

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 5 月 25 日現在

機関番号：63903

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00891

研究課題名(和文)有機強相関電子デバイスによる伝導性と磁性の制御

研究課題名(英文)Control of conductivity and magnetism of organic devices based on strongly correlated electron systems

研究代表者

山本 浩史(Yamamoto, Hiroshi)

分子科学研究所・協奏分子システム研究センター・教授

研究者番号：30306534

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：伝導電子同士が強く相互作用する強相関電子系は、微少なキャリア密度や圧力の変化によって劇的に物性が変化し、高温超伝導などのユニークな機能性を発現する。そのため電子材料としてもかねてより注目を集めているが、基礎物性には未解明の部分が多く残されていた。本研究では、分子界面を用いた強相関電子デバイスを新たに作製し、有機強相関電子における「温度・圧力・キャリア密度を同時に変化させた」基底状態相図を完成させ、超伝導に必要なパラメータ空間を特定した。さらに、キラルな空間群を持つ有機強相関結晶を用いて超伝導相中にスピン偏極を生成し、新たな超伝導スピントロニクス の提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強相関電子系超伝導体として知られるペロブスカイト型銅酸化物は非常に硬い物質であるため、キャリア密度制御には向いているものの圧力制御による超伝導相探索に向いていなかった。本研究では柔軟な有機分子結晶を用いることにより、圧力とキャリア密度の両者をパラメータとする強相関電子系超伝導の相図を完成させることができたので、超伝導相探索・理論構築における重要な手がかりを与え、将来の超伝導工学・超伝導エレクトロニクスに貢献できると期待される。また今回見出したキラル超伝導体を用いたスピン偏極の生成は、磁石によるキラル分子の分離原理にも踏み込むものであり、今後のキラル物質科学に多くの示唆を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：Strongly correlated electron systems, in which conduction electrons interact strongly with each other, can dramatically change their physical properties with changes in minute carrier density and pressure, and exhibit unique functionalities such as high-temperature superconductivity. For this reason, they have attracted attention as electronic materials for some time, but there remain many unresolved aspects of their basic physical properties. In this study, a new strongly correlated electron device using molecular interfaces was fabricated, and the ground-state phase diagram of organic strongly correlated electrons with simultaneous changes in temperature, pressure and carrier density was completed, identifying the parameter space required for superconductivity. Furthermore, spin polarization was generated in the superconducting phase using organic strongly correlated crystals with chiral space groups, and a new superconducting spintronics was proposed.

研究分野：分子物性科学

キーワード：超伝導体 基板歪み 電界効果 強相関電子系 モット絶縁体 スピントロニクス キラリティ CISS 効果

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) 固体中の伝導電子(キャリア)が互いに強いクーロン斥力を感じながら運動する強相関電子系は、微少なキャリア密度や圧力の変化によって劇的に物性が変化し、様々な電子相の競合が起きる物性科学の宝庫である。高温超伝導などの超伝導材料としてもかねてより注目を集めているが、その電子状態の複雑さから、基礎物性の面でもデバイス応用の面でも未開拓の部分が多く残されていると考えられている。本研究では、その中でも特に有機分子で構成されるモット絶縁体に着目し、超伝導相を含めたその基底状態の多様性を探求した。他のモット絶縁体と比べて、有機モット絶縁体の特徴として挙げられる点は、
- ① 格子が柔らかい: 低温でもフレキシブルであり、圧力や歪みによる物性制御が可能である。
  - ② キャリア密度が低い: 分子の大きさがひとつの格子点となるため、原子を単位とする無機化合物に比べると、圧倒的に単位面積あたりの状態数が少ない。従って、電界効果でキャリアを注入した時のバンドフィリングの変調幅が無機化合物に比べて大きい。
  - ③ 異種分子を接合することによる複合機能化が可能である: 分子の接合界面における電子双極子の影響が強く出る。従って、フォトクロミック分子などを接合することにより、光によるドーピングの ON/OFF が可能となるなど、複合機能の意図的な重ね合わせが可能である。

