

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03968

研究課題名（和文）B中間子電弱ペンギン崩壊での世界最高精度新物理探索と高速軽量ピクセル検出器開発

研究課題名（英文）World's best sensitivities of new physics searches with Electroweak Penguin B decays and development of light-weight and fast-readout pixel detector

研究代表者

石川 明正 (Ishikawa, Akimasa)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：40452833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,810,000円

研究成果の概要（和文）：Belle実験およびBelleII実験でB中間子の電弱ペンギン崩壊を用いた新物理探索を行い、複数のモードで世界最高精度の測定や探索を行い、また現在アノマリーがある $B \rightarrow K^{(*)}l+l-$ 崩壊でのレプトン普遍性の破れの探索を行った。これらの結果は新物理を強く制限する物であり、LHCでは到達出来ないエネルギースケールの物理に制限を与える。

高速軽量ピクセル検出器の開発を行った。BelleII実験では非常に読み出し間隔が短いため、高速に読み出し位置分解能も十分な新規ピクセル検出器DuTiPのコンセプトを発明し、そのピクセル検出器およびその読み出し回路の設計をSOI技術を用いて行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

B中間子のループを介した崩壊の中でも、電弱ペンギン崩壊はそのループの中に未発見の重い新粒子が回りやすいため、新物理に敏感である。新物理のエネルギースケールは世界最高エネルギーのLHC加速器でもとどかないため、B中間子の研究は非常に重要である。Belle実験・BelleII実験で電弱ペンギン崩壊を世界最高精度で測定・探索し、残念ながら新物理の徴候は見つからなかったが、新物理に強い制限を与えることに成功した。この研究はBelleII実験でも引き続き行われ、新物理の発見が期待される。高速軽量ピクセル検出器は素粒子実験での発見のために非常に重要であり、新規ピクセル検出器コンセプトを発明した。

研究成果の概要（英文）：Physics beyond the standard model was searched for using electroweak penguin B Decays at Belle and Belle II experiments. We have measured the observable for some electroweak penguin B decays most precisely, and have set the strongest upper limits on the branching fractions for some modes. Further, we have also tested lepton flavor universality in $B \rightarrow K^{(*)}l+l-$ decays in which anomalies are seen. These results strongly constrain physics beyond the standard model of which LHC cannot reach the energy scale.

Development of light-weight and fast-readout pixel detector has been performed. At Belle II experiment, trigger rate is very high so we have invented new pixel detector concept DuTiP with fast readout and enough small position resolution. The pixel detector and its readout circuit has been designed with the SOI technology.

研究分野：素粒子実験

キーワード：B中間子 CP対称性の破れ アイソスピン対称性の破れ レプトン普遍性 超対称性 電弱バリオジェネシス 荷電ヒッグス粒子 ピクセル検出器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

LHC 実験によりヒッグス粒子が発見され、素粒子標準模型での粒子はすべて揃った。しかしながら暗黒物質、消えた反物質などの問題を解決するためには標準模型を超える新物理が必須であり、現在の素粒子物理学は新物理の糸口を掴むのが最大の目的である。そのためには LHC 実験のように新粒子を直接探索する方法と、既知粒子への量子効果を精密測定する事から新粒子を探る方法が相補的に有効である。後者の量子効果の精密測定による新物理探索・発見は緊急の課題であり、電弱スケール 0.1TeV から「理論の自然性」と「暗黒物質密度」を考えると、新物理は 10TeV 程度までにあることが期待されており、すぐにその量子効果が発見されてもおかしくない。

特にボトムクォークを含む B 中間子は量子効果が大きく、Belle 実験はその量子効果から小林・益川理論を実証し、2008 年の小林・益川両氏のノーベル賞受賞を後押しした。なかでも電弱ペンギン崩壊 $b \rightarrow s$ 、 $b \rightarrow s\ell\ell$ (図 1)は、(1) 最低次がループ過程で起こるため標準模型の振幅は抑制される、(2) 新物理での重い粒子の量子効果が大きい(図 2)、(3)終状態に光子またはレプトンを含むことから理論・実験共に精度が高い、などの特徴から新物理を探索・発見するのに理想的なプローブである。

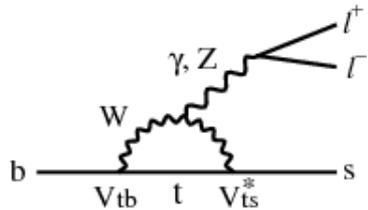


図 1. 標準模型での電弱ペンギン崩壊のダイアグラム

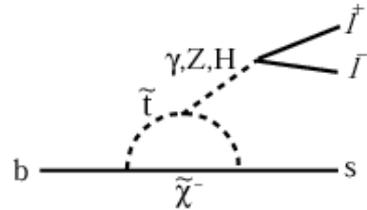


図 2. 超対称性でのダイアグラム

2. 研究の目的

そのような中、2018 年にいよいよ Belle II 実験が始まった。Belle II 実験は世界最大の B 中間子データ 1000/fb を誇る Belle 実験の 50 倍のデータを収集し、新物理発見が世界的に期待されている。Belle 実験と Belle II 実験のデータを用いて、電弱ペンギン崩壊を世界最高精度で測定することにより、新物理の量子効果を発見する事が一つの目的である。

