

ASICを用いた磁気圏探査衛星搭載用デジタル方式フラックスゲート磁力計の小型化

Development of the ASIC for miniaturizing the digital fluxgate magnetometer onboard future magnetospheric satellites

井口 恭介^{1*}, 松岡 彩子²

kyosuke Iguchi^{1*}, Ayako Matsuoka²

¹ 総合研究大学院大学, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

¹Sokensai, ²ISAS/JAXA

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所では5機の衛星による地球磁気圏の同時多点、マルチスケール観測計画(SCOPE: cross-Scale COupling in the plasma universE)が進められている。5機の衛星の総重量や体積は大きく、ロケットへの積載制限により衛星重量や体積は厳しく制限される。そのため、磁気圏探査に搭載されるフラックスゲート磁力計などの科学観測機器も重量等のリソースを削減しなければならない。

フラックスゲート磁力計は簡便な仕組みであり、高精度、省電力であるため、1950年代から多くの磁気圏探査衛星に搭載されてきた。従来のアナログ方式フラックスゲート磁力計の信号処理回路は、多数の個別のアナログ電子部品で構成されており、小型軽量、省電力化が困難である。一方、アナログ回路による信号処理をFPGA等のデジタルプロセッサに代替させたデジタル方式フラックスゲート磁力計が1990年代に開発された。デジタル方式は小型軽量、省電力化されたが、アンプやバンドパスフィルタは未だアナログ回路で構成されている。さらに、アナログ・デジタル変換器やデジタル・アナログ変換器も個別の半導体デバイスで構成されている。

市販の半導体デバイスとは異なるApplication Specific Integrated Circuit(ASIC)は、用途に合わせて独自に開発する半導体デバイスである。したがって、必要な性能を満たし、回路を小型化できる可能性がある。我々が設計する磁力計では、磁力計のデジタル化とアンプやバンドパスフィルタのASIC化により、より一層のリソースの削減を実現させる。

設計したASICはそれぞれ1種類の増幅回路とバンドパスフィルタ回路で構成されている。ASICのチップ面積は5mm角であり、実際の使用面積は5mm x 1mm程度である。増幅回路の増幅率は外部信号により2倍から10倍まで変更できる。バンドパスフィルタは2次型バターワースフィルタを採用し、中心周波数はフラックスゲートセンサの検出信号の周波数である22kHzに調整できるようにした。

まず、ASICの機能や性能について電子回路シミュレータを用いて検証した。さらに、-30度から50度の温度範囲でASICの機能や性能が損なわれないことも確認した。設計した回路の消費電流は1mAで、消費電力は約5mWであった。出力のダイナミックレンジは0.24F.S.であり、1.2Vに相当する。増幅回路とバンドパスフィルタで発生するノイズは600nV/Hz^{1/2} at 1Hz(2pT/Hz^{1/2}に相当)以下と小さく、センサのノイズと同等またはそれ以下である。シミュレーションの結果から設計したASICが正しく機能し、要求に対して十分な性能が期待されることを確認した。

今回の発表では、実験により評価したASICの性能を中心に報告する。

キーワード: 宇宙プラズマ, 磁気圏, SCOPE, フラックスゲート磁力計, ASIC

Keywords: Space plasma, Magnetosphere, The SCOPE mission, Fluxgate magnetometer, ASIC

アナログ ASIC を用いた宇宙プラズマ波動観測器の小型化に関する研究 Study on Miniaturization of Plasma Wave Receiver Using Analog ASIC

萩行 憲輔^{1*}, 石井 宏宗¹, 小嶋 浩嗣¹

Kensuke Hangyo^{1*}, Hiromune Ishii¹, Hirotsugu Kojima¹

¹ 京都大学生存圏研究所

¹Rish, Kyoto Univ

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. The characteristics of plasma waves appear especially in the frequency range below electron plasma frequencies, which are typically a few tens of MHz at maximum in the terrestrial magnetosphere. On the other hand, the signal dynamic range of plasma waves is very wide. There exist plasma waves with their intensities of a few $\mu\text{V}/\text{m}$ to a few hundreds of mV/m . Then the plasma observation device should have high sensitivity as well as a wide dynamic range in wide frequency bands. The device of observing plasma waves is so-called plasma wave receiver. In order to achieve the above requirements to the frequency range, the sensitivity, and the dynamic range, typical plasma wave receivers tend to be large because they need large analog circuits such as filters and amplifiers. However, recent space missions require miniaturization of onboard observation device in order to reduce mass and power budgets. Plasma wave receivers cannot run away from the miniaturization of their analogue circuits. In this study, we will try to miniaturize the plasma observation receiver using ASIC(Application Specific Integrate Circuit).

