

差動レゾナンスプローブの研究*

南 繁 行**・竹 屋 芳 夫**

Study of Resonance Probe

By

Shigeyuki MINAMI and Yoshio TAKEYA

Abstract : A resonance probe in order to measure electron density in plasma is improved recently. It is called differential resonance probe which has a pair of antennas. An accurate electron density probe such as impedance probe is used for ionospheric observation. Comparisons of these two type probes are done using space simulation chamber. Accurate properties of resonance probe are found.

This paper deals with some problems of measurement of electron density in the ionosphere by the two probes. Design of electron density probes for sounding rocket S310 type is shown too.

概 要

差動レゾナンスプローブが開発され、その精度が良いことがチャンバ実験でインピーダンスプローブとの比較により確められた。本論文では、ロケットにより比較実験を行ない電子密度測定精度に関する資料を得るために計画された実験について取扱う。

1. ま え が き

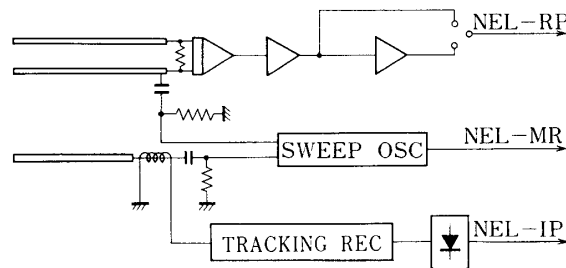
さきに電子密度の測定のためレゾナンスプローブに改良を加えた差動レゾナンスプローブについてその特性を紹介した [1] [2]。更に、別の電子密度測定法との比較がなされ、実験結果を検討するとともに、ロケットによる電子密度測定における問題点を解決する方法について理論的にも考察した [3]。このうち相互比較実験をスペースチャンバで行なった結果では、レゾナンスプローブのデカップ周波数がプラズマの上部ハイブリッド共鳴 (UHR) 周波数になることがインピーダンスプローブと対応して確められた。本文においては、特に S 310 型ロケットに搭載するために設計したレゾナンスプローブ及び比較のために用いられるインピーダンスプローブをもつ電子密度測定について述べる。ロケット実験に先だち両者の比較を行なうきっかけとなったプローブ基部付近のシースの及ぼす影響についての若干の検討を行なう。また差動レゾナンスプローブのもつヒステリシス特性についても言及する。

