

「さきがけ」に搭載された太陽風観測器

小山 孝一郎・平野 孝文*・平尾 邦雄*

(1986年6月20日受理)

Faraday Cup on board Japan's first interplanetary probe "SAKIGAKE"

By

Koh-ichiro OYAMA, Takafumi HIRANO
and Kunio HIRAO

Abstract: Faraday cup on board Japan's 1st interplanetary test probe 'SAKIGAKE' is described. The contents include the description of the principle of the measurement, structure of the sensor, accuracy of the measurement of bulk velocity, ion density and temperature of the solar wind plasma, data processing, and the thorough system of the experiment including telemetry allocation, status words and command system.

概 要

日本最初の人工惑星「さきがけ」に搭載されたファラデーカップ型太陽風観測器について測定原理、測定器全体のシステム、及び測定精度について述べ、更にデータ処理及び観測器の運用に必要な資料を含めた。また観測器によって得られたデータの一部を紹介する。

は じ め に

日本の工学試験探査機「さきがけ」は1985年1月8日に鹿児島宇宙空間観測所から発射され、地球の引力圏を脱し、日本初の人工惑星となった。85年2月19日、波動観測器の5mアンテナ、磁場観測器のブーム伸展を行い、2月21日には太陽風観測器の高電圧を印加

* 東海大学航空宇宙学科

し、「さきがけ」に搭載された三つの観測器はすべて観測体制に入った。

その後1986年4月の現在に至るまで順調にデータを送り続けている。筆者らは太陽風観測器の開発、各種のテスト及び打上げ成功後の運用及びデータ処理に今なお多くの労力をつぎ込んでいるが、莫大な国費と多くの人々の援助によって得られたデータが出来るだけ多くの人々によって使われる事を念願するものであり、従って、ここでは上記の考えに沿ってデータを公開する第一段階としてまず測定器の原理、測定精度、テレメータデータフォーマット及び運用に必要とされるコマンド及び、現在までに作られたデータ処理用のプログラム等について報告する。

1. 測定原理

1.1 測定原理

図1に示したようなファラデーカップは探査機のスピンの利用して太陽風のバルク速度 (V_b), イオン密度 (N_0) およびイオン温度 (V_i) を測定できる。今 θ をファラデーカップの第1グリッドの法線と太陽風プラズマ流とのなす角とすると、第2グリッドに印加した電圧が第2グリッドに向かって飛んでいるイオンのバルク速度のグリッドの法線に平行な成分 $m_i/2e(V_b \cos \theta)^2$ に等しくなると、第2グリッドに飛び込んでくるイオンは第2グリッドによってその侵入を阻止される。例えば図2に示したようにバルク速度が400 km/秒

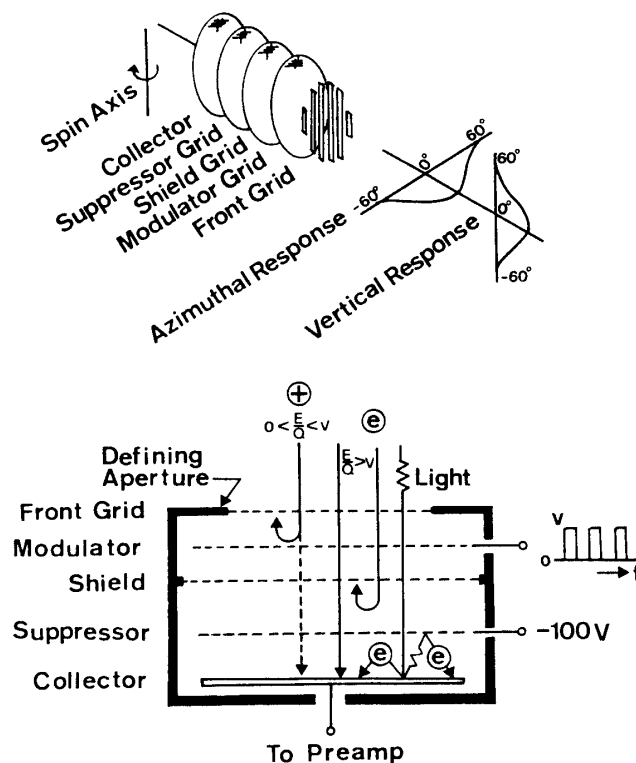


図1 ファラデーカップによる太陽風測定の原理。第3グリッドは第2グリッドに印加した矩形波高電圧がコレクターに漏れ入るのを防ぐのに重要である。

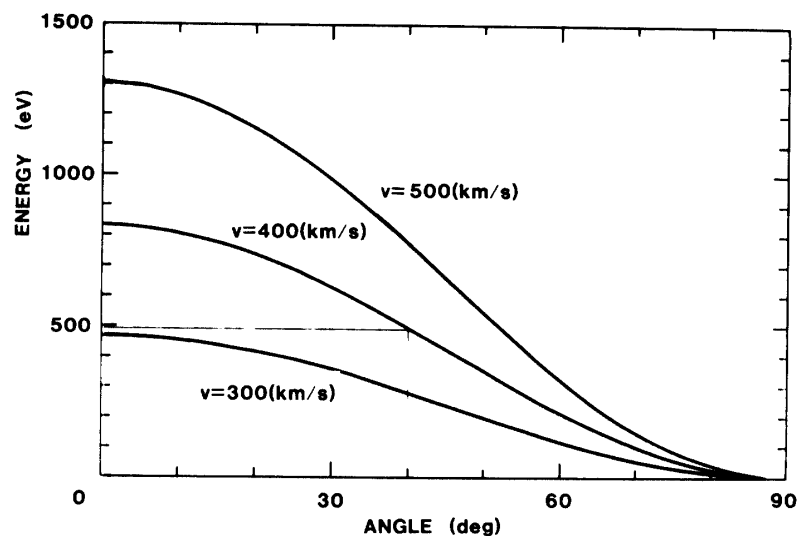


図2 角度0において480 eV, 830 eV および 1300 eV のエネルギーをもつ、水素イオンのファラデーカップのグリッドの法線にそう成分の角度に対する変化。この図によつてたとえば 825 eV (約 400 km/s のバルク速度に相当する) のイオンは角度が 40° 以上になるとファラデーカップに印加した 500 V の電圧によつてその侵入が阻止されることがわかる。

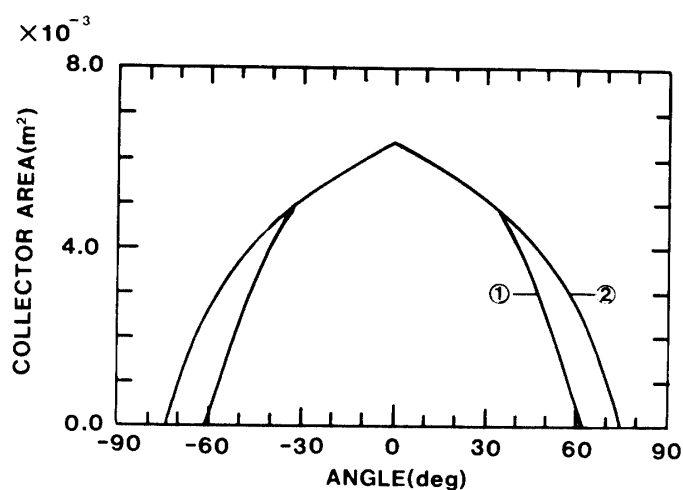


図3 フライトモデルに使われたコレクターの面積の角度特性。(1) 探査機の壁の影響を考慮したもの、(2) は探査機の壁にとりつけない前。

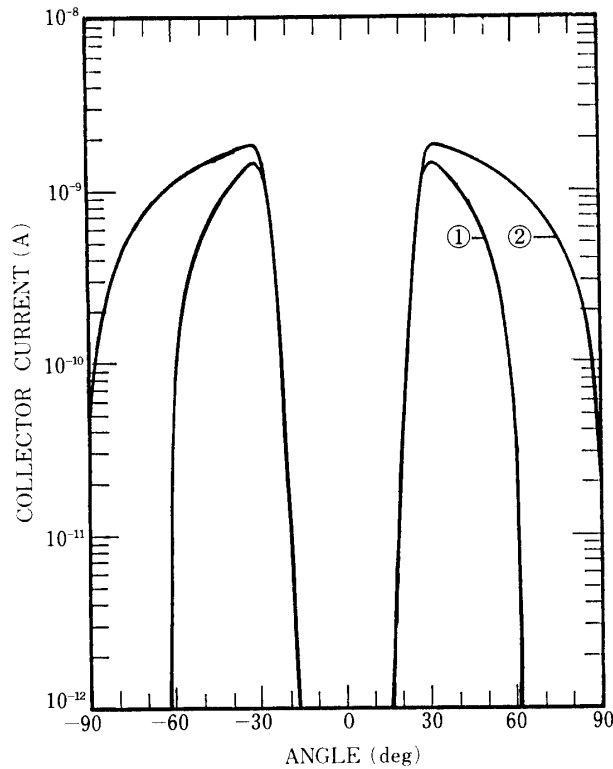


図4 探査機を回転させた時に得られるコレクター電流の角度特性. 図中の①及び②は図3の①と②に相当する. この特性を計算するにあたって以下のパラメータを与えた. $N_0=5$ 個/cm³, $V_b=437.2$ km/sec, $T_i=10^4$ K, $V_{G2}=800$ V

(これはプロトンのエネルギー 825 eV に相当する) で $T_i=0$ のイオン群が $V_{G2}=490$ V を印加された第二グリッドへ向かって飛んでくると, 入射したイオンは, 第2グリッドが太陽風の流れに正対している時, 即ち $\theta=0$ の時は, 第2グリッドによって阻止されない. ところがファラデーカップが回転し, 太陽風向とグリッドに立てた法線とのなす角が 40° になると, 法線方向のイオンの速度成分は V_{G2} に等しくなり, イオンは阻止され始める. これより大きな角度ではイオンは常に阻止され続ける. 従ってコレクターに流れ込む電流が零になった時の角度によってバルク速度を知る事ができる. 実際には DC 的な信号は太陽光線による二次電子電流はるかに大きいので, 太陽風によるイオン電流成分をみつめる事は困難である. 従って第2グリッドには矩形波電圧を印加し, これによる変調信号のみを取り出す.

イオン密度はコレクター電流 I_{out} の大きさから収められる. イオンが温度 T_i を持つ時には T_i, N_0, V_b は測定データに下の式をカーブフィットさせる事によって得る事ができる.

$$I_{out} = \sqrt{a/\pi} \cdot N_0 \cdot S_0(\theta) e \left\{ V_b \epsilon \int_{-V_b \epsilon}^{W - V_b \epsilon} e^{-at^2} dt + \frac{1}{2a} (e^{-aV_b^2 \epsilon^2} - e^{-a(W - V_b \epsilon)^2}) \right\} \quad (1)$$

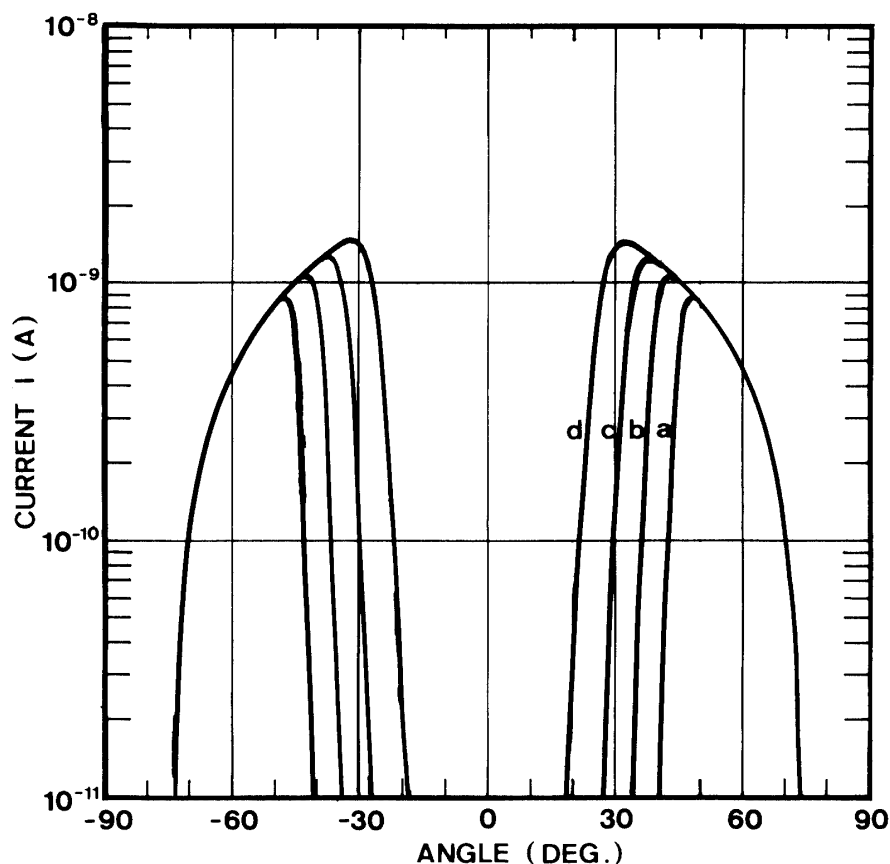


図5 第2グリッドの電圧を 500 V (a), 600 V (b), 700 V (c) および 800 V (d) に設定した時のコレクター電流/角度特性の変化. $N_0=5$ 個/cm³, $T_i=10^4$ K, $V_b=437.2$ km, (a) 50

ここで $\alpha = m_i/2kT_i$, $W = \sqrt{2eV_{G2}/m_i}$, $\epsilon = \cos \theta$, K はボルツマン定数, e は電子の電荷, そして $S_0(\theta)$ は図3に示されたような角度特性をもつイオン捕集面積である. 但しここに示したのは付録に示したような形状のファラデーカップにおいて単にファラデーカップの構造を考慮したものであって実際にはメッシュ同志のかさなりがあつてこの図とは違う. 図4は式(1)に従い $S(\theta)$ として図3のイオン捕集面積を考慮して計算したスピン角に対するイオン電流特性の理論曲線である.

図5は第2グリッドの電圧 V_{G2} を 500 V から 800 V まで変化させた時の特性曲線の変化で, V_{G2} が小さくなるにつれ電流が最大をとる角は大きくなってゆく. この事は $eV_{G2} = 1/2 \cdot m_i (V_b \cos \theta)^2$ から容易に理解できる. 角度の増加に伴い必然的にコレクタ電流は小さくなる. 電流が流れはじめる角度はバルク速度の増加と共に増加し, 出力信号は減少する.

