

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2008

課題番号：16076213

研究課題名（和文） 異常磁気伝導を示す量子物質の開発

研究課題名（英文） Design and synthesis of quantum materials  
exhibiting anomalous magneto-transport phenomena

研究代表者

寺崎 一郎（TERASAKI, Ichiro）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30227508

## 研究成果の概要：

電子の量子性が室温程度の高温度域で発現し、異常な物性を示す物質（異常量子物質）のうち、伝導電子が外部磁場や自分自身の磁化と相互作用する物質の開発を行った。対象とした物質群は、遷移金属酸化物を中心に窒化物、硫化物、有機物など多岐にわたった。特に、巨大非線形伝導を示す有機伝導体、希薄磁性半導体として振舞うチタン酸化物、強磁性と非磁性が縮退しているコバルト酸化物、磁気相に隣接して超伝導を示すアンチペロブスカイト窒化炭化物などを開発した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
2004 年度	17,700,000	0	17,700,000
2005 年度	12,600,000	0	12,600,000
2006 年度	14,200,000	0	14,200,000
2007 年度	11,800,000	0	11,800,000
2008 年度	11,800,000	0	11,800,000
総 計	68,100,000	0	68,100,000

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：強相関電子，磁気伝導，相転移

## 1．研究開始当初の背景

1986 年に銅酸化物において高温超伝導体が発見されて以来、従来の物性物理学の常識では予想できないような新物性を示す物質が続々と発見されてきた。その機能は多岐にわたるが、電子が低温で示す何らかの量子性が、室温近くの高温度域で発現しているという共通性を持つ。そのため我々はこれらの新物質群を「異常量子物質」と命名した。

異常量子物質の様々な性質のうち、我々は磁気伝導特性に注目した。磁気伝導とは磁場あるいは物質の磁化と電気伝導が関連した

現象であり、古くはホールが見出した、金属における磁場中の横電場（ホール効果）に端を発する。磁気伝導の研究は、磁気秩序を持つ物質を対象に広げ、一昨年のノーベル賞に代表されるような巨大磁気抵抗現象が研究されてきた。

我々は、物質の持つ磁気の別の側面にスポットをあて、新しい磁気伝導現象（我々は異常磁気伝導と命名した）の探索を目指した。

## 2．研究の目的

本研究の目的は、(1)異常量子物質を電気伝

導・熱伝導現象をプローブとして探索し、(2)その伝導現象の精密測定と解析を通じて、(3)新しい量子現象の開発と制御を目指すものであった。

特に、強相関電子系による巨大な熱電応答・誘電応答、磁性誘電体の探索と磁場制御、巨大磁気抵抗効果を持つ新規複合酸化物の物質開発を行った。異常量子物質の候補として、複合遷移金属酸化物を中心に物質開発を進めるが、類似の構造を持った硫化物なども視野に入れ、磁気相と隣接した超伝導の探索も行った。

### 3. 研究の方法

寺崎、勝藤、上原の3名が主催する研究グループによって研究を遂行した。上記3グループは、異なる専門性を持ち、互いに相補的な研究パートナーとして機能した。具体的には、寺崎は熱・電子輸送現象の精密測定、勝藤は磁場中の光学・誘電物性の精密測定、上原は高压合成を中心とする新物質開発を中心に研究を展開した。論文としての成果は、決して多くないが、論文以前の段階での協同作業は密接に行われた。

3名の研究者は、いずれも物質開発と精密測定をバランスよく行っており、上原の高压合成試料だけでなく、寺崎と勝藤も、遷移金属酸化物のセラミック試料や単結晶を自作し、他の特定領域の研究者への試料提供を行い共同研究を展開した。それらの共同研究の成果は以下に示す投稿論文に反映されている。

### 4. 研究成果

本研究による成果は多岐にわたるが、主な成果について簡潔に列挙する

#### (1) 本質的不均一による異常磁気伝導

本質的不均一とは、電子同士の相互作用が複数の秩序相を形成する場合、それらの相が共存・競合することによって結晶の乱れと無関係に秩序相の乱れを創り出す現象のことである。ソフトマターなどでは良く知られた現象であるが、電子物性ではその重要性がごく最近になって認識されつつある。

