

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05628

研究課題名(和文)サブkeV領域のアト秒科学

研究課題名(英文)Attosecond Science in the sub-keV region

研究代表者

緑川 克美(Midorikawa, Katsumi)

国立研究開発法人理化学研究所・光量子工学研究センター・センター長

研究者番号：40166070

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 152,400,000円

研究成果の概要(和文)：独自に開発したDC-OPAによる高エネルギー中赤外パルスをもつ2サイクルにまで圧縮し、これとルーズフォーカスによる位相整合を組み合わせることにより、水の窓領域においてアト秒高次高調波を高出力で発生することに成功した。さらに、マルチサイクルの3波長レーザーで構成される光シンセサイザーによりほぼシングルサイクルの高調波駆動電場を実現し、GW級の単一アト秒パルスを高効率で発生するとともに、アト秒ストリーキング法によりそのパルス波形を計測することにも成功した。また、その応用を見据えて、新しい円偏光パルスの発生法やアト秒過渡吸収シミュレーターを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

物質中の電子の動きを捉えることができるアト秒パルスレーザーは、物理学、化学、生物・医科学等の基礎科学分野のみならず、超高速電子デバイス等ならびに高性能触媒や人工光合成等の化学・材料等の産業分野においても必須のツールとなるとも期待されている。本課題の成果は、このアト秒パルスの利用波長域を水の窓領域までに拡張し生命科学や材料・物性科学の進展に大きく貢献するものである。また、その強度を100倍以上に増強しアト秒領域の非線形光学という新領域への道筋を示した。

研究成果の概要(英文)：By compressing the high-energy mid-infrared pulse to two cycles using our uniquely developed DC-OPA and combining this with the loose focusing method, we generate high-energy attosecond high-order harmonics in the water window region. Furthermore, an optical synthesizer consisting of multi-cycle three-wavelength laser pulses realizes an almost single-cycle harmonic driving field and generates a GW class isolated attosecond pulse with high efficiency. We also succeeded in measuring the waveform by using an attosecond streaking method. In addition, we developed a new method for generating circularly polarized light pulses and an attosecond transient absorption simulator for application to the investigation of attosecond electron dynamics in atoms and molecules.

研究分野：量子エレクトロニクス

キーワード：量子エレクトロニクス アト秒科学 超高速光科学 レーザー工学 非線形光学

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物質中の電子の動きを捉えることができるアト秒パルスレーザーは、物理学、化学、生物・医学等の基礎科学分野のみならず、超高速電子デバイス等ならびに高性能触媒や人工光合成等の化学・材料等の産業分野においても必須のツールとなるとも期待されている。2001年にアト秒パルスおよびパルス列の発生が観測されて以来、その発生・計測法ならびに利用は、急速に発展してきたが、未だに利用できる波長域は、光子エネルギーにして100eV以下の極端紫外(XUV)領域に制限されており、今、その波長域の拡大が切望されている。本課題では、独自に開発した高エネルギー中赤外レーザー光源とルーズフォーカス法を用いることにより、その波長域をサブkeV領域にまで拡張するとともに偏光制御を含めた新たな利用法を開拓し、アト秒科学の新たな展開を図る。

2. 研究の目的

本課題では申請者らが独自に開発したDC-OPAによる $3\mu\text{m}$ 帯までの高エネルギー中赤外パルスを2サイクルにまで圧縮し、これとルーズフォーカスによる位相整合を組み合わせることにより、サブkeV領域においてアト秒高次高調波を高効率で発生する。さらに、X線過渡吸収分光法により炭素材料の構造変化をサブフェムト秒の時間分解能で観測しそのダイナミクスを解明する手法を開拓するとともに、キラル分子や磁気材料の超高速ダイナミクス観測を可能にするために、新たに考案した偏光制御法を用いて円偏光高調波の波長域を拡大する。

3. 研究の方法

(1) DC-OPAによるTW級中赤外パルスの発生

OPCPA(Optical-Parametric Chirped-Pulse Amplification)の変形であるDC-OPA方式は、高エネルギー中赤外パルスの生成のために2011年に我々のグループから理論的に提案された。本課題では、1J級のTi:サファイアレーザーをあらたに導入し、ポンプパルスとシードパルス間の最適なチャープの組み合わせ、増幅に対する三次分散(TOD)の影響、並びにOPAプロセスにおける飽和効果によって引き起こされるスペクトル位相歪み等を考慮した数値シミュレーションによる最適条件を用いて $1.6\mu\text{m}$ 帯において100mJ級、数サイクルの高エネルギー中赤外パルスを達成する。次にサブkeVの単一パルスの発生を見据えて、BBO結晶に代えてより広帯域の増幅が可能なBiBO結晶を導入し、このパルスを約2サイクル(10fs)まで圧縮する手法を開発する。

(2) サブkeV領域のアト秒高次高調波の発生

(1)で生成した $1.6\mu\text{m}$ 帯のパルスを励起光として希ガスセルに集光し、水の窓領域までの軟X線連続光の発生を行う。励起波長の長波長化とともに1原子あたりの発生効率は、急速に小さくなるが、希ガス自体による吸収がほとんど無視できるので高圧力で位相整合を満たすような条件を設定することにより 10^{-7} 程度の変換効率が期待できる。高次高調波の媒質には、NeとHeを用いる計画である。集光領域のスポットサイズが約 $200\mu\text{m}$ と大きい上に、 $10\sim 100\text{kPa}$ の高圧動作が必要となるため、ガスセルは高圧の相互作用セルを低圧容器で取り囲んだ作動排気方式と10Hzで動作するパルスジェットを併用した方式とする。発生した高調波は、集光ミラー等を介さず直接分光器のスリットに導き、 2400 l/mm の軟X線回折格子で分光した後、X線CCDで検出する。

