

# 地上燃焼実験のオフラインデータ処理

倉谷 健治・小倉 啓男

地上燃焼実験に際し、推力、内圧のほかに各種のひずみ量、温度等多数点の計測値を一挙にデジタル処理する目的で、本年度 NTC に TVC データ処理装置 (TEAC 社製 DP-5000) が設置され、測定結果はデジタルテープの形で保存される。一方、以前より基本的な二、三の物理量はデータレコーダ (TEAC 製 R-400) にアナログ量として現地で集録したあと、研究室に持ち帰ってデータ処理するオフライン方式 (日本電子製 JEC-5) も実施していた。もち論、後者もオンラインでデータ処理が可能であるが、駒場キャンパスでロケット燃焼実験を行なうことはもはや困難となってきたので、今後も JEC-5 はオフラインで使用されることが多いとみられる。それゆえ、今後も NTC での実験に際しては、TEAC の DP-5000 と並列にデータレコーダ TEAC R-400 および R-250 に基本的な物理量をそれぞれ 4, 7 チャンネル集録し、後日 JEC-5 で解析する方式も継続する予定である。

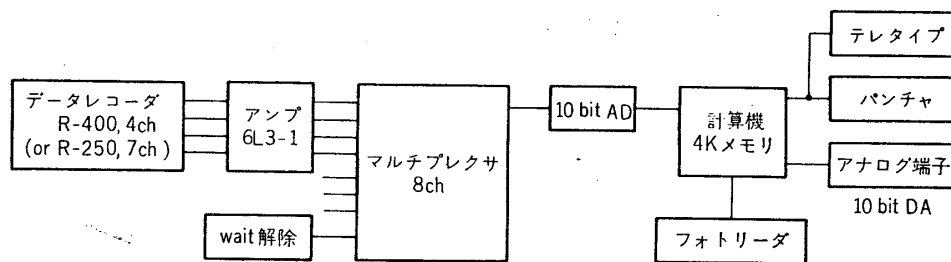


図 1

現在のところ、JEC-5 の構成は図 1 に示されているような最小限のユニットで作られており、ことに計算機のメモリーが 4K であるため、処理過程を数ステップに分割するとか、メモリー可能数に制約されて測定点数も限られ、勢いサンプリング間隔が長くなるという欠点もあるが、これらの短所はメモリー数を増すことによって解決できるものであって、原理的な短所とは言えない。

## 1. 操 作

図 2 に示した 2 チャンネルの信号の比または差を計算するにはマルチプレクサでチャンネル I, II を切替えて AD する方が同期性の点で優れている。AD 変換の開始は図 2 の wait 解除信号による。校正マーク付近は粗くサンプリングし、D'~E 間ではサンプリングを中止し、マークの約 1sec 手前から本番の基線および本番データを細かくサンプリングして、燃焼終了後約 1~2sec の終点 G でメモリーを使い切るのがよい。実際には S/N を上げるため、

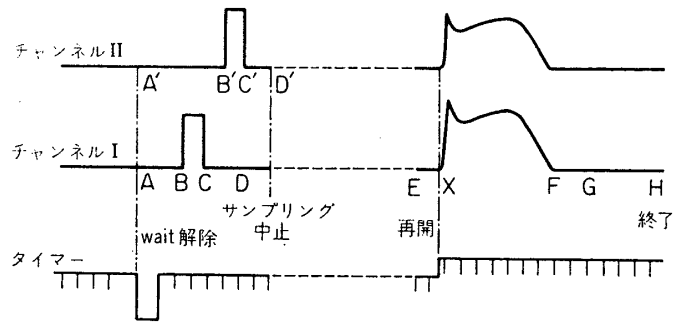


図 2

両チャンネルを  $2^n$  回 ( $n$  はデータの変動状況に応じて適宜にきめる) 宛交互に約  $300 \mu\text{sec}$  で切換えてサンプリングし, そのおのおのの平均値をある時点での測定値としてメモリに順次格納する. この操作を較正部では粗い, 本番部では密なサンプリング間隔で反復する.

AD 完了後はメモリーを空渡すため紙テープに打出し, 次に計算プログラムを入れて, この紙テープを読込ませつつ, まず図 2 の AB, CD より較正マークの基線とドリフトを求め, 較正マーク BC から差引いて較正值を計算する. 次に本番データについても EX, FG から基線とドリフトを求め, 本番の計測値から差引いたのち, 上記の較正值をかけて, 最終的データを得, テレタイプに打出させる. なお, この操作に使った紙テープはデータレコーダの磁気テープに代わって永久保存可能な計測記録となる. また計算プログラムでは, 両チャンネルの物理量の四則演算などや, 各物理量の微分, 積分を同時に行ないうる.

