

令和 4 年 5 月 28 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05211

研究課題名（和文）フェムト秒顕微過渡吸収イメージング分光による光-熱変換ダイナミクスの解明

研究課題名（英文）Study on photothermal conversion dynamics by means of femtosecond transient absorption imaging microspectroscopy

研究代表者

石橋 千英 (ISHIBASHI, Yukihide)

愛媛大学・理工学研究科（工学系）・講師

研究者番号：10506447

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：ナノメートルからマイクロメートルサイズの単一有機結晶の励起状態ダイナミクスを測定可能なフェムト秒ポンププローブ顕微イメージング分光装置の開発を行い、サイズや形状に沿った光エネルギーの流れを可視化することに成功した。さらに、有機ナノ粒子コロイドにおける光熱変換過程を明らかにし、貴金属ナノ粒子とは異なる熱化過程をすることがわかった。またレーザー加熱と光反応がカップルした新奇光協同現象も見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光吸収によって発生した熱は分子光デバイスの性能に影響を与えるので、本研究の成果である有機ナノ固体における熱化過程を詳細な解明は、デバイスを設計する上で重要な基礎情報を与える。またレーザー光照射によって迅速な加熱とその熱の手助けによって光反応効率が大幅に増大する現象を見出しており、これは複数の光子と複数の分子による光協同現象として捉えることができ、新たな光エネルギー利用方法の観点から評価が高い。

研究成果の概要（英文）：We developed a femtosecond pump-probe microspectroscopic imaging in order to explore excited-state dynamics in a single organic crystal with nanometer to micrometer size. We succeeded in visualizing excitation energy transfer along the shape and the size of the crystal. We then found out that the photothermal conversion process in organic nanocolloids and the organic nanoparticles showed a different thermalization process from novel nanoparticles. Moreover, we discovered new photo-synergetic phenomena coupled with laser heating and photochemical reaction in a nanoparticle.

研究分野：物理化学

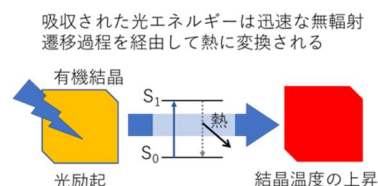
キーワード：時間分解ナノ分光 有機ナノ結晶 光熱変換過程 光協同現象

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

分子集合系は、隣接分子間距離が近く、基底状態分子間や励起状態分子間の相互作用や制限された空間内での分子運動・構造変化が光応答に影響するので、溶液中の分子分散系とは異なる光反応挙動を示す。そのため、1つの励起状態分子が隣接基底状態分子とエネルギー共有し、複数の励起状態分子を生成したり、その逆に複数の励起分子から1つの分子へエネルギーを集約することで、より高い光エネルギーを有する励起状態分子を生成したりする。また光子密度の高いレーザーパルス分子集合体に照射した場合には、隣接する分子が同時に光励起されるために、励起状態分子間での1錯形成の他に、分子振動が同調し協同的な分子構造変化が起こる。これらの現象は、次世代の光エネルギー利用方法として注目を集めている。

一方で、固体中の励起状態分子は、吸収した光エネルギーを無輻射遷移により熱として放出され、その結果、光照射体積周辺の温度が瞬間的に上昇するといった過渡加熱効果も上記の反応とともに起こる(図1)。このレーザー過渡加熱は、有機固体をナノ粒子化する液中レーザーアブレーション法や熱による体積膨張が引き起こす音響波を用いた光音響イメージング法などで積極的に利用されるが、多接合型太陽電池などの光デバイスにおいて、電気に変換されない未利用光は熱となり、性能低下の原因となったり、生体内で使用される光ピンセットにおいても試料のわずかな温度上昇がトラッピング効率に悪影響を及ぼしたりする。



吸収された光エネルギーは迅速な無輻射遷移過程を経由して熱に変換される

過渡的な局所加熱 (過渡温度上昇)
Ex: 銅フタロシアニンナノワイヤー
 $\Delta T = 30K @ 1mJ/cm^2$

図1 有機結晶中で起こる光熱変換による結晶温度上昇

上記の固体特有の光応答過程をナノスケールのデバイスなどに応用する場合、励起光強度の強弱に関わらず、光吸収によって発生した熱はナノデバイスの性能に影響を与えることになるので、放熱や吸熱といった熱管理や熱発生から熱輸送・伝搬、その緩和過程の把握は、デバイスを設計する上で必要不可欠である。これまでに nm から μm スケールでの熱伝導率は、熱抵抗や AC 加熱 (3 ω 法) やラマンサーモグラフィなどの分光手法により調べられてきたが、局所的な構造に関するダイナミックな情報は得られていない。