などである。このような特徴を活かした機能性開拓はまだ発展途上にあり、特に界面を使ったデバイス開発には多くの未踏領域があると考えられる。

- (2) 2011年に Naaman らによって CISS (Chirality-Induced Spin Selectivity)効果と呼ばれるスピン選択伝導の研究が発表された。これはキラリティ分子に電流を流すと、そのキラリティに応じた電子のスピン偏極が生じるという現象である。この現象は長い間、単分子膜を用いた実験に限られていたが、本来はバルクの結晶でも起きておかしくない現象である。有機モット絶縁体の中には、キラリティを有する結晶構造を持ったものがあり、特に構成分子そのものがキラリティの場合には、そのキラリティを使って自由に結晶のキラリティが制御出来る。これは無機化合物では通常不可能であり、有機強相関電子系のもうひとつの特徴といえる。このような有機強相関電子系を用いたバルク結晶の CISS 効果に関する研究はまだ皆無であった。

### 2. 研究の目的

- (1) 代表者らはこれまで、フレキシブル基板を使った有機強相関電子系物質の薄膜デバイスを作成し、柔軟な格子(特徴①)を用いて、低温での基板曲げによる歪み効果計測を行ってきた。この操作によって結晶を伸縮させ、歪みを調節することによる電子相関( $U/W$ )の制御が可能である。また、同デバイスを用いた電界効果計測も可能で、このデバイスにおける物理的キャリアドーピングを行い、低いキャリア密度(特徴②)を活かしたバンドフィリング制御を試みることも可能である。さらにこのような特徴あるデバイスでは、電界効果によるフィリング制御と、歪み効果による電子相関制御を同時に達成することが可能である。そこで本研究では薄膜デバイスを用いて、温度・圧力・キャリア密度を同時に変化させた強相関電子系の相図を完成させ、モット絶縁体と超伝導相それぞれに必要な物理パラメータを特定し、モット転移ならではの相転移挙動を解明することを目的とする。このような計測は他に類を見ない分子系ならではの手法であり、強相関電子物性科学の新たな一面を発展させることが期待できる。
- (2) 有機強相関電子系を CISS 効果と組み合わせることによって、磁性体を使わない新たなスピン流源を提供する。キラリティ空間群を持つ有機強相関結晶を用いて「スピン偏極電流」を生成し、これを新たなスピントロニクスの開拓へと展開する。

### 3. 研究の方法

- (1) 電界効果トランジスタ(FET)や電気二重層トランジスタ(EDLT)による電界効果キャリアドーピング(バンドフィリング制御)と基板歪みによる二次元圧力効果(電子相関制御)を組み合わせ、有機強相関電子系の基底状態相図を完成させる。具体的には、 $\kappa$ 型 BEDT-TTF 塩の薄膜単結晶をプラスチック基板やシリコン基板に貼り合わせ、キャリア密度と電子相関の2つのパラメータを同時に制御した時の有機モット絶縁体の2次元基底状態はどのようなものであるか、を輸送測定により解明する。
- (2) キラリティな結晶構造を有する有機強相関電子系材料の薄膜単結晶を基板に貼り付け、これに磁性電極を付けることによって磁気抵抗素子を作製し、結晶のキラリティからスピン偏極電流を生成させることが出来るかを、磁気抵抗効果の計測により検証する。

#### 4. 研究成果

##### (1) $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl を用いた電界効果と歪み効果の同時計測

有機強相関電子系材料である $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Cl (以下、 $\kappa$ -Cl) は常圧でモット絶縁体であるが、その薄膜単結晶をプラスチック基板に貼り付けると、低温では基板からの二次元圧縮歪みによって超伝導状態となる。低温において、このデバイスを基板の裏面から押し棒で徐々に押しすと、結晶に引っ張り歪み (Tensile strain) が加かってバンド幅を小さくする (あるいは  $U/W$  を大きくする) ことができる。このようにして常伝導状態、あるいはモット絶縁体状態にした上で、EDLT によるゲート操作 (バンドフィリング制御) を行うと、温度・バンド幅・バンドフィリングをパラメータとする 3 次元相図を構成することに成功した (図 A)。この相図はモット絶縁相・金属相・超伝導相の全てを含む広いパラメータ空間での 3 次元相図となっており、有機強相関電子系の全体像を表す初めてのデータである。この相図から読み取れることとして、

