

平成 21 年 6 月 20 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19740251

研究課題名（和文） 多電子相関解析で探る原子分子の多重電離ダイナミクス

研究課題名（英文） Multi electron spectroscopy for multi-ionization study of atoms and molecules

研究代表者

金安 達夫（KANEYASU TATSUO）

（財）佐賀県地域産業支援センター九州シンクロトン光研究センター

研究者番号：90413997

## 研究成果の概要：

原子分子の多重電離ダイナミクスの解明を目的として、飛行時間型の多電子計測装置の設計研究を行った。電子の検出効率を高めるため飛行時間分析器は磁場を用いた構造を採用し、飛行時間・位置測定から複数電子の相関情報を抽出する。本研究ではコンピューターシミュレーションによる分析器デザインと磁場形状の最適化を行い、また計測系の動作試験を兼ねた実験研究にて原子分子の多電子放出過程とその後続過程に関する知見を得た。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,700,000	0	2,700,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	180,000	3,480,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ

キーワード：同時計測，電子相関，光多重イオン化，分子解離，オージェ過程，シンクロトン放射

## 1. 研究開始当初の背景

光多重電離の研究は、1960年代のシンクロトン放射光の実用化以来、少数多体系の物理学における根源的な問題の一つである「電子相関」に関する興味から、実験および理論の両面で数多くの研究が進められてきた。特に、最も単純な二電子系である He 原子の光二重電離過程については、精力的に研究が進められ、今日では十分な理解が得られたといえる。実験の側面では、放出粒子の角度相関やエネルギー相関観測を可能とした電子・電

子同時計測といった技術の進歩は、原子分子の多電子過程の探索に大きく貢献してきた。特に、エネルギーと角度の相関観測から実現された三重微分断面積測定は、多重電離ダイナミクスの理解に極めて重要な情報を与える。

多電子原子に関しても、磁気ボトル型電子分析器による放出電子の運動エネルギー相関観測といった新規な実験手法が提案され、その優れた同時計測効率により極めて断面積の小さい過程が観測にかかるようになり、

多電子放出ダイナミクスの実験的研究は新たな局面を迎えている。しかしながら、ダイナミクスの理解のために必須である放出電子の角度相関観測は、多電子系においてはその技術的困難さのために、限定的にしか実施されていないのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、全立体角検出可能な磁場型電子分析器の新規開発し、それを用いて、原子分子の光多重電離過程のメカニズムの本質に迫ることにある。新型電子分析が実現する多電子計測、全立体角検出、放出電子のエネルギー及び角度相関情報を生かし、多電子系の光多重電離ダイナミクスの解明を目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 磁場を使用した新規電子分析器の設計を行った。分析器の構成としては、二次元位置検出器を組み込んだ一対の飛行時間型分析器をイオン化領域を挟んで配置する。コンピュータシミュレーションによる飛行管内の磁場評価を行い、一定磁場を実現するためソレノイドコイルの配置・形状の最適化を行った。

(2) シンクロトロン放射光を用いて、多重光電離で生成された複数電子のエネルギー・角度相関情報を得るためには、ナノ秒精度の同期・計測回路の構築、二次元位置敏感型検出器による電子の時間・位置測定、および大容量リストデータ処理による相関情報の抽出が必要である。本研究と技術的にも密接に関連する光多重電離過程の実験研究(磁場を用いた飛行時間型分析器による多電子計測)をPhoton Factoryにて実施し、分析器の計測回路開発に必要な放射光の時間構造の利用技術を検討した。Photon Factoryで用いられた計測回路をベースとして同期計測システムを設計し、その性能評価を目的として電子・イオン同時計測実験を実施した。

## 4. 研究成果

(1) 飛行時間分析器は当初全長1 m程度の構造としたが、既存の真空槽への取り付けの容易さを考慮して全長50 cm程度へ変更した。電子の飛行時間と検出器への到着位置から運動量を解析するためには、イオン化領域から検出器まで一定磁場を付与する必要がある。そこでシミュレーションソフトを用いて軸上磁場生成用のソレノイドコイルの形状を検討した。飛行管内にはインナーコイルとアウターコイルの二種類のソレノイドコイルを組み込み、さらにイオン化領域近傍に補助コイルを配置する構成とした。その結果、軸