これらの問題を克服するためには、フェムト秒ポンプ-プローブ顕微分光手法が有効な手法になりうる。この手法は、基底・励起状態、イオン種、ラジカル種などあらゆる過渡中間種を高い空間分解能で観測できるので、ナノ構造体の形状と光-熱変換ダイナミクス (熱発生、熱輸送・伝搬とその冷却過程) との相関を明らかにできる。さらに、レーザー照射によって結晶温度が高温になるまでの時間や温度保持時間などの基礎情報も獲得できる。もしレーザー光により結晶の温度を上昇させ、その温度が保持されている間に光反応を起こすことができれば、定常光照射と比較して光反応が効率よく進行する (光反応収率の向上) ことが期待できる。このような背景で、本研究は、nm から μm サイズでの有機固体の光-熱変換ダイナミクス (熱発生・輸送伝搬・冷却) の解明と、レーザー過渡加熱と光反応がカップルした新たな協同的光現象の提案を試みた。

2. 研究の目的

本研究では、nm から μm サイズの1つの有機結晶を観測対象としたフェムト秒ポンプ-プローブ顕微イメージング分光装置の開発し、微小領域での光照射による熱化過程を詳細に解明すること、さらにはレーザー過渡加熱を利用した新たな光協同効果の発現を目的とした。本研究の具体的な目的を以下に示す。

- (1) nm から μm サイズの有機結晶の励起状態ダイナミクスの測定可能なフェムト秒顕微過渡吸収イメージング装置を開発する。
- (2) 有機ナノ結晶中における光照射による熱化初期過程を解明する。
- (3) 迅速な光熱変換過程を利用した有機フォトリソミックナノ粒子における光反応収率の非線形増大機構を解明する。

3. 研究の方法

フェムト秒ポンプ-プローブ顕微イメージング分光

構築したフェムト秒ポンプ-プローブ顕微イメージング分光装置の光学系を図2に示す。フェムト秒 Ti:Sapphire レーザー発振器 (82 MHz, 1 W, 795 nm) を光源とし、そのレーザー発振器の基本波を二つに分けた。1つの基本波を BBO 結晶に集光することにより第二高調波 (397 nm) を発生させ、励起光として用いた。励起光は光学遅延発生装置を通った後、倒立型光学顕微鏡 (IX-70, オリンパス) に導かれ、対物レンズ (100倍あるいは60倍, オリンパス) により試料に集光した。もう一方の基本波は長さ 80 cm のフォトニック結晶ファイバに集光し、発生したフェムト秒白色光 (490-760 nm) を観測光として用いた。バンドパスフィルター (バンド幅 10 nm) により適切な観測波長に選択した観測光は、励起光と同軸で同じ対物レンズにより試料に集光した。開発した測定装置では、試料を透過した光を検出する透過光検出モードと、試料からの後方散乱光を検出する後方散乱光検出モードの2つを選択できる。前者は、集光面積よりも大きな

サイズの微結晶が対象で、光の回折限界よりも小さな単一のナノ結晶を測定する場合は後者を用いる。どちらの検出モードでも、観測光の光強度は、高感度アバランシェフォトダイオードと、励起光の光路に配置したオプティカルチョッパーの回転周波数と同期したロックインアンプとの組み合わせで光強度を検出した。加えて、過渡信号イメージ測定を可能にするために、光学顕微鏡にX Y Z 軸の3軸方向に対して制御可能なピエゾステージを導入した。各点での過渡信号強度の時間変化を測定し、自作の制御・解析プログラム(LabVIEW2020, National instruments)にて任意の遅延時間における過渡信号強度イメージを出力できるようにした。

測定システムの性能を以下にまとめた。
 励起波長：397 nm
 観測波長：490 - 760 nm
 パルス幅：350 fs fwhm
 集光ビーム直径：700 nm fwhm
 フルエンス：0.02 - 1.5 mJ cm⁻²
 XY 軸の分解能：500 nm
 Z 軸の分解能：1.0 μm

