

## Problems of DC Probe Measurement onBoard Mini/Microsatellite Problems of DC Probe Measurement onBoard Mini/Microsatellite

OYAMA, Koichiro<sup>1\*</sup>

OYAMA, Koichiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, <sup>2</sup>International Center for Space Weather Study and Education

<sup>1</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan, <sup>2</sup>International Center for Space Weather Study and Education

DC Langmuir probe is one of the key instruments to study ionosphere by satellite. It needs a counter electrode whose conductive surface area is at least 1000 times larger than that of surface area of the electrode. This requirement is usually fulfilled for large satellites which have been launched so far for ionosphere study. Now we are jumping into an era to use tiny satellites. Then we will encounter serious problems for DC Langmuir probe measurements. Conductive surface area of the satellite becomes much less than 1000 times, or even equal to the surface area of electrode. As a result, measurement of electron density becomes unreliable, because potential of the electrode with respect to the satellite (counter electrode) cannot reach ambient plasma potential where electron density is calculated. For the worst case, DC Langmuir probe is in double probe region, where the maximum current is controlled by ion current. An electronics needs to measure low current. although to measure the low current is not impossible with low frequency response. Another more serious problem is contamination of electrode as well satellite surface. To avoid the effect of contamination, probe bias of DC Langmuir probe need to be swept with about 10 Hz. These two factors make it possible to use DC Langmuir probe, because to measure low current with high frequency is not possible. We review problems which raises for the ionosphere measurement by small satellite, and propose one solution to avoid these problems to accomplish accurate measurements. The data which have been used here are the contribution of three students, G. S. Jiang, W. H. Chen, and Y. W. Hsu, Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, Taiwan.

キーワード: microsatellite, Dc Langmuir probe, surface area, contamination

Keywords: microsatellite, Dc Langmuir probe, surface area, contamination

## Canadian Instrument Participation in Japanese Space Science Mission: A Retrospective Look Canadian Instrument Participation in Japanese Space Science Mission: A Retrospective Look

YAU, Andrew<sup>1\*</sup>  
YAU, Andrew<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>University of Calgary  
<sup>1</sup>University of Calgary

Canada has participated in a number of Japanese space science satellite and sounding rocket missions by contributing scientific instruments and participating in related science investigations since the 1980s, including the Akebono (EXOS-D) and Nozomi (Planet-B) satellite and the SS520-2, S520-23, and S520-26 sounding rocket missions. We review the experience of this participation, including the resulting scientific benefits and the lessons learned.

キーワード: space instrument, space plasma, satellite  
Keywords: space instrument, space plasma, satellite

## ASICを用いた小型プラズマ波動受信器の開発 Development of Miniaturized Plasma Wave Receiver using ASIC

頭師 孝拓<sup>1\*</sup>; 萩行 憲輔<sup>1</sup>; 大西 啓介<sup>1</sup>; 小嶋 浩嗣<sup>1</sup>; 山川 宏<sup>1</sup>  
ZUSHI, Takahiro<sup>1\*</sup>; HANGYO, Kensuke<sup>1</sup>; ONISHI, Keisuke<sup>1</sup>; KOJIMA, Hirotsugu<sup>1</sup>; YAMAKAWA, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable for Humansphere

Plasma waves are an important physical phenomenon for understanding the electromagnetic environments in space. The plasma wave receiver is roughly divided into two types: a waveform receiver and a spectrum analyzer. Spectrum analyzer provides the frequency spectrums with low noises and high frequency resolution. On the other hand, waveform receiver provides the waveform. Though the waveform has more noise than the spectrum provided by the spectrum analyzer, only the waveform has phase information of a plasma wave. Thus it play a complementary role. However, these plasma wave receivers occupy a large amount of space because of its analog circuits, so a late scientific satellite has only a kind of plasma wave receiver. We have developed miniaturized waveform capture (WFC), a kind of waveform receiver, and sweep frequency analyzer (SFA), a kind of spectrum analyzer, using ASIC (Application Specific Integrated Circuit). We realized 6ch WFC in a chip of 5 mm x 5 mm. We execute experiment expose this chip to radiation. We find that though radiation influence WFC component, especially switched capacitor filter, our WFC fit for the space radiation environment. The SFA has fine frequency resolution, but its time resolution is poor. We propose a new kind of SFA combined with FFT. It has an improved time resolution without losing time resolution. We have developed analog circuits in the new SFA using ASIC technology. Furthermore, we propose the multipoint plasma wave observation system that consisted of some sensor probes using these miniaturized plasma wave receiver. We plan the sounding rocket experiment for performance test of this sensor probe.

## 太陽系探査を目指す広視野 X線撮像分光装置の開発 Development of a wide-field X-ray imaging spectrometer for solar system exploration

江副 祐一郎<sup>1\*</sup>  
EZOE, Yuichiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 首都大学東京 理工・物理  
<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University

We present our development of a wide-field X-ray imaging spectrometer for solar system exploration. In the past decade or so, various types of X-ray emission have been discovered in the solar system (Bhardwaj et al., 2007, Planet. Space, Sci., Ezoë et al., 2011, Adv. Space, Res.). These X-rays are often associated with energetic particles in planetary magnetosphere and neutrals in planetary atmosphere and cometary coma. Therefore, X-ray observations of solar system objects will lead to better understanding of solar system environments and astrophysical phenomena.

