

# ハイパーカミオカンデ実験に用いる50 cm PMTの 長期的な安定性の検証

後藤三四郎(東京大学)

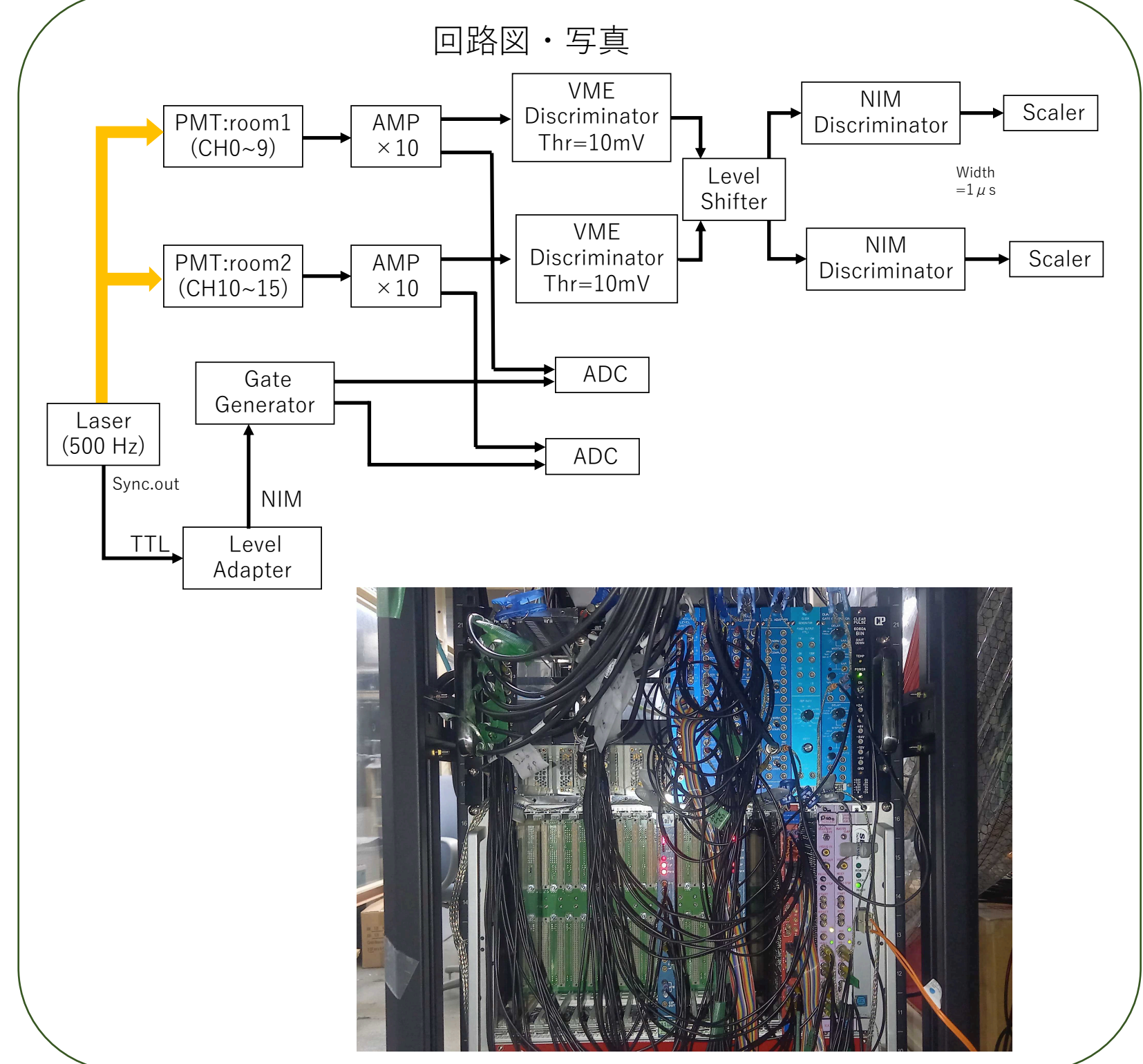
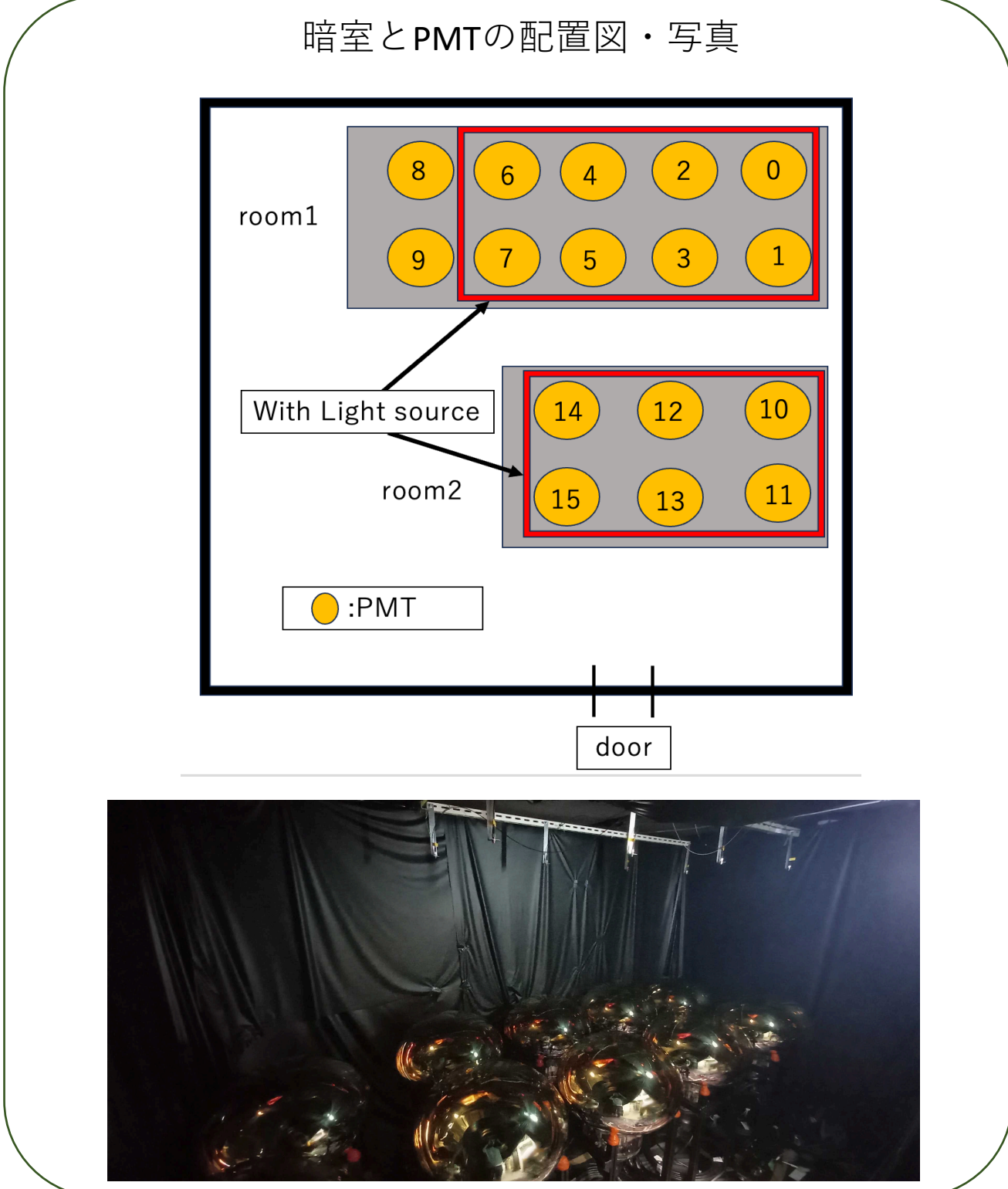
## 背景・目的

- ハイパーカミオカンデ(HK)はニュートリノや陽子崩壊など様々な物理を対象とした巨大な水チェレンコフ検出器であり, 2027年に稼働予定
- チェレンコフ光を捉えるために50 cm口径光電子増倍管(PMT)を使用予定. 現在稼働中のスーパーカミオカンデ(SK)用50 cm PMTから改良されており, 現在様々な性能評価が行われている

→HK内設置後には年単位で動作させ続けることを踏まえ, 本研究は1年以上のモニタリングによるPMTの長期的な安定性の検証が目的

## 装置

- 神岡坑内に設置された暗室に16本のPMTを設置し, ダークレートとゲインを継続的に測定



## 2. ゲイン測定

- ゲインは1日の変動が2%未満であることが求められる
- SK用PMTでは1~2%/年のゲイン増加<sup>[1]</sup>, HK用PMTでも1%/年程度のゲイン増加が確認されている<sup>[2]</sup>

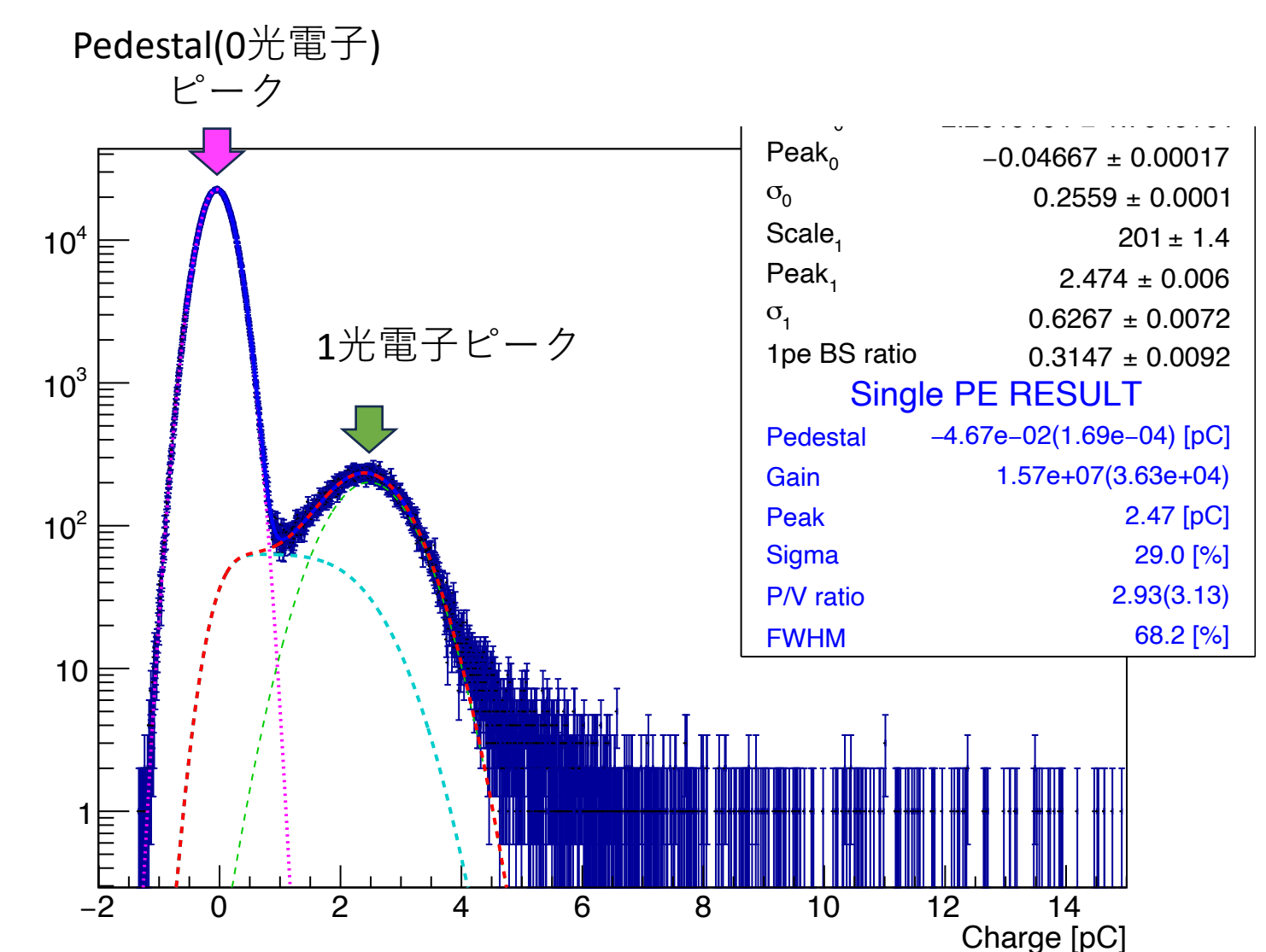
### 手法

- 14本のPMT上に設置された光源が500 Hzで発光
- 発光に同期したゲート(200 ns)がOpenの間の電荷をADCで測定
- 1日3000000 eventsを取得
- 得られた電荷分布のヒストグラムを以下の関数でフィッティング

