

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第17巻 第2号(通巻第29号)

昭和57年2月(1982)

目 次

1. Controlled Compositionに関する一考察	川 尻 武 信	1
2. 単弦曲線接合カムの研究(第2報)―揺動従動節―	糸 島 寛 典	5
3. 双曲線接合カムの研究(第2報)―揺動従動節―	糸 島 寛 典	21
4. マイクロコンピュータによる倒立振子の安定化	藤 田 幸 史	35
5. 矩形波電源による低圧ナトリウムランプの特性	原 田 一 彦	67
6. 不規則データ処理におけるLog-MeanとMean-Log の差に関する統計的一考察	廣 光 清次郎 太 田 光 雄	71
7. ビーム生成プラズマの電子エネルギー分布	山 崎 勉	81
8. レジンモルタル梁の動的特性	久 良 喜代彦	89
9. 春秋正義訳註(四)	枅 本 紘 二	142

Controlled Composition に関する一考察

(英語教育) 川 尻 武 信

A Study of Controlled Composition

Takenobu KAWAJIRI

Much emphasis in our English composition classes has been placed on Japanese-English translation exercises. This means that we tend to pay little attention to controlled composition.

In this paper controlled composition is discussed with a view to promoting its use in foreign language teaching. The first part of the paper attempts to define it. In the second part its advantages and disadvantages are described. The last part deals with future prospects for its classroom use.

はじめに

外国語クラスにおける書く活動の最終段階は自由作文であり、その前の段階として制御的作文 (controlled composition) がある。わが国では、和文英訳が制御的作文より重視されている傾向があり、制御的作文の活用が充分になされていると言い難い。制御的作文が大いに活用されるために、まず、制御的作文をはっきりととらえる必要がある。この目的に沿って、本論は、制御的作文とは何かを考察した後その利点と問題点、および今後の方向性を述べる。

§ 1. 制御的作文とは

まず、制御的作文の用語について述べる。本論では、controlled composition を制御的作文とした。関連する術語である guided composition や directed composition に関しては、controlled, guided, directed のそれぞれに異なった意味を持たせる場合と3つともほぼ同義と考える場合とがある。前者の例として、Byrne (1979: 24) は、directed については言及していないが、controlled と guided はそれぞれ違った意味を持っているとし、controlled されたものは、使用する語いや文型を全部か若しくはほとんどすべてを学習者に与えて作文させるものであり、guided されたものは、口頭作業や読みや視覚教具により書くことのアウトラインを与えて学習者に作文させるものであるとしている。後者の例として、Paulston (1972: 36 - 37) は、controlled, directed, guided が通例、同義語であると考える。本論では、後者の立場をとる。

次に、controlled composition の中味は composition でなく writing であるという Raimes (1978: 4) の指摘があるように、controlled writing や guided writing という術語も見られる。Huebener (1965: 79) は、composition をある言語の書記形式による独創的で他に依存しない自由な操作ととらえており、Slager (1966) [Croft (ed.) 1972: 232] は、composition を文のレベルを越えた writing であ

るととらえている。しかし、controlled composition の composition に対して、両者の定義は必ずしも適用できない。置換練習や、簡単な対話文の作成など与えられた文をただ操作するときは学習者自身が自らの文を新しく作り出すことはないからである。

制御的作文の定義に関して、Paulston (1972: 36-38) は、以下のように考える。制御的作文は、学習者が誤りのない文章を書けるように言語材料にコントロールを加えたものであり、学習者が文構造に意識的に関心を向けながら一つの練習で一つの文構造を教えることになるとしている。さらに、正しい文章をいつも書かせることは、正しい答えによる即座の強化で道具的条件づけを行うことになることと、文法構造の注意深い段階づけは、学習者の力で充分できる練習となり（学習者自身のペースで進むことができる場合もあるが）、常に学習者の誤りが少なくなることを述べている。制御的作文は、Rivers (1968: 245 - 255) による書く力の指導の5段階を使えば再構成と自由作文との中間にあたり、4段階目に位置づけられる。

§ 2. 制御的作文の利点と問題点

制御的作文の長所として、Owens (1970: 125 - 126) は、次の9項目をあげている。

- ① 教えるポイントがはっきりしているので、いろいろなときに使用できる。
- ② 学習者は誤りのない練習を充分できる。
- ③ 自由作文への移行時期が判断できる。
- ④ 教えるポイントが系統的かつ段階的であるので書く力の指導を系統的にできる。
- ⑤ ある特定の目的にかなうように作られており、はっきりした原則に基づいている。
- ⑥ 学習者は自分の力でできるものを自分のペースで進めることができる。
- ⑦ 段階づけが充分になされていれば作成はあまり難しいことではない。
- ⑧ 学習者が書いた作文を早くかつ容易に訂正できるので教授者の負担を軽くする。
- ⑨ 学習者は自分の進歩がわかり、何を練習すべきかがわかり必要あらばさらに練習できる。自分が犯した少ない誤りを直そうと努力するよう動機づけられている。

これらの9項目のうち8項目までを引用している Paulston (1972: 38 - 39) は、制御的作文を使用する最も重要な理由は、動機づけであると言い、自由作文を使用したクラスと制御的作文を使用したクラスとの比較実験にふれている。その結果として、後者では、決められたときまでに作文が提出されたこと、与えられたもの以上の練習を希望したこと、自分が何をしているかよく理解していたことなどがあり、前者では、後者と逆の現象が見られたことを報告している。

制御的作文の問題点として Sharwood-Smith (1976: 3-5) は次のように述べている。第一に、制御的作文は文構造の習得をまず目指すためコミュニケーションの観点が軽視され文法の練習問題と区別しにくくなる。つぎに、各々の練習は、ある文構造一つを問題にしているので学習者に難しい感じを与えないが、緊張感がなくなり飽きが生じることがあり、単なる操作活動は創造的な問題解決学習を軽視することになる。いつも誤りのない文が書けるような練習より適度に難しい練習のほうが学習者の注意力は持続しやすい。このほかに、制御的作文は、学習者の表現したいものを考慮しにくいことなどをあげている。

Pech and Buckingham (1976: 9) も、上述の Sharwood-Smith と同様にコミュニケーションの観点から制御的作文の問題点をあげている。制御的作文では、文構造の操作練習に対する客観的な段階づけが確立していないので中級段階に達した学習者でさえも比較的容易な操作練習に終始することがあり、この作文が自由作文への橋渡しの役割を十分に果していないと言い、学習者は多数の文を知っていても自分の考えや意図を表現するためにそれらの文を使えないと述べている。さらに、形式をコントロールすることは内容をコントロールすることになり、学習者に身近なもので興味のある練習になりにくいことをあげている。

制御的作文には以上のような利点と問題点があるが、その利点を認め初級段階もしくは中級段階での使用を肯定するものは少なくなく、Paulston (1972), Imhoof and Majure (1976), Byrne (1979) などがある。しかし、その活用に否定的な態度を持つものに、長い文章を数多く書くことが書く力を伸ばすのに有効であると説く Brière (1966)、制御的作文における文構造の操作練習は作文力を伸ばす練習でないとする Zamel (1976) などがある。

§ 3. これからの制御的作文

制御的作文は、初級段階や中級段階で有効な指導技術となりうるが、文レベルの単なる操作練習に陥りやすいし、自由作文の前段階にもかかわらず、自由作文とのギャップがでやすい。この点を考慮して、Paulston (1972) の言う制御的作文と異なる新しい型の制御的作文が見られ、いずれも rhetoric の練習が重視されている。この場合 rhetoric は、Dehghanpisheh (1979: 513) が説明しているように、狭義に使われスタイルなどを意味するのではなく文化に根ざした思考法やパラグラフ構成法などを意味する。

より具体的に述べれば、Taylor (1976: 311—319) は、rhetoric に含まれるものとしてパラグラフ構成法があるとし、パラグラフ内での主題文 (トピック・センテンス)、主題文を支持する文、結論を述べる文に関する知識が必要であると説く。さらに、主題を支持する文は、別の主題を支持する文とつながって時間的順序、原因と理由、比較、対照などの関係を作り出すと述べて、パラグラフとは何かを理解させたり、主題文を作らせたりする練習問題を示している。

前述の Dehghanpisheh (1979: 513—517) も、first, therefore, similarly, in contrast, などの連結詞、パラグラフの展開の仕方、主題文とパラグラフの関係などを rhetoric に含めている。また、連続詞の使い方やパラグラフ内での論の進め方などが言語によって異なるので母国語と目標言語を対照して rhetoric をとらえる必要があると考えている。

このほか、rhetoric の意味とその具体的練習例をあげているものに Tadros (1976: 14—17), Imhoof and Majure (1976: 20—22) などがある。このように、rhetoric の面から従来の制御的作文が再検討され新しい型の制御的作文が登場してきているが、自由作文への橋渡しとなる制御的作文にするため教授者が常に留意すべき点は Sharwood-Smith (1974: 52) が述べている次の4点になろう。

- ① コントロールされた枠組の中でも学習者の意図や考えを表現できるようにする。
- ② 各々の練習はある特定の文構造一つだけを問題にせず学習者が注意を払うところを二つ以上にし、問題解決的なものにする。
- ③ 練習は単なる表現に終わらないで読み手を意識したコミュニケーション活動にする。
- ④ 練習問題は文レベルでなく文章レベルのものにする。

おわりに

従来の制御的作文は操作段階の練習には有効であるが、コミュニケーションを目指す練習が不足して自由作文とのギャップは大きい。このギャップを埋める新しい型の制御的作文が、談話分析の結果や母国語の作文指導例からの示唆を基に多く作成されていく必要がある。

REFERENCES

1. Brière, Eugène J. (1966), "Quantity before Quality in Second Language Composition," *LL*, 16, 3 and 4, 141-151.
2. Byrne, Donn (1979), *Teaching Writing Skills*. London: Longman Group Ltd.
3. Dehghanpisheh, Elaine (1979), "Bridging the Gap Between Controlled and Free Composition: Controlled

Rhetoric at the Upper-Intermediate Level," *TESOL Q*, 13, 4, 509-519.

4. Huebener, Theodore (1965), *How to Teach Foreign Languages Effectively* Revised ed. New York: New York University Press.
5. Imhoof, Maurice and Robert Majure (1976), "Writing as an Integrative Activity," *ETF*, 14, 2, 18-22.
6. Owens, R. J. (1970), "Teaching English Composition," *RELC J*, 1, 1, 119-126.
7. Paulston, Christina Bratt (1972), "Teaching Writing in the ESOL Classroom: Techniques of Controlled Composition," *TESOL Q*, 6, 1, 33-59.
8. Pech, William C. and Thomas Buckingham (1976), "Writing from Experience: A Composition Program for Intermediate Students," *ETF*, 14, 2, 8-11.
9. Raimes, Ann (1978), "Composition: Controlled by the Teacher, Free for the Student," *ETF*, 16, 1, 2-7.
10. Rivers, Wilga M. (1968), *Teaching Foreign-Language Skills*. Chicago: The University of Chicago Press.
11. Sharwood-Smith, Michael (1974), "Experimental Formats for Exercises in Written English," *TESOL Q*, 8, 1, 43-52.
12. Sharwood-Smith, Michael (1976), "New Directions in Teaching Written English," *ETF*, 14, 2, 2-7.
13. Slager, William R. (1966), "Classroom Techniques for Controlling Composition." *Selected Conference Papers of the Association of Teachers of English as a Second Language*, 77-85: Croft, Kenneth (ed.) (1972: 232-244).
14. Tadros, A. A. (1976), "A Look beyond the Sentence," *ETF*, 14, 2, 12-18.
15. Taylor, Barry P. (1976), "Teaching Composition to Low-Level ESL Students," *TESOL Q*, 10, 3, 309-319.
16. Zamel, Vivian, (1976), "Teaching Composition in the ESL Classroom: What We Can Learn from Research in the Teaching of English," *TESOL Q*, 10, 1, 67-76.

(昭和56年10月15日受付)

単弦曲線接合カムの研究 (第2報)

—— 揺動従動節 ——

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Sine Curve Cam (2nd Report) — Oscillating 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 circular arc and an involute curve). The motion of the reciprocating follower with a circular arc in this cam has been analyzed in the 1st report.

In this report, the motion of the oscillating follower with a circular arc or a flat plate are analyzed, respectively. The maximum acceleration of the follower, the pressure angle, and the specific sliding of a cam are discussed. When the oscillating angle of the follower and the rotating angle of a cam are specified, the design of the best cam can be decided.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において各行程に3個の単弦曲線を接合した場合とその間に2個の円弧を挿入した場合とそのうち1個をインボリュート曲線とした場合の接合カムによる円弧(あるいはローラ)をもつ往復従動節の運動と押進め角と滑り率を調べ、加速度曲線を修正台形曲線に近いものを得ることができた。

本報告においてはこれらの単弦曲線接合カムを円弧あるいは平板をもつ揺動従動節に応用し、揺動節の揺動角を指定し、カムと従動節の軸間距離を基準にして従動節の運動と押進め角と滑り率を調べ、最良カムと従動節の寸法の設計を行う。

§ 2 記 号

a, b : 単弦曲線の xy 軸方向の寸法	θ : カムの回転角
Σ : 各行程のカムの作用角	θ_d : 上昇点における停留角
α, β, γ : 第1, 2, 3単弦曲線の作用角	θ_s : 下降点における停留角
τ_1 : 第1円弧の作用角	ω_1, ω_2 : カムと従動節の角速度
τ_2 : 第2円弧かインボリュート曲線の作用角	φ : 従動節の角変位
R_0 : カムの基礎円半径	l : 従動節の長さ
u : インボリュート曲線の基礎円半径	r : 従動節の円弧半径
ε : カムのパラメーター	d : 軸間距離
δ : 単弦曲線表示のパラメーター	φ : 従動節の揺動角

φ_0 : 始点における従動節の角変位 σ_2 : 従動節の滑り率 ρ_r : カム曲線の曲率半径 s : 従動節上の距離 t : カムの高さ $d\varphi/d\theta$: 従動節の角速度係数 ϕ : 押進め角 $d^2\varphi/d\theta^2$: 従動節の角加速度係数 σ_1 : カムの滑り率

§ 3 円弧揺動従動節の場合

単弦曲線接合カムの輪郭を示す式は前報¹⁾に示されているものを使用する。

3.1 揺動角の指定、従動節の長さを指定する場合

揺動従動節の揺動角 Ψ と始点における角変位 φ_0 は前報²⁾により次式で示される。

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2\} / 2dl \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Psi = \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + t + r)^2}{2dl} - \cos^{-1} \frac{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2}{2dl} \quad \dots\dots\dots (2)$$

これから $\lambda = l/d$ とし、 Ψ を指定し d を求めれば前報²⁾より次式が得られる。

$$d^2 = \frac{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi) - \sqrt{D}}{2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$D = \{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos \Psi)\}^2 - 2(1 - \cos \Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos \Psi)\}\{A^4 + B^4 - 2A^2B^2\cos \Psi\}$$

ただし $A = R_0 + t + r$, $B = R_0 + r$

前報¹⁾の往復従動節の場合の R_0 , r , $t=1$, λ , Ψ の値を式(3)に代入して d を求め、軸間距離 d を基準とするため、 $d=1$ になるように a , b , R_0 , r , t , l を求める。表1は前報¹⁾の表2の例11の場合の

表1 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=21.5^\circ$, $\beta=32^\circ$, $\gamma=26^\circ$, $\tau_1=17^\circ$, $\tau_2=23.5^\circ$, $\delta_A=29.67^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=6.78787$, $b=3.39394$, $R_0=1.0661$, $t=1$, $d=1$

λ, l	$R_0 + r$	d	a	b	R_0	r	t	例
0.6	3.06610	4.83662	1.40343	.701718	.220423	.413512	.20676	A
	3.56610	4.80901	1.41149	.705746	.221688	.519858	.20794	
	4.06610	4.89711	1.38610	.693050	.217700	.612607	.20420	
	4.56610	5.03760	1.34744	.673722	.211629	.694775	.19851	
0.7	3.06610	4.17762	1.62482	.812411	.255193	.478742	.23937	B
	3.56610	4.29334	1.58102	.790513	.248315	.582297	.23292	
	4.06610	4.44069	1.52856	.764283	.240076	.675571	.22519	
	4.56610	4.61002	1.47242	.736210	.231257	.759216	.21692	
0.8	3.06610	3.82201	1.77599	.887998	.278937	.523285	.26164	C
	3.56610	3.96270	1.71294	.856471	.269034	.630883	.25235	
	4.06610	4.12122	1.64705	.823529	.258686	.727940	.24265	
	4.56610	4.29414	1.58073	.790366	.248269	.815065	.23288	

データにより $\Psi = 20^\circ$, $\lambda = 0.6 \sim 0.8$, $r = 2 \sim 3.5$ の場合について求めたものである。

3.2 両行程のカムの回転角が等しい場合

往きと戻りのカムの回転角を θ_0 , θ_r とすれば前報²⁾より

$$\theta_0 = \Sigma + \theta_1 - \theta_2, \quad \theta_r = \Sigma - (\theta_1 - \theta_2) \quad \dots\dots\dots (4), (5)$$

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + r)}, \quad \theta_2 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + t + r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + t + r)} \quad \dots\dots\dots (6), (7)$$

となり, $\theta_0 = \theta_r$ とするためには $\theta_1 = \theta_2$ でなければならぬ。前報²⁾より次式が得られる。

$$d = \sqrt{\left(\frac{t}{2} \cot \frac{\Psi}{2}\right)^2 + \left(R_0 + r + \frac{t}{2}\right)^2}, \quad l = \frac{t}{2} / \sin \frac{\Psi}{2} \quad \dots\dots\dots (8), (9)$$

前報¹⁾の表1の例3のデータと $\Psi = 20^\circ$, $r = 0 \sim 4$ を上式に代入して, d と l を求め, d で各値を割ったものを表2-1に示す。前報¹⁾の表2の例9, 11のデータで同様に求めたものを表2-2, 表2-3に示す。

表2-1 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 29.1^\circ$, $\beta = 51.45^\circ$, $\gamma = 39.45^\circ$, $\tau_1 = 0^\circ$, $\tau_2 = 0^\circ$, $\delta_A = 28^\circ$, $\Psi = 20^\circ$
 $a = 6.50119$, $b = 3.2506$, $R_0 = 0.97096$, $t = 1$, $d = 1$, $b/a = 0.5$

r	d	a	b	R_0	t	r	l	例
0.0	3.19446	2.03514	1.017570	.303951	.313042	.000000	.901368	①
0.5	3.45334	1.88258	0.941291	.281165	.289575	.144787	.833798	
1.0	3.76119	1.72849	0.864249	.258153	.265874	.265874	.765553	
1.5	4.10701	1.58295	0.791477	.236416	.243486	.365230	.701092	
2.0	4.48201	1.45051	0.725254	.216635	.223114	.446228	.642432	②
2.5	4.87949	1.33235	0.666176	.198988	.204940	.512349	.590101	③
3.0	5.29437	1.22794	0.613973	.183395	.188880	.566639	.543858	
3.5	5.72288	1.13600	0.568001	.169663	.174737	.611581	.503137	
4.0	6.16217	1.05502	0.527509	.157568	.162281	.649123	.467269	

表2-2 $\Sigma = 120^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\beta = 30^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $\tau_1 = 22.5^\circ$, $\tau_2 = 22.5^\circ$, $\delta_A = 25.3^\circ$, $\Psi = 20^\circ$
 $a = 29.4883$, $b = 8.8465$, $R_0 = 1.46153$, $t = 1$, $d = 1$, $b/a = 0.3$

r	d	a	b	R_0	t	r	l	例
0.0	3.44797	8.55237	2.565710	.423882	.290026	.000000	.835098	④
0.5	3.75500	7.85308	2.355930	.389223	.266312	.133156	.766815	
1.0	4.10019	7.19194	2.157580	.356454	.243891	.243891	.702258	
1.5	4.47472	6.58998	1.977000	.326620	.223478	.335217	.643480	
2.0	4.87182	6.05283	1.815850	.299997	.205262	.410525	.591030	⑤
2.5	5.28641	5.57813	1.673440	.276469	.189164	.472911	.544678	⑥
3.0	5.71469	5.16009	1.548030	.255750	.174988	.524963	.503858	
3.5	6.15380	4.79189	1.437570	.237501	.162501	.568755	.467905	
4.0	6.60157	4.46686	1.340060	.221391	.151479	.605917	.436167	

表2-3 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=21.5^\circ$, $\beta=32^\circ$, $\gamma=26^\circ$, $\tau_1=17^\circ$, $\tau_2=23.5^\circ$, $\delta_A=29.67^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=6.78787$, $b=3.39394$, $R_0=1.0661$, $t=1$, $b/a=0.5$, $d=1$

r	d	a	b	R_0	t	r	l	例
0.0	3.23938	2.09543	1.047710	.329107	.308702	.000000	.888872	
0.5	3.50851	1.93469	0.967345	.303861	.285021	.142511	.820687	
1.0	3.82436	1.77490	0.887453	.278765	.261482	.261482	.752907	⑧
1.5	4.17634	1.62531	0.812658	.255271	.239444	.359166	.689452	
2.0	4.55609	1.48985	0.744924	.233995	.219487	.438973	.631987	⑨
2.5	4.95722	1.36929	0.684646	.215060	.201726	.504315	.580847	
3.0	5.37496	1.26287	0.631436	.198346	.186048	.558144	.535705	⑩
3.5	5.80571	1.16917	0.584587	.183630	.172244	.602855	.495958	
4.0	6.24679	1.08662	0.543310	.170664	.160082	.640329	.460939	⑪

§ 4 円弧揺動従動節の運動と押進め角と滑り率の解析

円弧をもつ従動節については前報²⁾に説明された式をまとめれば次のようになる。

$$\xi_M = d - l \cos(\varphi + \varphi_0), \quad \eta_M = l \sin(\varphi + \varphi_0) \quad \dots\dots\dots (10), (11)$$

$$X_M = X_T + r \cos \varepsilon, \quad Y_M = Y_T + r \sin \varepsilon \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\theta = \theta_1 + \tan^{-1} \frac{Y_M}{X_M} - \cos^{-1} \frac{R_M^2 + d^2 - l^2}{2dR_M}, \quad R_M = \sqrt{X_M^2 + Y_M^2} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\xi_M = X_M \cos(\theta_1 - \theta) - Y_M \sin(\theta_1 - \theta), \quad \eta_M = X_M \sin(\theta_1 - \theta) + Y_M \cos(\theta_1 - \theta) \quad \dots\dots\dots (14), (15)$$

揺動節の角変位 φ は次式のようになる。

$$\varphi = \sin^{-1}(\eta_M/l) - \varphi_0, \quad \varphi_0 = \cos^{-1}\{d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2\}/2dl \quad \dots\dots\dots (16), (17)$$

$$\text{つぎに } \theta = \varepsilon + \theta_1 - \theta \quad \dots\dots\dots (18)$$

とおけば従動節の角速度, 角加速度係数は, 次式となる。

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{d\xi_M/d\theta}{\eta_M} = \frac{d\eta_M/d\theta}{d - \xi_M} = \frac{\eta_M \cos \theta - \xi_M \sin \theta}{(d - \xi_M) \sin \theta + \eta_M \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{d \times \eta_M}{(\rho_T + r) \{(d - \xi_M) \sin \theta + \eta_M \cos \theta\}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = d \times \frac{\left\{ (d - \xi_M) \cos \theta - \eta_M \sin \theta \right\} \sin \theta \frac{d\varphi}{d\theta} + \eta_M \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right)}{\left\{ (d - \xi_M) \sin \theta + \eta_M \cos \theta \right\}^2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

押進め角 ϕ は前報²⁾より次式で与えられる。

$$\phi = \theta + \varphi + \varphi_0 - 90^\circ \quad \dots\dots\dots (22)$$

カムと従動節の滑り率 σ_1 , σ_2 は前報²⁾より次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\bar{TP}}{r + \bar{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\bar{TP}}{\rho_T - \bar{TP}}, \quad \bar{TP} = \frac{\eta_M}{\sin \theta} - r \quad \dots\dots\dots (23), (24), (25)$$

4.1 計算例

表1, 2により各作用角と $d=1, a, b, R_0, r, l$ が指定されればカムの輪廓 X_T, Y_T は前報¹⁾の計算式で求まり, 式(12)より従動節の円弧の中心 M の X_M, Y_M 座標が求められ, 式(13)よりカムの回転角 θ が求まる。次に式(6), (1)より θ_1, θ_0 が求まるので, 式(14), (15)より ε_M, η_M が求まる。よって式(16)から従動節の角変位 φ が求められ, 式(18)により $\dot{\theta}$ を求めれば従動節の角速度係数と角加速度係数は式(19)~(21)から求まる。

押進め角 ϕ と滑り率 σ_1, σ_2 は式(22)~(25)により求められる。

図1は表1の場合のAは $l=0.6$, Bは $l=0.7$ の場合の $d^2\varphi/d\theta^2$ を θ に対して示す。 l が小さい方が最大角加速度は小となる。

図2は表2-1の等角行程 $\theta_0=\theta, =120^\circ, \tau_1=\tau_2=0^\circ$ の場合すなわち円弧を含まない単弦曲線接合カムの場合の例①, ②, ③のデータによる角加速度曲線を θ に対して示す。例②の場合が最良である。

図3は例②の場合の運動を示す。 $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx \pm 0.63$ である。

図4は同じデータで押進め角 ϕ , カムの滑り率 σ_1 , 曲率半径 ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \approx 18^\circ, \sigma_{1\max} \approx 2.4$ となり良好であるが $d^2\varphi/d\theta^2_{\max}$ が少し大きい。

表2-2の円弧単弦曲線接合カムの場合の例④~⑦のデータによる角加速度曲線を図5に示す。図から l の短い例⑦が最良で, $l=0.43617, d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx -0.55$ である。

図6は表2-3の例⑧~⑪の場合の角加速度曲線を示す。例⑪が最良で, $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx \pm 0.5, l=0.46094$ である。前例⑦よりも低加速度なので円弧単弦曲線接合カムとしてはこの方を用いる。

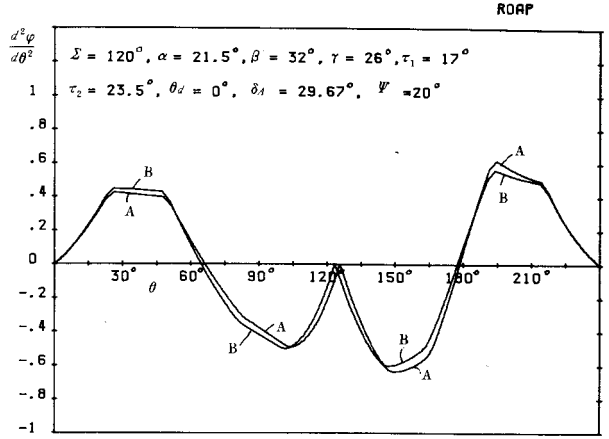


図1 表1の例A, Bの角加速度係数

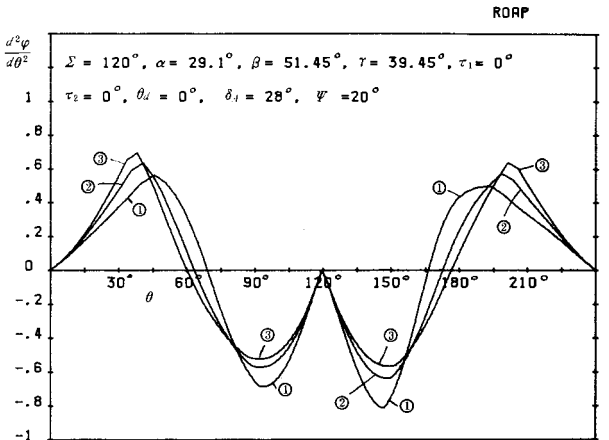


図2 表2-1の等角行程の例①, ②, ③の角加速度係数

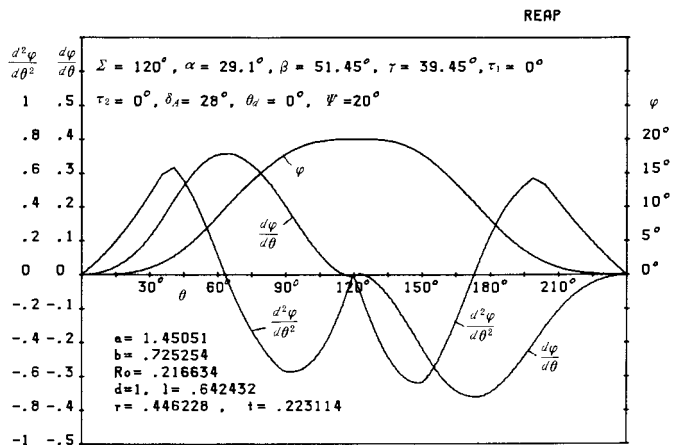


図3 表2-1の例②の従動節の運動

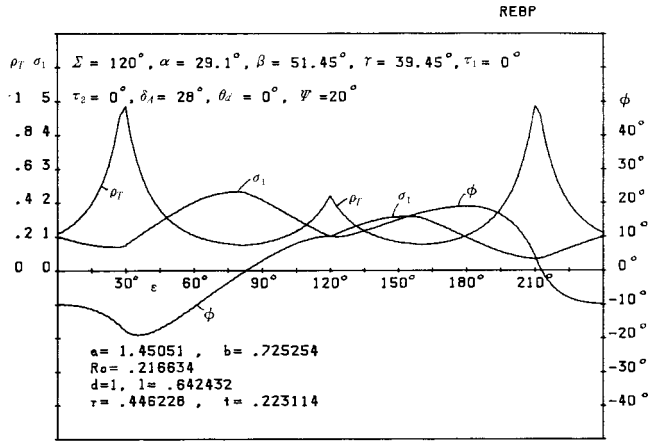


図4 表2-1の例②の ϕ, σ_1, ρ_T

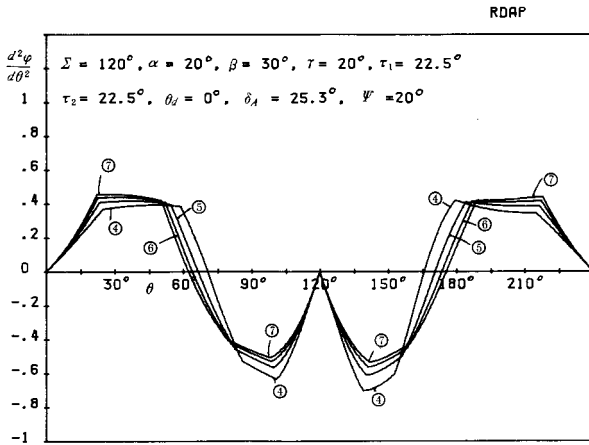


図5 表2-2の例④～⑦の角加速度係数

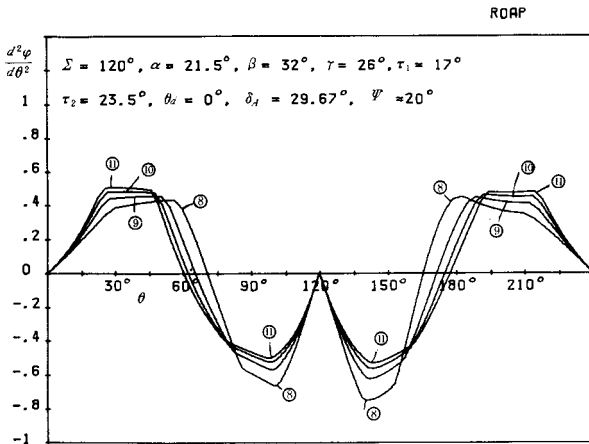


図6 表2-3の例⑧～⑪の角加速度係数

図7は表2-3の例⑪の運動を示す。

図8はその ϕ, σ_1, ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \approx 14^\circ, \sigma_{1\max} \approx 3$ となるので良好である。

図9は σ_2 を従動節の円弧上の距離 s に対して示したもので、始点 S から①, ②, ③, ④の順に変化する。接触の両端とその近くで $\sigma_2 = \infty$ となるが平均して $\sigma_2 \approx 1$ となる。

図10は図3の例②と図7の例⑪のカムの輪郭を示す。ただし上昇停留角 $\theta_d = 30^\circ$ として描いたもので輪郭は滑らかである。

図7 表2-3の例①の運動

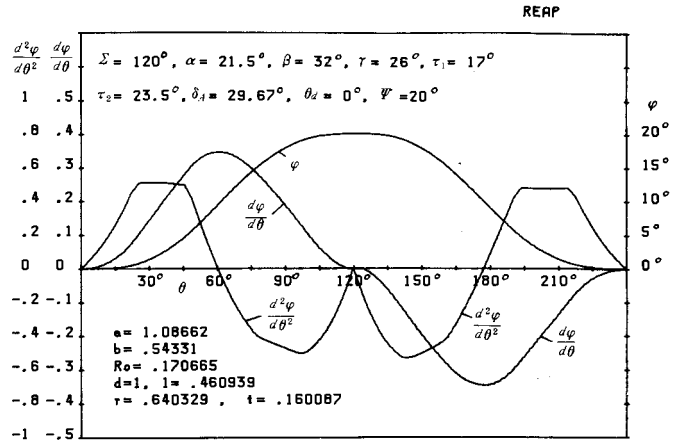
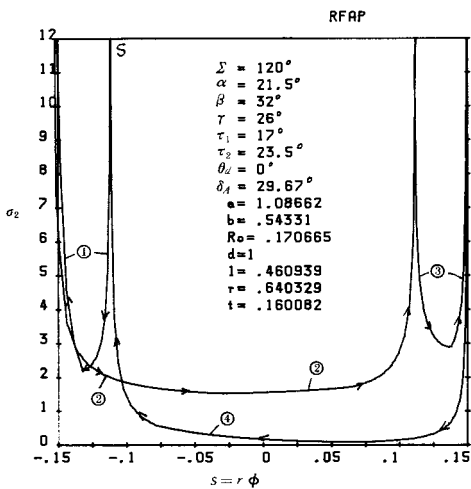
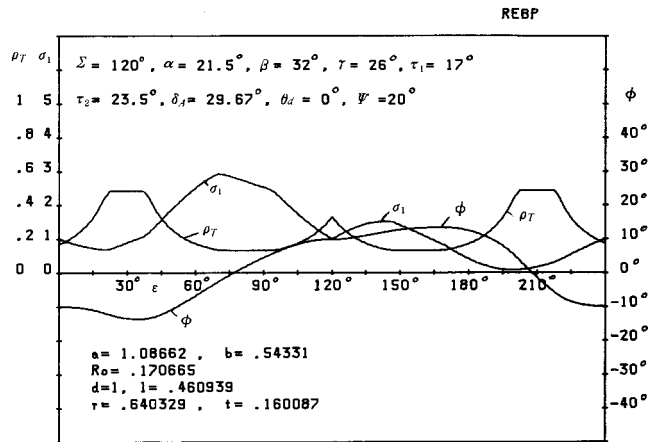
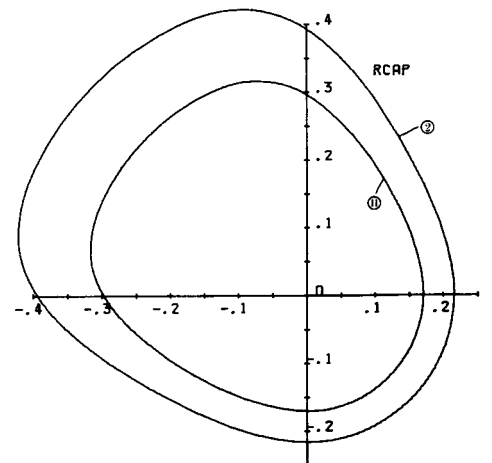
図8 表2-3の例①の ϕ, σ_1, ρ_T 図9 表2-3の例①の従動節の円弧上の σ_2 

