窓の支え格子

ガス封入時⇒外側に歪む

⇒ コリメーターで支える

真空引き時⇒内側に歪む

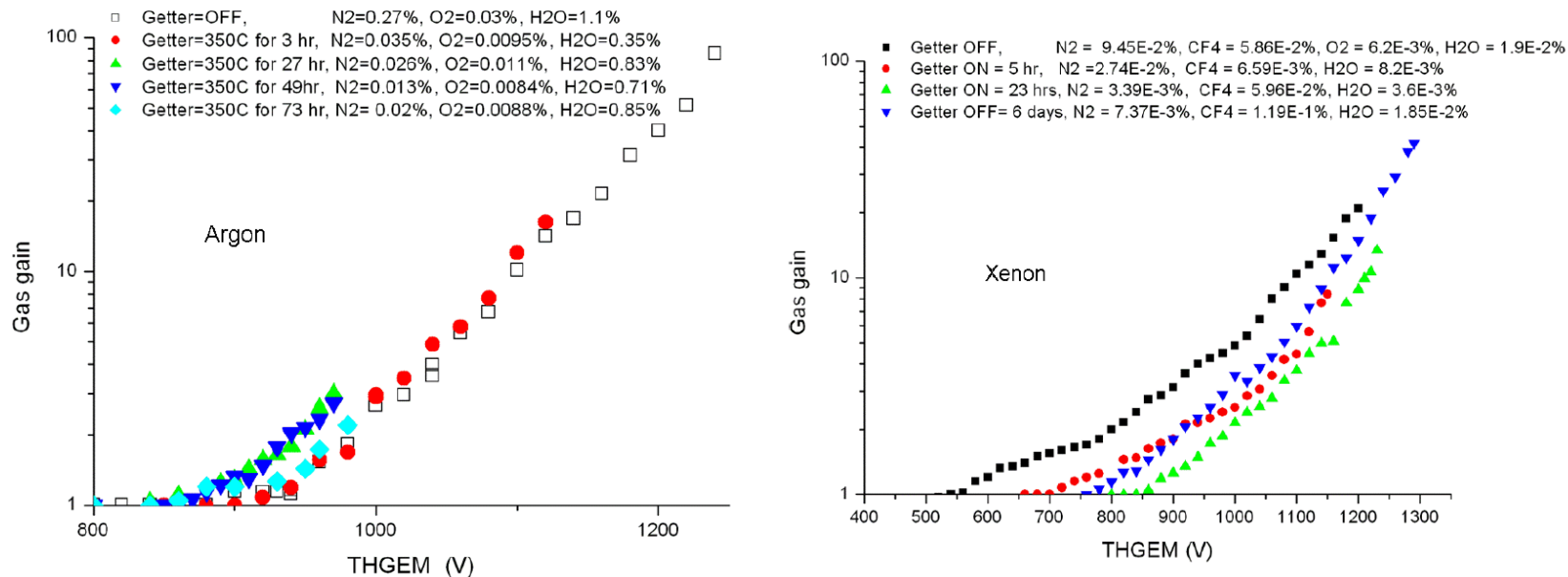
⇒ 右図のような格子を貼る
ことで支える



イメージ

Appendix : 許容値の見積もりの補助スライド

XeとArでどの程度の差が出るのか？(THGEM)



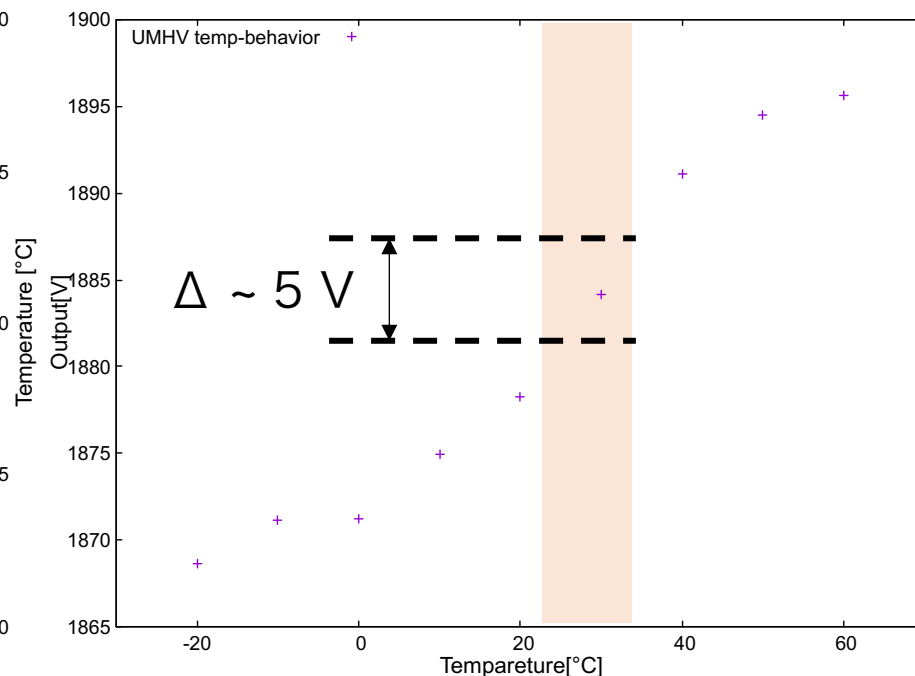
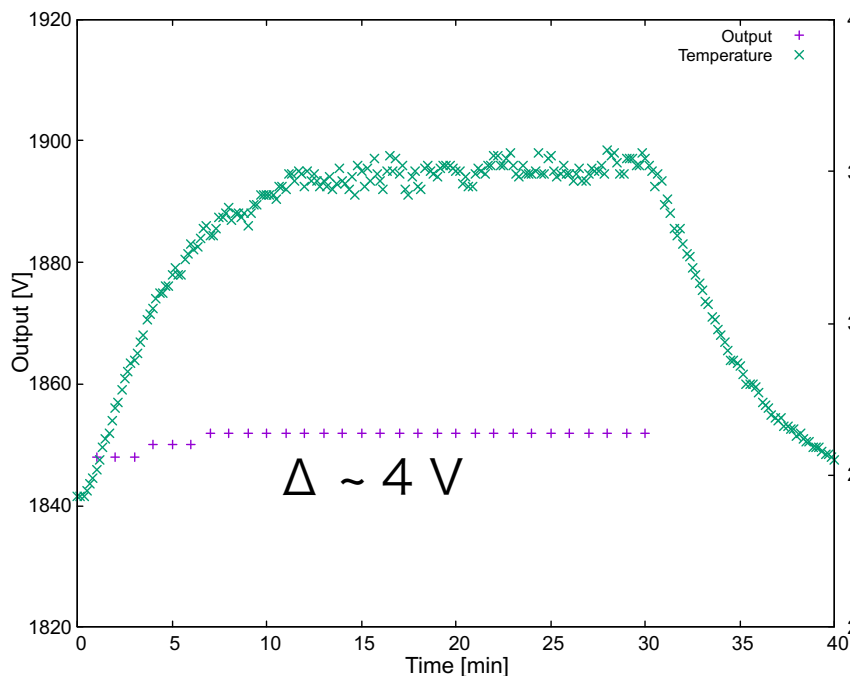
@ j.miyamoto et al 2009

GEMの種類・規格は異なるがArとXeでのgainを同じ条件で比較している。

- ➡ Arに比べてXeはグラフの傾きが緩やか
- ➡ Xeの方が許容値が低くなる可能性

Appendix : 温度特性実験の補助スライド

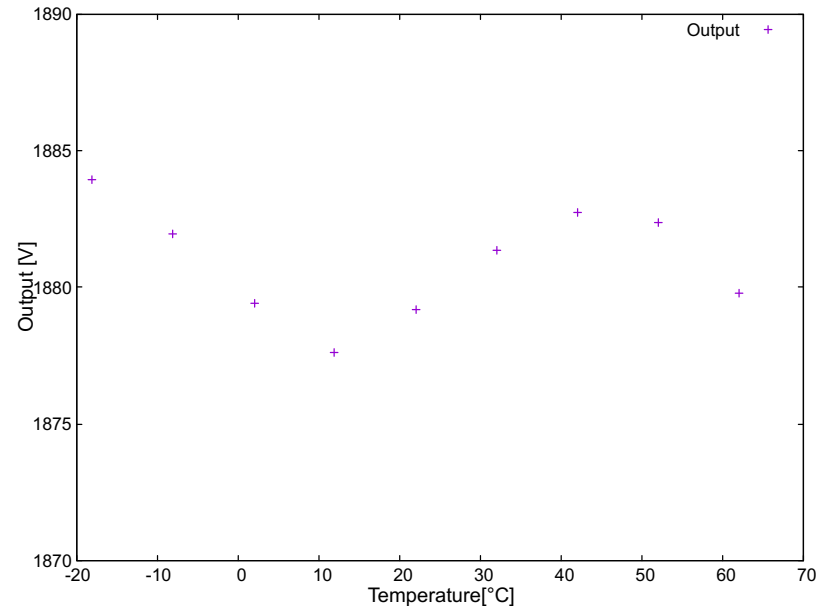
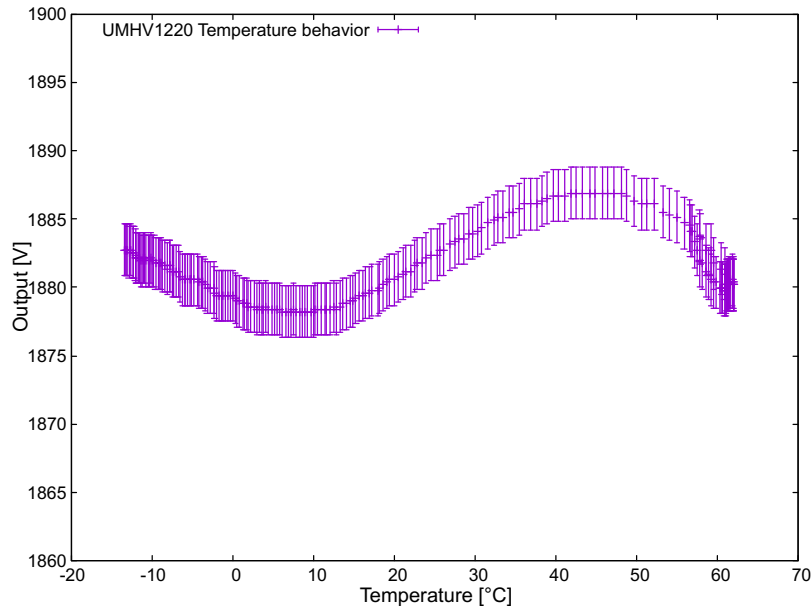
再現性はあるのか？



