

ハイパーカミオカンデ光検出精度向上の ための8 cm光電子増倍管の評価

2022/3/8

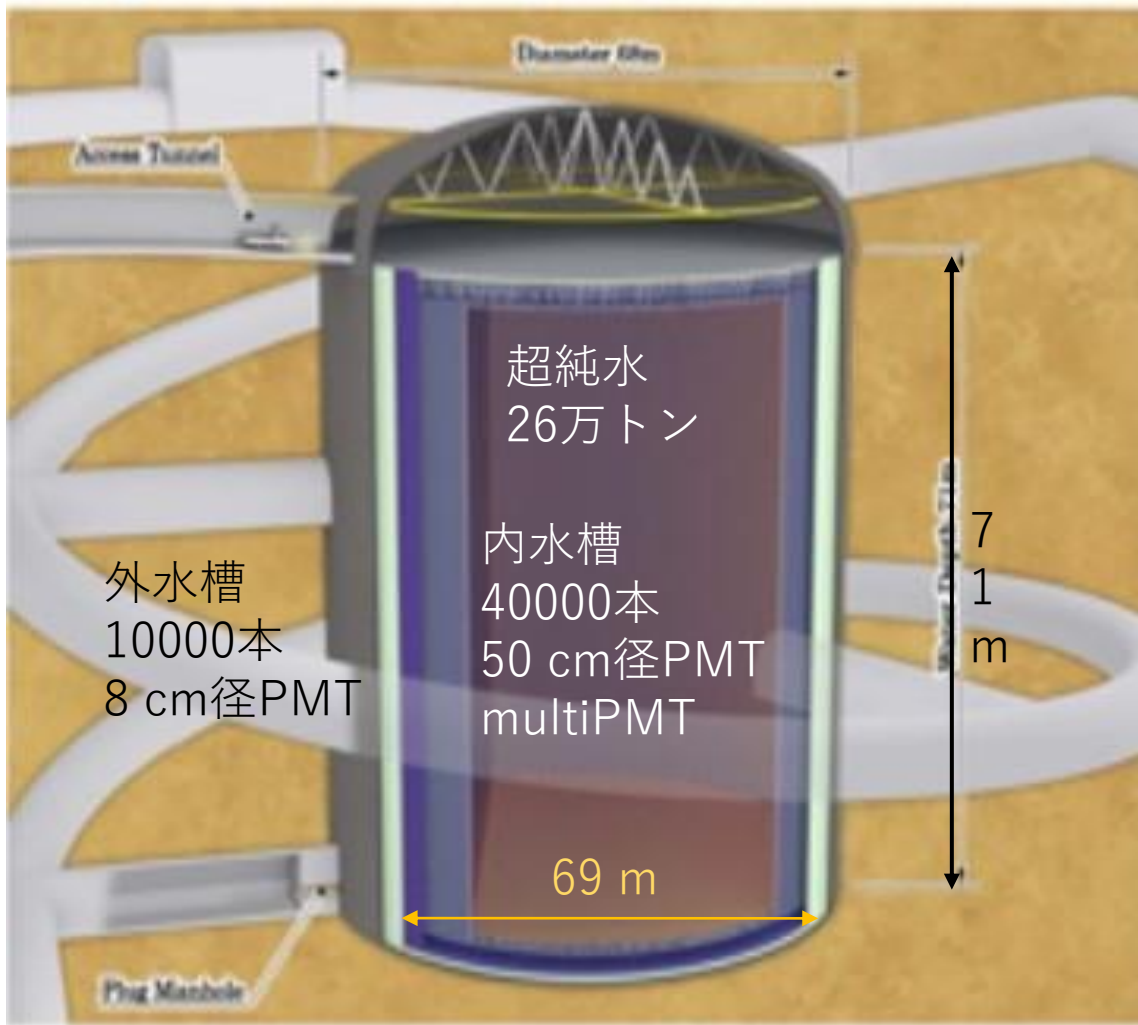
慶應義塾大学工学部物理学科

西村研究室

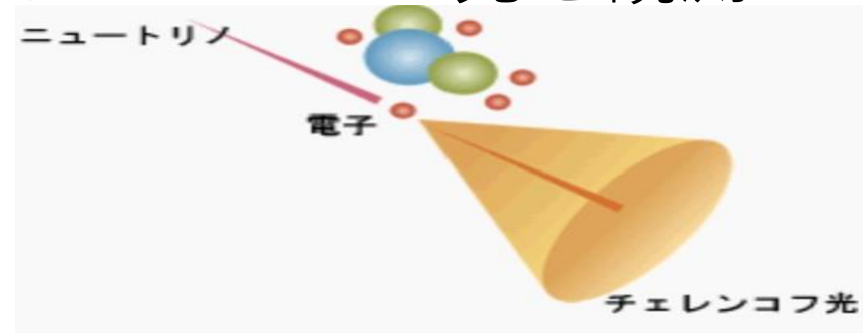
佐々木鳳杜

研究背景

- ハイパーカミオカンデ

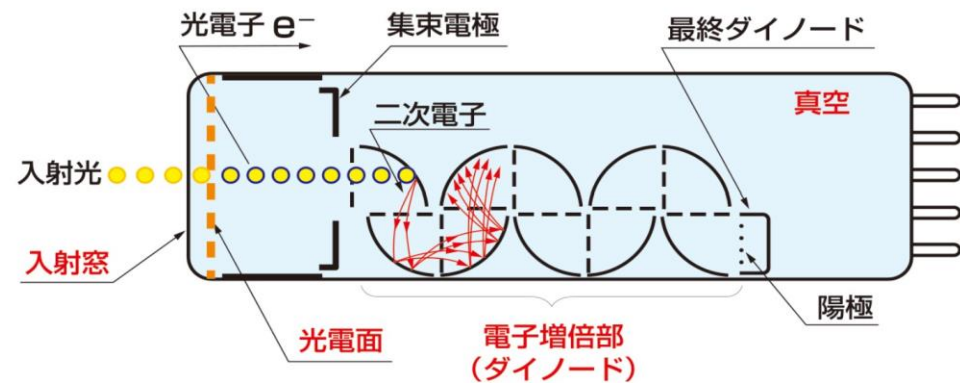


チェレンコフ光を観測



光電子増倍管の原理

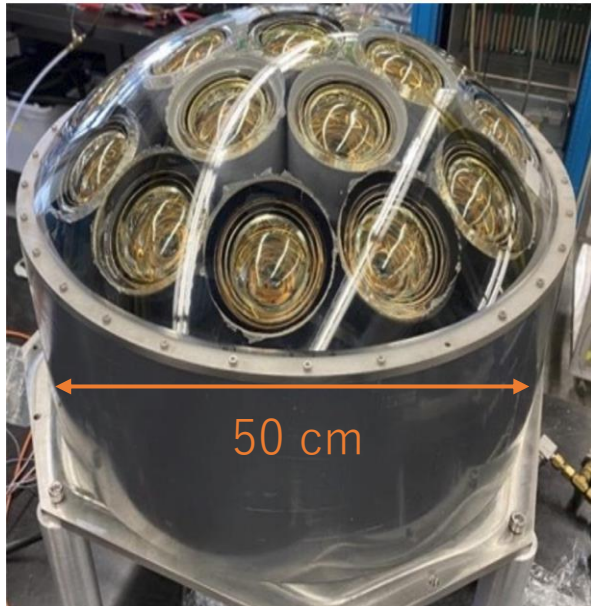
内部構造



QE：光子を光電子に変換する確率

multi-PMT

Multi-PMT



- 8cm径PMTを19本
- 位置と角度の情報が正確

8 cm径PMT

- 浜松ホトニクス社製のR14374型
- 高電圧：1250 V
- 時間分解能：1.3 ns
- 量子効率 (QE)：27.5 %
- cf)50 cm径PMT：34 %

目的・実験概要

研究の目的：8 cm径PMTの性能の評価

評価内容

- 検出効率の評価→50 cm径PMTと同時に計測した
 - 出力の飽和現象の調査
 - 時間分解能の評価
 - 位置の再構成→複数のPMTによる光検出
- 高い光量での検証

検出効率の評価：測定手法

• セットアップ



- 目的：50 cm径PMTに対する8 cm径PMTの相対検出効率を求める

評価方法

- 微弱な1光子以下の光量で光子が光電子に変換される確率を見る
