

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17071007

研究課題名（和文） 異方的超伝導に特有の新量子現象

研究課題名（英文） New Quantum Phenomena in Anisotropic Superconductors

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

研究成果の概要（和文）：電子の電荷・スピンの両方が超流動状態となる画期的な「スピン三重項の超伝導」を確認するため、超純粋（スーパークリーン）なルテニウム酸化物 Sr_2RuO_4 を用いて、超伝導電子対のスピン方向や運動、磁場中での現象などを研究した。また、 Sr_2RuO_4 の結晶中に常伝導金属が規則的に自然析出する共晶試料を用いた超伝導接合の実験や、奇周波数ペアリングの理論展開から、新奇な近接効果などの新量子現象を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to establish the physics of spin-triplet superconductivity, for which the spins of the electrons in addition to their charges exhibit superfluidity, we investigated systems based on Sr_2RuO_4 . Using superclean single crystals, we obtained strong evidence to clarify the spin directions of electron pairs and their collective motions. In addition, using hybrid materials consisting of Sr_2RuO_4 and normal metals, we demonstrated novel phenomena specific to spin-triplet state. We also developed theories of microscopic mechanism of the spin-triplet superconductivity as well as the “odd-frequency pairing states” emerging near the boundaries.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	43,700,000	0	43,700,000
2006年度	29,200,000	0	29,200,000
2007年度	27,900,000	0	27,900,000
2008年度	22,986,950	0	22,986,950
2009年度	13,000,000	0	13,000,000
総計	136,786,950	0	136,786,950

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：異方的超伝導、ルテニウム酸化物、スピン三重項超伝導、スーパークリーン、トンネル効果、奇周波数ペアリング、超伝導近接効果

1. 研究開始当初の背景

電子間の相互作用の効果が著しい「強相関電子系物質」では銅酸化物高温超伝導体に代表されるように、従来型の s 波超伝導とは異なる「異方的超伝導」が現れる。しかし銅酸

化物でもスピン一重項の電子対（クーパー対）の超伝導状態である点は従来型と同様である。強相関電子系物質ではこれらと対照的な、スピン三重項の異方的超伝導も実現可能であることが明らかになってきた。スピン三重項超

伝導は電荷だけでなくスピン自由度も超流動性を持つ新奇な超伝導状態である。そして電子対の軌道・スピンの両角運動量の内部自由度が織り成す新量子現象が期待できる。

研究代表者の前野らが超伝導性を発見したルテニウム酸化物 Sr_2RuO_4 ($T_c = 1.50 \text{ K}$) について、研究開始当初までの研究でスピン三重項超伝導性がついに決定的となったといえる。また秩序パラメータの振幅である超伝導ギャップのフェルミ面ごとの構造もほぼ決定できた。そして現実物質の電子状態に基づく超伝導メカニズムの理論も大いに進展を見せていた。これらの研究成果を挙げた基盤研究 (S) (代表者：前野) は終了の段階にあった。スピン三重項超伝導の真価を確認するためにはその次の段階、すなわちスピン三重項超伝導を制御する段階への研究発展を目指した、新しい視点での革新的でかつ粘り強い研究が必要であり、本研究への強い動機付けとなった。

2. 研究の目的

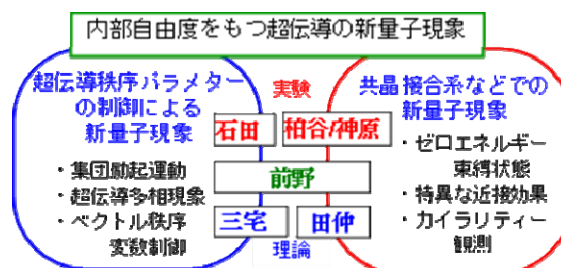
本研究の目的は、異方的超伝導の中でも際立った特徴をもつ、スピン三重項超伝導状態を制御することで現れる、内部自由度をもった超伝導状態に特有の新量子現象を多角的に集中的に研究することにある。そしてスピン自由度や時間反転対称性破れなどに基づく新物理現象の創造、観測を目指す。具体的には大きく二つのアプローチに研究体制を鮮明化する。第1は純粋な Sr_2RuO_4 を中心に、クーパー対の軌道とスピン自由度との相互作用に着目し、集団励起運動や、方位制御磁場でのベクトル秩序パラメータの制御、その微視的機構の解明に取り組む。第2に Sr_2RuO_4 と常伝導金属の共晶析出結晶を利用した超伝導接合系を用い、新奇な近接効果などの新量子現象の創生・観測に取り組む。

