

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21174

研究課題名(和文)一重項励起子分裂による量子テレポーテーションの実現

研究課題名(英文)Quantum Teleportation via Singlet Fission

研究代表者

小堀 康博(Kobori, Yasuhiro)

神戸大学・分子フォトサイエンス研究センター・教授

研究者番号：00282038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：励起子分裂(S1 + S0 → T1 + T1)で生成する解離多重励起子のスピン量子状態遷移による量子もつれを具体的に特徴づけた。スピン強相関多重励起子1(TT)からの解離で生成した各三重項励起子へのスピン量子テレポーテーションをマイクロ波による吸収(A)や放出(E)信号の「観測」と、それら信号に対する量子論を用いた電子スピン分極移動モデルによる理論的解析により実証した。分子内シングレットフィッション系では、強く相関した多重励起子からの電子的相互作用による束縛を解く際にかかるねじれ振動モードと周波数を具体的に特徴づけるとともに、それによる解離多重励起子の立体構造の変化も明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、電子スピン分極による詳細な解析によって1)多重励起子生成機構、2)励起子解離に対する分子振動効果など分子論的解明、3)量子観測や量子誤り問題の本質的理解、4)固体材料系フォノンの揺らぎによるデコヒーレンス効果の解明など、分子科学における様々な未知問題を解き明かし学術体系を変革させる。まさに「量子情報化学」と呼ぶべき新分野を開拓するものであり学術的意義や社会への波及効果が極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：We have characterized spin entanglement transportations in the singlet-quintet multiexciton spin system by using the time-resolved electron paramagnetic resonance (TREPR) detections for several singlet-fission reaction systems. We have newly constructed a spin correlated triplet-pair model to account for the electron spin polarization observed in the spin states generated by the transportations of the spin entanglement via the dissociation of the singlet and quintet strongly coupled multiexciton composed of the four qubits system resulting in the two of the individual triplet excitons. Using this model, we have elucidated the quantum mechanical spin teleportation of the multiexcitons caused by vibration motions in the strongly coupled multiexcitons to weaken the spin-spin exchange interactions generating the weakly coupled multiexcitons resulting in the conformation changes in the individual triplet chromophores.

研究分野：スピン化学

キーワード：量子コンピュータ 電子スピン分極 励起子分裂 電子スピン共鳴法 コヒーレンス 量子もつれ スピン相関三重項 五重項

1. 研究開始当初の背景

医薬品開発など極めて広範な分野で、量子コンピュータによる高速情報処理への実用化に急速な期待が高まっている。2019年秋に Google 社は量子コンピュータを利用した並列計算がスーパーコンピュータを遥かにしのぐ性能を発揮する実証結果を Nature に発表し世界的な話題になった。この量子コンピュータは磁束量子ビットを用いるため雑音のない絶対零度環境を必須とする問題を抱えており、光で簡便に実現できる量子ビット対の並列化に大きな期待がかかる。Wasielewski らは DNA や連結系光反応で生成したラジカル対による長寿命量子コヒーレンスを 85 K にて報告し二量子ビットとしての有効性を示した。小堀らは有機薄膜太陽電池の光活性層で起こる長距離光電荷分離で同様な量子コヒーレンスを 77 K で観測した。一重項励起子分裂は単一の光子が複数の三重項励起子(T_1T_1)を生む多重励起子過程であり光による四電子系(四量子ビット)への演算拡張化が期待できるが、その観点での基礎的研究は全く行われていない。一方で小堀らは近年、SF による強相関多重励起子(五重項励起子対)や励起子解離に関し、励起子対のスピン量子もつれを基軸とするスピン相関三重項対モデルの整備を進め、卓越した成果を次々あげた。