→ 閾値を2 mVに設定し、閾値を超えた波高の光電子の数をカウント
- 隣に並べたリファレンスPMTの検出数と比べてリファレンス比を見積もる

リファレンス比の算出法

リファレンスのカウント / 測定するPMTのカウント

検出効率の評価：結果

中心の PMT	リファレンス比	8 cm 径 PMT に換算	50 cm 径 PMT に対する比	QE / %
EC0230-G(50 cm 径 PMT)	0.298	11.62	1	34.1(既知の値)
BC0592(8 cm 径 PMT)	10.35	10.35 × 面積比(39)	0.89	30.3
BC0679(8 cm 径 PMT)	9.10	9.10	0.78	26.7
AA5853(8 cm 径 PMT)	9.36	9.36	0.80	27.4

- 相対検出効率は高QE50 cm径PMTに比べて0.82
 - 3つの8 cm径PMTのQEの平均をとると28.1 %
- 8 cm径PMTのQE仕様値27.5 %と同等の効率をはじめて実証できた

PMTの飽和現象

- 飽和現象とは
光量が高くなると波高が伸びなくなり、波形がゆがむ。

磁場 / mG	8 cm径PMT			50 cm径PMT
	BC0592 / V	BC0679 / V	AA5853 / V	ED0810-C / V
	1250 V	1250 V	1250 V	1740 V
地磁気を抑えた場合 (25.0,-29.9,-40.0)	-5.108	-5.081	-5.748	-7.342
地磁気がある場合 (-152,259.4,280)	-5.220	-5.032	-5.724	-6.642

