

平成 18 年度 学術創成研究費 研究進捗状況報告書（中間評価用）

平成 18 年 3 月 31 日現在

ふりがな	かとう れいぞう		②所属研究機関・ 部局・職		独立行政法人理化学研究所・ 加藤分子物性研究室・主任研究員			
①研究代表者 氏名	加藤 礼三							
③研究課題名 (英訳名)	電子機能物質における自己組織化の解明と応用 (Research on Self-organization for Advanced Materials with Novel Electronic Functions)							
④研究経費 (千円未満切捨) <small>平成 16, 17 年度使用内訳 は支出額、平成 18 年度以 降の交付額は内約額、使用 内訳は支出予定額を記入</small>	年度	研究経費 (千円)		使用内訳 (千円) <平成 18 年度以降は支出予定額>				
		交付額	支出額	設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成 16 年度	94,800	73,821	52,016	17,869	3,445	310	181
	平成 17 年度	103,100	103,100	79,352	19,516	2,110	0	2,122
	平成 18 年度	93,700	—	60,800	23,400	2,000	6,000	1,500
	平成 19 年度	73,100	—	40,300	23,300	2,000	6,000	1,500
	平成 20 年度	69,400	—	26,900	33,000	2,000	6,000	1,500
	総計	434,100						
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)					
加藤 礼三	独立行政法人理化学研究所・加藤分子物性研究室・主任研究員	分子物性化学	自己組織化現象を用いた超分子性導体の、新物質開発と物性評価					
古崎 昭	独立行政法人理化学研究所・古崎物性理論研究室・主任研究員	物性理論	自己組織化の数理の解明					
塚越 一仁	独立行政法人理化学研究所・河野低温物理研究室・前任研究員	ナノ伝導物性	ナノスケール制御を使った自己組織化分子素子の作製と評価					
辛 埴	国立大学法人東京大学・物性研究所・教授	軟 X 線分光・光電子分光	光電子分光による電子状態解析と、装置性能の向上					
高木 英典	国立大学法人東京大学・新領域創成科学研究科・教授	固体物理化学	遷移金属酸化物の新奇物質合成／電子自己組織化の観察と解析					
桃井 勉	独立行政法人理化学研究所・古崎物性理論研究室・前任研究員	物性理論	電子スピンの自己組織化の理論					
求 幸年	独立行政法人理化学研究所・古崎物性理論研究室・研究員	物性理論	電子自己組織化の数値シミュレーション					
計 7 名								

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。)

本研究は、従来、分子性固体、遷移金属酸化物、ナノ炭素材料（フラーレン、カーボンナノチューブ）などの分野で個別的に展開されてきた「電子機能物質」研究を「自己組織化」の概念によって総合化・融合化し、高度な機能と新奇物性の分野横断的探索をとおして革新的・学際的学問領域の創成を目指すものである。現在、電子機能開拓のフロンティアは、電子間の相互作用が無視できる「電子気体」から、お互いに強い相互作用をおよぼし合っている電子の集合体が示す複雑で多様な物性へと急速に転換しつつある。このような相関の強い電子系では、しばしば「電荷秩序」あるいは「電荷分離」などと呼ばれる電子の自己組織化が起こる。自己組織化電子は微妙なバランスで他の電子相と競合・共存している。自己組織化状態を不安定化あるいは「融解」させることによって、高度な機能と新奇物性が生じると期待できる。これらは有機物、無機物といった化学的分類によらない普遍的な現象であり、統一的なアプローチが可能であるというのが我々の視点であり、本研究の特色の一つである。また、電子物性発現の舞台形成において、「自己組織化」分子の設計と制御が極めて有効である。「自己組織化」電子がもつ普遍性から出発するならば、目的とする電子機能に対して化学的に多様な系の中から最適な舞台を選ぶという、効率的な物質開発が可能となる。このような機能先導型の物質開拓を世界に先駆けて実践し、新奇超伝導体、巨大（電場・磁場）応答材料、分子素子材料などの開発を行う。

⑦これまでの研究経過

1. 本研究は、学術創成研究費の趣旨の3つの観点のうち、どの観点に主眼を置いて研究を行っているかについてお書きください。
2. 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、研究組織内の連携状況を含め、具体的に記入してください。

