

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410020

研究課題名(和文) 単一ナノ粒子計測可能な顕微過渡吸収計測装置の開発とその応用

研究課題名(英文) Development of transient absorption microspectroscopic system for single nanoparticle

研究代表者

石橋 千英 (Ishibashi, Yukihide)

愛媛大学・理工学研究科・助教

研究者番号：10506447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：サイズや形状などに依存して有機材料の反応性が大幅に異なるナノ構造体、特に単一有機ナノ粒子の物性評価には、時間と空間の分解能を併せ持つ単一ナノ粒子分光計測手法が最適である。本研究課題の成果として、蛍光を発しない現象にも適用可能で、かつサブピコ秒の時間分解能を有する顕微過渡吸収測定装置の開発を行った。開発した装置は、貴金属や有機半導体や単一ナノ粒子の励起状態緩和過程の測定に成功し、最小で20 nmの金ナノ粒子を観測でき、その感度は従来の装置と比較して20倍以上増大した。ペリレンナノ粒子においては、サイズ依存してサブピコ秒で起こるエキシマー形成時間が異なることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Single particle microspectroscopy with high time- and space-resolutions is necessary for the evaluation of nanomaterials, especially single organic nanoparticle having a size of a few tens of nm, which reactivity and optical properties depend on the size, shape and local environment. In this study, (1) the ultrafast transient microspectroscopic system was developed in order to examine the excited-state relaxation of non-fluorescent nanomaterials. (2) We succeeded in the detection of transient signals of single metal or organic semiconductor nanoparticle. Especially, (3) we were able to detect the transient signal of single gold nanoparticle even with the diameter of 20 nm, and the back-scattering detection in our setup had the 20-times higher sensitivity than the transmitted-based detection in the conventional setup. (4) We examined the excited state dynamics of perylene single nanoparticle from nanoparticle to nanoparticle, and clarified its size-dependent excimer formation process.

研究分野：レーザー光化学

キーワード：顕微過渡吸収分光 単一ナノ粒子分光 有機ナノ粒子 金ナノ粒子 複合ナノ粒子 励起状態ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

多くの光科学研究分野においてフェムト秒からナノ秒のパルスレーザーを使用した時間分解計測手法が行われているが、その観測領域はマイクロメートルからナノメートル領域の単一分子・粒子へ徐々に狭まっている。従来の計測手法により系全体を観測した場合には、得られる結果は平均値であり、系全体の反応を理解する上では極めて重要である。一方でサブナノメートルの微小領域を観測した場合には、場所、サイズ、形状、分子配向などに依存した反応性の違いが結果として得られ、平均値から大きく外れる特異的な反応にも注目できる。つまり、単一ナノ粒子を一つ一つ計測できる時間分解顕微分光は、ナノ構造をもつ材料の物性評価や微小空間で反応する分子・粒子の機能評価を行う上で欠かせない測定手法である。

これまでにバックグラウンドフリーで高い検出感度を達成できる顕微蛍光分光計測では、既に単一分子や貴金属ナノ粒子の光励起緩和過程を観測し、ナノ構造を持つ材料の機能評価を行った例は非常に多いが、材料の発光/非発光の有無や粒子サイズなどの制約が入る上に、数100ピコ秒程度の時間分解能しかない。一方で、顕微過渡吸収分光は、電子基底・励起状態やイオン状態などあらゆる電子状態の検出が可能である上に、サブピコ秒の時間分解能を有する。つまり、ピコ秒スケールで起こる発光を伴わない現象、例えば、有機半導体では電子移動反応や貴金属では電子-フォノンカップリングなどにも対応できる。しかし、吸収分光では蛍光分光と比較して、感度が低いため、長時間の測定中に試料が光劣化してしまう。そのために有機半導体の単一ナノ粒子での励起状態ダイナミクスを実時間で直接計測した例はなく、新たな顕微分光測定手法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

上記の背景のもと、本研究では、フェムト秒の分解能を持ち、かつ基本的にあらゆる電子状態を検出可能な過渡吸収分光法により微小領域での光励起緩和過程を観測する手法の確立を目的とした。本研究の具体的な目的を以下に示す。

