

## 原子同士が結合して新しい分子が生まれる瞬間を X 線によってストロボ撮影 —人工光合成技術を推進する新しい分子動画撮影法を開発—

平成 27 年 2 月 19 日  
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
 基礎科学研究院  
 韓国科学技術院  
 独立行政法人 理化学研究所  
 公益財団法人 高輝度光科学研究センター

### 【概要】

高エネルギー加速器研究機構 (KEK), 基礎科学研究院 (Institute for Basic Science, IBS), 韓国科学技術院 (Korea Advanced Institute of Science and Technology, KAIST), 理化学研究所 (理研), 高輝度光科学研究センター (JASRI) は, X 線自由電子レーザー (XFEL) 施設「SACLA」を用いて, ピコ秒 (1 ピコ秒 = 1 兆分の 1 秒) 以下の間に進行する化学結合形成に伴った分子の生成過程を直接観測することに成功しました。

これは, KEK 物質構造科学研究所の野澤俊介准教授, 佐藤篤志博士, 足立伸一教授, KAIST の Kim Kyung Hwan 博士, Thee Hyotcherl 教授, 理研放射光科学総合研究センターの石川哲也センター長, ビームライン研究開発グループの矢橋牧名グループディレクター, JASRI・XFEL 利用研究推進室の富樫格研究員らを中心とした共同研究グループの成果です。本研究は, 理研 X 線自由電子レーザー (XFEL) 施設「SACLA」と KEK の放射光施設 PF-AR ビームライン NW14A を利用して行われました。

本成果は, 科学雑誌『Nature』のオンライン版 2 月 19 日号 (報道解禁日時: 日本時間 2 月 18 日 (水) 21 時) に掲載されます。(この記事の続きは <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20150219100000/> をご覧ください)。

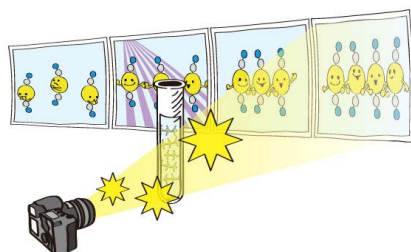


図 分子動画による化学反応の追跡 (概念図)

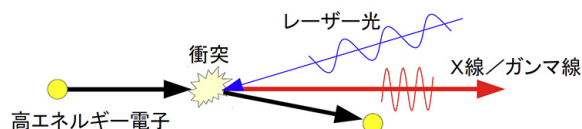
SACLA のパルス X 線を使ってストロボ撮影することでフェムト秒の時間スケールで原子の動きを追跡することが可能となった。本研究では光刺激によって化学反応を開始させ, その後高速に変化していく分子構造をストロボ測定して分子動画撮影することで, 原子の反応性・結合状態・機能性の変化について観測することに成功した。

## これまでになく強く明るい X 線を発生する新たな技術誕生へ —毎秒 1 億回の電子ビーム・レーザー衝突で X 線を作る—

平成 27 年 4 月 27 日  
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (理事長 児玉敏雄。以下「原子力機構」という。) 原子力科学部門量子ビーム応用研究センターの羽島良一研究主席, 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (機構長 山内正則。以下「KEK」という。) 加速器研究施設の照沼信浩教授らの共同研究グループは, エネルギー回収型リニアック (ERL) において電子ビームとレーザービームを微小スポットで, 1 秒間に 1.625 億回という非常に高い頻度で衝突させる (高繰り返しで衝突させる) ことで, エネルギーのそろった X 線ビームの生成に成功しました。これにより, 核セキュリティ分野におけるあらゆる核物質の非破壊検知・測定を可能にする大強度ガンマ線源 (目標強度 1013 ph/s) や, 生体細胞の高分解能イメージングのための高輝度小型 X 線源 (目標ピーク輝度 1019 ph/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%BW) といった, 新たな計測・観察ツールとしての次世代光源へ道を開きました。

