

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-109

ロケットの飛しょう径路計算のためのプログラム

戸川隼人・石黒登美子

1967年7月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

既 刊 資 料

TM-46	翼胴結合金具の疲労特性	1964年12月	竹内和之, 藤枝郭俊
TM-47	ローター後流中のヘリコプター胴体の抵抗について	1965年1月	幸尾治朗, 岡 遠一
TM-48	極超音速風洞用ペブル加熱器の予備実験	1965年2月	平木一, 橋本登崇 林二識, 吉永 崇 山口富治, 岡 遠一 幸井祐一, 岡 謙一 照中井一, 田 幸武 泉日出夫, 高 島一 谷原亘, 利 洋 板垣芳雄
TM-49	Queen-Air 機の失速特性について	1965年2月	
TM-50	LS-A 型ロケットの曲げ剛性および振動試験について	1965年5月	
TM-51	超音速風洞空力データ表示記録装置	1965年5月	
TM-53	ベクトルのノルムと行列のノルム—数値解法の収束条件その他への応用—	1965年5月	
TM-54	熱衝撃試験用風洞整備試験	1965年5月	武藤洋治郎, 池田為治 坂元思無邪, 光山敏 河崎俊夫, 谷 喬
TM-55	ロケット模型風洞試験における超音速相似則の応用	1965年5月	
TM-56	2024-T4アルミニウム合金平滑丸棒の常温回転曲げ疲労試験	1965年7月	石田 誠, 河野哲雄
TM-57	極超音速における軸対称物体の前面抵抗	1965年7月	曾 我 国 男
TM-58	試験用飛しょう体の超音速風洞試験	1965年8月	斎藤秀夫, 木村友昭 近藤 博, 増田 悠平
TM-59	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験(I)	1965年9月	
TM-60	吹出式超音速風洞における実験データの処理方式について(II)	1965年9月	原 亘 利, 高 島 一 関 根 英 夫, 中 正 夫 戸川保子, 矢 沢 健 広末健一, 吉 田 征 塚野雄四郎, 能 村 一 別府信宏, 能 村 実 江川幸一
TM-61	クインエア機の風洞試験	1965年9月	
TM-62	高温歪ゲージの温度特性試験	1965年10月	
TM-63	2024-T3アルミニウム合金の有孔補強平板の軸荷重による疲労特性	1965年10月	飯田宗四郎
TM-64	応力集中による材料の疲れ強さに関する一実験(I)	1965年10月	池田為治, 坂元思無邪 光山敏雄, 宮地敏雄 武内澄夫, 二 隆 星谷昌二, 堀内正司 斎藤浩子, 計 測 部 中村第一, 機 体 部 機動部, 原 動 機 部 戸川隼人, 石黒登美子
TM-65	ジェットエンジンの翼の固有振動に関する実験	1965年11月	
TM-69	質量分析計による水蒸気を含む試料のガス分析	1965年12月	
TM-71	可動アイアンバードの構造および機能	1965年12月	
TM-72	地上付近の風の影響による小型ロケットの姿勢角変化	1965年12月	
TM-73	固定端を有する薄肉円筒殻の自由振動について	1966年1月	田寺木一, 泉 日出夫
TM-74	回転振動試験装置の計画, 構造および特性	1966年2月	武内澄夫, 宮地敏雄 星谷昌二, 清 水 福 寿 牛田健二, 崇 一 小川 敏
TM-76	コーティングの断熱効果のアナログシミュレーション	1966年2月	
TM-77	テレメータ電波の偏波面の回転を利用したロケットのスピン測定について	1966年3月	田畑浄治, 桜井善雄 三浦雅男, 森 幹 彦 堀川勇壮, 直 治 中野佳直, 慶 哲 二 新崎慶治, 石 原 久 藏 石原久藏, 斎藤秀夫 外立政隆, 柳 原 盛 三 宗美均, 均 夫 長洲秀夫, 柏原登喜子
TM-78	昇降舵の操舵力特性に関するシミュレータ解析	1966年3月	
TM-79	テレメータ機上装置の小型化の研究	1966年3月	
TM-80	安定制御のための一計算法	1966年3月	
TM-81	吹出式超音速風洞の起動時および停止時における過負荷防止装置	1966年3月	
TM-82	ピトー管による境界層速度分布測定について	1966年4月	
TM-83	ジェットリフトエンジン空気取入口の実験(II)	1966年4月	近藤 博, 増田 悠平
TM-84	二段ロケットの低速風洞試験	1966年7月	毛利 浩, 田村敦宏 佐野四郎, 能 村 実 小野 幸 一
TM-85	航空機の滑走路走行時の振動に関する実験的研究	1966年8月	
TM-87	極小型超音速機用姿勢制御装置の特性解析	1966年8月	池谷光栄, 畑山茂樹

ロケットの飛しょう径路計算のためのプログラム*

戸川隼人**・石黒登美子**

A Computer Program for the Vehicle Trajectory Calculation

By Hayato TOGAWA and Tomiko ISHIGURO

A FORTRAN program for computing the flight path and other dynamic characteristics of rocket vehicles is described. The program enforces such process of computation that the two dimensional equations of motion of the vehicle are integrated successively with various parameters, which are shifted from one to another under the control of data-cards.

The advantage of this program, the authors suggest, is that it ensures easy-to-read data-card format, fast computation and automatic graphical recording of computed results.

1. まえがき

この資料は多段ロケットの飛しょう径路を大型電子計算機 HITAC 5020 で計算するための一般的プログラム TC-1 (Trajectory Calculation, No. 1) の説明書で、その計算法および使用法について述べる。

飛しょう径路の計算は、ロケットの開発研究においてその初期の段階から最終段階に至るまで各種の目的に使用されるきわめて重要なもので、たとえばシステムデザインの段階においては仮設計したロケットの性能を評価検討するために、構造設計の段階では飛しょう中の動圧や空力加熱の時間的变化を推定するために、翼の設計の段階ではマッハ数や空気力の時間的高度的変化を推定するために、飛しょう実験の際には飛しょう径路の予報値を発表してレーダ観測その他の計測や漁船警戒等の準備を行なうために、飛しょう実験終了後は観測データから実際の飛しょう径路を計算するために必要であり、このほか基礎研究、応用研究の広い分野にわたって数多くの利用価値がある。

TC-1は、このような計算の必要が生じたときにだれでも容易に大型電子計算機を使って計算できるように作成した一般的プログラムであって、つぎのような特色がある。

- (i) 一般性があり各種目的に使用できる。多段ロケットの計算は5段まで可能で、各段の燃焼終了時刻、切離しの時刻および次段点火の時刻はそれぞれ独立に設定できる。また各段の推力特性、空力特性は(一定値ではなく)関数の形で計算することができる。
- (ii) 使用法が簡単である。ことにデータカードはだれにも理解しやすく使用しやすい形式になっている(図1参照)。またパラメータを変えて何ケースも計算を行なう場合、どのパラメータも簡単に変更が可能で、何ケースでも連続的に処理することができる。
- (iii) 計算結果がグラフに自動的に記録される。XYプロッタを用いて6種類のグラフを作成できるように用意されており、必要に応じて任意に選択してグラフを描かせることができる。
- (iv) 計算の効率がよい。プログラムは計算時間をできるだけ短縮するように工夫されており、また

* 昭和42年5月18日受付

** 計測部

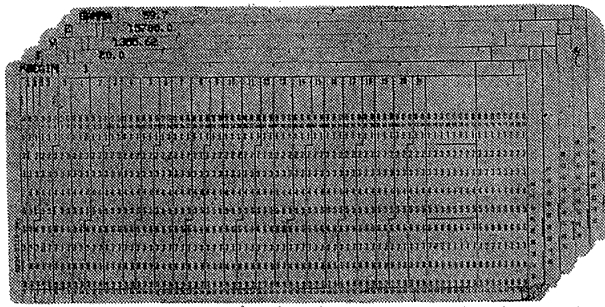


図1 データカードの例

無駄な計算をなるべく省略できるように考慮されている。

計算（第一）研究室では、昭和36年に東京大学生産研究所と共同でカッパ8型の計算¹⁾を行なったのを最初として、カッパ9L²⁾、シグマ4³⁾、NAL-7、NAL-16⁴⁾、NAL-16-31などの計算を手がけ、さらに人工衛星打上用ロケットの初期設計計算など多種大量の飛しょう径路計算を行なってきた。TC-1は、これらの経験を生かし長期間にわたって改良に改良を

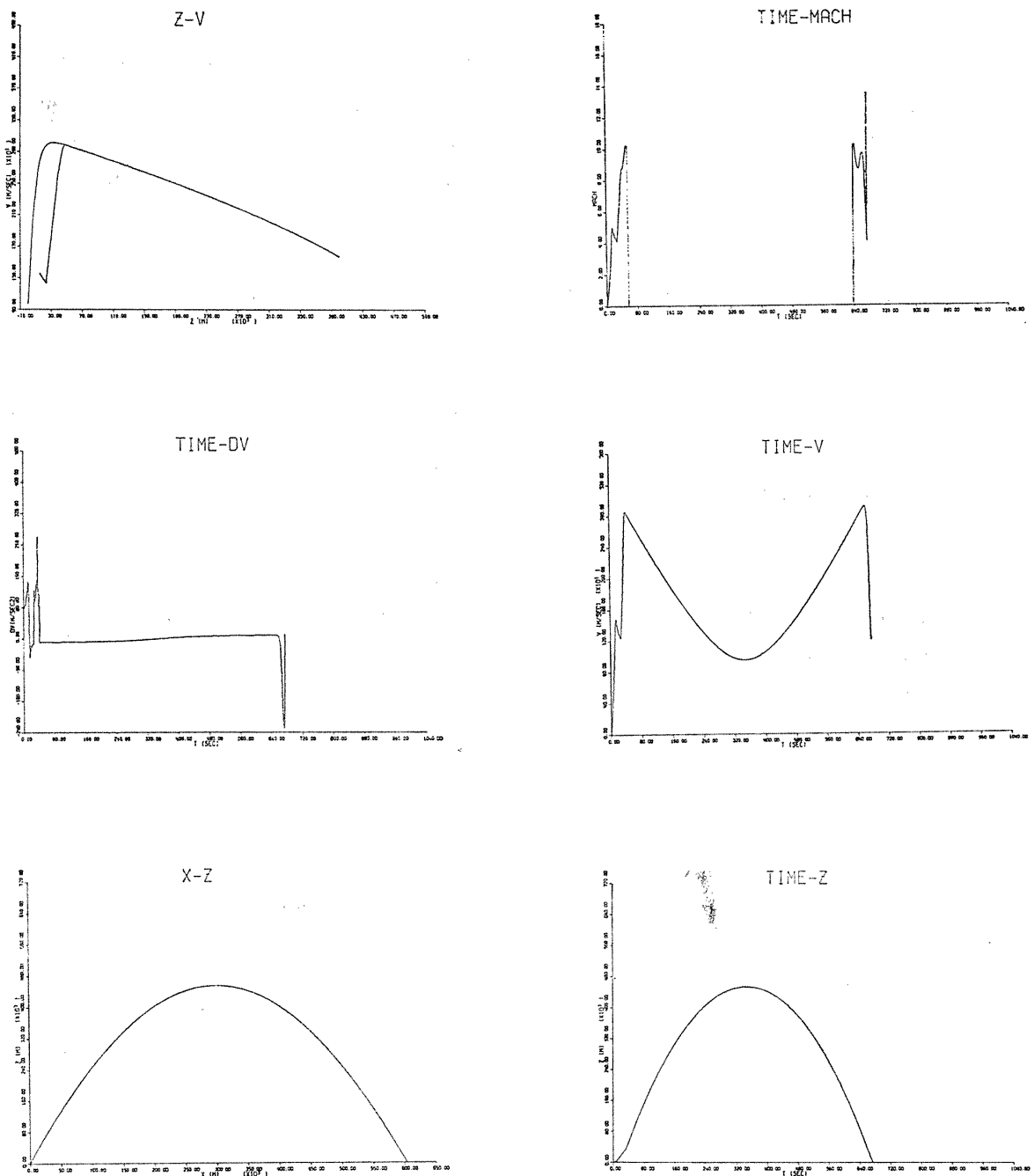


図2 XYプロッタの出力例

重ねて完成したプログラムで、計算方式に関しては過去に何回も実際の飛しょう径路と比較されて実用性が証明されており、データ入力方式についても各種使用目的に十分マッチしているものと確信している。

