

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分
平成29年3月15日現在

タウレプトンをプローブとする新物理探索

Probing New Physics with Tau-Lepton

課題番号：26220706

飯嶋 徹 (IIJIMA TORU)

名古屋大学・現象解析研究センター・教授



研究の概要：世界最高輝度を誇る KEKB ファクトリー実験を 40 倍に増強したスーパー-B ファクトリー実験にむけ、我々が独自に開発した TOP 粒子識別装置の技術確立を達成するとともに、名古屋大学データ解析装置を増強して大量のデータ解析やシミュレーション事象の生成が可能な環境を構築し、いち早く新物理を発見できる体制を整える。これにより、タウ LFV 崩壊や、B 中間子タウオニック崩壊の測定から、TeV 領域の新物理探索を進める。

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）、加速器、粒子測定技術、タウレプトン

1. 研究開始当初の背景

世界最高輝度を達成し、B 中間子崩壊における CP 対称性の破れの発見と小林-益川理論の検証などの輝かしい成果をあげた B ファクトリー実験において、我々は、タウレプトンに注目した独自研究を展開してきた。特に $\tau \rightarrow \mu \gamma$ や $\tau \rightarrow \mu \mu \mu$ 崩壊をはじめとする 30 以上のタウ LFV 崩壊の探索を世界最高感度で推進し、 $B \rightarrow \tau \nu \cdot$ や $B \rightarrow D \tau \nu \cdot$ などの終状態にタウ・レプトンを有する崩壊（B 中間子タウオニック崩壊）の測定を精力的に行い、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の世界初観測などの成果を得ていた。また、将来のアップグレード実験に向けて、「TOP カウンター」と呼ばれる新型粒子識別装置の独自開発、大量のデータを処理する GRID 計算機に関する研究を積み上げていた。

2. 研究の目的

本研究では、こうした独自の研究を、スーパー-B ファクトリー実験において、更に発展させることを目的としている。具体的には、**■タウ LFV 崩壊の探索**（崩壊分岐比感度 = 10^{-9} ）**■タウレプトンの EDM や g-2 の測定**、**■ $B \rightarrow \tau \nu$, $D \tau \nu$ 崩壊の精密測定**（10%精度）などの測定により、O(100GeV~1TeV) 領域の新物理の可能性を探ることを主目的としている。

3. 研究の方法

上記の目的の達成のために、研究期間の前半においては、TOP カウンターを完成させて、検出器解析ソフトウェアの構築や検出器較正手法を確立し、検出器性能を最大限に引き出す。また、名古屋大学の GRID 計算機環境

を整備して、処理能力を大幅に引き上げ（CPU30 倍、Disk 容量 15 倍）、大量のデータ解析を瞬時に行なえる環境を構築する。そして、シミュレーション事象によって、イベント解析の最適化や背景事象の理解を進め、実験開始後に、いち早く結果を得ることができる体制を整える。研究期間の後半においては、現在の数倍~10 倍の統計でのタウレプトンをプローブとする新物理探索の初期成果導出を目指している。

4. これまでの成果

まず、本研究におけるハードウェア上の最大の成果として TOP 検出器を完成することができた（図 1）。KEK、アメリカ、イタリア、スロベニアの研究者との国際協力により、予備検出器 1 台を含む全 17 台の製作とインストールを完了し、宇宙線のデータからほぼ期待通りの光量が得られることを確認している。また、TOP カウンター用光検出器であるマイクロチャンネルプレート内蔵型光電子増倍管（MCP-PMT）の寿命を更に改善するスタディーを精力的に進め、従来品と比較して 1.5 倍以上の寿命改善を達成した。これにより、将来的に必要な MCP-PMT の交換に備えて、十分長い期間の運転に耐える MCP-PMT を製作することが可能となった。

Belle II 実験でのデータ解析の最適化に必要なシミュレーション事象を大量生成するため、名古屋大学 KMI タウレプトンデータ解析室の GRID 計算機の CPU（当初約 2k HEPSpec）を、H26 年 10 月（約 2.5 kHEPSpec）と H29 年 1 月（約 2k HEPSpec）

に順次増強し、当初目標の 7.25k HEPSpec を達成した。これにより、高功率かつ安定にシミュレーションデータの生成が進んでいる。また、Belle II コンピューティングシステム監視システムを開発した。

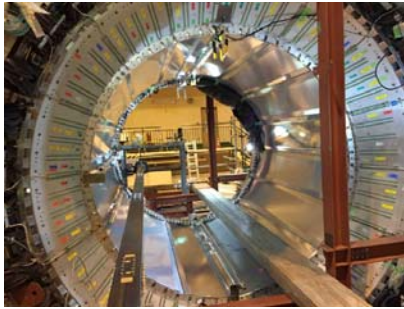


図1：完成した TOP カウンター

Belle II 実験の前段階として、Belle 実験全データを用いた B タウオニック崩壊の新しい結果を得た。B→D^(*)τνについては、従来の手法による解析結果に加え、新しい手法による解析結果の導出も行った。この新手法は、バックグラウンドが増える傾向にあり、当初は難しいと考えられていたが、飯嶋と名古屋大の若手研究者が中心となって解析手法を工夫し、従来手法と比べて遜色のない結果導出が可能となったものである。これにより、実質的に検出効率と新物理に対する感度を高めることができた。この手法により、τレプトンの偏極度の世界初測定をも行い、Belle II 実験で新物理探索の足がかりとなる成果となった。得られた B → D^(*)τν・崩壊分岐比の標準理論からのずれは 2.6σ、他実験 (BaBar 実験、LHCb 実験) も合わせた世界平均では約 4σとなった。この結果は、大きな注目を集め、Belle II 実験での精密測定が待たれる。得られた B タウオニック崩壊の測定結果は、多くの新物理模型で予言されている荷電ヒッグス粒子の存在可能領域に制限を与えている (図2)。

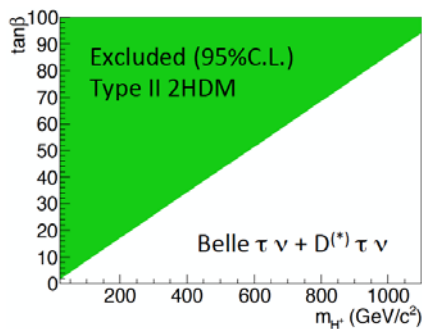


図2：B タウオニック崩壊による荷電ヒッグスに対する制限

5. 今後の計画

今後の実験計画としては、H29年度中に予備衝突実験 (Phase2)、H30年度後半から本格的な物理ラン (Phase3) が始まる。Phase2までに、TOP 検出器の較正作業を遅滞なく進め、新しい検出器の技術を確認する。また、本格的なデータ取得に備えて、データストレージの増強を進めるとともに、シミュレーションによって物理解析の最適化を図り、ラン開始後にいち早く結果が出せる体制を整える。並行して、Belle 実験データの解析に更に新しい解析手法を導入し新物理に対する感度向上も試みる。B2Tip、NP-Japan、名古屋大「重フレーバー素粒子物理学国際研究ユニット」などの研究者も連携研究者として加え、タウレプトンをプローブとする新物理探索の拠点構築を進める。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) 主要論文：

- "Measurement of the branching ratio of $B^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \nu_\tau$ relative to $B^0 \rightarrow D^{*+} \ell^- \nu_\ell$ decays with a semileptonic tagging method", Y. Sato* (1番), T. Iijima (2番), K. Inami (57番), K. Hayasaka (52番) et al. (Belle collaboration, 員数 182) Phys. Rev. D 94, 072007 (2016) (査読有)
- "Measurement of the branching ratio of $B \rightarrow D^{(*)} \tau \nu$ relative to $B \rightarrow D^{(*)} \ell \nu$ decays with hadronic tagging at Belle "M. Huschle* (1番目), T. Iijima (69番), K. Inami (70番), K. Hayasaka (61番) et al. (Belle collaboration, 員数203) Phys. Rev. D 92, 072014(2015) (査読有)
- "Development of the micro-channel plate photomultiplier for the Belle II time-of-propagation counter", S. Hirose*, K. Inami (3番目) et al. (員数11), Nucl. Instr. Meth. A787 293, (2015) (査読有)
- "TOP counter for particle identification at the Belle II experiment", K. Inami* (Belle II PID group), Nucl. Instrum. Meth. A766, 5 (2014) (査読有)
- 「Belle II実験TOPカウンターのインストール完了報告」、鈴木一仁、居波賢二、松岡広大、高エネルギーニュース、第35巻3号 (2016) .

受賞

飯嶋 徹：第7回折戸周治賞 (2016年3月)
居波賢二：小柴賞 (2017年2月)
加藤悠司：日本物理学会若手奨励賞 (2017年3月, CHEP2015国際会議ポスター賞ホームページ等

<http://www.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp/~ijima.a.nagoya>

<http://wru.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp>