九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

# 細円管および狭い長方形管内垂直上昇気液二相流の 流動現象に関する研究

井手, 英夫

https://doi.org/10.11501/3147903

出版情報:九州大学, 1998, 博士(工学), 論文博士 バージョン: 権利関係:

### **5.5** 新提案式の検討

前節において,従来の整理式では特に長方形細管内の平均ホールドアップを十 分に整理できないことを示した.そこで本節では,新たに精度のよい整理式を導 入することを試みた.その際断面が大きい長方形管に対しても適用可能な統一的 な整理式となることを考慮した.

#### 5.5.1 すべり比を用いたホールドアップの整理

長方形細管内のすべり比Sは、その値が100~200に達するほど大きい値となる こともある(図5.4参照). これは第5.3節で指摘した平均ホールドアップの大なる ことに起因する.本節ではこのすべり比を用いた平均ホールドアップの整理式を 検討した.すなわち狭い長方形管では表面張力および粘性の影響が大であると考 えられるので、すべり比はレイノルズ数Re、フルード数Fr、エトバス数Eö、キャ ピラリー数Caおよびアスペクト比T等の関数で与えられると仮定し、すべり比S の実測値をこれらの無次元数で整理することを検討した.

$$S = \mathbf{f} \left( Re, Fr, E\ddot{o}, Ca, T, tz \mathcal{E} .. \right)$$
(5.8)

上式の無次元数の代表長さとしては長辺 A, 短辺 B, 相当直径 D<sub>h</sub>あるいは等価直径 D<sub>e</sub>を採用することを検討した. その結果同じ代表長さがどの無次元数についても一貫して使用されれば,後出の式(13)の無次元数の指数はあまり変わらないが, D<sub>e</sub>を用いるとデータのまとまりが若干よかったので,本報ではこれを採用した.

図 5.4 に本実験で得られたすべり比  $S \ge 7 n - F$ 数  $Fr \left\{ = (j_G + j_L)/\sqrt{gD_e} \right\}$ の関係を示した.図  $A(a) \sim (d)$  は長方形細管の場合,図  $B(e) \sim (n)$  は断面が大きい長方形管の場合である.図中の実線は、 $j_L$ 一定とした時の  $S \ge Fr$ の関係が両対数軸上で直線となると仮定して引いたもので、全実験範囲で得られた勾配の平均値を表す.断面が比較的大きい管(図(i),図(j)など)では短辺が大きい場合および  $j_L$ が大きい場合勾配が小さくなる傾向が認められるが、ここでは全平均勾配を採用し、 フルード数のべき数として 0.95 を用いた.



### (A) 長方形細管

図5.4 すべり比Sとフルード数 Frの関係



図5.4 すべり比Sとフルード数 Frの関係



(B) 断面の大きい長方形管,つづき
 図 5.4 すべり比Sとフルード数 Frの関係

図 5.5 は S・ $Fr^{-0.95}$ とレイノルズ数  $Re (\equiv GDe/\mu_m)$ の関係を示す. ここに, G は 気液の全質量速度である.  $\mu_m$ としては Hughmark  $ら^{(32)}$ が flow parameter{式 (5.2)の  $1/C_0$ }の整理に用い, 一般的にもよく用いられる次式で定義される二相流粘性係 数を用いた.

$$\mu_m = \mu_G \hat{\alpha} + \mu_L \hat{\eta} \tag{5.9}$$

図 5.5 からレイノルズ数のべき数として図 A(a) ~ (d) の長方形細管の場合-1.03, 図 B(e) ~ (n)の断面が大きい長方形管の場合-1.10を得た.

図 5.6 は長方形細管について、S・ $Fr^{-0.95}$ ・ $Re^{1.03}$ とキャピラリー数 $Ca\{\equiv \mu_m(j_G + j_L)/\sigma_L\}$ との関係を示したものである。図中の実線の勾配の平均値として 0.17 を得た、すなわち、すべり比はキャピラリー数のほぼ 0.17 乗に比例することがわかる。

一方,断面が比較的大きい管路に対しては,このキャピラリー数を考慮しない方 が $\hat{\eta}$ の整理式の精度は幾らか良くなる(5.5.3節,図5.12(b)と図5.13参照,図5.12(b) は考慮しない場合,図5.13は考慮した場合).

以上の整理から、長方形細管に対する関数  $f_1 \equiv S \cdot Fr^{-0.95} \cdot Re^{1.03} \cdot Ca^{-0.17}$ および 断面が比較的大きい長方形管に対する関数  $f_2 \equiv S \cdot Fr^{-0.95} \cdot Re^{1.10}$ は、断面の異な る管路に対して値は異なるが、同じ管路であれば気体および液体の流量が異なっ てもほぼ一定の値となることがわかった.

図 5.7 にこれらの関数の値と  $D_e$ を代表長さとするエトバス数  $E\ddot{o} \{ \equiv (\rho_L - \rho_G)g De^2/\sigma_L \}$ との関係を示した. 図中の実線は、次式 (5.10)の関係を表す.

$$f_1 = f_2 = 1.86 \times 10^3 \cdot E\ddot{o}^{0.75} \tag{5.10}$$

これらの関係から、長方形細管および断面が比較的大きい長方形管内のすべり 比*S*に対して、それぞれ式 (5.11) および式 (5.12) が求められる.

$$S = f_1 \cdot F r^{0.95} \cdot R e^{-1.03} \cdot C a^{0.17}$$
(5.11)

$$S = f_2 \cdot F r^{0.95} \cdot R e^{-1.10} \tag{5.12}$$



## (A) 長方形細管

図 5.5 レイノルズ数 Reの影響











図 5.7 関数  $f_1$ および  $f_2$ とエトバス数 Eöの関係

従って,これらのすべり比を式 (5.7) に代入して得られるĵの整理式は, D<sub>e</sub>を代 表長さとするエトバス数が 10 より小さい長方形細管に対しては式 (5.13), エトバ ス数が 10 以上の断面が比較的大きい長方形管に対しては式 (5.14) によって与えら れる.

$$\hat{\eta} = 1 - [1 + 1.86 \times 10^3 \cdot E\ddot{o}^{0.75} \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.03} \cdot Ca^{0.17} \cdot (j_L/j_C)]^{-1}$$
(5.13)

$$\hat{\eta} = 1 - [1 + 1.86 \times 10^3 \cdot E^{\bullet 0.75} \cdot Fr^{0.95} \cdot Re^{-1.10} \cdot (j_L/j_G)]^{-1}$$
(5.14)

図 5.8 は式 (5.13) と式 (5.14) により求めた $\hat{\eta}$ の計算値 $\hat{\eta}_{CAL}$ と実験値 $\hat{\eta}_{EXP}$ の比較を行ったものである.この図から式 (5.13) および式 (5.14) によって,  $\hat{\eta}$ をほぼ±15%以内の精度で推定できることがわかる.



### 5.5.2 二相流粘性係数の整理式

上述した整理において式 (5.9) の二相流粘性係数 $\mu_m$ を使用しているが、これには  $\hat{\alpha}$ と $\hat{\eta}$ を含んでいる. つまり、 $\hat{\alpha}$ もしくは $\hat{\eta}$ を求めるのに予めこれらを知っておく必要 があり、式 (5.9) を用いることは $\hat{\eta}$ の整理式としては好ましくない、そこで $\mu_m$ の代わ りに $\mu_L$ または $\mu_G$ を用いた場合や McAdams<sup>(33)</sup>、 Cicchitti<sup>(34)</sup>および Dukler<sup>(35)</sup>等が定 義した粘性係数 {式 (5.15)} と置き換えて、整理式を再検討したが、いずれも十分 な整理が得られなかった.

