

日本の観測ロケット実験の現状と将来の方向 Current status and future direction of sounding rocket experiments in Japan

阿部 琢美^{1*}
ABE, Takumi^{1*}

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
¹ Japan Aerospace Exploration Agency

Sounding rocket is an effective platform which provides opportunity to make a vertical sounding for a short period through the thermosphere, ionosphere and magnetosphere while satellite generally flies in a horizontal direction. In short, the sounding rocket has a great advantage in conducting an instantaneous survey of the upper atmosphere in the vertical direction. The primary objectives of Japanese rocket experiments include various topics; studies of thermospheric, ionospheric, magnetospheric physics, and astrophysics, microgravity experiment, demonstration of various instrument and technique, and advanced engineering experiments. Among these topics, the upper atmospheric physics is one of the most frequently explored targets.

For further understanding the upper atmosphere and ionosphere, sounding rocket will be inevitably needed. In particular, it is the most effective platform to investigate a coupling between neutral atmosphere and plasma, in other words, coupling between thermosphere and ionosphere, because it is only a platform which enables in-situ observation at 100-250 km altitudes where a role of collision rapidly changes. Advanced ground-based instruments to observe thermosphere and ionosphere are deployed and now operational in many places in Japan, and those capability has a great advantage compared to other countries. Making use of such an advantage, it becomes possible for Japan to conduct the most advanced experiment by coordinating the sounding rocket and the ground-based observations. However, we cannot expect too much progress as long as we repeat similar observations. It is highly required to adapt a new perspective to the future experiment to proceed to the next step from our current understanding. Furthermore, it is desired to develop a new type of instrument which enables us to study the thermospheric and ionospheric physics from a new point of view.

Another advantage of sounding rocket is that a proposed experiment can be achieved within a few years after a mission proposal is approved, while it takes more than three time longer in the satellite project. On the other hand, it should be noted that it also takes several years to develop a new instrument. Therefore, it is necessary to make a plan by closely coordinating a future experiment of the sounding rocket and the instrument development. In this presentation, we will also discuss what kind of instrument should be developed in the future.

キーワード: 観測ロケット, 超高層大気, 電離圏
Keywords: sounding rocket, Upper atmosphere, ionosphere

オーロラ探査編隊飛行観測衛星計画 A multi-satellite formation flight mission for aurora observation

浅村 和史^{1*}; 三好 由純²; 坂野井 健³; 平原 聖文²; 松岡 彩子¹
ASAMURA, Kazushi^{1*}; MIYOSHI, Yoshizumi²; SAKANOI, Takeshi³; HIRAHARA, Masafumi²;
MATSUOKA, Ayako¹

¹宇宙航空研究開発機構, ²名古屋大, ³東北大
¹ISAS/JAXA, ²Nagoya U., ³Tohoku U.

In 2000s, Fast and Reimei satellite revealed fine-scale plasma particle and wave structures which are considered to be playing a significant role in magnetosphere - ionosphere coupling. They carry plasma instruments with time resolution of tens of ms which is much higher than previous. In particular, Reimei conducted plasma particle measurements together with auroral imagings in which ionospheric footprints were captured. It provides us a hint for fine-scale spatial plasma structures in the auroral region although it is a single-satellite platform. However, it is still difficult to investigate a dynamics of plasma processes by using the simultaneous observations without wave measurements, like Reimei. It would be necessary to make a simultaneous observation of plasma particles and auroral emissions together with waves, which is never made so far. We are planning a multi-satellite formation flight mission for auroral observation. Main purpose of the mission is to reveal (1) time- and spatial-structures of auroral particle acceleration caused by Alfvén waves and field-aligned electric field, (2) energy transfer between plasma waves and ions in supra-thermal energy range, and (3) fine-scale plasma structures which trigger global-scale changes and vice versa. We will discuss possible mission configurations.

キーワード: オーロラ, 衛星計画
Keywords: Aurora, satellite mission

無衝突衝撃波探査衛星のサイエンス Science of Collisionless Shock Explorer

天野 孝伸^{1*}; 星野 真弘¹; 斎藤 義文²; 藤本 正樹²

AMANO, Takanobu^{1*}; HOSHINO, Masahiro¹; SAITO, Yoshifumi²; FUJIMOTO, Masaki²

¹ 東京大学, ² 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部

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

希薄な宇宙空間プラズマは系の典型的な空間スケールに対して粒子間衝突の平均自由行程が十分に長い無衝突プラズマになっている。無衝突プラズマの大きな特徴として、プラズマ波動を介した効率の良いエネルギー・運動量輸送によって系の動力学が支配されている点が挙げられる。またそのようなプラズマ波動はしばしば大振幅となり、非線形性が非常に強く効いている可能性が示唆されている。加えて、一部の粒子のみが選択的に加速され非熱的成分を形成することも無衝突系ならではの特徴である。

無衝突プラズマ中に形成する磁気流体力学的な衝撃波は無衝突衝撃波と呼ばれ、上記のような無衝突プラズマの特徴の全てが如実に現れる興味深い系である。冷たいプラズマが急激に散逸し、加熱される衝撃波遷移層においては、様々なプラズマ不安定性が同時多発的に励起され、その極度な非線形性や非一様性のためにその理解は困難を極める。観測的には古くから衝撃波のその場観測によってイオンスケールの衝撃波の基本構造はおおまかに理解されてきた。一方で高時間分解能の波動観測から、磁気流体スケールやイオンスケールに埋め込まれた微細構造や、非線形波動-粒子相互作用の衝撃波散逸機構における重要性が示唆されている。しかしながら、分布関数計測の時間分解能不足から確定的な議論には至っていないのが現状である。初期の衝撃波観測の時代から数値シミュレーションは極めて重要な役割を果たしてきたが、現在の計算機能力を持ってしてもパラメータや次元性の制限から観測されるような多スケールの衝撃波構造や非線形波動の再現には至っていない。また非熱的粒子の加速、特に熱的粒子から超熱的粒子への初期加速の観点からも衝撃波遷移層における非線形プラズマ波動を介した散逸過程の理解は極めて重要である。

本講演では現在の技術で到達可能な時間分解能 (1-10 msec) による衝撃波遷移層の分布関数計測がもたらす科学的意義について、これまでの観測・数値シミュレーション・理論と照らしあわせながら議論する。

キーワード: 無衝突プラズマ, 衝撃波, 波動粒子相互作用, 粒子加速

Keywords: collisionless plasma, shock wave, wave-particle interaction, particle acceleration

ジオスペース探査における衛星-地上観測データの統合解析の重要性：宇宙科学連携拠点ERGサイエンスセンターの取り組みから
Importance of integrated data analysis for geospace science

三好 由純^{1*}; 関 華奈子¹; 堀 智昭¹; 宮下 幸長¹; 桂華 邦裕¹; 小路 真史¹; 瀬川 朋紀¹; 篠原 育²
MIYOSHI, Yoshizumi^{1*}; SEKI, Kanako¹; HORI, Tomoaki¹; MIYASHITA, Yukinaga¹; KEIKA, Kunihiro¹;
SHOJI, Masafumi¹; SEGAWA, Tomonori¹; SHINOHARA, Iku²

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, ²ISAS/JAXA

The geospace environment is characterized by dynamic process which link sun/solar wind to the changes in the near Earth space environment. Many attractive phenomena in geospace occur in the inner magnetosphere, for example, enhancement of ring current that causes magnetic storms, and disappearance and rebuilding of the MeV electrons in the radiation belts. In-situ and ground-based observation systems provide various kinds of the observation data to support our understanding of the geospace. Since the geospace is a complex coupled system and elementary process at different energies and regions affect and are affected by each other, the integrated analysis system is needed in order to address the interconnection of each elementary process and to understand the geospace as a global coupled system. In order to realize such integrated analysis environment, the ERG-Science Center operated by ISAS/JAXA and STEL/Nagoya University have developed the integrated data analysis system. The standard data format and the common analysis software are a key technology for the system. The ERG project data are archived with the NASA/CDF format and opened to the public, and the analysis procedures that are plug-in of the SPEDAS are also developed. The data analysis system for the ERG project would be useful for not only the ERG project but also other geospace missions, and the system should be a heritage for the future geospace mission. In this presentation, we describe current activities of the ERG-Science center and the perspective on the integrated data analysis for the future geospace missions.

キーワード: 統合データ解析, 衛星-地上連携観測, ジオスペース将来探査

Keywords: integrated data analysis, satellite-ground based observations, future geospace mission

超小型オーロラ観測衛星の検討 A Piggyback Micro-Satellite for Aurora Observation

齋藤 義文^{1*}; 松永 三郎¹; 中村 友哉²; 浅村 和史¹; 平原 聖文³; 小嶋 浩嗣⁴; 坂野 健⁵;
松岡 彩子¹; 下山 学³; 横田 勝一郎¹

SAITO, Yoshifumi^{1*}; MATSUNAGA, Saburo¹; NAKAMURA, Yuya²; ASAMURA, Kazushi¹; HIRAHARA, Masafumi³;
KOJIMA, Hirotsugu⁴; SAKANOI, Takeshi⁵; MATSUOKA, Ayako¹; SHIMOYAMA, Manabu³; YOKOTA, Shoichiro¹

¹宇宙研,² アクセルスペース,³ 名大 STE 研,⁴ 京大生存圏研究所,⁵ 東北大惑星プラズマ・大気研究センター

¹Institute of Space and Astronautical Science,² Axelspace Corporation,³ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University,⁴ Research institute for sustainable humansphere, Kyoto university,⁵ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Tohoku University

