

AXEL 実験：新型キセノンガス シンチレーション検出器の研究開発

浦野壮規, 市川温子, 中家剛^A, 中村輝石, 岩下芳久^B, 廣瀬昌憲^A, 坂下健^C, 中島康博^D, 芦田洋輔, 菅島文悟^A, 秋山晋一, 疋田純也^A, 初見聡太, 佐々木駿斗^A, 林逸揮, 渡辺夕子, 佐藤凜征

他 AXEL collaboration

JPS 2026年春季大会

2026年3月24日

24aT3-02

目次

- 研究背景
- 新型シンチレーション検出器の設計製作
- 新型シンチレーション検出器の性能評価
- シンチレーション信号解析
- まとめと今後の展望

ニュートリノレスダブルベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$)

【ニュートリノの未解決問題】

- 質量固有値
- 質量階層性
- **マヨラナ性の有無**

⇒他の素粒子と比べ質量が不自然に軽い理由の説明や
物質のみの宇宙の起源の解明に繋がりうる



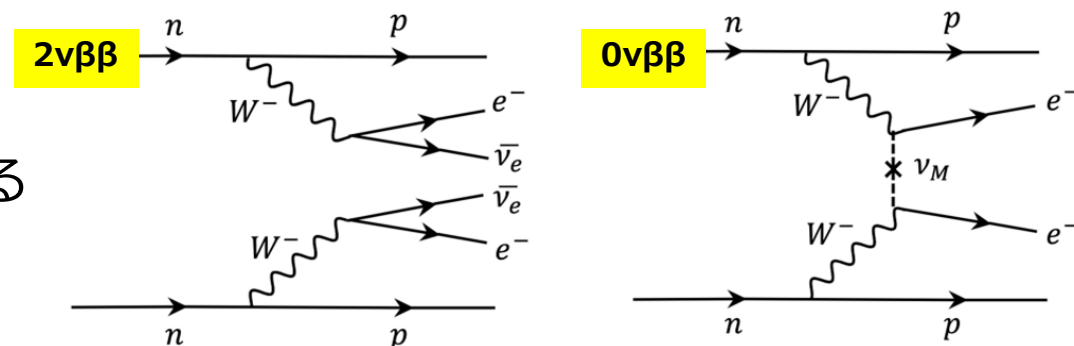
• 最も有力なマヨラナ性の検証手段は $0\nu\beta\beta$ 探索

- ニュートリノが粒子反粒子が同一である、マヨラナ粒子である場合には
ニュートリノレスダブルベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$) が起こり得る

• ^{136}Xe を用いた $0\nu\beta\beta$ 探索実験

⇒ KamLAND-Zen 実験が最も厳しい制限を与えている

$$T_{1/2} > 3.8 \times 10^{26} \text{ 年 (C.L. = 90 \%)[1]}$$



▲二重ベータ崩壊のファインマンダイアグラム

[1] KamLAND-Zen collaboration, arXiv:2406.11438

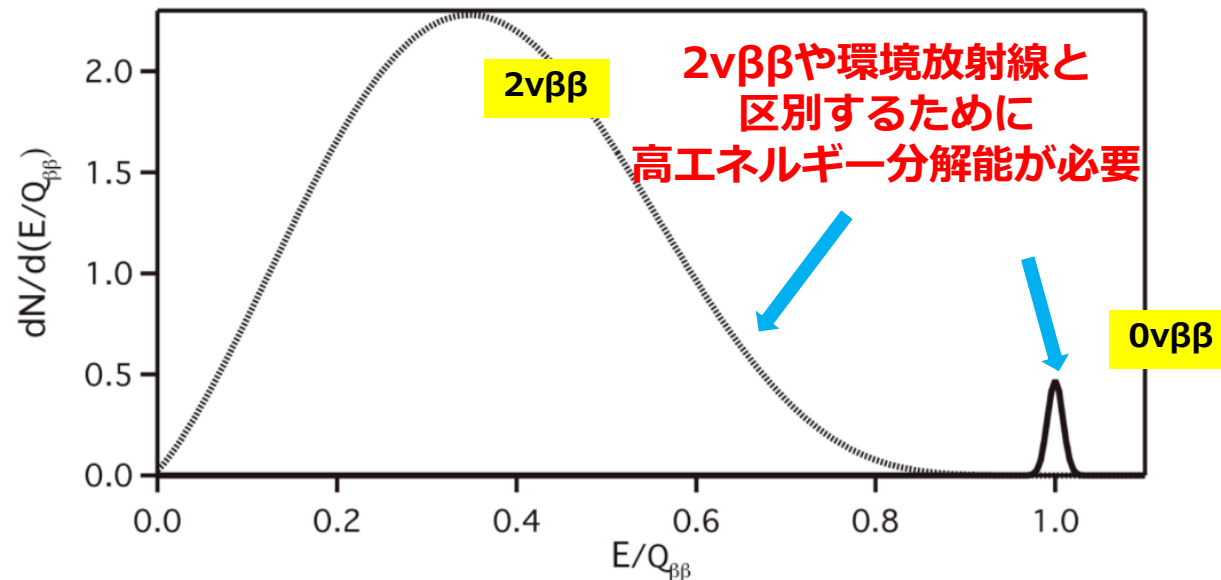
ニュートリノレスダブルベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$)

$0\nu\beta\beta$ は起こるとしても非常に稀な現象

$$T_{1/2} > 3.8 \times 10^{26} \text{ 年 (C.L. = 90 \%)}$$

⇒ 探索に必要な三つの条件

- 大質量 (=大量の崩壊核)
- 低背景事象
- 高エネルギー分解能



▲ 検出器の性能を踏まえた二重ベータ崩壊のエネルギー分布の模式図

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

本講演のテーマは、シンチレーション検出機構の研究開発

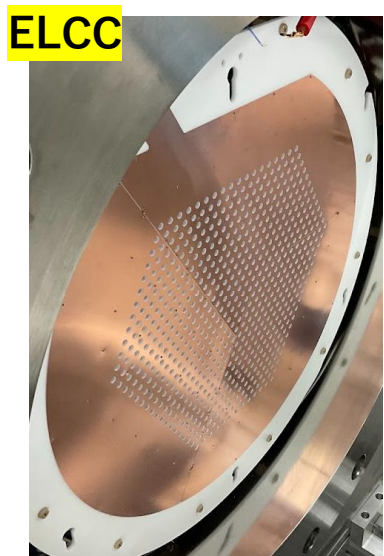
AXEL 実験 -概要-

関連講演
・ 24aT3-01 (佐々木)

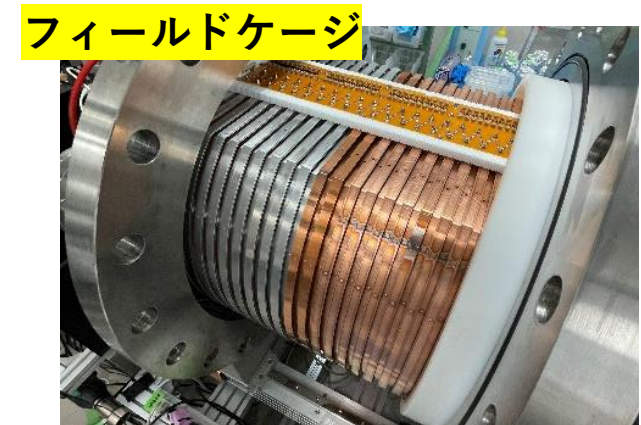
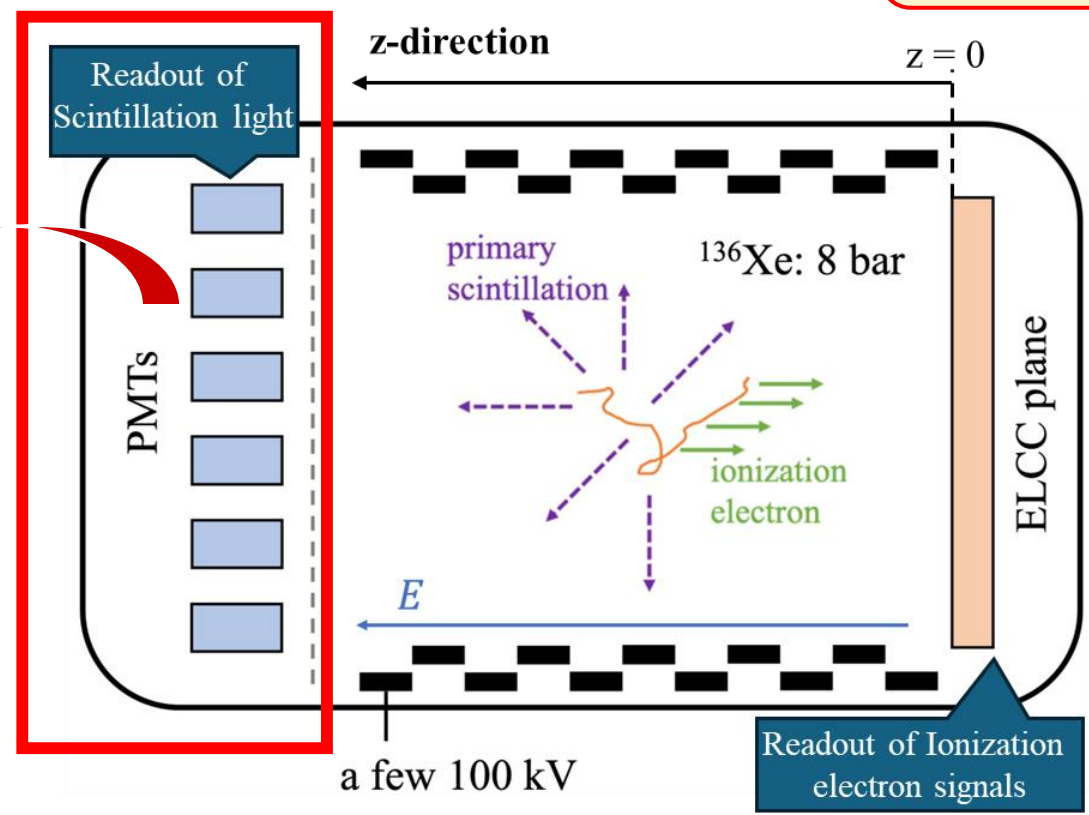
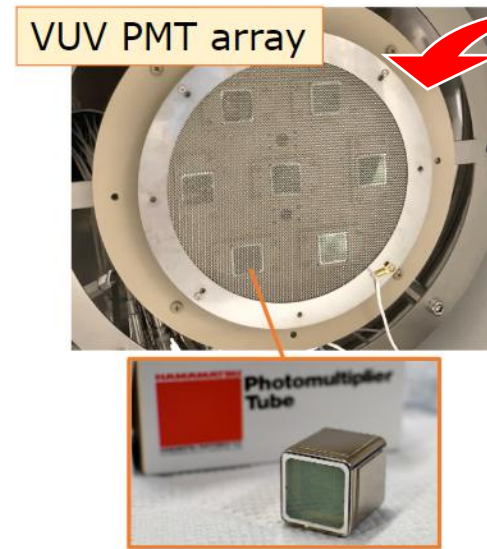
A Xenon ElectroLuminescence

- ・ 現在は 180 L 試作機の性能評価と 1000 L TPC 検出器に向けた R&D を実施
- ・ 飛跡再構築能力によるバックグラウンド識別と、優れたエネルギー分解能が特長

検出器の大型化
(=大質量)



一次シンチレーション検出部

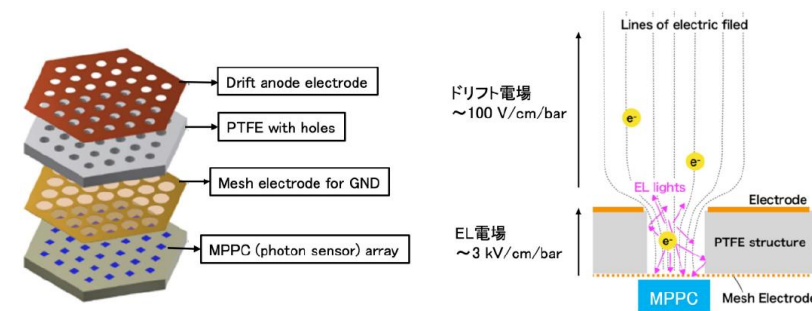


▲AXEL 検出器の概略図

AXEL 実験 -信号読み出し-

【ELCC】

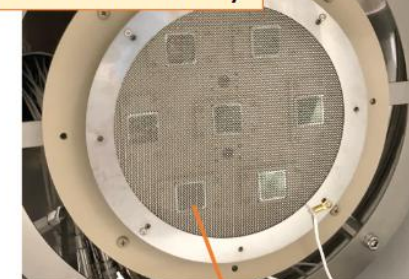
- EL 過程を利用した独自の電離電子読み出しシステム
⇒ 増幅揺らぎの小さい EL 光検出による **優れたエネルギー分解能**
- **飛跡再構成と光量補正のために、z 位置情報が必要**
⇒ PMT で一次シンチレーション光検出し、 t_0 決定



【PMT】

- 180 L 試作機では、**合成石英窓 PMT** 7 本でシンチレーション光を直接検出 (Hamamatsu R8520-406-001 : 検出効率 21% @ 175 nm)
- 受光面積は $4.2 \text{ cm}^2/\text{unit}$ 。カソード & PMT 保護メッシュによる低開口率
- 高圧ガス環境下での運用のため、口径拡大は困難

VUV PMT array



受光面積が小さい



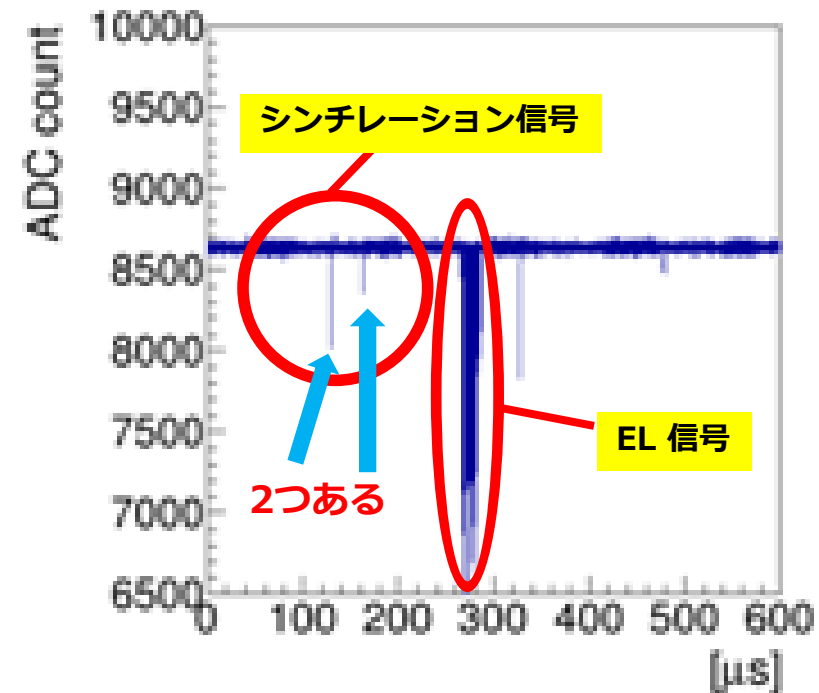
180 L 試作機でのエネルギー分解能 :

0.67 % @ 2615 keV (cf. ^{136}Xe の $0\nu\beta\beta$ の Q 値 : 2458keV)

うち**シンチレーションが検出されずドリフト方向距離を誤ることによる悪影響は 0.24 %**

AXEL 実験 -シンチレーション検出の課題-

- PMT の検出光量の期待値は **7 本合計で 6.8 @ 0vββ**
 - 0vββ のシンチレーション光の確実な検出ができない
(現状だと、PMT 1 本で 1 photon 見えるかどうか)
 - EL 信号に対応する「正しい」シンチレーション信号か、
偶発的なシンチレーション信号か区別不可

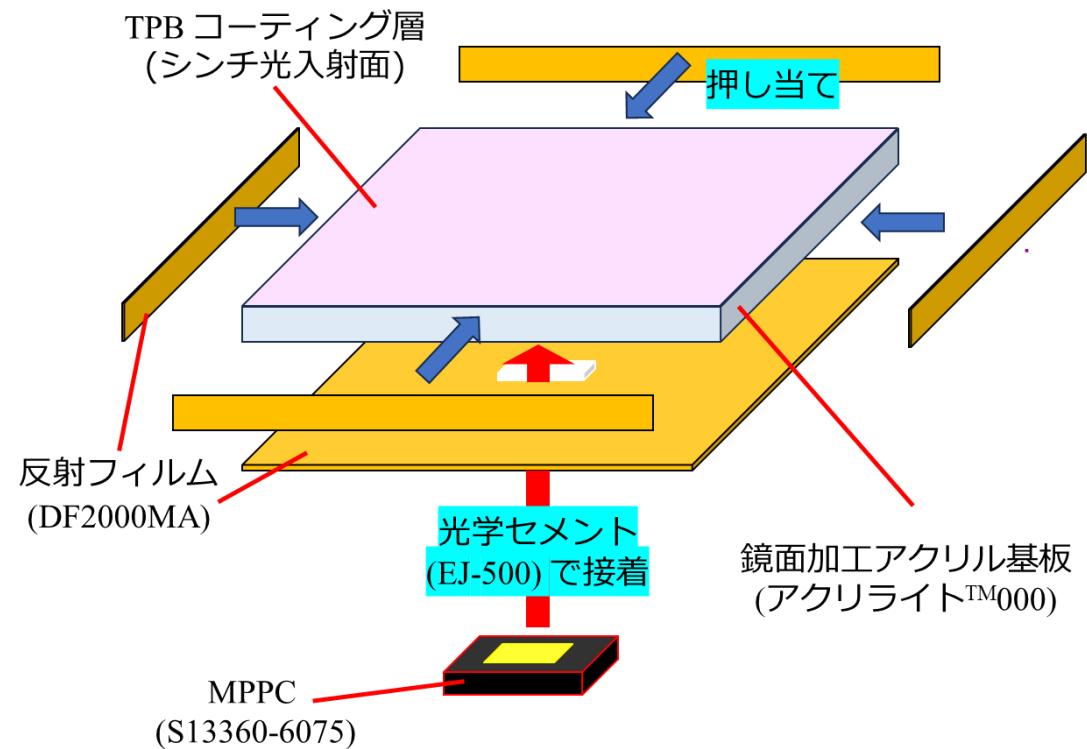
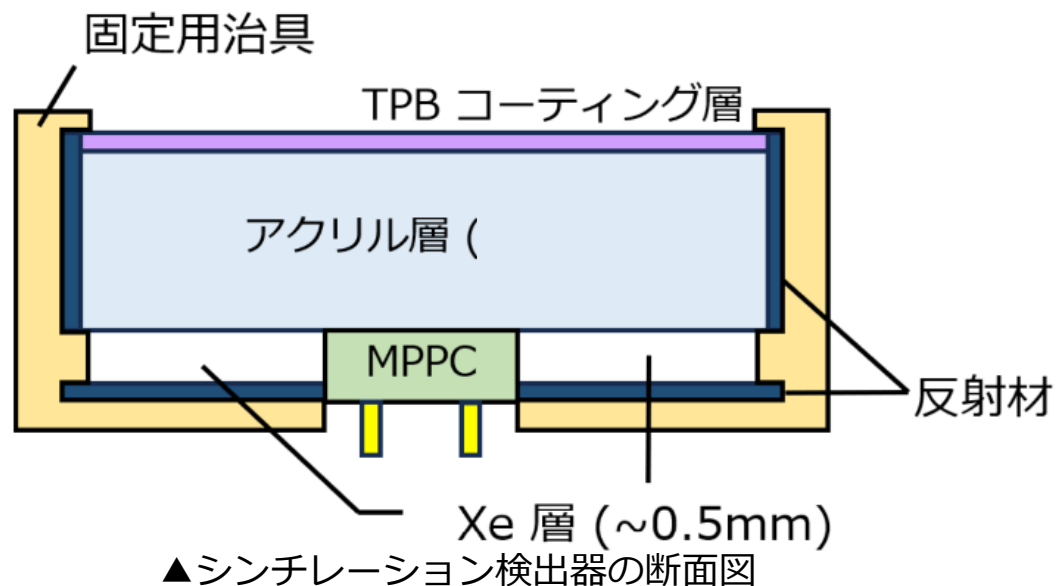


- **大きな受光面積と高い検出効率**をもつシンチレーション検出器が必要
 - 0vββ のシンチレーション光の確実な検出
 - 検出光量のみで、0vββ と低エネルギーバックグラウンドの区別
- ⇒ 1 setup あたりの検出光量と、合計の検出光量の両方を増やし、
AXEL 検出器のエネルギー分解能を向上させたい

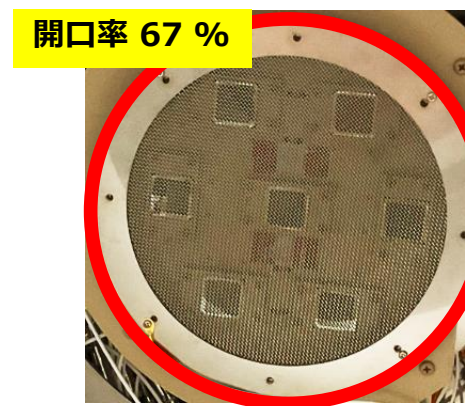
新型シンチレーション検出器概要

- 基板は 5 cm 角アクリル板。

受光面積 25 cm^2 で PMT の約 6 倍

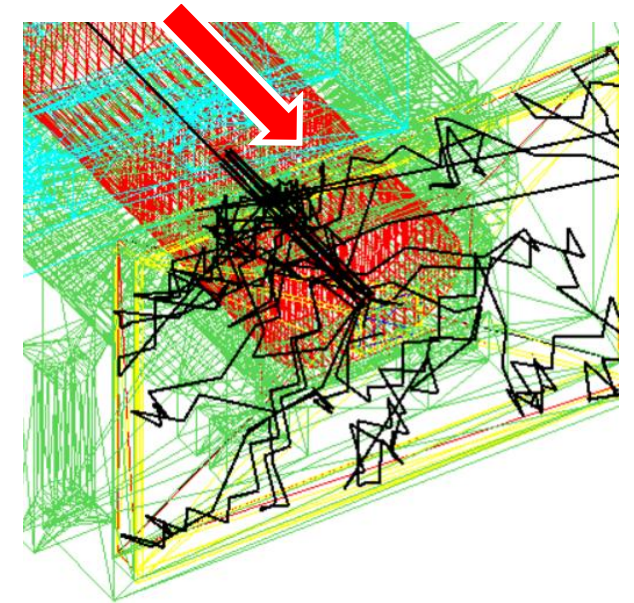
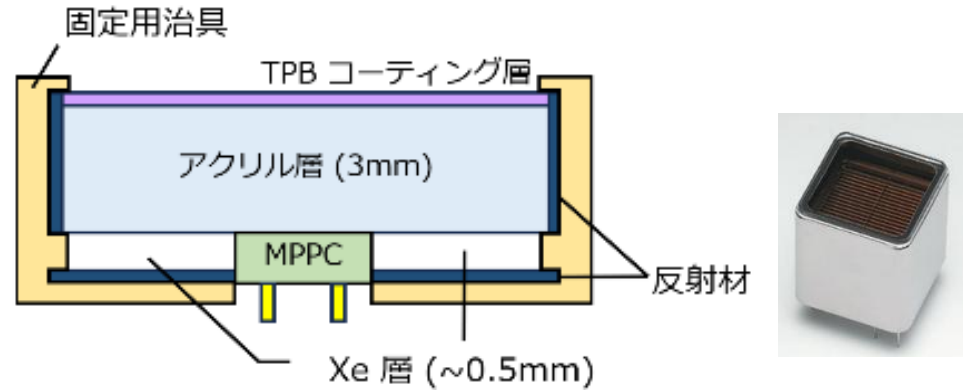


- 入射光 (175 nm) を 1,1,4,4-Tetraphenyl-1,3-butadiene (TPB) で可視光 (430 nm) に変換 & 反射によりトラップ、検出。
⇒ TPB コート面は 430 nm に対し十分滑らかであることを要求
- MPPC はカソード電位から保護するため、基板底面に配置
⇒ PMT 保護メッシュの除去により、入射光子数 1.5 倍に



新型シンチレーション光検出器の性能推定

- Optical simulator[2]による性能推定



	シンチレーション検出器	R8520-406-001
検出効率 (%)	18 (推定値)	21
入射光量 ~ 受光面積 (cm ²)	25	4.2
メッシュの開口率	0.71	0.48
検出光量倍率	320	42

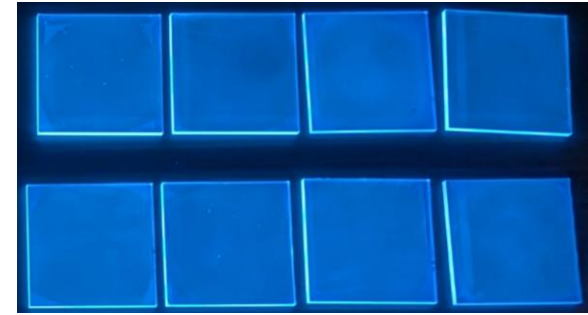
(Note: Red 'X' marks are placed above the values 25, 4.2, and 0.48. A yellow box highlights 'PMT の 7.6 倍' next to the 0.71 value. A red arrow points from the 320 value towards the 42 value.)

