

大型水チェレンコフ検出器における ディフューザーボールの性能向上

慶應義塾大学工学部物理学科4年

西村研究室

岡崎 玲大

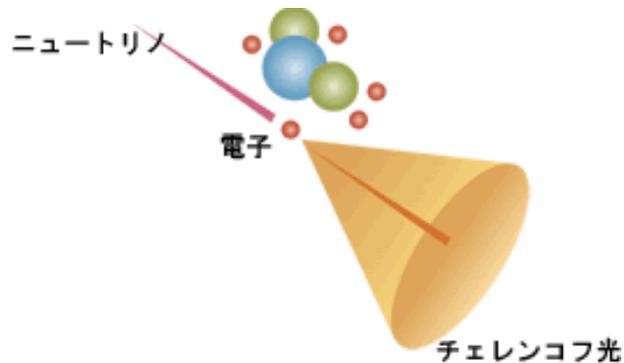
新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会

2022年3月8日

背景・導入

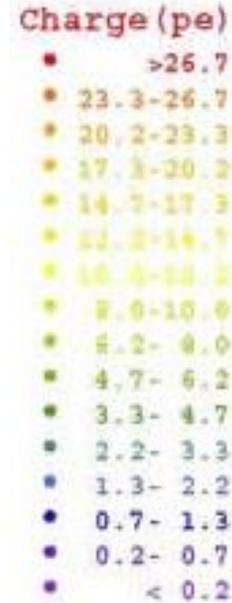


http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/~masato_s/kenkyuu/superk/superk.html



<http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/detector/cherenkov.html>

- スーパーカミオカンデ(SK)
 - ・大型水チェレンコフ検出器
 - ・約11000本の光電子増倍管(Photomultiplier tube; PMT)で検出



<https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/detector/eventdisplay.html>

- ・チェレンコフ光の光量や時間を検出し、ニュートリノの種類、位置、エネルギーを決定

PMTの時間特性は光量に依存し、精確な評価が必要となる

PMTの時間キャリブレーション

○光拡散ボールである**ディフューザーボール**でPMTのキャリブレーションを行っている。

必要とするディフューザーボールの特性

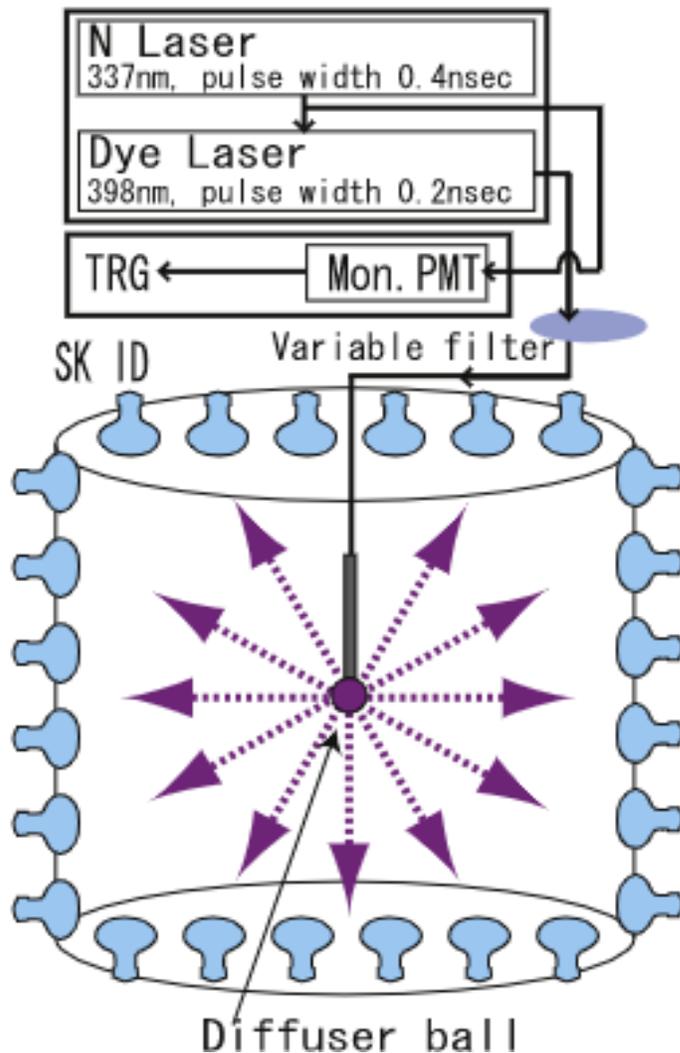
- ・ 一様な光量放射
→キャリブレーション時間の短縮・効率化
- ・ 低い光量損失
→大光量でのPMT性能キャリブレーション
- ・ 時間のばらつきを抑える
→PMT評価性能向上

