

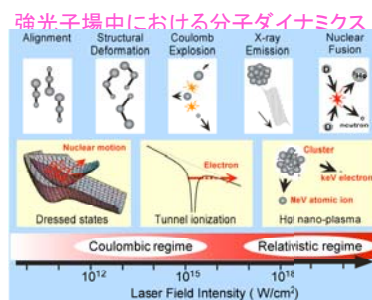
ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	1. 分子分光学および分子集合体の構造
中項目	1-5. 強光子場分子科学
小項目	1-5-1. 強光子場分子科学

概要（200字以内）

近年の高輝度超短パルスレーザー技術の発展は、強光子場の生成とともに「光と分子が強く相互作用した状態」を生成することを可能とした。

分子科学においては、10 年程前から、強光子場下にある分子やクラスターが新しい研究対象となり、強光子場科学が急速に発展している。強光子場下の超高速現象、波形整形による化学反応制御、量子放出ビームによる時間分解測定、アト秒パルスの生成など、分子科学に新しい潮流をもたらした。



現状と最前線

現在の超短パルスレーザー技術の発展は、単にレーザーのパルス幅を大幅に短くすることを可能としたばかりでなく、レーザーパルスのピーク強度を格段に大きくすることを可能とした。そして、原子や分子の中クーロン場の大きさと同程度の電場強度  $10^{14} - 10^{16} \text{ W/cm}^2$  を光によって生成することが可能となった。図 1 に強光子場科学の概観を示した。この図にあるように、 $1 \text{ PW/cm}^2$  ( $1 \times 10^{15} \text{ W/cm}^2$ ) の強度を中心に、その上下の 3 桁程度の間は、クーロン領域と呼ばれる。分子がその領域においてさまざまな、特異なダイナミクスを示すことが明らかになっている。

例えば、比較的レーザー電場の低い領域においては、分子が、その分子の軸の向きや分子の方向をレーザーの偏光方向に揃えるという配列や配向という現象が起こる。レーザー場がさらに強くなると、分子内ポテンシャルが光電場によって大きく変形し、分子構造の大規模な変形や、弱い光では誘起できない化学結合の切断が可能となる。そして、光電場によるトンネルイオン化現象が起こり、分子系は多価イオンとなり、クーロン爆発を起こす。また、固体や液体に高出力超短パルスレーザー光を集光すると、強光子場の生成に伴い、短パルスの X 線や、高速 (KeV ~ MeV) の電子やプロトンが発生する。これらの高エネルギーの光子や粒子の発生は、量子放出と呼ばれており、この量子放出現象を利用して、物質の変化を追跡することも試みられている。例えば、時間分解 X 線回折によって固体内の超高速ダイナミクスを追跡するなどの研究が行われている。

日本では、特定領域研究「強レーザー光子場における分子制御」(平成 14 年~17 年) におい

てこれらの新規な現象を理解するために、学際的な取り組みがなされ強光子場科学が大きく発展した。国際的な研究の発展は、平成 18 年より Springer Verlag 社より刊行が開始された “Progress in Ultrafast Intense Laser Science” に紹介されている。現在、第 2 巻まで刊行されており、平成 19 年中に第 3 巻が刊行予定である。

#### 将来予測と方向性

強光子場下で分子系がどのように振舞うのかを理解するためには、実験研究だけでなく、理論面での研究展開が必要であり、光の場の中の分子を記述する理論分野が大きく発展するものと期待される。そして、その理論展開、搬送波位相をロックしたレーザー場の発生技術、そして、レーザー場最適化制御技術の発展によって、強光子場による分子の化学結合切断のための方法論が確立するものと思われる。特に、水素原子のような極めて量子的な振る舞いを持つ原子を含む非断熱性の高いケースを取り扱うことのできる理論の展開に目覚しいものがあると予測される。さらに高次高調波技術の発展は、高輝度アト秒パルスの発生を可能とすると期待され、フェムト秒領域を超えたアト秒領域における化学過程の追跡が行われるようになりアト秒化学が発展すると予想される。一方、X 線自由電子レーザーの建設は、軟 X 線領域における強光子場科学の発展を誘起するものと予想される。

#### 【今後推進すべき課題】

- (1) 搬送波位相をロックした 2～3 サイクルパルスの生成と超高速現象の時間分解測定への応用
- (2) 高度にデザインされた強光子場パルスによる化学反応過程の制御
- (3) 高次高調波による高輝度軟 X 線領域の高輝度光の生成と分子の光励起ダイナミクスの研究
- (4) X 線自由電子レーザー (XFEL) 光による、軟 X 線領域の強光子場科学
- (5) アト秒の発生技術の開発と、アト秒極限的超高速現象の時間分解測定への応用

#### キーワード

強光子場、波形整形、量子放出、アト秒パルス、選択的化学結合切断、クーロン爆発、時間分解 X 回折、搬送波位相、最適化制御、非断熱、高次高調波、アト秒化学、XFEL、2～3 サイクルパルス

(執筆者： 山内 薫 )