

実時間形プラズマ電位計*

竹屋 芳夫**・南 繁行**

Real Time Plasma Potential Meter

By

Yoshio TAKEYA Shigeyuki MINAMI

Abstract: We introduced the instruments which can measure directly the space potential (spacial plasma potential) in the gas plasma at real time with high accuracy and responsibility for the spacial distribution and time variation of the plasma potential.

This is on the basis of the density variation of the charged particles around the probe, which vary with vary with the probe potential, and density has maximum value when the probe potential equal to the space potential of its point of the plasma. AC voltage is superposed on the DC voltage biased probe, during DC voltage is smaller than the space potential (V_s), the variation of the charged particle densities modulated by AC voltage, doesn't change the phase against the reference AC voltage component of the probe (increasing process of the density), but when probe potential (V_p) larger than V_s , it changes the phase at 180 degree (decreasing process).

Then we put the DC biased small lod type probe (for which gives the electron or ion densities around the probe) which closed to the main probe superposed the AC voltage (arbitrary configuration). By such modulated AC current component of its collected current, we use phase detector and its output signal, DC bias voltage of the main probe is controled always fixed at V_p equal to V_s .

概 要

著者らは、プラズマ中の空間電位を直接に精度良くしかも実時間で測定することを目的とした空間電位計を開発したので紹介する。

本測定器はツインプローブ法をもちいて、交流変調法により傾きの符号が変わる電圧 V_s にプローブ電圧 V_p をロックすることにより動作する。

動作原理および測定の応用例を示した。

* 宇宙研特別事業費による論文

** 大阪市立大学工学部

1. まえがき

プラズマ中の空間電位分布の精度の良い測定の技術を開発することは、プラズマのパラメータ（密度、エネルギーなど）計測のためにも、あるいは、プラズマの物理的解明のためにも、必要とされる。プラズマの空間電位の測定については、プローブの回りにできるシースのプローブ電圧依存性を用いて高周波的に [1][2] あるいは直流的に [3] 測定する方法が報告され、物理的にも納得のゆく説明がなされている。ところで時間的に変動するプラズマパラメータを実時間でしかもできるだけ精度よく測定することも、プラズマ測定技術における新しい方向として必要と考えられる。

本論文においては、プラズマの空間電位の実時間測定のためにツインプローブ法 [3] を利用した新しい交流変調法による測定法について開発した結果を述べる。本測定器を単 1 交流形空間電位計 (single frequency type plasma potential meter) と名づけた。

4. 交流変調法と空間電位計の動作原理

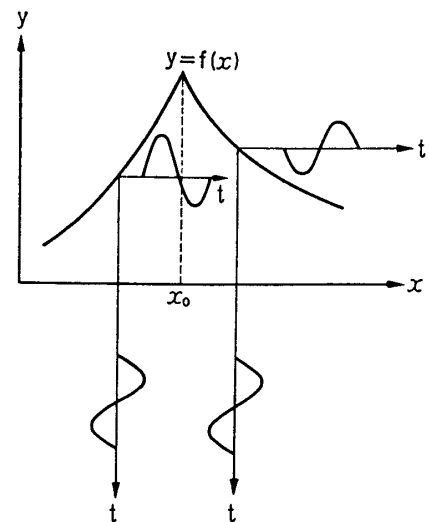
ここでは、図 1 に示した $y=f(x)$ なる静特性における $dy/dx=0$ となる点 x_0 を見つける方法を示す。本方法は自動制御法としてきわめて有用である。いま、変数 x_0 に静特性が十分満たされるような低い角周波数 ω の微小振幅 a の交流を重畳させると、出力 y は、