光速近くまで加速した電子ビームとレーザービームを衝突させることにより, 任意のエネルギーの X 線やガンマ線のビームを発生する方法は, レーザー・コンプトン散乱 (LCS) と呼ばれ, エネルギーが数 keV から 100 keV の X 線領域では, 大型放射光施設の性能に匹敵する高輝度の小型 X 線源に, また, エネルギーが 1 MeV 以上のガンマ線領域では, 唯一のエネルギー可変の大強度ガンマ線源となり得るものです。しかしながら, 電子とレーザーの衝突確率が小さいために, LCS による X 線～ガンマ線源の実用化には, 電子ビームとレーザービームを高密度かつ高繰り返しで衝突させる技術が必要とされてきました (この記事の続きは <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20150427150000/> をご覧ください)。



レーザー・コンプトン散乱の原理。左から光速近くまで加速した高エネルギーの電子が飛来し, 右から来たレーザーと衝突します。レーザーは電子との衝突によって反対方向に散乱され, 電子からエネルギーを得て X 線またはガンマ線となります。

### 超高速光化学反応を可視化する「分子ムービー」の原理を実証 – 気体分子1つから得る光電子回折像の観測に成功–

平成 27 年 9 月 24 日  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
国立研究開発法人 理化学研究所  
公益財団法人 高輝度光科学研究センター

#### 【概要】

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、東京大学、立命館大学、千葉大学、京都大学、日本原子力研究開発機構 (JAEA)、理化学研究所 (理研)、高輝度光科学研究センター (JASRI) は、X線自由電子レーザー (XFEL) 施設「SACLA」を用いて、向きを描えたヨウ素分子 (I<sub>2</sub>) からの X線光電子回折像を観測することに成功しました。

光を照射することで物質に化学変化を起こす多くの光化学反応は、ピコ秒～フェムト秒の超高速で進行する反応なので、その超高速過程を光電子回折法で直接観測した例はこれまでありませんでした。研究グループは、気体ヨウ素分子の向きをレーザー電場で制御し、大強度・超短パルスである XFEL を用いることにより、ヨウ素分子から光電子が出る瞬間の分子構造を捉えることに成功しました。これは、超高速で起こる気相光化学反応を可視化する「分子ムービー」の原理を実証したことになります。

本研究は、KEK 物質構造科学研究所の柳下明シニアフェロー、中嶋亨特任助教 (現 JASRI 博士研究員)、和田健特別助教、東京大学の酒井広文准教授、峰本紳一郎助教、立命館大学の寺本高啓助教、千葉大学の藤川高志名誉教授、水流翔太 DC2、京都大学の間嶋拓也助教、JAEA の赤木浩研究副主幹、理研放射光科学総合研究センター・ビームライン研究開発グループの矢橋牧名グループディレクター、JASRI・XFEL 利用研究推進室の富樫格研究員らを中心とした共同研究グループの成果です。本研究は、SACLA のビームライン BL3 を利用して行われました。

本成果は、オンライン版の科学雑誌『Scientific Reports』の 9 月 15 日号 (現地時間) に掲載されました。(この記事の続きは <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20150924143000/> をご覧下さい)。

### 低電圧でも動作する有機強誘電体メモリーの印刷製造技術を開発 – プリントッドエレクトロニクスを高度化する新たなラインアップ –

平成 27 年 10 月 1 日  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
国立研究開発法人 理化学研究所  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
国立研究開発法人 科学技術振興機構

#### 【概要】

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】(以下「産総研」という) フレキシブルエレクトロニクス研究センター【研究センター長 鎌田 俊英】フレキシブル材料基盤チーム 野田 祐樹 産総研特別研究員、堀内 佐智雄 研究チーム長、同センター 長谷川 達生 総括研究主幹らは、国立研究開発法人 理化学研究所【理事長 松本 紘】創発物性科学研究センター 動的創発物性研究ユニット 賀川 史敬 ユニットリーダー、大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構【機構長 山内 正則】物質構造科学研究所 構造物性研究センター 熊井 玲児 教授、国立研究開発法人 科学技術振興機構【理事長 中村 道治】と共同で低分子系有機強誘電体を用いた薄膜メモリー素子を、溶液をパターンニング塗布して製膜する印刷法により常温・常圧下で製造する技術を開発した。