寺崎らは、異なる電荷秩序相が共存する有機導体  $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{CsZn}(\text{SCN})_4$  において、3桁におよぶ非線形伝導を発見した(図1)。そしてそれが、電荷秩序の一つの相が電流によって融解(抑制)されるために生じていることを、電流通電下のX線回折実験で明らかにした。この成果は、新しい有機エレクトロニクスの動作原理があることを示唆している。

勝藤らは、抵抗変化メモリ(RRAM)効果をもつ様々な遷移金属酸化物の薄膜を調べ、そのメカニズムを探った。この系は当初、本質的不均一が重要な役割を演じていると思わ

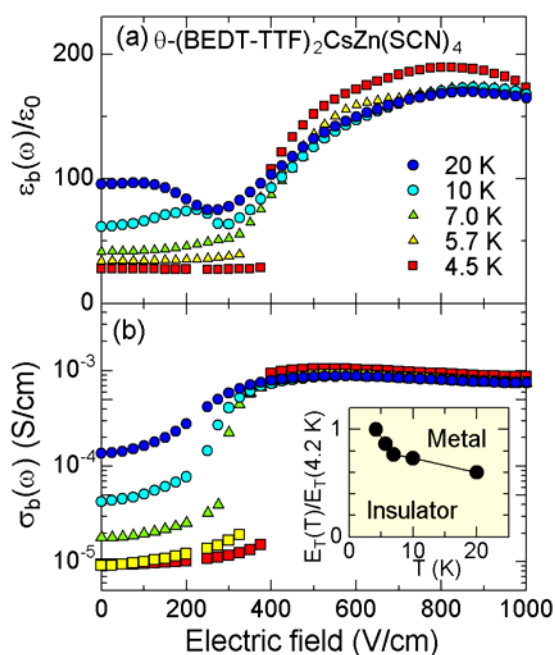


図1  $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{CsZn}(\text{SCN})_4$  の非線形複素誘電率の DC バイアス依存性

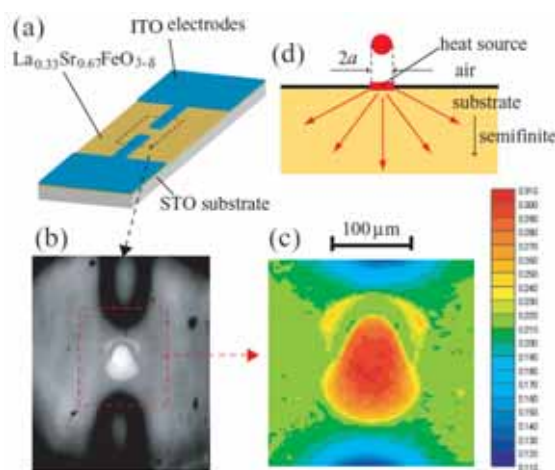


図2 RRAM 薄膜の反射率マッピング

れたが、様々な酸化物で生じることがわかった。勝藤らは、強い電場によって電極付近の反射率が不均一に変化することを見出し(図2(c)(d))、それが抵抗変化と連動していることを明らかにした。さらに、それが電極付近で生じた酸素イオンの動きに由来することを明らかにし、RRAMの動作原理を解明した。

#### (2) 局在スピンの遷移寸前にある伝導体

局在磁気モーメントは磁気物理の基本であるが、いくつかの物質では電子が局在磁気モーメントを出す状態と遷移して磁性を失っている状態がほとんど縮退している。代表

的なケースが高温超伝導体の  $\text{Cu}^{2+}$  であるが、その局在 遍歴性の議論はすでに 20 年を超えて複雑化している。

この問題に別の観点から光を当てるべく、寺崎らは 2 つの物質  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$  と  $\text{Sr}_3\text{YCo}_4\text{O}_y$  を調べた。前者は Ru の置換とともに  $\text{Cu}^{2+}$  の d 電子が局在から遍歴へと移り変わる系であり、後者は  $\text{Co}^{3+}$  が高スピン ( $S=2$ ) と低スピン状態 ( $S=1$ ) がほぼ縮退している系である。

