

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2014

課題番号：22246106

研究課題名(和文)地球高層中性大気のグローバル・リモートセンシング技術に関する研究

研究課題名(英文)Development of Global Remote Sensing for Neutral Particles in Upper Atmosphere

研究代表者

國中 均(Kuninka, Hitoshi)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：60234465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,000,000円

研究成果の概要(和文)：はやぶさ1/2小惑星探査機に実用されたイオンエンジンを応用する、高層中性大気の遠隔観測法を研究した。各機器の完成度を向上させ宇宙実現を目指すため、国内外にて宇宙実証を進めた。そして次の成果を得た。1) JAXAの小型実証衛星4型(SDS-4)用に水晶発振式微小天秤(QCM)を仕立てて搭載し、平成24年に打ち上げ、宇宙データを収集した。2) マイクロ波放電式プラズマ源をUAEアラブ首長国連邦ドバイのDubaiSat-2衛星に適応させ、平成25年に打ち上げた。現地の衛星管制局に出向き、立ち会いのもと試運転を成功させた。3) プラズマ源の新たな応用探索として、フラーレンC60の負イオン生成に成功した。

研究成果の概要(英文)：We study and develop the remote sensing technology for neutral particles in the upper atmosphere using the ion engines, which were applied to Hayabusa and Hayabusa2 asteroid explorers. Several devices, which compose this technology, were applied to space operations to a domestic as well as a foreign space missions in order to advance their technology readiness levels. The following results were achieved. (1) QCM (quartz crystal micro balance) was installed on the JAXA's small satellite SDS-4 on 2013 and got a series of space data. (2) The microwave discharge plasma source was installed on DubaiSat-2 satellite of UAE Dubai and successfully operated in space on 2014. (3) Negative ion of fullerene C60 was generated by our plasma source in order to pursue its possibility.

研究分野：宇宙工学

キーワード：高層中性大気 リモートセンシング 原子状酸素 高速中性粒子 イオンエンジン

1. 研究開始当初の背景

高度 100 km から 1,000 km の地球超高層大気は、中性粒子 (特に原子状酸素) がその大多数を占めるが、イオンのような応答性がないため電波やレーザー等による遠隔観測はできない。人工衛星に搭載した真空圧力計や質量分析器による空間 1 点 1 点の計測と、大気抵抗による人工衛星の軌道変化を統計処理して空間分布や組成を予測しているに過ぎない。

研究代表者らは、宇宙推進用のイオンエンジンの開発に成功し、「はやぶさ」1 号 2 号小惑星探査機に応用し深宇宙にて実績を挙げた。イオンエンジンを地球周回で用いる場合、放射されたイオンビームは地球磁場に捕捉され、ラーマー旋回しながら高緯度領域の高層大気深部に侵入して、大気との電荷交換により中性粒子に戻り、慣性飛行して地球を脱出して失われる。この機構を研究する過程にて、能動的に利用して高層中性大気の遠隔観測法を着想するに至った。既知の速度・時刻・場所から放射された、自然界では稀な粒子種のイオンを用いて、後天的に変換された高速中性粒子を遠方から観測すれば、高層中性大気の組成・密度・空間・時間分布をリモートセンシングできる (図 1 参照)。クリプトンイオンは、高層大気の主成分である原子状酸素と選択的に反応する性質を持ち、また自然界には稀なため、観測用トレーサとして最適である。

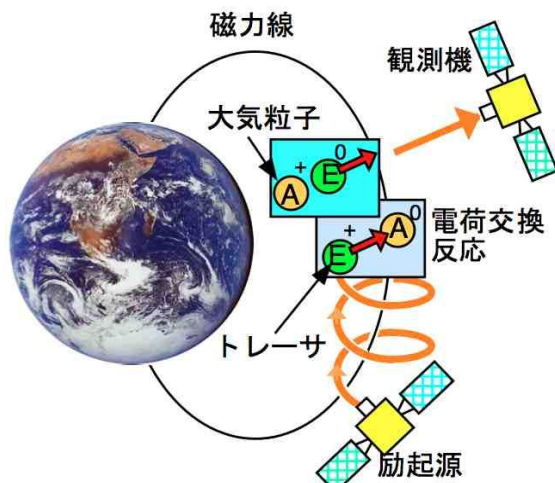


図 1 原子状酸素の遠隔観測法

2. 研究の目的

平成 19 年度～22 年度、基盤 B 一般「地球高層中性大気のグローバル・リモートセンシング技術に関する研究」(課題番号 19360386)にて原理原則の実験室証明がなされ、宇宙用イオン源と観測センサに技術的目処を得た。宇宙実証実験を具体的に指向する段階となった。宇宙デモンストレーションを目指すために、搭載可能な機器(プ

