

次期月着陸探査搭載能動型蛍光X線分光計の研究開発

研究代表者 長岡 央
(学部名 学科名 次席研究員)

1. 研究課題

本研究課題は、将来の惑星探査機への搭載に向け、元素分析装置の開発を行うことである。探査機には厳しいリソース制限と観測時間のなかで、より多くの元素情報を取得可能である高性能元素分析装置の開発・搭載が必須である。本報告書では、着陸探査車に搭載可能な小型X線発生装置を備えた能動型X線分光計の開発に焦点を当てている。

2. 主な研究成果

惑星探査における蛍光X線分析を用いたその場観測では、能動型のX線発生装置の搭載が必須である。特にリソースの限られた探査車への搭載には、発生装置の小型軽量化と低消費電力化を達成する必要がある。そこで焦電結晶 (LiTaO_3) を惑星探査用のX線発生装置に応用することで、小型・軽量・低消費電力化を達成する。焦電結晶型の発生装置は高压電源や放射性物質が不要な点も宇宙機の搭載には有利である。焦電結晶型のX線発生装置は、“焦電結晶”、“結晶に温度変化を与えるためのペルチェ素子”、“金属ターゲット” から構成され (図1)、焦電結晶に温度変化を与えることで自発分極が引き起こされ、結晶表面に高い電場を形成する。装置内の電子がその電場で加速され、金属ターゲットもしくは結晶に衝突することで、X線が発生する。この発生X線を励起源として、試料に対し蛍光X線分析を行う。しかし、現状市販品の焦電結晶X線発生装置は、得られるX線の強度が弱く、元素の定量分析を行う上で、十分な統計を得るのに非常に時間がかかってしまう点が惑星探査への応用で問題となる。

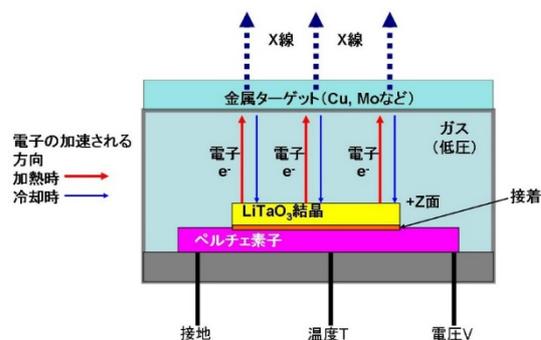


図1. 焦電結晶型X線発生装置の模式図 (図は長岡他, 2015 より引用)

そこで、本研究ではいまだ十分とはいえない焦電結晶のX線発生機構の物理的理解を含めて、焦

電結晶型 X 線発生装置の X 線強度の“安定化”と“高輝度化”の実現を目指した。

1) 焦電結晶型 X 線発生装置の高輝度化に関わる研究成果

金属ターゲット周辺の電場を強くし、電子の収集効率を上昇させる目的で円筒型の金属ターゲット（図 2 右側）を作成し、従来の平板型（図 2 左側）と円筒型の金属ターゲット（ターゲット部は銅薄膜）それぞれを用いて、発生する X 線量を計測し比較した。

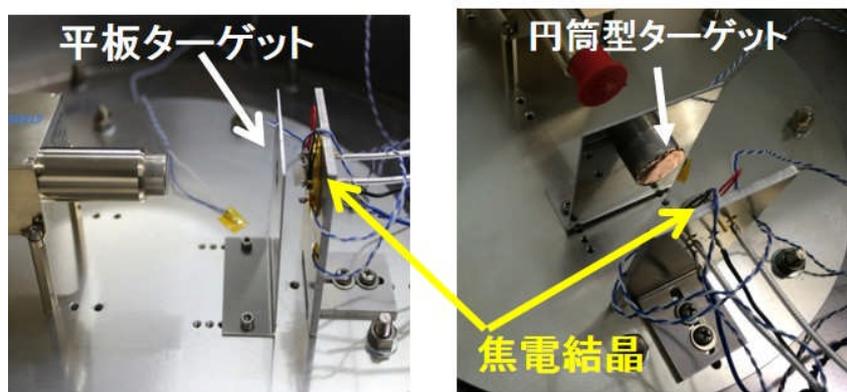


図 2. 左図は平板の銅ターゲット、右側は結晶側に銅ターゲットが円筒型で突き出している。

窒素ガスを 1Pa の条件のもと、図 2 にあるターゲット、焦電結晶、ペルチェ素子、X 線検出器（Silicon drift detector, SDD）を真空チャンバーに封入した。金属ターゲットと結晶の距離を 6mm, 9mm, 12mm, 15mm, と変化させ、放出される X 線を SDD で計測した。

