

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：82118

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21105002

研究課題名(和文) Bファクトリー実験におけるエキゾチックハドロンの探究

研究課題名(英文) Research of exotic hadrons at B-factory experiment

研究代表者

堺井 義秀 (Sakai, Yoshihide)

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・教授

研究者番号：90170571

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 113,600,000円、(間接経費) 34,080,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では世界最高輝度を誇る高エネルギー加速器研究機構の電子・陽電子衝突型加速器におけるBファクトリー実験(Belle)で蓄積された高統計データを解析し、新たなエキゾチックハドロンの探索とその性質の体系的な解明を中心とした新しい観点でのハドロン物理解析を展開した。

本研究の5年間で11個の新ハドロン粒子が発見され、そのうちエキゾチック粒子は以前のものを含めて約20個に達し、その本質的な理解への道が開けてきた。

また、原子核分野の研究者との連携を深めBelleデータによる幅広いハドロン物理の解析を進め、バリオン粒子生成の系統的な測定やチャームバリオンの新たな崩壊モードの発見等の成果を上げた。

研究成果の概要(英文)：In this research program, we have analyzed high statistics data accumulated by the Belle B-factory experiment with the electron-positron collider at High Energy Research organization which achieved world highest luminosity. We successfully explored, as our central subjects, searches for new exotic hadrons and systematic understanding of their properties from new view points.

During 5 years of the program, 11 new hadrons are discovered. Including some of them, the number of exotic hadrons reached about 20 in total including those discovered in past, which opened the door to understand their essential nature.

Also, cooperation with nuclear physicists has been developed and analysis of Belle data in wide hadron physics are performed, which resulted in systematic measurements of productions of baryons and observation of new decay modes of charmed baryons.

研究分野：数物系科学

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：テトラクォーク エキゾチックハドロン Bファクトリー ハドロン物理 ハドロン分光学 ペンタクォーク

1. 研究開始当初の背景

(1) 世界最高輝度を誇る高エネルギー加速器研究機構(略称 KEK)の電子・陽電子衝突型加速器における B ファクトリー実験(Belle 実験)では、B 中間子における CP 対称性の破れを世界で初めて確認し 2008 年の小林・益川両氏のノーベル物理学賞受賞に大きく貢献した。

(2) それにとどまらず、エキゾチックメソン(テトラクォーク)の候補 X(3872)を世界で初めて発見し、B ファクトリーのデータがハドロン物理の新しい領域を拓くことを示し世界中の注目を浴びた。

(3) エキゾチックメソン候補は、その後も B 中間子崩壊および電子・陽電子衝突過程などに見いだされ、電荷を持つ Z(4430)<sup>+</sup> の発見により確定的なものとなった。

(4) このように、Belle 実験は、重いフレーバーのエキゾチックメソンの研究でも世界をリードしてきた。すでに蓄積された膨大なデータにはさらに多くの未発見のエキゾチックハドロンや新しいハドロン状態の性質の解明につながる反応が潜んでおり、原子核分野の研究者も新たに実験に参加し新しい観点で解析を始められていた。

2. 研究の目的

本研究では世界最高輝度を誇る高エネルギー加速器研究機構(略称 KEK)の電子・陽電子衝突型加速器における B ファクトリー実験(Belle 実験)で蓄積された高統計データを解析し、新たなエキゾチックハドロンの探索とその性質の体系的な解明を中心とした新しい観点でのハドロン物理解析を展開する。