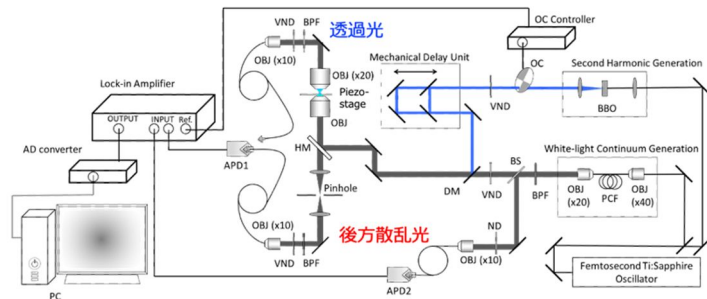


図2 構築したフェムト秒ポンプ-プローブ顕微イメージ分光装置

フェムト秒過渡吸収測定

コロイドや溶液は、ナノ結晶や微結晶と異なり、試料の攪拌が可能である。そのためコロイドや溶液の励起状態ダイナミクスの測定には、従来のフェムト秒過渡吸収測定装置を用いた。増幅したフェムト秒パルスレーザーを光源とし、励起光は光パラメトリック発振装置を介して任意の波長に変換した。また観測光は、基本波を CaF₂ ガラスプレートに集光して発生させたフェムト秒白色光を用いた。透過した光を分光器付 CCD カメラにて光強度検出し、スペクトルとして出力した。

高強度ナノ秒パルスレーザー照射条件下でのナノ粒子コロイドの光反応測定

高強度ナノ秒パルスレーザーを1パルス照射して起こる有機ナノコロイドのフォトクロミック反応を調べるために、図3の光学系を構築した。ナノ秒 YAG レーザー発振器の第二高調波 (10 Hz, 400 mW, 532 nm) を励起光として用いた。試料を一樣に励起するために、凹レンズと凸レンズを組み合わせることで光束径を拡大し、シリンドリカルレンズにて試料に集光した。試料セルにはセミマイクロセル (幅 1 cm, 厚み 0.4 cm) を用いて集光面積に依じて試料の量を調節した。今回は、集光面積が 0.275 cm² であり、試料は 0.11 mL とした。レーザー照射直後の吸光度変化を調べるために、励起光に対して垂直方向側からハロゲンランプの光を導入し、USB 分光器モジュールにて透過光強度を検出し、吸収スペクトルを得た。

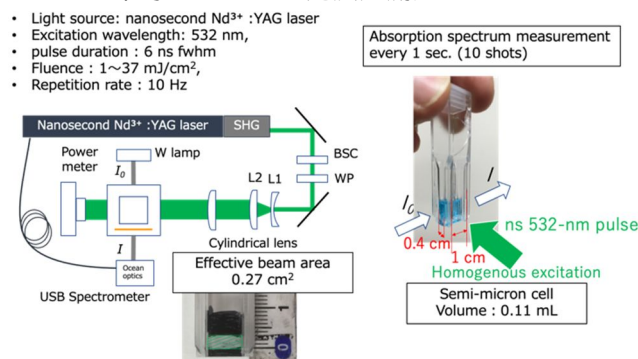


図3 高強度ナノ秒レーザーパルス照射光学系と測定条件

4. 研究成果

(1) nm から μm サイズの有機結晶の励起状態ダイナミクスの測定可能なフェムト秒顕微過渡吸収イメージング装置の開発

研究の方法で詳述したフェムト秒ポンプ-プローブ顕微イメージング分光装置を用いて、まずは、透過光検出モードを用いて、有機微結晶の励起状態ダイナミクスの測定を試みた。観測対象となる有機微結晶として Singlet fission (1つの励起三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、SF) を起こすルブレンを用いた。ルブレン微結晶は、石英基板上で再結晶して得られた 10 μm サイズの単結晶を得た (図4a)。図4bに、ルブレン微結晶の2次元マッピング計測の結果を示す。ここでは、観測波長を励起三重項状態の吸収が観測される 510 nm とし、遅延時間は SF により三重項生成が観測される 30 ps とした。結晶の透過光像をみても、干渉縞は画像として得られておらず結晶面は平坦に見える。しかし、過渡信号 2D マッピング画像からは、大部分は同じ過渡信号強度が得られているが、結晶のエッジ部分では信号強度が弱くなる傾向にあった。3つの観測位置での時間変化を図4cに示す。この時間変化から励起三重項生成の速度定数を求めると、信号強度が強い部分(結晶中心部)では (18 ± 3) ps であるのに対し、弱い部分(エッジ)では (16 ± 4) ps であり、三重項生成速度はエッジ部分では速くなると考えられる。より詳細な測定と解析が必要になるが、エッジ部

