

ISSN 0389-4010

UDC 532.574:

533.697:

533.6.08

航空宇宙技術研究所報告

TECHNICAL REPORT OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TR-668

5孔アロー型、円錐型ピトー管による流れの特性計算法

西村英明

1981年4月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

目 次

1. まえがき	1
2. 記 号	2
3. 基本概念	2
4. ピッチ角, ヨー角, マッハ数の求め方	4
5. 計算および計算結果の検討	9
6. 補間法の検討	11
7. 参考文献	11
付録A 計算プログラムの解説	11
付録B 二次元, 圧縮性流れ	20

5孔アロー型、円錐型ピトー管による流れの特性計算法*

西村英明**

On the Flow Measurements and Velocity Vector Analysis Using Five-Hole Pitot Tubes

By

Hideaki NISHIMURA

ABSTRACT

Five-hole pitot tubes are widely used to determine directions and magnitudes of velocities in three-dimensional flow fields, because of their simplicity in handling and their reliability.

This paper describes a method of reducing data obtained from five-hole pitot tube measurements with the aid of a few sets of calibration data.

By using mini-computers, pitch and yaw angles and Mach numbers of flows can be computed simultaneously by this method with reasonable accuracy in the range of the pitot tube calibration.

1. まえがき

三次元流れの流体の流れ方向、速度の計測を行う場合、簡便、確実であるため従来より5孔ピトー管が広く使われている。その使用方法には大きく分けて二つある。第一の方法としては5孔ピトー管の中心孔が正確に流れの方向を示すようにピトー管のピッチ角、ヨー角を機構的に調節する方法があり、第二の方法としてはヨー角のみを正確に流れ方向に一致させ、ピッチ角および流速に関しては検定曲線を作製しておいてこれを利用するという方法がある。

検定曲線を利用する第二の方法では、実験時にピッチ角か、またはヨー角のみを正確に定めれば良いので計測時間等は短縮できるがあとで検定曲線から

正確なヨー角、またはピッチ角とマッハ数を計算によって求めなければならない。そのため計算に都合の良い検定曲線を作っておく必要がある。しかし、この検定曲線を作製する一般的な方法は確立されておらず今までにも種々な方法が用いられてきている。

例えば、ある範囲内ではヨー角にあまり依存しない量とか、マッハ数にはほとんど無関係な量とかを選び出すなどの作業を行い、その結果これらの量を組み合わせてより正確な風向、風速を計算によって求めている。その場合にもほとんどの解析的手法では、風向、風速に対する圧縮性の影響は無視している。

しかし実際はマッハ数が0.3以上では圧縮性の影響は無視できない。

北野¹⁾はこの圧縮性の影響を考慮し、計算機を使用し繰り返し計算によってピッチ角、ヨー角、マッハ数を計算する方法を示した。しかし、そのための検定曲線を得るためにかなり多くの検定実験を行う

* 昭和56年3月2日 受付

** 原動機部

必要がある。

一方、第一の方法では5孔ピトー管の中心孔を正確に流れの方向に向けるために、ピッチ角，ヨー角を実験時に調節する必要がある，これは非常に時間を要し場合によっては不可能なことさえある。

本報ではピッチ角，ヨー角，マッハ数の三つの未知数に関する三つの方程式を解くという方法をとる。

そのため取り扱いが容易であり検定曲線は多項式近似を行いま検定曲線外の点については補間式を利用するなどして検定実験の量は少なくとも精度の良い値を得ることができる。

本方法を用いた場合には実験時においてはピッチ角，ヨー角，マッハ数は検定実験の範囲内に入っておれば良く実験が非常に効率良く行えるという利点がある。

2. 記 号

M	真のマッハ数
P_C	5孔ピトー管の中心孔の示す圧力(図5)
P_L	左側孔 " (")
P_R	右側孔 " (")
P_U	上側孔 " (")
P_D	下側孔 " (")
P_S	静圧
P_T	真の全圧
C_{PLO}	圧力係数(添字 LO はピトー管の各孔の位置(C, L, R, U, D)を意味する)
C_{PT}	真の全圧に対する圧力係数
κ	比熱比 ($\equiv C_p/C_v$)
θ_p	ピッチ角 (度)
θ_{pr}	計算によって求めたピッチ角で検定範囲外となった場合の角度 (度)
θ_y	ヨー角 (度)
θ_{yr}	計算によって求めたヨー角で検定範囲外となった場合の角度 (度)
Re	レイノルズ数 ($\equiv \frac{vD}{\nu}$ v : 代表速度, D : 代表長さ, ν : 動粘性係数)
K_p	5孔ピトー管のピッチ方向係数 ($= \frac{P_D - P_U}{\frac{1}{2}[(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]}$)

K_y	5孔ピトー管のヨー方向係数 ($= \frac{P_L - P_R}{\frac{1}{2}[(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]}$)
K_T	5孔ピトー管の全圧係数 ($= \frac{P_T - P_C}{\frac{1}{2}[(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]}$)
K_S	5孔ピトー管の静圧係数 ($= \frac{(P_S - P_D) + (P_S - P_U)}{[(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]}$)
L_y (付録B)	3孔ピトー管のヨー方向係数 ($= \frac{P_L - P_R}{\frac{1}{2}[(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]}$)
L_T (付録B)	3孔ピトー管の全圧係数 ($= \frac{P_T - P_C}{\frac{1}{2}[(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]}$)
L_S (付録B)	3孔ピトー管の静圧係数 ($= \frac{(P_S - P_L) + (P_S - P_R)}{[(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]}$)
A_{pi}	5孔ピトー管の $\theta_p - K_p$ 近似式の係数
A_{yi}	" $\theta_y - K_y$ " "
A_{Tpi}	" $K_T - \theta_p$ " "
A_{Spi}	" $K_S - \theta_p$ " "
B_{yi} (付録B)	3孔ピトー管の $\theta_y - K_y$ 近似式の係数
B_{Tyi} (付録B)	3孔ピトー管の $K_T - \theta_y$ 近似式の係数
B_{Syi} (付録B)	3孔ピトー管の $K_S - \theta_y$ 近似式の係数
添 字	
LO	C (中心孔), L (左側孔), R (右側孔), U (上側孔), D (下側孔)を代表して5孔ピトー管の圧力孔の位置を意味する。
LO'	LO を C, L, R, U, D のいずれかに固定したとき, その LO とは異なる, C, L, R, U, D を意味する。

3. 基本的概念

航空エンジンの内部の三次元流れの圧力分布，風向，風速を計測するためには一般に3孔又は5孔ピトー管が多く使われている。この場合，計測時間や

機構上の問題からピトー管の中心孔の向きを流れの方向に向けることは必ずしも可能ではない。そこでピトー管の向きがある範囲内であればそのときのピトー管の5孔の示す圧力値を読み取っておき、あとで検定曲線を利用し計算によりピッチ角、ヨー角、マッハ数を求める方法が必要となる。以下にこれらの値の求め方についての基本的な考え方を述べる。

マッハ数 M 、静圧 P_S のとき5孔ピトー管の任意の圧力孔の位置における圧力を P_{LO} とすると圧力係数は圧縮性を考慮すると

$$C_{PLO} = \frac{2}{\kappa M^2} \left(\frac{P_{LO}}{P_S} - 1 \right) \quad (1)$$

この式は、次のように表わすことができる。

$$P_{LO} - P_S = C_{PLO} \frac{1}{2} \kappa P_S M^2 \quad (2)$$

ここで、圧力係数 C_{PLO} は

- 1) ピッチ角 θ_p 、ヨー角 θ_y
- 2) マッハ数
- 3) レイノルズ数
- 4) 流体の乱れ
- 5) ピトー管幾何形状
- 6) 主流流れの拘束条件（側壁等）

等の関数である。

6) のレイノルズ数の影響は Folson et al²⁾ によれば全圧管に対しては、 $Re > 500$ 、また、静圧管に対しては $Re > 2300$ では無視できそれぞれの限界のレイノルズ数以下では C_p の値は増加する傾向にある。

特殊な場合を除いて殆んどの実用条件の下ではこの条件は満たされており、（今回の使用条件、検定条件におけるレイノルズ数は、約 5×10^4 である）、レイノルズ数による影響は無視できる。

したがって、圧力係数は θ_p, θ_y, M のみの関数と考えることができる。すなわち、

$$C_{PLO} = C_{PLO}(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (3)$$

ここで、圧縮性流体の流れの場合における速度ポテンシャルは、最大速度が音速に達していない場合には M^2 のべき級数に展開できることを考慮するとクリティカル・マッハ数以下では圧力係数も M^2 のべき級数で表わすことができる¹⁾ ので(3)式の C_{PLO} は θ_p, θ_y と M^2 の関数になる。したがって、(2)式において P_{LO} は $\theta_p, \theta_y, M^2, P_S$ と κ の関数である。

いま、次の圧力および圧力差

$$P_{LO} \\ P_{LO} - P_S \quad (4)$$

$P_{LO} - P_{LO}'$ の比で表わされる関数は κ を定数とするとき θ_p, θ_y, M^2 のみの関数となる。

これらの圧力、圧力差の比としてはいろいろな組み合わせが考えられるが、ここでは以下の4個の関数を用いることとする。

ピッチ方向係数

$$K_p = \frac{P_D - P_U}{\frac{1}{2} [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]} \\ = \frac{C_{PD} - C_{PU}}{\frac{1}{2} [(C_{PC} - C_{PD}) + (C_{PC} - C_{PU})]} \\ = f(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (5)$$

ヨー方向係数

$$K_y = \frac{P_L - P_R}{\frac{1}{2} [(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]} \\ = \frac{C_{PL} - C_{PR}}{\frac{1}{2} [(C_{PC} - C_{PL}) + (C_{PC} - C_{PR})]} \\ = g(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (6)$$

全圧係数

$$K_T = \frac{P_T - P_C}{\frac{1}{2} [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]} \\ = \frac{C_{PT} - C_{PC}}{\frac{1}{2} [(C_{PC} - C_{PD}) + (C_{PC} - C_{PU})]} \\ = h(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (7)$$

静圧係数

$$K_S = \frac{(P_S - P_D) + (P_S - P_U)}{[(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]} \\ = \frac{-(C_{PD} + C_{PU})}{[(C_{PC} - C_{PD}) + (C_{PC} - C_{PU})]} \\ = i(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (8)$$

これらの係数は θ_p, θ_y, M^2 のみの関数となっている。

関数 f, g, h, i の形を論理的に決定することはできない。そこでそれぞれの5孔ピトー管について

検定実験を行い、その結果を最小自乗法によって曲線近似式を求めて利用する。

4. ピッチ角, ヨー角, マッハ数の求め方

5 孔ピトー管を使用して流れの方向, 速度を求めるために係数 K_p, K_y, K_T, K_S を利用する。

計算機を利用して繰り返し計算により θ_p, θ_y, M^2 の値を求める方法を示すために(5), (6), (7), (8)式を次のように関数形に書く。

$$K_p = f(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (9)$$

$$K_y = g(\theta_p, \theta_y, M^2) \quad (10)$$

$$P_T = P_C + h(\theta_p, \theta_y, M^2) \times \frac{1}{2} \times [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)] \quad (11)$$

$$P_S = \frac{1}{2} \{P_D + P_U + i(\theta_p, \theta_y, M^2) \times [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]\} \quad (12)$$

と, マッハ数

$$M^2 = \frac{2}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{P_T}{P_S} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \quad (13)$$

の関係式を利用する。

繰り返し計算の説明を容易にするために変数の右上の肩に繰り返しの回数を (n) と $(n+1)$ で示す。

まず, 実験時に 5 孔ピトー管から得られる P_C, P_L, P_R, P_U, P_D の値から K_p, K_y の値を求める。

$\theta_y^{(n)}, M^{2(n)}$ を仮定すると(9)式から

$$K_p = f(\theta_p^{(n+1)}, \theta_y^{(n)}, M^{2(n)}) \quad (14)$$

近似値 $\theta_p^{(n+1)}$ が求まる。

(10)式から

$$K_y = g(\theta_p^{(n+1)}, \theta_y^{(n+1)}, M^{2(n)}) \quad (15)$$

近似値 $\theta_y^{(n+1)}$ が求まる。

この二つの新しい値 $\theta_p^{(n+1)}, \theta_y^{(n+1)}$ を利用して(11)式

$$P_T = P_C + h(\theta_p^{(n+1)}, \theta_y^{(n+1)}, M^{2(n)}) \times \frac{1}{2} \times [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)] \quad (16)$$