2. 計算式

このプログラムの基礎となる運動方程式はつぎのとおりである。

$$\frac{dx}{dt} = \frac{R_0}{R} V \cos \gamma \quad (1)$$

$$\frac{dz}{dt} = V \sin \gamma \quad (2)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{T-D}{m} - g \sin \gamma \quad (3)$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = -\frac{g \cos \gamma}{V} + \frac{V \cos \gamma}{R} \quad (4)$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{T}{g_0 I_{sp}} \quad (5)$$

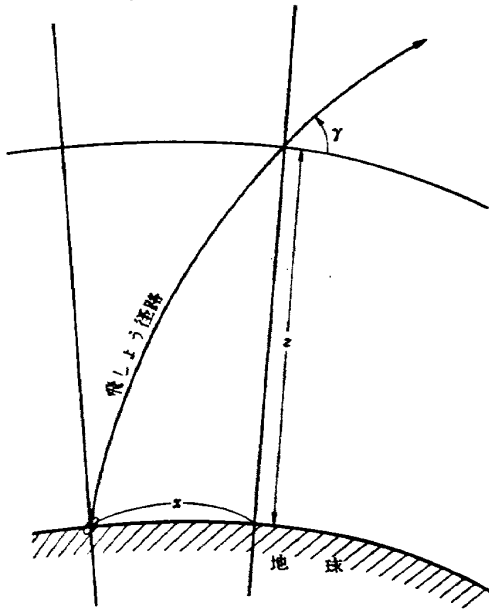


図3 座標系

ただし

x	水平飛しょう距離	(m)
z	高度	(m)
V	速度	(m/s)
γ	径路角 (上昇角)	
m	質量	(ton·s ² /m)
R_0	地球の半径	(m)
$R = R_0 + z$		(m)
T	推力	(ton)
D	抗力	(ton)
g_0	重力加速度 (海面上)	(m/s ²)
g	重力加速度 (高度 z における値)	(m/s ²)

I_{sp} 比推力 (s) (s)

上記中 () 内に付記した単位は、本プログラムの入出力および内部表現で使用している単位で、いわゆる工学単位系に統一してある。なお実際の計算では工学単位の質量は取扱いに不便なのでプログラムを簡単にするために、質量 m のかわりに重量 (海面上換算値) $W = mg_0$ を用いて

$$\frac{dV}{dt} = \frac{(T-D)g_0}{W} - g \sin \gamma \quad (3)'$$

$$\frac{dW}{dt} = -\frac{T}{I_{sp}} \quad (5)'$$

で計算している (W の単位は ton)。

運動方程式 (1)~(5) は、つぎの仮定から導かれたものである。

- (i) 風の影響は無視する。
- (ii) 推力軸の方向は常に飛しょう径路の接線方向に一致しているものとする。
- (iii) 地球の形状は球とみなし、また自転、公転の影響は考えない。

また運動方程式の右辺はつぎの要領で計算するがこれも一種の仮定 (単純化) である。

- (iv) 重力加速度の値は

$$g = g_0 (R_0/R)^2$$

で計算する。

- (v) 抗力は

$$D = (1/2) S C_D \rho V^2$$

ただし

C_D	抗力係数	$= C_D(M)$	
M	マッハ数	$= V/C_s$	
C_s	音速	$= C_s(z)$	(m/s)
ρ	大気密度	$= \rho(z)$	ton·s ² /m ⁴
S	機体断面積		m ²

$z > 90$ km のとき $D=0$ とする。

- (vi) 推力は時間の関数、比推力は一定とし、これらに及ぼす高度の影響は考えない。

以上の仮定のうち、(i)、(ii) 以外のものは、少なくとも先にあげた使用目的に関する限りでは、実用上あまり問題にならない程度の現実的な仮定である。しいていえば (iii) は人工衛星打上用ロケットなどの水平飛しょう距離の長いロケットの場合に若干の問題があるが、これも初期設計の段階ではコリオリの力の影響をあとで補正して考えれば実用上はあまり問題はない。小型ロケットの場合には風の影響が大きいため仮定 (i) に問題があり、大型ロケットの場合には機体の追従が遅れるので仮定 (ii) に問題があるが、その

ような場合においても、飛しょう径路を支配する最大の要因は(1)~(5)式で表わされる重力、推力、質量変化等の諸条件であるから、初期設計等の目的には前記の仮定で単純化して数多くのケースについて計算を行ない、これと別に重心まわりの運動を含む精密計算を小数ケース行なって、両者の結果を総合して全体をつかむというのが実用的な計算法であると考え

る。積分公式は Runge-Kutta-Gill 法を用いている。

計算式は(1)~(5)式を一般形にして

$$\dot{y}_i = f_i(t, y_1, y_2, \dots, y_5), \quad i = 1, 2, \dots, 5$$

とするときの

$$k_{i0} = hf_i(t, y_{i0}, y_{20}, \dots, y_{50})$$

$$r_{i1} = (1/2)(k_{i0} - 2q_{i0})$$

$$y_{i1} = y_{i0} + r_{i1}$$

$$q_{i1} = q_{i0} + 3r_{i1} - (1/2)k_{i0}$$

$$k_{i1} = hf_i\left(t + \frac{h}{2}, y_{i1}, y_{21}, \dots, y_{51}\right)$$

$$r_{i2} = (1 - \sqrt{1/2})(k_{i1} - q_{i1})$$

$$y_{i2} = y_{i1} + r_{i2}$$

$$q_{i2} = q_{i1} + 3r_{i2} - (1 - \sqrt{1/2})k_{i1}$$

$$k_{i2} = hf_i\left(t + \frac{h}{2}, y_{i2}, y_{22}, \dots, y_{52}\right)$$

$$r_{i3} = (1 + \sqrt{1/2})(k_{i2} - q_{i2})$$

$$y_{i3} = y_{i2} + r_{i3}$$

$$q_{i3} = q_{i2} + 3r_{i3} - (1 + \sqrt{1/2})k_{i2}$$

$$k_{i3} = hf_i(t + h, y_{i3}, y_{23}, \dots, y_{53})$$

$$r_{i4} = (1/6)(k_{i3} - 2q_{i3})$$

$$y_{i4} = y_{i3} + r_{i4}$$

$$q_{i4} = q_{i3} + 3r_{i4} - (1/2)k_{i3}$$

ただし添字 i は変数の番号 ($y_1 = z, y_2 = V, y_3 = W, y_4 = x, y_5 = r$), h は積分進行のきざみ (積分間隔), k, r, y, q に付属する 2 番目の添字 0, 1, 2, 3, 4 は, それぞれ Runge-Kutta-Gill 法の第 1 段階に入る前の値 (出発値), 第 1 段階終了後の値, 第 2 段階終了後の値, 第 3 段階終了後の値, 第 4 段階終了後の値 (このステップの最終結果) を表わし, 添字 4 の値が次のステップの出発値 (添字 0) となる。

きざみ h は自動的につぎのように設定される。

- (i) 燃焼中で、推力曲線の読み取り間隔 h_{TH} (後述) が 1 秒より小ならば $h = h_{TH}$
- (ii) 燃焼中で、推力曲線の読み取り間隔 h_{TH} が 1 秒より大ならば $h = 1$ 秒
- (iii) コースティング中は $h = 1$ 秒
- (iv) プースタの切り離しの直前および点火の直前に

限り上記 (i)~(iii) に関係なく 1 ステップだけ半端な間隔で進み、切り離したまたは点火の時点が、ちょうど積分の進行区間の区切りに一致するようにする (図 4)。

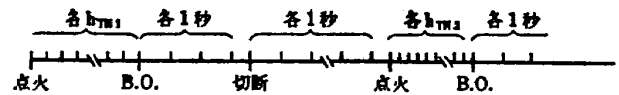


図 4 積分のきざみのとり方

これまでの経験によれば上に述べたような h のとり方が最も実用的で、計算時間が短かく、しかも誤差が比較的少ない。

地球の半径 R_0 および海面上の重力加速度 g_0 の値は

$$R_0 = 6370 \text{ km}$$

$$g_0 = 980 \text{ cm/s}^2$$

を用いている。もっと正確な値を採用してもよいが最終精度におよぼす影響を全体の計算精度と比較するとこの程度で一応は十分であると考えられる。大気密度および音速は高度 z の関数として、U.S. Standard Atmosphere をもとに作成した近似式⁵⁾を用いて計算する (付録参照)。

3. 使用法

このプログラムを使用して計算を行なうためには、つぎのような準備が必要である。

- (i) 推力の値の時間的変化を表わすプログラム THISP1 を作成する*。
- (ii) 抗力係数とマッハ数の関係を表わすプログラム CD1 を作成する。
- (iii) 機体諸元 (各段の断面積, 重量など) を表わすデータカードを作る。
- (iv) 各段の点火, 燃焼終了および切り離しの予定時間を指定するデータカードを作る。
- (v) 発射条件 (ランチャの長さ, 発射角など) を表わすデータカードを作る。
- (vi) 計算打切条件 (着水点まで計算するか, あるいは適当な条件で計算を打切るか) を表わすデータカードを作る。
- (vii) XYプロッタで描かせるべきグラフの種類を指

注* 「プログラムを作る」といってもデータを規定の形式でコーディングシートに書くだけの簡単なものである。

定するデータカードを作る。

(viii) TC-1のプログラムカードを計算センタに依頼して複製してもらう。

(ix) 以上(i)~(viii)で用意したカードを正しい順序に並べて計算機にかける。

以下これの詳細を順を追って説明する。

[THISP1]

これを作る準備として、まず与えられた推力曲線から推力の値 $T(t)$ を微小時間 Δt 間隔で読み取って表を作っておく(図5)。多段ロケットの場合には各段ごとに推力曲線が異なるから、 k 段ロケットならばこのような表が k 個できるはずである。読み取り間隔 Δt は各段ごとに違っていてもよい。