- 0 $\nu\beta\beta$ イベントで期待される平均検出光量は 7.3 /detector
- 14 個設置でエネルギー分解能 $\sigma \sim 10\%$ @ 180 L 試作機 を期待
- ⇒ シンチレーション光の確実な検出
- & 検出光量で低エネルギーイベント (< 1.5 MeV) 識別が可能

[2] <https://github.com/tkikawa/optsim>

新型シンチレーション検出器製作と評価

- TPB コート板はスピンコーティングにより作成。
TPBの劣化対策として、ポリスチレンを添加
- TPB コート板と MPPC は光学セメントにより接着
- シンチレーション検出器の VUV-PMT との比較実験 @テスト用チェンバー
Xe ガス環境下での α 線源 (^{241}Am , 5.4 MeV) 由来シンチレーション光検出
⇒ 推定の約 1.5 倍の検出光量が得られた

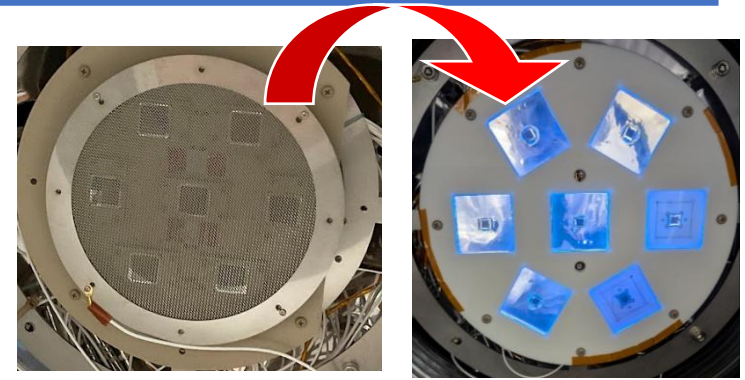


▲ 作成した TPB コート板 (左) と、シンチレーション検出器 (右)

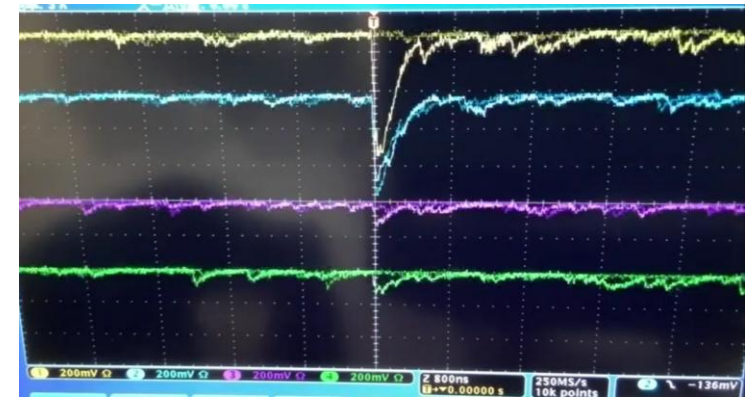
- 検出器デザイン問題なし
- 高品質な TPB コート板の作成に成功
- 光変換効率が 1 を超えていることを示唆
⇒ 先行研究 [3] とconsistent

180 L 試作機でのシンチレーション検出性能評価

- 180 L 試作機にシンチレーション検出器実装
- アクリルの絶縁性を生かし、Cathode -受光面の距離短縮
- 先のテストチェンバーの結果から、
期待される平均検出光子数 @ $0v\beta\beta$
検出器一つあたり : 12.7 p.e. PMT の約 13 倍
合計 : 89.1 p.e.
- チェンバー周りにトリウム溶接棒設置



▲ 180 L 試作機に導入したシンチレーション検出器

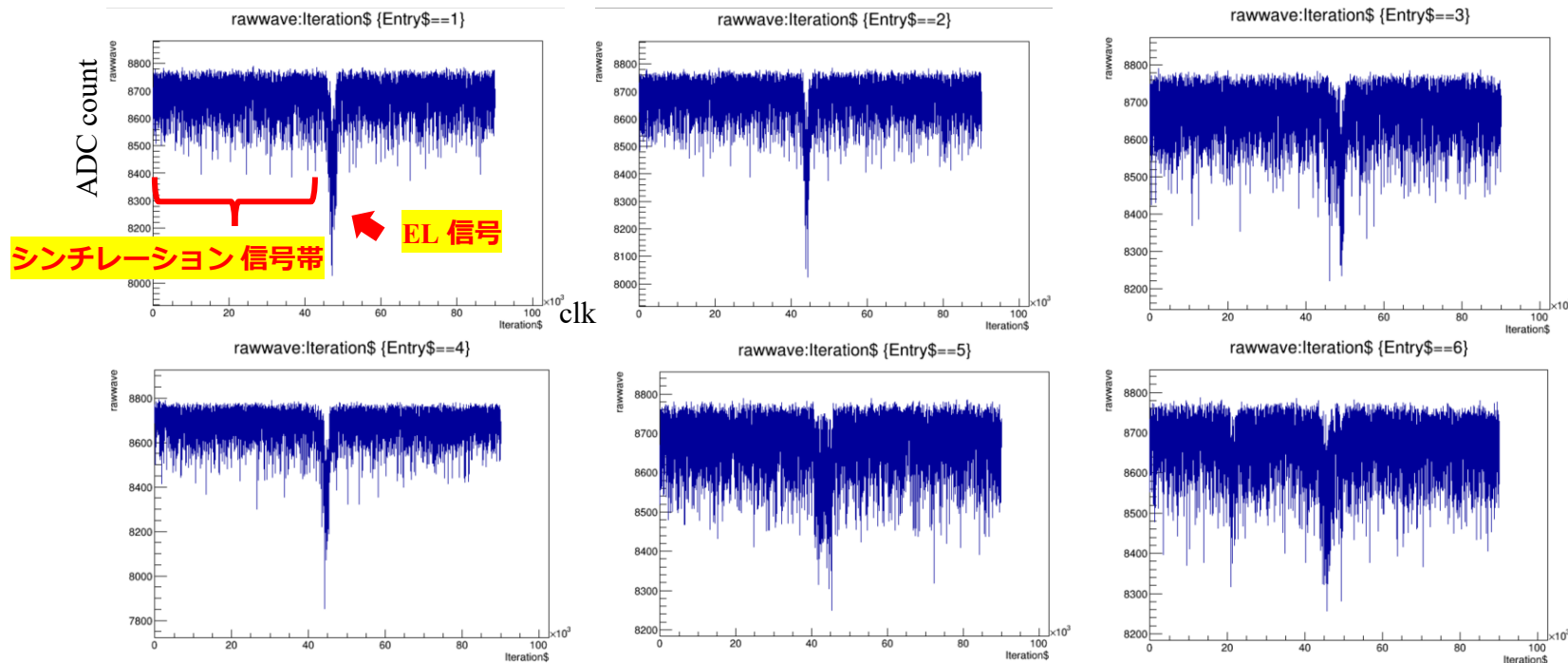


▲ GXe シンチレーション同期信号

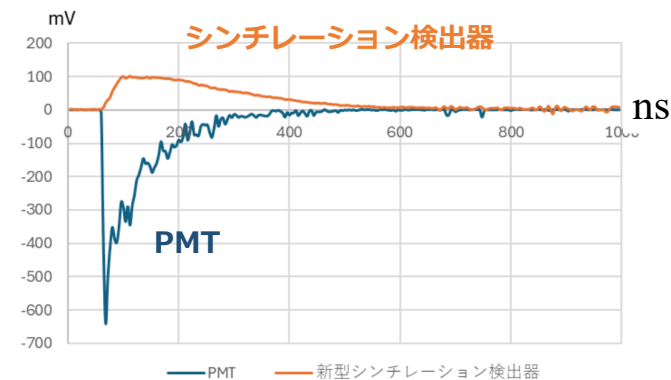
- ^{208}Tl のダブルエスケープイベント (1593 keV) を選んで、検出性能を評価
 ⇒ **平均 8.24 p.e. /detector** の検出が見込まれる。
 解析に用いたシンチレーション検出器は 4 個
 (3 個はノイズが大きい、もしくは発光信号が取れていなかったため、解析に用いず)

180 L 試作機でのシンチレーション検出

- 取得した生波形データを見てみる。90000 clk (= 900 μ s) 分の波形を記録
例として、検出器 4 個の生波形重ね合わせの平均 (1 p.e. gainによる正規化済) 6 イベントの波形



⇒ ダーク由来ノイズが多く、シンチレーション信号区別不可
波長変換信号の継続時間 (~500 ns) を考慮し、
Moving Average を試す。



▲テストチェンバーでは 500 ns にわたって信号継続

シンチレーション検出解析 -MovingAverage-

【Moving Average (MA)】

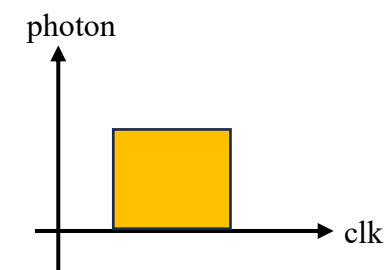
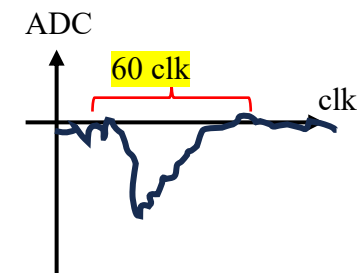
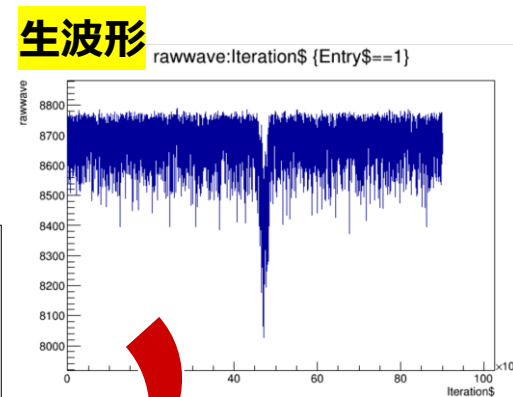
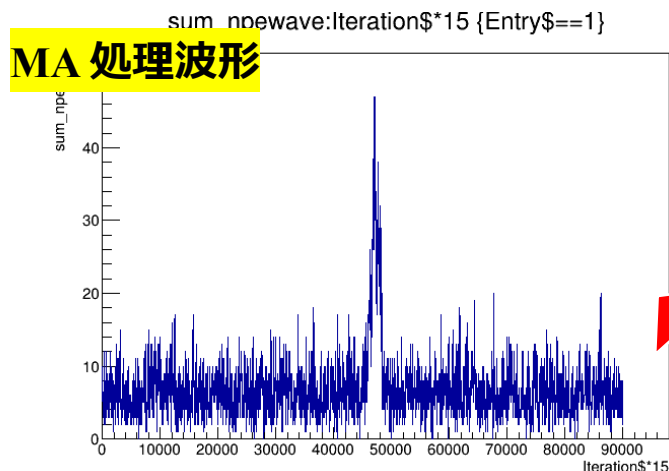
- Step 幅と窓幅を決め、窓ごとの検出光子数をだす。

⇒ step 幅、窓幅はシンチレーション信号幅から、

それぞれ 15 clk (= 150 ns), 60 clk (= 600 ns) と決定

これにより、シンチレーション信号全体の検出光子数を算出できる

- MA 処理した波形 (4 ch 分重ね合わせ)



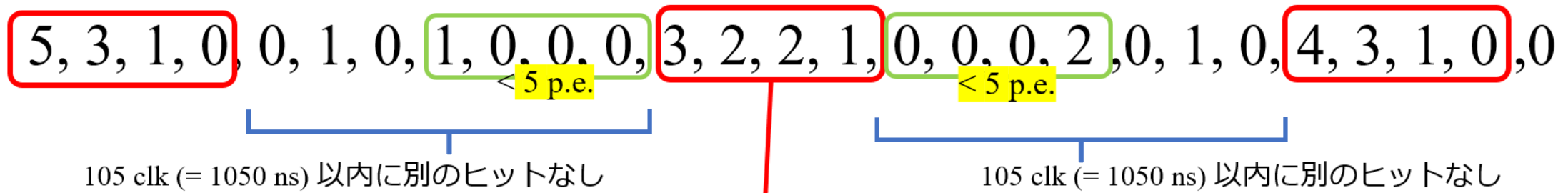
⇒ 生波形よりは明瞭だが、やはりノイズとシンチレーションを区別できない

シンチレーション検出解析 – コインシデンス解析 –

【コインシデンス解析】

- シンチレーション信号の存在の確認をするため、コインシデンス解析を実施。
- まずは検出器 4 ch 分の MA 処理波形に対しヒット判定を行う。

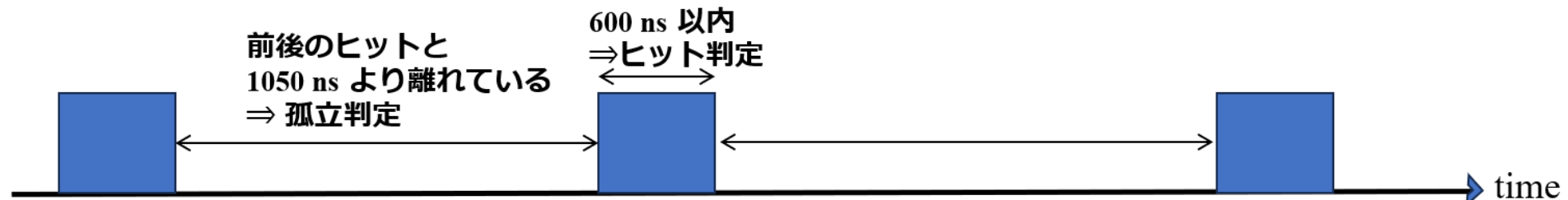
閾値 5 p.e.。 (数列は15 clk ごとの検出光子数の推移)



代表窓 (ヒット候補)

検出光子数 8

⇒ 前後の 60 clk (= 600 ns) が閾値を超えていないので、シンチレーションヒットとみなす
前後 105 clk (= 1050 ns) にヒットがないので、孤立信号とみなす



シンチレーション検出解析 – コインシデンス解析 –

【コインシデンス解析】

- 信号中心差 15 clk 以内に 2 ch 以上でヒットが存在し、そのヒットが 2 つ以上孤立していること & EL 信号より前の領域であることを条件に、コインシデンスヒットを選ぶ。