近年 50kg 級の超小型衛星の開発が盛んに進められている。しかしながら、搭載できる機器の重量や機能に制限がある事から、プラズマ粒子・波動・電磁場の統合直接観測が可能な 50kg 級の超小型衛星は未だ存在しない。太陽地球系物理学分野において、複数編隊飛行衛星による時空を分離した観測が世界的に当たり前になる中、我が国の比較的小型の打ち上げロケットを用いて複数編隊飛行衛星による観測を実現するためには、衛星の高性能、小型化が必須となる事は自明である。超小型オーロラ観測衛星計画では、搭載装置の小型・高性能化を進めて 50kg 級の超小型衛星を、ピギーバック衛星としてオーロラ領域を横切る軌道に投入し、磁場、電場、プラズマ波動、粒子、オーロラ光等の観測を行うことで、50kg 級の超小型衛星が STP 分野の世界第一線の衛星観測を実施できることを実証する。「超小型オーロラ観測衛星計画」で、50kg 級の超小型衛星によって、世界第一線で要求される性能で磁場、電場、プラズマ波動、粒子、オーロラ光等の観測をすることができると実証することができれば、日本のイプシロンロケットを打ち上げ手段として用いる、5機構成のオーロラ領域編隊飛行衛星計画を実現することが可能となり、太陽地球系物理学分野の衛星観測の新しい未来を切り開くことが可能となる。また、将来のより大規模な衛星計画においても、50kg 級の超小型衛星を利用することで、より安価に編隊飛行衛星計画を実現することができる可能性がある。海外の太陽地球系物理学分野の衛星計画において 50kg 級衛星が用いられた事は、ロシアのインターボール衛星の子衛星などがあるが、十分な観測性能を持っていた訳ではない。「超小型オーロラ観測衛星計画」では、太陽地球系物理学分野の世界第一線で要求される性能で磁場、電場、プラズマ波動、粒子、オーロラ光等の観測を行うことを目的としており、国内的には、太陽地球系物理学分野の将来衛星計画の実現に向けて大きなステップとなると同時に、世界的にも超小型衛星の太陽地球系物理学分野での本格的な利用に向けて、大きな影響を与えることになる。現在のところ、宇宙研が中心となり GEOTAIL, NOZOMI, ERG, BepiCplombo/MMO を担当している観測装置開発グループで検討を実施している他、宇宙研内では、工学委員会下の「宇宙工学技術の早期宇宙実証を目指した超小型衛星コミュニティの形成と先進要素・バス系機器開発リサーチグループ」にも参加して検討を実施している。ピギーバック超小型オーロラ観測衛星は、編隊飛行衛星計画となる可能性の高い、太陽地球系物理学分野の小型衛星計画、中型衛星計画のプリカーサとしての位置付けをもっており、2019年度付近での実現を目指して検討を進めている。単一衛星あるいは、2機の複数衛星を検討しているが、衛星数が増えると打ち上げ機会が減るため、現時点では単一衛星をベースラインとしている。

キーワード: 超小型衛星, ピギーバック衛星, オーロラ

Keywords: Micro Satellite, Piggyback Satellite, Aurora

将来電磁圏探査小型衛星に要求されるオーロラカメラの検討 Auroral camera required in the future small satellite missions exploring the magnetosphere-ionosphere coupling processes

坂野井 健^{1*}; 浅村 和史²; 三好 由純³; 平原 聖文³; 斎藤 義文²

SAKANOI, Takeshi^{1*}; ASAMURA, Kazushi²; MIYOSHI, Yoshizumi³; HIRAHARA, Masafumi³; SAITO, Yoshifumi²

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ³ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ³STEL, Nagoya University

We propose the conceptual design of auroral camera required for future small-scale satellite mission to be launched for understanding the magnetosphere-ionosphere coupling system and fine-scale aurora. Reimei satellite showed that the simultaneous image-particle data are useful to investigate the fine-scale auroral dynamics, such as small-scale discrete aurora and time-varying pulsating aurora. However, Reimei does not carry the wave and field detectors, and therefore it is hardly measure the field aligned current, which is essential to understand the coupling process. Thus, the fundamental issues, such as the coupling process (time and spatial variation) via dispersive Alfvén wave, radio wave emission from the auroral acceleration region, the relationship between large-scale auroral dynamics (like substorms) and small-scale aurora, etc., are still not understood.

We are now discussing on the possibilities for future small- and micro-scale satellites to understand the small-scale aurora and the coupling system between magnetosphere and ionosphere. In this talk, we focus on the scientific targets to be solved by the future satellite missions, and also show the conceptual design of auroral camera. These will be launched into a polar orbit at low-earth-orbit (LEO) or at mid-altitudes up to a few thousands km. We consider that the following specifications are required to this auroral camera. (1) Imaging optics is preferred. (2) At apogee, the field-of-view mapped on the ionosphere is wider than 400 x 400 km, which is about 6 times greater than that of Reimei. (3) Spatial resolution is better than 1 km/pixel to obtain fine-scale aurora. (4) Time resolution is higher than 1 frame/sec to obtain time variation of aurora. (3) It is preferred that the camera measures auroral emission in the nightside hemisphere under sunlit conditions.

To satisfy the requirements, we carried out the conceptual design of auroral camera as follows, assuming that the satellite is three axis stabilized and its apogee is 3000 km. The target is auroral N2 1P emission at 670 nm and/or O2 A-band emission at 762 nm. The objective lens is f=100mm (F1.5), and the preferred detector is 1k x 1k EMCCD of which pixel size is 13 x 13 μ m. Then, the field-of-view is 7.6 deg, which enable us to cover 400 x 400 km and 200 x 200 km with spatial resolution of 2 km/bin and 1km/bin (assuming 5-pix binning) viewed from altitudes of 3000 km and 1500 km, respectively. In the case of 10 frame/sec sampling and the EM gain 50, we obtain the S/N of 50 for 1kR auroral intensity and the data rate is 4.5 Mbps (assuming lossless data compression rate of 0.7). We also discuss the requirement for auroral camera measurement under sunlit conditions using a dipole or IGRF magnetic field model. We find that the satellite exists in the shadow of the Earth at altitude of 3000 km only in the limited period in the winter hemisphere in addition to that the magnetic pole tilts toward the anti-sunward direction. Thus, we suppose that we should take auroral image under the sunlit conditions using a baffle prior to the objective lens to reduce the strong scatter light.

深宇宙探査技術実験機 DESTINY による太陽系探査の検討 Solar System Explorations using DESTINY: the Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplaneta

岩田 隆浩^{1*}; 川勝 康弘¹; 村上 豪¹; 江副 祐一郎²; 亀田 真吾³; 桂華 邦裕⁴; 荒井 朋子⁵;
松浦 周二¹; 佐伯 孝尚¹; 今村 剛¹; 小郷原 一智⁶
IWATA, Takahiro^{1*}; KAWAKATSU, Yasuhiro¹; MURAKAMI, Go¹; EZOE, Yuichiro²; KAMEDA, Shingo³;
KEIKA, Kunihiko⁴; ARAI, Tomoko⁵; MATSUURA, Shuji¹; SAIKI, Takanao¹; IMAMURA, Takeshi¹;
OGOYARA, Kazunori⁶

¹JAXA 宇宙科学研究所, ²首都大東京, ³立教大, ⁴名古屋大, ⁵千葉工大, ⁶滋賀県立大

¹Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ²Tokyo Metropolitan University, ³Rikkyo University, ⁴Nagoya University,

⁵Chiba Institute of Technology, ⁶University of Shiga Prefecture

低コスト化による打ち上げ機会増加を目指して開発されたイプシロンロケットは、太陽系探査の機会を大幅に増やすために有効な手段となり得る。その一方で既存の小型衛星バスでは、地球周回から離れた深宇宙での理学観測には、搭載可能質量などの大きな制約があった。この問題を克服するために、深宇宙探査技術実験機 DESTINY (Demonstration and Experiment of Space Technology for Interplanetary Voyage) による、深宇宙に至る軌道投入・軌道制御技術、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、様々な新規技術の実証が計画されている。我々は DESTINY 実証機で搭載可能な 10kg の理学観測機器、および将来の現行ならびに能力増強型イプシロンロケットを用いた DESTINY 応用ミッションにより、達成が見込まれる深宇宙での探査ならびにスペース天文観測を示す。

DESTINY 実証機は、月までのスパイラル高度上昇軌道、月スイングバイを経由して、太陽-地球系ラグランジュ点 L2 または L1 のハロー軌道に到達し、その場で軌道が維持される。この間のイオンエンジン停止期間には、各種工学実験とともに理学観測が可能である。観測機器としては、X 線望遠鏡、ジオコロナ紫外線望遠鏡、高速中性粒子 (ENA) カメラによる地球磁気圏全貌の観測、ダスト分析器、ハイビジョンカメラ、熱赤外イメージャ、小型望遠鏡による星間・惑星間ダスト、地球近接小天体 (NEO)、月面衝突発光現象の観測、系外惑星紫外線望遠鏡による太陽系外惑星系からの Ly α 線観測などを提案する。

一方、現行イプシロンロケットを用いた応用ミッションでは、搭載機器 (理学観測機器のほかに、これを支援する目的のバス機器を含む) への質量配分は 50kg に増大される。探査範囲は地球近傍から火星または金星のフライバイまで拡張可能となる。この段階に対して、地球圏プラズマ撮像、小惑星 Phaethon フライバイ、黄道面外からの宇宙背景放射観測、紫外線望遠鏡による太陽系外惑星観測などを提案する。さらに、イプシロンロケットに M-V ロケットと同等程度の打ち上げ能力を持たせることにより、搭載機器への質量配分は 200kg となるとともに、探査範囲は、地球近傍から火星または金星の周回軌道まで可能となる。この段階に対して、オービタ間の電波掩蔽による金星気候探査、火星気象衛星と火星航空機によるダスト輸送メカニズムの解明などを提案する。

キーワード: イプシロンロケット, DESTINY, 太陽系探査, 深宇宙, ラグランジュ点

Keywords: Epsilon Rocket, DESTINY, solar system exploration, deep space, Lagrangian point

Super constellation of micro-satellites as a new platform for space investigations Super constellation of micro-satellites as a new platform for space investigations

高橋 幸弘^{1*}
TAKAHASHI, Yukihiro^{1*}

¹ 北海道大学
¹Hokkaido University

It is expected that micro-satellites with a weight less than 100 kg will play important roles in space development in the very near future due to extreme low cost and the rapid down-sizing. 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 or companies started entering the international race of micro-satellite development. Micro-satellite had been considered as an educational or experimental tool, but it is not any more at present. Google bought US company, Skybox Imaging, which may launch several tens of, even hundreds of 100 kg-class micro-satellites in the near future for commercial services as a part of Google businesses. Recently, with telescopic camera on board RISING-2, our second 50 kg-class satellite, we succeeded in acquiring 10-m resolution spectral images with liquid crystal filter, which is the best performance in the world among all kinds of satellites. However, no standardized satellite BUS or scientific sensors exist in the world. 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 as a part of the BUS instruments. In the near future we may have an opportunity to realize the super constellation with more than several tens of micro-satellites, organizing international community. Here we would like to discuss how to implement our conception