から P_T が求まる。また(12)式

$$P_S = \frac{1}{2} \{P_D + P_U + i(\theta_p^{(n+1)}, \theta_y^{(n+1)}, M^{2(n)}) \times [(P_C - P_D) + (P_C - P_U)]\} \quad (17)$$

から P_S を求める。

この二つの P_T と P_S を利用してマッハ数 $M^{2(n+1)}$ を求めることができる。

$$M^{2(n+1)} = \frac{2}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{P_T}{P_S} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \quad (13')$$

繰り返し計算の収束の判定はマッハ数によって行う。もし $|M^{2(n+1)} - M^{2(n)}|$ がある制限された値以内にならなければ, $M^{2(n+1)}, \theta_y^{(n+1)}$ を $M^{2(n)}, \theta_y^{(n)}$ として(14)式からさらに計算を繰り返す。

この計算において検定曲線以外の曲線が必要になる。その場合, 計算機の中で新しく補間した曲線を作り出し, 利用する。その方法を以下に示す。

(14)式を最小自乗法によって, θ_p を陽に書くと,

$$\theta_p^{(n+1)}(K_p; M^{2(n)}, \theta_y^{(n)}) = \sum_{i=0} A_{pi}(M^{2(n)}, \theta_y^{(n)}) \cdot K_p^i \quad (18)$$

ここに左辺の表示式で K_p は独立変数名, θ_y, M^2 はパラメータとし, 右辺の係数 A_{pi} は, θ_y, M^2 をパラメータとすることを意味するものとする。以下同様とする。

係数 A_{pi} は比例配分により求める(図 1 参照)。比例配分はピッチ角, ヨー角, マッハ数について行わなければならないが, まず, マッハ数に関してのみ行う。(18)式の係数はヨー角をパラメータとして

$$A_{pi}(M^2; \theta_y) = \frac{A_{pi}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \times (M^2 - M_1^2)}{M_2^2 - M_1^2} + \frac{A_{pi}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \times (M_2^2 - M^2)}{M_2^2 - M_1^2} \quad (19)$$

ただし, $A_{pi}^{(1)}, A_{pi}^{(2)}$ はそれぞれマッハ数が M_1 と M_2 の場合の係数に相当する。すなわち

$$\theta_p(K_p; M_1^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{pi}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \cdot K_p^i \quad (20)$$

$$\theta_p(K_p; M_2^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{pi}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \cdot K_p^i \quad (21)$$

であり、 $M_1^2 \leq M_2^2$ とする。

同様に、 θ_y を陽に表わすと(15)式は

$$\theta_y^{(n+1)}(K_y; M_2^{(n)}, \theta_p^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{yi}(M_2^{(n)}, \theta_p^{(n+1)}) \cdot K_y^i \quad (22)$$

係数はピッチ角をパラメータとして(図2参照)

$$A_{yi}(M_2^2; \theta_p) = \frac{A_{yi}^{(2)}(M_2^2, \theta_p) \times (M_2^2 - M_1^2)}{M_2^2 - M_1^2 + A_{yi}^{(1)}(M_1^2, \theta_p) \times (M_2^2 - M_1^2)} \quad (23)$$

とする。ただし係数 $A_{yi}^{(1)}$, $A_{yi}^{(2)}$ は

$$\theta_y(K_y; M_1^2, \theta_p) = \sum_{i=0} A_{yi}^{(1)}(M_1^2, \theta_p) \cdot K_y^i \quad (24)$$

$$\theta_y(K_y; M_2^2, \theta_p) = \sum_{i=0} A_{yi}^{(2)}(M_2^2, \theta_p) \cdot K_y^i \quad (25)$$

で表わされる。

(16)式中の関数 h についても(18)式の場合と同様にマッハ数、ヨー角をパラメータとして

$$K_T = h(\theta_p^{(n+1)}; M_2^{(n)}, \theta_y^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{Tpi}(M_2^{(n)}, \theta_y^{(n+1)}) \cdot \theta_p^{i(n+1)} \quad (26)$$

で表わす。係数はヨー角をパラメータとし(図3参照)

$$A_{Tpi}(M_2^2; \theta_y) = \frac{A_{Tpi}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \times (M_2^2 - M_1^2)}{M_2^2 - M_1^2 + A_{Tpi}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \times (M_2^2 - M_1^2)} \quad (27)$$

で表わす。ただし係数 $A_{Tpi}^{(1)}$, $A_{Tpi}^{(2)}$ は

$$h(\theta_p; M_1^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{Tpi}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \cdot \theta_p^i \quad (28)$$

$$h(\theta_p; M_2^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{Tpi}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \cdot \theta_p^i \quad (29)$$

を満たすものとする。

また、(17)式中の関数 i についても同様にマッハ数、ヨー角をパラメータとして、

$$K_S = i(\theta_p^{(n+1)}, M_2^{(n)}, \theta_y^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{Spi}^{(2)}(M_2^{(n)}, \theta_y^{(n+1)}) \cdot \theta_p^{i(n+1)} \quad (30)$$

で表わす。係数はヨー角をパラメータとし(図3参照)

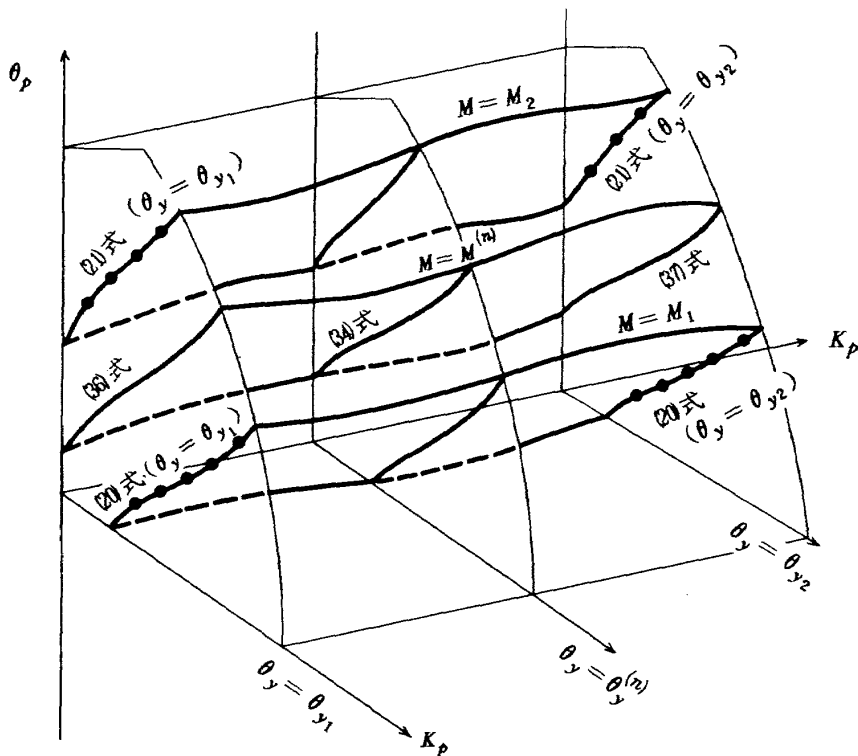


図1 $\theta_p - K_p$ に関するマッハ数、ヨー角の補間法

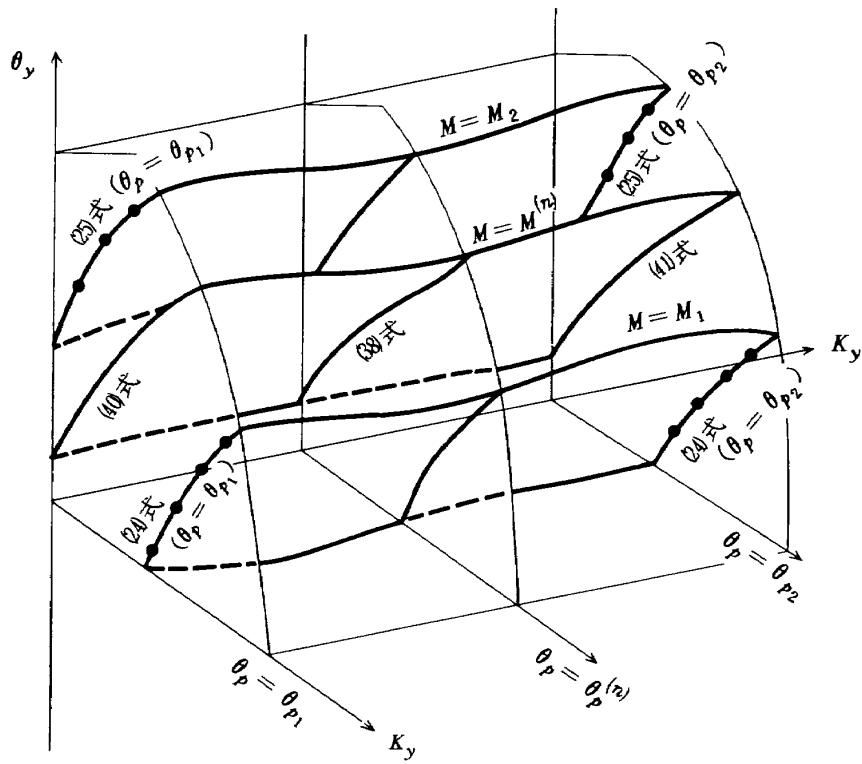


図2 $\theta_y - K_y$ に関するマッハ数, ピッチ角の補間法

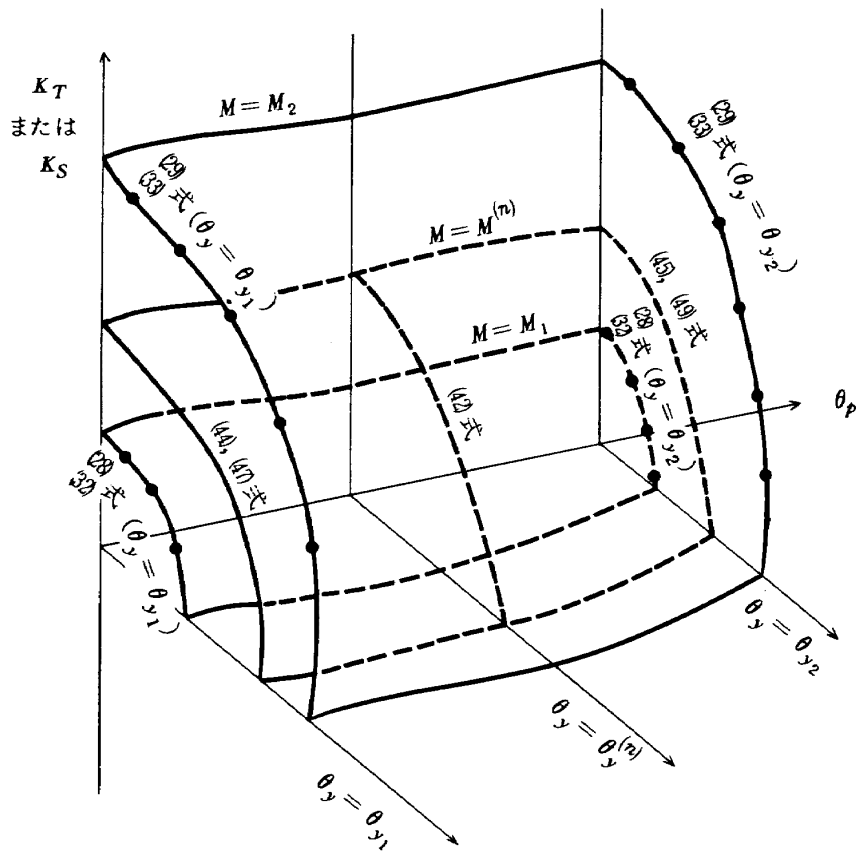


図3 $K_T, K_S - \theta_p$ に関するマッハ数, ヨー角の補間法

$$A_{S_{pi}}(M^2; \theta_y) = \frac{A_{S_{pi}}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \times (M^2 - M_1^2)}{M_2^2 - M_1^2} + \frac{A_{S_{pi}}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \times (M^2 - M^2)}{M_2^2 - M_1^2}$$