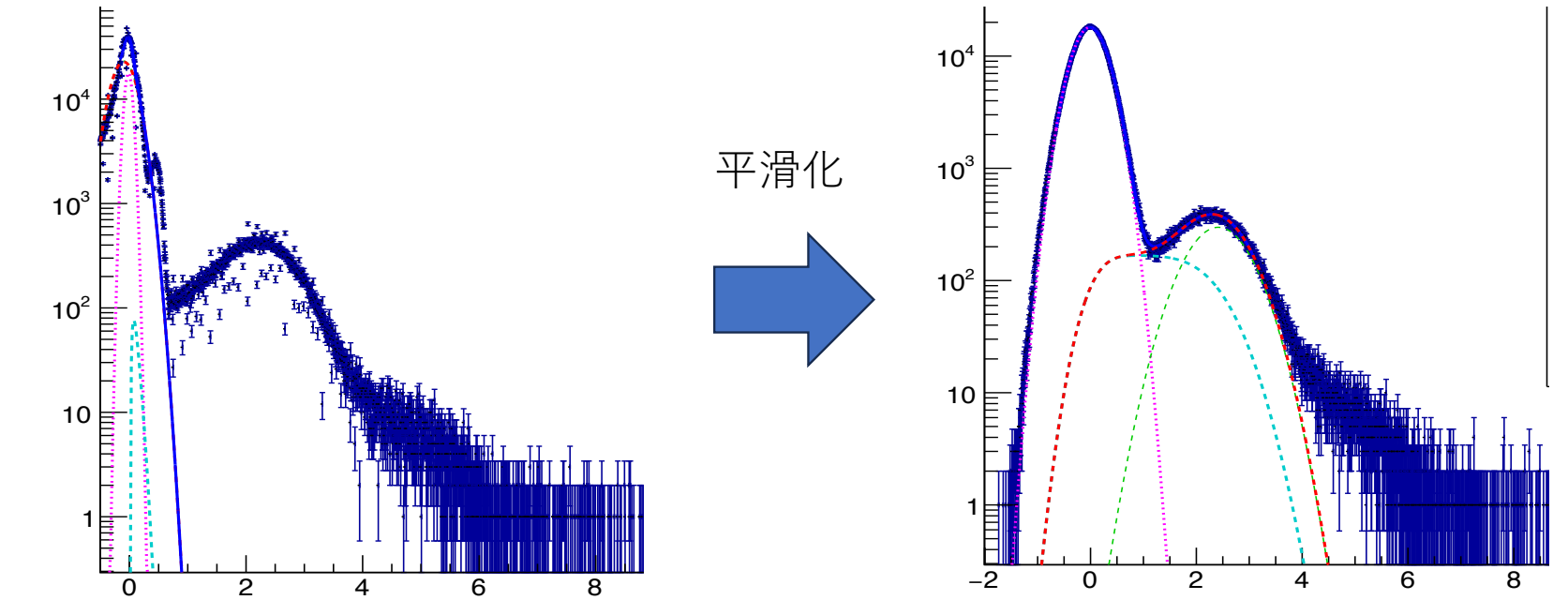
### Fitting function

$$\begin{aligned} & \equiv p_0 \exp\left\{-\frac{(x-p_1)^2}{\sqrt{2}p_2}\right\}: \text{pedestalのGaussian} \\ & + p_3 \exp\left\{-\frac{(x-p_4)^2}{\sqrt{2}p_5}\right\}: \text{1光電子ピークのGaussian} \\ & + \frac{p_6 p_3}{2} \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{x-p_1}{\sqrt{2}p_2}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x-p_4}{\sqrt{2}p_5}\right) \right\}: \text{不完全な増幅などに対応する関数} \end{aligned}$$

$$\text{Gain} \equiv \frac{p_4 - p_1}{\text{elementary charge}}: \text{1光電子ピークとpedestalピークの差を素電荷で割ったもの}$$



- ノイズによる不正確なフィットを減らすため, ガウシアンを畳み込みによる平滑化
- フィッティングの自由度νとχ<sup>2</sup>について, χ<sup>2</sup>が自由度νのカイニ乗分布の2.5%~97.5%区間に入っていない時はフィッティング失敗としてその点は使わない