SFA(Sweep Frequency Analyzer) and WFC(Wave Form Capture) are used in plasma observation device. The SFA is one type of spectrum analyzer, which has poor time resolution and fine frequency resolution. The SFA is a double super heterodyne receiver and operate frequency conversion two times. In usual SFA, we swept the frequency very finely, so it takes long time to sweep all frequency and time resolution becomes worse. However, SFA which we design operate A/D conversion and FFT after sweeping frequency roughly. By using this method, we can realize both good frequency resolution and good time resolution. Thus we need to implement a frequency synthesizer, mixer, and band pass filter inside an ASIC chip. We developed test circuits of the each component and evaluated their performance. On the other hand, the WFC observes plasma waves in the time domain. It provides phase information of the observed plasma waves. Then the WFC should be calibrated in its phase as well as its gain. The transfer functions of the electric field sensors strongly depend on the surrounding plasma conditions. Because the change of transfer functions affect observed waveforms, we need to measure transfer function by onboard system in space. We realized miniaturization of waveform receiver, measurement system and preamplifier using analog ASIC and developed the miniaturized waveform receiver with the built-in preamplifier and onboard measurement system.

In the present paper, we show our attempts in developing both types of ASIC, i.e., SFA chip and WFC chip.

Keywords: Plasma Wave, Downsizing, Integrate Circuit, ASIC, Sweep Frequency Analyzer, Waveform Capture

赤外エシェル分光・撮像装置用 InSb アレイセンサ駆動系の開発

The development of an InSb array driving electronics for the infrared imager and the echelle spectrometer

野口 恵理子^{1*}, 宇野 健¹, 坂野井 健¹, 市川隆², 小谷光司³

Eriko Noguchi^{1*}, Takeru Uno¹, Takeshi Sakanoi¹, Ichikawa Takashi², Kotani Kouji³

¹ 東北大・理・地球物理学専攻, ² 東北大・理・天文学専攻, ³ 東北大・工・電子工学専攻

¹Geophys., Graduate School of Science, Tohoku Univ., ²Astronomy, Graduate School of Science, Tohoku Univ., ³Electronics, Graduate School of Engineering, Tohoku Univ.

惑星の大気圏・電磁圏は、多様な時間スケールで変動している。その顕著な例は木星をはじめとする惑星のオーロラ現象である。特に、赤外の木星 H3+, H2 オーロラ発光は、地球大気透過率の高い 2 μm や 4 μm といった窓領域の波長帯を通して唯一地上観測が可能であり、長期的な観測に適している。HST 等の宇宙望遠鏡や、SUBARU 望遠鏡等の大型公開望遠鏡では、観測に使えるマシンタイムが短いことから、長期の連続観測は難しい。このことから、惑星オーロラ発光の長期連続観測を行うためには、マシンタイムを確保できる中小型の望遠鏡と、独自の赤外観測装置を用いることが唯一の解である。