(31)

で、係数 $A_{S_{pi}}^{(1)}$, $A_{S_{pi}}^{(2)}$ は、

$$i(\theta_p; M_1^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{S_{pi}}^{(1)}(M_1^2, \theta_y) \cdot \theta_p^i \quad (32)$$

$$i(\theta_p; M_2^2, \theta_y) = \sum_{i=0} A_{S_{pi}}^{(2)}(M_2^2, \theta_y) \cdot \theta_p^i \quad (33)$$

を満足するものとする。

以上によって、検定実験を行ったマッハ数以外のマッハ数に対して、パラメータ θ_p , θ_y に関する最小自乗法の係数が (19), (23), (27), (31) 式によって求めることができた。次に、(19), (27), (31) 式に関してはパラメータであるヨー角をある値に、また、(23) 式ではパラメータであるピッチ角をある値に固定したときに、マッハ数の場合と同様比例配分によりベキ乗の係数を求める。その方法を以下に述べる。

さきにマッハ数についてはあるマッハ数の値に対して各係数が求められたので、パラメータとしては θ_p か θ_y が残るだけである。したがって、(18) 式を θ_y をパラメータとして

$$\theta_p^{(n+1)}(K_p; \theta_y^{(n)}) = \sum_{i=0} A_{pi}(\theta_y^{(n)}) \cdot K_p^i \quad (34)$$

と表わす。

係数は補間を行って (図1 参照)

$$A_{pi}(\theta_y) = \frac{A_{pi}^{(2)}(\theta_{y2}) \times (\theta_y - \theta_{y1})}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} + \frac{A_{pi}^{(1)}(\theta_{y1}) \times (\theta_{y2} - \theta_y)}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} \quad (35)$$

で表わす。ただし、 $\theta_{y1} \leq \theta_{y2}$ である。

係数 $A_{pi}^{(1)}$, $A_{pi}^{(2)}$ は次の式を満たすものとする。

$$\theta_p(K_p; \theta_{y1}) = \sum_{i=0} A_{pi}^{(1)}(\theta_{y1}) \cdot K_p^i \quad (36)$$

$$\theta_p(K_p; \theta_{y2}) = \sum_{i=0} A_{pi}^{(2)}(\theta_{y2}) \cdot K_p^i \quad (37)$$

また、(22) 式からは θ_p をパラメータとして

$$\theta_y^{(n+1)}(K_y; \theta_p^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{yi}(\theta_p^{(n+1)}) \cdot K_y^i \quad (38)$$

と表わす。

係数は補間により (図2 参照)

$$A_{yi}(\theta_p) = \frac{A_{yi}^{(2)}(\theta_{p2}) \times (\theta_p - \theta_{p1})}{\theta_{p2} - \theta_{p1}} + \frac{A_{yi}^{(1)}(\theta_{p1}) \times (\theta_{p2} - \theta_p)}{\theta_{p2} - \theta_{p1}} \quad (39)$$

で与えられる。ここに、 $\theta_{p1} \leq \theta_{p2}$ とする。

係数 $A_{yi}^{(1)}$, $A_{yi}^{(2)}$ は次の式を満たすものとする。

$$\theta_y(K_y; \theta_{p1}) = \sum_{i=0} A_{yi}^{(1)}(\theta_{p1}) \cdot K_y^i \quad (40)$$

$$\theta_y(K_y; \theta_{p2}) = \sum_{i=0} A_{yi}^{(2)}(\theta_{p2}) \cdot K_y^i \quad (41)$$

(38) 式の h (30) 式の i については θ_y をパラメータとして (34) 式と同様にして表わすことができる。式のみを以下に示す。(図3 参照)

$$K_T \equiv h(\theta_p^{(n+1)}; \theta_y^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{Tpi}(\theta_y^{(n+1)}) \cdot \theta_p^i \quad (42)$$

$$A_{Tpi}(\theta_y) = \frac{A_{Tpi}^{(2)}(\theta_{y2}) \times (\theta_y - \theta_{y1})}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} + \frac{A_{Tpi}^{(1)}(\theta_{y1}) \times (\theta_{y2} - \theta_y)}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} \quad (43)$$

ただし、 $A_{Tpi}^{(1)}$, $A_{Tpi}^{(2)}$ は

$$h(\theta_p) = \sum_{i=0} A_{Tpi}^{(1)}(\theta_{y1}) \cdot \theta_p^i \quad (44)$$

$$h(\theta_p) = \sum_{i=0} A_{Tpi}^{(2)}(\theta_{y2}) \cdot \theta_p^i \quad (45)$$

を満たし、 i は

$$K_S \equiv i(\theta_p^{(n+1)}; \theta_y^{(n+1)}) = \sum_{i=0} A_{S_{pi}}(\theta_y^{(n+1)}) \cdot \theta_p^i \quad (46)$$

$$A_{S_{pi}}(\theta_y) = \frac{A_{S_{pi}}^{(2)}(\theta_{y2}) \times (\theta_y - \theta_{y1})}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} + \frac{A_{S_{pi}}^{(1)}(\theta_{y1}) \times (\theta_{y2} - \theta_y)}{\theta_{y2} - \theta_{y1}} \quad (47)$$

ただし、 $A_{S_{pi}}^{(1)}$, $A_{S_{pi}}^{(2)}$ は

$$i(\theta_p) = \sum_{i=0} A_{S_{pi}}^{(1)}(\theta_{y1}) \cdot \theta_p^i \quad (48)$$

$$i(\theta_p) = \sum_{i=0} A_{Spi}^{(2)}(\theta_{y2}) \cdot \theta_y^i \quad (49)$$

を満たすものとする。

この計算過程を流れ図に示す。(図4 参照)

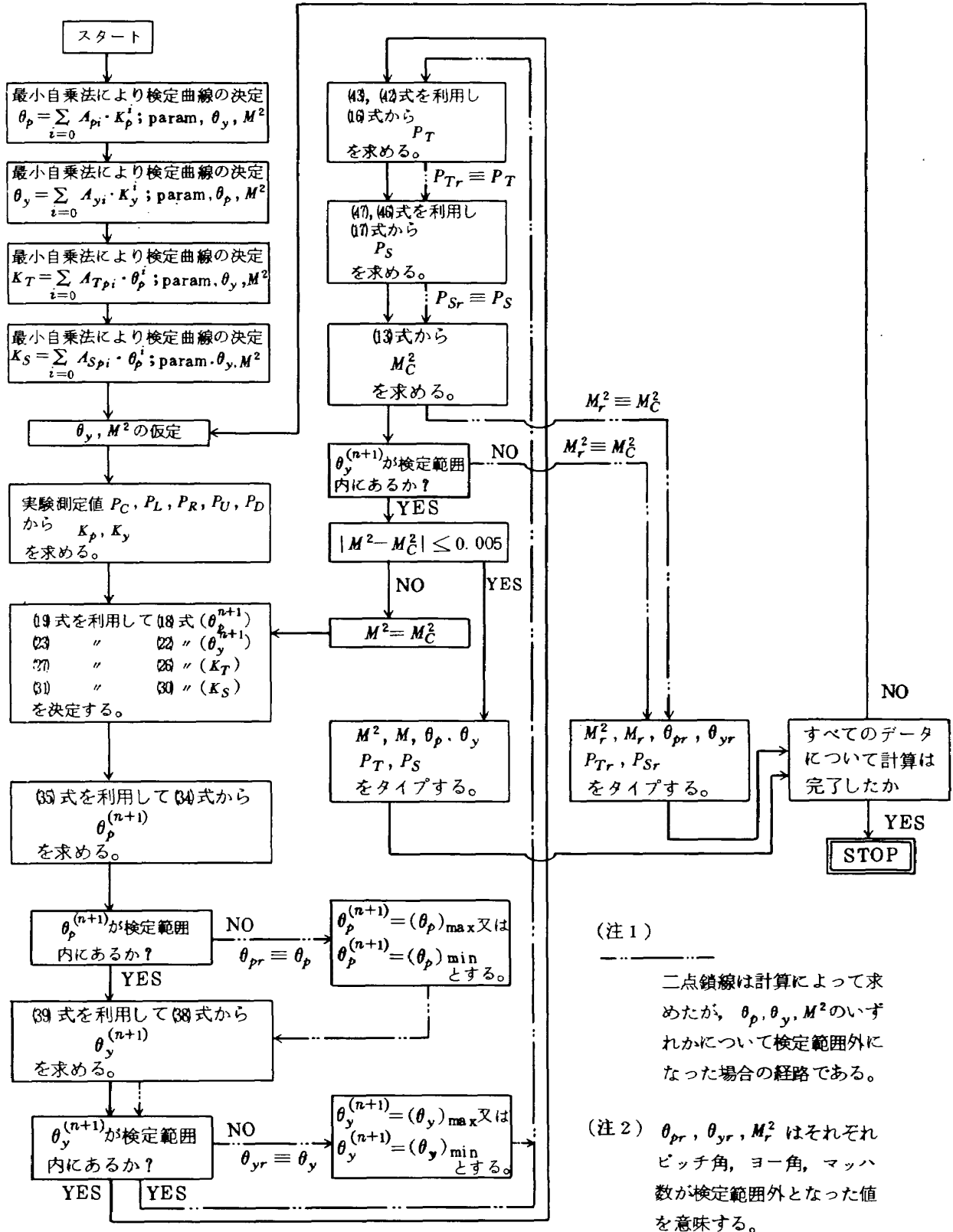


図4 三次元・圧縮性流れの5孔ピトー管によるピッチ角, ヨー角, マッハ数の計算

5. 計算および計算結果の検討

回転機械の内部流動の計測の際に生ずる現実の場合を想定して実証計算を行った。このような場合にピッチ角は側壁上下壁が存在するため比較的容易に予測できる。一方測定装置はピッチ方向に可動にするのはむずかしい。そのため検定実験は予測ピッチ角に対して $-5^\circ, 0^\circ, +5^\circ$ について行った資料を使い、ヨー角については測定装置の方は回転は容易であるが流体の流れ方向が場所によって大きく変化する。そのため検定実験は予測角度から、 $-15^\circ, -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, +5^\circ, +10^\circ, +15^\circ$ について行った。これらについて検定結果と計算値の比較は表1, 2に示した。

本方法の適用範囲については原理的にはピッチ角、

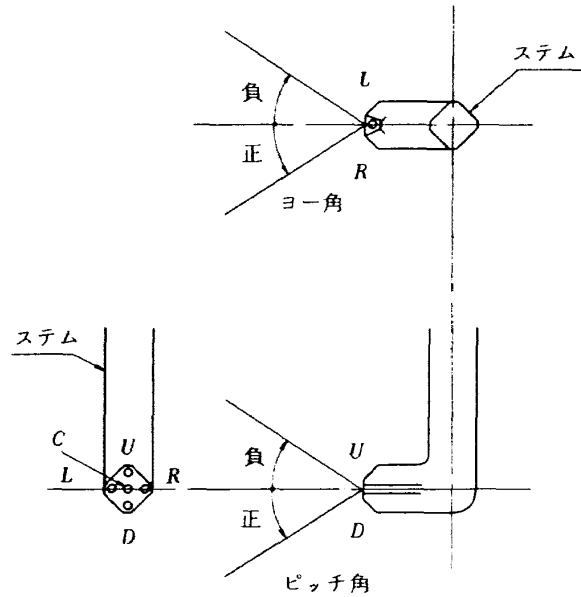


図5 ピッチ角, ヨー角の正・負と圧力孔の名称 (U, D, L, R)