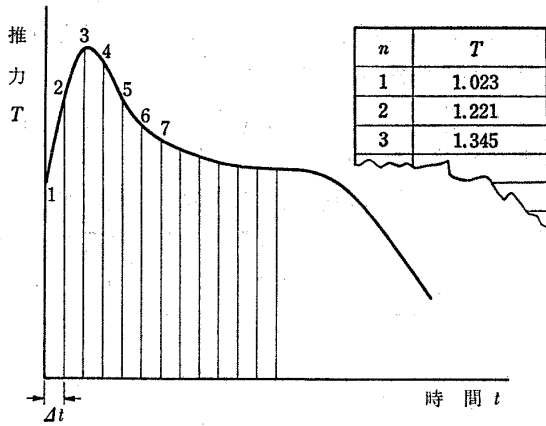


図5 推力曲線の読み取り

算するプログラム)に引き渡すためのもので THISP1 と TH2 の共通作業区域が5段ロケット各段200点までの推力データを収容できる大きさであることを示すもの、第4行目はISPを浮動小数点表示の数として取り扱うための宣言である。

このあとに各段のデータを図7のごとく

C	式番号	つづき番号
1	567	10 20
		TH(1,1)=1.032
		TH(1,2)=1.221
		TH(1,3)=1.335
	
		TH(2,1)=0.523
		TH(2,2)=0.535
		TH(2,3)=0.535
	
		HTH(1)=0.1
		HTH(2)=0.1
		ISP(1)=230.
		ISP(2)=232.
		THBAI(1)=1.
		THBAI(2)=1.21
		RETURN
		END
S	名前欄	操作欄

図7 THISP1の記入例(2段ロケットの場合)

C	式番号	つづき番号
1	567	10 20 30 40 50
		\$THISP1 HARP
		SUBROUTINE THISP1
		COMMON/TH/TH(S,200),THBAI(S)/HT/HTH(S)/IS/ISP(S)
		REAL ISP

図6 THISP1の書き出しの定形

これらのデータを下記の形式で書く。記入用紙としては FORTRAN CODING SHEET を使用し、書き出しは常に図6のとおりとする。この意味を簡単に説明すると、第1行目は以下のプログラムが FORTRAN の形式で書かれていることを示すコントロールカード、第2行目はこのサブルーチンの呼出名称が THISP1であることを示すもの、第3行目はこのサブルーチンで定義した推力データを推力計算のサブルーチン TH2 (実際の計算の際に1ステップごとに呼出されて元の推力データの補間などを行なって推力を計

$TH(k, n) =$ 推力の値

の形式で書く。ただし k は「第 k 段ロケット」を表わし、 n はその段の第 n 番目の値(すなわち、第 k 段の点火時刻を t_{k1} 、読み取り間隔を Δt_k とすれば、時刻

$$t_{k1} + (n-1)\Delta t_k$$

における推力の値)を表わす。記入例は図7を参照されたい。つぎに上で使用した各段の読み取り間隔を

$HTH(k) =$ 第 k 段の読み取り間隔

の形式で書き、各段の比推力の値を

$ISP(k) =$ 第 k 段の比推力の値
の形で、また各段の補正係数の値を

$THBAI(k) =$ 第 k 段の補正係数の値
の形で書き、最後に **RETURN, END** を書く。

補正係数は計算の際に

$$\left(\begin{array}{l} \text{計算に用い} \\ \text{る推力の値} \end{array} \right) = (\text{補正係数}) \times \left(\begin{array}{l} \text{先の表を補間} \\ \text{して求めた値} \end{array} \right)$$

として使用するもので、つぎのような目的で用いられる。

- (i) 地上燃焼試験のデータを、作動高度を考慮して補正する。
- (ii) 燃焼によるロケットの重量の減少は(5)式を積分することによって計算されるが、燃焼曲線や比推力の値が不正確であったり、読み取りの誤差、読み取り間隔過大などがあると重量の計算が不正確になって大きな誤差の原因になるので補正する。
- (iii) 推力の値を少し変化させた場合の飛しょう径路の変化を調べる場合に用いる。たとえば推力を5%増加させたら到達高度がどの程度まであがるか、というような計算である。

補正の必要がない場合には1.0にしておく。

このサブルーチンはデータを $TH(k, n)$, $HTH(k)$, $ISP(k)$ などに格納することだけが目的であるから、データの書き方は必ずしも前記の様式に従わなくともよく、適当に省略あるいは変形してよい。たとえば

```
READ (5,1)(TH(1,N), N=1,100)
```

```
1 FORMAT (5F10.5)
```

としてカードからデータを読むようにしてもよいし、ある範囲で推力が一定ならば

```
DO 1 I = 3,11
```

```
1 TH (1,I) = 13.6
```

というように書くこともできる。

(注意1) $TH(k, n)$ の n は200を越えてはならない。言い換えれば、読み取り間隔 Δt はその段の燃焼時間の $1/200$ 以上にとらなければならない。

(注意2) ロケットの段番号 k は、下から、すなわち点火される順に第1段、第2段、……とする。 m 段式ロケットの場合 $m+1$ 段より上のデータは書く必要はない。

(注意3) 単段ロケットの場合でも段数を表わす添字を付けて、 $TH(1, n)$, $HTH(1)$, $ISP(1)$ などと記入する必要がある。

(注意4) データを入れなければその値は0として計算される。たとえば $TH(1, 199)$ を入れ忘れた場合 (あるいは故意に入れなかった場合) は

$$TH(1, 199) = 0$$

と書いた場合と同等になる。

(注意5) このプログラム **THISP1** はメインプログラムとは独立にコンパイルされるから、カードリード、DOなどを用いる場合の式番号は任意の数を使用してよい。

(注意6) 単位は、推力は ton、読み取り間隔と比推力は秒。

[CD1]

抗力係数 C_D とマッハ数 M の関係を表わす曲線を仮に抗力係数曲線と呼ぶことにする。これをデータとして計算機に入れるためにサブルーチン形式のプログラム **CD1** を作る。

CD1 を作るには、まず準備として、抗力係数曲線を折れ線で近似し、その頂点の座標 (マッハ数とそれに対応する抗力係数の値) を読み取って表を作る。先の **THISP1** は等間隔に読み取ることが必要であったが **CD1** の場合には不等間隔でよい。そのかわり頂点の個数は15個以下でなければならない。

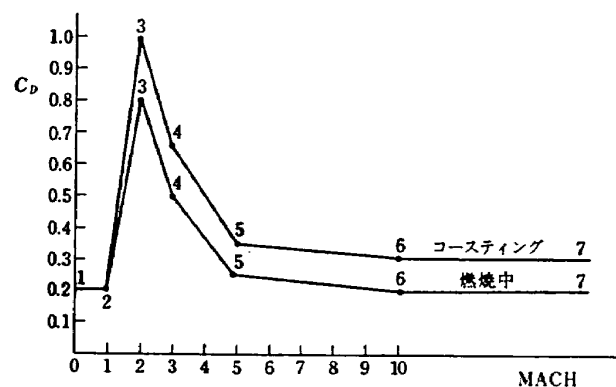


図8 折線近似した抗力係数曲線

抗力係数曲線は各段ごとに異なり、また燃焼中と燃焼していない場合とで異なるはずである。したがって m 段式ロケットでは $2m$ 個の抗力係数曲線があるはずである。これを区別するために指標 k と i を用いる。指標 k は第 $k-1$ 段ロケットを切り離した時点から第 k 段ロケットを切り離すまでの間を意味する。また、指標 i は燃焼に関して、燃焼中は $i=1$ 、燃焼していない場合は $i=2$ である。この指標を付けて頂点の座標を次の形式で書く。

MACH (k, i, j) = マッハ数の値

CD (k, i, j) = 抗力係数の値

ただし k, i は上で説明した指標, j は頂点の番号でマッハ数の小さい方から 1, 2, ... と付ける (図 8)。プログラムの書き出しは常に図 9 のとおりとし, 最後に RETURN および END を書く。

このプログラムはすべての頂点の **MACH** (k, i, j) と **CD** (k, i, j) を格納することが目的であるから, 必ずしも上記のとおりの様式でなくてもよく, 先の THISP1 の場合と同様に省略, 変形ができる。ことに base drag を一定と仮定すれば,

DO 1 **J**=1,15

MACH (1,2,**J**)=**MACH** (1,1,**J**)

1 **CD**(1,2,**J**)=**CD**(1,1,**J**)+**CDB**

というようにして「燃焼していない場合」のデータ記入を簡単化することができる。

図10 データシートの記入様式

してマスの中に書く)。

(iii) 項目名は最初の 3 字だけがデータカード識別に使用され, 残りの字は利用者が見やすいように書くだけである。したがってデータカードの枚数が非常に多くて書くのがめんどうなときは第

C	式番号	つづき番号
1	567	10 20 30 40
\$CD1	HARP	
	SUBROUTINE CD1	
	COMMON/CDD/MACH(1,2,15),CD(1,2,15)	
	REAL MACH	

図 9 CD1 の書き出しの定形

飛しょう径路計算中に実際に現れるマッハ数の値が抗力係数曲線で定義したマッハ数の範囲外に出ると計算は正しく行なわれない。これを防止するために折線近似の最後の点はマッハ数の十分大きな値 (たとえばマッハ20ぐらい) をとっておくことが望ましい。

[データカード]

これまでに述べた THISP1 および CD1 はサブルーチンの形式で FORTRAN のコーディングシートに書くが, 以下に述べる機体諸元, 燃焼切り離し予定時間, 発射条件, 計算打切条件, グラフの種類の一つのブロックのデータは図10の形式でデータシートに書く。機体諸元, 燃焼切り離し予定時間, 発射条件の一つのブロックの項目カードを作成する場合の注意としては,

- (i) 左から10字が項目名で, データの種類を表わす。ここには定められた項目名を正確に, 左側につめて書かなければいけない。
- (ii) 11字目から20字目までがデータの値で必ず小数点を付けて書く。小数点の位置は11字目から20字目のどこにあってもよい。(小数点も1字と

4字目以下を省略してもよい。

項目カード以外のカード(たとえば*BEGIN,*FINISH, IDEND, X-Z) は以下に順を追って説明する規定の形式で書かなければならない。書き方が指定されていない文字はデータシートの左の第1字目からつめて書かなければいけない。

[機体諸元]

機体諸元の先頭カードは

***BODY m**

である。ここで m はこのカードのすぐ後に並べる機体諸元の項目カードの枚数である。この枚数は段数, 初期条件および計算打切り条件によって決定される。 m は必ず 2 桁にして ($m < 10$ の場合は頭に 0 を付けて) 第11字目と第12字目に書く。

機体諸元を表わす項目名およびその内容はつぎのとおりである。(カッコ内は単位)

- 1S 第1段の断面積 (m²)
- 2S 第2段の断面積 (m²)
- 3S 第3段の断面積 (m²)
- 4S 第4段の断面積 (m²)

5S	第5段の断面積	(m ²)	2BURNOUT	第2段に点火してから第2段が燃焼終了するまでの時間
6S	第5段ロケット切断後のたとえばノーズコーンの断面積	(m ²)	3BURNOUT	第3段に点火してから第3段が燃焼終了するまでの時間
1W	第1段燃焼前の重量	(ton)	4BURNOUT	第4段に点火してから第4段が燃焼終了するまでの時間
2W	第2段燃焼前の重量	(ton)	5BURNOUT	第5段に点火してから第5段が燃焼終了するまでの時間
3W	第3段燃焼前の重量	(ton)	1CUTOFF	第1段が燃焼終了してから第1段を切り離すまでの時間
4W	第4段燃焼前の重量	(ton)	2CUTOFF	第2段が燃焼終了してから第2段を切り離すまでの時間
5W	第5段燃焼前の重量	(ton)	3CUTOFF	第3段が燃焼終了してから第3段を切り離すまでの時間
6W	第5段ロケット切断後の重量	(ton)	4CUTOFF	第4段が燃焼終了してから第4段を切り離すまでの時間
1WB0	第1段燃焼後の重量	(ton)	5CUTOFF	第5段が燃焼終了してから第5段を切り離すまでの時間
2WB0	第2段燃焼後の重量	(ton)	2IGNITION	第1段を切り離してから第2段に点火するまでの時間
3WB0	第3段燃焼後の重量	(ton)	3IGNITION	第2段を切り離してから第3段に点火するまでの時間
4WB0	第4段燃焼後の重量	(ton)	4IGNITION	第3段を切り離してから第4段に点火するまでの時間
5WB0	第5段燃焼後の重量	(ton)	5IGNITION	第4段を切り離してから第5段に点火するまでの時間
			6IGNITION	第5段を切り離してからのコースティングの時間