2. 研究の目的

将来の超高効率光エネルギー変換系のデバイス応用に期待が高まっている一重項励起子分裂(Singlet Fission: SF)を、量子コンピュータにおける光入力による四量子ビットの基本構成単位として活用するための基礎研究を行う。時間分解電子スピン共鳴法を SF 材料による固体薄膜、単結晶および連結系分子に適用し、励起子分裂($S_1 + S_0 \rightarrow T_1 + T_1$)で生成する解離多重励起子のスピン量子状態遷移による量子もつれを具体的に特徴づけると共に、スピン強相関多重励起子 $^1(TT)$ からの解離で生成した各三重項励起子へのスピン量子テレポーテーションをマイクロ波による吸収(A)や放出(E)信号の「観測」と、それら信号に対する量子論を用いた電子スピン分極移動モデルによる理論的解析により実証する。

3. 研究の方法

現有の X、Q バンドレーザー励起時間分解電子スピン共鳴(TREPR)計測を用いる。TIPS-ペンタセンなど SF 材料からスピンコート法で薄膜や単結晶試料を作製する。ペンタマー連結分子は、研究協力者の羽曾部准教授(慶応大)より提供を受ける。超高速分光による計測をフィンランドの研究協力者である Tkachenko 教授(Tampere 大)に依頼し、励起子解離ダイナミクスを特徴づける。

小堀らは、1)種々の温度条件にて固体試料の時間分解電子スピン共鳴信号に対するレーザー遅延時間依存性を計測し、SF で生成する過渡種を TREPR 計測する。強相関多重励起子 $^1(TT)$ と、五重項 $^5(TT)$ 状態からの解離で生成した($T_1 + T_1$)によるマイクロ波の吸収(A)、放出(E)を示す電子スピン分極を TREPR スペクトルとして取得する。2) $T_1 + T_1$ 解離に伴う量子もつれの継続と量子テレポーテーションを実証するため、小堀が独自に

構築した量子論による電子スピン分極モデルを多重励起子系に拡張し解析する。スピンハミルトニアンとして三重項スピン双極子相互作用、励起子-励起子間スピン双極子相互作用、交換相互作用(J)を考慮したスピン関数の対角化を行う。電子スピン分極移動モデルにより、量子論に従い量子もつれの重ね合わせスピン関数に対し一重項量子もつれの射影化を行う。得られる計 16 本の電子スピン共鳴遷移を空間方向に対して積分し電子スピン分極スペクトル解析とする。共鳴磁場位置に現れる三重項励起子信号の横軸から、SF により $T_1 - T_1$ 間距離が例えば 10 nm 以上の距離にまで離れた個別の励起子(T_1)として「観測」される。外部磁場方向に対し偏光励起を行えば、解離した各三重項スピンそれぞれの異方性を個別に選別できる。量子もつれが起きたベル状態に対する Alice(または Bob)の「観測」による量子テレポーテーションは、この励起光偏光効果から識別される。SF 直後、強相関多重励起子 $^1(TT)$ に生成したスピン量子もつれが、長距離離れた励起子対に継続しスピン相関を保持すれば、A や E による電子スピン分極が生成する。一方 T_1+T_1 解離で $^1(TT)$ で表現された波動関数のスピン相関を完全に失う「量子誤り」が起これば、解離励起子における副準位の存在確率が統計分布になり、電子スピン分極は消失する。これを利用し量子もつれの転送と量子テレポーテーションを実証する。

