

液体キセノングループ 中間報告

測定器開発室会議、11月27日、KEK

田内利明

2007年4月の当初メンバー

KEK：冷凍・純化システム、PMTシステム、テスト

田内利明、真木晶弘、春山富義、田中秀治、幅淳二

佐賀大：TPC、TPCシミュレーション、テスト

杉山 晃

放医研：PETとしての性能仕様とシミュレーション

熊田雅之、富谷武浩、寅松千枝

協力支援：KEK素核研回路室、田中真伸氏

追加メンバー

KEK：冷凍・純化システム、TPC（田中秀治）

笠見勝裕

佐賀大：TPC、TPCシミュレーション、テスト

東貴俊 (D1)、青座篤史 (M2、電場計算)

横浜国大：液体キセノン基本特性

中村正吾、佐藤友厚 (M1)、宮本健司 (M1)

レビュワー

早稲田大学 宮島光弘 氏

KEK

選考中

ホームページ

<http://www-jlc.kek.jp/~tauchi/index/LXeTPC/homepage/>

液体キセノン検出器

[English page](#)

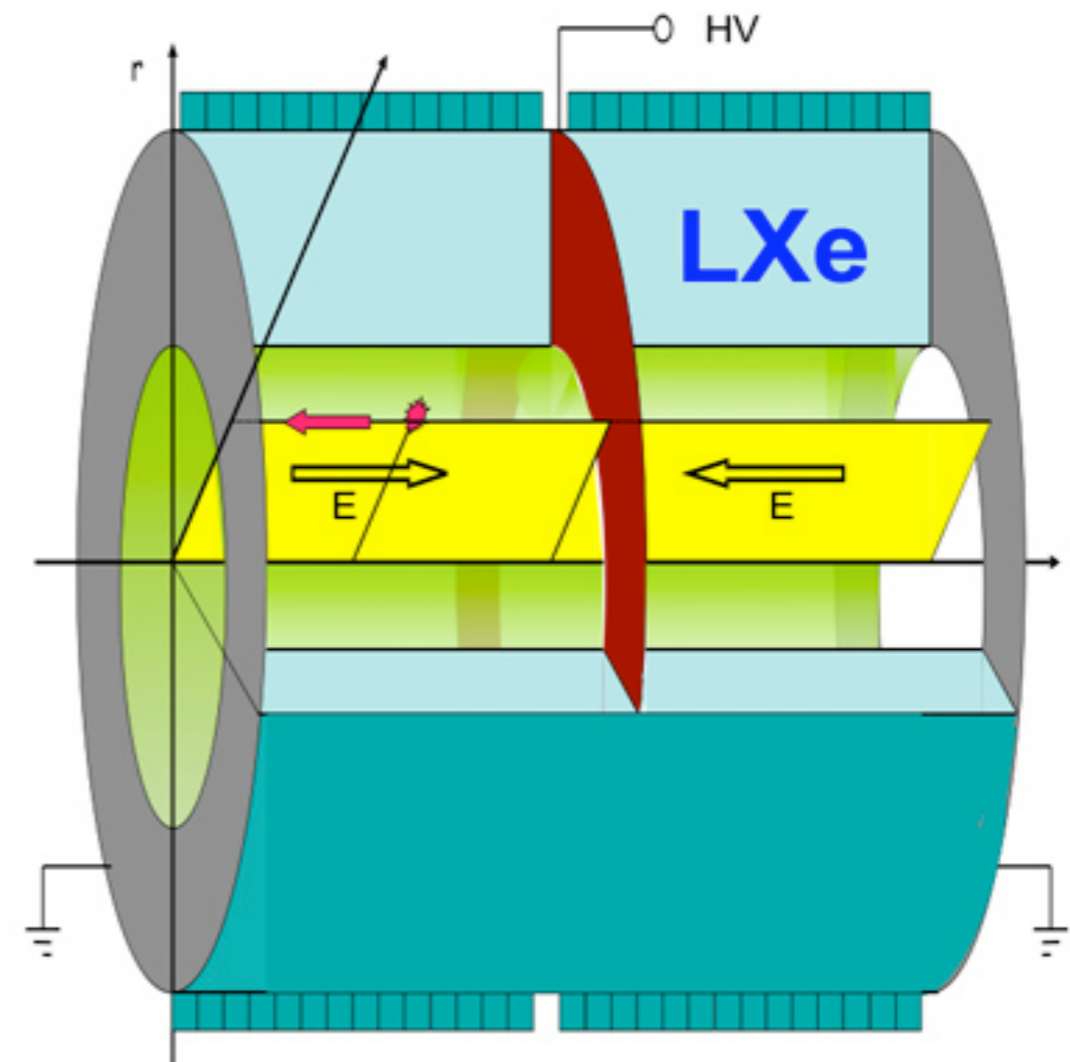
本研究開発の目的は、液体キセノンタイムプロジェクトンションチェンバー (TPC) を用いた、keV~MeVのエネルギー領域のガンマ線の3次元位置、時間及びエネルギーの高分解能検出器の開発である。

[お知らせ](#)

[定例打ち合わせ等のメモ・資料](#)

[レポートや資料](#)

[リンク](#)



液体キセノンTPCの概念図：

大きな画像 (144KB)はクリックするとダウンロードされます。

定例打ち合せ等のメモ・資料

- [2007年11月15日](#); プロトプロトタイプTPC、予算執行、科研費申請、[NMLコンプレッサー室 マスター工程表](#)
- [2007年11月1日](#); 冷凍機システム
- 2007年10月18日; [パッドデザイン](#)
- [2007年10月11日](#); TPCイメージ図、予定表、科研費
- [2007年10月4日](#); 整電部材料の最終提案、パッド、PMT固定部の設計
- [2007年9月27日](#); 進捗状況
- [2007年9月13日](#); 電場計算、TPC構造、試験マニュアル
- [2007年9月6日](#); PMTキャリブレーション、[パッド設計](#)、電場計算に要する時間 ([ppt](#))
- [2007年8月30日](#); 年度計画 ([doc](#))、[実験計画\(doc\)](#)、電場計算 ([キセノンの特性](#))
- [2007年8月23日](#); 今週の予定、[エネルギー分解能](#)
- [2007年8月9日](#); TPC構造・素材試験の進捗状況、スタイキャスト ([カタログ](#), [データシート](#))
- [2007年8月2日](#); NML (中性子) 実験棟、TPC構造・素材試験の進捗状況
- [2007年7月26日](#); TPC構造・素材試験の詳細計画
- [2007年7月19日](#); TPC構造・素材試験の進捗状況、[試験計画](#)
- [2007年7月12日](#); TPC構造・素材試験の進捗状況、Liq.Xe-TPCのエネルギー分解能、[FANOファクター](#)
- [2007年7月5日](#); [Nantes大学訪問報告](#)、[TPC構造・素材試験計画更新](#)、[中性子ミュオン実験エリアの部屋割り](#)
- [2007年6月27日](#); [TPC構造・素材試験計画](#)、エレキ関係
- [2007年6月14日](#); 液化・純化システム、TPCシステム担当責任者、マイクロメッシュ、TPC打ち合せ
- [2007年6月7日](#); [Nantes大学TPC-R&D](#)、ロッド用止め金具 ([図1](#)、[図2](#))、[micromegas](#)
- [2007年5月24日](#); [線源](#)、[青色LED](#)、[液体キセノン用素材](#)、[フィードスルー](#)、[フランジ図面](#)、[TPC図面](#)
- [2007年5月17日](#); ガンマ線源、[TPC図面](#)、素材調査
- [2007年5月10日](#); 今年度の予定、5-6月のスケジュール
- [2007年4月19日](#)
- [2007年3月28日](#): 資料 ([素材の選定について\(doc\)](#))
- [2007年3月9日](#): 資料 ([液体キセノン試験容器](#), [プロトタイプTPC案](#))
- 2007年3月2日、JST新技術セミナー、田内発表 ([pdf](#)、[ppt](#))
- 2007年1月17日、TXePETエレクトロニクスセミナー、田内発表 ([pdf](#))
- 2006年10月4日、放医研の村山グループと打ち合せ ([メモ](#))
- 2006年9月6日、次世代PETについての打ち合せ ([資料](#))

2007年度予定 (当面の目標)

1. 液体キセノン純化 (KEK パルス管冷凍機使用)

酸素、水 (シグナル減衰) そして、クリプトン等(バックグラウンド)の除去

- ppb以下

不純物除去と測定方法の確立とTPCなどの使用素材の吟味

2. 素材チェック (液体窒素中 -200°C)

HVケーブル 碍子、 (低温中での耐圧)

ハンダ使用の是非

コンデンサ、抵抗 (低温中の高周波特性、耐圧、温度特性)

フィードスルー

ヒートサイクルによる使用素材の劣化

ベーキング可能な材料 (必要性?)

3. ドリフト1cm程度のTPC（プロトプロトタイプ）

基本技術の習得 - テスト用冷凍容器使用

4. TPCの基本性能測定

拡散(diffusion)、減衰(attenuation)、3次元位置の測定

読みだし (ゲイン1) : アノードパッド

低電力低ノイズアンプのテスト (開発中のASICなど)

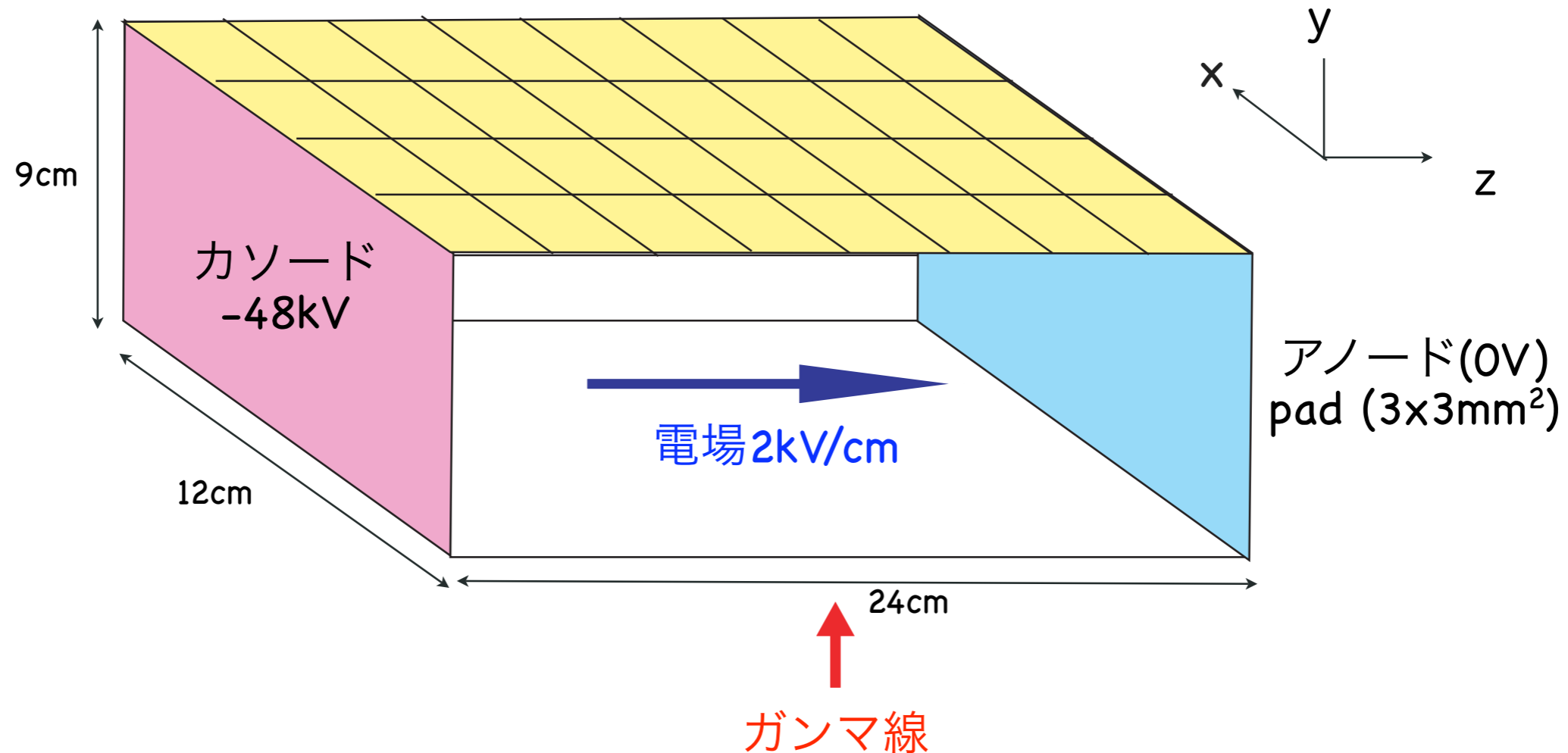
位置、エネルギー精度の較正方法 (放射線源、宇宙線ミュオンなど)

シグナルのシミュレーション (電場、グリッド電圧、ドリフト)