新物理探索・発見のために重要な電弱ペンギン崩壊の測定精度を劇的に改善する方法として、高速軽量半導体検出器の導入が挙げられる。Belle II 実験のようにエネルギーが比較的低い実験では、軽量の崩壊点検出器をビーム衝突点に近づける事により崩壊点の精度が飛躍的に向上する。旧来のピクセル検出器では背景事象の多い衝突点に近づけると占有率が上がり機能しなくなる。SOI 技術を用いたピクセル崩壊点検出器はセンサー部と読み出し部を SiO₂ 絶縁体層を挟んで張り合わせた単純なモノリシック構造を持つことから(図 3)、寄生容量・読み出し時間・物質質量・ピクセルサイズ・消費電力が小さいなどの特徴を持ち、占有率の問題を解決でき、高エネルギー実験の崩壊点検出器として最適であるが、実用化された例はない。SOI 技術を用いて高速軽量半導体ピクセル検出器を Belle II 実験への導入を提案できるレベルまで開発を行うのが二つ目の目的である。

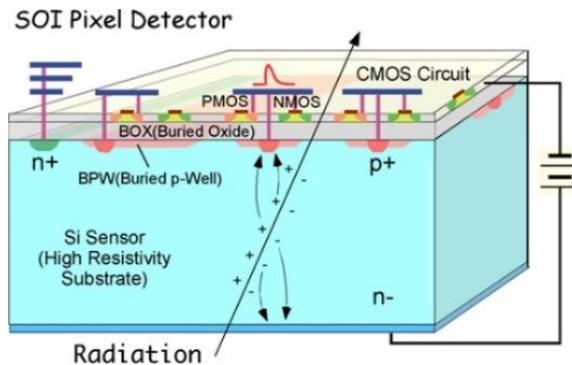


図 3. SOI 検出器の構造

3. 研究の方法

以下のような研究計画である。

- (1) 物理解析においては世界最大のデータ量を誇る Belle 実験の解析をまず行う。特にアノマリーの見えている $B \rightarrow K^{(*)}\ell\ell$ 、世界最高精度で測定が可能である $B \rightarrow K^{*}\ell\ell$ および $B \rightarrow Xs$ の解析を行う。Belle II 実験に関しては実験が始まる事を見越して、電弱ペンギン崩壊の解析に必要な π^0/η からの高エネルギー光子を veto するツールや、レプトン同定のキャリブレーションなどの解析ツールの開発を行い、最初の結果を発表する。
- (2) ピクセル検出器開発においては、PIXOR と呼ばれる複数のピクセルを X 方向と Y 方向で OR

読み出し回路面積を減らすことにより、位置分解能を確保しつつチャンネル数を減らす事が出来る検出器の開発を行う。PIXOR1 と PIXOR2 はすでに開発済みであり、PIXOR1 で OR 読み出しを実証し、PIXOR2 でデジタル回路を実証したが、PIXOR2 でのアナログ回路のゲインが小さいことが問題であった。それを改善した PIXOR3 の性能評価を行う。PIXOR3 のピクセルサイズは $35\mu\text{m} \times 70\mu\text{m}$ (r- ϕ 方向 \times z 方向) である。もし、それでもゲインが低ければ、徹底的に寄生容量を少なくし、アンプのゲインを上げることを考え、それを元に新たな PIXOR4 を製作する。

4. 研究成果

(1) 物理解析

Belle 実験においては電弱ペンギン崩壊の中でも輻射ペンギン崩壊 $B \rightarrow K^* \gamma$ および $B \rightarrow X_s \gamma$ において世界最高精度の測定を行う事が出来た。 $B \rightarrow K^* \gamma$ 崩壊では世界初のアイソスピン対称性の破れの証拠を発見し、非常に重要な結果となった[1]。また、 $B \rightarrow X_s \gamma$ 崩壊でのアイソスピン対称性の破れは誤差の範囲で標準模型の予言である 0 に一致し[2]、 $B \rightarrow X_s \gamma$ の崩壊分岐比の理論予言を 7% から 5% に改善することに成功した[3]。その結果、2HDM type-II での荷電ヒッグスの 95%CL での下限質量を 800GeV と設定した[3]。これは LHC では探索する事が難しい moderate $\tan(\beta)$ region (~ 5) において世界で最も厳しい制限を与えることが出来た。また $B \rightarrow X_s \gamma$ での CP 非対称性の荷電 B 中間子と中性 B 中間子の差

A_{CP} の測定も誤差の範囲で標準模型の予言 0 に一致した。この結果により超対称性模型に強い制限を与えた[4]。また、General 2HDM での電弱バリオジェネシスに強い制限を与え、現在の中心値が本当であれば電弱バリオジェネシスを起こせる事が判明した(図 4)[5,6]。そのため、Belle II 実験での測定が非常に重要になる。

$B \rightarrow K^* \gamma$ の測定も誤差の範囲で標準模型の予言 0 に一致した。この結果により超対称性模型に強い制限を与えた[4]。また、General 2HDM での電弱バリオジェネシスに強い制限を与え、現在の中心値が本当であれば電弱バリオジェネシスを起こせる事が判明した(図 4)[5,6]。そのため、Belle II 実験での測定が非常に重要になる。