そこで本研究グループでは、主として木星赤外オーロラやイオ火山の観測から木星磁気圏のモニタリングを行うことを目標として、惑星観測に幅広く利用可能な赤外撮像装置 (高橋, 2005; 小鮎, 2008; 北見, 2010) および、赤外エシェル分光装置 (宇野, 2009) の開発を進めている。これらの装置はいずれも検出器に 256 \times 256 pixel の InSb アレイセンサを用いており、1 から 5 μm に感度を持つ。赤外撮像装置は赤外アクロマートレンズを用いた屈折光学系で、赤外 H3+オーロラ観測用に中心波長 3.414 μm 、半値幅約 10nm の狭帯域フィルターがフィルターターレットに搭載されている。赤外エシェル分光装置は、放物面鏡を用いた反射光学系で、波長分解能は約 20,000 である。これらはいずれも、ハワイ・ハレアカラ山頂 (標高 3000m) の 60cm 反射望遠鏡 (2013 年稼働予定)、および「惑星・系外惑星専用 1.8m (PLANETS) 望遠鏡」 (2014 年稼働予定) に搭載し、木星、および他惑星の連続観測を行う予定である。我々は、これらの装置の InSb センサ駆動回路系の開発を中心に行なっている。本研究は、イメージセンサ読み出し回路を詳細に検討し、適切なセンサパイアス、クロックの長さを決定し、赤外撮像試験に成功した。残すところ雑音評価を含めたキャリブレーションのみである。又、センサを載せる fan-out-board の設計、製作も進めている。現在、素子のモデル作成からシミュレーション、試作回路の作成、評価までを行っている。本発表では、開発した駆動系について発表を行う。

宇宙機での同位体計測を目指したマルチターン・飛行時間計測型質量分析器 A multi-turn time-of-flight isotope analyzer for space application

横田 勝一郎^{1*}, 豊田岐聡², 青木順², 栗原 純一³, 斎藤 義文¹

Shoichiro Yokota^{1*}, Michisato Toyoda², Jun Aoki², Junichi Kurihara³, Yoshifumi Saito¹

¹ 宇宙科学研究所, ² 大阪大学, ³ 北海道大学

¹ISAS/JAXA, ²Osaka Univ., ³Hokkaido Univ.

In order to study terrestrial or planetary plasma environment in situ low-energy ion measurements are indispensable and thus have been done by a variety of ion analyzers. Detailed studies of plasma characteristics demand mass analyses as well as energy analyses. In case of measuring a variety of ions originating from planetary atmospheres, we need to measure the ion composition with high mass resolution. Although we have achieved the measurements of the ion composition by mass analyzers around planetary environment, higher mass resolution is now needed in order to distinguish heavy species and isotopes. For the future isotope measurements around moons, planets and asteroids, we are developing a high-mass-resolution mass analyzer. One of our scientific objects is to measure the Martian atmospheric escape and evolution. Mass resolution (m/dm) of 100 is generally needed for the isotope analysis of planetary particles. However the Martian atmospheric escape and evolution science requires $m/dm > 3,000$ to discriminate N_2 from CO .

Low-energy particle measurement group of ISAS has developed a time-of-flight(TOF) ion mass analyzer with mass resolution of about 20 for KAGUYA, which succeeded in measuring ions originating from the lunar exosphere and surface. It is also preparing a TOF mass analyzer with mass resolution of 40 for the BepiColombo mission. Multi-turn TOF mass spectrometers(MULTUM), where ions are stored in a fixed orbit within electrostatic sectors and allowed to propagate the same orbit numerous times, have been developed by Osaka Univ. mass spectrometry group. One of the MULTUM series achieves the mass resolution over 30000 with the size of 20cm x 20cm. We have prepared a test model of the ion optics of the isotope analyzer which employs the MULTUM technique. We are also developing a pulsive high voltage power supply(HVPS) for the test model of the ion optics. We will report test results of the MULTUM optics and the HVPS performance.

キーワード: 質量分析, 同位体, 惑星探査

Keywords: mass analysis, isotope, planetary exploration

中性粒子分析器における高周波電場型イオン質量分析部の検出効率と質量分解能の特性 Detailed design and performances on radio frequency mass spectrometer for development of Atmospheric Neutral Analyzer

林 鮎子^{1*}, 下山 学¹, 石黒 恵介¹, 平原 聖文¹
Ayuko Hayashi^{1*}, Manabu Shimoyama¹, Keisuke Ishiguro¹, Masafumi Hirahara¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Neutral Mass Spectrometer (NMS) has been onboard several satellites and sounding rockets to observe neutral upper atmosphere of the Earth and other planets. However physical processes of neutral atmosphere are not fully understood because of limitations of observation time and NMS capabilities to observe neutral particle motion such as wind or temperature. Since in almost NMSs quadrupole mass spectrometer was applied to analyze particle species, it is difficult to obtain information on detailed velocity distributions for specific species. Neutral particles interact with plasma through collisions with ions in the upper atmosphere. Behavior of neutral particle motion thus varies by conditions in the ionosphere or the magnetosphere. In order to understand physical processes of neutral atmosphere response to the ionosphere and magnetosphere variation, it is necessary to achieve velocity distribution function for each atmosphere species.