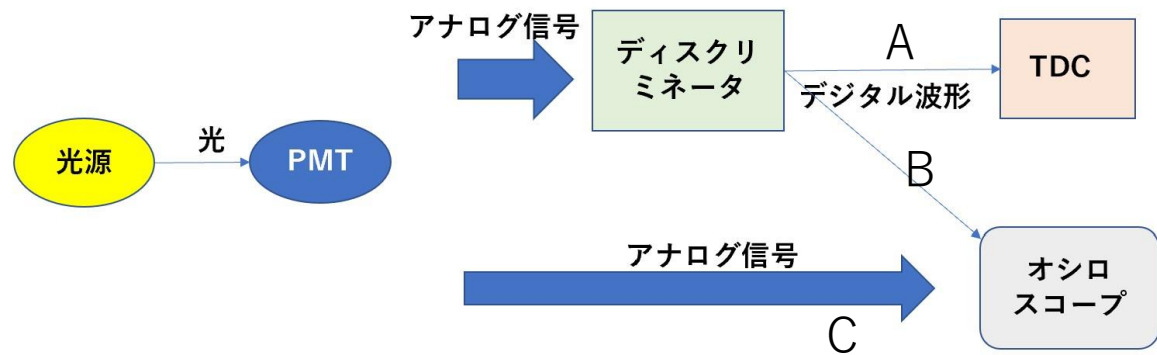
結論

- 地磁気中でも安定
- 700光電子程度までは安定に測れる

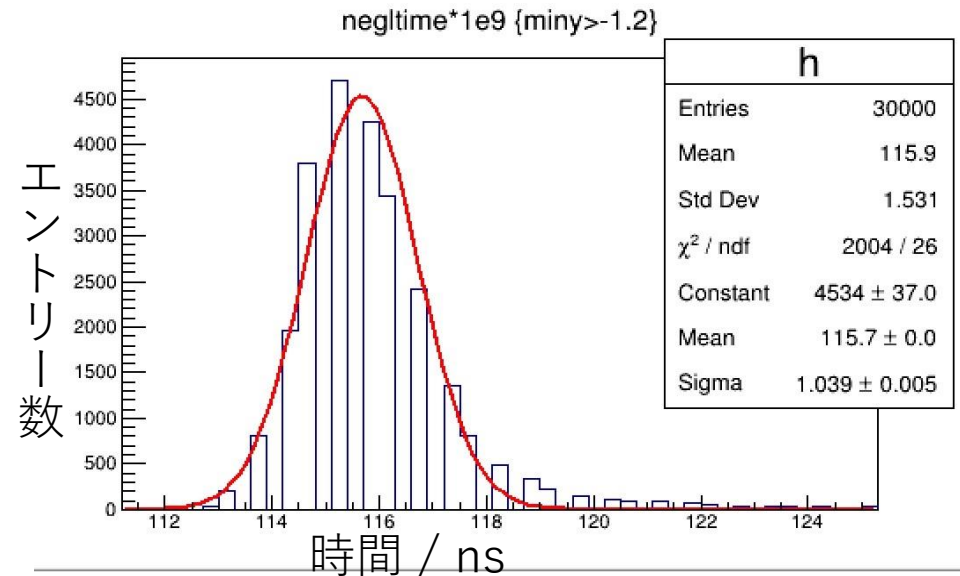


時間分解能の評価：測定手法

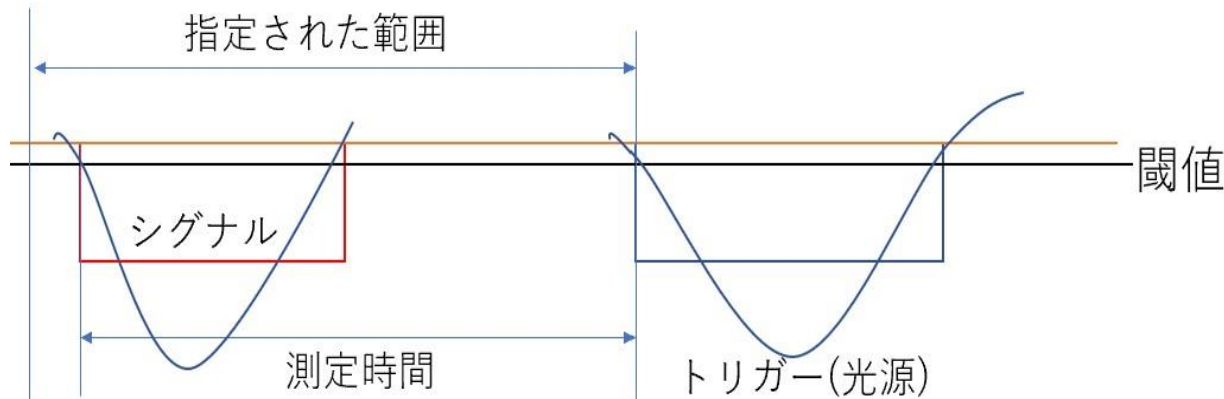
- 光量と評価方法による時間分解能への影響を調べた
- 3通りの測定方法
 - 時間分布例



