

## 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

# 若林 誠 [1]; 小野 高幸 [1]  
[1] 東北大・理

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

# Makoto Wakabayashi[1]; Takayuki Ono[1]  
[1] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.

Electron density is one of the most important parameters of the space plasma to identify the characteristic frequencies, Debye length, and other physical quantities. The impedance probe is the unique method to identify the absolute electron density in space plasma [e.g., Oya and Obayashi, 1967]. Impedance probe have been used in many rockets and satellites observations since its development by Oya [1966].

The impedance probe makes it possible to obtain the frequency dependence of a probe impedance in plasma. We adopted Direct Digital Synthesizer (DDS) to the circuit for the instrumentation of the SEEK-2 campaign in 2002. This improvement contributed to stabilize the electrical circuit and simplified the adjustment routine with reducing the requirement of telemetry resource [Wakabayashi et al., 2005].

However, time resolution of the impedance probe measurement is limited as  $\sim 500$  ms because it needs the swept RF signal added to the sensor. Sometimes the time resolution is too long to measure the fine structure of a sporadic-E layer with the thickness less than 1 km. In such case, Langmuir probe with DC voltage have been used to detect the fine structures, however, this method sometimes has difficulty because the effective probe area size has dependence on not only the plasma densities but also temperatures and probe potential immersed in plasma. This fact is preventing us from proper understanding of the plasma fine structure.

Some trials to achieve high time resolution of impedance probe measurement for the rocket observation have been reported by some groups in the United States and Germany. Baker et al. [1985] adopted the Phase-Locked Loop to track the Upper Hybrid Resonance frequency automatically. This system can realize about 1 ms time resolution. On the other hand, Steigies et al. [2000] adopted the DDS and A/D converter to limit the frequency bandwidth near the UHR frequency. This method can also observe the UHR frequency with the time resolution about 40 ms. There are many merits to obtain the frequency dependence of the probe in full bandwidth with taking 500 ms (e.g., Wakabayashi and Ono, 2006, (in press)), however, fast observation technique of impedance probe is needed to extend the application of this method.

We are developing a new instrumentation of the impedance probe to achieve high time resolution by means of phase detection. Oya and Obayashi [1967] reported that the phase of probe signal has 90 degree displacements when the RF frequency was equal to the UHR frequency. When we take into account the phase of the probe signal, it becomes possible to detect the UHR frequency within ms order. By developing the digital Phase-Locked Loop method, we aim to realize further advantage of the impedance probe technique for the plasma diagnosis.

As the initial step in this development, we are preparing the impedance probe system to measure the electron density distribution in the space science chamber at ISAS/JAXA. The system configuration and initial results obtained in the space chamber will be discussed in this presentation.

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、本発表ではその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、その周波数特性によって周辺プラズマの 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り、国内では Oya[1966] による開発以降「あけぼの」「おおぞら」等の科学衛星や、S310, S520 観測ロケット等に搭載され、多くの成果を挙げている [e.g., Oya et al., 1990]。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、最新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効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電磁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が、衛星観測への応用などの展開はまだ進んでいない。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; in press]。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今後、高時間分解能化と自動計測化を目指す。具体的な方法としては、位相による UHR 周波数の決定であり、これに Micro-controller と DDS を用いた Digital-PLL を構成することで、周波数の掃引がほぼ必要なくなり、時間分解能の大幅な向上が期待できる。この仕組みはアナログ回路技術で PLL を用いた事例 [Baker et al. 1985] と原理は似ているが、本研究においては更なるデジタル制御化が進むことになる。現在は計測用 Micro-controller に含まれている A/D 変換回路を用いているため、A/D 変換に 0.04ms 程度かかり、観測における時間分解能はこの A/D 変換速度に依存すると思われるが、今後高速の A/D コンバータを用いる事で、更に高速なシステムがデジタル制御によって構築できることが期待される。

本発表ではこの位相検出型インピーダンス・プローブのシステム構成と、大型スペースチェンバーを用いた初期的な観測試験の結果について報告する。