We are developing new NMS which is called Atmospheric Neutral Analyzer (ANA). In ANA, radio frequency (RF) electric field is applied for mass analysis. After ionization of incident neutral particles, the particles are uniformed in a certain energy perpendicular to the entrance plane and then the particles through RF fields in three times. While passing through RF sections, the velocity perpendicular to the entrance slit plane is accelerated or decelerated by RF fields, and only particles with specific mass which have the resonant velocity can gain maximum energy in comparison with other particles. The particles which gained maximum energy can pass through the retarding potential analyzer (RPA) which is placed after the exit of the RF section to detection section. Counts and locations of the accelerated particles are detected by combination of MCP with fluorescent plate and CCD as a 2D image. The image represents 2D velocity distribution parallel to the plane of entrance slit and winds and temperatures are derived.

The detection efficiency and mass resolution of ANA depends on the potential on RPA and characteristics of energy gain. We improve mass resolution and detection efficiency by optimizing the geometry of RF analyzer. We will show performances of the RF analyzer estimated from numerical simulation.

キーワード: 超高層大気, その場観測, 中性粒子, 高周波, イオン質量分析器

Keywords: Upper atmosphere, In-situ observation, Neutral particle, Radio frequency, Ion mass analyzer

地球・惑星電磁気圏探査を目指した高質量分解能 ToF 型イオン質量分析器の設計 Design of a ToF type ion mass spectrometer with high mass resolution for future planetary in-situ observations

石黒 恵介^{1*}, 平原聖文¹, 林鮎子¹, 下山学¹

Keisuke Ishiguro^{1*}, HIRAHARA, Masafumi¹, HAYASHI, Ayuko¹, SHIMOYAMA, Manabu¹

¹ 名大・S T E 研

¹STEL, Nagoya Univ.

Many investigations of ion three-dimensional velocity distribution functions (VDFs) have been conducted with spacecraft-borne ion mass spectrometers (IMs) to clarify plasma dynamics around terrestrial/planetary ionospheres and magnetospheres. According to numerical simulations, it has been considered that molecular ions exist around ionospheres of non-magnetized planets (e.g. Kransnopolksy et al., JGR, 2002). But there is a problem that conventional time-of-flight (ToF) type IMs applying carbon foils (CFs) require high acceleration voltages to measure molecular ion VDFs with high mass resolution. Generally, acceleration voltages are limited due to sizes of power supplies which can be applied to spacecraft. A limitation of acceleration voltages is critical for this problem because mass resolution depends on the acceleration voltages. Therefore, developments of IMs that can also measure VDFs of the molecular ions without high acceleration voltages are necessary for future investigations of plasma dynamics around the ionospheres of non-magnetized planets.

Our ToF type IM is supposed to be installed on spin-stabilized spacecraft. It consists of two analyzers: a top-hat type electrostatic analyzer (ESA) and a ToF analyzer. Firstly, the ESA discriminates kinetic energy per charge (E/q) of incident ions by applying sweep voltages to spherical electrodes. Secondly, information of ion velocities (v) can be derived from ToFs of accelerated ions with a high uniform energy (E_{acc}) at the ToF analyzer. Finally, from a relationship between E_{acc}/q and v , we can get information of incident ion mass per charge (M/q).