ただし、第 *k* 段の断面積とは、第 *k* 段の飛しょう径路の計算の際に抗力を

$$D = (1/2)SC_D \rho V^2$$

で求めるために使用するもので、厳密に言えば、先に作成したプログラム CD 1 のもとなった抗力係数曲線に対応する基準断面積 (reference area) である。

「第 *k* 段の燃焼前の重量」には第 *k* 段より上のステージの重量全部を含む。燃焼後の重量についても同様で、燃料の燃え残りが無いとすれば

$$kW - kW_{B0} = (\text{第 } k \text{ 段の燃料の重量})$$

である。

この機体諸元のブロックのデータカードの並べ方は先頭に *BODY *m* を置きその後に、計算に必要な *m* 枚の項目カードを任意の順序に並べる。

〔点火, 燃焼終了, 切り離し時間〕

このブロックの先頭カードは

*TIME *n*

である。ここで *n* はこのカードの後に並べる予定時間の項目カードの枚数で書き方等は〔機体諸元〕の *m* の場合と同じである。このブロックに属するデータカードの項目名およびその内容はつぎのとおりである (図 11 参照)。

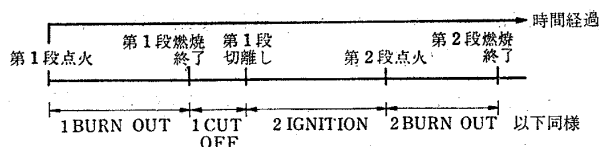


図 11 点火燃焼終了, 切り離し時間の定義

1BURNOUT 第1段に点火してから第1段が燃焼終了するまでの時間

注意としては最終段のコースティングの時間は未知であるので十分大きい値をとっておくこと。このブロックのデータカードの並べ方は先頭に *TIME *n* をおきその後に計算に必要な *n* 枚の項目カードを任意の順序に並べる。

〔発射条件および計算初期値〕

機体がランチャ上で静止している状態から計算を開始するか、あるいはブースタの計算のようにランチャ上からでなく飛しょう中の状態から計算を開始するかの二通りの方法がこの TC-1 のプログラムでは可能であって、各ケースごとにどちらか一つを選択することができる。

前者の場合、先頭カードは

*BEGIN 0

である。0 の字は必ず左から11字目に書かなければいけない。このカードの後に次の2枚の項目カードを任意の順序に並べる。項目名と内容は次のとおりである。

LAUNCHER ランチャの有効長さ (m)
ANGLE 発射角 (度)

BURN 燃焼状態 (表1参照)
PARTT 点火または切断後の経過時間

この場合の計算初期値は

$$x = 0$$

$$z = 0$$

$$V = 0$$

$$\gamma = (\text{ANGLE で指定した発射角})$$

$$W = (1W \text{で指定した第1段燃焼前重量})$$

となる。ランチャ上では姿勢角の変化はないので、ランチャを出るまで (これは

$$z/\sin\gamma \leq \text{ランチャの有効長さ}$$

で判定している) 運動方程式のうち (4) 式を

$$\dot{\gamma} = 0$$

で置きかえて計算する。

後者の場合、先頭カードは

***BEGIN 1**

である。1は必ず左から11字目に書かなければいけない。このカードの後に下記の10枚の項目カードを任意の順序で並べる。これらのカードによって計算開始時の初期値が示される。

T 時刻
Z 高度
V 速度
W 重量
X 発射点からの水平距離
GAMMA 径路角
STAGE 段番号 (表1参照)
ID 切り離し状態 (表1参照)

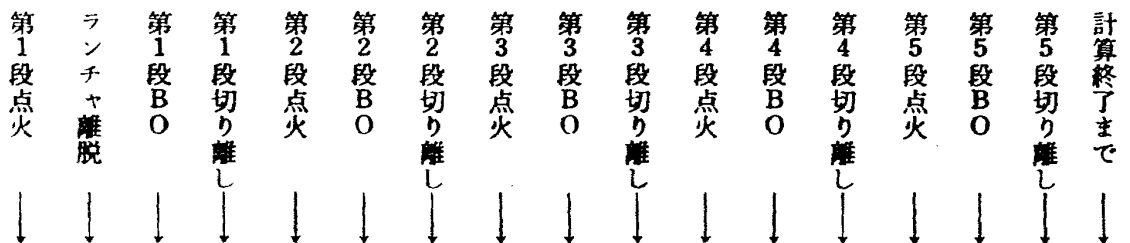
表1では STAGE, ID, BURN は整数であるが前に注意したように小数点を必ずつけなければいけない。

[計算打ち切り条件]

計算の打ち切りはつぎの5種類の方式で指定できる。

- (i) 着水点まで計算する場合は
***FINISH 0**
 とする。
- (ii) 最高点まで計算する場合は
***FINISH 1**
 とする。
- (iii) 発射後 t 秒まで計算する場合は
***FINISH 2**
TEND i
 とする。
- (iv) 第 k 段を切り離す時点まで計算する場合は
 $i = 2k$
 とおいて
***FINISH 3**
IDEND i
 で指定する。
- (v) 第 k 段の点火直前まで (すなわち第 k-1 段のコースティング終了まで) 計算する場合は
 $i = 2k-1$ と置いて
***FINISH 3**
IDEND i
 で指定する。

表1 各種指標の定義



STAGE	1			2		3		4		5		
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
BURN	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
CDの指標 k	1		2		3		4		5		6	
CDの指標 i	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2
断面積の指標	1		2		3		4		5		6	

(注意) *FINISH に付ける0, 1, 2, 3 は第11字目に書かなければいけない。打切時間 t は小数点を付けて第11字目から第20字目の間に書かなければいけない。IDEND に付ける i は必ず2桁にして (i < 10の場合は十位に0を付けて2桁にして第11字目と第12字目に書く (図12参照)。

1	10	20
IDEND	02	
*BODY	09	
*TIME	06	

図12 必ず2桁にして書くデータカードの記入例

[グラフの指定]

XYプロッタで下記6種類のグラフを作成することができる (図2参照)。

- T-Z 高度と時間の関係
- T-V 速度と時間の関係
- X-Z 高度と水平距離の関係 (飛しょう径路)
- T-MACH マッハ数と時間の関係
- T-DV 加速度と時間の関係
- Z-V 速度と高度の関係

このうち必要なものを図13の形式で指定する。たとえばX-Z曲線とZ-V曲線を描かせる場合は

必要とするグラフの種類と個数

1	10	20	30	40	50	60
*PLÖT						
(例)						
*PLÖT	3					
Z-V	T-DV	T-MACH				

必要とするグラフの名前

図13 グラフの種類指定様式

*PLOT 2
X-Z Z-V

なお、グラフを必要としない場合も

*PLOT 0

としてグラフが不要である旨を宣言しておかなければならない。

[データカードの配列]

1ケースだけの計算を行なう場合の標準的配列は次

のとおりである。

- **タイトル *5
- 機体諸元の指定
- 燃焼切り離し予定時間の指定
- 発射条件および初期条件の指定
- 計算打切条件の指定
- グラフの種類指定

***END

ただし、タイトルは6字 (英字, 数字, 記号 (ブランクを含む)) で使用者が適当に決めて書く。*5はタイトルのカードの11字目と12字目に書く。五つの指定ブロックの配列順序は任意でよい。

何ケースも続けて計算を行なう場合は、

***END

の前に2ケース目以下のデータカードを上と同じ形式、順序で入れる。この際「タイトル」は各ケースごとに名前を付ける。たとえばCASE 1, CASE 2, ……………。「タイトル」は各ケースごとに異なっていると後に述べる点で便利な場合がある (4. 計算結果参照)。「タイトル」のカードの第12字目には、そのケースの「*」が1個だけ付いたカード (すなわち*BODY, *TIME, *BEGIN, *FINISH, *PLÖTのうち省略しなかったもの) の枚数を書く。

ブロックの省略については、五つのブロックのうち

直前のケースと全く同じ内容を持つブロックがあればそのブロックは省略できる。たとえば、2ケース目および3ケース目の [機体諸元] と [グラフの種類] が1ケース目と全く同じであれば2ケース目および3ケース目の [機体諸元] と [グラフの種類] の指定はする必要はない。

項目カードの省略については、[機体諸元] と [点火, 燃焼終了, 切り離し時間] の項目カードのうち、

直前のケースと同じ値をもつ項目カードがあればそのカードを省略することができる。この場合、*BODY m の m または *TIME n の n には省略したカードを除いた、即ち実際にその後には並んだ項目カードの枚数を書く。項目カードを省略した場合は、それまでに指定された最も新しい値が、そのケースのデータとして用いられる。ある項目についてデータカードの最初から1枚も入っていない場合は、そのデータは0とみなされる。

*PLOT とその次のグラフの種類を書くカードは一組になっているから、一方だけを省略することはできない。*FINISH 2 または *FINISH 3 の場合の TEND, IDEND に関しても同様である。*BEGIN 1 または *BEGIN 2 の場合もブロックの全カードを省略しないかぎり、それぞれ2枚または10枚の項目カードが必要である。

最後に付けるカード ***END は「全ケース終了」を意味する。

[全体のカードの配列]

プログラムを含めた全体のカードの配列はつぎのとおりである。

- \$ ID
- \$ SYSUT8 EQUAL E1
- \$ HIJOB
- TC-1 のカード (複製)
- THISPI のカード
- CD1 のカード
- \$ DATA
- データカード
- \$ EOF

