

惑星探査機“はやぶさ”の“カプセル回収”から3年が経過しました。私たちへの贈り物を託してカプセルを切り離し、自らは母なる地球をまぶたに焼き付けながら命尽きていく……。日本が世界に誇れる偉大な成果でした。そして今度は海外で、タイトルに掲げたような新たな挑戦が計画され、注目されています。

人は地上から空へ、宇宙へ、そして遠く惑星へと活動の場を広げ、その度に高性能なエンジンを開発してきました。ガソリンエンジン、ジェットエンジン、ロケットエンジン、そしてプラズマエンジン？あの“はやぶさ”はイオンの力を利用するプラズマエンジンを使って惑星間航行を成し遂げたのです。“エンジン”と聞けば燃料を酸素と混ぜて燃やした際の化学エネルギーを活用する装置を思い浮かべます。プラズマエンジンは違います。太陽電池を介して宇宙で“現地調達”した電気エネルギーを活用します。この“電気ロケット”のお話です。

地上では電気自動車の開発が盛んであり、その他いろいろな乗り物で、環境負荷の軽減やコスト削減、快適さ・高速化、などをねらいとした電動化が計られています。宇宙

でも同じです。これまで人工衛星のエンジンとして使われてきた“小さな”化学ロケットを電化することで、衛星全体の質量が格段に軽減され、結果、我々は大きなメリットを享受できるのです。どうしてでしょうか？

### プラズマエンジン

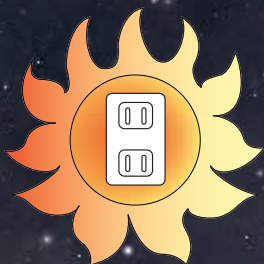
まず、宇宙で前に進むには？宇宙ではガスを噴射してその反作用として推進力を得ます。その力は噴射するガスの質量と速度の積として評価される。ですから“電化”と言っても、“燃える”必要はないのですが、“推進用のガス”を地上から携帯しなければなりません。

一般に燃料を燃やした際のガスの温度は数千℃であり、そこに含まれる原子や分子は数 km/s の熱運動速度をもって動き回っている。化学ロケットはこの高温ガスを、ノズルを通して一方向に噴射して推進力を得ています。

さて、プラズマエンジンの場合は？まず、プラズマ溶接や溶射技術で使われる同軸構造の“アーク電極・放電”を、強い紫外光を発する光源を思い浮かべてください。その中心部は一万℃を超える高温であり、原子の一部は正と