1光電子のばらつき時間を0.5 nsより小さくすることを目指した

ハイパーカミオカンデ(HK)では

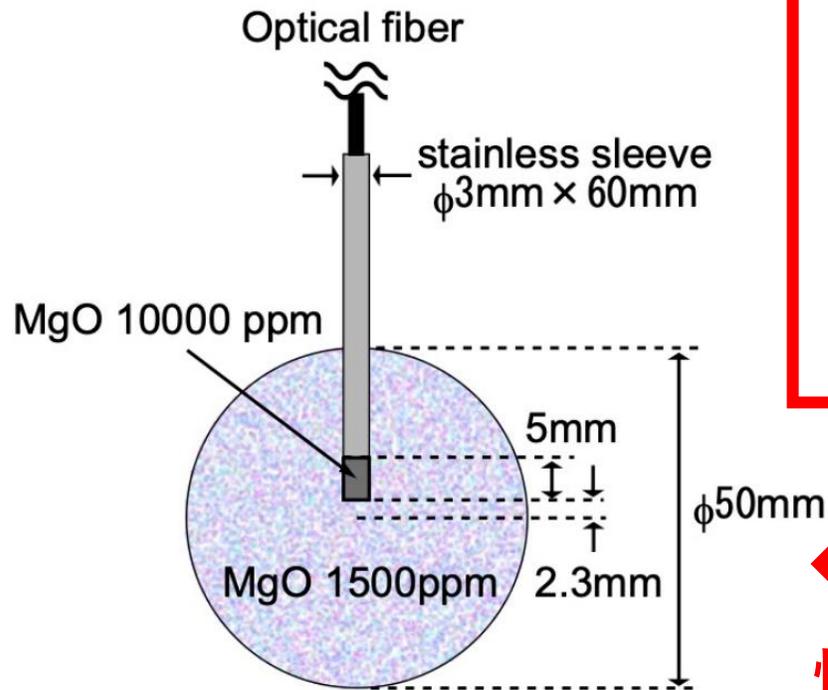
- ・ PMTの時間性能が倍に向上
- ・ タンクの大型化により到達光量が減る

ディフューザーボールの性能向上を目指した



使用したディフューザーボール

MgO粒体をボール内に混ぜ込み
光を散乱させる



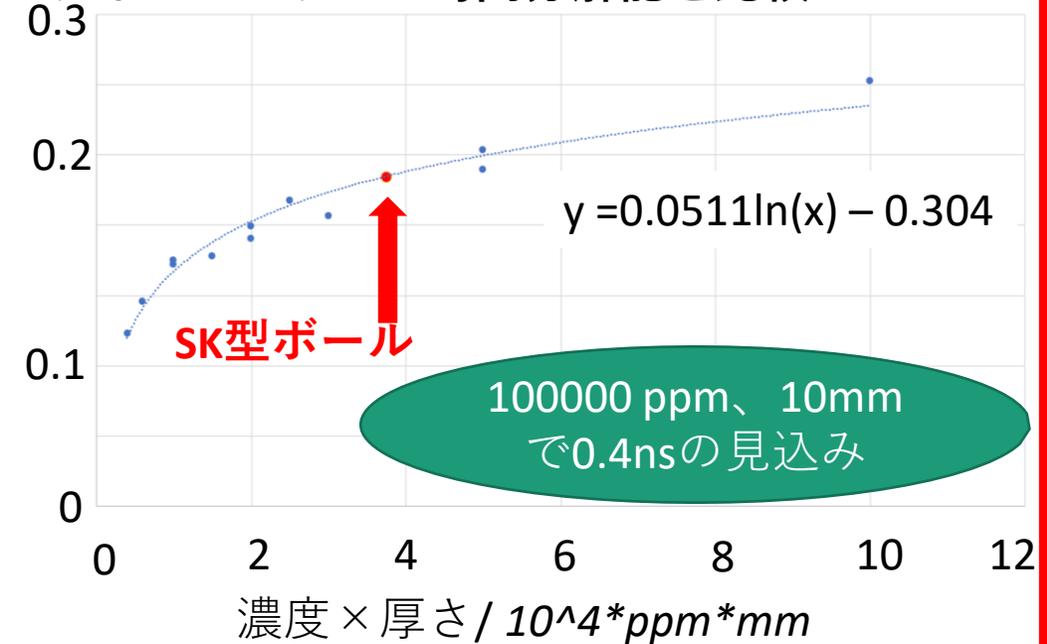
SK型ボール

<https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.11.081>

濃度、厚さの違う板状のディフューザーで時間分解能を比較



検出時間のばらつき/ns



性能比較

MgO濃度 100000 ppm
直径10 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mm
のボールを用意した。



