

宇宙地球結合系探査に向けた編隊飛行衛星計画とプラズマ・中性粒子分析器開発、及び開発環境整備  
A Future Formation Flight Mission of Compact Satellites and Mission-Oriented Developments  
of Plasma/Neutral Particle Analyzers for Elucidating Space-Terrestrial Coupling Mechanisms

\*平原 聖文<sup>1</sup>、齋藤 義文<sup>2</sup>、大山 伸一郎<sup>1</sup>、浅村 和史<sup>2</sup>、横田 勝一郎<sup>2</sup>、坂野井 健<sup>3</sup>、小嶋 浩嗣<sup>4</sup>

\*Masafumi Hirahara<sup>1</sup>, Yoshifumi Saito<sup>2</sup>, Shin-ichiro Oyama<sup>1</sup>, Kazushi Asamura<sup>2</sup>, Shoichiro Yokota<sup>2</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>3</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>4</sup>

1.名古屋大学宇宙地球環境研究所、2.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、3.東北大学惑星プラズマ・大気研究センター、4.京大大学生存圏研究所

1.Institute of Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, 2.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3.The Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University, 4.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

In 21st century, we led the Reimei mission realizing the fine-scale auroral emission and particle observations by the high-time/spatial resolutions and also initiated the ERG mission based on the trinity research system consisting of in-situ observation using spacecraft, ground-based network observation, and data analysis/modeling approach. The main scientific targets of these missions are the space plasma dynamics occurring universally in the regional and energy couplings in the terrestrial ionosphere and magnetosphere. Through these space exploration missions, we have actually noticed and been proposing the importance of coherent cooperation in the different methodologies (in-situ/ground-based observations, data analyses, modeling/simulation) as well as the significance of appropriate international collaborations, especially in the instrumental developments. It should also be noted that some novel ideas and the cutting-edge technologies matching them have been stimulating new exploration missions. For example, the high-resolving simultaneous measurements of auroral emissions and particles were carried out in the Reimei mission by using both our original auroral camera and plasma instrument. Recently, we are also developing so-called software-type wave-particle interaction analyzer (S-WPIA) in ERG in order to elucidate the energy transport between the plasma waves and particles in the collisionless plasma regime. These research experiences and expertise in our community are now leading new research activities to propose a new exploration mission using polar formation-flight configuration of compact satellites for the space-terrestrial coupling mechanisms. In this future mission, we will directly investigate the interactions and couplings in the plasma and neutral particles and the electromagnetic fields and waves in addition to the plasma wave-particle interaction analyses for the ionospheric transverse ion acceleration (TIA) and the simultaneous auroral emission-particle observations for the magnetosphere-ionosphere coupling processes like Alfvénic electron acceleration and their related auroras, and the field-aligned current distribution and variation. In this presentation, We introduce the formation-flight exploration mission using compact satellites and also discuss the instrumental development plans for their realization.

キーワード：宇宙空間プラズマ、中性大気粒子、電磁気圏電磁場・波動、統合観測、小型衛星、編隊飛行  
Keywords: space plasma, atmospheric neutral particle, space electromagnetic fields and wave, integrated observation, compact satellite, formation flight

SS520-3ロケット実験波動観測器 (LFAS) 搭載デジタル信号処理モジュール  
Digital Data Processing Module in the Low Frequency Analyzer System (LFAS) for the SS520-3  
Rocket Experiment

\*笠原 禎也<sup>1</sup>、高橋 翼<sup>1</sup>、太田 守<sup>1</sup>、小嶋 浩嗣<sup>2</sup>、尾崎 光紀<sup>1</sup>、八木谷 聡<sup>1</sup>、石坂 圭吾<sup>3</sup>

\*Yoshiya Kasahara<sup>1</sup>, Tsubasa Takahashi<sup>1</sup>, Mamoru Ota<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>1</sup>, Satoshi Yagitani<sup>1</sup>, Keigo Ishisaka<sup>3</sup>

1.金沢大学、2.京都大学、3.富山県立大学

1.Information Media Center, Kanazawa University, 2.Kyoto University, 3.Toyama Prefectural University

We introduce a digital data processing module for low frequency analyzer system (LFAS) on the "SS-520-3" rocket. The main objective of the SS520-3 rocket experiment is to identify ion acceleration and heating mechanism in the polar cusp region. The LFAS is equipped with two type of receivers; EFD (electric field) and WFC (waveform capture). The EFD measures electric wave field in the frequency range from DC to 400 Hz and the data will be sent by analogue telemetry, while WFC covers electric field measurements in the VLF range below 10 kHz and generate digital data which consist of one channel of spectrum and two channels of waveform. In order to achieve real-time data processing of the WFC receiver on the rocket, we plan to develop digital data processing modules on FPGA. The digital modules consist of three FFT modules with cascaded decimation filters for spectrum analyzers and a lossy data compression module for waveform data for the purpose of data reduction. We have already developed a general-purpose FPGA board for evaluation of various kinds of signal processing [1]. We can integrate our own signal processing module on it without any complicated wiring work for the peripheral circuits and evaluate the performance of our proposed module. In the presentation, we report the current design of these data processing modules.  
[1] Y. Kasahara, H. Matsui, and Y. Goto, Abstract of JPGU Meeting 2015, PCG31-19.

キーワード：プラズマ波動受信器、SS520-3ロケット実験、デジタル信号処理

Keywords: Plasma Wave Receiver, SS520-3 rocket, Digital signal processing

## 将来火星探査に向けた近距離用LIDARの開発

## Development of short-range LIDAR for future Mars landing mission

\*千秋 博紀<sup>1</sup>、山田 園子<sup>2</sup>、椎名 達雄<sup>2</sup>、乙部 直人<sup>3</sup>、はしもと じょーじ<sup>4</sup>、梅谷 和弘<sup>4</sup>、川端 康弘<sup>5</sup>

\*Hiroki Senshu<sup>1</sup>, Sonoko Yamada<sup>2</sup>, Tatsuo Shiina<sup>2</sup>, Naohito Otobe<sup>3</sup>, George HASHIMOTO<sup>4</sup>, Kazuhiro Umetani<sup>4</sup>, Yasuhiro Kawabata<sup>5</sup>

1.千葉工業大学惑星探査研究センター、2.千葉大学大学院融合科学研究科、3.福岡大学理学部、4.岡山大学大学院自然科学研究科、5.気象庁気象研究所

1.Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology, 2.Graduate School of Advanced Integration Science, Chiba University, 3.Faculty of Science, Fukuoka University, 4.Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University, 5.Meteorological Research Institute,

The thermal structure of the atmosphere is controlled by the distribution of small particles (aerosol particles).

They absorb and scatter a part of the solar radiation and the thermal emission from the surface. The spatial and size distribution of small particles is therefore a key to understand the thermal structure of the atmosphere.

This is also the case for Mars. The red planet is known as having a dusty atmosphere whose thermal structure drastically changes depending on the distribution of the dust grains. The total amount of the dust grains in martian atmosphere is to be decided by the balance between the supply of dust grains from the surface and the sink of dust grains onto the surface. But the mechanism of the dust supply is unclear yet. Although dust-devils are proposed to be the most plausible mechanism to make the dust grains detached from the surface, the efficiency of the dust detachment is still hard to estimate. This is because the efficiency depends on many factors, such as the shape of a dust grain, the humidity, the electrostatic state of the dust grain and the surface, the size distribution function of dust grains on the surface, and so on.

