

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901
 研究種目：特定領域研究
 研究期間：2006～2011
 課題番号：18071003
 研究課題名（和文）
 BファクトリーにおけるBとタウフレーバー物理の研究
 研究課題名（英文）
 B and tau physics at B-factory
 研究代表者
 大島 隆義（OSHIMA TAKAYOSHI）
 名古屋大学・理学研究科・特任教授
 研究者番号：00134651

研究成果の概要（和文）：

本計画研究では、第三世代素粒子である**bクォーク**と**タウ・レプトン**に注目し、世界最強度を誇るわが国BファクトリーKEKB-Belle実験において、 $1,000\text{fb}^{-1}$ を越えるデータ量を収集・解析して、標準理論を超えるNew Physics(NP)探索を限界にまで追及し、新たな知見を得た。また、実験的に探索感度の一層の向上を目指すリングイメージ型チェレンコフ検出器の開発研究を行い、実機作製への目途を付けた。

研究成果の概要（英文）：

This project aims to search for signals of New Physics (NP) world beyond the Standard Model (SM) in decays of both B-mesons and tau-leptons at the B-factory (KEKB-Belle) experiment of the world highest intensity. Highest research sensitivities are attained and some insights on NP are then obtained. New particle devises by means of Cherenkov ring image detection are also developed in order to raise the sensitivities on NP.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	18,300,000	0	18,300,000
2007年度	44,300,000	0	44,300,000
2008年度	44,300,000	0	44,300,000
2009年度	26,600,000	0	26,600,000
2010年度	18,900,000	0	18,900,000
2011年度	19,100,000	0	19,100,000
総計	171,500,000	0	171,500,000

研究分野：素粒子物理学

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子、B中間子、タウ・レプトン、レプトンフレーバ保存則、Bファクトリー、超対称性粒子、粒子識別装置、光検出器

1. 研究開始当初の背景

(1)素粒子研究は、Bファクトリー実験で検証された小林・益川理論で代表されるように、一貫性ある「標準理論(SM)」を構築するに至った(図1)。

(2)「超対称性粒子」、「余次元世界」、「ダークマター」、「大統一理論」などで表現される未知の素粒子世界(NP)の存在がSMを超えて予測さ

れ、世界最高の衝突強度を誇るわが国Bファクトリーでの先鋭的な研究が国際的に強く要請されていた。

(3)本研究グループは、すでに世界的に高く評価される実力と実績を積み、かつ国内外の共同研究者を結ぶ独自の物理解析システムを構成する強力な国際共同研究組織であった。



図1：標準理論とNew Physics世界の素粒子

2. 研究の目的

未知の物理(NP)は重い素粒子である第3世代のクォーク(b)やレプトン(τ)に高い感度を持ち、それらがSMの予測値と異なる崩壊様式を引き起こす。

bクォークとその反粒子で構成されるB中間子では、 $B \rightarrow \tau\nu$ 崩壊の分岐比や、粒子・反粒子(CP)非対称性にその効果が現れる。後者は小林・益川理論と深く結びつくが、前者はそれとは独立にNP効果が分岐比という単純な形で現れる利点、特徴がある(図2)。一方、タウ粒子ではSMで禁止されるレプトンフレーバという量子数の保存則を破る崩壊(LFV)として現れる。

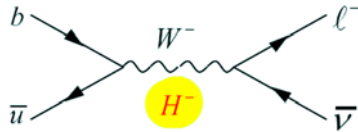


図2： $B \rightarrow \tau\nu$ 崩壊のダイアグラム。SMでは量子仮想状態としてWボソンが、NPでは荷電ヒッグスがはたらく。

さらなるNP探索のための次期Belle-II計画では、測定器、特に、分離能力の高いK/ π 粒子種識別装置がかなめとなる。独自に考案したチェレンコフ・リングイメージ型 Time-Of-Propagation (TOP)測定器(Belle-IIの想定パレル検出器)及びエアロジェル RICH 測定器(想定エンドキャップ検出器)(識別能力 $>3\sigma$ ($p < 4 \text{ GeV}/c$))の実機作成を目指したR&Dを実施する。

