

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03457

研究課題名(和文) 超短X線パルスによる量子多自由度系非平衡ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Non-equilibrium dynamics of quantum order in strongly correlated electron system revealed by using ultrafast x-ray pulses

研究代表者

深谷 亮 (Fukaya, Ryo)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特任助教

研究者番号：30735072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、強相関電子物性を反映する電子や格子の非平衡状態における長距離秩序構造を明確にするために、観測対象の時間や量子自由度に応じてフェムト秒やピコ秒の時間幅を有する硬・軟X線パルスを複合的に利用した時間分解X線回折・散乱のシステム開発および計測を実施した。放射光と発振繰返し周波数可変レーザーシステムを組み合わせることにより、従来よりも10倍以上高いサンプリング周波数で計測可能な、時間分解軟X線計測システムを実現するとともに、光励起による電子状態変化が引き金となって量子秩序状態がフォノンと結合してコヒーレントに変調し、その後巨視的な相転移へと発展する非平衡ダイナミクスの全貌を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した高サンプリング周波数時間分解軟X線計測システムにより、従来のシステムでは微弱な信号で計測が困難であった物質系への適用が可能となり、対象物質や測定環境が大幅に拡大した。レーザーや放射光、X線自由電子レーザーの複合利用で解き明かされた、協同的に相互作用した量子自由度の非平衡ダイナミクスの新たな知見は、光パルスを利用した新規な超高速物性制御の手法や新規な動的機能性を有する物質の探索および創成に明確な指針を与えるだけでなく、その技術を利用した次世代超高速スイッチング通信デバイスの応用展開に向けて、飛躍的に研究開発が加速されると期待される。

研究成果の概要(英文)：To reveal the long-range ordered electronic and lattice structures in the non-equilibrium states that reflect physical properties of strongly correlated electron systems, we have conducted time-resolved X-ray diffraction and scattering measurements. These measurements utilized a combination of hard and soft X-ray pulses with femtosecond and picosecond durations, depending on the observed time scales and quantum degrees of freedom. By combining synchrotron radiation with a variable repetition rate laser system, we have implemented a time-resolved soft X-ray measurement system capable of measuring at a sampling frequency more than ten times higher than conventional systems. Furthermore, we clarified the overview of non-equilibrium dynamics in which photoexcitation triggers changes in the electronic state, leading to coherent modulation of the quantum ordered state coupled with the phonon, and subsequently developing into a macroscopic phase transition.

研究分野：非平衡物質科学

キーワード：光誘起相転移 強相関電子系 時間分解X線計測 超高速ダイナミクス 光物性 磁性

### 1. 研究開始当初の背景

光を利用して物質の電氣的性質や、磁性、誘電性といった様々な特性の能動的な制御を目指したいいわゆる光誘起相転移研究は、相転移に伴う巨視的かつ高速な応答性から、次世代の超高速スイッチングデバイスの動作原理としての展開とともに、光でのみ実現可能な新たな特性の創成という基礎物理学的な新たな知見の発見につながると期待される[1]。近年のレーザー技術の飛躍的な発展とともに超短パルス化や高強度化が進み、光の時間周期的な電場を積極的に利用した、光ならでは超高速な制御手法の研究が盛んに行われ始めている。

これら物質の光による制御手法の発展とともに、発現する非平衡状態における多種多様な量子自由度を詳細に観測するための測定手法の最適な選択は必須である。強相関電子系物質における典型的な光誘起相転移現象は、図 1 に示すように、局所的な電子状態変化が引き金となってフェムト秒 - ピコ秒の時間領域で電子と格子の自由度が協同的に相互作用することにより、微視的な変化からナノ秒程度の時間スケールで巨視的な相転移過程へと発展し多様な物性を発現させる。フェムト秒からナノ秒の時間領域における非平衡状態の物性を評価する方法は、中赤外から可視域のレーザーパルスやテラヘルツ光パルスを利用したポンプ - プローブ分光が主な測定手法であり、ドルーデ応答や電荷密度波、超電導や誘電性に関する、主に低エネルギーの電子の集団励起に関する情報を明確に与える。しかしその一方、結晶構造や電荷・磁気・軌道秩序状態など、物性を特徴づける長距離秩序の情報は、間接的かつ限定的な情報にとどまるのが非平衡状態における物性研究の最大の課題であった。

