

# 長基線ニュートリノ振動実験における中間水チェレンコフ検出器の外層光検出機構の設計評価およびミュオン識別性能の研究

2025年4月 国際先導研究会@京都大学

慶應義塾大学 西村研究室 岡 明香里

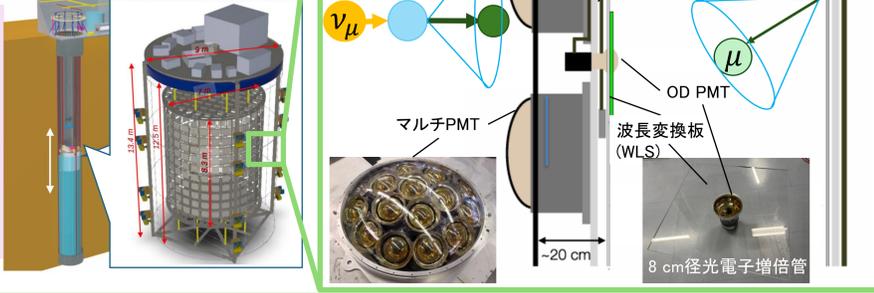
## 背景

**T2K実験:** ハイパーカミオカンデ(HK)での長基線ニュートリノ振動観測。ニュートリノ質量、レプトンCP対称性などの解明を目指す



## 中間水チェレンコフ検出器/IWCD

- (Intermediate Water Cherenkov Detector)
- 長基線ニュートリノ振動観測に対する前置寄り中間検出器
- ニュートリノ断面積、ビームフラックスを詳細に測定
- HKの系統誤差低減



## IWCD ODの課題

- HK ODと類似の設計を検討しているが、IWCD ODに最適な設計は未確立
- HKと異なり、同一スピル内に複数のビームバンチによる事象が入射する可能性が高い
  - T2Kのバンチ間隔600 nsを識別できるか?
  - 岩盤が薄いため、HKと比べ遮蔽が少ない
  - 宇宙線が観測に影響するか?

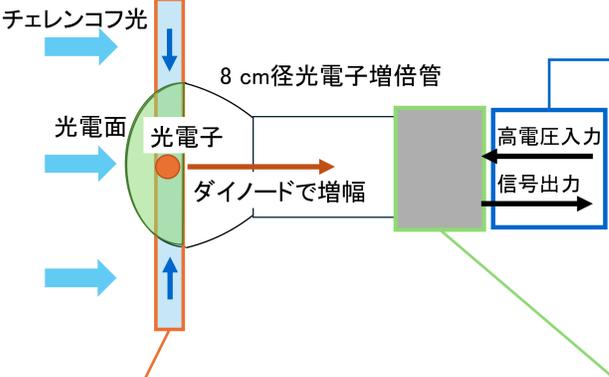
## 目的

- IWCDのOD PMTの設計:** 周辺の集光構成も含めたPMT設計の検討
- IWCDのOD全体の設計:** 検出器構成(PMT数、配置等)によって高いミュオン識別性能を出す
- 最適なPMTの設計、数、配置を定める

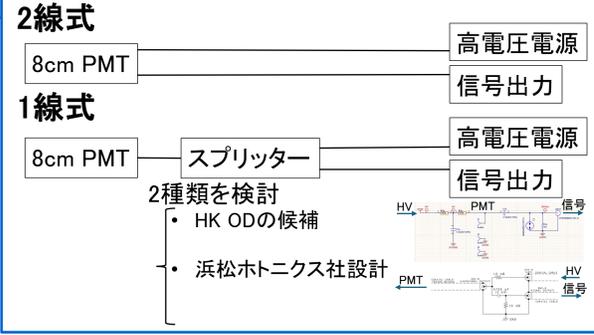
## OD光センサーモジュールの設計評価

IWCD ODではHK ODをもとにしたPMT設計を採用予定:PMTの設計、周辺設計がデッドタイムに影響するため、8 cm PMTの設計による信号波形の違いを調査

→ データ取得の観点からIWCD ODのPMTとして十分か?



