

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02175

研究課題名(和文) タウレプトン崩壊の精密測定によるステライルニュートリノの探索

研究課題名(英文) Search for sterile neutrinos through precision measurements of tau lepton decays

研究代表者

相原 博昭 (Aihara, Hiroaki)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・名誉教授

研究者番号：60167773

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,200,000円

研究成果の概要(和文)：KEKB電子陽電子衝突型加速器から得られた高統計タウレプトン対データを使って、終状態が荷電パイ中間子、ニュートリノ、荷電レプトン対(電子陽電子対、あるいは、正ミューオン負ミューオン対)の4体からなるタウレプトンの稀崩壊を世界で始めて観測した。タウレプトンが荷電パイ中間子、ニュートリノ、電子陽電子対に崩壊する分岐比の測定結果は、 $(1.46-3.01) \times 10^{-5}$  であり、これは今日までに測定されているタウレプトン分岐比として最小である。さらに、タウレプトンが荷電パイ中間子、ニュートリノ、正ミューオン負ミューオン対に崩壊する分岐比については、 $1.14 \times 10^{-5}$  の上限値を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究対象であるタウレプトンの4体崩壊(終状態が荷電パイ中間子、ニュートリノ、荷電電子陽電子対あるいは正ミューオン負ミューオン対)には、素粒子の標準理論では説明のつかないステライルニュートリノ(sterile neutrino)の存在が寄与する可能性がある。存在すれば測定分岐比が標準理論予想値から大きく異なるはずである。本研究で得られた測定値は標準理論予想値と誤差の範囲で一致しており、その結果質量が数十～数百電子ボルトの比較的重いステライルニュートリノの存在を否定し、標準理論を超える新しい素粒子モデルの構築に厳しい制限を与える。ステライルニュートリノ発見に向けた研究の着実一步と位置づけられる。

研究成果の概要(英文)：Using high-statistics data collected at the KEKB asymmetric energy electron-positron collider, the tau decay of 4-body final state (charged pion, neutrino, electron and positron) was observed for the first time. The partial branching fraction was measured to be  $(1.46-3.01) \times 10^{-5}$ . This is the smallest decay rate of tau lepton determined to date. In addition, an upper limit is set on the branching fraction of tau decaying to charged pion, neutrino, positive muon and negative muon to be  $1.14 \times 10^{-5}$ . The obtained results are consistent with the standard model predictions and can help constrain models beyond the standard model.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：素粒子実験 Bファクトリー タウレプトン ニュートリノ

## 1. 研究開始当初の背景

素粒子物理学の喫緊の課題が、標準理論を越える、より根源的な新原理の発見であることは言を俟たない。中でも有力視されている新理論モデルは、標準理論のゲージグループ下ではチャージ（荷）を持たないフェルミオン（これをステライルニュートリノ **sterile neutrino** と呼ぶ）を導入するモデルである。ステライルニュートリノの質量は、一般に、eV から大統一理論のエネルギースケール ( $10^{14}$  GeV) までのいずれの数値でもあり得る。また、ステライルニュートリノは、粒子と反粒子の区別のないマヨラナニュートリノでもあり得る。ステライルニュートリノを含む典型的な理論モデルであるニュートリノ最小標準理論 (Minimal Neutrino Standard Model) は、3 つのステライルニュートリノのみを導入することによって、ニュートリノ振動、宇宙のバリオン非対称（反物質の欠如）、そしてダークマターの存在を説明できるという、理論構造のコンパクトさから注目されてきた。特に、数 10～数 100MeV 程度の質量を持つステライルニュートリノの存在を検証できる実験データの不足は顕著であり、直接あるいは間接の実験的検証に関する理論提案が盛んに行われていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、比較的重いステライルニュートリノの崩壊の痕跡を、タウレプトンの稀崩壊の精密測定によって探索する。タウレプトン崩壊の中間状態に、ステライルニュートリノが仮想粒子として出現すれば、当該タウレプトン崩壊の分岐比に、その影響が現れるはずである。分岐比の値が、標準理論による予想値からずれてくる可能性がある。これまでに、探索されたことのないタウレプトンの 4 体崩壊（終状態が荷電パイ中間子、ニュートリノ、荷電子陽電子対あるいは正ミューオン負ミューオン対）に着目し、測定結果と理論予想値を比較する。