For this purpose, we are developing a wide-field X-ray imaging spectrometer for future exploration missions such as GEO-X (Ezoë et al. 2014, Space Sci. Symposium) and JMO (Sasaki et al. 2011, EPSC-DPS). This instrument is composed of an ultra light-weight X-ray telescope and a low-power radiation-hard semiconductor pixel sensor. The telescope covers a wide field of view of ~4 deg in diameter in 0.3–2 keV with the angular resolution of <5 arcmin. It uses sidewalls of etched holes through thin 4-inch silicon wafers for X-ray mirrors (Ezoë et al., 2010, Mircosys. Tehc.). The detector covers a wide area of ~20 x 20 mm<sup>2</sup> with a ~300 x 300 μm<sup>2</sup> pixel. It is an active pixel sensor developed by MPE and PNsens (Strueder et al., 2010, SPIE). Compared to X-ray CCDs, this type is more radiation hard and allows higher frame time less than 1 ms. This instrument can satisfy stringent resource constraints in the exploration missions. The mass, size, and power are estimated to be ~10 kg, ~30 cm cubic, and ~10 W, respectively. Multiple units of this instrument are considered for GEO-X to achieve a wider field of view, while one unit will meet science requirements of JMO. In this presentation, we will describe design, fabrication, and performance of the instrument components and future prospects.

キーワード: X線, 撮像分光, 地球磁気圏, 木星, 火星

Keywords: X-ray, imaging spectroscopy, Earth's magnetosphere, Jupiter, Mars

## ENA Imaging On board the DESTINY Mission ENA Imaging On board the DESTINY Mission

BRANDT, Pontus<sup>1\*</sup> ; MITCHELL, Donald<sup>1</sup> ; WESTLAKE, Joseph<sup>1</sup> ; KEIKA, Kunihiro<sup>2</sup>  
BRANDT, Pontus<sup>1\*</sup> ; MITCHELL, Donald<sup>1</sup> ; WESTLAKE, Joseph<sup>1</sup> ; KEIKA, Kunihiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University  
<sup>1</sup>The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, <sup>2</sup>Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Energetic Neutral Atom (ENA) imaging is a technique that enables remote imaging of space plasma and neutral clouds. Several current space-borne missions including Cassini, IMAGE, TWINS, Chandrayaan-1, IBEX, and several future missions such as JUICE make use of ENA imaging to investigate magnetospheric plasma acceleration and evolution; structure and acceleration mechanisms in the boundary between the heliosphere and the interstellar medium; and surface and atmosphere interactions (terrestrial upper atmosphere, terrestrial moon, the Galilean moons, and Titan).

Demonstration and Experiment for Space Technology and INterplanetary voYage (DESTINY; See Kawakatsu et al., this conference) is an innovative technology demonstration mission that is being proposed to JAXA with a low-thrust increase of the apogee of an equatorial orbit, followed by a lunar swing-by, and finally an insertion in to a halo orbit around the Sun-Earth L2 point. This trajectory provides a historical opportunity to perform ENA imaging of the two following compelling targets.

- **The terrestrial magnetosphere:** the equatorial vantage point will offer the first compound view of how ions flow out from the polar ionospheres, , plasma stagnation at the sub-solar magnetopause, ion energization in the plasmashet out to about  $20 R_E$  and the subsequent heating and earthward transport that forms the terrestrial ring current.

- **The boundary between the heliosphere and the interstellar medium:** the NASA/IBEX and Cassini missions have revealed a global pattern and possibly dynamics that are believed to originate from ions charge exchanging in the heliosheath. A multitude of compelling science questions have arisen from the combined analysis of these two data sets that have demonstrated that ENA imaging is perhaps the only tool capable of remotely probing the global structure and acceleration processes in this important region.

The key to observing these targets in a new light that goes beyond previous missions is the ability to image with high angular and energy resolution, with a wide field of view (FOV) that can image large portions of the regions simultaneously. In this presentation we discuss a concept of an ENA camera to perform imaging from DESTINY. The ENA camera design is capable of imaging ENAs in the  $\leq 1\text{keV} - 100\text{keV}$  range with an angular resolution down to 2 degrees and an energy resolution down to 20%. The current design has a FOV of 120x90 degrees, which dramatically increases the duty cycle over single-telescope detectors on spinning platforms.

A compact, broad-beam, low-energy, LED-based, UV photoelectron source for the calibration of plasma analysers.

A compact, broad-beam, low-energy, LED-based, UV photoelectron source for the calibration of plasma analysers.

Bedington Robert<sup>1\*</sup>; 斎藤 義文<sup>1</sup>  
BEDINGTON, Robert<sup>1\*</sup>; SAITO, Yoshifumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, JAXA

<sup>1</sup>Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, JAXA

Electrostatic electron analyser instruments are used to make in-situ measurements of space plasmas and are typically designed to detect electrons with energies from a few eV to a few tens of keV. To make optimal use of such instruments, a complete calibration is performed in a laboratory vacuum chamber before flight. An electron source and a moveable stage are used so that the instrument response can be characterised at every relevant electron energy and beam direction. For an ideal calibration, the source should be a uniform, collimated electron beam of controllable energy and flux, which is sufficiently broad in diameter to cover the entrance aperture of the electron analyser instrument being tested.

Various sources are used for such purposes, including radioactive beta-emitters and thermionic emission guns — although the former have fixed flux and are broad-band in energy, and the latter are expensive and produce only a narrow beam with limited energy ranges and limited dynamical control. To produce a broad, uniform, highly-controllable, long-lifetime, monoenergetic beam, UV photoelectron sources are generally preferable. These consist of a UV light source which illuminates a photocathode causing it to release photoelectrons. These electrons, which are released with negligible kinetic energy, are accelerated toward a high transmission grid by an electric field. The source can thus be as wide as the grid and the photocathode, as spatially uniform as the light that falls on the photocathode, and as collimated and monoenergetic as the photocathode and grid are flat and parallel (and thus the E field uniform). The electron flux can be adjusted by adjusting the UV lamp intensity, and the electron energy can be varied by adjusting the strength of the grid-photocathode E-field.

Traditionally the UV photons are created using gas discharge lamps (e.g. mercury, xenon, deuterium), however these typically have poor dynamical control, can create large amounts of background light and are bulky and inefficient. In recent years however, advances in solid-state technologies have enabled increasingly powerful, efficient and affordable LEDs of various UV wavelengths. Accordingly this has enabled compact, low-power, UV-stimulated electron sources that can have intensities that vary between  $10$  to  $10^{-9}$  electrons  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

To meet the requirements for calibrating the electron analysers for the SCOPE (cross Scale COupling in Plasma universE) mission, a 9cm beam diameter, UV photoelectron source of this nature has been built and is being tested. Weighing approximately 1.5kg (excluding power supplies) and consisting of rugged, low cost components it can be mounted inside the vacuum chamber with great flexibility, including on a motorised translation stage.

