

月・惑星探査用飛行時間型質量分析装置の開発

今井 優介 [1]; 齋藤 義文 [2]; 齋藤 直昭 [3]; 横田 勝一郎 [2]
[1] 東大・理・地球惑星; [2] 宇宙研; [3] 産総研

Development of TOF-MS for in-situ K-Ar dating

Yusuke Imai[1]; Yoshifumi Saito[2]; Naoaki Saito[3]; Shoichiro Yokota[2]
[1] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo; [2] ISAS; [3] AIST

In-situ material measurement in planetary exploration is quite important in understanding origin and evolution of the planets. For the purpose of performing in-situ elemental analysis, mass spectrometers are installed, for example, on NASA's Curiosity rover and the ESA's Rosetta spacecraft. However, we still do not have a mass spectrometer that is suitable for the future planetary exploration. Therefore, we have decided to develop a Time Of Flight Mass Spectrometer (TOF-MS) aiming at using for the future planetary exploration. The mass spectrometer that we are developing can also be used for in-situ Potassium-Argon (K-Ar) isochron dating. The instrument for Potassium-Argon (K-Ar) isochron dating is the combination of a laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for the K concentration measurement and a mass spectrometer for the Ar isotopic measurement. Considering that the instrument should be installed on a planetary lander, there exists limitation on the weight, size and power etc, it is necessary to design a small size mass spectrometer which has a mass resolution capable of the Ar isotopic measurement. In order to minimize the variation of the initial position and initial energy of the ionized ions for maximizing the mass resolution, we have decided to adopt a single-stage reflectron with two-stage acceleration part. We have analytically optimized the design parameters of the reflectron. By using SIMION charged particle simulation software we have confirmed that mass resolution of our TOF-MS is high enough for Ar isotopic measurement. We are aiming to develop the multi-reflector type TOF-MS which has the potential to increase mass resolution under the size constraint. Compared to the single-reflector TOF-MS, the flight path becomes about three times longer which makes the mass resolution of the TOF-MS improved. However, as the flight length increases, variations in the flight path of the ions increase and the detection rate decreases. In order to solve this problem, we have decided to use electron lens for reducing ion dispersion. Under the same conditions as the single-reflector TOF-MS, we confirmed improvement of mass resolution about three times as compared with the single-reflector TOF-MS. We will mainly report the design of the multi-reflector type TOF-MS as well as the current status of our single-reflector TOF-MS development.

月・惑星探査におけるその場の質量分析は、月・惑星の進化を理解する上で非常に重要であると考えられる。近年の太陽系探査において、NASAの火星探査機「Curiosity」やESAの彗星探査機「Rosetta」にはその場での元素分析を行うための質量分析器が搭載されている。しかし、ISASでは月・惑星の岩石試料の計測を目的とした質量分析器は未開発である。そこで我々は月・惑星の探査を想定したTOF-MS(Time-Of-Flight Mass Spectrometer:飛行時間型質量分析器)の開発を進めている。また、本TOF-MSはその場K-Ar年代測定への応用も想定している。その場K-Ar年代測定により、クレーター年代学で生じる不確定性を減らし、火星の気候変動や月の進化の過程に制限を設けることができる可能性がある。

我々がTOF-MSの使用を検討しているその場K-Ar年代測定は、K濃度測定を行うLIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy:レーザ誘起絶縁破壊分光装置)とAr同位体測定を行うTOF-MSから構成されている。着陸機搭載を想定すると、重量、サイズ(直径10[cm]、全長20[cm]程度)、電圧(数[kV])などに制約があり、その条件下でAr同位体測定が可能な質量分解能のTOF-MSを設計する必要がある。TOF-MSにおいて、イオンの初期位置や初期エネルギーのばらつきを抑え、高い質量分解能を得るために、我々はイオンを反射させるリフレクター方式のTOF-MSを採用し、先行研究で試作した試験モデルの改良を進めている。先行研究で試作した試験モデルでは、イオン源で生成したイオンの加速を行うイオン加速部は1段、リフレクトロンのイオン反射部は2段の構成であったが、最適な設計を目指した性能比較試験を行うため、本研究のモデルでは、加速部を2段、反射部を1段の構成に変更した。イオンの初期位置や初期エネルギーのばらつきに依らず飛行時間が収束することを条件にして求めた解析解から、装置の寸法や印加電圧等のパラメータを設定した。これらのパラメータを基に粒子シミュレーションソフトSIMIONを用いてArイオンの飛行時間と検出器への到達率を求め、前述のサイズ、印加電圧の条件において、Ar同位体計測に必要な質量分解能が達成可能である事を確認した。その上で、限られた容積で質量分解能を向上させることを目指して、反射を複数回行うマルチリフレクター型のTOF-MSの開発を目指している。それまでの一回反射のTOF-MSと比べ、3回反射のマルチリフレクター型のTOF-MSはイオンの飛行時間が約3倍となり、分解能が向上する。しかし、飛行時間が増加するとイオンの飛行経路のばらつきが増え、検出率が低下する。そのため、レンズを用いてイオンの飛行経路のばらつきを抑える設計とした。一回反射のTOF-MSと同様にSIMIONを用いてArイオンの飛行時間と検出器への到達率を求め、前述のサイズ、印加電圧の条件において、一回反射のTOF-MSと比べ約三倍の質量分解能の向上を確認した。

本発表では、主にマルチリフレクター型のTOF-MSの設計について報告する他、Ar同位体計測用の1回反射型TOF-MSの開発状況を報告する。