

TVC 動特性計測装置

上 杉 邦 憲

1. 緒 言

従来 NTC (能代実験場)における地上燃焼実験の計測は、そのほとんどすべてがビジグラフ、ペン書オシロなどを用いたアナログ計測で行なわれてきた。しかるに飛しょうするロケットのミッションがしだいに高級なものになるにつれ、主推力、内圧、真空圧をはじめとするエンジン性能の評価に必要な各種計測値、さらには TVC 付エンジンの開発に伴い横推力、噴射流量などのいわゆる TVC 動特性と呼ばれる各計測項目の測定精度が現在のアナログデータから読みとる方式では不十分になってきた。さらに、エンジンの大型化、複雑化に伴う計測点数の増加により、較正、計測および取得データの処理に要する労力の増大、作業の煩雑化が問題となってきた。

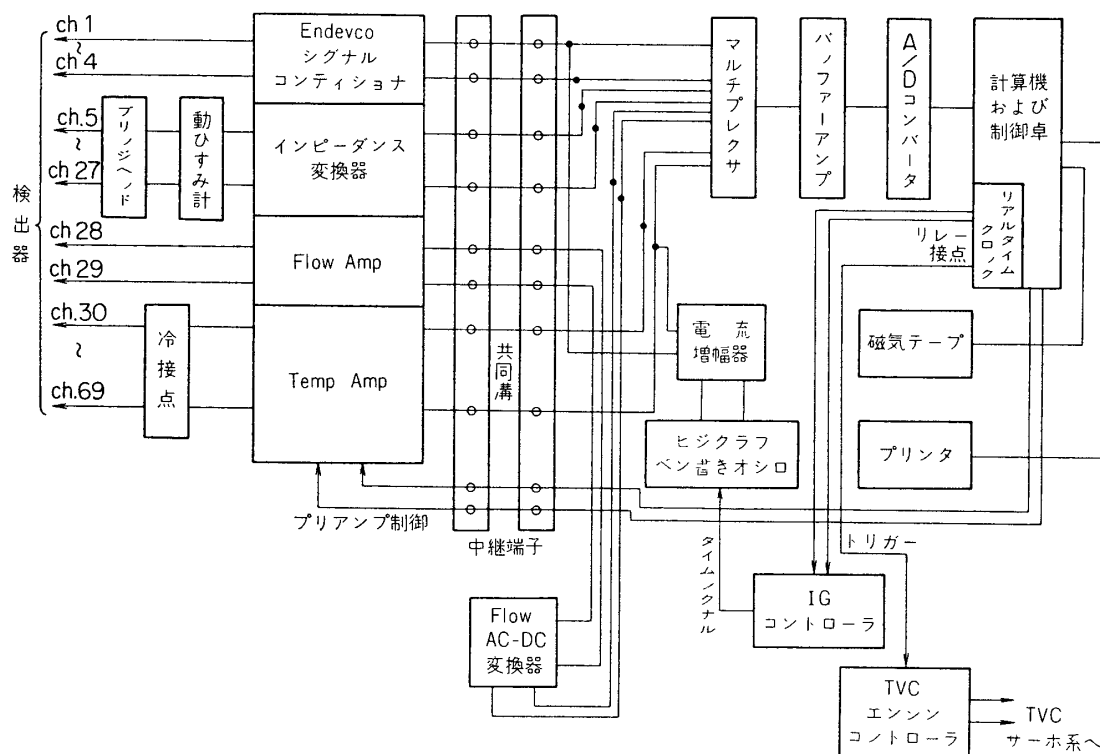
そこでこれまでのアナログ計測をすべてデジタル計測に切り換え、集録したデータを格納した磁気テープ (MT) を宇宙研に持ち帰って HITAC 5020 F で処理することにより高精度化、高能率化をはかるとともに、すべての計測、較正をコンピュータの管理の下で行なうことによって省力化をはかることが計画され、「TVC 動特性計測装置」(製作 TEAC 社)として一応完成したのが昨 11 月であった。本装置は SB-300-TVC-2 燃焼実験 (昭和 46 年 11 月 28 日 γ) から運用が開始されたが、ここではこれを機に本装置の構成、計測方法、ソフトウェア、実際の計測結果などについてその概略を報告する。

2. 装置の構成

図 2-1 に示したブロック図の流れに従って装置の構成について説明を加える。

本装置では 69 チャンネルの計測が可能であり、そのうち 27 チャンネルが動ひずみ計を使用するものに用いられる。このうち特に高精度の計測を要求される主推力、内圧、真空圧などについては Endevco 社製シグナルコンディショナ (ひずみ計組込み) を用い測定誤差を $\pm 0.1\%$ 以内とした (4 チャンネル)。この精度は実験結果から算出する比推力の誤差が 1 sec 以内となるように決められたものである。残りの 23 チャンネルは横推力、振動、ひずみ、拡散筒圧、TVC フィード系各圧力などの測定用として Shinko 動ひずみ計を使用し、その精度は $\pm 1\%$ である。この動ひずみからの出力はプリアンプによってインピーダンス変換され第一計測室へ送られる。また温度などのようにひずみを必要としない一般の増幅用のプリアンプが 40 台用意されている。なお流量など増幅のいらぬ計測項目についてはインピーダンス変換用に $\times 1$ 倍のプリアンプが 2 台用意されている。表 2-1 にこの前置増幅器の種類と特性、図 2-2 に外観を示した。

プリアンプからの出力は図 2-3 の配置図に示したように共同溝内に引かれたケーブルを



第 2-1 図 TVC 動特性計測装置ブロック図

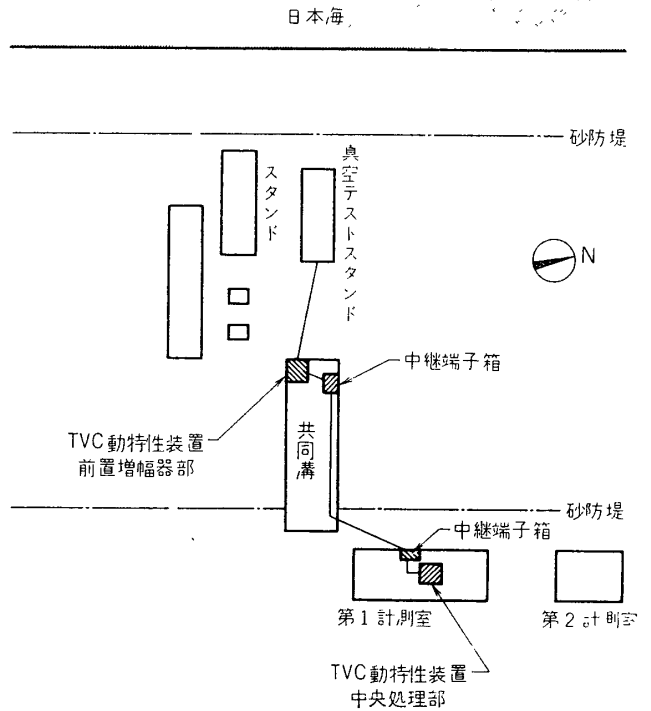
表 2-1 TVC 動特性計測装置増幅器性能

ch. NO.	増幅器名	増幅方式	増幅倍率	入力インピーダンス	周波数特性	出力インピーダンス	精度	主要計測項目
1~4	Endevco シグナルコンディショナ	DC amp.	×300	ブリッジ入力	0~10 kHz	150Ω 以下	5 mV/5 V (0.1%)	推力, 内圧, 真空圧, 横分力
5~27	Shinko 動歪計	DC amp.	×500 ~ ×1,000	ブリッジ入力	0~2 kHz	150Ω 以下	50 mV/5 V (1%)	推力, 内圧, 歪, 振動, 真空圧, 横分力
28~29	Flow	DC amp.	×1	100 kΩ 以上	0~100 Hz	150Ω 以下	50 mV/5 V (1%)	流量
30~69	Temp.	DC amp.	×100 ~ ×500	100 kΩ 以上	0~10 Hz	150Ω 以下	50 mV/5 V (1%)	温度 一般の増幅

経て第一計測室へ導かれる。ここで中継端子箱よりとり出されたアナログ信号は、中央処理装置 (CPU) に入り、マルチプレクサ、A-D コンバータを経てデジタル信号として処理されることになる。なおモニタとして従来のアナログ計測系を用いる場合には、マルチプレクサに入る直前のアナログ信号をモニタ端子パネルから任意にとり出すことができる。表 2-2 にマルチプレクサ、A-D コンバータの仕様を示した。すなわちマルチプレクサのチャンネルの選択は CPU より送られてくるコマンド (マルチプレクサチャンネルアドレス指定) を