ラズマ源と水晶発振式微小天秤)の研究開発を行う。また、国内外の小型衛星や観測ロケットに宇宙飛翔機会を積極的に求めて行く。

3. 研究の方法

マイクロ波放電式プラズマ源の内部計測を行い、物理機構を解明し、イオンエンジンとしての性能向上を目指すとともに、新たな応用範囲を探索する。原子状酸素遠隔観測法の宇宙デモンストレーションを目指して、JAXA の小型衛星 SDS-4 や UAE 国の DubaiSat-2 の飛翔機会を利用して、構成機器の宇宙作動を目指す。

4. 研究成果

(1) 光ファイバー先端に電気光学素子を配したセンサにてマイクロ波放電式プラズマ源内の電界強度を計測した。イオン生成効率を特定するために大変有意義な結果である。

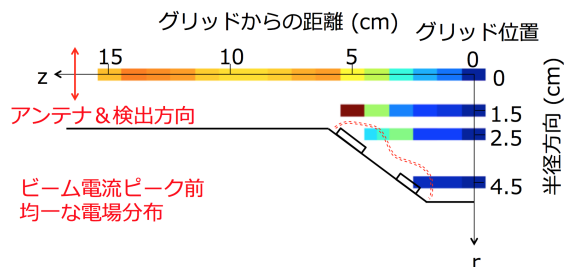


図 2 電気光学素子による電界強度測定

(2) 光ファイバーを用いたレーザー吸収分光にてマイクロ波放電式プラズマ源内の励起中性粒子の空間分布を計測した。マイクロ波放電に広く応用できる優れた計測手法である。

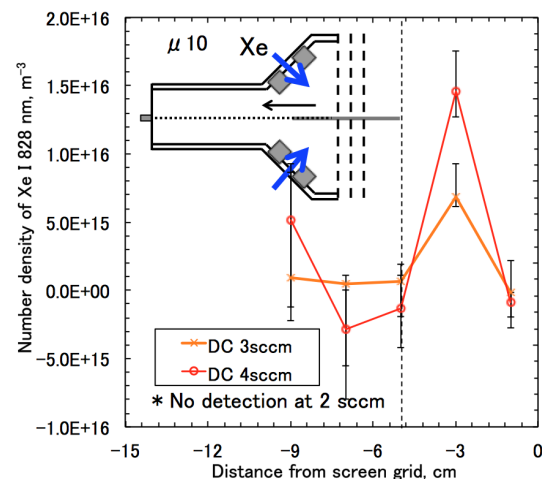


図 3 レーザー吸収分光による励起中性粒子分布測定

(3) プラズマ源の新たな応用探索として、フラレン C60 の負イオン生成に成功した。従来イオンエンジンの中和器が担っていた機能を負イオンで代替し、性能向上が期待できる。

(4) JAXA の 50 kg 級小型実証衛星 4 型 (SDS-4) 用に水晶発振式微小天秤 (QCM) を仕立てて搭載し、平成 24 年に打ち上げ、宇宙データを収集した。地上における衛星組立から宇宙における状態まで、一貫して単一の計測器で汚染状況をモニタできることを実証した。高層中性大気グローバル・リモートセンシング法の主要機器の宇宙実証ができた。

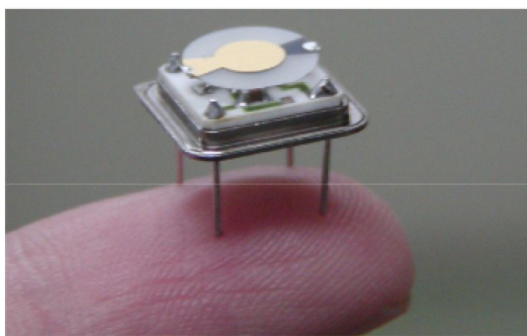


図4 指の上の水晶発振式微小天秤

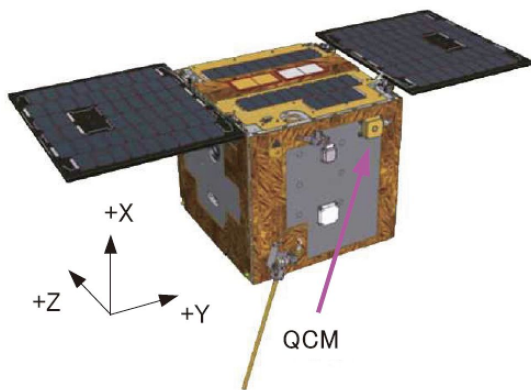


図5 JAXA の SDS-4 小型衛星

(5) マイクロ波放電式プラズマ源を UAE アラブ首長国連邦ドバイの 300 kg 級 DubaiSat-2 衛星に適応させ、平成 25 年に打ち上げた。現地の衛星管制局に出向き、立ち会いのもと試運転を成功させた。安定に宇宙運用が継続できている。高層中性大気グローバル・リモートセンシング法の主要機器の宇宙実証ができた。