表1 検定資料と計算結果の比較

番号	ピッチ角(θ_p) (計算値)	ピッチ角(θ_p) (検定値)	ヨー角(θ_y) (計算値)	ヨー角(θ_y) (検定値)	マッハ数 (計算値)	マッハ数 (検定値)
1	-0.1	0	-0.1	0	0.59	0.6
2	5.1	5	0.3	0	0.59	0.6
3	9.8	10	0.1	0	0.60	0.6
4	-4.9	-5	-0.3	0	0.59	0.6
5	-9.2	-10	-0.1	0	0.60	0.6
6	-0.0	0	-0.1	0	0.50	0.5
7	5.3	5	0.1	0	0.50	0.5
8	9.2	10	0.3	0	0.50	0.5
9	-4.4	-5	0.1	0	0.50	0.5
10	-9.9	-10	0.2	0	0.50	0.5
11	-15.1	-15	0.0	0	0.30	0.3
12	-9.5	-10	4.4	5	0.60	0.6
13	5.8	5	0.1	0	0.51	0.5
14	-4.0	-5	-5.0	-5	0.50	0.5
15	-0.0	0	0.2	0	0.70	0.7
16	0.1	0	0.4	0	0.31	0.3
17	11.6	10	-4.7	-5	0.50	0.5
18	-10.1	-10	4.9	5	0.50	0.5
19	14.2	15	-0.5	0	0.60	0.6
20	-4.3	-5	4.3	5	0.57	0.6
21	10.2	10	-5.0	-5	0.50	0.5
22	-0.0	0	-0.1	0	0.60	0.6
23	9.9	10	-0.7	0	0.59	0.6

表 2 検定範囲外になった場合の計算結果

i) マッハ数が検定範囲外となった場合

番号	ピッチ角(θ_p) (計算値)	ピッチ角(θ_p) (検定値)	ヨー角(θ_y) (計算値)	ヨー角(θ_y) (検定値)	マッハ数 (計算値)	マッハ数 (検定値)
1	4.8	15	6.0	5	0.86	0.7

* ヨー角も範囲外

ii) ヨー角が検定範囲外となった場合

番号	ピッチ角(θ_p) (計算値)	ピッチ角(θ_p) (検定値)	ヨー角(θ_y) (計算値)	ヨー角(θ_y) (検定値)	マッハ数 (計算値)	マッハ数 (検定値)
1	-4.0	-5	-5.0	-5	0.50	0.5
2	5.7	5	5.1	5	0.59	0.6
3	2.5	0	-6.2	-5	0.31	0.3
4	7.8	5	-5.8	-5	0.31	0.3
5	13.0	10	-6.4	-5	0.30	0.3
6	5.1	5	5.2	5	0.31	0.3
7	1.1	0	5.7	-5	0.50	0.5
8	5.1	5	7.7	5	0.67	0.7
9	-4.3	-5	-6.8	-5	0.67	0.7
10	-9.3	-10	-5.2	-5	0.50	0.5
11	-3.4	-5	5.5	5	0.58	0.6
12	-3.8	-5	5.8	5	0.66	0.7
13	-8.1	-10	-5.4	-5	0.67	0.7

iii) ピッチ角が検定範囲外となった場合

番号	ピッチ角(θ_p) (計算値)	ピッチ角(θ_p) (検定値)	ヨー角(θ_y) (計算値)	ヨー角(θ_y) (検定値)	マッハ数 (計算値)	マッハ数 (検定値)
1	-15.1	-15	0.0	0	0.30	0.3
2	-15.6	-15	-0.0	0	0.30	0.3

ピトー管の誤差に対する影響の大きさはピッチ角 → ヨー角 → マッハ数の順に大きくなる。

ヨー角, マッハ数の少なくとも一つが変化したとき, K_p, K_y, K_T, K_S の値が変化すればピッチ角, ヨー角, マッハ数の値を計算によって求めることが可能である。しかし実際には検定曲線が二次又は三次の多項式で近似できる範囲に制限するのが望ましく, また, 通常の実用には十分であろう。

表 1, 表 2 に検定曲線の近似を二次の多項式 ($i = 2$) で行った場合の計算値とそれに対応する検定値を示した。

表 1 には繰り返し計算中に θ_p, θ_y, M^2 について一度も検定範囲外にならなかった場合の計算値と検定

値をならべて書いた。収束性はピッチ角, ヨー角は比較的良くマッハ数が一番悪いが全体の繰り返し回数は 3 ~ 4 回で十分収束値に達した。

表 2 には, 繰り返し計算の途中で θ_p, θ_y, M^2 のうちの少なくとも一つが検定範囲外になった場合ただちに計算を中止し, その時点での θ_p, θ_y, M の値を出力した結果と検定値を示した。これらの結果の検討の結論を簡単にまとめると,

1. ピッチ角, ヨー角, マッハ数は 3 ~ 4 回の繰り返し計算で一度に求まる。
2. 検定範囲内の実験資料に対しては得られた数

値は十分実用に耐えられる。

3. 検定範囲外の実験資料の場合は外挿となるので信頼できる値は得られないが、検定曲線が比較的滑らかに変化している場合には一応の目安となる値を示す。しかしマッハ数が検定範囲外となった場合の数值はピッチ角、ヨー角も含めて信頼できない。

6. 補間法の検討

5.の結論3.で述べたように、計算途中で計算値が検定範囲から出た場合には計算によって得られた値は実際に利用することははなはだ危険であることがわかる。その理由は、計算途中で補間を行うがもし計算の結果が検定範囲外の値となった場合には本文中の補間の仕方では補間の方法が不適当なため補間不可能になるからである。そこで、たとえ検定範囲外の値となった場合でもある程度の見通しをつけることができるくらいな値が得られる方法として次のものが考えられる。ここで、マッハ数については本文中の補間の方法をとることとし、いま、あるマッハ数が与えられた場合について考える。

イ) $\theta_p - K_p$ について

- 1) θ_p をパラメータとして $K_p - \theta_y$ の関係式を最小自乗法により求める。
- 2) 与えられた $\theta_y^{(n)}$ に対して θ_p をパラメータとして K_p を求める。
- 3) $\theta_p - K_p$ の関係式を最小自乗法で求める。

ロ) $\theta_y - K_y$ について

- 1) θ_y をパラメータとして $K_y - \theta_p$ の関係式を最小自乗法によって求める。
- 2) 与えられた $\theta_p^{(n+1)}$ に対して θ_y をパラメータとして K_y を求める。
- 3) $\theta_y - K_y$ の関係式を最小自乗法によって求める。

ハ) $K_T(K_S) - \theta_p$ について

- 1) θ_p をパラメータとして、 $K_T(K_S) - \theta_y$ の関係式を最小自乗法により求める。
 - 2) 与えられた $\theta_y^{(n)}$ に対して、 θ_p をパラメータとして $K_T(K_S)$ を求める。
 - 3) $K_T(K_S) - \theta_p$ の関係式を最小自乗法で求める。
- 以上の方法により、 $\theta_p - K_p$, $\theta_y - K_y$, $K_T - \theta_p$,

$K_S - \theta_p$ の関係式が求まるのであとは本文中の繰り返し計算法を用いればよい。

本方法によると、検定範囲外の点についても最小自乗法によって外挿が滑らかに行われているので計算結果は非常に非現実的であるというような事にはならないですむであろうし、プログラムもほぼ同じかむしろ簡単になるであろう。この方法による三次元圧縮流れに対する計算機プログラム化は目下進行中である。

7. 参考文献

- 1) 北野正夫；“5孔ピトー管における圧縮性の影響”東京大学生産技術研究所 17巻5号 昭40年5月
- 2) R.G. Folsom, “Review of the pitot tube” ASME Trans. Vol.78 (1956) 1447

付録A 計算プログラムの解説

本プログラムは、主プログラムと13のサブプログラムから構成されている。そのうち、LSTSQP, LSTSQYとLSTSTSは最小自乗法により係数を求めるプログラムでそれぞれ(30), (40), と(44), (48)式の係数 A_{pi} , A_{yi} と AT_{pi} , AS_{pi} を求める。

この中でDOUBLE PRECISIONの定義はそのサブプログラムの中で備えつけの最小自乗法のプログラムLSTSQDを利用する際に必要となる。

また、サブプログラムINTPMP, INTPMYはマッハ数に関する補間で(19), (27), (31)と(23)式の計算である。プログラムLOCATMは M_2 と M_1 が記憶されている位置を見出すものである。INTPLP, INTPLYはそれぞれヨー角, ピッチ角に関する補間であり(35), (43), (47)と(39)式に相当する。LOCATEは、 θ_{p1} , θ_{p2} または θ_{y1} , θ_{y2} が記憶されている位置を見出すプログラムである。POLYNMは(34), (38), (42)と(46)式の計算を行う。PRESTOは真の全圧 P_T (ゲージ圧) PRESSTは静圧 P_S (ゲージ圧), MAC HNBはマッハ数 M^2 を求めるサブプログラムである。

なお、最小自乗法による近似曲線式は、 $\theta_p - K_p$, $\theta_y - K_y$ については2次式、 $K_T - \theta_p$, $K_S - \theta_p$ については3次式とした。

入力データ

- NPITO ; 実験のデータの整理のために使うピトー管の全部の数。(例えば 3 本)
- NOPIT ; 検定時に上述のピトー管を識別するためにピトー管につけた番号で、いまデータの整理のために使うピトー管の番号。(例えば、1 とか 3)
- NDATA ; 実験から得た当該のピトー管に関するデータの数。
- NPITC, NYAW, NMACH ; 検定時に変えたピッチ角, ヨー角, マッハ数の数。(例えば, それぞれ, 7, 3, 4)
- ATHEP(I) ; 検定時に設定したピッチ角を小さい方から書き込む。(NPITC 個だけある。)
- ATHEY(I) ; 検定時に設定したヨー角を小さい方から書き込む。(NYAW 個だけある。)
- AKP(I, J, K), AKY(I, J, K), AKT(I, J, K), AKS(I, K, J) ; 圧力係数 K_p, K_y, K_T, K_S をまずマッハ数とピッチ角を最小にしてヨー角を小さい方から書き込み, 次にピッチ角を一つ大きくしてヨー角を小さい方から書き込むというようにしてピッチ角が最大になるまで続ける。次にマッハ数を一つだけ大きくして上述の方法をマ

ッハ数が最大になるまで繰り返し書き込む。(それぞれ NPITC × NYAW × NMACH 個だけある。)

ZMACH(I) ; 検定時に設定したマッハ数を小さい方から書き込む。(NMACH 個だけある。)

PC, PL, PR, PU, PD, PATM ; 実験時に得られた $P_C, P_L, P_R, P_U, P_D, P_{atm}$ の値。(それぞれ NDATA 個だけある。) 単位はすべて同じにすること。

出力データ

ITENU ; $|M^{2(n+1)} - M^{2(n)}| \leq 0.005$ になるまでの繰り返し計算の回数。

CMACH, RMACH, BTHEP, BTHEY, PCH, PS ; それぞれ $M^2, M, \theta_p, \theta_y, P_T, P_S$ の計算値。

CMACH, RMACH, CTHEP, CTHEY, PCH, PS ; 繰り返し計算の途中で, マッハ数, ピッチ角, ヨー角の少くとも一つが検定範囲外になった場合ただちに計算を打ち切り打ち切り直前に得られた $M^2, M, \theta_p, \theta_y, P_T, P_S$ の計算値。

コメント

θ_p, θ_y, M^2 のいずれか一つが検定範囲外となった場合, 繰り返し計算の回数が50回を越えた場合, コメントを書いて計算はさらに先に進む。

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
 -781012-(V02,L13) DATE 79.04.27/09:56 PAGE 1