このことは,式(5.9)の $\mu_m$ で定義された粘度が狭い管路内の気液混合体の粘度 として適切であり, $\hat{\eta}$ を精度良く与えるものと思われる.従って以下では式(5.9)の  $\hat{\eta}$ および $\hat{\alpha}$ に本実験値を代入して求めた $\mu_m$ を実験値として,その整理式を得ること を試みる.その際 $\mu_m$ を $\mu_L$ で除した無次元の粘性係数( $\mu_m/\mu_L$ )が,前節の式(5.8)と 同様に無次元数の積で与えられると考えた.さらに Re 数や Ca 数は $\hat{\eta}$ を用いない以 下の式で定義した.すなわち,まず二相流粘性係数 $\mu_C$ ならびに二相流平均密度 $\rho_C$ としてそれぞれ $\hat{\alpha}$ の代わりに容積流量比 $\beta$ {式(5.2)参照}を用いた次式を定義した.

$$\mu_C = \beta \mu_G + (1 - \beta) \mu_L \tag{5.15}$$

$$\rho_C = \beta \rho_G + (1 - \beta) \rho_L \tag{5.16}$$

また前節で用いたフルード数 Frのほか新たにレイノルズ数 Re<sub>L</sub>( $\equiv \rho_C \cdot j_L \cdot De$ /  $\mu_C$ ), Re<sub>m</sub> { $\equiv \rho_C \cdot (j_G + j_L) \cdot De/\mu_C$  } とキャピラリー数 Ca<sub>G</sub>( $\equiv \mu_C \cdot j_G / \sigma_L$ ) なども $\beta$ を用いて定義し,これらと( $\mu_m / \mu_L$ )との相関を検討した.

図 5.9 は、これらの検討結果を示したものである.

図 (a) ~ 図 (d) は長方形細管の場合,図 (e) ~ 図 (n) は断面が大きい長方形管の場合である.

図 (a) および図 (b) の長方形細管 1×1mm および 2×1mm の場合,すなわち  $D_e$ を 代表長さとするエトバス数が 0.5 以下の場合は,式 (5.17) に示す  $f(\mu)$  に加え,さ らに気相で定義したウェバー数  $We_G(\equiv \rho_G D_e j_G^2 / \sigma_L)$  の影響を考慮すると, $f(\mu)$ ・  $We_G^{-0.07}$ の値は,気体および液体の流量が異なっても±20%以内でほぼ一定となる ことがわかる.図 (c) および図 (d) の 5×1mm および 9.9×1.1mm の場合, $f(\mu)$ の値 が,±20%以内となることがわかった.

$$f(\mu) = (\mu_m/\mu_L) \cdot Fr^{-1.01} \cdot Re_L^{0.71} \cdot Ca_G^{0.13} \cdot Re_m^{0.25} \cdot (1-\beta)^{-1.15}$$
(5.17)

ー方,図(e) ~図(n)の断面が大きい長方形管の場合, $f(\mu)$ の値は,それぞれの 管路についてその平均値から±20%以内の値であることを示しているが,幾分 $j_G$ の影響が残る場合もみられる.この場合 $We_G$ を考慮し整理するとその指数は小さ く,後出の図5.10で示すエトバス数との関係が良好でないため,図(c)および図(d) の場合も考慮して縦軸は $f(\mu)$ で表した.すなわち, $f(\mu)$ の値が±20%以内でほぼ 一定であることから,それぞれの管路について $f(\mu)$ の平均値を算出した.

なお、これらの図ではとくに長方形細管  $9.9 \times 1.1$ mm の場合の  $j_L$ が 0.1m/s で  $j_G$ が 0.5 および 0.7m/s の実験結果は平均より小さく、以下の図でも幾らかばらつきが大きいことがわかった.





図 5.9 f(µ)の値 (B, 断面の大きい長方形管)



図 5.9  $f(\mu)$ の値 (B,断面の大きい長方形管,つづき)



図 5.9  $f(\mu)$ の値 (B, 断面の大きい長方形管, つづき)

図 5.10 はこれら定数の平均値と  $D_e$ を代表長さとするエトバス数との関係を示したものである. この図から式 (5.18) が求められるが,  $\hat{\eta}$ の推定精度を良好にするために  $E\ddot{o}\leq 2.0$ の範囲では式 (5.19) を採用した. なお,式(5.18) と式(5.19) の yは,  $E\ddot{o}>0.5$ では式(5.17)の  $f(\mu)$ を,  $E\ddot{o}\leq 0.5$ では  $f(\mu) \cdot We_{G}^{-0.07}$ を示す.

 $y = 151.5 \cdot E\ddot{o}^{0.706}$  (5.18)  $y = 141.8 \cdot E\ddot{o}^{0.596}$  (5.19)

以上のことから $\mu_m$ の整理式として、 $E\ddot{o} \ge 2.0$  では式 (5.20) を、 $0.5 \le E\ddot{o} < 2.0$  では 式 (5.21) を、エトバス数が 0.5 より小さい範囲では式 (5.22) が提案される.

*Eö*≥2.0 の場合,

$$\mu_m = 151.5 \cdot E\ddot{o}^{0.706} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15}$$
(5.20)

0.5≤*Eö* < 2.0 の場合,

$$\mu_m = 141.8 \cdot E \ddot{o}^{0.596} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15}$$
(5.21)

*Eö* < 0.5 の場合,

$$\mu_m = 141.8 \cdot E \ddot{o}^{0.596} \cdot \mu_L \cdot Fr^{1.01} \cdot Re_L^{-0.71} \cdot Ca_G^{-0.13} \cdot Re_m^{-0.25} \cdot (1-\beta)^{1.15} \cdot We_G^{0.07}$$
(5.22)

図 5.11 は $\mu_m$ の全実験値と式 (5.20) ~式 (5.22) による計算値 $\mu_{cal}$ との比較を示した ものである、 $\mu_m$ は約±20%で推定されることがわかる、



図 5.10  $f(\mu)$  および  $f(\mu) \cdot W_e_G^{-0.07}$ とエトバス数の関係



### 図 5.11 $\mu_m$ の整理式 (5.20) ~ (5.22) による $\mu_m$ の計算値と実験値の比較

### 5.5.3 ホールドアップの推定手順

本論文の鉛直長方形管における平均ホールドアップの推定手順を以下に述べる. (1) 次の因子, すなわち管寸法A, B, 気体および液体のみかけ速度  $j_G$ ,  $j_L$ また は質量流量G,  $G_G$ ,  $G_L$ および物性値 $\rho_G$ ,  $\rho_L$ ,  $\mu_G$ ,  $\mu_L$ ,  $\sigma_L$ は通常あらかじめ既知で あると考えてよい. これらより,  $D_e$ と Eö数を定める.

(2) 式 (5.20) ~式 (5.22) で用いる無次元数 Fr,  $Re_L$ ,  $Re_m$ ,  $Ca_G$ ,  $We_G$  および  $(1 - \beta)$  を定める.

(3) 二相流粘性係数μmを Eö数の条件によって式 (5.20) ~式 (5.22) によって決定 する.

(4) 式 (5.13) と式 (5.14) に含まれる無次元数 Re 数 ( =  $G \cdot De/\mu_m$ ) および Ca 数 ( =  $\mu_m (j_G + j_L) / \sigma_L$ )を定める.

(5) 平均ホールドアップήを Eö数の値によって式 (5.13) もしくは式 (5.14) によって
 決定する.

図 5.12 は上記の (1) ~ (5) の手順に従って算定した $\hat{\eta}$ の計算値 $\hat{\eta}_{CAL}$ と本実験値 $\hat{\eta}_{EXP}$ の比較を行ったものであり、(a) は長方形細管の場合、(b) は断面が比較的大きい長方形管の場合である.

