

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成26年 6月 7日現在

機関番号：12601

研究種目：特別推進研究

研究期間：2009～2013

課題番号：21000003

研究課題名(和文) 配向制御技術で拓く分子の新しい量子相の物理学

研究課題名(英文) Electronic stereodynamics in molecules and ultrafast molecular imaging based on molecular orientation techniques

研究代表者

酒井 広文 (SAKAI, Hirofumi)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：20322034

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 264,200,000円、(間接経費) 79,260,000円

研究成果の概要(和文)：量子状態を選別した非対称コマ分子のレーザー電場のない条件下での1次元、及び3次元の配向制御に成功した。また、全光学的配向制御の原理実証に成功したのを始めとし、量子状態を選別した分子試料を用いて高い配向度を実現することにも成功した。レーザー電場を急峻に遮断すれば完全にフィールドフリーな条件下での配向制御が可能となる。一方、搬送波包絡位相を制御したフェムト秒パルスを用いて配列した分子中から発生する高次高調波の強度スペクトルと位相スペクトルの観測することにより、後述するような様々な新しい知見を得ることに成功した。最も高度で洗練された分子イメージング技術の開発に成功するとともに、一連の研究を通じて「分子内電子の立体ダイナミクス」研究の端緒を開くことに成功した。

研究成果の概要(英文)：Laser-field-free one- and three-dimensional orientation of state-selected asymmetric top molecules has been achieved by rapidly turning off a linearly- and elliptically-polarized laser field, respectively, in a weak electrostatic field. After the success of the proof-of-principle experiment of all-optical molecular orientation with an intense nonresonant two-color laser field, higher degrees of molecular orientation have been achieved with state-selected molecules. Completely field-free molecular orientation can be achieved by rapidly turning off an intense nonresonant two-color laser field with the plasma shutter technique. On the other hand, various new findings have been obtained by observing both intensity and phase spectra of high-order harmonics generated in aligned molecules with carrier-envelope-phase-stabilized femtosecond pulses. The most advanced and sophisticated molecular imaging technique has been developed and the studies on “electronic stereodynamics in molecules” have been successfully opened.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学、原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：原子・分子物理、高性能レーザー、配列・配向分子、高次高調波発生、搬送波包絡位相、トンネルイオン化、超閾イオン化、プラズマシャッター

1. 研究開始当初の背景

(1) レーザー技術を用いた気体分子の配向制御技術は、酒井グループが静電場とレーザー電場を併用する手法で1次元、及び3次元の配向制御の原理実証実験に成功するとともに、高強度レーザーパルスに適用可能なプラズマシャッター技術を開発することにより、レーザー電場をそのピーク強度付近で急峻に遮断した直後や試料分子の回転周

期後にレーザー電場のない条件下で配向を制御することにも成功していた。これらの実績を踏まえ、配向した分子試料を様々な応用実験で使用するために、レーザー電場のない条件下で高い配向度をもつ分子試料を生成する技術や非共鳴2波長レーザー電場にプラズマシャッター技術を適用することにより、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下で配向制御を実現する技術の

開発が強く望まれていた。

(2) 搬送波包絡位相を制御した数サイクルパルスを用い、分子中で光の1周期以内に起こる現象を探究する「分子内電子の立体ダイナミクス」の開拓が望まれていた。

2. 研究の目的

向きの揃った分子試料は、異方性をもつ理想的な量子系と考えることができ、気体結晶とも呼べる分子の新しい量子相と位置づけられる。物理学は実証科学であり、新しい物理学は新しい実験手法の開発によって開拓される。本研究では、全く新しい分子配向制御技術を開発するとともに、配向した分子試料を用いた一連の研究により、「分子の新しい量子相の物理学」を開拓することを目的とする。具体的には以下の研究課題に取り組む。

(1) 配向した分子試料を様々な応用実験で使用するために、レーザー電場のない条件下で高い配向度をもつ分子試料を生成する技術や非共鳴2波長レーザー電場のみを利用する全光学的な配向制御手法にプラズマシャッター技術を適用することにより、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下で配向制御を実現する技術を開発する。