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
	C	A THREE DIMENSIONAL PITOT TUBE UNDER COMPRESSIBLE FLUID FLOW	2.APRIL 79
1		DOUBLE PRECISION ATHEP,ATHEY,AKP,AKY,AKT,AKS	
2		DIMENSION AKP(20,20,10),AKY(20,20,10),AKT(20,20,10),AKS(20,20,10)	
	1	,APM(5,20,10),AYM(20,5,10),ATM(5,20,10),ASM(5,20,10)	
3		DIMENSION AP(5,20),AY(20,5),AT(5,20),AS(5,20)	
4		DIMENSION ATHEP(20),ATHEY(20),AMACH(20),AKP(20),AKY(20),AKT(20)	
	1	,AKS(20),ZMACH(20)	
5		IDENT=0	
	C	READ MEIREI	
6		READ(5,100) NPITO	
	C	NPITO ; JIKKEN NO DATA SEIRI NI TSUKAU PITOT TUBE NO KAZU	
7		6 READ(5,100) NOPIT	
	C	NOPIT ; KENTEI NO TAME PITOT TUBE NI TSUKETA BANGO.	
8		READ(5,100) NDATA	
	C	NDATA ; JIKKEN KARA ETA SEIRI SURU TAME NO DATA NO KAZU,	
9		READ(5,101) NPITC,NYAW,NMACH	
	C	NPITC,NYAW,NMACH, ; KENTEI DE KAETA PITCH YAW,MACH NO KAZU.	
10		READ(5,102) (ATHEP(I),I=1,NPITC)	
	C	ATHEP(I) ; KENTEI O OKONATTA PITCH ANGLE O CHIISAI HO KARA KAKU.	
11		READ(5,102) (ATHEY(I),I=1,NYAW)	
	C	ATHEY(I) ; KENTEI DE OKONATTA YAW ANGLE O CHIISAI HO KARA KAKU.	
12		IDENT=IDENT+1	
13		DO 7 K=1,NMACH	
14		READ(5,102) ((AKP(I,J,K),AKY(I,J,K),AKT(I,J,K),AKS(I,J,K),J=1,NYAW	
	1),I=1,NPITC)	
15		7 CONTINUE	
	C	AKP,AKY,AKT,AKS ; KENTEI KARA ETA KEISU KP,KY,KT,KS O MAZU PITCH	
	C	ANGLE O SAISYO NI SHITE YAW ANGLE NO CHIISAI HO KARA JUNBAN	
	C	N NI KINYU.	
16		READ(5,102) (ZMACH(I),I=1,NMACH)	
	C	ZMACH(I) ; KENTEI DE HAKATTA MACH NUMBER O CHIISAI HO KARA KAKU.	
	C	READ MEIREI OWARI	
17		WRITE(6,110)	
18		WRITE(6,126) NOPIT	
19		WRITE(6,111)	
20		DO 9 I=1,NMACH	
21		AMACH(I)=ZMACH(I)**2	
22		9 CONTINUE	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
 -781012-(V02,L13) DATE 79.04.27/09:56 PAGE 2

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
23		DO 8 K=1,NMACH	
24		WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)	
25		WRITE(6,112) ((AKP(I,J,K),AKY(I,J,K),AKT(I,J,K),AKS(I,J,K),ATHEY(I	
	1),ATHEP(I),J=1,NYAW),I=1,NPITC)	
26		8 CONTINUE	
27		WRITE(6,117)	
28		NPOW=2	
29		WRITE(6,129)	
30		CALL LSTSOP(AKP,ATHEP,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,APM)	
31		WRITE(6,118)	
32		DO 50 K=1,NMACH	

```

33      WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)
34      WRITE(6,119) ((APM(I,J,K),I=1,NPOW),ATHEY(J),J=1,NYAW)
35      50 CONTINUE
36      NPOW=2
37      CALL LSTSWY(AKY,ATHEY,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,AYM)
38      WRITE(6,130)
39      WRITE(6,120)
40      DO 51 K=1,NMACH
41      WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)
42      WRITE(6,119) ((AYM(I,J,K),J=1,NPOW),ATHEP(I),I=1,NPITC)
43      51 CONTINUE
44      NPOW=3
45      CALL LSTSTS(ATHEP,AKT,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,ATM)
46      WRITE(6,131)
47      WRITE(6,121)
48      DO 52 K=1,NMACH
49      WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)
50      WRITE(6,128) ((ATM(I,J,K),I=1,NPOW),ATHEY(J),J=1,NYAW)
51      52 CONTINUE
52      NPOW=3
53      CALL LSTSTS(ATHEP,AKS,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,ASM)
54      WRITE(6,132)
55      WRITE(6,121)
56      DO 53 K=1,NMACH
57      WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)
58      WRITE(6,128) ((ASM(I,J,K),I=1,NPOW),ATHEY(J),J=1,NYAW)
59      53 CONTINUE
60      KAUNT=0
61      WRITE(6,113) NOPIT
62      10 BTHEY=0.0
63      BMACH=0.5
64      BMACH=BMACH**2
65      KAUNT=KAUNT+1
      C
      C READ MEIREI
      C
66      READ(3,103) PC,PL,PR,PU,PD,PATM
      C
      C TANI WA SUBETE ONAJI NI SURUKOTO.
      C PC,PL,PU,PD,PATM;JIKKEN JI NO KEISOKU KARA ETA CENTER LEFT,RIGHT,UPP
      C ER,DOWN,ATMOSPHER NO ATSURYOKU.
      C
      C READ MEIREI OWARI
      C
67      WRITE(6,140) KAUNT
68      WRITE(6,122)

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
 -781012-(V02,L13) DATE 79.04,27/09:56 PAGE 3

LSN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
69		WRITE(6,123) PC,PL,PR,PU,PD,PATM	
70		DENOP=(2.0*PC-PD-PU)/2.0	
71		DENOP=(2.0*PC-PL-PR)/2.0	
72		DKP=(PD-PU)/DENOP	
73		DKY=(PL-PR)/DENOP	
74		ITENU=0	
75	11	IF(BMACH.LT.AMACH(1),OR.BMACH.GT.AMACH(NMACH)) GO TO 13	
76		CALL LOCATM(BMACH,AMACH,NMACH,LMACH)	
77		NPOW=2	
78		CALL INTMPM(AMACH,LMACH,BMACH,NYAW,NPOW,APM,AP)	
79		NPOW=2	
80		CALL INTPMY(AMACH,LMACH,BMACH,NPITC,NPOW,AYM,AY)	
81		NPOW=3	
82		CALL INTMPM(AMACH,LMACH,BMACH,NYAW,NPOW,ATM,AT)	
83		NPOW=3	
84		CALL INTMPM(AMACH,LMACH,BMACH,NYAW,NPOW,ASM,AS)	
85		CALL LOCATE(BTHEY,ATHEY,NYAW,LTHEY)	
86		NPOW=2	
87		CALL INTPLP(ATHEY,LTHEY,BTHEY,NPOW,AP,AKPI)	
88		CALL POLYNM(AKPI,DKP,NPOW,BTHEY)	
89		IF(BTHEY.LT.ATHEP(1),OR.BTHEY.GT.ATHEP(NPITC)) GO TO 14	
90		CALL LOCATE(BTHEY,ATHEP,NPITC,LTHEY)	
91		NPOW=2	
92		CALL INTPLY(ATHEP,LTHEY,BTHEY,NPOW,AY,AKYI)	
93		CALL POLYNM(AKYI,DKY,NPOW,BTHEY)	
94		IF(BTHEY.LT.ATHEY(1),OR.BTHEY.GT.ATHEY(NYAW)) GO TO 15	


```

95      CALL LOCATE(BTHEY,ATHEY,NYAW,LTHEY)
96      NPOW=3
97      CALL INTPLP(ATHEY,LTHEY,BTHEY,NPOW,AT,AKTI)
98      CALL POLYNM(AKTI,BTHEP,NPOW,BKT)
99      CALL FRESTO(BKT,PC,PD,PU,PCH)
100     PCH=PCH+PATM
101     NPOW=3
102     CALL INTPLP(ATHEY,LTHEY,BTHEY,NPOW,AS,AKSI)
103     CALL POLYNM(AKSI,BTHEP,NPOW,BKS)
104     CALL PRESST(BKS,PC,PD,PU,PS)
105     PS=PS+PATM
106     CALL MACHNB(PCH,PS,CMACH)
107     ITENU=ITENU+1
108     IF(ITENU,GT,50) GO TO 22
109     D=ABS(BMACH-CMACH)
110     IF(D,LT,0.005) GO TO 12
111     BMACH=CMACH
112     GO TO 11
113     12 RMACH=SQRT(CMACH)
114     WRITE(6,124) ITENU
115     WRITE(6,114)
116     WRITE(6,115)
117     WRITE(6,116) CMACH,RMACH,BTHEP,BTHEY,PCH,PS
118     16 IF(KAUNT,EW,NDATA) GO TO 5
119     GO TO 10
120     5 IF(IDENT,EW,NPITO) STOP
121     GO TO 6
122     22 WRITE(6,137)
123     GO TO 16

```

C
C KENTE NO HANI GAI NO TAME KINJI NO KEISAN O OKONAU.

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPTO,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.27/09:56 PAGE 4

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FIMAIN)	SEQUENCE
	C		
124	13	WRITE(6,134)	
125		RMACH=SQRT(CMACH)	
126		WRITE(6,124) ITENU	
127		WRITE(6,114)	
128		WRITE(6,115)	
129		WRITE(6,116) CMACH,RMACH,BTHEP,BTHEY,PCH,PS	
130		GO TO 16	
131	14	CTHEP=BTHEP	
132		WRITE(6,136)	
133		IF(BTHEP,LT,ATHEP(1)) GO TO 17	
134		BTHEP=ATHEP(NPITC)	
135		LTHEP=NPITC-1	
136		WRITE(6,138) BTHEP	
137		GO TO 18	
138	17	BTHEP=ATHEP(1)	
139		LTHEP=1	
140		WRITE(6,138) BTHEP	
141	18	NPOW=2	
142		CALL INTPLY(ATHEP,LTHEP,BTHEP,NPOW,AY,AKYI)	
143		CALL POLYNM(AKYI,DKY,NPOW,BTHEY)	
144		IF(BTHEY,LT,ATHEY(1).OR,BTHEY,GT,ATHEY(NYAW)) GO TO 15	
145		CTHEY=BTHEY	
146		CALL LOCATE(BTHEY,ATHEY,NYAW,LTHEY)	
147		GO TO 20	
148	15	CTHEY=BTHEY	
149		CTHEP=BTHEP	
150		WRITE(6,135)	
151		IF(BTHEY,LT,ATHEY(1)) GO TO 19	
152		BTHEY=ATHEY(NYAW)	
153		LTHEY=NYAW-1	
154		WRITE(6,139) BTHEY	
155		GO TO 20	
156	19	BTHEY=ATHEY(1)	
157		LTHEY=1	
158		WRITE(6,139) BTHEY	
159	20	NPOW=3	
160		CALL INTPLP(ATHEY,LTHEY,BTHEY,NPOW,AT,AKTI)	
161		CALL POLYNM(AKTI,BTHEP,NPOW,BKT)	
162		CALL FRESTO(BKT,PC,PD,PU,PCH)	
163		PCH=PCH+PATM	

```

164 NPOW=3
165 21 CALL INTPLP(ATHEY,LTHEY,BTHEY,NPOW,AS,AKSI)
166 CALL POLYNM(AKSI,BTHEP,NPOW,BKS)
167 CALL PRESST(BKS,PC,PD,PU,PS)
168 PS=PS+PATM
169 CALL MACHNB(PCH,PS,CMACH)
170 IF(CMACH.LT.AMACH(1).OR.CMACH.GT.AMACH(NMACH)) WRITE(6,134)
171 RMACH=SQRT(CMACH)
172 WRITE(6,124) ITENU
173 WRITE(6,114)
174 WRITE(6,115)
175 WRITE(6,116) CMACH,RMACH,CTHEP,CTHEY,PCH,PS
176 GO TO 16
C
C KOKO MADE KINJI KEISAN.
C

