

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第20巻 第1号(通巻第34号)

昭和59年8月(1984)

目 次

1. 液体管路における過渡流れの層流計算	京 免 進	1
2. 移動熱源による合成層の表面温度上昇について	河 野 正 来 灘 野 宏 正	13
3. 三波長域発光形蛍光ランプの電源による演色性の変化の研究	原 田 一 彦	19
4. システム工学教育におけるマイクロコンピュータ システムの利用	山 崎 勉 藤 田 幸 史	23
5. 中空陰極放電の実験的研究Ⅳ	山 崎 勉	35
6. Z80CPUシステムでの簡易なマルチタスク・モニ ターの提案と考察	加 藤 裕 一	45
7. 鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究 (第4報耐震壁との比較)	福 原 安 洋	53
昭和58年度本校教官による他誌発表論文一覧表		65

液体管路における過渡流れの層流計算

(機械工学科) 京 免 進

Numerical Calculations of Transient Flow in a Liquid Line

(Dept. Mech. Eng.) Susumu KYOMEN

The pressure and the velocity fluctuations of a transient flow when a downstream valve is instantaneously closed in a pipe line during flow are numerically computed by the method of characteristics and the finite-difference technique using wall shear stress evaluated from the cross-sectional profile of instantaneous axial velocities. Influences of Reynolds number and length of pipe on pressure and velocity for a transient pipe flow are examined on the basis of the calculated results.

1. 緒 言

液体管路における制御弁などの切り換え時に発生する過渡流れは、非定常流れの中でも重要なものの一つである。このような流れを単純化するために、水平単一管路の上流端に水位一定の大きなタンクがあり、液体が定常状態で流れている場合を考える。そして下流端の弁が瞬間的に閉鎖する場合の過渡流れを本報では取り扱うことにする。

このような過渡流れを最初に精密に解析したのは Zielke⁽¹⁾である。彼は壁面せん断応力 τ_w 項を、瞬時の断面平均速度項と過去の速度変化による重み関数項で表した一次元の運動方程式と連続の式を使って特性曲線法により計算した。その後山口・市川⁽²⁾は、等価粘性抵抗の概念を使って解析し、Zielkeと同じような結果を得ている。最近著者ら⁽³⁾は、壁面せん断応力 τ_w を各瞬間の断面上速度分布から求める計算法を導入し、この計算法を特性曲線法に組み入れて、圧力、速度を差分法により計算する数値解析法を示した。そしてこの計算値は Zielke の計算値とはほぼ一致し、圧力実測値⁽⁴⁾ともよく一致することがわかった。さらに1周期までの断面上速度分布の変化を明らかにすることができた。⁽⁵⁾なおここで扱ったような過渡流れに対しては、 τ_w すなわち摩擦損失を精密に評価する必要がある、 τ_w に対して定常流れの関係式 $\tau_w = \rho_0 \lambda u_m |u_m|/8$ (λ : 定常管摩擦係数) を用いる解析法(擬定常解析法)は十分でない。すなわちその圧力計算値は長方形パルス状に変化し、ひずみのある圧力実測値を正確に表現しない。⁽¹⁾⁽³⁾

以上は層流の場合であるが、著者ら⁽⁵⁾はさらに研究を進めて、乱流の場合の解析も行った。その結果、 $Re_0 \leq 850\sqrt{\omega'}$ (Re_0 : レイノルズ数, ω' : 無次元角周波数) であれば、層流計算が近似的に適用でき、 $Re_0 > 850\sqrt{\omega'}$ であれば乱流-層流計算が必要であることがわかった。

本報では、液体管路における過渡流れに対して、層流計算法が適用できる範囲内において、レイノ

ルズ数 Re_0 や管路長さ l などの管路条件が圧力、速度分布などに及ぼす影響を差分法を使った数値計算により調べ、過渡流れの挙動を詳しく示した。

2. 記 号

c : 音速

d : 管直径

f : 周波数 $= c/(4l)$

l : 管路長さ

M : 軸方向の格子分割数

N : 半径方向の格子分割数

p : 圧力

p_0 : 初期圧力

R : 管半径

Re_0 : レイノルズ数 $= u_{m,0} d / \nu$

r : 半径方向の座標

t : 時間

u : 軸方向速度

$u_{c,0}$: 初期管中心速度

v : 半径方向速度

x : 軸方向の座標

λ : 管摩擦係数

ν : 動粘度

ρ_0 : 定数として扱う密度

τ_w : 壁面せん断応力

ω : 角周波数 $= 2\pi f$

ω' : 無次元角周波数 $= \omega R^2 / \nu$

添字はか

i : 半径方向の格子位置を表す ($i = 1$ は管中心を示す)

j : 軸方向の格子位置を表す ($j = 1$ は管路入口を示す)

k : 時間ステップを表す

m : 断面平均値を表す

0 : 初期値を表す

3. 基礎式と差分式

水平円管内の軸対称な非定常層流粘性流れを対象とし、圧縮性をわずかに考慮した基礎式を用い、助走部、外力、熱収支は無視し、微小項は省く。軸方向速度に関する運動方程式と連続の式は、それぞれつぎのように表される。⁽⁶⁾

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho_0 c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \right) = 0 \quad (2)$$

ここで u は軸方向速度、 v は半径方向速度、 p は圧力、 ρ_0 は定数として扱う密度、 c は音速、 ν は動粘度、 x は軸方向座標、 r は半径方向座標、 t は時間である。上式(1), (2)を断面平均すると

$$\frac{\partial u_m}{\partial t} + \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{2\tau_w}{\rho_0 R} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \rho_0 c^2 \frac{\partial u_m}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

となる。 R は管半径、壁面せん断応力は $\tau_w = -\rho_0 \nu (\partial u / \partial r)_{r=R}$ であり、圧力は断面内で一様であるとして添字 m を省略した。軸方向の圧力 p 、断面平均速度 u_m は式(3), (4)を使って計算するが、式(3)中の壁面せん断応力 τ_w の値は、式(1)を使って計算される $u(r)$ の分布から、求める。

式(3), (4)を特性曲線法により常微分方程式に変換し、差分近似すると軸方向の p 、 u_m は次式のよう表される。

$$p_{j,k+1} = \{p_{j-1,k} + p_{j+1,k} + \rho_0 c (u_{m,j-1,k} - u_{m,j+1,k}) - 2c \Delta t (\tau_{w,j-1,k} - \tau_{w,j+1,k}) / R\} / 2 \quad (5)$$

$$u_{m,j,k+1} = \{u_{m,j-1,k} + u_{m,j+1,k} + (p_{j-1,k} - p_{j+1,k}) / (\rho_0 c) - 2 \Delta t (\tau_{w,j-1,k} + \tau_{w,j+1,k}) / (\rho_0 R)\} / 2 \quad (6)$$

$$(\text{管入口}) \quad u_{m,1,k+1} = u_{m,2,k} + (p_{1,k+1} - p_{2,k}) / (\rho_0 c) - 2 \Delta t \tau_{w,2,k} / (\rho_0 R) \quad (7)$$

$$(\text{管出口}) \quad p_{M+1,k+1} = p_{M,k} - \rho_0 c (u_{m,M+1,k+1} - u_{m,M,k}) - 2c \Delta t \tau_{w,M,k} / R \quad (8)$$

$$(j=2,3,\dots,M; k=1,2,\dots)$$

ここで j は軸方向の格子位置, k は時間ステップ, M は軸方向の格子分割数, $\Delta t = \Delta x / c$ は時間きざみ (Δx : 軸方向の距離きざみ) を表す。つぎに断面上の速度分布については, 式(1)を差分近似するとつぎのようになる。

$$u_{i,j,k+1} = \nu \Delta t \left\{ \frac{1}{(\Delta r)^2} + \frac{1}{2 \Delta r r_i} \right\} u_{i+1,j,k} + \left\{ 1 - \frac{2 \nu \Delta t}{(\Delta r)^2} \right\} u_{i,j,k} \\ + \nu \Delta t \left\{ \frac{1}{(\Delta r)^2} - \frac{1}{2 \Delta r r_i} \right\} u_{i-1,j,k} - \frac{\Delta t}{2 \rho_0 \Delta x} (p_{j+1,k} - p_{j-1,k}) \quad (9)$$

$$(\text{管中心}) \quad u_{1,j,k+1} = \frac{4 \nu \Delta t}{(\Delta r)^2} u_{2,j,k} + \left\{ 1 - \frac{4 \nu \Delta t}{(\Delta r)^2} \right\} u_{1,j,k} \\ - \frac{\Delta t}{2 \rho_0 \Delta x} (p_{j+1,k} - p_{j-1,k}) \quad (10)$$

$$(i=2,3,\dots,N; j=2,3,\dots,M; k=1,2,\dots)$$

ここで i は半径方向の格子位置, N は半径方向の格子分割数である。ところで管両端においては, 上式(9),(10)の右辺の最後の圧力こう配項を, 管入口では $\Delta t (p_{2,k} - p_{1,k}) / (\rho_0 \Delta x)$ で, 管出口では $\Delta t (p_{M+1,k} - p_{M,k}) / (\rho_0 \Delta x)$ で置き換えて計算する。

初期値としては, 弁閉鎖前の定常流れの関係から得られる直線分布の p , 一定値の u_m, τ_w を与え, 断面上速度分布については放物線分布 (初期状態が乱流の場合は対数法則の分布) を与えた。また境界条件としては, 管入口では一定のタンク水位から得られる p の値を与え, 出口の弁位置では u_m, τ_w, u の値は零とする。

4. 計算方法

計算手順の概略を述べる。まず入力として管路長さ $l, R, c, \Delta t$ などの値を与え, 上述した初期値を与えて計算を開始する。時間ステップ $k+1$ の計算手順を述べると, 式(5)~(8)より p, u_m の値を管軸に沿って計算する。この p の値を使って式(9),(10)から u を計算し, 断面上速度分布を求める。そしてこの u の管壁近傍の分布を4次曲線で近似して, その壁での微分値より τ_w の値を求める。このような計算を管軸に沿って行う。さらにこの τ_w の値を使用して, つぎの時間ステップ $k+2$ の p, u_m の値を計算する。以上のような手順を繰り返し続行する。本計算では半径方向の格子分割数 N は50, 軸方向の格子分割数 M も50とした。

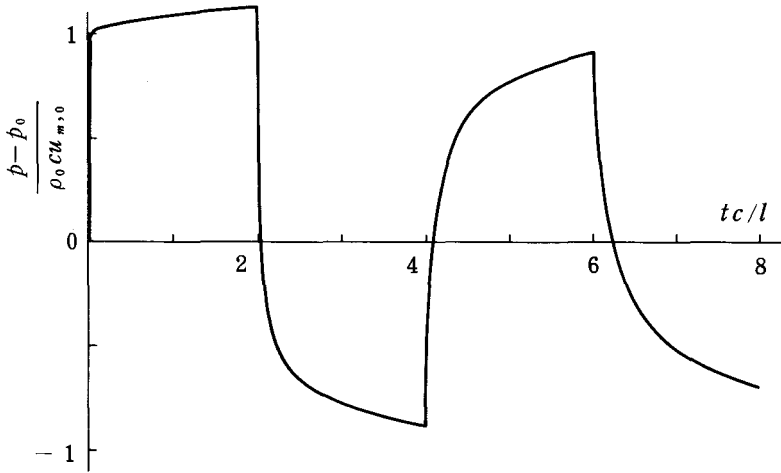
5. 計算結果と考察

5.1 層流

前に報告した層流過渡流れの例を取り上げる。⁽³⁾この場合の管路条件は, $l = 36.1 \text{ m}$, $d = 2R = 0.0254 \text{ m}$, $\nu = 3.97 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $c = 1324 \text{ m/s}$, 初期速度 $u_{m,0} = 0.128 \text{ m/s}$, レイノルズ数 Re_0

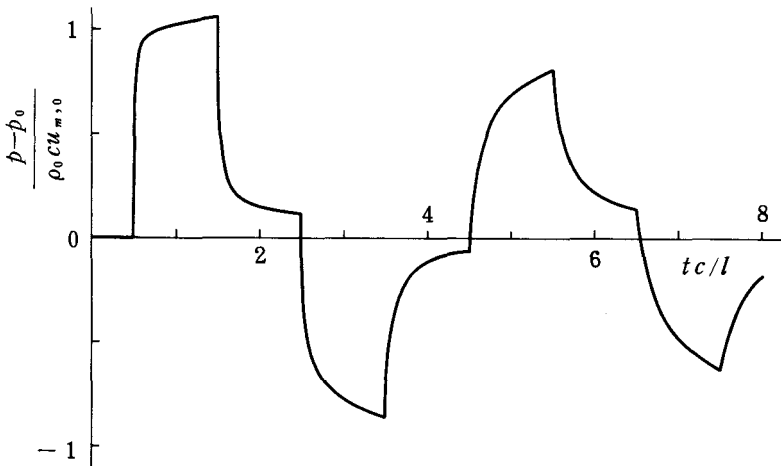
$=u_{m,0}d/\nu=82$, 油, 銅管である。この圧力実測値⁽⁴⁾と計算値との比較は, 管路中央部においてなされ, 両者はよく一致することをすでに報告した⁽³⁾ので, ここでは実測値は省略した。そこで本報告では, 前報⁽³⁾⁽⁵⁾でできなかった出口端の弁位置における圧力, 管入口における断面平均速度および壁面せん断応力を追加して示し, さらに断面上速度分布の変化も前報より詳しく示すことにした。

弁位置および管路中央部の圧力変化を, それぞれ図1, 図2に示す。図3に断面平均速度の変化を示すが, 実線は管路中央部, 破線は管入口部を示す。壁面せん断応力の変化を図4に示し, 実線は管路中央部, 破線は管入口部を示す。以上の図については, $tc/l=8$ までの変化を与えた。本報で扱った過渡流れに対しては, 出口弁において発生した圧力波が管路を2往復したとき ($tc/l=4$) が, 1周



$$l=36.1 \text{ m}, d=0.0254 \text{ m}, u_{m,0}=0.128 \text{ m/s}, Re_0=82$$

図1 弁位置の圧力変化



$$l=36.1 \text{ m}, d=0.0254 \text{ m}, u_{m,0}=0.128 \text{ m/s}, Re_0=82$$

図2 管路中央部の圧力変化

期を表す。したがって図1～4に対しては2周期までの変化を示すことになる。管路中央部の p , u_m , τ_w の変化を比較してみると、圧力波が到着した瞬間に τ_w は急激に変化し、 u_m は p より約 90° の位相の進みで、 p と同じような変動を示していることがわかる。

つぎに軸方向速度 u の断面上分布の1周期までの変化を図5に示す。弁が瞬間閉鎖した直後において、圧力波が到着していない場所では放物線分布を保っているが、圧力波が通過した場所では逆流が生じている。そして圧力波が2往復してもとの弁位置にもどる1周期 ($tc/l=4$) においては、速度分布はもはや放物線分布をとらないことがわかる。この事実は、各瞬間の流れは定常状態でないことを意味する。すなわち緒言でも述べたように、壁面せん断応力 τ_w に対して定常流れの関係式 $\tau_w =$

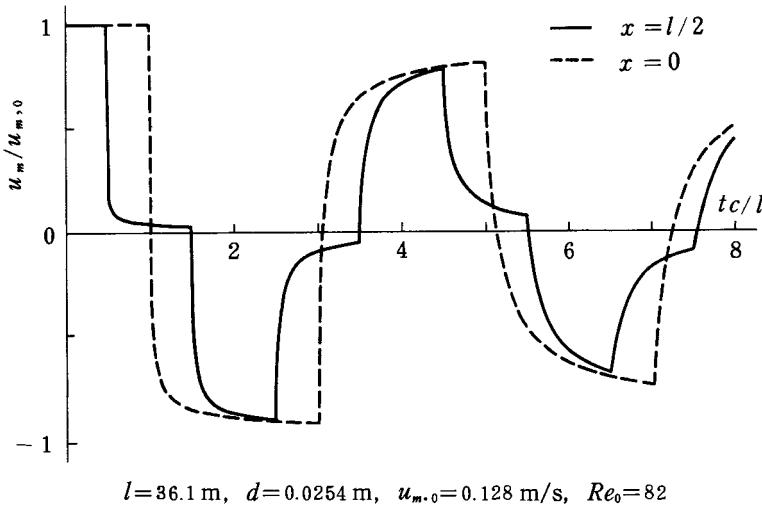


図3 断面平均速度の変化

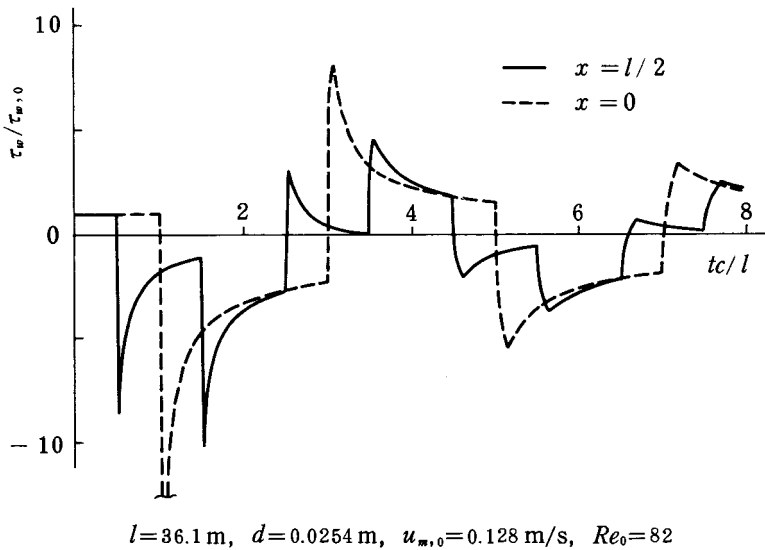


図4 壁面せん断応力の変化

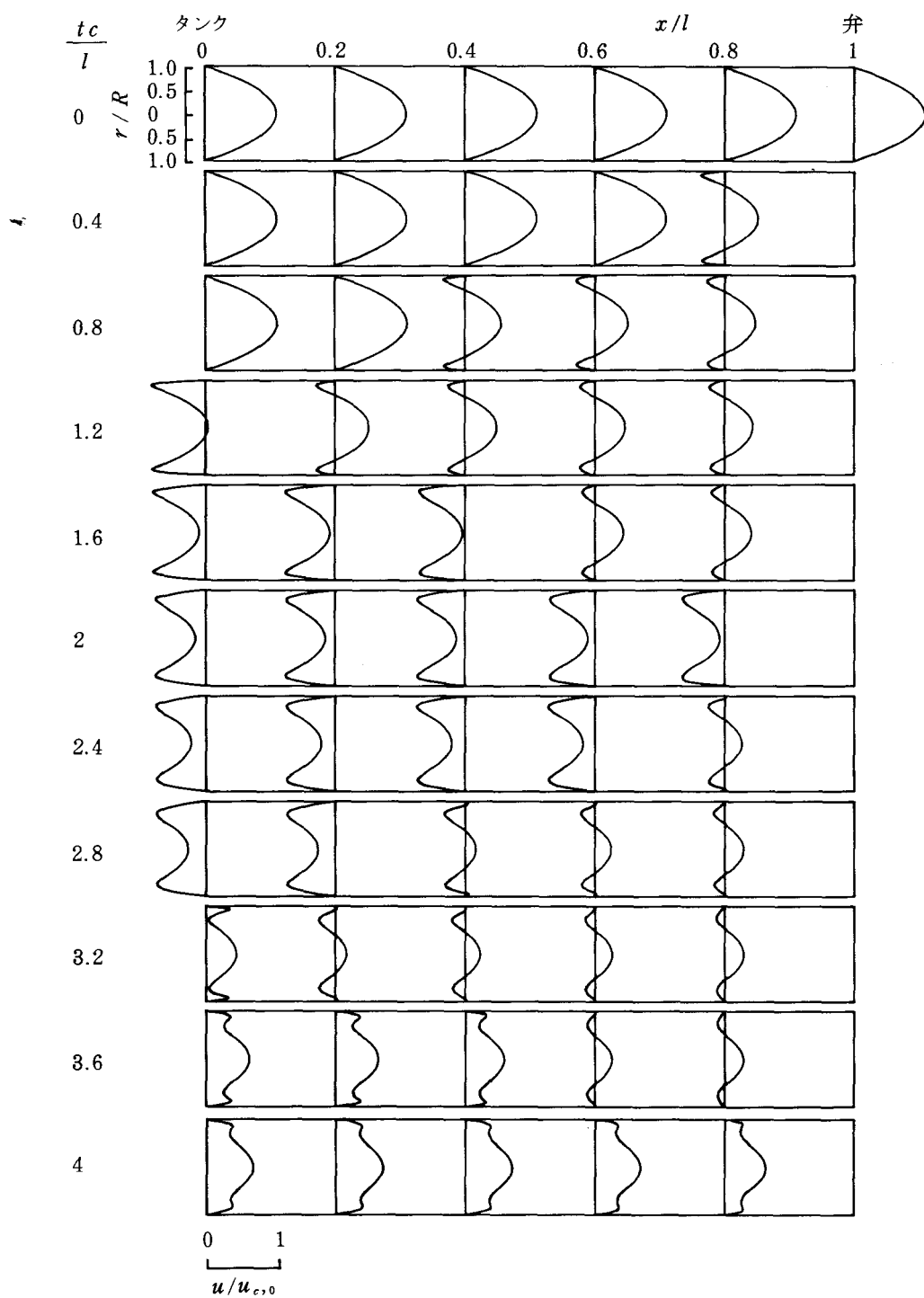
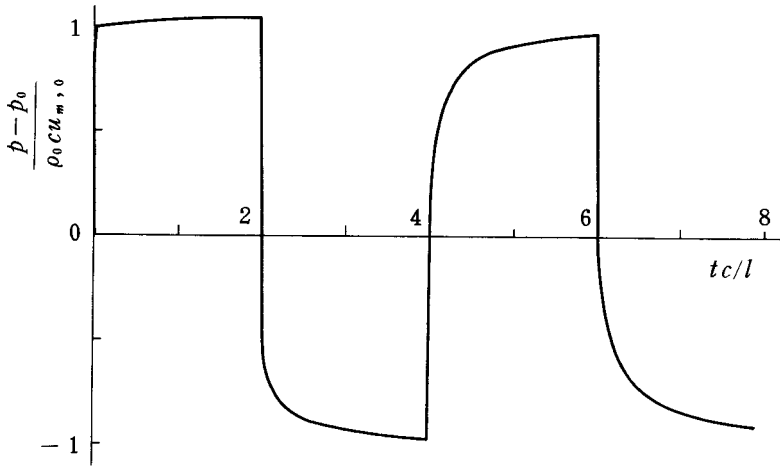


図5 断面上速度分布の1周期の変化

$\rho_0 \lambda u_m |u_m|/8$ を用いる解析法（擬定常解析法）は適当でないということが、ここで示した速度分布の変化からもわかるであろう。