波形解析

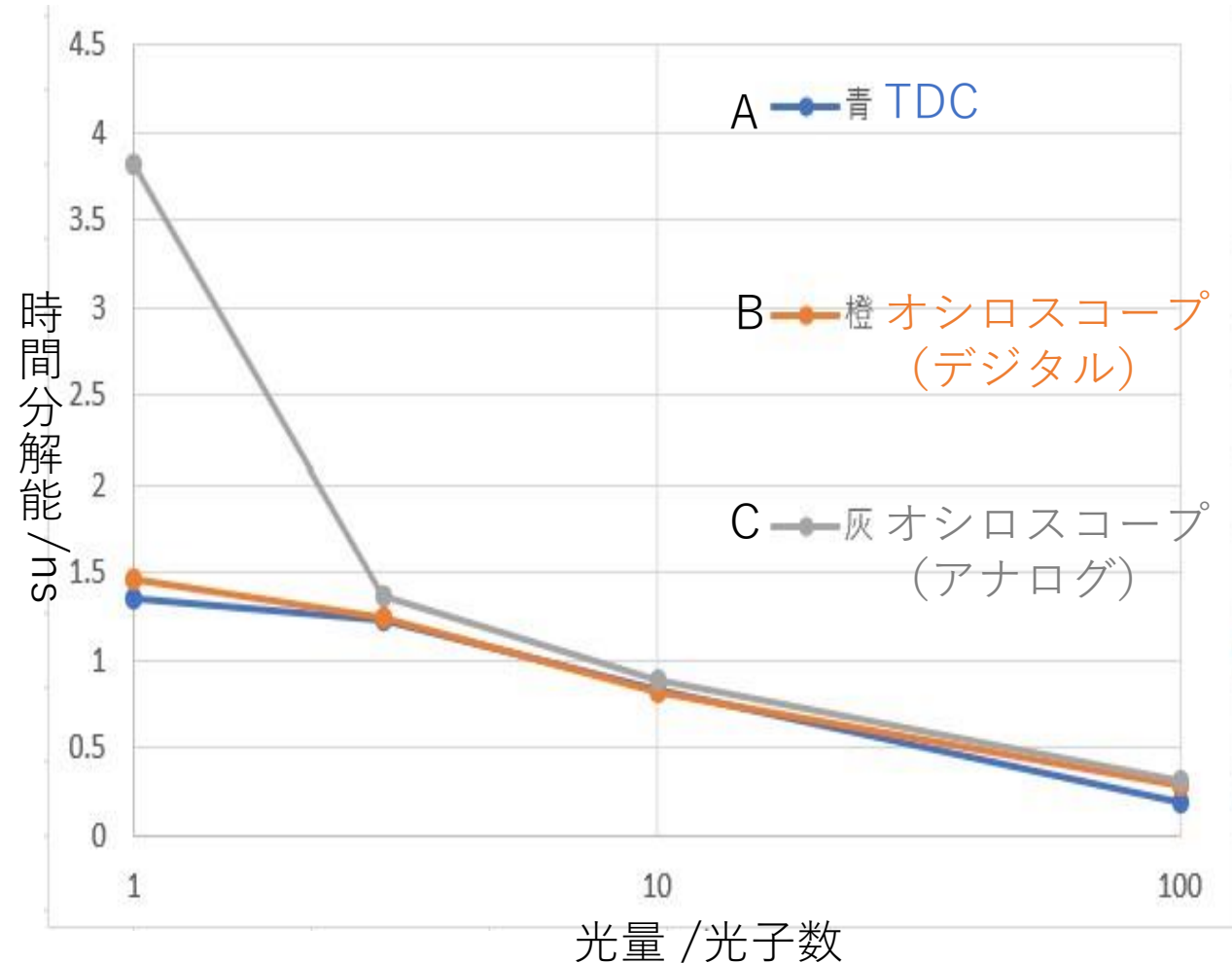


- ディスクリミネータでのデジタル化
指定された範囲



- 計測時間の分布をガウス分布でフィッティング
→sigmaの値 = 時間分解能

時間分解能の評価：結果



- アナログ波形は解析方法に改良の余地がある

- デジタル波形

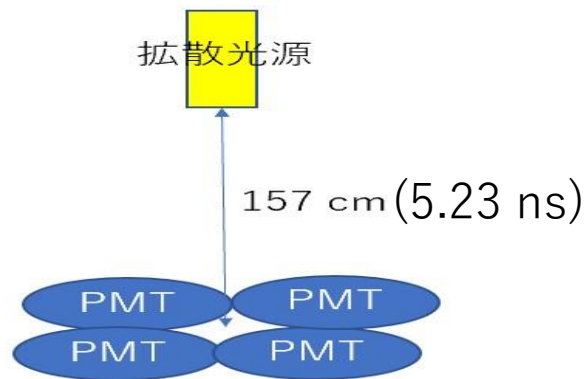
1光電子光量→1.3 ns

8 cm径PMTの仕様通り

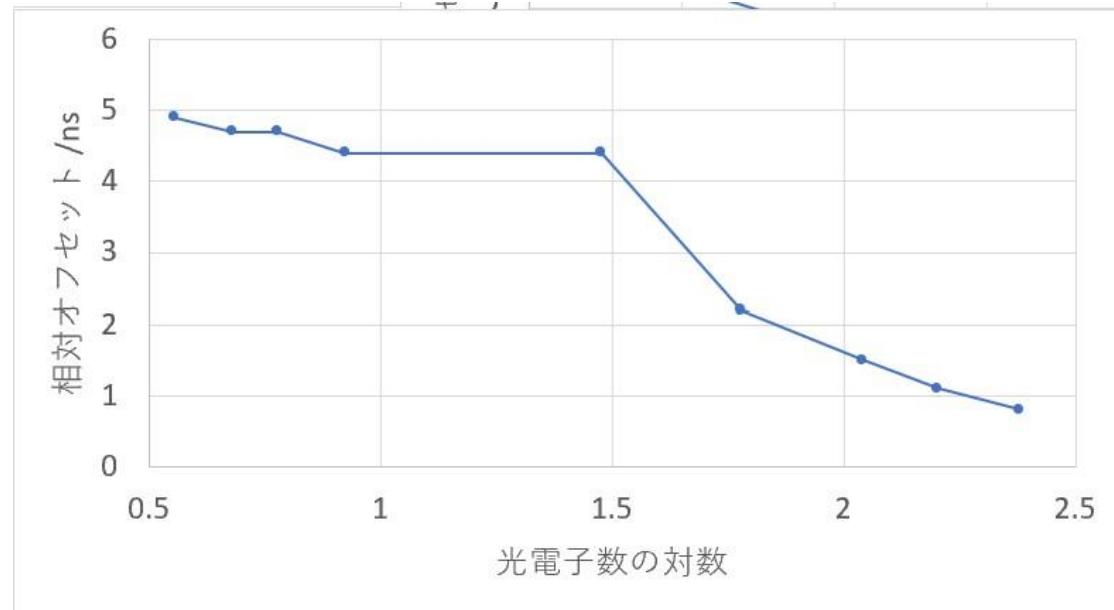
100光電子光量→0.2 ns

位置の再構成準備

- 目的：4つのPMTから位置を見積もりその精度を検証
- PMTの出力時間は個体差と光量によってことなる
→オフセット時間を決定
