

## 平成17年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな（ローマ字）		GONOKAMI MAKOTO					
①研究代表者氏名		五神 真		②所属研究機関・部局・職 東京大学・大学院工学系研究科・教授			
③研究課題名	和文	スピンの電荷・光結合系の新機能開拓					
	英文	Systematic investigation of optical and electronic features of spin-charge-photon coupled systems					
④研究経費		平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度	総合計
17年度以降は内約額 金額単位：千円		16,600	15,600	15,600	15,600	15,600	79,000
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者）							
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）				
五神 真	東京大学・大学院工学系研究科・教授	量子エレクトロニクス・光物性	計画全体のまとめと総括・強相関電子材料の光制御機能の開拓				
宮野 健次郎	東京大学・先端科学技術研究センター・教授	物性実験	光誘起相制御と強相関エレクトロニクス				
永長 直人	東京大学・大学院工学系研究科・教授	物性理論	スピンの電荷・光結合系の新機能発現の理論				
十倉 好紀	東京大学・大学院工学系研究科・教授	固体物理	スピンの電荷・光結合系の物質設計と機能				
鹿野田 一司	東京大学・大学院工学系研究科・教授	物性物理学	分子性物質における新機能材料				
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）							
<p>科研費COE形成基礎研究費による研究課題「スピン-電荷-光・結合系の相制御」（H8-H14）による、強相関電子系を中心とした多電子系の磁性、伝導特性、光学応答、非線形光学応答に関する研究の成果をふまえ、この学理をさらに深めつつその工学応用の道筋をつける事を目標とする。研究分担者5人の相補的協力により物質開発、物性測定、先端レーザー分光、理論研究を進める。分担項目は以下の通りである。（1）光誘起相制御と強相関エレクトロニクス（宮野）中赤外から可視光にいたる光子は、熱的には到達しえない準安定状態への遷移を容易に起こす。強相関電子系は、このような準安定状態が複数存在する。室温において光誘起状態遷移を実現し、強相関エレクトロニクスの実例を示す。（2）スピンの電荷・光結合系の物質設計と機能（十倉）非自明なスピン組織構造を持つ磁性体や格子系が極性・キラル構造をもつ強磁性体では、磁化（すなわち微小な外部磁場）の方位に依存した、非線形光学・電気光学効果や光進行方向に関する2色性（磁気キラル2色性）効果の発現が期待できる。本課題ではこれらの検証と、その応答の巨大化のための物質設計と探索を行う。（3）分子性物質における新機能開拓（鹿野田）分子性導体の電子相制御に関する研究を発展させ機能開拓を進める。超伝導相と反強磁性相が臨界的に競合している有機物質系の相分離の様相を明らかにし、超伝導-絶縁体スイッチ、電荷秩序による金属-絶縁体転移を利用した温度や圧力による金属-絶縁体スイッチ機能の実証を行う。さらに、圧力によって常誘電相から強誘電相に量子相転移する分子性物質で、誘電率測定、核磁気共鳴実験により、量子臨界点での巨大誘電応答を探索する。（4）量子場の理論によるスピンの電荷・光結合系の新機能設計（永長）強相関電子系の電荷・スピン・軌道に加えて光子場の4者を同時に記述する場の理論を開拓し、ベリー位相変調、光・磁気結合、超高速光応答などの基礎理論を構築することで、実験グループに指針を与える。（5）光制御機能の開拓（五神）超高速の光信号の逐次処理の超高速光素子、テラヘルツ電磁波の高速制御、高敏感な光磁気記録機能などへの応用を追求する。また電子相関によって発現する磁性や特異な電子状態およびその励起状態に起因する非線形光学応答、遠赤外領域の磁気光学応答を探索する。また、光による相制御の超高速ダイナミクスの検出法、有機系材料の光誘起相制御や非線形光学応答、非自明なスピン構造に起因する磁気光学効果のダイナミクスなどの研究を研究メンバーの連携により進める。</p>							

⑦これまでの研究経過 (研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。)