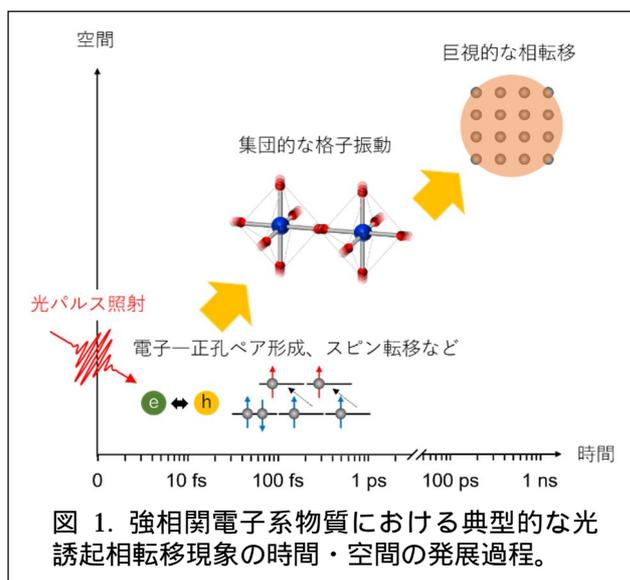


図 1. 強相関電子系物質における典型的な光誘起相転移現象の時間・空間の発展過程。

### 2. 研究の目的

本研究では、従来の分光学的手法では間接的な情報にとどまっていた、光誘起相転移過程における強相関電子物性を反映する電子や格子の長距離秩序ダイナミクスを、対象となる量子自由度の時間・エネルギースケールに合わせて放射光や X 線自由電子レーザー(XFEL)を複合的に利用した時間分解 X 線回折・散乱法により、フェムト秒からピコ秒スケールにわたり元素選択的に直接的に観測することを目的とした。そこで得られる物性を特徴づける電子や格子の長距離秩序情報と、分光学的手法で得られる相転移のトリガーとなる電子を主体としたダイナミクスの情報とを相補的に組み合わせることで、包括的に多様な量子自由度が協奏する光誘起相転移現象のメカニズムの解明を目指した。