In this study, we designed the ToF analyzer by adopting new applications, conversion surfaces (CSs), instead of the conventional applications, the CFs, to realize measurement of the molecular ion VDFs with high mass resolution. A particle ToF is defined as a time difference between a START signal and a STOP signal. In the case of our ToF analyzer, secondary electrons emitted by collisions of the incident positive ions with the CSs, are treated as the START signals. The STOP signals can be generated by only reflected particles which can pass through a slit. Due to the collisions, charge-exchange reaction occurs, and most of the incident positive ions are converted into neutral particles. Electrode structures which produce linear electric fields (LEFs) are adopted to make it possible to analyze ToFs of reflected positive and negative ions with high accuracy. In the case of molecular ion collisions, dissociative reaction occurs with high probability, and the molecular ions split up into positive, negative, and neutral particles. Thus, three types of STOP signals may be generated in response to one START signal. Our ToF analyzer can also identify positions where the incident ions collide with the CSs by detecting incident positions of secondary electrons on START micro-channel plate (MCP). We firstly designed simple electrode model of the ToF analyzer with SIMION. Secondly, we analyzed a specification of the ToF analyzer with numerical simulations. As a result, we finally concluded that mass resolutions of the reflected positive ions are high enough to identify CO_2^+ and HCO_2^+ respectively at full width half maximum.

In this presentation, we will show numerical simulation results of the ToF analyzer, and will describe its total specification.

キーワード: 超熱的イオン, イオン質量分析器, 静電分析器, ToF 分析器, カーボンフォイル, コンバージョンサーフェス
Keywords: Suprathermal ion, Ion mass spectrometer, Electrostatic analyzer, ToF analyzer, Carbon-foil, Conversion surface

ERG 衛星搭載用 0.01-25keV/q イオン質量分析器の開発 Development of 0.01-25keV/q ion mass spectrometer (LEPi) for ERG spacecraft

浅村 和史^{1*}, 風間 洋一², 笠原 慧¹
Kazushi Asamura^{1*}, Yoichi Kazama², Satoshi Kasahara¹

¹ISAS/JAXA, ²NCKU, Taiwan

¹ISAS/JAXA, ²NCKU, Taiwan

We are developing a low-energy ion mass spectrometer (0.01-25keV/q) to be onboard ERG spacecraft. Measurements of plasma particles with energies lower than 100keV is not easy in the terrestrial inner magnetosphere, since fluxes of high-energy particles are large. High-energy particles can penetrate through, or kick out the secondary particles when they hit materials. This means they can be detected by a detector inside an instrument without any analysis, namely, noise. In order to reduce the noise generated by the high-energy particles, we apply a time-of-flight (TOF) technique. In addition, we try to minimize size of the detector. We will discuss how an instrument in the current design can survive under severe environment under terrestrial inner magnetosphere.

Keywords: low-energy plasma analyzer, mass spectrometer, ERG

ERG 衛星搭載 MEP-e と MEP-i の設計および検証計画 Design and verification plan of MEP-e and MEP-i onboard ERG

笠原 慧^{1*}, 浅村 和史¹, 三谷 烈史¹, 高島 健¹, 平原 聖文², 山崎 潤³

Satoshi Kasahara^{1*}, Kazushi Asamura¹, Takefumi Mitani¹, Takeshi Takashima¹, Masafumi Hirahara², Jun Yamasaki³

¹ISAS/JAXA, ²名古屋大学, ³東京大学

¹ISAS/JAXA, ²Nagoya university, ³The university of Tokyo

We have been developing instruments for the observations of the medium-energy electrons (10-80 keV) and ions (10-180 keV/q) in our coming radiation belt mission ERG (Exploration of energization and Radiation in Geospace). The mission goal is to understand the radiation belt dynamics during space storms. The medium-energy electron measurement is one of the most important issues in this mission since these electrons generate whistler chorus waves, which are believed to play significant roles in the relativistic electron acceleration and loss during storms. On the other hand, such a measurement has been a challenging issue due to the harsh radiation environment, where penetrating particles and secondary particles result in significant background. Our strategy for enhancing signal-to-noise ratio is to combine an electrostatic analyzer and silicon detectors, which provide energy coincidence for true signals. In parallel with the electron instrument, we also have designed and tested a medium-energy ion mass spectrometer. This instrument is comprised of an electrostatic analyser, time-of-flight (TOF) mass spectrometer, and solid state detectors, hence it can measure energy, mass and charge state of medium-energy ions. It provides significant information of particle flux and pitch angle distribution of ring current core components, which contributes to the radiation belt dynamics via electromagnetic waves and global magnetic field deformation.