4 . 研究成果

将来の超高効率光エネルギー変換系のデバイス応用に期待が高まっている一重項励起子分裂(Singlet Fission: SF)を、量子コンピュータにおける光入力による四量子ビットの基本構成単位として活用するための基礎研究として、時間分解電子スピン共鳴法を SF 材料による固体薄膜、単結晶および連結系分子に適用し、励起子分裂($S_1+S_0 \rightarrow T_1+T_1$)で生成する解離多重励起子のスピン量子状態遷移による量子もつれを具体的に特徴づけた。スピン強相関多重励起子 $^1(TT)$ からの解離で生成した各三重項励起子へのスピン量子テレポーテーションをマイクロ波による吸収(A)や放出(E)信号の「観測」と、それら信号に対する量子論を用いた電子スピン分極移動モデルによる理論的解析により実証した。分子内シングレットフィッション系では、強く相関した多重励起子からの電子的相互作用による束縛を解く際にかかるねじれ振動モードと周波数を具体的に特徴づけるとともに、それによる解離多重励起子の立体構造の変化も明らかにした。さらに励起子解離による立体構造変化の分子論起源は不明であった。本研究では、電子構造論に基づき双性イオン構造による束縛励起子対からのテラヘルツ振動による開放として、具体的に記述することもできた。1)多重励起子生成機構、2)励起子解離に対する分子振動効果など分子論的解明、3)量子観測や量子誤り問題の本質的理解、4)固体材料系フォノンの揺らぎによるデコヒーレンス効果の解明など、分子科学における様々な未知問題を解き明かし学術体系を変革させる。まさに「量子情報光化学」と呼ぶべき新分野を開拓する基礎を構築することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Imahori Hiroshi, Kobori Yasuhiro, Kaji Hironori	4. 巻 2
2. 論文標題 Manipulation of Charge-Transfer States by Molecular Design: Perspective from “Dynamic Exciton”	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Materials Research	6. 最初と最後の頁 501 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/accountsmr.1c00045	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 Nakamura Shunta, Sakai Hayato, Fuki Masaaki, Kobori Yasuhiro, Tkachenko Nikolai V., Hasobe Taku	4. 巻 12
2. 論文標題 Enthalpy-Entropy Compensation Effect for Triplet Pair Dissociation of Intramolecular Singlet Fission in Phenylene Spacer-Bridged Hexacene Dimers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6457 ~ 6463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcclett.1c01430	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 Sakurai Manabu, Kabe Ryota, Fuki Masaaki, Lin Zesen, Jinnai Kazuya, Kobori Yasuhiro, Adachi Chihaya, Tachikawa Takashi	4. 巻 2
2. 論文標題 Organic photostimulated luminescence associated with persistent spin-correlated radical pairs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-021-00178-3	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 Nakamura Shunta, Sakai Hayato, Nagashima Hiroki, Fuki Masaaki, Onishi Kakeru, Khan Ramsha, Kobori Yasuhiro, Tkachenko Nikolai V., Hasobe Taku	4. 巻 125
2. 論文標題 Synergetic Role of Conformational Flexibility and Electronic Coupling for Quantitative Intramolecular Singlet Fission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18287 ~ 18296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c04734	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 Hasobe Taku, Nakamura Shunta, Tkachenko Nikolai V., Kobori Yasuhiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Molecular Design Strategy for High-Yield and Long-Lived Individual Doubled Triplet Excitons through Intramolecular Singlet Fission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 390 ~ 400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.1c02300	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 Fuse Hiromu, Irie Yu, Fuki Masaaki, Kobori Yasuhiro, Kato Kosaku, Yamakata Akira, Higashi Masahiro, Mitsunuma Harunobu, Kanai Motomu	4. 巻 144
2. 論文標題 Identification of a Self-Photosensitizing Hydrogen Atom Transfer Organocatalyst System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6566 ~ 6574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c01705	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 Hamada Misato, Iwata Tatsuya, Fuki Masaaki, Kandori Hideki, Weber Stefan, Kobori Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Orientations and water dynamics of photoinduced secondary charge-separated states for magnetoreception by cryptochrome	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-021-00573-4	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 Imahori Hiroshi, Kobori Yasuhiro, Kaji Hironori	4. 巻 2