(3) 新しい円偏光高次高調波の発生法の開発

ここでは、DC-OPAを利用した新たな円偏光の発生法を用いて、その有効性を実証する。具体的には、OPAのポンプ光(800nm)とシグナル光($\sim 1400\text{nm}$)をそれぞれ逆回りの円偏光にしたものを高次高調波発生に用いた。シグナル光の波長は、BBO結晶の角度を調整することで変更できる。2色の光を焦点距離500mmのレンズを使用してArガスジェット中へと集光し、高次高調波を発生させた。ポンプ光とシグナル光の円偏光の楕円率は、それぞれ97.5%、 $>93\%$ である。さらに、ガス媒質をArからNeへと変更することで更なる短波長化を目指すとともに、円偏光高次高調波のカットオフエネルギーの励起レーザー波長依存性についても明らかにする。

(4) 3波長光シンセサイザーによるGW級単一アト秒パルスの発生

本課題では、複数波長のマルチサイクルパルスを合成することにより、単一アト秒パルス(IAP)の発生に最適な光電場を形成し、GW級のアト秒パルスを発生する。実験では、開発した3波長光シンセサイザーからの励起光約50mJをArガスセルに集光し、アト秒パルスの遅延時間

を変化させながら高調波スペクトルを観測し、単一アト秒発生に最適な連続スペクトルを得る。さらに、発生した連続スペクトルを XUV 多層膜鏡で取り出し、光電子ストリーク法によりパルス幅を計測する。

(5) アト秒軟X線パルスの利用技術の開発

本課題では、これらの光源を利用するための技術開発を行う。まず、GW 級のアト秒パルスを集光する事により、極端紫外域での多光子吸収や表面第二高調波発生等の非線形光学現象の観測が可能になると期待される。そこで、GW 級の IAP で 10^{14} W/cm² を超える強度を得るための多層膜コートをした軸外し放物面鏡を用いた集光光学系を構築する。また、水の窓領域のアト秒パルスによる多原子分子の内殻励起ダイナミクスを観測するための X 線過渡吸収シミュレータを開発ともに、溶液環境下での実験を可能にする Flat-Jet を合わせて開発する。

4. 研究成果

(1) DC-OPA による TW 級中赤外パルスの発生

水の窓領域で高次高調波の発生の準備として、中赤外域におけるシード光の発生と DC-OPA をさらに発展させた Dual-Pump 型 DC-OPA を開発した。フロンエンドでは 1-kHz 25fs の Ti:S レーザーパルスを Kr ガスセルに集光し、フィラメンテーションにより発生した広帯域光を BiBO 結晶を用いた差周波発生 (DFG) により 1.2~2.2 μ m にわたる広帯域シード光 (サブ 2 サイクルに相当) を発生させた。この方式では、CEP は受動的に安定化される。得られた広帯域シード光は後段に設置された AOPDF により DC-OPA に最適化された分散量を付加される。2 段の BBO DC-OPA によって得られたエネルギーは 40mJ である。

次に、更なる短パルス化を目指して、BBO に比べてより広帯域の増幅が可能な BiBO 結晶を導入し、100mJ、サブ 2 サイクルで CEP が安定化された DC-OPA システムを開発した。DC-OPA は 3 段の構成で、1 段目、2 段目、3 段目の結晶の厚さはそれぞれ 6、5、4 mm である。最終段からの出力エネルギーは 105 mJ で、励起光からの変換効率約 13% で達成された。増幅後、IR レーザーパルスは直径 60mm に拡大され、長さ 130mm の無水溶融石英のバルクコンプレッサーで圧縮された。この時の出力エネルギーは 102mJ で、コンプレッサーのスルーputは 97%であった。圧縮後のパルス波形の計測には、SHG-FROG 法を用いた。図 1 に示すような、ほぼ完全に圧縮された IR レーザーパルスが得られた。

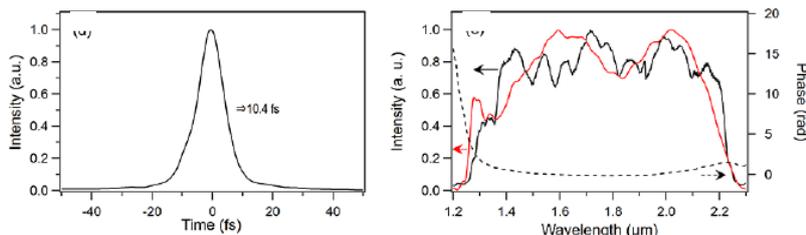


図 1 測定されたパルス波形 (左) とスペクトル分布及びスペクトル位相 (右)。赤線は SHG-FROG で回復された位相。

(2) サブ keV 領域のアト秒高次高調波の発生

本課題では、短波長域で Ne ガスに比べて吸収の小さい He ガスを用いることにより炭素の K 吸収端を含む”水の窓”領域でナノジュールを超える高エネルギーの高次高調波の発生を行った。実験では、DC-OPA から得られる近赤外パルス (10 Hz, 1.55 μ m, 80mJ, 50 fs) を、焦点距離 2 m の平行凸レンズを用いて、新たに開発したパルスガスセルへと集光した。このガスセルは二重構造の差動排気系となっていることに加え、パルスバルブを用いて相互作用域への He ガスの供給を励起レーザーと同期させており、これによって、これまでの定圧セルにくらべて数倍の高圧動作が可能になり、He ガスにおいても位相整合条件を満たすことができるようになった。その結果、”水の窓”領域において従来に比べて 1000 倍以上の高出力を達成した。

