

2019年9月13日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学

国立大学法人 東京大学

光照射された液晶分子が瞬時に集団的運動をする現象を初観測
～光で分子の運動を操ることに道を開く～

研究成果のポイント

1. 液晶中の分子が従来の想定よりも1万倍以上高速で集団運動することを初めて観測
2. 1兆分の1秒の時間で原子・分子の構造を直接見ることができる計測技術を活用して実現
3. 光を用いた分子機能集合体(分子ロボットや人工組織など)への応用に役立つ

筑波大学エネルギー物質科学研究センターの羽田真毅准教授と東京大学大学院工学系研究科の山口大輔大学院生、加藤隆史教授らは、液晶(注1)の中にあるアゾベンゼン(注2)の分子が、光を照射されると瞬時(100億分の1秒)に集団的に運動する現象を初めて観測することに成功しました。

この応答速度は、従来考えられてきた光照射による液晶中の集団的な分子運動に比べ、1万倍以上も速いという結果でした。さらに照射する光を制御することにより、分子の並びを狙った方向へと揃えられることを示しました。

岡山大学及び東京工業大学のグループとの共同研究で、1兆分の1秒の時間分解能と原子空間分解能を持つ超高速時間分解電子線回折法(注3)を活用した成果です。

分子は多数集まることで、分子一つ一つでは考えられないような機能や性質を示すことがあります。これを分子機能集合体と言います。今回の知見は、光を用いた分子機能集合体(分子分子ロボットや人工組織など)への応用に大いに役立つと期待されます。

本研究成果は、「Nature Communications」のオンライン版(2019年9月13日付け)に掲載されます。

研究の背景

人が光を感知できるのは、眼の中にあるたんぱく質が、光を受けることで変形するからです。このように、光を当てることにより分子の形が変化する現象を光異性化と呼びます。光異性化は視覚に限らず自然界においても非常に多く見られる現象で、工業的にも幅広い利用が期待されています。光異性化による分子単独の運動については、多くの知見が報告されていますが、液晶中のような分子集団の中でのピコ秒(1兆分の1秒)単位の運動に関する知見はありませんでした。新たな知見を積み重ねることにより、実際の材料の設計や生体内の分子集団の運動のよりよい理解に役立ち、分子ロボットや人工組織の開発につながることを期待されていました。

研究内容と成果

アゾベンゼン分子は光異性化を示す最も代表的な分子で(図1)、トランス体(棒状)からシス体(三角形)へと変化します。図2に示すように、アゾベンゼン分子単独では、光異性化は1兆分の1秒程度で生じると報告されていますが、液晶中のような分子集団中においてはその応答速度が100万分の1秒よりも遅くなると考えられてきました。

今回、筑波大学数理物質系(エネルギー物質科学研究センター)の羽田真毅准教授と東京大学大学院工学系研究科の山口大輔大学院生、加藤隆史教授らは、岡山大学の佐和孝嘉大学院生、鶴田健二教授、林靖彦教授及び東京工業大学の石川忠彦助教、石川謙准教授、腰原伸也教授と共同で、光を照射された液晶中のアゾベンゼン分子が、100億分の1秒の応答速度で集団的に運動する現象を初めて観測することに成功しました。

1兆分の1秒の時間分解能と原子空間分解能をあわせ持つ超高速時間分解電子線回折法(図3)を駆使することにより、アゾベンゼン分子が液晶中で生じる集団運動が100億分の1秒程度の応答速度で生じることを突き止めました(図4)本研究で用いたアゾベンゼン分子はスメクティック液晶相という層状で分子が一方向に並んだ状態になっています。この分子の配列は、当てる光の偏光方向(注4)、すなわちアゾベンゼン分子が曲がる方向にそろうように集団的に変化します(図5)。

これは、液晶中において今まで考えられてきた分子の応答速度に比べて1万倍以上の速度で光異性化が生じていることを示唆し、さらに分子が非常に速く一方向にそろうという新しい機能を示しています。

今後の展開

液晶は、ディスプレイ、センサー、レーザー用の光学変調素子など幅広く工学応用されています。本研究で得られた知見により、これまでより1万倍以上高速な応答速度を持つ光駆動型の液晶素子(光スイッチ、光センサー、光アクチュエーター(注5))などへの応用が可能となります。さらに、光を用いた分子機能集合体(分子ロボットや人工組織など)への応用に大いに役立つと期待されます。