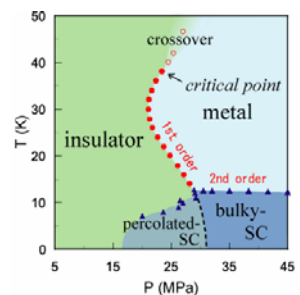
本研究では、多数の電子間の相互作用することによって生じる、物質相の多重安定性に着目し、その発現の為の物質開拓とその機能開拓研究を進めてきた。特異な物質相を発現する自由度として、SCPプロジェクトではスピン・電荷・光(交流分極)の短距離的相互結合を出発点として検討してきたが、本基盤研究の進展によって、それらの非局所的な結合の重要性が明らかになってきた。非局所的な結合としては、空間的に分離した分極の相互作用による光学活性(カイラリティ)などが良く知られている。これは光電場に対する分極場の応答の空間微分項に起因するものである。本研究によってこのような場の空間微分に起因する効果が、スピン系、電子系の電荷や軌道、あるいはその結合が作る場においても極めて重要な役割を果たすことが明らかになってきた。例えば、非自明なスピン状態、理論的に検討が進んだスピンホール効果や光のホール効果などがその例である。またこのような非局所的結合効果の検出手段として、光学的電気磁気効果検出やテラヘルツ領域の精密応答関数解析手法の開拓、テラヘルツ領域の高感度磁気光学効果検出法といった計測手法の開拓も順調に進められた。本研究の後半では当初の計画に加え、この新たな視点について特に注目し研究を進めたい。

各分担についての研究経過を以下にまとめておく。

(1) 光誘起相制御と強相関エレクトロニクス(宮野) 研究テーマである、光励起に伴う輸送異常を調べるに適した薄膜試料の作製を行った。従来は、ペロフスカイト型の(001)基板が、その平坦性から多く用いられてきたが、様々な基板と薄膜の格子定数の組み合わせを検討した結果、基板の正方歪による規制が非常に強いため、電子相の揺らぎを阻害していることが推定された。このため、(110)基板による検討を行い、薄膜のマンガン酸化物で初めて明瞭な一次相転移を示す試料の作製に成功した。また、これらの薄膜では、1%の組成変化が物性に明確に反映されることを検証した。

(2) スピン・電荷・光結合系の物質設計と機能(十倉) 時空反転対称性の破れを利用して磁性強誘電体における巨大な電気磁気効果および光学的電気磁気効果を探求している。これまでに、 $TbMnO_3$ で磁場印加により電気分極をフロップさせるなど巨大な電気磁気効果を発見した。これは、従来の電気磁気効果よりも2桁近く大きなものである。また $GaFeO_3$ で、偏光角が73度も変化する巨大な偏光角回転効果も見出した。さらに、 $La_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$ では、界面での空間反転対称性の破れを利用して界面磁化による第2次高調波の観測にも成功した。得られた知見を基に、物質系の探索範囲を広げて、電気磁気効果とその光学効果のさらなる巨大化を目指す。

(3) 分子性物質における新機能開拓(鹿野田) (1) 三角格子モット絶縁体では、スピンに対するフラストレーションの効果が期待されるが、そのモデル物質として有機物質に着目し、その磁性を磁化率測定と核磁気共鳴実験で調べた結果、隣接スピン間に250Kもの強い交換相互作用があるにもかかわらず30mKまで磁気秩序が現れない量子スピン液体が実現されていることを初めて明らかにした。(2) 2次元系のモット転移の臨界現象を、精密に制御された圧力下で有機伝導体の電気抵抗を測定することで調べた結果、右図のように1次のモット転移が有限温度に臨界終点をもつこと、電気抵抗がスケージング則に従うこと、得られた臨界指数が既知の相転移の臨界指数に当てはまらないことが明らかになった。すなわち、2次元モット転移は、新しいユニバーサリティクラスに属する相転移であることが判明した。



(4) 量子場の理論によるスピン・電荷・光結合系の新機能設計(永長) 強相関電子の量子場を用いた機能開拓として、(1)異常ホール効果および磁気光学の量子論、(2)スピンホール効果の提唱(3)光のホール効果の発見、(4)多重臨界現象と乱れによる巨大応答の理論構築、などを行った。凝縮系における電子状態が、量子トポロジーによって特徴付けられ、それが多彩な現象として発現していることを上記に則して予言し、(1)、(2)は実験により検証された。

(5) 光制御機能の開拓(五神) 多体の電子相関によって電荷や分極の自由度と磁性が強く結合する例として、磁性半導体に注目し、その磁性の超高速ダイナミクスや光による磁性の制御の研究を進めた。特に、中赤外領域での時間分解分光法と時間分解磁気光学分光法を組み合わせることにより、磁性半導体 $GaMnAs$ において磁化消失に起因した吸収率変化を観測し、系の強磁性が磁気ポーラロンを媒介として発現していることを示唆するものであることを示した。中赤外のポンプ・プローブ分光法は、電子正孔の高密度励起状態の探索にも適している。特に励起子の内部遷移を検出することで、ボース凝縮相の検出の有効な手段となることを実証した。この方法により、亜酸化銅において低温高密度下で励起子間の2体衝突が特異的に大きくなり、高効率のスピン反転が起こり、スピン禁制パラ励起子が高密度に蓄積することを発見した。半導体における新たなスピン緩和機構として注目される。遠赤外(テラヘルツ)領域の分光システムの構築を行い、非接触ホール効果測定など、強相関物質の広いエネルギースペクトルをカバーする分光技術を確立した。

⑧特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

本研究は当初の計画通り順調に進んでいる。SCP プロジェクトで視野にいった、スピン（磁性）と光（電子分極）の結合効果については、光による光制御を可能とする非線形光学現象、磁場によって光学応答を制御する磁気光学効果などの側面において大きな進展が得られている。特に「研究経過」の項目で述べたように、これらの結合が局所的な結合だけでなく、非局所的な結合にも重要な意味があることが次第に明らかになってきたことが重要な進展であると考えている。今後の進展において、見いだされた個々の現象をより統一的に整理することにより、物性物理学のあらたな側面があぶり出されていくものと期待している。また、本研究は新たな計測スキームの開拓という側面でも大きな進展をみせている。特に近年注目を集めている、テラヘルツ電磁波を用いた遠赤外領域の光学応答計測において、成果が得られている。テラヘルツ領域の電磁応答は光学測定と伝導測定の間領域のものであり、両者の特徴をうまく利用することが可能である。光学測定の特徴である非接触測定法、超高速時間分解計測といった特徴を活用しつつ、低エネルギー領域のプロブが可能である。低エネルギー領域の計測は強相関電子系が示す特異な伝導現象や磁性をとらえる上で必須のものであり、大きな展開が期待できる。これらについては研究論文だけでなく、特許申請も行った。後半では当初の計画に加え、この新たな視点について特に注目し研究を進めたい。

各分担についての研究経過を以下にまとめておく。各担当者の特記事項を以下に示す。

(1) 光誘起相制御と強相関エレクトロニクス (宮野)

マンガン酸化物の薄膜形成において、従来広く利用されていた(100)基板の問題点に気づき、(110)基板を用いた薄膜形成を行った。その結果、薄膜のマンガン酸化物で初めて明瞭な一次相転移を示す試料の作製に成功した。この試料により、初めて永続的光誘起絶縁体・金属転移を観測し、また、全光相制御に基づく双方向双安定記録が可能であることを実証した。またこれらの試料は、モノドメインであるためマンガン酸化物における電子状態の異方性が、初めて透過スペクトルとして観察された。これは、相転移の重要な要素である次元性の研究を画期的に進展させるものと期待される。

(2) スピン・電荷・光結合系の物質設計と機能 (十倉)

TbMnO<sub>3</sub>における巨大な電気磁気効果の発見は、電場による磁化制御によってスピン偏極FETなどの応用可能性を格段に向上させて、スピントロニクス発展のボトルネックを克服する可能性がある。そして、La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>MnO<sub>3</sub>における界面磁性に起因した高調波の観測は、従来分からなかった接合界面磁化の微視的情報を得ることを可能にし、スピントロニクスの応用上極めて重要なものである。さらに、GaFeO<sub>3</sub>における電気磁気光学効果は、光の進行方向によって光学特性が異なるユニークな特徴を有しており、光通信の新しい光学素子として様々な可能性を秘めている。

(3) 分子性物質における新機能開拓 (鹿野田)