検出される X 線量は、金属ターゲットと結晶の距離によらず、すべての上記距離において円筒型ターゲットを用いた場合の X 線計数率が平板型のものより増加した。最も高い強度が得られた条件は、CLT 型焦電結晶 LiTaO₃（結晶直径 7.1 mm, 厚さ 4mm）と円筒型ターゲット（銅薄膜直径 10 mm, 厚さ 10 μm）を用いて、ターゲットー結晶間距離を 9mm とし、窒素 1Pa で封入した場合である。

以上の条件下、結晶を 50 秒間加熱し、100 秒間自然冷却させる温度サイクルを 1 サイクルとし計 10 サイクル行い、発生する X 線を SDD で計測した。得られた X 線の発生量 (3.0×10^4 cps) は、過去長谷部研にある市販品 COOL-X を用いて計測した X 線発生量 (4.5×10^2 cps) と比較して 70 倍ほど高い結果が得られ、焦電結晶型の X 線発生装置の高輝度化に成功した。

本研究成果の一部は、JSPS 科研費 26800239 (PI 長岡央) の助成を受けている。

引用文献

長岡央, 長谷部信行, 草野広樹, 大山裕輝, 内藤雅之, 柴村英道, 久野治義 “惑星探査期搭載に向けた蛍光 X 線分光計の焦電結晶 X 線発生装置の基礎開発” *X 線分析の進歩*, **46**, 347-354, 2015

3. 共同研究者

長谷部 信行 (先進理工学部・物理学科・教授)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- H. Nagaoka, N. Hasebe, H. Kusano, Y. Amano, E. Shibamura, T. Ohta, T.J. Fagan, M. Naito, H. Kuno, J.A. Matias Lopes “Instrumental Overview of an Active X-ray Spectrometer for Future Lunar Landing Mission” *JPS Conference Proceedings*, **11**, 040004, doi: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.11.040004>, 2016
- H. Kusano, N. Hasebe, H. Nagaoka, M. Naito, M. Mizone, Y. Amano, E. Shibamura, H. Kuno “Current Development Status of an X-ray Generator for X-ray Fluorescence Analysis on Space Mission” *JPS Conference Proceedings*, **11**, 040005, doi: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.11.040005>, 2016
- N. Hasebe, T. Ohta, Y. Amano, M. Naito, H. Kusano, H. Nagaoka, K. Yoshida, T. Adachi, T. J. Fagan, H. Kuno, E. Shibamura, A. Hitachi, J. A. Matias Lopes, J. Martínez-Frías, T. Nakamura, S. Kameda, Y. Cho, N. Shirai, H. Miyamoto, T. Niihara, T. Mikouchi, T. Okada, Y. Karouji “An Investigation of Element Composition of Martian Satellites by Gamma-ray and Neutron Spectrometer” *JPS Conference Proceedings*, **11**, 040006, doi: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.11.040006>, 2016
- K. Yoshida, M. Naito, N. Hasebe, H. Kusano, H. Nagaoka, J. Ishii, D. Aoki “Gamma-ray Emission from the Surface of Martian Satellites as a Function of Elemental Composition” *JPS Conference Proceedings*, **11**, 040007, doi: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.11.040007>, 2016
- M. Naito, N. Hasebe, K. Yoshida, J. Ishii, D. Aoki, H. Nagaoka, H. Kusano, E. Shibamura “Neutron Fluxes from Martian Satellites as a Function of Chemical Composition and Hydrogen Content” *JPS Conference Proceedings*, **11**, 050003, doi: <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.11.050003>, 2016
- M. Hareyama, Y. Fujibayashi, N. Yamashita, Y. Karouji, H. Nagaoka, S. Kobayashi, R.C. Reedy, O. Gasnault, O. Forni, C. d’Uston, K.J. Kim, N. Hasebe “Estimation method of planetary fast neutron flux by a Ge gamma-ray spectrometer” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, **828**, 145-155, 2016

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演 (MS 明朝体、11 ポイント)

なし

4.4 受賞・表彰 (MS 明朝体、11 ポイント)

なし

4.5 学会および社会的活動 (MS 明朝体、11 ポイント)

代表コンビーナ, 「月の科学と探査」セッション, “日本地球惑星科学連合 連合大会”, 2016年5月, 幕張大会

5. 研究活動の課題と展望 (MS ゴシック、太字、11 ポイント)

高強度のX線が得られる小型の焦電結晶型発生装置は、宇宙機搭載のみならず、小型で容易に携帯可能なポータブル蛍光X線分光計としての実用化も視野にいれ開発を進めている。小型発生装置の実現と実用化には、部品封入後の内部気体圧力の保持が非常に重要な鍵となる(焦電結晶は封入圧力が悪くなると性能が大幅に劣化する)。今年度、試作品を作成し実験を行ったが、内部圧力の

悪化により、十分な結果が得られなかった。次年度は装置作成に重点を置き、特に装置内の真空状態を保持のために、可能な工夫（部品のベーキングやゲッターの封入など）を施すことで、発生装置の作成を達成する。