図 3 に示すように、 $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$  の磁化率は Ru の置換とともに反強磁性が壊れ、スピングラス相が出現し、さらに常磁性相にいたることがわかる。この変化は高温超伝導体の磁気相図と非常に良く似ており、局在スピンの遍歴性を獲得していくプロセスに共通性があることをうかがわせる。この物質は Ru 量が多くなると常圧では合成できない。寺崎と上原は高压合成法を用いて、Ru と Ti の全範囲固溶体を合成することに成功した。

$\text{Sr}_3\text{YCo}_4\text{O}_y$  では、Sr を Ca に部分置換することで化学圧力を加えることができることがわかった。その結果、電気抵抗率はほとんど変化しないにもかかわらず、熱起電力が 2-3 倍増大し、 $200 \mu\text{V/K}$  を超える値を示した。これは、拡張されたハイクスの式で定量的に理解できる。この系については単結晶による共鳴 X 線回折、物理圧力による磁化の変化、粉末試料による構造解析、超強磁場によって誘起されたスピン状態転移など、様々な物性を開拓することに成功した。

### (3) 希薄磁性半導体酸化物の設計と合成

希薄磁性半導体とは、少数キャリア濃度の系(半導体)が強磁性を示す系のことであり、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$  で発見されて以来、精力的に世界中で研究されている。

勝藤らは、 $\text{SrTiO}_3$  の Ti サイトに Cr や V を部分置換することで局在モーメントを導入し、同時に Sr サイトを La で部分置換することで磁性半導体を合成することに成功した(図 4)。特に、Cr をドーピングした系で異常ホール効果を観測し、異常ホール係数と正常ホール係数のスケールを見出した。V をドーピングした系では、V は完全な局在モーメントとしてはふるまわず、伝導電子の有効質量を増大させるような効果を引き起こすことがわかった。このように複合酸化物を用いることで、スピンの量子性やキャリアとの相互作用を変化させることができることを見出した。

### (4) 磁気秩序相に近接する超伝導相の発見

上原らは、アンチペロブスカイト窒化炭化物  $\text{Mg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{CNi}_3$ 、 $\text{CdCNi}_3$ 、 $\text{ZnNi}_3$  を設計、超伝導を発見した。その転移温度は 3~3.5K 程度であり、決して高温ではないが、周辺に強磁性相が隣接していることを  $\mu\text{SR}$  測定で明ら

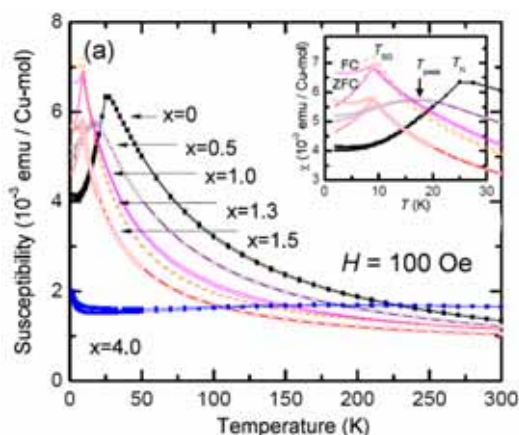


図 3  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Ru}_x\text{O}_{12}$  の磁化率

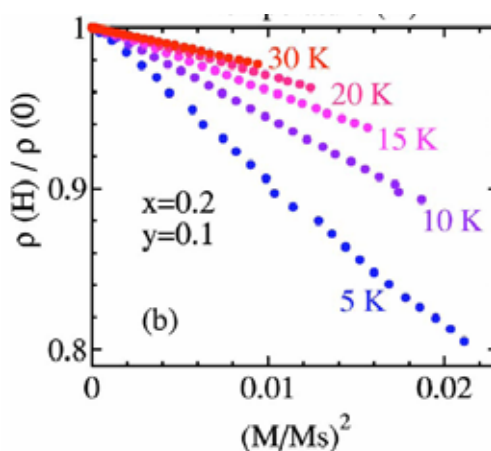


図 4  $\text{Sr}_{0.7}\text{La}_{0.1}\text{Ti}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{O}_3$  の磁気抵抗