### 3. 研究の方法

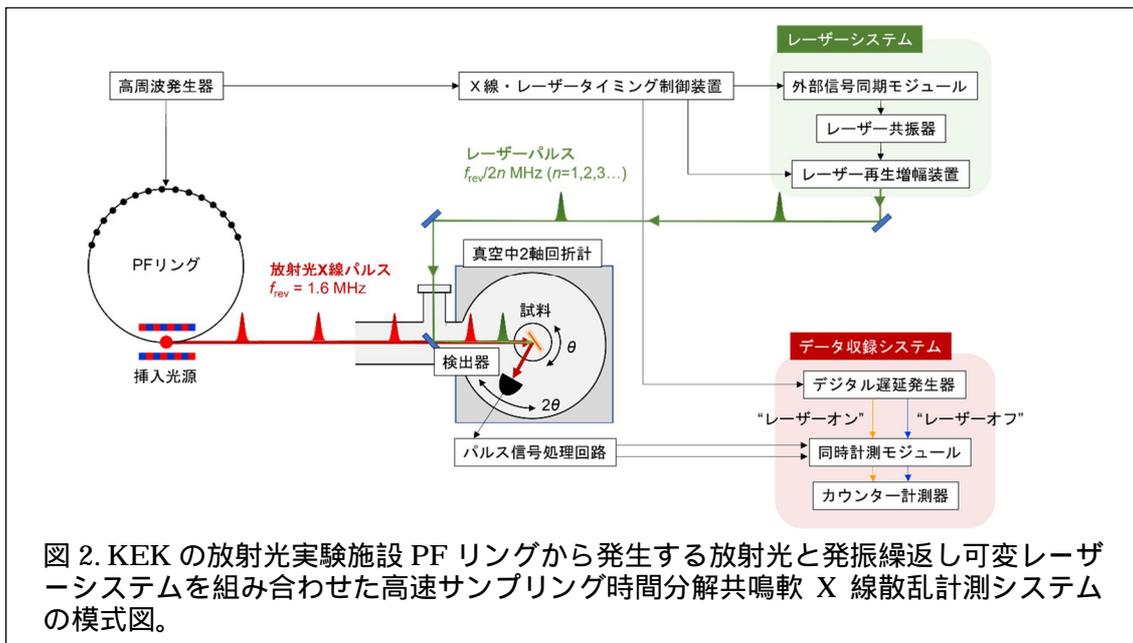
X 線パルスを利用した時間分解 X 線回折では、非平衡状態にける結晶構造の情報を明確に与える。さらに、内殻電子の電子遷移に共鳴した光エネルギーを利用することにより、元素選択的に電荷・磁気・軌道秩序に由来する電子や格子の周期変調を観測することが可能である。特に軟 X 線領域(数百 eV)では、遷移金属イオンの  $p$  -  $d$  遷移に対応するため、強相関電子物性の特徴を反映する  $d$  電子の電荷、スピン、スピン状態、軌道などの情報を、入射 X 線のエネルギーや偏光などを組み合わせることにより、選択的かつ直接的に得ることができる。放射光は、幅広い X 線エネルギーに対応可能である。しかし、パルス幅はおよそ 50 ピコ秒であるため、巨視的な相転移へと発展して準安定状態となったサブナノ秒以降の物性は詳細に評価できる一方、フェムト秒からピコ秒にかけて相転移へと発展する初期過程を捉えることは不可能である。フェムト秒領域の計測は XFEL を利用すれば実施可能であるが、放射光 X 線程広いエネルギーをカバーすることはできない。そのため、本研究では、観測対象となる量子自由度の時間・エネルギースケールに合わせて、理化学研究所の XFEL 施設 SACLA、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光実験施設 PF および PF-AR、Helmholtz-Zentrum Berlin (ドイツ)の放射光実験施設 BESSY II を相補的に利用して実験を実施した。対象試料としては、結晶構造と相関してスピン状態、スピン・軌道秩序・電荷といった多彩な電子相がエネルギー的に拮抗した舞台を有し、潜在的に光による動的機能性を有する可能性を大いに秘めたペロブスカイト型コバルト酸化物や、強誘電性と反強磁性を併せ持つマルチフェロイックマンガン酸化物、モット転移とパイエルズ転移が協奏して室温付近で巨大な構造変化を伴った絶縁体 - 金属転移を示すバナジウム酸化物