$B \rightarrow K^* \gamma$ および $B \rightarrow X_s \gamma$ におけるレプトン普遍性の解析を行った。誤差は大きいため標準模型とも LHCb 実験が示すアノマリーの両方に一致する。Belle II 実験での膨大な統計により感度を改善することが期待される。

さらに予定していなかった $B \rightarrow K^* \gamma$ や $B \rightarrow X(3872) \gamma$ などの探索を行ない、世界で最も強い制限を崩壊分岐比の上限を与えた。

Belle II 実験においては、 π^0/η からの高エネルギー光子を veto する事を機械学習でおこなう事により、Belle 実験より同じ purity で 10% の検出効率の改善が出来た。また、 K_s を選別するコードも開発中である。2.6/fb のデータを用いて $B \rightarrow K^* \gamma$ の再発見を行い、その結果は素粒子物理学で最大の会議である Lepton Photon 2019 で報告した。

(2) ピクセル検出器開発

PIXOR3 のアナログ回路のゲインの測定を行ったが、サブボードの寄生容量が原因でノイズが大きくゲインの評価をするのに時間がかかった。最終的にゲインを改善する事が難しいことが判明したため、新たな方向性を考えた。

PIXOR はピクセル検出器と言えども OR を取っているため、ある種ストリップ検出器とも言える。OR 取ることによりチャンネル数は少なくなるが、寄生容量が大きくなってしまふ。そのため純粋なピクセル検出器を作るのがストレートフォワードである。しかし、チャンネル数が増え、ピクセルサイズが大きくなってしまふ。本研究で開発したアクティブマージと呼ばれる方式では回路面積を大幅に削減することが可能である(図 5)。例えば D-type flip-flop であれば通常の 17% まで回路面積を削減することができ、これによりピクセルサイズを小さく保ったまま、複雑な回路を 1 つのピクセル上に載せることが可能になった。PIXOR のデジタル回路を 1 つのピクセル上に載せる事により新たなピクセル検出器コンセプト DuTiP (Dual Timer Pixel) を発明

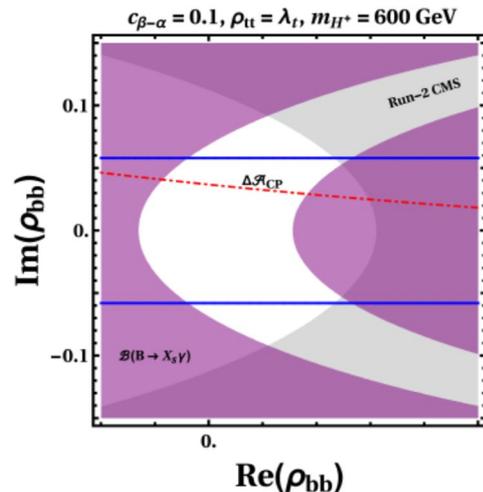


図 4. Extra な湯川結合(ρ_{bb})による電弱バリオジェネシス。青い 2 つのラインの間が electron EDM により許される領域。赤いラインの上が現在の A_{CP} により許される領域。有限の $\text{Im}(\rho_{bb})$ であれば電弱バリオジェネシスを起こせる。

そのため、Belle II 実験での測定が非常に重要になる。

Layout Shrink (Active Merge)

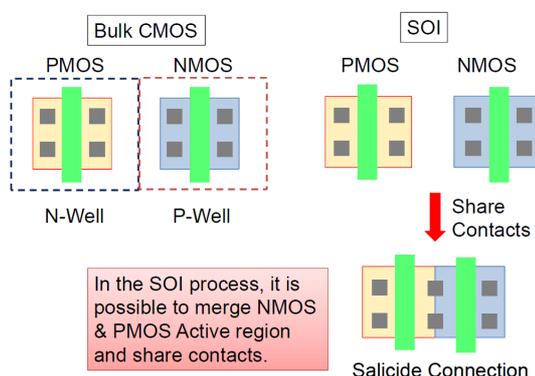


図 5. アクティブマージによる回路面積の削減

大幅に削減することが可能である(図 5)。例えば D-type flip-flop であれば通常の 17% まで回路面積を削減することができ、これによりピクセルサイズを小さく保ったまま、複雑な回路を 1 つのピクセル上に載せることが可能になった。PIXOR のデジタル回路を 1 つのピクセル上に載せる事により新たなピクセル検出器コンセプト DuTiP (Dual Timer Pixel) を発明

した(図6)。DuTiPのアナログ回路 preamp, shaper, comparator と通常の binary 検出器である。デジタル回路は2つのダウンカウンタがある。カウンタの初期値はトリガーレイテンシー+1 クロックに取ってある。ヒットが来たらカウンタが時間を刻み始める。カウンタの値が1(2/0)の時にトリガーが来たら Current(Next/Past) timing でヒットがあったことが分かる。3つの timing のヒットをレジスターに保持し、スキャンブロックに読み出す。トリガーを待っている間にヒットが来る可能性を考えて、2つのカウンタとシーケンサーが搭載されている。これが DuTiP のコンセプトである。

