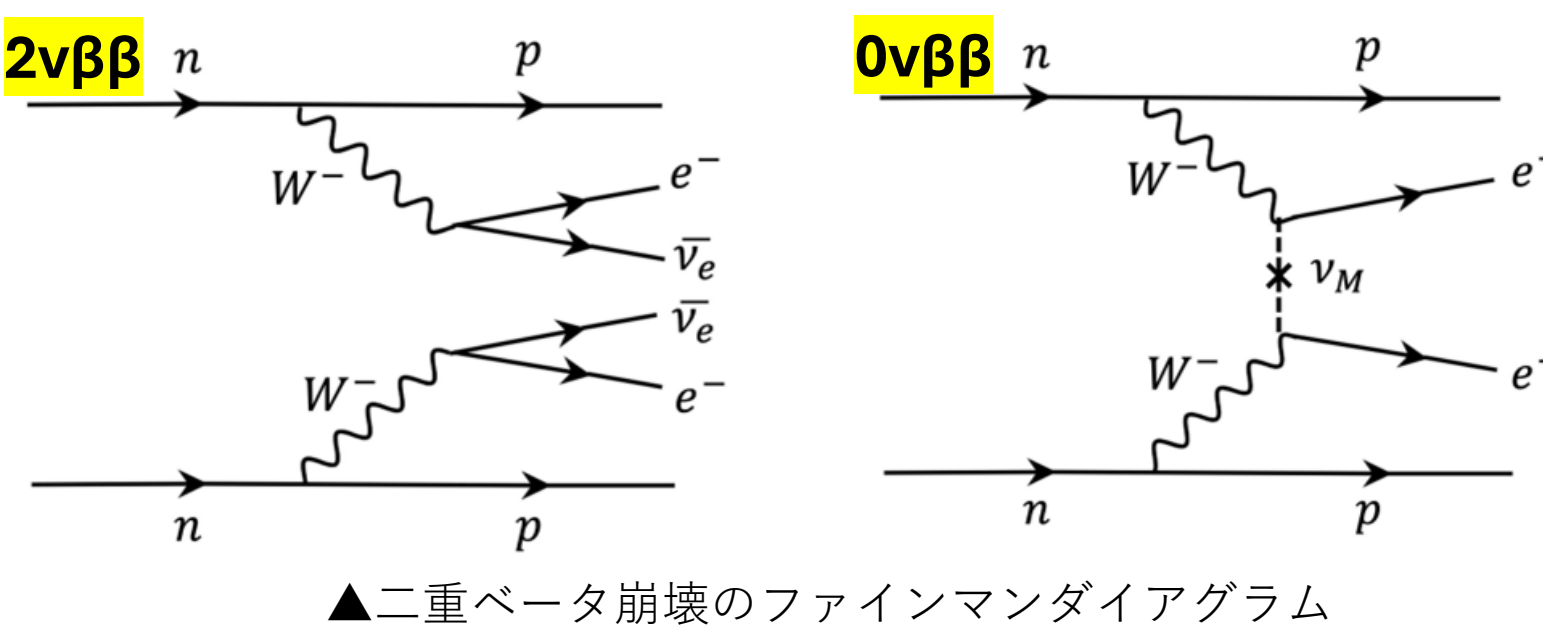


1. Neutrinoless Double Beta Decay ($0\nu\beta\beta$)

ニュートリノがマヨラナ粒子である場合に起こり得る現象
見つければ

- ・不自然に軽いニュートリノ質量