特定領域研究「スーパークリーン物質における新量子相の物理」の計画研究としての役割は以下のとおりである。異方的超伝導状態は波数空間の等方性が破れた秩序状態であるため、非磁性の不純物にも敏感な対破壊効果が起こる。このため制御性を兼ね備えた「スーパークリーン物質」での研究が本質的に重要となる。ルテニウム酸化物はまさにこの点で、基礎物性研究に理想的な物質系である。同様のスーパークリーン系の超流動 ^3He や原子気体のボーズ・アインシュタイン凝縮系で実現する、内部自由度を持った超流動状態とも密接に関連した物理現象が期待できる。従来、これらの研究コミュニティを融合的に組織する確固とした研究体制は存在しなかった。それゆえ、本領域内での密接な研究情報交換により、これら異なる物質系での物理学的類似性・相違性が鮮明になり、互いに新鮮

な研究着想に基づく新現象の創造が期待できる。

3. 研究の方法

大きく分けて二つのアプローチ (図参照) で、スーパークリーン物質でのスピン三重項超伝導に関わる新量子現象の開拓を行うと同時に、領域内の各分野との研究情報交換を密接に行った。



(1) 超伝導秩序パラメータの制御による新量子現象の研究

内容：クーパー対の集団励起運動の観測や、磁場によるベクトル秩序変数の制御、超伝導多相現象の機構解明に取り組むとともに、新たな異方的超伝導体発見に向けた物質開発を行った。

分担：物質開発・単結晶育成・熱電磁物性測定 (前野)、核磁気共鳴 (NMR) 実験 (石田)、内部構造を持つ異方的超伝導の理論 (三宅) の間での有機的な連携を構築して研究を推進した。

(2) 共晶接合系等での新量子現象の研究

内容： Sr_2RuO_4 - Ru や Sr_2RuO_4 - $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ などの共晶系を利用して、スピン三重項超伝導・常伝導接合系に特有のトンネル効果、ゼロエネルギー束縛状態、特異な近接効果の創生と観測に挑んだ。また異方的超伝導体の新しい接合系・マイクロドメイン系の物質開発も行った。

分担：物質開発・共晶単結晶育成・接合特性測定 (前野)、走査型トンネル分光測定 (柏谷・神原)、超伝導近接効果・トンネル効果の理論 (田仲) の間での密接な研究連絡を通して研究を推進した。

4. 研究成果

(1) 超伝導秩序パラメータの制御による新量子現象の研究

Sr_2RuO_4 のスピン三重項性を確認するため、NMR によってスピン磁化率の異方性の測定に成功した。微視的理論の展開とあわせて、スピン三重項のベクトル秩序パラメータが磁場中で方向を変えることを決定的にした。また上部臨界磁場の異方性を精密に明らかにし、

一軸性圧力による転移温度上昇の新奇現象を見出し、さらに超伝導状態で時間反転対称性が破れていることを光学カー効果によって検証することにも成功した。以下では項目ごとに成果をさらに詳しく述べる。

① ベクトル秩序変数の決定：RuO₂面に平行な磁場下で50 mTという低磁場まで核四重極共鳴(NQR)を利用したスピン磁化率測定を進め、以前の成果と合わせて、三重項スピンは低磁場領域で磁場方向に向きを変えることを決定付ける結果を得た。また磁場方位制御精度と測定精度を一層向上した最新の実験でも、以前の結果を再現した。これらの実験結果からはベクトル秩序変数(dベクトル)に対して、ゼロ磁場ではc軸方向を向いているが弱磁場でab面内に方向を変える場合と、常にab面内にある場合との二つの可能性がある。

② Sr₂RuO₄の上部臨界磁場の精密測定を行い、その方位角依存性が温度によらず3次元ギンツブルグ・ランダウモデルでよく記述できることを示した。上部臨界磁場の温度と磁場方向依存に対する精確なデータを集積し、特異な超伝導抑制効果に対する理解を深めた。

③ スタンフォード大学との共同研究によってSr₂RuO₄の超伝導状態で光学カー回転の観測に成功した。クーパー対の軌道モーメントによる時間反転対称性の破れたいわゆるカイラル状態の新たな観測手段となることを実証した。