- ① バンドフィリング制御による超伝導領域とバンド幅制御による超伝導領域が互いに接続している。
- ② バンドフィリング制御においては、ホールドーブ超伝導相と電子ドーブ超伝導相の両方が存在している。
- ③ 超伝導転移に必要なキャリア密度は、ホールドーブより電子ドーブの方が少ない。
- ④ 電子ドーブ超伝導が起きるキャリア密度領域は狭く、より高ドーブ側にはもうひとつの絶縁相が存在する。
- ⑤ 電子ドーブ相とモット絶縁相は直接隣接しており、一次相転移が存在するように見える。などが挙げられる。

同じくキャリアドーピングによって超伝導が発現する銅酸化物超伝導体においても、電子ドーブ・ホールドーブの非対称性は知られているが、単一サンプルでこのような広範囲の相図が得られたのは初めてである。また、銅酸化物超伝導体ではそもそも結晶格子が非常に強固であるため、変化させられるバンド幅の程度に限界があり、ドーピングのない純粋モット絶縁体からのバンド幅制御超伝導相は知られていない。そのような意味で、本成果は無機強相関電子系でも実現ができなかった相図の作成を、有機材料ならではの格子の柔軟性と低キャリア密度という特徴を活かすことによって実現できたものということができる。

##### (2) $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> を用いた電界効果と歪み効果の同時計測

有機強相関電子系材料である $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>(CN)<sub>3</sub> (以下、 $\kappa$ -CN) は常圧でスピン液体様の磁性を示すモット絶縁体として注目されている。特にこのようなスピンプラストレーション系へのドーピング効果は、RVB (Resonating Valence Bond) 理論との関係も考えられることから、強い興味を持たれている。本研究では、 $\kappa$ -CN の薄膜単結晶をプラスチック基板に貼り付けることによって、(1) と同様にバンド幅・バンドフィリングの同時制御を実現した (図 B)。 $\kappa$ -CN では  $t/t'$  と呼ばれる電子系の異方性が $\kappa$ -Cl と異なるため、 $\kappa$ -CN と $\kappa$ -Cl を比較することは、相図を支配する 4 番目のパラメータを変化させることに対応している。測定結果からは、上の①~⑤に類似の状況が見られた一方で、ホールドーブ相の挙動にはいくつかの違いがみられた。

