

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域
「先端光源を駆使した光科学・光技術の融合展開」
研究課題
「先端超短パルス光源による光誘起相転移現象の
素過程の解明」

研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年3月

研究代表者：岩井伸一郎
(東北大学・大学院理学研究科、教授)

§1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究の目的は、赤外光領域の極超短パルス(1-3 サイクルパルス)光源の開発を自ら行い、そのような極限的な短パルス光を用いることによって「複雑系における光と物質の相互作用」の典型例である光誘起相転移の素過程を時間分解分光によって明らかにすることである。研究開始時の主な対象は、二次元有機伝導体(α -(ET)₂I₃)などにおける電荷秩序絶縁体の光融解(絶縁体—金属転移; Iwai et al. PRL98, 097402(2007))を想定していた。しかし、同時に本計画の中で、単なる電荷秩序の光融解にとどまらない新しいタイプの光誘起相転移として、格子やスピン自由度が絡んだ電気双極子やスピンの秩序が、ある状態から別の状態へと移行する現象を発見し、これらも研究対象とした。

D) 先端極端赤外パルスの開発と、それを用いた秩序融解の素過程の解明

先端光計測グループ(岩井 G)は、当初、可視光(< 10 fs)と赤外光(~10 fs)の開発を計画していたが、対象とする物質系が赤外領域に特徴的な光学応答を持つことを考慮し、赤外光領域に専念することとした。幸い、この目標は比較的早い段階(22年度中)に達成され、赤外3 サイクル(~12 fs)パルスの発生と、それを用いた電荷秩序融解の初期過程における電子ダイナミクスの観測に成功した(PRL105, 246402(2010))。また、強相関電子系における超高速ダイナミクスは、従来理論的にも未踏領域であったが、理論(高橋)Gのほか、米満 G(腰原チーム)とも協力し、光励起状態と光誘起絶縁体—金属転移の関係など初期過程の本質にかかわる理論的な考察を行った。(高橋 G JPSJ80, 034709(2011), 米満 G JPSJ, 79, 034708(2010))。

さらにキャリアエンベロープ(CEP)位相を安定化した1-2 サイクル赤外パルス光によってコヒーレント駆動される電子ダイナミクスの捕捉を新たな目標として、平成23年度に計画変更を申請し承認された。平成25年8月までに、7 fs(中心波長1.7 μ m, 1.5 サイクル)パルスの発生に成功し、このパルスを用いた実験により光励起直後の強相関電子の運動をかつてない時間精度で捉えることに成功している。本CREST終了時までには、通常の半導体や金属も含め、光と物質の相互作用の新しい理解を得るための系統的な測定を行える。この7 fsパルスを用いて、本研究計画で対象としてきた強相関電子系の有機物質とその類縁物質数種類の光誘起相転移の初期過程を調べた。特に新規な結果として、物質中に光が直接作る電子分極の1/5程度の低エネルギー電子のコヒーレント振動が約50 fsもの時間を要して自己形成することや、絶縁相との相境界にある強相関金属を強励起することによって、金属から絶縁相への変化が起こることなどこれまでの常識を覆す結果が得られた。この結果は、30年以上前に提案された動的局在と呼ばれる理論(高周波強電場によって電子の有効トランスファーが減少する効果)と強相関電子系の性質を組み合わせることによって説明できる。

II) 秩序の融解(絶縁体—金属転移)から秩序の再構築へ

格子やスピン自由度が絡んだ、より複雑な光誘起相転移の探索は、チーム全員の密接な連携のもとに進めた。特に中間評価で指摘のあった、理論G、臨界制御Gとの連携に重点を置いた。

a)有機ダイマーモット系; 物質開拓(佐々木)Gによって見出された、有機ダイマーモット絶縁体における絶縁体—金属転移に対する臨界性や誘電(電荷)揺らぎ、スピン液体などの特徴ある物性に注目し、この物質系への展開を図った。理論(妹尾、高橋)G、および腰原チームの理論班(石原 G、米満 G)との協力によって、電子相関と格子との競合(高橋 G(JPSJ81, 034712(2012), PRB82, 035101(2010))、米満 G(JPSJ80, 084710(2011))、電子相関とスピン自由度との競合(妹尾G(JPSJ77, 113705(2009), PRL108, 096402(2012))、石原 G(JPSJ79, 063707(2010), JPSJ82, 023701(2013)))を考慮し、岩井 Gにおいて、高効率な絶縁体—金属転移(PRL103, 066403(2009))や強誘電クラスターの光成長(PRL110, 106401(2013))など新しいタイプの光誘起相転移を発見した。これらに関しても、上に述べた赤外3 サイクルパルスを用いた実験により電子や格子のダイナミクスを解明した。

b) 電場印加による臨界制御; また、臨界制御(岸田)G、佐々木 Gとの協力により、光のみな

らず、DC 電場を印加することにより、複合場による相転移の探索をおこなった。まず岸田グループにおいて電場印加下におけるラマン散乱測定を行い、電場印加下においてダイマー内での電荷不均化状態が実現していることの直接的な証拠を見出した。その結果をもとに岩井 G において、電場印加下の THz 透過測定および THz 発生測定を行い、巨視的な強誘電状態が形成されていることを確認した。計画終了までに、電場印加による臨界条件下(強誘電転移寸前の状態)での光誘起 THz 測定により、光誘起強誘電性の発現を試みる。

c) **遷移金属酸化物への展開**； 計画後半においては、中間評価において指摘を受けた遷移金属酸化物への展開を本格的に開始した。有馬 G(東大新領域)、池田 G(岡山大理)、石原 G(腰原チーム)との協力により、ペロブスカイト型コバルト酸化物、層状鉄酸化物における光誘起スピン転移、磁気秩序の変化を発見した。コバルト酸化物においては、従来の千倍(1 光子当たり 1000CO サイト)の極めて高効率なスピン転移を発見した。赤外 3 サイクル分光により、この高効率スピン転移は、8 面体構造の協力的 Jahn-Teller(JT)モードが大振幅で励振される、という新しいメカニズムによって駆動されることを明らかにした(PRL 投稿中)。また、層状鉄酸化物においては、層間方向の偏光の光誘起によって層間の強磁性秩序が反常磁性秩序へと変化することを発見した。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. “Early-Stage dynamics of Light-Matter Interaction Leading to the Insulator to metal Transition in a Charge Ordered Organic Crystal”,
(電荷秩序型有機結晶における光と物質の相互作用の初期ダイナミクスの観測)
Y. Kawakami, T. Fukatsu, Y. Sakurai, H. Unno, H. Itoh, S. Iwai, T. Sasaki, K. Yamamoto, K. Yakushi, and K. Yonemitsu, **Phys. Rev. Lett.**, **105**, 246402(2010).
(DOI:10.1103/PhysRevLett.105.246402)
被引用件数: 21 件(Web of science, 2013/9/25)
概要: 赤外光領域の 2-3 サイクルパルス(中心波長 1.5 μm (電場振動周期 \sim 5 fs), パルス幅 12 fs)を用いたポンププローブ測定により、典型的な強相関係の有機物質における光誘起絶縁体-金属転移(電荷秩序の光融解)の初期過程を明らかにした。光励起直後の 10-50 fs 以内に、多体電子がコヒーレントに振動する様子や、分子内の原子振動と相互作用を始める瞬間などを世界で初めて捉えた。
2. “Optical Modulation of Effective On-Site Coulomb Energy for the Mott Transition in an Organic Dimer Insulator”,
(有機ダイマー絶縁体におけるオンサイトクーロンエネルギーの光変調によるモット転移)
Y. Kawakami, S. Iwai, T. Fukatsu, M. Miura, N. Yoneyama, T. Sasaki, and N. Kobayashi, **Phys. Rev. Lett.** **103**, 066403 (2009).
(DOI:10.1103/PhysRevLett.103.066403)
被引用件数: 16 件 (Web of science, 2013/9/25)
概要: 有機二次元ダイマーモット絶縁体において、従来の光キャリアドープ型とは異なる、光誘起絶縁体-金属転移の新しい機構を発見した。従来の光モット転移(金属錯体など、Iwai et al. *Phys. Rev. Lett.*, 91,057401(2003))に比べて 10 倍以上高効率な絶縁体-金属転移の新しい機構(ダイマー変位機構)は、光スイッチへの応用を考える上で重要である。
3. “Collective Excitation of an Electric Dipole on a Molecular Dimer in an Organic Dimer-Mott Insulator,”
(有機ダイマーモット絶縁体における電気分極の集団励起)
K.Itoh, H. Itoh, M. Naka, S. Saito, I. Hosako, N. Yoneyama, S. Ishihara, T. Sasaki, S. Iwai. **Phys. Rev. Lett.** **110**, 106401 (2013).
(DOI:10.1103/PhysRevLett.110.106401)

被引用件数: 1 件 (Web of science, 2013/9/25)

概要:有機ダイマーモット絶縁体において、電気分極の集団励起を発見した。またこの集団励起をプローブとして、光による強誘電クラスターの光成長を初めて実現した。この強誘電クラスターの光成長は、電荷秩序の光融解とは全く逆の過程であり、電子の有効温度が光励起によって減少していることを意味している。秩序を解かすのではなく、秩序を作る光誘起相転移が可能であることを示したことに重要な意味がある。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. 赤外 CEP 制御 7 fs (1.5 サイクル) パルスの発生

概要:キャリアーエンベロープ位相(CEP)の安定化された 7 fs 赤外高 (1.5 サイクル、中心波長 1.7 μ m, > 50 μ J/pulse) の発生を「CEP が受動的に安定化されているパラメトリック増幅器のアイドラ出力を、さらに希ガス中の中空ファイバーを通過させる」という新しい方法により行った。中空ファイバーを用いた広帯域化は、通常チタンサファイアレーザー (中心波長 800 nm) を用いて行われているが、(CEP が受動的に安定化されている) OPA のアイドラ光を用いた例はない。また、瞬時電場は、MV/cm 以上にも達し、近年の高強度 THz 電場をも上回る。今後、CEP の外部制御 (平成 25 年度計画変更により実施予定) の可能になる。

2. 有機ダイマーモット絶縁体におけるリラクサー的誘電異常の発見

“Anomalous dielectric response in the dimer Mott insulator \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$.” M. Abdel-Jawad, I. Terasaki, T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, Y. Uesu and C. Hotta, Phys. Rev. B 82, 125119-1-5 (2010). (DOI:10.1103/PhysRev.B82.125119) 被引用件数 24 (2013.8.1)

概要:三角格子分子ダイマー構造を有する有機モット絶縁体 \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の低周波誘電率測定によって、分子ダイマー内電荷自由度に起因する特異な誘電応答を見出した。この結果は、従来の格子変位・構造変化を伴わない電子的な相互作用による強誘電ナドメインの発生を示唆し、光照射などの外場変化に対して敏感かつ超高速な誘電応答が期待できる。

3. ペロブスカイト型コバルト酸化物における高効率スピン転移の発見

概要:基本的なコバルト酸化物 LaCoO $_3$ において、特定の波長の近赤外光に対して、1 光子当たり 1000 サイト以上にも及ぶ高効率の光誘起スピン転移 (S=0 \rightarrow S=1) を発見した。従来 Fe 系のスピncrossオーバー錯体や、ほかのコバルト酸化物では、1 光子当たりの転移効率が、1~数サイトであったのに比べると約千倍の効率を実現したことになる。低出力の小型レーザーによるスイッチング動作への応用も期待できる。効率が低い理由は、スピン転移状態 (S=1 状態) が、協力的な Jahn-Teller 歪をともなった軌道秩序状態と結合していることに関係している。また、波長選択性は、光スピン転移と光誘起絶縁体—金属転移が競合していることによると考えられる。

§2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

10 フェムト秒以下の極短パルス光や、広帯域、あるいは高出力テラヘルツパルス光など先端光パルスを用いて、強相関電子系物質(有機伝導体、遷移金属酸化物)における光と物質の相互作用の理解と新奇現象の探索を主課題とする(先端光計測グループ;岩井)。この主課題を達成するために、i) 物質パラメータの精密制御による光機能に対する高ポテンシャル物質の探索(物質開拓グループ;佐々木)、ii) 外場を用いた臨界制御による新物質相の探索(臨界制御グループ;岸田)、iii) 理論による実験結果の解析と新現象の予測(理論グループ;高橋、妹尾)、という 3 つの連携チームとの双方向のフィードバックを伴った協力体制によって研究を遂行する。先端超短波パルス光源、強相関物質の電子・光物性制御技術、理論を駆使し、強相関電子系における光と、電子、スピン、格子の相互作用の素過程の解明に挑む。



図 2-1 研究体制、組織の模式図

マイルストーンとしては、第 0 フェーズ(平成 20 年度)として、本研究において、先端光源を用いた光誘起相転移研究の対象となる物質と現象を、従来の可視、近赤外、中赤外の広帯域 100 fs 分光測定によって詳細に調べ、本研究で明らかにするべきポイントをより明確にする。第一フェーズ(平成 20~22 年度)では、可視 10 fs、近赤外 20 fs、第二フェーズ(平成 22-24 年度)で、可視 <10 fs、近赤外 10 fs、第三フェーズ(平成 23-25 年度)では、中赤外 20 fs パルスの発生とそれを用いたポンププローブ分光を行う。これらの極短パルス光を用いて、i) 低周波(周期~100 fs)格子(分子間)振動の初期位相を正確に求める(第一フェーズ)、ii) 強相関電子状態と強く相互作用している高周波分子内(C=C)振動を実時間軸でとらえる(第二フェーズ)、iii) 高周波分子内振動の初期位相を明らかにする(第三フェーズ)。これらの結果から、電子励起状態から分子内振動や分子間振動へ、どのようにエネルギーが受け渡され、それぞれが光誘起相転移においてどのような役割を果たしているのかを明らかにする。具体的な物質としては、電荷秩序系やダイマーモット系の低次元有機伝導体(BEDT-TTF(ET)錯体)や金属錯体を中心に研究を行うが、強相関電子系の光誘起相転移の一般的な理解のため、遷移金属(銅、コバルト)酸化物への展開も図る。より具体的には、電荷秩序系二次元有機 BEDT-TTF 塩における絶縁体—金属転移(電荷秩序の光

融解)を当初の機構解明の対象とするが、同時に、より複雑な分子結晶や遷移金属酸化物における光誘起相転移の探索も進め、上記も先端光源による研究の対象を自ら探す。特に、そのためのツールとして広帯域(0.1-20THz)のテラヘルツ時間分解分光を用いる。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想

① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について

1; 本計画の最も重要な目標である「赤外数サイクルパルスの独自開発とそれを用いた光誘起電子相転移の素過程の解明」という **24年度までの目標は、22年度中にほぼ達成している**。これらの結果が前倒しで得られたのは、当初計画の一部を、**比較的早い段階(21年度中)に見直し、上記の主目標に集中したため**である。具体的には、21年度半ばまでは、可視光領域の<10 fs パルスの発生も並行して行っていたが、(対象とする物質の多くが、赤外光領域に特徴的な応答を持つことから)赤外パルスを用いた実験を急ぐことがより重要と考え、赤外パルス光源(中心波長 **1.5 μ m, 12 fs =3 サイクルパルス**)の開発に集中することにした。このようにして得られた光源により、光誘起相転移が**多体電子のコヒーレント振動によって始まる様子**や、電子と分子振動が、相互作用を始める瞬間の観測が可能になった。

さらに、平成 23 年度 6 月(中間評価の直前)に、これらの成果を踏まえて、より**先端的なパルス(CEP(キャリア-エンベロップ位相)を安定化した、モノ~2 サイクルパルス)**の発生と、それを用いて**多電子の位相ダイナミクス**の理解と制御を新たな目標とすることを申請し承認された。この一連の計画変更については、以下 i), ii)に示すように、中間評価においてもおおむね適切との評価を受けている。

i)「代わりに CEP(搬送波位相)安定化数サイクル赤外パルスの新規導入等、研究の進展状況に応じた計画の適切な変更がなされており、好ましい進捗状況である。」

ii)「位相緩和の観測に発展させるのは自然の流れであり、CEP 安定化パルス光の導入は、妥当な判断と考えられる。成果が得られれば、当初目標にある「強相関電子系における非平衡ダイナミクスの研究を新たなフェーズへと移行させる」ことの達成につながり、光誘起相転移分野に大きな貢献を与え、光材料・光産業の分野に広く波及する成果になると期待される。」

これらの中間評価を受けてさらに集中的に研究を進め、遂に平成 25 年 7 月までに CEP 制御された **7 fs 赤外高 (1.5 サイクル、中心波長 1.7 μ m, > 50 μ J/pulse)**の発生を、「**CEP が受動的に安定化されているパラメトリック増幅器のアイドラ出力を、さらに希ガス中の中空ファイバーを通過させる**」という新しい方法により成功させた。分光応用可能な 1.5 サイクルパルスの発生は、世界最先端の結果と言え、平成 25 年 8 月時点で、このパルス光を用いた多体電子のダイナミクスの測定を行っている。この 7 fs パルスを用いて、本研究計画で対象としてきた強相関電子系の有機物質とその類縁物質数種類の光誘起相転移の初期過程を調べ、モノサイクルに近い短パルスが物質中に作る瞬時強電場の効果によって、金属から絶縁相への変化が起こせることなどこれまでの常識を覆す結果が得られた。

2; 本 CREST では、単なる電子的秩序の融解にとどまらない、ある秩序から別の秩序へ至るより高度な光誘起相転移として、ダイマーモット絶縁体から強誘電体への光誘起相転移の実現を目指した研究を始めた。この研究に関しては中間評価において、「さらに、光誘起相転移では通常、試料の秩序相(絶縁体相)が破壊されて、無秩序相(金属相)となるが、光励起により秩序相が破壊されるのではなく、新たな電荷秩序相(強誘電相)が形成されると解釈される例を発見した。この解釈の確証は今後の研究に待たねばならないが、興味深い実験結果である」との評価を得た。この結果は中間評価の後、論文を投稿し受理されている(PRL110, 106401(2013))。また、現段階では、短距離秩序(強誘電クラスター)の光形成に過ぎないが、事項 3 で述べるように、岸田 G、佐々木 G との協力により、電場の印加下における臨界制御によって、長距離秩序(強誘電相)の光形成を狙った研究を進めている。さらにこの研究は、今後、本 CREST で開発した、1.5 サイクルパルスの強電場や THz 電場による誘電性の制御へとつながることが期待できる。

3; 中間評価におけるコメント「臨界制御、理論チームは類似の系での研究を行っており相補的ではあるが、現時点では明確な共同研究の成果が見えていないのは惜しい。」に関して。

上記の項目 1 (電荷秩序、ダイマーモット絶縁体の光融解の初期過程)の結果については、理論高橋 G、米満 G が理論解析を行っており、我々の実験の励起エネルギー(0.89eV)が、電荷秩序状態から、非局在化した電子状態への光学遷移に対応することを明らかにした。このことは、電荷ギャップ近傍(~0.1 eV)の励起が、(電荷パターン 0101→1010)のような局所的な電荷移動に対応することと対照的である(JPSJ80, 034709(2011)(高橋 G), JPSJ81, 034712(2012)(高橋 G), JPSJ, 79, 034708(2010)(米満 G))。実験結果と、これらの理論解析の結果を考え合わせると、電荷ギャップから遠く離れた高エネルギー(0.89 eV)の励起をしたことが絶縁体-金属転移において重要であることが明らかになった。

上記の項目 2 (ダイマーモット絶縁体における強誘電クラスターの光成長)については、そもそも、妹尾が描いた理論相図(JPSJ76, 013707(2007)など)と佐々木 G によって発見された誘電異常をモチーフにして始めた研究項目である。二次元 BEDT-TTF 塩の理論相図では、ダイマーモット(DM)相のとなりに強誘電-電荷秩序(FCO)相が存在すると予想されている。 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ は、この DM-CO の相境界の DM 側にある物質と考えられている。また、妹尾 G では、電荷相関とスピン相関の関係を理論的に考察することにより、そのような相境界近傍における特異な光誘起相転移が観測される物理的な理由として、電荷相関とスピン相関の関係が、排他的に働くことにより、スピン液体状態と電荷グラス状態が共存している可能性を検討している(JPSJ77,113705 (2009), PRL108, 096402(2012))。高橋 G では、岩井 G が観測した THz スペクトルの起源について理論計算を行った(PR82, 035101(2010))。

さらに、臨界制御(岸田)グループとの協力により、光のみならず、DC 電場を印加することにより、複合場による相転移の探索をおこなった。まず岸田グループにおいて電場印加下におけるラマン散乱測定を行い、電場印加下においてダイマー内での強誘電状態(電荷不均化状態)が実現していることの直接的な証拠を見出した。これらの結果に基づき、岩井 G において電場下 THz 測定、電場下光励起 THz 測定を行っており、現在までに電場印加によって電場誘起強誘電状態の分光測定が可能になっている。今後 3 月終了時までには、電場によって臨界状態(強誘電に転移する寸前の状態)を用意し、その状態を光励起することによって、光誘起強誘電の実現を狙う。

4; 計画前半では、主に有機物質を対象にした研究を行ったが、中間評価においてのコメント「遷移金属酸化物などの光誘起相転移の無機物質候補を含む新規高機能物質の積極的な探索と合成に結びつけてほしい。」を受けて、遷移金属酸化物への展開を進めた。具体的には、有馬グループ(東大新領域)、池田グループ(岡山大理)、石原グループ(腰原チーム、理論)との協力により、ペロブスカイト型コバルト酸化物、層状鉄酸化物における光誘起スピン転移、磁気秩序の変化を発見した。コバルト酸化物においては、従来の千倍(1光子当たり1000COサイト)の極めて高効率なスピン転移を発見した。赤外 3 サイクル分光により、この高効率スピン転移は、8 面体構造の協力的 Jahn-Teller(JT)モードが大振幅で励振されるという新しいメカニズムによって駆動されることを明らかにした(PRL 投稿中)。また、層状鉄酸化物においては、層間方向の偏光の光誘起によって層間の強磁性秩序が反常磁性秩序へと変化することを発見した。

そのほか;

当初の研究計画では、広帯域 THz プローブ光を用いて新しい光誘起相転移の探索を計画していた。実際平成 23 年度内に、~25 THz までの広帯域 THz プローブを発生させ、光励起-THz プローブ実験は可能になった。しかしながら、本研究で用いている強相関電子系の試料は、いずれも、電荷ギャップが小さく、>5 THz の領域は透過率が想定よりも低かったため、実際の測定では >5THz のプローブ光は使用していない。

- ② 中間報告書§2. 当初の研究計画に対する進捗状況「(3)今後の進め方、および研究成果の見通し」の記載事項に関し、研究を進めた結果について

中間報告書の記載事項 1;「今後は、本年度の計画変更によって、より先端的なパルス(CEP(carrier-envelope phase)安定化した、モノ~2 サイクルパルス)を導入し、多電子の位相のダイナミクス(光の位相情報は、電子の多体効果を経て、どのように維持され、あるいは失われていくのか?)を明らかにする。」

---> 平成 25 年 6 月までに CEP 制御されたモノ~2 サイクル赤外光の発生を、CEP が受動的に安定化されているパラメトリック増幅器のアイドラ出力を、さらに希ガス中の中空ファイバーを通過させるという独自の方法により、7 fs (1.5 サイクル、中心波長 1.7 μ m)パルスの発生に成功しており、世界最先端の結果と言える。既にこの光源は稼働状態にあつて結果を得ている。研究終了時まで、このパルス光を用いて上記目標を達成できる。

中間報告書の記載事項 2;光励起によって、ダイマーモット相が不安定化し、強誘電相の境界へ近づいた結果、短距離秩序によるクラスターが形成されると考えられる。しかも、この分極クラスターの形成を示す THz 応答には、クラスタ壁の振動(ドメインウォール振動)を反映する時間軸上の振動構造(周期 4 ps~1 meV に対応)が観測された。このような、スピン・電荷フラストレーション系における特異な電荷ダイナミクスは、光誘起相転移の研究分野を新しい方向へ導くものと期待される。

---> 中間評価の後、以上の内容の論文を投稿し受理されている(PRL110, 106401(2013))。また、現段階では、短距離秩序(強誘電クラスター)の光形成に過ぎないが、以下に述べるように、佐々木 G、岸田 G との協力により、電場の印加下における臨界制御によって、長距離秩序(強誘電相)の光形成を狙った研究を進めている。具体的には、佐々木グループ、岸田グループとの協力により、光のみならず、DC 電場を印加することにより、複合場による相転移の探索をおこなった。まず岸田グループにおいて電場印加下におけるラマン散乱測定を行い、電場印加下においてダイマー内での強誘電状態(電荷不均化状態)が実現していることの直接的な証拠を見出した。これらの結果に基づき、岩井 G において電場下 THz 測定、電荷下光励起 THz 測定を行っており電場印加によって電場誘起強誘電状態の分光測定が可能になった。今後 3 月終了時まで、電場によって臨界状態(強誘電に転移する寸前の状態)を用意し、その状態を光励起することによって、光誘起強誘電の実現を狙う。

また、理論妹尾 G では、電荷相関とスピン相関の関係を理論的に考察することにより、そのような相境界近傍における特異な光誘起相転移が観測される物理的な理由として、電荷相関とスピン相関の関係が、排他的に働くことにより、スピン液体状態と電荷グラス状態が共存している可能性を検討している(JPSJ77,113705 (2009), PRL108, 096402(2012))。理論高橋 G では、岩井 G が観測した THz スペクトルの理論計算を行った(PR82, 035101(2010))。

- ③ 上記①②以外で生まれた新たな展開について

1)フォノンスペクトルの超高速電荷揺らぎによるモーショナルナローイングの観測 (PRB88, 125101(2013))

モーショナルナローイング(運動による先鋭化)とは、ある振動子の中心周波数 ω_0 に対し周波数 $\omega_f(t)$ のランダムな揺動があった場合、その揺動の振幅 Δ と揺動の相関関数の時定数 τ_c の間に、 $\tau_c \ll 1/\Delta$ の関係があるとき、振動子が与えるスペクトルは先鋭化するよく知られた物理現象である。NMR では頻繁に見られる現象であり、光スペクトルにおいても、励起子が結晶中を動き回ることによって励起子吸収が先鋭化する効果などが知られている。本研究では、ある特定の分子間振動(フォノン)のスペクトル幅や形状が、特定の温度領域で、モーショナルナローイングを示すことを

発見した。このことは、電荷の高速な運動が、フォノン周波数に変調を与えた結果と考えることができる。

強相関電子系物質の新規な機能、物性として、電子(強)誘電性(強誘電性の特徴である対称性の破れが、格子構造ではなく、電子の不均化によって起こる現象)と呼ばれる性質があるが、その特徴の一つとして、高速な電荷の揺らぎがある。本研究で見出したフォンスペクトルの電子揺らぎによる先鋭化は、電子誘電体物質を発見しその性質を調べる上で、有効な探針となり得る。

2)強光子場による金属、半導体の電場効果の研究

7 fs の 1.5 サイクル光が発生する瞬時強電場(> MV/cm)は、本 CREST で対象とした強相関電子系はもとより、より単純な金属や半導体においても動的局在(サイト間の電子的トランスファーが電場によって減少し、電荷が動けなくなる効果; Dunlap et al. PRB34, 3625(1986), Kayanuma PRA50, 843(1994))など、理論的に予測されている効果の実現が期待される電場領域である。強相関電子系に限らない、より広い意味での光と固体物質の相互作用の理解と制御へと展開できる。動的局在によって期待される物理現象は、例えば、通常金属の絶縁化、電荷移動錯体における CT 相互作用の遮断、強相関系ではフラストレーション効果の遮断による秩序化、など強光子場による様々な応用が期待できる。

§3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

①「先端光計測」(岩井)グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岩井 伸一郎	東北大学理学研究科	教授	H20.10～
伊藤弘毅	東北大学理学研究科	助教	H21.7～
中屋秀貴	東北大学理学研究科	卒業	H20.10～H23.3
川上洋平	東北大学理学研究科	卒業	H20.10～H24.3
三浦雅樹	東北大学理学研究科	卒業	H20.10～H22.3
伊藤桂介	東北大学理学研究科	D3	H21.4～
深津猛	東北大学理学研究科	卒業	H21.4～H23.3
桜井洋平	東北大学理学研究科	卒業	H22.4～H24.3
海野仁美	東北大学理学研究科	卒業	H22.4～H24.3
安生皓平	東北大学理学研究科	卒業	H22.4～H24.3
石川貴悠	東北大学理学研究科	D1	H23.4～
山田研太郎	東北大学理学研究科	M2	H24.4～
寒河江悠途	東北大学理学研究科	M1	H25.4～
後藤和紀	東北大学理学研究科	M1	H25.4～

研究項目

1. 数サイクル極短パルス光励起による電子分極の生成とその直後に起こる高周波分子内振動や格子振動との相互作用を明らかにする。
2. 広帯域(0.1-20THz)のテラヘルツ時間分解分光によって、光生成した電子状態や格子の状態を明らかにする。特に、光誘起絶縁体－金属転移における光誘起金属状態の局在と非局在の狭間にある低エネルギー電子状態の性質や、 $<100\text{ cm}^{-1}$ の低周波格子振動の役割を解明する。

②「物質開拓」(佐々木)グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
佐々木孝彦	東北大学金属材料研究所	教授	H20.10～
米山直樹	山梨大学大学院医学工学総合研究部	准教授	H20.10～
井口 敏	東北大学金属材料研究所	准教授	H25.4～
橋本 颯一郎	東北大学金属材料研究所	助教	H25.4～

研究項目

1. 光誘起相転移候補物質の探索および先端光計測グループへの試料提供
2. 光誘起相転移創出のための精密物性パラメータ制御技術の開発と評価

③「臨界制御グループ」(岸田)グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
岸田英夫	名古屋大学大学院工学研究科	教授	H20.10～
中村新男	公益財団法人豊田理化学研究所	フェロー	H20.10～H25.3
小山剛史	名古屋大学大学院工学研究科	講師	H20.10～
近藤明裕	名古屋大学大学院工学研究科	D3	H20.10～
伊丹拓	名古屋大学大学院工学研究科	卒業	H20.10～H22.3
伊藤敦哉	名古屋大学大学院工学研究科	卒業	H21.4～H23.3
中村優斗	名古屋大学大学院工学研究科	D2	H22.4～
白濱暢彦	名古屋大学大学院工学研究科	卒業	H23.4～H24.3
服部祐磨	名古屋大学大学院工学研究科	M2	H24.4～
Wu Dajian	名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリー	非常勤研究員	H24.4～H25.3
勝野将平	名古屋大学大学院工学研究科	M1	H25.4～
水越和志	名古屋大学大学院工学研究科	M1	H25.4～
溝渕裕次郎	名古屋大学大学院工学研究科	M1	H25.4～

研究項目

1. 電場下における光誘起相転移
2. 電子強誘電体の電場印加下光学測定
3. 圧力下における相転移現象の探索

④-a「理論」グループ (高橋)

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
高橋聡	名古屋工業大学工学研究科	教授	H20.10～
五味広喜	名古屋工業大学工学研究科	研究員	H21.6～

研究項目

光励起後の量子ダイナミクスを大規模数値計算によって計算することにより、初期過程も含めた光誘起相転移のダイナミクスを調べる。

④-b「理論」グループ(妹尾)

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
妹尾仁嗣	理化学研究所	専任研究員	H20.10～
大塚雄一	理化学研究所	協力研究員	H21.4～H23.10

研究項目

微視的電子格子モデルを構築し、電子相関と電子-格子相互作用の量子効果を取り入れた計算をすることにより基底状態の揺らぎや相転移を精度よく記述する理論を構築する。

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について
 (研究チーム外での連携や協働についてご記入ください。ライフ分野では臨床医等を含みます。)

東大新領域 有馬孝尚教授(ペロブスカイト型酸化物に関する研究)

岡山大学理学部 池田直教授(層状鉄酸化物に関する研究)