3. 研究の方法

(1) 本計画研究では KEK と奈良女子大学を二拠点として以下の 6 種のカテゴリーについて物理解析を進めた。

B 中間子崩壊でのチャーモニウム・チャーム中間子を伴うエキゾチックハドロンの研究

B 中間子崩壊でのバリオン・反バリオン・中間子への崩壊を用いたペンタクォーク探索

電子・陽電子衝突反応におけるエキゾチックハドロンの探索・測定

光子・光子衝突反応におけるエキゾチックハドロンの探索・測定

(1S)から (6S)共鳴励起状態のエネルギー領域でのエキゾチックハドロンの探索・測定

検出器をターゲットとする固定標的実験手法によるエキゾチックハドロンの探索・測定

(2) 初年度に本研究の物理解析を効率的に進めるための設備投資を行った。奈良女子大学に、専用データ解析用計算サーバーを導入し特殊な B 中間子崩壊のシミュレーションデータの大量生成等を行った。KEK には、特殊な事象を選択し解析するための数百テラバイトの容量の本件専用ファイルサーバー・ディスクシステムを導入した。専任の研究員を雇用し、これらの設備の立ち上げ・整備を行うとともに、すでに新規参加が始まっている原子核研究者らと解析に向けての整備を進めた。その後、これらの研究員を総動員して上記の 6 項目の物理解析・研究を進めた。

4. 研究成果

(1) 光子・光子衝突反応において J/ψ 中間子と ω 中間子に崩壊する質量が 3915 MeV で崩壊幅が 17 MeV の新共鳴粒子を発見した(図 1)。この粒子は、B 中間子の崩壊で発見された J/ψ 中間子と ω 中間子に崩壊する共鳴粒子(質量は 3940 MeV でエキゾチックハドロンの候補であった)と同一粒子と判断され、PDG では

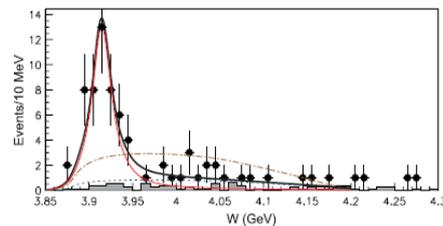


図 1: J/ψ と ω の質量分布

$\chi_{c0}(2P)$  と同定されている。

(2) 同じく、光子・光子衝突反応において J/ψ 中間子と φ 中間子に崩壊する質量が 4350 MeV で崩壊幅が 13 MeV の新共鳴粒子を発見した(図 2)。この共鳴粒子はチャーム・反チャームクォークとストレンジ・反ストレンジクォークの四つのクォークよりなるテトラクォークと呼ばれるエキゾチックハドロンの可能性が高い。

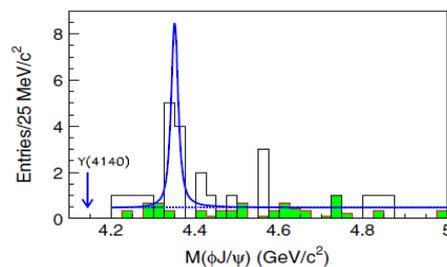


図 2: J/ψ と φ の質量分布

(3) Belle 実験では、(5S)のエネルギーで大量のデータを収集したが、これは世界でも類を見ないユニークなデータであり、b クォークと反 b クォーク対を含むボトモニウム領

域のエキゾチックハドロンの研究の格好の場である。これらのデータを解析し、まず  $h_b(1P)$  粒子および  $h_b(2P)$  粒子を発見した。さらにこれらの崩壊構造から、 $(nS) \pi^\pm$  および  $h_b \pi^\pm$  に崩壊する荷電ボトムニウム粒子  $Z_b(10510)^\pm$  と  $Z_b(10560)^\pm$  を発見した(図3参照)。これらは、 $b$  クォークと反  $b$  クォーク対を含み電荷をもつので、明らかにエキゾチック粒子である。5つの異なる崩壊モードで同時に発見されたこととなり、疑いの余地のないものである。

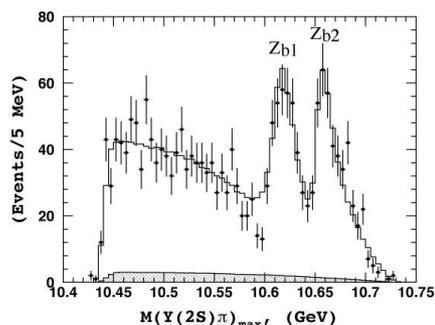


図3:  $(2S)$  と  $\pi^\pm$  の質量分布

(4)  $Z_b(10610)$  と  $Z_b(10650)$  の研究をさらに進め、 $Z_b(10610) B^*B$  および  $Z_b(10650) B^*B^*$  への崩壊を発見し、これらの共鳴粒子が  $B$  中間子の束縛分子状態である可能性が高まった。また、 $(5S) (nS) \pi^0 \pi^0 (n=2,3)$  崩壊過程で  $Z_b(10610)$  の中性パートナーの共鳴粒子を発見し、系統的理解が深まった。さらに6次元の角度およびDalitz振幅解析を行うことによりスピンとパリティが  $1^+$  であることを決定した。また、 $h_b \pi^+$  の生成率が大きくほとんどが  $Z_b$  の中間状態であることを利用してバックグラウンドを抑制し、 $h_b$  粒子の輻射崩壊で  $\eta_b(2S)$  粒子を発見することができた。

(5) Belle で蓄積された全データを使って  $X(3872)$  粒子の詳細な解析を行なった。電磁崩壊、 $X(3872) J/\psi \gamma$  の確認および  $X(3872) \psi' \gamma$  の探索を行い両者の分岐比や、 $X(3872) J/\psi \pi^+$  崩壊の詳細な角度分布の解析から量子数を特定する成果をあげた。さらに、 $X(3872) c_1 \gamma$  崩壊の探索を行い、その信号は見られなかったが、新たに  $c_1$  に崩壊する粒子、 $\chi_{c1}(1D)$  を発見した。

(6) 始状態輻射電子・陽電子衝突で生成された  $Y(4260)$  粒子の  $J/\psi \pi^+$  崩壊の  $J/\psi \pi^+$  の普遍質量を調べることで新たに荷電チャーモニウム様粒子  $Z(3985)^+$  を発見した(図4)。これは、Belle では6個目の荷電エキゾチックハドロンであるが、中国の BESIII 実験でも同時に発見され、話題になった。

(7) これまでに発見されたエキゾチックハドロンは  $J/\psi \pi^+ \pi^-$ 、 $J/\psi \omega$ 、 $J/\psi \phi$  の終状態であったが、チャーモニウムをストレンジクォ

ークに置き換えた反応過程、始状態輻射  $e^+e^-$

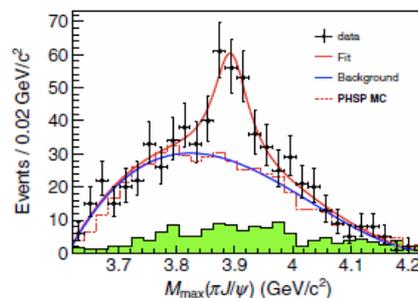


図4:  $J/\psi$  と  $\pi^\pm$  の質量分布

$\phi \pi^+ \pi^-$  や二光子衝突による  $\phi \omega$  や  $\phi \phi$  生成を用いてストレンジクォークを含むエキゾチックハドロンの探索を行った。前者では、 $Y(2175)$  粒子を観測し、後者では、 $\phi \omega$  や  $\phi \phi$  の質量分布に共鳴粒子の構造が見られた。

(8) Belle では原子核研究者グループが参加し、既存の研究者と解析の議論を深め連携を強化し、エキゾチックハドロンだけではなく幅広いハドロン物理の解析を推進した。電子・陽電子衝突によるストレンジバリオンおよびチャーモニウム生成断面積を系統的に測定することにより、生成断面積とバリオン粒子の質量の関係を詳細に調べることができ、バリオンの構造の違いを明らかにすることができた。この結果は、解析を進めた研究者により国際会議で発表された。また、励起状態のチャーモニウムの新しい崩壊モードの発見やチャーモニウムを2個含むバリオンの探索などの結果を得た。

## 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 27 件)

1. "Measurement of branching fractions for  $B \rightarrow J/\psi K$  decays and search for a narrow resonance in the  $J/\psi$  final state", \*T.Iwashita, K.Miyabayashi (2 番目), Y.Sakai(112 番目), E.Nakano(95 番目), Y.Watanabe (155 番目), K.Trabelsi(131 番目), S.Uehara(142 番目), 他 173 名 (The Belle collaboration), Progress of Theory and Experimental Physics 掲載確定 (2014) 査読あり
2. "Search for doubly charmed baryons and study of charmed strange baryons at Belle", \*Y.Kato, Y.Sakai (110 番目), K.Miyabayashi (63 番目), E.Nakano (70 番目), Y.Watanabe (153 番目), K.Trabelsi(106 番目), S.Uehara(107 番目), 他全 162 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 掲載確定 (2014) 査読あり

3. "First Observation of the  $Z_b^0(10610)$  in a Dalitz Analysis of  $Y(5S) \rightarrow Y(nS) \pi^0$ ", \*P.Krokovny, Y. Sakai(124 番目), K.Miyabayashi(71 番目), Y.Watanabe(153 番目), K.Trabelsi(136 番目), S.Uehara(137 番目), 他 176 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 052016 (2013) 査読あり

4. "Measurement of  $e^+ e^- \rightarrow 0, K^*(892) \bar{K}$  and  $K_2^*(1430) \bar{K}$  at 10.52, 10.58, and 10.876 GeV", \*C.P.Shen, K. Miyabayashi(88 番目), E. Nakano(93 番目), Y. Sakai(118 番目) 他全 156 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 052019 (2013) 査読あり

5. "High-statistics study of  $K_S^0$  pair production in two-photon collisions", \*S. Uehara(1 番目), Y. Watanabe(2 番目), K. Miyabayashi(100 番目), E. Nakano(106 番目), Y. Sakai(125 番目) 他全 159 名 (The Belle collaboration), Progress of Theory and Experimental Physics, 2013 123C01 (2013) 査読あり

6. "Experimental constraints on the spin and parity of the  $Z(4430)^+$ ", \*K.Chilikin, Y. Sakai(125 番目), K.Miyabayashi(84 番目), E.Nakano(118 番目), Y.Watanabe(175 番目), K.Trabelsi(161 番目), S.Uehara(163 番目), 他 183 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 074026 (2013) 査読あり

7. "Search for bottomonium states in exclusive radiative  $Upsilon(2S)$  decays", \*S. Sandilya, K.Trabelsi(2 番目), Y. Sakai(140 番目), K.Miyabayashi(106 番目), E.Nakano(127 番目), Y.Watanabe(155 番目), S.Uehara(151 番目), 他 168 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 111, 112001 (2013) 査読あり

8. "Evidence of a new narrow resonance decaying to  $c\bar{1}$  in  $B \rightarrow c\bar{1} K$ ", \*V.Bhardwaj, K. Miyabayashi(97 番目), E. Nakano(106 番目), Y. Sakai(131 番目), K.Trabelsi(171 番目), S.Uehara(173 番目), 他全 183 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 111, 032001 (2013) 査読あり

9. "Study of  $e^+ e^- \rightarrow + - J/\psi$  and Observation of a Charged Charmonium-like State at Belle", \*Z.Q.Liu, Y. Sakai(150 番目), K.Miyabayashi(100 番目), E.Nakano(107 番目), Y.Watanabe(168 番目), K.Trabelsi(153 番目), S.Uehara(154 番目), 他 180 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 110, 252002 (2013) 査読あり

10. "Search for an H-dibaryon with mass near  $2m$  in  $Y(1S)$  and  $Y(2S)$  decays", \*B.KH.Kim, Y. Sakai(95 番目), K.Miyabayashi(83 番目), E.Nakano(89 番

目), Y.Watanabe(151 番目), K.Trabelsi(132 番目), S.Uehara(134 番目), 他 150 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 110, 222002 (2013) 査読あり

11. "Study of the Hadronic Transitions ( $2S$ ) ( $0$ ) ( $1S$ ) at Belle", \*U.Tamponi, Y. Sakai(94 番目), K.Miyabayashi(71 番目), Y.Watanabe(113 番目), K.Trabelsi(106 番目), S.Uehara(107 番目), 他 123 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 87, 011104 (2013) 査読あり

12. "Evidence for the  $b(2S)$  and observation of  $h_b(1P)$   $b(1S)$  and  $h_b(2P)$   $b(1S)$ ", \*R.Mizuk, Y. Sakai(142 番目), K.Miyabayashi(93 番目), E.Nakano(100 番目), Y.Watanabe(157 番目), K.Trabelsi(141 番目), S.Uehara(143 番目), 他 168 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 109, 231002 (2012) 査読あり

13. "Observation of  $(4040)$  and  $(4160)$  decay into  $J/\psi$ ", \*X.L.Wang, K. Miyabayashi(68 番目), E. Nakano(73 番目), Y. Sakai(88 番目) 他全 119 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 87, 051102 (2012) 査読あり

14. "Measurement of  $\gamma^* \rightarrow 0$  transition form factor at Belle", \*S. Uehara(1 番目), Y. Watanabe(2 番目), K. Miyabayashi(84 番目), E. Nakano(92 番目), Y. Sakai(114 番目) 他全 153 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 0920071 (2012) 査読あり

15. "First study of  $c$ ,  $(1760)$  and  $X(1835)$  production via  $\gamma^* \rightarrow + -$  final states in two-photon collisions", \*C.C.Zhang, S.Uehara(97 番目), Y. Sakai(75 番目), K.Miyabayashi(54 番目), Y.Watanabe(92 番目), K.Trabelsi(85 番目), 他 96 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 052002 (2012) 査読あり

16. "First observation of exclusive  $Y(1S)$  and  $Y(2S)$  decay into light hadrons", \*C.P.Shen, K. Miyabayashi(79 番目), E. Nakano(86 番目), Y. Sakai(107 番目) 他全 149 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 86, 031102 (2012) 査読あり

17. "First observation of the P-wave spin-singlet bottomonium states  $h_b(1P)$  and  $h_b(2P)$ ", \*I.Adachi, Y. Sakai(102 番目), K.Miyabayashi(67 番目), E.Nakano(72 番目), Y.Watanabe(113 番目), K.Trabelsi(102 番目), S.Uehara(103 番目), 他 121 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 108, 0321001 (2012) 査読あり

18. "Observation of two charged bottomonium-like resonances in  $Y(5S)$  decays", \*A.Bondar, Y. Sakai(127 番目),

K.Miyabayashi (84 番目), E.Nakano(90 番目), Y.Watanabe (141 番目), K.Trabelsi(127番目), S.Uehara(129番目), 他151名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 108, 0122001 (2012) 査読あり

19. "Observation of  $X(3872)$   $J/\psi$  and search for  $X(3872)$  in B decays", \*V.Bhardwaj, K.Trabelsi(2 番目), K. Miyabayashi (66 番目), E. Nakano (72 番目), Y. Sakai 89 番目), S.Uehara(118 番目), 他全 125 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 107, 091803 (2011) 査読あり

20. "Study of the  $K^+ \pi^+ \pi^-$  Final State in  $B^+ \rightarrow J/\psi K^+ \pi^+ \pi^-$  and  $B^+ \rightarrow \psi$ -prime  $K^+ \pi^+ \pi^-$ ", \*H.Guler, Y. Sakai(84 番目), K.Miyabayashi (61 番目), Y.Watanabe (103 番目), K.Trabelsi(96 番目), S.Uehara(97 番目), 他 108 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 83, 032005 (2011) 査読あり

21. "Measurement of  $\chi_{c0}$  production in two-photon collisions", \*S. Uehara (1 番目), Y. Watanabe (2 番目), K. Miyabayashi (70 番目), E. Nakano (76 番目), Y. Sakai (95 番目) 他全 127 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 82, 114031 (2010)査読あり

22. "Search for charmonium and charmonium-like states in  $(1S)$  radiative decays", \*C.P.Shen, K. Miyabayashi (58 番目), E. Nakano (63 番目), Y. Sakai (78 番目) 他全 109 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 82, 051504 (2010)査読あり