図 5.12 からŋはほぼ±20%以内の精度で推定されることがわかる.

図 5.13 は手順(5)で、断面の大きい長方形管の $\hat{\eta}$ を長方形細管で得た式(5.13)から 推定した結果である.図 5.13では、 $40 \times 4 \text{ mm}$ および  $80 \times 4 \text{ mm}$ の一部の結果は精度 が良くない.これらは、それぞれ $j_L$ が 2.7m/sおよび 2.1m/sの $j_L$ が大きい範囲に該 当する(第 5.2 節表 5.2 参照).図 5.12(b)との比較から、幾分推定精度は低くなる が、上述の結果を除くと式(5.13)は断面の大きい長方形管の $\hat{\eta}$ を比較的良好に推定 できると判断される.

なお、これらの整理式から得られるホールドアップは、液体の粘性の増加によっ て増加し、表面張力の増加によっては逆に減少する.

表 5.3 中には本論文で提案したŷの整理式について,平均誤差と rms 値も下 3 段にまとめている.

これらの表から、 $\hat{\eta}$ の統一的整理式としての式 (5.13), エトバス数の範囲により 区分した場合式 (5.13) と式 (5.14) は、従来公表されているいずれのものよりよい精 度でホールドアップを予測することができ、有用であることがわかる.



(a) 長方形細管の場合 {式 (5.13)}

(b) 比較的断面が大きい管路の場合 {式 (5.14)}

図 5.12 µmの整理式を用いた平均ホールドアップの整理式 (5.13) および (5.14)の計算値



図 5.13 比較的断面が大きい管路の平均ホールド アップを長方形細管に対する整理式 (5.13) により推定した場合

### 5.6 第5章のまとめ

4 種類の長方形細管と10 種類の断面が比較的大きい長方形管における平均ホー ルドアップの空気-水系の実験結果を用いて、平均ホールドアップの特徴とその整 理式を検討し、以下の結論を得た.

(1) 長方形細管内のフロス流および環状流領域において,アスペクト比が小さい 場合の平均ホールドアップは,液体が片隅に停滞し易く,アスペクト比が大きい場 合や相当直径が同程度の円管の場合に比べ大きくなることがわかった.

(2) 本実験で得られた長方形細管を含む狭い長方形管内の平均ホールドアップは,従来の整理式では満足な精度で整理できないことを明らかにした.

(3)本章で新たに提案した長方形細管に対する平均ホールドアップの整理式と推 定手法は,精度のよい予測値を与え,これはまた断面が比較的大きい長方形管に 対する整理式としても有効であることを示した.

### 文 献

- Suo, M. and Griffith, P., Two Phase Flow in Capillary Tubes, ASME J. Basic Engng, (1964), 576 - 582.
- (2) 深野徹,仮屋崎侃および香川昌純,水平細管内を流動する気液二相流の流動様式と圧力損失,機論,56-528,B(1990),2318-2326.
- (3) 仮屋崎侃,深野徹,逢坂昭治および香川昌純,水平細管内の等温空気 水二 相流におけるボイド率の変動特性,機論,57 - 544, B(1991),4036 - 4043.
- (4) 三島嘉一郎および日引俊,細管内空気-水二相流の流動特性に及ぼす管内径の影響,機論,61-589,B(1995),3197-3204.
- (5) Mishima, K., Hibiki, T. and Nishihara, H., Some Characteristics of Gas Liquid Flow in Narrow Rectangular Ducts, Int. J. Multiphase Flow, 19 - 1 (1993), 115 -124.
- (6) 井手英夫,松村博久および深野徹,鉛直細管内気液二相流のじょう乱波および基底波の速度特性について,機論,61-584,B(1995),1316-1322.

- (7) 井手英夫,松村博久,田中雄二および深野徹,長方形断面を有する鉛直な狭い流路内気液二相流の流動様式と摩擦圧力損失,機論,63-606,B(1997),452-460.
- (8) 土方邦夫,森康夫,長崎孝夫および野畑邦夫,細管内高速二相流に関する研究,機論,51-463,B(1985),1033-1040.
- (9) 飯田嘉宏および高橋健一,狭いすきま流路の気液二相流,化工論,2-3,(1976),228-234.
- (10) Wilmarth, T. and Ishii, M., Two Phase Flow Regimes in Narrow Rectangular Vertical and Horizontal Channels, Int., J., Heat Mass Transfer, 37 - 12, (1994), 1749 - 1758.
- (11) Lowry, B. and Kawaji, M., Adiabatic Vertical Two Phase Flow in Narrow Flow Channels, AIChE Symp. Series, 84 - 263, (1988), 133 - 139.
- (12) Ali, M., Sadatomi, M. and Kawaji, M., Adiabatic Two Phase Flow in Narrow Channels between Two Flat Plates, Can., J., Chem., Engng., 71 - 5, (1993), 657 -666.
- (13) Ide, H. and Matsumura, H., Frictional Pressure Drops of Two Phase Gas Liquid Flow in Rectangular Channels, Int., J., Exp., Thermal Fluid Sci., 3 - 4, (1990), 362 - 372.
- (14) Wambsganss, M. W., Jendrzejczyk, J. A., France, D. M. and Obot, N. T., Frictional Pressure Gradients in Two - Phase Flow in A Small Horizontal Rectangular Channel, Int., J., Exp., Thermal Fluid Sci., 5 - 1, (1992), 40 - 56.
- (15) Lockhart, R. W. and Martinelli, R. C., Proposed Correlation of Data For Isothermal Two - Phase, Two - Component Flow in Pipes, Chem. Eng. prog., 45 - 1, (1949), 39 - 48.
- (16) Wallis, G. B., One Dimensional Two Phase Flow, McGraw Hill Book Company, New York (1969), 51.

- (17) Chisholm, D. and Laird, A. D. K., Two Phase Flow in Rough Tubes, Trans. ASME, 80 2, (1958), 276 286.
- (18) Hewitt, G. F., Gas Liquid Flow, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Pub. Corp., (1983), 2. 3. 2. 14.
- (19) 深野徹, 伊藤昭彦, 宮部圭介および高松康生, 気流を伴う水平長方形管内薄膜流の研究(第6報, じょう乱波の発生と液膜の破断および再生との関係),
   機論, 51 462, B(1985), 503 512.
- (20) Smith, S. L., Void Fractions in Two Phase Flow : A Correlation Based Upon An Equal Velocity Head Model, Proc. Instn. Mech. Engrs. 184 pt1, 36, (1969 70), 647 664.
- (21) 井上晃および青木成文,管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究(第4報),機論,36-288,(1970),1366-1373.
- (22) 矢木栄,白井隆および佐々木貞治,竪型管式反應装置の研究(第1報),化学 機械,15-7,(1951),317.
- (23) Hughmark, G. A. and Pressburg, B. S., Holdup and Pressure Drop with Gas Liquid Flow in A Vertical Pipe, AIChE J. 7 - 4, (1961), 677 - 682.
- (24) Premoli, A., Francesco, D. and Prina, A., A Dimensionless Correlation for Determining The Density of Two Phase Mixtures, Lo Termotecnica, 25, (1971), 17 26.
- (25) Sadatomi, M., Sato, Y. and Saruwatari, S., Two Phase Flow in Vertical Noncircular Channels, Int., J., Multiphase Flow, 8 - 6, (1982), 641 - 655.
- (26) 深野徹,石田一実,森川健悟,野村晴男,高松康生および世古口言彦,気流を伴う水平長方形管内薄膜流の研究(第1報,流動様式),機論,45-390,(1979),172-179.
- (27) Nicklin, D. J., Wilke, J. O. and Davidson, J. F., Two Phase Flow in Vertical Tubes, Trans. Inst. Chem. Engr., 40 - 1 (1962), 61 - 68.