岡山理科大学理学部(開始時は分子研) 山本薫准教授(有機物質に関する研究)

豊田理研(開始時は分子研) 薬師久弥教授(有機物質に関する研究)

埼玉大学理学部 谷口弘三 (有機物質に関する研究)

東北大学理学部 石原純夫教授(光誘起相転移の理論解析)

中央大学工学部(開始時は分子研) 米満賢治教授(光誘起相転移の理論解析)

情報通信研究機構未来ICT研究所 齋藤伸吾研究員、寶迫巖所長(THz技術サポート)

オーストリア、フェムトレザーズ社、シグマ光機 (チャープミラー作製)

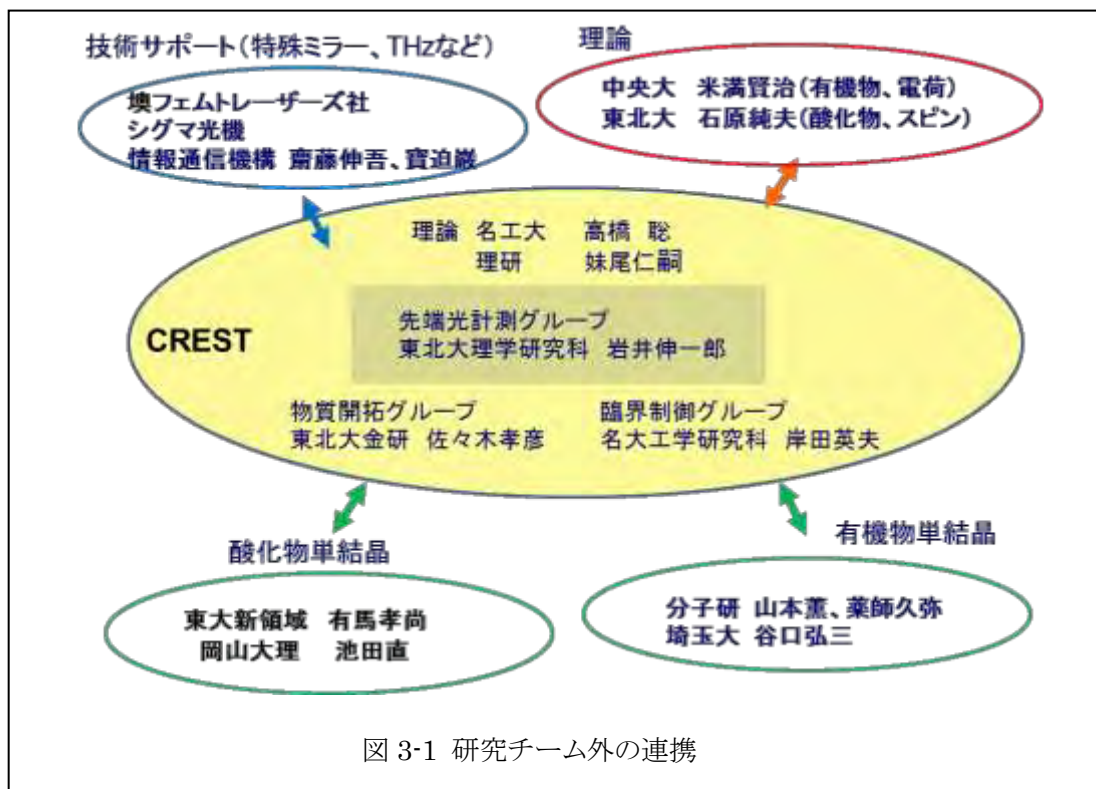


図 3-1 研究チーム外の連携

§4 研究実施内容及び成果

4.1 東北大学 先端光計測(岩井)グループ

(1)研究実施内容及び成果

1 赤外極超短パルス(1-3 サイクル、パルス幅 4-12 fs)光源と分光装置の開発

(a)TypeI BBOを用いた広帯域 OPA (12 fs パルス、2.5 サイクル)

本研究で用いる近赤外(中心波長 1-2 μm)の極短パルス発生の手法として、三つの方法の実験的検証を行った。a) typeI BBO 結晶における紫外励起非同軸パラメトリック増幅(NOPA)のアイドラ光発生、b) typeI BBO を用いた縮退パラメトリック増幅 c)LiTaO₃ の擬似位相整合(PPSLT; 周期的分極反転 LiTaO₃)による NOPA。a)-c)の方法の中で、b)の方法が最も、この波長領域における極短パルス発生に適していることを見出した。さらに、形状可変鏡およびチャープミラーを用いたパルス圧縮機を新たに開発し、平成 22 年度までに中心波長 1.5 μm (通信波長帯)において、12 fs (光電場の 2-3 周期に匹敵)の極超短パルス光の発生に成功した。さらに、短いパルス幅を目指して改良を続けたが、この方法(type IBBO を用いた広帯域 OPA)では、今後の実験の展開に必要な >10 μJ かつ <10 fs(< 2 サイクル)の赤外パルスを得ることは困難と判断し、別の方法を用いることとした。

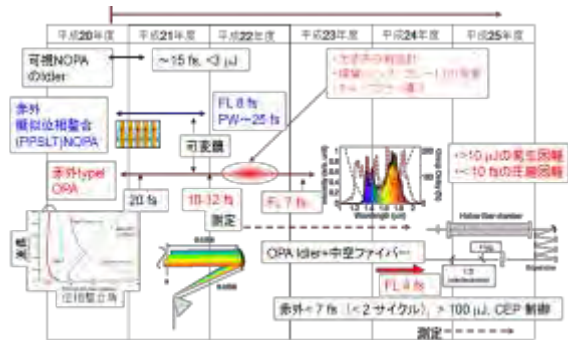


図 4.1-1 本 CREST 計画における赤外短パルス光源開発のロードマップ

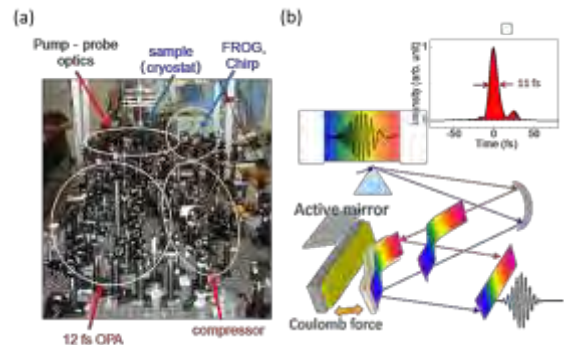


図 4.1-2(a) 作製したパラメトリック増幅器を含む測定工学系。(b) 形状可変鏡を用いたパルス圧縮機と自己相関関数

(b)CEP 安定化したアイドラ光の Kr ファイバーによる広帯域化(7 fs パルス、1.5 サイクル)

< 10 fs (< 2 サイクル)かつ > 50 μJ のパルスを発生させる方法について検討した。今回は特に、光と物質の相互作用の初期過程において、光-電子-格子振動の位相関係を明らかにしたいという目的のために、CEP(キャリアエンベロープ相対位相)を安定化した赤外短パルスの発生が可能な方法として、新たに OPA アイドラ光の中空ファイバーにおける自己位相変調効果を用いることにした。この方法は従来チタンサファイアレーザーの基本波(800 nm)に対して用いられてきたものであるが、今回は、特に CEP 制御した赤外パルスを得ることを目的としたので、CEPを受動的に安定化できる OPA のアイドラ光を励起光として用いた。図 1-3 に示すように、平成 23 年度の計画変更によって新たに導入した高出力チタンサファイア再生増幅器(5mJ /pulse, パルス幅 35 fs, 1kHz)の出力によってパラメトリック増幅器(OPA)を励起し、受動的に CEP 安定化されたアイドラ光を、さらに、Kr ガス中の中空ファイバー(図 1-4)での自己位相変調によってスペクトル広帯域化(1.2~2.3 μm , フーリエ限界パルス幅 7 fs)し、チャープミラー(フェムトレザー社製)で 10 fs 程度まで予備圧縮をしたのち、形状可変鏡を用いたパルス圧縮器によって、7 fs(1.5 サイクル)パルスを得ている。

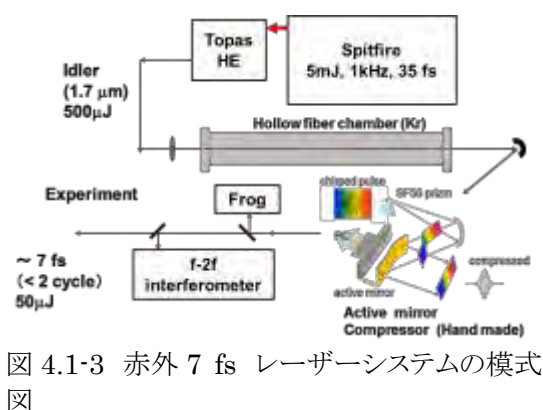


図 4.1-3 赤外 7 fs レーザーシステムの模式図

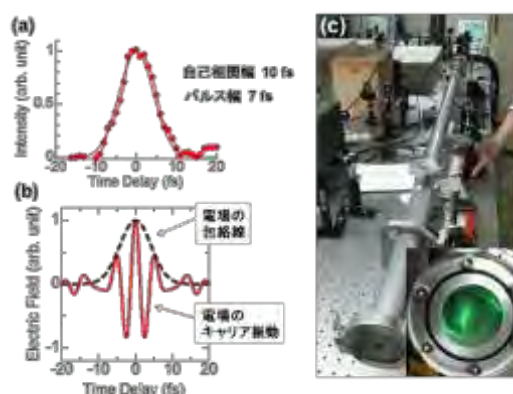


図 4.1-4 (a)自己相関関数と、(b)スペクトルのフーリエ成分として得られる電場波形 (c)Kr 封入中空ファイバーシステムの概観

成果の位置づけや類似研究との比較

(a) Type I BBO を用いた広帯域 OPA (12 fs パルス、2.5 サイクル)

物性研究に使用可能な赤外光 (> 1 μm) 領域の ~10 fs パルスを開発を行っている例は少なく、わずかに、伊ミラノ大の Cerullo グループ、英オックスフォード大の Cavalleri のグループのみである。しかし、測定精度が悪く、強相関電子系において期待された超高速電子/分子振動などを観測するに至っていない。今回我々が開発した 12 fs パルスは、分光応用を想定して開発されたため、安定度やビーム広がりや格段に良く、次項以降で述べる有機物質や遷移金属酸化物において様々な超高速振動現象を初めて見出している。

(b) CEP 安定化したアイドラ光の Kr ファイバーによる赤外 7 fs パルス (1.5 サイクル) 発生と物性測定への応用。

固体の電子応答を、電子のコヒーレント振動によって始まる様子を捉えたことは、まさに、光と(固体)物質の相互作用を実時間で見る事ができる時代が来たことを実感させる。CEP 安定化 1.5 サイクルパルスの物性研究への応用はほかにはない。今後数か月の間に、一連の強相関電子系物質のほか、通常の金属や半導体も含めた系統的な測定を行い、光と物質の相互作用の新しい描像を構築する。

2 電荷秩序絶縁体における光誘起相転移の初期過程の解明

(Phys. Rev. Lett. 105, 246402 (2010))

新たに開発した赤外 12 fs 光源を用いて、強誘電性を示す電荷秩序系有機伝導体 (α -(ET)₂I₃) における光誘起絶縁体-金属転移の初期過程を明らかにした。絶縁体-金属転移に伴う反射率変化の時間プロファイルには、図 4.1-6(a) 上のような実時間振動が観測される。この振動は、周期 18 fs, 22 fs, 40 fs の振動が、次々に現れては消える特徴的な振る舞いを示す。そのウェーブレット解析から得られたスペクトログラム (振動数の時間変化) を図 4.1-6(a) 下に示す。励起直後から、200 fs の間に振動の周波数が高エネルギー (~1800 cm⁻¹) から低エネルギー (~800 cm⁻¹) へと激しく変化する様子が分かる。このスペクトログラムや、そのスペクトルプロファイル (図 4.1-7(b); ある時間で切り出したスペクトル) を、物質開拓グループ、臨界制御グループで得られた定常状態の電

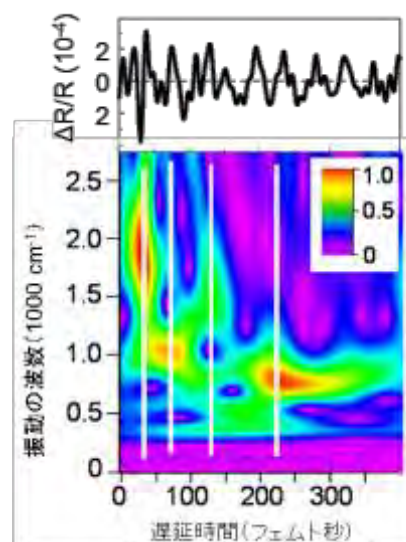


図 4.1-6 反射率変化の振動成分のスペクトログラムと、そのスペクトログラム (振動数の時間変化)

子、振動スペクトルと比較することによって、強相関電子系における電子状態のコヒーレント振動や、その分子振動との相互作用を反映したファノ干渉が、励起後時間差を経て現れる瞬間を世界で初めて明らかにした。振動数の変化から予想される電子振動と分子内振動のようすを図 4.1-7(c)に示す。従来、強相関電子系における絶縁体-金属転移は、元素置換によるキャリアドーピングとのアナロジーから、光キャリアドーピング機構を用いた議論がなされていた。しかし、我々の結果は、光キャリアドーピングという静的な機構ではなく、よりダイナミックな描像(凍結している電子が、まずコヒーレントに揺さぶられることによって、電荷秩序の融解が始まる)が適切であることを示している。光励起直後の、電子の運動を直接捉えたことは、強相関電子系における光応答の研究を新たなフェーズに移行させたと言える。

また、他の電荷秩序系二次元有機伝導体である $(\theta\text{-}(\text{ET})_2\text{RbZn}(\text{SCN})_4)$ における実験も行った。これらの結果から電子相関や、電子格子相互作用が異なる形で働いている様子を実時間領域で捉えることに成功した。

(物質開拓 G、理論(高橋)G、米満 G(腰原チーム))

成果の位置づけや類似研究との比較

強相関電子系におけるこの時間領域の超高速光物性に関しては国内で我々に追従できるグループはない。海外では、ミラノ大、オックスフォード大のグループと競合している。我々の報告(Phys. Rev. Lett.105, 246402(2010))とほぼ同時期(2010年12月)に有機物質の二次元モット絶縁体において励起状態の初期過程に関する報告がなされている(Nature Phys. 7, 114(2011))。

3 ダイマーモット絶縁体における光誘起相転移の開拓

電荷秩序の光融解は、強相関電子系における光誘起相転移のプロトタイプともいえる事例であったが、本項目で扱う、ダイマーモット絶縁体においては、電荷の自由度と、格子やスピン自由度との競合により、伝導性、誘電性、磁性に特徴的な臨界的な振る舞いが現れる。本研究では、物質開拓Gが見出した絶縁体-金属の臨界現象(κ -型 ET 塩)や誘電異常(κ -型、 β 型 ET 塩)に着目して光誘起相転移の探索を行った。ダイマーモット絶縁体は、有機物質を代表する物質相の一つであり、構造的にダイマー内とダイマー間という階層構造を持っているために超伝導、反強磁性、スピン液体、リラクサー-強誘電性など多彩でエキゾチックな物性を示す、光誘起相転移の探索に最適な物質系の一つである。

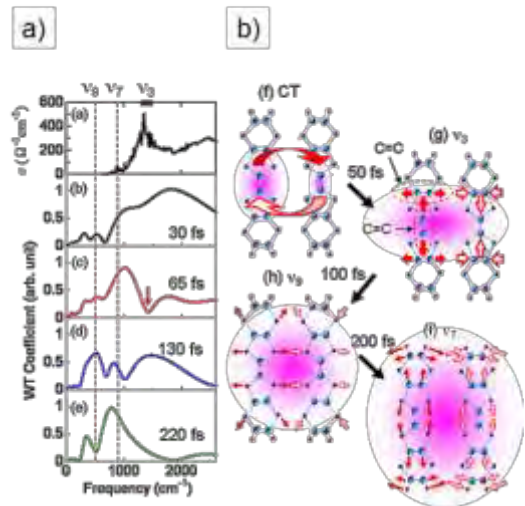


図 4.1-7 (a) スペクトログラムから切り出した 30 fs, 65 fs, 130 fs, 220 fs における過渡スペクトルと、(b)そのスペクトルに対応する電荷と分子振動の状態

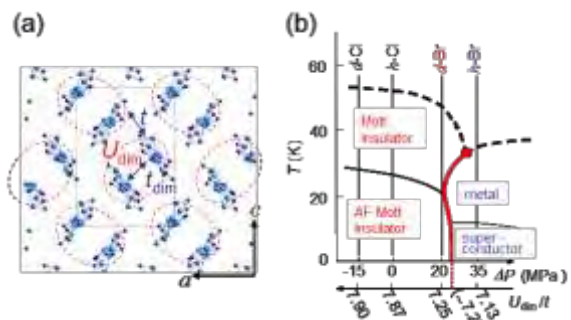


図 4.1-8 (a) κ -型 ET 塩の二次元分子配列の模式図 (b)相図。横軸は、化学圧力と U_{dim}/t

3-a 光誘起絶縁体-金属転移(κ -(*d*-ET)₂Cu₂[N(CN)₂]Br) 高効率な光誘起相転移 (Phys. Rev. Lett., 103, 066403(2009))

ダイマーモット絶縁体である κ -ET 塩は、図 1-8(a)のように ET 分子の二量体上に電荷(正孔)が一つ局在した、ダイマーを 1 サイトとするモット絶縁体である。この物質系の AF(反強磁性)モット絶縁体、金属、超伝導からなる図 4.1-8(b) のような相図上で、 κ -(*d*-ET)₂Cu₂[N(CN)₂]Br(*d*-Br)は金属-絶縁体転移のごく近傍(の絶縁相側)にあり、 κ -(*d*-ET)₂Cu₂[N(CN)₂]Cl(*d*-Cl)は、転移線からやや遠い(*d*は ET 分子の末端のエチレン基が重水素置換してあることを示す)。

図 4.1-9(a)(b) は、0.89 eV の励起光(励起強度 0.1 mJ/cm²)を照射した直後($\tau_a=0.1, 2$ ps, τ_a は、励起光とプローブ光の遅延時間)に観測される、(a) *d*-Br と(b) *d*-Cl の光誘起反射率変化($\Delta R/R$)を示す。励起光エネルギーは、ダイマー内の結合-反結合準位間の遷移エネルギー-高エネルギー側に対応する。

d-Br では、 $\tau_a=1$ ps において、金属状態の生成を反映するドルーデ反射が現れる。光誘起絶縁体-金属転移の効率は、100 分子/光子であり、通常モット絶縁体の例(〜1 サイト/1 光子, Iwai et al., PRL91, 057401(2003))に比べてはるかに(〜百倍)効率が低い。一方、相境界から遠い *d*-Cl では、図 4.1-9(b)のように、金属状態の生成は

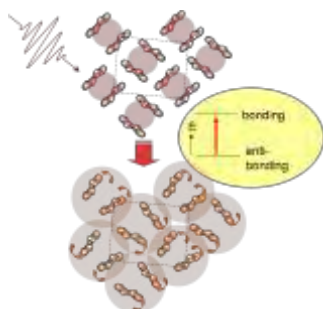


図 4.1-10 *d*-Br における光誘起絶縁体-金属転移も模式図。ダイマーの結合軌道-反結合軌道間の励起により、ダイマーが不安定化し、 t_{dimer} と U_{dimer} が減少する

伴って減少することを考慮すると、光誘起絶縁体-金属転移のメカニズムは、結合-反結合励起によってダイマーが不安定化し、ダイマー内の $t(t_{\text{dimer}})$ と U_{dimer} (U_{dimer}/t) が減少すると考えられる。

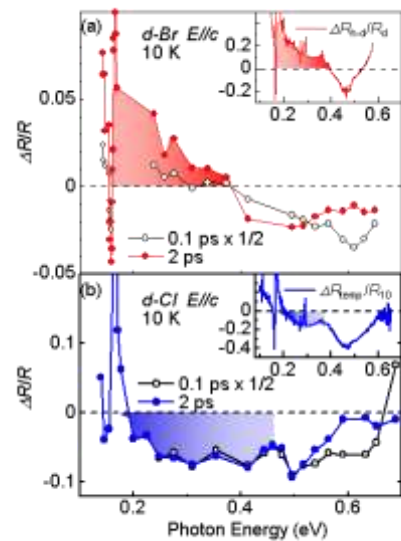


図 4.1-9 *d*-Br(a)と *d*-Cl(b)の差分過渡反射スペクトル. それぞれの枠内の挿入図は、(a) *d*-Br と *h*-Br の差分反射スペクトルと(b) *d*-Br の温度差分(10 Kと 80 K)スペクトル.

観測されない。

構造解析のデータと拡張 Huckel 法を用いた解析によれば、*d*-Br では、金属相への転移に必要な U_{dimer}/t がおよそ 0.5 %であるのに対し、*d*-Cl では 9%に及ぶ。転移を起こすために必要な U_{dimer}/t の変化は、*d*-Br と *d*-Cl では、一桁以上の大きな違いがあることを考慮すれば、我々の結果は容易に理解できる。

絶縁体-金属転移を反映する反射率増加の立ち上がりが 2ps もの時間を要することや、変位励起型の低周波数(< 100 cm⁻¹)コヒーレントフォノンが観測されることから、この系の光誘起相転移は、図 4.1-10 のようなダイマーの分子変位によって起こると考えられる。ダイマーモット系の特徴として、 U_{dimer} は、ダイマー内の $t(t_{\text{dimer}})$ の減少に

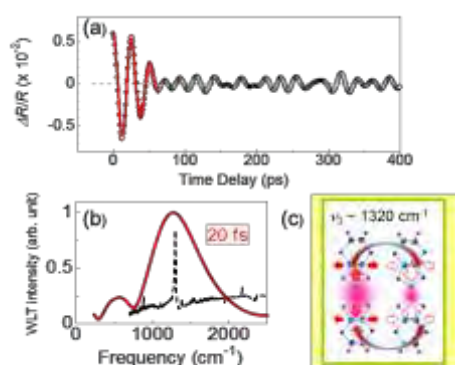


図 4.1-11 (a)12 fs パルスを用いて行った過渡反射の時間発展(0.65 eV)の振動成分 (b)振動成分のフーリエ変換 (赤)、黒点線は、定常赤外スペクトル、(c)C=C 伸縮振動 (ν_3)の模式図

ダイマーモット系における光誘起相転移の機構

次に、ダイマーモット絶縁体における高効率な光誘起相転移の初期過程を赤外 12 fs パルスによって調べた。図 4.1-11(a)(b)は、反射率変化の時間発展から振動成分とそのフーリエ変換であり、点線は赤外吸収スペクトルで観測される C=C 伸縮振動 (ν_3 モード)である。図 4.1-11 の結果は、絶縁体-金属転移による応答 (~ 2 ps)が立ち上がるはるか以前 (< 50 fs)において、周期 25 fs (1300 cm^{-1})の C=C 伸縮振動 (ν_3 モード)が激しく励振されることを示している。この時間軸上の C=C 振動は、わずか 2 周期程度 (~ 50 fs)以内にはほぼ消滅するように見えるが、その後もわずかに揺れ続けている。50 fs 以降も残る振動構造のスペクトログラムを図

4.1-12 に示す。

図 4.1-12(a)(b)はそれぞれ早い時間領域 (< 800 fs)と遅い時間領域 (< 5.5 ps)における振動成分をのウェーブレット変換を示す。励起直後に観測される 1300 cm^{-1} の大振幅の振動成分 (時間原点付近の大きな赤い楕円)が消滅した後、わずかに残った 1300 cm^{-1} の振動の周波数が周期 120 fs (280 cm^{-1})で揺動している。同様に、励起後 100 fs 以内に現れる、~ 700 cm^{-1} の振動成分も、150 cm^{-1} で周波数変調を受けているように見える。より遅い時間領域 (図 4.1-12(b))を見ると、これらの変調周波数に対応するコヒーレント振動が観測されており、さらにその変調周波数として観測される < 100 cm^{-1} のモードが最終的に分子の変位を駆動していると考えられる。低周波数の成分が、周波数変調として観測されることは、高周波振動が振動モード間の相互作用によってほかのモードにエネルギーを受け渡していく過程を反映しているものと考えられる。

この物質では、金属状態ができるまでにほぼ 1ps もの時間を要している。この時間は、電子分極の生成時間や周期 (~ 5 fs)に比べあまりにも長い。本研究によって、その 1 ps の間に、電子分極と相転移を逐次的に結ぶいくつもの分子内振動や格子振動モードが介在することがわかった。

3-b 強誘電クラスターの光成長 □ \square □ \square ET) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ (Phys. Rev. Lett. 110, 106401(2013)) ダイマーモット相と電荷秩序(強誘電)相

ダイマーモット絶縁体 (図 4.1-13(a))と電荷秩序(強誘電) (図 4.1-13(b))は、いずれも、強相関電子系の最も基本的な物質相である。CREST の研究開始以降、物質開拓(佐々木)グループによって、有機三角格子ダイマーモット絶縁体 □-(ET) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ が、リラクサー的な誘電異常を示す

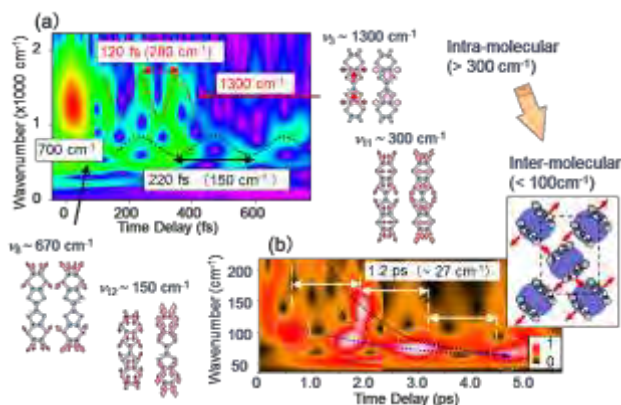


図 4.1-12 4.1-11 に示した振動成分のスペクトログラムと、分子内、分子間振動の振動数と模式図。(a) 早い時間領域 (< 800 fs)、(b) 遅い (< 5.5 ps) 時間領域

ことが明らかにされた。この現象は、低温でダイマー内の電荷の不均化によりダイマー双極子が生じ、その短距離秩序により、分極クラスターが形成されることによると考えられている。このような現象は、理論的には、図 4.1-13 に示すように、 $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ が、ダイマーモット(DM)相と電荷秩序/強誘電(FCO)相の境界近傍にあることから起こり得ると考えられている。我々は、このような複数の秩序相が競合する系において、絶縁体-金属転移のような「秩序の融解」ではない新しいタイプの光誘起電子転移の探索を THz 時間領域分光を用いて行った。この系では、複数の秩序が競合している結果、強固な(巨視的な)秩序には至らず、ソフトで短距離的な相互作用が物性を支配していると考えられるからである。その特徴的なエネルギースケールは典型的には～数 meV であり、THz 分光が有効である。

ダイマー内双極子の集団励起

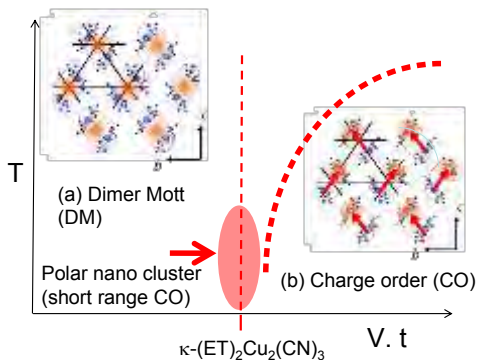


図 4.1-13 ダイマーモット絶縁体の理論相図。横軸は、サイト間のクーロン斥力、または、ダイマー間の移動先分

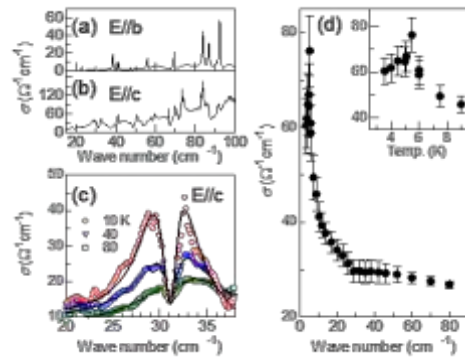


図 4.1-14 $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ の定常光学伝導度スペクトル

図 4.1-14(a)(b)に、THz 時間領域分光によって得られた、 $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ の定常光学伝導度スペクトルを示す。THz 領域のスペクトルは大きな異方性を持ち、E//c のスペクトルは、電子遷移を反映するバックグラウンドと、電子-格子間のファノ干渉が観測される。図 4.1-14(c)に E//c スペクトルの 30 cm^{-1} 付近を拡大したスペクトルを示す。～ 31 cm^{-1} のブロードなピークの強度は、(d) に示すように $< 30\text{ K}$ で急激に増大し、～ 6 K に異常を示す。このような～ 30 K および～ 6 K の異常は、このブロードなピークが、低周波誘電率の測定で観測された、リラクサー的な誘電異常 (Jawad, Sasaki, Terasaki, Hotta et al., PRB82, 125119(2010)) に関係したものであることを示す。このピークの偏光依存性や、理論的な考察 (Naka, Ishihara, JPSJ79, 063707(2010), Hotta, Phys. Rev. B82, 241104(R)(2010)) を考え合わせると、～1THz(30 cm^{-1})のピークはダイマー内の微視的双極子の集団励起によると考えるのが自然である。

光励起による強誘電クラスターの光成長

～1THz(30 cm^{-1})のダイマー双極子の集団励起は、強誘電クラスターのプローブとして有効である。そこで、この電子相関によって形成された強誘電クラスターの光応答を調べるために、近赤外光励起-テラヘルツプローブ分光を行った(励起エネルギー 0.89 eV)。図 4.1-15(a)は、光励起に伴う光学伝導度スペクトルの過渡変化(□□)である。励起直後に観測される□□の形状(図 4.1-15(b)赤太線)は、高温から低温への変化(分極クラスターの生成)を反映する光学伝導度の増加(図

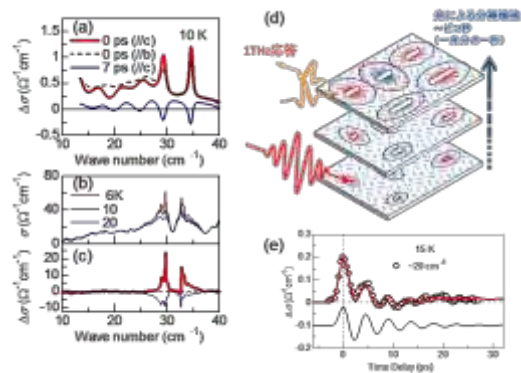


図 4.1-15 (a) 光励起 THz プローブ測定によって得られた光学伝導度の差分($\Delta\sigma$)スペクトル。(b) 1THz のピークの温度依存性とその差分スペクトル。(c)

4.1-15(c)赤太線)によく対応している。(バックグラウンドは、キャリア生成による)。このことは、光励起により分極クラスターの融解ではなく、増殖が起きている事を明確に示している。この分極クラスターの増殖は、ダイマーモット相と電荷秩序相(強誘電相)の境界にある不安定なダイマーモット状態が、光励起によって不安定化し、電荷秩序相へ近づくことによって起こると考えている。

この物質は、スピン液体の候補物質として注目されているが、最近の妹尾 G (JPSJ77,113705 (2009), PRL108, 096402(2012))、石原 G (JPSJ79, 063707(2010), JPSJ82, 023701(2013))の理論的な考察によれば、スピンの秩序と電荷の秩序が互いに強く影響を及ぼしあっている可能性が示唆されている。このことを考慮すれば、光励起直後に、電子系に与えられたエネルギーが、一時的にスピン系に受け渡されることによって(スピン系のエントロピーが増大することによって)電子の有効温度が減少している可能性が考えられる。