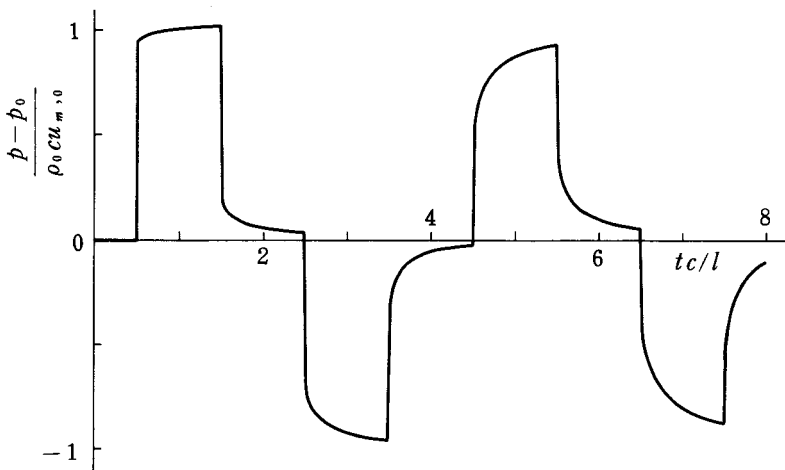
5・2 管路長さの影響

つぎに過渡流れに対して、管路長さ l が圧力、速度分布に及ぼす影響について調べてみた。そこで5・1節の管路条件において、管路長さ l だけを $l=5\text{m}$ と短くしてみた。その結果を図6～8に示す。図6は弁位置の圧力変化、図7は管路中央部の圧力変化であり、図8は断面上速度分布の変化である。これからわかるように、 $l=36.1\text{m}$ の場合と比較して、 $l=5\text{m}$ の場合の方が、圧力の変化は



$$l=5\text{ m}, d=0.0254\text{ m}, u_{m,0}=0.128\text{ m/s}, Re_0=82$$

図6 弁位置の圧力変化（管路長さの影響）



$$l=5\text{ m}, d=0.0254\text{ m}, u_{m,0}=0.128\text{ m/s}, Re_0=82$$

図7 管路中央部の圧力変化（管路長さの影響）

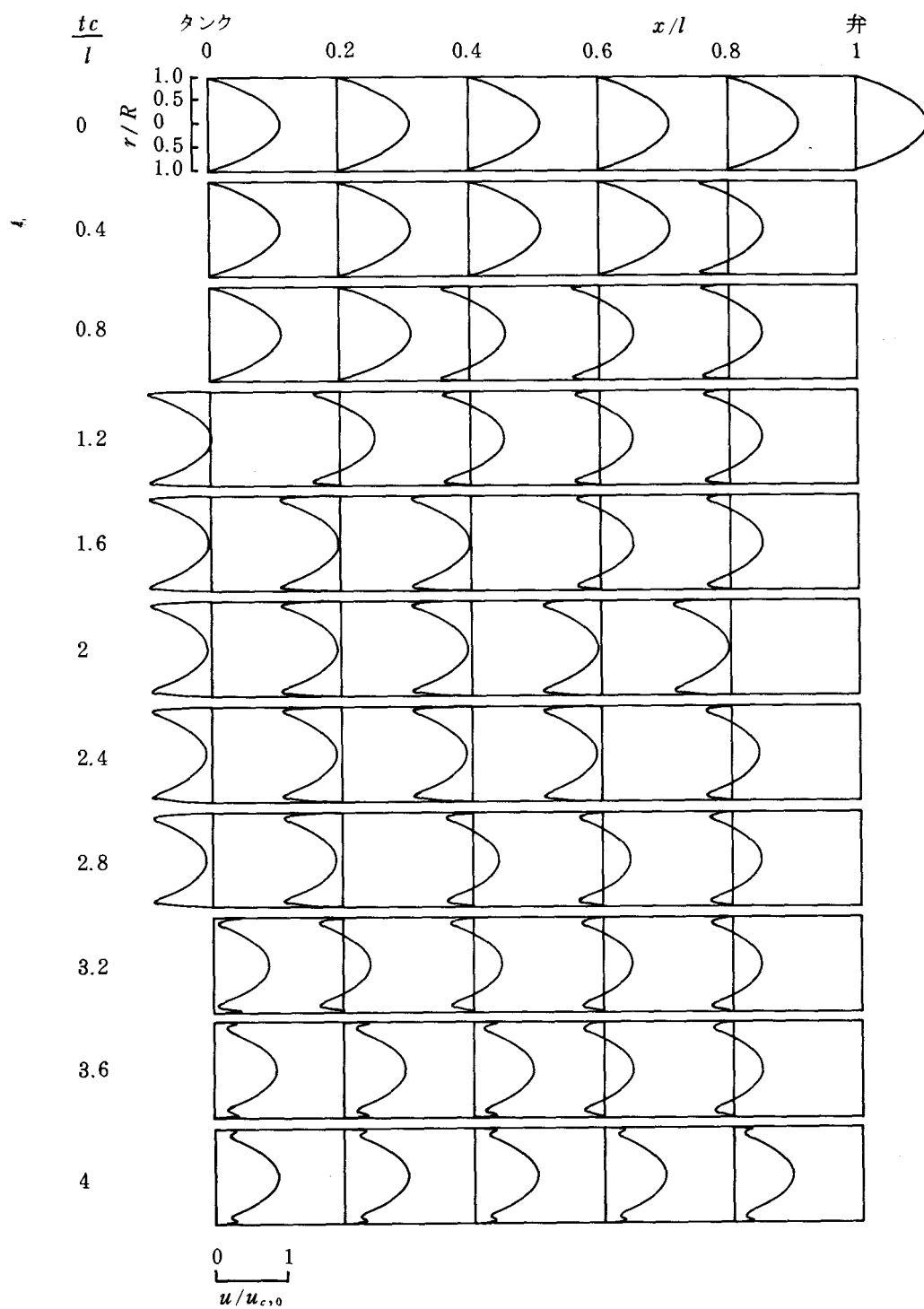
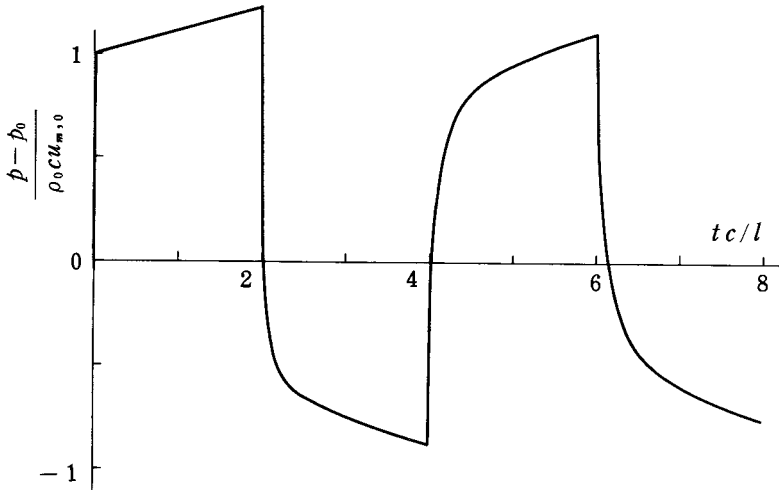


図8 断面上速度分布の1周期の変化(管路長さの影響)

急になり波形の減衰が小さくなる。また速度分布については、 $l=5\text{ m}$ の場合の方が速度分布のピークがより管壁に近くなり、しかも速度の減衰も大きくない。このことは、管路長さが短くなると、圧力波が管路を伝ばする時間が短くなり、したがって摩擦損失が小さくなり、流れの減衰が小さくなる。管路長さを逆に長くすると、短くした場合と逆の現象を示すので、この場合については省略した。

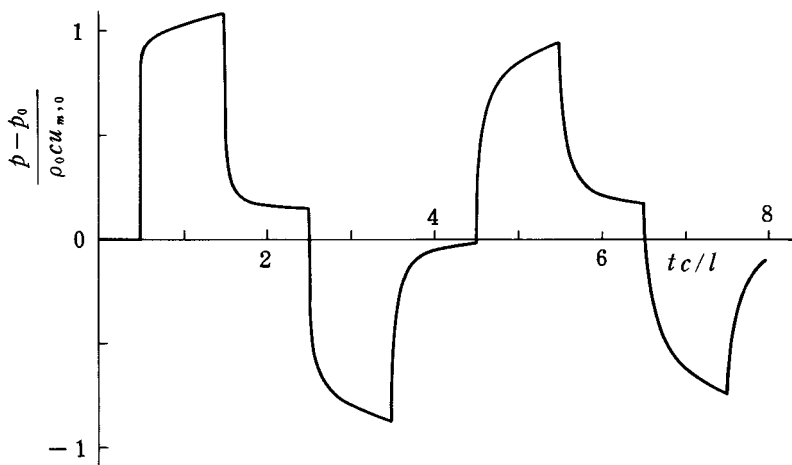
5・3 初期状態が乱流の場合

上記の5・2, 5・3節の流れは層流の場合であるが、初期状態が乱流の場合でも、層流計算が適用できる場合があることを、著者らはすでに報告してきた。⁽⁵⁾すなわち、緒言でも説明したように、初期レ



$l=541\text{ m}$, $d=0.0254\text{ m}$, $u_{m,0}=0.68\text{ m/s}$, $Re_0=20000$

図9 弁位置の圧力変化（初期状態が乱流の場合）



$l=541\text{ m}$, $d=0.0254\text{ m}$, $u_{m,0}=0.68\text{ m/s}$, $Re_0=20000$

図10 管路中央部の圧力変化（初期状態が乱流の場合）

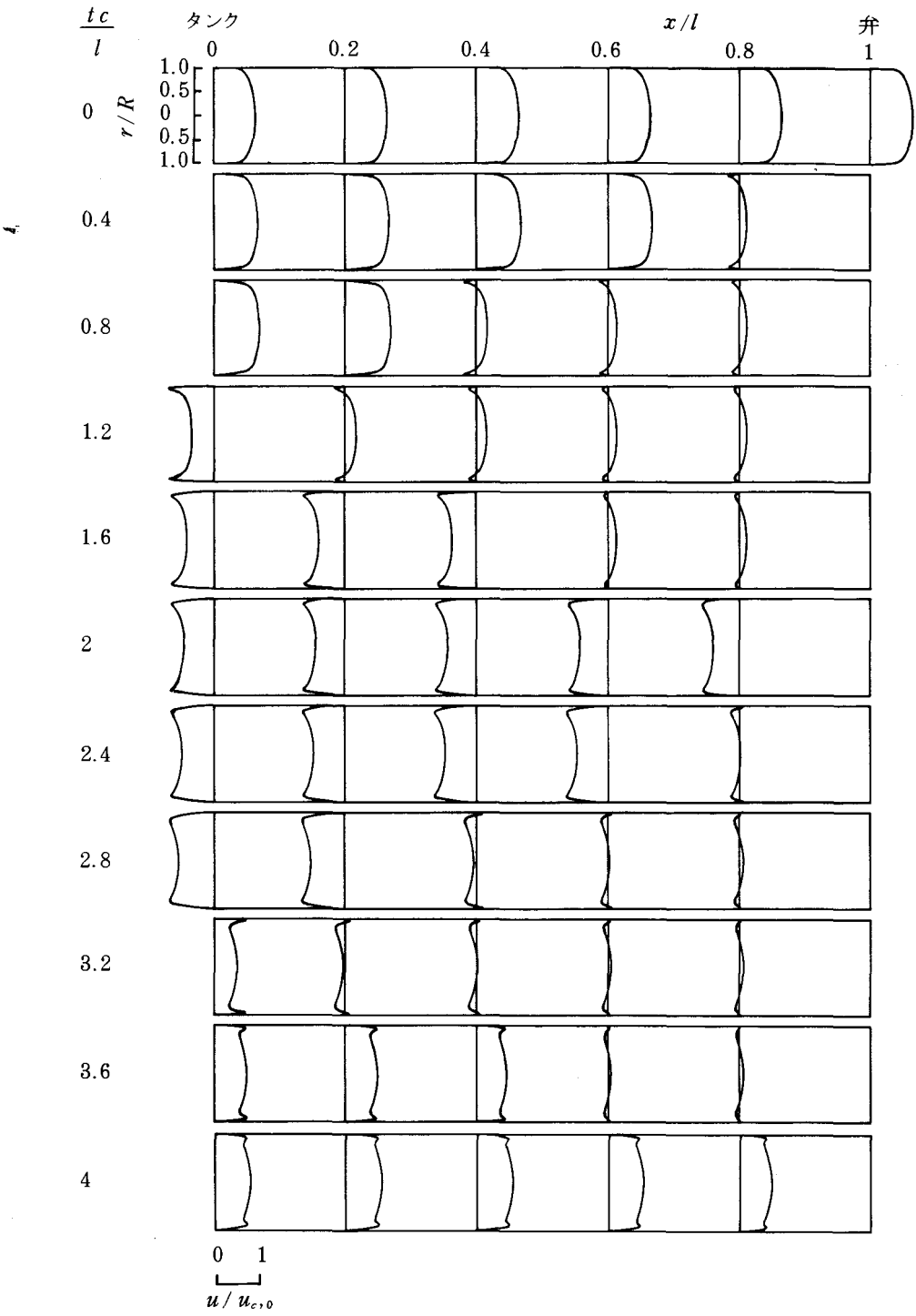


図11 断面上速度分布の1周期の変化(初期状態が乱流の場合)

イノルズ数 $Re_0 = u_{m,0} d / \nu$ が $Re_0 \lesssim 850 \sqrt{\omega'}$ (ω' : 無次元角周波数 $= \omega R^2 / \nu$) であれば、近似的に層流計算が適用できる。本報で取り扱ったような過渡流れに対しては、周波数は $f = c / (4l)$ となるから、無次元角周波数は $\omega' = 2\pi f R^2 / \nu$ と評価できる。そこで本報では、前報⁽⁵⁾では示さなかった層流計算が適用できる限界付近の流れの挙動を調べてみることにした。 $d = 0.0254 \text{ m}$, $l = 541 \text{ m}$ の管路を $\nu = 8.636 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $c = 1350 \text{ m/s}$ の水が $u_{m,0} = 0.68 \text{ m/s}$ の状態で流れる場合を想定すると、 $Re_0 = 20000$, $850 \sqrt{\omega'} = 23000$ となり、 $Re_0 < 850 \sqrt{\omega'}$ であり、しかも Re_0 が $850 \sqrt{\omega'}$ に近い値をとっている。この場合の計算を行ってみた。なお初期値としては、乱流定常速度分布(対数法則の分布)を与えた。弁位置と管路中央部の圧力変化をそれぞれ図9, 10に示す。図11に速度分布の変化を示す。圧力波形は、初期状態が層流の場合と同じような様子を示すが、速度分布の変化についてはかなり異なっている。すなわち、全体的に平坦な分布をとり、管壁付近でピークが生じている。1周期($tc/l = 4$)の速度分布が定常速度分布をとらないことは、前二者(5・1, 5・2節)の計算例の場合と同じである。

6. 結 言

上流端に大きなタンクを持つ水平管路において、下流端の出口弁が瞬間的に閉鎖する場合の過渡流れについて、基礎式を差分近似し、各瞬間の断面上速度分布から壁面せん断応力を求めて、軸方向の圧力、速度の数値計算を行った。そして層流計算が適用できる範囲にわたって、圧力、断面平均速度、速度分布などの変化を調べ、さらに管路条件がそれらにどのような影響を示すかを数値計算によって調べた。

おわりに本研究に対してご助言をいただきました大阪大学工学部近江宗一教授に謝意を表します。また本研究に対して協力された新田弘志氏、山本和宏氏に謝意を表します。

文 献

- (1) Zielke, W., Trans. ASME, Ser. D, **90**-1 (1968), 109.
- (2) 山口・市川, 日本機械学会論文集, **38**-306 (昭47), 321.
- (3) 近江・京免・碓井, 日本機械学会論文集, **47**-424, B (昭56), 2282.
- (4) Holmboe, E. L. and Rouleau, W. T., Trans. ASME, Ser. D, **89**-1 (1967), 174.
- (5) 近江・京免・碓井, 日本機械学会論文集, **50**-457, B (昭59), 1.
- (6) 近江・碓井, 日本機械学会論文集, **41**-342 (昭50), 546.

(昭和59年4月15日受付)

移動熱源による合成層の表面温度上昇について

(機械工学科) 河野正来
灘野宏正

On the Surface Temperature Rise of Composite Solids Caused by Moving Heat Source

Masaki KOHNO and Hiromasa NADANO

The temperature rise generated at the surface of the composite solids that the thermal properties in the surface layer are better than those in the core of the solids when the heat source of which the distribution of heat intensity is assumed to be parabolic moves with a constant velocity on the surface was calculated under a three-dimensional heat flow. From the calculated results it is shown that the effects of the difference between the thermal properties in the surface layer and those in the core of the solids and the thickness of the surface layer on the surface temperature rise are remarkable.

§ 1 緒 言

近年、歯車の歯面に銅めっきなどの被膜を施すことにより、スコーリング及びピッチングに対する負荷能力を向上させる手段がとられている。著者らも、スコーリング強さに及ぼす銅めっきの影響を歯面温度の観点から明らかにした⁽¹⁾ところで、歯面などの摩擦面上に発生した熱源が比較的低速で移動する場合には、熱源の移動方向及び移動方向に対して直角方向にも熱伝導による温度上昇がかなり認められるため、三次元熱流による厳密な温度計算が必要となる。この問題に関しては、熱源の密度の分布が一様な場合についてすでに検討を行った⁽²⁾。

本研究では、表層と素地の熱的性質が異なる物体について、熱源の密度の分布を放物線状とした場合の移動熱源による表面温度上昇式を誘導し、計算を行った。この温度上昇式は、被膜を施した摩擦面が弾性変形する場合の温度計算に有用であると考ええる。

§ 2 記 号

$2a$: 熱源の移動方向に対して直角方向の幅 m	h : 表層の厚み m
K_1 : 表層の熱伝導率 $W/(mK)$	K_2 : 素地の熱伝導率 $W/(mK)$
q_0 : 単位時間に発生する熱源の密度の最高値 W/m^2	
$2R$: 熱源の移動方向の幅 m	t : 時間 s

V : 熱源の移動速度	m/s	θ : 温度	K
κ_1 : 表層の熱拡散率	m ² /s	κ_2 : 素地の熱拡散率	m ² /s
無次元量		$k = \kappa_1/\kappa_2$	
$L = VR/(2\kappa_2)$		$T = \pi K_2 V \theta / (\kappa_2 q_0)$	$X = Vx/(2\kappa_2)$
$Y = Vy/(2\kappa_2)$		$\beta = K_2/K_1$	$\delta = h/R$

§ 3 表面温度上昇式

物体の表層と素地の熱的性質が異なる場合について、移動熱源による表面温度上昇式を求める。本研究では、表層の熱伝導特性が素地のそれに比べて良好で、表層の厚みとその熱容量を無視できるほど薄い場合について考える。ここで、初期条件及び境界条件についてはつぎのような仮定を行った。

- (1) 歯車などの大きさはその接触面に比べてかなり大きいので、物体を半無限体とする。
- (2) 物体内部の初期温度は 0 とする。
- (3) 表面からの熱の損失はないものとする。
- (4) 表層及び素地の熱伝導率、熱拡散率は、温度に関して一定とする。

半無限体の表面に沿って x 軸、それに直角方向に y 軸、深き方向に z 軸をとる。いま、時間 t' に物体の表面上の点 $(x', y', 0)$ に熱量 Q の瞬間点熱源が発生したとすると、この場合の素地の熱伝導の基礎式は

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} = \frac{1}{\kappa_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。また、表層における熱伝導の基礎式は

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\beta}{h} \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{1}{\kappa_1} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。式 (1)、式 (2) を満足し、条件 (1) ~ (4) を満たす解として、時間 t における表面上の点 $(x, y, 0)$ の温度上昇は次式で与えられる。⁽³⁾

$$\begin{aligned} \theta = & \frac{Q\sqrt{\kappa_2}\beta^2 k^2}{8\pi^{3/2} K_2 h^2 \sqrt{k-1}} \int_1^k \frac{S-1}{\sqrt{t-t'} S(k-S)^{3/2}} \exp \left\{ -\frac{\kappa_2 \beta^2 k^2 (t-t')(S-1)^2}{4h^2(k-1)(k-S)} \right\} \\ & \times \exp \left\{ -\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{4\kappa_2(t-t')S} \right\} dS \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

いま、面熱源の大きさを x 軸方向に $2R$ 、それに直角方向に $2a$ の長方形で、熱源の密度の分布を x 軸方向に放物線状とすると、熱源の密度の分布形状は

$$\begin{aligned} q(x', y') &= q_0(1-x'^2/R^2) \\ (-R \leq x' \leq R, -a \leq y' \leq a) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表される。したがって、図 1 に示すようにこの面熱源が表面上を等速度 V で x 軸方向に移動する

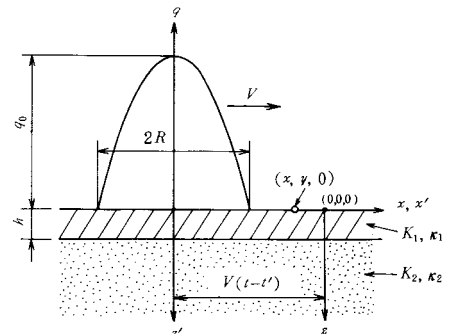


図 1 移動熱源と座標
(紙面に直角方向に y, y' 軸をとる)

とき、定常状態における表面上の点 $(x, y, 0)$ の温度上昇 θ は

$$\theta = \frac{q_0 \sqrt{\kappa_2} \beta^2 k^2}{8\pi^{3/2} K_2 h^2 R^2 \sqrt{k-1}} \int_0^\infty \int_1^t \int_{-a}^a \int_{-R}^R \frac{(S-1)(R^2-x'^2)}{\sqrt{\tau} S(k-S)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{\kappa_2 \beta^2 k^2 \tau (S-1)^2}{4h^2(k-1)(k-S)}\right\} \\ \times \exp\left\{-\frac{(x-x'+V\tau)^2+(y-y')^2}{4\kappa_2 \tau S}\right\} dx' dy' dS d\tau \quad \dots\dots\dots (5)$$

で表される。ただし、 $\tau=t-t'$ とする。式(5)を無次元量を使って表すと

$$T = \frac{\sqrt{2\pi} \beta^2 k^2}{16\delta^2 L^4 \sqrt{k-1}} \int_0^\infty \int_1^t \frac{\sqrt{u}(S-1)}{(k-S)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{\beta^2 k^2 u (S-1)^2}{8\delta^2 L^2 (k-1)(k-S)}\right\} \\ \times \left[(L^2 - X^2 - 2Xu - Su - u^2) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{X+L+u}{\sqrt{2Su}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{X-L+u}{\sqrt{2Su}}\right) \right\} \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{2Su}}{\sqrt{\pi}} \left[(X+L+u) \exp\left\{-\frac{(X-L+u)^2}{2Su}\right\} - (X-L+u) \exp\left\{-\frac{(X+L+u)^2}{2Su}\right\} \right] \right] \\ \times \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{Y+A}{\sqrt{2Su}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{Y-A}{\sqrt{2Su}}\right) \right\} dS du \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。ただし、 $u=V^2\tau/(2\kappa_2)$,

$$\operatorname{erf}(\lambda) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\lambda \exp(-r^2) dr \quad \dots\dots\dots (7)$$

とする。

つきに、半無限体の表層と素地の熱的性質が同一の場合 ($k=1, \beta=1$)、すなわち表層の厚みが0の場合には表面上の点 $(x', y', 0)$ に発生した瞬間点熱源による表面温度上昇は次式で与えられる。

$$\theta = \frac{Q}{4\pi^{3/2} \sqrt{\kappa_2} K_2 (t-t')^{3/2}} \exp\left\{-\frac{(x-x')^2+(y-y')^2}{4\kappa_2(t-t')}\right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがって、式(4)で表される面熱源が表面上を等速度 V で x 軸方向に移動するとき、定常状態における表面温度上昇は式(8)を熱源の領域及び時間について積分し、さらに無次元量を使って表すと

$$T = \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{2} L^2} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{u}} \left[(L^2 - X^2 - 2Xu - u - u^2) \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{X+L+u}{\sqrt{2u}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{X-L+u}{\sqrt{2u}}\right) \right\} \right. \\ \left. + \frac{\sqrt{2u}}{\sqrt{\pi}} \left[(X+L+u) \exp\left\{-\frac{(X-L+u)^2}{2u}\right\} - (X-L+u) \exp\left\{-\frac{(X+L+u)^2}{2u}\right\} \right] \right] \\ \times \left\{ \operatorname{erf}\left(\frac{Y+A}{\sqrt{2u}}\right) - \left(\frac{Y-A}{\sqrt{2u}}\right) \right\} du \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる。式(6)、式(9)は解析的には求められないので、ガウスの積分公式を使用して計算を行った。

§ 4 計算結果

面熱源の大きさが一辺を $2R$ とする正方形 ($a=R$) で、熱源の密度の分布が放物線状の半放物線柱状分布熱源が、比較的低速の $L=1$ で移動する場合の表面温度上昇の計算例を図2に示す。図中、縦軸は温度上昇を無次元量 T で示し、横軸は熱源の移動方向の位置 (x 座標) を無次元量 X/L で示したもので、熱源の中心が x の負の位置から原点 0 まで進んだ状態を表す。無次元量 Y/A は熱源の移動方向に対して直角方向の位置 (y 座標) を示す。 $k=1$ (表層と素地の熱拡散率が同一) の場合には式(9)を用い、 $k=10$, $k=100$ の場合には式(6)を用いて計算を行い、 $\delta=0.1$, $\beta=1/k$ とした。

$k=1$ の場合には、熱源の領域内 ($-1 \leq X/L \leq 1$, $-1 \leq Y/A \leq 1$) の温度上昇に比して、熱源の領域外の温度上昇は小さく、とくに熱源の前方における温度上昇はわずかである。

しかしながら、表層の熱伝導特性が素地のそれに比べてきわめて良好な $k=100$ の場合には、熱源領域外の温度上昇が顕著である。

図2の場合の等温線図を図3に示す。図中、破線で囲んだ部分は熱源の領域を示す。また、一点鎖線は温度上昇の極大値が生じる位置 (熱源の移動方向の温度こうばいが 0) を示しており、この曲線より前方 (X/L の正の方向) では物体の表面は加熱状態にあり、逆に後方では物体の表面は冷却状態にある。 k の増加につれて、温度分布は温度上昇の最高値を示す位置を中心として

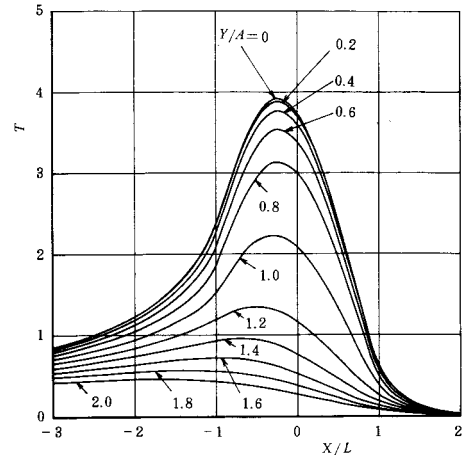
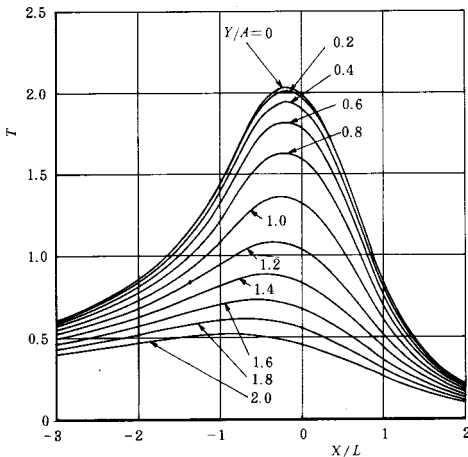
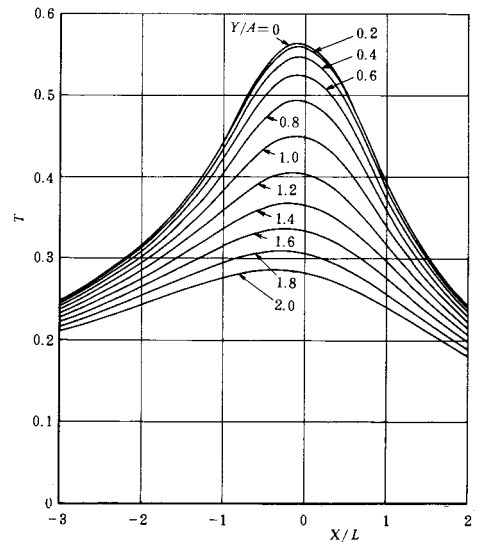
(a) $k=1$ (b) $k=10$ (c) $k=100$

図2 T と X/L の関係
($L=A=1, \delta=0.1, \beta=1/k$)

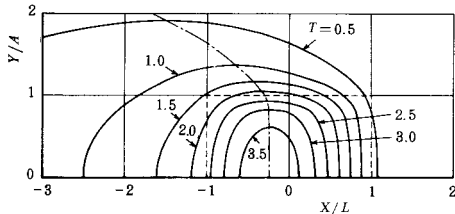
ほぼ同心円状となり、しかも温度上昇の極大値が生じる位置は熱源の中心よりわずかに後方にとどまる。