超高エネルギー電子観測装置 (XEP-e) Extremely High-Energy Plasma/Particle Sensor for Electron (XEP-e)

東尾 奈々^{1*}, 松本 晴久¹

Nana Higashio^{1*}, haruhisa matsumoto¹

¹ 宇宙航空研究開発機構, ² 宇宙航空研究開発機構

¹Japan Aerospace Exploration Agency, ²Japan Aerospace Exploration Agency

It is well known that satellites are always in danger in space and especially high-energy radiation damages them. One of the sources that cause them is the radiation belt (the Van Allen belt). It was thought to be static, but in the 1990s it rediscovered the radiation belt fluctuates greatly. There are some reasons to occur this phenomenon, but we have not understood a clear reason of this yet. On the other hand, it is well known that the energetic particle flux vary during geomagnetic disturbances and the relativistic electrons in the other radiation belt change with solar wind speed. Recently solar activity is getting larger, so now we are trying to develop the satellite (ERG) to reveal this mechanism in this solar maximum phase. ERG (Energization and Radiation in Geospace) satellite is the small space science platform for rapid investigation and test satellite of JAXA/ISAS, and our group is developing the instrument (XEP-e) to measure high-energy electrons (200keV~20MeV), that is one of many ERG satellite instruments. XEP-e (eXtremely high Energy Plasma/ particle sensor for electron) is consists of three SSDs (Solid-State Silicon Detectors) and a GSO single crystal scintillator. It has one-way conic sight and an electric part is unified with a part of sensor that is covered with aluminum to protect from contamination. The front part of the SSDs discriminate a radiation enters into the sensor and the back part of the plastic scintillator get the value of its energy. We can get the data of high-energy electron by using this sensor and it will be useful to reveal the detail of the radiation belt's fluctuation.

キーワード: ERG, 電子

Keywords: ERG

ERG 搭載 HEP-e の ASIC による高速デジタル処理システムの開発状況 Current status of development of the high-speed digital processing system by ASIC for HEP-e on board the ERG satellite

本郷 裕太郎^{1*}, 高島 健², 三谷 烈史², 三宅 互¹

Yuutaro Hongo^{1*}, Takeshi Takashima², Takefumi Mitani², Wataru Miyake¹

¹ 東海大工, ² 宇宙研

¹Tokai University, ²ISAS/JAXA

ERG (Energization and Radiation in Geospace) satellite will be launched in 2015 to understand the acceleration process of relativistic electrons and dynamical variations of the space storm in the inner magnetosphere. In efforts to understand the cross-energy coupling process generating relativistic electrons, the satellite is equipped with instruments for comprehensively observing plasma/particles, fields and waves. The Plasma and Particle Experiment (PPE) utilizes four electron sensors and two ion sensors in order to cover the wide energy range. HEP-e is one of the four electron sensors and uses sets of SSSD (Single-sided Silicon Strip Detector) to detect energetic electrons. HEP on board MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) also employs an ASIC called VATA for read-out system from the detector, but HEP-e on board the ERG satellite aims at handling data with higher speed and has VATA which can process simultaneously signals from 32 channels with ADC function. We present the current status of development of the high-speed digital processing system for HEP-e on board the ERG satellite.

キーワード: ERG, HEP-e, ASIC

Keywords: ERG, HEP-e, ASIC

米国磁気圏探査衛星 MMS 搭載高時間分解能低エネルギーイオン観測器 FPI-DIS の開発

Development of high time resolution ion sensors (FPI-DIS) on MMS

上村 洸太^{1*}, 斎藤 義文², 横田 勝一郎²
Kota Uemura^{1*}, Yoshifumi Saito², Shoichiro Yokota²