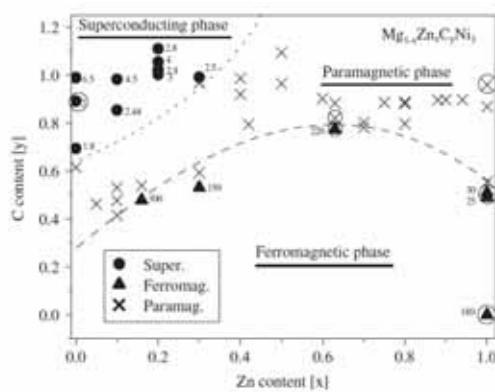


図 5  $\text{Mg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{C}_y\text{Ni}_3$  の電子相図

かにした(図 5)。またその超伝導特性を調べ、異方的な超伝導ギャップを持っている可能性があることを指摘した。アンチペロブスカイトという珍しい結晶構造であることに加え、非BCSの超伝導が実現しているとすれば、超伝導の基礎研究に大きく貢献することが

期待される発見である。

## 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 48 件)すべて査読有り。

- (1) F. Sawano, T. Suko, T. S. Inada, S. Tasaki, I. Terasaki, H. Mori, T. Mori, Y. Nogami, N. Ikeda, M. Watanabe and Y. Noda, “Current-Density Dependence of the Charge-Ordering Gap in the Organic Salt theta-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CsM(SCN)<sub>4</sub> (M=Zn, Co, and Co<sub>0.7</sub>Zn<sub>0.3</sub>)”, J. Phys. Soc. Jpn., 78, 024714-1 024714-5, (2009).
- (2) S. Shibusaki, Y. Takahashi and I. Terasaki, “Thermoelectric properties of LaRh<sub>1-x</sub>Ni<sub>x</sub>O<sub>3</sub>”, J. Phys.: Condens. Matter, 21, 115501-1 115501-4, (2009).
- (3) T. Suzuki and T. Katsufuji, “Magnetodielectric properties of spin-orbital coupled system Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>”, Phys. Rev. B 79, 121101-1 121101-4, (2009).
- (4) K. Azumi, K. Aoyama, S. Asanuma, Y. Uesu, and T. Katsufuji, “Direct observation of a repeatable change in electronic states with applied electric voltage pulses in the metal-insulator-metal structure”, Phys. Rev. B 79, 121101-1 121101-4, (2009).
- (5) Y. Kimishima, S. Ishihara, M. Uehara and T. Yamaguchi, “Ferromagnetism of V and Fe Doped TiO<sub>2</sub> by Mechanical Milling”, Transactions of the Materials Research Society of Japan, 33, 969-972 (2009).
- (6) S. Kimura, Y. Maeda, T. Kashiwagi, H. Yamaguchi, M. Hagiwara, S. Yoshida, I. Terasaki, and K. Kindo, “Field-induced spin-state transition in the perovskite cobalt oxide Sr<sub>1-x</sub>Y<sub>x</sub>CoO<sub>3-d</sub>”, Phys. Rev., B78, 180403(R)-1 180403(R)-4, (2008).
- (7) M. Uehara, A. Uehara, K. Kozawa and Y. Kimishima, “New anti-perovskite-type Superconductor ZnN<sub>y</sub>Ni<sub>3</sub>”, J. Phys. Soc. Jpn., 78, 033702-1 033702-4, (2008).
- (8) D. Satoh, K. Okamoto, and T. Katsufuji, “Magnetic impurities and itinerant carriers in doped SrTiO<sub>3</sub>: Anomalous Hall resistivity”, Phys. Rev., B78, 121201-1 121201-4, (2008).
- (9) S. Ishiwata, I. Terasaki, F. Ishii, N. Nagaosa, H. Mukuda, Y. Kitaoka, T. Saito, and M. Takano, “Two-staged magnetoresistance driven by Ising-like spin sublattice in SrCo<sub>6</sub>O<sub>11</sub>”, Phys. Rev. Lett., 98, 217201-1 217201-4, (2007).