□-(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃における光誘起相転移の赤外 12 fs 分光

次に、□-(ET)₂Cu₂(CN)₃におけるダイマーモット相中の分極クラスターが成長する初期過程について赤外 12fs 分光の結果から考察する。図 4.1-16の(a)は0.84 eVにおいて観測される反射率変化の時間発展、図 4.1-16(b)は(a)に含まれる振動成分を示す。この振動成分のスペクトル(図 4.1-17(c))は、図 4.1-17(a)は定常状態における光学伝導度スペクトル(佐々木 G)のうち、

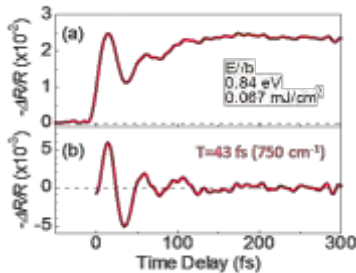


図 4.1-16 κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃における反射率変化の時間発展(a)、とその時間発展(b)。定常光学伝導度(c)と振動成分のウェーブレット変換から切り出した時間分解スペクトル

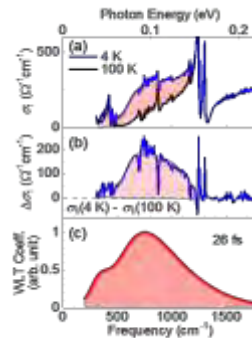


図 4.1-17 κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃における反射率変化の時間発展(a)、とその時間発展(b)。定常光学伝導度(c)と振動成分のウェーブレット変換から切り出した時間分解スペクトル

低温で成長する成分、すなわち、ダイマー内双極子に関係した成分のスペクトル (b)に酷似している。これらの結果から、分極クラスターの成長は、光によって励起された電荷のダイマー内でコヒーレントな振動から始まると考えられる。

成果の位置づけや類似研究との比較

電子(強)誘電体の研究は、マルチフェロイクスに代わる強相関電子系の新しい機能として注目されている。対称性の低下が大きな格子変位を伴わないために、高速な外場による変調が可能になる。低周波誘電率による誘電率測定の研究が行われているが(Monceau et al, PRL86, 4080 (2001), Ikeda, et al, Nature, 436, 1136 (2005), Lunkenheimer, Loidl, Lang et al., Nature Mat. 11, 755 (2012), Jawad, Sasaki et al., PRB 82, 125119 (2010).など)電子誘電体の特徴である高速な応答を捉えるために、THz測定や12 fsパルスを用いた光測定が有力な武器となる。電子誘電体に対する光、THz測定は、独シュトゥットガルト大の Dressel グループ、ローマ大 Calvani グループ、韓国 Chung-Aung 大、ほかによって行われているが専ら、分子振動、格子振動に注目しており電子応答に関するものはない。また、光誘起相転移の研究としては、電子強誘電体の融解が、有機伝導体(α-(ET)₂I₃)などを対象に行われているが、本研究で初めて見出された、ダイマーモット絶縁体における強誘電クラスターの生成はこれまでに例がなく、ある秩序から別の秩序をつくる事例として今後の展開(巨視的な)強誘電秩序の形成への展開が期待できる。

4 遷移金属酸化物における光誘起スピン、磁気転移

4-a) スピン転移(低スピン→高スピン転移)を示すコバルト酸化物 LaCoO_3 、

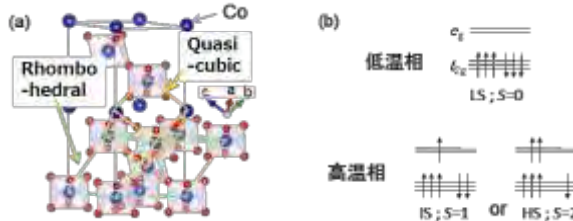


図 4.1-21 (a) LaCoO_3 の結晶構造. (b) $\text{Co}3d$ 軌道の電子配置も模式図。

ペロブスカイト型コバルト酸化物 LaCoO_3 (図 4.1-21(a)) は、スピントロニクス(SC)を起こすコバルト酸化物の中でも最も基本的なものの一つである。 $S=0$ から $S=1$ あるいは $S=2$ への SC ($T_{\text{spin}} \sim 100 \text{ K}$) と絶縁体-金属クロスオーバー ($T_{\text{IM}} \sim 540 \text{ K}$) を異なる温度で示す。この物質の SC は、図 4.1-21(b) に示すように、 $S=0$ (低スピン) の低温相から $S=1$ (中間スピン) または $S=2$ (高スピン) 状態へ転移する。図 4.1-22

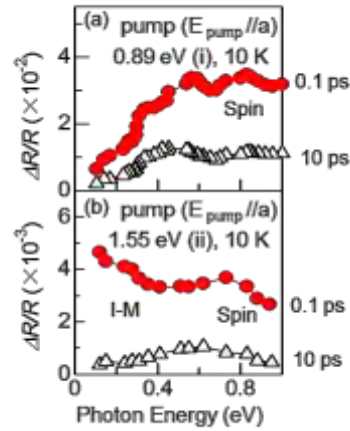


図 4.1-22 (a) 0.89 eV および (b) 1.55 eV の励起光照射後に観測される過渡反射スペクトル

は、(a) 0.89 eV および (b) 1.55 eV の励起光照射後に観測される過渡反射スペクトルを示す。いずれの励起エネルギーにおいても、中赤外光領域の反射は、励起後瞬時の増大する。しかし、そのスペクトル形状は大きく異なり、図 4.1-22(a) では、 0.8 eV にブロードなピークを持ち、低エネルギー側に向かって緩やかに減少しているのに対し、図 4.1-22(b) 1.55 eV 励起の場合は、 0.8 eV のブロードなピークに加え、より低エネルギー側の反射率の増大が大きい。これらの過渡反射スペクトルの形状を温度転移のスペクトル変化と比較することにより、高エネルギー側の 1.55 eV 励起の場合

は、光スピン転移と光金属化が同時に起こり、低エネルギー側の 0.89 eV を励起した場合は光スピン転移が選択的に、しかも $1000\text{Co}/1$ 光子にも及ぶ極めて高い効率で起こることがわかった。

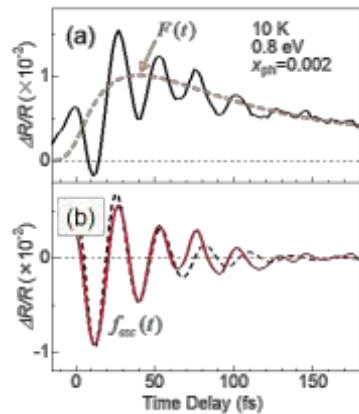


図 4.1-23 (a) 反射率変化の時間発展、(b) 振動成分 励起光中心エネルギー 0.8 eV 、プローブエネルギー 0.8 eV

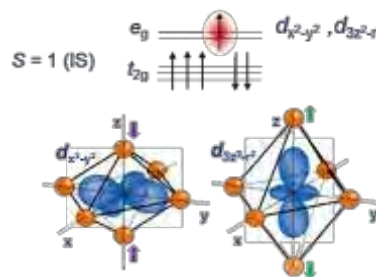


図 4.1-24 $S=1$ 状態と Jahn Teller 歪の模式図。 e_g 軌道が一つの電子で占有された $S=1$ 状態は、Jahn Teller 歪に対して不安定性をもつ

この値は、スピントロニクス錯体や類似のコバルト酸化物 (RCoO_2 , $\text{La}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_4$) などにおける転移効率の約 1000 倍にも相当する。図 4.1-23 (a) は反射率変化の時間発展、図 4.1-23 (b) はその高周波振動成分を示す。光励起直後、スピン転移による信号は、およそ 30 fs 程

度という極めて早い時間内に立ち上がる。

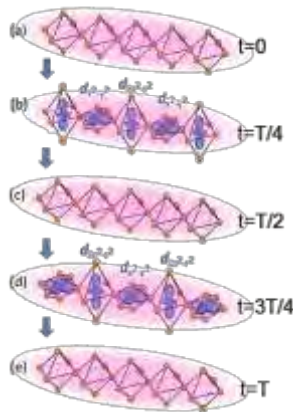


図 4.1-25 dx^2-y^2 軌道と $d_{3z^2-x^2}$ 軌道が交互に並んだ $S=1$ 軌道秩序クラスターの模式図。一周期(a~e)の間に同じエネルギーの状態を 2 回(例えば b と d)経由するので、Jahn Teller モードの倍音が観測される。

注目すべきことは、その立ち上がり時間とほぼ等しい周期 ~ 30 fs の顕著な振動構造(~ 1100 cm^{-1})が観測されることである。この振動数は、ラマン散乱で観測されるペロブスカイト構造のヤーンテラー(JT)モード(550 cm^{-1})の倍音に対応する(Ishikawa, Sugai et al. PRL93, 136401(2004))。JT モードは、 e_g 軌道に電子が一つ占有された $S=1$ と強く相互作用すること(図 4.1-24)を考慮するならば、光スピン転移の終状態は、 $S=1$ と考えられる。また、1 光子あたり 1000 サイトというスピン転移の効率は、ナノメートルサイズ程度の磁気クラスターの生成を意味するが、そのことは、(弾性エネルギーの損失を避けるために) JT 歪が協力的に起きること、すなわち、 $d_{x^2-y^2}$ と $d_{3z^2-x^2}$ が今後に並んでいる $S=1$ 軌道秩序クラスター(図 4.1-25)ができていていることを示している。協力的な JT モードは、一周期(a~e)の間に同じエネルギーの状態を 2 回(例えば(b)と(d))経由するので、電子状態を介してみる JT モードは、基音でなく倍音のみを観測することになる。こ

の物質では、高温相が $S=1$ なのか $S=2$ なのか現在でも明らかではないにもかかわらず、光誘起スピン転移の終状態が、(JT モードの寄与を通して)光誘起 $S=1$ の存在が示せた稀なケースである。また、高効率なスピン転移は、ペロブスカイト構造の JT 歪みとサイト間の電荷移動の両方を主要な機構とすることで実現されると考えられる。更に、我々は THz 領域($15-20$ meV)に、 $e_g \rightarrow t_{2g}$ 軌道秩序間の励起を初めて見出した。またこの軌道励起をプローブとして光スピン転移を確認した。このような軌道励起の観測は、今後高強度 THz 光の励起によって、スピン転移を起こせる可能性がある。

4-(b) 磁気転移(強磁性-反強磁性)を示す電荷秩序誘電体 $LuFe_2O_4$ における光誘起相転移

$Fe-O$ 二重層と $Lu-O$ の層からなる $LuFe_2O_4$ (図 4.1-26(a))は、 500 K 以下で 2D($Fe-O$ 面内)、 320 K 以下で 3D(面間)電荷秩序を示す。3D 電荷秩序相は、誘電異常を示すことから、強誘電性の可能性が議論され、常磁性-強磁性(FM)-反強磁性(AFM)転移(~ 150 K)を示すマルチ

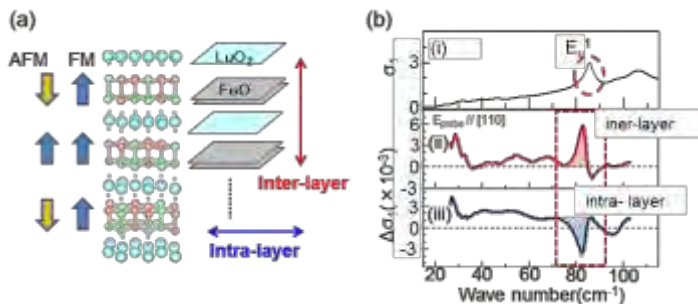


図 4.1-26 (a) $LuFe_2O_4$ の結晶構造、(b) (i) THz 光領域の光学電導度スペクトル(面内偏光)、(ii)(iii) 光励起直後の光学電導度の変化($\Delta\sigma$)。 (ii)面間方向の励起、(iii)面内方向の励起

フェロイック物質とも考えられている(Ikeda et al., Nature 436, 1136(2005))。我々は、 ~ 80 cm^{-1} の Eu^{1+} モード格子振動(図 1-26(b)(i); $Fe-O$ 面の面間方向振動)のスペクトル強度が FM-AFM 転移に敏感に変化する(FM(高温) \rightarrow AFM(低温)で増加)ことを新たに見出した。この

ことは、 $Fe-O$ 面の面内方向の変位と面間のスピン間の配列(図 4.1-26(a))が強く結合していること

を示している。

次に、この $\sim 80\text{ cm}^{-1}$ の E_u^1 ピークをプローブとして、光誘起相転移を探索した。150K において1.55 eV の励起光(面間偏光; $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ の電荷移動励起に対応)を照射すると、図 4.1-26(b)(ii)

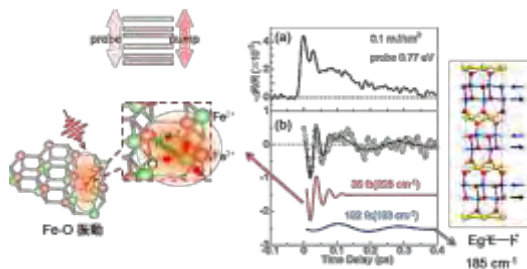


図 4.1-27 (a)赤外 12 fs 分光によって得られた反射率変化(励起、プローブの偏光は、いずれも面間方向)、(b) 振動成分、いずれもプローブは面内方向。

ると考えられる高周波振動(925 cm^{-1})が見られ、その減衰に伴って、低周波(182 cm^{-1})の面間 E_g 振動が現れる。この面間振動は、磁気転移に関係していると考えられる。これらのことから、 $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ の電荷移動は、 Fe-O の高周波振動と低周波の面間振動を介して磁気転移を誘発すると考えられる。

赤外 12 fs 分光で見た光誘起相転移の初期過程；

図 4.1-28 は、赤外 12 fs パルスを用いて測定したいろいろな光誘起相転移の初期過程において観測される高周波振動をまとめたものである。いずれの振動も、その相転移に本質的に関係した電子や分子/格子の時間軸振動であり、しかも、その振動は、わずか 1~2 周期(時間にしてわずか 100 fs~200fs)以内に消滅する。このことは、これらの振動が、まず光電場によって励振される電子や格子のコヒーレントな運動が、相転移のきっかけを作っていることを示している。100-200 fs という超高速時間領域で完了する振動の消滅は、コヒーレント振動が相転移の主な駆動力になっていることを反映しているとも言える。通常の半導体におけるコヒーレントフォノンが数~数十ピコ秒も持続するのは大きく異なる。

のように E_u^1 ピークの強度は増大を示している。従って、面間励起によって強磁性から反強磁性相へ、つまり高温側から低温側への光誘起磁気転移が起きていると考えられる。一方、面内励起では、 E_u^1 ピーク強度は現象している(図 4.1-26(b)(iii))おり、高温側へ磁性は移行していることが示唆される。

このような光誘起 $\text{FM}\rightarrow\text{AFM}$ 転移の初期過程を赤外 12 fs 分光により調べた。図 4.1-27 に示すように電荷移動励起の直後 100 fs 以内には、 Fe-O の伸縮振動による

このような光誘起 $\text{FM}\rightarrow\text{AFM}$ 転移の初期過程を赤外 12 fs 分光により調べた。図 4.1-27 に示すように電荷移動励起の直後 100 fs 以内には、 Fe-O の伸縮振動による

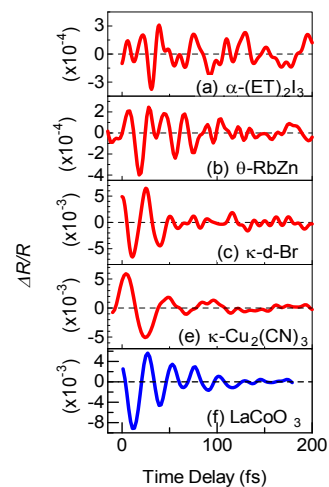
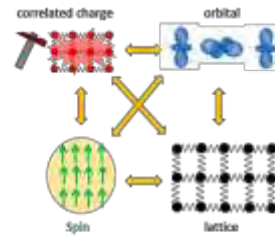


図 4.1-28 いろいろな物質における反射率変化の振動成分 (a) $\alpha\text{-(ET)}_2\text{I}_3$ (電荷秩序絶縁体; 絶縁体-金属転移)、(b) $\theta\text{-(ET)}_2\text{RbZn(SCN)}_4$ (同上)、(c) $\kappa\text{-(d-ET)}_2\text{Cu[N(CN)}_2\text{]Br}$ (ダイマーモット絶縁体; 絶縁体-金属転移)、(d) $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2\text{(CN)}_3$ (ダイマーモット絶縁体; 強誘電クラスター成長)、(e) LaCoO_3 (高効率スピン転移)、(f) LuFe_2O_4 (強磁性-反強磁性転移)

時間分解が解く多自由度系の複雑さ

図 4.1-29 は、本研究で対象としたいくつかの物質における光誘起相転移の機構として、電荷、格子、スピン、軌道それぞれの自由度の間の相関を表した模式図である。例えば、電荷秩序絶縁体 α -(ET)₂I₃ において観測される電荷秩序の融解の初期過程は、電子のコヒーレント振動に反映されるように、純電子的なものに近い。ダイマーモット絶縁体 κ -(d-ET)₂Cu[N(CN)₂]Br における光誘起絶縁体-金属転移は、電荷のみでなく格子の変位(分子の変位によってダイマーが不安定化する)ことによる効果が加わる。一方、もう一つのダイマーモット絶縁体 κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃ では、電荷とスピンの相互作用によって、電荷に与えられたエネルギーをスピンが一時的に肩代わりすることによって電子温度が低下している可能性が示唆される。コバルト酸化物では、さらに電荷、スピン、格子、軌道が互いに協力し合って、相転移が促進される。



- ・電荷秩序 α -(ET)₂I₃, θ -(ET)₂RbZn(SCN)₄ → 電荷
- ・ダイマーモット κ -(d-ET)₂Cu[N(CN)₂]Br → 電荷 + 格子
- ・ダイマーモット κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃ → 電荷 + スピン
- ・コバルト酸化物 (LaCoO₃) → 電荷 + 格子 + 軌道 + スピン

図 4.1-29 本研究で対象としたいくつかの物質における光誘起相転移の機構

多くの強相関電子系物質の電子状態に直接アクセスできる赤外光領域の光が、10 フェムト秒あるいはそれ以下という領域に到達したことによって、光が電荷を励起した後、どのように自由度間の相互作用を経て相転移に至るのか、初期過程の一端がようやく見えてきたと言える。

4.2 物質開拓(佐々木)グループ

○研究実施の方法と内容

物質開拓グループは、先端光計測グループ(研究代表者)および臨界制御グループ(研究分担者)における光誘起相転移実験で必要とする物質の合成、提供および候補物質の探索が研究目的である。光誘起相転移物質の探索指針としては、定常状態で外部パラメータ(圧力、分子置換、乱れ)により電子相転移が制御でき、その相転移が発現する相境界に近い物質を探索した。このような物質探索と合わせて、研究代表者グループによる光誘起・高速分光測定のために提供試料の基礎物性・光学測定、試料提供、基礎的データ提供などの支援を行った。本課題の実施により主として 3 つの物質系において光誘起相転移候補物質群を見出し、先端光計測・臨界制御グループに提供するとともに各物質群の基礎物性解明を行った。当初は遷移金属酸化物などの無機物質系の探索研究も行う予定であったが、研究の進展と中間評価の結果などを踏まえて、研究途中において対象物質を分子性物質に集中し、無機物質系に関しては本 CREST グループ外(コバルト酸化物;東大新領域 有馬グループ、鉄酸化物;岡山大 池田グループ)から共同研究として試料の提供を受け、本グループでは試料の調整と基礎物性評価のみを行い、研究代表者グループに提供するように計画の変更を行った。

○研究成果と位置付け

本研究分担者グループの成果は以下にあげる 3 項目に集約される。1) 分子性ダイマーモット絶縁体の乱れを含む物質パラメータ変調によるモット転移近傍の電子状態制御、2) 3 角格子系スピン液体分子性ダイマーモット絶縁体の分子ダイマー内電荷不均一化と特異な誘電応答、3) 4 角格子系反強磁性分子性ダイマーモット絶縁体のスピン・電荷相関。

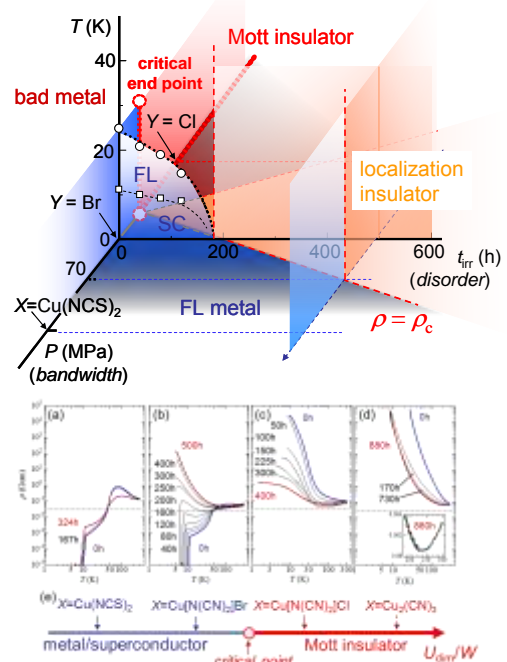


図 4.2-1 κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Y の乱れを含む電子相図 [論文 2-13]

1) 分子性ダイマーモット絶縁体の乱れを含む物質パラメータ変調によるモット転移近傍の電子状態制御

分子性物質の特徴として、やわらかい分子格子を有することからバンド幅を容易に圧力や分子置換などにより制御できるため典型的なバンド幅制御型金属 - モット絶縁体転移が生じる。本課題においては、モット転移近傍のバンド幅制御を外部からの圧力印加による物理的圧力ではなく、分子置換による化学的圧力印加により行った。これは、光学測定、特に光照射高速分光などの実験において物理的圧力印加に必要な圧力媒体や圧力セルの光学窓は、光学実験の実施に大きな制約を与えるためである。本課題では、BEDT-TTF 分子末端のエチレン基を重水素置換した重水素化 BEDT-TTF (*d*-BEDT-TTF)と水素化 BEDT-TTF (*h*-BEDT-TTF)による κ -[(*d*-BEDT-TTF)_x(*h*-BEDT-TTF)_{1-x}]₂Cu[N(CN)₂]Br の混晶単結晶を作製した。置換量を $x = 0 \sim 1$ の範囲で調整することで、超伝導体($x = 0$)からモット絶縁体($x = 1$)まで変化させることができる。この中で、重水素置体の $x=1$ の状態は、モット絶縁体 - 金属転移の転移点近傍にあり、光照射などの外部刺激による状態の変化が激しく表れると期待できる。この試料を先端光計測グループに提供し、効率的な光誘起モット転移の実現に寄与した。

2) 3角格子系スピン液体分子性ダイマーモット絶縁体の分子ダイマー内電荷不均一化と特異な誘電応答

本研究では、量子スピン液体物質として研究[論文 2-1]が進んでいる κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の電荷自由度に着目し、その低周波誘電応答、赤外光学反射スペクトル測定などから、分子ダイマー構造が本質的に内包していると考えられるダイマー内電荷自由度と分子間クーロン相互作用により低温約 50K 以下で量子的にゆらいだ電荷ダイポールが形成され、格子変位や構造転移を伴わない特異な誘電性を示すことを明らかにした。このような格子変位を伴わず電荷自由度のみに寄る誘電応答性を示す物質では、その局所的電子誘電性が非局所的コレクティブモードへの発展過程をテラヘルツ・超高速分光により明らかにできる可能性があり先端光計測、臨界制御グループに試料提供を行い高速ポンププローブ分光、テラヘルツ分光、低周波数ラマン分光を行った。

図 4.2-2 は、 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の層間方向の低周波数誘電率の温度依存性である。キュリー的な温度依存性と共に大きな周波数分散が見られる。この誘電率の温度依存性・周波数依存性の解析からは、分子ダイマー上に数%程度のゆらいだ電荷不均一が生じ

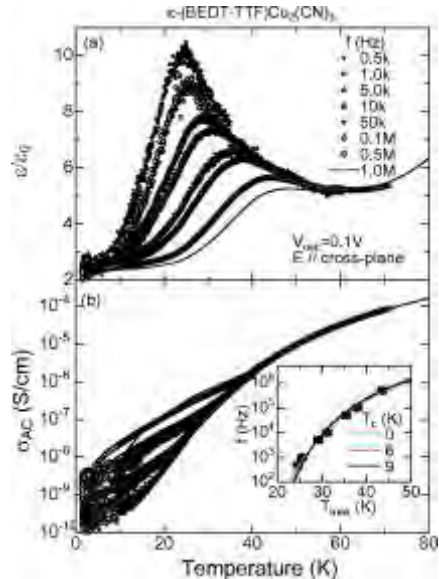


図 4.2-2 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の低周波誘電率に見られる異常なリラクサー的誘電分散[論文 2-6]

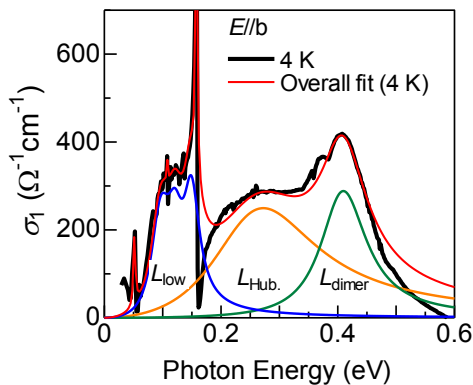
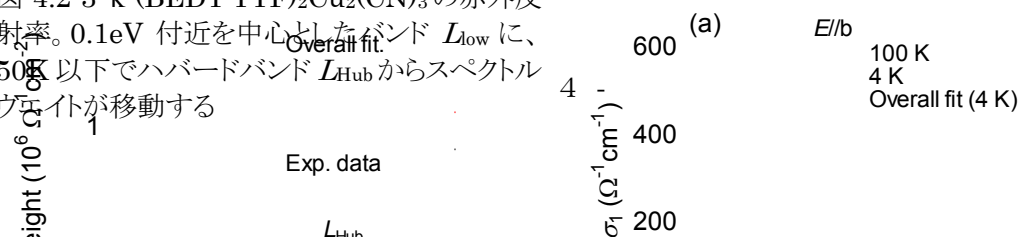


図 4.2-3 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の赤外反射率。0.1eV 付近を中心としたバンド L_{low} に、50K 以下でハバードバンド L_{Hub} からスペクトルウェイトが移動する

ダイマー内 2 分子間を長さとする電荷ダイポールが存在することで実験結果を良く説明できることが明らかになった。このことは、低温になるにつれて極性をそろえたドメインが徐々に大きくなっていることを示唆している。このような振舞いは、リラクサー強誘電体に見られる誘電分散に似ている。このような誘電率の振舞いの起源として、分子間・ダイマー間クーロン相互作用と熱・量子的な電荷ゆらぎにより生じる電子的なダイマーダイポール揺らぎの描像が理論提案されている。示唆されるような電荷揺らぎが



ダイマー上に存在している場合、この物質で見いだされているスピン液体とは密接な関係があると考えられ、未解明となっているスピン液体の起源解明に対しても重要な成果である。

この物質の定常赤外スペクトルにはモット絶縁体であるにも関わらず電荷ギャップが明瞭には観測されずスピン液体状態との関連が示唆されていた。本研究での詳細な定常赤外スペクトル測定の結果、本来、電荷ギャップが開く 0.1 eV 以下にハバードバンド(~ 0.25 eV)からのスペクトルウエイトの移動による幅広なバンドが観測された。(図 4.2-3) [論文投稿準備中] この起源として、分子間クーロン相互作用 V による電荷(秩序)ゆらぎによる励起が考えられる。この励起は電荷秩序相転移近傍でおよそ V のエネルギーに顕著に表れることが他の電荷秩序絶縁体での赤外反射スペクトル測定で観測され、理論計算によっても示唆されている。このことはダイマーモット系におけるダイマー内電荷自由度によるダイポール形成と電荷秩序状態との相関を強く示唆する結果である。また、 \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$] Y の高温においても同様な幅広バンドが~ 0.1 eV 付近に存在するが、このバンドのスペクトルウエイトは低温になると $Y=Br$ の超伝導体ではドルーデ応答に、 $Y=Cl$ のモット絶縁体では電荷ギャップが開いてハバードバンドへそれぞれ移動する。このエネルギー域は、BEDT-TTF 分子からのスモールポーラロンの結合エネルギーにも相当している。このため高温で現れるウエイトはダイマー上の熱的なポーラロン励起であり、低温ではそれぞれの基底状態に対応するようにスペクトルウエイトは移動する。一方 \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ では分子間クーロン相互作用に補助された量子的なダイマー内の電荷ゆらぎによってこのエネルギーでの励起が現れているものと考えられる。

以上のようなダイマーモット絶縁体物質に残存するダイマー内電荷自由度の存在を発見できたことにより、研究代表者グループによるテラヘル分光による新たな電荷ダイポールの素励起状態の発見につながった。

3) 4 角格子系反強磁性分子性ダイマーモット絶縁体のスピン・電荷相関

分子ダイマー内電荷自由度に関する物質探索において、フラストレーションの観点から、これまでの三角格子系物質に対する比較対象として四角格子系ダイマーモット絶縁体 \square '-(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ の電荷状態研究を行った。その結果、スピン自由度と結合した新しい電荷ダイナミクスの発現と凍結を示す誘電異常、分極状態を見出した。[論文 2-16]

\square '-(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ は、常圧では 22K で反強磁性長距離秩序を示すダイマーモット絶縁体であり、高圧力下では BEDT-TTF 系有機導体で最高の超伝導転移温度を示す物質である。 \square -(BEDT-TTF) $_2$ X が持つ三角格子ダイマー構造とは異なり、四角格子ダイマー構造を持っている。このためスピンフラストレーションが小さく、低温で反強磁性モット絶縁体化する。本研究によって 4 角格子系においても、高温では電子間斥力とスピン間交換相互作用の拮抗により、電荷とスピン自由度が結合したフラストレーションが生じ、リラクサー的な周波数分散を示す誘電異常が発生することを発見した。また、低温モット絶縁体相においては、強電場印加により強制的に生じる電荷不均一状態を冷却、凍結することで強誘電的分極状態を固定化できることを示した。また、この電荷自由度の凍結、固定には、スピン系秩序(反強磁性長距離秩序)が重要であり、明らかな電荷・スピン自由度の結合があることが判明した。この物質は、研究代表者による先端光計測、分担者による臨界制御グループに提供され、電場印加下における光誘起状態とそのダイナミクス研究が行われている。

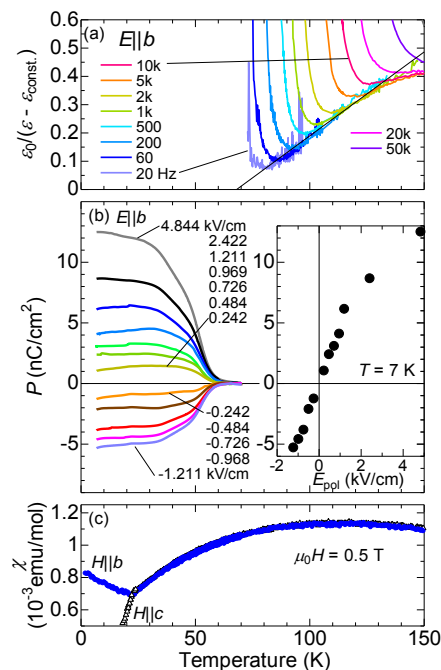


図 4.2-4 β' -(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ の低周波誘電率(上段)、分極(中段)、静帯磁率(下段) [論文 2-16]