図10 表2-1の例②と表2-3の例①のカムの輪郭

表3 $\Sigma=120^\circ, \alpha=19^\circ, \beta=31.5^\circ, \gamma=24^\circ, \tau_1=19^\circ, \tau_2=26.5^\circ, \delta_A=13^\circ, \Psi=20^\circ$
 $a=100.179, b=28.4507, u=0.40071, R_0=3.54307, d=1$

λ, l	r	a	b	R_0	r	t	u
0.55	0.0	18.9155	5.37197	.66899	.00000	.18882	.07566
	1.0	18.8038	5.34026	.66504	.18770	.18770	.07521
	2.0	17.7226	5.03319	.62680	.35382	.17691	.07089
	3.0	16.4896	4.68302	.58319	.49380	.16460	.06596
	4.0	15.2905	4.34249	.54079	.61053	.15263	.06116
	5.0	14.1832	4.02800	.50162	.70789	.14158	.05673
0.6	0.0	20.8407	5.91873	.73708	.00000	.20803	.08336
	1.0	19.9150	5.65583	.70434	.19879	.19879	.07966
	2.0	18.5716	5.27430	.65683	.37077	.18538	.07429
	3.0	17.1948	4.88330	.60813	.51492	.17164	.06878
	4.0	15.9003	4.51565	.56235	.63487	.15872	.06360
	5.0	14.7230	4.18130	.52071	.73483	.14697	.05889
0.7	0.0	23.3669	6.63617	.82643	.00000	.23325	.09347
	1.0	21.7694	6.18249	.76993	.21731	.21731	.08708
	2.0	20.0928	5.70632	.71063	.40114	.20057	.08037
	3.0	18.5024	5.25467	.65438	.55408	.18469	.07401
	4.0	17.0537	4.84322	.60314	.68093	.17823	.06821
	5.0	15.7573	4.47504	.55729	.78646	.15329	.06303

表4-1 $\Sigma=120^\circ, \alpha=19^\circ, \beta=31.5^\circ, \gamma=24^\circ, \tau_1=19^\circ, \tau_2=26.5^\circ, \delta_A=13^\circ, \Psi=20^\circ$
 $a=100.179, b=20.4507, u=0.400714, R_0=3.54307, t=1, d=1$

r	a	b	R_0	t	r	l	u	例
0.0	20.2859	5.76118	.71746	.20250	.00000	.58307	.08114	①
0.5	18.7061	5.31252	.66159	.18673	.09336	.53766	.07482	③
1.0	17.3152	4.91748	.61239	.17284	.17284	.49768	.06926	
1.5	16.0897	4.56946	.56905	.16061	.24091	.46246	.06436	②
2.0	15.0074	4.26209	.53077	.14981	.29961	.43135	.06003	

表4-2 $\Sigma=120^\circ, \alpha=19^\circ, \beta=31.5^\circ, \gamma=25^\circ, \tau_1=21.5^\circ, \tau_2=23^\circ, \delta_A=13^\circ, \Psi=20^\circ$
 $a=99.9427, b=27.2843, u=0.39971, R_0=3.26599, t=1, d=1$

r	a	b	R_0	t	r	l	u
0.0	21.2004	5.78770	.69280	.21213	.00000	.61079	.08479
0.5	19.5107	5.32641	.63758	.19522	.09761	.56211	.07803
1.0	18.0214	4.91984	.58892	.18032	.18032	.51920	.07207
1.5	16.7102	4.56188	.54607	.16720	.25080	.48143	.06683
2.0	15.5540	4.24623	.50828	.15563	.31126	.44812	.06221

§5 第2圆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圆弧を使用しても負の角加速度は水平にはならぬので、前報¹⁾に示したように基礎円半径 u のインボリュート曲線を使用する。カムの輪郭は前報¹⁾に述べられた式を使用し、第3単弦曲線も前報¹⁾の通りにする。

前報¹⁾の表3のデータを $\Psi=20^\circ$, $u=0.4$, $t=1$ として $\lambda=l/d$ を指定して式(3)を用いた場合と等角行程となるように式(8), (9)の場合 r を適当に選んで d を求め、 $d=1$ となるように a , b , u , R_0 を求めたものを表3, 4に示す。

表3は前報¹⁾の表3の例Gの場合 $r=0\sim5$, $\lambda=0.55, 0.6, 0.7$ のとき、表4は前報¹⁾の表3の例G, Fの場合の等角行程で $r=0\sim2$ の場合を示す。

5.1 計算例

図11は等角行程の表4-1の例①, ②, ③のデータにより、 $\theta_d=0^\circ$ の場合の角加速度線図を示す。 l が短いと負の角加速度は小となるが正のそれが大となるので、例③の場合がよい。 $d^2\varphi/d\theta^2 \approx 0.45$ となり、図7の場合よりも0.05小となり、正負共に加速度は水平に近くなり修正台形カムの形に近づく。

図12は例③の場合の運動を示し、図13はこの場合の ϕ , σ_1 , ρ_T を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx \pm 14^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.2$ で良好である。図14はこの場合の従動節の圆弧上の滑り率 σ_2 を示すが、 r が比較的小さいために σ_2 がかなり大きいのでローラを使用した方がよい。表4-1の例②を使用すれば平均の $\sigma_2 \approx 5$ とすることが

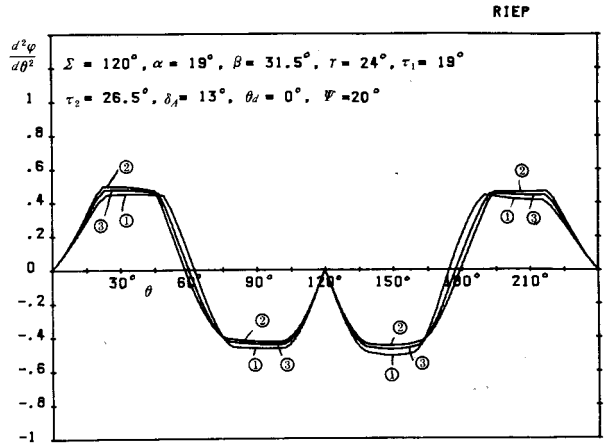


図11 表4-1の等角行程の例①, ②, ③の角加速度係数

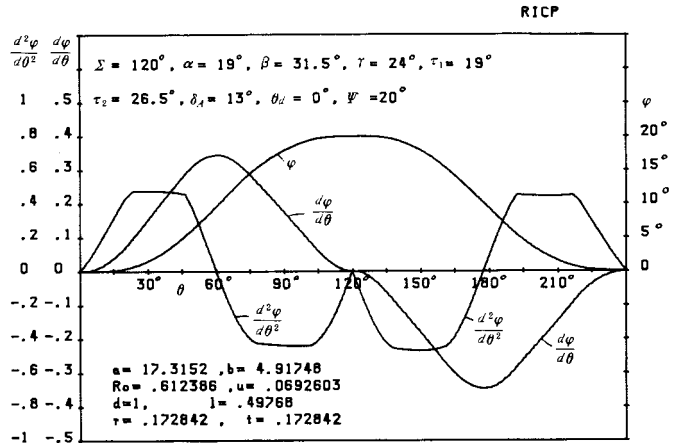


図12 表4-1の例③の運動

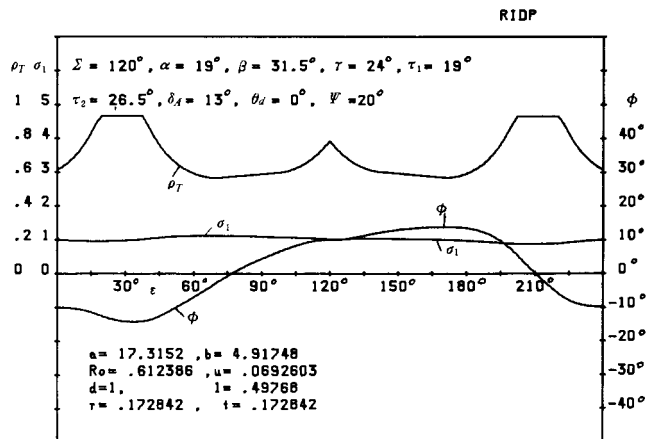


図13 表4-1の例③の ϕ , σ_1 , ρ_T

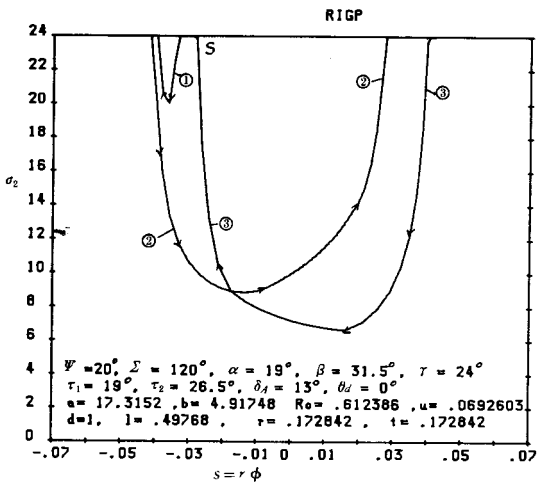


図14 表4-1の例③の従動節の円弧上の σ_2

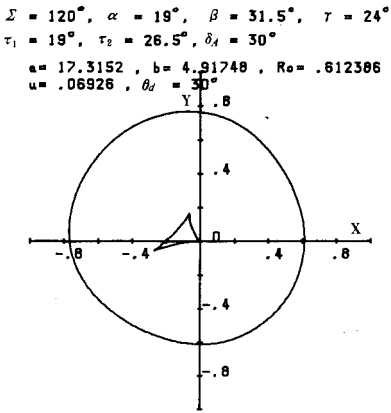


図15 表4-1の例③のカムの輪郭と行き行程の縮閉線

できる。

図15はこの場合のカムの輪郭と行き行程の縮閉線を示す。輪郭は滑らかである。

§ 6 平板揺動従動節の運動

平板揺動従動節の場合は前報²⁾の式を用い、接触面のオフセット量を f とすれば次式となる。

$$\varphi_0 = \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d}, \quad \psi = \sin^{-1} \frac{R_0 + f + t}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \dots\dots\dots (26), (27)$$

表5-1 $\Sigma = 120^\circ, \alpha = 29.1^\circ, \beta = 51.45^\circ, \gamma = 39.45^\circ, \tau_1 = 0^\circ, \tau_2 = 0^\circ, \Psi = 20^\circ$
 $a = 6.50119, b = 3.2506, R_0 = 0.97096, \delta_A = 28^\circ, t = 1, d = 1$

f	d	a	b	R_0	t	f
-1.0	2.91883	2.22733	1.113670	.332654	.342603	-.342603
-0.8	2.95889	2.19717	1.098590	.328150	.337964	-.270371
-0.6	3.01215	2.15832	1.079160	.322348	.331989	-.199193
-0.4	3.07790	2.11221	1.056110	.315461	.324897	-.129959
-0.2	3.15538	2.06035	1.030180	.307716	.316919	-.063384
0.0	3.24374	2.00422	1.002110	.299333	.308286	0.000000
0.2	3.34212	1.94523	0.972615	.290522	.299211	0.059842
0.4	3.44967	1.88459	0.942294	.281465	.289883	0.115953
0.6	3.56554	1.82334	0.911671	.272318	.280462	0.168277
0.8	3.68897	1.76233	0.881168	.263206	.271079	0.216863
1.0	3.81921	1.70224	0.851119	.254231	.261834	0.261834

表5-2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=21.5^\circ$, $\beta=32^\circ$, $\gamma=26^\circ$, $\tau_1=17^\circ$, $\tau_2=23.5^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=6.78787$, $b=3.39394$, $R_0=1.0661$, $\delta_A=29.67^\circ$, $t=1$, $d=1$

f	d	a	b	R_0	t	f	例
-1.0	2.93621	2.31178	1.155890	.363088	.340576	-.340576	A
-0.8	2.98262	2.27581	1.137910	.357437	.335276	-.268220	
-0.6	3.04192	2.23145	1.115730	.350470	.328740	-.197244	
-0.4	3.11335	2.18025	1.090130	.342429	.321197	-.128479	
-0.2	3.19611	2.12379	1.061900	.333562	.312880	-.062576	
0.0	3.28935	2.06359	1.031800	.324107	.304012	0.000000	
0.2	3.39219	2.00103	1.000520	.314281	.294795	0.058959	
0.4	3.50380	1.93729	0.968646	.304270	.285405	0.114162	
0.6	3.62336	1.87336	0.936683	.294230	.275987	0.165592	
0.8	3.75012	1.81004	0.905023	.284285	.266658	0.213327	
1.0	3.88336	1.74794	0.873970	.274530	.257509	0.257509	

表6-1 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=19^\circ$, $\beta=31.5^\circ$, $\gamma=24^\circ$, $\tau_1=19^\circ$, $\tau_2=25.6^\circ$, $\delta_A=13^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=100.179$, $b=28.4507$, $R_0=3.54307$, $u=0.400714$, $t=1$, $d=1$

f	a	b	u	R_0	t	f	例
-.5	21.7398	6.17407	.086959	.768880	.217010	-.108505	B
0.0	19.9777	5.67365	.079911	.706561	.199420	0.000000	
0.5	18.4220	5.23181	.073688	.651537	.183891	0.091945	
1.0	17.0521	4.84278	.068208	.603089	.170216	0.170216	
1.5	15.8453	4.50004	.063381	.560406	.158170	0.237255	
2.0	14.7794	4.19733	.059117	.522709	.147530	0.295060	
2.5	13.8348	3.92905	.055339	.489299	.138100	0.345251	
3.0	12.9940	3.69029	.051976	.459565	.129708	0.389125	C

表6-2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=19^\circ$, $\beta=31.5^\circ$, $\gamma=25^\circ$, $\tau_1=21.5^\circ$, $\tau_2=23^\circ$, $\delta_A=13^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=99.9427$, $b=27.2843$, $R_0=3.26599$, $u=0.39971$, $t=1$, $d=1$

f	a	b	u	R_0	t	f
-.5	22.7559	6.21235	.091010	.743631	.227689	-.113845
0.0	20.8783	5.69977	.083501	.682275	.208903	0.000000
0.5	19.2143	5.24549	.076845	.627897	.192253	0.096127
1.0	17.7476	4.84510	.070980	.579969	.177578	0.177578
1.5	16.4564	4.49258	.065815	.537771	.164658	0.246987
2.0	15.3177	4.18172	.061261	.500561	.153265	0.306529
2.5	14.3105	3.90677	.057233	.467649	.143187	0.357969
3.0	13.4163	3.66264	.053657	.438426	.134240	0.402720

Ψ を指定して d を求めるには式(27)を変形すれば次式となる。

$$d = \frac{1}{\sin \Psi} \sqrt{(R_0 + f + t)^2 + (R_0 + f)^2 - 2(R_0 + f)(R_0 + f + t) \cos \Psi} \quad \dots\dots\dots (28)$$

前報¹⁾の表1の例3と表2の例11のデータを式(28)に代入し、揺動角 $\Psi = 20^\circ$ の場合の $f = -1 \sim +1$ の場合の d を求め、 $d = 1$ となるように a, b, R_0, t, f を d を基準にして求めたものを表5に示す。同様に前報¹⁾の表3の例G, Eのデータにより式(27)を用いて a, b, u, R_0, t, f を求めたものを表6に示す。ただし $f = -0.5 \sim 3$ 。

6.1 往きと戻り行程のカムの回転角

前報²⁾により往きと戻り行程のカムの回転角を θ_0, θ_r とすれば

$$\theta_1 = \cos^{-1} (R_0 + f) / d = 90^\circ - \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} (R_0 + f + t) / d = 90^\circ - (\varphi_0 + \Psi) \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\theta_1 > \theta_2, \quad \theta_1 - \theta_2 = \Psi, \quad \theta_0 = \Sigma + \Psi, \quad \theta_r = \Sigma - \Psi \quad \dots\dots\dots (31)$$

となり、 $\theta_0 > \theta_r$ となる。

6.2 運動および押進め角と滑り率

前報²⁾によりカムの回転角 θ 、従動節の角変位 φ 、揺動軸から接触点までの水平距離を s とし、従動節の角速度係数 $d\varphi/d\theta$ 、角加速度係数 $d^2\varphi/d\theta^2$ は次式となる。

$$\varphi = \sin^{-1} (X_T \cos \varepsilon + Y_T \sin \varepsilon + f) / d - \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\theta = \varepsilon + \varphi, \quad s = d \cos(\varphi + \varphi_0) + Y_T \cos \varepsilon - X_T \sin \varepsilon \quad \dots\dots\dots (33), (34)$$

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{1}{s} (Y_T \cos \varepsilon - X_T \sin \varepsilon) \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = \frac{1}{s} \left[\left\{ \rho_T + f - d \sin(\varphi + \varphi_0) \right\} \left(1 - \frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 + d \sin(\varphi + \varphi_0) \left(\frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (36)$$

押進め角 ϕ は次式となる。

$$\phi = \tan^{-1} (f/s) \quad \dots\dots\dots (37)$$

カムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報²⁾から次式となる。

$$\overline{TP} = d \sin(\varphi + \varphi_0) / (1 - d\varphi/d\theta) - f \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$\sigma_1 = \overline{TP} / \rho_T, \quad \sigma_2 = \overline{TP} / (\rho_T - \overline{TP}) \quad \dots\dots\dots (39), (40)$$

6.3 計算例

表5-2の例④の場合の従動節の運動を θ に対して求めたものを図16に、 ϕ, σ_1, ρ_T を ε に対して求めたものを図17に、従動節の滑り率 σ_2 を従動節上の位置を示す S に対して求めたものを図18に示す。カムの輪郭を図19に示す。

$\theta_0 = 140^\circ, \theta_r = 100^\circ$ で戻り行程の正の $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 1.5, \phi_{\max} \approx 11^\circ, \sigma_{1\max} \approx 3$ となり、図18から接触の両端と中央4ヶ所に $\sigma_2 = \infty$ があるが、途中は平均約1であるので $d^2\varphi/d\theta^2$ 以外は良好である。 f を変えても $d^2\varphi/d\theta^2_{\max}$ は余り変わらない。

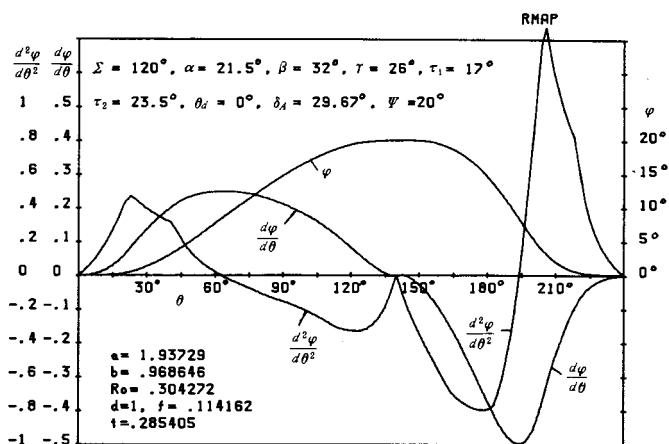


図16 表5-2の例(A)の運動

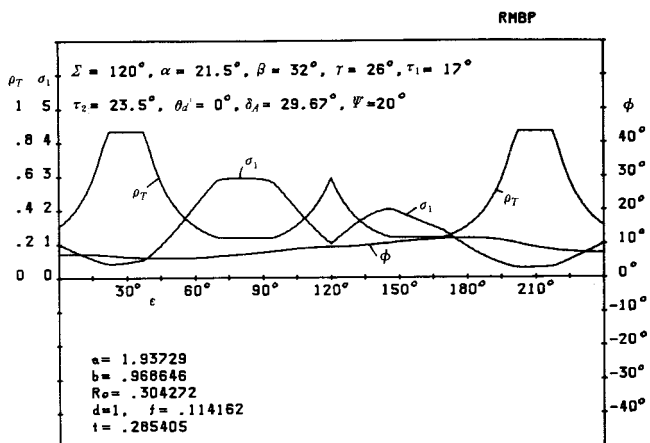


図17 表5-2の例(A)のφ, σ₁, ρ_T

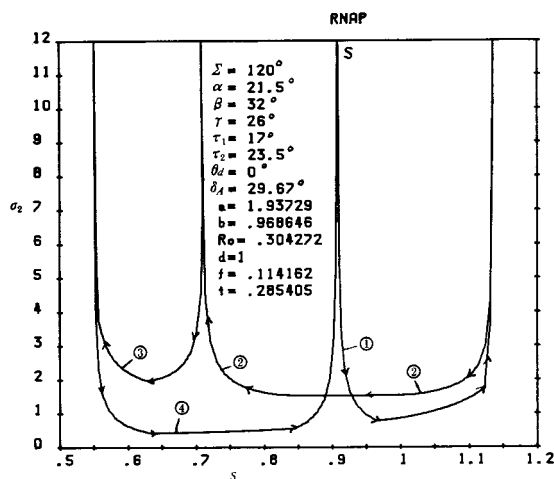


図18 表5-2の例(A)の従動節の平板上のσ₂

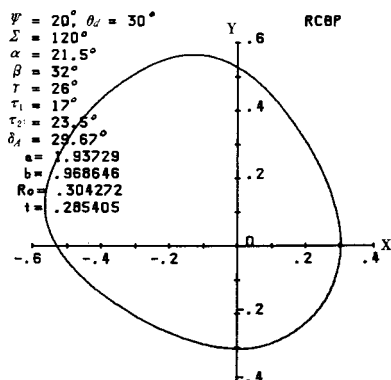


図19 表5-2の例(A)のカムの輪郭

表6-1の例③, ④のインボリュート曲線を含む場合の $d^2\varphi/d\theta^2$ を θ に対して描いたものを図20に示す。例③の $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 1.2$, 例④の方は1.1となつて例③の方が良好であるが, $f = 0.3891$ と大きいので $\phi_{\max} \approx 65^\circ$ となるので使用できない。

図21は例③のデータによる運動を示す。第2円弧がインボリュート曲線のため負の加速度は図16に比して改善されているが, 第1円弧による戻り行程の正の角加速度が大きい。

図22は例③の場合の ϕ , σ_1 , ρ_T を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx 30^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.8$ となる。もう少し f を小さくした方がよい。図23はこの場合の σ_2 を s に対して示す。 σ_2 はかなり不規則で従動節の根本の方が大きくなる。図24はこの場合のカムの輪郭を示す。滑らかである。

§7 結 論

以上において単弦曲線接合カンを揺動円弧従動節に使用した場合と平板揺動従動節に使用した場合の運動と押進め角, 滑り率の理論解析の結果作用角 120° , 従動節の揺動角 20° の場合に次の結論が得られた。

(A) 円弧従動節の場合 (1)単弦曲線の間に円弧を挿入した方が最大角加速度, 最大押進め角, カムの最大滑り率は減少する。(2)従動節の長さが短い方が負の最大角加速度は減少させるが, 正のそれは逆に増加するので余り短くはできない。(3)行きと戻り行程のカムの回転角が等しい等角行程において正の最大角加速度は第1円弧によって水平にするすなわち台形カムの形にすることができるが, 第2円弧は

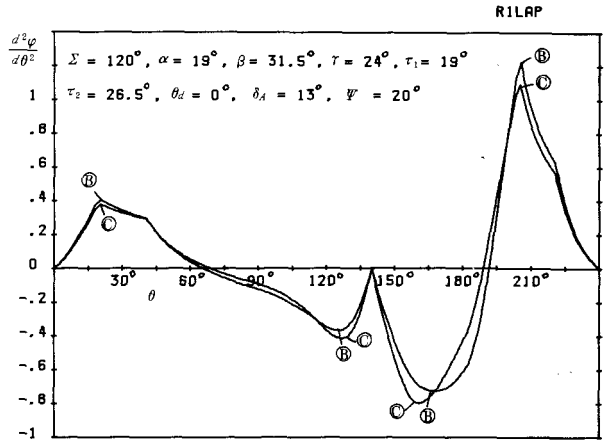


図20 表6-1のインボリュート曲線を含む例③, ④の角加速度係数

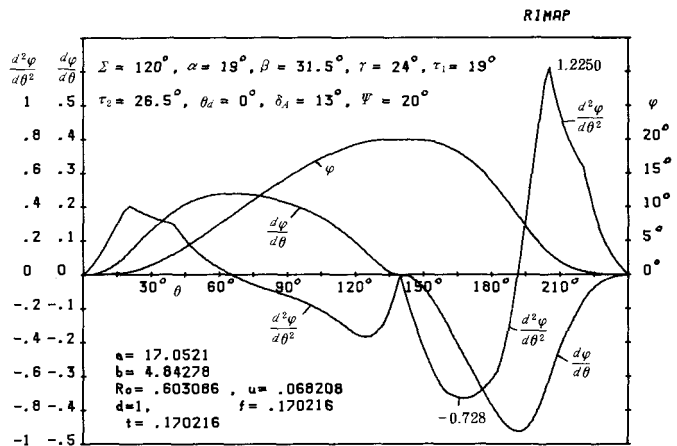


図21 表6-1の例③の運動

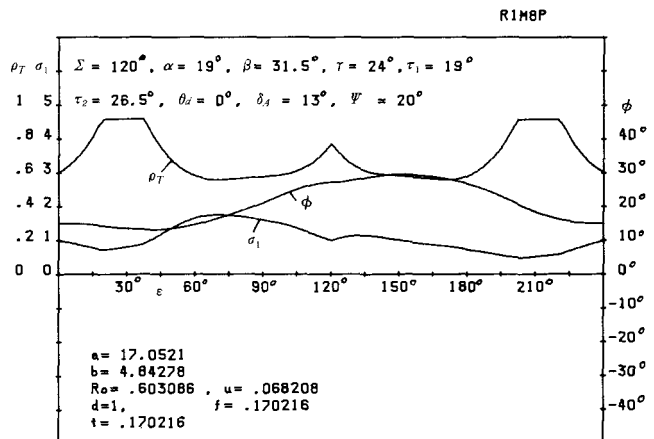


図22 表6-1の例③の ϕ , σ_1 , ρ_T

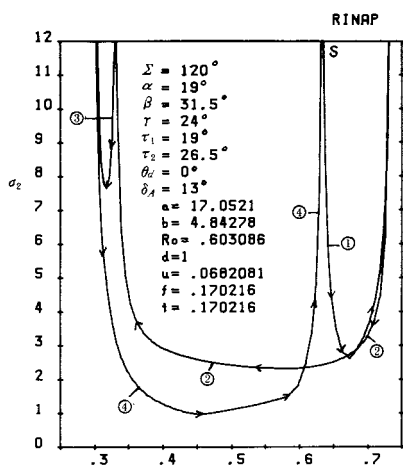
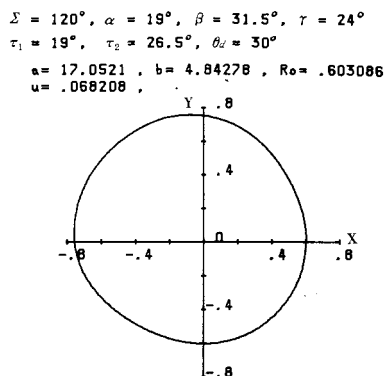
図23 表6-1の例(B)の平板上の σ_2 

図24 表6-1の例(B)のカムの輪郭

角加速度曲線を斜めに削った形となる。(4)第2円弧の代りにインボリュート曲線を輪郭に使用することにより負の角加速度曲線の頂きを水平にすることができる。ただしインボリュートの基礎円半径を大きくし過ぎると逆の傾斜となるので適当な値が存在する。(5)従動節の円弧半径が増加するにつれて負の角加速度曲線が傾斜型から水平型に変わるので、負の角加速度曲線を水平にするには適当なインボリュートの基礎円半径と従動節の半径が必要である。(6)正負の角加速度曲線の頂きを水平にした修正台形型の最良カムが得られた。

(B) 平板従動節の場合 (1)カムの往きと戻り行程の作用角が等しい場合には揺動角が指定されればカムの回転角が決定される。(2)単弦曲線のみでできた接合カムの場合は戻り行程が往きに比して小さいと極端に最大角加速が増大するので使用できない。(3)第1, 第2円弧をカムの輪郭に挿入することにより戻り行程の最大角加速度をかなり減少させることができるが、それでもかなり高い値となる。(4)第2円弧をインボリュート曲線とすれば戻り行程の負の角加速度曲線は丸みをおびて減少する。(5)戻り行程の正の最大角加速度を減少するには第1円弧をインボリュート曲線にすればよいと思うがこれは後に論ずる。(6)平板のオフセット量を正の方向に大きくすれば正の最大角加速度は少し減少するが、逆に押進め角が非常に大きくなり回転困難な形となるのでオフセット量は大きく取れない。

文 献

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

（昭和56年10月15日受付）

双曲線接合カムの研究（第2報）

—— 揺動従動節 ——

（機械工学科） 糸 島 寛 典

Studies on the Connective Hyperbolic Cam (2nd Report) — Oscillating Follower —

Hironori ITOSHIMA

The connective hyperbolic cam has a profile composed of the three hyperbolas and the two circular arcs (or a circular arc and an involute curve). The motion of the reciprocating follower with a circular arc in this cam has been analyzed in the 1st report.