- (1) マイクロメートルサイズの有機微結晶の励起状態ダイナミクスの測定可能な顕微過渡吸収分光計測装置を開発する。
- (2) 貴金属や有機半導体の単一ナノ粒子(粒径~50 nm)を測定可能にするために、後方散乱光を利用した顕微過渡吸収測定装置を開発する。
- (3) 開発した装置を用いてナノ粒子を一つ一つ計測し、サイズや形状などに依存した励起状態ダイナミクスを解明する。

3. 研究の方法

- (1) 顕微過渡吸収分光計測装置の開発(有機微結晶)

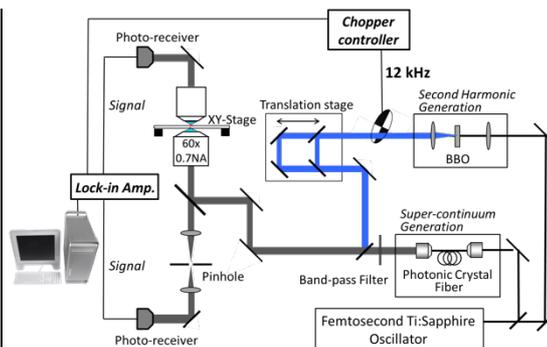


図1 構築した顕微過渡吸収分光測定装置の概略図

構築した顕微過渡吸収分光計測装置の光学系を図1に示す。光源としてのフェムト秒Ti:Sapphireレーザー発振器(82 MHz, 1 W, 795 nm)と、検出光学系としての共焦点配置の光学顕微鏡($\times 100, \times 60$ 対物レンズ)と高感度光検出器とを組み合わせた光学系である。試料破壊を避けるためにレーザー発振周波数を落とすことが可能なPockels Cell(80 MHz \rightarrow 10 kHz)を導入した。またS/N比向上させるために、Boxcar Averager(図中では示していない)を導入した。これにより本装置は500nm~900 nmまでの領域が観測可能で、350 fsの時間分解能と500 nmの空間分解能を有する上に、一回の測定(5分程度の積算時間)でNoiseレベルは 10^{-4} OD程度を達成している。

(2) 顕微過渡吸収分光計測装置の開発(単一ナノ粒子)

研究成果の項で述べるが、(1)の装置を用いてマイクロメートルサイズのルブレ微結晶の測定には成功したが、サイズが小さくなると過渡信号は弱くなり、検出限界となった。そこで、本研究の目標とする50 nm程度単一ナノ粒子を計測するためには、3桁以上感度を向上させる必要がある。そこで、Boxcar averagerに変わり、Lock-in Amplifier(Chopper)を導入した(図1)。試料を透過した光(透過光)を利用した場合では、試料がビーム径(500 nm)よりも少しでも大きくなると迷光の寄与が少なくなるためにLock-in Amplifier(Chopper)を導入しただけでも、2桁程度の感度の向上ができた。しかし、試料がビーム径(500 nm)よりも小さくなると迷光の寄与が一段と大きくなり、信号検出が困難であった。そこで、迷光の影響をなくすために透過光に代わり試料からの後方散乱光を利用した。これにより感度は3桁以上、改善できた(研究成果(2)を参照)。

(3) 単一ナノ粒子のフェムト秒顕微過渡吸収分光

(2)で開発したフェムト秒顕微過渡光散乱分光測定装置を用いて、単一ナノ粒子の測定を行った。まずは粒径が20、40、100 nmの単一金ナノ粒子の測定を行い、(2)の装置の評価を行った。次に芳香族化合物の一つであるペリレン単一ナノ粒子の励起状態ダイナミクスの測定を行った。

4. 研究成果

(1) 顕微過渡吸収分光計測装置の開発 (有機微結晶)

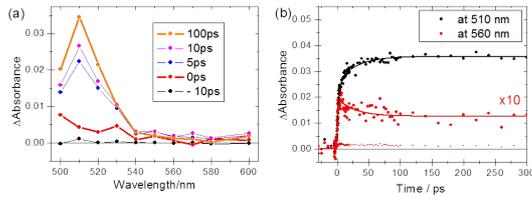


図 2 (a)ルブレン微結晶の過渡吸収スペクトル。(b)510 nm 及び 560 nm における過渡吸光度の時間変化。実線はパルス幅を考慮したコンボリューションカーブである。

有機微結晶として Singlet fission (1つの励起一重項分子が隣接する基底状態分子とエネルギーを共有して2つの励起三重項分子が生成する過程)を起すルブレンの測定を行った。図 2(a)に励起波長 400 nm でのルブレン微結晶の過渡吸収スペクトルを示す。励起後 5 ps では 510nm に励起三重項の吸収が観測され、励起後 100 ps 以降ではその形状に大きな変化はなかった。励起三重項の生成過程を観測波長 510 nm 及び 560nm にて調べたところ (図 2(b))、時定数 2ps と時定数 30 ps の二成分で生成する (Singlet fission が起こる) ことがわかった。これらの結果は、L. Ma らが測定した結果と類似していた [*Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2012, 14, 8307]。

しかし、高密度に分子パッキングしている結晶系を測定する上では、励起一重項-励起一重項消滅過程に代表される励起状態分子間での相互作用の効果を無視することができない。そこで、励起三重項生成過程に対する励起光強度依存性を調べた。図 3 にルブレン微結晶における 510nm での過渡吸光度の時間変化に対する励起光強度依存性の結果を示す。励起光強度の増大に伴い、三重項生成の速度は速く (時定数は短く) なり、三重項生成量も増大した。図 3(b)に示すように励起光強度に対して時定数の減少は、励起一重項-励起一重項消滅過程の寄与が第一の理由に挙げられるが、この場合、励起三重項の生成量は励起光強度に対して減少及び飽和傾向を示す。しかし、励起三重項の生成量は励起光強度に対して線形増大を示した。これは、励起一重項-励起一重項消滅過程が原因ではないことを意味する。そこで、光励起による振動余剰エネルギーが

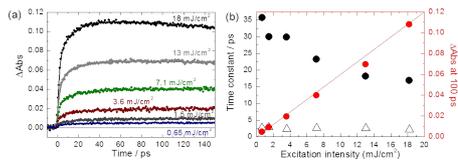


図 3 (a)ルブレン微結晶における観測波長 510nm での過渡吸光度の時間変化に対する励起光強度依存性。(b)励起光強度に対する三重項生成の時定数変化 (黒丸) と 510nm における過渡吸光度の変化 (赤丸)

照射体積の局所温度を瞬間的に上昇させていると考え、励起三重項生成速度に対する温度効果を調べた。その結果、温度上昇に伴い、励起三重項の生成速度は速く (時定数が短く) なった。したがって、励起光強度の増大に伴い励起三重項の生成が速くなる原因は、励起光により生じた振動余剰エネルギーが局所的に結晶の温度を上昇させ、励起一重項と励起三重項との間にある小さな活性化障壁 (-0.05 eV) を超えやすくさせていると考えられる。上記の結果は、現在、論文投稿中である。

(2) 顕微過渡吸収分光計測装置の開発 (単一

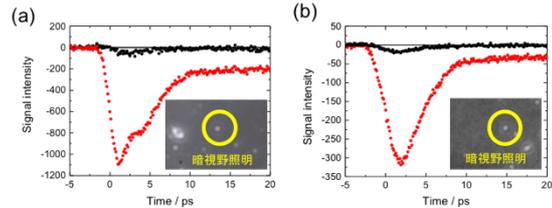


図 4 (a)粒径 100 nm 及び(b) 20nm の単一金ナノ粒子の過渡吸光度の時間変化。黒丸と赤丸は、それぞれ透過光測定モードと後方散乱光測定モードの結果である。図中の画像は、金ナノ粒子の暗視野像である。黄色のサークル中の金ナノ粒子を実際に測定した。

ナノ粒子)

粒径が 50 nm 程度の単一ナノ粒子を計測するために後方散乱光を利用した顕微過渡分光測定装置を開発した。本研究で開発した装置が従来の測定装置と比較して高感度を有していることを証明するために、100nm の金ナノ粒子を用いて比較実験を行った。その結果を図 4(a)に示す。励起波長は 395nm であり、観測波長は粒径 100nm の金ナノ粒子の共鳴プラズモンバンドのある 540nm に調節した。図から明らかなように、後方散乱光の方が約 30 倍高感度に測定が行えている。さらに小さな粒径 20nm の単一金ナノ粒子においても同様に (図 4(b))、後方散乱光を利用した方が約 20 倍高感度に測定を行うことができた。これらの結果は、光劣化しやすく、かつ微弱な過渡吸収信号を有する有機ナノ粒子の測定を可能にすることを意味する。

