

研 究 報 告

第17巻 第1号 (通巻第28号)

昭和56年9月 (1981)

目 次

1. 双曲線接合カムの研究(第1報)ー往復従動節ー	糸 島 寛 典	1
2. 単弦曲線接合カムの研究(第1報)ー往復従動節ー	糸 島 寛 典	21
3. 転位歯車の歯元応力の計算	灘 野 宏 正	39
4. 分配形噴射ポンプを用いた燃料噴射系に関する研究	河 口 勇 治	45
5. うず室式ディーゼル機関の燃焼解析	河 口 勇 治	55
6. マイクロコンピュータによる簡易騒音解析	藤 田 幸 史 廣 光 清次郎	63
7. 蛍光灯照明による目の疲労の研究	原 田 一 彦	75
8. 多変量グラム・シャリエ級数の逐次的 展開係数決定アルゴリズム	廣 藤 光 清次郎 藤 田 幸 史	79
9. 超高速過渡現象解析システム / F A C O M 230-28S・ データ・コンバージョン・ソフトウェアの開発	廣 藤 光 清次郎 町 田 勝 吉	87
10. LKIT-16 マイクロコンピュータ・ソフトウェアシステムの 開発(第1報)ー拡張命令用逆アセンブラー	吉 野 信 行 高 木 純 一	97
11. マイクロカセットテープレコーダによる簡易小型デジタル・ データ収録システムの開発	吉 野 信 行 三 島 正 憲 山 崎 勉 碓 井 浄 司	113
12. 窒素プラズマ中の電子輸送係数におよぼす振動励起の影響		125
13. Timoshenko 梁の差分解法	久 良 喜代彦	135
14. 三次元弾性論による板の解析	丸 上 晴 郎	145
15. 減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響について (その2負勾配の塑性剛性をもつ1質点系モデルの応答特性)	門 前 勝 明 岸 田 政 久	159
16. 春秋正義訳註(三)	枅 本 稔 二	172

昭和55年度本校教官による他誌発表論文一覧表..... 203

双曲線接合カムの研究 (第1報)

—— 往復従動節 ——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Hyperbolic Cam (1st Report) — Reciprocating Follower —

Hironori ITOSHIMA

The connective hyperbolic cam has a profile composed of the three hyperbolas and the two circular arcs, and the three evolutes of the three hyperbolas are in contact with each other. If a cross point of the two evolutes coincides with a rotating center of the cam, the acceleration at the starting point and the stop point along each stroke can be zero. And the motion of the follower can be smoothed.

In this paper, the motion of the reciprocating offset follower with a circular arc is analysed. The maximum acceleration of the follower, the pressure angle and the specific sliding are discussed. The maximum acceleration of the follower can be decreased using the two circular arcs or a circular arc and a involute curve along the cam profile. When a lift of the follower and the rotating angle of the cam are specified, the design of the best cam can be decided.

§ 1 緒 言

前報¹⁾²⁾において楕円接合カムと円弧楕円接合カムにおける往復従動節の運動を論じたが本報告においてかたより往復円弧従動節において片行程でカムの輪郭に同大の2個あるいは3個の双曲線を接合し、その間に円弧またはインボリュート曲線を挿入して最大加速度を減少させ、運動の始点および両停留カムの場合は終点の加速度を零となるように、すなわち加速度曲線が修正台形カムとなるように、双曲線の縮閉線を連続の形とし、縮閉線の交点をカムの回転中心とし、往復従動節の場合カムの寸法を従動節のリフトの長さを基準として従動節の運動並びに最大押進め角、最大滑り率等を調べて最適な双曲線接合カムの設計を行う。

§ 2 記 号

a, b : 双曲線の係数

Σ : カムの作用角

α : 第1双曲線の作用角

β : 第2双曲線の作用角

γ : 第3双曲線の作用角

τ_1 : 第1円弧の作用角

- τ_2 : 第2円弧の作用角もしくはインボリュートの作用角
 θ : カムの回転角
 θ_d : 上昇点における停留角
 θ_e : 下降点における停留角
 h : 従動節の変位
 $dh/d\theta$: 従動節の速度係数
 $d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度係数
 ϵ : カムの始点よりの位置を示す角
 H : 従動節のリフト
 r : 従動節の円弧半径
 e : かたより量
 R_0 : カムの基礎円半径
 t : カムの高さ
 k : 下降点における従動節の高さ
 u : インボリュート曲線の基礎円半径
 ρ_T : カムの曲率半径
 δ : 法線と x 軸のなす角
 ω : カムの角速度
 ϕ : 押進め角
 σ_1 : カムの滑り率
 σ_2 : 従動節の滑り率

§ 3 双曲線の法線座標表示

図1に示す直角座標 xy において双曲線は次式で示される。

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 - \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1, \quad b^2x^2 - a^2y^2 = a^2b^2 \quad \dots\dots (1)$$

双曲線上の任意の点 T の曲率中心を Q とすれば, Q 点は双曲線の縮閉線 FG 上にあり, TQ は Q 点で FG に接する。

法線 TQ と x 軸の交角を δ とし, δ をパラメーターとして T, Q 点の xy 座標と曲率半径 TQ を求める。式(1)を x で微分すれば

$$\frac{dy}{dx} = \frac{b^2x}{a^2y}, \quad \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{b^2(a^2y^2 - b^2x^2)}{a^4y^3} \quad \dots\dots (2), (3)$$

となる。 T, Q 点の xy 座標を x_T, y_T, x_Q, y_Q とし $TQ = \rho_T$ とすれば一般に次式が成立する。

$$x_Q = x_T - \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} \frac{dy}{dx} \frac{d^2y}{dx^2} \quad \dots\dots (4)$$

$$y_Q = y_T + \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} \frac{d^2y}{dx^2} \quad \dots\dots (5)$$

$$\rho_T = \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}} \left/ \frac{d^2y}{dx^2} \right| \quad \dots\dots (6)$$

図1において次式が成立し, そして式(4), (5), (2)により

$$\tan \delta = \frac{y_T - y_Q}{x_Q - x_T} = \frac{dx}{dy} = \frac{a^2y}{b^2x} \quad \dots\dots (7)$$

となるので, これを式(1)に代入すれば x_T, y_T は次式の形となる。

$$x_T = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta}}, \quad y_T = \frac{b^2 \tan \delta}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta}} \quad \dots\dots (8)$$

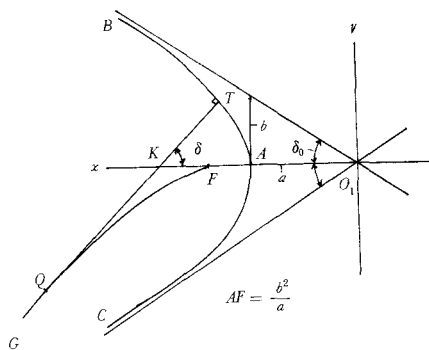


図1 双曲線と縮閉線の法線表示

もし δ が負の場合は x_T は正, y_T は負となり, T 点は x 軸より下方の双曲線上の点となる。
 Q 点の xy 座標は式(4), (5)に式(2), (3)を代入すれば次式が得られる。

$$x_Q = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_T)^3, \quad y_Q = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_T)^3 \quad \dots\dots\dots (9)$$

図1の F 点では $\delta = 0$ だから, 式(8)より $x_T = a$ となり, $O_1A = (a^2 + b^2)/a$, $AF = b^2/a$ となる。
 $\delta < 0$ の場合は $y_T < 0$, 式(9)より $y_Q > 0$ となるので, Q 点は反対側の縮閉線 FH 上の点となる。
 縮閉線の方程式は式(9)の x_T, y_T を式(1)に代入して次式となる。

$$(ax_Q)^{\frac{2}{3}} - (-by_Q)^{\frac{2}{3}} = (a^2 + b^2)^{\frac{2}{3}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

曲率半径 ρ_T は式(6)に式(2), (3)を代入して整理すれば次式となる。

$$\rho_T = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta} \right]^{\frac{3}{2}} = \frac{a^2 b^2}{\cos^3 \delta (a^2 - b^2 \tan^2 \delta)^{\frac{3}{2}}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

なお図1において漸近線が x 軸の交角を δ_0 とすれば

$$\tan \delta_0 = \frac{b}{a}, \quad \tan \delta_{\max} = \frac{a}{b} \quad \dots\dots\dots (12), (13)$$

から $\delta = \tan^{-1}(a/b)$ となれば $\rho_T = \infty$ となるので δ_{\max} に注意する必要がある。

§ 4 円弧双曲線接合カムの輪郭

カムの往き行程の輪郭に3個の同大の双曲線を用い, その間にそれぞれ1個の円弧を接合したものを円弧双曲線接合カムと呼ぶが, 円弧がなければ双曲線接合カムとなるので, 一般的に円弧双曲線接合カムを論ずる。

図2は円弧双曲線接合カムの往き行程の輪郭を曲線 AF で示し, カムの回転中心は O 点である。曲線 AB, CD, EF はそれぞれ双曲線の一部で第1, 第2, 第3双曲線と呼び, それらの作用角を α, β, γ で示す。曲線 BC, DE はそれぞれ P, G 点を中心とする円弧で, これを第1, 第2円弧と呼びその作用角(中心角)を τ_1, τ_2 で示す。後に曲線 DE をインボリュート曲線にする場合を論ずる。
 $\angle AOF$ はカムの往き行程の作用角で Σ で表わす。
 Σ は次式で示される。

$$\Sigma = \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 + \gamma \quad \dots\dots\dots (14)$$

直角座 xO_1y において a, b の値をもつ双曲線を描き, この上に点 A をとり, A 点での曲率半径を AO とすれば O 点はこの双曲線の縮閉線 P_1P 上にある。 AO をカムの基礎円半径 R_0 とし, AO と x 軸の交角を δ_A とすれば式(11)より

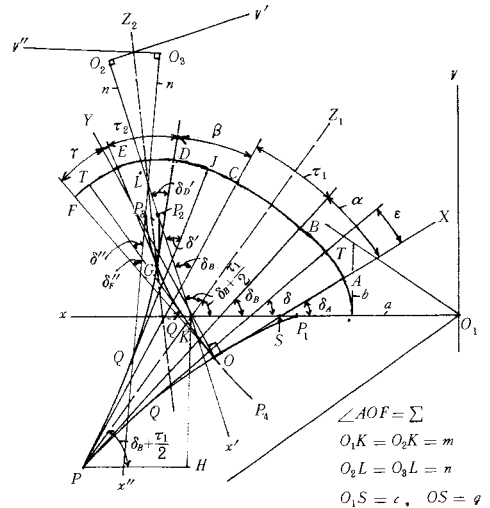


図2 円弧双曲線接合カムの往き行程の輪郭

$$R_0 = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta_A}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A} \right]^{\frac{3}{2}}, \quad \delta_A = \tan^{-1} \sqrt{\frac{a^2 (R_0/a^2 b^2)^{\frac{2}{3}} - 1}{1 + b^2 (R_0/a^2 b^2)^{\frac{2}{3}}}} \quad \dots\dots\dots (15), (16)$$

が得られ、 δ_A を指定すれば R_0 が、 R_0 を指定すれば δ_A が求められ。普通 δ_A を指定して各寸法の計算を行う。輪郭上の任意の点を T とし、 T 点の法線 TQ と AO の交角を ϵ で表し、 ϵ を指定すれば輪郭上の点が定まる。

4.1 第1双曲線 AB ($0 \leq \epsilon \leq \alpha$)

図2において A 、 O 点の座標を x_A , y_A , x_O , y_O とすれば式(8), (9)よりそれらの座標は次式のようになる。

$$x_A = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A}}, \quad y_A = \frac{b^2 \tan \delta_A}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$x_O = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_A)^3, \quad y_O = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_A)^3 \quad \dots\dots\dots (18)$$

第1双曲線 AB 上の任意の点 T の曲率半径 TQ と x 軸の交角を δ とし、 TQ の長さを ρ_T , TQ と AO の交角を ϵ とすれば式(8), (9)より次式が得られる。

$$\delta = \delta_A + \epsilon \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$x_T = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta}}, \quad y_T = \frac{b^2 \tan \delta}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$x_Q = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_T)^3, \quad y_Q = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_T)^3 \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\rho_T = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

4.2 第1円弧 BC ($\alpha \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1$)

図2において B 点の曲率半径 ρ_B を BP とし、 BP と x 軸の交角を δ_B とすれば、 B , P 点の xy 座標と ρ_B は次式のようになる。

$$\delta_B = \delta_A + \alpha \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$x_B = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_B}}, \quad y_B = \frac{b^2 \tan \delta_B}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_B}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$x_P = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_B)^3, \quad y_P = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_B)^3 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$\rho_B = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta_B}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_B} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

第1円弧 BC は P 点を中心とし、半径 ρ_B の円弧で、 $\angle BPC = \tau_1$ なので、円弧上の任意の点 T と P を結ぶ線 TP の x 軸の交角を δ とし、 TP が AO となす角を ϵ とすれば δ と T 点の xy 座標は次式で示される。

$$\delta = \delta_A + \epsilon \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$x_T = x_P - \rho_B \cos \delta, \quad y_T = y_P + \rho_B \sin \delta \quad \dots\dots\dots (28)$$

4.3 第2双曲線 CD ($\alpha + \tau_1 \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta$)

図2において $\angle BPC$ の2等分線 PZ_1 を引き、 PZ_1 を対称軸として xO_1y 座標 $x'O_2y'$ をとり、第1双曲線 CD を描けばその縮閉線 P_2P は P_1P と対称である。第2双曲線 CD 上の任意の点 T をとり、曲率半径 TQ と x' 軸の交角を δ' とし、 TQ が AO となす角を ε とし、 x 軸と x' 軸の交点を K とすれば $\angle O_2KZ_1 = \angle O_1KZ_1 = \delta_B + \tau_1/2$ で、 CP が x' 軸の交角は δ_B に等しく、 TQ が CP となす角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1)$ だから

$$\delta' = \delta_B - \varepsilon + \alpha + \tau_1 = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad \dots\dots\dots (29)$$

となり、 T 、 Q 点の $x'y'$ 座標は第1双曲線の場合と同様に次式のようにになる。

$$x_{T'} = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta'}}, \quad y_{T'} = \frac{b^2 \tan \delta'}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta'}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$x_{Q'} = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_{T'})^3, \quad y_{Q'} = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_{T'})^3 \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\rho_T = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta'}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta'} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (32)$$

D 点の曲率中心を G とし、 DG と CP の交角を β とすれば G 点がかもし PP_2 上にあるかぎり $PG < PP_1$ だから

$$\beta < \alpha + \delta_A, \quad \delta_A > \beta - \alpha \quad \dots\dots\dots (33)$$

でなければならぬ。もし $\beta > \alpha + \delta_A$ のときは G 点は PP_2 の x' 軸を対称軸とする反対側の縮閉線上に来るので以下の事項は成立しなくなる。

4.4 第2円弧 DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

図2において D 点の曲率半径 DG が x' 軸の交角を δ_D' とすれば

$$\delta_D' = \delta_B - \beta = \delta_A + \alpha - \beta \quad \dots\dots\dots (34)$$

となるので、 D 、 G 点の $x'y'$ 座標と曲率半径 ρ_D は次式のようにになる。

$$x_{D'} = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_D'}}, \quad y_{D'} = \frac{b^2 \tan \delta_D'}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_D'}} \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$x_{G'} = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_{D'})^3, \quad y_{G'} = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_{D'})^3 \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\rho_D = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta_D'}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_D'} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (37)$$

第2円弧 DE は G を中心とし半径 ρ_D の円弧だから、円弧上の T 点が x' 軸となす角を δ' とし、曲率半径 TQ が AO をなす角を ε とすれば、 TQ が DG となす角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta)$ だから次式が得られる。

$$\delta' = \delta_D' - \varepsilon + \alpha + \tau_1 + \beta = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$x_{T'} = x_{G'} - \rho_D \cos \delta', \quad y_{T'} = y_{G'} + \rho_D \sin \delta' \quad \dots\dots\dots (39)$$

4.5 $x'y'$ 座標の xy 座標への変換

図2において点KよりP点の横軸に垂線KHを下し、 $O_1K = O_2K = m$ とすれば $\angle KPH = \delta_B + \tau_1/2$ だから m は次式となる。

$$m = x_P + y_P / \tan(\delta_B + \tau_1/2) \quad \dots\dots\dots (40)$$

$\angle O_1KO_2 = 2\delta_B + \tau_1$ だから、座標変換は次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x &= m - (m - x') \cos(2\delta_B + \tau_1) - y' \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ y &= (m - x') \sin(2\delta_B + \tau_1) - y' \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (41)$$

4.6 第3双曲線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

図2において、第2円弧の中心角と $\angle DGE$ の2等分線 GZ_2 を引き、この線を対称軸として第2双曲線 CD の対称曲線 EF を作る。 $x'O_2y'$ 座標の対称座標 $x''O_3y''$ を引き、第2双曲線の縮閉線 P_2P の対称曲線 P_3P_4 を引き、この第3縮閉線が O 点を通るようにする。この方法については後述する。そして O 点において縮閉線 P_3P_4 に接線を引き、曲線 EF の交点を F とすれば EF が第3双曲線となる。

EF 上に任意の点を取り、曲率半径 TQ と x'' 軸の交角を δ'' 、 TQ と AO のなす角を ε とすれば TQ が EG となす角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$ で、 EG が GZ_2 となす角は δ_D' となるので

$$\delta'' = \delta_D' + \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2) = \delta_A + \varepsilon - 2\beta - (\tau_1 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (42)$$

となる。 T 、 Q 点の $x''y''$ 座標と ρ_T はそれぞれ次式となる。

$$x_T'' = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''}}, \quad y_T'' = \frac{b^2 \tan \delta''}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''}} \quad \dots\dots\dots (43)$$

$$x_Q'' = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_T'')^3, \quad y_Q'' = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_T'')^3 \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$\rho_T = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta''}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (45)$$

往き行程の終点 F の法線 FO が x'' 軸の交角を δ_F'' とすれば式(42)より

$$\delta_F'' = \delta_A + \alpha - \beta + \tau \quad \dots\dots\dots (46)$$

となるので、 F 、 O 点の $x''y''$ 座標と F 点の曲率半径 ρ_F は次式のようになる。

$$x_F'' = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_F''}}, \quad y_F'' = \frac{b^2 \tan \delta_F''}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_F''}} \quad \dots\dots\dots (47)$$

$$x_O'' = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_F'')^3, \quad y_O'' = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_F'')^3 \quad \dots\dots\dots (48)$$

$$\rho_F = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta_F''}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_F''} \right]^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (49)$$

4.7 $x''y''$ 座標の $x'y'$ 座標への変換

図2において x' と x'' 軸の交点を L とし、 $O_2L = O_3L = n$ とすれば $\angle O_2LZ_2 = \delta_D' - \tau_2/2$ 、 $\tan \angle O_2LZ_2 = -y_G' / (x_G' - n)$ から

$$n = x_G' + y_G' / \tan(\delta_D' - \tau_2/2) \quad \dots\dots\dots (50)$$

となり、 $x''y''$ 座標の $x'y'$ 座標の変換式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} x' &= n - (n - x'') \cos(2\delta_D' - \tau_2) - y'' \sin(2\delta_D' - \tau_2) \\ y' &= (n - x'') \sin(2\delta_D' - \tau_2) - y'' \cos(2\delta_D' - \tau_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (51)$$

4.8 xy 座標の XY 座標への変換

図2において xO_1y 座標を OA を X 軸、 O 点を原点とする XOY 座標に変換するには x , X 軸の交点を S とし、 $O_1S = c$, $OS = g$ とすれば

$y_A = (c - x_A) \tan \delta_A$ と式(17)から

$$c = (a^2 + b^2) / \sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A} \dots\dots\dots (52)$$

となり、 $\overline{SA} = y_A / \sin \delta_A$ と式(17)から次式が得られる。

$$g = R_0 - \frac{b^2}{\cos \delta_A \sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta_A}} \dots\dots\dots (53)$$

xy 座標の XY 座標への変換式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} X &= g - (x - c) \cos \delta_A + y \sin \delta_A \\ Y &= (x - c) \sin \delta_A + y \cos \delta_A \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (54)$$

以上により各作用角 α , β , γ , τ_1 , τ_2 が決定されれば往き行程のカムの輪郭が XY 座標で表示できる。

§5 作用角 Σ , α , β , γ , τ_1 , τ_2 の指定

カムの往き行程の作用角 Σ , α , β , γ , τ_1 , τ_2 を指定し、 a , b の値を仮定し、 δ_A に種々な値を与えて終点 F の曲率中心 O の XY 座標の値が零となるようにする。

それには仮定された δ_A により式(46)より δ_F'' を求め、式(47), (48)より x_O'' , y_O'' を求め式(34), (35), (36)より x_G' , y_G' を求め、式(50)より n を求め、式(51)より x_O' , y_O' を求め、式(52), (53)より c , g を求め、式(54)より X_O , Y_O を求めてその値が零となるように δ_A あるいは a , b の値を求めればよい。そのようにして求めた値を表1に示す。

5.1 カムの各寸法の決定

以上の決定の場合 $a=1$ とし b の値を仮定するのが便利である。 X_O , Y_O が共に零に近い値が求められればその時の a , b , δ_A により式(15)より R_0 が求まり、式(47)より終点 F の x_F'' , y_F'' が求まるので、式(51), (54)より X_F , Y_F を求めれば

$$t = \sqrt{X_F^2 + Y_F^2} - R_0 \dots\dots\dots (55)$$

によりカムの高さ t が求まる。往復従動節の場合 e だけのかたより量があるとリフト H は従動節の円弧半径を r とすれば図6より

$$H = \sqrt{(t + R_0 + r)^2 - e^2} - \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \dots\dots\dots (56)$$

から、 $e=0$ の場合 $H=t$ となり、基準として $H=1$ に取るため、 $e=0$ の場合 $t=1$ にしなければならぬので式(55)で求めた t で a , b , R_0 の値を割った値を再び a , b , R_0 として使用する。 ρ_F を利用しないで式(55)を用いるのは X_O , Y_O が完全に零にならないからである。

表1 $\Sigma = 120^\circ$, $t = 1$

b/a	0.3	0.75	0.75	0.1
α°	29.4	20	15	15
β°	90.6	30	35	75
r°	0	25	32.5	0
τ_1°	0	20	37.5	30
τ_2°	0	25	0	0
δ_A°	21.97	14.0346	13.137	24.4
a	10.2925	2.07254	2.00311	193.899
b	3.08774	1.5544	1.50233	19.3899
R_0	1.18741	1.34715	1.40217	2.57522
例	A	B	C	D

5.2 τ_1, τ_2 が共に零の場合

式(33)より r が存在する場合 $\beta < \alpha + \delta_A$ だから例えば $\Sigma = 120^\circ$ のように比較的 Σ が大きな値の場合は $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 50^\circ$, $r = 40^\circ$ とすると $\delta_A > 20^\circ$ でなければならぬ。 $\delta_A > 20^\circ$ の場合 X_O , Y_O が共に零に近くない場合はむしろ $r = 0^\circ$ として $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 90^\circ$ として第3双曲線を用いないで、第1, 第2双曲線のみで輪郭を構成し、その縮閉線の終点が原点上にあるようにすればよい。表1の例Aのデータが得られ、この値で輪郭と縮閉線を描いたものを図3に示す。

5.3 τ_1, τ_2 が共に零でない場合

表1の例Bに τ_1, τ_2 が共に零でない場合のデータを示し、図4にカムの輪郭と縮閉線を示す。

§6 戻り行程のカムの輪郭

図5において上昇停留角を θ_d とすれば $\angle FOF' = \theta_d$ で、円弧 FF' は原点 O を中心とし、半径 ρ_F の円

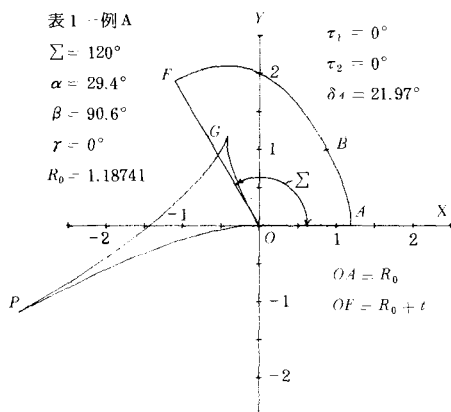


図3 表1-例Aによる輪郭と縮閉線

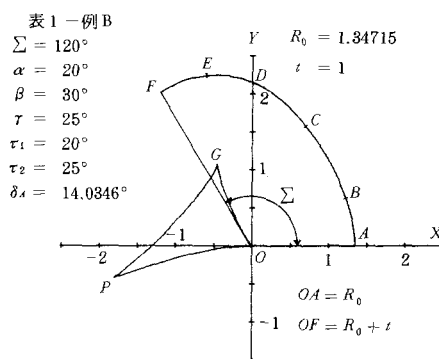


図4 表1-例Bの場合の輪郭と縮閉線

弧である。戻り行程の輪郭を $F'A'$ で示し、 $\angle F'OA' = \Sigma$ とする。すなわち往きと戻りのカムの回転角を等しいとすれば $F'A'$ は $\angle FOF'$ の2等分線を対称軸として往き行程の輪郭と対称にする。 $\angle AOA' = \theta_e$ とすれば下降停留角 θ_e は次式となる。

$$\theta_e = 360^\circ - 2\Sigma - \theta_d \quad \dots\dots\dots (57)$$

6.1 上昇停留角の円弧 FF' ($\Sigma \leq \epsilon \leq \Sigma + \theta_d$)

図5において $OF = R_0 + t$ だから円弧 FF' 上の点 T の XY 座標は次式で表わされる。ただし $t = 1$ 。

$$X_T = (R_0 + t) \cos \epsilon, \quad Y_T = (R_0 + t) \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (58)$$

6.2 戻り行程の輪郭 $F'A'$ ($\Sigma + \theta_d \leq \epsilon \leq 2\Sigma + \theta_d$)

図5において $F'A'$ 上の任意の点 T' の法線が OA となす角を ϵ' とし、対称点のなす角を ϵ とすれば次式が得られる。

$$\epsilon' = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon, \quad \epsilon = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon' \quad \dots\dots\dots (59)$$

T' 点より X 軸と OA' に垂線を下し、その足を H, K とし、 K 点より X 軸に垂線 KN 、 T' 点より KN に垂線 $T'L$ を下せば $\angle HT'K = \theta_e$ となるので、 $OH = X_T$ 、 $T'H = Y_T$ とすれば $OK = X_T$ 、 $T'K = Y_T$ となるので

$$X_T'' = X_T \cos \theta_e - Y_T \sin \theta_e, \quad Y_T'' = -X_T \sin \theta_e - Y_T \cos \theta_e \quad \dots\dots\dots (60)$$

となり、式(59)で ϵ' を ϵ になおし、式(60)で得られた X_T'' 、 Y_T'' を X_T 、 Y_T とすれば曲線 $F'A'$ は求められる。

6.3 下降停留角の円弧 $A'A$ ($2\Sigma + \theta_d \leq \epsilon \leq 360^\circ$)

円弧 AA' 上の T 点の XY 座標は

$$X_T = R_0 \cos \epsilon, \quad Y_T = R_0 \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (61)$$

となる。

以上によりカムの全輪郭は求められる。図5は表1の例Bの場合の全輪郭を示す。滑らかな曲線となる。

§ 7 円弧往復従動節の運動

図6においてカムの中心 O を原点とする $\xi\eta$ 座標をとり、 η 軸は行程線に平行とし、かたより量を e とする X 軸が η 軸となす角を θ とし、カムは時計回りに回転する。カムと従動節の接触点 T の $\xi\eta$ 座標は

$$\xi_T = X_T \sin \theta - Y_T \cos \theta, \quad \eta_T = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta \quad \dots\dots\dots (62)$$

となる。従動節の円弧（ローラ）の中心を M とし、半径を r とし、行程線が法線 MP となす角を ϕ とすれば、 ϕ は押進め角となる。 M

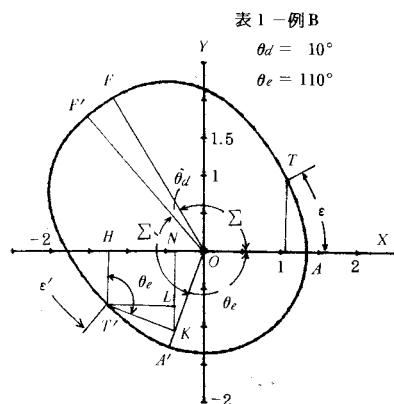


図5 戻り行程のカムの輪郭

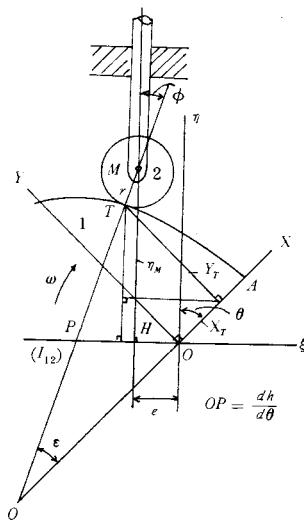


図6 円弧往復従動節の運動

点の $\xi\eta$ 座標は次式のようにになる。

$$\xi_M = e = -\xi_T - r \sin \phi, \quad \eta_M = \eta_T + r \cos \phi \quad \dots\dots\dots (63), (64)$$

M 点の XY 座標を X_M, Y_M とすれば X 軸と MP の交角は ϵ だから

$$X_M = X_T + r \cos \epsilon, \quad Y_M = Y_T + r \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (65)$$

となる。式(63)に式(62)を代入すれば図6より

$$\phi = \theta - \epsilon \quad \dots\dots\dots (66)$$

$$e = -X_T \sin \theta + Y_T \cos \theta - r \sin(\theta - \epsilon) \quad \dots\dots\dots (67)$$

となり、式(67)から θ を求めれば未定係数法により次式が得られる。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M} \quad \dots\dots\dots (68)$$

式(64)に式(62)を代入すれば η_M は次式のようにになる。

$$\eta_M = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \epsilon) \quad \dots\dots\dots (69)$$

M 点の最低の高さを k とすれば基礎円半径 R_0 より

$$k = \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (70)$$

となるので、従動節の変位を h とすれば次式が得られる。

$$h = \eta_M - k = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \epsilon) - \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (71)$$

7.1 従動節の速度係数

図6において法線 TP の P 点は瞬間中心 I_{12} となるので、 $OP = dh/d\theta$ だから、速度係数は次式のようにになる。

$$\frac{dh}{d\theta} = \eta_M \tan(\theta - \epsilon) + e \quad \dots\dots\dots (72)$$

7.2 従動節の加速度係数と $d\epsilon/d\theta$

加速度係数を求める前に $d\epsilon/d\theta$ を求める必要がある。式(67)を θ で微分すれば

$$-\frac{dX_T}{d\theta} \sin \theta + \frac{dY_T}{d\theta} \cos \theta - \eta_M + r \cos(\theta - \epsilon) \frac{d\epsilon}{d\theta} = 0 \quad \dots\dots\dots (73)$$

この式の $dX_T/d\theta, dY_T/d\theta$ を求めるには式(54)を θ で微分すれば次式のようにになる。

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\frac{dx_T}{d\theta} \cos \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \sin \delta_A, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \frac{dx_T}{d\theta} \sin \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \cos \delta_A \quad \dots\dots\dots (74)$$

(1) 第1双曲線

式(19)より $d\delta/d\theta = d\epsilon/d\theta$ 、式(22)より

$$(a^2 - b^2 \tan^2 \delta)^{\frac{3}{2}} = a^2 b^2 \sec^3 \delta / \rho_T \quad \dots\dots\dots (75)$$

となる。式(20)を θ で微分すれば

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \rho_T \sin \delta \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (76)$$

となり、これを式(74)に代入すれば $\delta - \delta_A = \epsilon$ だから次式が得られる。

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (77)$$

(2) 第1円弧

式(27)より $d\delta/d\theta = d\epsilon/d\theta$, $\delta - \delta_A = \epsilon$ で、式(28)から

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \rho_B \sin \delta \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_B \cos \delta \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (78)$$

となり、 ρ_B の代りに ρ_T とおけば式(76)に一致するので、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(77)に一致する。

(3) 第2双曲線

式(29)から $d\delta'/d\theta = -d\epsilon/d\theta$ となり、式(30)を θ で微分すれば式(75)より

$$\frac{dx_{T'}}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_{T'}}{d\theta} = -\rho_T \cos \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (79)$$

となり、式(41)を θ で微分すれば次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_T}{d\theta} &= \frac{dx_{T'}}{d\theta} \cos(2\delta_B + \tau_1) - \frac{dy_{T'}}{d\theta} \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ \frac{dy_T}{d\theta} &= -\frac{dx_{T'}}{d\theta} \sin(2\delta_B + \tau_1) - \frac{dy_{T'}}{d\theta} \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad (80)$$

この式に式(79)を代入すれば $2\delta_B + \tau_1 - \delta' = \delta_A + \epsilon = \delta$ から

$$\frac{dx_T}{d\theta} = \rho_T \sin \delta \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (81)$$

となり、式(76)に一致するので、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(77)に一致する。

(4) 第2円弧

式(38)より $d\delta'/d\theta = -d\epsilon/d\theta$ となり、式(39)より

$$\frac{dx_{T'}}{d\theta} = -\rho_D \sin \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_{T'}}{d\theta} = -\rho_D \cos \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (82)$$

となり、 ρ_D の代りに ρ_T とすれば式(79)に一致するので、 $dx_T/d\theta$, $dy_T/d\theta$ は式(81)に一致し、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(77)に一致する。

(5) 第3双曲線

式(42)より $d\delta''/d\theta = d\epsilon/d\theta$ となり、式(45)より $(a^2 - b^2 \tan^2 \delta'')^{\frac{3}{2}} = a^2 b^2 \sec^3 \delta'' / \rho_T$ から、式(48)より

$$\frac{dx_{T''}}{d\theta} = \rho_T \sin \delta'' \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_{T''}}{d\theta} = \rho_T \cos \delta'' \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad (83)$$

となり、式(51)を θ で微分すれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_T'}{d\theta} &= \frac{dx_T''}{d\theta} \cos(2\delta_D' - \tau_2) - \frac{dy_T''}{d\theta} \sin(2\delta_D' - \tau_2) \\ \frac{dy_T'}{d\theta} &= -\frac{dx_T''}{d\theta} \sin(2\delta_D' - \tau_2) - \frac{dy_T''}{d\theta} \cos(2\delta_D' - \tau_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (84)$$

となるので、式(88)を代入すれば式(42)と式(34)と $2\delta_D' - \tau_2 - \delta'' = \delta'$ から

$$\frac{dx_T'}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta' \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T'}{d\theta} = -\rho_T \cos \delta' \frac{d\varepsilon}{d\theta} \dots\dots\dots (85)$$

となり、式(79)に一致するので、 $dx_T/d\theta$, $dy_T/d\theta$ は式(81)に、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(77)に一致する。

以上この輪郭上のすべての点で

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta} \dots\dots\dots (86)$$

となるので、この式を式(73)に代入すれば

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{\eta_M}{(\rho_T + r) \cos(\theta - \varepsilon)} \dots\dots\dots (87)$$

となり、加速度係数は式(72)を θ で微分すれば

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{dh}{d\theta} \tan(\theta - \varepsilon) + \frac{\eta_M}{\cos^2(\theta - \varepsilon)} \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta}\right) \dots\dots\dots (88)$$

となり、加速度 $a = \omega^2 \times d^2h/d\theta^2$ で求められる。

§ 8 押進め角と滑り率

押進め角 ϕ は式(66)から次式である。

$$\phi = \theta - \varepsilon \dots\dots\dots (89)$$

カムと円弧従動節の滑り率を σ_1 , σ_2 とすれば、前報²⁾より

$$\overline{TP} = \frac{\eta_M}{\cos(\theta - \varepsilon)} - r \dots\dots\dots (90)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \times \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \dots\dots\dots (91)$$

$$\sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \times \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \dots\dots\dots (92)$$

から求められる。

§ 9 計算例

9.1 円弧のない場合 ($\tau_1 = \tau_2 = 0$)

図7は図3の輪郭の表1の例Aの場合の $\varepsilon = 0$, $H = 1$ で従動節の $r = 1, 2$ の場合の加速度曲線を θ に対して示す。 $\varepsilon = 0$ のので

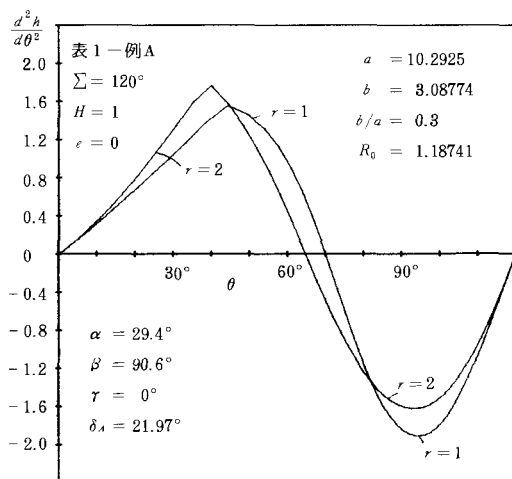


図7 表1—例Aの加速度係数, $r = 1, 2$

戻り行程の加速度曲線が対称となるので行き行程のみ示す。 τ_1 , τ_2 が共に零のため曲線は尖り、最大加速度係数は1.6以上となる。 $r=1.5$ が正負の加速度が等しいので、図8は $\theta_d=0^\circ$, $r=1.5$ の場合の運動曲線 h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ を θ に対して示し、図9は同じデータで ϕ , σ_1 , ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \doteq 18^\circ$, $\sigma_{1\max} \doteq 1.5$ なので、この点はよいが、 $d^2h/d\theta^2_{\max}$ が大きい。

9.2 円弧のある場合

($\tau_1 \neq 0$, $\tau_2 \neq 0$)

図10は表1の例Bの場合の τ_1 , τ_2 を指定し、円弧を挿入した図4の輪郭のカムの $r=3$, 5で $H=1$, $e=0$ の場合の行き行程の加速度線図を示す。円弧の挿入により行き行程の前半の正の加速度は $r=4$ のとき水平となるが、後半の負の加速度は図7に比して最大値は減少するが、水平とはならない。 $r=4$ が最適である。

図11は $r=4$ の場合の運動曲線を示す。 $d^2h/d\theta^2_{\max} \doteq 1.4$ に減少させることができた。図12は同じデータで ϕ , σ_1 , ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \doteq 9^\circ$, $\sigma_{1\max} \doteq 1.6$ でこの点は良好である。

§10 第2円弧の代りにインボリュート曲線

図10においてわかるように負の加速度は第2円弧の挿入により最大加速度をかなり減少させることができるがそれでもなお曲線は水平にはならない。そこで図13に示すように第2円弧を用いないで縮閉線が円弧となるインボリュート曲線を使用してみる。

図2と図13において第2縮閉線上のG点において法線を立て、その上にV点を取り、 $GV=u$ とし、V点を中心に u の半径で円弧 GW を作り、 $\angle GVW=\tau_2$ とす。円弧 GW のインボリュート

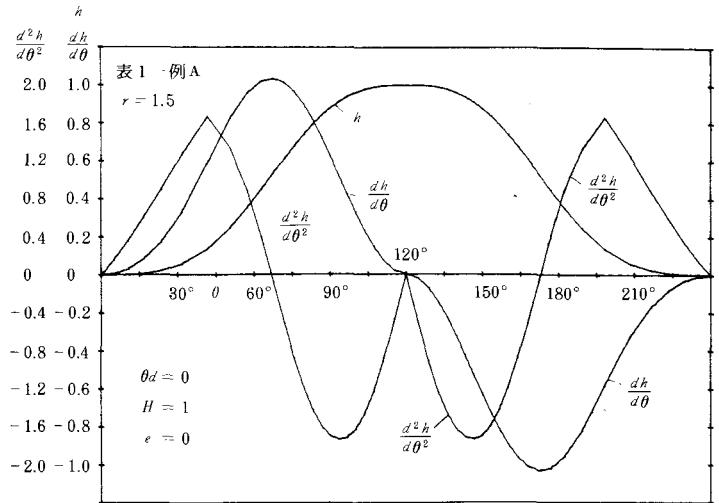


図8 表1一例Aの $e=0$, $r=1.5$ の運動曲線

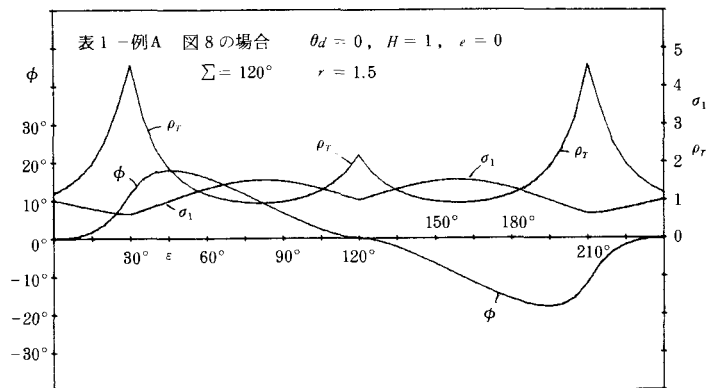


図9 表1一例Aの図8の場合の ϕ , σ_1 , ρ_T

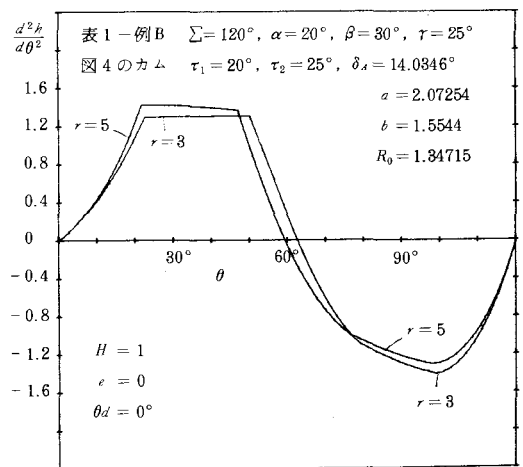
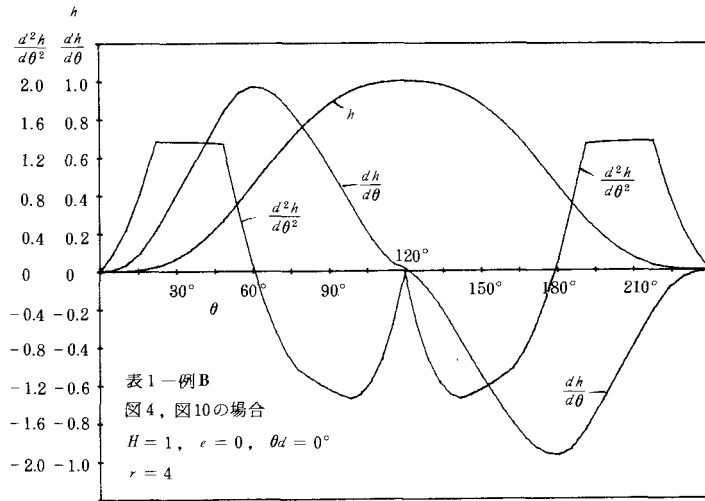
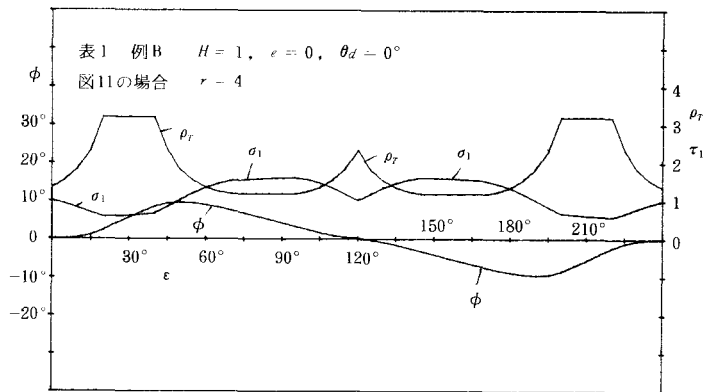


図10 表1一例Bの加速度係数

図11 表1-例Bの $e=0, r=4$ の運動曲線図12 表1-例Bの図11の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

を DE とし、 E 点の曲率中心を W とす。インボリュート DE 上に任意の点 T' とし、その曲率中心を Q' とす。 DG と $T'Q'$ の交角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta)$ となるので、 $\angle GVQ' = \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta)$ である。よって、 $T'Q'$ の曲率半径を ρ_T とすれば

$$\rho_T = u(\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta) + \rho_D \quad (93)$$

となる。 $DG, T'Q'$ が x' 軸の交角を δ_D, δ' とすれば

$$\delta_D = \delta_A + \alpha - \beta \quad (94)$$

$$\delta' = \delta_D - \varepsilon + (\alpha + \tau_1 + \beta) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad (95)$$

となる。円弧 GW の中心 V の $x'y'$ 座標は図13から $\angle VGH = \delta_D$ だから

$$\left. \begin{aligned} x_V' &= x_D' + \rho_D \cos \delta_D + u \sin \delta_D \\ y_V' &= y_D' - \rho_D \sin \delta_D + u \cos \delta_D \end{aligned} \right\} \quad (96)$$

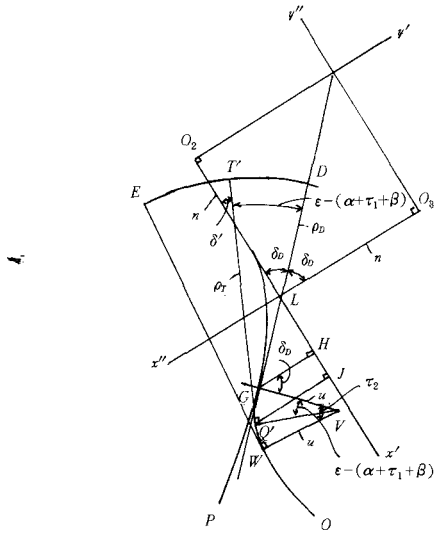


図13 第2円弧の代りにインボリュート曲線

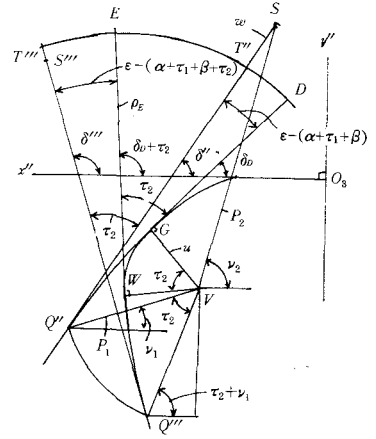


図14 第3双曲線の縮閉線の回転

となる。 $\angle VQ'J = \delta'$ だから T' 点の $x'y'$ 座標は次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} x_{T'} &= x_{V'} - \rho_T \cos \delta' - u \sin \delta' \\ y_{T'} &= y_{V'} + \rho_T \sin \delta' - u \cos \delta' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (97)$$

Q' 点の $x'y'$ 座標は次式になる。

$$x_{Q'} = x_{V'} - u \sin \delta', \quad y_{Q'} = y_{V'} - u \cos \delta' \dots\dots\dots (98)$$

よって $x'y'$ 座標を xy 座標に変換するには式(41)を用いればよい。

10.1 第3双曲線の縮閉線

図14において座標 $x''O_3y''$ に第3縮閉線を描き、図13のように G, V, W をとる。この第3双曲線の縮閉線上に Q'' をとり、 Q'' を曲率中心とする T'' を輪郭上にとる。 $T''Q''$ と x'' 軸の交角を δ'' とする。

V 点のまわりに Q'' 点を角 τ_2 回転させた位置を Q''' とし、 GQ'' を WQ''' の位置に回転し、 Q''' 点の接線を $T'''Q'''$ とし、 x'' 軸の交角を δ''' とし、 $T'''Q'''$ が OA となす角を ε とすれば $T'''Q'''$ と EW となす角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$ となり、 $T''Q''$ と $T'''Q'''$ の交角は τ_2 で、 $\delta''' = \delta_D + \tau_2 + \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$ となり

$$\delta'' = \delta''' - \tau_2 = \delta_A + \varepsilon - 2\beta - \tau_1 - \tau_2 \dots\dots\dots (99)$$

となるので、 T'' 点の $x''y''$ 座標は次式で求められる。

$$x_{T''} = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''}}, \quad y_{T''} = \frac{b^2 \tan \delta''}{\sqrt{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''}} \dots\dots\dots (100)$$

$$\rho_T = a^2 b^2 \left[\frac{1 + \tan^2 \delta''}{a^2 - b^2 \tan^2 \delta''} \right]^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (101)$$

$$x_Q'' = x_T'' + \rho_T \cos \delta'', \quad y_Q'' = y_T'' - \rho_T \sin \delta'' \dots\dots\dots (102)$$

あるいは

$$x_Q'' = \frac{a^2 + b^2}{a^4} (x_T'')^3, \quad y_Q'' = -\frac{a^2 + b^2}{b^4} (y_T'')^3 \dots\dots\dots (103)$$

図13において $O_2 L = O_3 L = n$ とすれば

$$n = x_{G'} + \frac{y_{G'}}{\tan \delta_D} = x_{D'} + \frac{y_{D'}}{\tan \delta_D} \dots\dots\dots (104)$$

となるので、 $x'y'$ 座標を $x''y''$ 座標に変換するには次式を用い、 V 点の x_V'' , y_V'' を求める。

$$\left. \begin{aligned} x_V'' &= n - (n - x_{V'}) \cos 2\delta_D - y_{V'} \sin 2\delta_D \\ y_V'' &= (n - x_{V'}) \sin 2\delta_D - y_{V'} \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (105)$$

図14より VQ'' の長さ ρ_1 とすれば

$$\rho_1 = \sqrt{(x_Q'' - x_V'')^2 + (y_Q'' - y_V'')^2} \dots\dots\dots (106)$$

となり、 $Q''V$ が水平線となす角を ν_1 とすれば

$$\tan \nu_1 = (y_V'' - y_Q'') / (x_Q'' - x_V'') \dots\dots\dots (107)$$

となる。 Q'' 点を V 点のまわりに τ_2 だけ回転した Q''' 点の座標は $Q'''V$ の傾角が $\tau_2 + \nu_1$ なので

$$x_{Q'''} = x_V'' + \rho_1 \cos (\tau_2 + \nu_1), \quad y_{Q'''} = y_V'' - \rho_1 \sin (\tau_2 + \nu_1) \dots\dots\dots (108)$$

となる。 Q''' 点の $x''y''$ 座標を $x'y'$ 座標に変換するには次式を用いる。

$$\left. \begin{aligned} x_{Q'} &= n - (n - x_{Q'''}) \cos 2\delta_D - y_{Q'''} \sin 2\delta_D \\ y_{Q'} &= (n - x_{Q'''}) \sin 2\delta_D - y_{Q'''} \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (109)$$

$x'y'$ 座標を xy 座標に変換するには式(41)を、 xy 座標を XY 座標に変換するには式(52)～(54)を用いる。

10.2 第3双曲線の輪郭

図14においてインボリュート曲線 DE の E 点の曲率半径 EW を ρ_E とすれば

$$\rho_E = \rho_D + u \cdot \tau_2 \dots\dots\dots (110)$$

だから、 DG を G 点から W 点に回転させた場合の第3双曲線の曲率半径を ρ_S とし、弧 GW の長さを w とすれば

$$w = u \tau_2, \quad \rho_S = \rho_T + w = \rho_T + u \tau_2 \dots\dots\dots (111), (112)$$

となるので、 S 点の $x''y''$ 座標は

$$x_S'' = x_T'' - w \cos \delta'', \quad y_S'' = y_T'' + w \sin \delta'' \dots\dots\dots (113)$$

となる。次に SV の長さを ρ_2 とし、 SV の水平角を ν_2 とすれば

$$\rho_2 = \sqrt{(x_S'' - x_V'')^2 + (y_S'' - y_V'')^2}, \quad \tan \nu_2 = (y_S'' - y_V'') / (x_V'' - x_S'') \dots\dots\dots (114), (115)$$

となり、 VS を τ_2 だけ回転させれば S 点の新しい位置 x_S''' , y_S''' が次式で得られる。

$$x_S''' = x_V'' - p_2 \cos(\nu_2 + \tau_2), \quad y_S''' = y_V'' + p_2 \sin(\nu_2 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (116)$$

S 点の $x'y'$ 座標と xy 座標は次式から求められる。

$$\left. \begin{aligned} x_S' &= n - (n - x_S''') \cos 2\delta_D - y_S''' \sin 2\delta_D \\ y_S' &= (n - x_S''') \sin 2\delta_D - y_S''' \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (117)$$

$$\left. \begin{aligned} x_S &= m - (m - x_S') \cos(2\delta_B + \tau_1) - y_S' \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ y_S &= (m - x_S') \sin(2\delta_B + \tau_1) - y_S' \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (118)$$

xy 座標を式(54)により XY 座標に変換すればカムの輪郭は求められる。

10.3 作用角と u の指定

各作用角 $\Sigma, \alpha, \beta, \tau, \tau_1, \tau_2$ と a, b を指定し、更に u を指定してカムの高さ $l = 1$ とするように a, b, R_0, u を求めるには、第3双曲線の縮閉線の $\epsilon = \Sigma$ の点の XY 座標が共に零となるように計算するか、あるいは図15に示すように縮閉線の図形を描いて繰返し作図によって定める。その結果得られたものを表2に示す。図15は表2の例2の場合を示す。

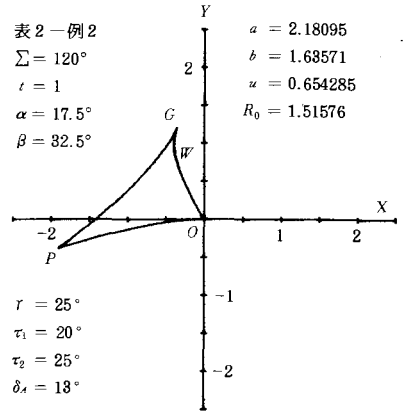


図15 表2一例2のインボリュート曲線の場合の縮閉線

§ 11 インボリュート曲線と第3双曲線の加速度

11.1 インボリュート曲線

式(95)から $d\delta'/d\theta = -d\epsilon/d\theta$, 式(97)から $dx_T'/d\theta = -\rho_T \sin \delta' d\epsilon/d\theta$, $dy_T'/d\theta = -\rho_T \cos \delta' d\epsilon/d\theta$, 式(41)から $dx_T/d\theta = \rho_T \sin(\delta_A + \epsilon) d\epsilon/d\theta$, $dy_T/d\theta = \rho_T \cos(\delta_A + \epsilon) d\epsilon/d\theta$, 式(54)から $dX_T/d\theta = -\rho_T \sin \epsilon d\epsilon/d\theta$, $dY_T/d\theta = \rho_T \cos \epsilon d\epsilon/d\theta$ となり、式(86)に一致するので $d\epsilon/d\theta$ は式(87)となり、式(88)の加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ の式が使用される。

11.2 第3双曲線

正確には第3双曲線は双曲線ではなく、双曲線より w の距離をもつ曲線となる。式(101)より $(a^2 - b^2 \tan^2 \delta)^{\frac{3}{2}} = a^2 b^2 \sec^3 \delta'' / \rho_T$, 式(99)から $d\delta''/d\theta = d\epsilon/d\theta$, 式(100)から $dx_T''/d\theta = \rho_T \sin \delta'' d\epsilon/d\theta$, $dy_T''/d\theta = \rho_T \cos \delta'' d\epsilon/d\theta$, 式(113)より $dx_S''/d\theta = (\rho_T + w) \sin \delta'' d\epsilon/d\theta$, $dy_S''/d\theta = (\rho_T + w) \cos \delta'' d\epsilon/d\theta$. 式(116)より次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_S'''}{d\theta} &= -\frac{dp_2}{d\theta} \cos(\nu_2 + \tau_2) + p_2 \sin(\nu_2 + \tau_2) \frac{d\nu_2}{d\theta} \\ \frac{dy_S'''}{d\theta} &= \frac{dp_2}{d\theta} \sin(\nu_2 + \tau_2) + p_2 \cos(\nu_2 + \tau_2) \frac{d\nu_2}{d\theta} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (119)$$

式(114), (115)を θ で微分し $dp_2/d\theta, d\nu_2/d\theta$ を求めれば

$$\frac{dp_2}{d\theta} = -\rho_S \sin(\delta'' - \nu_2) \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{d\nu_2}{d\theta} = \frac{\rho_S}{p_2} \cos(\delta'' - \nu_2) \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (120)$$

これを式(119)に代入すれば

$$\frac{dx_S'''}{d\theta} = \rho_S \sin(\tau_2 + \delta'') \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_S'''}{d\theta} = \rho_S \cos(\tau_2 + \delta'') \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (121)$$

式(117)より

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_S'}{d\theta} &= \frac{dx_S'''}{d\theta} \cos 2\delta_D - \frac{dy_S'''}{d\theta} \sin 2\delta_D \\ \frac{dy_S'}{d\theta} &= -\frac{dx_S'''}{d\theta} \sin 2\delta_D - \frac{dy_S'''}{d\theta} \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (122)$$

だから、式(121)を代入すれば

$$\frac{dx_S'}{d\theta} = \rho_S \sin(\tau_2 + \delta'' - 2\delta_D) \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_S'}{d\theta} = -\rho_S \cos(\tau_2 + \delta'' - 2\delta_D) \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (123)$$

式(118)より

$$\frac{dx_S}{d\theta} = \rho_S \sin(\delta_A + \epsilon) \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_S}{d\theta} = \rho_S \cos(\delta_A + \epsilon) \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (124)$$

式(54)より

$$\frac{dX_S}{d\theta} = -\rho_S \sin \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_S}{d\theta} = \rho_S \cos \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (125)$$

となり式(86)の ρ_T の代りに $\rho_S = \rho_T + w$ となるので式(73)より

$$d\epsilon/d\theta = \eta_M / (\rho_S + r) \cos(\theta - \epsilon) \quad \dots\dots\dots (126)$$

となり、式(88)を用いて加速度係数が求まる。

12. 計算例 (インボリュート曲線を含む場合)

図16は表2の例3の場合に $\theta_d = 30^\circ$, $\theta_e = 90^\circ$ としてカムの全輪郭と往き行程の輪郭の縮閉線を描いたもので、滑ら

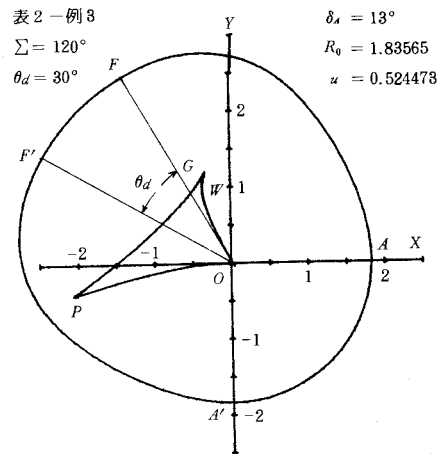


図16 表2-例3の場合の輪郭と縮閉線

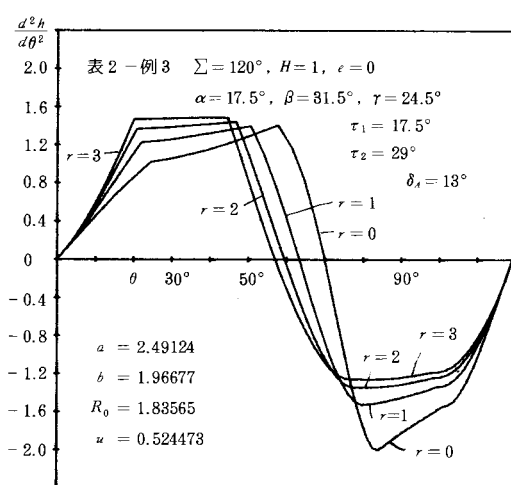


図17 表2-例3の加速度係数, $r=0 \sim 3$

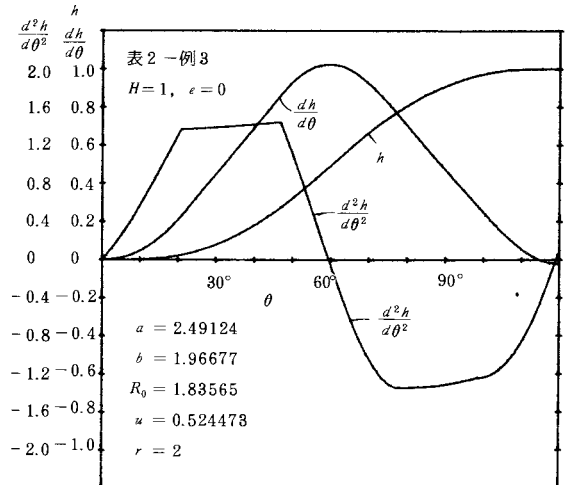


図18 表2-例3の $\epsilon=0$, $r=2$ の場合の運動曲線

かな輪郭であり、 u の値が大きい（ u の値としては0.35～0.45が良い）ので縮閉線の円弧がよくわかる。

XY軸においてカムの輪郭の表示ができれば式(71), (72), (87), (88)により h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ が求められる。図17は往き行程における表2の例3の場合の加速度線図をカムの回転角 θ を横軸に $r = 0 \sim 3$ の場合を求めたもので、 r が大きくなると負の加速度の頂きは水平となる。 r が大きくなりすぎると正の加速度が負のそれよりも大となる。この場合 $r = 2$ が最良である。

図18は表2の例3の $r = 2$ の場合の運動を、図19は式(89)～(91)による ϕ , σ_1 , ρ_T を示す。 r が大きくなる程 ϕ_{\max} は小さく、 $\sigma_{1\max}$ は大きくなるが、この場合 $\phi_{\max} \div 12^\circ$, $\sigma_{1\max} \div 1.1$ であり、加速度曲線は前半台形型で後半は修正台形型であって良好である。

図20は同じデータによる円弧従動節上の従動節の滑り率 σ_2 を円弧上の $s = r \cdot \phi$ を横軸に示す。 σ_2 は接触の両端で無限大となり、中央は平均 $\sigma_2 \div 4$ となり6以下だから良好である。

§13 結 論

以上により3個の双曲線を円弧あるいはインポリュート曲線で接合したカムの往復従動節の運動において次の結論が得られた。

(1) 3個の双曲線の接合カムにおいてその縮閉線を連続させ、交点をカムの回転軸とすれば行程の両端の加速度を共に零にできるが、加速度曲線の頂きが尖って最大加速度が大きい。

(2) 加速度曲線の山を平らにするには円弧を挿入することによって正の加速度はほぼ水平にできるが、

表2 $\Sigma = 120^\circ$, $t = 1$, $a = 1$

b/a	0.17347	0.75	0.78947
α°	17.5	17.5	17.5
β°	27.5	32.5	31.5
r°	22.5	25	24.5
τ_1°	25	20	17.5
τ_2°	27.5	25	29
δ_A°	13	13	13
R_0	1	1.36	1.4
u	0.2	0.6	0.4
a	274.996	2.18095	2.49124
b	47.7035	1.63571	1.96677
R_0	3.62663	1.51576	1.83565
u	0.196269	0.654285	0.524473
例	1	2	3

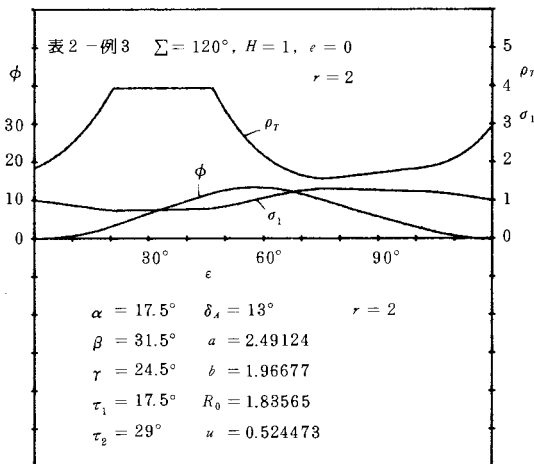


図19 表2—例3の図18の場合の ϕ , σ_1 , ρ_T

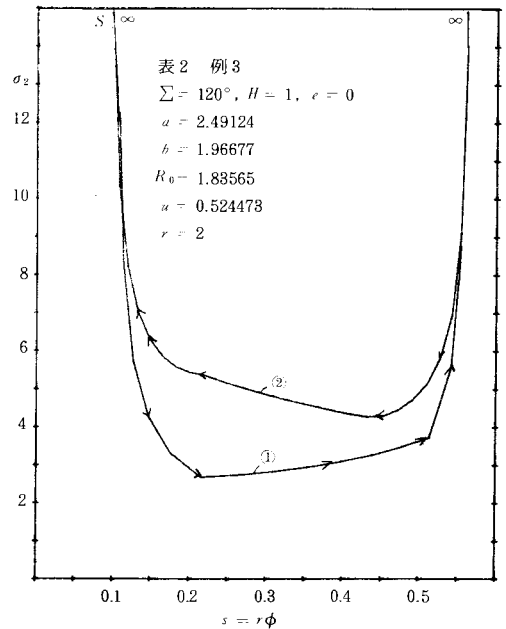


図20 表2—例3の図18の場合の σ_2

負の加速度の山はかなり低くはできるが水平にはできない。(3) 負の加速度の山を水平にするためにはインボリュート曲線を挿入すればよいことがわかった。(4) 従動節の円弧半径を小さくできないので、最大押進め角は小さく従動節をかたよらす必要はない。(5) カムの最大滑り率は比較的小さいので問題はない。(6) 第2, 3の双曲線の間にインボリュート曲線を挿入する方法は作用角と α の選定がかなり繰返し計算をしなければならぬので困難である。

文 献

- 1) 糸島寛典：楕円接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，15-1，1979
- 2) 糸島寛典：円弧楕円接合カムの研究（第1報）一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980

(昭和56年4月15日受付)

単弦曲線接合カムの研究 (第1報)

—— 往復従動節 ——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Sine Curve Cam (1st Report) — Reciprocating Follower —

Hironori ITOSHIMA

The connective sine curve cam has a profile composed of the three sine curves and in addition the two circular arcs or a involute curve, and the three evolutes of the three sine curve are a continue curve.

If the rotating axis of the cam is located in the cross point of the two evolutes, the acceleration of the follower at the starting and the stop points along each stroke can be zero. In this paper, the motion of the reciprocating offset follower with a circular arc is analysed. The maximum acceleration of the follower, the pressure angle and the specific sliding are discussed.

§ 1 緒 言

前報¹⁾²⁾³⁾⁴⁾において板カムの輪郭として3個のインボリュート、楕円、放物線、双曲線および円弧をその縮閉線が連続するように組合せた接合カムの各場合について従動節の運動を論じ、両停留点における従動節の加速度を零にし、修正台形カムに近い曲線の組合せを論じた。

本報告においては3個の単弦曲線と2個の円弧を組合せたものをカムの輪郭として用い、その縮閉線を連続させた場合の往復従動節の運動を解析し、両停留点における加速度を零にし、修正台形カムに近いものを求める選定をし、その時のカムの押進め角、滑り率等を調べ、最適のカムと従動節の寸法を設計する。

§ 2 記 号

a, b : 単弦曲線の xy 軸方向の寸法
 Σ : カムの作用角
 α, β, γ : 第1, 2, 3 単弦曲線の作用角
 τ_1, τ_2 : 第1, 2 円弧の作用角
 θ : カムの回転角
 θ_d : 上昇点における停留角
 θ_e : 下降点における停留角
 h : 従動節の変位

$dh/d\theta$: 従動節の速度係数
 $d^2h/d\theta^2$: 従動節の加速度係数
 ε : カムのパラメーター
 δ : 単弦曲線表示のパラメーター
 R_0 : カムの基礎円半径
 H : 従動節のリフト
 r : 従動節の円弧半径
 e : 従動節のかたより量

l : カムの高さ

ρ_T : カムの輪郭の曲率半径

ω : カムの角速度

h : 下降点における従動節の高さ

u : インボリュート曲線の基礎円半径

σ_1 : カムの滑り率

σ_2 : 従動節の滑り率

ϕ : 押進め角

§ 3 単弦曲線の表示と縮閉線

図1に示すように $x\psi$ 座標に単弦曲線を作り, 単弦曲線の頂点 A と原点 O を結ぶ OA を x 軸, 単弦曲線の変曲点 B と O を結ぶ OB を ψ 軸とし, $OA = a$, $OB = b$ とすればこの単弦曲線の方程式は次式で表わせる。

$$x = a \cos \left(\frac{\pi}{2b} \psi \right) \quad (1)$$

式(1)を x で微分すれば次式が得られる。

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2b}{\pi a} \sin \left(\frac{\pi}{2b} \psi \right) \quad (2)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{2b}{\pi a^2} \cdot \frac{\cos \left(\frac{\pi}{2b} \psi \right)}{\sin^3 \left(\frac{\pi}{2b} \psi \right)} \quad (3)$$

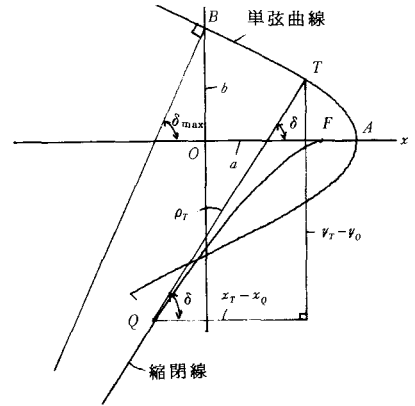


図1 単弦曲線の表示と縮閉線

図1において曲線上の任意の点 T の曲率中心を Q とすれば, Q 点の描く曲線はその縮閉線で, TQ は接線となる。 T, Q の $x\psi$ 座標を x_T, ψ_T, x_Q, ψ_Q とし, $TQ = \rho_T$ とすれば一般に次式が成立する。

$$x_Q = x_T - \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} \frac{dy}{dx} / \frac{d^2y}{dx^2}, \quad \psi_Q = \psi_T + \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\} / \frac{d^2y}{dx^2} \quad (4), (5)$$

$$\rho_T = \left\{ 1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}} / \left| \frac{d^2y}{dx^2} \right| \quad (6)$$

式(1)~(3)を式(4)~(6)に代入すれば次式となる。

$$x_Q = x_T - \frac{a \left\{ \sin^2 K + \left(-\frac{2b}{\pi a} \right)^2 \right\}}{\cos K}, \quad \psi_Q = \psi_T - \frac{\pi a^2}{2b} \left\{ \sin^2 K + \left(-\frac{2b}{\pi a} \right)^2 \right\} \tan K \quad (7), (8)$$

$$\rho_T = \left\{ \sin^2 K + \left(-\frac{2b}{\pi a} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}} / \left| \frac{-2b}{\pi a^2} \cos K \right| \quad (9)$$

$$\text{ただし} \quad K = \frac{\pi}{2b} \psi \quad (10)$$

図1において TQ が x 軸となす角を δ とすれば式(7), (8)により

$$\tan \delta = \frac{\psi_T - \psi_Q}{x_T - x_Q} = \frac{\pi a}{2b} \sin K \quad (11)$$

となる。よって x_T, ψ_T, ρ_T を δ で表示すれば次式が得られる。

$$K = \sin^{-1} \left(\frac{2b}{\pi a} \tan \delta \right), \quad x_T = a \cos K, \quad \psi_T = \frac{2b}{\pi} K \quad (12), (13), (14)$$

$$\rho_T = \frac{4b^2}{\pi^2 x_T \cos^3 \delta} \quad \dots\dots\dots (15)$$

x_Q, y_Q を δ で表示すれば次式が得られる。

$$x_Q = x_T - \rho_T \cos \delta, \quad y_Q = y_T - \rho_T \sin \delta \quad \dots\dots (16)$$

図1においてA点の曲率中心をFとし、T点がAにあるときの曲率半径を ρ_A とすれば

$$\rho_A = AF = 4b^2/\pi^2 a \quad \dots\dots\dots (17)$$

T点がB点にあるとき δ は δ_{\max} となり $\psi = b$ から $K = \pi/2, x_A = 0$ となり

$$\delta_{\max} = \tan^{-1}(\pi a/2b), \quad \rho_B = \infty \quad \dots\dots (18)$$

が得られる。図1の単弦曲線ABの一部がカムの輪郭として使用される。

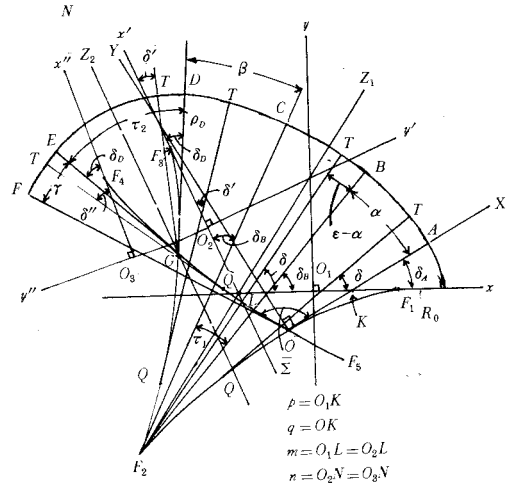


図2 単弦曲線接合カムの輪郭

§4 往き行程の単弦曲線接合カムの輪郭

図2において単弦曲線上にA点を取り、A点の曲率中心をOとし、OAをカムの基礎円半径 R_0 とす。OAがx軸となす角を δ_A 、A点のxy座標を x_A, y_A とすれば

$$\sin K_A = (2b/\pi a) \tan \delta_A, \quad x_A = a \cos K_A, \quad y_A = (2b/\pi) K_A \quad \dots\dots\dots (19), (20)$$

$$R_0 = 4b^2/(\pi^2 x_A \cos^3 \delta_A) \quad \dots\dots\dots (21)$$

となる。xy座標の原点 O_1 からOAとx軸の交点Kまでの距離 $O_1K = \rho$ 、 $OK = q$ とし、 ρ, q の長さを求めれば

$$\rho = x_A - \frac{y_A}{\tan \delta_A}, \quad q = R_0 - \frac{y_A}{\sin \delta_A} \quad \dots\dots\dots (22), (23)$$

となる。B点の δ を δ_B とし、 $\delta_B < \delta_{\max}$ で、B点の曲率中心を F_2 とし、 BF_2 とOAのなす角を α とすれば次式が得られる。

$$\alpha = \delta_B - \delta_A \quad \dots\dots\dots (24)$$

4.1 第1単弦曲線 AB ($0 \leq \epsilon \leq \alpha$)

図2において第1単弦曲線ABの作用角を α とし、AB上の任意の点Tの法線をTQとし、TQがOAとなす角を ϵ 、x軸となす角を δ とすれば

$$\delta = \delta_A + \epsilon \quad \dots\dots\dots (25)$$

となるので、 ϵ を零から α まで変化させればT点のxy座標と ρ_T は次式で得られる。

$$\sin K = (2b/\pi a) \tan \delta \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$x_T = a \cos K, \quad y_T = (2b/\pi) K, \quad \rho_T = 4b^2/(\pi^2 x_T \cos^3 \delta) \quad \dots\dots\dots (27), (28)$$

第1縮閉線の座標 x_Q, y_Q は式(16)から求められる。式(19)~(21)から R_0 を与えて δ_A を求めることは困難なので、 δ_A を指定して R_0 を求める。

4.2 第1円弧 BC ($\alpha \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1$)

図2においてB点の曲率中心 F_2 を中心とし、半径 BF_2 の円弧 BC を描けば、 BC は第1円弧で $\angle BF_2C = \tau_1$ は BC の作用角となる。B点の $x\psi$ 座標と曲率半径 ρ_B は式(15)より次式のようにになる。

$$\delta_B = \delta_A + \alpha, \quad K_B = \sin^{-1} \left(\frac{2b}{\pi a} \tan \delta_B \right) \quad \dots\dots\dots (29), (30)$$

$$x_B = a \cos K_B, \quad \psi_B = \frac{2b}{\pi} K_B, \quad \rho_B = \frac{4b^2}{\pi^2 x_B \cos^3 \delta_B} \quad \dots\dots\dots (31), (32)$$

次に F_2 点の $x\psi$ 座標 x_{F_2} , ψ_{F_2} は式(16)より

$$x_{F_2} = x_B - \rho_B \cos \delta_B, \quad \psi_{F_2} = \psi_B - \rho_B \sin \delta_B \quad \dots\dots\dots (33)$$

で求められる。第1円弧 BC 上の任意の点を T とし、 TF_2 と x 軸の交角を δ , TF_2 と OA の交角を ϵ とすれば $\angle BF_2T = \epsilon - \alpha$ となるので

$$\delta = \delta_B + \epsilon - \alpha = \delta_A + \epsilon \quad \dots\dots\dots (34)$$

となり、 T 点の $x\psi$ 座標は次式のようにになる。

$$x_T = x_{F_2} + \rho_B \cos \delta, \quad \psi_T = \psi_{F_2} + \rho_B \sin \delta \quad \dots\dots\dots (35)$$

4.3 第2単弦曲線 CD ($\alpha + \tau_1 \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta$)

図2において第1円弧の $\angle BF_2C$ の2等分線 F_2Z_1 を引き、これを対称軸として第1単弦曲線 AB とその縮閉線 F_1F_2 と $xO_1\psi$ 座標を反転させて第2単弦曲線 CD と縮閉線 F_3F_2 と $x'O_2\psi'$ 座標を作る。第2単弦曲線 CD の作用角を β とす。 D 点の曲率中心 G は F_2F_3 上にある。

CD 上に任意の点 T をとり、その曲率半径 TQ と x' 軸の交角を δ' , TQ が OA となす角を ϵ とすれば TQ が CF_2 となす角は $\epsilon - \alpha - \tau_1$ で、 CF_2 が x' 軸となす角は δ_B に等しいから、 δ' は次式のようにになる。

$$\delta' = \delta_B - (\epsilon - \alpha - \tau_1) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \epsilon \quad \dots\dots\dots (36)$$

T 点の $x'\psi'$ 座標と曲率半径 $\rho_T = TQ$ は第1単弦曲線の場合と同様に式(26)~(28)から次式のようになる。

$$\sin K' = (2b/\pi a) \tan \delta', \quad x_{T'} = a \cos K', \quad \psi_{T'} = (2b/\pi) K' \quad \dots\dots\dots (37), (38)$$

$$\rho_T = 4b^2/(\pi^2 x_{T'} \cos^3 \delta') \quad \dots\dots\dots (39)$$

第2縮閉線の座標 $x_{Q'}$, $\psi_{Q'}$ は式(16)から次式のようになる。

$$x_{Q'} = x_{T'} - \rho_T \cos \delta', \quad \psi_{Q'} = \psi_{T'} - \rho_T \sin \delta' \quad \dots\dots\dots (40)$$

D 点の δ' を δ_D , 曲率半径を ρ_D とすれば

$$\delta_D = \delta_B - \beta = \delta_A + \alpha - \beta \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$\sin K_D = (2b/\pi a) \tan \delta_D, \quad x_{D'} = a \cos K_D, \quad \psi_{D'} = (2b/\pi) K_D \quad \dots\dots\dots (42)$$

$$\rho_D = 4b^2/(\pi^2 x_{D'} \cos^3 \delta_D) \quad \dots\dots\dots (43)$$

となる。 G 点の座標を $x_{G'}$, $\psi_{G'}$ とすれば式(40)から

$$x_{G'} = x_{D'} - \rho_D \cos \delta_D, \quad \psi_{G'} = \psi_{D'} - \rho_D \sin \delta_D \quad \dots\dots\dots (44)$$

となり、式(38), (44)の x' , ψ' は後で $x\psi$ 座標に変換される。

4.4 第2円弧 DE ($\alpha + \tau_1 + \beta \leq \epsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2$)

図2において G 点を中心とし、 $\rho_D = DG$ を半径とする円弧 DE を描き、 $\angle DGE = \tau_2$ とすれば、これが

第2円弧で τ_2 はその作用角となる。 DE 上に任意の点 T をとり、 TG が x' 軸となす角を δ' 、 TG が OA となす角を ε とすれば $\angle TGD = \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta)$ だから

$$\delta' = \delta_D - \varepsilon + (\alpha + \tau_1 + \beta) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad (45)$$

となり、 T 点の $x'y'$ 座標は式(35)より次式のようなになる。

$$x_T' = x_G' + \rho_D \cos \delta', \quad y_T' = y_G' + \rho_D \sin \delta' \quad (46)$$

→ ρ_D は式(43)から得られる。この x_T' 、 y_T' は xy 座標に変換される。

4.5 $x'y'$ 座標の xy 座標への変換

図2において x 、 x' 軸の交点を L とすれば、 $O_1L = O_2L = m$ で、 m を求めれば次式となる。

$$m = \frac{y_{F2}}{\tan(\delta_B + \tau_1/2)} - x_{F2} \quad (47)$$

x_{F2} 、 y_{F2} は式(33)で与えられる。よって $x'y'$ 座標の xy 座標への変換式は次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} x &= -m + (x' + m) \cos(2\delta_B + \tau_1) + y' \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ y &= (x' + m) \sin(2\delta_B + \tau_1) - y' \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad (48)$$

4.6 第3単弦曲線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon \leq \Sigma$)

図2において第2円弧の $\angle DGE$ の2等分線 GZ_2 を引き、これを対称軸として第2単弦曲線 CD とその縮閉線 F_3F_2 と $x'O_2y'$ 座標を反転させ、第3単弦曲線 EF と第3縮閉線 F_4F_5 と $x''O_3y''$ 座標を作り、この第3縮閉線 F_4F_5 が原点 O を通るようにする。この計算は後述する。 O 点を通り、第3縮閉線 F_4F_5 に接線を引き、 EF の交点を F とすれば EF が第3単弦曲線となり、 EF の作用角を τ とす。

EF 上に任意の点 T をとり、曲率半径 TQ を引き、 x'' 軸の交角を δ'' とすれば、 GE が x'' 軸の交角は δ_D に等しく、 TQ と OA のなす角を ε とすれば EG と TQ のなす角は $\varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$ だから

$$\delta'' = \delta_D + \varepsilon - (\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2) = \delta_A - 2\beta - \tau_1 - \tau_2 + \varepsilon \quad (49)$$

となり、 T 、 Q 点の $x''y''$ 座標は第1単弦曲線と同様に式(26)～(28)から次式のようなになる。

$$\sin K'' = (2b/\pi a) \tan \delta'', \quad x_T'' = a \cos K'', \quad y_T'' = (2b/\pi) K'' \quad (50), (51)$$

$$\rho_T = 4b^2/(\pi^2 x_T'' \cos^3 \delta'') \quad (52)$$

$$x_Q'' = x_T'' - \rho_T \cos \delta'', \quad y_Q'' = y_T'' - \rho_T \sin \delta'' \quad (53)$$

4.7 $x''y''$ 座標の $x'y'$ 座標への変換

図2において x' 、 x'' 軸の交点を N とすれば対称性から $O_2N = O_3N = n$ で、 x'' 軸と GZ_2 のなす角は $\delta_D - \tau_2/2$ だから n は G 点の座標を用いれば

$$n = x_G' - y_G' / \tan(\delta_D - \tau_2/2) \quad (54)$$

x' 、 x'' 軸の交角は $2\delta_D - \tau_2$ だから $x''y''$ 座標を $x'y'$ 座標に変換すれば次式となる。

$$\left. \begin{aligned} x' &= n + (x'' - n) \cos(2\delta_D - \tau_2) + y'' \sin(2\delta_D - \tau_2) \\ y' &= (x'' - n) \sin(2\delta_D - \tau_2) - y'' \cos(2\delta_D - \tau_2) \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

4.8 xy 座標の XY 座標への変換

図2において OA を X 軸とし、 O 点よりこれに直角に Y 軸をとれば $O_1K = p$ 、 $OK = q$ で式(22)、(23)

$$\rho_F = 4b^2/(\pi^2 x_F'' \cos^3 \delta_F'') \quad \dots\dots\dots (61)$$

が求められ、円弧 FF' 上の点 T の XY 座標は $\angle AOT = \varepsilon$ だから次式で表わされる。

$$X_T = \rho_F \cos \varepsilon, \quad Y_T = \rho_T \sin \varepsilon \quad \dots\dots\dots (62)$$

6.2 戻り行程の輪郭 $F'A'$ ($\Sigma + \theta_d \leq \varepsilon \leq 2\Sigma + \theta_d$)

図3において戻り行程の輪郭 $F'A'$ は $\angle F'OA' = \Sigma$ から、 $\angle FOF'$ の2等分線を対称軸として AF の

表1 $\Sigma = 120^\circ$, $t = 1$.

b/a	0.3	0.5	0.5	0.3	0.3
α°	28	28	29.1	30	30
β°	52	52	51.45	51	51
r°	40	40	39.45	39	39
τ_1°	0	0	0	0	0
τ_2°	0	0	0	0	0
δ_A°	29	29	28	31	29.76
X_0	0.004565	0.011286	0.002821	-0.00254	-0.001731
Y_0	-0.0005273	0.0015141	0.000454	0.000929	0.000017
t	0.047604	0.144303	0.153818	0.076179	0.067604
a	119.8900	6.73632	6.50119	13.1270	14.7920
b	5.96699	3.36816	3.25060	3.93809	4.43759
R_0	1.09050	1.036413	0.97096	0.765332	0.829672
例	1	2	3	4	5

表2 $\Sigma = 120^\circ$, $t = 1$. $\beta < \alpha + \delta_A$

b/a	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5
α°	17.5	20	21	20	20	21.5
β°	27.5	32	32	30	30	32
r°	22.5	25	25	20	20	26
τ_1°	25	18	17	22.5	22.5	17
τ_2°	27.5	25	25	22.5	22.5	23.5
δ_A°	10.7	11.41	13.13	25.3	23.06	29.67
X_0	-4.167 E-7	1.876 E-6	1.053 E-7	-3.003 E-4	-9.333 E-4	0.00168
Y_0	0.000643	0.003181	0.00245	3.213 E-7	-1.825 E-7	-3.478 E-6
t	0.00922	0.030573	0.37805	0.033912	0.083516	0.147322
a	108.467	32.709	26.4518	29.4883	11.9738	6.78787
b	32.5401	16.3545	13.2259	8.8465	5.98688	3.39394
R_0	4.17289	3.52593	2.90985	1.46153	1.57202	1.0661
例	6	7	8	9	10	11

対称曲線とする。 $F'A'$ 上に T' 点を取り、 T' 点の法線が OA となす角を ϵ' とし、 T' 点の対称軸 T をとり ϵ とし、 $\angle AOA' = \theta_e$ とすれば

$$\epsilon' = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon, \quad \epsilon = 2\Sigma + \theta_d - \epsilon' \quad \dots\dots\dots (63)$$

$$\theta_e = 360^\circ - 2\Sigma - \theta_d \quad \dots\dots\dots (64)$$

となる。 T' 点より X 軸と OA' に垂線を下し、その足を H, K とし、 K 点より X 軸に垂線 KN を下し、 T' 点より KN に垂線 $T'L$ を下せば $\angle HT'K = \theta_e$ となるので、 $OH = X_T$ 、 $T'H = Y_T$ とすれば、 $OK = X_T$ 、 $T'K = Y_T$ となるので

$$X_T'' = X_T \cos \theta_e - Y_T \sin \theta_e, \quad Y_T'' = -X_T \sin \theta_e - Y_T \cos \theta_e \quad \dots\dots\dots (65)$$

となる。式(63)により ϵ' を ϵ になおし、式(65)より得られた X_T'' 、 Y_T'' を X_T 、 Y_T とすれば輪郭 $F'A'$ は求められる。

6.3 下降停留円弧 $A'A$ ($2\Sigma + \theta_d \leq \epsilon \leq 360^\circ$)

図3において円弧 $A'A$ 上の T 点の座標は

$$X_T = R_0 \cos \epsilon, \quad Y_T = R_0 \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (66)$$

で与えられる。

以上によりこのカムの輪郭は決定される。

6.4 カムの各部の寸法

表1により各作用角と a 、 b 、 δ_A が定まれば式(19)～(21)により R_0 が求まる。次に式(59)～(61)より ρ_F を求める。 X_O 、 Y_O が完全に零でないときは F 点の XY 座標を式(60)、(55)、(56)を用いて求め、 $\rho_F = \sqrt{X_F^2 + Y_F^2}$ とし、 ρ_F と R_0 の差をカムの高さ t とすれば

$$t = \rho_F - R_0 = \sqrt{X_F^2 + Y_F^2} - R_0 \quad \dots\dots\dots (67)$$

となり、この t で a 、 b 、 R_0 を割った値を再び a 、 b 、 R_0 とすれば $t = 1$ とすることができる。

後述するようにかたより量 $e = 0$ の場合は従動節のリフト $H = t$ となり、 $H = 1$ となるので、リフトの長さを基準にカムの寸法を決定することができる。 H を基準にすることにより加速度の大きさを比較できる。表1、2に $t = 1$ とした場合の a 、 b 、 R_0 の長さが示されている。

6.5 計算例

図4は表1の例3の $\tau_1 = \tau_2 = 0$ すなわち輪郭に円弧のない3個の単弦曲線でできたカムの輪郭とその縮閉線を示す。式(58)の $\beta < \alpha + \delta_A$ を満足させる。カムの輪郭は滑らかである。ただし $\theta_d = 30^\circ$ としてある。

図5は表2の例11の場合のカムの輪郭とその縮閉線を示す。ただし $\theta_d = 30^\circ$ としてある。

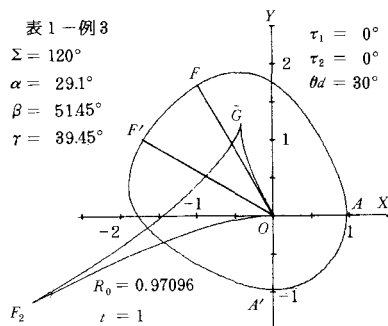


図4 カムの輪郭と縮閉線 表1-例3
 $\tau_1 = \tau_2 = 0$

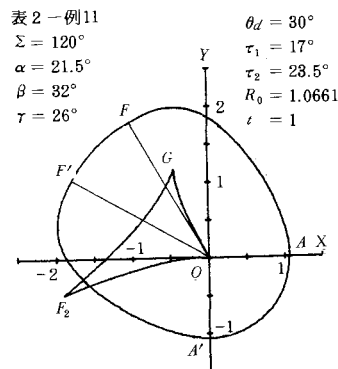


図5 カムの輪郭と縮閉線 表2-例11

§ 7 円弧往復従動節の運動

図6においてカムの中心 O を原点とする $\xi\eta$ 座標をとり、 η 軸は行程線に平行とし、その距離 e をかたより量とする。 X 軸が η 軸となす角を θ とし、カムは時計回りに回転するものとする。カムと従動節の接触点 T の $\xi\eta$ 座標を求めれば

$$\xi_T = X_T \sin \theta - Y_T \cos \theta, \quad \eta_T = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta \quad \dots\dots\dots (68)$$

となる。従動節の円弧の中心を M とし、半径を r 、行程線と法線 MP のなす角を ϕ とすれば ϕ は押進め角となる。 M 点の $\xi\eta$ 座標は次式となる。

$$\xi_M = e - \xi_T - r \sin \phi, \quad \eta_M = \eta_T + r \cos \phi \quad \dots\dots\dots (69), (70)$$

X 軸と MP の交角は ϵ だから、 M 点の XY 座標は

$$X_M = X_T + r \cos \epsilon, \quad Y_M = Y_T + r \sin \epsilon \quad \dots\dots\dots (71)$$

となる。式(69)に式(68)を代入すれば、図6より

$$\phi = \theta - \epsilon \quad \dots\dots\dots (72)$$

$$e = -X_T \sin \theta + Y_T \cos \theta - r \sin(\theta - \epsilon) \quad \dots\dots\dots (73)$$

となり、式(73)から θ を求めれば次式が得られる。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{e}{\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} - \tan^{-1} \frac{X_M}{Y_M} \quad \dots\dots\dots (74)$$

式(70)に式(68)を代入すれば η_M は次式となる。

$$\eta_M = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \epsilon) \quad \dots\dots\dots (75)$$

M 点の最低の高さを k とすれば R_0 より

$$k = \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (76)$$

となり、従動節の変位を h とすれば h は次式で求められる。

$$h = \eta_M - k = X_T \cos \theta + Y_T \sin \theta + r \cos(\theta - \epsilon) - \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (77)$$

7.1 往復従動節のリフト

図6から円弧の中心 M が最高の位置に来るときのリフトを H とすれば、上昇点におけるカムの半径は $R_0 + t$ だから

$$H = \sqrt{(R_0 + t + r)^2 - e^2} - \sqrt{(R_0 + r)^2 - e^2} \quad \dots\dots\dots (78)$$

となり、 $e = 0$ の場合は $H = t$ となる。カムの寸法は表1で明らかなように $t = 1$ として各寸法を定めているので、 $e = 0$ の時は $H = 1$ となる。

もし $e \neq 0$ の時は $H \neq 1$ となるので、その時は H を計算して再びその値でカムの各寸法を割った値をカムの各寸法として使用する。

7.2 従動節の速度係数

図6において T の法線 TN と ξ 軸の交点を P とすれば P 点は瞬間中心 I_{12} だから $OP = dh/d\theta$ となり、

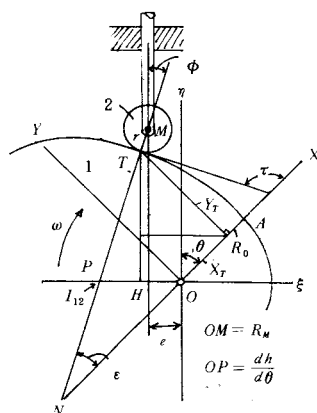


図6 円弧往復従動節の運動

$$\frac{dh}{d\theta} = \eta_M \tan(\theta - \varepsilon) + e \quad \dots\dots\dots (79)$$

が得られ、従動節の速度 $v = \omega \cdot dh/d\theta$ である。

7.3 加速度係数と $d\varepsilon/d\theta$

加速度係数を求める前に $d\varepsilon/d\theta$ を求める必要がある。それには式(73)を θ で微分すれば

$$-\frac{dX_T}{d\theta} \sin \theta + \frac{dY_T}{d\theta} \cos \theta - \eta_M + r \cos(\theta - \varepsilon) \frac{d\varepsilon}{d\theta} = 0 \quad \dots\dots\dots (80)$$

となる。 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ を求めるには式(56)を θ で微分すれば

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{dx_T}{d\theta} \cos \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \sin \delta_A, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = -\frac{dx_T}{d\theta} \sin \delta_A + \frac{dy_T}{d\theta} \cos \delta_A \quad \dots\dots\dots (81)$$

となる。そこで各曲線について調べる。

(1) 第1単弦曲線

式(25)より $d\delta/d\theta = d\varepsilon/d\theta$, 式(26)~(28)より

$$\frac{dx_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (82)$$

が得られるので、これを式(81)に代入すれば次式となる。

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \varepsilon \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (83)$$

(2) 第1円弧

式(34)より $d\delta/d\theta = d\varepsilon/d\theta$, 式(35)より

$$\frac{dx_T}{d\theta} = -\rho_B \sin \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_B \cos \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (84)$$

となり、 ρ_T が ρ_B となっただけで式(82)と同一で、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(83)と同一になる。

(3) 第2単弦曲線

式(36)より $d\delta'/d\theta = -d\varepsilon/d\theta$, 式(37)~(39)より

$$\frac{dx_{T'}}{d\theta} = \rho_T \sin \delta' \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_{T'}}{d\theta} = -\rho_T \cos \delta' \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (85)$$

となり、式(48)を θ で微分すれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_T}{d\theta} &= \frac{dx_{T'}}{d\theta} \cos(2\delta_B + \tau_1) + \frac{dy_{T'}}{d\theta} \sin(2\delta_B + \tau_1) \\ \frac{dy_T}{d\theta} &= \frac{dx_{T'}}{d\theta} \sin(2\delta_B + \tau_1) - \frac{dy_{T'}}{d\theta} \cos(2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (86)$$

式(86)に式(85)を代入すれば式(36), (34)を用いて

$$\frac{dx_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\varepsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (87)$$

となり式(82)に一致するので、 $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(83)に一致する。

(4) 第2円弧

式(45)より $d\delta'/d\theta = -d\epsilon/d\theta$, 式(46)を θ で微分すれば

$$\frac{dx_T'}{d\theta} = \rho_D \sin \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T'}{d\theta} = -\rho_D \cos \delta' \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (88)$$

となり, これは ρ_D を ρ_T で表わせば式(85)に一致するので, $dx_T/d\theta$, $dy_T/d\theta$ は式(87)に, $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(83)に一致する。

(5) 第3単弦曲線

式(49)より $d\delta'/d\theta = d\epsilon/d\theta$, 式(50)~(52)から次式が得られる。

$$\frac{dx_T''}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta'' \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T''}{d\theta} = \rho_T \cos \delta'' \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (89)$$

式(55)を θ で微分すれば次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_T'}{d\theta} &= \frac{dx_T''}{d\theta} \cos(2\delta_D - \tau_2) + \frac{dy_T''}{d\theta} \sin(2\delta_D - \tau_2) \\ \frac{dy_T'}{d\theta} &= \frac{dx_T''}{d\theta} \sin(2\delta_D - \tau_2) - \frac{dy_T''}{d\theta} \cos(2\delta_D - \tau_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (90)$$

式(90)に式(89)を代入すれば

$$\frac{dx_T'}{d\theta} = -\rho_T \sin(\delta'' - 2\delta_D + \tau_2) \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T'}{d\theta} = -\rho_T \cos(\delta'' - 2\delta_D + \tau_2) \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (91)$$

となり, この式を式(86)に代入すれば

$$\frac{dx_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \delta \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dy_T}{d\theta} = \rho_T \cos \delta \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (92)$$

となり, 式(82)に一致するので, $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は式(83)に一致する。

以上により各曲線共に

$$\frac{dX_T}{d\theta} = -\rho_T \sin \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \rho_T \cos \epsilon \frac{d\epsilon}{d\theta} \quad \dots\dots\dots (83)$$

となるので, 式(83)を式(80)に代入すれば

$$\frac{d\epsilon}{d\theta} = \frac{\eta_M}{(\rho_T + r) \cos(\theta - \epsilon)} \quad \dots\dots\dots (93)$$

が得られ, 加速度係数は式(79)を θ で微分すれば

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{dh}{d\theta} \tan(\theta - \epsilon) + \frac{\eta_M}{\cos^2(\theta - \epsilon)} \left(1 - \frac{d\epsilon}{d\theta}\right) \quad \dots\dots\dots (94)$$

となり, 加速度 $a = \omega^2 \cdot d^2h/d\theta^2$ で求められる。

§ 8 押進め角と滑り率

押進め角 ϕ は式(72)から

$$\phi = \theta - \epsilon \quad \dots\dots\dots (72)$$

で, カムと円弧従動節の滑り率を σ_1 , σ_2 とすれば前報⁴⁾より

$$\overline{TP} = \eta_M / \cos \phi - r \quad \dots\dots\dots (95)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (96), (97)$$

で求められる。

§ 9 計算例

図7は表1の例3のデータで図4に示すカムの往き行程における従動節の円弧半径 $r = 1, 2, 3$ により量 $e = 0$ の場合のカムの回転角 θ に対する加速度係数 $d^2h/d\theta^2$ を示す。 r が小さいと負の最大加速度が大きく, r が増加するにつれて正のそれが大となり, $r = 2$ のとき正負の最大加速度が等しく, $d^2h/d\theta^2 \pm 1.7$ となる。正の加速度の山は尖り, 負のそれは丸い。図8, 9は同じデータで, $r = 2$ の場合の運動と ϕ, σ_1, ρ_T を示す。 $dh/d\theta_{\max} \doteq 1$, $\phi_{\max} \doteq 16^\circ$, $\sigma_{1\max} \doteq 1.9$ で $\phi_{\max} < 30^\circ$ なので e

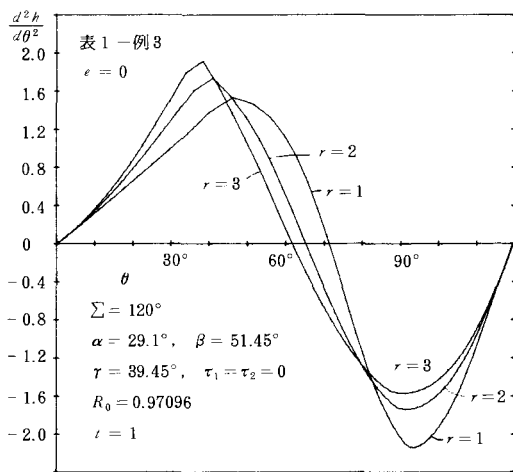


図7 表1-例3の加速度係数 $r=1, 2, 3$

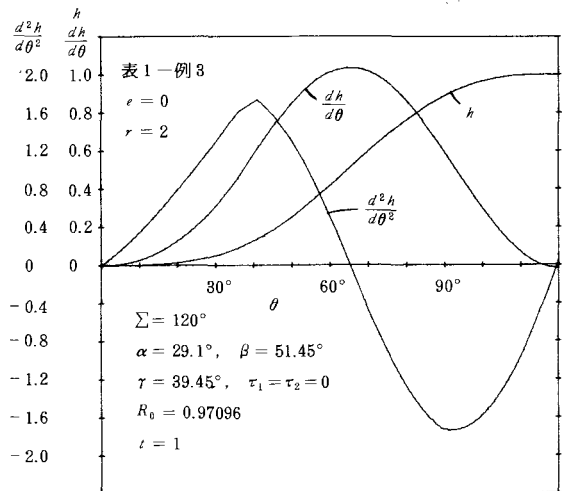


図8 表1-例3の $e=0, r=2$ の場合の運動

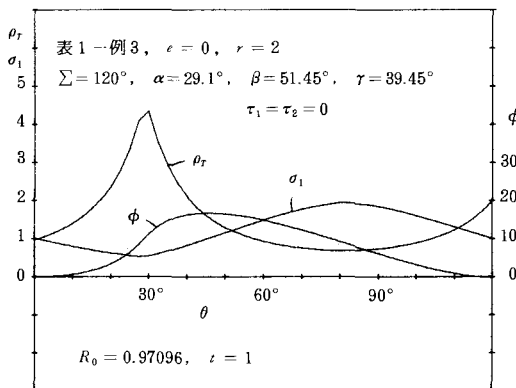


図9 表1-例3の図8の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

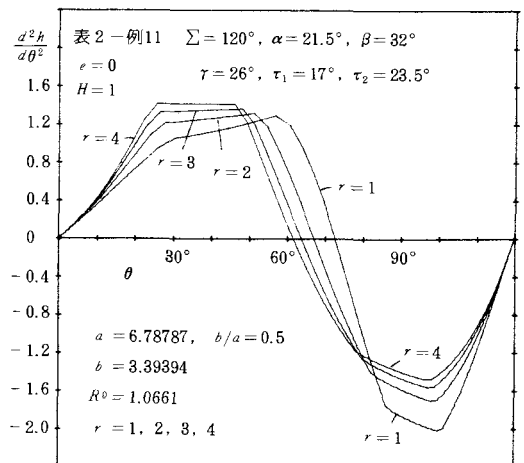


図10 表2-例11の加速度係数, $r=1 \sim 4$

= 0 でよい。

次に加速度曲線の山を平らにするために単弦曲線の間に円弧を挿入した場合のデータを表2に示す。 X_0, Y_0 が共に零に近く、 R_0 が1に近い例として表2の例11があるので図10で $e = 0, r = 1, 2, 3, 4$ として、 θ を横軸に $d^2h/d\theta^2$ を縦軸に示した。 $r = 4$ が正負の最大値が等しく約1.4である。

図11は同じデータで $r = 4$ の場合の従動節の運動を示す。 $\theta = 120^\circ$ で $dh/d\theta = 0, d^2h/d\theta^2 = 0$ となる。図8に比して $d^2h/d\theta^2_{\max}$ が約0.3減少した。円弧を挿入したため正の加速度曲線の山は水平になったが、負のそれは水平とならず傾斜している。これを水平にすることは後述する。

図12は同じデータで ϕ, σ_1, ρ_T を示したもので、 $\phi_{\max} \div 10^\circ, \sigma_{1\max} \div 2, \rho_{T\max} \div 0.8$ となり良好である。 ϕ_{\max} が小さいから $e = 0$ でよく、 $e = 0$ の場合は戻り行程の値は対称的で同一だから略す。

図13は同じデータで従動節の円弧上の滑り率 σ_2 を円弧上の位置 $s = r\phi$ で示す。接触の両端で $\sigma_2 = \infty$ となるが、途中は平均 $\sigma_2 \div 1.5$ 程度だからローラにする必要はない。このカムの輪郭と縮閉線が図5に示されているが、滑らかな曲線である。

§ 10 第2円弧の代りにインボリュート曲線 $DE(\alpha + \tau_1 + \beta \leq \varepsilon \leq \alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2)$

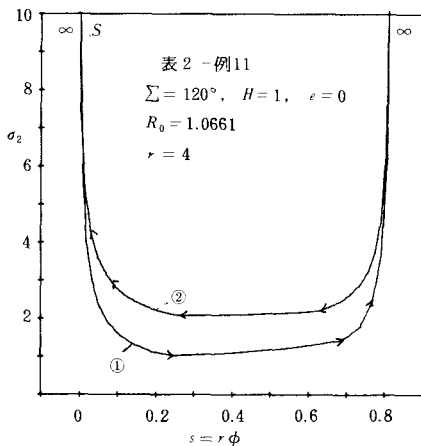


図13 表2-例11の図11の場合の σ_2

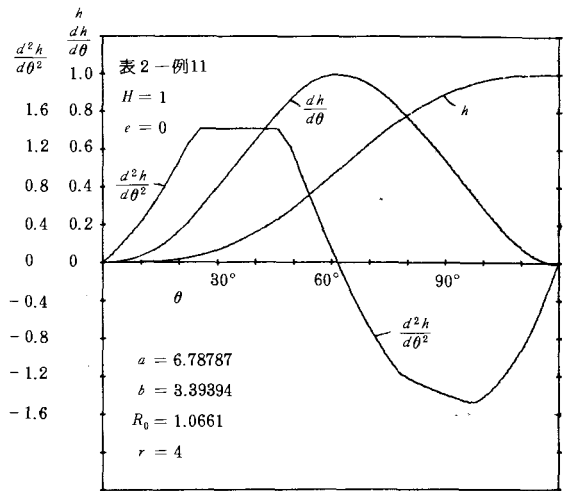


図11 表2-例11の $e = 0, r = 4$ の場合の運動

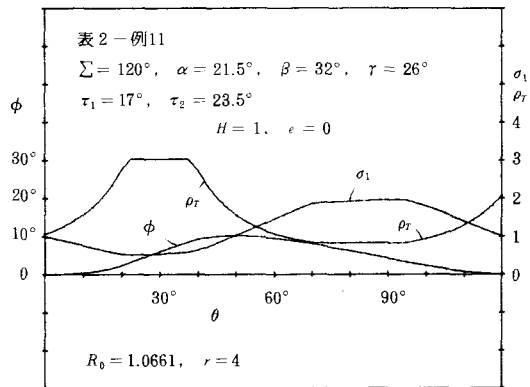


図12 表2-例11の図11の場合の ϕ, σ_1, ρ_T

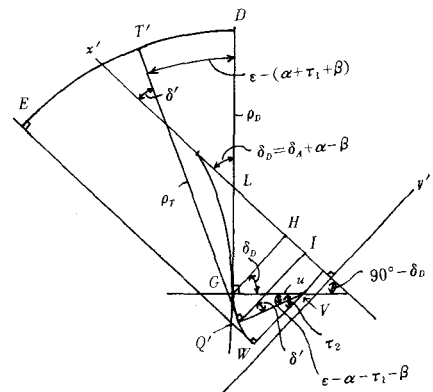


図14 第2円弧の代りにインボリュート曲線

図7から明らかなように第2円弧を使用すると負の最大加速度はかなり減少するが、その部分で水平とならない。そこで第2円弧の代りに基礎円半径 u で中心角 τ_2 のインボリュート曲線を利用してみる。

図14において図2の $x'y'$ 座標から第2縮閉線に法線を立て、その上に V 点を取り、 $GV=u$ とし、 V 点を中心に u の半径で円弧 GW を作り、その中心角を τ_2 とす。円弧 GW のインボリュート曲線を DE とすれば W 点は E 点の曲率中心となる。 DE 上に任意の点 T' を取り、その曲率中心を Q' とす。 DG と $T'Q'$ の交角は $\varepsilon-(\alpha+\tau_1+\beta)$ で、 $\angle GVQ'$ に等しいので、 $T'Q'$ の曲率半径を ρ_T とすれば

$$\rho_T = u(\varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta) + \rho_D \quad (98)$$

となり、 DG 、 $T'Q'$ が x' 軸との交角を δ_D 、 δ' とすれば次式となる。

$$\delta_D = \delta_A + \alpha - \beta, \quad \delta' = \delta_D - \varepsilon + (\alpha + \tau_1 + \beta) = \delta_A + 2\alpha + \tau_1 - \varepsilon \quad (99), (100)$$

円弧 GW の中心 V の $x'y'$ 座標を x_V' 、 y_V' とすれば図14において G 点から x' 軸に垂線 GH を下せば、 $\angle VGH = \delta_D$ となるから

$$x_V' = x_D' - \rho_D \cos \delta_D - u \sin \delta_D, \quad y_V' = y_D' - \rho_D \sin \delta_D + u \cos \delta_D \quad (101)$$

となり、次に T' 、 Q' 点の $x'y'$ 座標を求め、 Q' 点より x' 軸に垂線 $Q'I$ とすれば $\angle VQ'I = \delta'$ となるから

$$x_{T'} = \rho_T \cos \delta' + u \sin \delta' + x_V', \quad y_{T'} = \rho_T \sin \delta' - u \cos \delta' + y_V' \quad (102)$$

$$x_{Q'} = x_V' + u \sin \delta', \quad y_{Q'} = y_V' - u \cos \delta' \quad (103)$$

となり、 $x_{T'}$ 、 $y_{T'}$ の値を式(48)の x' 、 y' に代入すれば x 、 y によりインボリュート DE の輪郭が求まり、 $x_{Q'}$ 、 $y_{Q'}$ の値を式(48)の x' 、 y' に代入すれば、円弧 GW が求められる。

§11 第3単弦曲線 EF ($\alpha + \tau_1 + \beta + \tau_2 \leq \varepsilon$)

図15において DG 線を対称軸として $x''y''$ 座標の対称座標を $x''y''$ とし、第2縮閉線 F_3F_2 の対称縮閉線 F_4F_5 を作り、輪郭上の T'' 点の曲率中心 Q'' を F_4F_5 上にとり、 $T''Q''$ と x'' 軸の交角を δ'' とすれば

$$\delta'' = \delta_D + \varepsilon - \alpha - \tau_1 - \beta - \tau_2 \quad (104)$$

となる。 T'' 点が DG 上にある場合の $T''Q''$ は ρ_D だから E 点の ρ_E は次式のようになる。

$$\rho_E = \rho_D + u\tau_2 \quad (105)$$

$T''Q''$ 上に弧 $GW=w=u\tau_2$ に等しく $T''S''$ となるように S'' 点をとれば、 S'' 点の $x''y''$ 座標は次式で表わされる。

$$\sin K'' = \frac{2b}{\pi a} \tan \delta'', \quad x_{T''} = a \cos K'', \quad y_{T''} = \frac{2b}{\pi} K'' \quad (106)$$

$$\rho_T = 4b^2 / (\pi^2 x_{T''} \cos^3 \delta'') \quad (107)$$

$$x_{S''} = x_{T''} + w \cos \delta'', \quad y_{S''} = y_{T''} + w \sin \delta'' \quad (108)$$

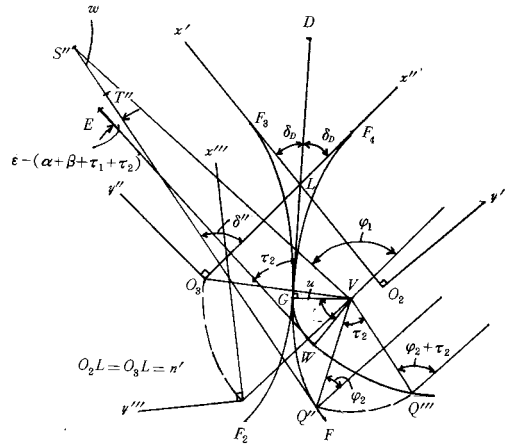


図15 第3単弦曲線 EF

$$x_Q'' = x_T'' - \rho_T \cos \delta'', \quad y_Q'' = y_T'' - \rho_T \sin \delta'' \quad \dots\dots\dots (109)$$

V 点の $x''y''$ 座標は式(55)から次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x_V'' &= n + (x_V' - n) \cos 2\delta_D + y_V' \sin 2\delta_D \\ y_V'' &= (x_V' - n) \sin 2\delta_D - y_V' \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (110)$$

いま $S''V = \rho_1$, $S''V$ が x'' 軸となす角を φ_1 とおけば

$$\rho_1 = \sqrt{(x_V'' - x_S'')^2 + (y_S'' - y_V'')^2}, \quad \tan \varphi_1 = (y_S'' - y_V'') / (x_V'' - x_S'') \quad \dots\dots\dots (111), (112)$$

となる。次に S'' 点を V 点の回りに τ_2 回転させた S'' の位置を S''' , Q'' の回転した位置を Q''' とすれば, S''' 点と Q''' 点の $x'''y'''$ 座標を x_S''' , y_S''' , x_Q''' , y_Q''' とすれば

$$x_S''' = x_V'' + \rho_1 \cos (\varphi_1 + \tau_2), \quad y_S''' = y_V'' + \rho_1 \sin (\varphi_1 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (113)$$

となる。 $VQ'' = \rho_2$, VQ'' が x'' 軸となす角を φ_2 とすれば

$$\rho_2 = \sqrt{(x_V'' - x_Q'')^2 + (y_V'' - y_Q'')^2}, \quad \tan \varphi_2 = (y_V'' - y_Q'') / (x_V'' - x_Q'') \quad \dots\dots\dots (114)$$

$$x_Q''' = x_V'' - \rho_2 \cos (\varphi_2 + \tau_2), \quad y_Q''' = y_V'' - \rho_2 \sin (\varphi_2 + \tau_2) \quad \dots\dots\dots (115)$$

$$\rho_T = \frac{4b^2}{\pi^2 x_T'' \cos^3 \delta''} + w \quad \dots\dots\dots (116)$$

となる。ただし ρ_T は S''' 点の曲率半径である。

これらの $x'''y'''$ 座標を次式により, $x'y'$ 座標, xy 座標, 更に XY 座標に変換する。

$$\left. \begin{aligned} x' &= n + (x''' - n) \cos 2\delta_D + y''' \sin 2\delta_D \\ y' &= (x''' - n) \sin 2\delta_D - y''' \cos 2\delta_D \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (117)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= -m + (x' + m) \cos (2\delta_B + \tau_1) + y' \sin (2\delta_B + \tau_1) \\ y &= (x' + m) \sin (2\delta_B + \tau_1) - y' \cos (2\delta_B + \tau_1) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (118)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= q - (p - x) \cos \delta_A + y \sin \delta_A \\ Y &= (p - x) \sin \delta_A + y \cos \delta_A \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (119)$$

よって第3単弦曲線の輪郭は単弦曲線より w の距離の曲線となる。

§ 12 各作用角と u , δ_A の指定によるカムの寸法

Σ , α , β , γ , τ_1 , τ_2 の各作用角と u を指定し, $a=1$ とし a に対する b の値を指定し, δ_A を変化させて F 点すなわち $\Sigma=120^\circ$ の点の曲率中心の位置を D 点迄は前記の通りとし, インボリュート曲線の所で曲率中心を式(103)を用い, この値を xy , XY 座標に変換し, 第3の単弦曲線の縮閉線の所で式(115)と式(117)~(119)を用いて求める。そして F 点の曲率中心の位置の座標が原点に近似するように δ_A を変化させる。あるいは b/a の値を変えて繰返し計算により求める。F 点の曲率半径と A 点の曲率半径 R_0 の差がカムの高さ l である。

$$l = \rho_F - R_0 \quad \dots\dots\dots (120)$$

ρ_F は式(104)の ε を Σ とし, 式(106), (116)より求められる。この l を $l=1$ とするため, カムの各寸法 a , b , R_0 , u を l で割ったものを再び a , b , R_0 , u とし表3はそれらの結果を示す。ただし $\Sigma=120^\circ$ の場合を用う。

表3 $\Sigma = 120^\circ$, $\delta_A = 13^\circ$, $u = 0.4$, $t = 1$

b/a	0.4	0.93	0.27	0.28	0.27	0.27	0.28
α°	20	21.5	18.5	19	19	19	19
β°	32	32	27.5	31.5	31.5	31.5	31.5
τ°	25	26	21.5	25	25	25	24
τ_1°	17	17	24	20.5	21.5	22	19
τ_2°	26	23.5	28.5	24	23	22.5	26.5
X_0	0.08433	-0.02266	-0.05582	0.00181	-0.02284	-0.03453	0.00433
Y_0	-0.01875	-0.18786	-0.06638	0.0553	-0.02978	-0.01766	-0.00123
a	46.8753	5.99889	100.077	100.11	99.9427	99.9173	100.179
b	18.8907	5.59896	26.9207	27.7306	27.2843	27.0776	28.4507
u	0.18750	0.39993	0.40031	0.40044	0.39971	0.39967	0.40071
R_0	3.34123	2.31131	3.16517	3.36812	3.26599	3.21746	3.54307
例	A	B	C	D	E	F	G

表3は $\delta_A = 13^\circ$ とし、 $u = 0.4$ と仮定したが、この値の前後が加速度の山が水平となるので仮定した。

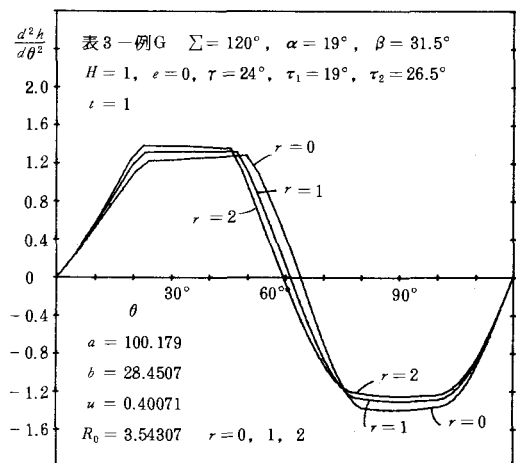
§13 第4、5曲線における加速度

13.1 インボリュート曲線

前報⁴⁾によりインボリュート曲線上の $dX_T/d\theta = -\rho_T \sin \epsilon d\epsilon/d\theta$, $dY_T/d\theta = \rho_T \cos \epsilon d\epsilon/d\theta$ となるので式(83)に一致し、 $d\epsilon/d\theta$ は式(93)と一致して、加速度係数を求めるのに式(94)を用いることができる。ただし ρ_T は式(98)を用いる。

13.2 第3単弦曲線

第3単弦曲線は実際は法線方向に w だけの距離の曲線である。この曲線の加速度を求める。式(104)より $d\delta''/d\theta = d\epsilon/d\theta$, 式(106)より $dK''/d\theta = (2b/\pi a) \sec K'' \sec^2 \delta'' d\epsilon/d\theta$, $dx_T''/d\theta = -\rho_T \sin \delta'' d\epsilon/d\theta$, $d\psi_T''/d\theta = \rho_T \cos \delta'' d\epsilon/d\theta$, 式(108)より $dx_S''/d\theta = -(\rho_T + w) \sin \delta'' d\epsilon/d\theta$, $d\psi_S''/d\theta = (\rho_T + w) \cos \delta'' d\epsilon/d\theta$, 式(111)より $dp_1/d\theta = -(\rho_T + w) \sin(\delta'' - \varphi_1) d\epsilon/d\theta$, $d\varphi_1/d\theta = ((\rho_T + w)/p_1) \cos(\delta'' - \varphi_1) d\epsilon/d\theta$, 式(113)より $dx_S'''/d\theta = -(\rho_T + w) \sin(\delta'' + \tau_2) d\epsilon/d\theta$, $d\psi_S'''/d\theta = (\rho_T + w) \cos(\delta'' + \tau_2) d\epsilon/d\theta$, 式(117)より $dx_S'/d\theta = -(\rho_T + w) \sin(\delta'' + \tau_2 - 2\delta_D) d\epsilon/d\theta$, $d\psi_S'/d\theta = -(\rho_T + w) \cos(\delta'' + \tau_2 - 2\delta_D) d\epsilon/d\theta$, $\delta'' + \tau_2 - 2\delta_D + 2\delta_B + \tau_1 = \delta_A + \epsilon$, 式(118)より $dx_S/d\theta = -(\rho_T + w) \sin(\delta_A + \epsilon) d\epsilon/d\theta$, $d\psi_S/d\theta = (\rho_T$

図16 表3-例Gの加速度係数, $r = 0, 1, 2$

$+w) \cos(\delta_A + \varepsilon) d\varepsilon/d\theta$, 式(119)より $dX_S/d\theta = -(\rho_T + w) \sin \varepsilon d\varepsilon/d\theta$, $dY_S/d\theta = (\rho_T + w) \cos \varepsilon d\varepsilon/d\theta$ となり $\rho_T + w$ を ρ_T とすれば式(83)に一致する。よって式(93), (94)を使用できる。

§14 計算例（インボリュート曲線）

表3において X_0, Y_0 が共に零に最も近いものは例Gである。 R_0 が少し大きいのが欠点である。図16は表3の例Gのデータで, $e = 0, r = 0, 1, 2$ の場合の加速度係数を往き行程について, θ に対して示したもので, 負の加速度の山はほぼ水平になり, 正負の最大加速度係数が等しいのは $r = 1$ の場合で $d^2h/d\theta^2 \div 1.3$ とすることができる。図11に比較して少し減少する。図17は同じデータで $r = 1$ の場合の従動節の運動を示す。正の加速度は台形, 負の加速度は修正台形の形をもっている。最大押進め角 $\phi_{\max} \div 22^\circ$, $\sigma_{1\max} \div 1.1$, $\rho_{T\max} \div 3.3$ となり良好である。

図18は従動節の円弧上の位置 $s = r \cdot \phi$ に対する従動節の滑り率 σ_2 を示す。スタートの点Sと接触の端で $\sigma_2 = \infty$ となるが途中は約1.2で良好である。図19は同じデータで $\theta_d = 30^\circ$ の場合のカムの全輪郭と往き行程の縮閉線の形を示す。

§15 結 論

以上において単弦曲線をカムの輪郭とした円弧往復従動節で $\Sigma = 120^\circ$ の場合, (A) $\tau_1 = \tau_2 = 0$, 円弧を使用しない場合, (B) $\tau_1 \neq 0, \tau_2 \neq 0$, 円弧を挿入した場合, (C) $\tau_1 \neq 0, \tau_2 \neq 0$, 円弧とインボリュート曲線を使用した場合, の3通りの運動の解析と押進め角, 滑り率, 最小曲率半径を調べた。

共通して云えることはいずれも最大押進め角は 30° 以下だからかたより量 e は零でよい。カムの最大滑り率は2以下で良好である。従動節の滑り率は始点と接触の両端で $\sigma_2 = \infty$ となるが途

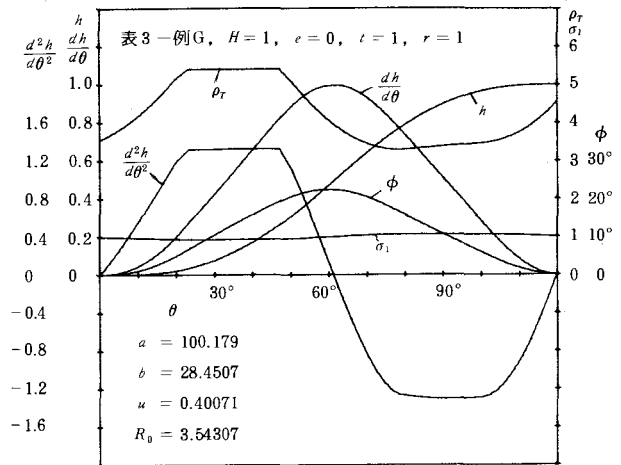


図17 表3一例Gの $r=1$ の運動と ϕ, σ_1, ρ_T

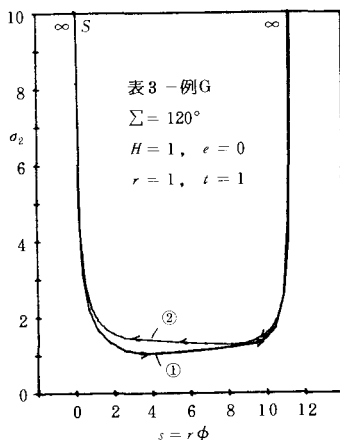


図18 表3一例Gの図17の場合の σ_2

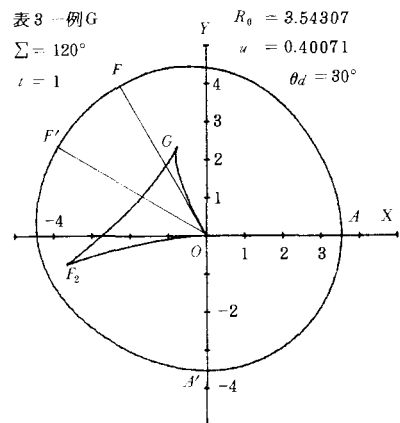


図19 表3一例Gのカムの輪郭と縮閉線

中は2以下で良好である。加速度については(A)の場合、加速度曲線の山が尖る。正の値は等2次加速度カム形となり、最大加速度係数は1.7で大きい。(B)の場合、正の加速度曲線の山は水平になるが、負のそれは傾斜し、正負の最大値を等しくすればそれは約1.4となる。(C)の場合は正負の加速度曲線の山を水平にして約1.3にすることができる。しかしながらカムの基礎円半径が大きい。 μ を約0.4にし、 R_0 を約1.5にすることは困難であった。次報で明らかにするように第3単弦曲線の代りにインボリュート曲線を用いればカムの寸法の決定が容易であるが負の加速度曲線の形が少し悪いので、今少し時間をかけて目的のものをさがす必要がある。

文 献

- 1) 糸島寛典：円弧インボリュート接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 2) 糸島寛典：円弧楕円接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，16-1，1980
- 3) 福永恭一，糸島寛典：円弧放物線接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，徳山高専研究紀要，第4号，1980
- 4) 糸島寛典：双曲線接合カムの研究(第1報)一往復従動節一，呉高専研究報告，17-1，1981

(昭和56年4月15日受付)

転位歯車の歯元応力の計算

(機械工学科) 灘 野 宏 正

Calculation of the Stress at the Tooth Fillet of the Profile Shifted Gears

Hiromasa NADANO

Abstract

For the purpose of the appreciation of the scoring resistance of the heavy-duty spur gears, there were a lot of formulas ¹⁾ of the critical surface temperature which were based on the flash temperature equation of the conjunctural area. From the calculated results of the surface temperature of the meshing faces, the optimum value of the coefficient of addendum modification against the risk for scoring could be decided ²⁾, and the effect of the module on the scoring resistance of the gears was clarified ³⁾. In this case, it is a pressing problem as for how the number of teeth and the coefficient of addendum modification affect the stress at the tooth fillet of the gears shifted by the coefficient of addendum modification.

In this report, using the Hofer's method, ⁴⁾ the tooth thickness at the critical section of tooth, the radius of curvature at the tooth fillet and the position of the load acting on the meshing face are graphically depicted, and consequently it is possible to easily evaluate the stress at the tooth fillet of the profile shifted gears.

§ 1 緒 言

高速・高負荷駆動機構における歯車のスコ어링評価式には、歯面に発生した瞬間温度上昇式を基礎とした種々の修正式があり、⁽¹⁾ 歯面温度の観点から歯車のスコ어링強さに対する最適な転位係数およびスコ어링強さに及ぼすモジュールの影響等が明らかにされた。^{(2),(3)} これらの転位歯車に対する歯元応力の計算には、歯数や圧力角などによって定まる歯形や歯車製作時のカッタの種類および頂げきなどによって定まるすみ肉曲線の幾何学的形状が重要な問題になる。ここでは、Hofer⁽⁴⁾の方法に従って危険断面を定めて、歯元応力の計算に必要な歯厚、すみ肉部の曲率半径および荷重点の位置をわかり易く図表化することにより、歯車の設計を容易にした。

§ 2 記 号

歯元応力の計算に使用した記号を示す。

b : 歯幅 mm

c_x : 頂げき係数

m : モジュール

P : 法線荷重 kg

r_f : 歯元のすみ肉部の曲率半径 mm

r_0 : ラック形カッタの歯先丸み半径 mm

r_p : ピッチ円半径 mm

S_n : 法線バックラッシュ mm

x : 転位係数

s : 歯数

α : かみあい圧力角

α_0 : 工具かみあい圧力角

§ 3 歯元応力の計算に必要な諸寸法

危険断面の歯厚を求めるために、すみ肉部の歯底曲線の方程式を求める。図1において、ラック形カッタの歯先丸み半径 r_0 の中心より歯切ピッチ線までの垂線の長さを η として、その垂線の足から歯の中心線への垂直距離を l_n とすると、

$$r_0 = \frac{c_\kappa}{1 - \sin \alpha_0} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = (1-x)m - r_0 \sin \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$l_n = \frac{\pi}{2}m - \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{2} - 2x \tan \alpha_0 \right) m - (\eta \tan \alpha_0 + \frac{r_0}{\cos \alpha_0}) \right\} - \frac{S_n}{\cos \alpha_0} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。

法線バックラッシ $S_n=0$ の場合、歯切ピッチ線が l_n だけピッチ円上をころがる角を u とすると

$$u = \frac{l_n}{r_p} = \frac{\pi}{2z} + \frac{1}{r_p} \left\{ (\eta + xm) \tan \alpha_0 + r_0 \sin \alpha_0 \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

になる。図2に示すように、歯車中心を原点、歯の中心線をY軸、これに直角にX軸をとり、ラックカッタの歯先丸みの半径の中心のトロキッド曲線の対称軸 OO' と歯の中心線のなす角を u とし、 OO' より測ったラックの回転角を φ とする。この場合、歯元すみ肉曲線上の座標を (X, Y) とすると、

$$\left. \begin{aligned} X &= (r_p - \eta) \sin(\varphi + u) - r_p \varphi \cos(\varphi + u) - \frac{r_p \varphi \cos(\varphi + u) + \eta \sin(\varphi + u)}{\sqrt{\eta^2 + r_p^2 \varphi^2}} \cdot r_0 \\ Y &= (r_p - \eta) \cos(\varphi + u) + r_p \varphi \sin(\varphi + u) + \frac{r_p \varphi \sin(\varphi + u) - \eta \cos(\varphi + u)}{\sqrt{\eta^2 + r_p^2 \varphi^2}} \cdot r_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

で与えられ、 (X_0, Y_0) に中心をもつ半径 r_0 の円の包絡線によって与えられる。

つぎに、危険断面を Hofer の 30° 接線法により定める。すなわち、歯元のすみ肉曲線に接し、歯の中心線と 30° で交わる線分を引き、その接点を結んで危険断面とする(図2参照)。この場合、式(5)はつき

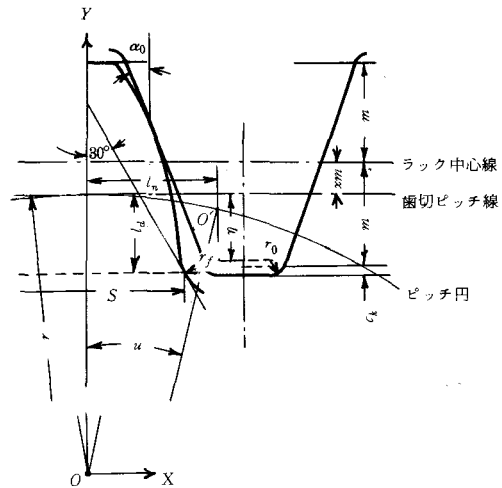


図1 ラック形工具による転位歯切り

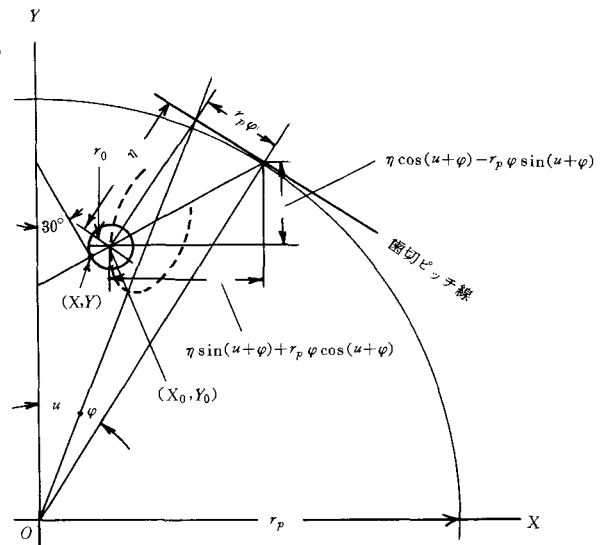


図2 歯元すみ肉曲線の創成

のように変形される。

$$\tan \theta = \frac{dX}{dY} = \frac{\eta - r_p \varphi \tan(\varphi + u)}{\eta \tan(\varphi + u) + r_p \varphi} \quad \dots\dots\dots (6)$$

上式において、 $\theta = 30^\circ$ とおくと、

$$(\sqrt{3} r_p \varphi + \eta) \tan(\varphi + u) + r_p \varphi = \sqrt{3} \eta \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。Newton-Raphson の近似法を使用して、上式の φ を計算し、これを式(5)に代入すると、式(8)、式(9)より危険断面の歯厚 S 、ピッチ円からの危険断面までの距離 l_d が求められる。

$$S = 2X \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$l_d = \eta - Y \quad \dots\dots\dots (9)$$

さらに、危険断面に対するすみ肉部の曲率半径 r_f は次式で与えられる。

$$r_f = \frac{(\eta^2 + r_p^2 \varphi^2)^{1.5}}{r_p^2 \varphi^2 + r_p \eta + \eta^2} + r_0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

つぎに、負荷点における曲げ強さを計算する場合、曲げ強さを求める歯車の基礎円の接点からかみあい作用線上における負荷点までの距離を L とすれば、

$$\omega = \frac{2L}{mz \cos \alpha} - \varphi_0, \text{ ただし, } \varphi_0 = \frac{\pi}{2z} + \text{inv } \alpha - \frac{S_n}{mz \cos \alpha} + \frac{2x \tan \alpha}{z} \quad \dots\dots (11)$$

で与えられる。したがって、負荷点からのピッチ円までの距離 l_a 、負荷点から危険断面までの距離 l 、および荷重作用方向と歯形中心線とのなす角 θ は図3よりつぎのように表わされる。

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \omega \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\begin{aligned} \nu = \sqrt{\left(\frac{mz}{2} \cos \alpha\right)^2 - L^2} \cdot \sin \left\{ \tan^{-1} \frac{2L}{mz \cos \alpha} \right. \\ \left. - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \right\} \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_a = \sqrt{\left(\frac{mz}{2} \cos \alpha\right)^2 - L^2} \cdot \cos \left\{ \tan^{-1} \frac{2L}{mz \cos \alpha} \right. \\ \left. - \left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \right\} - \frac{mz}{2} \quad \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$l = l_a + l_d - \frac{\nu}{\tan \theta} \quad \dots\dots\dots (15)$$

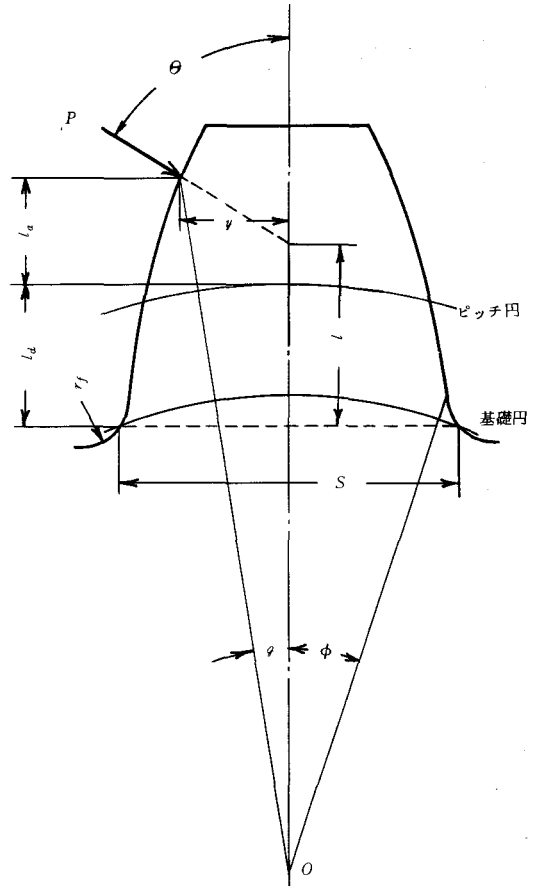


図3 歯元応力の計算に必要な諸寸法

§ 4 歯元すみ肉部の応力計算式⁽⁵⁾

歯面荷重 P 、歯幅を b とし、図3のように記号を定めると、歯元すみ肉部の応力 σ_t は次式より求まる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Nb} &= \frac{6P \sin \theta (l_a + l_d)}{S^2 \cdot b} \\ \sigma_{Nc} &= -\frac{P \cos \theta}{S \cdot b} - \frac{6P \cos \theta \cdot y}{S^2 \cdot b} \\ \tau_n &= \frac{P \sin \theta}{S \cdot b} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16)$$

$$\sigma_t = \left(1 + 0.08 \frac{S}{r_f}\right) (0.66 \sigma_{Nb} + 0.40 \sqrt{\sigma_{Nb}^2 + 36 \tau_n^2} + 1.15 \sigma_{Nc}) \dots\dots\dots (17)$$

なお、応力集中係数 C は

$$C = \frac{\sigma_t}{\sigma_{Nb} + \sigma_{Nc}} \dots\dots\dots (18)$$

より求まる。

§ 5 計算結果

本計算では、負荷点の位置が歯先端に作用した場合の歯元すみ肉部の応力 σ_t 、および応力集中係数を求めた。なお計算条件としては、 $S_n = 0$, $c_k = 0.25$, $\alpha = 20^\circ$, $m = 1.0$, $b = 1.0 \text{ mm}$, $P = 1.0 \text{ kg}$

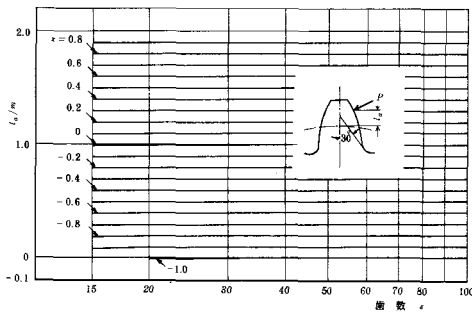


図4 l_a/m と z の関係

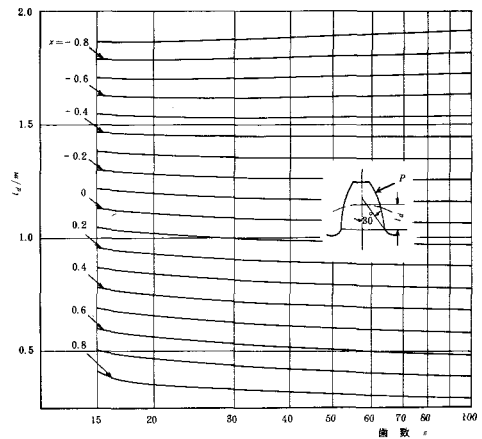


図5 l_d/m と z の関係

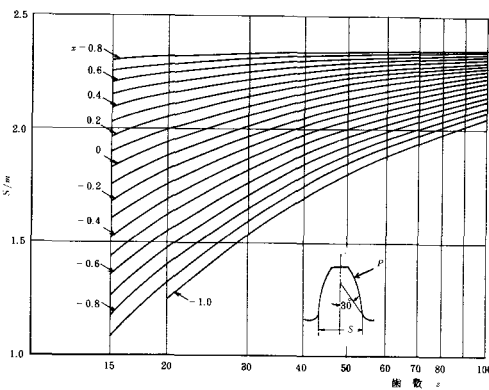


図6 S/m と z の関係

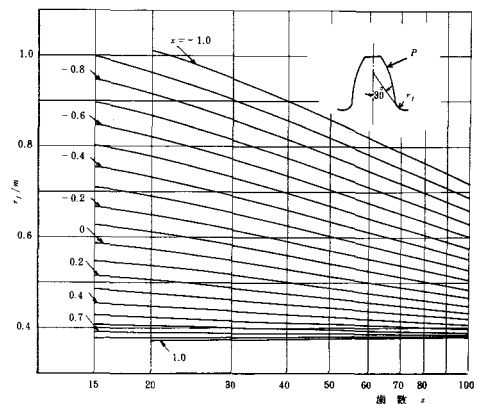


図7 r_f と z の関係

として、転位係数 x を 0 から ± 1.0 まで変化させ、各歯数について計算を行った。

図 4, 5 に l_a/m , l_d/m と z の関係を示した。 l_a/m , l_d/m はその歯車の歯数 z にはほとんど影響されず、 x の値が正よりも大きくなるにつれて増大する。

図 6 に S/m と z の関係を示す。 S は転位係数によってかなり変化し、負の転位係数が大きい場合、 S はきわめて小さく、歯数の増大にともなって著しく増大する。したがって、負荷の曲げ分力がそれだけ減少する。しかしながら、大きい正の転位歯車の場合、歯数の影響はきわめて小さく、負荷の曲げ分力 σ_b に及ぼす影響度も小さくなるものと考えられる。

同様に、図 7, 8, 9 に r_f/m , ψ/m , θ と z の関係を示した。 r_f は転位係数の値が負よりも大になるにつれて増大する。しかし、 z の増大にともなって次第に減少する。一方、歯数が多くなるにつれて、 ψ/m , θ は大きくなり、負荷の曲げ分力がそれだけ増大する。

図 10 は $b = 1.0 \text{ mm}$ の歯車の歯先端に 1 kg の荷重

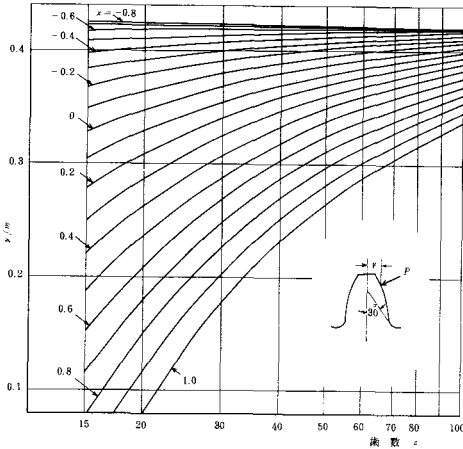


図 8 y/m と z の関係

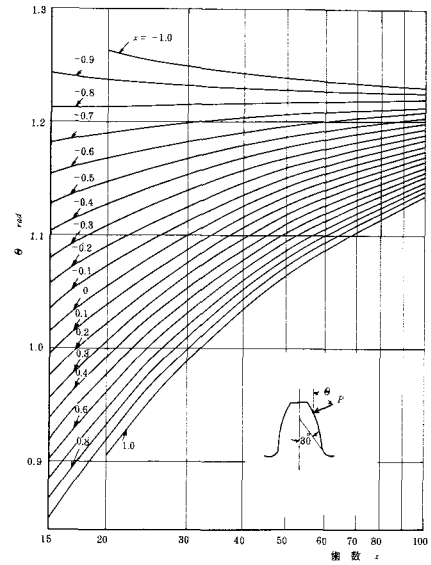


図 9 θ と z の関係

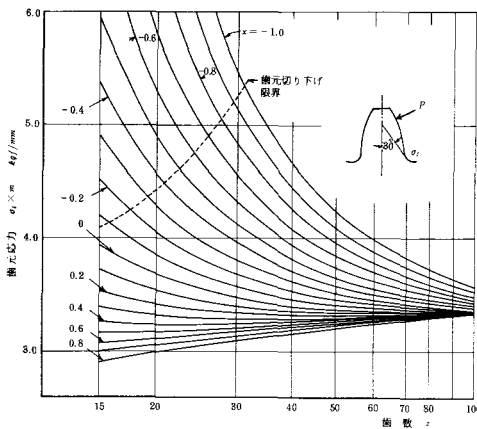


図 10 歯元応力 σ_t と z の関係

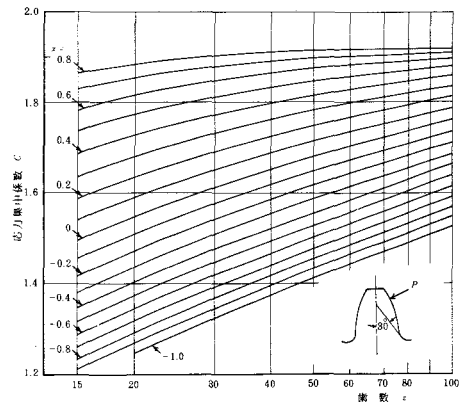


図 11 応力集中係数 C と z との関係

を負荷した場合の計算結果で、横軸に x をとっている。正の転位係数を大きくするにつれて、応力は小さくなる。なお歯元の切下げ限界を破線で示しており、その線より上の領域の歯車は通常使用されない。一方、歯先のとがり限度を考えて、最大 $x=0.8$ の転位歯車までについて歯元応力の計算を行った。

図11は応力集中係数 C と x の関係を示す。 x の値が負よりに大きくなるにつれて、 r_f は増大し、逆に S は減少するため、すみ肉部に発生する応力集中係数は小さくなる。

§ 6 ま と め

Hofer の 30° 接線法による危険断面に対するすみ肉部の曲率半径、歯厚および負荷点から歯の中心線までの距離などをわかり易く図表化することにより、複雑な歯元応力の計算を容易にすることができた。なお、本計算における歯元応力および応力集中係数の計算値は負荷が歯先端に作用した場合について検討したものであり、最悪負荷点が歯先よりの1組かみあい限界点にある場合は、相手歯車の歯数が定まれば、式(11)の L を与えることができるため、 ψ , l_a , l , θ が容易に求まり、歯元応力は計算できる。

文 献

- (1) 例えば, D. W. Dudley, Practical Gear Design, McGraw-Hill (1952), p. 142.
- (2) 寺内, 灘野, 機論, 44巻, 382号(昭53-6), p. 2099~2109.
- (3) 寺内, 灘野, 機論, 45巻, 393号(昭54-5), p. 556~565.
- (4) H. Hofer, ATZ, 48, 1 (1946)
- (5) 会田, 寺内, 機論, 27巻, 178号(昭36-6), p. 862~868.

(昭和55年12月16日受付)

分配形噴射ポンプを用いた燃料噴射系に関する研究

(機械工学科) 河 口 勇 治

A Study on Fuel Injection System with Distribution-type Injection Pump

Yuji KAWAGUCHI

The role of a fuel injection system in the combustion process is to supply the most suitable mixture for combustion, to inject the fuel of proper quantity at the most suitable point of time and at the proper rate of injection.

The line-type injection pump has hitherto been widely used, and recently the distribution-type has been prevailing because it has the advantages of small size and light weight.

Here we have attempted to clarify the fuel injection characteristics of the injection system with a distribution-type injection pump by measuring the outlet pressure out of the deliver valve chamber of the pump, the inlet pressure into the injection nozzle, the needle valve lift and the injection rate etc.

§ 1 緒 言

ディーゼル機関では空気が高圧、高温に圧縮された燃焼室へ、高い圧力でもって燃料を噴射させ微粒化させる。噴射された燃料は、空気中を進行しながら回りの空気より、あるいは燃焼室壁に衝突し、壁面より熱を受け蒸発する。蒸発した燃料は着火可能となった所で自己着火を起す。この着火は普通数ヶ所で起こり、燃焼室全域へと広がって行く。

以上の燃焼過程の中で、燃料噴射系の役割は、燃焼に最適な混合気を形成することである。そのために適量の燃料を最適な時期に、適当な噴射率でもって噴射させなければならない。

燃料噴射ポンプとしては、従来列形ポンプが多く用いられて来たが、乗用車のようにディーゼル機関の小形化の必要性から、小形・軽量の利点を持つ分配形ポンプが広く用いられるようになってきた。

ここでは、分配形ポンプを持つ燃料噴射系を用いて、ポンプ吐出弁室出口圧力、ノズル入口圧力、ノズル針弁リフト、噴射率等を測定し、その噴射特性を明らかにしようとした。

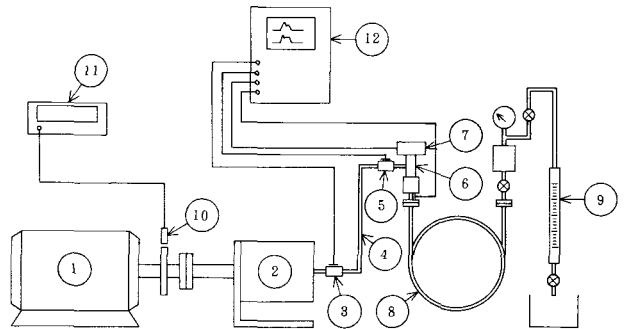


図 1 実験装置概略

§ 2 実験装置

2.1 実験装置概略

実験装置の概略を図1に示す。分配形噴射ポンプNP-VE//9F2125②は、これに直結した交流可変速モータ①で駆動される。ポンプのプランジャ室より押し出された燃料は、吐出弁室から噴射管④を通り噴射ノズル⑥へ送られる。ノズル針弁の動きは、ノズル針弁リフト検出器⑦でとらえられ、オシロスコープ⑩に表示される。また、吐出弁室出口とノズル入口の圧力は、それぞれ③⑤の圧力検出器で検出され、同じくオシロスコープへ送られる。

噴射率はボッシュ式噴射率計⑧で測定する。⑨は噴射量を測定するための計量ビュレットである。また、噴射ポンプのカム軸回転数はスリット板と電磁ピックアップ⑩で検出され、カウンタ⑪に表示される。

実験に用いた噴射ポンプは、噴射時期 0° 、プランジャ径 $\phi 9.0\text{ mm}$ 、カム揚程 2.2 mm である。また噴射管は内径 $\phi 2.0\text{ mm}$ 、長さ 60 cm である。噴射ノズルNP-DNOSD126はスロットル式、噴口数1、噴口径 $\phi 0.8\text{ mm}$ 、開弁圧力 135 kg/cm^2 である。

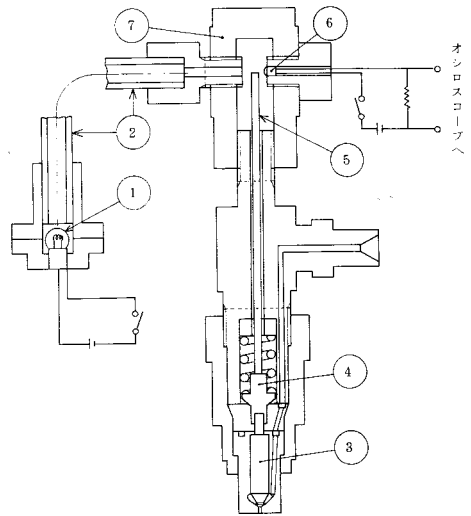


図2 ノズル針弁リフト検出器

2.2 ノズル針弁リフト検出器

ノズルの針弁リフトは、豆ランプとファイバースコープで照度一様につくられた光をノズル針弁と直結した棒の先端でさえぎって、この光量変化をフォト・トランジスタで測定する光切断式針弁リフト検出器を製作して検出した。

この装置を図2に示す。光源①からの光はファイバースコープ②によって照度一様にしてノズル針弁リフト検出部⑦へ送られる。ノズル針弁③の動きはバネ受け④に溶接された $\phi 2.5\text{ mm}$ のピアノ線⑤に伝えられる。ピアノ線の動きによる光量変化をフォト・トランジスタTPS603⑥によって検出した。このノズル針弁リフト検出器の校正線図を図3に示す。図3に示すように光軸の中央付近では、ノズル針弁の移動距離と出力とは直線関係にあり、測定はこの直線部分で行なった。

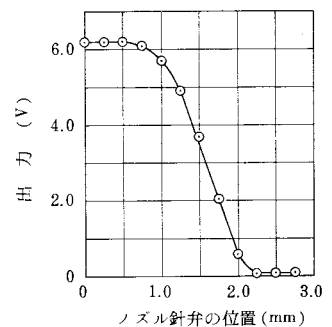


図3 ノズル針弁リフト検出器の校正線図

2.3 圧力の測定

吐出弁室出口とノズル入口の圧力測定には、図4の様な装置を使用した。アダプタ①の一部を薄く削り、そこには抵抗線ひずみゲージ②が貼ってある。ひずみゲージにより圧力の変動はひずみゲージの抵抗値の変化として検出され、その抵抗値の変化をブリッジボックス③を通して動ひずみ測定器④によって電圧変化に変換する。

ゲージ貼付部の肉厚は 1.5 mm であり、その校正線図の一例を図5に示す。図に示すように圧力と出力は直線関係にある。

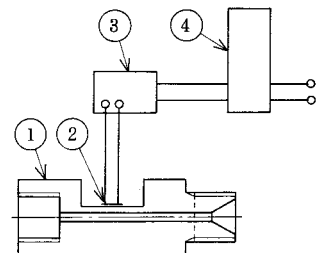


図4 圧力測定装置

2.4 噴射率の測定

ノズルから噴射される燃料量の時間的変化割合を噴射率といい、噴射量を Q 、時間を t とすると dQ/dt で定義される。噴射率を測定する方法には、いろいろな方法が提案されているが、ここではボッシュ式噴射率計¹⁾を用いた。

あらかじめ燃料を満たした細いパイプ中にノズルから燃料を噴射すれば、噴射率は、

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{F}{a\rho} \cdot P \quad \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{sec}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで F ：テストパイプの断面積 (cm^2)

a ：油の音速 (cm/sec)

ρ ：油の密度 ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{cm}^4$)

P ：テストパイプの内圧 (kg/cm^2)

によって表わされ、テストパイプ内の圧力を測定すれば、噴射率が求まる。

図6に噴射率計の概略を示す。アダプタ②にはノズル①が取り付けられるようになっており、また噴射によって起こる圧力上昇を検出する起歪部が設けられており、抵抗線ひずみゲージを貼って圧力を検出している。

噴射によって現われる圧力波形には、噴射率を表わす基本波の他に絞り弁④で反射されて戻って来る反射波が出る。基本波に反射波が重なれば正確な噴射率が得られなくなるので、二つの波が重ならないようにテストパイプ③の長さを決めなければならない。

絞り弁は反射波に適当な減衰を与えて次回の基本波に影響を及ぼさないように適当な大きさのオリフィス寸法を与えるためのものである。

絞り弁の後には安定した背圧を与えるために圧力室⑤と背圧弁⑦がある。また、圧力室には中の圧力がわかるように圧力計⑥が取り付けられている。実験は背圧 10 kg/cm^2 で行った。

テストパイプには内径 $\phi 4.8 \text{ mm}$ 、長さ 8.55 m の鋼管を使用した。噴射率の算出に必要な(1)式中の $a \cdot \rho$ は音響インピーダンスとも呼ばれるもので、本実験では $0.118 \text{ kg} \cdot \text{sec/cm}^3$ であった。

§ 3 実験結果および考察

以上述べた実験装置を使用して、この噴射系の通常の使用範囲である表1に示す様な条件のもとで、吐出弁室出口圧力、ノズル入口圧力、ノズル針弁リフト及び噴射率を測定した。その測定結果を図7～図9に示す。ここで使用した記号を示すと dQ/dt ：

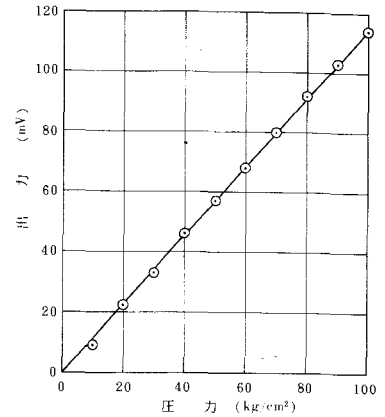


図5 吐出弁室出口圧力の校正線図

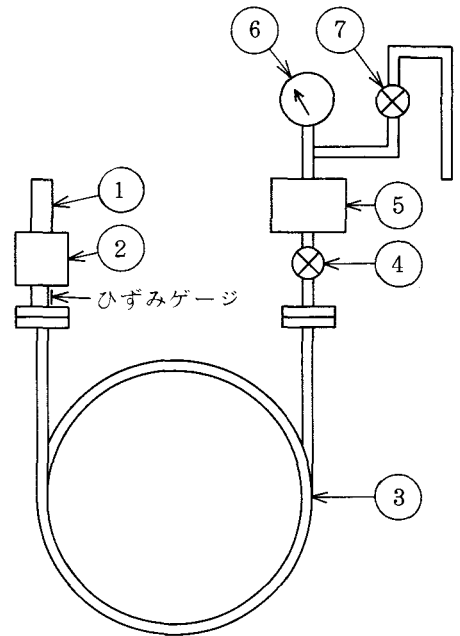
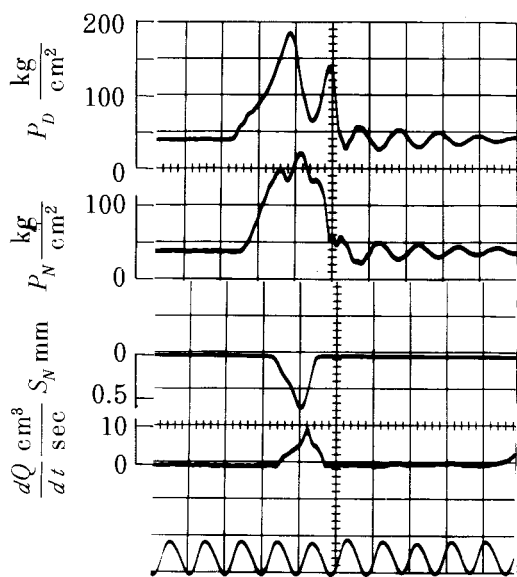
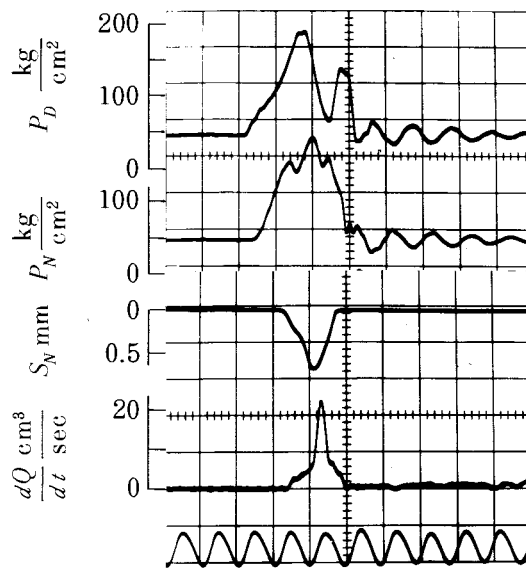
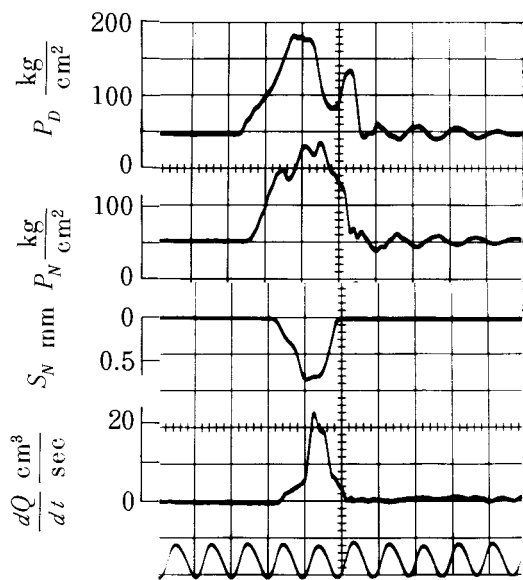
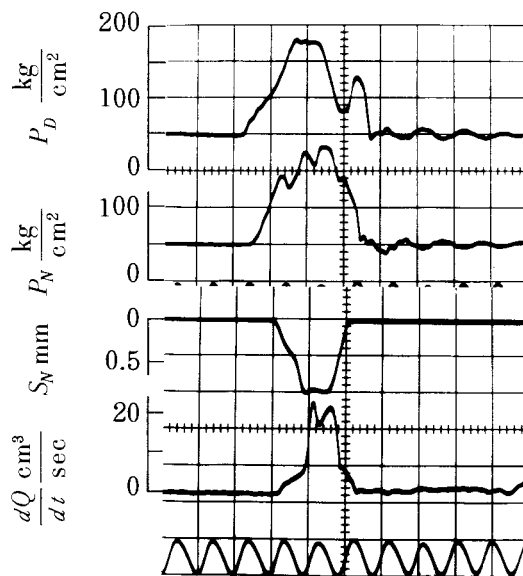


図6 噴射率計の概略

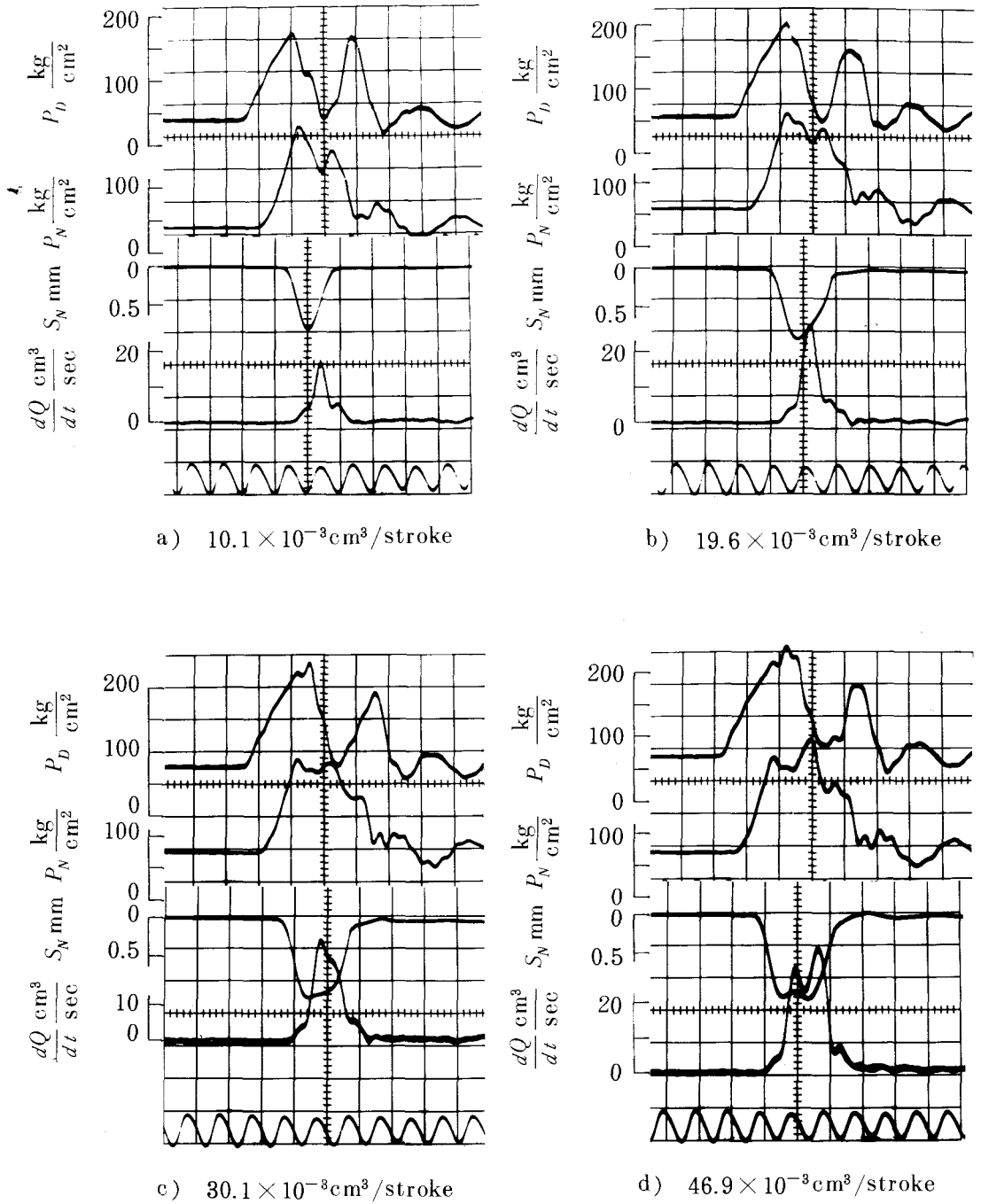
表1 実験条件

回転数 (r. p. m.)	噴射量 ($\text{cm}^3/\text{stroke}$) $\times 10^{-3}$
500	10.5, 20.2, 30.6, 42.7
1000	10.1, 19.6, 30.1, 46.9
1500	10.8, 20.4, 29.0, 50.4

a) $10.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$ b) $20.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$ c) $30.6 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$ d) $42.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$

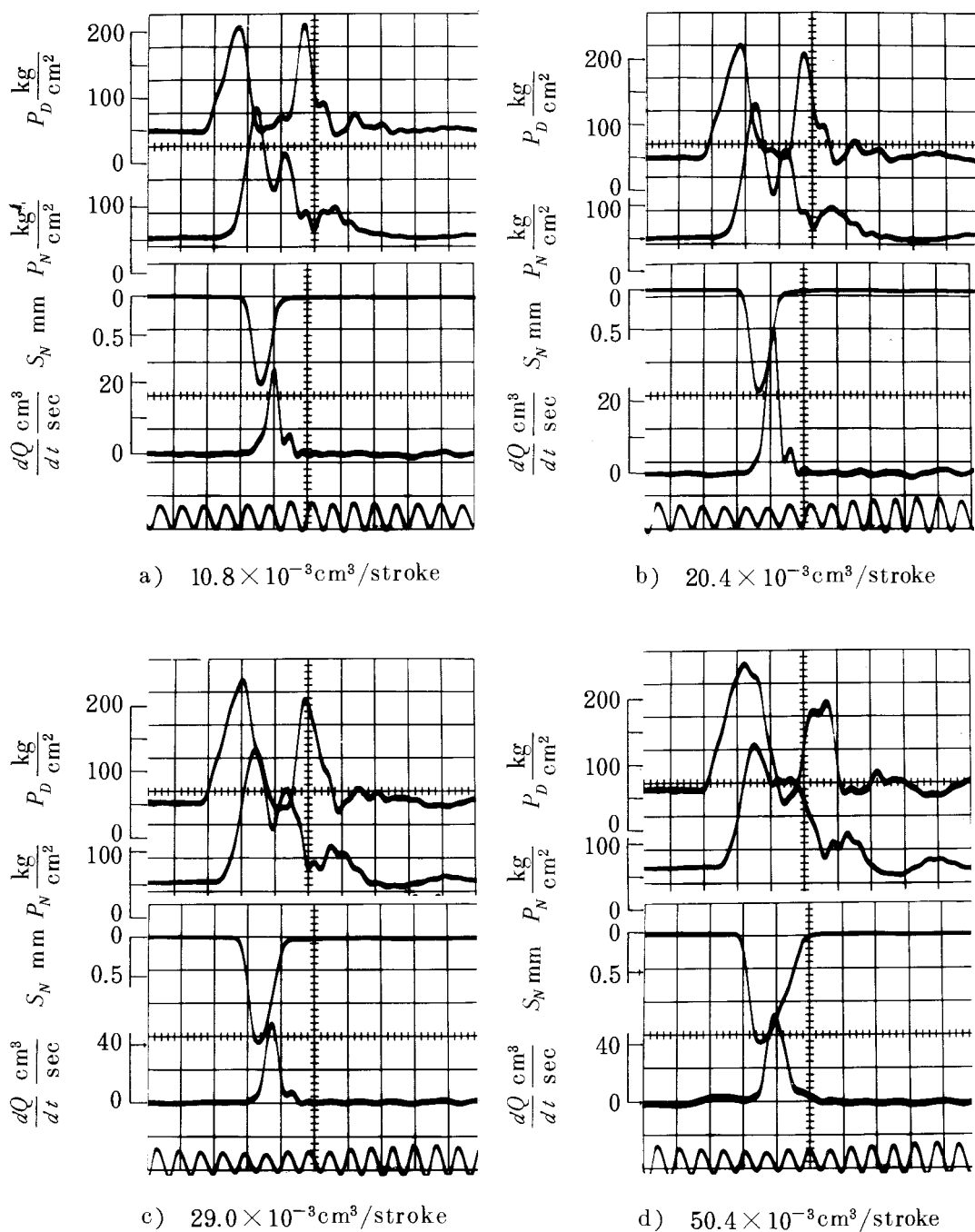
横軸 2msec/div

圖7 500 r.p.m.