$$y = f(x + a \sin \omega t)$$

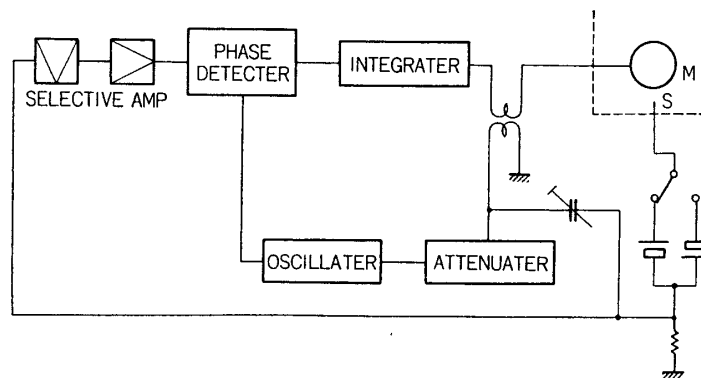
となる。上式において右辺の交流 ω 成分は、

$$y_{ac}(\omega t) \doteq a \frac{dy}{dx} \sin \omega t$$

となる。よって $y_{ac}(\omega t)$ は $dy/dx=0$ となる前後で振幅の正負が変わる。すなわち位相が 180° 反転する。したがって値 x を y に含まれる交流 $\sin \omega t$ の成分の位相により制御し常に $x=x_0$ にロックすることがで



第 1 図



第 2 図 実験に使用した空間電位計のプロラック図

きる。逆に x_0 の値が時間的に変動しても、常に追従してその値を知ることが可能となる。実際の方法としては $x=x_0$ よりも小さい時の y の交流分の位相を1とすると $x=x_0$ より大なる時には-1となり、位相量の積分により、 $x=x_0$ の点にて、積分値は動かなくなる。

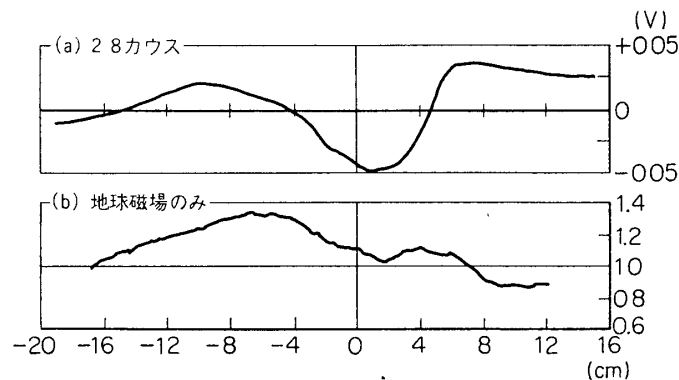
単1交流形空間電位計は、原理的にツインプローブ法の静特性が X 軸を主プローブ M の直流ポテンシャルとし、 Y 軸を、補助プローブ S のプラズマ捕集（イオンまたは電子）飽和電流とすると図1に相似することを利用してゐる。なお X_0 点の決定精度は図1に示した $f(x)$ の x_0 点における急峻度と重畳振幅 a に依存することがわかる。

3. 単1交流形空間電位計

実験の構成は、図2に示すように1対のプローブとプローブ S からの信号によりプローブ M の直流バイアス電位を自動制御する電子回路部よりなる。なおプローブ M とプローブ S 間の静電的結合を打消すために、プローブ M に重畳する交流と逆相の交流をプローブ S に結合させてある。これは真空中で調整され、この方法により交流周波数は1MHz程度が使用できるようになった。

4. 実験

本空間電位計は、プローブ法の利用できるプラズマでは、広範囲に使用できるが、ここでは東大宇宙研の小型チェンバを利用したときの結果と水銀拡散プラズマで行なった実験につき結果をのべる。

