

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26288004

研究課題名(和文) スペクトル干渉電子ホログラフィー法による分子内電荷分布の超高速ダイナミクス追跡

研究課題名(英文) Ultrafast dynamics of intramolecular charge distributions by laser-assisted spectral-interference electron holography

研究代表者

歸家 令果 (Kanya, Reika)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：10401168

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：レーザーアシステッド電子散乱(LAES)過程における散乱電子のエネルギー・角度分布に現れるスペクトル干渉から分子内電荷分布を導き出すための電荷分布回復アルゴリズムを構築した。また、高感度LAES観測装置を開発するとともに、中空ファイバー圧縮法を用いてパルス幅9 fsの超短レーザーパルスを発生した。さらに、広帯域超短レーザーパルスによって誘起されるLAES信号を計算するプログラムを開発し、LAES信号のスペクトル干渉が実際に観測可能であることを示した。単一サイクルTHz波を用いた新たな超高速電子回折法を考案し、数値シミュレーションによってその有用性を示した。

研究成果の概要(英文)：We developed an algorithm for retrieving intramolecular charge distributions from spectral-interferences appearing in energy- and angular-distributions of scattered electrons originating from laser-assisted electron scattering (LAES) processes. We developed a LAES apparatus with high sensitivity and generated ultrashort laser pulses with the duration of 9 fs by the hollow-core-fiber compression method. Furthermore, we developed a computational program for calculating LAES signals induced by broadband ultrashort laser pulses, and showed that observation of spectral-interferences of LAES signals should be feasible. We proposed a new ultrafast electron diffraction method by using single-cycle THz-wave pulses, and demonstrated its performance by numerical simulations.

研究分野：物理化学

キーワード：化学反応動力学 アト秒科学

1. 研究開始当初の背景

高速電子線を用いた分子による弾性散乱角度分布測定は気体電子回折法と呼ばれ、分子の幾何学的構造を測定するための有用な手法として古くから利用されてきた。近年は電子線をパルス化することによって、分子の幾何学的構造の変化を時間分解測定する気体パルス電子回折法が精力的に行われてきたが、時間分解能としては ~ 1 ps が限界であった。このピコ秒の壁を大きく超える手法として、研究代表者らはレーザーアシステッド電子散乱 (laser-assisted electron scattering; LAES) と呼ばれる散乱過程を利用したレーザーアシステッド電子回折法 (laser-assisted electron diffraction; LAED) を提唱した。LAES 過程とは、レーザー場中で電子線が原子・分子によって散乱される際に、散乱電子のエネルギーが光子エネルギーの整数倍だけ増減する現象であり、レーザー場が存在する瞬間に入射電子が標的原子・分子によって散乱されるときにのみ誘起される。LAED 法では、LAES 過程を超高速の光ゲートとして利用し、瞬間的な電子散乱波を抽出することによって、 < 10 fs の時間分解能で電子回折像を測定することが可能となる。さらに研究代表者らは、Xe 原子を試料としてフェムト秒レーザーによって誘起される LAES 過程を初めて観測し、 CCl_4 分子を試料として LAED 法の実現にも初めて成功していた。

2. 研究の目的

本研究では、分子内の核電荷・電子電荷の空間分布の超高速時間発展を電子散乱実験によって解明することを目的として、時間遅延をおいた電子散乱波を互いに干渉させて電子ホログラフィー像を観測するレーザーアシステッドスペクトル干渉電子ホログラフィー (laser-assisted spectral-interference electron holography; LASIEH) 法を開発する。また、この LASIEH 法を実現するためのレーザーアシステッド電子散乱観測装置を開発するとともに、電子散乱波の時間領域干渉についての理論的な枠組みを構築する。この手法を用いて、電子散乱波の振幅成分と位相成分を時間の関数として測定し、得られた電子散乱波を空間座標表示に逆フーリエ変換することによって、分子内の核分布関数と電子分布関数の時間変化をサブフェムト秒の時間分解能で追跡する。