横軸 1 m sec/div

図 8 1000 r. p. m.



横軸 1 m sec/div

図 9 1500 r. p. m.

噴射率 (cm^3/sec), S_N : ノズル針弁リフト (mm), P_D : 吐出弁室出口圧力 (kg/cm^2), P_N : ノズル入口圧力 (kg/cm^2), Q : 噴射量 ($\text{cm}^3/\text{stroke}$), n : カム軸回転数 (r.p.m.) である。なお、実験を行った範囲においては、不斉噴射、二次噴射等の異常噴射は起こらなかった。

噴射系内の圧力は、残留圧力、前進圧力波及び後退圧力波の総計したものと表わされる。これを記号を使って表わせば

$$P_D = P_R + P_{vD} + P_{rD} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$P_N = P_R + P_{vN} + P_{rN} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで P_R : 残留圧力

P_{vD} , P_{rD} : 吐出弁室出口における前進及び後退圧力波

P_{vN} , P_{rN} : ノズル入口における前進及び後退圧力波

となる。圧力波は音速で伝わるので、管内の損失を無視すれば、 P_{vD} は $t = l/a$ 時間後にノズル入口に達する。 l は吐出弁室出口とノズル入口間の距離である。同様に P_{rN} は $t = l/a$ 時間後に吐出弁室出口に達する。従って、

$$P_{rD}(t) = P_{rN} \left(t - \frac{l}{a} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{vN}(t) = P_{vD} \left(t - \frac{l}{a} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表わされる。

P_D , P_N , P_R は実験結果から得られるので、(2)~(6)式によって、 P_{vD} , P_{rD} , P_{vN} , P_{rN} は計算によって求められる。図 7 (a) の場合について計

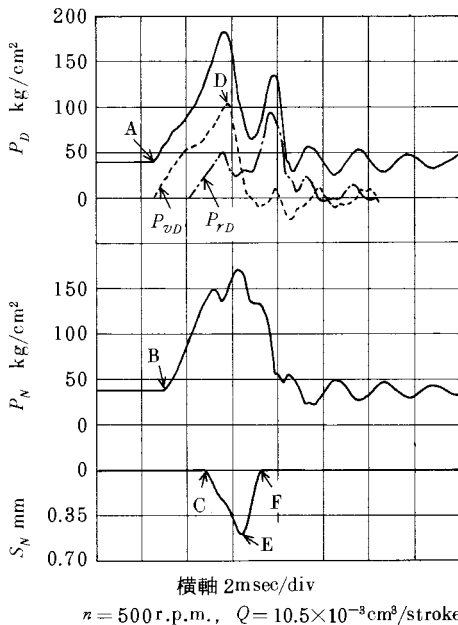


図10 噴 射 過 程

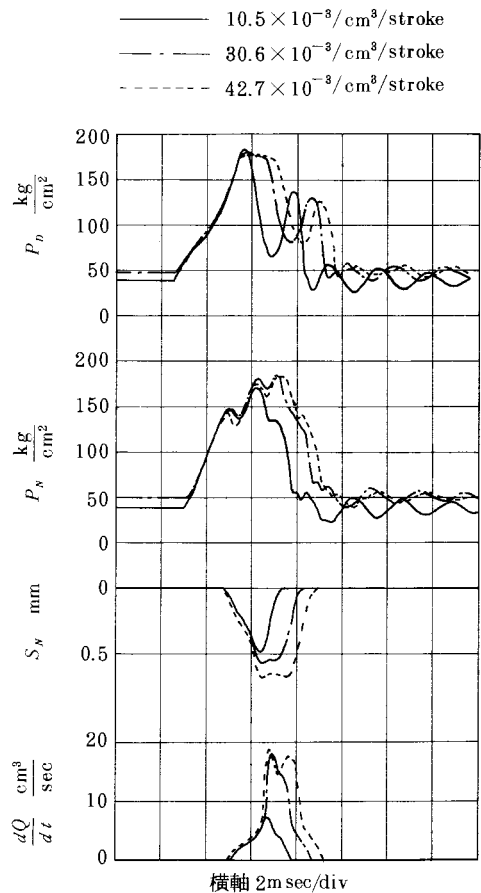


図11 噴射量の影響 ($n = 500 \text{ r.p.m.}$)

算してみると図10のようになる。

図10によって噴射過程について考えてみる。ポンプの吐出弁室から送出された油はAで吐出弁室出口圧力の測定部に現われ、 $t=l/a$ 時間後にノズル入口圧力測定部に達する。これがB点である。その後、噴射管内の圧力波はポンプとノズルの間を往復しながら圧力を高めて行き、ノズル蓄圧室の圧力がノズルの開弁圧力に達したC点でノズル針弁が開き始め、噴射が開始する。その後D点でポンプのスピル口が開き始めポンプからの送油量が低下、 P_N は大きく低下する。E点でノズル蓄圧室の圧力は下がり始め、ノズルの閉弁圧力まで下がったF点で噴射は終了する。その後、噴射管内の圧力波は減衰しながら残留圧力となる。

次に噴射量の噴射特性に及ぼす影響についてみる。図7の500 r.p.m.の場合について各波形を重ね合わせてみると図11のようになる。これによると P_R 及び P_N の最高値は噴射量の増加と共に若干高くなる。 P_D の最高値はほぼ一定であるが、噴射量の増加と共に P_D の降下し始める点は遅くなる。また S_N 、 dQ/dt から噴射量の多少にかかわらず噴射時期はほぼ一定であることがわかる。しかも、噴射初期においては、その噴射率はほぼ一致し、噴射の中期からそれぞれの噴射量によって別々の噴射率となっていることがわかる。噴射率の最高値は $20 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$ あたりまでは、噴射量の増加と共に上昇するが、それ以上ではほぼ一定となる。

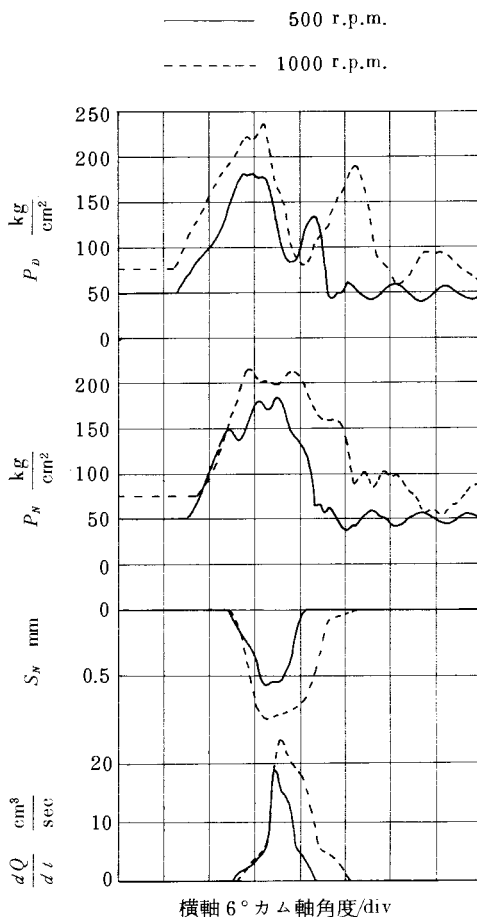


図12 回転数の影響 ($Q=30 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{stroke}$)

同様に1ストロークあたりの噴射量一定で回転数のちがいをあらわしたのが図12である。回転数が高くなると P_R 、 P_D 、 P_N はいずれも高くなる。噴射量の場合と同様に回転数のいかにかわらず噴射時期はほぼ一定である。また、回転数が高くなると噴射率は大きくなり、カム軸回転角度で表わした噴射終了時期は遅くなる。

前に述べたように噴射時期は、噴射量、回転数に関係なくほぼ一定であり、噴射終了時期のみが変化して噴射期間が変化する。噴射量、回転数によって噴射期間がどのように変化するかを示すと図13のようになる。回転数が一定なら、噴射期間は噴射量の増加と共にほぼ直線的に長くなり、1ストロークあたりの噴射量が一定なら、回転数が

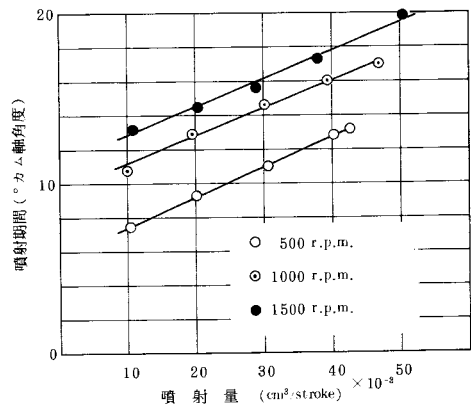


図13 噴射期間

高くなると噴射期間は長くなる。

§ 4 結 言

分配形噴射ポンプを持つ燃料噴射系を用いて、この噴射系の通常の使用範囲において、吐出弁室出口圧力、ノズル入口圧力、ノズル針弁リフト、噴射率を測定した。

その結果、不斉噴射、二次噴射等の異常噴射は起こらなかった。

- 1) 回転数一定で噴射量を変化させた場合、噴射初期の噴射率はほぼ一致し、中期からその噴射量によって別々の噴射率を示す。噴射量一定で回転数を高くすると、噴射圧力は高くなり、従って噴射率は大きくなる。また、噴射時期は、噴射量、回転数に関係なくほぼ一定で、噴射量、回転数が増加すると噴射終了時期のみが遅れ、噴射期間が長くなることがわかった。

謝 辞

本研究は、昭和55年度文部省内地研究員として広島大学工学部燃焼工学研究室で行ったもので、終始御指導をたまわった広安博之教授、角田敏一助教授ならびに新井雅隆助手に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 林，ボッシュ噴射率計，内燃機関，VOL. 7 (1968. 11)，p. 58～p. 64
- 2) 大久保，分配形（VE形）燃料噴射ポンプ，内燃機関，VOL. 18 (1979. 9)，p. 81～p. 91

（昭和56年4月15日受付）

うず室式ディーゼル機関の燃焼解析

機械工学科 河 口 勇 治

Analysis of Combustion Phenomena of Swirl-Chamber-Type Diesel Engine

Yuji KAWAGUCHI

From the viewpoint of energy economy, small high-speed diesel engines have come to be used as the automobile engine. Particularly the swirl-chamber-type engine has been more prevailing, because it has such merits as better mixture forming, faster combustion, less throttling loss, lower noises, and longer life of the injection nozzle.

The analysis of the combustion in the cylinder of the direct-injection-type engine has been fairly advanced, because the engine has a simple structure and allows a longer time for forming and combusting the mixture. On the other hand, however, the analysis of combustion of the swirl-chamber-type engine has not been so much advanced, because it has a more complex structure, allows only a short time for forming and combusting the mixture, and provides a more complex combustion.

In this report, we have calculated the rate of heat release by means of the indicator diagram in order to analyze the combustion phenomena of the swirl-chamber-type engine.

§ 1 緒 言

省エネルギー化が日増しに進んでいる今日、小形自動車用機関として、小型高速ディーゼル機関が注目をあびてきている。ディーゼル機関には、単室式と副室式があるが、現在、小型高速ディーゼル機関の主流は、副室式であり、その中でも特にうず室式機関は、うず室内で強い空気流動を起こし、これに燃料を噴射して、混合気形成をよくするため、高速燃焼が容易となり、予燃焼室式と比較して絞り損失が少なく、しかも、直接噴射式と比較して、騒音、ノズルの耐久性の面ですぐれており小型高速用ディーゼル機関として多数採用されている。

そのうえ年々小形自動車のディーゼル化が進んでいて、この傾向は今後も更に続くと思われる。また、ディーゼル機関の普及にともない、排出ガス規制や騒音の低減化の声が高まってきている。それらを実現するためには、ディーゼル機関の燃焼解析が必要である。

直接噴射式機関は、混合気形成と燃焼時間が比較的長く、構造も簡単なため、燃焼解析はかなり進んでいる。しかし、うず室式機関は、混合気形成と燃焼時間が短く、主室、副室、連絡口で燃焼が行われるので、燃焼が複雑となり、燃焼解析はあまり進んでいない。そこで、本研究ではうず室式ディーゼル機関の燃焼解析を行うために、インジケータ線図によって熱発生率の算出を行った。

§ 2 熱発生率

2.1 記 号

本文で使用した記号の説明をする。添字は1：主室，2：副室である。

V_1, V_2 ：各燃焼室の容積 (m^3)

G_1, G_2 : 各燃焼室のガス重量 (kg)

c_{p1}, c_{p2} : 各燃焼室の定圧比熱 (kcal/kg \cdot °K)

c_{v1}, c_{v2} : 各燃焼室の定容比熱 (kcal/kg \cdot °K)

p_1, p_2 : 各燃焼室のガス圧力 (kg/m²)

T_1, T_2 : 各燃焼室のガス温度 (°K)

R_1, R_2 : 各燃焼室のガス定数 (kg \cdot m/kg \cdot °K)

N : エンジン回転数 (r.p.m.)

Ca : 副室噴口の流量係数

f : 副室噴口の面積 (m²)

θ : クランク角度 (deg)

Q_1, Q_2 : 各燃焼室の発生熱量 (kcal)

Q_{L1}, Q_{L2} : 各燃焼室の損失熱量 (kcal)

A : 仕事の熱当量 (kcal/kgm)

κ_1, κ_2 : 各燃焼室の比熱比

2.2 エネルギー式

$p_1 > p_2$ のとき

$$\text{主室 } c_{p1} T_1 dG_1 + dQ_1 - dQ_{L1} = d(G_1 c_{v1} T_1) + A p_1 dV_1 \quad (1)$$

$$\text{副室 } c_{p1} T_1 dG_2 + dQ_2 - dQ_{L2} = d(G_2 c_{v2} T_2) \quad (2)$$

$p_1 < p_2$ のとき

$$\text{主室 } c_{p2} T_2 dG_1 + dQ_1 - dQ_{L1} = d(G_1 c_{v1} T_1) + A p_1 dV_1 \quad (3)$$

$$\text{副室 } c_{p2} T_2 dG_2 + dQ_2 - dQ_{L2} = d(G_2 c_{v2} T_2) \quad (4)$$

2.3 状態式

$$\text{主室 } p_1 V_1 = G_1 R_1 T_1 \quad (5)$$

$$\text{副室 } p_2 V_2 = G_2 R_2 T_2 \quad (6)$$

2.4 連絡口を通るガス流量

$p_1 > p_2$ のとき

$$\frac{p_2}{p_1} \geq \left(\frac{2}{\kappa_1 + 1} \right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}} \text{ の場合}$$

$$\frac{dG_2}{d\theta} = \frac{Ca f}{6N} \left(\frac{2g\kappa_1}{\kappa_1 - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{p_1}{\sqrt{R_1 T_1}} \left\{ \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa_1}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa_1 + 1}{\kappa_1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\frac{p_2}{p_1} < \left(\frac{2}{\kappa_1 + 1} \right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}} \text{ の場合}$$

$$\frac{dG_2}{d\theta} = \frac{Ca f}{6N} \left\{ \frac{2g\kappa_1}{\kappa_1 + 1} \left(\frac{2}{\kappa_1 + 1} \right)^{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \frac{p_1}{\sqrt{R_1 T_1}} \quad (8)$$

$p_1 < p_2$ のとき

$$\frac{p_1}{p_2} \geq \left(\frac{2}{\kappa_2 + 1} \right)^{\frac{\kappa_2}{\kappa_2 - 1}} \text{ の場合}$$

$$\frac{dG_1}{d\theta} = \frac{Caf}{6N} \left(\frac{2g\kappa_2}{\kappa_2 - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{p_2}{\sqrt{R_2 T_2}} \left\{ \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{2}{\kappa_2}} - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{\kappa_2 + 1}{\kappa_2}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$\frac{p_1}{p_2} < \left(\frac{2}{\kappa_2 + 1} \right)^{\frac{\kappa_2}{\kappa_2 - 1}} \text{ の場合}$$

$$\frac{dG_1}{d\theta} = \frac{Caf}{6N} \left\{ \frac{2g\kappa_2}{\kappa_2 + 1} \left(\frac{2}{\kappa_2 + 1} \right)^{\frac{2}{\kappa_2 + 1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \frac{p_2}{\sqrt{R_2 T_2}} \quad (10)$$

2.5 連続の式

$$\frac{dG_1}{d\theta} = - \frac{dG_2}{d\theta} \quad (11)$$

2.6 熱発生率

主室について

$p_1 > p_2$ の場合, (1)式より

$$\frac{dQ_1}{d\theta} = \frac{A\kappa_1 p_1}{(\kappa_1 - 1)} \frac{dV_1}{d\theta} + \frac{AV_1}{(\kappa_1 - 1)} \frac{dp_1}{d\theta} - \frac{A}{(\kappa_1 - 1)^2} p_1 V_1 \frac{d\kappa_1}{d\theta} - c_{p1} T_1 \frac{dG_1}{d\theta} + dQ_{L1} \quad (12)$$

$p_1 < p_2$ の場合, (3)式より

$$\frac{dQ_1}{d\theta} = \frac{A\kappa_1 p_1}{(\kappa_1 - 1)} \frac{dV_1}{d\theta} + \frac{AV_1}{(\kappa_1 - 1)} \frac{dp_1}{d\theta} - \frac{A}{(\kappa_1 - 1)^2} p_1 V_1 \frac{d\kappa_1}{d\theta} - c_{p2} T_2 \frac{dG_1}{d\theta} + dQ_{L2} \quad (13)$$

副室について

$p_1 > p_2$ の場合, (2)式より

$$\frac{dQ_2}{d\theta} = \frac{AV_2}{\kappa_2 - 1} \frac{dp_2}{d\theta} - \frac{AV_2}{(\kappa_2 - 1)^2} p_2 \frac{d\kappa_2}{d\theta} - c_{p1} T_1 \frac{dG_2}{d\theta} + dQ_{L2} \quad (14)$$

$p_1 < p_2$ の場合, (4)式より

$$\frac{dQ_2}{d\theta} = \frac{AV_2}{\kappa_2 - 1} \frac{dp_2}{d\theta} - \frac{AV_2}{(\kappa_2 - 1)^2} p_2 \frac{d\kappa_2}{d\theta} - c_{p2} T_2 \frac{dG_2}{d\theta} + dQ_{L2} \quad (15)$$

となり, 熱発生率は (12) ~ (15) 式によって計算できる。

定圧モル比熱 C_p は, 温度によって大きく変るため, 正確な C_p を知るためには C_p を温度の関数と

して表わす必要がある。今 C_p を温度の5次式

$$C_p(T) = AT^5 + BT^4 + CT^3 + DT^2 + ET + F \quad (16)$$

で近似すると、各係数は表1のようになる。

表1 C_p の近似式の係数

	A	B	C	D	E	F
O ₂	8.38613E-18	-1.389811E-13	8.607319E-10	-2.557163E-6	4.202866E-3	5.91310169
N ₂	-3.458114E-17	3.90335E-13	-1.5645838E-9	2.422433E-6	-2.522674E-4	6.8194794
CO ₂	6.1413167E-17	-8.160109E-13	4.281229E-9	-1.127354E-5	1.5589995E-2	5.1572155
H ₂ O	-4.465233E-17	5.471826E-13	-2.4375353E-9	4.304696E-6	2.97034E-4	7.7750155

混合気体の比熱は

$$C_{p\text{mix}} = \sum_i n_i C_{pi} \quad (17)$$

n_i : i 成分ガスのモル分率

C_{pi} : i 成分ガスの定圧モル比熱 (kcal/kmol^oK)

で与えられる。比熱比 κ は

$$\kappa = \frac{C_{p\text{mix}}}{C_{p\text{mix}} - AR_u} \quad (18)$$

R_u : 一般ガス定数 (kgm/kmol^oK)

で与えられる。

圧力の値は、インジケータ線図から読みとる。主室容積 V_1 は、

$$V_1 = V_c + \frac{\pi}{4} D^2 \cdot r \left\{ 1 - \cos(\theta) + \beta - \sqrt{\beta^2 - \sin^2(\theta)} \right\} \quad (19)$$

で与えられる。ここで、 V_c : すきま容積 (m³)、 D : シリンダ内径 (m)、 r : クランク半径 (m)、 ℓ : コンロッド長さ (m)、 $\beta = \ell/r$ である。

数値微分公式より、区間を $\Delta\theta$ として、 $\theta = \theta_i$ における圧力の値を $p(\theta_i)$ とすれば、圧力の微分は、

$$\frac{dp(\theta_i)}{d\theta} = \frac{1}{6\Delta\theta} \left\{ -2p(\theta_{i-1}) - 3p(\theta_i) + 6p(\theta_{i+1}) - p(\theta_{i+2}) \right\} \quad (20)$$

となる。主室容積についても同様に、

$$\frac{dV_1(\theta_i)}{d\theta} = \frac{1}{6\Delta\theta} \left\{ -2V_1(\theta_{i-1}) - 3V_1(\theta_i) + 6V_1(\theta_{i+1}) - V_1(\theta_{i+2}) \right\} \quad (21)$$

となる。比熱比 κ については、 $\kappa(\theta_i)$ までは既知であるため、

$$\frac{d\kappa(\theta_i)}{d\theta} = \frac{1}{2\Delta\theta} \left\{ \kappa(\theta_{i-2}) - 4\kappa(\theta_{i-1}) + 3\kappa(\theta_i) \right\} \quad (22)$$

によって求める。

損失熱量は、シリング壁との熱伝達および熱幅射によるものとする。損失熱量を推定する実験式は多くあるが、ここではヌッセルトの式を用いる。すなわち、

$$\alpha = 0.99^3 \sqrt{p^2 T} (1 + 1.24 C_m) \quad (\text{kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{K}) \quad (23)$$

$$q = 0.362 \left\{ \left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right\} \quad (\text{kcal/m}^2 \text{h}) \quad (24)$$

α : 熱伝達率 ($\text{kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{K}$)

C_m : 平均ピストン速度 (m/sec)

q : 幅射による熱損失 ($\text{kcal/m}^2 \text{h}$)

T_w : 壁面温度 ($^\circ \text{K}$)

であり、主室、副室とも同じ式を使う。

吸入空気中の乾き空気量と水蒸気量は、それぞれ、

$$G_{dryair} = \frac{G_n}{1+x} \quad (25)$$

$$G_{H_2O} = \frac{x}{1+x} G_n \quad (26)$$

G_{dryair} : 乾き空気重量 (kg/cycle)

G_{H_2O} : 水蒸気量 (kg/cycle)

G_n : 吸入空気量 (kg/cycle)

で与えられる。ここで x は吸入空気の絶対湿度であり、

$$x = \frac{0.622 \phi p_s}{p_0 - \phi p_s} \quad (27)$$

p_0 : 大気圧 (mmHg)

p_s : 乾き飽和蒸気圧 (mmHg)

ϕ : 相対湿度

である。

残留ガスは、完全燃焼して、 CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 から成るものとする。燃焼ガス温度を T_B とすれば、残留ガスモル数 N_r は、

$$N_r = \frac{p(V_2 + V_c)}{R_u T_B} \quad (28)$$

となる。空気過剰率 λ は、

$$\lambda = \frac{G_{dryair}}{14.37 G_f} \quad (29)$$

G_f : 燃料量 (kg/cycle)

で与えられ、燃料組成を $C_n H_m$ とすれば、燃焼ガス全モル数 N_r は

表2 供試機関の主要諸元

形 式	水冷4サイクルディーゼル
燃 焼 室 形 式	渦 流 室 式
内 径×行 程	88.9mm×89mm
シ リ ン ダ 数	4
総 排 気 量	2209cc
圧 縮 比	21.0
最 大 出 力	51.5kw/4000 r. p. m.
最 大 ト ル ク	142 Nm/2400 r. p. m.
噴 射 ポ ン プ	ボッシュ VE 分配式
噴 射 時 期	T D C
噴 射 ノ ズ ル	スロットル式
ノズル開弁圧	13.2MPa

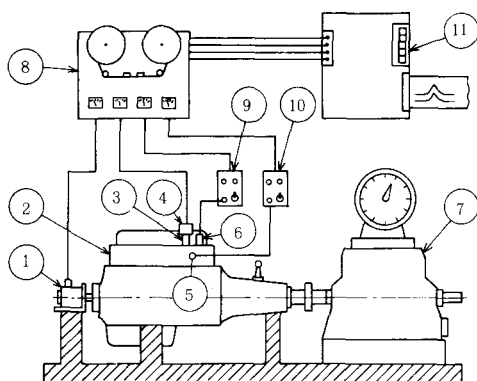


図2 実験装置

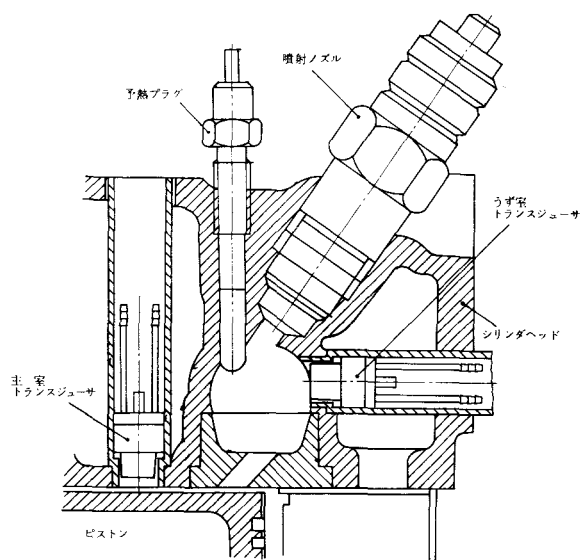


図3 トランスジューサ取り付け位置

§4 実験結果及び考察

図4は主室及び副室の圧力、ノズル針弁リフトの測定結果である。700r.p.m.×無負荷の場合、上死点後約4°付近で主室及び副室とも圧力が急激に上昇している。これは、比較的長い着火おくれ期間の後に急激な燃焼が両燃焼室で起こっているためだと思われる。

2000r.p.m.× $\frac{1}{2}$ 負荷の場合、回転数及び負荷が増加するので噴射期間が長くなっている。また、急激な圧力上昇は認められない。2000r.p.m.× $\frac{3}{4}$ 負荷の場合も同様に急激な圧力上昇は認められない。 2000

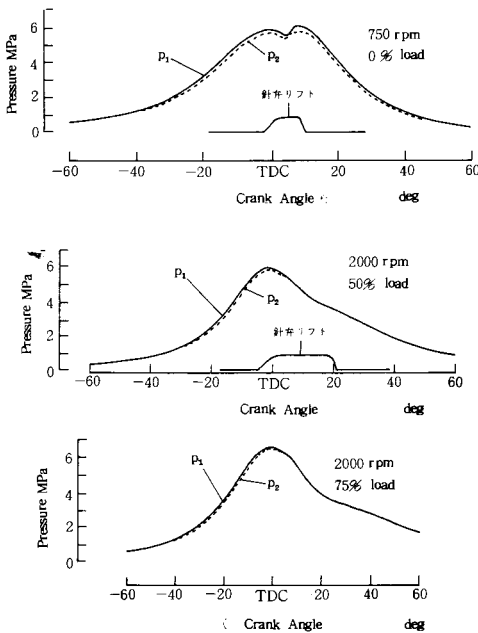


図4 インジケータ線図

r.p.m. $\times \frac{1}{2}$ 負荷と2000 r.p.m. $\times \frac{3}{4}$ 負荷を比較すると、圧力は2000 r.p.m. $\times \frac{3}{4}$ 負荷の場合が全体的に高いが、インジケータ線図の形状は類似しており、両者とも着火後においては主室と副室の圧力は一致している。これより両者の燃焼状況に差はないものと思われる。

また、いずれの条件においても圧縮行程では主室の方が副室よりも圧力が高い、とくに700 r.p.m. \times 無負荷の場合にははっきりわかるが上死点後に来る圧力の偏曲点、すなわち着火点と思われる点は、副室の方がわずかに早く、着火は副室で始まり、すぐに主室でも燃焼が始まっているものと思われる。ところで、この図もそうであるように本研究で得られたデータのうちで、副室の圧力が主室の圧力よりも高くなっているものはなかった。この結果は当初の予想と大きく異なり、今後検討する必要がある。

2000 r.p.m. $\times \frac{1}{2}$ 負荷におけるインジケータ線図で、上死点前30°から上死点后70°までの間を0.5°おきにA-D変換して、熱発生率を計算してみた結果を図5に示す。この図によると副室では上死点后3~4°付近より熱発生率曲線は上昇を始め、約6°で最大値に達し、その後は熱発生がない。主室の熱発生率曲線は全体的に傾きがゆるやかである。これらのことから副室では着火後のわずかの期間だけ燃焼し、後はほとんど燃焼していないと思われる。また、主室では急激な燃焼は起っておらず、ゆっくりと長い期間にわたって燃焼していると思われる。

§5 結 言

うず室式ディーゼル機関を用いて、シリンダヘッドを加工し、主室及び副室のインジケータ線図を採取した。そのインジケータ線図より熱発生率を計算した結果より以下のような結論を得た。

供試機関では、2000 r.p.m. $\times \frac{1}{2}$ 負荷及び2000 r.p.m. $\times \frac{3}{4}$ 負荷の場合、燃焼開始後主室と副室との圧力差はほとんどない。また、燃焼の大部分は主室で行なわれており、その燃焼はゆるやかである。

謝 辞

本研究は、昭和55年度文部省内地研究員として広島大学工学部燃焼工学研究室で行ったもので、終始御指導をたまわった広安博之教授、角田敏一助教授ならびに新井雅隆助手に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 徐, 予燃焼室ディーゼル機関の燃焼に関する研究, 日本機械学会論文集, 32巻233号, P116~P125 (昭和56年4月15日受付)

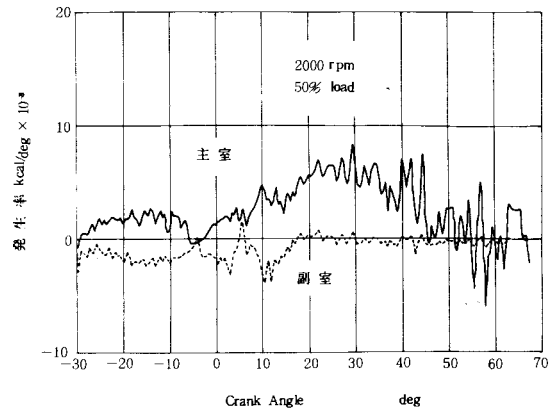


図5 熱発生率

マイクロコンピュータによる簡易騒音解析

(機械工学科) 藤 田 幸 史
(電気工学科) 廣 光 清 次 郎

A Simplified Analyzer for Environmental Noises by a Microcomputer

(Dept. Mech. Engrg.) Yoshifumi FUJITA
(Dept. Elec. Engrg.) Seijiro HIROMITSU

A Microcomputer is an excellent tool for designing advanced instrumentation and control facilities with reference to its higher performance and flexibility at a system-design and distinguished features of man-machine interaction as well as its dimensions of devices.

This paper discusses a basic design procedure and principle of the simplified analyzer for environmental noises by use of a microcomputer. The system includes a single-board microcomputer (using Z-80 c.p.u.), I/O control and A/D conversion circuits, r.m.s. converter and a sound level meter. The software-program is developed by Z-80 machine-codes and thus enable one to evaluate the frequency and cumulative frequency distributions in accordance with the Japan Industrial Standard of environmental noise measurement.

§ 1 緒 言

騒音計により騒音を計測し解析しようとする場合、騒音制御の立場からは自己相関々数やスペクトル分布関数の推定が必要である。一方、公知のように簡易的な騒音評価の立場からは、J I S 騒音レベル測定法⁽¹⁾にも示されるように騒音レベルに関する度数分布や累積度数分布がわかれば充分なことも多い。

このように、騒音データの計測と簡単な解析をする場合においても、演算機能が必要となることから、デジタル計算処理機能が不可欠となる。以前はこのような処理には手間のかかる測定と手計算による繁雑な処理を行っていたのが実情であったし、また計算機を利用するにしても大型計算機とかミニコンピュータによるオフライン処理が主流であった。しかし最近になってL S I技術の急速な発達に伴ってマイクロコンピュータが容易に利用できるようになり、我々はこれを用いて様々な計測・処理・制御機能を実現できるようになった。

本研究はこのような背景から、市販の安価なワンボードマイクロコンピュータを用い、実用上便利な騒音解析のためのマイクロコンピュータシステムを開発したものである。このシステムは現段階において騒音のレベル計測および度数分布計算等の簡単な処理機能をもつが、必要に応じてメモリの増設や、プリンター、キャラクターディスプレイ等の周辺装置を付加接続し、モニターも含めた専用ソフトウェアを開発することにより、本格的な騒音解析システムに拡張していくことも可能である。我々は本騒音解析システムを用いて実際に騒音測定実験を行い、その度数分布や累積度数分布を求めたが、その結果、本システムの十分な実用性を確認することができた。

§ 2 騒音解析のためのマイクロコンピュータシステム

2. 1 システムの構成

図1に、本騒音解析システムの構成を示す。計測・処理の中心はZ-80をCPUとしてもつワ

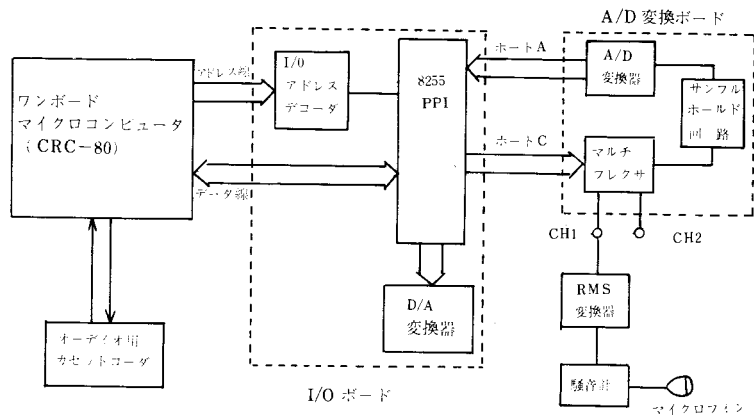


図1 騒音解析システムの構成

ンボード・マイクロコンピュータ (CRC-80) である。本マイクロコンピュータは、また、機械語で作成したプログラムを、普通のオーディオ用のカセットテープレコーダに記録できる。本マイクロコンピュータのI/Oポートは、既に別の目的で使用されているので、新しく並列入出力LSI: 8255 PPIをアドレスデコーダを介し接続する。このLSIはA、BおよびCの3ポートをもつが、そのうちAポートがA/D変換器のデータ線に接続される。Bポートは処理結果のディスプレイなど必要な場合、D/A変換器と接続するものとする。Cポートは、アナログ入出力の選択に用いる。また、A/D変換ボードでは、時々刻々変動する騒音データを誤差なく変換するため、サンプル・ホールド回路を用い、変換中入力レベルが一定値となるよう保持するようにしている。⁽²⁾このA/D変換器は変換時間 $17\mu\text{S}$ であり、通常の騒音測定の目的には十分な速度を持つといえよう。

2. 2 I/O ボード

上述のように、マイクロコンピュータとしては、市販の安価なワンボードマイクロコンピュータ (CRC-80) を用いる。CPUのZ-80はクロック: 2.5MHz であり機械語で動作する。プログラムおよびデータのエンタリ-は16進キーおよび9個のファンクションキーにより行われる。本マイクロコンピュータにA/D変換器を接続するためには1バイトの並列入出力ポートが必要であるが、本マイクロコンピュータの並列入出力LSI: Z-80 PIOのA、B両ポートは、キー入力やLED表示のために既に使用されているので新たな入出力ポートの追加が必要となる。一方、I/Oポート接続の方法として、公知のようにI/OマップドI/OとメモリマップドI/Oがあるが、⁽³⁾本騒音解析システムでは、80系マイクロコンピュータで簡単に使用できるI/OマップドI/O方式を用いる。具体的には、並列入出力LSI: 8255 PPIを別に1個新たに接続してこれを利用する。ここで、本マイクロコンピュータのボード上のZ-80 PIOと区別する必要が生ずるが、アドレスデコーダ74LS138を図2のように接続して行うことができる。これにより、表1のようにI/O命令の入出力番地を設定し、ポートA、B、Cを区別して使用

ルが1のとき8101番地にA/D変換したデジタル値を格納し、チャンネルが2のとき8102番地にA/D変換した値を格納する。このとき、同時にLEDにその格納番地とメモリの内容を表示するようにしてある。

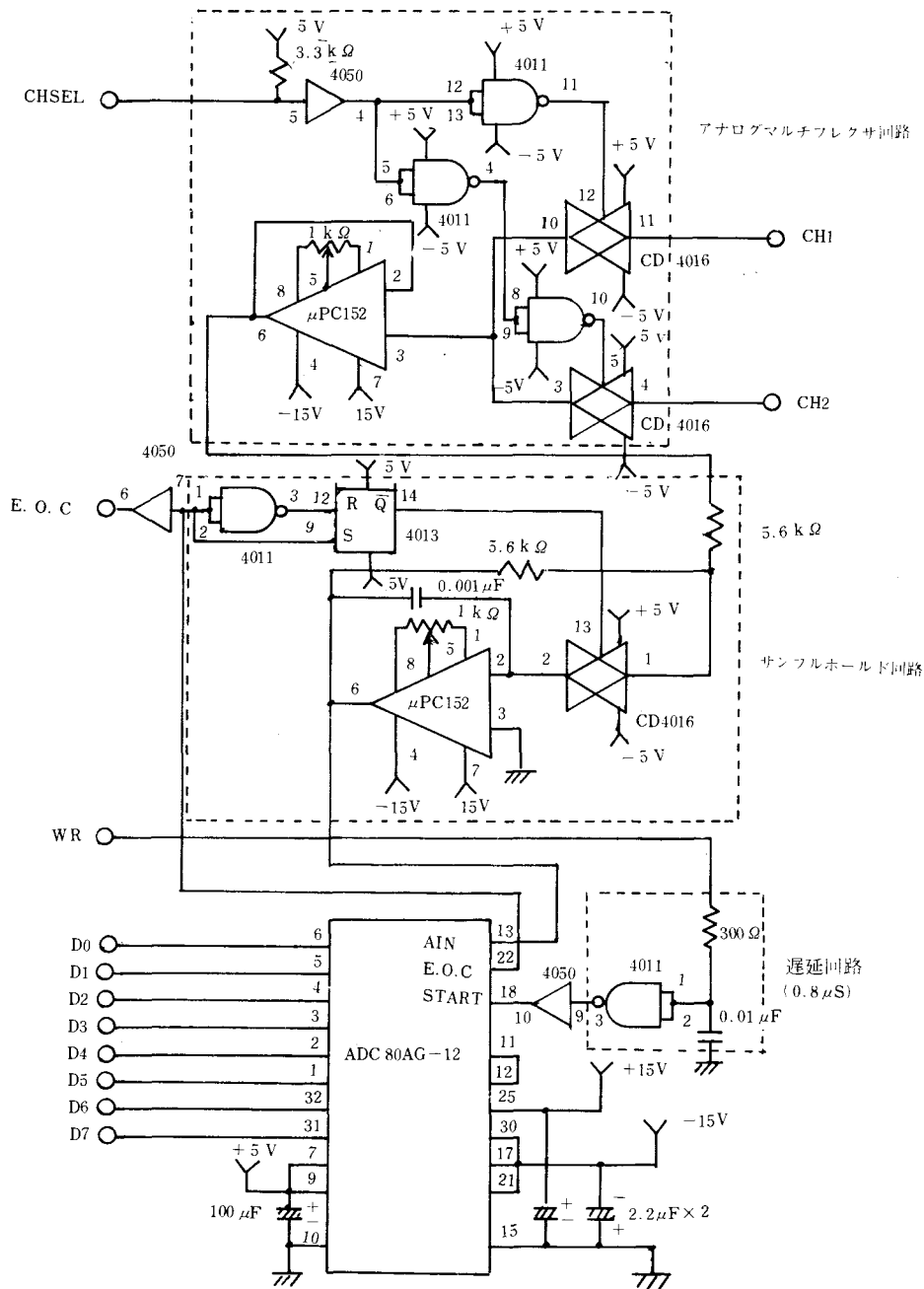


図3 A/D変換ボード

表 2 A/D 変換テストプログラム

アドレス	機 械 語	ラベル	ニーモニック	オペランド	コ メ ント
8000	3E 90	LOOP1	LD	A, 90H	Aポートを入力、B, C ポートを出力に設定
02	D3 07		OUT	(07), A	
04	3E x		LD	A, x	x: チャンネル選択 チャンネル1 x=0 チャンネル2 x=1
06	D3 06		OUT	(06), A	
08	21 01 81	LOOP2	LD	HL, 8101H	変換データの格納番地 をきめる
0B	85		ADD	A, L	
0C	6F		LD	L, A	yで設定されただけ変 換時間待ち
0D	3E y		LD	A, y	
0F	3D		DEC	A	A/D変換値をHL番 地に格納
10	C2 OF 80		JP	NZ, LOOP2	
13	DB 04		IN	A, (04)	格納番地とその内容を LED表示
15	77		LD	(HL), A	
16	22 FB 83		LD	(DISADD), HL	
19	CD 85 00		CALL	DI SPLY	
1C	C3 04 80		JP	LOOP1	

2. 4 騒音計とRMS変換器

あらゆる実際的計測において、物理量を適当な信号形態に変換するセンサは基本的に重要である。本騒音解析システムの場合、入力センサは通常の騒音計が用いられる。しかしながら、公知のように従来の騒音計の出力端子にはウェイトイングフィルタを通った後の交流出力が出ているのが普通であって、我々はこれを規格に一致したdB出力⁽⁴⁾として得るため、特別なRMS変換器を接続する必要がある。環境騒音用として特別に配慮されたRMS変換器の基本回路を図4に示す。この回路およびその性能については筆者等の一人が別の機会に報告する予定である。

本RMS変換器の調整は、量子化レベルを考慮して、5/256 Vの直流入力電圧に対する出力が0.1 dBになるよう調整が行われる。具体的には、次の手順に従う⁽⁵⁾。

1. $V_{IN}=1.00\text{Vdc}$ にセットする。
2. $\text{dB}_{OUT}=0.00\text{V}$ になるよう R_1 を調整する。
3. $V_{IN}=0.1\text{Vdc}$ にセットする。
4. $R_2 = \text{dB}_{OUT} = -1000/256\text{V} = -3.90\text{V}$ になるように調整する。

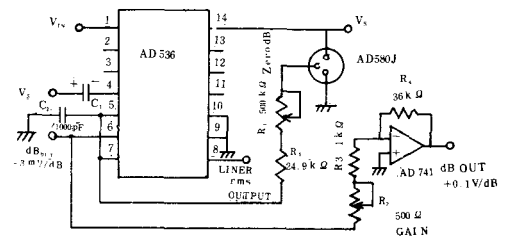


図4 RMS 変換器の回路

以上の調整によりダイナミックレンジ約60dB が得られる。

騒音計としてはJISに準拠して製作された検定済み精密級騒音計を用いる。使用した聴覚補正はA特性で、動特性はFASTである。なお、本騒音計の測定範囲は騒音レベルで25~130dB (20~12500Hz) の範囲であり、また出力インピーダンスは600 Ω で、メータフルスケール時の開放出力電圧としては約2 V (RMS) が得られる。

2. 5 度数分布および累積度数分布の計算

J I S 騒音レベル測定法によると、1 秒または5 秒毎に50個の騒音レベルを測定し、累積度数分布を描き中央値 (L_{50}) および90%レンジ (L_{10} , L_{90}) を算出・評価するようになっている。また最近では公害振動に対して L_{10} の利用が議論されている。本節では、 L_{10} 評価に不可欠の度数分布算出のためのフローチャートを図5に、そのプログラムを表3にそれぞれ示す。RMS変換器のdB出力(アナログ値)は、5秒毎に50個サンプルされ、オンラインでメモリの8100番地より81F番地に0.1 dBおきに分類されてその度数が格納される。また、図6には累積度数分布を度数分布より計算するフローチャートを示す。この場合のプログラムは表4のようになる。本騒音解析システムは現段階では外部ディスプレイ装置を持っていないので、我々は、特別に図7に示すようなメモリ内容を自動的に順次表示して行くプログラムを作成した(表5にその機械語によるプログラムリストを示す)。

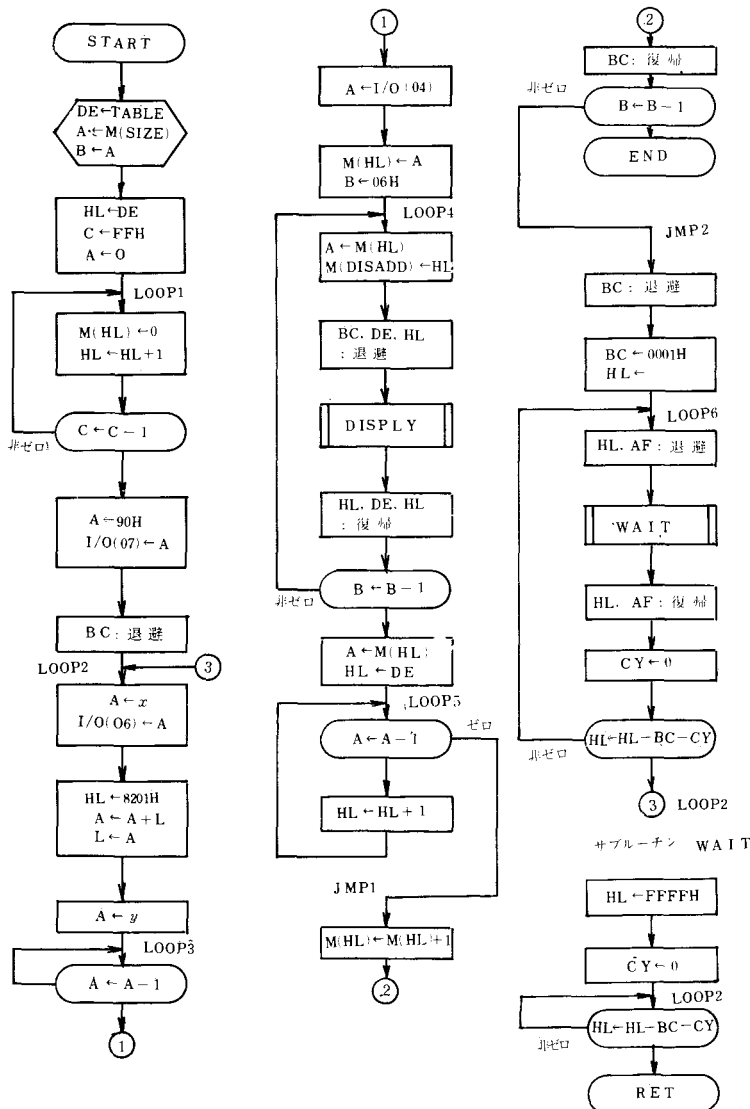


図5 度数分布算出のためのフローチャート

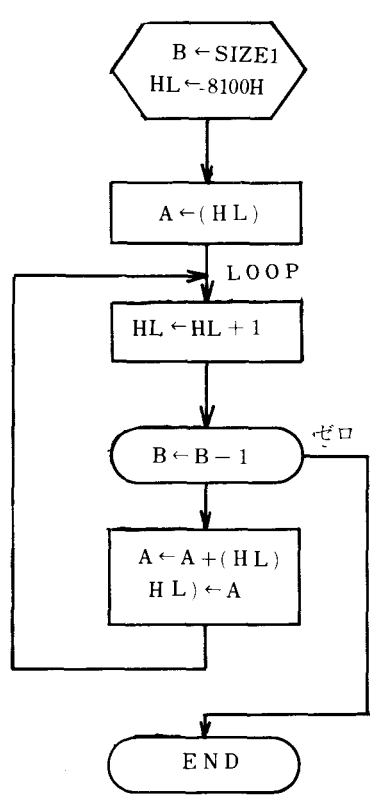


図6 累積度数分布表のフローチャート

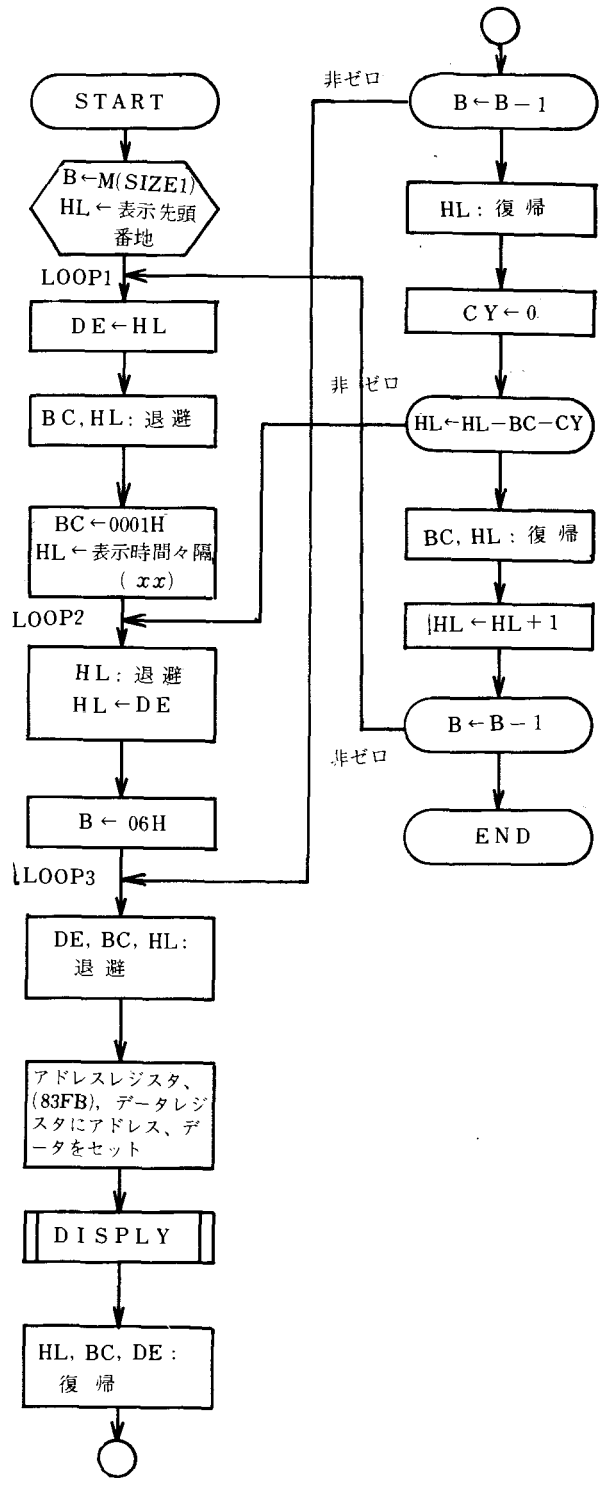


図7 メモリ表示フローチャート

表3 度数分布作成プログラム

アドレス	機 械 語	ラベル	ニーモニック	オペランド	コ メ ン ト
8000	11 00 81		LD	DE, TABLE	TABLE: 表の先頭番地
03	3A AO 80		LD	A, (SIZE)	SIZE: データ数の格納番地
06	47		LD	B, A	
07	62		LD	H, D	
08	6B		LD	L, E	
09	0E FF		LD	C, FFH	C ← 階級の数(FFH)
0B	97		SUB	A	A ← 0
0C	77	LOOP1	LD	(HL), A	
0D	23		INC	HL	M (TABLE) 以降のFF個のメモ
0E	0D		DEC	C	リートをクリアする
0F	20 FB		JR	NZ, LOOP1	
11	3E 90		LD	A, 90H	Aポート入力、Bポ
13	D3 07		OUT	(07), A	ート出力に設定
15	C5		PUSH	BC	
16	3E x	LOOP2	LD	A, x	x=0ならチャンネル1
18	D3 06		OUT	(06), A	x=1ならチャンネル2
1A	21 01 82		LD	HL, 8201H	A/D変換値格納は
1D	85		ADD	A, L	チャンネル1は8201番地
1E	6F		LD	L, A	チャンネル2は8202番地
1F	3E y		LD	A, y	yで設定されるだけ
21	3D	LOOP3	DEC	A	変換終了待ち
22	C2 21 80		JP	NZ, LOOP3	
25	DB 04		IN	A, (04)	A ← A/D 変換値
27	77		LD	(HL), A	
28	06 FF		LD	B, FFH	B ← LED 表示時間 (FF)
2A	7E	LOOP4	LD	A, (HL)	データレジスタにデータをセット
2B	22 FB 83		LD	(DISADD), HL	アドレスレジスタにアドレスをセット
2E	C5		PUSH	BC	
2F	D5		PUSH	DE	
30	E5		PUSH	HL	
31	CD 85 00		CALL	DISPLY	LED表示モニター サブルーチン
34	E1		POP	HL	
35	D1		POP	DE	
36	C1		POP	BC	
37	05		DEC	B	
38	C2 2A 80		JP	NZ, LOOP4	
3B	7E		LD	A, (HL)	A ← A/D 変換値
3C	62		LD	H, D	
3D	6B		LD	L, E	
3E	D6 01	LOOP5	SUB	01H	(次項へつづく)

40	DA 47 80		J P	C, J M P 1	
43	23		I N C	H L	
44	C3 3E 80		J P	L O O P 5	
47	34	J M P 1	I N C	(H L)	入力値に対するメモリのデータを1増加
48	C1		P O P	B C	
49	10 03		D J N Z	J M P 2	
4 B	C3 00 00		J P	0000H	
4 E	C5	J M P 2	P U S H	B C	
4 F	01 01 00		L D	B C, 0001H	
52	21 z z		L D	H L, z z	H L ← データの取待間隔
55	E5	L O O P 6	P U S H	H L	
56	F5		P U S H	A F	
57	CD 70 80		C A L L	W A I T	
5 A	F1		P O P	A F	
5 B	E1		P O P	H L	
5 C	A F		X O R	A	
5 D	ED 42		S B C	H L, B C	
5 F	D2 55 80		J P	N C, L O O P 6	
62	C3 16 80		J P	L O O P 2	
8070	21 FF FF	W A I T	L D	H L, FFFH	待ち時間セット用基本サブルーチン
73	A F		X O R	A	
74	ED 42	L O O P	S B C	H L, B C	
76	20 FC		J R	N Z, L O O P	
78	C9		R E T		

表 4 累積度数分布の算出プログラム

アドレス	機 械 語	ラベル	ニーモニック	オペランド	コ メ ン ト
8200	3A A1 80		L D	A, (S I Z E 1)	S I Z E 1 : 階級の数が入っているメモリのアドレス
03	47		L D	B, A	
04	21 00 81		L D	H L, 8100H	
07	7 E		L D	A, (H L)	
08	23	L O O P	I N C	H L	H L ← H L + 1
09	05		D E C	B	B ← B - 1
0 A	C8		R E T	Z	
0 B	86		A D D	A, (H L)	累積を計算
0 C	77		L D	(H L), A	M (H L) ← A
0 D	C3 08 82		J P	L O O P	

表 5 メモリ表示のプログラム

アドレス	機 械 語	ラベル	ニーモニック	オペランド	コ メ ン ト
8210	3A A1 80		LD	A, (SIZE1)	SIZE1: 表示メモリ 数の格納番地
13	47		LD	B, A	
14	21 00 81		LD	HL, 8100 H	メモリ先頭番地設定
17	54	LOOP1	LD	D, H	} DE ← HL
18	5D		LD	E, L	
19	E5		PUSH	HL	} HL, BL 退避
1A	C5		PUSH	BC	
1B	01 01 00		LD	BC, 0001H	BC ← 0001H
1E	21 50	LOOP2	LD	HL, x x	表示時間々隔の設定
21	E5		PUSH	HL	HL 退避
22	62		LD	H, D	} HL ← DE
23	6B		LD	L, E	
24	06 06		LD	B, 06H	B ← 06 H
26	D5	LOOP3	PUSH	DE	} DE, BC, HL 退避
27	C5		PUSH	BC	
28	E5		PUSH	HL	
29	22 FB 83		LD	(DISADD), HL	アドレスレジスタに アドレスをセット
2C	7E		LD	A, (HL)	データレジスタにデー タをセット
2D	CD 85 00		CALL	DISPLY	LED表示モニターサ ブルーチン
30	E1		POP	HL	} HL, BC, DE 復帰
31	C1		POP	BC	
32	D1		POP	DE	
33	05		DEC	B	B ← B - 1
34	C2 26 82		JP	NZ, LOOP3	
37	E1		POP	HL	HL 復帰
38	AF		XOR	A	CY ← 0
39	ED 42		SBC	HL, BC	HL ← HL - BC - CY
3B	D2 21 82		JP	NC, LOOP2	
3E	C1		POP	BC	} BC, HL 復帰
3F	E1		POP	HL	
40	05		DEC	B	B ← B - 1
41	23		INC	HL	HL ← HL + 1
42	C2 17 82		JP	NZ, LOOP1	
45	C3 00 00		JP	0000H	END

§ 3 騒音測定例

測定対象となる騒音は全く任意であるが、本報告では騒音解析システムの動作確認を主目的としてカセットテープに録音した音声を再生した音を騒音とみなして繰り返し分析した。その結果得られた騒音レベルの累積度数分布の1例を図8に示す。

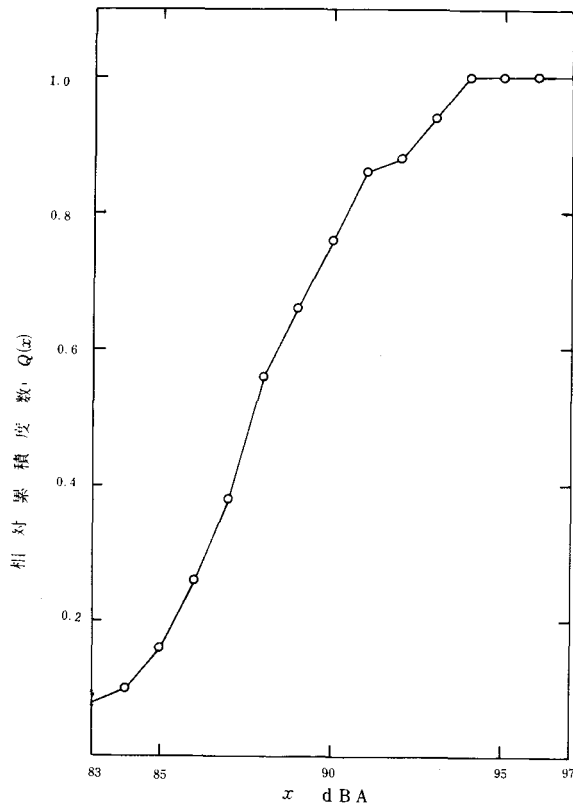


図8 累積度数分布の一例

§4 結 言

本報告は、マイクロコンピュータの計測・制御への応用の例として市販の安価なワンボード・マイクロコンピュータを利用した簡易騒音解析システムの開発・設計試作を行い、実測騒音に対する実験を通じてその動作を確認したものである。

より以上詳細な騒音評価を行うためには、自己相関々数やスペクトル解析を行う必要が生じるかも知れない。そのためには基本的な機能として、浮動小数点演算を必要とする。今後の研究としては、本研究で得られたハードウェアおよびソフトウェア技術を基としてベーシックやフォートランを用いてデータの取り込みから処理まで一貫したシステムの開発を検討している。

本研究においてご討論を承った本校マイクロコンピュータ研究会（メンバー：河野，野原，吉野，山崎，小堀，門前の各氏と藤田，廣光）に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 日本工業標準調査会：騒音レベル（J I S Z 8731）、日本規格協会（1966）。
- (2) 長橋芳行：A-D/D-A変換回路の設計、CQ出版（1980）。
- (3) マイコンガイド／ノート（1979／80年版）、日本マイコンクラブ（1979）。
- (4) IEC Recommendation (Draft), Sound Level Meter（1978）。
- (5) Analog Devices, Inc., ed.: Data Acquisition Products Catalog（1978）。

（昭和56年4月15日受付）

蛍光ランプ照明による目の疲労の研究

(電気工学科) 原 田 一 彦

Studies of Visual Fatigue under the Fluorescent Lamps Lighting

Kazuhiko HARADA

We studied the visual fatigue by the erasing work under three kinds of fluorescent lamps lighting (general type, good color rendering type and three band luminescence type).

We used the Landolt ring of seven colors (7.5P4/8, 2.5PB4/8, 5G5/8, 5Y9/3, 5Y8/12, 5YR6.5/12 and 5R4/12) as the erasing paper and treated three kinds of illuminances (200 lx, 600 lx, and 1000 lx).

The following results were obtained;

- (1) The least visual fatigue was shown at three band luminescence lamp and the second at general one and the last at good color rendering one.
At any kind of lamp, as it got bright, the visual fatigue lessened, and the fatigue at 1000 lx was about half as much as that at 200 lx.
- (2) The fewest errors of the work were shown at good color rendering lamp, and the second at three band luminescence one and the last at general one.
At any lamp the errors at 1000 lx were about half as many as those at 200 lx.
- (3) At any lamp the most errors of 5Y9/3 color were shown, which were about a few times as many as those of the other colors.

§ 1 緒 言

現在, 一般に使用されている人工光源は, 白熱電球, 蛍光ランプおよび高圧放電灯の 3 種類に大別できる。なかでも, 蛍光ランプは, よく普及していて広範囲に使用されているランプで, 効率, 演色性等特性の改善されたものが市販されている。これらのランプによる物の見え方などについては, 既に, その成果が発表されている¹⁾²⁾。また, 各種光源による照明下での視作業による目の疲労についても比較, 検討がなされている³⁾。

本研究は, 普通形, 演色改善形および 3 波長域形の 3 種類の蛍光ランプの照明下で, 7 色のランドルト環による抹消用紙で, 抹消作業をさせた場合の目の疲労度を前回⁴⁾と同様にフリッカー値の変化で求めた。さらに, 疲労度と照度の関係, 照度と誤差の関係およびランプの種類と誤差の関係についても検討を加えた。

§ 2 目の疲労測定

疲労は, 主観による感覚的なものであるため個人差があるが, 目の器官にその影響が現われやすい。その測定法としては, 視器運動系と視感覚系とに大別される。

視器運動系の測定法としては, 弛緩時間 (近距離のものを見ていて急に遠くのものに焦点を合せるの

に要する時間)や緊張時間(前者の逆)を測定する方法が、信頼性が高く最もよく採用されている。このほか、調節近点の測定、調節持続時間の測定などがある。

視覚覚系の測定法には、視力、F.F.F、光反応時間の測定などがあるが、代表的なのはフリッカー値の測定である。これには若干の問題があるが、作業量を多くすることで解決できると考えられる。簡便に使用できる利点があるので、今回の測定にも使用した。

§ 3 実験および吟味

実験に使用した蛍光ランプは、普通形(白色)、演色改善形および3波長域形の3種類で、図1は、これらのランプの分光分布で、表1は、演色評価数を示す。200, 600, 1000lxの3段階の照度で実験をした。

被験者は、視力および色覚の正常な17才の男子学生4名である。視作業に採用した抹消用紙の台紙は、反射率が90%のもので、ランドルト環の大きさは、外径3.3mm、内径2.0mmで、環の切れ目が20cmの距離で5分の視角のものである。また、この色は、照明学会発行の演色評価色票2の観察用慣用色から、5R4/12, 5YR6.5/12, 5Y8/12, 5Y9/3, 5G5/8, 2.5PB4/8および7.5P4/8の7色を採用した。これら各々448個を、縦、横56個ずつ、無作為に上下左右および斜の8方向に配列した。疲労をフリッカーメーターで測定するため、作業量を多くして、誤差が少なくなるよう配慮した。

抹消作業は、ランドルト環の8方向の切れ目のうち、1方向を抹消するもので、40分間行なわせて、その前後にフリッカー値を測定した。継続して実験をする場合には、休憩後の値が、実験前の値になるまで、休憩をさせた。

疲労の程度を示す疲労度は、前回と同様、次のように定義した。

$$\text{目の疲労度} = \frac{\text{実験前のフリッカー値} - \text{実験後のフリッカー値}}{\text{実験前のフリッカー値}} \times 100\%$$

図2は、供試ランプと目の疲労度の関係を示すもので、これからわかるように、3波長域形が最も低く、普通形、演色改善形の順となっている。各ランプ間で、200lxの場合約0.3%、600lxで約0.4%、1000lxでは約0.5%と、その差は、照度が高くなると大きくなっている。1000lxの場合、3波長域形のランプでは、演色改善形に比較して、約68%の疲労度である。また、どの蛍光ランプでも、照度が高くなると疲労が減少する傾向があり、600lxでは、200lxの場合に比べて約2%減少し、1000lxになると、さらに1%程度減少している。

蛍光ランプの種類と誤差率の関係を表わしたのが、図3である。なお、間違って抹消したものと、見落したものを含めて誤差に数えた。疲労の場合と違って、演色改善形が最も誤差が少なく、3波長域形、

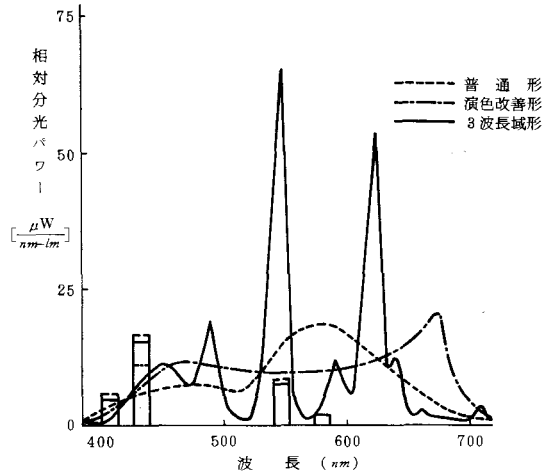


図1 供試蛍光ランプの分光分布

表1 供試蛍光ランプの演色評価数

	普通形	演色改善形	3波長域形
R _a	63	98	84
R ₉	-101	90	41
R ₁₀	39	95	44
R ₁₁	40	98	69
R ₁₂	49	95	53
R ₁₃	57	98	93
R ₁₄	95	98	67
R ₁₅	41	97	97

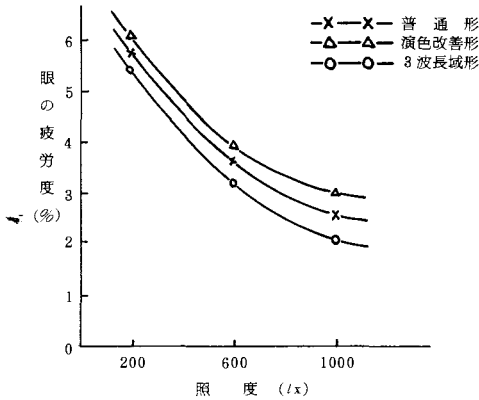


図2 蛍光ランプと目の疲労度の関係

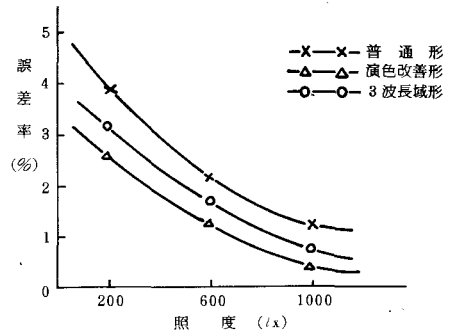
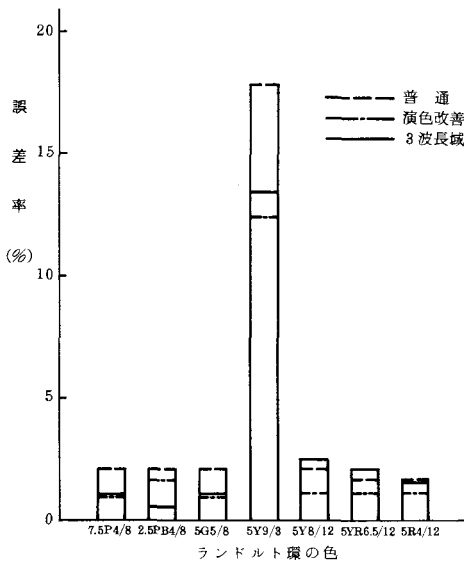


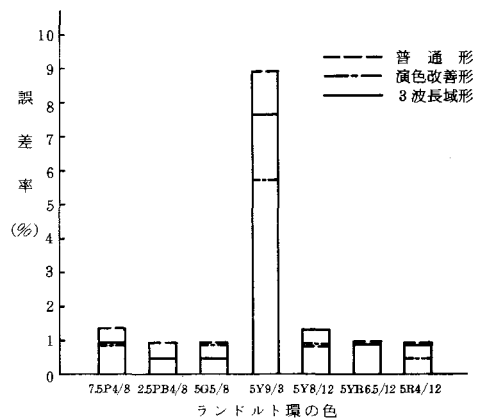
図3 蛍光ランプと誤差率の関係

普通形の順であった。これから、色の見え方は、演色改善形が供試蛍光ランプのなかでは、最も正確であることがわかる。照度が高くなると、誤差率が減少するのは、疲労の場合と同様で、600 lxでは 200 lxの場合よりも約1.5%，1000 lxでは、約0.5%減少している。この場合、ランプ間の差の開きは、あまり感じられない。

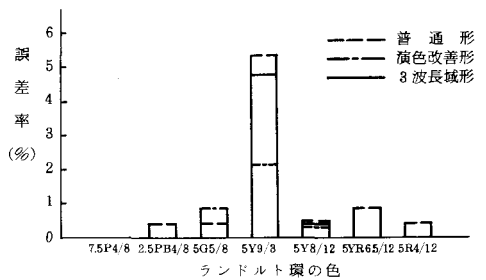
図4は、ランドルト環の各色と蛍光ランプの種類による誤差率を示したものである。どの蛍光ランプでも、5Y9/3のクリーム色の誤差率が、他の色に比較して約6～10倍と多い。これは、抹消用紙の台紙の反射率が影響しており、反射率の低い



(a) 照度 200 lx



(b) 照度 600 lx



(c) 照度 1000 lx

図4 ランドルト環各色と蛍光ランプの種類による誤差率

用紙を使用すれば、この現象は違ってくるものと考えられる。(c)の1000 lxでは、普通形の蛍光ランプだけ、5R4/12, 5YR6.5/12および2.5PB4/8の3色について誤差がある。これは、図1および表1の同ランプの特性から理解できる。

以上の結果から、色彩の多い場合の視作業は、3波長域形蛍光ランプを使用し、1000 lx以上の高照度にすると、目の疲労が少なく、作業ミスも比較的少ないので、望ましい照明といえる。

§ 4 結 言

3種類の蛍光ランプの照明下で、フリッカーメーターを使用して、色のついたランドルト環による抹消作業をさせた場合の目の疲労を測定し、併せて、誤差についても考察した。供試ランプのなかでは、3波長域形蛍光ランプが疲労が最も少なく、1000 lxでは、演色改善形の68%の疲労度であった。また、作業の誤差も、1000 lxでは、演色改善形の0.51%に続いて、0.77%と少なかった。したがって、色彩の多い視作業では、最も望ましい蛍光ランプである。また、各ランプ共、1000 lxでは、200 lxの場合に比較して、疲労度、誤差率がそれぞれ約半分となるので、1000 lx以上の高照度が良いことがわかった。

今後は、抹消用紙の台紙の反射率を変えて検討する必要があるだろう。

最後に、卒業研究として、測定に協力していただいた13期生小濱浩文君と、被験者となった学生諸君に厚く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 橋本他：昭和53年度照明学会全国大会講演論文集 61
- 2) 湊田他：昭和54年度照明学会全国大会講演論文集 63
- 3) 阪口他：照明学会誌 VOL. 57-73 (昭和48年) 278
- 4) 原田：呉高専研究報告 VOL. 16-2 (昭和56年) 55

(昭和56年4月15日受付)

多変量グラム・シャリエ級数の逐次的 展開係数決定アルゴリズム

(電気工学科) 廣 光 清 次 郎

(機械工学科) 藤 田 幸 史

A Recursive Algorithm for Computing the Coefficients of the Multi-Variate Gram-Charlier Series

(Dept. Elec. Engrg.) Seijiro HIROMITSU

(Dept. Mech. Engrg.) Yoshifumi FUJITA

The Gram-Charlier series is a well-known tool for approximating a non-Gaussian probability density function when the moments or the cumulants of a random variable are known. In many practical problems, we have to simultaneously consider the two or more random processes.