さらに、開発したパルス He ガスセルを用いて発生した”水の窓”領域の高次高調波を用いて、X 線過渡吸収分光の予備的な実験として

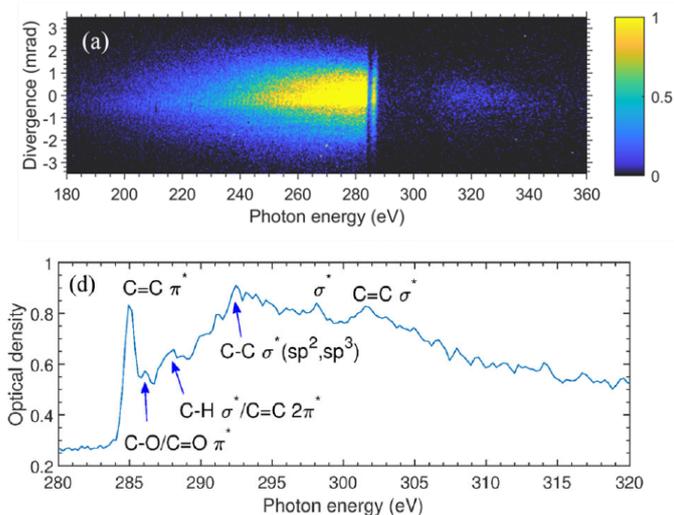


図 2 Mylar 透過後の 2 次元高調波スペクトル (a) と Parylene-C の X 線吸収端近傍スペクトル (b)

X線吸収端近傍スペクトルの測定を行った。測定試料は、厚さ0.25 μm のParylene-Cと1.0 μm のMylarである。図2(a)に観測されたスペクトルを示す。最大光子エネルギーは360 eV程度であった。、“水の窓”(284-360 eV)領域全体でのパルスエネルギーは3.5 nJであると求められた。図2(b)は、厚さ0.25 μm のParylene-Cの炭素のK吸収端近傍の吸光度である。285 eV付近において、ベンゼン環に起因する明瞭な吸収ピークを観測することに成功した。

(3) 新しい円偏光高次高調波の発生法の開発

円偏光の高次高調波発生には 2 色の逆回り円偏光の基本波を同軸で非線形媒質に集光する方法がその簡便さから広く採用されている。しかし、この方法では右回りと左回りの円偏光の高次高調波は異なる光子エネルギーを持って離散的に発生するため、エネルギー領域で離散的な測定点しか得ることができない。特に、急峻な原子の吸収端付近を利用した測定をする際には、このことが大きな障壁となる。そこで、本研究では DC-OPA の波長可変性を活して、2 色の同軸逆回り円偏光の基本波による円偏光高次高調波発生法と波長可変レーザーを組み合わせることで、発生する円偏光高次高調波の光子エネルギーを制御し、30-60 eV 域の同一の円偏光状態を保持したままそのスペクトルを連続的に変化させることに成功した。実験では、OPA のポンプ光(800 nm)とシグナル光(1320~1450nm)をそれぞれ逆回りの円偏光にしたものを高次高調波発生に用いた。シグナル光の波長は、BBO 結晶の角度を調整することで変更できる。2 色の光を焦点距離 500 mm のレンズを使用して Ar ガスジェット中へと集光し、高次高調波を発生させた。ポンプ光とシグナル光の円偏光の楕円率は、それぞれ 97.5%、>93%と測定された。また、He ガスを用いることで円偏光高次高調波のカットオフエネルギーは軟 X 線域の 180 eV に達し、先行研究で報告されていた最短波長を更新した。このとき、片方の基本波の波長を調整することで高次高調波の離散的なスペクトルの周期構造による不連続性を解消した。これにより、強磁性体 Fe、Co、Ni の M 吸収端や Gd の N 吸収端の詳細な構造を超高速で測定することができる光源となった。

(4) 3 波長光シンセサイザーによる GW 級単一アト秒パルスの発生

本課題では、高エネルギー化に有利なマルチサイクルパルスを3波長合成することによって任意の形状の駆動電場を作成する手法を開発し、GW級の単一アト秒パルスの発生に成功した。開発した3波長レーザーシンセサイザーは、波長800 nm (25 fs)、1,350 nm (44 fs)、および 2,050 nm (80 fs) の3波長で構成され、全エネルギーは約50 mJである。合成された3波長のサブパルスは、2.9 torr Ar ガスが充填された長さ 8 cm のガスセル内に集束された。主励起、シグナルおよびアイドラーパルスのエネルギーは、それぞれ 20.3、4.3、および 1.6 mJ で、合成されたパルスの集光強度は $1 \times 10^{14} \text{ W/cm}^2$ と見積もられた。発生したスペクトル帯域から見積もられるパルス幅は約 170 as で、ピークパワーは1 GW を超えると評価された。図 3(a) は、Ar で 1 色、2 色、および 3 色のドライバー波形を使用した場合のシングルショットの高調波スペクトルを示している。単色の場合、光子エネルギー約 54 eV の 35 次で終わる離散的な高調波が観測された。これに対して、3波長励起では滑らかな連続高調波スペクトルが観測され、カットオフ領域はさらに70eVまで広がった。ガス媒体を Ar から Ne に変更することにより、カットオフが 130 eV までさらに拡大することが観察された(図 3(b))。生成されたアト秒パルスの波形を光電子ストリーキング法で測定した結果から、パルス幅として226 as (FWHM) が得られた。この結果は 10 Hz の繰り返し速度でのストリーキング実験の最初の実証であり、GW スケールの軟 X 線単一アト秒光源が実現された。