- (28) Armand, A. A., Resistance to Two Phase Flow in Horizontal Tubes (in Russian),
  Izvest. V Teplotech. Inst., 15 1, (1946), 16 23. English translation, NLL M882,
  Boston Spa, Yorks : National Lending Library.
- (29) Chisholm, D., Two Phase Flow in Pipelines and Heat Exchangers, George Godwin, London and New York, AIChE., (1983), 45.
- (30) 井上晃および青木成文,管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究(第2報),機論,32-238,(1966),940-947.
- (31) Butterworth, D. and Hewitt, G. F., Two Phase Flow and Heat Transfer, Harwell Series, Oxford Univ. Press, (1977), 81.
- (32) Hughmark, G. A., Holdup in Gas Liquid Flow, Chem. Eng. Prog. 58 4, (1962), 62 65.
- (33) McAdams, W. H., Woods, W. K. and Heroman, L. C., Vaporization inside Horizontal Tubes : II, Benzene - oil mixtures, Trans. ASME, 64 - 3 (1942), 193.
- (34) Cicchitti, A. et al., Two Phase Cooling Experiments Pressure Drop, Heat Transfer and Burnout Measurement, Energi Nucl., 7 - 6 (1960), 407 - 425.
- (35) Dukler, A. E., Moye Wicks, III and Cleveland, R. G., Pressure Drop and Hold up in Two - Phase Flow, AIChE J., 10 - 1 (1964), 38 - 51.

第6章 総 括

本研究において、管径が 6mm ~ 0.5mm の 6 種類の鉛直細円管と短辺が 1mm,長辺が 1mm ~ 10mm (アスペクト比が 1 ~ 10)の4 種類の鉛直長方形細管に、断面が比較的大きく、短辺が 4mm ~ 16mm,長辺が 14mm ~ 160mm (アスペクト比が 1 ~ 40)の 10 種類の水平、傾斜および鉛直の長方形管を加えた管路系における非加熱空気 - 水二相流の実験を基に細円管および狭い長方形管内気液二相流の流動現象について、以下のことが明らかになった。

第2章において、細円管および長方形細管内の液体塊速度の特徴を詳細に調査 し以下のことを明らかにした。

(1) 細円管内の環状流における液体塊速度に管径の影響がみられ,管径が 6mm から小さくなるに従って液体塊速度は増加傾向を示すが,管径が約 2.0 mm よりさ らに小さくなると急激に減少する.これは表面張力に加え粘性も速度に影響を与 えていることを示唆する.

(2)細円管内の環状流における液体塊は、管径が 6.0 mm から約 2.0 mm までの管内に出現する速い速度を有するいわゆる、じょう乱波で構成された波群と、管径が 2.0 mm 付近から 0.5 mm までの管内にみられる遅い速度を有する基底波で構成された波群の二種類に分けられる.じょう乱波は波長が長く波高も高いが、管径が約 2.0 mm より小さくなると波長が短く波高も低い波がしだいに支配的となり、管径 が 2.0 mm および 1.45 mm では両方の特性を示す波群が混在する.本研究では、これら二種類の波速度に対する整理式を提案した.これらの式により、± 30% 程度 の精度で細円管の場合の平均波速度を予測することができる.

(3) 一つの液体塊の質量を重みとした加重平均速度から定義する新しい平均速度 決定法を提案した.さらに、この速度の特徴に基づいて、スラグ流、フロス流およ び環状流の流動様式を定量的に区分する方法についても提案した.

第3章において,流動様式の特徴を検討した.その結果は以下のように要約される.

(1) 断面が比較的大きい長方形管の傾斜管内で観察される二相流の流動様式は, 気ほう流, 気ほうスラグ流, スラグ流, フロス流および環状流(傾斜角が小さい場

合,分離流)の5形式に大別されること,またアスペクト比が大きい管路に特有な 流れについて鉛直の場合および管路を横長および縦長に設置した場合の流れの特 徴を明らかにした.

(2) 細円管内およびアスペクト比が小さい場合の長方形細管内で,表面張力と 粘性の影響が大きいと思われる流れの特徴,すなわち連鎖気体スラグの存在およ び気体スラグ後端部の曲率が特有の形状を示すなどの特徴を明らかにした.また, アスペクト比が大きい場合,気相が左右に激しく揺動しながら上昇することから, 液相も乱れ気相内に液塊を複雑に巻き込み,いわゆる狭い管路に特有な流れが出 現することを明らかにした.

(3)液体塊の加重平均速度特性を基にした新しい流動様式の定量的判別法を用い、細円管および狭い長方形管に対する流動様式線図を得た.本実験の垂直細円管の結果は、水平細円管の仮屋崎らの結果と良く一致した.しかし、狭い長方形管の場合アスペクト比の影響がその流動様式線図上に残ることが判明した.

第4章における二相流の摩擦圧力損失の検討結果から以下のことがわかった。

(1) Lockhart - Martinelli および赤川らの整理法によって,断面が比較的大きい長 方形管内でのφLの本実験結果を精度良く整理できなかった.特に傾斜角が大きく 液体のみかけ速度が低い場合管壁近傍の液体の一部が逆流現象を引き起こすよう な流動様相のとき,ばらつきが大きかった.傾斜角が小さくなると,アスペクト比 や管路の設置方法の違い(横長と縦長)が,二相流の摩擦圧力損失の差異を生じ させた.特に大きいアスペクト比をもつ横長の管路における二相流の摩擦圧力損 失は,全実験範囲において他の管路よりも大きかった.

(2) 長方形管内の水平分離流モデルに基づいた式に,管路断面の幾何学的形状と 管路の傾斜角および液体レイノルズ数の影響を考慮に入れた二相流の摩擦圧力損 失の整理式を提案した.この整理式は断面が比較的大きい長方形管の相当直径が 約 10mm より大きい管路とそれより小さい管路について二通りの式に分けられ, 実験値は約± 30 %の精度で整理された.

(3) 管径 0.9mm および 2.0mm の細円管における二相流の摩擦圧力損失の本実験 結果は、深野らの提案式にかなり良く一致した.さらに、深野らの提案式にアス ペクト比の影響を考慮し長方形細管内の二相流の摩擦圧力損失の整理式として良

好な式を得た.この式を用いると長方形細管内における二相流の摩擦圧力損失は ±15%以内の精度で推定される.

第5章において、4種類の長方形細管と10種類の断面が比較的大きい長方形管 における平均ホールドアップの特徴とその整理式について検討し、以下の結論を 得た.

(1) 長方形細管内のフロス流および環状流領域においては液体が四隅に停滞し易 く、アスペクト比が小さい場合の平均ホールドアップは、アスペクト比が大きい場 合や相当直径が同程度の円管の場合に比べ大きくなることがわかった.

(2)本実験で得られた長方形細管を含む狭い長方形管内の平均ホールドアップは、従来の整理式では満足な精度で整理できないことが明らかとなった.

(3)本研究で新たに提案した長方形細管内気液二相流に対する平均ホールドアップの整理式と推定手法は、精度のよい予測値を与え、これに修正を加えれば断面の比較的大きい長方形管に対する整理式としても有効であることを示した.

謝 辞

九州大学大学院工学研究科機械工学専攻 深野徹教授には,本研究を始める契 機を与えて頂きますとともに,研究の遂行と論文のとりまとめに際して常に懇切 丁寧な御指導と御鞭撻を賜りました.深野徹教授の御指導御鞭撻に心より感謝申 し上げます.

九州大学大学院工学研究科機械エネルギー工学専攻 井上雅弘教授および吉田 駿教授ならびに知能機械工学専攻 古川明徳教授には、本論文の執筆とまとめる に際して有益な御討論ならびに御指導を賜りました.ここに深く感謝の意を表し ます.