To unveil the distribution and the motion of dust grains in a dust devil, we are developing a LIDAR. This LIDAR observes the dust grains on the line of sight in the range of around 100m with the spacial and temporal resolution less than 1m and 1s, respectively. The verification test of the LIDAR is conducted at the large wind tunnel at Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency.

キーワード：ライダー、ダスト、つむじ風

Keywords: LIDAR, dust, dust devil

## 火星圏探査に向けた紫外光検出器の開発

## Development of an ultraviolet spectrometer for the Mars/Phobos exploration

\*桑原 正輝<sup>1</sup>、吉岡 和夫<sup>1</sup>、吉川 一朗<sup>1</sup>

\*Masaki Kuwabara<sup>1</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>1</sup>, Ichiro Yoshikawa<sup>1</sup>

1.東京大学

1.The University of Tokyo

The UltraViolet Spectrometer (UVS) is a strong tool for observing the Martian atmosphere and the surface of its moon, Phobos. For example, UVS can observe the absorption of the ozone (~250 nm) in the Martian atmosphere. Ozone is a key species for understanding the stability and evolution of the Martian atmosphere. UVS can also observe the surface albedo of Phobos at the wavelength of 220 nm interpreted of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) origin. The presence or absence of PAH is important to understand the origin and evolution of Phobos. In this presentation, we will show the optical design of UVS and the methods of measurements of the global distribution of total ozone on Mars and the surface composition of Phobos.

キーワード：火星、フォボス、ダイモス、紫外線、分光

Keywords: Mars, Phobos, Deimos, Ultraviolet, Spectroscopy

## SS-520-3号機観測ロケット実験の概要と期待される成果

## SS520-3 Sounding Rocket Experiment Targeting the Ion Outflow over Dayside Cusp

\*齋藤 義文<sup>1</sup>、小嶋 浩嗣<sup>2</sup>、小川 泰信<sup>3</sup>

\*Yoshifumi Saito<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>, Yasunobu Ogawa<sup>3</sup>

1.宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系、2.京都大学 生存圏研究所、3.国立極地研究所  
1.Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace  
Exploration Agency, 2.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, 3.National  
Institute of Polar Research

電離大気の加速・流出現象は、地球のみならず火星、水星を含む他惑星や月を含む衛星周辺でも起こる普遍的な現象であることが最近の国内外の観測で次第に明らかとなってきた。しかしながら、その流出機構については、それぞれの天体の条件で様々に変化するため、それらの機構を理解することは天体周辺大気の変遷を理解・予測する上で必要不可欠である。SS520-3観測ロケット実験は、地球で主要な電離大気流出が起きている極域カusp周辺領域において、電離大気流出の原因として理論的に想定されている波動-粒子相互作用を、人工衛星ミッションに向けて新たに開発された観測装置を用いて世界で初めてその場で検出、解明するミッションである。

SS520-3観測ロケット実験が解明を目指す波動-粒子相互作用は極域カusp上空800km付近から効率よく働いていると予測されており、本実験には800km以上の高度まで到達できるSS520の使用が必須となる。更に、カusp上空にSS520を打ち上げる事のできる射場は、スピッツベルゲン・ニーオレスンを除いて他には無い。

SS520-3観測ロケットには、デジタル方式フラックスゲート磁力計 (DFG)、全磁力を計測するCoupled Dark State Magnetometer (CDSM)、低周波波動解析システム(LFAS: Low Frequency Analyzer System)、熱的イオン分析器 (TSA: Thermal Ion Spectrum Analyzer)、低エネルギーイオン/電子計測器 (LEP: Low Energy Particle experiment)、低エネルギーイオンエネルギー質量分析器(IMS: Ion Mass Spectrometer)、高速ラングミュアプローブ (FLP: Fast Langmuir Probe)、針状ラングミュアプローブ (NLP: Needle Langmuir Probe)、高周波プラズマ波動・インピーダンスプローブ (PWM: Plasma and Wave Monitor) の各観測装置と、姿勢決定のための太陽センサー (SAS: Sun Aspect Sensor) を搭載する。このうち、CDSMはオーストリア、NLPはノルウェーから提供される、国外の観測装置である。また、LFASとTSA/IMSの双方で取得されるデータを高速にメモリに保存し、メモリに保存されたデータを地上に送って解析することで、これらの観測装置は、WPIA(Wave Particle Interaction Analyzer: 波動粒子相関器)として機能する。このWPIAを用いることで、地球電離圏における電離大気流出につながる、電離大気の加熱、加速メカニズムの解明にブレークスルーをもたらす計画である。

SS520-3観測ロケット実験を実施するにあたり、EISCAT スバルバルレーダー (ESR) との連携及び、同時観測は必須である。ESRのリアルタイム観測データは、観測ロケット打ち上げ時に流出現象が起きていることのモニターとして必要不可欠である他、ロケット観測データの解釈に必要な熱的イオンの時空間分布の情報を与えてくれる。ESRは数10kmオーダーの平均的な描像を得ることができのに対し、観測ロケットはロケット軌道上のその場の詳細な情報を得ることができるため、同時に異なるスケールで観測されたデータを取得できる。このこともイオン流出現象の理解のために、非常に役立つと言える。

SS520-3観測ロケット実験では、打ち上げタイミング決定の条件である「観測ロケットの軌道が観測対象とするカusp領域の上空を通過するかどうか」の判断には、主に地上からの光学観測のリアルタイムデータが重要になる。これらの観測はロケット射場のあるNy Alesund ではノルウェーのオスロ大が行っている他、約100 km離れたスバルバード島内のLongyearbyenではオスロ大、The University Centre in Svalbard (UNIS) の他、日本も極地研のグループを中心にオーロラ分光器や全天カメラを用いた観測及びリアルタイムデータ公開を継続しており、国内及びオスロ大、UNISの研究者を通じて、ロケット実験時の支援を期待できる。

北欧Ny Alesundからの宇宙研の観測ロケットの打ち上げは、SS520-2号機に続き15年ぶりである。この大変貴重な機会を最大限に生かして、電離大気流出の原因として理論的に想定されていながら未解決のままとなっている、波動-粒子相互作用の検出に是非とも成功してそのメカニズムを解明したいと考えている。

キーワード：観測ロケット実験、電離大気流出、カスプ  
Keywords: Sounding Rocket, Ion Outflow, Cusp

## 将来小型衛星に向けた軽量X線イメージャーの開発

## Development of a light-weight X-ray imager for future explorer missions

\*石川 久美<sup>1</sup>、江副 祐一郎<sup>2</sup>、小川 智弘<sup>2</sup>、中村 果澄<sup>2</sup>、沼澤 正樹<sup>2</sup>、武内 数馬<sup>2</sup>、寺田 優<sup>2</sup>、佐藤 真柚<sup>2</sup>、三石 郁之<sup>3</sup>、大橋 隆哉<sup>2</sup>、満田 和久<sup>4</sup>、木村 智樹<sup>1</sup>、三好 由純<sup>3</sup>、笠原 慧<sup>4</sup>、山崎 敦<sup>4</sup>、藤本 正樹<sup>4</sup>

\*Kumi Ishikawa<sup>1</sup>, Yuichiro Ezoe<sup>2</sup>, Tomohiro Ogawa<sup>2</sup>, Kasumi Nakamura<sup>2</sup>, Masaki Numazawa<sup>2</sup>, Kazuma Takeuchi<sup>2</sup>, Masaru Terada<sup>2</sup>, Mayu Sato<sup>2</sup>, Ikuyuki Mitsuishi<sup>3</sup>, Takaya Ohashi<sup>2</sup>, Kazuhisa Mitsuda<sup>4</sup>, Tomoki Kimura<sup>1</sup>, Yoshizumu Miyoshi<sup>3</sup>, Satoshi Kasahara<sup>4</sup>, Atsushi Yamazaki<sup>4</sup>, Masaki Fujimoto<sup>4</sup>

1.理化学研究所、2.首都大学東京、3.名古屋大学、4.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

1.RIKEN, 2.TMU, 3.Nagoya University, 4.JAXA/ISAS

We would like to introduce a ultra light-weight X-ray optics and present recent results on X-ray performance test with these optics.