- 1593 keV イベントにおける、コインシデンスヒット数分布

⇒ 1 イベント内に、コインシデンスヒットが

n 個ある割合を $P(n)$ とすると、

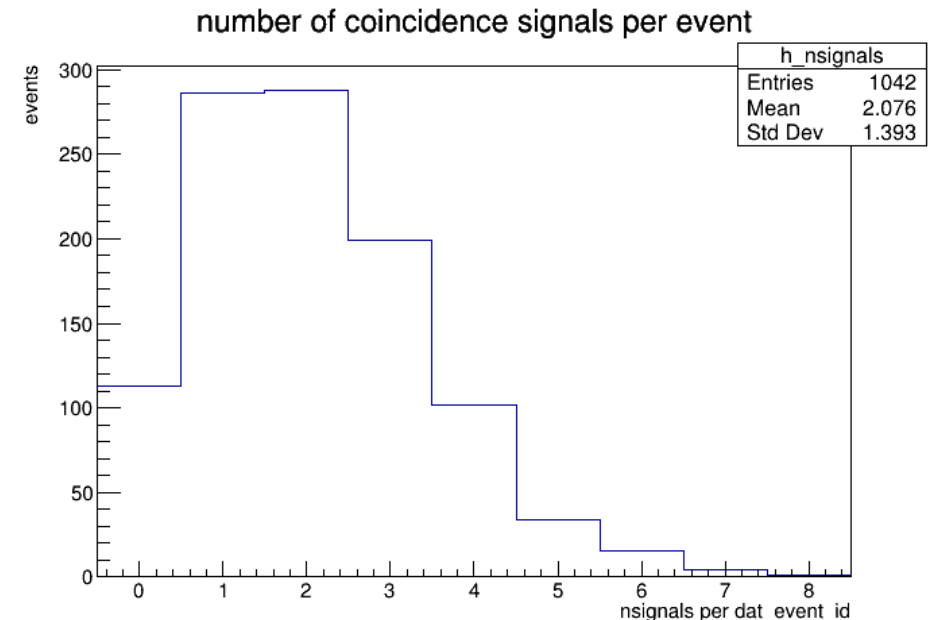
$$P(0) \sim 0.108$$

$$P(1) \sim 0.274$$

$$P(\geq 2) \sim 0.617$$

9 割程度のイベントでコインシデンスヒットがある。

平均は 1 イベントあたり 2.08

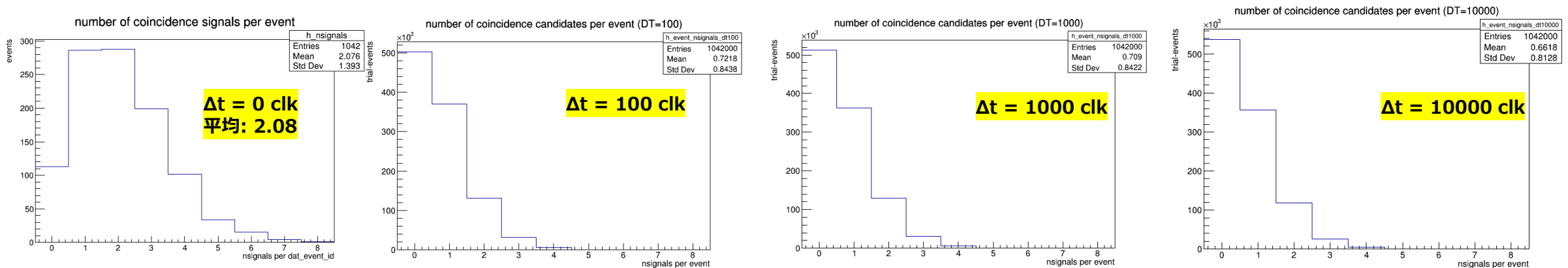


シンチレーション検出解析 –コインシデンス解析–

【コインシデンス解析】

- コインシデンスヒットのうち、アクシデンタルがどの程度の割合か
⇒ 4 ch 分のヒットデータのうち、1 ch は固定し残りの 3 ch を独立に
ヒット時間をわざとずらしてコインシデンスヒット数分布をみる。

- Δt (DT) = 100, 1000, 10000 に設定
⇒ $\pm \Delta t$ の範囲で、ランダムにタイミングをずらしてコインシデンスヒット判定
- これを 1000 回繰り返して、1 イベントあたりのコインシデンスヒット数分布を出す



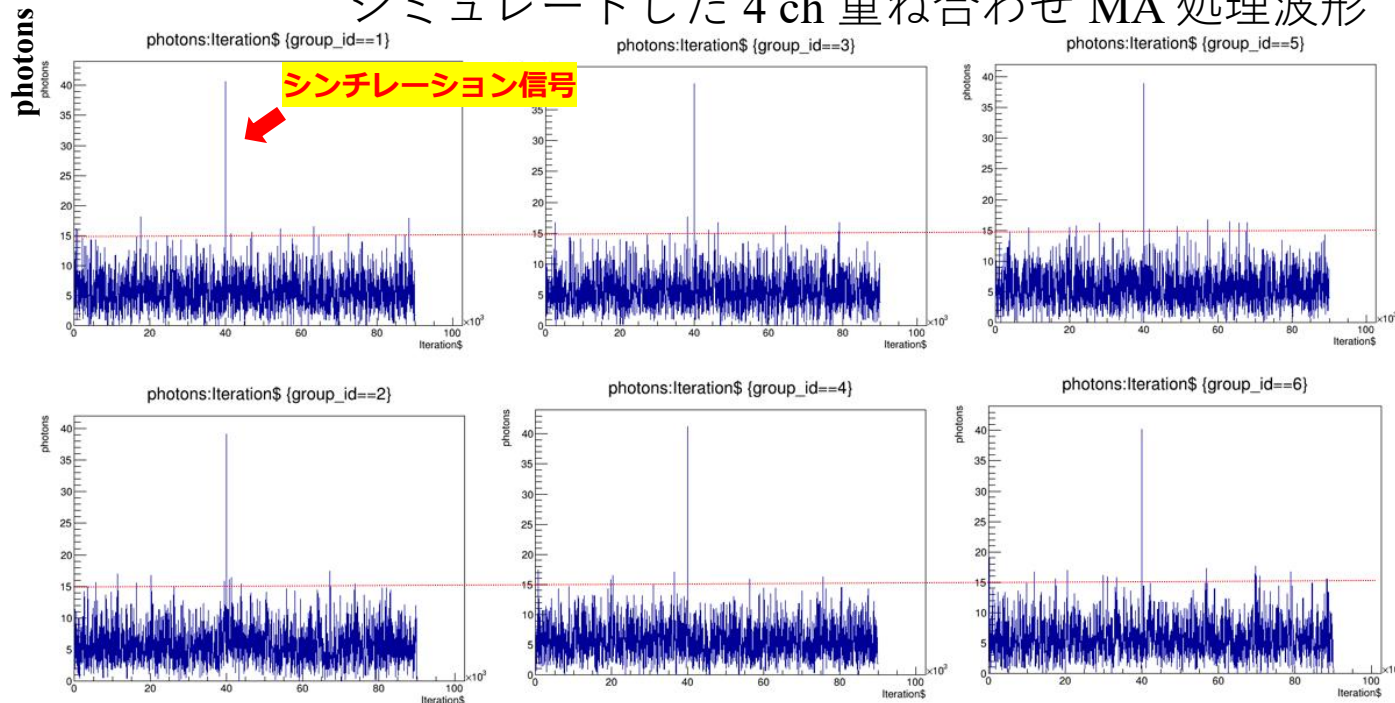
アクシデンタルコインシデンスヒット数は 1 イベントあたり約 0.7

⇒ シンチレーション信号は存在している

シンチレーション検出解析 – 考察 –

- MPPC (S13360-6075CS) の dark-rate が 2000 kcps 程度、
クロストーク確率が 7% と高いため、ノイズの影響が無視できない

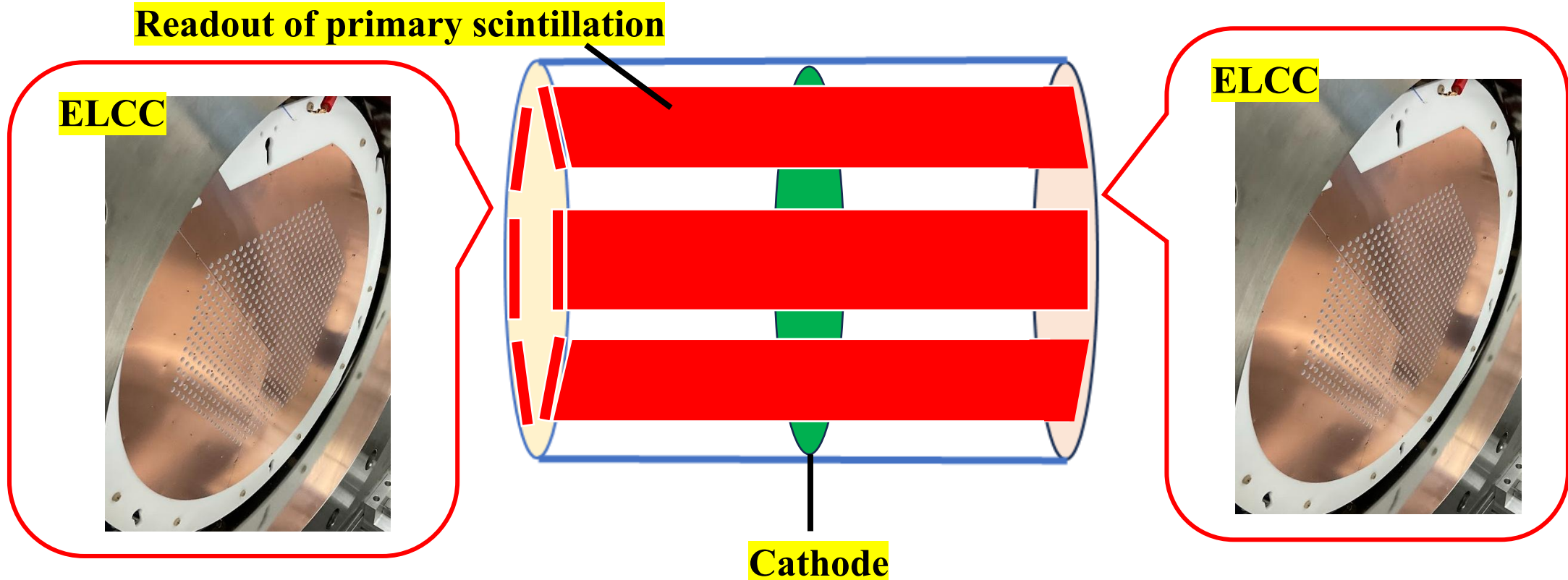
▼ MPPC の dark-rate とクロストーク確率、1593 keV で期待される検出光子数をもとにシミュレートした 4 ch 重ね合わせ MA 処理波形



- 期待される検出光量があればシンチレーション信号とノイズを区別できるはず
⇒ TPB 劣化により、検出光量が落ちている可能性。 **検証のためTPB 劣化試験**
- **dark-rate も落としたい** ⇒ **MPPC の冷却**

バレルシンチレーション検出器

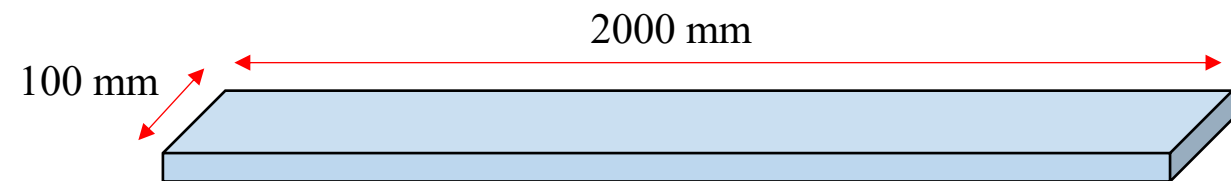
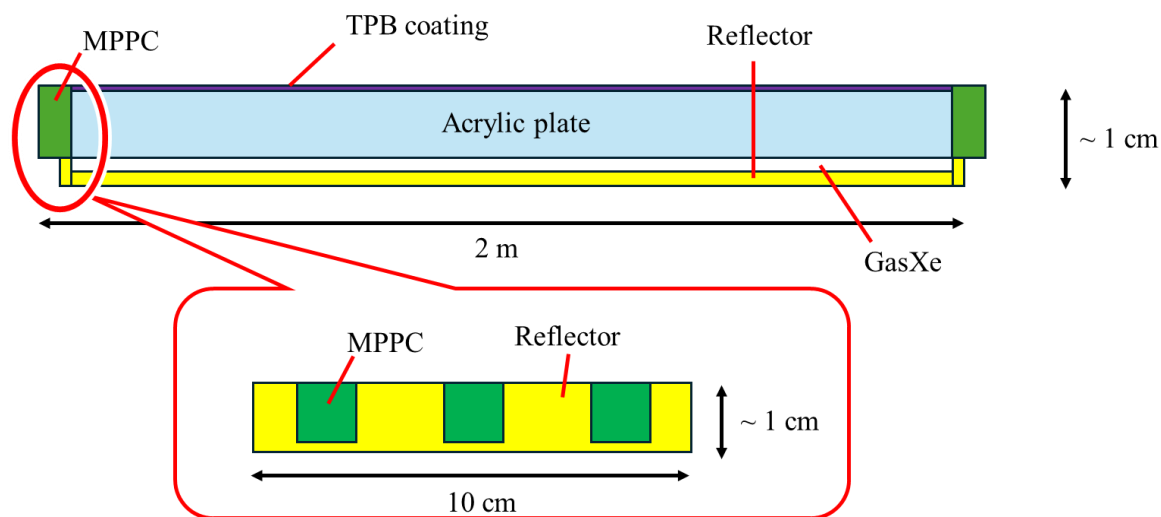
- 将来計画として、AXEL TPC 中央にカソードを、両側にアノード（ELCC）を配置することを検討中
 - ⇒ シンチレーション検出器は側面にバレル状に配置