液体キセノンTPCの構造と特徴

光電子増倍管 (PMT) 32本

($2.8 \times 2.8 \text{cm}^2$ /本)



PMTによるトリガー (タイミング)、3次元位置、エネルギー測定

TPCによる3次元位置、エネルギーの精密測定

(x, y :アノードパッドと z:ドリフト時間)

高速で不感時間のない読みだし

期待される性能

TPC中のドリフト距離 < 24 cm

1. 3次元位置精度 (TPC)

$$\sigma(x,y,z) = 0.2\text{mm}$$

2. エネルギー分解能 (TPC)

$$\sigma = 6\% \text{ for } E_\gamma = 511\text{keV}$$

3. 時間分解能 (PMT)

$$\sigma = 130 \text{ psec}$$

エレクトロニクスシステム概要

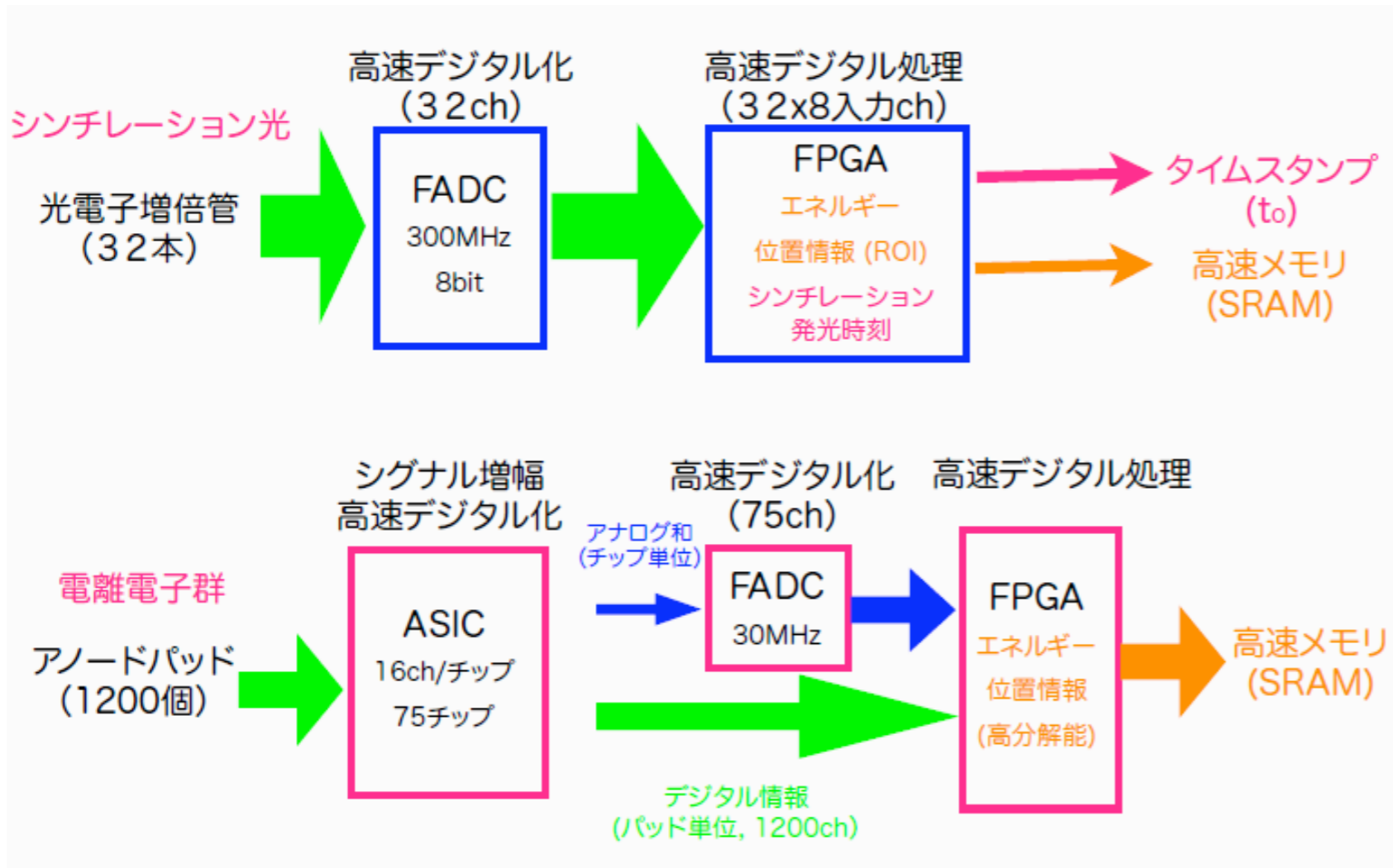


図5:エレクトロニクスシステムの概要。
シンチレーション光の情報 (ROI 情報)、電離電子の情報 (精密位置、エネルギー情報) をそれぞれFPGA技術を用いてオンボードでパイプライン処理する。

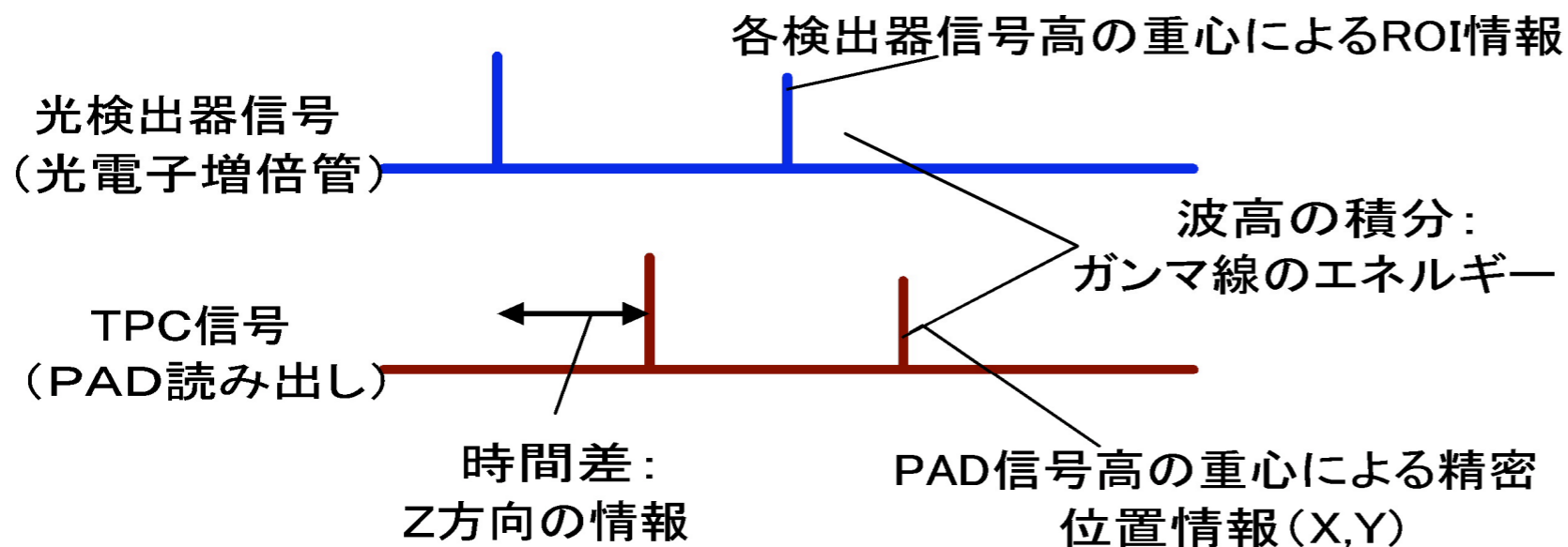
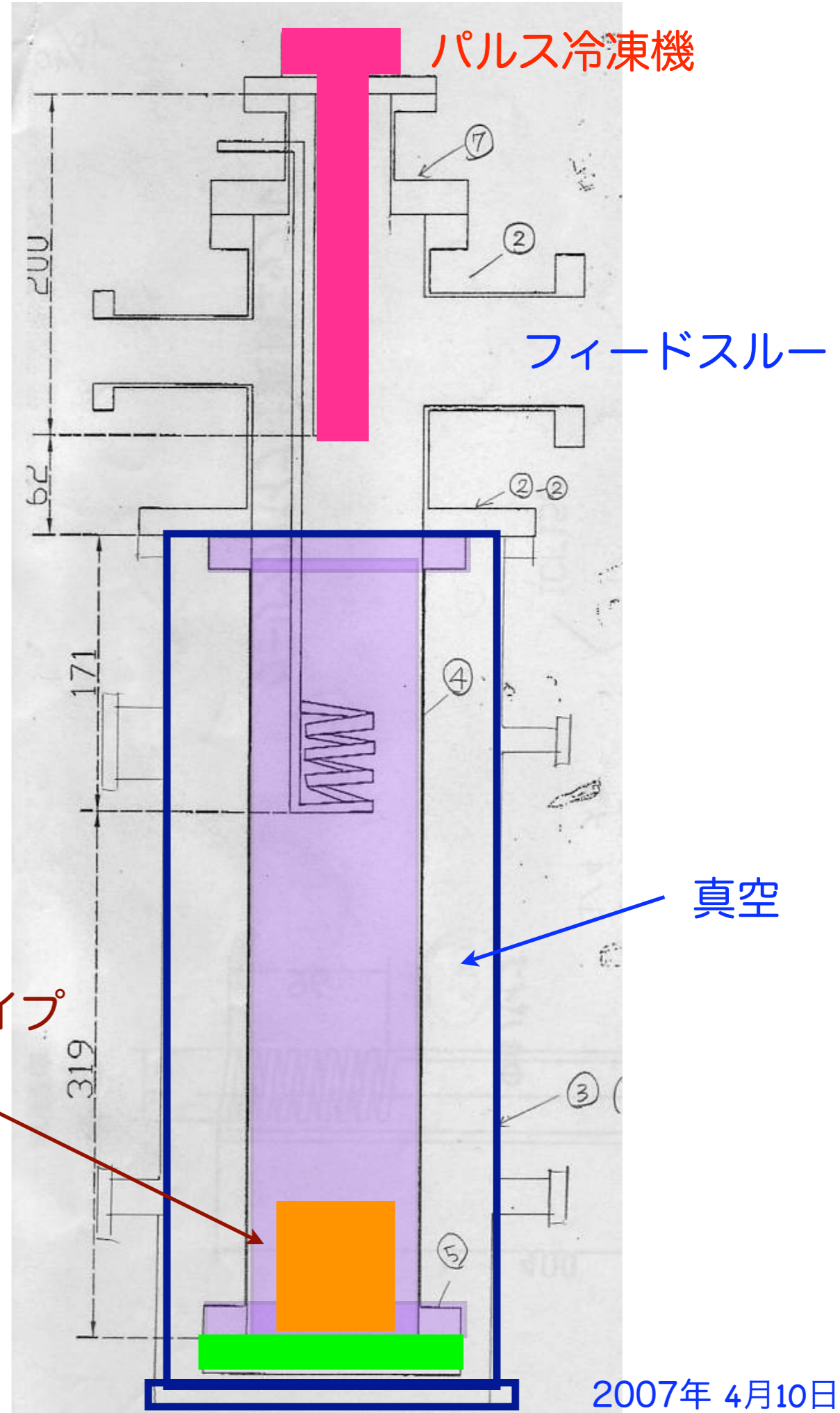
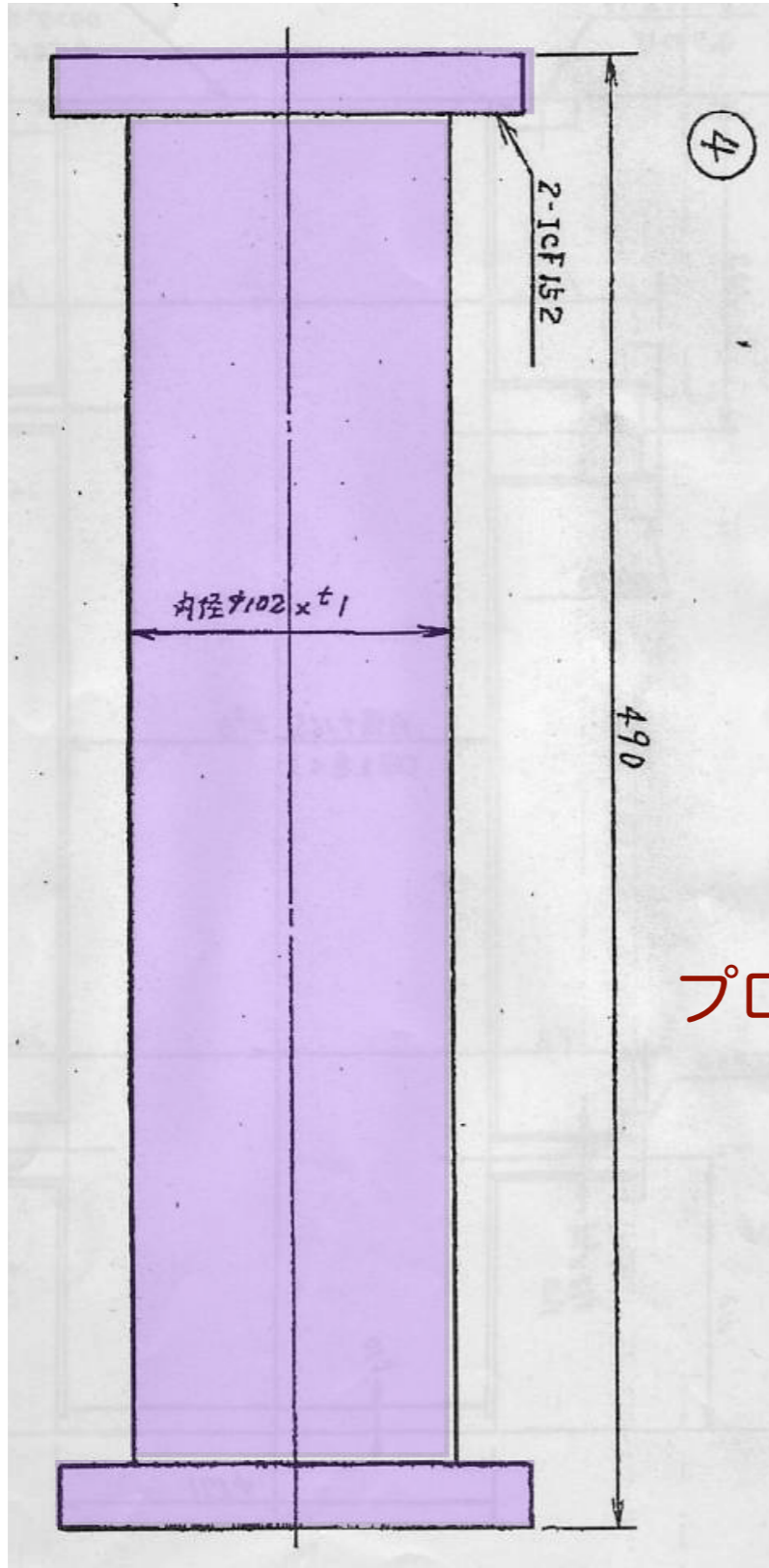


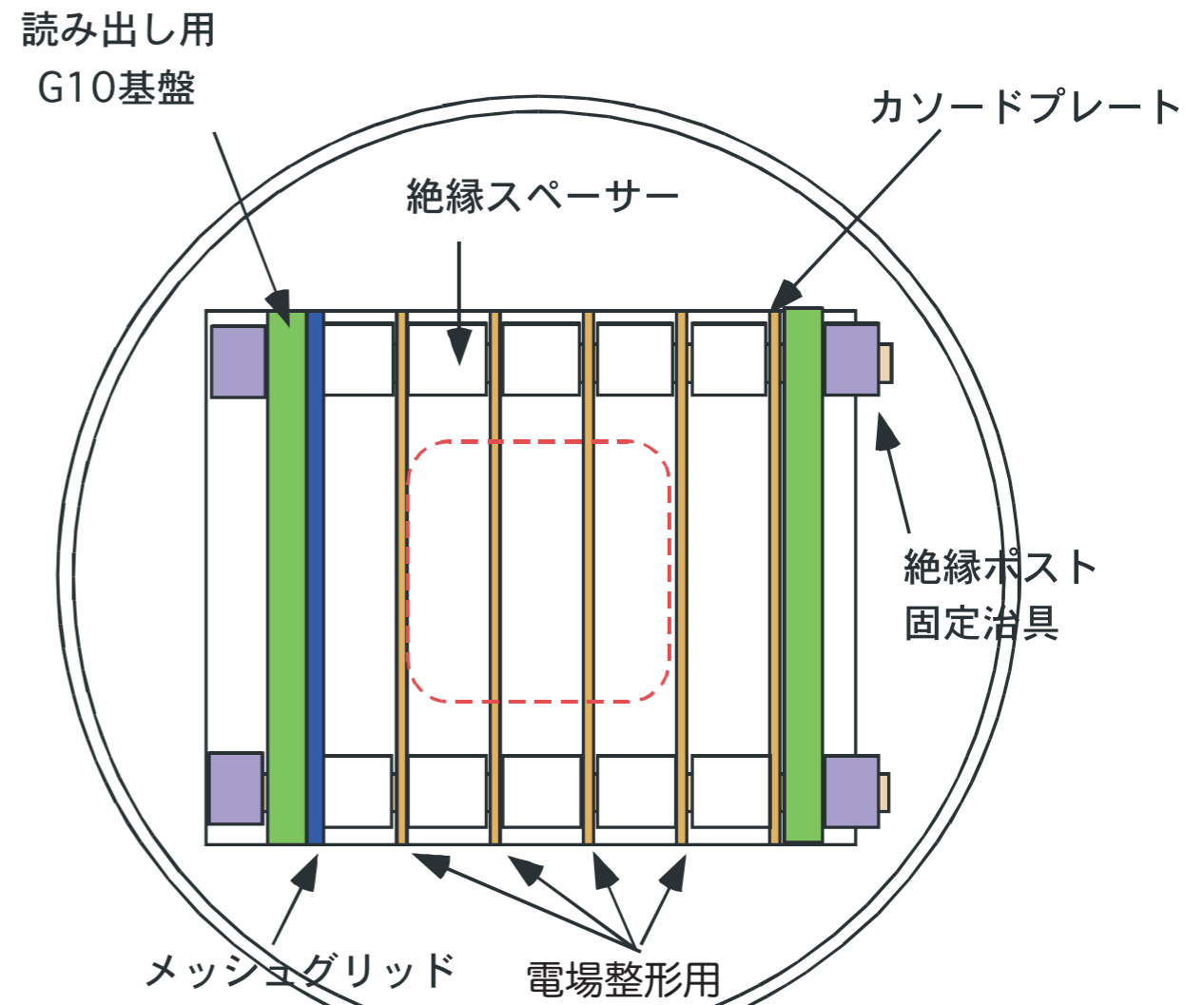
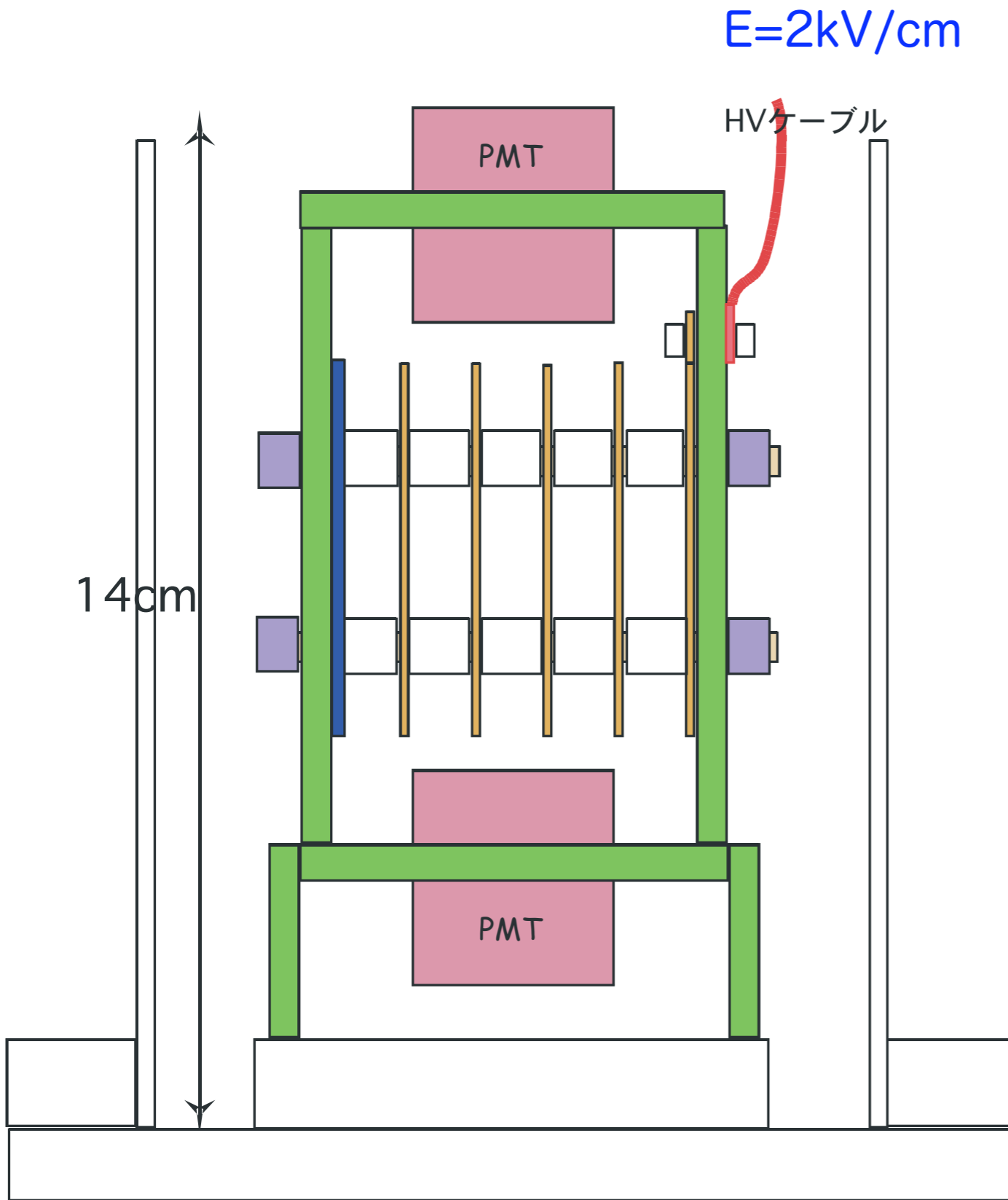
図6:エレクトロニクスボード上でパイプライン処理される信号情報の概念図。

テスト用冷却容器

102mm ϕ x 490mm

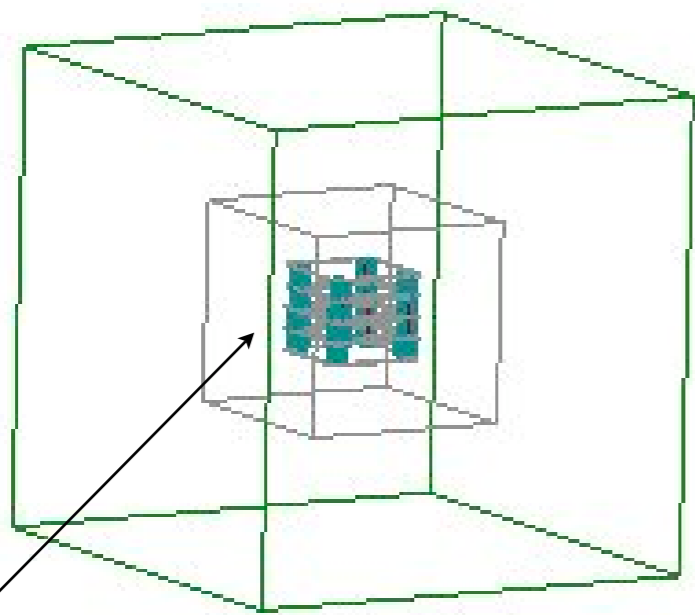


2007年 4月10日

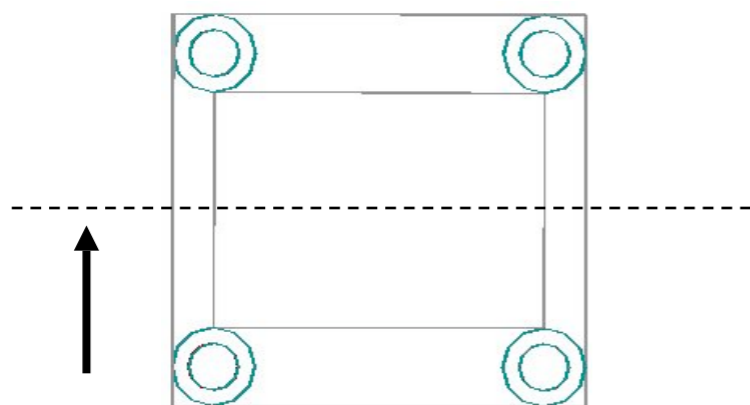


Maxwell3Dによる電場計算の結果

青座篤史(佐賀大M2)