The SCOPE mission requires several FESA (Fast Electron energy Spectrum Analyser) instruments for 10eV to 30keV electrons and several EISA (Electron Ion Spectrum Analyser) instruments for 10eV to 20keV electrons and ions. The first duty of the new electron source is the testing of prototype developments for the EISA instrument: namely measuring the electron transmission properties of carbon foil and assessing the secondary electron emission performance of candidate dynode materials

キーワード: Electron energy analyzer, Plasma spectrometer, Particle source, Ultra-violet photoelectron, Calibration, UV LED  
Keywords: Electron energy analyzer, Plasma spectrometer, Particle source, Ultra-violet photoelectron, Calibration, UV LED

## 高コントラスト装置を用いた太陽系外惑星キャラクターゼーション Characterization of Exoplanets with High Contrast Instruments

河原 創<sup>1\*</sup>  
KAWAHARA, Hajime<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

ケプラー衛星や地上 RV 探査によりハビタブルゾーン内の小型系外惑星が多数見つかってきた。この分野における一つの目標として、このような惑星の特徴をいかに知るかということがある。本発表では、我々の 30m 望遠鏡やその他の望遠鏡搭載を目指した装置開発へのアプローチを概説する。これらの装置では、地上から晩期星周りのハビタブルゾーン内惑星の直接撮像を狙っている。地上直接撮像観測においては酸素 1.27 ミクロン線によるバイオマーカー探査が有効であることを示す (Kawahara+12)。またこのような直接撮像装置に必要な極限補償光学とコロナグラフの組み合わせが、他の系外惑星キャラクターゼーション、特に、クローズイン惑星における大気分子種の検出にも有効であることも紹介したい。

キーワード: 系外惑星, 地球型惑星, 直接撮像, バイオマーカー

Keywords: exoplanets, terrestrial planets, direct imaging, biomarker

## ジオコロナ撮像装置 LAICA の開発 Development of geocoronal Hydrogen Lyman Alpha Imaging CAmera (LAICA)

佐藤 允基<sup>1\*</sup>; 亀田 真吾<sup>1</sup>; 吉川 一朗<sup>2</sup>; 田口 真<sup>1</sup>; 船瀬 龍<sup>2</sup>; 川勝 康弘<sup>3</sup>  
SATO, Masaki<sup>1\*</sup>; KAMEDA, Shingo<sup>1</sup>; YOSHIKAWA, Ichiro<sup>2</sup>; TAGUCHI, Makoto<sup>1</sup>; FUNASE, Ryu<sup>2</sup>; KAWAKATSU, Yasuhiro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>立教大学, <sup>2</sup>東京大学, <sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構  
<sup>1</sup>Rikkyo University, <sup>2</sup>University of Tokyo, <sup>3</sup>JAXA

地球大気圏の最も外側で大気が無衝突となる、密度が希薄な領域のことを外気圏と呼ぶ。外気圏における主な構成原子は水素とヘリウムであるが、これらの原子は特定の太陽紫外放射を選択的に散乱しており、地球全体を包む紫外グローを形成することからジオコロナと呼ばれている。その中でも水素ライマン $\alpha$ 線 (121.567nm) が最も明るく、これまでに様々な観測が行われてきた。

ジオコロナを構成する原子の軌道は、弾道軌道、地球を周回する軌道、地球重力圏を脱出する軌道の3種類ある。特に高高度では地球重力圏を脱出する軌道を持つ原子が支配的となり、過去の観測では高度約  $20R_E$  にまで及ぶジオコロナが確認されている。ジオコロナの空間分布の特徴として、外気圏水素が反太陽方向に引き伸ばされ、密度が太陽方向よりも高くなるようなジオテイルと呼ばれる構造や、昼夜、南北、朝夕の非対称性などが知られている。最近では、 $3\sim 8R_E$  までの範囲に存在する水素原子数が磁気嵐に伴って6~17%程度増加するという現象が確認されたが、その原因は未解明である。

過去の計画では地球周回衛星からの観測が主で、ジオコロナの広がりに対して低高度 ( $\sim 8R_E$ ) の観測が多く行われてきた。一方、高高度のジオコロナ分布を捉えるためには地球から十分離れ、ジオコロナの外から観測を行う必要があるが、観測例は極めて少なく、Mariner 5、Apollo 16、のぞみの3例だけである。その中でも2次元イメージャを搭載し、撮像を行ったのは Apollo 16 だけであるが、観測視野は  $10R_E$  程度までとなっている。

そこで本研究では地球を脱出して惑星間空間を航行するような軌道に乗る、超小型深宇宙探査機 PROCYON に搭載予定のジオコロナ撮像装置 LAICA の開発を行っている。月軌道以遠に達する探査機からであれば、地球周回衛星よりも広い観測視野 ( $25R_E$  以上) でジオコロナの全球分布を捉えることが可能となる。目標としては、打ち上げ後1~2週間で観測を行い、広範囲のジオコロナ分布を撮像する。また、打ち上げ後10日から3か月程度の期間で、地球周回衛星に比べて高い時間分解能 (1時間程度) での観測を行い、高高度のジオコロナ分布の変動を捉える。現在は試作機の製作を進め、振動・衝撃試験などを実施している。フライトモデルも2014年5月には完成予定である。本発表では装置の開発状況について報告する。

キーワード: ジオコロナ, ライマン $\alpha$ 線, 外気圏, 地球大気  
Keywords: geocorona, Lyman alpha line, exosphere, earth's atmosphere

## Effects of finite electrode area ratio on Langmuir probe measurement Effects of finite electrode area ratio on Langmuir probe measurement