分では中心部と比べて分子配列が乱れ、三重項が生成しやすい状態となり速く生成することが示唆される。

次に集光ビーム径よりも小さな結晶に対しては、後方散乱光検出モードを用いた。装置の空間分解能を把握するために、粒径 100 nm の金ナノ粒子を分散させた PVA 乾固膜を用いて過渡信号マッピング計測を試みた。遅延時間は励起後 2 ps とし、観測波長はプラズモンバンドのブリーチ信号に対応する 530 nm とした。またステージは X-Y 軸で掃引し、100 nm 間隔で 4 μm 四方で測定した。図中の白線のラインプロファイルから空間分解能を見積ると、60 倍対物レンズで 300 nm であった。また 100 倍対物レンズを用いた場合、170 nm となり、光の回折限界と同程度であった。この結果は、後方散乱光検出モードでは、集光ビーム径よりも小さな単一有機結晶の過渡吸収信号のマッピング計測が可能であることを示す。実際に、銅フタロシアニンナノ結晶の凝集体における過渡吸収信号マッピングを調べて、励起子拡散の可視化を試みた(図 4 e)。遅延時間が経過するにつれて、過渡信号がナノ結晶の凝集体に沿って広がっていく様子がわかる。つまり、励起後 100 ps までに励起子が数 10nm のスケールで拡散していることが示唆された。このように励起子拡散過程を可視化するように、現在、光熱変換過程によって生じた熱が拡散する様子を試みている。

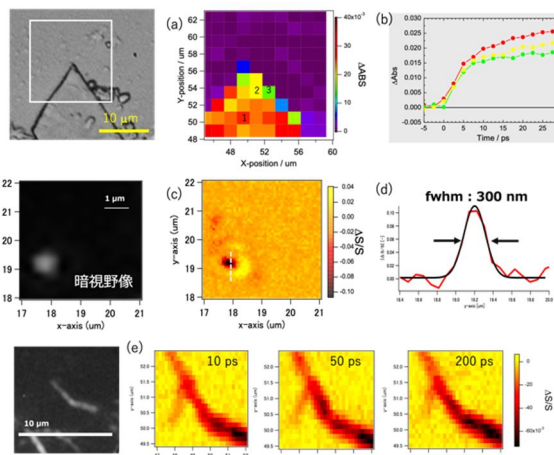


図 4 (a)ルプレ微結晶における励起後 30 ps での過渡吸光度マッピング。(b) 3 点における時間変化。(c) 単一金ナノ粒子の励起後 2 ps での過渡信号マッピング。(d) マッピングの白線のラインプロファイル。(e) 励起光強度 100 mJ/cm² における銅フタロシアニンナノロッド凝集体における過渡信号マッピングの経時変化。

(2) フェムト秒過渡吸収測定による有機ナノコロイドにおける光熱変換初期過程の解明

有機結晶中における光熱変換によって発生した熱の伝搬過程を可視化するためには、その初期段階である光励起後の緩和過程を調べる必要がある。ここでは、試料としてキナクリドン(QA)のナノ粒子コロイド(粒径 40 nm と 100 nm)を用い、フェムト秒過渡吸収分光法により励起状態緩和ダイナミクスを調べた(図 5)。励起後 0.5 ps で観測された励起状態吸収は時定数 1 ps で減衰した。励起後 100 ps では新たな吸収帯が観測され、それ以降、スペクトル形状が変わることなく減衰した。励起後 10 ns では三重項に由来するスペクトル形状が観測された。励起後 100 ps における“差”過渡吸収スペクトル(三重項成分を差し引いた)は、ナノ粒子コロイド全体を温めて得られる定常温度差スペクトルと一致した(図 5 c)。つまり、励起後 100 ps で現れた吸収帯は、基底状態のホットバンドであると帰属でき、フェムト秒パルスによってナノ粒子全体が加熱されることが確認できた。ホットバンドの生成および減衰の時間変化から(図 5 d) ナノ粒子全体が温まるまでの時定数は 40 ps であり、周囲の水によって冷却されて元の温度に時定数は 380 ps であることがわかった。また最高到達温度は、45 (20 上昇)と見積もることができた。QA ナノ粒子からは発光が観測されない上に、励起分子は基底状態に時定数 1 ps で失活する際に熱を放出するので、ナノ粒子の温度は熱放出と同じ時間スケールで上昇することが期待できる。実際は、ナノ粒子全体が温まる(定常温度になる)までに時間差が生じることがわかった。この時間差は、金ナノ粒子では観測されておらず、有機ナノ粒子にのみで現れると考えられ、励起分子に隣接する分子への熱伝導効率や振動エネルギー移動速度の違いが影響していることが示唆される。また粒子全体が温まるまでの時間および到達温度はナノ粒子のサイズには依存しなかったが、冷却時間は粒子サイズに依存し、粒径