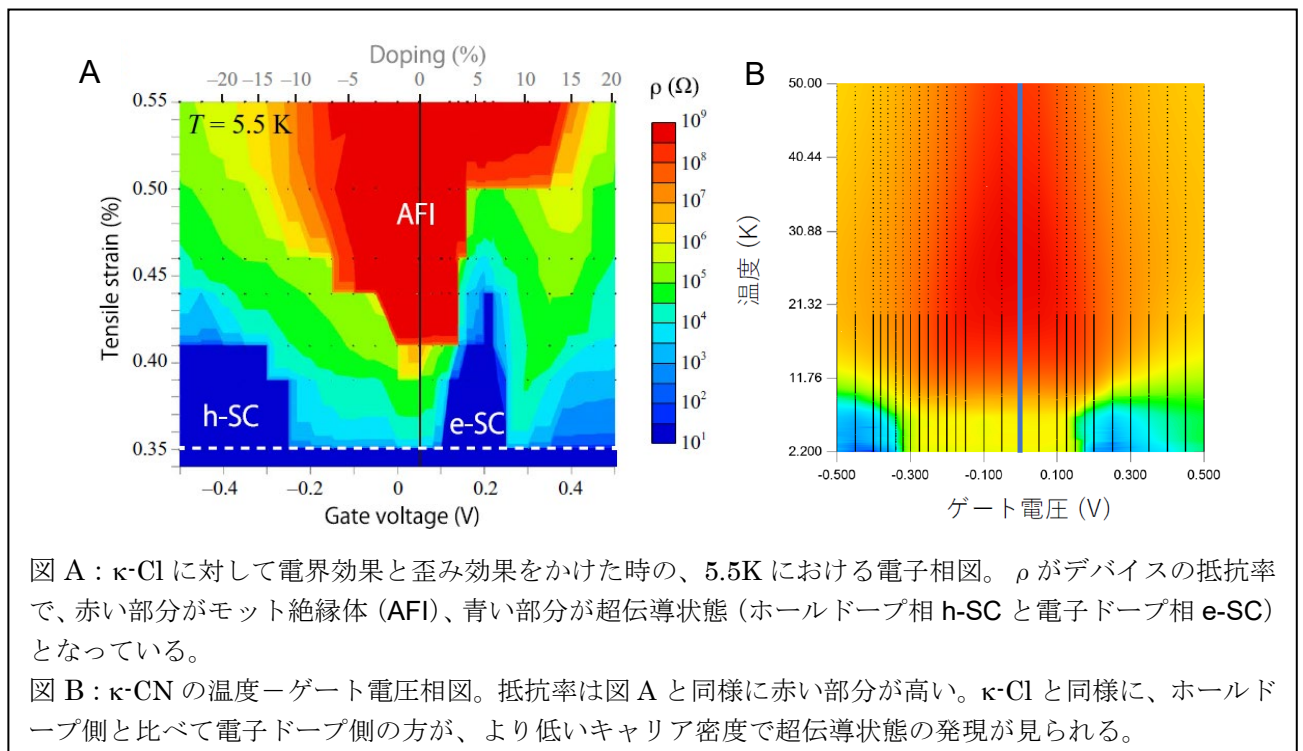


図 A :  $\kappa$ -Cl に対して電界効果と歪み効果を加えた時の、5.5K における電子相図。  $\rho$  がデバイスの抵抗率で、赤い部分がモット絶縁体 (AFI)、青い部分が超伝導状態 (ホールドーブ相 h-SC と電子ドーブ相 e-SC) となっている。

図 B :  $\kappa$ -CN の温度-ゲート電圧相図。抵抗率は図 A と同様に赤い部分が高い。 $\kappa$ -Cl と同様に、ホールドーブ側と比べて電子ドーブ側の方が、より低いキャリア密度で超伝導状態の発現が見られる。

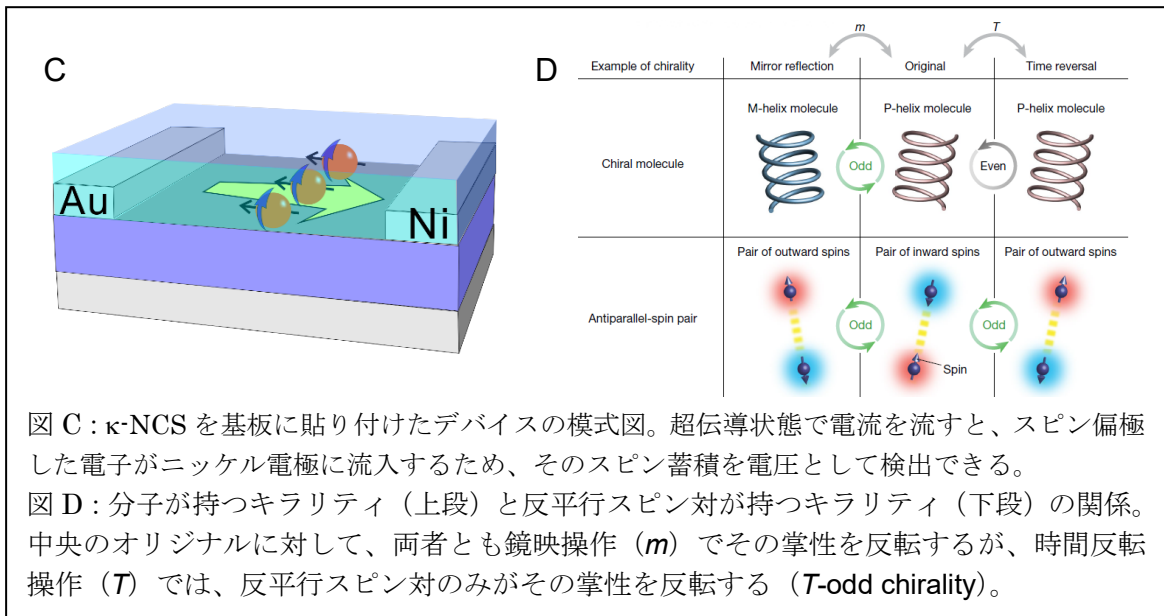
### (3) $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub>を用いたスピントロニクスデバイスの開発