* 宇宙研特別事業費による論文

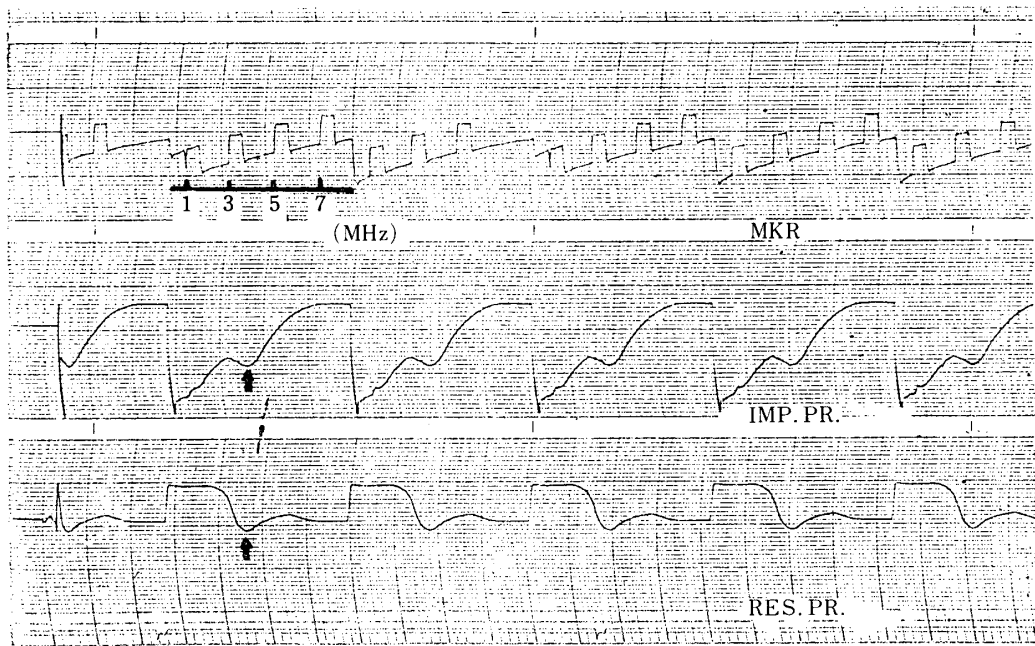
** 大阪市大工学部

2. ロケット搭載電子密度測定器について

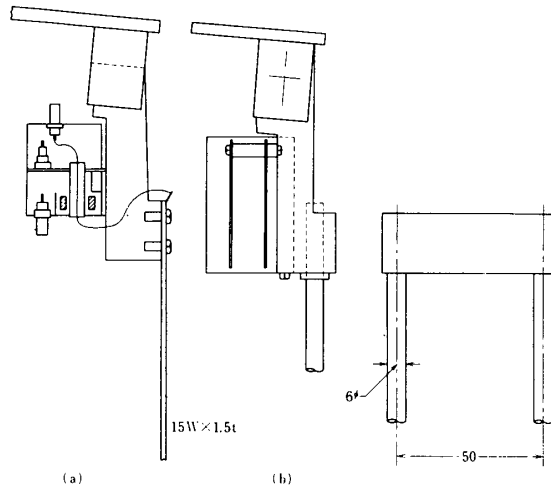
S 310型ロケットでは、レゾナンスプローブ及びインピーダンスプローブを同時に搭載して、特にアンテナ基部まわりのシースが電子密度測定に及ぼす影響についてしらべることを目的としている。その装置は第1図にブロック図で示したように1対のプローブをもつレゾナンスプローブ（長さ500mm 径6mm）と、モノポールアンテナをもつインピーダンスプローブ（長さ500mm）をセンサーとして、高周波掃引及び受信部を含むプラズマの高周波プローブである。高周波は0.2Vrmsが印加され、レゾナンスプローブは、利得が切換られ、インピーダンスプローブでは、カレントトランスを用い、検出信号は、80 dBの対数圧縮で処理される。おのおのの特性のディップ周波数をUHR周波数とみなして電子密度を算出する。なおチャンバシュミレーションで得られた信号の1例を第2図に示す。ここで上からマーカー、インピーダンスプローブ信号そしてレゾナンスプローブ信号である。図中矢印がUHRを示す第3図にアンテナの概略を示す。



第1図 電子密度測定器のブロック図



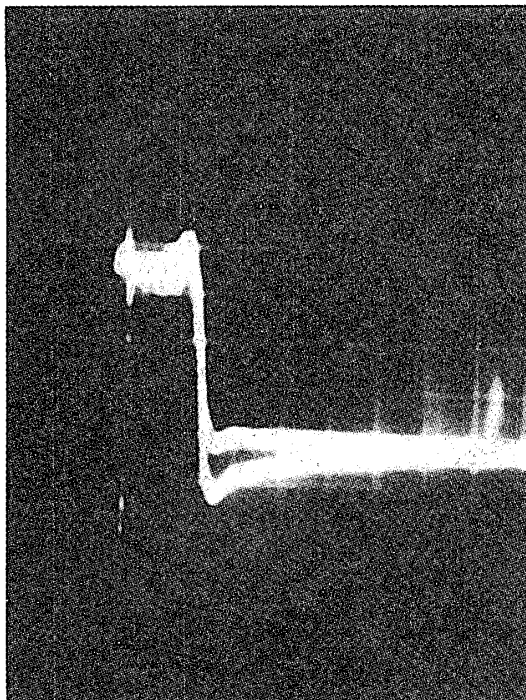
第2図 プラズマ中での特性例



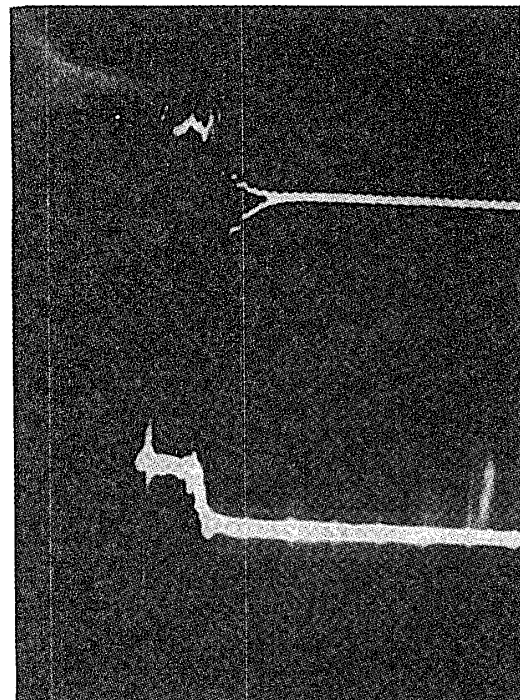
第3図 アンテナの概略図
 (a) インピーダンスプローブ (b) レゾナンスプローブ

