

UHR 周波数自動検出型インピーダンス・プローブの開発経過

Development of new type impedance probe with continuous detection of the UHR frequency

若林 誠 [1]; 小野 高幸 [1]

Makoto Wakabayashi[1]; Takayuki Ono[1]

[1] 東北大・理

[1] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.

インピーダンス・プローブは Oya[1966] による開発以来、観測ロケットや科学衛星に多く搭載され、現在に至るまで電子密度の絶対値を高精度で計測してきた実績を持つ装置である。現在、インピーダンス・プローブの時間分解能の大幅な向上と、UHR 周波数自動計測化に向けた改良を行っており、本発表では開発経過について報告する。

インピーダンス・プローブはプラズマ中に伸展した導体プローブの等価容量を広帯域で計測し、周辺プラズマの UHR 周波数を決定することで、電子密度の絶対値を得る装置である。この手法は、電子温度やプローブの形状、ポテンシャルなどの影響を受けずに、電子の絶対密度を計測できる点が特徴である。1996 年までは開発当時とほぼ同様の回路構成が使用されてきたが [Yamamoto et al., 1998]、2002 年の S310-31,32 号機搭載インピーダンス・プローブにおいては、プローブに印加する高周波電界の周波数を DDS(Direct Digital Synthesizer) によるデジタル制御とする等、最近のデバイスを用いた改良が施され、回路の安定性や調整作業の能率を飛躍的に向上させることに成功した [Wakabayashi et al., 2005]。インピーダンス・プローブはその原理上、回路内部で周波数を広帯域にわたって掃引する必要があるため、時間分解能としては 500ms 程度が従来の限界値であった。この時間分解能は観測ロケット搭載時では約 500m の高度分解能に相当し、sporadic-E 層の様に厚さ 1km スケールの構造を計測するには不足となる場合が生じる。また、70 年代の衛星観測においてはテレメータ資源節約の必要上、UHR 周波数の自動検出が試みられたが、衛星本体からのノイズや周辺プラズマを伝播する静電波等の影響によって UHR 周波数の誤検出が起きるといった問題が残されていた。

一方で、インピーダンス・プローブと同様の原理によるプラズマ密度計測は、アメリカやドイツにおいて行われており、Baker et al. [1985] は Phase-Locked Loop (PLL) を用いた UHR 周波数連続検出により、1ms 程度の高時間分解能を実現している。Steigies et al. [2000] は DDS 及び A/D コンバータを用いて掃引する周波数帯を限定し、40ms 程度の時間分解能を達成している。これらの方法は UHR 周波数、もしくはその周辺の周波数だけを選択的に読み取り、テレメータ伝送することによって高い時間分解能を実現させている。我国におけるインピーダンス・プローブは周波数掃引型であるため、時間分解能が 500ms となる代わりに観測周波数帯全体のインピーダンス変化をとらえており、UHR 周波数だけでなく SHR 周波数やシース容量値といった他のパラメータを参照することで、プラズマの温度情報が取得可能な他、UHR 周波数が計測範囲を超えてしまった場合や、ロケットポテンシャルが大きく変化した場合におけるプラズマ観測状況をも明らかにすることができる点が有利である [Wakabayashi and Ono, 2006]。今後インピーダンス・プローブによる計測の応用範囲を更に拡張してゆく上で、時間分解能の向上と UHR 周波数の自動検出は必要不可欠な技術であると考えられる。

こういった背景を踏まえ、インピーダンス・プローブによる電子密度計測は現在、高時間分解能化と自動計測化を目指している。具体的な方法としては、Micro-controller と DDS を用いた Digital-PLL 回路を応用することで、周波数の掃引がほぼ必要なくなり、UHR 周波数の連続検出が期待できる。

2006 年の 9 月以降、LC 共振回路による計測試験と、スペースチェンバー内での計測において、UHR 周波数の連続検出が確認できている。時間分解能の定量的な評価を今後行っていく必要があるが、チェンバー内での計測試験においては標準型のインピーダンス・プローブに対して最大で 11 % 程度の誤差で計測可能であることを確認しており、本発表ではこれらの結果に関して詳細に報告する。