バレルシンチレーション検出器

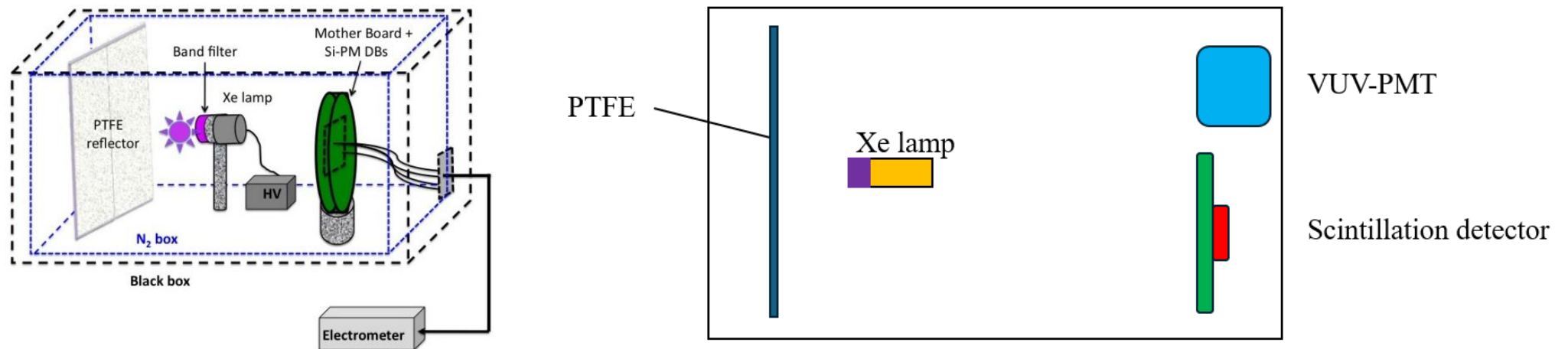
- バレルシンチレーション検出器の受光面は 100 mm × 2000 mm 程度の大きさ
⇒ このサイズの受光面をスピンコーティングで作成することはできない
100 mm × 500 mm 程度のサイズの TPB コート板をディップコーティングで作成し、接着する方式が最有力。

**ディップコーティングで作成した TPB コート面の性能を
経年劣化の影響も含めて調査する必要がある。**



TPB 劣化試験計画

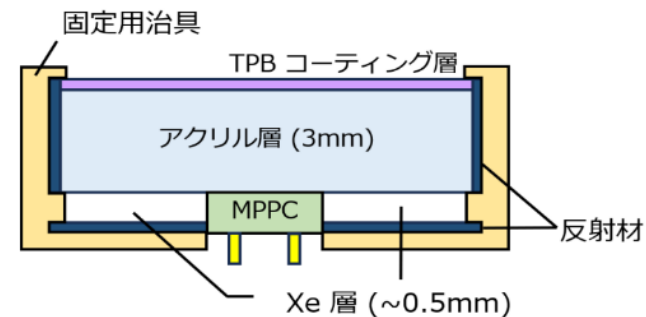
- TPB の劣化は酸素環境下で UV 照射することで起こると報告されている
- 作成した TPB コート板の保管条件の差異での劣化の影響を検出効率の変化により調査
(無酸素 & 暗室 vs 大気中 & 暗室 vs 無酸素 & UV 照射 vs 大気中 & UV 照射)
- あわせて、スピンコーティング vs ディップコーティングの比較も行う予定



▲ NEXT 実験での真空蒸着した TPB の劣化試験セットアップ (左)[4] と、これをベースにした TPB 劣化試験セットアップ案 (右) PMT とシンチレーション検出器で同時に測定をし、PMT を基準として検出光量の変化をみる

まとめと今後の展望

- 高圧キセノンガス TPC のシンチレーション検出機構の研究開発
⇒ AXLE TPC のエネルギー分解能向上の試み
- ミニチェンバーにおける性能評価は極めて良好
⇒ **高品質の TPB コート板の製作に成功 & 検出器の設計も良い**
- 180 L 試作機での試験ではノイズの混入と検出光量の小ささが課題となった
⇒ **MPPC の dark-rate を落とすことと、TPB 劣化試験の両方が必要**
- バレルシンチレーション検出器計画
- TPB 劣化試験を実施し、コート板保管方法の最適化とディップコーティングの採用の可否を決める
- **新型シンチレーション検出器を用いて世界最高感度での $0\nu\beta\beta$ 探索を目指す**



Back Up

Time Projection Chamber (TPC)

シンチレーション光検出

【イベントの飛跡再構成】

1. 荷電粒子の通過時刻 t_0 を決定
2. アノードのある位置 (x, y) への電離電子の到達時刻 t を取得
3. アノードから電離電子発生点までの距離 z を求める

$$z = v_{drift} \times (t - t_0)$$

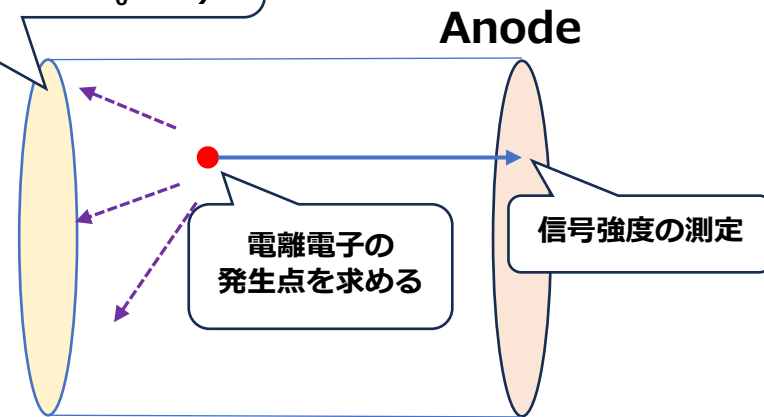
v_{drift} : 電離電子のドリフト速度

4. 2. と 3. から、電離電子発生点 (x, y, z) を得る
5. 1.-4. の操作をすべての電離電子信号に行い、飛跡再構成

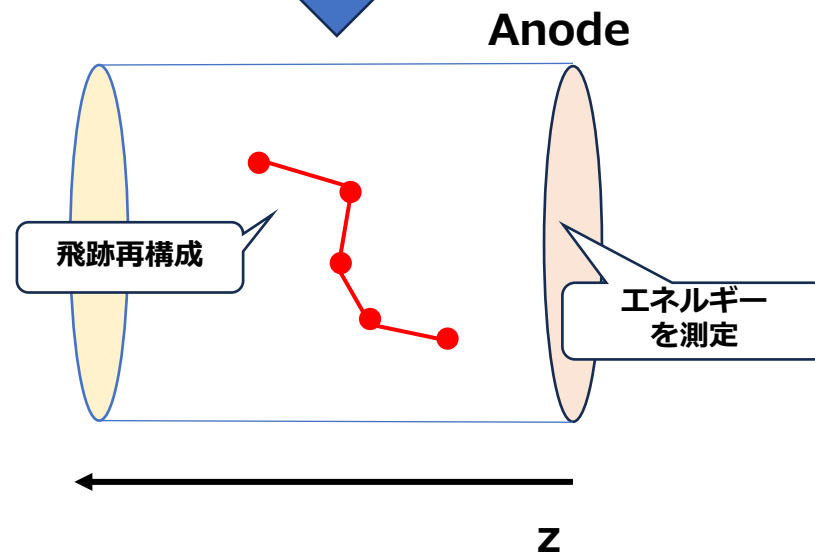
【エネルギー分解能】

- 発生する電離電子数はイベントのエネルギー損失に比例
⇒ ドリフト中の電離電子損失の影響を **z 位置により補正**する
- キセノンガスは電離電子の生成数が多く、揺らぎが小さい
⇒ エネルギー分解能が良い

シンチレーション光検出
による t_0 の決定
(全電離電子で t_0 共通)