$\delta=0.01$ 及び $\delta=0.1$ の場合について、 T と X/L の関係を図4に示す。いずれの場合も $L=A=1$, $Y/A=0$, $\beta=1/k$ である。表層の厚みがきわめて薄い $\delta=0.01$ の場合には、 k の T に及ぼす影響は比較的小さい。一方、 $\delta=0.1$ の場合には k の増加につれて T の最高値は急激に減少しており、表層と素地の熱的性質の違いが問題となる。

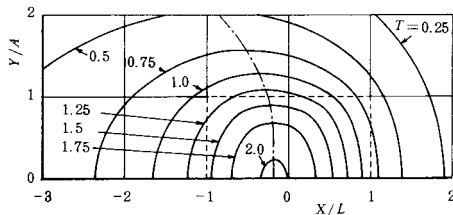
図5は、表面温度上昇の最高値の無次元量 T_{\max} と熱源の移動速度の無次元量 L の関係を示す。いずれの場合の T_{\max} も、 L の増加につれてほぼ一様に上昇しており、低速 ($L \leq 0.5$) ではほぼ $T_{\max} \propto L^{0.9}$ の関係で表される。

§ 5 結 言

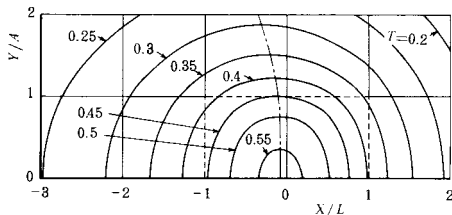
表層と素地の熱的性質が異なる物体の表面上を熱源の密度の分布が放物線状の面熱源が移動する場合の表面温度上昇について、三次元熱流と考えた場合の温度上昇式を導き、種々の条件について計算



(a) $k=1$

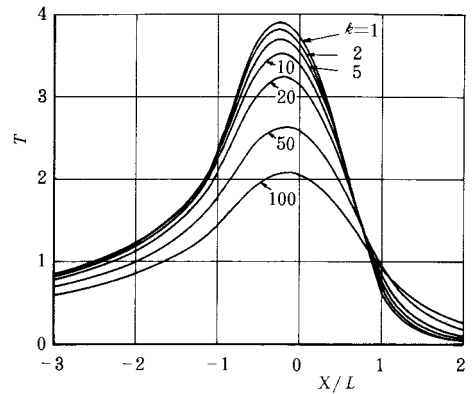


(b) $k=10$

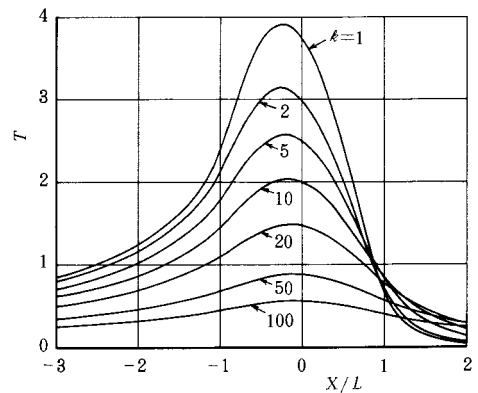


(c) $k=100$

図3 表面の等温線図
($L=A=1$, $\delta=0.1$, $\beta=1/k$)



(a) $\delta=0.01$



(b) $\delta=0.1$

図4 T と X/L の関係
($L=A=1$, $Y/A=0$, $\beta=1/k$)

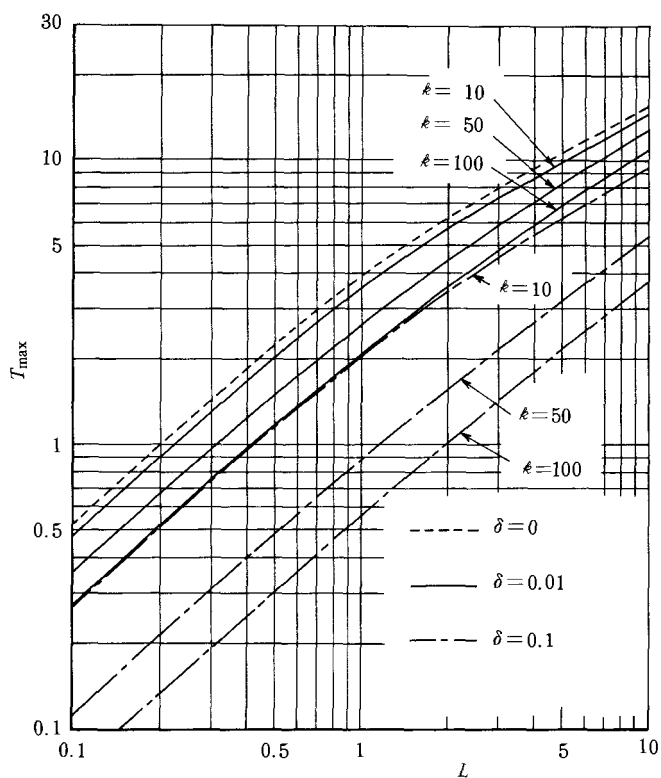


図5 T_{\max} と L の関係 ($A=L$, $\beta=1/k$)

を行った。その結果、表層と素地の熱的性質の違い及び表層の厚みの表面温度上昇に及ぼす影響は顕著であることが明らかになった。したがって、表層に薄い銅などのめっきを施した場合の歯車やローラ等における摩擦面の温度上昇を計算する場合には、物体の熱的定数値及び表層の厚みを正確に把握する必要がある。

文 献

- (1) 寺内・灘野・河野, 機論, 50-450, C (昭59), 379.
- (2) 寺内・灘野・河野, 機講論, No 830-8 (昭58-8), 209.
- (3) Carslaw, H. S. and Jaeger, J. C., *Conduction of Heat in Solids*, (1959), 374, Oxford Univ. Press.

(昭和59年4月15日受付)

三波長域発光形蛍光ランプの電源による 演色性の変化の研究

(電気工学科) 原 田 一 彦

A Study of a Change of the Color Rendering Properties of Three-band Fluorescent Lamps by Electric Sources

Kazuhiko HARADA

Concerning a three-band fluorescent lamp in the shape of an electric bulb, we studied, in the same way as last time, a change of the color rendering properties in the case of changing voltage and frequency by the electric sources of a sine wave and a rectangular wave, using color rendering chips of common colors for observation.

Without relation to the type of wave, we could distinguish every color chip even if we changed voltage or frequency, and the rendering properties were very good. Then the color temperature was definite, 5000K, in every case. As for a change of lightness by voltage, it changed more greatly than an incandescent color fluorescent lamp. Moreover lighting this lamp by a sine wave was brighter than lighting it by a rectangular wave and the difference of these was about 40%.

§ 1 緒 言

電球形の蛍光ランプは、普通の電球用ソケット(E26)でそのまま電球と同じように手軽に使用できる便利さから普及しつつある。光色は、色温度2800 Kの電球色、4200 Kの白色と5000 Kの三波長域発光形の3種類があるが、電球色蛍光ランプについては、前回実験をし報告した¹⁾。

今回は、三波長域発光形蛍光ランプについて前回と同様に、正弦波と矩形波の電源で点灯し、電圧と周波数を変えた場合の演色性の変化について、演色評価色票2(観察用慣用色)を使用して吟味した。

§ 2 三波長域発光形蛍光ランプと演色評価色票2(観察用慣用色)

2・1 三波長域発光形蛍光ランプ

蛍光ランプの効率と演色性は相反するのが普通である。しかし、Thorton や Koedam らは、3本の線スペクトル又は狭い発光帯をもつ蛍光体の組合せで、効率、演色性共に良好な蛍光ランプを作ることが可能であることを発表した²⁾。Vestegen らは、これらの蛍光体として、赤成分は611 nmにピークをもつ(Y, Eu)₂O₃、緑成分には543 nmにピークをもつ(Ce, Tb)Mg₂Al₁₆O₂₇、青成分としては450 nmにピークをもつ(Ba, Eu)Mg₂Al₁₆O₂₇を使用した蛍光ランプを提案している³⁾。さらに、我

が国では、日本人の肌色を好ましくする工夫や⁴⁾、緑色発光成分として、セリウム・テレビウム付活けい酸イットリウム蛍光体の開発およびクリプトン混合希ガスをランプ封入ガスに採用するなどの開発がなされている⁵⁾。

図1は、三波長域発光形蛍光ランプの分光分布を、また、表1は供試蛍光ランプの特性を示したものである。

2・2 演色評価色票2(観察用慣用色)⁶⁾

前回の実験に使用したのと同じ照明学会出版のカラーチャートである。しろ、はいろ、はだいろは人間が最も敏感に色違いを感じる色であるから、これら8色(N9, N5, 5YR7/4)の周囲には、それぞれ

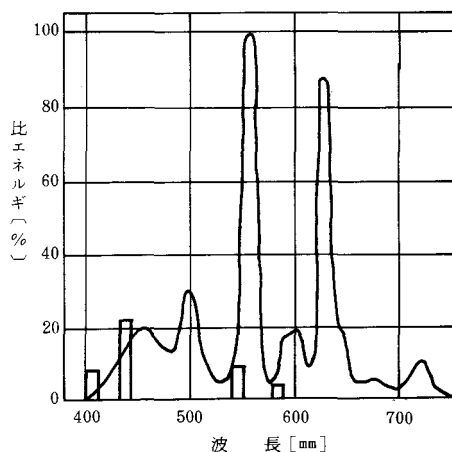


図1 三波長域発光形蛍光ランプの分光分布

表1 三波長域発光形蛍光ランプの特性

口 金	光源色	定格電圧 (V)	周 波 数 (Hz)	定格消費電力 (W)	定格入力電流 (A)	下方光度 (cd)	平均演色評価数 (Ra)
E26	色温度 5000K	100	60	17	0.28	65	83

4色の色票が添えてある。N9には、5Y9/1, 5G9/1, 2.5PB5/1 および 5R9/1 で、N5には5Y5/1, 5G5/1, 2.5PB5/1 および 5R5/1, 5YR7/4には、5YR7/6, 7.5YR7/4, 5YR7/2 および 5YR7/4である。あか、きいろ、みどりおよびあおの4色は一般的な色で、これらの周囲には、それぞれ8色の色票が添えてある。5R4/12には、7.5R4/12, 5R4/10, 2.5R4/12, 5Y8/12には、7.5Y8/12, 5Y8/10, 2.5Y8/12, 5G5/8には、2.5G5/8, 7.5G5/8, 5G5/6, 2.5PB4/8には、2.5PB4/6, 10B4/8, 5PB4/8である。これらは、残る一方向への色ズレは稀なので省略されている。これらの色票は、演色性がくずれている光源の照明下では、中心色が周囲のいずれかの方向にずれて見える。

以上の7色のはかに、むらさき(7.5P4/8)、ピンク(2.5R7/6)、そらいろ(10B6/6)、オレンジ(5YR6.5/12)、ちやいろ(5YR3.5/3)、クリーム(5Y9/3)およびオリーブグリーン(7.5GY4/4)の7色は、比較的容易に認められるので周囲の色を省略している。

§3 実験と結果

前記の電球形をした三波長域発光形蛍光ランプを、正弦波と矩形波で電圧を変化させた場合と、定格電圧(100V)で周波数を50~70Hzの範囲で変化させたときの演色性のずれを中心に、机上面の照度と色温度の変化を測定した。演色性の実験は、19~20歳の色覚正常な男子5名により、演色評価色票2(観察用慣用色)の見え方のずれをアンケート方式で行なった。

3・1 電圧を変化させた場合

図2は、正弦波の定格電圧100Vにおける机上面のある点の照度を基準としたときの照度の変化を示す。前回の電球形蛍光ランプに比較して、定格電圧から離れるほど変化の割合が大きく、85Vおよ

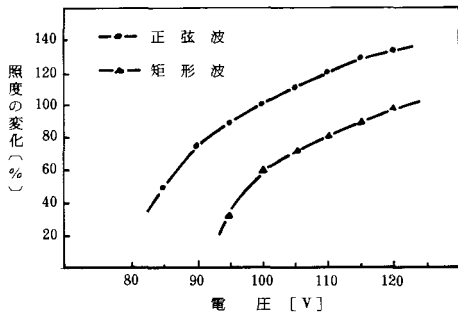


図2 三波長域発光形蛍光ランプの電圧による照度特性

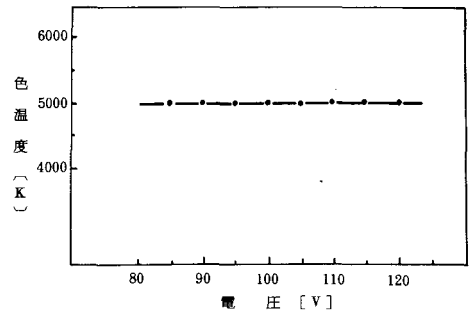


図3 三波長域発光形蛍光ランプの電圧による色温度特性

び120 Vでは約10%の差があった。また、電球色蛍光ランプは、矩形波電源では正弦波に比べて変化が急であったが、三波長域発光形蛍光ランプではその差がなく同じ傾向の変化となった。そして、両者の照度差は約40%であった。

色票による演色性のずれはほとんどなく、両波形電源ともに低い電圧で若干 5G5/8 が 5G5/6 にずれると答えた被験者が1名いたのみで、どの色票もはっきりと区別ができ、きれいに鮮かに見えると答えた。しかし、図2からわかるように電圧を高くすると照度が急に高くなるので、明るさが大きく変化してくる。これは、以前に直管形蛍光ランプで実験をしたが⁷⁾、同じ結果となった。

色温度は、図3に示すようにあらゆる場合5000 Kの一定で、非常に安定していた。

これらの結果は、以前にマイコンを使用して実験した結果と一致している。⁸⁾⁹⁾

3・2 周波数を変化させた場合

電圧を変化させた場合と同じく正弦波の定格電圧(100 V)および定格周波数の60 Hzで点灯した場合の机上面のある点の照度を基準とし、電圧はそのままで、周波数を50～70 Hzの範囲で変えたときの照度の変化が図4である。定格より低い周波数では、安定器のインピーダンスの変化で光束が増し照度が高くなる。正弦波と矩形波による変化の状態は、電圧の場合と同じく同一の傾向を示した。そして、両者による照度の差は35～40%程度であった。

色票による演色性のずれの変化は全然無く、あらゆる色票がはっきりと区別で鮮やかにきれいに見えると答えた。したがって、演色性は周波数に対して非常に安定していることがわかった。

図5に示すように、色温度は一定であった。これより、三波長域発光形蛍光ランプの色温度は、電

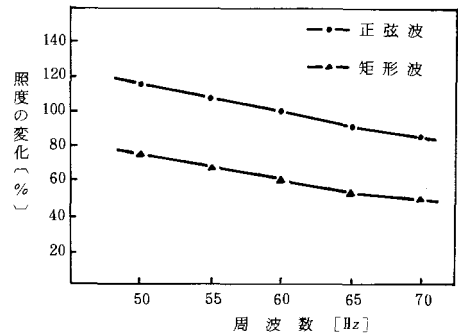


図4 三波長域発光形蛍光ランプの周波数による照度特性

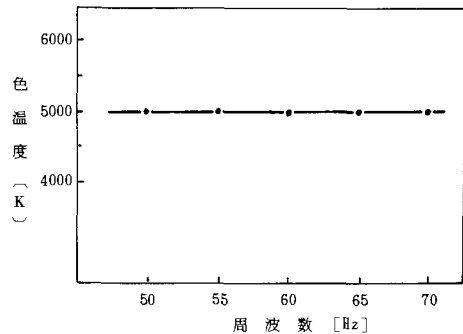


図5 三波長域発光形蛍光ランプの周波数による色温度特性

圧, 波形, 周波数によって変化することなく極めて安定であるといえる。

電球色蛍光ランプは, 2.5PB4/8, 5R4/12, 5Y8/12 および 5G5/8 の4色でずれを生じ, 特に5G5/8 と 5Y8/12がその傾向が大きかった。しかし, アンケートの結果によると三波長域発光形蛍光ランプでは, あかの色がとても鮮かにはっきりと区別をすることができ, きいろについても同様であった。したがって, この蛍光ランプは, 電源の電圧, 波形および周波数に対して演色性は安定しており, 色別をしたり色をはっきりと見させるのには最適の光源である。

§ 4 結 言

電球形をした三波長域発光形蛍光ランプは, 電圧, 波形(正弦波と矩形波), 周波数の変化に演色性は変わらず, 正確に色を見ることができる。しかし, 電圧に対しての明るさの変化は電球色蛍光ランプよりも大きかった。そして, 正弦波と矩形波での, 電圧および周波数に対する特性は電球色タイプと違って同じ傾向を示した。色温度も, 絶えず一定の5000 Kで極めて安定であった。したがって, 色彩を大切にする場合の照明にふさわしい蛍光ランプである。

最後に, 実験に協力していただいた5名の方々に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 原田一彦: 呉高専研究報告 19巻 2号 (昭59) 45
- 2) W. A. Thornton: J. Opt. Soc. vol. 61 (1971)
- 3) J. M. P. J. Verstegen et. al.: J. of IES vol. 5 (1975)
- 4) 神谷はか: 昭53年照明学会全国大会講演論文集 12
- 5) 相田はか: 昭54年照明学会全国大会講演論文集 4
- 6) 照明学会: 照明デザインに役立つ演色評価色票 (昭58)
- 7) 原田一彦: 呉高専研究報告 16巻 1号 (昭55) 53
- 8) 原田一彦: 呉高専研究報告 18巻 2号 (昭58) 89
- 9) 原田一彦: 呉高専研究報告 19巻 1号 (昭58) 57

(昭和59年4月15日受付)

システム工学教育における マイクロコンピュータシステムの利用

(電気工学科) 山 崎 勉
(機械工学科) 藤 田 幸 史

Utilization of Microcomputers System in Training of Systems Engineering

Tsutomu YAMAZAKI
Yoshifumi FUJITA

In this paper, the result of an attempt with a microcomputer system in education of some optimizing techniques in systems engineering is reported.

The trainings are carried out at the joint training center of microcomputer technique in Kure technical college, established in March 1983. FORTRAN is used as a programming language, to learn linear programming technique, simplex method, and non-linear programming techniques, Newton-Raphson's, some of the gradient method and two-point boundary problem corresponding to Pontryagin's maximum principle.

§ 1 まえがき

情報化社会の進展に一層の加速を与えた要因の一つとして、パーソナルコンピュータやマイクロコンピュータに代表される安価な計算機システムの登場が挙げられる。それと同時に見逃がせないのが、これらのシステムにおいては従来使用されていたアセンブラ、FORTRAN に代表されるような高級言語での利用が可能となった事である。

マイクロコンピュータ関連技術は、従来から進められてきた工場における自動化やロボットの開発とともに急速に発展し、ハードウェア主体から漸次ソフトウェアを充実させ汎用機としての利用が可能となった。最近では工場の自動化(FA)から、事務所内での自動化(OA)はもちろんのこと、近い将来には家庭の自動化(HA)までが考えられるようになった。⁽¹⁾

このような情勢の中で生産活動に占める人間の役割も変化しつつあり、技術者として要求される能力も同様に変化してきている。例えば、CAD(計算機支援設計)は現在ほとんどの分野で利用されている。すなわち、大型計算機のTSS端末を利用してCRTモニターを見ながら、キーボードより入力し対話形式で設計を進め最終結果まで出力させ、必要に応じ製図まで計算機ですることが行なわれ

ている。このような計算機を利用したシステムの数は増加の一途をたどり、将来を担う技術者にとって計算機を使いこなせることは非常に重要な条件となることは明白である。

このような状況のもとで本校においても昭和58年3月にマイコン教育共同実習センター（以下マイコンセンターと呼ぶ）が開所され、マイクロコンピュータ技術の教育および実習への第一歩が印された⁽²⁾。本校設置のマイコン教育システムは、8ビットパーソナルコンピュータ21台（教師用および20台の学生用端末）と4台のX-Yプロッタにより構成され、LAN化（ローカル・エリア・ネットワーク）され、それぞれの間で任意に通信ができるようになっている⁽³⁾。そして、各装置単独での運転も言うまでもなく可能である。また、本システムはすべてDOS（ディスク・オペレーティング・システム）となっているため、フロッピーディスクの交換によりアセンブラ、BASIC、FORTRANおよびPASCAL等の各種言語の利用が可能である⁽⁴⁾。これにより、当システムはマイクロコンピュータのハードウェアから、一般の情報処理のソフトウェアに至る広範囲の実習教育が可能となり、多目的生産技術自動化装置としての役割を十分果たすと期待できる。

ところで、実際に本システムを利用する方法はいろいろ考えられ、各専門分野により相当異なる。ソフトウェアを主とする情報処理教育やより高度の使用法としての小規模CADとしての利用はほぼ共通に考えられ、一方ハードウェアをも含む情報処理の必要性も考えられ、この場合には本システムの他に目的に応じた端末の製作とその接続の必要がある。現在のところ、このような利用法は卒業研究等で利用される程度で、それ以外の学年での実習教育での利用法は今後逐次整備されていくものと思われる。

本報告は、システム工学において重要な最適化技法のアルゴリズムの理解の徹底を図るため、マイコンセンターを利用してプログラミング言語としてFORTRANを用い演習を行ったので、その結果と問題点を述べるものである。

§ 2 システム工学と計算機利用

2.1 計算機利用の目的

計算機の利用方法は各分野によって異なり、また利用目的によっても大きく変化する。CADとして用いる場合には、必要に応じて用意されたソフトウェアを利用するだけで設計に必要なプログラムの内容を詳しく知る必要はない。しかし、少なくともその基本的理論を修得していることは重要と考えられ、場合によっては設計計算に必要なプログラムを自分で作成しなければならない。すなわち、アルゴリズムを把握していることが大切であると考えられる場合である。（特に教育を目的としている）この場合、理論だけでは不十分で例題により実際に計算プログラムを作成し、それを確認することが大切である。

ところで、システム工学における各種の最適化理論の教育の場合においても、その理論を理解しているだけでなく実際にそれを利用できる事が重要である。簡単な例題を手計算で解くのみでは、そのアルゴリズムの修得は難しいと考えられる。また、より現実に近い問題を解く場合、その問題はより大規模かつ複雑となり、手計算では困難となる事は明白である。そこで、計算機を利用したアルゴリズム把握のための演習が必要となる。

2.2 マイコンセンターの利用

さて、計算機演習の方法としては、マークシートまたはパンチカードを用いて中・大型計算機を利用する事が考えられるが、ここではマイコンセンターの計算機システムを利用した。その理由は、このシステムによる演習は計算機システムを自分で操作しながら利用するため、計算機システム構成の理解に役立ち、大型計算機等にみられる対話形式の利用法に近く、各個人で自由に計算機の使用がで

きるためである。その他、キーボードの使用に慣れる事もある。最も重要な理由の一つとして、20台の装置を同時に利用できるのも、バッチ処理で行なわれるカードシステムの場合に比べより短い時間で多くの演習が可能と考えられることである。また、プログラムの作成や修正はCRTモニタをみながらキーボードより行い、保存はフロッピーディスクを用いるためカードは不要となりプログラムの保存、消去が容易であるなどが挙げられる。

2.3 使用言語

プログラミング言語はFORTRANを使用した。これは、FORTRANがプログラム言語として情報処理教育において重要な地位を占め、最も広く利用されかつ教育されているためである。またここでの計算機システムの利用の主たる目的は単なるプログラミング言語の実習ではない事もある。幸いにも本校、特に対象となる電気工学科5年生では、低学年でFORTRANを主体とした情報処理の授業が行なわれているため、プログラムの作成がこの言語の使用により比較的容易であると考えられる。また、従来より開発利用されているプログラムが使用できるが、この点についてはその利用法により良くも悪くもなりうる。その他現在、科学技術計算において最もよく利用されている言語であり、システム工学においてもその実用性が高い。

このことは、最近のパーソナルコンピュータでもFORTRANに代表される高級言語の使用が可能な機種が増加してきた事からもわかる。なお、使用したFORTRANはほぼ標準的なレベルのものであるが、入出力の機器番号は表1に示すようになっている。

表1 入出力機器番号

データセット番号	装 置
1	未 使 用
2	プ リ ン タ
3	ディスプレイ、キーボード
4～8	ディスクファイル

2.4 システム工学と計算機利用の関係

さて、システム工学におけるシステム理論教育関係⁽⁵⁾の項目中、計算機利用に継がるものとしては各種の最適化の手法、システムシミュレーションおよびこれらに関連して各種の数値計算の手法が挙げられる。ここでは、最適化の手法を主として扱い数値計算の手法もいくつか取り挙げた。システムは静的システムと動的システムに大別される。まず、静的なシステムに対する最適化の手法は最も基本的な項目として線形計画法(LP)があり、数理計画法のうちで最も広く実用されている方法である。それに対し、非線形計画も重要で中でも各種傾斜法や二次計画法、ラグランジ乗数法および極値探査などの項目が挙げられる。動的なシステムに対する最適化の手法は、ポントリャーギンの最大原理によるもの(MP)とベルマンのダイナミックプログラミング(DP)がある。これらのうち今回実施した項目は大別すると次の4項目である。(1)シンプレクス法 (2)ニュートンラフソン法 (3)傾斜法(最大傾斜法, 最適傾斜法) (4)二点境界値問題(オイラー法, ルンゲクッタ法)これはポントリャーギンの最大原理より導かれる問題である。各項目に対する例題は後で簡単に説明する。

2.5 マイコンセンターでの計算機システムの使用法

次にマイコンセンターの具体的利用法について述べる。計算機システムは20台の学生用端末(ソードM23markⅢとシリアルドットプリンタSLP-80)があるので、2名で1台を利用するように班分けし、各組に対しFORTRAN用のフロッピーディスクを貸与した。このフロッピーディスクは年間通して各組同一のものを使用させた。各端末はLAN化されているが、今回はその利用は行なわないで、主に各端末を独立した計算機システムとして利用した。

FORTRANによるプログラムの作成手順は、図1に示す流れに従って行なわれる。まず、OSを

起動する(図中1~3)と同時に必要なファイルが存在するか確認する(4)。また、フロッピーディスクに未使用部分があるのも確認する。次のようなファイルが必要である。EDITまたはSED, FORT, LINK。次にエディタ(EDITまたはSED)を呼び出した後(5), ファイル名を登録(6), FORT RANのプログラムをキーボードより打込む。(7)エディタはEDITとSEDが利用できるが, SED(スクリーンエディタ)の方がプログラムの修正等に便利であるので主としてこれを利用した。この

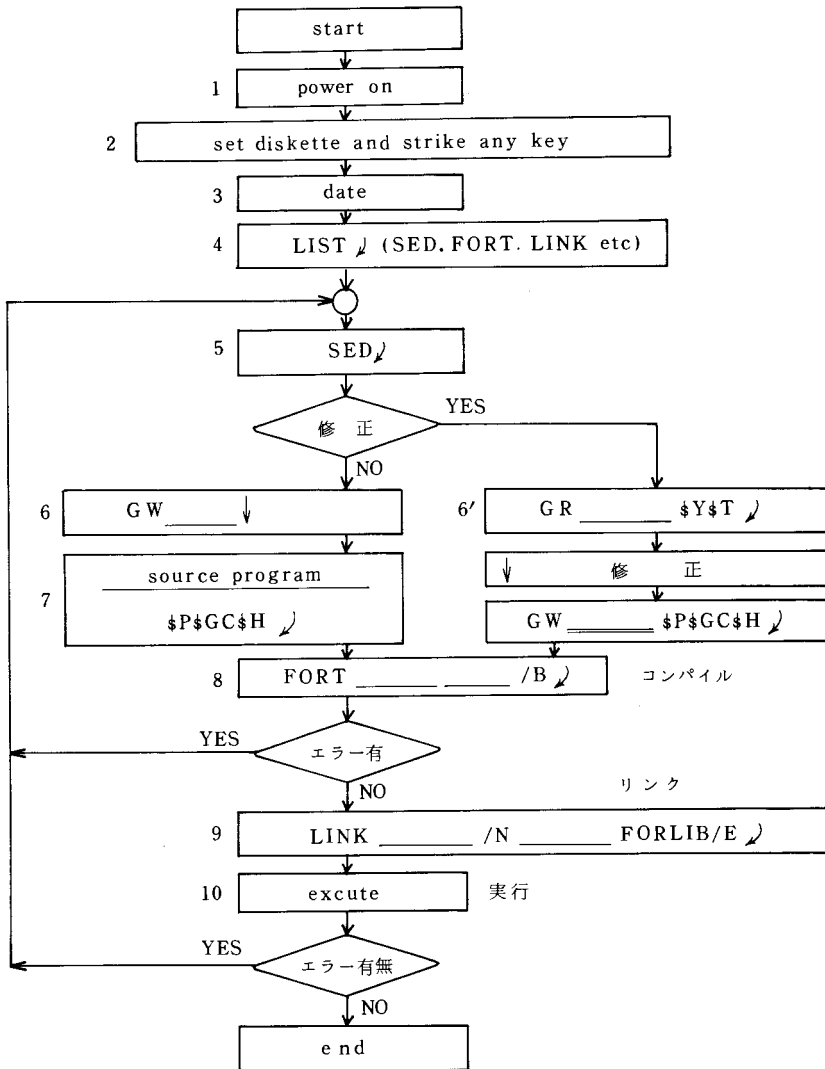


図1 プログラムの入力から実行までの流れ(下部部はファイル名)

FORTRAN によるプログラム部分は、カードシステムの場合と同様に行えばよい。全プログラム（サブルーチンを含む）を入力した後、ソースプログラムをフロッピーディスクに格納する(7)。次にコンパイルを行い、オブジェクトプログラムに変換し格納する(FORT)。この時必要ならばソースリストをプリンターに出力させる(8)。また、コンパイル時のエラーのチェックが同時に行なわれ、エラーが現われた場合再びエディタに戻ることになる。プログラムの訂正を行う場合エディターを呼び出し、次にファイルを呼び出すことによりプログラムをCRTモニタ上に表示させ(6')、必要な部分を修正し以後はプログラム入力の場合と同じである。これが終了すると、リンケージローダによりメインプログラムとサブルーチンやフォートランライブラリー等との結合を行い、実行可能なセーブプログラムとしてフロッピーディスクに格納される(9)。これで、プログラムは完成し、プログラムの登録されているファイル名を入力することにより、計算が実行できる(10)。

最小限、以上の手順を知っていれば、FORTRAN による計算プログラムの作成と実行が可能となる。なお、各手順は、カードシステムの場合のコントロールカードの挿入と類似していることがわかる。

§ 3 マイコンセンターでの計算機演習の経過とその結果

3.1 例題の提示とその簡単な説明

初めに計算機演習に使用した4つの問題を示す⁽⁶⁾。

問題 1 火力と原子力で構成される電源基地を計画する。各々の適正開発規模 x_1, x_2 を求めよ。ただし、次の環境条件（温排水など）、資金条件、資源条件があり、年間発電量が最大となるように計画する。

$$\left. \begin{array}{l} \text{環境条件} \quad x_1 + 2x_2 \leq 14 \\ \text{資金条件} \quad 3x_1 + x_2 \leq 17 \\ \text{資源条件} \quad x_1 \leq 5 \end{array} \right\} \text{の下で } f = 3x_1 + 2x_2 \text{ を最大にする。}$$

問題 2 ニュートンラフソン法により次の方程式を解け。

$$\begin{array}{l} \textcircled{1} \quad \sqrt{x} = 5 \\ \textcircled{2} \quad \begin{cases} 2x + 3y = 0 \\ x^2 + 2y^2 - x = 0 \end{cases} \end{array}$$

問題 3 評価関数 $f(x_1, x_2) = 100(x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2$ を最小とする x_1, x_2 およびその時の最小値を求めよ。ただし、計算は最大傾斜法と最適傾斜法の両方法について解答すること。

$$\text{問題 4} \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \text{ で表わされるシステムにおいて, } x_1(0) = \xi_1, x_2(0) = \xi_2 \text{ から } x_1(T) = 0, x_2(T) \\ \frac{dx_2}{dt} = 2u \end{array} \right.$$

$= 0$ に至る時に次の積分 J を最小とする最適制御量 $u(t)$ を求めよ。

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T u^2 dt$$

問題 1 は線形計画法の問題で、2変数の場合である。実際に計算を行う時には制約条件に不等式が

あるためその数だけ変数が追加される(スラック変数)。計算機利用本来の目的から考えると多変数の問題の方が適当と思われるが、計算の基本的な手順の理解に重点をおいた関係でこのようになった。これは、他の問題についても同様である。また、プログラムの作成前に手計算により答を求めさせ、その後計算機による結果と比較させた。なお、多変数への拡張は容易と考えられる。

問題2は方程式を数値解法により解く問題で、古くから知られているニュートンラフソン法を利用する。一変数の場合と二変数の連立方程式の場合の二種類について行なわせた。本来は、非線形の評価関数を極値をもつ条件から連立方程式の求解に帰着させ、それを数値解析により解くものであるが、ここでは連立方程式のみを与えた。

問題3は二変数の高次方程式で表わされる評価関数の最小値を求める問題で、制約条件がない場合の非線形計画の問題である。傾斜法の代表的な二種類の解析法に対し、それぞれプログラムを作成させその相違点について検討させている。

最後の例は、状態方程式が与えられたシステムに対し積分評価関数が最小となるように制御変数を決定する問題でポントリャーギンの最大原理を適用することにより、二点境界値問題の解を求める問題に帰着される。

3.2 計算機演習の時間経過と結果

各問題は、最初に問題と計算法の説明を行った(1時間)。次にフローチャートの作成およびそれが終了次第コーディング、プログラムの入力をさせ、計算機で実行させたが、一度で計算結果の出た者はなかった。次の授業時間は、問題点や補足説明を行い、計算機は使用しなかった。第4回目の時間に演習を行い、計算終了次第報告書を提出させた。以上説明2回と演習2~4時間で1つの問題を終了させた。報告書には計算の流れ図とプログラムおよび手計算可能な場合にはその解法も書かせ、計算機利用による方法と比較させた。また、完成したプログラムの使用方法や感想等も合わせて記入させた。

図2~図5に各問題に対するフローチャートとプログラムの例を示す。時間の都合上、演習は前述の時間配分とし、その他放課後を利用させ、完成のいかんにかかわらず一定の期間の後報告書を出させた。問題の難易度により、完成度は異なっていたが、理論の難解なものほど完成が遅れる傾向があった。

3.3 計算機システム利用の長短

マイコンセンタの計算機システムの利用方法は、比較的容易に修得でき、それが問題となったのは初めの課題の時だけであった。なお、各問題の計算機演習は問題2と3を同月に行った他は、3ヶ月の間隔があった。

学生の感想等からの主な問題点を書くとき次のようになる。初めのうちは、キーボードの文字配列に慣れない、CRTモニタの文字の見誤りがあった。また、コンパイルおよびリンケージの時間が長い(それぞれ1分、2分程度)。これは、計算機システムがディスクへのファイル処理形式をとっているため、他のBASIC利用のパーソナルコンピュータに比べ長く感じられる。また、コンパイル時のエラーに対し、エラーの種類とその説明がCRTモニタ表示では読みとりにくい。逆に、マイコンセンタの計算機システムのよい点として、マークシートよりキーボードで入力する方が楽である。CRTモニタとプリンタの両方に出力が出せ、入出力にキーボードとCRTの利用が可能である。CRTモニタ上のプログラムを見ながら、間違いを自分で考え、すぐに修正かつ実行できるので便利である。理論でわかりにくかった点が、実際に計算機演習により明らかにできた点もあった。等。

以上の結果をまとめると、カードシステムの場合に比べCRTモニタを見ながらキーボードよりプ

SORD FORTRAN Ver. 3.35 -- Bytes: 30814

```

1. C234567
2. C      SIMPLEX METHOD
3. C      BY KAIZAKI AND NISHIMOTO
4. DIMENSION A(4,6),M(3)
5. DATA M/3*0/
6. READ(3,100) ((A(I,J),J=1,6),I=1,4)
7. 100 FORMAT(6F5.1)
8. 60 WRITE(2,200) (I,I=1,5)
9. 200 FORMAT(1H0,8X,5(4X,1HX,12))
10. WRITE(2,300) ((A(N1,N2),N2=1,6),N1=1,4)
11. 300 FORMAT (/,10X,6F7.2)
12. B=0.
13. DO 10 J=1,6
14. P=A(4,J)
15. IF(P.LE.B) GO TO 10
16. JJ=J
17. B=P
18. 10 CONTINUE
19. IF(B.EQ.0.) GO TO 70
20. D=999.9
21. DO 20 I=1,3
22. IF(M(I).EQ.1) GO TO 20
23. IF(A(I,JJ).EQ.0.) GO TO 20
24. G=A(I,JJ)
25. C=A(I,6)/G
26. IF(D.LE.C) GO TO 20
27. D=C
28. K=I
29. 20 CONTINUE
30. M(K)=1
31. E=A(K,JJ)
32. DO 30 L=1,6
33. A(K,L)=A(K,L)/E
34. DO 40 N1=1,4
35. IF(N1.EQ.K) GO TO 40
36. F=A(N1,JJ)
37. DO 50 N2=1,6
38. A(N1,N2)=A(N1,N2)-F*A(K,N2)
39. 40 CONTINUE
40. GO TO 60
41. 70 STOP
42. END

```

Program Unit Length=0344 (836) Bytes
Data Area Length=00C3 (195) Bytes

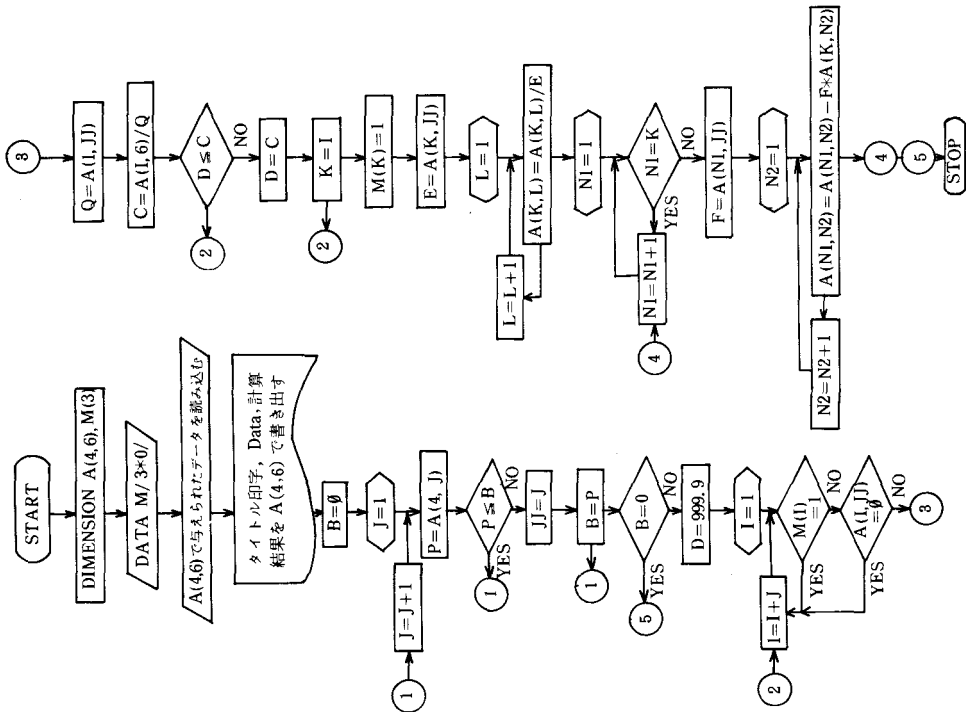
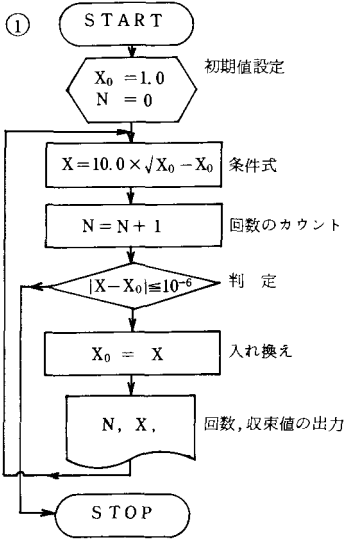
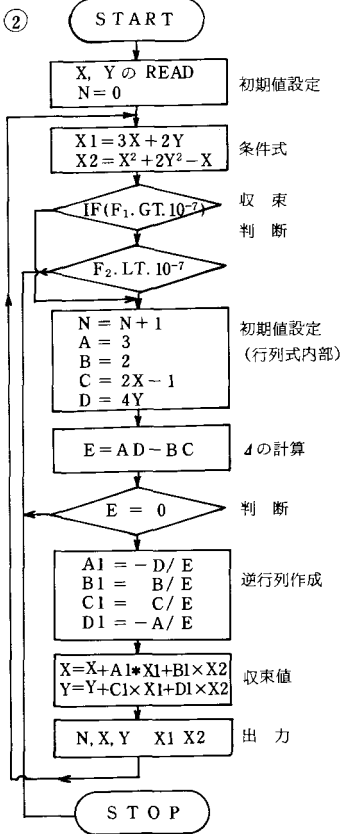


図2 シンプレクス法のフローチャートと完成プログラム例



```
SORD FORTRAN Ver. 3.35 -- Bytes: 30814
1
2 C123456789
3 C **NEWTON-RAPHSON METHOD
4 C NO.1 PROGRAM
5
6
7 X0=1.0
8 N=0
9 30 X=10.0*SQRT(X0)-X0
10 N=N+1.0
11 IF (ABS(X-X0)-1.0E-6) 10,10,20
12
13
14 20 X0=X
15 WRITE(3,200)N,X
16 200 FORMAT(6X,I3,10X,F12.6)
17 GO TO 30
18
19
20
21
22
23 10 STOP
24 END

Program Unit Length=0088 (194) Bytes
Data Area Length=0024 (36) Bytes
```



```
SORD FORTRAN Ver. 3.35 -- Bytes: 30814
1
2 C123456789
3 READ(3,100) X,Y
4 100 FORMAT(2F3.0)
5 N=0
6 10 X1=3*X+2*Y
7 X2=X**2+2*Y**2-X
8 F1=ABS(X1)
9 F2=ABS(X2)
10 IF (F1.GT.1E-7) GO TO 20
11 IF (F2.LT.1E-7) GO TO 30
12 20 N=N+1
13 A=3.0
14 B=2.0
15 C=2.0*X-1.0
16 D=4.0*Y
17 E=A*D-B*C
18 IF (E.EQ.0) GO TO 30
19 A1=-D/E
20 B1=B/E
21 C1=C/E
22 D1=-A/E
23 X=X+A1*X1+B1*X2
24 Y=Y+C1*X1+D1*X2
25 WRITE(3,300)N,X,Y,X1,X2
26 300 FORMAT(1H,5X,I2,4(3X,F10.7))
27 N=N+1
28 GO TO 10
29 30 STOP
30 END

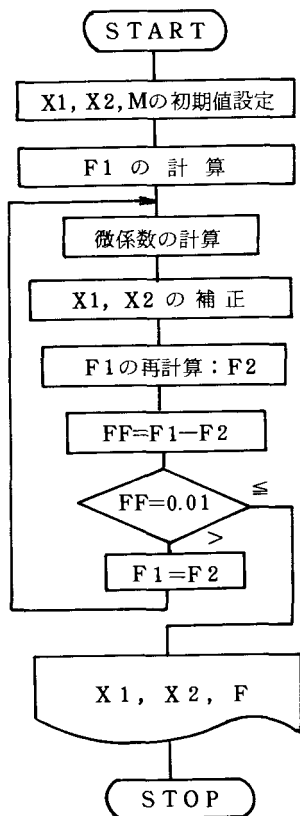
Program Unit Length=0248 (587) Bytes
Data Area Length=006C (108) Bytes
```

図3 ニュートンラフソン法のフローチャートと完成プログラム例

プログラムを入力し修正、実行をする方が便利で簡単である。また、思いついたプログラムがすぐに実行し確かめられる。一方、FORTRAN を用いているためコンパイルやリンケージの時間が必要で、その時間が BASIC の場合に比べ特に長く感じられる。

以上の他に、実際に使用していて気にならなかったため現われていない項目についてここで述べてみる。まず、記憶容量はフロッピーディスク 1 枚の中に自由に使える領域として 150KB 程度ある。FORTRAN ライブラリーが 25KB である事を考えると十分な大きさである。ただし、プログラムの修正をくり返し、不要のプログラムを消去しないでおく和使用可能な領域は減少するので注意を要する(プログラムの修正ごとに、新しいファイル名でディスク内に格納するためである)。特にセーブファイルは、FORTRAN ライブラリーが結合されるため大きな記憶領域を占有する。

次に演算速度であるが、プログラムの実行については本校計算機室の計算機 (FACOM 280-28S) と比べ大きな差は感じられない。特にターンアラウンドタイムを考えると、むしろマイコンセンターでは個人で占有できるため速いと考えられる。ただし、ファイル処理の問題は残る。最後に計算精度について考えると、今回扱った問題の程度ではほとんど気にならなかったが、単精度の場合実数型で絶対値 $10^{-38} \sim 10^{38}$ で、整数型 $-22768 \sim +32767$ のため文番号に制限が加わることに注意する必要がある。



SORD FORTRAN Ver. 3.35 -- Bytes: 30814

```

1      C1234567890123456789
2      X1=0.5
3      X2=0.3
4      GM=-0.05
5      F1=100.*(X2-X1*X1)**2+(1.-X1)**2
6      5 D1=400.*X1**3-400.*X1*X2+2.*X2-2.
7      D2=200.*(X2-X1*X1)
8      X1=X1+GM*D1
9      X2=X2+GM*D2
10     F2=100.*(X2-X1*X1)**2+(1.-X1)**2
11
12     FF=F1-F2
13     IF (ABS(FF)-0.01) 20,20,10
14     10 F1=F2
15     GOTO 5
16     20 WRITE(3,100) X1,X2,F2
17     100 FORMAT(3F8.5)
18     STOP
19     END

```

Program Unit Length=01DC (476) Bytes
Data Area Length=003C (60) Bytes

図4 傾斜法のフローチャートプログラム例(最大傾斜法の場合)

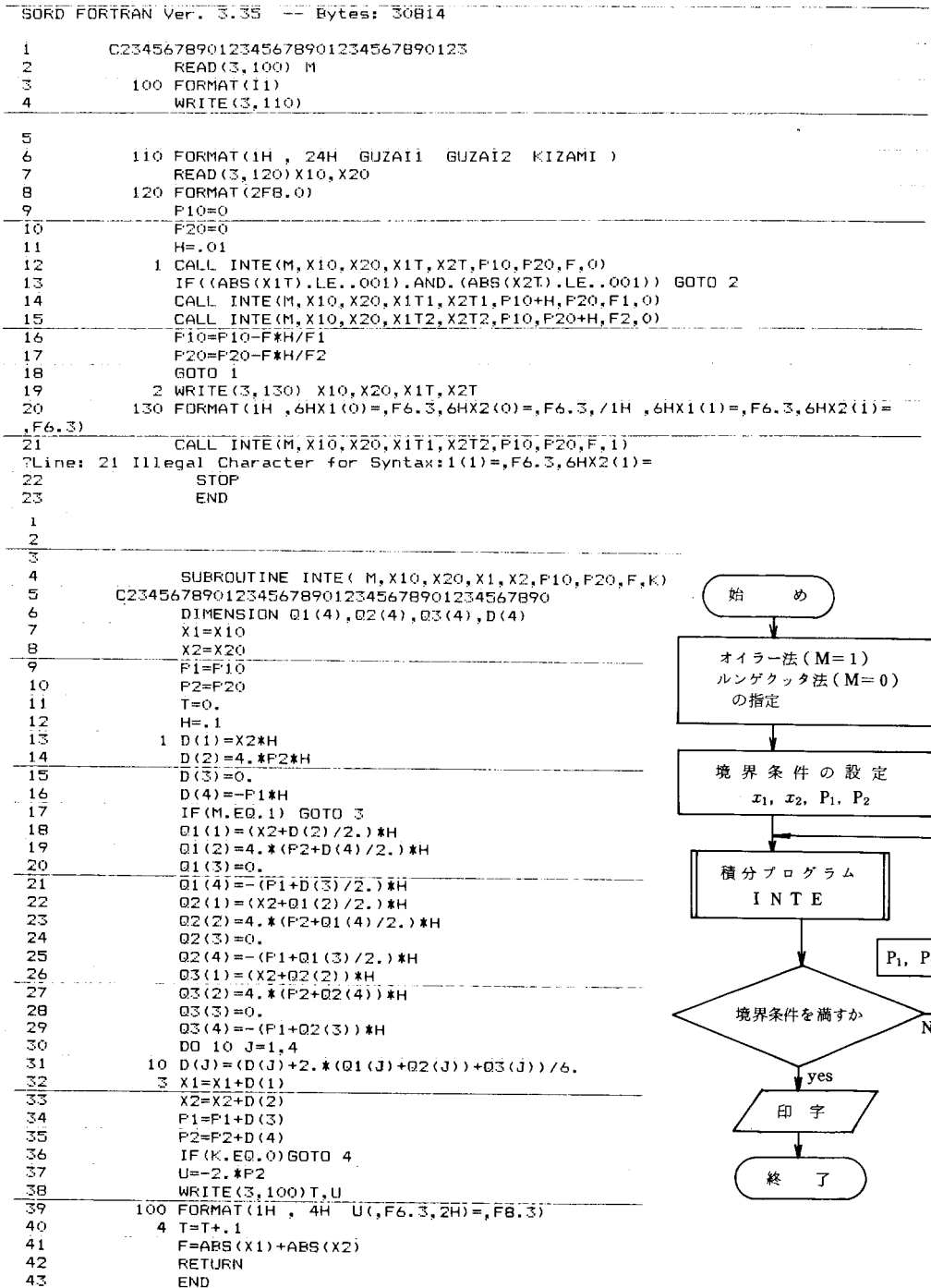


図5 二点境界値問題のフローチャートとプログラム例(未完成)

3.4 最適化手法の把握と計算機演習の関係

今回4つの計算手法について演習を行った結果、理論の理解に多少なりとも役立ったと考えられる。それは、報告書にいくつか肯定的な文があった事からの推定であるが、時間の関係から事後の試験等を行っていないため、正確な状況は不明である。

各問題のうち以前に使った経験のあったニュートンラフソン法に対しては、全体的にとりかかりがよく、今回それを多変数に拡張する形となったわけであるが、容易に完成しているのが確かめられた。

このことは、経験を積む事の重要性を示しており、高専の特色である実践的教育の重要性を証明している。

他の三つの問題は初めてプログラミングしたわけであるが、そのうちシンプレクス法については手計算でも行っており、その計算手順の把握が容易であった事が確かめられた。また、この手法は特に重要と考えられるので多少多めの演習時間とした。傾斜法に関しては、その直観的な意味を把握することがプログラム完成に重要な要素となっていた。最後に、二点境界値問題は試行錯誤法を考慮する必要があるため、単純に微分方程式の解法では解析が困難なようで、それに加え時間制限のためほとんどプログラムは未完成であった。

3.5 まとめ

今回の試行の結果、次のような利点が確かめられた。

マイコンセンターでの小規模計算機システムを利用する事により、計算機システムの構成を理解し、対話形式に近い利用法の経験が得られた。計算機を専用に利用できるためプログラムを少しずつ構成してゆく事が可能で、より大きなプログラムの作成への足がかりとなる。プログラムはフロッピーディスクに格納され、容易に書き替えができ、入出力はキーボードとCRTモニタを利用しているので紙の節約もできる。

一方、問題点としてファイル処理（コンパイル、リンケージ）の部分の時間が長く感じられた。この時間は、理論の再検討を行うなどもっと有効に利用する事を考えればよいと思われる。または、BASICをFORTRANの代りに用いる事も考えられる。

より発展した形式としてLANの利用およびCRTモニタ上へ図示する方法が考えられる。LANの利用については、例えば教師用端末から講義と同時に例題を送信し、学生がすぐにこれを実行してみる事も可能であろう。またX-Yプロッタ、AD/DA変換器等のハードウェアを含む部分も今後その利用法が明らかにされてゆくものと考えられる。

§ 4 あとがき

本報告は昭和57年度、呉工業高等専門学校に開設されたマイコン教育共同実習センターに設置されたマイコン教育システムの一つの利用法を示すものである。利用の目的は、システム工学における最適化手法の理論の把握と計算アルゴリズムの確認およびそれを実際に経験することである。プログラミング言語はFORTRANを利用し、基本的な4つの問題を用いて演習を行なわせた。その結果、事後の調査は不十分ではあったが、学生の感想等から推察すると初期の目的である各種最適化手法の確認と理論の把握に十分役立った事が確認できた。

マイコン教育システムをFORTRANで利用する場合、計算機システムの操作の種類は少なくその理解も比較的容易である。一方、キーボードやCRTモニタ等の利用によりプログラムの作成や修正が容易であり、このような取扱い方を経験し計算機システムの理解に非常に役立つと考えられる。また、今回は利用していないLANやグラフィックを用いる事により、情報処理教育におけるより一層の成果が期待できる。

なお、FORTRAN を利用する場合、ファイル処理の部分が長く感じられる事が挙げられたが、これは他のプログラミング言語、例えば BASIC, を利用することも考えられ、今後の課題である。

最後に、マイコンセンター利用に当り格別の御配慮を頂いたセンター長の久良喜代彦教授に感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- (1) マイクロコンピュータ応用技術, 電気学会雑誌 Vol. 103(5) 小特集 (1983)
- (2) 呉高専マイコン教育共同実習センターのための教育研究 I(1981), II(1983)
- (3) 藤田幸史, 他: 信学技報, ET 82-11(1983) p. 59
- (4) ソード社 M23 関係マニュアル
- (5) 電気学会技術報告 (I 部) 121 号: 線形システム理論教育の現状とあり方 (昭和52年7月)
- (6) 高橋一弘: 「電力システム工学」 コロナ社 (昭和52年)
猪瀬博: 岩波講座基礎工学「システム工学」岩波書店
上滝孝他: 電気学会大学講座「自動制御理論」(昭和50年)

(昭和59年4月15日受付)

中空陰極放電の実験的研究 IV

(電気工学科) 山 崎 勉

Experimental Study on the Hollow-Cathode Discharge IV

Tsutomu YAMAZAKI

Experimental data are reported on the current-voltage characteristics of the hollow-cathode glow discharge in argon. The effect of the transverse magnetic field on the cylindrical hollow-cathode is investigated experimentally, gas pressure ranging from 0.1 to 20 Torr., and discharge current from 10 to 600 mA.

Obtained results show that the magnetic field causes remarkable change in the current-voltage characteristics, especially in the case of low pressure region. And the characteristic curve of the reduced current to the sustaining voltage can be unified with modification relative to the magnetic field of working gas pressure. It may be concluded as follows. The effect of transverse magnetic field on the hollow-cathode is equivalent to the increase of working gas pressure.

§ 1 まえがき

グロー放電陽光柱プラズマに磁界を印加することは従来よりよく行なわれている⁽¹⁾。円筒形の陽光柱プラズマの軸方向に磁界を印加すると、磁界に垂直な方向の荷電粒子の損失が抑制されプラズマの保持が容易となり、陽光柱内の電界強度は同一放電電流に対し減少する事が実験で示され^(2,4)、理論的な説明も試みられている^(3,4)。

さて、中空陰極放電の特徴として負グロー内に存在する高速電子と陰極暗部におけるイオンの挙動が考えられている^(5,6)。中空陰極に磁界を印加すると、弱磁界中では高速電子やイオンへの効果はほとんど無視でき、磁界は主として低速電子の挙動に影響する。これは、高速電子はサイクロトロン周波数が同じでより大きな半径の円運動となり磁界がない場合の直線運動に近く磁界の効果は少ない。一方、低速電子の場合より小さな半径となり磁界に垂直な面内での移動量は減少する。そして、磁界が強くなるに従い高速電子やイオンにも影響が現われ始めるが、実際の放電を考える場合には中性気体分子の存在を考える必要がある。サイクロトロン運動と荷電粒子と気体分子との衝突による軌道の変化の効果の両者の割合が放電特性に大きな影響を与える。衝突を考えない場合には、弱磁界では低速電子に働きホロー陰極の損失項である再結合を、強磁界では高速電子やイオンにも働き電離や陰極面に達するイオンによる二次電子放出に影響する。

そこで、中空陰極放電に縦磁界を印加した場合、電圧電流特性にどのような変化が現われるか、実

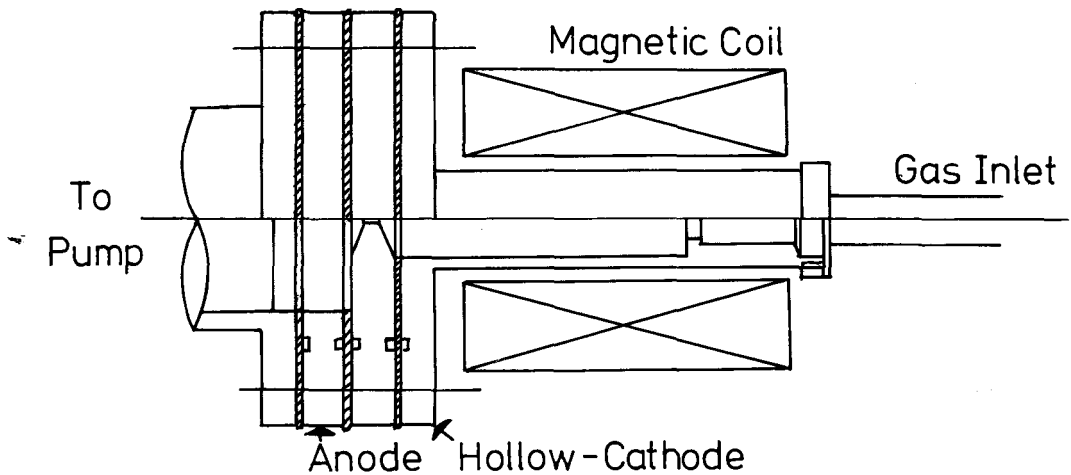


図1 中空陰極放電電極の構造

験を行ったので報告する。また、定性的な説明も試みている。

§ 2 実験方法と結果

中空陰極は内径 $2R = 26\text{mm}$ 、長さ 100mm のステンレス製 (SUS 304) の円筒である。図1にその構造を示す。陽極は、内径 76mm 、厚さ 10mm 青銅製のリングである。陰極と陽極の間の中間電極 (SUS 304 製) は、中空陰極と陽極の絶縁のためと、陰極内の高速電子や光量子の損失の減少の役割をもっている。なお各電極間には厚さ 1mm のテフロン板を入れ、フランジ面での放電を防いでいる。電極全体はフランジにより、陽極側を高真空排気装置に接続し、実験に用いた気体 (アルゴン、溶接用) を陰極側より導入している⁽⁶⁾。

磁界は $1.6\text{mm}\phi$ のホルマール線を黄銅円筒に巻いて製作した空心コイルにより発生させた。黄銅管は外径 $44.5\text{mm}\phi$ 、厚さ 2mm 、長さ 116mm で、一層当りの巻線数は 62 とし 16 層巻いた。中空陰極の軸とコイルの軸を合わせるように設置した。コイル用電源は低圧整流電源を使用し、特別な定電圧回路等はない。図1を見るとわかるように、電極とコイルの形状のため磁界コイルから中空陰極の一部分が外側にはみ出しており、コイルの中心部に比べ磁界は弱くなっている。

実験は高真空排気装置で $1 \times 10^{-5}\text{Torr}$ 以下に排気した後、アルゴンガスを導入し封じ切って放電させた。気圧の低い方 (0.10Torr) から電圧電流特性を測定し、 20Torr までの範囲とし、放電用電源、放電回路の制約から放電電圧と放電電流はそれぞれ 500V 、 $10 \sim 600\text{mA}$ の範囲とした。実験の再現性を考慮し、できる限り同一の条件となるよう考慮する必要がある。そのため、陰極の消耗を考え、実験は短期間に行い、電圧電流特性の測定は一つの気圧に対して一度として 11 種類の気圧に対し、気圧の低い方から連続して行った。気圧は中空陰極の外側にあるピラニ真空計を利用して、設定し、この間放電は点灯したままであった。この一連の実験は所要時間約 30 分で、実験中陰極の冷却はまったく行っていない。その結果、陰極表面 (外側) の温度は 80°C 近くになっていたが、その値は磁界用コイルの有無にほとんど関係しないようであった⁽⁶⁾。磁界強度はコイルに流れる電流を直流用電流計で測定し、その値を一定に保ちながら実験し、同一磁界強度の実験を連続して行なった。

電圧電流特性の測定例を図2～図5に示す。磁界のない場合 (図2) と磁界を印加して磁束密度

$B=9.1(\times 10^{-3} \text{ T})$, 27.3, 45.5の各々の場合について、一連の気圧に対してその一例が示してある。まず、図2でみると気圧が高い場合定電圧特性ないしは負特性となっている。気圧が低くなるとともに正特性となり、0.14 Torr. の場合 10 mA から 500 mA までの放電電流の増加に対し放電維持電圧は 300 V から 500 V までゆるやかに増加している。なお定電圧特性から正特性への変曲点は気圧の低下とともに放電電流の小さい方へ移っている。磁界を印加すると各気圧での電圧電流特性はつぎのように変化している。磁界の増加に対し、同一の放電電流の変化範囲における放電維持電圧の変化幅が小さくなっている。これは、気圧の高い場合を比較すると、定電圧特性の部分のためあまり大きな変化は見られないが、気圧が低い場合の電圧電流特性では定電圧特性から正特性に変化する電流値が磁界の増加とともに大きくなっているようである。その結果、測定電流範囲の関係から同一電流変化幅に対する電圧の変化量が小さく現われている。また、磁界が強くなるに従い定電圧特性部分の測定値のちらばりが小さくなっている。なお、ここで示している磁束密度は計算値を示し、コイルの中心軸上での値である。

次に同一気圧として、磁束密度をパラメータとした場合の例を示す。気圧の低い場合(図6, 0.14

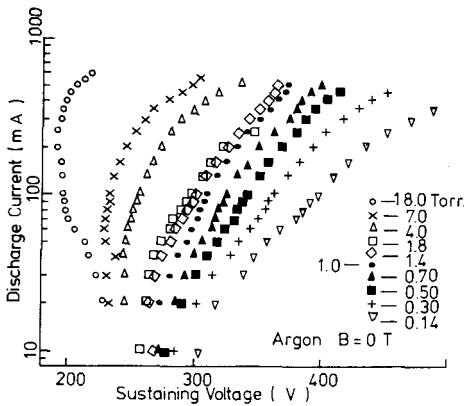


図2 磁界なしの場合の電圧電流特性の一例

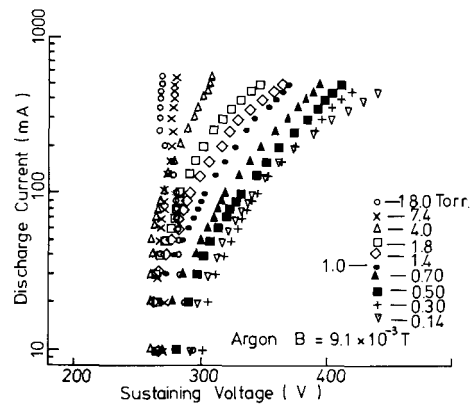


図3 電圧電流特性の一例
(91 Gauss) 磁束密度 $B=9.1 \times 10^{-3} \text{ T}$

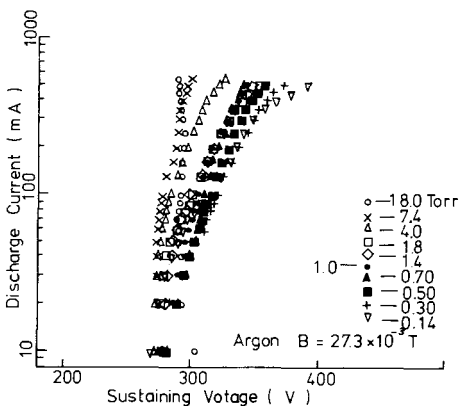


図4 電圧電流特性の一例 $B=27.3 \times 10^{-3} \text{ T}$
(273 Gauss)

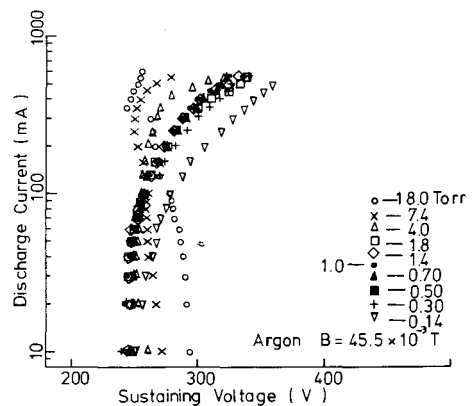


図5 電圧電流特性の一例 $B=45.5 \times 10^{-3} \text{ T}$
(455 Gauss)

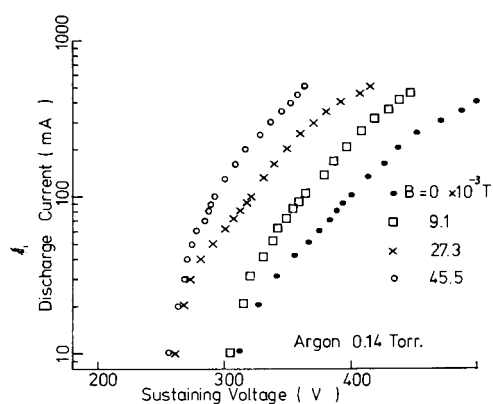


図6 低気圧の場合の磁界の効果

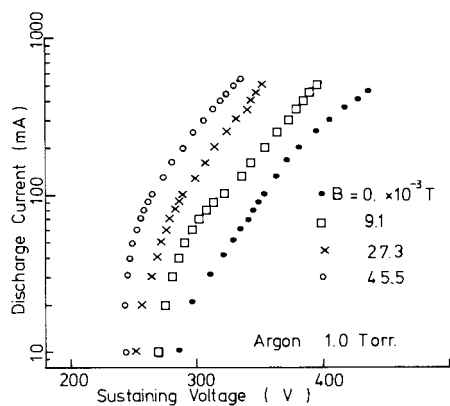
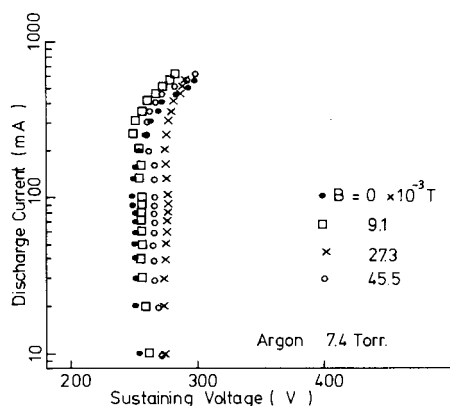
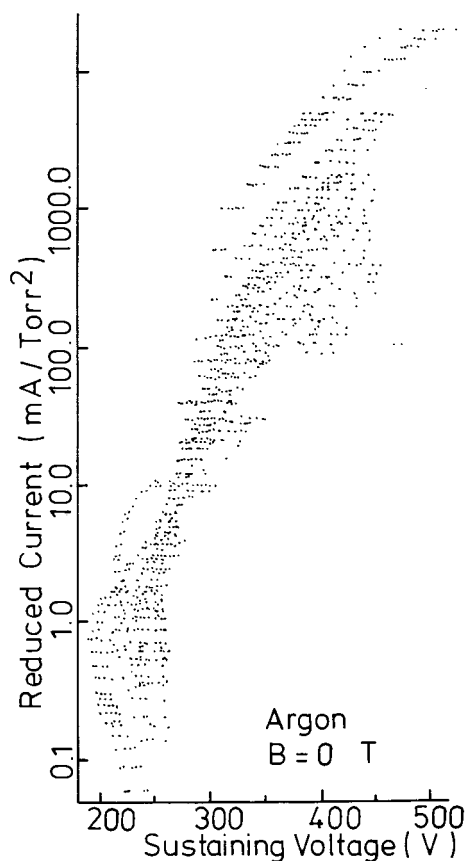
図7 磁界の効果
気圧 1 Torr = 133.23 Pa の場合

図8 気圧が高い場合の磁界の効果

Torr.), 高い場合 (図8, 7.4 Torr.), とこれらの中
間として 1.0 Torr. (図7) の場合である。気圧が低
い場合, 磁界の増加とともに放電維持電圧が低い方
に, また電流値の大きい方へ移動している事がわか
る。また, 1 Torr. の場合にも同様の傾向が認めら
れるが, その変化量は, 低気圧の場合に比べ小さく
なっている。気圧が高くなるに従い, 電圧電流特性
の磁束密度増加による変動量はますます小さくなり,
ほとんどその差は認められなくなる。図8では, 各
曲線は測定誤差の範囲内に分散しており, 他の二つ
の図と比較すると, 磁界の増加に対し低電圧側へ行
く傾向は見られない。

以上の結果から中空陰極に対する縦磁界の効果
をまとめてみると, 磁界の印加により放電維持電圧が
低下し (正特性の部分), 定電圧特性の電流範囲が
より大きな値のところまで広がる。

図9 磁界なしの場合の換算電流と放電維持
電圧の関係

なお、今回の実験は気圧が比較的高い領域での測定が主体で、磁界の効果が顕しかった低気圧領域での測定が少ないと考えられるが、これは、真空系（放電管を含む）に問題があるためで、今後改良してゆく予定である。

次に、実験より得られた電圧電流特性を各磁束密度ごとに換算電流値対放電維持電圧の関係に書き直した結果を図9～図12に示す。ここで換算電流値は、放電電流を気圧の自乗で割った値である。⁽¹⁾ 磁界のない場合（図9）は前回の報告⁽⁶⁾の実験結果を利用しているため、他の三つに比べ測定点のちらばりが大きく、放電維持電圧も多少低めになっている。定電圧特性から正特性への変曲点に相当する換算電流値はおよそ 3mA/Torr^2 と考えられる。磁界を印加すると定電圧部分が大きな換算電流値側に広がってゆく。正特性への変曲点は、磁束密度 $B=9.1\times 10^{-3}\text{T}$ では 20mA/Torr^2 、それ以上の磁束密度ではほとんど定電圧特性で占められ、変曲点は不明である。（ 100mA/Torr^2 以上）さて、先の電圧電流特性からこの形式の表示への変換により、気圧が高くなるに従い測定結果は換算電流値の小さな領域に現われている。各図とも（図9～図12）換算電流値が大きい場合、放電電圧の高い部分が各々気圧に対応して別々の曲線を描き、同一曲線上にないことがわかる。

以上より換算電流対放電維持電圧特性に対する磁界の効果をまとめると、定電圧特性部分が磁界の増加とともに換算電流値の大きい方へ移動することである。ただし、気圧の低い部分に対しては定電圧特性が正特性への変曲点も気圧により換算電流値の大きい方へずれ、同一磁束密度での換算電流対

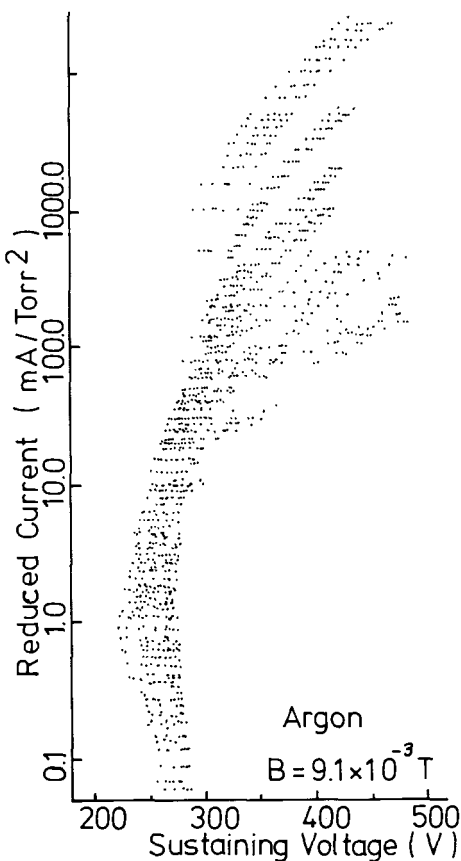


図10 換算電流対放電維持電圧
磁束密度 $B=9.1\times 10^{-3}\text{T}$

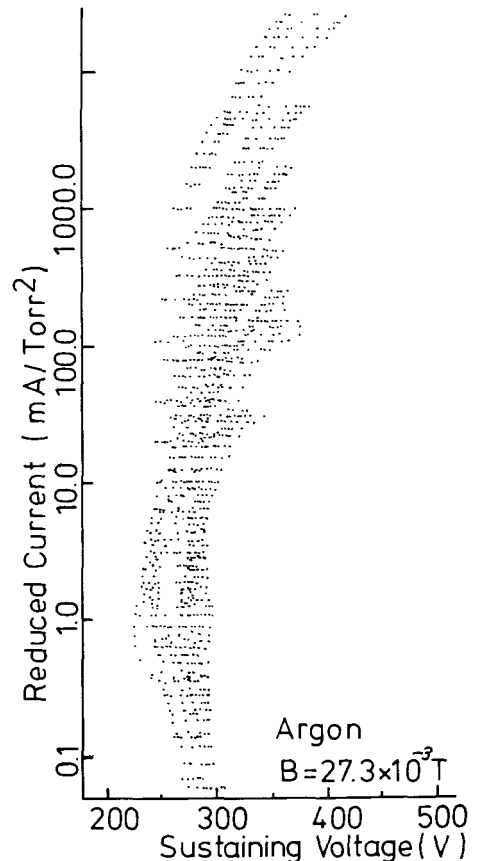
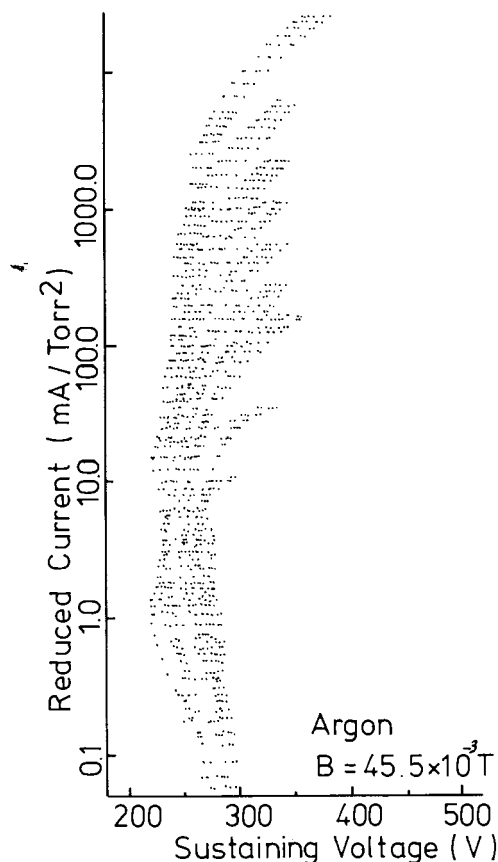


図11 換算電流対放電維持電圧
 $B=27.3\times 10^{-3}\text{T}$

図12 換算電流対放電維持電圧 $B=45.5 \times 10^{-3} \text{ T}$

放電維持電圧の特性曲線が一つにまとまりにくい。

§ 3 実験結果の検討

中空陰極放電の電圧電流特性の説明には、陰極暗部におけるイオンの輸送とその中での電離に着目する場合⁽⁷⁾と、中空陰極内に閉じ込められた負グロー内で活発に衝突電離を起こす高速電子に注目する場合⁽⁸⁾とがある。前回の報告⁽⁶⁾で示したように、実験式はこの両者の中間に相当する電圧電流特性を示していた。磁界の効果は前者の理論の方により効果的であると考えられる。

さて、中空陰極の軸方向に磁界を印加する（縦磁界）と、放電内の荷電粒子は磁界に垂直な面でサイクロトロン運動をする。イオンおよび電子のサイクロトロン周波数はそれぞれ $\omega_i = eB/M$ $\omega_e = eB/m$ （ここで M , m はそれぞれイオンと電子の質量、また e は素電荷、 B は磁束密度である）で表わされ、同一磁束密度の下では $\omega_i \ll \omega_e$ の関係がある。また、ラーモア半径はイオン、電子の速さを v_i , v_e とするとそれぞれ $r_i = v_i/\omega_i$, $r_e = v_e/\omega_e$ で表わされる。表1はこれを磁束密度 B と各粒子のエネルギーに対して表わしている。（ $V_i = Mv_i^2/2$, $V_e = mv_e^2/2$ ）中空陰極の内直径が $2R = 26 \text{ mm}$ で、イオンの平均エネルギーは十分小さく 0.04 eV （約 460 K ）程度で磁界が十分強い場合を除くとほとんど $R \sim r_i$ である。一方、電

表1-a イオンのエネルギーとラーモア半径の関係 (cm)

r_i (cm)	$B=9.1 \times 10^{-3} \text{ T}$	$27.3 \times 10^{-3} \text{ T}$	$45.5 \times 10^{-3} \text{ T}$
$V_i = 0.01 \text{ eV}$	1.0	0.33	0.20
0.04 eV	2.0	0.67	0.40
0.49 eV	7.0	2.33	1.40
1.0 eV	10.0	3.33	2.00
10.0 eV	31.6	10.3	6.32

表1-b 電子のエネルギーとラーモア半径の関係 (cm)

r_e (cm)	$B=9.1 \times 10^{-3} \text{ T}$	$27.3 \times 10^{-3} \text{ T}$	$45.5 \times 10^{-3} \text{ T}$
$V_e = 0.1 \text{ eV}$	0.0117	0.0039	0.0023
1.0 eV	0.037	0.0123	0.0074
10.0 eV	0.117	0.039	0.0243
100.0 eV	0.37	0.123	0.074
300.0 eV	0.642	0.214	0.183

子の場合にはエネルギーが 0.1eV 程度から陰極降下電圧に相当するような 300V 程度までである⁽¹⁾が、表よりみるとほとんどの電子に対し $R > r_e$ であることがわかる。特に低エネルギー電子のラーモア半径は、陰極径に比べ非常に小さいことがわかる。これらの事から、磁界の効果は弱磁界中では主として低速電子に、磁界が強くなるに従い高速電子に、そして相当強い磁界強度になって初めてイオンへの効果が現われることがわかる。

一方、低気圧放電中には荷電粒子の他に直接に磁界の影響を受けない中性気体分子があり、その密度は荷電粒子に比べ非常に大きい。そのため、荷電粒子は気体分子との衝突により、その運動方向は大きく変えられ、気圧が高い場合には磁界より衝突の方が大きな影響を与える。両者の効果を比較するには、前述のラーモア半径と平均自由行程を比較すればよい。電子およびイオンの平均自由行程を λ_e, λ_i とすると気体密度 N_g 、気体分子との衝突断面積をそれぞれ Q_e, Q_i とすると、 $\lambda_e = 1/N_g Q_e$ と $\lambda_i = 1/N_g Q_i$ で表わされる。気体密度は気体圧力 p (Torr) との間に $N_g = 3.54 \times 10^{22} p$ の関係があり、 λ_e, λ_i とも気圧に反比例する。本来、衝突断面積は衝突する粒子間の相対速度により変化するが、およそその値を知るために $Q_e = 10 \text{ \AA}^2$ 一定とし⁽¹⁾、 Q_i については中性気体分子間の衝突を参考にして $Q_i = 20 \text{ \AA}^2$ ⁽¹⁾ とすると、 $\lambda_e = 0.0282/p$ 、 $\lambda_i = 0.0141/p$ cm 程度となる。さて、イオンに対して平均自由行程のラーモア半径に対する比を求める ($\lambda_i/r_i = \omega_i/N_g Q_i v_i$)、このときイオンのエネルギー V_i とすると次のようになる。

$$\frac{\lambda_i}{r_i} = 0.155 \cdot \frac{B}{p} \cdot \frac{1}{\sqrt{V_i}}$$

この値が大きい程磁界の効果は大きくなる。電子の場合にも同様に考えると

$$\frac{\lambda_e}{r_e} = 83.7 \cdot \frac{B}{p} \cdot \frac{1}{\sqrt{V_e}}$$

で表わされ、イオンの場合の約 500 倍の係数がかかっている。この事から、イオンよりも電子の方が気体分子との衝突を考慮した場合においてもなお大きな磁界の影響を受けることがわかる。

中空陰極放電に対する縦磁界の効果は、負グロー部分では低速電子の径方向への運動を妨げるが、電極の構造から電圧電流特性への効果はほとんど考えられない。(径方向への電子損失は、負グローと陰極暗部の境界面で再結合により失われると考えられるが、再結合それ自体非常に少ないと考えられるからである。) 一方、陰極暗部では電界と磁界が直交しているため、電子による衝突電離が効果的になり、陰極降下部の厚さが減少し⁽⁵⁾、放電維持電圧は低下すると考えられる。また、電離の増加については、負グロー内の高速電子に対しても同様に考えることができる。すなわち、電界方向に一定の距離移動するためには、磁界のない場合に比べより長い距離動く必要があり、その結果気体分子との衝突数が増加する事になる。一方、グロー放電への磁界の効果は気圧の増加と等価である^(1, 5, 6)と考えられる場合が多い。この事は前の説明と一致している。

さて、図 2 より気圧の増加の効果をみると、同一電流では放電維持電圧が減少していることがわかる。次に、図 6 と図 7 をみると磁界の増加に対し同様な変化を示し、放電維持電圧が減少している。そして、この効果は気圧が低い方が著しい事が確かめられる。また、換算電流対放電維持電圧の関係においても同様に考えられる。これらの事から考えると磁界の増加を等価的な気圧の増加に置換えて考える事ができそうである。

磁界による等価的な気圧の変化を陽光柱の場合と同様に考え⁽⁴⁾、磁界に垂直な方向での両極性拡散係数⁽⁹⁾を考慮することにより、気圧の等価的増加分 Δp は、電子とイオンの衝突周波数をそれぞれ ν_e, ν_i とすると次式で表わされる。^(1, 9)

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{\omega_e \omega_i}{\nu_e \nu_i}$$

$$= \frac{\lambda_e}{r_e} \cdot \frac{\lambda_i}{r_i} = 13.0 \left(\frac{B}{p} \right)^2 \frac{1}{\sqrt{V_e V_i}}$$

$V_e = 10.0 \text{ eV}$, $V_i = 0.04 \text{ eV}$ と仮定した時の上式による修正後の圧力を表2に示す。これを見ると、磁束密度 $B = 9.1 \times 10^{-3} \text{ T}$ の場合には封入気体圧力 $p = 0.14 \text{ Torr.}$ の場合に影響が現われる程度であると考えられる。というのは、ピラニ真空計の許容誤差は3%程度であり、校正図の読みとり誤差を考慮すると5%程度の誤差と考える必要がある。 $B = 27.3 \times 10^{-3} \text{ T}$ の場合には1 Torr. 以下、また $45.5 \times 10^{-3} \text{ T}$ では1.8 Torr. 以下の実験結果

に磁界の影響が現われ、気圧が低い方がその効果は著しくなると推定される。図10～図12では、修正前の気圧を用いているため、換算電流値は大きな値となって表わされ、気圧が低い方がその増加量は大きくなっている。気圧の等価的增加量を考慮して換算電流値対放電維持電圧の関係を修正すると、定性的には換算電流対放電維持電圧の特性曲線が一つ曲線を描く形にできそうである。完全に一つの曲線を得るためには、 V_e や V_i の決定法や気圧の測定精度の向上（特に低気圧側）および実験の再現性の問題を解決する必要がある。

以上の結果から、磁界の効果は気圧の増加と等価であるとして実験結果を処理すると、換算電流対放電維持電圧の関係を示す曲線は磁界や気圧に無関係な一本の曲線になりそうである。ただし、磁界による気圧増加分の計算は電子とイオンの両方を考慮した形（両極性拡散係数）としている点に注意すべきである。修正分の計算に電子のみを考慮すると、ここで示した値に比べ非常に大きくなり、低気圧でのそれは桁はずれに大きくなる。一方、イオンのみに注目すると逆に非常に小さくなり、ここで示した実験範囲ではその効果（変化分）はほとんど現われないことになる。このことは、中空陰極内での荷電粒子の挙動と放電特性の関係を考える時には、電子とイオンの両方を常に考える必要があることを意味していると考えられる。

また、放電機構の観点から磁界の効果を考えてみると、磁界は主として陰極暗部の方に影響を与え、負グロー部に対しては二次的な効果しかないようである。電子は磁界により陰極暗部中でより多くの衝突電離を行う結果、電圧電流特性が定電圧特性に近い形となった。負グロー中の高速電子やイオンに対しては磁界の効果は無視できる。一方、低速電子の損失は、イオンとともに移動して再結合または中空陰極の開口部を通して失われると考えられるが、その量は非常に少なくまた磁界の効果はほとんどないようである。

§ 4 ま と め

中空陰極グロー放電の円筒形中空陰極に縦磁界を印加した時の電圧電流特性を実験により求めた。気体はアルゴンを用い、気圧 0.1 Torr. から 20 Torr. まで、放電電流 10～600 mA の範囲で、磁束密度は $5 \times 10^{-2} \text{ T}$ 以下で行った。電圧電流特性は、磁界の印加により放電維持電圧が低下する。しかし、この傾向は気圧が高い場合にはほとんど現われず、気圧が 1 Torr. 以下の低い方がより大きな変化が現われた。磁界を強くすると、より高い気圧の方へこの傾向が広がってゆく。一般に行われてい

表2 磁界印加による気圧の修正値 (Torr.)

$B = 0.0 \times 10^{-3} \text{ T}$	9.1	27.3	45.5
0.14	0.152	0.250	0.444
0.30	0.305	0.351	0.442
0.50	0.505	0.531	0.585
0.70	0.703	0.731	0.785
1.00	1.002	1.015	1.043
1.40	1.401	1.411	1.430
1.80	1.801	1.801	1.824
4.00	4.000	4.004	4.011
7.40	7.400	7.402	7.406
12.0	12.00	12.00	12.00
18.0	18.00	18.00	18.00

$$\Delta p/p = 20.5 (B/p)^2 \quad V_i = 0.04 \text{ eV}, V_e = 10.0 \text{ eV}$$

る磁界の効果を等価的な気圧の増加として、修正した気圧を用いて換算電流対放電維持電圧の特性曲線を求めると、うまく一つの曲線となりそうである。

以上の結果から、中空陰極放電に対する磁界の効果も等価的な気圧の増加として処理することが可能で、中空陰極放電の電圧電流特性等の解析にはイオンと電子の両方を考える必要があることがわかった。中空陰極効果や磁界の効果が顕著となる、今回よりも気圧が低い領域での実験が重要と考えられるが、これについては今後の課題である。また、中空陰極放電の励起機構を明らかにするためには、理論的解析を含めて、各種のプラズマパラメータの測定も必要であり今後の課題である。

最後に、実験および結果の処理に多大なる協力を頂いた16期生の栗根弘明君、岡真司君に感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- (1) 電気学会「放電ハンドブック」昭和58年, p. 4, 7, 121, 135
- (2) B. Lehnert: Proc. IInd Intern. Conf. PUAE, Geneva, vol. 32, p. 34 (1958)
- (3) H. N. Ewald, F. W. Crawford, S. A. Self: J. Appl. Phys., vol. 38, p. 2753 (1967)
- (4) R. J. Bickerton, A. von Engel: Proc. Phys. Soc. vol. 69B, pt4, p. 468 (1954)
- (5) V. N. Glazunov, V. G. Grechenyi, A. S. Metel': Sov. Phys. Tech. Phys. vol. 27 (9), p. 1084 (1982)
- (6) 山崎 勉 呉高専研究報告 vol. 18-1, p. 79 (1982); vol. 19-2, p. 51 (1984)
- (7) P. F. Little, A. von Engel: Proc. Roy. Soc. London, A224, p. 201 (1954)
- (8) 川村 澄, 竹井日出夫, 田口利夫, 真瀬 寛: 電気学会プラズマ研究会資料 EP-79-3 (1979)
- (9) 奥田孝美: 「気体プラズマ現象」昭和50年, コロナ社, p. 63

(昭和59年4月15日受付)

Z 80 CPU システムでの簡易な マルチタスク・モニターの提案と考察

(電気工学科) 加 藤 裕 一

An Investigation into the Development of a Multitask Monitor for Use with the Z80 CPU System

Yuuichi KATO

Nowadays micro-computers are used variously in a great number of fields whose systems range from the immensely complex to the simple. Micro-computer software needs a monitor which can manage to execute many different kinds of task simultaneously. This paper proposes the development of a simple multitask monitor and considers its executing time in the Z80 CPU system.

§ 1 緒 言

近年の半導体集積化技術は、日常生活の面でも大きな変革をもたらしている。そして例えば、電化製品、車、等でもちょっと気のきいた装置に出会う機会も多くなっている。このような装置は、人の目に入らない装置内部に大抵マイクロ・コンピュータ・システムが組み込まれている。初期のマイコン・システムは、ハード的に空間を必要としたし、またコスト・パフォーマンス的にも決して安価とはいえず、装置での単能機的役割を果たしていたにすぎなかった。このような時代から、今日のハード・ウェアおよびソフト・ウェアの技術の発展は、マイコン・システムが装置全体を制御するまでに至っている。このようなシステムの多能機的ふるまいを可能にするためには、ソフト面でいえば何らかのモニターが必要となろう。

本報告は、現在 8 Bit CPU システムで主流となっている Z80 CPU マイクロ・コンピュータ・システムでの簡易なマルチタスク・モニターを提案し、システム設計上で考慮すべき事柄についてコメントしている。

§ 2 システムの設定

Fig. 1 にソフト面から眺めた、モニターとそれの一般的な処理およびタスク群のフローを示す。以下に Fig. 1 のフローに沿いモニターの動作を簡単に説明する。

まず、Power-on とともにハード的に Reset 信号が入り、PC (Program Counter)、割込みフラグ等、がリセットされプログラムは“0000”H (H: 16進記号) (START 1) より走り始める。この起動は、復電起動 (Z 80 CPU は、停電が起ると“0066”H に NMI (Non-Maskable Inter-

rupt) が起り, あらかじめこの番地より停電処理ソフト, 停電フラグ等, 設けてあると仮定している) であるか否かの判断を通りそれぞれの処理へ行く。初期処理, 初期値設定ではシステムごとに処理は異なると思われるが, SP(Stack Pointer) の設定, RAM(Random Access Memory) のクリアなどがまず行なわれるであろう。

次にこれまでの処理は割込み不可 (DI: Disenable Interrupt) 状態で行なわれてきたが, ここで割込み可 (EI: Enable Interrupt) 状態にする。この処理終了後, 1 インストラクション実行の後にシステムタイム T_s ごとにタイマー割込み (ハード的に, 例えば CTC などで割込みがかかる) と仮定して

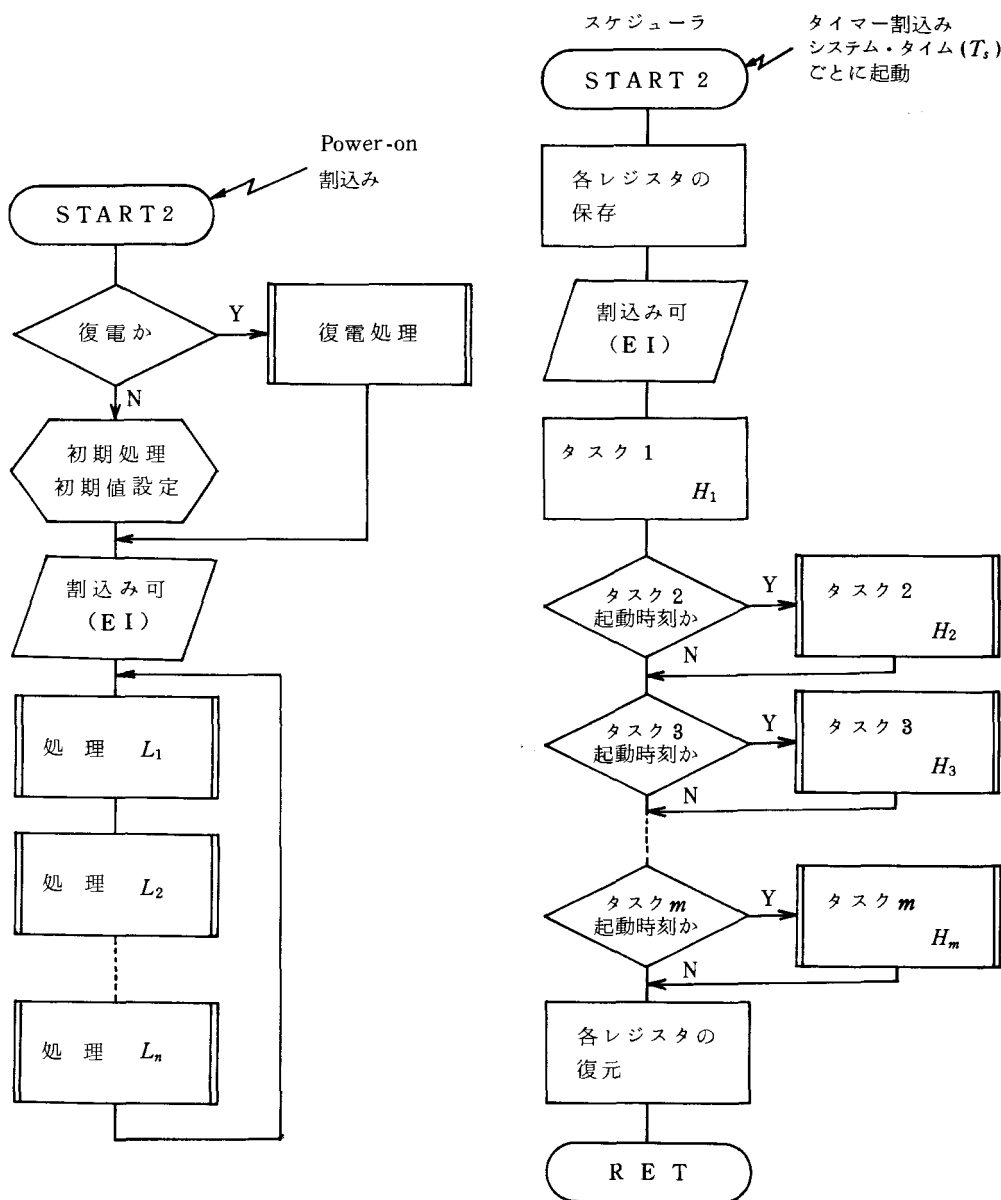


Fig. 1 マルチタスク・モニター・フローチャート

いる。)が効かる。SP-1の示す番地より返り番地を退避し、割込み先のアドレスをPCにセットし、制御は割込みプログラム (START 2) にうつる (Z 80 の割込み方式は、Mode 0 ~ Mode 2 および NMI があるが簡単には Mode 0 の割込みが適当ではないと思われる)。

しかし、説明の都合上この割込みが起らなかったとすると、このシステムで最も優先順位の低い処理が行なわれる。例えば、LEDの点灯、ディスプレイ・パネルあるいはプリンター出力用データの作成および出力等が処理 $L_1 \sim L_n$ の内容である。これらの処理はサイクリックに行なわれる。

一方割込み処理プログラム (START 2) では、まず各レジスタの保存を行なう。次に割込みが起り割込み不可となった状態を可能状態とする。割込み処理ソフト内で割込み可とし、ネスティングの多重割込みを可とした点が、このモニターのちょっとした工夫である。

タスク 1 は、システム・タイムごとに処理されるタスクで例えば、このシステムの時計などを作っている。タスク 2 からタスク m はそれぞれ所定の時刻 (スケジューリング・タイム：システム・タイムの整数倍の時間) ごとに起動される。例えば、システムをピリオディックに制御するために、DI (Digital Input), AI (Analog Input) の入力処理、制御量の計算、DO (Digital Output) の出力等が、タスク 2 からタスク m の内容である。

これらの処理終了後、各レジスタを復元、RET インストラクションで SP より返り番地を PC にセットし、制御は割込み前の処理が終了しているインストラクションの次に移る。

これらの動きを、タイム・チャートにして Fig. 2 に示した。

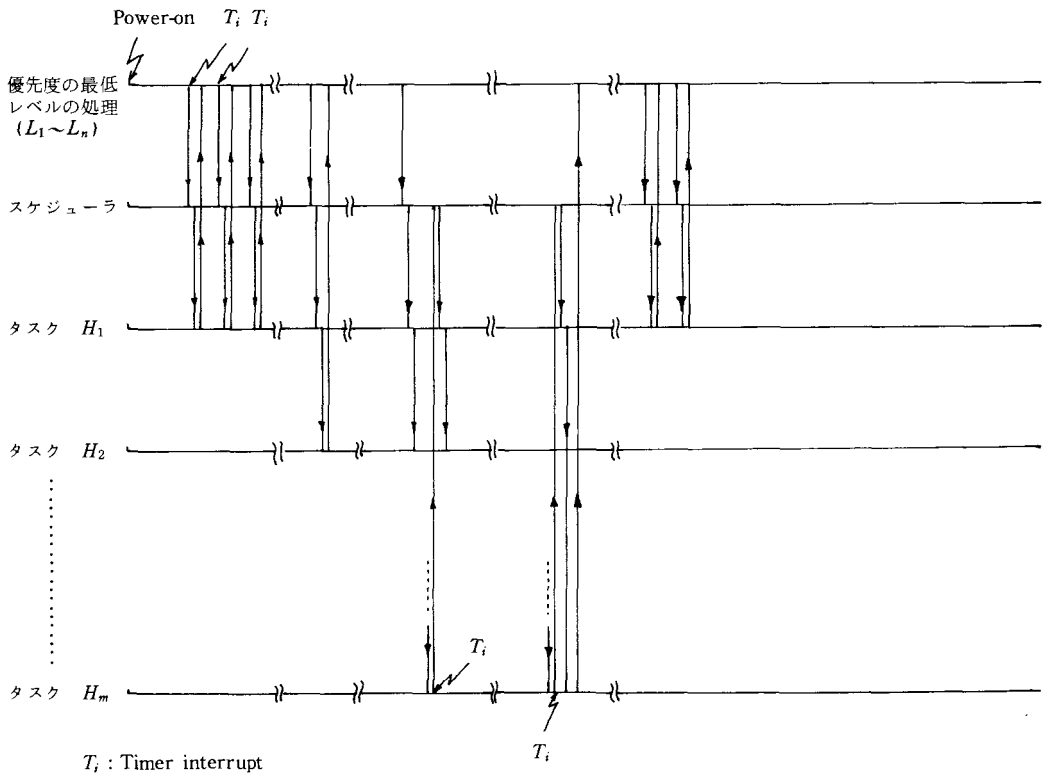


Fig. 2 タイム・チャート

§ 3 処理時間についての考察

上述したモニターで動作するタスク群には、以下に述べる重要な拘束がある。あるいは、この拘束がこのシステムの一種の容量とも考えられる。

考察対象時間を最長時間間隔 T_m (タスク m は T_m ごとに起動されていると仮定) にとる。表 1 に各タスク i の起動時間間隔 T_i (T_i はシステム・タイム T_s の整数倍となっている)、起動回数、起動ごとの処理時間および T_m 内での処理時間を記す。

表 1

	起動時間間隔	起 動 回 数	処 理 時 間	T_m 内での処理時間
スケジューラ	T_s	$n_s = T_m/T_s$	τ_s	$n_s \tau_s = T_m \cdot \tau_s / T_s$
タスク H_1	T_1	$n_1 = T_m/T_1$	τ_1	$n_1 \tau_1 = T_m \cdot \tau_1 / T_1$
タスク H_2	T_2	$n_2 = T_m/T_2$	τ_2	$n_2 \tau_2 = T_m \cdot \tau_2 / T_2$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
タスク H_m	T_m	$n_m = T_m/T_m$	τ_m	$n_m \tau_m = T_m \cdot \tau_m / T_m$

注) 考察対象区間を最長時間間隔 T_m にとっている。

これより、次の不等式が満足されなければならない。

$$T_{\text{total}} = \tau_s \cdot n_s + \sum_{i=1}^m n_i \cdot \tau_i = T_m (\tau_s / T_s + \sum_{i=1}^m \tau_i / T_i) < T_m$$

$$\therefore (\tau_s / T_s + \sum_{i=1}^m \tau_i / T_i) < 1 \quad (1)$$

また最低レベルの処理 ($L_1 \sim L_n$) に与えられる時間 T_L は次式となる。

$$T_L = T_m \{1 - (\tau_s / T_s + \sum_{i=1}^m \tau_i / T_i)\} \quad (2)$$

(2)式で与えられる T_L はこのシステムの余裕時間とも考えられる。

システム設計の段階においては、システムの機能 (気のきいたシステムを作成したいという願望が人間にはある) として、どこまでを考えるかが1つのポイントとなってくるであろう。すなわち、機能を細かくタスクという形にブレーク・ダウンした時、各タスクに割当てる時間と処理時間間隔は、概略決まってくる (人間工学的拘束、制御性からの拘束、安全性からの拘束等を考慮に入れなければならない)。このとき、(1)式を満たかつ(2)式の余裕時間を十分にとっておく必要がある。実際にシステムを組み上げてゆくと、設計段階では考えられなかった不具合、問題などが生ずるのが常であり、このようなときマイナー・チェンジを行なわなければならない。多くの場合、ハード的なチェンジはむずかしく、ソフトに負担をかける形でのチェンジが行なわれるのが普通である。以上のことにより、式(1)、(2)の含んでいる意味には十分に留意する必要があると思われる。

§ 4 ニモニク例

マイコンのソフト・ウェアは、ハード・ウェアと強く結びついている。この部分については個々のハード・ウェアによって異なるのが普通であるが、この部分を除いて Fig. 1 に対応して以下にニモニク例のみ示す。

ニモニク (インテル・ニモニク) によるプログラム例

```
; POWER-ON INTERRUPT (START1)
POWON: LXI SP, 4800H ; このシステムではRAMが“47FF”Hま
      JMP POWRCV ; で実装してあると仮定
```

```
; POWER-ON ROUTINE
POWRCV: CALL INIT0
      LDA FGPOW
      ANA A
      JNZ PFAIL ; 停電フラグキ0なら 復電処理
      CALL INIT1
      {
POWR01: XRA A
      STA FGPOW ; 停電フラグ・リセット
POWR02: CALL PRCDRL1
      CALL PRCDRL2
      {
      CALL PRCDRLN
      JMP POWR02
```

```
; POWER FAIL RECOVER ; 復電処理ソフト
PFAIL: {
      JMP POWR01
```

```
; INITIAL PROCEDURE 0 (初期値設定)
INIT0: LXI H, CTIM0
      LXI D, DCTIM0
      MVI C, DATAm
      LDAX D
      MOV M, A
      INX H
      INX D
      DCR C
      JNZ INIT0
      {
      RET
```

DCTIM0より、インターバル・タイマー・データをCTIM0にセットする。

```
; INTERVAL-TIMER INTERRUPT (START2)
```



```

        PUSH A
        PUSH B
        PUSH D
        PUSH H
; INTERVAL TIMER
PTIME:  MVI A, 0BFH
        OUT 0FAH
        CALL TASKH1
        LXI H, CTIM0
        LXI D, STDATA
        DCR M
        JNZ ALRPOP
        CALL STTIM0
        CALL TASKH2
        CALL JUDGT
        JNZ ALRPOP
        CALL STTIM0
        CALL TASKH3
        CALL JUDGT
        JNZ ALRPOP
        CALL STTIM0
        CALL TASKHM
        POP H
        POP D
ALRPOP:  POP H
        POP D
        POP B
        POP A
        RET

JUDGT:  POP B
        POP H
        POP D
        PUSH B
        DCR M
        RET

STTIM0: LDAXD
        MOV M, A
        INX H
        INX D

```

レジスタの保存

; このシステムではこのようにタイマー割込み
; をリセットしている
; タスク1の起動

; タスク2の起動

; タスク3の起動

; タスクMの起動

レジスタの復元

; 起動時刻チェック

; 起動タイマーリセット

```
POP B
PUSH D
PUSH H
PUSH B
RET
```

§ 5 結 言

簡単ではあるが，かなり汎用性の高いマルチタスク・モニターを提案し，システム設計上の留意点を述べたつもりである。この提案と考察が実際の応用面で何らかの形で役立つことを希望する。

（昭和59年4月15日受付）

鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究 (第4報 耐震壁との比較)

(建築学科) 福 原 安 洋

Experimental Study on Reinforced Concrete Braced Frames (4th Report On the Comparison with the Shear Wall)

Yasuhiro FUKUHARA

In this report the reinforced concrete frame is compared with the reinforced concrete shear wall on the difference in behaviors of frame and on the abilities as the seismic resistant element through the testing two model frames with two stories. After discussing the experimental result, it is cleared that the braced frame is superior to the shear wall in regard to the shear stiffness after the occurrence of cracks and in regard to the ductile energy absorbing in histerisis loop of shear force-deflection of the frame.