有機強誘電体では、デバイス化に必須となる薄膜化が難しいことが課題となっていた。今回の技術は、溶液からの膜形成を促す新たな印刷手法により、きわめて均質性の高い強誘電体単結晶薄膜を形成するものである。この技術を用いて作製した薄膜素子は、各種の記録素子の標準的な動作電圧を下回るわずか 3 V の低電圧でメモリー動作する。今回開発した技術により、プリントッドエレクトロニクスによる強誘電体メモリーや不揮発トランジスタなどの低消費電力デバイスの研究開発が大きく加速すると期待される。

なお、この成果の詳細はドイツの学術誌 Advanced Materials に、近くオンライン公開される(この記事の続きは <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20151001100000/#01> をご覧下さい)。

## 次世代デバイス開発の扉を開く電子構造を発見～トポロジカルな舞台での「強相関スピントロニクス」時代の幕開けへ～

2015年12月8日

近藤 猛 (東京大学物性研究所)

中山 充大 (東京大学)

松波 雅治 (豊田工業大学)

木村 真一 (大阪大学)

小野 寛太 (高エネルギー加速器研究機構)

組頭 広志 (高エネルギー加速器研究機構)

中辻 知 (東京大学物性研究所)

辛 埴 (東京大学物性研究所)

### 【概要】

シリコンデバイスの微細化と性能限界の問題が目前になり、次世代デバイスの台頭が待たれています。電子の自由度の1つである電荷を操る「エレクトロニクス」で繁栄した人類をさらに飛躍させる未来型デバイス開発の鍵として、電子が持つもう1つの性質であるスピンをも制御する「スピントロニクス」が注目されています。しかしながら、一般的な物質では、そのスピンの回転軸の向きと電子の運動する方向とは無関係であればらであるため、デバイス応

用に困難を伴います。一方、近年発見された「トポロジカル絶縁体 (2007年発見)」や「ワイル半金属 (今年発見)」と呼ばれる新奇物質群では、電子の運動方向に付随してスピンの向きが自発的に決まる、つまりスピンの向きが揃った状態である純スピン流が流れており、その特性を活かすデバイス応用が期待されています。

東京大学物性研究所の近藤猛准教授、中辻知准教授、辛埴教授らの研究グループは、既存のトポロジカル絶縁体やワイル半金属と、電子同士の強い相互作用 (強相関) を組み合わせることで、更なる新機能を持たせる物質開発に着手しています。今回、豊田工業大学物質工学分野の松波雅治准教授、大阪大学大学院生命機能研究科の木村真一教授、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の小野寛太准教授、組頭広志教授らと共同で、その未踏の物質開発の扉を開く電子状態を、イリジウム酸化物で発見しました。本来は反発し合う荒くれ者である強相関電子たちを手なづける指針が整ったことで、新奇なトポロジカル状態を舞台とする「強相関スピントロニクス」の新時代到来が期待されます。

この研究成果は、Nature Communications 誌 (12月7日 午前10時: 日本時間 12月7日午後7時) に掲載されます (この記事の続きは <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20151208110000/> をご覧下さい)。