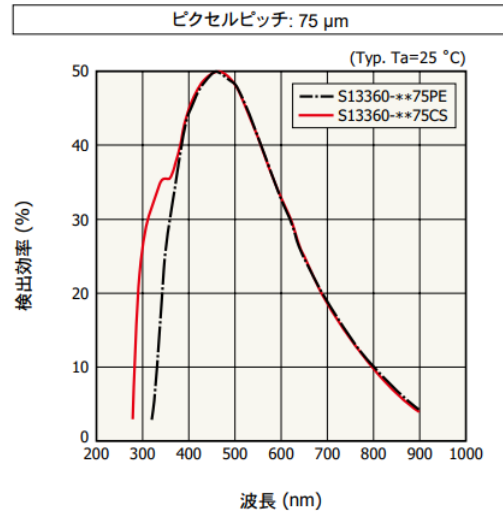


繰り返して

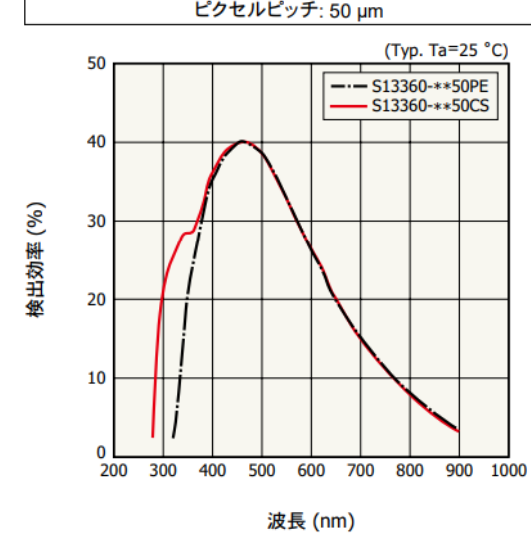


各構成材質の性能

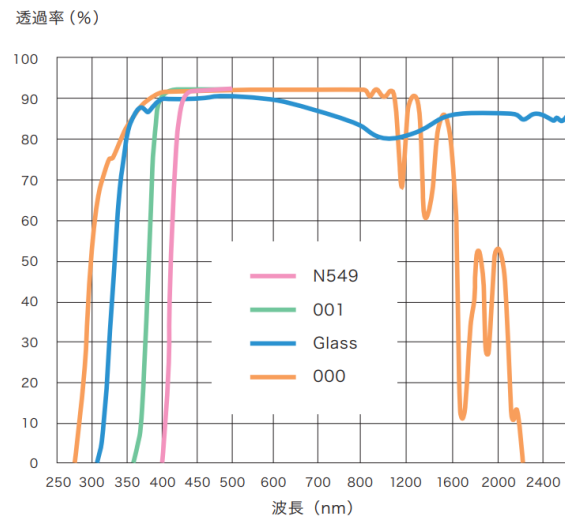
S13360-6075PE



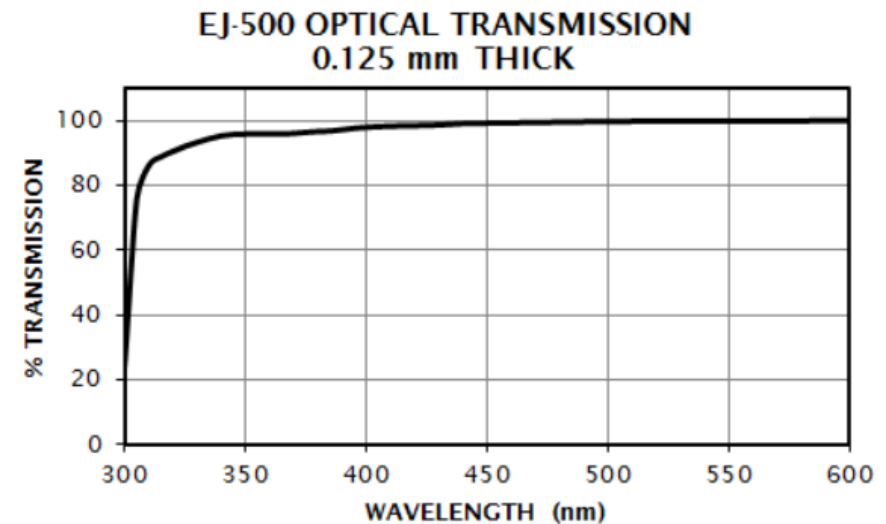
S13360-6050CS



アクリライト



EJ-500



TPB コーティング手法の比較検討

- 以下の要件を満たすコーティング手法を採用
 - 量産性が高い
 - 均一で、430 nm 波長帯に対して滑らか
 - TPB の劣化対策が可能

【ディップコーティング法】

- 均一なコーティングが困難
- 基板全体を浸漬するため、広範囲においてマスキングが必要

【真空蒸着法】

- よく用いられる TPB コーティング手法
- TPB 結晶による光の散乱と劣化対策が問題

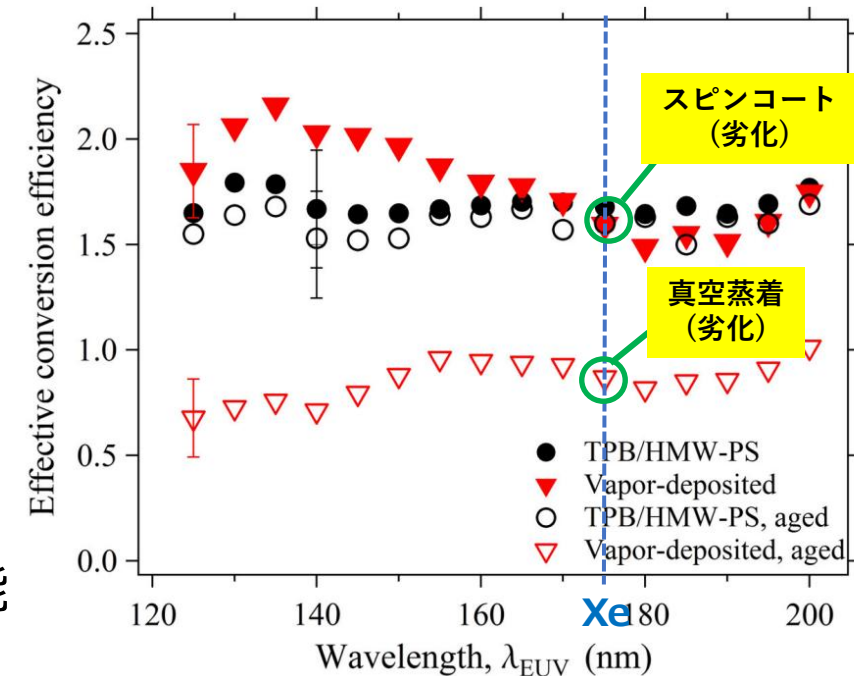
【スピンコーティング法】

- ポリスチレン (PS) を溶液に入れることで TPB の劣化対策可能
- 先行研究では均一なコーティングが得られている

⇒本研究では**スピンコーティング法**を採用

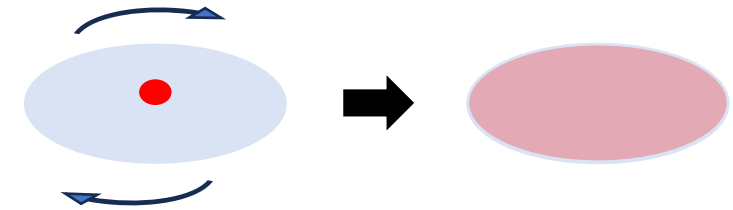


▲ディップコーティングで得られたコート面。
コーティングムラがあることが分かる。

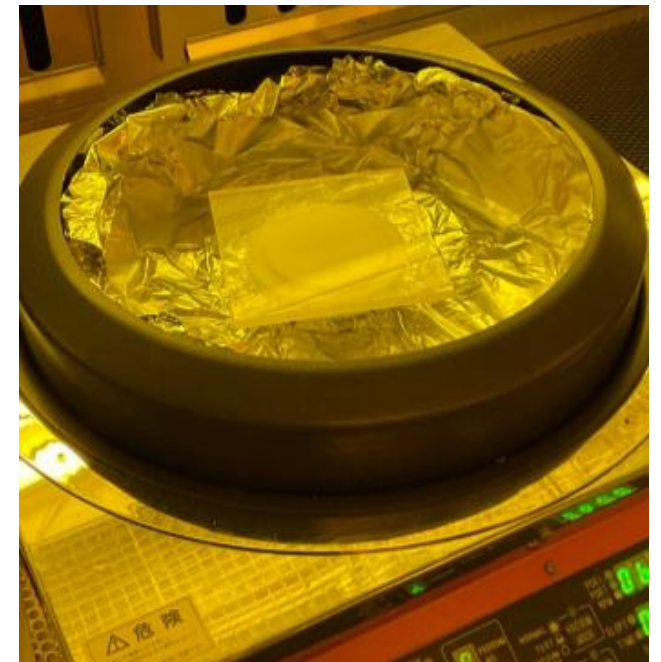


スピンコーティング法

- 高品質なコート板作成にスピンコーティング法を採用
- 基板の上に溶液を滴下し、高速回転させるコーティング法
- スピンコータにより基板の大きさが制限 (~10 cm 角)
- 溶液はトルエン、TPB、PS からなる
⇒ **TPB の質量濃度 2%、TPB/PS 質量比 0.8**
長期間の運用に耐え、光変換効率が良い[2]
- 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



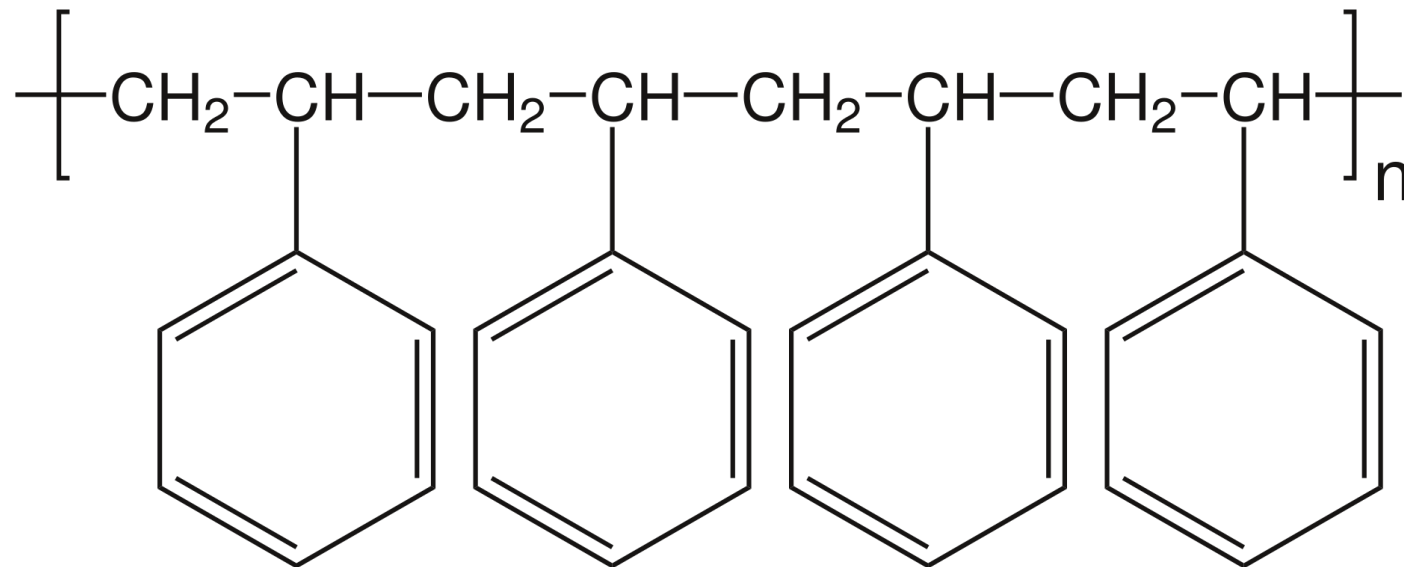
▲スピンコーティング法の概念図。
基板中心に滴下した溶液を高速回転により
全面に塗り広げ、余分な溶液は振り切る



▲使用したスピコーター

ポリスチレン (PS)

- 波長変換材（ここではTPB）の劣化を防ぐ
- TPB分子間のエネルギーのやり取りを仲介できる
- TPB/PS比はなるべく大きい方が良い
⇒TPBとPSが同量に近いほうが○



スピンコーティング実験

【実験方法】

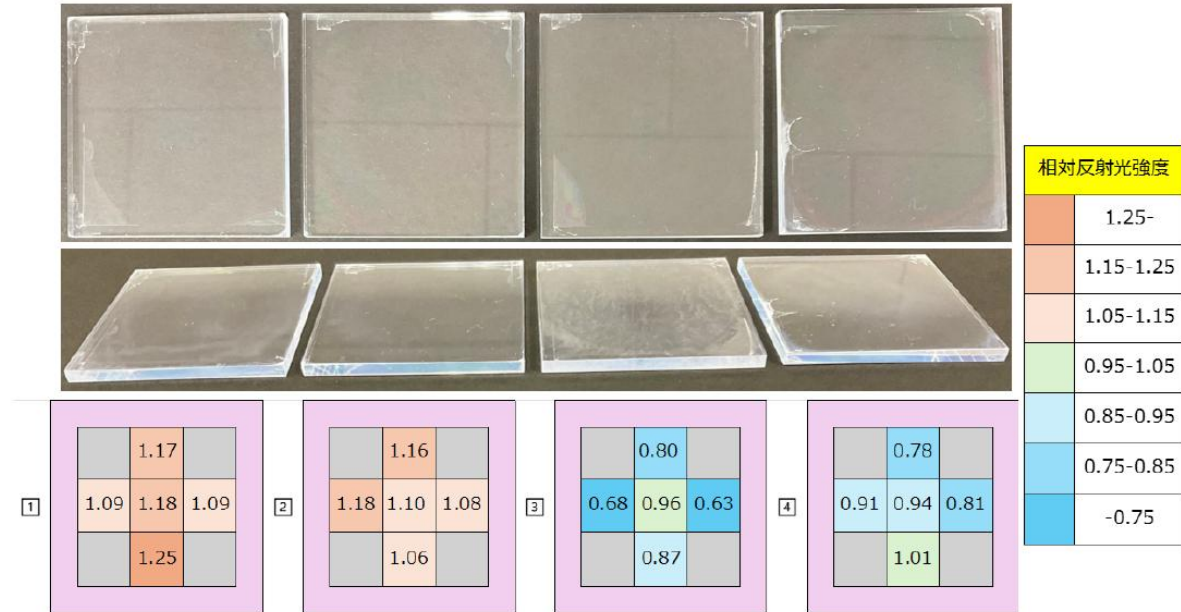
- 溶液は約 70 °C、基板は約 80 °C に加熱
- 表面処理 & コーティング 2 回

【結果】

- **全体的にきれいなコーティングが得られた**

⇒ただし、基板全面で均一かつ滑らかなコーティングに成功したのは二割ほど安定して高品質の TPB コート板を作成する方法を模索中

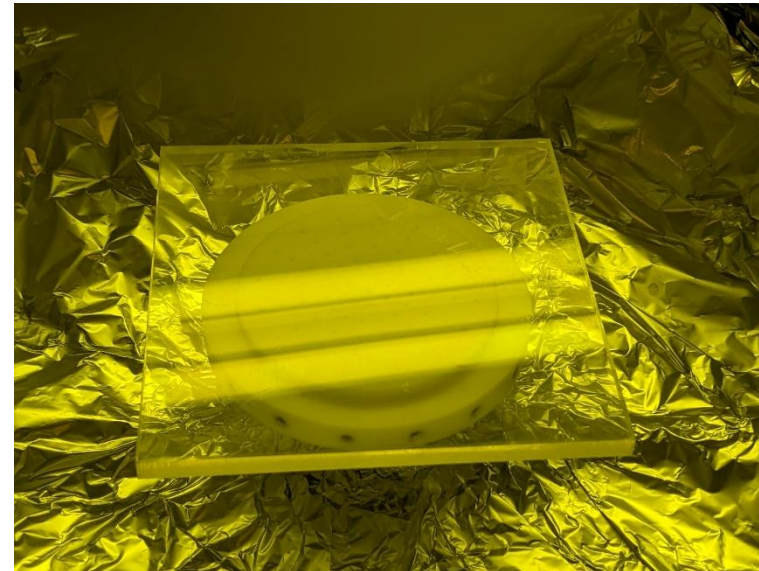
TPB コート板 ② を用いて
新型シンチレーション検出器を製作



	①	②	③	④
TPB濃度	2 %			
TPB/PS比	0.8			
表面処理	有			
回転数,秒数 (rpm, s)	500, 30 600, 30			
溶液温度	70.3°C	71.5°C	70.3°C	71.2°C

スピコーティング-実験環境-

- 東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設のスピコーターを用いた

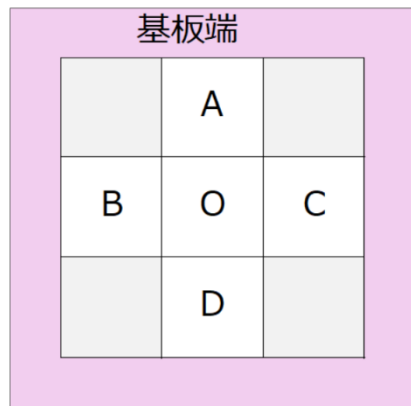


▲基板を吸着して回す

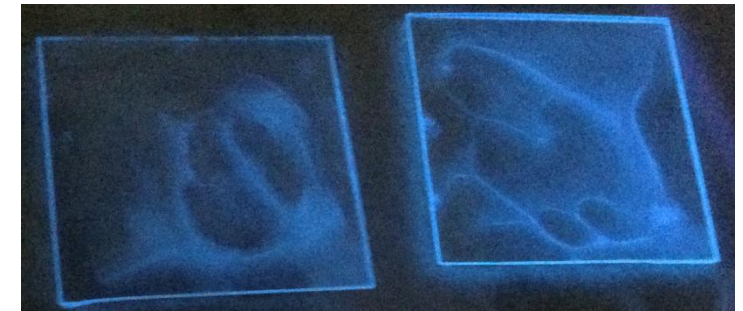
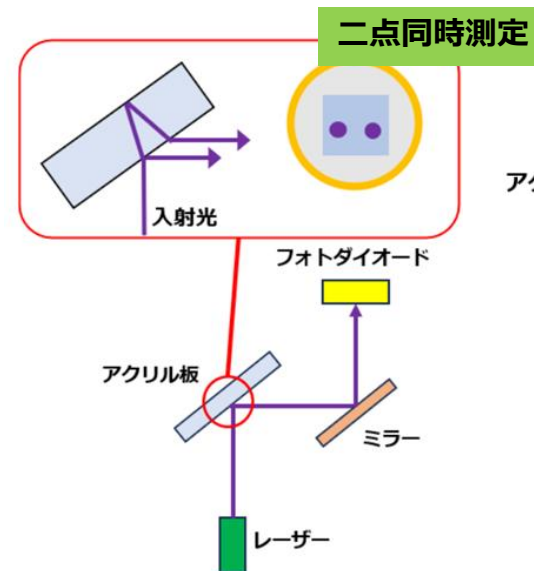
◀実験作業場所

