



CALETの軌道上データによるエネルギー測定性能評価

小宮優馬¹, 宮田諒平¹, 浅岡陽一², 鳥居祥二^{1,2}, 赤池陽水³, 小澤俊介¹, 笠原克晶², 清水雄輝⁴, 田村忠久⁴, 他CALETチーム

1: 早稲田大学先進理工, 2: 早稲田大学理工研, 3: CRESST/USRA/GSFC 4: 神奈川大工



CALETは、国際宇宙ステーションに搭載された宇宙線観測装置であり、高エネルギー電子、ガンマ線、陽子・原子核成分の観測を目指している。CALET検出器では、エネルギー測定を担うTASCの各チャンネルを4種類のゲインで読み出す事で入射粒子のエネルギーを1GeVから1000TeVという広い領域で決定出来る。軌道上データのエネルギー較正では、第一に最大ゲインレンジでの最小電離粒子測定により位置・温度依存を含むエネルギー変換係数を較正する。それ以外のゲインレンジに関しては、隣接するゲインが1桁程度同一エネルギーを測定できる事を利用して、出力相関を用いて最小ゲインまで相互に較正する。本発表では、これらのエネルギー較正手法の詳細について報告する。

CALET概要

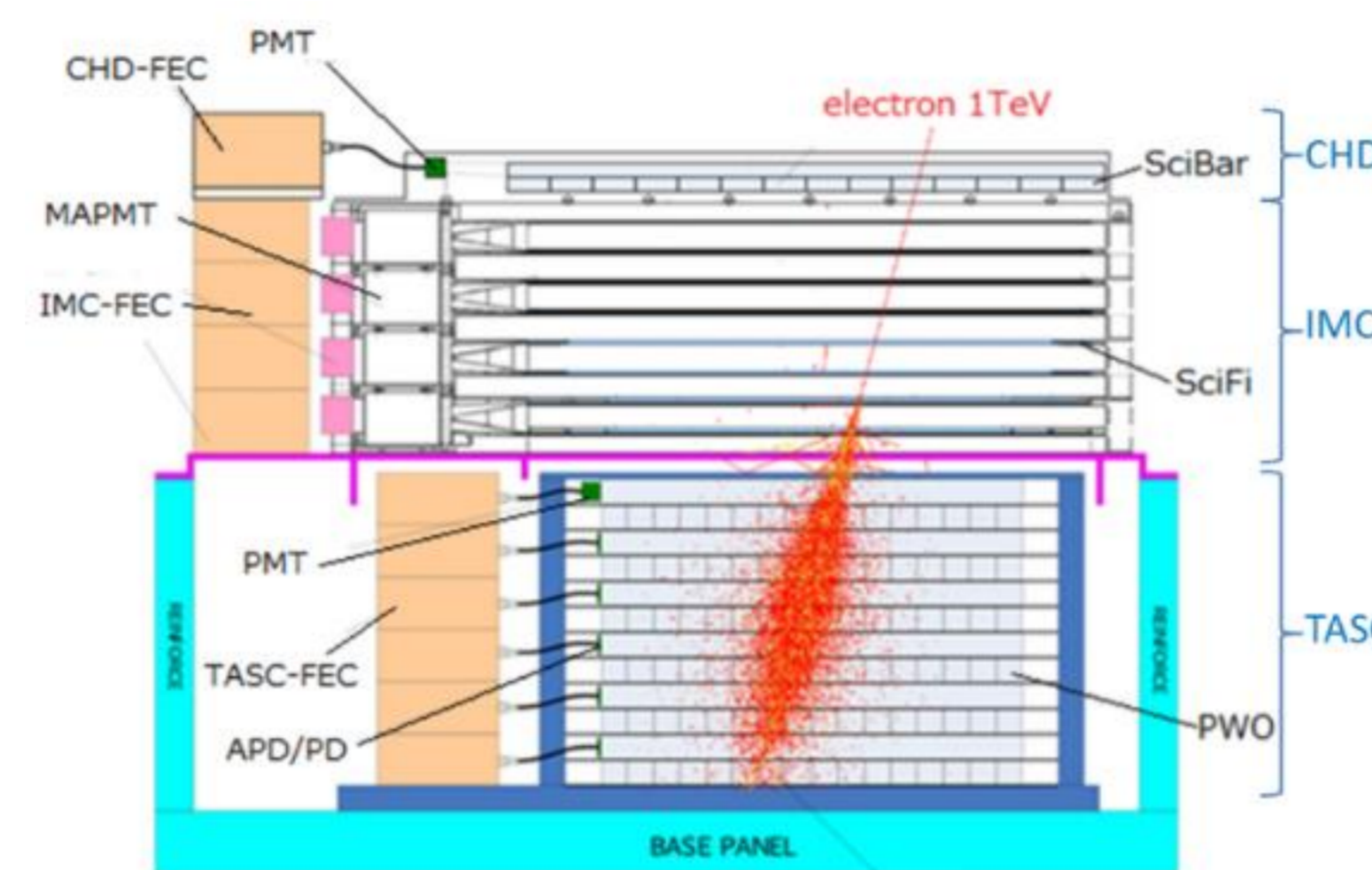
CALET: CALorimetric Electron Telescope

- ✓ 2015年8月 国際宇宙ステーション「きぼう」に搭載
- ✓ 2015年10月 初期運用開始
- ✓ 2015年12月 定常運用開始(観測期間:2年(目標5年))