4.3 臨界制御(岸田)グループ

○研究実施の方法と内容

臨界制御グループは、光誘起相転移物質やその候補物質、関連物質についてその外場効果を明らかにし、光誘起相転移近傍の臨界状態の理解に基づき、先端光計測グループとの協力により臨界状態における光誘起相転移現象の発現をめざし研究を行った。対象とした物質群は、主に、物質開拓グループから提供を受けた強相関電子系物質、あるいは当グループにおいて作製した有機錯体である。

光誘起相転移を示す物質群における電場印加状態における光学応答の研究を行った。主に静電場印加状態におけるラマン分光測定を行い、電子状態や振動状態の詳細な研究から電場による状態変化を明らかにした。

本課題の実施により得られた主要な成果は次の通りである。

- (1) 二次元電荷秩序物質 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ における外部電場印加状態における電子状態の解明と非線形伝導特性の光学的解明
- (2) 三角格子系スピン液体分子性モット絶縁体 \square -(BEDT-TTF) $_2$ X における磁気励起状態と振動励起状態の解明
- (3) ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ における電場誘起電荷不均化状態の実現

外場効果について、圧力効果や磁場効果についても当初検討し、一部着手していたが、研究の過程においてより効率的かつ明確に臨界状態が実現できる電場効果に注力して研究を行った。

このほかにも有機系の電荷移動物質における電場効果の実験を行い、臨界状態の探索を行った。さらに酸化物系物質などの強相関電子系材料について、物質開拓グループと相補的となるような基礎的な光学応答に関する測定(主にラマン散乱測定)を行い、先端光計測グループにおける光誘起相転移現象解明の一助とした。

○研究成果と位置付け

- (1) 二次元電荷秩序物質 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ における外部電場印加状態における電子状態の解明と非線形伝導特性の光学的解明 (Phys. Rev. Lett. **111** (19), 197801 (2013))

α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ について、電場印加における相転移とその各々の状態についての電子状態を光学的に明らかにすることを目的に研究を行った。またこの相転移に伴う非線形伝導特性と相転移の関係を明らかにすることも目的とした。顕微ラマン散乱測定により、ラマン散乱スペクトルの温度変化と電場強度依存性を測定した。この系においては、低温相(<135K)において電荷秩序状態を示すことが知られている。一方、高温相では金属状態あるいは高伝導状態を示すことが知られている。これらの状態において、1500cm $^{-1}$ を中心とする幅広い信号が観測された。励起波長を変えて測定することによりラマン散乱に起因することを確認した。さらに吸収スペクトルとの対応から電荷励起による信号であることが示された。

低温相と高温相では、この電荷励起によるラマン散乱強度が異なり、さらに低波数領域(<700cm $^{-1}$)の振る舞いが異なる。これらのことからラマン散乱スペクトルが伝導状態のプロープとなることが示唆された。このように、この系において電子ラマン散乱分光法がきわめて有効であることが示唆された。これまで、BEDT-TTF 錯体において電子状態の電子ラマン散乱による研究例はほぼ皆無であり、新たなプローブ手法を提案したことになる。

次に、この手法を用いて、電子ラマン散乱のマッピング測定を行った。電子ラマン散乱スペクトル

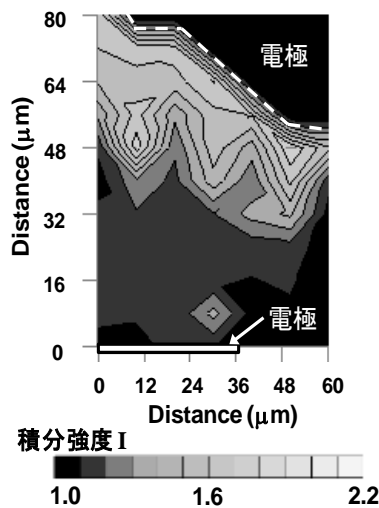


図 4.3-1 電子ラマン強度のマッピング測定結果

から見積もった、低抵抗状態への変化の割合の場所依存性を図 4.3-1 に示す。電流路が不均一に形成していることがわかる。電流密度を上げて均一な伝導状態は得られなかった。このような不均一な電流路の形成は他の有機非線形伝導物質である K-TCNQ(Kishida *et al.*, APEX 2011)とは明らかに異なる。

さらに非線形伝導状態におけるスペクトルの詳細な解析を行った。電荷励起に対応した電子ラマン信号と振動モードの Fano 干渉が明らかになった。この干渉の強さが電荷励起振動モードの結合の強度を表すが、転移点より低温領域においてすでに結合が弱くなっていることを明らかにした。

また、カウンターイオンである I_3 分子の振動モードについて詳細に検討した。その結果、電流注入で非線形伝導状態が実現していても、 I_3 モードは低温相のスペクトルとほぼ同じであることが明らかになった。このことは、電流注入により BEDT-TTF 層内の電子状態は変化しても、 I_3 は低温相における状態からほとんど変化していないことを示している。この結果は、結晶全体の温度変化によって非線形伝導が生じているのではなく、BEDT-TTF 層内に限定された状態変化により非線形伝導状態が形成していることを強く示唆している。このように、この物質においては BEDT-TTF 層の電子状態のみが電場によって臨界状態となっていることを明らかにした。

(2) 三角格子系スピン液体分子性モット絶縁体 \square -(BEDT-TTF) $_2$ X における磁気励起状態と振動励起状態の解明

\square -(BEDT-TTF) $_2$ X においては、BEDT-TTF 分子がダイマーを形成し、そのダイマーを基本ユニットとみなすと三角格子を形成している。本研究では $X=\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ (以下、 \square -(CN) $_3$) と略記) および $X=\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ (以下、 κ -Cl と略記) について、物質開拓グループから試料の提供を受け、ラマン散乱スペクトル測定を行った。800 cm^{-1} よりも低波数の領域において、幅の広いラマン散乱信号が観測された。偏光依存性の測定の結果、直交偏光配置において、二つの物質においてスペクトル形状の違いが顕著であることが分かった。 \square -(CN) $_3$ では、低温において三角格子に起因したスピンプラストレーション機構が働き、長距離秩序状態を示さないスピン液体状態が実現していると提唱されている。この物質においては、800 cm^{-1} から低波数に向けてラマン散乱強度が増大した。一方、低温において反強磁性的秩序を示す κ -Cl においては、500-600 cm^{-1} に最大値を有するピーク構造を示した。これらのスペクトル形状は、磁気秩序の違いを反映したものであることが、京都大学遠山貴己教授の理論計算との整合性から示された。(共同研究成果(共著論文)として投稿中)。その理論計算によると、これらのラマン信号の直接的な起源は 2-マグノンによる信号である。一般に、マグノンによるラマン散乱信号は交換相互作用やマグノンバンドの分散関係を反映する。 \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ において観測されたラマン信号の重心位置の低波数化はスピンのプラストレーション効果によるものと考えられる。すなわち、磁気状態に対して光学応答が敏感に変化することを示している。一方、物質開拓グループが本物質において見出した電荷自由度に起因した誘電異常との関係は現時点では明らかではない。しかし、電荷秩序によりスピン間の相互作用が影響を受けスピンプラストレーション状態も変化する可能性がある。電場により電荷秩序状態が変化し、さらにスピン状態が変化すれば磁気的な励起に関係した光学応答も変化することが期待される。このように、本系においては、電場印加状態において磁気的な光学応答の制御など新奇な現象の可能性が期待される。

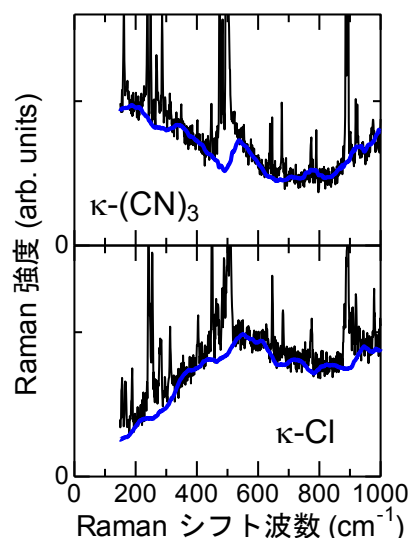


図 4.3-2 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ (上図) および κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Cl (下図) のラマン散乱スペクトル (青実線は振動構造以外の成分)

(3) ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における電場誘起電荷不均化状態の実現

ダイマーモット絶縁体である β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における電場印加による電子状態の変化をラマン分光法を用いて研究した。本物質は物質開拓グループにより既に焦電性を示すことが報告されている。焦電性のミクロスコピックな起源と電子状態を明らかにし、臨界状態の実現を目指すことが目的である。

電荷状態を明らかにするために、価数に敏感な C=C 伸縮モードである BEDT-TTF 分子の \square_2 モードに着目し、ラマン散乱の温度変化の測定を行った。低温までピークの分裂は観測されなかった。このピーク波数から経験式に基づき価数を求めた。その結果、BEDT-TTF 分子はいずれも同じ価数を持ち、おおよそ 0.5 程度であることから、ダイマー上に一つの電荷があることが示唆された。電場 (~4kV/cm) を印加した状態 (15K) では、零電場時のピークの高波数側、低波数側の両側 (1492cm⁻¹ および 1510cm⁻¹) に新たにピークが現れた (図 4.3-3 参照)。このピーク波数から新たなピークを示す状態の価数と、元の状態の価数の違い $\Delta\rho$ は ~0.075 程度である。ここで重要なのは、新たなピークが二つ同時に、かつ元のピークを中心にはほぼ対称な位置に現れたことである。このことは、ダイマー内に均一に分布していた電荷が、一方の分子からがもう一方に移動し偏った状態が形成されていることを示唆している (図 4.3-4)。この状態は、電

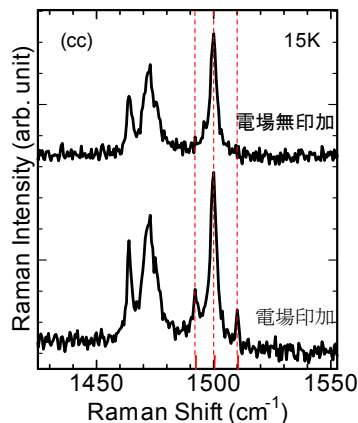


図 4.3-3 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における電場印加状態のラマン散乱スペクトル

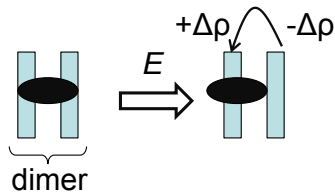


図 4.3-4 電荷不均化の模式図

荷不均化(charge disproportionation)状態と呼ばれる状態で、電場により実現したことを明確に示している。異なる試料を用いて実験を行ってもこの新たなピーク位置はほぼ同じである。さらに、この電場誘起電荷不均化状態は、印加電場を外しても持続することを明らかにした。また、この状態は、電場によりミクロスコピックな電荷の偏りが誘起されたものであり、すでに存在していたダイポールの向きがそろう現象ではない。これらのことから、電場によって生じた電荷不均化状態は、電場によってはじめて到達可能な準安定状態が、そもそも存在し、その状態が実現したと考えることができる。電場印加によりこの二つの状態

間を遷移できることを意味している。この二つの安定点の間で光誘起相転移が実現できる可能性があり、さらに電場印加によりその光誘起相転移が制御できるならば、電場印加により光誘起相転移の臨界状態の制御が実現できることになる。このように本実験は、電場誘起電荷秩序状態を明らかにするとともに、光誘起相転移の臨界状態制御の有力な候補を提示したことになる。

4.4-a「理論」グループ (高橋)

電荷秩序状態およびダイマーモット状態における光励起状態の物理的性質

光誘起相転移の初期過程を理解するためには、相転移の核となる光励起状態の物理的性質を理解することが重要となる。そこで、光誘起相転移が観測されている電荷秩序絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X やダイマーモット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)₂X における光励起状態の物理的性質の解明に取り組んだ。

研究手法としては、これらの系を記述する少数サイトモデルを用い、主要な光吸収ピークを共鳴励起した場合の電磁場に関して 1 次の時間依存シュレディンガー方程式を数値的に解くことにより、光励起状態を厳密に計算した。

電荷秩序絶縁体 α -(BEDT-TTF) $_2$ X に関しては以下の結果が得られた。光吸収スペクトルの低エネルギー領域での巨大なピークは電荷秩序をもつ絶縁状態への励起である。これに対して、高エネルギー領域でのブロードな構造は、電荷秩序をもたない金属状態への励起であること、この金属状態は高温相の金属状態よりも低エネルギー側に遷移モーメントが集中したより良い金属状態であること、がわかった(図 4.4-1、論文 4-2)。これらの結果から、光誘起相転移の初期過程は、従来考えられてきた単純な電子遷移によるものとは異なり、金属ドメインが直接に励起されることによるものである可能性が示された。これにより、先端光計測グループが 10 フェムト秒以下の極短パルス光の開発により見出した、高速の金属転移などの実験結果を説明することができた。

ダイマーモット絶縁体 κ -(BEDT-TTF) $_2$ X に関しては以下の結果が得られた。これまで、光励起状態には、ダイマー間の電荷移動によるホロン-ダブロン対生成を伴うダイマー間電荷移動励起と、ダイマー内での結合軌道から反結合軌道への励起によるダイマー内励起状態が存在することが提案されていた

が、我々の研究により、これを理論的に直接に示すことができた(論文 4-4)。ダイマー間電荷移動励起状態はきわめて幅広いバンドを形成し、バンド幅は主にホロンとダブロン運動エネルギーの差から決まる。ダイマー内励起状態のバンドの幅は、ダイマー間電荷移動励起状態のそれよりもはるかに小さい。その結果、光吸収スペクトルの低エネルギー側はダイマー間電荷移動励起状態によるものであり、高エネルギー側はダイマー間電荷移動励起状態とダイマー内励起状態が強く混成した状態によるものであることがわかった。この結果は、物質開拓グループが観測した光学伝導度スペクトルのギャップ外成分をうまく説明できる。さらに、これにより、先端光計測グループの見出した光誘起相転移のダイナミクスがパンプ光光子エネルギーに強く依存する実験結果の一部が説明できることがわかった。また、ダイマー内励起状態からの誘導吸収スペクトルには、モットギャップ内に多数の弱いピークがあり、これにより先端光計測グループの見出した、 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ における光学伝導度のモットギャップ内成分が光励起によって増大する現象を説明できる可能性がある。

光吸収スペクトルのモットギャップ内に低エネルギーの微弱なピークが存在し、これがダイマー内電気双極子モーメントとダイマー間ボンドオーダーの振動が強く結合した特異な集団モードの励起によるものであることを見出した(図 4.4-2、論文 4-1)。これにより先端光計測グループの見出した、 κ -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ におけるモットギャップ内の光吸収ピークの特異な振る舞いを説明できる可能性がある。さらに、このモードは金属相との相境界でソフト化し強誘電ドメインが形成されることを明らかにした。

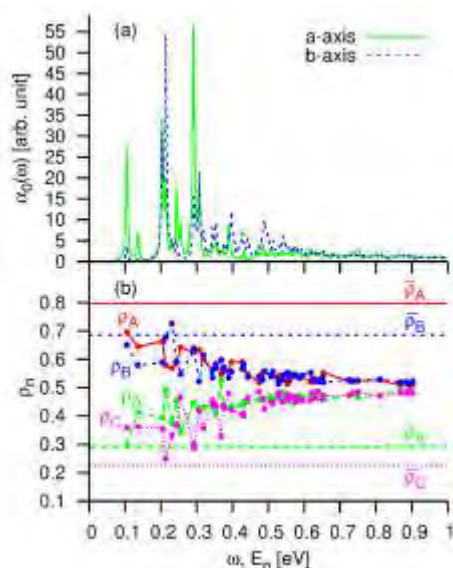


図 4.4-1 (a) α -(BEDT-TTF) $_2$ X における光吸収スペクトル $\alpha_0(\omega)$ 、(b) 光励起状態における A, A', B, C サイトにおける電荷密度 ρ_n

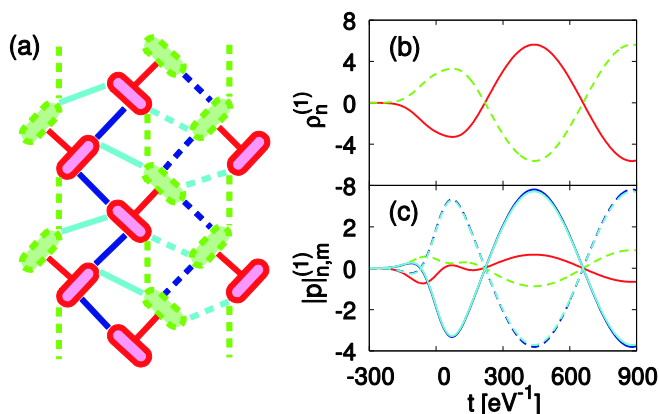


図 4.4-2 (a) 楕円は BEDT-TTF 分子、直線はボンドを表す。光励起によって誘起された、(b) 各分子での電荷の変化 $\rho_n^{(1)}$ 、(c) 各ボンドでのボンドオーダーの変化 $p_{n,m}^{(1)}$ 、の時間依存性を、(a) で分子もしくはボンドを表したのと同じ線種で表す

ダイマーモット状態におけるダイマー内電気双極子モーメントに由来する強誘電状態

ダイマーモット絶縁体 κ -(BEDT-TTF)₂X を記述する拡張ハバードモデルにおいて、ダイマー間ボンド長の乱れを取り入れた場合の基底状態を数値的に厳密に計算して、乱れの効果を考察した。多数の乱れのサンプルに対して、ダイマー内電気双極子モーメントの b 軸方向成分の和 P_b と c 軸方向成分の和 P_c を求め、これらの多数のサンプルに対する分布がダイマー間クーロン相互作用などに対してどのように変化するかを調べた。 P_b と P_c の分布はダイマー間クーロン相互作用エネルギーなどの物質パラメータに強く依存する。ダイマーモット絶縁体と金属状態の相境界付近では、図 4.4-3 に示したように、 P_b がはるかに幅広く分布し、かつ P_b の分布に正負ふたつのピークがあることがわかった。このことは、乱れにより、ダイマー内電気双極子モーメントが生成されこれが b 軸方向にそろい、その結果、ダイマー内電気双極子モーメントに由来する強誘電域が生成されることを意味している(論文 4-5)。この強誘電状態は、ダイマーモット絶縁体に金属状態が混成したものである。一方、二つの異なるダイマーモット絶縁総がほぼ縮退し、スピン揺らぎが極めて大きくなったパラメーター領域では、ダイマー内電気双極子モ

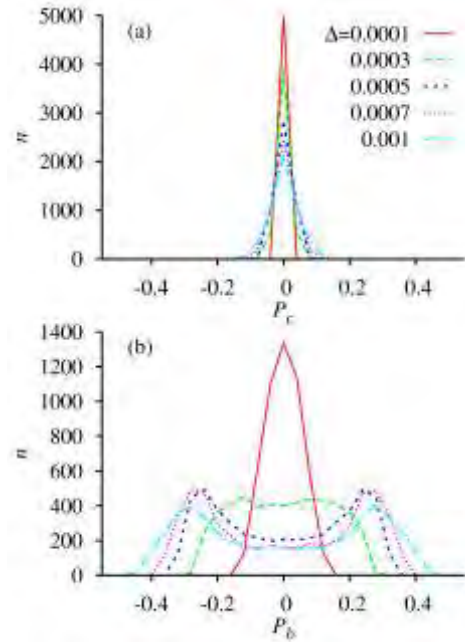


図 4.4-3 様々なダイマー位置の乱れに対する、ダイマー内電気双極子モーメントの b 軸方向成分の和 P_b と c 軸方向成分の和 P_c のヒストグラム。 Δ は乱れによる、ダイマー間遷移積分の変化の平均を表す

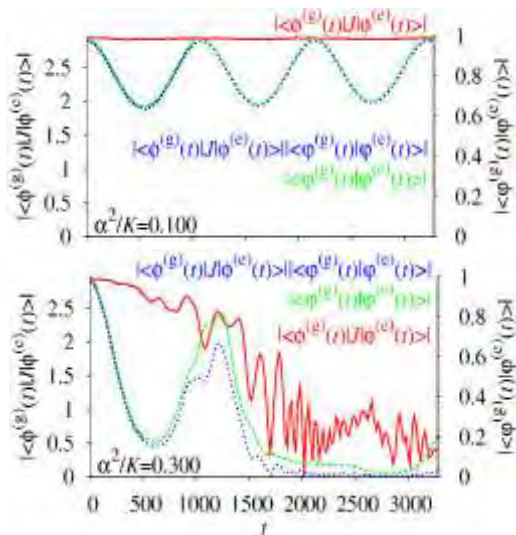


図 4.4-4 ダイマー間電荷移動励起状態を共鳴励起した場合の、格子波動関数の重なり、電流演算子 J の非対角成分の時間変化。ここで $|\phi^{(x)}(t)\rangle$ は電子波動関数、 $|\varphi^{(x)}(t)\rangle$ は格子波動関数、 $X=e(g)$ は励起(基底)状態を表す。電子格子相互作用が弱い場合 $\alpha^2/K=0.1$ および強い場合 $\alpha^2/K=0.3$ の結果を表す

メントが c 軸方向にそろった強誘電状態が生成され、この強誘電状態は、二つの異なるダイマーモット絶縁総が混成したものであることがわかった。これにより、物質開拓グループが κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ において発見した誘電異常の問題が説明できる可能性がある。特に、この物質のスピン液体としての性質と誘電性の関連が明らかになる可能性がある。さらに、これらの強誘電状態における、モットギャップ内光吸収スペクトルの計算を行い、物質開拓グループ、先端光計測グループの見出した κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ におけるモットギャップ内の光吸収ピークの特異な振る舞いを説明することを試みた。

ダイマーモット絶縁体における光誘起相転移のダイナミクス

格子自由度としてダイマーを形成する $b1$ ボンドの伸縮による調和振動子のみを取り入れ、電子格子相互作用を介した $b1$ ボンドの遷移積分の変化を取り入れたモデルを用いる。これまでの光励起状態のダイナミクスの計算の多くでは、基底状態と励起状態が同じ格子波動関数を

持つことが仮定されてきた。これを仮定せず、基底状態と励起状態が独立した格子波動関数を持つ場合のダイナミクスを数値的に計算した。これにより、基底状態と励起状態間の量子コヒーレンスの問題を議論できるようになる。

ダイマー間電荷移動励起状態を共鳴励起した場合は以下の結果が得られた(図 4.4-4)。電子格子相互作用が弱い場合には、格子はコヒーレントに振動を続け、電子状態はほとんど変化しない。電子格子相互作用が強い場合には、最初は、格子はコヒーレントに振動を続け、電子状態の変化も小さい。しかし、一定時間を経過した後に、金属状態の成分が上昇しはじめ、この電子状態の変化により、格子振動のコヒーレンスが失われる。さらにこれが電子状態の変化を誘起するという、正のフィードバックが起これ、電子格子状態は、大きく非可逆的に変化してゆく。ダイマー内励起状態を共鳴励起した場合以下の結果が得られた。電子格子相互作用が弱い場合、格子はコヒーレントに振動を続けるにもかかわらず、ダイマー内励起状態からダイマー間電荷移動励起状態への遷移が非可逆的に起き、その後は、ダイマー間電荷移動励起状態に特有の時間変化を示す。電子格子相互作用が強い場合には、電子状態の変化と格子のコヒーレンス消失が同時に起きる。このようにして、先端光計測グループの見出した光誘起金属転移を理論的に示すことができたが、光誘起相転移のダイナミクスがパンプ光光子エネルギーに強く依存する実験結果の解釈と、ここで得られた結果は必ずしも合致してしない。実験結果の解釈を再検証し、その初期過程の理解を進展させることを試みた。

4-4b. 理論(妹尾)グループ

○研究実施の方法と内容

理論(妹尾)グループでは、代表的な光誘起相転移物質やその類縁物質において、光誘起相に対する取り組みを踏まえて、基底電子相の精密解析を行った。

方法として、実際の物質に即した電子系およびそれと結合した格子系に対する有効モデルを構築し、これに対する平衡状態の解析を行った。ここで強相関電子系において重要となる量子揺らぎの効果をフルに取り込める数値計算手法を用いることにより、電荷・スピン・格子自由度の絡む現象のメカニズム解明を行ってきた。これらは、どのような相競合や共存が可能であるか、それらの境界がどこにあり、実際の物質がどこに位置しているのか、といった光誘起相転移現象を狙う上で重要な基礎知見となるとともに、平衡状態の解析としても最前線の研究成果があげられた。

また、実験対象の候補として新物質を考慮するにあたって、当初計画になかった第一原理計算からのパラメータ導出と有効モデル解析とを合わせたスキームを適用し、従来の分子性導体では見られない側面を持つ物質群の電子状態を解析してきた。これらは将来の光誘起相探索に有用な情報を与えると考えられる。

○研究成果と位置付け

以下にまとめるように、本研究課題で主な実験対象となっている、**・電子が主役を担う電荷移動錯体型の分子性導体での強相関物性の解析**[以下項目 1]とともに、**d 電子スピンと共存する系**[項目 2]や**多軌道系**[項目 3]についての解析も行った。このように、光誘起相の探索という側面的な観点から平衡状態に関する理論研究を行い、結果に繋がられたことは、本研究課題に寄与するとともに平衡状態での新物性探索や解明という基礎物性面においても新しい観点を与えることができることを示している。

1) 擬 1 次元 TMTTF₂X の温度圧力相図と電荷スピン結合

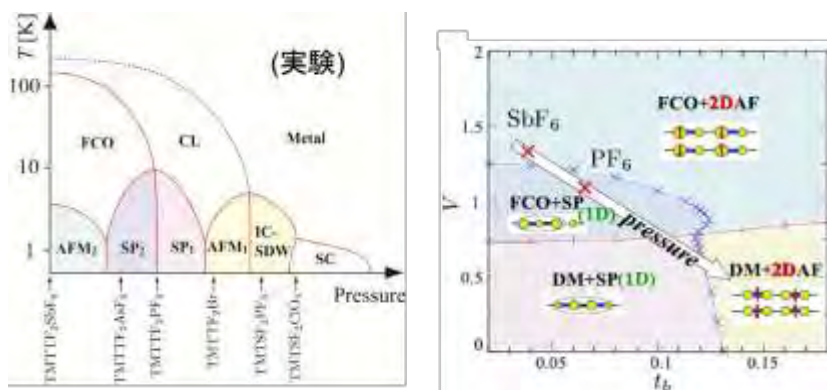


図 4.4-5 a: TMTTF₂X 系の実験相図(左)と有効モデル計算による基底状態相図(右)。多様な状態が現れる: 強誘電的電荷秩序(FCO)、反強磁性(AFM)、スピンパイエルス(SP)が実験相図の低圧側に現れ、これを有効モデルにおける重要なパラメータを抽出することにより理論的に再現できる[論文 5-10]

本研究課題全体で重要なテーマとなっている電荷秩序による強誘電性と磁性が互いに絡んだ現象の 1 つとして、分子性固体の代表物質である TMTTF₂X 系における圧力温度相図の発現機構を理論的に調べた。第一原理計算から出発し結晶構造を加味した有効モデルに対する数値計算により、電荷秩序不安定性が磁気状態の次元性をコントロールする新しいメカニズムの提案をし、これが実験で見られる特異な磁気状態変化(反強磁性→非磁性→反強磁性)の背後にあることを解明した[図 A]。本物質系の物性において未解決だった問題に解答を与えただけでなく、理論的前提がはっきりした系に対する量子揺らぎをフルに取り込んだ数値計算結果は、他の分子性導体にその考え方を応用することができる。特にダイマーが存在する中での電荷秩序と磁性との絡み合いは、現在多くの 2 次元系で見られる現象で本研究課題において中心的な研究対象の 1 つともなっており、これらの系に共通の物理の guiding principle を提示できた。

2) Fe フタロシアニン分子性導体における巨大磁気抵抗効果のメカニズム

磁場に対する巨大電気応答が観測されている Fe フタロシアニン分子を構成要素とした分子性導体に対し、伝導電子・局在スピンの結合した 1 次元モデルを構築し、これに対して厳密対角化法および量子モンテカルロ法による精密な数値計算を行った。これらの結果、局在スピンの存在による電荷秩序化の異常な増大や、外部磁場印加により局在スピンの秩序が不安定化し、その結果電荷秩序が融解し伝導性が増大する現象(巨大磁気抵抗効果)を説明した。このような局在 d 電子スピント、遍歴 π 電子が強く相互作用する分子系は大変興味深いにも関わらず実例が少なく、本系のみせる特異な効果の本質を精密に説明できたことは物質開発に対するフィードバックもでき意義深い。本系も光誘起現象の探索対象として、特に平衡状態から予想される大きな磁場効果が期待できる。

3) 単一成分分子性導体および \square -X[Pd(dmit)₂]₂ における多軌道性と分子内自由度

多軌道がフェルミエネルギー近傍に寄与する新規の分子性導体系に対する有効モデル化とその解析を主に 2 つの物質系: 単一成分分子性導体 $M(\text{tmdt})_2$ ($M=\text{Ni}, \text{Cu}, \text{Au}$)、およびスピン液体を示す物質を含む一連の $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ 系に対して行った。これらは中心に遷移金属原子が存在し 2 つの配位子に挟まれた構造を持った分子であることが共通点であり、第一原理計算から出発し有効モデル構築、そしてモデル解析というスキームを適用した。

単一成分分子性導体においては π 電子と d 電子の混成が強く、分子の中心金属を置換した物

質間の系統性がその混成の度合いによって整理できることを提示し、その磁性状態も混成によって多様となりうることを示した。一方 Pd(dmit)_2 塩においては以前から指摘のあった HOMO-LUMO のエネルギーレベルの接近に加え、大きな混成が存在することが新たに分かり、これにより分子上の電子密度の偏りが顕著となる結果を得、実験による観測を提案した。またこの混成はダイマーモット絶縁体化した際の有効局在スピンの相互作用にも影響を与え、スピン液体の存在条件を議論する際の異方的三角格子上のモデルパラメータにおいて従来と異なる描像を提案している。一方、電子格子相互作用を加味した計算では多軌道の絡んだ特徴的な電荷秩序構造を導いた。 Pd(dmit)_2 塩は実際にすでにいくつかのグループで光誘起相の探索が行われており、計算結果と測定を比較するにあたって解釈を与える基礎となる。

§5 成果発表等

(1)原著論文発表(国内(和文)誌 0 件、国際(欧文)誌 56 件)

- 1-1 Y. Kawakami, S. Iwai, T. Fukatsu, M. Miura, N. Yoneyama, T. Sasaki, and N. Kobayashi, “Optical Modulation of Effective On-Site Coulomb Energy for the Mott Transition in an Organic Dimer Insulator”, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 066403-1-4, 2009. (DOI:10.1103/PhysRevLett.103.066403)
- 1-2 H. Nakaya, Y. Takahasgi, S. Iwai, K. Yamamoto, K. Yakushi, and S. Saito, “Ultrafast terahertz response of photo-induced insulator to metal transition in charge ordered organic conductor α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ ”, *J. Phys. Conf. Ser.* **148**, 11-15, 012039, 2009. (DOI: 10.1088/1742-6596/148/1/012039)
- 1-3 H. Nakaya, K. Itoh, Y. Takahashi, H. Itoh, S. Iwai, S. Saito, K. Yamamoto, and K. Yakushi, “Terahertz responses of the high-temperature metallic phase and photoinduced metallic state in the ferroelectric charge-ordered organic salt”, *Phys. Rev. B* **81**, 155111-1-6, 2010. (DOI: 10.1103/PhysRevB.81.155111)
- 1-4 S. Miyashita, Y. Tanaka, S. Iwai, K., Yonemitsu, “Charge, Lattice, and Spin Dynamics in Photoinduced Phase Transitions from Charge-Order-Insulator to Metal in Quasi-Two-Dimensional Organic Conductors”, *J. Phy. Soc. Jpn.* **79**, 034708-1-10, 2010. (DOI: 10.1143/JPSJ.79.034708)
- 1-5 Y. Kawakami, T. Fukatsu, Y. Sakurai, H. Unno, H. Itoh, S. Iwai, T. Sasaki, K. Yamamoto, K. Yakushi, and K. Yonemitsu, “Early-Stage dynamics of Light-Matter Interaction Leading to the Insulator to metal Transition in a Charge Ordered Organic Crystal”, *Phys. Rev. Lett.*, **105**, 246402-1-4, 2010. (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.246402)
- 1-6 S. Iwai, “Ultrafast IR and THz spectroscopy of photoinduced insulator to metal transition in highly correlated organic system”, *J. Lumin.* **131**, 409-414, 2011. (DOI:10.1016/j.jlumin.2010.12.014)
- 1-7 Y. Kawakami, T. Fukatsu, H. Itoh, S. Iwai, T. Sasaki, K. Yamamoto, and Y. Kyuya, “Dynamic electron molecular vibration (EMV) interference during photoinduced metallization in charge ordered organic salt”, *Proceedings of International Conference on Ultrafast Phenomena XVII*, Oxford university

press 2011, 167-169, 2011.(ISBN:978-0-19-976837-0)