コーティング評価

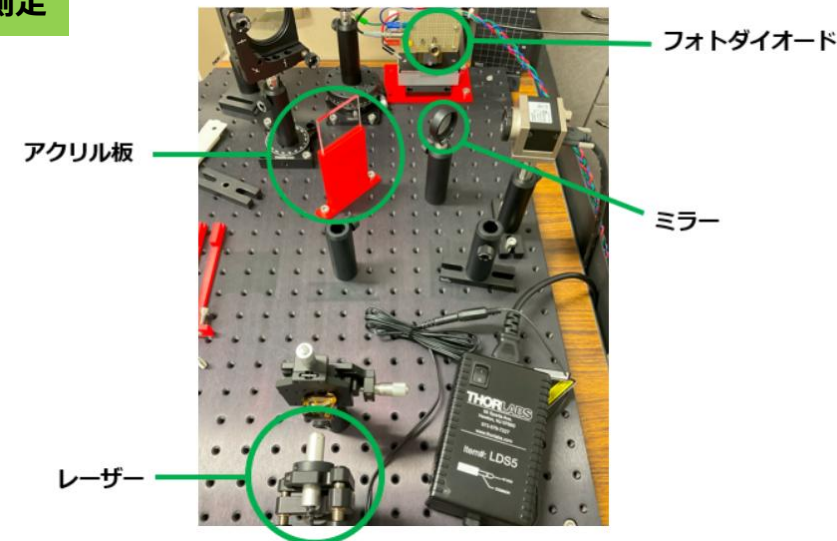
- 目視と光学測定の二段階
- 変換波長は 430 nm 帯の可視光域
⇒ムラが目視で確認できた時点で不適と判断
- 405 nm レーザー + フォトダイオードによる光学測定
⇒TPB コート板の反射光強度を測定
測定点は 5 点



▲測定点と基板の位置の対応



▲紫外光照射によるムラの確認



▲光学測定セットアップ

反射率測定データ

【実験Ⅱ】

O点	基準	①	②	③	test
測定値(V)	0.200	0.202	0.264	0.167	0.141
BG(V)	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.197	0.200	0.262	0.165	0.139
相対反射光強度	1.00	1.02	1.33	0.84	0.71
A点	基準	①	②	③	test
測定値(V)	0.210	0.179	0.270	0.160	0.142
BG(V)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
測定値-BG(V)	0.207	0.176	0.267	0.157	0.139
相対反射光強度	1.00	0.85	1.29	0.76	0.67
B点	基準	①	②	③	test
測定値(V)	0.518	0.544	0.630	0.379	0.251
BG(V)	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002
測定値-BG(V)	0.514	0.540	0.627	0.376	0.249
相対反射光強度	1.00	1.05	1.22	0.73	0.48
C点	基準	①	②	③	test
測定値(V)	0.521	0.468	0.450	0.384	0.456
BG(V)	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002
測定値-BG(V)	0.519	0.466	0.449	0.383	0.454
相対反射光強度	1.00	0.90	0.87	0.74	0.87
D点	基準	①	②	③	test
測定値(V)	0.532	0.392	0.428	0.391	0.316
BG(V)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.530	0.390	0.426	0.389	0.314
相対反射光強度	1.00	0.74	0.80	0.73	0.59

【実験Ⅲ】

A点	基準	1	2	3	4
測定値(V)	0.516	0.603	0.597	0.413	0.403
BG(V)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.514	0.601	0.595	0.411	0.401
相対反射光強度	1.00	1.17	1.16	0.80	0.78
O点	基準	1	2	3	4
測定値(V)	0.563	0.664	0.621	0.540	0.532
BG(V)	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.562	0.662	0.619	0.538	0.530
相対反射光強度	1.00	1.18	1.10	0.96	0.94
B点	基準	1	2	3	4
測定値(V)	0.518	0.562	0.606	0.349	0.468
BG(V)	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.514	0.560	0.604	0.347	0.466
相対反射光強度	1.00	1.09	1.18	0.68	0.91
C点	基準	1	2	3	4
測定値(V)	0.521	0.570	0.560	0.327	0.423
BG(V)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
測定値-BG(V)	0.519	0.568	0.558	0.325	0.422
相対反射光強度	1.00	1.09	1.08	0.63	0.81
D点	基準	1	2	3	4
測定値(V)	0.532	0.666	0.566	0.462	0.536
BG(V)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
測定値-BG(V)	0.530	0.664	0.564	0.460	0.534
相対反射光強度	1.00	1.25	1.06	0.87	1.01

レーザー/フォトダイオード

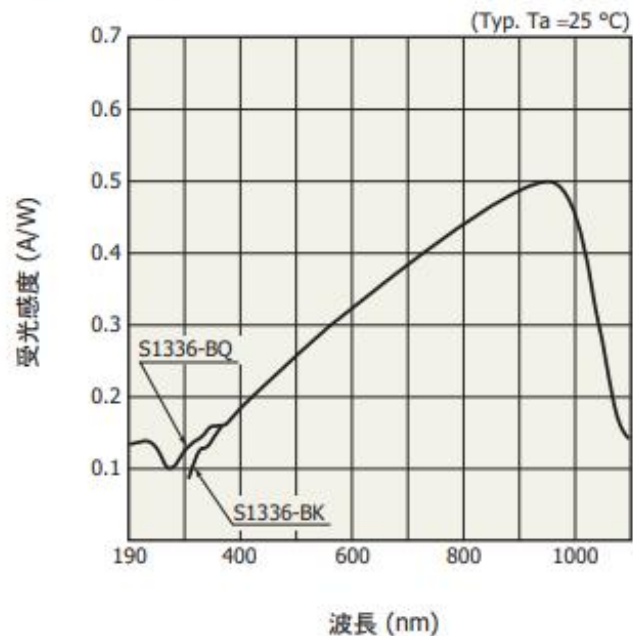
レーザー

- CPS405
- 波長:405nm (FWHM:1nm)

フォトダイオード

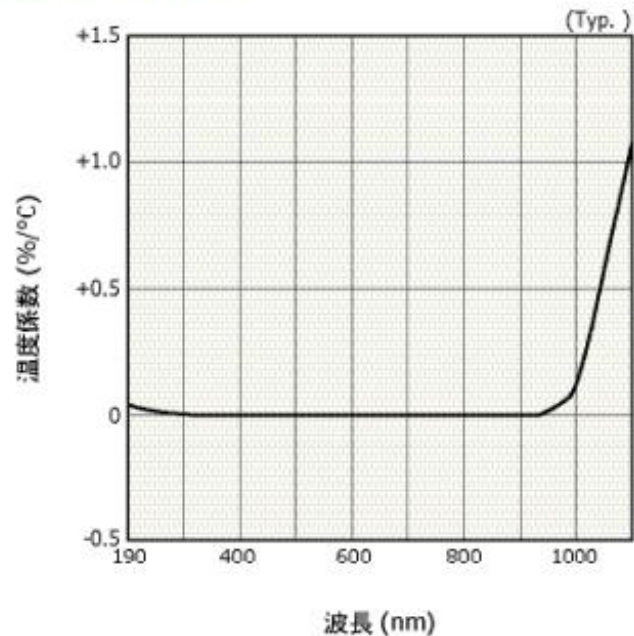
- S1336-8BQ

分光感度特性



ESP080052A

感度の温度特性



ESP080053B

スピンコーティング実験

以下の条件で、高品質なコート板量産を実現

プラズマアッシャーによる表面処理

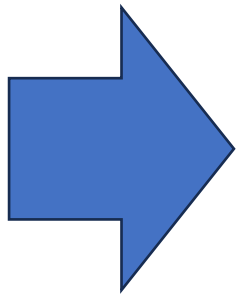
- ・ アクリル基板の撥水性をなくす
 - ・ 表面をわずかに粗くする
- ⇒ 溶液のつきを良くし、塗りムラ防止

1000 rpm での高速回転

- ・ 余分な溶液を飛ばす
 - ・ 裏面への溶液付着対策
※ 側面はマスキング
- ⇒ 表面全体に均一な塗布

温度管理の徹底

- ・ 室温環境下 (20-25 °C)
 - ・ 溶液 40 °C、基板 60 °C
- ⇒ 高いとクラック、
低いと析出による白濁



ミニチェンバーでの性能評価

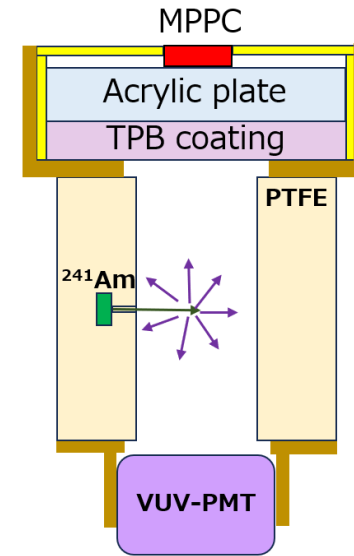
GXe 中でのシンチレーション検出器の検出効率評価

【セットアップ概要】

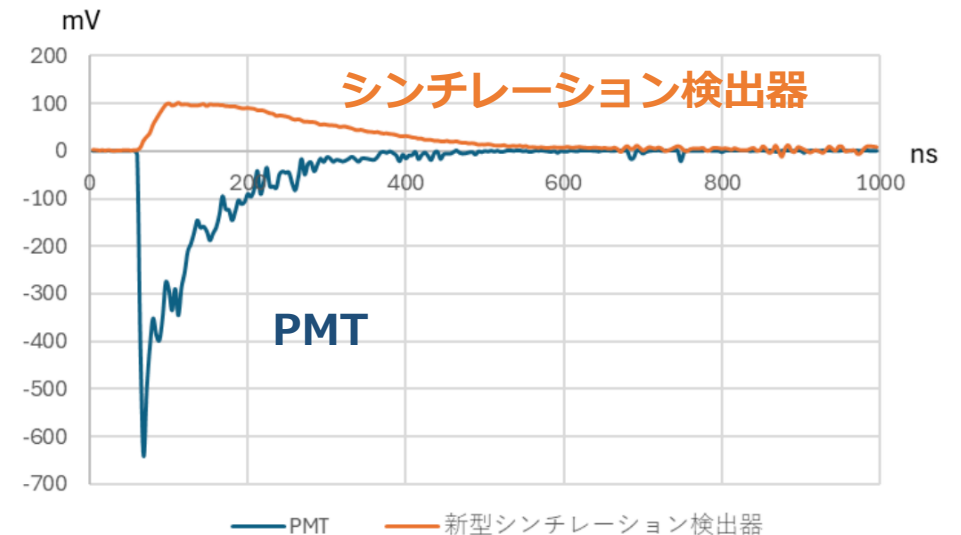
- PMTとシンチレーション検出器を上下対称に配置
中心に α 線源 (^{241}Am , 5.4 MeV) を設置
⇒ α 線由来のシンチレーション光の検出
PMT はイベントセレクトと検出光子数の比較用

【測定結果】

- **推定の約 1.5 倍の検出効率**
⇒ **コーティング品質、構成ともに問題なし**
光変換係数が 1 を超えていることを示唆
(175 nm → 430 nm の変換時に光子数増)



▲ ミニチェンバーでの測定セットアップ



▲ 典型的な α 線由来イベントの同期信号

ミニチェンバーでの性能評価

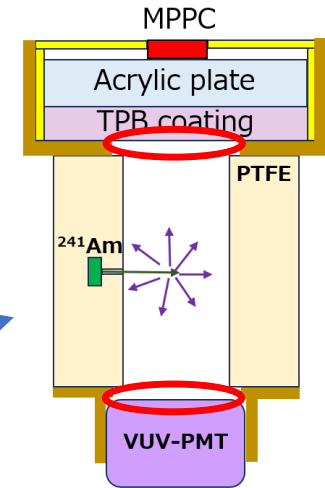
- ・シンチレーション検出器の検出光量 / PMT の検出光量 を**検出光量比**とする

【光学シミュレーションでの検出光量比の推定】

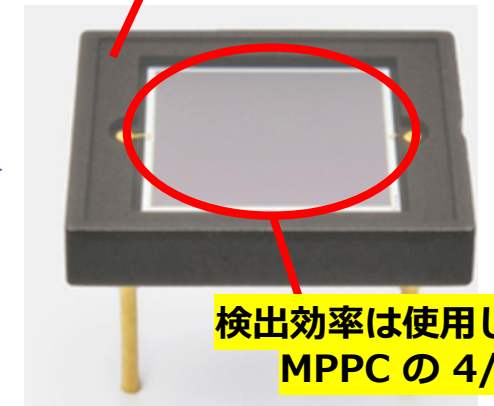
- ・測定セットアップのジオメトリと機能を設定
 - ・円筒中心からのシンチレーション光の等方放出を仮定
- ⇒ 予想検出光量比は ~ 0.1 程度 (setup 1, 2 とも)

【検出光量比の値が小さい理由】

- ・実質的な受光面積が PMT と同じ
(新型シンチレーション検出器は受光面積の大きさが売り)
- ・使用している MPPC の性能と外枠でのロス
- ・**波長変換された光の一部が PMT で検出される**