- (10) S. Ishiwata, W. Kobayashi, I. Terasaki, K. Kato and M. Takata, “Structure-property relationship in the ordered-perovskite-related oxide Sr<sub>3.12</sub>Er<sub>0.88</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>10.5</sub>”, Phys. Rev. B75, 220406(R)-1 220406(R)-4, (2007).
- (11) Y. Nagao, I. Terasaki and T. Nakano, “Dielectric constant and ac conductivity in the layered cobalt oxide Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CoO<sub>6+d</sub>”, Phys. Rev. B76, 144203-1 144203-5, (2007).
- (12) H. Takei, T. Suzuki, and T. Katsufuji, “Nonvolatile memory effect of capacitance in polycrystalline spinel vanadate”, Appl. Phys. Lett., 91, 072506-1 072506-3, (2007).
- (13) Y. Kimishima, S. Takami, T. Okuda, M. Uehara, T. Kuramoto, Y. Sugiyama, “Complete flux jump in bulk MgB<sub>2</sub> sintered under high pressure” Physica, C463-465, 281-285 (2007).
- (14) M. Uehara, T. Yamazaki, T. Kôri, T. Kashida, Y. Kimishima, K. Ohishi, “Magnetism on Mg<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>C<sub>y</sub>Ni<sub>3</sub>”, J. Phys. Chem. Solids 68, 2178-2182 (2007).
- (15) M. Uehara, T. Yamazaki, T. Kori, T. Kashida, Y. Kimishima and I. Hase, “Superconducting Properties of CdCNi<sub>3</sub>”, J. Phys. Soc. Jpn. 76, 034714-1 034714-5, (2007)
- (16) W. Kobayashi and I. Terasaki, “Thermoelectric properties of Pb-Sr-Co-O single crystals”, Appl. Phys. Lett. 89, 072109-1 072109-3, (2006).
- (17) S. Ishiwata, I. Terasaki, Y. Kusano and M. Takano, “Transport properties of the misfit layered cobalt oxide [Sr<sub>2</sub>O<sub>2-d</sub>]<sub>0.53</sub>CoO<sub>2</sub>”, J. Phys. Soc. Jpn., 75, 104716-1 104716-4 (2006).
- (18) S. Shibusaki, W. Kobayashi and I. Terasaki, “Transport properties of the delafossite Rh oxide Cu<sub>1-x</sub>Ag<sub>x</sub>Rh<sub>1-y</sub>Mg<sub>y</sub>O<sub>2</sub>: Effect of Mg substitution on the resistivity and Hall coefficient”, Phys. Rev. B74, 235110-1 235110-6, (2006).
- (19) K. Tanaka, W. S. Lee, D. H. Lu, A. Fujimori, T. Fujii, Risdiana, I. Terasaki, D. J. Scalapino, T. P. Devereaux, Z. Hussain, and Z.-X. Shen, “Distinct Fermi-Momentum Dependent Energy Gaps in Deeply Underdoped Bi2212”, Science. 314, 1910-1913, (2006).
- (20) T. Nomura, J. Masuzawa, and T. Katsufuji, “Dynamical specific heat of two-phase coexistence in RMnO<sub>3</sub>”, Phys. Rev. B74, 220403-1 220403-4, (2006).
- (21) M. Hamaguchi, K. Aoyama, S. Asanuma, Y. Uesu, and T. Katsufuji, “Electric-field-induced resistance switching universally observed in transition-metal-oxide thin films”, Appl. Phys. Lett. 88, 142508-1

