

蛍光・回折 X 線による月面地質分析: CNT-FE 小型 X 線発生装置の基礎開発

Basic development of miniaturized CNT-FE x-ray tube for in-situ x-ray analysis of lunar surface material

小川 和律 [1]; 岡田 達明 [2]; 加藤 学 [2]

Kazunori Ogawa[1]; Tatsuaki Okada[2]; Manabu Kato[2]

[1] 東工大・理工・地球惑星; [2] 宇宙研

[1] Dept. of Earth and Planetary Sci., Titech.; [2] ISAS/JAXA

<http://planetb.sci.isas.jaxa.jp/xrs/>

我々は将来の月面着陸探査機に蛍光・回折 X 線分析装置 (XRF/XRD) の搭載を計画しており、現在、内蔵用の小型 X 線源を中心として基礎開発を進めている。宇宙航空研究開発機構は日本初となる月面着陸探査機 SELENE-2 の検討を始めており、2007 年に打ち上げ予定である月周回探査機 SELENE の後継機としての継続的な月探査を目指している。この計画は、月面の狙った地域にピンポイントに着陸した後、着陸機ラングおよび小型探査車ローバに搭載される複数の科学分析機器によって、周回軌道からでは成し得ない地質学的詳細分析を行なうというものである。我々はこの SELENE-2 ラングに XRF/XRD を搭載し、得られる岩石試料について蛍光・回折 X 線による元素組成分析、および結晶構造解析を行なう。狙いとするサイエンスは着陸場所により違いが出るが、一般に固体惑星表面に分布する物質の主要元素組成とそれに伴う鉱物学的情報は惑星地殻の組成、地殻物質を生成した原始マンツルの組成やその熱的進化過程の推定、惑星のバルク組成の推定、さらには原始太陽系星雲内における物質進化過程の解明に必要不可欠である。

上記の蛍光・回折 X 線分析装置は、プローブとなる一次 X 線源と、試料から放射される二次 X 線の検出器から構成される。X 線検出器については近年、特に半導体を使用した検出器の小型高性能化が進み、良いエネルギー分解能、検出効率を持つ検出器が惑星探査機に搭載可能となってきた。しかし X 線源には依然として問題が残る。これまでの惑星探査を見ると、蛍光 X 線分析については数回実施されており、最近では NASA による Mars Exploration Rovers (MER) が蛍光 X 線分光計を搭載している。この例では X 線源として放射性同位体を採用した。放射性同位体は小型軽量で探査機への搭載が容易であり、また電力の消費も無いが、出力 X 線の輝度が小さく有効なデータを得るには長時間の分析が必要となる。実際に、MER は X 線による組成分析に数時間から一晩の分析時間を要した。実験室内での X 線分析に用いられる X 線源としては、出力 X 線輝度が大きい X 線管球が一般的だが、サイズ、重量等の点から、そのまま探査機に搭載することは困難を伴うため、過去に搭載例は無い。ここで、小型の X 線管球を開発し探査機搭載が可能となれば、MER と同様の分析をわずか数分で完了できることになる。SELENE-2 で想定する XRF/XRD の複合分析においては MER 以上の分析時間が必要となり、放射性同位体の使用は現実的ではない。ミッション期間の時間的制約からも、よりクイックな分析を行なう必要があり、X 線管球の搭載が妥当である。X 線管球はまた、X 線の出力を電氣的にコントロールできることも大きな利点であり、これにより高精度で柔軟性のある分析が可能となる。本研究は、従来と比較して格段に小型軽量化した X 線管球の開発と、その探査機搭載の可能性についての実験的な検証を目的とする。

小型軽量の X 線管球の実現において最も重要なのは、内部の電子銃の最適化である。現在までに小型の管球が実用化されなかった主な理由は、形状を小型に抑え、かつ十分な電子電流を得られる電子銃が存在しなかったことによる。熱電子放出型 (TE) 電子銃では発熱の処理が、タングステンをを用いた電界放射型 (FE) 電子銃では電子電流量の不足と耐久性に問題があった。この問題に対しては、カーボンナノチューブ (CNT) からの電界放射を利用した電子銃を採用することで解決する。CNT は近年新たに発見された炭素同素体で、nm オーダーの非常に細い形状から FE 電子源としても応用が期待される新素材である。CNT を基盤面に塗布し FE 電子源として用いることで、従来までの FE 電子銃の問題点であった電流の不足が解消され、 $1\text{ cm}^2 \times 2\text{ cm}$ 程度の小型軽量の X 線管球が作成可能であることが報告されている。我々は過去に、想定する CNT-FE 小型 X 線管球内部の CNT 電子銃と陽極ターゲットを製作し、それらを真空装置内部に配置して、CNT からの電界放射と、それに伴って発生する X 線の評価を行なって来た。その結果、X 線輝度、スペクトル、消費電力等の諸性能の観点から、探査機搭載用の X 線源としての可能性が十分にあることを示した。それらを踏まえて現在、CNT 電子銃を小型の真空管に埋め込んだ、真空封じきりのプロトタイプの製作を試みている。本発表ではこのプロトタイプの開発現状を中心として、これまでに行なってきた基礎実験の結果を報告し、小型 X 線管球の機上での応用方法などについて議論する。