有機強相関電子系材料である $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(NCS)<sub>2</sub> (以下、 $\kappa$ -NCS) の結晶空間群は  $P2_1$  であるため、その結晶は右手系と左手系の存在するキラルな結晶構造である。また、 $\kappa$ -NCS は 10K 付近で超伝導転移を示すことも知られている。従って、超伝導状態での CISS 効果が発現する可能性もあり、そのスピン物性に興味を持たれる。

そこで代表者らは $\kappa$ -NCS の薄膜単結晶を合成し、これをプラスチック基板の上に載せることによってスピントロニクスデバイス (図 C) を作製した。電極はあらかじめ金とニッケルで基板にパターン描画しておき、その上に $\kappa$ -NCS を載せることでコンタクトを実現する。本デバイスは冷却すると、プラスチック基板より弱い圧縮歪みを受けるため、超伝導転移温度がおよそ 9K に変化するものの、超伝導転移そのものは明瞭に観測することができた。また、その結晶を透過型円二色性顕微鏡で観察すると、結晶全体が一様に同じ掌性を有することが確認できた。先行研究では、 $\kappa$ -NCS の結晶は右手系が圧倒的にできやすいということが知られているので、おそらくこのデバイスも右手系の結晶構造を有するものであると推測される。

超伝導状態において、このデバイスの電極間に交流を印可し、ニッケル電極上に現れる直流電圧を観測することによってスピン状態を計測した。これは、CISS 効果がスピンの整流効果を有していることを利用した計測法である。すなわち、ニッケル電極に電子が入ってくる時に期待されるスピン偏極と、ニッケル電極から出ていく時に期待されるスピン偏極の向きは反対である。従って、交流を印可すると、片方のスピン偏極だけが常にニッケル電極と $\kappa$ -NCS の界面に蓄積されて行き、このスピン蓄積が直流電位差として観測されるという原理である。本デバイスで実際に交流励起を行ったところ、30  $\mu$ V を超える非常に大きな直流電圧が観測された。これは Edelstein 効果として知られる効果で期待される電圧の 1000 倍以上大きな値である。さらに磁場を変化させながらこの直流電圧を計測すると、磁場の回転によってニッケル電極の磁化が回転するため、観測される電圧もそれに伴って反転することが明らかとなった。また、この磁場角度依存性から、 $\kappa$ -NCS の超伝導状態から生み出されるスピン偏極の向きを決めることができる。結晶の様々な場所でこのスピン偏極の向きを決定したところ、b 軸方向の上下の位置で、互いに外向きに反対方向を向いたスピン偏極が生じていることが明らかとなった。また、このようなスピン蓄積は、ニッケル電極に電流を流さなくても観測できることが明らかとなり、強い非局所性を持ったスピン偏極であることが示唆された。このことから、 $\kappa$ -NCS の結晶全体がスピン偏極していることも強く示唆される。

結晶作製を様々に試みたところ、ひとつの結晶に右手系の部分と左手系の部分が分かれて存在するヤヌス型結晶が存在することが明らかとなった。そこでこのような結晶を用いてデバイスを作製し、非局所測定において交流励起箇所を右手系の部分と左手系の部分で別々に行うという実験を実施した。その結果、右手系の結晶励起では外向きのスピン対が、左手系の結晶励起では内向きのスピン対が出てくることが明らかとなった。従ってこのようなスピンの分布は結晶のキラリティを表現していると考えられる。しかしながら、スピン偏極は時間反転操作で反転する物理量であり、本来時間反転でも反転しないはずのキラリティを表現するには適さないと考えられる量である。しかし今回の実験では、交流励起状態下での準定常状態において、このような反平行スピン対によるキラリティの表現が可能であることが明らかとなった (図 D)。これは磁性基板によるキラル分子の光学分割などにも道を拓くものであり、新たなキラリティとスピン偏極との関係を見出した成果であるということが出来る。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Masuda Hikaru, Uebe Masashi, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo, Nishio Yutaka, Tajima Naoya	4. 巻 103
2. 論文標題 Pressure-induced phase switching of Shubnikov-de Haas oscillations in the molecular Dirac fermion system -(BETS)2I3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 205140-205140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.205140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Masuda Hikaru, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo, Tajima Naoya	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric Double Layer Doping of Charge-Ordered Insulators -(BEDT-TTF)2I3 and -(BETS)2I3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 791 ~ 791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11070791	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sakamaki Daisuke, Tanaka Shunya, Tanaka Katsuki, Takino Mayu, Gon Masayuki, Tanaka Kazuo, Hirose Takashi, Hirobe Daichi, Yamamoto Hiroshi M., Fujiwara Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Double Heterohelices Composed of Benzo[b]- and Dibenzo[b,i]phenoxazine: A Comprehensive Comparison of Their Electronic and Chiroptical Properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 9283 ~ 9292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c02896	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 12
2. 論文標題 Simultaneous Control of Bandfilling and Bandwidth in Electric Double-Layer Transistor Based on Organic Mott Insulator -(BEDT-TTF)2Cu[N(CN)2]Cl	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 42 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst12010042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamakawa H., Miyamoto T., Morimoto T., Takamura N., Liang S., Yoshimochi H., Terashige T., Kida N., Suda M., Yamamoto H. M., Mori H., Miyagawa K., Kanoda K., Okamoto H.	4. 巻 12
2. 論文標題 Terahertz-field-induced polar charge order in electronic-type dielectrics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-20925-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshimoto Ryo, Yamashita Satoshi, Akutsu Hiroki, Nakazawa Yasuhiro, Kusamoto Tetsuro, Oshima Yugo, Nakano Takehito, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo	4. 巻 11
2. 論文標題 Electric dipole induced bulk ferromagnetism in dimer Mott molecular compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1332-1332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-79262-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nagaoka Yasutaka, Suda Masayuki, Yoon Insun, Chen Na, Yang Hanjun, Liu Yuzi, Anzures Brendan A., Parman Stephen W., Wang Zhongwu, Grunwald Michael, Yamamoto Hiroshi M., Chen Ou	4. 巻 7
2. 論文標題 Bulk Grain-Boundary Materials from Nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem	6. 最初と最後の頁 509 ~ 525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chempr.2020.12.026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Inui Akito, Aoki Ryuya, Nishiue Yuki, Shiota Kohei, Kousaka Yusuke, Shishido Hiroaki, Hirobe Daichi, Suda Masayuki, Ohe Jun-ichiro, Kishine Jun-ichiro, Yamamoto Hiroshi M., Togawa Yoshihiko	4. 巻 124
2. 論文標題 Chirality-Induced Spin-Polarized State of a Chiral Crystal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 166602-166602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevlett.124.166602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawakami Y., Amano T., Ohashi H., Itoh H., Nakamura Y., Kishida H., Sasaki T., Kawaguchi G., Yamamoto H. M., Yamamoto K., Ishihara S., Yonemitsu K., Iwai S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Petahertz non-linear current in a centrosymmetric organic superconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 17776-17776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17776-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Unozawa Yoshinari, Kawasugi Yoshitaka, Suda Masayuki, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo, Nishio Yutaka, Kajita Koji, Morinari Takao, Tajima Naoya	4. 巻 89
2. 論文標題 Quantum Phase Transition in Organic Massless Dirac Fermion System -(BEDT-TTF)2I3 under Pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123702 ~ 123702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.123702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Pachariyangkun Anna, Suda Masayuki, Hadsadee Sarinya, Jungstittiwong Siriporn, Nalaoh Phattananawee, Pattanasattayavong Pichaya, Sudyoadsuk Taweesak, Yamamoto Hiroshi M., Promarak Vinich	4. 巻 8