測定内容

用意した**ディフューザーボール**の

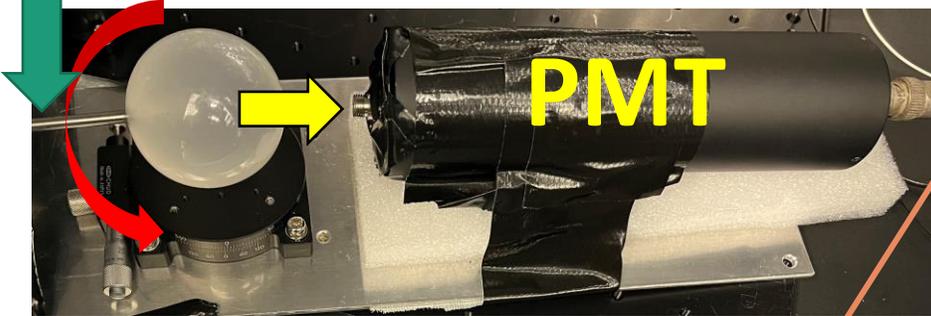
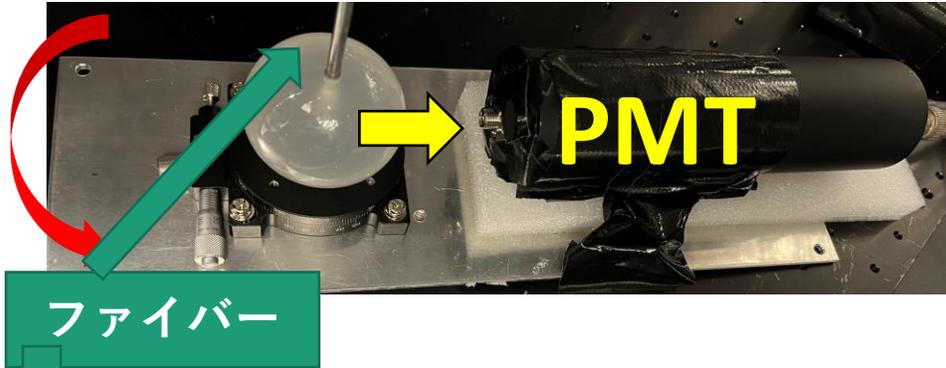
- ・ 光放射の**等方性**
- ・ **光量の減衰量**
- ・ **時間分解能への影響**