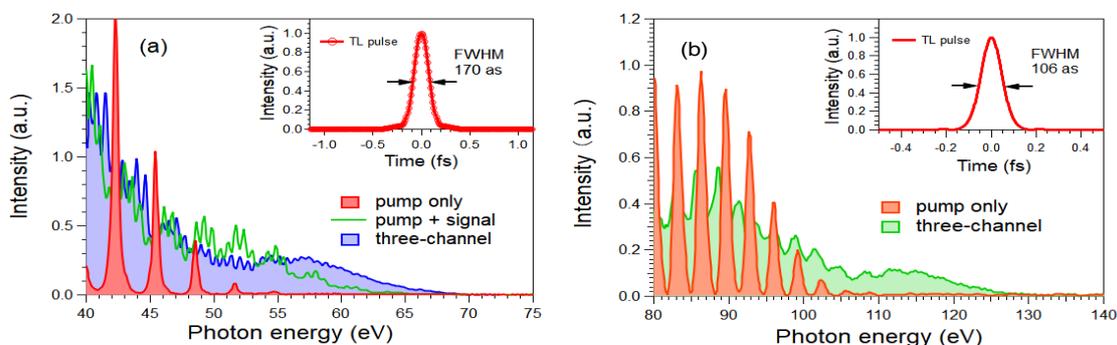


図3 1、2、および3波長入力を使用して測定されたシングルショット高調波スペクトル。挿入図は、連続スペクトルからのフーリエ変換限界(TL)パルスを示す。(a) Ar ガス(連続エネルギー領域: 50 ~ 70 eV)、(b) Ne ガス(連続エネルギー領域: 100 ~ 130 eV)。

(5) アト秒軟X線パルスの利用技術の開発

① アト秒パルスの集光光学系の開発

GW 級のアト秒パルスの極限集光用軸外し放物面鏡を開発した。非線形光学現象を誘起するためには、 10^{14} W/cm² を超える強度が必要であり、このためには短焦点で回折限界にせまる集光系が要求される。しかしながら、アト秒パルス光の波長は極端紫外から軟 X 線の波長域にあるため、赤外や可視領域に比べて遥かに高い表面精度のミラーが必要となる。開発したミラーは焦点距離 60 mm の軸外し放物面鏡であり、その表面粗さは 0.5nm RMS であり、同程度の形状誤差の空間波長を仮定した集光シミュレーションにより、直径 1 μ m 以下の集光ビームプロファイルが得られた。以上の結果から、開発した軸外し放物面鏡により開発した GW 級のアト秒パルスをサブミクロンサイズに集光することにより 10^{15} W/cm² を超える光強度が得られ、第 2 次高調波発生等の固体表面での非線形現象の観測が可能であることが確認された。

② アト秒過渡吸収シミュレーターの開発

炭素を含む多原子分子の内殻励起のアト秒ダイナミクスの観測を目的として、軟 X 線による内殻イオン化・Auger 緩和後に起きる 2 価正イオンの非断熱遷移 (NAT) を第一原理計算 (CASSCF 法) に基づいて高速追跡する X 線光化学反応動力学法を開発した。この手法を芳香族分子 Tropone (図 4) に適用し、C(1s) 端 (~300 eV) の軟 X 線照射で生成した 2 価正イオンが NAT で電子状態を遷移する際に、高励起擬縮退状態で約 10^2 fs 間捕捉され、その時定数は価電子数の対数関数に比例することを示した。さらに、O(1s) 端フェムト秒 X 線過渡吸収スペクトル (fs-XAS) 測定で超多段階 NAT を直接追跡できることも示した。本手法は、C60 やグラフェン等のナノ分子材料へのアト秒過渡吸収イメージングへ拡張することが可能である。

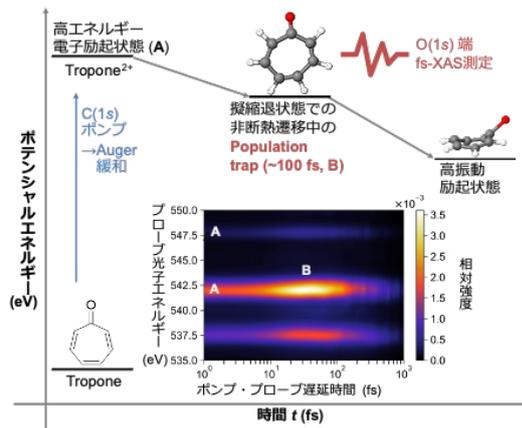


図 4 C(1s) 端内殻イオン化・Auger 緩和により生成する電子励起 tropone²⁺ の非断熱遷移過程とその O(1s) 端理論 fs-XAS。

③ 液体 Flat-Jet の開発

溶液中の軟 X 線過渡吸収分光研究を目的として液体 Flat-Jet を開発した (図 5)。双発のキャピラリー・ノズルから高圧 (3-5 MPa) 吐出した液体が角度 40-43° で衝突することでリーフ状の薄膜ジェットが形成される。膜厚は、主にキャピラリー径、吐出圧力、衝突角度、そして液体の種類に依存するが、水では 50 μ m キャピラリーを使用することで 1-2 μ m が容易に達成された。真空中での使用は液体を大気中へ回収・再循環が重要となるので、第一液膜リーフ形成後のネックに $\Phi 0.2$ mm 径スキマー/キャッチャを配置することで、液体の蒸発による真空度の低下を軽減できるだけでなく、液滴状態からペリスタポンプ (蠕動運動ポンプ) を通して大気中へ汲み出すことが可能とした。回収・再循環機構を備えることで、100ml 以下の希少なサンプル溶液であっても一両日のランニング、真空中での停止/再運転、さらにアイシングなどの突発事態に対処できる機構を有している。本装置は、水ばかりでなくアルコール、アンモニア水等の主要な有機溶媒、幅広い pH 環境下の適応で動作し、アト秒ビームラインに組み込むことで液体の軟 X 線吸収分光、あるいはアト秒時間分解を有するポンプ-プローブ型軟 X 線過渡吸収分光が可能となった。