3. レゾナンスプローブのヒステリシス特性について

レゾナンスプローブは、直流電位の変化を検出する方法をもちいている。この場合周波数

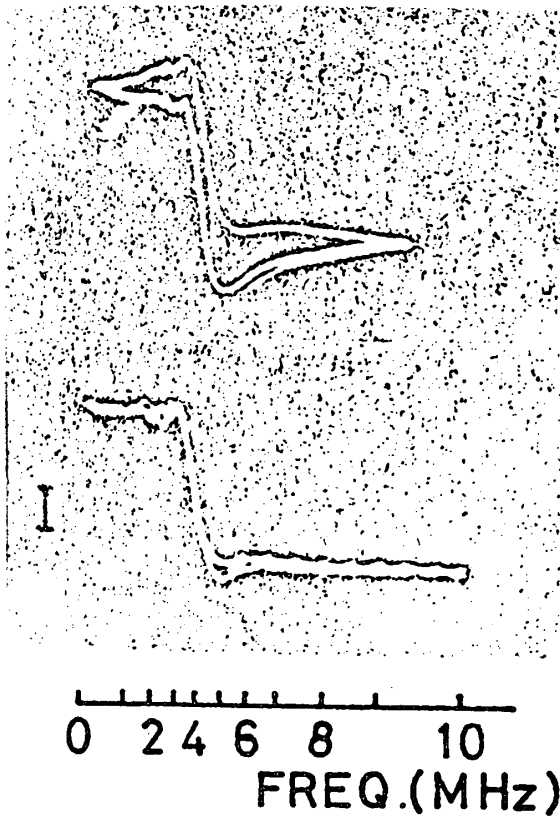


第4図 レゾナンスプローブのヒステリシスの例
 掃引時間往復20秒
 横軸 1MHz/d

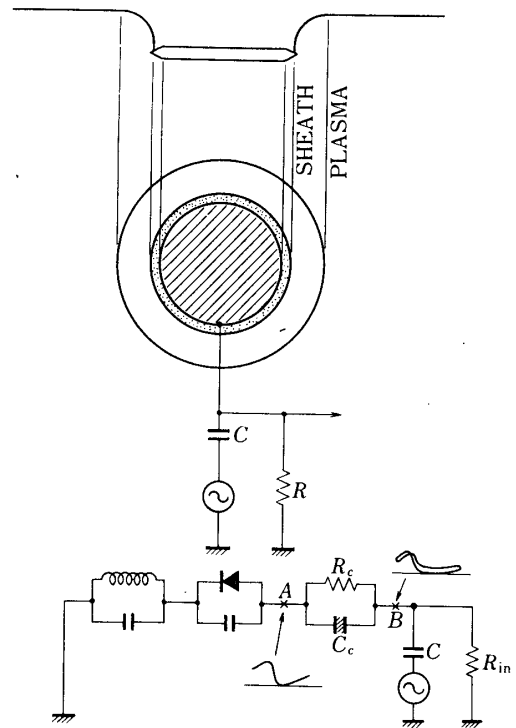


第5図 比較的低密度の場合のヒステリシスの例
 (上) 1.5秒で掃引
 大きなヒステリシスがあらわれている
 (下) 20秒で掃引 ヒステリシスのない特性
 横軸 1MHz/d 電子密度 5×10^3 el/cc

を低い方から高い方へ掃引する場合と、その逆の場合で、測定された特性が異なることがある。その1例を第4図に示す。この特性は、また電子密度にも依存し、掃引時間が第5図のように往復20秒かけた場合ヒステリシスがないのに比べ、1.5秒程度では著しいヒステリシスが見られる。また第6図に示すように掃引を速くおこなってもヒステリシスがなくなることがわかる。この場合デュープ周波数は0.6秒と6秒いずれの場合でも検出可能であるけれども常にヒステリシスのない特性を得るには寧ろ速く掃引する方がよいことがわかる。この理由は、ラングミュアプローブにおけるヒステリシス特性でいわれているよごれの層を考えると以下のように説明できる[4]。すなわちプローブ系の等価回路を第7図で表わすとき、プローブに容量Cを通して高周波電圧を印加することにより非線型整流された直流電圧(電流)の変動は最初A点でおこりそのあと、よごれの層および検出部のインピーダンスで定まる時定数で位相遅れをともなって信号として検出されるためである。このヒステリシスを小さくするためには、よごれを極力なくすることは勿論であるが、掃引くり返しを十分遅くするか適度に速くすればよい。なお通常のシングルプローブでレゾナンス(反共振)の検出がむづかしいのは、検出部の入力抵抗 R_{in} を小さくして電流モードで測定するために、整流電流が R_c 、及びプラズマ抵抗を通じて C_c に完全に充電されたのちに検出部に伝わる効果が存在することも理由となっていると考えられる。