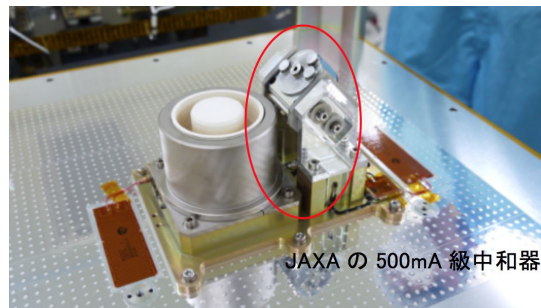


図6 宇宙実験に供されたマイクロ波放電式プラズマ源

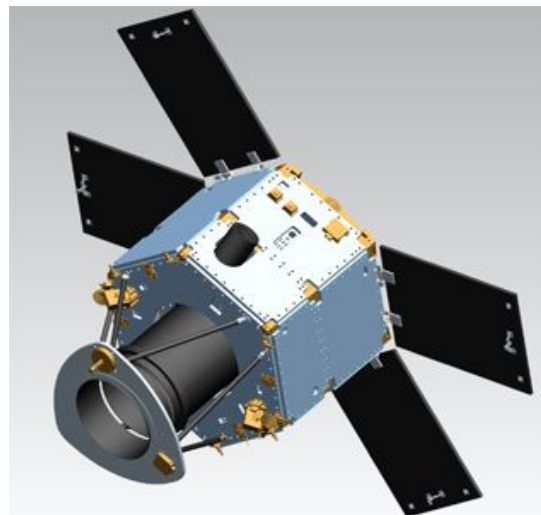


図7 UAE 国の DubaiSat-2 衛星

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計11件)

K. Nishiyama and H. Kuninaka, Development and Flight Experiment of a Space QCM in Small Demonstration Satellite-4, Transaction of JSASS, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol.12, 2014, 19-25 査読有、Vol.12 2014 pp.19-25
http://dx.doi.org/10.2322/tastj.12.Tr_19
 S. Kang, W. Choo, J. Choi, Y. Jeong, Y. Kim, S. Kang, H. Kuninaka and H. Cha, Cathode Power Development of Hall Thruster for Small Satellite using Microwave cathode, 韓國航空宇宙學會誌、査読有、Vol.42 2014 pp.974 - 980、
<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.11.974>

R. Tsukizaki, T. Ise, H. Koizumi, H. Togo, K. Nishiyama, H. Kuninaka, Thrust Enhancement of a Microwave Ion Thruster, Journal of Propulsion and Power, Vol.30 2014 pp.1383-1389,
<http://dx.doi.org/10.2514/1.B35118>

〔学会発表〕(計17件)

神田大樹, 國中均, 磁場フィルタを用いたフラレン負イオンスラストの基礎実験、第58回宇宙科学技術連合講演会、2014年11月、長崎

I. Nishiyama, R. Tsukizaki, K. Nishiyama, H. Kuninaka, Experimental Study for Enhancement Thrust Force of the ECR Ion Thruster $\mu 10$, 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2014年7月、Cleveland, OH, USA

神田大樹, 細田聡史, 國中均, 電荷交換衝突を用いた高層大気の原子状酸素密度測定法、第56回宇宙科学技術連合講演会2012年11月21日、別府国際コンベンションセンター

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ep.isas.jaxa.jp/eplab/>

UAE アラブ首長国連邦ドバイのDubaiSat-2衛星上でのマイクロ波放電式プラズマ源の初運転の様子は、NHK「プロフェッショナル仕事の流儀、宇宙工学者國中均」にて平成26年4月7日放送された。

6. 研究組織

(1)研究代表者

國中 均 (KUNINAKA HITOSHI)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：60234465

(2)研究分担者

小泉宏之 (KOIZUMI HIROYUKI)

東京大学・先端科学技術センター・准教授
研究者番号：40361505

西山 和孝 (NISHIYAMA KAZUTAK)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：60342622

細田 聡 (HOSODA SATOSHI)

宇宙航空研究開発機構・月惑星探査プログラムグループ・研究員

研究者番号：70423598

月崎竜童 (TSUKIZAKI RYUDO)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：80720697

(3)連携研究者

なし