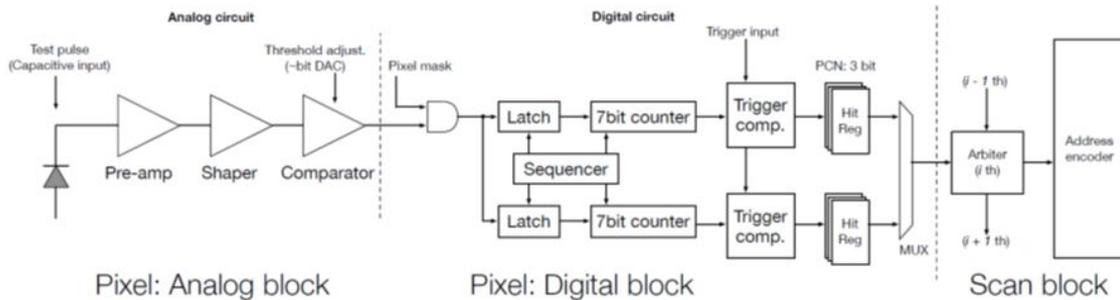


図 6. DuTiP の 1 pixel 回路(Analog and Digital block) と Scan block.

位置分解能 10 μ m 程度を達成するには、単純にはバイナリー検出器では35 μ m程度のピクセルサイズが必要である(35 μ m/ 12~10 μ m)。しかしながらすべての回路を35 μ m角に入れるのはアクティブマージをしたとしても難しい。そこで、複数のピクセルにヒットを残すときにはそのクラスターの中心がヒット位置になるため位置分解能が良くなると考え、ピクセルサイズと厚さを変えて GEANT4 を用いたシミュレーションを行った。その結果ピクセルサイズ 40 μ m でも厚さが60 μ m以下であれば十分な位置分解能が出ることが分かった(図7)。また、Belle II 実験では z 方向のインパクトパラメータ分解能が重要であるため、それもシミュレーションで求めた(図8)。その結果、Belle II では多重散乱の効果が大きいため、位置分解能は10 μ mで十分であることと、DuTiP では DEPFET 以上のインパクトパラメータ分解能が出せることが判明した。

シミュレーションをもとに DuTiP の pixel 回路設計をしレイアウトを行ったところ、ピクセルサイズが42 μ m程度まで小さく出ることが分かった(図9)。目標の40 μ mまであと少しであるが42 μ mでもほぼ性能は変わらない。

高速読み出しを行うために LVDS 回路と PLL 回路の開発を行った。300Mbps/line を達成できるような回路設計を行い、シミュレーションの結果、順調に動くことが確認された。これにより、高速に情報をチップ外に取り出すことができることになった。

これらの結果を Belle II の upgrade meeting で報告を行い、Belle II upgrade でのピクセル検出器として提案した。

この最終年度にはチップを生産する multi-project wafer (MPW) run がないことが事前に決定されていたためチップを尽くすことができなかったが、2020年度に MPW run の予定があるため、2020年度に最初のプロトタイプチップの製作を行う予定である。

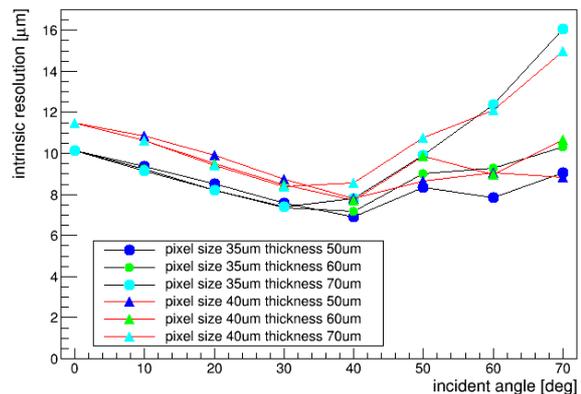


図 7. ピクセルサイズと厚さを変えた時の z 方向の固有位置分解能の入射角依存性。赤い(黒い)ラインがピクセルサイズ 40 μ m(35 μ m)

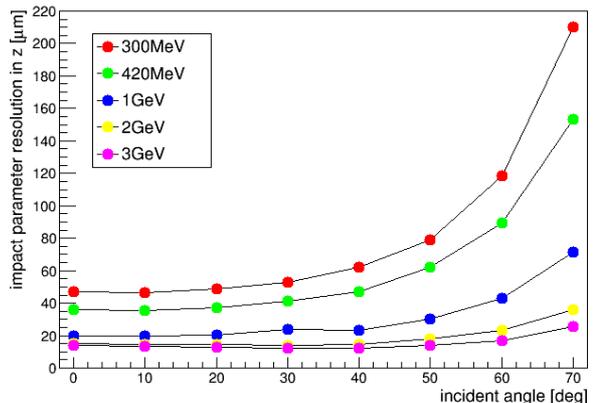


図 8. z 方向のインパクトパラメータ分解能

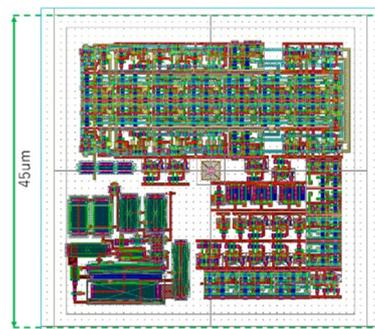


図 9. DuTiP 1 pixel のレイアウト

(3) 研究の達成度

物理解析においては $B \rightarrow X_s \gamma, B \rightarrow K^* \gamma$, において世界最高精度の測定を行い、 $B \rightarrow K^{(*)} \ell^+ \ell^-$ でのレプトン普遍性の探索を行っただけでなく、当初の予定にない $B \rightarrow K^{(*)} \ell^+ \ell^-$ や $B \rightarrow X(3872) \gamma$ などの探索を行ったことから「当初の計画以上に進展している」と言って良い。

