

直読式プラズマ密度・温度計による電離層 プラズマの密度・温度測定

村 里 幸 男・矢 守 章
佐々木 進・河 島 信 樹

Plasma Density and Temperature Measurement in the Ionosphere by a Direct-Display Plasma Density and Temperature Meter

By

Yukio MURASATO, Akira YAMORI
Susumu SASAKI and Nobuki KAWASHIMA

Abstract: A direct display plasma density and temperature meter based on Langmuir probe method has successfully be applied in the density and temperature measurement by a sounding rocket. An 1 kHz AC voltage is superposed on the DC sweep voltage of Langmuir probe and the DC voltage is automatically fixed at the inflection point of the Langmuir probe characteristics by detecting the 2nd harmonic component (2 kHz) of the AC current. The density and temperature are obtained from the DC and AC (1 kHz) currents at the inflection point using a newly developed digital calculator system.

1. 序

プラズマ密度・温度の測定方法として、Langmuir Probe 法やマイクロ波によるプラズマの透過法、そして分光測定法等種々あり、さまざまな実験的手法により測定されているが、主にその構造が一番簡単な Langmuir Probe が良く使われている。電離層プラズマの観測には従来この Langmuir Probe はデータ解析において片対数変換といった面倒さがある。従って、データの量が非常に多くなると、データ解析にかなりの時間を必要とする。このような意味から簡便な、そして誰にでも使うことが出来るプラズマ密度・温度が直読で出来る装置として「直読式プラズマ密度・温度計」を開発したことを述べた [1]・[2]・[3]・[5]。前回までは表示方法として Langmuir Probe の変曲点における直流電流と交流電流であったが、今回は Dynamic Range の拡大と共に、完全に直読出来るように、Digital Calculator を開発したので実用化における技術的問題点を中心に述べ又これを

K-10-10号機にイオン・中性粒子温度測定器と同時に搭載したので得られたデータと共に報告する。

2. 原 理

Langmuir Probe の直流電圧に交流電圧を重畳し、その直流電圧を掃引すると、直流電圧特性の変曲点で交流電流が最大となり、2次高調波は位相が180度反転して振巾が零となる[4]ことを利用して、その位相が変化するところを検出して直流電圧を変曲点に固定する。この点の直流電流値と交流電流値より電子温度・密度を求める。

すなわち、直流電流および交流電流は一般にプローブの形状等により決まる常数 $G_1 \cdot G_2$ を用いて

$$I_{DC} = G_1 \cdot enS \sqrt{\frac{kT_e}{2\pi m}} \quad (1)$$

$$i_{AC} = G_2 \frac{e v}{kT_e} I_{DC} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} e : \text{電子の電荷} \\ m : \text{電子の質量} \\ kT_e : \text{電子温度} \\ n : \text{電子密度} \\ S : \text{プローブの面積} \\ I_{DC} : \text{変曲点における直流電流} \\ i_{AC} : \text{変曲点における交流電流} \end{array} \right.$$

で表わされるものと考えから

これより電子温度・密度は変曲点における直流電流 I_{DC} および交流電流 i_{AC} を用いて

$$n \propto \sqrt{I_{DC} \cdot i_{AC}} \quad (1)'$$

$$T_e \propto I_{DC} / i_{AC} \quad (2)'$$

で求まるから(1)'・(2)'を求められる演算装置を持てば、電子温度・密度は完全に直読できる。

3. 装置および動作

3-1) 直読式プラズマ密度・温度計

回路のBlock DiagramをFig1に示した。

まず、 $1KH_2$ の発振器よりの出力をトランスを通してプローブにかかる直流電圧に重畳させ、プローブに流れる電流の基本波および2次高調波を位相検出器に入れ、別に発振器から非線型回路により作られた2次高調波の基準信号と比較する。その出力より制御回路でプローブにかかる直流電圧をLangmuir特性の変曲点に固定させる。

3-2) Digital Calculator System

回路のBlock DiagramとK-10-10号機に搭載した装置の写真を、Fig-2(a)・(b)に示した。

本装置は、実用面における手軽さと信頼性の面からDesk Top Calculator(以後電卓と呼ぶ)用のOne chip C・P・U(中央演算処理装置)を使い、電卓特有のTen Key方式を全て電氣的に処理し、電子温度・密度を求めるために必要な演算操作を24Stepのプログラムを組んで演算指令が行なわれている。