CHEN, Wen-hao<sup>1\*</sup>; JIANG, Guo-hsiang<sup>1</sup>; HSU, Yu-wei<sup>1</sup>; FANG, Hui-kuan<sup>3</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>2</sup>; CHENG, Chio<sup>2</sup>  
CHEN, Wen-hao<sup>1\*</sup>; JIANG, Guo-hsiang<sup>1</sup>; HSU, Yu-wei<sup>1</sup>; FANG, Hui-kuan<sup>3</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>2</sup>; CHENG, Chio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, <sup>3</sup>Department of Physics, National Cheng Kung University

<sup>1</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University, <sup>3</sup>Department of Physics, National Cheng Kung University

Langmuir probe(LP) is a widely used instrument for measuring electron density and temperature on satellites and rockets. Recently pico- and nano- satellites have become more popular, when the surface area of satellite is similar to the probe, the effects on LP measurement due to limited satellite surface area need to be considered, and these effects may cause LP measurement inaccurate. We have investigated the effect of satellite surface area, satellite and probe contamination and LP sweeping frequency in laboratory. Also we have found that the satellite and probe voltage will decrease when a large quantity of electrons are attracted by probe voltage and the contamination effect of satellite surface becomes major.

In summary, a solution to these problems is suggested.

キーワード: Langmuir probe, finite electrode area ratio, electrode surface contamination, pico/nano-satellite, electron temperature, electron density

Keywords: Langmuir probe, finite electrode area ratio, electrode surface contamination, pico/nano-satellite, electron temperature, electron density

## Development of Electron Temperature and Density Probe (TeNeP) for Nano- and Micro-satellites -II Development of Electron Temperature and Density Probe (TeNeP) for Nano- and Micro-satellites -II

JIANG, Guo-siang<sup>1\*</sup>; CHEN, Wen-hao<sup>1</sup>; HSU, Yu-wei<sup>1</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>2</sup>; CHENG, Chio<sup>2</sup>  
JIANG, Guo-siang<sup>1\*</sup>; CHEN, Wen-hao<sup>1</sup>; HSU, Yu-wei<sup>1</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>2</sup>; CHENG, Chio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

<sup>1</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

The nano/micro-satellite becomes popular for the study of near earth environment. To measure the electron temperature ( $T_e$ ) and electron density ( $N_e$ ) in the ionosphere, we have developed the Electron Temperature and Density Probe (TeNeP). The TeNeP measures  $T_e$  and  $N_e$  based on principles of electron temperature probe (ETP) and planar impedance probe (IP). By combining systems of ETP and IP,  $T_e$  and  $N_e$  can be measured by one single probe. The TeNeP system has advantages not only as being small, light weighted and low power consumption that fulfills the needs of instruments onboard nano/micro-satellites. It also overcomes problems associated with electrode surface contamination and satellite/probe surface area ratio for DC Langmuir probes.

キーワード: Electron Temperature and Density Probe, nano/micro-satellite, Electron Temperature, Electron Density, electrode surface contamination, satellite/probe area ratio

Keywords: Electron Temperature and Density Probe, nano/micro-satellite, Electron Temperature, Electron Density, electrode surface contamination, satellite/probe area ratio

## ロケット実験用プラズマ波動計測小型プローブシステムの開発 Development of the small probe system to measure plasma wave for the sounding rocket experiment

大西 啓介<sup>1\*</sup>; 頭師 孝拓<sup>1</sup>; 小嶋 浩嗣<sup>1</sup>; 山川 宏<sup>1</sup>  
ONISHI, Keisuke<sup>1\*</sup>; ZUSHI, Takahiro<sup>1</sup>; KOJIMA, Hirotsugu<sup>1</sup>; YAMAKAWA, Hiroshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Plasma filling the space is very rarefied. Ions and electrons in space plasma don't exchange their kinetic energy through their collision but through plasma waves. Hence observing plasma wave is essential for measuring space electromagnetic environment. We propose the multipoint plasma wave observation system that consisted of some sensor probes.

The present paper shows the achievements in designing the small sensor probe system which is dedicated to the sounding rocket experiment. The experiment is performance test of the small sensor probe which measures the standard wave in outer space. The necessary components for the small sensor probe are Li-Ion battery, wireless LAN device, plasma wave receiver, A/D converter, and CPU. All of them should be installed in the cubic body with an edge of 10 cm. Therefore, we chose one-chip microcomputers as wireless LAN device, A/D converter, and CPU. The wave receiver is miniaturized by designing the analog ASIC (Application Specific Integrated Circuit).

The wave receiver has the function of observing electromagnetic waves in the frequency up to 100 kHz and we want to take three-axis data at the same time. So, we should design A/D converter which has three simultaneous sampling and sampling frequency over 200 kHz to fulfill the sampling theorem.

We also designed other necessary systems, such as attitude sensor and wireless communication system with the sounding rocket.

キーワード: 宇宙プラズマ, プラズマ波動, 小型センサープローブ, 観測ロケット  
Keywords: Space plasma, Plasama wave, Small sensor probe, Sounding rocket

## Plasma properties of the space plasma operation chamber at NCKU in Taiwan Plasma properties of the space plasma operation chamber at NCKU in Taiwan

FANG, Hui-kuan<sup>1\*</sup>; HSU, Yu-wei<sup>2</sup>; CHEN, Wen-hao<sup>2</sup>; JIANG, Guo-hsiang<sup>2</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>3</sup>; CHENG, Chio<sup>3</sup>  
FANG, Hui-kuan<sup>1\*</sup>; HSU, Yu-wei<sup>2</sup>; CHEN, Wen-hao<sup>2</sup>; JIANG, Guo-hsiang<sup>2</sup>; OYAMA, Koichiro<sup>3</sup>; CHENG, Chio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>3</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

<sup>1</sup>Department of Physics, National Cheng Kung University, <sup>2</sup>Institute of Space and Plasma Sciences, National Cheng Kung University, <sup>3</sup>Plasma and Space Science Center, National Cheng Kung University