## 3. 研究の方法

KEKB ファクトリー加速器の約 12 年間にわたる運転によって得られた、約 9 億 ( $9 \times 10^8$ ) のタウ・反タウ対を含むビッグデータを用いて、稀崩壊モード  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \ell^+ \ell^-$  ( $\ell = e$  or  $\mu$ ) を検出し、分岐比測定値と標準理論の期待値との比較を行う。標準理論の期待値は、 $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau e^+ e^-$  については、 $(1.4-2.8) \times 10^{-5}$  であり、 $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \mu^+ \mu^-$  は、 $(0.03-1.0) \times 10^{-5}$  である。いずれも本研究より前に、検出されていない。図 1 に、 $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \ell^+ \ell^-$  ( $\ell = e$  or  $\mu$ ) の標準理論のファインマンダイアグラムを示す。この図で、黒四角は、ベクトルカレント型結合、黒三角は軸性ベクトルカレント結合を表している。一方、図 2 は、ステライルニュートリノ  $N$  が関与するタウレプトン崩壊モードの一例を示している。なお、図 1 と図 2 に描かれている振幅は干渉を起こすが、その干渉が constructive であるか destructive であるかは、理論モデルに依存するので、ステライルニュートリノ  $N$  が存在したときの分岐比の値と、標準理論の期待値の間の大小関係については一般にはあきらかではない。

$\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \ell^+ \ell^-$  ( $\ell = e$  or  $\mu$ ) 崩壊測定のデータ解析は次の 2 段階を経て行われる。第 1 は、 $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$  事象を選別し、 $\Upsilon(4S)$  共鳴の他の崩壊事象からのバックグラウンドを最小にするデータ解析である。第 2 は、選別した  $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$  事象から、一つの  $\tau$  レプトンが  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \ell^+ \ell^-$  ( $\ell = e$  or  $\mu$ ) に崩壊する過程を選別することである。この第 2 段階においては、 $\ell^+ \ell^-$  が同一の崩壊点から発生していることを課す。また、もう一方の  $\tau$  レプトンの週状態には、一つの荷電粒子のみが存在することを課し、選別事象の純度を上げる（バックグラウンドを最小化する）。このデータ解析においては、Belle 測定器の測定器のカロリーメータおよび崩壊点検出器 (Silicon Vertex Detector) の高い性能が鍵となる。

## 4. 研究成果

KEKB 電子陽電子衝突型加速器から得られた高統計タウレプトン対データを使って、終状態が荷電パイ中間子、ニュートリノ、荷電レプトン対（電子陽電子対、あるいは、正ミューオン負ミューオン対）の 4 体からなるタウレプトンの稀崩壊を世界で始めて観測した。タウレプトンが荷電パイ中間子、ニュートリノ、電子陽電子対に崩壊する分岐比の測定結果は、 $(1.46-3.01) \times 10^{-5}$  であり、これは今日までに測定されているタウレプトン分岐比として最

小である。さらに、タウレプトンが荷電パイ中間子 $\pi^-$ 、ニュートリノ $\nu$ 、正ミューオン $\mu^+$  負ミューオン $\mu^-$  対に崩壊する分岐比については、 $1.14 \times 10^{-5}$  の上限値を得た。

本研究対象である、タウレプトンの4体崩壊（終状態が荷電パイ中間子、ニュートリノ、荷電子陽電子対あるいは正ミューオン負ミューオン対）には、素粒子の標準理論では説明のつかないステライルニュートリノ (sterile neutrino) の存在が寄与する可能性がある。存在すれば、測定分岐比が標準理論予想値から大きく異なるはずである。本研究で得られた測定値は、標準理論予想値と誤差の範囲で一致しており、その結果、質量が数10～数100電子ボルトの比較的重いステライルニュートリノの存在を否定し、標準理論を越える新しい素粒子モデルの構築に厳しい制限を与える。ステライルニュートリノ発見に向けた研究の着実な一歩と位置づけられる。

Physical Review D 100, 071101(R) (2019)

“Observation of  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau e^+ e^-$  and search for  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau \mu^+ \mu^-$ ”

Y.Jin, H.Aihara, D.Epifanov et al. (Belle Collaboration)