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.27/09:56 PAGE 5

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
177	100	FORMAT(15)	
178	101	FORMAT(315)	
179	102	FORMAT(8F10,3)	
180	103	FORMAT(6F10,3)	
181	110	FORMAT(1H1,30X60HA THREE DIMENSIONAL PITOT TUBE UNDER COMPRESSIBLE 1 FLUID FLOW///)	
182	111	FORMAT(1H0,19X2HKP,8X2HKY,8X2HKT,8X2HKS,5X9HYAW ANGLE,3X11HPITCH A 1NGLE)	
183	112	FORMAT(1H,13X4F10,4,2F10,2)	
184	113	FORMAT(1H1,'OUTPUT DATA (PITOT TUBE NUMBER'13')'///)	
185	114	FORMAT(1H0,8X4HM**2,7X1HM,9X8HTHETA(P),5X8HTHETA(Y),5X11HTOTAL PRE 1S,5X12HSTATIC PRES,)	
186	115	FORMAT(1H,30X,(DEG),4X,(DEG),4X,(KG/M**2) OR (MMHG),2X,(KG/M** 12) OR (MMHG),)	
187	116	FORMAT(1H0,2F10,3,4F15,3'///L/)	
188	117	FORMAT(1H0,5X19HLEAST SQUARE METHOD)	
189	118	FORMAT(1H0,20X13H COEFFICIENTS,30X7HTHET(Y))	
190	119	FORMAT(1H,20X2F10,3,15XF10,3)	
191	120	FORMAT(1H0,58X7HTHET(P))	
192	121	FORMAT(1H0,79X7HTHET(Y))	
193	122	FORMAT(1H,9X2HPC,8X2HPL,8X2HPR,8X2HPU,8X2HPD,8X4HPATM)	
194	123	FORMAT(1H,4X5F10,3,F12,3/)	
195	124	FORMAT(1H0,5X'ITERATION NUMBER'15)	
196	125	FORMAT(1H0,'MACH='F6.3,'(MACH**2='F6.3')')	
197	126	FORMAT(1H0,'INPUT DATA (PITOT TUBE NUMBER'13')'///)	
198	128	FORMAT(1H,20X3E15,3,10XF10,3)	
199	129	FORMAT(1H0,'THETA(P)-KP,)	
200	130	FORMAT(1H0,'THETA(Y)-KY')	
201	131	FORMAT(1H0,'KT-THETA(P)')	
202	132	FORMAT(1H0,'KS-THETA(P)')	
203	134	FORMAT(1H0,10X'MACH NUMBER GA DATA NO HANI O KOETEIRU')	
204	135	FORMAT(1H0,10X'ATHEY GA DATA NO HANI O KOETEIRU')	
205	136	FORMAT(1H0,10X'ATHEP GA DATA NO HANI O KOETEIRU')	
206	137	FORMAT(1H0,10X'ITERATION NUMBER GA 50 KAI O KOETA')	
207	138	FORMAT(1H+,50X'THET(P)='F5.1,2X'(DEG,) TO SHITE KEISAN O OKONAU')	
208	139	FORMAT(1H+,50X'THET(Y)='F5.1,2X'(DEG,) TO SHITE KEISAN O OKONAU')	
209	140	FORMAT(1H0,'(NO,13)')	
210		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 6

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LSTSOP(AIND,ADEP,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,TDMAT)	
	C	THETP-KP	
2		DOUBLE PRECISION AIND,ADEP,COF,BIND	
3		DIMENSION AIND(20,20,10),ADEP(20),COF(5),TDMAT(5,20,10),BIND(20)	
4		DO 13 M=1,NMACH	
5		DO 13 L=1,NYAW	
6		DO 10 K=1,NPITC	
7		BIND(K)=AIND(K,L,M)	
8	10	CONTINUE	
9		CALL LSTSOD(BIND,ADEP,NPITC,NPOW,COF,ILL)	
10		IF(ILL,E0,0) GO TO 11	

```

11      WRITE(6,14)
12      STOP
13      11 DO 12 I=1,NPOW
14          TDMAT(I,L,M)=COF(I)
15      12 CONTINUE
16      13 CONTINUE
17      14 FORMAT(1H ,10X13HILL CONDITION)
18      RETURN
19      END

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 8

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1	C	SUBROUTINE LSTS0Y(AIND,ADEP,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,TDMAT) THEY=KY	
2		DOUBLE PRECISION AIND,ADEP,COF,BIND	
3		DIMENSION AIND(20,20,10),ADEP(20),COF(5),TDMAT(20,5,10),BIND(20)	
4		DO 13 M=1,NMACH	
5		DO 13 K=1,NPITC	
6		DO 10 L=1,NYAW	
7		BIND(L)=AIND(K,L,M)	
8	10	CONTINUE	
9		CALL LSTS0D(BIND,ADEP,NYAW,NPOW,COF,ILL)	
10		IF(ILL,E0,0) GO TO 11	
11		WRITE(6,14)	
12		STOP	
13	11	DO 12 J=1,NPOW	
14		TDMAT(K,J,M)=COF(J)	
15	12	CONTINUE	
16	13	CONTINUE	
17	14	FORMAT(1H ,20X13HILL CONDITION)	
18		RETURN	
19		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 10

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1	C	SUBROUTINE LSTSTS(AIND,ADEP,NPITC,NYAW,NMACH,NPOW,TDMAT) ,KT=THETP,KS=THETP	
2		DOUBLE PRECISION AIND,ADEP,COF,BDEP	
3		DIMENSION ADEP(20,20,10),BDEP(20),COF(5),TDMAT(5,20,10),AIND(20)	
4		DO 13 M=1,NMACH	
5		DO 13 L=1,NYAW	
6		DO 10 K=1,NPITC	
7		BDEP(K)=ADEP(K,L,M)	
8	10	CONTINUE	
9		CALL LSTS0D(AIND,BDEP,NPITC,NPOW,COF,ILL)	
10		IF(ILL,E0,0) GO TO 11	
11		WRITE(6,14)	
12		STOP	
13	11	DO 12 I=1,NPOW	
14		TDMAT(I,L,M)=COF(I)	
15	12	CONTINUE	
16	13	CONTINUE	
17	14	FORMAT(1H ,10X13HILL CONDITION)	
18		RETURN	
19		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 12

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LOCATM(BVARA,ADATA,N,LOCAT)	
2		DIMENSION ADATA(20)	
3		STAN=100,0	
4		DO 11 I=1,N	
5		DISAB=ABS(ADATA(I)-BVARA)	
6		IF(DISAB,GE,STAN) GO TO 11	
7		STAN=DISAB	
8		DIF=BVARA-ADATA(I)	

```

 9      IF(DIF,GE,0.) GO TO 10
10      LOCAT=I-1
11      GO TO 11
-----
12      10 LOCAT=I
13      IF(I,EQ,N) LOCAT=I-1
14      11 CONTINUE
15      RETURN
16      END

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 14

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LOCATE(BVARA,ADATA,N,LOCAT)	
2		DOUBLE PRECISION ADATA	
3		DIMENSION ADATA(20)	
4		STAN=100,0	
5		DO 11 I=1,N	
6		DISAB=ABS(ADATA(I)-BVARA)	
7		IF(DISAB,GE,STAN) GO TO 11	
8		STAN=DISAB	
9		DIF=BVARA-ADATA(I)	
10		IF(DIF,GE,0.) GO TO 10	
11		LOCAT=I-1	
12		GO TO 11	
13	10	LOCAT=I	
14		IF(I,EQ,N) LOCAT=I-1	
15	11	CONTINUE	
16		RETURN	
17		END	

=E=

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 16

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTPMP(VARMP,LOCAT,BVAMP,N,NPOW,TDMAT,TWDMX)	
2		DIMENSION VARMP(20),TWDMX(5,20),TDMAT(5,20,10)	
3		G=VARMP(LOCAT+1)	
4		S=VARMP(LOCAT)	
5		B=BVAMP	
6		DO 10 J=1,N	
7		DO 10 I=1,NPOW	
8		TWDMX(I,J)=(TDMAT(I,J,LOCAT+1)*(B-S)+TDMAT(I,J,LOCAT)*(G-B))/(G-S)	
9	10	CONTINUE	
10		RETURN	
11		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 18

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTPHY(VARMY,LOCAT,BVAMY,N,NPOW,TDMAT,TWDMX)	
2		DIMENSION VARMY(20),TWDMX(20,5),TDMAT(20,5,10)	
3		G=VARMY(LOCAT+1)	
4		S=VARMY(LOCAT)	
5		B=BVAMY	
6		DO 10 I=1,N	
7		DO 10 J=1,NPOW	
8		TWDMX(I,J)=(TDMAT(I,J,LOCAT+1)*(B-S)+TDMAT(I,J,LOCAT)*(G-B))/(G-S)	
9	10	CONTINUE	
10		RETURN	
11		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 20