観測目的	観測対象
宇宙線近傍加速源の同定	TeV領域における電子エネルギースペクトル
暗黒物質の探索	電子・ガンマ線の100GeV-10TeV領域におけるスペクトルの"異常"
宇宙線の起源と加速機構の解明	電子及び陽子・原子核の精密なエネルギースペクトル、超重核のフラックス(cutoff-rigidity以上)
宇宙線銀河内伝播過程の解明	二次核(一次核(B/C)比)のエネルギー依存性
太陽磁気圏の研究	低エネルギー(<10GeV)電子フラックスの長・短期変動
ガンマ線バーストの研究	7KeV~20MeV領域でのX線・ガンマ線のバースト現象

CALET検出器の特徴

- 30放射長の物質質量をもつ解像型カロリメータ
- 高い電子/陽子識別性能
- 高エネルギー分解能 ~2% (>100GeV)



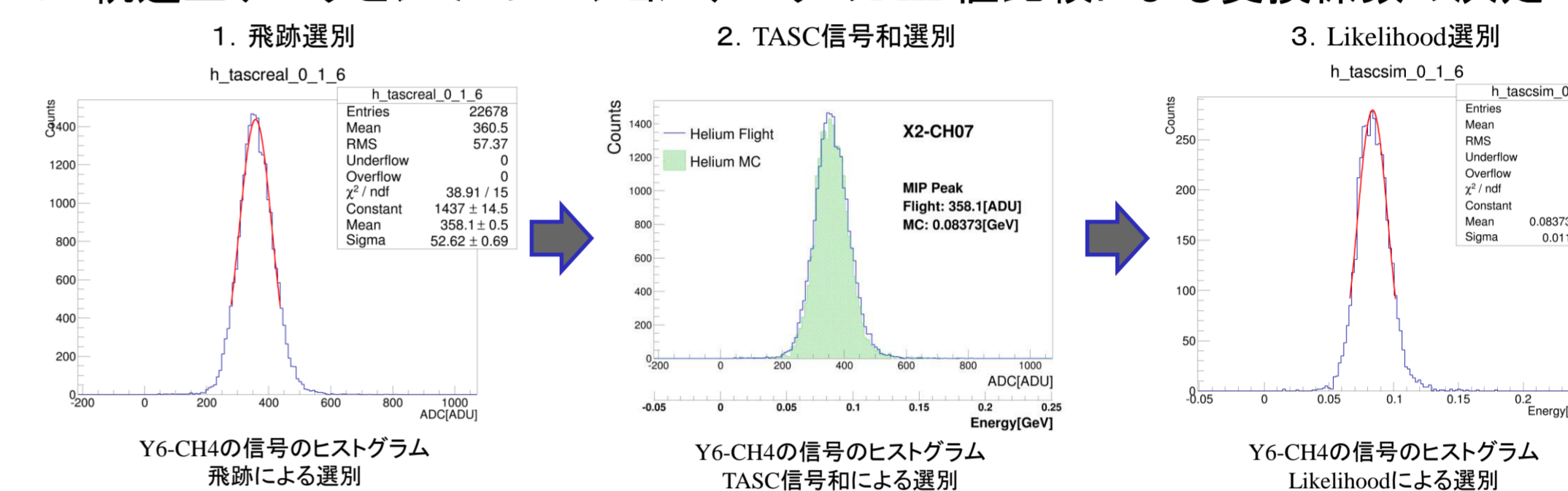
軌道上MIP較正原理

MIP較正

相互作用せず検出器を貫く陽子・ヘリウムを測定し、そのピークをMIP値と定義シミュレーションとのMIP値比較から観測ADC値(ADU)→Energy Deposit(GeV)の変換係数を導出

解析手順

- 相互作用せず検出器を貫く粒子イベント(シングルイベント)選別条件の決定
- 観測環境に応じた補正
 - 位置依存性: 宇宙線入射位置による出力の依存性 ~10%
 - 温度依存性: 検出器温度の時間変化による出力の依存性 ~3%
- 軌道上データとシミュレーションデータのMIP値比較による変換係数の決定