(2) 配列・配向した分子を試料とし、基礎過程であるトンネルイオン化に加え、非段階的二重イオン化や高次高調波発生など、分子内電子の再衝突によって引き起こされる多彩な超高速物理現象のメカニズムを直接的に解明する「分子内電子の立体ダイナミクス」を開拓するとともに、最も高度で洗練された「超高速分子イメージング」技術の確立を通じて、「分子の新しい量子相の物理学」を開拓する。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の装置を開発して研究を遂行した。

(1) 回転量子状態を選別する装置の開発

気体分子の配向制御で高い配向度を得ることが困難なのは、回転量子状態が Boltzmann 分布している thermal ensemble では、永久双極子モーメントが互いに逆方向を向く状態が混在しているためである。配向した分子試料を用いた分子内電子の立体ダイナミクス研究を推進するためには、配向度の高い分子試料の生成が不可欠である。そこで、初期回転量子状態を選別した試料に対し、静電場とレーザー電場を併用する手法や非共鳴2波長レーザー電場を用いる手法により高い配向度の実現を目指した。具体的には、主として対称コマ分子の状態選別に適した六極集束器や非対称コマ分子の状態選別も可能でより汎用性の高い分子偏向器を組み込

んだ実験装置を開発した。六極集束器の開発に当たり、笠井俊夫教授（当時 大阪大学、現在 国立台湾大学）のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

(2) 電子・イオン多重同時計測運動量画像分光装置の開発

原子分子中で超短パルス高強度レーザー電場に直接応答するのは電子なので、物理現象の探究のためにはこれまでプローブとして利用してきたフラグメントイオンや高次高調波（高エネルギーの光子）に加えて光電子の運動エネルギースペクトルや角度分布を観測することが重要である。さらに、非段階的二重イオン化や多原子分子の超高速構造変形などを探究する際は、イベントを特定するために、電子とイオンのコインシデンス測定ができることが望ましい。そこで、「電子・イオン多重同時計測運動量画像分光装置」の開発を行った。開発した装置では、データの解釈が容易なように速度マップ型を採用した。荷電粒子の軌道計算によると、静電レンズへの印加電圧を適切に調整することにより、運動エネルギー40 eV 程度までの電子の検出が可能である。本装置の開発に当たり、柳下明教授（高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所）のご協力を得た。ここに記して謝意を表す。

(3) 高次高調波の位相スペクトル観測装置の開発

配列・配向した分子試料から発生する高次高調波の観測に基づく分子イメージング法の高度化のために、従来の強度スペクトルに加え、位相スペクトルも観測する装置を新たに開発した。位相スペクトルの観測は高調波によって希ガス中から発生する光電子の運動量を、時間差を付けて照射する基本波で変調した信号の観測に基づいている。開発した装置では、高調波の位相スペクトルの観測に関して、より豊富な情報が得られる2次元光電子画像化法を採用した。

4. 研究成果

(1) 非共鳴2波長レーザー電場を用いた全光学的分子配向制御

OCS 分子を試料として用い、非共鳴2波長レーザー電場により形成される非対称レーザー電場を利用する全光学的な分子配向制御に初めて成功した。全光学的分子配向制御の成果は、K. Oda *et al.* Phys. Rev. Lett. **104**, 213901 (2010) に発表し、科学新聞でも報道された。本成果は、酒井らが独自に提案した全光学的な手法(J. Chem. Phys. **115**, 5492 (2001)) を用いた分子配向制御の世界初の確実な証拠である。静電場を使用しない配向制御手法が初めて開発されたことを意味し、その学術

的価値は、極めて大きい。化学反応における立体ダイナミクス、分子内電子の立体ダイナミクス、アト秒科学、表面科学、分子スイッチなど広範な関連分野への応用が期待される。さらに、本手法で達成された配向度を数値シミュレーションの結果と比較することにより、これまで理論化学計算でしか評価することができなかった分子の超分極率を初めて実験的に評価できる手法として利用できる可能性があり、理論化学計算で得られた結果の妥当性の評価にも役立つと期待される。

