

氏 名 弓野 圭太

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2448 号

学位授与の日付 2023 年 9 月 28 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 Measuring the tau polarisation at the ILC and Optimisation  
study of the Asian GEM Module

論文審査委員 主 査 長野 邦浩  
素粒子原子核コース 准教授  
坂下 健  
素粒子原子核コース 准教授  
遠藤 基  
素粒子原子核コース 准教授  
原 隆宣  
素粒子原子核コース 教授  
Jeans Daniel  
素粒子原子核コース 准教授  
田 俊平  
東京大学 素粒子物理国際研究センター 助教

# 博士論文の要旨

氏 名 : Keita Yumino

論文題目 : Measuring the tau polarisation at the ILC and Optimisation study of the Asian GEM Module

The International Linear Collider (ILC) is a next-generation high-energy electron-positron linear collider whose design and development are being promoted through international collaboration and has been proposed to study physics at the tera-scale and beyond.

In the ILC, electrons and positrons, which are elementary particles, collide with each other, thus enabling clean initial conditions. This clean initial state is ideal for high-precision measurements and is expected to extend and complement the results of the Large Hadron Collider (LHC).

This thesis consists of two major parts. The first part is tau reconstruction and tau polarisation measurements at the International Large Detector (ILD) which is one of the detector concepts at the ILC. The second part is about the Time Projection Chamber (TPC), which is the central tracker of the ILD which plays a central role in the measurements and about the optimisation of Gas Electron Multiplier (GEM), one of the Micro Pattern Gaseous Detector (MPGD).

In the first part of the thesis, the reconstruction of tau lepton pair and the measurement of the tau polarisation at the ILC operation at 250 GeV with polarized electron and positron beams with  $(P_e, P_{e^+}) = (-0.8, +0.3)$  and an integrated luminosity of  $1 \text{ ab}^{-1}$  were investigated using Geant4 simulation in ILD. Collision of electron and positron generates tau lepton pair in the ILC and this process can be used to search for new interactions, also making use of our ability to measure the tau polarisation. Correct reconstruction of the tau decay mode is important for the tau polarisation measurement. In the Standard Model (SM), the properties of the fermion pair production process can be precisely predicted both within the SM including extensions to describe new physics. This thesis describes the reconstruction of the tau pair at a high-energy electron-positron collider and the use of the tau decays to measure their polarisation.

In the last half of the thesis, the optimisation study of the TPC equipped with a GEM is described. The physics program at collider experiments requires essentially perfect efficiency to reconstruct charged particles produced in collisions to measure their direction, their origin with respect to the interaction vertex to identify displaced vertices and to estimate their momentum. The analysis of tau leptons, as described in the first part of the thesis, relies on the good performance of the charged particle

tracking system. In the ILC, MPGDs such as GEMs are used in the TPC endplate to amplify and detect ionized electrons in the reconstruction of charged particle trajectories.

In the GEM-based module currently under development, Gas gain non-uniformity was found by measurement. The difference is about 50% at maximum. If the applied voltage is increased to obtain a sufficient signal even at a place where the gas gain is small, the gas gain becomes too large at a place where the gas gain is large, and the possibility of discharge will be too high. This discharge causes a part of the GEM to carbonize, resulting in a short circuit and making it impossible to apply voltage and to form the high voltage necessary for gas amplification. In this thesis, the study of GEM design optimisation has been performed by theoretical approach to find the conditions under which the thickness dependence of the gas gain is minimum. Derived is an analytic equation of the gas gain variation and found the stability condition for the first time in this thesis.

## 博士論文審査結果

Name in Full  
氏名 弓野 圭太

Title  
論文題目 Measuring the tau polarisation at the ILC and Optimisation study of the Asian GEM Module

本論文は、電子・陽電子直線加速器 (ILC) をもちいた将来計画実験における 2 つの研究課題から成る。1 つは、重心系エネルギー 250 GeV での電子・陽電子衝突からの対生成タウ粒子の偏極を測定することから、素粒子標準模型を超える新物理探索を行うものである。飛跡情報、特に反応点への横方向の最近接距離 (Impact Parameter) をもちいてタウ粒子の運動量を完全に再構成する新しい手法を開発し、偏極測定の精度、効率、ともに向上を得た。また、偏極測定を、輻射による Z 粒子生成 (radiative return) 事象まで拡張した。これらはいずれも ILC 実験では初である。最終的に、偏極測定に加え、断面積測定も同時に用いることで、新粒子の候補の 1 つである Z' 粒子について、排除が期待できる質量領域を評価し、250 GeV という低い重心系エネルギーでもビーム偏極をもちいることで 2 TeV 程度まで Z' 粒子探索ができることを示した。結果は Snowmass Report や hep-ph などに出版しており、また、国際ワークショップなどで数多く発表されている。

もう 1 つの研究課題は、ILC 実験用 TPC 検出器の読み出し GEM モジュールの信号増幅率 (ゲイン) の位置依存性について、モジュールの厚さの観点から、解析的計算やシミュレーションをもちいての基礎研究である。現在開発中の実機モジュールではテスト実験で放電率が高く電圧を下げざるを得なかったなど、位置依存性の理解と解決が重要となっている。Alkhasov 理論に基づいた解析的計算からゲインが GEM フォイルの厚みの微小変化に対して安定になる条件を導いたが、hole 付近などの高電圧領域では成り立たない事がわかり、高速シミュレーターを開発してその原因が最初のイオン化の場所 (z) による依存であることを突き止めた。結果は国際ワークショップで口頭発表している。今後の、非一様磁場や複雑なジオメトリである実機の GEM モジュールの設計へのフィードバックまで発展させていく上で、開発した高速シミュレーターも含め、重要な基礎結果となった。

博士論文審査会は、本論文の結果は学術的に十分な価値が認められるものであり、博士論文として必要な水準になると判断した。ただし、GEM ゲインの厚みの観点からの研究課題については、実データでの検証結果を論文中に追記するなどの改善をすれば、より良い論文になるのではという意見があった。以上により、博士論文審査会は、審査会後に論文の改善を行うことを条件として、本論文が学位の授与の値すると結論した。