3. 研究の方法

(1) B中間子ならびにタウ粒子によるNP探索

前人未達のNP探索感度を達成するため、世界最強の電子・陽電子衝突頻度を実現し、国際協力実験(KEKB-Belle)において総計16億事象のB中間子崩壊データならびにほぼ同数のタウ粒子データを収集する。これは世界に類を見ない、他の研究機関では実現不可能な統計量である。

また、データ解析の効率化、背景事象の排除、高信頼化を一層図り、NPの探索領域を広域化し深化させる。それにはグループ所有の高速コ

ンピュータシステムをフル稼働させ、膨大な測定データの解析、モンテカルロ擬似事象の生成、背景事象の寄与や検出器の稼働特性の把握を行い、物理解析を遂行する。

(2) 粒子種識別用の検出器の開発

粒子種識別用検出器の開発研究においては、光検出器(MCP-PMT)の高計測率下での長寿命化開発を進める。同時に、Belle-IIでの実用機作製と予測実験状況下での稼働テストを実施し、実用化の方策を探る。

4. 研究成果

(1) B中間子、タウ粒子物理

① B中間子稀崩壊探索(論文3, 15, 16, 19)

電子・陽電子衝突で生成するB中間子対($e^+e^- \rightarrow B\bar{B}$)の一方のB中間子をハドロニック崩壊あるいは準ハドロニック崩壊でタギング(標識化)し、残った他方の信号B中間子が $B \rightarrow \tau\nu$ に崩壊する事象を探索した。 $\tau\nu$ の最終崩壊系は1つの荷電粒子のみであって、放出される2つ以上のニュートリノは検出できず、崩壊の情報量が少なく、背景事象との識別が大変難しい測定である。電磁カロリメータ情報を活用して、終状態には検出できた荷電粒子以外には存在しないとして背景事象を分離する(図3)。

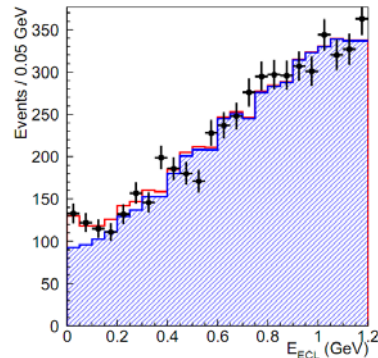


図3：準レプトン崩壊タギングによる $B \rightarrow \tau\nu$ 崩壊探索におけるECLエネルギー分布。黒丸がデータ、ヒストグラムがバックグラウンドを示す。

2006年度には世界に先駆けて崩壊信号の発見に成功し、その崩壊分岐比を $(1.8 \pm 0.6) \times 10^{-4}$ と決定した。さらに、タギングをハドロニック崩壊から準レプトン崩壊に変更し、2010年度には分岐比 $(1.54 \pm 0.38 / 0.37 \pm 0.29 / 0.31) \times 10^{-4}$ を得た。これらの結果はNP粒子である荷電ヒッグスの質量領域に強い制限を与える成果を挙げた(図4)。

2009年度には全再構成手法を用いて $B \rightarrow D^*\tau\nu$ 崩壊の分岐比測定に成功した $(2.02 \pm 0.40 / 0.37 \pm 0.37\%)$ 。この崩壊は $B \rightarrow \tau\nu$ 同様に荷電ヒッグス粒子に高い感度を持ち、その上に理論的不定性が小さい、分岐比が大きい、3体崩壊の運動学が仮想粒子 W^*/H^* の識別を可