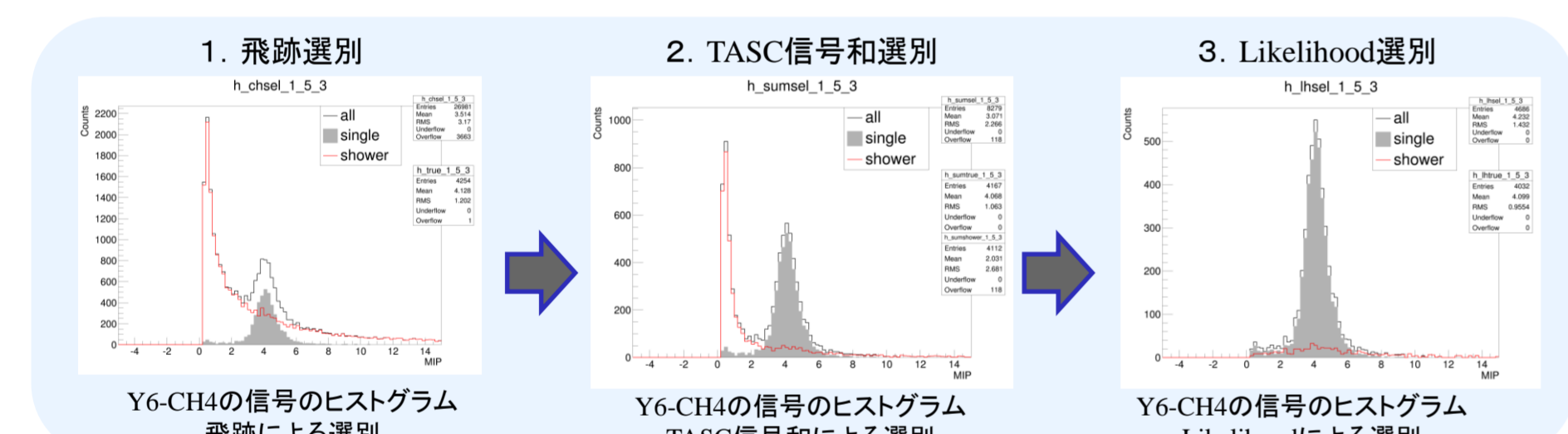
相互作用しない粒子選別条件の決定

モンテカルロシミュレーション

- ATMNC3計算によるISS軌道上の陽子・ヘリウムのフラックス模擬
- 地磁気をシミュレート、観測される陽子・ヘリウムのエネルギー分布を再現

陽子・ヘリウムそれぞれについて、3段階でシングルイベントを選別

- 飛跡による1つのチャンネルを貫くイベントの選別
PW0の上面下面を通過するイベントを選別
- TASC信号和による高エネルギーシャワーのカット
TASC信号和が大きいもの(35MIPを超えるもの)をカット
- Likelihood法によるシングルイベント選別
通過飛跡上のTASC全chの信号を見て選別する手法



位置・温度補正

位置依存性

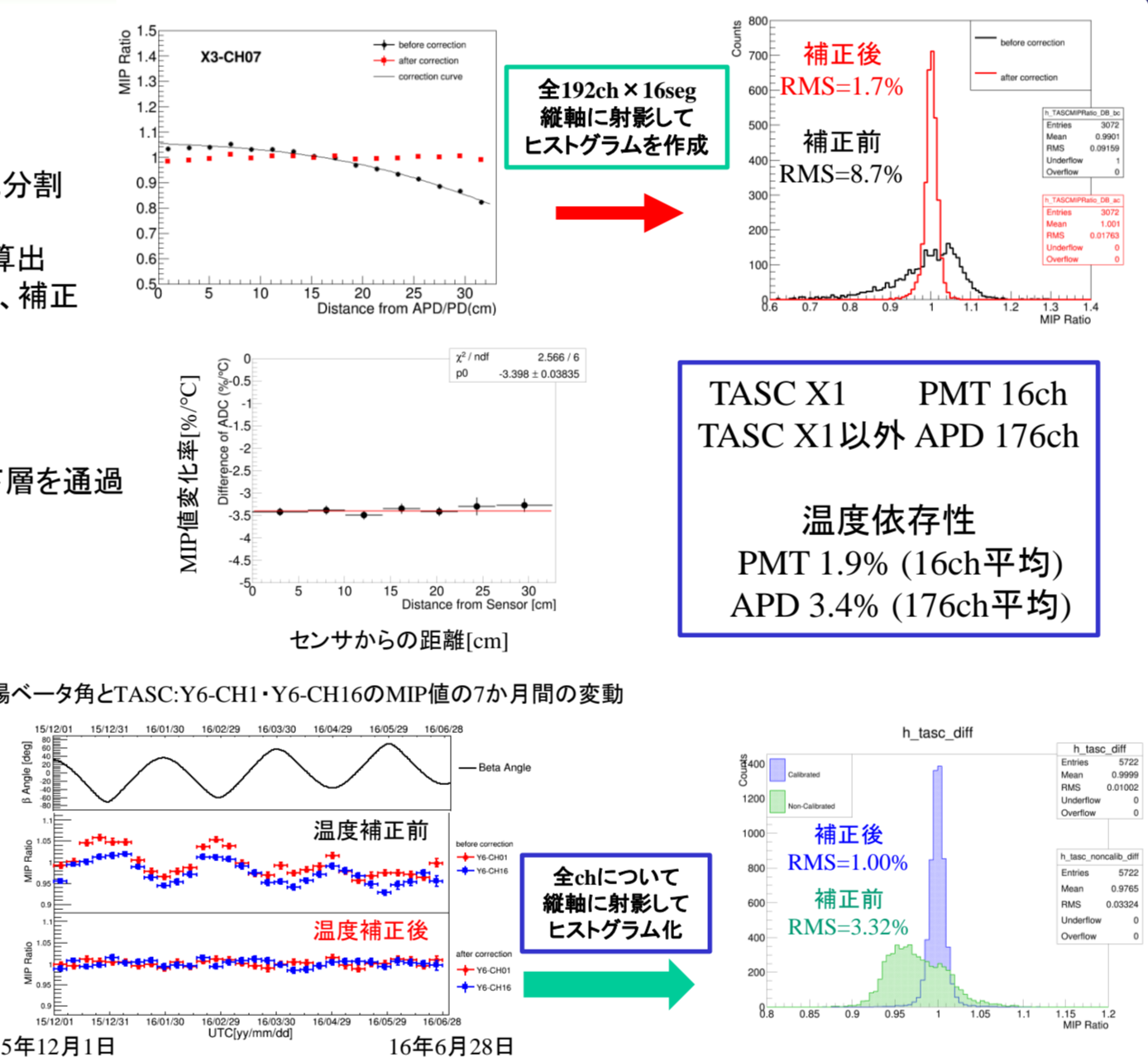
- 解析方法
 - ・TASC/PW0全chを16セグメントに分割
 - ・各セグメント毎にMIP値を求め
 - ・PW0の中心に対する相対値を算出
 - ・位置依存性を関数でモデル化し、補正