高速計量ピクセル検出器開発においては、最初はゲインの問題があり進展が遅かったが、新規ピクセルコンセプトを考えてからの進展は目覚ましく、チップの製作まではいかなかったものの、Belle II 実験に対して予定通り提案を行えたことから「おおむね順調に進展している」と言える。

以上を総合的に判断すると、「当初の計画以上に進展している」と評価できる。

<引用文献>

- [1] T. Horiguchi, A. Ishikawa (2 番目), et al. (Belle Collaboration), “Evidence for Isospin Violation and Measurement of CP Asymmetries in $B \rightarrow K^{*}(892) \ell^+ \ell^-$ ”, PRL119, 191802 (2017).
- [2] S.Watanuki, A.Ishikawa (2 番目), et al. (Belle Collaboration), “Measurements of isospin asymmetry and difference of direct CP asymmetries in inclusive $B \rightarrow X_s$ decays”, PRD99,032012 (2019).
- [3] M. Misiak, et al., “Towards $B \rightarrow X_s \gamma$ at the NNLO in QCD without interpolation in m_c ”, JHEP 06 (2020) 175.
- [4] M. Endo, et al., “Gluino-mediated electroweak penguin with flavor-violating trilinear couplings”, JHEP 04 (2018) 019.
- [5] T. Modak and E. Senaha, “Electroweak baryogenesis via bottom transport”, Phys.Rev.D 99 (2019) 11, 115022.
- [6] T. Modak and E. Senaha, “Probing Electroweak Baryogenesis induced by extra bottom Yukawa coupling in $b \rightarrow b A \rightarrow b t t$ signature”, arxiv:2005.09928.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計27件（うち査読付論文 23件／うち国際共著 12件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Chou P.-C., Chang P., Ishikawa A., et. al, Belle Collaboration	4. 巻 100
2. 論文標題 Search for $B_0 \rightarrow X(3872)$	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 012002-1 8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.100.012002	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Kou E, Ishikawa A, et. al	4. 巻 2019
2. 論文標題 The Belle II Physics Book	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1 645
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptz106	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Abudinen F., Ishikawa A., et al, BELLE II collaboration	4. 巻 44
2. 論文標題 Measurement of the integrated luminosity of the Phase 2 data of the Belle II experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chinese Physics C	6. 最初と最後の頁 021001 ~ 021001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1674-1137/44/2/021001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishikawa Akimasa	4. 巻 367
2. 論文標題 Search for invisible decays of the Higgs boson at the ILC	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PoS	6. 最初と最後の頁 0 3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.22323/1.367.0147	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Hara Kazuhiko, Aoyagi Wataru, Sekigawa Daisuke, Iwanami Shikie, Honda Shunsuke, Tsuboyama Toru, Arai Yasuo, Kurachi Ikuo, Miyoshi Toshinobu, Yamada Miho, Ikegami Yoichi	4. 巻 924
2. 論文標題 Radiation hardness of silicon-on-insulator pixel devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 426 ~ 430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.nima.2018.05.077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuboyama Toru, Ono Shun, Yamada Miho, Arai Yasuo, Togawa Manabu, Kurachi Ikuo, Ikegami Yoichi, Hara Kazuhiko, Ishikawa Akimasa, Ikebe Masayuki, Motoyoshi Makoto	4. 巻 924
2. 論文標題 R&D status of SOI-based pixel detector with 3D stacking readout	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 422 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.nima.2018.08.089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ono Shun, Yamada Miho, Togawa Manabu, Arai Yasuo, Tsuboyama Toru, Kurachi Ikuo, Ikegami Yoichi, Hara Kazuhiko, Li Taohan, Ishikawa Akimasa	4. 巻 924
2. 論文標題 Development of a monolithic pixel sensor based on SOI technology for the ILC vertex detector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 431 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.nima.2018.06.075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsui S., Arai Y., Miyoshi T., Takeda A.	4. 巻 953
2. 論文標題 Development of integration-type silicon-on-insulator monolithic pixel detectors using a float zone silicon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 163106 ~ 163106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.163106	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanuki S., Ishikawa A., et al, The Belle Collaboration	4. 巻 99
2. 論文標題 Measurements of isospin asymmetry and difference of direct CP asymmetries in inclusive B _s decays	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 032012-1 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.032012	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Nakano H., Ishikawa A., Sumisawa K., et al, The Belle Collaboration	4. 巻 97
2. 論文標題 Measurement of time-dependent CP asymmetries in B ₀ K _S ⁰ decays	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 092003-1 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.092003	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Sandilya S., Trabelsi K., Schwartz A. J., Ishikawa A., et al, The Belle Collaboration	4. 巻 98
2. 論文標題 Search for the lepton-flavor-violating decay B ₀ K ⁰ μ ± e?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 071101-1 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.071101	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ono Shun, Yamada Miho, Arai Yasuo, Tsuboyama Toru, Togawa Manabu, Mori Teppei, Kurachi Ikuo, Hara Kazuhiko, Ikegami Yoichi, Sekigawa Daisuke, Endo Shun, Ishikawa Akimasa	4. 巻 213