「3角格子上でスピンは量子液体状態をとり得るか？モット転移は古典的な気体-液体転移と等価であるか？」これらは、それぞれ、スピンと電荷の自由度についての物性物理学の根本的な問題であった。本研究の成果は、この問題に一つの答えを与えるものである。

(4) 量子場の理論によるスピン・電荷・光結合系の新機能設計 (永長)

固体中を流れる電子流には、(1) 抵抗を伴うオーム流、(2) 巨視的量子コヒーレンスによる超伝導流、のほかに(3) 量子位相により駆動されるトポロジ流が存在することを提唱し、それが量子ホール効果などの「特殊な」状況ではなく、固体電子に普遍的に存在するものであることを示した。これは本質的に、散逸を伴わない流れであり、必ずしも秩序状態を必要としない。磁性体における異常ホール効果はその典型例であることを実験との詳細な検討を通じて明らかにした。それを発展させて、半導体中に電場でスピン流を作り出せることを提案し、スピントロニクスの新しい局面を切り開いた。さらに、このアイデアを光の伝播に応用し、光のホール効果を予言した。

(5) 光制御機能の開拓 (五神)

中赤外、遠赤外波長域における時間分解分光システムは、純粋に光学的な手法によって系の磁気秩序のダイナミクスを観測する手法であり、強相関電子材料を用いた超高速、高感度の光磁気記録機能の探索を行うにあたって強力な研究手法となるものである。また、本研究で開発した、テラヘルツ領域の高感度エリプソメトリー法の検出感度0.2度は現時点で世界最高のものであり、非接触ホール効果測定などの広い応用が期待できる。また低温高密度の励起子系の研究は本研究の中心課題ではなかったが、半導体における新たなスピン反転機構を見いだすきっかけとなり、本研究の主題である、光によるスピン制御やスピンコヒーレンスの活用といった観点でも重要な成果となった。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

本研究に関連して以下の69編の論文を発表している。

(五神)

- T. Tayagaki, A. Mysyrowicz, and M. Kuwata-Gonokami, “The yellow excitonic series of Cu<sub>2</sub>O revisited by Lyman spectroscopy”, J. Phys. Soc. Jpn. 74 (5), (2005).
- K. Jefimovs, N. Saito, Yu. Ino, T. Vallius, P. Vahimaa, J. Turunen, R. Shimano, M. Kauranen, Yu. Svirko, M. Kuwata-Gonokami, “Optical activity in chiral gold nanogratings”, Microelectronic Engineering, 78-79, 448-451, (2005).
- M. Kuwata-Gonokami, “Observation of ortho and para-excitons by time resolved excitonic Lyman Spectroscopy”, Solid State Commun., 134, 127-133 (2005).
- J. H. Jiang, M. W. Wu, M. Nagai, and M. Kuwata-Gonokami, “Formation and decay of electron-hole droplets in diamond”, Phys. Rev. B 71 (3), 035215-1-6 (2005).
- M. Kubouchi, K. Yoshioka, R. Shimano, A. Mysyrowicz, and M. Kuwata-Gonokami, “Study of orthoexciton-to-paraexciton conversion in Cu<sub>2</sub>O by exciton Lyman spectroscopy”, Phys. Rev. Lett. 94 (1), 016403-1-4 (2005).
- R. Takayama, N. H. Kwong, I. Rumyantsev, M. Kuwata-Gonokami and R. Binder, “Material and light-pulse parameter dependence of the nonlinear optical susceptibilities in the coherent  $\chi^{(3)}$  regime in semiconductor quantum wells”, J. Opt. Soc. Am. B 21 (12), 2164-2174 (2004).
- E. M. Vartiainen, Y. Ino, R. Shimano, M. Kuwata-Gonokami, Y. P. Svirko and K.-E. Peiponen, “Numerical phase correction method for terahertz time-domain reflection spectroscopy”, J. Appl. Phys. 96 (8), 4171-4175 (2004).
- Y. Ino, R. Shimano, Y. Svirko, and M. Kuwata-Gonokami, “Terahertz time domain magneto-optical ellipsometry in reflection geometry”, Phys. Rev. B 70 (15), 155101-1-9 (2004).
- Y. Svirko and M. Kuwata-Gonokami, “Nonlinearity of biexciton wave in CuCl”, J. Phys.: Condens. Matter 16, S3721-S3726 (2004).
- M. Kuwata-Gonokami, M. Kubouchi, R. Shimano and A. Mysyrowicz, “Time-resolved Excitonic Lyman Spectroscopy of Cu<sub>2</sub>O”, J. Phys. Soc. Jpn. 73, (4) 1065-1069 (2004).
- Y. Hara, T. Mukaiyama, K. Takeda, and M. Kuwata-Gonokami, “Photonic molecule lasing”, Opt. Lett. 28 (24), 2437-2439 (2003).
- X. Peng, F. Song, M. Kuwata-Gonokami, S. Jiang, and N. Peyghambarian, “Temperature dependence of the wavelength and threshold of fiber-taper-coupled L-band Er<sup>3+</sup>-doped tellurite glass microsphere laser”, Appl. Phys. Lett. 83 (26), 5380-5382 (2003).
- E. Kojima, R. Shimano, Y. Hashimoto, S. Katsumoto, Y. Iye, and M. Kuwata-Gonokami, “Observation of the spin-charge thermal isolation of ferromagnetic Ga<sub>0.94</sub>Mn<sub>0.06</sub>As by time-resolved magneto-optical measurement”, Phys. Rev. B 68 (19), 193203-1-4 (2003).
- M. Nagai, R. Shimano, K. Horiuchi, and M. Kuwata-Gonokami, “Creation of supercooled exciton gas and transformation to electron-hole droplets in diamond”, Phys. Rev. B 68 (8), 081202 (R)-1-4 (2003).
- L. Jiang, M. W. Wu, M. Nagai and M. Kuwata-Gonokami, “Formation and Decay of Electron-Hole Plasma Clusters in Direct-Gap Semiconductor CuCl”, Chin. Phys. Lett. 20 (10), 1833-1835 (2003).
- T. Aoki, Yu. P. Svirko and M. Kuwata-Gonokami, “Biexcitonic effects in the time integrated four-wave mixing with picosecond pulses”, Sol. Stat. Comm. 127 (3), 197-201 (2003).
- M. Nagai, R. Shimano, K. Horiuchi and M. Kuwata-Gonokami, “Phase diagram of the quantum degenerate electron-hole system in diamond”, Phys. Stat. Sol. (b) 238 (3), 509-512 (2003).