# 宇宙もオール電化!?

技術開発本部  
上松 和夫

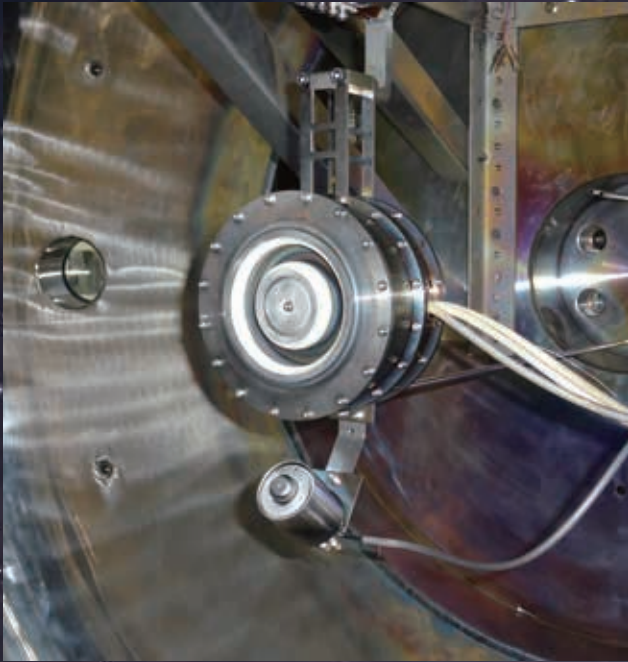




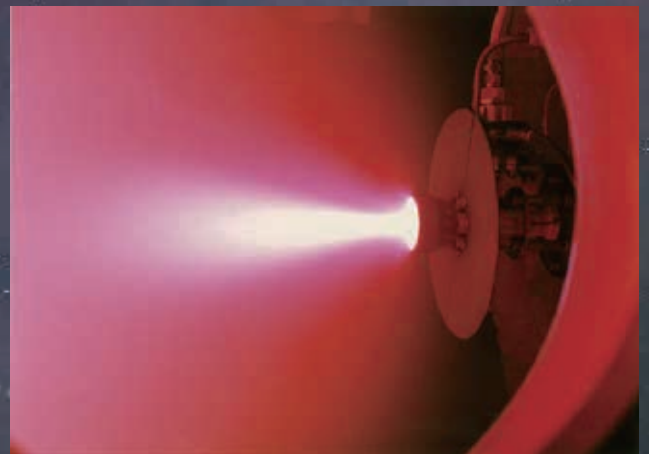
負の電荷をもったイオンと電子に分かれて動き回っている、いわゆるプラズマ状態です。触れるものすべてを溶かします。溶接の場合はそれが役目でも、エンジンの場合は許されません。宇宙では電極の水冷もままならない。そこで、供給するガス量を3桁も4桁も少なくしてプラズマガス体の熱容量を下げる。と同時に原子1個当たりへのエネルギー配分量を増すことで、すべての原子をプラズマ化します。そしてアーク電流自身が作る磁場と電流の相互

作用で発生する電磁力によって、プラズマを一方向に高速で噴射するのです。推力はガス量の削減に比例して著しく低下するが、その噴射速度は数十 km/s に達する。ガスの種類を特に選ばず、構造の極めて簡単なこのプラズマエンジンは MPD 型と呼ばれ、電気ロケットのなかでは大推力向きであるとして開発が期待されているが、克服すべき課題が多く、実用はまだまだ先のようです。

( 88 ページに続く )



ホール加速型プラズマエンジン



MPD 型エンジンとプラズマ噴流



ホール型プラズマエンジン



(「宇宙もオール電化!？」 53 ページから)

いま最も注目され、宇宙実績数を増しているのはホール効果型です。直径が数十 cm の円筒形状で、端面に環状の溝が掘られ、そこに径方向磁場と軸方向電場を作用させて、蛍光管のようなプラズマを形成すると同時にこれを高速噴射している。推進ガスには主にキセノンが使われ、見るからに堅牢なエンジンらしからぬ形ですが、数十 km/s の噴射速度が得られます。電気エネルギー 1 kW 当たり約 50 mN の推進力を発生、1 円玉を 5 個程の力ですが、“何も無い”宇宙では、数 t 級の衛星を動かすに十分な力です。