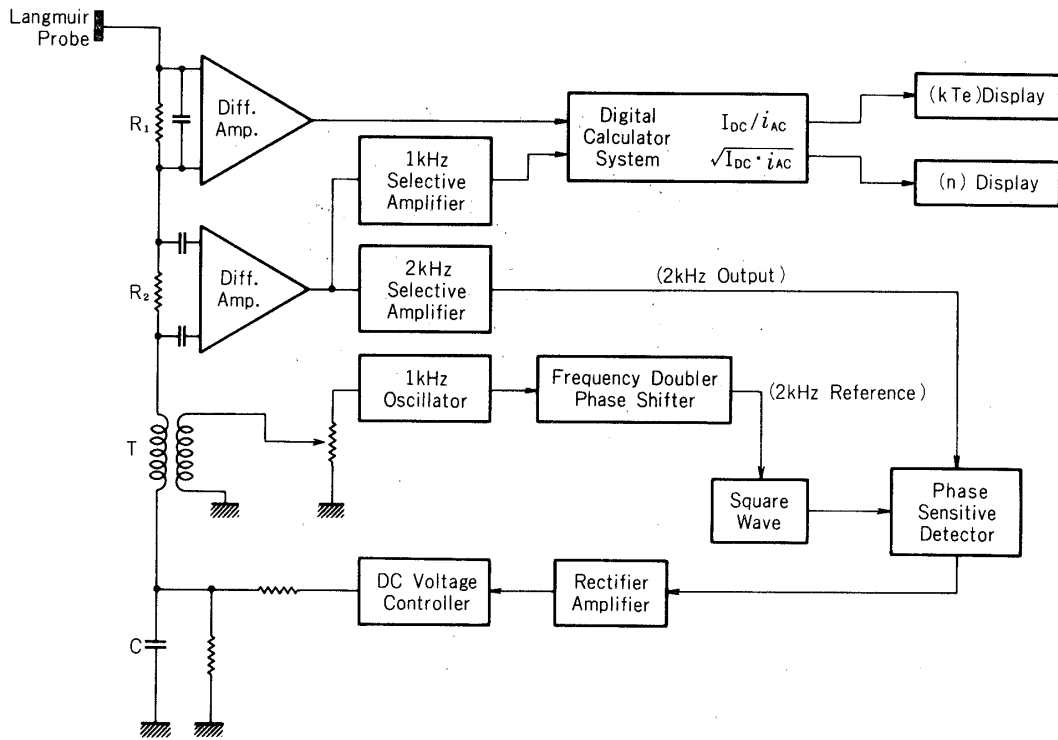


Fig 1 直読式プラズマ密度・温度計Block Diagram

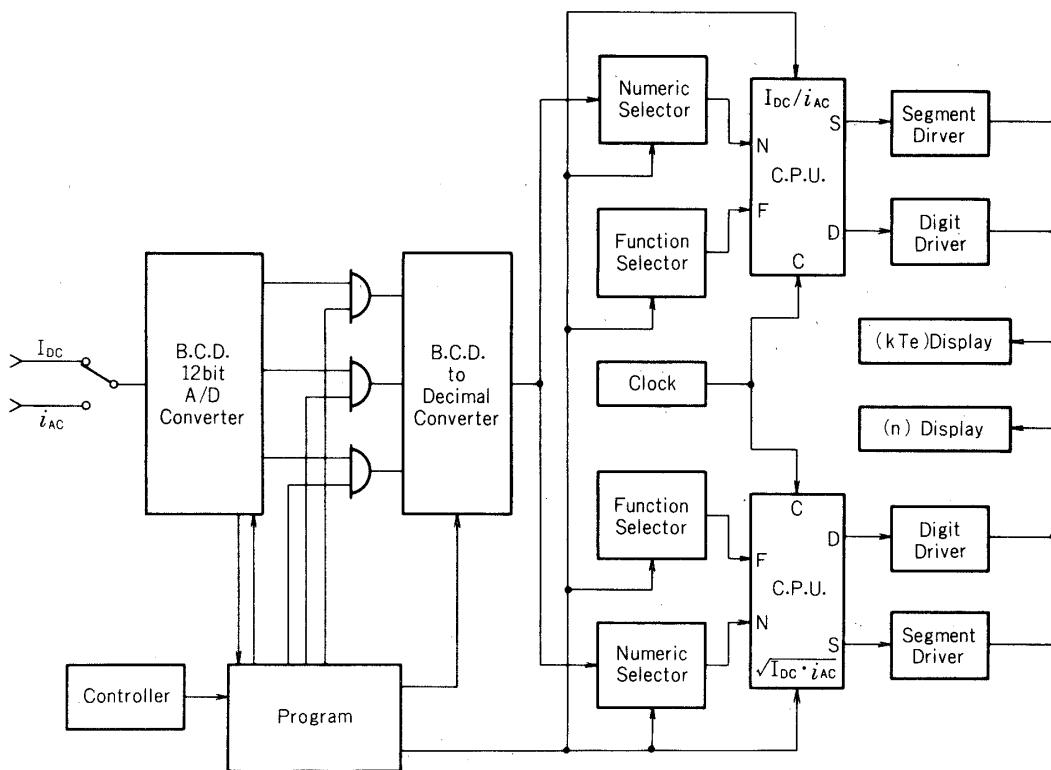


Fig 2(a) Digital Calculator System Block Diagram

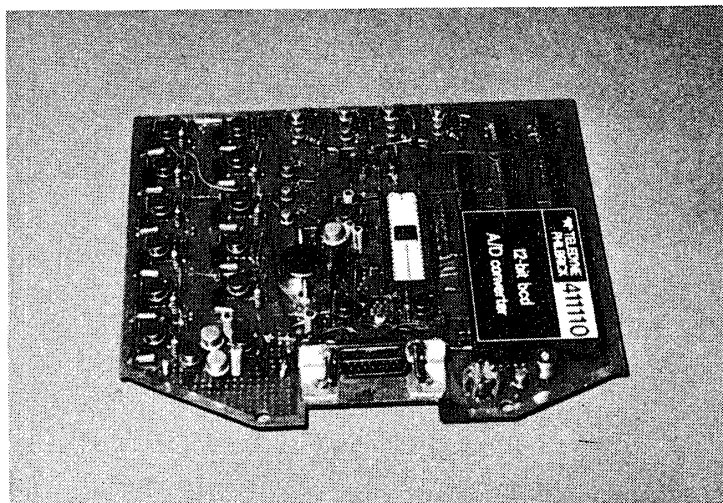


Fig 2(b) Digital Calculator Systemの写真

(2)- a 入力信号処理系

直読式プラズマ密度・温度計からの I_{DC} および i_{AC} を A/D変換器に入れ 2.5 ms の Sampling time で 12 bit B・C・D の Digital 信号に変換する。4 bit/1 digit として、MSB側より Gate を順次あげ、B・C・D to Decimal 変換器に入れて Decimal 信号として取出す。次に Numeric Selector に入れるがここで始めて私達が日常使用している電卓で Ten Key および Function Key を押して計算することと、同じ操作が電氣的に処理され C・P・U に Enter されたことになる。

(2)- b 中央演算処理装置系

この装置の C・P・U は One chip の MOS-LSI で (1)' (2)' 式を演算するための関数 $\sqrt{\quad}$, \div , \times とその他 4 関数や Round up・down 等の機能を持っている。C・P・U 本体の各機能は外部からの clock (140KHz) により操作され、全て内部で行なわれ、出力は Seven Segment Display 方式である。外形は Single 28-pin Dual in-line package で極めて小型・軽量であるから、ロケット搭載には適している。

(2)- c 演算命令系

I・C Timer で各々の操作に必要な時間の Delay pulse をつくり、各部に命令する。全体の制御は Main Clock で行ない、Timer で組んだプログラムは固定方式なので途中で呼出し割込みは出来ない。

(2)- d 出力信号系

C・P・U で演算された Digital 信号は Segment 信号と Digit 信号として出力され表示するが、電卓特有の Dynamick Display 方法が取られているので、Segment および Digit の両信号が一致したところで表示するよう Driver により表示選択をしている。