キーワード: micro-satellite, constellation
Keywords: micro-satellite, micro-satellite

その場年代測定のための飛行時間型質量分析装置の開発 Development of TOF-MS for in-situ K-Ar dating

大石 峻裕^{1*}; 斎藤 義文²; 横田 勝一郎²; 笠原 慧²; 齋藤 直昭³; 藤原 幸雄³; 長 勇一郎⁴;
三浦 弥生⁵; 亀田 真吾⁴; 杉田 精司¹
OISHI, Takahiro^{1*}; SAITO, Yoshifumi²; YOKOTA, Shoichiro²; KASAHARA, Satoshi²; SAITO, Naoaki³;
FUJIWARA, Yukio³; CHO, Yuichiro⁴; MIURA, Yayoi N.⁵; KAMEDA, Shingo⁴; SUGITA, Seiji¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ³ 産業技術総合研究所, ⁴ 立教大学理学部, ⁵ 東京大学地震研究所

¹Department of Earth and Planetary Science, University of Tokyo, ²Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, ³National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Department of Physics, Rikkyo University, ⁵Earthquake Research Institute, University of Tokyo

月惑星探査におけるその場年代測定が可能となれば、太陽系進化史の解明に大きな役割を果たす。我々は LIBS(Laser Induced Breakdown Spectroscopy:レーザー誘起絶縁破壊分光装置) と、TOF-MS(Time-Of-Flight Mass Spectrometry :飛行時間型質量分析器) からなるその場 K-Ar 年代測定装置を開発している。K-Ar 年代測定法は ⁴⁰K の放射壊変を利用した年代測定法である。この手法では LIBS による K 濃度測定と TOF-MS による Ar 同位体測定から K-Ar 年代を求める。本発表では Ar 同位体計測用の TOF-MS の開発状況を報告する。

惑星着陸機搭載用の TOF-MS は重量、サイズ、電力の面で制約があり、その条件下で Ar 同位体測定が可能な質量分解能を達成するように設計する必要がある。まず、TOF-MS で高い質量分解能を得るためには計測するイオンの TOF-MS に於ける初期位置や初期エネルギーのばらつきを抑える必要がある。そこで我々はイオンを反射させる二段リフレクター方式の TOF-MS を採用し、飛行時間における初期位置のばらつきに関する一次と二次の微分がともにゼロとなる解析解から装置の寸法や印加する電圧等のパラメータを設定した。これらのパラメータを基にシミュレーションを行い、直径 10[cm]、全長 20[cm] 程度のサイズ、数 [kV] の印加電圧で Ar 同位体計測に必要な質量分解能が達成可能である事を確認した。

また、Ar 同位体測定のためには少量の ³⁶Ar を定量する必要もある。TOF-MS の前段にある LIBS 部分を経て、TOF-MS まで到達する ³⁶Ar の量を推定したところ、十分な検出数を得るためには計測するイオンの検出器への到達率を数 10 % 以上、計測の繰り返し周波数を数 [kHz] 以上とする必要があることが明らかとなった。そこでイオンを 1 次元のビーム状に TOF-MS へ導入することで効率を向上させ、同時にイオンの初期位置のばらつきを抑えるようにした。これにより、計算機シミュレーションでは、数 10 % 以上の到達率が達成できている。また、TOF-MS の加速部をパルス電位と定常電位の 2 段階にしてパルス電源の負荷を小さくすることで、TOF-MS 計測の繰り返し周波数を数 [kHz] まで向上させることもできるようになった。

キーワード: 質量分析, K-Ar 年代測定, 惑星探査

Keywords: TOF-MS, K-Ar dating, Planetary Explora

宇宙空間からの電離圏・熱圏・中間圏の観測 Space-borne observation of the ionosphere, thermosphere and the mesosphere

齊藤 昭則^{1*}
SAITO, Akinori^{1*}

¹ 京都大学
¹ Kyoto University

A micro satellite for imaging of the ionosphere-thermosphere-mesosphere-plasmasphere is being designed in aiming to be launched in the low-earth orbit. This new observation is expected to clarify the upper atmospheric processes that have been partially found by the ground-based techniques and the ISS-IMAP missions from the international space station. The new satellite can observe the Earth's upper atmosphere with a wide field of view that cannot be observed from ground-based instruments. Main targets of the observation are: (1) generation, evolution and decay mechanisms of mesoscale structures in the mesosphere and the ionosphere, (2) longitudinal and regional characteristics of the atmospheric gravity waves and tidal waves in the mesosphere, (3) disturbances of the thermosphere associated with the geomagnetic storms, (4) electron density distribution in the plasmasphere and its effect on GPS radio waves, (5) the ionospheric effect on the radio waves and development of the correction technique. Coordinated study among the satellite, ground-based instruments and numerical models is expected to expand our knowledge of the mesosphere, thermosphere, ionosphere and plasmasphere from the equatorial to the polar regions. The coupling mechanisms among high-, mid-, and low latitude regions, and between lower and upper atmosphere will be elucidated by this space-borne observation.

キーワード: 電離圏, 中間圏, 熱圏, プラズマ圏, 衛星撮像観測
Keywords: Ionosphere, Mesosphere, Thermosphere, Plasmasphere, space-borne imaging observation

ジオコロナ撮像装置 LAICA の開発と撮像結果 Development of geocoronal hydrogen Lyman Alpha Imaging CAmera (LAICA) and observational results

池澤 祥太^{1*}; 亀田 真吾¹; 佐藤 允基¹; 桑原 正輝²; 吉川 一朗²; 田口 真¹
IKEZAWA, Shota^{1*}; KAMEDA, Shingo¹; SATO, Masaki¹; KUWABARA, Masaki²; YOSHIKAWA, Ichiro²; TAGUCHI, Makoto¹

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

地球外層圏の水素原子は太陽紫外放射を受けて共鳴散乱を起こす。その散乱光は地球全体を包む紫外グローを形成し、これはジオコロナと呼ばれている。過去の観測により高度約 20RE までジオコロナが分布していることがわかっており (Tsuchiya, 2003)、その発光の中でも水素 Ly- α 線が最も強度が強いことが知られている。

先行研究によりジオコロナの空間分布の非対称性 (Bailey and Grantman, 2011) や磁気嵐に伴った水素原子数の約 10% 程度の増加 (Bailey and Grantman, 2013) などが報告されている。しかし、これらの報告は地球周回衛星による観測が主であり、高高度におけるジオコロナの特性、すなわち全球的な水素原子数密度分布や磁気嵐に伴った水素原子数の変動現象などは未だ明らかにされていない。地球周回軌道以遠からの観測例は極めて少なく、Apollo16 が唯一ジオコロナの撮像に成功している。しかしその観測視野は 10RE 程度でありジオコロナ全域を捉えることはできていない。

そこで本研究では高高度からのジオコロナ撮像を目的とした LAICA (Lyman Alpha Imaging CAmera) の開発を行った。2013 年 10 月から開発を始めた LAICA は球面カセグレン鏡、バンドパスフィルタ、検出器 (MCP+RAE) から成り、検出器は BepiColombo/MPO に搭載される PHEBUS/FUV と同型のものを使用している。光学系は立教大で新規に設計・開発をした。また光学系の主鏡・副鏡・フィルタと金属の構造体との接着方法を確立し、立教大クリーンルームで組み立てを行った。そして 2014 年 7 月に開発が完了した LAICA は同年 12 月 3 日に超小型新宇宙探査機 PROCYON に搭載され打ち上げられた。本発表では LAICA の概要と得られたデータの初期解析結果について報告する。

キーワード: ジオコロナ, ラインマン α 線, 地球大気, 宇宙望遠鏡
Keywords: geocorona, Lyman alpha line, earth's atmosphere, space telescope

超小型衛星 GAIA-Iによる電離層観測と電子密度温度測定プローブ EDTPの開発 Measurement of ionosphere by microsatellite "GAIA-I" and development of the electron density and temperature probe: EDTP

宮崎 貴大^{1*}; ヨサファット テトオコ スリ スマンティヨ¹; 阿部 琢美²; 中園 智幸³; 小山 孝一郎⁴; 児玉 哲哉²

MIYAZAKI, Takahiro^{1*}; JOSAPHAT TETUKO, Sri sumantyo¹; ABE, Takumi²; NAKAZONO, Tomoyuki³; OYAMA, Koichiro⁴; KODAMA, Tetsuya²

¹ 千葉大学, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 株式会社 エイ・イー・エス, ⁴ 九州大学

¹Chiba University, Japan, ²Japan Space Exploration Agency, Japan, ³Advanced Engineering Services Co., Ltd., Japan, ⁴Kyushu University, Japan

Chiba University plans to hold orbital experiment by using a microsatellite named GAIA-I. The GAIA-I could investigate relationship between diastrophism and ionospheric phenomenon to seize precursors of earthquake. Many ground based observations show that ionosphere is modified before large earthquakes. The mechanism of the ionosphere modification is still not known. Recently, ionosphere observation by small and micro satellites has been proposed in order to study the mechanism of the ionosphere modification. However, conventional ionosphere measurement has some problems in small and micro satellites. In the case of Langmuir Probe, one problem is that satellite potential changes easily when sweeping voltage which is applied to probe and second problem is that the measurement is influence by the electrode contamination. We discuss here a new sensor to observe an electron density and temperature at the same time with one simple low cost, low power consumption and low data rate instrument. This sensor is called Electron Density and Temperature Probe (EDTP).

EDTP has a probe that is formed by two semicircular plate shapes. When a sinusoidal voltage whose frequency is lower than ion plasma frequency is applied to an electrode, the floating potential shifts to the negative potential. The electron temperature can be calculated from the ratio of the two floating potential shifts which are caused by applying two successive signal of amplitude a and $2a$. This principle to measure electron temperature is applied the instrument was developed in 1970, which is named Electron Temperature Probe (ETP).

In a high frequency region, plasma impedance is more dominant and the amplitude of sinusoidal signal which is applied between electrode and sheath edge is controlled by the combination of sheath impedance and plasma impedance. Based on this principle, we added one more function of ETP to measure electron density as well by replacing low frequency oscillator which was used for ETP to sweep frequency generator.

We tested EDTP experiment that compared EDTP with Langmuir Probe and Impedance Probe by using space chamber. Our experiment has revealed that EDTP is better than conventional ionosphere measurement.

