

氏 名 Jakkapu Mahesh

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2487 号

学位授与の日付 2024 年 3 月 22 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Improvement of Muon Neutrino Charged-Current Single Pion  
production cross-section measurement with the Upgraded  
ND280 at T2K

論文審査委員 主 査 中平 武  
素粒子原子核コース 教授  
原 隆宣  
素粒子原子核コース 教授  
田中 真伸  
素粒子原子核コース 教授  
小林 隆  
素粒子原子核コース 教授  
坂下 健  
素粒子原子核コース 准教授  
石塚 正基  
東京理科大学 創域理工学部 教授

# Summary of Doctoral Thesis

Name in Full : Jakkapu Mahesh

**Title : Improvement of Muon Neutrino Charged-Current Single Pion production cross-section measurement with the Upgraded ND280 at T2K**

To explore violation of neutrino CP symmetry, it is crucial to measure neutrino interactions with matter with unprecedented precision. The Tokai to Kamioka long-baseline neutrino oscillation experiment, T2K, is progressing with the development and construction of a new neutrino detector called SuperFGD, aiming for a detailed measurement of neutrino interactions. SuperFGD consists of approximately 2 million plastic scintillator cubes with a  $1*1*1$  cm<sup>3</sup> each, arranged to detect charged particles by recording the deposit energy in the cubes. This detector allows for the capture of ultra-high-resolution tracks in three dimensions, which was previously impossible, enabling a more detailed study of neutrino interactions.

We evaluated the measurement capabilities of neutrino reactions using the SuperFGD detector. The unique features of SuperFGD enable the measurement of low-momentum particles that were previously impossible with traditional neutrino detectors. Therefore, optimization of the selection of muon neutrino interactions with a charged pion in the final-state ( $CC1\pi$ ) was carried out, contributing to the improvement of neutrino oscillation measurements.

In this thesis, we first describe the verification of the newly developed readout electronics boards to realize the SuperFGD detector. We developed a system required to efficiently verify the operation of multiple-channel readout electronics for about 2 million scintillator cubes in a short time. We conducted the verification of around 240 electronics boards using this system, thereby completing the construction of the SuperFGD detector.

Next, we describe the evaluation of the detection efficiency of  $CC1\pi$  interactions in SuperFGD using Monte Carlo simulations. Specifically, we developed Monte Carlo simulations with NEUT generator and various reconstruction tools with the SFGD. Due to the size and geometry of SFGD cubes (1cm<sup>3</sup> each), the detection of short tracks has been improved. Moreover, the timing precision of new electronics combined with track matching allowed reconstructing decay electron tracks coming from pion to muon to electron decay chain using the characteristic decay time of muon ( $\sim 2.2\mu\text{s}$ ).

Implementing cuts based on this information we are able to reconstruct the 90% of the pion tracks stopping inside SFGD. We assessed the improvement in the detection efficiency of  $CC1\pi^+$  with the SFGD as  $\sim 60\%$ .

## 博士論文審査結果

Name in Full  
氏名 Jakkapu Mahesh

T i t l e  
論文題目 Improvement of Muon Neutrino Charged-Current Single Pion production cross-section measurement with the Upgraded ND280 at T2K

本論文は、長基線ニュートリノ振動実験：T2K実験において、ニュートリノ振動の高精度測定による「レプトンにおけるCP対称性の破れ」の探索感度を向上させることを目指し、系統誤差の主たる要因である「ニュートリノ-原子核反応」に関する理解を深化させる研究成果である。

T2K実験では、「ニュートリノビーム強度」と「ニュートリノ-原子核反応断面積」について前置検出器において測定し、それをを用いて推定した300km先のスーパーカミオカンデ検出器でのニュートリノ反応数と実際の観測数を比較してニュートリノ振動確率を決定する。本論文では、新型のニュートリノ検出器 SuperFGD を開発・導入し、プラスチックシンチレータを用いたニュートリノ検出器としては飛躍的に向上した3次元飛跡再構成能力を活かして、より高精度でのニュートリノ反応事象の分別を実現した。

本論文の前半は、SuperFGDの開発・製作にあたって出願者が携わった読み出し電子回路の開発に関するものである。約6万チャンネルの光検出素子MPPCを読み出すためフロントエンドエレクトロニクス248台を、予定されていた2023年の実験開始までの短時間で試験するための回路を設計・製作した。実際に製作された装置により10台の不良品を検知するとともに良好なFEBを177台選定した。それらにより2023年に稼働を開始したSuperFGDはJ-PARCニュートリノビームによるニュートリノ反応を検出した。

本論文の後半では、「終状態にミューオンとパイオンが一つずつ生成されるニュートリノ反応」に対する検出手法の開発と、モンテカルロシミュレーションによる性能評価について議論されている。T2K実験で用いる1GeV程度のエネルギー領域では、準弾性散乱、パイ中間子の生成を伴う反応や深非弾性散乱などのニュートリノ反応モードを分別することが不可欠である。出願者は、SuperFGDが短い飛跡のパイオンを捉える性能が高いことに着目して、ニュートリノ振動の測定に用いられる「1つのパイ中間子生成を伴う荷電カレント反応」を選別する方法を開発した。この反応モードの検出効率、従来のT2K前置検出器では約25%であったのに対して、出願者の開発した手法をSuperFGD検出器に適用すると60%まで大幅に向上し、また他の反応モードによる背景事象を考慮した事象選別純度も約60%から68%に向上することが示された。さらに、これまでに測定されていない位相空間(パイ中間子の低運動量領域)の反応断面積測定を開拓できることも示された。

本委員会は、革新的なニュートリノ検出器SuperFGDによるニュートリノ反応の検出に対しての出願者による貢献が十分認められ、またSuperFGDによる高精度のニュートリノ反応断面積の測定に不可欠な解析手法を確立したことの学術的価値は十分と認め、また博士論文の内容として必要な水準を示しており、本論文が学位の授与に値すると判断した。