In this report, the motion of the oscillating follower with a circular arc and that with a flat plate are analyzed respectively. The maximum acceleration of the follower, the pressure angle, and the specific sliding of the cam are discussed. Further, when the oscillating angle of the follower and the rotating angle of a cam are specified, the size of the cam and that of the follower in their best designs are decided.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において往きと戻り行程のカムの輪郭にそれぞれ3個の双曲線とその間に2個の円弧を含んだ円弧型とそのうち1個をインボリュート曲線とする円弧・インボリュート型の双曲線接合カムに対する円弧あるいはローラをもつ往復従動節の運動と押進め角、滑り率を解析し、その加速度を修正台形に近づけることができた。

本研究はこの双曲線接合カムを円弧あるいは平板をもつ揺動従動節に応用した場合の従動節の運動の解析と押進め角、滑り率の解析とその計算例を示し、最良の双曲線接合カムの設計を行う。

§ 2 記 号

a, b : 双曲線の係数	θ_d : 上昇点における停留角
Σ : カムの作用角	θ_s : 下降点における停留角
α, β, γ : 第1, 2, 3双曲線の作用角	R_0 : カムの基礎円半径
τ_1 : 第1円弧の作用角	t : カムの高さ
τ_2 : 第2円弧かインボリュートの作用角	ρ_T : カムの輪郭の曲率半径
ε : カムの始点よりの位置を示す角	u : インボリュートの基礎円半径
δ : 法線と x 軸のなす角	φ : 従動節の揺動角
θ : カムの回転角	l : 円弧従動節の長さ

r : 円弧従動節の円弧半径	ϕ : 押進め角
f : 平板従動節のオフセット量	σ_1 : カムの滑り率
d : カムと従動節の軸間距離	σ_2 : 従動節の滑り率
φ_0 : 始点における従動節の角変位	$d\varphi/d\theta$: 従動節の角速度係数
φ : 従動節の角変位	$d^2\varphi/d\theta^2$: 従動節の角加速度係数
ω_1 : カムの角速度	

§ 3 円弧揺動従動節の揺動角の指定

揺動従動節において揺動角 Ψ を指定し、カムと従動節の軸間距離 d を基準としてカムおよび従動節の各部の寸法を定める必要がある。従動節の長さを l とし、 $\lambda=l/d$ とし、カムの寸法 $R_0, a, b, t=1$ は前報¹⁾の往復運動の場合を用いる。

3.1 Ψ, λ, r の指定の場合

前報²⁾より始点の揺動節の角変位 φ_0 と Ψ は次式となる。

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \{ d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2 \} / 2dl \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Psi = \cos^{-1} \{ d^2 + l^2 - (R_0 + r + t)^2 \} / 2dl - \cos^{-1} \{ d^2 + l^2 - (R_0 + r)^2 \} / 2dl \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)を変形して d を求めれば次式となる。

$$d^2 = \frac{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos\Psi) - \sqrt{D}}{2(1 - \cos\Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos\Psi)\}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$D = \{(1 + \lambda^2)(A^2 + B^2)(1 - \cos\Psi)\}^2 - 2(1 - \cos\Psi)\{(1 + \lambda^2)^2 - 2\lambda^2(1 + \cos\Psi)\}\{A^4 + B^4 - 2A^2B^2\cos\Psi\}$$

ただし $A = R_0 + r + t, \quad B = R_0 + r, \quad \lambda = l/d$

$\Psi = 20^\circ, \lambda = 0.5 \sim 0.7, r = 1 \sim 6$ を指定し、前報¹⁾の表1の例A, Bのデータを用いて式 d を求め、 d を基準1として a, b, R_0, t を求めた値を表1に示す。

3.2 往き行程と戻り行程のカムの回転角

前報²⁾から往き行程と戻り行程のカムの回転角を θ_0, θ_r とすれば次式となる。

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + r)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + r)}, \quad \theta_2 = \cos^{-1} \frac{(R_0 + r + t)^2 + d^2 - l^2}{2d(R_0 + r + t)} \quad \dots\dots\dots (4), (5)$$

$$\theta_0 = \Sigma + \theta_1 - \theta_2, \quad \theta_r = \Sigma - (\theta_1 - \theta_2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

3.3 等角行程の場合 ($\theta_0 = \theta_r$)

式(6)より $\theta_0 = \theta_r$ の場合は $\theta_1 = \theta_2$ となり

$$\theta_0 = \theta_r = \Sigma, \quad d^2 - l^2 = (R_0 + r)(R_0 + r + t) \quad \dots\dots\dots (7), (8)$$

$$d^2 = \left(\frac{t}{2} \cot \frac{\Psi}{2} \right)^2 + \left(R_0 + r + \frac{t}{2} \right)^2, \quad l = \frac{t}{2} / \sin \frac{\Psi}{2} \quad \dots\dots\dots (9), (10)$$

$\theta_0 = \theta_r = 120^\circ$ の場合、 $\Psi = 20^\circ, t = 1$ のとき前報¹⁾の表1の例A, Bのデータと $r = 0 \sim 4$ を式(9), (10)に代入して d, l を求め d を基準値1となるように a, b, R_0, t, r, l を求めたものを表2に示す。

表1-1 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=29.4^\circ$, $\beta=90.6^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\tau_1=0^\circ$, $\tau_2=0^\circ$, $\delta_A=21.97^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=10.2925$, $b=3.08774$, $R_0=1.18741$, $t=1$, $d=1$

λ, l	r	d	a	b	R_0	r	t
0.5	3.0	5.81281	1.77066	.53120	.20427	.51610	.17203
	4.0	5.86711	1.75427	.52628	.20238	.68177	.17044
	5.0	6.21786	1.65531	.49659	.19097	.80414	.16083
	6.0	6.66618	1.54399	.46320	.17812	.90007	.15001
0.6	2.0	4.81102	2.13936	.64181	.24681	.41571	.20786
	3.0	4.92747	2.08880	.62664	.24098	.60883	.20294
	4.0	5.25495	1.95863	.58759	.22596	.76119	.19030
	5.0	5.66671	1.81631	.54489	.20954	.88235	.17647
	6.0	6.12787	1.67962	.50388	.19377	.97913	.16319
0.7	1.0	4.14263	2.48453	.74536	.28663	.24139	.24139
	2.0	4.20196	2.44946	.73483	.28259	.47597	.23798
	3.0	4.47999	2.29744	.68923	.26505	.66964	.22321
	4.0	4.84323	2.12513	.63754	.24517	.82590	.20647
	5.0	5.25780	1.95757	.58727	.22584	.95097	.19019

表1-2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=25^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=25^\circ$, $\delta_A=14.0346^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=2.07254$, $b=1.5544$, $R_0=1.34715$, $t=1$, $d=1$

λ, l	r	d	a	b	R_0	r	t
0.5	3.0	5.77031	.35917	.26938	.23346	.51990	.17330
	4.0	5.91283	.35052	.26289	.22784	.67650	.16912
	5.0	6.28467	.32978	.24733	.21435	.79559	.15912
	6.0	6.74333	.30735	.23051	.19978	.88977	.14829
0.6	2.0	4.79917	.43185	.32389	.28070	.41674	.20837
	3.0	4.97137	.41690	.31267	.27098	.60346	.20115
	4.0	5.31638	.38984	.29238	.25340	.75239	.18810
	5.0	5.73764	.36122	.27091	.23479	.87144	.17429
	6.0	6.20489	.33402	.25051	.21711	.96698	.16116
0.7	1.0	4.11857	.50322	.37741	.32709	.24280	.24280
	2.0	4.23793	.48905	.36678	.31788	.47193	.23596
	3.0	4.53357	.45715	.34286	.29715	.66173	.22058
	4.0	4.90655	.42240	.31680	.27456	.81524	.20381
	5.0	5.32762	.38902	.29176	.25286	.93850	.18770

表2-1 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=29.4^\circ$, $\beta=90.6^\circ$, $\gamma=0^\circ$, $\tau_1=0^\circ$, $\tau_2=0^\circ$, $\delta_A=21.97^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=10.2925$, $b=3.08774$, $R_0=1.18741$, $t=1$, $d=1$

r	a	b	R_0	t	r	l	例
0.0	3.11919	.93575	.35985	.30305	.00000	.87261	①
0.5	2.87396	.86219	.33156	.27923	.13961	.80401	②
1.0	2.63451	.79035	.30393	.25596	.25596	.73702	③
1.5	2.41257	.72377	.27833	.23440	.35160	.67493	④
2.0	2.21265	.66379	.25527	.21498	.42995	.61900	⑤
2.5	2.03522	.61056	.23480	.19774	.49434	.56936	⑥
3.0	1.87875	.56362	.21674	.18254	.54761	.52559	⑦
3.5	1.74099	.52230	.20085	.16915	.59203	.48705	⑧
4.0	1.61956	.48587	.18684	.15735	.62941	.45308	⑨

表2-2 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=20^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\gamma=25^\circ$, $\tau_1=20^\circ$, $\tau_2=25^\circ$, $\delta_A=14.0346^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=2.07254$, $b=1.5544$, $R_0=1.34715$, $t=1$, $d=1$

r	a	b	R_0	t	r	l	例
0.0	0.61242	.45931	.39807	.29549	.00000	.85083	1
0.5	0.56303	.42227	.36597	.27166	.13583	.78222	2
1.0	0.51577	.38683	.33525	.24886	.24886	.71656	3
1.5	0.47245	.35433	.30709	.22795	.34193	.65637	4
2.0	0.43365	.32524	.28187	.20924	.41847	.60247	5
2.5	0.39931	.29949	.25955	.19267	.48167	.55477	6
3.0	0.36906	.27680	.23989	.17807	.53422	.51274	7
3.5	0.34243	.25682	.22258	.16522	.57827	.47573	8
4.0	0.31893	.23919	.20730	.15388	.61553	.44309	9

§ 4 円弧揺動従動節の運動と押進め角と滑り率

円弧揺動従動節の運動は前報³⁾よりカム上の点 T の XY 座標から円弧の中心の M 点の XY 座標は次式となる。

$$X_M = X_T + r \cos \varepsilon, \quad Y_M = Y_T + r \sin \varepsilon \quad \dots\dots\dots (11), (12)$$

カムの回転角 θ は次式となる。 θ_1 は式(4)で与えられる。

$$\theta = \theta_1 + \tan^{-1} \frac{Y_M}{X_M} - \cos^{-1} \frac{X_M^2 + Y_M^2 + d^2 - l^2}{2d\sqrt{X_M^2 + Y_M^2}} \quad \dots\dots\dots (13)$$

カムの中心を原点とし、中心軸を ξ 軸とする $\xi\eta$ の直角座標における M 点の ξ_M , η_M は次式となる。

$$\xi_M = X_M \cos(\theta_1 - \theta) - Y_M \sin(\theta_1 - \theta) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\eta_M = X_M \sin(\theta_1 - \theta) + Y_M \cos(\theta_1 - \theta) \quad \dots\dots\dots (15)$$

揺動従動節の角変位を φ とすれば

$$\varphi = \sin^{-1} \eta_M / l - \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (16)$$

で求められ、 φ_0 は式(1)で与えられる。

従動節の角速度係数 $d\varphi/d\theta$ は式(16)から

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{\eta_M \cos \Theta - \xi_M \sin \Theta}{(d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta}, \quad \Theta = \varepsilon + \theta_1 - \theta \quad \dots\dots\dots (17), (18)$$

従動節の角加速度係数 $d^2\varphi/d\theta^2$ は前報³⁾により次式で与えられる。

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = \frac{d \times \eta_M}{(\rho_T + r) \{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = d \times \frac{\{ (d - \xi_M) \cos \Theta - \eta_M \sin \Theta \} \sin \Theta \frac{d\varphi}{d\theta} + \eta_M \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right)}{\{ (d - \xi_M) \sin \Theta + \eta_M \cos \Theta \}^2} \quad \dots\dots\dots (20)$$

前報³⁾より押進め角 ϕ とカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は次式で与えられる。

$$\phi = \Theta + \varphi + \varphi_0 - 90^\circ, \quad S = r\phi \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\overline{TP} = \eta_M / \sin \Theta - r \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{\overline{TP}}{r + \overline{TP}}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{\overline{TP}}{\rho_T - \overline{TP}} \quad \dots\dots\dots (23), (24)$$

4.1 計算例（双曲線のみの場合） $\tau_1 = \tau_2 = 0$

表1-1に示される等角行程でない場合は $\theta_0 = 140^\circ$, $\theta_r = 100^\circ$ になり、戻り行程の正の角加速度が非常に大となるので、等角行程のみ示す。

表2-1の例③, ⑤, ⑧のデータで前式より角加速度係数 $d^2\varphi/d\theta^2$ を求めたものをカムの回転角 θ に対して求めたものを図1に示す。ただし上昇停留角 $\theta_d = 0$ とす。図から l が小さい程正の $d^2\varphi/d\theta^2$ は大となり、負のそれは小となるので例⑤が良い。 $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 0.75$ となる。

図2は表2-1の例⑤の場合の運動を示す。角加速度線図は正の場合は等2次加速度、負の場合は単弦曲線カムの形となる。押進め角 ϕ , カムの滑り率 σ_1 , 曲率半径 ρ_T を ε に対して図3は示す。図から $\phi_{\max} \approx \pm 18^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 2$ となる。図4

は従動節の円弧上の点の距離 s に対する従動節の滑り率 σ_2 を示す。矢じるしは移動方向を示す。接触の両端と途中2ヶ所 ∞ となるが平均 $\sigma_2 \approx 1.5$ である。

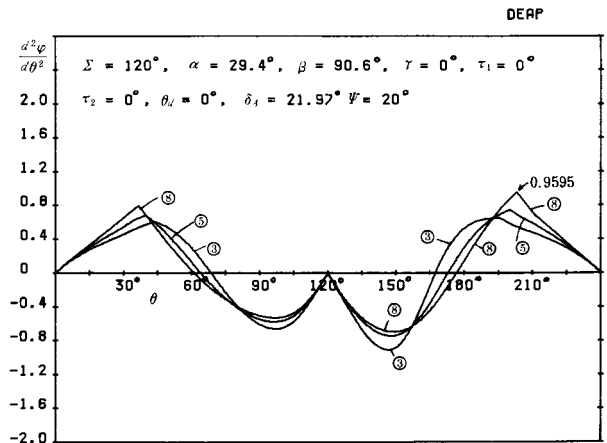


図1 表2-1の例③, ⑤, ⑧の角加速度係数

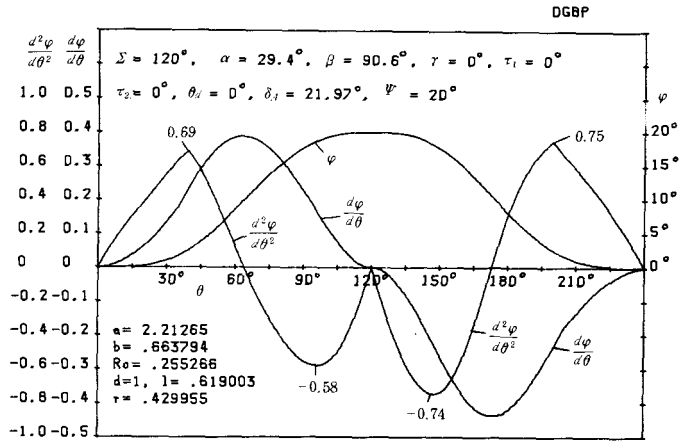


図2 表2-1の例⑤の運動

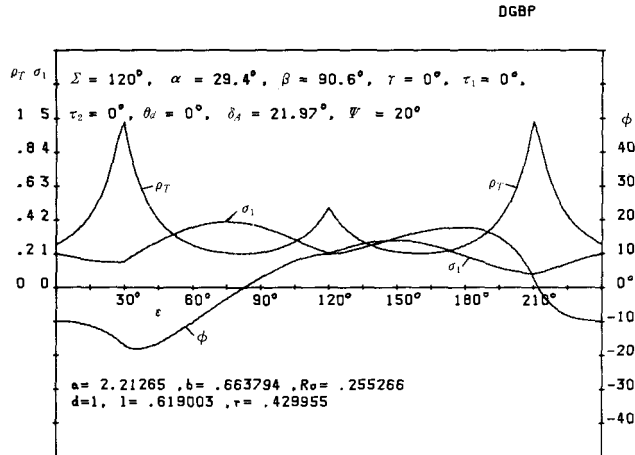
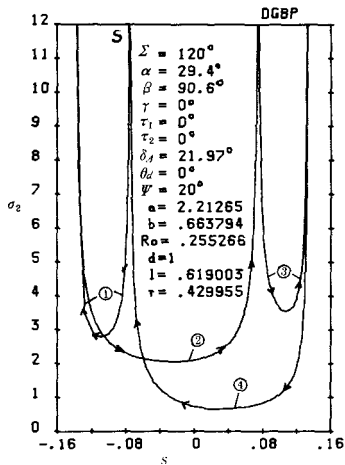
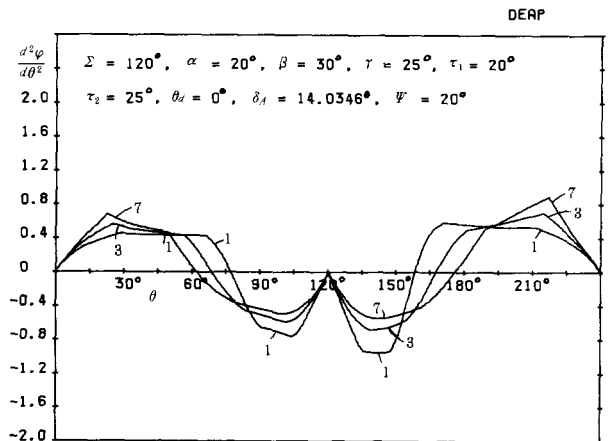
図3 表2-1の例⑤の ϕ, σ_1, ρ_T 図4 表2-1の例⑤の円弧上の σ_2 

図5 表2-2の例1, 3, 7の角加速度係数

4.2 計算例（円弧双曲線の 場合）等角行程

表2-2の例1, 3, 7に示すデータで角加速度線図が図5に示されている。 $\theta_d = 0$ とす。 l が減少する程負の $d^2\varphi/d\theta^2$ は減少するが正のそれが大となるので例3が良好である。

図6は例3の場合の運動を示す。 $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 0.704$ で図2の場合より0.05小さい。正の角加速度が水平にならぬ。負のそれも傾斜している。負の角速度が段になっているのは $\beta < \alpha + \delta_A$ となっているからである。 $\beta > \alpha + \delta_A$ が望ましい。

図7は同じデータで ϕ , σ_1 , ρ_T を示す。 $\phi_{\max} \approx 22^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.4$ で良好である。図8は従動節の円弧上の σ_2 を示す。接触の両端と途中2ヶ所 $\sigma_2 = \infty$ となる。平均して $\sigma_2 \approx 3$ となり図4に比してやや高いがこの程度は無視できる。図9はこの場合のカムの輪郭を示す。滑らかである。

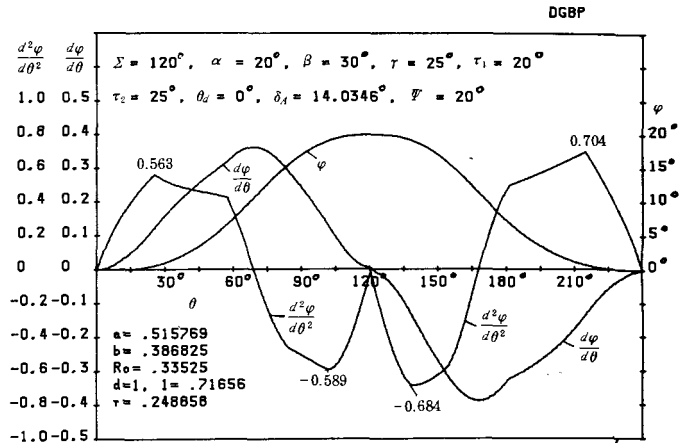


図6 表2-2の例3の運動

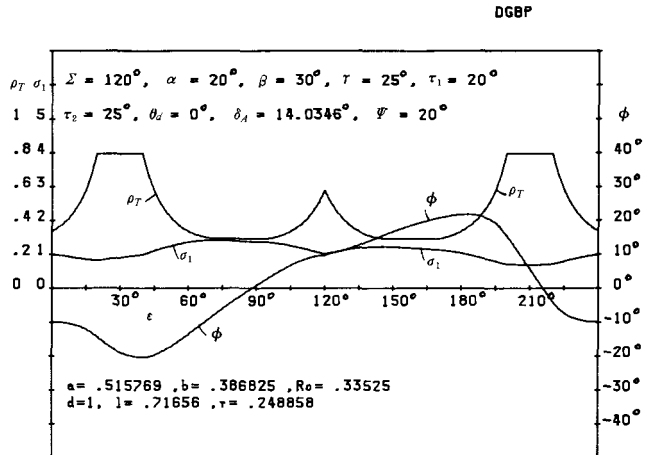
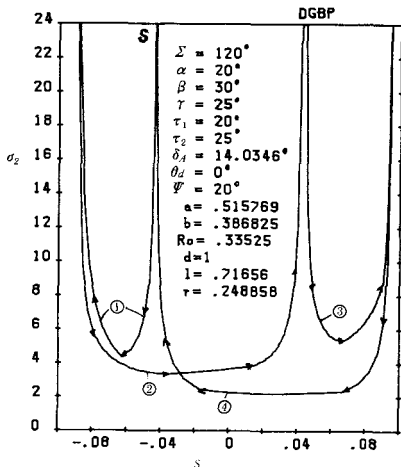
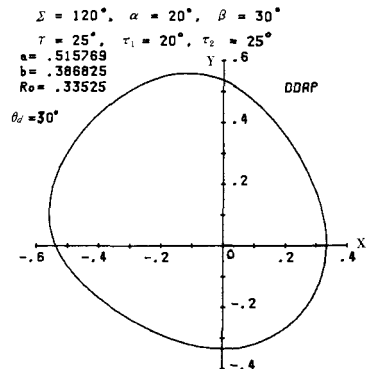
図7 表2-2の例3の ϕ , σ_1 , ρ_T 図8 表2-2の例3の従動節の円弧上の σ_2 

図9 表2-2の例3のカムの輪郭

表3 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=17.5^\circ$, $\beta=31.5^\circ$, $\gamma=24.5^\circ$, $\tau_1=17.5^\circ$, $\tau_2=29^\circ$, $\delta_A=13^\circ$, $\Psi=20^\circ$
 $a=2.49124$, $b=1.96677$, $R_0=1.83565$, $u=0.524473$, $t=1$, $d=1$

r	a	b	R_0	t	r	l	u	例
0.0	.678127	.535363	.499672	.27220	.000000	.78378	.142764	①
0.5	.621224	.490441	.457744	.24936	.124682	.71801	.130784	②
1.0	.569028	.449233	.419284	.22841	.228411	.65769	.119796	③
1.5	.522270	.412319	.384831	.20964	.314464	.60364	.109952	④
2.0	.480878	.379640	.354331	.19303	.386055	.55580	.101238	⑤
2.5	.444408	.350849	.327459	.17839	.445971	.51365	.093560	⑥
3.0	.412296	.325497	.303797	.16550	.496495	.47653	.086799	⑦

§ 5 第2円弧をインボリュート曲線とする場合

第2円弧をインボリュート曲線とした場合のカムの高さ $t=1$, $\Sigma=120^\circ$ となるデータが前報¹⁾の表2に示されている。この中で最適の例③の場合の等角行程の円弧揺動従動節に対するデータは式(9), (10)より前と同様に求めたものが表3である。

5.1 計算例(円弧インボリュートの場合)等角行程

図10は表3の例①, ④, ⑦のデータによる $d^2\varphi/d\theta^2$ を示す。ただし $\theta_A=0^\circ$ 。図から l が短くなる程修正台形カムの形となり, この場合例④あたりがよい。

図11は表3の例⑤の場合の運動を示す。 $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 0.5$ となり図6の場合より0.2減少する。

図12はこの場合の ϕ , σ_1 , ρ_T を ε に対し示す。 $\phi_{\max} \approx 15^\circ$, $\sigma_{1\max} \approx 1.5$ で非常に良好である。図13はこの場合の σ_2 を円弧上の点について示す。接触の両端と途中2ヶ所で $\sigma_2 = \infty$ となる。平均して $\sigma_2 \approx 2.5$ だから良好である。図14はこの場合のカムの輪郭で, 滑らかである。

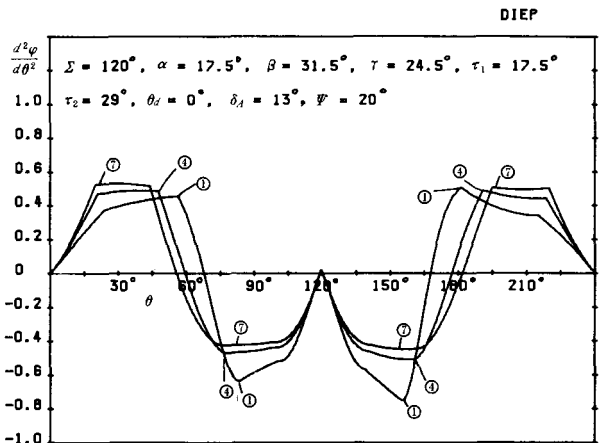


図10 表3のインボリュートを含む例①, ④, ⑦の角加速度係数

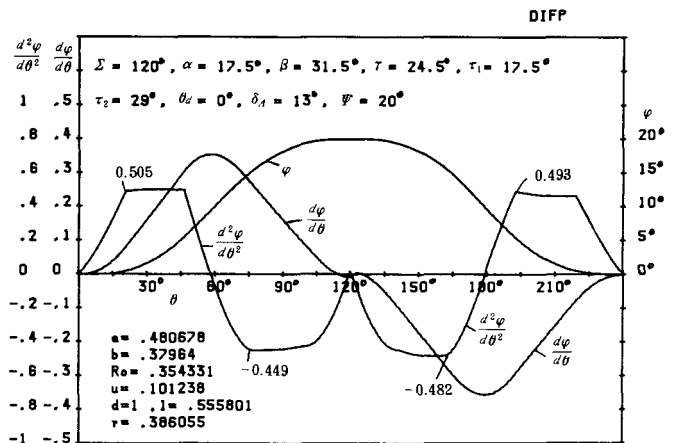


図11 表3の例⑤の運動

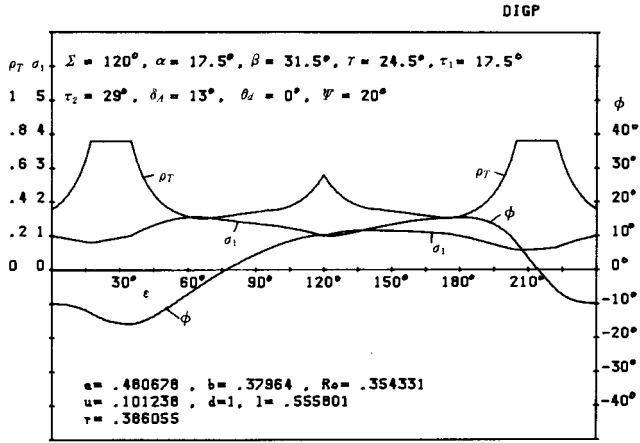
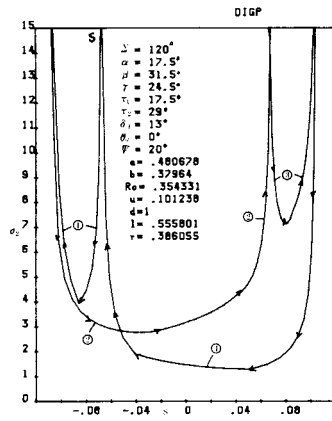
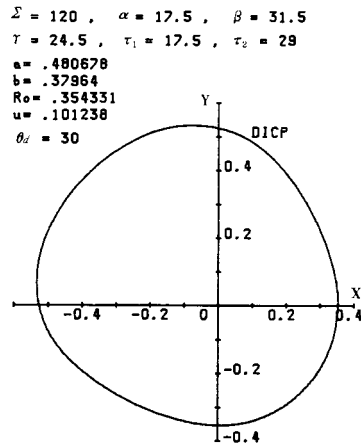
図12 表3の例⑤の ϕ, σ_1, ρ_T 図13 表3の例⑤の従動節の円弧上の σ_2 

図14 表3の例⑤のカムの輪部

§ 6 平板揺動従動節

前報³⁾より f だけオフセットした平板揺動従動節の場合は次式となる。

$$\varphi_0 = \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d}, \quad \Psi = \sin^{-1} \frac{R_0 + f + t}{d} - \sin^{-1} \frac{R_0 + f}{d} \dots\dots\dots (25), (26)$$

6.1 Ψ を指定した場合

式(26)から Ψ を指定した場合の d を求めれば

$$d = \frac{1}{\sin \Psi} \sqrt{(R_0 + f)^2 + (R_0 + f + t)^2 - 2(R_0 + f)(R_0 + f + t) \cos \Psi} \dots\dots\dots (27)$$

となるので前報³⁾と同様に $t=1$ に対する前報¹⁾の表2の例3のデータを $\Psi=20^\circ$, $t=1$, $f=-1.4 \sim 1.2$ を与えて d を求め、 d を基準1とした a , b , R_0 , t , l , u を表4に示す。

表4 $\Sigma=120^\circ$, $\alpha=17.5^\circ$, $\beta=31.5^\circ$, $\gamma=24.5^\circ$, $\tau_1=17.5^\circ$, $\tau_2=29^\circ$, $\delta_A=13^\circ$, $\Psi=20^\circ$

$a=2.49124$, $b=1.96677$, $R_0=1.83565$, $u=0.524423$, $t=1$, $d=1$

f	d	a	b	R_0	t	u	f	例
-1.4	3.03208	.821626	.648653	.605409	.329806	.172974	-.461729	③
-1.2	3.10172	.803180	.634090	.591817	.322402	.169091	-.386882	
-1.0	3.18281	.782716	.617934	.576738	.314187	.164783	-.314187	
-0.8	3.27451	.760798	.600630	.560588	.305389	.160168	-.244311	
-0.6	3.37595	.737938	.582583	.543744	.296213	.155356	-.177728	
-0.4	3.48627	.714585	.564147	.526536	.286839	.150439	-.114736	②
-0.2	3.60468	.691114	.545616	.509242	.277418	.145498	-.055483	
0.0	3.73038	.667824	.527230	.492081	.268069	.140595	0.000000	
0.2	3.86268	.644951	.509172	.475227	.258888	.135780	0.051778	
0.4	4.00092	.622667	.491580	.458807	.249943	.131088	0.099977	
0.6	4.14450	.601096	.474550	.442913	.241284	.126547	0.144770	①
0.8	4.29289	.580318	.458146	.427603	.232944	.122173	0.186355	
1.0	4.44560	.560383	.442408	.412914	.224941	.117976	0.224941	
1.2	4.60221	.541314	.427353	.398863	.217287	.113961	0.260744	
								④

6.2 往きと戻り行程のカムの回転角

前報³⁾より従動節が始点Aと終点Dに接する点の法線がOBとなす角を θ_1 , θ_2 とすれば

$$\theta_1 = 90^\circ - \varphi_0, \quad \theta_2 = 90^\circ - (\Psi + \varphi_0), \quad \Psi = \theta_1 - \theta_2 \dots\dots\dots (28), (29), (30)$$

となるので、往きと戻り行程のカムの回転角 θ_0 , θ_r は次式となる。

$$\theta_0 = \Sigma + \Psi, \quad \theta_r = \Sigma - \Psi \dots\dots\dots (31)$$

§ 7 平板揺動従動節の運動

前報³⁾により従動節の角変位 φ と接触点の水平距離 s とカムの回転角 θ は次式のようになる。

$$\varphi = \sin^{-1} (X_T \cos \varepsilon + Y_T \sin \varepsilon + f) / d - \varphi_0 \dots\dots\dots (32)$$

$$s = d \cos(\varphi + \varphi_0) - X_T \sin \varepsilon + Y_T \cos \varepsilon, \quad \theta = \varepsilon + \varphi \dots\dots\dots (33), (34)$$

従動節の角速度係数と角加速度係数は次式のようにになる。

$$\frac{d\varphi}{d\theta} = \frac{1}{s} (Y_T \cos \varepsilon - X_T \sin \varepsilon) \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$\frac{d^2\varphi}{d\theta^2} = \frac{1}{s} \left[\left\{ \rho_T + f - d \sin(\varphi + \varphi_0) \right\} \left(1 - \frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 + d \sin(\varphi + \varphi_0) \left(\frac{d\varphi}{d\theta} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (36)$$

7.1 押進め角と滑り率

押進め角 ϕ とカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報³⁾より次式のようにになる。

$$\phi = \tan^{-1}(f/s) \quad \dots\dots\dots (37)$$

$$\sigma_1 = \overline{TP}/\rho_T, \quad \sigma_2 = \overline{TP}/(\rho_T - \overline{TP}), \quad \overline{TP} = d \sin(\varphi + \varphi_0)/(1 - d\varphi/d\theta) - f \quad \dots\dots (38), (39), (40)$$

7.2 計算例

図15は表4の例②, ③, ④の $f = 0$, $-0.4617, +0.2607$ の場合の $d^2\varphi/d\theta^2$ を θ に対して描いたもので, $\theta_d = 0^\circ$ としてある。図から f が正の方すなわち例④が最大角加速度は小となり, $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 1.58$ である。しかし f が大きいと押進め角 ϕ が大となるので, 表4の例①を選んで θ に対する運動を図16に示す。 $\theta_0 = 140^\circ, \theta_r = 100^\circ$ となるから戻りの角加速度は大になることはわかるが, 特に正のそれは大きく $d^2\varphi/d\theta^2_{\max} \approx 1.65$ となる。これは第1円弧のためだが, もし円弧がないときは2以上となる。インボリュート曲線の効果は負の角加速度にでているので, 第1円弧もインボリュート曲線にした方がよいのではないかと思う。

図17はこの場合の ϕ, σ_1, ρ_T を ε に対して示す。 $\phi_{\max} \approx +12^\circ, \sigma_{1\max} \approx 2$ である。図18はこの例①の平板上の位置 s に対する従動節の σ_2 を示す。接触の両端と中央の2ヶ所で $\sigma_2 = \infty$ となる。平均して $\sigma_2 \approx 2$ となるがかなり不規則である。

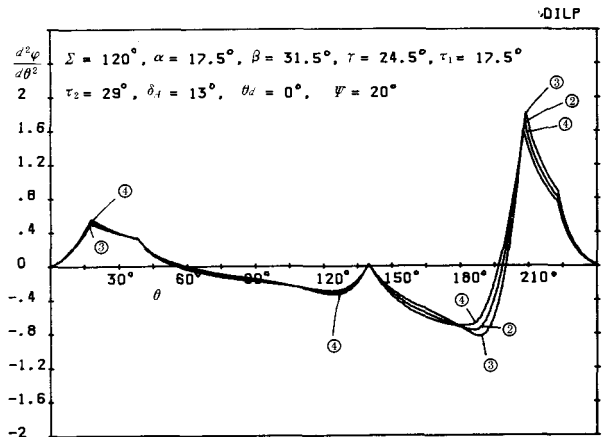


図15 表4の例②, ③, ④の角加速度係数

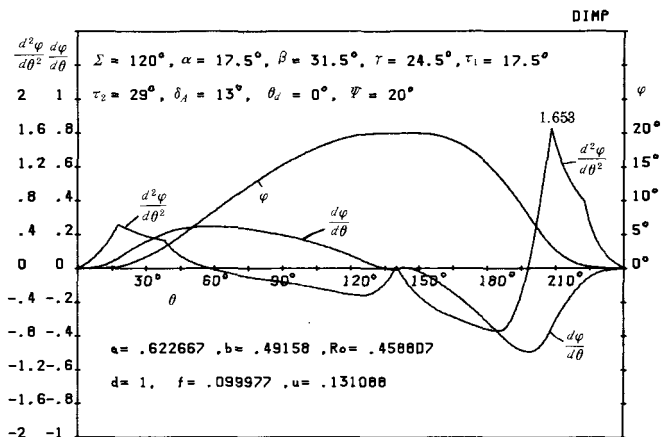


図16 表4の例①の運動

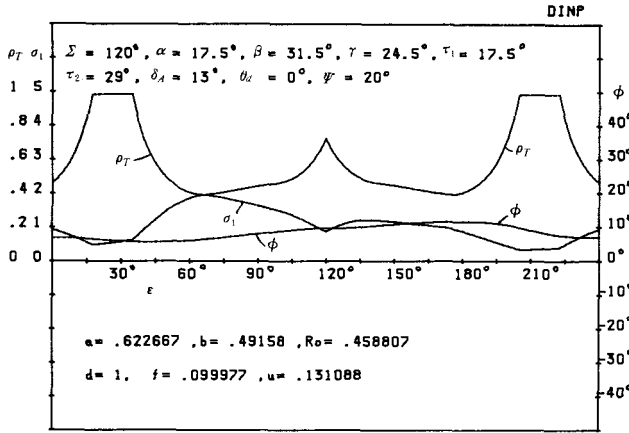


図17 表4の例①の ϕ , σ_1 , ρ_T

§ 8 結 論

以上により双曲線接合カムが円弧を有しない場合と2つの円弧を有する場合と一方の円弧の代りにインボリュート曲線を有する場合の3通りについて揺動円弧従動節と揺動平板従動節の場合についてその運動と押進め角, 滑り率等を解析し, カムの作用角 120° , 揺動節の揺動角 20° の場合について計算結果を示し, 次の結論を得た。

(A) 円弧従動節の場合 (1) 往きと戻りのカムの作用角は同じでも揺動従動節の場合は角加速度曲線が往きと戻りではかなり異なり, 戻り行程が往きの場合より小さいときは戻り行程で最大角加速度は非常に大きくなるので等角行程の場合を論じた。

(2) 2つの円弧を双曲線の間に挿入した接合カムは円弧のない場合に比して最大角加速度をかなり低くすることができる。(3) 揺動節の円弧半径を大きくすれば負の最大角加速度は減少するが正のそれは増大するので適度な半径が存在する。(4) 等角行程の場合は従動節の長さを短くすれば円弧半径が増すので従動節の長さにも適当な長さが存在する。(5) カムに円弧がある方が押進め角, 滑り率に良好である。

(6) 等角行程の場合正の角加速度曲線の頂きを水平にすることができるが, 負のそれは傾斜型となる。(7) 第2円弧の代りにインボリュートを用いその基礎円半径を大きくし過ぎると逆の傾斜型となるので適当な値を取れば水平にすることができる。(8) 従動節の半径を大きくすれば傾斜型から水平型にできる。(9) 従動節の滑り率は接触の両端と途中2ヶ所で無限大となる。

(B) 平板従動節の場合 (1) 等角行程にできない。ただし, 往きと戻りの作用角を等しくしなければ可能であるが設計が困難である。(2) カムに円弧のない場合は戻り行程の最大角加速度が非常に大きくなり高速では使用できない。(3) 第2円弧をインボリュートにした場合, 戻り行程の負の角加速度は良好となるが正のそれは大きい。(4) 正の最大角加速度を減少させるにはオフセット量を大きくとれば僅かであるが

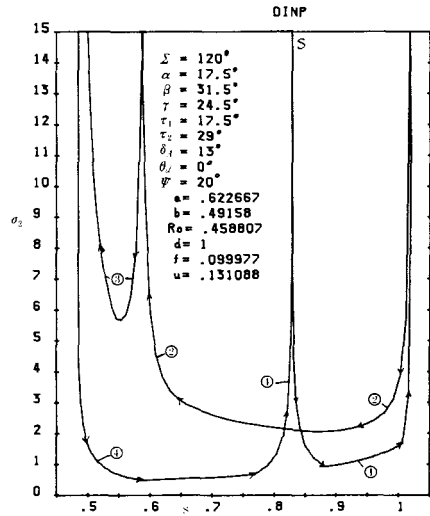


図18 表4の例①の平板上の σ_2

減少できるが押進め角が大きくなり過ぎる。(5)正の最大角加速度の所は第1円弧の所だから第1円弧の代りにインボリュートを使用すれば減少できると思うが後に研究する。(6)平板上の滑り率には高い所が存在する。

文 献

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

（昭和56年10月15日受付）

マイクロコンピュータによる倒立振子の安定化

(機械工学科) 藤 田 幸 史

Stabilization of an Inverted Pendulum by a Microcomputer

(Dept. Mech. Engrg.) Yoshifumi FUJITA

By the significant advance in electronics engineering, the microcomputer has appeared which is small-sized and inexpensive. This microcomputer is able to be included in the machine easily.

