

LAPYUTA 搭載に向けた大型高感度紫外線検出器の開発

#田所 彩華¹⁾, 村上 豪²⁾, 榎木谷 海²⁾, 山崎 敦²⁾, 亀田 真吾³⁾, 土屋 史紀⁴⁾, 吉岡 和夫⁵⁾, 桑原 正輝³⁾, 木村 智樹¹⁾, 清水 里香⁶⁾, 近藤 依央菜²⁾

⁽¹⁾ 東京理科大学, ⁽²⁾JAXA, ⁽³⁾ 立教大学, ⁽⁴⁾ 東北大学, ⁽⁵⁾ 東京大学, ⁽⁶⁾ 総合研究大学院大学

Development of a large, high-sensitivity ultraviolet detector for installation on LAPYUTA

#Ayaka Tadokoro¹⁾, Go MURAKAMI²⁾, Umi Enokidani²⁾, Atsushi YAMAZAKI²⁾, Shingo KAMEDA³⁾, Fuminori TSUCHIYA⁴⁾, Kazuo YOSHIOKA⁵⁾, Masaki Kuwabara³⁾, Tomoki KIMURA¹⁾, Riko Shimizu⁶⁾, Iona Kondo²⁾

⁽¹⁾Tokyo University of Science, ⁽²⁾Japan Aerospace Exploration Agency, ⁽³⁾Rikkyo University, ⁽⁴⁾Tohoku University, ⁽⁵⁾University of Tokyo, ⁽⁶⁾The Graduate University for Advanced Studies

Ultraviolet observation is a powerful tool of remotely monitoring planetary upper atmospheres, exospheres, and plasma environments. The Spectroscopic Planet Observatory Satellite “Hisaki” (SPRINT-A) is the world’s first space telescope mission dedicated to planetary observation and it has successfully captured the spatial and temporal variations in Jupiter’s Io plasma torus and the upper atmospheres of Mars and Venus. However, due to limitations in sensitivity and spatial resolution, it has been difficult to observe the spatial structure of the atmospheres of Mars and Venus, small bodies such as moons of Jupiter, and exoplanet atmospheres.

As a next-generation mission, the Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly (LAPYUTA) aims to explore habitable environments and investigate the origin of matter and space in the universe, which were not achieved by Hisaki. Ultraviolet mission instruments consist of a Cassegrain telescope with a 60 cm primary mirror ($F = 2.5$), two ultraviolet spectrographs (a medium-resolution spectrograph MRS and a high-resolution spectrograph HRS), and an ultraviolet slit imager UVSI. To achieve LAPYUTA’s scientific objectives, the MRS must have an effective area of 350 cm^2 , a wavelength range of $110 - 190 \text{ nm}$, a wavelength resolution of 0.02 nm , and a spatial resolution of 0.1 arcseconds.

The detector is a particularly key component for the MRS instrument. To satisfy the required specifications, a large and high-sensitivity detector with an effective area of $120 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ is needed while maintaining the conventional position resolution ($15 \text{ } \mu\text{m}$). The detector consists of microchannel plates (MCP) with a CsI photocathode, a fiber optics plate (FOP) with a phosphor screen, and a CMOS sensor readout. In order to increase quantum efficiency, funnel-type MCP has been developed in recent years. Since funnel-type MCP has a tapered shape for the channel input, the aperture ratio can be increased from approximately 60% in standard type to around 90%, achieving higher quantum efficiency. While funnel-type MCPs with diameters of 18 mm or $53 \text{ mm} \times 53 \text{ mm}$ have been developed, the large size of 120 mm required for MRS has not been achieved yet. This scaling up process raises concerns about mechanical issues such as reduced strength and bending, as well as performance issues like non-uniformity in quantum efficiency and gain within the effective area.

