

## 位相検出型インピーダンス・プローブの性能評価

# 若林 誠 [1]; 小野 高幸 [2]; 鈴木 朋憲 [3]

[1] 新居浜高専 電気情報工学科; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地球物理

### Spatial and temporal resolutions of phase detection type impedance probe

# Makoto Wakabayashi[1]; Takayuki Ono[2]; Tomonori Suzuki[3]

[1] Niihama-N.C.T.; [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Dep. of Geophys, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.

The impedance probe has been used for over 40 years, to obtain the absolute value of electron density in space plasma with high accuracy (Oya, 1966). In association with two campaign observations, in-situ measurements of electron density by using impedance probe have been successfully carried out. Moreover, a phase detection type impedance probe method has been developed to realize a continuous observation of the plasma density.

In the previous instrumentation for the in-situ observations such as SEEK-2 in 2002 and DELTA in 2004 (namely, ordinary type impedance probe), the impedance probe showed an observation limit that it could not detect the fine structure of plasma irregularity due to the plasma instabilities. Detection of fine structure of the plasma density becomes very much important to understand the physical processes generated in the ionosphere. So, accurate observation of fine structure of plasma distribution with absolute value is essential to study the electro-dynamics in the ionosphere.

We tried to develop the phase detection type impedance probe by using PLL (Phase Locked Loop) method. The methodology of phase detection type was confirmed in laboratory and space science chamber. Based on these experiments, we clarified that it was possible to detect the phase shift at UHR and SHR frequencies. However, in the space chamber experiment, the phase shift showed difference from the simulation results by using LC resonant circuit in the laboratory experiment. Also the results of simulation by using the Micro-Cap V CQ suggested that this difference seemed to be due to the collision effect in space chamber. Quantitative evaluation about the collision effect should be examined in future works. Finally, we achieved to make the continuous detection of UHR frequency by using the PLL operation. In comparison with the ordinary type impedance probe, it was shown that the locked frequency changed in correspondence with the electron density variation inside the space chamber. The UHR frequency indicated by phase detection mode showed lower value (11 % at most) than the UHR detected by the swept frequency mode. It is also needed to evaluate the time resolution of UHR frequency for development works in the near future. As it has been discussed in this thesis, further extended physical quantities of space plasma are possible to be measured by using the method of the impedance probe.

インピーダンス・プローブは、観測ロケットや衛星軌道上の電子密度を $\pm 3\%$ の高精度で計測できる手段として、日本を主とした飛翔体観測で頻繁に用いられている。その草分けとなったのは Oya[1966] による開発であるが、現在に至るまでほぼ同様の回路構成が用いられてきた。我々は昨年度よりインピーダンス・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大幅な改良を行っており、現在はその原理的な実証に加えて、電子密度の測定精度（現状では約 11%）および高い時間分解能（約 6.25ms）の見積もりが得られている。今後も飛翔体搭載型の開発・実用化に向けて更なる改良を重ねて行くが、本発表では開発の現状と期待される性能について評価する。

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の改良が施され、回路の安定性及び調整作業の能率を飛躍的に向上させている [Wakabayashi et al., 2005]。インピーダンス・プローブは回路内部で広帯域にわたって周波数掃引を行う必要があるため、時間分解能としては 500ms 程度が限界値であった。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。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、高時間分解能化及び自動計測化を目指しており、具体的な方法としては Phase Locked Loop (PLL) を Micro-controller と DDS を用いて構成し、UHR 周波数の値のみを連続的に出力させる仕組みを実現させつつある。2007 年 4 月以降の実験において、一定の UHR 周波数を検出した場合の時間分解能は約 6.25ms と見積もる事ができた。ロケット飛翔中においては高度差 500m の間に UHR 周波数が数 MHz 変化する場合があり、そういった急激な電子密度勾配に対する高速応答が求められる。回路の応答速度の評価において、PLL 回路に用いるループフィルタの再設計を行い、ループの更なる最適化を施しており、本発表ではこれらの結果に関して報告し、期待される性能について評価を行う。