

観測ロケット S-520-27 号機搭載 FBP の校正試験

阿部 琢美 (宇宙航空研究開発機構)

1. はじめに

我々は宇宙科学研究所にある大型スペースチェンバーを用いて、観測ロケット搭載用測定器の開発を行っている。電離圏プラズマの観測を目的とするプローブはプラズマの基本パラメータである電子温度、電子密度等を測定する機器として古くから用いられてきたが、電離圏を飛行する観測ロケットや人工衛星に現在も搭載され貴重なデータを提供し続けている。

平成24年度は25年度夏期に打ち上げ予定の観測ロケット搭載S-520-27号機に搭載する固定バイアスプローブ (Fixed Bias Probe) を大型スペースサイエンスチェンバーに設置して飛行前の動作確認試験および校正用データの取得を行った。固定バイアスプローブは高サンプリングレートで飽和電子電流を測定し、電離圏中の微小スケールの電子密度擾乱の情報を得ることを目的としている。本稿ではこれらの試験の方法について説明するとともに結果について述べる。

2. S-520-27号機・S-310-42号機実験の目的と観測の概要

宇宙科学研究所は平成25年度夏期に2機のロケット (S-520-27号機 および S-310-42号機) を用いた実験を計画している。この実験の目的は2機のロケットにより電離圏E領域 (低高度) 及びF領域 (高高度) での観測を実行し、2つの領域間で生じる電氣的磁氣的な相互作用、および電離大気-中性大気間のエネルギー交換過程の全容を解明することにある。

2機の観測ロケットは短時間に連続して打上げられ、主としてS-310-42号機ロケットによりE領域を、S-520-27号機ロケットによりF領域を観測することになっている。

ロケットに搭載した観測機器は電子密度、温度、電界、磁界等に関してその場での直接観測が行

ない、併せてS-310-42号機とS-520-27号機のそれぞれのロケットから放出されたTMA、リチウムによる発光雲を地上及び航空機で観測することによって、中性風速を推測する。また、ロケットに搭載したビーコン送信機からの電波を地上で受信することによって、ロケットから地上までの全電子数観測を行う予定である。

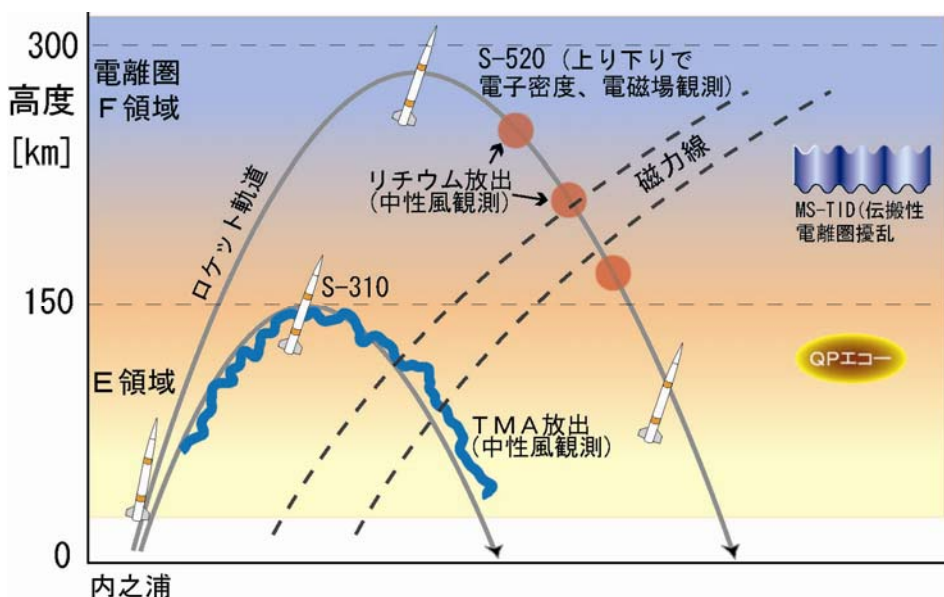


図1. 2機のロケット(S-520-27、S-310-42号機)を用いた実験の概念図

3. 固定バイアスプローブの概要

我々が観測ロケットS-520-27号機に搭載する固定バイアスプローブでは探針として直径3 cmの球型電極を用いている。電極に数Vの正電圧を印加した時に得られる飽和電子電流値は電子密度と電子温度の関数として表わされるが、ロケット飛翔中の微小時間では電子温度がほとんど変化しないと仮定すると電流値の変化は電子密度の変化量を表すこととなる。こうして、比較的小さな空間スケールでの電子密度擾乱に関する情報が得られることになる。通常、ロケットはプラズマに対して負に帯電し、プローブ電流値はこの電位の影響も受けるが、同様に微小時間ではほとんど電位の変動が無いと仮定すれば電子密度擾乱についての議論が可能になる。

S-520-27号機に搭載する固定バイアスプローブでは電子電流測定用とイオン電流測定用の2種類のプローブを用いることとした。2つのプローブはロケット頭胴部に搭載され、打ち上げ後のロケットノーズコーン開頭後にプラズマ中に露出され、測定を開始することになっている。固定バイアスプローブの主な諸元は次の通りである。

1) サンプリングレート

電子電流測定 FBP-1 L (低利得)、1 H (高利得) (3200 サンプル/秒)
イオン電流測定 FBP-2 L (低利得)、2 H (高利得) (3200 サンプル/秒)

2) 電流利得

電子電流測定 フルスケール FBP-1 L : $20 \mu\text{A}$ FBP-1 H : $1 \mu\text{A}$
イオン電流測定 フルスケール FBP-2 L : $0.2 \mu\text{A}$ FBP-2 H : $0.01 \mu\text{A}$

3) 印加電圧

FBP-1 : +4 V FBP-2 : -3 V

4) 校正信号

60秒に1回0.1秒毎に0 A, FBP-1のGain-Lのフルスケールの50%($10 \mu\text{A}$)、FBP-1のGain-Hのフルスケールの50%($0.5 \mu\text{A}$)、FBP-2のGain-Lのフルスケールの50%($0.1 \mu\text{A}$)、FBP-2のGain-Hのフルスケールの50%($0.005 \mu\text{A}$)を順次加える。

4. 大型スペースチェンバーでの性能確認/校正試験

大型スペースチェンバーを用いた固定バイアスプローブの性能確認試験、校正試験は次のようにして行う。

- 1) スペースチェンバー内に球形ラングミュアプローブ、固定バイアスプローブおよびプリアンプを設置し(図2参照)、チェンバー内を高真空にする。
- 2) 後方拡散型プラズマ源を用いて下部電離圏中の電子密度($N_e=10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$)に近いプラズマ環境を大型チェンバー内に生成する。
- 3) スペースチェンバーの外側の電気回路部からラングミュアプローブには三角波電圧、固定バイアスプローブの電子電流測定用プローブには正の一定電圧、イオン電流測定用プローブには負の一定電圧を印加し、出力電流情報を得る。この際、電流出力値はチェンバーのフランジを経由して取り出し、チェンバー外に設置したパソコンで取り込むようにする。
- 4) 球形ラングミュアプローブの電圧・電流特性から電子温度と電子密度を算出する。これらの値から固定バイアスプローブで得られるべき電子電流値を計算する。

5) 4) で計算から得られた電子電流値と固定バイアスプローブによる測定で得られた電流値を比較し、整合しているか否かの検討を行う。整合していない場合には、その差について考察する。

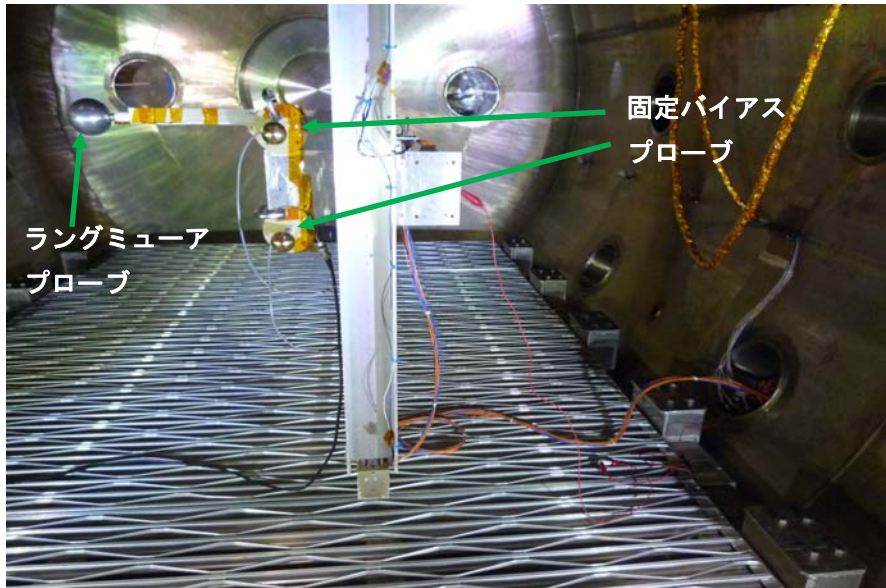


図2. 大型スペースチェンバー内の3軸可動アームに設置された固定バイアスプローブとラングミューアプローブ

5. 試験時に取得したデータとフィッティング

動作確認試験において得られたラングミューアプローブの電流電圧特性を図3に示す。図においては左右に並んだ2つのパネルがひとつのデータを構成し、左から1、3列目はプローブ電流を直接表示した(縦軸は任意スケール)もので、0は電流値が±0、電子電流をプラスの値に(マイナスの数値はイオン電流)とっている。イオン電流と考えられる部分には直線でフィッティングを行っている。右側の列は左側に示したプローブ電流から直線で近似したイオン電流

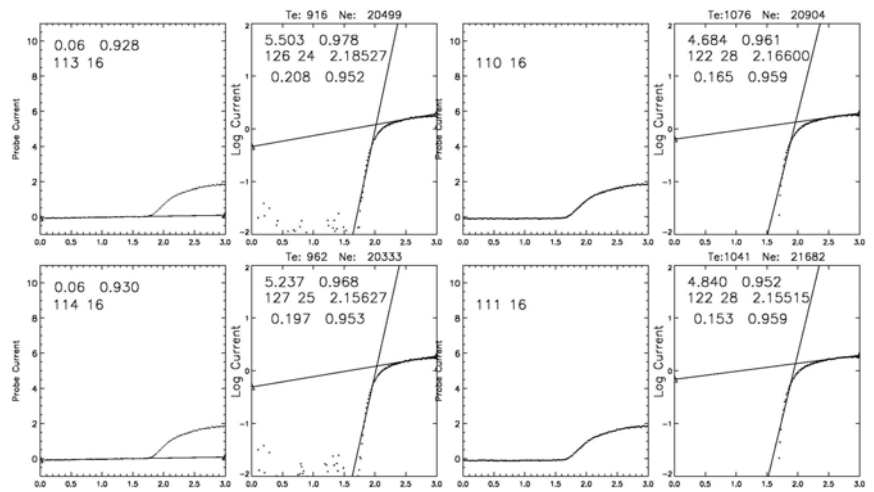


図3. チェンバーでの実験で得られたラングミューアプローブの電流電圧特性(横軸はスイープ電圧)

- 1、3列: プローブ電流のニアスケール表示。イオン電流に直線でフィッティングしている。
- 2、4列: 電子電流(プローブ電流からイオン電流を差し引いたもの)を縦軸対数スケールで表示。直線部分にフィッティングして求めた電子温度を上部に記した。

を差し引き、電子電流を対数目盛りで表示したものである。この図において直線部分にフィッティングした時の傾き(図に直線で表示)から電子温度(この場合約916 K, 1076 K等)が求められる。電子密度に関しては、電子密度の飽和電流付近にフィッティングした直線と電子温度を求める際にフィッティングした直線との交点における電流値から求めるという方法を用いた。これらの直線が

各々の図に描かれている。このようにして求められた電子密度、電子温度をもとに、固定バイアスプローブによって得られるべき電流値を推定することが出来る。

6. 固定バイアスプローブ電流値の計算値と測定値の比較

ラングミューアプローブの測定から得られた電圧電流特性から電子温度と電子密度を推定すると、固定バイアスプローブへ流入する電子電流の理論値を計算できる。但し、固定バイアスプローブでは電子電流測定用に+4V、イオン電流測定用に-3Vを印加しているため、測定される電流値は熱拡散電流ではなくプローブ表面に出来るシースの厚みの増加を考慮したものでなくてはならない。また、固定バイアスプローブはチェンバーに対して負の電位をもっていると考えられるが、ここでは-2Vに沈んでいると仮定した。表1にそのようにして求めた固定バイアスプローブの電子電流値の理論値と実際に測定された電流値を示す。

測定時刻	LP 測定からの電子温度	LP 測定からの電子密度	熱拡散電流 (μA)	$V_p=4V$ を考慮した場合の固定バイアスプローブの電子電流値	FBP 電子電流値 ($V_p=4V$)
12:05	790	1.40E+05	2.7631	6.108	5.56
12:09	790	1.12E+05	2.2152	4.972	5.24
12:14	820	6.20E+04	1.2483	2.974	2.60
12:18	810	5.42E+04	1.0855	2.941	2.24
12:21	1060	4.51E+04	1.0328	1.978	2.04
12:25	1020	2.32E+04	0.5223	0.893	0.80
12:30	940	2.04E+04	0.4397	0.968	0.88
12:37	1022	1.88E+04	0.4234	0.906	0.84
12:46	1010	1.83E+04	0.4093	0.853	0.76

表1. ラングミューアプローブ測定により求められた電子温度、電子密度、固定バイアスプローブ電流の理論値と測定値

表1に示された電子電流値を比較すると理論値と測定値が近いことから、固定バイアスプローブは正しい電流値を測定していることが確認された。完全には一致せず10~15%程度の差が見られる点については、固定バイアスプローブの電位がチェンバーに対して-2V帯電しているとした仮定の妥当性にあるかもしれない。この点については今後更に検討の必要がある。

7. まとめ

我々は大型スペースチェンバーを用いて観測ロケットに搭載する電離圏プラズマ測定用ラングミューアプローブや固定バイアスプローブの機能確認試験を行っている。本報告は平成25年夏に打ち上げ予定の観測ロケットに搭載する固定バイアスプローブの試験に関するものである。チェンバーを用いた試験は機能確認の目的の他、測定精度のクロスチェックにも有用である。今後も飛翔体に搭載する多様な測定器の試験を本設備を用いて行いたいと考えている。