

月・惑星探査用飛行時間型質量分析装置の開発

大石 峻裕 [1]; 齋藤 義文 [2]; 齋藤 直昭 [3]; 藤原 幸雄 [3]; 長 勇一郎 [4]
[1] 東大・理・地惑; [2] 宇宙研; [3] 産総研; [4] 立教・理

Development of a TOF-MS for the future planetary missions

Takahiro Oishi[1]; Yoshifumi Saito[2]; Naoaki Saito[3]; Yukio Fujiwara[3]; Yuichiro Cho[4]
[1] Dept. Earth & Planet. Sci, Univ. Tokyo; [2] ISAS; [3] AIST; [4] Rikkyo Univ.

In-situ measurement of planetary material is quite important in understanding evolution of the planets. NASA's Curiosity rover performed in-situ Potassium-Argon (K-Ar) isochron dating experiment on Martian rock by a quadrupole mass spectrometer (QMS) and an alpha particle X-ray spectrometer (APXS). On the other hand, the ESA's Rosetta spacecraft performed direct in-situ measurement of the D/H ratio and N²/CO ratio in the Jupiter family comet 67P/Churyumov-Gerasimenko by the ROSINA mass spectrometer on ROSETTA. Furthermore, Philae lander on ROSETTA discovered 16 organic compounds on comet 67P/Churyumov-Gerasimenko.

In ISAS, IMA (Ion Mass Analyzer) measured the lunar plasma aboard the ISAS's Kaguya spacecraft. IMA is a linear electric field time-of-flight (LEF-TOF) energy mass spectrometer. However, ISAS has never developed a time-of-flight mass spectrometer (TOF-MS) for the future planetary missions. Therefore, we are developing a new instrument for in-situ K-Ar isochron dating.

K-Ar isochron dating is a radiometric dating method and it is based on the measurement of the product of radioactive decay of ⁴⁰K into ⁴⁰Ar. This instrument is the combination of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and TOF-MS. ⁴⁰K is measured using LIBS and ⁴⁰Ar is measured using TOF-MS. One of the purposes of this mission is to understand climate change of ancient Mars by determination of the absolute age of the Noachian-Hesperian transition. We are developing a small size TOF-MS that has a length of 180mm and a diameter of 100mm in order to install the instrument on a rover. We confirmed that the mass resolution of the TOF-MS is 160 (at m=40 amu) by using SIMION charged particle simulation software. We also manufactured a test model TOF-MS in order to confirm its performance.

Furthermore, we are considering experiments to measure organic compounds and planetary atmosphere by using the TOF-MS. In this presentation, we report the current development status of the TOF-MS and what the TOF-MS can detect based on the results of the first experiment of the test model TOF-MS.

月・惑星探査において、その場の質量分析によって得られる情報には、天体の起源と進化を理解するための手がかりになることが期待される。近年の探査において、NASAの火星探査機「Curiosity」による年代計測や、ESAの彗星探査機「Rosetta」によるチュリュモフ・ゲラシメンコ彗星のD/H比計測やN²/CO比計測が質量分析器により行われた。さらに着陸機「Philae」に搭載された質量分析器は、16種類の彗星の有機物を検出した。このようにその場の質量分析は、年代計測、同位体計測、揮発性物質計測など多岐にわたる太陽系探査に貢献している。

また、ISASではこれまで天体周辺空間のイオンを質量分析により計測するTOF(Time-Of-Flight)型質量分析器が開発され、「かぐや」では月周辺プラズマのイオン質量分析を行った。しかしながら、ISASでは月・惑星の岩石を構成する主要元素や揮発性物質の測定を目的とした質量分析器は未開発であり、その開発が望まれている。また、TOF型質量分析器はこれらの物質計測に加えて、その場K-Ar年代計測のための質量分析部としても応用できる。そこで我々は将来の月・惑星探査を想定した、その場K-Ar年代計測のための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。

我々が検討している年代計測システムではLIBS(Laser-Induced Breakdown Spectroscopy:レーザ誘起絶縁破壊分光法)によるK濃度測定とTOF-MSによるAr同位体測定からK-Ar年代を求めるものである。その場K-Ar年代測定が可能となれば、火星のノアキス代からヘスペリア代に起きた気候変動や、月の進化の過程について制約を課することができる可能性がある。そこで我々は、着陸機に搭載可能な直径10[cm]、全長18[cm]程度のTOF-MSを開発し、イオンを約4keVまで加速することで、質量数40のピークにおいて160程度の質量分解能を得ることを計算機シミュレーションにより確認した。これまでにイオン源とTOF-MSで構成されるK-Ar年代計測のための試験モデルの製作を行った。TOF-MSでは、イオンを加速もしくは反射させるためのリング状の電極をインシュレーターで結合し、イオンを自由飛行させるドリフトチューブに取り付けた。また、この試験モデルでは部品を組み替えることにより、イオンを直線的に飛行させるリニアモードと、イオンを反射させるリフレクターモードを切り替え、ミッションに合わせた最適な形状を選ぶことができる。

さらに、我々はこの試験モデルを用いて、質量分析器の開発目的である岩石を構成する主要元素や揮発性物質の測定、さらには惑星大気同位体比計測のための試験の実施も検討している。岩石を構成する主要元素測定では、レーザーイオン化法により生じたガスを試験モデルにより計測する。本発表では試験モデルを用いた初期性能結果と、岩石を構成する主要元素や揮発性物質の測定等のK-Ar年代計測以外の応用法についても報告する。