(宮野)

- Y. Ogimoto, M. Nakamura, N. Takubo, H. Tamaru, M. Izumi, and K. Miyano, “Critical phase control of the charge-orbital ordered manganite thin films”, Thin Solid Films, to be published.
- ○Y. Ogimoto, N. Takubo, M. Nakamura, H. Tamaru, M. Izumi, and K. Miyano, “Pseudomorphic strain effect on the charge-orbital ordering pattern in Pr<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>MnO<sub>3</sub> epitaxial thin films”, Appl. Phys. Lett. 86, 112513-1-3 (2005).
- Y. Ogimoto, M. Nakamura, N. Takubo, H. Tamaru, M. Izumi and K. Miyano, “Strain-induced crossover of the metal-insulator transition in perovskite manganites”, Phys. Rev. B 71 (6), 060403R-1-4 (2005).
- N. Ogawa, K. Miyano, and S. Brazovski, “Optical excitation in the creep phase of plastic charge-density waves”, Phys. Rev. B 71 (7), 075118-1-8 (2005).
- M. Nakamura, M. Izumi, N. Ogawa, H. Ohsumi, Y. Wakabayashi and K. Miyano, “Relative Contributions of Lattice Distortion and Coulomb Interaction to Resonant X-ray Scattering in Manganites”, J. Phys. Soc. Jpn. 73 (10), 2802-2806 (2004).
- Y. Uozu, T. Nakajima, M. Nakamura, Y. Ogimoto, M. Izumi and K. Miyano, “Antiferromagnetic coupling in ferromagnetic oxide trilayer films composed of Sr<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>RuO<sub>3</sub> and La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>MnO<sub>3</sub>”, Appl. Phys. Lett. 85 (14), 2875-2877 (2004).
- N. Ogawa and K. Miyano\*, “Optical investigation of the origin of switching conduction in charge-density waves”, Phys. Rev. B 70 (7), 075111-1-7 (2004).
- Y. Wakabayashi, H. Sawa, M. Nakamura, M. Izumi, and K. Miyano, “Lack of influence of anisotropic electron clouds on resonant x-ray scattering from manganite thin films”, Phys. Rev. B 69 (14), 144414-1-7 (2004).