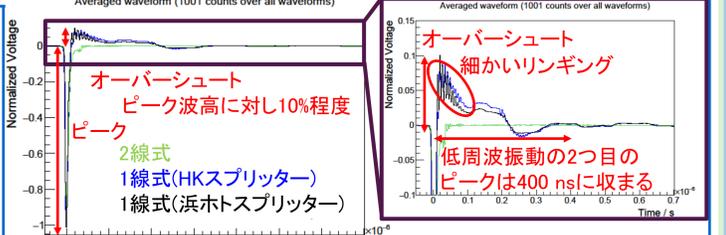
### 1. 高電圧入力と信号出力 1線式と2線式を検討



	メリット	デメリット
2線式	高性能	必要コード量多い
1線式	コード量削減	出力波形の*リンギング、*オーバーシュートが大きい

- \*リンギング: 信号が収束しても振動を含む → ダイナミックレンジが小さくなる
- \*オーバーシュート: 出力信号ピーク後、逆極性に触れ、収束 → デッドタイムを延ばす可能性

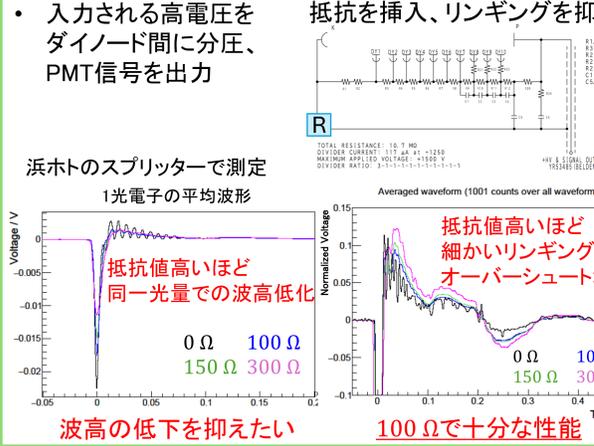
### 波形測定 1線式と2線式でレーザーパルスによる出力波形を比較



1線式採用にはオーバーシュートとリンギングの許容、デッドタイム400 nsの確保が必要

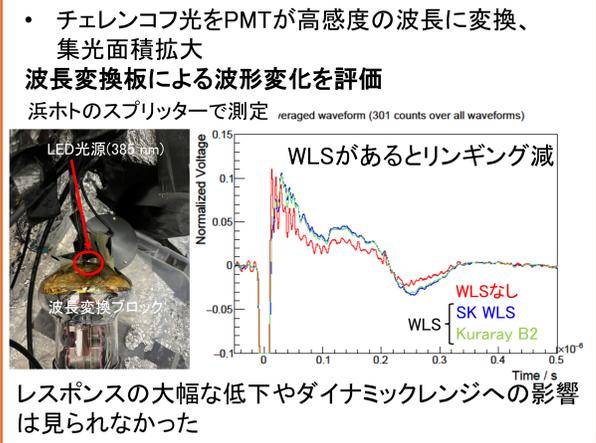
- リンギングはダンピング抵抗100 Ωと波長変換板で低減
- 波長変換板の波形変化は大きくない
- 400 nsのデッドタイムに抑えられるため、T2Kビームのバンチ間隔 600 nsを識別可能
- 1線式 8 cm PMTはIWCD ODで使用可能

### 2. 電圧分圧回路



波高の低下を抑えたい 100 Ωで十分な性能

### 3. 波長変換板(WLS)



## ミュオン識別性能

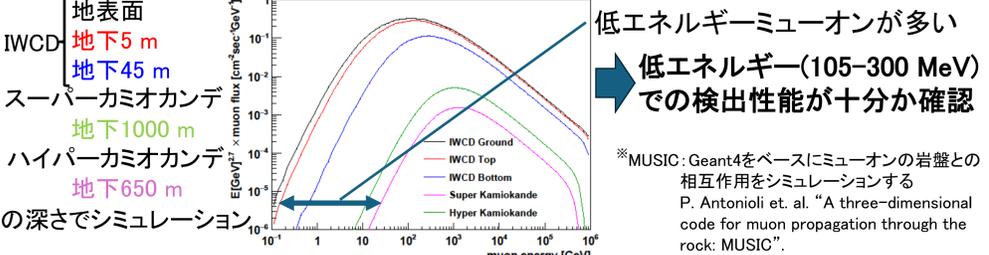
**IWCD OD:** HK ODを基に設計

HKと異なり、  
 地表に近く低エネルギーミュオンが多い  
 OD層が薄い

→ 現状の設計が最適か不明

複数の設計でミュオン検出性能をシミュレーションし、ミュオンの影響を検証

### IWCDのミュオンフラックス: \*MUSICでシミュレーション



### 検出器ジオメトリ: PMT数、水深が異なる6種のODのジオメトリを作成

ジオメトリ6種(それぞれの色は右グラフの凡例に対応)