In this paper, as an application of measurement and control for the system by a microcomputer, the software and hardware in stabilization of an inverted pendulum is researched. As the stabilizing algorithm, it is adopted to correct the switching line in the phase plane by learning. In order to develop the software-program by Z-80 assembler and stabilize an inverted pendulum, the SORD M100 ACE III microcomputer is used.

§ 1 緒 言

倒立振子の安定化は、従来のいわゆる古典制御理論によりアナログ要素を用いてフィードバック制御系を構成すれば可能である。しかし、このような制御系を構成するには、制御対象を表現する状態方程式を事前に知っていなければならない。したがって、その系が何らかの事情により変われば、もう一度最初からやり直さなければならない。

この点、デジタル計算機を用いればソフトウェアを変更することにより系の特性の変化に対処が可能である。また、現代制御理論における理想的な最適制御の実現も容易に可能となる。さらに計算機自体に、試行錯誤により制御方式を探っていく、いわゆる学習機能をもたせることもできる。すなわちデジタル計算機を用いると柔軟な制御系を作ることが可能である。ところが、従来デジタル計算機として大型計算機やミニコンピュータなど、高価でしかも、機械に組み込んで使うなどお話にならない大きさであった。ところが1970年代より、集積回路技術の急速な発展によりCPUの機能を一つのチップに収めたマイクロプロセッサが作られ、それを用いたマイクロコンピュータが生まれた。このマイクロコンピュータは価格や大きさも機械に組み込み制御させるには、ちょうど手頃なものである。そこで本研究では倒立振子の安定化を、マイクロコンピュータを用いて学習により行うことを試みる。そして、マイクロコンピュータ制御において基本的な事項や問題点を明らかにする。学習のアルゴリズムは下山法の研究において試みられた方法を用いる。また台車の制御はパルスモータを用いて行う。マイクロコンピュータは、プログラム開発やデバッグが容易なようアセンブラやデバガーを使用できる、SORD M100 ACE IIIを用いる。角度、角速度を計測のために、角度センサーとしてポテンショメータを、角度センサーとしてDCモータを用いる。この計測した角度、角速度は、いずれもアナログ量であり、ディ

デジタル計算機で取り扱うためには、A/D変換器によりデジタル量に変換してやる必要がある。また、台車を定加速度で駆動する必要がある。そのためにパルスモータをD/A変換器とV/F変換器で制御する。計測制御プログラムは、高速処理を必要とするため、アセンブラを用いる。

§ 2 倒立振子の安定化

2.1 倒立振子模型とその線形近似

倒立振子として図2.1のようなものを考える。この倒立振子は、このままでは、少し平衡点からずれても倒れてしまう。そこで、倒れないようにするには、水平方向に外力 u を加えてやる必要がある。棒の長さを $2l$ 、質量 m の様なものであり、台車は質量 M で水平方向に拘束され、台車と棒は摩擦のないピンで結合されており、重力 g は鉛直下方に作用している。

ここで、座標軸 $x-y$ 及び θ を図2.1のようにとり、台車が棒に与える力の x 軸及び y 軸方向の成分をそれぞれ f_x 、 f_y 、またピンの位置座標を x とすれば (x, θ) により系の状態を表すことができる。台車と棒の運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} m \frac{d^2}{dt^2} (x + l \sin \theta) &= f_x \\ m \frac{d^2}{dt^2} (l \cos \theta) &= f_y - mg \\ I_G \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= -f_x l \cos \theta + f_y l \sin \theta \\ M \frac{d^2 x}{dt^2} &= u - f_x \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

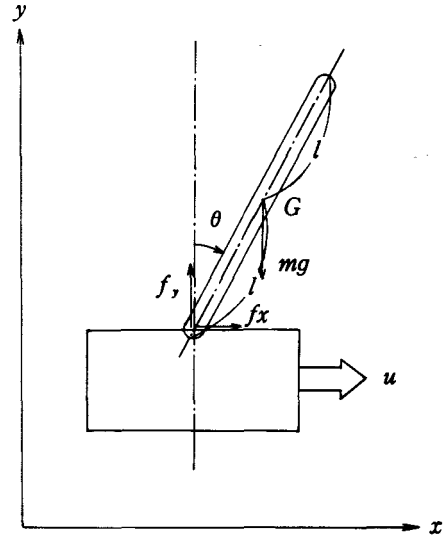


図 2.1 倒立振子模型

ただし、 I_G は、棒の重心まわりの慣性モーメントで、 $I_G = \frac{1}{3} ml^2$ である。

ところで、(2.1)は非線形連立微分方程式であるが、制御により θ を十分小さい範囲にとどめるとすれば $\sin \theta \approx \theta$ 、 $\cos \theta \approx 1$ なる近似が使える。

$$\left. \begin{aligned} m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} + l \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right) &= f_x \\ 0 &= f_y - mg \\ I_G \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= -f_x l + f_y l \theta \\ M \frac{d^2 x}{dt^2} &= u - f_x \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

ここで、(2.2)から f_x 、 f_y を消去し、 $\frac{d^2 \theta}{dt^2}$ 及び $\frac{d^2 x}{dt^2}$ について解くと次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 \theta}{dt^2} &= \frac{3(M+m)g}{(4M+m)} \theta - \frac{3}{(4M+m)l} u \\ \frac{d^2 x}{dt^2} &= -\frac{3mg}{(4M+m)} \theta + \frac{4}{4M+m} u \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

これから、式(2.3)の第1式により θ が決まることがわかる。この式を倒立振子の状態を表す式であるとみなし、 θ の安定化を試みる。ここで、外力 u には限界がある。したがって倒立振子の式は次のようになる。

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = a\theta - bu, \quad |u| \leq \alpha \quad (2.4)$$

ただし、

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{3(M+m)g}{(4M+m)l} \\ b &= \frac{3}{(4M+m)l} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

試作した台車は $M=210\text{ g}$ 、 $2l=67\text{ cm}$ 、 $m=12\text{ g}$ である。

2.2 オンオフ制御による安定化

式(2.4)で表される倒立振子を、最短時間で安定化させる u を求めることを考える。この u は、ポントリヤギンの最大原理を用いて次のように求まる。これは、式(2.4)の条件のもとで汎関数

$$J = \int_{t_0}^{t_f} dt \quad (2.6)$$

を最小にする u を求める問題として定式化される。式(2.4)は $x_1 = \theta$ 、 $x_2 = \frac{d\theta}{dt}$ 、新しい状態変数を x_0 として、次のように書き直せる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} x_0 &= 1 \\ \frac{d}{dt} x_1 &= x_2 \\ \frac{d}{dt} x_2 &= ax_1 - bu \\ |u| &\leq \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

この x_0 、 x_1 、 x_2 に対応する補助変数 ψ_0 、 ψ_1 、 ψ_2 を導入する。 x_i 、 ψ_i ($i=1, 2, 3$)のハミルトニアン

$$\begin{aligned} H &= \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 f_1 + \psi_2 f_2 \\ &= \psi_0 \cdot 1 + \psi_1 x_2 + \psi_2 (ax_1 - bu) \end{aligned} \quad (2.8)$$

を最大にする u^* が、最適なものである。

ψ_i ($i=1, 2, 3$)は、次の式を満足する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_0}{dt} &= 0 \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= a\psi_2 \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= -\psi_1 \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

式(2.9)を解けば

$$\psi_0 = k \quad \left. \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \psi_1 &= -C_1 \sqrt{a} e^{\sqrt{a}t} + C_2 \sqrt{a} e^{-\sqrt{a}t} \\ \psi_2 &= C_1 e^{\sqrt{a}t} + C_2 e^{-\sqrt{a}t} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

となる。式(2.8)を最大にするのは

$$\begin{aligned} u^* &= -\alpha \operatorname{sgn}(b\psi_2) \\ &= -\alpha \operatorname{sgn}(C_1 e^{\sqrt{a}t} + C_2 e^{-\sqrt{a}t}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

である。すなわち、 $u(t)$ は $\pm\alpha$ の値をとる関数である。そこで $u=\pm\alpha$ のときの、相平面上のトラジェクトリの表す曲線を求めてみる。

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{dx_2}{dx_1} \frac{dx_1}{dt} = x_2 \frac{dx_2}{dx_1}$$

であるから、式(2.7)は

$$x_2 \frac{dx_2}{dx_1} = ax_1 \mp b\alpha$$

となる。この式を積分し整理すると

$$\left. \begin{aligned} \left(x_1 - \frac{b\alpha}{a}\right)^2 - \frac{x_2^2}{a} &= \frac{b^2\alpha^2}{a^2} - \frac{2C^+}{a} \\ \left(x_1 + \frac{b\alpha}{a}\right)^2 - \frac{x_2^2}{a} &= \frac{b^2\alpha^2}{a^2} - \frac{2C^-}{a} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

を得る。図2.2のように相平面上の任意の点Pを原点に移す最適過程は点Pにより一意に決まる。原点に移すトラジェクトリの操作 u の値により、相平面を次のような2つの領域に分割する。

$$\left. \begin{aligned} A^+ &= \{(x_1, x_2) \mid u(x_1, x_2) = +\alpha\} \\ A^- &= \{(x_1, x_2) \mid u(x_1, x_2) = -\alpha\} \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

これをグラフ上に示せば図2.3のようになる。ここで、図2.3に示されるような A^+ と A^- の境界すなわち切換線 mn が何らかの方法で求められれば、この制御はうまくゆく。ところで、このモデルでは、この境界は理論的に求める。すなわち、式(2.12)で原点を通るような C^+ 、 C^- を求めると次のようである。

$$\left. \begin{aligned} \left(x_1 - \frac{b\alpha}{a}\right)^2 - \frac{x_2^2}{a} &= \frac{b^2\alpha^2}{a^2} \\ \left(x_1 + \frac{b\alpha}{a}\right)^2 - \frac{x_2^2}{a} &= \frac{b^2\alpha^2}{a^2} \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

さて、実際に制御を行うにはこの式(2.14)がどのような判別ばいのである。その方法として次の2つが考えられる。

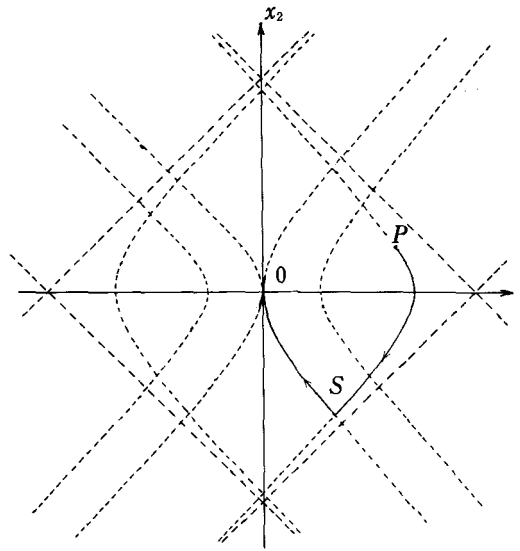


図2.2 原点に最短時間で到達するトラジェクトリ

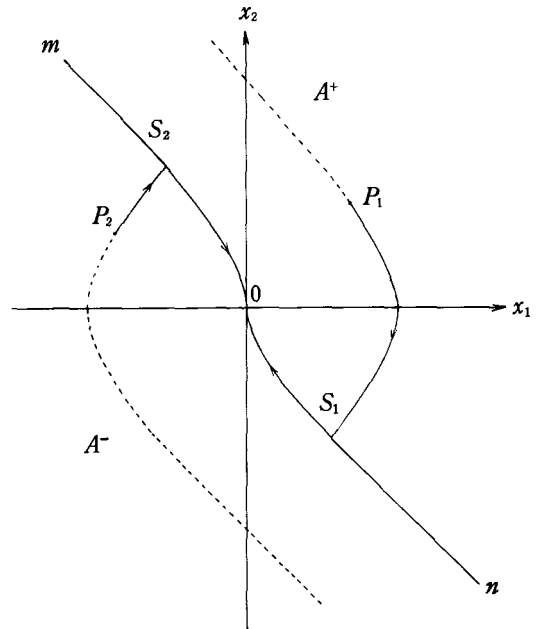


図2.3 切換線

(1)系の各物理量を測定することにより、微分方程式(2.4)の係数を決定する。そして、式(2.14)に示された境界の式を理論的に求まる。
 (2)求めたい境界に近い切換線を仮定し、学習によってこの切換線を修正して、求める境界に近付けてゆく。

ここで注目したいのは方法(1)では、制御する棒の質量、長さなど条件が変われば、再度計算により式(2.14)を求めなければならないのに対し、方法(2)では条件の変化を気にしなくてすむ点である。そこで、ここでは方法(2)により制御することを考える。ところで、相平面上の切換線をコンピュータの内部に表現しなければならない。これを次のようにメモリの上に表現する。つまり、状態変数 x_1 , x_2 を適当な粗さで量子化し状態 (x_1, x_2) に対してメモリの1つを対応させ、状態 (x_1, x_2) に対応する操作が $u = +\alpha$ なら、メモリの内容は1、また $u = -\alpha$ なら0であるようにする。こうすることによって、相平面の分割 A^+ , A^- に対応したメモリの分割が得られる。さて、学習によって領域の境界を求めるアルゴリズムは次のようである。

i) まず、図2.4のように x_2 軸を境界とする分割を与え、左半分では $u = -\alpha$ 、右半分では $u = +\alpha$ とする。このとき、状態は太線のように動いてゆく。

ii) 点Sで $u = +\alpha$ から $u = -\alpha$ に切換わった結果、図2.5のようになったとすれば、これは切換える点が遅すぎたためである。そこで、太線のように、 x_1 方向に量子化単位だけ境界を変更する。これは上半分についても同様である。

iii) ii)の切換えの手順は、図2.6の場合でも同様である。つまり、点線を太線のように変更する。

以上より、切換え線は次第に最適なものに近づいてゆくことが期待できる。

§ 3 安定化の計算機シミュレーション

計算機で、安定化のシミュレーションを行うのに、整数配列を図3.1のように対応させる。 A^+ の領域に対して、配列の内容は15、 A^- の領域に対して0、切換線に対して9であるようにする。

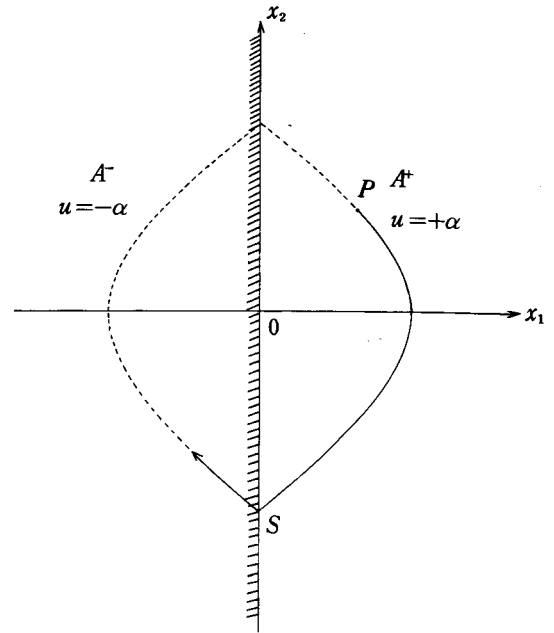


図2.4 最初に設定する切換線

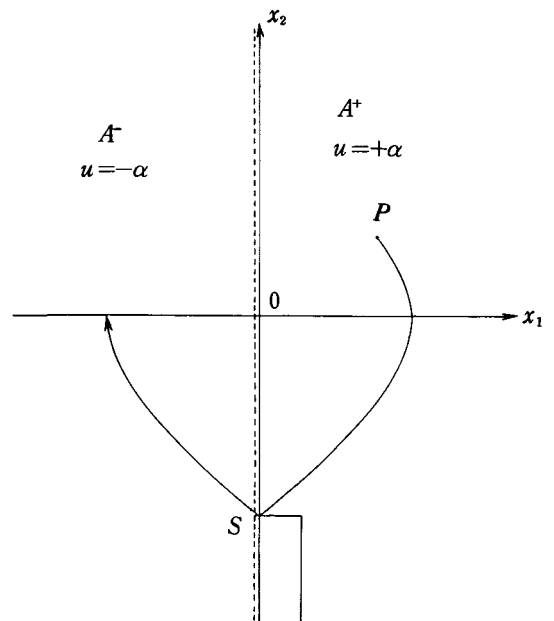


図2.5 切換線の変更

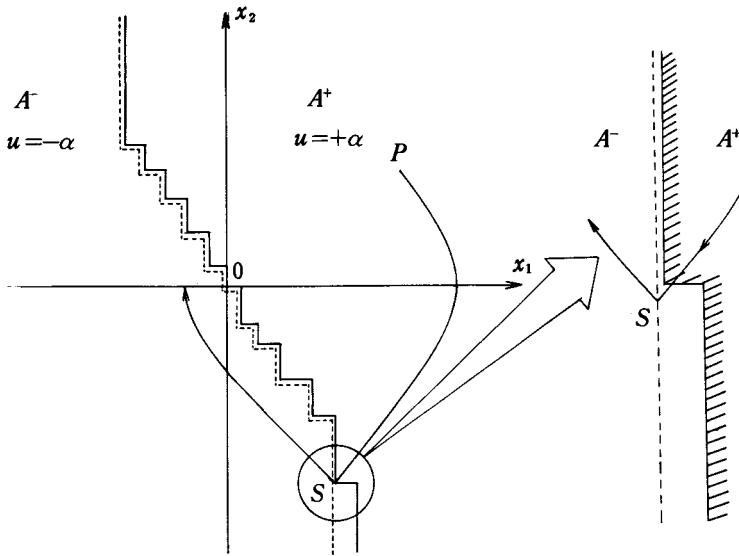


図 2.6 切換線の変更

学習による安定化のシミュレーションのアルゴリズムは図3.2のようである。変数は表3.1のようである。ここで、切換線の変更は、図3.3(a)において $C1=1$ のときに行う。切換線の変更のための配列の内容の変更は単純に9の値をセットするだけでは図3.3(b)のような場合9が横に並んでしまうので図3.4のようにする。

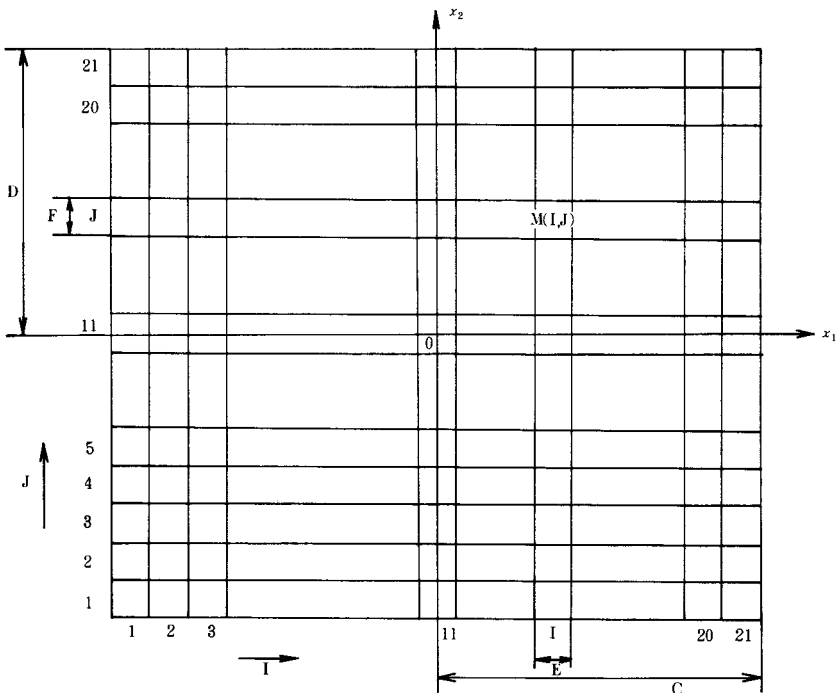


図 3.1 相平面と配列 $M(I, J)$ ($I=1, 21; J=1, 21$)

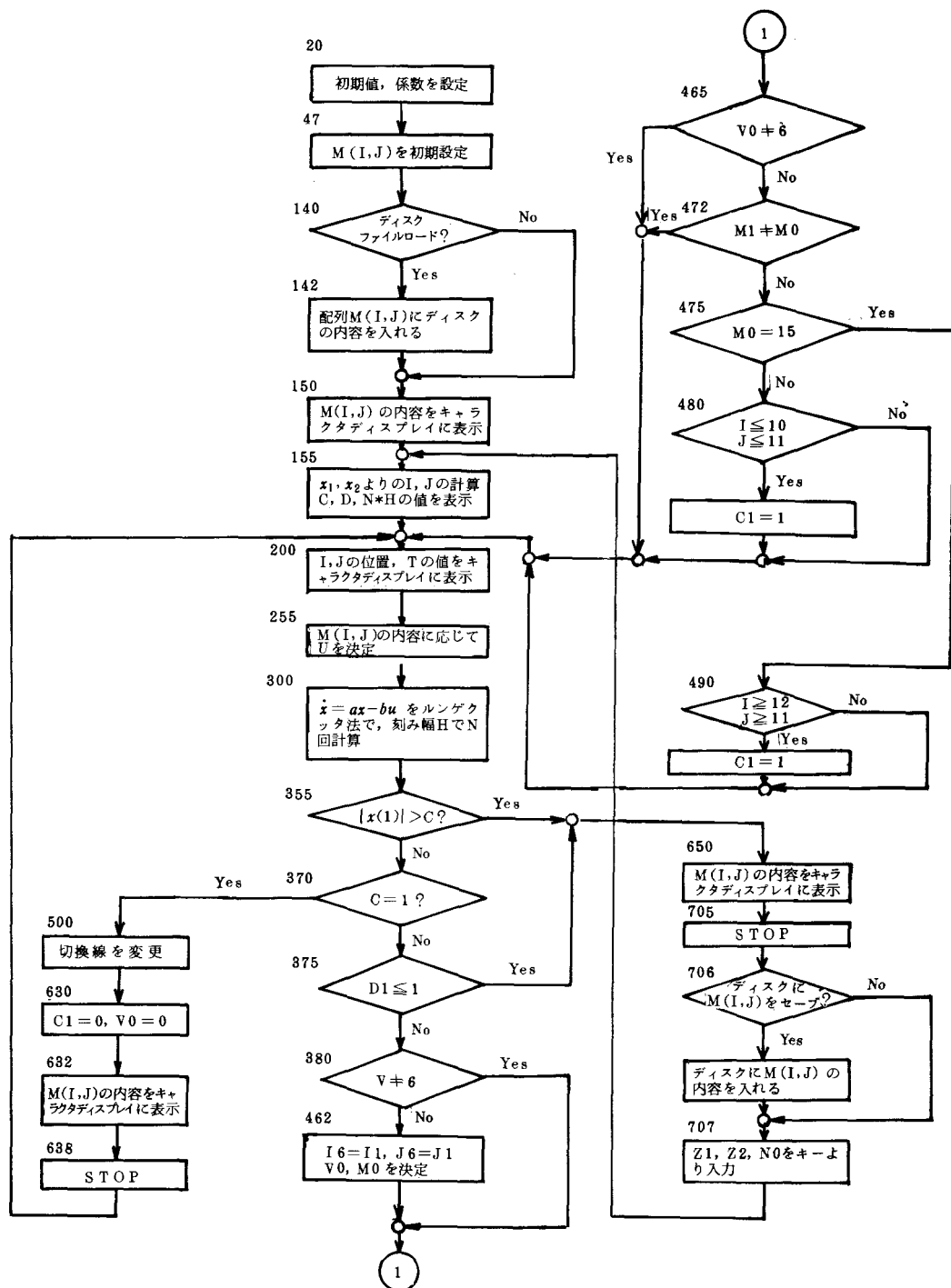


図3.2 安定化のシミュレーションのフローチャート

表3.1 安定化のシミュレーションにおける主な変数

変 数	説 明
M 5 #	台車の質量M [g]
M 6 #	棒の質量m [g]
L #	棒の長さ 2l の半分 [cm]
G #	台車に加えられる加速度 [cm/s ²]
C 0 #	傾き角度の最大 [度]
D 0 #	倒立振子の棒の瞬間回転数の最大 [rps]
Z 1 #	初期傾き角度 [度]
Z 2 #	初期瞬間回転数 [rps]
H #	ルンゲクッタ法による刻み幅 [s]
N	ルンゲクッタ法による繰返し回数 NとH#の積がサンプリング時間
N 0	計算した位相平面をディスプレイに表示するためのグラフィックコード
A 0 #	式 (2.5) の a
B #	式 (2.4) における b と α の積
D 1	原点との量子化した距離の 2 乗

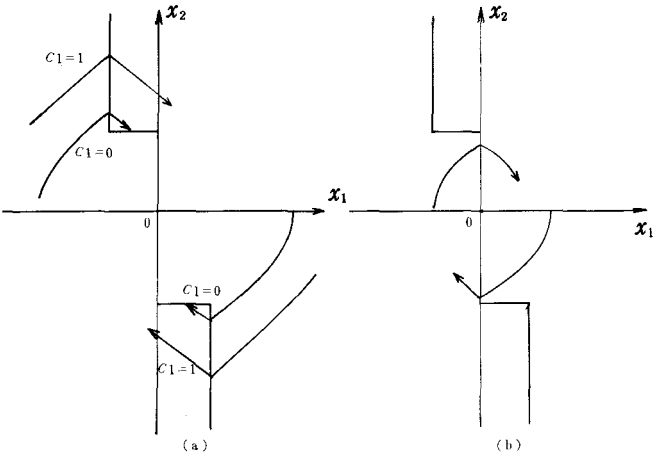


図3.3 切換線の変更

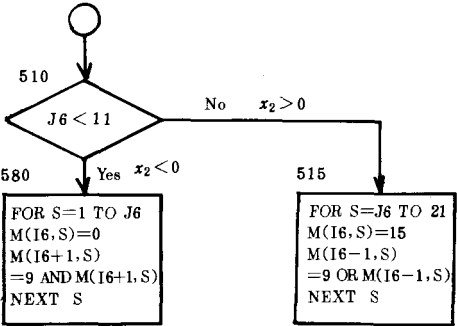


図3.4 切換線の変更のための配列M(I,J)の内容の変更

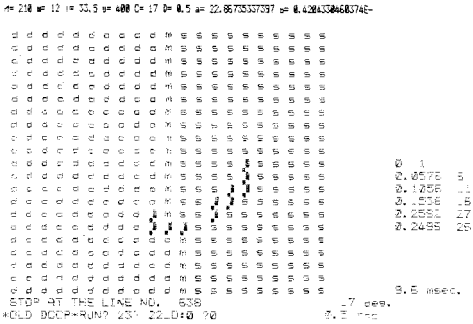


図3.5 シミュレーションにおける相平面とトラジェクトリのディスプレイ表示例

(表 8.2 のつづき)

```

636      NEXT P
637      PRINT
638      NEXT S
639      STOP
640      GOTO 200
641      REM -----LIST MEMORY
642      FOR J = 21 TO 1 STEP -1
643      FOR I = 1 TO 21
644      IF ACRT(2*I-1,J+2) = N0 THEN PRINT CURSOR(2*I-1,J+2) ; CHR$(N0) ; EL
645      SE PRINT CURSOR(2*I-1,J+2) ; CHR$(100+M(I,J)) ;
646      NEXT I
647      PRINT
648      NEXT J
649      STOP
650      INPUT "SAVE MEMORY?---YES:1 NO:0 ?" , Y
651      IF Y = 1 THEN GOTO 3010
652      INPUT Z1# ; Z2# ; N0
653      GOTO 155
654      REM*****SUB RKU
655      1000 LET AR(1) = 0.5#*H#
656      1010 LET AR(2) = AR(1)
657      1020 LET AR(3) = H#
658      1030 LET AR(4) = AR(3)
659      1040 LET AR(5) = AR(3)
660      1050 LET T0# = T#
661      1060 FOR I7 = 1 TO 2
662      LET X0#(I7) = X#(I7)
663      LET AR(I7) = X#(I7)
664      NEXT I7
665      FOR J7 = 1 TO 4
666      GOSUB 2000
667      LET T# = T0#+AR(J7)
668      FOR I3 = 1 TO 2
669      LET W#(I3) = X0#(I3)+AR(J7)*F#(I3)
670      LET X#(I3) = X#(I3)+AR(J7)*I#(I3)/3#
671      NEXT I3
672      NEXT J7
673      RETURN
674      REM*****SUB DIF
675      2010 LET F#(1) = W#(2)
676      2020 LET F#(2) = AR#(1)-B#*U#
677      RETURN
678      3010 INPUT "FILE NAME ?" , B5#
679      3044 OPEN B5# FOR OUTPUT AS FILE 7
680      FOR I = 1 TO 21
681      FOR J = 1 TO 21
682      WR#(I,J) ;
683      NEXT J
684      NEXT I
685      CLOSE 7
686      RETURN
687      NO END MARK

```

相平面とトラジェクトリの表示例は、図3.5のようである。ここで文字 d で表わされるのが A^- の領域、 S で表わされるのが A^+ の領域、 m で表わされるのが切換線である。右側に表示されている数字は、各点の時刻であり単位は秒である。位置は適当なグラフィックパターンで表わされる。右側の下方に、サンプリング間隔、表示角度幅 C 、表示角速度幅 D が表示される。

このプログラムが表3.2であり、その使用法を次に示す。

- i) $m, M, \dots, \alpha, C, D$, 初期点 z_1, z_2 を入力する。ただし C, z_1 の単位は度で、 D, z_2 の単位は rps で入力する。
 - ii) 初期の切換線を、ディスクより入力するかを Yes なら 1, No なら 0 をキーインする。Yes ならばさらにファイル名を入力する。
 - iii) 切換線の変更が終了するごとに、 $M(I, J)$ の内容をディスプレイに表示し、STOP する。プログラムを続行するには CONT キーを押す。
 - iv) 状態点が原点に収束すると、 $M(I, J)$ の内容を表示しストップする。続行するには CONT キーを押す。すると、 $M(I, J)$ の内容をディスクに入れるかを聞いて来るので、Yes なら 1, No なら 0 を、初期点 z_1, z_2 , 位置を表示するためのグラフィックキャラクターを入力する。
- これで iii) にもどる。

図3.5は傾き角 θ が最大17度で、最初10度傾けたとしてシミュレーションしたものである。これによれば、切換線を通過するまでに要する時間は0.25秒以内であることがわかる。図3.6は初期の傾き角度

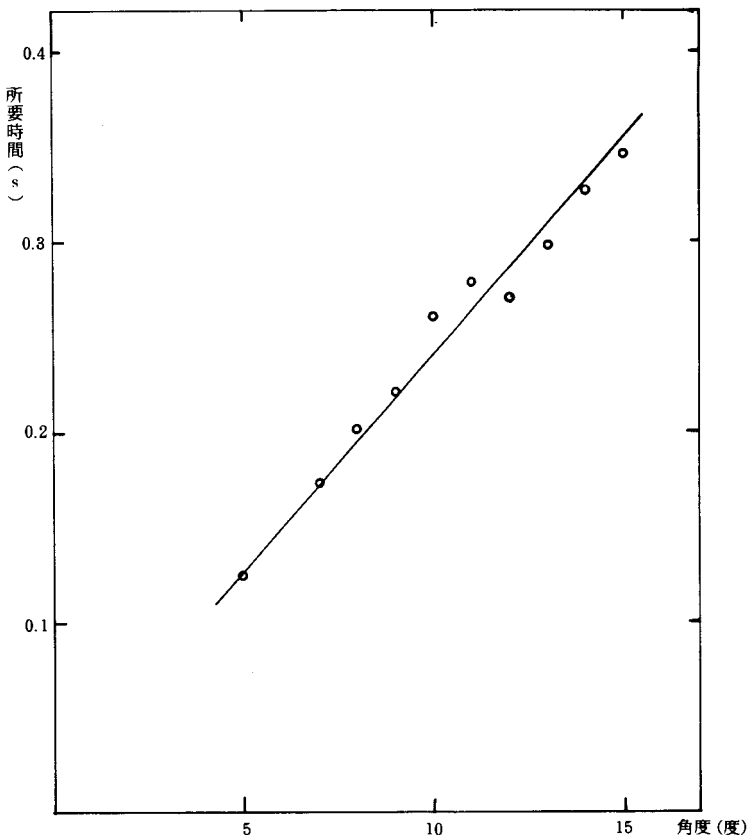


図3.6 初期傾き角度と切換線通過までの時間

と切換線の通過までの時間との関係を加速度 400 cm/s^2 としてシミュレーションにより求めたものである。表 3.3 は、式 (2.14) に基づいて理論切換線を求めるプログラムの変数とその説明であり、表 3.4 はそのプログラムである。