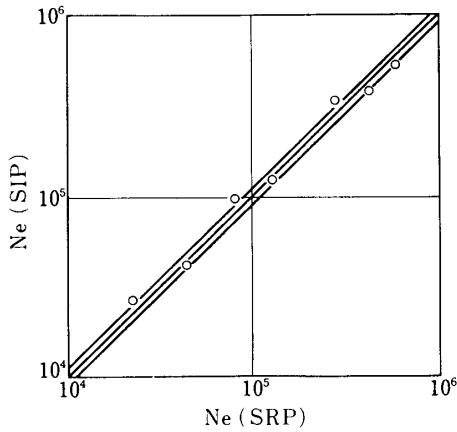
第6図 比較的高い密度の時のヒステリシス例
 (上) 掃引時間 6秒
 (下) 掃引時間 0.6秒



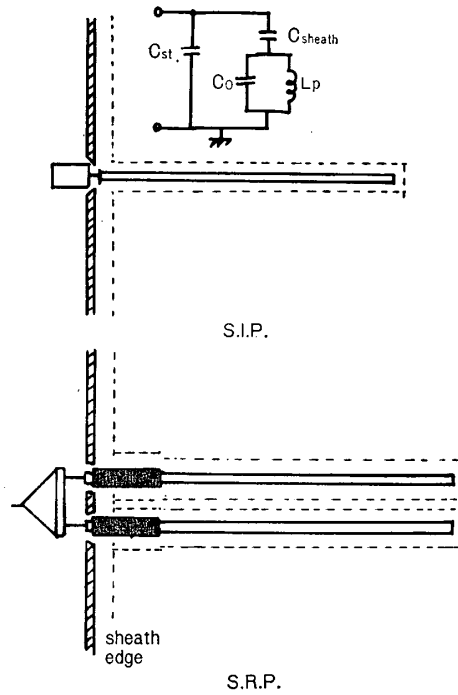
第7図 レゾナンスプローブの等価回路

4. レゾナンスプローブとインピーダンスプローブの比較実験について

同じ高周波掃引プローブである2つのプローブで得られた電子密度は、第8図に示すようにはほぼ10%以内の誤差で一致することが地上実験でわかった。ところでロケットに搭載されたインピーダンスプローブは、アンテナ基部に生じたシースによるストレー容量のため測定値が変化することが指摘されている [5] [2]。レゾナンスプローブは、基部付近を第9図のように絶縁物でおおい直流電流をとらないようにすれば、この種の誤差が入ってこないのので、2つの方法のちがいが精密に比較できよう。



第8図 電子密度の比較実験結果

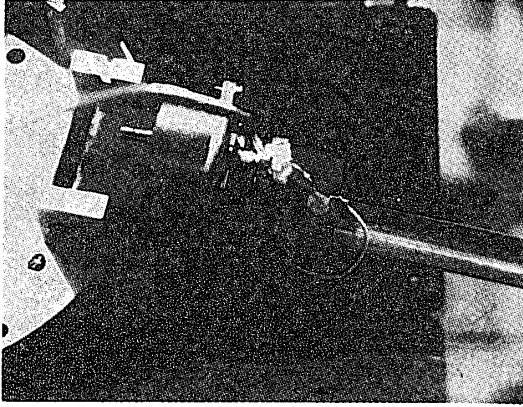


第9図 インピーダンスプローブおよびレゾナンスプローブまわりのシースの形状と、レゾナンスプローブにおけるアンテナ基部の被覆の方法。S.I.P. (インピーダンスプローブ) は、検出回路部を突出さない限りこの影響を避け得ない。S.R.P. (レゾナンスプローブ) は、基部付近を被覆できる