2番目のカード (\$SYSUT8...) はXYプロッタを使用するためのコントロールカードである。

4. 計算結果

計算結果としては、積分進行1ステップごとに下記の項目についてその値がプリントされる。

見出し	内容	単位
T	時刻	s

T	Z	Y	W	X	GAMMA	GV	NACH	THRUST	D	Q	STAGE	BURN
0.000	0.	0.00	63.7500	0.	76.0000	27.385	0.00000	240.0000	0.0000	0.0000	1	1
1.000	13.	27.89	62.7020	3.	74.0000	27.999	0.08139	240.0000	0.0192	0.0478	1	1
2.000	54.	56.00	61.6539	13.	74.0000	28.627	0.16466	240.0000	0.0783	0.1947	1	1
3.000	122.	85.00	60.6059	32.	73.0035	29.364	0.25014	240.0000	0.1789	0.4448	1	1
4.000	217.	114.73	59.5579	61.	72.2554	30.105	0.33802	240.0000	0.3223	0.8015	1	1
5.000	341.	145.21	58.5098	102.	70.8836	30.855	0.42845	240.0000	0.5091	1.2660	1	1
6.000	492.	174.44	57.4618	156.	69.7031	31.615	0.52154	240.0000	0.7394	1.8387	1	1
7.000	672.	208.45	56.4138	225.	68.6645	32.390	0.61745	240.0000	1.0129	2.5188	1	1
8.000	880.	241.23	55.3657	308.	67.7363	33.179	0.71634	240.0000	1.3289	3.3047	1	1
9.000	1118.	274.81	54.3177	408.	66.8969	33.986	0.81838	240.0000	1.6865	4.1939	1	1
10.000	1386.	309.21	53.2697	524.	66.1309	34.811	0.92378	240.0000	2.0839	5.1822	1	1
11.000	1684.	344.43	52.2216	658.	65.4268	35.612	1.03271	240.0000	2.7656	6.2628	1	1
12.000	2013.	380.38	51.1736	811.	64.7757	36.281	1.14504	240.0000	3.2823	7.4205	1	1
13.000	2372.	416.98	50.1255	983.	64.1702	36.898	1.26068	240.0000	4.1877	8.6347	1	1
14.000	2763.	454.16	49.0775	1174.	63.6046	37.457	1.37966	240.0000	5.4972	9.8789	1	1
15.000	3186.	491.87	48.0295	1387.	63.0741	37.955	1.50197	240.0000	7.2057	11.1202	1	1
16.000	3641.	530.05	46.9814	1620.	62.5746	38.394	1.62764	240.0000	9.4280	12.3214	1	1
17.000	4127.	568.64	45.9334	1875.	62.1027	38.782	1.75670	240.0000	12.1600	13.4856	1	1
18.000	4646.	607.60	44.8854	2152.	61.6556	39.130	1.88923	240.0000	15.3320	14.5637	1	1
19.000	5197.	646.92	43.8373	2451.	61.2309	39.605	2.02543	240.0000	18.9767	15.5837	1	1
20.000	5780.	687.13	42.7893	2774.	60.8266	40.038	2.16725	240.0000	23.1957	16.5816	1	1
21.000	6397.	728.63	41.7413	3121.	60.4413	42.191	2.31229	240.0000	28.0574	16.9690	1	1
22.000	7048.	771.55	40.6932	3493.	60.0789	43.661	2.47329	240.0000	33.5138	17.7729	1	1
23.000	7735.	816.00	39.6452	3890.	59.7234	45.259	2.63913	240.0000	39.7545	18.6058	1	1
24.000	8458.	862.13	38.5972	4315.	59.3889	47.040	2.81400	240.0000	46.8048	19.3415	1	1
25.000	9219.	910.18	37.5491	4768.	59.0695	49.141	3.00170	240.0000	54.5949	19.9017	1	1
26.000	10020.	960.37	36.5011	5250.	58.7647	51.110	3.20122	240.0000	63.2248	19.4030	1	1
27.000	10862.	1012.53	35.4531	5762.	58.4788	53.237	3.41861	240.0000	72.7292	19.1813	1	1
28.000	11747.	1066.90	34.4050	6307.	58.2061	55.350	3.64057	240.0000	83.0986	18.8538	1	1
29.000	12676.	1123.60	33.3570	6885.	57.9310	57.931	3.86793	240.0000	94.2604	18.2740	1	1
30.000	13652.	1182.84	32.3090	7499.	57.6785	60.590	4.09871	240.0000	106.1585	17.2699	1	1
31.000	14676.	1244.86	31.2609	8148.	57.4368	63.467	4.21886	240.0000	118.821	16.1882	1	1
32.000	15751.	1309.84	30.2129	8836.	57.2066	66.524	4.43099	240.0000	132.333	14.9718	1	1
33.000	16879.	1377.95	29.17500	9564.	56.9873	-11.877	4.66492	0.0000	11.2393	13.9921	1	0
34.000	18028.	1366.35	29.17500	10312.	56.7716	-11.353	4.63060	0.0000	9.7191	11.9234	1	0
35.000	19165.	1355.24	19.75000	11057.	56.5529	-12.211	4.59295	0.0000	8.2289	9.9561	1	0
36.000	20289.	1343.54	19.75000	11801.	56.3310	-11.333	4.55036	0.0000	6.9077	7.7534	1	0
37.000	21401.	1332.81	19.75000	12543.	56.1058	19.708	4.50172	60.0000	3.9975	6.3665	2	1
38.000	22514.	1352.54	19.51000	13291.	55.8802	20.361	4.55804	60.0000	3.4284	5.5928	2	1
39.000	23641.	1379.23	19.27000	14055.	55.6570	21.004	4.61611	60.0000	2.9047	4.8924	2	1
40.000	24782.	1394.55	19.03000	14835.	55.4362	21.646	4.67589	60.0000	2.4326	4.1375	2	1
41.000	25938.	1416.31	18.79000	15631.	55.2179	22.270	4.73733	60.0000	1.9928	3.3059	2	1
42.000	27109.	1439.08	18.55000	16444.	55.0021	22.854	4.80032	60.0000	1.6786	3.0279	2	1
43.000	28298.	1462.21	18.31000	17275.	54.7889	23.409	4.86470	60.0000	1.4354	3.4747	2	1
44.000	29498.	1485.91	18.07000	18123.	54.5783	24.027	4.93047	60.0000	1.1078	3.1285	2	1
45.000	30718.	1510.20	17.83000	18990.	54.3703	24.545	4.99763	60.0000	0.9530	2.8937	2	1
46.000	31954.	1535.04	17.59000	19874.	54.1650	25.105	5.06607	60.0000	0.8200	2.6857	2	1
47.000	33207.	1560.41	17.35000	20778.	53.9623	25.649	5.13378	60.0000	0.7065	2.4121	2	1
48.000	34477.	1586.34	17.11000	21701.	53.7624	26.206	5.20110	60.0000	0.5935	2.1885	2	1
49.000	35766.	1612.85	16.87000	22644.	53.5651	26.773	5.26904	60.0000	0.4907	0.9645	2	1
50.000	37073.	1639.88	16.63000	23606.	53.3706	27.339	5.25756	60.0000	0.4160	0.8361	2	1
51.000	38398.	1667.50	16.39000	24589.	53.1787	27.905	5.30661	60.0000	0.3670	0.7392	2	1
52.000	39742.	1695.71	16.15000	25593.	52.9896	28.509	5.35622	60.0000	0.2808	0.5667	2	1
53.000	41106.	1724.50	15.91000	26618.	52.8033	29.094	5.40639	60.0000	0.2521	0.5098	2	1
54.000	42490.	1753.90	15.67000	27665.	52.6198	29.703	5.45709	60.0000	0.2177	0.4411	2	1
55.000	43894.	1783.92	15.43000	28734.	52.4387	30.327	5.50833	60.0000	0.1852	0.3782	2	1
56.000	45318.	1814.56	15.19000	29825.	52.2609	30.970	5.56012	60.0000	0.1531	0.3116	2	1
57.000	46764.	1845.86	14.95000	30940.	52.0851	31.629	5.61248	60.0000	0.1271	0.2593	2	1
58.000	48231.	1877.82	14.71000	32077.	51.9123	32.302	5.66388	60.0000	0.1085	0.2240	2	1
59.000	49720.	1910.47	14.47000	33239.	51.7424	33.004	5.71284	60.0000	0.0818	0.1882	2	1
60.000	51231.	1943.83	14.23000	34425.	51.5751	33.729	5.76932	60.0000	0.0815	0.1681	2	1

図14 計算結果のプリント例

Z	高度	m
V	速度	m/s
W	重量	ton
X	水平飛しょう距離	m
GAMMA	姿勢角	度
DV	加速度	m/s ²
MACH	マッハ数	
THRUST	推力 (重力単位)	ton
D	抗力 (重力単位)	ton
Q	動圧 (重力単位)*	ton
STAGE	段番号 (表1参照)	
BURN	燃焼中 1, その他 0	

なお結果のプリントに先立って、そのケースのタイトルおよび入力データがプリントされる (図15参照)。

るメッセージは表2に示すとおりである。これ以外のエラーメッセージが出た場合は、サブルーチン THISP1 または CD1 において FORTRAN の文法上の誤りがあった場合か、あるいはデータの数値に誤りがあるものと考えられる。後者の例としては、重量を指定するデータカードを入れ忘れた場合、W=0となるから (3) 式の計算で zero divide のメッセージが出る。

データカードの *PLOT で指定しておけば、計算結果はグラフに描かれる。グラフの種類は図2に示した6種類である。グラフの大きさは約 25 cm×35 cm で、計算結果がどのような値になってもこのサイズに合うように自動的にスケールが行なわれる。なお、グラフに描かれる元のデータはいったん磁気テ-

```

***** **ICASE INPUT DATA TABLE *****

*BODY AND *TIME DATA TABLE

STAGE ID S W WB0 TIME
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
I I I I I I I I I I I I
I 1 I 2 I 3 I 4 I 5 I 6 I 7 I 8 I 9 I 10 I 11 I 12
I 2.01061916 I 19.75000000 I 7.25000000 I 1.84999999 I
I 63.75000000 I 29.75000000 I 4.85000038 I 172.00000000 I
I 35.00000000 I 2.00000000 I 56.00000000 I 2.00000000 I

STAGE ID S W WB0 TIME
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
I I I I I I I I I I I I
I 3 I 4 I 5 I 6 I 7 I 8 I 9 I 10 I 11 I 12
I 7 I 8 I 9 I 10 I 11 I 12
I 1.54150391 I 0.00000000 I 0.00000000 I 0.00000000 I
I 1.15000010 I 0.00000000 I 0.00000000 I 0.00000000 I
I 0.30000001 I 0.00000000 I 0.00000000 I 0.00000000 I
I 435.00000000 I 100040.00000000 I 0.00000000 I 0.00000000 I

*BEGIN 0
LAUNCHER= 20.00000 ANGLE= 76.00000

*FINISH 3 IDEND= 6

*PLOT 3 T-D T-M Z-V
    
```

図15 入力データのプリント例

この読み方は

STAGE	段番号
ID	点火, 切り離し状態
S	断面積
W	燃焼前の重量
WB0	燃焼後の重量
TIME	点火または切り離しまでの予定時間

大文字の I は欄の区切りを示すタテ線の代用である。プログラムの使用法に誤りがあると、エラーメッセージがプリントされる。本プログラムで用意されてい

表2 エラーメッセージ

ERROR	THE LABEL OF *CARD IS INVALID
ERROR	THE LABEL OF BODY DATA CARD IS INVALID.
ERROR	THE LABEL OF TIME DATA CARD IS INVALID.
ERROR	THE LABEL OF BEGIN DATA CARD IS INVALID.
ERROR	PLOT CARD IS INVALID.