2. 論文標題 Manipulation of Charge-Transfer States by Molecular Design: Perspective from "Dynamic Exciton"	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Materials Research	6. 最初と最後の頁 501 ~ 514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/accountsmr.1c00045	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 Nakamura Shunta, Sakai Hayato, Fuki Masaaki, Kobori Yasuhiro, Tkachenko Nikolai V., Hasobe Taku	4. 巻 12
2. 論文標題 Enthalpy-Entropy Compensation Effect for Triplet Pair Dissociation of Intramolecular Singlet Fission in Phenylene Spacer-Bridged Hexacene Dimers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6457 ~ 6463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c01430	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 Sakurai Manabu, Kabe Ryota, Fuki Masaaki, Lin Zesen, Jinnai Kazuya, Kobori Yasuhiro, Adachi Chihaya, Tachikawa Takashi	4. 巻 2
2. 論文標題 Organic photostimulated luminescence associated with persistent spin-correlated radical pairs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-021-00178-3	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 Nakamura Shunta, Sakai Hayato, Nagashima Hiroki, Fuki Masaaki, Onishi Kakeru, Khan Ramsha, Kobori Yasuhiro, Tkachenko Nikolai V., Hasobe Taku	4. 巻 125
2. 論文標題 Synergetic Role of Conformational Flexibility and Electronic Coupling for Quantitative Intramolecular Singlet Fission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 18287 ~ 18296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c04734	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 Hamada Misato, Iwata Tatsuya, Fuki Masaaki, Kandori Hideki, Weber Stefan, Kobori Yasuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Orientations and water dynamics of photoinduced secondary charge-separated states for magnetoreception by cryptochrome	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-021-00573-4	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 Hasobe Taku, Nakamura Shunta, Tkachenko Nikolai V., Kobori Yasuhiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Molecular Design Strategy for High-Yield and Long-Lived Individual Doubled Triplet Excitons through Intramolecular Singlet Fission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 390 ~ 400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.1c02300	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 Fuse Hiromu, Irie Yu, Fuki Masaaki, Kobori Yasuhiro, Kato Kosaku, Yamakata Akira, Higashi Masahiro, Mitsunuma Harunobu, Kanai Motomu	4. 巻 144
2. 論文標題 Identification of a Self-Photosensitizing Hydrogen Atom Transfer Organocatalyst System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6566 ~ 6574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c01705	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 Sakurai Manabu, Kabe Ryota, Fuki Masaaki, Lin Zesen, Jinnai Kazuya, Kobori Yasuhiro, Adachi Chihaya, Tachikawa Takashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Organic Photostimulated Luminescence	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.26434/chemrxiv.12956456	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 Kobori Yasuhiro, Fuki Masaaki, Nakamura Shunta, Hasobe Taku	4. 巻 124
2. 論文標題 Geometries and Terahertz Motions Driving Quintet Multiexcitons and Ultimate Triplet-Triplet Dissociations via the Intramolecular Singlet Fissions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry B	6. 最初と最後の頁 9411 ~ 9419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpccb.0c07984	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 Han Yulian、Hamada Morihiko、Chang I-Ya、Hyeon-Deuk Kim、Kobori Yasuhiro、Kobayashi Yoichi	4. 巻 143
2. 論文標題 Fast T-Type Photochromism of Colloidal Cu-Doped ZnS Nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 2239 ~ 2249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c10236	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 -