Keywords: Ionosphere, electron density and temperature, microsatellite

成層圏・中間圏の気温・風・微量気体観測のためのサブミリ波リムサウンダ Submillimeter limb sounder for stratospheric and mesospheric temperature, wind, and chemical species

落合 啓^{1*}; 鶴沢 佳徳¹; 西堀 俊幸²; 鈴木 睦²; 塩谷 雅人³

OCHIAI, Satoshi^{1*}; UZAWA, Yoshinori¹; NISHIBORI, Toshiyuki²; SUZUKI, Makoto²; SHIOTANI, Masato³

¹ 情報通信研究機構, ² 宇宙航空研究開発機構, ³ 京都大学

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³Kyoto University

下部成層圏から下部熱圏までの広い高度範囲にわたる温度と風、および H₂O や O₃ その他の微量成分をサブミリ波帯のリムサウンダによって観測することができる。サブミリ波リムサウンダでは、温度と風の計測に適切な酸素等のラインと、大気化学に重要な多種の分子ラインを観測するために、複数の周波数帯が必要であり、高い高度からのラインの放射を高精度に観測するために高周波数分解能の分光が、低い高度からのスペクトル観測と複数のラインを同時に観測するために広帯域の分光が必要である。今後実現しようとするミッションにおいて、周波数帯の数が 2-4 程度になる受信機構成で、それぞれに対し周波数分解能 1 MHz 程度で、2-4 GHz 程度の幅を分光するバックエンドが想定される。その仕様を、科学要求に対する搭載性、費用等のトレードオフで今後決定して行く予定である本発表では、2009 年から 2010 年に国際宇宙ステーション上でサブミリ波リムサウンディングを行った JEM/SMILES の後継ミッションとして提案されている SMILES-2 について、上記の観測への科学要求を満たすバンド選択の検討結果に基づきそれを実現可能なミッション機器構成として検討している状況を報告する。

リムサウンダの観測精度に直結する受信機の感度は、超伝導ミキサを使用する場合と、常温の半導体を使用する場合とで、現状の技術で 1 桁以上の差がある。とくに中間圏より高い高度のリム観測では、観測視野の背景は 0 K に近い低温の宇宙からの放射であるので、雑音は受信機自身から生じるものだけになり、超伝導ミキサを使用してこれを小さくすることは重要である。JEM/SMILES では超伝導ミキサを 625, 650 GHz 帯で大気観測に使用し、オゾンや塩素化合物等を観測してその有効性を実証した。JEM/SMILES 受信機のシステム雑音温度(単側波帯)は 297 K であり、当時の常温ミキサによる受信機に比べ 1/10 以下の雑音であった。JEM/SMILES では、国際宇宙ステーション (ISS) における電波環境の影響を最小限にするため受信帯域(中間周波数帯)を安全な幅に取ったこと、冷凍機への負荷が小さい安全な設計とするために受信機を 2 系統だけにしたこと等のために、限られた数の分子の観測しか実現できず、気温を広範囲で推定するための酸素のラインや、大気輸送のトレーサ物質等を測ることができなかった。提案するミッションでは、広帯域の中間周波数帯域を利用することで受信機系統数を減らすことや、サブミリ波帯の周波数分離等の回路設計の工夫で冷却ステージ上の重量軽減や熱流入を小さくする設計を行い、多周波広帯域の受信機をより軽量化した冷凍機の上に実現し、観測要求として挙げられている分子をできるだけ受信帯域域内に入れるようにする。側波帯分離(または 2SB 化)を導波管回路等で行うこと等により、JEM/SMILES よりもサブミリ波光学系を小型化することでの軽量化も図る。アンテナは、JEM/SMILES のような仰角(俯角)を走査できるオフセットカセグレンで、口径は衛星搭載性によるが高度分解能 2 km 程度のリム観測ができるようにしたいと考えている。アンテナの方位角は衛星の軌道の検討とともに、観測緯度範囲と風速の観測ベクトル方向を考慮して決める予定で、さらに、水平風のベクトルを導出できるように 2 方向の観測の実現性も検討する。リムサウンダの較正方法は、JEM/SMILES の方法を基本的に踏襲することを想定している。JEM/SMILES の受信輝度温度較正の基準とした常温較正源は機能として成功した機器のひとつであり、これと同様のものを多周波で使用できることの確認も予定している。

このようなミッション機器を総重量 200 kg 程度で実現することを目標とする。JEM/SMILES の重量は 476 kg であったが、ISS 曝露部搭載のための制約による重量増のあったことも考慮すれば、軽量化で 200 kg 程度のミッション機器を実現するのは不可能ではない。超伝導ミキサに必須な冷凍機の寿命は 3 年程度であることから、長期間の観測を確実にするために、並列して常温動作するミキサを搭載することも検討する。また、早期の実現を図るために、超伝導受信機を使わない常温ミキサだけのさらに小型軽量のミッションの設計検討も併せて進めていく予定である。

キーワード: 中層大気, リム観測, サブミリ波, 機器開発, 将来ミッション, SMILES

Keywords: middle atmosphere, limb observation, submillimeter wave, instrument development, future mission, SMILES

SMILES-2 のための微量成分の感度解析 Sensitivity study of chemical species for SMILES-2

眞子 直弘^{1*}; 鈴木 睦²; 尾関 博之³; baron Philippe⁴; 落合 啓⁴
MANAGO, Naohiro^{1*}; SUZUKI, Makoto²; OZEKI, Hiroyuki³; BARON, Philippe⁴; OCHIAI, Satoshi⁴

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 宇宙研, ³ 東邦大学理学部生命圏環境科学科, ⁴ 情報通信研究機構
¹Center for Environmental Remote Sensing, Chiba U., ²ISAS, ³Toho U., ⁴National Institute of Information and Communications Technology

Superconducting Submillimeter-Wave Limb-emission Sounder (SMILES) was the first instrument to use 4K cooled SIS (Superconductor-Insulator-Superconductor) detection system for the observation of the atmosphere in the frequency regions 625 GHz (Bands A and B) and 650 GHz (Band C) [1]. It has demonstrated its high sensitivity (System Temperature, $T_{\text{sys}} \sim 250\text{K}$) for measuring stratospheric and mesospheric species, O₃, HCl, ClO, HO₂, HOCl, BrO, and O₃ isotopes from Oct. 12, 2009 to Apr. 21, 2010 [2-5]. Since SMILES operation has terminated after only 6 months operation due to failure of sub-mm local oscillator (and later 4K cooler system), there exist strong scientific demand to develop successor of SMILES, the SMILES-2, which has optimized and enhanced frequency coverage to observe: (a) BrO and HOCl without interferences of stronger emission lines, (b) N₂O, H₂O, NO₂, and CH₃Cl not covered by the SMILES frequency regions, and (c) O₂ line to measure temperature. This paper discusses possible SMILES-2 band selection considering limited instrument resources (number of SIS mixers and sub-mm local oscillator) and scientific requirements.

SMILES L2 system used strong O₃ and HCl lines to retrieve temperature, which has sensitivity only up to 40-50 km. Temperature should be observed by SMILES-2 itself up to (or above) 100 km with a sensitivity of 1% (2-3K), since the temperature is the primary physical parameter to determine the dynamics and chemistry of the atmosphere and there is no global meteorological data set which is reliable above 60 km. SMILES-2 should have observation capability of H₂O and N₂O better than 5% precision, which are not observed by SMILES and are important tracers in the upper atmosphere. These are major sources of HO_x and NO_x. SMILES-2 should improve HOCl and BrO sensitivity by properly selecting observation frequency. SMILES BrO and HOCl observations have suffered severe interference from the near-by stronger lines. SMILES-2 should have original SMILES frequency coverage, and if possible it should add observation of other species retrieved in the Aura/MLS and Odin/SMR.

Instrument Altitude range: 10-120 km, 2.5 km vertical sampling. Frequency sampling: 4 GHz bandwidth, 500 kHz sampling interval, 1.3 MHz Gaussian (FWHM). $T_{\text{sys}} = 150\text{ K}$, Integration time $< 0.48\text{ s}$.

(Band 1) 485-489 GHz: T, Wind, O₂, H₂O, O₃, HO₂, HNO₃

(Band 2) 523-527 GHz: O₃, 17OOO, 18OOO, O17OO, O18OO, BrO, NO₂, H₂CO, N₂O, HO₂

(Band 3) 612-616 GHz: HOCl, O₃, HO₂

(Band 4) 623-627 GHz: SMILES Bands A+B extended, O₃, HCl, BrO, HNO₃, HO₂, N₂O, HOCl, CH₃CN, CH₃Cl

(Band 5) 648-652 GHz: SMILES Band C extended, O₃, 17OOO, O17OO, 18OOO, ClO, HO₂, BrO, NO

[1] K. Kikuchi et al., Overview and early results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *J. Geophys. Res.*, 115, no. D23306, pp. 1-12, 2010.

[2] K. Imai et al., Validation of ozone data from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *J. Geophys. Res.*, 118 (11), pp. 5750-5769, 2013.

[3] T. Sakazaki et al., Diurnal Ozone Variations in the Stratosphere Revealed in Observations From the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) on Board the International Space Station (ISS), *J. Geophys. Res.*, 118 (7), pp. 2991-3006, 2013.

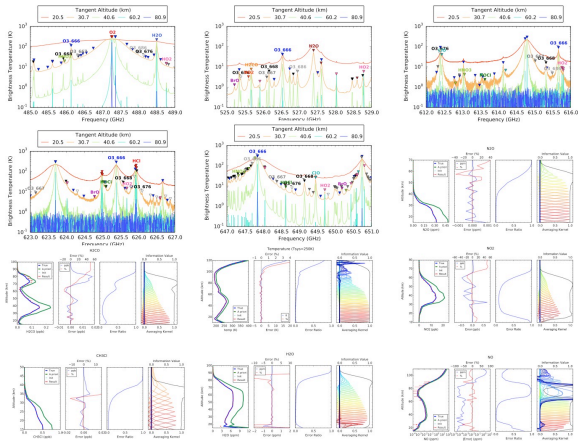
[4] A. K. Smith et al., Satellite observations of ozone in the upper mesosphere, *J. Geophys. Res.*, 118 (11), pp. 5803-5821, 2013.

[5] R. A. Stachnik et al., Stratospheric BrO abundance measured by a balloon-borne submillimeterwave radiometer, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, pp. 3307 - 3319, 2013.