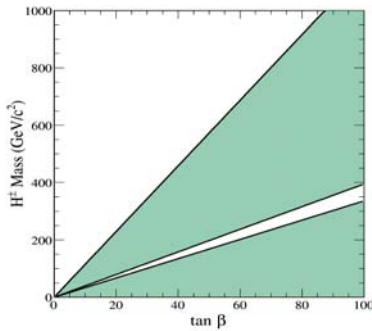


図4:本研究による荷電ヒッグスの質量と $\tan\beta$ パラメータ空間への制限。色塗り部分は測定した分岐比と標準理論予想のずれ具合から95%の信頼度で棄却された領域を示す。

能とするなどの利点がある。

上記以外にも、 $B \rightarrow \eta' K^0$ 崩壊を解析し、 $b \rightarrow s$ クォーク遷移において初めて CP 非保存現象を測定することに成功した ($\sin(2\phi_1^{\text{eff}}) = 0.59 \pm 0.08$)。また、 $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \pi^0$ 過程における CP 非対称度 ($S = 0.43 \pm 0.49 \pm 0.09$, $A = -0.17 \pm 0.24 \pm 0.06$) を測定し、未だ統計誤差が大きい、SM 計算とは逆符号の値を示し、NP 効果かと興味を沸かしている (図5)。さらに、 $B \rightarrow \pi \ell \nu$, $\rho \ell \nu$ 崩壊分岐比の測定などを実施し、崩壊分岐比の q^2 依存性から小林・益川行列要素を高い精度で確認した。

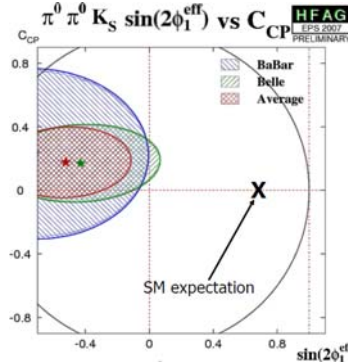


図5: $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \pi^0$ 測定結果。楕円は、 1σ の測定誤差領域を示す。×印は標準理論の予想を示す。

② タウ粒子 LNV 崩壊探索 (論文 1, 4-7, 9, 11, 17, 20)

46 の LNV 崩壊様式を世界最高感度で探索するのに成功した。図6はタウ崩壊分岐比の上限値で達成探索感度を示す (赤丸)。Bファクトリー以前の CLEO 実験 (黒丸) (感度 $\sim 10^{-6}$) と比較すると2桁、本研究当初からは1桁の感度の大幅更新である。最新成果として、統計量を増やした $\tau \rightarrow lll$ 探索があり、上限値 $(1.5-2.7) \times 10^{-8}$ を達成した。また、 $\tau \rightarrow lV^0$, $\tau \rightarrow l\eta$ の解析を更新し、分岐比上限値 $(1.2-8.4) \times 10^{-8}$ と $(2.2-4.4) \times 10^{-8}$ を実現した。

この結果は、レプトンフレーバ保存則が $0(10^{-8})$ の大変高い精度で成り立っていることを示し、それらは NP の存在様式 (図7) に拘束を課す貴重な知見を提供する

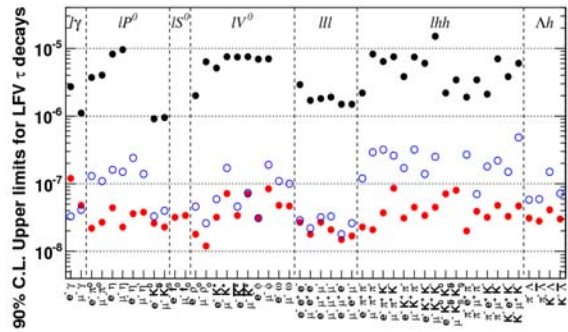


図6:本研究が到達した New Physics 探索感度を赤丸で示す。白丸は米国 B ファクトリー実験の成果。

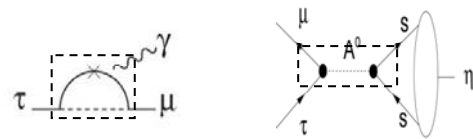


図7: NewPhysics が関与する $\tau \rightarrow \mu \gamma$ (左) と $\tau \rightarrow \mu \eta$ (右) の素粒子像。

(2) 粒子種識別検出器の開発研究 (論文 2, 12-14)

TOP カウンターは、石英輻射体を通る荷電粒子によって放射されたチェレンコフ光を輻射体内で全反射させ、輻射体片端までの伝搬時間 (TOP) と位置の二次元情報を測定して、粒子種によるチェレンコフ放射角の違いを識別する。

光検出器であるマイクロチャンネルプレート光電子増倍管 (MCP-PMT) は長期にわたる企業との共同開発により、ほぼ満足すべき性能の製品生産に成功した。特に、光電面の劣化による寿命短縮も PMT の内部構造を改造し、ほぼ10年の実験環境下 ($1-2C/cm^2$) で使用できるものを実現した (図8)。

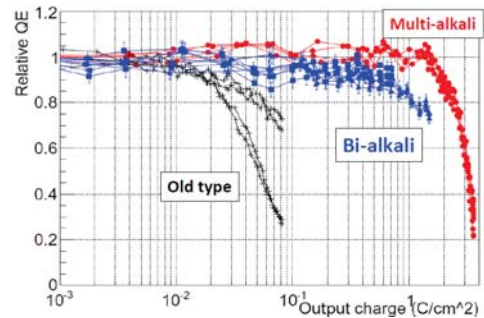


図8:量子効率の照射量による変化。量子効率寿命の改良結果であり、黒が改良前の初期性能、赤色青色が最終達成性能を示す。

実機サイズ ($45\text{cm}^{\text{w}} \times 100\text{cm}^{\text{l}} \times 2\text{cm}^{\text{t}}$) の石英輻射体と石英焦点鏡の作成を行い、プロトタイプ機 (図9) を作成した。ビームテストを実施し、チェレンコフ光量や時間分解能などの基本特性を測定してモンテカルロ・シミュレーションと比較検討を行い (図10)、焦点鏡による識別能力の改善効果も確認し、次段の

実機作成と Belle-II 測定器への組み込み構造の検討へ前進した。



図9：作成中の石英輻射体と焦点鏡。石英板2枚と焦点鏡が接着されている。

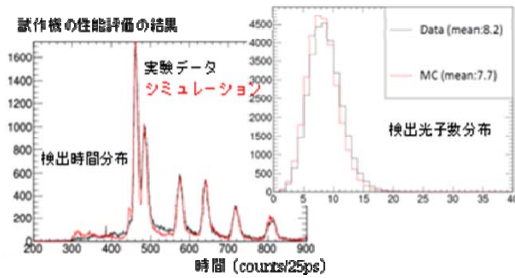


図10：チェレンコフ光量分布(右上)と18chのTOP時間分布。黒が実測データ、赤がシミュレーション結果を示す。

実用機へ残る課題は、PMTの量子効率(QE)向上のため光電面材質をmulti-alkali(QE=24-30%)からsuper bi-alkali(>30%)への更新がある。石英輻射体の超高精度表面研磨は試験的な研磨作業に入っている。ビームテストを繰り返し、各種の条件下での粒子識別能力の実測と評価が継続している。メンテナンスの容易な組み込み構造体の設計と輻射Bhabha散乱の影響の抑制法が課題である。

一方、エアロジェルRICH検出器は光検出器HAPDの実用化に向けた開発を進めた。特に、中性子と γ 線耐性に焦点を当て、前者については照射量 5×10^{11} n/cm²の耐性を確認し、後者についてはAPD半導体部分のP層を薄くすることによって損傷が減少しシグナル・ノイズ比が7倍向上することを確認した。また、エアロジェル輻射体と組み合わせた試作機を用いて、ビームテストを実施し、期待通りのリングイメージを得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計20件)