再現性を確認できるわけではないが、起動時間と出力の関係を取得した時の結果と大きな矛盾はない

Appendix : 温度特性実験の補助スライド

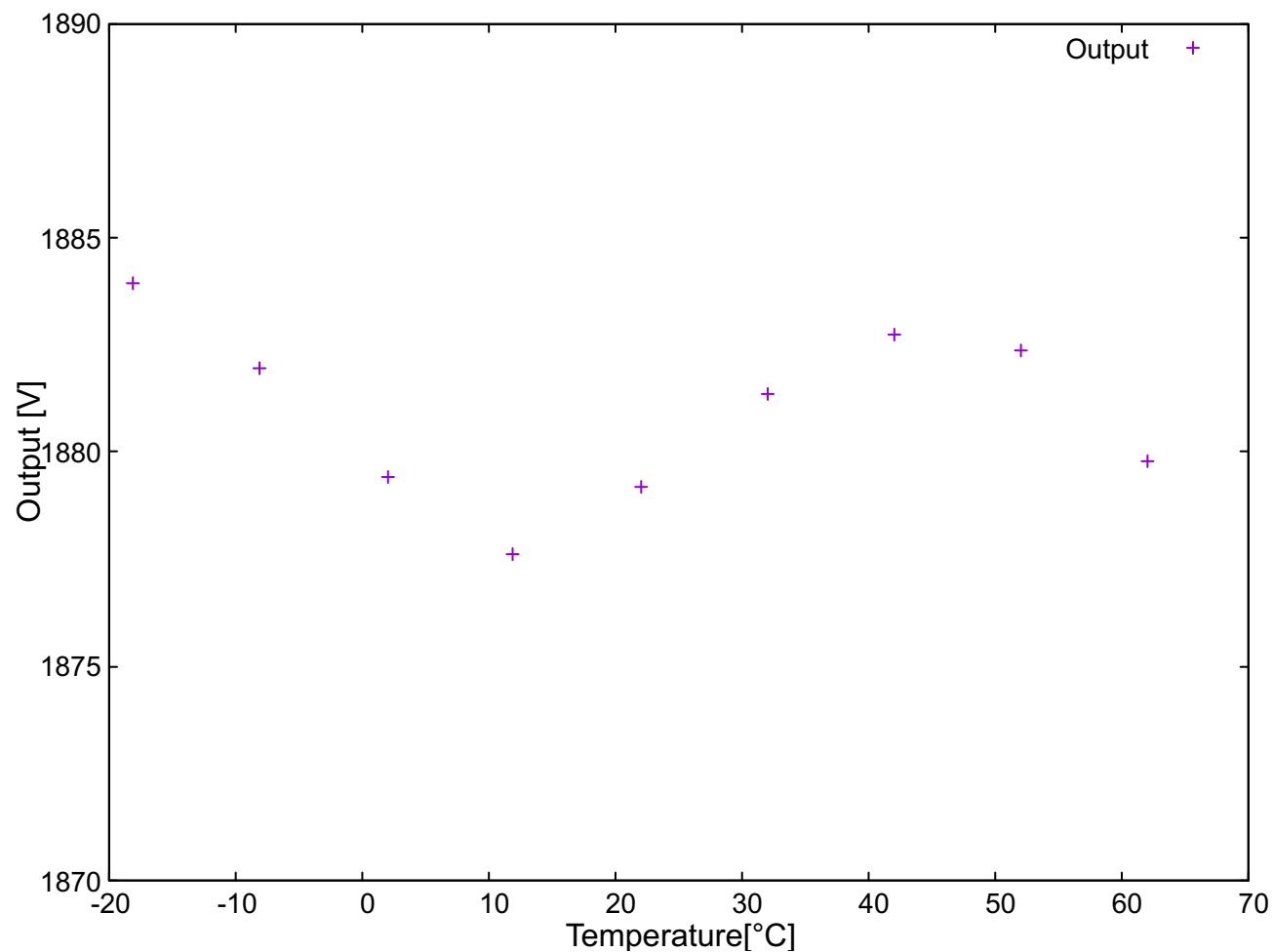
再現性はあるのか？



測定方法は異なるが、2回の温度特性の取得を行なった同様の外形の振る舞いが見られている