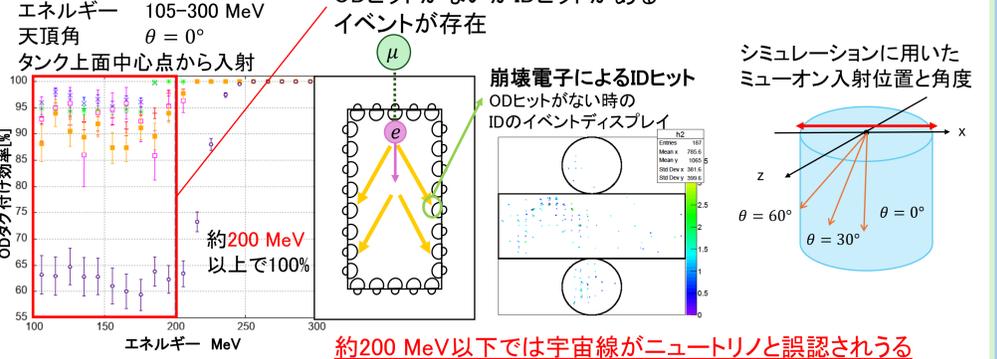
	基本	側面 PMT × 2	PMT × 2	側面水深 +1 m	上底面水深 +0.5 m
側面水深 (cm)	70	70	70	170	170
上底面水深 (cm)	70	70	70	70	120
側面 PMT数	264	528	528	132	264
上底面 PMT数	52	52	96	48	52

### ODタグ付け効率を用いた検出性能比較

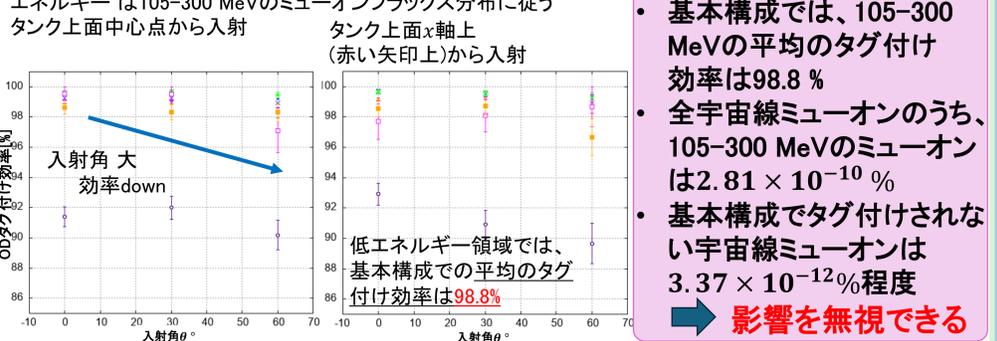
それぞれのジオメトリに100000個のミュオンを入射し、ODタグ付け効率を算出

ODタグ付け効率[%] =  $100 - \frac{\text{IDでヒットあり、ODヒットなしのイベント数}}{\text{IDヒットありのイベント数}} \times 100$

#### 1. エネルギー依存性



#### 2. 入射角依存性



## 結論

- PMT設計**  
 1線式の場合でもダンピング抵抗を用いてリンギングを抑えられ、デッドタイム400 ns程度で使用可能とわかった
- OD設計**  
 宇宙線ミュオンがタグ付けされない確率は  $3.37 \times 10^{-12} \%$ 程度で、ほとんど観測に影響しないことがわかった

## 今後の展望

ビームラインが岩盤を通過してIWCDに到達するため、ニュートリノと岩盤の相互作用から、多くの岩盤由来のミュオンが入射することが想定される。岩盤由来のミュオンの影響を調べる必要がある。