X-ray observatories are essential for X-ray astrophysics. Hence, revolution of observation technologies could lead to new discoveries. Detection of X-rays from the solar system objects including planets (Venus, Earth, Mars, Jupiter, Saturn), satellites (Moon, Galilean satellites), comets, and heliosphere is one of the discovery by recent X-ray observatories, i.g., Chandra, XMM-Newton and Suzaku. Representative mechanisms of their X-ray emission could be divided into three categories. First one is an elastic and a fluorescent scattering of solar X-rays by neutrals in the planetary atmosphere. Second one is a charge exchange with neutrals in the tenuous planetary exosphere and the cometary gas. Last one is collisions of energetic electrons in the planetary aurora with atmospheric neutrals producing bremsstrahlung emission and emission lines. Since these mechanisms are closely related to surrounding environments of the objects, we can obtain detailed information on planets such as density and spatial distribution of not-well known planetary tenuous atmosphere and magnetosphere. Overall pictures of them can be taken with remote sensing X-ray observatories. On the other hand, snapshots are obtained by the in-situ explorer missions. They are complementary to the in-situ explorer missions.

A key technique for the X-ray explorer or small satellite missions is a reduction in weight of optics. Conventional X-ray optics have a trend that optics with better angular resolution have larger ratio of the weight to effective area. Therefore, it is difficult to utilize them for the X-ray planetary missions which has a severe weight limit. Micro pore optics are being developed based on a concept of a miniature optics. To compensate decrease of reflection area, amount of mirrors are needed to increase. We have developed a novel type of micro pore optics with MEMS (MicroElectroMechanical System) technologies (Ezoe et al. 2006, 2010). We call them MEMS X-ray optics.

An instrument composing of the MEMS X-ray optics and a radio-hard semiconductor pixel detector is being developed. It aims at the first in-situ measurement of X-ray emission related to planetary atmosphere and magnetosphere. For example, JUXTA (Jupiter X-ray Telescope Array) is intended to observe Jovian X-rays (Ezoe et al., 2013). It covers 0.3-2 keV with the energy resolution of <100 eV at 0.6 keV. The major advantage of JUXTA compared to the Earth-orbiting X-ray observatories is proximity. Hence, if JUXTA has the effective area of 3 cm<sup>2</sup> at 0.6 keV and the angular resolution of 5 arcmin and orbits in ~30 Jovian radii at periapsis, these numbers scaled to the Earth orbit observation of Jupiter are 24 m<sup>2</sup> and 1 arcsec, respectively.

We fabricated the MEMS X-ray optics for JUXTA. The MEMS X-ray optics are made of 4-inch silicon wafer with 300 um thickness. A lot of micro-pores are formed in the thin silicon wafer by photolithography and deep reactive ion etching (DRIE). A typical pore width is 20 um and the sidewall of these pores play a role as X-ray reflective surfaces. After DRIE, sidewalls of the pore

structures are smoothed by annealing in order to reflect X-rays with a micro roughness of less ~1 nm rms. Finally, the wafer is plastically deformed to a spherical shape. We constructed an approximately Wolter type-I telescope stacked two bending 4-inch optics with different curvature radii, and confirmed a clear X-ray focus for the first time (Ogawa et al., submitted in MST). We also confirmed a need of improvement for a surface roughness and a vertical profile of sidewalls within pores.

キーワード：X線、軽量光学系

Keywords: X-ray, light-weight optics



## 人工飛翔体搭載用 熱的・超熱的イオン分析器の開発

## Development of a Thermal and Supra-thermal ion Analyzer for an experiment of Sounding Rocket

\*須藤 雄志<sup>1</sup>、浅村 和史<sup>2</sup>、斎藤 義文<sup>1,2</sup>

\*Yushi Suto<sup>1</sup>, Kazushi Asamura<sup>2</sup>, Yoshifumi Saito<sup>1,2</sup>

1.東京大学大学院理学系研究科、2.宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・太陽系科学研究系

1.Graduate School of Science., University of Tokyo., 2.Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

地球磁気圏には数eV程度の熱的・超熱的と呼ばれる冷たい粒子から数MeVを超える高エネルギー粒子まで、幅広いエネルギー帯のプラズマ粒子が同時に存在している。これらの粒子は電磁場を介して相互作用し、加速や輸送を経て生成・消滅することで多様なプラズマ環境を形成している。例えば、内部磁気圏には電離圏起源のプラズマが存在することが知られており、磁力線に沿って電離圏プラズマが磁気圏へと流出する現象が衛星観測によっても確認されている。このとき、電離圏では1eVほどであった粒子が高高度では数十eVほどにまで加速されている。しかし、その加速機構は未だ解明されていない。この理由の一つは、数十eV以下の粒子の直接観測を行う場合、衛星の帯電電位が粒子軌道に影響を与えてしまい、観測自体が簡単ではないためである。

衛星電位の影響を抑制する方法として、観測機器を衛星から伸展したブーム上に設置し、観測器の筐体電位を制御することが考えられる。この場合、観測器は小型軽量である必要がある。このため、我々は小型化を重視した熱的・超熱的イオン分析器の開発を行っている。機器設計においては、360度の平面状視野を持つトップハット型静電分析器と飛行時間分析型質量分析器の構造を採用した。小型軽量化に対する適切な設計を行うことで、現設計ではアナライザ部の大きさを100φ×60 mm程度に抑えている。

本発表では、熱的・超熱的イオン分析器の設計結果および現在の開発状況について述べる。

キーワード：熱的・超熱的イオン、イオン分析器、観測ロケット

Keywords: Thermal and Supra-thermal ion, Ion analyzer, Sounding rocket

## 超小型衛星コンステレーションのためのプラズマ計測パッケージ

Plasma package for constellation of micro-satellite

\*長妻 努<sup>2</sup>、高橋 幸弘<sup>1</sup>、石田 哲朗<sup>1</sup>、栗原 純一<sup>1</sup>、佐藤 光輝<sup>1</sup>、渡部 重十<sup>3</sup>\*Tsutomu Nagatsuma<sup>2</sup>, Yukihiro Takahashi<sup>1</sup>, Tetsuro Ishida<sup>1</sup>, Junichi Kurihara<sup>1</sup>, Mitsuteru Sato<sup>1</sup>, Shigeto Watanabe<sup>3</sup>

1.北海道大学・大学院理学院・宇宙理学専攻、2.情報通信研究機構、3.北海道情報大学

1.Department of CosmoSciences, Graduate School of Science, Hokkaido University, 2.National Institute of Information and Communications Technology, 3.Hokkaido Information University

Multipoint observation of space plasma is essential to distinguish spatial and temporal variations and to increase the spatial coverage. However, making satellite needs too much cost and human power so that it has not been realistic to distribute tens of the plasma sensors at different points. Such situation is drastically and rapidly changing due to the appearance of micro or nano satellites with a weight less than 100 kg, which cost only 1/100 or even 1/1000 of conventional large satellite. Adding to Surrey Satellite Technology Ltd., a venture company of Surrey University in UK and one of the pioneers of microsatellite, not a few institutes, universities, space agencies and private companies started entering the international race of micro-satellite development. It is not unrealistic that 100s-1000 of satellites are launched every year in a several years from now. One of the fascinating ideas to realize super multipoint measurement for space weather monitoring might be installing a standardized scientific plasma sensor package at every micro-satellite to be launched in the world as a part of the BUS instruments. Here we would like to discuss how to promote and distribute this idea internationally.

キーワード：超小型衛星、コンステレーション、プラズマパッケージ、小型センサー

Keywords: micro-satellite, nano-satellite, constellation, plasma instrument

## ワンチップ新型プラズマ波動スペクトル受信機の設計開発

The development of the one chip new spectrum plasma wave receiver

\*頭師 孝拓<sup>1</sup>、小嶋 浩嗣<sup>1</sup>、大西 啓介<sup>1</sup>、尾崎 光紀<sup>2</sup>、八木谷 聡<sup>2</sup>、山川 宏<sup>1</sup>\*Takahiro Zushi<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>1</sup>, Keisuke Onishi<sup>1</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>2</sup>, Satoshi Yagitani<sup>2</sup>, Hiroshi Yamakawa<sup>1</sup>

1.京都大学、2.金沢大学

1.Kyoto University, 2.Kanazawa University

プラズマ波動受信機は宇宙プラズマ観測において不可欠であり、これまで様々な科学衛星に搭載されてきた。しかしながら、近年では搭載機器の多様化や衛星の小型化からプラズマ波動受信機の小型軽量化が求められている。これに対し、我々は特定用途向け集積回路(Application Specific Integrated Circuit: ASIC)技術を利用したプラズマ波動受信機の小型集積化に取り組んでいる。本発表においては、新型のスペクトル受信機について述べる。これまでのスペクトル受信機は、周波数掃引型(Sweep Frequency Analyzer: SFA)、多チャンネル型(Multi Channel Analyzer: MCA)、高速フーリエ変換(Fast Fourier Transform: FFT)型の3種類に分けることができる。このうち、SFA、MCAについては、受信機の周波数分解能と時間分解能の両立が難しいという問題がある。FFT型の受信機はこの問題を解決することができる一方で、広帯域での信号増幅を行うため、ダイナミックレンジの劣化を招いてしまう。本研究では、上記の問題を解決することのできる新型スペクトル受信機を提案する。

新型スペクトル受信機は、アナログ回路による信号処理とCPU・FPGA等によるデジタル信号処理を組み合わせた構成となっている。入力された信号はアナログ回路において帯域制限および増幅が行われ、A/D変換された後にデジタル信号処理部でFFTが行われる。この処理を、10 Hz~1 kHz、1 kHz~10 kHz、10 kHz~100 kHzの3つの周波数帯で行うことで、観測対象である10 Hz~100 kHz全体のスペクトルを取得する。この手法は、掃引ステップ数が少ないために高い時間分解能が実現でき、またFFTにより各周波数帯において十分な周波数分解能を得られる。さらに、帯域を絞った増幅となるので上述のダイナミックレンジの劣化も生じない。また、各バンドでサンプリング周波数を必要最低限の値へと設定することで、従来のFFT型受信機と比べて消費電力を小さくすることができる。

本研究では、上記の新型スペクトル受信機に必要なアナログ回路をASICにより設計し、十分な性能を持つ回路の実現に成功した。受信機に必要なアナログ回路及びその制御用デジタル回路が5 mm x 5 mmのチップ内に収められている。また、開発したASICチップに加え、PCからの制御が可能なA/Dボードを利用し、性能評価用のプロトタイプを作成した。プロトタイプモデルにおいては、時間分解能が0.4秒、10 Hz~1 kHz、1 kHz~10 kHz、10 kHz~100 kHzの各バンドにおける周波数分解能が3.2 Hz、32 Hz、320 Hzと、十分な性能を得られることを確認した。発表においては、受信機の設計および性能の詳細を述べる。

キーワード：プラズマ波動、ASIC

Keywords: Plasma wave, ASIC

## 波動粒子相互作用直接観測システムにおける粒子検出回路の小型化

## The Miniaturization of Particle Detection Circuits Composing the Direct Observation System for Wave-Particle Interactions

大西 啓介<sup>1</sup>、\*小嶋 浩嗣<sup>2</sup>、池田 博一<sup>3</sup>、斎藤 義文<sup>3</sup>、頭師 孝拓<sup>1</sup>、山川 宏<sup>2</sup>Keisuke Onishi<sup>1</sup>, \*Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>, Hirokazu Ikeda<sup>3</sup>, Yoshifumi Saito<sup>3</sup>, Takahiro Zushi<sup>1</sup>, Hiroshi Yamakawa<sup>2</sup>

1.京都大学大学院工学研究科、2.京都大学生存圏研究所、3.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

1.Graduate School of Engineering, Kyoto University, 2.Research institute for sustainable humanosphere, Kyoto University, 3.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

波動粒子相互作用の定量的な観測に向けて、“波動粒子相互作用解析装置(WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer)”が提案された。我々はこのWPIAを特定用途向け集積回路(ASIC: Application Specific Integrated Circuit)技術を用いることでワンチップ化することを目的としている。ワンチップWPIAを実現するためには、プラズマ粒子1つ1つの検出信号を逐次出力する、小型粒子検出回路が必要である。これにより、波動観測器と粒子観測器との時刻同期が取るやすくなる。

粒子センサに到達した1つの電子は電荷増幅され粒子検出回路に入力される。この増幅された電荷はパルス幅が数ns程度の非常に微弱な電流信号として近似できる。これを直接検出することは困難であるため、前段処理として電荷信号を電圧信号に変換及び増幅する必要がある。すなわち、粒子検出回路は2段構成となる。前段には、粒子検出用高速アンプとしてカレントコンベアを、後段には高速応答コンパレータとしてラッチコンパレータをそれぞれ採用した。まず、カレントコンベアの設計を行った。カレントコンベアの応答は出力インピーダンスと出力端を構成するMOSFETの相互コンダクタンスに依存する。双方の値を大きくすることで応答を向上させた。シミュレーションにおいて、振幅103  $\mu$ Aの電流パルスを入力したとき、パルス入力から1.8 ns間で出力電圧が330 mV大きくなり、約16.2 nsで収束する非常に高速な応答が得られた。シミュレーション結果と試作チップの測定結果との比較から、設計通りに試作チップが動作していると判断でき、高速に応答する粒子検出用高速アンプを設計した。次に、ラッチコンパレータの設計を行った。ラッチコンパレータの応答はラッチ回路を構成するMOSFETのアスペクト比と総電流量に依存する。これらを適宜設定し、遅延時間2 ns以内で応答する高速応答コンパレータを設計した。試作チップを測定したところ、寄生容量の影響により遅延時間が増大したため、シミュレーションにおいて改良を行った。