(永長)

- Y. Endoh, H. Hiraka, Y. Tomioka, et al., "Orbital nature of ferromagnetic magnons in manganites", Phys. Rev. Lett. 94 (1), 017206-1-4 (2005).
- S. Onoda, S. Murakami and N. Nagaosa, "Topological nature of polarization and charge pumping in ferroelectrics", Phys. Rev. Lett. 93 (16), 167602-1-4 (2004).
- S. Murakami, N. Nagaosa and S. C. Zhang, "Spin-Hall insulator", Phys. Rev. Lett. 93 (15), 156804-1-4 (2004).
- M. Onoda, S. Murakami and N. Nagaosa, "Hall effect of light", Phys. Rev. Lett. 93 (8), 083901-1-4 (2004).
- S. Murakami, N. Nagaosa and S. C. Zhang, "SU(2) non-Abelian holonomy and dissipationless spin current in semiconductors", Phys. Rev. B 69 (23), 235206-1-14 (2004).
- S. Onoda, Y. Motome and N. Nagaosa, "Two-dimensional charge order in layered 2-1-4 perovskite oxides", Phys. Rev. Lett. 92 (23), 236403-1-4 (2004).
- Y. Motome, N. Furukawa and N. Nagaosa, "Competing orders and disorder-induced insulator to metal transition in manganites", Phys. Rev. Lett. 91 (16), 167204-1-4 (2003).
- M. Matsuura, Y. Endoh, H. Hiraka, et al., "Classical and quantum spin dynamics in the fcc antiferromagnet NiS<sub>2</sub> with frustration", Phys. Rev. B 68 (9), 094409-1-17 (2003).
- M. Onoda and N. Nagaosa, "Quantized anomalous Hall effect in two-dimensional ferromagnets: Quantum Hall effect in metals", Phys. Rev. Lett. 90 (20), 206601-1-4 (2003).
- S. Murakami and N. Nagaosa, "Colossal magnetoresistance in manganites as a multicritical phenomenon", Phys. Rev. Lett. 90 (19), 197201-1-4 (2003).

(十倉)