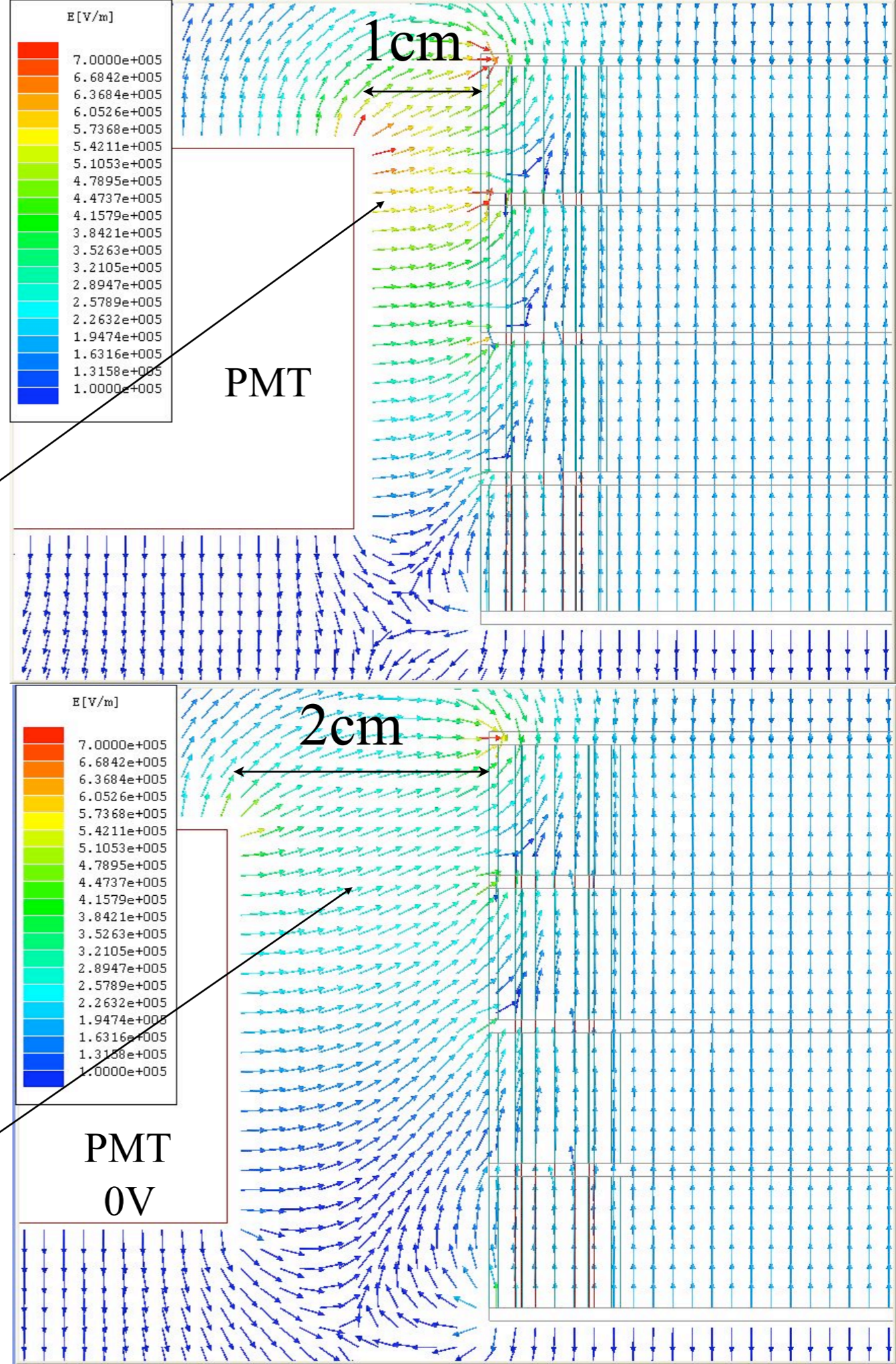


TPC field cage



この平面での電場の様子

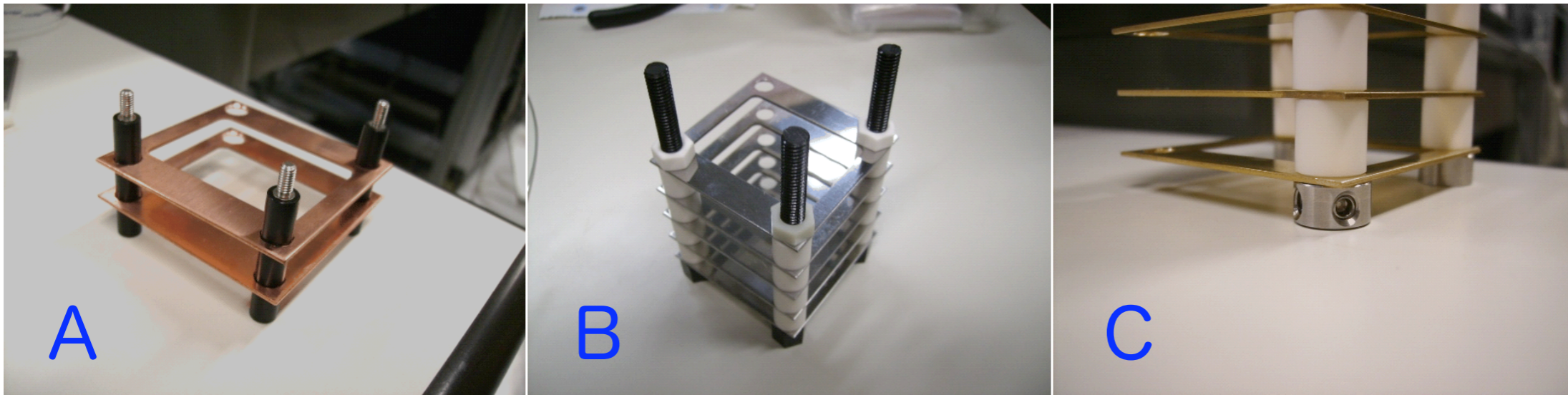
グラウンドが近くにあることで電場は歪んでいるが1cmと2cm (PMTのfield cageからの距離) の場合を比較すると大きく違うようには見えない。



約5kV/cm

約4kV/cm

整電部（フィールドケージ）構造試験

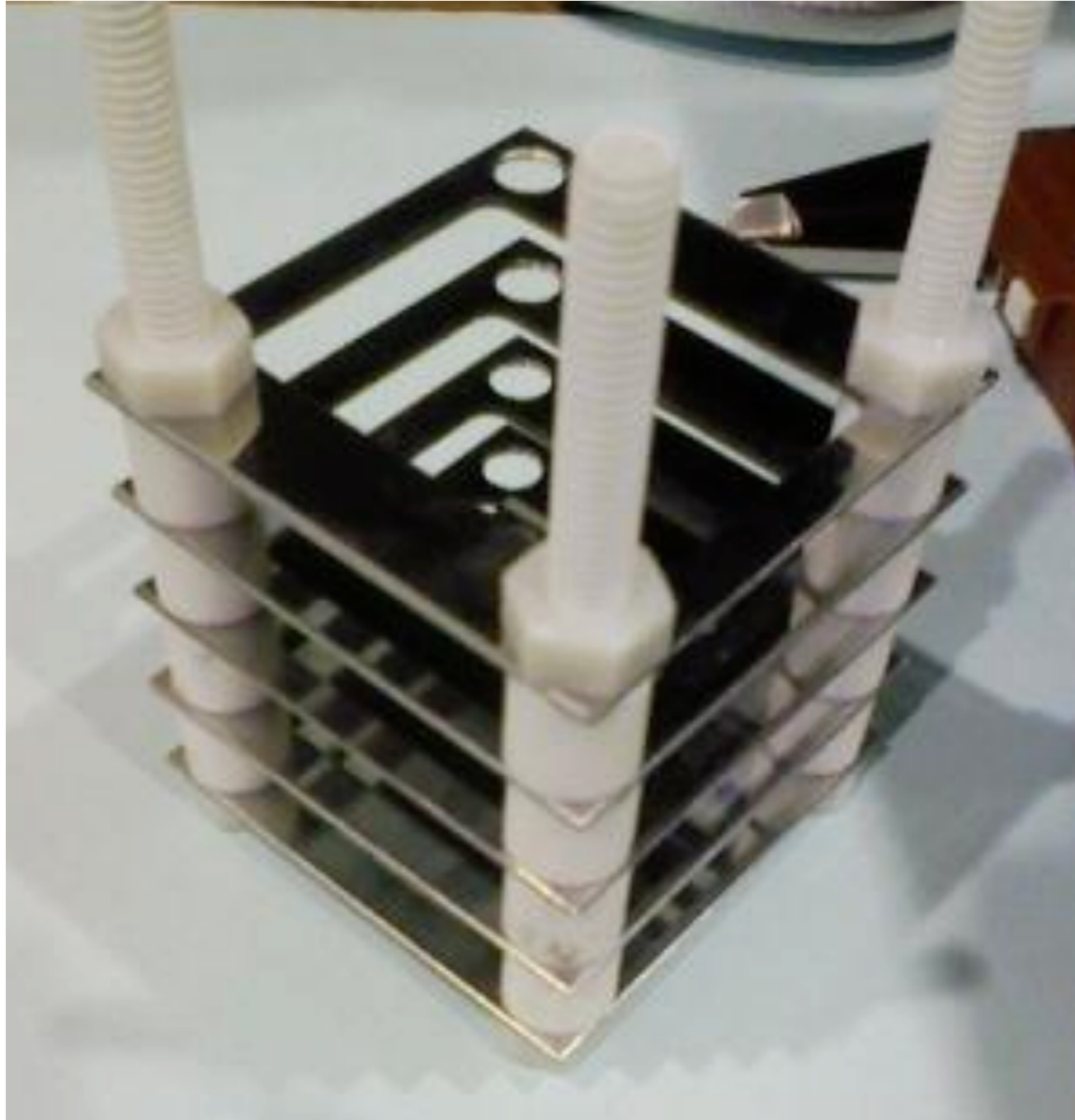


(図2 ネジ付のスペーサとフレームを組み合わせる方法(組み立てA・左)、中空スペーサでフレームの間隔を取り、ボルトとナットで固定したもの(組み立てB・中央)、中空スペーサでフレーム間隔を取り、セットカラー(止め具)とロッドで止めたもの(組み立てC・右))



(図3) セットカラーをトルクレンチ(1 N・m)で締めたところ変形が見られた。左からPEEK,POM,フッ素樹脂(テフロン)。左のものほど固く変形が少ない

Bを採用

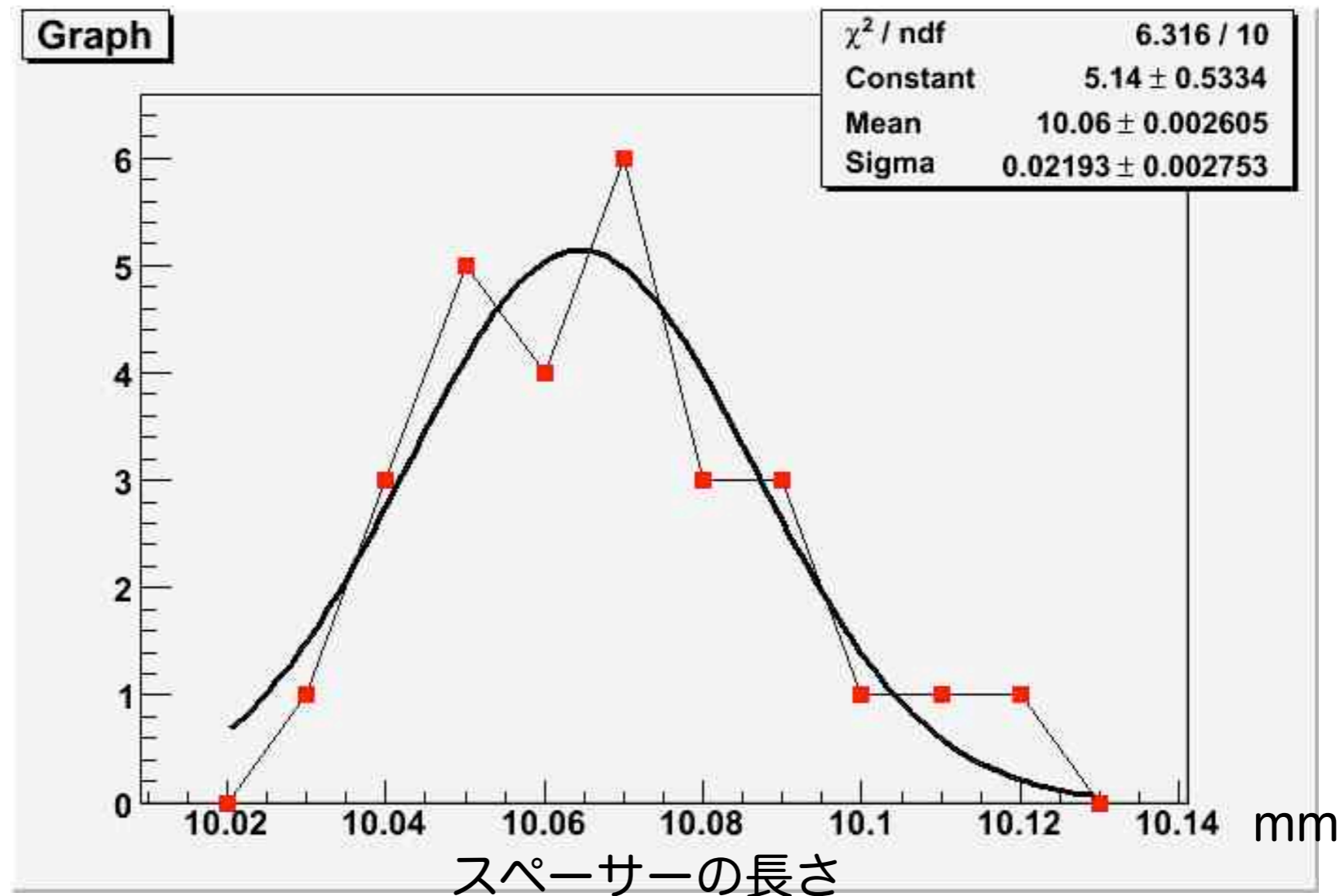


ネジとナット：レニー製のM6
(ポリアミド樹脂)