- オフセット測定の設定アップ

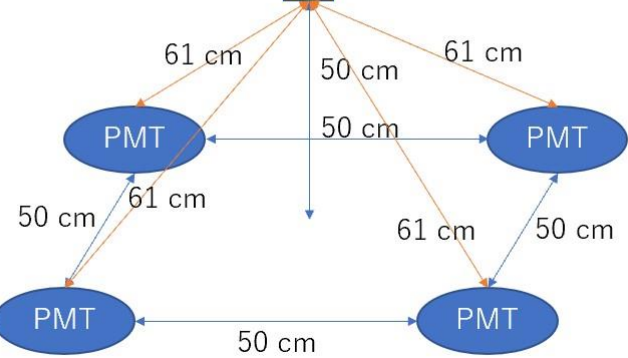


- 光量とオフセットの関係



位置の再構成：中心真上50 cmの光源

中心真上50 cmの光源



8光電子程度の光量

それぞれのPMTから見る

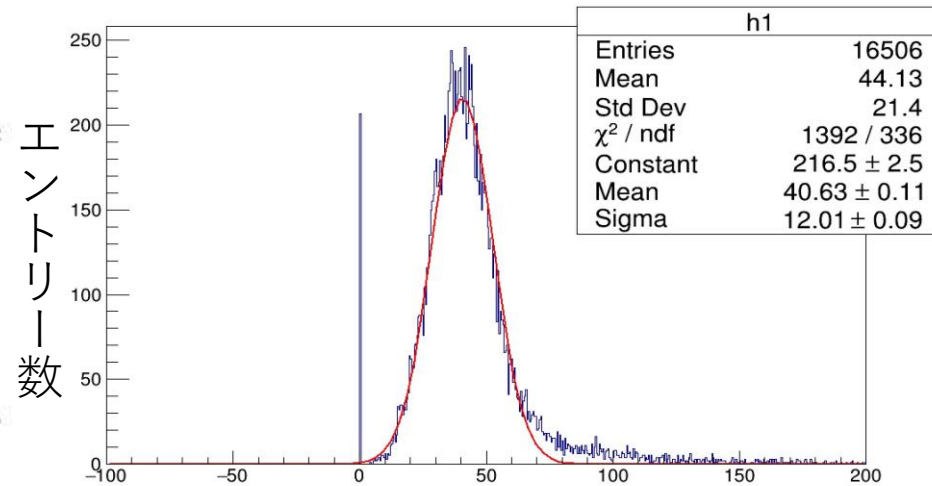
- 見積もられた距離と実際の距離の比較

型番	BC0957	BC0679	AA5853	BC0592
番号	PMT1	PMT2	PMT3	PMT4
出力した光量 / mV	30	27	35	30
光路にかかった時間 / ns	0.95	0.83	1.58	1.41
見積もりの光源とPMTの距離 / cm	28.4	24.8	47.2	42.1
実際の光源とPMTの距離 / cm	61	61	61	61