- 1-8 K. Itoh, H. Nakaya, Y. Kawakami, T. Fukatsu, H. Itoh, S. Iwai, T. Sasaki, and S. Saito, "Motional narrowing of phonon spectrum driven by ultrafast dielectric fluctuation in dimer Mott insulator", Proceedings of International Conference on Ultrafast Phenomena XVII, Oxford university press 2011, 170-172, 2011. (ISBN:978-0-19-976837-0)
- 1-9 H. Itoh, K. Itoh, K. Anjyo, H. Nakaya, H. Akahama, D. Ohishi, S. Saito, T. Kambe, S. Ishihara, N. Ikeda, S. Iwai, "Ultrafast melting of charge ordering in LuFe₂O₄ probed by terahertz spectroscopy", Journal of Luminescence, 2011. (DOI:10.1016/j.jlumin.2011.12.051)
- 1-10 S. Iwai, "Photoinduced Phase Transitions in α -, θ -, and κ -type ET Salts: Ultrafast Melting of the Electronic Ordering", Crystals **2**, 590-617, 2012. (DOI:10.3390/cryst2020590)
- 1-11 K. Itoh, H. Itoh, M. Naka, S. Saito, I. Hosako, N. Yoneyama, S. Ishihara, T. Sasaki, and S. Iwai, "Collective Excitation of an Electric Dipole on a Molecular Dimer in an Organic Dimer-Mott Insulator", Phys. Rev. Lett. **110**, 106401-1-5, 2013. (DOI:10.1103/PhysRevLett.110.106401)
- 1-12 T. Ishikawa, K. Yamada, H. Itoh, S. Iwai, T. Arima, S. Yamada, and T. Sasaki, "Photoinduced Coherent Spin Fluctuation in Primary Dynamics of Insulator to Metal Transition in Perovskite Cobalt Oxide", Euro. Phys. J, Web of Conference **41** (Ultrafast Phenomena XVIII), 03013-1-3, 2013. (DOI: 10.1051/epjconf/20134103013)
- 1-13 S. Iwai, Y. Kawakami, T. Ishikawa, Y. Sakurai, H. Itoh, K. Yamamoto, and T. Sasaki, "Coherent Electron Dynamics in 10 fs Time Scale in Organic Charge Ordered and Dimer -Mott Insulators", Euro. Phys. J, Web of Conference, **41** (Ultrafast Phenomena XVIII), 03019, 2013. (DOI:10.1051/epjconf/20134103019)
- 1-14 K. Itoh, H. Itoh, S. Iwai, N. Naka, S. Ishihara, S. Iwai, N. Yoneyama, and T. Sasaki, "Photoinduced Growth of Ferroelectric Charge Order in Organic Dimer-Mott insulator", Euro. Phys. J, Web of Conference, **41** (Ultrafast Phenomena XVIII), 03020-1-3, 2013. (DOI:10.1051/epjconf/20134103020)
- 1-15 K. Itoh, H. Itoh, S. Saito, I. Hosako, Y. Nakamura, H. Kishida, N. Yoneyama, T. Sasaki, S. Ishihara, S. Iwai, "Narrowing of phonon spectrum induced by ultrafast charge fluctuations in an organic dimer Mott insulator", Phys. Rev. B **88**, 125101-1-6, 2013. (DOI:10.1103/PhysRevB.88.125101)
- 2-1 M. Yamashita, N. Nakata, Y. Kasahara, T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, S. Fujimoto, T. Shibauchi and Y. Matsuda., "Thermal-transport measurements in a quantum spin-liquid state of the frustrated triangular magnet κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃", Nature Physics **5**, 44-47, 2009. (DOI:10.1038/nphys1134)
- 2-2 T. Sasaki, H. Oizumi, N. Yoneyama and N. Kobayashi, "Disorder effect on superconductivity in organic superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂", J. Phys. Conf. Ser. **150**, 052224-1-4, 2009. (DOI: 10.1088/1742-6596/150/5/052224)

- 2-3 T. Sasaki, N. Yoneyama and N. Kobayashi. "Competition between Mott transition and superconductivity under magnetic fields in strongly correlated organic superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br", J. Phys. Conf. Ser. **150**, 052225-1-4, 2009. (DOI: 10.1088/1742-6596/150/5/052225)
- 2-4 N. Yoneyama, T. Sasaki, N. Kobayashi, Y. Ikemoto, T. Moriwaki and H. Kimura. "Metallic pattern fabrication in organic Mott insulating crystal by local X-ray irradiation" Solid State Commun. **149**, 775-777, 2009. (DOI:10.1016/j.ssc.2009.02.034)
- 2-5 T. Sasaki and N. Yoneyama. "Spatial mapping of electronic states in κ -(BEDT-TTF)₂X using infrared reflectivity", Sci. Technol. Adv. Mater. **19**, 024306-1-14, 2009. (DOI:10.1088/1468-6996/10/2/024306)
- 2-6 M. Abdel-Jawad, I. Terasaki, T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, Y. Uesu and C. Hotta. "Anomalous dielectric response in the dimer Mott insulator \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃." Phys. Rev. B **82**, 125119-1-5, 2010. (DOI:10.1103/PhysRevB.82.125119)
- 2-7 K. Sano, T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, "Electron Localization near the Mott Transition in the Organic Superconductor \square -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br." Phys. Rev. Lett. **104**, 217003-1-4, 2010. (DOI:10.1103/PhysRevLett.104.217003)
- 2-8 N. Yoneyama, K. Furukawa, T. Nakamura, T. Sasaki, and N. Kobayashi. "Magnetic Properties of X-ray Irradiated Organic Mott Insulator \square -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Cl." J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 063706-1-4, 2010. (DOI:10.1143/JPSJ.79.063706)
- 2-9 K. Sano, T. Sasaki, N. Yoneyama, N. Kobayashi, "Suppression of superconductivity by X-ray irradiation induced disorders in organic superconductor \square -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br." Physica B **405**, S279-S281, 2010. (DOI:10.1016/j.physb.2009.10.044)
- 2-10 N. Yoneyama, T. Sasaki, N. Kobayashi, K. Furukawa and T. Nakamura, "X-ray irradiation effect on magnetic properties of Dimer-Mott insulators: \square -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Cl and \square '-(BEDT-TTF)₂ICl₂." Physica B **405**, S244-S246, 2010. (DOI:10.1016/j.physb.2009.10.043)
- 2-11 T. Sasaki, H. Oizumi, Y. Honda, N. Yoneyama and N. Kobayashi, "Suppression of Superconductivity by Nonmagnetic Disorder in Organic Superconductor \square -(BEDT-TTF)₂Cu(NCS)₂", J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 104703-1-10, 2011. (DOI:10.1143/JPSJ.80.104703)
- 2-12 T. Sasaki, K. Sano, H. Sugawara, N. Yoneyama and N. Kobayashi, "Influence of randomness on the Mott transition in \square -(BEDT-TTF)₂X", Phys. Status Solidi B **249**, 947-952, 2012. (DOI:10.1002/pssb.201100614)
- 2-13 T. Sasaki, "Mott-Anderson Transition in Molecular Conductors: Influence of Randomness on Strongly Correlated Electrons in the \square -(BEDT-TTF)₂X System", Crystals **2**, 374-392, 2012. (DOI:10.3390/cryst2020374)

- 2-14 A. Antal, T. Feher, N. Yoneyama, L. Forro, T. Sasaki and A. Janossy., “Spin and Charge Transport in the X-ray Irradiated Quasi-2D Layered Compound: \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Cl”, *Crystals* **2**, 579-589, 2012. (DOI:10.3390/cryst2020579)
- 2-15 S. Nakajima, T. Suzuki, Y. Ishii, K. Ohishi, I. Watanabe, T. Goto, A Oosawa, N. Yoneyama, N. Kobayashi, F. L. Pratt, and T. Sasaki., “Microscopic Phase Separation in Triangular-Lattice Quantum Spin Magnet \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ Probed by Muon Spin Relaxation”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 063706-1-4, 2012. (DOI:10.1143/JPSJ.81.063706)
- 2-16 S. Iguchi, S. Sasaki, N. Yoneyama, H. Taniguchi, T. Nishizaki and T. Sasaki, “Relaxor ferroelectricity induced by electron correlations in a molecular dimer Mott insulator”, *Phys. Rev. B* **87**, 075107-1-5, 2013. (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.075107)
- 2-17 K. Hashimoto, S. C. Zhan, R. Kobayashi, S. Iguchi, N. Yoneyama, T. Moriwaki, Y. Ikemoto and T. Sasaki, ” Collective excitation of a short-range charge ordering in \square -(BEDT-TTF) $_2$ CsZn(SCN) $_4$ ”, *Phys. Rev. B* **89**, 085107-1-5 (2014). (DOI: 10.1103/PhysRevB.89.085107)
- 3-1 H. Kishida, T. Ito, A. Nakamura, S. Takaishi, M. Yamashita, “Current oscillation originating from negative differential resistance in one-dimensional halogen-bridged nickel compounds”, *Journal of Applied Physics* **106** (1), 016106-1 – 016106-3, 2009.(DOI:10.1063/1.3157211)
- 3-2 H. Kishida, H. Takamatsu, K. Fujinuma and H. Okamoto, “Ferroelectric nature and real-space observations of domain motions in an organic charge-transfer compound, tetrathiafulvalene-p-chloranil”, *Phys. Rev. B* **80** (20), 205201-1 – 205201-7, 2009. (DOI:10.1103/PhysRevB.80.205201)
- 3-3 H. Kishida, T. Ito, A. Ito and A. Nakamura, “Room-temperature current oscillation based on negative differential resistance in a one-dimensional organic charge-transfer complex”, *Appl. Phys. Express* **4**(3), 031601, 2011. (DOI. 10.1143/APEX.4.031601)
- 3-4 A. Ito, Y. Nakamura, A. Nakamura, and H. Kishida, “Measurement of the nonlinear conducting states of \square -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ using electronic Raman scattering” *Phys. Rev. Lett.* **111**(19), 197801-1 – 197801-5, 2013. (DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.197801)
- 4a-1 H. Gomi, T. Imai, A. Takahashi and M. Aihara, “Purely electronic terahertz polarization in dimer Mott insulators”, *Phys. Rev. B* **82**, No. 3, 035101-1-7, 2010. (DOI: 10.1103/PhysRevB.82.035101)
- 4a-2 H. Gomi, A. Takahashi, T. Tastumi, S. Kobayashi, K. Miyamoto, J.D. Lee, M. Aihara, “Photogenerated metallic states in charge-ordered insulators in (BEDT-TTF) $_2$ X”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, 034709-1-10, 2010. (DOI: 10.1143/JPSJ.80.034709)
- 4a-3 M. Segawa, A. Takahashi, H. Gomi, and M. Aihara, “Auger Recombination of Photogenerated Charges in One-Dimensional Mott Insulators”, *J. Phys.*

Soc. Jpn. **80**, 084721-1-10, 2011. (DOI:10.1143/JPSJ.80.084721)

- 4a-4 T. Tatsumi, H. Gomi, A. Takahashi, Y. Hirao and M. Aihara, “Photoexcited States in Dimer Mott Insulators \square -(BEDT-TTF) $_2$ X”, J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 034712-1-12, 2012. (DOI:10.1143/JPSJ.81.034712)
- 4a-5 H. Gomi, M. Ikenaga, Y. Hiragi, D. Segawa, A. Takahashi, T.J. Inagaki and M. Aihara, “Ferroelectric states induced by dimer lattice disorder in dimer Mott insulators”, Phys. Rev. B **87**, 195126-1-12, 2013. (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.195126)
- 4b-1 Y. Otsuka, H. Seo, Y. Motome and T. Kato, “Phase competitions and coexistences in quasi-one-dimensional molecular conductors: exact diagonalization study”, Physica B **404**, 479-481, 2009. (DOI: 10.1016/j.physb.2008.11.060)
- 4b-2 H. Seo and Y. Motome, “Spiral charge frustration in molecular conductor DI-DCNQI $_2$ Ag”, Phys. Rev. Lett. **102**, 196403-1-4, 2009. (DOI: 10.1103/PhysRevLett.102.196403)
- 4b-3 H. Yoshioka, M. Tsuchiizu, Y. Otsuka and H. Seo, “Finite-Temperature Properties across the Charge Ordering Transition –Combined Bosonization, Renormalization Group, and Numerical Methods–”, J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 094714-1-9, 2010. (DOI: 10.1143/JPSJ.79.094714)
- 4b-4 Y. Otsuka, H. Seo and Y. Motome, “Charge ordering due to \square -d coupling in one-dimensional system”, Physica B **405**, S317-S320, 2010. (DOI: 10.1016/j.physb.2009.11.020)
- 4b-5 H. Seo, “Broken symmetry states in quasi-one-dimensional molecular conductors –competitions, co-existences, and frustration–”, Physica B **405**, S126-S130, 2010. (DOI: 10.1016/j.physb.2009.12.080)
- 4b-6 M. Tsuchiizu, Y. Omori, Y. Suzumura, M.-L. Bonnet, V. Robert, S. Ishibashi, and H. Seo, “Multi-Orbital Molecular Compound (TTM-TTP)I $_3$: Effective Model and Fragment Decomposition”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 013703-1-4 (2011). (DOI: 10.1143/JPSJ.80.013703)
- 4b-7 H. Yoshioka, H. Seo and Y. Otsuka: “Incommensurate Antiferromagnetic Insulating State in (MDT-TS)(AuI $_2$) $_x$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 123702-1-4 , 2011. (DOI: 10.1143/JPSJ.80.123702)
- 4b-8 H. Yoshimi, H. Seo, S. Ishibashi and S. E. Brown: “Tuning the magnetic dimensionality by charge ordering in the molecular TMTTF salts”, Phys. Rev. Lett. **108** 096402-1-4, 2012. (DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.096402)
- 4b-9 H. Yoshioka, Y. Otsuka and H. Seo, “Theories on quasi-one-dimensional molecular conductors”, Crystals **2**, 996-1016, 2012. (DOI: 10.3390/cryst2030996).
- 4b-10 Y. Otsuka, H. Seo, K. Yoshimi and T. Kato “Finite temperature neutral-ionic transition and lattice dimerization in charge-transfer

complexes: QMCstudy”, Physica B **407**, 1793-1795, 2012. (DOI: 10.1016/j.physb.2012.01.031).

- 4b-11 K. Yoshimi, H. Seo, S. Ishibashi and S. E. Brown, “Spin frustration, charge ordering, and enhanced antiferromagnetism in $\text{TMTTF}_2\text{SbF}_6$ ”, Physica B **407**, 1783-1786, 2012. (DOI: 10.1016/j.physb.2012.01.029)
- 4b-12 T. Tsumuraya, H. Seo, M. Tsuchiizu, R. Kato and T. Miyazaki, “Cation Dependence of the Electronic States in Molecular Triangular Lattice System $\square\text{-X}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$: A First-principles study”, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 033709-1-5, 2013. (DOI: 10.7566/JPSJ.82.033709)
- 4b-13 H. Seo, S. Ishibashi, Y. Otsuka, H. Fukuyama and K. Terakura, “Electronic States of Single-Component Molecular Conductors $[\text{M}(\text{tmdt})_2]$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. **82**, 054711-1-11, 2013. (DOI: 10.1143/JPSJ.79.094714)
- 4b-14 H. Yoshioka, H. Seo and Y. Otsuka, “Enhancement of Charge Ordering by the Zeeman Effect in One-dimensional Molecular Conductors”, J. Korean Phys. Soc. **63**, 383-386, 2013. (DOI: 10.3938/jkps.63.383)
- 4b-15 M. Naka and H. Seo, “Long-Period Charge Correlations in Charge-Frustrated Molecular $\square\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{X}$ ”, J. Phys. Soc. Jpn. (掲載決定)

(2)その他の著作物(原著論文以外の総説、解説、単行本など書籍)

- 1-1 岩井 伸一郎、「有機絶縁体を光で金属に変える新手法の開発」、技術総合誌 OHM2009年12月号、8-9, 2009
- 1-2 H. Nakaya, Y. Takahasgi, S. Iwai, K. Yamamoto, K. Yakushi, and S. Saito, “Ultrafast terahertz response driven by photo-induced insulator to metal transition in layered organic salt”, Springer Series in Chem. Phys. 92. Ultrafast Phenomena XVI, pp 173, 2009.
- 1-3 Y. Kawakami, S. Iwai, N. Yoneyama, T. Sasaki, and N. Kobayashi, “Photo-induced macroscopic oscillation between insulator and metal in layered organic Mott insulator”, Springer Series in Chem. Phys. 92. Ultrafast Phenomena XVI, pp 176, 2009.
- 1-4 S. Iwai, H. Nakaya, Y. Kawakami, “Ultrafast photo-induced insulator to metal transition in layered BEDT-TTF based salts”, Molecular electronic and related materials, Control and probe with light chapter 2, 37-58, (Ed. Toshio Naito, Transworld Research Network, Kerala, India), 2010.
- 1-5 岩井伸一郎、「レーザー光照射による有機絶縁体の金属化」、レーザー加工学会誌, Vol. 17, No. 3, 45-47, 2010.
- 1-6 岩井 伸一郎、「光誘起絶縁体—金属転移の超高速電子ダイナミクス」、固体物理＜動的物性の新展開＞特別号、46 巻、No.11, 651-660, 2011.
- 1-7 岩井 伸一郎、「光誘起相転移の超高速ダイナミクス」、物性研究 Vol.97 No.5 1110-1129, 2012.

- 2-1 佐々木孝彦(共著)、「金属材料の最前線 ブルーボックス(B1643)」、(担当 第11章 新しい電気伝導材料—有機物質)、(株)講談社、2009.
- 2-2 佐々木孝彦、「エックス線照射による有機電荷移動錯体の金属化」、未来材料 9, 6-15, 2009.
- 2-3 T. Sasaki, “Infrared imaging in the strongly correlated molecular conductors”, *Molecular Electronic and Related Materials -Control and Probe with Light-*, chapter 4. pp 99-116. (Ed. Toshio Naito, Transworld Research Network, Kerala, India), 2010.
- 2-4 佐々木孝彦、「強相関電子系分子性導体のモット-アンダーソン転移」、日本物理学会誌 67, 504-508, 2012.
- 3-1 H. Kishida and A. Nakamura, “Nonlinear Electrical Conductivity, Current Oscillation and Its Control in Halogen-Bridged Nickel (III) Compounds”, in “Material Designs and New Physical Properties in MX- and MMX-Chain Compounds” ed. by Masahiro Yamashita and Hiroshi Okamoto, Springer-Verlag Wien, (ISBN: 978-3-7091-1316-5 (Print) 978-3-7091-1317-2 (Online)) pp 83-91, 2013.
- 4b-1 石橋章司、寺倉清之、妹尾仁嗣、小林昭子、「単一分子性伝導体の構造と電子状態」、固体物理第 43 巻 12 月号、特集号「生物物質科学—金属を含む分子系を中心に」 pp. 785-794, 2008.
- 4b-2 妹尾仁嗣(共著)、「分子性導体における電荷・スピン・格子結合現象の理論的研究」、動的構造解析技術と非平衡物質開発の最前線、腰原伸也監修(シーエムシー出版)、非平衡物質開発編第 3 章、2009.
- 4b-3 H. Seo, “Another Ingredient in an Organic Spin Liquid Compound”, *JPSJ Online - News and Comments* [June 10, 2010].

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 47 件、国際会議 22 件)

①招待講演(国内)

- 1-1 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「先端超短パルス光源による光誘起相転移現象の素過程の解明」、第 2 回東北大学光科学技術フォーラム、東北大学電気通信研究所、2008/11/6.
- 1-2 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「有機伝導体における光誘起相転移の超高速分光;より高い時間分解能と広帯域化を目指して」、学際物質科学研究会「先端光計測と光応答性材料」、筑波大、2009/3/13.
- 1-3 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「 α -(ET)₂I₃における光誘起相転移と超高速テラヘルツ応答」、基研研究会、京大基研、2009/7/2.
- 1-4 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「有機伝導体における光誘起相転移の超高速分光と次世代放射光への期待」、ERL サイエンスワークショップ、高エネルギー

ギー物理学研究所(茨城県つくば市)、2009/7/9.

- 1-5 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「強相関電子系における光誘起相転移のテラヘルツ分光」、日本物理学会シンポジウム「テラヘルツ領域における非線形光学・高密度励起現象の新展開」、熊本大学、2009/9/26.
- 1-6 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「超高速赤外分光で見る光誘起絶縁体金属転移の初期過程と転移機構」、次世代スーパーコンピュータプロジェクト、ナノ分野グランドチャレンジ研究開発 ナノ統合拠点(兼 京大基研研究会)相関電子系における光誘起現象、京大基研、2009/12/11.
- 1-7 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「電荷秩序の超高速・テラヘルツ応答」、日本物理学会 2010 秋季大会シンポジウム「やわらかい電荷秩序の特異な誘電性・伝導性と外場制御」、大阪府立大学、2010/9/23.
- 1-8 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「有機伝導体における光誘起相転移の超高速ダイナミクス」、理化学研究所、加藤分子物性研究室セミナー、2010/ 10/28.
- 1-9 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「BEDT-TTF 塩の赤外 10 フェムト秒分光」、研究会「相関電子系における電荷秩序と誘電異常;遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開」、青山学院大、2010/11/26.
- 1-10 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「強相関電子系における光と物質の相互作用の初期過程、10 フェムト秒赤外分光で見た光誘起絶縁体-金属転移」、「半導体における動的相関電子系の光科学」シンポジウム、京都大学吉田キャンパス 2011/1/6.
- 1-11 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「先端超短パルス光源による光誘起相転移現象の素過程の解明」、「光誘起相転移プロジェクト合同研究会」、物質構造研究所(KEK)、2011/2/12.
- 1-12 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「極超短パルス光で見る、操る、強相関電子系の光誘起相転移」、PF 研究会「ERL サイエンスワークショップ II」、KEK 研究本館小林ホール、2011/4/27.
- 1-13 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「光誘起相転移の超高速ダイナミクス」、物性若手夏の学校、サブゼミ、山梨県富士吉田市、2011/8/4.
- 1-14 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「赤外 3 サイクルパルス光で見る光誘起相転移の超高速スナップショット」、物理コロキウム 2011、北海道大学、2011/12/16.
- 1-15 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「極超短パルス光で見る、操る、強相関電子系の光誘起相転移」、レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会、TKP 仙台カンファレンスセンター、2012/2/1.
- 1-16 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「強相関電子系における光誘起相転移」、日本物理学会 67 回年会シンポジウム「凝縮系における超高速現象とコヒーレント物質制御」、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、2012/3/25.
- 1-17 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「フェムト秒レーザー光誘起相転移」、放射光将来光源利用サイエンス若手シンポジウム、東京大学工学部、2012/8/18.

- 1-18 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「光誘起相転移における、電子・格子の10フェムト秒ダイナミクスを捉える」、第52回分子科学若手の会、夏の学校、全体講演、東京大学本郷キャンパス、2012/8/20-23.
- 1-19 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「強相関電子系における光誘起相転移のテラヘルツ分光」、日本分光学会テラヘルツ分光部会シンポジウム、テラヘルツ分光法の最先端 VI〜ここまできたテラヘルツ時間領域分光〜、筑波大学、2012/10/25-26.
- 1-20 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Ultrafast spectroscopy of Ultrafast/THz spectroscopy of correlated electronic dielectrics”, CMRC workshop “Novel dielectric property in correlated electron system-Electron and Structure”, つくば国際会議場、2012/11/19-20.
- 1-21 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「極短パルス光源で見る、操る、強相関電子の世界」、日本光学会(応用物理学会)光波シンセシス研究グループ第19回研究会「未来を切り開く最先端フォトニクス研究」、秋保グランドホテル、2013/2/28.
- 1-22 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「極超短パルス光で見る、操る、強相関電子系の光誘起相転移」、物性セミナー、東京大学駒場キャンパス、2013/5/17.
- 1-23 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「1.5 サイクル赤外超短パルス発生技術とその応用展開」、計測フロンティア研究部門第32回公開セミナー「パルスレーザーを使った先端的分光分析法とデバイス評価への展開」、産業技術総合研究所、2014/2/10.
- 1-24 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「1.5 サイクル赤外パルスが駆動する強相関有機物質のコヒーレント電子ダイナミクス」、第1回東北大学リーディング大学院研究会「金属錯体の固体物性最前線 - 金属錯体と固体物性物理と生物物性の連携新領域をめざして -」、東北大学、2014/2/21
- 2-1 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「分子性ダイマーモット絶縁体に現れる誘電異常」、シンポジウム「やわらかい電荷秩序の得意な誘電性・伝導性と外場制御」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/23-26.
- 2-2 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「分子性ダイマーモット絶縁体に現れる誘電異常」、研究会「相関電子系における電荷秩序と誘電異常ー遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開ー」、青山学院大学青山キャンパス、2010/11/26-27.
- 2-3 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「 k 型 BEDT-TTF 分子系有機導体のモット転移近傍における強相関電子状態」、シンポジウム「分子アンサンブル 2010」、理化学研究所 和光、2010.11.15-17.
- 2-4 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「分子性ダイマーモット絶縁体に現れる誘電異常」、東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻相関基礎科学系物性セミナー、2010.12.3.
- 2-5 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット系分子性導体に内在する電荷自由度」、第5回物性科学領域横断研究会、東北大学金属材料研究所、

2011/11/19-20.

- 2-6 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、電子誘電体の特異な誘電性と電子状態-実験から-、KEK 物構研 CMRC 研究会「遍歴系における幾何学的電子相関」、つくば国際会議場、2012/1/11-12.
- 2-7 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「分子ダイマーに内在する電荷自由度と誘電応答」、日本物理学会第 67 回年次大会シンポジウム「有機電荷移動錯体の特異な電荷応答と相転移」、関西学院大学、2012/3/24-27.
- 2-8 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Dielectric properties of molecular dimer-Mott insulators with triangular and square lattice”, CMRC workshop “Novel dielectric property in correlated electron system-Electron and Structure-”, つくば国際会議場、2012-11/19-20.
- 2-9 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Dielectric properties of molecular dimer-Mott insulators with triangular and square lattice”, Tokyo Workshop “Spin/charge liquids near ordering”, 東京大学伊藤国際学術研究センター、2012/11/29-30.
- 3-1 岸田英夫(名大工、JST-CREST)、「有機強誘電体 TTF-CA の電場変調分光」、分子研研究会「新規な誘電体最前線－電子と強誘電性－」、2009/10/30(2009.10.30-31).
- 3-2 岸田英夫^{A,B}、伊藤敦哉^A、中村優斗^A、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「有機電荷秩序系の電子ラマン散乱」、研究会「相関電子系における電荷秩序と誘電異常－遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開-」、青山学院大学青山キャンパス、2010/11/27.
- 3-3 Hideo Kishida (Nagoya Univ., JST-CREST), “Vibrational spectroscopy in organic charge-transfer complexes showing novel dielectricity”, CMRC Workshop “Novel dielectric property in correlated electron system - Electron and Structure-”, つくば国際会議場エポカル小会議室 405, 2012/11/19(2012/11/19-20).
- 3-4 岸田英夫(名大院工、JST-CREST)、「光で見た分子性導体の電荷のダイナミクス」日本物理学会 第 68 回年次大会 シンポジウム「分子性物質におけるゆらぎとコヒーレンス」、広島大学東広島キャンパス、2013/3/28.
- a-1 高橋聡(奈良先端大物質、JST-CREST)、「 α 型および κ 型 ET 塩における光励起状態」、次世代スーパーコンピュータプロジェクト、ナノ分野グランドチャレンジ研究開発 ナノ統合拠点(兼 京大基研研究会)相関電子系における光誘起現象、京大基研、2009/12/11.
- 4a-2 高橋聡(奈良先端大物質、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー間ボンド長交替によって誘起される強誘電状態」、研究会「相関電子系における電荷秩序と誘電異常；遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開」、青山学院大、2010/11/26-27.
- 4b-1 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、分子性導体の電荷秩序と誘電性(企画講演)、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/21.

- 4b-2 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)「TMTTF系における電荷秩序とスピンプラストレーション」、研究会「相関電子系における電荷秩序と誘電異常ー遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開ー」、青山学院大学、2010/11/26.
- 4b-3 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、“Charge degree of freedom in molecular Pd(dmit)₂ systems”, CMRC workshop “Novel dielectric property in correlated electron system –Electron and Structure–”, つくば国際会議場、2012/11/20.
- 4b-4 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「強相関系物質のモデル化と相転移」、日本物理学会第68回年次大会 領域7 シンポジウム「分子性物質におけるゆらぎとコヒーレンス」(広島大学)、2013/3/28.
- 4b-5 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体の第一原理計算に基づくモデル化と多様な電子相図」、分子研研究会「光による分子性伝導体の電子相制御」、分子科学研究所、2013/10/03.
- 4b-6 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「電荷プラストレーション系□、「電₂Xにおける長周期電荷揺らぎ」、研究会「電子誘電体の新展開ー光と分極がおりなす新物質相-」、東北大学金属材料研究所、2013/12/03.
- 4b-7 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体の有効モデル構築とその解析」、第四回神楽坂・凝縮系理論研究会、東京理科大学神楽坂キャンパス、2014/01/25.
- 4b-8 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)「分子性導体の理論研究の過去・現在・未来」、物性理論・統計力学セミナー2014、修善寺、2014/03/15.

①招待講演<国際>

- 1-1 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Ultrafast terahertz and mid-IR and terahertz optical responses in layered BEDT-TTF based organic conductors”, 3rd International Conference on Photo-Induced Phase Transitions and Cooperative Phenomena, Osaka, Japan, 2008/11/11.
- 1-2 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Ultrafast IR and THz Spectroscopy of Photoinduced Insulator to Metal Transition in Highly Correlated Organic System”, International Conference on Dynamic Processes of Photo-Excited State in Solids 2010 (DPC’10), Argonne National Laboratory, IL, USA, 2010/6/25.
- 1-3 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Few optical-cycle ultrafast spectroscopy of strongly correlated electrons in layered molecular conductors”, Workshop Frontier 2010, Ecole des Mines d' Albi-Carmaux, France, 2010/12/7.
- 1-4 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Early-Stage Dynamics of Light-matter Interaction Leading to the Insulator to Metal Transition In Organic Correlated Systems”, 16th International Conference on Luminescence(ICL'2011), Ann Arbor, Michigan, USA, 2011/6/29.