4. 観測結果

直読式プラズマ密度・温度計と Digital Calculator System は K-10-10号機に搭載

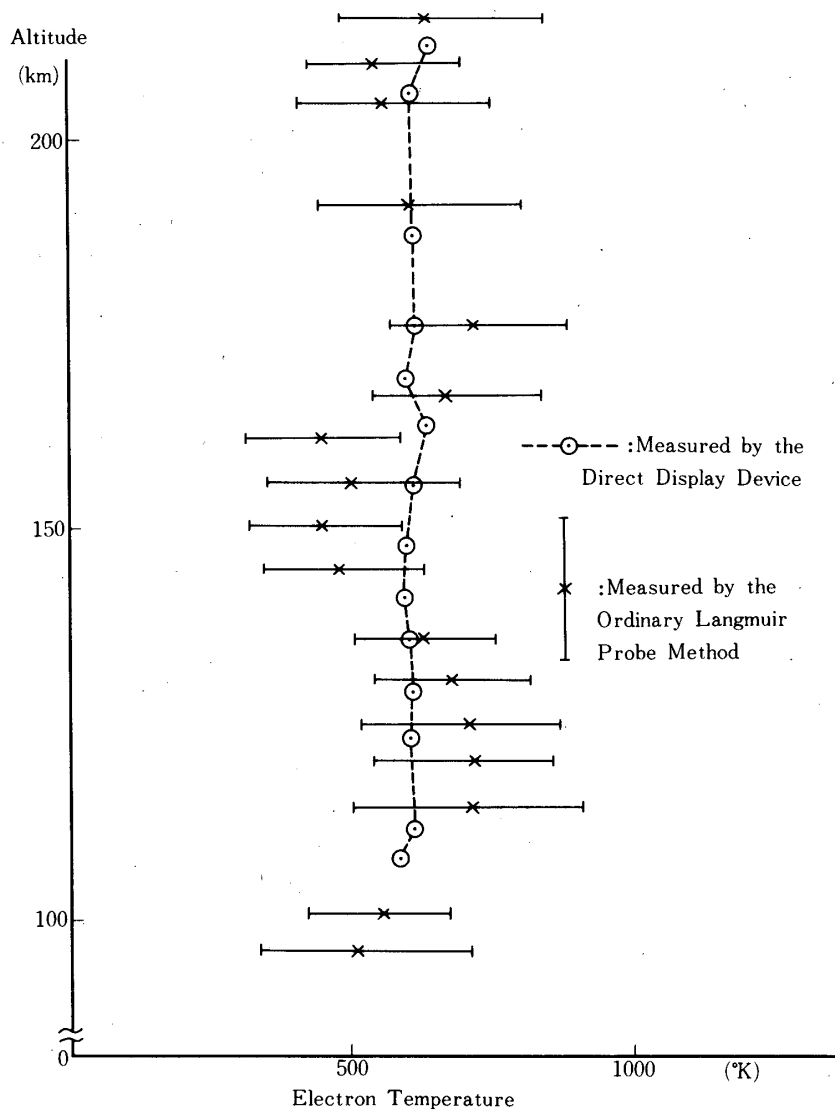


Fig 4(a) 直読式プラズマ密度・温度計で測定した電子温度

Langmuir Probe 法によって得られたデータとかなり良く一致している。また、注目すべきことは、この直読式におけるデータのばらつきは、通常の Langmuir Probe 法と比較して小さく、そして動作が安定である。

また、K-10-10号機に本装置と同時搭載された「電子温度 Probe-clean Langmuir Probe」で得られたデータと比較すると、低高度では直読式のデータとくいちがいが出ているが、これは Probe 表面における不純物層の影響と考えられる。(Hirao and Oyama, private communication)