*本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究事業 さきがけ「分子技術と新機能創出」研究領域(研究総括:加藤 隆史)における研究課題「フェムト秒電子プローブで探索する機能性有機物質の光誘起ダイナミクス(研究代表者:羽田 真毅)」の支援を受けて行われました。また、本研究の一部は、JST戦略的創造推進研究推進事業 チーム型研究(CREST)「超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製」研究領域(研究総括:瀬戸山 亨)における研究課題「ソフトナノ空間を形成する自己組織化液晶高分子を基盤とする革新的輸送材料の創製(研究代表者:加藤 隆史)」及び、文部科学省科学研究費助成事業新学術領域研究「ソフトクリスタル:高秩序で柔軟な応答系の学理と光機能」(領域代表:加藤 昌子)、日本学術振興会(JSPS) 科学研究費補助金特別推進研究「光と物質の一体的量子動力学が生み出す新しい光誘起協同現象物質開拓への挑戦(研究代表者:腰原 伸也)」などの支援を受けて行われました。

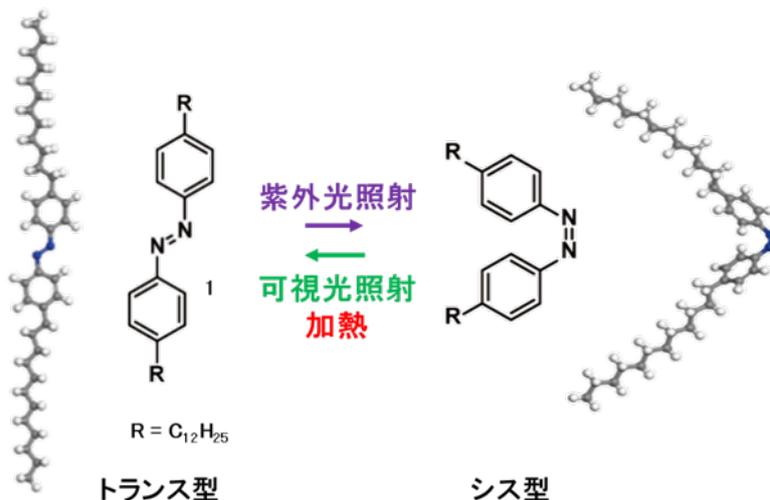


図1：アゾベンゼン分子の光異性化

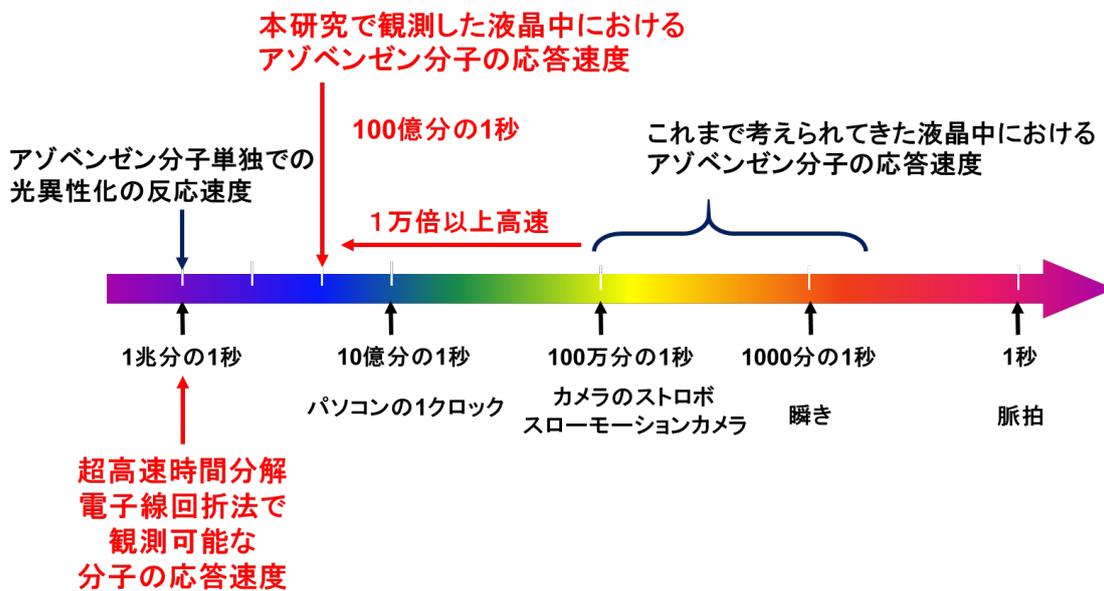


図2：アゾベンゼン分子の光異性化の時間スケール

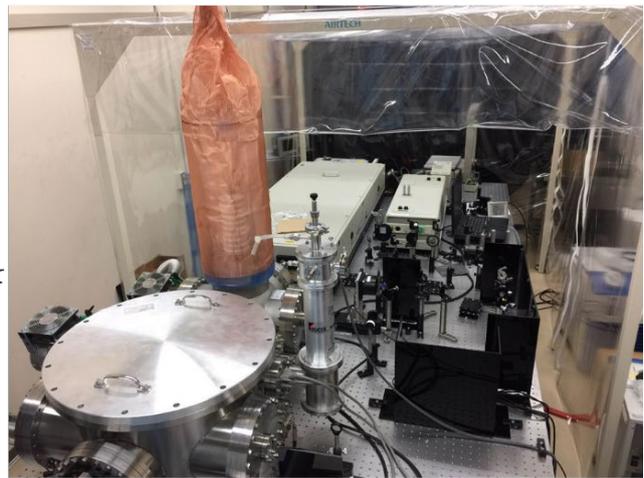
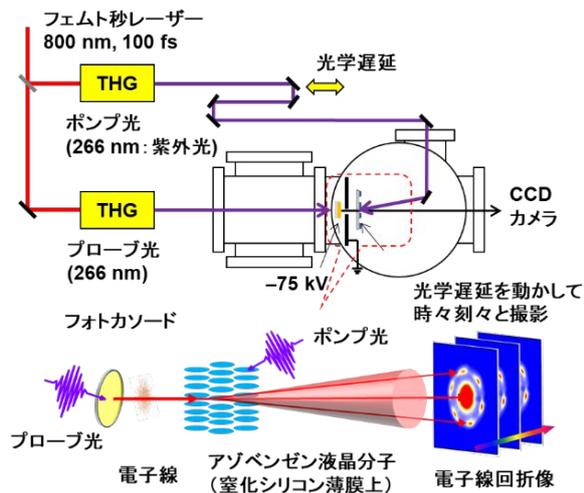


図 3 : 超高速時間分解電子線回折装置 (左 : セットアップ、右 : 装置写真)

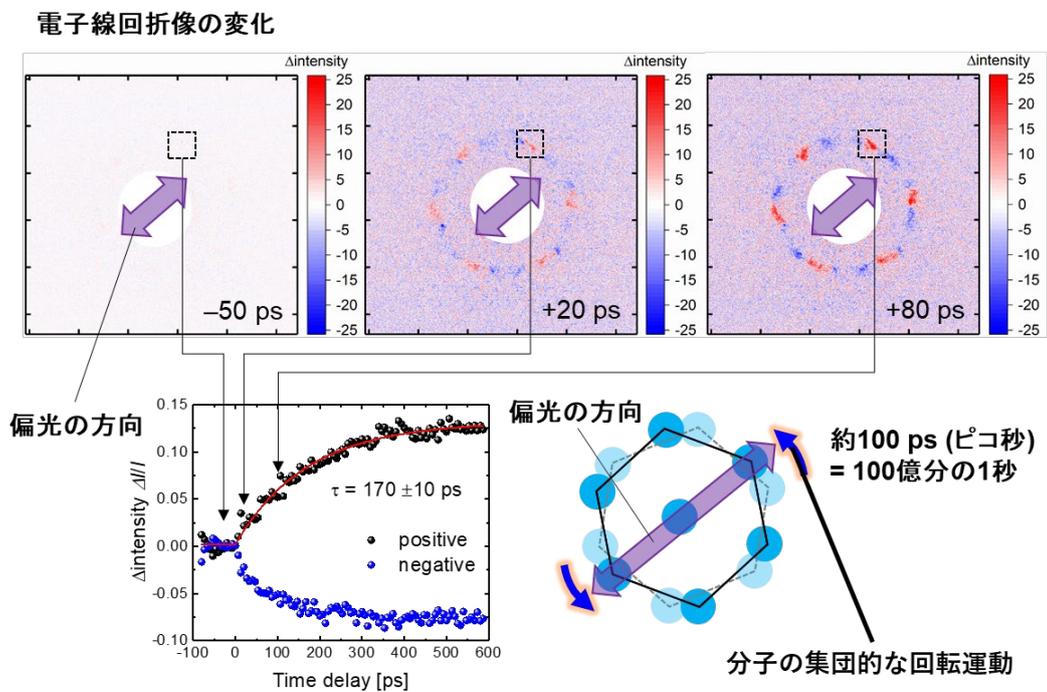


図 4 : 超高速時間分解電子線回折像の変化によるアゾベンゼン分子の液晶中での集団運動の観測 (ps : ピコ秒 (1 兆分の 1 秒))