を中心に研究を展開した。

#### 4. 研究成果

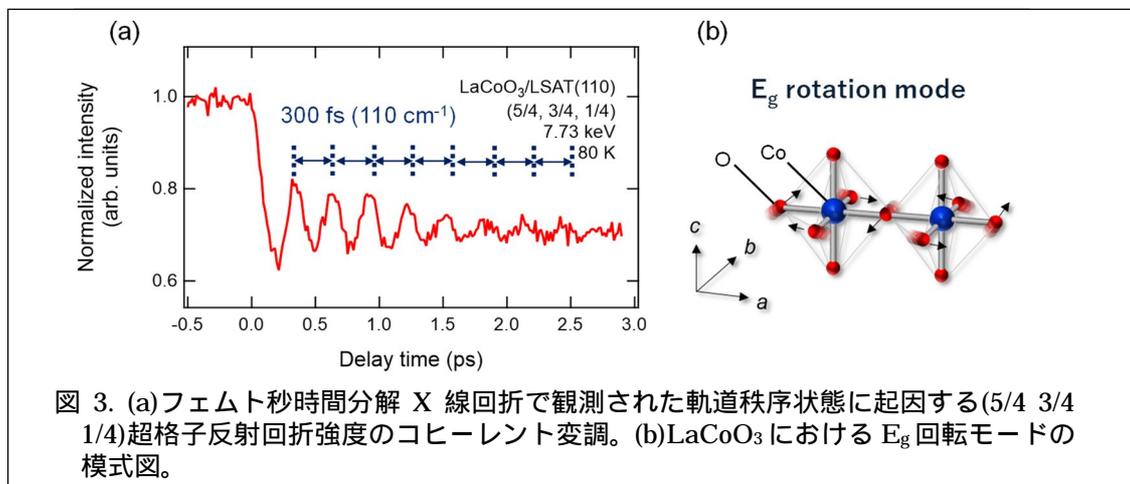
##### (1) 高サンプリング周波数時間分解軟 X 線計測システムの構築

放射光軟 X 線パルスを利用したピコ秒時間分解計測が実施可能な施設は世界的にも極めて少ないため、実験の実施機会がごく限られている。また、放射光 X 線パルスを利用した従来の時間分解 X 線計測法では、MHz 程度の繰返し周波数で発せられる放射光 X 線パルスが、励起レーザーの繰返し周波数に応じて間引かれるため、一般的に利用されている周波数固定の数 kHz 繰返し励起レーザーを用いると、通常の定常測定よりもサンプリング周波数が 2~3 桁低下した状況で時間分解実験を実施しなくてはならなかった。そこで、放射光と同程度の MHz の繰返し周波数で発振可能な励起レーザーを導入した時間分解軟 X 線計測システムを、KEK の放射光実験施設 PF に新たに構築した[2,3]。図 2 に時間分解共鳴軟 X 線散乱計測システムの模式図を示す。この計測システムは、試料からの信号強度や試料環境に応じてレーザーの発振周波数を任意に調整することが可能であるため、試料や実験条件に応じて最適な計測サンプリング周波数で効率よく実験が実施可能であることが特徴である。この測定効率が飛躍的に向上したシステムにより、従来のシステムでは微弱な信号で計測が困難であった物質系への適用が可能となり、マルチフェロイック物質の共鳴軟 X 線磁気散乱信号の時間変化を元素選択的に高精度に捉えることに成功した[2]。本計測システムの開発により、測定対象や測定環境が大幅に拡大するため、光を利用した新規な超高速制御技術の開発に明確な指針を与えるだけでなく、その技術を利用した次世代超高速スイッチング・通信デバイスの応用展開に向けて、飛躍的に研究開発が加速されることが期待される。



##### (2) XFEL と放射光の相補利用により明らかとなった $\text{LaCoO}_3$ の光誘起ダイナミクスの全貌

XFEL から発せられるフェムト秒硬 X 線パルスを利用した時間分解 X 線回折により、光励起直後に発生する軌道秩序状態のコヒーレントな変調の観測に成功した。図 3 に、軌道秩序状態



に起因した超格子反射回折点における回折強度の時間発展を示す。光励起直後に回折強度が減少した後、およそ 300 フェムト秒周期 ( $\sim 110 \text{ cm}^{-1}$ ) のコヒーレントな振動を伴った強度変調が観測された。レーザー分光では類似のコヒーレント振動成分は観測されておらず、X 線を利用して初めて観測された応答である。バルク単結晶のラマン分光で観測されているラマン周波数から、観測されたコヒーレント振動がコバルトサイトのスピン状態と強く結合した、 $ab$  面内の  $E_g$  回転モードと同定することができた。この結果から、光励起直後にコバルトサイトのスピン状態が変化し、それに付随して軌道秩序状態がコヒーレントに変調されていることが明らかとなった。さらに、基本反射回折点の情報と比較することにより、軌道秩序状態のコヒーレント変調の減衰に伴って、格子の変調が数ピコ秒の時間スケールで開始していることが明らかとなった。

さらに、放射光から発せられるピコ秒軟 X 線パルスを利用した時間分解共鳴軟 X 線散乱により、磁気秩序と軌道秩序のダイナミクスを選択的に観測することに成功した。コバルトの  $L$  吸収端近傍の X 線エネルギーにおいて、入射 X 線の偏光により磁気および軌道秩序を反映した共鳴散乱を選択的に観測することが可能である。図 4 に入射 X 線の偏光に応じて観測される、磁気および軌道秩序状態を反映した共鳴散乱強度の時間発展を示す。磁気秩序は、光励起直後に秩序状態の融解を反映して瞬時に散乱強度の減少を示す一方、軌道秩序状態はサブナノ秒のスケールで徐々に散乱強度が減少した。さらに、磁気秩序状態は、軌道秩序状態よりも 1 桁以上弱い光励起強度で協同的に融解する応答を示した。この結果から、磁気秩序のダイナミクスには軌道秩序状態の寄与が小さいことが示唆された。レーザー分光で観測されるスピン状態の情報と、前述の硬 X 線パルスを利用した時間分解 X 線回折で観測される格子と軌道秩序が相関したダイナミクスの情報を組み合わせると、光励起直後にスピン状態の変化が引き金となって、フォノンと結合した軌道秩序状態のコヒーレントな変調が誘起されるとともに磁気秩序が融解し、その後軌道秩序が融解する逐次的な非平衡ダイナミクスの全貌が明らかとなった。この成果は、レーザーや硬・軟 X 線パルスを相補的に利用して各量子自由度を直接的かつ選択的に観測しなければ得られなかった新たな知見である。

本研究によって、強相関電子系が織りなす格子とスピンや軌道、電荷といった内部量子自由度の協同的な相互作用を、放射光や XFEL から発せられるフェムト秒・ピコ秒の硬・軟 X 線パルスを複合的に利用することにより、その全貌を明らかにすることに成功した。この成果は、応用に向けた制御方法や新規な動的機能性を有する物質の探索および創成に明確な指針を与えることになると期待される。また、次世代超高速光スイッチングデバイスへと応用展開を目指した幅広い強相関電子系物質群に対して、本研究で開発した高サンプリング周波数時間分解軟 X 線計測システムを利用することにより研究を展開することが可能となり、スピントロニクスやオービトロニクスなどの新規な量子現象の開拓に向けて、更なる研究の広がりが期待される。

#### < 引用文献 >

- [1] S. Koshihara, R. Fukaya *et al.*, *Phys. Rep.* **942**, 2022 (2022).
- [2] R. Fukaya *et al.*, *J. Synchrotron Rad.* **29**, 1414 (2022).
- [3] F. Kumaki, R. Fukaya *et al.*, *J. Chem. Phys.* **158**, 104201 (2023).