In this paper, we discuss an extension to the multi-variate case and derive the recursive method of computing the coefficients of the multi-variate Gram-Charlier series which can express the important statistical information of higher-order linear or nonlinear correlations. An example of numerical computation is carried out for an estimation of the bi-variate cumulants of environmental noise data through their bi-variate moments.

§ 1 まえがき

公知のように、統計的エルミート展開型分布表示¹⁾の1種であるグラム・シャリエ級数²⁾は、任意の非ガウス型分布形状をもつ確率密度関数をガウス分布を基幹として階層的に表現するのに有用である。筆者らの一人もこれをシステムの不規則応答分布の研究や、騒音・振動の統計的研究においてしばしば利用^{3,4)}してきた。すなわち、考察対象の確率分布の普遍的枠組みとして、上記級数展開型分布表示が採用され、個々のシステムの特性は展開係数の方へ階層的に反映させる方法がとられている。展開係数の計算は、これまではその解析的陽表示を見出すことに大きな努力が払われてきたが、もし、非常に多数の展開係数が必要とされた場合、その計算量は膨大なものとなるため、デジタル計算機利用に基づく自動計算の必要性が生じてくる。E. Bigliri⁵⁾は1変量のグラム・シャリエ級数に対し、その係数を漸化的に見出す方法を発表した。この方法は、まず、(1)モーメントを求め、(2)漸化公式により、モーメントからキュムラントを算出する。更に、(3)キュムラントからグラム・シャリエ級数の係数を漸化的に決定するという、各段階から成る。

本研究の目的は、Bigliriの方法を多変量の場合に拡張することである。公知のように、実際の応用においては、1変量で対処可能なことは極めて少なく、時間又は空間的位相差をもつ2又はそれ以上の不規則過程を同次確率過程と考えて研究することが重要となる。多変量の場合のグラム・シャリエ級数(多変量統計的エルミート展開⁶⁾)の展開係数決定のための漸化関係を見出すことは、このように基本的に重

要であるが、まだ発表されていないと筆者らは考える。結果的に得られたいくつかの漸化公式は、勿論、一変量の場合の自然な拡張になっていることが示され、また、本報告の最後に、2変量の場合のモーメントとキュムラントの漸化公式を実測騒音データに適用した計算例を与える。

§2 問題の記述

k 次元確率変数 $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ の結合確率密度関数を $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ とすると、これは公知のように、次の多変量に拡張されたグラム・シャリエ級数(多変量エルミート展開型分布表示)に展開される。⁶⁾

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = (2\pi)^{-k/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_k^2) \right\} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{h_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} H_{n_1}(x_1) H_{n_2}(x_2) \dots H_{n_k}(x_k) \quad (1)$$

ただし、

$$h_{n_1 n_2 \dots n_k} = E[H_{n_1}(x_1) H_{n_2}(x_2) \dots H_{n_k}(x_k)] \quad (2)$$

であり、 $E[\]$ は期待値演算を、 $\sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n}$ は、 $n_1+n_2+\dots+n_k=n$ になるようなすべての (n_1, n_2, \dots, n_k) の組合せについての総和を意味する。また、 $H_n(\)$ は次のように定義されるエルミートの多項式である。

$$H_n(x) = (-1)^n \exp \left(\frac{x^2}{2} \right) \left(\frac{d}{dx} \right)^n \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) \quad (3)$$

多変量確率変数 x の結合特性関数は、

$$C(s_1, s_2, \dots, s_k) = E[\exp \{j(s_1 x_1 + s_2 x_2 + \dots + s_k x_k)\}] \quad (4)$$

で定義され ($j=\sqrt{-1}$)、次のように展開される。

$$C(s_1, s_2, \dots, s_k) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{\mu_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} \cdot (j s_1)^{n_1} (j s_2)^{n_2} \dots (j s_k)^{n_k} \quad (5)$$

ここに、 $\mu_{n_1 n_2 \dots n_k}$ は、

$$\mu_{n_1 n_2 \dots n_k} = E[x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_k^{n_k}] \quad (6)$$

のように定義される $(n_1+n_2+\dots+n_k)$ 次結合モーメントである。これに対応する結合キュムラント $k_{n_1 n_2 \dots n_k}$ を生成する母関数を

$$\psi(s_1, s_2, \dots, s_k) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{k_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} \cdot (j s_1)^{n_1} (j s_2)^{n_2} \dots (j s_k)^{n_k} \quad (7)$$

とおくと、公知のように、特性関数とは次の関係がある。

$$C(s_1, s_2, \dots, s_k) = \exp[\psi(s_1, s_2, \dots, s_k)] \quad (8)$$

本研究の目的は、式(1)で与えられた多変量グラム・シャリエ級数の展開係数(2)を、その多変量確率変数に関する統計量として結合モーメント $\mu_{n_1 n_2 \dots n_k}$ 又は $k_{n_1 n_2 \dots n_k}$ が知られている場合に、Bigliriの方法を多

変量に拡張することにより見出すことにある。

§ 3 アルゴリズムの導出

アルゴリズム導出にあたって、まず、2つの級数の積に関するアーベルの定理⁷⁾を多変量の場合に拡張する。

〔定理1〕

k 変数関数 $f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ および $g(x_1, x_2, \dots, x_k)$ に対し、それぞれ展開表現：

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{a_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_k^{n_k}$$

$$g(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{b_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_k^{n_k}$$

が存在し、また積：

$$h(x_1, x_2, \dots, x_k) = f(x_1, x_2, \dots, x_k) g(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

に対する展開表現：

$$h(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\dots+n_k=n} \frac{c_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_k^{n_k} \quad (9)$$

が存在するとなると、その係数 $c_{n_1 n_2 \dots n_k}$ は次式で与えられる。

$$c_{n_1 n_2 \dots n_k} = \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \cdot a_{m_1 m_2 \dots m_k} b_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \quad (10)$$

〔略証〕

$x_1^{n_1} x_2^{n_2} \dots x_k^{n_k}$ の係数に着目して式 (9) の両辺を比較すると、

$$\frac{c_{n_1 n_2 \dots n_k}}{n_1! n_2! \dots n_k!} = \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \frac{a_{m_1 m_2 \dots m_k}}{m_1! m_2! \dots m_k!} \cdot \frac{b_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k}}{(n_1-m_1)! (n_2-m_2)! \dots (n_k-m_k)!}$$

となる。よって、

$$c_{n_1 n_2 \dots n_k} = \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \frac{n_1!}{m_1! (n_1-m_1)!} \frac{n_2!}{m_2! (n_2-m_2)!} \dots \frac{n_k!}{m_k! (n_k-m_k)!} \cdot a_{m_1 m_2 \dots m_k} b_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k}$$

が得られ、これは式 (10) そのものである。

3.1 展開係数とキュムラントの漸化関係

さて、展開係数 $h_{n_1 n_2 \dots n_k}$ に対する漸化公式を導出しよう。エルミートの多項式の母関数に類似して次の多変量関数を考えよう。

$$\exp \left\{ -\frac{1}{2} (t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_k^2) + (t_1 x_1 + t_2 x_2 + \dots + t_k x_k) \right\}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{n_1=0}^{\infty} \frac{H_{n_1}(x_1)}{n_1!} t_1^{n_1} \sum_{n_2=0}^{\infty} \frac{H_{n_2}(x_2)}{n_2!} t_2^{n_2} \cdots \sum_{n_k=0}^{\infty} \frac{H_{n_k}(x_k)}{n_k!} t_k^{n_k} \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\cdots+n_k=n} \frac{H_{n_1}(x_1)H_{n_2}(x_2)\cdots H_{n_k}(x_k)}{n_1!n_2!\cdots n_k!} t_1^{n_1}t_2^{n_2}\cdots t_k^{n_k} \quad (11)
\end{aligned}$$

ただし, $j_{s_1}=t_1, j_{s_2}=t_2, \cdots, j_{s_k}=t_k$ である。式 (11) の両辺の期待値をとると次式が得られる。

$$\begin{aligned}
&\exp \left\{ \frac{1}{2} (s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_k^2) \right\} C(s_1, s_2, \cdots, s_k) \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\cdots+n_k=n} \frac{h_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1! n_2! \cdots n_k!} t_1^{n_1} t_2^{n_2} \cdots t_k^{n_k} \quad (12)
\end{aligned}$$

今, $(n_1+n_2+\cdots+n_k)$ 次結合キュムラント $x_{n_1 n_2 \cdots n_k}$ に対応して,

$$x'_{n_1 n_2 \cdots n_k} = \begin{cases} x_{n_1 n_2 \cdots n_k} & n_i \neq 1 \\ x_{n_1 n_2 \cdots n_k} - 1 & n_i = 1 \end{cases} \quad (13)$$

を導入し ($i=1, 2, \cdots, k$), $\gamma(s_1, s_2, \cdots, s_k)$ を

$$\begin{aligned}
&\gamma(s_1, s_2, \cdots, s_k) \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\cdots+n_k=n} \frac{x'_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1! n_2! \cdots n_k!} (j_{s_1})^{n_1} (j_{s_2})^{n_2} \cdots (j_{s_k})^{n_k} \quad (14)
\end{aligned}$$

とすれば, 次式の成立は明かである。

$$\gamma(s_1, s_2, \cdots, s_k) = \psi(s_1, s_2, \cdots, s_k) + \frac{1}{2} (s_1^2 + s_2^2 + \cdots + s_k^2) \quad (15)$$

式 (15) より式 (12) は

$$\begin{aligned}
&\exp[\gamma(s_1, s_2, \cdots, s_k)] \\
&= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{n_1+n_2+\cdots+n_k=n} \frac{h_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1! n_2! \cdots n_k!} (j_{s_1})^{n_1} (j_{s_2})^{n_2} \cdots (j_{s_k})^{n_k} \quad (16)
\end{aligned}$$

となる。漸化公式を導出するため, 式 (16) の右辺を $D(s_1, s_2, \cdots, s_k)$ とおき, 変数 s_1, s_2, \cdots, s_k のそれぞれについて偏微分する。

$$\frac{\partial D}{\partial s_1} = \frac{\partial \gamma}{\partial s_1} D, \quad \frac{\partial D}{\partial s_2} = \frac{\partial \gamma}{\partial s_2} D, \quad \cdots, \quad \frac{\partial D}{\partial s_k} = \frac{\partial \gamma}{\partial s_k} D \quad (17)$$

上式右辺に定理 1 を適用し, 係数比較により漸化関係を求めると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned}
h_{n_1+1, n_2, \cdots, n_k} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \cdots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \cdots \binom{n_k}{m_k} \cdot x'_{m_1+1, m_2, \cdots, m_k} h_{n_1-m_1, n_2-m_2, \cdots, n_k-m_k} \\
h_{n_1, n_2+1, \cdots, n_k} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \cdots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_k}{m_k} \binom{n_2}{m_2} \cdots \binom{n_1}{m_1} \cdot x'_{m_1, m_2+1, \cdots, m_k} h_{n_1-m_1, n_2-m_2, \cdots, n_k-m_k} \\
&\cdots \cdots \cdots \\
h_{n_1, \cdots, n_{k-1}, n_k+1} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \cdots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \cdots \binom{n_k}{m_k} \cdot x'_{m_1, \cdots, m_{k-1}, m_k+1} h_{n_1-m_1, n_2-m_2, \cdots, n_k-m_k}
\end{aligned} \right\} \quad (18)$$

ただし, 式 (18) の初期値は次式で与えられる。

$$h_{00\cdots 0} = E\{H_0(x_1)H_0(x_2)\cdots H_0(x_k)\} = 1 \quad (19)$$

3.2 モーメントとキュムラントの漸化関係

次に、 $\chi_{n_1 n_2 \dots n_k}$ をモーメント $\mu_{n_1 n_2 \dots n_k}$ より求める漸化公式を導出する。前出の式 (8) を、 s_1, s_2, \dots, s_k のそれぞれについて偏微分する。

$$\frac{\partial C}{\partial s_1} = \frac{\partial \psi}{\partial s_1} C, \quad \frac{\partial C}{\partial s_1} = \frac{\partial \psi}{\partial s_2} C, \quad \dots, \quad \frac{\partial C}{\partial s_k} = \frac{\partial \psi}{\partial s_k} C \quad (20)$$

式 (18) を得たのと同様、上式において定理 1 を利用すると次の関係を得る。

$$\left. \begin{aligned} \mu_{n_1+1, n_2, \dots, n_k} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \\ &\quad \cdot \chi_{m_1+1, m_2, \dots, m_k} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ \mu_{n_1, n_2+1, \dots, n_k} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \\ &\quad \cdot \chi_{m_1, m_2+1, \dots, m_k} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ &\dots\dots\dots \\ \mu_{n_1, n_2, \dots, n_{k+1}} &= \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \\ &\quad \cdot \chi_{m_1, m_2, \dots, m_{k+1}} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

上式を最高次数のキュムラントにより書き改めると、それぞれ次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} \chi_{n_1+1, n_2, \dots, n_k} &= \mu_{n_1+1, n_2, \dots, n_k} \\ &\quad - \sum_{m_1=0}^{n_1-1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \chi_{m_1+1, m_2, \dots, m_k} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ &\quad - \sum_{m_2=0}^{n_2-1} \sum_{m_3=0}^{n_3-1} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k-1} \binom{n_2}{m_2} \binom{n_3}{m_3} \dots \binom{n_k}{m_k} \chi_{n_1+1, m_2, \dots, m_k} \mu_{0, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ &\quad (n_i \neq 1, \quad i \neq 1) \\ \chi_{n_1, n_2+1, \dots, n_k} &= \mu_{n_1, n_2+1, \dots, n_k} \\ &\quad - \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2-1} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \chi_{m_1, m_2+1, \dots, m_k} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ &\quad - \sum_{m_1=0}^{n_1-1} \sum_{m_3=0}^{n_3-1} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k-1} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_3}{m_3} \dots \binom{n_k}{m_k} \chi_{m_1, n_2+1, \dots, m_k} \mu_{n_1-m_1, 0, n_3-m_3, \dots, n_k-m_k} \\ &\quad (n_i \neq 1, \quad i \neq 2) \\ &\dots\dots\dots \\ \chi_{n_1, n_2, \dots, n_{k+1}} &= \mu_{n_1, n_2, \dots, n_{k+1}} \\ &\quad - \sum_{m_1=0}^{n_1} \sum_{m_2=0}^{n_2} \dots \sum_{m_k=0}^{n_k-1} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_k}{m_k} \chi_{m_1, m_2, \dots, m_{k+1}} \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_k-m_k} \\ &\quad - \sum_{m_1=0}^{n_1-1} \sum_{m_2=0}^{n_2-1} \dots \sum_{m_{k-1}=0}^{n_{k-1}-1} \binom{n_1}{m_1} \binom{n_2}{m_2} \dots \binom{n_{k-1}}{m_{k-1}} \chi_{m_1, m_2, \dots, m_{k+1}} \\ &\quad \mu_{n_1-m_1, n_2-m_2, \dots, n_{k-1}-m_{k-1}, 0} \\ &\quad (n_i \neq 1, \quad i \neq k) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

なお、 $\chi_{n_1, 0, \dots, 0}, \chi_{0, n_2, 0, \dots, 0}, \dots, \chi_{0, 0, \dots, 0, n_k}$ などについては、実質的に 1 変量の場合に相当するが、次式が成立する。

表1 2変量結合モーメント・結合キュラムントの計算例

(a) 2変量結合モーメント $\mu_{m,n}$

	m									
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0.1000E 01	0.6482E-03	0.9884E 00	-0.2764E 00	0.3728E 01	-0.3050E 01	0.2494E 02	-0.3402E 02	0.2208E 03	
1	0.1191E-02	-0.1303E-01	-0.5128E-01	-0.8756E-01	-0.2727E 00	-0.9262E 00	-0.9373E 00	-0.1224E 02	0.3983E 01	
2	0.9537E 00	0.8056E-02	0.1000E 01	-0.2223E 00	0.3658E 01	-0.2718E 01	0.2246E 02	-0.3072E 02	0.1834E 03	
3	-0.5728E 00	-0.3443E-01	-0.7125E 00	-0.4094E-01	-0.2644E 01	0.1628E 00	-0.1354E 02	0.2084E 01	-0.7933E 02	
4	0.1945E 01	0.2180E-01	0.2121E 01	-0.3145E 00	0.7471E 01	-0.4153E 01	0.4106E 02	-0.4734E 02	0.2916E 03	
5	-0.2289E 01	-0.5602E-01	-0.2719E 01	0.7901E-01	-0.9728E 01	0.2592E 01	-0.4953E 02	0.3325E 02	-0.3026E 03	
6	0.5391E 01	0.4110E-01	0.6030E 01	-0.4811E 00	0.2079E 02	-0.7561E 01	0.1061E 03	-0.9172E 02	0.6741E 03	
7	-0.8276E 01	-0.5721E-01	-0.9674E 01	0.1887E 00	-0.3375E 02	0.7253E 01	-0.1671E 03	0.1036E 03	-0.9931E 03	
8	0.1737E 02	-0.1381E-01	0.1965E 02	-0.5264E 00	0.6683E 02	-0.1378E 02	0.3264E 03	-0.1978E 03	0.1929E 04	

(b) 2変量結合キュラムント $\kappa_{m,n}$

	m									
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0.1000E 01	0.6482E-03	0.9884E 00	-0.2783E 00	0.7981E 00	-0.3110E 00	-0.2136E 01	0.8647E 01	-0.3236E 02	
1	0.1191E-02	-0.1303E-01	-0.5244E-01	-0.6140E-01	-0.1290E 00	-0.7287E 00	-0.6883E-01	-0.7895E 01	0.1623E 01	
2	0.9537E 00	0.7469E-02	0.5733E-01	0.2384E-01	0.2710E 01	-0.2549E 01	0.1018E 02	-0.1555E 02	0.4188E 02	
3	-0.5762E 00	-0.9223E-02	-0.4366E-01	0.6520E-02	-0.1348E 01	0.3090E 01	0.4429E 01	0.4347E 02	0.1160E 03	
4	-0.7805E 00	-0.2154E-01	0.2635E 01	-0.8232E 00	-0.1721E 02	0.1355E 02	-0.1108E 03	0.8462E 02	-0.2687E 04	
5	0.3195E 01	-0.3777E-01	-0.5678E 01	0.1954E 01	0.4353E 02	-0.3522E 02	0.1897E 03	-0.2710E 03	0.2729E 04	
6	0.2419E 00	0.3570E 00	-0.5753E 01	0.1082E 01	0.1075E 02	-0.1798E 02	-0.1043E 04	0.3246E 04	0.5425E 05	
7	-0.3301E 02	-0.4893E 00	0.7494E 02	-0.1716E 02	-0.4185E 03	0.4400E 03	-0.2810E 04	-0.1474E 05	-0.2813E 06	
8	0.6630E 02	-0.5503E 01	-0.1208E 02	-0.3787E 01	-0.1822E 04	0.1516E 04	0.5377E 05	-0.8418E 05	0.3555E 06	

$$\left. \begin{aligned}
 \chi_{n_1+1,0,\dots,0} &\equiv \mu_{n_1+1,0,\dots,0} - \sum_{m_1=0}^{n_1-1} \binom{n_1}{m_1} \chi_{m_1,0,\dots,0} \mu_{n_1-m_1,0,\dots,0} \\
 \chi_{0,n_2+1,0,\dots,0} &= \mu_{0,n_2+1,0,\dots,0} - \sum_{m_2=0}^{n_2-1} \binom{n_2}{m_2} \chi_{0,m_2,0,\dots,0} \mu_{0,n_2-m_2,0,\dots,0} \\
 &\dots\dots\dots \\
 \chi_{0,0,\dots,0,n_k+1} &= \mu_{0,0,\dots,0,n_k+1} - \sum_{m_k=0}^{n_k-1} \binom{n_k}{m_k} \chi_{0,0,\dots,0,m_k} \mu_{0,0,\dots,0,n_k-m_k}
 \end{aligned} \right\} (23)$$

これらは勿論、Bigliri の結果と一致する。

3.3 数値計算例

$k=2$ 即ち 2 変量の場合は、相関情報を反映できるので特別な意味をもつ。我々は実測による 2 種類の騒音例について、式 (23) により、結合モーメント $\mu_{m,n}$ から結合キュムラント $\chi_{m,n}$ の逐次的推定を試みた。その結果を表 1 に示す。なおそれぞれの騒音の平均は 91.9 および 77.4 dBA、また標準偏差は 3.5 および 4.8 dBA である。

§ 4 あとがき

本報告では、Bigliri による 1 変量グラム・シャリエ級数の展開係数に対する漸化公式を多変量の場合に拡張し、(1)多変量結合モーメントと結合キュムラントの間の漸化公式、および、(2)多変量結合キュムラントと多変量グラム・シャリエ級数（多変量統計的エルミート展開型分布表示）の展開係数の漸化公式を導出した。これらはかなり複雑な形態をとるが、特に多数の高次項を必要とする場合、定義式に基づく算出方法に比べ、系統的でかつデジタル計算機利用にも整合がとれ、かなり計算量の節約になることが期待される。

日頃ご討論頂く、広島大学工学部太田光雄教授、山口静馬・畠山一達の両氏に深謝する。

文 献

- 1) 太田：システムと制御，**16**，6（1972）p.504
- 2) S.S.Wilks:Mathematical Statistics, Princeton Univ. Press, New Jersey(1950)
- 3) 太田・山口・広光・畠山：日本音響学会誌，**32**，3（1976）p.161
- 4) S.Hiromitsu, M. Ohta and S. Yamaguchi: Inter-Noise 75 Proceedings (1975) p.41
- 5) E. Bigliri: Proc. IEEE (Feb., 1973) p. 251
- 6) M. Ohta and S. Hiromitsu: Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 23, Univ. Tokyo Press (1975) p. 477
- 7) 吉田他：応用数学便覧，丸善（1967）

（昭和56年4月15日受付）

超高速過渡現象解析システム / FACOM230-28S

データ・コンバージョン・ソフトウェアの開発

(電気工学科) 廣 光 清次郎

(電 算 機 室) 町 田 勝 吉

A Software Development of a Data-Conversion System from Ultra-High Speed Transient Analyzer to FACOM230-28S System

(Dept. Elect. Engrg.) Seijiro HIROMITSU
(Computer Sect.) Masayoshi MACHIDA

In special reference to a rapid improvement of microcomputer technology, an achievement of data compatibility between micro-computer-applied instrumentation facilities and computer systems for general purposes has been especially sought.

This paper discusses a software development of a special data-conversion system that enables one to convert time-sequence or frequency data from the Ultra-High Speed Transient Analyzer to the FACOM230-28S Computer System. The method basically depends on the FACOM230 BOS/VS FORTRAN IV [S] system and their floppy-disk convert utilities. The experimental results demonstrate a practical validity of the developed system. Thus, the data-conversion system can easily be utilized as a subroutine library in the FACOM230-28S system.

§ 1 まえがき

雷現象、送配電系統の異常現象、材料の破断、自動制御系の過渡応答など、様々な突発的過渡現象はそれらの正確な発生予知が困難であることから、従来測定に特別な工夫が必要とされてきた。最近、アナログ・デジタル技術の急速な発達により、従来のサージ・シンクロやストレージ・シンクロに代わるべき、デジタル・メモリを用いたレコーダが普通に利用できるようになり、突発的な過渡現象の記録・処理が極めて容易になってきた。

このような背景から、周知のように本校電気工学科においても昭和54年度特別設備費により、「超高速過渡現象解析システム」(以下、本システムと略記)が設置され、高圧サージ・パルスの計測、三相送配電系統の異常現象の計測、騒音・振動分析などに利用され、成果をあげつつある。

本システム設置計画当初における総合的性能と具備すべき必要条件は以下のとおりであった：

- (1)突発的な様々な過渡現象を任意に現象発生前から記録できること。
- (2)記録速度が超高速・高分解能であること。
- (3)現場又は実験室で計測・解析・処理が一貫してできること。
- (4)本校の既設電子計算機FACOM230-28S(以下、FACOMと略記)とのデータ変換が可能であること。

今回、我々は達成が遅れていた上記(4)について、FACOM側でのフロッピーディスクによるオフライン・データコンバージョン・ソフトウェアの開発を行い、良好な結果を得たので報告する。このソフトウェアは、FACOMにおいて、いわゆるSSL(科学用サブルーチン・ライブラリ)と同形式のサブルーチン副プログラムとして登録したので、利用者は通常のフォートラン(FORTRAN S)で書かれたソースプログラムにおいて容易に利用しうるものである。

本報告では、まず本システムのフロッピーディスク・レコーダの特別なファイル管理方法¹⁾につい

て簡単に触れ、次いでFACOMにおいて今回開発したデータ・コンバージョン・ソフトウェアの構成について述べる。最後に、本ソフトウェアの利用例として、超高速過渡現象解析システムからFACOM上にコンバートされたデータを、高速フーリエ変換(FFT)により周波数分析した結果と本システムで直接分析したいくつかの結果の比較を示す。

§2 フロッピーディスク・ファイル管理方法の概略

周知のように、標準8インチ・フロッピーディスクには、いわゆるIBMフォーマットと呼ばれる一定のファイル管理方法²⁾があり、これに従って情報がディスクに書き込まれていなければ、通常の汎用計算機において読み出すことはできない。最近のマイクロコンピュータ・システムにおいては、ミニフロッピー又は標準フロッピーディスク装置が普通に利用できるようになりつつあるが、これらの多くは強い限定のあるIBMフォーマット(片面単密度の場合、19ファイルしか作成できない)を避けて、独特のファイル管理方法を採用しているのが実情である。このことは汎用計算機におけるフロッピーディスクの役割が単なる補助的外部記憶媒体にすぎないのに対し、マイクロコンピュータでは主要な外部記憶媒体となっているという背景によるものであろう。従って、汎用計算機とのデータ・コンバージョンまで考慮する場合は、マイクロコンピュータ・システム又はフロッピーディスク・レコーダが、通常のファイル管理機能以外にIBMフォーマットへの変換機能を有するか、又は、本レコーダのような特別な工夫が不可欠となろう。

本レコーダにおけるディスク・マップを図1に示す。³⁾本レコーダで初期化されたフロッピー・ディスクは、唯2つの有効ファイル(HDR1)(ファイル・ラベル:DMC 2460 LおよびDMC 2460 D)をもち、01T(トラック)01S(セクタ)~73T26Sのデータ領域を2分する。DMC 2460 Lは領域として01T01S~02T16Sを割り当て、先頭から順次ファイル管理情報が書き込まれる。またDMC 2460 Dは、領域02T17S~73T26Sにおいて上記管理情報によって具体化されるデータ・ファイルを割り当てる。1個のデータ・ファイルに必要な管理情報には1/4セクタ(32バイト)の領域が使われるので、片面単密度のディスクの場合、合計168ファイル

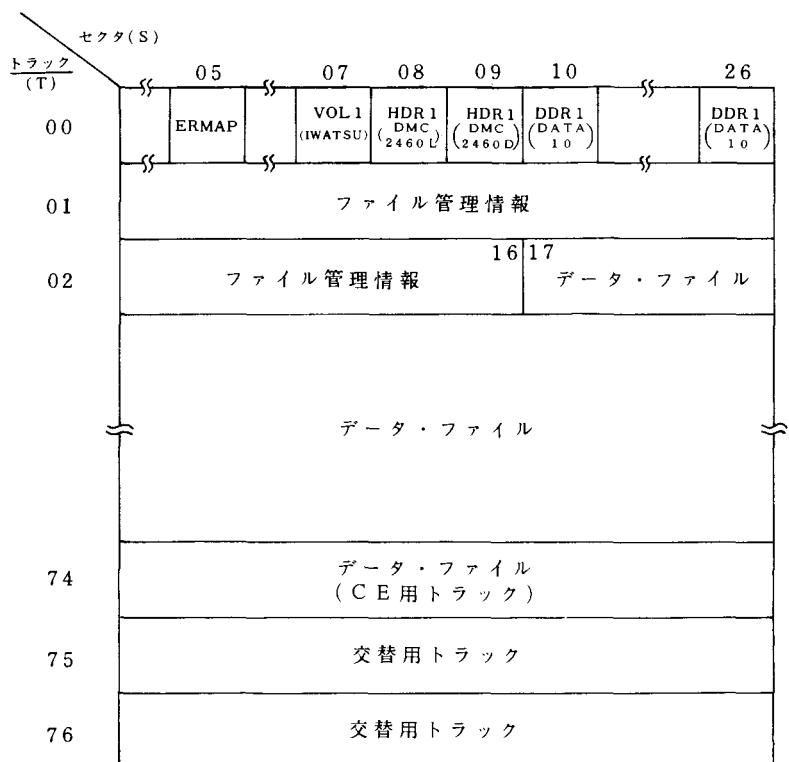


図1 ディスク・マップ

の作成が可能となる。この1/4セクタには表1のような順で必要事項が書き込まれる。特定ファイルの選択はファイル名ではなく、ファイル番号を指定して行われ、そのディスク上の具体的な先頭位置は第1・3バイトの情報により、まだデータ数は第5・6バイトの情報により決定しうる。データ・ファイルのデータは16ビットのバイナリー・データ（2の補数表示）であるが、これと第24バイト値により実質的には浮動小数点表現を採用しているのと等価である。第31バイトの情報はデータの記録形式を与え、この値が0なら実数形式であり、1なら複素数形式で実数部と虚数部が交互に書き込まれる。前述のデータ数は本システムにおける解析装置のデータ長指定の2倍が強制的にとられるので、実数形式（0）のときはこれを半分としなければならない。第20～24バイトはサンプル時間（秒）、第29、30バイトは設定されたディレー（ワード）を与える。第32バイトの縦軸補正は、0のバイナリー表現をどうとるかによる補正であるが、本システムで作成したデータ・ファイルについては考慮する必要がない（常に0である）。

表1 ファイル管理情報

バイト数	内 容
1	当該ファイル先頭トラック番号
2	先頭サイド番号
3	先頭セクタ番号
4	未使用
5	データ長（下位バイト）
6	データ長（上位バイト）
7	ファイルコード
8～17	未使用
18	波形名
19	波形の種類（0：時間波形，1：周波数波形）
20	横軸値 n （2の補数，8ビット）
21～23	横軸値 m （24ビット）
24	縦軸値 n （8ビット）
25～28	未使用
29	ディレー（下位バイト）
30	ディレー（上位バイト）
31	データ形式（0：実数形，1：複素数形）
32	縦軸補正（0：×1，1：×1.024，2：×2.048）

* データ数/64=セクタ数

§ 3 データ・コンバージョン・ソフトウェア

本ソフトウェアの開発にあたり、我々は、付随する制御文も含めてできるだけ簡便に利用しうるものであることを第一義とした。本サブルーチン副プログラムはフォートラン（FACOM230 BO S/VS FORTRAN IV [S]，通称FORTRAN S）³⁾で書かれており、サブルーチン名SMT OFAとして、いわゆるSSL（科学用サブルーチン・ライブラリー）と同様のイメージで利用できる。図2に本サブルーチンを使用した例のシステム・メッセージ・リストを示す。必要な制御文は、JOB文（¥JOB，図2①参照）およびEND文（/END，図2③参照）に加えて2枚のCAT文⁴⁾（¥CAT，図2②，④参照）のみでよい。CAT文によって、カタログ・ライブラリからカタログ作業領域にカタログ式プロンジャが展開・実行される。必要に応じてデータ・カードや他の制御文（図2中のFFTS結合論集制御文の例を参照）も追加して使用できる。

本サブルーチン副プログラムの主要部分：SMT OF A のフローチャートを図 3 に、またその中で
られる各種のサブルーチンを図 4 ～ 6 に示す。SMT OF A は、超高速過渡現象解析システム・波
解析装置 SM2100 から F A C O M 230-28 S へのデータ・コンバージョンであることに因んで名付
たものである。

```

graph TD
    START([START]) --> Init[MF (ファイル番号), X (整合配列名),  
MD (Xの大きさ), IR (データ形式の選択)]
    Init --> ILL0[ILL = 0, IK = IR + 1]
    ILL0 --> Setup[CALL DEFFIL (MF, ILL)  
CALL SETUP 1 (MRI, C, ILL)  
CALL SETUP 2 (MSS, MRS, MRD, ILL)  
CALL SETUP 3 (SAM, SCA, DEL)]
    Setup --> MRI1{MRI = 1}
    MRI1 -- YES --> MRS2[MRS = MRS / 2]
    MRI1 -- NO --> MRD2[MRD = MRD / 2]
    MRS2 --> MRD2
    MRD2 --> MSS0{MSS = 0}
    MSS0 -- YES --> MR1[MR = 1]
    MSS0 -- NO --> DataHead[データ・ファイルの先頭から  
MSSセクタ分読み飛ばし]
    DataHead --> MR1
    MR1 --> ND1[データ・ファイルを1セクタ分  
NDに読み込み]
    ND1 --> MRI1
    MRI1 -- YES --> I1[I = 1]
    MRI1 -- NO --> I1
    I1 --> SWAP1[CALL SWAP (ND (I), NX)]
    SWAP1 --> MX1[MX = NX]
    MX1 --> J1[J = 64 · (MR - 1) + 1]
    J1 --> X1[X (J) = MX · 215 · SCA]
    X1 --> I64_1{I = 64}
    I64_1 -- NO --> Iplus1_1[I = I + 1]
    I64_1 -- YES --> MRMR[M]
    Iplus1_1 --> MRMR
    MRMR{MR = MRS}
    MRMR -- NO --> MRplus1[MR = MR + 1]
    MRMR -- YES --> RETURN([RETURN])
    Iplus1_1 --> Iplus1_2[I = I + 1]
    Iplus1_2 --> IK[I = IK]
    IK --> SWAP2[CALL SWAP (ND (I), NX)]
    SWAP2 --> MX2[MX = NX]
    MX2 --> J2[J = 32 · (MR - 1) + (I + 1) / 2]
    J2 --> X2[X (J) = MX · 215 · SCA]
    X2 --> I64_2{I = 64}
    I64_2 -- NO --> Iplus1_2
    I64_2 -- YES --> Iplus1_2
    Iplus1_2 --> RETURN
  
```

MF: ファイル番号
 MRI: データ形式
 C: 縦軸補正
 MSS: 読み飛ばしセクタ数
 MRS: 読み込みセクタ数
 MRD: " バイト数
 SAM: サンプル時間(秒)
 SCA: 縦軸値
 DEL: デイレー時間(秒)
 ILL: リターン時の状態

图 3 SUBROUTINE SMT OF A(MF, X, MD, MRD, IR, MRI, SAM, SCA, DEL, ILL)

図2 システム・メッセージ・リスト
(BOS/VS-770210-V01-L15)

(入力パラメータ)

1. MF コンバートしたいデータのファイル番号。
2. MD 下記の配列 X の大きさ。
3. I R データ形式が複素数型のときのみ有効で、実部を取り出すときは 0、虚部を取り出すときは 1 にセットする。

(出力パラメータ)

4. X コンバートされたデータを格納すべき単精度実数型配列名。メイン・プログラム中で

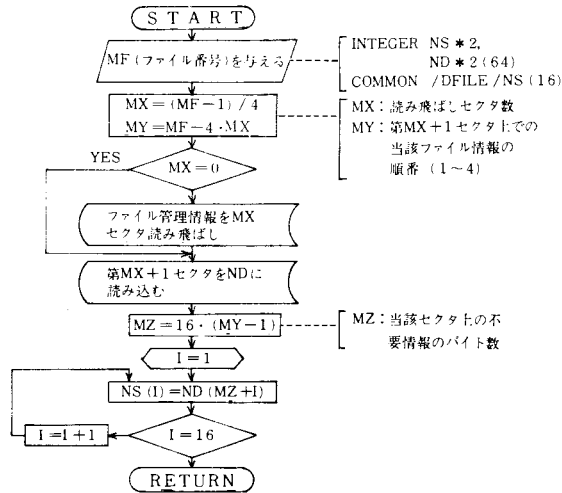


図 4 SUBROUTINE DEFFIL(MF, ILL)

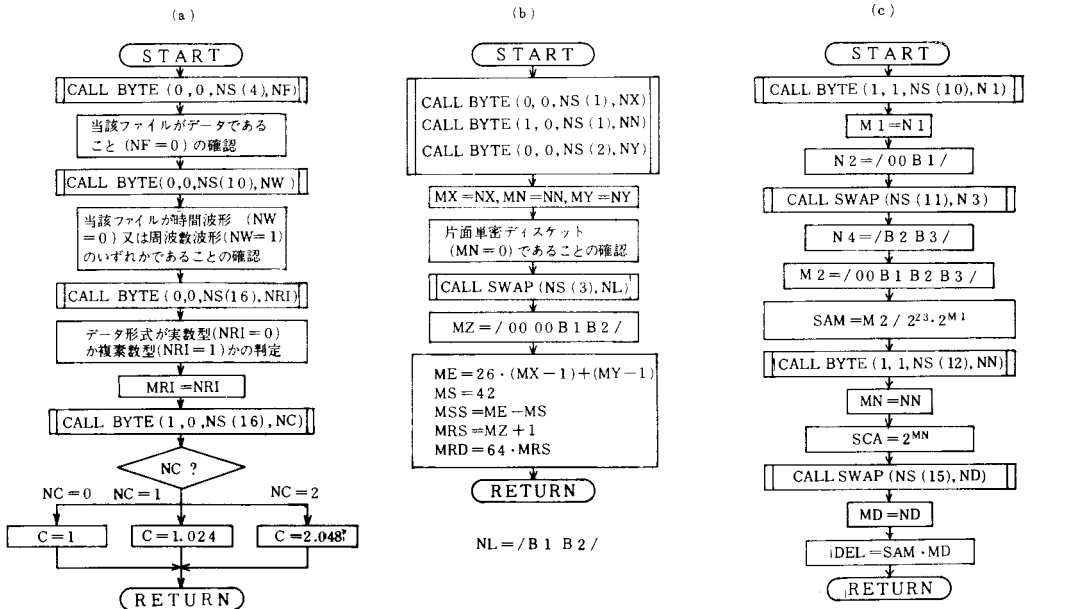


図 5 設定情報読み出しサブルーチン

- (a) SUBROUTINE SETUP1(MR I, C, ILL)
- (b) " SETUP2(MSS, MRS, MRD, ILL)
- (c) " SETUP3(SAM, SCA, DEL)

も同じ配列を宣言し、整合配列とする。

5. MRD……フロッピーの当該ファイルの管理情報より求めたデータ数で、MRD=MDが普通である。
6. MRI……データ形式が実数型のとき0、複素数型のとき1がセットされる。これが1のときのみIRの指定が効果をもつ。
7. SAM……データのサンプル時間(秒)。
8. RCA……データの±フルスケール値。配列Xの値はすでにこれを考慮した実際の値となっている。
9. DEL……波形記録のとき設定したディーレ(遅延)時間(秒)。
10. ILL……サブルーチンより戻ったときの状態がセットされる。ILL=0~9でその意味は後述する。

FORTRAN IV [S]システムでは整変数の長さ(バイト長)が選択できる。本サブルーチン中では、IMPLICIT文によりNで始まる整変数(配列)はすべて2バイト長に指定しており、他は標準の4バイト長である。MFで与えられるファイル番号の管理情報(1/4セクタ=32バイト)は、SUBROUTINE DEFFILにより共通域NSに格納・分析される。SUBROUTINE SETUP1はデータ形式が実数型か複素数型かを判断し、同SETUP2は共通域NSの中から当該データファイルの位置およびデータ数に関する情報を決定する。これに基づき、データは1セクタ(64個)ずつ配列NDにまず読み込まれ、それぞれ上・下位バイトを反転の後、実際の値に変換され、これが読み込みセクタ数(MRS)分繰り返され配列Xに巡次格納される。変換のための情報:SCA(縦軸値)は、SUBROUTINE SETUP3によりSAM(サンプル時間)およびDEL(ディーレ時間)とともに求められる。

図6(a), (b)には各部で共通に利用される2つのサブルーチン:BYTEとSWAPのリストを示した。SUBROUTINE BYTEはある2バイトのバイナリー・データ(NWORD)の上位(MU=0)または下位(MU=1)の1バイトのみを取り出しそれを符号なしの整数または符号付き整数(2の補数表示, MFOSU=1)とみなして再び2バイト長整数(ANS)に戻し出力するものである。80系マイクロコンピュータ(本システムでは8085)では良く知られているように16ビット・データに対し、上・下位バイトが反転する。SUBROUTINE SWAPは主にこれ復元する目的で作られた。両サブルーチンにおいてENCODE, DECODE文が基本的な重要性を持っている。これらは記憶域内での書式によるデータ変換の機能を持つものであるが、JIS FO

```

0001      SUBROUTINE BYTE (MU,MFOSU,NWORD,ANS)
0002      IMPLICIT INTEGER *2 (N)
0003      INTEGER Z0*2/Z0000/,ZF*2 /ZFFFF/
0004      IF (MU.EQ.0) GO TO 10
0005      DECODE (2,100,NWORD) NY
0006      100  FORMAT (1X,A1)
0007      GO TO 20
0008      10  NY=NWORD
0009      20  CONTINUE
0010      ENCODE (2,200,NXL) Z0,NY
0011      ENCODE (2,200,NXU) NY,Z0
0012      200  FORMAT (2A1)
0013      IF (MFOSU.EQ.0) GO TO 30
0014      IF (NXU.GE.0) GO TO 30
0015      ENCODE (2,200,ANS) ZF,NXU
0016      GO TO 40
0017      30  ANS=NXL
0018      40  CONTINUE
0019      RETURN
0020      END

DATA SIZE =      68,PROCEDURE SIZE =      320
NO DIAGNOSTICS GENERATED (BYTE )
END OF COMPILATION (BYTE )

```

(a) SUBROUTINE BYTE

```

0001      SUBROUTINE SWAP (NIN,NOUT)
0002      IMPLICIT INTEGER *2 (N)
0003      DECODE (2,100,NIN) NY,NX
0004      100  FORMAT (1X,A1)
0005      ENCODE (2,200,NOUT) NX,NIN
0006      200  FORMAT (2A1)
0007      RETURN
0008      END

DATA SIZE =      46,PROCEDURE SIZE =      161
NO DIAGNOSTICS GENERATED (SWAP )
END OF COMPILATION (SWAP )

```

(b) SUBROUTINE SWAP

図6 基本サブルーチン BYTE/SWAP

RTRAN 水準 7000 には含まれないものである。なお、図 5 (b), (c) に示される $NL = /B1 \quad B2 /$ などの表記法は 2 バイトの整変数の上位バイトを B1, 下位バイトを B2 にそれぞれ対応させる意味であり、また 00 とあるのは 1 バイトを 16 進数で表現したものである。

3.2 エラー処理

各種のソフトウェアを開発する場合、様々のレベルのエラー発生が想定され、これらに対する適切な処理は不可欠である。特にアセンブラなどの低レベル言語によるソフトウェアや、本システムの例のように本来汎用計算機側でサポートされていない機能を追加するような場合重要となろう。本データ・コンバージョン・ソフトウェアでのエラー処理は、以下に示すように、パラメータ ILL の値を通じて行われる。

(処理が正常に行われたとき)

0 ……MD = MRD のときセットされる。

1 ……MD > MRD のときセットされる。

(処理が正常に行われず打ち切られたとき)

2 ……MD < MRD のときセットされる。

3 ……ファイル番号が物理的に許される範囲 ($1 \leq MF \leq 168$) を超えたときセットされる。

4 ……当該ファイルがデータでない(例えば BASIC プログラムである)ような場合セットされる。

5 ……データが時間軸又は周波数軸データのいずれでもないようなときセットされる。

6 ……データが実数又は複素数データのいずれでもないようなときセットされる。

7 ……縦軸補正が規定のものでないようなときセットされる。

8 ……ディスクットが片面単密度(サイド 0)のものでないときセットされる。

9 ……データの位置決め情報などが物理的限界を超えたときセットされる。

したがって、本サブルーチン副プログラムを呼び出した直後で ILL の値を判定して結果に従う必要がある。比較的発生し易いエラーは 2 または 4 であり、他のエラーはディスクットのハード的破壊などの場合に発生が予測されるが、これらはそれぞれのシステムにおいて OS が事前にチェックする性質のものであろう。各 ILL は、0 ~ 2 が SUBROUTINE SMTOFA で、3 が DEFFIL で、4 ~ 7 が SETUP1 で、また 8 ~ 9 が SETUP2 でセットされるが、図 3 ~ 5 のフローチャート中では省略されている。

§ 4 データ処理の例

本データ・コンバージョン・ソフトウェアの具体的利用例として、超高速過渡現象解析システムから FACOM 上にコンバートされたデータを、高速フーリエ変換 (SSL の FFTS) により周波数分析した結果と本システムの高速演算機能を用いて直接分析した結果をいくつか示す。使用した時系列データは、(1) 2 種正弦波 (96 および 102.4 Hz) の合成波、(2) 短形波 (100 Hz) および (3) 白色雑音波の 3 種類で、それぞれ図 7, 9, 11 に示す。これら原データはシミュレーション波形ではなく、実際に発振器のアナログ出力を用いており エイリアシング現象⁵⁾除去のため、それぞれ適当なシャ断周波数のローパスフィルタを通して記録・分析される (図 9 の短形波でとがりなどが現われるのはこのため、入力波形自体は十分正確な短形波であった)。また分析データ数はいずれも 512 個とし、FFT 処理で問題となる時間窓は短形窓(すなわち、do-nothing window)である。

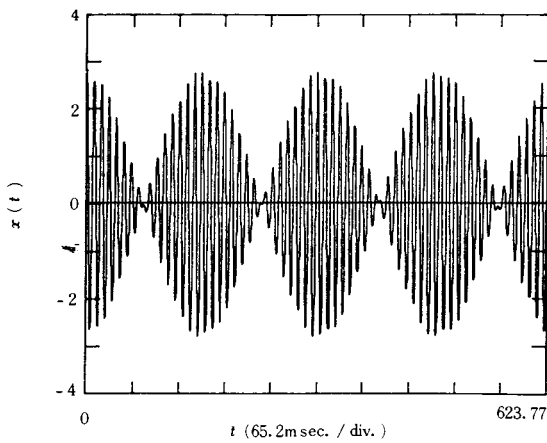


図7 2つの正弦波(96, 102.4 Hz)の合成波形

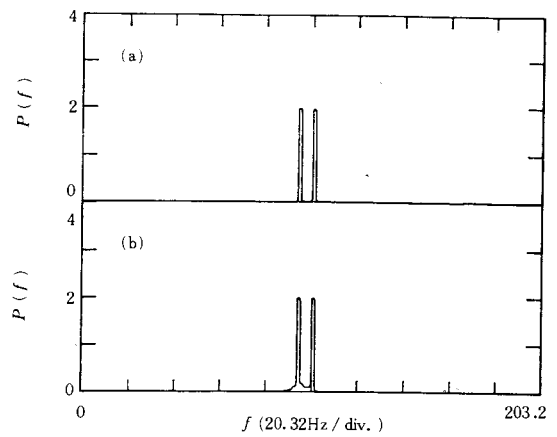


図8 パワースペクトラム(図7の波形)
(a)本システム, (b)FACOM FFT

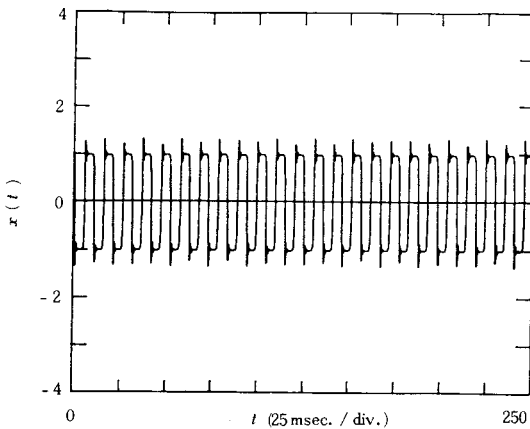


図9 矩形波(アンチ・エイリアシング・フィルタ
で1 KHz 以上を除去したもの)

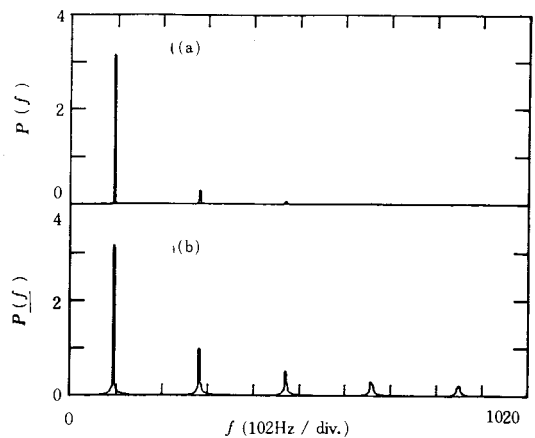


図10 パワースペクトラム(図9の波形)
(a)本システム, (b)FACOM FFT

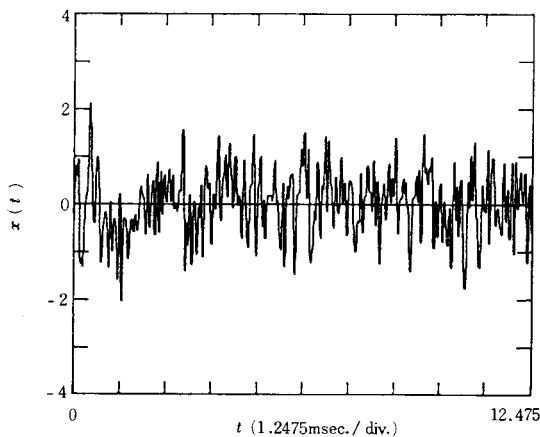


図11 白色雑音波(原波形, RMS=1V)

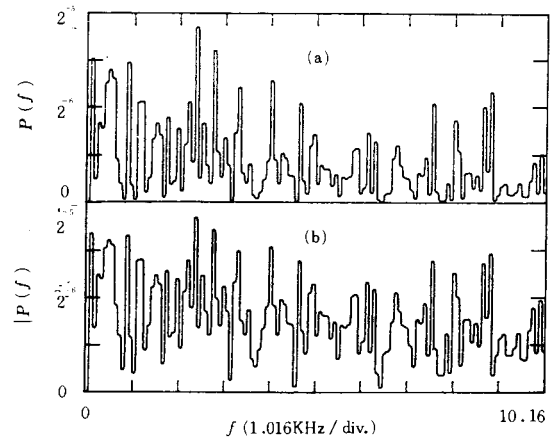


図12 パワースペクトラム(図11の波形)
(a)本システム, (b)FACOM FFT

それぞれのデータに対するスペクトラム分析結果（オートパワースペクトラム）の比較を図 8, 10, 12 に示す。2 種正弦波の合成波に対するパワースペクトラム推定結果の比較が図 8 に示されている。いずれも鋭い 2 つのピークが検出されており、十分な結果であると考えられるが、より詳細に見ると、FACOM FFT による結果（同図(b)）ではスペクトルの裾部分に多少の広がりが見られる。このことは、短形波に対する分析結果（図 10(b)）では一層顕著であり、高調波自身の大きさも異なったものとなっている。白色雑音波は音響測定用の白色雑音発生器の出力から得たもので実効値で 1 V とし、分析には 1 KHz のアンチ・エイリアシング・フィルタを通したデータを利用した。この分析結果を図 12 に示すが、いずれの場合も、出るべきピークの位置は完全に一致しているが、FACOM FFT による結果（同図(b)）では全体的にバイアスが乗ったようなスペクトラムとなっている。これらの原因は、データ処理過程の有効数字の扱いと計算方法の（本質的ではないが）差異に起因するものと考えられる。なお、FACOM による分析結果は、本システムによる結果と比較するためにスペクトラム全体を定数倍して、それぞれの最大値を一致させるようにしている点留意を要する。

以上、本システムによるスペクトラム分析と FACOM FFT による分析結果ともに十分な推定結果が得られることがわかったが、詳細に比較すると、本システムによる分析の方がよりシャープなスペクトル分析が可能であることが明らかとなった。しかし、推定問題の性質上、入力データに対する依存性なども考慮すべきであるので、全体的な優劣を判定することは差し控える。また、周波数分析の処理速度に関しては、FACOM FFT の 5.45 秒（データ数 512 個）に比べ、本システムは専用のハードウェアを備えているため、はるかに高速である。なお、データ・コンバージョン自体の精度は有効数字 5 桁が確保されることがわかり、通常のデータ収集において 3 桁の確保が現実的であることから十分であると考えられる。

§ 5 あとがき

本研究では、電気工学科設置の超高速過渡現象解析システムおよび本校既設電算機 FACOM 230-28 S 間のデータ・コンバージョン・ソフトウェアの開発について報告した。開発したソフトウェアは実際のいくつかの処理例に利用され、十分な性能を持つことが確認された。

今後の一般問題について以下に列記する。

(1) マイクロコンピュータで制御された一般のデータ集録・解析・処理装置又は異った電算機システム間のデータ・コンバージョンは、当面、本システムのようなオフライン処理が現実的であろう。データをコンバートする媒体は、紙テープ・CMT などに比べ、データ・ハンドリングおよび処理速度の点から、フロッピーディスクの利用がはるかにすぐれている。今後デジタル処理を伴う大型機器においては標準フロッピーディスク装置および IBM フォーマットへの変換ソフトウェアの付設が期待される。

(2) 一方、最近の新鋭汎用電算機システムでは通信機能の著しい発達が見られるようになってきている。本校にそのような電算機システムが導入される時には、研究室や実験室からのオンラインによる解析・処理も現実のものとなろう。またそのような要求に対し、現在の様々なパーソナル・コンピュータは RS 232C 通信機能（ハードウェア）をほぼすべて持っているので、便利なソフトウェアの開発を前提に、将来、端末機として使用できるようになると予測される。

(3) 今回開発したデータ・コンバージョン・ソフトウェアはフォートランで書かれているが、データのコンバートのための所要時間は比較的短かく実用上差支えない程度であった。しかし、より高速化の要求が起った場合、ソフトウェアを FASP（アセンブラの一種）で開発することも重要となろう。

(4) 本ソフトウェアでは、超高速過渡現象解析システム側のファイル管理方法の制約から、フロッ

ピー上には4の倍数のファイルが存在することが必要である。そうでないときは、ダミーのファイルを適宜追加する必要がある。FACOMのIOCS(input-output control system)まで立ち入ることにより、特別のソフトウェアを開発してこの点を解決する可能性はあるが、現段階では見通しが立たない。

(5)本ソフトウェアによると、利用者がそのメインプログラム中で用意すべきデータ格納用配列の大きさ(MD)が、当該ファイルの管理情報中に書き込まれているデータ数(MRD)に等しいかそれ以上($MD \geq MRD$)でないと、異常リターン(I L L = 2)となり機能しない。現段階ではコンバートするデータ数は単精度実数型で512, 1024, 2048, 4096個の4種類のいずれかであることを想定している。従って、1ファイルに上記をはるかに越える数のデータ(本システムでは、最大64000個のデータの連続記録が可能)を記録したような場合、FACOM側のユーザー領域の制限もあって、その一部だけを選択してコンバートすることは不可能なソフトウェアの設計となっている。もしそのような必要が生じた場合、これに対する修正は本質的な困難を伴うものではない。

(6)今回開発したソフトウェアは、本システムからFACOMへのデータ・コンバージョンを達成するのが目的であった。一方、逆にFACOMによる処理結果を本システムにコンバートすることも重要となろう。これについても本質的な困難はない見込みである。

なお、本データ・コンバージョン・ソフトウェア(サブルーチン名:SMT OF A)の具体的利用方法等については、電算機室ニュースにプログラム例とともに掲載するので参照されたい。

本システム導入のために格別のご援助を頂いた本校電気工学科教官各位、ご討論頂いた建築学科門前勝明氏に深謝する。また本システム・フロッピーディスク装置のファイル管理方法等詳細仕様については大阪岩通電子㈱・岩崎通信機㈱の関係各位のご教示に負うことを付記して謝意にかえる。

文 献

- (1) 岩通㈱編: DMC-2460S FLOPPY DISK RECORDER 取扱説明書(1980).
- (2) 富士通㈱編: FACOM 230 BOS/VS コンバートユーティリティ使用手引書(1976).
- (3) 富士通㈱編: FACOM 230 FORTRAN IV 文法書(1976).
- (4) 富士通㈱編: FACOM 230 BOS/VS FORTRAN IV [S] 使用手引書(1976).
- (5) 日野: スペクトル解析, 朝倉書店(1977).

(昭和56年4月15日受付)

LKIT-16 マイクロコンピュータ・ソフトウェアシステムの開発 (第1報)

— 拡張命令用逆アセンブラ —

(電気工学科) 吉 野 信 行

(日立西商品サービス) 高 木 純 一

A Development of a Software System on the LKIT-16 Micro-Computer System (I) — A Reverse-Assembler for the extended Instructions —

Nobuyuki YOSHINO
Junichi TAKAKI

In the previous paper, we reported the extended instructions for the LKIT-16 micro-computer system (HITAC-10 SPA Emulator). The software architecture of those extended instructions are so simple that even beginners with less experiences of a micro-computer can be accessible to the developed instructions.

The software development of an assembler language is very important, but we study a reverse-assembler as a priori step of the LKIT-16 software developments. This paper describes a detailed software system of the reverse-assembler. The hexa-decimal dump lists and the memory maps of the reverse-assembler system are attached to the Appendixes.

§ 1 緒言

LKIT-16上に開発した拡張命令^{1),2)}(HITAC-10エミュレータ)は、1ワードの Technical Machine Language (以下、TML 語と略記)で構成され、番地修飾形命令と非番地修飾命令の2種類に大別される。TMLコード(以下、TMLCと略記)は、2進数で4ビット毎に区切り、簡単にメモリに格納することができ、また、TMLを見て手書で、すぐにアセンブラ(HITAC-10SPA)³⁾に直すこともできる。このようにTML言語は、アセンブラ命令と機械語が即座に対応できるので、アセンブラ語(TMLコンパイラ)がなくても、ソフトウェアの開発・デバッグが簡単にできるという特徴をもっている。しかしながら、開発しようとするソフトウェアプログラムが長くなるとTMLCのリストのみでは、プログラムが正しくメモリに入っているかの確認、相対番地計算などの誤りのデバッグが困難である。

このような背景から、筆者等は、TML用逆アセンブラ(以下、TML・Reverse Assemblerと略記)を開発した。本TMLRA逆アセンブラを使用することによって、ソースプログラムの入っているメモリの内容を全部逆アセンブルしリストをとれば、リストのプログラムを追うことにより簡単にプロ

グラムの誤り、もしくは入れまちがいを発見することができる。このとき、データあるいは、定数領域の内容もTMLRAとして逆アセンブルされるが、これは、プログラムの前後関係より容易に判断することのできるもので問題はない。また、ソースプログラムのデバッグにおいては、命令コードによって最終的に指定される番地がどこかを表示するので、相対番地の計算ミスなどの訂正にも有効である。

本文では、TMLAR逆アセンブラプログラムの概要、そのフロチャート、使用法及び逆アセンブラリストの例を示し、付録に、TMLRA逆アセンブラの機械語リスト及びメモリマップを示した

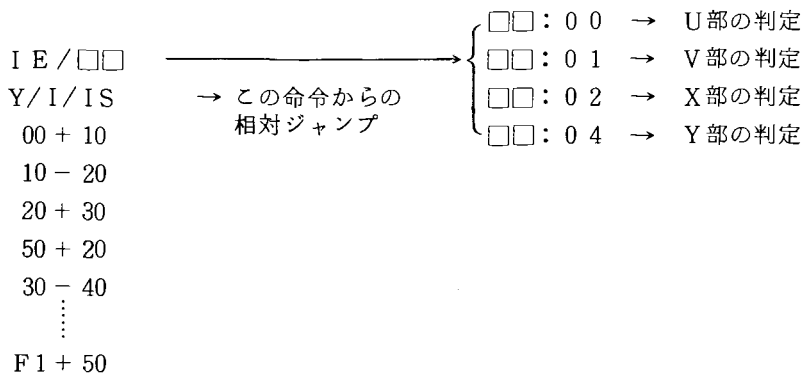
§2 TMLRAプログラムの概要

TMLRAのプログラムは、大きくわけて、命令種類判別ルーチン、文字表示ルーチン、スペース表示ルーチン、逆アセンブラ文字表示ルーチン及び逆アセンブラコントロールプログラムにより構成されている。

2.1 命令種類判別ルーチンIS (3729 ~ 375A番地)

このサブルーチンは、逆アセンブルしたい番地の内容をASEN0(002A番地)に格納し、その内容のU、V、X、Y部のどれかをECレジスタによって指定し命令部、番地修飾部、番地部の解析を行なうプログラムである。ISルーチンの呼び出し列を以下に表す。

呼び出し例



このプログラムにおいて、IE命令 (Immediate EC) の/の後の00からの04は、逆アセンブルされる内容の、命令部(U)、番地修飾部(V)、番地部(X・Y)の判定をするための定数を示す。次に呼び出し命令Y/I/IS以下の内容は、図2.1に示す内容をもつ定数で、逆アセンブラプログラムのASE0(00A2番地:被逆アセンブル命令の番地)のU、V、X・Y部のどれかをECレジスタによって指定し、定数部の内容Cまたはv部の条件成立によりa番地宛(+), a番地前(-)に相対ジャンプさせるための定数である。図2.1のv部が0のときは、U、V、X・YとC部が一致しなければ、条件は成立しない。v部が1のときは、U、V、X・YとC部を比較して、一致するからC部の方が小さければ条件成立となる。ISルーチン実行後の各レジスタの内容は、次のようになる。

000 □ → AC
 ↑ [EC]で指定したU、V、X・Yの
 どれかが入る。

EC: 0000 になる。

CAR: v=1 のとき変化する。

IR (インデックスレジスタ): 変化する。

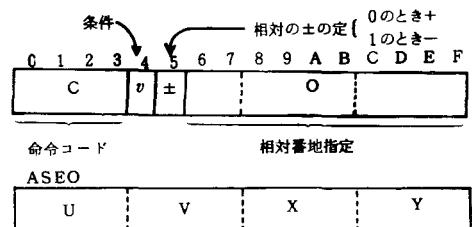


図2.1 相対番地指定及びASE0の構成

2.2 文字表示ルーチンWW (375F ~ 376F番地)

このサブルーチンは、Y/I/WW命令の次に並んでいる6ビットコードを順に、テレビに表示あるいは、プリンタに印刷するプログラムで、文字コードは、図2.2に示すように1語の中に、2文字分の内容が入っている。この内容において0ビット目または8ビット目が1であれば、文字表示の終りを示す。

▼ WWルーチン実行後の各レジスタの内容は、次のようになる。

CRA, AC, EC: 変化しない。

IR : 変化する。

2.3 スペース表示ルーチンSPD (3773 ~ 3778番表)

このサブルーチンは、ECレジスタの内容の数だけスペースをテレビに表示するとともに、プリンタに印刷するプログラムである。

SPDルーチンの呼び出し列を以下に示す。

IE/05 →スペースの数の指定

Y/I/SPD

SPDルーチン実行後の各レジスタの内容は、次のように変化する。

AC: F700が入る。

CAR, EC: 変化しない。

IR: 0000になる。

2.4 逆アセンブラ文字表示ルーチンASEN (377A ~ 3ABA番地)

このサブルーチンは、ASEN0 (002A番地)の内容をTMLRAとして逆アセンブルし、図2.3のように表示するとともに、プリンタに印刷するプログラムである。また、メッセージの表示も行う。

図2.3のメッセージ表示欄には、TMLAのうちオペランドのあるものは、その命令が最終的に示す番地まで順に表示される。ただし、ラベル指定の命令は、"LABEL FF□□"または"LABEL FF□□

I"または、"LABEL FF□□ 2I"または"LABEL FF□□ 3I"と表示される。TMLAのうちオペランドのないもの(たとえばTB/, E/などは、TMLCが16進数で表示される。

ただしラベル(LB/)は"LABEL"という表示が行なわれる。このプログラムの詳細は、3章でのべる。

2.5 番地入力ルーチンREC (3601 ~ 362C番地)

このサブルーチンの中には、RELルーチン(3610 ~ 362C番地)が含まれている。RELルーチンでは、キーボードから1文字読み込んでそれが0 ~ 9, またはA ~ Fの文字であるかどうかの判定をする。この中のどれかの文字であれば、RECを呼び出した命令の5番地前にジャンプする。RELルーチンの方では、RELルーチンを4回呼び出して、番地をキーボードから読み込み、ACレジスタに番地を作ってからリターンする。

2.6 番地表示ルーチンADRC (370D ~ 373番地)

このルーチンは、スペースを3文字と、ポインタASC4 (00A8番地)の内容の表示を行うプログラムである。

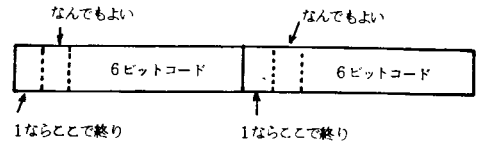


図2.2 メモリーの中の文字構成

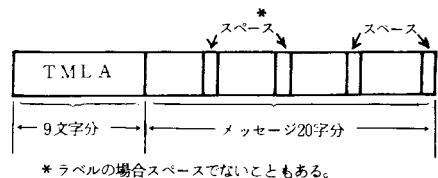


図2.3 逆アセンブラの形式

2.7 機械語表示ルーチンTMLC (3714~371A番地)

このルーチンでは、次に逆アセンブルする番地とその内容を表示し、スペースを3文字表示させるプログラムである。

2.8 ラベル表示ルーチンLABEL (371B~3718番地)

このルーチンは、ラベル欄に、ラベル表示をさせるプログラムで、キーボードから1文字読み込み、それがスペースかどうかを判定し、スペースであれば6文字分のスペースを表示し、スペースでなければ、4文字のラベルをキーボードから読み込みそれを表示するプログラムである。

§3 逆アセンブラ文字表示ルーチンASENの詳細

このサブルーチンは、2.4節でのべたように、ASEN0(00A2)の内容をTMLCとして、逆アセンブルしTMLAをテレビや放電プリンタに表示させるプログラムであり、ASENプログラムの中には、サブルーチンとして、TMLRAの文字の表示用バッファとしてASD、バッファに記憶された文字の表示用としてASDWのルーチンがある。次に、ASENルーチンの内容について説明する。

3.1 ASD(3797~37B0番地)及びASDW(3789~378D番地)ルーチン

ASENルーチンが実行されると、まず文字表示用バッファ(37A8~378D番地)が、377A~3787番地のプログラムによってすべてクリアされる。ASDの呼び出し列、その他は文字表示ルーチンとまったく同様である。ただ違う点は、ASDの場合は、テレビや放電プリンタには表示されず、文字表示用バッファに6ビットコードが記憶されている。ASDWのルーチンは、文字表示用バッファに記憶されている6ビットコードをすべてテレビや放電プリンタに表示するプログラムである。

3.2 ASEN3ルーチン(37B3~37C4番地)

このサブルーチンは、TMLCのU部の判定を行い各命令の表示プログラムへジャンプするプログラムである。37C5~3803番地では、オペランドのある命令のTMLASの文字の1部がバッファに書き込まれる。3806~38E8番地では、各命令の番地修飾と指定番地のバッファへの書き込み、および表示を行う。また、各命令によって最終的に指定される番地が、メッセージとして表示される。

3.3 XYルーチン(386E~3883番地)

このサブルーチンは、ASEN0のX・Y部を6ビットコードに変換してバッファに書き込むプログラムである。

3.4 XYDルーチン(38DF~38E8番地)

このサブルーチンは、ECレジスタの内容によって指定されたASEN0のX部あるいはY部の内容を6ビットコードに変換し、その文字をテレビまたは放電プリンタに表示するプログラムである。

3.5 TBルーチン(3BE9~3960番地)

このサブルーチンは、ASEN0に入っているTMLCのV部の判定を行い、TB/, SB/, RB/, Q命令、DC・(DS)をテレビまたは放電プリンタに表示するプログラムである。

3.6 Eルーチン(3969~398D番地)

このサブルーチンは、ASEN0の内容 E/, G/, F/, H/, ED/, GD/, FD/, HD/, DS の表示をテレビまたは放電プリンタに表示するプログラムである。

3.7 2進数表示ルーチン(3991~39BD)

このサブルーチンは、ASEN0の内容を2進数で出力するプログラムである。オペランドのない命令(たとえば、QZ/, WCなど)は、ほとんどこのルーチンをサブルーチンとして呼び出すので

はなく、単にブランチしてくるだけなので、このルーチン実行後は、RTによって ASENを呼び出す命令の次の番地へ戻っていく点に留意の必要がある。

3.8 NOルーチン (39BE~3ABA番地)

このサブルーチンは、Q/, HALT/, DO, DM, DC, FS, WL, WC, RC, RM, IR, IE, PH, PP, RT, LB/ の各命令を判定し、テレビまたは放電プリンタ上に表示するプログラムである。

以上2章・3章の各サブルーチンプログラムのブロックチャートを図3.1に示す。

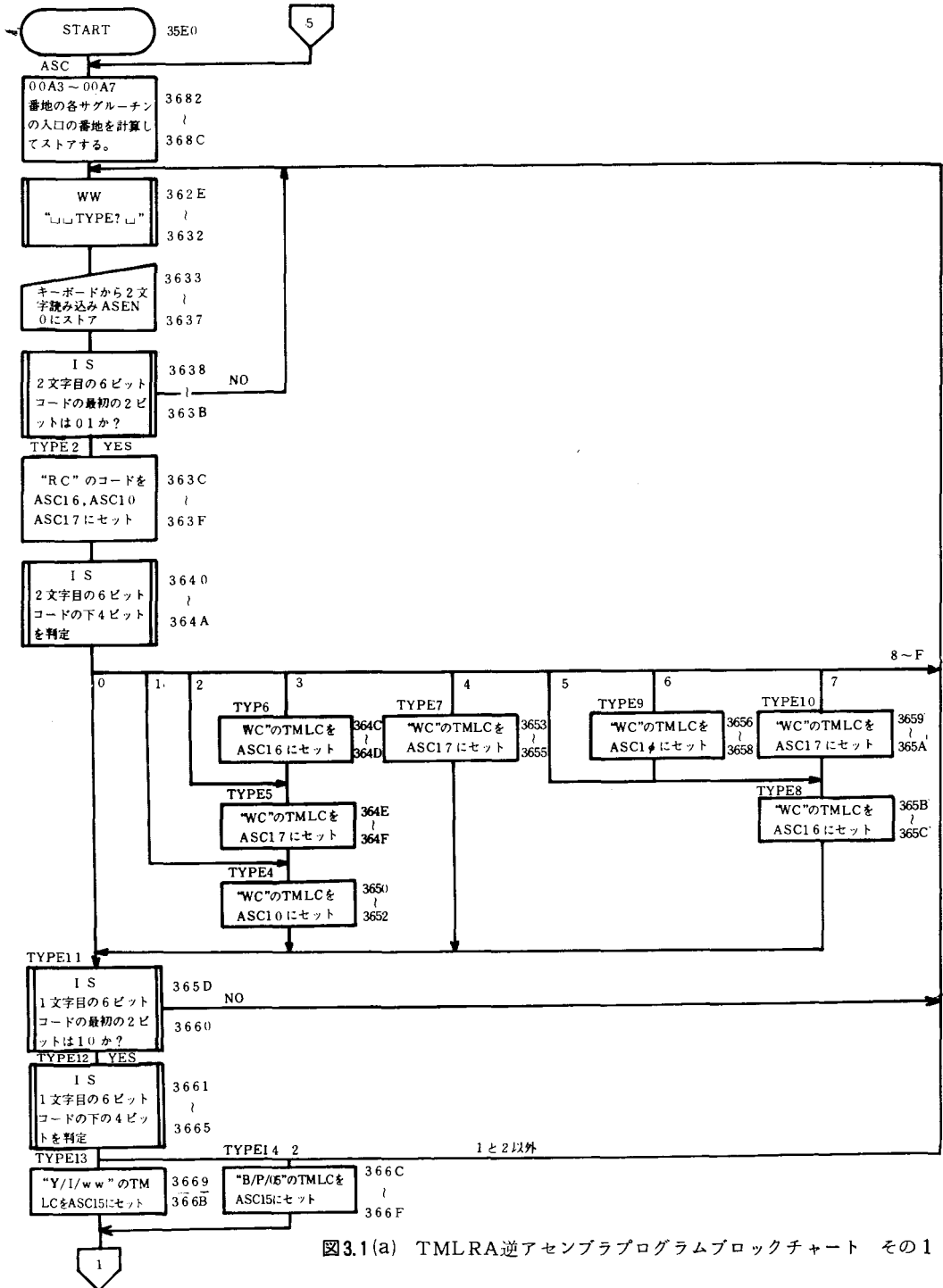


図3.1(a) TMLRA逆アセンブラプログラムブロックチャート その1

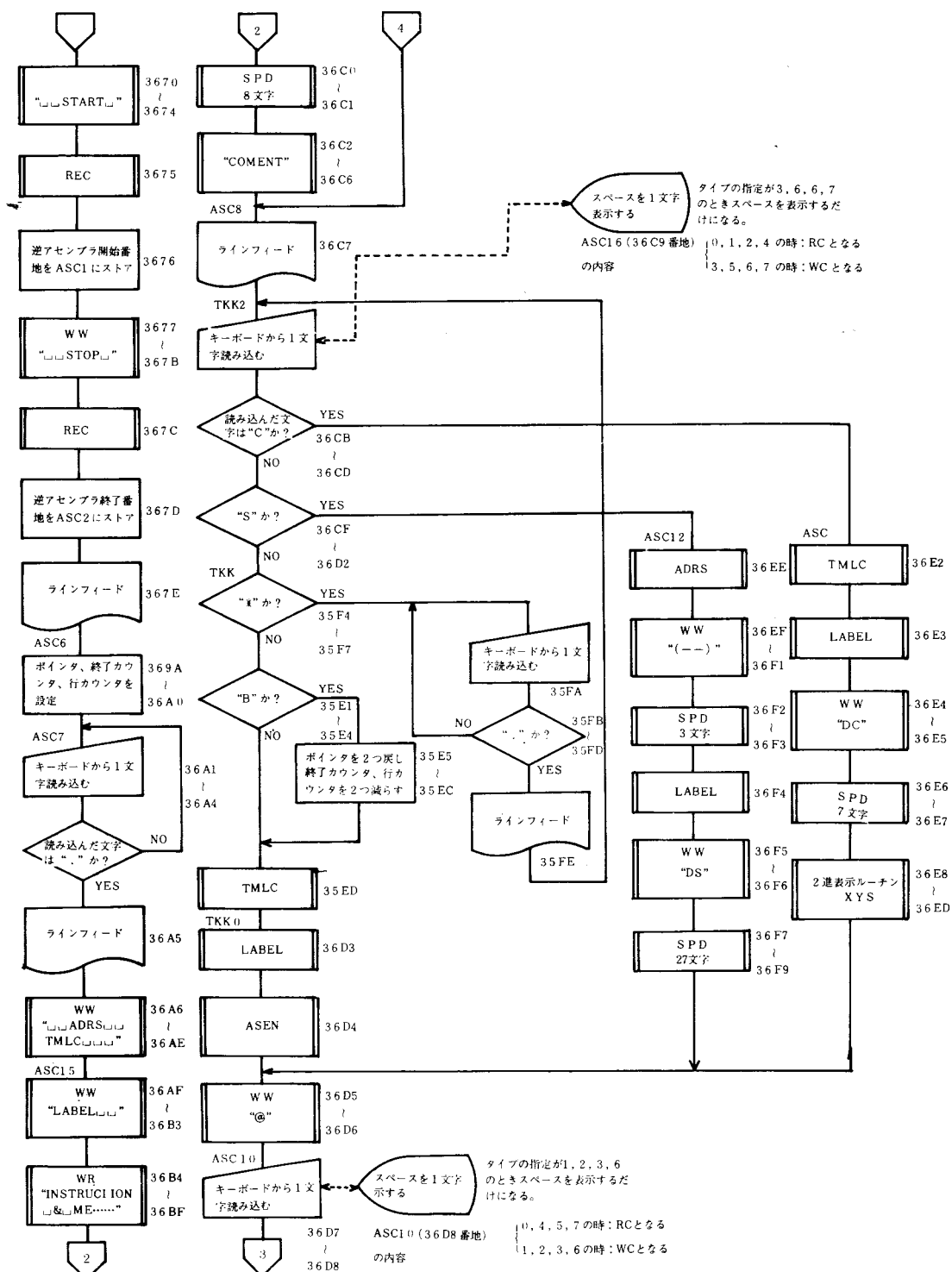


図3.1(b) TMLRA逆アセンブラプログラムブロックチャート その3 その2

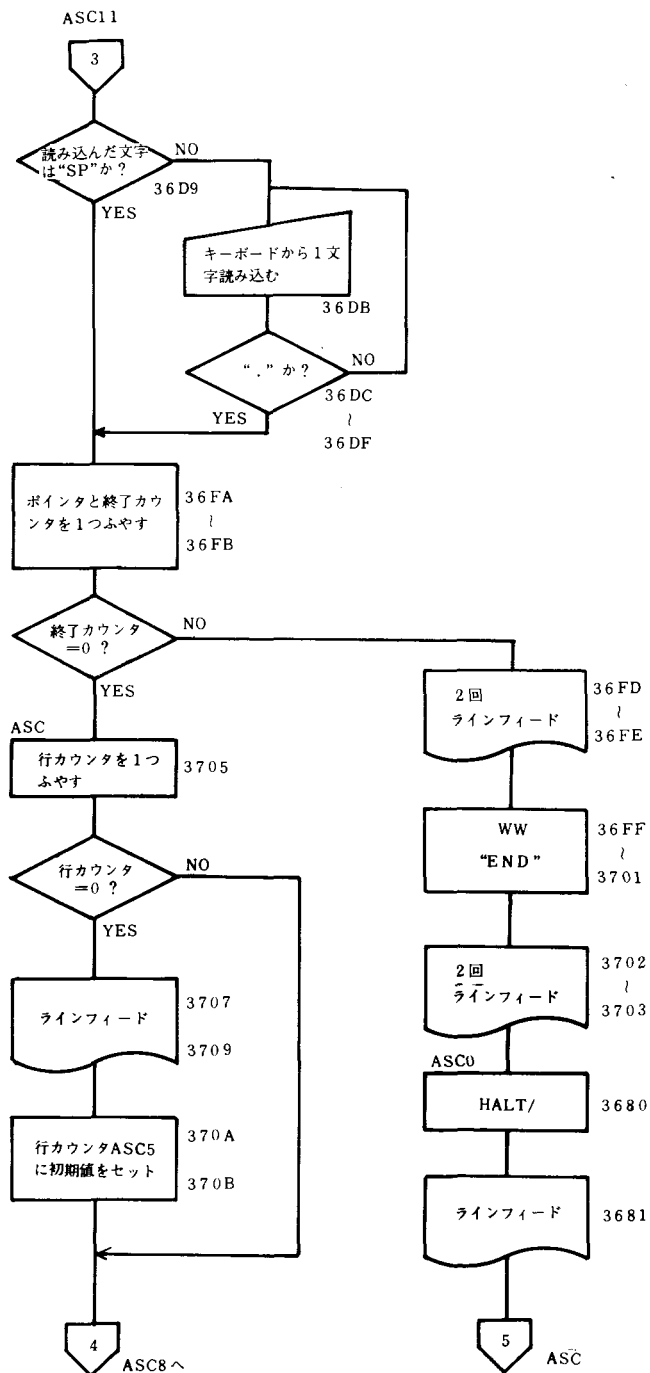


図3.1(c) TMLRA逆アセンブラプログラムブロックチャート その3

§ 4 TML C出力形式

逆アセンブラの出力のフォーマットは、基本的に図4.1のようなになる。この図の場合、放電プリンタ（1行80文字）を基本にしているので、テレビ画面の表示（1行40文字）は、2行にわたって印字

