The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	希土類元素の対称型電荷移行衝突に関する研究
Author(s)	橋田, 昌樹
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3110088
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【60】

氏　　名	橋田昌樹（はしだまさき）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	第　12519　号
学位授与年月日	平成8年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電磁エネルギー工学専攻
学位論文名	**希土類元素の対称型電荷移行衝突に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教授　井澤　靖和 教授　三間　圀興　教授　岡田　成文　教授　中井　貞雄 教授　西川　雅弘　教授　青木　亮三　教授　桂　正弘 教授　権田　俊一　教授　中塚　正大　教授　西原　功修

論文内容の要旨

本論文は，レーザー同位体分離プロセスで重要となる電荷移行衝突について，希土類元素を対象として行った研究の成果をまとめたものであり，7章から構成されている。

第1章は緒論であり，希土類元素の対称型電荷移行衝突の重要性について述べ，本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では，アルカリ族や希ガスなどの原子構造が簡単な元素を対象として低速度領域での電荷移行衝突断面積を2準位近似で計算し，今日までに測定されてきた実験結果と比較して，2準位近似が単純元素に対する断面積を評価するのに有効であることを示している。これらの計算結果や多くの実験結果をまとめ，単純元素の電荷移行衝突断面積は原子の電離ポテンシャルの－（3／2）乗に比例することを示し，電離ポテンシャルと衝突速度を用いて単純元素の電荷移行衝突断面積とその衝突速度依存性を計算できる「簡易公式」を導いている。

第3章では，希土類元素の電荷移行衝突断面積を測定するため，イオン生成にレーザー光電離法を利用した直交ビーム衝突装置を新たに開発し，Caの電荷移行断面積を測定している。得られた衝突速度依存性は公表されているデータと同様の振動構造を示し，振動周期もほぼ一致していること，また，振動項を無視した衝突速度依存性は共鳴型簡易公式とほぼ一致していることを示し，開発した装置で得られる衝突断面積の妥当性を確認している。

第4章では，希土類元素の中で特に同位体分離の研究において注目されているGdについて，光電離用に波長可変の色素レーザーを用いて生成イオンの内部エネルギー状態を制御し，中性原子との電荷移行断面積の衝突エネルギー依存性をはじめて測定した結果について述べている。衝突エネルギー1000eVでの断面積は簡易公式によるものの2倍大きく，また，衝突エネルギー依存性も簡易公式とは異なり，衝突イオンの内部エネルギーによっても大きく変化することを明らかにしている。Gdの場合，衝突するイオン，中性原子とも基底状態に近接した励起状態をもっており，共鳴と非共鳴が混在する電荷移行過程と考えると衝突エネルギー依存性が定性的に説明できることを示している。

第5章では，Gdと同じ希土類元素で，質量数の小さいYについて電荷移行衝突断面積の測定を行い，衝突エネルギー1000eVでの断面積は簡易公式の1.5倍大きいこと，衝突エネルギー依存性はGdの場合と同様に共鳴，非共鳴混在型として定性的に説明できることを示し，断面積の絶対値について電子の波動関数と関連づけて考察している。

第6章では，より短波長のArFエキシマレーザーで生成したGdイオンと中性原子との電荷移行衝突断面積を測定し，色素レーザーで生成したイオンとの衝突とは異なる衝突エネルギー依存性を高励起状態のイオンと関連づけて

考察している。

第7章は結論であり，得られた結果をまとめ，本論文の総括を行っている。

論文審査の結果の要旨

原子法レーザー同位体分離においては，レーザー光により選択的に電離した標的同位体イオンを回収する際，非標的同位体原子との電荷移行衝突が起こると濃縮比が低下するため，電荷移行衝突断面積は同位体分離プラントの動作条件を決定する重要なパラメータである。分離の対象と考えられているGdやUなどの重金属原子は複雑な電子配置をしており，電荷移行衝突に関する研究は理論，実験とも全くないと言って過言ではない。

本研究は複雑な電子配置をもつ希土類元素を対象として電荷移行衝突断面積の衝突速度依存性を実験により研究し，単純元素に対する衝突速度依存性との比較から複雑元素の電荷移行衝突過程を考察したもので，主な成果を要約すると以下の通りである。

(1)アルカリ金属や希ガスなど原子構造が単純な元素について，低速度領域での電荷移行衝突断面積を2準位近似で計算し，今日までに報告のある多くの実験結果と比較して，2準位近似が単純元素に対する断面積を評価するのに有効であることを示している。また2準位近似による計算結果や多くの実験結果をまとめ，単純元素の電荷移行衝突断面積は原子の電離ポテンシャルの－（3／2）乗に比例することを明らかにするとともに，電離ポテンシャルと衝突速度を用いて単純元素の電荷移行衝突断面積とその衝突速度依存性を計算できる「簡易公式」を導いている。

(2)希土類元素の電荷移行衝突断面積を測定するため，レーザー光電離法を利用して衝突イオンを生成する直交ビーム衝突装置を新らしく開発し，Caの電荷移行断面積を測定して，開発した装置で得られる断面積の妥当性を確認している。得られた断面積の衝突速度依存性は公表されているデータと同様の振動構造を示し，振動周期もほぼ一致していること，また，振動項を無視した衝突速度依存性は共鳴型簡易公式とほぼ一致することを明らかにしている。

(3)希土類元素の中で特にレーザー同位体分離の対象として注目されているGdについて，電荷移行断面積の衝突エネルギー依存性をはじめて測定している。Gdイオンの生成に波長可変の色素レーザーを用いて生成イオンの内部エネルギー状態を制御し，内部エネルギー状態が電荷移行衝突過程に及ぼす効果について考察している。その結果，衝突エネルギー1000eVでの断面積は内部エネルギーに依存しないものの，簡易公式による値より2倍大きく，また，衝突エネルギー依存性も簡易公式とは異なり，衝突イオンの内部エネルギーによって大きく変化することを明らかにしている。Gdの場合，衝突するイオン，中性原子とも基底状態に近接した励起状態があり，電荷移行過程には共鳴型と非共鳴型が混在していると仮定することにより，衝突エネルギー依存性が定性的に説明できることを示している。

(4)Gdと同じ希土類元素で質量数の小さいYについて電荷移行衝突断面積の測定を行い，衝突エネルギー1000eVでの断面積は簡易公式の1.5倍大きいこと，衝突エネルギー依存性はGdの場合と同様に共鳴，非共鳴混在型として定性的に説明できることを示している。

(5)GdやYの電荷移行衝突断面積における実験値と簡易公式の不一致を最外殻電子の波動関数と関連づけて考察し，波動関数のわずかな違いが断面積の評価に大きな影響を与えることを明らかにして，電荷移行衝突の理論解析には精度の高い波動関数の決定が重要であることを指摘している。

以上のように本論文は，これまで研究例のない希土類元素の対称型電荷移行衝突を実験により詳細に研究し，断面積とその衝突速度依存性を明らかにしてレーザー同位体分離プラントを構成する上での重要なデータを提供するとともに，複雑元素の電荷移行衝突理論を確立するための新しい知見を与えており，電磁エネルギー工学，原子物理学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。