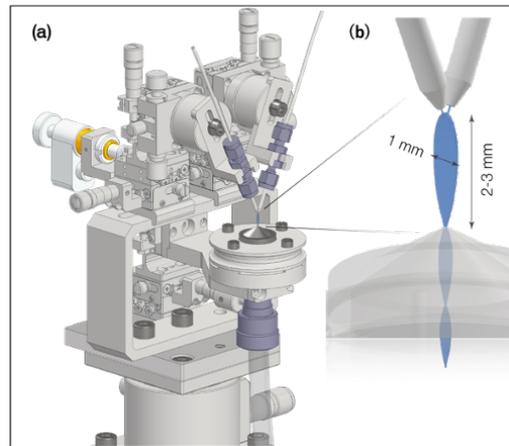


図 5 開発した液体フラットジェットと回収用のスキマー/キャッチャ (左) と複数の液状リーフが連なるラミナフロー、膜厚は 1-2 μ m (右)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tran G. N., Midorikawa Katsumi, Takahashi Eiji J.	4. 巻 41
2. 論文標題 Quantitative diffraction imaging using attosecond pulses	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of the Optical Society of America B	6. 最初と最後の頁 B14 ~ B14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/JOSAB.512362	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 Lin Yu-Chieh, Midorikawa Katsumi, Nabekawa Yasuo	4. 巻 12
2. 論文標題 Wavefront control of subcycle vortex pulses via carrier-envelope-phase tailoring	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Light: Science & Applications	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41377-023-01328-7	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 Nabekawa Yasuo, Midorikawa Katsumi	4. 巻 5
2. 論文標題 Analysis of attosecond entanglement and coherence using feasible formulae	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 033083-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.5.033083	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 緑川 克美	4. 巻 78
2. 論文標題 一瞬の現象を光で捉えるアト秒科学	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 化学同人	6. 最初と最後の頁 21-24
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 鍋川康夫、緑川克美	4. 巻 93
2. 論文標題 高次高調波の発見とアト秒科学への展開	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 1070-1076
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 L. Xu B. Xue, N. Ishii, J. Itatani K. Midorikawa, E. J. Takahashi	4. 巻 47
2. 論文標題 100-mJ class, sub-two-cycle, carrier-envelope phase-stable dual-chirped optical parametric amplification	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3371 -3374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/ol.455811	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 T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. L. Ishikawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa	4. 巻 2022
2. 論文標題 Attosecond optical and Ramsey-type interferometry by post-generation splitting of harmonic pulse	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ultrafast Science	6. 最初と最後の頁 9858739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34133/2022/9858739	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 K. Midorikawa	4. 巻 16
2. 論文標題 Progress on table-top isolated attosecond light sources	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Photonics	6. 最初と最後の頁 267-278
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 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 Y.-C. Lin, K. Midorikawa, Y. Nabkawa, K. Midorikawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Carrier-envelope phase control of synthesized waveforms with two acousto-optic programmable dispersive filters	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 10818 - 10832
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.447820	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 B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Gigawatt-class, tabletop, isolated-attosecond-pulse light source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 360 - 363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.449979	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 T. Matsubara, S. Fukahori, E. Loestedt, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa	4. 巻 8
2. 論文標題 300 attosecond response of acetylene in two-photon ionization/dissociation processes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optica	6. 最初と最後の頁 1075 - 1083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OPTICA.426071	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 K. Nishimura, Y. Fu, A. Suda, K. Midorikawa, E. J. Takahashi	4. 巻 92
2. 論文標題 Apparatus for generation of nanojoule-class water-window high-order harmonics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 63001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0045342	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 B. Xue, Y. Tamaru, Y. Fu, H. Yan, P. Lan, O. D. Mucke, A. Suda, K. Midorikawa, E. J. Takahashi	4. 巻 2021
2. 論文標題 A Custom-Tailored Multi-TW Optical Electric Field for Gigawatt Soft-X-Ray Isolated Attosecond Pulses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrafast Science	6. 最初と最後の頁 9828026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34133/2021/9828026	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 K. Shibuya, K. Nawata, Y. Nakajima, Y. Fu, E. J. Takahashi, K. Midorikawa, T. Yasui, H. Minamide	4. 巻 14
2. 論文標題 Characteristics of nonlinear terahertz-wave radiation generated by mid-infrared femtosecond pulse laser excitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 920041
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 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 Fukahori Shinichi, Matsubara Takuya, Nabekawa Yasuo, Yamanouchi Kaoru, Midorikawa Katsumi	4. 巻 53
2. 論文標題 Ultrafast electron-nuclear wavepacket in O ₂ ⁺ generated and probed with attosecond pulse trains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 164001 ~ 164001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/ab94cc	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 Okino Tomoya, Midorikawa Katsumi	4. 巻 102
2. 論文標題 Characterization of polarization gating parameters for attosecond pulse generation using an imaging polarimeter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 023116-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.102.023116	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 Lin Yu-Chieh, Nabekawa Yasuo, Midorikawa Katsumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Optical parametric amplification of sub-cycle shortwave infrared pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3413-1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-17247-9	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 Fu Yuxi, Nishimura Kotaro, Shao Renzhi, Suda Akira, Midorikawa Katsumi, Lan Pengfei, Takahashi Eiji J.	4. 巻 3
2. 論文標題 High efficiency ultrafast water-window harmonic generation for single-shot soft X-ray spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 92-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-020-0355-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 Xu Lu, Nishimura Kotaro, Suda Akira, Midorikawa Katsumi, Fu Yuxi, Takahashi Eiji J.	4. 巻 28
2. 論文標題 Optimization of a multi-TW few-cycle 17- μ m source based on Type-I BBO dual-chirped optical parametric amplification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 15138 ~ 15138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.392045	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 Xue Bing, Tamaru Yuuki, Fu Yuxi, Yuan Hua, Lan Pengfei, Mucke Oliver D., Suda Akira, Midorikawa Katsumi, Takahashi Eiji J.	4. 巻 6
2. 論文標題 Fully stabilized multi-TW optical waveform synthesizer: Toward gigawatt isolated attosecond pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaay2802-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aay2802	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 Fu Yuxi, Midorikawa Katsumi, Takahashi Eiji J.	4. 巻 25
2. 論文標題 Dual-Chirped Optical Parametric Amplification: A Method for Generating Super-Intense Mid-Infrared Few-Cycle Pulses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2019.2925720	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 Nagata Yutaka, Harada Tetsuo, Watanabe Takeo, Kinoshita Hiroo, Midorikawa Katsumi	4. 巻 1
2. 論文標題 At wavelength coherent scatterometry microscope using high-order harmonics for EUV mask inspection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Extreme Manufacturing	6. 最初と最後の頁 032001 ~ 032001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2631-7990/ab3b4e	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 -