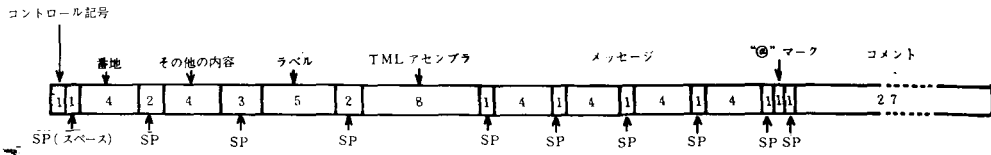


図4.1 逆アセンブラの出力形式

される。図4.1において、コントロール記号というのは、ここでキーボードから入力される文字によって次に表示される番地の内容が、データ領域あるいは定数であるかなどの指定を行なうことを示す。その詳細については、5章の使用法のところで述べる。ラベルの欄では、キーボードから文字が書けるので任意のラベルを書くことができる。TMLアセンブラの欄には、コントロール記号のところで特に指定しない限り、番地の内容をTMLCとしてTMLAに変換したものが書かれる。このとき、命令語に変換できないものは、すべてDC（定数）として“DC”という記号が書かれる。

メッセージの欄には、TMLAのうちオペランドのあるものは、その命令によって指定される番地が表示される。ただし、ラベル指定の命令の場合は“LABEL FF00”とか“LABEL FF00 2I”という表示をする。これはラベル“FF00”をまず指定するというメッセージである。“2I”というのがついているのは、ラベル指定した番地からさらに2回間接番地指定をするというメッセージである。その詳細については、文献1のアドレスシングに書いてある。コメント欄には、キーボードから任意の文字を書き込むことができる。TMLRAのうちオペランドのないものは、TMLCが2進数で表示される。

§ 5 TML RA の使用方法

TMLRA逆アセンブラのプログラムは、カセットテープに保存されているのでLKIT-16のメモリにプログラムをロードしなければならない。（ロードの方法は、LKIT-16 ニーザーズマニュアルP.30のプログラムのカセットテープからの格納を用いる）テープからのプログラムをロードするとLKIT-16の（35E0番地）から（3ABA番地）までにTMLRAのプログラムが格納される。また、00A0番地から00A8番地は、ワーキング定数として使用するので、被開発中のプログラムは、この領域を使用することはできない。

TMLRAを実行させるには、プログラムの最初の番地（ここでは、35E0番地）からのプログラムの実行を開始する。以下LKIT-16のキーボードの操作方法について説明する。

まず最初に、**[B]** **[FUNC]** のキーを続けて押す。次に、**[4]** **[0]** **[SET ADRS]** とキーを押して0040番地をアドレスセットする。次にTMLRAの最初の実行番地**[3]** **[5]** **[E]** **[0]** を40番地に格納する。（**[3]** **[5]** **[E]** **[0]** **[STORE]**）でTMLRAのプログラムを実行開始する。

次に、**[RUN]** のキーを押すと、テレビ画面と放電プリンタ上に“TYPE?”という文字が表示される。ここで、TMLRAの出力フォーマットには、AタイプとBタイプとがあり、次によりこまれる文字によってそのタイプを指定する。Aタイプは、ラベルを書く欄があるもので、Bタイプを指定するとラベルを書く欄が省略されて次にくる命令やメッセージ及びコメント欄はラベル欄がなくなった分だけ前の方へつめて表示される。“TYPE”が表示されたらキーボードより“A”か“B”を指定する。つまり**[A]** または **[B]** のキーを押す。

次に、タイプの指定には、もう1つあり、これは0～7の数字キーを押すことにより指定する。

[0] ～ **[7]** のうちどれか1つを押す。0から2の指定の内容を以下に示す。

表 5. タイプの指定

TYPE?	例	コントロール命令	ラベル欄	コメント欄
A0	TYPE? A0 START 3600 STOP 3610	読み込まれる └───┘	読み込まれる └───┘	読み込まれる └───┘
A1	TYPE? A1 START 3600 STOP 3610	" └───┘	" └───┘	無視される →
A2	TYPE? A2 START 3600 STOP 3610	" └───┘	無視される →	" →
A3	TYPE? A3 START 3600 STOP 3610	無視される └───┘	" →	" →
A4	TYPE? A4 START 3600 STOP 3610	読み込まれる └───┘	" →	読み込まれる └───┘
A5	TYPE? A5 START 3600 STOP 3610	無視される →	読み込まれる └───┘	" └───┘
A6	TYPE? A6 START 3600 STOP 3610	" →	" └───┘	無視される →
A7	TYPE? A7 START 3600 STOP 3610	" →	無視される └───┘	読み込まれる └───┘
B0	TYPE? B0 START 3600 STOP 3610	読み込まれる └───┘	ラベル欄が 表示されない	" └───┘
B1	TYPE? B1 START 3600 STOP 3610	" └───┘	"	→
B2	TYPE? B2 START 3600 STOP 3610	" └───┘	"	" →
B3	TYPE? B3 START 3600 STOP 3610	無視される →	"	" →
B4	TYPE? B4 START 3600 STOP 3610	無視される └───┘	"	読み込まれる └───┘
B5	TYPE? B5 START 3600 STOP 3610	無視される →	"	" └───┘
B6	TYPE? B6 START 3600 STOP 3610	" →	"	無視される →
B7	TYPE? B7 START 3600 STOP 3610	" →	"	読み込まれる └───┘

0の指定：TMLRAのプログラムは、コントロール命令、ラベル、コメントをキーボードから読み込む。

1の指定：TMLRAのプログラムは、コントロール命令、ラベルだけをキーボードから読み込む。

2の指定：TMLRAのプログラムは、コントロール命令だけを読み込みラベル、コメント欄には何も書かれない。

上記した指定の他、3～7の指定については、A、B及び0～7までを表5にまとめて示す。以上の2つのキーを押してタイプを指定するとテレビ画面上には、“START”が表示される。

次に、逆アセンブルしたいプログラムの最初の番地をキーボードにより指定する。たとえば、1000番地から逆アセンブルする時には、 と押す。するとテレビ画面には“STOP”と表示される。

次に、プログラムの逆アセンブルの終了番地をキーボードより指定する。たとえば、1100番地までなら のキーを押す。キーを押し終ると改行される。以上の過程でキーを押しまちがえたり、変更したいといったときには、最初からやり直す。このときは、タイプの指定でA、Bまた0～7以外のキーを2つ押し終ると“TYPE”が再び表示され、タイプ指定からキー操作をする。また逆アセンブル開始番地の指定のやり直しのときは、0～7以外のキーを押すとすぐ“START”と表示されて再び番地の指定をする。終了番地についても同様である。

タイプの指定、逆アセンブル開始番地、終了番地のキーインが終ると次の行からプログラムのタイトルなどをキーボードにより自由に書くことができる。このとき、 と のキー以外ならどのキーを押してもかまわない。キーボードからの書き込みを終わりたいときは、 のキーを押す。すると自動的に改行され、テレビ画面上に

```
ADRS  TMLC  LABEL  INSTRUCTION & MESSAGE
COMENT
```

という文字が表示される。ただし、テレビ画面上では40文字で1行なので、2行にわたって表示されることになる。このとき、テレビのカーソル線は次の行の一番最初を示している。ここには、次にキーボードから読み込むコントロール記号が表示される。コントロール命令には、“C”、“S”、“*”、“B”、“その他のキー”の5種類がある。それぞれの内容は、次に示す機能をもっている。

のキーを押した場合：次の番地の内容は DC(定数)として扱われる。

のキーを押した場合：次の番地の内容は DS(変数)として扱われる。

のキーを押した場合：今出力されている番地の1つ前の番地を出力する。ただし、この場合コントロール命令を与えることはできないので、そのまま逆アセンブルする。

のキーを押した場合：次の文字からキーボードによる書き込みができる。このとき“LF”、“STOP”、“.”、のキー以外ならどのキーを押してもかまわない。

のキーを押した場合：キーボードによる書き込みの終了を示す。

上の5つのキー以外(ただし“STOP”キーを除く)を押したときは、次の番地の内容はTMLCとして逆アセンブルされる。この場合スペースキー を押せば、リストがみやすくなる。

コントロール命令を入力し終ると、番地とその内容を表示してカーソルは、ラベル欄の最初に止まる。

```
ADRS  TMLC  LABEL  INSTRUCTION.....
1000  0401  -      カ-ソル
```

ラベル欄は、5文字分とってあるからキーボードより5文字読み込んでテレビ画面に表示あるいは放電プリンタに印刷することになる。キーはどのキーでもかまわないが、“STOP”、“LF”のキーは、押さない方がよい。また、最初の文字が“SP”であるとラベル欄は、無視されすぐ次のINS

TRUCTION & MESSAGE の欄の表示を行うのでラベルを書かないときは、スペースキー“SP”を押す。

ラベル欄の5文字を読み込むと次の INSTRUCTION & MESSAGE 欄の表示を行ってコメント欄でカーソルが止まる。すなわち、次のようになる。

ADRS	TMLC	LABEL	INSTRUCTION & MESSAGE	COMMENT
1000	0401	ABC	B/IP/01 1001 1200	@ — カーソル

このとき“STOP”、“SP”、“LF”以外のキーを押すと、次の文字からキーボードにより自由にコメントを書かせることができる。コメントは“STOP”、“SP”以外ならどのキーを押してもかまわない。書き込みを終了したいときは FUNC キーを押す。すると、自動的に改行されて次の番地の処理に移る。あとは以上の操作を繰り返すことによってプログラムリストを取ることができる。

逆アセンブラ終了番地の実行が終ると、“END”という文字が表示されHALT/ がかかって、TMLRAプログラムは停止する。このまま他の番地の逆アセンブルをしたいときには、そのまま RUN キーを押すと再び“TYPE?”と表示されて最初から実行することができる。

このTMLRAでは、15行の逆アセンブルを行うと自動的に1行分間をあけるようになっている。もし行数を変更したいときは、TMLRAのプログラムの3694番地、0C07の内容を変更すればよい。ただし、0C07の内容は頁の数でなくてはならない。もし1行もあけたくない場合は、3707から3709番地までの内容をノーオペレーション命令(Q/)に変更すればよい。また、この3つのメモリ内容をライトラインフィード(WL)と(Q/)に変更すれば、ラインフィードの数も変更することができる。図5.1に、TMLRA逆アセンブラの一例を示す。このプログラムは、“KUREKOSEN BANZAI”をテレビ画面及び放電プリンタに表示させるためのプログラムである。このプログラム中の各命令は文献1に詳細に説明してある。図5.2に、TMLRA逆アセンブラ使用方法のフローチャートを示す。

TYPE? AB START 1100 STOP 111E

**** KUREKOSEN BANZAI O KAKASERU ****

ADRS	TMLC	LABEL	INSTRUCTION & MESSAGE	COMMENT	ADRS	TMLC	LABEL	INSTRUCTION & MESSAGE	COMMENT
1100	F600	HL	1111 0110 0000 0000	#	110F	F600	HL	1111 0110 0000 0000	#
1101	3611	L/L/11	LABEL FF11	#	1110	F100	HALT/	1111 0001 0000 0000	#
1102	2000	T/D/00	0000	#	1111	FF11	LB/11	LABEL	#
1103	3622	L/L/22	LABEL FF22	#	C 1112	1115	DC	0001 0001 0001 0101	#
1104	2001	T/D/01	0001	#	1113	FF22	LB/22	LABEL	#
1105	FF33	LB/33	LABEL	#	C 1114	0000	DC	0000 0000 0000 1010	#
1106	3100	L/I/00	0000 111F	#	C 1115	0000	DC	0000 0000 0000 0000	#
1107	D500	GD/00	1101 0101 0000 1000	#	C 1116	2025	DC	0010 1011 0011 0101	# K,U
1108	F700	MC	1111 0111 0000 0000	#	C 1117	3225	DC	0011 0010 0010 0101	# R,E
1109	D400	ED/00	1101 0100 0000 1000	#	C 1118	202F	DC	0010 1011 0010 1111	# K,O
110A	F700	MC	1111 0111 0000 0000	#	C 1119	3325	DC	0011 0011 0010 0101	# S,E
110B	0000	C/D/00	0000	#	C 111A	2E00	DC	0010 1110 0000 0000	# N,U
110C	F301	DM/01	0001	#	C 111B	2221	DC	0010 0010 0010 0001	# B,A
110D	0633	B/L/33	LABEL FF33	#	C 111C	2E3A	DC	0010 1110 0011 1010	# M,Z
110E	F600	HL	1111 0110 0000 0000	#	C 111D	2129	DC	0010 0001 0010 1001	# A,I
					C 111E	0000	DC	0000 0000 0000 0000	#
					END				

図5.1 TMLRA逆アセンブラの例

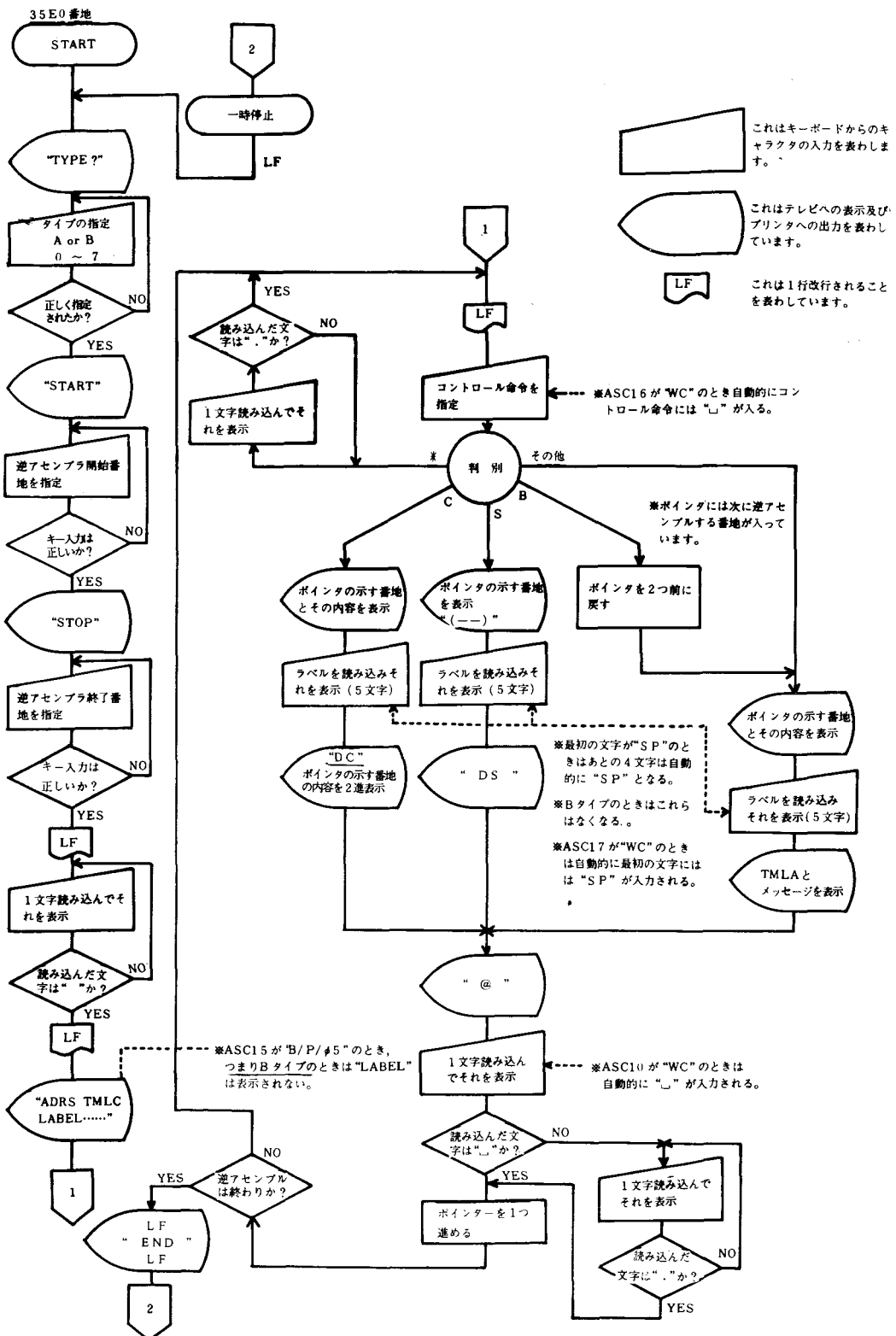


図5.2 TMLRA逆アセンブラコントロールブロックチャート

§ 6 結言

本 TMLRA 逆アセンブラの開発により, LKIT-16 の拡張命令を用いた各種ソフトウェアシステムの開発・移植が容易になった。特に, TMLRA 表示の内容は, 各命令によってできるだけ詳細な情報を表示させているので, 各種プログラムの内容を理解するのに有効であると考えられる。今後は, 拡張命令を用い LKIT-16 のソフトウェア開発に利用したい。また, 本校におけるマイクロコンピュータのソフトウェア教育 (電気工学科 1・4 学年, 機械工学科 4 学年) の充実に寄与する予定である。

謝辞

本 TMLRA 逆アセンブラプログラムの開発に御協力頂いた坂井・木村技官, 町田勝吉氏 (電算機室), また, 平素色々と御鞭達を頂く原田教授, 糸島教授に深謝の意を表す。

文 献

- 1) 山之上, 高木, 吉野, 阿江: 「LKIT-16 による FORTRAN システム」, インターフェース, No. 37, P. 84, (昭 55)
- 2) 山之山, 吉野, 高木, 太田: 「LKIT-16 による HITAC-10 エミュレータと 付属プログラムの開発」, 電気四学会中国支部連合大会講演論文集, No. 82308, P. 152, (昭 55)
- 3) 島内剛一: システムプログラムの実際, サイエンス社 (昭 47)

(昭和 56 年 4 月 15 日受付)

付録

本 TMLRA 逆アセンブラプログラムの 16 進ダンプリスト (本来は, TMLRA 表示によるアセンブラリストを掲載するべきであるが, 頁数の関係で割愛した) 及びメモリマップを図 A. 1, 表 A. 1 に示す。

35E0	0202 304F 8200 C30C 0209 F308 F308 32B1	3718	F803 11A5 FE00 D110 F000 C308 0208 F000
35E8	8208 220F 320F 8205 220D 12F3 FE00 0022	3720	F000 F000 F000 F002 11A5 FE00 FB06 11A5
35F0	0002 0001 000E 000A 304F 8302 C308 0203	3728	FE00 D410 C00F 0207 C00E 0208 C000 0209
35F8	1317 020A F000 8309 C30C 0303 F600 0209	3730	30A2 0209 30A2 0004 0206 30A2 0000 0203
3600	F000 120F 2200 1200 D104 620A 2209 1209	3738	30A2 000C D10C 221E FA00 FA50 FA20 FA71
3608	D108 6206 2205 1205 D10C 6202 FE00 35F0	3740	D50B C00F C10A D101 0215 D20B C300 0309
3610	F000 20A2 FB02 11A3 1004 200A FB15 FB04	3748	FA60 F34F D110 D401 C30C 0206 D40A 704F
3618	11A3 9803 FB10 30A2 0209 FB04 11A3 000A	3750	FD00 3208 FE00 D101 D40A 2205 304F 0203
3620	6005 F00A 0009 30A2 7302 D00C FE00 0006	3758	0308 0009 0035 F000 FA60 FC00 FC01 FA20
3628	FD00 FD00 8303 FC00 FE00 F000 11A4 0000	3760	FA71 D50B C000 0207 F700 D408 C006 0203
3630	3429 3025 1F00 F000 D508 F000 D408 20A2	3768	F700 030A C200 F700 FD01 FD00 FA50 FE00
3638	FD00 11A3 1003 FC00 3307 220C 220A 2200	3770	F000 F000 F000 904F 3201 F700 F34F 0303
3640	FB01 11A3 0011 100F 2000 300B 4012 501A	3778	FE00 F000 3040 7200 222B FC00 3218 204F
3648	6015 7018 FC13 F700 3301 227C 3303 2200	3780	D110 2426 B225 F34F 0303 FD00 2221 022C
3650	3305 2207 0200 3308 2208 0200 3306 2201	3788	002E 3040 720B 221C 320A 204F 3419 C208
3658	0203 330E 2202 3310 2260 FB02 11A3 2003	3790	F700 0216 F34F 0305 FE00 001F 0009 FA60
3660	FC30 FB04 11A3 1007 200A FC34 11A4 1205	3798	FA20 FA71 D50B 240C 0208 C000 0207 D408
3668	FE00 3303 2245 0205 3305 2242 3306 220D	37A0	2407 B206 C000 0202 030C FA50 FE00 37B1
3670	11A4 0000 3334 2132 3400 1374 2000 11A4	37A8	00A2 008F 0000 008F 00A3 0099 0000 0000
3678	0000 3334 2F30 8000 137B 20A1 F600 021B	37B0	0000 F000 F000 F000 11A3 0011 1014 2017
3680	F100 F600 3040 720B 20A3 720A 20A4 7209	37B8	3020 4023 5026 6029 702C 002F 9022 A03C
3688	20A5 7208 20A7 7207 20A6 035F 00A7 0033	37C0	B046 D135 D1A5 E1A9 F20A 11A6 A200 0271
3690	0017 0016 000E 0001 FFF0 000E 0023 0033	37C8	11A6 B900 026E 11A6 B400 FB01 11A3 7036
3698	0000 FFFF 30A0 20A8 00A1 830A 2306 3300	37D0	F003 11A6 A400 0231 11A6 AC00 0309 11A6
36A0	2307 F000 8300 C30C 0303 F600 11A4 0000	37D8	FE00 030C 11A6 AF00 030F 11A6 B822 0312
36A8	2124 3233 0000 3420 2C23 0000 0000 11A4	37E0	11A6 A100 0315 11A6 B300 0318 FB01 11A3
36B0	2C21 2225 2000 0000 11A4 292E 3334 3235	37E8	7003 F006 11A6 20A0 0218 11A6 34A5 0215
36B8	2334 292F 2E00 0600 2025 3333 2127 A500	37F0	FB01 11A3 7003 F006 11A6 24B6 020E 11A6
36C0	FB00 11A5 11A4 232F 2020 252E B400 F600	37F8	20A5 0208 FB01 11A3 7003 F006 11A6 A200
36C8	D110 F000 204F 8335 C308 0215 304F 8338	3800	0204 11A6 20A4 F000 11A6 8F00 FB01 11A3
36D0	C308 0210 030E 1248 12A6 11A4 2000 D110	3808	0011 1015 2019 3010 4021 5025 6029 702D
36D8	F000 C308 0220 F000 8347 C30C 0303 021B	3810	0011 9015 A019 B01D C021 D025 E029 F02D
36E0	1234 FE00 1232 1238 11A4 24A3 FB07 11A5	3818	11A6 A400 1254 026A 11A6 A900 1250 026D
36E8	30A6 7204 204F FA10 0317 01FA 121F 11A4	3820	11A6 B000 124C 0264 11A6 AD00 1248 0262
36F0	0000 0089 FB03 11A5 1227 11A4 24B3 FB1B	3828	11A6 2900 1244 0263 11A6 29AD 1240 0261
36F8	11A5 0324 B0A8 B363 0209 F600 F600 11A4	3830	11A6 AC00 123C 0267 11A6 29AC 1238 0266
3700	252E A400 F600 F600 0304 B36C 033F F600	3838	11A6 8F00 FB01 11A3 7C35 000A 900F A014
3708	F000 F000 3376 2372 0345 3201 F700 30A8	3840	B013 C01E D023 E028 F02D 11A6 1229 A400
3710	F200 FB02 11A5 FE00 1307 31A8 20A2 F200	3848	1226 024A 11A6 1329 A400 1221 026E 11A6

図A・1(a) TMLRA逆アセンブラプログラム (b) 進ダンプリスト その1

3850	1229 B000 1210 0242 11A6 1229 A000 1217	3908	26A4 0203 11A6 26A4 1329 0204 F000 F000
3858	023F 11A6 1329 B000 1212 0268 11A6 1329	3990	F000 30A2 0100 1211 3201 F700 30A2 0100
3860	A000 1200 026E 11A6 1229 A000 1200 023A	3998	1200 3201 F700 30A2 0104 1207 3201 F700
3868	11A6 1329 A000 1203 0239 F000 11A6 0F00	39A0	30A2 1203 F001 01A5 0900 1211 1200 0900
3870	F002 1205 F004 1203 11A7 FE00 11A3 9003	39A8	120E 1200 000E 1200 1205 000F 1200 1202
3878	F00A 0100 0000 0100 2202 11A6 9900 FE00	39B0	FE00 FC00 3201 F710 F000 FE00 FC00 3201
3880	0203 010A 0300 0009 F000 122A 0204 1237	39B8	F711 FD00 FA00 FA71 FA50 FE00 F001 11A3
3888	0202 123E F00F 01A5 122A 0204 1233 0202	39C0	0011 1015 201A 3010 4402 507F 6021 7024
3890	1230 F00A 01A5 1227 0204 122E 0202 1237	39C8	0027 902A A040 B020 C031 D03D E041 F044
3898	F005 01A5 1230 F009 01A5 1235 11A4 2000	39D0	11A6 310F 11A7 0342 11A6 2021 2034 0F00
38A0	0200 1231 11A4 12A9 0204 1220 11A4 13A9	39D8	0306 11A6 240F 0309 11A6 24A0 1370 037D
38A8	F007 01A5 F000 30A2 0000 0100 FE00 1304	39E0	11A6 3700 0310 11A6 37A3 0313 11A6 32A3
38B0	FC00 F200 3201 F700 F000 FE00 1307 204F	39E8	0316 11A6 3200 0319 11A6 20A5 1300 035E
38B8	FA20 0309 1304 0304 1302 0306 1313 7000	39F0	11A6 3020 0F00 30A2 000F 0204 11A6 21A3
38C0	0310 1303 0300 1302 0300 1302 030F 1310	39F8	0326 11A6 25A3 0329 11A6 3030 0F00 030C
38C8	204F 30A0 004F 0310 1305 0316 1302 0310	3A00	11A6 3204 0330 11A6 20A2 13A2 11A4 2021
38D0	1302 031A 11A4 2021 2225 2000 20A6 F000	3A08	2225 A000 F00F 01A5 F002 11A3 0011 1014
38D8	F002 1206 F004 1204 3201 F700 FE00 11A3	3A10	2017 301A 401D 5020 6023 7029 8011 9014
38E0	9003 F006 0100 F700 FE00 0203 010A 0304	3A18	A017 B01A C01D D020 E023 F029 11A6 A200
38E8	0009 F001 11A3 0007 100A 2000 3016 F073	3A20	0212 11A6 B900 020F 11A6 A000 0200 11A6
38F0	F000 11A6 B400 0206 11A6 0300 0203 11A6	3A28	20A5 0209 11A6 20A4 0206 11A6 30A0 0203
38F8	B200 11A6 220F F004 1306 11A7 0293 F000	3A30	11A6 3000 11A6 0F29 B200 0363 11A6 210F
3900	F004 30A2 0000 0210 11A3 0016 101A 201D	3A38	2932 0F00 F004 1306 036A 03E0 F004 30A2
3908	3021 4025 5020 6020 7030 8034 9037 0030	3A40	0000 0212 11A3 001D 1020 2023 3026 4029
3910	003E 0041 F059 11A3 4036 5039 6030 7041	3A48	5020 6031 7035 8039 9030 A041 B045 C048
3918	F04A F000 11A6 3121 230F 0230 11A6 31A3	3A50	D04B E04F F054 11A3 0047 104B 204F 3053
3920	0230 11A6 3123 210F 0236 11A6 3124 210F	3A58	4057 505A 6050 7050 8054 FC16 F000 11A6
3928	0232 11A6 31A0 022D 11A6 312D 0F91 022B	3A60	3206 0250 11A6 3706 0255 11A6 2106 0252
3930	11A6 312D 0F92 0227 11A6 312D 0F93 0223	3A68	11A6 3306 024F 11A6 202C A000 024B 11A6
3938	11A6 31A0 021E 11A6 312E 0F91 021C 11A6	3A70	2436 A000 0247 11A6 322F 2FB4 0243 11A6
3940	3105 0217 11A6 310A 0214 11A6 313A 0F91	3A78	2530 B000 023F 11A6 3329 0E00 0230 11A6
3948	0212 11A6 3100 0200 11A6 3130 0F91 0200	3A80	232F B300 0237 11A6 2134 21A0 0233 11A6
3950	11A6 3130 0F92 0207 11A6 3130 0F93 0203	3A88	20A0 0230 11A6 3700 022D 11A6 3021 2300
3958	11A6 0F00 11A7 0236 F000 11A6 24A3 11A7	3A90	0229 11A6 352E 3021 2300 0224 11A6 292E
3960	0231 F000 0300 13F5 FE00 13EF FE00 F000	3A98	B400 0220 11A6 2629 2EB4 021C 11A6 2320
3968	F000 F001 11A3 0000 100E 2011 3014 4017	3A00	B300 0210 11A6 210F A200 0214 11A6 2122
3970	501A 601D 7020 FC00 F000 11A6 A500 0215	3A08	B300 0210 11A6 3003 0200 11A6 2003 020A
3978	11A6 A700 0212 11A6 A600 020F 11A6 A800	3A00	11A6 3003 0207 11A6 2E3A B300 0203 11A6
3980	0200 11A6 25A4 0209 11A6 27A4 0206 11A6	3A08	23AC 11A7 03CB

図A. 1(b) TMLRA逆アセンブラプログラムリスト その2

表A.1 TMLRA逆アセンブラメモリマップ

[illegible][illegible]

マイクロカセットテープレコーダによる簡易 小型デジタルデータ収録システムの開発

電気工学科 吉 野 信 行

㈱ ミ ウ ラ 三 島 正 憲

A Development of a Simple-Small Type Digital Data Acquisition System using a Micro-Cassette Tape Recorder

Nobuyuki YOSHINO
Masanori MISHIMA

A simple-small type digital data acquisition system is developed using a micro-cassette tape recorder controlled by a single-board micro-computer(CRC-80). The micro-computer used in this system is designed to control all operations of the micro-cassette tape recorder. This paper describes the hardware and software architectures of this system in detail.

§ 1 緒言

現在、マイクロコンピュータの簡易外部記憶装置に、リモートコントロール付オーディオカセットレコーダが使用されているが、リモートコントロールによる停止を除いて録音・再生・巻戻し、早送りなどは、機械的に操作されているため、各種デジタル計測の自動処理化および小型・軽量化は不可能である。それに比較し、最近、市販されはじめたフェザータッチ方式のマイクロカセットテープレコーダは、小型・軽量であり、録音・再生・巻戻し、早送り、停止などがロジックコントロール可能であり、デジタルカセットレコーダとほぼ同等な機能を有し、しかも安価に入手できる。

このような背景を踏まえ、筆者等は、マイクロコンピュータキットCRC-80¹⁾とマイクロカセットレコーダを使用し、簡易小型デジタル・データ収録装置を開発した。本装置を各種デジタル計測システムに組み込むことにより、かなり広範囲な利用が考えられる。本報告は、データ収録装置のインターフェース回路、それらのコントロールプログラム、及び簡単なデータ収録の例について述べたものである。

§ 2 データ収録装置ブロックの概要

図1に、システムのブロック図を示す。図1に示すように、AD変換部、マイクロコンピュータCRC-80によるデータ収録、カセットコントロール部、カセットレコーダインターフェース部及び

モニタ部により構成されている。AD変換部は、マイクロ・サイエンス社の16チャンネル、8ビット分解能をもつワンボード、データ・アクイジション・システム²⁾(DAS-1608K)を使用した。カセットレコーダのコントロール(録音・再生・早送り、巻戻し、停止)及びモニタ部にはZ-80 P I Oを使用している。

カセットレコーダーへのデータ入出力のコントロール部には、S I O 8251 のシリアルインターフェース及び北斗電子社製のサッポロシティ(3200ボー)・カンサシティ(300ボー)スタンダード両用³⁾を使用している。データ収録には、オリンパス社製のパールコーダX-01を使用している。

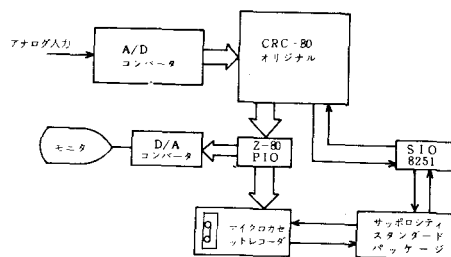
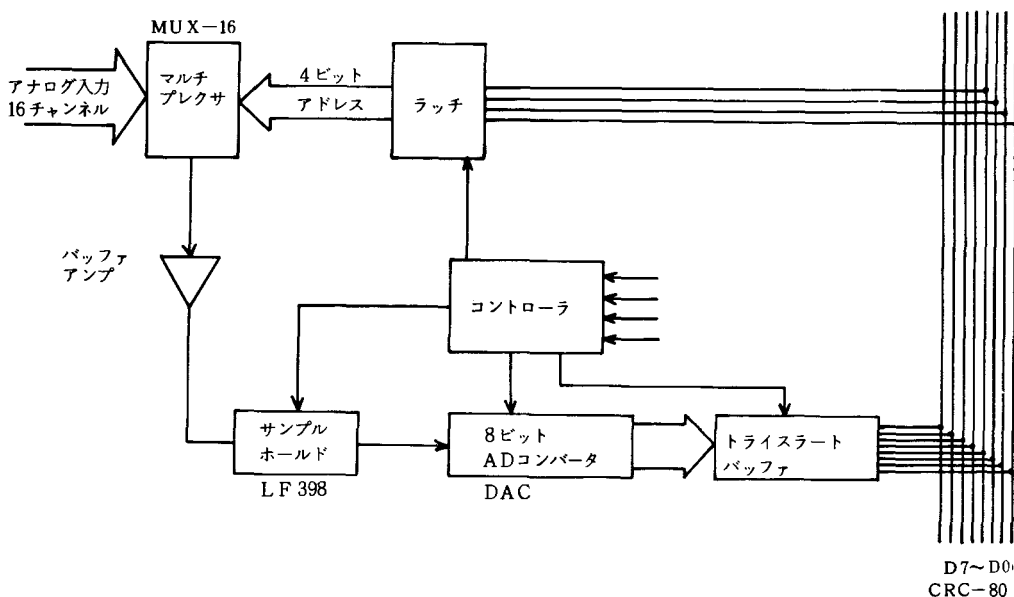


図1 データ収録システムブロック

§ 3 各システムのハードウェア

3.1 AD変換部(DAS-1608K)

図2に、AD変換部のブロック図を示す。AD変換器(DAS-1608K)は、16チャンネル8ビット分解能をもつワンボードデータアクイジションシステムである。本機の操作は、ボード上のD I Pスイッチ(8ビット)でI/Oアドレスを割付けておき、アナログ入力のチャンネルセレクトデータを書き込むだけで全ての内部シーケンスは自動的に行われる。本データ収録システムで、ボードのアドレスは、CRC-80のアドレスデコーダ74LS155のC4を直接、AD変換部のボード上74S04に接続することにより使用している(AD変換部ボード上のAM25LS2521は使用していない)。アドレスは0C00から0FFF番地までがすべてAD変換部に使用される。これらの番地であればどこを指定しても良い。AD変換器からデータを読み込む場合、まずAD変換器に下位4ビットのマルチプレクサのセレクトデータを書き込む。このときデータの上位4ビットは、何であってもかまわない。AD変換器にマルチプレクサのセレクトデータが書き込まれると25[μs]後にデータバス上にセレクトされたマルチプレクサ入力より取り込まれたアナログ信号のデータがあらわれ、このデータをCRC-80のメモリに格納すれば良い。



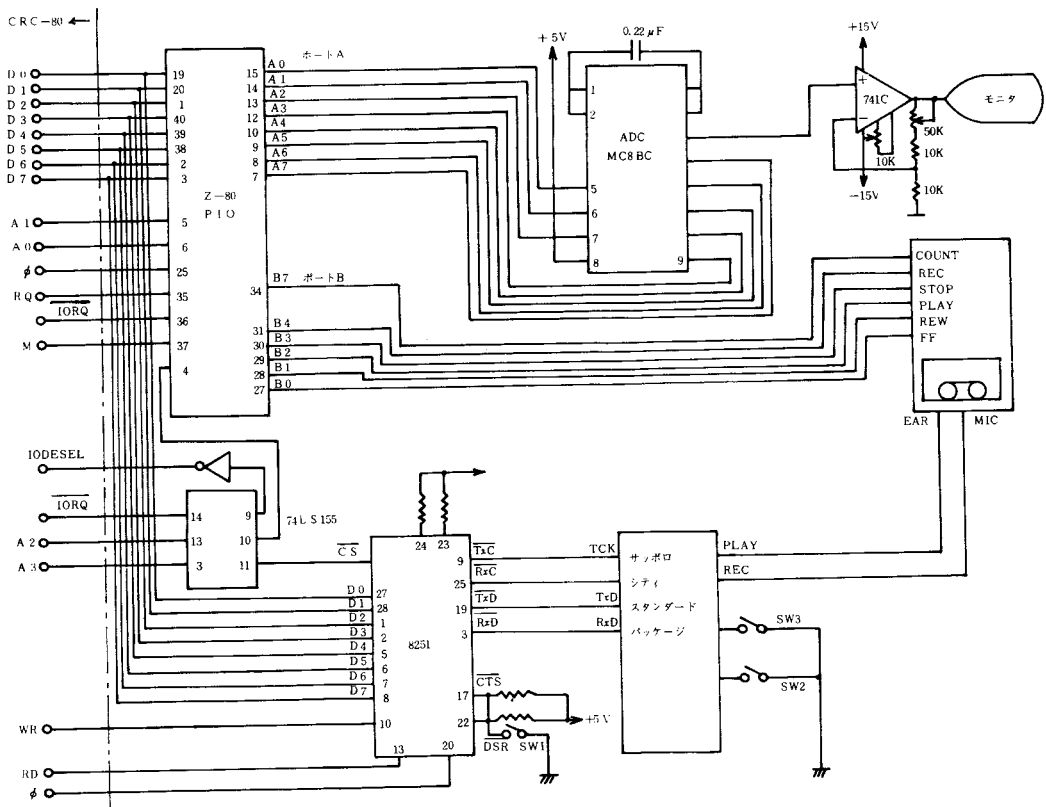
3.2 カセットコントロール、ディスプレイ部

図3に、カセットコントロール部及びディスプレイ部のハードウェアを示す。Z-80・PIO（パラレルI/O）のポートAは、ディスプレイ部のD/Aコンバータに使用し、ポートBは、カセットコントロール部に使用している。A/Dコンバータへのデータ出力は、CRC-80のCPUよりPIOへのデータOUT命令によって簡単にできる。A/D変換された出力は、一端オペアンプLM741CHにより増幅され、シンクロスコープにより表示される。

■ Z-80 PIOのポートBのコントロールワードのフォーマットは、次のような構成になっている。

カウント パルス			REC	STOP	PLAY	REW	FF
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

それぞれD4ビットは録音、D3ビットは停止、D2ビットは再生、D1ビットは巻戻し、D0ビットは早送りをコントロールするビットではある。これらの動作は、それぞれのビットが“L”レベルになったときに動作する。D7ビットは、カセットテープの回転パルスを検出するためのビットとして使用している。D6及びD5は使用していない。回路図には表示していないが、Z-80・PIOからカセットコントロールビットの中継としてD4からD0はすべてTTLのインバータを使用し、D7はCMOSのインバータを使用している。カセットからのデータ入力は、北斗電子社製、サッポロ・カンサシティ両用のSC-3200を使用している。図中のスイッチ(SW1, SW2, SW3)の条件は、以下に示す通りである。



SW1 OFF SW2 OFF : 復調
 SW1 OFF SW2 ON : 復調禁止
 SW3 OFF : サッポロシスティANDARD
 SW3 ON : カンサスシスティANDARD

マイクロコンピュータキットCRC-80とカセットレコーダとのデータの転送には、シリアルI/O・8251を使用している。本データ収録装置は図2及び図3に指示したように非常に簡単な回路から構成されていることがわかる。

§ 4 データ収録装置の各種ソフトウェア

4.1 メインプログラム (データリード/ライト)

メインプログラムは、次項に示す各種サブルーチン呼び出すことによってカセットテープの巻戻し、頭出し、データの録音及び再生を行うプログラムである。メインプログラムのフローチャートを図4に示す。

フローチャートに示すように、CREW (カセットリワインド) によりカセットテープの巻戻しを行なう。これはカウンタのカウンタ数とテープの位置がずれないように、必ずカセットテープの最初からカウントを始めるための操作である。カセットテープの巻戻しが終わると、カセット制御コマンドのF'F'を出力してカセットテープを早送りさせる。次にR/Wフラグを判断し、Rであれば、カセットテープの再生の実行をする。Wの場合は、カセットテープへの録音を実行する。録音又は再生が終了すると、カセット制御コマンドの"STOP"を出力してカセットテープを停止させ、カセットテープを巻戻しメインプログラムが終了する。

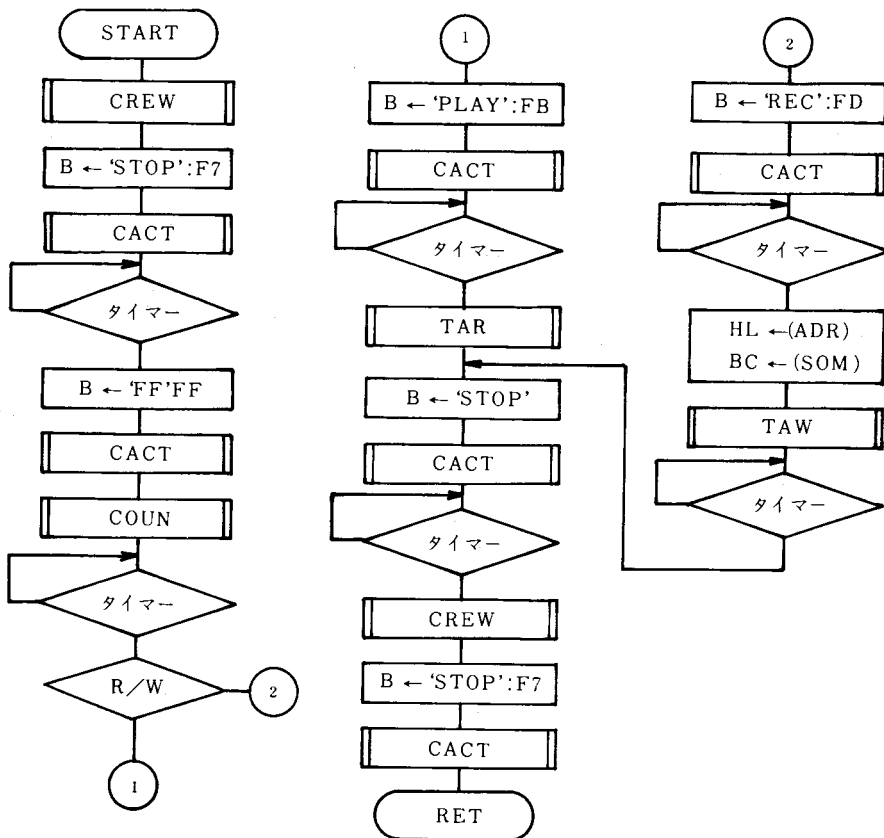


図4 データ収録システムメインコントロールプログラム

4.2 タイマーサブルーチン (TM)

このサブルーチンは、各新レジスタを退避させ、Hレジスタ内のFFFFHが0になるまでデクリメントして約0.6秒のタイマを作るサブルーチンである。

図5に、このプログラムのフローチャートを示す。

4.3 カセットコントロール (CACT)

このサブルーチンは、パラレル I/O (PIO) に 0FH をコマンドとして出力することによって PIO のポート B のすべてのビットを出力モードにし、Bレジスタ内のカセット制御コマンド用のデータを PIO にデータとして出力することにより、カセットをコントロールするサブルーチンである。このプログラム中のタイマーサブルーチン (TM) は、カセット制御コマンドを確実に出力させるために使用している。

カセット制御コマンドと動作との対応は、次のようになっている。

カセットの動作	制御コマンド
"FF" (早送り) :	FE
"REW" (巻戻し) :	FD
"PLAY" (再生) :	FB
"STOP" (停止) :	F7
"REC" (録音) :	EF
"NOP" (無効) :	FF

FFの制御コマンドは、カセットのどのスイッチもおされていない状態を示す。図6にこのプログラムのフロチャートを示す。

4.4 カウンタ (COUN)

このサブルーチンは、以下に示す機能を持つ。PIOに4FHをコマンドとして出力することにより、ポートBのすべてのビットを入力モードにする。HLレジスタをCOUN番地(カウント)、IXレジスタをBLNO番地(ブロックナンバー)とする。COUN番地の中にデータブロック1つ分の長さを指定する数値35Hを格納する。PIOよりデータを入力することにより、第7ビットのカウントパルスを検出し、このカウントパルスが1回"L"レベルから"H"レベルになると、データブロックの長さを指定する数値をデクリメントする。同様にデータブロック長さを指定する数値が零になるまでカウントパルスの検出を繰り返す。又、データブロックの長さを指定する数値が零になるとブロック数を指定する数値を1つデクリメントとし、ブロック数を指定する数値が零になるとデータブロックの長さを指定する数値を回復して同様にカウントパルスの検出を繰り返す。ブロック数を指定する数値が零になると、PIOのポートBを出力モードにし、カセット制御コマンドの"STOP"を出力する。図7にこのブロックのフロチャートを示す。

4.5 カセットリワインド (CRWE)

このサブルーチンは、カセット制御コマンドの"REW"をPIOのポートBに出力して、カセットテープを巻き戻しするルーチンである。カウントパルスは、カセットテープレコーダの回転軸から検出され、テープが完全に巻戻されたらカウントパルスは、出なくなるのでこのパルスが消えたことを検出し、メインプログラムに戻る。図8にこのプログラムのフロチャートを示す。

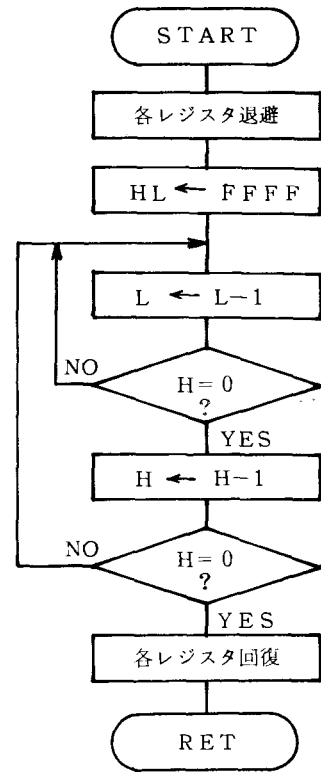


図5 TM(タイマー)サブルーチン

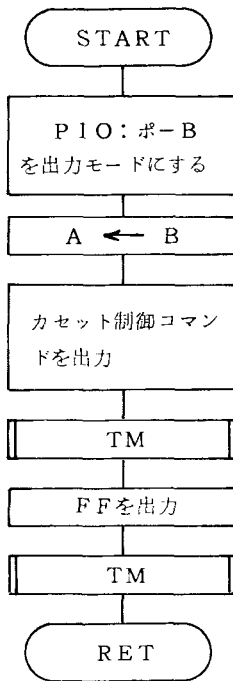


図6 CACT (カセットコントロール) サブルーチン

4.6 テープライト (TAW)

このサブルーチンは、シリアル I/O 8251 のモードを 5DH をコマンドとして出力する。この場合のモードは、非同期式 (ASYNXI), 8 キャラクタビット, 奇数パリティ, 1 ストップビットとなっている。次に, コマンドワード 37H を 8251 に出力して, トランスミッタレシーバをインネーブルし, DTR 出力を零, ブレークキャラクタ出力を正常動作, すべてのエラーフラグをリセット及び RTS 出力を零にする。8251 の初期設定が終わったら D レジスタにデータを退避して, データアウトルーチンによりデータをカセットインターフェイスに出力する。図9に, このプログラムのフロチャートを示す。

4.7 データアウト (OUT)

このサブルーチンは, まず 8251 よりステータス情報を受け取り, ステータス情報の第 0 ビット, TXRDY がセットされていれば, D レジスタに退避しておいたデータを OUT 命令によりカセットインターフェイスに出力する。TXRDY がセットされていなければ, ステータス情報の検出を続ける機能をもつ。図10に, このプログラムのフロチャートを示す。

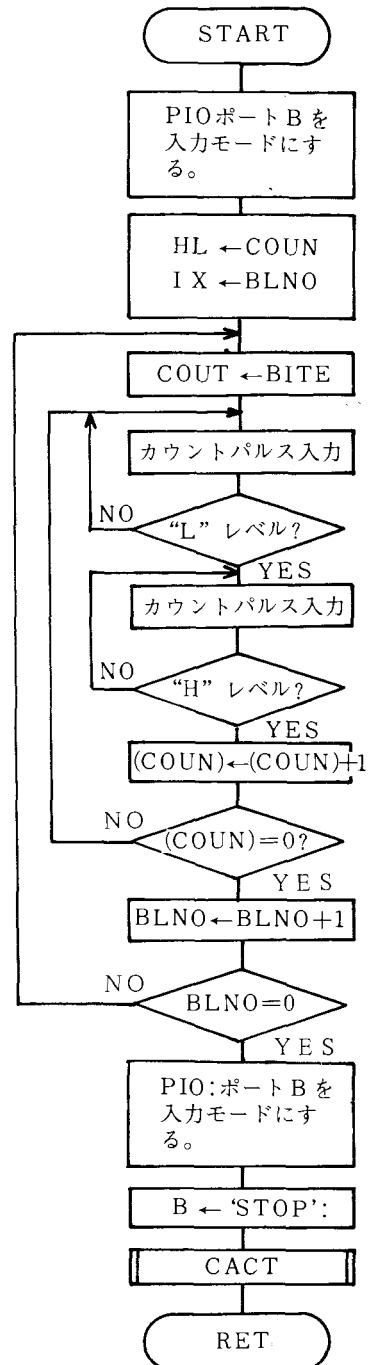


図7 COUN (カウント) サブルーチン

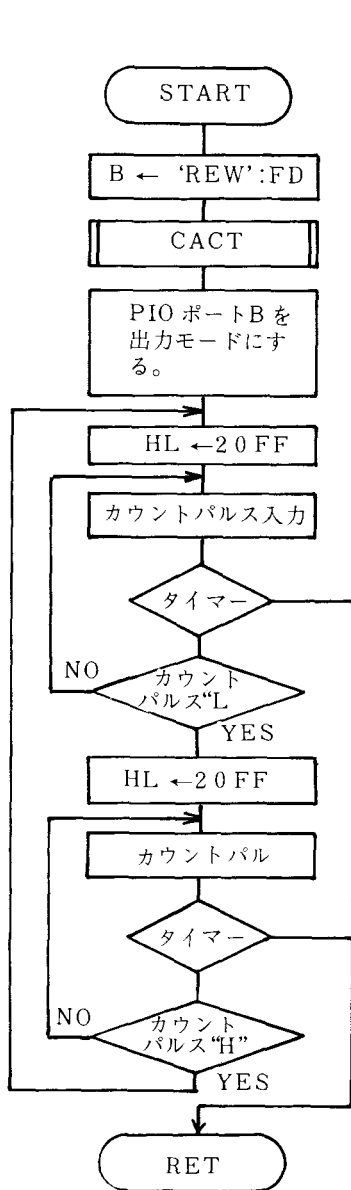


図8 CRWE(カセットリワインド)サブルーチン

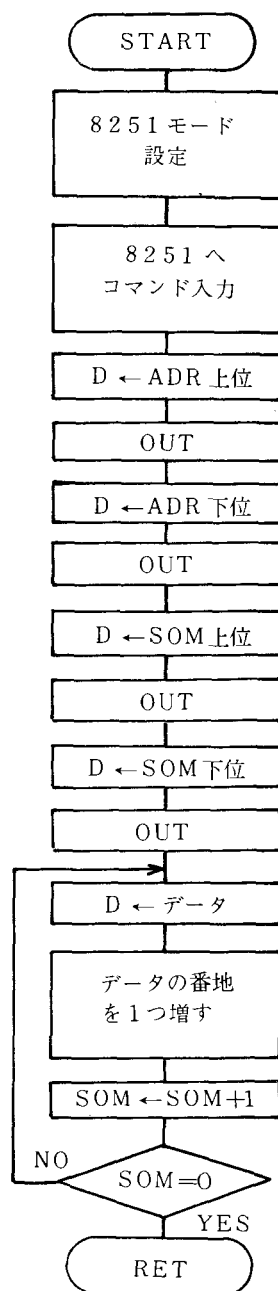


図9 TAW(テープライト)サブルーチン

4.8 テープリード (TAR)

このサブルーチンは、TAWと同様に8251を初期設定し、データインルーチンでカセットインターフェースよりデータをAレジスタに取り込まれたデータは、スタートアドレス上位、下位、バイト数上位、下位、次いで入力データの順になっている。入力データは、スタートアドレスから順次メモリに書き込まれる。図11にこのプログラムのフロチャートを示す。

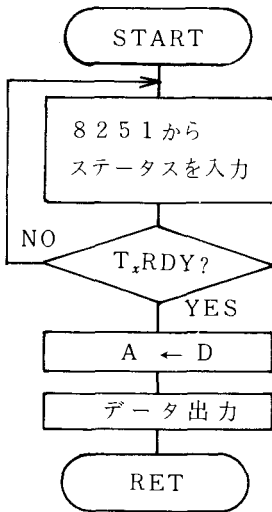


図10 OUT (データアウト) サブルーチン

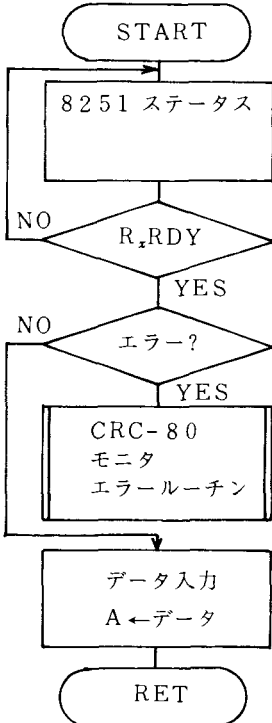


図12 IN (データイン) サブルーチン

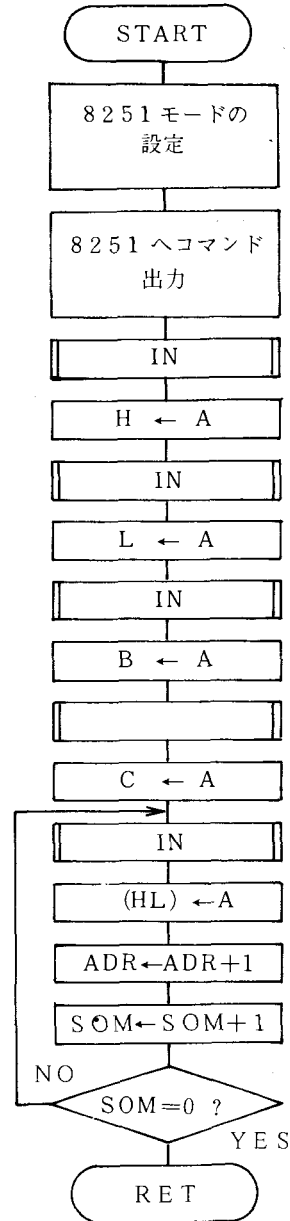


図11 TAR (テーブルリード) サブルーチン

表1 マイクロカセットテープレコーダのコントロールプログラムリスト

```

*****DATA-R/W(データ・ライト)*****
600 CD 32 05      CALL CREW
603 06 F7          LD B, 'STOP' : F 7 H
605 CD 20 05      CALL CACT
608 3E 05          LD A, 05H
60A CD 10 05      D#1 CALL TM
60D 3D            DEC A
60E 20 FA          JR NZ, D#1
610 06 FE          LD B, 'FF' : FEH
612 CD 20 05      CALL CACT
615 CD 59 05      CALL COUNT
618 3E 03          LD A, 03H
61A CD 10 05      D#2 CALL TM
61D 3D            DEC A
61E 20 FA          JR NZ, D#2
620 3A 01 83      LD A, (R/W)
623 3D            DEC A
624 CA 50 06      JP Z, WRT
627 05 FB          LD B, 'FLAY' : FBH
629 CD 20 05      CALL CACT
62C 3E 05          LD A, 05H
62E CD 10 05      D#3 CALL TM
631 3D            DEC A
632 20 FA          JR NZ, D#3
634 CD 0A 05      CALL TAR
637 06 F7          STOP LD B, 'STOP' : F 7 H
639 CD 20 05      CALL CACT
63C 3E 05          LD A, 05H
63E CD 10 05      D#4 CALL TM
641 3D            DEC A
642 20 FA          JR NZ, D#4
644 CD 32 05      CALL CREW
647 06 F7          LD B, 'STOP' : F 7 H
649 CD 20 05      CALL CACT
64C C3 00 00      JP 0000H

*****TM(タイマ)*****
510 D9            EXX
511 21 FF FF      THM LD HL, FFFFH
514 2D            DEC L
515 20 FD          JR NZ, TMH
517 25            DEC H
518 20 FA          JR NZ, TMH
51A D9            EXX
51B C9            RET

*****CACT(カセットコントロール)*****
520 3E 0F          LD A, 0FH
520 D3 07          OUT(07), A
540 78            LD A, B
550 D3 05          OUT(05), A
560 CD 10 05      CALL TM
52A 3E FF          LD A, FFH
52C D3 05          OUT(05), A
52E CD 10 05      CALL TM
531 C9            RET

*****COUNT(カウンタ)*****
559 3E 4F          LD A, 4FH
55B D3 07          OUT(07), A
55D 21 06 83      LD HL, COUNT
560 DD 21 00 83   CO3 LD IX, BLNO
564 3E 35          LD A, 35H
566 77            LD(HL), A
567 08 05          CO1 IN A, (05)
569 CB 7F          BIT 7, A
56B 20 FA          JR NZ, CO1
56D 08 05          CO2 IN A, (05)
56F CB 7F          BIT 7, A
571 28 FA          JR Z, CO2
573 35            DEC(HL)
574 20 F1          JR NZ, CO1
576 DD 35 00      DEC(IX+0)
579 20 E9          JR NZ, CO3
57B 3E 0F          LD A, 0FH
57D D3 07          OUT(07), A
57D 06 F7          LD B, 'STOP' : F 7 H
57F CD 20 05      CALL CACT
584 C9            RET

*****CFEW(カセットリワインド)*****
532 06 FD          LD B, 'REW' : F D H
534 CD 20 05      CALL CACT
537 3E 4F          LD A, 4FH
539 D3 07          OUT(07), A
53B 21 FF 20      T3 LD HL, 20FFH
53E D6 05          T1 IN A, (05)
540 2D            DEC L
541 20 FD          JR NZ, DL1
543 25            DEC H
544 C3            RET Z
545 CB 7F          BIT 7, A
547 20 F5          JR NZ, T1
549 21 FF 20      T2 LD HL, 20FFH
54C D6 05          T2 IN A, (05)
54E 2D            DEC L
54F 20 FD          JR NZ, DL2
551 25            DEC H
552 C3            RET Z
553 CB 7F          BIT 7, A
555 28 F5          JR Z, T2
557 18 E2          JR T3

*****TAW(テープ・ライト)*****
585 3E 40          LD A, 40H
587 D3 09          OUT(09), A
589 3E 50          LD A, 50H
58B D3 09          OUT(09), A
58D 3E 37          LD A, 37H
58F D3 09          OUT(09), A
591 54            LD D, H
592 CD B0 05      CALL OUT
595 55            LD D, L
596 CD B0 05      CALL OUT
599 50            LD D, B
59A CD B0 05      CALL OUT
59D 51            LD D, C
59E CD B0 05      CALL OUT
5A1 00            NOP
5A2 56            WRT LD D, (HL)
5A3 CD B0 05      CALL OUT
5A6 23            INC HL
5A7 0B            DEC BC
5A8 79            LD A, B
5A9 B1            OR C
5AA 20 F6          JR NZ, WRT
5AC C9            RET

*****OUT(データ・アウト)*****
580 DB 09          CHK IN A, (09)
582 CB 47          BIT 0, A
584 28 FA          JR Z, CHK
586 7A            LD A, D
587 D3 08          OUT(08), A
589 C9            RET

*****TAR(テープ・リターン)*****
58A 3E 40          LD A, 40H
58C D3 09          OUT(09), A
58E 3E 50          LD A, 50H
590 D3 09          OUT(09), A
592 3E 37          LD A, 37H
594 D3 09          OUT(09), A
596 CD EA 05      CALL IN
599 67            LD H, A
59A CD EA 05      CALL IN
59D EF            LD L, A
59E CD EA 05      CALL IN
5D1 47            LD B, A
5D2 CD EA 05      CALL IN
5D5 4F            LD C, A
5D6 00            NOP
5D7 CD EA 05      RED CALL IN
5DA 77            LD(HL), A
5DB 23            INC HL
5DC 0B            DEC BC
5DD 78            LD A, B
5DE B1            OR C
5DF 20 F6          JR NZ, RED
5E1 C9            RET

*****IN(データ・イン)*****
5EA DB 09          CHK IN A, (09)
5EC E6 02          AND 02H
5EE 28 FA          JR Z, CHK
5F0 DB 09          IN A, (09)
5F2 E6 38          AND 38H
5F4 C2 BF 02      JP NZ, ERR
5F7 DB 08          IN A, (08)
5F9 C9            RET

*****WRT(テープ・ライト)*****
650 06 EF          LD B, 'REC'
652 CD 20 05      CALL CACT
655 3E 0A          LD A, 0AH
657 CD 10 05      MAK CALL TM
65A 3D            DEC A
65B 20 FA          JR NZ, MAK
65D 2A 02 83      LD HL, (ADR)
65D ED 48 04 83   LD BC, (SOM)
664 CD 85 05      CALL TAW
667 3E 03          LD A, 03H
669 CD 10 05      END CALL TM
66C 3D            DEC A
66D 20 FA          JR NZ, END
66F C3 37 06      JP STOP

```

4.9 データイン (IN)

このサブルーチンは、8251よりステータス情報を受け取り、ステータス情報の第2ビット、R XRDYがセットされていれば、8251より並列データをAレジスタに取り込む機能をもっている。このサブルーチンでは、エラー検出を行っている。エラーフラグは、PE(パリティエラー)、OE(オーバーフローエラー)、FE(フォミングエラー)などがある。エラーの表示は、CRC-80のモニタプログラムのEE02を使用した。図12に、プログラムのフロチャートを示す。

上記したプログラムの全リストを表1に示す。

§5 データ収録の実験結果

図13のaは、200 Hzの正弦入力を示し、図13bは、入力の正弦波をカセットテープに取り込んだデータを再現したものである。同様にのこぎり波の実験結果を図13のc及びdに示す。

AD変換器のサンプリング時間は、0.5秒である。どちらの場合もほぼ完全にもとの波を再現していることがわかる。図13のdは、騒音計のデシベル出力をADコンバータにより取り込んだデータを示す。データサンプリング時間は0.5秒で、サンプリング数256個である。以上の結果より本システムを使用することにより、多量なデータを簡単にマイクロカセットテープに格納することができることがわかった。

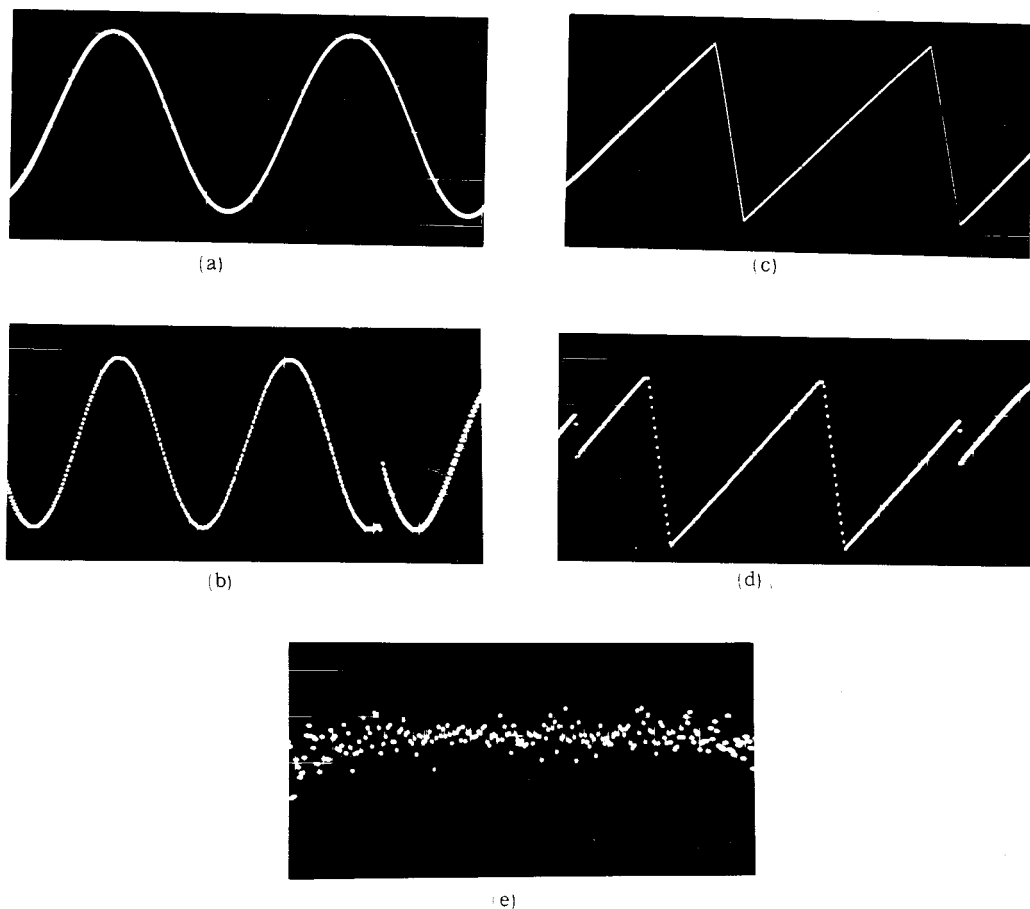


図13 各種データの収録波形

(a)サイン波入力 (b)サイン波AD変換テープ記録波形 (c)鋸歯状波入力
(d)鋸歯状波AD変換テープ記録波形 (e)騒音波AD変換テープ記録波形

§ 6 結言

マイクロコンピュータの簡易外部記憶装置に，マイクロカセットテープレコーダが利用された例は，まだ報告されていない。本システムを各種計測システムまたはパーソナルコンピュータに利用することにより，装置の小型・軽量化に寄与できると考える。今後は，各種パーソナルコンピュータに結合し，一般の騒音・振動データの統計処理に利用するとともに，各種データファイル処理に利用したい。

謝辞

本システムを開発するにあたり，電気工学科主任原田教授，廣光助教授に御指導，御協力を得た。ここに深謝の意を表す。

文 献

- (1) コンピュータリサーチ社：CRC-80ユーザーズマニュアル
- (2) マイクロサイエンス社：DAS・1608Kマニュアル
- (3) 北斗電子社：サッポロシティ・カンサスシティパッケージ

(昭和56年4月15日受付)

付 録

*****DATA-R/W(データ・ライト)*****

```

600 CD 32 05      CALL CREW
603 06 F7          LD B, 'STOP'
605 CD 20 05      CALL CACT
608 3E 05          LD A, 05H
60A CD 10 05      D#1 CALL TM
60D 3D            DEC A
60E 20 FA          JR NZ, D#1
610 06 FE          LD B, 'FF'
612 CD 20 05      CALL CACT
615 CD 59 05      CALL COUNT
618 3E 03          LD A, 03H
61A CD 10 05      D#2 CALL TM
61D 3D            DEC A
61E 20 FA          JR NZ, D#2
620 3A 01 03      LD A, (R/W)
623 3D            DEC A
624 CA 50 06      JP Z, WRT
627 06 FB          LD B, 'PLAY'
629 CD 20 05      CALL CACT
62C 3E 05          LD A, 05H
62E CD 10 05      D#3 CALL TM
631 3D            DEC A
632 20 FA          JR NZ, D#3
634 CD BA 05      CALL TAR
637 06 F7          STOP LD B, 'STOP'
639 CD 20 05      CALL CACT
63C 3E 05          LD A, 05H
63E CD 10 05      D#4 CALL TM
641 3D            DEC A
642 20 FA          JR NZ, D#4
644 CD 32 05      CALL CREW
647 06 F7          LD B, 'STOP'
649 CD 20 05      CALL CACT
64C C3 00 00      JP 0000H

```

*****TM(タイマ)*****

```

510 D9            EXX
511 21 FF FF      LD HL, FFFFH
514 2D            TM# DEC L
515 20 FD          JR NZ, TM#
517 25            DEC H
518 20 FA          JR NZ, TM#
51A D9            EXX
51B C9            RET

```

*****CACT(カセットコントロール)*****

```

520 3E 0F          LD A, 0FH
520 D3 07          OUT(07), A
540 78            LD A, B
550 D3 05          OUT(05), A
560 CD 10 05      CALL TM
52A 3E FF          LD A, FFH
52C D3 05          OUT(05), A
52E CD 10 05      CALL TM
531 C9            RET

```

*****COUNT(カウンタ)*****

```

559 3E 4F          LD A, 4FH
55B D3 07          OUT(07), A
55D 21 06 83      LD HL, COUN
560 DD 21 00 83   LD IX, BLNO
564 3E 35          CO3 LD A, BITE
566 77            LD(HL), A
567 DB 05          CO1 IN A, (05)
569 CB 7F          BIT 7, A
56B 20 FA          JR NZ, CO1
56D DB 05          CO2 IN A, (05)
56F CB 7F          BIT 7, A
571 28 FA          JR Z, CO2
573 35            DEC(HL)
574 20 F1          JR NZ, CO1
576 DD 35 00      DEC(IX+0)
579 20 E9          JR NZ, CO3
57B 3E 0F          LD A, 0FH
57D D3 07          OUT(07), A
57F 06 F7          LD B, 'STOP'
57F CD 20 05      CALL CACT
584 C9            RET

```

*****CREW(カセットリワイント)*****

```

532 06 FD          LD B, 'REW'
534 CD 20 05      CALL CACT
537 3E 4F          LD A, 4FH
539 D3 07          OUT(07), A
53B 21 FF 20      T3 LD HL, 20FFH
53E DB 05          T1 IN A, (05)
540 2D            DL1 DEC L
541 20 FD          JR NZ, DL1
543 25            DEC H
544 C8            RET Z
545 CB 7F          BIT 7, A
547 20 F5          JR NZ, T1
549 21 FF 20      LD HL, 20FFH
54C DB 05          T2 IN A, (05)
54E 2D            DL2 DEC L
54F 20 FD          JR NZ, DL2
551 25            DEC H
552 C8            RET Z
553 CB 7F          BIT 7, A
555 28 F5          JR Z, T2
557 18 E2          JR T3

```

*****TAW(テープ・ライト)*****

```

585 3E 40          LD A, 40H
587 D3 09          OUT(09), A
589 3E 50          LD A, 50H
58B D3 09          OUT(09), A
58D 3E 37          LD A, 37H
58F D3 09          OUT(09), A
591 54            LD D, H
592 CD B0 05      CALL OUT
595 55            LD D, L
596 CD B0 05      CALL OUT
599 50            LD D, 0
59A CD B0 05      CALL OUT
59D 51            LD D, C
59E CD B0 05      CALL OUT
5A1 00            NOP
5A2 56            WRT LD D, (HL)
5A3 CD B0 05      CALL OUT
5A6 23            INC HL
5A7 08            DEC BC
5A8 78            LD A, B
5A9 B1            OR C
5AA 20 F6          JR NZ, WRT
5AC C9            RET

```

*****OUT(アウト)*****

```

580 DB 09          CHK IN A, (09)
582 CB 47          BIT 0, A
584 28 FA          JR Z, CHK
586 7A            LD A, D
587 D3 08          OUT(08), A
589 C9            RET

```

*****TAR(テープ・リート)*****

```

58A 3E 40          LD A, 40H
58C D3 09          OUT(09), A
58E 3E 50          LD A, 50H
590 D3 09          OUT(09), A
592 3E 37          LD A, 37H
594 D3 09          OUT(09), A
596 CD EA 05      CALL IN
599 67            LD H, A
59A CD EA 05      CALL IN
59D 6F            LD L, A
59E CD EA 05      CALL IN
5D1 47            LD B, A
5D2 CD EA 05      CALL IN
5D5 4F            LD C, A
5D6 00            NOP
5D7 CD EA 05      RED CALL IN
5D9 77            LD(HL), A
5DB 23            INC HL
5DC 08            DEC BC
5DD 78            LD A, B
5DE B1            OR C
5DF 20 F6          JR NZ, RED
5E1 C9            RET

```

*****IN(イン)*****

```

5EA DB 09          CHK IN A, (09)
5EC E6 02          AND 02H
5EE 28 FA          JR Z, CHK
5F0 DB 09          IN A, (09)
5F2 E6 38          AND 38H
5F4 C2 BF 02      JP NZ, ERR
5F7 DB 08          IN A, (08)
5F9 C9            RET

```

*****WRT(テープ・ライト)*****

```

650 06 EF          LD B, 'REC'
652 CD 20 05      CALL CACT
655 3E 0A          LD A, 0AH
657 CD 10 05      MAK CALL TM
65A 3D            DEC A
65B 20 FA          JR NZ, MAK
65D 2A 02 83      LD HL, (ADR)
660 ED 4B 04 83   LD BC, (SDM)
664 CD 05 05      CALL TAW
667 3E 03          LD A, 03H
669 CD 10 05      END CALL TM
66C 3D            DEC A
66D 20 FA          JR NZ, END
66F C3 37 06      JP STOP

```

窒素プラズマ中の電子輸送係数におよぼす 振動励起の影響

(電気工学科) 山 崎 勉
(県市役所) 碓 井 浄 司

Influence of Vibrational Excitations on the Electron Transport Coefficients in Nitrogen Plasma

Tsutomu YAMAZAKI
Joji USUI

The electron energy distribution functions in nitrogen plasma are calculated by solving the Boltzmann equation using the classical two term expansion in spherical harmonics. Drift velocity, characteristic energy, excitation frequency for vibrational and electronic excited levels are presented as a function of the reduced electric field, E/N_g , considering the first ten vibrational levels and nine electronic levels. It is found that in nitrogen plasma the vibrational excitations play an important role especially at low E/N_g values and that the electron transport coefficients are much influenced by the vibrational excitations.