PCG31-14

会場:202

時間:5月28日 15:15-15:30



Mesospheric wind observation from Sub-millimeter limb sounding: Results from SMILES and simulation study for SMILES-2

Mesospheric wind observation from Sub-millimeter limb sounding: Results from SMILES and simulation study for SMILES-2

BARON, Philippe^{1*}; MANAGO, Naohiro²; OZEKI, Hiroyuki³; UZAWA, Yoshinori¹; OCHIAI, Satoshi¹; SUZUKI, Makoto⁴
BARON, Philippe^{1*}; MANAGO, Naohiro²; OZEKI, Hiroyuki³; UZAWA, Yoshinori¹; OCHIAI, Satoshi¹; SUZUKI, Makoto⁴

¹NICT, ²Chiba University, ³Toho University, ⁴Institute for Space and Astronautical Sciences, Japan Aerospace Exploration Agency

¹NICT, ²Chiba University, ³Toho University, ⁴Institute for Space and Astronautical Sciences, Japan Aerospace Exploration Agency

Wind observations in the middle atmosphere, i.e. stratosphere and mesosphere are sparse [1]. Observations have been obtained from ground-based active sensors (radar and lidar), and recently from passive infra-red and microwave spectrometers. Satellite observations were successfully conducted with instruments on-board the UARS and TIMED satellites but they mainly cover the mesosphere. Mesospheric winds have also been retrieved from AURA/MLS using the O₂ line at 118 GHz. It was the first demonstration that good quality winds can be provided by a microwave limb sounder. More recently winds were measured between 30 and 80 km (with a theoretical lower limit of 20 km), by the Superconducting Submillimeter Wave Limb Emission Sounder (SMILES) onboard the Japanese Experiment Module on the International Space Station. The advantage of SMILES was its low measurement noise, about 5 to 10 times lower than concurrent systems such as Odin/SMR and AURA/MLS [2]. Such noise level was obtained with the use of two 4-K cooled SIS mixers. However, the instrument was not designed for wind observations and suffered from serious limitations due to the choice of the spectrometers (type, bandwidth, resolution) and of the spectral lines. Sensitivity studies [3,4] have shown that with a careful selection of these parameters, the line of sight wind velocity can be retrieved between 40 — 90 km with a precision of 2 m/s and a vertical resolution of about 5 km, even without the use of a SIS mixer.

Wind has been selected as one of the products for the study of the successor of JEM/SMILES, namely SMILES-2, whose the main target is the study of the dynamics and chemistry in the mesosphere. In this presentation we summarize the results obtained from JEM/SMILES and discuss the SMILES-2 potential for wind measurements.

References:

[1] P. Baron, D. P. Murtagh, J. Urban, H. Sagawa, S. Ochiai, Y. Kasai, K. Kikuchi, F. Khosrawi, H. Kornich, S. Mizobuchi, K. Sagi, and M. Yasui. Observation of horizontal winds in the middle-atmosphere between 30S and 55N during the northern winter 2009 — 2010. *ACP*, 13(13), 2013.

[2] K. Kikuchi, Nishibori, T., Ochiai, S., Ozeki, H., Irimajiri, Y., Kasai, Y., Koike, M., Manabe, T., Mizukoshi, K., Murayama, Y., Nagahama, T., Sano, T., Sato, R., Seta, M., Takahashi, C., Takayanagi, M., Masuko, H., Inatani, J., Suzuki, M., Shiotani, M. Overview and Early Results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *JGR Atmospheres*, 2010

[3] P. Baron, D.P. Murtagh, J. Urban, H. Sagawa, P. Eriksson, S. Ochiai, Definition of an uncooled Sub-Millimeter/THz Limb sounder for measuring middle Atmospheric winds., *Proc. In ESA Living Planet Symposium*, 2013.

[4] N. Manago, H. Ozeki, and M. Suzuki. Band selection study for the SMILES-2, *Proc. In 28 Taikiken symposium*, 2014

キーワード: mesosphere, wind, SMILES, limb, microwave

Keywords: mesosphere, wind, SMILES, limb, microwave

惑星大気の直接観測に向けた中性粒子質量分析器 ANA の初期動作試験 Initial performance verification of Atmospheric Neutral Analyzer for in-situ observations of planetary atmospheres

有見 弘毅^{1*}; 下山 学¹; 伊藤 史宏¹; 平原 聖文¹

ARIMI, Koki^{1*}; SHIMOYAMA, Manabu¹; ITO, Fumihiko¹; HIRAHARA, Masafumi¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹ Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

The dynamics in the neutral upper atmosphere of the Earth and the other planets affect the environment of their ionospheres and the thermospheres. In-situ observations of the neutral atmospheres utilizing spacecraft are needed for understanding atmospheric circulations, heating, and dissipation. Neutral Mass Spectrometers for the terrestrial and planetary explorations have not had a capability to directly observe two-dimensional particle velocity distributions in the past. Therefore, detailed information on the interaction of the upper atmosphere with the solar wind and the dynamics of neutral particles have not been obtained so far.

We are newly developing a Bennett-type radio-frequency mass spectrometer, which is called Atmospheric Neutral Analyzer (ANA). The ANA is capable of observing 2-D velocity distributions, from which density, wind velocity and temperature are derived, for each component of neutral species. The ANA consists mainly of five sections: an entrance slit, an ionization section utilizing electron gun, a pre-acceleration section, a Radio Frequency (RF) stage for mass spectrometry, and a detection section which obtains 2-D velocity distributions in combination of MCP with 2-D position-sensitive device. We now concentrate on the development of the whole ion mass spectrometer after the ionization section.

In addition to the numerical design of the structure and the performance of the mass spectrometer by using SIMION 8.1, we newly had experiments to investigate the characteristics of the engineering model of the ANA except for the ionization section. We, here, used the suprathreshold ion beamline of Ar^+ and N_2^+ . For the calibration, we set the ANA in a vacuum chamber, and irradiated the ions with energies of several to a few tens of eV, in order to investigate its response. Because the spacecraft velocity is assumed to be 8 km/s, the energy of the irradiated ions must correspond to it. The energies of the Ar^+ and N_2^+ of 8 km/s are 13.3 and 9.3 eV/charge, respectively. We irradiated the Ar^+ and N_2^+ beams of 8 km/s, but the beam ions were not detected in the detection section. Instead, particles whose energies were approximately 17 eV (Ar^+) and 13 eV (N_2^+) were detected when the voltages of the ANA electrodes were of reference values for the 8 km/s cases of each species. We are now considering the possibility of fabrication errors in ANA. Besides, the irradiated Ar^+ whose energy was 17 eV was not detected when the parameter of the ANA electrodes were of reference values for the 13 eV cases of the N_2^+ . And vice versa.

In the presentation, we will show the overall design of the ANA regarding the mass spectrometry and the characteristics investigated by the simulation and the beamline experiments.

キーワード: 惑星大気, 直接観測, 中性粒子質量分析器, 装置開発

Keywords: Planetary atmosphere, In-situ observation, Neutral mass spectrometer, Equipment development

超熱的イオン質量分析器 (STIMS) の設計 The design of the suprathermal ion mass spectrometer (STIMS)

石黒 恵介^{1*}; 平原 聖文¹
ISHIGURO, Keisuke^{1*}; HIRAHARA, Masafumi¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所

¹STEL, Nagoya Univ.

Ion escape processes are critical issues to solve atmospheric evolution of non-magnetized planets, e.g., Venus and Mars. Many studies about the ion escape have been conducted by both observational and theoretical methods. There is, however, a problem that qualities of in-situ observations have not been sufficient to identify the detailed suprathermal plasma dynamics, especially about molecular ions, around the non-magnetized planetary ionospheres. A suprathermal ion mass spectrometer (STIMS) has been designed for future in-situ observations of three dimensional velocity distributions for suprathermal ions around the planetary atmospheres.

The STIMS consists of (a.) an energy analyzer and (b.) a mass analyzer. A field of view of the STIMS is about 4 pi sr per a half spin of spin-stabilized spacecraft. A target energy range is from 0.1 to 300 eV, which corresponds to suprathermal energies, and a mass range is from 1 to 50 amu. An energy resolution, $\Delta E/E$, is less than 5%, and a mass resolution, $M/\Delta M$, is over 10.

(a.) An energy analysis of the STIMS is carried out in a top-hat type electrostatic analyzer, which deflects incident ions by 90 degrees and leads them to an entrance of the mass analyzer. Only ions that fly along a center radius of spherical electrodes are able to get to the mass analyzer.

(b.) The mass analyzer of the STIMS is mainly made up of a pre-acceleration section and a magnet section. The magnet section, which has a cylindrically symmetric structure, is divided into sixteen regions by permanent sector magnets. Firstly, in the pre-acceleration section, ions which got through the energy analyzer are accelerated or decelerated by an acceleration voltage E eV, whose magnitudes depend on mass number of the ions M amu. Secondly, the accelerated/decelerated ions experience Lorentz force in the magnet section, and reach a micro-channel plate (MCP), with semicircular trajectories. By sweeping magnitudes of the acceleration voltage E , only ions that conserve square root of product of their masses and kinetic energies, i.e., \sqrt{ME} , are able to reach the MCP.

As for observations of molecular ions, magnet type mass spectrometers have a great advantage that it is possible to detect the molecular ions without dissociations. However, this type of spectrometer has several disadvantages; (1) it is difficult to discriminate between noise signals and ion signals at the MCP because this type of spectrometer does not take signal coincidences; (2) this type of mass spectrometer tends to be heavier than other types of spectrometers due to installing magnets; (3) magnetic field of the magnets might cause undesirable effect on other observation instruments on spacecraft.

In this presentation, we will introduce design concepts and specifications of the STIMS.