The space plasma operation chamber (SPOC), a research facility designed to calibrate and test satellite/rocket-borne instruments and study space plasma processes, is constructed at NCKU in 2009. It is a cylindrical chamber of 2m in diameter and 3m in length. Plasma is produced by two back-diffusion type sources installed at the center of both chamber sides. The sources produce ions of controllable drifting energy from a few ten to several hundred eV and density up to  $10^6 \text{ cm}^{-3}$ . These ions are neutralized by thermal electrons emitted from Nickel cathodes, and collide with neutral molecules in the chamber of pressure  $\sim 2.2 \times 10^{-4}$  Torr, and a plasma environment with ion temperature  $\sim 300\text{K}$  and electron temperature  $\sim 1000\text{-}3000\text{K}$  is formed in the chamber. This paper presents measurement results of a retarding potential analyzer (RPA), an electron temperature and density probe (TeNeP) and a Langmuir probe installed on the 2-axis moving system in SPOC. The thermal and beam component ion energy distributions at different distances from the ion source and the electron temperature/density spatial distributions in the SPOC will be presented. The collision process of ions with neutral molecules will also be discussed.

キーワード: Plasma properties, space plasma operation chamber, back-diffusion plasma source, retarding potential analyzer, electron temperature and density probe, Langmuir probe

Keywords: Plasma properties, space plasma operation chamber, back-diffusion plasma source, retarding potential analyzer, electron temperature and density probe, Langmuir probe

## 探査機搭載用粒子分析器開発に向けた較正システムの構築 Construction of a calibration system for developing space-borne particle analyzers

伊藤 史宏<sup>1\*</sup>; 平原 聖文<sup>1</sup>; 下山 学<sup>1</sup>; 林 鮎子<sup>1</sup>; 石黒 恵介<sup>1</sup>; 小木 曾 舜<sup>1</sup>  
ITO, Fumihiko<sup>1\*</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>1</sup>; SHIMOYAMA, Manabu<sup>1</sup>; HAYASHI, Ayuko<sup>1</sup>; ISHIGURO, Keisuke<sup>1</sup>; KOGISO, Shun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所

<sup>1</sup> Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

地球惑星電磁気圏における物理現象の理解を深める上で、中性大気の変動およびプラズマの運動と両者の相互作用を考へることは極めて重要であり、探査機を用いた詳細な観測が必要とされている。そこで我々は、惑星大気を対象とする新規技術を用いた探査機搭載用粒子分析器の開発を行っている。開発の進行に伴い分析器の較正装置が必要とされる。

我々が開発を行っている粒子分析器の較正は、宇宙空間を模擬したチェンバー内に分析器を置き、特性の明確なイオンビームを照射し、それに対する分析器の応答を調査することにより行われる。我々は、すでに10keVから150keVまでのエネルギー範囲のイオンビームを照射する装置(ビームライン)の構築および整備を行っている。しかし開発中の分析器は惑星大気の観測を行うことを想定したものであり、較正には数十eVの超熱的イオンビームを照射する必要がある。具体的には10eV/chargeから10keV/chargeまでのエネルギー範囲において、H<sup>+</sup>、He<sup>+</sup>、O<sup>+</sup>、N<sup>+</sup>、Ar<sup>+</sup>といった単原子イオンビームに加え、N<sub>2</sub><sup>+</sup>、O<sub>2</sub><sup>+</sup>、CO<sub>2</sub><sup>+</sup>のような分子イオンビームを照射することが可能なビームラインが必要とされる。そこで我々は10keV/charge~150keV/chargeのビームラインに加え、新たに10eV/charge~10keV/chargeの超熱的エネルギービームラインの構築、整備を進めてきた。最終的にはそれぞれを統合制御する較正システムを構築する予定だが、まずは後者の構築、整備を行った。

超熱的エネルギービームラインは主に6つの部位(イオン源、電磁石型質量分析器、ビーム径拡張器、主加速器、真空チェンバー、真空用ターンテーブル)から構成されている。ガスボンベからイオン源に導入された中性ガスは、フィラメントから放出された熱電子によってイオン化される。発生したイオンは初期加速され、電磁石型質量分析器によってイオン種が弁別される。イオンはビーム径拡張器において垂直方向の電場の二次元ラスタ走査によってその径が拡大され、さらに加減速を経て平行化される。平行化されたイオンビームは所定のエネルギーまで加減速され、真空チェンバーに導入される。一方、較正する分析器は真空チェンバー内のターンテーブルの上に置かれ、ターンテーブルの方位角、仰角を制御することで分析器へのビームの入射角度を変化させることができる。また、具体的に以下のパラメータを制御することでビーム特性を変化させることができる。(1)熱電子フラックスと初期加速電圧、(2)電離粒子の初期加速、(3)電磁石型質量分析器の磁場強度、(4)ビーム径拡張用ラスタ走査・平行化電場、(5)主加減速電場、(6)ターンテーブルの方位角と仰角。分析器の較正を効率よく行うため、我々は1つのプログラム上で一元管理および遠隔操作できる制御システムの構築も進めている。機器のインターフェースとしてRS-232、USB、無線LANを用いて遠隔制御を行う。プログラミング言語はLabVIEWを使用する。また、複数のビームライン・真空装置での真空度を多点・同時監視し、異常時には警告メールの自動配信を行う真空度監視・警告システムを導入した。

超熱的エネルギービームラインにおいてターンテーブルシステム以外の較正システムは構築されており、十分に拡大、平行化された所定のエネルギーのイオンビームが真空チェンバーに導入可能なことが確認されている。実際にビーム強度を取得する2次元MCP計測系を整備し、生成したビーム強度の測定を行った。本発表では、構築したビームラインの概要と生成したビーム強度の測定結果について報告する。

キーワード: 較正システム, イオンビームライン, 超熱的イオンビーム, 粒子分析器, 磁石型質量分析器, 遠隔制御

Keywords: calibration system, ion beam line, suprathermal ion beam, particles analyzer, magnetic ion mass spectrometer, remote control