§ 1. ま え が き

最近、大出力レーザの開発に関連して窒素プラズマについての多くの研究がなされている。レーザ核融合やレーザ加工に用いられる炭酸ガスレーザのレーザ媒体として窒素プラズマは用いられ、その高効率や大出力化に重要な役割を果たしている。一方、窒素レーザは紫外から赤外に至る広い範囲でのレーザ発振が可能であるため、色素レーザの励起用光源や各種の予備放電に用いられている。

ところで、窒素や炭素ガスのような多原子分子の放電は希ガスのような単原子分子の場合と異なり、非弾性衝突として電子励起の他に振動や回転の励起がある。これらの衝突励起は、比較的電子エネルギーが小さい所で大きな衝突断面積をもっている。その結果、プラズマ中の電子のエネルギー分布は大きな影響を受け、また各種の輸送係数にも大きな影響を与える。本報告では、窒素プラズマ中の電子エネルギー分布関数を Lorentz 近似による二項展開を用いて求めた。次にそれを用い各種の輸送係数に対する振動励起の効果について検討を行った。

§ 2. 電子エネルギー分布関数の計算

外部電界 (E) が印加された放電プラズマを考える。電子は空間的に一様で定常状態にある。非弾性衝突による衝突励起は、基底準位の窒素分子 ($X^1\Sigma_g^+$) と電子の衝突のみ考慮し、クーロン衝突や第二種の衝突は考えない。電子エネルギー分布関数 $f(u)$ は次式より求まる。¹⁾

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{u}} \frac{d}{du} \left(\frac{u}{3} \frac{E^2}{N_g Q_a} \frac{df(u)}{du} + \delta N_g Q_a u^2 f(u) \right) \\ &= \sum_j N_g \left\{ Q_j(u+U_j) f(u+U_j) \sqrt{u+U_j} - Q_j(u) f(u) \sqrt{u} \right\} \dots (1) \end{aligned}$$

ここで、 u は電子のエネルギー、 δ は弾性衝突による損失係数、また N_g はガス密度である。

Q_a は運動量変換断面積で Q_j は j 準位への非弾性衝突励起の衝突断面積を表わしている。

U_j は j 準位への励起エネルギーである。

運動量変換断面積は、弾性衝突と非弾性衝突による運動量変換を考慮して **Cartwright**²⁾ が導出した値を利用した。ただし低エネルギー部 (5 eV 以下) に対しては、**Golden**³⁾ の実験結果を参考にした。計算に用いた衝突断面積を図1に示す。おれ線近似を用いた。低エネルギー部における二つの極大値は、それぞれ振動励起 (2 eV 付近) と電子励起 (15 eV 付近) による運動量変換の効果であると考えられる。

回転励起の項は、衝突によって失われるエネルギーが非常に小さいので、**Frost**⁴⁾ らの用いた **continuous approximation** を用いた。それによると、(1) 式の左辺第2項の運動量変換断面積に次のような修正を行う。

$$Q_a(u) = Q_a(u) + \frac{32}{15} \pi B_0 Q^2 a_0^2 \frac{1}{\delta u} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $B_0 = 2.43 \times 10^{-4}$ (eV) は窒素に対する回転

の定数、 $Q = 1.04$ は電気的四重極能率を (ea_0^2) を単位として表わした値である。ただし、 e と a_0 はそれぞれ素電荷と **Bohr** 半径である。

振動励起は、電子的には基底準位 ($X^1\Sigma_g^+$) にある最初の10個の準位 ($V = 1, 10$) について考慮した。その衝突断面積は、各準位とも微細構造をもっていて、⁵⁾ 複数列の山を持つ形になっている。また、励起エネルギーより大きなエネルギー域でこれらの山が存在している。それらに対し図2で示すようなおれ線近似を用いた。 $V = 1, \sim 6$ に対して **Schulz**⁶⁾ の実験結果を用い、 $V = 7, \sim 10$ に対しては、**Boness**⁷⁾ らの結果を利用した。各振動準位への励起エネルギー (U_v) は次式で表わされる。

$$U_v = 0.2924 \cdot V \quad (\text{eV}) \quad (3)$$

図2を見ると、準位が高くなるにつれて衝突面積が小さくなり、電子エネルギーの大きな方で励起が起こりやすくなっている。なお、 $V = 1$ の準位が炭酸ガスレーザにおいて重要な役割を果たしている。

電子励起は、**Cartwright**²⁾ の用いた9つの励起準位を考慮した。各準位への衝突断面積は、次式で表わされている **Fabrikant** の式を用いて近似した。

$$Q_i(u) = Q_i^m \frac{U - U_i}{U_m - U_i} \exp\left(\frac{U_m - U}{U_m - U_i}\right) \quad (4)$$

ここで、 U_m は衝突断面積が最大値の時の電子エネルギーを表わし $Q_i^m = Q_i(U_m)$ である。 U_i は励起が始まる最小のエネルギーで励起エネルギーに一致する。ただし、全衝突断面積が **Cartwright** の用いた値と一致するように、補正項を加えた。電離断面積は、**Rapp**⁸⁾ らの実験結果を利用した。これらの各励起に対する (4) 式の各定数を表1に示す。ただし、各励起準位に励起するのに必要なエネルギーは振動や回転も同時に行なわれるため一つの値でない。ここでは、**Cartwright**²⁾ に従ってそれらに対して平均した値を用いた。

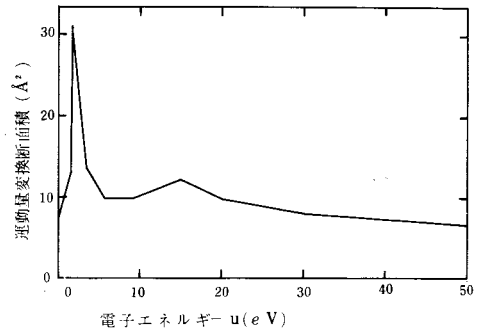


図1 計算に用いた運動量変換断面積

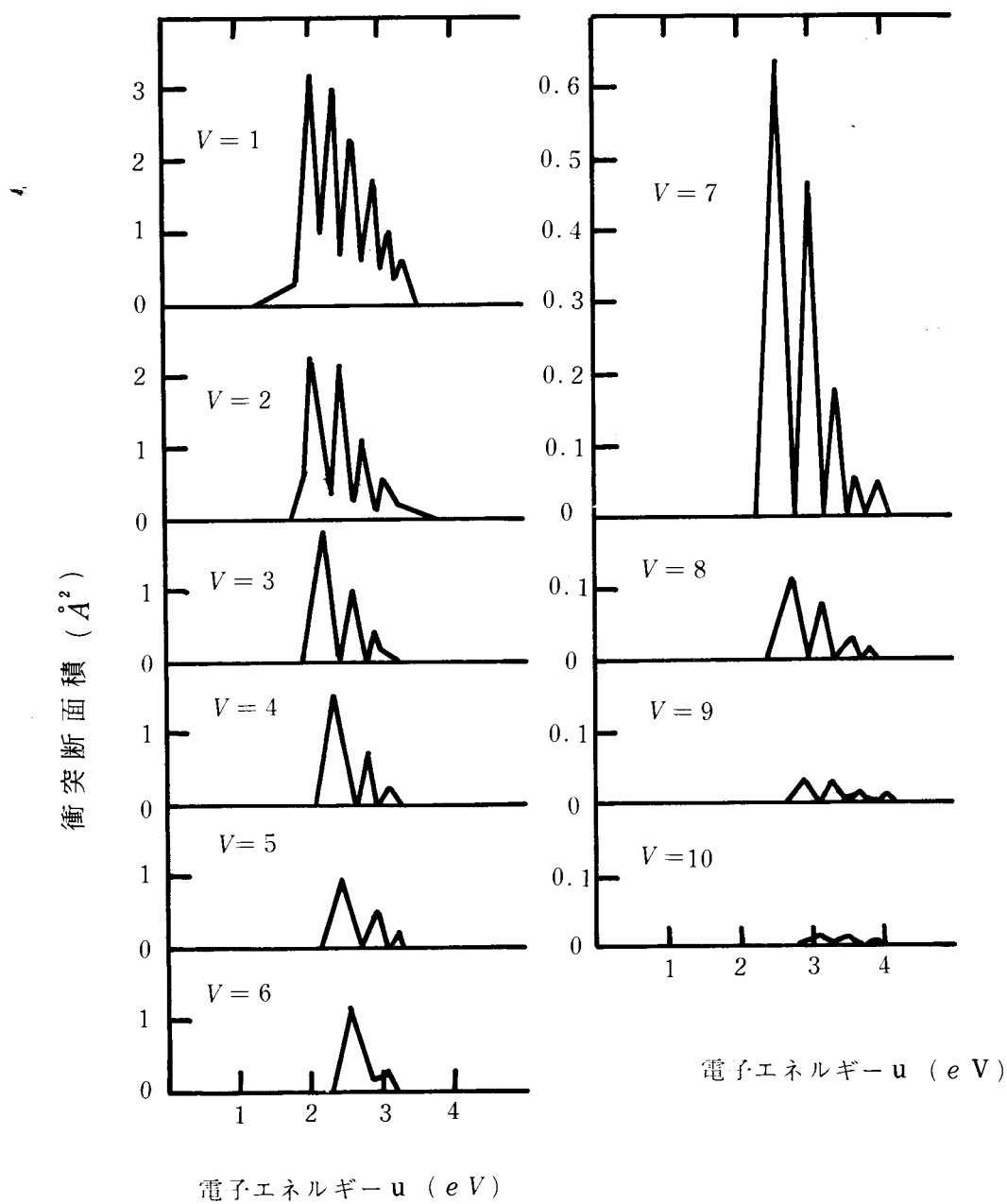


図2 計算に用いた振動励起 ($V=0 \rightarrow V=1, \sim 10$) の衝突断面積

表1 電子励起の各定数

励起準位	$Q_i^m (\text{\AA}^2)$	$U_m (eV)$	$U_i (eV)$
$A^3 \Sigma_u^-$	0.24	16.5	7.562
$B^3 \Pi_g$	0.30	12.0	8.036
$W^3 \Delta_u$	0.39	16.4	8.645
$B'^3 \Sigma_u^-$	0.14	15.3	9.460
$a^1 \Pi_g$	0.30	17.0	9.295
$C^3 \Pi_u$	0.45	14.0	11.079
$b^1 \Pi_u$	0.26	34.0	12.808
$b'^1 \Sigma_u^+$	0.23	19.0	13.390
$c^1 \Pi_u$	0.12	32.0	13.105
補正項	0.12	30.0	13.6
電離	2.53	110.0	15.576

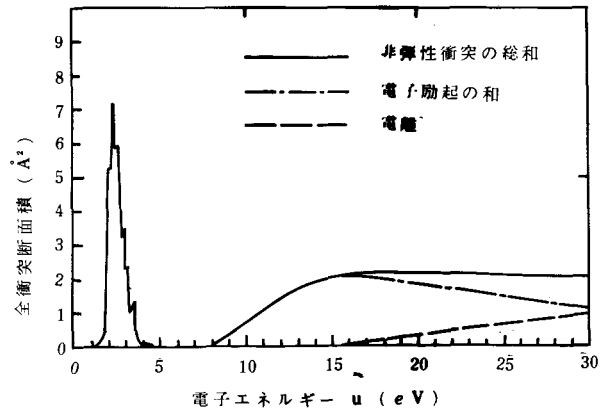


図3 計算に用いた非弾性衝突の衝突断面積の総和

図3に計算に用いた非弾性衝突の全衝突断面積を実線で示す。電子エネルギーの低い2~4(eV)に振動励起が存在し、その最大値は約7(\AA^2)である。電子エネルギー8(eV)付近から始まる電子励起の衝突断面積の和は図中に一点鎖線で示してあるが、15(eV)付近で最大値約2(\AA^2)である。両者を比較すると振動励起が局所的に大きな衝突断面積をもつ事がわかる。図中破線で示した曲線は電離断面積を示している。全衝突断面積は、電離の始まるエネルギー付近からほぼ一定となりその後少しづつ増加している。

以上のような衝突断面積を用いて、電子エネルギー分布関数を Runge-kutta 法を用いて求めた。電子輸送係数として、移動速度 v_d 、拡散係数 D_e および各準位への電子衝突励起周波数 ν_j を求めた。

$$v_d = \frac{1}{3} \int_0^\infty \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{u}{N_g Q_d} \frac{df}{du} du \quad (5)$$

$$D_e = \frac{1}{3} \int_0^\infty \sqrt{\frac{2e}{m}} \frac{u}{N_g Q_d} f du \quad (6)$$

$$\nu_j / N_g = \int_{U_j}^\infty \sqrt{\frac{2e}{m}} Q_j f u du \quad (7)$$

ただし、分布関数は次の規格化条件を満足する。

$$\int_0^\infty f \sqrt{u} du = 1 \quad (8)$$

また、電子移動度 b_e 、平均エネルギー $\langle u \rangle$ および特性エネルギー U_c は次式で表わされる。

$$b_e = v_d / E \quad (9)$$

$$\langle u \rangle = \int_0^\infty u f \sqrt{u} du \quad (10)$$

$$U_c = D_e / b_e \quad (11)$$

分布関数が Maxwell 分布の時には、 $U_c = (2/3) \cdot \langle u \rangle$ の関係が成立する。

§ 3. 計算結果と検討

移動速度の計算結果を図4に示す。各印は、Schlumbohm⁹⁾ (△)、Blevin¹⁰⁾、Prasad¹¹⁾ら (○) による測定値である。 E/N_g の大きい所ではよく合っているが、低い所では測定値より少し大きくなっている。

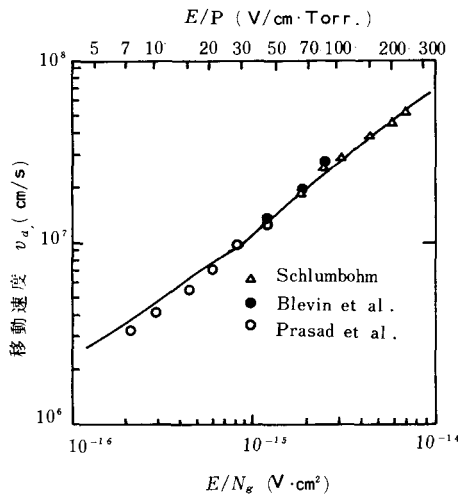


図4 移動速度の計算結果と実測値との比較

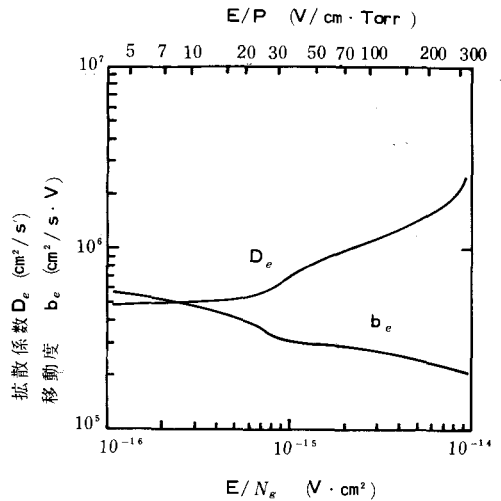


図5 電子の拡散係数と移動度の換算電界依存性

図5に拡散係数と移動度を示す。 $E/N_g \sim 10^{-15}$ ($V \cdot cm^2$) 付近で、換算電界に対し急変している。拡散係数は、 E/N_g の増加とともに大きくなる。一方、移動度は逆に小さくなっていく。しかし、その変化の割合は拡散係数の場合より小さい事がわかる。

(11) 式で定義される特性エネルギーの計算結果を図6に実線で示す。図中の破線は平均エネルギーに(2/3)をかけた値である。

また、図中の各印はそれぞれKontoleon¹²⁾ら (○)、Naidu¹³⁾ら (△)、Crompton¹⁴⁾ら (■) による特性エネルギーの測定値である。計算値は実験値に比較的よく一致しているが、 E/N_g が 7×10^{-15} ($V \cdot cm^2$) 以上では計算値が大きくなっている。逆に、 E/N_g が 8×10^{-16} ($V \cdot cm^2$) 以下では、計算値の方が小さくなっている。

E/N_g が 10^{-15} ($V \cdot cm^2$) 付近から特性エネルギーと平均エネルギーの(2/3)倍の値が近より始め、 E/N_g の増加とともに一致してきている。これは、計算で得られた分布関数が、Maxwell分布に近づいている事によると考えられる。図7に、 $E/N_g = 8.48 \times 10^{-15}$ ($V \cdot cm^2$) と 8.48×10^{-16} の場合の電子エネルギー分布関数を示す。破線で示した直線は、それぞれの分布関数に対し同一の平均エネルギーを持つMaxwell分布である。両者を比べると、 E/N_g が大きい方が直線からのずれが小さくそれだけMaxwell分布に近い事がわかる。

E/N_g が低い場合、振動励起による電子衝突が分布関数の形に大きく影響している。Maxwell分布を基準にして考えると、電子エネルギー5 (eV) 以下の部分で急激に電子数が減少し、3 (eV) 付近から電子エネルギーが低い所では電子数が増加している。振動励起の発生しやすい

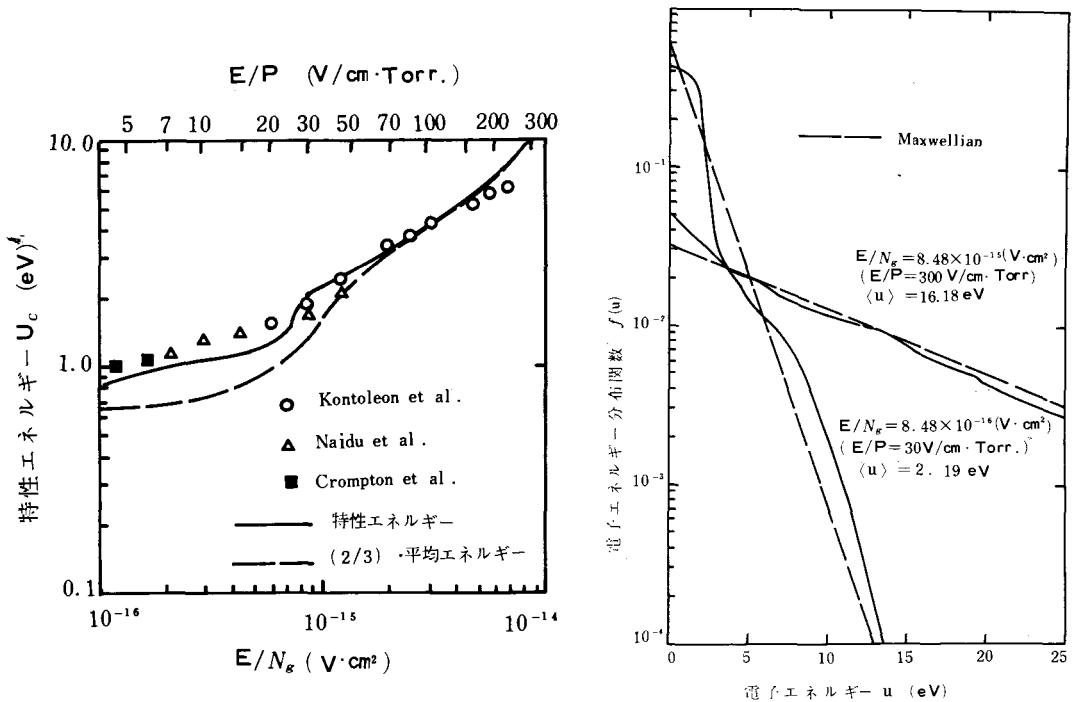


図6 特性エネルギーの計算結果と実測値との比較 ・ 図7 電子エネルギー分布関数の換算電界による変化

いエネルギー領域は、図2や、図3からわかるように2～4 (eV) 付近で急激に大きな断面積をもっている。そして、振動励起により電子は各準位に応じて(3)式で表わされるエネルギーを失って、それだけ小さいエネルギー領域に移る。この損失エネルギーは励起の起りやすい領域のエネルギー値より小さいため、衝突後電子は2 (eV) 付近に多く集まり、図7で示されるような形の分布関数になると考えられる。

それに対し、 E/N_g が高い場合には電子励起や電離が主な衝突過程となり、電子は衝突後0～5 (eV) 付近に多く集まる。エネルギーの低い領域で最も多くの電子数増加がみられ、エネルギーが増すに従いその増加分は少しずつ小さくなっている。これは、電子励起の衝突断面積がほぼ一定で、分布関数自身がその付近で指数関数的に小さくなるため、電子が衝突後持っているエネルギー分布もそれを反映する事に関係する。

移動速度と特性エネルギーが E/N_g の低い領域で測定値と計算値が違ってくる原因として次の事が考えられる。まず第一に、振動励起の衝突断面積の問題である。振動準位への励起衝突が増加すると電子エネルギー分布関数は0～2 (eV) の低エネルギー電子が増加し2～4 (eV) では電子が減少する。また振動励起による損失も増加する。その結果、同一の入力(E/N_g 一定)に対して、平均エネルギーや拡散係数は(6)、(10)式より減少する。(5)式の定義から移動速度は、 $|df/du|$ が大きくなるため増加する。そして、(11)式より、特性エネルギーは減少する事がわかる。一方 E/N_g が大きい場合には、振動励起の効果は考える必要がなく、実際に計算した結果でも E/N_g が大きい所ではまったく影響がなかった。以上の事から考えると、今回用いた衝突断面積は、多少大きめとなっていると考えられる。

しかし、別の見方をすれば次の事が考えられる。振動状態にある分子数が比較的多い場合、電子とこの励起分子との間の超弾性衝突の可能性¹⁵⁾がある。この過程が励起と逆の効果をもたらす事

を考えると単純に、振動励起の衝突断面積が不十分であると言いきる事はできない。しかし、この衝突項の考慮には振動準位にある分子密度が知られている必要がある。この密度の計算は、簡単ではないため、ここでは考えなかった。

次に、 E/N_g が大きくなると二項展開では近似が不十分となる事が言われている。¹⁶⁾ 図6 に示された特性エネルギーの計算値が E/N_g が $6 \times 10^{-15} \text{ (V} \cdot \text{cm}^2)$ 付近から測定値より大きくなる原因は、これによると考えられる。

以上の条件のもとで求めた電子エネルギー分布関数を用いて各種の衝突周波数を求めた。振動準位 ($V=1, 9$) への励起周波数を図8に示す。

($V=10$ については 10^6 S^{-1} 以下なので省略した。) 各準位とも E/N_g に対し最大値をもっている。炭酸ガスレーザと関係する $V=1$ の準位は常に最も多くの励起がある事がわかる。各最大値は、図2に示した衝突断面と関連して準位の高いものほど E/N_g が大きい方に移り、その最大値も小さくなっている。

各一重項と電離の衝突周波数を、図9に示す。また、三重項への励起周波数を、図10に示す。電子励起は、 E/N_g が $3 \times 10^{-15} \text{ (V} \cdot \text{cm}^2)$ 付近から振動励起周波数を上まわり始め、それまでは振動励起の方が多い。そして、窒素放電の維持に重要な電離周波数は E/N_g が低い場合には非常に小さい値になる。その結果、窒素放電の陽光柱内の電界はかなり大き

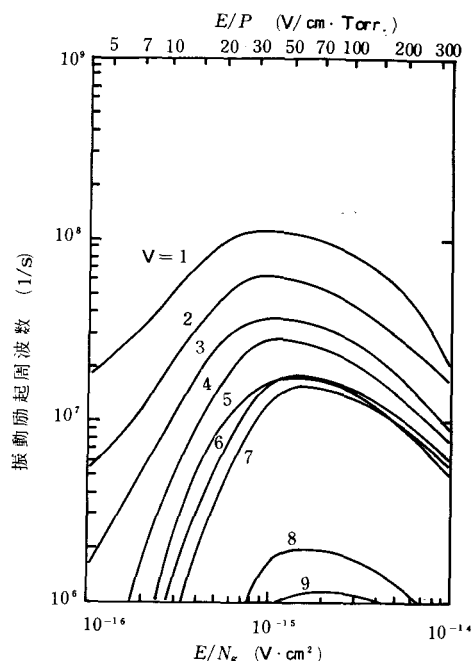


図8 振動励起周波数 ($V=1, 9$) の換算電界依存性

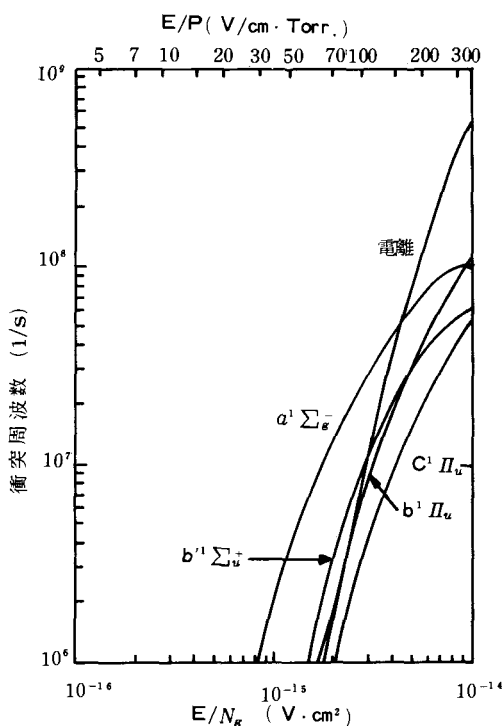


図9 一重項と電離の衝突周波数の換算電界依存性

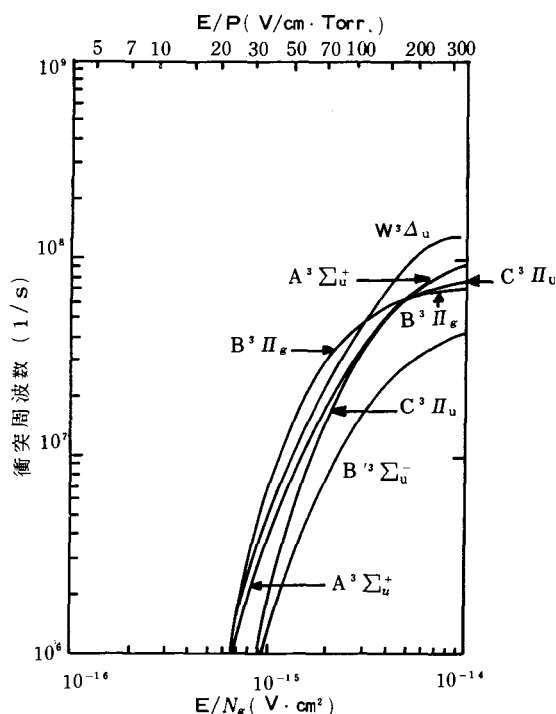


図10 三重項の励起周波数の換算電界依存性

くないと十分な電子密度が得られない。この事より窒素グロー放電陽光柱内の電界が希ガス等の場合より大きくなっている事の説明ができる。

紫外域 (337.1 nm) の窒素レーザーは、第二正帯 ($C^3\Pi_u - B^3\Pi_g$) とよばれる準位間での反転分布が関係する。図10から E/N_g が、 5×10^{-15} ($V \cdot cm^2$) 以上になるとレーザ上準位への励起の方が下準位への励起より多くなる事がわかる。

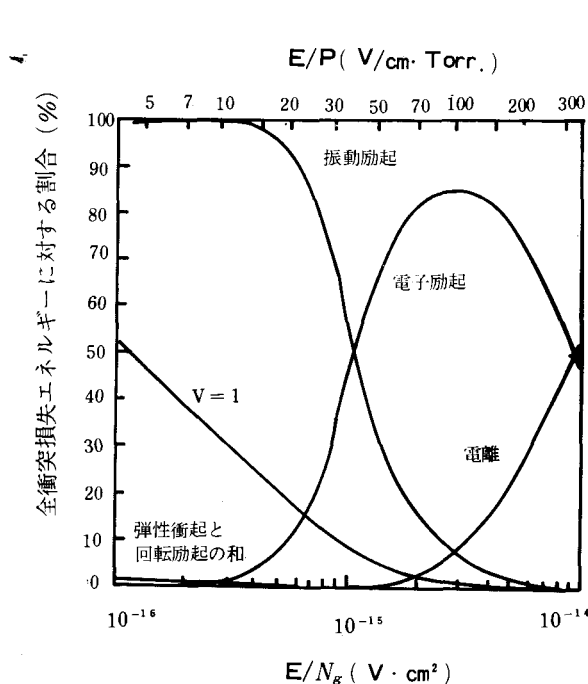


図11 各衝突項の全衝突損失エネルギーに対する割合の換算電界依存性

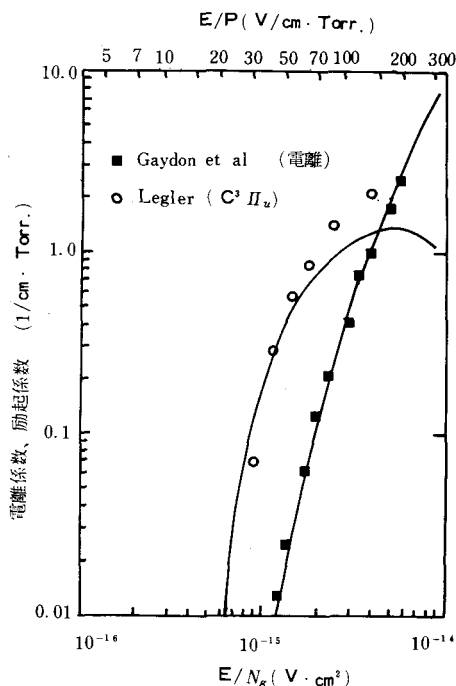


図12 電離係数と励起係数 ($C^3\Pi_u$) の実測値との比較

図11に全衝突損失エネルギーに対する電離、電子励起、振動励起、弾性衝突 (回転励起を含む) による損失エネルギーの割合を示す。 E/N_g が低い場合、振動励起によるエネルギーの損失が非常に大きい事がわかる。 E/N_g が 10^{-15} ($V \cdot cm^2$) 付近で振動と電子励起が同程度になり、それ以上では逆に電子励起と電離による損失の和が大きくなっていく。この図から、 E/N_g の低い領域では振動励起の影響が著しくなる事がわかる。振動準位 $V=1$ に対する励起損失は、 E/N_g の低い所で非常に大きく、この事から炭酸ガスレーザの高効率化に寄与している事がわかる。弾性衝突や回転励起による損失は非常に小さく、 E/N_g が小さい所でのみ影響する。

図12は、電離係数と $C^3\Pi_u$ 準位への励起係数を示している。これらの係数は次式により求まる。

$$\alpha_i/P = \nu_i/P \quad (12)$$

ここで、 P はガス温度300 Kの時の気圧 (Torr.) を表わし、 ν_i としてそれぞれ電離と $C^3\Pi_u$ の励起周波数を用いる。図中の測定値は、Gaydon ら¹⁷⁾ (■) と Legler¹⁸⁾ (○) による結果である。計算結果は電離係数の測定値とよく合っている ($E/N_g \leq 6 \times 10^{-15} V \cdot cm^2$)。また、励起係数についても測定法による誤差を考慮するとよく合っている事がわかる。

§ 4. まとめ

窒素プラズマに対しボルツマン方程式から数値解析により電子エネルギー分布関数を求め、それを用いて各種の輸送係数を求めた。分布関数は二項展開により求めたが、かなりの範囲でよい結果が得られた。特に、移動速度や特性エネルギー、電離係数等の測定値は換算電界(E/N_g)の広い範囲($10^{-16} \sim 7 \times 10^{-15} \text{ V} \cdot \text{cm}^2$)でよく一致していた。その他、輸送係数として振動準位($V=1, 9$)と9つの電子励起準位と電離に対する衝突周波数を換算電界の関数として求めた。

そして、 $E/N_g \leq 10^{-15} (\text{V} \cdot \text{cm}^2)$ では振動準位への励起が各輸送係数の決定に重要な役割を果たしている事がわかった。これは、電子エネルギー分布関数の低エネルギー部で大きな影響をもつ振動励起が主要な衝突項になる事に起因する。また今回用いた振動励起の衝突断面積は、少し大きいと考える事も可能であるが、本計算で考慮しなかった超弾性衝突が比較的に生じやすい事を考えると、かなりよい値であると考えられる。

問題点として、超弾性衝突の考慮が挙げられる。また、換算電界が大きい場合に電離の増加とともに電離した電子のエネルギー分布の影響を考慮する事と、二項展開の限界の吟味等も考えられる。

参考文献

- (1) T. Yamazaki, : 呉高専研究報告 16-1, 65 (1980)
- (2) D. C. Cartwright, : J. Appl. Phys. 49(7) 3855 (1978)
- (3) D. E. Golden, : Phys. Rev. Lett. 17, 847 (1966)
- (4) L. S. Frost, A. V. Phelps, : Phys. Rev. 127, 1621(1962); ibid, 136, 1538 (1964)
- (5) S. C. Brown, "ELECTRON-MOLECULE SCATTERING", John Wiley & Sons Inc. (1979)
- (6) G. J. Schulz, : Phys. Rev. 135, A988 (1964)
- (7) M. J. W. Boness, G. J. Schulz; : Phys. Rev. A8, 2883 (1973)
- (8) D. Rapp, P. Englander-Golden, : J. Chem. Phys. 43(5) 1464 (1965)
- (9) H. Schlumbohm, : Z. Phys. 173, 169 (1963)
- (10) H. A. Blevin, M. Z. Hasan, : Aust. J. Phys. 20, 741 (1967)
- (11) A. N. Prasad, G. P. Smeaton, : Br. J. Phys. 18, 371 (1967)
- (12) N. Kontoleon, J. Lucas, L. E. Virr, : J. Phys. D6, 1237 (1973)
- (13) M. S. Naidu, A. N. Prasad, : J. Phys. D1, 763 (1968)
- (14) H. Brunet, P. Vincent, : J. Appl. Phys. 50(7) 4708 (1979)
- (15) K. Rohlena, T. Ruzicka, : Czech. J. Phys. B29, 407 (1979)
- (16) J. H. Jacob, B. N. Srivastava, M. Rokni, J. A. Mangano, : J. Appl. Phys. 50(5) 3185 (1979)
- (17) S. C. Gaydon, O. M. Williams, : J. Phys. D9, 523 (1976)
- (18) W. Legler, : Z. Phys. 173, 169 (1963)

(昭和56年4月15日受付)

Timoshenko 梁の差分解法

(土木工学科) 久 良 喜 代 彦

A Finite Difference solution for Timoshenko Beams

Kiyohiko KURO

A finite difference solution is presented for flexural wave propagation in a uniform, simply supported beam resulting from transverse impact of a sphere at the mid-point according to the Timoshenko's equation.

A comparison is made of the solution and the experimental results.

§ 1. まえがき

梁の横衝撃は普通、単純な理論による Bernoulli-Euler 型の微分方程式を用いるか又はより厳密な理論による Timoshenko 型の微分方程式を用いるかのいずれかの方法によって解かれている。

梁の厚さ^{1) 2)}が梁の長さに比べて大きい場合には Bernoulli-Euler 式の適用性は悪くなるようである。

本研究では Timoshenko 式を従来主として行われて来た振動形解析法を用いて解くかわりに、差分的手法を用いて解く数値解析法を開発し、これを単純支持梁のスパン中央に鋼球を落下させて横衝撃を加える場合に適用し、実験結果および振動形解析法による解と比較することにより本研究によって得られた差分解法の適用性について検討しようとするものである。

なお、鋼球と梁の接触については Hertz の理論を用いることにする。

§ 2 記 号

- A 断面積 (cm^2)
- α 接近距離 (cm)
- b 梁の幅 (cm)
- β 剪断たわみ角
- γ_1, γ_2 それぞれ鋼球および梁の単位体積重量 (kg/cm^3)
- Δx 梁の分割長 (cm)
- Δt 時間間隔 (sec)
- E 弾性係数 (kg/cm)
- E_1, E_2 それぞれ鋼球および梁の弾性係数 (kg/cm^2)
- F 鋼球と梁との間の接触力 (kg)
- G 梁の剛性率 (kg/cm^2)
- h 梁の厚さ (cm)
- I 梁の断面 2 次モーメント (cm^4)
- i 梁の各部を表わす添字

- k Hertz の定数
 k' 梁断面の剪断係数
 l 梁のスパン (cm)
 M 曲げモーメント (kg-cm)
 μ_1, μ_2 それぞれ鋼球および梁のポアソン比
 n 時間間隔に付した番号
 $nmax$ n の最大値
 nd 梁の分割数
 p 梁の支点部分を表わす添字
 ϕ 鋼球の直径 (cm)
 Q 剪断力 (kg)
 R 鋼球の半径 (cm)
 r 鋼球を表わす添字
 σ 曲げ応力 (kg/cm²)
 θ 梁の曲げによるたわみ角
 t 時間 (sec)
 τ' 梁の内部摩擦係数 (sec)
 v 変位速度 (cm/sec)
 W 重量 (kg)
 x 梁の横座標 (cm)
 y 鉛直方向変位 (cm)
 y_b, y_s 夫々曲げおよび剪断によるたわみ (cm)
 ω 梁要素の回転角速度 (1/sec)
 $()_n$ 時間間隔 n における変化量

§ 3 Timoshenko 式

Bernoulli-Euler 理論では曲げたわみによって生ずる弾性力と梁の軸に直角方向の慣性だけを考慮するに反し、Timoshenko 理論では剪断たわみおよび回転慣性を考慮に入れている。

Timoshenko 理論では図 1 に示す梁要素について次のような関係式が成立すると仮定する。

1) 運動方程式

a. A 点のまわりのモーメントについて

$$\frac{\gamma}{g} \cdot I \cdot \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial M}{\partial x} - Q \quad (1)$$

b. 鉛直方向の力について

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \gamma \cdot A \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad (2)$$

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3)$$

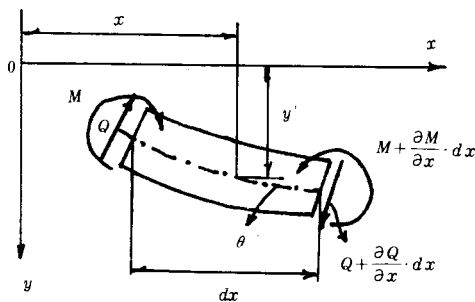


図1 梁要素

(2) 力-変位関係式および変形の適合条件式

$$M = -E \cdot I \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (4)$$

$$\omega = -\frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (5)$$

$$\theta = -\frac{\partial y_b}{\partial x}$$

$$Q = k' \cdot G \cdot A \cdot \beta \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\partial y_s}{\partial x}$$

$$y = y_b + y_s$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \theta + \beta \quad (7)$$

上記の各式から次の2式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} E \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial x^3} + k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial y_s}{\partial x} - I \cdot \frac{r}{g} \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial t^2 \cdot \partial x} &= 0 \\ \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot \left(\frac{\partial^2 y_b}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_s}{\partial t^2} \right) - k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y_s}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

§ 4 鋼球の梁におよぼす接触力

Timoshenko の微分方程式(8)は衝撃子によって梁に作用する接触力 F が与えられれば横衝撃の問題に用いることが出来る。

鋼球の梁におよぼす接触力 F は Hertz の接触理論によると次式で与えられる。

$$F = k \cdot \alpha^{\frac{3}{2}}, \quad \alpha \geq 0 \quad (9)$$

ここに、 k は Hertz の定数で、球と平面とが接触する場合には次式で与えられる。

$$k = \frac{4}{3 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\delta_1 + \delta_2}, \quad \delta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot E_1}, \quad \delta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{\pi \cdot E_2}$$

接近距離 α は衝撃後の鋼球および梁の接触点の変位をそれぞれ y_r , y_1 とすると次式で与えられる。

$$\alpha = y_r - y_1 \quad (10)$$

接触力 F によって鋼球の速度 v_r は変化するが、その関係は次式で与えられる。

$$\frac{W_r}{g} \cdot \frac{dv_r}{dt} = -F \quad (11)$$

$$v_r = \frac{dy_r}{dt} \quad (12)$$

一方、接触点の変位速度 v_1 の変化は次式で与えられる。

$$\frac{F}{dx} + \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\gamma}{g} \cdot A \cdot \frac{\partial v_1}{\partial t} \quad (13)$$

$$v_1 = \frac{\partial y_1}{\partial t} \quad (14)$$

つまり、§ 3の(2)式は接触点を含む要素についてはその左辺に F/dx が加わり(14)式のようになる。(9)~(14)の各式を(8)式と総合して解くと、接触力 $F(t)$ が時間の関数として得られる。

§ 5 差分解析

(1) 離散化モデル

本研究では Timoshenko 式(8)を直接解くかわりに、これの基になっている1次の微分方程式群(1)~(7)の各々を差分式に転化して得られる1次方程式群を解くことにする。又、接触力に関連する微分方程式群(9)~(14)も同じように差分化する。

この計算目的のために梁を図2のように剛体要素(質点)をばねで連ねたものとして表現する。このばねは曲げに対する弾性のみを表わすものとする。

次に衝撃後の経過時間を微小時間間隔 Δt に分割する。一つの時間間隔の間で力、変位、変位速度等の変量は一定であると見做すことにする。

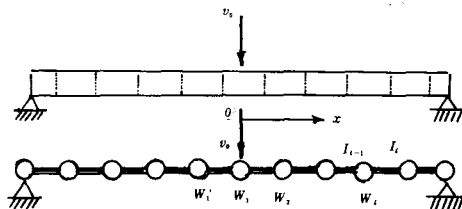


図2 計算目的のための梁の表現

(2) Timoshenko 式の差分展開

§ 3 で述べた微分方程式群(1)~(7)をそれぞれ差分式に転化したものを(1)'~(7)'として排列しなおすと次のようになる。

$$(y_i)_n = (y_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t \quad (3)'$$

$$(\theta_i)_n = (\theta_i)_{n-1} - (\omega_i)_{n-1} \cdot \Delta t \quad (5)'$$

$$(M_i)_n = -E \cdot I_i \{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n \} / \Delta x \quad (4)'$$

$$(\beta_i)_n = \{ (y_{i+1})_n - (y_i)_n \} / \Delta x - (\theta_i)_n \quad (7)'$$

$$(Q_i)_n = G \cdot k' \cdot A_i \cdot (\beta_i)_n \quad (6)'$$

$$(\omega_i)_n = (\omega_i)_{n-1} + [\{ (M_{i+1})_n - M_i \} / \Delta x - (Q_i)_n] \cdot \Delta t \cdot g / (I_i \cdot \gamma) \quad (1)'$$

$$(v_i)_n = (v_i)_{n-1} + \{ (Q_i)_n - (Q_{i-1})_n \} \cdot g \cdot \Delta t / W_i \quad (2)'$$

上記の方程式群を上から順に解いて行くことにより、時間間隔 n における各要素ごとの変位、曲げモーメント、剪断力、変位速度等が得られる。

(3) 接触力関連式の差分展開

接触力 F に関連する(9)~(14)の各式を差分化したものを(9)'~(14)'とし、次のように排列する。

$$(y_r)_n = (y_r)_{n-1} + (v_r)_{n-1} \cdot \Delta t \quad (12)'$$

$$(y_i)_n = (y_i)_{n-1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t \quad (14)'$$

$$(\alpha)_n = (y_r)_n - (y_i)_n \quad (10)'$$

$$(F)_n = k \cdot \{ (\alpha)_n \}^{\frac{3}{2}}, \quad (\alpha)_n \geq 0 \quad (9)'$$

$$(v_r)_n = (v_r)_{n-1} - (F)_n \cdot g \cdot \Delta t / W_r \quad (11)'$$

$$(v_i)_n = (v_i)_{n-1} + \{ (F)_n + (Q_i)_n - (Q_{i-1})_n \} \cdot g \cdot \Delta t / W_i \quad (13)'$$

(4) 条件式

a. 初期条件 鋼球の衝撃速度を v_0 とすると $(v_r)_0 = v_0$ 。

b. 境界条件 支点では曲げモーメントおよび変位が0であることから

$$(v_p)_n = 0, (M_p)_n = 0$$

載荷点(質点1)をスパン中央とすると、梁および荷重が左右対称ということから、計算はスパン中央から右の部分についてのみ行うことにする。この場合、

$$(Q'_i)_n = -(Q_i)_n, (\theta'_i)_n = -(\theta_i)_n$$

c. 梁の内部摩擦 梁の内部摩擦による歪み波の減衰を考慮するために、Voigt 型の減衰モデルを用い(4)'式のかわりひ次式を用いることにする。

$$(M_i)_n = -\frac{E \cdot I_i}{\Delta x} \left\{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \frac{\tau}{\Delta t} \{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n - ((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1}) \} \right\} \quad (4)''$$

(5) 計算プログラム

上記の各差分式および各種条件式を総合すると、次のような計算プログラムが得られる。

$$\boxed{nd, n_{max}, \Delta t}$$

$$\boxed{R, v_0, E_1, \gamma_1, \mu_1}$$

$$\boxed{b, h, l, E_2, \gamma_2, \mu_2, k'}$$

$$\boxed{\tau'}$$

$$p = nd/2 + 1$$

$$A = b \cdot h$$

$$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3$$

$$G = E_2 / \{2 \cdot (1 + \mu_2)\}$$

$$\Delta x = l / (p - 1)$$

$$\delta_1 = (1 - \mu_1^2) / (\pi \cdot E_1)$$

$$\delta_2 = (1 - \mu_2^2) / (\pi \cdot E_2)$$

$$k = 4 \cdot \sqrt{R} / \{3 \pi \cdot (\delta_1 + \delta_2)\}$$

$$W_r = 4/3 \cdot \gamma_1 \cdot \pi \cdot R^3$$

$$W_i = \gamma_2 \cdot A \cdot \Delta x, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$

$$W_p = 1/2 \cdot \gamma_2 \cdot A \cdot \Delta x$$

$$(y_r)_0 = 0$$

$$(y_i)_0 = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$(v_r)_0 = v_0$$

$$(v_i)_0 = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$(\theta_i)_0 = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$

$$(\omega_i)_0 = 0, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$

$$n = 1$$

$$(y_r)_n = (y_r)_{n-1} \cdot \Delta t$$

$$(y_i)_n = (y_i)_{n+1} + (v_i)_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$(\alpha)_n = (y_r)_n - (y_1)_n$$

$$(\alpha)_n > 0 \text{ ならば } (F)_n = k \cdot \{(\alpha)_n\}^3$$

$$(\theta_i)_n = (\theta_i)_{n-1} - (\omega_i)_{n-1} \cdot \Delta t, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$

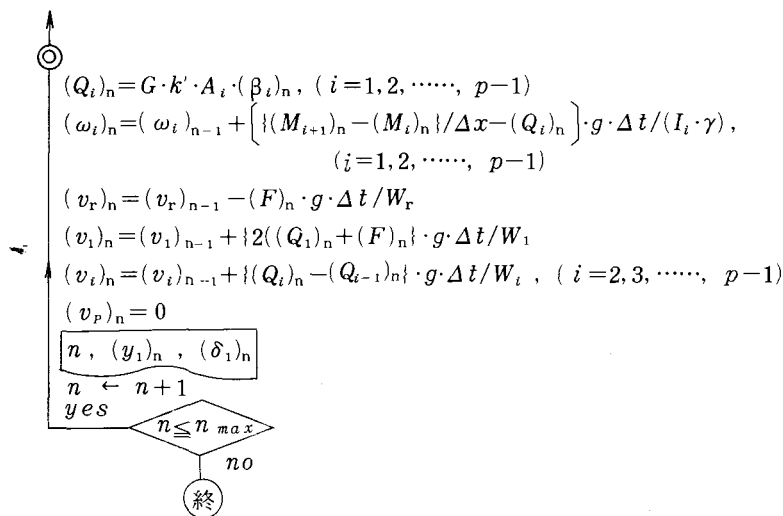
$$(M_1)_n = -2 \cdot E \cdot I / \Delta x \cdot \left\{ (\theta_1)_n + \tau' / \Delta t \cdot ((\theta_1)_n - (\theta_1)_{n-1}) \right\}$$

$$(M_i)_n = -E \cdot I / \Delta x \cdot \left\{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n + \tau' / \Delta t \cdot \{ (\theta_i)_n - (\theta_{i-1})_n - ((\theta_i)_{n-1} - (\theta_{i-1})_{n-1}) \} \right\} \quad (i = 2, 3, \dots, p-1)$$

$$(M_p)_n = 0$$

$$(\delta_i)_n = (M_i)_n / I \cdot h / 2, \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

$$(\beta_i)_n = \{ (y_{i+1})_n - (y_i)_n \} / \Delta x - (\theta_i)_n, \quad (i = 1, 2, \dots, p-1)$$



§ 6 衝撃実験

衝撃実験には角鋼梁およびレジンモルタル梁を用いた。³⁾角鋼の単位重量は 0.00774 kg/cm^3 , 弾性係数は $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ である。

レジンモルタルはその結合材には不飽和ポリエステル樹脂(武田薬品工業製)を用いた。その配合ならびに静的特性を表1, 表2に示す。

表1 レジンモルタルの配合(重量比)

樹 脂	ポリマールXGK2	20%
砂	豊 浦 産	56%
炭酸カルシウム		24%
促 進 剤	ナフテン酸コバルト	ポリマールの0.5%
硬 化 剤	ルバゾールDDM	ポリマールの0.5%

表2 レジンモルタルの特性

単 位 体 積 重 量	0.002 kg/cm^3
静 的 弾 性 係 数	$2.16 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
動 〃 〃 〃	$2.33 \times 10^5 \text{ 〃}$
ポ ア ソ ン 比	0.275
圧 縮 強 度	986 kg/cm^2
引 張 強 度	112 〃
曲 げ 強 度	375 〃

衝撃試験には角柱供試体を用い、その両端支点を単純支持とした。スパン中央および $l/4$ 点の下縁に共和ゲージK10A1を貼布した。梁のスパン中央上縁に種々の落高で鋼球を落下させて横衝撃を加え、ゲージ貼布位置の歪み波形をシンクロスコープDS5016で観測した。(図3)

鋼球は重量0.96, 0.30, 0.54, 1.82kgのものを
用いた。角鋼梁としては $1.2 \times 2.48 \times 31 \text{ cm}$ (スパン
30cm)、 $1.2 \times 2.48 \times 61 \text{ cm}$ (スパン50cm)の寸法のもの
を用いた。

レジンモルタル梁は $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ (スパン45cm)、
 $3 \times 3 \times 60 \text{ cm}$ (スパン50cm)の寸法のものを用いた。

実験結果として得られた歪み波形の1例を写真1
に示す。

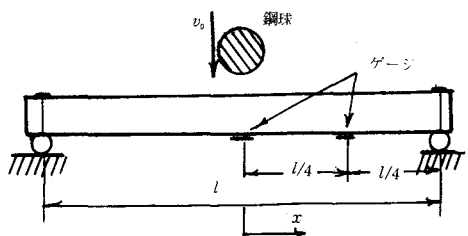


図3 実験梁

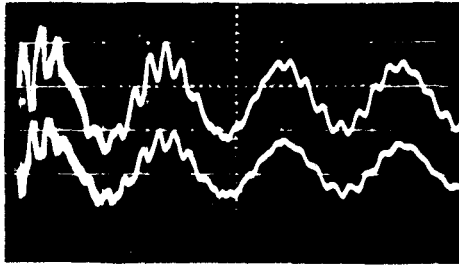


写真1 5×5×50cmレジンモルタル梁

 $W_r = 0.096 \text{ kg}$, $h_r = 10 \text{ cm}$ 上: スパン中央、下: $l/4$ 点 変位波形縦 $166.67 \times 10^{-6} / \text{div}$ 、横 $1 \text{ ms} / \text{div}$

§ 7 実験および計算結果

(1) 計算例

本解法を $5 \times 5 \times 50 \text{ cm}$ (スパン 45 cm) のレジンモルタル梁のスパン中央に重量 0.3 kg の鋼球を落高 20 cm で落下させた場合に適用する。

計算データは次の通りである。

梁分割数 $nd = 20$, n の最大値 $n_{\max} = 2000$

時間間隔 $\Delta t = 0.5 \times 10^{-6} \text{ sec}$ 鋼球の半径 $R = 2.1 \text{ cm}$

鋼球の衝撃速度 $v_0 = \sqrt{2 \times 980 \times 20} = 198 \text{ cm/sec}$

梁の幅 $b = 5 \text{ cm}$ 、梁の厚さ $h = 5 \text{ cm}$ 、梁のスパン $l = 45 \text{ cm}$

鋼球の弾性係数 $E_1 = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

◇ 単位重量 $\gamma_1 = 0.00785 \text{ kg/cm}^3$

◇ ポアソン比 $\mu_1 = 0.29$

レジンモルタルの弾性係数 $E_2 = 2.33 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

◇ 単位重量 $\gamma_2 = 0.002 \text{ kg/cm}^3$

◇ ポアソン比 $\mu_2 = 0.275$

◇ 剪断係数 $k' = 0.6667$

◇ 内部摩擦係数 $\tau' = 0.0, 5 \times 10^{-5} \text{ sec}$

計算結果として得られた梁下縁の曲げ歪みの理論波形およびこの場合の実測波形を図4-1に示す。

(2) 計算結果の検討

種々の場合について本解法による理論解と実測波形とを比較すると図4、図5のようになる。

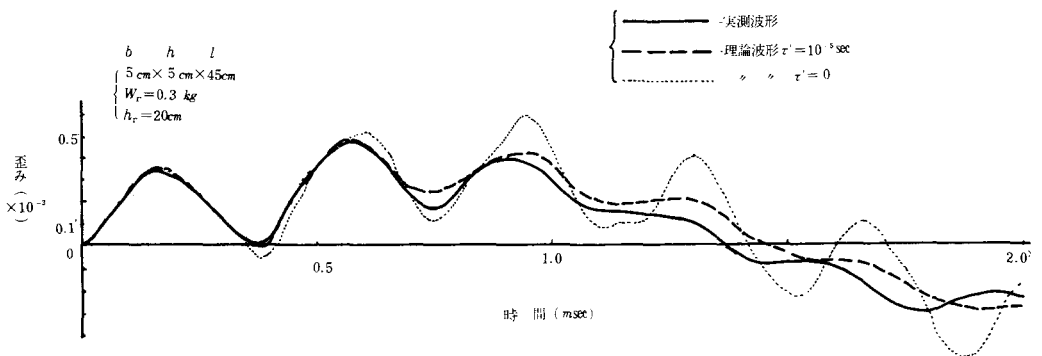


図4. 1 Timoshenko 理論による差分解と実測波形との比較

(レジンモルタル梁スパン中央下縁曲げ歪み)

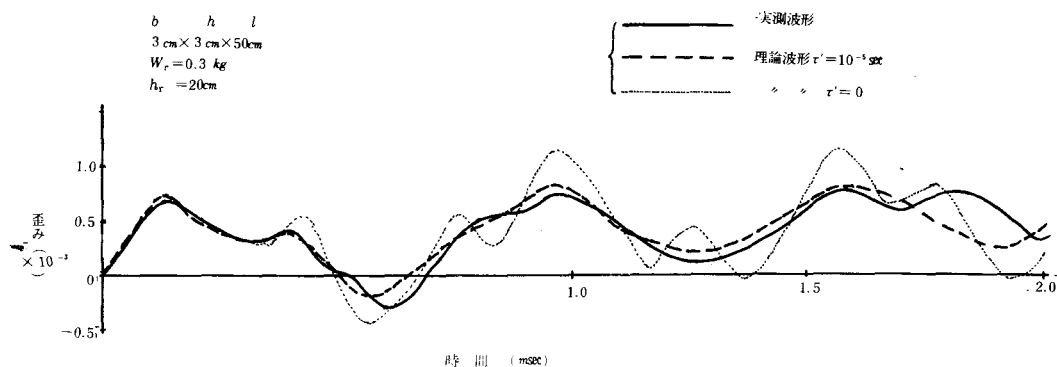


図4. 2 Timoshenko 理論による差分解と実測波形との比較
(レジンモルタル梁スパン中央下縁曲げ歪み)

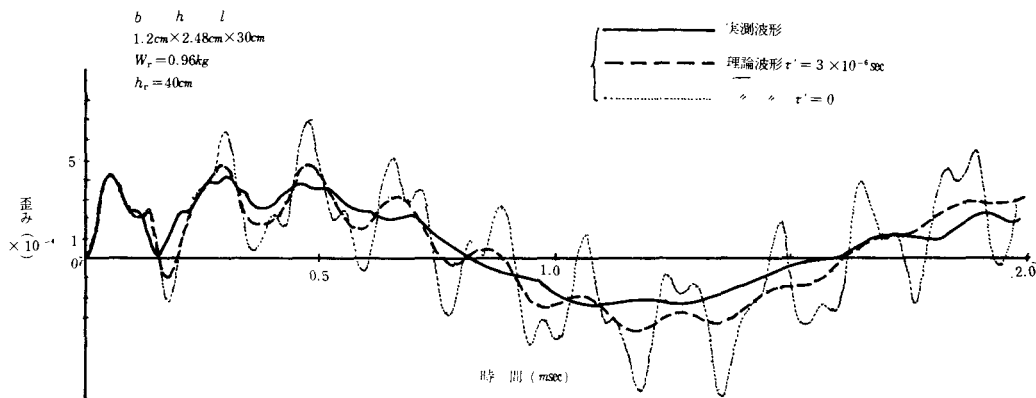


図5 Timoshenko 理論による差分解と実測波形との比較
(角鋼梁スパン中央下縁曲げ歪み)

これらの結果から本解法の適用性について検討して得られた結論の主なものは次の通りである。

i 減衰を考慮しない場合でも初期の立上り部分では理論歪み波形は実測波形に大畧一致したが、その後においてはかなりの開きが出て来ている。

ii 減衰を考慮することにより少くとも過渡振動の領域では理論波形を実測波形に近づけることが出来るように思われる。

iii 本解法による解は振動形解析法による Timoshenko 解と大畧一致した。

iv 本研究では梁材料の内部摩擦係数をレジンモルタル梁については $5 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}\text{ sec}$ 程度に、又、角鋼梁では $3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}\text{ sec}$ 程度にしたときに良好な結果が得られたが減衰の原因としてはむしろ支点におけるエネルギー逸散によるものが大きいと思われる。

(3) 歪み波形

実測歪み波形と Bernoulli-Euler 式の差分解と比較すると図6のようになる。

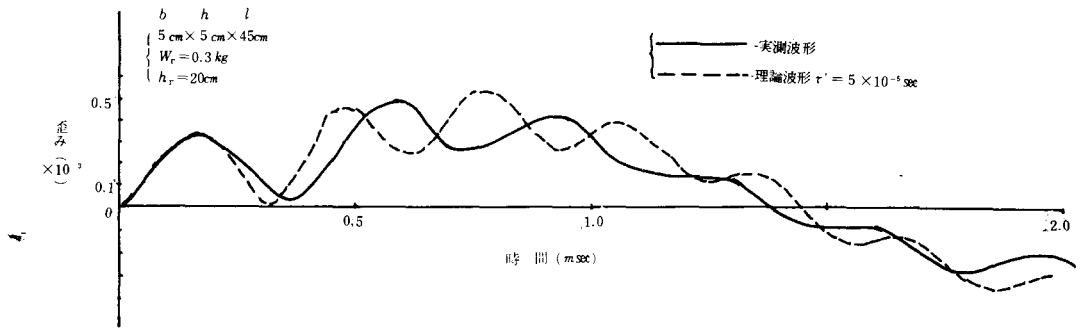


図6 Bernoulli-Euler 理論による解と実測波形との比較

(レジンモルタル梁スパン中央下縁曲げ歪み)

これで見ると、歪み波形の中の高周波分についてはずれが目立っている。これは Bernoulli-Euler 理論によると高周波分の振動周期が実際より短くなるためと思われる。

この点について、Timoshenko 理論は梁の剪断たわみおよび回転慣性を考慮することによって振動周期を長くすることが出来るものと思われる。

実測歪み波形の過渡振動分の持続時間は鋼球重量によってかわるが、定常振動の周期は鋼球重量にかかわりなく一定で、その低周波分の周期は Timoshenko 理論による第1次固有周期として算出されるものに一致している。(写真1)

一方、その高周波分の周期は第3次の固有周期として算出されるものに対応しているように思われる。

なお、低周波分の周期は Bernoulli-Euler 理論で算出して差支えないものと思われる。

§ 8 あとがき

本研究で得られた主要な結論は次の通りである。

Timoshenko 式の差分解法は衝撃直後の過渡現象の追跡には充分用いることが出来るものと思われる。

参考文献

- 1) 久良喜代彦、単純支持梁の曲げ応力波に関する数値解析法について、呉高専研究報告、16巻2号、1981。
- 2) Abramson, H.N., H.J. Plass and E.A. Ripperger, : Stress Wave Propagation in Rods and Beams, Adv. Applied Mechanics, 5, New York, Academic Press, Inc., 1958. pp 111 ~ 194
- 3) 岡田清、徳永博文、レジンコンクリートはりの力学的特性、材料、29巻318号、1980. pp 272 ~ 278.
- 4) 久良喜代彦、梁の曲げ応力波に関する振動形解析法について、呉高専研究報告、16巻1号、1980。

昭和56年4月7日受付

三次元弾性論による板の解析

土木工学科 丸 上 晴 朗

A Study on a Plate by Means of the Theory of Three Dimensional Elasticity

Seirō MARUGAMI

We apply the theory of three dimensional elasticity to the problem of bending of a plate in the determinate conditions.

We get one formula that contributes to the calculation of displacement and stress at any point in an elastic body. This formula is useful to decide the limits of plate thickness within which both thin plate theory and thick plate theory are true.

§ 1 まえがき

等方性板の曲げ理論は板のたわみが微小であると考えた場合に薄板理論と厚板理論に大別することができる。薄板理論は板厚が板の辺長等に比して小さいと考えて導かれた近似理論である。従って辺長に比し板厚が厚くなってくると、即ち厚板になると薄板理論の適用による計算誤差の増大が目立ってくる。よって薄板理論には適用限界が当然生じて来る。厚板の曲げについては厚板理論が必要になりいろいろな種類の厚板理論が提案されている。厚板理論の多くは薄板理論を修正した内容となっている。板の変位、応力に関して薄板理論ほど強い制限を行わないのが厚板理論である。しかし厚板理論といえども近似理論であるからこれにも適用できる板厚に限界がある。薄板、厚板を含めて板厚に関係なく適用できる理論としては三次元弾性論がある。この理論は正確さ、厳密さにおいて優れる。一方実際問題に適用する場合には境界条件が単純でなくなると適用が困難又は不可能になるので、広くあらゆる問題の解決に利用できるというものではない。本文においては境界条件が単純となりしかも板の曲げ問題としては基本的である長方形板を四辺単純支持する場合について三次元弾性論の適用を試みた。

§ 2 弾性体の平衡方程式

弾性体に外力が作用していて弾性体は静止しているものとする、弾性体内の任意の微小部分も応力を受けて同様に静止している。物体を三次元空間内で考えているので弾性体内の任意微小部分に作用している応力度は $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{xz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}, \tau_{yz}$ となる。微小部分の体積力の x, y, z 軸方向成分をそれぞれ X, Y, Z とする。弾性体中の任意微小部分は応力及び体積力を受て静止しているので次の平衡方程式が成立している。

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0 \\
 \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y &= 0 \\
 \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0 \\
 \tau_{xy} &= \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

次にひずみと変位の関係は、任意点における x, y, z 軸方向の変位成分をそれぞれ u, v, w とすると以下の式で示される。

$$\left. \begin{aligned}
 \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \\
 \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\
 \gamma_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\
 \gamma_{zx} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ラーメの定数を λ, μ としてこれを用いて構成方程式は以下の式で示される。

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_x &= \lambda e + 2\mu \varepsilon_x \\
 \sigma_y &= \lambda e + 2\mu \varepsilon_y \\
 \sigma_z &= \lambda e + 2\mu \varepsilon_z \\
 \tau_{xy} &= \mu \gamma_{xy}, \quad \tau_{yz} = \mu \gamma_{yz}, \quad \tau_{zx} = \mu \gamma_{zx}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3)$$

§3 平衡方程式の変位による表現

(2)を(3)へ代入し、更にこれを(1)へ代入して整理すると変位 u, v, w により平衡方程式は以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned}
 (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + X &= 0 \\
 (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + Y &= 0 \\
 (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + Z &= 0 \\
 e &\equiv \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$$= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$\nabla^2 \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

板の応力、ひずみ等を求めるために三次元弾性論を適用するには、板の形状、支持方法、載荷重を定めこれから変位、応力の満足すべき境界条件を確定しこの境界条件及び(4)を同時に満足する u 、 v 、 w を求めなければならない。

§4 四辺単純支持の長方形板

座標系は図1の通りとし荷重は上表面に等分布荷重を全域に載荷し、板を支持する四辺は平面 $z=c$ 内において $x=0$ 、 $x=a$ 、 $y=0$ 、 $y=b$ が支持辺であるとして三次元弾性論を適用する。この場合境界条件は厳密に三次元的条件ではない板の特質に適う次のものが広く用いられている。¹⁾

$$\left. \begin{aligned} x=0 : v=0, w=0, \sigma_x=0 \\ x=a : v=0, w=0, \sigma_x=0 \\ y=0 : u=0, w=0, \sigma_y=0 \\ y=b : u=0, w=0, \sigma_y=0 \\ z=0 : \sigma_z=-q, \tau_{zx}=0, \tau_{zy}=0 \\ z=c : \sigma_z=0, \tau_{zx}=0, \tau_{zy}=0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

境界条件は(5)を用い板の自重は無視して解析をすすめる。そうすると体積力は0となり平衡方程式(4)は(6)となる。

$$\left. \begin{aligned} (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial x} + \mu \nabla^2 u &= 0 \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial y} + \mu \nabla^2 v &= 0 \\ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial z} + \mu \nabla^2 w &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

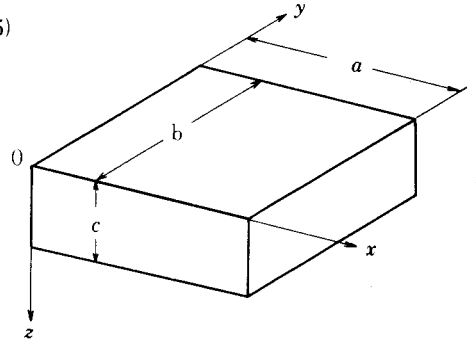


図1 板とその座標系

平衡方程式(6)を満足する解 u 、 v 、 w は積分変換を行って求める。^{2,3)} (6)の第1式、第2式、第3式へそれぞれ核 $\cos(m\pi x/a)\sin(n\pi y/b)\cos(r\pi z/c)$ 、 $\sin(m\pi x/a)\cos(n\pi y/b)\cos(r\pi z/c)$ 、 $\sin(m\pi x/a)\sin(n\pi y/b)\sin(r\pi z/c)$ を乗じて3回連続して積分変換を行うと次のようになる。

$$\int_0^c \int_0^b \int_0^a \left\{ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \right\} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz$$

$$= - \left\{ (\lambda + 2\mu) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \mu \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \mu \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \right\}$$

$$\times \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz$$

$$\begin{aligned}
& + (\lambda + \mu) \frac{mn\pi^2}{ab} \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& + (\lambda + \mu) \frac{mr\pi^2}{ac} \int_0^c \int_0^b \int_0^a w \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& + \lambda \frac{m\pi}{a} \int_0^b \int_0^a \left\{ (-1)^r [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy = 0 \quad \dots\dots (7, 1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^c \int_0^b \int_0^a \left\{ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& = (\lambda + \mu) \frac{mn\pi^2}{ab} \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& - \left\{ \mu \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + (\lambda + 2\mu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \mu \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \right\} \\
& \times \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& + (\lambda + \mu) \frac{nr\pi^2}{bc} \int_0^c \int_0^b \int_0^a w \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& + \lambda \frac{n\pi}{b} \int_0^b \int_0^a \left\{ (-1)^r [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy = 0 \quad \dots\dots (7, 2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \int_0^c \int_0^b \int_0^a \left\{ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& = (\lambda + \mu) \frac{mr\pi^2}{ac} \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& + (\lambda + \mu) \frac{nr\pi^2}{bc} \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \left\{ \mu \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \mu \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + (\lambda + 2\mu) \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \right\} \\
& \times \int_0^c \int_0^b \int_0^a w \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
& - (\lambda + 2\mu) \frac{r\pi}{c} \int_0^b \int_0^a \left\{ (-1)^r [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \\
& = 0 \dots\dots\dots (7, 3)
\end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
\bar{\bar{u}}(m, n, r) &\equiv \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
\bar{\bar{v}}(m, n, r) &\equiv \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} dx dy dz \\
\bar{\bar{w}}(m, n, r) &\equiv \int_0^c \int_0^b \int_0^a w \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} dx dy dz
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7, 4)$$

(7, 1), (7, 2), (7, 3) は上の $\bar{\bar{u}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{v}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{w}}(m, n, r)$ に関する連立一次方程式となっているのでこれを解くと $\bar{\bar{u}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{v}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{w}}(m, n, r)$ が求まる。逆変換を行うと u , v , w が次のようになる。

$$\begin{aligned}
u &= \frac{1}{a} \int_0^a u dx + \frac{4}{abc} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \int_0^c \bar{\bar{u}}(m, n) dz \\
&+ \frac{8}{abc} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \bar{\bar{u}}(m, n, r) \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \\
&\dots\dots\dots (8, 1)
\end{aligned}$$

$$v = \frac{1}{b} \int_0^b v dy + \frac{4}{abc} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \int_0^c \bar{\bar{v}}(m, n) dz$$

$$+ \frac{8}{abc} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \bar{v}(m, n, r) \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \dots\dots\dots (8, 2)$$

$$w = \frac{8}{abc} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \bar{w}(m, n, r) \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} \dots\dots\dots (8, 3)$$

上の u , v は $\int_0^c \bar{u}(m, n) dz$, $\int_0^c \bar{v}(m, n) dz$ を含むのでこれを求めるために (6) の第1式, 第2式へそれぞれ核 $\cos(m\pi x/a) \sin(n\pi y/b)$, $\sin(m\pi x/a) \cos(n\pi y/b)$ を乗じて積分変換を行うと次のようになる。

$$\begin{aligned} & \int_0^c \int_0^b \int_0^a \left\{ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \right\} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \\ &= - \left\{ (\lambda + 2\mu) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \mu \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \\ &+ (\lambda + \mu) \frac{mn\pi^2}{ab} \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \\ &+ \lambda \frac{m\pi}{a} \int_0^b \int_0^a \left\{ [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (9, 1)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^c \int_0^b \int_0^a \left\{ (\lambda + \mu) \frac{\partial e}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \\ &= - (\lambda + \mu) \frac{mn\pi^2}{ab} \int_0^c \int_0^b \int_0^a u \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \\ &- \left\{ \mu \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + (\lambda + 2\mu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} \int_0^c \int_0^b \int_0^a v \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} dx dy dz \end{aligned}$$

$$+ \lambda \frac{n\pi}{b} \int_0^b \int_0^a \left\{ [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy = 0$$

..... (9, 2)

(7, 1), (7, 2), (7, 3) から $\bar{\bar{u}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{v}}(m, n, r)$, $\bar{\bar{w}}(m, n, r)$ を求め, (9, 1),

(9, 2) から $\int_0^c \bar{\bar{u}}(m, n) dz$, $\int_0^c \bar{\bar{v}}(m, n) dz$ を求めると次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\bar{u}}(m, n, r) &= \frac{\lambda m\pi B}{(\lambda + 2\mu)a\gamma_{mnr}^2} - \frac{2(\lambda + \mu)m\pi}{(\lambda + 2\mu)a} \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \frac{B}{\gamma_{mnr}^4} \\ \bar{\bar{v}}(m, n, r) &= \frac{\lambda n\pi B}{(\lambda + 2\mu)b\gamma_{mnr}^2} - \frac{2(\lambda + \mu)n\pi}{(\lambda + \mu)b} \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \frac{B}{\gamma_{mnr}^4} \\ \bar{\bar{w}}(m, n, r) &= -\frac{r\pi B}{c\gamma_{mnr}^2} - \frac{2(\lambda + \mu)r\pi}{(\lambda + 2\mu)c} \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} \frac{B}{\gamma_{mnr}^4} \end{aligned} \right\}$$

..... (10)

但し,

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{mnr}^2 &\equiv \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \left(\frac{r\pi}{c} \right)^2 \\ B &\equiv \int_0^b \int_0^a \left\{ (-1)^r [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \end{aligned} \right\}$$

..... (11)

とする。

$$\left. \begin{aligned} \int_0^c \bar{\bar{u}}(m, n) dz &= \frac{\frac{m\pi}{a} \lambda B'}{(\lambda + 2\mu) \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\}} \\ \int_0^c \bar{\bar{v}}(m, n) dz &= \frac{\frac{n\pi}{b} \lambda B'}{(\lambda + 2\mu) \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\}} \end{aligned} \right\}$$

..... (12)

但し,

$$B' \equiv \int_0^b \int_0^a \left\{ [w]_{z=c} - [w]_{z=0} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy \quad \dots\dots\dots (13)$$

とする。

→(10), (12) の結果を (8) へ代入すると u, v, w は次のようになる。

$$\begin{aligned} u = & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda B_{mn} \beta_m}{(\lambda + 2\mu) \gamma_{mn}^2} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right\} \\ & \times \left\{ \frac{\lambda \pi^2 \beta_m}{(\lambda + 2\mu) c^2 \gamma_{mnr}^2} - \frac{2(\lambda + \mu) \pi^4 r^2 \beta_m}{(\lambda + 2\mu) c^4 \gamma_{mnr}^4} \right\} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \\ & + \frac{1}{a} \int_0^a u dx \quad \dots\dots\dots (14, 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v = & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda B_{mn} \alpha_n}{(\lambda + 2\mu) \gamma_{mn}^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \\ & - \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right\} \\ & \times \left\{ \frac{\lambda \pi^2 \alpha_n}{(\lambda + 2\mu) c^2 \gamma_{mnr}^2} - \frac{2(\lambda + \mu) \pi^4 r^2 \alpha_n}{(\lambda + 2\mu) c^4 \gamma_{mnr}^4} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \\ & + \frac{1}{b} \int_0^b v dy \quad \dots\dots\dots (14, 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right\} \\ & \times \left\{ \frac{\pi^2 r}{c^2 \gamma_{mnr}^2} + \frac{2(\lambda + \mu) \pi^4 r \gamma_{mn}^2}{(\lambda + 2\mu) c^4 \gamma_{mnr}^4} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{r\pi z}{c} \\ & \dots\dots\dots (14, 3) \end{aligned}$$

但し,

$$B_{mn} \equiv \frac{4}{ab\pi} \int_0^b \int_0^a \left\{ [w]_{z=0} - [w]_{z=c} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy$$

$$B'_{mn} \equiv \frac{4}{ab\pi} \int_0^b \int_0^a \left\{ [w]_{z=0} + [w]_{z=c} \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} dx dy$$

$$\beta_m \equiv \frac{cm}{a}, \quad \alpha_n \equiv \frac{cn}{b}, \quad \gamma_{mn}^2 \equiv \beta_m^2 + \alpha_n^2$$

.....(15)

とする。

$x=a/2$, $y=b/2$ に関して対称な荷重状態を考えれば、板の変形も $x=a/2$, $y=b/2$ について対称となる。このように限定された場合においては u , v をそれぞれ x , y のみの関数とみなしたとき, $0 \leq x \leq a/2$, $0 \leq y \leq b/2$ において $u(x) = -u(a-x)$, $v(y) = -v(b-y)$ となる。

従って (14,1) 式の $\int_0^a u dx$, (14,2) の $\int_0^b v dy$ はともに 0 となる。(14) 式中には B_{mn} , B'_{mn} なる未知量が入っているからこれを次節で求める。

§5 B_{mn} と B'_{mn} の決定

境界条件 (5) のうちから $z=0$ と $z=c$ における垂直応力 σ_z についての条件を用いて B_{mn} , B'_{mn} を決定する。

(3) へ (14) の u , v , w を代入すると σ_z は次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_z = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\lambda^2 \pi B_{mn}}{(\lambda + 2\mu)c} + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} B_{mn} \right. \\ & \times \left\{ \sinh \frac{\pi z \gamma_{mn}}{c} - (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \frac{\pi z \gamma_{mn}}{c} \right\} \\ & + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} B'_{mn} \\ & \times \left\{ \sinh \frac{\pi z \gamma_{mn}}{c} + (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \frac{\pi z \gamma_{mn}}{c} \right\} \Big] \\ & \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ & + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ B_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + B'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right\} \\ & \times \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mn}^4} \\ & \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \cos \frac{r\pi z}{c} \end{aligned} \quad \text{.....(16)}$$

$z=0$ のとき $\sigma_z = -q$, $z=c$ のとき $\sigma_z = 0$ となることから (16) は次の 2 条件式を与える。

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left\{ \frac{\lambda^2 \pi \mathbf{B}_{mn}}{(\lambda + 2\mu)c} + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \left\{ \mathbf{B}'_{mn} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \mathbf{B}_{mn} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \right\} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \right. \\ & \quad \left. + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left[\mathbf{B}_{mn} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} + \mathbf{B}'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right] \right. \\ & \quad \times \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \\ & \quad \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ & \quad = -q \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (17, 1)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\lambda^2 \pi \mathbf{B}_{mn}}{(\lambda + 2\mu)c} + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \mathbf{B}_{mn} \right. \\ & \quad \times \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} - (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \pi \gamma_{mn} \right\} \\ & \quad \left. + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \mathbf{B}'_{mn} \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} + (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \pi \gamma_{mn} \right\} \right] \\ & \quad \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ & \quad + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \left[\mathbf{B}_{mn} \left\{ (1 + (-1)^r) \right\} - \mathbf{B}'_{mn} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \right] \\ & \quad \times \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \\ & \quad \times \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \\ & \quad = 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12, 2)$$

(17, 1) の両辺に $\sin(m'\pi x/a) \sin(n'\pi y/b)$ を乗じて, $0 \sim a$, $0 \sim b$ の間で積分すると $m=m'$ かつ $n=n'$ の項だけが残って,

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{\lambda^2 \pi}{(\lambda + 2\mu) c} - (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \\
& + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \left. \right] B_{mn} \\
& + \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \\
& + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \left. \right] B'_{mn} \\
& = \frac{-4q}{mn\pi^2} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ 1 - (-1)^n \right\} \dots\dots\dots (18, 1)
\end{aligned}$$

となる。(17, 2) についても同様の計算を行うと

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{\lambda^2 \pi}{(\lambda + 2\mu) c} + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} - (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \right. \\
& \times \cosh \pi \gamma_{mn} \left. \right\} + \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ 1 + (-1)^r \right\} \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \\
& \times \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \left. \right] B_{mn} \\
& + \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} + (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \pi \gamma_{mn} \right\} \right. \\
& - \sum_{r=1}^{\infty} \left\{ 1 - (-1)^r \right\} \frac{1}{\lambda + 2\mu} \left(\frac{\pi}{c} \right)^5 \left\{ (\lambda + 2\mu)^2 r^2 + \lambda^2 \gamma_{mn}^2 \right\} \frac{\gamma_{mn}^2}{\gamma_{mnr}^4} \left. \right] B'_{mn} \\
& = 0 \dots\dots\dots (18, 2)
\end{aligned}$$

となる。

上2式中の $\sum_{r=1}^{\infty}$ の項は有限項で表現⁴⁾すると以下の通りとなる。

$$\begin{aligned}
\sum_{r=1}^{\infty} \frac{\pi^2}{c^2 \gamma_{mnr}^2} &= \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{2\gamma_{mn}^2} \\
\sum_{r=1}^{\infty} \frac{\pi^4}{c^4 \gamma_{mnr}^4} &= \frac{\pi^2}{4\gamma_{mn}^2} \operatorname{cosech}^2 \pi \gamma_{mn}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\pi}{4\gamma_{mn}^3} \coth \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{2\gamma_{mn}^4} \\
& \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\pi^2 (-1)^r}{c^2 \gamma_{mn}^{2r}} = \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{2\gamma_{mn}^2} \\
& \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\pi^4 (-1)^r}{c^4 \gamma_{mn}^{4r}} = \frac{\pi^2}{8\gamma_{mn}^2} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} + \frac{\pi}{4\gamma_{mn}^3} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \\
& - \frac{\pi^2}{4\gamma_{mn}^2} \operatorname{cosech}^2 \pi \gamma_{mn} - \frac{\pi}{4\gamma_{mn}^3} \coth \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{2\gamma_{mn}^4}
\end{aligned} \tag{19}$$

(18, 1), (18, 2) へ (19) を代入すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{\lambda^2 \pi}{(\lambda + 2\mu)c} - (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} + \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \\
& + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}^2}{c} \left(\frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} + \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \\
& - \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{(\lambda + 2\mu)c} \pi \gamma_{mn}^2 \left(\frac{\pi^2}{8} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} + \frac{\pi}{4\gamma_{mn}} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \Big] B_{mn} \\
& + \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \right. \\
& + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}^2}{c} \left(\frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} - \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} \right) \\
& - \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{(\lambda + 2\mu)c} \pi \gamma_{mn}^2 \left(\frac{\pi^2}{2} \operatorname{cosech}^2 \pi \gamma_{mn} + \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} \right. \\
& \left. \left. - \frac{\pi^2}{8} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{\pi}{4\gamma_{mn}} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right) \right] B'_{mn} \\
& = \frac{-4q}{mn\pi^2} \left\{ 1 - (-1)^m \right\} \left\{ 1 - (-1)^n \right\} \dots\dots\dots (20, 1)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{\lambda^2 \pi}{(\lambda + 2\mu)c} + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} - (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} \right. \right. \\
& \left. \left. + \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \pi \gamma_{mn} \right\} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}^2}{c} \left(\frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} + \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \\
& - \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{(\lambda + 2\mu)c} \pi \gamma_{mn}^2 \left(\frac{\pi^2}{8} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} + \frac{\pi}{4\gamma_{mn}} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \Big] B_{mn} \\
& + \left[(\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}}{2c} \left\{ \sinh \pi \gamma_{mn} + (\operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \coth \pi \gamma_{mn}) \cosh \pi \gamma_{mn} \right\} \right. \\
& + (\lambda + 2\mu) \frac{\pi \gamma_{mn}^2}{c} \left(\frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \coth \pi \gamma_{mn} + \frac{\pi}{2\gamma_{mn}} \operatorname{cosech} \pi \gamma_{mn} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \\
& \left. - \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{(\lambda + 2\mu)c} \pi \gamma_{mn}^2 \left(\frac{\pi^2}{8} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} + \frac{\pi}{4\gamma_{mn}} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{1}{\gamma_{mn}^2} \right) \right] B'_{mn} \\
& = 0 \dots\dots\dots (20, 2)
\end{aligned}$$

(20, 1) 式の B_{mn} の係数を X_1 , B'_{mn} の係数を X_2 , (20, 2) 式の B_{mn} の係数を X_3 , B'_{mn} の係数を X_4 として B_{mn} , B'_{mn} を求めると,

$$\left. \begin{aligned}
B_{mn} &= \frac{-4\{1 - (-1)^m\}\{1 - (-1)^n\}}{(X_1 X_4 - X_2 X_3) m n \pi^2} X_4 q \\
B'_{mn} &= \frac{4\{1 - (-1)^m\}\{1 - (-1)^n\}}{(X_1 X_4 - X_2 X_3) m n \pi^2} X_3 q
\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

となる。

(21) へ (20) の値を代入して B_{mn} , B'_{mn} を m , n の式で表わすと次の通りである。

$$B_{mn} = \frac{-4qc\{1 - (-1)^m\}\{1 - (-1)^n\}}{\pi^3 m n \gamma_{mn} \left[\left\{ \frac{\pi(\lambda^2 + 2\lambda\mu + 2\mu^2)}{\lambda + 2\mu} - (\lambda + 2\mu) \right\} \coth \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \pi^2 \gamma_{mn} \operatorname{cosech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right]} \dots\dots\dots (22, 1)$$

$$B'_{mn} = \frac{4qc\{1 - (-1)^m\}\{1 - (-1)^n\}}{\pi^3 m n \gamma_{mn} \left[\left\{ \lambda + 2\mu - \frac{\pi(\lambda^2 + 2\lambda\mu + 2\mu^2)}{\lambda + 2\mu} \right\} \tanh \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} - \frac{\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} \pi^2 \gamma_{mn} \operatorname{sech}^2 \frac{\pi \gamma_{mn}}{2} \right]} \dots\dots\dots (22, 2)$$

§ 6 変位と応力度

(22) 式の B_{mn} , B'_{mn} の値を (14) 式へ代入すると変位 u , v , w が求まる。次にこの u , v , w を (3) 式へ代入すると垂直応力度とせん断応力度が求まる。

§ 7 あとがき

三次元弾性論を基準として薄板理論, 厚板理論の適用限界を定めるためには抽象的な理論式を求めるだけでなく具体的な数値に基づく理論値が必要である。数値計算については未だ十分な計算結果を得ていないので薄板理論等の適用限界の板厚をここでは示すことができない。

三次元弾性論の板の曲げ解析への適用性についていえば支持条件, 板の形状, 載荷重の面から強い制約を受ける。適用に制約を受けるとはいえ厳密解を与えるという価値は大きい。終りに積分変換法の適用については北海道大学能町純雄教授から御教示いただいた部分があり, 計算については本校の卒業生安保秀範君によるところが大きい。記して謝意にかえます。

参考文献

- 1) S. A. アムバルツミヤン (神谷訳) : 異方弾性板の理論, (森北出版, 1975)
- 2) S. Nomachi : ON ONE METHOD FOR SOLVING THREE-DIMENSIONAL STRESS PROBLEMS BY MEANS OF FINITE FOURIER TRANS-FORMATION, Proc. 6-th J. N. C. A. M., 1956.
- 3) コシリヤコフ他2名 (藤田他2名訳) : 物理・工学における偏微分方程式 (下), (岩波, 1976)
- 4) 森口他2名 : 数学公式Ⅱ, (岩波, 1970)

昭和56年4月15日受付

減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす 影響について

(その2. 負勾配の塑性剛性をもつ1質点系モデルの応答特性)

(建築学科) 門 前 勝 明

(住友ケミカルエンジニアリング) 岸 田 政 久

Effect of Stiffness-Degrading on Earthquake Response Behavior (Part 2, Response Behavior of One Mass System Having Negative Plastic Stiffness)

Katsuaki MONZEN
Masahisa KISIDA

Nonlinear response properties are investigated for a class of brittle reinforced concrete building when subjected to intense earthquake motions. Employed model is one mass system having restoring force properties of stiffness degradation and negative plastic stiffness. Plastic gradient is estimated from experimental results of reinforced concrete columns under large deflection, and it is indicated that plastic stiffness can be predicted from the failure mode, approximately. From nonlinear response results to sinusoidal excitation and earthquake like excitation, it is shown that the effect of negative plastic stiffness on response property may be neglected.