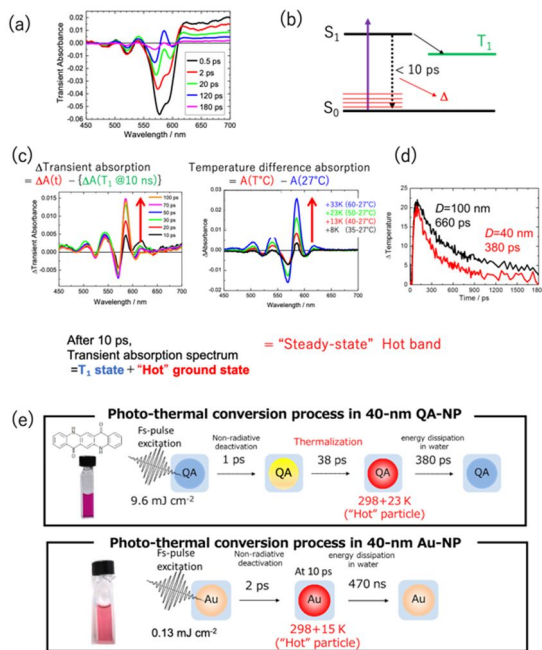


図 5 (a) QA ナノ粒子コロイドの過渡吸収スペクトル。(b) 励起状態緩和スキーム。(c) 差過渡吸収スペクトルから得られるホットバンドと温度差スペクトルの形状比較。(d) フェムト秒レーザー照射による QA ナノ粒子の温度に対する時間変化。(e) QA ナノ粒子(粒径 40 nm)と金ナノ粒子(粒径 40 nm)の光熱変換過程。