スペーサー：セラミック

電極板：SUS 1mm厚

セラミックスペーサー(市販品)の精度

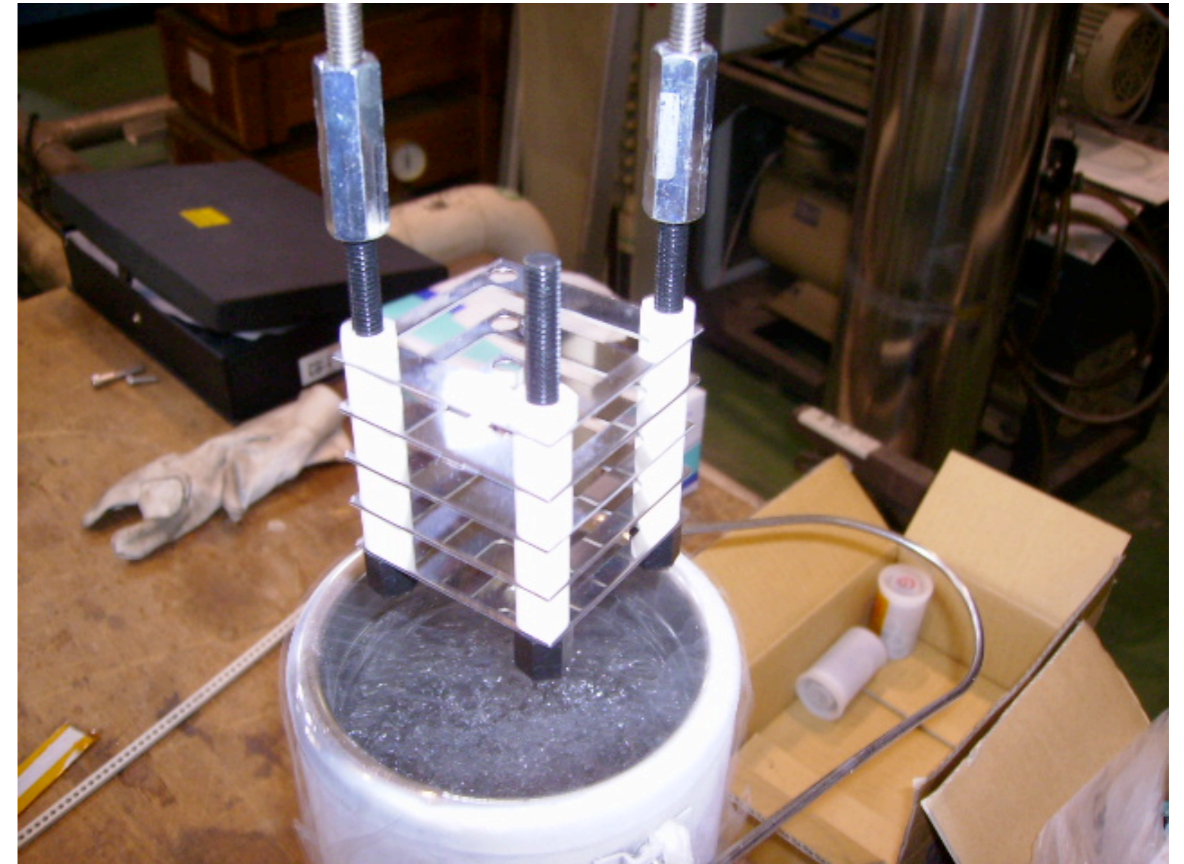
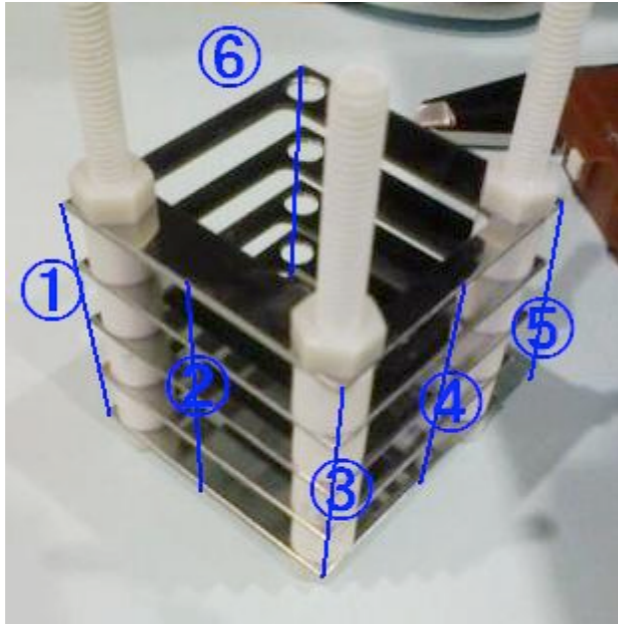