図 1

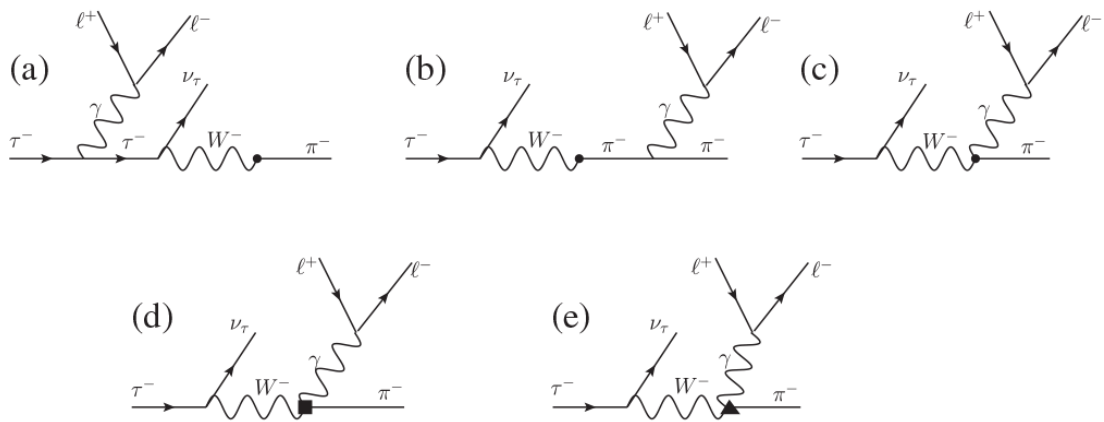
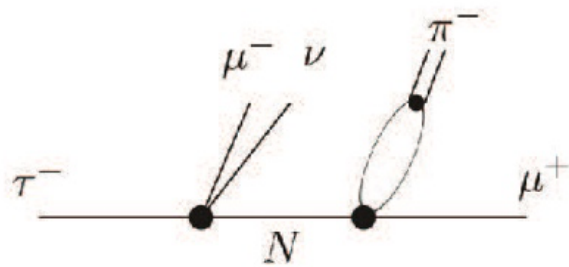


図 2



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件/うち国際共著 26件/うちオープンアクセス 26件）

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>The Belle collaboration, Adachi I., Aihara H. et al. | 4. 巻<br>2020     |
| 2. 論文標題<br>First search for the $c_2(1D)$ in B decays at Belle | 5. 発行年<br>2020年  |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics                       | 6. 最初と最後の頁<br>34 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP05(2020)034            | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)                         | 国際共著<br>該当する     |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Jia S., Shen C.P., Adachi I., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>101         |
| 2. 論文標題<br>Evidence for a vector charmoniumlike state in $e^+e^- \rightarrow D_s^+ D_s^-(2573) + c.c.$ | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>91101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.101.091101  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する        |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Seidl R., Adachi I., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>101         |
| 2. 論文標題<br>Update of inclusive cross sections of single and pairs of identified light charged hadrons | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>92004 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.101.092004   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する        |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Ku Y., Chang P., Adachi I., Adamczyk K., Aihara H. et al.                 | 4. 巻<br>102         |
| 2. 論文標題<br>Search for $B_0$ decays to invisible final states ( $+ \dots$ ) at Belle | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>12003 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.012003                             | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する        |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Chen Y.Q., Li L.K., Yan W.B., Adachi I., Aihara H. et al.             | 4. 巻<br>102         |
| 2. 論文標題<br>Dalitz analysis of $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$ decays at Belle | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>12002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.012002                         | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する        |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Tanigawa H., Adamczyk K., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>972          |
| 2. 論文標題<br>Performance of the Belle II Silicon Vertex Detector   | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment | 6. 最初と最後の頁<br>164129 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nima.2020.164129   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Yelton J., Adachi I., Ahn J.K., Aihara H. et al.                             | 4. 巻<br>102         |
| 2. 論文標題<br>Study of electromagnetic decays of orbitally excited $\Sigma(1385)$ baryons | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>71103 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.071103                                | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する        |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Abudinen F., Adachi I., Aihara H. et al.                                    | 4. 巻<br>125          |
| 2. 論文標題<br>Search for Axionlike Particles Produced in $e^+e^-$ Collisions at Belle II | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>161806 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.125.161806                            | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Li Y., Jia S., Shen C.P., Adachi I., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>102          |
| 2. 論文標題<br>Search for a doubly charged D D K bound state in ( 1S, 2S) inclusive decays and via direct production in e + e - collisions at s = 10.520 , 10.580, and 10.867 GeV | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>112001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.112001   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Oskin P., Mizuk R., Aihara H. et al.  | 4. 巻<br>102         |
| 2. 論文標題<br>Search for transitions from ( 4 S ) and ( 5 S ) to b ( 1 S ) and b ( 2 S ) with emission of an meson | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>92011 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.092011   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する        |