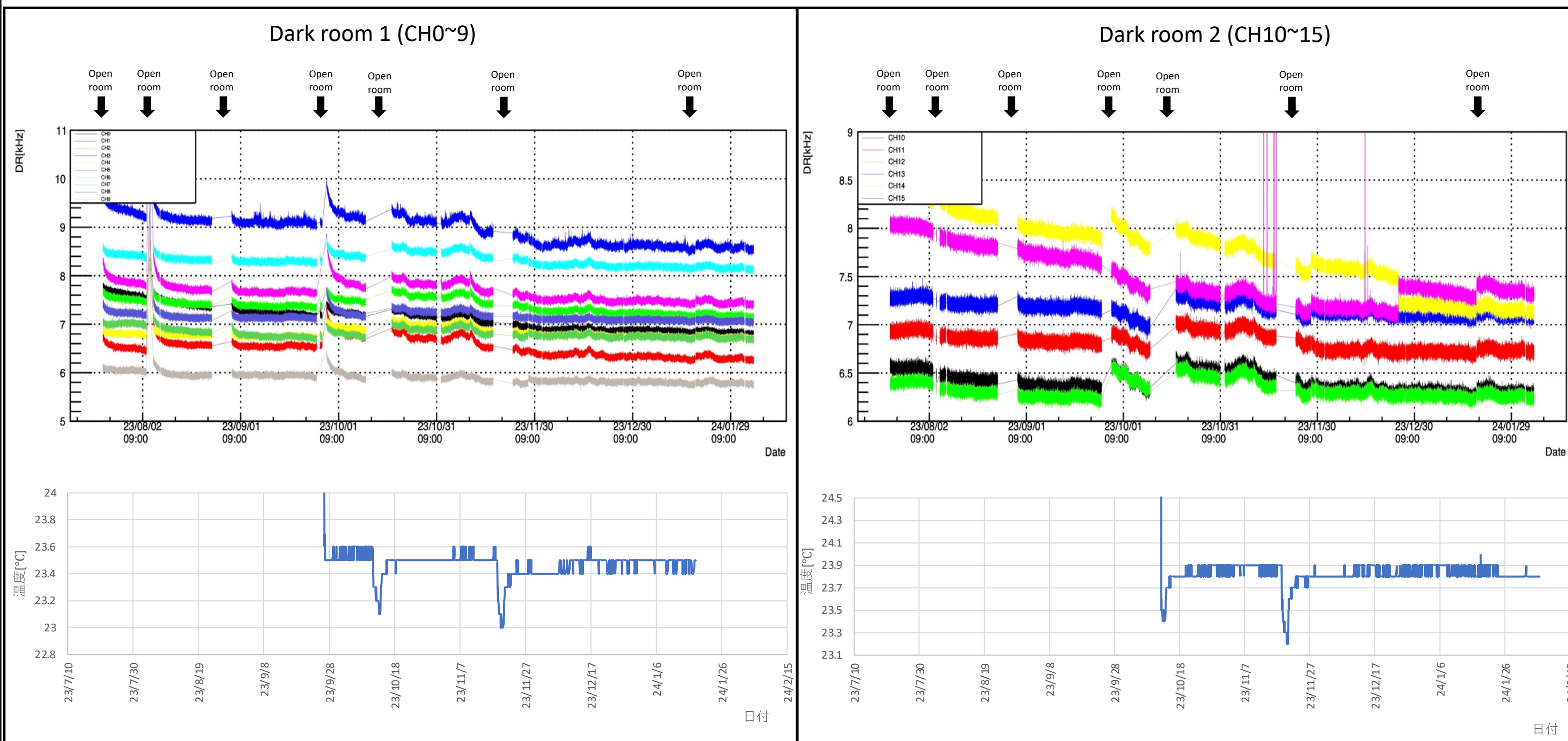
## 1. ダークレート測定

- ダークレート: 入射光がない状況でも熱電子や環境放射線等の影響で信号が存在し, そのレートをダークレートと呼ぶ
- PMT内部での放電などがあると急激に増加

### 手法

- PMTからの信号の中でスレッシュホールド電圧を超えたものをディスクリミネータでパルスに変換し, その数から計算
- 60秒間の平均値(1分に1点の測定). スレッシュホールド電圧はPMTに対して1光電子相当の1/6の-1 mV, パルス幅(不感時間)は1 μs