が大きい方が冷却時間が遅くなることがわかった。この冷却時間のサイズ効果は、既報の金ナノ粒子と同じであった。上記の内容は、現在論文投稿中である。

(3) 迅速な光熱変換過程を利用した有機フォトクロミックナノ粒子における光反応収率の非線形増大機構を解明する。

有機ナノ粒子における光熱変換初期過程では、(2)で述べたようにナノ粒子全体が温まる(定常温度になる)までに数 10 ps の時間を要する。これは、励起状態寿命が数 ps であることから、励起分子が緩和した直後の分子の温度は非常に高温であり、その熱エネルギーを隣接する分子へ受け渡していくことで、ナノ粒子全体が温まることが予測できる。もしナノ粒子中で発生した熱により局所的にかつ瞬間的に高温化(レーザー過渡加熱)した中で光反応を起こすことができれば、反応の高効率化につながると考えられる。ここでは、高強度のナノ秒パルスレーザーをジアリールエテンのナノ粒子コロイド(図 6 a, 平均粒径 70 nm)に照射し、フォトクロミック反応挙動を調べた。図 6 b に、ナノ秒パルスを 1 ショット照射したときの光開環反応収率に対する励起光強度依存性の結果を示す。反応収率は、励起光強度が弱い場合は定常光照射と同じ値を示したが、励起光強度 5 mJ/cm² 以上では、励起光強度に対して 2 次の傾きを持って増大した。この非線形増大は、溶液では観測されず、ナノ粒子でのみ観測された。フェムト秒過渡吸収測定により励起状態が時定数 2 ps で緩和した後に、ホットバンドが観測されたことから、QA ナノ粒子コロイドのようにレーザー光照射によりナノ粒子全体の温度が上昇していることが確認できた。光熱変換(10 ps)および冷却過程(500 ps)の時定数を考慮したナノ秒パルス励起によるナノ粒子の温度に対する時間変化を数値シミュレーションしたところ、ナノ秒パルス内で温度上昇と降下が起こり、最大到達温度は 20 mJ/cm² で 35 (10 上昇)となった(図 6 c)。ナノ粒子全体を温めて開環反応収率の温度効果を調べたところ、35 での反応収率は 0.46 × 10⁻⁴ であり、レーザー光強度 20 mJ/cm² (最大上昇温度 35, 12 × 10⁻⁴) での得られる反応収率よりも一桁小さい値となった(図 6 d)。反応収率 12 × 10⁻⁴ @ 20 mJ/cm² を得るため必要な温度は、活性化エネルギー(23 kJ/mol)から 195 (170 上昇)と見積もられる。これらの結果から、ナノ秒パルス励起での反応収率の非線形増大は、粒子全体が温まるといった単純な温度効果では説明がつかない。(2)の結果にあるように、ナノ粒子全体が温まるまでには数 10 ps の時間が必要であることを考慮すると、ナノ粒子中の閉環体励起分子が内部転換した直後は非常に高温状態にあると考えられ、この高温状態が反応促進に関与していると考えられる。つまり、ナノ秒 1 パルス内で 1 つの光子によって生成した励起閉環体分子が迅速に無輻射遷移し、この熱が隣接する閉環体分子に数 ps で伝わり、周辺の基底状態分子よりも高温な分子群を生成すると考えられる(図 6 e)。この分子群の中の 1 つの閉環体分子が、同じナノ秒 1 パルス内の別の光子を吸収すると、効率よく開環反応が進行する。これは、複数の光子と複数の分子が絡んだ段階的な 2 光子吸収過程と考えることができ、レーザー加熱と光反応がカップルした新たな光協同現象としてとらえることが出来る。

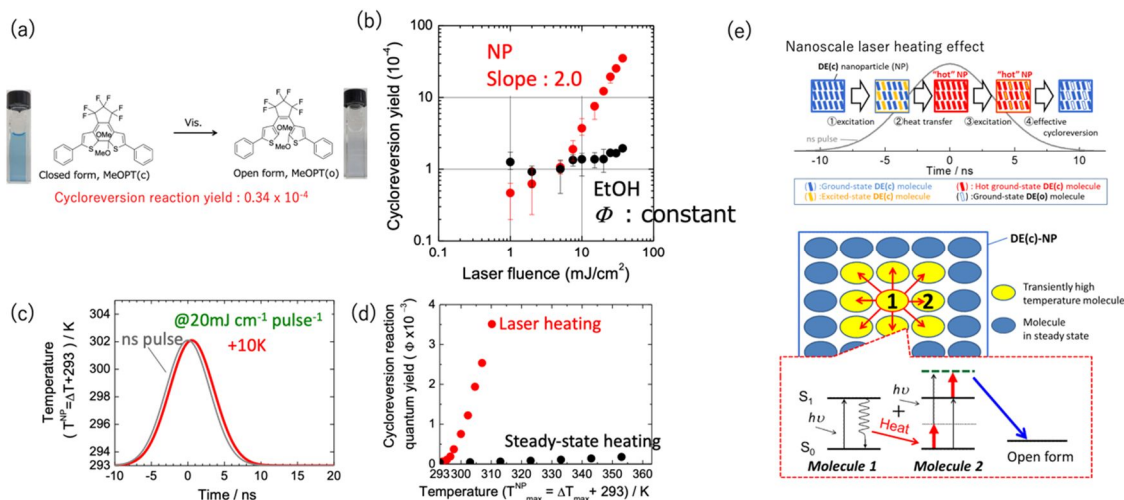


図 6 (a)ジアリールエテンナノ粒子コロイドの光開環反応。(b)ナノ秒レーザー 1 パルス照射におけるジアリールエテンナノ粒子の光開環反応収率に対する励起光強度依存性。(c)ナノ秒レーザー 1 パルス照射におけるナノ粒子の温度に対する時間変化のシミュレーション結果。(d)シミュレーションから見積もられたナノ粒子の最大到達温度と反応収率の関係性。(e)ナノ秒レーザー照射による反応収率の非線形増大メカニズム。