23. "Measurement of the  $e^+ e^- \rightarrow D_s^*(*) + D_s^*(*)$ -cross sections near threshold using initial-state radiation", \*G.Pakhlova, K. Miyabayashi (78 番目), E. Nakano (85 番目), Y. Sakai (109 番目), Y. Watanabe (142 番目) 他全 153 名 (The Belle collaboration), Phys Rev. D 83, 011101 (2010)査読あり

24. "Evidence for a new resonance and search for the  $Y(4140)$  in the  $J/\psi$  process", \*C.P.Shen, Y. Sakai(102 番目), K.Miyabayashi (67 番目), E.Nakano(72 番目), Y.Watanabe (113 番目), K.Trabelsi(102番目), S.Uehara(103番目), 他121名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 104, 112004 (2010)査読あり

25. "Observation of a charmonium-like enhancement in the  $J/\psi$  process", \*S.Uehara, Y. Sakai(91 番目), K.Miyabayashi (69 番目), E.Nakano(83 番目), Y.Watanabe (101 番目), K.Trabelsi(91 番目), 他 109 名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. Lett. 104, 092001 (2010)査読あり

26. "Study of the  $B \rightarrow X(3872) \rightarrow D^* \bar{0} K$  decay", \*T.Aushev, Y. Sakai(87 番目), K.Miyabayashi (58 番目), E.Nakano(82 番目), Y.Watanabe (122 番目), K.Trabelsi(112番目), S.Uehara(113番目), 他127名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 81, 031103 (2010)査読あり

27. "Observation of an enhancement in  $e^+e^-$  to  $(1S)\pi^+\pi^-$ ,  $(2S)\pi^+\pi^-$ , and  $(3S)\pi^+\pi^-$  production around  $s^{1/2} = 10.89$  GeV at Belle", \*K.-F.Chen, Y. Sakai(75 番目), K.Miyabayashi (66 番目), E.Nakano(71 番目), Y.Watanabe (120 番目), K.Trabelsi(105番目), S.Uehara(106番目), 他119名 (The Belle collaboration), Phys. Rev. D 82, 091106 (2009)査読あり

[学会発表](計 26 件)

1. 新山雅之, "Inclusive Hadron production in  $e^+e^-$  collision at B-Factories", Moriond QCD, 2014年3月22-27日, La Thuile, Italy
2. V.Bhardwaj, "Studies of quarkonium and quarkonium-like exotic particles from Belle", 19th International Symposium on Particles, Strings and Cosmology (PASCOS 2013), 2013年11月20-26日, Taipei, Taiwan
3. 宮林謙吉, "Hadron Physics at Belle II / SuperKEKB", XV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2013), 2013年11月4-8日, 奈良, Japan
4. 住浜水季, "Light hadron spectroscopy at Belle", XV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2013), 2013年11月4-8日, 奈良, Japan
5. 加藤悠司, "Study of the charmed strange baryons at Belle", XV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2013), 2013年11月4-8日, 奈良, Japan
6. E.Panzenboeck, "Study of  $B \rightarrow \chi_{c1} K \pi \pi$ ", XV International Conference on Hadron Spectroscopy (Hadron 2013), 2013年11月4-8日, 奈良, Japan
7. 上原 貞治, "Gamma-gamma physics at Belle", International Workshop on  $e^+e^-$  collisions from Phi to Psi (PHIPSI13), 2013年9月9-12日, Rome, Italy
8. 岩下友子, "New particles at Belle", EPS-HEP 2013, 2013年7月18-24日, Stockholm, Sweden
9. V.Bhardwaj, "Conventional  $c\bar{c}$  and  $cq\bar{c}$  at Belle", 9th International Workshop on Heavy Quarkonium 2013 (QWG 2013), 2013年4月22-26日, IHEP, Beijing, China
10. ChengPing Shen, "Exotic charmonia at Belle", 9th International Workshop on Heavy Quarkonium 2013 (QWG 2013), 2013年4月22-26日, IHEP, Beijing, China