- 142508-3, (2006).
- (22) Y. Horibe, M. Shingu, K. Kurushima, H. Ishibashi, N. Ikeda, K. Kato, Y. Motome, N. Furukawa, S. Mori, and T. Katsufuji, "Spontaneous Formation of Vanadium "Molecules" in a Geometrically Frustrated Crystal:  $\text{AlV}_2\text{O}_4$ ", *Phys. Rev. Lett.* 96, 086406-1 086406-4, (2006).
  - (23) H. Iwasawa, K. Yamakawa, T. Saitoh, J. Inaba, T. Katsufuji, M. Higashiguchi, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi, "Electronic Structure of Charge- and Spin-Controlled  $\text{Sr}_{1-(x+y)}\text{La}_{x+y}\text{Ti}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_3$ ", *Phys. Rev. Lett.* 96, 067203-1 067203-4 (2006).
  - (24) Y. Kimishima, S. Takami, M. Uehara and T. Kuramoto, "Pinning property of  $\text{Cu}/\text{MgB}_2$  system", *Physica*, C445-448, 224-227, (2006).
  - (25) Y. Kimishima, T. Sasaki, M. Uehara and M. Matsuo, "Magnetism and Magneto-resistance of Mo-doped  $\text{CrO}_2$ ", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* 31, 529 (2006).
  - (26) S. Okada and I. Terasaki, "Physical properties of Bi-based rhodium oxides with  $\text{RhO}_2$  hexagonal layers", *Jpn. J. Appl. Phys.* 44, 1834-1837 (2005).
  - (27) S. Okada, I. Terasaki, H. Okabe and M. Matoba, "Transport properties and electronic states of the layered rhodium oxide  $(\text{Bi}_{1-x}\text{Pb}_x)_{1.8}\text{Ba}_2\text{Rh}_{1.9}\text{O}_y$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 74, 1525-1528 (2005).
  - (28) T. Mizokawa, L. H. Tjeng, H.-J. Lin, C. T. Chen, R. Kitawaki, I. Terasaki, S. Lambert, and C. Michel, "X-ray absorption study of layered Co oxides with a Co-O triangular lattice", *Phys. Rev. B* 71, 193107-1 193107-4, (2005).
  - (29) S. Ishiwata, M. Azuma, M. Hanawa, Y. Moritomo, Y. Ohishi, K. Kato, M. Takata, E. Nishibori, M. Sakata, I. Terasaki, M. Takano, "Pressure/ temperature/substitution-induced melting of A-site charge disproportionation in  $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{NiO}_3$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ )", *Phys. Rev. B* 72, 045104-1 045104-7 (2005).
  - (30) W. Kobayashi and I. Terasaki, "CaCu<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>/CaTiO<sub>3</sub> composite dielectrics: A Ba/Pb-free ceramics with high dielectric constants", *Appl. Phys. Lett.*, 87, 032902-1 032902-3, (2005).
  - (31) W. Kobayashi, S. Ishiwata, I. Terasaki and M. Takano, I. Grigoraviciute, H. Yamauchi and M. Karppinen, "Novel room-temperature ferromagnetism in  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$  ( $0.2 < x < 0.25$ )", *Phys. Rev. B* 72, 104408-1 104408-5, (2005).
  - (32) F. Sawano, I. Terasaki, H. Mori, T. Mori, M. Watanabe, N. Ikeda, Y. Nogami and Y. Noda, "An organic thyristor", *Nature* 437, 522-524, (2005).
  - (33) K. Adachi, T. Suzuki, K. Kato, K. Osaka, M. Takata, and T. Katsufuji, "Magnetic-field switching of crystal structure in an orbital-spin-coupled system:  $\text{MnV}_2\text{O}_4$ ", *Phys. Rev. Lett.* 95, 197202-1 197202-3, (2005).
  - (34) J. Inaba and T. Katsufuji, "Large magnetoresistance in spin- and carrier-doped  $\text{SrTiO}_3$ ", *Phys. Rev. B* 72, 052408-1 052408-4, (2005).
  - (35) Y. Kimishima, T. Sasaki, M. Uehara, Y. Satoh and M. Matsuo, "Inter-granular magneto-resistance of a  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CrO}_2$  system with inversely polarized conduction electrons", *Microelectron. Eng.*, 81, 366-370, (2005).
  - (36) M. Uehara, T. Amano, S. Takano, T. Kôri, T. Yamazaki, Y. Kimishima, "Chemical pressure effect on the superconductor  $\text{MgCNi}_3$ ", *Physica C* 440, 6-9 (2005).
  - (37) A. Satake, H. Tanaka, T. Ohkawa, T. Fujii and I. Terasaki, "Thermal conductivity of the thermoelectric layered cobalt oxides measured by the Harman method", *J. Appl. Phys.*, 96, 931-933 (2004).
  - (38) W. Kobayashi, I. Terasaki, M. Mikami, R. Funahashi, T. Nomura and T. Katsufuji, "Universal charge transport of the Mn oxides in the high temperature limit", *J. Appl. Phys.* 95, 6825-6827 (2004).
  - (39) W. Kobayashi, I. Terasaki, J. Takeya, I. Tsukada and Y. Ando, "A novel heavy-fermion state in  $\text{CaCu}_3\text{Ru}_4\text{O}_{12}$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73, 2373-2376 (2004).
  - (40) I. Terasaki, "The physics of the hexagonal  $\text{CoO}_2$  block in  $\text{NaCo}_2\text{O}_4$ ", *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* 29, 2757-2761 (2004).
  - (41) K. Tanaka, T. Yoshida, A. Fujimori, D.H. Lu, Z.-X. Shen, X.-J. Zhou, H. Eisaki, Z. Hussain, S. Uchida, Y. Aiura, K. Ono, T. Sugaya, T. Mizuno, I. Terasaki, "Effects of next-nearest-neighbor hopping  $t'$  on the electronic structure of cuprate superconductors", *Phys. Rev. B* 70, 092503-1 092503-4, (2004).
  - (42) K. Inagaki, I. Terasaki, H. Mori and T. Mori, "Large dielectric constant and giant nonlinear conduction in the organic conductor  $\theta\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{CsZn(SCN)}_4$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.*, 73, 3364-3369 (2004).
  - (43) I. Terasaki, H. Tanaka, A. Satake, T. Okada and T. Fujii, "Out-of-plane thermal conductivity of the layered thermoelectric oxide  $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ ", *Phys. Rev. B* 70,

