

(論文内容の要旨)

本論文は、MeVエネルギー領域の高速重イオンと孤立分子との間の衝突相互作用の解明を目的として行われ、運動量イメージング技術を新たに確立すると共に、その応用としてCO分子およびC₂H₂分子の電離分解過程に関する系統的な実験的研究を行い、その成果をまとめたものである。論文は6章から成っている。以下に各章に分けて本論文の概要を説明する。

第1章は序論であり、原子分子物理学の現状について言及した後、高速重イオン衝突の物理学的描像を述べると共に、分解イオンの運動量とエネルギーを持つ情報について説明している。即ち、二原子分子の場合は分解イオン片の運動量ベクトルから衝突時における分子軸の方向が決定できること、またイオン片の持つ運動エネルギーは標的分子の励起状態を反映していることを説明した後、最後に研究の目的と意義を述べている。原子分子物理学のみならずイオンビームを用いた応用技術の基礎研究としての側面についても詳述している。

第2章は実験方法の説明であり、本研究で新たに確立した多重同時測定実験装置を始め、計測用電子回路、測定データの解析手法を詳細に説明している。また位置検出装置として用いたDelay Line Detectorの動作原理やイオンに対する検出効率、飛行時間法などについて言及している。実験は、MeV領域エネルギーの3種類のイオンの入射イオン価数、衝突により生成される二次イオンの質量および運動量ベクトルに対する三重同時計測を行っている。

第3章では、高速重イオンの荷電変換衝突に伴うCO分子の電離励起分解過程について詳細に議論している。始めに2 MeV Si²⁺-CO系での電子捕獲・電子損失衝突での分子の各解離チャンネルへの分岐比や、分解イオン片運動エネルギー (Kinetic Energy Release, KER) が荷電変換条件に強く依存することを明らかにしている。更に標的分子の電子励起状態を考慮したポテンシャル曲線から予想されるKER値と比較することによって衝突で生成される初期励起状態を議論している。更に速度を1.69 a.u.に揃えたSi²⁺、B²⁺、O²⁺イオンの荷電変換衝突の結果を理論的に評価している。即ち、入射イオンの荷電変換過程を組み込んだ独立電子モデルを独自に構築し、相対電離断面積を導出して実験値と比較している。その結果、電子損失と標的の電離は独立過程であること、電子捕獲過

程は独立ではないことを明らかにしている。また分解過程、励起過程は相互作用強度 ($\kappa=q/vb$) によって特徴付けられることを明らかにしている。

第 4 章では入射イオンの荷電変換過程が標的分子の配向によって受ける影響について議論している。入射イオンと標的の組み合わせとして 6 MeV O^{4+} と CO 分子を用い、一電子捕獲衝突と一電子損失衝突のときの分子配向依存性を詳細に調べている。 O^{4+} の一電子損失衝突は衝突径数が小さい場合に限られること、逆に一電子捕獲衝突は発熱反応であるため比較的大きな衝突径数でも起こることを示し、その結果、標的分子の配向効果は衝突径数が小さいときには顕著に現れるが大きい場合は殆ど影響を与えないことを明らかにしている。

第 5 章では高速重イオンの荷電変換衝突による多原子分子の電離分解過程について述べている。 C_2H_2 分子を標的に用いて分解過程を詳細に測定した結果、結合切断は協奏的に起こっていることを明らかにしている。また KER スペクトルから $C_2H_2^{2+*} \rightarrow C_2H^+ + H^+$ 分解過程は光照射の場合に生成される一時的励起状態と同じ状態から解離していること、 $C_2H_2^{2+*} \rightarrow CH^+ + CH^+$ 分解過程は光照射とは異なる励起状態から解離していることを明らかにした。このことは分解によっては高速重イオン衝突でしか生成されない状態を経由した分解過程が存在することを新たに見出している。更にイオン衝突における C_2H_2 分子の構造変形に関する研究では、変形機構の考察を行い、価電子励起または振動励起が主要な要因であることを明らかにしている。

第 6 章は総括であり、本論文で得られた成果を要約し、今後の展望について述べている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、高速重イオンと孤立分子との間の相互作用の解明を目的として行われ、多重同時計測装置に新たに確立した運動量イメージング技術を付加すると共に、その応用としてCO分子およびC₂H₂分子の高速イオン衝突による電離分解過程の系統的な実験的研究を行い、その成果をまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 入射イオン価数、二次イオン質量、及び二次イオンの運動量ベクトルに関する情報を同時に計測することのできる多重同時計測装置を新たに開発し、分子の衝突分解ダイナミクスに関する詳細な知見を得ることに成功した。
- 2) MeV領域のエネルギーを持つ様々なイオン種 (B²⁺、O²⁺、Si²⁺) を用いて、標的分子の相対電離断面積、分子分解分岐比、分解イオンの運動エネルギー (Kinetic Energy Release, KER) 等を系統的に測定し、衝突径数法モデルで説明することに成功した。更に相互作用強度 ($\kappa = q/vb$) を用いて分解過程が整理できることを示した。
- 3) 入射イオンの荷電変換と標的分子の電離過程を独立に扱ったモデル計算を新たに構築し、その妥当性の検証を行った。その結果、電子損失と標的の電離は独立過程であること、電子捕獲過程は独立ではないことを明らかにした。
- 4) 荷電変換衝突過程における標的分子軸の配向依存性に対する詳細な考察を行い、標的分子の配向効果は衝突径数が小さいときに顕著に現れるのに対し、大きい場合には殆ど影響が無いことを見出した。
- 5) イオン衝突による分解と光照射による分解の比較考察を行い、C₂H₂^{2+*} → C₂H⁺ + H⁺ 分解過程は光照射の場合と同じ一時的励起状態から解離していること、C₂H₂^{2+*} → CH⁺ + CH⁺ 分解過程は光照射とは異なる励起状態から解離していることを明らかにした。
- 6) イオン衝突における C₂H₂ 分子の構造変形に関する研究では、変形機構の考察を行い、価電子励起または振動励起が主要な要因であることを明らかにした。

以上、本論文は分子の衝突分解過程を運動量イメージング法を用いて研究したもので得られた成果は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。
また平成21年2月4日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。