1. Y. Miyazaki, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima et. al. (Belle collaboration), Phys. Lett. B699, 251-257 (2011).
“Search for Lepton-Flavor-Violating τ Decays into a Lepton and a Vector Meson” (査読有).
2. T. Jinno, T. Mori, T. Ohshima, Y. Arita,

K. Inami, et al. “Lifetime-Extended MCP-PMT”, Nucl. Instrum. Meth. A 629: 111-117(2011), (査読有) (8名中、3番目と5番目).

3. K. Hara, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. “Evidence for $B^- \rightarrow \tau^- \nu$ with semileptonic tagging method”, Phys. Rev. D82, 071101(R) (2011), (査読有).
4. K. Hayasaka, K. Inami, Y. Miyazaki, T. Iijima, T. Ohshima, et al. (Belle collaboration), “Updated Search for Lepton Flavor Violating tau Decays into Three Leptons with 719 Million Produced $\tau^+ \tau^-$ Paris”, Phys. Lett. B687, 139-143 (2010), (査読有).
5. Y. Miyazaki, T. Iijima, T. Ohshima, K. Inami, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into lK^0 s and $lK^0 s K^0$ s”, Phys. Lett. B692, 4-9 (2010), (査読有).
6. Y. Miyazaki, T. Iijima, T. Ohshima, K. Inami, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton-Flavor-Violating τ Decays into a Lepton and an $f_0(980)$ Meson” Phys. Lett. B 672, 317-322 (2009), (査読有).
7. Y. Miyazaki, T. Ohshima, K. Inami, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into one Lepton and Two Charged Mesons”, Phys. Lett. B682, 355-362 (2009) (査読有)
8. K. Inami, T. Ohshima, K. Kaji, T. Iijima, et al. (Belle collaboration), “Precise measurement of hadronic τ^- decays with an η meson”, Phys. Lett. B672, 209-218 (2009) (査読有)
9. Y. Miyazaki, T. Iijima, T. Ohshima, K. Inami, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into Three Leptons” Phys. Lett. B 660, 154-160 (2008) (査読有)
10. Y. Nishio, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. (Belle collaboration), “Search for lepton-flavor-violating $\tau \rightarrow l V^0$ decays at Belle”, Phys. Lett. B 664, 35-40 (2008), (査読有)
11. K. Hayasaka, T. Iijima, T. Ohshima, K. Inami, et al. (The Belle collaboration), “New Search for $\tau \rightarrow \mu \gamma$ and $\tau \rightarrow e \gamma$ decays at Belle”, Phys. Lett. B 666, 16-22 (2008), (査読有)
12. K. Inami, T. Iijima, T. Ohshima et al. “Cross-talk suppressed multi-anode MCP-PMT”, Nucl. Instrum. Meth. A592: 247-253 (2008), (査読有) (16人中、1番目、14番目)
13. M. Staric, K. Inami et al, ” Likelihood

Analysis of patterns in a time-of-Propagation (TOP) counter” Nucl. Instrum. Meth. A595:252-255, (2008), (査読有) (4人中、2番目)

14. K. Inami, “Development of TOP counter for Super B factory” Nucl. Instrum. Meth. A595:96-99, (2008), (査読有)
15. K. F. Chen, K. Hara, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. “Observation of time dependent CP violation in $B \rightarrow \eta' K^0$ decays and improved measurement of CP asymmetries in $B \rightarrow \phi K^0$, $K_s K_s K_s$ and $J/\psi K^0$ decays”, Phys. Rev. Lett. 98, 031802 (2007), (査読有)
16. T. Hokuue, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. “Measurement of branching fraction and q_2 distributions for $B \rightarrow \pi l \nu$ and $\rho l \nu$ decays with $B \rightarrow D^{(*)} l \nu$ decay tagging”, Phys. Lett. B648, 139-148 (2007), (査読有)
17. Y. Miyazaki, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. (Belle collaboration), “Search for Lepton Flavor Violating τ Decays into $l \eta, l \eta'$ and $l \pi^0$ ”, Phys. Lett. B 648, 341-350 (2007), (査読有)
18. K. Inami, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), “First Observation of the Decay $\tau \rightarrow \phi K \nu$ ”, Phys. Lett. B 643, 5-10 (2006), (査読有)
19. K. Ikado, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. “Evidence of the purely leptonic decay $B \rightarrow \tau \nu$ ”, Phys. Rev. Lett. 97, 251802 (2006), (査読有)
20. Y. Miyazaki, T. Iijima, K. Inami, T. Ohshima, et al. (Belle Collaboration), “Search for lepton flavor violating tau decays with a K_s meson”, Phys. Lett. B 639, 159-164 (2006), (査読有)