④ Sr₂RuO₄純粋単体の転移温度が一軸性圧力下では、従来の1.5 Kから3 Kにまで上昇する実験的証拠を得た。

⑤ 圧力下では金属化するモット絶縁体のCa₂RuO₄が、更なる高压で超伝導を示すことを国際共同研究で発見し、論文発表した。

⑥ 超低温走査トンネル顕微鏡/分光装置を用いて、Sr₂RuO₄の局所電子状態密度観測を進め、超高真空での試料劈開によって得た清浄表面はほとんどSrO面であることを明らかにし、特徴的な常伝導ギャップ構造を観測した。

⑦ Sr₂RuO₄の微視的超伝導機構の詳細を明らかにするため、Ru電子間の強相関効果に加えて、酸素サイトでの2p電子間のオンサイト斥力の効果も3次摂動まで考慮した理論を展開した。その結果、短距離の強磁性相関が誘起されてスピン三重項状態が2次摂動の効果で安定化することを示した。

⑧ Sr₂RuO₄の微視的超伝導理論により、時間反転対称性を破るいわゆるカイラルスピン三重項状態が安定化することを導いた。さらに

酸素サイトでのクーロン斥力も重要となるRu酸化物特有の効果により、スピン三重項超伝導の秩序変数dベクトルは、ab面内にあることを理論的に明らかにした。

⑨ Sr₂RuO₄の超伝導状態でゼロ磁場でも観測される核四重極共鳴(NQR)の縦緩和率の異常な増大が、クーパー対の集団励起運動によって説明できることを微視的超伝導理論から明らかにした。すなわち、クーパー対のスピン軌道相互作用でRuO₂面に垂直なスピンゆらぎが増大する内部ジョゼフソン振動効果によって、観測された異方性と温度依存性を再現した。

(2)共晶接合系等での新量子現象の研究

Sr₂RuO₄を含む共晶系での超伝導領域の空間分布を明らかにした。また、Sr₂RuO₄-Ru共晶を用いて、超伝導の時間反転対称性の破れによるエッジ電流の存在を強く示唆する成果や、s波超伝導体との強い量子干渉効果を示す成果を得た。特に重要な理論的成果として、異方的超伝導体を含む接合界面でしばしば現れる、「アンドレーエフ束縛状態や特異な近接効果が、「奇周波数ペアリング」の統一的描像から理解できることを明らかにした。以下では項目ごとに成果をさらに詳しく述べる。

① [Sr₂RuO₄ - Sr₃Ru₂O₇ 共晶] 超伝導体Sr₂RuO₄と強磁性スピン相関の強いメタ磁性金属Sr₃Ru₂O₇との共晶の合成に成功し、一見Sr₃Ru₂O₇に見える部分が実は低磁場ではバルク超伝導性を示すことを明らかにした。この弱い超伝導性は、欠陥構造として含まれる数層厚みのSr₂RuO₄によることを示した。

② [Sr₂RuO₄ - Ru 共晶] Sr₂RuO₄とRu金属との共晶では、両成分の界面付近で超伝導転移温度が3 K程度にまで倍増することは、我々が1998年に発見した。本研究ではこの系での超伝導領域の成長が二つの超伝導体の接合系における近接効果として説明できることを実験的に明らかにした。また一軸性圧力によって転移温度は3 K以上には増大しないものの超伝導体積分率は増大し、RuO₂面に平行な一軸性圧力ではその増大が特に顕著であることを明らかにした。この結果は超伝導転移の増大に結晶ひずみが深く関わっていることを意味するが、その詳細を明らかにするには今後の研究継続が必要である。

③ [Sr₂RuO₄ - 単一Ru接合] Sr₂RuO₄と単一Ru金属片との界面に誘起される超伝導について、アンドレーエフ束縛状態によるゼロエネルギー状態密度の観測に成功し、界面での3-K超伝導の出現とカイラル状態(時間反転対称性の破れた状態)の出現が異なる温度磁場で起こることを見出した。

④ [Sr₂RuO₄-Ru 共晶接合] 集束イオンビーム (FIB)を用いた微細加工によってミクロン程度の微細なデバイス作成のプロセスを確立し、3-K 相のミクロな輸送特性を測定した。その結果、電流電圧特性に超伝導ネットワークに対応する信号が観測され、3-K 相の超伝導は 1.5-K 相と同様に奇パリティであることがわかった。また、カイラル・ドメインの運動に対応すると考えられるヒステリシスを観測した。さらに微細結晶では臨界電流が接合サイズに依存しなくなるという、顕著な異常を観測した。これらは界面(エッジ)に高い臨界電流のチャンネルが存在するモデルで理解できる。