九州大学工学部機械工学科 渡部正夫助教授および松下大介助手ならびに原義 則技官を始め流動工学研究室の方々には,国内留学時における研究を含めて本研 究の遂行に際し貴重な御助言と御激励を賜りました.ここに深く感謝の意を表し ます.

鹿児島大学工学部機械工学科 松村博久教授および門久義教授ならびに野崎勉 教授を始め機械工学科の諸先生には,研究の遂行と公私にわたり御指導と御鞭撻 を賜りここに深く感謝の意を表します.

実験装置等の製作にあたっては, 鹿児島大学工学部中央実験工場高橋肇主任, 有 馬武城技官および吉永謙二技官を始め多くの力強い御協力を戴きました. ここに 深く謝意を表します. また, 実験結果の収得にこれまで御協力いただいた現在お よび当時の鹿児島大学工学部機械工学科(流体工学研究室)の学部4年および大 学院修士課程の諸氏に感謝致します.

### 付録A 実験条件(気体および液体のみかけ速度, 系内圧力)の設定プログラム

本実験では、気体のみかけ速度 j<sub>G</sub>と液体のみかけ速度 j<sub>L</sub>の組み合わせにより気 液二相流を形成し実験を行った.各実験点(第2章,図2.4参照)における系内圧 は本実験範囲でその最大値が約0.2MPa であり、本実験では各実験点の系内圧がほ ぼ一定となるように系内圧を制御した.

これらの系内圧の制御と j<sub>G</sub>および j<sub>L</sub>の設定は、次頁以降に示すマクロアセンブ ラとフォートラン言語を用いた実験条件の設定プログラムによって行った.これら のプログラムの実行手順は以下のとおりである.

これらが全て設定値の±2%以内となる条件を満たした場合(FORTRANプログ ラムのSUBROUTINE JUDGEで判断),ブザー音が鳴動し二相流の実験が開始され る.この間,液膜波形,ボイド率,圧力損失および流動様式などのデータサンプリ ングは他の計算機によって行われ,実験終了時にキー入力により実験中の温度,圧 力,気体および液体流量などの結果も計算機内に記録される.

Macro Assember Programming List

DATA	SEGMENT PUBLIC 'DATA'			ADCON
DATA DGROUI CODE	P GROUP DATA SEGMENT 'CODE'			
	ASSUME CS:CODE, DS:DGROU PUBLIC 10	F		FLAG:
10	PROC FAR PUSH BP PUSH DS MOV PD SP	1	PREPARE TO RETURN	
	LES SI, DWORD PTR[BP+8]		GET CHANNEL NUMBERS	
	MOV DH. DL XOR DL, DL		GET SET CHANNEL COUNT DL = 0	ADCON
	MOV BX, ES: [SI]	;	DELAY NUMBERS	TIME
	MOV DI, ES: [SI] LES SI, DWORD PTR[BP+20] CALL BEEPS	** **	SEG. NUMBERS OF ARRAY ARRAY ADR. TO ES:SI	PAUSE
STRT:	MOV CX. 32768	:	SET COUNTER	
REPT:	CALL ADCONV MOV ES:[SI], AX	:	SAVE DATA TO ARRAY	
	INC SI INC SI INC DL	•	ARRAY ADDRESS INC.	TIME Beeps
	UMP DH, DL JNZ NEXT XOR DL, DL			
NEXT:	DEC CX		COUNT	
	JNZ REPT CLC DEC DI			
	JZ FIN MOV AX, ES ADD AX, 01000H MOV ES, AX	;	SEGMENT ADDRESS ADD	BEEPS BEEPE
FIN:	JMP STRT CALL BEEPE			
	MOV SP, BP POP DS POP BP	;	RETURN TO FORTRAN PROGRAM	ONCE:
10	RET 16 ENDP	;	4 4*PARAMETER	
	PUBLIC IOS			
IOS	PROC FAR PUSH BP PUSH DS MOV BP SP	;	PREPARE TO RETURN	
	LES SI, DWORD PTR[BP+8] MOV DX, ES:[SI] MOV DH, DL XOR DL DL		GET CHANNEL NUMBERS GET SET CHANNEL COUNT DL = 0	
	LES SI, DWORD PTR[BP+12] MOV BX, ES: [SI]	:	GET DELAY NUMBERS	
	LES SI, DWORD PTR[BP+16] MOV CX, ES: [SI]	;	GET NUMBERS OF ARRAY	
	LES SI, DWORD PTR[BP+20] CALL BEEPS	;	ARRAY ADR. TO ES:SI	BEEPE WAIT
REPTS:	CALL ADCONV			WAIT1
	MOV ES:[SI], AX INC SI INC SI		SAVE DATA TO ARRAY ARRAY ADDRESS INC.	WAIT IDA
	INC DL CMP DH, DL JNZ NEXTS XOR DL, DL			
NEXTS:	CALL TIME DEC CX JNZ REPTS	;	COUNT	
	CALL BEEPE MOV SP, BP POP DS	;	RETURN TO FORTRAN PROGRAM	
	POP BP RET 16	;	4 4*PARAMETER	IDA
10S	ENDP		右上につづく	CODE

DOON	1 DDog		
DCUN	IN AL ODOH		
	XOR AX, AX		
	MOV AL, DL		
	OUT ODOH, AH		
LAG:	IN AL, OD1H		
	TEST AL, 40		
	IN AL. OD1H		
	AND AL, OFH		
	XCHG AL, AH		
	RET RET		
DCON	V ENDP		
IME	PROC		
	PUSH ES		
	PUSH CX		
AUSE	MOV CX, BX		
AUSE	JNZ PAUSE		
	POP CX		
	POP ES		
	RET		
IME	ENDP		
EEPS	PROC		
	PUSH CX		
	MOV AH, 17H		
	INT 18H		
	CALL WAIT		
	MOV AH, 18H		
	INT 18H		
	POP AX		
	RET		
FFPF	PROC		
LLIL	PUSH AX		
	PUSH DX		
NCF	MOV DL, 5H MOV AH 17H		
NOD.	INT 18H		
	MOV CX, 1000H		
	MOV AH 18H		
	INT 18H		
	MOV CX, 1500H		
	MOV AH, 17H		
	INT 18H		
	MUV CX, 1000H		
	MOV AH, 18H		
	INT 18H		
	JNZ ONCE		
	POP DX		
	POP AX		
EEPE	ENDP		
AIT	PROC		
AIT1	LOOP WAITI		
AIT	ENDP		
	PUBLIC IDA		
DA	PROC FAR	· DDEDADE TO	DETIIDN
	PUSH DS	, FREFARE IU	NEIUNN
	MOV BP, SP		
	LES SI, DWORD PIR[BP+8]		
	MOV DX. DEFEEH		
	OUT DX, AX		
	MOV SP RP	RETURN TO	FORTRAN PROGRAM
	POP DS	, nerona ro	
	POP BP	0 1 0 0	C T C D
DA	KLI 4 FNDP	; Z 4*PARAM	EIEK
ODE	ENDS		
	END £5	s わ h	
	¥-:	42.9	
		2 -	