に書かれ、計算終了後に

磁気テープ→XYプロッタ

のプログラムで実際のグラフが作成される。この磁気テープを保存しておけば同じグラフをあとで何回でも書かせることができ、また磁気テープに書かれた (何

注* $Q = (1/2)\rho V^2$

ケース分もグラフ) データのうち、特定のケースだけを撰択してグラフにすることも可能である。この場合はオペレータに、描かせるべきケースのタイトルを指示する必要がある。

5. 計算例

表3に示す特性をもつ4段ロケットについて
(ケース1) 発射角76°

第3段の切り離しまで計算する。
グラフは加速度、マッハ数、Z-V曲線

(ケース2) 発射角80°

最高点まで計算する
第2段を切り離してからのコースティン
グを8秒延長する
グラフはX-Z, T-VおよびT-Z

の2ケースの計算を行なう場合の、THISP1, CD1, データカードの作成例を図16に示す。

簡単に説明すると、最初の部分はサブルーチン THISP1 による推力の指定である。書き出しは図6で

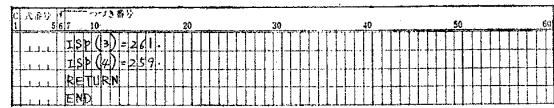


図16-2

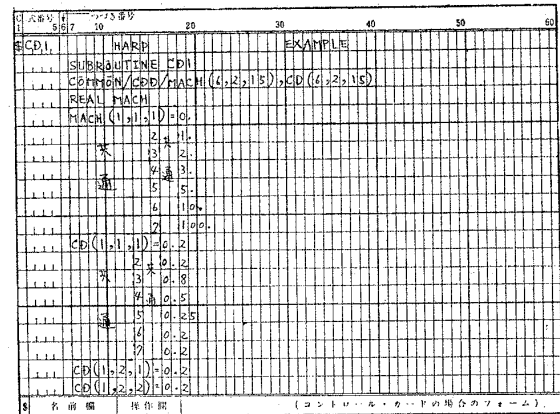


図16-3

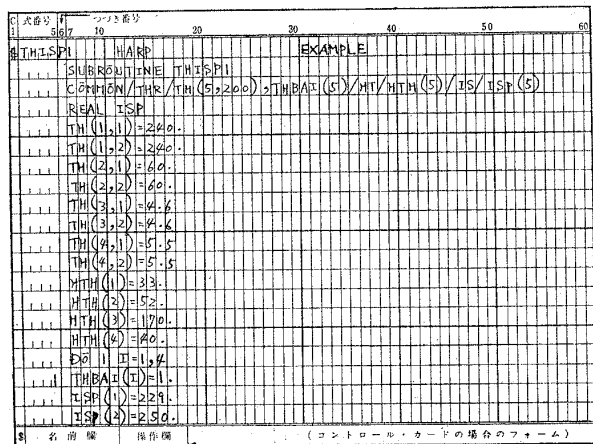


図16-1 THISP1, CD1, データカードの作成例

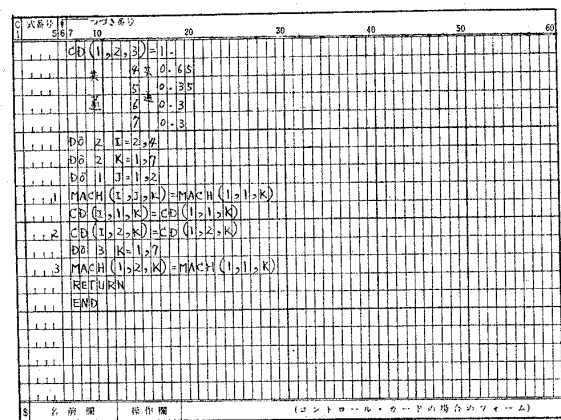


図16-4

表3. 計算例で仮定した諸元

		第1段	第2段	第3段	第4段
重量 (燃焼前)	ton	63.75	19.75	4.85	1.15
重量 (燃焼後)	ton	29.75	7.25	1.85	0.3
直径	m	1.6	1.6	1.4	1.4
推力 (コンスタント・スラストと仮定)	ton	240	60	4.6	5.5
比推力	sec	229	250	261	259
燃焼時間	sec	33	52	170	40
燃焼終了してから切り離しまでの時間	sec	2	4	2	100000.
この段を切り離してから次段に点火するまでの時間	sec	2	2	435	

有効ランチャ長さ20m

抗力係数曲線は図8のとおり (各段共通)

め図17では第1段のデータだけを書いて第2段以後の分は第1段のデータを転送している。

DO 2 1 = 2,4

以下がこの転送のプログラムである。MACH(1,2,K)とMACH(1,1,K)も同じ値なので式番号3のところで転送している。

MACH(1,1,1) = 0.0

MACH(1,1,2) = 1.

MACH(1,1,3) = 2.

.....

MACH(1,1,7) = 100.

の共通的部分

MACH(1,1,) =

は「共通」と書いて記入を省略している。このようにすると記入の手間が省けるだけでなく、キーパンチャがカードに穿孔する場合、「共通」の部分はDUP(複写)のキーを押すだけで済むので作業が簡単になり、ミスパンチの危険も減少する。

以上でCD1が終り、次にデータカードである。最初に、データカードの始まりを示すコントロールカード

§ DATA

を書く。これはコントロールカードの形式に従ってDATAのDの字が第12欄に来るように書くことに注意。

次はタイトルのカードで、最初のケースに「ICASE」というタイトルを付けている。このケースでは*が1個付いたカードは

BODY, TIME, BEGIN, FINISH, PLOT

の5枚なので、タイトルのカードの右は

*5

である。

この五つのブロックの配列順序は任意であるからこの場合、*BODY, *TIME, *BEGIN, *FINISH, *PLOTの順に書いた。

機体諸元を指定する*BODYブロックについては、先頭が*BODYで、その次が断面積(S)、燃焼前の重量(W)、燃焼後の重量(WB0)の項目カードである。データは小数点を必ずつけることに注意する。この例では機体諸元の項目カードの枚数は12枚なので*BODYのカードに12とかく。

次はタイムスケジュールを指定する*TIMEブロックである。先頭は*TIMEで、その次が1~4段の燃焼時間(BURNOUT)、燃焼終了してから切り離しまでの時間(CUTOFF)、切り離しから点火迄の時

間(IGNITION)の項目カードである。項目名をたくさん書くのがめんどうなので、3字までが正確であれば良いから2BURNOUTは2BUのように省略した。4段目が燃焼してから切り離し迄の時間は特に指定がないので100000.のように大きな値を適当に書いておく。このブロックの項目カードの枚数は11枚なので*TIMEの右側は11である。

次に初期条件を指定する*BEGINブロックを作る。計算はランチャ上から開始するから*BEGINの11列目は0とする。その次にランチャの有効長さ(LAUNCHER)、発射角(ANGLE)の2枚の項目カードを書く。

次に計算打切条件の指定である。このケースの計算終了は第3段切り離しまでであるから*FINISH3である。この3は、先に述べたとおり、「3段目」という意味ではなく、点火とか切り離しの状態まで計算する場合につける数字である。この次に「3段目の切り離しまで」を意味するIDEND6をかく。

次にグラフを指定する*PLOTブロックを作る。要求しているグラフは3枚であるから、はじめに*PLOT3と書き、次の行にその三つのグラフの種類をかく。

これで1ケースのデータは終り2ケース目に移る。2ケースのタイトルは**2CASEとした。2ケース目では1ケース目と全く同じブロックは*BODYだけなので、省略できない*ブロックの数は5-1=4である。この4をタイトルの次に*をつけてかく。このケースではブロックの配列を*FINISH, *BEGIN, *TIME, *PLOTとした。計算終了は最高点までであるから*FINISH1。発射角は80°に変わるから*BEGINブロックを新しく作り変える。この場合、ランチャ有効長さは前のケースと同じであるが、これは省略できないので同じことを書く。*TIMEブロックでは、2段目を切り離してからのコーステングの時間を10秒に延長するから3IGNITIONのデータは10.に変わる。このブロックの他のカードは前のケースと同じなので省略(*BODY, *TIMEのブロックに限り、項目カードの一部を変更する場合、その部分だけを書き換えれば良い)し、*TIMEの変更カードは1枚だけになるので*TIME01とかく。1に0を付けて2桁にする点に注意。*PLOTブロックはすっかり新しく作り変える。

最後に全ケースのデータの書き終りを示すために***ENDとかき、その次にコントロールカード

§ EOFとかく。

カードの整理を容易にするためにすべてのデータカードの後の余白にカード番号を付けておいた。これはカードの読み込みでは無視される。

文 献

- 1) 渡辺 勝, 樋口一雄, 戸川隼人; デジタルコンピュータによる飛しょう特性計算, 生産研究, 第13巻第10号 (1961)
- 2) 渡辺 勝, 樋口一雄, 戸川隼人; ロックオン・シグマ4型の性能計算, 生産研究, 第14巻第2号 (1962)
- 3) ロケット性能研究室; NAL16ロケットの研究試作および飛しょう実験, 航技研報告 TR-115, (1966)
- 4) 森口繁一; 連立常微分方程式の解法, 情報処理, 第4巻第1号 (1963)
- 5) 戸川隼人, 額田登美子; 軌道計算のための標準大気の近似多項式, 宇宙科学 シンポジウム講演集 (1964)

付 録

音速と大気密度の近似多項式

音速の計算については90 km 以下の音速の変化はほとんど直線的であるので8個の小区間に分けて高度 z の音速 CS を次の式を用いて計算する。

$$\xi = z/10$$

$$CS(\xi) = a_0 + a_1\xi$$

(a_0 と a_1 は表4を参照)

大気密度の計算については高度 0 ~ 90 km を高度 10 km ごとの小区間に分けて五次の近似多項式を作成した。使用法は高度を z (km), それを含む小区間の下限を α とするとき, 表5を用いて次式で計算する。

$$\xi = (z - \alpha)/10$$

$$\rho(\xi) = b_0 + b_1\xi + b_2\xi^2 + b_3\xi^3 + b_4\xi^4 + b_5\xi^5$$

表4 音速 (m/s) の近似式の係数

Z km	a_0	a_1
0~12	3.40294×10^2	-4.021171×10^1
12~20	2.95069×10^2	0
20~32	2.817935×10^2	6.637777
32~48	2.469743×10^2	1.751584×10^1
48~52	3.29799×10^2	0
52~62	3.890962×10^2	-1.14033×10^1
62~80	4.803217×10^2	-2.624060×10^1
80~90	2.6944×10^2	0

表5 大気密度 (kg/m³) の近似多項式の係数

Z km	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
0~10	1.1225	-1.15343	3.798	-1.022×10	1.230×10	-5.187
10~20	4.1351×10^{-1}	-5.953×10^{-1}	7.470×10^{-1}	-1.852	2.558	-1.188
20~30	8.891×10^{-2}	-1.7423×10^{-1}	4.031×10^{-1}	-9.130×10^{-1}	1.045	-4.351×10^{-1}
30~40	1.841×10^{-2}	-3.4709×10^{-2}	8.169×10^{-2}	-1.937×10^{-1}	2.265×10^{-1}	-9.480×10^{-2}
40~50	3.9957×10^{-3}	-7.290×10^{-3}	1.818×10^{-2}	-4.338×10^{-2}	5.002×10^{-2}	-2.074×10^{-2}
50~60	1.0269×10^{-3}	-1.6288×10^{-3}	4.033×10^{-3}	-9.740×10^{-3}	1.124×10^{-2}	-4.660×10^{-3}
60~70	3.0592×10^{-4}	-4.894×10^{-4}	1.284×10^{-3}	-3.195×10^{-3}	3.700×10^{-3}	-1.524×10^{-3}
70~80	8.7535×10^{-5}	-1.4872×10^{-4}	3.592×10^{-4}	-8.900×10^{-4}	1.051×10^{-3}	-4.404×10^{-4}
80~90	1.999×10^{-5}	-4.529×10^{-5}	1.1125×10^{-4}	-2.502×10^{-4}	2.829×10^{-4}	-1.163×10^{-4}