2. 論文標題 Effect of thiophene/furan substitution on organic field effect transistor properties of arylthiadiazole based organic semiconductors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17297 ~ 17306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0tc04982d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nabei Yoji, Hirobe Daichi, Shimamoto Yusuke, Shiota Kohei, Inui Akito, Kousaka Yusuke, Togawa Yoshihiko, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 117
2. 論文標題 Current-induced bulk magnetization of a chiral crystal CrNb3S6	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 052408 ~ 052408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0017882	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chooppawa Tianchai, Namuangruk Supawadee, Yamamoto Hiroshi M., Promarak Vinich, Rashatasakhon Paitoon	4. 巻 7
2. 論文標題 Synthesis, characterization, and hole-transporting properties of benzotriazatruxene derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15035 ~ 15041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9tc04155a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Seki Kazuhiro, Tajima Satoshi, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yunoki Seiji, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo	4. 巻 5
2. 論文標題 Two-dimensional ground-state mapping of a Mott-Hubbard system in a flexible field-effect device	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaav7282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aav7282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ito Hiroshi, Edagawa Yusuke, Pu Jiang, Akutsu Hiroki, Suda Masayuki, Yamamoto Hiroshi M., Kawasugi Yoshitaka, Haruki Rie, Kumai Reiji, Takenobu Taishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Electrolyte Gating Induced Metal Like Conduction in Nonstoichiometric Organic Crystalline Semiconductors under Simultaneous Bandwidth Control	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 physica status solidi (RRL) Rapid Research Letters	6. 最初と最後の頁 1900162 ~ 1900162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssr.201900162	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawaguchi Genta, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 9
2. 論文標題 Control of Organic Superconducting Field-Effect Transistor by Cooling Rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 605 ~ 605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst9110605	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Suda Masayuki, Thathong Yuranan, Promarak Vinich, Kojima Hirotaka, Nakamura Masakazu, Shiraogawa Takafumi, Ehara Masahiro, Yamamoto Hiroshi M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Light-driven molecular switch for reconfigurable spin filters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2455/1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-10423-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 須田理行、山本浩史	4. 巻 89
2. 論文標題 分子モーターを用いた再構成可能スピン偏極デバイス	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 応用物理学会誌	6. 最初と最後の頁 203-207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Seki Kazuhiro, Pu Jiang, Takenobu Taishi, Yunoki Seiji, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo	4. 巻 100
2. 論文標題 Non-Fermi-liquid behavior and doping asymmetry in an organic Mott insulator interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 115141/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevb.100.115141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Suzuki Haruto, Yamamoto Hiroshi M., Kato Reizo, Tajima Naoya	4. 巻 122
2. 論文標題 Strain-induced massless Dirac fermion state of the molecular conductor -(BEDT-TTF)2I3	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 123102~123102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0141023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Pustogow A., Kawasugi Y., Sakurakoji H., Tajima N.	4. 巻 14
2. 論文標題 Chasing the spin gap through the phase diagram of a frustrated Mott insulator	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1960/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-37491-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kawasugi Yoshitaka, Yamazaki Shutaro, Pustogow Andrej, Tajima Naoya	4. 巻 92
2. 論文標題 Negative Magnetoresistance near the Mott Metal-Insulator Transition in the Quantum Spin Liquid Candidate -(BEDT-TTF)2Cu2(CN)3	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 065001/1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.92.065001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 川相義高, 関和弘, 柚木清司, 山本浩史	4. 巻 56