### Fortran Programming List

С

С

С

С

INTEGER\*2 IBUF (7, 10000), ICH, IDELAY, NDAT INTEGER\*2 IP, NI, NDD, B, XX, CH, C, ID INTEGER\*4 I, K, L, J, IS(7) REAL JGTS, JLTS, PXS, PCS, JGS, WLS, TGS, TWS, PDS, PXDS REAL JGMAX, JGMIN, JLMAX, NLMIN, PD REAL NJGT, NJLT, NPX, NPG, TWG, NWL, NTG, NTW, NPD, NPXD REAL LP, JG, JL, JGT, JLT, A DIMENSION VI(7,2) REAL MJGT(6), MJLT(6), MPX(GM, MPG(6) REAL MWG(6), MWL(6), MTG(6), TW(6), MPD(6), MPXD(6) CHARACTER\*11 S1 DATE CHA ACTER\*11 S1, DATE B=0C=0 D=0. XX=0. DATA=' 1. 1. 1' CH=4NDD=1400 WRITE(\*, \*) ' INPUT CHO - HEN ; DA = 10.0 mm WRITE(\*, \*) ' INPUT CHO - HEN ; DA = 10.0 mm
WRITE(\*, \*) '
READ(\*, \*) DA
WRITE(\*, \*) ' INPUT TAN - PEN ; DB = 1.0 mm '
WRITE(\*, \*) '
READ(\*, \*) DB
WRITE(\*, \*) '
WRITE(\*, \*) ' NPUT JG(m/s) = ?'
READ(\*, \*) JG
WRITE(\*, \*) ' INPUT JL(m/s) = ?'
READ(\*, \*) JL
WRITE(\*, \*) ' ' READ(\*,\*) JL WRITE(\*,\*) 'Air saatu zero Level(Volt)=' READ(\*,\*) ZG WRITE(\*,\*) 'Water saatu zero Level(Volt)=' READ(\*,\*) ZL WUITE(\*,\*) ' READ(\*,\*) ZL
WRITE(\*,\*) ' Pressure Zero Level(RED)(V)='
READ(\*,\*) ZP
WRITE(\*,\*) ' '
WRITE(\*,\*) ' '
WRITE(\*,\*) ' Ps in Tube Zero Level(YELLOW)(V)='
READ(\*,\*) ZPU
WRITE(\*,\*) ' ' '
WRITE(\*,\*) ' Dif Durge Zero Level(DLUE)(V)=' WRITE(\*,\*) 'Dif Press. Zero Level(BLUE)(V)='
READ(\*,\*) ZPD
WRITE(\*,\*) 'Todays AT(760.0mmHg, or) = ?'
READ(\*,\*) AT
WRITE(\*,\*) ' ZPD ICH=7 PXX=2.0 FQ=1000. 0 IDELAY=NINT((592.07+1000./FQ)-(20.85+REAL(1CH)+3.386)) IDELAY-NINT ((592.07+10 CALL INICRT CALL ETCLS CALL CUROFF CALL REVERSE WRITE (S, '(A)') 'JG = ' CALL PRINTXY (1, 8, S) WRITE (S, '(A)') 'JG \* ' CALL PRINTXY (1, 10, S) WRITE (S, '(A)') 'JG \* ' CALL PRINTXY (1, 12, S) WRITE (S, '(A)') 'JG \* ' CALL PRINTXY (28, 8, S) WRITE (S, '(A)') 'JG \* ' CALL PRINTXY (28, 8, S) WRITE (S, '(A)') 'JG \* ' CALL PRINTXY (28, 10, S) WRITE (S, '(A)') 'S \* ' CALL PRINTXY (28, 12, S) WRITE (S, '(A)') 'WG = ' CALL PRINTXY (28, 14, S) WRITE (S, '(A)') 'WL = ' CALL PRINTXY (28, 14, S) WRITE (S, '(A)') 'WL = ' CALL PRINTXY (28, 16, S) WRITE (S, '(A)') 'PK = CALL PRINTXY (1, 16, S) WRITE (S, '(A)') 'PC = CALL PRINTXY (1, 18, S) WRITE (S, '(A)') 'PC = CALL PRINTXY (1, 20, S) WRITE (S, '(A)') 'PC = CALL PRINTXY (28, 20, S) CALL INITCRT 右上につづく

- 1 -

CALL NORMAL WRITE(S, '(A)') 'm/s' CALL PRINTXY(20, 8, S) WRITE(S, '(A)') 'm/s' CALL PRINTXY(20, 10, S) WRITE(S, '(A)') 'kg/cm2' CALL PRINTXY(20, 12, S) WRITE(S, '(A)') 'kg/s' CALL PRINTXY(20, 14, S) WRITE(S, '(A)') 'C' CALL PRINTXY(46, 14, S) CALL PRINTAY (20, 14, 3) WRITE (S, '(A)') ' 'c' CALL PRINTXY (46, 14, S) WRITE (S, '(A)') ' kg/s' CALL PRINTXY (20, 16, S) WRITE (S, '(A)') 'C' CALL PRINTXY (20, 18, S) WRITE (S, '(A)') 'Kg/cm2' CALL PRINTXY (20, 20, S) WRITE (S, '(A)') 'Kg/cm2' CALL PRINTXY (20, 20, S) WRITE (S, '(A)') 'Kg/cm2' CALL PRINTXY (44, 20, S) 10 CALL INKEY (XX) IF (XX, EQ. 0) GOTO 100 NDD=7700 ID=ID+1 ID=ID+1 CALL IOS (IBUF, NDD, IDELAY, ICH) CONTINUE DO 502 J=1, ICH IS (J) = 0 CONTINUE ND=NDD/ICH DO 504 I=1, ND DO 506 J=1, ICH IS(J) = IS(J) + IBUF(J, I)CONTINUE CONTINUE VI (J, 2) =FLOAT (IS(J))/(FLOAT(ND)) CONTINUE CONTINUE PWV=2. 4425E-3\*VI (1, 2)-2. 739E-3 PGV=2. 4425E-3\*VI (2, 2)-2. 945E-3 DPLV=2. 4426E-3\*VI (3, 2)-2. 871E-3 SAV=2. 4431E-3\*VI (4, 2)-3. 173E-3 TGV=2. 4425E-3\*VI (5, 2)-2. 825E-3 TWV=2. 4427E-3\*VI (6, 2)-2. 980E-3 PU=2. 4429E-3\*VI (7, 2)-3. 111E-3 WRITE (\*, \*) \* Thermocouple type : A, B, C, D. A ; TW=24.040\*TWV+0.780 \* B ; TW=23.695\*TWV+1.556 \* C ; TW=23.238\*TWV+1.475 \* D ; TW=24.105\*TWV+0.851 \* E ; TW=23.805\*TWV+1.629 AMP No 2 AMP. No. 1 AMP. No. 1 AMP. No. 2 AMP. No. 1 \*\*\*\*\* TW=24.55\*TWV-1.384 IF (TW.LT.9.) GOTO 1 IF (TW.LT.14.) GOTO 2 IF (TW.LT.22.) GOTO 3 IF (TW.GE.22.) GOTO 4 RL=-0.0455+TW+1000.2 GOTO 5 RL=-0.10\*TW+1000.7 GOTO 5 RL=-0.185\*TW+1001.9 GOTO 5 RL=-0.276\*TW+1003.9 CONTINUE CUNIINUE TG=23.747\*TGV+0.275 PG=1.243\*(DPLV-2P-0.0145)\*(AT/760.) PXU=0.8197\*(PU-2PU)\*(AT/760.) RGK=1.2931\*(273.15/(273.15+TG))\*PXU RGS=1.2931\*(273.15/(273.15+TG))\*PG UL=1050\*(DVU2(21=1.0))=1250 HL = 1250. \* (PWV- (ZL-1. 0)) - 1250. HG=1250. \* (PGV- (ZG-1. 0)) - 1250. GPV=PGV-ZG HL, HG;mmAq SPD=1.0097\*(SAV-ZPD)\*10.0+2.5055 \*\*\*\*\* Pressure Drop \*\*\*\*\*\* PD=SPD PD ; mmAq Case \*\*\* Air \*\*\* \*\*\* DA = 1.0 mm \*\*\* IF ((JG.GT.0.09).AND.(JG.LE.1.1)) GOTO 1540 IF ((JG.GT.1.9).AND.(JG.LE.4.1)) GOTO 1550