§ 1 はじめに

1950年代の終りから1960年代の中頃にかけて、超高層ビルの耐震設計に関連して、建物の非線形応答特性に関する研究が精力的に行われた。これらの一連の研究成果として、靱性に富む建物の耐震性能の有効性が認められた反面、粘りのない建物の地震に対する不利さが指摘された。これらの一連の研究以来、耐震設計の方向は、如何にして粘りのある建物を設計するかという方向に流れていった。耐震設計に対するこの方針の妥当性は、1968年の十勝沖地震や1971年のサンフェルナンド地震による鉄筋コンクリート構造物の被害を検討することによって、解析面だけでなく、実際の地震による被害からも確認されている。

建設省は、昭和47年度から総合技術開発プロジェクトの制度を設け、新耐震設計法の開発に関連して、鉄筋コンクリート柱、特に粘りのない短柱の崩壊に関する実験を開始した。これらの実験結果を概観すると、既存の鉄筋コンクリート建物にしばしば見受けられるような柱が、かなり脆性的な破壊形態を示すことがわかる。これらの脆性的な破壊形態を示す鉄筋コンクリート柱の靱性を向上させることは、耐震設計上重要なことは言うまでもないが、現状ではかなり困難な問題があるといわなければならない。従って、今まであまり注目されなかった粘りのない鉄筋コンクリート建物の非線形地震応答性状を把握

しておく必要がある。

本報告は以上の点を鑑みて、靱性のない鉄筋コンクリート建物の地震による非線形応答性状を、応答解析によって検討しようというものである。

§ 2 解析モデル

本報告は、鉄筋コンクリート建物の地震による非線形応答性状を把握することが主な目的なので、振動系は最も簡単な1質点系を取り扱う。任意の地震動に対する質点の運動方程式は次式で与えられる。

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + Q(x) = -m\ddot{y}_0 \quad (1)$$

ここで、 m = 質点の質量、 x = 基礎に対する質点の相対変位、 C = 減衰係数、 $Q(x)$ = バネの復元力、 \ddot{y}_0 = 基礎に作用する地震加速度

バネの復元力特性は、図-1に示すスケルトンカーブが Negative Bi-linear 型で表わされる剛性低下モデルを採用する。

鉄筋コンクリート部材の繰返し実験結果は、十勝沖地震以来多数報告されている。これらのうち、最も統一的な実験結果が報告されている、建設省総合プロジェクトの資料を利用して、塑性剛性を検討する。利用した実験結果は、文献1)に示されているもののうち、CWシリーズ(袖壁付き柱)を除く、LM2シリーズ(標準シリーズ)とFCシリーズ(高強度コンクリートを使用)、それにWSシリーズ(閉鎖型フープを使用)で、試験体の総数は43体である。^{注)}実験結果の概要は、各々文献2)~4)に示されている。

弾性剛性 K は図-2に示すように、降伏に至るまでの過程を無視して、原点と降伏点を結ぶ直線で表わす。塑性剛性 K_p は、降伏点以後における包絡線を直線近似することによって得られる。このように定義された K と K_p を文献2)に示されている図から判読した。ただし、大変形時に急激な耐力低下等により、降伏点以後の包絡線が直線近似し難いものについては、主に降伏点付近の包絡線に着目して K_p を定めた。このようにして求めた K と K_p は、正側と負側で若干差が生じたため、正側と負側について K_p と K の比を算出し、その平均値を弾塑性剛性比 $\gamma = K_p/K$ とした。

地震応答性状に大きな影響を及ぼすと予想される履歴特性の因子、すなわち靱性、履歴減衰量、復元力特性の形状、繰返し荷重回数による耐力低下の状況、最大耐力後の負勾配等は、破壊モードによりかなり異なった傾向を示すことが指摘されていることから、^{5), 6)} γ の値が破壊モードによって何の様に变化するかを示したものが図-3と表-1である。図の縦軸に示されている破壊モードは、文献1)から1番目の耐力決定要因、2番目の靱性決定要因に従って分類したもので、鋼材の変化は無視している。また、記号の意味は表-1に示してある。^{5), 7)}○—○はA、

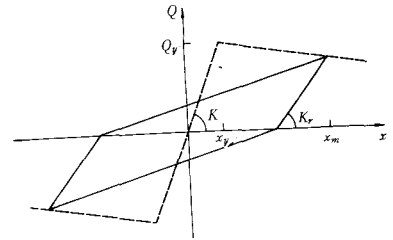


図-1 復元力特性

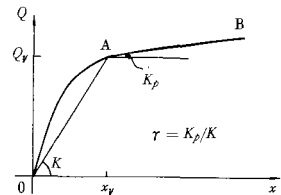


図-2 弾性剛性 K と塑性剛性 K_p の定義

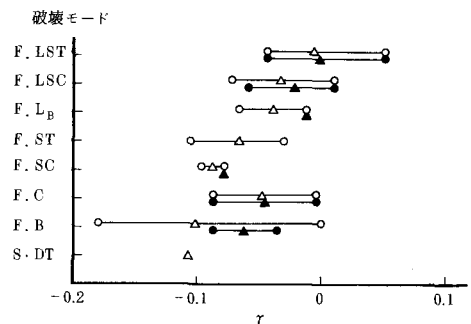


図-3 破壊モードによる γ の変化

注) FCシリーズのIBは包絡線が設定しがたいため、対象から除外した。

表-1 破壊モードと弾塑性剛性比 r

記 号	破 壊 モ ー ド	(1) r (A, Bタイプ)	(1)の平均 (試験体数)	(2) r (Aタイプ)	(2)の平均 (試験体数)
F.LST	曲げ降伏後 $3x_y$ 以上でせん断引張破壊	-0.044 ~ 0.049	-0.006 (10)	-0.044 ~ 0.049	-0.001 (4)
F.LSC	曲げ降伏後 $3x_y$ 以上でせん断圧縮破壊	-0.072 ~ 0.010	-0.034 (6)	-0.060 ~ 0.010	-0.022 (4)
F.LB	曲げ降伏後 $3x_y$ 以上で付着破壊	-0.067 ~ -0.013	-0.039 (3)	-0.013	-0.013 (1)
F.ST	曲げ降伏後のせん断引張破壊	-0.104 ~ -0.030	-0.066 (4)	—	— (0)
F.SC	曲げ降伏後のせん断圧縮破壊	-0.096 ~ -0.078	-0.087 (2)	-0.078	-0.078 (1)
F.C	曲げ降伏後圧壊	-0.087 ~ -0.005	-0.048 (10)	-0.087 ~ -0.005	-0.045 (7)
F.B	曲げ降伏後付着破壊	-0.179 ~ 0.000	-0.101 (7)	-0.087 ~ -0.037	-0.062 (2)
S.DT	せん断破壊後斜引張破壊	-0.106	-0.106 (1)	—	— (0)

B両タイプの試験体による破壊モード別の r の幅を示し、 Δ はその平均値である。●—●と▲はAタイプの試験体(せん断補強筋量を学会の曲げ終局耐力に対し、荒川式で必要量を算定し、それを補強したもの)による r の幅とその平均値を示す。本図から、 r の値は破壊モードから概略推定できることがわかる。特にAタイプの試験体に限定すれば、靱性に富むと予想されるF.LST, F.LSC, F.LBにおいて $-0.060 \leq r \leq 0.049$ 、平均値は $r = -0.010$ 、またF.SC, F.C, F.Bにあっては $-0.087 \leq r \leq -0.037$ 、平均値は $r = -0.052$ となり、その差は比較的小さいようである。

次に減力剛性 K_r (図-1参照) は、武田博士の提案による⁸⁾、いわゆる武田モデルに類似した形式として、次式で与えられるものとする。

$$K_r = K \{ r + (1-r)(x_y/x_m)^a \} \quad (2)$$

(2)式はスケルトンカーブが完全弾塑性の場合 ($r=0$)、既報で使用した復元力モデルに一致する⁹⁾。このモデルは $\alpha=0$ のとき $K_r=K$ となり、減力剛性は常に初期剛性に等しいモデルとなる。また $\alpha=1$ の場合は原点指向型となる。一般的な場合は $\alpha=0 \sim 1$ になると考えられる。

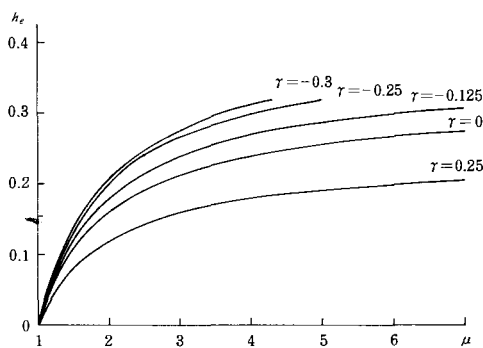
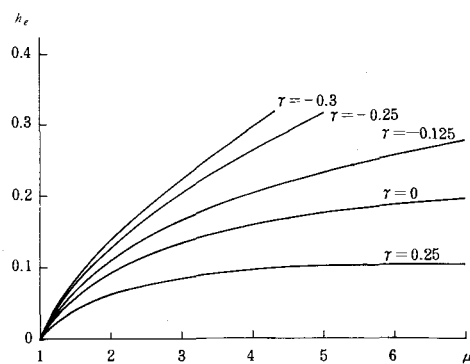
この履歴モデルの等価粘性減衰常数 h_e は、塑性率 $\mu = x_m/x_y$ として、次式で与えられる。

$$h_e = \frac{1}{\pi} \left\{ 1 - \frac{(r\mu + 1 - r)\mu^{-1}}{r + (1-r)\mu^{-a}} \right\} \quad (3)$$

図-4は、 h_e が μ と r の変化によって何の様に变化するかを $\alpha=0.0, 0.5$ について示したものである。図から、 h_e は μ が増加すれば大きくなることがわかる。相等しい μ について r による影響をみれば、 r が小さい程 h_e は大きくなる。図-4.1と図-4.2を比較して α の影響をみれば、 α が大きくなる程 h_e も大きくなる。以上から、 μ 、 α が大きくなる程、また r が小さい程、履歴減衰量は大きくなることが知れる。

図-5は $\mu=2, 3$ に対する r と α の関係を $h_e=10\%$ と 20% について示した。

図-3 (または表-1) と図-5 (または(3)式) を利用して、破壊モードに対応する h_e と μ の値が得

図-4.1 ($\alpha=0.0$)図-4.2 ($\alpha=0.5$)図-4 h_e と μ の関係

られれば、 α を推定することができる。例えば破壊モードがF. ST型の場合、表-1から r の平均は -0.066 である。文献10)によれば h_e は部材角 $R=0.02$ (本報告で利用した資料について R を μ に変換すれば $\mu=2.3$)で15%程度になることから、(3)式より $\alpha=0.32$ が得られる。なお、破壊モードは、文献11)に示されている手法等を利用して、シャスパン比、せん断補強筋比、軸方向応力度、引張主筋比、コンクリート強度などから判別できる。

以上の実験結果を参考にして、応答解析では $\alpha=0$ 、 0.5 、 1.0 とし、 $r=-1/16$ 、 $-1/8$ 、 $-1/4$ を採用することにした。

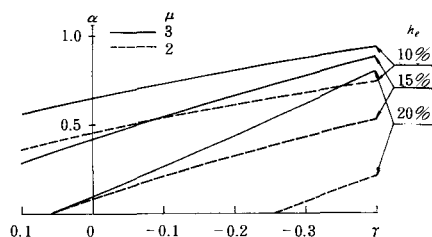
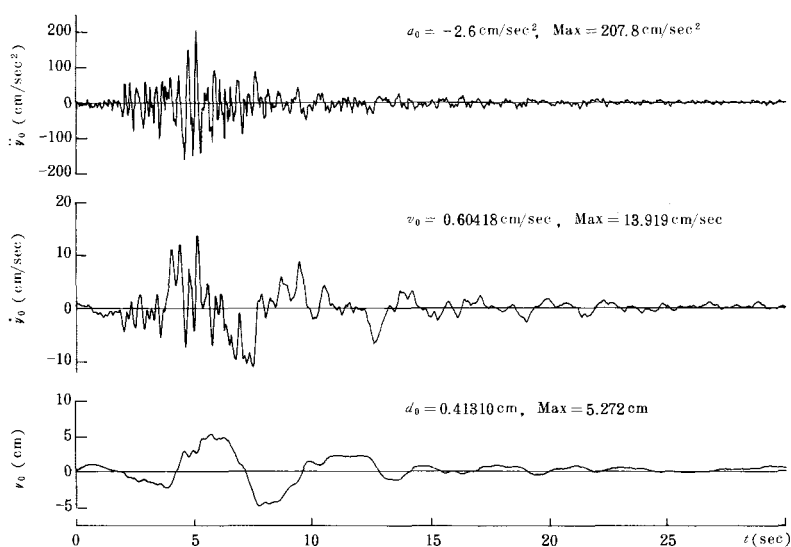
図-5 特定の μ 、 h_e に対する α と r の関係

図-6 San Fernando 地震(Jet Propulsion Laf.) の時刻履歴

利用した入力波は、1968年十勝沖地震で記録された Hachinohe NS と EW 成分、1971年サンフェルナンド地震で記録されたもの（以後 San Fernando とする）、それに正弦波である。図-6に San Fernando の加速度 \ddot{y}_0 、速度 \dot{y}_0 および変位 y_0 波形を示しておいた。

降伏強度 Q_y は、弾性応答せん断力 Q_e により、 Q_y と最大応答塑性率 μ の関係が把握できるように、適当なきざみで変化させている。系の減衰常数 h は 0, 0.05 である。弾性固有周期 T は、入力が正弦波の場合は $T=0.5 \text{ sec}$ ($\omega_0=2\pi/T$) とし、地震波に対しては $T=0.2 \text{ sec} \sim 4 \text{ sec}$ の間を 0.2 sec きざみで変化させている。

§ 3 解析結果とその検討

図-1に示す復元力モデルをもつ振動系の地震応答は、ジャンプ現象を生ずる可能性があることが、

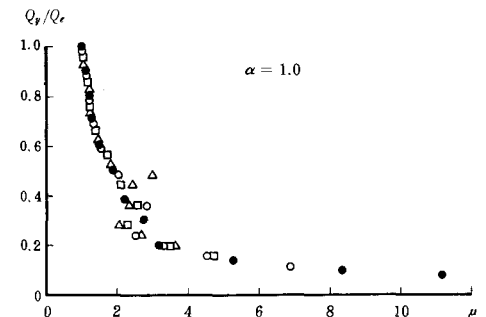
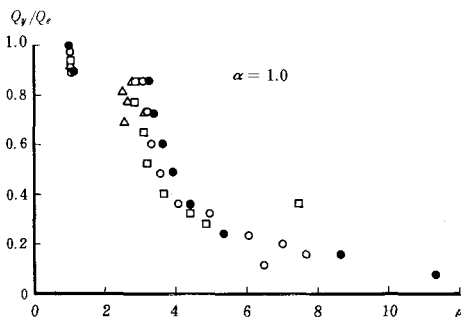
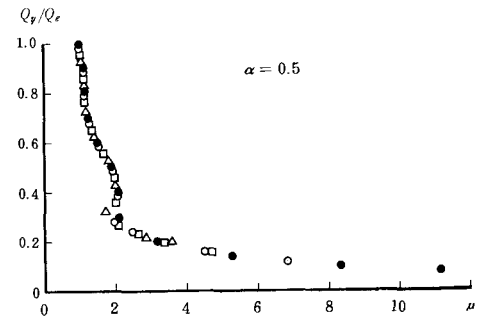
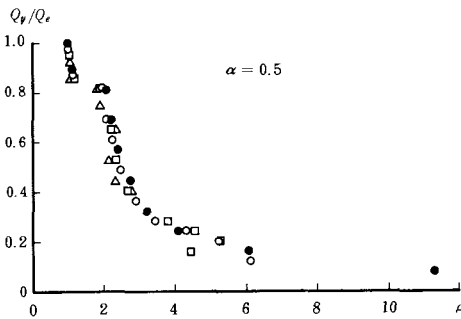
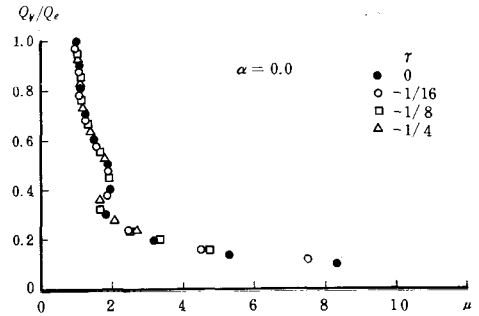
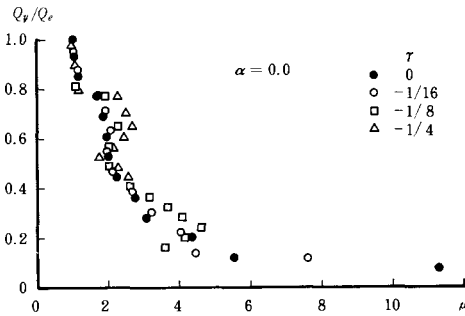


図-7 降伏強度 Q_y と最大応答塑性率 μ の関係
($\lambda=0.8$)

図-8 降伏強度 Q_y と最大応答塑性率 μ の関係
($\lambda=1.4$)

既報から知っている¹²⁾。降伏強度 Q_y と最大応答塑性率 μ の関係は、ジャンプ現象の有無によって著しく異なる。このため、先ず正弦波入力による応答から、ジャンプ現象の影響を把握しておくのが便利である。

最大加速度 $1g$ 、振動数 ω の正弦波に対する典型的な弾塑性応答例を、降伏強度と最大応答塑性率の関係で示したものが図-7と図-8である。縦軸の Q_y は弾性応答せん断力 Q_e によって基準化されている。また図中には比較のため、 $\gamma=0$ の場合も併記されている。 $\gamma<0$ の場合、最大応答塑性率が $(1-1/\gamma)=\mu_c$ になれば、復元力モデルは耐力を失う。既往の研究に倣い¹³⁾、変形が μ_c に達したときをもって倒壊と定義し、以後の計算は打ち切っているため、 $\mu>\mu_c$ については図示されていない。ただし文献1)に示されている実験結果にあつては、 $\mu<\mu_c$ で耐力を失った例もあることを付記しておく。図-7から $\lambda=\omega/\omega_0=0.8$ の場合、 α 、 γ に関わらず $Q_y/Q_e=0.8$ 付近でジャンプ現象が発生し、最大応答塑性率が急激に大きくなっていることがわかる。このジャンプ現象が $\mu-Q_y$ の形状に与える影響は λ が小さい程大きく、

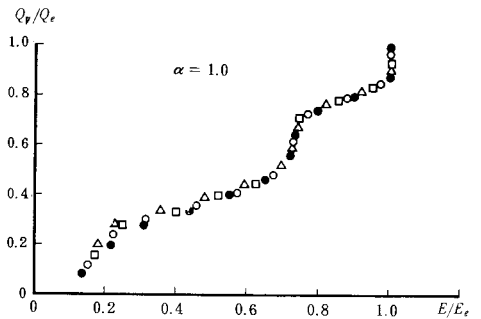
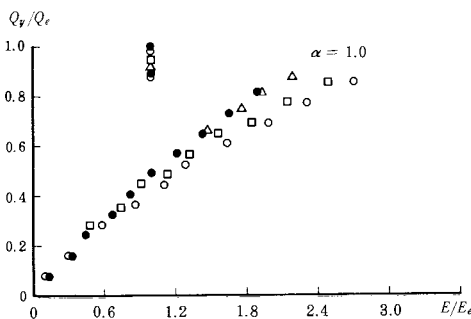
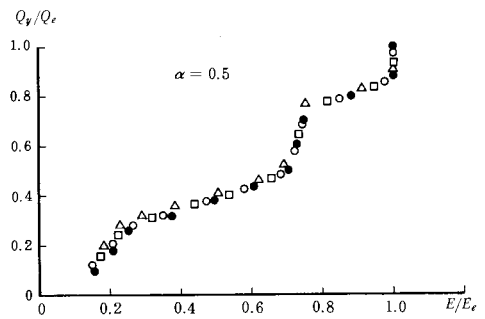
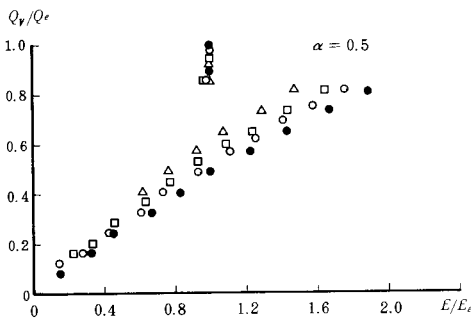
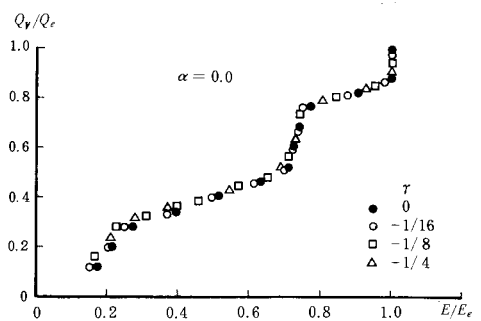
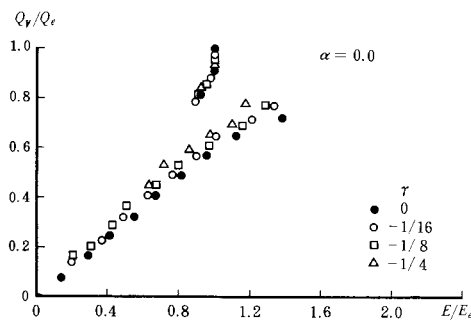


図-9 降伏強度 Q_y と最大歪エネルギー応答 E の関係 ($\lambda=0.8$)

図-10 降伏強度 Q_y と最大歪エネルギー応答 E の関係 ($\lambda=1.4$)

λ が1に近づくに従って小さくなる。一方、図-8に示す $\lambda=1.4$ の場合はジャンプ現象があらわれないため、 $\mu-Q_y$ の関係は r, α に関わらず、概ね同じ曲線になると見做して良いことが知れる。この特性は、 $\lambda \geq 1$ について言える。

応答のジャンピング特性は、歪エネルギー応答において明瞭に見いだすことができる。半サイクル間における単位質量当りの最大歪エネルギー応答量を E とする。もし振動系の応答にジャンプ現象が発生すれば、 $E-Q_y$ の関係に極大があらわれる。ジャンプ現象が発生しない場合、 $E-Q_y$ の関係は概ね直線的に変化することが知られている¹⁴⁾。

図-9と図-10に $\lambda=0.8$ と 1.4 について、 E と Q_y の関係を示した。図中横軸に示す E は、線形応答量 E_e によって基準化されている。ジャンプ現象があらわれている $\lambda=0.8$ (図-9)と、ジャンプ現象が発生しない $\lambda=1.4$ (図-10)を比較すれば、両者の差異を明瞭に感じ取ることができる。

以上の応答性状を模式的に表わせば、図-11のようになる。 $\lambda < 1$ について(図中の実線)、ジャンピング時の Q_y を Q_J と表わし、 Q_J に対応する μ を μ_J とする。 $Q_e \sim Q_J$ 間の $\mu-Q_y$ の関係は α, r に関わらず同じ特性を示すと見做して良い。従って、 $Q_e \sim Q_J$ 間の $\mu-Q_y$ 特性は、完全弾塑性モデルの場合に等しいと見做せる¹²⁾。 Q_J について、 r の変化による影響を検討したところ、 Q_J は r の変化にはほとんど左右されないことが知

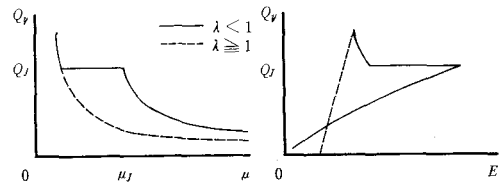


図-11 $\mu-Q_y, E-Q_y$ 関係の模式的表示

れた。 Q_J は概ね、 $Q_e \sim Q_J$ 間の $\mu-Q_J$ 曲線と定常振動解との交点で与えられると考えて良い。この交点は r の変化にあまり影響されないことから、上記の点は理解できる。次に μ_J について r による影響を検討した。相等しい Q_y に対する μ を比較すれば、図-7に示すように r が小さい程応答量は大きくなる場合や、反対に r が大きい程応答量も大きくなる場合があり、 α によって異なる。またこれ等の傾向は λ によって異なるため、一定の関係は見いだせないが、何れにしても r による影響は α に比較して小さいようである。 $Q_y < Q_J$ における μ と Q_y の関係は、図-7から、 $r=0$ の場合に類似すると見做せることがわかる。一方、 $\lambda \geq 1$ について(図中の点線)、 $\mu-Q_y$ の関係は r, α に関わらず一致すると見做せる。従って、 $\lambda \geq 1$ の場合、 $\mu-Q_y$ の関係はスケルトンカーブが相等しい Bi-linear モデルの $\mu-Q_y$ 曲線に一致すると見做して良い。

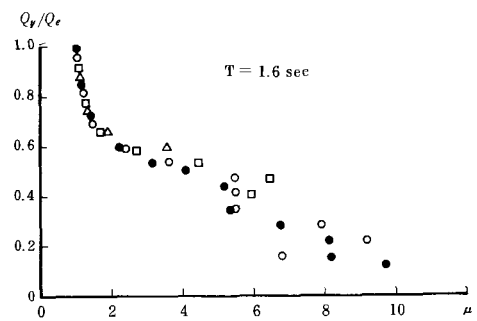
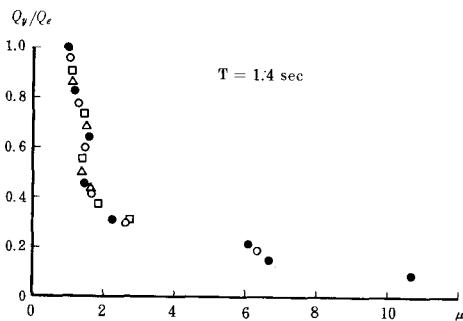
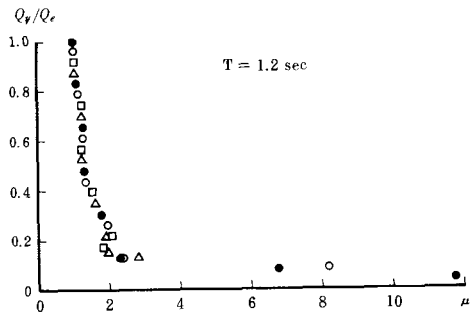
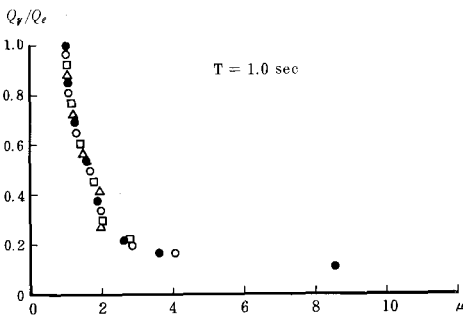
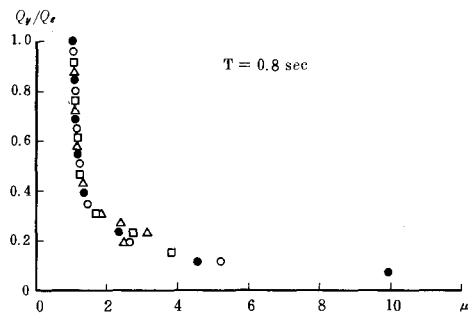
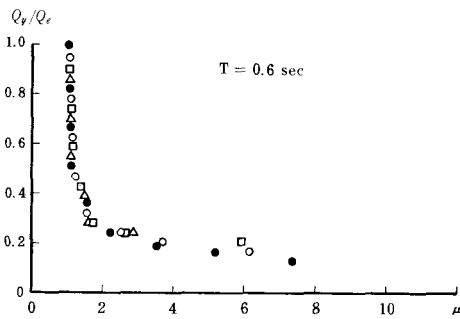
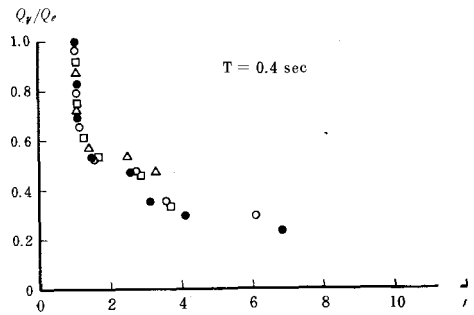
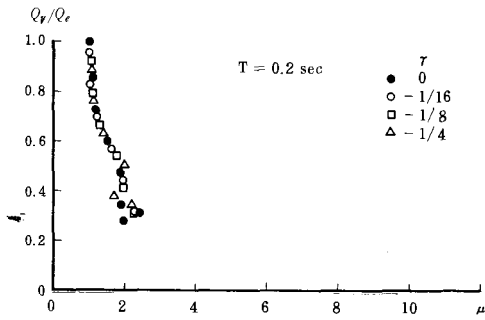
以上の点から、入力为正弦波の場合、 r が負による影響は、 $\mu-Q_y$ あるいは $E-Q_y$ 特性で見る限り、小さいと考えられる。

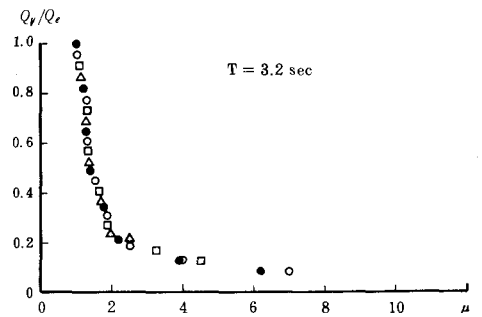
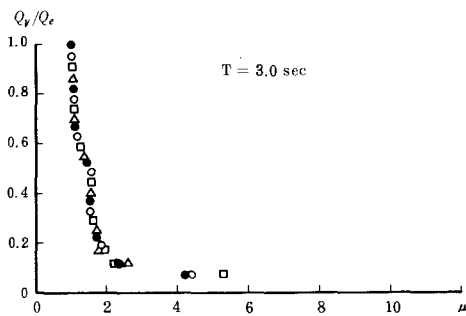
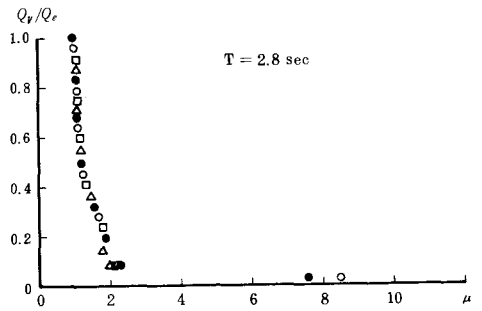
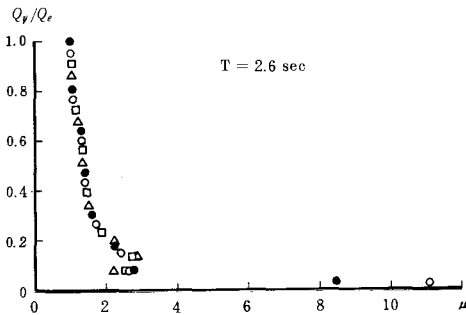
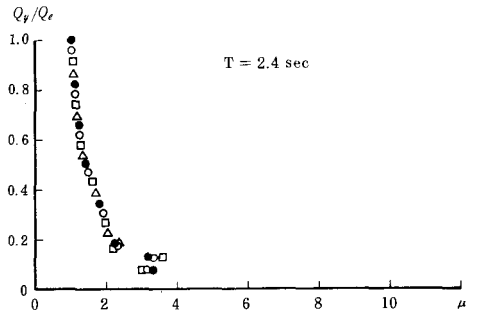
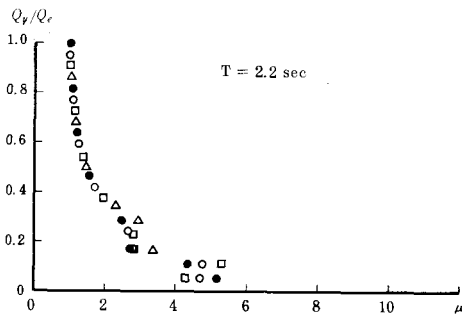
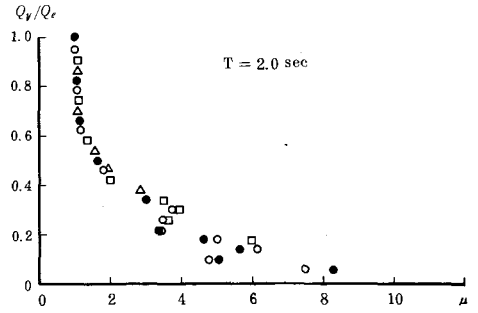
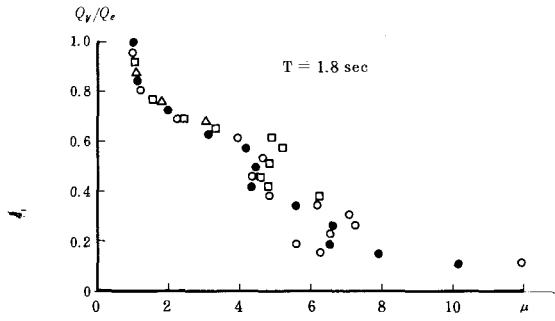
次に実地震波に対する復元力モデルの r が応答性状に及ぼす影響を検討するため、Hachinohe NS, EW および San Fernando (最大加速度を何れも300 galに規準化している)を使用して、正弦波の場合と同様に、 $\mu-Q_y$ と $E-Q_y$ の関係を算出した。

応答結果の例として、図-12は Hachinohe EW による $\mu-Q_y/Q_e$ の関係を $\alpha=0.5, h=0$ について固有周期 T 別に示したものである。 $T=1.6$ sec と 1.8 sec に示すジャンプ現象が発生した場合に、若干 r の差異による影響があらわれているが、その差は小さく、 r が負による影響はほとんど無視できることがわかる。図は割愛するが、 $h=5$ 割の場合についても上記のことは言える。また、他の地震波についても同様であった。

以上に述べたことから、本報で取り扱った剛性低下モデルの場合、復元力モデルの塑性勾配が負による影響は、Negative Bi-linear モデルの場合と異なり、概して小さいと言える。このことは、両モデルの応答が最大に至る過程から、次の様に解釈することができる。

剛性低下モデルはジャンプ現象が発生する場合について、Negative Bi-linearモデルについては変位応答が発散する場合について、応答が最大に至る過程を模式的に表わせば図-13のようになる。図中に





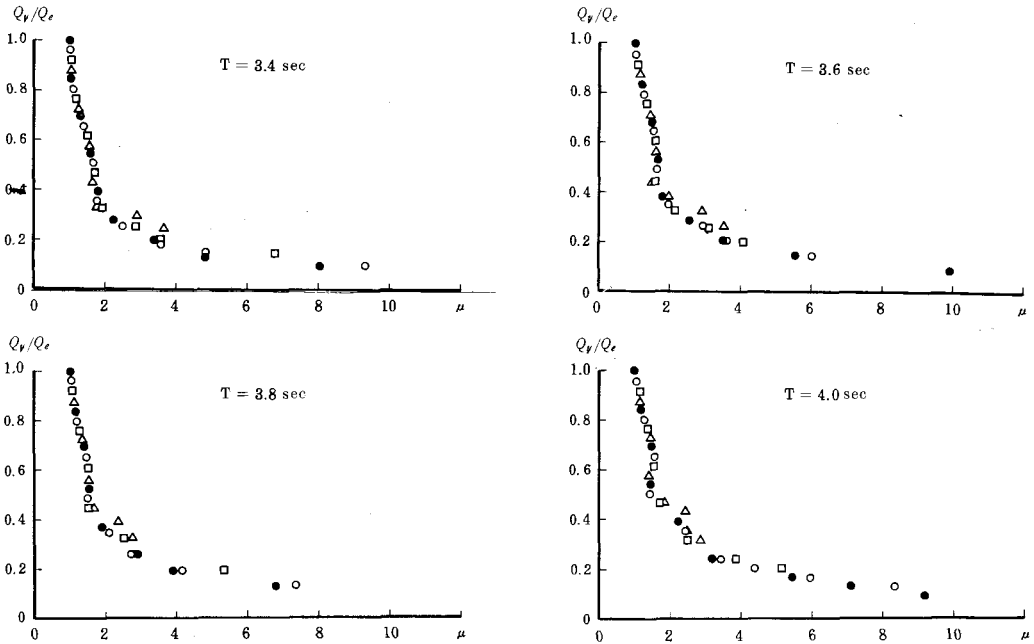


図-12 降伏強度 Q_y と最大応答塑性率 μ の関係 ($h=0$, $\alpha=0.5$, Hachinohe EW Max = 300 gal)

実線で示すように、剛性低下モデルの応答は、時間の経過とともに共振的に増大し、最大に至るパターンとなる⁹⁾。この様な応答履歴においては、 γ の減少は等価粘性減衰常数を増加させるため、 γ が負による影響は小さかったものと予想できる。Negative Bi-linear モデルの場合、変位応答は時間の経過とともに一方方向に流れ、最大に達するパターンとなる。従って、このモデルにあっては、復元力特性の性質上 γ が小さい程、応答が発散し易いものと考えられる。

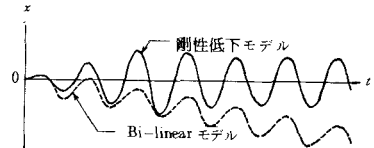


図-13 最大応答に至る過程

§ 4 おわりに

靱性のない鉄筋コンクリート建物の非線形応答性状を把握するため、スケルトンカーブが Negative Bi-linear 型で表わされる剛性低下モデルの非線形地震応答を算出したところ、次の結論を得た。

- (1) 鉄筋コンクリート短柱の多数回くり返し実験から、原点と降伏点を結ぶ勾配 K と、降伏点以後における包絡線の勾配 K_p との比 $\gamma = K_p/K$ を算出したところ、 γ の値は破壊モードから概略推定できる。
- (2) A タイプの試験体 (せん断補強筋量を学会の曲げ終局耐力に対して荒川式で必要量を算定し、それを補強したもの) における γ は、靱性に富むと予想される破壊モード F.LST, F.LSC, F.LB について $\gamma \geq -0.06$ 、また、F.SC, F.C, F.B で $\gamma \geq -0.087$ となり、その差は比較的小さい。
- (3) 剛性低下モデルの地震応答性状について、スケルトンカーブの塑性勾配が負による影響は、Negative Bi-linear モデルの場合と異なり、概して小さい。

本報告の応答計算にあたり、呉工業高等専門学校計算機室 FACOM 230-28S を使用した。関係諸氏

に深く感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 建設省建築研究所：既存構造物の補強方法の確立（大変形下における鉄筋コンクリート柱の変形性能に関する資料集），昭和48年度総合技術開発プロジェクト新耐震設計法の開発資料，昭和49年3月
- 2) 黒正清治，福原正志：鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究（その6）新加工方法を用いたRC短柱の多数回くり返し実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和48年10月
- 3) 齊藤辰彦，吉崎征二，西垣太郎：同 上（その8，高強度コンクリートを使用した鉄筋コンクリート柱の多数回繰返し実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和48年10月
- 4) 中山達雄，吉岡研三，武田寿一，小池健仁：同 上（その10 WSシリーズ：閉鎖型フープを用いたRC短柱の多数回くり返し実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和49年10月
- 5) 東洋一，広沢雅也：同 上（その16 破壊モードと靱性），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和49年10月
- 6) 千葉脩，柳下和男，近藤信弘，福沢六朗：同 上（その32 最終破壊モードの判別 I），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和50年10月
- 7) 山本浩二：同 上（その4：各実験シリーズの共通事項），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和48年10月
- 8) T. Takeda, M. A. Sozen and N. N. Nielsen: Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 96, No. ST 12, Dec. 1970
- 9) 門前勝明：減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響（その1，正弦波による応答解析），興工業高等専門学校研究報告，第11巻第2号，昭和51年3月
- 10) 広沢雅也，山崎裕，柳下和男他8名：鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究（その22：減衰及び最大耐力後の負勾配について），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和49年10月
- 11) 千葉脩，柳下和男他2名：同 上（その50，最終破壊モードの判別 III），日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和52年10月
- 12) 門前勝明：剛性低下モデルの地震動に対する弾塑性応答量の推定に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，昭和54年9月
- 13) 柴田明德：1質点系の非線形応答の特性（その2）（倒壊形復元力をもつ系の応答特性），日本建築学会関東支部第39回学術研究発表会，1964年5月
- 14) 門前勝明：減力時の剛性低下が地震応答性状に及ぼす影響について（その2，正弦波による近似応答式），日本建築学会中国支部研究報告集，昭和52年9月

（昭和56年4月15日受付）

を親らすべし。獨り小斂を以て文を爲す。故に（注の）「始死は情の篤くする所なり」の故を知るなり。②賈逵云ふ、「大斂に與（あ）らざれば則ち卒を書せず」と。然らば則ち殯に在りて又た往かざる者は、復た何を以て之を裁せんと欲するや、「經」・「傳」に其の事無くんば宜しく妄りに説くべからず。故に杜（注に）以爲へらく、「但だ大斂に臨んで、及び其の喪に臨まざるも亦た同じく日を書せざるなり」と。

① 「喪大記」 『礼記』喪大記に「君於大夫・世婦大斂焉、為之賜則小斂焉」とある。

② 賈逵 本疏引。

（未完）

（五十六年四月十五日受付）

③ 『尚書』 「尚書」顧命に「乃同召太保奭・芮伯・彤伯、畢公・衛侯・毛公・師公・虎臣・百尹・御事」とある。

④ 「世家」 注①参照。

⑤ 昭（公）三十年傳 昭公三十年傳に「先王之制、諸侯之喪、士弔、大夫送葬」とある。

⑥ 昭（公）三年傳 昭公三年伝に「昔文・襄之嗣也、其務不煩諸侯、令諸侯三歲而聘、五歲而朝、有事而会、不協而盟、君薨、大夫弔、卿共葬事、夫人士弔、大夫送葬、足以昭礼命事諒欠而已、無加命矣」とある。

⑦ 介の葛盧 僖公二十九年経に「廿有九年、春、介葛盧来」・「冬、介葛盧来」とあり、「伝」に「廿九年、春、介葛盧来朝、舍于昌衍之上、公在会、饋之藟米、礼也」・「冬、介葛盧来、以未見公、故復来朝、礼之加燕好、介葛盧聞牛鳴、曰是生三犧、皆用之矣、其音云、問之而信」とある。

〔傳〕 鄭共叔之亂、公孫滑出奔衛

〔注〕 公孫滑、共叔段之子

〔傳〕 衛人爲之伐鄭、取廩延、鄭人以王師・虢師伐衛南鄙

〔注〕 虢、西虢國也、弘農陝縣東南有虢城

〔傳〕 請師於邾、邾子使私於公子豫

〔注〕 公子豫、魯大夫、私請師

〔傳〕 豫請往、公弗許、遂行、及邾人・鄭人盟于翼

〔注〕 翼、邾地

〔傳〕 不書非公命也

〔傳〕 新作南門、不書亦非公命也

〔注〕 非公命不書、三見者皆興作大事、各舉以備文

〔傳〕 十二月、祭伯來、非王命也

〔傳〕 衆公卒

〔注〕 衆父、公子益師字

〔傳〕 公不與小斂、故不書日

〔注〕 禮卿佐之喪、小斂大斂君皆親臨之、崇恩厚也、始死、情之所篤、禮之所崇、故以小斂爲文、至於但臨大斂、及不臨喪、亦同
同不書日

〔疏〕 注禮卿 書日

正義に曰はく、「喪大記」の、君の、臣の喪に臨むの禮に云ふ、「君は大夫に於いて大斂す。之が爲めに賜へば則ち小斂す」と。卿は是れ大夫の尊なる者なり。小斂・大斂に君皆な之を親らするは恩厚を崇ぶ所以を明らかにするなり。小斂・大斂は皆な當に之

〔傳〕惠公之薨也、有宋師、太子少葬、故有闕、是以改葬

〔疏〕有宋、改葬

正義に曰はく、上(本年「傳」)に「惠公の季年、宋師を黃に敗り、公立ちて成ぎを求む」と云へば、則ち隱公未だ立たざるの前に、惠公、宋の師を取るなり。今、「惠公の薨するや、宋の師有り」と云ふは、蓋し是れ黃の敗に報いて來りて魯を伐つなり。隱公、兵を將ゐて宋を禦ぎ、葬事を太子に委ぬ。故に闕くること有るなり。①服虔以爲へらく、「宋の師は即ち黃の師なり。是の時、宋來たりて隱公を伐つ。公自ら戰に與かる」と。然らば則ち隱公自ら宋を敗りて還り、自ら成ぎを求むるなり。「傳」は、何ぞ當に敗を惠公に屬して別に「公立つ」と言ふべけんや。且つ薨するるときと葬るときとは相ひ去ること既に遠ければ、豈に宋の師は薨じたる時已に來たりて、葬る時に未だ去らざること有らんや。

① 服虔 本疏引。

〔傳〕衛公來會葬、不見公、亦不書

〔注〕諸侯會葬、非禮也、不得接公成禮、故不書於策、他皆倣此、衛國在汲郡朝歌縣

〔疏〕衛侯來會葬

正義に曰はく、衛國は侯爵なり。①「譜」に云ふ、「姬姓、文王の子の康叔封の後なり。周公、既に殷の祿父を誅し、其の地を以て康叔を封じて衛侯と爲し、殷の虛に居らしむ。今の朝歌、是れ

なり。狄、衛を滅ばし、文公楚丘に居り、成公帝丘に徙る。今の東郡の濮陽、是れなり。桓公十三年は魯の隱公の元年なり。出公輒の十二年は獲麟の歲なり。悼公二年に『春秋』の「傳」終はる。悼公は二年にして卒す。悼(公)より以下十一世、二百五十五年にして、秦、衛を滅ぼすなり」と。②「衛世家」によれば、桓公は康叔の十一世孫なり。③「尚書」顧命に、「康叔」を稱して「衛侯」と爲せば、則ち初めて封ぜらるるときは侯爵なり。④「世家」にては、康叔の子は則ち「伯」と稱し、頃侯に至りて復た「侯」と爲す。故に今の桓公は侯爵爲り。

〔疏〕注諸侯、倣此

正義に曰はく、昭(公)三十年傳に云ふ、「先王之制に、諸侯の葬には士弔し、大夫葬を送る」と。⑤昭(公)三年傳に稱す、「文(公)・襄(公)の霸たりしや、君薨すれば大夫は弔し、卿は葬事を共す」と。皆な諸侯親ら葬に會するを言はざれば、是れ諸侯葬に會するは禮に非ざるなり。(隱)公に接して禮を成すを得ざるが故に書せず。此(本年「傳」)に「公に見えざれば書せず」と云ひ、⑦介の葛盧も亦た公に見えざるも書するは、此は則ち(隱)公の身は魯に在り、國人之を賓禮し、又た見えんと欲して其の一年にして再び來たり。故に之を書するなり。

① 「譜」 『春秋釈例』世族譜第四十五之下の衛國の部に見える。

② 「衛世家」 『史記』衛康叔世家によれば、次のようになる。

康叔封——①康伯——②考伯——③嗣伯——④康伯——⑤靖伯——⑥貞伯——⑦頃侯——⑧釐侯——⑨武公和——⑩莊公揚——⑪太子完(桓公)——太子共伯餘

所は獨り正史の策のみに非ず、亦た簡牘の有する所を兼采するを明らかにするなり。故に「傳」は據りて之を言ふ。案ずるに、上（本年）の「傳」の「紀人、夷を伐つ」の注に「『傳』は其の事を見して以て『春秋』の例を明らかにす」と云へば、則ち此の「蜚有り」も亦た『春秋』の例を明らかにするなり。此（の注）に「『傳』の據る所は唯だ史策のみに非ず、簡牘を兼采す」と云へば、則ち上（本年）の「紀人、夷を伐つ」も亦た是れ簡牘を兼采するなり。但だ「紀人、夷を伐つ」は他國に告げず。故に以て例を明らかにして之を解す。蜚は是れ魯國之有り。故に以て簡牘を兼采して之を言ふ。其の實、二注互に以て相ひ通ず。他は此の如きの類なり。

① 「釋蟲」 『爾雅』釈虫に「蜚、蠹蜚」とあり、郭璞注に「蜚即負盤、臭虫」とある。

② 舍人 『爾雅』釋蟲為文学注『漢の郭舍人撰、本疏引。現在は亡んで伝わらないが、輯本として『玉函山房輯佚書』・『漢学堂叢書』・『爾雅古義』などに輯録されている。

③ 李巡 『爾雅』李氏注『漢の李巡撰、本疏引。現在は亡んで伝わらないが、輯本として『玉函山房輯佚書』・『漢学堂叢書』・『爾雅古義』などに輯録されている。

④ 郭璞 注①参照。

⑤ 『洪範五行傳』 本疏引。漢の劉向撰。現在、完本は亡んで伝わらないが、『漢書』五行志はその遺法を伝えるものとされている。輯本として『漢魏遺書鈔』・『左海全集』・『黄氏逸書考』などに輯録されている。今、「五行志」第七中の一節を引く。「蔽公二十九年『有蜚』、劉歆以為負蟊也、性不食穀、食穀為災、介虫之孽、劉向以為蜚色青、近

青眚也、非中国所有、南越盛暑、男女同川沢、淫風所生、為虫臭惡、是時蔽公取齊女為夫人、既入、淫於兩叔、故蜚至、天戒若曰、今誅絶之尚及、不將生臭惡、聞於四方、蔽不寤、其後夫人与兩叔作乱、二嗣以殺、卒皆被辜、董仲舒指略同」とある。

⑥ 「本草」 『本草綱目』虫部に「蜚蠊」・「蜚蠊」とある。「蜚蠊」は本疏引。

⑦ 「經」・「傳」 本年「伝」及び莊公二十九年經に「秋、有蜚」とあり、「伝」に「秋、有蜚、為災也」とある。

⑧ 「漢書」 注⑤参照。

⑨ 「釋蟲」 『爾雅』釈虫に「草蠹負蟊」とある。

⑩ （莊公二十九年傳） 莊公二十九年伝に「秋、有蜚、為災也、凡物、不為災不書」とある。

⑪ 二注 本年「伝」の「八月、紀人、伐夷、夷不告、故不書」及び「有蜚、不為災、亦不書」の条の杜預注を指す。

〔傳〕 惠公之季年、敗宋師于黃

〔注〕 黃宋邑、陳留外黃縣東有黃城

〔傳〕 公立而求成焉、九月、及宋人盟于宿、始通也

〔注〕 經無義例、故傳直言其歸宿而已、他皆倣此

〔傳〕 冬、十月庚申、改葬惠公、公弗臨、故不書

〔注〕 以桓為太子、故隱公讓而不敢為喪主、隱攝君政、故據隱而言

〔注〕夷國在城陽壯武縣、紀國在東莞劇縣、隱十一年傳例曰、凡諸侯有命告則書、不然則否、史不書於策、故夫子亦不書手經、傳見其事、以明春秋例也、他皆倣此

〔疏〕紀人伐夷

正義に曰はく、①「世族譜」に「紀は姜姓。侯爵。莊（公）四年に齊之を滅ぼす」と。②『世本』に「夷は姁姓」とあり。「傳」に其の人無ければ誰の滅ぼす所と爲るかを知らず。③『釋例』土地名に「夷國は城陽の壯武縣に在り」と。④莊（公）十六年に「晉の武公、夷を伐ち、夷詭諸を執ふ」と。⑤杜（預）云ふ、「詭諸は周の大夫、夷は采地の名なり」と。⑥『釋例』土地名の注に「闕」と爲せば則ち二つの夷は別なり。⑦「世族譜」の「夷詭諸」の下に注に於いて「姁姓」と云ふ。更に夷國無ければ則ち二つの夷を以て一と爲す。壯武の縣は遠にして東垂に在るを計れば、周の大夫の采邑爲るを得ず。而るに晉、その地を取るとは是れ「譜」の誤りなり。

① 「世族譜」 『春秋釈例』世族譜第四十五之上の紀國の部に「紀國、侯爵、姜姓也、莊公四年齊滅之、旧譜子爵、蓋取于公羊非左氏之義」とある。

② 『世本』 本疏引。

③ 『釋例』 『春秋釈例』土地名第四十四之三の小國地の夷國の条に見える。

④ 莊（公）十六年 莊公十六年伝に「初晉武公伐夷、執夷詭諸」とあり、杜預注に「夷詭諸周大夫也、夷采地名也」とある。

⑤ 杜（預） 注④参照。

⑥ 『釋例』 『春秋釈例』土地名第四十四之一の周地の部

に「十六年夷、闕」とある。

⑦ 「世族譜」 『春秋釈例』世族譜第四十五之下の夷國の部に「夷國、夷詭諸、姁姓」とある。

⑧ 「譜」 注⑦参照。

〔傳〕有蜚、不爲災、亦不書

〔注〕蜚、負蟊也、莊二十九年傳例曰、凡物不爲災不書、又於此發之者、明傳之所據非唯史策、兼采簡牘之記、他皆倣此

〔疏〕注蜚負、倣此

正義に曰はく、①「釋蟲」に云ふ、「蜚は蟪蛄なり」と。②舍人・李巡皆云ふ、「蜚蟪一名蟪蛄なり」と。③郭璞云ふ、「蜚は即負盤、臭蟲なり」と。④「洪範五行傳」に云ふ、「蜚は負蟊、夷狄の物、越の生ずる所なり。其の蟲爲るや臭惡なり。南方の、女を姪する氣の生ずる所なり」と。⑤「本草」に曰はく、「蜚は厲蟲なり」と。然らば則ち蜚は是れ臭惡の蟲にして人を害するの物なり。故に或ひは災を爲し、或ひは災を爲さざるなり。⑥「經」・「傳」に皆な「蜚有り」と云へば、則ち此の蟲は直だ蜚と名づくるのみにして蜚蟪とは名づけず。⑦「爾雅」の釋する所は當に「蜚は一名蟪蛄」と言ふべし。⑧「爾雅」を説く者、「蜚蟪は一名蟪蛄なり」と言ふは非なり。此の蟲は一名負盤なり。⑨「漢書」及び（本年）「傳」の（此の注に多く「負蟊」に作るは、⑩「釋蟲」に云ふ、「草蟲は負蟊なり」と。彼は則ち歲時常に有るも災蟲に非ざるなり。蓋し相ひ涉りて誤りて蟊と爲すのみ。

又た明らかに下（莊公二十九年傳）に例を成す有り。此に合に書すべからずして（本年）「傳」に之を發するは、「傳」の據る

群臣之衆至広、不同之於凡人、故大行既葬、耐祭于廟、則因疏而除之、己不除則群臣莫敢除、故屈己以除之、而諒闇以終制、天下之人皆曰我王之仁也、屈己以從宜、皆曰我王之孝、既除而心喪、我王猶若此之篤也、凡等臣子、亦焉得不自勉以崇礼、此乃聖制移風易俗之本、……臣等以為皇太子宜如前奏、除服諒闇制、于是太子遂以厭降之議、從國制除衰麻、諒闇終制、于時外内卒聞預異議、多怪之、或者乃謂其違礼以合時、時預亦不自解說、退使博士段暢博採典籍、為之証摭、令大義著明、足以垂示將來、暢承預旨、遂撰集書伝旧文、条諸実事成言、以為定証、以弘指趣、其伝記有与今議同者、亦具列之、博举二隅、明其会帰、以証斯事、文多不載、……

また「杜預伝」には、「元皇后梓宮將遷於峻陽陵、旧制、既葬、帝及群臣即吉、尚書奏、皇太子亦宜祔服、預議『皇太子宜復古典、以諒闇終制』、從之」とある。

⑮ 『春秋』 注⑩参照。

⑯ 「喪服」 『儀礼』喪服の斬衰の条に「諸侯為天子」とある。

⑰ 周の景王 注①参照。

⑱ 堯の喪 『尚書』舜典に「二十有八載、帝昀落、百姓如喪考妣、三載四海遏密八音（孔伝——遏絶、密静也）」とある。

⑲ 三年父の道 『論語』学而第一に「子曰、父在觀其志、父没觀其行、三年無改於父之道、可謂孝矣」とあり、また「里仁」第四に「子曰、三年無改於父之道、可謂孝矣」とある。

⑳ 百官己を總べて 注⑬参照。また『尚書』商書・伊訓に「百官総己、以聴冢宰、伊尹乃明言烈祖之成徳、以訓于王」とある。

㉑ 苦に寝ね塊を枕とす 『儀礼』喪服の斬衰の条の伝に「外納、居倚廬、寝苦枕塊、哭昼夜無時」とあり、襄公十七年伝にも「晏嬰蠶紵斬、苴經帶、杖、菅屨、食齋、居倚廬、寝苦枕草」とある。

㉒ 『禮記』 『礼記』王制に「三年喪、自天子達、庶人梟封、葬不為雨止、不封不樹、喪不貳事、自天子達於庶人、喪從死者、祭從生者」とあり、「中庸」に「三年之喪、達乎天子、父母之喪、無貴賤一也」とあり、「雜記」上に「端衰、喪車、皆無等」とある。

㉓ 聖の制は 『孝經』広要道章に「子曰、教民親愛、莫善於孝、教民礼順、莫善於悌、移風易俗、莫善於樂」とある。

㉔ 『尚書』 『尚書』周書・無逸の「乃或亮陰、三年不言」の条の孔伝に「武丁起、其即王位、則小乙死、乃有信默三年不言、言孝行者」とある。

㉕ 鄭玄 本疏引。『礼記』喪服四制の「書曰、高宗諒闇三年不言、善之也」の条の鄭玄注に「諒古作梁、楣謂之梁、闇読如鶉鷄之鶉、闇謂廬也、廬有梁者、所謂楣也」とある。また『毛詩』商頌譜の正義引鄭玄注に「……諒闇転作梁闇、楣謂之梁、闇、廬也、小乙崩、武丁立、憂喪三年之礼、居凶廬、柱楣不言政事」とある。

〔傳〕 豫凶事、非禮也

〔注〕 仲子在、而來贈、故曰豫凶事

〔傳〕 八月、紀人伐夷、夷不告、故不書

注に「諸侯已上、既葬則續麻除、無哭位、諒闇終喪」とある。

- ⑦ 「雜記」 『礼記』雜記・下に「天子飯九貝、諸侯七、大夫五、士三、士三月而葬、是月也卒哭、大夫三月而葬、五月而卒哭、諸侯五月而卒、七月而卒哭、士三虞、大夫五、諸侯七」とある。

- ⑧ 『釋例』 『春秋釈例』会盟朝聘例第二に見える。

- ⑨ 杜（預）のみ此の説あり 注①③④参照。又、『春秋釈例』公即位例第一に「既葬卒哭、乃免喪、古之制也」とある。

- ⑩ 昭公十二年傳 昭公十二年伝に「三月、鄭簡公卒、將為除喪、及游氏之廟、……君子謂子産、於是乎知礼、……齊侯・衛侯・鄭伯如晉、朝嗣君也……晉侯享諸侯、子産相鄭伯、辭於享、請免喪而後聽命、晉人許之、礼也、晉侯以齊侯宴」とある。

- ⑪ 下「傳」 昭公十二年伝に「六月、葬鄭簡公」とあり、杜預注に「伝終子産辞享、明既葬則為免喪、經書五月誤」とある。「經」文には「五月、葬鄭簡公」とある。

- ⑫ 『尚書』 『尚書』周書・無逸に「作其即位、乃或亮陰三年不言」とある。

- ⑬ 『論語』 『論語』憲問に「子張曰、書云、高宗諒陰、三年不言、何謂也、子曰、何必高宗、古之人皆然、君薨、百官總已以聽於冢宰三年」とある。

- ⑭ 『晉書』杜預傳 現行本『晉書』礼志・中には次の如くある。

泰始十年、武元楊皇后崩、及將遷于峻陽陵、依旧制、既葬、帝及群臣除喪既吉、尚書杜預以為、「古者天子諸侯三年之喪始同齊斬、既葬除喪服、諒闇以居、心喪終制、不与士庶同礼、……」、於是尚書僕射盧欽、尚書魏舒問杜預証拠所依、預云、

「伝称三年之喪自天子達、此謂天子絶暮、唯有三年喪也、非謂居喪衰服三年、与士庶同也、故后、世子之喪、而叔嚮稱有三年之喪二也、周公不言高宗服喪三年、而云諒闇三年、此釈服心喪之文也、叔嚮不譏景王除喪、而譏其燕樂已早、明既葬必除、而違諒闇之節也、『春秋』、晉侯享諸侯、子産相鄭伯、時簡公未葬、請免喪以聽命、君子謂之得礼、宰咺來惠公仲子之贈、伝曰、『弔生不及哀』、此皆既葬除服諒闇之証、先儒旧説、往往亦見、學者未之思耳、『喪服』、諸侯為天子亦斬衰、豈可謂終服三年邪、上考七代、未知王者君臣上下衰麻三年者誰、下推將來、恐百世之主其理一也、非必不能、乃事勢不得、故知聖人不虚設不行之制、仲尼曰、『礼所損益百世可知』、此之謂也」、……『虞書』称「三載四海遏密八音」、其後無文、至周公旦、乃称「殷之高宗諒闇三年不言」、其伝曰「諒、信也、闇、默也」、下逮五百餘歳、而子張疑之、以問仲尼、仲尼答云、「何必高宗、古之人皆然、君薨、百官總已以聽於冢宰三年」、周景王有后、世子之喪、既葬除喪而樂、晋叔嚮譏之曰、「三年之喪、雖貴遂服、礼也、王雖弗遂、宴樂已早、亦非礼也」、此皆天子喪事見於古文者也、称高宗不云服喪三年、而云諒闇三年、此釈服心喪之文也、譏景王不譏其除服、而譏其宴樂已早、明既葬必除、而違諒闇之節也、堯崩、舜諒闇三年、故称遏密八音、由此言之、天子居喪、齊斬之制、非杖經帶、当遂其服、既葬而除、諒闇以終之、三年無改父之道、故百官總已聽於冢宰、喪服已除、故称不言之美、明不復寢苦枕塊、以荒大政也、『礼記』「三年之喪、自天子達」、又云「父母之喪、無貴賤一也」、又云「端衰喪事皆無等」、此通謂天子居喪、衣服之節同於凡人、心喪之礼終於三年、亦無服喪三年之文、……天子之位至尊、万機之政至大、

を遂ぐるは禮なり。王遂げずと雖も宴樂するは以だ早し、と。此れも亦天子の喪事の古に見ゆるものなり。高宗を稱して、喪服三年と言はずして亮陰三年と云ふは、此れ心喪に服するを釋するの文なり。景王を諷るに、其の服を除くを諷らずして其の宴樂の早なるを諷れば、則ち既に葬りて應に除くべきも、諒闇の節に違ふなり。¹⁸堯の喪に舜は諒闇三年なり。故に、八音を過密す、と稱す。此れに由りて之を言へば、天子、喪に居るの齊・斬の制は、非杖・經帶して當に其の服を遂ぐべし。既に葬りて除き、諒闇以て之を終ふ。¹⁹三年父の道を改むること無きが故に、百官己を總べて以て冢宰に聽く、と曰ふ。喪服既に除くが故に更に言はざるの美を稱し、復た苦に寝ね塊を枕とせざれば、以て大政を荒むるを明らかにするなり。²⁰『禮記』に云ふ、三年の喪は天子より達すと。又た云ふ、端衰・喪車に等無し、と。此れ通じて天子の、喪に居るの衣服の制は凡人に同じく、心喪の禮は三年に終はるを謂ふにて、亦た服喪三年の文無し。天子の位は、至尊、萬幾の政は至大、群臣の衆は至廣なれば、之を凡人に同じくするを得ず。故に大行は既に葬りて廟に耐祭すれば則ち疏に因りて之を除く。己除かざれば則ち群臣敢へて除くこと無し。故に己を屈して以て之を除く。而して諒闇以て制を終ふ。天下の人皆な曰はく、我が王の仁なるや、と。己を屈して以て宜しきに從ふ。皆な曰はく、我が王の孝なるや、と。既に除きて心喪す。我が王は猶ほ此の若きの篤なり、と。凡そ我が臣子も亦た安んぞ自ら勉めて以て禮を崇ばざるを得んや。此れ乃ち聖の制は風を移して俗を易ふるの本なり』と。議奏して皇太子遂に衰麻を除きて諒闇に喪を終ふ。時に於いて内外卒に（杜）預の議を聞きて怪惑する者多く、乃ち其の禮に違ひて以て時に合すと謂ふ。（杜）預、郷人の段暢に謂ひて曰はく、『茲の事體は大なれば本より古典を宣明せんと欲す。未

だ當今に合せざるを知るなり。宜しく博く典籍を采りて之が證據を爲すべし。全大明なるは以て將來に垂示するに足らん』と。暢、遂に敷く危疑に通じて以て指趣を宏む。其の論は具さに存するなり』と。杜（預）の義は、²⁴『尚書』の傳に「亮は信なり。陰は默なり」と云ふを引きて、冢宰に聽かしめ信默して言はずと爲す。²⁵鄭玄以へらく、「諒闇は凶廬爲り」と。杜（預）の用ひざる所なり。

① 昭（公）十五年傳

昭公十五年伝に「六月乙丑、王太子

寿卒（杜注——周景王子）、秋、八月戊寅、王穆后崩（大子

寿之母也、伝為晋荀躒如周葬穆后起）……十二月、晋荀躒如

周葬穆后、籍談為介、既葬除喪、以文伯宴、樽以魯壺……叔

向曰……三年之喪、雖貴遂服、礼也、（天子諸侯除喪、當在

卒哭、今王既葬而除、故譏其不遂）、王雖弗遂、宴樂以早、

亦非礼也」とある。

② 杜（預）

注①参照。

③ 僖（公）三十三年傳

僖公三十三年伝に「凡君薨、卒哭

而耐、耐而作主、特祀於主」とあり、杜預注に「既葬反虞則

免喪、故曰卒哭、哭止也」とある。

④ 杜（預）

注③参照。『春秋釈例』作主禘例第三十七に

「凡君薨、卒哭而耐、耐而作主、特祀於主、曾禘于廟、此諸

侯之礼、故称君、君既葬反虞則免喪、故曰卒哭、卒止也」と

ある。

⑤ 『儀禮』

『儀礼』士虞礼に「始虞用柔日、再虞皆如初

日、哀薦虞事、三虞卒哭、他用剛日、亦如初日、哀薦成事」

とある。

⑥ 杜（預）云ふ

本年「伝」の「弔生不及哀」の条の杜預

〔注〕諸侯已上、既葬則綴麻除、無哭位、諒闇終喪

〔疏〕注諸侯一終喪

正義に曰はく、昭(公)十五年傳に稱す、「穆后崩す。王既に葬りて喪を除く。叔向曰はく、『三年の喪は、貴なりと雖も服を遂ぐるは禮なり』」と。杜(預)云ふ、「天子・諸侯は喪を除けば當に卒哭に在るべし。今、王既に葬りて除く。故に其の遂げざるを譏るなり」と。案ずるに、僖(公)三十二年傳に云ふ、「卒哭して耐す」と。杜(預)云ふ、「既に葬りて反處すれば則ち喪を免かる。故に卒哭と曰ふ。哭は止なり」と。杜(預)の此の言の如くんば、則ち卒哭と葬と相ひ去ること遠きに非ずして同じく一月に在り。〔儀禮〕にては士は三虞なれば、則ち天子・諸侯は皆な此れに同じきなり。必ず然るを知るは、卒哭は是れ葬の餘事にして共に一月の中に在るを以て、故に杜(預)云ふ、「既に葬れば則ち衰麻を除く」と。或ひと、「既に葬れば卒哭して衰麻除く」と云ふは、其の相ひ近きの故を以てなり。若し「雜記」の「諸侯は五月にして葬り、七月にして卒哭す」と云ふに據れば、中間既に除く、或ひは國事有れば稱號をば何と云はんや。是れ葬と卒哭と相ひ連なりて間に事無きを知るなり。然らば「雜記」に「諸侯は五月にして葬り、七月にして卒哭す」と云ふは、案ずるに、〔釋例〕に曰はく、「『禮記』は後人の作る所にして『春秋』と同じからず」とあれば、是れ杜(預)の用ひざる所なり。既に葬れば喪を除くとは、杜(預)のみ此の説あり。正に、『春秋』の例にては皆な既に葬りて君と成るを以て、葬は是れ人君の大節なるを明らかにするなり。昭公十二年傳に曰はく、「齊侯・衛侯・鄭伯、晉に如く。晉侯、諸侯を享す。子產、鄭伯を相け、享を

辭し、喪を免かれて後に命を聽かんと請ふ。晉人之を許す。禮なり」と。時に於いて鄭に簡公の喪有るも未だ葬らず。故に喪を免かれんことを請ふ。其の下傳に云ふ、「六月、鄭の簡公を葬る」と。丘明、「傳」を作るに未だ嘗て虚しく「經」文を擧げず。而るに此の葬を虚しく言ふは、前の喪を免かるの言を終へざるを得ればなり。此れを以て、諸侯既に葬れば則ち喪を免かれ、喪服既に除けば則ち哭位無きを知るなり。諸侯既に然りとせば、天子も亦た爾りと知るなり。

〔尚書〕に「高宗、亮陰にして三年言ははず」と。〔論語〕に云ふ、「何ぞ必ずしも高宗のみならん。古の人皆な然り」と。是れ天子・諸侯、服を除くの後には皆な諒闇して喪を終ふるなり。〔晉書〕杜預傳に「泰始十年、元皇后崩す。漢・魏の舊制に依りて既に葬る。帝及び群臣皆な服を除く。皇太子も亦た應に除くべきか否かを疑ふ。諸を尚書に詔し、僕射の盧欽を會して之を論ぜしむ。唯だ(杜)預のみ以爲へらく、『古は天子・諸侯、三年の喪に始めて齊・斬に服す。既に葬りて喪服を除く。諒闇して以て居り、心喪して制を終ふ。士・庶と禮を同じくせず』と。是に於いて盧欽・魏舒、(杜)預に證據を問ふ。(杜)預曰はく、『『春秋』に、晉侯、諸侯を享し、子產、鄭伯を相けたり。時に簡公未だ葬らず。喪を免かれて以て命を聽かんと請ふ。君子之を禮を得たると謂ふ。(本年『經』)『宰咺、惠公・仲子の頤を歸る』の『傳』に、生を弔して哀に及ばず、と曰ふ。此れ皆な既に葬りて服を除きて諒闇するの證なり。書傳の説既に多し。學者未だ之を思はざるのみ。〔喪服〕の『諸侯、天子の爲にす』も亦た斬衰なり。豈に服は三年に終はると謂ふべけんや」と。(杜)預又た議を作して曰はく、『周の景王に后・世子の喪有り。既に葬り喪を除きて宴樂す。晉の叔向之を譏りて曰はく、三年の喪は貴なりと雖も服

大鷹、以田、以封蕃国」とある。

③① 『周禮』 『周礼』秋官・司盟に「凡邦国有疑、会同、則掌其盟約之載、及其礼儀、北面詔明神、既盟、則貳之」とある。

③② 左氏 本疏引。『礼記』王制の「天子五年一巡守」の条の疏に引ける『五経異義』に「故異義云、公羊説、諸侯比年一小聘、三年一大聘、五年一朝天子、左氏説、十二年之間、八聘、四朝、再会、一盟」とある。また『尚書』舜典に「三載考績、三考黜陟幽明」とある。

③③ 天子は義を展べて 莊公二十七年伝に「天子非展義不巡守、諸侯非民事不舉、卿非君命不越竟」とある。

③④ 『穀梁傳』 『穀梁伝』隠公五年に「伐不踰時、戰不逐奔、誅不填服……」とある。

〔傳〕 贈死不及尸

〔注〕 尸、未葬之通稱

〔疏〕 注尸未葬之通稱

正義に曰はく、「曲禮」・下に云ふ、「牀に在るを尸と曰ひ、棺に在るを柩と曰ふ」と。是れ其の相ひ對言するのみ。今、既に葬りて乃ち來りて（本年「傳」に）「尸に及ばず」と云ふを以てすれば、尸は是れ未だ葬らざるの通稱なるを知るなり。葬れば則ち尸は復た見えず。未だ葬らざれば猶ほ之を見るに及ぶ。故に葬を以て限と爲すなり。②『釋例』に曰はく、「喪贈の幣は車馬を贈と曰ひ、貨財を贈と曰ひ、衣服を縫と曰ひ、珠玉を合と曰ふ。然り而うして搃べて之を贈と謂ふ。故に（本年の）『傳』に『死に

贈して尸に及ばず」と曰ふ」と。然らば則ち此の文は贈の爲に發すと雖も、其の實は贈・贈・含・縫の搃名を贈と爲す。但だ未だ葬らざるに及んでは皆な譏る所無きなり。縫は以て尸に衣し、含は以て口に實たす。大斂の後に之を用ふる所無し。既に殯するの後猶ほ之を致すは、恩好有るを示し、以て充用せざるなり。③『今讀』に曰はく、「『雜記』に『弔するには含・縫・贈・臨の等あり。未だ葬らざれば則ち葦席、既に葬れば則ち蒲席』とあり。是れ葬りて後に行ふを得。此（の）『傳』に『緩』と言ふは⑤『禮記』は後人の雜錄にして『傳』と言を同じくすべからざるなり。或ひは初めて葬るの後なれば則ち可なるも、久しきは則ち許さざるべし」と。

① 「曲禮」・下 『礼記』曲礼・下に「天子死曰崩、諸侯曰薨、大夫曰卒、士曰不禄、庶人曰死、在牀曰尸、在棺曰柩」とある。

② 「釋例」 『春秋釈例』弔贈葬例第五に見える。

③ 「今讀」 不明。阮元校勘記に「闕本・監本・毛本並作合讀、按今讀正義屢引之、浦鏜正誤改作令、蓋皆非是、襄公元年正義讀作贊」とある。

④ 「雜記」 『礼記』雜記・下に「諸侯使人弔、其次含・縫・贈・臨、皆同日而畢事者也、其次如此也」とあり、「雜記」・上に「含者坐委于殯東南、有葦席、既葬蒲席、降出反位……」とある。

⑤ 「禮記」は後人の雜錄 『春秋釈例』会盟朝聘例第二に「『礼記』又後儒所集、亦不正与『春秋』同」とある。

〔傳〕 弔生不及哀

辛丑、葬襄王」とある。

- ③ 成（公）十八年 成公十八年経に「八月、邾子来朝、築鹿囿、己丑、公薨于路寝」・「丁未、葬我君成公」とある。

- ④ 宣（公）八年傳 宣公八年伝に「礼卜葬先遠日、避不懷」とある。また『礼記』曲礼・上に「凡卜筮日、旬之外曰遠某日、旬之内曰近某日、喪事先遠日、吉事先近日」とある。