〔学会発表〕 計59件 (うち招待講演 25件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Vibronic Effect of Donor-Acceptor Interaction Determines Fate of Mutiexciton Spins Generated By Singlet Fission
3. 学会等名 ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Water dynamics control of the magnetic compass
3. 学会等名 7th Kanto Area Spin Chemistry Meeting (KASC 7) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極映像化による超高効率光エネルギー変換機構の解明
3. 学会等名 第一回広帯域極限電磁波生命理工連携研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極映像化による超高効率光エネルギー変換機構の解明
3. 学会等名 第19回ESR夏の学校講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 光合成光電荷分離のスピン量子コヒーレンスとデコヒーレンス
3. 学会等名 量子生命科学会第3回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Conformation change and electronic de-coupling via intramolecular singlet fissions
3. 学会等名 ICFPE2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Vibronic Spins in Singlet Fissions
3. 学会等名 Modern Development of Magnetic Resonance（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 動物の磁気コンパスにおける水和運動の役割: 光受容タンパク質の長距離電荷分離機構
3. 学会等名 第15回物性科学領域横断研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Spin-entanglement transport via singlet-fission as studied by transient EPR
3. 学会等名 Pacifichem2021(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Heterogeneous charge-separation geometries at bulk-heterojunction interfaces in organic solar cell studied by transient EPR
3. 学会等名 Pacifichem2021(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極の空間映像化による動的エキシトン機構解析
3. 学会等名 京都大学分子工学研究科特別講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電荷移動によるスピンの動きを捉える
3. 学会等名 日本化学会春季年会特別企画「光化学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 結晶性薄膜の一重項励起子分裂：活性化多重励起子の構造と解離に対する動的効果
3. 学会等名 光化学討論会2021
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 分子内励起子分裂に伴う立体構造変化と電子的デカップリング：電子スピン分極映像化による解析
3. 学会等名 第15回 分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Fuki, Yasuhro Kobori
2. 発表標題 Geometries and Oscillating Motions Driving Quintet Multiexcitons and Triplet-Triplet Dissociations via the Intramolecular Singlet Fissions
3. 学会等名 ISMAR-APNMR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 婦木正明, 小堀康博
2. 発表標題 テトラセン分子ワイヤーにおける一重項励起子分裂で生成した多重励起子のスピンドYNAMIX
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本翔, 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン共鳴法を用いた有機半導体光アップコンバージョン材料のドナー/アクセプター界面で生成する三重項励起子のダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Nagatomo, Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Generation domain of quintet multiexcitons via singlet fission in organic thin films as studied by time-resolved EPR
3. 学会等名 ISMAR-APNMR2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長友敬晃, 小堀康博
2. 発表標題 ベンゾポルフィリン-ジケトピロロピロールをドナーとするバルクヘテロ接合界面の電荷移動と電荷解離:時間分解EPRによる解析
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西翔、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPRによるピフェニル連結テトラセンダイマーの分子内励起子分裂機構の解明
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝平謙治、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPR法による熱活性化遅延蛍光分子の励起状態の解析
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝平謙治、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPR法による熱活性化遅延蛍光分子の励起状態の解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠本遼太、小堀康博
2. 発表標題 分子内一重項励起子分裂で生成する多重励起子の構造変化:時間分解EPR法による解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山加純、小堀康博
2. 発表標題 時間分解電子スピン共鳴法による非フラレン型太陽電池材料の界面電荷分離構造解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Vibronic Effect of Donor-Acceptor Interaction Determines Fate of Mutiexciton Spins Generated By Singlet Fission
3. 学会等名 ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Water dynamics control of the magnetic compass
3. 学会等名 7th Kanto Area Spin Chemistry Meeting (KASC 7) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極映像化による超高効率光エネルギー変換機構の解明
3. 学会等名 第一回広帯域極限電磁波生命理工連携研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極映像化による超高効率光エネルギー変換機構の解明
3. 学会等名 第19回ESR夏の学校講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 光合成光電荷分離のスピン量子コヒーレンスとデコヒーレンス
3. 学会等名 量子生命科学会第3回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Conformation change and electronic de-coupling via intramolecular singlet fissions
3. 学会等名 ICFPE2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Vibronic Spins in Singlet Fissions