統計数(28 個)が少ないため、はっきりしたことはいえないが、概ね正規分布となりそうである。

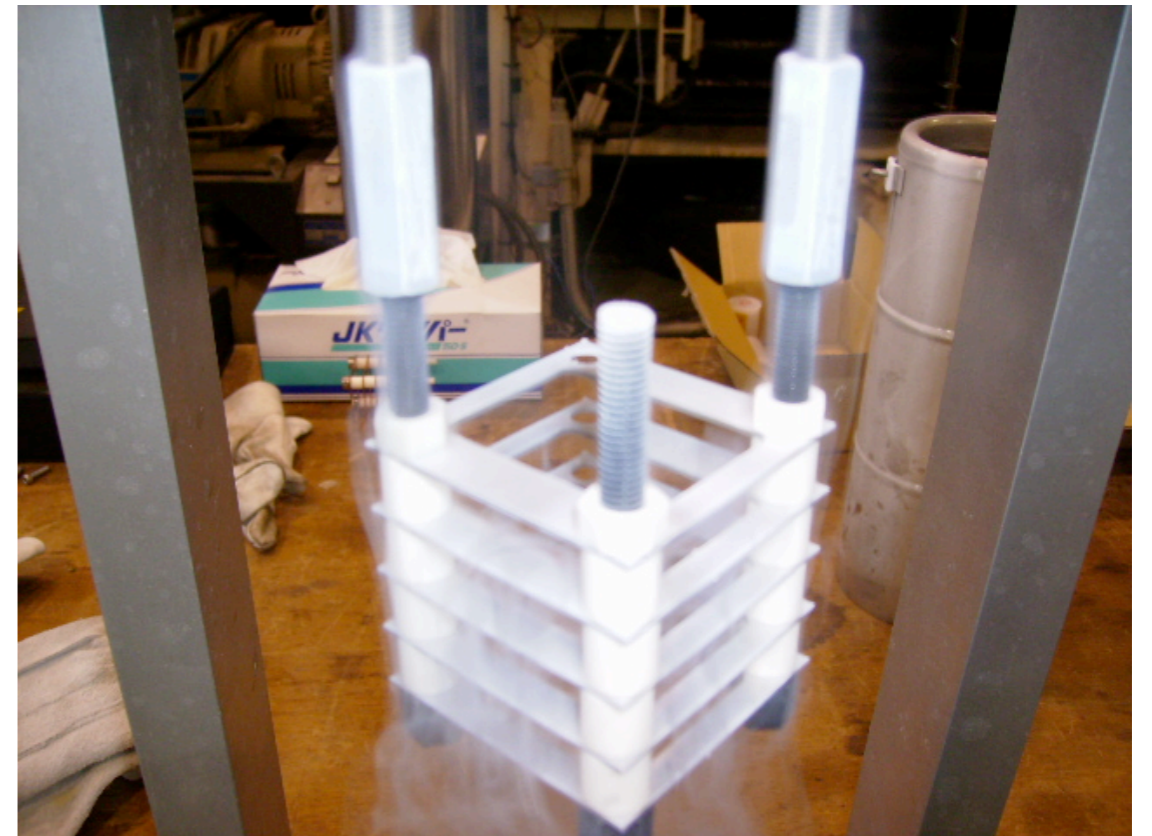
(Sigma = 0.02193 ± 0.002753) mm

RMS (root mean square) = 10.6788 mm

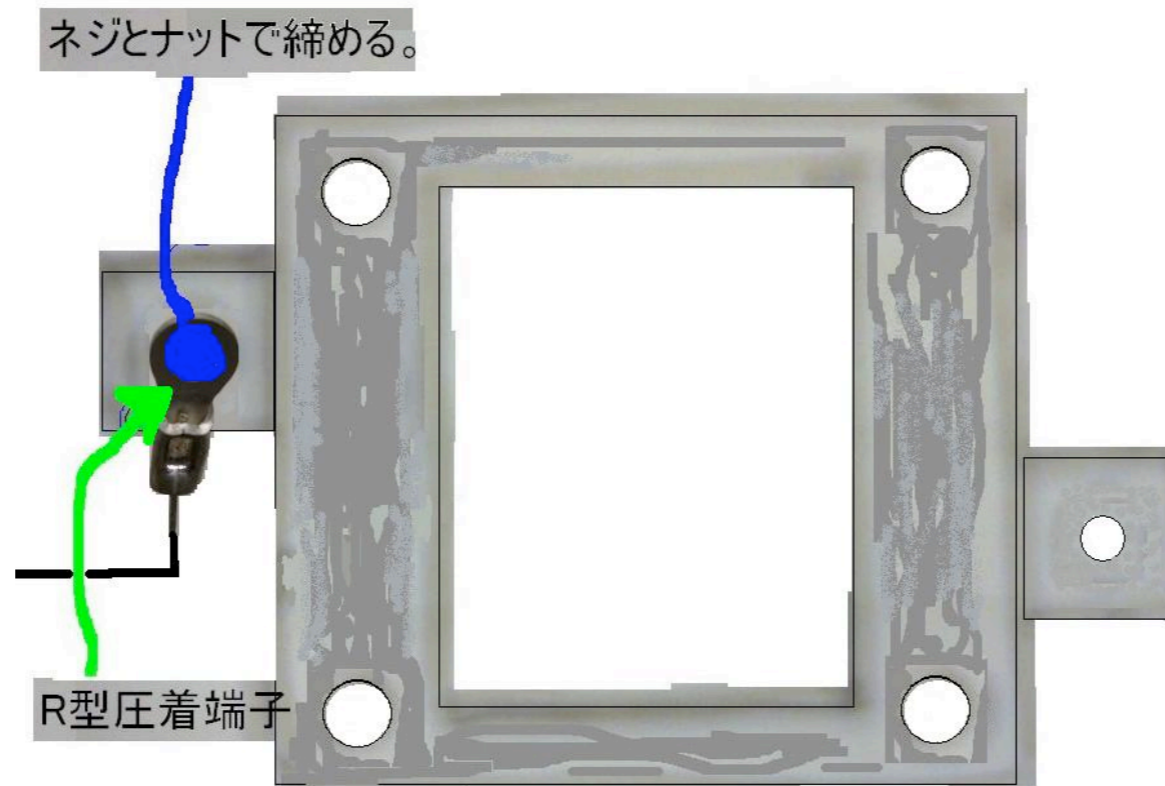
冷却試験



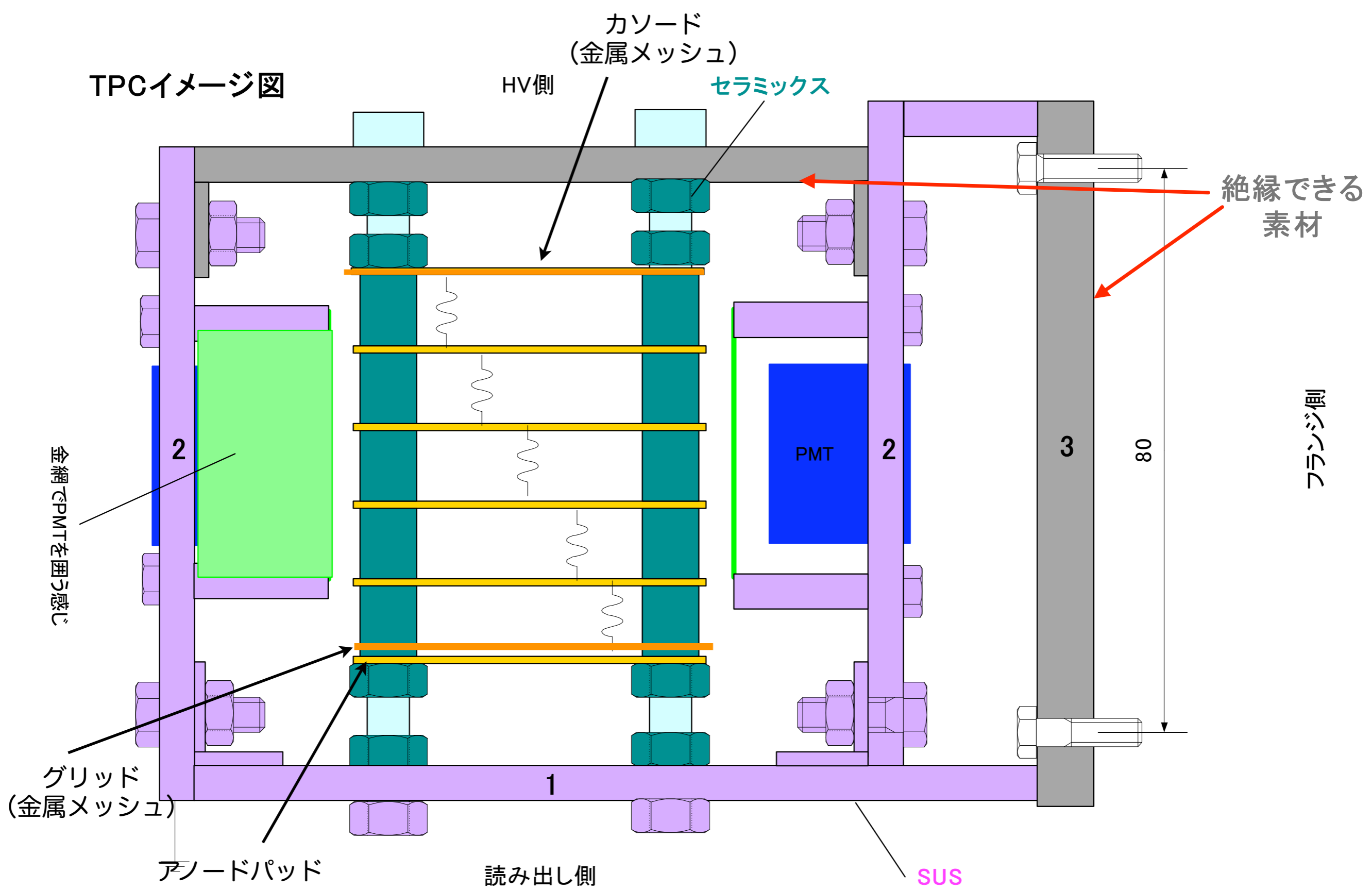
| 材質 | レニー(φ6mm) | | | | | |
|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 最初 | 45.21 | 45.21 | 45.23 | 45.45 | 45.2 | 45.14 |
| 取り出し直後 | 45.15 | | 45.2 | | 45.14 | 45.01 |
| 1 サイクル(常温) | 45.21 | | 45.21 | | 45.17 | 45.05 |
| 取り出し直後 | 45.17 | | 45.19 | | 45.19 | 45.05 |
| 2 サイクル(常温) | 45.21 | | 45.21 | | 45.2 | 45.08 |
| 取り出し直後 | 45.18 | | 45.2 | | 45.2 | 45.2 |
| 3 サイクル(常温) | 45.22 | | 45.22 | | 45.19 | 45.09 |
| 取り出し直後 | 45.16 | | 45.19 | | 45.19 | 45.15 |
| 4 サイクル(常温) | 45.19 | | 45.23 | | 45.19 | 45 |
| 取り出し直後 | 45.19 | | 45.19 | | 45.18 | 45.05 |
| 5 サイクル(常温) | 45.2 | | 45.22 | | 45.19 | 45.21 |
| 取り出し直後 | 45.19 | | 45.19 | | 45.19 | 45.03 |
| 6 サイクル(常温) | 45.22 | | 45.22 | | 45.19 | 45.12 |
| 取り出し直後 | 45.15 | | 45.19 | | 45.15 | 45.23 |
| 7 サイクル(常温) | 45.19 | | 45.23 | | 45.21 | 45.25 |
| 取り出し直後 | 45.2 | | 45.19 | | 45.16 | 45.02 |
| 8 サイクル(常温) | 45.22 | | 45.22 | | 45.22 | 45.3 |



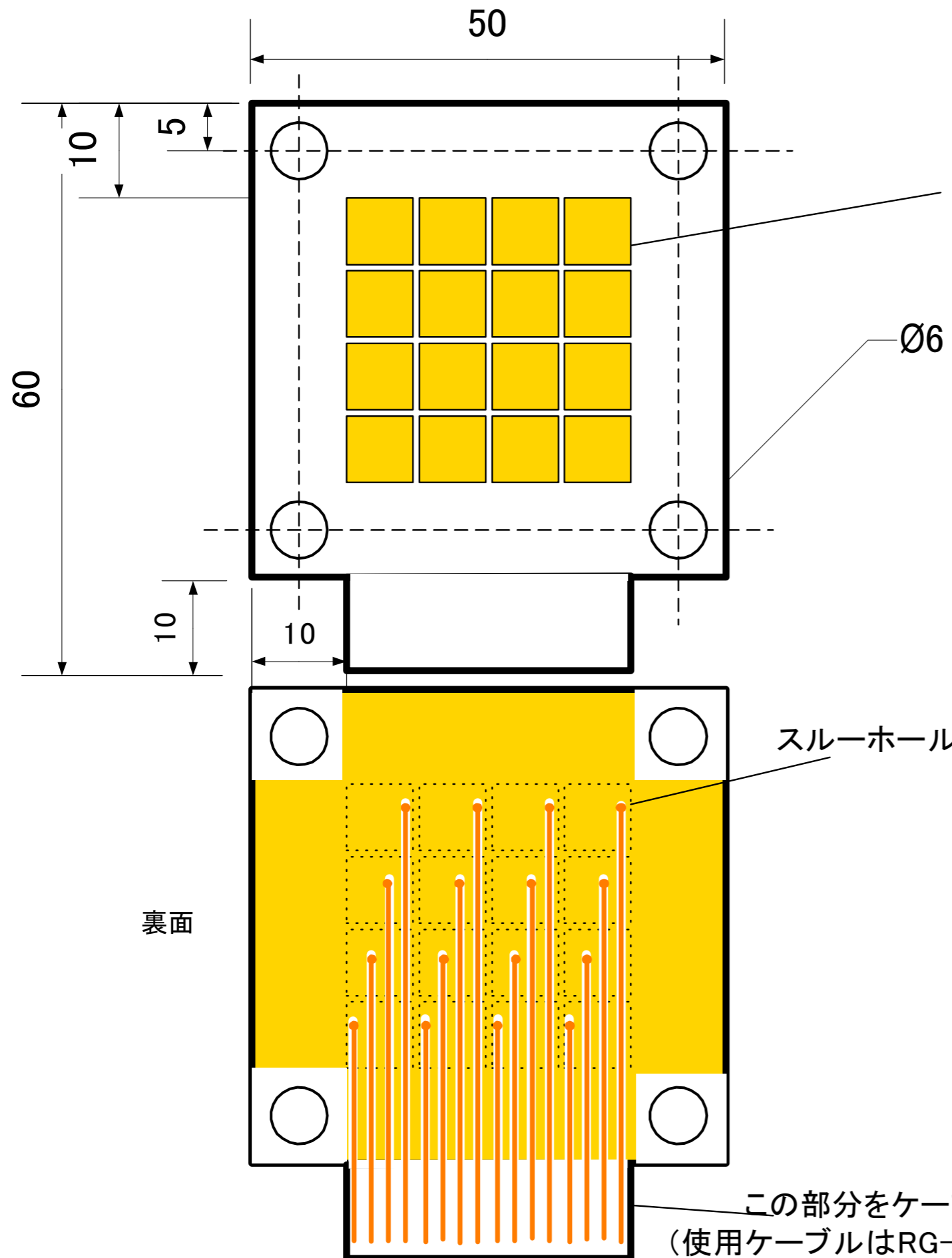
高電圧抵抗



TPCイメージ図



基本構造をコの字型にすることでTPCのHV側、読み出し、抵抗のdaisy chain部、PMT読み出し部の全てにアクセスが可能になる。
 (例えば向かって手前を抵抗チェーンにするなら反対側を読み出しにすればよい)
 また製作時には各辺を独立に製作可能(1静電部、2PMT、3フランジ接続部)



PAD読み出し用電極板

基盤材料: アルミナ(1mmt)

パッドのパターン 銅

パッドは板の中心30mmの正方形の部分に4×4を配置
(パッド間隔は未定)

発注枚数: 4枚

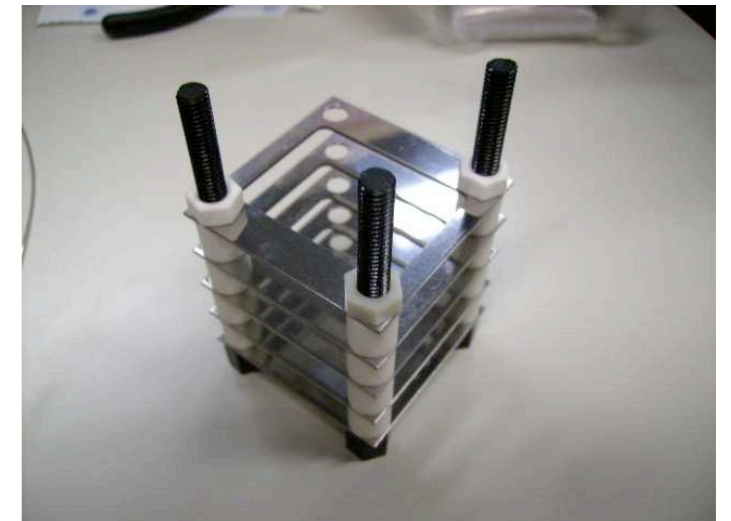
Ø6

スルーホール

裏面

この部分をケーブルと溶接したい
(使用ケーブルはRG-188または178(同軸))