§1 緒 言

前報^{1), 2), 3)}までに鉄筋コンクリート筋違入骨組の剛性, 耐力, 変形, 部材の性状さらに接合部について検討し, 骨組の基本的な性質について明らかにすることができた。しかし, 鉄筋コンクリート筋違入骨組は, 実際の設計にあまり用いられない。これは, この骨組は多層多スパンの建築物によく用いられているいわゆる耐震壁ほどその性質が十分に認識されていないことも一つの理由であろう。そこで設計者にとってこの骨組を設計に適用する際, その比較の対象として耐震壁を考え, その性質を理解することは有効なことである。さらに, 構造解析の上で耐震壁を筋違に置換することにより, それを行うことは一般的であるが, その妥当性の検討を行うためにも, 筋違入骨組と耐震壁の比較実験を行い検討することは意義深い。

Table 1 Properties of Materials

Concrete		Reinforcement			
F_c (kg/cm ²)	E_c (kg/cm ²)	D 6		3.2 ϕ	
		Yild Strength (t)	Tensile Strength (t)	Yild Strength (t)	Tensile Strength (t)
294	2.00	1.05	1.67	0.253	0.338

F_c = Compressive strength at 4 weeks age

E_c = Measured secant modulus of elasticity at $1/3 F_c$

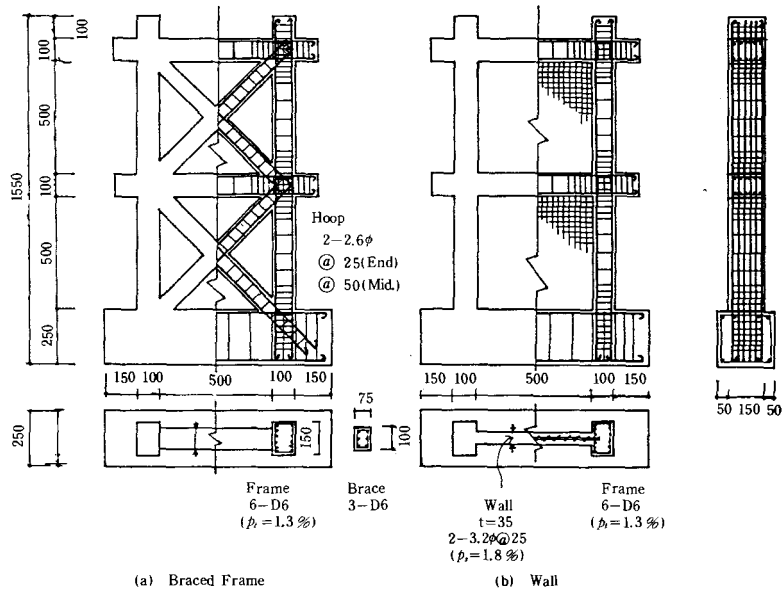
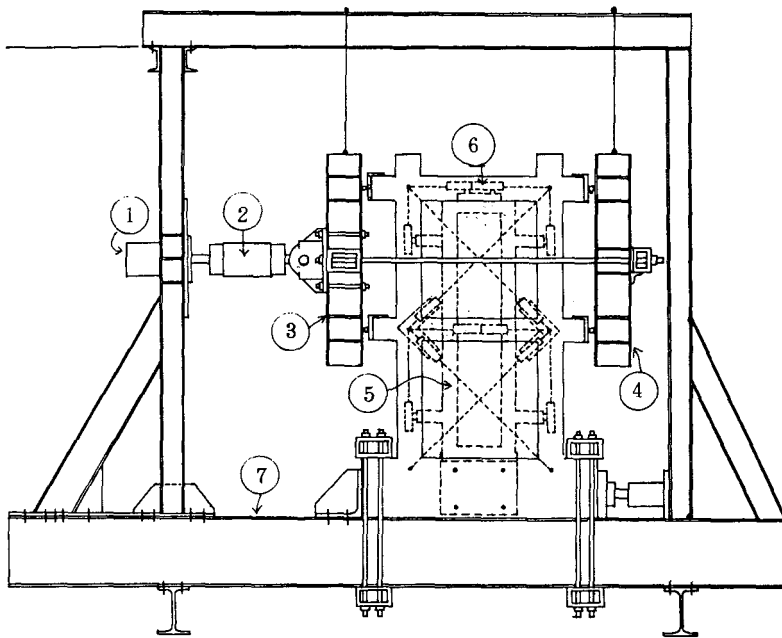


Fig. 1 Figures of specimens



1. Load Jack
2. Load Cell
3. Lateral Loading Beam(for positive Load)
4. " (for negative Load)
5. Frame for Measuring of Deflections
6. Electrical Potentiometer
7. Supporting Frame

Fig. 2 Tesing system

そこで、本報告では、鉄筋コンクリート筋違入骨組の多層骨組を想定し、2層骨組とし、耐震壁との比較検討のための実験を行った。

§ 2 実験概要

試験体は、Fig. 1 に示すように、2層1スパンの筋違入骨組と耐震壁各1個である。柱とはりの断面は $B \times D = 150\text{mm} \times 100\text{mm}$ で、筋違は $B \times D = 100\text{mm} \times 75\text{mm}$ である。また、耐震壁の壁の断面は、筋違入骨組の筋違の断面とコンクリート、鉄筋ともほぼ同一の体積としている。使用した材料の性質は Table 1 に示す。

加工および変形の測定方法は、Fig. 2 に示すが、オイルジャッキにより、試験体骨組の各層に水平方向の押引き交番加力を行い、変位測定フレームに固定した変位変換器により、節点の移動を測定し、さらに試験体の1層部分の節点に固定した変位変換器により骨組の対角線方向の伸縮を測定した。

また、主筋および、コンクリート表面の歪測定のため、ワイヤストレーンゲージを用いた。

§ 3 実験結果および計算値

一層における水平荷重 (P) と水平たわみ (δ) の関

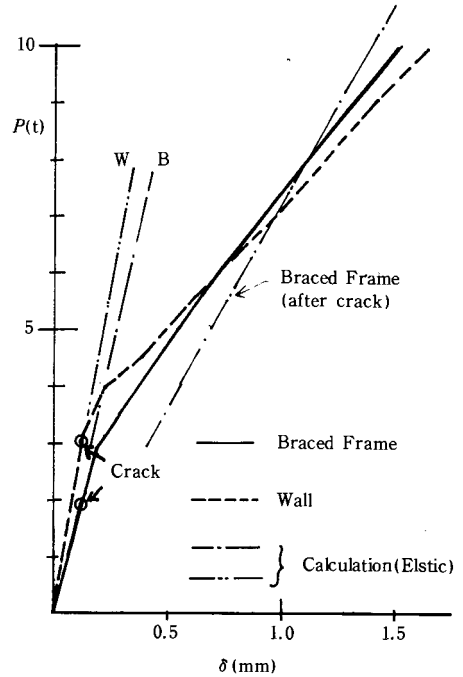


Fig. 3 Initial load-deflection curves

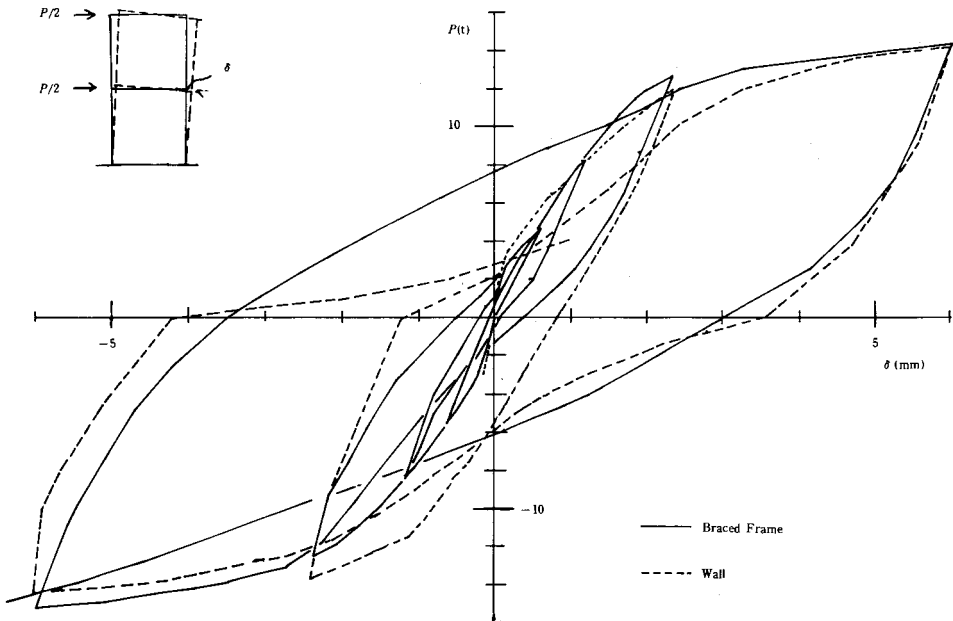


Fig. 4(a) Load-deflection curves

係を Fig. 3, Fig. 4(a), (b) に示す。そして終局載荷後のひびわれ状況を Fig. 5 に、さらに、主な実験結果を Table 2 に示す。また、部材の伸縮の状況を Fig. 6 に示す。

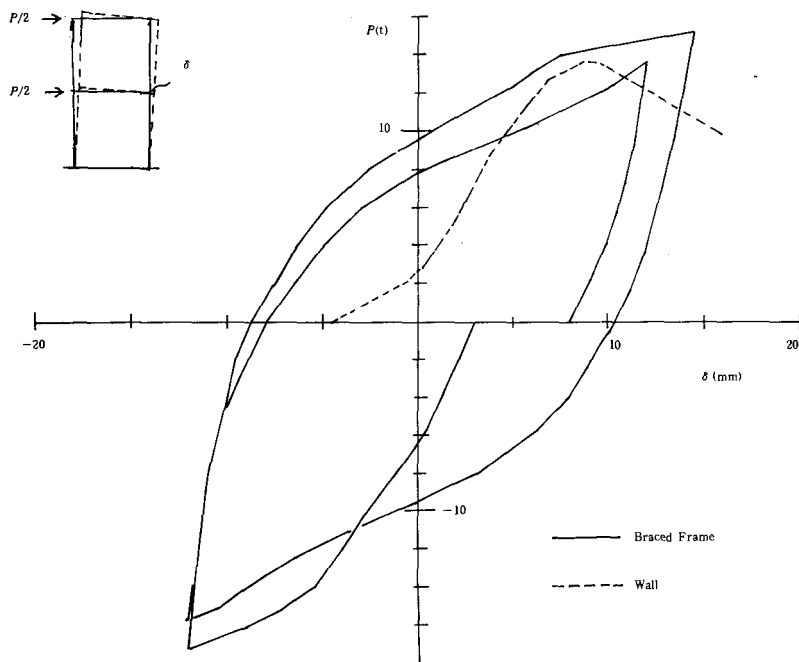


Fig. 4 (b) Load-deflection curves

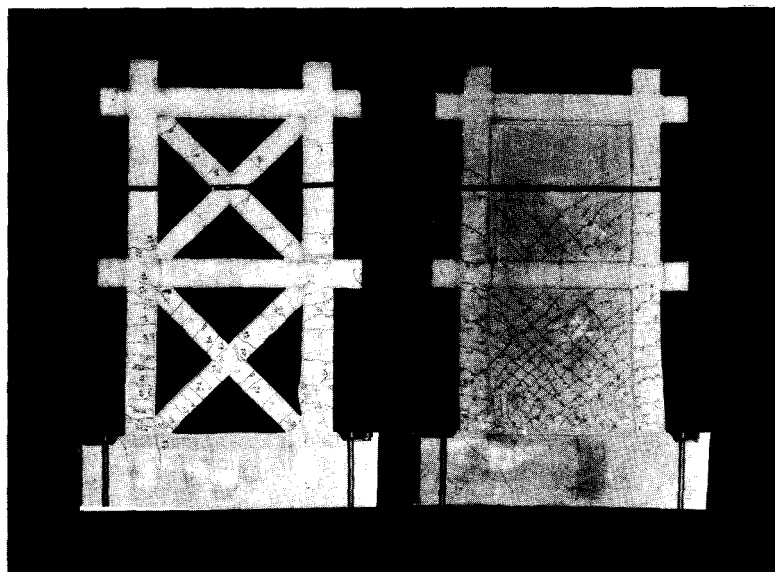


Fig. 5 Crack patterns of specimens at ultimate load

なお、強度およびたわみの計算には次の仮定および既往の式を用いた。

<筋違入骨組>

剛性 (P/δ) 節点剛、剛域なしの弾性線材としたたわみ角法による。ひびわれ発生部の材は主筋のみの断面とした。

ひびわれ 曲げひびわれは無視し、部材の引張応力度 $\sigma_t = 0.1 F_c$ で生じる。

降 伏 引張材の主筋が降伏応力度となり骨組が降伏機構を形成する。

終局荷重 1) 引張材の主筋の応力度が引張強さとなり骨組が崩壊機構を形成する。

2) 柱の圧縮せん断強度により骨組が崩壊機構を形成する。

$$Q_u = \{0.053 p_t^{0.23} (F_c + 180) / (M/Qd + 0.12) + 2.7 \sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0\} b \cdot j \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ただし } \sigma_0 = \frac{N}{BD}$$

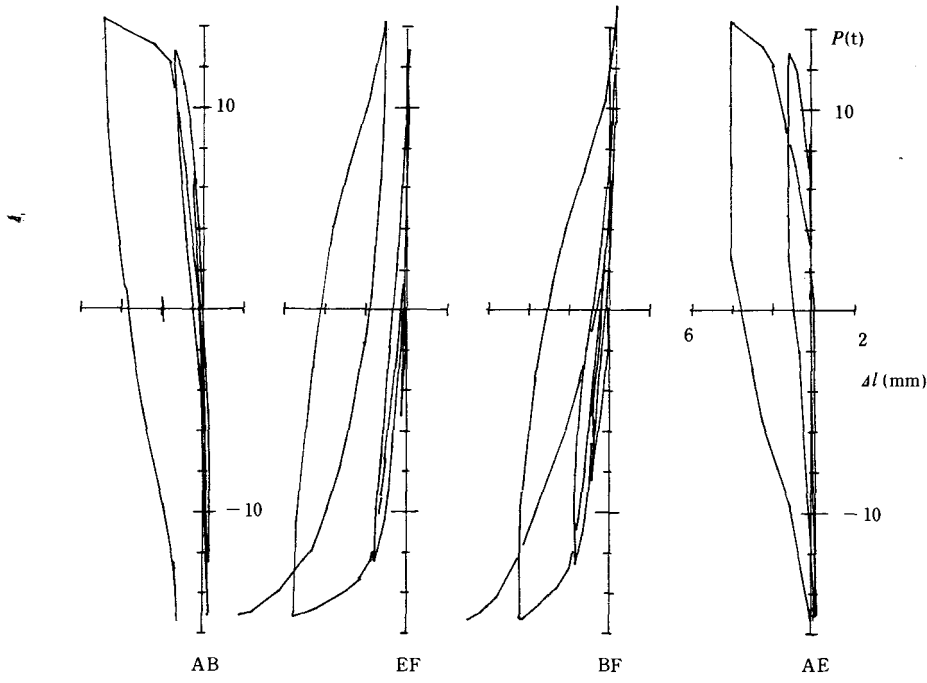
また、柱の軸方向力 ($=N$) の略算には、Fig. 7 に示すように、上層からの曲げモーメント ($M = l \times P/2$) による圧縮力 ($N_0 = M/l$) と、引張筋違の引張力 ($=T$) の柱方向成分を加えたものを用いる。また柱のせん断力の推定には Fig. 7 に示すように柱頭の曲げモーメントにはりの降伏曲げモーメントの 1/2 を用いる。

さらに柱の限界曲げモーメントは Fig. 8 に示す終局強度図より求める。

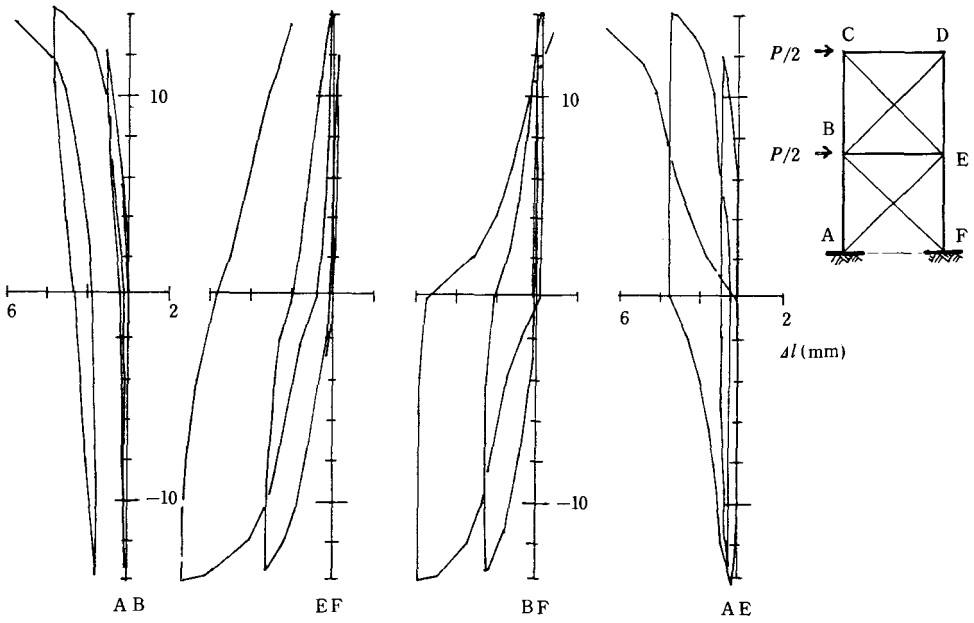
この図において

Table 2 Principal Test Results

		Braced Frame		Wall	
		1. Floor	2. Floor	1. Floor	2. Floor
Elastic Stiffness P/δ (t/cm)	Experiment	1.6 × 100	0.94 × 100	2.5 × 100	0.96 × 100
	Calculation	1.84 × 100	0.53 × 100	2.43 × 100	1.13 × 100
Crack Load $P(t)$	Experiment	Brace 2.0 Column 4.2	Brace 3.5 Column 4.2	Bend. 3.0 Shear 4.0	
	Calculation	Brace 4.1 Column 5.2	Brace 8.8 Column 12.2	Bend. 4.0 Shear 6.1	
Stiffness after Crack P/δ (t/cm)	Experiment	0.48 × 100		0.42 × 100	
	Calculation	0.73 × 100			
Yield Load $P(t)$	Experiment	12.0		11.5	
	Calculation	11.3		11.0	
Deflection at Yield Load δ (mm)	Experiment	2.1	4.48	2.2	4.22
	Calculation	2.35	3.64	2.4	4.8
Maximum Load $P(t)$	Experiment	15.8		13.5	
	Calculation	15.4			
Deflection at Maximum Load (mm)	Experiment	14.5		6.0	



(a) Braced Frame



(b) Wall

Fig. 6 (a),(b) Expansion and shrinking of members

$$\text{Eq. (a) は, } M_u = \{0.8a_s\sigma_y D + 0.12D^2 F_c\} \left(\frac{N_{\max} - N}{N_{\max} - 0.4bDF_c} \right)$$

$$\text{Eq. (b) は, } M_u = 0.8a_s \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5ND \left(1 - \frac{N}{6DF_c} \right)$$

$$\text{ただし, } N_{\max} = bDF_c + a_s \cdot \sigma_y$$

＜耐震壁＞

弾性剛性

ひびわれ

降伏荷重

片持ばりとし曲げおよびせん断変形を求める。 $P/(\delta_M + \delta_s) = P / \left(\frac{7P \cdot h^2}{12EI} + \frac{\kappa \cdot P}{G \cdot t \cdot l} \right)$

曲げひびわれは、曲げ応力度 $\sigma_b = 0.1F_c$ で生ずる。

せん断ひびわれは、平均せん断応力度 $\tau = P/(t \times l) = 0.1F_c$ で生じる。

広沢式⁵⁾による。

$$Q_u = \{0.0679 \times P_{lc}^{0.23} \times (F_c + 180) / \sqrt{M/(Q \times d) + 0.12} + 2.7\sqrt{p_{wh} \times f_{wy}} + 0.1\sigma_0\} \times b_e \times j$$

$$\text{ただし, } b_e = \frac{2 \times B \times D + t \times (l - D)}{l + D}, \quad p_{wh} = \frac{100 \times a_s}{b_e \times (l + D/2)}$$

終局時変形は

$$\delta/h = 4 \times 10^{-3}$$

記 号

a_s : 引張主筋断面積

a_s : 部材主筋全断面積

σ_y : 鉄筋降伏応力度

σ_{\max} : 鉄筋引張強さ

F_c : コンクリート強度

p_{wh} : b_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比

f_{wy} : 水平せん断補強筋の降伏点強度

l : スパン長

h : 層高さ

b : 部材断面幅

D : " せい

d : " 有効せい

j : $= 7/8 \cdot d$

t : 壁厚

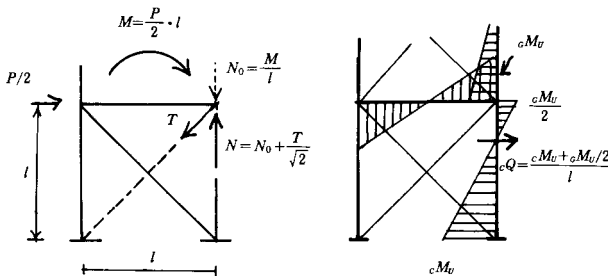


Fig. 7 Compressive force and shear force of column at ultimate strength

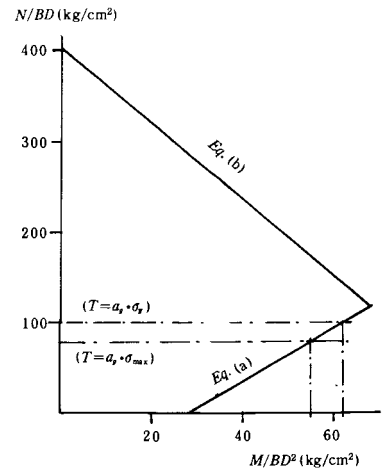


Fig. 8 Ultimate strength of column in combined axial force and bending (T: Force of bracing in Fig. 7)

§ 3 実験結果の検討および考察

3.1 剛 性

初期剛性は Fig. 3 より明らかなように、壁の方が筋違入骨組より大きい、ひびわれの発生後はほぼ同じ大きさとなった。またその勾配は初期剛性に較べてそれぞれ壁の場合 1/6.0, 筋違入骨組の場合 1/3.3 であり、壁の方が低下率が大きい。筋違入骨組の場合、計算値の勾配と一致しないのは、特に圧縮部材の曲げ剛性および曲げひびわれの影響によるものと考えられる。

耐震壁を筋違に置換する場合、それぞれの弾性時(ひびわれ発生前)のせん断剛性が等価であるよう筋違の断面を用いる場合が多い。本実験の試験体では壁のせん断変形を $\delta_s = k \cdot Q / (G \cdot t \cdot l)$ より $k=1.2$ として求めると、 $\delta_s = 0.896 \times P \times 10^{-6} \text{cm}$ で、一方の筋違入骨組は、筋違材の伸縮よりせん断変形を求めると $\delta_s = \sqrt{2} \cdot N / (E \cdot A_s) \cdot \sqrt{2} l = 2\sqrt{2} \cdot P / (E \cdot A_s) = 0.44 P \times 10^{-6} \text{cm}$ となり、両者とも大差はない。このことから、上記置換を行う際、ひびわれ前の剛性は耐震壁が大きく、ひびわれ発生後は、耐震壁の剛性低下が大きいことを考慮しなければならないことが言える。

さらに、Fig. 9 に骨組の一層部の回転の状況を示す。これは、骨組のみかけ上の曲げ変形を意味するが両骨組ともひびわれ後の曲げ回転量(ϕ)は、処女荷重で大きく、後行荷重で小さい傾向があり、その度合は、耐震壁が大きい。このことは、一たび、ひびわれが増大すると、その逆荷重において壁のせん断剛性の低下が大きくなっていくことを示している。