(2) 量子状態を選別した非対称コマ分子のレーザー電場のない条件下での配向制御

本研究で開発した分子偏向器を用いて初期回転量子状態を選別した非対称コマ分子 (C_6H_5I) を試料とし、静電場とレーザー電場を併用する手法を用いて世界最高水準の高い配向度を達成した後に、プラズマシャッター技術を導入し、初期回転量子状態を選別した分子のレーザー電場のない条件下での1次元配向制御に世界で初めて成功した。本成果は、Je Hoi Mun *et al.*, *Phys. Rev. A* **89**, 051402(R) (2014) に発表した。プラズマシャッターで整形したナノ秒パルスの立下りは、約 150 fs であった。分子が配列・配向している様子は、フェムト秒プローブパルスで生成された多価イオンからクーロン爆裂で生成されたフラグメントイオンを2次元イオン画像化法で観測した。配列度を $\langle \cos^2 \theta_D \rangle$ (θ_D はレーザー光の偏光方向と分子軸 (ここでは C-I 軸) のなす角 θ の2次元検出器面への射影) で評価すると、レーザー電場を遮断後に、5 ~ 10 ps 程度高い配列度を維持できることが明らかとなった。一方、観測されるフラグメントイオンのうち、検出器面の側面に観測されるものの割合 N_{up}/N_{total} を配向度の指標とした場合には、レーザー電場を遮断後に、20 ps 程度高い配向度を維持できることが明らかとなった。配列度 $\langle \cos^2 \theta_D \rangle$ の dephasing 時間と総合すると実質的に高い配向度が維持できるのは 5 ~ 10 ps と考えるのが妥当である。この 5 ~ 10 ps という時間スケールは、フェムト秒レーザーパルスを用いた分子内電子の立体ダイナミクス研究への応用を考慮すると十分に長い時間スケールと言える。

(3) 量子状態を選別した非対称コマ分子のレーザー電場のない条件下での3次元配向制御

静電場と楕円偏光したレーザー電場の併用により、レーザー電場の遮断直後にレーザー電場の存在しない条件下での3次元配向制御の実現に世界で初めて成功した (投稿論文を準備中)。3次元配向制御は非対称コマ分子の空間的な向きを完全な制御を意味す

る。実験試料として分子偏向器で初期回転量子状態を選別した 3,4-ジプロモチオフェン分子 ($C_4H_2Br_2S$) を用いた。楕円偏光を用いると Br^+ フラグメントの角度分布が楕円偏光面によく沿う様子を観測でき、フラグメントイオンの上下の非対称性と併せて3次元配向が実現している様子を確認することができた。今回、配向度が十分高いため、2次元イオン画像だけで3次元配向制御の様子を直接的に観測することができたのも世界初の成果である。さらに、プラズマシャッター技術でナノ秒パルスを急峻に遮断すると、1次元配向制御に用いたヨードベンゼン分子のときの dephasing ダイナミクスよりは若干速いものの、~5 ps 程度は高い配向度を維持できることを確認した。また、ナノ秒パルス内で、プラズマシャッターを掛けるタイミングを変えると、パルスの遮断後の dephasing ダイナミクスが異なることを確認することができた。特にナノ秒パルスのピーク強度の前後の瞬時強度がほぼ等しいタイミングでパルスを遮断した後の dephasing ダイナミクスが異なることは、1次元配向制御に用いたヨードベンゼン分子のときと同様に、3,4-ジプロモチオフェン分子に対しても、ナノ秒パルスの立ち上がり時間 6 ns が分子とレーザー電場の純粋に断熱的な相互作用を保証するほど十分に長くはないことを示唆している。成果 (2)、及び (3) により、気体分子の配向制御に関し、完全に他グループの追従を許さぬ状況を実現することに成功した。