100

110

502

506

504

508

С

CCCCCC

C C

С

1

2 3

4 5

С C С

C C

- 2 - 次頁左上につづく

GOTO 1605 1540 WG1=-6. 17E-9\* (RGS\*HG) \*\*2+9. 43E-3\* (RGS\*HG)+5. 89 WG=WG1\*10. 0\*\* (-6) WG-RG1910.0+\*(-0) C RR=RGS+HG C WRITE(\*, 1542) WG, RGS, HG, RR C1542 FORMAT(2X, 'WG=', E10. 3, 'RGS=', F8. 4, 'HG=', F10. 3, C'RGS+HG=', E10. 4) GOTO 1840 1550 WG1=-6.48E-9\*(RGS+HG)\*\*2+5.56E-4\*(RGS+HG)\*2.35 WG=WG1\*10.0\*\*(-5) C WRITE(\*, 1552) WG, RGS, HG, RR 1552 FORMAT(2X, 'WG=', E10. 3, 'RGS=', F8. 4, 'HG=', F10. 3, &'RGS+HG=', E10. 4) GOTO 1840 1560 WG2=-5.05E-8\*(RGS+HG)\*\*2+3.19E-3\*(RGS+HG)\*9.53 WG=WG2\*10.0\*(-5) C WRITE(\*, 1552) WG, RGS, HG, RR C 1562 FORMAT(2X, 'WG=', E10.3, 'RGS=', F8. 4, 'HG=', F10.3, C & RGS+HG=', E10.4) GOTO 1840 1605 WG3=(-1.59E-8\*(RGS+HG)\*\*2+6.53E-4\*RGS+HG+1.74)\*0.53 WG=WC2+10.0\*(-5) C WG3=(-1.59E-8\*(RGS+HG)\*\*2+6.53E-4\*RGS+HG+1.74)\*0.53 C WG3=(-1.59E-8\*(RGS+HG)\*\*2+6.53E-RR=RGS+HG С 1605 WG3= (-1. 59E-8\* (RGS\*HG) \*\*2+6. 53E-4\*RGS\*HG+1. 74) \*0. 98 WG=WG3\*10. 0\*\* (-5) GOTO 1840 JGMIN=JGT JLMAX=JLT JLMIN=JLT JLMIN=JLT ID=1D+1 IF (JGT.GT.JGMAX) JGMAX=JGT IF (JGT.LT.JGMIN) JGMIN=JGT IF (JLT.GT.JLMAX) JLMAX=JLT IF (JLT.LT.JLMIN) JLMIN=JLT GJGe(JGT-JG)/JG+100. GJL=(JLT-JL)/JL+100. GPX=(PXU-PXX)/PXX+100. IF (XX.EQ.0) GOTO 2050 IF (C.EQ.0) GOTO 2021 GOTO 2025 2020 GOTO 2025 NJGT=0. 2021 NJLT=0. NPX=0. NPG=0. NWG=0. NWL=0. NTG=0. NTW=0. NPD=0 NPXD=0. C=C+1 NJGT=NJGT+JGT 2025 NJLT=NJLT+JLT NPX=NPX+PXU NPG=NPG+PG NWG=NWG+WG NWL=NWL+WL NTG=NTG+TG

右上につづく

- 3 -

NTW=NTW+TW

IF ((JG. GT. 4. 9). AND. (JG. LE. 20. 1)) GOTO 1560

IF (C. EQ. 10) GOTO 2030 GOTO 2050 2030 B=B+1 D=B+1 MJGT(B)=NJGT/10. MJLT(B)=NJLT/10. MPX(B)=NPX/10. MPG(B)=NPG/10. MWG(B)=NWG/10. MWL(B) = NWL/10MTG(B) = NTG/10. MTW(B) = NTW/10. MPD(B) = NPD/10.MPXD(B) = NPXD/10.C = 0IF (B. EQ. 5) GOTO 2060 WRITE (S, 201) JGT 2050 CALL PRINTXY (11, 8, S) WRITE (S, 201) JLT CALL PRINTXY (11, 10, S) CALL PRINTXY (11, 10, 5) WRITE (S, 201) PXU CALL PRINTXY (11, 12, S) WRITE (S, 201) GJG CALL PRINTXY (38, 8, S) WRITE (S, 201) GJL CALL PRINTXY (38, 10, S) WRITE (S, 201) GPX CALL PRINTXY (38, 12, S) WRITE (S1, 202) WG CALL PRINTE (S1, 12, S) WRITE (S, 201) TG CALL PRINTXY (38, 14, S) WRITE (S1, 202) WL CALL PRINTE (9, 16, S1) WRITE (S, 201) TW CALL PRINTXY (38, 16, S) WRITE (S, 201) PG CALL PRINTXY (11, 18, S) WRITE (S, 203) PD CALL PRINTXY (11, 20, S) WRITE (S, 201) PXD CALL PRINTXY (36, 20, S) IFLUG=0 IFLUG=0 CALL CRTDISP (GJG, GJL, GPX, IFLUG) IF (IFLUG. EQ. -1) GOTO 700 FORMAT (F7. 3) FORMAT (E11. 4) FORMAT (E11. 4) IF (XX EQ. 0) GO TO 10 ID=ID+1 COTO 100 201 202 203 GOTO 100 WRITE(S, '(A)') 'OK !' 700 CALL PRINTXY (19, 10, S) CALL CURON IF (XX, EQ. 0) GO TO 10 GOTO 100 STOP END С \*\*\*\*\*\*\*\* HEIKIN \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* С 2060 JGTS=0. JLTS=0. PXS=0. PGS=0. WGS=0. WLS=0. TGS=0. TWS=0. PDS=0. PXDS=0 DO 800 N=1, 5 JGTS=JGTS+MJGT (N) JLTS=JLTS+MJLT (N) PXS=PXS+MPX (N) PGS=PGS+MPG(N) WGS=WGS+MWG(N) WLS=WLS+MWL(N) TGS=TGS+MTG(N) TWS=TWS+MTW(N) PDS=PDS+MPD(N) PXDS=PXDS+MPXD(N) CONTINUE 800 JGTS= JGTS/5. JLTS=JLTS/5. PXS=PXS/5. PGS=PGS/5.

