

## UHR 周波数自動検出による新型インピーダンス・プローブの開発

## 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.

宇宙空間プラズマ中の電子密度は、特性周波数やデバイ長といったプラズマ特性量を評価する上で極めて重要なパラメータであり、これまで複数の計測手法が開発されている。その中でもインピーダンス・プローブはプラズマ中の電子密度の絶対値を決定できる唯一の測定手法として、これまで宇宙飛行体を用いた観測に多く用いられ、例えば中緯度域スボラディック E 層を対象にしたロケット実験 SEEK-2[Wakabayashi et al., 2005; Wakabayashi and Ono, 2005] 等において、大きな成果を挙げてきた。

しかし、インピーダンス・プローブはその測定原理上、導体プローブに高周波電界を印加し、計測周波数を掃引することにより等価インピーダンスの周波数特性を得て UHR 周波数を同定するため、周波数掃引に必要な時間 (約 500ms) がその時間分解能を決定していた。これは観測ロケット (速度約 1000 m/s で飛行) に搭載された場合を考えると、空間分解能で 500m 程度に相当し、スボラディック E 層などの厚さ 1km 程度の構造の内部における電子密度分布を調べるには不十分な場合が生じる。このような場合、従来は DC 電界を印加したラングミュア・プローブを併用して微細な密度構造を検出していた [Wakabayashi et al., 2005] が、ラングミュア・プローブは電子密度のみならず電子温度などの要因によって、その等価プローブ面積が変動するため、観測されている数 m スケールの変動が、密度によるものか温度によるものか厳密な判断が困難な場合がある。近年の中緯度域スボラディック E 層研究においては、層の内部に大気重力波 [Onoma et al., 2005]、ケルビン・ヘルムホルツ不安定性 [Bernhardt, 2002] もしくはスボラディック E 不安定性 [Tsunoda and Cosgrove, 2004] による急激な密度勾配が生じている事が示唆されている。また、スボラディック E 層に伴って VHF レーダーで観測される「準周期エコー」 [Yamamoto et al., 1991] も、スボラディック E 層内部の数~十数 m スケールでの密度構造を反映したものである [Yamamoto et al., 2005]。従って、今後のスボラディック E 層研究においては、層の内部で直接に絶対密度を非常に高い分解能で計測し、その微細構造を詳細に検証することが必要であると考えられ、これは数 m スケールで電子密度を決定することの必要性を示す、一つの良い例である。

そこで、我々は従来のインピーダンス・プローブを改良し、高時間分解能化を図っている。これまでのインピーダンス・プローブでは、プラズマ中に伸展した導体棒に高周波電界を印加し、導体棒の等価インピーダンスを測定することで周辺プラズマの UHR 周波数を決定した [Oya and Obayashi, 1967 等]。宇宙空間プラズマ中に伸展されたプローブのインピーダンスは、プローブ自体の持つ等価容量  $C_a$  とプラズマの持つ等価インダクタンス  $L_p$ 、プローブ周辺に形成されるシースの持つ等価容量  $C_s$  の間の共振回路で模擬されるが、ここで UHR 周波数は  $C_a$  と  $L_p$  の並列共振周波数に相当する。UHR 周波数ではインピーダンスは最大になり、従来はこの等価容量値が 0 となる周波数を検出することによって、UHR 周波数を決定していたが、この UHR 周波数検出に位相変化を併用することで、連続的に UHR 周波数を追跡する事が可能となる。LC 並列共振回路では、共振周波数となるときに位相が 90 度ずれることは良く知られた事実であるが、Oya and Obayashi [1967] では、ロケットの機上においてもそのような位相のシフトが観測されている。この事を利用し、回路に PLL (Phase Locked Loop) を応用することで、位相が 90°シフトする周波数のみ選択する、つまり周波数掃引を行わずに UHR 周波数を連続的かつ自動的に検出可能となる事が本研究の目的となる。この方法であれば時間分解能で数 ms 程度 (ロケット搭載時の空間分解能で数 m に相当) が実現されると思われ、現在はその準備段階として、宇宙科学研究本部のスペース・サイエンスチャンバーを用いて電子密度の連続計測を実証できるインピーダンス・プローブを作成中である。位相変化により UHR 周波数を決定するタイプはこのシステムを用いて開発されるが、このシステムは新規開発のみならず従来の手法 (インピーダンスの振幅を利用する) を用いた電子密度自動計測を可能とし、任意のチャンパー利用者に対して、電子密度パラメータを提供するものとして運用が可能であることを目指している。本発表では、このシステム開発の経過を詳しく報告する。