Osaka University Knowledge Archive

Title	Development of miniature double-focusing mass spectrograph for lunar exploration
Author(s)	西口, 克
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46490
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏　　名	西口　克（にしぐち　まさる）
博士の専攻分野の名称	博　士（理　学）
学　位　記　番　号	第　20009　号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 理学研究科物理学専攻
学　位　論　文　名	Development of miniature double-focusing mass spectrograph for lunar exploration （月探査用小型二重収束質量分析器の開発）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　野末　泰夫 （副査） 名誉教授　交久瀬五雄　　教　授　大貫　惇睦　　教　授　松田　准一 助教授　石原　盛男

論　文　内　容　の　要　旨

本研究では、将来の月・惑星探査機への搭載を目的とした小型二重収束質量分析器の設計、製作、および性能評価を行った。

装置の設計のため、トランスファーマトリックス法を用いたイオン光学特性の計算、および各種シミュレーションを行うソフトウェアの開発を行った。開発したソフトウェアはグラフィカルユーザーインタフェースを備え、光学系の設計、特性計算、各種シミュレーションを簡便かつ効率的に行うことが可能である。開発のきっかけとなった月探査ミッションでは、ローバーで移動しながら表面物質中の軽元素同位体比の高精度測定を行うことを計画している。そのため小型、軽量でありながら高い定量性と感度を達成する質量分析装置を目指し設計を行った。分析部には定量性とダイナミックレンジに優れた磁場型を採用した。磁場型の装置では、イオンの検出に位置検出器を用いることで定量性と感度の向上が可能である。そこで、位置検出器の使用に適したイオン光学系を設計した。

上記の設計に基づき、装置のラボラトリモデルを製作した。位置検出器にはマイクロチャンネルプレート、蛍光体、CCD からなる位置検出システムを開発した。検出面の有効面のサイズはおよそ 5 cm であり、最大 4.4 倍の質量範囲を同時に検出することができる。

次に、製作した装置の分解能に関する性能評価を行った。質量分析器において、広い質量範囲にわたりシャープな像を得るには、イオンのエネルギーと初期角度に関する二重収束条件を検出面上の広い範囲で達成することが要求される。そこで、エネルギー収束面、および方向収束面の評価実験を行い、広い質量範囲にわたり二重収束が直線上に達成されていることを確認した。また、低質量側では収束面のわずかな湾曲が観測された。そこで、実験との比較として、表面電荷法による磁場計算から磁場中のイオン軌道のシミュレーションを行った。実験結果とシミュレーション結果はよく一致しており、実験、シミュレーションの両面から収束面の直線性が確認された。二次収差係数 $(x|\delta\delta)$ の測定を行い、計算値との一致を確認した。

定量性の評価として、同時検出可能なダイナミックレンジの評価を行った。ネオンおよびクリプトンの測定を行い、^{20}Ne と ^{21}Ne のピーク面積比から、同時検出可能なダイナミックレンジとして 300 の値を得た。また、同位体比測定における再現性を評価し、測定誤差の範囲内で同位体比の測定値が再現することを確認した。検出器のゲイン分布の

評価から、40%程度のゲインの変動が観測されており、検出器のゲイン分布の較正が重要であることが示された。

論文審査の結果の要旨

本論文は、将来の月・惑星探査機への搭載を目的とした小型二重収束質量分析器の設計、製作、および性能評価を行っている。

装置の設計のため、トランスファーマトリックス法を用いたイオン光学特性の計算、および各種シミュレーションを行うソフトウェアの開発を行った。開発したソフトウェアはグラフィカルユーザーインタフェースを備え、光学系の設計、特性計算、各種シミュレーションを簡便かつ効率的に行うことが可能である。開発のきっかけとなった月探査ミッションでは、ローバーで移動しながら表面物質中の軽元素同位体比の高精度測定を行うことを計画している。そのため小型、軽量でありながら高い定量性と感度を達成する質量分析装置を目指し設計を行った。分析部には定量性とダイナミックレンジに優れた磁場型を採用した。磁場型の装置では、イオンの検出に位置検出器を用いることで定量性と感度の向上が可能である。そこで、位置検出器の使用に適したイオン光学系を設計した。

上記の設計に基づき、装置のラボラトリモデルを製作した。位置検出器にはマイクロチャンネルプレート、蛍光体、CCD からなる位置検出システムを開発した。検出面の有効面のサイズはおよそ 5 cm であり、最大 4.4 倍の質量範囲を同時に検出することができる。

次に、製作した装置の分解能に関する性能評価を行った。質量分析器において、広い質量範囲にわたりシャープな像を得るには、イオンのエネルギーと初期角度に関する二重収束条件を検出面上の広い範囲で達成することが要求される。そこで、エネルギー収束面、および方向収束面の評価実験を行い、広い質量範囲にわたり二重収束が直線上に達成されていることを確認した。また、低質量側では収束面のわずかな湾曲が観測された。実験との比較として、表面電荷法による磁場計算から磁場中のイオン軌道のシミュレーションを行った。実験結果とシミュレーション結果はよく一致しており、実験、シミュレーションの両面から収束面の直線性が確認された。二次収差係数（$x|dd$）の測定を行い、計算値との一致を確認した。

定量性の評価として、同時検出可能なダイナミックレンジの評価を行った。ネオンおよびクリプトンの測定を行い、^{20}Ne と ^{21}Ne のピーク面積比から、同時検出可能なダイナミックレンジとして 300 の値を得た。また、同位体比測定における再現性を評価し、測定誤差の範囲内で同位体比の測定値が再現することを確認した。検出器のゲイン分布の評価から、40%程度のゲインの変動が観測されており、検出器のゲイン分布の較正が重要であることが示された。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。