3. 研究の方法

(1) LASIEH 法の理論的基盤の整備

LAES 信号のスペクトル干渉とそれによるホログラフィー像についての理論的研究を行い、LASIEH 法の理論的基盤を整備し、LASIEH 画像から分子内電荷分布を導き出す電荷分布回復アルゴリズムを新たに開発する。これらの理論的基盤をもとにして、数値シミュレーションを用いて LASIEH 法の有用性を検証する。はじめに希ガス原子をモデル

試料としてレーザーパルス対による LAES 散乱波を計算し、運動量移行、エネルギーシフト、および、パルス対の遅延時間の関数として LAES 信号の強度分布を計算し、得られた信号強度分布から時間と空間座標の関数としての電子分布が導き出せることを示す。

(2) 改良型 LAES 観測装置の開発

本研究では、研究開始当初は開発途中であった角度分解飛行時間型電子エネルギー分析器を完成させ、電子分析器として使用する。運動エネルギー約 1 keV の散乱電子は電磁型入射電子レンズを経て、飛行管に導入される。飛行管は静電アインツェルレンズになっており、そこで減速されることによってエネルギー差に応じた飛行時間の差が生じる。減速された散乱電子は飛行管の出口で再び加速されたのちに、電磁型出射電子レンズを経て位置敏感型電子検出器によって検出される。検出器までの飛行時間 (t) と検出器上の位置座標 (x, y) から散乱電子のエネルギー (E) と散乱角 (θ, ϕ) を決定する。本研究では、角度分解飛行時間型電子エネルギー分析器を完成させ、高いエネルギー分解能と角度分解能を併せ持つ改良型 LAES 観測装置を開発する。

(3) 高速ピエゾバルブの開発

繰り返し周波数 5 kHz で駆動することができる高速パルスバルブを開発する。製作したパルスバルブの動作確認実験を通して、パルスバルブが安定に動作する条件を求め、試料ガスの密度やビームサイズ、パルス幅を評価する。

(4) 数サイクルレーザーパルスの発生

中空ファイバー圧縮法を用いた数サイクルレーザーパルス発生装置を開発する。中空ファイバー中に導入する希ガス媒体の圧力や入射レーザー光強度、チャープミラーによる反射回数の最適化を行うことによって、10 fs を切るパルス幅の数サイクルレーザーパルスを発生させる。

(5) 数サイクルレーザーパルスによる LAES 過程の観測

生成した数サイクルレーザーパルスを用いて LAES 過程を誘起し、数サイクルレーザーパルスによる LAES 信号の初観測を目指す。数サイクルレーザーパルスの電場波形と散乱電子のエネルギー・角度分布の関係を詳細に解析し、レーザーパルスの時間コヒーレンスが散乱電子に実際に転写されていることを示すことによって、LASIEH 法実現のための原理検証を行う。

(6) LASIEH 法の実現

CF_3I などの分子試料に対して、数サイクルレーザーパルス対を用いて、LAES 信号を測定する。パルス対の時間遅延を掃引することによって LASIEH 像を観測し、電荷分布回復アルゴリズムを用いて、LASIEH 像からレーザー場中の電子雲と核電荷の空間的分布の時間発展を求める。

4. 研究成果

(1) LASIEH 法の理論的基盤の構築

LAES 過程の散乱波が時間的に干渉する状況下での理論的定式化を進め、LAES 過程における散乱電子のエネルギー分布と角度分布から分子内電荷分布を導き出すための電荷分布回復アルゴリズムの理論基盤の整備を行った。さらに、一次元水素モデルを用いて、数値シミュレーションを行い、構築した電荷分布回復アルゴリズムが有効に機能することを検証した。

(2) 高感度 LAES 観測装置の開発

角度分解飛行時間型電子分析器を用いることによって、検出効率が大幅に向上した LAES 観測装置を開発した。Xe 原子を試料とした弾性電子散乱観測実験によって、本装置の検出効率が従来の装置の 50 倍程度であることが確認された。この検出効率は設計時の予測値と一致しており、本装置が想定通りの性能を満たしていることが確認された。