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTPLP(VARIP,LOCAT,BVARP,NPOW,TWDMX,ODMAT)	
2		DOUBLE PRECISION VARIP	

```

3      DIMENSION VARIP(20),ODMAT(5),TWDMX(5,20)
4      G=VARIP(LOCAT+1)
5      S=VARIP(LOCAT)
6      B=BVARP
7      LOCAT1=LOCAT+1
8      DO 10 J=1,NPOW
9      ODMAT(J)=(TWDMX(1,LOCAT+1)*(B-S)+TWDMX(1,LOCAT)*(G-B))/(G-S)
10     10 CONTINUE
11     RETURN
12     END

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 22

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTPLY(VARIY,LOCAT,BVARY,NPOW,TWDMX,ODMAT)	
2		DOUBLE PRECISION VARIY	
3		DIMENSION VARIY(20),ODMAT(5),TWDMX(20,5)	
4		G=VARIY(LOCAT+1)	
5		S=VARIY(LOCAT)	
6		B=BVARY	
7		DO 10 J=1,NPOW	
8		ODMAT(J)=(TWDMX(LOCAT+1,J)*(B-S)+TWDMX(LOCAT,J)*(G-B))/(G-S)	
9	10	CONTINUE	
10		RETURN	
11		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 24

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE POLYNM(ODMAT,DIND,NPOW,VACAL)	
2		DIMENSION ODMAT(5)	
3		SUM=ODMAT(1)	
4		DO 10 J=2,NPOW	
5		SUM=SUM+ODMAT(J)*DIND**(J-1)	
6	10	CONTINUE	
7		VACAL=SUM	
8		RETURN	
9		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 26

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRESTO(BKT,PC,PD,PU,PCH)	
2		PCH=PC+BKT*(2.0*PC-PD-PU)/2.0	
3		RETURN	
4		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 28

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRESST(BKS,PC,PD,PU,PS)	
2		PS=(PD+PU+BKS*(2.0*PC-PD-PU))/2.0	
3		RETURN	
4		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT0,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 79.04.20/14:10 PAGE 30

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE MACHNB(PCH,PS,CMACH)	
2		CMACH=5.0*((PCH/PS)**0.2857143-1.0)	
3		RETURN	
4		END	

付録 B 二次元, 圧縮性流れ

二次元流れの場合, たとえばピトー管のピッチ角はある既知の値に固定することができ, 3孔ピトー管を使用して流れの方向, 速度を求めることができる。この状態は三次元流れの場合の一つの特殊なものであると考えることができる。したがって, 5孔ピトー管の場合に準じて述べる。

ヨー方向係数

$$\begin{aligned} L_y &= \frac{P_L - P_R}{\frac{1}{2} [(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]} \\ &= \frac{C_{PL} - C_{PR}}{\frac{1}{2} [(C_{PC} - C_{PL}) + (C_{PC} - C_{PR})]} \\ &= u(\theta_y, M^2) \end{aligned} \quad (\text{B-1})$$

全圧係数

$$\begin{aligned} L_T &= \frac{P_T - P_C}{\frac{1}{2} [(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]} \\ &= \frac{C_{PT} - C_{PC}}{\frac{1}{2} [(C_{PC} - C_{PL}) + (C_{PC} - C_{PR})]} \\ &= v(\theta_y, M^2) \end{aligned} \quad (\text{B-2})$$

静圧係数

$$\begin{aligned} L_S &= \frac{(P_S - P_L) + (P_S - P_R)}{[(P_C - P_L) + (P_C - P_R)]} \\ &= \frac{-(C_{PL} + C_{PR})}{[(C_{PC} - C_{PL}) + (C_{PC} - C_{PR})]} \\ &= w(\theta_y, M^2) \end{aligned} \quad (\text{B-3})$$

これらの関数は θ_y, M^2 に依存し論理的に決定することはできない。したがって, 3孔ピトー管を使用し検定実験を行うことによって最終的には最小自乗法によって近似式を決定する。

これらの式からヨー角とマッハ数を繰り返し計算によって求める。その方法を以下に示す。

3孔ピトー管によってある流れ場を計測することによって P_C, P_L, P_R がわかり, したがって L_y が求まる。

いま, M^2 をある値 $M^{2(n)}$ に仮定すると (B-1) 式から $\theta_y^{(n+1)}$ の値が求まる。

マッハ数を求めるために (B-2), (B-3) 式を変形して

$$\begin{aligned} P_T &= P_C + v(\theta_y^{(n+1)}, M^{2(n)}) \times \frac{1}{2} \\ &\quad \times [(P_C - P_L) + (P_C - P_R)] \end{aligned} \quad (\text{B-4})$$

$$\begin{aligned} P_S &= \frac{1}{2} \{ P_L + P_R + w(\theta_y^{(n+1)}, M^{2(n)}) \\ &\quad \times [(P_C - P_L) + (P_C - P_R)] \} \end{aligned} \quad (\text{B-5})$$

から P_T, P_S を求める。

次にマッハ数は P_T と P_S の比の関数として

$$M^{2(n+1)} = \frac{2}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{P_T}{P_S} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} - 1 \right] \quad (\text{B-6}')$$

求めることができる。

収束判定は5孔ピトー管の場合と同様マッハ数に関して行い

$$|M^{2(n+1)} - M^{2(n)}| \leq 0.005 \quad (\text{B-6})$$

とする。もし, (B-6) の条件を M^2 が満足しない場合には, $M^{2(n)} \equiv M^{2(n+1)}$ として繰り返す。

繰り返し計算の途中で検定実験を行っていない点での L_P, L_T, L_S の値が必要となる。その場合には補間をして曲線を求める。

補間の方法は5孔ピトー管の場合と全く同様で表示式も同様に表わす。(B-1)式から θ_y を陽に表わすと,

$$\theta_y^{(n+1)}(L_y, M^{2(n)}) = \sum_{i=0} B_{yi}^{(n)}(M^{2(n)}) \cdot L_y^i \quad (\text{B-7})$$

マッハ数が, $M_1^2 \leq M^2 \leq M_2^2$ の場合に (B-7) 式の係数は

$$B_{yi}(M^2) = \frac{B_{yi}^{(2)}(M_2^2) \times (M^2 - M_1^2) + B_{yi}^{(1)}(M_1^2) \times (M_2^2 - M^2)}{M_2^2 - M_1^2} \quad (\text{B-8})$$

で与えられる。ただし, $B_{yi}^{(1)}, B_{yi}^{(2)}$ は次式を満足する。

$$\theta_y(L_y; M_1^2) = \sum_{i=0} B_{yi}^{(1)}(M_1^2) \cdot L_y^i \quad (\text{B-9})$$

$$\theta_y(L_y; M_2^2) = \sum_{i=0} B_{yi}^{(2)}(M_2^2) \cdot L_y^i \quad (\text{B-10})$$

(B-4) 式中の v は,

$$L_T \equiv v(\theta_y^{(n+1)}; M^{2(n)}) = \sum_{i=0} B_{Tyi}^{(n)}(M^{2(n)}) \cdot \theta_y^{i(n+1)} \quad (\text{B-11})$$

で表わし, 係数は補間

$$B_{Tyi}(M^2) = \frac{B_{Tyi}^{(2)}(M_2^2) \times (M^2 - M_1^2) + B_{Tyi}^{(1)}(M_1^2) \times (M_2^2 - M^2)}{M_2^2 - M_1^2} \quad (\text{B-12})$$

で与えられる。ただし、 $B_{Tyi}^{(1)}$ 、 $B_{Tyi}^{(2)}$ は次式を満たす。

$$v(\theta_y; M_1^2) = \sum_{i=0} B_{Tyi}^{(1)}(M_1^2) \cdot \theta_y^i \quad (\text{B-13})$$

$$v(\theta_y; M_2^2) = \sum_{i=0} B_{Tyi}^{(2)}(M_2^2) \cdot \theta_y^i \quad (\text{B-14})$$

(B-5) 式中の w についても同様である。

$$L_S \equiv w(\theta_y^{(n+1)}; M^2)^{(n)} = \sum_{i=0} B_{Syi}(M^2)^{(n)} \cdot \theta_y^i \quad (\text{B-15})$$

係数は、補間

$$B_{Syi}(M^2) = \frac{B_{Syi}^{(2)}(M_2^2) \times (M^2 - M_1^2) + B_{Syi}^{(1)}(M_1^2) \times (M_2^2 - M^2)}{M_2^2 - M_1^2} \quad (\text{B-16})$$

で与えられ、 $B_{Syi}^{(1)}$ 、 $B_{Syi}^{(2)}$ は

$$w(\theta_y; M_1^2) = \sum_{i=0} B_{Syi}^{(1)}(M_1^2) \cdot \theta_y^i \quad (\text{B-17})$$

$$w(\theta_y; M_2^2) = \sum_{i=0} B_{Syi}^{(2)}(M_2^2) \cdot \theta_y^i \quad (\text{B-18})$$

を満たすものとする。

以上で繰り返し計算によって二次元、圧縮性流れの方向、速度を検定曲線を利用して求める方法を述べたが、その計算過程を図 B-1 に流れ図で示す。

次にプログラムについて説明する。

本プログラムは主プログラムと 8 個のサブプログラムから構成されている。

サブプログラム LSTSQY, LSTSTS は最小自乗法により (B-9) および (B-13), (B-17) 式の係数 B_{yi} および B_{Tyi} , B_{Syi} を求める。このプログラムで変数の DOUBLE PRECISION の定義はこのプログラム中で利用する備えつけのプログラム LSTSQD を利用する際に要求される。

INTPMY はマッハ数に関する補間 (B-8), (B-12) と (B-16) を行うサブプログラムである。

LOCATM はマッハ数 M_1^2 と M_2^2 が記憶されている位置を見出すサブプログラムである。

POLYNM は最小自乗法によって得られた近似式のマッハ数に関する補間を行い、その結果得られた

式を利用して数値を求めるサブプログラムで (B-7), (B-11), (B-15) の計算を行う。

PRESTO は真の全圧 P_T (ゲージ圧), PRESST は静圧 (ゲージ圧), MACHNB はマッハ数 M^2 を求めるサブプログラムである。

なお、最小自乗法によって近似曲線式を求める場合 $\theta_y - K_y$ 曲線については 2 次式, $K_T - \theta_y, K_S, \theta_y$ 曲線については 3 次式による近似を行う。

入力データ

- NPITO ; 実験のデータの整理のために使うピトー管の全部の数。(例えば 3 本)
- NOPIT ; 検定時に上述のピトー管を識別するためにピトー管につけた番号で、いまデータの整理のために使うピトー管の番号。(例えば、1 とか 3)
- NDATA ; 実験から得た当該のピトー管に関するデータの数。
- NYAW, NMACH ; 検定時に変えたヨー角、マッハ数の数。(例えば、それぞれ 3, 4)
- ATHEY(I) ; 検定時に設定したヨー角を小さい方から書き込む。(NYAM 個だけある。)
- AKY(J, K), AKT(J, K), AKS(J, K) ; 圧力係数 K_y, K_T, K_S をマッハ数を最小の値に固定しヨー角を小さい方から書き込み、次にマッハ数を一つ大きくしてヨー角を小さい方から書き込むというようにしてマッハ数が最大になるまで続ける。(それぞれ NYAW × NMACH 個だけある。)
- ZMACH(I) ; 検定時に設定したマッハ数を小さい方から書き込む。(NMACH 個だけある。)
- PC, PL, PR, PATM ; 実験時に得られた P_C, P_L, P_R, P_{atm} の値。(それぞれ NDATA 個だけある。) 単位はすべて同じにすること。

出力データ

ITENU ; $|M^{2(n+1)} - M^{2(n)}| \leq 0.005$ になるまでの繰り返し計算の回数。
 CMACH, RMACH, BTHEY, PCH, PS ; それぞれ, $M^2, M, \theta_y, P_T, P_S$ の計

算値

コメント
 θ_y, M^2 のいずれかが検定範囲外となった場合、繰り返し計算の回数が50回を越えた場合、コメントを書いて計算はさらに先に進む。

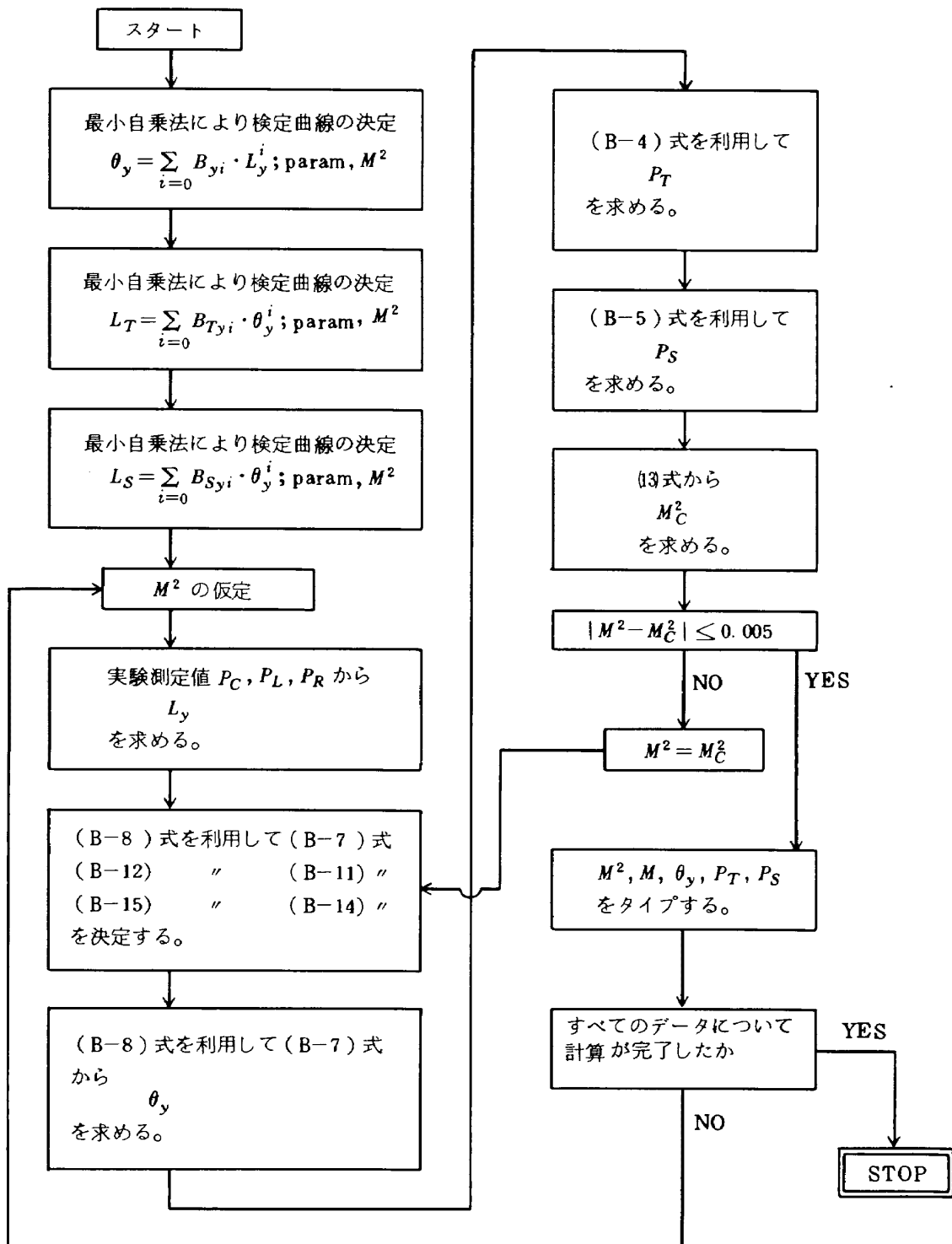


図 B-1 二次元、圧縮性流れの3孔ピトー管によるヨー角、マッハ数の計算

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 1

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
	C	A TWO DIMENSIONAL PITOT TUBE UNDER COMPRESSIBLE FLUID FLOW	25 APRIL 79
1		DOUBLE PRECISION ATHEY,AKY,AKT,AKS	
2		DIMENSION AKY(20,10),AKT(20,10),AKS(20,10),AYM(5,10),ATM(5,10),ASM	
	1	(5,10)	
3		DIMENSION AY(5),AT(5),AS(5),ATHEY(20),AMACH(20),ZMACH(20)	
4		IDENT=0	
	C		
	C	READ MEIREI	
	C		
5		READ(5,100) NPITO	
	C		
	C	NPITO ; JIKKEN NO DATA SEIRI NI TSUKAU PITOT TUBE NO KAZU	
	C		
6		6 READ(5,100) NOPIT	
	C		
	C	NOPIT ; KENTEI NO TAME PITOT TUBE NI TSUKETA BANGO.	
	C		
7		READ(5,100) NDATA	
	C		
	C	NDATA ; JIKKEN KARA ETA SEIRI SURU TAME NO DATA NO KAZU.	
	C		
8		READ(5,101) NYAW,NMACH	
	C		
	C	NYAW,NMACH ; KENTEI DE KAETA YAW,MACH NO KAZU.	
	C		
9		READ(5,102) (ATHEY(I),I=1,NYAW)	
	C		
	C	ATHEY(I) ; KENTEI DE OKONATTA YAW ANGLE O CHIISAI HO KARA KAKU.	
	C		
10		IDENT=IDENT+1	
11		DO 7 K=1,NMACH	
12		READ(5,102) (AKY(J,K),AKT(J,K),AKS(J,K),J=1,NYAW)	
13		7 CONTINUE	
	C		
	C	AKY,AKT,AKS ; JIKKEN KARA ETA KY,KT,KS O MAZU YAW ANGLE NO CHIISA	
	C	I HO KAKA JUNBAN NI KINYU.	
	C		
14		READ(5,102) (ZMACH(I),I=1,NMACH)	
	C		
	C	ZMACH(I) ; KENTEI DE HAKATTA MACH NUMBER O CHIISAI HO KARA KAKU.	
	C		
	C	READ MEIREI UWAKI	
	C		
15		*WRITE(6,110)	
16		WRITE(6,126) NOPIT	
17		*WRITE(6,111)	
18		DO 9 I=1,NMACH	
19		AMACH(I)=ZMACH(I)**2	
20		9 CONTINUE	
21		DO 8 K=1,NMACH	
22		WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)	
23		*WRITE(6,112) (AKY(J,K),AKT(J,K),AKS(J,K),ATHEY(J),J=1,NYAW)	
24		8 CONTINUE	
25		*WRITE(6,117)	
26		NPOW=2	
27		CALL LSTSWY(AKY,ATHEY,NYAW,NMACH,NPOW,AYM)	
28		*WRITE(6,130)	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 2

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
29		DO 51 K=1,NMACH	
30		WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)	
31		WRITE(6,119) (AYM(J,K),J=1,NPOW)	
32		51 CONTINUE	
33		NPOW=3	
34		CALL LSTSTS(ATHEY,AKT,NYAW,NMACH,NPOW,ATM)	
35		WRITE(6,131)	
36		DO 52 K=1,NMACH	
37		WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)	
38		WRITE(6,128) (ATM(I,K),I=1,NPOW)	