¹ 東大・理・地惑, ² 宇宙研

¹Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ., ²ISAS

現在米国では、磁気リコネクションの物理機構解明を主目的とした磁気圏探査ミッション MMS(Magnetospheric MultiScale) が 2014 年 10 月打ち上げを目指し進行中である。近年のジオテイルをはじめとする衛星観測により、磁気リコネクションの駆動には粒子個々の微視的な運動スケールにおける現象が重要であることが分かってきた。MMS は磁気圏リコネクション領域において 4 衛星による同時多点観測を行う。さらに、高時間分解能を持った粒子観測器による 4 str の視野をカバーした観測 (電子:30msec、イオン:150msec) により粒子スケールでの現象解明を可能とする。

上記の観測に必要な超高時間分解能粒子観測器のうち、我々はイオン観測器 FPI-DIS (Fast Plasma Instrument Dual Ion Sensors) を新規開発し、現在その FM フェイズが進行中である。FPI-DIS は、150msec の時間分解能及び Az90°x Pol180°の観測視野を持ったセンサーを 1 衛星につき 4 台 (4 衛星計 16 台) 搭載することにより衛星スピンの依存せず 4 str の視野をカバーした高時間分解観測を実現する。

2012 年から 2013 年にかけて 16 台全ての特性取得試験を完了した。特性取得試験の結果、全観測器において設計通りの性能を満たしていることを確認した。本発表では、FPI-DIS の特性取得試験の結果と、そこから予想される FPI-DIS の観測性能について報告する。

Keywords: MMS, FPI-DIS, reconnection, high time resolution ion sensor

ノルウェーの観測ロケット ICI-4 搭載高時間分解能低エネルギー電子計測装置 LEP-ESA High time resolution low energy electron spectrometer LEP-ESA on Norwegian sounding rocket ICI-4

齋藤 義文^{1*}, 竹島 順平¹, 横田 勝一郎¹
Yoshifumi Saito^{1*}, junpei takeshima¹, Shoichiro Yokota¹

¹ 宇宙科学研究所

¹Institute of Space and Astronautical Science

極域電離圏の対流パターン推定に有効な HF レーダ観測において、予期しないような強い後方散乱波を受信する事がある。ノルウェーの観測ロケット ICI(Investigation of Cusp Irregularities) は、これらの後方散乱を引き起こす散乱源(プラズマ擾乱)の生成メカニズムを解明することを主な目的としている。ICI プロジェクトではこれまでに ICI-2 観測キャンペーンを平成 20 年 12 月に実施したほか、ICI-3 観測キャンペーンを平成 23 年 12 月に実施した。我々は、プラズマ不安定現象のエネルギー供給源としての低エネルギー電子の寄与を明らかにするため、ICI-2, ICI-3 観測ロケットに高時間分解能低エネルギー電子計測装置 LEP-ESA を搭載して観測を行った。ICI-2 観測ロケットは 12 月 5 日にノルウェー・スピッツベルゲン島のニオレスンロケット実験場から打ち上げられ、カスプ領域から極側に向けて移動するオーロラ発光領域で電子密度擾乱を直接観測することに成功した。一方、12 月 3 日に打ち上げられた ICI-3 観測ロケットは Reversed Flow Channel 上空のデータ取得に成功した。ICI-2, ICI-3 の成功を受けて、平成 25 年 11 月に ICI-4 観測ロケットが今度は、Flow Channel Event を横切るように打ち上げられる予定である。

ICI-2, 3, 4 搭載の LEP-ESA は、センサー及び伸展機構と電子回路部で構成される。ESA は 10eV から 10keV の範囲の電子の分布関数を測定するトップハット型の静電分析器であり、2 重に重なったトロイダル型の電極の内側に正極性の電位を与えて 0V から約 3kV まで掃引することによって電子の分布関数の計測を行う。この観測装置の電子の検出器部分には、高時間分解能計測を実現するために開発した、ASIC 搭載型ディスクリット MCP アノードを使用している。ディスクリットアノード自体は従来から広く用いられていたが、位置検出の分解能(荷電粒子計測の入射角度分解能に相当する)を上げようとすればするほど多数のアンプを必要としてその結果回路規模や消費電力が観測ロケットや人工衛星に搭載困難なほど大きくなるという問題があった。そこで、この問題を解決するために開発を行ったのが、多数のアンプとカウンタを含んだ数ミリ角の ASIC (Application Specific Integration Circuit) を搭載したディスクリットアノードである。このアノードは、ディスクリットアノードを 1mm 厚のセラミック上の金属パターンで構成し、背面に ASIC を BARE CHIP のままで搭載する構造を採用している。