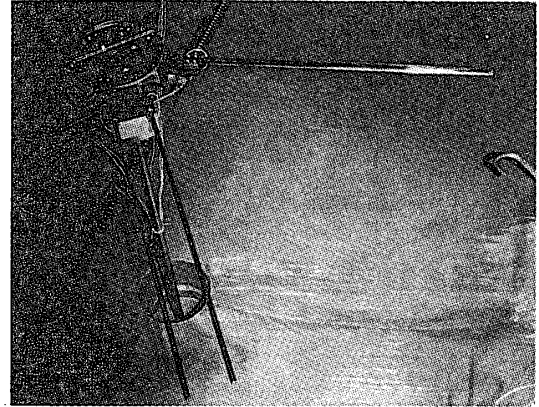
第10図(a)に示すカレントトランスを用いたインピーダンスプローブにおいて、シースの大きさがどの程度アンテナの並列容量になるかを計算した1例を以下に示す。いま、第11図において、アンテナ各部の容量が全体にどのように寄与するかを考える。ここで仮にアンテナの半径 $a = 0.5\text{cm}$ 、長さ $l = 10\text{cm}$ として、アース板からの高さ $h\text{cm}$ を変化させた時のアンテナ容量を $l \gg h$ として次の式

$$C \doteq \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\log \frac{l}{\sqrt{3}a}} \tag{1}$$

より計算したのが第12図である. 50cm アンテナでは基部10cmは全容量の23%に相当することがわかる. もし10cmのシースがあれば20%程度の誤差が生じるであろう [6].

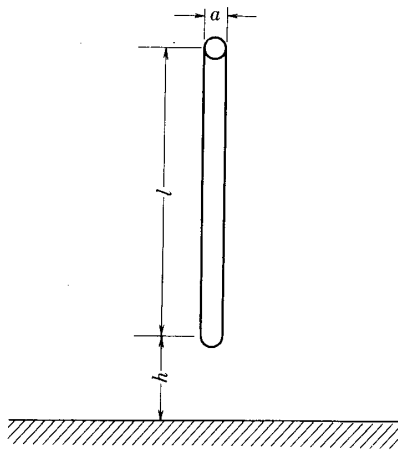


(a) インピーダンスプローブ基部の写真カメラトランスが写っている

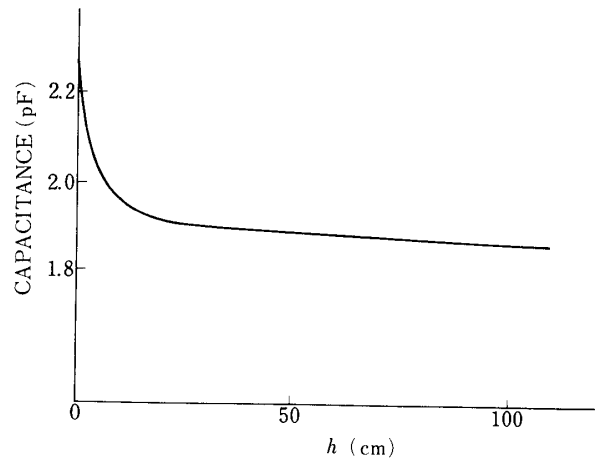


(b) 電子密度比較に用いられる2つのプローブのチャンバ予備実験の際のセッティングの様子

第10図



第11図 部分アンテナのモデル



第12図 部分アンテナの容量の高さ依存性

4. ま と め

S 310 型ロケットに搭載する NEL 測定器について, その目的および測定器に関する問題点について述べた. 標準的な電子密度測定器となっているインピーダンスプローブの精度について知ることが出来れば, 今後の測定結果を検討する上での有益な資料を提供してくれると考えている. なお本研究に関してひとかたならぬ御配慮を給りました東大宇宙研の伊藤富造教授に謝意を表します.

1975 年 9 月 30 日

参 考 文 献

- [1] 竹屋, 南 「塔載用差動レゾナンスプローブの研究」. 宇宙観測シンポジウム昭和49年度 P 52~56
- [2] 南 「差動レゾナンスプローブによる電子密度測定法」, 電気学会プラズマ研究会資料 EP 74-14 1974.
- [3] 竹屋, 南 「差動レゾナンスプローブ」南極資料第52号 PP 51-54 1975
- [4] Hirao K. Oyama K.; A Critical Study on the Reliability of Electron Temperature Measurements with a Langmuir Probe, J.G.G. Vol 24 No.4 1972 PP415-427.
- [5] 木村, 江尻. 「電離層電子密度測定の問題点」
宇宙観測シンポジウム昭和48年度 PP 44-52
- [6] Ejiri M. : Study of R.F. Plasma Probes and its application to the Rocket and Satellite observation, Doctoral thesis.