

## はやぶさイオンエンジンによる動力航行と今後の深宇宙探査

### Powered Flight by Ion Engines of Hayabusa Spacecraft and Deep Space Exploration in Near Future

# 國中均 [1]

# Hitoshi Kuninaka[1]

[1] 宇宙研

[1] ISAS/JAXA

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

#### 1. はやぶさ小惑星探査機

「はやぶさ」小惑星探査計画は、打ち上げ全質量約500kgで、両翼2葉の太陽電池により地球近傍にて2.6kWの発電能力があり、搭載4台のイオンエンジンのうち最大3台までを同時運転し、24mNの推力にて1日約4m/sの増速を得ることができる。「はやぶさ」は2003年5月9日、鹿児島宇宙空間観測所からM-Vロケット5号機にて深宇宙へと投入された。打ち上げ当初の試験運転にて、イオンエンジンを点火すると探査機の色が増して行く様子が通信波のドップラーシフトから実時間で確認された。太陽距離に依存して発生電力が大きく変動するので、効率的に推力発生するために、スロットリング機能や運転台数を調整して軌道変換を実施した。2004年2月に近日点距離0.86天文単位、2005年2月に遠日点1.7天文単位を無事通過して、深宇宙動力航行する宇宙船として地球公転軌道の内側外側両方の最遠を走破した。2年4ヶ月に及ぶ宇宙航海を経て、2005年9月に目的天体へのランデブーを成功させた。その間、マイクロ波放電式イオンエンジンは延べ2万6千時間の作動を行った。着陸・離陸の際に数々のトラブルに見舞われたが、イオンエンジンを駆使して2010年の地球帰還を目指している。

このような地球と小惑星間の往復航行が可能になったのは、高比推力電気推進イオンエンジン $\mu 10$ の実現に依るところが大きい。これまで旧宇宙科学研究所が打ち上げ運用を行った各種宇宙機の軌道変換能力と燃料占有率の変遷を省みると、打ち上げの度に軌道変換能力は倍々の割合で上昇し、「はやぶさ」では軌道変換能力4km/sを越える。この値は地上打ち上げロケットの1段当たりの能力に匹敵する。これと並行して燃料搭載率も次第に上昇し、化学推進を利用する火星探査機「のぞみ」ではついには50%に達した。一方、電気推進を擁する「はやぶさ」では推進剤量は僅か13%、混載する化学推進が用いる燃料を含めても25%に抑えている。宇宙機が自ら軌道変換能力を得ることは、ロケットの巨大化を伴わずに深宇宙探査を実現できるので、まさに「宇宙船」の称号が相応しい。電気推進により、「はやぶさ」はペイロード約30kgを目的天体に運んだ。

#### 2. 深宇宙輸送システム

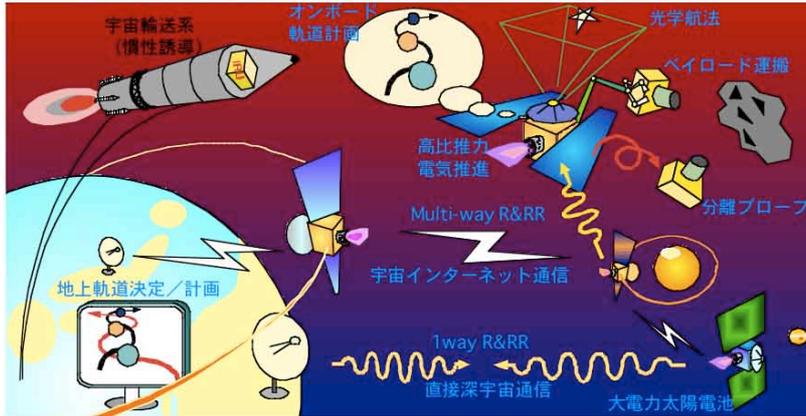
「はやぶさ」ではわずか30kgであったペイロード質量が、100kg級へと拡大すれば、「探査機」から発展した「深宇宙輸送システム」という新しい概念を創出する。従来の宇宙輸送系は、地球表面と静止軌道や低高度軌道、または宇宙港とを結ぶシステムであったのに対し、「深宇宙輸送システム」は近地球と深宇宙を網羅する(図参照)。未来の「深宇宙輸送システム」の形骸を以下に記述しよう。木星までの太陽系内活動において、効率30%を越える太陽電池光発電を用いれば、技術的な困難はない。薄膜太陽電池をスピン展開し、巨大膜面形状を維持する技術が確立すれば、宇宙にて大電力を調達することができる。その電力を先進的電気推進に供給し、より高度な深宇宙動力航行が可能になる。単に推進やVehicleの技術に集約されたものではなく、深宇宙通信ネットワークやロボット技術など広範に及ぶ。深宇宙輸送システムは高度に自動化されていて、地球からの支援なしに目的地までの経路を探索し、先進的宇宙推進を駆使して航行を続ける。この時、深宇宙灯台とも言えるDeep Space Position Systemからの電波を受けてオンボードで軌道決定がなされる。目的地への到達や新たな発見があった時に初めて、宇宙機が深宇宙インターネットワークを介して地球に自ら連絡をとる。

#### 3. 電気推進の発展シナリオ

$\mu 10$ イオンエンジンは単体350Wの電力を消費して、推力8mN、比推力3,200秒を発生する。マイクロ波を用いた無電極放電を最大の特徴としており、宇宙作動は他を圧倒する積算2万6千時間に達している。この宇宙ヘリテージを継承し、さらに大推力の $\mu 20$ 、さらに高比推力の $\mu 10$ HIspスラスタに研究開発努力が注がれている。これらの進歩的な推進機関を用いれば、より大型の探査機を実現させ、より大きなペイロードを、より遠方に到達させることができる。当面は、「はやぶさ」にて確立したマイクロ波放電式イオンエンジンによる深宇宙探査を基軸に宇宙応用展開を想定している。「はやぶさ」をリピートとして、 $\mu 10$ イオンエンジンによる「はやぶさ2」が計画されている。そして、電力セイルにより大電力を調達し、高比推力イオンエンジン $\mu 10$ HIspをドライブし、木星を狙うソーラーセイル計画が控えている。さらにその先は、大推力イオンエンジン $\mu 20$ により深宇宙を縦横無尽に機動する本格的深宇宙輸送システムの実現を目指す。

参考文献

### 宇宙輸送系から「深宇宙輸送システム」へ



地球表面 ←-----→ 地球周回 ←-----→ 深宇宙  
宇宙輸送系    宇宙港    深宇宙輸送システム