



## 講座 宇宙機用電気推進機のための計測法

### 5. おわりに

#### 5. Summary

桑原 大介

KUWAHARA Daisuke

中部大学工学部

(原稿受付：2020年10月19日)

本講座では電気推進機に関わる実験的研究を始める大学院生を主な対象に、代表的な計測であるプローブ法、光学法、推力計測法の原理や実装法について解説しました。

第1章では電気推進機の原理、現状、計測に対する要求を概説しました。詳細を省いた解説になってしまったので、より深く学びたい方は本誌過去記事など参考文献を参照してください。

第2章ではプラズマに電極等を挿入して密度、電位などの諸量を計測するプローブ法について解説しました。電気推進に限らず多くのプラズマ実験で使用される静電プローブに始まり、電気推進で重視されるイオンの加速に関わる電位を計測する逆電位アナライザ、イオンの荷電数を計測する質量分析器と同等の原理を用いた  $E \times B$  プローブの3つについて詳細な原理や実装法を紹介しました。プラズマに挿入する計測なので、放電への影響を抑えられる・耐久性のある素材選びが重要なことや、プローブ法で多くの場合問題となる微小電流計測のテクニックにも触れました。

第3章では光学計測について解説しました。一口に光学計測と言ってもプラズマの自発光を用いる受動的計測や、共鳴波長のレーザーを用いて励起させ、脱励起光（蛍光）を用いるものや、レーザーの散乱を利用した能動的計測など多くの方法があります。光学計測の利点はプラズマと非接触に計測できることが挙げられます。極めて多くの計測法を持つ光学計測ですが、本章ではプラズマにレーザーを照射し、その吸収特性から対象粒子の数密度等を計測する吸収分光法、レーザーで対象粒子を励起させ、脱励起光の計測から対象粒子の速度分布関数等を計測するレーザー誘起蛍光法、プラズマによりレーザーが散乱されることを利用した電子密度・温度計測であるトムソン散乱計測を紹介しました。光学計測は高価なレーザーを使用することが多いので導入の難易度は高いですが、非接触計測や粒子速度の絶対計測ができるなど利点も数多い計測です。

第4章では電気推進機に特有の推力計測について解説しました。推力は電気推進機の最も重要な性能の一つであり、燃費の指標となる比推力や電力当たりの発生推力であ

る推力電力比など重要な性能の算出に用いられるため、重視されています。電気推進機以外のプラズマ分野でプラズマによる応力を計測することは少ないので馴染みのない方が多いと思われそうですが、真空容器内での可動機構の組み方など参考になる点は多いのではないのでしょうか。原理としては、推進機本体を振り子や天秤に搭載し、その振れ幅から推力を算出するというものです。その推力は一般的に数～数十 mN、超小型推進機では nN クラスと微小なので、いかに変位量を稼ぎ、ポンプの振動や磁場、配管の応力など外乱の影響をいかに低減するかが重要です。振り子の変位についての力学的な解説から始まり、ねじりばね、変位計などの要素部品の紹介、振動の減衰手法や零位法のような計測法について幅広く解説しました。

代表的な電気推進計測法を紹介させていただきましたが、多くのプラズマ分野でそうであるように、同じ計測法でも多くの方が自分の装置に適した形に変更したり、重視するパラメータをより高感度に計測できるよう改良を加えたりと、定まった形を持っていません。学生の皆さんは学会で知り合った者同士でお互いの装置を見学し合うなどして、計測原理に関わる高尚な話から、このコネクタが良い、この配線取り回しが良いといった手法の話まで、意見交換の中で思わぬ収穫を得られると思います。移動が難しい昨今ですが、遠隔会議サービスを使用して手持ちカメラによるバーチャル見学も良いかも知れません。といっても、偶々目に入った機器から閃きが得られることは良くあるので、肉眼で見られるに越したことはないのですが。

1, 3章でも言及していますが、再利用ロケットの実用化などによる打ち上げコストの減少から、数十から一万台超の人工衛星群（衛星コンステレーション）を用いた地球からの通信サービスや、高解像度カメラ衛星による宇宙からの監視サービスなど、これまで実現できなかったサービスの黎明期にあります。これらの人工衛星には軌道遷移・維持用に電気推進機が搭載されるはずで、電気推進機の高性能化研究は更に活発化すると考えられます。本講座が今後の先進計測開発の一助になれば幸いです。



くわ ほん だい すけ  
桑原 大介

中部大学 宇宙航空理工学科 講師。2012年  
東京工業大学総合理工学研究科博士（工  
学）。東京農工大学助教を経て2018年より  
現職。主に高周波プラズマ推進機とマイク  
ロ波計測器開発に従事。お腹が邪魔で靴下を履くのが辛く  
なったので、Nintendo Switch のエクササイズゲームで肉体  
改造を試みています。運動時間を掛けたくないで、負荷を  
強くするためにリストウエイトを増やすほど磨かれていく  
体…。鏡を見る時間が増えて風邪をひいてしまいそうです。

講座 宇宙機用電気推進機のための計測法

Probe Measurement Methods for Study of Electric Propulsion

[2020年11月号 掲載]

1. はじめに 桑原大介
2. 宇宙機用電気推進機のためのプローブ計測 渡邊裕樹

[2020年12月号 掲載]

3. 電気推進のための分光計測 月崎竜童, 山下祐介

[2021年1月号 掲載]

4. 宇宙機用電気推進機のための推力測定 各務 聡
5. おわりに 桑原大介