キーワード: イオン質量分析器, 超熱的イオン, 非磁化惑星, 惑星電離圏

Keywords: ion mass spectrometer, suprathermal ion, non-magnetized planet, planetary ionosphere

準小型衛星の編隊飛行観測で迫る宇宙地球結合過程と極域電離圏・熱圏ダイナミクス Space-terrestrial couplings and polar ionosphere/thermosphere dynamics studied by formation flight of compact satellites

平原 聖文^{1*}; 斎藤 義文²; 浅村 和史²; 坂野井 健³; 小嶋 浩嗣⁴; 三好 由純¹; 大山 伸一郎¹
HIRAHARA, Masafumi^{1*}; SAITO, Yoshifumi²; ASAMURA, Kazushi²; SAKANOI, Takeshi³;
KOJIMA, Hirotsugu⁴; MIYOSHI, Yoshizumi¹; OYAMA, Shin-ichiro¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, 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 京都大学生存圏研究所

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

We have been discussing a possibility and feasibility of the future space exploration mission for studying the space-terrestrial couplings based on the space plasma dynamics. In this future mission, we are planning to elucidate the universal particle acceleration/heating and transport mechanisms by using the in-situ and remote-sensing observation techniques with a formation flight of multiple compact satellites. These plasma dynamics are caused mainly by the terrestrial ionosphere-magnetosphere coupling processes and also affect both magnetospheric plasma dynamics and upper atmospheric (ionospheric and thermospheric) phenomena in the Earth's polar regions. In past, our Reimei satellite, the first Japanese microsatellite focusing on the exploration of the fine-scale auroral dynamics, was launched in August, 2005. Reimei successfully obtained the in-situ observational data for the space plasmas but the imaging camera data for the auroras, the airglows, and the sprites. These Reimei results have been leading to several new satellite mission proposals in the world. We are now organizing a highly plausible mission based on our own experimental experiences obtained from Reimei and our data analysis achievements, for instance, in the ISAS Akebono mission and the NASA FAST mission. It is undoubtedly evident that highly accurate measurements of magnetic/electric fields and plasma waves should be realized in this future satellite missions in addition to the monochromatic auroral imaging camera with high-time/spatial resolutions and the energetic and suprathermal electron/ion analyzers with a high-time resolution. Thermal plasma instruments are also important for measuring the plasma circumstances. It should be noticed that the neutral particle instruments, which are now under development and modification in Japan, would significantly contribute to the quantitative researches of the polar ionospheric and thermospheric dynamics. Toward the realization of the new space exploration mission, we are making intensive efforts for defining the scientific mission strategy and the specifications of the science instruments. In the future mission planning, we are now considering the following features. 1: Changeable formation flight with multiple compact satellites, whose weights are roughly 100 kg, is essential for simultaneous multipoint observations of fine-scale auroral phenomena. 2: The precise three axial attitude control system should be applied for realizing the high-quality 2-D imaging of auroral emissions and the simultaneous measurements of the pitch-angle distributions of the auroral particles with top-hat type energy analyzers. 3: It is crucial to capture the ram direction of the satellite with the attitude control in order to measure the shifted velocity distributions of the core ions. 4: The electric/magnetic field instruments and the plasma wave instruments should be installed on the satellites for the integrated observations. Particularly, it is one of the most prominent features of this mission to perform wave-particle interaction analyses based on these comprehensive and integrated measurements of the plasma particles and waves, and the fields. 5: Neutral particle instruments for the velocity distribution measurements would make essential contributions from the farsighted viewpoint in the upper atmospheric dynamics beyond the space plasma regimes. 6: The sun-synchronous orbit at relatively low altitudes would be desirable both for bringing the observational advantages. In this presentation, we introduce the multi-sided scientific importance and several types of our exploration mission specification.

キーワード: 宇宙空間プラズマ, 粒子加速, 宇宙地球系結合, 波動粒子相互作用, 統合観測, 編隊飛行

Keywords: space plasma, particle acceleration, space-terrestrial coupling, wave-particle interaction, integrated observation, formation flight

プラズマ波動観測装置のデジタル信号処理部の小型化・高速化の検討 Study on miniaturization and acceleration of onboard digital signal processing module for plasma wave instruments

笠原 禎也^{1*}; 松井 大樹¹; 後藤 由貴¹
KASAHARA, Yoshiya^{1*}; MATSUI, Hiroki¹; GOTO, Yoshitaka¹

¹ 金沢大学

¹ Kanazawa University

Measuring plasma wave is one of important clues to understand space plasma physics, and it is necessary to implement intelligent signal data processing techniques into the plasma wave instruments. It is necessary to reduce the weight and size of the instruments to meet the requirements of future missions such as flying formation satellites and planetary exploration spacecraft. In the present study, we developed a FPGA board, which enables us to develop arbitrary digital signal processing applicable for the future missions.

Our FPGA board is designed to evaluate the performance of signal processing module, which is especially used for various kinds of real-time signal processing. The board consists of one CPU connected with a USB port, and two sets of FPGA and DDR2. One set of FPGA and DDR2 is equipped for storing input signal data and sending them to another one, which is used for the evaluation of real-time data processing module and storage of output data. The input and output data stored in the DDRs can be accessed from the onboard CPU, and we can easily control the CPU using Tera Term through a USB port. We also developed a general purpose module for evaluation of a proposed signal processing method. By using this module, a developer can integrate his/her own signal processing module on the FPGA board without any complicated wiring work for the peripheral circuits and evaluate the performance of his/her own module. Finally we implemented a sub-band compression module developed for real-time data compression of waveform measured by the plasma wave instruments. It was demonstrated that the designed module is compact and fast enough to realize real-time processing for 6 channels of waveform data.

キーワード: 波形捕捉器, Verilog-HDL, プラズマ波動観測器, 信号処理

Keywords: Waveform capture, Verilog-HDL, Plasma wave instruments, Signal processing

将来衛星計画に向けたプラズマ波動観測装置の超小型化とその展望 Miniaturization of plasma wave instruments and its perspective towards future space missions

小嶋 浩嗣^{1*}; 尾崎 光紀²; 八木谷 聡²; 頭師 孝拓¹; 大西 啓介¹; 笠原 禎也²; 斎藤 義文³
KOJIMA, Hirotsugu^{1*}; OZAKI, Mitsunori²; YAGITANI, Satoshi²; ZUSHI, Takahiro¹; ONISHI, Keisuke¹;
KASAHARA, Yoshiya²; SAITO, Yoshifumi³

¹ 京都大学, ² 金沢大学, ³ JAXA 宇宙科学研究所
¹ Kyoto University, ² Kanazawa University, ³ ISAS, JAXA

超小型衛星の活用範囲は技術的検証目的から実用目的まで多岐にわたっている。それにもかかわらず、宇宙環境を探索するミッションについては、未だに超小型衛星では実現できていない。宇宙環境探索には、多くの観測機器が同時に必要であり、超小型衛星には搭載が難しいというのが大きな理由の一つである(それくらい詳細な観測が可能なミッションである、ということである)。背景の電場、磁場、そして、プラズマ粒子、プラズマ波動これらを同時に観測するのが宇宙環境探索衛星である。そしてこれらそれぞれにセンサーがありセンサーが捉えた信号を処理する回路が存在する。この中でプラズマ波動観測器は電界センサー、磁界センサーそして電子回路部からなる。電界センサーは宇宙空間に到達してから伸展するもので打ち上げ時には小さいが、宇宙空間で伸展する際のダイナミクスが問題となり、小型化とは別の次元での課題となる。磁場センサーであるサーチコイルやループアンテナは、それぞれのをプリアンプと同時に小型化する必要があると同時に、電界センサーと同じように伸展部の存在がある。一方、プラズマ波動観測器の電子回路部は、多数のフィルタや低ノイズアンプの集まりとなっており、自然とアナログ回路の規模が大きくなる。デジタル部においても、「波形」として観測するプラズマ波動観測器のアウトプットを、いかに効率良く機上処理して地上へ限られたテレメータ回線幅で降ろすか、という課題を担っており、ソフトウェアで実現することは可能でもその処理系の複雑さのためリアルタイム処理は難しくなっており、ソフトウェアのハードウェア化が鍵となる。

我々は、プラズマ波動観測器とそのセンサーがもつ電子回路部を極力小型化するために Mixed Signal ASIC による専用チップの開発を行ってきた。これまで、「波形捕捉型」のプラズマ波動観測器のアナログ部、および、センサープリアンプの ASIC 化に成功している。これによりプラズマ波動観測器のアナログ部の大きさや重量は、一桁小さなものになっており、従来ではまったく実現不可能であった、電磁界 6 成分のプラズマ波動の波形を同時に捉えることのできるアナログ回路を、5mm x 5mm 角のチップ内に実現できている。

また、このアナログ部に加え、波形圧縮、FFT など従来ソフトウェアで行っていた機上処理をハードウェア化することにも成功しており、これにより従来は不可能であったリアルタイム処理が可能となっている。そして、将来的には、上記のアナログ部とこのデジタル部を同じチップ上に実現するアナログ-デジタル混載型プラズマ波動観測チップは決して夢物語ではないところまでできている。これに加えさらに粒子の観測パルスプラズマ波動受信器内に取り込むためのインターフェースチップの開発も行っており、現在、ERG 衛星で機上ネットワークごしで行っている WPIA 処理もチップ内で行うことも可能となる予定である。本講演では、このようなプラズマ波動観測器のチップ化とその将来展望について発表する。

キーワード: プラズマ波動, ASIC
Keywords: Plasma wave, ASIC

プラズマ波動の多点同時計測を実現する小型プローブ Small Sensor Probe for Multiple Point Observation of Plasma Waves

頭師 孝拓^{1*}; 小嶋 浩嗣²; 大西 啓介¹; 尾崎 光紀³; 八木谷 聡³; 清水 聡⁴
ZUSHI, Takahiro^{1*}; KOJIMA, Hirotsugu²; ONISHI, Keisuke¹; OZAKI, Mitsunori³; YAGITANI, Satoshi³; SHIMIZU, Satoru⁴

¹ 京都大学 工学研究科, ² 京都大学 生存圏研究所, ³ 金沢大学 理工研究域, ⁴ 沖電気工業 株式会社

¹ Kyoto University, Graduate School of Engineering., ² Kyoto University, Research Institute for Sustainable Humanosphere.,

³ Kanazawa University, Faculty of Electrical and Computer Engineering., ⁴ Oki Electric Industry Co., Ltd.