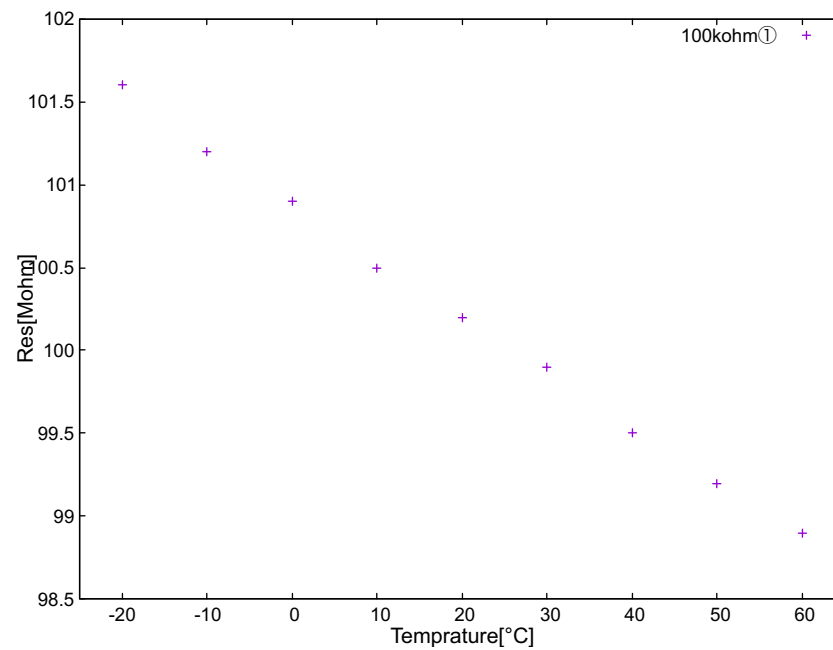
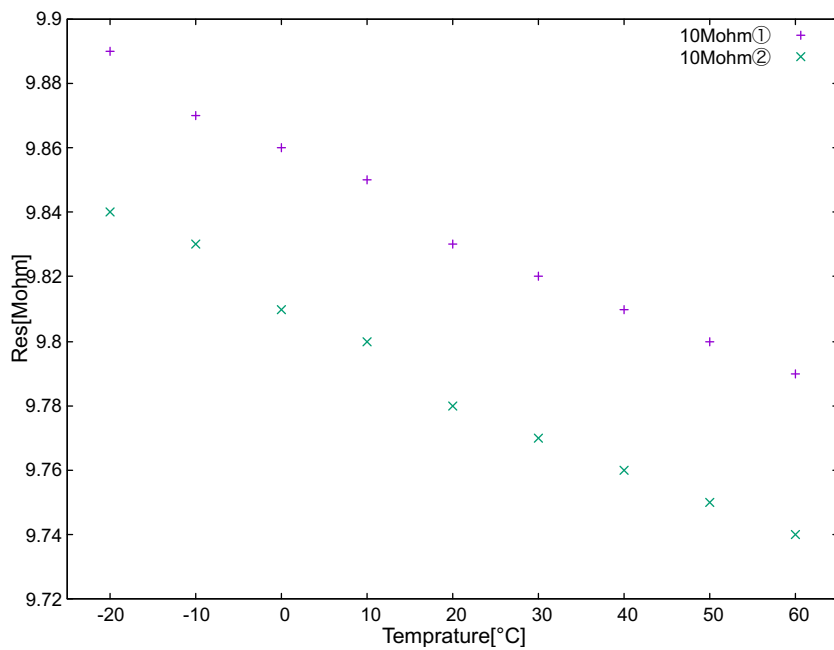
Appendix：温度特性実験の補助スライド

温度特性生データ



Appendix : 温度特性実験の補助スライド

実験に用いた抵抗の温度特性



この結果を用いて出力を補正している。

Appendix : 出力の様子