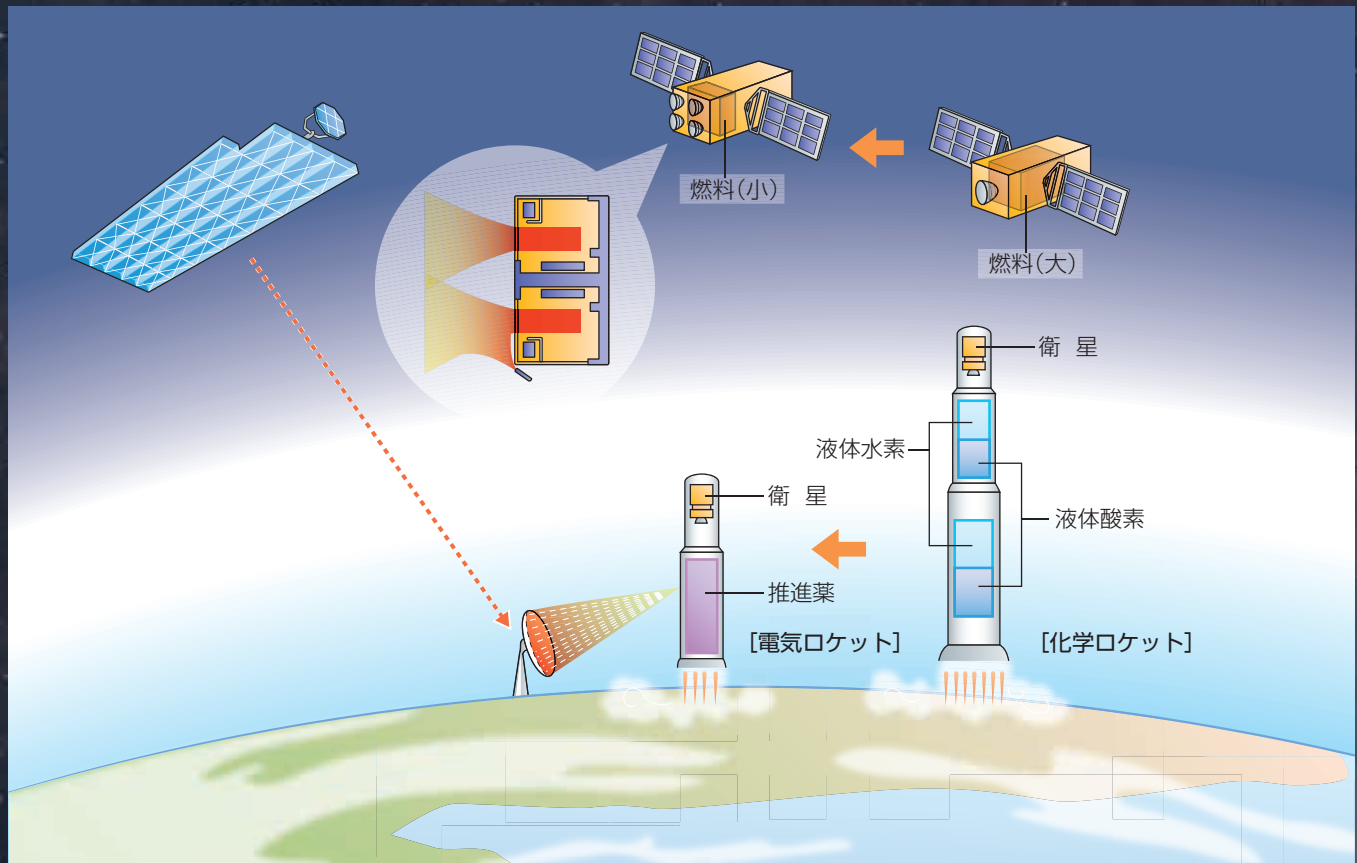
このように、“化学ロケット”の場合と比べて推力値が 2 桁も 3 桁も小さいが故に、所定の速度まで加速する時間が長くなります。ですが、1 桁高い噴射速度が達成されている。先ほど述べたように、推進力は噴射するガスの質量と噴出速度の積で表されますから、プラズマエンジンの場合、地上から運ぶガスの質量が 1/10 に軽減されます。燃費性能に優れたエンジンです。

## オール電化

たとえば毎日の天気予報でお世話になっている気象衛星“ひまわり 7 号”，2006 年に打ち上げられ、その設計寿命は 10 年、打ち上げ時の重さは 4.6 t で、1.7 t が機器類の重さとされています。つまり、その衛星の重さの大半が化学ロケットエンジン用の燃料なのです。