また、電子軌道の数値シミュレーションを行い、高いエネルギー分解能を達成するための諸条件を精査した結果、既設の角度分解飛行時間型電子分析器でも十分高いエネルギー分解能が得られる可能性があることが判明した。ヘリウム原子を試料として非弾性電子散乱実験を行った結果、70 meV のエネルギー分解能が達成されていることが分かった。この成果は、本研究の目的を達成するために電子分析器の大幅な改修が必要でないことを示す大きな進展である。さらに、この成果はフェムト秒レーザーパルスによるレーザーアシステッド非弾性電子散乱過程の観測も実現可能であることを示しており、今後の新たな研究展開へとつながると考えられる。

LAES における干渉構造を定量的に解析するためには、観測装置の高精度なエネルギー校正と散乱角度校正が必要である。本研究では、電子分析器にマスクパターンを設置して、弾性散乱電子や非弾性散乱電子を検出することにより、電子分析器の微調整を行うとともに、分析器の校正を実施した。その結果、エネルギーシフト量として ± 5 eV に渡る領域で散乱電子を高精度で検出できることが確認された。

(3) 高速パルスバルブの開発

ピエゾスタック型モジュールを用いた高速ピエゾバルブを設計・試作した。試作したパルスバルブの動作確認実験を繰り返し行ったところ、バルブの長期安定性には改善が必要であるものの、10 μ s 程度の極めて短い開口時間を繰り返し周波数 5 kHz で達成することが可能であることが示された。

(4) sub-10 fs レーザーパルスの発生

中空ファイバー圧縮法を用いた数サイクルレーザーパルス発生装置を開発した。中空ファイバー中に導入する Ar ガスの圧力や入射レーザー光強度、チャープミラーによる反射回数の最適化を行うことによって、パルス幅 9 fs の超短レーザーパルスの発生に成功し

た。

(5) sub-10 fs レーザーパルスによる LAES 信号の数値シミュレーション

広帯域超短レーザーパルスによって誘起される LAES 信号を計算するプログラムを開発した。このプログラムでは、分子ビーム・電子ビーム・レーザービームの時空間的な重なり由来する平均化が考慮されており、実際の実験結果を定量的に議論することが可能となる。成果(4)で発生させたパルス幅 9 fs の超短レーザーパルスによる LAES 信号を計算したところ、散乱電子のエネルギー分布にレーザーパルスの電場波形由来する干渉パターンが現れることが確認され、LASIEH 法によるスペクトル干渉の観測が実際に可能であることが示された。

(6) テラヘルツ波アシステッド電子回折法の考案

広帯域レーザーパルス照射下での電子散乱現象の理論的考察を進めてきた中で、究極の広帯域パルスとも見做せる単一サイクル THz 波の照射下で電子・分子散乱実験を実施すれば、極めて効率よく、かつ、高感度で分子の核配置の時間発展を観測できることを見出し、THz-wave-assisted electron diffraction (TAED)法を考案した。THz 波パルス照射下での LAES 信号を数値シミュレーションで計算し、得られた信号を解析することによって、極めて高い時空間分解能で分子の幾何学的構造変化を追跡できることを示した。本研究課題で開発した実験装置は TAED 法の実現に最適な性能を備えていることも確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計10件)

1. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, "Laser-assisted electron scattering and diffraction for ultrafast imaging of atoms and molecules," *Progress in Photon Science, Springer Series in Chemical Physics* **115**, 47-52 (2017). 査読無
DOI: 10.1007/978-3-319-52431-3_5
2. S. Fukahori, T. Ando, S. Miura, R. Kanya, K. Yamanouchi, T. Rathje, G. G. Paulus, "Determination of absolute carrier-envelope phase by angle-resolved photoelectron spectra of Ar by intense circularly polarized few-cycle pulses," *Phys. Rev. A* **95**, 053410-1-14 (2017). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevA.95.053410
3. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Numerical simulation of THz-wave assisted electron diffraction for ultrafast molecular imaging," *Phys. Rev. A* **95**, 033416-1-8 (2017). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevA.95.033416
4. K. Ishida, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, "High-order multiphoton