本発表では、上記の小型粒子検出回路の設計及び評価を行った詳細に加え、設計した小型粒子検出回路を用いた小型波動粒子相互作用直接観測システムの提案を行う。

キーワード：波動粒子相互作用、波動粒子相互作用解析装置(WPIA)、粒子検出、特定用途向け集積回路(ASIC)  
Keywords: Wave-Particle Interaction, Wave-Particle Interaction Analyzer(WPIA), Particle Detection, Application Specific Integrated Circuits(ASIC)

## 電離圏イオン組成観測のための広帯域インピーダンスプローブの開発

Development of wideband impedance probe system for observation of the ionospheric ion composition

\*熊本 篤志<sup>1</sup>

\*Atsushi Kumamoto<sup>1</sup>

1.東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

1.Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

The performance of new wideband impedance probe system for observation of the ionospheric ion composition have been evaluated in the plasma chamber. Measurement system of Number density of Electron with Impedance probe (NEI) were developed by Oya [1966], and successfully utilized for numerous sounding rockets and spacecrafts such as Denpa, Taiyo, Jikiken, Hinotori, Ohzora, and Akebono [e.g. Wakabayashi et al., 2013]. NEI measures the equivalent capacitance of the probe immersed in the magnetized plasma. By applying RF signal to the probe, we can identify the minimum of equivalent capacitance due to upper hybrid resonance (UHR). The frequency of RF signal is swept from 100 kHz to 25 MHz, in order to cover the UHR frequency range in the Earth's ionosphere. We can obtain accurate electron number density from the measured UHR frequency.

The effective capacitance of the probe in the magnetized plasma shows minimum not only at UHR frequency but also at another resonance frequency: Lower hybrid resonance (LHR). If we can measure LHR frequency with UHR frequency and electron cyclotron frequency, we can derive effective mass of ionospheric plasma and determine the ionospheric ion compositions. Because LHR frequency is about several kHz in the ionosphere, we have to extend the lower limit frequency of the current impedance probe system to 100 Hz.

Through the plasma chamber experiment in 2014 with bread-board model (BBM) of the new impedance probe system, we confirmed that it could measure (1) UHR in high frequency range as well as the current NEI could, and (2) equivalent capacitance profile from 100 Hz to 100 kHz, which indicates sheath capacitance of 120 pF and sheath resistance of 30 kohm. But it could not detect LHR as predicted due to high electron collision frequency in the chamber using backscatter-type plasma source. We are planning to perform another chamber test in 2015. In this test, we used large UV light source with propylene gas (C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>) as plasma source in expectation of reduction of the electron collision frequency. However, although we found slight decrease of effective capacitance around 2 kHz, we could not confirm clear LHR depending on changes of background plasma density. The constant sheath resistance in low frequency range shows the existence of large sheath current due to potential difference between the probe and background plasma. Therefore, we are planning another chamber experiment in which we perform DC-potential control of the probe.

キーワード：インピーダンスプローブ、低域混成共鳴 (LHR)、電離圏イオン組成

Keywords: Impedance probe, Lower hybrid resonance (LHR), Ionospheric ion composition

## 2次元紫外光検出器の感度向上と安定化

The UV photon detector on board spacecraft with high-efficiency and stability

\*吉岡 和夫<sup>1</sup>、桑原 正輝<sup>1</sup>、村上 豪<sup>2</sup>、吉川 一郎<sup>1</sup>、鈴木 文晴<sup>1</sup>、疋田 伶奈<sup>1</sup>

\*Kazuo Yoshioka<sup>1</sup>, Masaki Kuwabara<sup>1</sup>, Go Murakami<sup>2</sup>, Ichiro Yoshikawa<sup>1</sup>, Fumiharu Suzuki<sup>1</sup>, Hikida Reina<sup>1</sup>

1.東京大学、2.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

1.The University of Tokyo, 2.Institute of Space and Astronautical Science Japan Aerospace Exploration Agency

The remote observation with ultraviolet (30-330nm) lights is essential for planetary science because there are many effective lines emitted from the ion and atoms which compose the planetary magnetosphere or atmosphere (exosphere too). The straightest way to improve the quality of the data is to increase the efficiency of the instrument. In this presentation, we will show the way to improve the detection efficiency of the photon detector. Furthermore, the way to keep the efficiency during the ground operation (before the launch) is also shown from the experimental aspect.

キーワード：紫外線、飛翔体、効率

Keywords: ultraviolet, spacecraft, efficiency

## 水星磁気圏探査機MMO搭載MIAセンサー部の偏心性の検討

On relatively shifted centers of the analyzer electrodes of MIA onboard Mercury Magnetospheric Orbiter

\*三宅 互<sup>1</sup>、宮崎 祥一<sup>1</sup>、斎藤 義文<sup>2</sup>、横田 勝一郎<sup>2</sup>

\*Wataru Miyake<sup>1</sup>, Shoich Miyazaki<sup>1</sup>, Yoshifumi Saito<sup>2</sup>, Shoichiro Yokota<sup>2</sup>

1.東海大学工学部、2.JAXA宇宙科学研究所

1.Tokai University, 2.ISAS/JAXA

MIA (Mercury Ion Analyzer) on board MMO employs a top-hat electrostatic analyzer, which measures three dimensional velocity distribution of solar wind and magnetospheric ions around Mercury. The analyzer uses axisymmetric toroidal electrodes and is designed to have no dependence in its characteristics on azimuthal direction of incident ions. However, our ground calibration experiments have revealed that it has a slight dependence. We have tried to explain the dependence by means of model calculations. We assume that all parts of electrode are manufactured precisely but their centers are not exactly coincident through assembling process. Our result of model calculations suggests that relative shift of 0.1 to 0.2 mm may be included and can be responsible for the azimuthal characteristics of the analyzer.

キーワード：MMO、MIA

Keywords: MMO, MIA

## ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルの基礎検討

## A basic study of search coil with a built-in ASIC preamplifier

\*徳永 祐也<sup>1</sup>、尾崎 光紀<sup>2</sup>、八木谷 聡<sup>2</sup>、小嶋 浩嗣<sup>3</sup>\*Yuya Tokunaga<sup>1</sup>, Mitsunori Ozaki<sup>2</sup>, Satoshi Yagitani<sup>2</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>3</sup>

1.金沢大学 理工学域 電子情報学類、2.金沢大学 理工研究域電情報学系、3.京都大学 生存圏研究所

1.School of Electrical and Computer Engineering, College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Faculty of Electrical and Computer Engineering, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University, 3.RISH, Kyoto University