(4) 完全にフィールドフリーな条件下での分子配向制御

ナノ秒非共鳴2波長レーザー電場を用いる全光学的な配向制御手法にプラズマシャッター技術を適用することにより、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下での配向制御の実験を推進した。2波長レーザー電場を用いた全光学的な配向制御の実験は、静電場とレーザー電場を併用する手法と比べると、光学系の構成は複雑となる。2波長レーザー電場としては、ナノ秒 Nd:YAG レーザーの基本波 (波長 $\lambda = 1064$ nm) とその第2高調波 ($\lambda = 532$ nm) を使用するが、2波長レーザーパルスとプローブパルスの空間的重なりをよくするための調整を地道に行った結果、当初の目標であった配向度 $\langle \cos \theta \rangle > \sim 0.1$ を達成できる目処をつけることに成功した。直線偏光した2波長レーザー電場の偏光方向を平行にすれば1次元配向制御が可能であり、偏光方向を交差させることにより3次元配向制御が可能である。さらに、2波長レーザーパルスにプラズマシャッター技術を適用すれば、静電場も存在しない完全にフィールドフリーな条件下での配向制御が可能となる。

(5) 波長 1300 nm 及び 800 nm パルスを用いた配列分子中からの高次高調波発生

酒井グループでは先に、配列した分子中からの高次高調波発生実験において、特に CO₂ 分子を試料とした場合、再結合過程における電子のド・ブロイ波の量子干渉効果を世界で初めて観測することに成功した (Nature (London) **435**, 470 (2005))。主として CO₂ 分子中での量子干渉効果の支配的な原因を探る目的から、フェムト秒 Ti:sapphire レーザー増幅システムから得られる中心波長 800 nm のパルスに加え、光パラメトリック増幅器 (OPA) から得られる中心波長 1300 nm のパルスも用いて高次高調波発生の実験を行った。試料として N₂、O₂、CO₂ 分子を用いた。CO₂ 分子を用いた場合には N₂ や O₂ の場合と大きく異なる結果が観測された。CO₂ 分子の場合には、29 eV から 39 eV の光子エネルギーの範囲で 800 nm パルスを用いても 1300 nm パルスを用いても高調波強度はイオン強度と逆位相の時間発展を示すことが確認できた。観測された効果は電子のド・ブロイ波の 2 中心干渉モデルでよく説明できる。今回の観測結果は、先に本研究グループの Nature 論文で指摘した 2 中心干渉効果が支配的な現象であることを強く示唆していると考えられる。本成果は、K. Kato *et al.*, Phys. Rev. A **84**, 021403(R) (2011) に発表した。その知見は長年の論争に終止符を打つものである。高強度レーザー物理や原子分子中の超高速現象の研究などの広範な関連分野で重要な学術的価値をもつ成果である。

(6) 原子、及び配列した分子から発生する高次高調波の隣り合う次数間の位相差の観測

本研究で開発した高次高調波の位相スペクトル観測装置を用い、Ar、Kr、及び配列した N₂ 分子から発生する高次高調波の隣り合う次数間の位相差の観測を行った。今回は、原子や分子のクーロン電場の影響を強く受けるため、原子軌道や分子軌道の情報を得る観点から近年注目されている媒質のイオン化ポテンシャル近傍のエネルギー領域、いわゆる near-threshold 領域の高調波に着目し、その隣り合う次数間の位相差の観測に初めて成功した。観測した範囲では、隣り合う次数間の位相差は、Kr 中から発生する高調波のそれの方が、Ar や配列した N₂ 分子中から発生する高調波のそれよりも大きいこと、Ar と配列した N₂ 分子中から発生する高調波については、サイドバンド次数 12 の位相差は Ar 中から発生する高調波の位相差が N₂ 分子中から発生する高調波のそれよりも有意に大きいことが明らかになった。クーロンポテンシャルの性質の差が表れている可能性があり、理論モデルを用いた考察を進めている。配列した分子中から発生する高調波の位相を 2 次