近年、従来の一点観測による問題を克服するため、複数衛星による宇宙プラズマの多点観測を目的としたミッションが行われるようになってきている。しかし、複数衛星による多点観測は、質量・重量の大きい衛星を同時に打ち上げる必要があることから、観測点数や衛星配置において制限が生まれてしまう。そこで、そのような複数衛星による観測に代わる新たなシステムとして、我々は宇宙電磁環境モニターシステム (MSEE: Monitor System for space Electromagnetic Environments) と呼ぶプラズマ波動の多点観測システムを提案している。このシステムは、プラズマ波動観測器および無線通信機を搭載した小型のセンサープローブを複数配置することにより、多点観測を行うシステムである。

MSEE に用いるセンサープローブの実現には、従来非常に大型となっていたプラズマ波動受信器の小型化が重要となる。我々は、特定用途向け集積回路 (ASIC: Application Specific Integrated Circuit) を利用することで波形捕捉型プラズマ波動受信器を小型化し、MSEE に用いるセンサープローブの開発に成功した。開発したセンサープローブは、小型プラズマ波動受信器、電磁界センサー、無線通信機、バッテリー、制御用マイクロコントローラーに加え、電界用センサーとして用いるダイポールアンテナの展開用アクチュエーターを搭載している。電磁界センサーおよびアクチュエーター以外のコンポーネントは 75 mm 立方の筐体に収まっており、質量は 692 g である。このようなセンサープローブについて、これまでに動作試験を行ってきており、電磁界データが正しく無線により伝送できていること、宇宙で強いプラズマ波動を測定するのに十分な電界感度を有することが確認できている。

現在の MSEE においては、波形捕捉型のプラズマ波動受信器を搭載しているが、波形捕捉型受信器は位相を含んだデータが得られる反面、データ量が多すぎるために連続観測が不可能であるという欠点を持っている。そこで我々は、データ量が少なく連続観測に適しているスペクトル型プラズマ波動受信器についてその小型化を行い、将来的にセンサープローブに両方を搭載することを計画している。小型スペクトル型プラズマ波動受信器の開発に当たり、ASIC を利用することによる小型化のみならず、ASIC の利点を活かすことにより従来のスペクトル受信器が抱えていた時間・周波数分解能のトレードオフを解消する、新型スペクトル受信器を提案する。新型スペクトル受信器はアナログ回路による処理とデジタル信号処理を組み合わせた形となっており、アナログ回路を ASIC により開発し、デジタル信号処理を CPU または FPGA で行うことを想定している。現在までに、所望の動作を実現するアナログ回路チップの設計・開発に成功している。

本発表においては、開発を行ったセンサープローブの詳細な仕様・性能に加え、新型スペクトル受信器について発表を行う。

キーワード: プラズマ波動受信器, 多点観測, ASIC

Keywords: plasma wave receiver, multiple-point observation, ASIC

小型衛星観測に向けたASIC技術によるサーチコイル磁力計の開発状況 Recent progress in developing search coil magnetometer using ASIC technology toward micro-satellite experiments

尾崎 光紀^{1*}; 八木谷 聡¹; 小嶋 浩嗣²; 糞 宏樹¹; 頭師 孝拓²

OZAKI, Mitsunori^{1*}; YAGITANI, Satoshi¹; KOJIMA, Hirotsugu²; KOJI, Hiroki¹; ZUSHI, Takahiro²

¹ 金沢大学, ² 京都大学生存圏研究所

¹Kanazawa University, ²RISH, Kyoto University

Magnetic field components of plasma waves are essential for probing space plasma environments. Search coil magnetometers are commonly used in satellite experiments and well-adapted to the measurements in the frequency range from a few Hz to several tens of kHz. A search coil sensor is installed at the top of a few-meter long mast or boom to reduce a noise contamination from a satellite. Then a preamplifier could be installed inside the satellite due to thermal and radiation conditions in space. Such a preamplifier separated from a sensor has disadvantages for the signal-to-noise ratio and the system resource. Recently, application specific integrated circuits (ASICs) are one of key technologies for increasing demands of plasma wave observations using multiple micro satellites. In order to further reduce mass, volume, and power consumption of analog circuits in typical plasma wave instruments, we have developed a low noise ASIC preamplifier for search coil magnetometer. The preamplifier is an important analog component of plasma wave observation to determine the noise equivalent magnetic induction (NEMI). In this study, a current-sensitive preamplifier for search coil magnetometer was developed and fabricated on a 6-mm² silicon chip by using a standard 250 nm complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) technology. A search coil sensor shows a maximum value of its impedance at the resonance frequency. The NEMI at the resonance frequency is determined by multiplying the sensor impedance by the current noise of preamplifier. Thus, the ASIC preamplifier using CMOS technology is more suitable for search coil magnetometer compared to a preamplifier using bipolar junction transistors, because MOS transistors show the very low current noise. The NEMI of developed ASIC preamplifier combined with a 100-mm-long search coil is 30 fT/√Hz at 2 kHz with a power consumption of 15 mW. The radiation hardness assurance of the ASIC preamplifier is at least 100 krad total ionizing dose, which is equivalent to approximately the total amount for 10 year duration at the geostationary orbit. The temperature dependence of the gain of the ASIC preamplifier is 0.04 dB/deg C in the worst case. The ASIC preamplifier showing such sufficient NEMI, low power budget, and environmental tolerance in space can be installed in the close vicinity of the search coil sensor located at the top of a mast. Also the ASIC preamplifier can provide large mass saving. As an application, we have embedded a new ASIC preamplifier for 3-axis loop antennas into a palm-sized sensor probe as a monitor system for space electromagnetic environments. The sensor node includes the ASIC preamplifiers, an ASIC waveform receiver, a CPU, and a wireless communication module in the cubic body (8 × 8 × 8 cm).

In this presentation, we will report the present status of our ASIC preamplifier and also introduce some applications using the ASIC preamplifier for plasma wave observation.

キーワード: サーチコイル磁力計, アナログ集積回路

Keywords: Search coil magnetometer, ASIC

S520-29号機に搭載されたデジタル方式フラックスゲート磁力計における測定周波数の評価 Evaluation of the effective measurement frequency for the digital fluxgate magnetometer installed in the S520-29 rocket

野村 麗子^{1*}; 松岡 彩子¹; 阿部 琢美¹
NOMURA, Reiko^{1*}; MATSUOKA, Ayako¹; ABE, Takumi¹

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所
¹ ISAS, JAXA

2014年8月17日に内之浦から打上げられた観測ロケット S520-29号機には、デジタル方式フラックスゲート (DFG) が搭載されている。今回搭載される DFG は、S310-40号機に搭載した DFG を改良し、センサにおける磁場残差を内部処理した後、テレメトリデータとして出力することにより、測定周波数を実効的に高周波に拡張したものである。この新方式の磁力計は将来のロケット・衛星ミッションにおいて、高精度化、小型・省電力となる可能性を持つ方式である。また、S520-29号機には太陽センサが搭載されているため、ロケットに対する太陽方向を正確に知ることができる。そこで、DFG で観測した太陽方向の磁場成分と、IGRF 等のモデル磁場の太陽方向成分を比較し、DFG 自身やロケットが発生する磁場によるスピンの軸方向の磁場オフセット、およびそのロケット飛行中における安定性を評価する。発表では、新方式 DFG の測定周波数が高周波まで拡張したかの評価を報告する。

エウロパにおける隕石衝突を使った地震波探査の可能性 Potential for seismic investigation of Europa using meteorite impacts

辻 大輔^{1*}; ティーンビィ ニコラス²
TSUJI, Daisuke^{1*}; TEANBY, Nicholas²

¹名古屋大学大学院環境学研究科, ²ブリストル大学地球科学専攻

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan, ²School of Earth Sciences, University of Bristol, UK

木星のガリレオ衛星の一つであるエウロパは、地表が氷層で覆われており、その下に液体の水が存在している可能性が高いと考えられている [1]。それ故、生命の存在の可能性が示唆されており、将来の探査計画の候補地として、注目を浴び続けてきた。実際、2022年の打ち上げを目標とした木星とガリレオ衛星の探査計画 JUICE (Jupiter Icy Moon Explorer) がLクラスの1番目のミッションとしてESAに採択された。

惑星の内部構造の理解のためには、地震波による探査が最も有効となり得る。Apollo計画における地震波探査では、数多くの地震波を探知することに成功し、我々の月の内部に対する理解を深めた。火星においても、Viking計画で、主に設置箇所の問題上成果は得られなかったものの、無人探査機による地震計設置の可能性を示した。なお、2016年のNASAのInSight計画において、再び地震計が火星に設置される予定である。

本研究では、エウロパ表面における隕石衝突に起因する地震波の探知可能性を調べた。震源として氷層の破碎によって生み出される地震波を考えると、地震計のデータにより震源決定するためには、一般には距離が離れた複数の地震計の設置が必要となる。しかし、隕石衝突に起因する地震波を探知することができ、エウロパ表面の観察等によりその衝突の位置が推定可能であれば、単一の地震計で内部構造の推定が可能となる。近年の研究では、火星について単一の地震計を使った地震波内部探査の可能性が調べられている [2]。そこで、我々はエウロパで一年間に単一の地震計で探知することのできる隕石衝突起源の地震波の数を、以下の関係を明らかにすることを経て見積もった。

1) エウロパ表面下におけるクレーターサイズと衝突エネルギーの関係を、衝突実験、爆破実験、シミュレーションで得られたデータを組み合わせることで導く。

2) エウロパにおける1年間当たりの隕石の衝突頻度を推定する。

3) 1)と2)の結果を組み合わせ、一年間に探知することのできる地震波の数を推定する。

4) 以上の結果を利用して、探査において利用可能な地震計の精度を踏まえ、最終的には隕石衝突を利用したエウロパ内部の地震探査計画の現実性を評価する。

参考文献

[1] F. Cammarano et al., J. Geophys. Res., 111, E12009 (2006)

[2] N. A. Teanby and J. Wookey, PEPI, 186, 70 (2011)

キーワード: エウロパ, 氷衛星, 衝突励起地震, 惑星探査

Keywords: Europa, icy satellites, meteorite induced seismicity, planetary exploration

飛翔体搭載用電場観測装置の開発 Development of electric field instrument onboard spacecraft

石坂 圭吾^{1*}; 小嶋 浩嗣²; 笠羽 康正³; 阿部 琢美⁴
ISHISAKA, Keigo^{1*}; KOJIMA, Hirotsugu²; KASABA, Yasumasa³; ABE, Takumi⁴

¹ 富山県立大学, ² 京都大学生存圏研究所, ³ 東北大学, ⁴ 宇宙科学研究所
¹Toyama Prefectural University, ²RISH, Kyoto University, ³Tohoku University, ⁴ISAS

Measurements of electric fields are one of key elements for various missions. 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
- Electric field structure associated with 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 and satellites have been successfully used in the D, E and F regions of the ionosphere and in the magnetosphere.

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 antennas are developed in order to measure the electric field by the sounding rocket. Their antennas fulfill the severe requirements to the antenna system, i.e., light mass, enough stiffness, compact storage, safe extension, and reasonable test efforts. Three antennas were newly developed for the electric field measurement. These antennas were loaded on three sounding rocket in Japan (S-310-37, S-520-23, S-520-26). And these new style antennas 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 three new type antennas in detail. Then we show the electric field in the ionosphere measured by the new type antenna onboard the Japanese sounding rocket.