- ・物質のみの宇宙誕生の理由を説明できるかもしれない

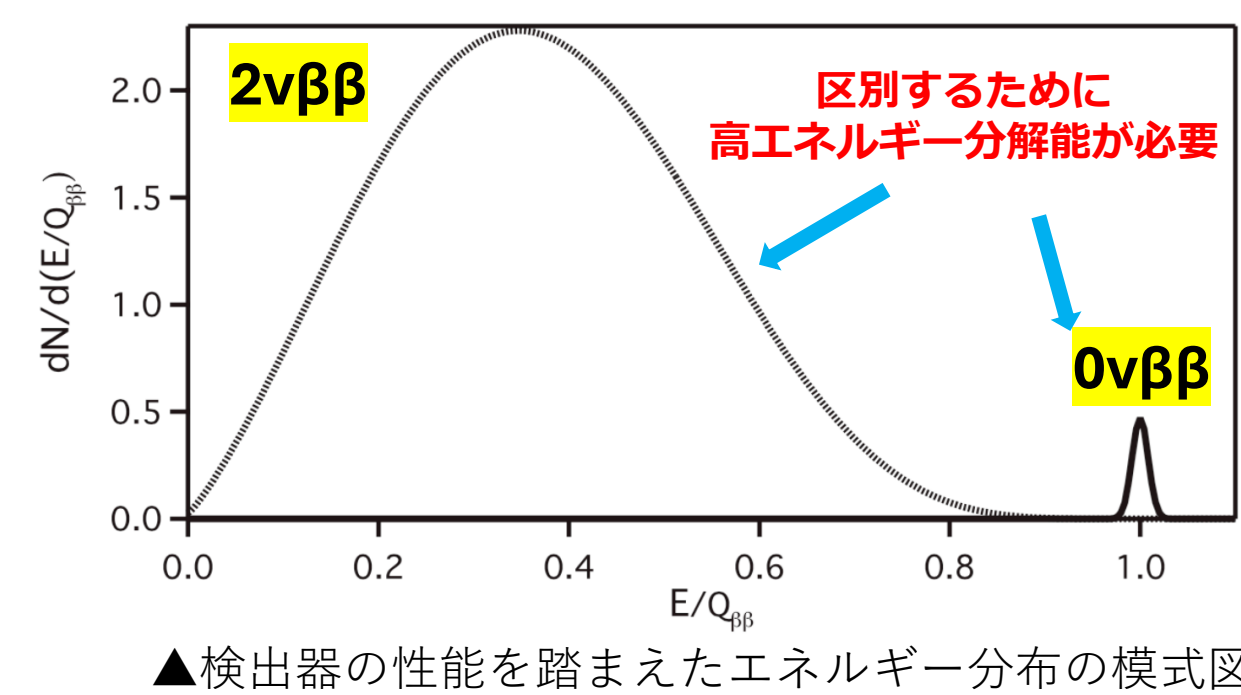


半減期が非常に長い

$$T_{1/2}^{0\nu} > 3.8 \times 10^{26} \text{ yr (90\% C.L.)} @ ^{136}\text{Xe}[1]$$