磁気圏のプラズマ波動ダイナミクスを多点で捉えるために超小型科学衛星の開発が進められている。同時に科学観測機に対して質量や消費電力等の物理的制約が厳しくなっている。これに対し、我々はリソースの大幅な削減のためにアナログASIC（特定用途向け集積回路）技術を用いてプラズマ波動観測機を開発を行っている。プラズマ波動の交流磁界成分は、通常ファラデーの法則を用いたサーチコイルが用いられる。一般的なサーチコイルセンサは一組のコイルと棒状の磁性体コアで構成され、衛星本体などから発生するノイズの影響を防ぐため衛星本体から数m離れたマスト先端に配置される。従来の場合、サーチコイルセンサから出力される微弱な信号（mVオーダー）は伝送する過程で雑音の乗りが特性が劣化する。本研究では、サーチコイルセンサ内部に我々が開発したASICプリアンプを配置することで、ケーブルによる特性の劣化やサイズ・質量を極端に低減するASICプリアンプ内蔵型サーチコイルを提案する。本研究では特に以下の項目について検討を行った。まず一つは、実効透磁率である。従来型のサーチコイルセンサは、棒状コアを使用しておりASICプリアンプを配置する空間がない。そこで、棒状の磁性体コアの断面を分割することでASICプリアンプを配置する空間を確保することを考えた。その結果、従来コアと四分分割したコアでは分割コアの実効透磁率が1.35 dB大きくなり性能が向上することが分かった。二点目は、放射線環境についてである。ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルは暴露機器として使用されるため放射線の影響を考える必要がある。過剰な放射線がASICプリアンプに入射すると、ラッチアップや電気性能の劣化が起こる。このため放射線シミュレーションを行った結果、コイルを模擬した銅版（厚さ：5 mm）はアルファ線（60 MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)以下）とガンマ線（0.05 MeV/(mg/cm<sup>2</sup>)以下）に対してシールド材として働くことが分かった。三点目は、クロストーク問題である。交流磁界ベクトル測定を行うには直交三軸に配置されたサーチコイルを用いる。そのため、水平方向の磁界に対し直行成分の磁界も発生し磁性体コアにより磁界が歪む。その結果、クロストークとしてセンサ性能を劣化させる。そこで、三軸の磁性体コアの最適な配置を交流磁界シミュレーションにより解析した。シミュレーションの結果より各磁性体コアの間隔35 mm以下でクロストークが-40 dB以下（角度誤差1度以下）となることが分かった。本発表では、ASICプリアンプ内蔵型サーチコイルの解析結果について詳細に述べる予定である。

キーワード：ASICプリアンプ、プラズマ波動観測機、サーチコイル

Keywords: ASIC preamplifier, Plasma wave observations, Search coil



## ERG/MGFセンサの地上校正試験結果

The result of ground calibration for ERG/MGF sensor

\*寺本 万里子<sup>1</sup>、松岡 彩子<sup>1</sup>、野村 麗子<sup>1</sup>、能勢 正仁<sup>2</sup>

\*Mariko Teramoto<sup>1</sup>, Ayako Matsuoka<sup>1</sup>, Reiko Nomura<sup>1</sup>, Masahito Nose<sup>2</sup>

1.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、2.京都大学大学院理学研究科

1.Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Graduate school of science, Kyoto University

内部磁気圏の微小な磁場変化や擾乱が、プラズマ粒子を加速している可能性が指摘されている。そのためERG衛星の科学的目標であるプラズマ加速過程の解明の為には、高い精度で磁場を計測する必要がある。

3軸のフラックスゲート磁力計(MGF)のセンサ各軸は、製造時の取り付け誤差による直交性の誤差や、回路部やセンサに起因するオフセットを持つ。さらに、オフセットと感度は温度により変化することが知られている。衛星打ち上げ後取得されるデータを補正し精度の高いデータを取得するために、地上試験によって感度・アライメント・オフセットとそれらの温度依存性をあらかじめ把握する必要がある。我々は、ERG衛星に搭載されるMGFのセンサに関して、地上試験によって感度・アライメント・オフセットを求め、その温度依存性を調べた。本発表ではこれらの結果について報告する。

## ソーラー電力セイルによるクルージングフェーズサイエンス

## A study of cruising-phase sciences using Solar Power Sail

\*岩田 隆浩<sup>1</sup>、矢野 創<sup>1</sup>、松浦 周二<sup>2</sup>、津村 耕司<sup>3</sup>、平井 隆之<sup>4</sup>、松岡 彩子<sup>1</sup>、野村 麗子<sup>1</sup>、米徳 大輔<sup>5</sup>、森 治<sup>1</sup>  
\*Takahiro Iwata<sup>1</sup>, Hajime Yano<sup>1</sup>, Shuji Matsuura<sup>2</sup>, KOHJI TSUMURA<sup>3</sup>, Takayuki Hirai<sup>4</sup>, Ayako Matsuoka<sup>1</sup>,  
Reiko Nomura<sup>1</sup>, Daisuke Yonetoku<sup>5</sup>, Osamu Mori<sup>1</sup>

1.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所、2.関西学院大学、3.東北大学、4.宇宙航空研究開発機構、5.金沢大学

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Kwansei Gakuin University, 3.Tohoku University, 4.Japan Aerospace Exploration Agency, 5.Kanazawa University

ソーラー電力セイル探査機は、ソーラー電力セイルによる外惑星領域探査を実証することを目的としており、その主要なサイエンスターゲットは木星トロヤ群小惑星の表面および内部の科学探査である。しかしながら、打上げから木星スイングバイまでのクルージングフェーズは、その空間的(約6AU)・時間的(約6年)拡がりによって、魅力的な科学研究の場を与える。我々は、このフェーズに実現を目指す科学観測をクルージングフェーズサイエンスと規定して、太陽系内の物質・エネルギーの同径方向の分布や宇宙初期の状態の解明など、以下に掲げるサイエンスの実現を目指している。

赤外線観測装置EXZITは、口径約10cmの可視・赤外線望遠鏡である。地球近傍から木星軌道までの長期間の観測により、黄道光の数密度、組成、アルベド等の立体構造を明らかにする。また小惑星帯以遠では、黄道光の影響が地球近傍より著しく低下することから、赤方偏移 $z$ が10を超える宇宙初期の再電離などによる宇宙赤外背景放射を捉えることにより、宇宙の初期状態の解明が期待される。

ダスト観測装置ALADDIN2は、ソーラー電力セイル小型実証機IKAROSに搭載されたALADDIN(大面積惑星間塵検出アレイ: Arrayed Large-Area Dust Detectors in INterplanetary space)からの改良型装置である。ALADDINによる地球~金星近傍のダスト観測に加えて、地球~木星軌道間のダストを分析するとともに、EXZITとの比較により太陽系のダストを3次元構造と其の場観測との両面から解明する。

磁力計MAGは、探査機本体とトロヤ群小惑星にランデブーする子機への搭載が検討されており、このうち探査機本体側の装置は、クルージングフェーズ中での観測により、地球近傍~木星軌道においてプラズマの太陽系動径方向の構造を明らかにすることを目指す。ソーラー電力セイルの両端に搭載することにより、10mオーダーの高解像度が得られ、これは電子スケールでの分解に適している。これにより太陽風の加熱機構が明らかになることが期待される。

ガンマ線バースト観測装置GAP2は、地球-探査機間の基線長が最大で約6AUに及びことを活用して、ガンマ線バースト天体(GRB)の位置を高精度で決定するガンマ線望遠鏡である。GRBの観測から高エネルギー粒子の加速機構の解明を行うとともに、EXZITとの協同により宇宙初期状態に関する新たな知見が得られることも期待される。

キーワード: ソーラー電力セイル、黄道光、ダスト、プラズマ、ガンマ線バースト

Keywords: Solar Power Sail, zodiacal light, dust, plasma, gamma-ray burst

## 波動分布関数法に適した先験情報の検討

## Study on prior information suitable for wave distribution function method

\*太田 守<sup>1</sup>、笠原 禎也<sup>1</sup>、後藤 由貴<sup>1</sup>

\*Mamoru Ota<sup>1</sup>, Yoshiya Kasahara<sup>1</sup>, Yoshitaka Goto<sup>1</sup>