2. 論文標題 バンド幅とバンドフィリングの同時制御による分子性モット絶縁体の2次元超伝導相図	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 固体物理	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川相義高, 須田理行, 山本浩史	4. 巻 31
2. 論文標題 歪み制御型電界効果トランジスタを用いた分子性導体における超伝導の探索	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本高圧力学会誌	6. 最初と最後の頁 193-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 山本浩史
2. 発表標題 有機超伝導トランジスタとモット転移
3. 学会等名 WPI-MANA Virtual City of Workshop (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Yamamoto
2. 発表標題 Flexible Electronics for Organic Strongly Correlated Electron Systems
3. 学会等名 MRM2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Yamamoto
2. 発表標題 Spin Selectivity in Chiral Materials
3. 学会等名 SECRETS kickoff meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi Yamamoto
2. 発表標題 Chirality based spintronics
3. 学会等名 2020 International Seminar on China-Japan-Korea Frontier New Materials Collaborations, Online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi M. Yamamoto
2. 発表標題 Light-driven molecular switch for reconfigurable spin filters
3. 学会等名 ANSCSE2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi M. Yamamoto
2. 発表標題 Light-driven molecular switch for reconfigurable spin filters
3. 学会等名 17th Japan-Korea Symposium on Molecular Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi M. Yamamoto
2. 発表標題 Band-filling and Band-width control for k-(BEDT-TTF) <sub>2</sub> Cu[N(CN) <sub>2</sub> ]X embedded in field effect devices
3. 学会等名 ISCOM2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroshi M. Yamamoto
2. 発表標題 Spin Filter Driven By Molecular Motor
3. 学会等名 5th Japan-Thai workshop on TCC2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 相澤 洋紀、川口 玄太、山本 浩史
2. 発表標題 -HgBr薄膜を用いた電界効果トランジスタ
3. 学会等名 応用物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi M. Yamamoto
2. 発表標題 Light-driven Molecular Switch for Reconfigurable Spin Filters
3. 学会等名 Chirality@The Nanoscale (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Minamitate, Y. Kawasugi, H. M. Yamamoto, and R. Kato
2. 発表標題 Strain and Electric Field Effects on a Valence Bond Order State in an Organic Mott Insulator EtMe3P[Pd(dmit)2]2
3. 学会等名 ISCOM2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川相義高、上辺将士、増田光、田嶋尚也、山本浩史、加藤礼三、西尾豊、梶田晃示
2. 発表標題 -BETS213の基板上薄片結晶における量子振動の観測
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻椛大仁、川相義高、上辺将士、田嶋尚也、山本浩史、加藤礼三、西尾豊、梶田晃示
2. 発表標題 量子スピン液体候補物質 $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ に対するひずみ効果と電界効果
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川相義高、上辺将士、片桐将志、田嶋尚也、山本浩史、加藤礼三、西尾豊、梶田晃示
2. 発表標題 -BETS213の基板上薄片結晶における量子振動の観測II
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川相義高、増田光、加藤礼三、蒲江、竹延大志、山本浩史、田嶋尚也
2. 発表標題 電荷秩序絶縁体 $-\text{BEDT-TTF}_2\text{I}_3$ および $-\text{BETS}_2\text{I}_3$ に対する電気二重層ドーピング
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻椛大仁、川相義高、蒲江、竹延大志、加藤礼三、山本浩史、田嶋尚也
2. 発表標題 量子スピン液体候補物質 $-(\text{BEDT-TTF})_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ に対するひずみ効果と電界効果
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川相義高, 山本浩史, 加藤礼三, 田嶋尚也
2. 発表標題 曲げ歪みを利用した常圧における -BEDT-TTF2I3の絶縁相の抑制
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshitaka Kawasaki, Hirohito Sakurakoji, Jiang Pu, Taishi Takenobu, Hiroshi M. Yamamoto, Reizo Kato, and Naoya Tajima
2. 発表標題 Gate- and Strain-induced Phase Transitions in Organic Strongly Correlated Systems
3. 学会等名 29th International Conference on Low Temperature Physics (LT29) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川相義高, 大上達也, 山本浩史, 加藤礼三, 田嶋尚也
2. 発表標題 電荷秩序絶縁体 -BEDT-TTF2I3の基板上薄片単結晶における電気抵抗率の異方性
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田嶋尚也, 川相義高, 岡竜平, 内藤俊雄, 加藤礼三, 西尾豊
2. 発表標題 有機ディラック電子系の低磁場下輸送特性
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川相義高, 鈴木遥人, 山本浩史, 加藤礼三, 田嶋尚也
2. 発表標題 曲げ歪みを利用した常圧における -(BEDT-TTF)2I3の絶縁相の抑制II
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 スピン偏極電流を生成する導電性構造体、それを用いた電極及び方法	発明者 須田理行、山本浩史	権利者 京都大学、自然科学研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-083466	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 キラリティ検出装置、キラリティ検出方法、分離装置及び分離方法	発明者 戸川欣彦、穴戸寛明、山本浩史	権利者 公立大学法人大阪、大学共同利用機関法人自然
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-092958	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 キラル物質装置	発明者 戸川欣彦、穴戸寛明、山本浩史	権利者 公立大学法人大阪、大学共同利用機関法人自然
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-092959	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

研究室ホームページ <a href="https://yamamoto.ims.ac.jp/">https://yamamoto.ims.ac.jp/</a>
--



## 6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	川相 義高  (Kawasugi Yoshitaka)  (40590964)	東邦大学・理学部・講師    (32661)	

## 7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 CISS2019	開催年 2019年～2019年
--------------------	--------------------

## 8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
フランス	アンジェ大学			
タイ	VISTEC	NANOTEC		