- T. Fujii, M. Kawasaki, A. Sawa, H. Akoh, Y. Kawazoe and Y. Tokura, "Hysteretic current-voltage characteristics and resistance switching at an epitaxial oxide Schottky junction SrRuO<sub>3</sub>/SrTi<sub>0.99</sub>Nb<sub>0.01</sub>O<sub>3</sub>", Appl. Phys. Lett. 86 (1), 012107-1-3 (2005).
- I. Kézsmárki, N. Hanasaki, D. Hashimoto, S. Iguchi, Y. Taguchi, S. Miyasaka and Y. Tokura, "Charge Dynamics Near the Electron-Correlation Induced Metal-Insulator Transition in Pyrochlore-Type Molybdates", Phys. Rev. Lett. 93 (26), 266401-1-4 (2004).
- R. Mathieu, D. Akahoshi, A. Asamitsu, Y. Tomioka and Y. Tokura, "Colossal Magnetoresistance without Phase Separation: Disorder-Induced Spin Glass State and Nanometer Scale Orbital-Charge Correlation in Half Doped Manganites", Phys. Rev. Lett. 93 (22), 227202-1-4 (2004).
- D. Higashiyama, S. Miyasaka, N. Kida, T. Arima and Y. Tokura, "Control of the ferroelectric properties of DyMn<sub>2</sub>O<sub>5</sub> by magnetic fields", Phys. Rev. B 70 (17), 174405-1-7 (2004).
- J. Matsuno, Y. Okimoto, Z. Fang, X. Z. Yu, Y. Matsui, N. Nagaosa, M. Kawasaki and Y. Tokura, "Metallic Ferromagnet with Square-Lattice CoO<sub>2</sub> Sheets", Phys. Rev. Lett. 93 (16), 167202-1-4 (2004).
- Y. Ishii, H. Sato, A. Sawa, T. Yamada, H. Akoh, K. Endo, M. Kawasaki and Y. Tokura, "Precipitate-free films of La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> grown on the substrates with artificial step edges", Appl. Phys. Lett. 85 (17), 3800-3802 (2004).
- 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 (10), 100401-1-4 (2004).
- A. Sawa, T. Fujii, M. Kawasaki and Y. Tokura, "Hysteretic current-voltage characteristics and resistance switching at a rectifying Ti/Pr<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> interface", Appl. Phys. Lett. 85 (18), 4073-4075 (2004).
- M. Konoto, T. Kohashi, K. Koike, T. Arima, Y. Kaneko, T. Kimura and Y. Tokura, "Direct Imaging of Temperature-Dependent Layered Antiferromagnetism of a Magnetic Oxide", Phys. Rev. Lett. 93 (10), 107201-1-4 (2004).
- J. H. Jung, M. Matsubara, T. Arima, J. P. He, Y. Kaneko and Y. Tokura, "Optical Magnetoelectric Effect in the Polar GaFeO<sub>3</sub> Ferrimagnet", Phys. Rev. Lett. 93 (3), 037403-1-4 (2004).
- H. Yamada, Y. Ogawa, Y. Ishii, H. Sato, M. Kawasaki, H. Akoh and Y. Tokura, "Engineered Interface of Magnetic Oxides", Science, 305, 646-648 (2004).
- K. Kimoto, Y. Matsui, H. Yamada, M. Kawasaki, X. Yu, Y. Kaneko and Y. Tokura, "Atomic-scale characterization of perovskite superlattice using chemical lattice imaging and spatially resolved electron energy-loss spectroscopy", Appl. Phys. Lett. 84 (26), 5374-5376 (2004).
- T. Goto, T. Kimura, G. Lawes, A. P. Ramirez and Y. Tokura, "Ferroelectricity and Giant Magnetocapacitance in Perovskite Rare-Earth Manganites", Phys. Rev. Lett. 92 (25), 257201-1-4 (2004).
- K. J. Thomas, J. P. Hill, S. Grenier, Y.-J. Kim, P. Abbamonte, L. Venema, A. Rusydi, Y. Tomioka, Y. Tokura, D. F. McMorrow, G. Sawatzky and M. van Veenendaal, "Soft X-Ray Resonant Diffraction Study of Magnetic and Orbital Correlations in a Manganite Near Half Doping", Phys. Rev. Lett. 92 (23), 237204-1-4 (2004).
- K. Ueno, I. H. Inoue, T. Yamada, H. Akoh, Y. Tokura and H. Takagi, "Field-effect transistor based on KTaO<sub>3</sub> perovskite", Appl. Phys. Lett. 84 (19), 3726-3728 (2004).
- M. Konoto, T. Kohashi, K. Koike, T. Arima, Y. Kaneko, Y. Tomioka, Y. Tokura, "Magnetic Domain Structure of a La<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> (001) Surface Observed by a Spin-Polarized Scanning Electron Microscope", Appl. Phys. Lett. 84 (13), 2361-2363 (2004).
- K. Ishizaka, T. Arima, Y. Murakami, R. Kajimoto, H. Yoshizawa, N. Nagaosa and Y. Tokura, "Commensurate-Incommensurate Crossover of Charge Stripe in La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>NiO<sub>4</sub> (x~1/3)", Phys. Rev. Lett. 92 (19), 196404-1-4 (2004).
- R. Mathieu, A. Asamitsu, H. Yamada, K. S. Takahashi, M. Kawasaki, Z. Fang, N. Nagaosa and Y. Tokura, "Scaling of the Anomalous Hall Effect in Sr<sub>1-x</sub>Ca<sub>x</sub>RuO<sub>3</sub>", Phys. Rev. Lett. 93 (1), 016602-1-4 (2004).
- C. U. Jung, H. Yamada, M. Kawasaki and Y. Tokura, "Magnetic anisotropy control of SrRuO<sub>3</sub> films by tunable epitaxial strain", Appl. Phys. Lett. 84 (14), 2590-2592 (2004).
- T. Ogasawara, M. Matsubara, Y. Tomioka, M. Kuwata-Gonokami, H. Okamoto, and Y. Tokura, "Photoinduced spin dynamics in La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>MnO<sub>3</sub> observed by time-resolved magneto-optical Kerr spectroscopy", Phys. Rev. B 68 (18), 180407 (R)-1-4 (2003).