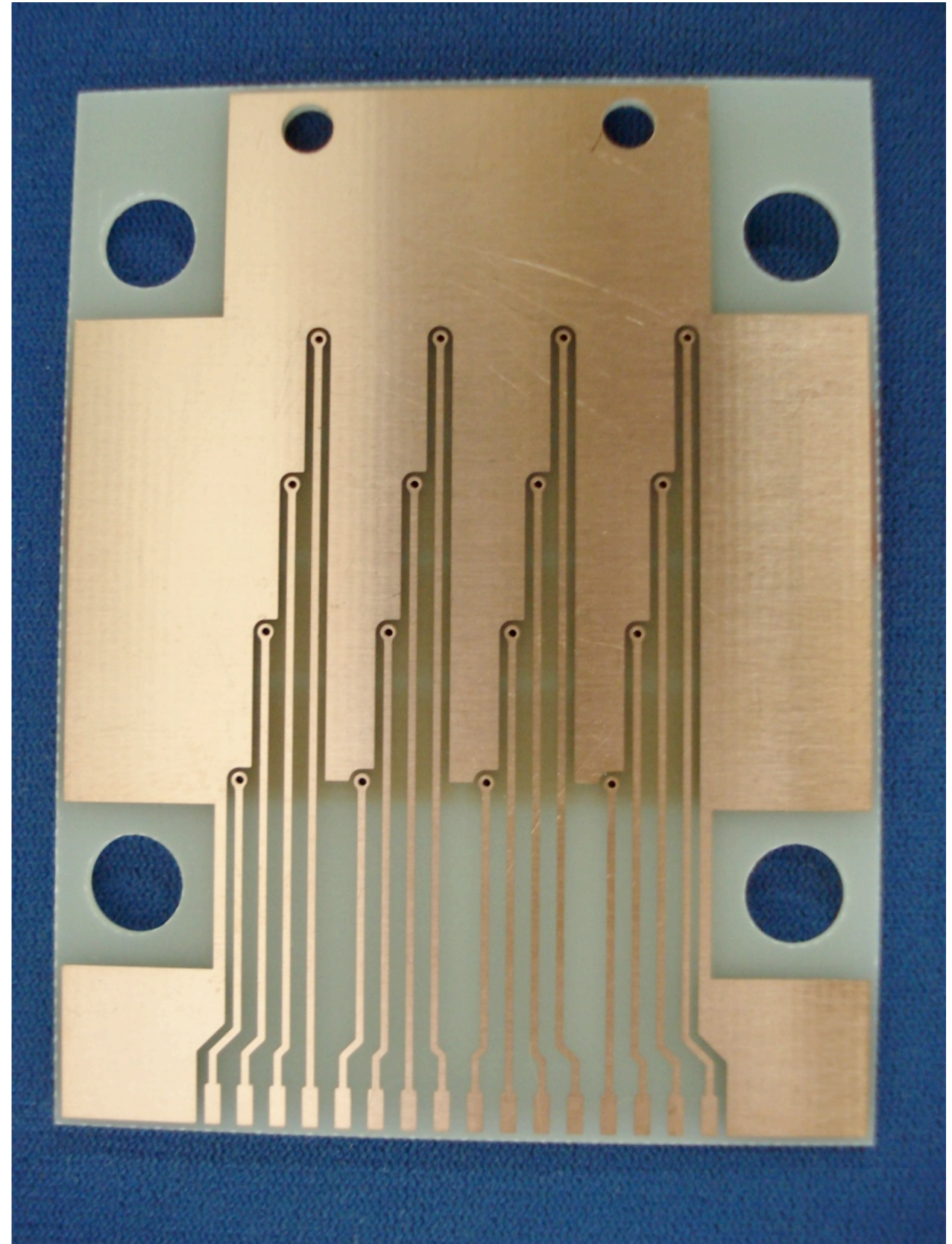
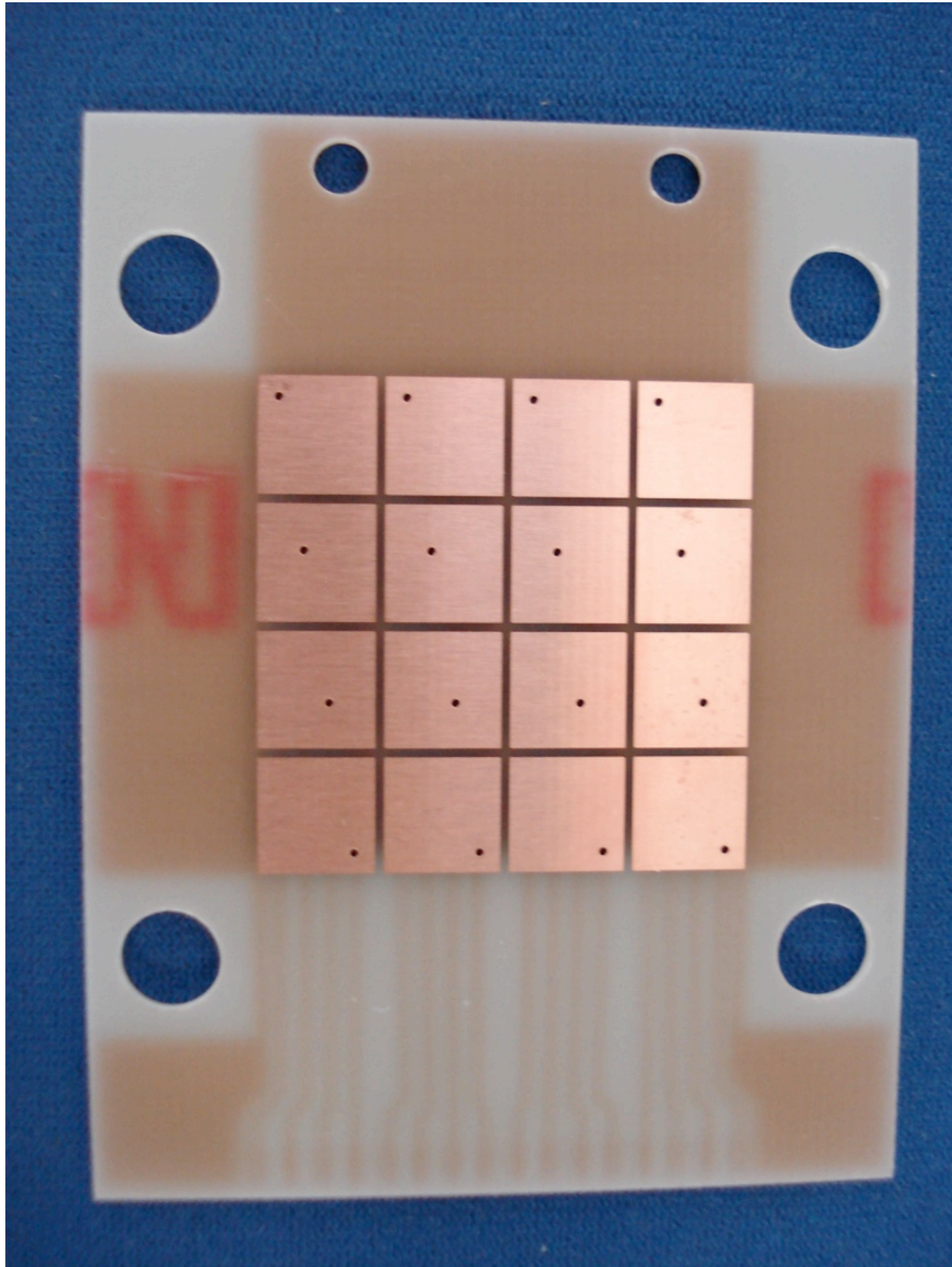
静電部のイメージ



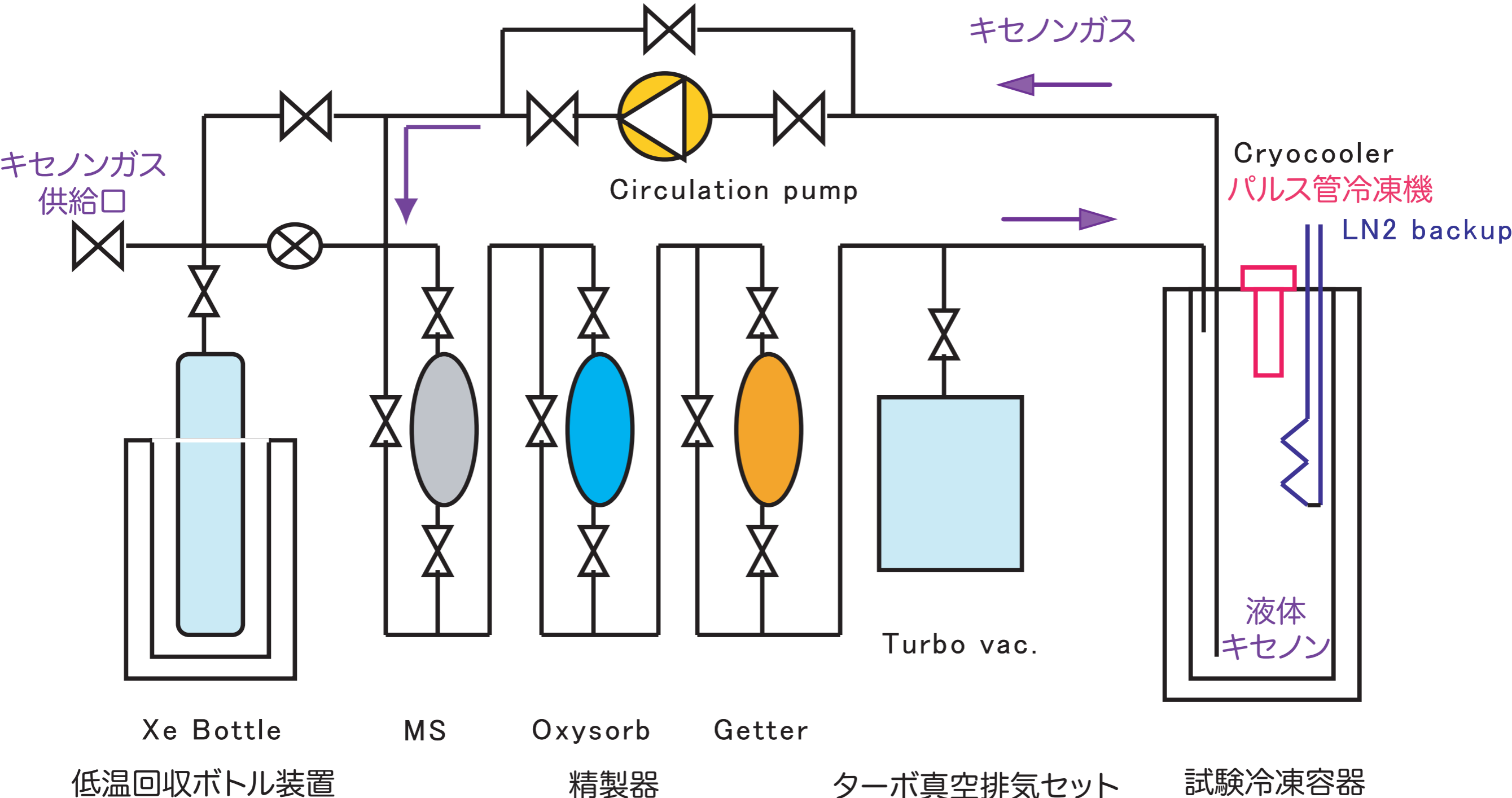
高エネルギー加速器研究機構

田中秀治

shuji.tanaka@kek.jp



冷凍・純化システム



すべての部品は購入済；12月より組立て設置を開始

有効電荷量の謎

エネルギー分解能を決めているもの？

線源依存？

電場の関数

先ず、純度の高い液体キセノン中で測定してみたい。

Energy Resolution と 有効電荷量 (Qo)

Energy resolution

A. Curioni, Dr. Thesis, Columbia univ. 2004

Spectroscopy with LXeGRIT is described in a detailed manner in Sec. 2.2.3; the energy is derived from the amplitude of the anode signal through the fitting procedure described in Sec. 2.1.8. To study the impact of the off-line analysis procedure on it, I break down the energy resolution in three pieces

$$\sigma_{tot} = \sigma_{LXe} \oplus \sigma_{el} \oplus \sigma_{other}$$

where \oplus means sum in quadrature. σ_{LXe} is the intrinsic energy resolution in LXe for a drift field of 1 kV/cm; it is known to be $\sim 3.5/\sqrt{E}$ % (4). σ_{el} comes from electronic noise on the anodes, which is independently measured (Sec. 2.1.5) and does not depend on energy. σ_{other} accounts for everything else than σ_{LXe} and σ_{el} , therefore including inaccuracies introduced by the fitting procedure.

As shown in Sec. 2.2.3, the energy dependence of the energy resolution over the energy range 0.5-4.2 MeV is very well described by

$$\Delta E[\text{MeV}] (FWHM) = \sqrt{6.7 \cdot 10^{-3} \cdot E[\text{MeV}] + 3.6 \cdot 10^{-3}}$$

FWHM = 8.2%/√E ⊕ 6.0%(electronics noise)

where the term $6.7 \cdot 10^{-3} \cdot E$ accounts for $\sigma_{LXe} = 3.5\%$ and the energy independent term accounts for the electronic noise, ~ 60 keV FWHM. Therefore, σ_{tot} is satisfactorily described setting $\sigma_{other} \equiv 0$ without too much room for any significant contribution. Moreover, the energy calibration over the same energy range is perfectly linear, ruling out any undesired dependence on amplitude. □

$$\sigma = 1 / (\sqrt{816\sqrt{E}}) \oplus 1 / \sqrt{1534} \longrightarrow Q/Q_0 = 1.4\% ! \text{ for } 60,000/\text{MeV}$$