- 214106-1 214106-5, (2004).
- (44) K. Aoyama, K. Waku, A. Asanuma, Y. Uesu, and T. Katsufuji, “Electric -pulse-induced reflectance change in the thin film of perovskite manganite”, Appl. Phys. Lett., 85, 1208-1210 (2004).
- (45) K. Waku, T. Katsufuji, Y. Kohsaka, T. Sasagawa, H. Takagi, H. Kishida, H. Okamoto, M. Azuma, and M. Takano, “Charge dynamics of  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  as a correlated electron system with the ideal tetragonal lattice”, Phys. Rev. B 70, 134501-1 134501-8 (2004).
- (46) K. Taniguchi, T. Katsufuji, S. Iguchi, Y. Taguchi, H. Takagi, and Y. Tokura, “Raman study of the metal-insulator transition in pyrochlore Mo oxides”, Phys. Rev. B 70, 100401-1 100401-4, (2004).
- (47) M. Uehara, M. Yamada and Y. Kimishima, “Physical Properties of Double Perovskite Compounds  $\text{ALaVMoO}_6$  (A=Ca, Sr, Ba): A Possible Half-Metallic Antiferromagnetic System”, Solid State Commun., 129, 385-388 (2004).
- (48) Y. Kimishima, T. Sasaki, M. Uehara and Y. Satoh, “Inverse TMR effect in a granular  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CrO}_2$  system near the percolation threshold”, Trans. Magn. Soc. Japan 5, 5-8, (2004).

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

寺崎 一郎 (TERASAKI ICHIRO)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：30227508

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

勝藤 拓郎 (KATSUFUJI TAKURO)  
早稲田大学・理工学術院・教授  
研究者番号：00272386

上原 政智 (UEHARA MASATOMO)  
横浜国立大学・大学院工学研究院・助手  
研究者番号：60323929