これらの最終結果は数字の羅列となるから, 全般の概念を把握するためには最終結果 (演算の終了したのちの) をアナログ表示すると有利である (本報は紙数の関係もあり, この方法で解析結果を紹介する). また激しく変動している計測値を平滑化 [1] するプログラムも用意した.

なお, データ処理装置 JEC-5 はメモリ 4K の計算機としても利用できるもので, C-H-N-O-Cl-Al の 6 原子系で 28 成分の燃焼生成物がある場合の比推力の計算 (別項 p. 922), 残留推力の計算 [2] 等にも利用している.

## 2. ロールモーメント

推力, 内圧の測定は図 3 のブロックダイアグラムに示すように, 従来はストレインアンプの出力から直接データレコーダに記録され, 一方ストレインアンプの出力は低域濾波器を経てビジグラフに記録するという方式がとられてきている. (オンラインデータ処理装置が設置されてからはストレインアンプ-低域濾波器を経た出力がモニタ端子と計算機入力とにわかれている). したがってビジグラフ記録は主として日産実験班によって解析され, すでにその一部は別項 (p. 882) で報告したが, ここではデータレコーダに集録後 JEC-5 で解析した結果を前述の解析結果と対照しつつ報告する.

### 300 SB-TVC-比例-1

縦分力  $F_z$  は  $F_z$ (左) が  $F_3, F_4$ ;  $F_z$ (右) が  $F_1, F_2$  として計測され, その平均値の差