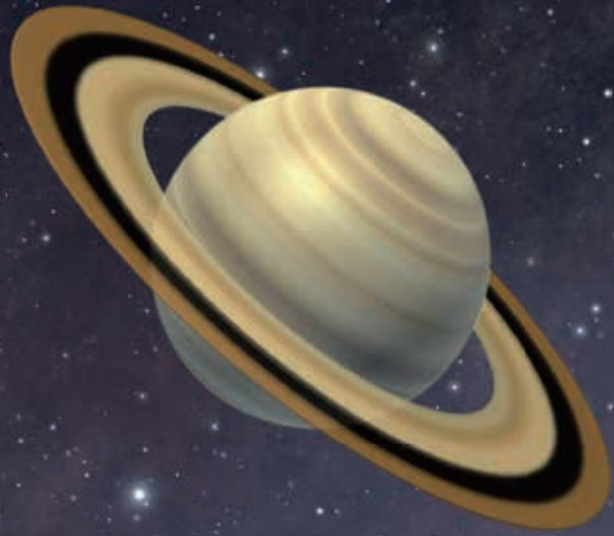
電気ロケットならば推進剤量は 1/10 でよく、電源や電極などの質量増加はありますが、極端に表現すれば衛星質量が半分で済むことになります。地球重力に逆らって数 t の衛星を打ち上げるには、燃料を満載した数百 t のロケットが必要であり（詳しくは“ツィオルコフスキーの公式”を参照してください）、その打ち上げ費用が 100 億円規模と知れば、推進ガス削減の打ち上げコスト低減への寄与の大きさが理解していただけると思います。

プラズマエンジンの開発は 1960 年ごろから盛んになり、2000 年を過ぎて多く実運用されるようになった。燃費は良いが大きな推進力を一気に発生することは不得手です。そこで、これまではお互いの長所を活用する形での、“化学”と“電気”の併用が多かった。が、プラズマ技術の進歩による推進性能の向上、および衛星の大型化と使



将来のオール電化





用できる電力の増加もあってか、ついにプラズマエンジンだけの“オール電化”衛星を2014年に打ち上げる計画が発表され、関係者の間では大きな話題になっています。“はやぶさ”の場合と同じ、イオンの力を使ったプラズマエンジンが使われるとのこと。

地上では自動車の電化が進んでいますが、ご存知のように蓄電が十分ではなく、長距離移動に難があります。一方、列車では抵抗が少なく電気を通す鉄の道が幸いしてか、頭上に荷電線を配置することでエネルギーの分散供給が可能になり、いち早く“オール電化”が実現しています。宇宙における衛星も同じような状況にあり、太陽電池を大きく広げてもサイズは気にならず、天候を気にすることなくほぼ定常的に太陽光が得られる。“現地調達”にて太陽エネルギーを効率よく使える宇宙は、まさに電気ロケットの活用に適した場であろうと思います。

## 将来

研究開発者の技術革新への挑戦は尽きない。上昇するロケットを追尾しつつレーザーやマイクロ波のエネルギービームを照射する、非接触エネルギー伝送の打ち上げシステム構想も練られている。酸化剤を切り捨てて自らを軽量化、外部からの強力な照射エネルギーで持って噴射速度と推進力の増加を図る。実現すれば地上から宇宙まで正真正銘の“オール電化”システムとなり、打ち上げコストが軽減するかも。エネルギー問題解決の切り札の一つとされ、大量

の資材を宇宙に運ぶ必要がある宇宙太陽光発電衛星の建設をおおいに前進させるであろう。

最後に、駆動エネルギーの源は石炭から石油に、そして電気へと替わりつつあります。そして先にも述べたように、物質は加熱されると固体から液体・気体、そして“第4の状態”プラズマへと変化します。これらエネルギーの源と物質の状態の間に関連性を感じとれないだろうか。では、次は、電化から核化へ、プラズマから素粒子へ、これらがキーワードのエンジンの時代が来るのだろうか。将来、人間の活動が太陽系を超えるならば、もはや太陽光は当てにはならない。“空想科学”が作り出した“宇宙戦艦「大和」”、あの夢の「波動エンジン」をもって宇宙を駆け巡る夢を見ながら・・・オール電化衛星運用の成功を祈りたい。