## ERG衛星に搭載する中間エネルギー粒子分析器EMの検証 Verification of engineering models of medium energy particle analysers for ERG

笠原 慧<sup>1\*</sup>; 浅村 和史<sup>1</sup>; 三谷 烈史<sup>1</sup>; 高島 健<sup>1</sup>; 平原 聖文<sup>2</sup>; 下山 学<sup>2</sup>; 横田 勝一郎<sup>1</sup>

KASAHARA, Satoshi<sup>1\*</sup>; ASAMURA, Kazushi<sup>1</sup>; MITANI, Takefumi<sup>1</sup>; TAKASHIMA, Takeshi<sup>1</sup>; HIRAHARA, Masafumi<sup>2</sup>; SHIMOYAMA, Manabu<sup>2</sup>; YOKOTA, Shoichiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup> ISAS, <sup>2</sup> Nagoya University

ERG (Exploration of energization and Radiation in Geospace) is a geospace exploration spacecraft, which is planned to be launched in FY2015. The mission goal is to understand the radiation belt dynamics especially during space storms. The key of this mission is the observations of electrons and ions in medium-energy range (10-200 keV), since these particles excite various electromagnetic waves (e.g., EMIC waves, magnetosonic waves, and whistler waves), which are believed to play significant roles in the relativistic electron acceleration and loss. Engineering models (EMs) of medium energy electron analyser and ion mass spectrometer have been developed and their performances and tolerances are tested. We report the results of these verification tests on EMs.

キーワード: ジオスペース探査衛星 ERG, 中間エネルギーイオン, 中間エネルギー電子

Keywords: Geospace exploration spacecraft ERG, medium energy ion, medium energy electron

## CASSIOPE 衛星搭載中性粒子質量速度測定器 (NMS) の初期運用結果 The results in the initial operation of the Neutral Mass and Velocity Spectrometer (NMS) onboard the CASSIOPE satellite

栗原 純一<sup>1\*</sup>; 早川 基<sup>2</sup>; 栗原 宜子<sup>2</sup>

KURIHARA, Junichi<sup>1\*</sup>; HAYAKAWA, Hajime<sup>2</sup>; KOIZUMI-KURIHARA, Yoshiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学 大学院理学研究院, <sup>2</sup> 独立行政法人宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup> The Institute of Space and Astronautical Science/Japan Aerospace Exploration Agency

2013年9月29日に打ち上げられた CASSIOPE 衛星に搭載された Enhanced Polar Outflow Probe (e-POP) ミッション機器の一つである中性粒子質量速度測定器 (Neutral Mass and Velocity Spectrometer; NMS) の初期運用結果について報告する。e-POP ミッションの科学目的は極域電離圏からのプラズマの流失過程および超高層大気からの中性大気の流失過程とその相互作用を探索することが目的であり、NMS は非熱的な速度分布を持つ中性粒子の頻度分布に対する定量的な把握に寄与することが期待されている。そのため、NMS は既存の衛星搭載中性粒子質量分析計とは異なる新しい原理を元に開発された。NMS は衛星進行方向に入射開口部を持ち、衛星に対する相対速度 (7-8 km/s) で入射する中性粒子に対して、熱陰極型電子銃から射出される電子ビームによる電離を行う電離部、電離された中性粒子に対して垂直方向に印加する電場で加速して飛行時間型 (Time of Flight; TOF) 質量分析を行うと同時に Microchannel Plate (MCP) とレジスティブアノードによる二次元位置検出を行う検出部、およびデータ処理部によって構成される。ある質量をもつ粒子に対して、粒子の検出位置から衛星に対する相対速度がわかり、その位置の分布から衛星速度を差し引くことで本来の速度分布が得られる。

衛星の初期運用段階において、NMS の機器としての状態に異常は見られないものの、電子銃を作動させない場合でも想定より数桁以上多い荷電粒子が検出されるという問題が明らかになった。この原因は入射してきた中性粒子が装置内面に衝突することで電離されるためと現時点では推測している。この場合に中性粒子の速度分布測定に及ぼす影響と定常運用後のデータ解析結果について考察する。

キーワード: 中性粒子質量分析計, 大気流出, 非熱的速度分布

Keywords: neutral mass spectrometer, atmospheric escape, non-thermal velocity distribution

## 木星オーロラ観測用赤外カメラ搭載 InSb イメージセンサ駆動システムの開発と評価 Development and evaluation of the drive system of InSb imager mounted on infrared cameras for Jovian aurora

野口 恵理子<sup>1\*</sup>; 小谷 光司<sup>2</sup>; 坂野井 健<sup>1</sup>; 鍵谷 将人<sup>1</sup>; 市川 隆<sup>3</sup>  
NOGUCHI, Eriko<sup>1\*</sup>; KOTANI, Koji<sup>2</sup>; SAKANOI, Takeshi<sup>1</sup>; KAGITANI, Masato<sup>1</sup>; ICHIKAWA, Takashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東北大・理・地球物理学専攻, <sup>2</sup> 東北大・工・電子工学専攻, <sup>3</sup> 東北大・理・天文学専攻  
<sup>1</sup>Geophys., Graduate School of Science, Tohoku Univ., <sup>2</sup>Electronics, Graduate School of Engineering, Tohoku Univ., <sup>3</sup>Astronomy, Graduate School of Science, Tohoku Univ.