- 解析条件
 - ・データ: 軌道上ヘリウムデータ
 - ・トリガー: シングルトリガー
 - ・幾何条件: CHD上層とTASC最下層を通過
 - ・シングルイベント選別

温度依存性

- 解析方法
 - ・領域毎に1°CあたりのMIP値
 - ・温度ベータ角とTASC Y6-CH1-Y6-CH16のMIP値の7か月間の変動変化率を求める(最大±1°C変動)
 - ・右図のように位置毎の変化率は誤差内で一定
 - ・各ch毎に依存性を求めて補正

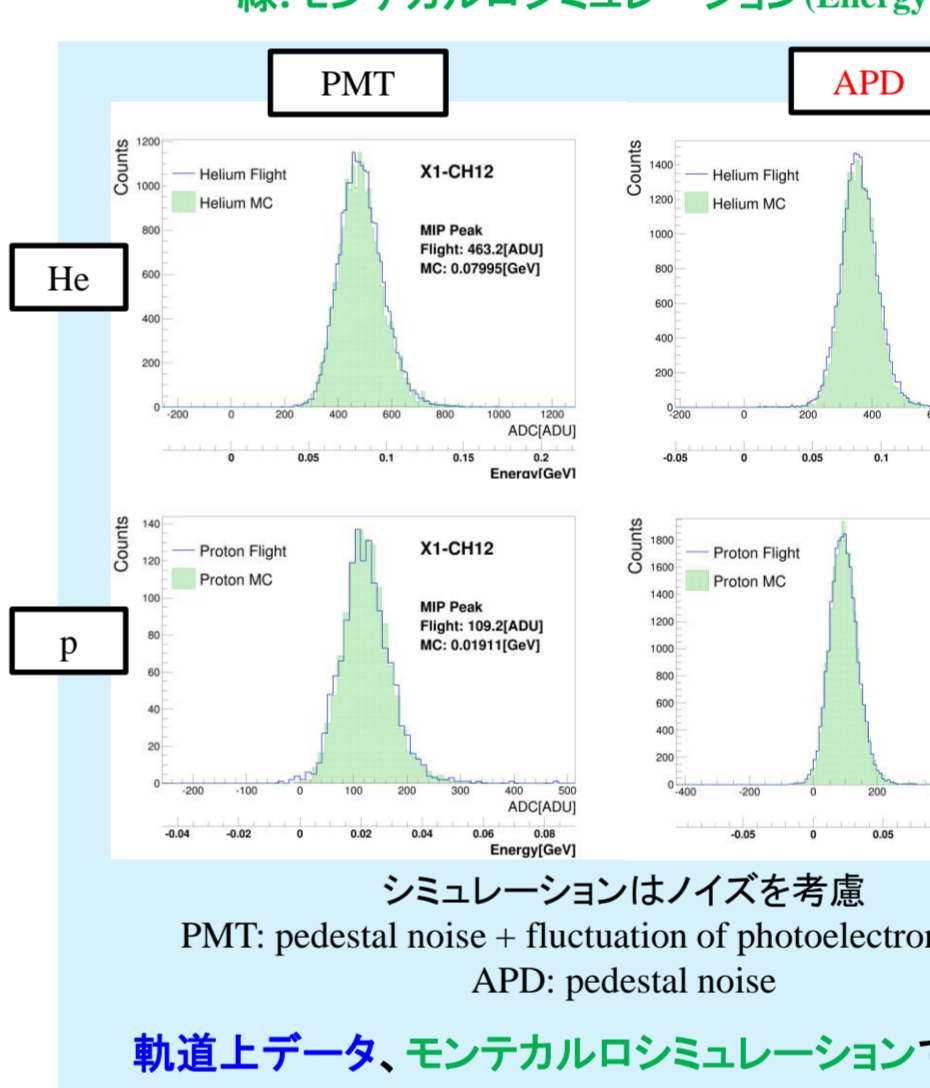
- 解析条件
 - ・位置依存性補正解析と同じ条件を適用



エネルギー変換係数の決定

モンテカルロシミュレーションと軌道上データのMIP値から変換係数を決定

青: 軌道上データ(ADC値[ADU])
緑: モンテカルロシミュレーション(Energy[GeV])



変換係数を導出・比較

Mean = 1.001
RMS = 0.022

p, Heのエネルギー変換係数の比

p, Heでエネルギー変換係数が一致

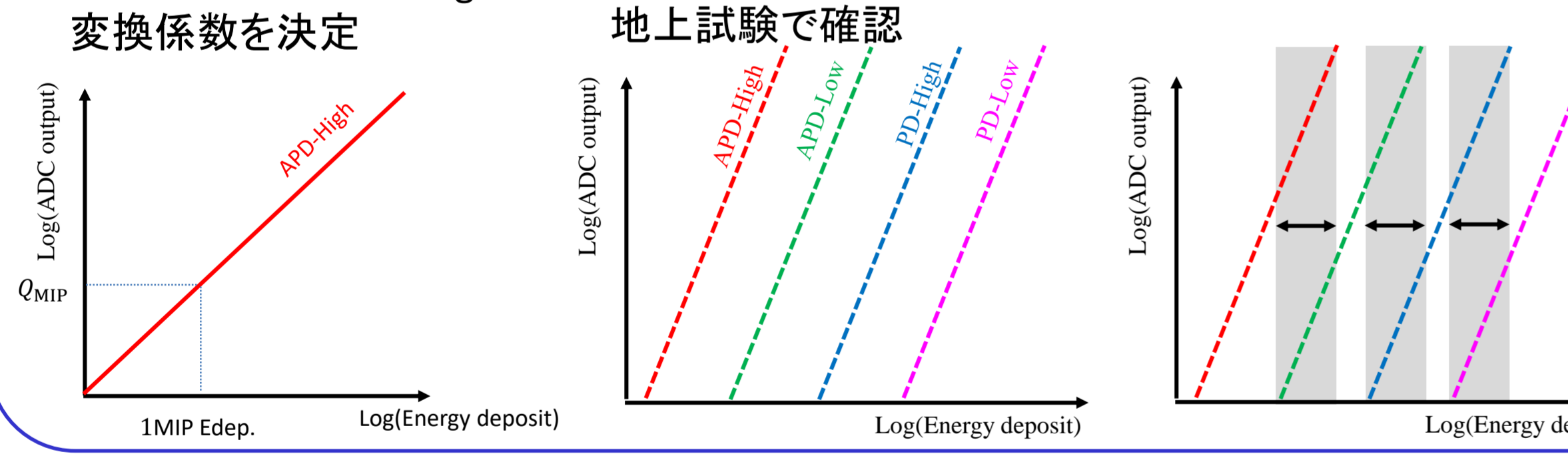
シミュレーションはノイズを考慮
PMT: pedestal noise + fluctuation of photoelectron statistic
APD: pedestal noise