Therefore, this study aims to manufacture a prototype of a funnel-type MCP detector with the maximum size ($80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$) that can be achieved using current equipment and to verify its functionality and evaluate its performance. The prototyped detector consists of funnel-type MCPs (3 stages) with a CsI photocathode and a FOP with a phosphor screen, assembled on a vacuum flange. After verifying the functionality of the prototype, we varied the high voltage applied to the MCP and measured the voltage dependence of the pulse height distribution. Additionally, monochromatic light was irradiated at different positions within the effective area to measure the in-plane uniformity of quantum efficiency and gain at each wavelength.

The large and high-sensitivity detector being developed in this study is not useful only for LAPYUTA. It is one of key technologies that can be applied to NASA’s flagship mission, Habitable Worlds Observatory (HWO), which is scheduled to be launched in the 2040s.

紫外線観測は、惑星上層大気や外圏大気、プラズマ環境などの遠隔監視を可能とする手段として有用である。世界初の惑星観測に特化した宇宙望遠鏡である惑星分光観測衛星「ひさき」では、木星イオプラズマトーラスや火星・金星上層大気の時空間変化を捉えることに成功した。しかし、感度と空間分解能の制約から火星・金星大気の空間構造を分解した観測や、木星衛星のような小天体の観測、および系外惑星大気の観測は困難であった。

次世代計画である惑星科学、生命圏科学、および天文学に向けた紫外線宇宙望遠鏡計画 Life-environmentology, Astronomy, and Planetary Ultraviolet Telescope Assembly (LAPYUTA) では、「ひさき」では実現できなかった、生命存在可能環境の探求と宇宙の構造および物質の起源の理解を科学目標としている。そのためには高感度化・高空間分解能化の技術開発が重要となる。

LAPYUTA は、口径 60 cm の主鏡 ($F = 2.5$) をもつカセグレン式望遠鏡と、2 台の紫外線分光器 (中分散分光器 MRS と高分散分光器 HRS)、及び紫外線スリットイメージャ UVSI で構成される。このうち MRS の要求仕様は、有効面積 350 cm^2 、波長範囲 $110 \sim 190 \text{ nm}$ 、波長分解能 0.02 nm 、空間分解能 0.1 秒角である。要求される仕様を満たすために

は、特にキーとなる開発課題が検出器である。従来の位置分解能 ($15\text{ }\mu\text{ m}$) を保ちつつ $120\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ の大型かつ高感度の検出器が必要となる。検出器は CsI 光電面付マイクロチャンネルプレート (MCP)、蛍光面付ファイバーオプティクスプレート (FOP)、CMOS センサ読み出し部から構成される。検出器の高感度化の手段として、近年ファネル型 MCP の要素開発が進められてきた。ファネル型 MCP は、入力側がテーパ形状に改良されたもので、チャンネル入口の開口率を標準品の 60% 程度から 90 % ほどまで向上させ、より高効率で光電子を電子増倍部に取り込むことができる。これまで、 $\phi\text{ }18\text{ mm}$ や $53\text{ mm} \times 53\text{ mm}$ のファネル型 MCP の開発例はあるが、MRS で要求される 120 mm までの大型化には至っていない。変形や湾曲などを引き起こす機械的強度の課題や、有効面内における量子効率・ゲインの非一様性など性能の課題が残る。

そこで本研究では、現行の製造装置で製作することのできる最大サイズである $80\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ のファネル型 MCP を試作し、機能の検証と性能の評価を行うことを目的とする。試作した検出器は CsI 光電面付のファネル型 MCP (3 段) と蛍光面付 FOP で構成され、真空フランジ上に組み上げられている。試作機の機能検証を行ったのちに、MCP への印加電圧を変化させ、波高分布の電圧依存性を測定した。また単色光を有効面内の異なる位置に入射し、各波長における量子効率及びゲインの面内一様性を測定した。

本研究で開発を進める大型高感度検出器は 2040 年代の実現を目指す NASA の紫外線可視近赤外線望遠鏡 Habitable Worlds Observatory (HWO) でも応用可能な技術であり、その波及効果は計り知れない。本試作機の評価結果を踏まえ、今後は LOPYUTA で要求される $120\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ の大型ファネル MCP の試作、評価に向けて検討・開発を進める。