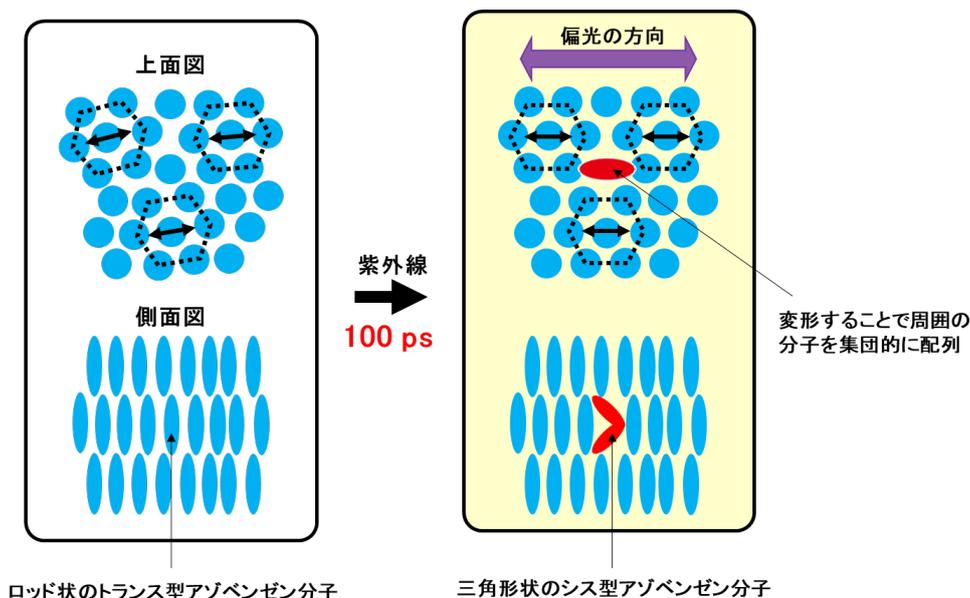


図5：本研究で観測されたアゾベンゼン分子の集団運動

用語解説

注1) 液晶

液体と結晶の中間相で、流動性と配列構造を同時に示します。典型的には、棒状あるいはディスク状の有機化合物が液晶を形成します。自然状態では、分子がゆるやかな規則性をもって並んでおり、電圧印加、光照射、機械的刺激によって分子の並び方などが変化する性質を持ちます。

注2) アゾベンゼン

二つのベンゼン環が窒素原子二個で連結された化合物あるいは化合物の部位(図1参照)を言います。二つの窒素原子間の二重結合に対して、二つのベンゼン環が反対側に出ているトランス体と同じ側に出ているシス体の間を光照射により変化します(光異性化)。この変化によって分子の形状だけでなく、物質の色や屈折率などが変化するため、光に応答するさまざまな材料の研究が行われています。

注3) 超高速時間分解電子線回折法

光照射によって生じる瞬間的な分子の周期構造の変化を直接的に観測することが可能な測定手法です。得られた構造変化を時系列順につないで、「分子動画」を撮影します。

注4) 偏光

光などの電磁波の振動方向が定まった状態を偏光と言います。

注5) 光アクチュエーター

光のエネルギーを伸縮・屈曲・回転などの運動エネルギーに変換する装置や物質を言います。

掲載論文

【題名】 Ultrafast Isomerization-Induced Cooperative Motions to Higher Molecular Orientation in Smectic Liquid-Crystalline Azobenzene Molecules

(光が引き起こすスメクティック状態の液晶アゾベンゼン分子の超高速共同的運動)

【著者名】 羽田真毅*、山口大輔、石川忠彦、佐和孝嘉、鶴田健二、石川謙、腰原伸也、林靖彦、加藤隆史*

【掲載誌】 *Nature Communications*

問合わせ先

羽田 真毅(はだ まさき)

筑波大学 数理物質系 エネルギー物質科学研究センター (准教授)

加藤 隆史(かとう たかし)

東京大学 大学院工学系研究科 化学生命工学専攻 (教授)