

光の極限制御・積極利用と新分野開拓  
2016 年度採択研究者

2018 年度 実績報告書
------------------

西内 満美子

量子科学技術研究開発機構量子ビーム科学研究部門  
上席研究員

## 極相対論的光電磁場における重元素低主量子数電子の電離機構の解明

### § 1. 研究成果の概要

本研究においては、レーザーの強度が  $10^{21} \text{Wcm}^{-2}$  を超えるような超相対論的領域におけるレーザー電磁場によるイオン化の過程を研究する。レーザーの強度が超相対論的領域に突入すると、レーザーによる原子のイオン化の過程はレーザーの強度が低い領域で常識であったトンネル電離過程から外れることが予測されている。レーザーの強度が低い状況においては、①電子の動きはレーザーの電場による振動運動のみと近似できること、さらに、②電子が振動によって持つ速度は非相対論的であるためレーザーの電場を準静的とみなせること、から、レーザーの磁場のイオン化に及ぼす影響は無視してよかった。しかし、強度が上がるにつれ電子がレーザーの半サイクル内で相対論的な速度にまで加速を受けるため、レーザー磁場との相互作用、すなわち  $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$  の効果で、電子はレーザーの進行方向に加速されることになる。このような電子の運動は相対論的な速度であるため、もはやレーザーの電磁場の効果を準静的と扱えなくなり、このような状態におけるイオン化過程を扱うには、3次元の Dirac 方程式を解く必要がある。しかし、3次元の Dirac 方程式は、ある特別な場合を除いては解析的に解けないことが知られているため、シミュレーションによって解を予測することは可能ではあるが、それがどこまで正しいのかは、実験的に調査することが必要不可欠となる。

超相対論的領域におけるレーザー電場のイオン化の過程を実験的に調査するため、1) 超高強度レーザーと薄膜との相互作用によって、ほかのいかなる手段によっても作り出せることができない超高強度電場を作り出し、その高強度電場によるイオン化過程が、古典的なトンネル電離過程に基づくことを証明する、さらに超高強度レーザーの持つ光電磁場と単一原子を相互作用させることで、超高強度レーザーの光電場によるイオン過程は上記の古典的なトンネル電離過程から外れることを実験的に証明する、の2つの実験を行うことを目的としている。H30年度においては、特に1)に関してH29年度及びH30年度に行った実験の結果を、流体シミュレーション、及びPICシミュレーションによって再現し、超高強度レーザーと薄膜ターゲットの相互作用時におけるイオン化

の過程は、ターゲットが高温に熱されることによって発生する電子の衝突イオン化が支配的になり、電場によるイオン化による貢献は少ないことが明らかとなり、電磁場によるイオン化過程との比較実験には使えないことが明らかとなった。しかし反面、ターゲット上に地球上の外のいかなる手段によっても生成することができないような高強度の準静電場強度 (50TV/m) が生成されていることが明らかとなり、さらには、超高強度レーザーと薄膜との相互作用で生成されたプラズマが、地球上に存在する様々な実験室において作り出せることができるプラズマとは全く異なるユニークなプラズマであることが明らかとなった。

## § 2. 研究実施体制

① 研究者：西内 満美子（量子科学技術研究開発機構 上席研究員）

② 研究項目

- ・超高強度レーザーと薄膜との相互作用による極高強度準静的電場生成

- 実験遂行

- データ解析

- 論文化

- ・超高強度レーザー電磁場と単一原子との相互作用における電離過程

- 実験立案

- 検出器の設計・製作

- ・「超高強度レーザーと薄膜との相互作用による極高強度準静的電場生成」における

- データの解析及び論文化においては千徳康彦教授・岩田夏弥講師・畑昌育研究員(阪大 ILE)と共同で理論的考察 PIC によるシミュレーション、コーガジェームス主席研究員、ドーバーニコラス博士研究員(QST)と共同で流体計算によるシミュレーションを行った。

- ・「超高強度レーザー電磁場と単一原子との相互作用における電離過程」における

- 検出器設計及び制作においては榊泰直主席研究員(QST)と共同で行った。

- 相対論的な光電磁場と粒子との相互作用に関する PIC シミュレーションはコーガジェームス主席研究員(QST)と共同で行った。