元光電子画像化法を採用した位相スペクトル観測装置で観測することにより、最も高度で洗練された分子イメージング技術の開発に成功した。

(7) 搬送波包絡位相を制御したフェムト秒パルスを用いた原子分子中からの高次高調波発生

CEP の制御されたパルス幅 $\tau \sim 25$ fs のレーザー光を希ガス原子や配列した分子に集光照射して観測される高次高調波スペクトルをフーリエ変換して解析した結果、チャープしてスペクトルが広がった隣り合う奇数次高調波の同じ周波数成分が発生する時間差 ΔT が高調波次数とともに減少していることが初めて明らかになった。また、配列した分子試料を用いた実験により、アト秒パルス列の発生において、CEP だけでなく分子配列もその制御パラメータになることを示唆する新たな知見を得ることができた。本成果は、Y. Sakemi *et al.*, Phys. Rev. A **85**, 051801(R) (2012) に発表した。上記の全ての知見が新しいことは勿論であるが、配列した分子を試料とした観測自体が世界初のものであり、理論研究の発展を促す重要な知見と位置づけられる。

(8) 搬送波包絡位相を制御した 10 fs パルスを用いた配列した分子中からの高次高調波発生

非断熱的に配列した N₂ 分子や CO₂ 分子を試料とし、CEP を制御した 10 fs パルスを基本波とする高次高調波発生実験を行いプラトーからカットオフに近い領域に CEP の相対値に依存して移動する干渉縞を観測することに成功した。高調波スペクトルをフーリエ解析して考察した結果、観測された干渉縞は、高次高調波発生用のプローブパルス中で時間差 $\Delta T = T/2, T, 3T/2$ (T はプローブ光の 1 周期) だけ離れたアト秒パルス間の干渉によるものであることが明らかになった。また、時間差 $\Delta T = T/2$ で干渉して発生する高調波の位相は CEP に依存しないのに対し、時間差 $\Delta T = T$ 、及び $3T/2$ で干渉して発生する高調波の位相は CEP の変化に対し、slope 2 の依存性をもつことが分かった。高調波チャープ (harmonic chirp) の効果を取り入れたモデルによる考察の結果、上記の CEP (非) 依存性を示すためのチャープ係数 b に対する条件として $b > 0.6$ fs² を決めることもできた。さらに、配列した分子軸に対し、基本波の偏光方向が平行なときと垂直なとき (あるいはランダム配向のとき) で、現状では断定するには至らないものの、高調波の位相に違いがある可能性があることが分かった。本手法で解析できる位相シフトには、本実験で使用した数サイクルパルスの様に、搬送波の強度変

化が急な場合に重要となりうる continuum evolution phase に加え、HOMO-1 の様な励起状態が高調波発生に寄与する場合には、電子波束がレーザー電場中で駆動される間の親イオンの電子状態の時間発展に関連する位相やイオン化の際の位相 (ionization phase) が寄与しうることを考察した。(現在、Phys. Rev. A 誌、Rapid Communications に論文を投稿中)

(9) 電子・イオン多重同時計測運動量画像分光装置を用いたトンネルイオン化の異方性の解明

当該装置を用いた以下の 2 つの実験を遂行中である。いずれも高強度レーザー物理分野で未解決の重要課題であるが、近日中に明確な結論が得られると期待される。

① OCS 分子のトンネルイオン化の異方性

OCS 分子のトンネルイオン化が O 原子側から起こるのか、S 原子側から起こるのかを解明する実験を進めている。イオン化用のフェムト秒レーザーパルスの強度によりトンネルイオン化が起こりやすいサイトが入れ代わる可能性もあり、極めて興味深い。

② 高強度フェムト秒 2 波長レーザーパルスによる ionization depletion のメカニズムで実際にマクロに配向した分子試料ができるかどうかを検証中である。ionization depletion では有意な配向度をもつマクロな分子配向を実現できない可能性もある。実際、フェムト秒の 1 波長パルスで生成した回転波束と 2 波長パルスで生成した回転波束が全く同等とは考えにくく、マクロな分子配向が実現していなくても高次高調波発生の第 1 ステップであるトンネルイオン化に非対称性が生じるメカニズムの解明を目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