本研究において、有機ナノ結晶における光熱変換過程を含めた光反応ダイナミクスを測定可能はフェムト秒顕微過渡吸収イメージング装置を開発し、光熱変換初期過程の解明ができた。またレーザー過渡加熱と光反応がナノスケールでカップルした新たな光協同現象も見出すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sasano Yoshifumi, Tanaka Hiroki, Haketa Yohei, Kobayashi Yoichi, Ishibashi Yukihide, Morimoto Tatsuki, Sato Ryuma, Shigeta Yasuteru, Yasuda Nobuhiro, Asahi Tsuyoshi, Maeda Hiromitsu	4. 巻 12
2. 論文標題 Ion-pairing -electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 9645 ~ 9657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC02260A	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 Ishibashi Yukihide, Kawasaki Ryo, Kihara Ryo, Kawai Tsuyoshi, Asahi Tsuyoshi	4. 巻 125
2. 論文標題 Femtosecond Pump-Probe, Single-Particle Spectroscopic Study on Excited-State Migration Dynamics of Copper Hexadecafluorophthalocyanine Nanorods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 27260 ~ 27266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06785	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 Hirao Yasukazu, Ihara Keiji, Ishibashi Yukihide, Tiu Elisha Gabrielle, Asahi Tsuyoshi, Kubo Takashi	4. 巻 126
2. 論文標題 Mechanism and Kinetics of Fluorescence Quenching of Fluorene-Endcapped Butatriene: A Microspectroscopic Study of the Discrete State Constructed in Microcrystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1196 ~ 1203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c09163	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 Ishibashi Yukihide, Nakai Shoki, Masuda Keisuke, Kitagawa Daichi, Kobatake Seiya, Asahi Tsuyoshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Nanosecond laser photothermal effect-triggered amplification of photochromic reactions in diarylethene nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7088 ~ 7091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC00884B	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 Ishibashi Yukihide, Asahi Tsuyoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 Femtosecond Pump-Probe Microspectroscopy and Its Application to Single Organic Nanoparticles and Microcrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Photosynthetic Responses in Molecules and Molecular Aggregates	6. 最初と最後の頁 493 ~ 513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-5451-3_29	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 Hayashi Katsuki, Ishibashi Yukihide, Shimizu Tatsuki, Asahi Tsuyoshi, Saitoh Akira	4. 巻 12
2. 論文標題 Correlation with one- and two-photon absorptions in Bi ₂ O ₃ containing B ₂ O ₃ and SiO ₂ glasses with zero photoelastic constant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 102010 ~ 102010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1882-0786/ab40f4	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 -