0νββ 探索に必要な要件

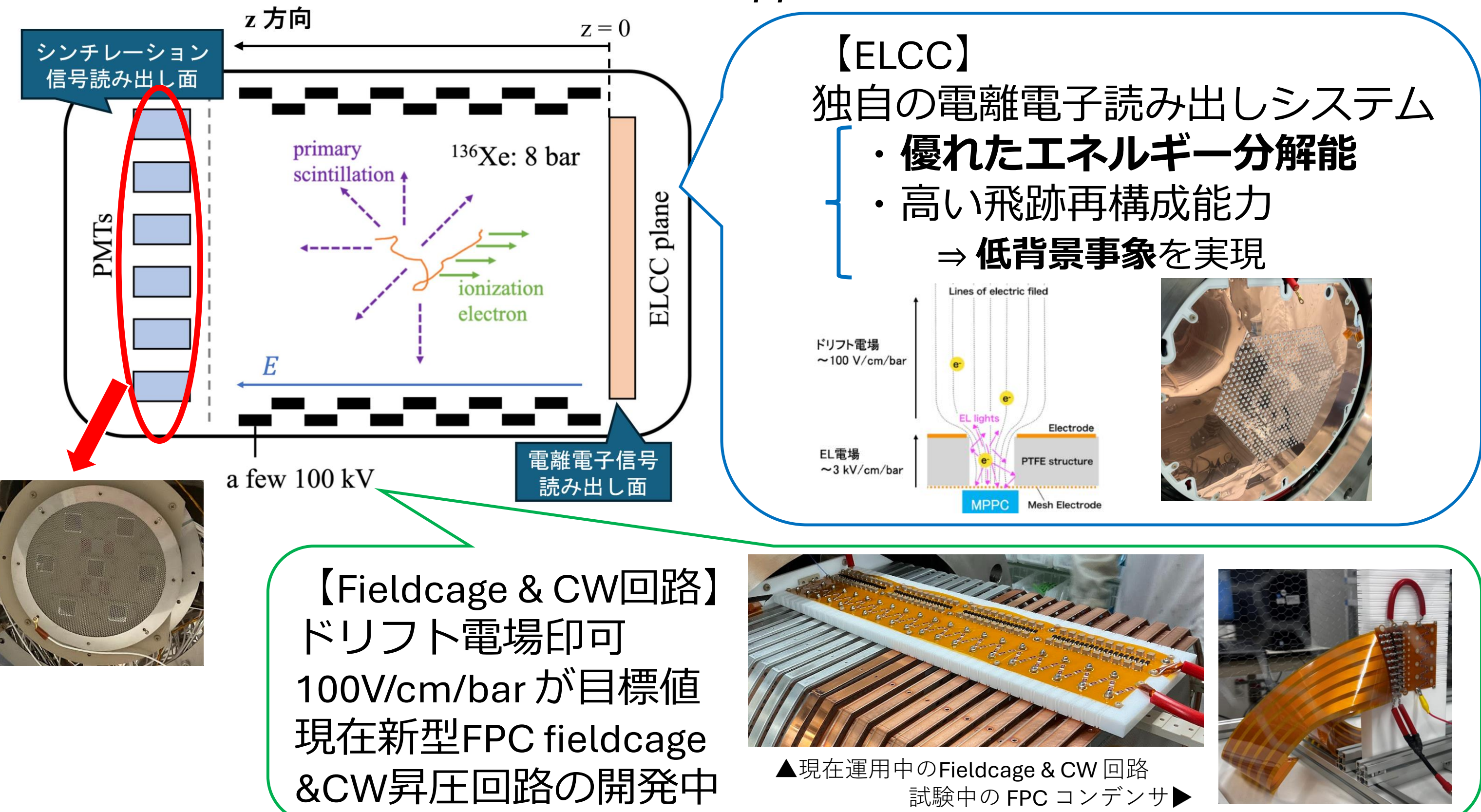
- ・高エネルギー分解能
- ・低背景事象
- ・大質量



2. AXEL experiment

A Xenon ElectroLuminescence

高圧キセノンガス TPC を用いた $0\nu\beta\beta$ 探索実験



180 L 試作機で 0.73 % (FWHM) @1863 keV のエネルギー分解能を実現
現在、検出器の大型化（= 大質量化）に向けた R&D を実施中

▼ 1863 keV に対するエネルギー分解能

Error in the time variation correction	0.32 %
Fluctuation of the number of initial ionization electrons	0.29 %
Fluctuation of the EL generation and detection	0.24 %
Error in the EL gain correction	0.23 %
Recombination	0.22 %
Fluctuation of the MPPC non-linearity	0.18 %
z mis-reconstruction	0.13 %
Variation in time bin of time variation correction	≤ 0.16 %
Error in the z-dependence correction	≤ 0.11 %
Accuracy of the MPPC recovery times	≤ 0.11 %
Offset of the baseline	≤ 0.09 %
Fluctuation of the attachment	≤ 0.02 %
Position dependence of the EL gain	0 %
Waveform processing in the FEB	0 %
Estimation total	0.63 % to 0.67 %
Data total	(0.73 ± 0.11) %