ファラデーカップによって測定できるイオンの数を知るために図6を作った. 図は 1個/cm³ のイオンでコレクター電流 2.5×10^{-10} A になる事を示している. 実際のアンプの入力

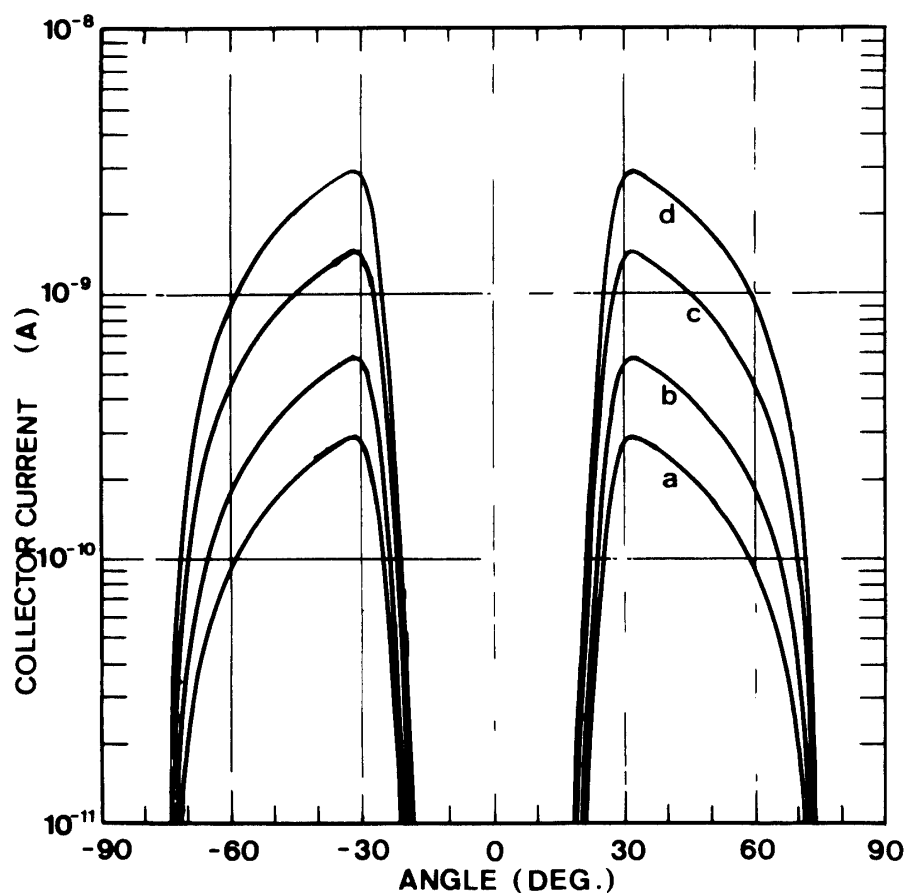


図6 イオン密度を変化させた時のコレクター電流の変化。
 1個/cm³ (a), 2個/cm³ (b), 3個/cm³ (c)および10個/cm³
 (d). $V_{G2}=800$ V, $V_b=1000$ eV (437.2 km/sec), $T_i=1\times 10^4$ K

換算雑音電流は 10^{-12} A であり 1個/cm³ のイオンは十分に測定できるものである。

図7は V_{G2} を一定にした時、バルク速度で特性がどのように変わるかを見たものである。バルク速度が早いと角度がより大きい方へずれる事は容易に理解できる。

図8はバルク速度を一定にした時のイオン温度に対する特性の変化をみたものであり温度が上昇するにつれ電流最大の付近の肩の丸みが大きくなる。

図4に示したよう特性曲線は太陽風プラズマがファラデーカップの正面から吹きつけている時に得られるものであり、ファラデーカップの正面よりずれた時は特性曲線は角度0度に対して対称とはならない。逆に0度からのずれがプラズマ流の方向をあらわす事になる。

1.2 第2グリッドに印加する高電圧について

測定の精度に影響する最も大きな要素の一つに第2グリッドに印加する矩形波電圧がある。特に高電圧の振巾の変動と波形はイオン温度、バルク速度及びイオン密度の測定精度に影響する。式(1)は印加する矩形波電圧は立上がり時間、立下がり時間は0 sec でかつ立

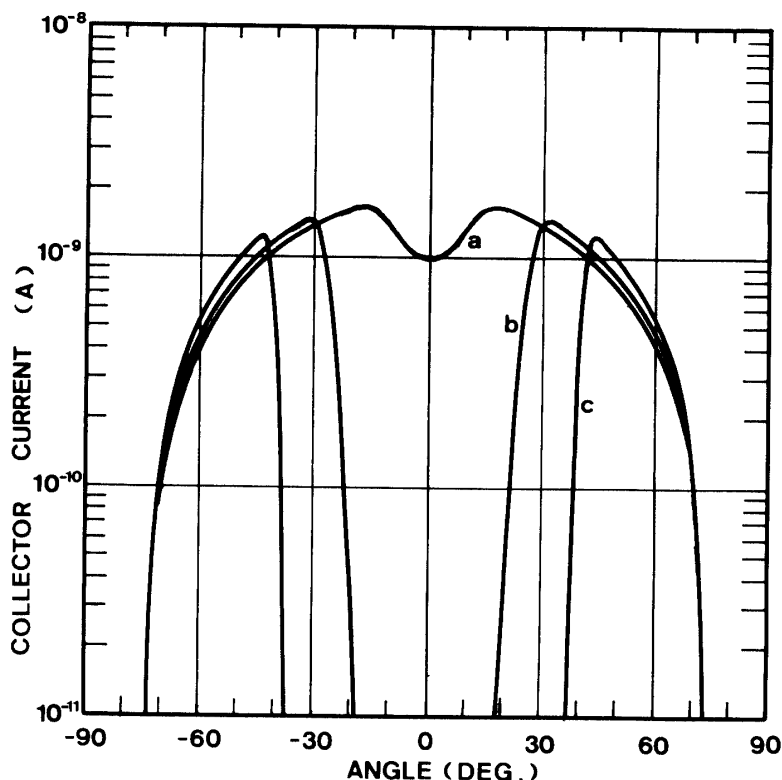


図7 バルク速度 V_b を変化させた時のコレクター電流/角度特性の変化

a. $V_b = 800 \text{ V}$ (391.0 km/sec)

b. $V_b = 1000 \text{ V}$ (437.2 km/sec)

c. $V_b = 1400 \text{ V}$ (517.3 km/sec)

$V_{G2} = 800 \text{ V}$, $T_i = 1.0 \times 10^4 \text{ K}$, $N_0 = 5 \text{ 個/cm}^3$

ち上がった後のレベルは平坦である事を仮定して導かれたものである。

図9(a)における下段の波形は第2グリッドに印加される矩形波電圧であるが、立ち上がった後のレベルは一見平坦であるように見える。所が、図9(b)に示すように電圧が立ちあがった後も完全に平坦とはならず立ちあがってからも徐々に上昇し最大に達したのち再び減少する。この間の電圧上昇値は20 Vである。従ってこの図の場合1500 Vから1520 Vまでのあいまいさが残る事になる。このような高電圧の時間的変動あるいは波形の質が特性にどのような影響をおよぼすか見たのが図10である。第2グリッド電圧が1000 Vと960 Vではバルク速度1200 eV, 1400 eV, 1600 eV に対してカーブの①と②, ③と④および⑤と⑥との違いを生ずる。

このように高電圧の波形の質あるいは振幅の時間変動によって最終的に測定の精度が左右されるが、これを更に定量的に調べるために第2グリッドが1000 Vの筈であるのに実は960 V印加されていたという想定に立ち、まず $V_{G2} = 1000 \text{ V}$, イオン温度 10^5 K , イオン

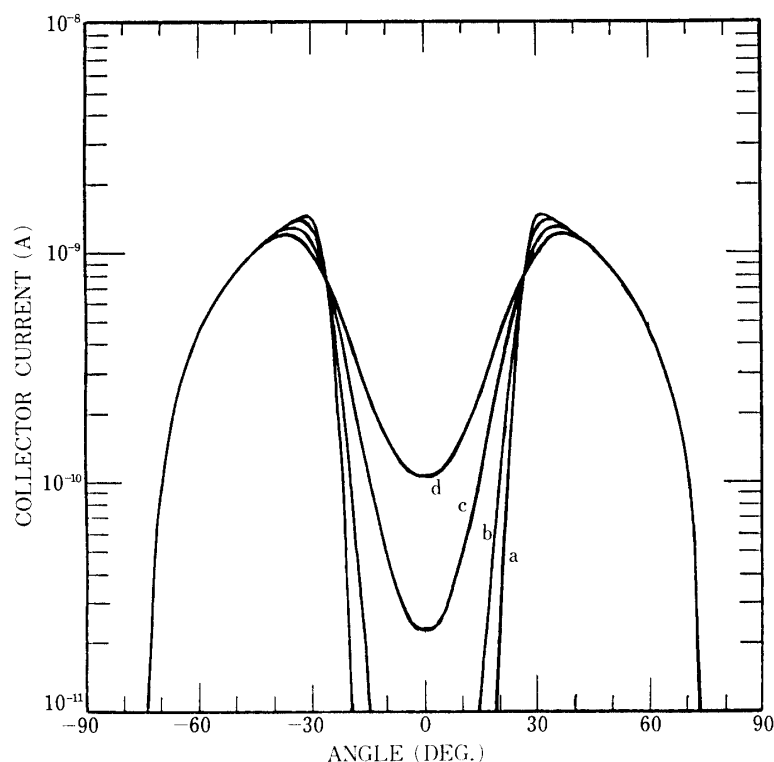


図8 イオン温度を変化させた時のコレクター電流/角度特性の電流最大の付近の角のまがり具合

- a. $T_i = 1 \times 10^4$ K
- b. $T_i = 2 \times 10^4$ K
- c. $T_i = 5 \times 10^4$ K
- d. $T_i = 10 \times 10^4$ K

$V_{G2} = 800$ V, $V_b = 1000$ eV (437.2 km/sec), $N_0 = 5$ 個/cm³

密度 5 個 /cm³ の理論曲線を描いておきこれに第 2 グリッドに電圧 V_{G2} 1000 V より 40 V 低い 960 V を印加したとしてカーブフィッティングしなおした時に得られるイオン温度イオン密度と最初に $V_{G2} = 1000$ V に設定した時のイオン温度 10^5 K, イオン密度 5 個 /cm³ からの差をバルク速度をパラメータとして計算した。図 11 に結果が示されている。また $V_{G2} = 960$ V, イオン温度 10^5 K, イオン密度 5 個 /cm³ の理論曲線に $V_{G2} = 1000$ V としてあらたにイオン温度及びイオン密度を計算しなおした時の最初の設定値からの差も同時に計算した。この場合イオン温度をパラメータとしてある。

これから言える事はバルク速度の測定精度はイオン温度によらず、ほぼ 5% 以内である。イオン密度の測定精度も 5% 以内におさまっている。一番誤差が大きくなるのはイオン温度で、特にイオン温度が低い時にまたバルク速度が小さい時に誤差が大きい。

上記した事は高圧波形の議論だけでなく、高圧の振幅のドリフトに関する議論にも適用できるが、上記からいえる事はそれぞれのパラメータを 10% の精度でもとめるためには第 2 グリッド電圧の安定度は $\pm 0.4\%$ でなければならないという結論を得る。

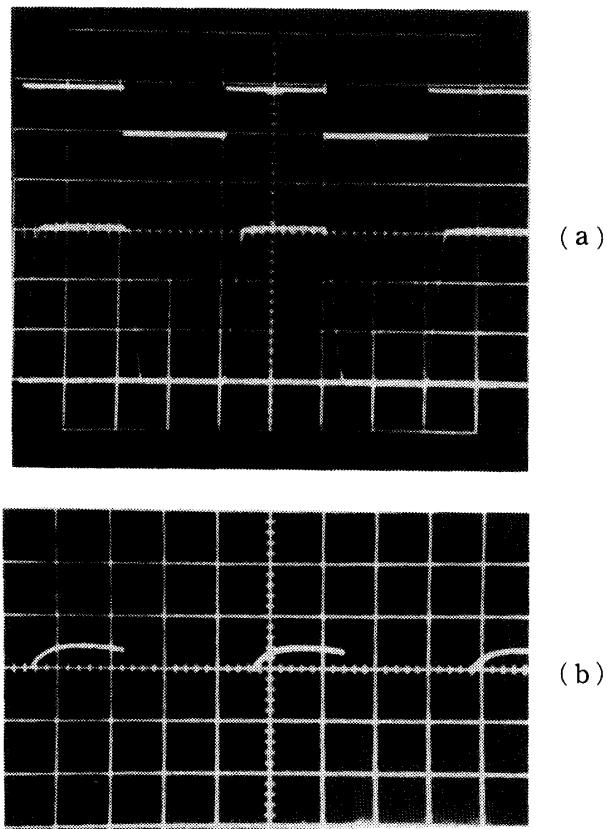


図 9 (a) 矩型波高電圧の波形(下の図)
 垂直軸は 500 V/div, 水平軸 0.5 msec/div. 上の図は高
 周波電圧を作るための同期信号である.
 (b) 図 9(a)の平坦部分を拡大したもの. 垂直軸は 50 v/
 div, 水平軸は 0.5 msec/div.

高電圧の質に関するもう一つの問題は式(1)の導出にあたり, 矩形波電圧は 0 V からある電圧までステップ状に変化するとしたが, 実際は約 30 V から立ち上がり, 正確に 0 V から立ちあげるのが技術的に困難である. この影響を見るために, 式(1)において V_{G2} の電圧を $V_{G2}=60$ V, 70 V, 80 V, 90 V, 100 V, および 300 V に変化させた時の特性の変化を調べた.

図 12 に示すように, $V_{G2}=60$ V における最大コレクタ電流は $T_i=10^5$ K, $V_b=309.1$ km 及び $N_0=5$ 個/cm³ の時に 1.2×10^{-12} A であり一方 $V_{G2}=300$ V における最大コレクタ電流は 4.2×10^{-10} A である. 即ち $V_{G2}=60$ V のときの電流は $V_{G2}=300$ V の時の電流に較べ約 1/100 であつ, 1.2×10^{-12} A という値の電流は後述するように本測定器の入力換算電流の限界であるので, 第 2 グリッドに印加する電圧が 30 V から立上がる矩形波であっても測定に支障ないという結論を引き出す事ができる.