① Je Hoi Mun, Daisuke Takei, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “Laser-field-free orientation of state-selected asymmetric top molecules,” Phys. Rev. A **89**, 051402(R)(5 pages) (2014). 査読有り。

DOI: 10.1103/PhysRevA.89.051402

② Yusuke Sakemi, Kosaku Kato, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “Characteristics of high-order harmonics generated from atoms and aligned molecules with carrier-envelope-phase-stabilized 25-fs pulses,” Phys. Rev. A **85**, 051801(R)(4 pages) (2012). 査読有り。

DOI: 10.1103/PhysRevA.85.051801

③ Kosaku Kato, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “Suppression of high-order-harmonic intensities observed in

aligned CO₂ molecules with 1300-nm and 800-nm pulses,” Phys. Rev. A **84**, 021403(R)(4 pages) (2011). 査読有り。

DOI: 10.1103/PhysRevA.84.021403

④ Shinichirou Minemoto and Hirofumi Sakai, “Measuring polarizability anisotropies of rare gas diatomic molecules by laser-induced molecular alignment technique,” J. Chem. Phys. **134**, 214305(9 pages) (2011). 査読有り。

DOI: 10.1063/1.3594681

⑤ Hiroki Mizutani, Shinichirou Minemoto, Yuichiro Oguchi, and Hirofumi Sakai, “Effect of nuclear motion observed in high-order harmonic generation from D₂/H₂ molecules with intense multi-cycle 1300 nm and 800 nm pulses,” J. Phys. B **44**, 081002(5 pages) (Fast Track Communication) (2011). 査読有り。

DOI: 10.1088/0953-4075/44/8/081002

⑥ Yuichiro Oguchi, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “Dependence of the generation efficiency of high-order sum and difference frequencies in the extreme ultraviolet region on the wavelength of an added tunable laser field,” J. Phys. Soc. Jpn. **80**, 014301(8 pages) (2011). 査読有り。

DOI: 10.1143/JPSJ.80.014301

⑦ Keita Oda, Masafumi Hita, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “All-optical molecular orientation,” Phys. Rev. Lett. **104**, 213901(4 pages) (2010). 査読有り。

DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.213901

⑧ Yuichiro Oguchi, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “Generation of high-order sum and difference frequencies by adding an intense parallel- and perpendicular-polarized infrared laser field,” Phys. Rev. A **80**, 021804(R)(4 pages) (2009). 査読有り。

DOI: 10.1103/PhysRevA.80.021804

[学会発表] (計 7 1 件)

(うち、国際会議招待講演 1 6 件、国内会議招待講演 2 件)

① Kosaku Kato, Shinichirou Minemoto, Yusuke Sakemi, and Hirofumi Sakai, “Observation of phase difference of near-threshold high-order harmonics generated in nitrogen molecules,” 2014 Annual Meeting of the Spectroscopical Society of Japan and RIKEN International Symposium “The Forefront of Ultrafast Spectroscopy,” Wako, Japan, May 26th, 2014.

(特記事項) 酒井研究室の大学院生であり、特別推進研究に研究協力者として貢献した加藤康作氏が、本発表に対し平成 26 年度日本分光学会年次講演会若手ポスター賞を受賞した(2014 年 5 月 28 日)。加藤氏は、雑誌論文③の内容を含む修士論文等が高く評価され、2011 年 3 月に東京大学大学院理学系

研究科研究奨励賞も受賞している。

②(招待講演) Hirofumi Sakai, “Laser-field-free alignment and orientation of state-selected asymmetric top molecules,” International Symposium on (e, 2e), Double Photoionization and Related Topics & the 17th International Symposium on Polarization and Correlation in Electronic and Atomic Collisions, Hefei, China, August 1st, 2013.

③(招待講演) Hirofumi Sakai, “Laser-field-free orientation of state-selected molecules,” 10th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics, Taipei, Taiwan, October 27th, 2012.