表 3.3 理論切換線を求めるプログラムの変数

変 数	説 明
M 0 #	台車の質量 M [g]
M 1 #	棒の質量 m [g]
L #	棒の長さ $2l$ の長さの半分 [cm]
U 0 #	台車に加えらるる加速度 $[\text{cm/s}^2]$
C 0 #	傾き角度の最大 [度]
D 0 #	倒立振子の棒の瞬間回転数の最大 [rps]
N	C 0 #, D 0 # の分割数

表 3.4 理論切換線を求めるプログラム

```

10 REM CLIN
20 PRINT CLEAR
30 READ M0#, M1#, L#, U0#, C0#, D0#, N
40 DATA 210#, 12#, 33.5#, 400#, 10.5#, 0.165#, 10
50 OPEN "PORT" AS FILE #3 MODE S
55 PRINT #3, "M="; M0#; "m="; M1#; "L="; L#; "U="; U0#; "C="; C0#
; "D="; D0#; "N="; N
60 LET C# = PI*C0#/180#
70 LET D# = 2#*PI*D0#
80 LET N1# = FLOOR(N)
90 LET E# = C#/N1#
100 LET F# = D#/N1#
110 LET A# = 3#*(U0#+N1#)*550#/(4#*(M0#+M1#)+L#)
120 LET B# = 3#/(4#*(M0#+M1#)+L#)
130 LET U# = (M0#+M1#)*U0#
140 LET B1# = B#+U#
145 LET M = 2*N+1
150 FOR J = 0 TO M
160 LET X2# = D#-F#*FLOOR(J)
170 IF X2# = 0# THEN LET X1# = B1#/A#+SQR((ABS(X2#)+2#)/A#+B1#+2#)/A#+2#) ELSE GOT
0 190
180 GOTO 200
190 LET X1# = -B1#/A#+SQR((ABS(X2#)+2#)/A#+B1#+2#)/A#+2#)
200 LET I = INTG((X1#+C#)/E#)
210 PRINT #3, TAB(3*I); CHR$(154); I; J
220 PRINT CURSOR(3*I, 21-J); CHR$(42); I; J
230 NEXT J
240 CLOSE #3
250 END

```

§ 4 マイクロコンピュータの入出力インターフェース

倒立振子の安定化には SORD M 100 ACE III を使用する。ところで、ソードでは、外部装置と接続するバス規格として S 100 バス（正式なものではない）を採用している。この S 100 バスは、8255 等の入

表 4.1 拡張 I/O ポート

I/O アドレス	意 味 付 け
F 4	ポート A 選択・データ
F 5	ポート B 選択・データ
F 6	ポート C 選択・データ
F 7	制 御 語

出力LSIを接続しようとする、データバスが入力と出力とが分離しているためこのままではつながら
ない。そのため図4.1のようなインタフェース回路が必要である。A/D、D/A変換器を計測、制御のた
めに接続するにはI/Oポートが必要である。そのため図4.2のように、新しく8255を接続する。また
そのときのポートのデバイスアドレスは、表4.1のようである。ポートBにD/A変換器を接続する。こ
のアナログ出力は0～2.5Vである。ポートAは、A/D変換器の出力バスに接続する。ポートCの第0

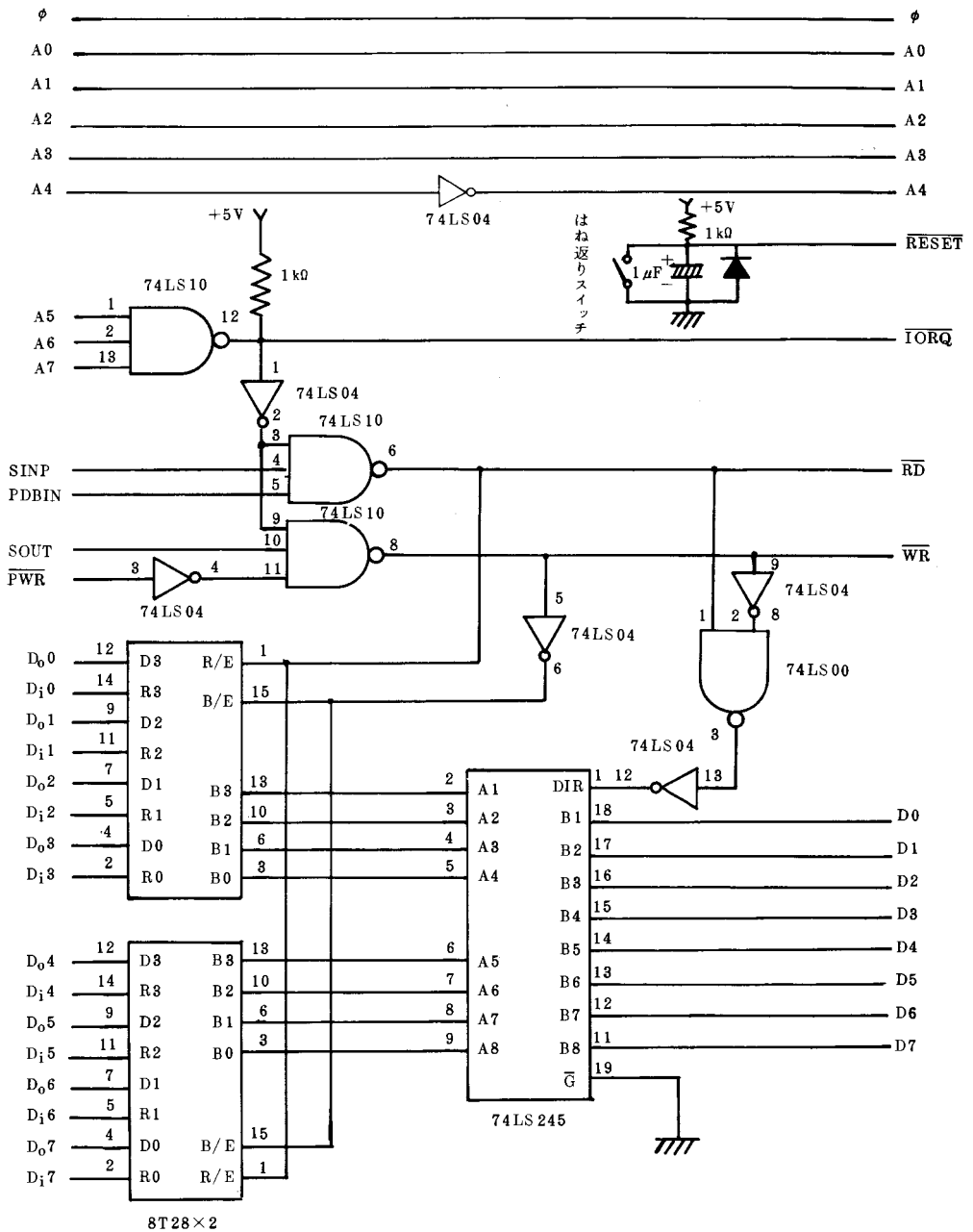


図4.1 デバイスインタフェース

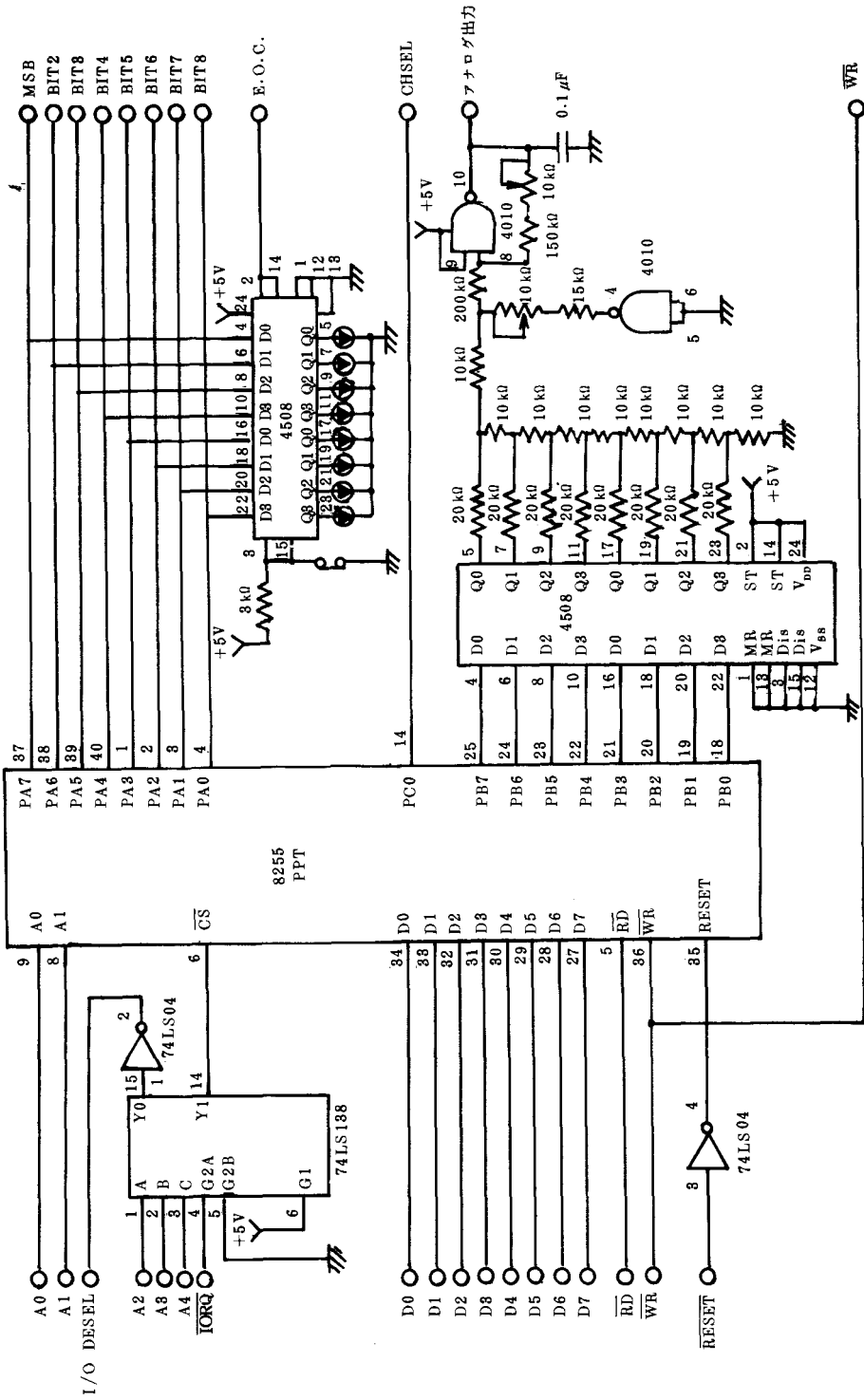


図 4.2 I/OポートとD/A変換回路

ビットは、アナログ入力チャンネル選択に使用する。図4.3は、接続するA/D変換回路である。また図4.4はその電源回路である。本回路で使用するADC-80AG12の変換速度は $17\mu\text{s}$ である。アナログ入力電圧の入力範囲は $-5\text{V}\sim+5\text{V}$ である。A/D変換器のスタートパルスは、OUT命令実行のときに出る $\overline{\text{WR}}$ 信号線のパルスを用いる。サンプルホールド回路では、A/D変換中E.O.C.がロジック1でアナログ入力をホールドし、A/D変換を終了すると、ポートCで選択されたチャンネルのアナログ値をサンプルし、

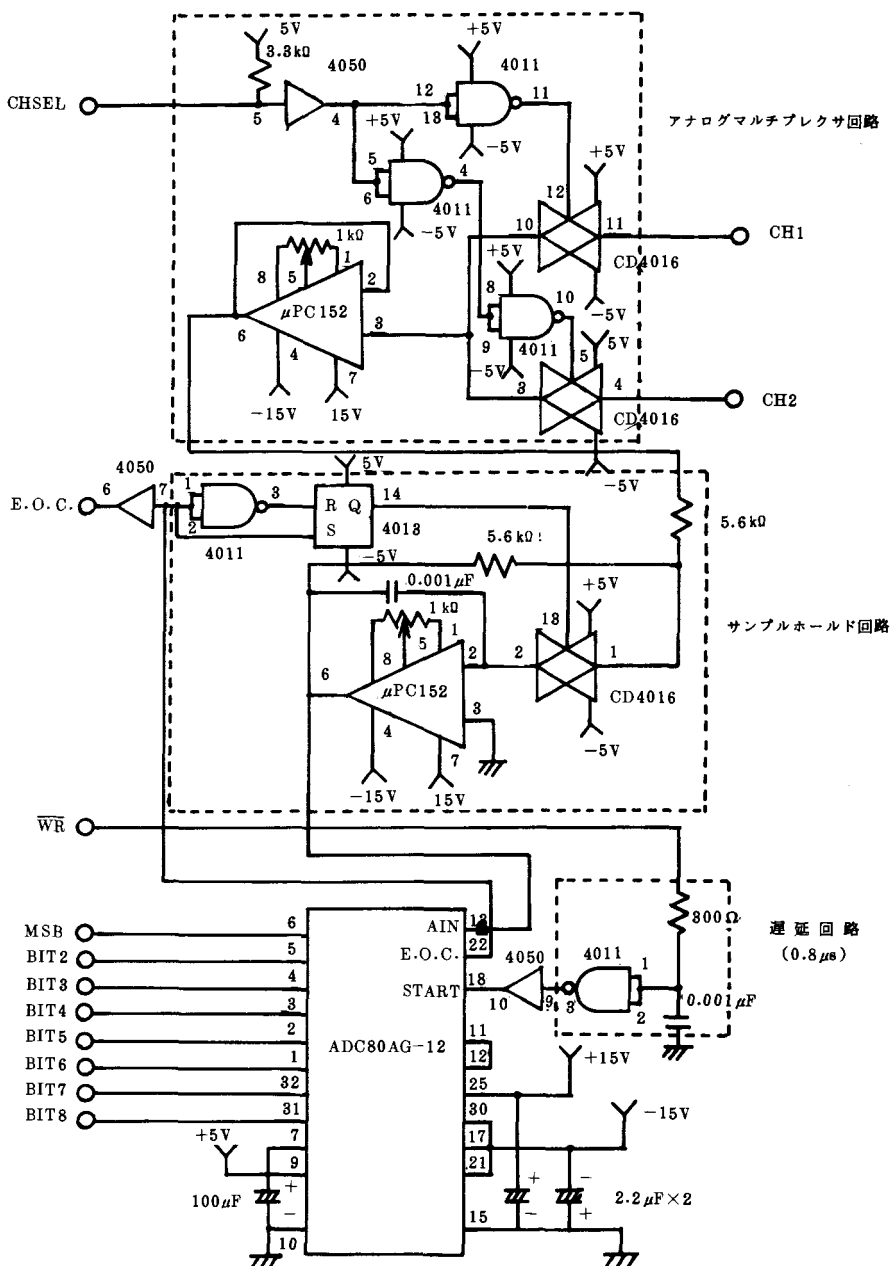


図4.3 A/D変換回路

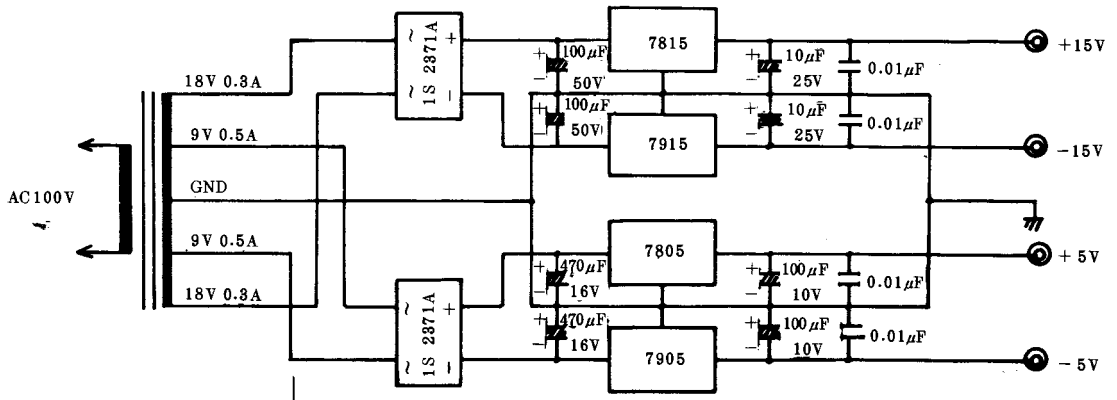


図 4.4 ±15V, ±5V 定電圧電源

再び OUT 命令を実行するとホールドし、その値をA/D変換する。入力値はサンプルホールド回路で反転されるが、この変換器のロジックコードはCOB（コンプリメンタリオフセットバイナリー）であるので結果的にはロジックコードはオフセットバイナリーとなる。表4.2は、このA/D変換器のテストプログラムである。このプログラムは、キャラクタディスプレイにそのチャンネルとA/D変換値を表示するものである。

表 4.2 A/D変換器テストプログラム

LOAD MAX=8052		M100 ACE REL-ASM V-01A ADCTES (ADT	
0001 LOC.	CONT.		
01		.TITLE	ADCTEST
02		.REL	
03	0000- 3E90	LDI	A, '90
04	0002- D3F7	OUT	'F7
05	0004- 0620	LDI	B, '20
06	0006- 0E0B	LDI	C, '0B
07	0008- EF22	.SYSTEM	.CURSR
08	000A- 3E00	LDI	A, '00
09	000C- D3F6	OUT	'F6
10	000E- 47	MOV	A, B
11	000F- 3E20	LDI	A, '20
12	0011- 3D	DEC	A
13	0012- C21100-	JNZ	LOOP1
14	0015- 3E43	LDI	A, '43
15	0017- EF20	.SYSTEM	.DSPCH
16	0019- 3E48	LDI	A, '48
17	001B- EF20	.SYSTEM	.DSPCH
18	001D- 7B	MOV	B, A
19	001E- D631	ADDI	'31
20	0020- EF20	.SYSTEM	.DSPCH
21	0022- 3E20	LDI	A, '20
22	0024- EF20	.SYSTEM	.DSPCH
23	0026- 3E00	LDI	A, '00
24	0028- D3F6	OUT	'F6
25	002A- 3E20	LDI	A, '20
26	002C- 3D	DEC	A
27	002D- C22C00-	JNZ	LOOP2
28	0030- D6F4	IN	'F4
29	0032- 5F	MOV	A, E
30	0033- E6F0	ANDI	'F0
31	0035- C83F	SRL	A
32	0037- C83F	SRL	A
33	0039- C83F	SRL	A
34	003B- C83F	SRL	A
35	003D- CD4900-	CAL	WRITE
36	0040- 7B	MOV	E, A
37	0041- E60F	ANDI	'0F
38	0043- CD4900-	CAL	WRITE
39	0046- C0400-	JMP	LOOP3
40	0049- F5	WRITE:	PUSH
41	004A- D60A	SUBI	'0A
42	004C- D25200-	JZC	JMP1
43	004F- F1	POP	A
44	0050- C630	ADDI	'30
45	0052- C35800-	JMP	JMP2
46	0055- F1	POP	A
47	0056- C637	ADDI	'37
48	0058- EF20	.SYSTEM	.DSPCH
49	005A- C9	RET	
50	0000	.END	
0002 LOC. CONT.		M100 ACE REL-ASM V-01A ADCTES (
JMP1	0055-		
JMP2	0058-		
LOOP1	0011-		
LOOP2	002C-		
LOOP3	0004-		
WRITE	0049-		
LOAD MAX=8052A			

る。倒立振子の安定化では角度 $-15^\circ \sim 15^\circ$ の範囲を使うので、このままでは出力端子 $-0.416\text{V} \sim 0.416\text{V}$ なので、 $-5\text{V} \sim +5\text{V}$ になるように図5.2の第一段目の増幅回路により増幅する。この増幅回路の増幅率 A_1 は2つの抵抗 R_1 、 R_2 の比で決定され、次式によって表わされる。

$$A = 1 + \frac{R_0}{R_1} \quad (5.1)$$

図においては、 $R_1 = 20\text{k}\Omega$ 、 $R_0 = 100\text{k}\Omega$ であるので、 $A = 6$ である。さらに、第2段目の増幅回路によりさらに狭い角度範囲にも設定できるようにする。この2段目増幅率 A_2 は次式のようにになる。

$$A_2 = \frac{R}{R+r} \quad (5.2)$$

この増幅した出力を、A/D変換器のアナログ入力CH2へ入力する。

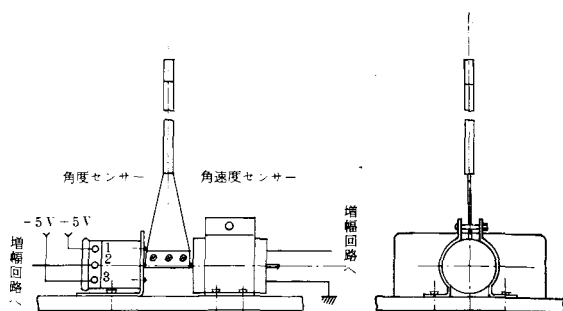


図5.1 角度センサー、角速度センサー

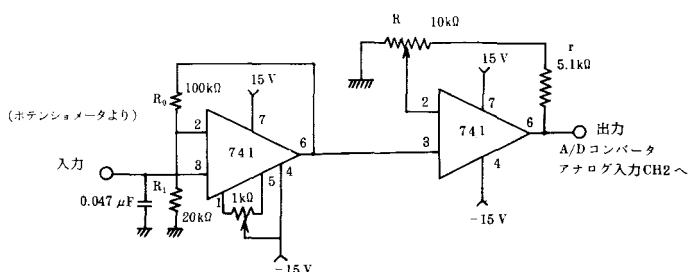


図5.2 角度センサー増幅回路

5.2 角速度センサー

角速度センサーとして、図5.1のように、DCモータを用いた。図5.3は角速度増幅回路である。これは、DCモータの出力電圧が数mV程度と微弱であるため、オペアンプを使い2段増幅した。この増幅率は5.6～560倍である。また出力電圧は、低ノイズのモータを使用しているが、まだノイズがあるため、抵抗 R とコンデンサ C を用いてパッシブフィルタを用いて、ある周波数以上をカットする。このカットオフ周波数 f_c は次のように表わされる。

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad [\text{Hz}] \quad (5.3)$$

いま、 $R = 100\text{k}\Omega$ 、 $C = 0.1\mu\text{F}$ であるので $f_c =$

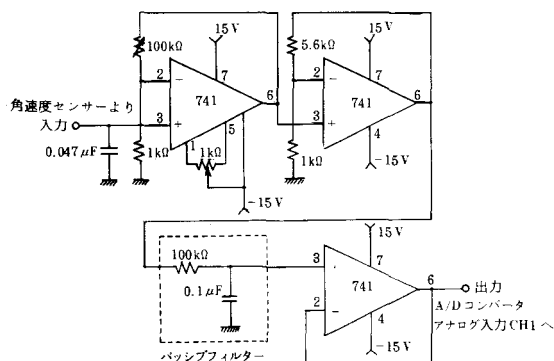


図5.3 角速度増幅回路

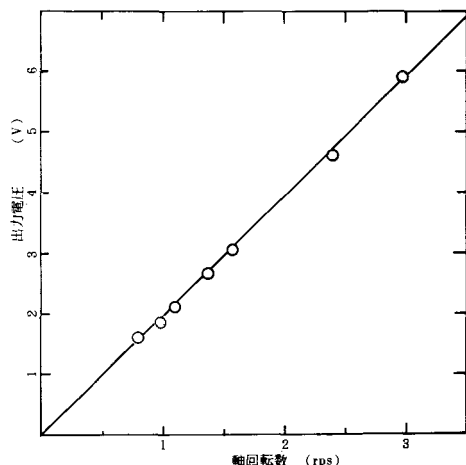


図5.4 モータの電圧特性

15.9 Hzである。さらにインピーダンス整合をするため図5.3のようにオペアンプを用いる。

出力はA/Dコンバータのアナログ入力CH1に入力する。図5.4は軸回転数と出力電圧の関係を100倍の増幅率にして調べたものである。

5.3 角度、角速度のディスプレイ表示

角度、角速度センサーのテストと調整のためCH1に角速度、CH2に角度を入力したとき横座標を角度、縦座標を角速度として横64、縦16のます目の点として、ディスプレイに表示するプログラムを作る。そのプログラムのフローチャートは図5.5のようである。このプログラムを用いて、倒立振子が垂直になったときちょうど画面の(32, 8)の位置に来るように、倒立振子を取り付ける。また、倍率を手で倒立振子を動かしてみて、適当な表示をするように可変抵抗により調整する。表5.1はそのプログラムである。

§ 6 パルスモータによる台車の制御

6.1 パルスモータの所要性能

台車の制御にパルスモータを使用する。パルスモータはオリエンタルモーター2CPH-005 Aを使用する。また、パルスモータには、ドライ回路が必要でありSPD 4201を用いる。

パルスモータ駆動に必要な信号はパルス信号と反転信号である。パルス発生にはV/Fコンバータを使用する。反転信号はパーソナルコンピュータ SORD M100 ACE III のPIOのI/Oポートの第0ビットを使用する。

台車の加速度は一定として制御を行うためパルスモータに必要とされるパルス増加率を以下のように求める。

図6.1において、倒立振子の倒れた方向に台車を加速度 a で加速して、棒を倒れないでとめるには、棒の回転モーメントが0であればよいから

$$ma l \cos \theta - mgl \sin \theta = 0$$

$$\therefore a = g \tan \theta$$

(6.1)

いま、 $\theta = 15^\circ$ とすれば、台車の加速度 a は

$$a = 262.6 \text{ cm/s}^2$$

である。台車の制御は図6.2のようにする。パルスモータ軸のホイール半径 $r = 1.5 \text{ cm}$ 、1パルス当りのパルスモータ回転角 $= 1.8 \text{ deg/p}$ 、パルスの周波数 $f [\text{Hz}]$ とすれば、台車速度 v は

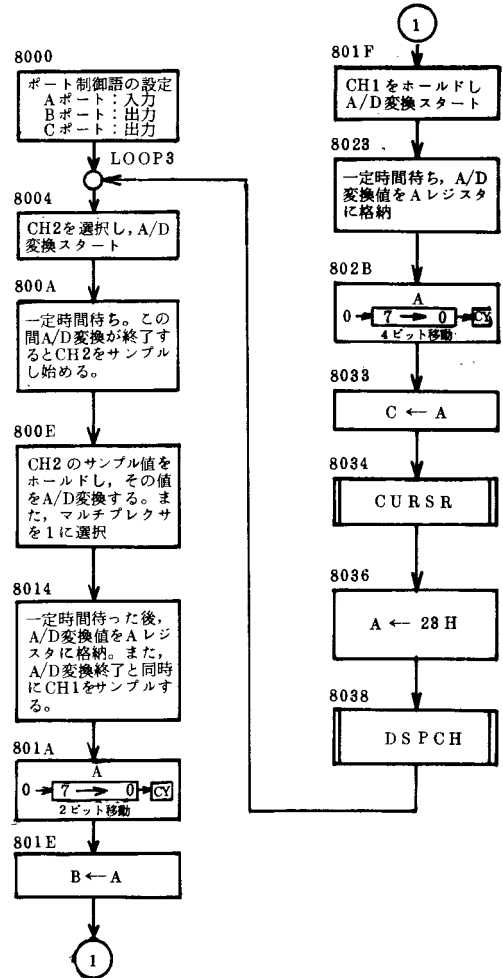


図5.5 角度、角速度のディスプレイ表示

表 5.1 角度、角速度のディスプレイ表示

0001 LOC. CONT.	M100 ACE REL-ASM V-01A PHASE (PH50
01	LDI
02	LDI
03	LDI
04	LDI
05	LDI
06	LDI
07	LDI
08	LDI
09	LDI
10	LDI
11	LDI
12	LDI
13	LDI
14	LDI
15	LDI
16	LDI
17	LDI
18	LDI
19	LDI
20	LDI
21	LDI
22	LDI
23	LDI
24	LDI
25	LDI
26	LDI
27	LDI
28	LDI
29	LDI
30	LDI
31	LDI
32	LDI
33	LDI
34	LDI

$$v = \frac{1.8}{360} \cdot 2 \pi r f = \frac{\pi r f}{100} \quad (6.2)$$

両辺を微分すると

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{\pi r}{100} \cdot \frac{df}{dt} \quad (6.3)$$

ここで、 $a=262.6\text{cm/s}^2$ であるので、パルス増加率は

$$\frac{df}{dt} = \frac{100a}{\pi r} = \frac{100 \times 262.6}{\pi \times 1.5} = 5573 \text{ p/s}^2$$

となる。角度15度で倒立振子の加速度を 400cm/s^2 としたとき、立たすまで0.356秒必要であることが図3.6により分かる。この場合必要とされるパルス周波数増加率は

$$\frac{df}{dt} = \frac{100a}{\pi r} = \frac{100 \times 400}{\pi \times 1.5} = 8488 \text{ p/s}^2$$

である。

また、ここで反転信号は、SORD内臓のI/Oポートより出力されるが、I/Oポート端子はオープンコレクタであるため、 $3.3\text{k}\Omega$ の抵抗でプルアップを行なっている。

パルスモータ自体も、急激なパルス変化に対応でき

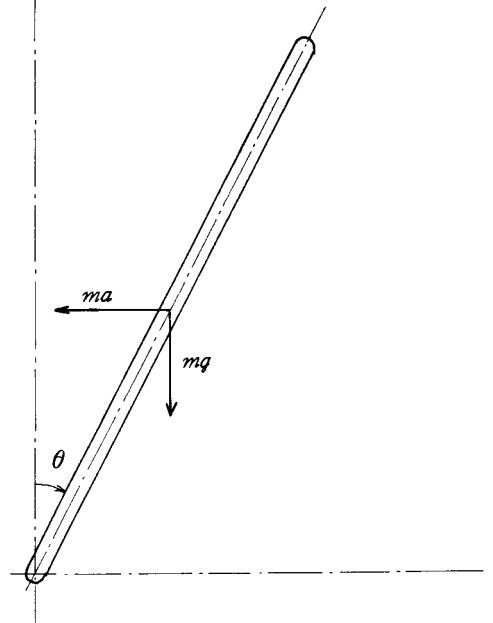


図 6.1 倒立振子を起こすための加速度

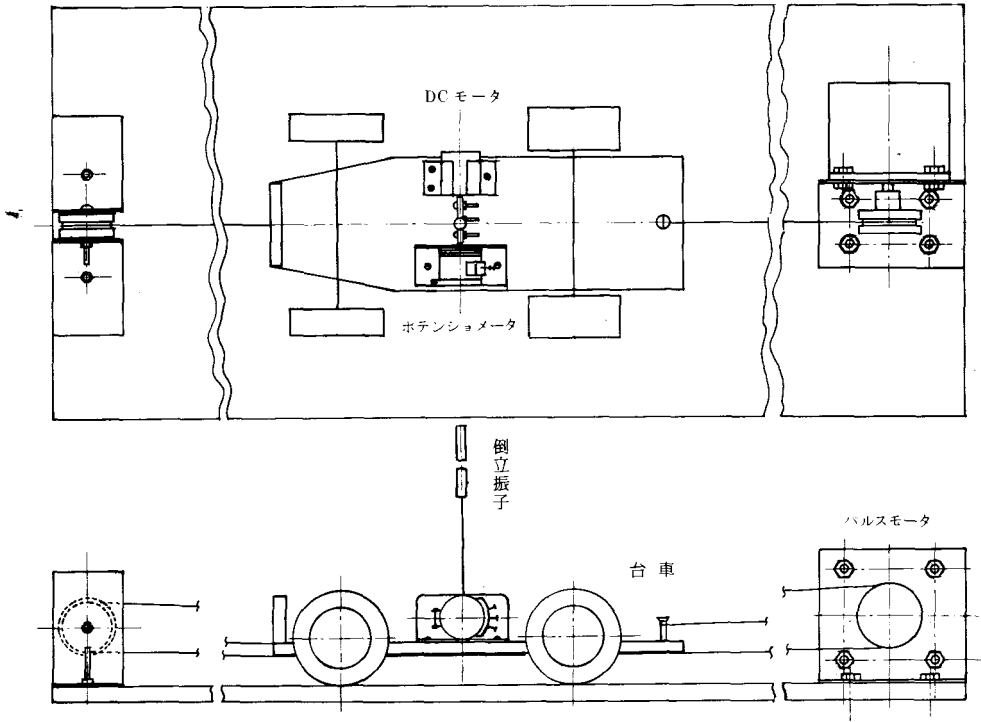


図 6.2 台車の駆動装置

るようにセッティングを行なった。標準電源は+12Vを指定しているが、ここでは追従性の向上のために定電流電源を使用した。

6.2 V/Fコンバータ

パルスモータを制御するパルス入力の与え方としてパルスの周波数を変えてやるのが、線形的に周波数を変えたりするのに都合がよい。そのため電圧に応じた周波数を出力するV/Fコンバータを用いる。その回路は図6.3のようである。