(鹿野田)

- T. Itou, K. Kanoda, K. Murata, T. Matsumoto, K. Hiraki and T. Takahashi, "Collapse of charge order in a quasi-one-dimensional organic conductor with a quarter-filled band", Phys. Rev. Lett. 93 (21) 216408-1-4 (2004).
- F. Kagawa, T. Itou, K. Miyagawa and K. Kanoda, "Magnetic-field-induced Mott transition in a quasi-two-dimensional organic conductor", Phys. Rev. Lett. 93 (12), 127001-1-4 (2004).
- Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Oda, K. Kanoda, M. Maesato and G. Saito, "H-NMR study of Mott insulator  $\kappa$ -(ET)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> with isotropic triangular lattice", J. de Physique IV 114: 377-378 (2004).
- H. Taniguchi, M. Miyashita, K. Uchiyama, K. Sato, N. Mori, H. Okamoto, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Hedo, Y. Uwatoko, "Superconductivity induced by extremely high pressure in layered organics,  $\beta'$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>ICl<sub>2</sub>", J. de Physique IV 114: 273-276 (2004).
- F. Kagawa, T. Itou, K. Miyagawa and K. Kanoda, "Transport criticality of the first-order Mott transition in a quasi-two-dimensional organic conductor,  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl", Phys. Rev. B 69 (6), 064511-1-5 (2004).
- A. Naito, Y. Nakazawa, K. Saito, H. Taniguchi, K. Kanoda and M. Sorai, "Low-temperature heat capacity measurements of  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>4</sub>Hg<sub>2.89</sub>Br<sub>8</sub>", Physica C 388-389, 595-596 (2003).
- H. Taniguchi, A. Kawamoto and K. Kanoda, "Field-induced superconductor-insulator transition in layered organics", Physica C 388-389, 597-598 (2003).
- M. Miyashita, H. Taniguchi, K. Satoh, M. Hedo, Y. Uwatoko, K. Miyaawa and K. Kanoda, "Transport properties of  $\theta$ -ET<sub>2</sub>CsM(SCN)<sub>4</sub> (M=Zn, Co) under ultra-high pressure", Physica C 388-389, 599-600 (2003).
- Y. Nakazawa, A. Sato, M. Seki, K. Saito, Ko-ichi Hiraki, T. Takahashi, K. Kanoda, and M. Sorai, "Heat capacity of quasi-one-dimensional electronic system (DMe-DCNQI)<sub>2</sub>M (M=Li, Ag) - thermodynamic evidence of the spin-Peierls ground state -", Phys. Rev. B 68 (8) 085112-1-8 (2003).
- Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato and G. Saito, "Spin liquid state in an organic Mott insulator with a triangular lattice", Phys. Rev. Lett. 91 (10) 107001-1-4 (2003).
- 鹿野田一司, "有機超伝導体の物質探索と物性研究", 応用物理 74 (1), 9-16 (2005).
- K. Miyagawa, K. Kanoda, and A. Kawamoto, "NMR studies on tw-dimensional molecular conductors and superconductors: Mott transition in  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X", Chemical Reviews 104 (11), 5635-5653 (2004).
- 清水康弘、宮川和也、鹿野田一司、前里光彦、斎藤軍治, "三角格子有機モット絶縁体におけるスピン液体", 固体物理 39 (8), 545-550 (2004).
- 妹尾 仁、鹿野田一司、福山秀敏, "分子性結晶における電荷秩序", 日本物理学会誌 58 (11), 801 (2003).

## 本研究に関連して申請した特許

- 特開 2004-62073 (出願日 2004.03.05)、"トンネルジャンクション素子"、十倉好紀、川崎雅司、山田浩之、金子良夫。
- 特開 2004-265020(出願日 2004.09.13)、"高周波電磁波を用いた計測方法"、五神真、島野亮。
- US 6,8733,769 (取得日 2005.04.29)、"Optical Waveguide Coupler"、K. Miyano, H. Tamaru, H. Ishikawa。