を測定

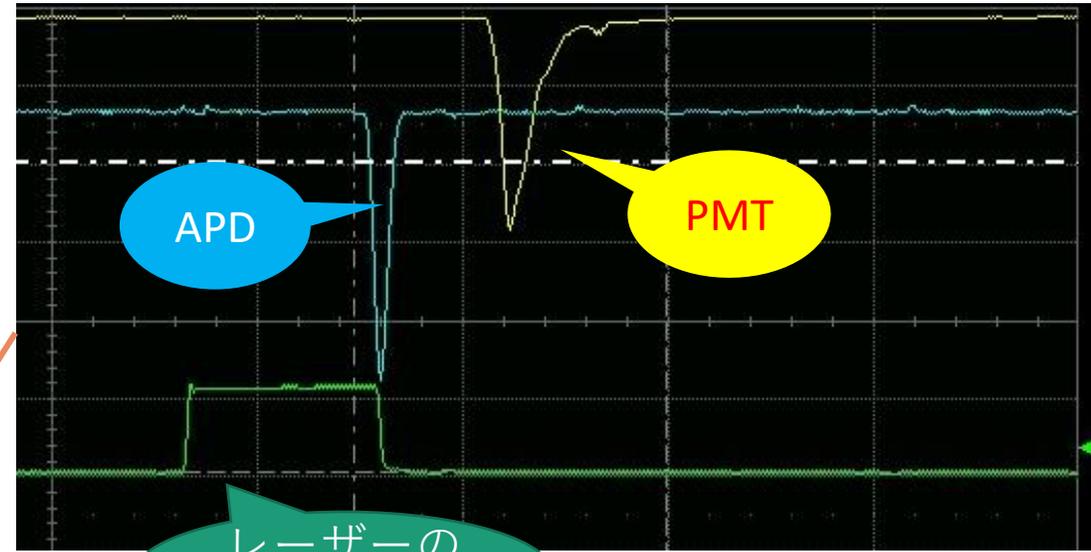
等方性確認測定方法

ボールから一様な光量の光が出ているかを測定

横方向の回転

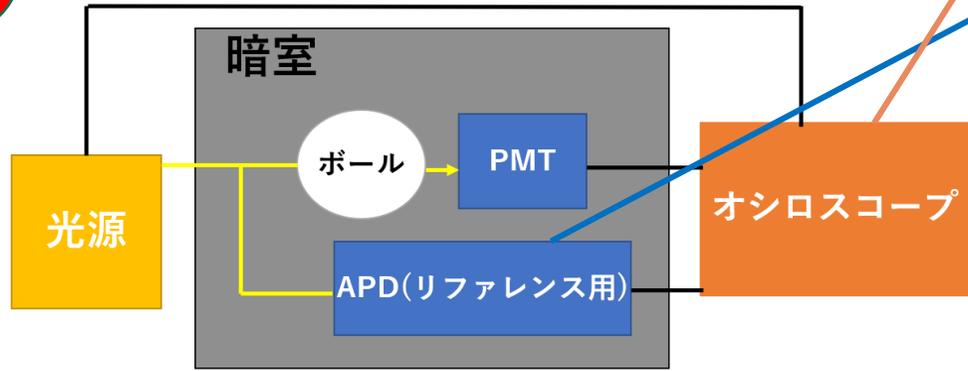


縦方向の回転



アバランシェフォトダイオード(APD)
→ リファレンスに使用

ボールから出てくる光の光量
→ (PMT波形面積/APDの波形面積)の**相対光量**で評価



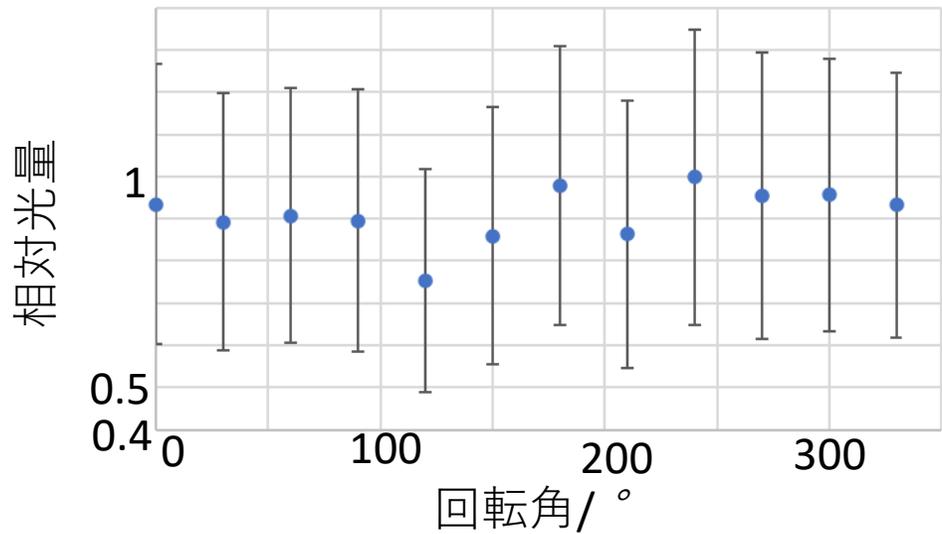
等方性確認測定結果

100000 ppm 直径30 mmのボール

SK型ボール

※実際にSKで使用されているものとは別のもの

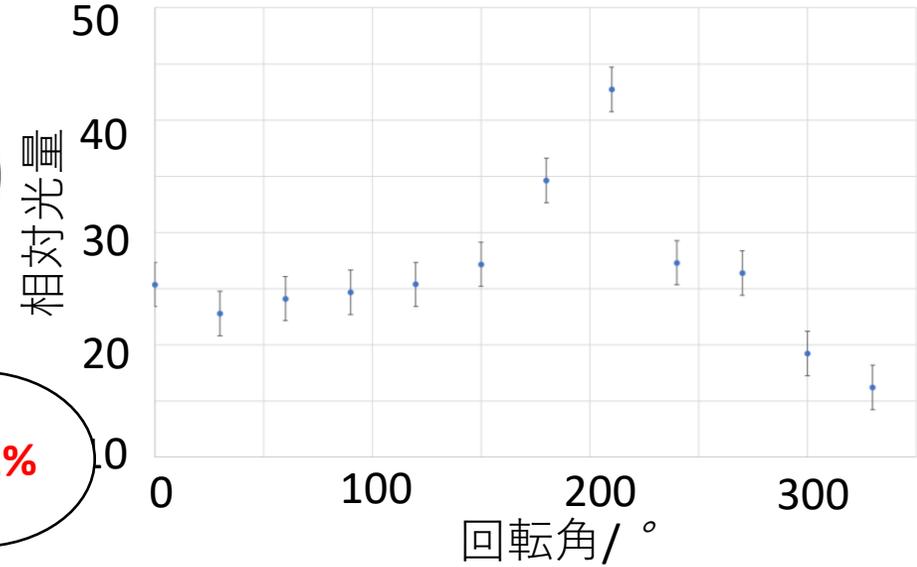
横方向



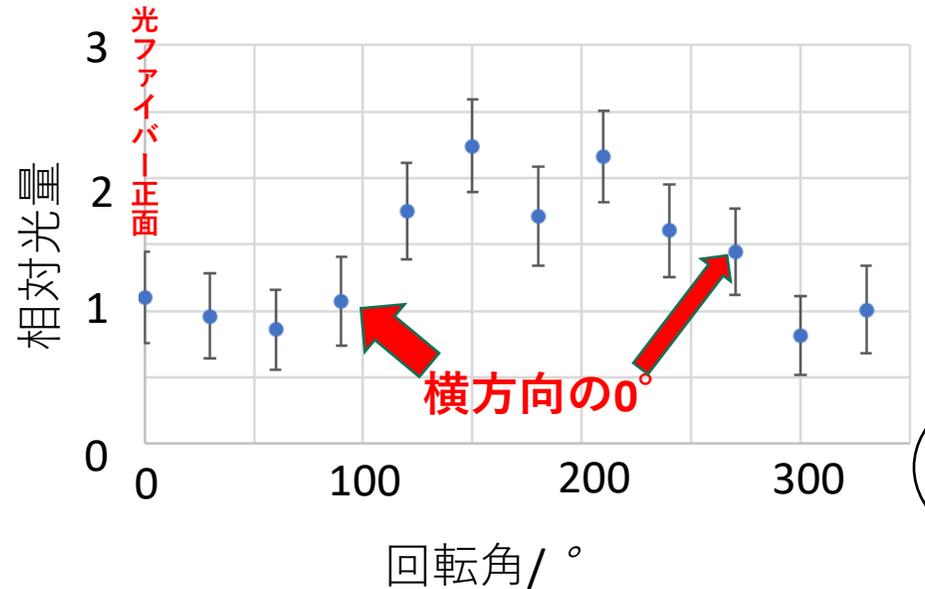
相対光量の回転角
によるばらつき
(標準偏差/平均値)