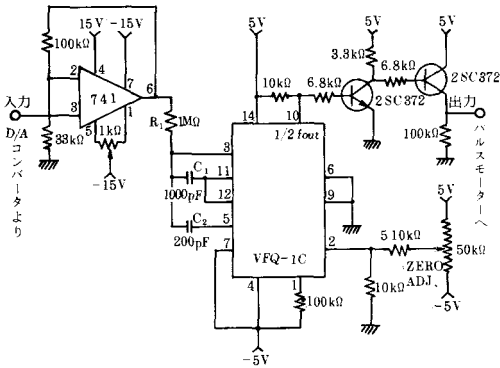


図 6.3 V/Fコンバータ

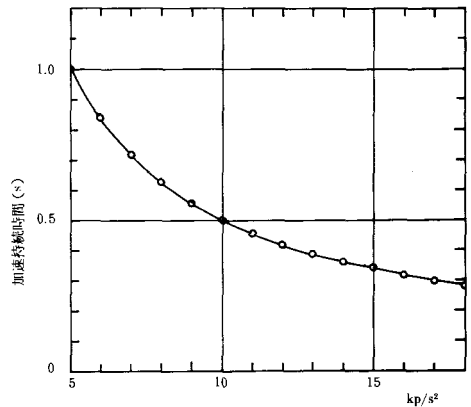


図 6.4 パルス周波数増加率と加速持続時間

このV/FコンバータとしてはDATEL社のVFQ-1Cを用いる。このVFコンバータの入力は、 R_1 を通してピン端子3に入力するのであるが、この回路では入力範囲は0～10Vで、出力周波数は、 $\frac{1}{2} f_{out}$ 出力端子においては、5kHzが上限である。実験によればオリエンタルモータ2CPH-005Aを駆動回路SPD4201で駆動する場合0.18秒間で3800ppsまで増やす、すなわち 21.1 kp/s^2 が限界である。ところで、D/A変換器の出力はデジタル値00Hのとき最高2.5Vが出力されるようになっている。そこで、図6.3のように、オペアンプを用いた増幅回路で最大10Vにまで増幅してやる。また、V/Fコンバータの零点を調整するため、参照入力電圧+0.01Vに対して10kHzになるようポテンショメータを調整しておく。また、 $\frac{1}{2} f_{out}$ 出力はオープンコレクタなので、抵抗でプルアップする。しかし、まだこのままではインピーダンスが違うので、そのためトランジスタを用いてインピーダンス整合する。図6.4はパルスモータのパルス周波数増加率と可能な加速持続時間との関係を表わしている。図3.6によれば、初期傾き角15度のとき台車の加速度を 400 cm/s^2 とすれば、そのパルス周波数増加率は 8.488 kp/s^2 なので0.356秒間加える必要がある。図6.4によれば 8.488 kp/s^2 のときの加速持続時間は0.589秒あり、十分立たすことができる。

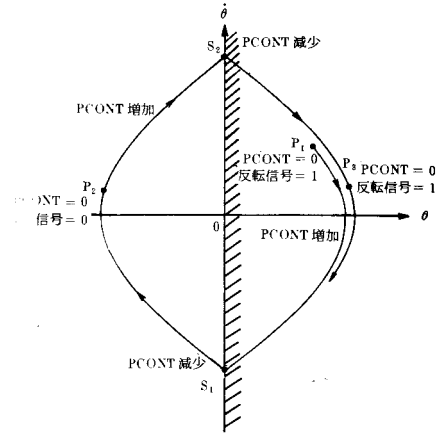


図 6.5 パルスモータの制御信号

6.3 台車駆動のためのパルスモータ制御法

正負一定の加速度で台車を制御するため図6.5のようにする。 P_1 が初期点であるとする。また、反転信号1で倒立振子の倒れた向きに台車が動くようにしておく。PCONTは、1の補数を取りD/A変換に出力し、パルスモータの回転数を決めるものである。まず、切換線を通するまでPCONTを増加させる。これにより定加速度を台車に与える。切換線を通するとPCONTを0になるまで減少させる。PCONTが0になると反転信号を0にし、PCONTを切換線を通するまで増加させる。切換線を通するとPCONTを0となるまで減少させる。PCONTが0になると、反転信号を1としてPCONTを増加させる。以後これを繰り返す。

§ 7 マイクロコンピュータによる安定化

7.1 計測・制御系の構成

倒立振子の安定化のためのハードウェアは図7.1のようである。計測・制御のためのマイクロコンピュータはプログラム開発やデバックが便利なSORD M100 ACEⅢを用いる。表7.1に、使用する装置とそのI/Oアドレスをまとめて示す。

図7.1における計測・制御のための動作は次のようである。まず、拡張した8255のポートCの第0ビットにより、CH2を選択しそのA/D変換したデータをポートAより取り込む。次にCH1を選択して角速度を取り込む。次にこのデータにもとづいて、パルスモータの回転数を与えるPCONTを、拡張した8255のポートBより出力し、反転信号をPIOのポートAの第0ビットに出力しパルスモータを駆動し台車を制御する。

7.2 安定化のためのプログラム

位相平面とメモリを図7.2のように対応させる。ここでメモリの内容00Hと01Hにより A^+ 、 A^-

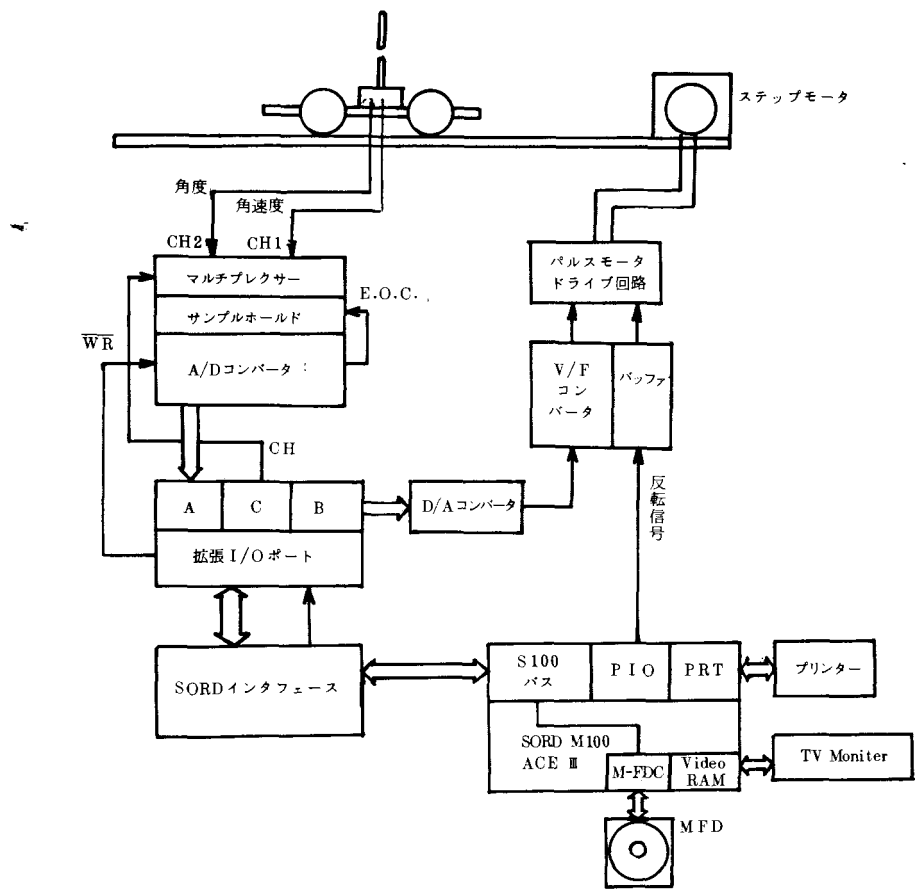


図 7.1 倒立振子と計測・制御系の構成

表 7.1 I/Oアドレスとデバイス

I/Oアドレス	デバイス
43	PIO制御語
40	ポートAの第0ビットにパルスモータ反転信号
F7	拡張した 8255 PPI の制御語
F6	ポートCの第0ビットに A/D変換器のアナログマルチプレクサー
F5	ポートBに D/A変換器
F4	ポートAに A/D変換器

θ

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
8100	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
10	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01	01	01
20	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01	01
30	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01	01
40	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
50	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
60	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
70	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
80	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
90	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
A0	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
B0	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01	01
C0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
D0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
E0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01
F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01

θ

図 7.2 相平面とメモリの対応

の領域を区別する。切換線を § 2.2 におけるアルゴリズムにより変更していく。ここで、最初の切換線を θ 軸にする必要があるが、そのためのプログラムが表 7.2 である。倒立振子の安定化のためのフローチャートは図 7.3 のようであり、表 7.3 はそのプログラムである。このプログラムはリローケータブルアセンブラであるためアドレスは 0 番地から割り振っているが、実行にあたっては 7000 番地に入れて使用した。サブルーチン HENKAN は、角度と角速度を A/D 変換し、それに対応する図 7.2 におけるメモリ番地を求めるものである。サブルーチン CHALIN は切換線を変更するためのプログラムである。

表 7.2 切換線初期設定プログラム

```

0001 LOC.  CONT.      M100 ACE REL-ASM V-01A  INIPH ( INPH
01          .TITLE  INIPH
02          .REL
03          0000- 2E81      LDI      H,'81
04          0002- 2E00      LDI      L,'00
05          0004- 3E00      LOOP1:  LDI      A,'00
06          0006- 77        STR      A,M
07          0007- 7D        MOV      L,A
08          0008- 2C        INC      L
09          0009- E60F      ANDI     '0F
10          000B- FE07      CMPI     '07
11          000D- C20400-   JNZ      LOOP1
12          0010- 3E01      LOOP2:  LDI      A,'01
13          0012- 77        STR      A,M
14          0013- 7D        MOV      L,A
15          0014- FEF7      CMPI     'FF
16          0015- 08        RZC
17          0017- 2C        INC      L
18          0018- E60F      ANDI     '0F
19          001A- FEF7      CMPI     '0F
20          001C- C21000-   JNZ      LOOP2
21          001F- C30400-   JMR      LOOP1
22          0020          .END
---
0002 LOC.  CONT.      M100 ACE REL-ASM V-01A  INIPH ( INPH
0003      .TITLE  INIPH
0004      .REL
0005      0000- 2E81      LDI      H,'81
0006      0002- 2E00      LDI      L,'00
0007      0004- 3E00      LOOP1:  LDI      A,'00
0008      0006- 77        STR      A,M
0009      0007- 7D        MOV      L,A
0010      0008- 2C        INC      L
0011      0009- E60F      ANDI     '0F
0012      000B- FE07      CMPI     '07
0013      000D- C20400-   JNZ      LOOP1
0014      0010- 3E01      LOOP2:  LDI      A,'01
0015      0012- 77        STR      A,M
0016      0013- 7D        MOV      L,A
0017      0014- FEF7      CMPI     'FF
0018      0015- 08        RZC
0019      0017- 2C        INC      L
0020      0018- E60F      ANDI     '0F
0021      001A- FEF7      CMPI     '0F
0022      001C- C21000-   JNZ      LOOP2
0023      001F- C30400-   JMR      LOOP1
0024      0020          .END

```

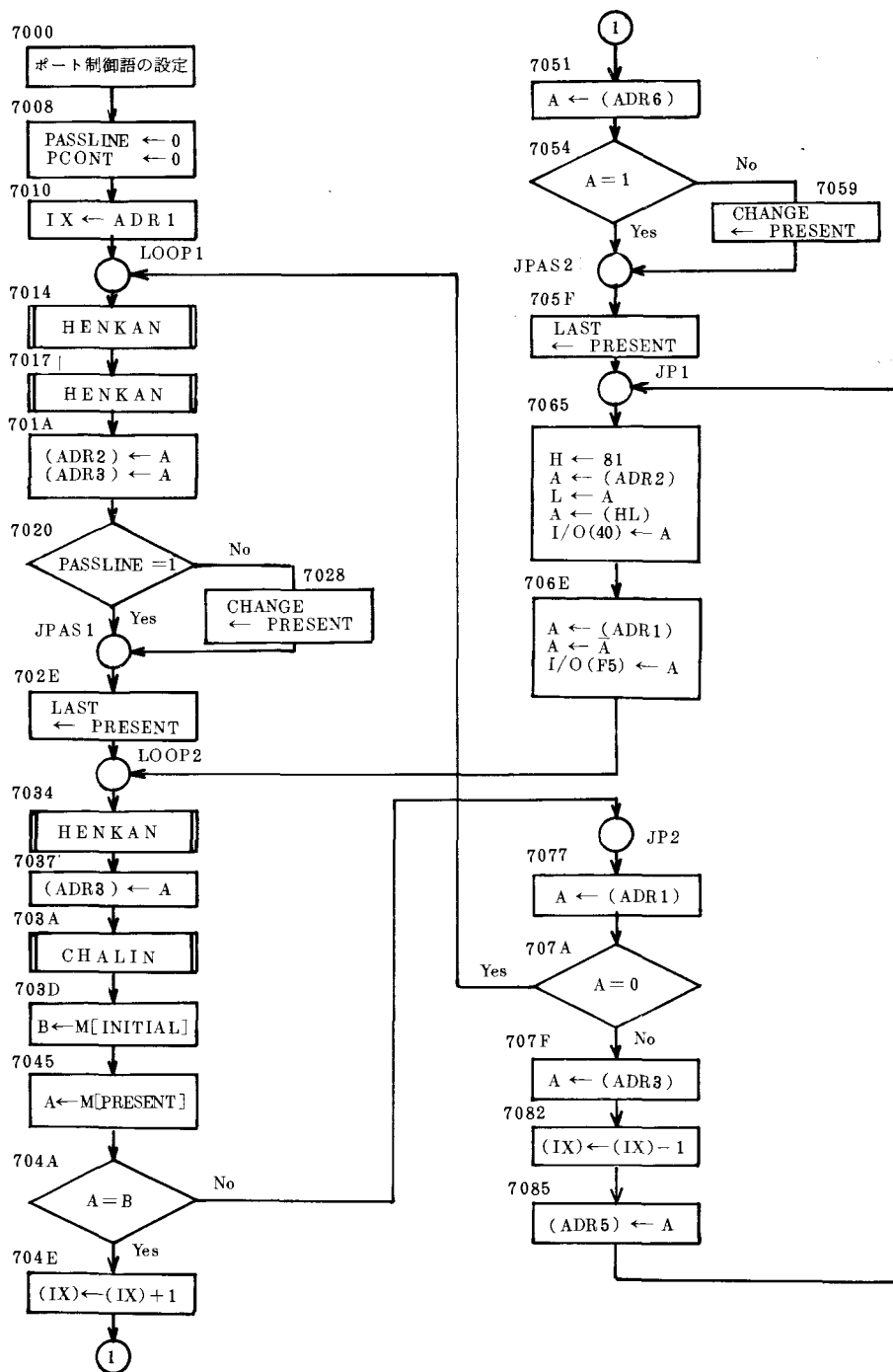


図 7.3 (a) 安定化のメインプログラム

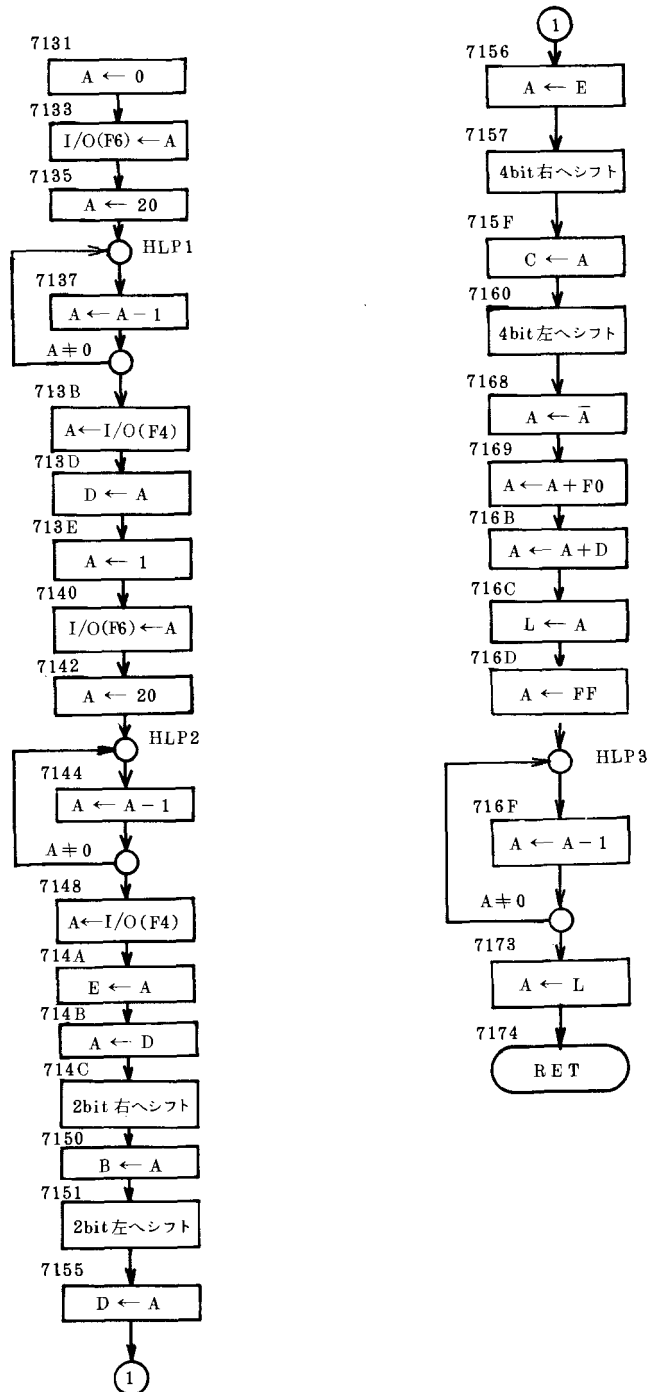


図 7.3 (b) サブルーチン HENKAN

表 7.3 安定化プログラム

0001	LOC.	CONT.	M100	REL-ASH	V-DIA	INVPN	(FPS	0002	LOC.	CONT.	M100	REL-ASH	V-DIA	INVPN	(FPS
01	0000-3E90							01	0053-3A7701-	CONT.					
02	0001-03F7							02	0054-3A7701-						
03	0002-3E90							03	0055-3A7701-						
04	0003-03F7							04	0056-3A7701-						
05	0004-03F7							05	0057-3A7701-						
06	0005-03F7							06	0058-3A7701-						
07	0006-03F7							07	0059-3A7701-						
08	0007-03F7							08	0060-3A7701-						
09	0008-03F7							09	0061-3A7701-						
10	0009-03F7							10	0062-3A7701-						
11	0010-03F7							11	0063-3A7701-						
12	0011-03F7							12	0064-3A7701-						
13	0012-03F7							13	0065-3A7701-						
14	0013-03F7							14	0066-3A7701-						
15	0014-03F7							15	0067-3A7701-						
16	0015-03F7							16	0068-3A7701-						
17	0016-03F7							17	0069-3A7701-						
18	0017-03F7							18	0070-3A7701-						
19	0018-03F7							19	0071-3A7701-						
20	0019-03F7							20	0072-3A7701-						
21	0020-03F7							21	0073-3A7701-						
22	0021-03F7							22	0074-3A7701-						
23	0022-03F7							23	0075-3A7701-						
24	0023-03F7							24	0076-3A7701-						
25	0024-03F7							25	0077-3A7701-						
26	0025-03F7							26	0078-3A7701-						
27	0026-03F7							27	0079-3A7701-						
28	0027-03F7							28	0080-3A7701-						
29	0028-03F7							29	0081-3A7701-						
30	0029-03F7							30	0082-3A7701-						
31	0030-03F7							31	0083-3A7701-						
32	0031-03F7							32	0084-3A7701-						
33	0032-03F7							33	0085-3A7701-						
34	0033-03F7							34	0086-3A7701-						
35	0034-03F7							35	0087-3A7701-						
36	0035-03F7							36	0088-3A7701-						
37	0036-03F7							37	0089-3A7701-						
38	0037-03F7							38	0090-3A7701-						
39	0038-03F7							39	0091-3A7701-						
40	0039-03F7							40	0092-3A7701-						
41	0040-03F7							41	0093-3A7701-						
42	0041-03F7							42	0094-3A7701-						
43	0042-03F7							43	0095-3A7701-						
44	0043-03F7							44	0096-3A7701-						
45	0044-03F7							45	0097-3A7701-						
46	0045-03F7							46	0098-3A7701-						
47	0046-03F7							47	0099-3A7701-						
48	0047-03F7							48	0100-3A7701-						
49	0048-03F7							49	0101-3A7701-						
50	0049-03F7							50	0102-3A7701-						
51	0050-03F7							51	0103-3A7701-						
52	0051-03F7							52	0104-3A7701-						
53	0052-03F7							53	0105-3A7701-						
54	0053-03F7							54	0106-3A7701-						
55	0054-03F7							55	0107-3A7701-						
56	0055-03F7							56	0108-3A7701-						
57	0056-03F7							57	0109-3A7701-						
58	0057-03F7							58	0110-3A7701-						
59	0058-03F7							59	0111-3A7701-						
60	0059-03F7							60	0112-3A7701-						

(表7.8のつづき)

0003 LOC.	CONT.	M100	ACE	REL-ASM	V-01A	INVPN	(FPS)
01	00F9-6F		MOV	A,L			
02	00FA-7E		LDR	A,M			
03	00FB-FE01		CMPI	#01			
04	00FD-C2FE00-		JNZ	CHLPS			
05	0100-3EFF		LDI	A,FEF			
06	0102-85		ADD	A,L			
07	0103-6F		MOV	A,L			
08	0104-C83F		SRL	A			
09	0105-C83F		SRL	A			
10	0106-C83F		SRL	A			
11	010A-C83F		SRL	A			
12	010C-3C		INC	A			
13	010D-47		MOV	A,B			
14	010E-3E01		LDI	A,#01			
15	0110-77		STR	A,M			
16	0111-3EF0		LDI	A,FEF			
17	0113-85		ADD	A,L			
18	0114-6F		MOV	A,L			
19	0115-05		DEC	B			
20	0116-C20E01-		JNZ	CHLPS			
21	0119-C3DE00-		JMP	CHLPS			
22	011C-3A7901-		LDR	ADR5			
23	011F-6F		MOV	A,L			
24	0120-2E81		LDI	A,#91			
25	0122-7E		LDR	A,M			
26	0123-47		MOV	A,B			
27	0124-3A7701-		LDR	ADR5			
28	0127-6F		MOV	A,L			
29	0128-7E		LDR	A,M			
30	0129-B8		CMPI	B			
31	012A-C8		RZC				
32	012B-3E01		LDI	A,#01			
33	012D-327A01-		STR	ADR6			
34	0130-C9		RET				
35	0131-3E00		LDI	A,#00			
36	0133-DSFE		OUT	A,#20			
37	0135-3E20		LDI	A,#20			
38	0137-3D		DEC	A			
39	0138-C25701-		JNZ	HLPI			
40	013B-DBF4		IN	#4			
41	013D-57		MOV	A,D			
42	013E-3E01		LDI	A,#01			
43	0140-DSFE		OUT	A,#B			
44	0142-3E20		LDI	A,#20			
45	0144-3D		DEC	A			
46	0145-C24A01-		JNZ	HLPI			
47	0148-DBF4		IN	#4			
48	014A-5F		MOV	A,B			
49	014B-7A		MOV	D,A			
50	014C-C83F		SRL	A			
51	014E-C83F		SRL	A			
52	0150-47		MOV	A,B			
53	0151-C83F		SRL	A			
54	0153-C83F		SRL	A			
55	0155-57		MOV	A,D			
56	015E-7B		MOV	E,A			
57	0157-C83F		SRL	A			
58	0159-C83F		SRL	A			
59	015E-C83F		SRL	A			
60	015D-C83F		SRL	A			

0004 LOC.	CONT.	M100	ACE	REL-ASM	V-01A	INVPN	(FPS)
01	015F-4F		MOV	A,C			
02	0160-CB27		SLL	A			
03	0162-CB27		SLL	A			
04	0164-CB27		SLL	A			
05	0166-CB27		SLL	A			
06	0168-2F		CMPI	#F0			
07	0169-6EF0		ANDI	D			
08	016B-82		ANDI	D			
09	016D-6F		MOV	A,L			
10	016F-3EFF		LDI	A,FEF			
11	0170-3D		DEC	A			
12	0170-C26F01-		JNZ	HLPS			
13	0173-7D		MOV	L,A			
14	0174-C9		RET				
15	0175-0001		ADRI	#21			
16	0175-0001		ADRI	#21			
17	0177-0001		ADRI	#21			
18	0178-0001		ADRI	#21			
19	0178-0001		ADRI	#21			
20	0178-0001		ADRI	#21			
21	017A-0000		AND				

0005 LOC.	CONT.	M100	ACE	REL-ASM	V-01A	INVPN	(FPS)
01	0175		ADRI	#21			
02	0175		ADRI	#21			
03	0177		ADRI	#21			
04	0178		ADRI	#21			
05	0178		ADRI	#21			
06	017A		ADRI	#21			
07	017A		ADRI	#21			
08	017A		ADRI	#21			
09	017A		ADRI	#21			
10	017A		ADRI	#21			
11	017A		ADRI	#21			
12	017A		ADRI	#21			
13	017A		ADRI	#21			
14	017A		ADRI	#21			
15	017A		ADRI	#21			
16	017A		ADRI	#21			
17	017A		ADRI	#21			
18	017A		ADRI	#21			
19	017A		ADRI	#21			
20	017A		ADRI	#21			
21	017A		ADRI	#21			

; POINT
 ; INITIAL
 ; PRESENT
 ; CHANGE
 ; LAST
 ; PASS LINE
 ; 1つ目の時刻の座標
 ; 1つ目の時刻の座標
 ; 1つ目の時刻の座標

7.3 安定化実験

安定化実験の手順は、次のようである。

- (i) 角度・角速度のディスプレイ表示のプログラム PHS0 (表 5.1) により、倒立振子が平衡状態になったとき表示位置が画面の中央に来るように倒立振子を取り付ける。
- (ii) 角度・角速度の可変抵抗を設定したい倍率になるように調整する。
- (iii) 切換線の初期設定プログラム INPH (表 7.2) の実行後、安定化プログラム FP5 (表 7.3) を実行させる。
- (iv) 制御状態を、角度、角速度、D/A 変換器のアナログ出力をリニアコーダマーク III WTR331 (渡辺測器) により記録する。

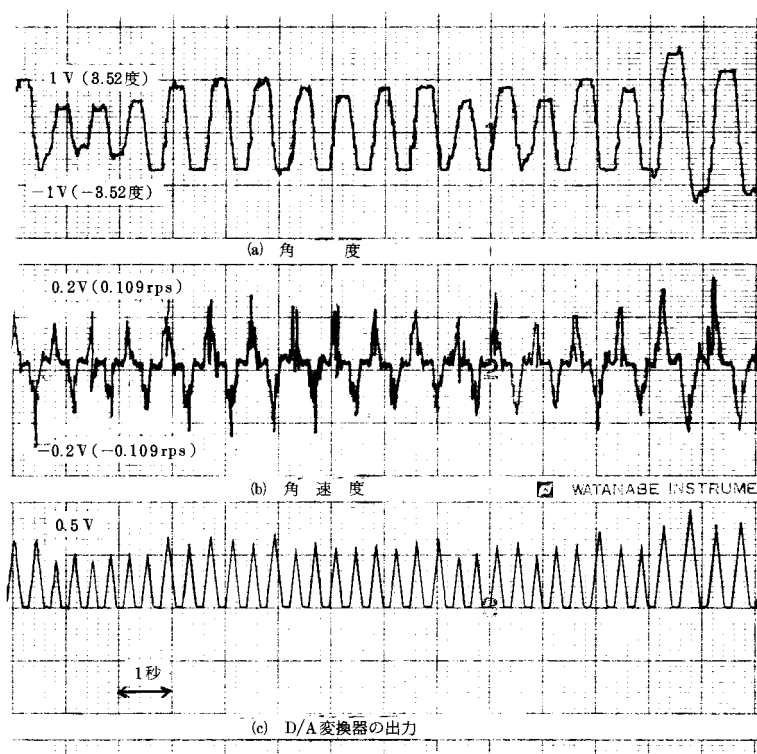


図 7.4 最大傾き角 17.6 度 (倍率 10.2), 最大瞬間回転数 2.72 rps (倍率 101 倍)

- (v) プログラム実行をやめた後、位相平面に対応させたメモリをプリンターにより記録する。その結果と、表 3.4 のプログラムより求めた理論切換線とを比較する。

図 7.4 は、角度の倍率 10.2 倍すなわち最大傾き角 16.6 度、角速度の倍率 101 倍すなわち最大瞬間回転数 2.72 rps としたときの角度、角速度、D/A 変換器の出力の記録である。これから、台車の加速度は 424.1 cm/s^2 であることがわかる。

ADR5	-00	-01	-02	-03	-04	-05	-06	-07	-08	-09	-0A	-0B	-0C	-0D	-0E	-0F
S1:00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:10	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:20	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:30	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:40	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:50	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:60	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:70	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:80	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:90	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:A0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:B0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:C0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:D0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:E0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01
S1:F0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	01	01	01	01	01	01	01

理論
切換
線

図 7.5 最大傾き角 17.6 度、最大瞬間回転数 2.72 rps のときの位相平面に対応するメモリと理論切換線

転数0.165 rps としたときの、角度、角速度、D/A変換器の出力の記録である。

図 7.9 は、その変更されたメモリと理論切換線である。

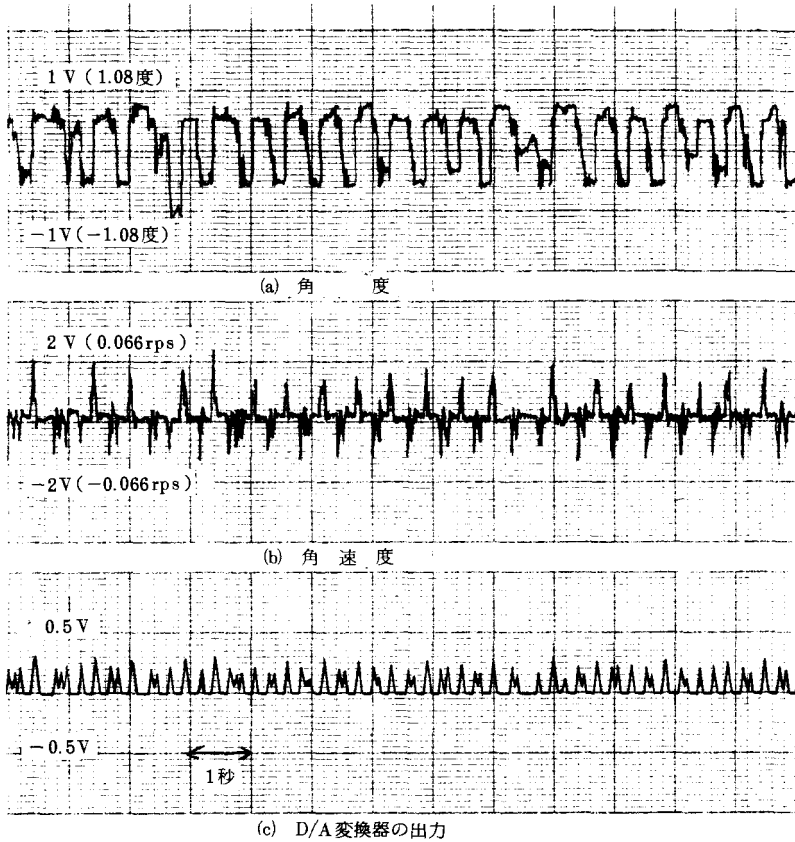


図 7.8 最大傾き角5.4度(倍率33.3倍), 最大瞬間回転数0.165 rps (倍率 1.7×10^3 倍)

理論切換線

ADRS	-00-01-02-03-04-05-06-07-08-09-0A-0B-0C-0D-0E-0F
B100	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B110	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B120	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B130	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B140	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B150	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B160	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B170	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B180	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B190	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1A0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1B0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1C0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1D0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1E0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
B1F0	00 00 00 00 00 00 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01

図 7.9 最大傾き角5.4度, 最大瞬間回転数0.165 rps のときの
位相平面に対応するメモリと理論切換線

§ 8 結 言

倒立振子の安定化のためのマイクロコンピュータ制御の有用性を確認できた。しかし、ハードウェアは当初考えていたものとはかなり違ったものになった。まず、台車の制御のためパルスモータを用いたが、パルスモータの特性として回転数の制御のためのパルスの周波数の制限がかなり強いので、必要とする回転数で駆動することが、カウンターと分周回路を用いた回路では、不可能であるとわかった。次にマイコンキットCRC-80を用いてソフトウェアで行うことを試みたが、これも一定加速を得るための直線性に問題があることが判明した。そこでD/AコンバータとV/Fコンバータを組み合わせることを行った。その結果、やっと所要の直線性を得ることができた。ここで、どの位の時間でどのくらいの回転数まで上げるかを知ることが必要である。そのために安定化のシミュレーションを使用した。

センサーは角度センサーとして最初は光センサーを用いることを考えたが、光センサーは外光が入らないようにすることが必要であるので、ポテンショメータを採用した。

また、角速度センサーはタコジェネレータを用いることを考えたが、普通の小型DCモータを用いた。しかしこのままでは出力電圧が脈動するので、フィルターによりその高周波成分を除く。しかし、DCモータはブラシによる摩擦力がかなり大きく、この点に改良の余地がある。

マイクロコンピュータとしてSORD M100 ACEⅢを用いたが、これはソフト開発は容易であるが、機械に組み込むには不向きである。このような目的には、マイコンキット(たとえばCRC-80)が向いている。したがって、プログラム開発はSORD M100 ACEⅢで行ない、そのプログラムをP-ROMライターでP-ROMに書き込み、マイコンキットで制御するようにすればよい。また、もっと複雑で高度な制御をするには、割り込み処理を含んだ、オペレーティングシステムが必要である。

また、本研究を通じてマイクロコンピュータを機械に組み込んで計測・制御をするにはそれに適したセンサーの開発や制御機構のアイデアが重要であることの認識を新たにした。

最後に、実験装置の製作において、卒研生川光実(河村電線)、八塚孝義(三和シャッター工業)、勘場史康(東京芝浦電気)、小早川幸一(三和シャッター工業)の諸君の協力を得た。

また、本研究において、インタフェース回路について相談に乗って頂いた計算機室員町田勝吉氏、センサーについて御意見を頂いた電気工学科助手山崎勉氏、リニアコードマークⅢをお借りした電気工学科教授奥本宏三氏の諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 下山 勲: 学習による倒立振子の安定化
- 2) ソード電算機: SORD M100 ACEⅢ, Nハードウェアの解説
- 3) 北川一雄: オペアンプIC実験と工作マニュアル, オーム社
- 4) 長橋芳行: A-D/D-A変換回路の設計, CQ出版社
- 5) 松波龍一: ミュージックシンセサイザーの設計(その3), RAM 1979年 第5号, 広済堂出版
- 6) 中村政伸: S-100バス設計マニュアル(続) ASCII, Vol.1, 1977
- 7) オリエンタルサービス: オリエンタルモータ技術資料ステッピングモータ編[1], [2]
- 8) DATEL: DATA ACQUISITION COMPONENT HANDBOOK
- 9) ソード電算機: ソード・ホーム・コントロール・コンピュータ M100 シリーズ, M100ソフトウェア, ハードウェアのすべて M100 BASIC解説書
- 10) 藤田□河野: マイクロコンピュータの計測・制御への応用についての指導方法の一研究, 呉工業高等専門学校, 1980
- 11) ソード電算機: MICROCOMPUTER M200 mark SERIES
- 12) ソード電算機: HOME CONTROL COMPUTER M100 ACE SERIES

(昭和56年10月15日受付)

矩形波電源による低圧ナトリウムランプの特性

(電気工学科) 原 田 一 彦

Characteristics of Low Pressure Sodium Lamp by the Rectangular Wave Source

Kazuhiko HARADA

Low pressure sodium lamp has the highest luminous efficacy in artificial light sources and also has very good transmittance, so that it is often used as lighting for traffic.