1. 金沢大学大学院自然科学研究科

1. Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

地球磁気圏内を伝搬するプラズマ波動は、その励起・伝搬過程において伝搬経路上のプラズマ媒質の影響を強く受ける。宇宙空間プラズマ環境の理解のためには、科学衛星を用いた「その場」の詳細観測が重要であり、波動観測がその有力な手段となっている。また、波動の偏波解析や伝搬ベクトルの推定には、衛星が観測する複数の電磁場成分のクロススペクトルからなるスペクトルマトリクスが一般に用いられている。2016年に打ち上げ予定のジオスペース探査衛星「ERG」では、搭載されるプラズマ波動電磁場観測装置(PWE)においてパワースペクトルとともにスペクトルマトリクスを作成し常時地上に伝送することが計画されている。これらの連続データは、間欠的な観測しか行えない高分解能な波形データを降ろすタイミングを決めるための判断材料として用いられる。

また、スペクトルマトリクスを用いるVLF波動の伝搬ベクトル推定手法としては、1. Means法を代表とする単一平面波を仮定し偏波の情報を用いる手法と、2. 複数のインコヒーレントな波の重ね合わせであると観測信号を仮定し統計的な扱いをする波動分布関数法が提案されている。このうち、波動分布関数法は複数の波源の伝搬ベクトルを推定する必要があり、一般には入力データの要素数と比べてその推定しなければならないパラメータ数は多い。したがって、解が一意に定まらず何らかの先験情報(モデル)を付加することで解を特定する必要があり、これまでにさまざまなモデルが提案されてきた。しかし、モデルの決め方に依存して推定像が大きく変化することに加え、各モデルの良し悪しを評価する方法が確立されていないために複数のモデルによる推定結果を総合的に判断して解の妥当性を評価しなければならなかった。つまり、現状では波動分布関数法の信頼性が真に担保されず、さらに推定を行う研究者の負担が大きいという問題がある。

本研究では、恣意的なモデルの仮定を用いない新たな波動分布関数法を提案する。この手法では、スペクトルマトリクスの半正定値性と波動分布関数の非負値性から解集合が有界となることを利用している。また、解集合上の一様分布を仮定し、推定像の平均や信頼区間といった統計量を算出するため、解を一意に定めるためのモデルを与える必要がないことが特徴である。最後に、モデル選択基準を用いてモデルの妥当性を客観的に評価するための方法について検討を行う。

キーワード：プラズマ波動、不良設定問題、波動分布関数法、モデル選択

Keywords: Waves in plasma, Ill-posed Problem, Wave distribution function method, Model selection

## 太陽風粒子の熱構造発展の解明に向けた超小型磁場観測器の開発

Development of ultraslim magnetometers to discover the mechanism of the solar wind heating

\*野村 麗子<sup>1</sup>、松岡 彩子<sup>1</sup>、池田 博一<sup>1</sup>、小嶋 浩嗣<sup>2</sup>\*Reiko Nomura<sup>1</sup>, Ayako Matsuoka<sup>1</sup>, Hirokazu Ikeda<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>

1.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、2.京大生生存圏研究所

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

太陽風の温度  $T$  は太陽圏動径方向に沿って断熱的に冷えると考えられていたが、惑星探査機Voyager 2号の観測によると、断熱変化で得られる予想温度( $T=T_0 \cdot R^{-4/3}$ )よりも太陽風は温かい( $T \sim T_0 \cdot R^{-1/2}$ )ことがわかっている [Richardson and Paularena, 1995]. これは、宇宙空間中における太陽風粒子の加熱を示唆しているが、その加熱物理機構は未だ明らかにされていない。この加熱機構のひとつとしては太陽風中のプラズマ乱流の散逸が有力視されている。惑星間空間中の太陽風乱流スペクトルはHelios1衛星 [Roberts+1987] やUlysses衛星 [Goldstein+1995] によって、地球近傍はCluster衛星 [Sahraoui+2007; 2010] によって調べられ、乱流のエネルギー  $E$  と波数  $k$  の関係 ( $\log_{10}(E) \sim kA + E_0$ ) には、イオンや電子の慣性長に対応する  $k$  でのキンクが存在することが観測されている。これらのキンクは、波動粒子相互作用によって乱流から粒子へエネルギーが受け渡された可能性を示しているが、粒子にエネルギーを渡す役割を持つはずの波動モードがわからない等、物理機構は未解明である。

これまでの惑星間空間での観測的研究は単機衛星によるものであったため、時間・空間変化を分離することができず、3次元物理量である波数ベクトルを導出できなかった。このため波動モード決定に必要な分散関係を明らかにすることができなかった。本研究では、ソーラーセイルミッション (木星トロヤ群小惑星探査) の大規模な (一辺~50m) 薄膜太陽電池パネルの4隅に磁力計を搭載し、波数を計測することを目指して、センサ部と信号処理部一体型の超小型・軽量、省電力かつ低ノイズの磁場観測器を開発している。大型薄膜太陽電池パネルに搭載するためには、従来の磁場観測器のままでは信号処理回路部が大きく重すぎることが問題とのひとつとなる。そこで、センサ部と信号処理回路で構成されているフラックスゲート磁力計のうち、信号処理回路のアナログ回路部全体を5mm 角の集積回路 (ASIC; Application Specific Integrated Circuit) に納めることにより軽量化及び1/3 以下に小型化をおこなった。

本発表では回路の各機能部分における性能について、シミュレーション結果との比較とともに、ASICを組み込んだ回路の評価を報告する。

キーワード：フラックスゲート磁力計、プラズマ乱流、太陽風、波数解析

Keywords: fluxgate magnetometer, plasma turbulence, solar wind, wavenumber analysis

## 小惑星/小天体内部構造探査のための地震探査パッケージの開発と検討

## Investigation and Development of Seismic Observation Package for Asteroid and Small Body Explorations

石原 吉明<sup>2</sup>、\*川村 太一<sup>1</sup>、山田 竜平<sup>3</sup>、小川 和律<sup>4</sup>、竹内 希<sup>5</sup>、新谷 昌人<sup>5</sup>、ロニョーネ フィリップ<sup>1</sup>、白井 慶<sup>2</sup>、辻 健<sup>6</sup>、小林 泰三<sup>7</sup>、西川 泰弘<sup>1,5</sup>、ドリロー メラニー<sup>1</sup>、田中 智<sup>2</sup>

Yoshiaki Ishihara<sup>2</sup>, \*Taichi Kawamura<sup>1</sup>, Ryuhei Yamada<sup>3</sup>, Kazunori Ogawa<sup>4</sup>, Nozomu Takeuchi<sup>5</sup>, Akito Araya<sup>5</sup>, Philippe Lognonné<sup>1</sup>, Kei Shirai<sup>2</sup>, Takeshi Tsuji<sup>6</sup>, Taizo Kobayashi<sup>7</sup>, Yasuhiro Nishikawa<sup>1,5</sup>, Mélanie Drilleau<sup>1</sup>, Satoshi Tanaka<sup>2</sup>

1.パリ地球物理研究所、2.宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構、3.国立天文台 RISE 月惑星探査検討室、4.神戸大学、5.東京大学、6.九州大学、7.福井大学

1.Institut de Physique du Globe de Paris, 2.Japan Aerospace Exploration Agency, 3.National Astronomical Observatory of Japan, 4.Kobe University, 5.Tokyo University, 6.Kyushu University, 7.University of Fukui