[学会発表] 計92件 (うち招待講演 42件 / うち国際学会 51件)

1. 発表者名 Y. C. Lin, K. Midorikawa, and Y. Nabekawa
2. 発表標題 Generation of sub-cycle vortex pulses
3. 学会等名 The High-Intensity Lasers and High-Field Phenomena Topical Meeting (HILAS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Nabekawa
2. 発表標題 Beamline Delivering XUV Attosecond Pump & XUV Attosecond Control and a Few Femtosecond DUV Probe Pulses
3. 学会等名 The 4th International Conference on Optics, Photonics, and Lasers (OPL-2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. C. Lin, K. Midorikawa, and Y. Nabekawa
2. 発表標題 Sub-cycle vortex pulse generation and its application
3. 学会等名 The 4th International Conference on Optics, Photonics, and Lasers (OPL-2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation and control of sub-cycle optical vortex pulses
3. 学会等名 The 2nd Int. Conf. on UltrafastX (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation and control of sub-cycle optical vortex pulses
3. 学会等名 Int. Symp. on Ultrafast Intense Laser Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 The third generation attosecond light sources,
3. 学会等名 Int. Symp. on Ultrafast Phenomena and Terahertz Waves (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation of intense attosecond pulses and application to XUV multiphoton processes
3. 学会等名 Nobel Symposium 172 Attosecond Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 The third-generation table-top attosecond light sources
3. 学会等名 Japan-ELI Joint Workshop on Collaboration in High Power Laser Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Yamazaki and K. Midorikawa
2. 発表標題 Molecular Size Effect on the X-ray Induced Nonadiabatic Dynamics in Aromatic Molecules
3. 学会等名 ISWAMP 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. C. Lin, K. Midorikawa, and Y. Nabekawa
2. 発表標題 Two-dimensional f-2f interferometry using sub-cycle optical vortex pulses
3. 学会等名 The 12th Asian-Pacific Laser Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Okino and K. Midorikawa
2. 発表標題 Multifragment 3D Ion Momentum Imaging for Investigating Ultrafast Dynamics of Polyatomic Molecules
3. 学会等名 The 12th Asian-Pacific Laser Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. Nabekawa and K. Midorikawa
2. 発表標題 Coherence between the vibrational states in H ₂ ⁺ and the continuum state of e ⁻ via attosecond photoionization
3. 学会等名 The 12th Asian-Pacific Laser Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. C. Lin, K. Midorikawa, and Y. Nabekawa
2. 発表標題 Generation and characterization of CEP controllable, sub-cycle optical vortex pulses
3. 学会等名 CLEO 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Y. C. Lin
2. 発表標題 Development of an optical parametric amplifier laser system delivering CEP-stabilized sub-cycle pulses in SWIR region
3. 学会等名 The 70th Japan Society of Applied Physics (JSAP) Spring Meeting (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 緑川克美
2. 発表標題 高次高調波研究の30年を振り返って
3. 学会等名 強光子場懇談会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鍋川康夫, 高橋栄治, 緑川克美
2. 発表標題 理化学研究所に於けるアト秒科学研究
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鍋川康夫
2. 発表標題 分子ダイナミクスと光学相関を記述する2光子相互作用の一般式
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第44回年次大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Yamazaki and K. Midorikawa
2. 発表標題 X-ray induced proton transfer in O(1s) core-ionized trimethylamine aqueous solution
3. 学会等名 第38回化学反応討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎 馨、緑川克美
2. 発表標題 芳香族分子における X 線誘起非断熱遷移の時定数に対する分子サイズ依存性
3. 学会等名 第17回分子化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎 馨
2. 発表標題 固体における電子動力学のアト秒 X 線過渡吸収分光に向けて
3. 学会等名 第30回アト秒懇談会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎 馨
2. 発表標題 多原子分子の超高速 X 線光化学理論：気相から水溶液への展開
3. 学会等名 第28回アト秒懇談会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 The third-generation table-top attosecond light sources
3. 学会等名 Ultrafast Optics XIII (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Development of multiframe 3D ion momentum imaging methods for investigating ultrafast dynamics of polyatomic molecules
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Multiscale Ion Momentum Imaging: Investigating Ultrafast Dynamics of Polyatomic Molecules
3. 学会等名 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Observation of XUV induced ultrafast dynamics by attosecond pulse trains
3. 学会等名 12th Asian Symposium on Intense Laser Science (ASILS12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Nabekawa
2. 発表標題 Attosecond Control of Simple Molecules and Atoms Using XUV High-harmonic Pulse Pairs
3. 学会等名 ANSO Symposium on Basic Science for Sustainable Development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Increase in photon flux of isolated att-second pulses
3. 学会等名 8th International Conference on Attosecond Science and Technology (ATTO VIII) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa,
2. 発表標題 Optical Parametric Amplification of sub-Cycle Shortwave Infrared Pulses
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Xu, B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 100 mJ, sub-two-cycle, CEP stable 1.7 um laser based on DC-OPA
3. 学会等名 The 1st International conference on Ultrafast X (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Recent progress of isolated attosecond pulses
3. 学会等名 The 1st International conference on Ultrafast X (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. L. Ishikawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Attosecond optical and Ramsey-type interferometry by post-generation splitting of high-order harmonic pulses
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science (ISUILS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yamazaki, K. Midorikawa