In this report, we compare the characteristics of low pressure sodium lamp by the rectangular wave source with those by the sine wave source.

The following results were obtained;

- (1) The starting time of the rectangular wave source was about 1.5 minutes earlier than that of the sine one.
- (2) At both sources the luminous efficacy got the highest value at 100V, however, it went down above or below 100V. And as for the lowering of efficacy, the rectangular one's was a little bigger than the sine one's.
- (3) When frequency became lower than the rated one at the rated voltage, both sources had almost no changes of luminous flux and efficacy. On the contrary, when it became higher, the rectangular one showed a big lowering in comparison with the sine one. At 65Hz we got 1.8% lowering of luminous flux and 3.0% lowering of efficacy.

§ 1 緒 言

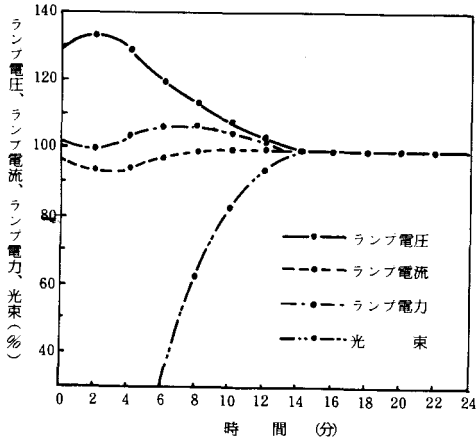
省エネルギー照明対策として、従来から使用されていた光源の高効率光源への交換、低損失の安定器の開発、効率とともに演色性も改善された各種光源の開発などの努力がなされている。なかでも、低圧ナトリウムランプは、D線の発光だけであるから演色性に問題があるが、人工光源では最高の効率であるので、道路やトンネルの照明としてよく使用されている。むしろ、このランプは交通照明用として、前記のはかに、煙霧中の透過率が大い、明暗の対比が良い、視感度が非常に高い、色収差がないなどの特長¹⁾を考えれば、最適の光源といえる。したがって、このランプの利用は、今後とも増加することが予想される。

さきに、数種の蛍光ランプを矩形波電源で点灯したときの特性を、正弦波電源による場合と比較した²⁾、今回は、低圧ナトリウムランプについて、蛍光ランプのときと同様に2種の波形の電源で特性を測定し、比較検討を加えた。

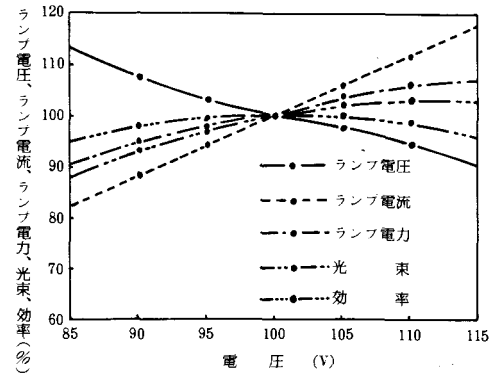
§ 2 実 験

供試ランプは、NX55で、表1はJIS C 7610-1974による定格である。

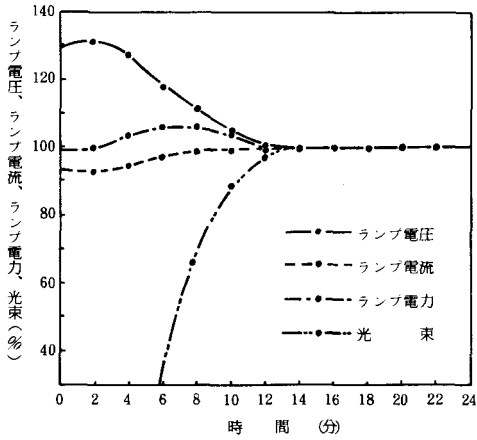
使用安定器は、100V、60Hz用漏れ変圧器形である。



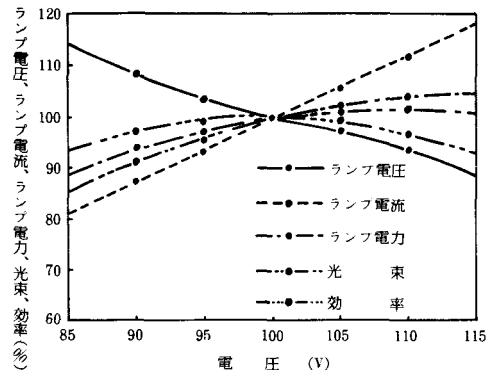
(a) 正弦波電源



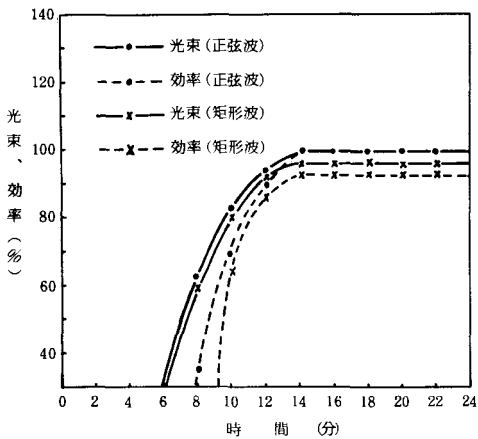
(a) 正弦波電源



(b) 矩形波電源

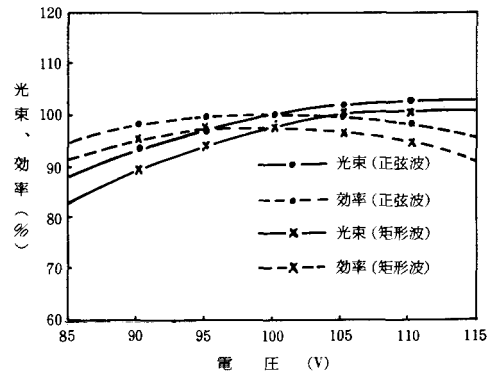


(b) 矩形波電源



(c) 正弦波電源と矩形波電源の比較

図1 低圧ナトリウムランプの始動特性



(c) 正弦波電源と矩形波電源の比較

図2 低圧ナトリウムランプの電圧特性

表1 低圧ナトリウムランプの定格

形 式	大きさ(W)	寸 法 (mm)		ラ ン プ 電 圧 (V)	ラ ン プ 電 流 (A)	全 光 束 標準値(ℓ_m)	ラ ン プ 効 率(ℓ_m/W)	平均寿命 (h)
		外 管 径	長 さ					
NX 55	58	51	415	105	0.59	7,600	131	9,000

供試ランプを矩形波と正弦波の電源で点灯し、始動特性、電圧特性($\pm 15V$)、および、周波数を定格の $\pm 5Hz$ 変化させたときの光束、効率の変化を測定した。

§ 3 結果および吟味

(1) 始動特性

図1は、電源を定格の100V、60Hzの一定にしたときの始動特性である。図(a)と(b)を比較してわかるように、矩形波電源で点灯すると始動時間が約1.5分短くなっているほかは、始動特性としての諸量の変化の傾向は大差ない。これより、波形は、始動特性にあまり影響を与えないことがわかる。

正弦波電源で、100Vのときの光束と効率を100%として、矩形波電源の場合と比較したのが図(c)である。これによると矩形波のときに、光束が約3.5%、効率も5.0%程度低下している。これは、安定器のインピーダンスが波形により増加したのが原因と考えられる。

(2) 電圧特性

電源電圧を定格電圧から $\pm 15V$ 変化させたときの諸量の変化を示した電圧特性が図2(a), (b)である。変化の傾向は、始動特性と同様でほぼ同じであるが、諸量の変化の割合は、矩形波電源の場合が若干大きい。また、図(c)は、図1(c)と同様に正弦波の定格電圧における光束と効率を100%として、矩形波による場合と比較したものである。効率は、どちらの場合も定格電圧のときに最高値を示し、その前後では悪くなっている。矩形波では、安定器のインピーダンスの影響で光束、効率ともに低く、平均して前者が2.5%、後者が4.2%下っている。しかし、蛍光ランプの場合に比べると、その差は、かなり小さい。したがって、電圧特性も波形の影響はわずかであるといえる。

(3) 周波数特性

図3は、電圧を定格の100Vにした状態で周波数を $\pm 5Hz$ 変化させたときの光束と効率の変化を示したものである。この場合も、正弦波で定格の60Hzにおける光束と効率をそれぞれ100%とした。これによると、周波数が低いところでは光束、効率ともに低下は殆どみられない。しかし、周波数が定格より高くなると、ことに、矩形波では低下が大きく、65Hzでは光束は1.8%、効率は3.0%低下した。蛍光ランプの場合も、本実験の周波数の範囲内では変化が小さかった。

なお、低圧ナトリウムランプの分光分布は、D線だけであるから演色性は対象とならないので、この変化については実験を省略した。

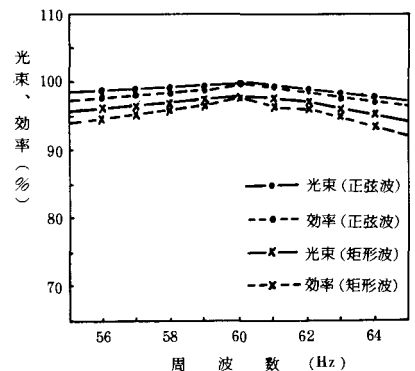


図3 低圧ナトリウムランプの周波数と光束、効率の関係

§ 4 結 言

低圧ナトリウムランプを、矩形波と正弦波の電源で点灯し諸特性を比較した。始動時間は、矩形波の方が約1.5分短かったが、光束、効率の電圧特性および周波数特性は、ともに数%程度の低下であっ

た。前回の蛍光ランプのような大きな変化はなく、波形による影響は少ないことがわかった。

今回の使用安定器は、漏れ変圧器形であったが、機会があれば、進相形安定器および電子回路安定器でも検討したい。

参 考 文 献

- 1) 合田：照明学会誌 VOL. 51 第6号(昭和42年)
- 2) 原田：呉高専研究報告 VOL. 16 第1号(昭和55年)

(昭和56年10月15日受付)

不規則データ処理における Log-Mean と Mean-Log の差に関する統計的一考察

(電気工学科) 廣 光 清次郎
(広大・工) 太 田 光 雄

A Statistical Consideration of the Difference between Log-Mean and Mean-Log for Random Data Processing

(Dept. Elec. Engrg.) Seijiro HIROMITSU
(Hiroshima Univ.) Mitsuo OHTA

The acoustic data analysis procedures at various installations differ in the intervals at which readings are converted from volts squared to decibels. There has been much speculation as to what would be the decibel difference between the results obtained for the same data, and the difference between the log of the mean and the mean of the logs. In this study, the difference has been treated as a random variable and its probability density function has been also derived in special reference to a study of the intensity fluctuation of statistical sample data. The fact that the theoretical probability expression reported here includes the result given by R. L. Hershey clarifies the legitimacy of the present study.

§ 1 まえがき

不規則データの平均値を求める時、データの平均値を対数で表わした量 (Log-Mean) と、あらかじめ対数表示されたデータの平均値 (Mean-Log) との差がしばしば問題となる¹⁻⁵⁾。この Log-Mean と Mean-Log との差を不規則変動波とみなし、それを一般的観点から普遍的姿で解析しておけば、この種の統計処理における危惧を容易に解消することができる。

一般に、時間の経過とともに刻々と変化する不規則変動波の統計的研究においては、工学的要求に従って実在するその不規則さの多様な諸側面のうちどのような側面に強く着目するかによって、種々異なる研究方法が考えられるが、特に次に示す二つの対照的な方法に分類できよう。

その一つは、まず不規則変動波の瞬時値に着目し、その不規則変動における時間的経過には目を伏せて変動のすべてを一つのレベル軸に投影し、この軸上における確率集合としての変動分布を取扱う方法である。他の一つは、結果的な瞬時レベル値の一次元集合よりはむしろ変動の時間的経過の方にまず考察の焦点を置き、不規則な揺らぎの時間的激しさを量的に反映させようとする方法である。前者が結果的な不規則変動そのものを静的に時間的空間において並列的な確率集合として取り扱うのに対し、後者は時間軸上での経起の序列に注目して少しでも動的な運動として捉えようとしている。この後者の時間的経起の概念を数学的に定量化するには、通常の“微係数”、統計の意味では“推移確率”や“相関関数”なる量が用いられることは周知の事実であるが、動的な解析方法自身の中にも高次微係数や高次の非線

形相関をいかに配慮するかにより、時間的経起の反映にも程度の差が生じてくる⁶⁾。

本研究においては、後者の見地に立ちながら、多種多様な一次及び高次相関を持つ極めて一般的見地から、Log-MeanとMean-Logの差を一つの時間的不規則変動波とみなし、平均・分散のみならず高次の積率情報もすべて含む確率密度関数の姿で主に理論的立場から解析しようとするものであり、事前に人為的拘束を導入していないため現実には我々が遭遇する現象の複雑さに充分耐えうるものであると考えられる。

§ 2 歴史的背景

一般に音響データのみならず広範な統計的信号処理分野において、ある不規則データ集合の平均値の対数 (Log-Mean) と、個々のデータの対数の平均値 (Mean-Log) の差が問題となることがしばしばあり、この問題に対して既に様々な研究が進められている。

この問題に対する最初の数量的解析は、H. CoxによるLog-MeanとMean-Logの差の最大限度の解析であろう¹⁾。彼は、差の値は最悪の場合最大値と最小値の比 (K) に比例して増加するという事実を示し、測定値に変動範囲を定めれば、その差 (幾何平均と算術平均の比、 F) の最大限度はデータ数に独立であるとして次式を導出した。

$$\frac{\log K}{K-1} K^{\frac{1}{\log K} - \frac{1}{K-1}} \leq F \leq 1 \quad (1)$$

そして K のあまり極端でない値に対しては、差の最悪値が数 dBであることを示した。

また、S. Mitchellはこの問題を不規則変動に対する統計的研究としてとらえ、その強度及びデシベル分布の平均を求めている²⁾。彼はその分布の変動率がやや小さい場合に着目し、異なる4つの分布に対し平均値の算定を行っている。

これらに対して、R. Hersheyは各サンプル値が比較的鋭いガウス分布特性を示す場合の小標本数の問題について解析し⁴⁾、Log-MeanとMean-Logの差について平均、分散を求め、実際の統計的信頼区間を定めた。そして、差の確率密度関数表示については、容易に見出される特性関数表示より χ^2 分布に関係することに気付いてはいるが、その陽表示を求めることは数値的にのみ可能であろうと推測している。しかし、確率密度関数の陽表示はより一般的な姿で導出することが可能であり、本研究の具体的な目標もそこにある。

一方、久野らは対象とする不規則過程を、等間隔・等パワーモデルに従う直線状交通流からの道路交通騒音に限定して、Log-MeanとMean-Logの差の統計的性質について論じている⁵⁾。即ち、その差は道路端からの距離 d と車頭間隔 S の関数として与えられることを示した。一方、高木らは交通流を指数分布モデルと考えた場合について検討している⁷⁾。

§ 3 問題の定式化

本研究の目的は、前節でも述べたように、R. Hersheyによる理論⁴⁾の中で不可能と示唆されたLog-MeanとMean-Logの差の確率密度関数の陽表示の導出を試みることである。考察対象とする騒音計など音響測定装置からの出力 y_i は、装置に固有な平均化時間 (騒音計の時定数など) で平滑された電圧の実効値とする。合成騒音の計算においては、騒音エネルギーの加算原理より、 y_i の平均を求めてからデシベル値に変換するのが正しい。しかし、計算処理の簡便さからデシベル値のデータを直接平均して利用することもしばしば行われている。公知のように、デシベル値の平均は常に平均値のデシベル値より等しいか小さい。従って下に定義するデシベル値における差 ϕ は常に非負である。

$$\phi = 10 \log \left(\frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_k}{k} \right) - \frac{10 \log y_1 + 10 \log y_2 + \cdots + 10 \log y_k}{k} \quad (2)$$

ϕ は y_i の相加平均と幾何平均の比の対数に比例し、一般に y_i の値が広範囲に変動していれば ϕ は大きくなり、すべての y_i が同一であれば明らかに $\phi = 0$ となる。

次に y_i の平均値まわりの変動として、不規則変数 x_i を次のように定義する。

$$x_i = y_i - \mu \quad (i=1, 2, \dots, k) \quad (3)$$

ここに、 $\mu = \langle y_i \rangle$, $\langle x_i \rangle = 0$, $\langle (x_i - \bar{x})^2 \rangle = \sigma^2$ とおく (μ : 母平均, σ : 母標準偏差, \bar{x} : 標本平均)。(3)式を(2)式に代入すると次式を得る。

$$\begin{aligned} \phi &= 10 \log \left(\frac{\mu + x_1 + \mu + x_2 + \cdots + \mu + x_k}{k} \right) - \frac{10 \log(\mu + x_1) + 10 \log(\mu + x_2) + \cdots + 10 \log(\mu + x_k)}{k} \\ &= 10 \log \left[1 + \frac{1}{\mu k} \sum_{i=1}^k x_i \right] - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k 10 \log \left[1 + \frac{x_i}{\mu} \right] \\ &= 4.34 \left\{ \ln \left[1 + \frac{1}{\mu k} \sum_{i=1}^k x_i \right] - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \ln \left[1 + \frac{x_i}{\mu} \right] \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

さて、 $\ln(1+\alpha)$ の級数展開は公知のように、

$$\ln(1+\alpha) = \alpha - \frac{\alpha^2}{2} + \frac{\alpha^3}{3} - \frac{\alpha^4}{4} + \cdots \quad (\alpha^2 < 1) \quad (5)$$

であるから、もし、変動率 $C=(\sigma/\mu) \leq 1/4$ 程度の不規則過程を考察対象とすると、 $x_i/\mu \geq 1/2$ になる確率は 2σ 法の精神に従って 0.05 程度となり、この程度の誤差を許して(5)式を、

$$\ln(1+\alpha) \approx \alpha - \frac{\alpha^2}{2} \quad (6)$$

と近似しよう。このとき、(4)式は次式となる。

$$\begin{aligned} \phi &\approx \frac{4.34}{\mu k} \left[\sum_{i=1}^k x_i - \frac{1}{2\mu k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x_i x_j - \sum_{i=1}^k x_i + \frac{1}{2\mu} \sum_{i=1}^k x_i^2 \right] \\ &= \frac{4.34}{2\mu^2 k} \left[\sum_{i=1}^k x_i^2 - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k x_i x_j \right] \\ &= \frac{4.34}{2\mu^2 k} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{m})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

ここに、

$$\bar{m} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i \quad (8)$$

は標本平均であり、従って ϕ は分散推定値に比例する⁸⁾。R. Hershey は、(7)式より ϕ の平均、分散を導出しているが、それには次の仮定を導入する必要があった：(1)各標本 y_i は定常過程からとった実効値電圧であり、実効値演算に伴い十分な平滑化がされていること——これは、中央極限定理より y_i の確率密度関数がガウス分布へ漸近することを示す。また、(2)各標本 y_i は互に他と統計的に独立であること——これは実際の装置において第 1 近似的にしばしば認められる。上記(1)の仮定は音響信号のような非

ガウス性の強い場合、実際の問題を起すであろう。また(2)の仮定は ϕ 自身の算定式(8)式の中に \bar{m} すなわち標本平均を含むので数学的な意味からも一層問題であろう。本研究において、我々はより一般的な立場から(1)、(2)の仮定を除去し、次式を考察対象に置く。

$$E = \sum_{i=1}^k z_i^2 \quad (11)$$

ただし、

$$\phi = \lambda E, \quad \lambda = \frac{4.34}{2\mu^2 k}, \quad z_i = x_i - \bar{m} \quad (12)$$

ここに、各標本 z_i 間には多様な線形相関や高次の非線形相関があってもよく、また非ガウスの任意分布形状を示してもよいものとする。この問題は従って本研究の Log-Mean と Mean-Log の差の他に、パワー、エネルギーなどの一般非負不規則過程の研究の一ケースと見ることができる⁹⁾。

§ 4 一般不規則信号の自乗和に関する確率密度関数表示

k 個の時点、 $t_i (i=1, 2, \dots, k)$ における標本値 z_i をとり、(11)式で表わされる自乗和に関する確率密度関数表示を求める一般の問題に着目しよう。それには、Lévy の連続定理と反転公式に基づき、次の E に関する積率母関数表示：

$$m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ t \sum_{i=1}^k z_i^2 \right\} P(z_1, z_2, \dots, z_k) dz_1 dz_2 \dots dz_k \quad (13)$$

から解析を始めるのが有効である。上式における z_i の多変量結合確率密度関数 $P(z_1, z_2, \dots, z_k)$ としては、目的に応じて様々な分布表示を導入することができるが、ここでは、R. Hershey の研究を拡張しようとの立場から、ガウス分布を初項としてもつ次の統計的エルミート展開型表示を採用しよう¹⁰⁾。

$$P(z_1, z_2, \dots, z_k) = \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp \left\{ -\frac{z_i^2}{2\sigma_i^2} \right\} \cdot \left\{ 1 + \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k \neq 0} A(n_1, n_2, \dots, n_k) \prod_{i=1}^k H_{n_i} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) \right\} \quad (14)$$

ここに、 $\sigma_i^2 = \langle z_i^2 \rangle, \langle z_i \rangle = 0$ とし、展開係数は次式で与えられる。

$$A(n_1, n_2, \dots, n_k) = \left\langle \prod_{i=1}^k \frac{1}{n_i!} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) \right\rangle \quad (15)$$

$$A(0, 0, \dots, 0, \overset{i}{1}, 0, \dots, 0) = A(0, 0, \dots, 0, \overset{i}{2}, 0, \dots, 0) = 0 \text{ (for all } i) \quad (16)$$

ただし、 $H_n(\quad)$ は公知のエルミートの多項式で次の定義に従った¹¹⁾。

$$H_n(z) = (-1)^n \exp \left(\frac{z^2}{2} \right) \frac{d^n}{dz^n} \left\{ \exp \left(-\frac{z^2}{2} \right) \right\} \quad (17)$$

(13)式に(14)式を代入し整理すると次式が得られる。

$$m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp \left\{ t z_i^2 - \frac{z_i^2}{2\sigma_i^2} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k} \left\langle \prod_{i=1}^k \frac{1}{n_i!} H_{n_i} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) \right\rangle \prod_{i=1}^k H_{n_i} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) dz_1 dz_2 \cdots dz_k \\
 &= \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k} \left\langle \prod_{i=1}^k \frac{1}{n_i!} H_{n_i} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) \right\rangle \\
 & \cdot \prod_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ tz_i^2 - \frac{z_i^2}{2\sigma_i^2} \right\} H_{n_i} \left(\frac{z_i}{\sigma_i} \right) dz_i
 \end{aligned} \tag{18}$$

上式の積分項を I_{n_i} とおき、変数変換：

$$\left. \begin{aligned} t \sigma_i^2 &= t' \\ \frac{z_i}{\sigma_i} &= y \\ \frac{1}{2}(1-2t') &= B \end{aligned} \right\} \tag{19}$$

を施すと次式を得る。

$$I_{n_i} = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-B^2 y^2) H_{n_i}(y) dy \tag{20}$$

上式において、エルミートの多項式の対称性より I_{n_i} は n_i が偶数のときのみ non-zero の値をもつことがわかる。よってまず(17)式を用いて(20)式を、

$$I_{n_i} = (-1)^{n_i} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ \left(\frac{1}{2} - B^2 \right) y^2 \right\} \frac{d^{n_i}}{dy^{n_i}} \exp \left\{ -\frac{y^2}{2} \right\} dy \tag{21}$$

と書き改め、一回部分積分をすると次式を得る。

$$\begin{aligned}
 I_{n_i} &= (-1)^{n_i-1} (1-2B^2) \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-B^2 y^2) y \cdot \exp \left(\frac{y^2}{2} \right) \frac{d^{n_i-1}}{dy^{n_i-1}} \exp \left(-\frac{y^2}{2} \right) dy \\
 &= (1-2B^2) \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-B^2 y^2) y H_{n_i-1}(y) dy
 \end{aligned} \tag{22}$$

一方、エルミートの各項式の漸化関係¹¹⁾：

$$y H_{n_i-1}(y) = H_{n_i}(y) + (n_i-1) H_{n_i-2}(y) \tag{23}$$

を(22)式に利用すると、 I_{n_i} は結局次式となる。

$$\begin{aligned}
 I_{n_i} &= \left(\frac{1-2B^2}{2B^2} \right) (n_i-1) I_{n_i-2} \\
 &= \left(\sqrt{\frac{1-2B^2}{B^2}} \right)^{n_i} \frac{n_i-1}{2} \frac{n_i-3}{2} \cdots \frac{3}{2} \frac{1}{2} I_0
 \end{aligned} \tag{24}$$

ここで公知のガンマ関数の性質：

$$\Gamma(n+1) = n!, \quad \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \tag{25}$$

および、

$$I_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-B^2 y^2) dy = \sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{1}{2B^2}} \quad (26)$$

を利用すると、(24)式は次式に帰着する。

$$I_{n_i} = \left(\sqrt{1-2B^2}\right)^{n_i} \left(\frac{1}{B}\right)^{n_i+1} \Gamma\left(\frac{n_i+1}{2}\right) \quad (27)$$

さらに(19)および(27)式より各変量 z_i ごとに次の関係が見出される。

$$\frac{I_{n_i}}{\sqrt{2\pi}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{(2\sqrt{t'})^{n_i}}{(\sqrt{1-2t'})^{n_i+1}} \Gamma\left(\frac{n_i+1}{2}\right) \quad (28)$$

さて、積率母関数(18)式において変数変換： $y_i = z_i/\sigma_i$ を行った後、置換 $S_i = 2\sigma_i^2$ のもとに(24)式を代入すると E に関する次の展開型積率母関数表示を得る。

$$m(t) = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\sqrt{1-tS_i}} \left\{ \sum_{n_1, n_2, \dots, n_k} A(n_1, n_2, \dots, n_k) \left(\frac{1}{\sqrt{\pi}}\right)^k \cdot (\sqrt{2})^{n_1+n_2+\dots+n_k} \Gamma\left(\frac{n_1+1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n_2+1}{2}\right) \dots \Gamma\left(\frac{n_k+1}{2}\right) \prod_{i=1}^k \left(\sqrt{\frac{S_i t}{1-S_i t}}\right)^{n_i} \right\} \quad (29)$$

対象とする不規則信号波 z_i の定常性を仮定することにより、すべての i について $S_i = S$ とおくと、上式は次式となる。

$$m(t) = \int_0^\infty e^{tE} P(E) dE \\ = \frac{1}{(1-St)^m} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^\infty D_n \left(\frac{St}{1-St}\right)^n \right\} \quad (30)$$

ただし、

$$D_n = \sum_{n=\frac{1}{2}(n_1+n_2+\dots+n_k)} A(n_1, n_2, \dots, n_k) \left(\frac{1}{\pi}\right)^m \cdot 2^n \Gamma\left(\frac{n_1+1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{n_2+1}{2}\right) \dots \Gamma\left(\frac{n_k+1}{2}\right), \quad m = \frac{k}{2} \quad (31)$$

である。以上により、 E に対する確率密度関数 $P(E)$ の算出は、一種の積分方程式(30)式を解くことに帰着される。

ここで、ラゲール陪多項式に関するカーソン積分公式¹¹⁾：

$$\int_0^\infty e^{-pt} L_n^{(\alpha)}(t) dt = \frac{\Gamma(n+\alpha+1)}{n!} \frac{1}{p^{\alpha+1}} \left(\frac{p-1}{p}\right)^n \quad (32)$$

において、 $p=1-St$ 、 $\alpha+1=m$ 、 $t=E/S$ の変数変換を施し整理すると次の関係が得られる。

$$\left(\frac{St}{1-St}\right)^n = (1-St)^m \int_0^\infty e^{tE} \left\{ \frac{n!}{\Gamma(n+m)} e^{-E/S} \frac{E^{m-1}}{S^m} L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) \right\} dE \quad (33)$$

これを(30)式に代入すると次式が得られる。

$$m(t) = \int_0^\infty e^{tE} P(E) dE$$

$$= \int_0^\infty e^{uS} \sum_{n=0}^\infty D_n \left\{ \frac{n!}{\Gamma(n+m)} e^{-E/S} \frac{E^{n-1}}{S^n} L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) \right\} dE \quad (34)$$

結局、積分方程式の解 $P(E)$ は、(34)式より次の展開型一般表示で与えられることがわかる。

$$P(E) = \frac{E^{m-1}}{\Gamma(m)S^m} e^{-E/S} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^\infty B_n L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) \right\} \quad (35)$$

$$B_n = \frac{(-1)^n n! \Gamma(m)}{\Gamma(m+n)} D_n \quad (36)$$

以上により、(11)式で与えられる自乗和の確率分布関数が、初項に公知のガンマ分布をもつ統計的ラグール展開の一般表示で与えられることがわかった。

§ 5 Log-Mean と Mean-Log の差 ϕ の確率密度関数表示

本節での主要な目的は § 4 の結果を § 3 で の 定式化に 関連付けることである。すなわち、本研究の直接の動機からすれば、不規則信号波の自乗和 E に関する一般的議論より、Log-Mean と Mean-Log の差 ϕ に関する分布における研究が重要である。確率の保測変換⁸⁾：

$$P(\phi) = P(E) \left| \frac{dE}{d\phi} \right| = \frac{1}{\lambda} P(E) \Big|_{E=\phi/\lambda} \quad (37)$$

に(35)式の結果を適用して簡単に次の表示が得られる。

$$P(\phi) = \frac{\phi^{m-1}}{\Gamma(m)(\lambda S)^m} e^{-\phi/\lambda S} \left\{ \sum_{n=0}^\infty B_n L_n^{(m-1)}\left(\frac{\phi}{\lambda S}\right) \right\} \quad (38)$$

次の問題は(38)式中の展開係数 B_n を具体化することである。 B_n は D_n と、 D_n は $A(n_1, n_2, \dots, n_k)$ と、それぞれ(36)、(31)式で結び付けられており、従って、 $A(n_1, n_2, \dots, n_k)$ を与える(15)式の評価に連なる。ここで(31)式の各 n_i に関する条件：

$$D_n \begin{cases} \neq 0, & \text{for all even } n; \\ = 0, & \text{for all odd } n; \end{cases} \quad (39)$$

に注意しなければならない。

今特に、R. Hershey の解析の線に沿って各 x_i (従って(12)式を通して z_i) に次の仮定を置くものとする。

$$\langle x_i \rangle = 0, \quad \langle x_i^2 \rangle = \sigma^2, \quad \langle x_i x_j \rangle = 0 \quad (i \neq j) \quad (40)$$

よって、

$$\langle z_i \rangle = \langle x_i - \bar{m} \rangle = 0 \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \sigma_i^2 &= \langle (x_i - \bar{m})^2 \rangle = \langle x_i^2 \rangle - 2\langle \bar{m} x_i \rangle + \langle \bar{m}^2 \rangle \\ &= \langle x_i^2 \rangle - \frac{2}{k} \sum_{j=1}^k \langle x_i x_j \rangle \\ &\quad + \frac{1}{k^2} \sum_{r_1+r_2+\dots+r_k=2} \left(\frac{2!}{r_1! r_2! \dots r_k!} \langle x_1^{r_1} x_2^{r_2} \dots x_k^{r_k} \rangle \right) \\ &= \sigma^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right) \end{aligned} \quad (42)$$

なる関係が得られ、これは R. Hershey の結果⁴⁾と一致している。

次に、 ϕ に一般確率密度表示(38)式における展開係数 B_n 又は(31), (36)式で与えられる D_n を具体化することが重要である。通常、ある不規則変数の確率密度関数が規定されれば、その平均・分散はもちろん、高次の積率もすべて決定される。 E に関する p 次の積率は、公知のように、その確率密度関数 $P(E)$ と次の関係で結び付けられる。

$$\langle E^p \rangle = \int_0^\infty E^p P(E) dE \quad (43)$$

上式の $P(E)$ に(35)式を代入して $\langle E^p \rangle$ を具体化するのである。一般に、ある正の実数 u のべき乗 u^p はラゲールの陪多項式を用いて次のように展開表示される。

$$\left. \begin{aligned} u &= m - L_1^{(m-1)}(u) \\ u^2 &= 2! L_2^{(m-1)}(u) - 2!(m+1) L_1^{(m-1)}(u) + m(m+1) L_0^{(m-1)}(u) \\ u^3 &= 3! L_3^{(m-1)}(u) + 6(m+2) L_2^{(m-1)}(u) - 3(m+1)(m+2) L_1^{(m-1)}(u) \\ &\quad + m(m+1)(m+2) L_0^{(m-1)}(u) \\ u^4 &= 4! L_4^{(m-1)}(u) - 24(m+3) L_3^{(m-1)}(u) + 12(m+2)(m+3) L_2^{(m-1)}(u) \\ &\quad - 4(m+1)(m+2)(m+3) L_1^{(m-1)}(u) + m(m+1)(m+2)(m+3) L_0^{(m-1)}(u) \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

特に、 $L_0^{(m-1)}(u)=1$ である。さらにラゲールの陪多項式は次の直交関係を満す¹¹⁾。

$$\begin{aligned} &\int_0^\infty e^{-u} u^{m-1} L_n^{(m-1)}(u) L_{n'}^{(m-1)}(u) du \\ &= \int_0^\infty e^{-E/S} \left(\frac{E}{S}\right)^{m-1} L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) L_{n'}^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) d\left(\frac{E}{S}\right) = \begin{cases} 0, & n \neq n' \\ \frac{\Gamma(m+n)}{n!}, & n=n' \end{cases} \end{aligned} \quad (45)$$