|   |                  |
|---|------------------|
| 1. 著者名<br>Sahoo D., Mohanty G.B., Trabelsi K., Adachi I., Adamczyk K., Aihara H. et al. | 4. 巻<br>102      |
| 2. 論文標題<br>Search for lepton-number- and baryon-number-violating tau decays at Belle    | 5. 発行年<br>2020年  |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.102.111101                                 | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する     |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Tanigawa H., Adamczyk K., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>982          |
| 2. 論文標題<br>Beam background study for the Belle II Silicon Vertex Detector  | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment | 6. 最初と最後の頁<br>164580 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nima.2020.164580   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Kang K.H., Park H., Higuchi T., Miyabayashi K., Sumisawa K., Adachi I., Ahn J.K., Aihara H. et al.             | 4. 巻<br>103         |
| 2. 論文標題<br>Measurement of time-dependent C P violation parameters in $B^0 \rightarrow K^0 S K^0 S K^0 S$ decays at Belle | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>32003 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.032003  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する        |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Lee J.Y., Tanida K., Kato Y., Kim S.K., Yang S.B., Adachi I., Ahn J.K., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>103         |
| 2. 論文標題<br>Measurement of branching fractions of $B^0 \rightarrow \rho^+ \rho^-$ , $B^0 \rightarrow \rho^+ \omega$ , $B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$ , $B^0 \rightarrow \rho^0 \omega$ , $B^0 \rightarrow \omega \omega$ , and $B^0 \rightarrow \omega \rho^0$ | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>52005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.052005  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する        |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Teramoto Y., Uehara S., Masuda M., Adachi I., Aihara H. et al.  | 4. 巻<br>126          |
| 2. 論文標題<br>Evidence for $X(3872) \rightarrow J/\psi \rho^+ \rho^-$ Produced in Single-Tag Two-Photon Interactions | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>122001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevLett.126.122001  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>The BELLE collaboration, Park S.-H., Kwon Y.-J., Adachi I., Aihara H. et al.  | 4. 巻<br>2021      |
| 2. 論文標題<br>Search for the dark photon in $B^0 \rightarrow A A$ , $B^0 \rightarrow A e^+ e^-$ , $B^0 \rightarrow A \mu^+ \mu^-$ , and $B^0 \rightarrow A \rho^0$ decays at Belle | 5. 発行年<br>2021年   |
| 3. 雑誌名<br>Journal of High Energy Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>191 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/JHEP04(2021)191   | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する      |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>McNeil J.T., Yelton J., Bennett J., Adachi I., Adamczyk K., Ahn J.K., Aihara H. et al.                | 4. 巻<br>103          |
| 2. 論文標題<br>Measurement of the resonant and nonresonant branching ratios in $\psi(3740) \rightarrow D_s^* D_s^*$ | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>112002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.112002   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Moon T.J., Tanida K., Kato Y., Kim S.K., Adachi I., Ahn J.K., Aihara H. et al.                | 4. 巻<br>103          |
| 2. 論文標題<br>First determination of the spin and parity of the charmed-strange baryon $\Lambda_c(2970)^+$ | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>111101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.L111101  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Bareno C., Frey A., Adachi I., Aihara H. et al.   | 4. 巻<br>103          |
| 2. 論文標題<br>Measurement of the branching fraction of the decay $B^+ \rightarrow \pi^+ \rho^0$ in fully reconstructed events at Belle | 5. 発行年<br>2021年      |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D   | 6. 最初と最後の頁<br>112001 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.103.112001   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する         |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Jin Y., Aihara H., Epifanov D., Onuki Y. et al (Belle Collaboration)                                     | 4. 巻<br>100         |
| 2. 論文標題<br>Observation of $B^0 \rightarrow \pi^0 \mu^+ \mu^-$ and search for $B^0 \rightarrow \pi^0 \tau^+ \tau^-$ | 5. 発行年<br>2019年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review D  | 6. 最初と最後の頁<br>71101 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/PhysRevD.100.071101  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)   | 国際共著<br>該当する        |