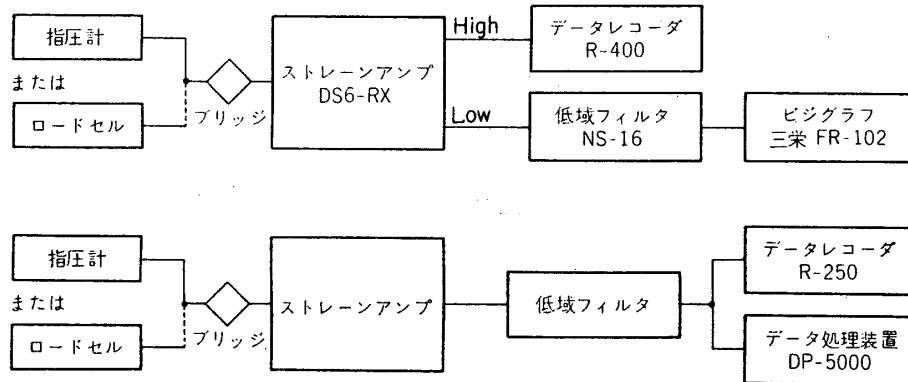


図3 推力、内圧計測系

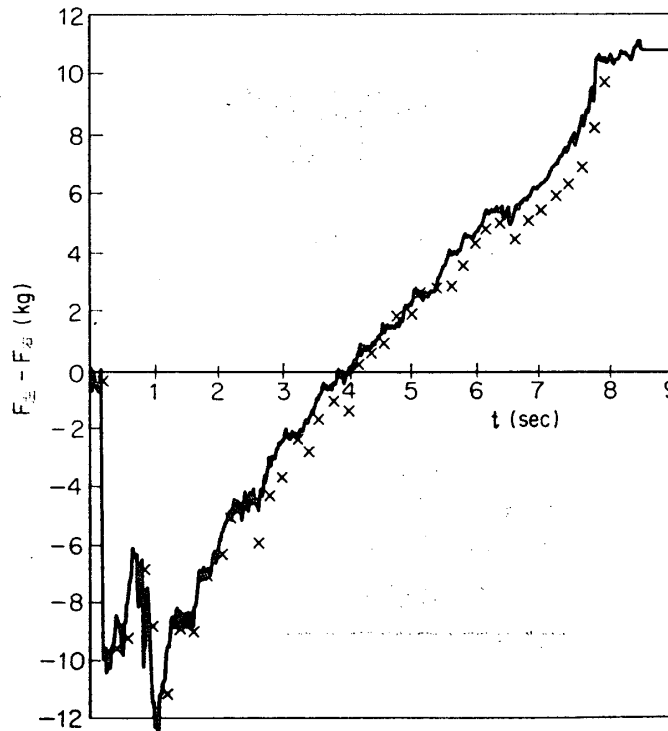


図4 300 SB-TVC-比例-1 の  $\Delta F_z$

$\bar{F}_z(\text{左}) - \bar{F}_z(\text{右})$  に  $\bar{F}_y$  の寄与を加えたものが別項の図 (p. 823) にロールモーメントとして示されている。データレコーダにはこの中の  $F_4, F_2$  のみが集録されているので、ここでは  $F_z(\text{左})_4 - F_z(\text{右})_2$  の差を JEC-5 で解析した結果と、0.2 sec おきにマニュアルに計算した結果 (図4の×印) とを比較しておく。この場合、スタンドの振動が激しいので、データレコーダ出力は 10 Hz の低域濾波器を通して解析した。

**420<sup>1</sup>/<sub>3</sub>-FRP-1**

この場合にはスタンドの振動はさらに激しく、縦分力の大きさよりも振動の方が大きく変

動して、10 Hz の LPF をかけても、微弱な縦分力の変化を見出すことは困難であった。そこで、データレコーダの両チャンネルの出力を校正マークを目安にして等しくさせ、これらを逆位相でつないでビジュグラフに画かせてみたところ、点火直後に確かにロールモーメントが発生していることを確認した。前記 (p. 887) のマニュアル処理では 2 Hz の LPF を用い、振動をほとんど完全に抑圧した状態で解析し、同様な結果を導いている。

### S-300-G 3

S-300-G 3 は 6 分力スタンドに組付けられ、その側分力は図 5 のロードセルで測定された。

ロールモーメント  $F_{z3}-F_{z2}$  をデータ処理した結果を図 6 に示す。図 4, 6 で共通していることは  $t=0$  でロールモーメントが 0 であるが、燃焼終了後にかなりの  $\Delta F$  が残っていることである。これはあるいはそれが事実であるかも知れないが\*、エンジンを多分力スタンドに取付けるときの非対称によるものとも解することができるし、厳密に対称に取付けられた

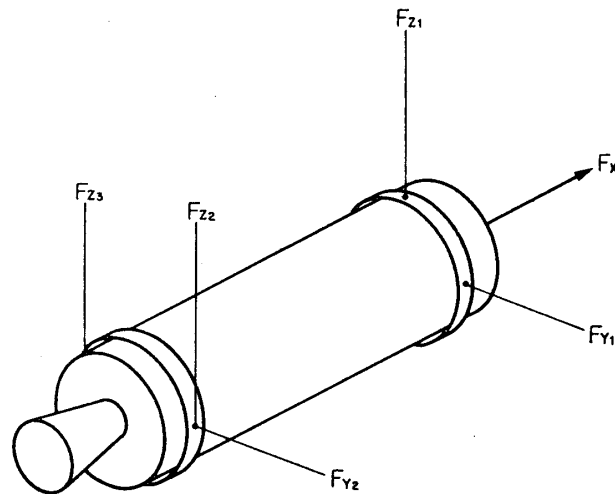


図 5 6分力スタンドの側分力

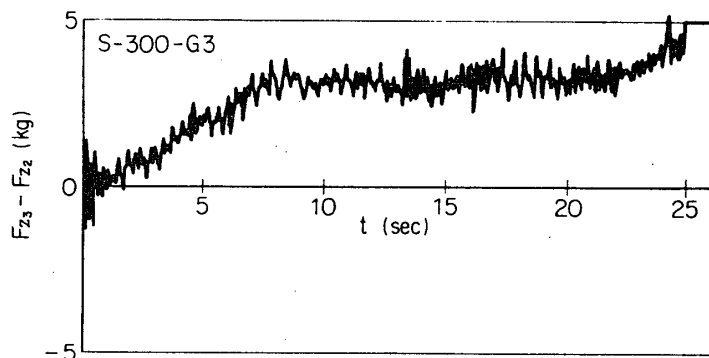


図 6 S-300-G 3 の  $\Delta F_z$

\* 一方のロードセルのみが火焰による輻射を強く受けて基線が大きくドリフトしたためとも考えられる。

としても推薬が偏心していれば、結果的には同様な  $\Delta F$  曲線を示すことになるであろう。というのはたとえば推薬が偏心していたとすると、 $t=0$  で偏心による重量差は最大で、燃焼終了後は重量差は 0 となるはずである。しかし、実際には  $t=0$  で偏心を相殺して重量差 0 としてあるから、燃焼の進行とともに推薬の消耗に比例して偏心による影響が見かけ上大きく現われてくる。それゆえ、偏心の影響を相殺するには燃焼終了時に  $\Delta F_z=0$  となるように較正係数を修正すればよい。図 6 では較正マークが  $F_{z2}=117.5$ ,  $F_{z3}=113$  kg であるとしたが、これを図 7 ではそれぞれ  $F_{z2}=121$ ,  $F_{z3}=110$  kg に等しいものと置き換えてデータ処理している。なお、その結果を 2 次曲線近似で平滑化したものも合わせて同図には掲げた。