④(招待講演) Hirofumi Sakai, “All-optical molecular orientation and future challenges,” 9th International Conference of Computational methods in science and engineering (ICCMSE 2011), Halkidiki, Greece, October 4th, 2011.

⑤(招待講演) Hirofumi Sakai, “All-optical molecular orientation and future prospects,” International Symposium on Attosecond and Ultrafast Quantum Control (SASQC11), London, UK, September 8th, 2011.

⑥(招待講演) Hirofumi Sakai, “Molecular orientation with an all-optical technique,” The 13th International Symposium of Stereodynamics of Chemical Reactions (Stereodynamics 2010), Santa Cruz, California, USA, December 1st, 2010.

⑦(招待講演: Highlighted Keynote Lecture) Hirofumi Sakai, “All-optical approach to orient gas-phase molecules,” 8th International Conference of Computational Methods in Science and Engineering (ICCMSE 2010), Psalidi, Kos, Greece, October 6th, 2010.

⑧(招待講演) Hirofumi Sakai, “Recent progress in molecular manipulation techniques and their applications,” The 3rd Yonsei-Tokyo Joint Symposium on Condensed Matter Physics, Seoul, Korea, February 12th, 2010.

⑨(招待講演) Hirofumi Sakai, “Molecular manipulation techniques and their applications,” GCOE Workshop on Condensed Matter and Photo Sciences, Tokyo, Japan, October 7th, 2009.

⑩(招待講演) Hirofumi Sakai, “Laser-Field-Free Molecular Orientation,” XXVI International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions (ICPEAC 2009), Michigan, U.S.A., July 23rd, 2009.

⑪(招待講演) Hirofumi Sakai, “Recent progress in the orientational control of gas-phase molecules,” Cold Atoms and Molecules Collisions, Field-Effects, and Applications, Kyoto, Japan, June 24th, 2009.

⑫(招待講演) Hirofumi Sakai, “Controlling the molecular orientation in the laser-field-free

condition,” The Second Conference on Ultra-Fast Dynamic Imaging of Matter, Ischia, Italy, April 30th, 2009.

⑬(招待講演) Hirofumi Sakai, “Recent progress in the control of molecular orientation,” RIKEN International Symposium on Attosecond Science, Wako, Japan, April 3rd, 2009.

〔図書〕(計 1件)

① Yuichi Fujimura and Hirofumi Sakai, “Electronic and Nuclear Dynamics in Molecular Systems,” 181pp. (分担執筆) Section 1.10 “Alignment and Orientation of Molecules,” Chapter 2 “Experimental Setups and Methods,” and Chapter 4 “Molecular Manipulation Techniques with Laser Technologies and Their Applications,” World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. (2011).

〔その他〕

(1) 酒井広文研究室のホームページ

日本語: <http://www.amo-phys-s-u-tokyo.jp/>

英語: <http://www.amo-phys-s-u-tokyo.jp/en/>

(2) Webによる研究成果の発信

雑誌論文 ⑦ Keita Oda, Masafumi Hita, Shinichirou Minemoto, and Hirofumi Sakai, “All-optical molecular orientation,” Phys. Rev. Lett. **104**, 213901(4 pages) (2010)の発表に伴い、プレスリリースを行った。その内容は、「全光学的分子配向制御に成功! レーザー電場のみで分子の頭と尻尾も区別して揃える新技術を開発」というタイトルで <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2010/18.html> に掲載されている。

(3) 新聞掲載

科学新聞、2010年(平成22年)6月4日(金)第4面の科学技術総合欄に、「分子の配向制御を全光学的手法で実現 レーザー電場だけで分子の頭と尻尾を区別 東大」というタイトルで掲載された。

(4) パンフレット

東京大学 理学系研究科・理学部ニュース 2010年9月号 42巻3号 11ページの研究ニュース欄に、「全光学的な手法で気体分子の配向制御に成功」というタイトルで掲載された。発行部数: 7,000部。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 広文 (SAKAI, Hirofumi)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号: 20322034

(2) 連携研究者

峰本 紳一郎 (MINEMOTO, Shinichirou)

東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号: 90323493