小惑星探査は太陽系の形成や初期状態、進化について知る上で重要な要素である。はやぶさのサンプルリターン成功以来、小惑星探査は日本が世界に先行する分野の一つとなった。持ち帰ったサンプルの分析は探査天体について知る重要な手がかりとなる一方でその場観測でしか制約できない情報をミッション中に観測することは持ち帰ったサンプルを理解する上でも重要である。その場観測で制約すべき情報として天体の内部構造、特に深部の構造が挙げられる。本研究では内部構造探査の有効な手段として地震観測に注目し、小天体や小惑星の内部構造探査のための地震探査パッケージの開発と検討状況について報告する。本研究は主に、1.小天体で期待される地震シグナルの推定と2.小惑星/小天体で実現可能な地震観測の2つの内容について議論する。

まず小天体上で期待される地震イベントとして人工地震を含めた衝突イベントによって励起される地震の振幅や周波数特性を推定する。推定にはNormal Mode Summation を用い、震源の違いによる地震波の特性の違いを検討する。本研究では特に内部構造による地震波特性の違いについて検討する。小惑星は月のように表面がレゴリス、メガレゴリスの層で覆われていると考えられ、天体のサイズ、衝突によって、さらにその下に隕石衝突による掘削を受けていない岩塊層が存在する可能性もある。このような天体の内部の情報は天体の起源や進化に対する重要な制約となる。地震探査はこのような深部の状態について定量的な制約を与える効果的な方法であり、本研究では理論波形の計算を通じて適切な観測条件や小天体上での地震観測の可能性について議論する。

後半では我々が提案する小惑星/小天体用地震探査パッケージについて紹介する。これは主にJAXAが計画を進めているMars Moon Exploration Mission (MMX) に提案した地震探査パッケージの検討内容が中心となる。地震探査パッケージは3軸の短周期地震計と加振源から成る。自然イベントは重要である一方で確実な成果を上げるためにはアクティブ探査が重要である。本発表では我々が検討した加振源の紹介とそれによって期待される成果について議論する。さらにそれを含めた観測条件や観測計画についても紹介する。また現在検討中の項目、および開発中の要素についても議論し、期待される成果について紹介する。

キーワード：惑星科学、小惑星、地震学、小天体

Keywords: Planetary Science, Asteroid, Seismology, Small bodies

## 次期惑星探査に向けた新型紫外線検出器の開発

Newly developed ultraviolet detector for future space missions

\*村上 豪<sup>1</sup>、桑原 正輝<sup>2</sup>、疋田 伶奈<sup>2</sup>、鈴木 文晴<sup>2</sup>、吉岡 和夫<sup>3</sup>、吉川 一朗<sup>2</sup>\*Go Murakami<sup>1</sup>, Masaki Kuwabara<sup>2</sup>, Hikida Reina<sup>2</sup>, Fumiharu Suzuki<sup>2</sup>, Kazuo Yoshioka<sup>3</sup>, Ichiro Yoshikawa<sup>2</sup>

1.宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、2.東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻、3.東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

1.Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 2.Department of Complexity Science and Engineering, The University of Tokyo, 3.Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

The extreme ultraviolet (EUV) telescopes and spectrometers have been used as powerful tools in a variety of space applications, especially in planetary science. For example, an EUV telescope onboard Japan's lunar orbiter KAGUYA first took a global meridian image of the Earth's plasmasphere. In addition, the EUV spectrometer EXCEED (Extreme Ultraviolet Spectroscope for Exospheric Dynamics) onboard the Japan's small satellite Hisaki was launched in 2013 and it has observed tenuous gases and plasmas around the planets in the solar system (e.g., Mercury, Venus, Mars, Jupiter, and Saturn). These EUV instruments adopted microchannel plate (MCP) detection systems with resistive anode encoders (RAEs). An RAE is one of the position sensitive anodes suitable for space-based applications because of its low power, mass, and volume coupled with very high reliability. However, this detection system with RAE has limitations of resolution (up to 512 x 512 pixels) and incident count rate (up to  $\sim 10^4$  count/sec). Concerning the future space and planetary missions, a new detector with different position sensitive system is required in order to a higher resolution and dynamic range of incident photons. One of the solutions of this issue is using a CMOS imaging sensor. The CMOS imaging sensor with high resolution and high radiation tolerance has been widely used. Here we developed a new CMOS-coupled MCP detector for future UV space and planetary missions. It consists of MCPs followed by a phosphor screen, fiber optic plate, and a windowless CMOS. We manufactured a test model of this detector and performed vibration, thermal, and performance tests. In this paper, we report the concept of this detector and initial results of our tests.

キーワード：紫外線、検出器、惑星探査

Keywords: Ultraviolet, Detector, Planetary exploration

## 観測ロケット搭載電場観測用センサの開発

## Development of the electric field sensor for a sounding rocket

\*石坂 圭吾<sup>1</sup>、小嶋 浩嗣<sup>2</sup>、阿部 琢美<sup>3</sup>

\*Keigo Ishisaka<sup>1</sup>, Hirotsugu Kojima<sup>2</sup>, Takumi Abe<sup>3</sup>

1.富山県立大学、2.京都大学生存圏研究所、3.宇宙科学研究所

1.Toyama Pref. Univ., 2.RISH, Kyoto Univ., 3.JAXA/ISAS

Measurements of electric fields are one of key elements for the investigation of ionospheric plasma. The detection of electric field is useful to identify global plasma dynamics and energetic processes in magnetosphere and ionosphere. The concrete examples are as follows.

- Electric field structure associated with the charged particle precipitation and the global motion of the ionosphere
- The role of the electric field in the acceleration and heating mechanisms of ions
- Propagation mechanism of the electric field in the auroral ionosphere to the low latitude ionosphere
- Electric field structure in the equatorial ionosphere

Many electric field measurements have been carried out in Japan. And the electric field detector onboard sounding rockets have been successfully used in the D, E and F regions of the ionosphere. The double probe technique have been extensively used on sounding rockets in order to measure electric field in the ionosphere. And the passive double probe technique has been proven to be a reliable technique in the high electron density plasmas of the ionosphere. The technique has been extended to the lower density plasmas of the D region of the ionosphere. For electric field measurement, a wire antenna has been used as a sensitive sensor onboard Japanese sounding rocket. And this antenna will be used for several spacecraft in the future mission. However, its extension mechanism is complicated and it is difficult for the sounding rocket to extend a wire antenna in the ionosphere. Accordingly new type sensors are developed in order to measure the electric field by the sounding rocket. Their sensors fulfill the severe requirements to the sensor system, i.e., light mass, enough stiffness, compact storage, safe extension, and reasonable test efforts. Four sensors were newly developed for the electric field measurement. These sensors were loaded on four sounding rockets in Japan (S-310-37, S-520-23, S-520-26 and S-310-44). And these new style sensors deployed normally during the flight of a sounding rocket, and succeeded in the electric field observation in the ionosphere.

This paper describes about the basic measurement techniques of the electric field in the ionosphere. In particular it explains about four new type sensors in detail. Then we show the electric field data in the ionosphere measured by the new type sensor onboard the Japanese sounding rocket.

キーワード：電場観測センサー、観測ロケット、電離圏、電場観測

Keywords: electric field sensor, sounding rocket, ionosphere, electric field measurement