以上、本研究において開発した顕微過渡吸収分光測定装置は、既に報告例のある透過光を利用した装置と比較して最大で約 20 倍高感度を有することがわかった。

(3) 単一ナノ粒子のフェムト秒顕微過渡吸収分光

(2)の結果から、後方散乱光を利用することにより、高感度に測定が可能であることを示した。そこで、本研究課題の最終目標である単一有機微結晶 (ナノメートルからサブマイクロメートルサイズ) の測定を試みた。試料は、二つのペリレンが向き合うサンドイッチ構造を有する α 型ペリレン結晶を用いた。

図 5 にサブマイクロメートルのペリレン結晶に対する測定結果を示す。図 5(a) のペリレン微結晶の暗視野像から観測対象は 600 nm の粒径を有することがわかった。図 5(b)に励

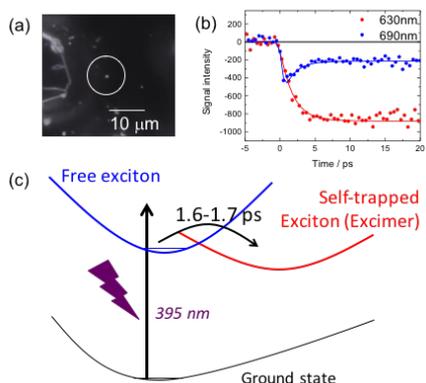


図 5 (a)ペリレン結晶の暗視野像。図中、白色のサークル中の金ナノ粒子を実際に測定した。(b)630 nm 及び 690 nm におけるペリレン結晶の過渡吸光度の時間変化。(c)測定から明らかになったペリレン結晶のエキシマー生成過程。

起波長 395nm における観測波長 630nm 及び 690nm での過渡信号の時間変化を示す。690nm では Monomeric な励起一重項状態の吸収は時定数 1.6 ps で減少し、一定成分を残した。一方、エキシマーに由来した過渡信号がある 630nm では、時定数 1.7ps で単調に増大した。これらの結果から、サブマイクロメートルのペリレン結晶では約 2 ps でエキシマーが形成していることがわかった。その反応過程を図 5(c)にまとめた。

さらにペリレン結晶のエキシマー生成過程に対するサイズ効果を調べるために、再沈殿法によりペリレンナノ粒子コロイドを作製した。このコロイドは、平均粒径は 170nm で粒径分布は 50nm~500nm である。図 6(a)に測定結果の一例を示す。観測波長は 630nm である。図 5(b)と同様にエキシマー形成の時間変化を測定することができた。この結果から、本測定装置が、単一の有機ナノ粒子の計測に適していることを証明できた。次に、20個のナノ粒子を測定し、サイズ依存性を調べた。図 6(b)に代表的な3つナノ粒子の時間変化を示

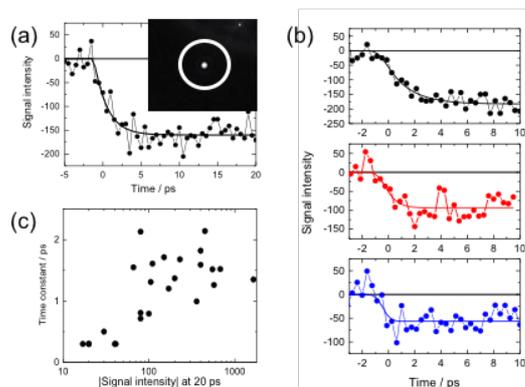


図 6 (a)代表的なペリレンナノ結晶のエキシマー形成の時間変化。図中は測定したペリレンナノ結晶の暗視野像。(b)観測波長 630 nm における異なる粒径のペリレン結晶の過渡吸光度の時間変化。実線はパルス幅を考慮に入れた単一指数関数で解析した結果を示す。(c)エキシマー形成の時定数と励起後 20ps における過渡信号強度の相関図。

す。どれも類似の時間変化を示したが、数値解析を行った結果、上から、2.0 ps、1.1 ps、0.35 ps と時定数が異なることがわかった。単純に信号強度は粒径サイズに比例すると考えられるので、20個のナノ粒子に対して、エキシマー形成の時定数と励起後 20ps での信号強度の関係を調べ、図 6(c)にまとめた。その結果、信号強度の減少に伴い、時定数が減少する傾向にあることがわかった。つまり、サイズの減少に伴いエキシマー形成の時定数が短くなると考えられる。以上の結果をまとめると、エキシマー形成は、結晶サイズに強く依存し、粒径が小さくなると、エキシマー形成が速くなることがわかった。上記の内容は、現在論文投稿中である。

本研究において、後方散乱光を利用した顕微過渡吸収測定装置を開発し、従来の透過光を利用した装置よりも約 20 倍高感度に測定が可能となり、20nm の金ナノ粒子や数 100 nm の有機ナノ粒子の光励起緩和過程を調べることができた。

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 6 件)

① Y. Ishibashi, T. Umesato, M. Fujiwara, K. Une, Y. Yoneda, H. Sotome, T. Katayama, S. Kobatake, T. Asahi, M. Irie and H. Miyasaka, Solvent Polarity Dependence of Photochromic Reactions of a Diarylethene Derivative as Revealed by Steady-State and Transient Spectroscopies. *J. Phys. Chem. C*, 査読有, Vol. 120, 2016, pp. 1170-1177.

DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b08504

② Y. Ishibashi, T. Katayama, H. Saito, K. Yamanaka, Y. Goto, T. Tani, T. Okada, S. Inagaki, and H. Miyasaka

Cooperative Conformational Change and Excitation Migration of Biphenyl-PMO Amorphous Film, as Revealed by Femtosecond Time-resolved Spectroscopy.” *J. Phys. Chem. C*, 査読有, Vol. 118, No. 18, 2014, pp. 9419-9428

DOI: 10.1021/jp502734u

③ T. Yamaguchi, M. Hosaka, K. Shinohara, T. Ozeki, M. Fukuda, S. Takami, Y. Ishibashi, T. Asahi, M. Morimoto

Photochromism and fluorescence properties of 1,2-bis(2-alkyl-1-benzothiophene-3-yl)perhydrocyclopentenes. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, 査読有 Vol. 285, 2014, pp. 44-51.

DOI: 10.1016/j.jphotochem.2014.04.007

④ 宮坂博・石橋千英、多重励起・多光子過程を用いた光化学応答、協会誌「光化学」、査読無、3 巻 (2014) pp. 122-129.

http://photochemistry.jp/journal_j/doc_journal_j/vol145_3J.pdf

⑤ L. H. Arma, A. Saitoh, Y. Ishibashi, T. Asahi, Y. Sueoka, M. Sakakibara, and H. Takebe, *Optical Materials Express (OME)*, 査読有 Vol. 4, 2014, pp. 1813-1823.

DOI: 10.1364/OME.4.001813

⑥ 石橋 千英、過渡吸収分光計測の応用: 集団計測から単一粒子計測へ、機関紙ぶんせき、査読無、4月号(2013) pp. 219.

<http://www.jsac.or.jp/bunseki/201304.html>

[学会発表] (計33件)

① 石橋千英・白石航也・北川陽菜・朝日 剛、金ナノ粒子と有機ナノ粒子からなる混合凝集体の分光特性、日本化学会第96春季年会同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)、2016年3月24日-27日

② 鹿間孝太・木原 諒・石橋千英・朝日 剛、時間分解分光によるペリレン微結晶の水中レーザーアブレーション機構の検討、日本化学会第96春季年会 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)、2016年3月24日-27日

③ 高屋智久・小田達也・東 達也・下元浩晃・伊藤大道・石橋千英・朝日 剛・岩田耕一・井原栄治、ポリ(ピレン置換メチレン)に集積したピレンのエキシマー形成ダイナミクス、日本化学会第96春季年会 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)、2016年3月24日-27日

④ 渡部智大・佐々木志乃・石橋千英・深港豪・朝日 剛、蛍光性ジアリールエテン誘導体/ベンゾチアゾール混合ナノ粒子の蛍光挙動、日本化学会第96春季年会 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)、2016年3月24日-27日