見積もりのずれ：15~40 cm
 時間にすると1.3 ns以内
 1時間分解能に収まっている

4つのPMTでみる

- 再構成した距離の分布

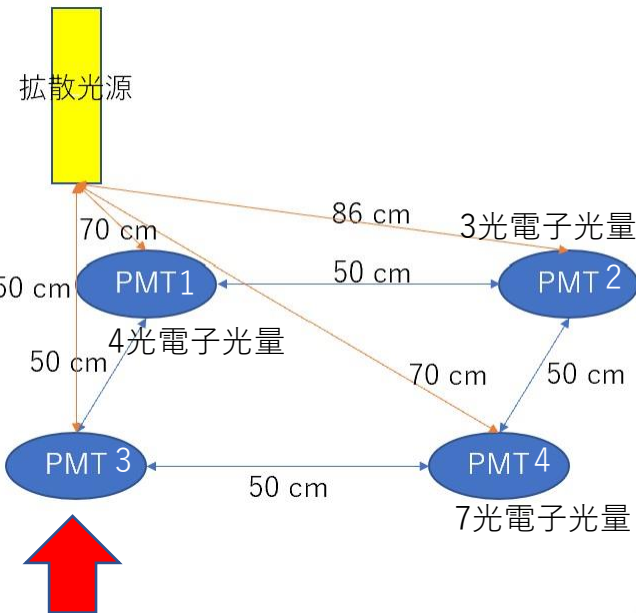


実際の位置とのずれ / cm

- 見積もりのずれ：40 cm
- 分解能：12 cm

位置の再構成：1つのPMTの真上50 cmの光源

1つのPMTの真上50 cmの光源 それぞれのPMTから見る



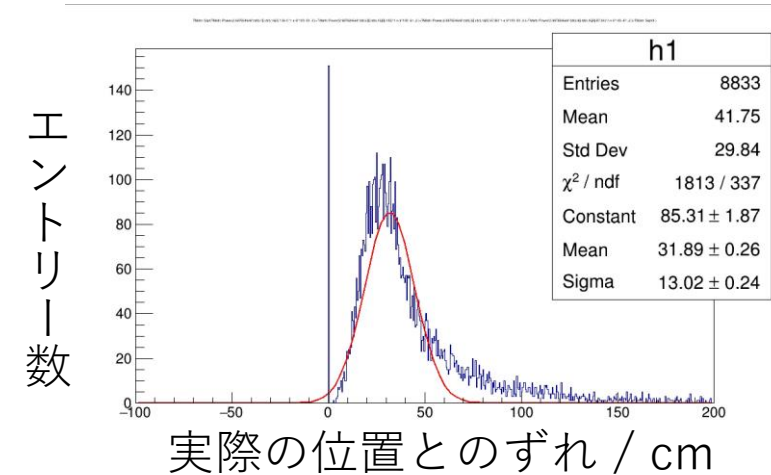
- 見積もられた距離と実際の距離の比較

型番	BC0957	BC0679	AA5853	BC0592
番号	PMT1	PMT2	PMT3	PMT4
光路にかかった時間 / ns	2.05	2.37	1.70	2.22
見積もりの光源とPMTの距離 / cm	61.2	70.8	50.8	66.3
実際の光源とPMTの距離 / cm	70	86	50	70

角度がない場合(PMT3)
 : 0.8 cm → ほぼずれなし
 角度が大きいほどずれが大きい

4つのPMTでみる

- 再構成した距離の分布



- ずれ：32 cm
- 分解能：13 cm

結論

- 8 cm径PMTの性能の一部を検証
- 検出効率：高QE50 cm径PMTの約83 %
- 飽和現象：-5 V台の十分な波高、磁気による影響がほとんどない
- 時間分解能：1光電子光量→1.3 ns、100光電子光量→0.2 ns
- 位置の再構成：8光電子光量程度の場合、4本のPMTで12~13 cmの
位置分解能が見込み
(位置のずれはオフセット時間の角度依存等を考慮した改善の余地がある)