2. 論文標題 A Monolithic Pixel Sensor with Fine Space-Time Resolution Based on Silicon-on-Insulator Technology for the ILC Vertex Detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Springer Proceeding in Physics	6. 最初と最後の頁 370 ~ 374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-13-1316-5_69	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamada M., Ono S., Tsuboyama T., Arai Y., Haba J., Ikegami Y., Kurachi I., Togawa M., Mori T., Aoyagi W., Endo S., Hara K., Honda S., Sekigawa D.	4. 巻 13
2. 論文標題 Development of monolithic pixel detector with SOI technology for the ILC vertex detector	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C01037 ~ C01037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/13/01/C01037	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyoshi T., Arai Y., Fujita Y., Hamasaki R., Hara K., Ikegami Y., Kurachi I., Nishimura R., Ono S., Tauchi K., Tsuboyama T., Yamada M.	4. 巻 13
2. 論文標題 Performance study of double SOI image sensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C02005 ~ C02005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1088/1748-0221/13/02/C02005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurachi Ikuo, Kobayashi Kazuo, Okihara Masao, Kasai Hiroki, Hatsui Takaki, Hara Kazuhiko, Miyoshi Toshinobu, Arai Yasuo	4. 巻 924
2. 論文標題 Investigation of radiation hardness improvement by applying back-gate bias for FD-SOI MOSFETs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 404 ~ 408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.nima.2018.05.068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Yasuo	4. 巻 57
2. 論文標題 Silicon-on-insulator monolithic pixel technology for radiation image sensors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1002A1 ~ 1002A1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.7567/JJAP.57.1002A1	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 石川明正	4. 巻 44(2)
2. 論文標題 素粒子崩壊点測定のための半導体測定器	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 放射線	6. 最初と最後の頁 49 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horiguchi T., Ishikawa A., Haba J., Hayasaka K., Itoh R., Sakai Y., et al., Belle Collaboration	4. 巻 119
2. 論文標題 Evidence for Isospin Violation and Measurement of CP Asymmetries in $B \rightarrow K^* \ell \ell$ (892)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 191802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.191802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Grygier J., Haba J., Hayasaka K., Ishikawa A., Itoh R., Sakai Y., Tsuboyama T, et al., Belle Collaboration	4. 巻 96
2. 論文標題 Search for $B \rightarrow h \ell \ell$ decays with semileptonic tagging at Belle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 91101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevD.96.091101	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Lunghi Enrico, Ishikawa Akimasa, Moulson Matthew, Serrano Justine	4. 巻 291
2. 論文標題 Summary of the CKM 2016 working group on rare decays	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.22323/1.291.0016	査読の有無 無
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ishikawa Akimasa	4. 巻 304
2. 論文標題 Radiative and EW penguin B-decays at Belle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.22323/1.304.0009	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Miyoshi T., Arai Y., Fujita Y., Hara K., Ikegami Y., Kurachi I., Tauchi K., Tsuboyama T., Yamada M., Ono S., Nishimura R., Hamasaki R.	4. 巻 12
2. 論文標題 Front-end electronics of double SOI X-ray imaging sensors	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C02004 ~ C02004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1088/1748-0221/12/02/C02004	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Arai Y., Bugiel Sz., Dasgupta R., Idzik M., Kapusta P., Kucwicz W., Miyoshi T., Turala M.	4. 巻 12
2. 論文標題 Performance of the INTPIX6 SOI pixel detector	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C01028 ~ C01028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1088/1748-0221/12/01/C01028	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Wehle S., Ishikawa A., et al, Belle Collaboration	4. 巻 118
2. 論文標題 Lepton-Flavor-Dependent Angular Analysis of $B \rightarrow K^* l^+ l^-$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 111801-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.118.111801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 King Z., Ishikawa A., et al, Belle Collaboration	4. 巻 93
2. 論文標題 Search for the decay B0	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 111101-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1103/PhysRevD.93.111101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kurachi Ikuo, Kobayashi Kazuo, Mochizuki Marie, Okihara Masao, Kasai Hiroki, Hatsui Takaki, Hara Kazuhiko, Miyoshi Toshinobu, Arai Yasuo	4. 巻 63
2. 論文標題 Tradeoff Between Low-Power Operation and Radiation Hardness of Fully Depleted SOI pMOSFET by Changing LDD Conditions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Electron Devices	6. 最初と最後の頁 2293~2298
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TED.2016.2552486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hashimoto R., Arai Y., Igarashi N., Kumai R., Miyoshi T., Kishimoto S.	4. 巻 1741
2. 論文標題 Test results of a counting type SOI device for a new x-ray area detector	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 40031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4952903	査読の有無 無
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計48件(うち招待講演 33件/うち国際学会 23件)