2. 発表標題 Capturing x-ray induced nonradiative decay dynamics by femtosecond X-ray transient absorption spectroscopy
3. 学会等名 IWP-RIXS-2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Xu, B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Carrier-envelope phase-dependent high harmonic generation via loosely focused 10-TW sub-two-cycle pulses
3. 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Giant isolated attosecond pulse generated on a tabletop
3. 学会等名 International Conference on Ultrafast Phenomena 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa
2. 発表標題 Arbitrary carrier-envelope phase control of over-octave-spanning synthesized waveform using multiple AOPDFs
3. 学会等名 The 11th Advanced Lasers and Photon Sources (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa
2. 発表標題 Development of an optical parametric amplifier laser system delivering CEP-stabilized sub-cycle pulses in SWIR region
3. 学会等名 the 70th JSAP spring meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 G. N. Tran, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Computational research on diffraction imaging using attosecond sources,
3. 学会等名 the 70th JSAP spring meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation of sub-cycle shortwave infrared optical vortex pulses
3. 学会等名 The 43rd Annual Meeting of The Laser Society of Japan
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山崎 薫、緑川克美
2. 発表標題 フェムト秒 X 線誘起非断熱反応過程追跡のための X 線2色ポンプ・プローブ分光法
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沖野友哉、緑川克美
2. 発表標題 イベント駆動型イメージセンサーを用いた運動量画像計測装置の開発
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. L. Ishikawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Attosecond optical and Ramsey-type interferometry by post-generation splitting of high-order harmonic pulse
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Temporal characterization of gigawatt isolated attosecond pulses with the overall all-optical FROG-CRAB
3. 学会等名 The 83rd JSAP Autumn Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Yamazaki, K. Midorikawa
2. 発表標題 Carbon KLL normal Auger induced femtosecond nonadiabatic reaction dynamics in tropone dication (C ₇ H ₆ O ₂ ⁺)
3. 学会等名 第37回化学反応討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Development of multiplex ion momentum imaging methods for investigating ultrafast molecular dynamics of polyatomic molecules
3. 学会等名 International Symposium on Recent Development in Atomic, Molecular, and Optical Science 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Realization of Compact GW-Scale Soft x-ray Isolated Attosecond Pulses
3. 学会等名 High-Intensity Lasers and High-Field Phenomena (HILAS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation of GW isolated attosecond pulses by high-energy multi-color optical synthesizer
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science Online V, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Multi-TW optical waveform synthesizer for generating GW isolated attosecond pulses
3. 学会等名 The 4th Int. Symposium on High Power Laser Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 L. Xu, B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 02 mJ a few-cycle IR laser system based on BiBO dual-chirped optical parametric amplification
3. 学会等名 High-Brightness Sources and Light-Driven Interactions Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. L. Ishikawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 attosecond optical and Ramsey-type interference
3. 学会等名 CLEO/EUROPE-EQEC 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Multi-fragment momentum imaging of polyatomic molecules using an electro-optic light modulator and an imaging polarimeter
3. 学会等名 32nd International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鍋川康夫、松原卓也、石川顕一、山内薫、緑川克美
2. 発表標題 高次高調波を用いた極端紫外域におけるアト秒分光
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会, (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 L. Xu, B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 A CEP stable, sub-two-cycle, over 100 mJ IR DC-OPA: Towards a sub-microjoule water window isolated attosecond
3. 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, K. Midorikawa, Y. Nabekawa
2. 発表標題 Stabilization of carrier-envelope phase with multiple acousto-optic programmable dispersive filters
3. 学会等名 The 69th JSAP Spring Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松原卓也、鍋川康夫、石川顕一、山内薫、緑川克美
2. 発表標題 高次高調波を用いたアト秒光学干渉およびラムゼー干渉計測
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yu-Chieh Lin, 鍋川康夫、緑川克美
2. 発表標題 CEP control of over-octave-spanning synthesized spectra using multiple AOPDFs
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 沖野友哉、緑川克美
2. 発表標題 マルチフラグメント3次元運動量画像法の開発
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 沖野友哉、緑川克美
2. 発表標題 多原子分子の超高速ダイナミクス追跡のためのマルチフラグメント運動量画像法の開発
3. 学会等名 光・量子デバイス研究会「革新的材料の創出とデバイス応用」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yamazaki, K. Midorikawa
2. 発表標題 X-ray induced femtosecond ionization kinetics of tropone (C ₇ H ₆ O) at carbon K-edge
3. 学会等名 第36回化学反応討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Development of M-cubed momentum imaging for investigating ultrafast molecular dynamics of polyatomic molecules
3. 学会等名 第36回化学反応討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Okino, K. Midorikawa
2. 発表標題 Single-shot spatially-resolved carrier-envelope phase measurement of femtosecond laser pulses using an imaging polarimeter
3. 学会等名 第36回化学反応討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation of GW isolated attosecond pulses by high-energy optical waveform synthesizer
3. 学会等名 Advance in Atomic, Molecular and Optical Science 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E. J. Takahashi
2. 発表標題 High-energy mid-infrared femtosecond pulses for attosecond science,