⑤ 増田圭佑・石橋千英・朝日 剛、再沈殿法により作製したジアリールエテンナノ粒子のフォトクロミック反応挙動、日本化学会第96春季年会 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)、2016年3月24-27日

⑥ Y. Ishibashi, Y. Ogura, H. Miyasaka, T. Asahi, Multiphoton cycloreversion reaction of diarylethene nanoparticles. The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, Honolulu, USA, 2015年12月15日-20日

⑦ 川崎遼・北川陽菜・石橋千英・朝日 剛、金ナノ粒子凝集体のフェムト秒顕微過渡吸収分光、2015年日本化学会中国四国支部大会 岡山大学津島キャンパス(岡山県岡山市)、2015年11月14日-15日

⑧ 石橋千英・朝日 剛、ペリレン単一ナノ結晶のフェムト秒顕微過渡吸収分光、第9回分子科学討論会 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区)、2015年9月16日-9月19日

⑨ 鹿間孝太・石川貴之・石橋千英・朝日 剛、水中に分散したペリレン微結晶のナノ秒パルスレーザー励起過渡温度上昇、東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区)、2015年9月16日-9月19日

⑩ 石橋千英・増田圭佑・小倉由美・宮坂 博・朝日 剛、ジアリールエテンナノ粒子コロイドのフォトクロミック挙動、2015年光化学討論会(大阪) 大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府大阪市)、2015年9月9日-9月11日

⑪ Y. Ishibashi, Y. Inoue, and T. Asahi, Excited-state Dynamics in Solid Rubrene by Sub-ps Transient Microspectroscopy: Excitation Intensity and Temperature Dependences., ICP2015 (27th International Conference on Photochemistry), International Conference Center (ICC JEJU), Jeju, Korea, 2015年6月28日-7月3日

⑫ 石橋千英・小倉由美・片山哲郎・宮坂 博・朝日 剛、再沈殿法で作製したジアリールエテンナノ粒子の反応ダイナミクス、日本化学会第95春季年会 日本大学理工学部船橋キャンパス/薬学部(千葉県船橋市)、2015年3月26日-29日

⑬ 朝日 剛・鹿間孝太・石川貴之・木原 諒・石橋千英、水中における有機微結晶のナノ秒レーザー加熱のダイナミクス、レーザー学会学術講演会第35回年次大会、東海大学高輪校舎(東京都港区)、2015年1月11日-12日

⑭ 井上泰徳・石橋千英・朝日 剛、顕微過渡吸収分光によるルブレン微結晶の励起-重項分裂の解明、2014年日本化学会中国四国支部大会(山口)(山口県山口市) 2014年11月8日-9日

⑮ 近藤兼司・石橋千英・山中健一・後藤康友・稲垣伸二・朝日 剛、蛍光色素分子のメソポーラス有機シリカへの吸着挙動、2014年日本化学会中国四国支部大会(山口)(山口県山口市) 2014年11月8日-9日

⑯ 石橋千英・井上泰徳・朝日 剛、顕微過渡吸収分光によるルブレン結晶の励起状態ダイナミクス、2014年光化学討論会(北海道) 北海道大学札幌キャンパス、札幌市、2014年10月11日-13日

⑰ 小倉由美・石橋千英・朝日 剛、スピロナフトオキサジンナノ粒子の作製とフォトクロミック反応、2014年光化学討論会(北海道) 北海道大学札幌キャンパス、札幌市、2014年10月11日-13日

⑱ 石橋千英・森 隆輔・岡 隼也・朝日 剛、二成分の有機ナノ粒子からなる混合凝集体の作製、第8回分子科学討論会 広島大学東広島キャンパス(広島県東広島市)、2014年9月21日-24日

⑲ 鹿間孝太・石川貴之・石橋千英・朝日 剛、高強度ナノ秒レーザー励起によるペリレンビスイミドナノ粒子の過渡温度上昇、二成分の有機ナノ粒子からなる混合凝集体の作製、第8回分子科学討論会 広島大学東広島キャンパス(広島県東広島市)、2014年9月21日-24日

⑳ 朝日 剛・石川貴之・鹿間孝太・石橋千英、時間分解蛍光分光による有機微結晶の液中レーザーアブレーション機構の検討、第8回分子科学討論会、広島大学東広島キャンパス(広