軌道上データ、モンテカルロシミュレーションで分布一致

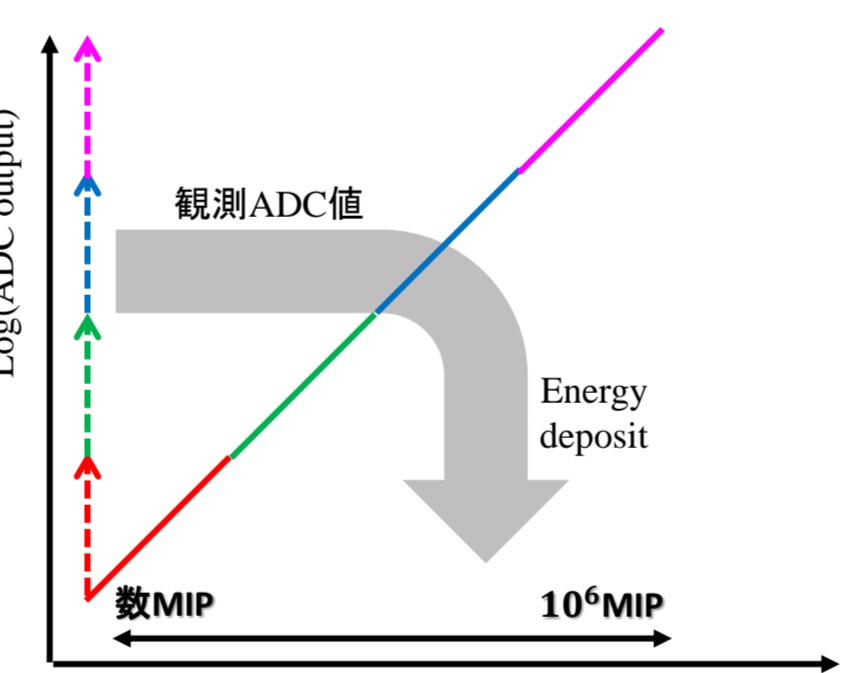
APDHighからPDLowレンジの較正

全レンジ較正原理

- MIP較正によりAPD-Highの変換係数を決定
- TASC出力特性の直線性を地上試験で確認
- ゲイン間相関比を測定



全ゲインで観測ADC値からEnergy depositへの変換が可能

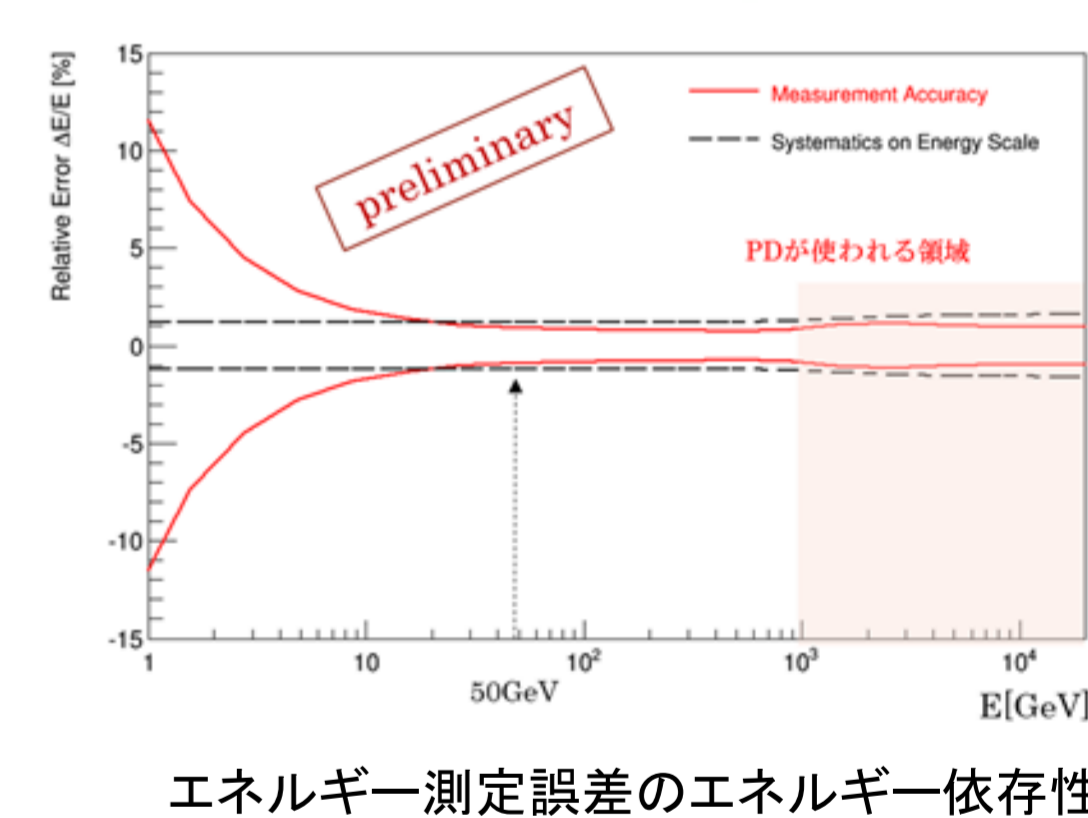


エネルギー測定誤差と分解能

較正結果をシミュレーションに代入しエネルギーの測定誤差と電子のエネルギー分解能を求めた

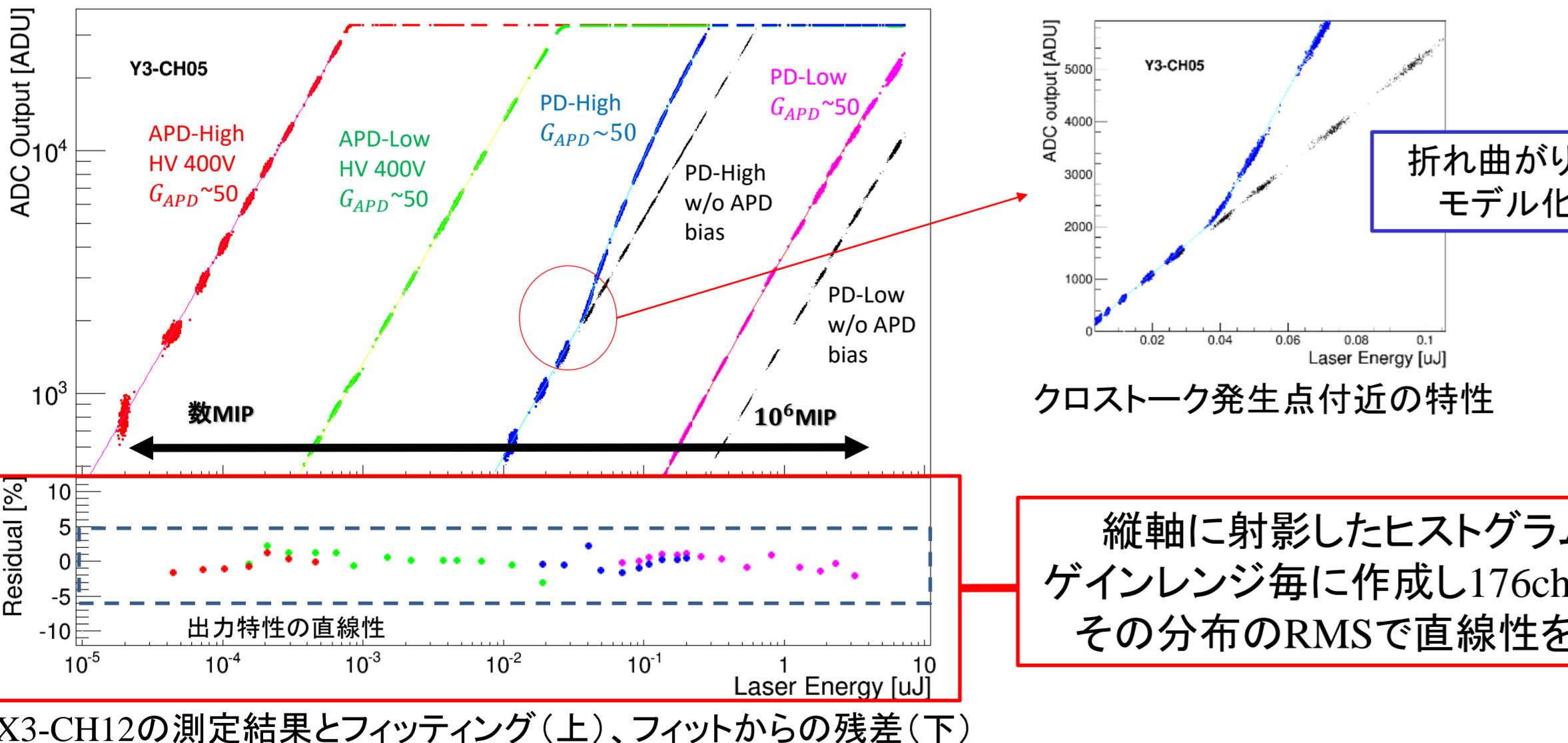
各chの較正誤差の概算値

較正項目	誤差
MIP	~2%
入出力特性の直線性	~2%
ゲイン間相関比	~1%



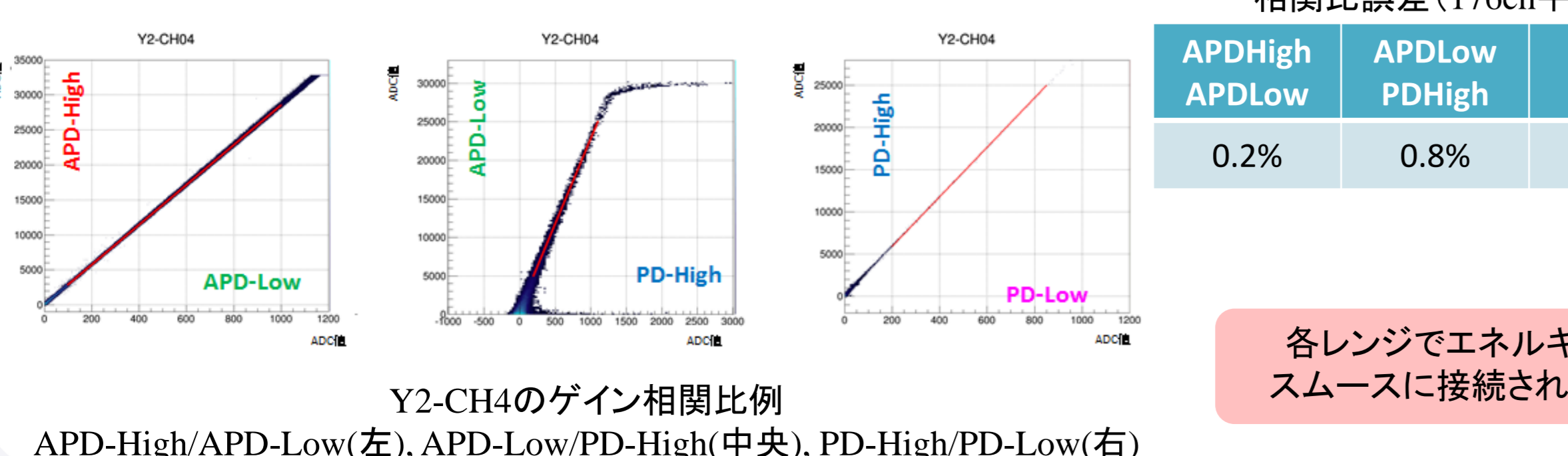