11. 酒井 和幸, “Charmed hadrons at Belle”, Workshop on Future Prospects of Hadron Physics at J-PARC and Large Scale Computational Physics in 2013, 2013年2月11-13日, Tokai, Japan  
12. ChengPing Shen, “Observation of new resonant structures in  $\psi(3770)$  and  $\psi(4180)$ ”, International Workshop on using Heavy Flavors to Probe New Hadron Spectroscopies/Dynamics, 2012年11月19-21日, Busan, Korea  
13. 飯嶋 徹, “Exotic Onia-like Spectroscopy”, Physics at LHC (PLHC2012), 2012年6月4-9日, Vancouver, Canada  
14. 上原 貞治, “Measurement of  $\psi(3770)$   $\rightarrow$   $\psi(2S)$  Transition Form Factor at Belle”, 12th International Workshop on Meson Production, Properties and Interaction (MESON 2012), 2012年5月31-6月4日, Krakow, Poland  
15. V.Bhardwaj, “Studies of radiative X(3872) decays at Belle”, CHARM 2012, 2012年5月14-17日, Honolulu, Hawaii, USA  
16. V.Bhardwaj, “Charmonium and  $\psi(3770)$ -like states from Belle”, Moriond Electroweak, 2012年3月7日, La Thuile, Italy  
17. 上原 貞治, “Two-photon studies at Belle”, International Workshop on e+e- collisions from phi to psi (PHIPSI11), 2011年9月20日, Novosibirsk, Russia  
18. T.Iijima, “Hadron Physics from Belle”, International Conference on the Structure of Baryons (BARYONS'10), 2010年12月7-11日, Osaka, Japan  
19. S.Uehara, “Recent Belle results on two-photon annihilation into pairs of hadrons”, Workshop on Hard Meson and Photon Production, 2010年10月11-15日, Trento, Italy  
20. K.Trabelsi, “Hadron physics and spectroscopy”, 50 Cracow School of Theoretical Physics, 2010年6月10日, Zakopane, Poland  
21. K. Miyabayashi, “Other charmonium and charmonium-like results at Belle”, 7th International Workshop on Heavy Quarkonium (QWG7), 2010年5月19日, Fermilab, U.S.A.  
22. S.Uehara, “Meson spectroscopy”, 11th International Workshop on Meson Production, Properties and Interaction (MESON 2010), 2010年6月11日, Krakow, Poland  
23. 宮林 謙吉, “Belle 実験におけるエキゾチックハドロン研究”, 科研費特定領域と新学術領域による研究会「ストレンジネスから新ハドロンへ」. 2009年12月12日, 大阪大学吹田キャンパス  
24. S.Uehara, “Review of recent results on XYZ from Belle and BaBar”, 13th International Conference on Hadron Spectroscopy (HADRON 2009), 2009年12月3日, Tallahassee, Florida, U.S.A.

25. 宮林 謙吉, “Heavy flavored exotic hadrons at Belle”, Hadron Structure and Interactions 2009. 2009年8月25日, 東京家政大学  
26. 渡辺 靖志, “Two-photon Collisions at Belle”, Hadron Structure and Interactions 2009. 2009年8月24日, 東京家政大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕  
ホームページ  
[http://www.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp/public/new\\_hadron](http://www.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp/public/new_hadron)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堺井 義秀 (SAKAI, Yoshihide )  
素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号: 9 0 1 7 0 5 7 1

### (2) 研究分担者

宮林 謙吉 (MIYABAYASHI, Kenkichi )  
奈良女子大学・理学部・准教授  
研究者番号: 4 0 2 7 3 8 3 3

渡辺 靖志 (WATANABE, Yasushi )  
神奈川大学・工学部・教授  
研究者番号: 4 0 1 2 6 1 9 9

中野 英一 (NAKANO, Eiichi )  
大阪市立大学・理学(系)研究科・准教授  
研究者番号: 8 0 2 7 5 2 3 9

### (3) 連携研究者

上原 貞治 (UEHARA, Sadaharu )  
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・講師  
研究者番号: 70176626

トラベルシ カリム (TRABELSI, Karim )  
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: 40450358

今井 憲一 (IMAI, Ken-ichi )  
原研・先端基礎センター・教授  
研究者番号: 70025493