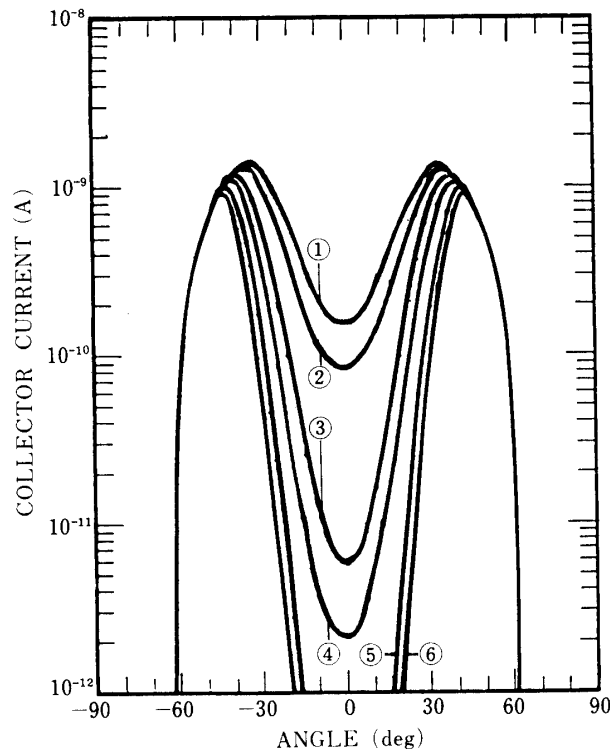


図10 960～1000 V に第2グリッド電圧を変化させた時の特性曲線のずれ

曲線(1)(2) ; $V_b=1200$ V, $N_0=5$ 個/cm³, $T_i=10^5$ K

(3)(4) ; $V_b=1400$ V, $N_0=5$ 個/cm³, $T_i=10^5$ K

(5)(6) ; $V_b=1600$ V, $N_0=5$ 個/cm³, $T_i=10^5$ K

2. 測定器

上述した原理により設計制作された太陽風観測器のフライトモデルの写真を図13に示す。以下はこのシステムの各部における記述である。

2.1 センサー及びエレクトロニクス部

上述した原理により設計されたセンサー部を図14に示す。設計上考慮しなければならない点はファラデーカップの第2グリッドへ印加した高周波電圧が微小電流を検出するコレクターに影響する事をふせぐ事である。このために4つの電極を支えるスペーサーは得られる材質の中で比較的誘電率の小さいテフロンを使用し、かつスペーサーの中を通る支持ネジはすべて探査機のフレームに接地した。また第4グリッドとコレクターは出来得る範囲で離れた。更に第1, 第2及び第3グリッドを含む部分を一つのセンサー, 第4グリッドとコレクターを含む部分をもう一つのセンサーにするように設計した。また第2グリッドに印加する1.83 kV にまで変化する電圧が第4グリッドに印加する二次電子電流抑圧のための-100 V ラインにもれ込むのを防ぐため, 二つの電極に接続される線はできるだけ

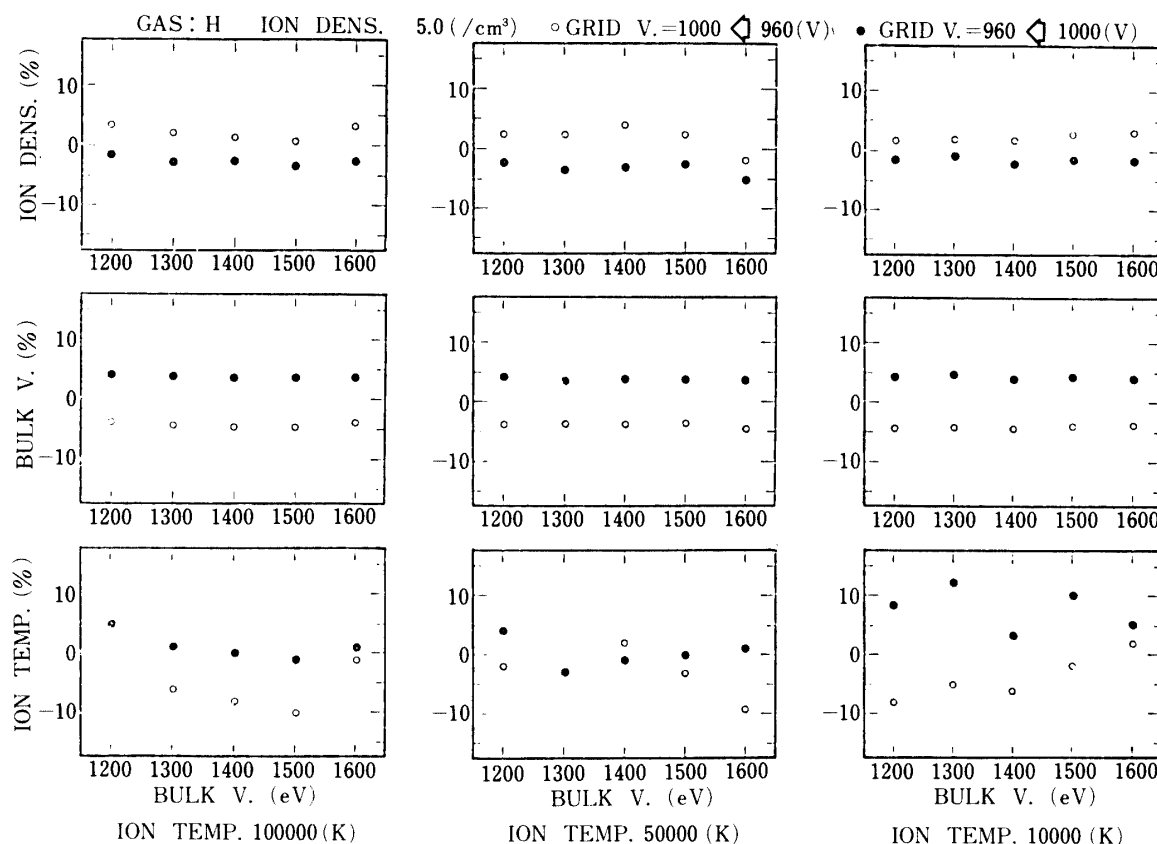


図 11 図 9 に示された高圧波形の平坦部に 40 V のあいまいさがある時のイオン温度、バルク速度、及びイオン密度計算の時の誤差。○印は 960 V に V_{G2} を設定したつもりが実際は 1000 V 印加していた時。●印は 1000 V に V_{G2} を設定したつもりが実際は 960 V であった時

け離れた。第 2 グリッドに接続される線はファラデーカップの中ではアルミニウム管の中を通して他の電極へのリークを防いだ。

コレクター面積はイオン電流を検出するためには大きければ大きいほど良いが一方、大きくすると周りのケースとの間の浮遊容量が大きくなり、システムの周波数応答が悪くなる。従ってコレクターにあらわれる電流を検出するためには第二グリッドに印加する矩形波電圧の周波数はできるだけ低い方がのぞましいが、一方このことは矩形波電圧を作るための重要な部品である DC/DC コンバータ用のトランスが大きくなるということであり、これは重量増につながる。結局は矩形波の周波数を 400 Hz と決めた。探査機壁とファラデーカップとの間はエポキシ材をベースとしたインターフェースでつなぎ、この帯電をできるだけ少なくするために表面をアルミ蒸着したのち、カーボンを吹きつけ熱処理した。センサーそのものは構体にとりつけられ、一方エポキシ材をベースとしたインターフェースは衛星パネルへ取付けられている事から、振動などによって機械的な取付け位置の歪み

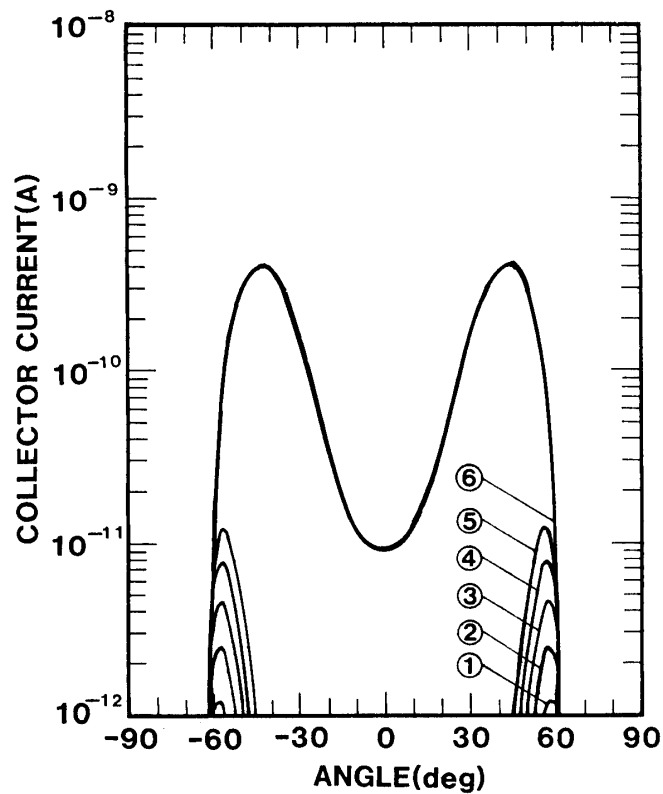


図 12 矩形波形電圧の振幅が(1)60 V, (2)70 V, (3)80 V, (4)40 V, (5)100 V および(6)300 V である時の特性曲線の変化. $T_i=10^5$ K, $V_b=309.1$ km/sec, $N_0=5$ 個/cm³



図 13 「さきがけ」に搭載された太陽風観測器

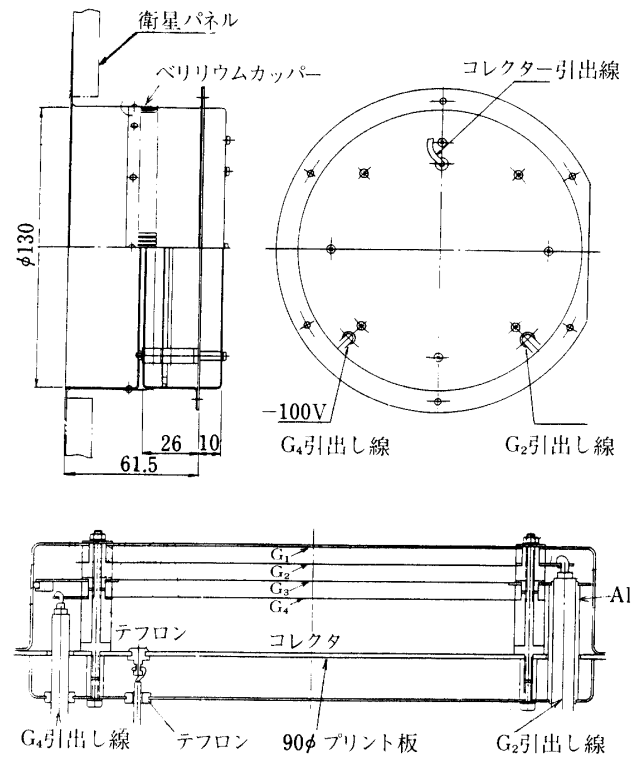


図 14 ファラデーカップの構造

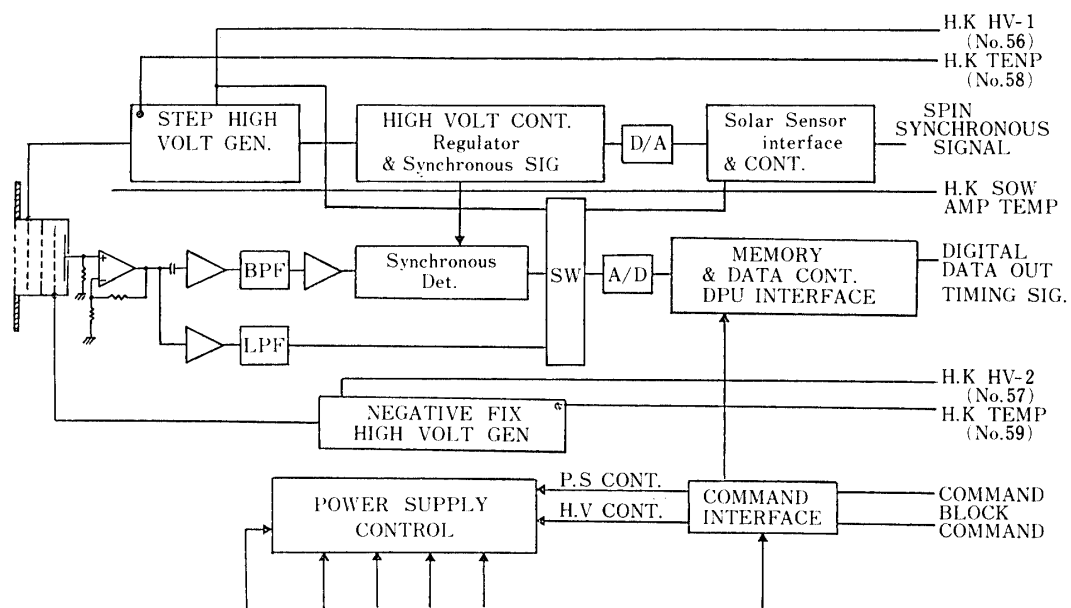


図 15 システムのブロック構成図

表1 High bit rate時3PIモードにおけるテレメータのワード割当て.

P C M データフォーマット - 8
(PWP, SOW, IMF)

W 0			W 32			W 64	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 0	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65	status		0	W 97		
W 2			W 34			W 66	status		1	W 98		
W 3	F I	D	W 35			W 67	status		2	W 99		
W 4	T I	D	W 36			W 68	H V-MON I			W 100		
W 5	H K	A	W 37			W 69	D C 1			W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70	A C 1			W 102		
W 7			W 39			W 71	" 2			W 103		
W 8	D・C		W 40			W 72	" 3			W 104		
W 9	ANS	D	W 41			W 73	" 4			W 105		
W 10			W 42			W 74	" 5			W 106		
W 11	B・C ANS	D	W 43			W 75	" 6			W 107		
W 12	P・C ANS	D	W 44			W 76	" 7			W 108		
W 13			W 45			W 77	D C 2			W 109		
W 14			W 46			W 78	A C 8			W 110		
W 15	S A		W 47			W 79	" 9			W 111		
W 16	STATUS	D	W 48			W 80	" 10			W 112		
W 17			W 49			W 81	" 11			W 113		
W 18			W 50			W 82	" 12			W 114		
W 19	DESPUN		W 51			W 83	" 13			W 115		
W 20	DATA	D	W 52			W 84	" 14			W 116		
W 21			W 53			W 85	D C 3			W 117		
W 22			W 54			W 86	A C 15			W 118		
W 23			W 55			W 87	" 16			W 119		
W 24	ATTITUDE		W 56			W 88	" 17			W 120		
W 25	DATA	D	W 57			W 89	" 18			W 121	IMF-X モニタ	A
W 26			W 58			W 90	" 19			W 122	IMF-Y モニタ	A
W 27			W 59			W 91	" 20			W 123	IMF-Z モニタ	A
W 28	角度		W 60			W 92	" 21			W 124	ANT STATUS	D
W 29	DATA	D	W 61			W 93	D C 4			W 125	ANT-1 LENGTH	A
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	A C 22			W 126	ANT-2 LENGTH	A
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	" 23			W 127	ANT-3 LENGTH	A

表 2 $W_{65} \sim W_{67}$ に含まれるステータス

	ST“O” W_{65}	0	1
B 0	SYN C S I G	1	
B 1		0	
B 2	H V S T E P M O D E	S T E P	F I X
B 3		N O R	F I N
B 4	H V S T E P C O N T R O L		
B 5			
B 6			
B 7			

	ST“1” W_{66}	0	1
B 0	MEMORYREAD	A	B
B 1	PRE ANP	A	B
B 2	CUR LIMIT	NOR	EMER
B 3	CAL/MES	MES	CAL
B 4	SENS	L	H
B 5	DC GA	L	H
B 6	AC GA MODE	F I X	A U T O
B 7	AC GA	L	H

	ST“2” W_{67}	
B 0	H V C O N T R O L	M S B
B 1		
B 2		
B 3		
B 4		
B 5		
B 6		
B 7		L S B

が生じて、お互いに機械的なストレスがかかるのを防ぐため、両者の間の電気的な接続はベリリウム銅のスプリング材を介して行った。

2.2 エレクトロニクス

コレクターによって検出されたイオン電流は図 15 に示すように DC プリアンプを通ったのち、ロックインアンプによって、増幅検波されて A/D 変換部へおくられた。信号は A/D 変換後、本測定器に割当てられたテレメータフォーマットに従って地上に送られた。

10^{-14} A まで測定できる微小電流検出用のプリアンプは信頼性部品としては余りに高価であったので民生品をエージングして使った。この IC アンプのみ予備を設け一方が故障した場合、リレーによって他方へ切り換えるシステムにした。しかしながら 1 年以上経た 1986 年 4 月の時点で何らゲインの劣化等はみられない。

2.3 データフォーマット

テレメータデータフォーマットは 1 フレームが 128 ワードで 1 ワード 8 ビットで構成されている。High bit rate 時における 3 PI モード（プラズマ波動観測器、惑星間空間磁場

表3 High bit rate時, 2PIモード(PWP, SOW)におけるテレメータワードの割当て
P C Mデータフォーマットー9
(PWP, SOW)

W 0	フレーム同期	D	W 32	PWP DATA	D	W 64	PWP DATA	D	W 96	A C 10		
W 1			W 33			W 65			W 97	" 11		
W 2			W 34			W 66			W 98	" 12		
W 3	F I	D	W 35			W 67			W 99	" 13		
W 4	T I	D	W 36			W 68			W 100	" 14		
W 5	H K	A	W 37			W 69			W 101	D C 3		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70			W 102	A C 15		
W 7	D・C A N S	D	W 39			W 71			W 103	" 16		
W 8			W 40			W 72			W 104	" 17		
W 9			W 41			W 73			W 105	" 18		
W 10			W 42			W 74			W 106	" 19		
W 11	B・C A N S	D	W 43			W 75			W 107	" 20		
W 12	P・C A N S	D	W 44			W 76			W 108	" 21		
W 13	S A STATUS	D	W 45			W 77			W 109	D C 4		
W 14			W 46			W 78			W 110	A C 22		
W 15			W 47			W 79			W 111	" 23		
W 16			W 48			W 80			STATUS	B0-3 0	B4-7 0	W 112
W 17			W 49			W 81			status	0	W 113	" 25
W 18	D E S P U N DATA	D	W 50			W 82			status	1	W 114	" 26
W 19			W 51			W 83	status		2	W 115	" 27	
W 20			W 52			W 84	H V-M O N I		W 116	" 28		
W 21	A T T I T U D E DATA	D	W 53			W 85	D C 1		W 117	D C 5		
W 22			W 54			W 86	A C 1		W 118	A C 29		
W 23			W 55			W 87	" 2		W 119	" 30		
W 24			W 56			W 88	" 3		W 120	" 31		
W 25			W 57			W 89	" 4		W 121	" 32		
W 26			W 58			W 90	" 5		W 122	" 33		
W 27			W 59			W 91	" 6		W 123	" 34		
W 28	角度 DATA	D	W 60			W 92	" 7		W 124	" 35		
W 29			W 61			W 93	D C 2		W 125	D C 6		
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	A C 8		W 126	A C 36		
W 31	PWP-STATUS	D	W 63	W 95	" 9	W 127	" 37					

表 4 High bit rate 時, 2 PI モード (SOW, IMF) におけるテレメータワードの割当て
P C M データフォーマット - B
(SOW, IMF)

W 0			W 32	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 0	W 64	A C 24	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33	status	0		W 65	" 25	W 97		
W 2			W 34	status	1		W 66	" 26	W 98		
W 3	F I	D	W 35	status	2		W 67	" 27	W 99		
W 4	T I	D	W 36	H V-M O N I			W 68	" 28	W 100		
W 5	H K	A	W 37	D C 1			W 69	D C 5	W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38	A C 1			W 70	A C 29	W 102		
W 7	D・C ANS	D	W 39	" 2			W 71	" 30	W 103		
W 8			W 40	" 3			W 72	" 31	W 104		
W 9			W 41	" 4			W 73	" 32	W 105		
W 10			W 42	" 5			W 74	" 33	W 106		
W 11	B・C ANS	D	W 43	" 6			W 75	" 34	W 107		
W 12	P・C ANS	D	W 44	" 7			W 76	" 35	W 108		
W 13	S・A STATUS	D	W 45	D C 2			W 77	D C 6	W 109		
W 14			W 46	A C 8			W 78	A C 36	W 110		
W 15			W 47	" 9			W 79	" 37	W 111		
W 16			W 48	" 10			W 80		W 112		
W 17			W 49	" 11			W 81		W 113		
W 18	DESPUN DATA	D	W 50	" 12			W 82		W 114		
W 19			W 51	" 13			W 83		W 115		
W 20			W 52	" 14			W 84		W 116		
W 21	ATTITUDE DATA	D	W 53	D C 3			W 85		W 117		
W 22			W 54	A C 15			W 86		W 118		
W 23			W 55	" 16			W 87		W 119		
W 24			W 56	" 17			W 88		W 120		
W 25			W 57	" 18			W 89		W 121		
W 26			W 58	" 19			W 90		W 122		
W 27			W 59	" 20			W 91		W 123		
W 28	角度 DATA	D	W 60	" 21			W 92		W 124		
W 29			W 61	D C 4			W 93		W 125		
W 30	CUS-DATA	A	W 62	A C 22			W 94		W 126		
W 31	PWP-STATUS	D	W 63	" 23			W 95		W 127		

表5.1 Low bit rate時 3PIモードにおけるテレメータワード割当て
W₆₄のステータス00, このフレームに限り W₆₅~W₆₈はステータス電圧のモニターに与えられる。

P C M データフォーマット - 8
(PWP, SOW, IMF)

W 0			W 32			W 64	STATUS	B0-3 0	B4-7 0	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65	status	0		W 97		
W 2			W 34			W 66	status	1		W 98		
W 3			W 35			W 67	status	2		W 99		
W 4	F I	D	W 36			W 68	H V-M O N I			W 100		
W 5	H K	A	W 37			W 69	D C 1			W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70	A C 1			W 102		
W 7	D・C A N S	D	W 39			W 71	" 2			W 103		
W 8			W 40			W 72	" 3			W 104		
W 9			W 41			W 73	" 4			W 105		
W 10			W 42			W 74	" 5			W 106		
W 11	B・C A N S	D	W 43			W 75	" 6			W 107		
W 12	P・C A N S	D	W 44			W 76	" 7			W 108		
W 13	S・A S T A T U S	D	W 45			W 77	D C 2			W 109		
W 14			W 46			W 78	A C 8			W 110		
W 15			W 47			W 79	" 9			W 111		
W 16			W 48			W 80	" 10			W 112		
W 17			W 49			W 81	" 11			W 113		
W 18	DESPUN D A T A	D	W 50			W 82	" 12			W 114		
W 19			W 51			W 83	" 13			W 115		
W 20			W 52			W 84	" 14			W 116		
W 21	ATTITUDE D A T A	D	W 53			W 85	D C 3			W 117		
W 22			W 54			W 86	A C 15			W 118		
W 23			W 55			W 87	" 16			W 119		
W 24			W 56			W 88	" 17			W 120		
W 25			W 57			W 89	" 18			W 121	IMF-X モニタ	A
W 26			W 58			W 90	" 19			W 122	IMF-Y モニタ	A
W 27			W 59			W 91	" 20			W 123	IMF-Z モニタ	A
W 28	角度 D A T A	D	W 60			W 92	" 21			W 124	ANT STATUS	D
W 29			W 61			W 93	D C 4			W 125	ANT-1 LENGTH	A
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	A C 22			W 126	ANT-2 LENGTH	A
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	" 23			W 127	MAST LENGTH	A

表 5.2 表 5.1 に同じ. W_{64} のステータス 01
 P C M データフォーマット - 8
 (PWP, SOW, IMF)

W 0			W 32			W 64	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 1	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65	A C 24			W 97		
W 2			W 34			W 66	" 25			W 98		
W 3	F I	D	W 35			W 67	" 26			W 99		
W 4	T I	D	W 36			W 68	" 27			W 100		
W 5	H K	A	W 37			W 69	" 28			W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70	D C 5			W 102		
W 7			W 39			W 71	A C 29			W 103		
W 8	D • C	D	W 40			W 72	" 30			W 104		
W 9	ANS		W 41			W 73	" 31			W 105		
W 10			W 42			W 74	" 32			W 106		
W 11	B • C ANS	D	W 43			W 75	" 33			W 107		
W 12	P • C ANS	D	W 44			W 76	" 34			W 108		
W 13			W 45			W 77	" 35			W 109		
W 14			W 46			W 78	D C 6			W 110		
W 15	SA	D	W 47			W 79	A C 36			W 111		
W 16	STATUS		W 48			W 80	" 37			W 112		
W 17			W 49			W 81	" 38			W 113		
W 18			W 50			W 82	" 39			W 114		
W 19	DESPUN	D	W 51			W 83	" 40			W 115		
W 20	DATA		W 52			W 84	" 41			W 116		
W 21			W 53			W 85	" 42			W 117		
W 22			W 54			W 86	D C 7			W 118		
W 23			W 55			W 87	A C 43			W 119		
W 24	ATTITUDE	D	W 56			W 88	" 44			W 120		
W 25	DATA		W 57			W 89	" 45			W 121	IMF-X モニタ	A
W 26			W 58			W 90	" 46			W 122	IMF-Y モニタ	A
W 27			W 59			W 91	" 47			W 123	IMF-Z モニタ	A
W 28	角度	D	W 60			W 92	" 48			W 124	ANT STATUS	D
W 29	DATA		W 61			W 93	" 49			W 125	ANT-1 LENGTH	A
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	D C 8			W 126	ANT-2 LENGTH	A
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	A C 50			W 127	MAST LENGTH	A

表5.3 表5.1に同じ。W₆₄のステータス 02
P C M データフォーマット - 8
(PWP, SOW, IMF)

W 0			W 32			W 64	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 2	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65	A C 51			W 97		
W 2			W 34			W 66	" 52			W 98		
W 3	F I	D	W 35			W 67	" 53			W 99		
W 4	T I	D	W 36			W 68	" 54			W 100		
W 5	H K	A	W 37			W 69	" 55			W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70	" 56			W 102		
W 7			W 39			W 71	D C 9			W 103		
W 8	D・C		W 40			W 72	A C 57			W 104		
W 9	ANS	D	W 41			W 73	" 58			W 105		
W 10			W 42			W 74	" 59			W 106		
W 11	B・C ANS	D	W 43			W 75	" 60			W 107		
W 12	P・C ANS	D	W 44			W 76	" 61			W 108		
W 13			W 45			W 77	" 62			W 109		
W 14			W 46			W 78	" 63			W 110		
W 15	SA		W 47			W 79	D C 10			W 111		
W 16	STATUS	D	W 48			W 80	A C 64			W 112		
W 17			W 49			W 81	" 65			W 113		
W 18			W 50			W 82	" 66			W 114		
W 19	DESPUN		W 51			W 83	" 67			W 115		
W 20	DATA	D	W 52			W 84	" 68			W 116		
W 21			W 53			W 85	" 69			W 117		
W 22			W 54			W 86	" 70			W 118		
W 23			W 55			W 87	D C 11			W 119		
W 24	ATTITUDE		W 56			W 88	A C 71			W 120		
W 25	DATA	D	W 57			W 89	" 72			W 121	IMF-X モニタ	A
W 26			W 58			W 90	" 73			W 122	IMF-Y モニタ	A
W 27			W 59			W 91	" 74			W 123	IMF-Z モニタ	A
W 28	角度		W 60			W 92	" 75			W 124	ANT STATUS	D
W 29	DATA	D	W 61			W 93	" 76			W 125	ANT-1 LENGTH	A
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	" 77			W 126	ANT-2 LENGTH	A
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	D C 12			W 127	ANT-3 LENGTH	A

表 5.4 表 5.1 に同じ. W_{64} のステータス 03
 P C M データフォーマット - 8
 (PWP, SOW, IMF)

W 0			W 32			W 64	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 3	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65	A C 78			W 97		
W 2			W 34			W 66	" 79			W 98		
W 3	F I	D	W 35			W 67	" 80			W 99		
W 4	T I	D	W 36			W 68	" 81			W 100		
W 5	HK	A	W 37			W 69	" 82			W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70	" 83			W 102		
W 7			W 39			W 71	" 84			W 103		
W 8	D • C		W 40			W 72	D C 13			W 104		
W 9	ANS	D	W 41			W 73	A C 85			W 105		
W 10			W 42			W 74	" 86			W 106		
W 11	B • C ANS	D	W 43			W 75	" 87			W 107		
W 12	P • C ANS	D	W 44			W 76	" 88			W 108		
W 13			W 45			W 77	" 89			W 109		
W 14			W 46			W 78	" 90			W 110		
W 15	S A		W 47			W 79	" 91			W 111		
W 16	STATUS	D	W 48			W 80	D C 14			W 112		
W 17			W 49			W 81	A C 92			W 113		
W 18			W 50			W 82	" 93			W 114		
W 19	DEPSUN		W 51			W 83	" 94			W 115		
W 20	DATA	D	W 52			W 84	" 95			W 116		
W 21			W 53			W 85	" 96			W 117		
W 22			W 54			W 86	" 97			W 118		
W 23			W 55			W 87	" 98			W 119		
W 24	ATTITUDE		W 56			W 88	D C 15			W 120		
W 25	DATA	D	W 57			W 89	A C 99			W 121	IMF-X モニタ	A
W 26			W 58			W 90	" 100			W 122	IMF-Y モニタ	A
W 27			W 59			W 91	" 101			W 123	IMF-Z モニタ	A
W 28	角度		W 60			W 92	" 102			W 124	ANT STATUS	D
W 29	DATA	D	W 61			W 93	" 103			W 125	ANT-1 LENGTH	A
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	" 104			W 126	ANT-2 LENGTH	A
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	" 105			W 127	ANT-3 LENGTH	A

表 6.1 Low bit rate 時 2 PI モード (PWP, SOW) におけるテレメータワードの割当て

W₈₀ のステータス 00. このフレームに限り, W₈₁~W₈₄ がス

テータス, 電圧のモニターに与えられる

P C M データフォーマット - 9

(PWP, SOW)

W 0			W 32			W 64		W 96	A C 10
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65		W 97	" 11
W 2			W 34			W 66		W 98	" 12
W 3	F I	D	W 35			W 67		W 99	" 13
W 4	T I	D	W 36			W 68		W 100	" 14
W 5	H K	A	W 37			W 69		W 101	D C 3
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70		W 102	A C 15
W 7			W 39			W 71		W 103	" 16
W 8	D・C		W 40			W 72		W 104	" 17
W 9	ANS	D	W 41			W 73		W 105	" 18
W 10			W 42			W 74		W 106	" 19
W 11	B・C ANS	D	W 43			W 75		W 107	" 20
W 12	P・C ANS	D	W 44			W 76		W 108	" 21
W 13			W 45			W 77		W 109	D C 4
W 14			W 46			W 78		W 110	A C 22
W 15	S A		W 47			W 79		W 111	" 23
W 16	STATUS	D	W 48			W 80	STATUS	W 112	" 24
W 17			W 49			W 81	status 0	W 113	" 25
W 18			W 50			W 82	status 1	W 114	" 26
W 19	DEPSUN		W 51			W 83	status 2	W 115	" 27
W 20	DATA	D	W 52			W 84	H V-MON I	W 116	" 28
W 21			W 53			W 85	D C 1	W 117	D C 5
W 22			W 54			W 86	A C 1	W 118	A C 29
W 23			W 55			W 87	" 2	W 119	" 30
W 24	ATTITUDE		W 56			W 88	" 3	W 120	" 31
W 25	DATA	D	W 57			W 89	" 4	W 121	" 32
W 26			W 58			W 90	" 5	W 122	" 33
W 27			W 59			W 91	" 6	W 123	" 34
W 28	角度		W 60			W 92	" 7	W 124	" 35
W 29	DATA	D	W 61			W 93	D C 2	W 125	D C 6
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 94	A C 8	W 126	A C 36
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 95	" 9	W 127	" 37

表 6.2 表 6.1 に同じ。W₈₀ のステータス 01
P C M データフォーマット - 9
(PWP, SOW)

W 0			W 32		W 64		W 96	A C 51
W 1	フレーム同期	D	W 33		W 65		W 97	" 52
W 2			W 34		W 66		W 98	" 53
W 3	F I	D	W 35		W 67		W 99	" 54
W 4	T I	D	W 36		W 68		W 100	" 55
W 5	H K	A	W 37		W 69		W 101	" 56
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38		W 70		W 102	D C 9
W 7			W 39		W 71		W 103	A C 57
W 8	D・C	D	W 40		W 72		W 104	" 58
W 9	ANS		W 41		W 73		W 105	" 59
W 10			W 42		W 74		W 106	" 60
W 11	B・C ANS	D	W 43		W 75		W 107	" 61
W 12	P・C ANS	D	W 44		W 76		W 108	" 62
W 13			W 45		W 77		W 109	" 63
W 14			W 46		W 78		W 110	D C 10
W 15	S A	D	W 47		W 79		W 111	A C 64
W 16	STATUS		W 48		W 80	STATUS	W 112	" 65
W 17			W 49		W 81	A C 38	W 113	" 66
W 18			W 50		W 82	" 39	W 114	" 67
W 19	DESPUN	D	W 51		W 83	" 40	W 115	" 68
W 20	DATA		W 52		W 84	" 41	W 116	" 69
W 21			W 53		W 85	" 42	W 117	" 70
W 22			W 54		W 86	D C 7	W 118	D C 11
W 23			W 55		W 87	A C 43	W 119	A C 71
W 24	ATTITUDE	D	W 56		W 88	" 44	W 120	" 72
W 25	DATA		W 57		W 89	" 45	W 121	" 73
W 26			W 58		W 90	" 46	W 122	" 74
W 27			W 59		W 91	" 47	W 123	" 75
W 28	角度	D	W 60		W 92	" 48	W 124	" 76
W 29	DATA		W 61		W 93	" 49	W 125	" 77
W 30	CUS-DATA	A	W 62		W 94	D C 8	W 126	D C 12
W 31	PWP-STATUS	D	W 63		W 95	A C 50	W 127	A C 78

表 6.3 表 6.1 に同じ. W_{80} のステータス 02

Low bit rate 時 2 PI モード (IMF, SOW) におけるテレメータワードの割当て

P C M データフォーマット - 9
(PWP, SOW)

W 0			W 32			W 64		W 96	A C 92
W 1	フレーム同期	D	W 33			W 65		W 97	" 93
W 2			W 34			W 66		W 98	" 94
W 3	F I	D	W 35			W 67		W 99	" 95
W 4	T I	D	W 36			W 68		W 100	" 96
W 5	H K	A	W 37			W 69		W 101	" 97
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38			W 70		W 102	" 98
W 7			W 39			W 71		W 103	D C 15
W 8	D・C	D	W 40			W 72		W 104	A C 99
W 9	A N S		W 41			W 73		W 105	" 100
W 10			W 42			W 74		W 106	" 101
W 11	B・C A N S	D	W 43			W 75		W 107	" 102
W 12	P・C A N S	D	W 44			W 76		W 108	" 103
W 13			W 45			W 77		W 109	" 104
W 14			W 46			W 78		W 110	" 105
W 15	S・A	D	W 47			W 79		W 111	
W 16	STATUS		W 48			W 80	STATUS	W 112	
W 17			W 49				B 0-3 0	B 4-7 2	
W 18			W 50			W 81	A C 79	W 113	
W 19	DESPUN	D	W 51			W 82	" 80	W 114	
W 20	DATA		W 52			W 83	" 81	W 115	
W 21			W 53			W 84	" 82	W 116	
W 22			W 54			W 85	" 83	W 117	
W 23			W 55			W 86	" 84	W 118	
W 24	ATTITUDE	D	W 56			W 87	D C 13	W 119	
W 25	DATA		W 57			W 88	A C 85	W 120	
W 26			W 58			W 89	" 86	W 121	
W 27			W 59			W 90	" 87	W 122	
W 28	角度	D	W 60			W 91	" 88	W 123	
W 29	DATA		W 61			W 92	" 89	W 124	
W 30	CUS-DATA	A	W 62			W 93	" 90	W 125	
W 31	PWP-STATUS	D	W 63			W 94	" 91	W 126	
						W 95	D C 14	W 127	

表 7.1 W₃₂ のステータス 00. このフレームに限り, W₃₃~W₃₆ がステータス, 電圧のモニターに与えられる.

P C M データフォーマット - B
(SOW, IMF)

W 0			W 32	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 0	W 64	A C 24	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33	status	0		W 65	" 25	W 97		
W 2			W 34	status	1		W 66	" 26	W 98		
W 3			W 35	status	2		W 67	" 27	W 99		
W 4	T I	D	W 36	H V - M O N I			W 68	" 28	W 100		
W 5	H K	A	W 37	D C 1			W 69	D C 5	W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38	A C 1			W 70	A C 29	W 102		
W 7	D・C A N S	D	W 39	" 2			W 71	" 30	W 103		
W 8			W 40	" 3			W 72	" 31	W 104		
W 9			W 41	" 4			W 73	" 32	W 105		
W 10			W 42	" 5			W 74	" 33	W 106		
W 11	B・C A N S	D	W 43	" 6			W 75	" 34	W 107		
W 12	P・C A N S	D	W 44	" 7			W 76	" 35	W 108		
W 13	S A S T A T U S	D	W 45	D C 2			W 77	D C 6	W 109		
W 14			W 46	A C 8			W 78	A C 36	W 110		
W 15			W 47	" 9			W 79	" 37	W 111		
W 16			W 48	" 10			W 80		W 112		
W 17			W 49	" 11			W 81		W 113		
W 18	DESPUN D A T A	D	W 50	" 12			W 82		W 114		
W 19			W 51	" 13			W 83		W 115		
W 20			W 52	" 14			W 84		W 116		
W 21	A T T I T U D E D A T A	D	W 53	D C 3			W 85		W 117		
W 22			W 54	A C 15			W 86		W 118		
W 23			W 55	" 16			W 87		W 119		
W 24			W 56	" 17			W 88		W 120		
W 25			W 57	" 18			W 89		W 121		
W 26			W 58	" 19			W 90		W 122		
W 27			W 59	" 20			W 91		W 123		
W 28	角度 D A T A	D	W 60	" 21			W 92		W 124		
W 29			W 61	D C 4			W 93		W 125		
W 30	CUS-DATA	A	W 62	A C 22			W 94		W 126		
W 31	PWP-STATUS	D	W 63	" 23			W 95		W 127		

表7.2 W₃₂のステータス01
P C MデータフォーマットーB
(SOW, IMF)

W 0			W 32	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 1	W 64	A C 65	W 96		
W 1	フレーム同期	D	W 33	A C 38			W 65	" 66	W 97		
W 2			W 34	" 39			W 66	" 67	W 98		
W 3	F I	D	W 35	" 40			W 67	" 68	W 99		
W 4	T I	D	W 36	" 41			W 68	" 69	W 100		
W 5	H K	A	W 37	" 42			W 69	" 70	W 101		
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38	D C 7			W 70	D C 11	W 102		
W 7	D・C A N S	D	W 39	A C 43			W 71	A C 71	W 103		
W 8			W 40	" 44			W 72	" 72	W 104		
W 9			W 41	" 45			W 73	" 73	W 105		
W 10			W 42	" 46			W 74	" 74	W 106		
W 11	B・C A N S	D	W 43	" 47			W 75	" 75	W 107		
W 12	P・C A N S	D	W 44	" 48			W 76	" 76	W 108		
W 13	S A S T A T U S	D	W 45	" 49			W 77	" 77	W 109		
W 14			W 46	D C 8			W 78	D C 12	W 110		
W 15			W 47	A C 50			W 79	A C 78	W 111		
W 16			W 48	" 51			W 80		W 112		
W 17			W 49	" 52			W 81		W 113		
W 18	D E S P U N D A T A	D	W 50	" 53			W 82		W 114		
W 19			W 51	" 54			W 83		W 115		
W 20			W 52	" 55			W 84		W 116		
W 21	A T T I T U D E D A T A	D	W 53	" 56			W 85		W 117		
W 22			W 54	D C 9			W 86		W 118		
W 23			W 55	A C 57			W 87		W 119		
W 24			W 56	" 58			W 88		W 120		
W 25			W 57	" 59			W 89		W 121		
W 26			W 58	" 60			W 90		W 122		
W 27			W 59	" 61			W 91		W 123		
W 28	角度 D A T A	D	W 60	" 62			W 92		W 124		
W 29			W 61	" 63			W 93		W 125		
W 30	C U S - D A T A	A	W 62	D C 10			W 94		W 126		
W 31	P W P - S T A T U S	D	W 63	A C 64			W 95		W 127		

表 7.3 W_{32} のステータス 02
P C M データフォーマット - B
(SOW, IMF)

W 0			W 32	STATUS	B 0-3 0	B 4-7 2	W 64		W 96	
W 1	フレーム同期	D	W 33	AC 79			W 65		W 97	
W 2			W 34	" 80			W 66		W 98	
W 3	FI	D	W 35	" 81			W 67		W 99	
W 4	TI	D	W 36	" 82			W 68		W 100	
W 5	HK	A	W 37	" 83			W 69		W 101	
W 6	AGC/PWR/他	A	W 38	" 84			W 70		W 102	
W 7			W 39	DC 13			W 71		W 103	
W 8	D・C	D	W 40	AC 85			W 72		W 104	
W 9	ANS		W 41	" 86			W 73		W 105	
W 10			W 42	" 87			W 74		W 106	
W 11	B・C ANS	D	W 43	" 88			W 75		W 107	
W 12	P・C ANS	D	W 44	" 89			W 76		W 108	
W 13			W 45	" 90			W 77		W 109	
W 14			W 46	" 91			W 78		W 110	
W 15	SA	D	W 47	DC 14			W 79		W 111	
W 16	STATUS		W 48	AC 92			W 80		W 112	
W 17			W 49	" 93			W 81		W 113	
W 18			W 50	" 94			W 82		W 114	
W 19	DESPUN	D	W 51	" 95			W 83		W 115	
W 20	DATA		W 52	" 96			W 84		W 116	
W 21			W 53	" 97			W 85		W 117	
W 22			W 54	" 98			W 86		W 118	
W 23			W 55	DC 15			W 87		W 119	
W 24	ATTITUDE	D	W 56	AC 99			W 88		W 120	
W 25	DATA		W 57	" 100			W 89		W 121	
W 26			W 58	" 101			W 90		W 122	
W 27			W 59	" 102			W 91		W 123	
W 28	角度	D	W 60	" 103			W 92		W 124	
W 29	DATA		W 61	" 104			W 93		W 125	
W 30	CUS-DATA	A	W 62	" 105			W 94		W 126	
W 31	PWP-STATUS	D	W 63				W 95		W 127	

表8 ブロックコマンドの内容。ブロックコマンド A とブロックコマンド B の違いはブロックコマンド A は高電圧の振巾およびその印加のモードを規定し，ブロックコマンド B はアンプ系のゲインおよびゲインのモードを設定する。二つのコマンドの区別は B₀ に 1 あるいは 0 を立てるかによって行う。

BC-A

B 0		1
B 1		—
B 2	0 1	STEP FIX
B 3	0 1	NOR FIN
B 4		HV STEP VOLTAGE
B 5		
B 6		
B 7		

BC-B

B 0		0
B 1		—
B 2	0 1	PREAMP A B
B 3	0 1	MES CAL
B 4	0 1	SENS L H
B 5	0 1	DC GAIN L H
B 6	0 1	AC GAIN CNT FIX AUTO
B 7	0 1	AC GAIN L H

	VOLTAGE
0	0
1	123
2	246
3	369
4	492
5	615
6	738
7	860
8	983
9	1106
A	1229
B	1351
C	1474
D	1597
E	1720
F	1843

観測器および太陽風観測器が一度に観測をする運用モードのこと) のデータ内容を表 1 に示す。W₆₄ から W₉₅ が太陽風観測器のデータで，他は PWP, IMF, 姿勢データ等である。W₆₅ から W₆₇ が SOW の運用状態を示すステータスで内容を表 2 に示す。W₆₈ が第 2 グリッドに印加された電圧，W₆₉, W₇₇, W₈₅, W₉₃ はコレクター電流の直流分のデータで，他のワードは交流分のデータとなる。同様に High bit rate 2 PI モード (プラズマ波動/太陽風観測モードあるいは太陽風/惑星間空間磁場観測モード) を表 3, 4 に示す。Low bit rate の場合 3 PI モード時は 4 フレームで探査機が一回転した時のデータを送る。2 PI モード時は 3 フレームで回転した時のデータを送る。

それぞれのデータフォーマットを表 5, 6 及び 7 に示し 3 PI モードの時は W₆₄ のステータ

スが 0, 1, 2, 3, 4 と順に変化し、従ってこのステータスによって 1 スピン分のデータを取り出す事ができる。2 PI モードの時はこのステータスが 0, 1, 2 と変化する。

2.4 運用モードとコマンド

太陽風観測器は第 2 グリッドに印加する電圧を変えて太陽風速測定に適した電圧に設定する。電圧設定のモードに三つある。固定モードは一定の高圧を印加するモードで 0 V (実際には ≈ 30 V) 123 V, 246 V, 369 V, 492 V, 615 V, 738 V, 860 V, 983 V, 1106 V, 1229 V, 1351 V, 1474 V, 1597 V, 1720 V, 1840 V の 16 段階の中から適当な電圧を選ぶ。ステップモードは上記 16 段階のうちの一電圧を基点として 1843 V までステップアップしまた、設定された初めの電圧にもどる。これを繰返す。ファインステップモードは、前記の電圧を選びその電圧から次のステップの電圧まで 16 段階で小さくステップアップするもので、たとえば 1106 V のファインステップモードを選ぶと、次のステップの電圧である 1229 V までの 123 V 間を 16 分割、即ちほぼ 77 V 刻みで 1106 V から 1229 V まで電圧をステップアップし、1229 V になったら再び 1106 V にもどり、同じ動作を繰返す。

太陽風観測器の AC アンプのゲインや、DC アンプのゲインを太陽風の密度により、コマンドによって設定する事ができる。AC ゲインは、FIX, AUTO モードがあり FIX はゲインを固定し、AUTO はある電圧に対し、探査機の一スピンの間ゲインを HIGH, 次の一スピンの間ゲインを LOW で観測する

2.4.1 ブロックコマンド

さきがけのコマンドには、ディスクリートコマンドとブロックコマンドがあり、SOW 運用に必要なブロックコマンドについて説明する。

ブロックコマンドは、2 種類あり、SOW の高圧をコントロールする BC-(A), ゲイン、センスなどのアンプコントロールをする BC-(B) である。ブロックコマンドは、8 bit 信号で各ビットの内容を表 2-8, 9 に示す。

BC-(A) の送信は、次のように送る。上位 4 bit, 下位 4 bit を 16 進で表現させる。たとえば高圧を 1106 V に固定し、運用を行う場合、表 8 を元にコーディングを行うと、上位 4 bit は 1010 で A, 下位 4 bit は高圧値を入れるもので、表 8 の 0 から F で示される電圧を選択する。ここでは、1106 V なので 9 になる。これで BC-(A) は A 9 となり、駒場の管制室のコンソールを通じ、臼田の 64 m アンテナから送信される。

BC-(B) は、SOW のアンプコントロールで内容は表 2-9 に示す。

Bit 2 (以後 B 2) は、プリアンプ A, B の選択、B 3 は観測モードの MEASURE なら 0, CALIBRATION では 1, B 4 はセンスの High, Low の選択, B 5 は DC ゲインの High, Low の選択, B 6 は AC ゲインコントロールの選択で、Fix は B 7 で示される AC ゲイン (High or Low) を固定するモード, AUTO は、第 2 グリッドにある一定の印加電圧において、AC ゲインを High と Low をくりかえすモードである。

2.6 データの角度割あてとテレメータへの送信

High bit rate の場合、角度割あては、サンセンサー (SAS) からのデータを元に行う。この情報は、各フレームの W 28, W 29 に出力される。これは SAS より出力されるサンパルスにより、各フレームの先頭ワードまでのさきがけの回転角 ϕ が計測され、そのフレー

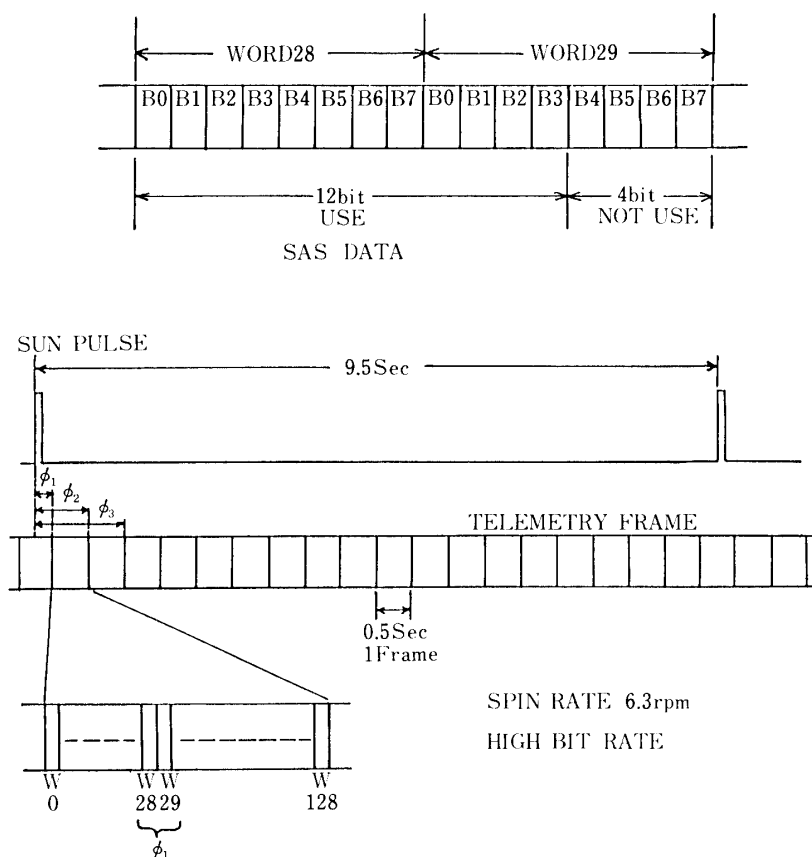


図16 角度データのテレメータデータへのわり当て

ムの W_{28} , W_{29} に出力される (図16)。角度データの内容は W_2 , W_{29} を組み合わせて全部で16ビット, そのうち上位12ビットを使用して角度を表現する。360°を12ビットで表現するため, 1ビットあたり, $0.087^\circ (= 360/2^{12})$ となる。

High bit rate の場合, どの PI モードにおいても W_{32} 目を送信する時からデータのサンプリングを開始し, 2ワード間隔でサンプリングを行う。そして, その時にサンプリングしたデータは, 次のフレームのデータとして送信される。そのため, あるフレームを送信している時間にデータをサンプリングして, 次のフレームの各ワードにデータをふりわけて送信, そしてサンプリング, これをくりかえす。データは直接にエンコードを通してはき出される。

High bit rate の3PIモードを例にとって, データの割ふりを説明すると, まず F_n フレームを送信していて, W_{32} を送信した時, SOW はデータをサンプリングし始める。図17のように2ワード送信する間隔でデータをサンプリングしていく。そして次のフレーム F_{n+1} のSOWデータの入る領域 ($W_{64} \sim W_{95}$) に F_n フレーム送信時にサンプリングしたデータが図のようにおさまって送信される。そのため, F_{n+1} フレームの各ワードデータに対応する角度は, 前のフレーム F_n を送信している時の角度情報を元に処理する必要がある。 F_n の

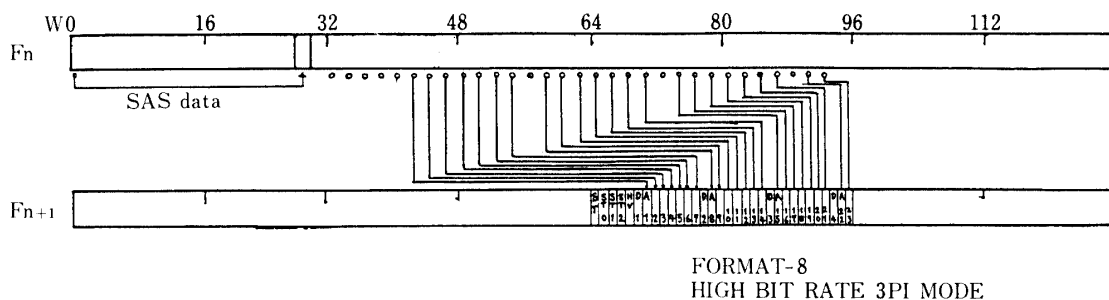


図 17 角度情報と太陽風観測器のデータとの関係

W_0 の持つ角度は、そのフレーム F_n の W_{28} , W_{29} に入る。これを A_{n1} とし、そして次のフレーム F_{n+1} の W_0 の持つ角度は、そのフレーム F_{n+1} の W_{28} , W_{29} に入り、それを A_{n2} とする。1 フレームを送信し終了まで (0.5 秒)、ほぼさきがけの回転 (10 秒で 1 回転) が一定と考え、1 ワードを送信するごとに $(A_{n2} - A_{n1})/128 \text{ deg}$ ずつ回転することになる。そのため 3 PI モードでは、各ワードデータの角度 A_n は

$$A_n = A_{n1} + (A_{n2} - A_{n1})/128 * (32 + 2(W_n - 65)) - 180[\text{deg}]$$

で示される。ここで W_n はワードナンバーで、図 2-12 で W_{70} の AC 1 は前フレームの W_{42} を送信している時にサンプリングしたデータであるので、このデータのもつ角度は

$$\begin{aligned} A_n &= A_{n1} + (A_{n2} - A_{n1})/128 * (32 + 2(70 - 65)) - 180 \\ &= A_{n1} + (A_{n2} - A_{n1})/128 * 42 - 180 [\text{deg}] \end{aligned}$$

さいこの 180° を差引くのは、SAS と SOW が 180° づれた位置に搭載されているため、各データを SOW を基準にするためである。

Low bit rate の場合、SOW データは 3 PI モードの場合 4 フレーム、2 PI モードの場合 3 フレームで 1 スピンデータとなる。3 PI モードを例にとって説明する。3 PI モードの場合、4 フレームで一組で、それぞれフレームの W_{64} のステイタスが 0, 1, 2, 3 となる。AC 成分のデータは、4 フレームあわせて 105 個となる。これらのデータが -90° から $+90^\circ$ に分配された形でデータをサンプリングすることになり、1 スピンデータは、ステイタスも含め、128 ワードで構成され、 180° を 128 等分して角度分割されている。各ワードの持つ角度は

$$A_n = -90 + 180/128 * (n - 1) [\text{deg}]$$

であたえられ、 n は一番最初のフレームの W_{65} のステイタスを 1 として、それから何ワード目かを示す値である。いちばん最後のフレームの W_{95} の AC データの持っている角度は、最初のフレームの W_{65} からかぞえて 124 個目のデータなので、このデータの持つ角度は、

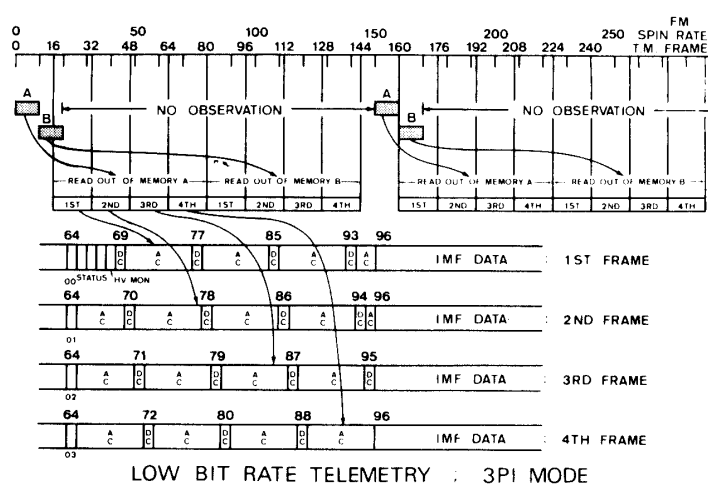
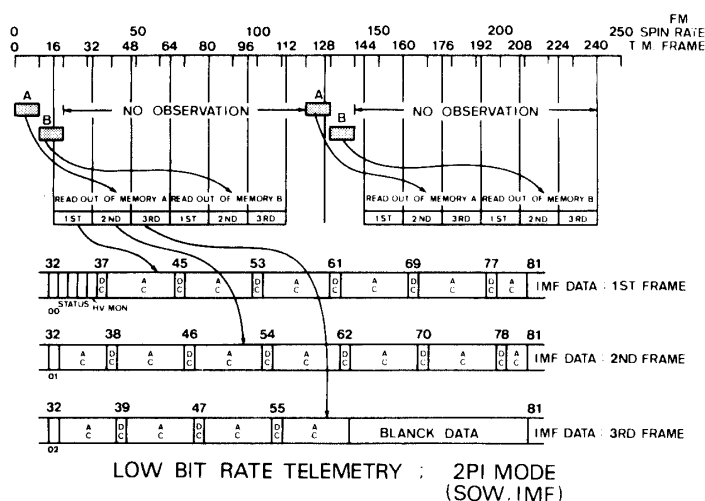
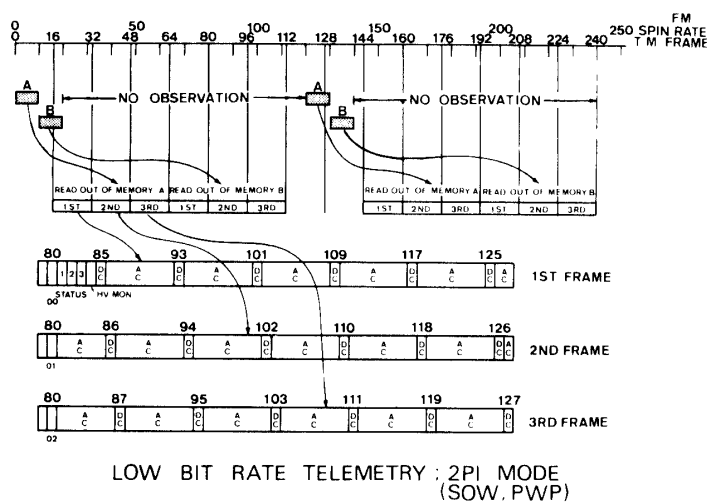


図 18 Low bit rate 時における太陽風観測器からのテレメータワードへの出力

$$A_n = -90 + 180/128(124-1) \approx 83^\circ$$

となり、各フレームの W_{64} のステイタスは角度情報を持たない。

Low bit rate の時のデータのはき出し方は図 18 に示す。測定器は 2 つのメモリーがあり、1 スピンサンプルデータがメモリー A におさまリ、テレメータにはき出すと同時にメモリー B に次の 1 スピンデータを記憶し始める。メモリー A がすべてデータをはき出し終ると、メモリー B からデータをテレメータにはき出し始める。メモリー A がすべてデータをはき出し終ると、メモリー B からデータをテレメータにはき出し始める。そしてメモリー B がすべてデータをはき出し終ってから、またデータをメモリー A に記憶し始める。そして前記のサイクルをくりかえし測定を行うため、3 PI モードの場合 128 秒、2 PI モードの場合 96 秒間程、測定が行なわれない時間が存在する。

2.7 テレメータに出力されたデシマル値と物理量との関係

2.7.1 第 2 グリッド印加電圧換算式

SOW の第 2 グリッドに実際に印加される高圧はデータフォーマットの中の HV モニターでわかる。そして、ステイタス(2)で加わえるべきコントロール電圧 H.V コントロールがわかる。

テレメータデータ (デシマル値 $0 \leq D \leq 255$) から電圧の変換式は

HV モニターのデータ D が $128 \leq D \leq 191$ の時は

$$HV_{mon} = 2.1614(D - 128) \quad [V]$$

$192 \leq D \leq 255$ の時は

$$HV_{mon} = 34.582(D - 192) \quad [V]$$

HV コントロールはそのデータを D とすると

$$HV_{con} = 7.673 * D + 1 \quad [V]$$

2.7.2 電流値変換式

コレクターに流れる電流を求めるため、テレメータデータを、いちど、アナログ電圧に変換し、SOW のアンプのセンス、ゲインの設定をもとにアナログ電圧に相当する電流値を求める。次にその変換式をまとめると

電流データ D が $0 \leq D \leq 63$ の時、アナログ電圧 A は次式で求める。

$$A = -(D + 0.5) * 4.99 * 10^{-3} \quad [V]$$

$64 \leq D \leq 127$ のときは、

$$A = -(D - 63.5) * 7.97 * 10^{-2} \quad [V]$$

$192 \leq D \leq 255$ のときは、

$$A = (D - 191.5) * 7.98 * 10^{-2} \quad [V]$$

アナログ電圧を電流値 I に変換する場合、次式で求める。

$$I = C * A$$

ここで C は定数で、SOW のアンプのセンス、ゲインによって異なり、ステイタス(1)でアンプのセンス、ゲインを読みとる。交流成分を求める時は求のようになる。

Sens: Low, Gain: Low $\rightarrow C = 1.059 * 10^{-8}$

Sens: Low, Gain: High $\rightarrow C = 1.10 * 10^{-9}$

Sens: High, Gain: Low $\rightarrow C = 1.064 * 10^{-9}$

Sens: High, Gain: High $\rightarrow C = 1.117 * 10^{-10}$

直流電流値の時、定数 C は、

Sens: Low, Gain: Low $\rightarrow C = 10^{-7}$

Sens: Low, Gain: High $\rightarrow C = 10^{-8}$

Sens: High, Gain: Low $\rightarrow C = 10^{-8}$

Sens: High, Gain: High $\rightarrow C = 10^{-9}$

となる。

3. 得られたデータ

さきがけより送信された SOW の生データをプロットしたのが図 19 である。High bit rate では 10 秒間隔で 1 データとなるが、データをサンプリングしない角度が出てくる。Low bit rate の時は、角度割あてがきまっているので、ほぼ等間隔でサンプリングされるが、1 分で 1 データとなり、時間分解能がおちる。物理パラメータを算出するため次に示す補正処理を行う。

生データは、横軸に太陽を基準(太陽方向を 0°)にして、 $-90^\circ \sim +90^\circ$ まで太陽を見る。プラズマフローに対して SOW の角度特性は、 $\pm 60^\circ$ 以上は視野がなく、そのためコレクター電流はゼロとなるはずであるが、第 2 グリッドに印加する高圧のリークのため、 -10^{-10} A 程に相当する電圧のオフセットがあり、高圧の上昇とともに増加する。そして、このレベルからコレクター電流が上昇していくので、このレベルをゼロレベルとしなければならないため、オフセット分だけ電流値をたしてやる補正が必要である。またメッシュによって実際の密度より少ない粒子がコレクターに入ってくるため、メッシュの透過率を考慮して、その分、電流を補正する(生電流値を 3.72 倍する)。

さきがけは、太陽を基準にして、ほぼ 30 km/s で動いている。そのため、太陽風イオンが動径方向に 400 km/s の速度で噴きつけている時、さきがけが観測する太陽風は、ベクトルの合成で 401 km/s の太陽風を観測することになる。速度量は、ほぼ同じものとして、角度において、生データは、 -4° 左側にづれることになる。その角度に加えて、太陽風は、かならずしも、動径方向から噴きつけるとはかぎらない。±数度、太陽方向からづれたりする。ゆえに生データは、さきがけの運動によるものと、プラズマフローの太陽方向からのづれによる効果で、 0° に対して非対称になる。この角度のづれを補正して対称にしてやる必要がある。理論曲線が 0° (プラズマフロー方向) を基準に対称であることによるもので、

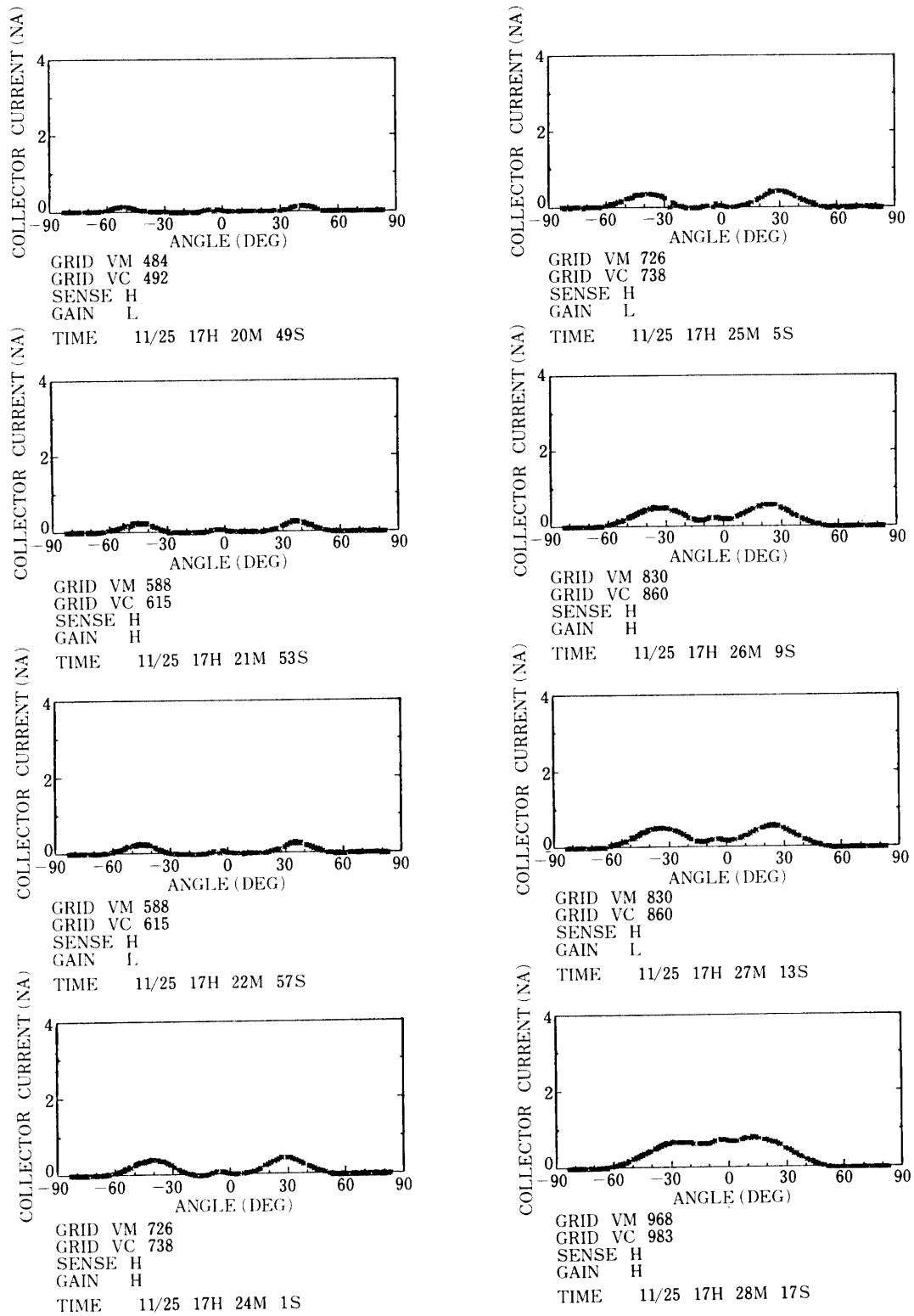


図 19 1985 年 11 月 25 日に得られた Low bit rate 伝送におけるコレクター電流/角度特性。左上より右下へ向かって第 2 グリッド電圧を 484 V, 588 V, 726 V, 830 V および 968 V と変化させた時のコレクター電流特性で図中 SENSEH, GAINL, GAINH はそれぞれプリアンプのゲイン及び ac アンプのゲインの高低をあらわす。

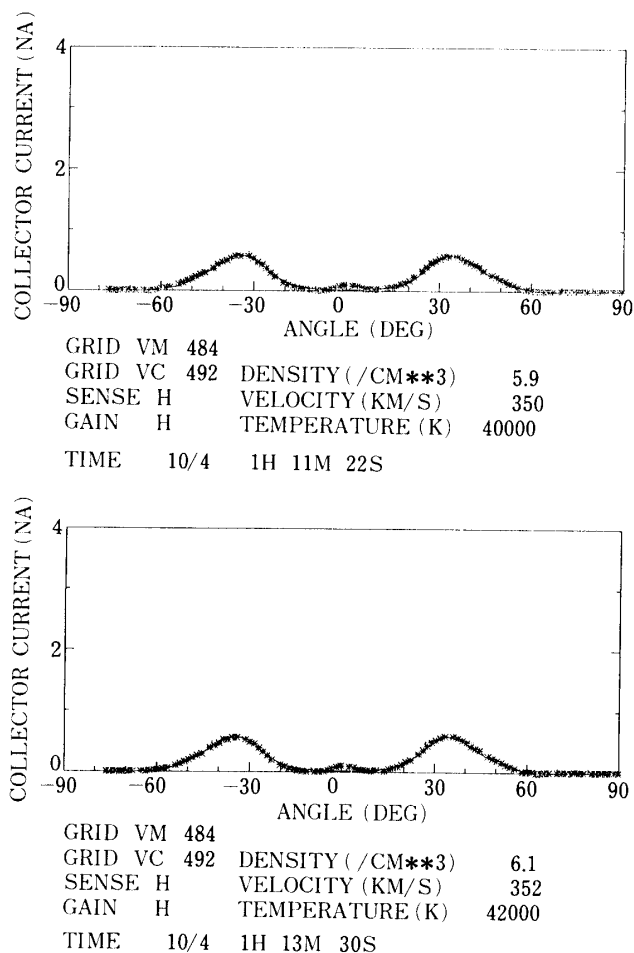


図20 カーブフィットしたコレクター電流/角度特性の2例. 上図は1985年10月4日1時11分22秒に下図は上図の約2分後に得られたデータ. 図の下の DENSITY, VELOCITY 及び TEMPERATURE はそれぞれカーブフィットして得られた数字である.

対称にづらしてから最小二乗法により, 測定データと理論曲線とをカーブフィッティングさせ, 太陽風イオンの速度, 密度, 温度を求める. また角度のずれから, プラズマフローのデータを求めることができる.

現在までに, SOW データ処理用のカーブフィッティングプログラムがあり, このプログラムを使用して処理を行った. このカーブフィッティングプログラムは最初にある一定の密度, 速度, 温度を決めておき (初期値), これらのパラメータを数%の値で増減させて, 理論値を計算し, 測定値と理論値が良く一致する, 密度, 速度, 温度値を求める. この時, 理論値と測定値との誤差を求め, それが最小になる理論曲線をさがすわけである. 生データに前記の補正処理を行い, カーブフィッティング処理を行って, 太陽風パラメータを求めた例を図20に示す.

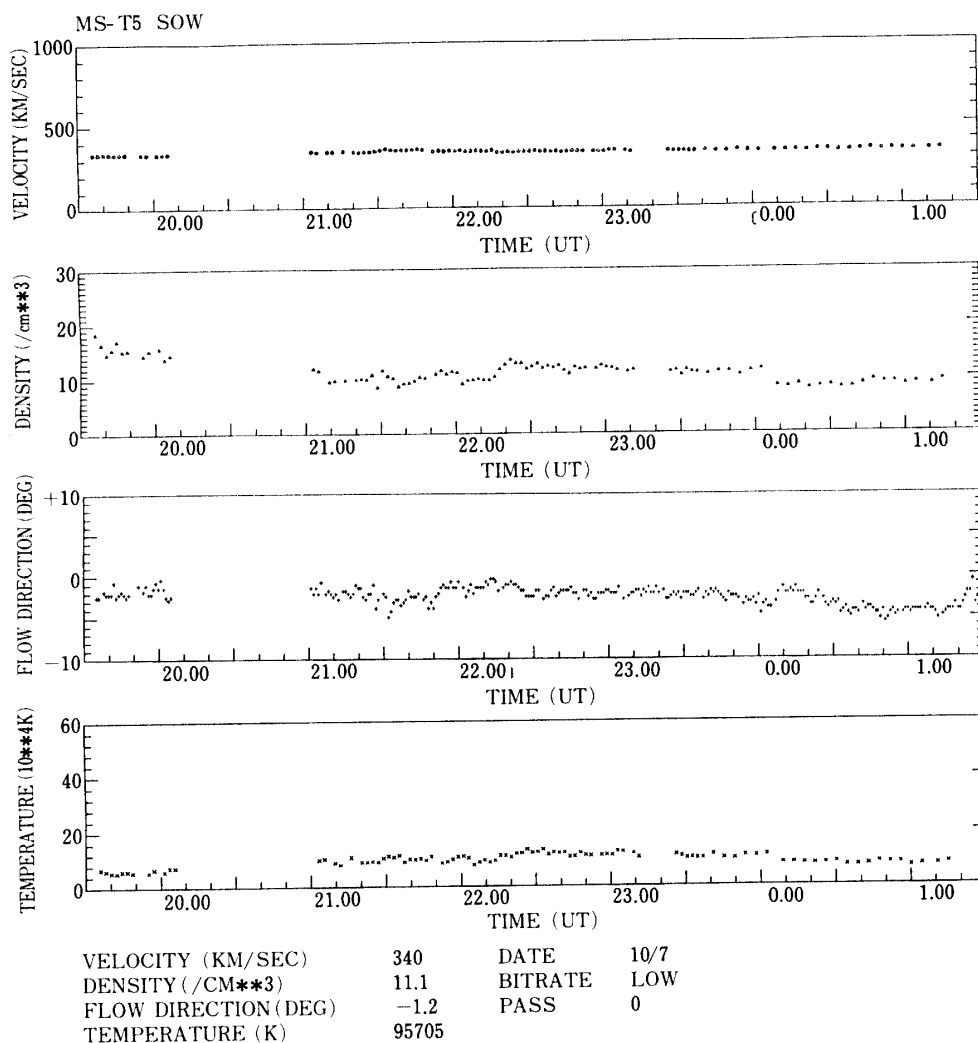


図 21 1985 年 10 月 7 日に得られたデータ

上よりバルク速度(km/sec), イオン密度(/cm³), プラズマ流の方向(度), 及びイオン温度(°K). プラズマ流の目盛のうち負は‘さきがけ’が太陽をみて右手よりプラズマが流れ込んでいる事をさす. この図の場合‘さきがけ’の太陽に対する速度を考慮すると約-4°が太陽方向を表わす.

3.1 一日の観測

図 21 は 1985 年 10 月 7 日に得られた観測時間内での時々刻々の太陽風速, イオン密度, イオン温度のプロットである. 惑星間空間磁場に大きな変動が見られない日は上記パラメータの時間的な変動はみられない.

図 22 は従ってこのような一日のプロットから 1~2 点を取り出してプロットした. 1985 年 2 月 21 日から 1985 年 11 月末までのデータである. まず目につく事は特に太陽風速における基本的な 27 日周期である. 大きな 27 日周期にまじって小さな風速の変動がみられる

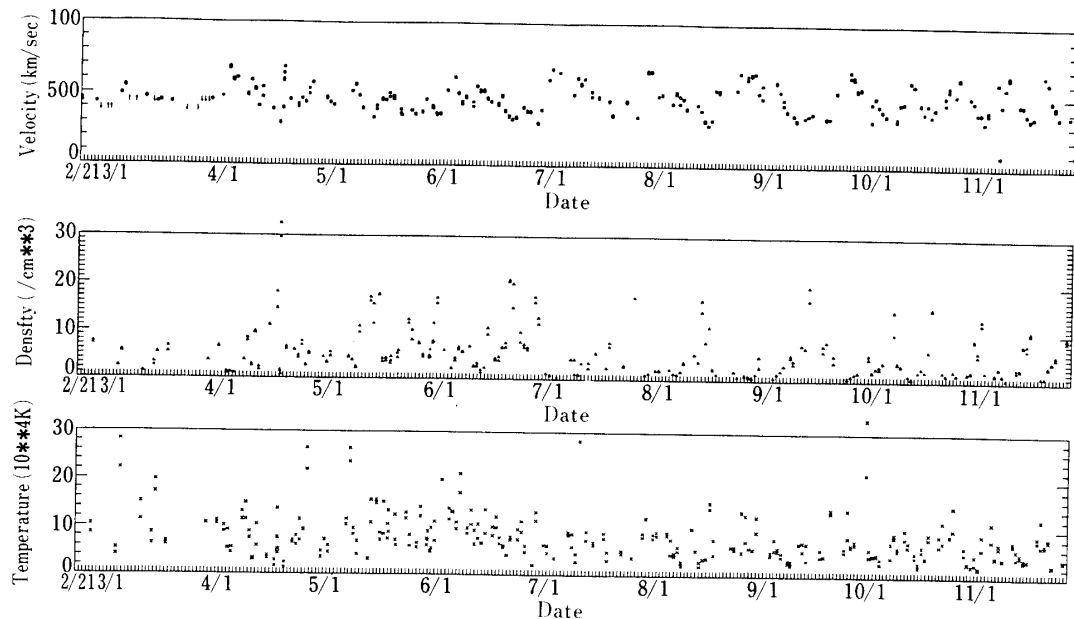


図 22 1985 年 2 月, 1985 年 11 月における太陽風速, イオン密度, イオン温度の日変化.

が, これらも同じように 27 日周期で変動しており, これらの変動は約一年以上の周期でゆっくり変動している. 1985 年 4 月 1 日~1985 年 6 月後半の期間に 27 日の周期が一見くずれたように見えるがよく検討するとこれは上記のようないくつかの 27 日周期の変化の幅が, たまたま小さくなった時に相当しているが, それでも依然として 27 日周期をみる事ができる. 従ってこのような 27 日周期をもって太陽が比較的しずかに活動している時にはデータ取得前に太陽風速を予知する事ができる. 太陽風観測データによる予測がはずれだしたのは 1986 年 3 月 14 日以後で, これについては別稿にゆずる.

一般的な太陽風の振舞いとして太陽風速が上昇しはじめる直前でイオン密度が減少している. これははじめに太陽面を出た低速のプラズマ流の後から高速のプラズマ流が追いかけるためにおこるよく知られた現象である. またイオン温度と風速とは同位様で変化する. 太陽風は太陽磁気赤道付近からでるものが一番遅い事が知られており, この風速の日変化に惑星間空間磁場観測器から得られた惑星間空間磁場の方向を重ねてかくと, ほぼ磁場の方向が反転する日に太陽風速のおそい所が相当あるのがよくわかる.

さきがけによって得られるデータはほぼ太陽活動度極小期のものであり, これを 22 年前の太陽極小活動期に得られたパイオニア 6 の速度のヒストグラムと比べるとよくにている. またゴスリング等は太陽風速のヒストグラムの年変化を調べ, 太陽活動度極小期にあたった 1974 年に高速領域にもう一つの山がある事を指摘しているが, 「さきがけ」によって得られたデータにおいても速度 600 km/秒付近をピークとする件数の最大がみられるので, このような風速のヒストグラムは太陽活動極小期における特徴かもしれない.

4. データの公開について

現在使われている主なプログラムは

1. 図 16 のような生データのプロットをするプログラム
2. 生データからカーブフィッティングできるデータを取り出して最終的な物理量をもとめる。
3. 2 のプログラムで得られた量を入力して図 17 のような図を作る
4. 2 によるプログラムによって得たデータを入力して図 18 のような日変化をプロットするプログラム

である。今年中には、太陽風速、風向、イオン温度及びイオン密度が簡単にファイルから読めるようになるよう現在作業中であり、この時点で興味をお持ちの方は自由にファイルから読んでもらう事ができるようになるであろう。

謝 辞

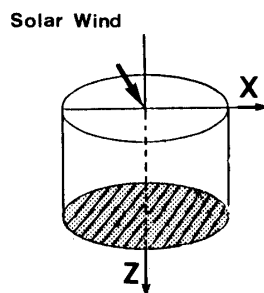
「さきがけ」の成功は宇宙科学研究所の職員をはじめとする、関係諸機関の、多くの方々の地道な努力と、多くの人々の直接、あるいは間接の援助によってはじめてなされた偉業であり、特定の少数の人々によってなされたものではないので、ここで名前を列記する事はさし控えたい。ただ、この太陽風観測器の設計製作にあたって、献身的に働いてくださった明星電気(株)庄村氏の名を記し、更に以下の文を付記する事を許していただきたいと思う。

不慮の事故で手足の感覚を失った氏が近い将来社会復帰できる事を切に祈るものである。庄村さん頑張れ。

付 録

ファラデーカップの形状は上部に開口部、下部にコレクターを持ち、中心軸に対して軸対称である。

ファラデーカップの中心軸にそって、下向き(コレクター方向)に z 軸をとる。 z 軸に垂直に、かつプラズマフロー方向と z 軸がなす平面内に x 軸をとる。 x 軸、 z 軸に垂直に y 軸をとる。



付図 1 式(1)を計算する時の座標軸

太陽風のイオン密度を n_0 , バルク速度を \vec{V}_0, \vec{V}_0 と z 軸のなす角を θ , イオン温度を T_i (但し, 等方的なマクスウェル分布であるとする) とする. \vec{V}_0 は次のようになる.

$$\vec{V}_0 = \begin{pmatrix} v_{x0} \\ 0 \\ v_{z0} \end{pmatrix} = V_0 \begin{pmatrix} \sin \theta \\ 0 \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (1)$$

分布関数を次のようになる.

$$f(v_x, v_y, v_z) = A e^{-\alpha(v_x - v_{x0})^2} e^{-\alpha(v_z - v_{z0})^2} \quad (2)$$

但し, $\alpha = m_i / 2KT_i$, m_i はイオン質量, K はボルツマン定数, $A = (\alpha/\pi)^{3/2} \cdot n_0$

ファラデーカップ内部での粒子の軌跡を考える. ファラデーカップ開口部を一定速度 $\vec{v}_i = (v_x, v_y, v_z)$ で通過した粒子束について考えると, 粒子の軌跡は, 第2グリッド電圧によって減速され, 曲げられる. この時, もし開口部の大きさとコレクターの大きさが同程度であるとしたら開口部を通過する時の場所が異なる粒子は, その場所によってはコレクターに到達せず, 側面に衝突するものがあり, その結果, 開口部を通過した粒子束のうち一部のみしか, コレクターに達しない. これを防ぐために, 開口部を狭くしぼり, そのまわりを金属円板でおおう. すると, 内部の側面壁に粒子が衝突することはない. この結果, 開口部を通過した粒子のうち, $v_z > \sqrt{\frac{2eV_{G2}}{m_i}}$ の粒子は, すべてコレクターに達すると考えてよい.

コレクター電流出力がどのようなになるかを計算する. 第2グリッド電圧 V_{G2} でコレクターに流れる電流 I は,

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} dv_x \int_{-\infty}^{\infty} dv_y \int_W dv_z \cdot f(v) \cdot v_z S(\theta) \cdot e$$

但し, $W = \sqrt{\frac{2eV_{G2}}{m_i}}$, $S(\theta)$ はコレクターの角度 θ における有効面積, e は電荷.

この装置では, 第2グリッド電圧 V_{G2} に対する出力と, 第2グリッド電圧 $0V$ に対する出力の差 (交流成分) を検出するものであるから, 電流差 I_{out} は,

$$I_{out} = \int_{-\infty}^{\infty} dv_x \int_{-\infty}^{\infty} dv_y \int_0^W dv_z \cdot f(v) \cdot v_z \cdot S(\theta) e \quad (3)$$

(2)式を用いて(3)式を書きかえる.

$$I_{out} = \int_{-\infty}^{\infty} dv_x \int_{-\infty}^{\infty} dv_y \int_0^W dv_z \cdot A \cdot e^{-(v_x - v_{x0})^2} \cdot e^{-\alpha v_y^2} e^{-\alpha(v_z - v_{z0})^2} \cdot v_z \cdot S(\theta) \cdot e \quad (4)$$

$v_x - v_{x0} = u$, $v_z - v_{z0} = 0$ とおき, さらに, $v_{z0} = V_0 \cos \theta \equiv V_0 \zeta$ とおくと

$$I_{out} = AS(\theta) e \int_{-V_0 \zeta}^{W - V_0 \zeta} dt \int_{-\infty}^{\infty} du \int_{-\infty}^{\infty} dv_y e^{-au^2} e^{-\alpha v_y^2 - \alpha t^2} (t + V_0 \zeta)$$

ここで

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-au^2} du = \sqrt{\frac{\pi}{a}}, \quad \int t e^{-at^2} dt = -\frac{1}{2a} e^{-at^2}$$

を用いて,

$$I_{\text{out}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} n_0 S(\theta) e \left\{ V_0 \zeta \int_{-V_0 \zeta}^{W-V_0 \zeta} e^{-at^2} dt + \frac{1}{2\alpha} (e^{-\alpha V_0^2 \zeta^2} - e^{-\alpha (W-V_0 \zeta)^2}) \right\} \quad (5)$$

となる。