ELCC で使用する MPPC の受光面積拡大
0.24 % → 0.14 %

ドリフト電場 100 V/cm/bar 達成
0.22 % → 0 %

シンチレーション光検出効率改善
0.13 % → 0 %

【現状】VUV-PMT での直接読み出し

- ・受光面積が小さい (4.2 cm²/本)
- ・高圧運用のため受光面拡大✕
- ・検出器の大型化でさらに検出光量down

⇒シンチレーション検出技術の開発

0.50 % (FWHM) @ $0\nu\beta\beta$ のエネルギー分解能を達成した 1 トン検出器で1年間測定すれば世界最高感度を更新できる見込み

3. 新型シンチレーション検出器の開発

【開発コンセプト】

受光面積の拡大と高検出効率を両立した検出器
⇒ 光子の波長変換と捕獲の組み合わせ

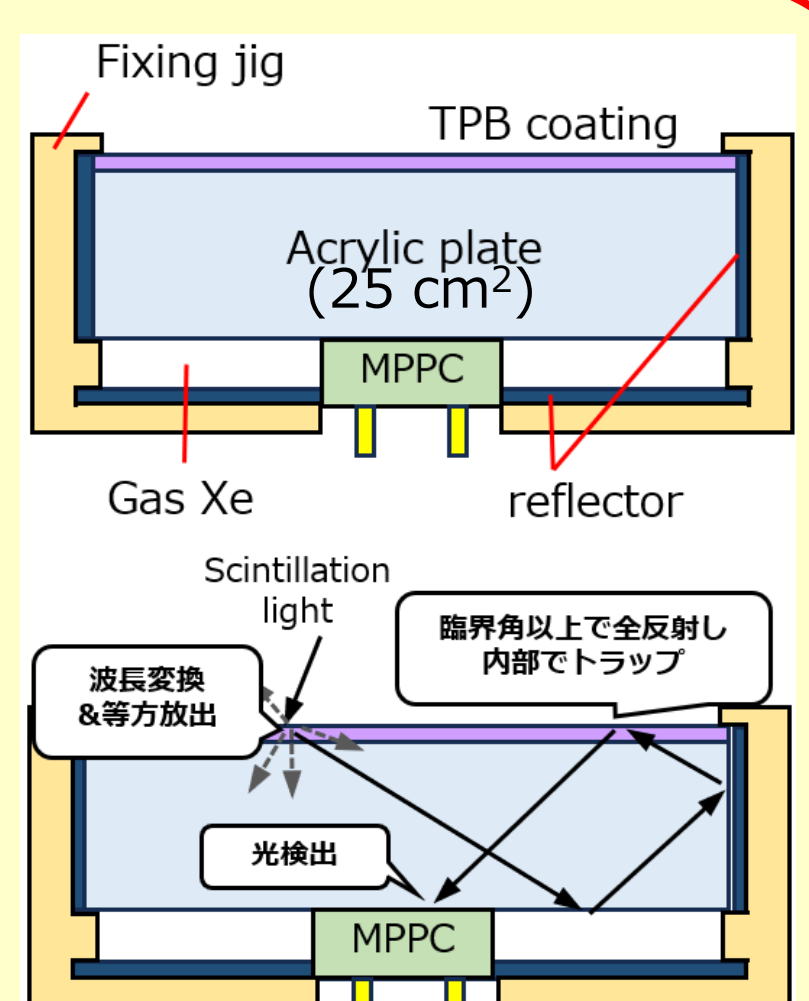
- ・TPB による 175nm → 430 nm 波長変換
⇒ 光検出器の感度の良い波長
- ・全反射、部分反射による光子のトラップ
⇒ TPB コート表面での臨界角以上の光の全反射
キセノンガス層 + 側面と底面に反射材