6.94%

34.2%



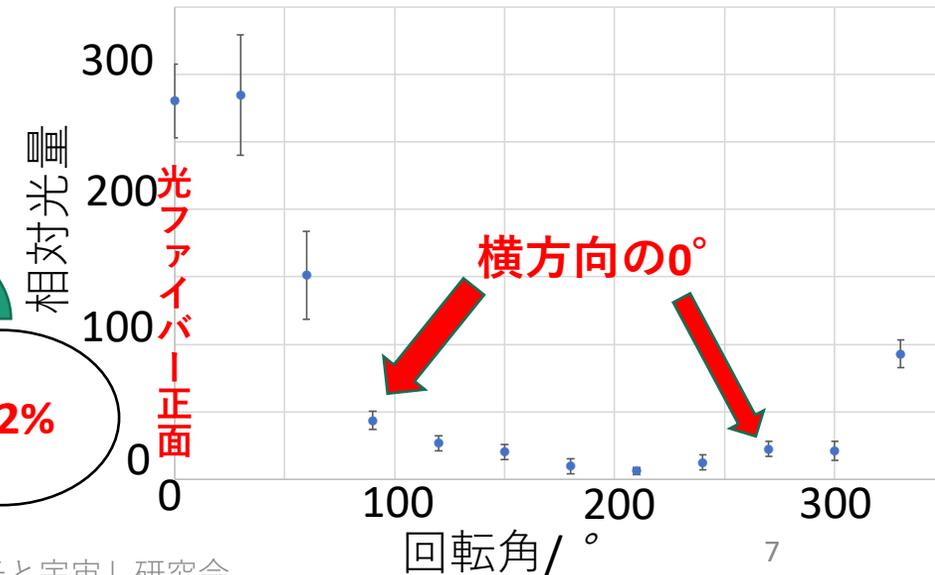
縦方向



ばらつきが1/5

23.9%

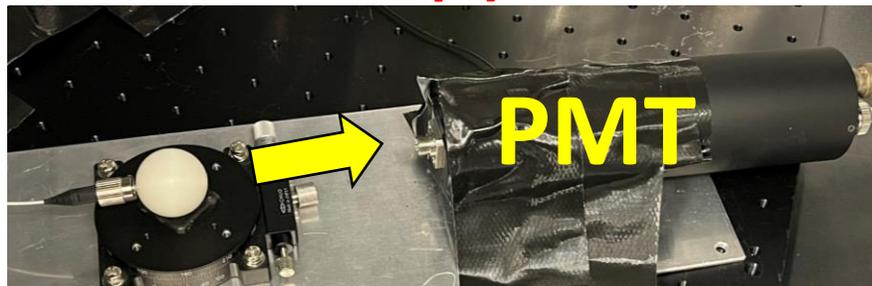
122%



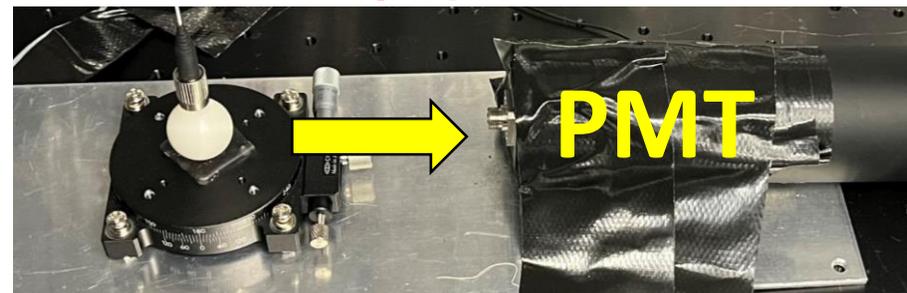
光量減衰測定

○ボール正面または側面から放出される光の光量を測定

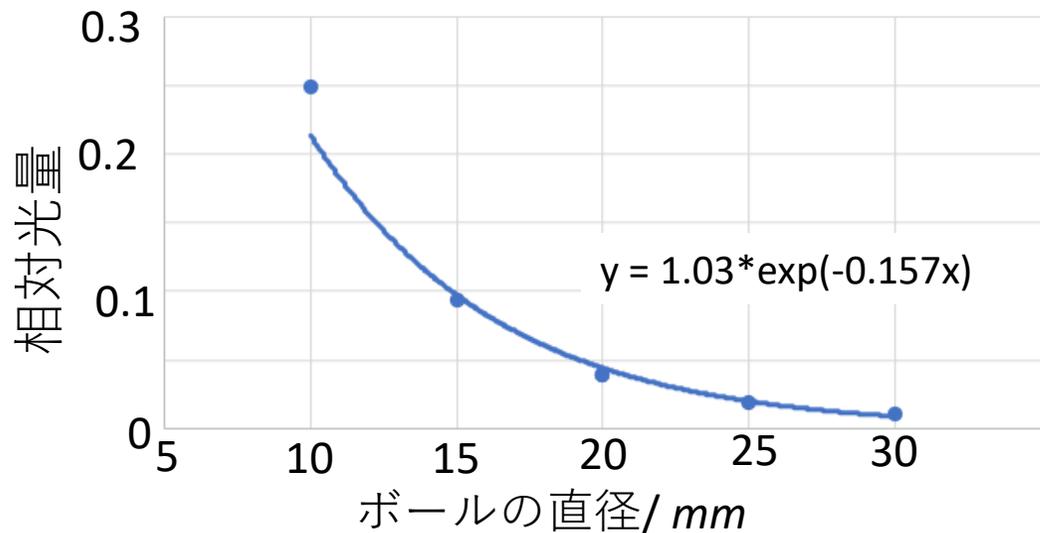
正面



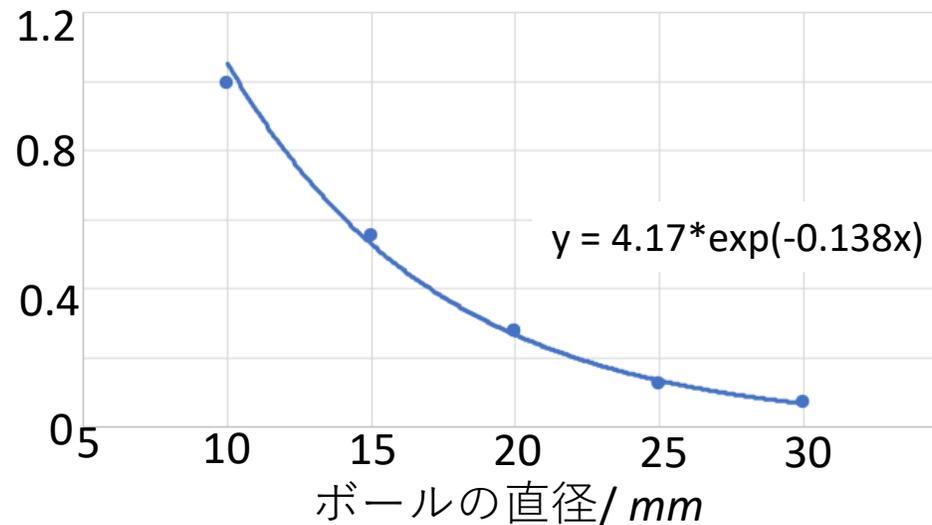
側面



SK型ボールに対する
相対光量



SK型ボールに対する
相対光量

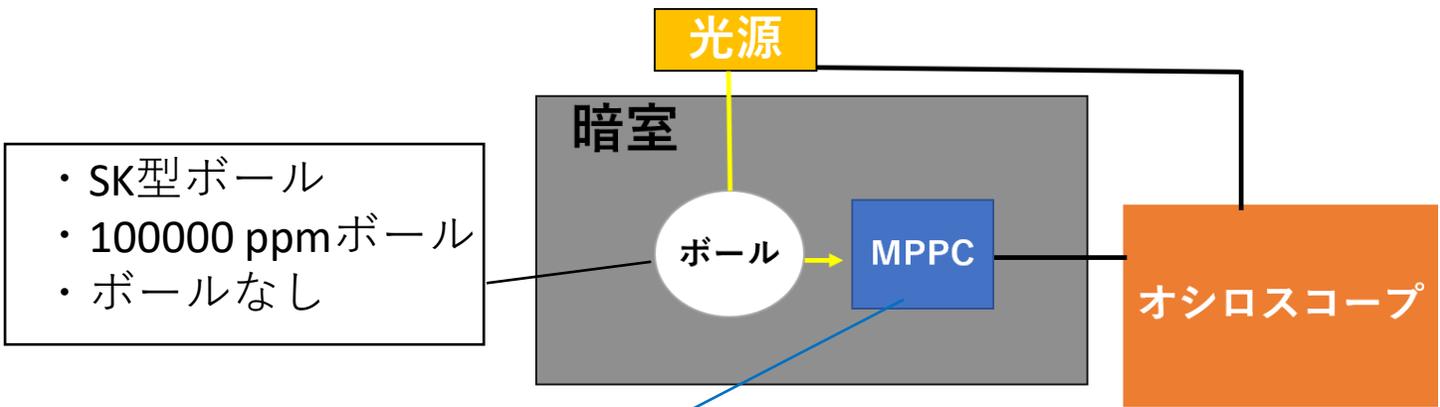


出てくる光の光量は指数関数的に減衰