東北大学では、2014 年にハワイ・ハレアカラ山頂に設置される 60cm 望遠鏡のための赤外観測装置の開発を行っている。本研究は、木星赤外オーロラ用赤外カメラと赤外エシエル分光器に共通に用いられる Focal plane array(FPA) 用の駆動システムを開発し、その詳細な評価・分析結果を用いて、観測対象毎に異なる FPA の最適動作条件を決定する手法を確立し、各観測対象の観測実現性を示すことを目的とする。

先行研究より、観測対象の時空間変動を明らかにする為には、H3+オーロラは撮像時間 15s で S/N=15 以上、H2 オーロラでは撮像時間 1200s で S/N=5 以上、赤道域温度場については撮像時間 7200s で S/N=5 以上が必要であることを示した。この要求 S/N および撮像時間制限に基づいて、観測対象のシグナル成分、地球大気発光成分、望遠鏡からの熱輻射を考慮し、FPA に要求されるノイズ指標、具体的にはリードノイズおよびリーク電流の上限値を明らかにした。

次に、本研究で採用している赤外 FPA である Raytheon の CRC463 の駆動原理に基づき、本駆動システムでの適切なバイアス電圧範囲が、 $V_{det}=-3.0V$  以下、 $V_{ddc}=-4.0V$  以上であることを明らかにした。この条件下で、バイアス  $V_{det}-V_{ddc}=0.6V$  において Full Well(FW) が 0.02V から 0.4V に拡大し、ハロゲンランプの撮像に成功した。更に、次のような改良を行った。①赤外カメラの熱パスの伝導性を増大させることで、FPA 近傍温度は 45K から 20K にまで下がり、リーク電流は 17,145e/s から 200e/s、リードノイズは  $453e_{rms}$  から  $320e_{rms}$  まで低減した。②CRC463 特有の不具合を検証し、フレーム単位の新規制御方法を開発したことで、リードノイズは更に  $200e_{rms}$  まで低減した。これに基づき、FPA 制御回路系のクロック制御シーケンスの最適化を行った。本駆動システムの詳細な性能評価を行うことが可能となった。③FPA 駆動回路系の改良として、各ボードの出力電位のノイズを低減し、最終的にリードノイズを  $90e_{rms}$  まで低減した。

以上の改良により、Photon Transfer Curve の手法を用いて、FPA の性能パラメータを詳細に評価することが可能となった。その結果、バイアス 0.6V の場合では、Fixed Pattern Noise の性能指標である Dark Signal Nonuniformity が 3.8 %、Photoresponse Nonuniformity が 1.6 %、リーク電流 200e/s、Full Well 133,000e、システムゲイン 10.9e/DN であることが明らかになった。FPA 動作評価では、量子効率測定を行い、Raytheon が提示している値と同等の 0.85 の値を確認した。又、 $2.3 \mu m$ 、400K の Noise Equivalent Difference Temperature を評価したところ、最大 45mK であり、第 3 世代 FPA と比較しても十分な性能を発揮できていることが明らかになった。なお、本研究で採用している FPA は NASA の IRTF と同種のものであり、駆動系を含む撮像システムの性能を比較すると、リーク電流以外は IRTF の駆動システムに匹敵する性能であることが示された。

さらに、FW、リーク電流、システムゲインについて、それらのバイアス依存性を詳細に評価した。その評価結果を用い、観測対象毎の信号成分強度、雑音成分強度、最大撮像時間制限などを考慮し、観測対象毎に異なる最大 S/N を実現可能な最適バイアス設定を決定する手法を確立した。それにより、以下のことが明らかになった。本赤外 FPA 駆動システムにおいて、バイアス 0.5V で、H3+を露光時間 15s でイメージング観測した場合の最大 S/N は 30 である。バイアス 0.4V で、H2 を撮像時間 1200s で分光観測した場合の最大 S/N 値は、ビニング処理した場合、最大 S/N 値 3.14 を達成するが、要求 S/N を下回る。この場合、リーク電流を 81e/s 以下に低減する必要がある。温度場分光観測の場合、バイアス 0.4V で 28 回加算を行うと、撮像時間 7200s で最大 S/N=52.7 であるが、バイアス 0.9V でリーク電流を 100e/s 以下に低減すれば、1 回の撮像で S/N=40 以上達成できる。

要するに本研究は、惑星観測のための東北大望遠鏡に組み合わされる赤外観測装置に搭載される FPA の駆動システムを開発・改良し、その性能を詳細に評価し、その結果を用いて観測対象毎に最適バイアスを導出する考え方を示したものである。なお、現時点でのリーク電流は FPA 本来のスペックと比較しても 2 桁程度大きく、この低減が今後の課題である。

キーワード: 赤外イメージセンサ駆動システム, 東北大学望遠鏡, 惑星長期観測, NASA 赤外望遠鏡

Keywords: Focal plane array drive system, IR telescope of Tohoku Univ., long-term observation for planet, NASA IRTF

## 深宇宙探査技術実験機 DESTINY による理学観測のための搭載機器の検討 A study for candidate scientific instruments for DESTINY

岩田 隆浩<sup>1\*</sup>; 川勝 康弘<sup>1</sup>  
IWATA, Takahiro<sup>1\*</sup>; KAWAKATSU, Yasuhiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAXA 宇宙科学研究所

<sup>1</sup>Institute of Space and Astronautical Science, JAXA

深宇宙探査技術実験機 DESTINY (Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary Voyage) は、JAXA が開発したイプシロンロケットでの打上げを目指す小型衛星計画である。その目的は、イプシロンロケットと小型衛星による深宇宙探査を実現するため、打上げから太陽-地球系ラグランジュ点 2 (L2 点) のハロー軌道に至る軌道投入・軌道制御技術や、信頼性を向上させた大型イオンエンジン、薄膜軽量太陽電池パネルなど、様々な新規技術を実証することにある。その一方で、設計・開発の進捗の中で、質量等のリソースに余剰が生じた場合には、10kg 程度までの理学観測機器を追加で搭載できる可能性があり、様々な候補機器が検討されている。