TASC出力特性の地上試験

大強度パルスレーザーでPW0の発光を模擬し6桁の範囲で入出力特性を測定した



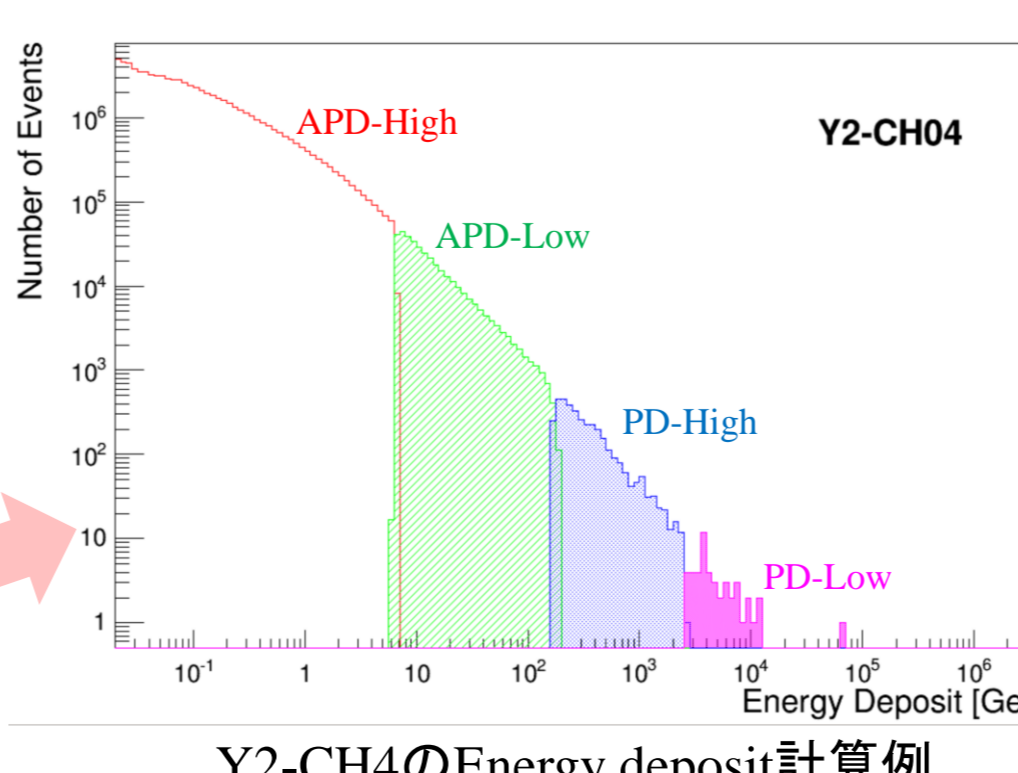
TASCゲイン間相関比の決定

ゲイン間相関を直線でフィットし傾きを相関比とする

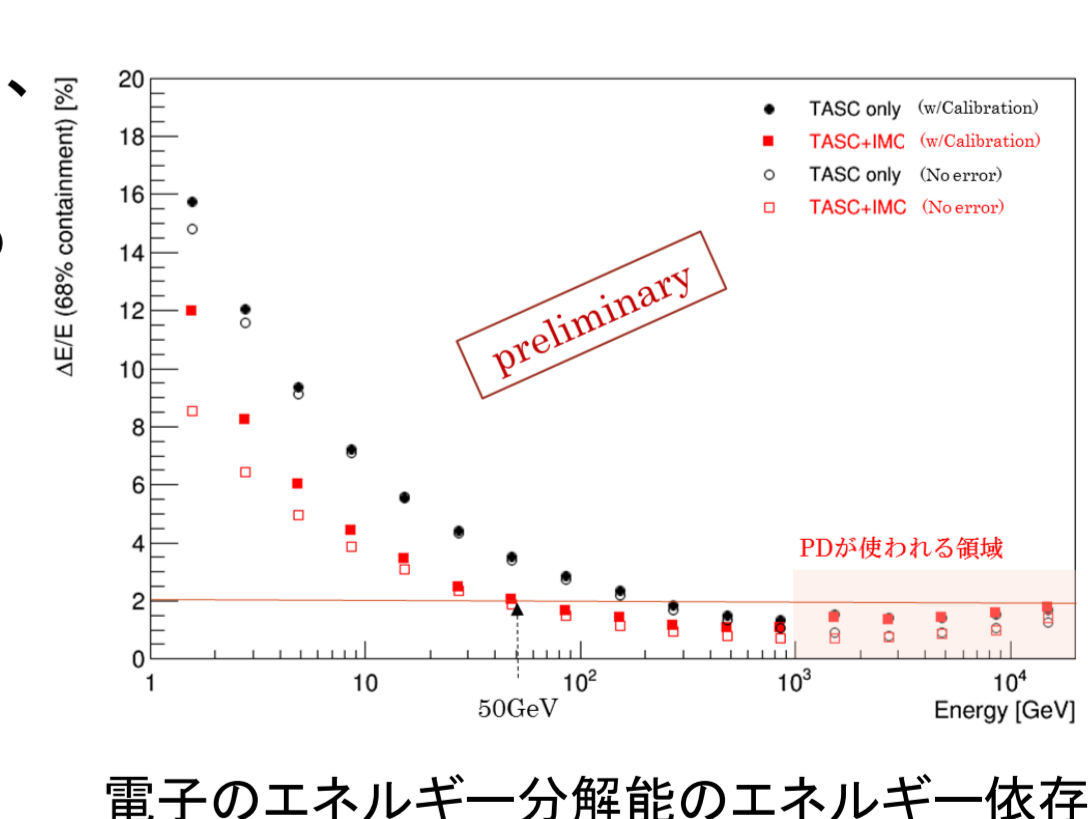


相関比誤差(176ch平均)

APDHigh / APDLow	PDHigh / PDLow
0.2%	0.1%
0.8%	0.1%



- 各chの測定誤差は3%を超えるが、シャワーエネルギー測定では10ch(N=10)程度が大きく寄与する為、50GeV~20TeVの領域では誤差が1%程度になる(~1/√N)
- この事によりIMCとの測定と合わせて、50GeV~20TeVで2%以下の分解能を達成できる



CALET TASCのエネルギー較正まとめ

- 位置・温度・地磁気依存性を考慮してMIP較正を実施した。較正誤差は位置依存性で1.5%、温度依存性で0.9%である。Rigidity cut offの影響をシミュレーションで考慮する事により陽子とヘリウムのエネルギー変換係数が一致(誤差0.1%)することを確認した。
 - TASC出力特性の地上試験により、各ゲインの直線性を確認した。APD-High:1.4%, APD-Low:1.5%, PD-High:2.5%, PD-Low:2.1%
 - ゲイン間相関比の測定した。測定誤差は以下の通りである。APD-High/APD-Low: 0.2%, APD-Low/PD-High:0.8%, PD-High/PD-Low:0.1%
- 1MIPから10⁶MIPのレンジでエネルギー較正を達成し、以上で求めた較正誤差をシミュレーションに取り入れてエネルギー測定誤差とエネルギー分解能を求めた。エネルギー誤差は50GeV以上の領域で約1%以下エネルギー分解能は10GeV-50GeVでは2-5%、50GeV-20TeVの領域では2%以下と見積もられた。