Gridなしの3.5mm
ギャップの平行板
チェンバー

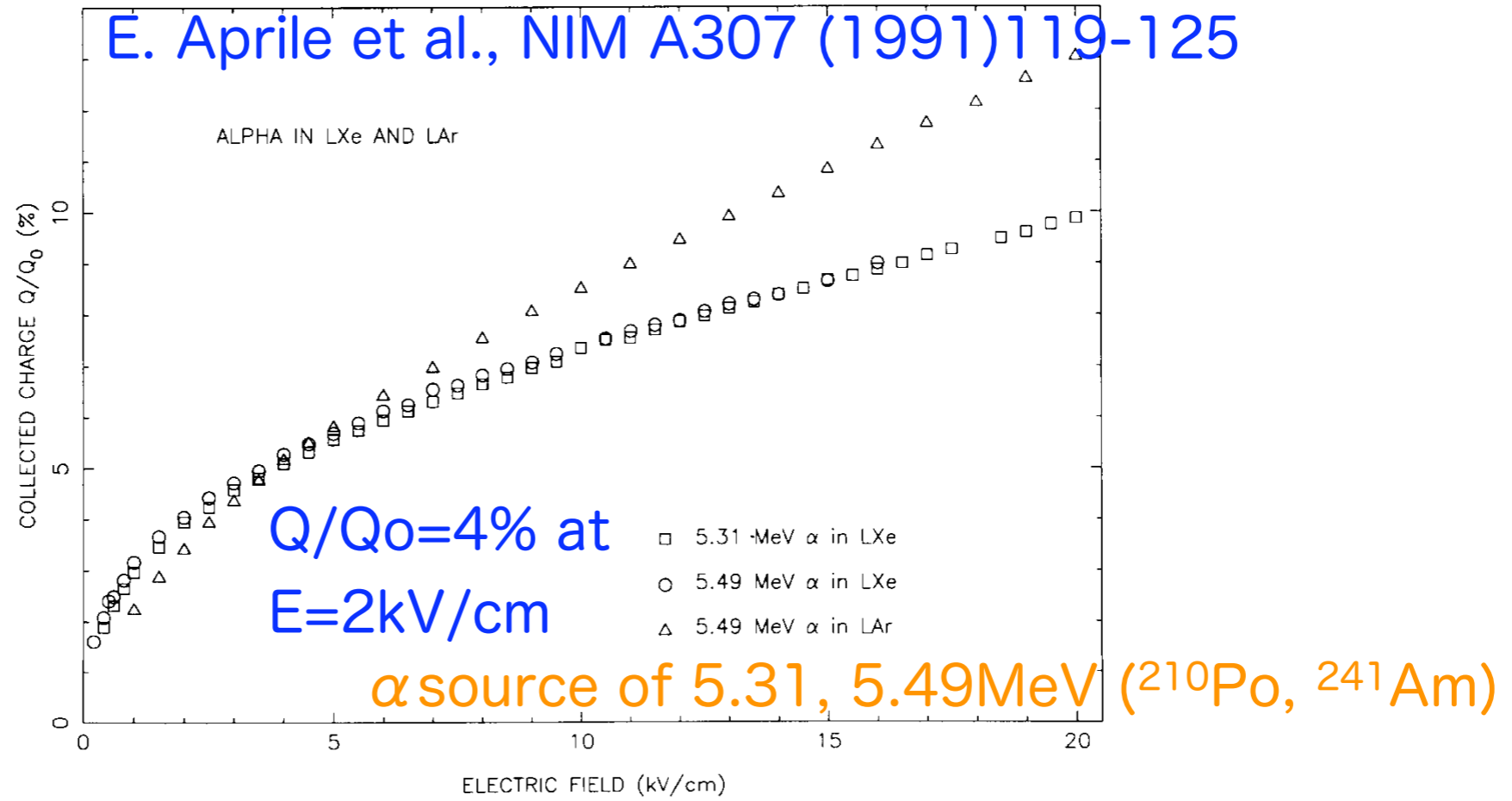


Fig. 5. Collected charge ($Q/Q_0\%$) vs. electric field for ^{210}Po in liquid xenon (\square) and ^{241}Am in liquid xenon (\circ) and liquid argon (\triangle).

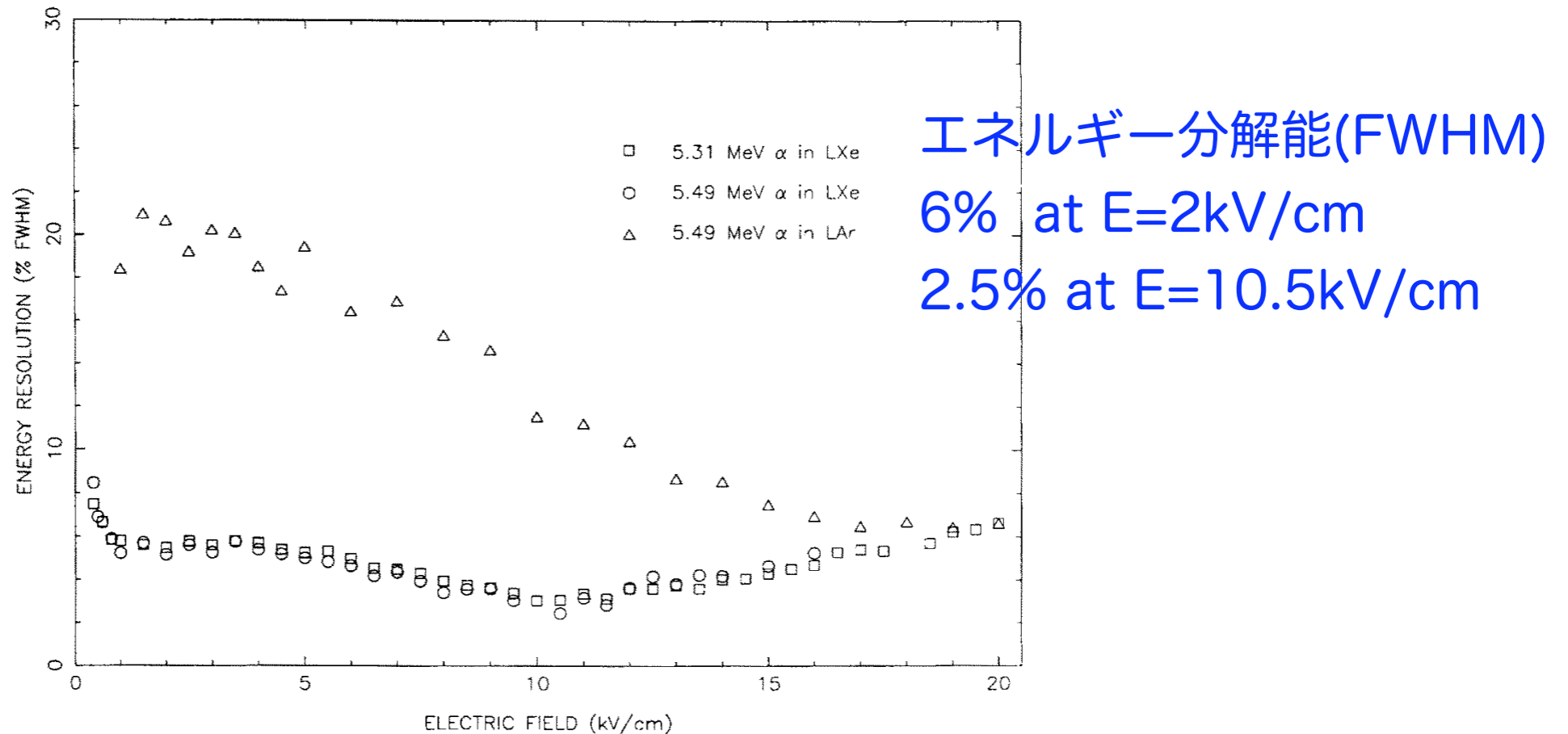


Fig. 6. Noise subtracted energy resolution vs. electric field for ^{210}Po in liquid xenon (\square) and ^{241}Am in liquid xenon (\circ) and liquid argon (\triangle).

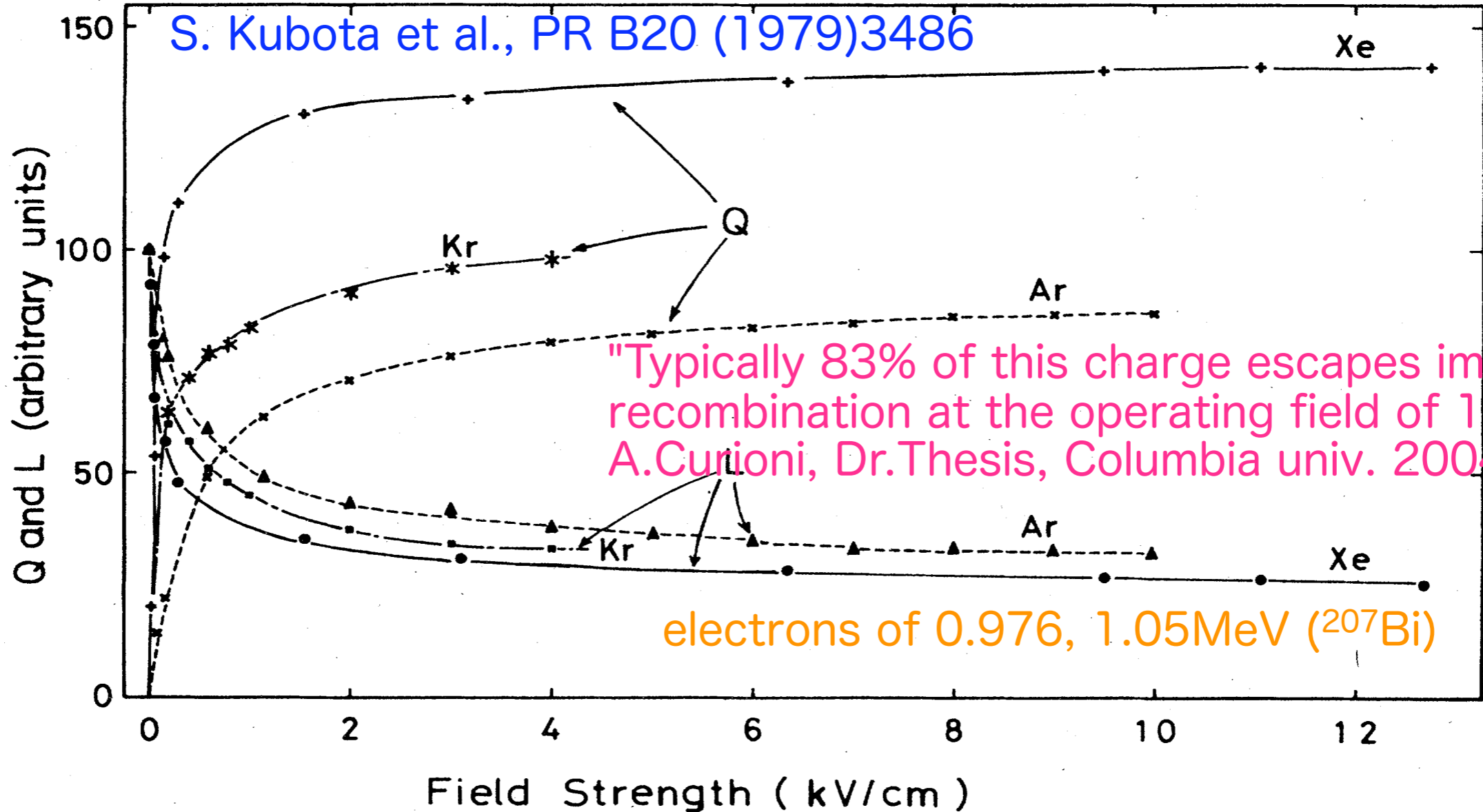
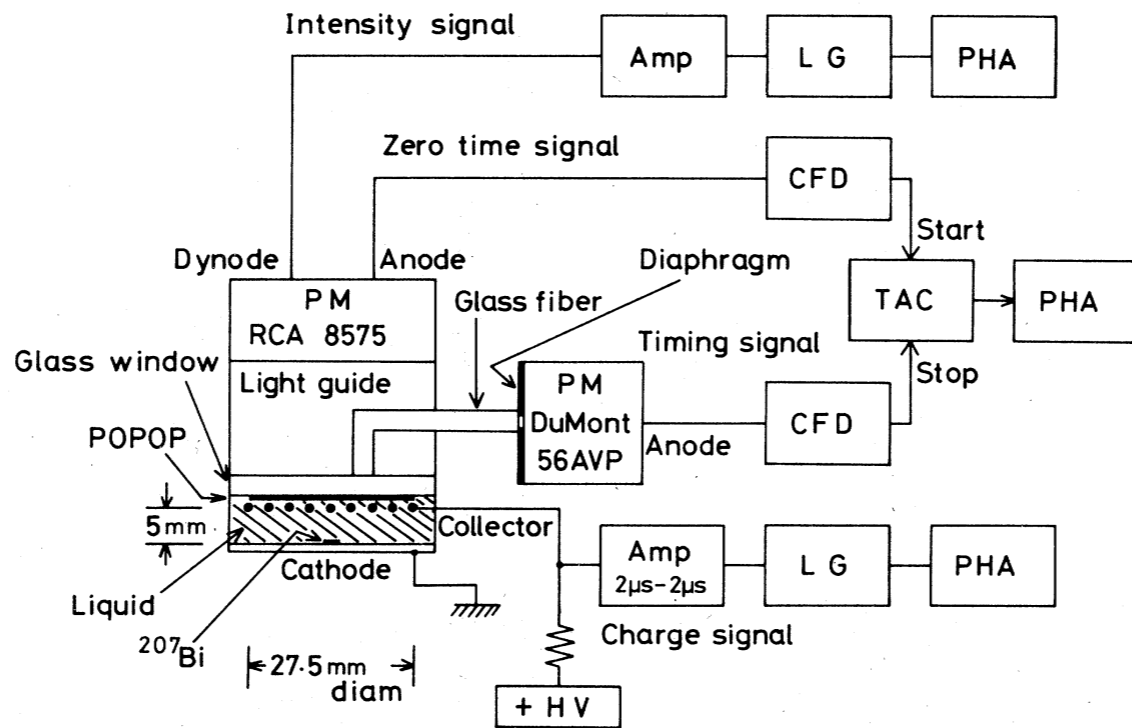


FIG. 2. Variation of relative luminescence intensity L and collected charge Q in liquid argon, krypton, and xenon vs applied electric-field strength for 0.976- and 1.05-MeV electrons.

5mmギャップの平行
板チェンバー



まとめ

1. 実験機器類の購入・整備
2. 実験室（旧NML電源室）
12月より使用可能
3. 冷凍・純化システムの組立て・設置
12月中
4. TPC（プロトプロトタイプ）
ほぼ構造決定
先ず、ガス中でシグナルの確認（12月中）