⑤ [Sr₂RuO₄ 共晶 - Pb 近接接合] FIB を用いて Sr₂RuO₄-Ru 共晶と鉛を用いた新しい構造の近接接合素子を作製し、両超伝導の強い量子干渉効果を明確に示す、臨界電流の特異な温度依存性を観測した。この結果は Sr₂RuO₄ の超伝導が奇パリティである証拠につながる重要な成果である。

⑥ 奇パリティの p 波超伝導特有の近接効果を観測するために、面内方向でトンネル電流を検出する新たな試みに着手し、真空へき開面に直接金蒸着を行うことで良質のトンネル接合形成の技術を確立した。

⑦ [奇周波数ペアリング] 超伝導接合での準粒子束縛状態などが奇周波数ペアリングという統一的な概念で再解釈できることを明らかにした。スピン三重項超伝導体で予言される異常な近接効果の正体も、奇周波数クーパ対として理解できる。

この新しい視点によって、異方的超伝導体表面の零エネルギー・アンドレーエフ束縛状態が、奇周波数クーパ対で表されることを示した。また、スピン三重項超伝導体の準粒子状態密度が零エネルギーピーク構造を持つ異常な近接効果も、奇周波数クーパ対の視点で導けることを示すとともに、近接効果の統一理論を提案した。さらに接合系に関しては、拡散伝導領域にある金属と超伝導体接合の超伝導近接効果に関する一般論を提案した。そして Sr₂RuO₄ を用いた接合のようなスピン三重項 p 波接合では、奇周波数の電子対が常伝導領域に侵入するという劇的な性質があることを予言した。

この理論の適用例として、常伝導金属側では、近接効果による超伝導成分の存在にもかかわらず、アンドレーエフ共鳴状態による準粒子が共存し、ゼロエネルギーで状態密度にピークを持つという、スピン一重項 d 波の超伝導体にはみられない効果を予言した。さらに p 波超伝導体-常伝導体-p 波超伝導体接合では、アンドレーエフ共鳴状態のためにジョセフソン電流が非常に大きくなることを理論

的に示した。

⑧ カイラル超伝導体中の磁束についての理論を展開した。すなわち、渦の向きとクーパ対の内部軌道角運動量の方向 (カイラリティ) の相対的關係に依存して、磁束のシャドウ効果や不純物効果への影響が起こることを明らかにした。

(3) 特定領域内の他の計画研究との連携

本特定領域内の他の研究グループとの連携、特に「超流動ヘリウム 3 の異方的秩序変数とその制御」および「内部自由度を持つ原子気体の超流動性」の研究グループとの研究会を合計 6 回行った。連携の成果の一つとして、超伝導で議論されてきたアンドレーエフ束縛状態を超流動ヘリウムに適用するための理論を構築し、さらに実際に観測することにも成功した。

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 56 件)

1. Alireza PL, Maeno Y (4 番目) 他 7 名, Evidence of superconductivity on the border of quasi-2D ferromagnetism in Ca₂RuO₄ at high pressure, *Journal of Physics-Condensed Matter*, 査読有, **22**, 2010, 052202-1-4.
2. Miyake K, Effect of Spin-orbit interaction in spin-triplet superconductor: Structure of d-vector and anomalous ¹⁷O-NQR relaxation in Sr₂RuO₄, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, **79**, 2010, 024714-1-8.
3. Kittaka S, Ishida K (5 番目), Maeno Y (6 番目) 他 3 名, Angular dependence of the upper critical field of Sr₂RuO₄, *Physical Review B*, 査読有, **80**, 2009, 174514-1-6.
4. Kittaka S, Yaguchi H, Maeno Y, Large enhancement of 3-K phase superconductivity in the Sr₂RuO₄-Ru eutectic system by uniaxial pressure, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, **78**, 2009, 103705-1-4.
5. Kambara H 他 5 名, Chiral superconducting phase transition in 3-K phase of Sr₂RuO₄, *Physica C*, 査読有, **469**, 2009, 1030-1033.
6. Yoshioka Y, Miyake K, Pairing mechanism and anisotropy of d-vector of spin-triplet superconductor Sr₂RuO₄, *Journal of the Physical Society of Japan*, 査読有, **78**, 2009, 074701-1-8.
7. Kittaka S, Maeno Y (5 番目) 他 3 名, Spatial development of superconductivity in