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Heavy Flavors at Belle II Status and Plans
3. 学会等名 The XXVII International Workshop on Deep Inelastic Scattering and Related Subjects (DIS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Physics Prospects at Belle II and ILC
3. 学会等名 21st New Physics Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Anomalies in B decays
3. 学会等名 Anomalies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Search for invisible decays of the Higgs boson at the ILC
3. 学会等名 The 29th International Symposium on Lepton Photon Interactions at High Energies (LP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Prospects of $b \rightarrow s l l'$ and related modes at Belle II
3. 学会等名 Rare semileptonic B Decays: Theory and Experiment (bsll2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Missing energy and electroweak penguin modes in (early) Belle II data
3. 学会等名 Intensity Frontier in Particle Physics : Flavor, CP Violation and Dark Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Physics at Belle II
3. 学会等名 27th New Higgs Working Group (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Physics at Belle II
3. 学会等名 KEK-PH 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤瑠, 石川明正, 山本均
2. 発表標題 Belle II 実験における $B \rightarrow Xsl+l^-$ によるレプトン普遍性の検証と新物理探索
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉原圭亮, S. Prell, J. Cochran, C. Chen, 石川明正, 後田裕, 西田昌平, Belle Collaboration
2. 発表標題 Belle実験におけるBメソン稀崩壊($b \rightarrow d l l$)探索
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Thomas Czank, Igal Jaegle, Akimasa Ishikawa, Hitoshi Yamamoto, Belle Collaboration
2. 発表標題 Search for the Z' and light dark matter in $L\mu - L$ model at Belle
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸田直也, 岩崎昌子, 石川明正, 中島悠太, 武村紀子, 長原一, 中野貴志, 他Belle Collaboration, RCNP深層学習プロジェクトグループ
2. 発表標題 Belle実験におけるB0 崩壊過程の研究 - 機械学習を用いた新しい解析手法の開発 -
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuo Arai, Junji Haba, Akimasa Ishikawa, Ikuo Kurachi, Taohan Li, Shun Ono, Takehiro Takayanagi, Ayaki Takeda, Toru Tsuboyama, Miho Yamada
2. 発表標題 Application of S01 to Belle II upgrade ~The "DuTiP" Concept~
3. 学会等名 Belle II VXD Open Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 S01 for Tracking
3. 学会等名 Belle II VXD Open Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 Belle II and ILC Pixel Detectors
3. 学会等名 Kick-off meeting for Platform B (Silicon) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa, Yasuo Arai, Jerome Baudot, Junji Haba, Maciej Kachel, Ikuo Kurachi, Taohan Li, Shun Ono, Takehiro Takayanagi, Ayaki Takeda, Toru Tsuboyama, Miho Yamada
2. 発表標題 Development of Pixel Vertex Detector for Belle II Experiment ~The "DuTiP" Concept~
3. 学会等名 第2回「量子線イメージング研究会」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 Belle II Pixel Detector Upgrade
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa, Yasuo Arai, Jerome Baudot, Junji Haba, Maciej Kachel, Ikuo Kurachi, Taohan Li, Shun Ono, Takehiro Takayanagi, Ayaki Takeda, Toru Tsuboyama, Miho Yamada
2. 発表標題 New Pixel Detector Concept 'DuTIP' for Belle II Upgrade and the ILC with an SOI Technology
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taohan Li, 幅淳二, 新井康夫, 石川明正, 小野峻, 倉知郁生, 武田彩希, 高柳武浩, 坪山透, 山田美帆, BAUDOT Jerome, KACHEL Maciej
2. 発表標題 Belle II 検出器アップグレードに向けたピクセル崩壊点検出器の要求性能の研究およびSOI技術を用いた設計
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩波四季恵, 原和彦, 村山仁志, 山内大輝, 新井康夫, 池上陽一, 石川明正, 高柳武浩, 倉知郁生, 坪山透, 西村龍太郎, 三好敏喜, 幅淳二, 小野峻, 山田美帆
2. 発表標題 大面積電荷積分型SOIピクセル検出器INTPIX7を用いたビーム飛跡検出のための開発研究
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村山仁志, 原和彦, 山内大輝, 安部竜平, 岩波四季恵, 渡辺圭敏, 岡田唯, 新井康夫, 坪山透, 三好敏喜, 倉知郁生, 幅淳二, 小野峻, 石川明正, 外川学, 池上陽一
2. 発表標題 ILC崩壊点検出器としての位置・時間計測が可能なSOIピクセル検出器SOFISTの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 Activities on SOI Monolithic X-Ray Imaging Detectors
3. 学会等名 Gordon Research Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新井康夫
2. 発表標題 SOI技術を用いた量子イメージングセンサの開発と応用
3. 学会等名 第82回半導体・集積回路技術シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 SOIPIX: Status & Perspectives, ~ ILC vertex detector & 3D Integration ~
3. 学会等名 International workshop on the high energy Circular Electron-Positron Collider (CEPC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Radiative B Decays at Belle
3. 学会等名 XXXIX International Conference on High Energy Physics (ICHEP2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Status and Prospects of LFUV Measurements in B physics
3. 学会等名 Interplay between Particle and Astroparticle Physics (IPA 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 Pixel Detector Upgrade
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 電子陽電子コライダーにおけるヒッグス粒子精密測定を用いた新物理探索
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石川明正、新井康夫、坪山透、幅淳二、中村克郎、倉知郁生、小野峻、山田美帆、Taohan Li