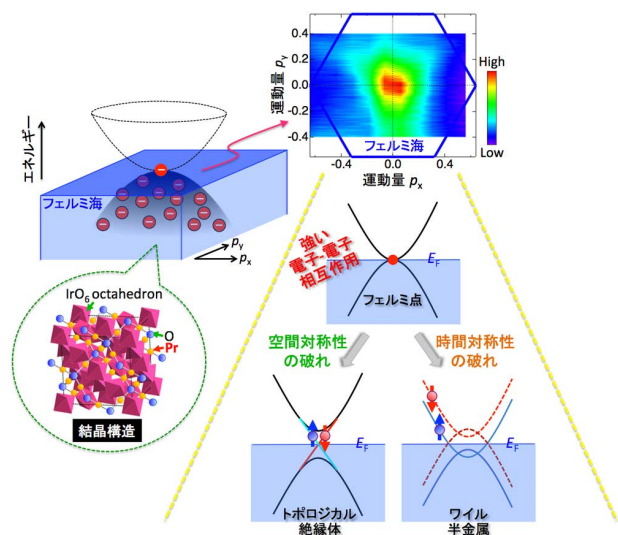


図 物質内には実世界 (位置座標空間) とは異なるフェルミ海 (運動量空間) が存在する。海面に顔を出す島 (電子構造) が物質の電子物性を担うため、その形状を同定することが物質開発において極めて重要となる。本研究では、強い電子-電子相互作用 (強相関) を持つイリジウム酸化物で、その海面に一点のみで顔を出す特異な放物型電子構造の直接観察に成功した。この特異点は空間対称性と時間対称性に保護されており、トポロジカル相への母体電子状態となる。空間対称性を破ればトポロジカル絶縁体に、また時間対称性を破ればワイル半金属に変化することが理論的に示されている。

## 酸化タングステン光触媒の光キャリア超高速構造追跡に成功

2015年12月10日

自然科学研究機構 分子科学研究所

北海道大学

理化学研究所

高エネルギー加速器研究機構

自然科学研究機構分子科学研究所の上村洋平助教、脇坂祐輝特別訪問研究員、横山利彦教授、北海道大学触媒科学研究所の高草木達准教授、朝倉清高教授、大谷文章教授、城戸大貴氏 (大学院学生)、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所の足立伸一教授、野澤俊介准教授、丹羽尉博技師、高輝度光科学研究センターの片山哲夫博士研究員、理化学研究所の矢橋牧名グループディレクター、フランス・レンヌ大学の畑田圭介マーキュリーフェローシップらの研究グループは、可視光に応答する酸化タングステン光触媒の光励起状態の構造を、超高速時間分解X線吸収分光法により追跡し、光励起状態でタングステン周囲の局所構造が変化していく様子を観測することに成功しました。光触媒を用いて水から水素を製造する技術は再