島県東広島市)、2014年9月21日-24日
21 Y. Ishibashi, Y. Inoue, O. Udaka, T. Asahi, Transient Light-Scattering Microspectroscopic Study on Single Perylene Nanoparticle XXVth IUPAC Symposium on Photochemistry, Palais des Congrès, Bordeaux, France, 2014年7月13日-18日
22 T. Ishikawa, K. Shikama, Y. Ishibashi, T. Asahi, Time-resolved fluorescence study on pulse laser fragmentation of perylene microcrystals in water, 3rd Conference on Advanced Nanoparticle Generation and Excitation by Lasers in Liquids (ANGEL2014), JAL City Matsuyama, Matsuyama, Ehime, 2014年5月19日-21日
23 Y. Ishibashi, M. Arinishi, T. Asahi, Excited state relaxation process of fullerene C60 nanoparticles prepared by laser fragmentation in water, 3rd Conference on Advanced Nanoparticle Generation and Excitation by Lasers in Liquids (ANGEL2014), JAL City Matsuyama, Matsuyama, Ehime, 2014年5月19日-21日
24 石橋千英・朝日 剛、ペリレン単一ナノ粒子のサブピコ秒過渡吸収顕微分光、2014年日本化学会第94春季年会 名古屋大学東山キャンパス (愛知県名古屋市)、2014年3月27日-30日
25 小倉由美・石橋千英・朝日 剛、スピロオキサジンナノ粒子コロイドのフォトクロミック反応、2014年日本化学会第94春季年会 名古屋大学東山キャンパス (愛知県名古屋市)、2014年3月27日-30日
26 井上泰徳・石橋千英・朝日 剛、ルブレン単一微結晶の顕微過渡吸収分光、2014年日本化学会第94春季年会 名古屋大学東山キャンパス (愛知県名古屋市)、2014年3月27日-30日
27 石橋千英、フェムト秒顕微過渡吸収分光システムの開発、2013年日本化学会中国四国支部大会、広島大東広島キャンパス (広島県東広島市)、2013年11月16日-17日 (招待講演)
28 石橋千英・宇高 修・朝日 剛、ピロメリット酸二無水物をアクセプターとする電荷移動錯体結晶のサブピコ秒過渡吸収顕微分光、第7回分子科学討論会2013京都、京都テルサ (京都府京都市)、2013年9月24日-27日
29 朝日 剛・有西未耶・石橋千英、液中レーザーアブレーションによるフラーレンナノ粒子コロイドの生成と分光特性、第7回分子科学討論会2013京都、京都テルサ (京都府京都市)、2013年9月24日-27日
30 石橋千英、単一微結晶を対象とした顕微過渡吸収分光計測、2013年光化学討論会、愛媛大学城北地区 (愛媛県松山市)、2013年9月11日-13日 (招待講演)
31 宇高 修・石橋千英・朝日 剛、サブピコ秒顕微過渡吸収分光法による電荷移動錯体微結晶の励起状態ダイナミクス、2013年光化学討論会、愛媛大学城北地区 (愛媛県松山市)、

2013年9月11日-13日
32 Y. Ishibashi, O. Udaka, T. Asahi, Ultrafast Light Scattering Microspectroscopic Studies on Single Organic Microcrystals, International Conference on Photochemistry (ICP2013) KU Leuven, Leuven, Belgium, 2013年7月21日-26日
33 T. Asahi, Y. Ogura, Y. Ishibashi, Photochromic Reaction of Diarylethene Derivatives Nanoparticles, International Conference on Photochemistry (ICP2013) KU Leuven, Leuven, Belgium, 2013年7月21日-26日

[図書] (計1件)

(1) “Ultrafast Dynamics and Mechanisms of One-Photon and Multiphoton Photochromic Reactions.”
Y. Ishibashi, T. Katayama, and H. Miyasaka
Chapter 12 in “New Frontiers in Photochromism”, Springer Japan (2013) pp 225-246.

[産業財産権]
なし

[その他]
ホームページ等
<http://www.ach.ehime-u.ac.jp/anachem/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
石橋 千英 (ISHIBASHI, Yukihide)
愛媛大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号：10506447

(2) 連携研究者
朝日 剛 (ASAHI, Tsuyoshi)
愛媛大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：20243165