```

39      52 CONTINUE
40      NPOW=3
41      CALL LSTSTS(ATHEY,AKS,NYAW,NMACH,NPOW,ASM)
42      WRITE(6,132)
43      DO 53 K=1,NMACH
44      WRITE(6,125) ZMACH(K),AMACH(K)
45      WRITE(6,128) (ASM(I,K),I=1,NPOW)
46      53 CONTINUE
47      KAUNT=0
48      WRITE(6,113) NOPIT
49      10 BTHEY=0.0
50      BMACH=0.5
51      BMACH=BMACH**2
52      KAUNT=KAUNT+1

C
C      READ MEIREI
C
53      READ(5,103) PC,PL,PR,PATM
C
C      TANI WA SUBETE ONAJI NI SURUKOTO,
C      PC,PL,PU,PD,PATM;JIKKEN JI NO KEISOKU KARA ETA CENTER LEFT,RIGHT,UPP
C      ER,DOWN,ATMOSPHER NO ATSURYOKU.
C
C      READ MEIREI OWARI
C

54      WRITE(6,140) KAUNT
55      WRITE(6,122)
56      WRITE(6,123) PC,PL,PR,PATM
57      DENDY=(2.0*PC-PL-PR)/2.0
58      DKY=(PL-PR)/DENDY
59      ITENU=0
60      11 IF(BMACH,LT,AMACH(1),OR,BMACH,GT,AMACH(NMACH)) GO TO 13
61      CALL LOCATN(BMACH,AMACH,NMACH,LMACH)
62      NPOW=2
63      CALL INTPMY(AMCH,LMACH,BMACH,NPOW,AYM,AY)
64      POW=3
65      CALL INTPMY(AMCH,LMACH,BMACH,NPOW,ATM,AT)
66      POW=3
67      CALL INTPMY(AMCH,LMACH,BMACH,NPOW,ASM,AS)
68      CALL POLYNM(AY,DKY,NPOW,BTHEY)
69      NPOW=3
70      CALL POLYNM(AT,BTHEY,NPOW,BKT)
71      CALL PRESTU(BKT,PC,PL,PR,PCH)
72      PCH=PCH+PATM
73      CALL POLYNM(AS,BTHEY,NPOW,BKS)
74      CALL PRESSST(BKS,PC,PL,PR,PS)
75      PS=PS+PATM

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 3

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
76		CALL MACHNB(PCH,PS,CMACH)	
77		ITENU=ITENU+1	
78		IF(ITENU,GT,50) GO TO 22	
79		D=ABS(BMACH-CMACH)	
80		IF(D,LT,0.005) GO TO 12	
81		BMACH=CMACH	
82		GO TO 11	
83	12	RMACH=SQR(CMACH)	
84		WRITE(6,124) ITENU	
85		WRITE(6,114)	
86		WRITE(6,115)	
87		IF(BTHEY,LT,ATHEY(1),OR,BTHEY,GT,ATHEY(NYAW)) WRITE(6,135)	
88		WRITE(6,116) CMACH,RMACH,BTHEY,PCH,PS	
89	16	IF(KAUNT.EQ,NDATA) GO TO 5	
90		GO TO 10	
91	5	IF(IDEN1.EQ,NPITO) STOP	
92		GO TO 6	
93	22	WRITE(6,137)	
94		GO TO 16	
		C	
		C KENTEI NO HANI GAI NO TAME NO OUTPUT.	
		C	
95	13	WRITE(6,134)	
96		RMACH=SQR(CMACH)	

```

97      WRITE(6,124) ITENU
98      WRITE(6,114)
99      WRITE(6,115)
100     WRITE(6,116) CMACH, RMACH, BTHEY, PCH, PS
101     GO TO 16
102     100 FORMAT(15)
103     101 FORMAT(215)
104     102 FORMAT(8F10.3)
105     103 FORMAT(6F10.3)
106     110 FORMAT(1H1,30X'A TWO DIMENSIONAL PITOT TUBE UNDER COMPRESSIBLE FLU
110 FLOW'////)
107     111 FORMAT(1H0,19X'KY',8X'KT',8X'KS',5X'YAW ANGLE')
108     112 FORMAT(1H ,13X3F10.4,1F10.2)
109     113 FORMAT(1H1,'OUTPUT DATA (PITOT TUBE NUMBER'13')'//)
110     114 FORMAT(1H0,8X'M**2',7X'M',5X'THETA(Y)',5X'TOTAL PRES.',5X'STATIC P
110 RES.')
111     115 FORMAT(1H ,30X'(DEG.)',4X'(DEG.)',4X'(KG/M**2) OR (MMHG)',2X'(KG/M
110 **2) OR (MMHG)')
112     116 FORMAT(1H0,2F10.3,3F15.3////////)
113     117 FORMAT(1H0,5X19HLEAST SQUARE METHOD)
114     119 FORMAT(1H ,20X2F10.3)
115     122 FORMAT(1H ,9X2HPC,8X2HPL,8X2HPR,8X4HPATM)
116     123 FORMAT(1H ,4X3F10.3,F12.3/)
117     124 FORMAT(1H0,5X'ITERATION NUMBER'15)
118     125 FORMAT(1H0,'MACH='F6.3,'(MACH**2='F6.3)')
119     126 FORMAT(1H0,'INPUT DATA (PITOT TUBE NUMBER'13')'//)
120     128 FORMAT(1H ,20X3E15.3)
121     130 FORMAT(1H0,'THETA(Y)-KY')
122     131 FORMAT(1H0,'KT-THETA(Y)')
123     132 FORMAT(1H0,'KS-THETA(Y)')
124     134 FORMAT(1H0,10X'MACH NUMBER GA DATA NO HANI O KOETEIRU')
125     135 FORMAT(1H0,10X'ATHEY GA DATA NO HANI O KOETEIRU')
126     137 FORMAT(1H0,10X'ITERATION NUMBER GA 50 KAI O KOETA')

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 4

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
127	140	FORMAT(1H0,'(NO.'13)')	
128		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 5

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LSTSQY(AIND,ADEP,NYAW,NMACH,NPOW,TDMAT)	
	C	THEY-KY	
2		DOUBLE PRECISION AIND,ADEP,COF,BIND	
3		DIMENSION AIND(20,10),ADEP(20),COF(5),TDMAT(5,10),BIND(20)	
4		DO 13 M=1,NMACH	
5		DO 10 L=1,NYAW	
6		BIND(L)=AIND(L,M)	
7	10	CONTINUE	
8		CALL LSTSQD(BIND,ADEP,NYAW,NPOW,COF,ILL)	
9		IF(ILL.EQ.0) GO TO 11	
10		WRITE(6,14)	
11		STOP	
12	11	DO 12 J=1,NPOW	
13		TDMAT(J,M)=COF(J)	
14	12	CONTINUE	
15	13	CONTINUE	
16	14	FORMAT(1H ,20X13HILL CONDITION)	
17		RETURN	
18		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 6

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1	C	SUBROUTINE LSTSTS(AIND,ADEP,NYAW,NMACH,NPOW,TDMAT) ,KT=THEY,KS=THEY	
2		DOUBLE PRECISION AIND,ADEP,COF,BDEP	
3		DIMENSION ADEP(20,10),BDEP(20),COF(5),TDMAT(5,10),AIND(20)	
4		DO 13 M=1,NMACH	
5		DO 10 K=1,NYAW	
6		BDEP(K)=ADEP(K,M)	
7	10	CONTINUE	
8		CALL LSTSQD(AIND,BDEP,NYAW,NPOW,COF,ILL)	
9		IF(ILL.EQ.0) GO TO 11	
10		WRITE(6,14)	
11		STOP	
12	11	DO 12 I=1,NPOW	
13		TDMAT(I,M)=COF(I)	
14	12	CONTINUE	
15	13	CONTINUE	
16	14	FORMAT(1H ,10X13HILL CONDITION)	
17		RETURN	
18		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 7

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INIPMY(VARMY,LOCAT,BVAMY,NPOW,TDMAT,TWDMX)	
2		DIMENSION VARMY(20),TWDMX(5),TDMAT(5,10)	
3		G=VARMY(LOCAT+1)	
4		S=VARMY(LOCAT)	
5		B=BVAMY	
6		DO 10 J=1,NPOW	
7		TWDMX(J)=(TDMAT(J,LOCAT+1)*(B-S)+TDMAT(J,LOCAT)*(G-B))/(G-S)	
8	10	CONTINUE	
9		RETURN	
10		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 8

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE LOCATM(BVARA,ADATA,N,LOCAT)	
2		DIMENSION ADATA(20)	
3		STAN=100.0	
4		DO 11 I=1,N	
5		DISAB=ABS(ADATA(I)-BVARA)	
6		IF(DISAB.GE.STAN) GO TO 11	
7		STAN=DISAB	
8		DIF=BVARA-ADATA(I)	
9		IF(DIF.GE.0.) GO TO 10	
10		LOCAT=I-1	
11		GO TO 11	
12	10	LOCAT=I	
13		IF(I.EQ.N) LOCAT=I-1	
14	11	CONTINUE	
15		RETURN	
16		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 9

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE POLYMN(ODMAT,DIND,NPOW,VACAL)	
2		DIMENSION ODMAT(5)	
3		SUM=ODMAT(1)	
4		DO 10 I=2,NPOW	
5		SUM=SUM+ODMAT(I)*DIND**(I-1)	
6	10	CONTINUE	
7		VACAL=SUM	
8		RETURN	
9		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 10

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRESTO(BKT,PC,PL,PR,PCH)	
2		PCH=PC+BKT*(2.0*PC-PL-PR)/2.0	
3		RETURN	
4		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 11

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRESST(BKS,PC,PL,PR,PS)	
2		PS=(PL+PR+BKS*(2.0*PC-PL-PR))/2.0	
3		RETURN	
4		END	

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST
-781012-(V02,L13) DATE 81.06.04/12:17 PAGE 12

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE MACHNB(PCH,PS,CMACH)	
2		CMACH=5.0*((PCH/PS)**0.2857143-1.0)	
3		RETURN	
4		END	

航空宇宙技術研究所報告668号

昭和56年4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)47-5911(大代表) ㊦182

印刷所 株式会社 共 進
東京都杉並区久我山5-6-17