### 結果



- 2023/7/19~2024/2/5まででHV OFFの期間などを除き約170日分データ取得, 今後も継続

- CH15でレートが2倍になる事象が複数発生したが測定系由来である可能性を疑い, 2023/12/15以降CH14と15を入れ替えて原因調査中

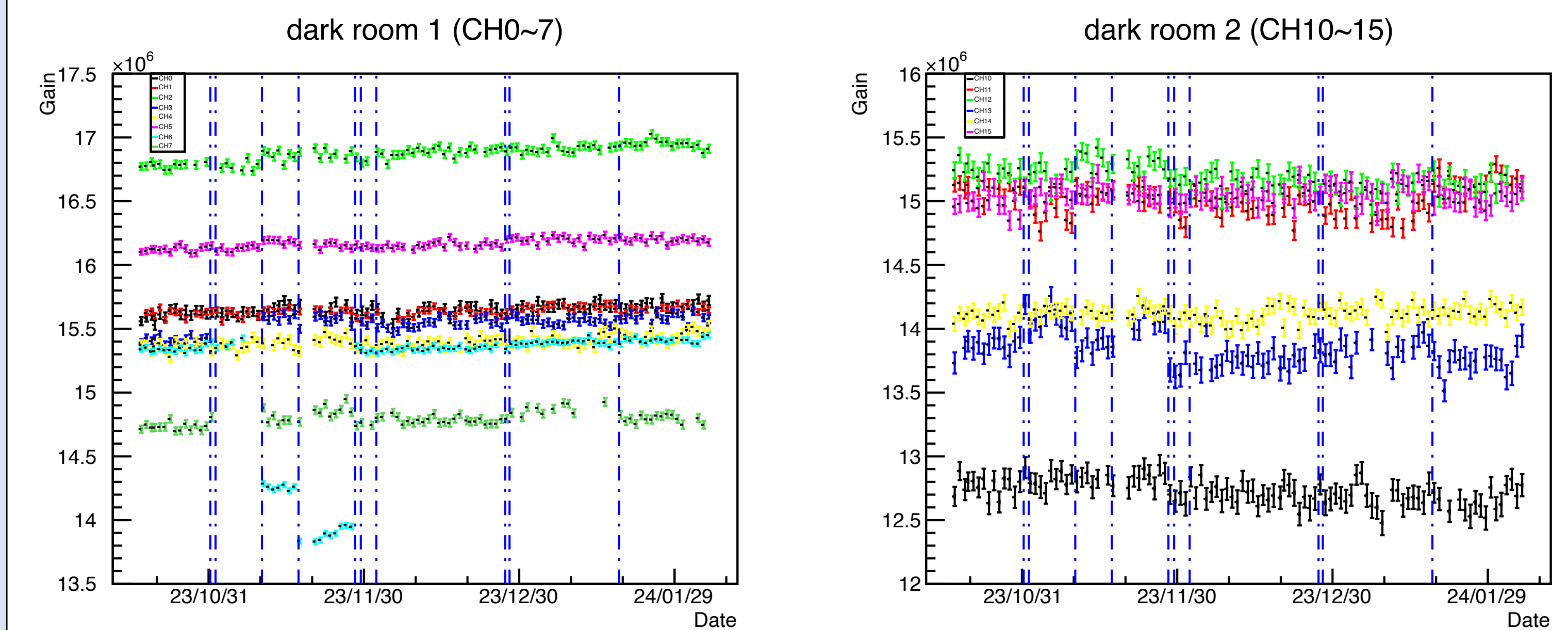
- 暗室を開けた期間を除き暗室内の温度変動は0.2°C程度で, レートとの明確な相関は見られない

- 暗室を開けた直後や人為的要因によるレート変化を除き, 直前1時間の平均から0.5KHz以内の変動に収まっており, 安定している

### 今後

- 測定を継続し, 1年分のデータ取得を目指す
- 現在納入された一部のPMTに対して2週間~数ヶ月程度の測定が課されており, 本実験のレート変動に対しても同じ評価基準を導入し, 比較

### 結果



- ノイズ対策を施した2023/10/18日~2024/2/5の約4ヶ月
- ケーブルの再接続前後を除き, 1日の変動が有意に2%を超えたCHは存在せず要件は満たしている
- 各CHについて, 全期間のゲインを線形フィット(最初の測定点を基準)
- 平均1.2%/年のゲイン上昇, 先行結果(0.8%/年)<sup>[2]</sup>と同様に増加傾向だが, あまり直線フィットが当てはまっていないCHも

### 今後

- 測定を継続. 長期的なゲイン上昇のより正確な評価も.

[1]: 中野 佑樹 "Super-Kamiokande検出器における低エネルギー事象のエネルギースケール評価" (JPS第73回年次大会, 2018)

[2]: 吉岡 悠詩 "スーパーカミオカンデのダークノイズデータによるハイパーカミオカンデ用PMTの長期安定性評価" (JPS2023年春季大会)

## まとめ・今後の展望

- HK内設置後の長期間運用を想定した, HK用PMTの長期測定(1年~)
- ダークレート
  - 2023/7/19から約170日分のデータ取得
  - ダークレートの変動は0.5KHz以内で安定
  - 今後も測定を継続し, 別の測定の評価基準を導入
- ゲイン
  - 1日の変動は2%未満に収まり, 安定
  - 長期的には1%/年程度の増加が見られるが, 線形フィットの当てはまりが良くない
  - 今後も測定を継続し, 長期的な変動も注視