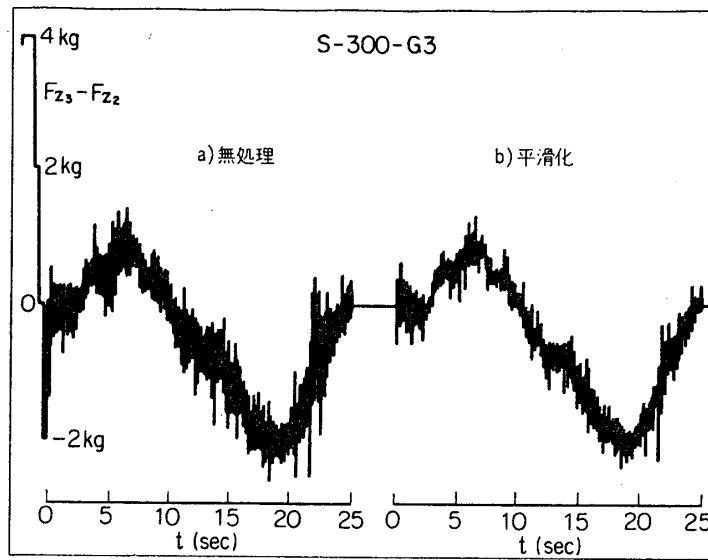


図 7 S-300-G3 の  $\Delta F_z$   
 a) 偏心効果相殺 b) 同上平滑化

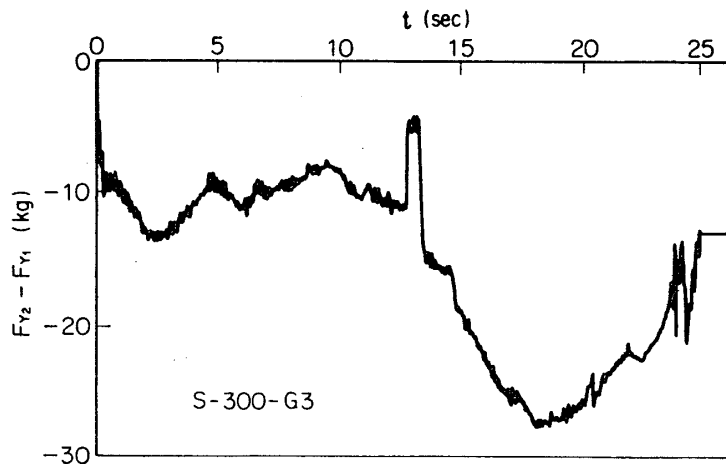


図 8 S-300-G3 の  $\Delta F_y$

S-300-G3 の横推力  $F_{Y1}$ ,  $F_{Y2}$  についても同様に解析されるが,  $F_{Y1}$  は燃焼中ほぼ 10 kg に一定しており, 大きさから見ても, これはミスアラインメントによると思われるが,  $F_{Y2}$  はかなり広く変動している. 後者は主軸方向の主推力との干渉によるものか,  $F_{Y2}$  ロードセルが火焰の輻射によってドリフトしたものかと思われる. したがってヨーモーメントに関連する  $\Delta F_Y = F_{Y2} - F_{Y1}$  を上記の方法でデータ処理した結果も  $F_{Y2}$  の変動がそのまま再現される形となる. 図 8 はそのアナログ表示であるが, 13 sec 付近にスタンドに異常が発生していることもみられる\*.

### 3. 推力係数

推力係数はエンジンの性能を表わす重要なパラメータであり, ことに数 10 torr の減圧下での真空燃焼実験における推力曲線の推移は, フライト時に遭遇する真の真空中での燃焼性能を検討するうえにきわめて重要なので, ここでは両チャンネルの物理量の比を求める例として, 推力係数の計算例を示す.

推力係数は推力, 内圧を交互に AD したあと

$$C_F = F / (P_c \cdot A_t)$$

で算出できる. ここに  $A_t$  はスロート面積である. ただし, 内圧  $P_c$  には絶対圧を用いるべきで, 大気圧燃焼, およびノズルクロージャ付き真空燃焼のときには内圧計測値に 1.013 kg/cm<sup>2</sup> を加算してから計算する. 図 9 は M-11 の計算例で, 図 10 は M-40-4 の計算例である\*. M-40-4 ではスライバ燃焼期に入ると火焰の吹きもどりおよびそれを防ぐための

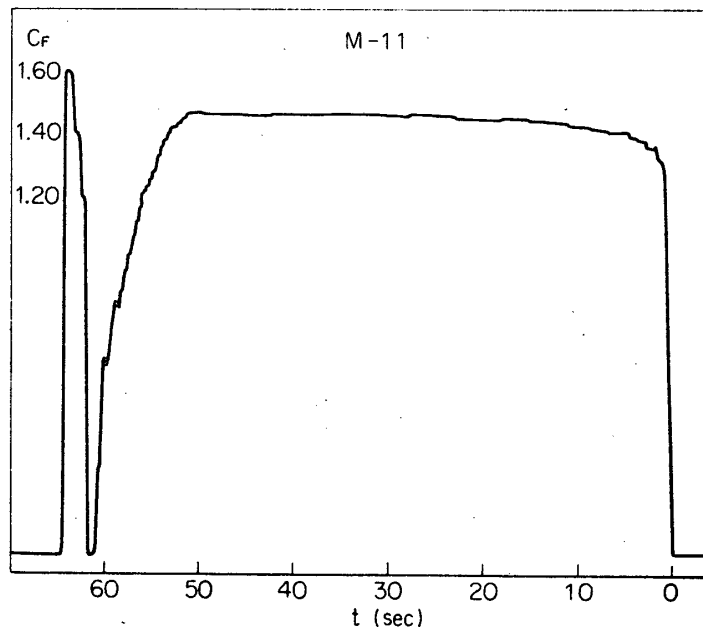


図 4 M-11 の推力係数

\* S-300-G3 のデータ集録, マニュアル処理は長友信人助教授, 寺田守男技官によって行なわれた.

\*\* 図 9, 10 では時間スケールが他のものと逆になっている.

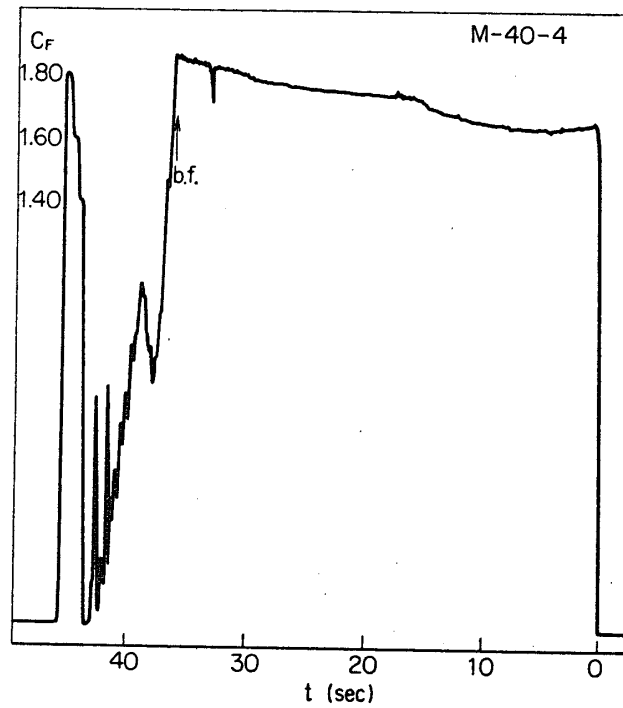


図 10 M-40-4 の推力係数

back fire 防止装置作動による真空槽圧の急上昇のため、推力の計測値が異常を示すので 36 sec 以降の推力係数の値は信頼できない。図 10 の b.f. は back fire 防止装置作動の時刻を示している。

なお本研究は基礎開発研究費によって行なったものである。

1972 年 6 月 10 日 原動機部

#### 参考文献

- [1] 山内二郎, 森口繁一, 一松 信, “電子計算機のための数値計算法 I” 培風館 (1964) p. 70
- [2] 倉谷健治, 宇宙航行の力学シンポジウム (昭 45 年 11 月東大宇宙研)