第 2-2 図 TVC 動特性計測装置
前置増幅器部



第 2-3 図 TVC 動特性計測装置配置図

表 2-2 マルチプレクサ, A/D コンバータ仕様

マルチプレクサ		A/D コンバータ	
入力チャンネル数	77 ch	方式	逐次比較方式
入力電圧	±5 V	入力電圧	±5 V
切換速度	20 kHz (max.)	出力形式	SIGN+10 ビット
整定時間	5 μsec	変換速度	25 μsec 以下
スキニング方式	アドレス指定ランダムスキャン	精度	±0.1%, ±1 digit
精度	±0.1%		
サンプリング	リアルタイムクロックによる		

解読して行なわれる。マルチプレクサのスキャン速度は最大 20 kHz であるが、取得データを磁気テープに集録する場合には磁気テープへの書込み速度からくる制約のため最大 5 kHz となっている。図 2-4 に中央処理装置の外観を示した。左段上からマルチプレクサ、A-D コンバータ、モニタ端子パネル、右段上からデジタル磁気テープ装置、小型電子計算機、デジタル電圧計である。

この小型電子計算機 PDP-8 E は本処理装置の中核として下記のようなシステムの制御お

よび処理を行なう。

① データの集録，処理

各トランスデューサの出力を選択してマルチプレクサを切換え，データを集録すると同時にデータの MT 転送を行なう。また集録したデータの処理を行なう。

② 動ひずみ計の校正

ひずみ計のブリッジの R の切換えを制御パネルの校正スイッチにて行ない，この動ひずみ計のデータを順次スキャンしてデジタル化したのち，データのプリント，MT への転送を行なう。

③ 校正電圧の切換え

校正電圧のモード切換えを行ない，0 mV，±5 mV，±10 mV に対する各チャンネルのデジタルデータをプリントアウトする。

④ マルチプレクサの選択

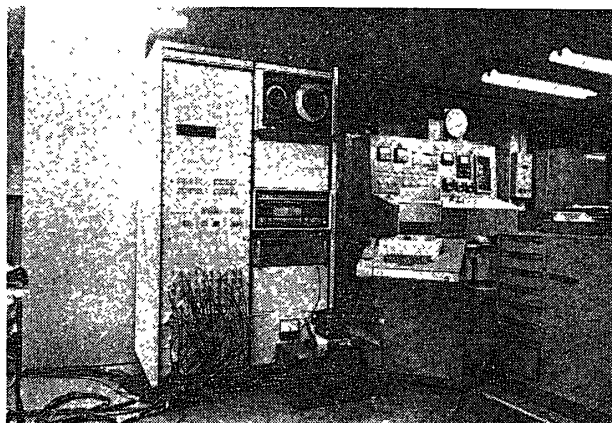
マルチプレクサのチャンネルをアドレス指定によって行なう。チャンネルをシーケンシャルにスキャンする場合もアドレスを順次スキャンして行なう。