|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Shimizu N, Aihara H, Epifanov D et al.  | 4. 巻<br>2018                  |
| 2. 論文標題<br>Measurement of the Michel parameters $\bar{\nu}$ and $\nu$ in the radiative leptonic decay $B \rightarrow \tau \nu \gamma$ | 5. 発行年<br>2018年               |
| 3. 雑誌名<br>Progress of Theoretical and Experimental Physics  | 6. 最初と最後の頁<br>023C01 ~ 023C01 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/ptep/pty003   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する                  |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Sasaki Junya, Belle Collaboration                              | 4. 巻<br>912                   |
| 2. 論文標題<br>Study of five-body leptonic decays of tau at Belle experiment | 5. 発行年<br>2017年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Physics: Conference Series                          | 6. 最初と最後の頁<br>012002 ~ 012002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1088/1742-6596/912/1/012002               | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)                                   | 国際共著<br>該当する                  |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Jin Yifan   | 4. 巻<br>287-288         |
| 2. 論文標題<br>Study of $B \rightarrow \tau \nu \gamma$ at Belle  | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear and Particle Physics Proceedings            | 6. 最初と最後の頁<br>215 ~ 217 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nuclphysbps.2017.03.080 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)                        | 国際共著<br>該当する            |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Sasaki Junya  | 4. 巻<br>287-288         |
| 2. 論文標題<br>Study of tau five-body leptonic decays at Belle    | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Nuclear and Particle Physics Proceedings            | 6. 最初と最後の頁<br>212 ~ 214 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nuclphysbps.2017.03.079 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)                        | 国際共著<br>該当する            |

|   |                  |
|---|------------------|
| 1. 著者名<br>Shimizu Nobuhiro, BELLE Collaboration                                 | 4. 巻<br>-        |
| 2. 論文標題<br>New Physics search in rare decays at Belle and prospects at Belle II | 5. 発行年<br>2017年  |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of Science (FPCP2016)                                     | 6. 最初と最後の頁<br>22 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.22323/1.280.0022                                 | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する     |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Jin, H. Aihara, O. V. Borshchev, D. A. Epi-fanov, S. A. Ponomarenko, and N. M. Surin | 4. 巻<br>824           |
| 2. 論文標題<br>Study of a pure CsI crystal readout by APD for Belle II endcap ECL upgrade             | 5. 発行年<br>2016年       |
| 3. 雑誌名<br>Nucl. Instrum. Meth. A  | 6. 最初と最後の頁<br>691-692 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.nima.2015.07.034  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>該当する          |

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroaki Aihara  |
| 2. 発表標題<br>Particle physics at the high energy frontier with the next electron-positron collider |
| 3. 学会等名<br>The Tenth International Accelerator Conference (招待講演) (国際学会)                          |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Junya Sasaki                                      |
| 2. 発表標題<br>Study of five-body leptonic decays at Belle       |
| 3. 学会等名<br>mini-Workshop on Tau lepton Physics (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Junya Sasaki   |
| 2. 発表標題<br>Study of the Lorentz structure of $\tau$ decays at Belle |
| 3. 学会等名<br>Particles and Nuclei International Conference 2017       |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yifan Jin  |
| 2. 発表標題<br>A scintillation counter consisting of a pure CsI crystal, WLS and APD for Belle II |
| 3. 学会等名<br>38th International Conference on High Energy Physics (国際学会)                        |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yifan Jin  |
| 2. 発表標題<br>Study of $\tau \rightarrow \mu \nu \mu \nu$ at Belle         |
| 3. 学会等名<br>The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Junya Sasaki   |
| 2. 発表標題<br>Study of five-body leptonic decays of $\tau$ at Belle        |
| 3. 学会等名<br>The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2016年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Nobuhiro Shimizu   |
| 2. 発表標題<br>Measurement of the Michel parameters ( $\bar{\nu}_\mu$ , $\nu_\mu$ ) in the radiative leptonic decay of $\tau$ |
| 3. 学会等名<br>The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics ( 国際学会 )   |
| 4. 発表年<br>2016年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                | 備考 |
|-------|--|--------------------------------------|----|
| 連携研究者 | 小貫 良行<br>(Onuki Yoshiyuki)<br><br>(40415120) | 東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教<br><br>(12601) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関                             |  |  |
|---------|-------------------------------------|--|--|
| ロシア連邦   | Budker Institute of Nuclear Physics |  |  |
| スロベニア   | University of Ljubljana             |  |  |