- laser-assisted elastic electron scattering by Xe in a femtosecond near-infrared intense laser field: Plateau in energy spectra of scattered electrons,” *Phys. Rev. A* **95**, 023414-1-6 (2017). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevA.95.023414
5. 歸家令果, 森本裕也, 山内 薫, “レーザーアシステッド電子散乱による光ドレスト原子の観測,” *日本物理学会誌* **71**, 623-627 (2016). 査読有
DOI: 10.11316/butsuri.71.9_623
 6. T. Yamazaki, Y. Watanabe, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Decomposition of cyclohexane ion induced by intense femtosecond laser fields by ion-trap time-of-flight mass spectrometry,” *J. Phys. Chem.* **144**, 024313-1-8 (2016). 査読有
DOI: 10.1063/1.4939769
 7. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Light-dressing effect in laser-assisted elastic electron scattering by Xe,” *Phys. Rev. Lett.* **115**, 123201-1-5 (2015). 査読有
DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.123201
 8. 歸家令果, “フェムト秒レーザーパルスによるレーザーアシステッド電子散乱,” *しょうとつ* **12**, 64-85 (2015). 査読有
 9. 歸家令果, 山内 薫, “フェムト秒レーザーアシステッド電子散乱,” *レーザー研究* **43**, 159-163 (2015). 査読有
 10. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted electron diffraction for probing femtosecond nuclear dynamics of gas phase molecules,” *Ultrafast Phenomena XIX, Springer Proceedings in Physics* **162**, 188-191 (2015). 査読無
- [学会発表](計54件)
1. T. Hiroi, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted electron impact ionization,” *The Third STEPS Symposium on Photon Science* (2018).
 2. R. Kanya, K. Yamanouchi, “Ultrafast molecular imaging by laser-assisted electron scattering,” *The Third STEPS Symposium on Photon Science* (2018).
 3. R. Kanya, “Ultrafast molecular imaging by laser-assisted electron scattering,” *The 21st East Asian Workshop on Chemical Dynamics* (2017).
 4. R. Kanya, K. Yamanouchi, “THz-wave-assisted electron diffraction: Numerical simulations of time-resolved electron diffraction patterns,” *シンポジウム テラヘルツ科学の最前線* (2017).
 5. K. Ishida, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “High-order multiphoton laser-assisted elastic electron scattering by Xe in a femtosecond near-infrared intense laser field: Plateau in energy spectra of scattered electrons,” *The 16th International Symposium on Ultrafast Intense laser Science* (2017).
 6. T. Hiroi, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Development of an apparatus for electron impact ionization in an intense laser field,” *The 16th International Symposium on Ultrafast Intense laser Science* (2017).
 7. M. Ishikawa, K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Observation of laser-assisted electron scattering processes by an angle-resolved time-of-flight type electron analyzer,” *The 16th International Symposium on Ultrafast Intense laser Science* (2017).
 8. R. Kanya, K. Yamanouchi, “Numerical simulation of ultrafast gas electron diffraction by THz-wave-assisted electron scattering,” *The 14th International Conference on Multiphoton Processes* (2017).
 9. 廣井卓思, 森本裕也, 歸家令果, 山内 薫, “レーザーアシステッド電子衝突イオン化観測装置の開発,” *第11回分子科学討論会* (2017).
 10. 石川源基, 石田角太, 歸家令果, 山内 薫, “角度分解飛行時間型電子分析器によるレーザーアシステッド電子散乱過程の観測,” *第11回分子科学討論会* (2017).
 11. 廣井卓思, 森本裕也, 歸家令果, 山内 薫, “レーザーアシステッド電子衝突イオン化の観測装置の開発,” *原子衝突学会第42回年会* (2017).
 12. M. Ishikawa, K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Observation of laser-assisted electron scattering processes by an angle-resolved time-of-flight type electron analyzer,” *The 2nd International Symposium on Attosecond Science* (2017).
 13. R. Kanya, K. Yamanouchi, “Ultrafast gas electron diffraction by THz-wave-assisted electron scattering: Numerical simulations of time-resolved electron diffraction patterns,” *The 2nd International Symposium on Attosecond Science* (2017).
 14. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Ishida, K. Yamanouchi, “Laser-assisted electron scattering and diffraction for ultrafast molecular imaging,” *International Symposium on (e,2e), Double Photoionization and Related Topics, 19th International Symposium on Polarization and Correlation in Electronic and Atomic Collisions* (2017).
 15. R. Kanya, K. Yamanouchi, “Ultrafast gas electron diffraction by THz-wave assisted electron scattering: Numerical simulations of time-resolved electron diffraction patterns,” *The 30th International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions* (2017).

16. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Yamanouchi, "Light-dressing effect in atoms and molecules in laser-assisted elastic electron scattering," *XIX International Workshop on Low Energy Positron and Positronium Physics and XX International Symposium on Electron Molecule Collisions and Swarms* (2017).
17. 廣井卓思, 森本裕也, 歸家令果, 山内薫, "レーザーアシステッド電子衝突イオン化の観測のための装置開発," 第14回原子・分子・光科学 (AMO) 討論会 (2017).
18. 歸家令果, 山内薫, "テラヘルツ波アシステッド気体電子回折法: 時間依存電子回折パターンの数値シミュレーション," 第14回原子・分子・光科学 (AMO) 討論会 (2017).
19. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Femtosecond gas electron diffraction by THz-wave assisted electron scattering: Numerical simulations of time-resolved electron diffraction patterns," The 3rd Computational Chemistry (CC) Symposium (2017).
20. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Ishida, K. Yamanouchi, "Ultrafast molecular imaging by laser-assisted electron scattering," *The 77th Okazaki Conference Series: International Symposium on Ultrafast Dynamics in Molecular and Material Sciences* (2017).
21. K. Ishida, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, "High-order multiphoton laser-assisted elastic electron scattering by Xe in a femtosecond near-infrared intense laser field: Plateau in energy spectra of scattered electrons," *IOP Publishing Young Researchers' Meeting: Frontiers in Fundamental and Applied Physics* (2017).
22. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Femtosecond gas electron diffraction by THz-wave assisted electron scattering: Numerical simulations of time-resolved electron diffraction patterns," *ETH Zürich-The University of Tokyo Strategic Partnership Symposium on Science, Design, Manufacturing, and Information* (2017).
23. 廣井卓思, 森本裕也, 歸家令果, 山内薫, "フェムト秒レーザーアシステッド電子衝突イオン化観測装置の開発," 原子衝突学会第41回年会 (2016).
24. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Numerical simulation of femtosecond gas electron diffraction by THz-wave assisted electron scattering," 原子衝突学会第41回年会 (2016).
25. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Laser assisted electron diffraction for femtosecond molecular imaging," *EMN Meeting on Ultrafast 2016* (2016).
26. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Numerical simulation of femtosecond gas electron diffraction by THz-wave assisted electron scattering," *The 15th International Symposium on Ultrafast Intense laser Science* (2016).
27. 歸家令果, 山内薫, "テラヘルツ波アシステッド電子散乱を用いたフェムト秒気体電子回折法の数値シミュレーション," 第10回分子科学討論会 (2016).
28. R. Kanya, K. Yamanouchi, "Laser assisted electron diffraction for femtosecond molecular imaging and electron behavior in the strong laser field," *International Conference on Many Particle Spectroscopy of Atoms, Molecules, Clusters and Surfaces* (2016).
29. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Yamanouchi, "Laser-assisted elastic electron scattering by light-dressed Xe atoms in a femtosecond intense laser field," *International Conference on Ultrafast Phenomena* (2016).
30. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Yamanouchi, "Laser-assisted elastic electron scattering by light-dressed Xe in intense laser fields," *Computational Chemistry Symposium, 12th International Conference of Computational Methods in Sciences and Engineering* (2016).
31. R. Kanya, "Light-dressing effect in atoms and molecules in laser-assisted elastic electron scattering," *The Second STEPS Symposium on Photon Science* (2016).
32. 歸家令果, "レーザーアシステッド電子散乱による分子イメージング," *PF 研究会「先進的放射光利用による原子分子科学」* (2016).
33. K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, "Development of a femtosecond laser-assisted electron scattering apparatus equipped with an angular-resolved time-of-flight analyzer," *The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies* (2015).
34. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, "Laser-assisted electron scattering by light-dressed Xe atoms in a femtosecond intense laser field," *The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies* (2015).
35. K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, "Development of an apparatus with high sensitivity for laser-assisted elastic electron scattering in femtosecond intense laser fields," *The 14th International Symposium on Ultrafast Intense laser Science* (2015).
36. R. Kanya, Y. Morimoto, K. Yamanouchi, "Light-dressing effect in laser-assisted elastic electron scattering by Xe atoms in