L2 ハロー遷移軌道の飛行中は、地球磁気圏のテール側のプラズマシート領域を、様々な距離・位置から観測することができ、プラズマ、高エネルギー粒子、磁場等の観測が候補機器として挙げられる。L2 点では、安定した軌道により長期間の観測が可能であることから、JAXA の次世代赤外線天文衛星 SPICA をはじめ、多くのスペース天文衛星の設置候補地点となっている。このため、この空間領域のダスト、電磁的環境、背景放射を知ること、重力的・熱的安定性を事前実証することは、これら将来ミッションのための貴重なデータとなる。L2 点ハロー軌道およびその周辺の領域は、太陽系探査の場としても有用である。例えば地球近接小天体 (NEO) とダストとの対応を観測することにより、流星群や小惑星とその母天体との関係を明らかにして、太陽系の始原物質やその進化ならびに輸送の様子を解明していく。また、地球磁気圏から発生する X 線や木星型惑星の紫外線・電波を観測することにより、これらの放射機構を明らかにするとともに、太陽系外惑星の大気観測にもつなげることができる。DESTINY は、これらの本格的な探査の前段の、先駆的観測と位置付けられる。

キーワード: イプシロンロケット, DESTINY, ラグランジュ点  
Keywords: Epsilon Rocket, DESTINY, Lagrange point

## BepiColombo 日欧共同水星探査ミッション：MMO プロジェクト最新状況報告 BepiColombo Euro-Japan Joint mission to Mercury: MMO Project Status update

早川 基<sup>1\*</sup>; 前島 弘則<sup>1</sup>; ベピコロombo プロジェクトチーム<sup>1</sup>  
HAYAKAWA, Hajime<sup>1\*</sup>; MAEJIMA, Hironori<sup>1</sup>; BEPICOLOMBO, Project team<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宇宙研・宇宙機構  
<sup>1</sup> ISAS/JAXA

紀元前から知られる水星は、「太陽に近い灼熱環境」と「軌道投入に要する多大な燃料」から周回探査は困難であり、昨年 3 月からの米国 MESSENGER による観測が初めてのものである。過去の探査から、この小さな惑星にはあり得ないと考えられていた磁場と磁気圏活動の予想外の発見をもたらしたが、その究明は未だこれからの課題となっている。「ベピ・コロombo (BepiColombo)」は、欧州宇宙機関 (以下、ESA) との国際分担・協力によりこの惑星の磁場、磁気圏、内部、表層を初めて多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけで、初の水星の詳細探査＝「初の惑星磁場・磁気圏の詳細比較」は、「惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性」の知見に大きな飛躍をもたらす。また、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など水星の特異な内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に「地球型惑星の起源と進化」の解明に貢献する。

本計画は、観測目標に最適化された 2 つの周回探査機、すなわち表面・内部の観測に最適化された「水星表面探査機 (MPO)」(3 軸制御、低高度極軌道)、磁場・磁気圏の観測に最適化された「水星磁気圏探査機 (MMO)」(スピン制御、楕円極軌道) から構成される。ISAS / JAXA は、日本の得意分野である磁場・磁気圏の観測を主目標とする MMO 探査機の開発と水星周回軌道における運用を担当し、ESA が残りの全て、すなわち、打ち上げから惑星間空間の巡航、水星周回軌道への投入、MPO の開発と運用を担当する。

両探査機に搭載する数々の科学観測装置は、2004 年の搭載機器選定以降開発は着々と進行し、日本側の詳細設計審査は平成 23 年 11 月に終了した。JAXA の開発する MMO は本年 1 月に電気・機械インターフェース試験が終了し、一昨年 9 月末から総合試験が開始された。現在は振動・衝撃試験が終了し、今夏の熱真空試験を持って単体の総合試験は終了となる。来年早々に ESA/ESTEC へと輸送され ESA 側開発モジュールと組合わせた総合試験を経た後射場である仏領ギアナへ輸送され、2016 年夏期に打ち上げの予定である。一方 MMO 電気モデルはドイツへ輸送され一昨年 10 月から電気モデル試験に参加した。今後来年に予定されている第 2 回電気モデル試験に参加する予定である。

水星到着後の観測は、選ばれた装置開発チームに留まらず、広く日欧研究者で構成する「BepiColombo 科学ワーキングチーム」(年 1 回程度開催) で立案・実施される。本講演では、これら科学観測に関連した状況及び、日本側が製作を担当する MMO について最新状況を報告する。

キーワード: 水星, 惑星探査, 国際協力

Keywords: Mercury, Planetary Exploration, International Collaboration

## 水星探査機 BepiColombo MMO の磁気対策結果 Magnetic Cleanliness of BepiColombo MMO

松岡 彩子<sup>1\*</sup>; 中澤 暁<sup>2</sup>  
MATSUOKA, Ayako<sup>1\*</sup>; NAKAZAWA, Satoru<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構 月惑星探査プログラムグループ  
<sup>1</sup>ISAS/JAXA, <sup>2</sup>JSPEC/JAXA

水星は、地球型惑星では地球の他に唯一双極子的な惑星規模の磁場を持つ惑星である。しかし、その表面における磁場は、地球の約 100 分の 1 と小さい。このため、太陽風の変動の影響が磁気圏の深部にまで直接的に影響し、磁気圏が短い時間スケールで大きく変動することが予想されていた。2011 年に水星の周回軌道に入った米国の MESSENGER によって、水星の磁場の観測が進められている。しかし、前述のとおり太陽風の変動による磁場変化が大きいこと、MESSENGER の低高度軌道が水星の北半球に偏っていることから、水星の固有磁場の精密な同定には至っていない。2016 年打ち上げ、2024 年 1 月水星到着予定の水星探査機 BepiColombo は、JAXA によって開発・製造された磁気圏探査機 MMO が、ESA によって開発・製造された惑星表面探査機 MPO と共に水星の磁場環境を観測し、水星の周辺の磁場を偏ることなく測定すること、複数点における観測で太陽風の変動の影響を分離することにより、水星の固有磁場を精度良く決めることを主目標の一つとしている。精密な磁場観測のためには、高精度の磁力計を搭載することはもちろん、衛星自体の出す磁場ノイズを低減することが重要である。このため、MMO の設計・製作において、磁場ノイズを出す機器へ対策を施し、適切な管理を行うことに多くの労力が割かれた。本講演では、MMO における磁場ノイズ低減の内容と、システム EMC 試験における評価結果を報告する。

キーワード: 水星, 磁場

Keywords: Mercury, magnetic field