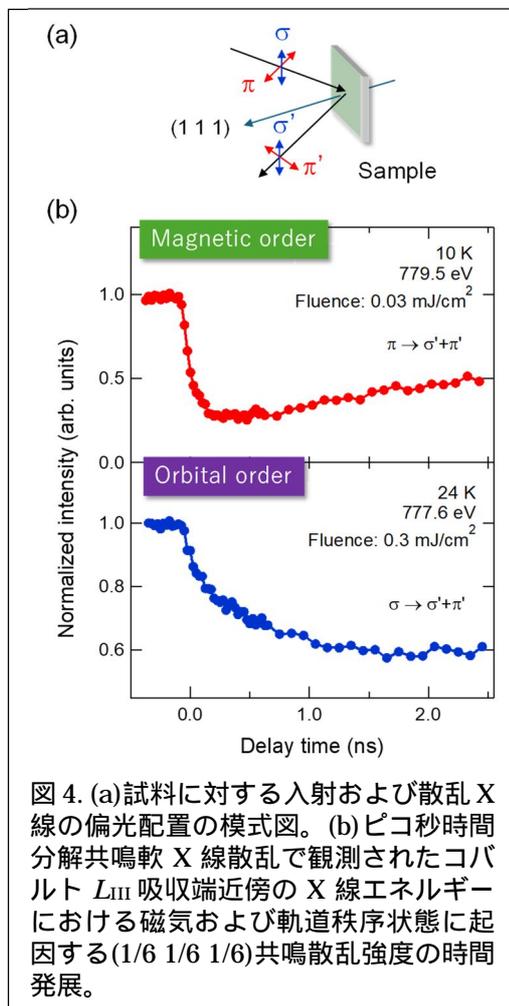


図 4. (a) 試料に対する入射および散乱 X 線の偏光配置の模式図。(b) ピコ秒時間分解共鳴軟 X 線散乱で観測されたコバルト  $L_{III}$  吸収端近傍の X 線エネルギーにおける磁気および軌道秩序状態に起因する  $(1/6 \ 1/6 \ 1/6)$  共鳴散乱強度の時間発展。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Fukaya Ryo, Adachi Jun-ichi, Nakao Hironori, Yamasaki Yuichi, Tabata Chihiro, Nozawa Shunsuke, Ichiyanagi Kouhei, Ishii Yuta, Kimura Hiroyuki, Adachi Shin-ichi | 4. 巻<br>29                    |
| 2. 論文標題<br>Time-resolved resonant soft X-ray scattering combined with MHz synchrotron X-ray and laser pulses at the Photon Factory  | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Synchrotron Radiation  | 6. 最初と最後の頁<br>1414 ~ 1419     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1107/S1600577522008724   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Kumaki Fumitoshi, Nagasaka Masanari, Fukaya Ryo, Okano Yasuaki, Yamashita Shohei, Nozawa Shunsuke, Adachi Shin-ichi, Adachi Jun-ichi                            | 4. 巻<br>158                   |
| 2. 論文標題<br>Operando time-resolved soft x-ray absorption spectroscopy for photoexcitation processes of metal complexes in solutions  | 5. 発行年<br>2023年               |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Chemical Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>104201 ~ 104201 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1063/5.0129814   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |
| 1. 著者名<br>Koshihara Shinya, Ishikawa Tadahiko, Okimoto Yoichi, Onda Ken, Fukaya Ryo, Hada Masaki, Hayashi Yasuhiko, Ishihara Sumio, Luty Tadeusz                          | 4. 巻<br>942                   |
| 2. 論文標題<br>Challenges for developing photo-induced phase transition (PIPT) systems: From classical (incoherent) to quantum (coherent) control of PIPT dynamics            | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Physics Reports   | 6. 最初と最後の頁<br>1 ~ 61          |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.physrep.2021.10.003   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                  |
| 1. 著者名<br>Fukaya Ryo, Yamaya Nao, Ishikawa Tadahiko, Koshihara Shin-ya, Okimoto Yoichi, Onda Ken, Isayama Akira, Sasagawa Takao, Horigane Kazumasa                        | 4. 巻<br>22                    |
| 2. 論文標題<br>Picosecond dynamics in layered cobalt perovskites studied by time-resolved Raman spectroscopy  | 5. 発行年<br>2021年               |
| 3. 雑誌名<br>Comptes Rendus. Physique  | 6. 最初と最後の頁<br>95 ~ 102        |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.5802/crphys.35   | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryo Fukaya, Jun-ichi Adachi, Hironori Nakao, Shunsuke Nozawa, Shin-ichi Adachi  |
| 2. 発表標題<br>Development of high-repetition-rate time-resolved resonant soft X-ray scattering measurement system at the Photon Factory |
| 3. 学会等名<br>Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment 2023 (LSC2023) (招待講演) (国際学会)                         |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Shunsuke Nozawa, Ryo Fukaya, Shin-ichi Adachi  |
| 2. 発表標題<br>Ultrafast studies of photoreaction dynamics in artificial photosynthesis systems by time resolved XAFS |
| 3. 学会等名<br>Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment 2023 (LSC2023) (招待講演) (国際学会)      |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Le Thi My Nguyen, Ryo Fukaya, Shin-ichi Adachi, Shunsuke Nozawa   |
| 2. 発表標題<br>Developments of a Time-resolved X-ray Diffraction Measurement utilizing the High-repetition rate at the PF-AR NW14A |
| 3. 学会等名<br>Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment 2023 (LSC2023) (国際学会)                          |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Fumitoshi Kumaki, Masanari Nagasaka, Ryo Fukaya, Jun-ichi Adachi  |
| 2. 発表標題<br>Time-resolved soft x-ray absorption spectroscopy of an iron phenanthroline complex solution by laser excitation and synchrotron radiation probe |
| 3. 学会等名<br>The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>深谷亮、石井祐太、中尾裕則、足立純一、山崎裕一、野澤俊介、木村宏之、足立伸一            |
| 2. 発表標題<br>時間分解共鳴軟X線散乱によるマルチフェロイック物質SmMn205の磁気秩序ダイナミクスの観測 II |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第78回年次大                                     |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>L.T.M. Nguyen, R. Fukaya, D. Okuyama, H. Nakao, K. Shibuya, S. Adachi, and S. Nozawa       |
| 2. 発表標題<br>Ultrafast dynamics of V-V dimer in VO2 thin film probed by time-resolved X-ray diffraction |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会第78回年次大会   |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryo Fukaya, Jun-ichi Adachi, Hironori Nakao, Shinsuke Nozawa, Shin-ichi Adachi  |
| 2. 発表標題<br>Development of High-Repetition-Rate Time-Resolved Resonant Soft X-ray Scattering Measurement System at the Photon Factory |
| 3. 学会等名<br>UVSOR-III + MAX IV International Workshop: Frontier of Soft X-ray Spectroscopy for Chemical Processes in Solutions (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>熊木 文俊, 長坂 将成, 深谷 亮, 足立 純一    |
| 2. 発表標題<br>時間分解軟X線吸収分光法による鉄錯体水溶液の光反応の観測 |
| 3. 学会等名<br>原子衝突学会 第48回年会                |
| 4. 発表年<br>2023年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>深谷亮                           |
| 2. 発表標題<br>光誘起非平衡ダイナミクスの高速サンプリング時間分解X線計測 |
| 3. 学会等名<br>2023年度量子ビームサイエンスフェスタ（招待講演）    |
| 4. 発表年<br>2024年                          |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>熊木 文俊, 長坂 将成, 深谷 亮, 足立 純一  |
| 2. 発表標題<br>レーザー励起された鉄錯体溶液の時間分解軟X線吸収分光 |
| 3. 学会等名<br>2023年度量子ビームサイエンスフェスタ       |
| 4. 発表年<br>2024年                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Le Thi My Nguyen, Shunsuke Nozawa, Daisuke Okuyama, Hironori Nakao, Keisuke Shibuya, Shinichi Adachi, Ryo Fukaya |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of lattice structure leading to the photo-induced phase transition in V02 thin film                     |
| 3. 学会等名<br>2023年度量子ビームサイエンスフェスタ   |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>L.T.M. Nguyen, S. Nozawa, D. Okuyama, H. Nakao, K. Shibuya, S. Adachi, R. Fukaya             |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of lattice structure leading to the photo-induced phase transition in V02 thin film |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2024年春季大会  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Le Thi My Nguyen, Shunsuke Nozawa, Daisuke Okuyama, Hironori Nakao, Keisuke Shibuya, Shinichi Adachi, Ryo Fukaya |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of lattice structure leading to the photo-induced phase transition in VO <sub>2</sub> thin film         |
| 3. 学会等名<br>応用物理学会2024年第71回春季学術講演会   |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>R. Fukaya, Y. Yamasaki, H. Nakao, S. Nozawa, J. Fujioka, Y. Tokura, S. Adachi                                       |
| 2. 発表標題<br>Ultrafast dynamics of electron-lattice correlation in perovskite cobalt oxides with time-resolved x-ray diffraction |
| 3. 学会等名<br>Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment 2022 (招待講演) (国際学会)                             |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>深谷亮、足立純一、中尾裕則、山崎裕一、田端千紘、野澤俊介、一柳光平、石井祐太、木村宏之、足立伸一 |
| 2. 発表標題<br>高繰返し時間分解共鳴軟X線散乱計測システムの開発                         |
| 3. 学会等名<br>第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム                      |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Le Thi My Nguyen, Ryo Fukaya, Shin-ichi Adachi, Shunsuke Nozawa                               |
| 2. 発表標題<br>Development of High-repetition Time-resolved X-ray Diffraction Measurement at the PF-AR NW14A |
| 3. 学会等名<br>第36回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>深谷 亮, 石井祐太, 中尾裕則, 足立純一, 山崎裕一, 野澤俊介, 木村宏之, 足立伸一   |
| 2. 発表標題<br>時間分解共鳴軟X線散乱によるマルチフェロイック物質 SmMn2O5 の磁気秩序ダイナミクスの観測 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2023年春季大会                                  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>深谷亮、足立純一、中尾裕則、山崎裕一、田端千紘、野澤俊介、一柳光平、石井祐太、木村宏之、足立伸一 |
| 2. 発表標題<br>高繰返し時間分解共鳴軟X線散乱計測システムの開発                         |
| 3. 学会等名<br>2022年度量子ビームサイエンスフェスタ                             |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Le Thi My Nguyen, Ryo Fukaya, Shin-ichi Adachi, Shunsuke Nozawa                               |
| 2. 発表標題<br>Development of High-repetition Time-resolved X-ray Diffraction Measurement at the PF-AR NW14A |
| 3. 学会等名<br>2022年度量子ビームサイエンスフェスタ  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>R. Fukaya, Y. Yamasak, H. Nakao, S. Nozawa, J. Adachi, J. Fujioka, Y. Tokura and S. Adachi           |
| 2. 発表標題<br>Probing photoinduced spin/orbital dynamics in LaCoO3 thin films with time-resolved x-ray diffraction |
| 3. 学会等名<br>7th International Conference on Photoinduced Phase Transitions (国際学会)                                |
| 4. 発表年<br>2021年   |

