

18-592 マイクロ波放電式イオンエンジンの研究開発と太陽系探査の推進

R&D of microwave discharge ion engines and promotion of solar system exploration

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所所長 國中均
Hitoshi Kuninaka

略歴 昭和35年5月9日生

- 58年 京都大学工学部航空工学科卒業
- 63年 東京大学大学院博士課程修了
- 63年 文部省宇宙科学研究所助手
- 平成12年 文部省宇宙科学研究所助教授
- 17年 宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所本部教授
(平成30年まで)
- 23年 月惑星探査プログラムグループ
プログラムディレクター
(平成24年まで)
- 24年 はやぶさ2プロジェクト
マネージャ(平成27年まで)
- 27年 宇宙探査イノベーションハブ
ハブ長(平成30年まで)
- 30年 宇宙航空研究開発機構理事,
宇宙科学研究所所長(現在に至る)

- 受賞歴 平成16年 日本航空宇宙学会技術賞
- 18年 Space Pioneer Award to Hayabusa
Team, National Space Society
 - 19年 日本航空宇宙学会技術賞
 - 19年 米国航空宇宙学会最優秀論文賞
 - 19年 電気ロケット推進学会
最優秀論文賞
 - 22年 米国航空宇宙学会技術達成賞
 - 22年 文部科学大臣特別賞
 - 23年 Von Braun Award to Hayabusa
Team, National Space Society
 - 23年 Laurels for Team Achievement
HAYABUSA, International
Academy of Astronautics
 - 23年 第21回日本航空宇宙学会賞
技術賞〔プロジェクト部門〕
 - 29年 応用物理学会解説論文賞

業績の概要

「マイクロ波放電式イオンエンジン」は、熱電子放出に頼らずマイクロ波で電子を直接加熱してプラズマ生成する電子サイクロトロン共鳴加熱を用い、省電力性と長寿命性・堅牢性を兼ね備える。國中均博士は1980年代後半より、米欧ロが主力とする直流放電式イオンエンジンとは技術的に一線を画した研究開発を進め、世界で唯一無二のシステムを完成させた。本エンジンは「はやぶさ」小惑星探査機の主推進として採用され、2003年から2010年に掛けて地球～小惑星間往復探査を成功させ、小惑星イトカワ由来物質の分析を介して太陽系科学の発展に貢献した。さらに改良されたエンジンは、次の目標天体小惑星リュウグウへの到達を目指して、「はやぶさ2」小惑星探査機に搭載された*。また、機器開発の過程で、マイクロ波放電の物理説明や光ファイバーを用いた新たなプラズマ探針法の開発など学術的にも寄与した。このエンジンは、複数の宇宙探査計画への活用が検討されており、今後の日本の太陽系宇宙探査の根幹を支える技術である。

地球を脱出し遥か彼方の太陽系宇宙内天体へ到達し、さらに取って返して地球帰還を果たすには、超大型打ち上げロケットが必須、というのが宇宙技術に於ける

一般常識であった。これに対し、探査機に搭載する主推進機関として、燃料使用効率の高い(高比推力)電気ロケットを実用化できれば、上記命題に対して中型ロケットであってもそれを実現する別の新たなソリューションを提示できる⁴⁾。電気ロケットの一形式であるイオンエンジンは、放電によりプラズマを生成し、その成分中のイオンを静電加速してロケット噴射し、推力を得る。化学推進器と比較すると、燃料消費量を10分の1に減らすことを可能にする。米欧ロが1960年代より先導的に技術研究開発および宇宙実証を進め、1990年代には直流放電式イオンエンジンがほぼ完成の域に達し、地球周回静止衛星に應用された。次に各国は太陽周回深宇宙への進出を目論んだが、このイオンエンジン方式は、プラズマ生成のために熱電子放出を必須としており、脆弱で管理の難しい特殊な材料を多用するため、取り扱いや運用が容易でなく、短寿命という技術課題を孕んでいた。

電気ロケット技術領域において、宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・電気推進研究室は、脈々と研究開発を続けてきた。過去においては、1980年たんせい4号衛星によるMPDアークジェット噴射実験、