〔学会発表〕 計29件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Yukihide Ishibashi, Shoki Nakai, Daichi Kitagawa, Seiya Kobatake, and Tsuyoshi Asahi
2. 発表標題 Ring-opening reaction of aqueous diarylethene nanoparticles amplified by intense nanosecond laser excitation
3. 学会等名 International Conference on Photochemistry (ICP2021 Virtual) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋千英
2. 発表標題 定常光および短パルスレーザー照射下でのジアリールエテンナノ粒子のフォトクロミック反応
3. 学会等名 2021年日本化学会中国四国支部大会高知大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋千英・西本篤志・朝日 剛
2. 発表標題 高強度パルスレーザー励起によるスピロナフトオキサジンナノ粒子のフォトクロミック反応
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋千英、木原 諒、朝日 剛
2. 発表標題 フェムト秒ポンプ - プローブ顕微分光による銅フタロシアニン単一ナノロッドの励起子拡散ダイナミクス
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本慎太郎・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 ジアリールエテンナノ粒子のレーザー誘起開環反応増大に対するパルス幅依存性
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西浦有輝・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 凝集誘起発光を示すシロールの単結晶における発光ダイナミクス
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中亮祐・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 銅フタロシアニンナノロッド薄膜のフェムト秒顕微過渡吸収分光
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石橋千英・中井将輝・北川大地・小島誠也・朝日 剛
2. 発表標題 ナノ秒パルス励起によるジアリールエテンナノ粒子における開環反応収率の増大メカニズムの検討
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中亮祐・朝日 剛・石橋千英・木原 諒
2. 発表標題 フタロシアニンナノロッド凝集薄膜のフェムト秒顕微過渡吸収イメージング
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西浦有輝・朝日 剛・石橋千英
2. 発表標題 凝集誘起発光を示すシロールの剛性マトリクス中での蛍光挙動
3. 学会等名 2020年光化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ISHIBASHI, Yukihide
2. 発表標題 Femtosecond Pump-Probe Microspectroscopy for Emissive Organic Solids
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中亮祐・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 銅フタロシアニン薄膜の励起状態寿命顕微イメージング
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西浦有輝・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 シロール溶液の無輻射失活速度定数の温度効果
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高見静香・不二千尋・石橋千英・松本慎太郎・朝日 剛・山口忠承・河合 壯
2. 発表標題 アリールビニルフェニルチアゾール誘導体の蛍光特性
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ASAHI Tsuyoshi and ISHIBASHI Yukihide
2. 発表標題 Photochromism of diarylethene nanoparticles under cw-light and nanosecond pulse laser excitation
3. 学会等名 Final International Symposium on Photosynergetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 KIHARA Ryo, NAKAJIMA Hiroki, ISHIBASHI Yukihide, MATSUGUCHI Masanobu, ASAHI Tsuyoshi, and KAWAI Tsuyoshi
2. 発表標題 Fabrication of Phthalocyanine Nanorods Colloids by Pulse Laser Fragmentation in Liquid and Their Application to Gas
3. 学会等名 Final International Symposium on Photosynergetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 NAKAI Shoki, ISHIBASHI Yukihide, KITAGAWA Daichi, KOBATAKE Seiya, and ASAHI Tsuyoshi
2. 発表標題 Amplification of Cycloreversion Reaction Quantum Yield by Nanoseconf Laser Pulse Excitation: Size Effect
3. 学会等名 Final International Symposium on Photosynergetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ISHIBASHI Yukihide and ASAHI Tsuyoshi
2. 発表標題 Single-nanocrystal Femtosecond Transient Absorption Spectroscopy and Imaging by Using a Confocal Pump-Probe Microscope
3. 学会等名 Final International Symposium on Photosynergetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukihide ISHIBASHI
2. 発表標題 Photochemical dynamics of organic solids revealed by femtosecond time-resolved spectroscopy
3. 学会等名 2019年光化学討論会（名古屋）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 行廣映二・姫田泰聖・木原 諒・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 液中レーザーアブレーション法による白金ポルフィリンナノ粒子コロイドの作製
3. 学会等名 2019年光化学討論会（名古屋）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井将輝・石橋千英・北川大地・小嶋誠也・朝日 剛
2. 発表標題 ジアリールエテンナノ粒子におけるナノ秒パルス励起開環反応量子収率のサイズ効果
3. 学会等名 2019年光化学討論会（名古屋）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋千英・田中 瞳・木原 諒・田中亮祐・朝日 剛
2. 発表標題 銅フタロシアニンナノロッドフェムト秒ポンプ プローブ顕微イメージング
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019 名古屋
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤 全・林 克樹・石橋千英・朝日 剛
2. 発表標題 ビスマス含有酸化ガラスの2光子吸収係数
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井将輝・石橋千英・北川大地・小島誠也・朝日 剛
2. 発表標題 ナノ粒子と溶液におけるベンゾフラン型ジアリールエテンの光閉環体変換率の比較
3. 学会等名 第28回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西本篤志・石橋千英・小倉由美・朝日 剛
2. 発表標題 スピロナフトオキサジン固体のフォトクロミック反応：ナノ粒子と過冷却膜の比較
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会 徳島大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋 千英
2. 発表標題 発光性有機結晶の時間分解顕微分光計測
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中井 将輝・杉本 勇哉・石橋 千英・北川 大地・小島 誠也・朝日 剛
2. 発表標題 ベンゾフラン型ジアリールエテンのナノ粒子におけるフォトクロミック反応：開環体ナノ粒子と閉環体ナノ粒子の比較
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 NISHIURA, Yuki; NAKAMURA, Mao; ISHIBASHI, Yukihide; ASAMI, Tsuyoshi
2. 発表標題 Solvent viscosity dependence of non-radiation deactivation rate of AIR-active silole
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 TANAKA, Rhosuke; TANAKA, Hitomi; KIHARA, Ryo; ISHIBASHI, Yukihide; ASAMI, Tsuyoshi
2. 発表標題 Femtosecond pump-probe confocal light scattering microspectroscopic imaging of copper phthalocyanine nanorods
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

愛媛大学工学部工学科分析化学研究室 http://www.ach.ehime-u.ac.jp/anachem/index.html 愛媛大学工学部工学科分析化学研究室 http://www.ach.ehime-u.ac.jp/anachem/index.html
--

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

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