ICI-2, ICI-3 に搭載した LEP-ESA は正常に動作しプラズマ擾乱領域における高時間分解能での電子のエネルギースペクトル計測に成功した。しかしながら、これらの観測装置は 100% 完璧な性能を示したかというところではない。ICI-2, ICI-3 における電子のサンプリングはこれ迄に我々が用いて来た中でも最高速に当たる約 600 マイクロ秒であり、高圧電源の掃引レスポンスが問題になって来る時間領域である。事実、ICI-2, ICI-3 ではエネルギースペクトルの取得のための電圧掃引波形として三角波を用いたが、恐らく電圧の増加部分と減少部分のレスポンスが異なるため両方のデータを同等に扱うことができない結果となっている。もともと、三角波の電圧の増加部分 16 ステップと減少部分 16 ステップの測定電圧を少しずつすることで、32 ステップを用いるエネルギーカバレッジの稠密な約 22 ミリ秒/1 エネルギースペクトルの高時間分解能観測と、エネルギーカバレッジは粗いが 16 ステップを用いる約 11 ミリ秒/1 エネルギースペクトルの高時間分解能観測の両方を実現する予定であったが、上記の理由で、16 ステップを用いた約 11 ミリ秒/1 エネルギースペクトルの観測は、限られた期間しか使用できていない。そこで、ICI-4 に搭載する LEP-ESA では、新たに高圧電源を設計し直し、特性の最適化を図ることで、当初の予定であった 16 ステップを用いた約 11 ミリ秒/1 エネルギースペクトルの高時間分解能観測の実現を目指している。

なお、ICI-4 は今後 10 年間に実現を目指している「極域電離圏におけるグローバルからメソスケール現象発生の鍵となるマイクロフィジックスの統一的理解とその役割(スケール間結合)の解明」を目的とする日本ノルウェー共同ロケット実験 10 年計画の中の最初のミッションである。

キーワード: 観測ロケット, 荷電粒子, 検出器, ASIC, MCP アノード, カスプ

Keywords: sounding rocket, charged particle, detector, ASIC, MCP anode, cusp

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^{1*}, 前島弘則¹, BepiColombo MMO プロジェクトチーム¹
Hajime Hayakawa^{1*}, MAEJIMA, Hironori¹, BepiColombo MMO Project Team¹

¹ 宇宙研・宇宙機構

¹ 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、昨年9月末から総合試験が開始された。MMO構造モデルは一昨年11月にESA/ESTECへ輸送され、昨年夏に行われた全体構造モデル試験に参加した。またMMO電気モデルはドイツへ輸送され昨年10月から電気モデル試験に参加している。

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

MMO搭載MIAセンサー特性の最終較正試験結果 Final calibration results of MIA/MMO sensor characteristics

三宅 互^{1*}, 斎藤 義文², 横田 勝一郎²
Wataru Miyake^{1*}, Yoshifumi Saito², Shoichiro Yokota²

¹ 東海大工, ² 宇宙研
¹Tokai University, ²ISAS/JAXA

The Mercury Ion Analyzer (MIA) on board Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) measures the velocity distribution of low-energy ions (5 eV to 30 keV) by using a top-hat electrostatic analyzer for half a spin period (2 s). By combining both the mechanical and electrical sensitivity controls, MIA has a wide dynamic range of count rates expected in the solar wind around 0.3 AU from the sun, and in the Mercury's magnetosphere. The entrance grid for the sensitivity control of ions is also expected to reduce significantly the contamination of solar UV radiation, whose intensity is about 10 times larger than that around Earth's orbit. In this presentation, we will summarize final results of the MIA sensor calibration experiment.

キーワード: MMO, センサー特性
Keywords: MMO, sensor characteristics