外枠に当たった光の損失

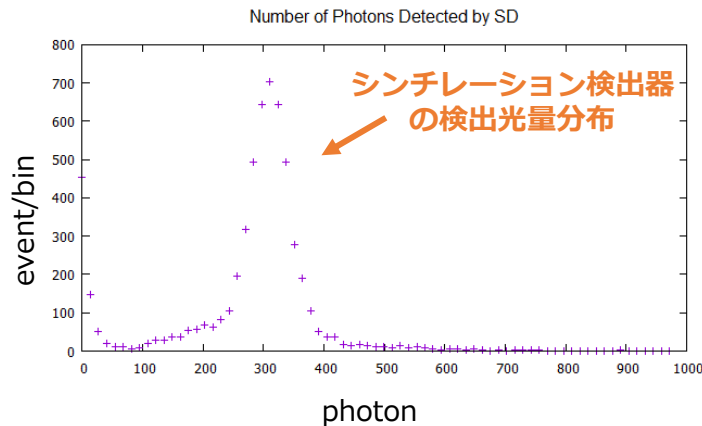
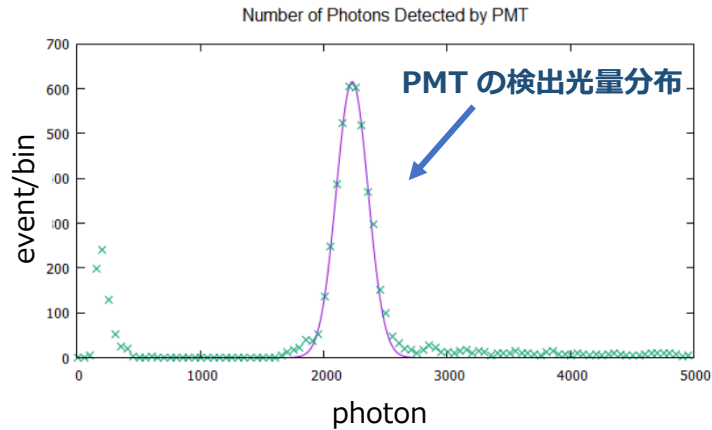


検出効率
は使用したい
MPPC の 4/5

ミニチェンバーでの性能評価

【setup 1】

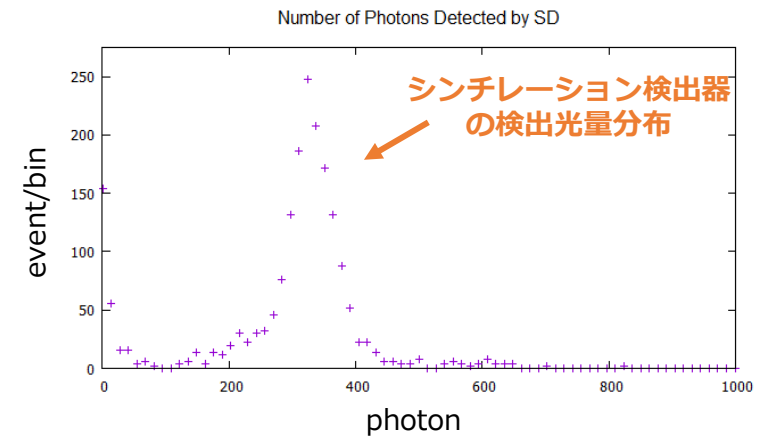
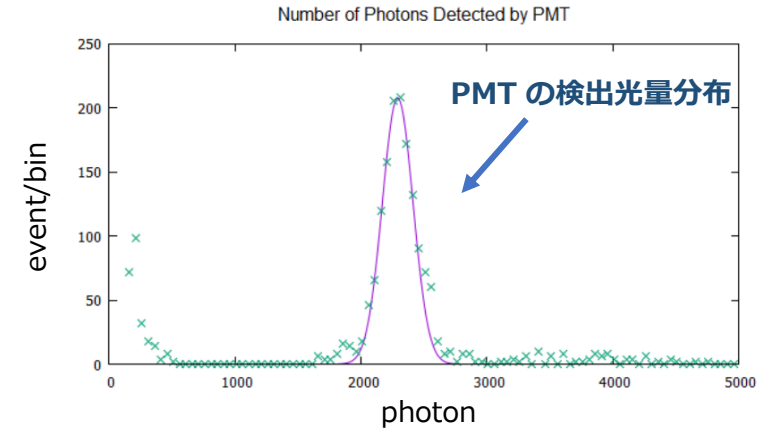
- PMT の検出光量分布から α イベント抽出



- 検出光量比ピークは **0.141** (予想 : 0.0917)
⇒光学シミュレーションでの予想値の 1.54 倍↑

【setup 2】

- PMT の検出光量分布から α イベント抽出



- 検出光量比ピークは **0.145** (予想 : 0.0898)
⇒光学シミュレーションでの予想値の 1.61 倍↑

ミニチェンバーでの性能評価

【setup 1】

- 検出光量比ピークは **0.141** (予想 : 0.0917)

1 p.e. ゲインの誤差 2.52 %

統計誤差 0.33 % (影響小)

を考慮すると、

検出光量比 : $0.1405 \pm 0.0035 \pm 0.0005$

【setup 2】

- 検出光量比ピークは **0.145** (予想 : 0.0898)

1 p.e. ゲインの誤差 2.52 %

統計誤差 0.31 %

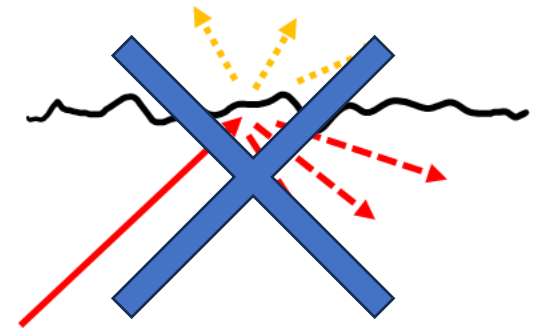
を考慮すると、

検出光量比 : $0.1448 \pm 0.0037 \pm 0.0005$

ミニチェンバーでの性能評価

- **測定された検出光量比は、光学シミュレーションでの予想を 1.5 倍より上回る**
⇒ 実際には光変換係数 1 を大きく超えた TPB コート面が得られていた
(先行研究[2]で示された 1.75 程度の値と矛盾せず)
- **TPB コート面は 430 nm 帯に対し、十分均一かつ滑らかであることを示唆**
- 側面の反射フィルムが機能していることと、
光学セメントでの MPPC の接着は問題ないことの確認
- setup 1 と setup 2 で検出効率の差はわずか
⇒ 180 L 試作機での性能評価には二つとも実装

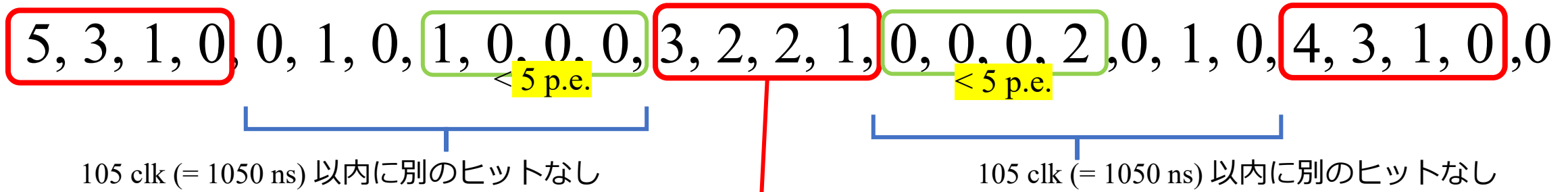
検出光量比の値が良い
⇒ 光の散乱が起こらず



コインシデンス解析

- ヒットの選び方と、孤立判定

閾値 5 p.e. 。 (数列は15 clk ごとの検出光子数の推移)

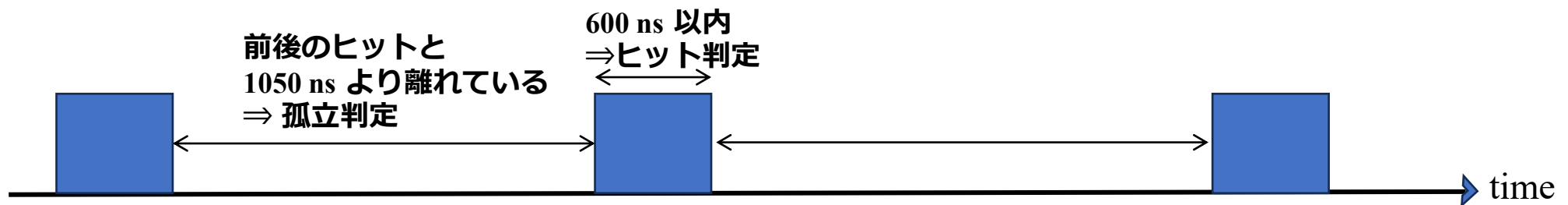


代表窓 (ヒット候補)

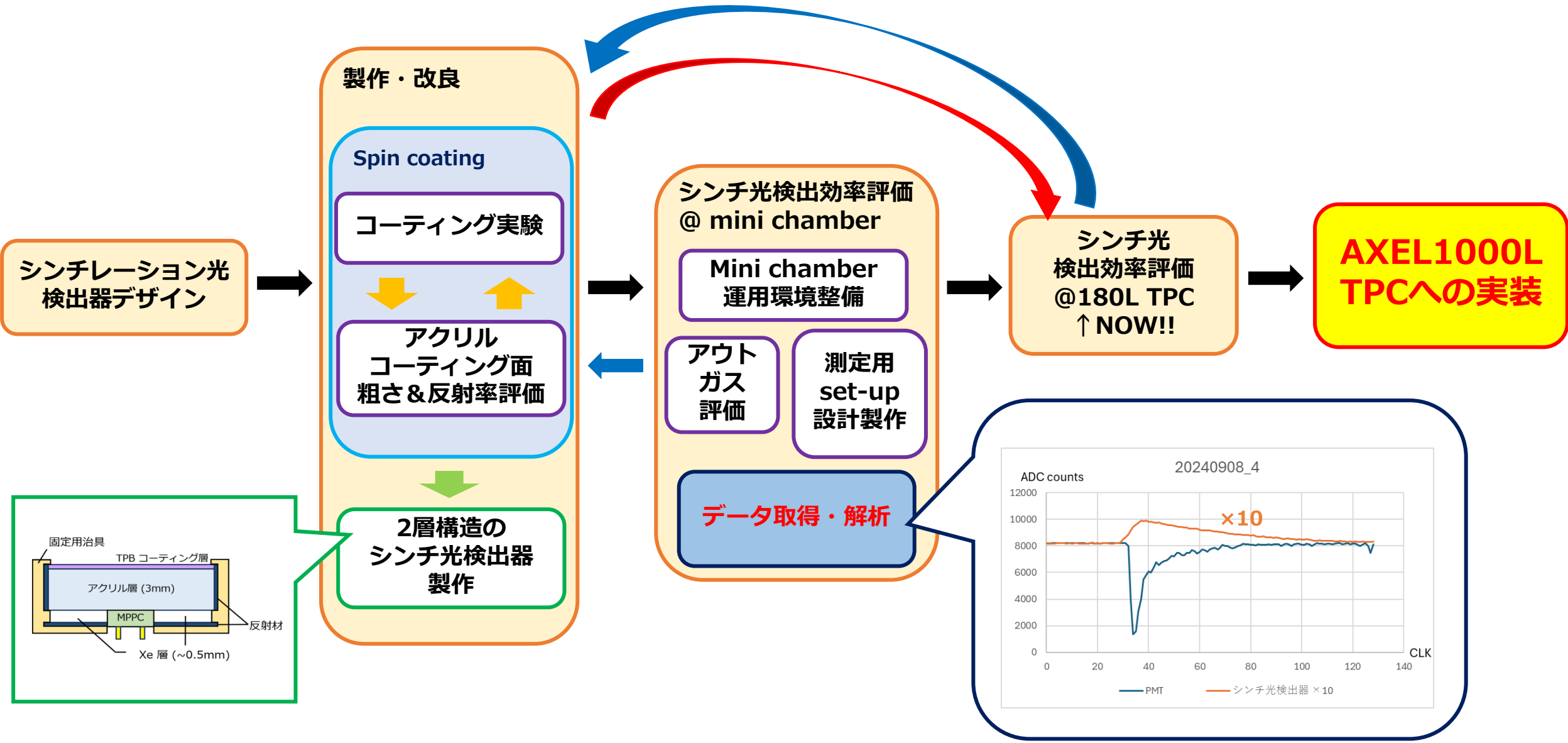
検出光子数 8

⇒ 前後の 60 clk (= 600 ns) が閾値を超えていないので、シンチレーションヒットとみなす

前後 105 clk (= 1050 ns) にヒットがないので、孤立信号とみなす



GasXeシンチ光検出器開発ロードマップ



検出効率について

- アクリルの屈折率：1.49 GasXeの屈折率：1.00
⇒臨界角 42°
- 垂直入射の場合、GasXe→アクリルで4%程度反射される
- 残った96%はTPBコーティング層に侵入、波長変換され等方に放出
- 臨界角以上の角度で放出された光（-75%）は反射材と全反射で捕獲
⇒確実にトラップしたい光
臨界角以下で放出された光は逃げても構わないという思想
- 理想的には全て検出だが、実際には反射材でのロスやアクリルでの減衰がある