- intense laser fields,” *The 14th International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science* (2015).
37. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted Elastic Electron Scattering by Light-dressed Xe Atoms in Intense Laser Fields,” *原子衝突学会第40回年会* (2015).
 38. K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Development of an apparatus with high sensitivity for femtosecond laser-assisted elastic electron scattering,” *原子衝突学会第40回年会* (2015).
 39. 石田角太, 歸家令果, 山内 薫, “高感度フェムト秒レーザーアシステッド弾性電子散乱観測装置の開発,” *第9回分子科学討論会* (2015).
 40. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted electron scattering and diffraction in femtosecond intense laser fields,” *The 11th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim* (2015).
 41. 石田角太, 歸家令果, 山内 薫, “角度分解飛行時間型分析器を用いたフェムト秒レーザーアシステッド電子散乱観測装置の開発,” *第12回AMO討論会* (2015).
 42. K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Development of an apparatus for angular-and-time resolved femtosecond laser-assisted elastic electron scattering,” *31st Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics* (2015).
 43. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted elastic electron scattering by light-dressed Xe atoms,” *31st Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics* (2015).
 44. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted elastic electron scattering by light-dressed Xe atoms in ultrashort intense laser fields,” *The 6th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science* (2015).
 45. K. Ishida, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Development of an angular-resolved time-of-flight type femtosecond laser-assisted electron scattering apparatus,” *日本化学会第95春季年会* (2015).
 46. R. Kanya, “Laser-assisted electron scattering and diffraction for ultrafast imaging of atoms and molecules,” *The First STEPS Symposium on Photon Science* (2015).
 47. 森本 裕也, 歸家令果, 山内 薫, “レーザーアシステッド電子散乱による強レーザー場中Xe原子内電荷分布の超高速応答,” *第8回分子科学討論会* (2014).
 48. K. Ishida, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Observation of Mutiphoton Absorptions in Laser-Assisted Electron Scattering in a Femtosecond Intense Laser Field,” *19th International Conference on Ultrafast Phenomena* (2014).
 49. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted Electron Diffraction for Probing Femtosecond Nuclear Dynamics of Gas-phase Molecules,” *19th International Conference on Ultrafast Phenomena* (2014).
 50. 石田角太, 森本裕也, 歸家令果, 山内 薫, “高強度フェムト秒レーザーによる高次非線形レーザーアシステッド電子散乱過程の観測,” *第11回AMO討論会* (2014).
 51. R. Kanya, “Laser-assisted electron scattering and diffraction for ultrafast molecular imaging,” *Mini-Symposium on Ultrafast Intense Laser Science* (2014).
 52. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Laser-assisted electron diffraction for femtosecond molecular imaging,” *超高速分光の最前線 (The Forefront of Ultrafast Spectroscopy)* (2014).
 53. K. Ishida, Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Observation of mutiphoton absorptions in laser-assisted electron scattering induced by a near-infrared femtosecond intense laser field,” *The 5th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science* (2014).
 54. Y. Morimoto, R. Kanya, K. Yamanouchi, “Ultrafast molecular imaging by laser-assisted electron scattering,” *The 5th Shanghai-Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science* (2014).
- 〔図書〕(計 1件)
1. 森本裕也, 歸家令果, 山内 薫, “超高速レーザーアシステッド電子回折,” *CSJ カレントレビュー 18 強光子場の科学*, 日本化学会 編(化学同人 2015), Chap. 11, pp. 98-102 (total 188 page)
- 〔産業財産権〕
- 出願状況(計 0件)
- 取得状況(計 0件)
- 〔その他〕
- ホームページ等
<http://www.yamanouchi-lab.org/index.html>
6. 研究組織
- (1)研究代表者
 歸家 令果 (KANYA, Reika)
 東京大学・大学院理学系研究科・准教授
 研究者番号: 10401168