## 細胞の代謝とがん化を司る、細胞内エネルギーセンサーを発見

平成 28 年 1 月 8 日  
高エネルギー加速器研究機構  
国立研究開発法人 産業技術総合研究所

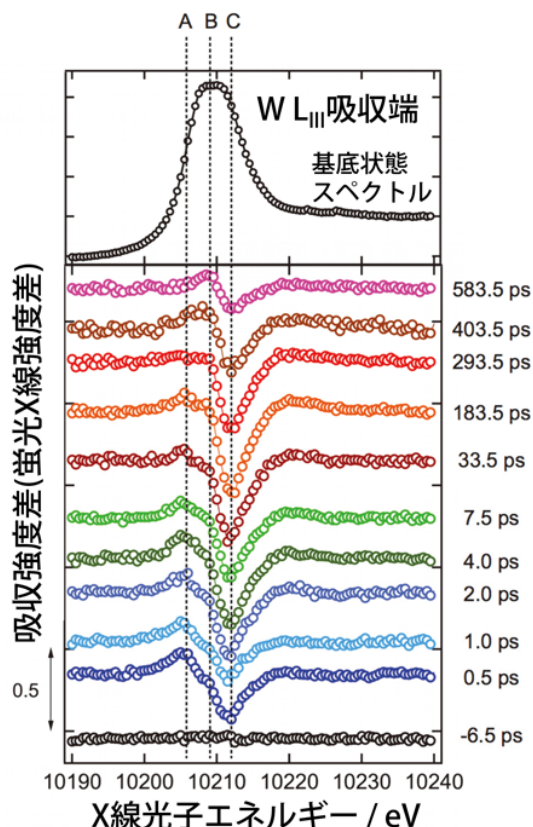


図 光励起後の酸化タングステン(VI)のW LIII吸収端スペクトルの経時変化(0.5~583.5ピコ秒)。-6.5ピコ秒は照射前。吸収スペクトル測定は蛍光X線収量法による。X線自由電子レーザーのパルス幅自体は0.01ピコ秒であるが、繰返し測定におけるタイミングのずれにより、全体の時間分解能は0.5ピコ秒。

生可能エネルギー開発における究極的な目標のひとつであり、反応過程の解明を通じた光触媒機能の革新的向上が期待されています。

本研究成果は、2015年12月10日に国際科学誌「Angewandte Chemie International Edition」電子版に掲載される予定です(この記事の続きは<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20151210133000/>をご覧ください)。

高エネルギー加速器研究機構(KEK)物質構造学研究所、シンシナティー大学医学部、産業技術総合研究所(産総研)創薬分子プロファイリング研究センターによる合同研究チームは、細胞内のエネルギー物質"GTP"の濃度を検知し、細胞の働きを制御する"GTPセンサー"を世界で初めて発見しました。

タンパク質合成やシグナル伝達の原動力となるGTPの濃度を正しく保つことは、細胞機能の維持に不可欠です。同チームは、脂質キナーゼの一種PI5P4Kβが細胞内のGTPセンサーであることを発見、PI5P4KβとGTPとの複合体の立体構造解析などによってそれを証明しました。決定した立体構造に基づきGTPセンサー機能を持たないPI5P4Kβを人工的に作成し、細胞内に戻したところ、細胞がGTP濃度の変化に正しく応答できなくなりました。さらに同チームは、PI5P4KβのGTPセンサー機能が、がんの増殖にも関与することを明らかにしました。本研究成果により今後、がんおよび代謝疾患への治療や創薬が大きく展開していくことが期待されます。

本研究の成果は、米国の科学雑誌「Molecular Cell」にFeatured Article(注目記事)として平成28年1月7日(現地時間)に掲載されます(この記事の続きは<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20160108100000/>をご覧ください)。

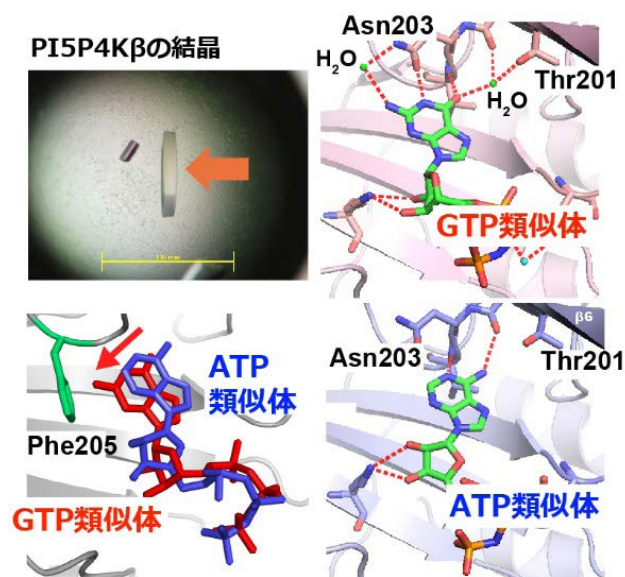


図 立体構造解析によるGTP結合様式の解明。PI5P4Kβの結晶に、測定中にPI5P4Kβによって分解されないGTP類似体およびATP類似体を加え、複合体の立体構造を得ました。立体構造の解析により、GTPを認識する部位を特定するとともに、ATP結合との比較により、PI5P4KβがGTPを特異的に認識する仕組みが分かりました。