0νββ のシンチレーション光検出

- ・検出器 1 つあたりの平均検出光量が 5 で、検出確率 > 99 %
- ・合計の検出光量が 25 程度あれば 2 MeV までのイベントを区別可

【検出器の構成要素】

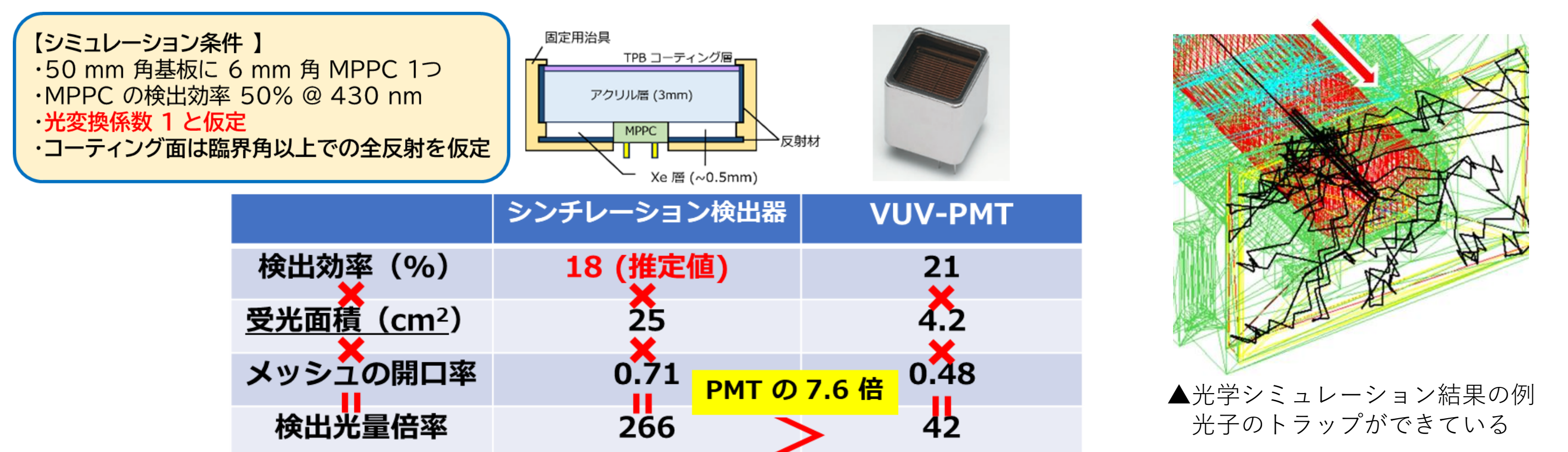
- ・TPB コートアクリル板
 - ・反射フィルム DF2000MA
 - ・MPPC S13360-6075
- アウトガス測定問題なし
安価かつ容易に入手可能で低コスト



【光学シミュレーションによる性能推定】

- ・検出効率は 18 % (MPPC の検出効率も考慮)
- ・PMT 保護メッシュ除去により単位面積あたりの入射光子数 1.5 倍
- ・受光面積は PMT の 6 倍

⇒ 平均検出光量 7.3 @ $0\nu\beta\beta$ (180 L 試作機) **要求性能をクリア!**



ただし、コート板表面は 430 nm 波長に
対し十分滑らかであることが要求される
⇒ スピンコーティング実験

【スピンコーティング】東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設を使用
溶液を滴下した基板を高速回転させ、薄く均一に塗り広げる手法
TPB・トルエンに加え、TPB 劣化対策にポリスチレン (PS) をドーブ

【現在のレシピ】

- ・TPB の質量濃度 2 %
- ・TPB/PS 質量比 0.8
- ・溶液 1.5 mL 滴下、1000 rpm で 60 s 回転

表面が十分きれいな
コート板の作成に成功
量産体制を整えている

【新型シンチレーション検出器の試作】

TPB コート板に MPPC を 光学セメント EJ-500 を使って接着



4. シンチレーション検出器の性能評価

【テスト用ミニチェンバーでの性能評価】

検出器デザインと TPB コート面の評価を目的に
キセノンガス中でのシンチレーション検出効率測定

- ・イベントセレクト & 比較用 PMT を対称に配置
- ・α線源 ²⁴¹Am を中心に設置
- ・PMT に対する新型検出器の検出光量比を測定

→ 測定された検出光量比は予想値の約 1.5 倍
(180 L 試作機に導入した場合の平均検出光量 11 @ $0\nu\beta\beta$)

新型シンチレーション検出器まとめ

- ・光変換効率が 1 を大きく超えている
- ・TPB コート面は 430 nm 波長に対し、十分均一&滑らかである
- ・検出器デザイン○

⇒ $0\nu\beta\beta$ 探索環境下に近い、180 L 試作機での評価へ

【180 L 試作機での性能評価準備】

- ・治具の作成
- ・シンチレーション信号シミュレート
⇒小光量 signal とダークパルス
の識別が可能か？

5. SUMMARY

- ・AXEL 実験は高圧キセノンガス TPC を用いた $0\nu\beta\beta$ 探索実験
- ・新型シンチレーション検出器の R&D により、エネルギー分解能向上と検出器の大型化対応を目指す。
- ・現在 180 L TPC での性能評価段階にある
- ・次世代1000 L TPC に組み込み、実際に $0\nu\beta\beta$ 探索を行う予定

[1] KamLAND-Zen Collaboration, arXiv:2406.11438

[2] Joshua R. Graybill, Chandra B. Shahi, Michael A. Coplan, Alan K. Thompson, Robert E. Vest, and Charles W. Clark, "Extreme ultraviolet photon conversion efficiency of tetraphenyl butadiene," Appl. Opt. 59, 1217-1224 (2020)