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Ultrafast Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E. J. Takahashi
2. 発表標題 Multi-TW optical waveform synthesizer for gigawatt soft-x-ray isolated attosecond pulses
3. 学会等名 CELEO/PacificRim2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E. J. Takahashi
2. 発表標題 Dual-chirped optical parametric amplification for energy scaling of near-IR, mid-IR and far-IR pulses
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 緑川克美
2. 発表標題 光科学の新たな地平を拓く
3. 学会等名 物理学会公開講座 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋栄治
2. 発表標題 軟X線高次高調波の現状と展開
3. 学会等名 第68回応用物理学会春期学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋栄治、B. Xue
2. 発表標題 高強度アト秒パルス発生用光シンセサイザーの開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kotaro Nishimura, Lu Xu, Akira Suda, Katsumi Midorikawa, Yuxi Fu, Eiji J. Takahashi
2. 発表標題 Demonstration of a Nano-Joule Class Water Window High Harmonic Light Source
3. 学会等名 High-brightness Sources and Light-driven Interactions Congress（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Matsubara, S. Fukahori, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Characterization of Attosecond Pulse Train and Nonlinear Fourier Transform Spectroscopy in Dissociative Ionization of Acetylene
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Ultrafast Phenomena（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y.-C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa
2. 発表標題 Stabilization of Mach Zehnder Interferometer in a sub-cycle shortwave-infrared OPA system
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Ultrafast Phenomena（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Nishimura, L. Xu, A. Suda, K. Midorikawa, Y. Fu, E. J. Takahashi
2. 発表標題 A Robust Scaling Up Method of Output Energy and Photon Energy on High-Order Harmonic Generation: Towards Sub- μ J Water Window Soft X-rays
3. 学会等名 Conference on Lasers and Electro-Optics 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沖野友哉、緑川克美
2. 発表標題 ストークスパラメーター計測による偏光ゲート法の特性評価
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徐 露、石井 順久、緑川克美、高橋栄治
2. 発表標題 Multi-TW, CEP-stable, a few-cycle 1.6 μ m pulse from BiBO dual-chirped optical parametric amplification
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村光太郎、Xue Bing、須田亮、緑川克美、高橋栄治
2. 発表標題 円偏光高次高調波発生における励起レーザー波長依存性
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Matsubara, S. Fukahori, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Nonlinear Fourier Transform Spectroscopy of Acetylene by Intense Attosecond Pulse Trains
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Progress on high-order harmonics and attosecond pulses
3. 学会等名 14th Asia Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Generation of GW isolated attosecond pulses by multi-TW optical waveform synthesizer
3. 学会等名 The 11th Asian Symposium on Intense Laser Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Midorikawa
2. 発表標題 Attosecond Science and Application
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 5.Y. Fu, K. Nishimura, B. Xue, H. Yuan, P. Lan, K. Midorikawa, E. J. Takahashi
2. 発表標題 Energy scaling of sub-keV attosecond pulse driven by strong mid-infrared femtosecond laser
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 E. J. Takahashi
2. 発表標題 Gigawatt soft-x-ray attosecond super-continuum
3. 学会等名 The 11th International Conference on Information Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋栄治
2. 発表標題 超高速軟X線イメージングを拓く高次高調波光源
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋栄治
2. 発表標題 二重チャープ光パラメトリック増幅によるテラワット級中赤外レーザーシステムの開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沖野友哉
2. 発表標題 超短パルスレーザーで物質内の電子の動きを観る
3. 学会等名 JSTさきがけ「光極限」公開セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋栄治
2. 発表標題 高次高調波発生を用いた MCD 計測用光源の開発
3. 学会等名 第43回 日本磁気学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋栄治
2. 発表標題 フルコヒーレント・アト秒軟 X 線光源の高強度化と展開
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y.-C. Lin, Y. Nabekawa, K. Midorikawa
2. 発表標題 Sub-optical-cycle shortwave infrared pulses generation in a cascaded degenerate optical parametric amplifier
3. 学会等名 Ultrafast Optics XII 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsubara, S. Fukahori, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Nonlinear Fourier transform spectroscopy of acetylene by intense attosecond pulse trains
3. 学会等名 International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Matsubara, S. Fukahori, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Nonlinear Fourier Transform Spectroscopy of Acetylene by Intense Attosecond Pulse Trains
3. 学会等名 7th International Conference on Attosecond Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Fukahori, T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Nonlinear Fourier Transform Spectroscopy of O ₂ with Intense Attosecond Pulse Trains
3. 学会等名 7th International Conference on Attosecond Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沖野友哉、緑川克美
2. 発表標題 多原子分子ダイナミクス計測のためのマルチフラグメント運動量画像法の開発
3. 学会等名 分子科学討論会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Fukahori, T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Dissociative ionization of O ₂ via B ₂ g and 3 2 u states of O ₂ ⁺ induced by intense XUV attosecond pulse trains
3. 学会等名 第35回科学反応討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Fukahori, T. Matsubara, Y. Nabekawa, K. Yamanouchi, K. Midorikawa
2. 発表標題 Dissociative ionization of O ₂ via B ₂ g and 3 2 u states of O ₂ ⁺ induced by intense XUV attosecond pulse trains
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019
4. 発表年 2019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
研究協力者	鍋川 康夫 (Nabekawa Yasuo)		
研究協力者	高橋 栄治 (Takahashi Eiji)		
研究協力者	山崎 馨 (Yamazaki Kaoru)		

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