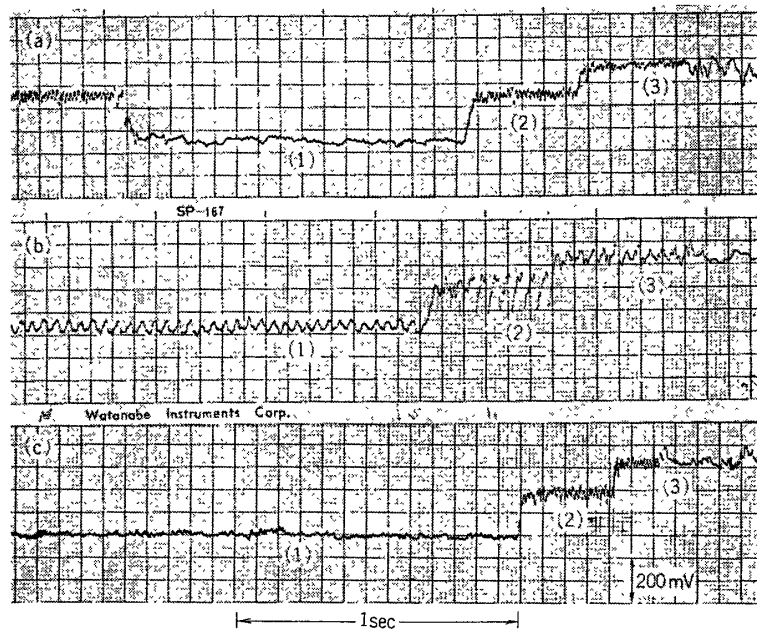


第3図 プラズマ電位の径方向分布

(a) 2.8 ガウス (b) 地球磁場のみ

(ヒータ電源の事情により左右2つのプラズマ源のヒータは直列に接がれ中点が接地されているので比較的チェンバ一電位が0に近く軸方向にも電位傾度があった)

図3は東京大学宇宙航空研究所に設置された小型スペースチェンバ（直径60cm、長さ1m）内に、生成された後方拡散形プラズマ源によるプラズマの径方向空間電位分布を測定した結果の1例である。磁場の印加により分布が大きく変化することがわかる。



第4図 空間電位の変動に対する応答

- | | | |
|-----|------|--------|
| (1) | 放電電流 | 1.2 mA |
| (2) | " | 3.5 mA |
| (3) | " | 5.2 mA |

次にプラズマ電位の時間的変動に対する応答性を示すために実験したデータを図4に示した。これは水銀放電管を用いて約 1×10^7 個/cc の密度と約 0.2 eV の電子温度をもつプラズマの放電電流を急変させて、空間電位のステップ応答を測定したものである。図の(1)(2)(3)は、おのおの放電電流が 1.2 mA, 3.2 mA, 5.2 mA の場合である。また重畳振幅は 20 mV 使用周波数は 500 KHz であった。図から(a), (c)においては、電源ライン周波数 60 Hz でプラズマが振動していることがわかる。また(b)ではプラズマ中に別の電極を設けて、20 Hz 約 10 V_{pp} の交流を印加したとき、空間電位計近傍のプラズマが 20 Hz で振動していることがわかる。この場合、信号は 200 Hz の帯域幅のフィルタを通して処理したが、ステップ応答が約 10 msec に相当し、その応答性が立証されている。

5. あとがき

交流変調法により実時間で変動するプラズマの電位を測定できる方法について述べた。本方法は、かかる実時間測定において他にも利用できるであろうと考えられる。実験として最初にとりあげたのは空間電位の空間分布測定であり、磁場との関連性などを精密にしかも短時間で測定できる本方法を利用して系統的にデータを得ることはプラズマ物理に役立つと考えられる。時間変動するプラズマを測定することは、ロケット機上測定などにも応用のきくものである。また極地における電場の絶対測定も可能性があると考えている。

6. 謝 辞

本実験に関して理解下さりスペースチェンバの利用に関して種々のご配慮を賜りました東京大学宇宙航空研究所伊藤富造助教授, 実験に際してご協力下さったチェンバ室小嶋技官に感謝いたします.

本研究は一部観測ロケット特別事業の基礎開発研究およびスペースプラズマ共同利用研究として行なわれたものである.

1972 年 12 月 26 日

参 考 文 献

- [1] T. Dote: J. Phys. Soc. in Japan 24, 227, 1968.
- [2] K. Hirao, K. Oyama: J. G. G. 23, 47, 1971.
- [3] T. Dote, T. Ichimiya, M. Takeuchi: J. Phys. Soc. in Japan 21, 2426, 1966.