キーワード: 電場観測装置, 電場観測センサー, アンテナ, 観測ロケット, 小型衛星

Keywords: electric field instrument, electric field sensor, antenna, sounding rocket, small satellite

プラズマ波動観測装置-プラズマ粒子観測装置間インターフェース用チップの開発 Developing of a chip for the interface between plasma wave instruments and plasma particle instruments

大西 啓介^{1*}; 頭師 孝拓¹; 小嶋 浩嗣²; 斎藤 義文³
ONISHI, Keisuke^{1*}; ZUSHI, Takahiro¹; KOJIMA, Hirotsugu²; SAITO, Yoshifumi³

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・太陽系科学研究系
¹Graduate School of Engineering, Kyoto University, ²Research institute for sustainable humanosphere, Kyoto University, ³Solar System Science Division, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Explora

宇宙空間は希薄なプラズマで満たされており、プラズマ粒子の持つ運動エネルギーは粒子の衝突ではなくプラズマ波動を介してやり取りされる。このプラズマとプラズマ波動の相互作用を粒子波動相互作用と呼び、宇宙空間で発生する電磁気学的な物理現象を解明する上で非常に重要である。

波動粒子相互作用を直接定量的に捉える手法として、「波動粒子相互作用解析装置 (WPIA: Wave-Particle Interaction Analyzer)」が提案され、我が国の次期衛星ミッション ERG に搭載されている。この WPIA では、観測粒子ひとつひとつの観測タイミングを、プラズマ波動観測の波形サンプリング時間と同程度の精度でとらえる必要がある。ERG 衛星ではプラズマ波動観測器が配信する時間情報を利用して、両者の相対的な時刻精度を保証しているが、一番正確なのは、粒子の検出信号を、プラズマ波動観測器内で、プラズマ波動をサンプリングしているクロックで、同時サンプルすることである。そこで、粒子観測パルスとプラズマ波動観測器内にインターフェースする回路があれば、時刻合わせのための複雑な手順が不要となり、よりシンプルで高精度な観測ができるようになる。そこで本研究では粒子観測器が捉えた荷電粒子到来パルスひとつひとつを、プラズマ波動観測装置への入力とするためのインターフェース回路を開発する。プラズマ粒子観測器からの出力は、その視野の分割数に従った多チャンネルの出力になるため、それをディスクリット部品で製作すると大きな規模になってしまう。特定用途向け集積回路 (ASIC) 技術を用いて新しい専用チップをつくることで粒子観測器からの信号を効率良くプラズマ波動観測器に取り込む。

インターフェース回路は電荷を検知し電圧として出力する前段部分と、電圧から粒子の到来を検出する後段部分からなり、それぞれにボルテージフォロワ回路とコンパレータを用いた。現在までに前段部分の設計を行った。想定される前段への入力波形は数 GHz 程の電流パルスである。この電流パルスを遅延や歪みの小さな電圧波形に変換するため、高速に動作するオペアンプ及びそれを用いたボルテージフォロワ回路を設計し、チップの試作を依頼している。発表では設計したインターフェース回路の詳細に加え、試作したチップの測定結果について述べる。

キーワード: 波動粒子相互作用, インターフェース, ASIC
Keywords: Wave-particle interaction, Interface, ASIC

ASICを用いた小型プラズマ波動波形受信機のダイナミックレンジの改善 Improvement of dynamic range of ASIC waveform receiver for plasma wave observations

糞 宏樹^{1*}; 尾崎 光紀¹; 八木谷 聡¹; 小嶋 浩嗣²; 頭師 孝拓²; 吉田 朗¹
KOJI, Hiroki^{1*}; OZAKI, Mitsunori¹; YAGITANI, Satoshi¹; KOJIMA, Hirotsugu²; ZUSHI, Takahiro²;
YOSHIDA, Akira¹

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科, ² 京都大学生存圏研究所

¹Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, ²Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Further reductions in mass, volume, and power of analog circuits are important in developing scientific instruments of plasma wave observations. Typical plasma wave receiver is roughly divided into two types: one is a waveform receiver and the other is a spectrum one. The waveform receiver provides a waveform with a high time resolution and phase information of a plasma wave. On the other hand, the spectrum receiver provides a frequency spectrum with a high frequency resolution and a high signal-to-noise ratio in comparison with waveform receivers.

We have been developing a plasma waveform receiver using Application Specific Integrated Circuit (ASIC) technology. Previous ASIC waveform receiver consists of a differential Gm-C Low-Path Filter (LPF), a main amplifier for the gain adjustment, a switched capacitor LPF for anti-aliasing with the cutoff frequency of 100 kHz, and a Gm-C LPF for reducing the clock pulse noise of the switched capacitor LPF. The previous ASIC receiver shows a sufficient low noise performance (210 nV/sqrt(Hz) at 10 kHz) and low power consumption (60 mW). However, the dynamic range of output voltage is not sufficient due to using operational transconductance amplifiers (OTAs) of Gm-C LPFs. In order to improve the dynamic range of the ASIC receiver, we have redesigned the ASIC receiver to exclude OTAs. In this study, we used active LPFs consisting of operational amplifiers (OPAs) instead of Gm-C LPFs using OTAs. As a result, the dynamic range increased by 80%. Moreover, the layout area decreased by 18%, and the number of transistors decreased by 60% in comparison with the previous ASIC receiver.

In this presentation, we will present the design principles of our ASIC receiver for plasma wave observations and discuss its electrical performances in detail.

キーワード: アナログ ASIC, プラズマ波動波形受信機

Keywords: Analog ASICs, Plasma waveform receiver

MMO搭載MIA センター特性の偏心モデル計算 A model calculation of MIA sensor characteristics on board MMO

宮崎 祥一^{1*}; 三宅 亙²; 斎藤 義文³; 横田 勝一郎³
MIYAZAKI, Shoichi^{1*}; MIYAKE, Wataru²; SAITO, Yoshifumi³; YOKOTA, Shoichiro³

¹ 東海大学大学院工学研究科, ² 東海大学工学部, ³ 宇宙科学研究所

¹Graduate School of Engineering, Tokai University, ²School of Engineering, Tokai University, ³ISAS

MMO に搭載される MIA はトップハット型の静電分析器であり、水星周辺のイオンのエネルギー分析をおこなう。この MIA の地上校正試験によれば、ほぼ設計通りの性能を示している。しかし、本来は完全な軸対称であるはずが、イオン入射方位角に対して、透過エネルギーや透過仰角、Gファクターなどの分析器特性にわずかな依存性がみられる。この原因を、内球部・外球部・トップハット部の同心性のずれにあると仮定し、その再現をモデル計算で試みている。まず3次元軸対称でおおよそのずれに対する見積りを計算し、精度を考察したうえで、3次元非軸対称でシミュレーションする。最終的には、より設計に近い静電分析器の実現につなげる。

キーワード: MIA, MMO

Keywords: MIA, MMO

衛星による火星表面サブミリ波偏波観測の模擬実験 Laboratory experiment simulating Martian surface observation with submillimeter-wave polarimetric radiometry

有村 健斗^{1*}; 落合 啓²; 笠井 康子²; 菊池 健一²; 北 和之³

ARIMURA, Taketo^{1*}; OCHIAI, Satoshi²; KASAI, Yasuko²; KIKUCHI, Kenichi²; KITA, Kazuyuki³

¹ 茨城大学大学院理工学研究科, ² 情報通信研究機構, ³ 茨城大学理学部

¹Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Faculty of Science, Ibaraki University

近年の観測から、火星大気と固体表面の間で有意な水循環が存在することが示唆されている。火星の水循環への理解を深めるためには火星表面温度の変動や気相-固相間の物質交換過程を広範囲かつ継続的に観測することが重要であるが、火星大気中のダストが妨げとなり光学的な観測が困難とされてきた。そこで、サブミリ波偏波放射観測が火星表面観測を行う上で有効であると考えられる。サブミリ波はダスト粒径よりも長い波長であるため、ダストの影響を受けない観測を可能にし、偏波観測を行うことで大気と地表の放射を区別した観測を実現する。サブミリ波偏波放射観測では地表の放射率が入射角と偏波によって変化することを利用し、地表面のサブミリ波放射を入射角/偏波を変えながら測定することで、放射率を推定し、温度・物質組成についての情報を得る。また、地表面から数波長程度の深さまでサブミリ波が透過すると考えられるため、地中の温度構造や物質組成などの情報が得られることが期待される。しかし、従来の惑星探査においてサブミリ波偏波観測の実施例は存在しないため、観測の実現可能性を十分に検討することが要求される。サブミリ波観測から表面物質組成の区別が可能かどうか、地中のどの程度の深さの情報まで得られるかについて実験的に十分に調べられていない。

そこで本研究では観測を模擬した室内実験システムを構築し、サブミリ波偏波観測で物質組成の違いを区別できる深さについて検討を行った。実験システムは物質の散乱・放射特性の偏波・入射角依存性の測定が可能となるように設計されており、火星表面気圧、表面温度を再現し、送受信機両方を使用して物質の散乱特性の測定を、また、受信機のみを使用することで物質の放射特性の測定を行うことが可能となっている。本測定系は入射角が $\pm 1^\circ$ の精度で測定する事が可能であり、約2Kの温度分解能を持つ。

実験では周波数230GHzの送受信機を用いて反射率の測定を行った。測定対象が滑らかな表面を持つ場合、放射観測で得られる放射率は一から反射率を引いた値と等しい。出力が既知である反射測定は放射測定と比べて測定値の解釈が容易であることから、放射観測の見通しを立てる上で反射測定を行うことが必要となる。火星の岩石と氷の区別が可能か検討するため、測定対象として火星に存在する岩石の主成分が珪酸塩鉱物であることからガラス板を、この周波数帯で氷に近い誘電率をもつことからPET板を選定した。入射角/偏波を変えながら5.0mm厚のガラス板とPET板の反射率を測定し比較することで、反射率から物質組成の差異を区別できるか試みた。その結果、入射角20-70度のV偏波の反射率からのガラス・PETの区別ができることがわかった。さらに、ガラスの下にPETを配置し、上層のガラス層厚を変えて反射測定を行うことで、地表面が二層構造となった場合に観測から下層物質の存在を検出できるかどうかの検討を行い、またその深さの上限値を調べた。二層構造の反射率測定結果から、入射角65度および70度のV偏波でガラスのみの反射率と下層にPETがある場合の反射率の差異を検出することができ、そのときのガラス層厚の上限値は3.0mmであることがわかった。この厚さは本実験における測定波長の約二倍にあたる。このことから、ガラスと同程度の誘電率をもつ地表面の放射観測を行った場合に波長の二倍の深さまでに氷があるかどうかや、下層の温度変化を検出することが期待できると考えられる。今後は放射測定でも同様にガラス・PETの差異を検出できるか確認を行う予定である。また、ガラス以外の物質を上層に配置して同様の測定を行い、誘電率の変化によって氷を検出できる上限の深さが変わるか、その深さは誘電率から予測できるか検討を行う必要がある。

キーワード: 火星, 表面観測, サブミリ波

Keywords: Mars, surface observation, submillimeter-wave