1983年スペースシャトル機上の人工オーロラ実験SEPACのためのMPDプラズマ発生装置、1995年SFU衛星におけるMPDアークジェット電気推進実験EPEXと、宇宙実証を進め知識経験の蓄積に努めてきた。開発した「マイクロ波放電式イオンエンジン」^{5),11)}は、プラズマ生成に熱電子放出を必要とせず、マイクロ波で電子を直接加熱してプラズマ生成する電子サイクロトロン共鳴加熱方式であり、省電力性と長寿命性・堅牢性を兼ね備える。國中博士はこの性質に着目し、1980年代後半より米欧口とは技術的に一線を画した研究開発を進め、世界で初めてシステムを成立させた。本システムは「はやぶさ」小惑星探査機の主推進として採用され、2003年に打ち上げられ、2005年に小惑星イトカワに到達し、2010年に地球帰還を果たした^{6),7),8),9),10)}。高効率・省電力でプラズマを生成しながら積算作動約4万時間にも及ぶ耐久性を宇宙で実証した。航行中に発生した故障を、イオンエンジンに内在する多機能性を発揮させて解決したことも特筆される。これにより地球～小惑星間宇宙往復航海を世界に先駆けて実現し、サンプルリターンという新たな観測法を提示して太陽系宇宙科学研究の進歩に寄与した。同時期、米国NASAは直流放電式イオンエンジンを搭載するDeepSpace1を1998年に打ち上げて小惑星・彗星フライバイ、欧州ESAはホールスラスタを搭載するSMART1を月着陸に向けて2003年に打ち上げた。諸外国の活動は片道であるのに対し、「地球～小惑星間宇宙往復航海」「小惑星サンプルリターン」は宇宙開発史上、特記するべき達成である。これに呼応して、米国NASAが小惑星サンプルリターン計画としてOSIRIS-RExを2016年に打ち上げたほか、彗星サンプルリターン・小惑星捕獲・小惑星衝突実験など複数計画の立案、小惑星資源利用、小惑星の地球衝突回避と言った活動が加速され、小天体探査を喚起する世界的潮流が作られた。科学技術領域にとどまらず、映画会社3社によるムービー競作や全国69か所での帰還カプセルの公開において89万人が集まるなど、国民より熱い支持を得た。

宇宙活動と同時並行で行われた地上における研究開発は、光ファイバーを用いた新しいプラズマ探針法を發明しイオン源内部現象を解明して、エンジン性能のさらなる向上をもたらした²⁾。改良されたイオンエンジンは、「はやぶさ2」小惑星探査機の主推進として2014年に次の目標天体小惑星リュウグウに向けて打ち上げられた*。はやぶさ2プロジェクト遂行に当たっては、開発から打ち上げ・初期運用までを國中博士はプロジェクトマネージャとしてその重責を務めた³⁾。このイオンエンジンを駆る複数の宇宙探査計画が現在検討されており、今後の日本の太陽系宇宙探査の根幹を支える技術である。

2017年に応用物理学会より解説論文賞を授与された²⁾。この際の「プラズマ物理という学術基盤に立脚

した理学的内容、イオンエンジンという工学的内容、そして、それを用いた地球～小惑星間宇宙往復航行の世界初の達成という魅力的な応用展開が見事に結びついた、正に応用物理」という講評は、國中博士の真意・思いの丈を表現したものである。

*「はやぶさ2」は2018年6月に小惑星リュウグウに到着し、探査を開始した。

業績に関する主要文献

著書

- 1) 國中均, 中山宜典, 西山和孝: イオンエンジンによる動力航行, 宇宙工学シリーズ8, コロナ社(2006).

解説

- 2) 國中均: マイクロ波放電式電子サイクロトロン共鳴型イオン源の物理, 応用物理, 第85巻, 第7号, 553-559(2016).
- 3) 國中均: 火の鳥「はやぶさ」未来編 その2～宇宙工学・宇宙探査としての意義～, 日本惑星科学会誌, Vol. 22, No. 2(2013).
- 4) E. Y. チャウエリ(國中均翻訳): 惑星探査の切り札プラズマロケット, 日経サイエンス, 第29巻, 第2号(2009年5月号).
- 5) 國中均: 無電極マイクロ波放電式イオンスラスタの研究・開発, 日本航空宇宙学会誌, 第46巻, 第530号, 174-180(1998年3月).

学術論文

- 6) 國中均: 「はやぶさ」探査機の帯電放電への対策, 静電気学会誌, Vol. 35, No. 6, 237-240(2011).
- 7) H. Kuninaka, K. Nishiyama, I. Funaki, T. Yamada, Y. Shimizu and J. Kawaguchi: Powered Flight of Electron Cyclotron Resonance Ion Engines on Hayabusa Explorer, Journal of Propulsion and Power, Vol. 23, No. 2, 544-551(2007).
- 8) H. Kuninaka, K. Nishiyama, I. Funaki, Y. Shimizu, T. Yamada and J. Kawaguchi: Assessment of Plasma Interactions and Flight Status of HAYABUSA Asteroid Explorer Propelled by Microwave Discharge Ion Engines", IEEE Transactions of Plasma Science, Vol. 34, No. 5, 2125-2132(October 2006).
- 9) H. Kuninaka and P. Molina-Morales: Spacecraft Charging due to Lack of Neutralization on Ion Thrusters, Acta Astronautica, Vol. 55, No. 1, 27-38(2004).
- 10) 國中均, 西山和孝, 清水幸夫, 都木恭一郎, 川口淳一郎, 上杉邦憲: 小惑星探査機「はやぶさ」搭載マイクロ波放電式イオンエンジンの初期運用, 日本航空宇宙学会論文集, Vol. 52, No. 602, 129-134(2004).
- 11) H. Kuninaka and S. Satori: Development and Demonstration of a Cathode-less Electron Cyclotron Resonance Ion Thruster, Journal of Propulsion and Power, Vol. 14, No. 6, 1022-1026(Nov-Dec 1998).