上の一定磁場は強度変動1%程度で生成可能であり(図1参照)、直径40 mmの二次元検出器であれば、運動エネルギー300 eVまでの電子をほぼ100%検出可能とわかった。分析器形状についての磁場シミュレーションの結果より、磁場型電子分析器の設計指針を得た。

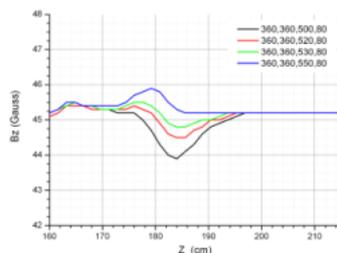


図1 飛行時間型電子分析器の磁場解析の例。補助コイルの電流調整により分析器全体における一定磁場を得る。

(2) 計測システムの有効性を確認するため、分子科学研究所の放射光施設 UVSOR にて、原子分子の内殻光イオン化に後続する緩和過程について同時計測の手法を用いた実験研究を行った。原子分子の多重電離の後続過程については、放出電子と生成イオン種を同時分析する方法も有効であり、多電子計測とは相補的な情報が得られる。

CH<sub>3</sub>Br分子の内殻共鳴励起において電子的脱励起と分子解離が競合する過程を電子・イオンの同時計測信号として捕らえることに成功した(図2参照)。またOCS分子についてはオージェ過程で生成される二価イオン状態と解離パターンの相関を明らかにした(図3参照)。OCS<sup>2+</sup>準安定イオンの生成量はイオン化される内殻軌道に強く依存するが、この現象は準安定分子イオン生成に関する価電子軌道の局在性から理解された。また、アセチレン分子についても、オージェ過程で生成される二価イオン状態と分子解離の相関を明らかにした。電子とイオンの同時分析実験においても、多電子計測実験と同様に、二台の二次元検出器による複数粒子の同時計測が必要である。二台の二次元検出器を用いた大容量リストデータから、電子・イオンの相関情報を抽出可能であり、この評価実験によって、多電子計測実験へ向けたナノ秒精度の計測システムと大容量リストデータ処理方法の有効性が確認された。

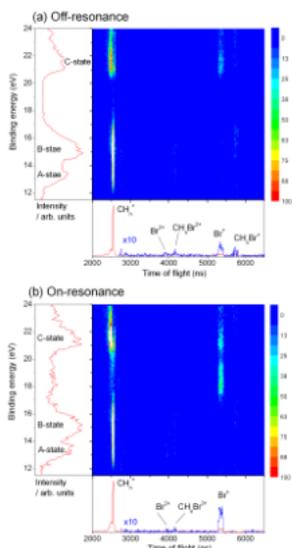


図 2 CH<sub>3</sub>Br 分子の内殻電子励起における分子解離と電子的脱励起の競合．共鳴条件(下図)では二次元スペクトル上の同時計測信号が強調される．

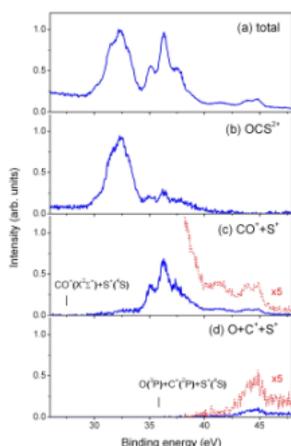


図 3 OCS 分子の S2p オージェ崩壊と解離パターンの相関．

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 2 件)

T. Kaneyasu et al., Multi-Electron Spectroscopy for Double Photoionization Study of Atoms and Molecules, International Symposium on (e,2e), Double Photoionization and Related Topics, 2007/8/2, Kommunikations und Trainings Center, Königstein, 独国.

T. Kaneyasu et al., Observation of Correlation Between Electron Emission and

Dissociation Following Core-hole Creation, The 25th International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions, 2007/7/30, Konzerthaus, フライブルグ, 独国.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

金安 達夫 (KANEYASU TATSUO)

(財)佐賀県地域産業支援センター九州シンクロトロン光研究センター

研究者番号: 90413997

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし