

電離層プラズマ計測のための高速掃引シングルプローブ法と

トリプルプローブ法の比較

長谷波 秀一(北里大学大学院)

田中 孝治(宇宙科学研究所)、黒田圭司(北里大学)、万戸雄輝(総合研究大学院大学)

1. はじめに

我々のグループでは、テザー型 SPS(Solar Power Satellite)の研究を行っている。SPS は、1968 年に Peter Glaser によって提案され、エネルギー問題を解決する手段の一つとして期待されている。現在日本で研究されているテザー型 SPS とは、静止軌道に $2.5\text{km} \times 2.45\text{km}$ の太陽光発電所を作り、そこで発電した電力をマイクロ波に変換して地上の受電施設に送電し、受電施設でマイクロ波から電力に変換して地上でその電力を使用するという構想の衛星である。図 1 に SPS の概念図を示す。使用するマイクロ波の周波数は 5.8GHz 、電力密度は約 1kW/m^2 を想定している。これは、従来の宇宙環境における通信システムの電力密度と大きく異なるため検証が必要である。SPS の実現に向けた宇宙実験の初期段階では、SPS の無線電力伝送における方向探知、方向制御技術の検証や電力伝送への宇宙環境の影響検証が重要となる。特に、宇宙におけるマイクロ波電力伝送に関する懸念はマイクロ波と電離層との相互作用である、マイクロ波と電離層プラズマの引き起こす相互作用は、マイクロ波の屈折、ファラデー回転、シンチレーション、吸収などが起こると予想されている。また、マイクロ波が大電力になると非線形相互作用が起こると予測されている。非線形相互作用は、プラズマのオーム加熱、低周波静電波動の励起現象、マイクロ波のフィラメンテーション不安定、プラズマの穴あき現象などが起こると予測されている。この非線形相互作用を観測するために、1983 年に ISAS、京都大学、神戸大学が電離層での MINIX ロケット実験を行った。この実験でプラズマ中に MHz 帯の低周波プラズマ波動の励起が確認されたが、その定量的評価には至っていない[1]。そのため SPS の実現に向けて、大電力マイクロ波とプラズマの起こす非線形相互作用が SPS のシステムに及ぼす影響を早期に検討することが重要となる。非

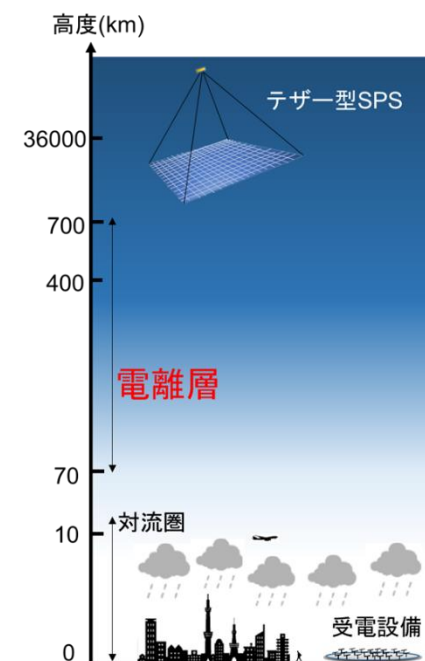


図 1. SPS 概念図

線形相互作用の影響を検討するためには、MINIX ロケット実験と同様に電離層での観測ロケット等を用いた実験を行い、SPS への影響また環境に及ぼす影響を検討する必要がある。そして、観測ロケット実験を行う前には、事前に室内実験で電離層を模擬した空間を作り、そこにマイクロ波を照射することで非線形相互作用の影響の検討をしておく必要がある。

本実験は、電離層観測を行うためのプローブやセンサーの知見を得ることを目的に、高速掃引シングルプローブ法とトリプルプローブ法の比較を行った。

2. 方法

宇宙科学研究所のスペースチャンバを用いて実験を行った。図 2 にスペースチャンバの概念図を示す。ドライポンプとターボ分子ポンプを用いてチャンバ内の真空度を $7.0 \times 10^{-5} Pa$ 程度まで下げた後、真空度が $7.0 \times 10^{-3} Pa$ 程度になるまで Ar ガスを導入する。その後、後方拡散プラズマ源のヒーター電流を 46A、プレート電圧を 200V、グリッド電圧を 180V に設定してプラズマ源を作動させる。室内実験で使用するマグネトロンは、周波数 5.8GHz のマイクロ波を発振でき、パルスでの最大出力は 2.5kW、パルス幅は 50ms から 250ms まで 50ms 間隔で発振することが出来る。

プラズマ測定の方法としては、シングルプローブ法とトリプルプローブ法を用いた。今後、マイクロ波照射中のプラズマパラメータの変化を測定していくため、シングルプローブ法の電圧掃引をファンクションジェネレータ(FG)で行うことで、パルス照射中に複数のプラズマパラメータを得ることを試みる。そのため今回は、電圧を手動で掃引したシングルプローブ法と FG で電圧掃引を行ったシングルプローブ法で得られたプラズマパラメータを比較した。また、その結果をトリプルプローブ法で得られた結果と比較した。シングルプローブは球プローブと平板プローブの二種類を使用した。球プローブには直径 2cm の金属球、平板プローブには直径 6mm の円盤を用いた。トリプルプローブは長さ 1cm、半径 0.04cm の円柱を用いた。図 3 にシングルプローブ法の回路図、図 4 にトリプルプローブ法の回路図を示す。

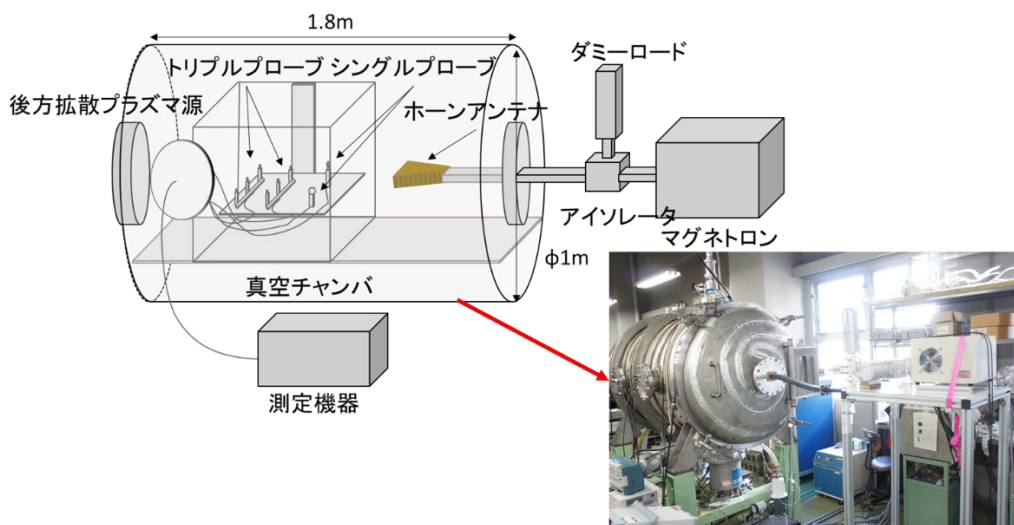


図 2. スペースチャンバの実験セットアップ概念図

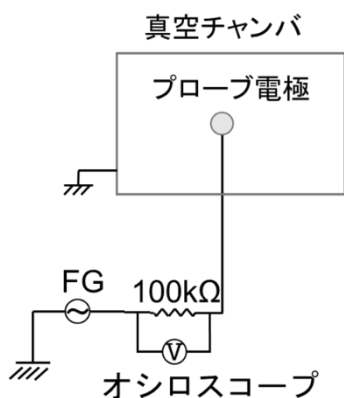


図 3. 高速掃引シングルプローブ法回路図

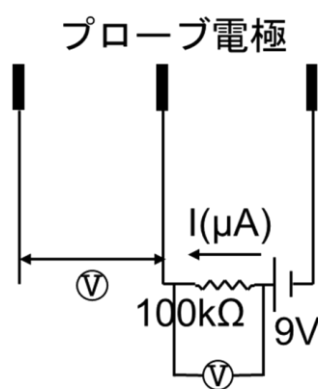


図 4. トリプルプローブ法回路図

3. 結果・考察

図 5 に手動で電圧掃引を行ったシングルプローブ法で得られた I-V グラフを示す。電源には安定化電源を用いて $\pm 50\text{V}$ を掃引した。また、図 6 に FG で電圧掃引を行ったシングルプローブ法で得られた I-V グラフを示す。FG で $\pm 2\text{V}$ を約 20Hz で掃引した。同様に外装補正を行うことでプラズマパラメータの算出を行った。上述の 2 種類のシングルプローブ法とトリプルプローブ法で電子温度 $T_e(\text{eV})$ と電子密度 $N_e(\text{cm}^{-3})$ の算出を行った。その結果を表 1 に示す。2 種類のシングルプローブ法で得られた結果を比較すると、電子温度及び電子密度は共に比較的近い値が得られた。一方でトリプルプローブ法とシングルプローブ法で得られた結果を比較すると電子温度は 0.6eV 程度、電子密度は $7 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ 程度差が現れることが分かった。

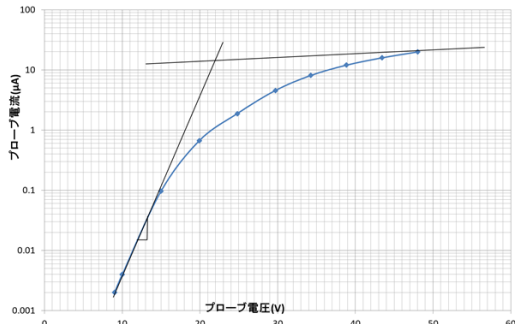


図 5. 安定化電源の手動掃引により得られた電流電圧特性

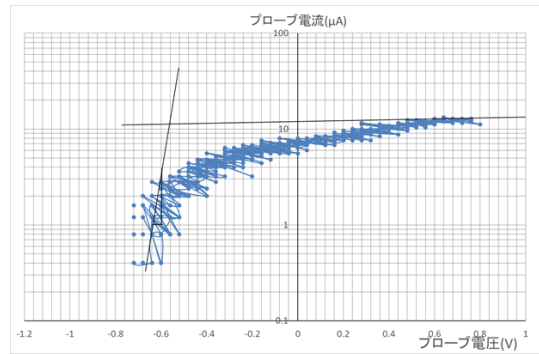


図 6. FG の高速掃引により得られた電流電圧特性

表 1. シングルプローブ法とトリプルプローブ法の結果比較

	Te(eV)	Ne(cm ⁻³)
手動掃引シングルプローブ法	1.2	4.64.E+05
高速掃引シングルプローブ法	1	4.07.E+05
トリプルプローブ法	0.5	1.51.E+06

4. まとめ

電離層観測を行うためのプローブやセンサーの知見を得ることを目的に、中型チャンバを用いて高速掃引シングルプローブ法とトリプルプローブ法の比較を行った。

シングルプローブ法において、手動で電圧掃引を行った場合と FG で高速で電圧掃引 (20Hz) を行った結果、両者ともに近いプラズマ諸量が得られた。一方、トリプルプローブ法により得られた結果とは電子温度は 0.6eV 程度、電子密度は $7 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$ 程度の違いが生じた。

今後、シングルプローブ法とトリプルプローブ法で得られた結果の違いの要因や FG を用いた高速掃引の周波数を変えて、プローブ法が適用できる静的条件についても明らかにする。

参考文献

- [1] 篠原真毅, 「現代電子情報通信選書『知識の森』宇宙太陽発電」, オーム社, 2012, pp.150-161