- 1-5 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Correlated electron dynamics in 10 fs time scale in the early dynamics of photoinduced phase transitions”, The 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials (EXCON2012), Groningen, the Netherlands, 2012/7/2-6.
- 1-6 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Capturing correlated electron dynamics in 10 fs time scale on early dynamics of photoinduced phase transitions”, International Conference on Electronic States and Phases Induced by Electric or Optical Impacts (IMPACT2012), Orsay, France, 2012/9/10-14.
- 1-7 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Coherent electron dynamics of photoinduced phase transitions”, International School & Symposium on Molecular Materials & Devices (ISSMMD2012), Durham, UK, 2012/9/23-29.
- 1-8 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Capturing ultrafast dynamics of photoinduced phase transitions in organic and transition metal compounds”, Frontier2012, University of Rennes 1, Rennes, France, 2012/12/3-6.
- 1-9 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Capturing ultrafast dynamics of photoinduced phase transitions in organic and transition metal materials”, The Fourth International Workshop on Advanced Spectroscopy and Optical Materials (IWASOM’2013), Institute of Experimental Physics (Gdansk University), Gdansk, Poland, 2013/7/15.
- 1-10 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Capturing Electron and Lattice Dynamics of Photoinduced Phase Transitions by 7 fs (1.5 Cycle) Infrared Pulse”, The Fourth Asian Spectroscopy Conference (ASC2013), Nanyang Technological University, SINGAPORE, 2013/12/15-18.
- 2-1 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Disorder effects on the Mott transition in organic conductors.”, International Symposium on “Novel states in correlated condensed matter- from model systems to real materials-“ Harnack-Haus, Berlin, Germany, 2010/3/2-4.
- 2-2 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Influence of Randomness on Mott Transition in Organic Molecular Conductors”, Symposium “Many-Body Physics of Model Systems and Real Materials”, DPG meeting 2011, Dresden, Germany, cancel due to “Tohoku-Pacific Ocean Earthquake”, 2011/3/17.
- 2-3 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Influence of Randomness on Mott Transition in Organic Molecular Conductors”, 9th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2011), Gniezno, Poland, 2011/9/25-30.
- 3-1 H. Kishida (Nagoya Univ., JST-CREST), “Negative differential resistance and current oscillation in One-dimensional organic Mott insulators”, India-Japan Workshop on Biomolecular electronics & organic nanotechnology for environment preservation (IJWBME2009), New Delhi,

India, 2009/12/19.

- 3-2 H. Kishida^{A,B}, A. Ito^A and A. Nakamura^{A,B} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Electric field effects in charge-transfer salts of BEDT-TTF probed by vibrational spectroscopy”, Electronic States and Phases Induced by Electric or Optical Impacts (IMPACT-2012), Orsay, France, 2012/9/11 (2012/9/10-14).
- 3-3 H. Kishida (Nagoya Univ., JST-CREST), “Microscopic Electronic Raman Study in a BEDT-TTF-based Molecular Conductor”, India-Japan Workshop on "Biomolecular Electronics & Organic Nanotechnology for Environment Preservation" (IJWBME 2013), Delhi, India, 2013/12/14 (2013/12/13-15).
- 4a-1 A. Takahashi (NAIST, JST-CREST), “Dynamics of photoinduced insulator-metal transition in one-dimensional Mott insulators”, 3rd International Conference on International Conference on Photo-Induced Phase Transitions and Cooperative Phenomena, Osaka, Japan, 2008/11/11.
- 4a-2 A. Takahashi and H. Gomi (Nagoya Institute of Technology, JST-CREST), “Dynamics of Photoinduced Phase Transition in Dimer Mott Insulators”, Collaborative Conference on Materials Research, Jeju, South Korea, 2013/6/24-28.
- 4b-1 H. Seo (RIKEN, JST-CREST), “Broken symmetry states in quasi-one-dimensional molecular conductors –competitions, co-existences, and frustration–”, 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2009), Niseko Japan, 2009/9/17.
- 4b-2 H. Seo (RIKEN, JST-CREST), “Effective Models and Charge, Spin, Lattice Orderings in Molecular Conductors”, Symposium “Molecular Ensemble 2009”, Wako Japan, 2009/12/9.
- 4b-3 Y. Otsuka^A, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Tohoku Univ.^C), “Numerical study of charge-order correlation in one-dimensional \square -d coupled conductor $\text{TPP}[\text{Fe}(\text{Pc})(\text{CN})_2]_2$ ”, ISSP-MDF Joint International Workshop, Kashiwa, Japan, 2010/7/2.
- 4b-4 H. Seo (RIKEN, JST-CREST), “Modeling multi-orbital molecular conductors”, 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Montreal, Canada, 2013/7/15.

② 口頭発表 (国内会議 162 件、国際会議 42 件)

②口頭発表(国内)

- 1-1 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「有機伝導体における光誘起相転移の超高速ダイナミクス・中赤外、テラヘルツ分光によるアプローチ」研究会「金属錯体の固体物性科学最前線 - 錯体化学と固体物性物理の新奇融合領域創成をめざして - 」(主催:東北大学 G-COE「分子系高次構造体化学国際教育研究拠点」)、東北大学、2008/12/20.

- 1-2 中屋秀貴 A、高橋良幸 A、伊藤桂介 A、岩井伸一郎 A,B、斎藤伸吾 C、石原純夫 A、佐々木孝彦 B,D、山田重樹 E、有馬孝尚 F,G(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D、横浜市大 E、東北大多元研 F,ERATO-JST^G)、「LaCoO₃ のテラヘルツ分光; 定常スペクトルの温度依存性と超高速応答」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/27.
- 1-3 川上洋平 A、三浦雅樹 A、深津猛 A、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 C、佐々木孝彦 B,C、小林典男 C (東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C)、「三角格子ダイマーモット型絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ における超高速光応答」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/28.
- 1-4 三浦雅樹 A、深津猛 A、川上洋平 A、岩井伸一郎 A,B、佐々木孝彦 B,C、川上大輔 A、高石慎也 A、山下正廣 A(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C)、「MX-Ladder 型白金錯体における光励起状態の超高速ダイナミクス」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25.
- 1-5 伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、高橋良幸 A、岩井伸一郎 A,B、斎藤伸吾 C、石原純夫 A、佐々木孝彦 B,D、山田重樹 E、有馬孝尚 F(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D、横市大 E、東北大多元研 F)、「LaCoO₃ のテラヘルツ分光; 定常スペクトルの温度依存性と超高速過渡応答 II」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/26.
- 1-6 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「二次元有機伝導体における光誘起絶縁体-金属転移」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 2 回領域会議、東京大学、2009/10/6.
- 1-7 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「電子強誘電体における光誘起相転移」、分子研研究会(共催 CREST)「新規な誘電体最前線-電子と強誘電性-」、分子化学研究所、2009/10/30.
- 1-8 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「強誘電性有機伝導体 α -(ET)₂I₃ における光誘起金属状態」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 3 回領域会議、秋保温泉、2010/1/5.
- 1-9 深津猛 A、川上洋平 A、中屋秀貴 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,C、小林典男 C、山本薫 D、薬師久弥 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、分子研 D)、「赤外 10fs パラメトリック増幅器の開発」、東北大学大学院 GP6 専攻合同シンポジウム、東北大学、2010/2/16.
- 1-10 伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、川上洋平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、斎藤伸吾 C、米山直樹 B,D、佐々木孝彦 B,D、小林典男 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D)、「 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ のテラヘルツ分光; 高速電荷揺らぎによるフォノン異常」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/22.
- 1-11 伊藤弘毅 A,B、伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、岩井伸一郎 A,B、石原純夫 A、斎藤伸吾 C、赤浜裕士 D、早川弘毅 E、大石大輔 E、神戸高志 E、池田直 E(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、岡大理 D、岡大院自然 E)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄ のテラヘルツ分光」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/20.

- 1-12 深津猛 A、川上洋平 A、中屋秀貴 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B、C、佐々木孝彦 B,C、小林典男 C、山本薫 D、薬師久弥 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、分子研 D)、「二次元有機伝導体における光誘起相転移の赤外 10fs 分光 I」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/21.
- 1-13 川上洋平 A、深津猛 A、中屋秀貴 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B、C、佐々木孝彦 B,C、小林典男 C、山本薫 D、薬師久弥 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、分子研 D)、「二次元有機伝導体における光誘起相転移の赤外 10fs 分光 II」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/21.
- 1-14 伊藤弘毅 A,B、伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、安生皓平 A、岩井伸一郎 A,B、石原純夫 A、斎藤伸吾 C、赤浜裕士 D、早川弘毅 E、大石大輔 E、神戸高志 E、池田直 E(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、岡大理 D、岡大院自然 E)「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄ の超高速テラヘルツ応答」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/22 .
- 1-15 深津猛 A、川上洋平 A、桜井洋平 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B、C、小林典男 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C)、「二次元有機伝導体における光誘起相転移の赤外 10fs 分光 III」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/22.
- 1-16 川上洋平 A、深津猛 A、桜井洋平 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,C、小林典男 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C)、「二次元有機伝導体における光誘起相転移の赤外 10fs 分光 IV」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/22 .
- 1-17 伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、川上洋平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、斎藤伸吾 C、米山直樹 B,D、佐々木孝彦 B,D、小林典男 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D)、「 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ のテラヘルツ分光; 高速電荷揺らぎによるフォノン異常 II」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/22.
- 1-18 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「 α -(ET)₂I₃ における光誘起相転移」、新学術領域研究「分子自由度による新物質科学の開拓」拡大班会議「 α -(ET)₂I₃ 討論会」、東京大学、2010/10/22.
- 1-19 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「二次元有機伝導体における光誘起絶縁体-金属転移; 赤外 10 フェムト秒パルスで見た超高速スナップショット」、「新学術領域研究(分子自由度が拓く新物質科学)第 4 回領域会議」、東京大学小柴ホール、2011/1/5.
- 1-20 川上洋平 A、深津猛 A、桜井洋平 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,D、小林典男 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、山梨大医工 C、東北大金研 D)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるコヒーレント分子内振動の超高速変調」、日本物理学会第 66 回年次大会 新潟大学、2011/3.
- 1-21 桜井洋平 A、海野仁美 A、深津猛 A、石川貴悠 A、川上洋平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C)、「電荷

秩序型絶縁体 θ -(BEDT-TTF)₂RbZn(SCN)₄ の赤外 10 fs 分光」、日本物理学会 第 66 回年次大会 新潟大学、2011/3.

- 1-22 海野仁美 A、桜井洋平 A、深津猛 A、川上洋平 A、伊藤桂介 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、佐々木孝彦 B,C、谷口弘三 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、埼玉大理 D)、「一次元ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における励起状態の超高速緩和過程」、日本物理学会第 66 回年次大会 新潟大学、2011/3.
- 1-23 伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、安生皓平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、齋藤伸吾 C、佐々木孝彦 B,D、谷口弘三 E(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D、埼玉大理 E)、「一次元ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における励起状態の超高速緩和過程」、日本物理学会第 66 回年次大会 新潟大学、2011/3.
- 1-24 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体における分極クラスターの光誘起 THz ダイナミクス」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 5 回領域会議、東京大学、2011/6/8-9.
- 1-25 伊藤弘毅 A,B、伊藤桂介 A、安生皓平 A、岩井伸一郎 A,B、石原純夫 A、齋藤伸吾 C、赤浜裕士 D、大石大輔 D、神戸高志 D、池田直 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、岡山大理 D)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄ における電荷秩序の光融解」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/21.
- 1-26 安生皓平 A、伊藤桂介 A、中屋秀貴 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、齋藤伸吾 C、山本薫 D、薬師久弥 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、分子研 D)、「逐次転移を示す電荷秩序絶縁体 α' -(BEDT-TTF)₂I₂Br₂ のテラヘルツ分光」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/21.
- 1-27 川上洋平 A、桜井洋平 A、石川貴悠 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,D(東北大院理 A、JST-CREST^B、山梨大医工 C、東北大金研 D)、「二次元有機伝導体における超高速多電子 - 格子干渉 II;ダイマーモット絶縁体」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/22.
- 1-28 伊藤桂介 A、安生皓平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、石原純夫 A、齋藤伸吾 C、佐々木孝彦 B,D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、東北大金研 D)、「ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ における分極クラスターの光誘起テラヘルツダイナミクス」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/22.
- 1-29 桜井洋平 A、石川貴悠 A、海野仁美 A、川上洋平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C)、「二次元有機伝導体における超高速多電子 - 格子干渉 I;電荷秩序絶縁体」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/22.
- 1-30 海野仁美 A、桜井洋平 A、石川貴悠 A、川上洋平 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、佐々木孝彦 B,C、谷口弘三 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、埼玉大理 D)、「ダイマーモット絶縁体 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における励起状態の超高速緩和過程 II」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス黒田講堂、2011/9/22.

- 1-31 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、電子誘電体の光・テラヘルツ応答、金研ワークショップ「電子自由度による強誘電体研究最前線」、東北大学金属材料研究所、2011/11/1-2.
- 1-32 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(ET)₂Cu₂(CN)₃における双極子ガラスと光誘起相転移」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第6回領域会議、仙台市秋保、2012/1/5-7.
- 1-33 石川貴悠^A、桜井洋平^A、川上洋平^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、米山直樹^{B,C}、佐々木孝彦^{B,D}(東北大院理^A、JST-CREST^B、山梨大医工^C、東北大金研^D)、「電子誘電体 \square -(h-BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃の赤外 10 fs 分光」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、2012/3/24.
- 1-34 安生皓平^A、伊藤桂介^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、齋藤伸吾^C、山本薫^D、薬師久弥^D(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、分子研^D)、「逐次転移を示す電荷秩序絶縁体 α' -(ET)₂IBr₂における光誘起相転移」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、2012/3/24.
- 1-35 伊藤桂介^A、安生皓平^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、石原純夫^A、齋藤伸吾^C、狩野旬^D、永田知子^D、深田幸正^D、神戸高志^D、池田直^D(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、岡山大理^D)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄における光誘起相転移の層間ダイナミクス」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、2012/3/24.
- 1-36 伊藤弘毅^{A,B}、伊藤桂介^A、岩井伸一郎^{A,B}、齋藤伸吾^C、山本薫^D、薬師久弥^D(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、分子研^D)、「逐次転移を示す電荷秩序絶縁体 α' -(ET)₂IBr₂における光誘起相転移 II」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 1-37 伊藤桂介^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、石原純夫^A、齋藤伸吾^C、橋本顕一郎^D、佐々木孝彦^{B,D}、狩野旬^D、永田知子^D、深田幸正^D、神戸高志^D、池田直^D(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、東北大金研^D、岡山大理^E)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄における光誘起相転移の層間ダイナミクス II」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 1-38 伊藤桂介^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、石原純夫^A、齋藤伸吾^C、橋本顕一郎^D、佐々木孝彦^{B,D}、山田重樹^E、有馬孝尚^F(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、東北大金研^D、横浜市立大^E、東大新領域^F)、「ペロブスカイト型酸化物 LaCoO₃におけるスピン転移とテラヘルツ分光」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 1-39 石川貴悠^A、山田研太郎^A、伊藤桂介^A、伊藤弘毅^{A,B}、岩井伸一郎^{A,B}、石原純夫^A、橋本顕一郎^D、佐々木孝彦^{B,D}、山田重樹^E、有馬孝尚^F(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、東北大金研^D、横浜市立大^E、東大新領域^F)、「ペロブスカイト型酸化物 LaCoO₃の赤外 10 fs 分光」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 1-40 岩井伸一郎(東北大院理、JST-CREST)、「二次元 BEDT-TTF(ET)塩の超高速、THz 分光」、新学術領域「分子自由度が拓く新物質科学」第7回領域会議、東京大

学小萩ホール、2013/3/1.

- 1-41 山田研太郎 A、石川貴悠 A、伊藤桂介 A、後藤和紀 A、寒河江悠途 A、伊藤弘毅 A,B、齋藤伸吾 C、狩野旬 D、永田知子 D、深田幸正 D、神戸高志 D、石原純夫 A、池田直 D、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、岡山大理 D)、**「LuFe₂O₄における光誘起相転移の超高速電荷-格子ダイナミクス**」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-42 石川貴悠 A、山田研太郎 A、寒河江悠途 A、後藤和紀 A、伊藤桂介 A、伊藤弘毅 A,B、詹仕誠 C、橋本顕一郎 C、佐々木孝彦 B,C、石原純夫 A、岩井伸一郎 A,B、山田重樹 D、有馬孝尚 E(東北大院理 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、横浜市立大 D、東大新領域 E)、**「ペロブスカイト型酸化物 LaCoO₃の赤外 10 fs 分光 II**」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-43 伊藤弘毅 A,B、伊藤桂介 A、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C)、**「逐次転移を示す電荷秩序絶縁体 α'-(ET)₂IBr₂における光誘起相転移 III**」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-44 伊藤桂介 A、後藤和紀 A、伊藤弘毅 A,B、齋藤伸吾 C、岸田英夫 B,D、佐々木孝彦 B,E、谷口弘三 F、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、名古屋大院工 D、東北大金研 E、埼玉大院理 F)、**「ダイマーモット絶縁体 β'-(BEDT-TTF)₂ICl₂のテラヘルツ時間領域分光 II**」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-45 伊藤弘毅 A,B、伊藤桂介 A、後藤和紀 A、山本薫 C、薬師久弥 D、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、岡山大理 C、豊田理化研 D)、**「テラヘルツ波発生を用いた α 型 ET 塩における光誘起相転移の観測**」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.
- 1-46 寒河江悠途 A、山田研太郎 A、石川貴悠 A、伊藤弘毅 A,B、山本薫 C、薬師久弥 D、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、岡山大理 C、豊田理化研 D)、**「擬一次元有機伝導体(TMTTF)₂AsF₆における光誘起相転移ダイナミクス**」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.
- 1-47 山田研太郎 A、石川貴悠 A、寒河江悠途 A、伊藤弘毅 A,B、狩野旬 C、永田知子 C、深田幸正 C、神戸高志 C、佐々木孝彦 B,D、石原純夫 A、池田直 C、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、岡大院自然 C、東北大金研 D)、**「LuFe₂O₄における光誘起相転移の超高速電荷-格子ダイナミクス II**」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.
- 1-48 伊藤桂介 A、後藤和紀 A、伊藤弘毅 A,B、齋藤伸吾 C、岸田英夫 D,B、佐々木孝彦 E,B、谷口弘三 F、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、名大院工 D、東北大金研 E、埼玉大 F)、**「電場印加下における β'-(BEDT-TTF)₂ICl₂のテラヘルツ時間領域分光**」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.
- 1-49 伊藤桂介 A、後藤和紀 A、山田研太郎 A、石川貴悠 A、伊藤弘毅 A,B、石原純夫 A、齋藤伸吾 C、狩野旬 D、永田知子 D、深田幸正 D、神戸高志 D、池田直 D、岩井伸一

郎^{A,B}(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、岡大院自然^D)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄における光誘起電荷・スピン相転移」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.

- 1-50 伊藤弘毅^{A,B}、伊藤桂介^A、後藤和紀^A、山本薫^C、薬師久弥^D、岸田英夫^{B,E}、岩井伸一郎^{A,B}(東北大院理^A、JST-CREST^B、岡山理大理^C、豊田理化研^D、名大院工^E)、「テラヘルツ波発生を用いた α 型 ET 塩における光誘起相転移の観測 II」日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 1-51 伊藤桂介^A、後藤和紀^A、伊藤弘毅^{A,B}、齋藤伸吾^C、米山直樹^{D,B}、佐々木孝彦^{D,B}、石原純夫^A、岩井伸一郎^{A,B}(東北大院理^A、JST-CREST^B、情通機構^C、東北大金研^D)、「電子型誘電体 κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ におけるテラヘルツ応答と光誘起相転移」日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 1-52 後藤和紀^A、伊藤桂介^A、伊藤弘毅^{A,B}、山本薫^C、薬師久弥^D、岸田英夫^{E,B}、岩井伸一郎^{A,B}(東北大院理^A、JST-CREST^B、岡山理大理^C、豊田理化研^D、名大院工^E)、「電子誘電体 α -(ET)₂I₃ における光誘起相転移のテラヘルツ分光」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 2-1 佐々木孝彦^{A,B}、米山直樹^{A,B}、小林典男^A(東北大金研^A、JST-CREST^B)、「BEDT-TTF 系有機導体へのエックス線照射効果」、日本物理学会 第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/28.
- 2-2 米山直樹^{A,B}、佐々木孝彦^{A,B}、小林典男^A(東北大金研^A、JST-CREST^B)、「 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ における T*近傍での静磁化測定」、日本物理学会 第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/28.
- 2-3 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「分子性ダイマーモット絶縁体の誘電異常、特定領域「フラストレーションが創る新しい物性」、第 5 回トピカルミーティング「誘電体にひそむランダムネスとフラストレーション」、大阪大学豊中キャンパス、2009/12/18-19.
- 2-4 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「 \square -(BEDT-TTF)₂X へのエックス線照射効果」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 3 回領域会議、秋保温泉、20010/1/5.
- 2-5 M. Abdel-Jawad^A、寺崎一郎^A、佐々木孝彦^{B,C}、米山直樹^{B,C}、小林典男^B、上江洲由晃^A、堀田知佐^D(早稲田大理工^A、東北大金研^B、JST-CREST^C、京産大理^D)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の誘電異常」、日本物理学会 第 65 回年次大会、岡山大学 2010/3/20-23.
- 2-6 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「スピン液体系 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ 研究の現状と問題点-電荷自由度の観点から-」、分子研研究会-新規な誘電体最前線-電子と強誘電性-、分子科学研究所、2009/10/30-31.
- 2-7 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット型分子性導体への乱れの導入と電子状態変化」、「新学術領域研究(分子自由度が拓く新物質科学) 第 4

回領域会議」、東京大学小柴ホール、2011/1/5.

- 2-8 佐々木孝彦 (東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ の誘電異常」、新学術領域研究「分子自由度による新物質科学の開拓」「フラストレーションによるスピン液体と電荷液体についての討論会」、東京大学、2011/1/31.
- 2-9 菅原洋紀 A、佐々木孝彦 A,B、米山直樹 B,C、小林典男 A (東北大金研 A、JST-CREST^B、山梨大医工^C)、「エックス線照射した \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br の赤外反射スペクトル測定」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011/3/27.
- 2-10 原口智樹 A、佐々木孝彦 A,B、米山直樹 B,C、小林典男 A (東北大金研 A、JST-CREST^B、山梨大医工^C)、「部分重水素置換した \square -(BEDT-TTF) $_2$ Cu[N(CN) $_2$]Br のエックス線照射効果」、日本物理学会第 66 回年次大会 新潟大学、2011/3/27.
- 2-11 佐々木孝彦 (東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット型分子性導体に内在する電荷自由度」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 5 回領域会議、東京大学、2011/6/8-9.
- 2-12 中屋秀貴 A、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 A,C (東北大金研 A、山梨大医工 B、JST-CREST^C)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(\square -ET) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ における赤外光学応答」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/21-24.
- 2-13 井口敏 A、佐々木孝彦 A,B、谷口弘三 C、米山直樹 B,D (東北大金研 A、JST-CREST^B、埼玉大理 C、山梨大医工 D)、「四角格子ダイマーモット型分子性導体 \square -(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$ における誘電応答」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/21-24.
- 2-14 佐々木孝彦 (東北大金研、JST-CREST)、「分子性ダイマーモット系に内在する電荷自由度」、金研ワークショップ「電子自由度による強誘電体最前線」、東北大学金属材料研究所、2011/11/1-2.
- 2-15 佐々木孝彦 (東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット系分子性導体に内在する電荷自由度」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 6 回領域会議、仙台市秋保、2012/1/5-7.
- 2-16 中屋秀貴 A、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 A,B (東北大金研 A、JST-CREST^B、山梨大医工^C)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(ET) $_2$ Cu $_2$ (CN) $_3$ における赤外光学伝導度」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012/3/24-27.
- 2-17 橋本顕一郎 A、詹仕誠 A、米山直樹 B,C、森脇太郎 D、池本夕佳 D、井口敏 A、佐々木孝彦 A,C (東北大金研 A、山梨大医工 B、JST-CREST^C、高輝度光科学センター D)、「光学伝導度測定による \square -(BEDT-TTF) $_2$ CsZn(SCN) $_4$ の電荷グラス状態の解明」、2012 年日本物理学会秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 2-18 佐々木孝彦 A,B、菅原洋紀 A、岡村英一 C、米山直樹 B,D、小林典男 A、池本夕佳 E、森脇太郎 E (東北大金研 A、JST-CREST^B、神戸大理 C、山梨大医工 D、高輝度光科学センター E)、「 \square -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の高圧力中赤外光学反射スペクトル」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.

- 2-19 佐々木智^A、井口敏^A、米山直樹^{B,C}、佐々木孝彦^{A,C} (東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C)、「X線照射したダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃の誘電応答」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 2-20 米山直樹^{A,B}、濱田幸司^A、井口敏^C、佐々木孝彦^{B,C} (山梨大医工^A、JST-CREST^B、東北大金研^C)、「部分分子置換 \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ における磁化率と誘電率」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 2-21 井口敏^A、佐々木智^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C} (東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「分子性ダイマーモット絶縁体 \square' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における強誘電リラクサー様の誘電特性」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 2-22 松浦直人^A、河村聖子^B、井口敏^A、佐々木孝彦^{A,C}、谷口弘三^D (東北大金研^A、J-PARC/原子力研究機構^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「分子性導体 \square' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ における強誘電性とフォノンモード」、JAEA-CROSS プロジェクトミニワークショップ、横浜、2012/9/21-22.
- 2-23 佐々木孝彦(東北大金研、JST-CREST)、「ダイマーモット型分子性導体に内在する特異な電荷自由度」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 7 回領域会議、東京大学小柴ホール、2013/3/1-3.
- 2-24 橋本顕一郎^A、詹仕誠^A、米山直樹^{B,C}、森脇太郎^D、池本夕佳^D、井口敏^A、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、高輝度光科学センター^D)、「X線照射した \square -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄ の電荷ガラス相における光学応答」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 2-25 井口敏^A、佐々木智^A、細川貴庸^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C} (東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「ダイマーモット絶縁体 \square' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ の誘電特性」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 2-26 佐々木智^A、井口敏^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C} (東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「ダイマーモット絶縁体における誘電異常の磁場効果」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 2-27 佐々木智^A、井口敏^A、川本正^B、森健彦^B、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、東工大院理^B、JST-CREST^C)「(TTM-TTP)X (X=I₃, AuI₂)の誘電応答」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 2-28 橋本顕一郎^A、小林亮太^A、詹仕誠^A、井口敏^A、谷口弘三^B、岡村英一^C、森脇太郎^D、池本夕佳^D、佐々木孝彦^{A,E} (東北大金研^A、埼玉大院理^B、神戸大院理^C、高輝度光科学センター^D、JST-CREST^E)、「四角格子ダイマーモット絶縁体 \square 、「四角格子ダイマーモット \square ICl₂ の光学応答」、2013 年日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 2-29 河村聖子^A、松浦直人^B、井口敏^C、佐々木孝彦^{C,D}、谷口弘三^E、窪田愛子^E、佐藤一彦^E、稲村泰弘^A、菊地龍弥^A、川北至信^A、中島健次^A(J-PARC センター^A、総

合科学研究機構^B、東北大金研^C、JST-CREST^D、埼玉大理^E)、「中性子非弾性散乱によるダイマーモット絶縁体□、「中性子非弾性散乱による ICl_2 のフォノン異常の観測」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.

- 2-30 古川哲也^A、伊藤哲明^A、宮川和也^A、谷口弘三^B、斉藤みく^C、佐々木孝彦^{C,D}、鹿野田一司^A(東大院工^A、埼玉大院理^B、東北大金研^C、JST-CREST^D)「X線照射された $\kappa\text{-(ET)}_2\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ の1H-NMRによる磁性研究」、2013年日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 2-31 斉藤みく^A、原口智樹^A、米山直樹^B、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^C、山梨大医工^B、JST-CREST^C)、「分子性導体□、「分子性導体□□□□ $\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Br}$ のモット転移に対する乱れの効果」、2013年日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 2-32 古川哲也、宮川和也、谷口弘三^A、佐々木孝彦^B、鹿野田一司(東大工、埼玉大理^A、東北大金研^B)、「X線照射された□照射された $\text{Cu}[\text{N}(\text{CN})_2]\text{Cl}$ の圧力下電気抵抗測定」、日本物理学会第69回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 2-33 橋本顕一郎、小林亮太、仕誠、井口敏、谷口弘三^A、岡村英一^B、森脇太郎^C、池本夕佳^C、佐々木孝彦(東北大金研、埼玉大理^A、神戸大院理^B、SPring-8/JASRI^C)、「高圧下におけるダイマーモット絶縁体□「高圧下におけるダイマー ICl_2 の光学スペクトル」、日本物理学会第69回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 2-34 米山直樹、濱田幸司、河野令、佐々木孝彦^A、長尾雅則^B、田中功^B、三浦章^B、武井貴弘^B、熊田伸弘^B(山梨大院医工、東北大金研^A、山梨大クリスタル^B)、「部分分子置換した□「部分分子置換した金研 $\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ における金属相の発現」、日本物理学会第69回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 3-1 岸田英夫(名大工、JST-CREST)、「低次元有機電荷移動錯体の強電場効果と光学応答」、名古屋大学総長裁量経費研究会、産総研(つくば市)、2010/1/22.
- 3-2 伊藤敦哉^A、岸田英夫^{A,B}、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「 $\alpha\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{I}_3$ における非線形伝導状態のラマン散乱」、日本物理学会第65回年次大会、岡山大学、2010/3/20.
- 3-3 中村優斗^A、岸田英夫^{A,B}、中村新男^{A,B}、佐々木孝彦^{B,C}、米山直樹^{B,C}、小林典男^C(名大院工^A、JST-CREST^B、東北大金研^C)、「 $\square\text{-(BEDT-TTF)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ のラマン散乱スペクトルの温度依存性」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/24.
- 3-4 岸田英夫^{A,B}、伊藤敦哉^A、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「 $\alpha\text{-(ET)}_2\text{I}_3$ の電子ラマン散乱スペクトルと非線形伝導」、 $\alpha\text{-(ET)}_2\text{I}_3$ のDirac電子相、電荷不均化金属相、電荷秩序絶縁相に関する討論会(新学術領域「分子自由度が拓く新物質科学」A01班拡大討論会)、東京大学、2010/10/22
- 3-5 岸田英夫^{A,B}、伊藤敦哉^A、中村優斗^A、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「有機電荷移動錯体の電子ラマン散乱と非線形伝導」、第4回東

北大学 G-COE 研究会「金属錯体の固体物性科学最前線—錯体化学と固体物性物理と生物物性の連携新領域創成をめざして—」、東北大学、2010/12/3.