→見込み通りの十分な性能を検証できた

→ハイパーカミオカンデにmulti-PMTを採用することで検出性能向上を期待できる

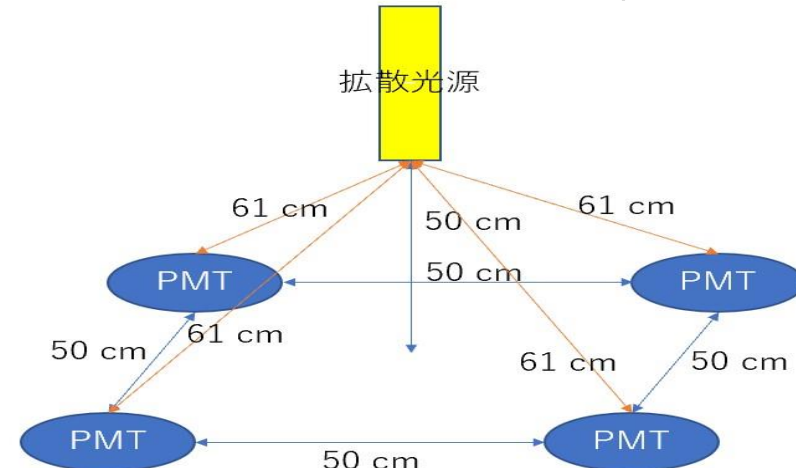
位置の再構成：測定手法

- 光を入射してから
PMTに到達するまでの時間

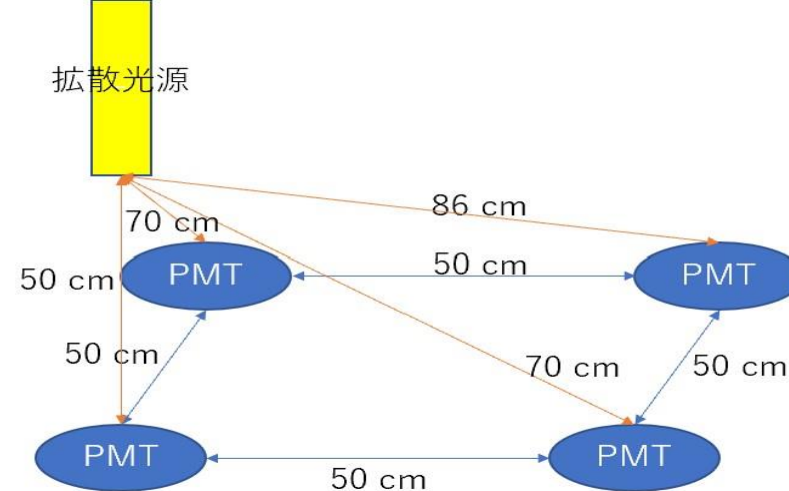


- 距離の算出
計測時間 × 光速

- 実験1：均等な位置での測定

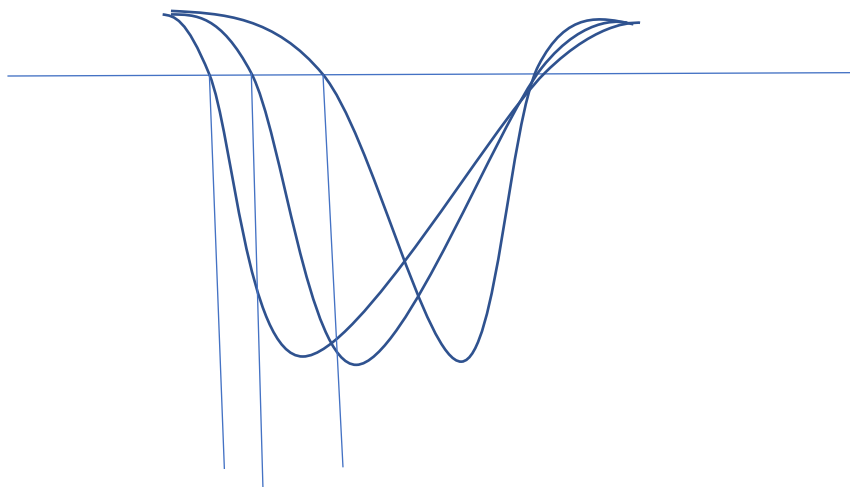


- 実験2：1つの正面から光を入射