100000 ppmのボールはSK型ボールより光量が減衰

時間分解能測定方法

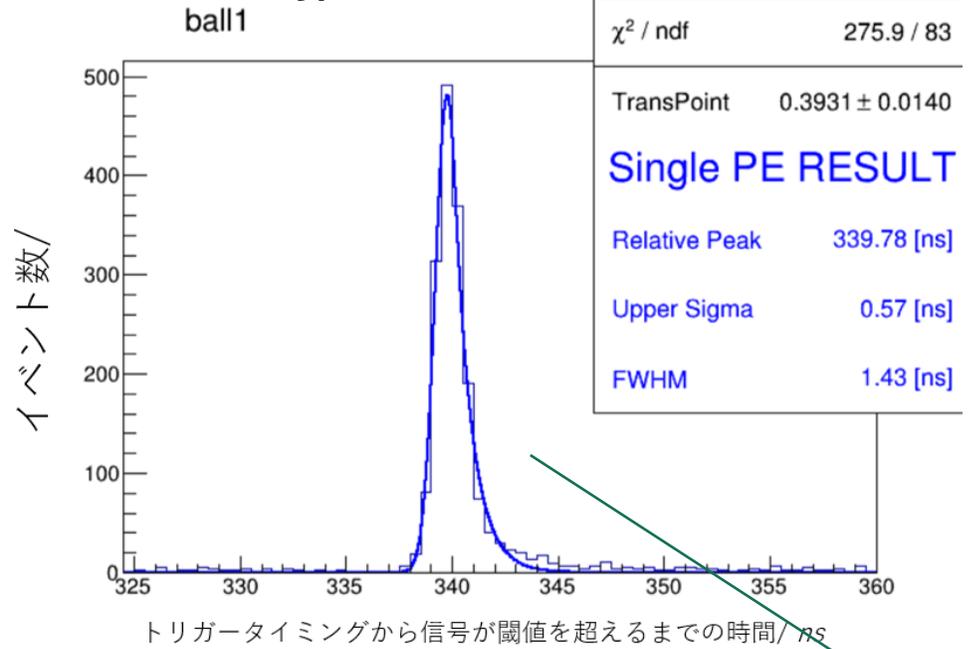
○ディフューザーボールが検出時間のばらつきに与える影響を調べた。



マルチピクセルフォトンカウンター(MPPC)
PMTより時間分解能が良い光検出器

・波形を取得し、波高から1光電子光量を選び、閾値(6 mV)を超える時間の広がり进行评估。

トリガータイミングから閾値を超えるまでの時間のヒストグラム



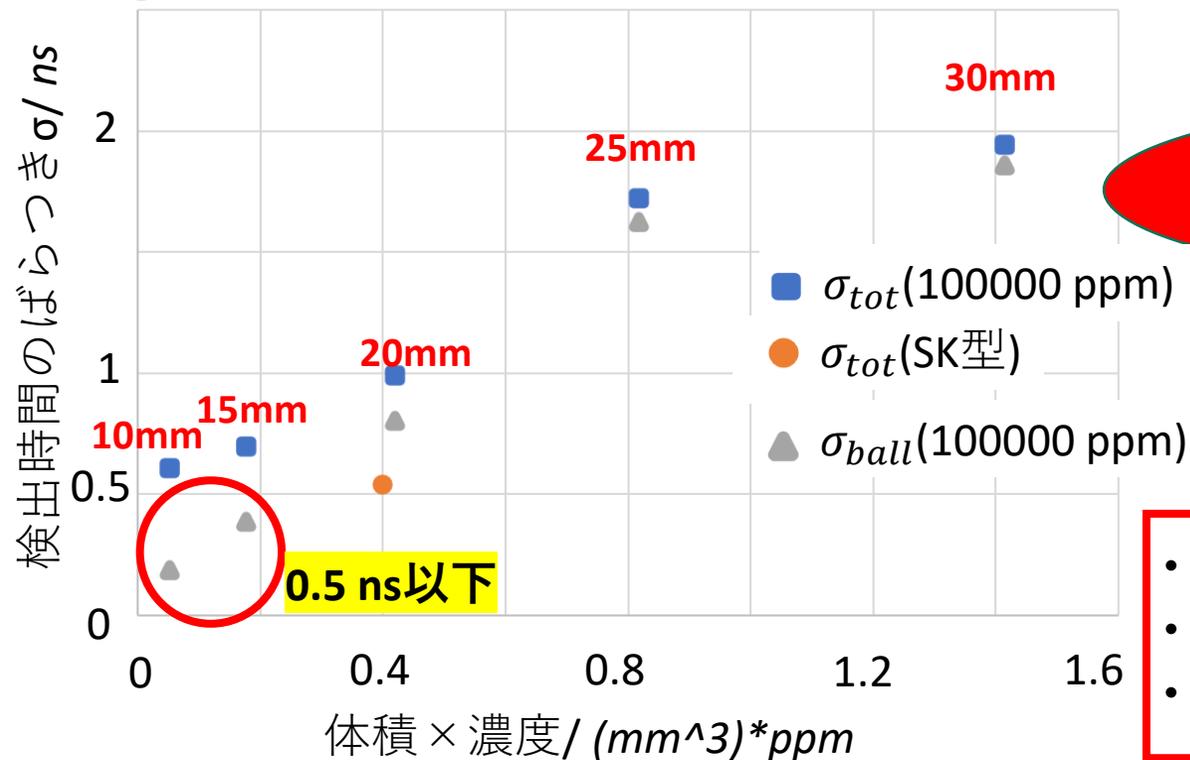
ガウス関数と指数関数でフィット
→半値全幅(正規分布の σ 相当で今後表示)を算出

時間分解能測定結果

○ディフューザーボールのみの
検出時間のばらつきを評価

$$\sigma_{tot} = \sigma_{ball} \oplus \sigma_{others}$$

○MgO数と検出時間のばらつきとの関係



PMTでの時間のばらつき (0.5 ns)
より小さくなって欲しい

ボールなしの
結果を利用

$$\sigma_{ball} = \sqrt{\sigma_{tot}^2 - \sigma_{others}^2}$$

- σ_{tot} : 測定した検出時間のばらつき
- σ_{ball} : ディフューザーボールによる
- σ_{others} : ボール以外の要因(ファイバー、検出器等)による

100000 ppmのボールは直径10 mm、15 mmのボールで目標値の0.5 nsを下回った

まとめ

○MgO濃度100000 ppm・大きさ10 mm、15 mm、20 mm、25 mm、30 mmのディフューザーボールの性能をSKで使用されている型のボールと比較した。