- 3-6 伊藤敦哉 A、岸田英夫 A,B、中村新男 A,B (名大院工 A、JST-CREST^B)、 \square -(BEDT-TTF)₂I₃ の非線形伝導状態におけるラマンスペクトルの場所依存性」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011/3.
- 3-7 中村優斗 A、岸田英夫 A,B、中村新男 A,B、佐々木孝彦 B,C、米山直樹 B,D、小林典男 C (名大院工 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、山梨大医工 D)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X のラマン散乱スペクトル」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011/3.
- 3-8 中村優斗 A、伊藤敦哉 A、岸田英夫 A,B、中村新男 A,B、佐々木孝彦 B,C、米山直樹 B,C、小林典男 C (名大院工 A、JST-CREST^B、東北大金研 C)、「 \square -(BEDT-TTF)₂X の電子ラマン散乱スペクトルの解析」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/22.
- 3-9 岸田英夫 (名大院工、JST-CREST)、「 \square 型 ET 錯体の電子ラマン散乱」、金研ワークショップ「電子自由度による強誘電体研究最前線」、東北大学金属材料研究所、2012/11/2(2011/10/1-2).
- 3-10 岸田英夫 (名大院工、JST-CREST)、「BEDT-TTF 錯体の電子ラマン分光」、第 5 回東北大学 G-COE 研究会「金属錯体の固体物性科学最前線—錯体化学と固体物性物理と生物物性の連携新領域創成をめざして—」、東北大学、2012/1/21(2012/1/20-22).
- 3-11 中村優斗 A、岸田英夫 A,B、中村新男 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,D (名大院工 A、JST-CREST^B、山梨大院工 C、東北大金研 D)、「 κ -(BEDT-TTF)₂X の電子ラマン散乱スペクトルの偏光依存性」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012/3/27(2012/3/24-27).
- 3-12 服部祐磨 A、岸田英夫 A,B、井口敏 C、佐々木孝彦 B,C、岩井伸一郎 B,D、谷口弘三 E (名大院工 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、東北大理 D、埼玉大理 E)、「 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ の電場印加下におけるラマン散乱スペクトル」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学 東広島キャンパス、2013/3/29(2013/3/26-29).
- 3-13 中村優斗 A、岸田英夫 A,B、加藤礼三 C (名大院工 A、JST-CREST^B、理研 C)、「Pd(dmit)₂ 塩における広波数領域にわたるラマン散乱スペクトルのカチオン依存性」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25(2013/9/25-28).
- 3-14 服部祐磨 A、岸田英夫 A,B、井口敏 B,C、佐々木孝彦 B,C、岩井伸一郎 B,D、谷口弘三 E (名大院工 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、東北大院理 D、埼玉大 E)、「 β' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ の電場印加下におけるラマン散乱スペクトル II」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/27(2013/9/25-28).
- 3-15 服部祐磨 A、岸田英夫 A,B、井口敏 B,C、佐々木孝彦 B,C、岩井伸一郎 B,D、谷口弘三 E (名大院工 A、JST-CREST^B、東北大金研 C、東北大院理 D、埼玉大 E)、「 \square -(BEDT-TTF)₂ICl₂ の電場印加下におけるラマン散乱スペクトル III」、日本物理学会 第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/30 (2014/3/27-30)

発表予定

- 4a-1 瀬川真未^A、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「1次元モット絶縁体における光励起状態の緩和に対する格子の運動の効果 II」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/27-30.
- 4a-2 高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「2次元モット絶縁体における光誘起金属転移」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/27-30.
- 4a-3 今井堯之^A、五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「 k 型 ET 塩における THz 光誘起ダイマー内分極振動」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/20-23.
- 4a-4 五味広喜^{A,B}、平木康浩^A、池永昌弘^A、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー間ボンド長交替によって誘起される強誘電状態」、日本物理学会平成 22 年度秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010/9/23-26.
- 4a-5 五味広喜^{A,B}、池永昌弘^A、平木康浩^A、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー配置の乱れによって誘起される強誘電ドメイン」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/25-28.
- 4a-6 五味広喜^{A,B}、池永昌弘^C、平木康浩^C、高橋聡^{A,B}、相原正樹^C (名工大工^A、JST-CREST^B、奈良先端大物質^C)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー配置の乱れによって誘起される強誘電ドメイン II」、日本物理学会 2012 年秋季大会、富山大学、2011/9/21-24.
- 4a-7 五味広喜^{A,B}、池永昌弘^C、平木康浩^C、高橋聡^{A,B}、相原正樹^C (名工大工^A、JST-CREST^B、奈良先端大物質^C)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるモットギャップ内光励起状態」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012/3/24-27.
- 4a-8 五味広喜、高橋聡 (名工大工、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるモットギャップ内光励起状態の物理的性質」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/18-21.
- 4a-9 五味広喜、高橋聡 (名工大工、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるモットギャップ内光励起状態と強誘電揺らぎ」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 4a-10 五味広喜、高橋聡 (名工大工、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square 、「ダイマーモット絶縁₂X におけるスピン揺らぎによって増強された電荷揺らぎ」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 4a-11 五味広喜、高橋聡 (名工大工、JST-CREST)、「ダイマーモット絶縁体 \square 、「ダイマーモット絶縁₂X における光励起状態の電子格子ダイナミクス II」、2013 年日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.

- 4b-1 妹尾仁嗣^{A,B}、吉岡英生^C、大塚雄一^D (原子力機構^A、JST-CREST^B、奈良女子大^C、兵庫県立大^D)、「分子性導体における非整合モット絶縁体」、SPRING-8 シンポジウム「利用者懇談会理論研究会」、科学未来館、2008/10/31.
- 4b-2 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^D (原子力機構^A、JST-CREST^B、産総研^C、兵庫県立大^D)、「結合ラダー系 B バナジウムブロンズの金属絶縁体転移メカニズム」、新しい物理を生む新物質若手の会第四回会議「新しい物質と新しい物理:若い世代からの提案」、箱根パークス吉野、2008/1/18.
- 4b-3 妹尾仁嗣 (原子力機構、JST-CREST)、「分子性導体におけるフラストレーションと「自己組織化」」、有機固体若手の会「冬の学校 2008」、伊東温泉山喜旅館、2008/12/6.
- 4b-4 妹尾仁嗣 (原子力機構、JST-CREST)、「分子性導体におけるフラストレーション効果」、「金属錯体の固体物性科学最前線 - 錯体化学と固体物性物理の連携新領域創成をめざして -」、東北大学、2008/12/20.
- 4b-5 妹尾仁嗣 (原子力機構、JST-CREST)、「電荷フラストレーション、 \square -d 系、光誘起相転移」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」キックオフミーティング、東大本郷キャンパス工学部 6 号館、2009/1/7.
- 4b-6 妹尾仁嗣 (原子力機構、JST-CREST)、「電荷秩序系の展開の方向性」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」A03 班会議、熱海温泉志ほみや旅館、2009/2/27.
- 4b-7 大塚雄一^A、妹尾仁嗣^{B,C} (兵庫県立大^A、原子力機構^B、JST-CREST^C)、「Ising スピンと結合した $1/4$ -filled ハバード鎖の電荷秩序相関」、日本物理学会第 63 回年次大会、立教大学、2009/3/27.
- 4b-8 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^D (原子力機構^A、JST-CREST^B、産総研^C、兵庫県立大^D)、「 \square - $\text{Na}_{1/3}\text{V}_2\text{O}_5$ の有効モデルと金属絶縁体転移」、日本物理学会第 63 回年次大会、立教大学、2009/3/29.
- 4b-9 妹尾仁嗣 (理研、JST-CREST)、「多自由度分子性導体の理論的研究 - 単一成分金属と Fe-Pc 系 -」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」物質開発 + 理論の A5(a)(b) 合同班会議、KKR ホテル熱海、2009/6.
- 4b-10 大塚雄一、妹尾仁嗣 (理研、JST-CREST)、「分子性導体における有限温度物性の数値的研究、第二回 CREST チームミーティング、東北大金研、2009/7/23.
- 4b-11 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^{A,B} (理研^A、JST-CREST^B、産総研^C)、「 \square - $\text{A}_{1/3}\text{V}_2\text{O}_5$ (A=Na, Sr) の有効モデル構築と電荷スピン秩序化」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9.
- 4b-12 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、求幸年^C (理研^A、JST-CREST^B、東大工^C)、「一次元 \square -d 系における電荷秩序と有限温度物性、日本物理学会 秋季大会 熊本大学、2009/9/28.
- 4b-13 妹尾仁嗣 (理研、JST-CREST)、「分子性導体で見られる二量体化と電荷秩序の共存による誘電性」、分子研研究会「新規な誘電体最前線 - 電子と強誘電性 -」、分

子研、2009/10.

- 4b-14 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体の有効モデルと電荷・スピン・格子秩序」、第3回物性科学領域横断研究会、東京大学、2009/12.
- 4b-15 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「 \square -d の理論研究 ～鉄フタロシアニン化合物と単一成分分子性金属～」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第3回領域会議、秋保温泉岩沼屋、2010/1.
- 4b-16 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「擬1次元分子性導体における多様な電荷・スピン・格子秩序」、CMRC研究会「相関電子と構造物性」、KEK、2010/2/22.
- 4b-17 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、福山秀敏^D、寺倉清之^E(理研^A、JST-CREST^B、産総研^C、東理大理^D、北陸先端大^E)、「単一成分分子性導体 $\text{Cu}(\text{tmdt})_2$ の有効モデルと p-d 混成」、日本物理学会第65回年次大会、岡山大学、2010/3/21.
- 4b-18 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、求幸年^C(理研^A、JST-CREST^B、東大工^C)、「一次元 \square -d 系の有限温度相図」、日本物理学会第65回年次大会、岡山大学、2010/3/23.
- 4b-19 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「擬1次元分子性導体の多様な共存/競合」、CMRC研究会「分子性結晶における構造物性研究」、KEK、2010/4/3.
- 4b-20 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩におけるスピンフラストレーションと電荷秩序」、日本物理学会2010年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010/9/24.
- 4b-21 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「複数軌道系分子性導体のモデル化」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」A03 班会議、箱根湯本ホテル、2010/11/23.
- 4b-22 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、求幸年^C(理研^A、JST-CREST^B、東大工^C)、「1次元 \square -d 系の電荷秩序と磁場効果」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」A03 班会議、箱根湯本ホテル、2010/11/22.
- 4b-23 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「複数軌道系分子性導体のモデル化」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」A03 班会議、箱根湯本ホテル、2010/11/22.
- 4b-24 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「単一成分分子性導体 $\text{Au}(\text{tmdt})_2$ と $\text{Cu}(\text{tmdt})_2$ における p-d 混成と磁性」、第4回東北大学 G-COE 研究会「金属錯体の固体物性科学最前線－錯体化学と固体物性物理と生物物性の連携新領域創成をめざして－」、東北大学理学部化学、2010/12/4.
- 4b-25 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「多軌道系分子性導体の“フラグメント”化による有効モデル」、スプリングセミナー「物性物理の現状と展望」、自然学習村源じいの森、2011/2/12.
- 4b-26 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩における電荷秩序による次元制御

と磁気基底状態の競合」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/26.

- 4b-27 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^B、福山秀敏^D、寺倉清之^E(理研^A、JST-CREST^B、産総研^C、東理大理^D、北陸先端大^E)、「 $M(\text{tmtd})_2$ ($M=\text{Ni, Au, Cu}$)の多軌道モデル化と磁気状態」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/27.
- 4b-28 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、吉見一慶^{B,C}、加藤岳生^D(理研^A、JST-CREST^B、東大理^B、産総研^C、東大物性研^D)、「電荷移動錯体における中性イオン性転移の数値的研究」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/28.
- 4b-29 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体における電子相関と多様な相図」、日本中間子科学会ワークショップ「超低速ミュオン顕微鏡」、東工大大岡山キャンパス、2011/5/29.
- 4b-30 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^{A,B}、福山秀敏^D、寺倉清之^E(理研^A、JST-CREST^B、産総研^C、東理大理^D、北陸先端大^E)、「 $M(\text{tmtd})_2$ ($M=\text{Ni, Au, Cu}$) の多軌道モデル化と磁気状態」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 5 回領域会議、東京大学本郷キャンパス、2011/6/8.
- 4b-31 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^{A,B}、福山秀敏^D、寺倉清之^E(理研^A、JST-CREST^B、産総研^C、東理大理^D、北陸先端大^E)、「 $M(\text{tmtd})_2$ ($M=\text{Au, Cu}$) における軌道混成と磁氣的性質」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/22.
- 4b-32 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、吉見一慶^{C,D}、加藤岳生^E(理研^A、JST-CREST^B、東大理^C、産総研^D、東大物性研^E)、「電荷移動錯体における中性イオン性転移の数値的研究」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/23.
- 4b-33 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩における電荷秩序と磁気状態の次元クロスオーバー」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011/9/22.
- 4b-34 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、吉見一慶^{C,D}、加藤岳生^E(理研^A、JST-CREST^B、東大理^C、産総研^D、東大物性研^E)、「有機電荷移動錯体における中性イオン性転移の有限温度相図、金研ワークショップ「電子自由度による強誘電体研究最前線」、東北大金研、2011/11/2.
- 4b-35 妹尾仁嗣^{A,B}、石橋章司^C、大塚雄一^{A,B}、福山秀敏^D、寺倉清之^E(理研^A、JST-CREST^B、産総研^C、東理大理^D、北陸先端大^E)、「単一成分分子性導体の多軌道モデルと磁気状態」、シンポジウム「分子アンサンブル 2011」、理研和光キャンパス、2011/11/9.
- 4b-36 大塚雄一^{A,B}、妹尾仁嗣^{A,B}、吉見一慶^{C,D}、加藤岳生^E(理研^A、JST-CREST^B、東大理^C、産総研^D、東大物性研^E)、「電荷移動錯体における中性イオン性転移の有限温度相図」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 6 回領域会議、岩沼屋(宮城県仙台市)、2012/1/6.
- 4b-37 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体における電荷フラストレーション θ -ET 系と DCNQI 系」、KEK/物構研 CMRC 研究会「遍歴系における幾何学的電子相

関」、つくば国際会議場、2012/1/11.

- 4b-38 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「擬一次元分子性固体に対する数値的研究?基底状態および有限温度相図」、第5回東北大学 G-COE 研究会「金属錯体の固体物性科学最前線錯体化学と固体物性物理と生物物性の連携新領域創成をめざして」、東北大学理学部、2012/1/22.
- 4b-39 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「多軌道分子性導体の有効モデルと多様な状態」、生物物質科学フォーラム、北陸先端科学技術大学院大学、2012/3/10.
- 4b-40 妹尾仁嗣^{A,B}、圓谷貴夫^{A,C}、宮崎剛^C、加藤礼三^A (理研^A、JST-CREST^B、物材機構^C)、「(Cation)[Pd(dmit)₂]₂ の有効モデルと電荷秩序安定性」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学、2012/3/24.
- 4b-41 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、前橋英明^E (東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、東大物性研^E)、「ダイマー内電荷揺らぎと超伝導転移」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学、2012/3/24.
- 4b-42 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「分子性導体における低次元揺らぎの織り成す多様なスピン状態、新学術領域研究「超低速ミュオン」第2回領域会議、北海道大学、2012/8/30.
- 4b-43 妹尾仁嗣^{A,B}、圓谷貴夫^{A,C}、土射津昌久^D、宮崎剛^C、加藤礼三^A (理研^A、JST-CREST^B、物材機構^C、名大理^D)、「(Cation)[Pd(dmit)₂]₂ のフラグメントモデルと電荷・スピン状態」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012/9/20.
- 4b-44 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「Pd(dmit)₂ 系分子性導体の多軌道モデルと分子内自由度」、東北大学卓越大学院研究会「金属錯体の固体物性最前線—金属錯体と固体物性物理と生物物性の連携新領域を目指して—」、東北大学、2013/2/6.
- 4b-45 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「多軌道分子性導体の多様な状態とフラグメントモデル」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第7回領域会議、東京大学、2013/3/1.
- 4b-46 橋本博志^A、松枝宏明^B、妹尾仁嗣^{C,D}、石原純夫^A (東北大理^A、仙台高専^B、理研^C、JST-CREST^D)、「電荷秩序系における光誘起融解の初期ダイナミクス」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25.
- 4b-47 妹尾仁嗣^{A,B}、中惇^A、小形正男^C (理研^A、JST-CREST^B、東大理^C)、「スピン液体系における乱れの効果 RVB 平均場理論による解析」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25.
- 4b-48 妹尾仁嗣^{A,B}、圓谷貴夫^{A,C}、土射津昌久^D、宮崎剛^C、加藤礼三^A (理研^A、JST-CREST^B、物材機構^C、名大理^D)、「□、大理構□□□□□□□□₂ の分子内自由度とスピンおよび電荷秩序」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/25.
- 4b-49 圓谷貴夫^{A,C}、妹尾仁嗣^{A,B}、宮崎剛^C、加藤礼三^A (理研^A、JST-CREST^B、物材機構^C)、「第一原理計算による□第一₃(Cat-EDT-TTF)₂ の電子状態」、日本物理

学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013/9/28.

4b-50 橋本博志^A、松枝宏明^B、妹尾仁嗣^{C,D}、石原純夫^{A,D} (東北大理^A、仙台高専^B、理研^C、JST-CREST^D)、「電荷秩序系における光誘起融解の初期ダイナミクス II」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014/03/27. 発表予定

②口頭発表(国際)

- 1-1 H. Nakaya^A, Y. Takahashi^A, S. Iwai^{A,B}, K. Yamamoto^C, K. Yakushi^C, S. Saito^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMS^C, NICT^D), “Ultrafast terahertz response of photo-induced insulator to metal transitions charge ordered organic conductor α -(BEDT-TTF)₂I₃”, 3rd International Conference on Photo-Induced Phase Transitions and Cooperative Phenomena, Osaka, Japan, 2008/11/11.
- 1-2 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Ultrafast Optical Switching from Insulator to Metal in Low-Dimensional Organic Conductors as studied by THz & mid-IR Spectroscopy”, Japanese-Europe Joint Workshop (ISAOP-9 symposium), Bunratty Castle Hotel, Shanon, Ireland, 2009/9/3.
- 1-3 S. Iwai (Tohoku Univ, JST-CREST), “10 FEMTOSECOND DYNAMICS OF PHOTOINDUCED INSULATOR TO METAL TRANSITION IN STRONGLY CORRELATED ORGANIC COMPOUNDS”, International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed and Nano Materials (EXCON-10), Brisbane, Australia, 2010/7/14.
- 1-4 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Ultrafast few-optical-cycle spectroscopy in infrared and THz region of photoinduced insulator to metal transition in layered BEDT-TTF salts”, International Conference on Science and Technology of Organic Synthetic Metals, Kyoto, Japan, 2010/7/7.
- 1-5 H. Itoh^{A,B}, K. Itoh^A, K. Anjyo^A, H. Nakaya^A, S. Iwai^{A,B}, S. Ishihara^A, S. Saito^C, H. Akahama^D, D. Ohishi^D, T. Kambe^D, N. Ikeda^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, NICT^C, Okayama Univ.^D), “Ultrafast Melting Of Charge Ordering In LuFe₂O₄ Probed By Terahertz Spectroscopy”, 16th International Conference on Luminescence (ICL'2011), Ann Arbor, Michigan, USA, 2011/6/29.
- 1-6 Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, Y. Sakurai^A, H. Unno^A, H. Itoh^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, K. Yonemitsu^D, S. Iwai^{A,B} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, IMS^D), “Coherent Vibrational Dynamics of Photoinduced Mott Transition in Dimer Insulator κ -(BEDT-TTF)₂X”, 16th International Conference on Luminescence (ICL'2011), Ann Arbor, Michigan, USA, 2011/6/29.
- 1-7 Y. Kawakami^A, Y. Sakurai^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, K. Yamamoto^D, K. Yakushi^D, (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, IMS^D), “Ultrafast snapshot of light-electron-vibration interactions in alpha-, theta-, kappa-type BEDT-TTF salts”, The 9th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2011), Poznań - Gniezno, Poland, 2011/9/27.

- 1-8 K. Itoh^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, S. Ishihara^A, T. Sasaki^{B,C} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C), “Photoinduced ferroelectric fluctuation in dimer Mott insulator κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃”, The 9th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2011), Poznań - Gniezno, Poland, 2011/9/30.
- 1-9 K. Itoh^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, M. Naka^A, S. Ishihara^A, S. Saito^C, N. Yoneyama^{B,D}, T. Sasaki^{B,E} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, NICT^C, Univ. of Yamanashi^D, IMR Tohoku Univ.^E), “Photoinduced growth of ferroelectric charge order in organic dimer-Mott insulator”, The 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials (EXCON2012), Groningen, the Netherlands, 2012/7/2-6.
- 1-10 T. Ishikawa^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Arima^C, S. Yamada^D, T. Sasaki^{B,E}, (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C, Yokohama City Univ.^D, IMR Tohoku Univ.^E), “Photoinduced coherent spin fluctuation in primary dynamics of insulator to metal transition in perovskite Co oxide”, The 10th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, Nanostructured and Molecular Materials (EXCON2012), Groningen, the Netherlands, 2012/7/2-6.
- 1-11 S. Iwai^{A,B}, Y. Kawakami^A, T. Ishikawa^A, Y. Sakurai^A, H. Itoh^{A,B}, K. Yamamoto^C, T. Sasaki^{B,D} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMS^C, IMR Tohoku Univ.^D), “Coherent Electron Dynamics in 10 fs Time Scale in Organic Charge Ordered and Dimer-Mott Insulators”, XVIIIth International Conference on Ultrafast Phenomena (UP2012), Lausanne, Switzerland, 2012/7/8-13.
- 1-12 K. Itoh^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, M. Naka^A, S. Ishihara^A, S. Saito^C, N. Yoneyama^{B,D}, T. Sasaki^{B,E} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, NICT^C, Univ. of Yamanashi^D, IMR Tohoku Univ.^E), “Photoinduced Growth of Ferroelectric Charge Order in Organic Dimer-Mott Insulator”, UP2012, Lausanne, Switzerland, 2012/7/8-13.
- 1-13 T. Ishikawa^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Arima^C, S. Yamada^D, T. Sasaki^{B,E} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C, Yokohama City Univ.^D, IMR Tohoku Univ.^E), “Photoinduced Coherent Spin Fluctuation in Primary Dynamics of Insulator to Metal Transition in Perovskite Co Oxide”, UP2012, Lausanne, Switzerland, 2012/7/8-13.
- 1-14 H. Itoh^{A,B}, K. Itoh^A, K. Anjo^A, S. Saito^C, K. Yamamoto^D, K. Yakushi^D, and S. Iwai^{A,B} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, NICT^C, IMS^D), “Terahertz Spectroscopy of Photoinduced Phase Transitions in a Charge Ordered Insulator α' -(ET)₂IBr₂”, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM2012), Atlanta, US, 2012/7/8-13.
- 1-15 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Photoinduced phase transition in dimer Mott insulators: κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃, β' -(ET)₂ICl₂”, Tokyo workshop on spin/charge liquids near ordering, Nov. 30, 2012, Ito International Research Center, University of Tokyo, 2012/11/29-30.

- 1-16 H. Itoh^{A,B}, K. Itoh^A, S. Iwai^{A,B}, S. Saito^C, K. Yamamoto^D, and K. Yakushi^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, NICT^C, IMS^D), “Photoinduced Phase Transition in a Charge-Ordered Ferroelectric α' -(ET)₂IBr₂”, International Symposium on Materials Science Opened by Molecular Degrees of Freedom (MDF2012), Miyazaki, Japan, 2012/12/1-4.
- 1-17 S. Iwai (Tohoku Univ., JST-CREST), “Capturing Correlated Electrons and Lattice Dynamics of Photoinduced Phase Transi Few-cycle Infrared Spectroscopy”, The 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2013), Suntec Singapore Convention Centre, Singapore, 2013/7/1.
- 1-18 H. Itoh^{A,B}, K. Itoh^A, S. Iwai^{A,B}, K. Yamamoto^C, K. Yakushi^C (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMS^C), “Photoinduced Phase Transition in a Charge-Ordered Ferroelectric α' -(ET)₂IBr₂”, TThe 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Hotel Delta Centre-Ville, Montreal, Canada, 2013/7/15.
- 1-19 S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, H. Taniguchi^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, Saitama Univ.^D), “Capturing fluctuated charge/lattice dynamics in dimer Mott insulators by few-optical cycle infrared and terahertz pulses”, TThe 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Hotel Delta Centre-Ville, Montreal, Canada, 2013/7/18.
- 1-20 S. Iwai^{A,B}, T. Ishikawa^A, T. Sagae^A, H. Itoh^{A,B}, K. Yamamoto^C, T. Sasaki^{B,D}, (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Okayama Univ. of Science^C, IMR Tohoku Univ.^D), “Ultrafast phase transitions in (TMTTF)₂AsF₆ and α' -(ET)₂I₃ driven by infrared 1.5 cycle CEP stabilized pulse”, APS March Meeting 2014, Denver, USA , 2014/3/3-7.
- 2-1 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Metal-Insulator Transition induced by Disorders in Organic Superconductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br.”, The 8th International symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2009), Niseko, Hokkaido, Japan, 2009/9/12-17.
- 2-2 T. Sasaki (IMR Tohoku Univ., JST-CREST), “Enhancement of localization effect near Mott transition in \square -(BEDT-TTF)₂X”. International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010, Kyoto International Conference Center, 2010/7/4-9.
- 2-3 S. Iguchi^A, S. Sasaki^A, N. Yoneyama^{B,C}, H. Taniguchi^D and T. Sasaki^{A,C} (IMR Tohoku Univ.^A, Univ. of Yamanashi^B, JST-CREST^C, Saitama Univ.^D), “Dielectric anomaly in dimer-Mott insulator \square' -(BEDT-TTF)₂ICl₂ with square lattice”, The 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, Korea, 2012/7/8-13.
- 2-4 H. Nakaya^A, H. Sugawara^A, N. Yoneyama^{B,C}, N. Kobayashi^A and T. Sasaki^{A,C} (IMR Tohoku Univ.^A, Univ. of Yamanashi^B, JST-CREST^C), “Charge degrees of freedom probed by infrared spectroscopy in dimer-Mott insulator \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃”, International Conference on Synthetic Metals (ICSM2012), Atlanta, USA, 2012/7/8-13.

- 2-5 K. Hashimoto^A, S. Zhan^A, T. Sasaki^{A,B}, N. Yoneyama^C, T. Moriwaki^D and Y. Ikemoto^D (IMR Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. of Yamanashi^C, JASRI/SPring-8^D), “Optical response of a charge glass state in \square -(BEDT-TTF)₂CsZn(SCN)₄”, 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Montreal, Canada, 2013/7/14-19.
- 2-6 S. Iguchi^A, S. Sasaki^A, T. Hosokawa^A, T. Sasaki^{A,B}, N. Yoneyama^{B,C} and H. Taniguchi^D (IMR Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. of Yamanashi^C, Saitama Univ.^D), “Relaxor-like dielectricity in dimer-Mott insulator \square '-(BEDT-TTF)₂ICl₂”, 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Montreal, Canada, 2013/7/14-19.
- 3-1 H. Kishida^{A,B}, A. Ito^A, A. Nakamura^A (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Optical study of nonlinear conducting states in charge-transfer complexes”, ISSP-MDF Joint International Workshop “Spin-related phenomena in organic materials”, ISSP, Kashiwa, Chiba, Japan, 2010/07/01(2010/7/1-3).
- 3-2 H. Kishida^{A,B,C}, H. Takamatsu^C, K. Fujinuma^C, and H. Okamoto^{B,C} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. Of Tokyo^C), “Ferroelectric Domain Structures of TTF-CA Revealed by Electroreflectance Method”, International Conference on Science and Technology on Synthetic Metals 2010 (ICSM2010), Kyoto, Japan, 2010/07/08(2010/7/5-9).
- 3-3 H. Kishida^{A,B}, A. Ito^A, T. Ito^A, and A. Nakamura^{A,B} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Electronic Raman Scattering Measurements in \square -(BEDT-TTF)₂I₃”, 9th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2011), Gniezno, Poland, 2011/09/25(2011/9/25-30).
- 3-4 H. Kishida^{A,B}, A. Ito^A, A. Nakamura^{A,B} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Spatial mapping of nonlinear conducting states in ET compounds using electronic Raman method”, Half-day workshop: Grant-in-Aid for Scientific Research(S), Development of Electronic Multifunction Based on Organic Triangular Spin Lattice, Meijo Univ., Nagoya, Japan, 2012/01/11.
- 3-5 H. Kishida (Nagoya Univ., JST-CREST), “Raman spectroscopy in triangular-lattice ET compounds”, International workshop on Multifunctional Molecular Materials Based on Triangular Lattice: Grant-in-Aid for Scientific Research(S) 23225005, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, 2012/02/17(2012/02/16-17).
- 3-6 H. Kishida^{A,B}, Y. Hattori^A, S. Iguchi^{C,B}, T. Sasaki^{C,B}, S. Iwai^{C,B}, H. Taniguchi^D, (Nagoya Univ.^A, JST CREST^B, Tohoku Univ.^C, Saitama Univ.^D) Raman scattering study of electric-field-induced change of charge distribution in BEDT-TTF dimer compounds, APS March Meeting 2014, Denver, USA , 2014/03/06 (2014/03/03-07).
- 3-7 Y. Nakamura^A, N. Yoneyama^{B,C} , T. Sasaki^{D,C}, A. Nakamura^A, H. Kishida^{A,C}, (Nagoya Univ.^A, Univ. of Yamanashi^B, JST CREST^C, IMR

Tohoku Univ.^D) Polarization dependence of wide-range Raman scattering spectra in κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃, APS March Meeting 2014, Denver, USA, 2014/03/06 (2014/03/03-07).

- 4b-1 H. Seo^{A,B}, S. Ishibashi^C, H. Fukuyama^D and K. Terakura^E (RIKEN^A, JST-CREST^B, AIST^C, Tokyo Univ. of Science^D, JAIST^E), “Single-Component Molecular Metals: p-d Mixed Multiband System”, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM2010), Kyoto Japan, 2010/7/6.
- 4b-2 H. Seo^{A,B}, S. Ishibashi^C, H. Fukuyama^D and K. Terakura^E (RIKEN^A, JST-CREST^B, AIST^C, Tokyo Univ. of Science^D, JAIST^E), “p-d Mixed Multiband Nature and Magnetic Structure of Single- Component Molecular Conductors”, International Conference on Conducting Materials 2010 (ICoCoM2010), Sousse Tunisia, 2010/11/5.
- 4b-3 Y. Otsuka^{A,B}, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C), “Numerical Study of One-Dimensional p-d Coupled Conductor TPP[Fe(Pc)(CN)₂]₂”, International Conference on Conducting Materials 2010 (ICoCoM2010), Sousse Tunisia, 2010/11/5.
- 4b-4 H. Seo^{A,B}, S. Ishibashi^C, Y. Otsuka^{A,B}, H. Fukuyama^D and K. Terakura^E (RIKEN^A, JST-CREST^B, AIST^C, Tokyo Univ. of Science^D, JAIST^E), “Multi-orbital Hubbard model and magnetic ground states in M(tm₂d)₂”, 9th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2011), Gniezno Poland, 2011/9/26.
- 4b-5 H. Seo (RIKEN, JST-CREST), “Phase diagrams in quasi-one-dimensional molecular (organic) conductors”, 26th Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop “Novel Quantum States in Condensed Matter 2011 (NQS2011)”, Kyoto, 2011/11/25.
- 4b-6 K. Yoshimi^{A,B}, H. Seo^{C,D}, S. Ishibashi^B and S. E. Brown^E (Univ. of Tokyo^A, AIST^B, RIKEN^C, JST-CREST^D, UCLA^E), “Interplay between electronic ferroelectricity and magnetism in molecular TMTTF salts”, 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan Korea, 2012/7/12.
- 4b-7 H. Seo^{A,B}, T. Tsumuraya^{A,C}, M. Tsuchiizu^D, T. Miyazaki^C and R. Kato^A (RIKEN^A, JST-CREST^B, NIMS^C, Nagoya Univ.^D), “On the frustration parameters in Pd(dmit)₂ salts; Effect of charge degree of freedom”, Tokyo workshop on spin/charge liquids near ordering, University of Tokyo, Japan, 2012/11/29.
- 4b-8 H. Seo^{A,B}, T. Tsumuraya^{A,C}, M. Tsuchiizu^D, T. Miyazaki^C and R. Kato^A (RIKEN^A, JST-CREST^B, NIMS^C, Nagoya Univ.^D), “Effective model and spin/charge ordering in molecular conductors X[Pd(dmit)₂]₂”, Annual APS March Meeting 2013, Baltimore USA, 2013/3/18.
- 4b-9 H. Seo (RIKEN, JST-CREST), “Theoretical study on molecular spin liquid materials”, International Symposium on Science Explored by Ultra Slow Muon (USM2013), Matsue Japan, 2013/8/9.

③ ポスター発表 (国内会議 47 件、国際会議 27 件)

③ポスター発表(国内)

- 1-1 伊藤桂介 A、高橋良幸 A、中屋秀貴 A、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C、斎藤伸吾 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C、情通機構 D)、「電荷秩序系有機伝導体 α -(BEDT-TTF)₂I₃ の金属状態 II; 転移温度近傍におけるテラヘルツ応答」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/28.
- 1-2 中屋秀貴 A、高橋良幸 A、伊藤桂介 A、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C、斎藤伸吾 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C、情通機構 D) “Ultrafast THz spectroscopy of photo-induced insulator to metal transition in charge ordered organic conductor α -(BEDT-TTF)₂I₃”, 第 1 回 GCOE 国際シンポジウム、東北大学、2009/3/5.
- 1-3 川上洋平 A、深津猛 A、桜井洋平 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、山本薫 C、薬師久弥 C(東北大院理 A、JST-CREST^B、分子研 C)、「有機伝導体の光誘起相転移におけるコヒーレント電子振動と振電相互作用」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/09/25.
- 1-4 深津猛 A、川上洋平 A、桜井洋平 A、海野仁美 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、米山直樹 B,C、佐々木孝彦 B,D、小林典男 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、山梨大医工 C、東北大金研 D)、「有機伝導体における光誘起絶縁体 - 金属転移の 10fs 秒ダイナミクス; 電荷秩序系とダイマーモット系」、日本物理学会第 66 回年次大会 新潟大学、2011/03/27.
- 1-5 寒河江悠途 A、伊藤桂介 A、伊藤弘毅 A,B、岩井伸一郎 A,B、石原純夫 A、齋藤伸吾 C、狩野旬 D、永田知子 D、深田幸正 D、神戸高志 D、池田直 D(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、岡山大理 D)、「層状鉄酸化物 LuFe₂O₄ における光誘起相転移の層間ダイナミクス III」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-6 後藤和紀 A、伊藤桂介 A、伊藤弘毅 A,B、齋藤伸吾 C、谷口弘三 D、米山直樹 B,E、佐々木孝彦 B,E、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、埼玉大院理 D、東北大金研 E、)、「ダイマーモット絶縁体 κ -, β' -(BEDT-TTF)₂X のテラヘルツ電荷ダイナミクス」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013/3/26-29.
- 1-7 後藤和紀 A、伊藤桂介 A、伊藤弘毅 A,B、齋藤伸吾 C、岸田英夫 D,B、佐々木孝彦 E,B、谷口弘三 F、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、情通機構 C、名大院工 D、東北大金研 E、埼玉大 F)、「電子誘電体におけるテラヘルツ応答の電場効果」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013/9/25-28.
- 1-8 寒河江悠途 A、石川貴悠 A、山田研太郎 A、伊藤弘毅 A,B、山本薫 C、薬師久弥 D、石原純夫 A、米満賢治 E、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、JST-CREST^B、岡理大理 C、豊田理研 D、中央大理工 E)、「1.5 サイクル赤外パルスが駆動する超高速電荷ダイナミクス; 電子強誘電体 (TMTTF)₂AsF₆」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 1-9 石川貴悠 A、山田研太郎 A、寒河江悠途 A、伊藤弘毅 A,B、山本薫 C、薬師久弥 D、佐々木孝彦 B,E、石原純夫 A、米満賢治 F、岩井伸一郎 A,B(東北大院理 A、

JST-CREST^B、岡理大理^C、豊田理化研^D、東北大金研^E、中央大理工^F)、「1.5 サイクル赤外パルスが駆動する超高速電荷ダイナミクス;電子強誘電体 α -(ET)₂I₃」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定

- 1-10 山田研太郎^A、市村純一^A、内藤陽太^A、石川貴悠^A、寒河江悠途^A、伊藤弘毅^{A,B}、山本薫^C、薬師久弥^D、橋本顕一郎^E、佐々木孝彦^{B,E}、岩井伸一郎^{A,B}(東北大院理^A、JST-CREST^B、岡理大理^C、豊田理化研^D、東北大金研^E)、「1.5 サイクル赤外パルスが駆動する超高速電荷ダイナミクス;電荷ガラス物質 θ -(ET)₂CsZn(SCN)₄」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 2-1 井口敏^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「四角格子ダイマーモット型分子性導体 \square '-(BEDT-TTF)₂ICl₂ における誘電応答」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 5 回領域会議、東京大学、2011/6/8-9.
- 2-2 米山直樹^{A,B}、佐々木孝彦^{B,C}(山梨大医工^A、JST-CREST^B、東北大金研^C)、「部分分子置換した \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ の電気抵抗と静磁化率」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 5 回領域会議、東京大学、2011/6/8-9.
- 2-3 中屋秀貴^A、米山直樹^{B,C}、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(\square -ET)₂Cu₂(CN)₃ における赤外光学伝導度」、第 5 回物性科学領域横断研究会、仙台、2011/11/19-20.
- 2-4 井口敏^A、佐々木智^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「四角格子ダイマーモット絶縁体 \square '-(BEDT-TTF)₂ICl₂ における誘電異常」、第 5 回物性科学領域横断研究会、仙台、2011/11/19-20.
- 2-5 米山直樹^{A,B}、佐々木孝彦^{B,C}(山梨大医工^A、JST-CREST^B、東北大金研^C)、「部分置換した \square -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃ における誘電応答」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 6 回領域会議、仙台市秋保、2012/1/5-7.
- 2-6 中屋秀貴^A、米山直樹^{B,C}、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C)、「有機モット絶縁体 \square -(ET)₂Cu₂(CN)₃ における赤外応答」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 6 回領域会議、仙台市秋保、2012/1/5-7.
- 2-7 井口敏^A、米山直樹^{B,C}、谷口弘三^D、佐々木孝彦^{A,C}(東北大金研^A、山梨大医工^B、JST-CREST^C、埼玉大理^D)、「四角格子ダイマーモット絶縁体 \square '-(BEDT-TTF)₂ICl₂ における誘電異常」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 6 回領域会議、仙台市秋保、2012/1/5-7.
- 3-1 伊藤敦哉^A、岸田英夫^{A,B}、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「 α -(BEDT-TTF)₂I₃ の電子ラマン散乱スペクトル」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学、2010/9/25(2010/09/23-26).
- 3-2 白濱暢彦^A、岸田英夫^{A,B}、中村新男^{A,B}(名大院工^A、JST-CREST^B)、「電荷移動錯体 TTF-BA の光学スペクトル」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、

2011/9/21(2011/09/21-24).

- 4a-1 五味広喜^A、高橋聡^{B,C}、Lee JaeDong^A、相原正樹^B (北陸先端大マテリアル^A、奈良先端大物質^B、JST-CREST^C)、「□_aおよび□型電荷秩序状態における光励起状態」、日本物理学会第 64 回年次大会、立教大学、2009/3/27-30.
- 4a-2 瀬川真未^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「1次元モット絶縁体における光励起状態の緩和に対する格子の運動の効果 III」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25-28.
- 4a-3 辰巳季央^A、五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「α-(BEDT-TTF)₂X における光励起状態の格子歪み依存性」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25-28.
- 4a-4 今井堯之^A、五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「κ-(BEDT-TTF)₂X における光励起状態」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25-28.
- 4a-5 五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、J.D. Lee^C、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B、北陸先端大マテリアル^C)、「θd 型および α 型電荷秩序状態における光励起ダイナミクス」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25-28.
- 4a-6 高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「2次元モット絶縁体における光誘起金属転移 II」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009/9/25-28.
- 4a-7 辰巳季央^A、今井堯之^A、五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「κ-(BEDT-TTF)₂X における光励起状態」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/20-23.
- 4a-8 五味広喜^{A,B}、辰巳季央^A、今井堯之^A、高橋聡^{A,B}、J.D. Lee^C、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B、北陸先端大マテリアル^C)、「α 型電荷秩序絶縁体および κ 型ダイマーモット絶縁体の光励起状態のダイナミクス」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/20-23.
- 4a-9 瀬川真未^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「1次元モット絶縁体における光励起状態の緩和に対する格子の運動の効果 IV」、日本物理学会第 65 回年次大会、岡山大学、2010/3/20-23.
- 4a-10 辰巳季央^A、五味広喜^{A,B}、今井堯之^A、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「□-(BEDT-TTF)₂X における光励起状態のクーロン相互作用強度および遷移積分依存性」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010/9/23-26.
- 4a-11 瀬川真未^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「1次元モット絶縁体における光励起状態のオージェ緩和」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010/9/23-26.
- 4a-12 池永昌弘^A、平木康浩^A、五味広喜^{A,B}、高橋聡^{A,B}、相原正樹^A (奈良先端大物質^A、JST-CREST^B)、「ダイマーモット絶縁体□-(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー間

ボンド長交替によって誘起される強誘電状態の光学的性質」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010/9/23-26.

- 4a-13 辰巳季央 A、五味広喜 A,B、高橋聡 A,B、相原正樹 A (奈良先端大物質 A、JST-CREST^B)、「 \square -(BEDT-TTF)₂X における光励起状態」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学 五十嵐キャンパス、2011/3/25-28.
- 4a-14 瀬川真未 A,B、高橋聡 A,B、相原正樹 A (奈良先端大物質 A、JST-CREST^B)、「1 次元モット絶縁体における光励起状態のオージェ緩和と強励起特有の緩和」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/25-28.
- 4a-15 平木康浩 A、池永昌弘 A、五味広喜 A、高橋聡 A,B、相原正樹 A (奈良先端大物質 A、JST-CREST^B)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X におけるダイマー配置の乱れによって誘起される光吸収スペクトルのギャップ内成分」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011/3/25-2.
- 4a-16 波多野尚 A、五味広喜 A,B、高橋聡 A,B (名工大工 A、JST-CREST^B)、「オージェ緩和過程のクーロン強度クロスオーバー」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 4a-17 川谷隆 A、五味広喜 A,B、高橋聡 A,B (名工大工 A、JST-CREST^B)、「ダイマーモット絶縁体 \square -(BEDT-TTF)₂X における光励起状態の電子格子ダイナミクス」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013/3/26-29.
- 4a-18 五味広喜、高橋聡 (名工大工、JST-CREST)、「光励起状態の並進対称性の破れ」、2013 年日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013/9/25-28.
- 4a-19 波多野尚 A、五味広喜 A,B、高橋聡 A,B (名工大工 A、JST-CREST^B)、「オージェ緩和過程のクーロン強度クロスオーバー II」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014/3/27-30. 発表予定
- 4b-1 大塚雄一 A,B、妹尾仁嗣 A,B、求幸年 C (理研 A、JST-CREST^B、東大工 C)、「1 次元 π -d 系における電荷秩序相関と磁気構造の数値的研究」、第 3 回物性科学領域横断研究会「凝縮系科学の最前線」、東京大学、2009/11/30.
- 4b-2 大塚雄一 A,B、妹尾仁嗣 A,B、求幸年 C (理研 A、JST-CREST^B、東大工 C)、「1 次元拡張ハバード模型における静磁場効果」、有機固体若手の会 冬の学校 2009、松山市道後ホテル、2009/12/18.
- 4b-3 大塚雄一 A,B、妹尾仁嗣 A,B、求幸年 C (理研 A、JST-CREST^B、東大工 C)、「1 次元 π -d 系の数値的研究」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第 3 回領域研究会、秋保温泉岩沼屋、2010/1/6.
- 4b-4 吉見一慶 A,B、妹尾仁嗣 C,D、石橋章司 B、Stuart E. Brown^E (東大理 A、産総研 B、理研 C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩におけるスピンプラストレーションと電荷秩序」、第 4 回物性科学領域横断研究会—凝縮系科学の最前線—、東京大学武田ホール、2010/11/14.
- 4b-5 大塚雄一 A,B、妹尾仁嗣 A,B、求幸年 C (理研 A、JST-CREST^B、東大工 C)、「1 次元系 \square -d における電荷秩序と磁場効果」、有機固体若手の会冬の学校 2010、

2010/12/10.

- 4b-6 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩における電荷秩序による次元制御と磁気基底状態の競合」、有機固体若手の会冬の学校 2010、2010/12/10.
- 4b-7 妹尾仁嗣(理研、JST-CREST)、「単一成分分子性導体の理論モデル化と多様な基底状態」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第4回領域会議、東京大学本郷キャンパス小柴ホール、2011/1/6.
- 4b-8 吉見一慶^{A,B}、妹尾仁嗣^{C,D}、石橋章司^B、Stuart E. Brown^E(東大理^A、産総研^B、理研^C、JST-CREST^D、UCLA^E)、「TMTTF 塩におけるスピンプラストレーションと電荷秩序」、新学術領域研究「分子自由度が拓く新物質科学」第4回領域会議、東京大学本郷キャンパス小柴ホール、2011/1/6.
- 4b-9 妹尾仁嗣^{A,B}、圓谷貴夫^{A,C}、土射津昌久^D、宮崎剛^C、加藤礼三^A(理研^A、JST-CREST^B、物材機構^C、名大理^D)、「三角格子系分子性導体 $X[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ の有効模型と電荷・スピン状態」、第6回物性科学領域横断研究会、東京大学、2012/11/28.

③ポスター発表〈国際〉

- 1-1 Y. Kawakami^A, S. Iwai^{A,B}, T. Fukatsu^A, M. Miura^A, N. Yoneyama^{B,C}, T. Sasaki^{B,C}, N. Kobayashi^C (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C), “Optical control of effective on-site Coulomb repulsion in organic dimer Mott insulator”, The 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2009), Niseko, Hokkaido, Japan, 2009/09/13.
- 1-2 Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, K. Yamamoto^D and K. Yakushi^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, IMS^D), “Dynamic electron molecular vibration (EMV) interference during photoinduced metallization in charge ordered organic salt”, International Conference on Ultrafast Phenomena (UP'10), Aspen (USA), 2010/7/20.
- 1-3 K. Itoh^A, H. Nakaya^A, Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, and S. Saito^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, NICT^D), “Motional narrowing of phonon spectrum driven by ultrafast dielectric fluctuation in dimer Mott insulator”, International Conference on Ultrafast Phenomena (UP'10), Aspen (USA), 2010/7/20.
- 1-4 Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C), “OPTICAL MODULATION OF EFFECTIVE ON-SITE COULOMB ENERGY FOR MOTT TRANSITION IN ORGANIC DIMER INSULATOR”, International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed and Nano Materials (EXCON-10), Brisbane, Australia, 2010/7/14.
- 1-5 Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, K. Yamamoto^D, and K. Yakushi^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, IMS^D), “Infrared 10 fs spectroscopy of photoinduced insulator to metal transition in layered BEDT-TTF salts”, International Conference on

Science and Technology of Organic Synthetic Metals 2010 (ICSM'10),
Kyoto, Japan, 2010/7/6.

- 1-6 K. Itoh^A, H. Itoh^{A,B}, S. Iwai^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, S. Saito^D (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, NICT^D), “THz Spectroscopy of κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃; Motional Narrowing of Phonon Spectrum Driven by Fast Fluctuation of Dimer Dipole”, International Conference on Science and Technology of Organic Synthetic Metals 2010 (ICSM'10), Kyoto, Japan, 2010/7/6.
- 1-7 K. Itoh^A, H. Nakaya^C, Y. Kawakami^A, T. Fukatsu^A, H. Itoh^{A,B}, T. Sasaki^{B,C}, S. Ishihara^A, S. Saito^D, S. Iwai^{A,B} (Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, IMR Tohoku Univ.^C, NICT^D), “Terahertz Time Domain Spectroscopy of Dimer Mott Insulator, 16th International Conference on Luminescence (ICL'2011)”, Ann Arbor, Michigan, USA, 2011/6/29.
- 2-1 M. Abdel-Jawad^A, I. Terasaki^A, T. Sasaki^{B,C}, Y. Uesu^A, N. Yoneyama^{B,C} and N. Kobayashi^B (Waseda Univ.^A, IMR Tohoku Univ.^B, JST-CREST^C), “Dielectric constant of κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃”, The 8th International symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM 2009), Niseko, Hokkaido, Japan, 2009/9/12-17.
- 2-2 H. Sugawara^A, K. Sano^A, N. Yoneyama^{B,C}, N. Kobayashi^A, and T. Sasaki^{A,C} (IMR Tohoku Univ.^A, Univ. of Yamanashi^B, JST-CREST^C), “Optical Probe of Soft Coulomb Gap in Disordered Organic Conductor κ -(BEDT-TTF)₂Cu[N(CN)₂]Br”, International Conference on Synthetic Metals (ICSM2012), Atlanta, USA, 2012/7/8-13.
- 2-3 H. Nakaya^A, H. Sugawara^A, N. Yoneyama^{B,C}, N. Kobayashi^A and T. Sasaki^{A,C} (IMR Tohoku Univ.^A, Univ. of Yamanashi^B, JST-CREST^C), “Charge degrees of freedom probed by infrared spectroscopy in dimer-Mott insulator κ -(BEDT-TTF)₂Cu₂(CN)₃”, International Symposium Materials Science Opened by Molecular Degrees of Freedom 2012, MIYAZAKI SEAGAIA, Japan, 2012/12/1-4.
- 2-4 T. Sasaki^{A,B}, M. Saito^A, T. Haraguchi^A, H. Sugawara^A, K. Sano^A, and N. Yoneyama^{B,C} (IMR Tohoku Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. of Yamanashi^C), “Mott-Anderson transition in the κ -(BEDT-TTF)₂X system”, 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2013), Montreal, Canada, 2013/7/14-19.
- 3-1 Hideo Kishida^{A,B}, Atsuya Ito^A, Takafumi Ito^A, Arao Nakamura^A (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Current Oscillation Based on Negative Differential Resistance in K-TCNQ”, The 8th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2009) Niseko, Hokkaido, 2009/9/16(2009/9/13-17).
- 3-2 A. Ito^A, H. Kishida^{A,B} and A. Nakamura^{A,B} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Nonlinear Conducting States of α -(BEDT-TTF)₂I₃ Studied by Raman Scattering Measurements”, International Conference on Science and Technology on Synthetic Metals 2010 (ICSM2010), Kyoto, Japan, 2010/7/8(2010/7/5-9).

- 3-3 H. Kishida^{A,B}, N. Shirahama^A and A. Nakamura^{A,B} (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B), “Optical study of electric field effects in an organic ferroelectric compound, TTF-BA”, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM2012), Atlanta, Georgia, USA, 2012/7/8(2012/7/8-13).
- 3-4 Yuto Nakamura^A, Hideo Kishida^{A,B}, Arao Nakamura^{A,B}, Naoki Yoneyama^{B,C}, Takahiko Sasaki^{B,D}(Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B, Univ. Of Yamanashi^C, IMR Tohoku Univ.^D), “Raman scattering spectra in spin-frustrated \square), \square th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets, Montréal, Québec, Canada, 2013/7/15(2013/7/14-19).
- 3-5 Hideo Kishida^{A,B}, Yuma Hattori^A, Satoshi Iguchi^{B,C}, Takahiko Sasaki^{B,C}, Shinichiro Iwai^{B,C}, Hiromi Taniguchi^D (Nagoya Univ.^A, JST-CREST^B, Tohoku Univ.^C, Saitama Univ.^D), “Charge dynamics revealed by Raman scattering measurements under electric field in $\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square\square$ ICl₂”, 10th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets, Montréal, Québec, Canada, 2013/7/16(2013/7/14-19).
- 4a-1 T. Tatsumi^A, T. Imai^A, H. Gomi^{A,B}, A. Takahashi^{A,B}, M. Aihara^A (NAIST^A, JST-CREST^B), “Photoexcited states in charge ordered insulators α -(BEDT-TTF)₂X and dimmer Mott insulators κ -(BEDT-TTF)₂X”, The International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids, APS Conference Center, Argonne National Laboratory, USA, 2010/6/22.
- 4a-2 M. Segawa^{A,B}, A. Takahashi^{A,B}, M. Aihara^A (NAIST^A, JST-CREST^B), “Effect of lattice motion on relaxation of photoexcited states in one-dimensional Mott insulators”, The International Conference on Dynamical Processes in Excited States of Solids, APS Conference Center, Argonne National Laboratory, USA, 2010/6/22.
- 4a-3 T. Tatsumi^A, T. Imai^A, H. Gomi^{A,B}, A. Takahashi^{A,B}, M. Aihara^A (NAIST^A, JST-CREST^B), “Photoexcited states in charge ordered insulators α -(BEDT-TTF)₂X and dimmer Mott insulators κ -(BEDT-TTF)₂X”, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals 2010, Kyoto International Conference Center, Kyoto, JAPAN, 2010/7/5.
- 4a-4 T. Tatsumi^A, T. Imai^A, H. Gomi^{A,B}, A. Takahashi^{A,B}, M. Aihara^A (NAIST^A, JST-CREST^B), “Photoexcited states in charge ordered insulators α -(BEDT-TTF)₂X and dimmer Mott insulators κ -(BEDT-TTF)₂X”, The 9th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed and Nano Materials, Novotel Hotel, Brisbane, AUSTRALIA, 2010/4/14.
- 4a-5 M. Segawa^{A,B}, A. Takahashi^{A,B}, M. Aihara^A (NAIST^A, JST-CREST^B), “Auger recombination process of excitons and ultrafast relaxation in one-dimensional Mott insulator”, The 9th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed and Nano Materials, Novotel Hotel, Brisbane, AUSTRALIA, 2010/7/14.

- 4b-1 Y. Otsuka^{A,B}, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C), “Numerical study of quarter-filled extended Hubbard chain coupled to Ising spins”, The 8th International 13) Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Ferromagnets (ISCOM2009), Niseko Hokkaido, 2009/9/14.
- 4b-2 Y. Otsuka^{A,B}, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C), “Numerical study of quarter-filled extended Hubbard chain coupled to Ising spins”, International Workshop on “Theories on Strongly Correlated Molecular Conductors” (SCMC2009), Narita Chiba, 2009/9/18.
- 4b-3 Y. Otsuka^{A,B}, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C), “Numerical study of charge-order correlation in extended Hubbard model coupled to Ising spins at quarter-filling”, RIKEN Workshop on “Emergent Phenomena of Correlated Materials”, RIKEN Wako, Dec, 2, 2009/12/2.
- 4b-4 Y. Otsuka^{A,B}, H. Seo^{A,B} and Y. Motome^C (RIKEN^A, JST-CREST^B, Univ. of Tokyo^C), “Numerical study of one-dimensional \square -d coupled compound $\text{TPP}[\text{Fe}(\text{Pc})(\text{CN})_2]_2$ ”, International Conference on Science and Technology of Synthetic Metals (ICSM2010), Kyoto Japan, 2010/7/8.
- 4b-5 K. Yoshimi^{A,B}, H. Seo^{C,D}, S. Ishibashi^B and S. E. Brown^E (Univ. of Tokyo^A, AIST^B, RIKEN^C, JST-CREST^D, UCLA^E), “Spin frustration and Charge ordering in TMTTF salts”, ISSP-MDF Joint International Workshop, Kashiwa, Japan, 2010/7/1.
- 4b-6 H. Seo^{A,B}, T. Tsumuraya^{A,C}, M. Tsuchiizu^D, T. Miyazaki^C and R. Kato^A (RIKEN^A, JST-CREST^B, NIMSC^C, Nagoya Univ.^D), “Effective model and spin/charge ordering in $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ salts”, International Symposium on Material Science Opened by Molecular Degree of Freedom (MDF2012), Phoenix Seagaia Resort, Miyazaki, Japan, 2012/12/3.

(4)知財出願
特になし

(5)受賞・報道等

①受賞

- 第 16 回日本物理学会論文賞、2011 年 3 月 27 日、山本薫、岩井伸一郎、柏崎暁光、平松扶季子、薬師久弥ほか

②マスコミ(新聞・TV等)報道

- 日経産業新聞 11 面 2009 年 8 月 25 日 「有機絶縁体、弱レーザーで伝導化、高速情報処理に応用」
- 日経産業新聞17面 2009 年 10 月 8 日 技術トレンドにランクイン(21位)
- 科学新聞 第二面 2010/12/3 「光誘起相転移現象の最初の瞬間キャッチ」
- 河北新報社、準粒子新種を発見、平成 25 年 2 月 19 日
- 科学新聞社、テラヘルツ光で電気分極の量子波観測、平成 25 年 3 月 1 日

§6 研究期間中の活動

6.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2008/10/17	第1回チーム内ミーティング(非公開)	東北大金研	10名	キックオフミーティング 採択経緯と研究背景および計画 講演者;岩井、佐々木、岸田、高橋、妹尾
2009/2/18	電子型強誘電研究会;石原純夫氏(東北大大理)との共催	東北大金研	15名	鉄系酸化物および有機伝導体における電荷秩序強誘電体の実験と理論の最近の展開 講演者;池田(岡山)、神戸(岡山)、吉井(原研)、妹尾、山本(分子研)、岩井、佐々木、森(大府大)、石原(東北)
2009/7/23	第2回チーム内ミーティング(非公開)	東北大金研	15名	定例成果報告会 講演者;岩井、佐々木、岸田、高橋、妹尾
2009/10/30-31	「新規な誘電体最前線—電子と強誘電性—」石原純夫氏(東北大大理)、池田直氏(岡山大)との共催	分子研	50名	講演者;石原純夫、池田直、山本薫、有馬孝尚、野田幸男、妹尾仁嗣、佐々木孝彦、岸田英夫、高橋聡、岩井伸一郎ほか
2010/7/23-24	第3回チーム内ミーティング(非公開)	名古屋大学	20名	定例成果報告会 講演者;岩井、佐々木、岸田、高橋、妹尾 招待講演者;石原純夫、米満賢治
2010/11/26-27	「相関電子系における電荷秩序と誘電異常—遷移金属酸化物と分子性化合物の最近の展開—」石原純夫氏(東北大大理)、池田直氏(岡山大)との共催	青山学院大学(青山キャンパス)	50名	講演者;石原純夫、池田直、野田幸男、米満賢治、妹尾仁嗣、佐々木孝彦、岸田英夫、高橋聡、岩井伸一郎、ほか
2011/6/15	第4回チーム内ミーティング(非公開)	東北大金研	15名	研究進捗報告のためのミーティング
2011/11/26-27	電子強誘電体研究会	東北大金研	50名	石原純夫(東北大大理)、池田直(岡山大)との共催

2011/3/7	第5回チーム内 ミーティング(非公開)	東北大金研	15名	中間評価をうけて今後の 展開のためのミーティ ング
2012/11/19-20	CMRC 研究会「相関 電子系の新奇な誘電 性 -電子物性と構 造物性-	つくば国際会 議場 小会議室 405	50名 海外招待 者 S. Brazovs kii, N. Kirova を含む	石原純夫(東北大理)、池 田直(岡山大理)との共同 開催
2013/4/10	第6回チーム内 ミーティング(非公開)	東北大金研	15名	最終評価抜向けてのミー ティング
2013/12/2-4 (予定)	最終ワークショップ 電子誘電体の展開; 光と分極が織りなす 新物質相	東北大金研	50名	石原純夫(東北大理)、池 田直(岡山大理)との共同 開催

§7 最後に

採択時に、領域代表に、「売り物の装置そのままできることに甘んじる事の無いように」、「あるいは光源開発において安きに流される事の無いように」とのお言葉をいただいたので、可能な限りそれを心掛けて研究を実施してきたつもりですが、どこまでできたかは自信がありません。

計画の中で、大きく舵を切った点が2つあります。一つは a) 赤外 CEP 安定化パルスに特化したこと、もう一つは、b) 光誘起相転移として秩序の融解ではなく、再構築という新しい形態の探索を始めたことです。この二点について少し経緯を説明させていただきます。

a) この計画は、いうまでもなく物性測定のための超短パルス光源の開発を主軸とするものですが、当初は、方法がある程度確立されていた可視領域と、当時未踏領域だった赤外域を同時に進めていました。赤外領域は、当時確立された方法がなく“さぐりさぐり”進む状況だったので、それだけに専念するのは少しリスクが高いと思ったからです。しかし、広帯域 OPA を用いた赤外領域の開発が予想よりも早く進んだため、対象とする強相関電子系物質の多くが赤外光によって励起、プローブできることを鑑み、そちらに集中することにしました。研究開始当初 30fs 程度だった赤外光のパルス幅が、ある程度 (12 fs、3 サイクル) 短くなった時点で、物性測定を始めましたが、同時に、目標である 10 fs (< 2 サイクル) を切るためには、大きく技術的な方向転換をする必要を感じました。そこで、計画変更として提案させていただいたのが、受動的な CEP 安定化の可能な OPA のアイドラー光を種光とする中空ファイバーを用いた広帯域化です。この波長領域における成功例はありませんでしたが、当時のレーザーの信頼性を考慮して、他の方法 (レーザー本体の CEP の能動制御) に比較すればリスクは少ないと考えました。この申請は比較的大きな予算計画の変更を伴うものにもかかわらず、申請後極めて短い時間内にお認め頂いたことにとっても感謝しています。研究の進捗状況に応じて、このような大きな計画の変更を認めていただける点は、CREST の優れた点だと感じました。現在 7 fs (1.5 サイクル) まで短くなった赤外パルスを、今後はモノサイクルに少しでも近づけるよう研究を続けます。

b) 私の提案は、強相関電子系の光誘起相転移という現象を、可能な限りの短いパルスで探索するというものですが、そのために超短パルス光源の開発を軸に、理論、物質開拓、物性制御のグループ構成を組みました。強相関電子系という複雑で難解な物性を対象とするため、特に試料提供だけでなく、計測グループと有機的に連動できるグループが必要と考えたからです。本計画の開始時には、光による電荷やスピンの秩序融解を典型的な光誘起相転移と位置づけ、研究対象としましたが、本 CREST 開始後、「無秩序から秩序へ」、「ある秩序から別の秩序へ」という新しいタイプの光誘起相転移の展開を図りました。具体的には、佐々木グループによって、電荷とスピンの秩序が三角格子のフラストレーション効果によって抑制されている系での新規な有機誘電体の発見があり、この現象、物質系を軸にした、光、誘電、伝導、磁性と理論をすべて含む共同研究を始められました。例えば、フラストレーションを光で抑制して秩序を強固にするなど、新しい光誘起相転移を先端光源であぶり出すために、CREST のチーム内外で行った共同研究は非常に楽しいものでした。我々のチーム内はもとより、光展開 CREST のほかのチーム (腰原チーム) には、光誘起相転移の理論家 (米満先生、石原先生) がいらしたおかげで、年 2 回ほどのワークショップやチームミーティングでは、我々のチームの理論家、実験家と合わせて非常に密度の濃い議論が数多くできたと思います。これほど有機的な実のある共同研究ができたのは、CREST の枠組みがあったためと思います。

この 5 年間は、成果を出さなくてはいけないという重圧はありましたし、中間評価などにおいて適切なご指導を頂いたことは大変ありがたく思っていますが、それはそれとして、制約なく自由にのびのびと研究させていただいたというのが率直な印象です。もちろん、これから評価を経て、反省すべき点は反省するつもりですが、とにかくにも、このような落ち着いて研究に没頭できる機会を得られたことに心より感謝したいと思います。この 5 年間の間に、主課題である極超短パルス発生技術やそれを用いた物性研究のほか、THz に関しても発生や測定に関する技術や知見を蓄積することができました。今後、本 CREST で開発した世界最先端のモノサイクルパルスを核に、高強度 THz 光をはじめとするほかの外場を組み合わせることによって、強相関電子系の光物性や光誘起相転移の研究に関して、世界中でここでしかできない研究ができるよう精進する所存です。



写真 8-1 電子誘電体の研究会(7.2 ワークショップの項参照)は、毎年 CREST 共催で行われました。金研、青山学院、分子研、つくばなど全国各地で行われました。



写真 8-2 月一回ほどの割合で行われたミーティングの一コマ。この回は、東北大理の石原純夫先生(腰原チーム)も交えて、東北大金研で行われました。



写真 8-3 岩井研 実験室風景 (photo: 伊藤桂介)