⑤ サンプリング周波数の選択

リアルタイムクロックの使用によりデータ集録時のサンプリング周波数を指定する。

⑥ リレーコントロール

リアルタイムクロックを使用して最大 15 項目のリレー接点の ON-OFF をコマンドにより行なう。



第 2-4 図 TVC 動特性計測装置中央処理部

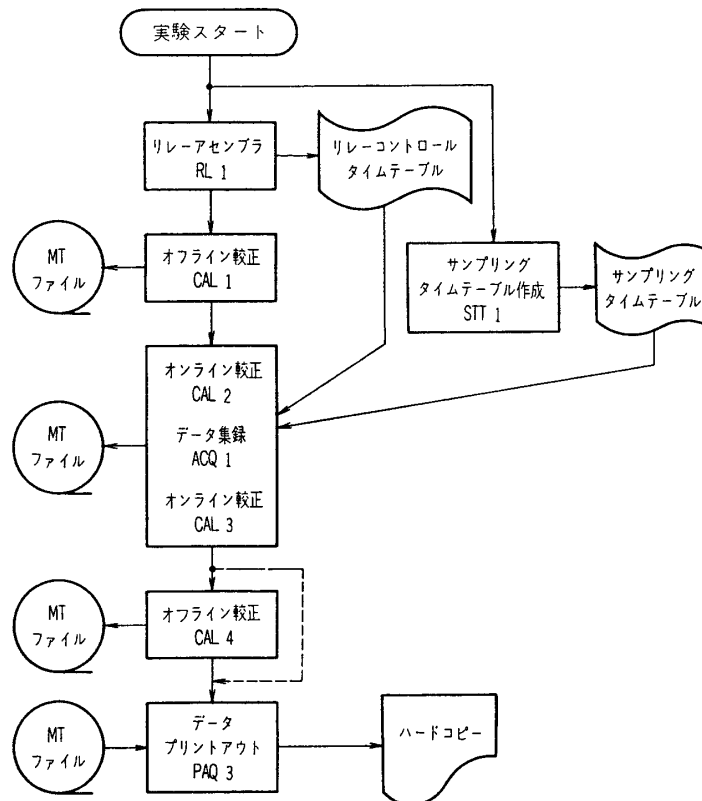
3. ソフトウェアと計測方法

ここでは校正時，計測時などに用いられるソフトウェアを中心に計測の方法について概略を説明する。

PDP-8 E にて使用するプログラムは主として次の 9 種類からなる。

- ① CPT (Control Panel Test)
- ② CHECK 8 (MT Check)
- ③ CALC (Calibration Check)
- ④ RL 1 (Relay control time table)
- ⑤ STT 1 (Sampling Time Table)
- ⑥ CAL 1 (off-line Calibration 1)
- ⑦ ACQ 1 (data Acquisition)
- ⑧ CAL 4 (off-line Calibration 4)
- ⑨ PAQ 3 (Print-out After data acQquisition)

このうち①は CPU から周辺機器へのコマンドのアンサをチェックし，②はデジタル磁



第 3-1 図 実験時ソフトウェア流れ図

気テープ装置のチェックを行なうプログラムである。また③はプリアンプ部のチェック用プログラムで、校正電圧、イニシャルバランス、零点などが必要な精度で得られているか否かを検査する。以上三つのプログラムによって中央処理装置部、プリアンプ部双方の機能が正常であることが確認されると図 3-1 に示したような流れに従って作業が進められる。まず各計測項目のサンプリング周波数が決定すると、これをマルチプレクサに対するコマンドとするためのタイムテーブルがプログラム④を用いて作成される。CPU は 0.1 秒間を 1 ブロックとして MT に転送し、1 ブロックには 500 個までのデータが許される。このタイムテーブルは 1 ブロック内のどの時点でどのチャンネルを選択するかを指示するものであり、データ集録時には 0.1 秒周期でこのテーブルが繰返し使用される。したがってマルチプレクサのスキャン周波数は最大 5 kHz (この場合計測可能チャンネル数は 1 となる)、最低 10 Hz である。なおデータ集録時にサンプリング周波数を変更したい場合 (たとえば点火時付近のみ内圧を高周波数でサンプリングしたい場合など) にそなえて、タイムテーブルは 2 種類まで使用することができるようになっている。

一方プログラム⑤によってリレー接点を ON-OFF するためのタイムテーブルが作成される。このリレーはコントローラのスタート、TVC インジェクタントの噴射コマンド、点火などに用いるためのもので、リアルタイムクロックにより 0.1 秒を単位として 15 項目最大 120 回の ON-OFF が可能である。

各計測班が行なう実験前の較正はプログラム⑥CAL 1 を用い CPU の管理の下に進められる。この較正は CPU とそのオペレータとの対話によって行なわれるが、得られるデータは各計測装置の特性によって次の四種類にわけられる。

- (1) 高精度ストレインメータの場合 (ch. 1~ch. 4)
 1. 実単位の値 A (オペレータが与える)
 2. A に対する実測値 V_{OFF}
 3. この時点の較正電圧 V_{ON1}
- (2) 普通精度ストレインメータの場合 (ch. 5~ch. 27)
 1. 実単位の値 A (オペレータが与える)
 2. A に対する実測値 V_{OFF}
 3. この時点のインシャルバランス値 V_{i1}
 4. この時点の較正電圧 V_{ON1}
- (3) 流量など計測用プリアンプの場合 (ch. 28~ch. 29)
 1. 実単位の値 A (オペレータが与える)
 2. A に対する実測値 V_{OFF}
- (4) 温度など計測用プリアンプの場合 (ch. 30~ch. 69)
 1. 実単位の値 A (オペレータが与える)
 2. A に対する実測値 V_{OFF}
 3. 零点シフト V_{O1}

オペレータは較正の結果得られたデータが正常であると判断した場合にはあとの処理 (HITAC 5020 F による) にそなえてこれらのデータを MT に集録することができる。

さてすべての較正が終了し、実験当日になると CPU にて使用するプログラムは⑦ACQ 1 に切換えられる。このプログラムはデータ集録開始直前に較正電圧などをチェックする (オンライン較正) をするためのサブルーチン CAL 2 を含む。オペレータによりデータ集録開始の押釦が押されると、ACQ 1 は STT 1 で作られたタイムテーブルに従ってマルチプレクサ、A-D コンバータを働かせサンプリングを行なってデータを磁気テープに集録し、同時に RL 1 によるテーブルに従ってリレーを駆動する。この ACQ-1 によって得られるデータは

- (1) ch. 1~ch. 4
 1. 集録直前の較正電圧 V_{ON2} (CAL 2 による)
 2. 集録データ V_x
- (2) ch. 5~ch. 27
 1. 集録直前のインシャルバランス値 V_{i2} (CAL 2)
 2. 集録直前の較正電圧 V_{ON2} (CAL 2)
 3. 集録データ V_x
- (3) ch. 28~ch. 29
 1. 集録データ V_x
- (4) ch. 30~ch. 69

1. 集録直前の零点シフト V_{O2} (CAL 2)2. 集録データ V_x

である。データ集録が終了する（オペレータからのコマンドによる）と、やはり自動的にオンライン較正がサブルーチン CAL 3 によって行なわれ、CPU による処理が終了する。なお実験後に後較正が必要な場合にはプログラム⑧CAL 4 によって CAL 1 におけるとまったく同様の手順で較正を行なうことができる。

プログラム⑨PAQ 3 は MT に集録された実験データ（電圧値）をオペレータが指示したチャンネル、時間について実単位に換算してプリントアウトするためのものである。実単位の値 X への換算係数 k は各チャンネルごとにあらかじめ与えておく。たとえば CAL 1 で得られた較正值の直線性を仮定するなら

$$(1) \quad k = A \cdot \frac{V_{ON1}}{V_{OFF}} \quad (\text{ch. 1} \sim \text{ch. 4})$$

$$(2) \quad k = A \cdot \frac{V_{ON1} - V_{i1}}{V_{OFF} - V_{i1}} \quad (\text{ch. 5} \sim \text{ch. 27})$$

$$(3) \quad k = A \cdot \frac{1}{V_{OFF}} \quad (\text{ch. 28} \sim \text{ch. 29})$$

$$(4) \quad k = A \cdot \frac{1}{V_{OFF} - V_{O1}} \quad (\text{ch. 30} \sim \text{ch. 69})$$

CPU はこの k と MT に集録されている ACQ 1 で得られたデータを用いて次の値をプリントアウトする。

$$(1) \quad X = k \cdot \frac{V_x}{V_{ON2}} \quad (\text{ch. 1} \sim \text{ch. 4})$$

$$(2) \quad X = k \cdot \frac{V_x - V_{i2}}{V_{ON2} - V_{i2}} \quad (\text{ch. 5} \sim \text{ch. 27})$$

$$(3) \quad X = k \cdot V_x \quad (\text{ch. 28} \sim \text{ch. 29})$$

$$(4) \quad X = k \cdot (V_x - V_{O2}) \quad (\text{ch. 30} \sim \text{ch. 69})$$

4. 測定結果と今後の問題点

本装置は昨 11 月 SB-300-TVC-2 の燃焼実験において初めて使用され機能の確認がなされた。実験期間中、初期故障に類する小さな不具合が若干みられたが、その機能はおおむね正常で較正および実験当日（11 月 28 日）のデータ集録も正常に行なわれた。ここでは今回の実験に関する検討および今後の問題点について述べる。

4.1 測定精度

本装置設置の主目的は測定精度の向上であるが、実際の計測結果から集録データが所定の精度で得られているか否かを論ずることはむずかしい。たとえばモニタのアナログ計測結果と比較してもアナログ記録からのデータ自体が誤差（ビジグラフ用アンプの誤差、記録紙からの読取誤差など）を含んでいるので精度に関する定量的な議論ができない。そこで今回の実験では本番直前にプログラム CALC を使って各チャンネルのイニシャルバランス値、較

表 4-1 イニシャルバランス値 (V)

CH 5	0.040	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.015
CH 6	0.005	0.015	0.020	0.020	0.025	0.015	0.015	0.010
CH 7	0.005	-0.005	0.005	-0.005				
CH 8	0.005	0.010	0.005	0.005	0.005	0.015	0.015	
CH 9	0.005	0.010	0.015	0.015	0.010	0.010	0.010	
CH 10	0.010	0.015	0.015	0.010	0.010	0.010	0.015	0.040
CH 11	0.005	0.010						
CH 12	0.375	0.400	0.395	0.405	0.390	0.385	0.380	0.380
CH 13	0.020	0.015	0.010	0.020	0.040	0.010	0.010	0.005
CH 14	0.020	0.010	0.005	0.005	0.015	0.015	0.015	0.015
CH 15	0.005	0.005	0.010	0.005	0.005			
CH 16	0.025	0.020	0.020	0.015	0.030	0.025	0.025	0.025
CH 17	0.065	0.050	0.050	0.025	0.005	0.005	0.025	0.040
CH 18	0.010	0.010	0.005	0.010	0.010	0.020	0.015	0.015
CH 19	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.005			
CH 20	0.010	0.005	0.005	0.010	0.005	0.005		
CH 21	-0.005	-0.015	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	
CH 22	0.005	0.015	0.005	0.010	0.015	0.015	0.015	
CH 23	0.010	0.005	0.005	0.010	0.005	0.015	0.015	0.010
CH 24	0.005	0.005	0.005					
CH 25	0.015	0.010	0.015	0.015	0.005	0.010	0.005	0.005
CH 26	0.005	0.005	0.005	0.005	0.010	0.010		
CH 27	0.020	0.005	0.005	0.015	0.030	0.045	0.060	0.050
FIN								

正電圧などがどの程度安定して得られているかを測定してみた。その結果を表 4-1, 4-2 に示す。表 4-1 は ch. 5~ch. 27 のイニシャルバランス値, 表 4-2 は ch. 1~ch. 27 までの較正電圧をそれぞれ各チャンネルごとに約 1 秒おきに計測した結果を示している。(ch. 1, 4, 12 は使用せず)。これを見るとトランスデューサの精度とは無関係にどのチャンネルも 10 mV ないし 30 mV 程度のばらつきがある。この値は普通精度計測項目 (5 V に対し精度 1% すなわち 50 mV) については精度内に入っている (ch. 17, 27 はばらつきがやや大きい) が高精度計測項目についてはばらつきが 5 V に対し 0.3% ないし 0.5% ありやや精度不足である。この原因はピックアップより A-D コンバータに至る間のラインでひろうノイズ (p-p 60 mV 程度, 100~200 Hz) であることが判明しており, 次回の実験までにノイズ除去対策がこうじられる予定である。

4.2 省力化

本装置を導入したもう一つの目的は計測の省力化という点であったが, 今回はこの装置の機能確認に主眼がおかれ全計測チャンネルについてモニタとしてのアナログ計測が行なわれた。従って今回の実験に限って言えば省力化という観点からは見るべき成果は少なかった。

表 4-2 較正電圧 (V)

CH 2	2.965	2.985	2.975	2.985	2.965	2.965	2.965	2.975
CH 3	3.160	3.155	3.170	3.160	3.155	3.160	3.155	3.160
CH 5		1.600	1.595	1.595	1.590	1.585	1.590	1.590
CH 6	4.640	4.630	4.640	4.640	4.630	4.635	4.640	4.640
CH 7	0.795	0.805	0.800	0.820	0.805	0.815	0.810	0.805
CH 8	3.025	3.025	3.025	3.015	3.025	3.020	3.020	3.020
CH 9	1.860	1.865	1.855	1.855	1.850	1.855	1.855	1.860
CH 10	1.855	1.860	1.860	1.860	1.865	1.865	1.860	1.855
CH 11	3.955	3.960	3.960	3.965	3.965	3.955	3.965	3.955
CH 12	1.380	1.375	1.385	1.385	1.395	1.380	1.395	1.390
CH 13	0.765	0.750	0.755	0.760	0.770	0.750	0.760	0.765
CH 14	0.485	0.485	0.485	0.485	0.490	0.500	0.490	0.480
CH 15	2.530	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.520	2.525
CH 16	3.470	3.520	3.485	3.485	3.490	3.485	3.480	3.435
CH 17	5.040	5.030	5.030	5.040	5.035	5.040	5.040	5.045
CH 18	4.025	4.025	4.025	4.025	4.020	4.030	4.030	4.030
CH 19	4.020	4.020	4.015	4.020	4.015	4.020	4.015	4.015
CH 20	3.990	3.990	3.985	3.985	3.980	3.980	3.980	3.985
CH 21	4.000	4.000	4.010	4.005	4.010	4.005	4.005	4.005
CH 22	3.985	4.000	3.995	3.995	4.000	3.995	3.995	3.990
CH 23	1.025	1.035	1.035	1.030	1.025	1.030	1.025	1.040
CH 24	1.015	1.015	1.015	1.020	1.010	1.010	1.020	1.010
CH 25	0.480	0.475	0.480	0.485	0.485	0.475	0.485	0.480
CH 26	0.490	0.485	0.485	0.495	0.495	0.495	0.490	0.490
CH 27	-4.970	-4.970	-4.970	-4.970	-4.965	-4.965	-4.960	-4.965
FIN								

また次節で述べるように較正用プログラム CAL 1 に一部問題があり作業にかなりの時間を要した。今後モニタ点数の減少, CAL 1 の改定などによりさらに省力化の努力が必要であろう。

4.3 今後の問題点

4.3.1 較正時の問題点

① オペレータと CPU の対話不足

較正で得られたデータを MT に集録するか, 較正を数日間にわたって行なう場合何日目であるかなどを CPU との対話によって進めるように改善すべきと思われる。特に後者については, ミスオペによって前日の較正データがすべて MT から抹消されるおそれがあった。

② 多点較正不能

現在は較正を 1 チャンネルごとに行なう形式になっているため推力, 圧力関係などのように一つの力に対する測定電圧を複数チャンネルでみることができない。

③ 連続較正不能

ch. 5~ch. 27 (新興動ひずみ計) では校正のコマンドによってまずイニシャルバランスをとってしまうため、何点かの校正を行なう際にはピックアップ側を毎回零状態にもどさねばならない。

④ 全モニタに校正電圧が出る

あるチャンネルの校正電圧をモニタで見たい場合にも校正電圧 ON のコマンドによって全チャンネルに校正電圧が出るためどのチャンネルのものかの区別がつけにくい。

以上の問題点に対し①~③については CAL 1 の改定を行ない、④についてはモニタへのラインに ON-OFF スイッチをとりつけることによって今後備える。

4.3.2 実験計測時の問題点

① ノイズが大きい

前述のごとく全チャンネルについて p-p 60 mV 程度のノイズがあり、今後測定精度向上のためこのノイズの原因究明と除去が必要である。

4.3.3 I/O 装置の問題点

プログラム読込みに用いられている紙テープリーダー、データプリントアウト用のタイプライタがいずれも非常に低速なため I/O にかかなりの時間を要する。読込みにはフォトリダ、打出しにはラインプリンタを導入するなど高速化が望まれる。

5. 結 語

300-SB-TVC-2 の実験によって本装置の機能は正常であることが確認され、ノイズの除去対策がこうじられれば、測定精度も十分満足すべきものであると考えられる。なお省力化の点についてはモニタによるアナログ計測を減らさないかぎり達成不可能であろうが、この装置に対する信頼感の増加がその鍵となろう。また省力化が達成されても CPU のオペレータに負担をかけぬようソフトウェア、マニュアルの完備などにより操作を fool-proof 的なものにしていくことが望まれる。

最後に付言すればデータを集録した磁気テープの HITAC 5020 F との Compatibility は完全で、現在宇宙研におけるデータ処理のためのプログラムが作成されつつある。

1972 年 6 月 10 日 新設部(工学)