○ディフューザーボールの性能評価

- ・**光放射等方性**

→直径30 mmのボールは、SK型ボールに比べて放出角によるばらつきが1/5。

- ・**光量の減衰**

→100000 ppmのボールは大きくなるほど指数関数的に出てくる光の光量が減少。
SK型ボールと同等の光量は得られなかった。

- ・**時間分解能への影響**

→100000 ppm・直径10 mm、15 mmのボールで目標値の0.5 ns以下を達成。

結論と今後の展望

- 製作が可能な最大濃度(100000 ppm)で、ボールの大きさと性能の相関を得ることができた。

薄く

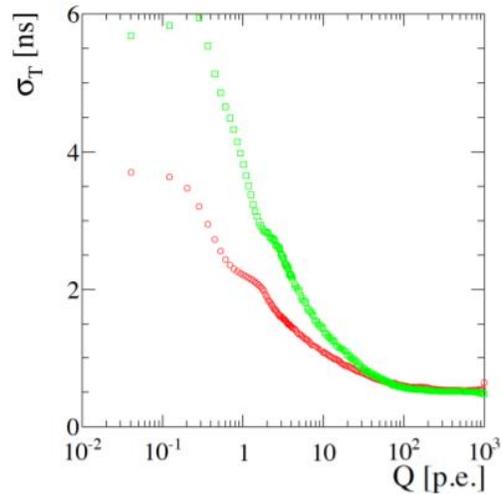
大きく

- この結果を元に**濃度**と**大きさ**を再調整し、**HK**で精度の高いキャリブレーションを目指したい。

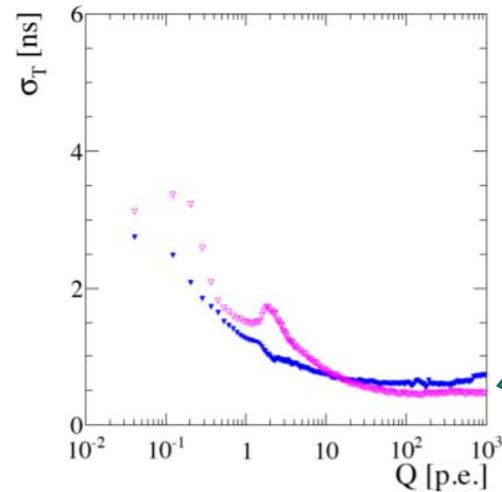
SKよりも

- タンクが大きい
- 時間性能が良いPMTを使用

光量と時間分解能



SKのPMT



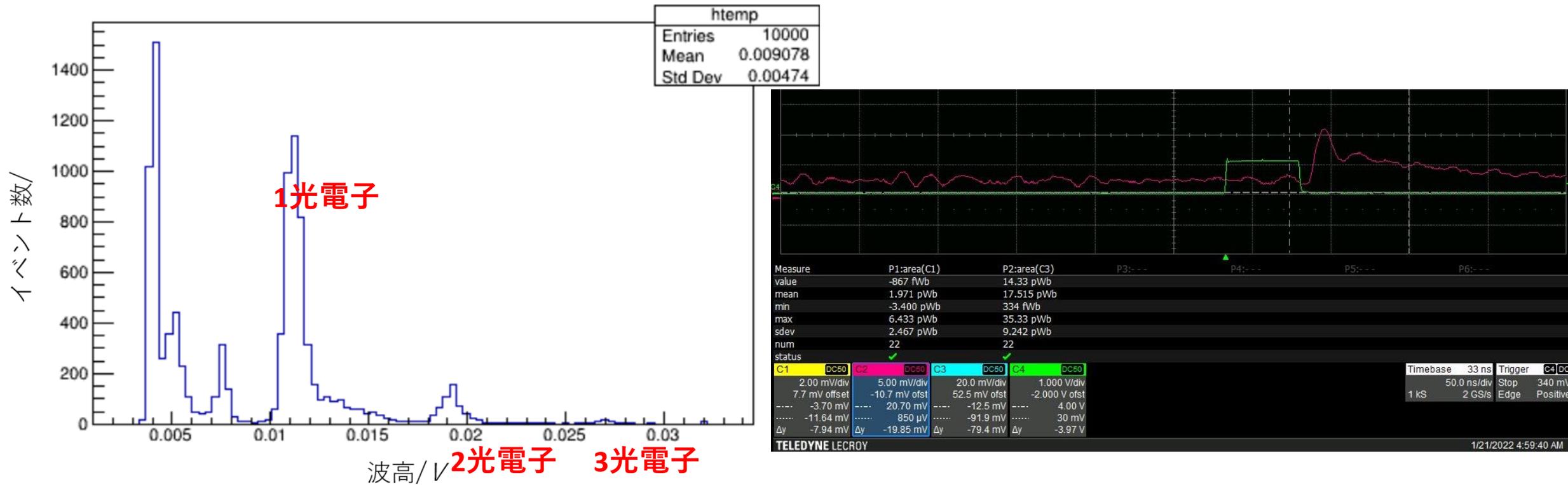
HKのPMT

大光量での測定

0.5 ns以下の
時間分解能
を目指したい

Xia, Junjie (July, 2019) . Upgrade and Calibration of Super-Kamiokande's Inner Photodetector より

1光電子の波高の決め方



9 mV~16 mを1光電子の波高とした