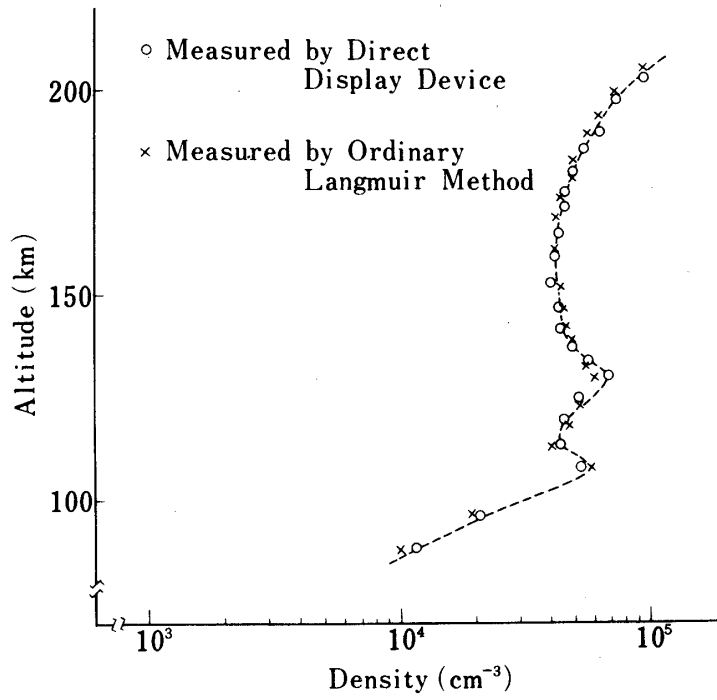


Fig 4(b) 直読式プラズマ密度・温度計で測定した電子密度

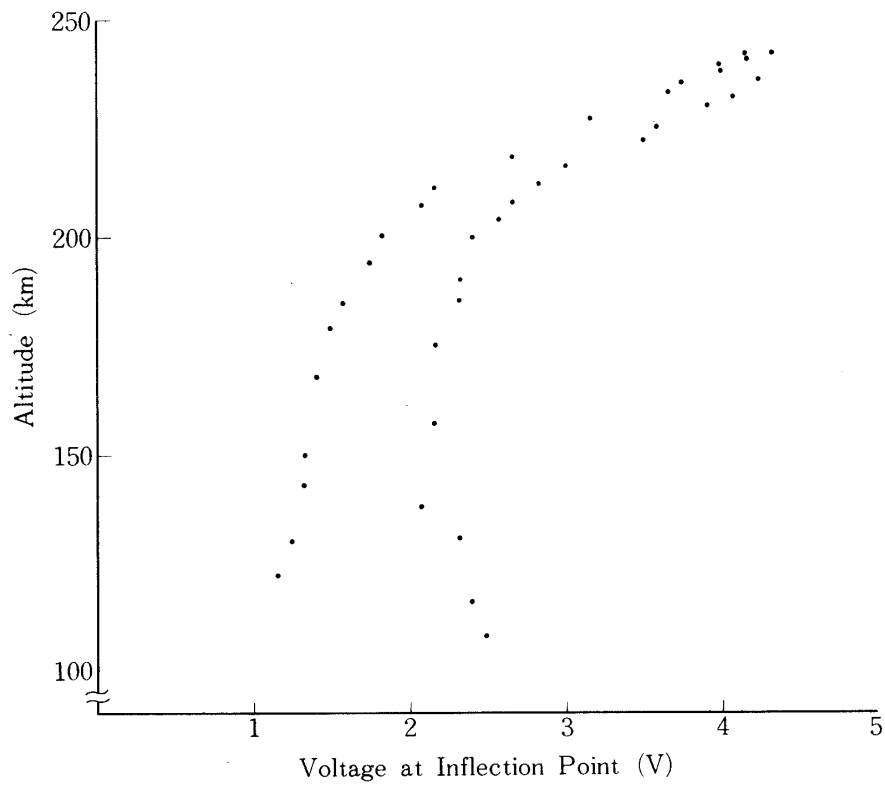


Fig 5 変曲点に固定された直流電圧

5. 結 言

直読式プラズマ密度・温度計はK-10-10号機により、実験室はもとより、電離層においても正常にかつ安定に動作し、データを得ることが出来、またDigital Calculator Systemを用いることにより、電子温度・密度を完全に直読出来ることが確認された。観測結果の項でも既に指摘されたように一般にLangmuir Probe法による下部電離層の電子温度の決定はProbe表面の不純物層によって影響を受けるが[6]、同じ意味で我々の測定はこの影響をまぬがれていない。しかしながら電子温度・密度は直接しかも同時に表示されるので、この測定はProbe表面における不純物層が重要でない人工衛星による長時間の測定に役立つものと期待され、しかもデータ解析が簡単だという利点があり、今後これらは実際の搭載計器として、また実験室において大いに利用されるものだと考える。

1974年11月29日新設部(科学)

参 考 文 献

- [1] 矢守 章, 河島 信樹; 直読式プラズマ密度・温度計の開発, 宇宙航空研究所報告第7巻第1号(B)1971
- [2] 矢守 章, 河島 信樹; 直読式プラズマ密度・温度計の開発(II) 宇宙航空研究所報告第8巻第1号(B) 別刷 1972
- [3] N. Kawashima and A. Yamori; Direct-Display of Plasma Density and Temperature, J. Apply, Phys, 42 No. 13, 5400-5403 (1971)
N. Kawasima and A. Yamori; Direct-display plasma density and temperature meter by the use of Langmuir probe, Japanese J. Appl. Phys. 12 1227 (1973)
- [4] R.L.F. Boyd; Proc. Roy. Soc. A. 250, 53 (1959)
- [5] 河島 信樹, 村里 幸男, 矢守 章; 直読式プラズマ密度・温度計の開発(II) 宇宙観測シンポジウム 1972
- [6] K. Hirao and K. Oyama, A critical study on the reliability of electron temperature measurements with a Langmuir probe, J. Geomag. Geoelectr. 24 415 (1972)