[学会発表] (計 34 件)

1. K. Inami, “Belle results on Lepton Flavor Violation in tau decays”, 19th Particle & Nuclei International Conference, 2011/7/14, Cambridge, USA
2. K. Inami, “MCP-PMT development for Belle-II TOP counter”, Technology and Instrumentation in Particle Physics 2011, 2011/6/9, Chicago, USA
3. Y. Miyazaki, “Lepton Flavor Violating tau decays at B-factories”, Flavor Physics and CP Violation 2011, 2011/5/23, Israel
4. K. Hayasaka, “Tau physics at Belle”, Symposium on Prospects in the Physics of Discrete Symmetries, 2010/12/6-11, Rome, Italy
5. T. Mori, “Performance Test of TOP

Counter Prototype”, WORKSHOP ON TIMING DETECTORS 2010/11/29-12/1, Krakow, Poland

6. T. Mori, “TOP counter prototype R&D”, IEEE Nuclear Science Symposium 2011/10/30-11/6, Knoxville, TN, USA
7. K. Hara, “Studies of a Proximity Focusing RICH with Aerogel Radiator for Belle II experiment”, IEEE Nuclear Science Symposium 2011/10/30-11/6, Knoxville, TN, USA
8. K. Inami, “Updated search for lepton-flavor-violating tau decays at Belle”, The 11th International Workshop on Tau-Lepton Physics (TAU2010), 2010/9/13-17, Manchester, UK
9. T. Iijima, “B decays to tau lepton”, The 11th International Workshop on Tau-Lepton Physics (TAU2010), 2010/9/13-17, Manchester, UK
10. K. Hayasaka “Search for lepton flavour violating tau decay and lepton-number violation B decay at Belle”, 35th International Conference on High Energy Physics, 2010/7/21-28, Paris, France
11. K. Hayasaka, “Recent tau decay results at B factories”, 22nd Rencontres de Blois, 2010/7/15-20, Blois, France
12. Y. Miyazaki, “Lepton Flavor Violation at B Factories”, Flavor Physics and CP Violation 2010 2010/5/25-29, Torino, Italy,
13. K. Inami “Development of time of propagation counters”, 7th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Detectors 2010/5/3-7, Cassis, Provence, France
14. S. Shiizuka, “Study of 144-channel Hybrid Avalanche Photo-Detector for Belle II RICH counter”, 12th Vienna Conference on Instrumentation, 2010/2/15-20, Vienna, Austria
15. K. Inami, “Rare τ decays from B factory”, The 12th International Conference on B-Physics at Hadron Machines 2009/9/7-11, Heidelberg, Germany
16. K. Hara, “B decays with tau at Belle”, International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions, 2009/6/5-10, Boston, USA
17. K. Hayasaka, “Second-class current in $\tau \rightarrow \pi \eta \nu$ analysis and measurement of $\tau \rightarrow h' h' h'$ from Belle” 2009 Europhysics Conference on High Energy Physics: HEP 2009 (EPS-HEP 2009) 2009/7/16-22, Krakow,