NPD=NPD+PD NPXD=NPXD+PXD

次頁左上につづく

4 -

WGS=WGS/5. WLS=WLS/5. TGS=TGS/5. TWS=TWS/5 PDS=PDS/5 PXDS=PXDS/5. \*\*\*\*\*\*\* FILE \*\*\*\*\*\*\*\* С \*\*\*\*\*\*\*\* FILE \*\*\*\*\*\*\*\*\*\* OPEN (8, FILE='C:HDATA', STATUS='NEW', & ACCESS='SE UENTIAL') WRITE(8, 908) DATE 900 FORMAT(1X, 'DATE=', A6) WRITE(8, 901) DA, DB, ICH 901 FORMA<sub>T</sub>(2X, 'CHO-<sub>H</sub>EN DA=', F6. 2, 'mm', 3X, 'TAN-PEN DB=', F6. 8' mm', 'CH=', I2) WRITE (8, 902) JG, JL
2 FORMAT (1X, 'JG=', F6. 2, 6X, 'JL=', F6. 2) WRITE (8, 903) AT
3 FORMAT (1X, 'AT=', F7. 2) D0 930 J=1, 5 WRITE (8, 401)
1 FORMAT (4IX, AT) WRITE (8, 904) MJGT (J), MJLT (J), MWG (J), MWL (J)
4 FORMAT (2F8. 3, 5X, 2E10. 3) WRITE (8, 905) MPX (J), MPG (J), MTG (J),
8MTW (J), MPG (J), MPXD (J)
5 FORMAT (2F8. 3, 5X, 2F8. 2, 4X, F7. 1, 3X, F8. 3)
0 CONTINUE WRITE (8, 906) 2, 902 903 401 904 905 930 CUNTINGE WRITE (8, 906) FORMAT (8X, '\*\*\*\* ZENTAI NO HEIKIN \*\*\*\*') WRITE (8, 907) JGTS, JGMAX, JGMIN, JLTS, JLMAX, JLMIN FORMAT (3F8. 3, 5X, 3F8. 3) WRITE (8, 908) WGS, WLS, PXS, PGS, TGS, TWS, PDS, PXDS FORMAT (2E10. 3, 3X, 2F8. 3, 3X, 2F6. 2, 3X, F7. 1, 3X, F8. 3) CLOSE (8) 906 907 908 CLOSE(8)PAUSE END C\*\*\*\*\*\*\*\* SUBROUTINE CUROFF CHARACTER\*8 BUF WRITE (BUF, '(A1, A4, A1, A2)') &CHAR(27), '[>5h', CHAR(27), '[A' WRITE (\*, \*) BUF RETURN END END С SUBROUTINE CURON CHARACTER\*8 BUF WRITE (BUF, '(A1, A4, A1, A2)') &CHAR(27), '[>51', CHAR(27), '[A' WRITE (\*, \*) BUF DETUDN RETURN END SUBROUTINE PRINTXY(X, Y, S) INTEGER X, Y CHARACTER\*7 S CHARACTER\*18 BUF WRITE (BUF, '(A1, A1, I2, A1, &I2, A1, A1, A2, A7)') CHAR(27), &'[',Y,';',X, 'H',CHAR(27), '[A', S WRITE (\*,\*) BUF RETURN FND С END С SUBROUTINE PRINTE(X, Y, S) INTEGER X, Y CHARACTER\*11 S CHARACLER\*11 S CHARACTER\*22 BUF WRITE (BUF, ' (A1, A1, I2, A1, I2, A1, &A1, A2, A11)') CHAR(27), ' [', Y, &';', X, ' H', CHAR(27), ' [A', S WRITE (\*, \*) BUF RETURN END С SUBROUTINE REVERSE CHARACTER\*4 BUF WRITE(BUF, '(A1, A3)') &CHAR(27), '[7m' 103 FORMAT(A1, A3) WRITE(\*, \*) BUF DETUDN RETURN FND С 右上につづく SUBROUTINE BLINK

- 5 -

CHARACTER\*4 BUF WRITE (BUF, '(A1,A3)') CHAR(27).'[5m' 104 FORMAT(A1,A3) WRITE(\*, \*) BUF RETURN SUBROUTINE NORMAL CHARACTER\*3 BUF WRITE(BUF, '(A1, A2)') CHAR(27), '[m' WRITE(\*,\*) BUF RETURN END SUBROUTINE ETCLS CHARACTER+4 BUF WRITE(BUF, '(A1,A3)') CHAR(27),'[2J' WRITE(\*,\*) BUF RETURN END SUBROUTINE INITCRT CHARACTER TILE (4) CHARACIENTILE (4) TILE (1) = #CC TILE (2) = #33 TILE (3) = #CC TILE (4) = #33 CALL INIT CALL SCREEN (3, 0, 0, 1) CALL SCREEN (3, 0, 0, 1) CALL SCREEN (2, 0, 0, 7) CALL SCREEN (2, 0, 0, 7) CALL LINE (390, 0, 639, 379, 1, 1, 0, 0) CALL CRT (400, 20) CALL CRT (400, 260) CALL CRT (400, 260) CALL CRT (400, 260, 2, 2347, 1, 1, 0) CALL KANJI (604, 20, #2347, 1, 1, 1, 0) CALL KANJI (620, 20, #2347, 1, 1, 1, 0) CALL KANJI (620, 20, #2347, 1, 1, 1, 0) CALL KANJI (620, 20, #2350, 1, 1, 1, 0) CALL KANJI (620, 260, #2353, 1, 1, 1, 0) CALL KANJI (620, 20) CALL KANJI (620, 20) CALL MESH(400, 20) CALL MESH(400, 260) CALL MESH(400, 260) CALL SCREEN(2, 0, 1, 7) CALL VIEW(400, 0, 639, 399) RETURN END SUBROUTINE CRT(X, Y) INTEGER X, Y CALL LINE (X, Y, X+200, Y+100, 1, 1, 0, 0) CALL LINE (X+205, Y+60, X+235, Y+90, 1, 1, 0, 0) CALL LINE (X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 1, 0, 0) RETURN END SUBROUTINE MESH(X, Y) SUBJOUTINE MESTICA, 17 INTEGER X, Y CALL LINE (X, Y-2, X+200, Y-2, 0, 0, 0, 0) D0 301 I=0, 10 CALL LINE (X+1\*20, Y-2, X+1\*20, Y-6, 0, 0, 0, 0) CONTINUE CONTINUE 301 CALL LINE (X+100, Y-2, X+100, Y-12, 0, 0, 0, 0) RETURN END SUBROUTINE INDIC(X, Y, K) INTEGER X, Y, K CHARACTER TILE(4) TILE(1)=#AA TILE(2) =#44 TILE(3) =#AA TILE(4) =#00 IF (K. EQ. -1) THEN CALL LINE 2 (X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 2, 2, #FFFF, 4, TILE) ELSE CALL LINE (X+210, Y+65, X+230, Y+85, 1, 2, 1, #0000) ENDIF RETURN END SUBROUTINE CRTDISP(V1, V2, V3, IFLUG) INTEGER W1, W2, W3, K1, K2, K3 CALL CLS 次頁につづく

6

С

С

С

С

С

С

230

```
W1=INT (V1)

CALL JUDGE (W1, K1)

CALL DISP (400, 20, W1)

CALL INDIC (400, 20, K1)

W2=INT (V2)

CALL JUDGE (W2, K2)

CALL JUDGE (W2, K2)

CALL ISP (400, 140, W2)

CALL JUDGE (W3, K3)

CALL JUDGE (W3, K3)

CALL DISP (400, 260, W3)

CALL INDIC (400, 260, W3)

CALL INDIC (400, 260, W3)

CALL INDIC (400, 260, W3)

CALL OKBEEP

IFLUG=-1

ELSE

CALL ERRBEEP

ENDIF

RETURN

TWD
              RETURN
             END
           SUBROUTINE DISP(X, Y, W)
INTEGER X, Y, W
IF(W, GT. 100) THEN
W=100
ELSE IF(W. LT. -100) THEN
W=-100
ENDIF
CALL LINE(X+100, Y, W+X+100, Y+100, 1, 2, 1, 257)
RETURN
             RETURN
           SUBROUTINE JUDGE (W, K)

INTEGER W, K

IF((W.GT.-2). AND. (W.LT.2)) THEN

K=-1

ELSE IF((W.GT.50). AND. (W.LT.-50)) THEN

K=1

ELSE

K=0

ENDIF

BFTURN
              RETURN
             END
SUBROUTINE BEEP(N)
CHARACTER*1 BUF
BUF=CHAR(7)
DO 98 I=1,N
WRITE(*,*) BUF
98 CONTINUE
RETURN
END
             END
            SUBROUTINE OKBEEP
CALL BEEP (1)
CALL BEEP (3)
RETURN
             END
SUBROUTINE ERRBEEP
CALL BEEP(1)
DO 99 I=0,1000
99 CONTINUE
CALL BEEP(1)
RETURN
END
             END
```

С

С

С

С

С

終わり

- 7 -