- ⑤ 桓王 桓公十五年経に「三月乙未、天王崩」とあり、莊公三年経に「五月、葬桓王」とある。

- ⑥ 僖公 僖公三十三年経に「十有二月、公至自齊、乙巳、公薨于小寝」とあり、文公元年経に「夏、四月丁巳、葬我君僖公」とある。

- ⑦ 衛の桓公 隱公四年経に「戊申、衛州吁弑其君完」とあり、隱公五年経に「夏、四月、葬衛桓公」とある。

- ⑧ 莊公 莊公三十二年経に「八月癸亥、公薨于路寝」とあり、閔公元年経に「夏、六月辛酉、葬我君莊公」とある。

- ⑨ 「傳」 隱公五年伝に「夏、葬衛桓公、衛乱、是以緩」とある。

- ⑩ 成公を葬る 成公十八年伝に「丁未、葬我君成公、書順也」とある。

- ⑪ 『釋例』 『春秋釈例』弔贈葬例第五に見える。

- ⑫ 成公 注⑩参照。

- ⑬ 「傳」 注⑨・⑩参照。

- ⑭ 莊（公） 注⑨参照。

- ⑮ 僖（公） 注⑥参照。文公元年経の「夏、四月丁巳、葬我君僖公」の杜預注に「七月而葬、緩也」とある。

- ⑯ 成（公） 注⑩参照。

- ⑰ 晉侯周 襄公十五年経に「冬、十有一月癸亥、晉侯周卒」

とあり、襄公十六年経に「十有六年、春、王、正月、葬晉悼公（注——踰月而葬速也）」とある。

- ⑱ 杜（預） 注⑰参照。

- ⑲ 『釋例』 『春秋釈例』弔贈葬例第五に見える。

- ⑳ 穆伯 文公八年経に「秋、八月戊申、天王崩」・「公孫敖如京師、不至而復、丙戌、奔莒」とあり、「伝」に「穆伯如周弔喪、不至、以幣奔莒、從己氏焉」とある。

- ㉑ 昭（公）三十年傳 昭公三十年伝に「先王之制、諸侯之喪、士弔、大夫送葬」とある。

- ㉒ 「序」 『集解序』に「其幾凡以言例、皆經国之制、周公之垂法、史書之旧章、仲尼從而修之、以成一經之通体、其微顯闡幽、裁成義類者、皆旧制而發義、指行事以正褒貶」とある。

- ㉓ 何休の『膏肓』 本疏引。

- ㉔ 『禮』 『礼記』雜記・下に「天子飯九貝、諸侯七、大夫五、士三、士三月而葬、是月也卒哭、大夫三月而葬、五月而卒哭、諸侯五月而葬、七月而卒哭、士三虞、大夫五、諸侯七」とある。

- ㉕ 鄭康成 『箴膏肓』本疏引。

- ㉖ 蘇寬 本疏引。

- ㉗ 劉炫 本疏引。

- ㉘ 鄭玄 『周礼』考工記・匠人に「匠人營国、方九里、旁三門、國中九經・九緯、經涂九軌」とあり、鄭注に「國中、城内也、經緯謂涂也、經緯之涂、皆容方九軌、軌謂轍道……」とある。

- ㉙ 服虔 本疏引。

- ㉚ 『周禮』 『周礼』春官・巾車に「木路、前樊鵠纓、建

ふなり。諸侯には、同盟或ひは至り、或ひは否せず。大夫の出使は本より君命を奉ずれば、或ひは喪を聞くと雖も未だ必ずしも盡くは來たらず。故に「畢」を言はざるなり。

此に亦た例として「凡」を言はざるは、「序」に已に解き訖はる。何休『膏肓』に以爲へらく、『禮』に「士は三月にして葬る」とあり、今（「傳」に）「踰月」と云へば、左氏は短爲り」と。鄭康成云ふ、「人君の殯には來日を數へ、葬には往月を數ふ。大夫の殯・葬には皆な來日・來月を數ふ。士の殯・葬には皆な往日・往月を數ふ。士の三月は大夫の踰月なり」と。鄭（玄）の此の言の「天子・諸侯の葬には往月を數ふ」とは、左氏に於いて害無し。（鄭玄の）「大夫の葬は來月を數ふ」と云ふは、恐らくは杜（預）の旨に非らず。蘇寛の意は、以へらく、「古禮にては大夫以上の殯・葬には皆な來日・來月を數へ、士の殯・葬には往日・往月を數ふ」と。（蘇寛の）空しく「古禮」と云ふは、事の出づる所無ければ依りて用ふべからざるなり。劉炫云ふ、「此れも亦た例なるも『凡』と言はざるは、諸々の『凡』を發する所は皆な『經』の爲めに例を張るなり。此れ葬の大功を擧げて以て宰啗の緩なるを譏るにて、是れ葬の爲めに例を發するには非らず。故に『凡』を言はざるなり」と。

〔疏〕注言同——之國

正義に曰はく、鄭玄・服虔皆な以へらく、「軌は車轍爲り」と。王は、天下を馭するに必ず車をして軌を同じくし、書をして文を同じくせしむ。（「傳」の）「同軌畢く至る」とは、海内皆な至るを謂ふなり。四夷は俗を異にして其の文・軌を同じくすべからず。天子の喪は時を以て赴弔する能はず。故に（注に）「同軌を言ひて以て四夷の國に別つ」とあり。『周禮』巾車に「木路以て蕃國を封ず」と。蕃國は即ち四夷なり。既に王命を受くれば事も

亦た應に軌を同じくすべし。而るに（注に）「四夷に別つ」と言ふは、四夷、天子に來朝すれば、天子は之に車服を賜ふ。中國に行けば自然に軌を同じくす。其の本國に在りては軌は必ずしも同じからず。若し「巾車」の文を以て即ち華夏と軌を同じくすと言へば、豈に亦た文を同じうせんや。

〔疏〕注同在方嶽之盟

正義に曰はく、『周禮』司盟に「凡そ封國、疑有りて會同すれば、則ち其の盟約の載を掌る」と。然らば則ち天子の諸侯を合するに、諸侯をして共に盟はしむるの禮有るなり。王の諸侯を合するは、唯だ巡守有るのみ。其の巡守に非ざれば則ち事有りて會するの多少は唯だ王の命ずる所にして、同盟の常禮有るを得ず。禮の同盟は唯だ方嶽のみ。故に左氏の舊説に「十二年に三考して幽明黜陟すれば既に分かる。天子は義を展べて巡守し、柴・望すれば既に畢る。諸侯は遂に朝し、退きて相ひ與に盟ひ、好惡を同じくして王室を獎く」と。是れ其の方（角）に當たる諸侯は同じく方嶽の盟有り。同盟して情親しみ、吉凶相ひ告ぐ。故に使を遣はして葬に會するなり。

〔疏〕注古者——踰時

正義に曰はく、（「傳」の）「同位」とは、同じく大夫と爲りて共に列位に在る者を謂ふ。其の來りて至るを待つなり。三月にして之を待つ。故に古は法に於いて行役は時を踰えざるを知るなり。隱（公）五年『穀梁傳』に曰はく、「伐つこと時を踰えず」と。行役・聘問も亦た時を踰えざるを明らかにするなり。

- ① 文（公）八年 文公八年經に「秋、八月戊申、天王崩」とある。

- ② 文（公）九年 文公九年經に「二月、叔孫得臣如京師、

を數ふるなり。文(公)八年に「八月、天王崩ず」とあり、九年に「二月、襄王を葬る」とあるは、是れ天子の七月なり。^③成(公)十八年に「八月、公、路寢に薨ず。十二月、我が君成公を葬る」とあるは、是れ諸侯の五月なり。^④宣(公)八年傳に云ふ、「禮に、葬を卜するに遠日を先にするは、懷はざるを辟くるなり」と。是れ遠日を卜して不吉なれば、乃ち近日を卜し、親を思はざるの嫌を辟くるなり。則ち未だ期に及ばずして葬るは、其の親を思はざるなり。理は見すべきに在るが故に「傳」は皆な其の事を言はず。唯だ期を過ぎて乃ち葬るは、「傳」は「緩」を言ひて以て譏を示すのみ。^⑤桓王は桓(公)十五年を以て崩じ、莊(公)三年にして乃ち葬れば、積むこと七年なり。^⑥僖公は其の三十三年十一月を以て薨じ、文(公)元年四月にして乃ち葬れば、薨・葬の中に閏有りて積むこと七月なり。二者は並びに期を過ぐるが故に「傳」は皆な「緩」を言ひて以て之を譏るなり。^⑦衛の桓公は隱(公)四年三月を以て州吁の弑する所と爲り、五年四月にして乃ち葬れば、積むこと十四月なり。^⑧莊公は其の三十二年八月を以て薨じ、文(公)元年六月にして乃ち葬れば、積むこと十一月なり。二者は亦た期を過ぐと雖も國に事の難有り。故に「傳」は皆な「亂の故なり。是を以て緩なり」と言ふ。其の慢に非ざるを原ねて以て臣子を責めざるなり。然らば則ち諸侯は五月にして葬るは、自づから是れ正法なり。禮を得ること知るべければ、「傳」を發するに假らず。^⑩而るに成公を葬るの下「傳」に特に「順なるを書す」と云ふは、「釋例」に曰はく、「魯君の薨・葬は制に順ならざること多し。唯だ成公のみ路寢に薨じ五月にして葬り、國家安靜にして世適は嗣を承く。故に『傳』は莊(公)の緩なるを見し、成(公)を擧げて順なるを書して以て之を包む」と。然らば則ち特に此の「傳」を發して以て群公の得失を包まんと欲するなり。^⑭莊(公)

に於いては亂るる故にして緩なるを見し、僖(公)に於いては故無くして緩なるを見し、成(公)に於いては禮に順なるを見し。^⑮「傳」に三者を發すれば則ち其の餘は皆な知るべきなり。「傳」の「士は月を諭ゆ」とは、死月を通じて亦た三月なり。襄(公)十五年十一月に「晉侯周卒す」と、十六年正月に「晉の悼公を葬る」とあり、杜(注)に「月を諭えて葬るは遠なり」と言へば、是の(杜預注の)「諭月」も亦た三月なり。此の注に「諭月は度月なり」と云ふは、死月より葬月に至るまで其の間一月を度るを言ふなり。士と大夫とは異ならずして別に文を設くるは、大夫と士との名位既に異なり、其の名の異なるに因りて等差を爲すを示さんとするを以て、故に其の文を變ずるのみ。其の實、月數は同じきなり。

(「傳」の)「同軌・同盟至る」とは、使を遣はして來たりて至るを謂ふにて、諸侯の身の至るに非ざるなり。^⑯「釋例」に曰はく、「萬國の數は至つて衆く、封疆の守りは至つて重し。故に天王の喪に諸侯は竟を越えて奔るを得ず。服を其の國に脩めて、卿は弔葬の禮を共す。魯侯に故無く、而も穆伯、周に如きて弔す。此れ天子崩ずれば、諸侯は爵を遣はして弔葬を共するの『經』・『傳』なり」と。是れ禮にては天子の喪に諸侯は親奔せざるを言ふなり。其れ諸侯相ひ弔するときは、則ち昭(公)三十年傳に云ふ、「先王の制に、諸侯の喪には士弔し、大夫葬を送る」と、是れ正禮なり。

(「傳」の)「同位至る」とは、其の使の還るを待つなり。

(「傳」の)「外姻至る」とは、親戚畢く集まるなり。天子に於いて(「傳」に)「畢至——畢く至る」と言ひて、以下「畢」を言はざるは、天子の貴きこと尊の極に在りて、海内を家と爲せば、天下は喪を聞きて敢へて至らざること無し。故に「畢」を言

すればなり。王、仲子已に薨ずと謂ひて咥をして并せて其の贈を致さしむ。仲子の尚ほ存すれば、贈事は須らく止むべし。幸咥、其の未だ薨ぜざるを知るも猶尚贈を致す。是れ則ち時の宜しきに達せずして君命を恥辱するなり。王は則ち其の人に非ざるを任じ、咥は命を辱ずかしむるの使爲り。君臣は一體にして好惡之を同じくす。咥を貶するは亦た王を責むる所以なり。文（公）五年に「王、榮叔をして含且つ贈を歸らしむ」とあるは、贈する所の人を指さず。此に惠公・仲子を指言するは、彼の成風は未だ葬らざれば、言はざるも知るべく、此は則ち惠公已に葬るも、子氏は未だ薨ぜず、若し其の人を言はずんば則ち誰が爲めに來たりて贈するかを知らざればなり。文（公）九年の「秦人來りて僖公・成風の榑を歸る」も亦た年月已に遠きが爲めの故に其の榑する所を指すは、此と同じきなり。季文子、喪に遭ふの禮を求めて以て行くも亦た凶事を豫するに、貶せざるは、幸咥は喪無くして贈を致し、文子は乃ち時を量りて宜を制し、不虞に備豫す。古の善教は此と同じからず。

① 文（公）五年 文公五年経に「五年、春、王正月、王使榮帰咥且贈、三月辛亥、葬我小君成風、王使召伯來会葬」とある。

② 文（公）九年 文公九年経に「秦人來帰僖公・成風の榑、礼也」とある。

③ 季文子 文公六年伝に「秋、季文子將聘於晉、使求遭喪之礼以行、其人曰、將焉用之、文子曰、備予不虞、古之善教也」とある。

〔傳〕 天子七月而葬、同軌畢至

〔注〕 言同軌以別四夷之國

〔傳〕 諸侯五月、同盟至

〔注〕 同在方嶽之盟

〔傳〕 大夫三月、同位至

〔注〕 古者行役不踰時

〔傳〕 士踰月、外姻至

〔注〕 踰月、度月也、姻猶親也、此言赴弔各以遠近爲差、因爲葬節

〔疏〕 天子ノ姻至

正義に曰はく、天子・諸侯・大夫・士の位既に同じからざれば禮も亦た數を異にす。赴弔の遠近各々等差有り、其の弔答に因りて以て葬節と爲す。且つ位高ければ則ち禮は大、爵卑ければ則ち事は小なり。大禮は時を踰へて乃ち備はり、小事は月を累ねて即ち成る。聖王の制を常規と爲し、民に軌法を示して各々其の典を脩め、敢へて忒差すること無からしめんと欲す。父に資りて君に事ふるは生民の極むる所なり。（『春秋釋例』弔贈葬例第五に）「死を哀しみ終を送るは臣子の盡くす所なり。是を以て未だ期に及ばずして葬る之を不懷と謂ひ、期を過ぎて葬る之を緩慢と謂ふ。『春秋』は實に従ひて録して以て是非を示す」とあり。（本年傳）の「天子は七月・諸侯は五月」とは、死月・葬月皆な通じて之

春秋傳引詩、不皆與今說詩者同、後皆倣此

〔疏〕詩曰、謂乎

正義に曰はく、『詩』毛傳及び『爾雅』の訓に、「匱は竭なり」・「永は長なり」・「錫は予なり」・「爾は女なり」とあり。此の『詩』は「大雅」既醉の五章なり。言ふところは、孝子の孝を爲すこと、竭極の時有らず。故に能く此の孝道を以て長く女の族類に賜す。行孝の至りて能く旁人に延べ及ぶことを言ふ。其れ是れ此の事の謂ひか。族類とは、俱に孝心有れば則ち是れ其の族類なるを言ふなり。

〔疏〕注不匱、倣此

正義に曰はく、頤考叔は純孝の行有りて能く莊公に錫ふ。（注に）「莊公は之を初に失ふと雖も、孝心をば忘れず」とあれば、則ち頤考叔と同じく是れ孝の般類なり。今、（注の）「考叔は能く感じて之を通ぜしむ」とは、是れ（「傳」の）「永く爾の類に錫ふ」を謂ふなり。（注の）「詩人の作すこと、各々情を以て言ふ。君子之を論ずること、文を以て意を害せず」とは、『孟子』の文より出づるなり。此（の注）に『春秋傳』の『詩』を引くこと、皆な今の『詩』を説く者と同じからず」と云ふは、何んぞ。昭（公）八年の注に「叔向の時の詩の義は此の如し」と云ふを以てなり。同じからざる所以は、此は、是れ丘明『傳』を作り、君子の言容を稱し、『詩』を引き、章を斷じ、得失を評論す。彼は、是れ叔向の語、事は前代に近くして當に時の譏刺たるべし。故に（昭公八年の注に）「叔向の時の詩の義は此の如し」と云ふなり。『詩』の注の意は、「類」とは「子孫・族類」たるを謂ひ、此の「傳」の意は、以て「事の般類」と爲すなり。

① 『詩』 『毛詩』大雅・既醉に「孝子不匱、永錫爾類」とあり、毛伝に「匱竭、類善也」とあり、鄭箋に「永長也、君子之行非有竭極之時、長以錫与女之族類、謂広之教道天下也」とある。

② 『爾雅』 『爾雅』釈詁・上に「賁・貢・錫・畀・予・祝、賜也」・「永・業・引・延・融・駿・駿、長也」とある。

③ 『詩』 注①参照。

④ 『孟子』 『孟子』万章・上に「故説詩者、不以文害辭、不以辭害志、以意逆志、是為得之、如以辭而已矣」とある。

⑤ 昭（公）八年の注 昭公八年伝の「弔矣能言、巧言如流、俾躬処休、其是之謂乎」の杜預注に「当叔向時、詩義如此、故与今説詩者小異」とある。

⑥ 『詩』の注 注①参照。

〔傳〕秋、七月、天王使宰咺來歸惠公・仲子之贈緩、且子氏未薨、故名

〔注〕惠公葬在春秋前、故曰緩也、子氏仲子也、薨在二年、贈助喪之物

〔疏〕天王、故名

正義に曰はく、緩にして惠公に贈し、生くるに仲子に贈す。事は王に由りて咺の過に非ざるも咺を貶する所以は、天王は至尊なれば貶責すべからず、王の使を貶すれば王の非を見すに足ればなり。且つ緩にして惠公に贈するは、専ら是れ王の過なり。生くるに仲子に贈するは、咺も亦た愆有り。使者は命を受くるも辭を受けざるは、時に遭ひて宜を設け、機に臨みて變を制せしめんと欲

然後辯殺」とある。

③ 華元 宣公二年伝に「華元殺羊食士、其御羊斟不与」とある。

〔傳〕 公曰、爾有母遺、絜我獨無

〔注〕 絜、語助

〔傳〕 穎考叔曰、敢問何謂也

〔注〕 據武姜在設疑也

〔傳〕 公語之故、且告之悔、對曰、君何患焉、若闕地及泉、隧而相見、其誰曰不然

〔注〕 隧、若今延道

〔傳〕 公從之、公入而賦、大隧之中、其樂也融融

〔注〕 賦、賦詩也、融融、和樂也

〔疏〕 注賦賦、樂也

正義に曰はく、詩を賦すとは、自ら詩を作るを謂ふなり。中・融・外・洩各々自づから韻を爲すは、蓋し賦する所の詩に此の辭有りしならん。「傳」は略して之を言ふなり。（注の）「融融は和樂なり」・「洩洩は舒散なり」とは、皆な是れ樂の狀にして、意を以て之を言ふのみ。^①服虔云ふ、「入るるに公を言ひ、出づる

に姜を言ふは、俱に出入して互ひに相ひ見ゆるを明らかにするなり」と。

① 服虔 本疏引。

〔傳〕 姜出而賦、大隧之外、其樂洩洩

〔注〕 洩洩、舒散也

〔傳〕 遂爲母子如初、君子曰、穎考叔純孝也

〔注〕 純、猶篤也

〔疏〕 注純猶篤也

正義に曰はく、^①『爾雅』釋詁に「純」を訓じて「大」と爲せば、則ち純孝・純臣とは大孝・大忠なるを謂ふなり。此（の注）の「純は猶ほ篤のごときなり」とは、孝の篤厚なるを言ふなり。

① 『爾雅』 『爾雅』釈詁・上に「弘・廓・宏・溥・介・

純・夏・撫・扈・墳・墳・丕・弈・洪・誕・戎・駿・假・京・碩・濯・許・宇・穹・壬・路・淫・甫・景・廢・壯・豕・簡・荊・畎・畹・畹・將・業・席・大也」とある。

〔傳〕 愛其母、施及莊公、詩曰、孝子不匱、永錫爾類、其是之謂乎

〔注〕 不匱純孝也、莊公雖失之於初、孝心不忘、考叔感而通之、所謂永錫爾類、誌人之作、各以情言、君子論之、不以文害意、故

祭仲諫、而公弗聽、小不忍、以致大乱焉」とある。

③ 「經」に曰はく 注②参照。

④ 服虔 本疏引。

⑤ 服(虔) 本疏引。

⑥ 劉炫 本疏引。

〔傳〕 遂寘姜氏于城潁

〔注〕 城潁鄭地

〔傳〕 而誓之曰、不及黃泉無相見也

〔注〕 地中之泉、故曰黃泉

〔傳〕 既而悔之、潁考叔爲潁谷封人

〔注〕 封人典封疆者

〔疏〕 注封人典封疆者

正義に曰はく、①『周禮』封人(の職)に「畿封を爲して之を樹つるを掌る」とあり。鄭玄云ふ、②「畿上に封あり。今時の界の若きなり」と。天子の封人の職は封疆を典れば、諸侯の封人も亦た然るを知るなり。「傳」に③「祭仲足は祭の封人爲り」、④「宋の高哀は蕭の封人爲り」と言ひ、⑤『論語』に「儀の封人」と有り、此(の「傳」)に「潁谷封人」と言ふは、皆な地を以て封人に名づく。蓋し封人の職は封疆を典り、居は邊邑に在りしならん。潁谷・儀・祭は皆な是れ國の邊邑なり。

① 『周禮』 『周礼』地官・封人の職に「封人・掌說王之

社壇、爲畿封而樹之」とあり、鄭玄注に「壇、謂壇及墉埒也、畿上有封、若今時界矣、不言稷者、稷、社之細」とある。

② 鄭玄 注①参照。

③ 祭仲足 桓公十一年伝に「初祭封人仲足有寵於莊公、莊公使爲卿、爲公娶鄧曼、生昭公、故祭仲立之」とある。

④ 宋の高哀 文公十四年伝に「宋高哀爲蕭封人、以爲卿」とある。

⑤ 『論語』 『論語』八佾第三に「儀封人請見、曰、君子之至於斯也、吾未嘗不得見也」とある。

〔傳〕 聞之、有獻於公、公賜之食、食舍肉、公問之、對曰、小人有

母、皆嘗小人之食矣、未嘗君之羹、請以遺之

〔注〕 食而不啜羹、欲以發問也、宋華元殺羊爲羹饗士、蓋古賜賤官之常

〔疏〕 注食而之常

正義に曰はく、①『禮』公食大夫及び②「曲禮」の記す所にては、大夫・士、客と燕食するに皆な牲體の穀飯有り。徒だに羹を設くるのみに非ざるなり。此と③華元の、士を饗するとは、唯だ羹有るを言ふのみ。故に疑ふらくは是れ古の賤官に賜ふの常ならん。

① 『禮』 『儀礼』公食大夫礼に見える。

② 「曲禮」 『礼記』曲礼・上に「凡進食之礼、左穀右飯、食居人之左、羹居人之右……穀之序、三飯、主人延客食飯、

は、其の教を失ふを見ずなり。其の文は是れ舊史と雖も、即ち是れ仲尼の新意なり。

〔疏〕注傳言「其奔

正義に曰はく、「經」は皆な孔子の書する所なり。此の事、特に（「傳」に）「書曰——書して曰はく」と言へば、必ず是れ舊史は然らず、夫子始めて改む。故に「傳」の此の辭は、（注に云ふが如く）「夫子、春秋を作りしとき、舊史を改めて以て義を明らかにせんとするを言ふ」なるを知るなり。

「克」とは戰勝・獲賊の名なり。公、諸を鄆に伐ち、段は即ち共に交戦せざれば、亦た段を獲ず。段は實に出奔するも、而も「克」を以て文を爲すは、此れ夫子の心に非ず。謂へらく、是れ鄭伯の本志は其の出奔を言ふを欲せざれば、其の奔を言ひ難く、志は殺に在るが故に夫子は其の本志を承けて「克」を書せしならん。

鄭伯の段に於けるや、其の母の鍾愛する所なるを以て母の私情に順ひて之に大邑を分かち、其の榮寵を恣にすれば、實に殺心無し。但だ大叔は義無くして寵を恃みて驕盈す。（鄭伯）若し微にも裁貶を加ふれば、則ち母の意を傷けんことを恐る。故に祭仲、早く之が所を爲さんと欲し、子封、往きて之を除かんと請ふも、公は皆な許さず。是れ其の殺心無きなり。（本年「傳」の）「必ず自ら斃れん」・「厚くとも將に崩れんとす」と言ふは、止だ自ら其の身を損ふを謂ふにて、惡にして能く國を害するを言はず。其の謀りて鄭を襲はんと欲するに及んで、禍の將に身に逼らんとす。自ら友愛の深きを念ふも遂に初めて心の恨を起す。是れに由りて志は必ず殺に在りて、出奔を言ふを難しとす。此の時、始めて殺心有りて、往前は則ち殺意無し。（本年）「傳」に「公曰はく、姜氏之を欲す。焉んぞ害を辟けん」と稱し、「詩」序に

「其の母に勝へず、以て其の弟を害す」と曰ひ、（「詩」の）「經」に「父母の言も亦た畏るべし」と曰ふ。是れ母の命に迫られて之を裁するを得ざるにて、其の惡の成るを待ちて、乃ち誅戮を加ふるを欲するには非ざるなり。

④ 服虔云ふ、「公は本より其の惡を養成して誅を加へ、生きながら出づるを得ざらしめんと欲す。此れ鄭伯の志意なり」と。言ふところは、鄭伯は本より殺意有るが故に其の惡を養成すると爲すと。斯れ然らず。（本年）「傳」に「鄭伯を稱するは、教を失ふを譏ればなり」と曰ふは、止だ鄭伯の教誨の道を失ふを責むるのみにて、鄭伯の元より殺害の心有るを謂はず。若し本より以來即ち殺害を謀れば、乃ち是れ故より相ひ屠滅す。何ぞ止だ教を失ふことののみか之有らん。且つ君の臣を討ずること、其の萌漸を遏め、惡未だ就らざると雖も之を誅するを得るに足る。何ぞ須らく其の惡の成るを待ちて、方に始めて殺害すべけんや。⑤ 服虔（虔）、「本意は殺を欲す」と言ふは、乃ち是れ鄭伯を誣ふるなり。⑥ 劉炫云ふ、「克を以て文を爲すは、其の實狀に非ず。故に（本年）『傳』は之を『之を鄭志と謂ふ』と解す。言ふところは、仲尼の意、『克』を書せしは、是れ鄭伯の本志を謂ふなり。注は又た『傳』の意を申解して『鄭伯の志は殺に在り』と言ふ。心は其の克を欲して其の奔を言ふを難しとす。故に仲尼、『克』を書いて『奔』を書せず。鄭伯の志の如く文を爲すは、鄭伯を惡む所以なり」と。

① 秦伯 昭公元年經に「夏、秦伯之弟鍼、出奔晉」とあり、

「伝」に「書曰秦伯之弟、出奔晉、罪秦伯也」とある。

② 「詩」序 『毛詩』鄭風・將仲子の經文に「豈敢愛之、

畏我父母、仲可懷也、父母之言、亦可畏也」とあり、序に「將仲子、刺莊公也、不勝其母、以害其弟、弟叔失道、而公弗制、

ば必ず自づから崩る。衆の附かざる所は將に自づから敗れんとするを喻ふるなり。高大にして壊るる之を崩と謂ふ。

〔傳〕 大叔完聚

〔注〕 完城郭、聚人民

〔疏〕 注完城郭聚人民

正義に曰はく、服虔^①以へらく、「聚とは禾黍を聚むると爲すなり」と。段は輕行して鄭を襲はんと欲して固く守るの資を作さず。故に「聚」は人を聚むると爲すにて、糧を聚むるには非ざるを知るなり。「城を完うす」とは、人を聚めて之を完うするを謂ふにて、城を守るを欲するには非ざるなり。

① 服虔 本疏引。

〔傳〕 繕甲兵、具卒乘

〔注〕 歩曰卒、車曰乘

〔傳〕 將襲鄭、夫人將啓之

〔注〕 啓開也

〔傳〕 公聞其期曰、可矣、命子封帥車二百乘以伐京

〔注〕 古者兵車一乘、甲士三人、歩卒七十二人

〔傳〕 京叛大叔段、段入于鄆、公伐諸鄆、五月辛丑、大叔出奔共

〔注〕 共國今汲郡共縣

〔傳〕 書曰鄭伯克段于鄆、段不弟、故不言弟、如二君、故曰克、稱鄭伯、譏失教也、謂之鄭志、不言出奔、難之也

〔注〕 傳言天子作春秋、改舊史以明義、不早爲之所、而養成其惡、故曰失教、段實出奔、而以兄爲文、明鄭伯志在必殺、難言其奔

〔疏〕 如二君故曰克

正義に曰はく、實は二君に非ざるを謂ふ。僞傑・彊盛にして二君に似たるが如きも、伐ちて之に勝ち、然る後に「克」を稱するは、眞に是れ二君を謂ふに非ざるなり。若し眞に是れ二君なれば、則ち戰・襲・敗・取を以て文を爲す。然れども既に二君に非ずして杜（預）は（本年の）「經」に注して、「君を以て臣を討ず。而るに二君の例を用ふ」と云ふは、又た眞に二君なる者に似たり。但だ杜（預）は彼（本年の）「經」に於いて、應に「君を以て臣を討じて、而も二君の如きの例を用ふ」と云ふべし。其の「如」の字の略して但だ「而用二君——而るに二君を用ふ」と云ふのみ。獲麟の後の史文に準ずれば、夫子の未だ脩めざるの前は應に「鄭伯の弟の段、共に出奔す」と云ふべし。^①「秦伯の弟の鍼、晉に出奔す」と同じきなり。其の不弟なるを以ての故に弟を言はず。志は殺に在るが故に奔を言はず。然らば則ち鄭伯も亦た是れ舊史の文なるも、而も新意と爲すを得るは、段には弟を去るを以て貶と爲せばなり。宜しく國討を以て文を爲すべし。仍は鄭伯を存する

〔疏〕無使滋蔓

正義に曰はく、此れ草を以て喩ふるなり。草の滋長して引蔓すれば則ち芟除すべきこと難し。段の威勢稍く大にして圖謀すべきこと難きに喩ふるなり。

〔疏〕注斃踣也

正義に曰はく、^①「釋言」の文なり。^②孫炎曰はく、「前覆を踣と曰ふ」と。

① 「釋言」 『爾雅』釈言に「斃、踣也」とあり、郭璞注

に「前覆」とある。

② 孫炎 『爾雅孫氏注』 魏の孫炎撰。本疏引。現在、完

本は亡んで伝わらないが、輯本として『玉函山房輯佚書』・『漢学叢書』などに輯録されている。定公八年伝の「顔高奪人弱弓、籍丘子鉏擊之、与一人俱斃」の条の正義に「『釈言』云、斃、仆也、孫炎曰、前覆曰仆」とある。

〔傳〕既而大叔命西鄙・北鄙貳於己

〔注〕鄙鄭邊邑、貳兩屬

〔傳〕公子呂曰、國不堪貳、君將若之何

〔注〕公子呂、鄭大夫

〔疏〕國不堪貳

正義に曰はく、兩屬すれば則ち賦役は倍す。賦役倍すれば則ち國人堪えざるなり。

〔傳〕欲與大叔、臣請事之、若弗與則請除之、無生民心

〔注〕叔久不除、則舉國之民、當生他心

〔傳〕公曰、無庸、將自及

〔注〕言無用除之、禍將自及

〔傳〕大叔又収貳、以爲己邑

〔注〕前兩屬者、今皆取以爲己邑

〔傳〕至于廩延

〔注〕言轉侵多也、廩延鄭邑、陳留酸棗縣北有延津

〔傳〕子封曰、可矣、厚將得衆

〔注〕子封、公子呂也、厚謂土地廣大

〔傳〕公曰、不義不暱、厚將崩

〔注〕不義於君、不親於兄、非衆所附、雖厚必崩

〔疏〕厚將崩

正義に曰はく、牆屋を以て喩ふるなり。厚なるも而も基無ければ

〔注〕 不合法度、非先王制

〔疏〕 大都 九之一

正義に曰はく、定むるに王城は方九里なるを以てす。此の數に依りて之を計れば、則ち王城は長さ五百四十雉、其の大都は方三里、長さ一百八十雉、中都は方一里又二百四十歩、長さ一百八雉なり。小都は方一里、長さ六十雉なり。公の城は方七里、長さ四百二十雉、其の大都は方二里又一百歩、長さ一百四十雉なり。中都は方一里又一百二十歩、長さ八十四雉なり。小都は方二百三十歩二尺、長さ四十六雉又二丈なり。侯・伯の城は方五里、長さ三百雉、其の大都は方一里又二百歩、長さ百雉なり。中都は王の小都に比す。其の小都は方一百六十六歩四尺、長さ三十三雉又一丈なり。子・男の城は王の大都に比す。其の大都は侯・伯の中都に比す。其の中都は方一百八十歩、長さ三十六雉なり。小都は方百歩、長さ二十雉なり。^①「考工記」に曰はく、「王宮・門阿の制は五雉、宮隅の制は七雉、城隅の制は九雉。門阿の制をば以て都城の制と爲し、宮隅の制をば以て諸侯の城制と爲す」と。然らば則ち王の都城の隅は高さ五丈、城は蓋し高さ三丈、諸侯の城隅は高さ七丈、城は蓋し高さ五丈なり。^②三丈以下は復た城を成さず。其の都城は蓋し亦た高さ三丈なり。^③「周禮」の「四縣を都と爲す」とは、周公の設法なるのみ。但だ土地の形は方平なること圖の如くすべからず。其の邑竟の廣狭に復た定準無く、人の多少に隨ひて其の都邑を制す。故に大都・小都有り。^④下邑は之を都と謂ひ、都も亦た一に邑と名づく。^⑤莊（公）二十八年傳に「宗邑に主無し」と曰ひ、閔（公）元年傳に「之に都城を分かつ」と曰ふ。俱に曲沃を論じて都・邑を互言すれば、是れ其の名相ひ通ずるなり。

① 「考工記」 『周礼』考工記・匠人の職に「王宮門阿之

制五雉、宮隅之制七雉、城隅之制九雉、經涂九軌、環涂七軌、野涂五軌、門阿之制以為都城之制、宮隅之制以為諸侯之城制、環涂以為諸侯經涂、野涂以為都經涂」とある。

② 「周禮」 『周礼』地官・小司徒の職に「乃經土地而井牧其田野、九夫為井、四井為邑、四邑為丘、四丘為甸、四甸為縣、四縣為都、以任地事、而令貢賦、凡稅斂之事」とある。

③ 下邑 下邑の意味については、一例として、莊公二十八年經「冬、築鄆」の条の杜預注に「鄆、魯下邑」とあり、正義に「國都為上、邑為下、故云魯下邑」とある。

④ 莊（公）二十八年 莊公二十八年伝に「使言於公曰、曲沃君之宗也、蒲与二屈君之壘、不可以無主、宗邑無主、則民不威、疆場無主、則啓戎心」とある。

⑤ 閔（公）元年傳 閔公元年伝に「士鶯曰、天子不得立矣、分之都城、而位以卿、先為之極、又焉得立」とある。

〔傳〕 君將不堪、公曰、姜氏欲之、焉辟害、對曰、姜氏何厭之有、不如早爲之所

〔注〕 使得其所宜

〔傳〕 無使滋蔓、蔓難圖也、蔓草猶不可除、況君之寵弟乎、公曰、多行不義、必自斃、子姑待之

〔注〕 斃路也、姑且也

氏説、鄭伯之城方五里、積千五百步也、大都三國之一、則五百步也、五百步為百雉、則知雉五步、五步於度長三丈、則雉長三丈也、雉之度量、於是定、可知矣」とあり、『礼記』坊記の「故制國不過千乘、都城不過百雉、家富不過百乘、以此坊民、諸侯猶有畔者」の条の鄭玄注に「古者方十里、其中六十四井……雉度名、高一丈、長三丈為雉、百雉為長三百丈、方五百步、子・男之城、方五里百雉者、此所謂大都三國之一」とある。

⑧ 王肅 本疏引。

⑨ 周禮 『周礼』冬官・考工記に「匠人營國、方九里、旁三門、國中九經・九緯、經塗九軌、左祖右社、面朝後市、市朝一夫」とある。

⑩ 「春官」典命職 『周礼』春官・典命に「上公九命為伯、其國家・宮室・車旗・衣服・礼儀、皆以九為節、侯・伯七命、其國家・宮室・車旗・衣服・礼儀、皆以七為節、子・男五命、其國家・宮室・車旗・衣服・礼儀、皆以五為節」とあり、鄭玄注に「上公、謂王之三公有德者加命為二伯、二王之後亦為上公、國家、國之所居、謂城方也、公之城、蓋方九里、宮方九百步、侯・伯之城、蓋方七里、宮方七百步、子・男之城、蓋方五里、宮方五百步、大行人職、則有諸侯圭藉・冕服・建常・樊纓・貳車・介冑・朝位之數焉」とある。

⑪ 鄭玄 注⑩参照。

⑫ 『尚書大傳』 『尚書大傳』多士に「古者、百里之國、三十里之遂・二十里之郊・十里之城・三里之宮、七十里之國、二十里之遂・九里之郊・三里之城・一里之宮、五十里之國、九里之遂・三里之郊・一里之城、以城為宮、遂郊之門執禁、以譏異服、譏異言、（鄭玄注——玄或疑焉、『周礼』『匠人

營國方九里」、謂天子城也、今大國九里、則與天子同、『春秋伝』曰「中五之一、小九之一」以此推説、小國大都之城、方百步、中都之城、六十步、小都之城、三十二步三分之一、非也、然則大國、七里之城、次國五里之城、小國三里之城、焉為近可也、或者、天子夷十二里之城、諸侯大國九里、次國七里、小國五里」とある。因に本文は、本疏並びに『毛詩』文王有声の正義、さらに『周礼』典命の疏に引かれている。

⑬ （『尚書大傳』注） 注⑫参照。

⑭ 「詩」 『毛詩』大雅・文王有声に「築城伊淩、作豐伊疋、匪棘其欲、逋追來孝」とあり、鄭箋に「方十里曰成、淩其溝也、広深各八尺、棘急、來勤也、文王受命而猶不自足、築豊邑之城、大小適与成偶、大於諸侯、小於天子之制、此非以急從己之欲、欲広都邑、乃述追王季勤孝之行、進其業也」とある。

⑮ 「論語」注 本疏引。『論語』の鄭玄注は、『鄭氏佚書』・『漢魏遺書鈔』・『玉函山房輯佚書』・『漢学堂叢書』などに輯録されている。

⑯ 「駁異義」 注⑦参照。

⑰ 「匠人」 注⑨参照。

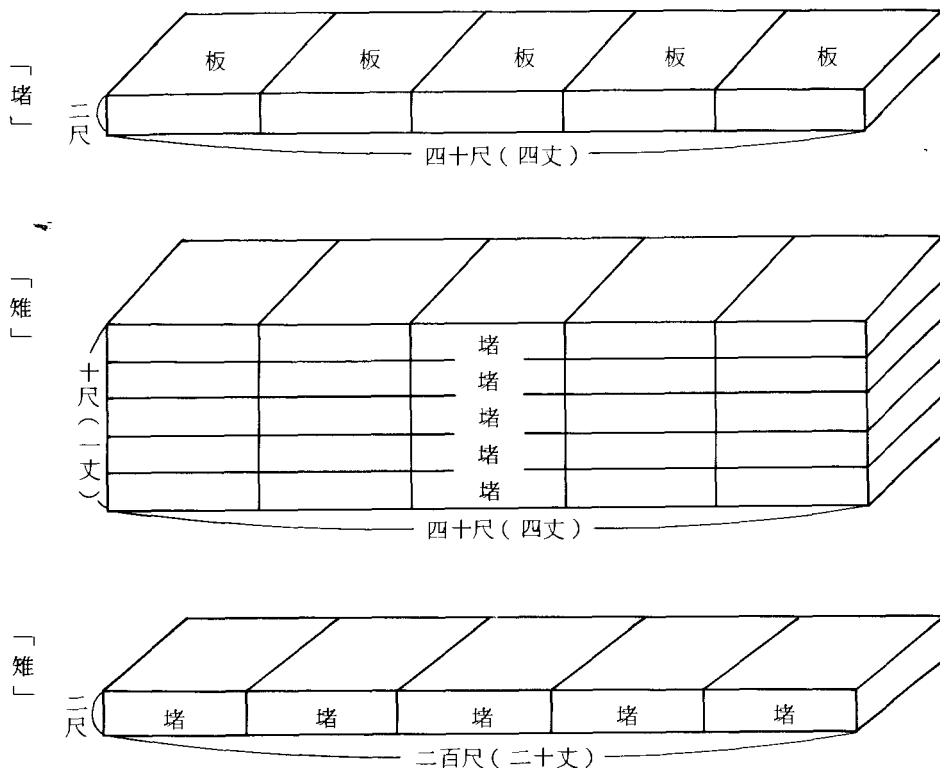
⑱ 「典命」 注⑩参照。

⑲ 「典命」 注⑩参照。

〔傳〕 先王之制、大都不過參國之一

〔注〕 三分國城之一

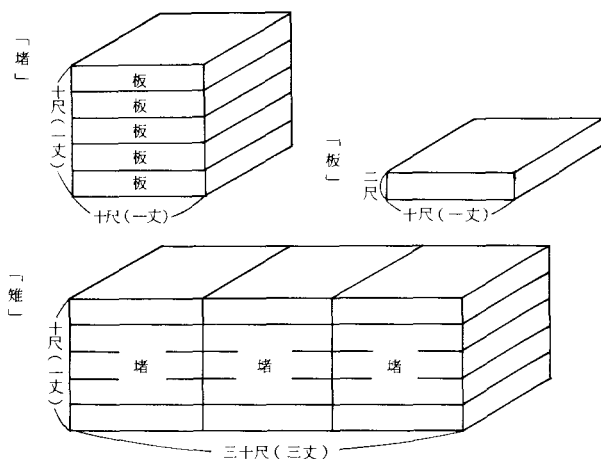
〔傳〕 中五之一、小九之一、今京不度、非制也



何休説

古周礼・左氏説

- ④ 三にするの一 殿版注疏本にては「三国之一」に作る。
 なお、本年「伝」に「先生之制、大都不過参国之一」とある。
- ⑤ 賈逵 本疏引。
- ⑥ 馬融 本疏引。
- ⑦ 鄭玄 本疏引。また『毛詩』小雅・鴻鴈疏引『駁五經異義』に「左氏伝説、鄭莊公弟段居共城、祭仲日、都城過百雉国之害也、先生之制、大都不過三国之一、中五之一、小九之一、今京不度、非制也、古之雉制、書伝各不得其詳、今以左



廣さ二尺、高さ五板を積みて一丈と爲す。五堵を雉と爲す。雉の長さ四丈」と。古（文）の『周禮』及び『左氏』説にては「一丈を板と爲し、板は廣さ二尺。五板を堵と爲し、一堵の牆の長さ丈、高さ丈。三堵を雉と爲し、一雉の牆の長さ三丈、高さ一丈。以て其の長さを度るものは其の長さを用ひ、以て其の高さを度るものは其の高さを用ひるなり」と。諸説同じからず。必ず雉の長さ三丈を以て正と爲すは、鄭は是れ伯爵なるを以てなり。城は方五里、大都は國を三にするの^④。其の城は百雉に過ぎざれば則ち百雉は是れ大都の定制なり。因りて之を三にすれば則ち侯・伯の城、三百雉に當たる。計るに、五里は積むこと千五百歩、歩の長さ六尺、是れ九百丈なり。九百丈を以てして三百雉と爲せば則ち雉は長さ三丈なり。^⑤賈逵・馬融・鄭玄・王肅の徒の古學を爲す者は皆な「雉は長さ三丈」と云ふ。故に杜（預）依りて之を用ふ。（注の）「侯・伯の城、方五百里」も亦た正文無し。『周禮』冬官・考工記に「匠人、國を營す。方九里、旁に三門あり」とあるは、天子の城を謂ふ。天子の城方九里なれば、諸侯は禮にては當に降殺すべければ則ち公は七里、侯・伯は五里、子・男は三里なるを知る。此れを以て定説と爲すなり。但だ「春官」典命職に乃ち稱す、「上公は九命、侯・伯は七命、子・男は五命。其の國家・宮室・車旗・衣服・禮儀は皆な命數を以て節と爲す」と。鄭玄以爲へらく、「國家は國の居る所、城の方なるを謂ふなり」と。「典命」の言の如くんば則ち公は九里に當たり、侯・伯は七里、子・男は五里なるが故に鄭玄は兩つながら之を解す。其の『尚書大傳』に注するに、天子は九里なるを以て正説と爲す。又た（『尚書大傳』注に）「或ひは天子の城は方十二里」と云ひ、^⑬「詩」文王有聲の箋に「文王の城は方十里。諸侯より大にして天子の制より小なり」と言ひ、^⑭『論語』注に以爲へらく、「公の大都の城は方三

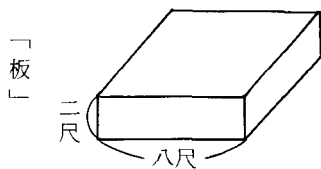
里」と。皆な以て天子は十二里、公は九里と爲すなり。其の「駁異義」に又た「鄭伯の城は方五里」と云ふ。^⑮「匠人」・「典命」は俱に是れ正文にして其の同じからざるに因るを以ての故に、兩つながら其の説を申ぶ。今、杜（預）に二解無し。侯・伯は五里なるを以て正と爲すは、蓋し以へらく、^⑯「典命」に云ふ所の國家とは、自づから國家の爲す所の法・禮儀の度を謂へるにて、未だ必ずしも以て城居と爲さざればなり。

① 『公羊傳』 『公羊伝』定公十二年に「雉者何、五板而堵（何休注——八尺曰板、堵凡四十尺——）、五堵而雉（二百尺）、百雉而城」とある。

② 何休 注①参照。

③ 『五經異義』 許慎撰。本疏引。現在、完本は亡んで伝わらないが、輯本として『漢魏遺書鈔』に輯録されている。また許慎の説を駁した鄭玄の『駁五經異義』は、『問經堂叢書』・『後知不足齋叢書』・『鄭氏佚書』・『通德遺書所見錄』・『漢學堂叢書』などに輯録されている。なお、陳寿祺の『五經異義疏證』（皇清經解所収）や皮錫瑞の『駁五經異義疏證』（國學集要初編所収）は詳細で便利である。

戴礼・韓詩説



① 僖(公)五年傳 僖公五年伝に「虢仲・虢叔、王季之穆也、為文王卿士、勲在王室、藏於盟府」とある。

② 「晉語」 『國語』晉語・四に「文王在母不憂、在傅弗勤、処師弗煩、事王不怒、孝友二虢」とあり、韋昭注に「善兄弟為友、二虢文王弟、虢仲・虢叔」とある。

③ 晉の滅ぼす所のもの 僖公五年伝に「冬、十二月丙子朔、晉滅虢、虢公醜奔京師」とある。

④ 「鄭語」 『國語』鄭語に「桓公為司徒、甚得周衆與東土之人、問於史伯曰、王室多故、余懼及焉、其何所以逃死、史伯對曰、王室將卑、戎狄必昌、不可偪也、当成周者、南有荆蠻・申・呂・宓・鄧・蔡・隨・唐、北有衛・燕・狄・鮮虞・潞・洛・泉・徐・蒲、西有虞・虢・晉・隗・霍・楊・魏・芮、東有齊・魯・曹・滕・薛・鄒・莒、是非王之支子母弟甥舅也、則皆蠻荊戎狄之人也、非親則頑、不可入也、其濟・洛・河・潁之間乎、是其子男之國、虢・鄆為大、虢叔恃勢、鄆仲恃險、是皆有驕侈怠慢之心、而加之以貪昌、君若以周難之故、寄孥與賄焉、不敢不許、周乱而弊、是驕而貪、必將背君、君若以周之衆、奉辭伐罪、無不克矣、若克二邑、鄆・弊・補・舟・依・緜・歷・華、君之土也、……公說、乃東寄帑與賄、虢・鄆受之、十邑皆有寄地」とある。

⑤ (賈逵) 阮元の「校勘記」に従って賈逵の二字を補足した。因に僖公五年伝の「正義」に「賈逵云、虢仲封東虢、制是也、虢叔封西虢、虢公是也」とある。

⑥ 「傳」 桓公十年伝に「虢仲謂其大夫詹父於王」とある。
⑦ 北燕 襄公二十八年伝に「夏、齊侯・陳侯・蔡侯・北燕伯・杞伯・胡子・沈子・白狄、朝于晉、宋之盟故也」と、初見する。

⑧ 小邾 襄公二年伝に「滕・薛・小邾之不至、皆齊故也」と、初見する。

⑨ 「地理志」 『漢書』地理志の河南郡に「滎陽、卞水・馮池、皆在西南、有狼湯渠、首受沛、東南至陳入潁、過郡四、行七百八十里」とあり、注に「應邵曰、故虢國、今虢亭是也」とある。

⑩ 應邵 注⑨参照。

〔傳〕 請京、使居之、謂之京城大叔

〔注〕 公順姜請、使段居京、謂之京城大叔、言寵異於衆臣、京鄭邑、今滎陽京縣

〔傳〕 祭仲曰、都城過百雉、國之害也

〔注〕 祭仲鄭大夫、方丈曰堵、三堵曰雉、一雉之牆、長三丈、高一丈、侯・伯之城、方五里、徑三百雉、故其大都不得過百雉

〔疏〕 注祭仲 百雉

正義に曰はく、注に諸々の「大夫」と言ふは、其の名氏の「傳」に顯見するを以てなり。更に卑賤の驗しるし無きものは皆な大夫を以て之を言ふ。其の實、是れ大夫なるか否かも亦た委よまに知るべからざるなり。

定(公)十二年^①「公羊傳」に曰はく、「雉とは何ぞ、五板にして堵、五堵にして雉」と。何休以爲へらく、「堵は四十尺、雉は二百尺」と。許慎の「五經異義」に「『戴禮』及び『韓詩』説にては『八尺を板と爲し、五板を堵と爲し、五堵を雉と爲す。板は

正義に曰はく、賈（逵）・服（虔）は「共」を以て諡と爲す。^②「諡法」に「長を敬し上に事ふるを共と曰ふ」と。亂を作して出づれば、其の徳の稱すべきこと有らず。^③四方に餽口すれば人の之に與へて諡を爲すこと無し。故に、（共叔）段、共に出奔するが故に共と稱するを知る。猶ほ下の晉侯の鄂侯と稱するがときなり。

① 賈（逵）・服（虔） 本疏引。

② 「諡法」 『逸周書』諡法解に「敬事供上曰恭」とある。

③ 四方に餽口 隱公十一年伝に「寡人有弟、不能和協、而使餽其口於四方」とある。

④ 鄂侯 隱公六年伝に「翼九宗五正頃父之子嘉父、逆晉侯于隨、納諸鄂、晉人之鄂侯」とある。

〔傳〕 莊公寤生驚姜氏、故名曰寤生、遂惡之

〔注〕 寐寤而莊公已生、故驚而惡之

〔疏〕 莊公寤生、遂惡之

正義に曰はく、武姜、寐ねし時に莊公を生み、寤むるに至りて始めて其の生まるるを覺ゆるを謂ふ。故に杜（預）、「寐寤して莊公已に生まる」と云ふ。

〔傳〕 愛共叔段、欲立之

〔注〕 欲立以爲太子

〔傳〕 亟請於武公、公弗許、及莊公即位、爲之請制、公曰、制巖邑也、虢叔死焉、他邑唯命

〔注〕 虢叔東虢君也、特制巖險而不脩徳、鄭滅之、恐段復然故開以他邑、虢國今榮陽縣

〔疏〕 注虢叔、陽縣

正義に曰はく、僖（公）五年傳に曰はく、「虢仲・虢叔は王季の穆なり」と。^②「晉語」に「文王は二虢を敬友す」と稱すれば、則ち虢國は本より二つ有り。晉の滅する所のものは、其の國、西に在り。故に此を謂ひて東虢と爲すなり。^④「鄭語」に「史伯、桓公の爲めに謀を設けて云ふ、『虢叔は勢を恃み、郇仲は險を恃む。皆な驕侈・怠慢の心有り。君、成周の衆を以て辭を奉じて罪を伐たば、克たざるは無し』と。桓公、之に従ふ」とあり、是れ其の險を恃みて徳を脩めざるを、（注の）「鄭、之を滅す」の事と爲すなり。^⑤（賈逵）云ふ、「虢叔は西に封ぜられ、虢仲は東に封ぜらる」と。而るに此（の注）に「虢叔は東虢の君なり」と云ふは、滅ばす所の君の字の叔なるを言ふなり。^⑥「傳」に「虢仲、其の大夫を譖す」と云ふは、叔の子孫の字を仲と曰ふを謂へるなり。「傳」を案ずるに、燕國に二つ有れば則ち一つを北燕と稱し、邾國に二つ有れば則ち一つを小邾と稱す。此の虢國に二つ有るも而も「經」・「傳」に東・西を言はざるは、時に於いて東虢已に滅ぶ。故に西虢に西を稱せず。其の並存の日には亦た應に東・西を以て之を別つべし。^⑨

「地理志」に云ふ、「河南郡の滎陽縣」と。^⑩應邵云ふ、「故の虢國、今の虢亭、是れなり」と。

故傳釋之、諸魯事傳釋不書、他皆倣此

〔疏〕注費伯 倣此

正義に曰はく、(注の)「史の策書は皆な君命なり」とは、君の命ずる所は之が事を爲して乃ち之を策に書するを得るを謂へるにて、君命じて書を遣はして方に始めて書するを謂ふには非ざるなり。又た史策に書せざれば「經」も亦た書せざるの意を解す。仲尼の、「經」に書するは亦た史の舊法に因る。舊史書せざれば則ち(仲尼も)亦た書せず。故に「傳」は此の事を發して、「經」に書せざるの意を釋す。(注の)「諸々魯の事、『傳』に『不書』——書せず」と釋せるは、他は皆な此に倣へ」とは、下(本年「傳」)の「翼に盟ふ」・「南門を作る」の類を謂ふ、是れなり。

〔傳〕初鄭武公娶于申、曰武姜

〔注〕申國、今南陽宛縣

〔疏〕初鄭武公娶于申曰武姜

正義に曰はく、杜(預)以爲へらく、「凡そ例として其の事に本づくものは、皆な『初』と言ふ」と。^①賈逵云ふ、「凡そ『初』を言ふは、其の年を隔てて後に禍福の將に之を終へんとする有りて、乃ち『初』を言ふ」と。

〔疏〕注申國今南陽宛縣

正義に曰はく、『外傳』に伯夷の後を説きて、「申・呂、衰ふと雖も、齊・許は猶ほ在り」と曰へば、則ち申・呂と齊・許とは俱に伯夷より出でて同じく姜姓爲り。^③『國語』に曰はく、「齊・許・申・呂は大姜よりす」と。言ふところは、大姜よりして封

を得るなり。然らば則ち申の始封も亦た國の興るの初めに在り、其の後中絶し、宣王の時に至りて、申伯、王の舅なるを以て改めて謝に封ぜらる。^④『詩』大雅・崧高の篇に宣王を美し申伯を褒賞して、「王、召伯に命じて申伯の宅を定めしむ」と云ふ。是れその事なり。^⑤

「地理志」に「南陽郡の宛縣は故の申伯の國なり」とあり。(注に)「宛縣」とあるは、宣王の改めて封ずるの後を謂ふなり。以前は則ち其の地を知らざるなり。

① 賈逵 本疏引。

② 『外傳』 『國語』周語・下に「申・呂、雖衰、齊・許、猶存」とあり、韋昭注に「申・呂、四岳之後、商・周之世、或封於申・齊・許、亦其族也」とある。

③ 『國語』 『國語』周語・中に「齊・申・呂、由大姜」とあり、韋昭注に「四國皆姜姓也、四岳之後、大姜之家也、大姜、大王之妃、王李之母也」とある。

④ 『詩』 『詩』大雅・崧高の序に「崧高、尹吉甫美宣王也、天下復平、能建國親諸侯、褒賞申伯焉」とあり、本文に「王命召伯、定申伯之宅、登是南邦、世執其功」とある。

⑤ 「地理志」 『漢書』地理志の南陽郡に「宛、故申伯國、有屈城」とある。

〔傳〕生莊公及共叔段

〔注〕段出奔共、故曰共叔、猶晉侯在鄂謂之鄂侯

〔疏〕注段出奔 之鄂侯

と書す。故に齊の桓（公）に事ふるに由りて乃ち王命を得たるを知るなり。賈（逵）・服（虔）以爲へらく、「北杏の會の時に已に王命を得」と。蓋し北杏の會に邾人列に在るを以ての故に其の已に命を得たるを謂ふなり。列すると列せざるとは會を主るもの意に在りて、爵有ると否とに由らず。襄（公）二十七年の宋の盟に、齊人、邾を請ひ、宋人、滕を請ふも、邾・滕は會に列せず。故に邾・滕を書せず。襄（公）五年の戚の會に、穆叔は鄆を屬するを以て不利と爲し、鄆の大夫をして命を會に聽かしむ。故に「經」に「鄆人」を書す。然らば則ち人の私屬と爲れば則ち會に列せず、人の私屬と爲らざれば則ち會に列す。會に列すると否とに據りて以て爵有るを明らかにすべからざるなり。昭（公）四年の申の會に、淮夷は焉に列するも、未だ必ずしも爵有らざるなり。邾は今爵無きも魯と盟ふを得。北杏に齊に會するに何ぞ須らく爵有るべけんや。莊（公）十五年「鄆に會す」の「傳」に曰はく、「齊、始めて霸たり」と。さすれば則ち齊の桓（公）の霸と爲るは鄆の會より始まるのみ。北杏の時には諸侯未だ從はず。霸功未だ立たざれば、桓（公）は尙ほ未だ殊勳有らざるなり。儀父、何ぞ紀すべきに足らんや。且つ齊の桓（公）未だ王に功有らざれば、焉んぞ能く王をして之に命ぜしめんや。其の王命を得るは、必ず北杏の後に在り。但だ未だ定めて是れ何年なるかを知らざるのみ。服虔云ふ、「爵は醢なり。其の材を醢盡する所以なり」と。

- ① 莊（公）十三年 莊公十三年經に「春、齊侯・宋人・陳人・蔡人・邾人、會于北杏」とある。
- ② 十六年 莊公十六年經に「邾子克卒」とある。
- ③ 賈（逵）・服（虔） 本疏引。
- ④ 襄（公）二十七年 襄公二十七年經に「夏、叔孫約會晉

趙武・楚屈建・蔡公孫婦生・衛石患・陳孔奐・鄭良霄・許人・曹人于宋」とあり、また「秋、七月辛巳、豹及諸侯之大夫盟于宋」とある。「伝」に「李武子使謂叔孫以公命、曰視邾、滕、既而齊人請邾、宋人請滕、皆不与盟、叔孫曰、邾・滕、人之私也、我列國也、何故視之、宋衛、吾匹也、乃盟、故不書其族、言違命也」とある。

- ⑤ 襄（公）五年 襄公五年經に「公會晉侯・宋公・陳侯・衛侯・鄭伯・曹伯・莒子・邾子・滕子・薛伯・齊世子光・吳人・鄆人于戚」とあり、「伝」に「九月丙午、盟于戚、會吳且命戌陳也、穆叔以屬鄆為不利、使鄆大夫聽命于會」とある。
- ⑥ 「經」 襄公五年經。注⑤参照。
- ⑦ 昭（公）四年 昭公四年經に「秋、七月、楚子・蔡侯・陳侯・鄭伯・許男・徐子・滕子・頓子・胡子・沈子・小邾子・宋世子佐・淮夷會于申」とある。
- ⑧ 莊（公）十五年 莊公十五年經に「十有五年、春、齊侯・宋公・陳侯・衛侯・鄭伯會于鄆」とあり、「伝」に「十五年、春、復會焉、齊始霸也」とある。
- ⑨ 服虔 本疏引。

〔傳〕 公攝位而欲求好於邾、故爲蔑之盟

〔注〕 解所以與盟也

〔傳〕 夏、四月、費伯帥師城郎、不書非公命也

〔注〕 費伯魯大夫、郎魯邑、高平方與縣東南有郁郎亭、傳曰、君舉必書、然則史之策書、皆君命也、今不書於經、亦因史之舊法、

に「頌」を作るが故に「頌」に入るを得。隱公には人の請を爲すこと無きが故に「頌」に入らざるなり。

- ① 賈(逵)・服(虔) 本疏引。
- ② 『釋例』 『春秋穀例』公即位例第一に見える。
- ③ 或ひは譲りて爲さず 隱公を指す。
- ④ 或ひは痛みて忍びず 莊公を指す。
- ⑤ 或ひは亂ありて得ず 閔公・僖公を指す。
- ⑥ 「傳」 本年「伝」に「不書即位、攝也」とあり、閔公元年伝に「不書即位、乱故也」とある。
- ⑦ 莊(公)・僖(公) 莊公元年伝に「不称即位、文姜出故也」とあり、僖公元年伝に「不称即位、公出故也」とある。
- ⑧ 『釋例』 『春秋穀例』公即位例第一に見える。
- ⑨ 劉(炫)・賈(逵) 本疏引。
- ⑩ 類(容) 漢の類容。著書として『春秋穀例』一卷があり、『漢魏遺書鈔』・『玉函山房輯佚書』に輯録されている。
- ⑪ 樂盈 襄公二十三年伝に「書曰晋人殺樂盈、不言大夫、言自外也」とある。
- ⑫ 良霄 襄公三十年伝に「書曰鄭人殺良霄、不称大夫、言自外入也」とある。
- ⑬ 君氏 隱公三年伝に「夏君氏卒、声子也、不赴于諸侯、不反哭于寝、不耐于姑、故不曰薨、不称夫人、故不言葬、不書姓、為公故曰君氏」とある。
- ⑭ 鄭伯 本年「伝」に見える。
- ⑮ 『膏肓』 本疏引。『左氏膏肓』は何休の撰。現在、完本は亡んで伝わらないが、輯本として『漢魏遺書鈔』に輯録されている。又、何休の説を駁した鄭玄の『箴膏肓』は、『問經堂

叢書」・『後知不足齋叢書』・『叢書集成』初編・『鄭氏佚書』・『通德遺書所見録』・『黃氏逸書考』などに輯録されている。

- ⑬ 『公羊』 注⑮に見える何休の説もその一つである。
 - ⑭ 鄭康成 『箴膏肓』に見える。本疏引。
 - ⑮ 『公羊』 『公羊伝』隱公三年に「繆公曰、先君之不爾逐、可知矣、吾立于此、攝也」とある。
 - ⑯ 惠公の葬 本年「伝」に見える。
 - ⑰ 聲子の葬 注⑬参照。
 - ⑱ 仲子 隱公二年経に「十有二月乙卯、夫人子氏薨」とあり、隱公五年経に「九月、考仲子之宮、初献六羽」とある。
 - ⑲ 「頌」 『毛詩』魯頌・駉の序に「駉、頌僖公、僖公能遵伯禽之法、俛以足用、寬以愛民、務農重穀、牧于坰野、魯人尊之、於是李孫行父請命于周、而史克作是頌」とある。
 - 〔傳〕 三月、公及邾儀父盟于蔑、邾子克也
 - 〔注〕 克儀父名
 - 〔傳〕 末王命、故不書爵、曰儀父貴之也
 - 〔注〕 王末賜命以爲諸侯、其後儀父服事齊桓、以獎王室、王命以爲邾子、故莊十六年經書邾子克卒
 - 〔疏〕 王末、克卒
- 正義に曰はく、莊(公)十三年、齊の桓(公)、諸國に北杏に會し、邾人焉に在り。十六年に及んで(「經」に)「邾子克卒」

ず元を改め位を正し、百官以て序す。故に國史は皆な即位を策に書して以て之を表はす。隱（公）は既に繼室の子なれば、第に於いて應に立つべきも、而も父の仲子を娶るの意を尋ね、位を委ねて以て桓（公）に讓る。天子既已に之を定め、諸侯既已に之を正とし、國人既已に之を君とす。而るに隱（公）、終に國を推して桓（公）に授くるの心有るは、即位の禮を行はざる所以なり。隱（公）・莊（公）・閔（公）・僖（公）は君位に居ると雖も、皆な故有りて即位の禮を脩めず。^③或ひは讓りて爲さず、^④或ひは痛みて忍びず、^⑤或ひは亂ありて得ず。禮の廢する事異なり、國史は固より書する所無し。其の禮を行ふも、而も文に書せざるには非ざるなり。穎（容）氏の説に以爲へらく、『魯の十二公、國史は盡く即位を書す。仲尼之を脩めて、乃ち書せざる所有り』と。若し實に即位すれば、則ち隱公の讓ること無しと爲す。若し實に讓ること有れば、則ち史は緣りて虚しく書すること無し』と。是れ實に即位せざるが故に史は書せざるを言ふなり。^⑥「傳」は隱（公）・閔（公）に於いて「不書即位——即位を書せず」と云ひ、^⑦莊（公）・僖（公）に於いて「不稱即位——即位を稱せず」と云ふは、^⑧「釋例」に曰はく、「丘明、四公に於いて『傳』を發するに『不書』、『不稱』を以て文を起す。其の義は一なり。劉（炫）・賈（逵）^⑨・穎（容）、『傳』文の爲めに例を生ぜしめて、『恩深く忍びざれば則ち『傳』に『不稱』と言ひ、恩淺く忍ぶべければ則ち『傳』に『不書』と言ふ』と云ふも、博く『傳』辭に據れば殊に通ぜざること多し。案ずるに、變盈を殺すときは則ち（「傳」に）『不言大夫——大夫は言はず』と云ひ、良霄を殺すときは則ち（「傳」に）『不稱大夫——大夫を稱せず』と云ひ、^⑩君氏卒るときは則ち（「傳」に）『不曰薨・不言葬・不書姓——薨を曰はず・葬を言はず・姓を書せず』と云ひ、^⑪鄭伯、段に克つときは則ち（「傳」に）『稱鄭伯——鄭伯を稱す』と云ふ。此れ

皆な意を同じくして文を別つの驗なり。『傳』の本意は『經』を解するに在りて、文を曲げて以て例を生ぜしむるには非ざるなり』と。是れ「不書」・「不稱」の義の同じきの意を言ふなり。

^⑬「膏肓」に何休以爲へらく、「古の制、諸侯幼弱なれば、天子は賢大夫をして輔相して政を爲さしめ、攝代の義無し。昔、周公攝に居りて死するも崩を記さず。今、隱公は生に『侯』を稱し、死に『薨』を稱す。何に因りて攝者と爲すを得んや」と。周公の攝政は仍は成王を以て主と爲し、直ちに其の政事を攝るのみ。大事有る所は王命を稟けて以て之を行ひ、政を致すの後に乃ち死す。故に卒するに「薨」を稱して「崩」を稱せず。隱公の攝る所は則ち位も亦た之を攝り、桓（公）を以て大子と爲す。大事有る所は皆な命を専らにして以て行ふ。攝位にして殺さるるは、君に在りて死するなり。故に生には「公」を稱し、死には「薨」を稱す。是れ周公と異なるなり。且つ「公羊」^⑭に以爲へらく、「諸侯には攝無し」と。鄭康成は「公羊」を引きて難じて云ふ、「（『公羊』に）『宋の穆公云ふ、吾れ此に立つは攝なり』とあり。此れを以て之を言へば、何ぞ『左氏』を非とするを得んや」と。是れ鄭（玄）の意も亦た何（休）の説に従はざるなり。下の「傳」に曰はく、「（隱）公、位を攝りて好を邾に求めんと欲す」と。是の位も亦た攝なり。又た（「傳」に）曰はく、「惠公の薨するや、大子は少し」と。是れ桓（公）を以て大子と爲すなり。正君に異なる所以は、元年に即位せず、行還に廟に告げず、^⑮惠公の葬に臨まず、^⑯聲子の喪を成さず、^⑰仲子を尊んで夫人と爲し、^⑱薨ずれば則ち諸侯に告げ、又た之が爲めに廟を立つ。此れ是れ謙の實なり。隱公は讓位の賢君なるが故に『春秋』の首と爲す。^⑲「頌」に入らざる所以は、魯の僖公の時、周王、歳二月に東に巡守し、僖宗に至りて柴し、李孫行父は之が爲めに周の大子克に請ひ、之が爲め

春秋正義詁註 (三)

(國語) 榑本 絃二

The Japanese translation and annotation of
Chung-qui Zheng-yi (春秋正義) Part 3

Hiroji MASUMOTO

This paper is part 3 of the Japanese translation and annotation of *Chung-qui Zheng-yi* (春秋正義). Part 3 contains the first year of duke Yin (隱公).

〔傳〕 元年、春、王周正月

〔注〕 言周以別夏・殷

〔傳〕 不書即位、攝也

〔注〕 假攝君政、不脩即位之禮、故史不書於策、傳所以見異於常

〔疏〕 不書即位攝也

正義に曰はく、「攝」の訓は持なり。隱（公）は桓公の幼少な
るを以て且く國政を攝持し、其の年の長ずるを待つは、即位の禮
を行はざる所以なり。史官、即位を書せざれば仲尼困りて改めず。
故に「傳」を發して之を解す。（隱）公、實に即位せざれば、史
は本より書すべきこと無し。莊（公）・閔（公）・僖（公）に即
位を書せざるの義も亦た然るなり。舊説・費（①）（達）・服（虔）の
徒、以爲へらく、「四公は皆な實に即位す。孔子、『經』を脩め
て乃ち書せざること有り」と。故に杜（預）は之を詳辨す。『釋
例』に曰はく、「喪に遭ひて位を繼ぐ者は、毎に新年の正月に必

昭和55年度(1月～12月)本校教官による他誌発表論文

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
高 城 博 昭	北洋軍閥政権と金融資本	史学研究五十周年記念論叢、世界編、福武書店、1980年10月、163～186頁。
遠 田 新 一 兼 本 富 夫	保証人が弁済した場合の、他の保証人物上保証人、第三取得者、後順位担保権者に対する求償権と代位の関係。	手形研究。81年、1月増刊号 代位弁済
	物上保証人が弁済した場合の他の物上保証人、保証人、第三取得者、後順位担保権者に対する求償権と代位の関係	〃
	第三取得者が弁済した場合の他の第三取得者、保証人、物上保証人、後順位担保権者に対する求償権と代位の関係	〃
	後順位担保権者が弁済した場合の他の後順位担保権者、保証人、物上保証人第三取得者に対する求償権と代位関係	〃
枡 本 紘 二 山 根 三 芳 (高知大学)	春秋正義訳註 (一)	高知大学教育学部研究報告 第2部 第32号
笠 松 義 隆 小 山 通 栄 増 本 貫 一 (広大総合) 小 島 健 忠 (〃) 檜 原 忠 幹 (〃) 上垣内 孝 彦 (〃)	Dilatometric Measurement of the Thermal Expansion of Cobalt Single Crystal	Japanese Journal of Applied Physics Vol. 20, No.1, January, 1981 pp. 37-40
灘 野 宏 正 寺 内 喜 男 (広 大 工)	Basic Studies on Scoring of Spur Gears (4th Report Effort of Module on Scoring Resistanc)	Bulletin of the JSME, Vol. 23, No. 175, January, 1980.
灘 野 宏 正 野 原 正 稔 寺 内 喜 男 (広 大 工)	Effect of Tooth Profile Modification on Scoring Resistance of Spur Gears	Century 2 International Power Transmission & Gearing Conference, August, 1980, San Francisco
灘 野 宏 正 寺 内 喜 男 (広 大 工)	四球試験における表面温度上昇について	日本機械学会講演論文集、№805-2 (昭50-11), p.154-160, (鳥取)
京 免 進 一 (阪 大) 近 江 宗 夫 (阪 大) 確 井 健 夫 (阪 大)	圧縮性をわずかに考慮した円管内乱流脈動流れの圧力・速度分布の数値解析	日本機械学会論文集 46巻 405号
	圧縮性をわずかに考慮した円管内周期変動流れの数値解析	日本機械学会講演論文集 №800-17
河 野 正 来 李 木 経 孝 (広 大 工) 桑 原 改 造 (〃)	酸化アルミニウムおよび炭化チタニウム厚膜の摩擦摩耗特性	広島大学工学部研究報告 (29巻1号)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
河野正来 (広大工) 毛利博茂 (〃) 桑原改造 (〃)	摩擦摩耗に及ぼす摩耗粉除去効果 (第3報)	日本潤滑学会東京大会研究発表会子稿 集 (55年 東京)
桑原改造 (広大工) 毛利博茂 (〃) 河野正来	銅ピン／銅ディスクの摩擦摩耗に及ぼ す表面洗浄法の影響	〃
大野木幸男 (広島大) 奥本芳治 (広島大) 奥本宏三	6相送電系統の故障電流を抑制する3 次回路のインピーダンス整定法 (単相 回路による考察)	広島大学工学部研究報告 第28巻 第2号
大野木幸男 (広島大) 永田武 (〃) 奥本宏三	故障電流を抑制する直接接地6相送電 系統の過渡解析 (単相回路のよる解析)	広島大学工学部研究報告 第28巻 第2号
廣光清次郎 太田光雄 (広大工)	A prediction for level proba- -bility of random noise with quantized level (theory and experiment)	J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 1, 2, (1980) p. 107
吉野信行 太田光雄 (広大工) 他	騒音変動の非定常性に対するマイコン 利用を旨とした階層的設計指針	日本音響学会春季講演論文集 (横浜)
山之上卓 (九工大) 高木純一 (日立西商品サービス) 吉野信行 阿江忠 (広大工)	LKIT-16によるFORTRANシステ ム	インターフェース No.37
吉野信行 太田光雄 (広大工) 他	マイコン利用による非定常騒音・振動 の一統計処理方法	日本騒音制御工学会講演論文集 (東京)
太田光雄 (広大工) 山口静馬 (広大工) 吉野信行	階乗キユムラントの非定常変化に基づ く長期騒音・振動レベル分布の一予測 法	日本音響学会秋期講演論文集 (清水)
山之上卓 (九工大) 吉野信行 他	LKIT-16によるHITAC-10エミュレ タと付属プログラムの開発	電気四学会中国支部連合大会講演論 文集 (広島)
高木純一 (日立西商品サービス) 吉野信行 他	ROMベースによるLKIT-16FORT - RAN システム	電気四学会中国支部連合大会講演論 文集 (広島)
太田光雄 (広大工) 吉野信行 他	A Statistical Theory on the General Random Noise of Arbitrary Distribution Type with Quantitized Level and Its Actual Application	ACUSTICA Vol. 46, No. 2
野田省三 (広大工) 藤井雅治 (愛媛大工) 山崎勉 (呉高専) 今津信吾 (広大工)	電離波動の運動論的考察	電気四学会中国支部連合大会 (広島)
久良喜代彦	横衝撃を受ける単純支持梁の曲げ応力 について	土木学会中国四国支部学術講演会概要 集 (55年、高知)
竹村和夫 阿部康俱	湿式吹付けコンクリートのセメント水 比と強度との関係について	第32回土木学会中国四国支部学術講演 会講演概要集 (高知)

著 者 名	論 文 題 目	発表誌名または発表会名
網 千 寿 夫 (広 大 工) 小 堀 慈 久	空中写真による山腹斜面崩壊と地形、地質、植生の関係。	文部省自然災害特別研究班 自然災害資料解析研究 Vol.7 1980
	斜面崩壊における要因分類と統計解析	第32回土木学会中国四国支部学術講演概要集 (1980 高知市)
	リモートセンシングによる山腹斜面崩壊の要因分類	第15回土質工学会全国大会研究発表講演集 (1980 広島市)
見 沢 繁 光 (愛 媛 大) 重 松 恒 美 (徳 山 高 専) 中 野 修 治	曲げを受けるRC板の限界状態について	愛媛大学紀要 第三部 工学 第9巻 第3号
見 沢 繁 光 (愛 媛 大) 中 野 修 治 久 保 文 夫 (二 神 組)	部分的に拘束された鉄筋コンクリート板の終局荷重について	第32回土木学会中国四国支部学術講演会講演概要集 (55年 高知)
清 和 四 士	重度身障者に対する建築構造設計 特殊教育例	高専教育第3号
西 村 光 正 松 浦 誠 (広 大 工)	マサ地盤の許容地耐力について (その11、圧密試験結果に関する一考察 (2))	建築学会中国支部研究報告集 (7巻 2号)
	〃 (その12、載荷試験結果に関する一考察)	〃 (〃)
	〃 (その13、即時沈下とクリープ係数)	〃 (8巻1号)
	マサ地盤における小載荷板の地盤係数	建築学会大会学術講演梗概集 (55年近畿)
福 原 安 洋	繰り返し軸方向力を受ける鉄筋コンクリート部材の性状 (その2) 偏心軸方向力を受ける場合	建築学会中国支部研究報告 (7巻2号)
	鉄筋コンクリート筋違入骨組の実験的研究 (第7報) 2層骨組の場合	同上
	繰り返し偏心軸方向力を受ける鉄筋コンクリート部材の実験	建築学会大会学術講演梗概集 (55年近畿)
岡 本 二 郎	屋代島における架橋インパクトに関する調査研究 (その1-住民意識調査からみた島民の生活と行動への影響について)	日本建築学会中国支部研究報告集 (第7巻2号)、昭和55年3月

編 集 委 員

久	保	田	勲
川	尻	武	信
今	井		勲
廣	光	清	次郎
中	野	修	治
西	村	光	正

呉工業高等専門学校
研 究 報 告

第17巻 第1号 (1981)
(通巻 第28号)

昭和56年9月印刷
昭和56年9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 呉(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
電 話 (0822) 78-2111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

Vol. 17, No. 1 (Consecutive No. 28)
September, 56th Year of Showa (1981)

1. Studies on the Connective Hyperbolic Cam (1st Report) — Reciprocating Follower —	Hironori ITOSHIMA	1
2. Studies on the Connective Sine Curve Cam (1st Report) — Reciprocating Follower —	Hironori ITOSHIMA	21
3. Calculation of the Stress at the Tooth Fillet of the Profile Shifted Gears	Hiromasa NADANO	39
4. A Study on Fuel Injection System with Distribution- Type Injection Pump	Yuji KAWAGUCHI	45
5. Analysis of Combustion Phenomena of Swirl-Chamber-Type Diesel Engine	Yuji KAWAGUCHI	55
6. A Simplified Analyzer for Environmental Noises by a Microcomputer	Yoshifumi FUJITA Seijiro HIROMITSU	63
7. Studies of Visual Fatigue under the Fluorescent Lamps Lighting	Kazuhiko HARADA	75
8. A Recursive Algorithm for Computing the Coefficients of the Multi-Variate Gram-Charlier Series	Seijiro HIROMITSU Yoshifumi FUJITA	79
9. A Software Development of a Data-Conversion System from Ultra-High Speed Transient Analyzer to FACOM230-28S System	Seijiro HIROMITSU Masayoshi MACHIDA	87
10. A Development of a Software System on the LKIT- 16 Micro-Computer System (I) — A Reverse-Assembler for the extended Instructions —	Nobuyuki YOSHINO Junichi TAKAKI	97
11. A Development of a Simple-Small Type Digital Data Acquisition System using a Micro-Cassette Tape Recorder	Nobuyuki YOSHINO Masanori MISHIMA	113
12. Influence of Vibrational Excitations on the Electron Transport Coefficients in Nitrogen Plasma	Tsutomu YAMAZAKI Joji USUI	125
13. A Finite Difference solution for Timoshenko Beams	Kiyohiko KURŌ	135
14. A Study on a Plate by Means of the Theory of Three Dimensional Elasticity	Seirō MARUGAMI	145
15. Effect of Stiffness-Digrading on Earthquake Response Behavior (Part 2, Response Behavior of One Mass System Having Negative Plastic Stiffness)	Katsuaki MONZEN Masahisa KISIDA	159
16. The Japanese translation and annotation of <i>Chung-qiū Zheng-yi</i> (春秋正義) Part 3	Hiroji MASUMOTO	172
List of Papers Published or Read outside This College by Its Teaching Staff in, 1980		203