〔図書〕 計2件

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>R. Fukaya, J. Adachi, H. Nakao, S. Nozawa, Y. Ishii, H. Kimura, S. Adachi  | 4. 発行年<br>2023年 |
| 2. 出版社<br>Photon Factory Highlights 2022   | 5. 総ページ数<br>2   |
| 3. 書名<br>Development of High-repetition-Rate Time-Resolved Resonant Soft X-ray Scattering Measurement System at the Photon Factory |                 |

|  |                 |
|--|-----------------|
| 1. 著者名<br>F. Kumaki, M. Nagasaka, R. Fukaya, Y. Okano, S. Yamashita, S. Nozawa, S. Adachi, J. Adachi         | 4. 発行年<br>2023年 |
| 2. 出版社<br>Photon Factory Highlights 2022   | 5. 総ページ数<br>2   |
| 3. 書名<br>Development of Time-Resolved Soft X-Ray Absorption Spectroscopy for Photoreactions in a Liquid Cell |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

|   |
|---|
| <p>プレスリリース「放射光の発生特性を最大限に利用した 高速サンプリング時間分解軟X線計測手法を開発 - 次世代超高速スイッチング・通信デバイス開発研究の飛躍的加速に期待 - 」<br/> <a href="https://www.kek.jp/ja/press/202210061600">https://www.kek.jp/ja/press/202210061600</a></p> |
|---|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 足立 純一<br><br>(Adachi Jun-ichi) |                       |    |

6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 中尾 裕則<br><br>(Nakao Hironori)  |                       |    |
| 研究協力者 | 野澤 俊介<br><br>(Nozawa Shunsuke) |                       |    |

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            |                          |  |
|---------|--------------------|--------------------------|--|
| ドイツ     | European XFEL GmbH | Helmholtz Zentrum Berlin |  |