以上より、筋違入骨組は、耐震壁に比べて、ひびわれ発生後のせん断剛性の低下が少なく、骨組としての剛性低下が小さいという性質を有することがわかる。

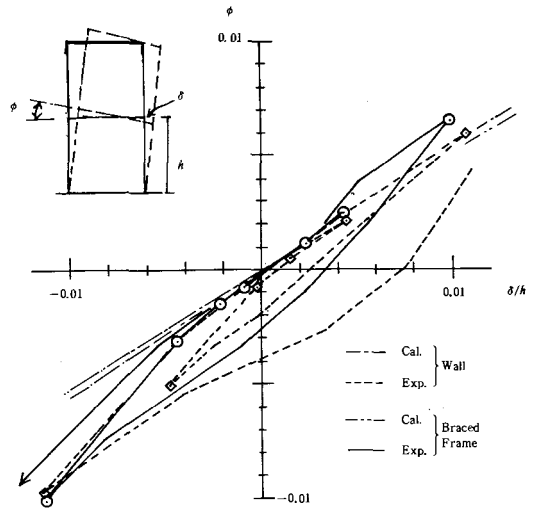


Fig. 9 Rotation of frames

3.2 ひびわれ強度

ひびわれ強度は、弾性計算の限界として、また、ひびわれに伴う急激な断面欠損として重要な意味を持つが、Table 2 に示すように、筋違入骨組では、筋違にまずひびわれが発生し、一方、壁の場合は柱の方が先でその後に壁板にせん断ひびわれが生じる。また、計算値がいずれも、実験値を上まわっているが、これは、コンクリートの引張強度の仮定の問題と、筋違入骨組の場合 2 次応力としての曲げ応力を考慮していないことなどが原因であろう。また、Fig. 3 で明らかなように、両試験体ともひびわれは、骨組水平部材角が微少な段階 ($\delta/h \approx 1/500$) で生じる。

3.3 降伏耐力および破壊

まず降伏荷重およびその時の変形は、両試験体とも、ほぼ同じであり、計算値とよく一致している。ただし、筋違入骨組の計算は、たわみ角法の線材理論に基づいているのに対し、耐震壁の計算値は、実験式である。さらに、終局破壊は Fig. 5 に見られるように、筋違入骨組の場合は柱の圧縮せん断破壊であり、耐震壁の場合は壁のせん断スリップ破壊であるが、Fig. 10 の歪図から、柱の主筋はいずれも降伏していることが明かである。従って終局耐力は、筋違入骨組では、引張材の降伏後の柱の破壊であり、耐震壁では、曲げせん断破壊によるものであることがわかる。さらに降伏荷重後、筋違

入骨組では、なおも荷重が増大し、引張材の主筋応力度はその引張強さに近くなり、骨組の水平変位が 14.5mm ($\delta/h \approx 1/40$) まで耐力を保持している。ところが、耐震壁では、水平変位 $\delta = 6\text{mm}$ ($\delta/h = 1/100$) で最大耐力となり、その後は急激なスリップ破壊をしている。以上のことより、筋違入骨組は、耐震壁に比べ、そのせん断力負担をするそれぞれの部材すなわち、筋違と壁の性能の差により、降伏耐力以後の耐力性状において優れていることが言える。

なお、筋違入骨組の柱材の破壊については、前述の式(1)によりせん断破壊の検討を行った。すなわち Fig. 7 および Fig. 8 に示す方法により求めた柱の推定せん断力は、最大荷重時 ($P = 15.8\text{t}$) でも $cQ = 1.97\text{t}$ (ただし、 $N = 15.8\text{t}$, $N/BD = 99.9\text{kg/cm}^2$, $cM_u/BD^2 = 62\text{kg/cm}^2$, $cM_u/BD^2 = 42\text{kg/cm}^2$, $l = 60\text{cm}$) であり、式(1)の計算値 $Q_u = 2.42\text{t}$ (ただし、 $p_t = 1.3\%$, $M/Q \cdot d = cM_u/cQ/d = 5.5$, $p_w = 0.0028$, $\sigma_{wy} = 2400\text{kg/cm}^2$, $\sigma_0 = 99.9\text{kg/cm}^2$) より小さいので、いわゆる柱のせん断破壊ではなく、曲げ圧縮降伏後の破壊と言える。

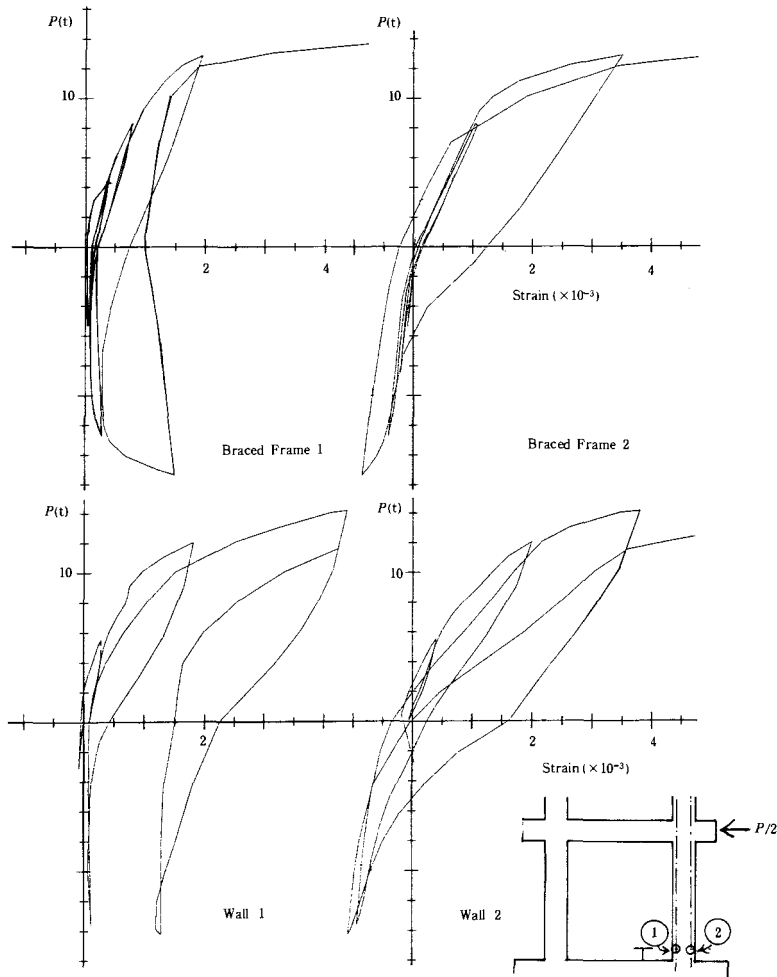


Fig. 10 Load-strain of reinforcement in column

3.4 復元力特性

Fig. 4に見られるように、荷重-たわみの関係は、両試験体ともほぼ似ている。しかしながら、耐震壁の場合には、減力後の再荷重時にたわみのスリップの現象が見られる。この現象は、前報^{1), 2)}における耐震壁の場合にも生じているが、これは筋違入骨組が耐震壁に比べて復元力特性の性質として勝れていることを示す。その差を検討するために、部材の伸縮や、歪量を見てみる。まず、Fig. 6の部材の伸縮の状況を見ると、柱材では、両試験体ともよく似た挙動をしているが、対角線方向の伸縮量(BFおよびAE材)を見ると、壁の場合に、伸びから縮みに移る時に、スリップ現象が認められる。さらにこれは、荷重-たわみ曲線における骨組のスリップ現象と対応しており、その原因であることは明らかである。次に、Fig. 10における柱材の歪図を見ると、耐震壁の場合圧縮歪が大きく、引張歪が小さいことはあるが、大きな差ではない。また、内側の主筋歪(1)は、ひびわれ後は圧縮歪を受けておらず、残留ひびわれが考えられる。さらに Fig. 11 の、対角線方向の圧縮歪の分布を比較すると、

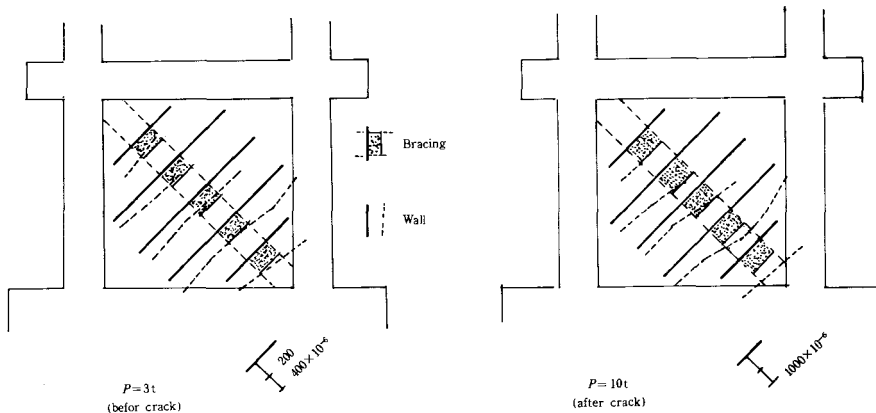


Fig. 11 Compressive strain distribution in diagonal direction

両試験体ともに、ほぼ同じであるが、耐震壁の場合、柱脚部付近では骨組全体の曲げ応力による圧縮歪も加わるため大きい歪を示し、これが壁板の圧縮せん断破壊につながる状況にある。以上のことから、耐震壁の荷重-たわみ関係のスリップは、対角線方向のひびわれの急激な収縮に加え、壁板の圧縮せん断破壊に起因するものと考えられる。

3.5 接合部および部材端

筋違入骨組の接合部は、複雑な応力を受けるが、その歪分布と、その歪から推定される応力の例を Fig. 12に示す。柱の主筋は降伏しているが、接合部内でのスリップはなく、また、外観上もひびわれは観察されず、損傷は生じなかった。これは、筋違入骨組の接合部では、隣接する部材が互に圧

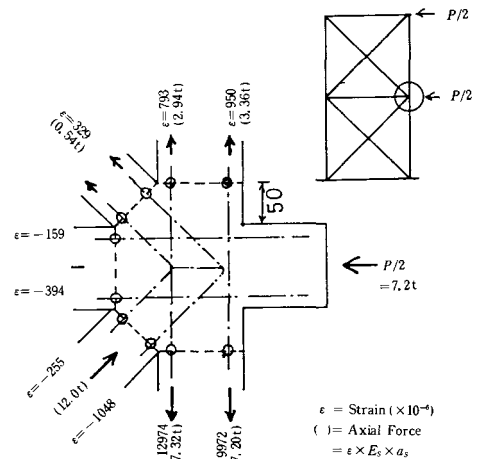


Fig. 12 Strain distribution of reinforcement in connection

縮と引張力を分担しており、この一対を一つの曲げ圧縮材と考えれば、一般ラーメンの接合部と似ているとも考えられ、特別な心配は不要であることを示すものである。

また、筋違入骨組の圧縮柱脚部では、骨組の大変形に伴い大きな曲げ歪を受けることが Fig. 10 における歪図からも明らかである。従って、柱脚部において帯筋を密にするなどの工夫によりより靱性の向上を計ることが適当である。

§ 4 結 言

今回の実験の結果、鉄筋コンクリート筋違入骨組と耐震壁の比較より次のことがわかった。

- (1) 骨組の水平剛性はほぼ似た性質であるが、ひびわれ発生後の塑性剛性の低下が耐震壁の方が大きい。これは、せん断剛性の要素である筋違および壁体の性状の差によるものである。
- (2) 荷重－たわみループにおいて、筋違入骨組は、丸みのある良好なループを描くのに対し、耐震壁は、スリップ現象を含む逆 S 字型のループとなる。
- (3) 降伏耐力以後において、耐震壁はせん断破壊に至り、余力および靱性に乏しいが、筋違入骨組は十分な耐力増と、靱性を有する。
- (4) 接合部でのひびわれなどの損傷はなかった。
- (5) 耐震壁を筋違入骨組に置換し構造計算を行う場合、弾性時のせん断剛性を等価させる方法では、水平剛性など、多少問題がある。しかし、これに関しては、さらに研究し、次回に報告するつもりである。

以上、この筋違入骨組は、耐震壁に比べ、開口を有するという利点だけでなく、耐震要素として、十分有効な性能を有すると言えるので、設計に多く用いられるよう期待する。

最後に、本研究にあたり、卒業研究として御協力いただいた北山氏、久山氏、前田氏および、御指導御助言をいただいた、広島大学嶋津博士に深謝します。

文 献

- 1) 福原：鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究（第1報），呉高専研究報告第12巻1号
- 2) 同：同（第2報），同 13巻1号
- 3) 同：同（第3報），同 15巻1号
- 4) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能
- 5) 広沢雅也：既往の鉄筋コンクリート造耐震壁に関する実験資料とその解析，建築研究資料 No. 6 March 1975, 建築研究振興協会

（昭和59年4月15日受付）

昭和58年度（1月～12月）本校教官による他誌発表論文一覧表

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
宇根 俊範	律令制下における改賜姓について ——宿祢賜姓を中心として——	ヒストリア 99号
寺本 康俊	満州の国際中立化案と小村外交	政治経済史学（第209号） 1983年12月発行
左古 悦雄	数学的帰納法の指導について ——数学教育全般をみわたして——	西日本数学教育学会例会（山口）
左古 悦雄	写像・関数・グラフの指導について	数学教育学研究紀要（第9号）
笠松 義隆 檜原 忠幹（広 大） 小島 健一（ 〃 ） 上垣内孝彦（ 〃 ）	Pressure Dependences of the Hyperfine Fields at the ^{115}In and ^{75}As Impurity Nuclei in Iron	Journal of the Physical Society of Japan Vol. 52, No. 1, 1983, pp. 263–266
笠松 義隆 平岡 耕一（広 大） 小島 健一（ 〃 ） 檜原 忠幹（ 〃 ） 上垣内孝彦（ 〃 ）	低温，高圧下での NMR 測定 （高圧セルおよび圧力ゲージ）	日本物理学会 第38回年会講演予稿集 （58年，東京）
平岡 耕一（広 大） 笠松 義隆 小島 健一（広 大） 檜原 忠幹（ 〃 ） 上垣内孝彦（ 〃 ）	Eu カルコゲナイドの NMR の圧力 変化 III	日本物理学会 秋の分科会講演予稿集（58年，岡山）
佐藤重夫・茶木正吉 畑 利一・石井義明 廣光清次郎	地域環境特性の基礎的共同研究（I）	特定研究昭和57年度研究成果報告書 昭和58年3月
白川 洋二	高校英語への導入と基礎固め To Bridge the Gap Between Junior High English and High School English	文化評論出版（58.2.1）
白川 洋二	DATA BOOK OF PEDATRON 2000 総合英語中学1年	文化評論出版（58.3.28）
白川 洋二	DATA BOOK OF PEDATRON 2000 総合英語中学2年	文化評論出版（58.3.28）
白川 洋二	DATA BOOK OF PEDATRON 2000 総合英語中学3年	文化評論出版（58.3.28）

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
白川 洋二 佐藤 行敏 (北海道工業大学) 他 15 名共著	工業英語へのアプローチ	日本工業英語協会 (58.4.28)
白川 洋二 大形久典 (県立音戸高校) 堂野崎諭 (県立呉商高校)	やさしい貿易と実際	広島貿易英語研究会 (58.8.31)
白川 洋二	DATA BOOK OF PEDATRON 2000 総合英語高校 1 年	文化評論出版 (58.12.26)
灘野 宏正 寺内 喜男 (広大工) 中本幸義 (オカネツ工業)	すぐばかき歯車の簡易歯形測定機の 試作について	日本設計製図学会中国支部講演論文 集No.3 (58年, 東広島)
寺内 喜男 (広大工) 灘野 宏正 河野 正来	歯面に銅めっきを施した歯車のス ーリング強さ	日本機械学会講演論文集 (No.830-5)(58年, 横浜)
寺内 喜男 (広大工) 灘野 宏正 河野 正来	四球試験における摩擦特性に及ぼす 銅めっきの影響	日本機械学会第21回シンポジウム “歯車”講演論文集 (No.830-8) (58年, 広島)
寺内 喜男 (広大工) 灘野 宏正 河野 正来	移動熱源による温度上昇について (第2報, 表面から放熱がある場合 の温度計算)	日本機械学会講演論文集 (No.835-3)(58年, 宇部)
寺内 喜男 (広大工) 灘野 宏正 中本幸義 (オカネツ工業)	Studies on Load-carrying Capac- ities of Carburized Gears on Leaded Free-cutting Steel	Bulletin of the JSME, Vol. 26, No. 217 (1983), p. 1230~1237.
寺内 喜男 (広大工) 灘野 宏正 河野 正来	移動熱源による温度上昇について (第1報, 三次元熱流による温度計 算)	日本機械学会論文集, 49巻, 444号 (昭58-8), 1434~1440
灘野 宏正 寺内 喜男 (広大工) 中本幸義 (オカネツ工業)	すぐばかき歯車の歯形測定機の製作	設計製図, 18巻, 107号 (昭58-12), 353~357
京免 進 近江 宗一 (阪大工) 碓井 建夫 (〃)	液体管路における乱流過渡流れの数 値解析	日本機械学会講演論文集, No.834-11 (1983), 1~8
京免 進 近江 宗一 (阪大工) 井口 学 (〃) 碓井 建夫 (〃)	Experimental Study of Eddy Viscosity Distribution in Pulsa- ting Pipe Flow	Technology Reports of Osaka University, Vol. 33, No. 1729 (1983), pp. 359~365.

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
藤田 幸史 廣光清次郎（福井大） 久良喜代彦 尾崎一夫（ソード電算機） 中島 茂（ " ）	ローカルエリア・ネットワークによるマイコン教育システムの開発	電子通信学会技術研究報告 Vol. 82, No 299（東京）
藤田 幸史	ローカルエリア・ネットワークによるマイコン教育システムの開発	高専情報処理研究会第3号（宇部）
河野 正来 桑原改造（広島電機大）	酸化アルミニウムスパッタ膜の摩擦 摩耗特性	潤滑，28巻，11号
赤尾不二雄 近江 宗一（阪大工） 井口 学（ " ）	長方形管内層流脈動流れの流動形態 と摩擦損失 （第1報，平行平板間内流の場合）	日本機械学会講演論文集 No. 833-5, p. 1~8（浜松）
同上 3名	長方形管内層流脈動流れの流動形態 と摩擦損失 （第2報，壁面せん断応力に対する 表示式と流動形態を規定する特性数）	日本機械学会講演論文集 No. 837-1, p. 299~306（金沢）
同上 3名	層流振動流れの助走距離	日本油空圧学会，14-4（昭58-7）， p. 52~56
同上 3名	長方形管内振動流れの乱流遷移と速度分布	日本機械学会論文集，49巻，447号， B（昭58-11），p. 2343~2351
赤尾不二雄 井口 学（阪大工） 近江 宗一（ " ） 松本俊也（日立金属）	長方形管内乱流脈動流れの流動形態， 摩擦損失および圧力の助走距離	日本機械学会講演論文集 No. 830-12, p. 205~208（仙台）
大野木幸男（広大工） 垣本 直人（ " ） 奥本 宏三	配電系統における短絡電流とフリッカ抑制	昭和58年電気学会全国大会（岡山）
Kosuke MIURA （広大工） Tsutomu YAMAZAKI Shingo IMAZU （広大工）	Influence of Radial Diffusion Loss of Electrons on Ionization Wave Produced by Spatial Resonance	Japanese J. Appl. Phys. Vol. 22, No. 2
荒川尋明・高野三郎 入沢寿逸・今津信吾 （長岡技大） 山崎 勉	磁場中プラズマにおける Boltzmann 方程式の衝突項	日本物理学会第38回年会講演予稿集 （八王子，29p-T-2）

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
佐々木博司（広大工） 山崎 勉	電力系統の静的状態推定における並列計算アルゴリズムについて	電気学会，電力技術研究会（札幌，PE-83-3）
山崎 勉	ホロー陰極中での電子衝突周波数	日本物理学会秋の分科会（岡山，13a-DF-4）
山崎 勉 佐々木博司（広大工）	電力系統の静的状態推定における並列計算アルゴリズムに関する一考察	昭和58年度電気四学会中国支部連合大会講演論文集（岡山，10813）
荒川尋明・今津信吾（長岡技大） 松本 道男（山梨大） 山崎 勉	磁界中プラズマにおける Boltzmann 方程式の衝突項について	電気学会，プラズマ研究会（甲府，EP-83-33）
太田 光雄（広大工） 中村一正（広島商船高専） 加藤 裕一	複合確率過程モデルによる非定常・非ボアソン型確率過程の予測理論と道路騒音環境システムへの適用	第22回 SICE 学術講演会（九工大）
加藤 裕一 太田 光雄（広大工） 西村公伸（宇部高専）	車間分布の非定常性からみた交通騒音のレベル分布予測——アーラン分布を含む一般理論	昭和58年度電気四学会中国支部連合大会（岡山理大）
太田 光雄（広大工） 中村一正（広島商船高専） 加藤 裕一	入力帯域幅と騒音計の時定数が Leq 評価量に及ぼす一効果	日本騒音制御工学会技術発表会講演（東京）
石井 義明	試料と容器間の漏水の影響を考慮した透水試験	土木学会中国四国支部学術講演会概要集（58年，松山）
丸上 晴朗	三次元弾性論による平板の解析	第35回土木学会中国四国支部学術講演会講演概要集（1983年，松山）
竹村 和夫 阿部 康俱	コンクリート中の気泡がコンクリートの強度に及ぼす影響	土木学会中国四国支部学術講演会概要集（58年，松山）
竹村 和夫 阿部 康俱	細骨材に砕石ダストとフライアッシュを用いたコンクリートについて	セメント技術年報 No. 37（1983）
竹村 和夫 阿部 康俱	Water Requirement and Strength of Concretes Using Crushed Stone Dust and Fly Ash as Fine Aggregate	CAJ REVIEW OF THE 37 th GENERAL MEETING-TECHNICAL SESSION-1983
小堀 慈久 網干 寿夫（広大工）	東広島市周辺の土質・地形・地質状況	土木学会中国四国支部第35回学術講演会（松山） 昭和58年 5 月
小堀 慈久 網干 寿夫（広大工）	比治山における斜面風化状況調査——広島市内——	文部省科研．計画研究班第 5 回マサ土研究会（三次） 昭和58年11月

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
小堀 慈久 網干 寿夫(広大工)	分光反射特性及び MSS データの温度・日照の影響について	文部省科研・計画研究班第5回マサ土研究会(三次) 昭和58年11月
見沢 繁光(愛大工) 中野 修治 重松恒美(徳山高専)	純曲げを受ける鉄筋コンクリートスラブの極限解析	土木学会論文報告集, 第381号
中野 修治 重松恒美(徳山高専)	三方向配筋鉄筋コンクリート板の終局荷重について	土木学会中国四国支部第35回学術講演会概要集(58年, 松山)
田村隆弘(徳山高専) 重松恒美(〃) 中野 修治	折板鋼板を用いた連続合成床版の耐荷力について	土木学会中国四国支部第35回学術講演会概要集(58年, 松山)
中野 修治 田村隆弘(徳山高専) 重松恒美(〃)	横方向鉄筋力を考慮した箱桁の終局荷重について	土木学会第38回学術講演会概要集(58年, 横浜)
大橋 晶良 桃井 清(長岡技大) 原田秀樹(〃)	流動層型生物膜廃水処理装置における軸方向流体混合特性	化学工学協会第17回秋季大会研究発表講演要旨集(1983, 仙台)
清 和四士	鉄筋コンクリートスラブの温度撓みについて(第1報, 温度撓みの実測)	日本建築学会学術講演梗概集 昭和58年度大会(北陸)
清 和四士	鉄骨柱底の摩擦係数実験	広島県建築士会会報 (No. 74)
松浦 誠(広大工) 西村 光正	マサ地盤における N_{sw} 値と土性の関連について	広島大学工学部研究報告 第31巻第1号(昭58.1)
西村 光正 ほか	マサ土地盤の圧縮性状に関する研究	日本建築学会中国支部 基礎地盤委員会編(昭58.3)
松浦 誠(広大工) 西村 光正	載荷試験におけるクリープ沈下とその推定	日本建築学会中国支部研究報告集 第11巻1号(昭58.10)
松浦 誠(広大工) 西村 光正	マサ地盤の圧縮性に関する研究 第Ⅲ報 沈下量の算定法	日本建築学会論文報告集 第332号(昭58.10)
藤井 健	Coupled Roomの音響特性について(平衡状態の受音室内平均音圧レベルに関する実験的考察)	日本建築学会中国支部研究報告集(第10巻2号)
藤井 健	Coupled Roomの音響特性について(平衡状態における平均エネルギー密度・その2)	日本建築学会大会学術講演梗概集(昭58, 北陸)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表場所
角舎 輝典 本間 宏（豊橋技大）	室内音響の固有振動解析に対する有 限要素法の有効性について	日本建築学会大会学術講演梗概集 （昭58，金沢）

編 集 委 員

灘	野	宏	正
田	邊	達	雄
左	古	悦	雄
奥	本	宏	三
中	野	修	治
正	野 崎	昭	二

呉工業高等専門学校
研究報告

第20巻 第1号 (1984)
(通巻 第34号)

昭和59年8月印刷
昭和59年8月発行

編集者
発行者

呉工業高等専門学校

〒737 呉市阿賀南2丁目2-11
電話 (0823) 71-9121

印刷所

たくみ印刷株式会社

〒733 広島市西区井口明神
2丁目1-21
電話 (082) 278-2111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

Vol. 20, No. 1 (Consecutive No. 34)
August, 59th Year of Showa (1984)



1. Numerical Calculations of Transient Flow in a Liquid Line	Susumu KYOMEN	1
2. On the Surface Temperature Rise of Composite Solids Caused by Moving Heat Source	Masaki KOHNO Hiromasa NADANO	13
3. A Study of a Change of the Color Rendering Properties of Three-band Fluorescent Lamps by Electric Sources	Kazuhiko HARADA	19
4. Utilization of Microcomputers System in Training of Systems Engineering	Tsutomu YAMAZAKI Yoshifumi FUJITA	23
5. Experimental Study on the Hollow-Cathode Discharge IV.	Tsutomu YAMAZAKI	35
6. An Investigation into the Development of a Multitask Monitor for Use with the Z 80 CPU System	Yuuichi KATO	45
7. Experimental Study on Reinforced Concrete Braced Frames (4th Report On the Comparison with the Shear Wall)	Yasuhiro FUKUHARA	53
List of Papers Published or Read outside This College by Its Teaching Staff in 1983.		65