1. 本研究は、電子機能物質における、「自己組織化電子の制御」、「自己組織化分子の制御」、「自己組織化現象の数理解析」を通して、創造的・革新的・学際的学問領域、つまり、新「組織制御学」を創成することに主眼を置いている。

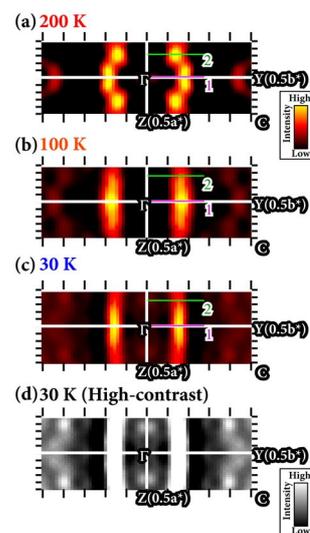
2. 上記の目的に対し、実験グループは（グループ内で合成された物質を対象として）光電子分光（辛）と極低温 STM（高木）による「自己組織化」電子の観測、および強相関遷移金属酸化物（高木）と分子性導体（加藤-塚越）を舞台とした電子・分子の自己組織化の制御を行い、理論グループ（古崎、求、桃井）は、パイロクロア格子をもつスピネル酸化物（←高木）、半導体量子細線、カーボンナノチューブ（←塚越）などで実現される自己組織化電子の秩序状態の解析を行った。

(1) 最先端技術による、自己組織化の観測と制御

光電子分光と極低温 STM を用いて、「自己組織化」電子を運動量空間と実空間の両面から観測した。

運動量空間に関しては、サブ meV の高エネルギー分解能、高運動量分解能の光電子分光を用い、フェルミ面の観測を超高精度で行った（辛-高木および辛-加藤の共同研究）。具体的には、典型的な1次元電子系で電荷密度波（CDW）を生じる物質（遷移金属化合物 $ZrTe_3$ 、 $K_0.3MoO_3$ 、 $NbSe_2$ や分子性導体 TTF-TCNQ）を中心に研究を行った。特に、TTF-TCNQ では、世界で初めて分子性導体のフェルミ面とその温度変化の直接観察に成功した（右図：論文 11）。 $ZrTe_3$ においては1次元と3次元のフェルミ面が共存していることがわかった（論文 9）。 $K_0.3MoO_3$ （論文 10）と TTF-TCNQ は共に1次元フェルミ面の温度変化を測定し、遷移金属酸化物と分子性導体の違いはあるにもかかわらず、共通した温度変化があることを明らかにした。しかし、分子性導体では著しい揺らぎの効果があ、遷移金属酸化物との違いも明らかとなった。 $NbSe_2$ では CDW と超伝導との共存に関する知見を得た。

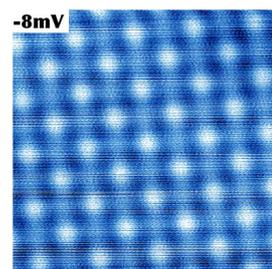
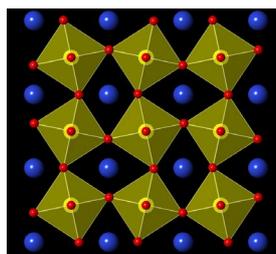
実空間における局所電子状態観察に関しては、典型的な強相関電子系である高温超伝導体 $Ca_{2-x}Na_xCuO_2Cl_2$ でチェッカーボード型のナノスケール電子結晶状態を発見し、高温超伝導研究において最大の謎の一つとされる



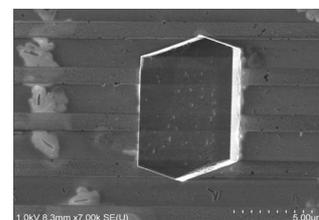
分子性導体 TTF-TCNQ のフェルミ面とその温度依存性

⑦これまでの研究経過 つづき

擬ギャップ相の隠れた秩序として注目を集めた（高木：論文 14）。さらに、電子の軌道やスピンの秩序状態に極めて近い状態にある層状酸化物 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ において、強相関電子系に特徴的な臨界性を反映した電子再構成を発見した（右図）。



分子の自己組織化の制御に関連し、微細加工技術と分子結晶成長技術とを組み合わせ、シリコン基板上に、電極と基板に密着した微小サイズの分子性導体単結晶を直接成長させる手法を開発した。これによりサイズ効果の測定・電界効果の測定・分子性導体のデバイス化への道が開かれた（右図：加藤-塚越の共同研究：論文 4）。

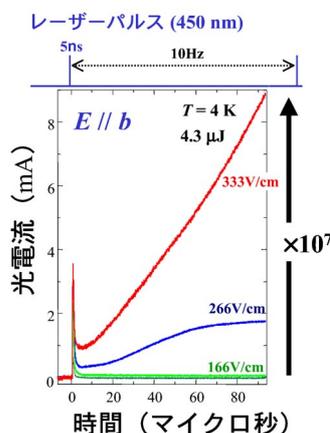


また、自己組織化エレクトロニクスとしての基本素子となる有機薄膜トランジスタは、その形成過程での界面によって動作特性が決まる。分子チャンネルと基板界面および電極界面に関してペンタセンのトランジスタを作製して評価と制御を試みた（塚越：論文 7）。ガラス界面では、表面を疎水化処理することによってトランジスタの電界効果移動度が劇的に改善すること、ポリパラキレン上では室温薄膜形成でも移動度が高く保たれること、さらに電極とチャンネル界面に電荷移動錯体を形成する TCNQ をドット状に導入することで端子抵抗が数分の 1 まで低減することなどを見出した。

(2) 物質の分類にとらわれない、自己組織化電子の普遍的学理解明

電子相関は一般に電子のコヒーレントな動きを妨げる。そのような中で成長するコヒーレンスの問題は強相関電子系の本質にかかわる重要な問題である。この問題は遷移金属酸化物の研究の中で「不良金属」として浮かび上がってきた問題であるが、より清浄な系である分子性導体を舞台に電荷のダイナミクスを検証することにより、その本質が浮き彫りとなることが可能となった。加藤らによって開発された分子性導体 $\theta\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ の詳細な光学伝導度測定により、eV スケールの相関エネルギーにわたるインコヒーレントな状態からどのように準粒子状態が形成されるのか、そのエネルギー階層を含めた全貌を明らかにすることができた（高木：論文 16）。一方、電子相関と分子系の内部自由度との競合によって起こる、分子系特有の電子自己組織化現象を新たに発見した（加藤：論文 1, 3）。

自己組織化状態を不安定化あるいは「融解」させて生じる新奇物性の探索では、まず電荷分離絶縁体状態にある分子性導体 $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ にナノ秒パルスレーザーを照射して、絶縁状態から金属状態を誘起することに成功した（加藤：論文 2）。最も重要な点は、光を切った後に 7 桁以上の抵抗変化を伴う巨大電流応答をもつ新たな金属状態（永続的伝導状態）が出現し、電場を印加している限り永続的に保持される現象を有機物質では世界で初めて観測したことである（右図）。また、幾何学的フラストレーションのためにスピン・軌道・電荷の秩序形成が著しく妨げられるスピネル酸化物 CdCr_2O_4 において、磁場誘起のスピネル結晶状態（1/2 磁化プラトー状態）を発見した（高木：論文 15）。



理論グループは、強い電子相関をもつ電子系における新規な状態や相転移の機構を調べた。幾何学的なフラストレーションをもつ系に着目し、エネルギー的に巨視的な縮退をもった状態間の競合に起因した、種々の複雑な相転移やクラスター形成による自己組織化のメカニズムを解明することを目指している。特に、高木らが開発している「パイロクロア格子を基本構造にもつスピネル酸化物系」の理論研究を精力的に推進した。例えば、 AV_2O_4 (A=Zn, Mg, Cd) における二段転移の機構に関する研究を行い、強いフラストレーションによる縮退が、電子のもつスピンと軌道の自由度の競合と協調の下で解ける過程を明らかにし、様々な物理量の温度依存性について実験結果と良い一致を得た（求：論文 21）。また、強磁性揺らぎの強いフラストレート磁性体を理論的に調べ、強磁性相が競合する反強磁性相互作用により壊された時に、新たにスピンネマティック相が出現することを見出した（桃井：論文 23）。一方、電子間の斥力相互作用のために電子が単独ではなく組織的に運動するようになるカーボンナノチューブなどの一次元電子系において、磁場中で電子が部分的にスピン偏極している状況ではポテンシャル障壁によるスピン・フィルター機能が増大することを見出した（古崎：論文 19）。

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するとともに、推薦者の期待がどの程度達成されつつあるかについて記入してください。

(1) 最先端技術による、組織化の観測と制御

光電子分光は、電子状態を直接取り出して観察できるために、電子状態の研究によく用いられてきた。しかし、他の実験方法に比べて、分解能がまだ足りないために、自己組織化電子については、十分解析することが従来できなかった。本研究により、極めて難しかったフェルミ面を高分解能で精度良く測る事が可能となった。本来、フェルミ面は物性を忠実に反映しているはずであるが、精度が悪いためにこれまでほとんど議論ができなかった。精度良く測られたフェルミ面により、物性を深く議論できる研究分野がこれから形成されると確信している。

本研究グループの極低温 STM は、世界的に見ても有数の安定度を実現し、これを用いた電子相の探索が着実に進みつつある。その端緒となる成果の一つが電子結晶の発見である。

自己組織化分子材料を用いた「自己組織化エレクトロニクス応用」の基礎検討では、アモルファスや多結晶では有機薄膜の本来の特性を引き出すのは大変難しい。これは電気伝導がグレイン界面などの特性に大きく影響され、本来のバルク特性が見えないからである。このために本研究では、有機単結晶を用いて電気伝導の特性基礎を評価した。有機薄膜トランジスタの伝導機構を解明するために、ノンドーブルブレン単結晶を作製し、有機薄膜の伝導チャンネルにダメージを入れずに精密加工が可能な「レーザー加工法」によってパターンニングすることに成功した（単結晶のパターンニングは世界最初）。この単結晶トランジスタにおいてホール効果を世界で初めて検出することに成功し、その解析から、ルブレン単結晶の伝導は従来から唱えられているホッピングが支配的であるとの説明は成り立たず、バンド的伝導であることをあることを初めて示した。これは、大きな反響を呼んだ。さらに最近では、ルブレンチャンネルトランジスタの作成法を工夫することによって、基板上に作製した有機トランジスタとして世界最高の移動度 ($13 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) を得ることに成功した。

全体として、有機チームと無機チームが、測定グループや微細加工チームと効果的に連携することにより、総合的な関連電子科学の研究が推進されつつある。

(2) 物質の分類にとらわれない、自己組織化電子の普遍的学理解明

分子性導体 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ で発見された光誘起巨大電流応答の発現は、遷移金属酸化物でも同様の現象が報告されており、無機・有機物質に普遍的な現象である可能性が高い。分子性導体の場合は、分子配列方向あるいは電荷秩序状態で見られるストライプ構造と何らかの関係があると考えている。このことは光誘起巨大電流応答をナノスケールで制御できる可能性を示しており、分子デバイスの発展に大いに期待できる。この発見は、もともと超ナローギャップ有機半導と電荷秩序状態との相関を探索する目的で行った研究の副産物であるが、有機物質で発見したのはこれが世界で最初である。

理論グループのスピネル酸化物 AV_2O_4 ($\text{A}=\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Cd}$) の研究は、従来のスピン-Jahn-Teller 機構に基づくものとは全く異なるスピンと軌道の自由度の競合によるシナリオを提示した。この研究が、その後続く実験・理論両面からのこの系の軌道秩序に関する研究のきっかけとなった。また、 ACr_2O_4 ($\text{A}=\text{Cd}, \text{Hg}$) に関する研究では、磁化プラトー状態における磁気秩序について、モデルのパラメータを系統的に変化させた研究を行い、従来のプラトー状態の常識にはない新しい知見を得た。具体的には、プラトー状態が、パラメータによって全く異なる磁気秩序をとりうること、あるいは対称性の破れさえ必要としないことを指摘した。また、モデルのパラメータによって相転移温度や磁気秩序のパターンを制御しうる新しいタイプの order-from-disorder 現象を見いだした。 AlV_2O_4 に関する研究では、従来の valence skipping タイプの電荷秩序とは全く異なる、クラスター形成による自己組織化によるシナリオに基づいて、実験に見られる特異な磁氣的性質の理論的な検討を行っている。

研究グループ内での共同研究が順調に進み、異なる分野の研究者間で共著論文（論文 4, 10, 11, 16 など）がいくつも産み出されて分野横断的物質科学が展開されており、推薦者の期待に充分応えている。なお、論文 2 と 5 は、“Letters of Editors’ Choice”として表彰された。

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（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）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、2頁以内に記入してください。

○ 原著論文

1. M. Tamura and R. Kato, “Valence instability in a dimer of two-orbital system: possible charge separation due to 'negative U' effect”, *Chem. Phys. Lett.*, **387**, 448-452 (2004).
2. N. Tajima, J. Fujisawa, N. Naka, T. Ishihara, R. Kato, Y. Nishio, and K. Kajita, “Photo-induced insulator–metal transition in an organic conductor α -(BEDT-TTF)₂I₃”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **74**, 511-514 (2005).
3. A. Nakao and R. Kato, “Structural study of low temperature charge-separated phases of Pd(dmit)₂-based molecular conductors”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **74**, 2754-2763 (2005).
4. H. M. Yamamoto, H. Ito, K. Shigeto, K. Tsukagoshi, and R. Kato, “Direct formation of micro-/nanocrystalline 2,5-dimethyl-N, N'-dicyanoquinonediimine complexes on SiO₂/Si substrates and multiprobe measurement of conduction properties”, *J. Am. Chem. Soc.*, **128**, 700-701 (2006).
5. R. Jindo, S. Sugawara, N. Tajima, H.M. Yamamoto, R. Kato, Y. Nishio, and K. Kajita, “Out-of-plane resistance of quasi-two dimensional metal (BEDT-TTF)₃Cl(pBIB) in transverse magnetic fields”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **75**, 013705 (2006).
6. A. Kanda, K. Tsukagoshi, Y. Ootuka, and Y. Aoyagi, “Gate-voltage dependence of the zero-bias anomalies in multi-walled carbon nanotubes”, *Phys. Rev. Lett.*, **92** (3), 036801-1–036801-4 (2004).
7. K. Tsukagoshi, I. Yagi, K. Shigeto, K. Yanagisawa, J. Tanabe, and Y. Aoyagi, “Pentacene transistor encapsulated by poly-paraxylylene behaving as gate dielectric insulator and passivation film”, *Appl. Phys. Lett.*, **87** (18), 183502-1–183502-3 (2005).
8. A.Y. Kasumov, K. Tsukagoshi, M. Kawamura, T. Kobayashi, Y. Aoyagi, K. Senba, T. Kodama, H. Nishikawa, I. Ikemoto, K. Kikuchi, V. T. Volkov, Y. A. Kasumov, R. Deblock, S. Guéron, and H. Bouchiat, “Superconductor-molecule-superconductor junctions based on metallofullerenes”, *Phys. Rev. B* **72**, 033414-1–033414-4 (2005).
9. T. Yokoya, T. Kiss, A. Chainani, S. Shin, and K. Yamaya, “Role of charge-density-wave fluctuations on the spectral function in a metallic charge-density-wave system”, *Phys. Rev. B* **71**, 140504-140507 (2005).
10. H. Ando, T. Yokoya, K. Ishizaka, S. Tsuda, T. Kiss, S. Shin, T. Eguchi, M. Hohara, and H. Takagi, “Angle-resolved photoemission study of K_{0.3}MoO₃: direct observation of temperature-dependent Fermi surface across the Peierls transition”, *J. Phys.: Condens. Matter*, **17**, 4935-4940 (2005).
11. T. Ito, A. Chainani, T. Haruna, K. Kanai, T. Yokoya, S. Shin, and R. Kato, “Temperature-dependent Luttinger surfaces”, *Phys. Rev. Lett.*, **95**, 246402-246405 (2005).
12. A. Shimoyamada, S. Tsuda, K. Ishizaka, T. Kiss, T. Shimojima, T. Togashi, S. Watanabe, C.Q. Zhang, C.T. Chen, Y. Matsushita, H. Ueda, and S. Shin, “Heavy-Fermion-like state in a transition metal oxide LiV₂O₄ single crystal: Indication of Kondo resonance in the photoemission spectrum”, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 026403-026406 (2006).
13. R. Eguchi, T. Kiss, S. Tsuda, T. Shimojima, T. Mizokami, T. Yokoya, A. Chainani, S. Shin, I.H. Inoue, T. Togashi, S. Watanabe, C.Q. Zhang, C.T. Chen, M. Arita, K. Shimada, H. Namatame, and M. Taniguchi, “Bulk-and surface-sensitive high-resolution photoemission study of two Mott-Hubbard systems: SrVO₃ and CaVO₃”, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 076402-076405 (2006).
14. T. Hanaguri, C. Lupien, Y. Kohsaka, D.H. Lee, M. Azuma, M. Takano, H. Takagi, and J. C. Davis, “A 'checkerboard' electronic crystal state in lightly hole-doped Ca_{2-x}Na_xCuO₂Cl₂”, *Nature*, **430**, 1001-1005 (2004).

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（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）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、2頁以内に記入してください。

15. H. Ueda, H.A. Katori, H. Mitamura, T. Goto and H. Takagi, “Magnetic-field induced transition to the 1/2 magnetization plateau state in the geometrically frustrated magnet CdCr_2O_4 ”, *Phys. Rev. Lett.*, **94**, 047202-1–047202-4 (2005).
16. K. Takenaka, M. Tamura, N. Tajima, H. Takagi, J. Nohara and S. Sugai, “Collapse of coherent quasiparticle states in θ -(BEDT-TTF) $_2\text{I}_3$ observed by optical spectroscopy”, *Phys. Rev. Lett.*, **95**, 227801-1–227801-4 (2005).
17. T. Takayama and H. Takagi, “Phase-change magnetic memory effect in cation-deficient iron sulfide Fe_{1-x}S ”, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 012512-1–012512-3 (2006).
18. O. A. Starykh, A. Furusaki, and L. Balents, “Anisotropic pyrochlores and the global phase diagram of the checkerboard antiferromagnet”, *Phys. Rev. B* **72**, 094416-1--094416-17 (2005).
19. T. Hikihara, A. Furusaki, and K.A. Matveev, “Renormalization of impurity scattering in one-dimensional interacting electron system in magnetic field”, *Phys. Rev. B* **72**, 035301-1--035301-10 (2005).
20. A. Furusaki, “Kondo problems in Tomonaga-Luttinger liquids”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **74**, 73-79 (2005).
21. Y. Motome and H. Tsunetsugu, “Theory of successive transitions in vanadium spinels and order of orbitals and spins”, *Prog. Theor. Phys. Suppl.*, **160**, 203-232 (2005).
22. Y. Motome, K. Penc and N. Shannon, “Monte Carlo study of half-magnetization plateau and magnetic phase diagram in pyrochlore antiferromagnetic Heisenberg model”, *J. Mag. Mag. Mater.*, **300**, 57 (2006).
23. N. Shannon, T. Momoi, and P. Sindzingre, “Nematic order in square lattice frustrated ferromagnets”, *Phys. Rev. Lett.*, **96**, 027213-1–027213-4 (2006).

○国際会議（招待講演）

1. R. Kato, “Correlation and frustration effects in molecular conductors $\text{Et}_x\text{Me}_{4-x}\text{Z}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ ($\text{dmit}=\text{C}_3\text{S}_5^{2-}$, $\text{Z}=\text{N}, \text{P}, \text{As}, \text{Sb}$, $x = 0, 1, 2$)”, *The 2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, Honolulu, U.S.A. (Dec. 2005).
2. K. Tsukagoshi, “Nano-scale interface control for plastic-electronics”, *The 2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, Honolulu, U.S.A. (Dec. 2005).
3. S. Shin, “Ultrahigh-resolution photoemission spectroscopy of superconductors using a VUV laser”, *The 14th International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics*, Cairns, Australia (July 2004).
4. H. Takagi, “Magnetic-field induced transition to 1/2 magnetization plateau state in geometrically frustrated CdCr_2O_4 spinel”, *French-Japanese Bilateral Seminar on Frustrated Magnetism and Slow Dynamics*, Kyoto, Japan (Jan. 2004).
5. A. Furusaki, “Renormalization of impurity scattering in 1D interacting electron systems in magnetic field”, *Conference on Strongly Interacting Systems at the Nanoscale*, Trieste, Italy (Aug. 2005).
6. T. Momoi, N. Shannon, and P. Sindzingre, “Nematic order in square lattice frustrated ferromagnets”, *APS Meeting*, Baltimore, U.S.A. (March 2006).
7. Y. Motome, “Interplay among spin, orbital and lattice degrees of freedom in geometrically-frustrated spinel compounds”, *Moscow International Symposium on Magnetism*, Moscow, Russia (June 2005).