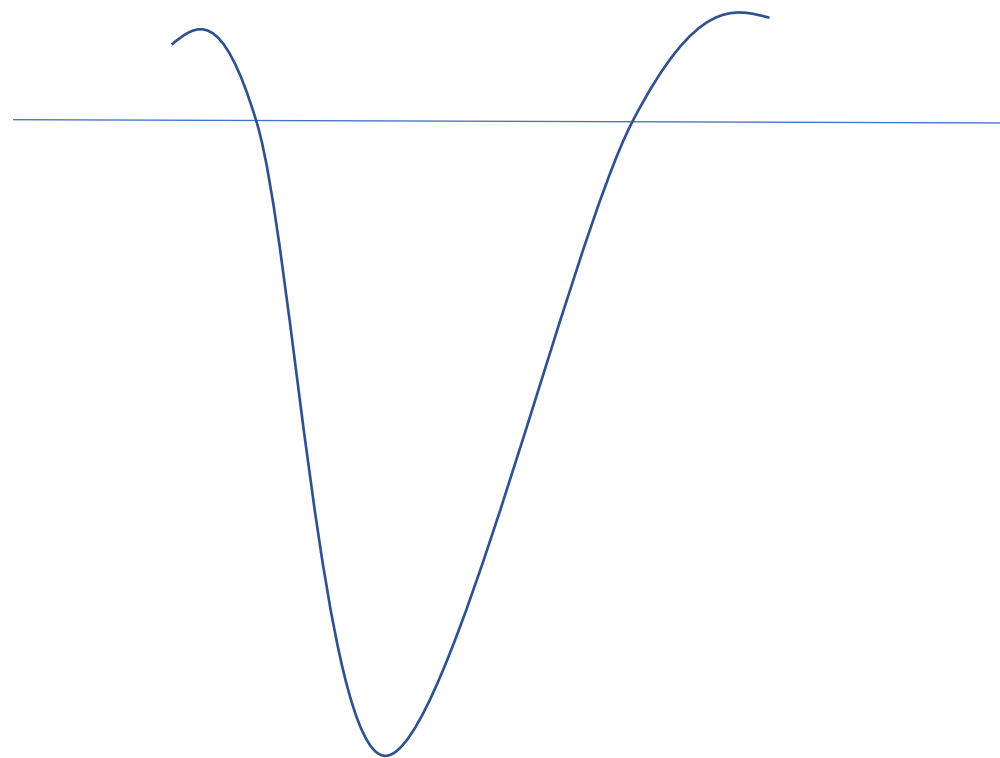


時間分解能

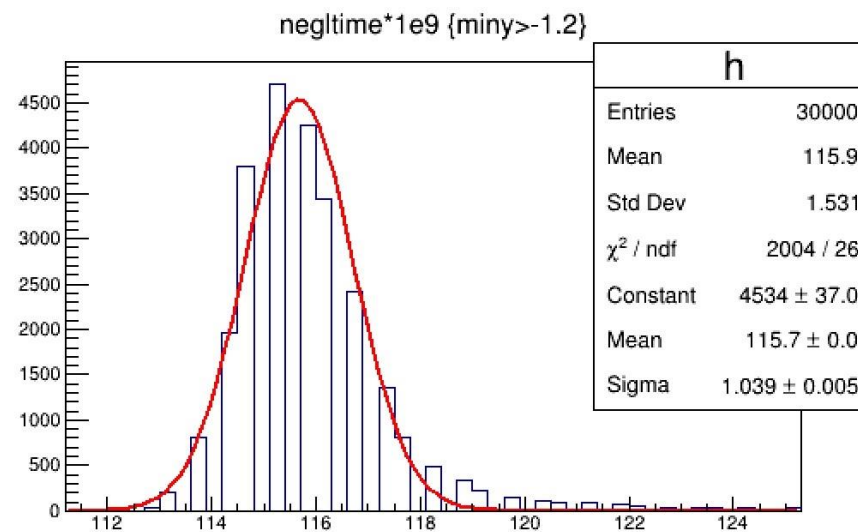
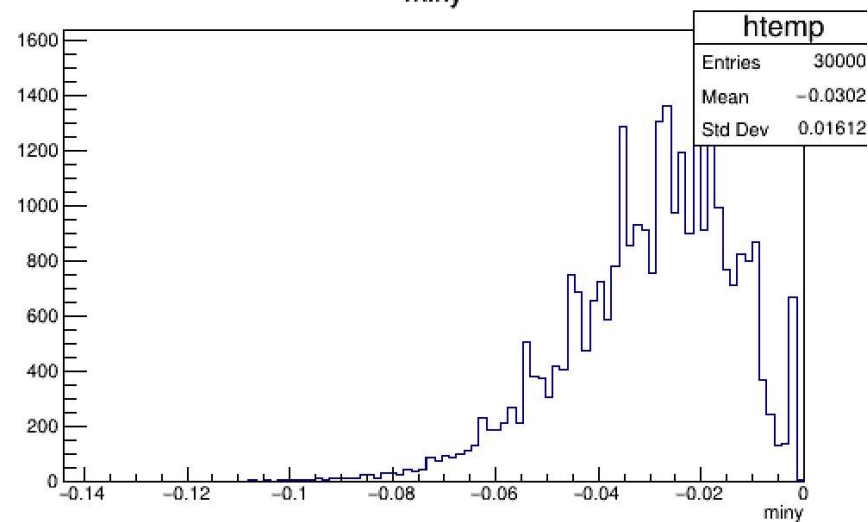
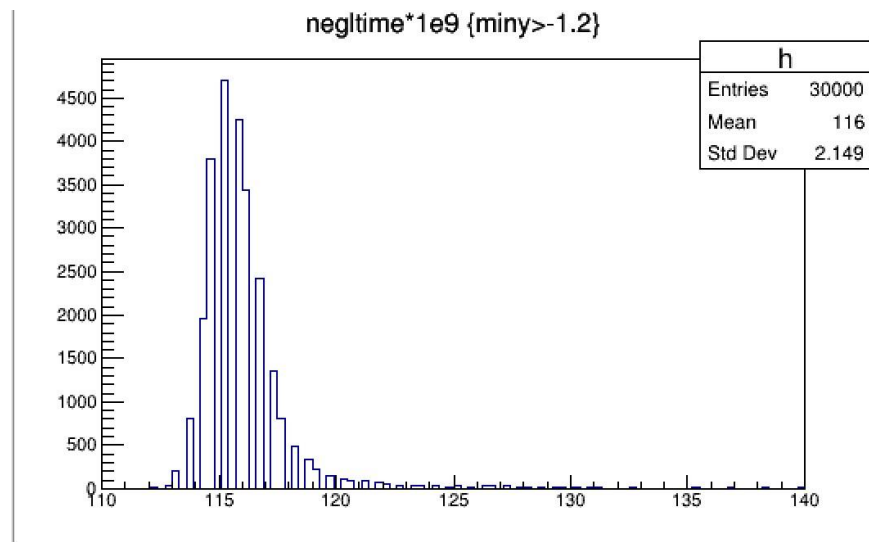
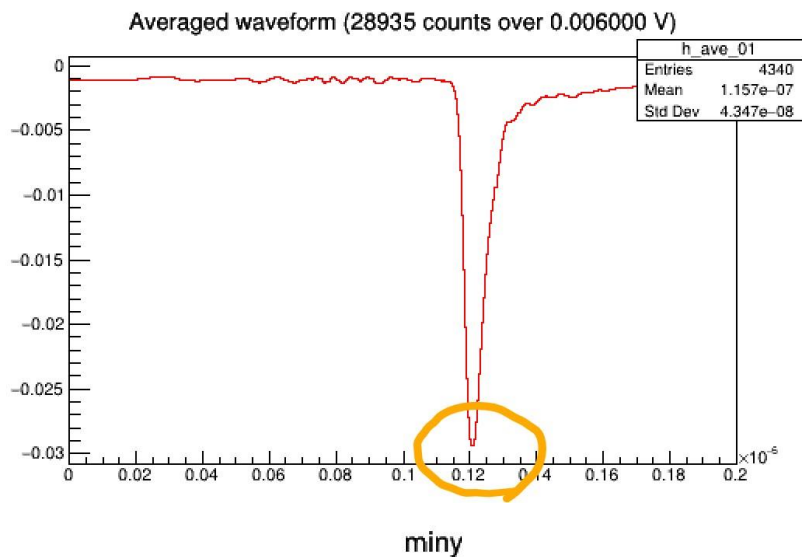
- 1光電子



100光電子



波形解析



距離の分解能

- 4つのPMTからの距離の見積もり

$$\sigma = \sqrt{\Sigma(L_i^2 - L_0^2) / \sqrt{4}}$$