- the Sr_2RuO_4 -Ru eutectic system, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **78**, 2009, 064703-1-6.
8. Tanuma Y, Tanaka Y (3 番目) 他 2 名, Model for vortex core tunneling spectroscopy of chiral p-wave superconductors via odd-frequency pairing states, Physical Review Letters, 査読有, **102** (11), 2009, 117993-1-4.
 9. Kambara H, Kashiwaya S (2 番目) 他 4 名, Anomalous transport through the p-wave superconducting channel in the 3-K phase of Sr_2RuO_4 , Physical Review Letters, 査読有, **101** (26), 2008, 267003-1-4.
 10. Okada A, Miyake K, Zero-Point motion of oxygen and anomalous isotope effect in Sr_2RuO_4 , Journal of Physics Society Japan, 査読有, **77** (9), 2008, 093707-1-4.
 11. Kittaka S, Fusanobori S, Yonezawa S, Yaguchi H, Maeno Y (5 番目) 他 2 名 Multiple superconducting transitions in the $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ region of $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ - Sr_2RuO_4 eutectic crystals, Physical Review B, 査読有, **77** (21), 2008, 214511-1-1-9.
 12. Yokoyama T, Tanaka Y (3 番目) 他 2 名, Chirality sensitive effect on surface states in chiral p-wave superconductors, Physical Review Letters, 査読有, **100** (22), 2008, 177002-1-4.
 13. Fittipaldi R, Fusanobori S, Maeno Y (7 番目) 他 4 名 Structure, morphology and composition of superconducting Sr_2RuO_4 - $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ eutectic crystals, Physica C: Superconductivity, 査読有, **460**, 2007, 524-525.
 14. Asano Y, Tanaka Y (2 番目) 他 2 名, Conductance spectroscopy of spin-triplet superconductors, Physical Review Letters, 査読有, **99** (6), 2007, 067005-1-4.
 15. Sawa Y, Yokoyama T, Tanaka Y (3 番目) 他 1 名, Quasiclassical green's function theory of Josephson effect in chiral p-wave superconductor/ diffusive normal metal/chiral p-wave superconductor junctions, Physical Review B, 査読有, **75** (13), 2007, 134508-1-9.
 16. Miyake K, New trend of superconductivity in strongly correlated electron systems, Journal of Physics: Condensed Matter, 査読有, **19** (12), 2007, 125201-1-30.
 17. Murakawa H, Ishida K (2 番目), Maeno Y (6 番目) 他 3 名, Ru-101 knight shift measurement of superconducting Sr_2RuO_4 under small magnetic field parallel to the RuO_2 plane, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **76-2**, 2007, 024716-1-12.
 18. Tanaka Y, Golubov A. A, Theory of the proximity effect in junctions with unconventional superconductors, Physical Review Letters, 査読有, **98** (3), 2007, 037003-1-4.
 19. Yaguchi H, Takizawa K, Maeno Y (5 番目) 他 6 名, Tunneling spectroscopy of the interface between Sr_2RuO_4 and a single Ru micro-inclusion in eutectic crystals, Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **75** (12), 2006, 125001-1-2.
 20. Kidwingira F, Strand J. D, Van Harlingen D. J, and Maeno Y, Dynamical superconducting order parameter domains in Sr_2RuO_4 , Science, 査読有, **314** (5803), 2006, 1267-1271.
 21. Xia J, Maeno Y (2 番目) 他 3 名, High Resolution Polar Kerr Effect Measurements of Sr_2RuO_4 : Evidence for broken time-reversal symmetry in the superconducting state, Physical Review Letters, 査読有, **97** (16), 2006, 167002-1-4.
 22. Kambara H, Niimi Y, Maeno Y (5 番目) 他 3 名, Scanning tunneling microscopy and spectroscopy of Sr_2RuO_4 , AIP Conference Proceeding Series, 査読有, **850**, 2006, 539-540.
 23. Hooper J, Zhou M, Mao Z. Q, Liu Y, Perry R, Maeno Y, Critical current of the Sr_2RuO_4 - $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ eutectic system, Physical Review B, 査読有, **73** (13), 2006, 132510-1-4.
 24. Asano Y, Tanaka Y, and Kashiwaya S, Anomalous Josephson effect in p-wave dirty junctions, Physical Review Letters, 査読有, **96**, 2006, 097001-1-4.
 25. 矢口宏, 前野悦輝, 川村稔, スピン三重項超伝導体ルテニウム酸化物 Sr_2RuO_4 におけるトンネル効果, 固体物理 (特集号「超伝導接合の物理と応用」), 査読有, **40**, 2005, 712-720.
 26. Hoshihara K, Miyake K, Triplet-pairing superconductivity induced by short-range ferromagnetic correlations in Sr_2RuO_4 , Journal of the Physical Society of Japan, 査読有, **74**, 2005, 2679-2682.
 27. Tanaka Y, Asano Y その他 2 名, Anomalous features of the proximity effect in triplet superconductors, Physical Review B, **72**, 2005, 140503-1-4.
 28. Kambara H, Matsui T その他 2 名, Development of an ultra-low temperature scanning tunneling microscope and applications for low temperature physics, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 査読有, **66**, 2005, 1552-1555.

29. Fittipaldi R, Vecchione A, Maeno Y (8 番目) 他 5 名, Crystal growth of the new $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ eutectic system by a floating zone method, Journal of Crystal Growth, 査読有, **282**, 2005, 152-159.
30. Tanaka Y, Kawhiwaya S, and Yokoyama T, Theory of enhanced proximity effect by midgap Andreev resonant state in diffusive normal metal/triplet superconductors junctions, Physical Review B, 査読有, **71**, 2005, 094513-1-16.

〔学会発表〕(計 5 2 件)

1. 前野悦輝、時間反転対称性を破る超伝導体・超流動体、日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 21 日、岡山大学.
2. 柏谷聡、超伝導におけるアンドレーエフ束縛状態とエッジ状態、日本物理学会第 65 回年次大会、2010 年 3 月 21 日、岡山大学.
3. 前野悦輝、Recent Developments in the studies of Sr_2RuO_4 、American Physical Society March Meeting、2010 年 3 月 15 日、ポートランド (アメリカ) .
4. 前野悦輝、Novel Quantum Phenomena in Superconducting Sr_2RuO_4 、International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2010)、2010 年 3 月 12 日、横浜市.
5. 三宅和正、Theory for d-vector in spin-triplet superconductor Sr_2RuO_4 、PSM2010、2010 年 3 月 11 日、横浜市.
6. 柏谷聡、Transport properties of Sr_2RuO_4 、microdevices、PSM2010、2010 年 3 月 9 日、横浜市.
7. 田仲由喜夫、Odd-frequency Cooper pairing in non-uniform superconducting systems、International Symposium on Novel Spin Pairing 2009 (NSP2009)、2009 年 9 月 14 日、京都大学.
8. 前野悦輝、New Developments in the studies of superconductivity in Sr_2RuO_4 、The 9th International Conference on Materials and Mechanism of Superconductivity (M2S-IX)、2009 年 9 月 9 日、東京都.
9. 柏谷聡、Fabrication and Transport Properties of Sr_2RuO_4 Microdevices、M2S-IX、2009 年 9 月 9 日、東京都.
10. 柏谷聡、Andreev bound states and anomalous transports in anisotropic superconductors、New Directions of Superconducting Nanostructures 2009 (NDSN2009)、2009 年 9 月 4 日、名古屋大学.
11. 田仲由喜夫、Odd-frequency Cooper pairing in non-uniform superconducting system、

ISSP International Workshop on New Developments in Theory of Superconductivity、2009 年 6 月 25 日、東京大学物性研究所.

12. 田仲由喜夫、Odd-frequency Cooper pairing in non-uniform superconducting systems、10th German-Japanese Symposium、2008 年 10 月 1 日、Schloss Ringberg、Rottach-Egern (ドイツ) .
13. 前野悦輝、Issues on the Superconducting Symmetry of Sr_2RuO_4 、International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials (PSM2007)、2007 年 10 月 29 日-11 月 1 日、岐阜県.

〔図書〕(計 1 件)

- ①前野悦輝 (pp.171-178)、三宅和正 (pp.181-194)、田仲由喜夫 (pp.204-213)、柏谷聡 (pp.204-213)他、朝倉書店、超伝導ハンドブック、2009 年、328 ページ.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.superclean-materials.org/>

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

三宅和正 (Miyake Kazumasa)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：90109265
田仲由喜夫 (Tanaka Yukio)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：40212039
柏谷聡 (Kashiwaya Satoshi)
産業技術総合研究所・エレクトロニクス研究部門・グループ長
研究者番号：40356770
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
(H20→H21：連携研究者)
神原浩 (Kambara Hiroshi)
産業技術総合研究所・エレクトロニクス研究部門・研究員
研究者番号：00313198
(H20→H21：連携研究者)