TC-1 メインプログラム

HARP 5020 COMPILED LIST		05/12/67		PAGE 1
EXTERNAL FORMULA NUMBER	SOURCE STATEMENT	INTERNAL FORMULA NUMBER		
C	***** TRAJECTORY CALCULATION, NC. 1 *****	TC1	5	
	DIMENSION Y(5),BY(5),S(11),MEMP(11),YCTE(11),AF=RM(11),RKG(5),TC1	TC1	10	
1	I(4),IPI(6),NPL(6),RPL(6),IDAT(17),DATA(17),INAME(44)TC1	TC1	15	
2	,NAME(44),PL1(1002),PL2(1002),PL3(1002),PL4(1002),PL5(1002)TC1	TC1	20	
3	(2),PL6(1002),R0(5)TC1	TC1	25	
	COMMON/IS/ISP(5)/MT/MTM(5)TC1	TC1	30	
	INTEGER STAGE,BURN,MAYTC1	TC1	35	
	REAL NAME,LAUNZ,LAUNZ,MACH,ISP,NEWHTC1	TC1	40	
	DOUBLE LENGTH INTEGER IZAS,IIZATC1	TC1	45	
C****	RHDCS1 ****TC1	TC1	50	
	CALL RHDCS1TC1	TC1	55	1
C****	THISP1 ****TC1	TC1	60	
	CALL THISP1TC1	TC1	65	2
C****	CD1 ****TC1	TC1	70	
	CALL CD1TC1	TC1	75	3
C****	RCD CODE ****TC1	TC1	80	
	IIZAB****NDTC1	TC1	85	4
	I(1)=3M5GTC1	TC1	90	5
	I(2)=3M4ITC1	TC1	95	6
	I(3)=3M4BETC1	TC1	100	7
	I(4)=3M4FITC1	TC1	105	8
	I(5)=3M4PLTC1	TC1	110	9
	IPI(1)=3M1-ZTC1	TC1	115	10
	IPI(2)=3M1-YTC1	TC1	120	11
	IPI(3)=3M1-ZTC1	TC1	125	12
	IPI(4)=3M1-MTC1	TC1	130	13
	IPI(5)=3M1-DTC1	TC1	135	14
	IPI(6)=3M1-YTC1	TC1	140	15
	INAME(1)=3M15TC1	TC1	145	16
	INAME(2)=3M25TC1	TC1	150	17
	INAME(3)=3M35TC1	TC1	155	18
	INAME(4)=3M45TC1	TC1	160	19
	INAME(5)=3M55TC1	TC1	165	20
	INAME(6)=3M65TC1	TC1	170	21
	INAME(7)=3M16TC1	TC1	175	22
	INAME(8)=3M26TC1	TC1	180	23
	INAME(9)=3M36TC1	TC1	185	24
	INAME(10)=3M46TC1	TC1	190	25
	INAME(11)=3M56TC1	TC1	195	26
	INAME(12)=3M66TC1	TC1	200	27
	INAME(13)=3M16BTC1	TC1	205	28
	INAME(14)=3M26BTC1	TC1	210	29
	INAME(15)=3M36BTC1	TC1	215	30
	INAME(16)=3M46BTC1	TC1	220	31
	INAME(17)=3M56BTC1	TC1	225	32
	INAME(18)=3M18BTC1	TC1	230	33
	INAME(19)=3M28BTC1	TC1	235	34
	INAME(20)=3M38BTC1	TC1	240	35
	INAME(21)=3M48BTC1	TC1	245	36
	INAME(22)=3M58BTC1	TC1	250	37
	INAME(23)=3M18BTC1	TC1	255	38
	INAME(24)=3M28BTC1	TC1	260	39
	INAME(25)=3M38BTC1	TC1	265	40
	INAME(26)=3M48BTC1	TC1	270	41
	INAME(27)=3M58BTC1	TC1	275	42
	INAME(28)=3M28IGTC1	TC1	280	43
	INAME(29)=3M38IGTC1	TC1	285	44
	INAME(30)=3M48IGTC1	TC1	290	45
	INAME(31)=3M58IGTC1	TC1	295	46

HARP 5020 COMPILED LIST		05/12/67		PAGE 2
EXTERNAL FORMULA NUMBER	SOURCE STATEMENT	INTERNAL FORMULA NUMBER		
	INAME(32)=3M68IGTC1	TC1	300	47
	INAME(33)=3M18AIFTC1	TC1	305	48
	INAME(34)=3M28AIFTC1	TC1	310	49
	INAME(35)=3M38AIFTC1	TC1	315	50
	INAME(36)=3M48AIFTC1	TC1	320	51
	INAME(37)=3M58AIFTC1	TC1	325	52
	INAME(38)=3M68AIFTC1	TC1	330	53
	INAME(39)=3M18AIFTC1	TC1	335	54
	INAME(40)=3M28AIFTC1	TC1	340	55
	INAME(41)=3M38AIFTC1	TC1	345	56
	INAME(42)=3M48AIFTC1	TC1	350	57
	INAME(43)=3M58AIFTC1	TC1	355	58
	INAME(44)=3M68AIFTC1	TC1	360	59
C****	INPUT DATA ****TC1	TC1	365	
1000	READ(5,1) IZAS,NZASTC1	TC1	370	60
1	FORMAT(A8,3I1)TC1	TC1	375	61
	IF(IIZA.EQ.IZAS) STOPTC1	TC1	380	62
	DO 20 KAS=1,NZASTC1	TC1	385	63
	1 IZASTC1	TC1	390	64
	READ(5,2) IAS,NASTC1	TC1	395	65
2	FORMAT(A3,7X12)TC1	TC1	400	66
	DO 3 KKAS=1,5TC1	TC1	405	67
	IF(IAS.EQ.IIA(KKAS)) GO TO(21,22,23,6,12),KKASTC1	TC1	410	68
3	CONTINUETC1	TC1	415	69
	WRITE(6,4)TC1	TC1	420	70
4	FORMAT(5X39NEWROR THE LABEL OF #CARD IS INVALID.)TC1	TC1	425	71
	STOPTC1	TC1	430	72
6	IF IZNAS=10=1TC1	TC1	435	73
	GO TO(11,11,7,9),IFI TC1	TC1	440	74
7	READ(5,8) TEMO TC1	TC1	445	75
8	FORMAT(10X10.5)TC1	TC1	450	76
	GO TO 11TC1	TC1	455	77
9	READ(5,10)IDENDTC1	TC1	460	78
10	FORMAT(10X12)TC1	TC1	465	79
11	GO TO 21TC1	TC1	470	80
12	DO 13 I=1,4TC1	TC1	475	81
13	KPL(I)=GTC1	TC1	480	82
	IPL=NAS/IOTC1	TC1	485	83
	IF IZNAS.EQ.0 GO TO 19TC1	TC1	490	84
	READ(5,14)(NPL(I),I=1,IPL)TC1	TC1	495	85
14	FORMAT(7A3,7X)TC1	TC1	500	86
	DO 18 J=1,IPLTC1	TC1	505	87
	DO 15 J1=1,4TC1	TC1	510	88
	IF(IIP(J),EQ,NPL(I)) GO TO 18TC1	TC1	515	89
15	CONTINUETC1	TC1	520	90
16	WRITE(6,17)TC1	TC1	525	91
17	FORMAT(5X39NEWROR PLOT CARD IS INVALID.)TC1	TC1	530	92
	STOPTC1	TC1	535	93
18	NPL(J1)=TC1	TC1	540	94
19	GO TO 20TC1	TC1	545	95
C	*BOLVTC1	TC1	550	
21	J1=1TC1	TC1	555	104
	J2=17TC1	TC1	560	105
	J3=1TC1	TC1	565	106
	GO TO 30TC1	TC1	570	107
C	*TIME TC1	TC1	575	
22	J1=16TC1	TC1	580	112
	J2=32TC1	TC1	585	113
	J3=2TC1	TC1	590	114


```

HARP 5020 COMPILED LIST                                05/12/67                                PAGE 5
EXTERNAL FORMULA NUMBER - SOURCE STATEMENT - INTERNAL FORMULA NUMBER
K1=0                                                    TC1 1185 243
K2=1                                                    TC1 1190 244
K3=0                                                    TC1 1195 245
DY(1)=0                                                TC1 1200 246
ICS=1                                                  TC1 1205 247
IT=1                                                  TC1 1210 248
DO 211 I=1,5                                          TC1 1215 249
S(2=1)=S(2=1-1)                                      TC1 1220 251
MEWN(2=I)=MEWN(2=I-1)                                TC1 1225 252
211 MKG3(I)=0.                                         TC1 1230 253
IF (BURN.EQ.1) GO TO 213                              TC1 1235 254
212 M=1.                                               TC1 1240 256
GO TO 214                                              TC1 1245 257
213 IF (MTH(STAGE).GE.1.1) GO TO 212                 TC1 1250 258
M=MTH(STAGE)                                          TC1 1255 240
214 PARTT=PARTT-H                                     TC1 1260 241
1111 WRITE(6,215)                                     TC1 1265 242
215 FORMAT(1M1,5X,INT9X1HZ9X1HY8X1HWLDX1H6X2SHG&RKA7X2HDV&X49MACH&X&H) TC1 1270 243
1HURUST&1H0R81H0S&X&HSTAGEIX&H&BURN&X)
C**** CONTROL **** STAGE, ID, BURN, PARTT, MEWN, H
300 PARTT=PARTT+H                                     TC1 1285 244
301 IF (ID.NE.1) GO TO 302                             TC1 1290 245
IF (Y(1).LT.LAUMZ) GO TO 309                         TC1 1295 247
ID=2                                                  TC1 1300 249
GO TO 309                                             TC1 1305 270
302 IF (PARTT.GE.YOTEIT(ID)+0.9999) GO TO 306         TC1 1310 271
IF (BURN.EQ.1) GO TO 304                             TC1 1315 273
M=1.                                                  TC1 1320 275
303 IF ((YOTEIT(ID)-PARTT).GE.M) GO TO 309           TC1 1325 274
M=YOTEIT(ID)-PARTT                                  TC1 1330 276
GO TO 309                                             TC1 1335 279
304 IF (Y(3).GT.AFTERM(ID)) GO TO 310               TC1 1340 280
Y(3)=AFTERM(ID)                                     TC1 1345 282
305 BURN=0                                            TC1 1350 283
M=INT(T+1.001)-T                                    TC1 1355 284
GO TO 309                                             TC1 1360 285
310 IF (PARTT.GE.80(STAGE)) GO TO 305               TC1 1365 286
GO TO 303                                             TC1 1370 288
306 ID=ID+1                                          TC1 1375 289
PARTT=0.                                             TC1 1380 290
Y(3)=MEWN(ID)                                       TC1 1385 291
GO TO(309,309,305,307,305,307,309,307,305,307,305),ID TC1 1390 292
307 BURN=1                                           TC1 1395 293
STAGE=STAGE+1                                       TC1 1400 294
IF (MTH(STAGE).GE.1.1) GO TO 300                   TC1 1405 295
M=MTH(STAGE)                                          TC1 1410 297
GO TO 309                                             TC1 1415 298
308 M=1.                                             TC1 1420 299
309 M=1.1                                            TC1 1425 300
C**** VARIABLE ROUTINE ****                          TC1 1430
400 R=Y(1)+6.37E6                                     TC1 1435 301
G=9.80+16.37E4/R)**2                                 TC1 1440 302
IF (Y(1)-G.0E4) 401,402,402                        TC1 1445 303
C ** RHOC52 **                                       TC1 1450
403 CALL RHOC52(Y(1),DY(1),ICS,RHO,CS)              TC1 1455 304
MACH=Y(2)/CS                                         TC1 1460 305
D=0.5+RHO*Y(2)**2                                   TC1 1465 306
C ** CD2 **                                          TC1 1470
CALL CD2(ID,BURN,MACH,CD)                            TC1 1475 307