- Poland
18. Y. Miyazaki, "Search for Lepton Flavor Violation in τ Decays at Belle Experiment", EPS-HEP2009, 2009/7/16-22, Krakow, Poland
 19. T. Iijima, "Recent topics of Particle Identification and Photon Detectors", 1st International conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics, 2009/3/12-17, Tsukuba, Japan
 20. K. Hayasaka "Search for LFV at B factories", Symposium on Prospects in the Physics of Discrete Symmetries, 2008/12/11-16, IFIC, Valencia, Spain
 21. K. Inami, "Tests of MCP-PMT for the TOP counter", Workshop on timing detectors: Medical and Particle Physics applications, 2008/10/15-16, Lyon, France
 22. Y. Miyazaki "Search for Lepton Flavor Violating τ decays at Belle", 10th International Workshop on Tau Lepton Physics (TAU08), 2008/9/22-25, Novosibirsk, Russia
 23. Y. Usuki, "Precise measurement of $BR(\tau \rightarrow K^{*0}(892)K^- \nu_\tau)$, $M_{K^{*0}(892)}$ and $\Gamma_{K^{*0}(892)}$ from Belle", TAU08, 2008/9/22-25, Novosibirsk, Russia
 24. K. Inami, "Hadronic Tau Decays at Belle", 34th International Conference on High Energy Physics, 2008/7/30-8/6, Philadelphia, PA, USA
 25. K. Hara, "Rare B decays with leptons at Belle", 34th International Conference on High Energy Physics, 2008/7/30-8/6, Philadelphia, PA, USA
 26. K. Inami, "Experimental review of lepton-flavor-violating tau decays", International Workshop On e^+e^- Collisions From Phi To Psi (PHIPSI08) 2008/4/7-10, Laboratori Nazionali di Frascati, Italy
 27. Y. Usuki, "Study of $\tau \rightarrow K^{*0}(892)K^- \nu_\tau$ and $\tau \rightarrow \eta X \nu_\tau$ decays at Belle", PHIPSI08, 2008/4/7-10, Frascati, Italy
 28. K. Inami, "Timing properties of MCP-PMT", Workshop on timing detectors 2007/3/8-9, Paris, France
 29. K. Inami, "Development of TOP counter for Super B factory", 6th International Workshop On Ring Imaging Cherenkov Counters, 2007/10/15-20, Trieste, Italy
 30. T. Ohshima, "Study of LFV in tau Decay at Belle", International Workshop on Tau-Lepton Physics (Tau06), 2006/9/19-22, Pisa, Italy
 31. T. Ohshima "Measurement of $\tau \rightarrow \phi K \nu_\tau$

- branching fraction", Tau06, 2006/9/19-22, Pisa, Italy
32. K. Hayasaka, "Search of lepton flavor violation at B factories", International Conference of High Energy Physics 2006/7/27-8/2, Moscow, Russia
33. Y. Miyazaki, "Lepton Flavor Violation tau and Leptonic B Decays at the B factories", Conference of Intersection Particle and Nuclear Physics, 2006/5/30-6/3, Puerto Rico, USA
34. K. Inami, "Time of Flight measurement with MCP-PMT", In the Proceedings of International Symposium on Detector Development for Particle, Astroparticle and Synchrotron Radiation Experiments 2006/4/3 - 6, SLAC, USA

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 取得年月日：
 国内外の別：

[その他]

ホームページ等
<http://osksn2.hep.sci.osaka-u.ac.jp/~ta ku/flavor/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大島 隆義 (OHSHIMA TAKAYOSHI)
 名古屋大学・大学院理学研究科・特任教授
 研究者番号：00134651

(2) 研究分担者

居波 賢二 (INAMI KENJI)
 名古屋大学・大学院理学研究科・准教授
 研究者番号：5037252

(3) 連携研究者

飯嶋 徹 (IIJIMA TORU)
 名古屋大学・大学院理学研究科・教授
 研究者番号：80270396