3. 学会等名 Modern Development of Magnetic Resonance（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 動物の磁気コンパスにおける水和運動の役割: 光受容タンパク質の長距離電荷分離機構
3. 学会等名 第15回物性科学領域横断研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Spin-entanglement transport via singlet-fission as studied by transient EPR
3. 学会等名 Pacifichem2021(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Heterogeneous charge-separation geometries at bulk-heterojunction interfaces in organic solar cell studied by transient EPR
3. 学会等名 Pacifichem2021(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン分極の空間映像化による動的エキシトン機構解析
3. 学会等名 京都大学分子工学研究科特別講演会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 電荷移動によるスピンの動きを捉える
3. 学会等名 日本化学会春季年会特別企画「光化学の新展開」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 結晶性薄膜の一重項励起子分裂：活性化多重励起子の構造と解離に対する動的効果
3. 学会等名 光化学討論会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小堀康博
2. 発表標題 分子内励起子分裂に伴う立体構造変化と電子的デカップリング：電子スピン分極映像化による解析
3. 学会等名 第15回 分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Fuki, Yasuhro Kobori
2. 発表標題 Geometries and Oscillating Motions Driving Quintet Multiexcitons and Triplet-Triplet Dissociations via the Intramolecular Singlet Fissions
3. 学会等名 ISMAR-APNMR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 婦木正明, 小堀康博
2. 発表標題 テトラセン分子ワイヤーにおける一重項励起子分裂で生成した多重励起子のスピンドYNAMIX
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本翔, 小堀康博
2. 発表標題 電子スピン共鳴法を用いた有機半導体光アップコンバージョン材料のドナー/アクセプター界面で生成する三重項励起子のダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takaaki Nagatomo, Yasuhiro Kobori
2. 発表標題 Generation domain of quintet multiexcitons via singlet fission in organic thin films as studied by time-resolved EPR
3. 学会等名 ISMAR-APNMR2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長友敬晃, 小堀康博
2. 発表標題 ベンゾポルフィリン-ジケトピロロピロールをドナーとするバルクヘテロ接合界面の電荷移動と電荷解離:時間分解EPRによる解析
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大西翔、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPRによるピフェニル連結テトラセンダイマーの分子内励起子分裂機構の解明
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝平謙治、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPR法による熱活性化遅延蛍光分子の励起状態の解析
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 勝平謙治、小堀康博
2. 発表標題 時間分解EPR法による熱活性化遅延蛍光分子の励起状態の解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠本遼太、小堀康博
2. 発表標題 分子内一重項励起子分裂で生成する多重励起子の構造変化:時間分解EPR法による解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山加純、小堀康博
2. 発表標題 時間分解電子スピン共鳴法による非フラレン型太陽電池材料の界面電荷分離構造解析
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro KOBORI
2. 発表標題 Photon-to-Energy Conversion Mechanisms Revealed by Quantum Effects on Electron Spin Polarization
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 紗季、婦木 正明、小堀 康博
2. 発表標題 有機薄膜中のシングレットフィッションによる多重励起子解離機構:時間分解 EPR 法を用いた解析
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 婦木 正明、中村 俊太、羽曾部 卓、小堀 康博
2. 発表標題 共有結合した二量体における一重項分裂によって生成された五重項励起子の立体配置
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎 恭佑、長嶋 宏樹、三野 広幸、立川 貴士、小堀 康博
2. 発表標題 植物 PSII の初期光電荷分離による立体配置と電荷再結合に対する温度効果
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長友 敬晃、松田 紗季、濱田 守彦、小堀 康博
2. 発表標題 有機薄膜中の一重項励起子分裂による五重項多重励起子の生成ドメイン
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoichi KOBAYASHI, Morihiko HAMADA, Yasuhiro KOBORI
2. 発表標題 Fast T-Type Photochromism of Colloidal Cu-Doped ZnS Nanocrystals
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小堀康博, 婦木正明, 中村俊太, 羽曾部卓
2. 発表標題 分子内一重項分裂によるスピン相関三重項対生成に対する振電効果
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長友敬晃, 松田紗季, 小堀康博
2. 発表標題 有機薄膜中の一重項励起子分裂による五重項多重励起子の生成ドメイン
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 婦木正明, 鈴木悠大, 中村俊太, 酒井隼人, 羽曾部卓, 小堀康博
2. 発表標題 共有結合した二量体における一重項励起子分裂によって生成された五重項励起子の立体配置
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎恭佑, 長嶋宏樹, 三野広幸, 立川貴士, 小堀康博
2. 発表標題 植物PSIIの電荷再結合に対する活性化パラメータの再評価
3. 学会等名 電子スピンサイエンス学会年会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhiro KOBORI
2. 発表標題 Conformation Changes in Intramolecular Multiexciton Spins
3. 学会等名 6th Kanto Area Spin Chemistry Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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0件

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			
フィンランド	Tampere University			
ドイツ	University of Freiburg			