```

```

HARP 5020 COMPILED LIST                                05/12/67                                PAGE 6
EXTERNAL FORMULA NUMBER - SOURCE STATEMENT - INTERNAL FORMULA NUMBER
D=0*CD=S(ID)                                          TC1 1480 308
GO TO 403                                             TC1 1485 309
402 CS=0.                                             TC1 1490 310
RHO=0.                                               TC1 1495 311
MACH=0.                                              TC1 1500 312
Q=0.                                                 TC1 1505 313
CD=0.                                                TC1 1510 314
D=0.                                                 TC1 1515 315
403 IF (BURN) 404,404,405                             TC1 1520 316
404 THRUST=D.                                        TC1 1525 317
GO TO 500                                            TC1 1530 318
C ** Tm2 **                                          TC1 1535
405 CALL TM2(STAGE,PARTT,H,IT,THRUST)                TC1 1540 319
C**** DY ****                                       TC1 1545
500 DY(1)=Y(2)+SIN(Y(5))                             TC1 1550 320
DY(2)=(THRUST-D)+9.80/Y(3)-G*SIN(Y(5))              TC1 1555 321
IF (BURN) 502,502,501                               TC1 1560 322
501 DY(3)=-THRUST/[SP(STAGE)]                       TC1 1565 323
GO TO 503                                            TC1 1570 324
502 DY(3)=0.                                         TC1 1575 325
503 DY(4)=Y(2)+COS(Y(5))+6.37E6/R                   TC1 1580 326
IF (ID=1) 504,504,505                               TC1 1585 327
504 DY(5)=0.                                         TC1 1590 328
GO TO 506                                            TC1 1595 329
505 DY(5)=(-G+COS(Y(5))/Y(2))-(Y(2)+COS(Y(5))/R)    TC1 1600 330
DY END                                              TC1 1605
506 GO TO(1600,802,804,806),MAY                     TC1 1610 331
C**** OUT PUT ****                                  TC1 1615
600 Y(5)=Y(5)+57.29574                               TC1 1620 332
2222 WRITE(6,601) Y,(Y(I),I=1,5),DY(2),MACH,THRUST,D,0,STAGE,BURN TC1 1625 333
601 FORMAT( F10.3,F10.0,F10.2,F10.4,F10.0,F10.4,F10.3,F10.5,3F10.4, TC1 1630
12I5)
Y(5)=Y(5)+0.017453293                               TC1 1640 338
C ** STORE Y,Z,V,X,DV,MACH FOR PLOTS **             TC1 1645
IF (IPL.EQ.0) GO TO 700                             TC1 1650 339
K1=K1+1                                              TC1 1655 341
610 IF (MOD(K1,K2).NE.0) GO TO 611                   TC1 1660 342
IF (K3.GT.1000) GO TO 612                           TC1 1665 344
K3=K3+1                                              TC1 1670 346
PL1(K3)=Y                                          TC1 1675 347
PL2(K3)=Y(2)                                        TC1 1680 348
PL3(K3)=Y(2)                                        TC1 1685 349
PL4(K3)=Y(1)                                        TC1 1690 350
PL5(K3)=DY(2)                                       TC1 1695 351
PL6(K3)=MACH                                         TC1 1700 352
611 GO TO 700                                        TC1 1705 353
612 DO 613 I=1,500                                  TC1 1710 354
PL1(I)=PL1(2+I)                                     TC1 1715 356
PL2(I)=PL2(2+I)                                     TC1 1720 357
PL3(I)=PL3(2+I)                                     TC1 1725 358
PL4(I)=PL4(2+I)                                     TC1 1730 359
PL5(I)=PL5(2+I)                                     TC1 1735 360
613 PL6(I)=PL6(2+I)                                 TC1 1740 361
K2=K2+2                                             TC1 1745 362
K3=500                                              TC1 1750 363
GO TO 610                                            TC1 1755 364
C**** FINISH TEST ****                              TC1 1760
700 GO TO(701,702,703,704),IFI                      TC1 1765 365
701 T=(Y(1)-710.8)/RHO                              TC1 1770 366

```

HARP 5020 COMPILED LIST		D5/12/67	PAGE 7
EXTERNAL FORMULA NUMBER	SOURCE STATEMENT	INTERNAL FORMULA NUMBER	
702	IF(DY(1))710,800,800	TC1 1775	367
703	IF(TEND-T) 710,710,800	TC1 1780	368
704	IF(IDEND-ID)710,800,800	TC1 1785	369
C***	PLOT ****	TC1 1790	
710	IF(IPL.FO.O) GO TO 717	TC1 1795	370
	CALL PLOTS(12AS+O.)	TC1 1800	372
	IF(KPL(1),EQ.O) GO TO 711	TC1 1805	373
C **	PLD **	TC1 1810	
	CALL PLO(PL1,PL2,K3,6HTIME-Z,7HT (SEC),6HZ (M))	TC1 1815	375
711	IF(KPL(2),EQ.O) GO TO 712	TC1 1820	376
	CALL PLO(PL1,PL3,K3,6HTIME-V,7HT (SEC),9MV (M/SEC))	TC1 1825	378
712	IF(KPL(3),EQ.O) GO TO 713	TC1 1830	379
	CALL PLO(PL4,PL2,K3,6HX-Z ,6MX (M) ,6HZ (M))	TC1 1835	381
713	IF(KPL(4),EQ.O) GO TO 714	TC1 1840	382
	CALL PLO(PL1,PL4,K3,9HTIME-MACH,7HT (SEC),6HMACH)	TC1 1845	384
714	IF(KPL(5),EQ.O) GO TO 715	TC1 1850	385
	CALL PLO(PL1,PL5,K3,7HTIME-DV,7HT (SEC),1DMDY(M/SEC2))	TC1 1855	387
715	IF(KPL(6),EQ.O) GO TO 716	TC1 1860	388
	CALL PLO(PL2,PL3,K3,6HZ-Y ,6HZ (M) ,9MV (M/SEC))	TC1 1865	390
716	CALL PLOTV	TC1 1870	391
717	GO TO 1000	TC1 1875	392
C***	R.K.G. METHOD ****	TC1 1880	
C **	R.K.G. METHOD (1) **	TC1 1885	
800	DO 801 I=1,5	TC1 1890	393
	RKG1#H*DY(I)	TC1 1895	395
	RKG2#0.5*RKG1-RKG3(I)	TC1 1900	396
	RKG3(I)=RKG3(I)+3.0*RKG2-0.5*RKG1	TC1 1905	397
801	V(I)=Y(I)+RKG2	TC1 1910	398
	T#T+0.5#H	TC1 1915	399
	W#W+2	TC1 1920	400
	GO TO 400	TC1 1925	401
C **	R.K.G. METHOD (2) **	TC1 1930	
802	DO 803 I=1,5	TC1 1935	402
	RKG1#H*DY(I)	TC1 1940	404
	RKG2#0.2928932*(RKG1-RKG3(I))	TC1 1945	405
	RKG3(I)=RKG3(I)+3.0*RKG2-0.2928932*RKG1	TC1 1950	406
803	V(I)=Y(I)+RKG2	TC1 1955	407
	W#W+3	TC1 1960	408
	GO TO 400	TC1 1965	409
C **	R.K.G. METHOD (3) **	TC1 1970	
804	DO 805 I=1,5	TC1 1975	410
	RKG1#H*DY(I)	TC1 1980	412
	RKG2#1.707107*(RKG1-RKG3(I))	TC1 1985	413
	RKG3(I)=RKG3(I)+3.0*RKG2-1.707107*RKG1	TC1 1990	414
805	V(I)=Y(I)+RKG2	TC1 1995	415
	T#T+0.5#H	TC1 2000	416
	W#W+4	TC1 2005	417
	GO TO 400	TC1 2010	418
C **	R.K.G. METHOD (4) **	TC1 2015	
806	DO 807 I=1,5	TC1 2020	419
	RKG1#H*DY(I)	TC1 2025	421
	RKG2#(RKG1-2.0*RKG3(I))/6.0	TC1 2030	422
	RKG3(I)=RKG3(I)+3.0*RKG2-0.5*RKG1	TC1 2035	423
807	V(I)=Y(I)+RKG2	TC1 2040	424
	GO TO 300	TC1 2045	425
	END	TC1 2050	426

TM-88	プロペラ後流偏向型STOL機の風洞試験 (I)	1966年9月	犬丸矩夫, 岡部祐二郎 北村清美, 川幡長勝 木村友昭, 彦, 泉日出夫 川井忠彦, 人, 石黒登美子 戸川隼
TM-89	有孔板の振動について	1966年9月	
TM-90	地上付近の横風の影響による小型ロケットの方位角変化	1966年9月	
TM-91	高速タービン翼列二次元試験	1966年10月	近藤博, 蓑田光弘 山崎紀雄, 一, 吉田晃昇 大中山耕一, 晋, 菅原昇 中五味光澄, 男, 夫, 宮地敏雄 五武内昌二, 夫, 宮地敏雄 武星内谷澄昌 星内谷澄昌 佐野政明, 菰岡一洋
TM-92	リフトジェットエンジン試験設備 (I) 一台上運転設備一	1966年10月	
TM-94	J-3ジェットエンジン用タービン動翼の固有振動特性	1966年11月	
TM-95	超軽量軸流圧縮機動翼の固有振動特性	1966年11月	
TM-96	2024-T4および7075-T6有孔平板の曲げ疲労試験と2024-T4平滑丸棒の軸荷重疲労試験	1966年11月	
TM-97	高マッハ数風洞について (II)	1967年1月	吉永崇, 井上建二 野村茂昭, 相原康彦 大月正男, 鈴木孝雄 田畑浄博, 円居繁一 近望藤昌, 大城章一 五代富文, 斎藤克 湯沢克宜, 伊藤 嶋武敏, 一, 築地恒夫 越出慎一, 夫, 林洋一 中井恒夫, 一, 森田甫之 関口清子
TM-98	40kWプラズマ発生装置の諸特性	1967年1月	
TM-99	搭載機器用環境試験装置の特性	1967年2月	
TM-100	二連型リフトエンジンの吸込み抵抗	1967年3月	
TM-101	低圧環境下における固体ロケットモータの性能	1967年3月	
TM-102	弾性支持片持板の振動	1967年3月	
TM-103	給合梁の振動について	1967年3月	
TM-104	平板翼模型の固有振動モードの測定	1967年4月	
TM-105	非定常境界層方程式を含む放物型微積分方程式の数値解法	1967年4月	
TM-106	動安定微係数測定用風洞天秤について	1967年5月	高島一明, 榊原盛三 原亘利, 北出大三 金成正好, 夫, 岡部祐二郎 犬丸矩夫, 美, 川幡長勝 北村清彦, 人, 彦, 泉日出夫 高橋清美, 仲, 木村友昭 洲秀夫, 夫, 柳沢三憲
TM-107	プロペラ後流偏向型STOL機の風洞試験 (II)	1967年6月	
TM-108	インダクタンス型小型圧力変換器の試作とその応用	1967年7月	

注：欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料109号

昭和42年7月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)44-9171(代表)

印刷所 奥村印刷株式会社
東京都千代田区西神田1-1-4