2. 発表標題 SOI技術を用いたBelle II Pixel 検出器の開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 綿貫峻, 石川明正, 山本均, 他Belle Collaboration
2. 発表標題 Belle実験における準包括的再構成法を用いたB Xs における荷電・中性B中間子のCP破れの差およびアイソスピン対称性の破れの測定
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 為近彩智, 角野秀一, 米永匡伸, 石川明正, 太田恭平, 他 BelleII Collaboration
2. 発表標題 Belle II実験におけるB K* 崩壊の研究
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山内大輝, 原和彦, 安部竜平, 岩波四季恵, 村山仁志, 渡辺圭敏, 増山明花, 新井康夫, 三好敏喜, 倉知郁生, 坪山透, 花垣和則, 幅淳二, 外川学, 池上陽一, 小野峻, 山田美帆, 石川明正, Taohan Li, 西村龍太郎, 他S01PIXグループ
2. 発表標題 大面積S01ピクセル検出器INTPIX4を用いたビーム飛跡再構成性能の評価
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Thomas Czank, Igal Jaegle, Akimasa Ishikawa, Hitoshi Yamamoto
2. 発表標題 The search for a dark sector muonic gauge boson Z' at the Belle experiment
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Measurements of $b \rightarrow s l l$ at Belle and Prospects at Belle II
3. 学会等名 Anomalies in b to $s l l$ and its implications (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 HyENEXSSを用いたSOI放射線検出器の電荷収集効率の研究
3. 学会等名 TCADアカデミック委員会 研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Radiative and EW Penguin B Decays at Belle
3. 学会等名 15th Conference on Flavor Physics and CP Violation (FPCP2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 素粒子崩壊点測定のための半導体測定器
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋期学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa, Frank Gaede
2. 発表標題 Summary of Vertex/Tracking/Sim/Reco
3. 学会等名 International Workshop on Future Linear Colliders (LCWS2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 Belle II 実験におけるB中間子を用いた新物理探索
3. 学会等名 大阪ワークショップ2017 「地上実験で検証可能な新物理」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 BF and Angular Analysis of $b \rightarrow sl+l$ -processes at Belle II
3. 学会等名 $b \rightarrow sl+l$ - workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石川明正
2. 発表標題 B中間子のタウ粒子を含む崩壊と稀崩壊による新物理探索
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会シンポジウム「Belle II 実験の拓く新物理～B2TiP book 完成と展望～」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Arai, T. Miyoshi, and I. Kurachi
2. 発表標題 SOI monolithic pixel technology for radiation image sensor
3. 学会等名 2017 IEEE Electron Device Meeting (IEDM17) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 High Resolution SOI Pixel Detector ~ overview ~
3. 学会等名 HSTD11 & SOIPIX2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 SOI Pixel Detector, ~ Looking into the History of the Universe ~
3. 学会等名 Inaugural Symposium: Tomonaga Center for the History of the Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Recent Results on Radiative and Electroweak Penguin B Decays at Belle
3. 学会等名 XIIIth International Conference on Heavy Quarks and Leptons (HQL2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Physics Prospects at Belle II
3. 学会等名 22nd International Symposium on Particles, Strings and Cosmology (PASCOS2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Akimasa Ishikawa
2. 発表標題 Radiative and EW Penguin Decays at Belle and Belle II
3. 学会等名 FlavourPhysics with High-Luminosity Experiments at MIAPP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yasuo Arai
2. 発表標題 SOI Monolithic Pixel Detector Technology
3. 学会等名 The 25th International workshop on vertex detectors
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y. Arai and I. Kurachi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Morgan & Claypool Publisher	5. 総ページ数 59
3. 書名 Radiation Imaging Detectors Using SOI Technology	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 半導体装置	発明者 新井康夫, 沖原将生, 葛西大樹	権利者 ラピスセミコン ダクタ, 高エネ ルギー加速器研
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6463407号	取得年 2019年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>(1)アウトリーチ活動 第2回KEKメディアサロン（記者勉強会）、「今後1年間に公表が期待されるBelle II 実験の物理結果」石川 明正 2019年7月29日 KEKキャラバン@静岡市立高等学校、「KEKで宇宙のはじまりの謎を探る」 石川 明正 2019年8月22日 KEK公開講座「SuperKEKB加速器から始まるBelle II 実験、そして宇宙へ」、宇宙から消えた反物質と暗黒物質に迫る Belle II 実験、石川 明正 2019年12月7日</p> <p>(2)受賞 石川 明正、Belle II スペシャルアワード</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	新井 康夫 (Arai Yasuo) (90167990)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・特別教授 (82118)	
研究協力者	高柳 武浩 (Takayanagi Takehiro)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・研究員	
研究協力者	バドー ジェローム (Baudot Jerome)	ストラスブール大学・ユベール・キュリアン学際研究所・教授	
研究協力者	カーチェル マチエイ (Kachel Maciej)	ストラスブール大学・ユベール・キュリアン学際研究所・リ サーチエンジニア	

6. 研究組織(つづき)

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	小野 峻 (Ono Shun) (60603157)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子 原子核研究所・研究員 (82118)	
連携研究者	倉知 郁生 (Kurachi Ikuo) (00533944)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・その他 部局等・特別教授 (82118)	
連携研究者	幅 淳二 (Haba Junji) (60180923)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・その他 部局等・理事 (82118)	