

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22103002

研究課題名（和文）時間反転対称性を破る超伝導体の新奇界面現象

研究課題名（英文）Novel Edge States in Superconductors with Broken Time-Reversal Symmetry

研究代表者

前野 悦輝（Maeno, Yoshiteru）

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：80181600

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 188,600,000円

研究成果の概要（和文）：時間反転対称性を破る超伝導体でのトポロジカル量子現象、特にその新奇界面現象について、ルテニウム酸化物Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>、および、従来型超伝導体・強磁性体のハイブリッド構造で研究を進めた。

そして、スピン三重項超伝導ならではの半整数磁束量子を観測し、軌道部分の時間反転対称性が破れた「カイラル超伝導」特有の界面状態も観測した。また、超伝導一次相転移など、超伝導対称性の完全理解のための重要事実を積み上げた。さらにトポロジカル超伝導に特有の奇周波数状態の理論を深めて、微小試料で観測する提案を行った。また、奇周波数超伝導の舞台であるSr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>と強磁性薄膜接合系の作製にも成功した。

研究成果の概要（英文）：To clarify the topological quantum phenomena, especially novel surface/interface phenomena, in superconductors with broken time-reversal symmetry, we investigated ruthenate superconductor Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> and its eutectic, as well as hybrid systems consisting of a conventional superconductor and a ferromagnet.

We discovered the half-quantum flux state in micro-rings of Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>, and in-gap density of states indicating its chiral-edge mode. We also accumulated new facts concerning its superconducting symmetry, such as reconfirming evidence for spin-triplet pairing from NMR and the first-order superconducting transition under in-plane magnetic fields. We deepened our knowledge of the odd-frequency pairing state characteristic of topological superconductivity. We developed a hybrid system of ferromagnetic thin film of SrRuO<sub>3</sub> deposited on the Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> crystal surface, which is ideal for the investigation of novel proximity effects involving odd-frequency pairing.

研究分野：低温物理学実験・超伝導

キーワード：トポロジカル量子現象 カイラル超伝導 ルテニウム酸化物 スピン三重項超伝導 超伝導接合 エッジ状態

## 1. 研究開始当初の背景

電流や磁性によって系は時間反転に対する対称性を失うが、自発的に時間反転対称性を破る超伝導体はまれである。電子対の軌道運動に起因して時間反転対称性を破る「カイラル超伝導」は、前野(領域代表、A01代表)らが超伝導を発見したルテニウム酸化物 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ について、石田(連携研究者)らのNMR(核磁気共鳴)によるスピン三重項電子対の確証などを通して確立されてきた。Mackenzie-前野による総説論文(2003)(被引用数は2010.6には約420、2015.6には約860)はこの分野のハンドブック的役割を担う。 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ 超伝導は、多くの国際会議のセッショントピックとなり、重要な一分野を形成していた。その電子対のスピンと軌道角運動量の内部自由度によって、トポロジカル欠陥としての半整数磁束量子の存在と、それらの非自明な統計性が予言されて、実験も含めて活発な研究展開を生みつつあった。

田仲(D01代表)・柏谷(分担)らは異方的超伝導体のギャップ関数の符号変化を判定する「アンドレーエフ束縛状態」の形成を理論・実験両面で世界に先駆けて確立した。そして、浅野(分担)らとの共同研究から、スピン三重項超伝導体を含む接合系での特異な近接効果を予言し、2電子の時間の入れ替えに対して状態ベクトルの符号が反転する「奇周波数超伝導状態」として理解できることを示していた。

一方、従来の*s*波超伝導体と薄膜強磁性金属との接合では、近接効果で超伝導位相反転が可能になり、接合ループでパイ接合量子干渉素子( $\pi$ -SQUID)も実現した(Apriliら、2004)。近接効果によってスピン三重項超伝導が誘起されたとの報告(Keizer, 2006)があったが、その後の追試は進んでおらず、この現象の解明は重要課題となっていた。

これら時間反転対称性を破る超伝導状態を「トポロジカル量子現象」の一部として、超流動体も含めた他の系と普遍的・統一的に扱う動きが始まりつつあった。

## 2. 研究の目的

本計画研究の目的は、電子対のスピンや軌道角運動量の内部自由度に起因して時間反転対称性が破れた「カイラル超伝導体」におけるトポロジカル量子現象に関わる新奇量子効果の解明にある。研究対象として主に

- (1) カイラル *p* 波スピン三重項超伝導体の実験的証拠が揃ったルテニウム酸化物とその共晶、
- (2) 従来型 *s* 波超伝導体と強磁性体とのハイブリッド構造体、

の二つの超伝導系を舞台とした研究を展開する。そしてまずバルク(巨視的な固まり)状態の理解を極めるとともに、特に「エッジ」、すなわち界面や表面で顕在化する特異な物理現象をトポロジカル超伝導現象という切り口で探求する。そして他の計画研究および公募研究との有機的研究交流を通じて概念共有を深めた研究展開を図る。これらによって、対称性の破れた多様な凝縮系に共通するトポロジカル量子現象という普遍的概念の構築を目指す本領域全体の目的遂行に貢献する。

## 3. 研究の方法

ルテニウム酸化物  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ (SRO)の微小単結晶や、強磁性半導体・超伝導体接合素子などを用いて、トポロジカル超伝導現象の実証を進めた。また公募研究や他の計画研究との連携・交流を深めた。

(1) SRO の超伝導対称性の確定を目指す研究:  
比熱による一次相転移の観測や磁気共鳴によるスピン三重項スピン磁化率の観測をもとに検討をさらに深めた。

(2) SRO を用いたジョセフソン接合素子、超伝導量子干渉素子(SQUID)による研究:  
カイラル・エッジ電流と自発磁場の有無、さらにエッジ状態密度の存在を通してトポロジカル超伝導の実現に対する結論付けを行う。

(3) 半整数磁束量子に関する研究:  
微小単結晶リングや SQUID 素子を作製し、超伝導転移温度の磁場中振動から、半整数フラクソイド状態の検証を行う。

(4) 強磁性体を含む超伝導接合系の研究:  
強磁性半導体 InMnAs と *s* 波超伝導体 Nb との接合素子で、奇周波数スピン三重項状態の生成及び検出を行う。

(5) 奇周波数超伝導状態の理論的研究:  
微小なカイラル超伝導体の磁気応答での奇周波数クーパー対の寄与を明らかにするとともに、カイラル超伝導体のエッジ電流を観測するための指針を示す。超伝導体の接合や表面に奇周波数クーパー対が現れる根源的な理由を明らかにし、超伝導現象論の新たな知見を得る。

## 4. 研究成果

ルテニウム酸化物のスピン 3 重項カイラル超伝導状態を吟味するレビュー論文[ ]を発表したが、既に 100 回以上引用されている。またトポロジカル超伝導のトンネル分光に関するレビュー論文も発表した[ ]。

トポロジカル超伝導に関しての、他の計画研究との連携例を挙げると、近接効果での奇周波数超伝導状態の誘起のアナロジーで、B 班では超流動  $^3\text{He}$  での探求が行われた。また、A 班の低温実験技術を軸に、C 班のテーマである電場誘起表面超伝導や反転対称性の破れた超伝導などの共同研究で実績を挙げた。

(1)  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のバルク超伝導(前野、石田、米澤; 三宅(B01 分担)):

トポロジカル超伝導の概念導入で、エッジ状態や奇周波数超伝導状態など、従来なかった新奇な概念での実証が進んだ。NMR ナイトシフトや一軸性圧力効果[ ]など、スピン三重項ペアリングとトポロジカル超伝導性を決定づける新たな成果が生まれた。新機能ピエゾ装置で  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の超伝導転移温度が、伸張・圧縮の両方で顕著に上昇する振舞を見出した。縮退 2 成分秩序変数の「カイラル超伝導」で説明出来る。その一方で、現在のシナリオでは説明できない問題点の焦点を絞り込む研究深化も遂げた。  $\text{RuO}_2$  面に正確に平行な磁場の下での超伝導一次相転移の確立と、それに伴うエントロピーや磁化のとびの定量化が進んだ[ ]。

(2)  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  微小結晶でのトポロジカル量子現象(前野、柏谷、浅野、寺嶋、柏谷<sub>裕</sub>、田仲(D01 代表)):

超伝導接合でのトポロジカル超伝導性検証: トポロジカル超伝導性を検証する準粒子トンネル効果とジョセフソン効果の系統的理論を構築した。  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  単結晶と金とのトンネル接合作製技術を飛躍的に向上させ、準粒子トンネルスペクトルから、超伝導ギャップ内に広く分布するコンダクタンス・ピークの存在を確定的にした[ ]。これはカイラル・エッジ状態の状態密度と解釈でき、いくつかの異なる形状の観測スペクトルについても、複数バンドからの寄与の度合いで説明できた。

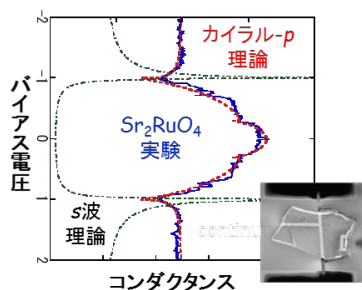


図 1:  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  と金の間でのトンネル接合によるカイラル・エッジ状態に伴うギャップ内状態密度の観測[ ]

$\text{Nb}$  とのジョセフソン接合素子では、クーパー対の軌道角運動量の向きの揃った「カイラルドメイン」の存在とその大きさが数ミクロン程度であることを導き、ドメイン運動に依存しない真のジョセフソン効果の検証を可能にした。

半整数磁束量子の観測:

微小結晶リングの磁化測定から、電子対がスピンの内部自由度を持つときに可能となる半整数フラクソイド(HQF)を観測した[ ]。HQF にはマヨラナ準粒子が伴うと予想されているので、非可換統計性を検証するためのステップとして、HQF の生成と制御が重要になる。そこで電流・電圧特性から HQF を生成・制御するための微小結晶リング素子の開発も進め、磁気振動量子化が観測できるようになった。

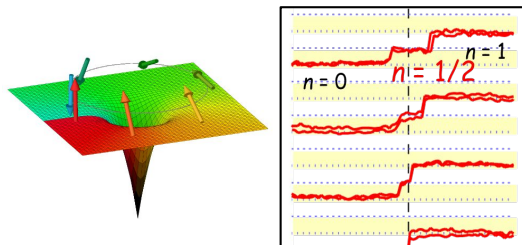


図 2: 半整数磁束量子の模式図と磁化測定による  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  微小単結晶リングでの発見[ ]

(3) 共晶系を利用したトポロジカル超伝導接合(柏谷、前野、石黒(A01 公募);米澤):

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  結晶に析出した Ru 金属を通した超伝導近接効果を利用し、微細加工技術を駆使した SQUID 素子で  $p$  波の奇パリティ実証の研究を進めた。また、Ru 金属に  $s$  波超伝導体からの近接効果で超伝導を誘起して、それを取り囲む  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  の超伝導のトポロジカルな特性を引き出す「トポロジカル超伝導接合素子」の作製にも成功した[ ]。

(4) 強磁性・超伝導接合系での奇周波数ペアリングと近接効果:

$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  と強磁性金属との接合系 (Anwar (A01 PD)、前野、石黒(A01 公募);米澤): 強磁性金属中にスピン三重項  $s$  波の奇周波数超伝導状態を侵入させることは、時間反転対称性の破れたトポロジカル超伝導体の近接効果を解明するために重要課題である。  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  単結晶劈開面に強磁性金属  $\text{SrRuO}_3$  薄膜をエピタキシャル成長させた接合系作製に成功し、アンドレーエフ反射など接合特性に関する研究を進めた[ ]。

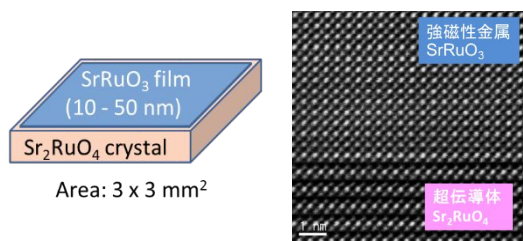


図 3: カイラル超伝導/強磁性接合を構成する、 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  単結晶と強磁性金属  $\text{SrRuO}_3$  薄膜の模式図と透過電子顕微鏡写真[ ] スケールバーは1ナノメートル。

$s$  波超伝導体と強磁性半導体との接合での奇周波数超伝導状態 (入江, 赤崎, 柏谷):

Nb と強磁性体半導体接合で高スピン偏極の電流分布、および強磁性が超伝導体に侵入する逆近接効果を観測した[ ]。

(5) トポロジカル超伝導に伴う常磁性マイスナー効果 (浅野):

奇周波数超伝導状態ではペア振幅が負になるため、マイスナー効果が正になるという基本的なパラドックスがあった。理論的にこれが正しいことを解明し[17]、その効果を直接的に観測するための提案も行った[8]。

また、トポロジカル超伝導に伴う奇周波数状態の常磁性応答に伴い、 $d$  波や  $p$  波超伝導体の微小円板では、低温で正味のマイスナー効果が正となることを予言した[ ]。  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  などでの実証が急がれる。

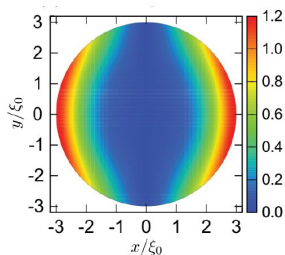


図 4: スピン三重項  $p$  波超伝導体の微小円板の両端に発現すると予想される奇周波数超伝導状態[ ]

## 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 65 件)

\*すべて査読あり

"Circularly polarized near-field optical mapping of spin-resolved quantum Hall chiral edge states", S. Mamyouda, H. Ito, Y. Shibata, S. Kashiwaya, M. Yamaguchi, T. Akazaki, H. Tamura, Y. Ootuka, S. Nomura, Nano Letters **15**, 2417-2421-1-5 (Mar. 2015), DOI: 10.1021/nl504767w

"Ferromagnetic  $\text{SrRuO}_3$  thin-film deposition on a spin-triplet superconductor  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  with a highly conducting interface", M. S. Anwar, Y. J. Shin, S. R. Lee, S. J. Kang, Y. Sugimoto, S. Yonezawa, T. W. Noh, Y. Maeno, Applied Physics Express **8**, 015502-1-5 (Dec. 2014), DOI: 10.7567/APEX.8.015502

"Consequences of bulk odd-frequency superconducting states for the classification of Cooper pairs", Y. Asano, Y. V. Fominov, Y. Tanaka, Physical Review B **90**, 094512-1-8 (Sep. 2014), DOI: 10.1103/PhysRevB.90.094512

"Magnetization of a Mesoscopic Superconducting  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  Plate on Micro-dc-SQUIDS", S. Tsuchiya, M. Matsuno, R. Ishiguro, H. Kashiwaya, S. Kashiwaya, S. Nomura, H. Takayanagi, Y. Maeno, Journal of Physical Society of Japan **83**, 094715-1-5 (Aug. 2014), DOI: 10.7566/JPSJ.83.094715

"Paramagnetic instability of small topological superconductors", S. Suzuki, Y. Asano, Physical Review B **89**, 184508-1-7 (May. 2014), DOI: 10.1103/PhysRevB.89.184508

"Josephson coupling through one-dimensional ballistic channel in semiconductor-superconductor hybrid quantum point contacts", H. Irie, Y. Harada, H. Sugiyama, T. Akazaki, Physical Review B **89**, 165415-1-6 (Apr. 2014), DOI: 10.1103/PhysRevB.89.165415

"Strong Increase of  $T_c$  of  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  Under Both Tensile and Compressive Strain", C. W. Hicks, D. O. Brodsky, E. A. Yelland, A. S. Gibbs, J. A. N. Bruin, M. E. Barber, S. D. Edkins, K. Nishimura, S. Yonezawa, Y. Maeno, Andrew P. Mackenzie, Science **344**, 283-1-4 (Apr. 2014), DOI: 10.1126/science.1248292

"Spin-Orbital Entanglement and the Breakdown of Singlets and Triplets in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  Revealed by Spin- and Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy", C. N. Veenstra, Z.-H. Zhu, M. Raichle, B. M. Ludbrook, A. Nicolaou, B. Slomski, G. Landolt, S. Kittaka, Y. Maeno, J. H. Dil, I. S. Elfimov, M.W. Haverkort, A. Damascelli, Physical Review Letters **112**, 127002-1-5 (Mar. 2014), DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.127002

"Tunneling spectroscopy of topological superconductors", S. Kashiwaya, H. Kashiwaya, K. Saitoh, Y. Mawatari, Y. Tanaka, Physica E **55**, 25-29 (Jan. 2014), DOI: 10.1016/j.physe.2013.07.016

"Charge and spin supercurrents in triplet superconductor-ferromagnet-singlet superconductor Josephson junctions", P. M. R. Brydon, Wei Chen, Y. Asano, Dirk Manske, Physical Review B **88**, 054509 (Aug. 2013), DOI: 10.1103/PhysRevB.88.054509

"Anomalous switching in Nb/Ru/Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> topological junctions by chiral domain wall motion", M. S. Anwar, T. Nakamura, S. Yonezawa, M. Yakabe, R. Ishiguro, H. Takayanagi, & Y. Maeno, Scientific Reports **3**, 2480/1/6 (Aug. 2013), DOI: 10.1038/srep02480

"Determining the Surface-To-Bulk Progression in the Normal-State Electronic Structure of Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> by Angle-Resolved Photoemission and Density Functional Theory", C.N. Veenstra, Z.-H. Zhu, B. Ludbrook, M. Capsoni, G. Levy, A. Nicolaou, J. A. Rosen, R. Comin, S. Kittaka, Y. Maeno, I. S. Elfimov, A. Damascelli, Physical Review Letters **110**, 097004-1-5 (Mar. 2013), DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.097004

"First-Order Superconducting Transition of Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>", S. Yonezawa, T. Kajikawa, Y. Maeno, Physical Review Letters **110**, 077003-1-5 (Feb. 2013), DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.077003

"Evaluation of Spin-Triplet Superconductivity in Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>", Y. Maeno, S. Kittaka, T. Nomura, S. Yonezawa, K. Ishida, Journal of the Physical Society of Japan **81**, 011009-1-29 (Jan. 2012), DOI: 10.1143/JPSJ.81.011009

"Edge States of Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> Detected by In-Plane Tunneling Spectroscopy", S. Kashiwaya, H. Kashiwaya, H. Kambara, T. Furuta, H. Yaguchi, Y. Tanaka, Y. Maeno, Physical Review Letters **107**, 077003-1-4 (Aug. 2011), DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.077003

"Josephson effect in noncentrosymmetric superconductor junctions", \*Y. Asano, S. Yamano, Physical Review B **84**, 064526-1-6 (Aug. 2011), DOI: 10.1103/PhysRevB.84.064526

"Unconventional surface impedance of a normal-metal film covering a spin-triplet superconductor due to odd-frequency Cooper pairs", \*Y. Asano, A. A. Golubov, Y. V. Fominov, Y. Tanaka, Physical Review Letters **107**, 087001-1-4 (Aug. 2011), DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.087001

"Topological competition of superconductivity in Pb/Ru/Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> junctions", T. Nakamura, R. Nakagawa, T. Yamagishi, T. Terashima, S. Yonezawa, M. Sigrist, Y. Maeno, Physical Review B **84**, 060512(R)-1-4 (Aug. 2011), DOI: 10.1103/PhysRevB.84.060512

"Evaluation of spin polarization in p-In<sub>0.96</sub>Mn<sub>0.04</sub>As using Andreev reflection spectroscopy including inverse proximity effect", \*T. Akazaki, T. Yokoyama, Y. Tanaka, H. Munekata, H. Takayanagi, Physical Review B **83**, 155212-1-9 (Apr. 2011), DOI: 10.1088/1742-6596/234/4/042001

"Observation of half-height magnetization steps in Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>", J. Jang, D.G. Ferguson, V.

Vakaryuk, R. Budakian, S.B. Chung, P.M. Goldbart, Y. Maeno, Science **311**, 186-188 (Jan. 2011), DOI: 10.1126/science.1193839

[学会発表](計 39件)

\*すべて招待講演

「トポロジカル量子現象の視点とポロジカル超伝導」, Y. Maeno, 第62回応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム講, 2015年3月12日, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県・平塚市)

"Overview of Current Issues in Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>", Y. Maeno, Joint CIFAR & Max Planck Institute for Solid State Research Workshop, 2014/Oct/17, Stuttgart (Germany)

「超伝導の夢—発見からトポロジカル量子現象へ—」, Y. Maeno, 第42回日本磁気共鳴医学会大会, 2014年9月18日, ホテルグランヴィア京都(京都府・京都市)

"Paramagnetic Meissner Effect in topological Superconductors", Y. Asano, Physics and Applications of Superconducting Hybrid Nano-Engineered Devices, 2014/Sep/1, Santa Maria di Castellabate (Italy)

"Superconductivity of Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub>: Current Developments and Key Issues", Y. Maeno, American Physical Society, March Meeting, 2014/Mar/5, Denver (USA)

「トポロジカル量子現象及びトポロジカル超伝導体」, Y. Maeno, 日本応用物理学会東海支部 上田記念講演会「みらいデバイス創生のフロンティア」, 2014年1月9日, 名古屋ガーデンパレス(愛知県・名古屋市)

"Topological Quantum Materials", Y. Maeno, The International Symposium on Research Frontiers of Physics, Earth and Space Science (ISRF), 2013/Dec/17, Osaka University Sigma Hall (大阪府・豊中市)

"Surface/interfacial states of topological materials", Y. Asano, Electron Correlation in nanostructures 2013, 2013/Oct/3, Yalta (Ukraine)

"Some Open Questions in Topological Quantum Phenomena", Y. Maeno, International Workshop of the Center for Complex Physics in Shanghai (CCPS), 2013/Jan/10, Shanghai (China)

"Majorana fermions and Odd-frequency Cooper Pairs", Y. Asano, 9th International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials, 2012/Sep/17, Roma (Italy)

"Majorana fermions and Odd-frequency Cooper Pairs", Y. Asano, Workshop on Superconducting Nanohybrids 2012, 2012/Sep/5, San Sebastian (Spain)

"Superconducting junctions between Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> and conventional superconductors", Y. Maeno, International Conference on Materials and



Mechanism of Superconductivity (M2S 2012), 2012/Aug/1, Washington DC (USA)  
"Odd-frequency Cooper Pairs in ferromagnetic junctions", Y. Asano, Y.V. Fominov, Y. Tanaka, A.A.Golubov, 8th International Workshop on Nanomagnetism & Superconductivity, 2012/July/5, Coma-Ruga (Spain)  
"Topological Aspects of Superconductivity in  $Sr_2RuO_4$ ", Y. Maeno, Gordon Research Conference, 2012/June/25, South Hadley (USA)  
「超伝導発見から 100 年」, Y. Maeno, 仁科記念講演, 2011 月 11 月 30 日, 東北大学(宮城県・仙台市)  
"Topological Aspects of Superconductivity in  $Sr_2RuO_4$ ", Y. Maeno, The 2011 Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES 2011), 2011/Aug/30, Cambridge (UK) 【基調講演】  
"Anomalous Surface Impedance due to Odd-frequency Cooper Pairs", Y. Asano, 8th International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials, 2011/Jun/7, Chongqing (China)  
"Spin-Triplet Superconductivity", Y. Maeno, 100th Anniversary of Superconductivity: Hot Topics and Future Directions, 2011/Apr/5, Leiden (the Netherlands)  
"Quantized Vortices in  $Sr_2RuO_4$ ", Y. Maeno, Conference on Frontiers of Condensed Matter Physics, 2011/Jan/5, Stockholm (Sweden)  
"Tunneling between Two Helical superconductors via Majorana Edge Channels", Y. Asano, Superconductivity and Magnetism: Hybrid proximity nanostructures and intrinsic phenomena (SM2010), 2010/Sep/7, Paestum (Italy)

〔図書〕(計 2 件)

物性物理学ハンドブック, 前野悦輝, 朝倉書店, May 2012, 総 676 頁, 担当 15 頁.  
"100 Years of Superconductivity"  
Y. Maeno, CRC Press, Taylor & Francis Group, Nov. 2011, 総 830 頁, 担当 6 頁.

〔産業財産権〕

取得状況(計 1 件)

名称: パイ接合 SQUID、及び超伝導接合構造の製造方法

発明者: 前野悦輝、寺嶋孝仁

権利者: 国立大学法人京都大学

種類: 特許

番号: 第 5574299 号

出願年月日: 平成 22 年 3 月 2 日

取得年月日: 平成 26 年 7 月 11 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

新学術領域研究「トポロジカル量子」ホームページ

日本語版

<http://www.topological-qp.jp/index.html>

英語版

<http://www.topological-qp.jp/english/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前野 悦輝 (MAENO, Yoshiteru)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 80181600

(2) 研究分担者

柏谷 聡 (KASHIWAYA, Satoshi)

独立行政法人産業技術総合研究所・電子光技術研究部門・首席研究員

研究者番号: 40356770

浅野 泰寛 (ASANO, Yasuhiro)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 20271637

入江 宏 (IRIE, Hiroshi) [H24-26]

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・研究員

研究者番号: 20646856

赤崎 達志 (AKAZAKI, Tatsushi) [H22-24]

(H25-26 は連携研究者)

高知工業高等専門学校・電気情報工学科・教授

研究者番号: 10393779

(3) 連携研究者

寺嶋 孝仁 (TERASHIMA, Takahito)

京都大学・低温物質科学研究センター・教授

研究者番号: 40252506

米澤 進吾 (YONEZAWA, Shingo)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 30523584

石田 憲二 (ISHIDA, Kenji)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 90243196

前川 禎通 (MAEKAWA, Sadamichi)

独立行政法人日本電子力研究開発機構・先端基礎研究センター研究推進室・センター長

研究者番号: 60005973

柏谷 裕美 (KASHIWAYA, Hiromi) [H25-26]

独立行政法人産業技術総合研究所・計測フロンティア研究部門・主任研究員

研究者番号: 60443181

村木 康二 (MURAKI, Koji) [H24-26]

日本電信電話株式会社 NTT 物性科学基礎研究所・量子電子物性研究部・グループリーダー

研究者番号: 90393769