(43)式で $p=1$ の場合、

$$\begin{aligned} \langle E \rangle &= \int_0^\infty E P(E) dE = \int_0^\infty S^2 \left(\frac{E}{S}\right) P(E) d\left(\frac{E}{S}\right) \\ &= \int_0^\infty S^2 \left[m L_0^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) - L_1^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) \right] \\ &\quad \cdot \frac{E^{m-1}}{\Gamma(m) S^m} e^{-E/S} \sum_{n=0}^\infty B_n L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) d\left(\frac{E}{S}\right) \\ &= \frac{mS}{\Gamma(m)} \Gamma(m) = mS \quad (B_0=1) \end{aligned} \quad (46)$$

が得られこれが E の平均に他ならない。

次に $p=2$ の場合、

$$\begin{aligned} \langle E^2 \rangle &= \int_0^\infty E^2 P(E) dE = \int_0^\infty S^3 \left(\frac{E}{S}\right)^2 P(E) d\left(\frac{E}{S}\right) \\ &= \int_0^\infty S^3 \left[2! L_2^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) - 2!(m+1) L_1^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) + m(m+1) L_0^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) \right] \\ &\quad \cdot \frac{E^{m-1}}{\Gamma(m) S^m} e^{-E/S} \sum_{n=0}^\infty B_n L_n^{(m-1)}\left(\frac{E}{S}\right) d\left(\frac{E}{S}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{S^2}{\Gamma(m)} \left[2! B_2 \frac{\Gamma(m+2)}{2!} + m(m+1) B_0 \Gamma(m) \right] \\
 &= S^2 m(m+1)(1+B_2)
 \end{aligned} \tag{47}$$

が得られ、これが E の原点まわりの 2 次積率である。従って、 E の分散 σ_E^2 は次式となる。

$$\begin{aligned}
 \sigma_E^2 &= \langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2 \\
 &= mS^2 + m(m+1)S^2 B_2
 \end{aligned} \tag{48}$$

以下、同様に E に関する任意次数の積率も求まる。

さて、 ϕ と E とは (12) 式で直接結びつくので、その平均 μ_ϕ と分散 σ_ϕ^2 はそれぞれ次のようにして求まる。

$$\mu_\phi = \langle \phi \rangle = \lambda \langle E \rangle = \lambda m S \tag{49}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_\phi^2 &= \langle \phi^2 \rangle - \langle \phi \rangle^2 \\
 &= \lambda^2 [\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2] \\
 &= \lambda^2 [mS^2 + m(m+1)S^2 B_2]
 \end{aligned} \tag{50}$$

今特に μ_ϕ に着目し、(42) 式の結果より、

$$m = k/2, \quad S = 2\sigma^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right) \tag{51}$$

であることに注意すると、

$$\begin{aligned}
 \mu_\phi &= \lambda k \sigma^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right) \\
 &= 2.17 C^2 \left(1 - \frac{1}{k} \right), \quad (C = \sigma/\mu)
 \end{aligned} \tag{52}$$

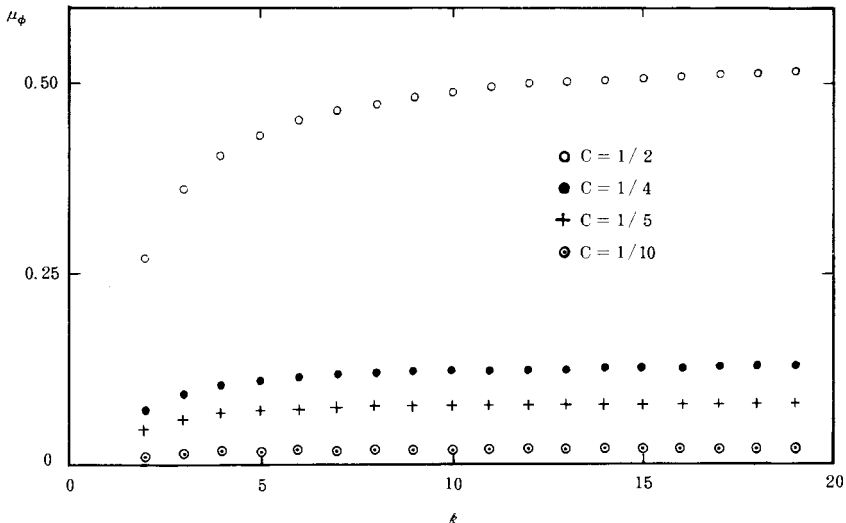


図1 Log-Mean と Mean-Log の差の平均: μ_ϕ

となり, R. Hershey の得た結果と完全に一致しており, 理論の範囲内においても Log-Mean と Mean-Log の差 ϕ に関する確率密度関数表示(38)式の正当性の一端を示すものである。

さらに, 標本数 k が無限大の場合

$$\mu_s \approx 2.17C^2 \quad (53)$$

に漸近することは注目すべき事実である。変動率 C をパラメータにとり, 標本数 k に対する(52)式の μ_s を示したのが図 1 である。

§ 6 あとがき

本研究では, Log-Mean と Mean-Log の差を, 多種多様な一次および高次の相関をもちかつ非ガウスの任意分布特性を示す一般的な不規則変数と見なし, 平均・分散のみならず, 高次の統計情報もすべて含む確率密度関数の姿で主に理論的立場から考察した。即ち, R. Hershey の解析における仮定のいくつかをとり除くことにより, 事前の人為的拘束の導入をできるだけ避けており, また, R. Hershey が陽表示不可能と断定した一般の場合の確率密度関数表示をも導出したものである。そして, 結果の表示は, R. Hershey によって既発表の結果をその第 1 近似(展開初項)として含むものとなっており, 本手法の正当性を理論の範囲でも裏付けられるものとなっている。

本研究に多大の援助を頂いた広大・工山口静馬・畠山一達氏ならびに井上豊氏(7期生)に深謝の意を表する。

文 献

- 1) H. Cox: *Journal of Acoustical Society of America*, **39** (1966).
- 2) S. Mitchell: *ibid.*, **41** (1967).
- 3) I. Dyer: *ibid.*, **48** (1970).
- 4) R. L. Hershey: *ibid.*, **51** (1972).
- 5) 久野, 池谷: 日本音響学会講演論文集(1974, 春季).
- 6) 太田他: 日本音響学会誌, **30** (1974).
- 7) 高木他: 日本音響学会講演論文集(1974, 春季).
- 8) 宮沢: 近代数理統計学通論, 共立出版(1969).
- 9) 太田, 山口: 応用物理, **39** (1970).
- 10) M. Ohta and S. Hiromitsu: *Theoretical and Applied Mechanics*, Vol. 23, ed., Japan National Committee for Theoretical Applied Mechanics Science Council of Japan, Univ. Tokyo Press (1975).
- 11) 森口他: 数学公式Ⅲ, 岩波書店(1956).

(昭和56年10月15日受付)

ビーム生成プラズマの電子エネルギー分布

(電気工学科) 山 崎 勉

Electron Energy Distribution in a Beam-produced Plasma

Tsutomu YAMAZAKI

The electron energy distributions in a electron-beam sustained plasma are calculated by solving the stationary degradation equation. Applying the purely inelastic approximation to the high-energy electrons, and the effect of collisions between electrons and elastic collisions with atoms are taken into account at low-energy region. Obtained distributions are consist of two groups, high-energy primary and low-energy secondary electrons. Using these distributions, ionization frequency and the percentage power losses to various collisional processes in argon are predicted as a function of the beam energy and the electron density.

1. まえがき

従来, 気体レーザは主として放電陽光柱プラズマがその励起に利用されてきた。その最もよく知られたものにヘリウムネオンレーザがある。しかし, 最近になって同じ放電でも負グローを用いたホローカソードレーザが開発され, より多種の気体を用いたレーザ励起が可能となった¹⁾。また, エキシマレーザに代表されるような真空紫外域でのレーザ光を得るための電子ビーム励起レーザの研究も進んできている²⁾。

ところで, 陽光柱プラズマでは電子が陽光柱内の電界により加速されエネルギーを得て, 電子エネルギー分布関数の高エネルギー部に達し励起や電離を行ない放電が維持される。一方, 負グローや電子ビーム励起のプラズマ内では外部からの電界等は存在しないので陽光柱の場合とは異なった励起機構によりプラズマが維持される。プラズマは, その中に入射してくるビーム成分により維持されるので電子エネルギー分布は, 陽光柱プラズマとは非常に異なった形になる。

本報告は, このような電子ビーム生成プラズマ内の電子にボルツマン方程式を適用して電子エネルギー分布関数を求め, その分布の特徴について検討した。次に, 求まったエネルギー分布を用いて, 電離周波数やエネルギーの流れ等を計算した。

2. 基本式の導出

プラズマ内に入射した電子ビームは各種の衝突の結果そのエネルギーを失う。そして, ある定常分布を形成している。その時, 電離によって発生した二次電子と衝突後散乱された一次電子は, 電子エネルギー分布 $f(u)$ を構成し, それは次の式を満足する³⁾。

$$\frac{\partial f}{\partial t}_{el} + \frac{\partial f}{\partial t}_{ex} + \frac{\partial f}{\partial t}_i + \frac{\partial f}{\partial t}_{e-e} + \frac{\partial f}{\partial t}_s = 0 \quad (1)$$

上式の左辺第一項は弾性衝突を示し次の形で表わされる。

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_e = \frac{\delta}{\sqrt{u}} \frac{d}{du} \left[N_g Q_e u^2 \left(f + \epsilon_g \frac{df}{du} \right) \right]$$

ここで、 δ は損失係数、 N_g, ϵ_g は気体分子密度と気体温度を示す。また Q_e は電子と気体分子の衝突による運動量変換断面積である。この項は、 δ が小さいため電子エネルギーの変化量がきわめて小さい。次に(1)式第二項は励起衝突の項である。

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{ex} = \sum_j (N_g Q_j (u+u_j) f(u+u_j) \sqrt{u+u_j} - N_g Q_j(u) f(u) \sqrt{u})$$

電子は j 準位への励起エネルギー u_j を分子に与え気体分子を励起し、電子自身はそれだけエネルギーを失う。衝突後、電子がなお励起に十分なエネルギーを持つ場合には、再び励起衝突する事ができる。入射電子ビームは励起エネルギーに比べ十分大きなエネルギーを持っているので、エネルギーが小さくなるまで電子が失なわれないでプラズマ内にいるとすると、多数回の励起衝突を行ないうる。上式の第一項は衝突の結果エネルギー u を持つ電子数を示し、第二項はエネルギー u を持つ電子が励起衝突により u より低いエネルギーの電子となる数を示す。 $Q_j(u)$ は、 j 準位への励起衝突断面積である。

(1)式の第三項は、電離の項である⁴⁾。

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_i &= N_g \int_{u+u_i}^{2u+u_i} \sqrt{z} f(z) q_i(z, z-u-u_i) dz \\ &\quad + N_g \int_{2u+u_i}^{u_B} \sqrt{z} f(z) q_i(z, u) dz - N_g Q_i(u) f(u) \sqrt{u} \end{aligned}$$

電離衝突では新しく電子が発生する。上式の右辺第一項は、衝突した一次電子を表わし、第二項が電離で発生した二次電子を表わしている。第三項は、衝突後エネルギー u の所から失われていく電子を表わす。電離した二次電子と衝突した一次電子の持つエネルギーをそれぞれ u と u' とし、衝突前に一次電子の持っていたエネルギーを z とすると次の関係が成立する。

$$u' = z - u - u_i$$

ここで u_i は電離エネルギーである。上式の右辺第一項および第二項に含まれる $q_i(z, u)$ は電離の微断面積であり、二次電子のエネルギー分布を与え、次の形で表わされる⁵⁾。

$$q_i(z, u) = \frac{Q_i(z)}{\epsilon \tan^{-1} \frac{z-u_i}{2\epsilon}} \frac{1}{1 + \left(\frac{u}{\epsilon}\right)^2}$$

ただし $Q_i(z)$ は全電離断面積である。また、二次電子の持つエネルギーは衝突後の一次電子のもつエネルギーより小さいとした。上式の ϵ は二次電子のエネルギー分布の形を与えるパラメータである。

(1)式第四項は、電子間の衝突を表わし、次の形を用いた⁶⁾。

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{e-e} = \frac{3\nu_{ee}}{\sqrt{u}} \frac{d}{du} \left(f + u_e \frac{df}{du} \right)$$

ここで、 u_e は平均エネルギーに $(2/3)$ を掛けた値である。 N_e を電子密度とすると ν_{ee} は次式で表わされる。

$$\nu_{ee} = \frac{e^2 N_e}{24\pi \epsilon_0^2} \ln \left(12\pi \left(\frac{\epsilon_0 u_e}{e} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{N_e}} \right)$$

e 素電荷, π 円周率, ϵ_0 真空の誘電率である。このような電子間衝突の近似式は, 電子の大多数が低エネルギー部に存在し, 高エネルギー部にほとんど存在しない場合よい近似となる。

最後に(1)式第五項は, 入射電子ビーム成分を表わす。電子ビームはプラズマ内に均一に存在し, 単位体積内に単位時間について一定の割合で入射する。

$$\left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_s = S_0 f_B(u)$$

S_0 は入射ビーム強度を示し, $f_B(u)$ はそのエネルギー分布を表わす。これは, 次のように仮定した。

$$f_B(u) = \begin{cases} 1/\Delta & u_B - \Delta \leq u \leq u_B \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases}$$

入射ビームの最大エネルギーを u_B とし, その広がりを Δ とする長方形分布で表わされている。

以上をまとめると(1)式は次のような差分項を含む二階微分方程式で表わされる。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{u}} \frac{d}{du} \left[\delta N_g Q_d u^2 \left(f + \epsilon_g \frac{df}{du} \right) + 3\nu_{ee} \left(f + u_e \frac{df}{du} \right) \right] \\ & + \sum_j N_g (Q_j(u+u_j) f(u+u_j) \sqrt{u+u_j} - Q_j(u) f(u) \sqrt{u}) \\ & + N_g \left[\int_{u+u_j}^{2u+u_j} \sqrt{z} f(z) q_i(z, z-u-u_j) dz + \int_{2u+u_j}^{u_B} \sqrt{z} f(z) q_i(z, u) dz \right] \\ & - N_g Q_i(u) f(u) \sqrt{u} + S_0 f_B(u) = 0 \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

3. 電子エネルギー分布の計算

まず計算を簡単にするためつぎの仮定をする。電子エネルギーが電離エネルギーより大きい領域では, 非弾性衝突が主であって弾性衝突や電子電子衝突は無視できる。その結果この領域での解は次式で与えられる。

$$\phi(u) = \frac{\sum_j Q_j(u+u_j) \phi(u+u_j) + \left(S_0 / N_g \right) f_B(u)}{\sum_j Q_j(u) + Q_i(u)} + \frac{\int_{u+u_j}^{2u+u_j} \phi(z) q_i(z, z-u-u_j) dz + \int_{2u+u_j}^{u_B} \phi(z) q_i(z, u) dz}{\sum_j Q_j(u) + Q_i(u)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし $\phi(u) = \sqrt{u} f(u)$ である。

(3)式は, $f_B(u)$ を与えると, 電子エネルギー $u = u_B$ の所から u の低い方向に逐次求める事により解が完全に求まる。エネルギーが低い領域では, (3)式の解を用いて差分項を求め, (2)式の微分方程式を Runge-Kutta-Nyström 法を用いて解いた。ただしこの計算には u_e が知られている必要があるので, 初めに適当な値を仮定しておいて計算をすすめ, 得られた結果から再び u_e を求め, u_e の値が変化しなくなるまでくり返し計算を行なった。各くり返しの段階で, 電子エネルギー分布は規格化した値を用いた。つまり次式を満足させた。

$$\int_0^{u_B} f(u) \sqrt{u} du = \int_0^{u_B} \phi(u) du = 1$$

数値計算はアルゴンガスについて行なった。アルゴンの各衝突断面積を次に示す。まず運動量変換断面積は、弾性衝突の断面積と電子-イオンの衝突を主として考えた。また、非弾性衝突による運動量変換断面積への寄与が不明であり、衝突断面積の不確定な部分があるので、電子エネルギーが100eV以下までは R. B. Brode 氏のを用い⁷⁾、それ以上のエネルギーに対しては、それを延長した形で用いた。式で示すと次のようになる。単位はÅ²。

$$Q_e(u) = \begin{cases} 23.13u & 0 < u < 10 \text{ (eV)} \\ 23.13 & 10 < u < 13 \\ 180/u^{0.8} & 13 < u < 49 \\ 38/u^{0.4} & 49 < u \end{cases}$$

これを図示したのが図1である。低エネルギー部で直線的に増加しているのは、ラムズアウワー効果を示している。次に電離や励起は基底準位にある原子からのもののみ考えた。また、簡単のため励起や電離はすべて衝突断面積の形は次の関数形を用いた。

$$Q_i(u) = Q_j^m \frac{u - u_j}{u_m - u_j} \exp\left(\frac{u_m - u}{u_m - u_j}\right)$$

電離断面積は、Rapp 氏⁸⁾らの測定結果を参考にした。励起準位としては主な準位のみ考慮し、6つの項の形で表わした⁹⁾(j=1, …6)その準位および、 Q_j^m, u_m, u_j の値を表1に示す。また、図2に電離断面積と非弾性衝突の衝突断面積の総和を示す。これを見ると電離断面積が非常に大きい事がわかる(実線)。100eV付近で全衝突断面積と電離断面積が共に最大値をとる事がわかる。

計算に用いた他の条件は次のようである。ガス温度 $\epsilon_g = 0.026$ (eV), 密度 $N_g = 3.54 \times 10^{22}$ (m⁻³)は一定とする。ビーム成分の広がり幅 $\Delta = 3$ eV。微分断面積 q_i のパラメータ $\epsilon = 0.2$ (z

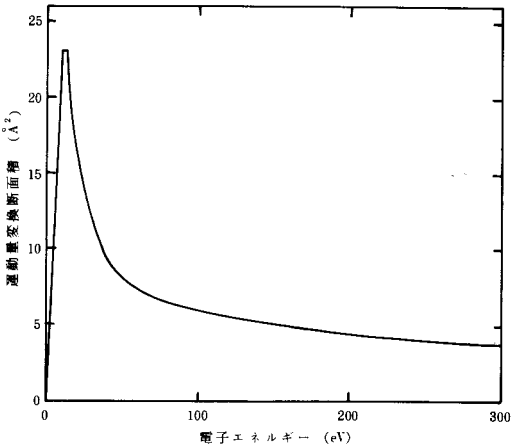


図1 アルゴンの運動量変換断面積のエネルギー依存性

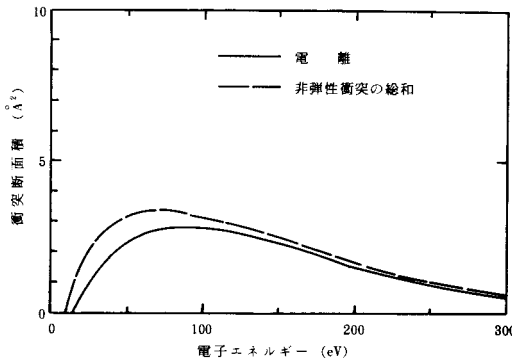


図2 非弾性衝突の衝突断面積と電離断面積のエネルギー依存性

表1 励起、電離の衝突断面積の係数

準位 (j)	Q_j^m (Å ²)	u_m (eV)	u_j (eV)
電離	2.87	90.0	15.76
$4s'(^3P_2, ^3P_0)$	0.174	23.6	11.55
$4s(^3P_1)$	0.078	46.9	11.62
$4s'(^1P_1)$	0.336	44.2	11.85
$4s$	0.567	2.2	12.89
$3d$	0.121	58.5	13.76
$3d'$	0.163	53.8	14.20

— u_i)とし、一次電子のエネルギー(z)により変化するようにした。実験によると⁵⁾, $\varepsilon=10$ 付近ではほとんど入射電子のエネルギーに依存しないと考えられるが、本計算では電離断面積の近似が悪いのでそれを補うため上記のようにした。以上の条件から、 $N_e/N_g, S_0/N_g, u_B$ をパラメータとして電子エネルギー分布関数を求める事ができる。しかし、本計算ではくり返し計算をするたびに規格化を行なっているので、 S_0/N_g は(8)式において初期条件を与えるだけである。その結果、実際には N_e/N_g と u_B によって電子エネルギー分布が決定される。

図3に $u_B=300\text{V}$, $N_e/N_g=7\times 10^{-4}$ の時の計算結果を示す。入射電子ビームエネルギー(u_B)付近に長方形で分布しているのがビーム成分である。10eV付近で最大値をとり電子エネルギーの増加とともに分布は減少してゆく。入射ビームエネルギーの半分程度の所で極小値となり、その後は電子エネルギーの増加とともに少しずつ大きくなる。電子エネルギーが、 $u=u_B-u_i$ 付近で再び極大値をとり、その後減少して $u=u_B-u_i$ の最大値(u_i が第一励起エネルギーの時)の所を過ぎると、電子のまったく存在しない領域になっている。

プラズマ内に均一に存在する電子ビームは非弾性衝突の結果、エネルギーを失う。励起衝突の場合散乱された一次電子の持つエネルギーは、 u_B-u_i である。電離の場合には、散乱電子の持つエネルギーには幅があり、その最大値は u_B-u_i である。そして、この場合電離により二次電子が低エネルギー部に発生する。図2の衝突断面積を見てわかるようにアルゴンの場合電離が大きな割合を占めている。その結果100eV付近より大きいところでは、ほとんど電離衝突によって一次電子のエネルギーは失われて行く。高エネルギー部で電子数はビームエネルギーの所で最大値を持ち、それより低いエネルギーでは、電子数はビームエネルギーの所程は多くない。

これは、ビーム成分の一部が衝突により低エネルギー部へ移動してくる結果、その部分の電子分布がつくられる。そして、再び衝突してより低い所での電子分布を構成する事になるからである。この事は、高エネルギー部、 u_B の近くに電子分布の極大値が存在する事も説明してくれる。一方、電離した二次電子の持つエネルギーは比較的小さく、微分断面積 q_i からわかるように二次電子の半分以上は $\varepsilon=0.2(z-u_i)$ 以下のエネルギーしかもたない。また、二次電子の持つ最大エネルギーは $(u_B-u_i)/2$ である。二次電子の数は、高エネルギー部に存在する一次電子の数よりはるかに多い。これは、一つの一次電子は相当多数の電離衝突が可能である事と電離で発生した二次電子のいくらかもなお電離に十分なエネルギーを持つものがいくらかあるため、それらが再び二次電子を発生する結果、

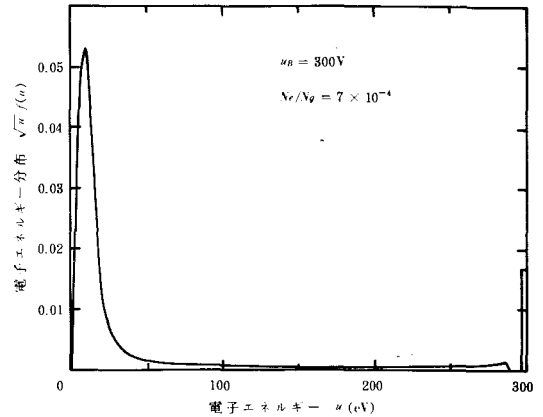


図3 電子エネルギー分布の典型的一例

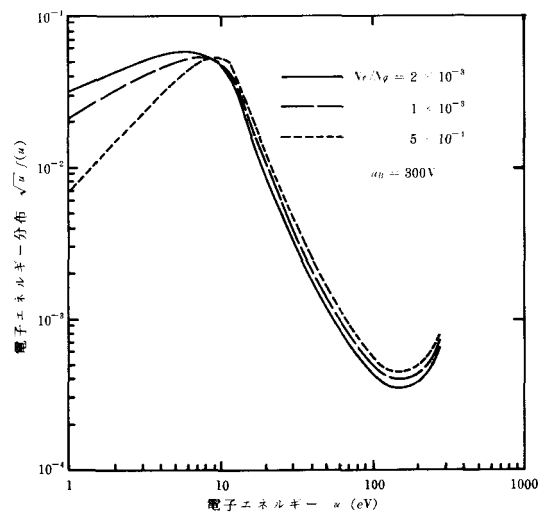


図4 電子エネルギー分布に及ぼす電子-電子衝突項の効果

二次電子の数は非常に多くなる。この事は図3において、 $u < u_B/2$ の所で電子分布が大きくなる事で示されている。なお、電子ビーム成分が方形のままで変化がない理由として、弾性衝突を無視している事と、非弾性衝突の衝突断面積がほぼ一定となっているため方形の分布が一定の割合で削られたためと考えられる。

電子エネルギー分布の形は、 u_B や N_e/N_g の変化に対し、特に目立った変化は見られない。いずれにしても次のような特徴が常に見られる。(1)入射ビームのすぐ下のエネルギーでは電子は存在しない。(2)高エネルギー部に極大値を持ち、ビームエネルギーの約半分の所で極小となる。(3)低エネルギー部は二次電子と非弾性衝突でエネルギーを使い果たした電子で構成され、その分布は約10eV付近で最大値となり、この部が電子のほとんどを占めている。

図4に N_e/N_g を変えた時の結果を示す。電子密度が減少すると、低エネルギー部(特に10eV以下の部分)の分布の減少がみられ、それに相当する電子数が高エネルギー部に現われる。これは、電子密度が大きい場合には電子電子衝突により電子分布が平均化され、マクスウェル分布に近づこうとするためである。(低エネルギー電子の増加と高エネルギー電子の減少)

図5に N_e/N_g を一定として u_B を変化させた結果を示す。 u_B が大きくなると高エネルギー部での極大値が大きくなり、その位置の高エネルギー側に移動している。そして、極小値はより高エネルギー側で起るがその値は小さくなっている。一方、低エネルギー部の最大値は小さく幅広くなってゆき、最大値となる電子エネルギーは、 u_B の増加とともに減少してゆく。

4. 衝突周波数等の計算結果と検討

電子ビーム生成プラズマの維持に重要な電離周波数を図6に示す。電子密度が低い場合、ビームエネルギーが増すと電離周波数が減少している。電子密度が高い場合には、電子ビームエネルギーが増加すると、ある値の所で最大値を持ちその後減少している。また、同一のビームエネルギーでは、密度が低い方が電離周波数は大きくなっている。

これは、電離断面積が100eV付近に最大値を持つ事に由来している。電子ビームのエネルギーが増すと電子エネルギー分布は高エネルギー側、特にビームエネルギー付近の電子が増加する。これらの領域では、衝突断面積がエネルギーの増加とともに減少してゆくため、一次電子の発生数が減少し、電離周波数は減少する。また、

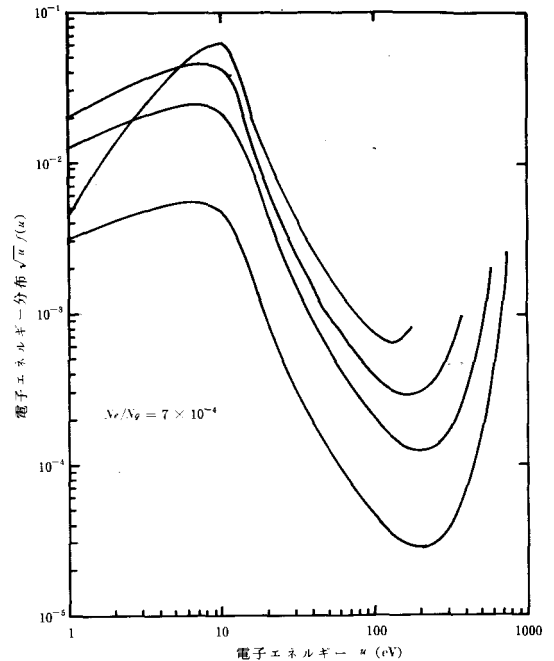


図5 電子エネルギー分布のビームエネルギーによる変化 $u_B = 200, 400, 600, 800$ (V)

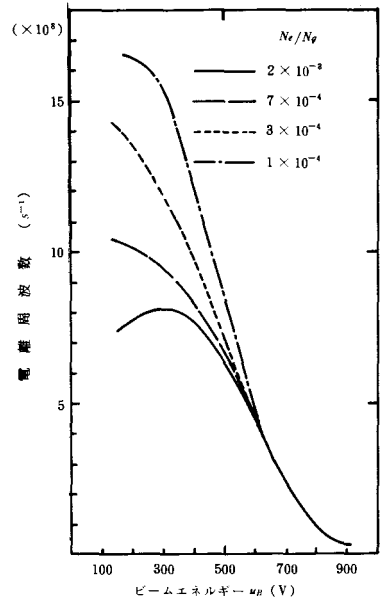


図6 電子衝突電離周波数

衝突断面積の最大値付近の電子分布が減少する事も図4, 図5からわかる。電子密度の増加に対する電離周波数の減少についても同様の事が考えられる。また, 同じような事が, 他の励起周波数についても考えられる。

次に弾性衝突について考える。図7にその衝突周波数を示す。電子密度が大きい場合にはビームエネルギーの増加とともに衝突数も増加している。一方, 密度が低い場合には, ビームエネルギーのある値で極小となり, それより大きい所, 小さい所ともに衝突周波数は増加している。ビームエネルギーの大きい方では, 密度の低い場合と高い場合とは一致してきている。ビームエネルギーの低い所で電子密度の低い場合, 極小値の現われる理由はラムズアウ効果によると考えられる。これは, 電子エネルギーが10eV以下で, 弾性衝突が極端に減少する事により発生し, この付近の電子エネルギー分布のようすが重要となる。そこで, この低エネルギー部に存在する, 分布が最大値となる電子エネルギー(最大確率エネルギー)を図8に示す。最大値が10eV以下の所で発生する場合には衝突周波数が小さくなっているのがわかる。この事からもラムズアウ効果による事が確かめられる。

次にプラズマの消滅機構に重要と考えられる解離再結合の電子衝突周波数を図9に示す。ただし, 分

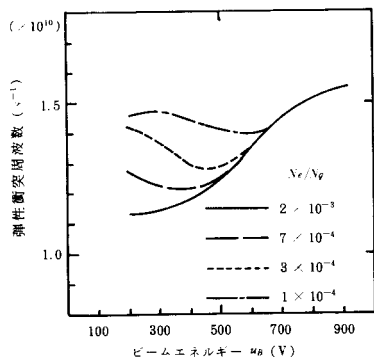


図7 弾性衝突周波数

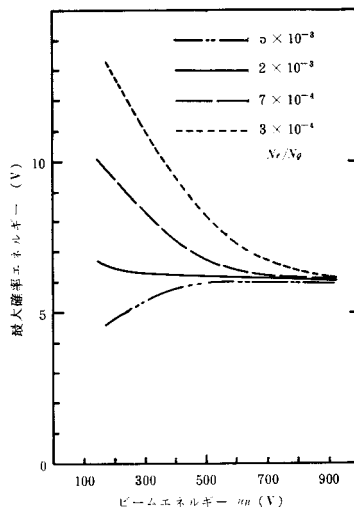


図8 最大確率エネルギーの値

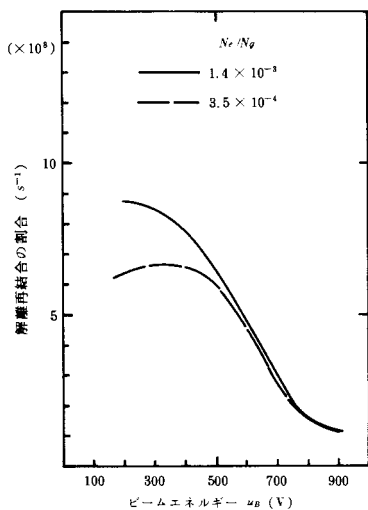


図9 解離再結合の割合とビームエネルギーの関係

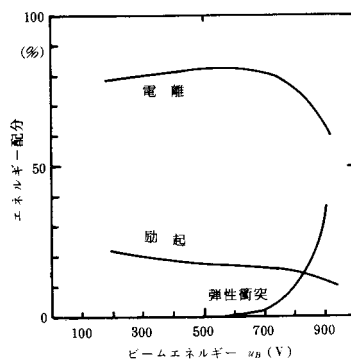


図10 各衝突過程へのエネルギー分配とビームエネルギーの関係

子イオンの密度は、中性原子密度と等しい場合の計算である(実際の周波数は、(分子イオン密度/中性原子密度)を掛けねばならない)。計算に用いた衝突断面積は次の式を用いた²⁾。

$$Q_r(u) = 12.5/u \quad (\text{\AA}^2 \cdot \text{eV})$$

電離周波数の場合と同様に、 u_B の増加に対し減少している。しかし、電子密度の増加に対しても増加している点は、電離周波数の場合と大きく異なる点である。これは、衝突断面積の電子エネルギー依存性と最大確率エネルギー(図8)とから考える事ができる。つまり、低エネルギー側の電子が多い程、または最大確率エネルギーが小さい程、再結合は多くなる。

最後に各衝突過程へのビームエネルギーの分配の割合を図10に示す。衝突断面積(図2)から想像されるように、電離衝突へのエネルギー消費が最も大きく約80%を占めている。弾性衝突へは非常に少ないが、ビームエネルギーが700Vを越えた付近から急激に増加している。これらの結果は、電子-電子衝突の影響を受けない。700V付近から、非弾性衝突項が減少する理由は、電離周波数の減少する理由と一致している(図6参照)。これは、電子エネルギーの増加とともに衝突断面積が小さくなる事による。そして、このような現象は衝突断面積のエネルギー依存性に大きな影響を受けている。

5. まとめ

電子ビーム生成プラズマ内の電子エネルギー分布は、陽光柱内のそれに比べ非常に多くの高エネルギー電子を含む。プラズマの生成に重要な電離や励起は、電子エネルギー分布の高エネルギー部にいる電子によって行なわれる。陽光柱内では、その高エネルギー電子は、低エネルギー部から加速されてつくられるため、電子エネルギー分布関数は高エネルギー部で急激に減少する。一方、ビーム生成プラズマ内では電子は高エネルギー(ビームエネルギー)側から衝突によりエネルギーを失った電子の入射によりつくられるため、高エネルギー部でも陽光柱内の分布ほどの減少はなく、大きな電子分布がビームエネルギー付近まで存在し続けている。その結果、100eV付近に最大値をもつ各励起や電離の衝突断面積の大部分をおおうため、非常に多くの励起や電離が期待できる。一方、入射ビームエネルギーが大きくなると、衝突断面積がしだいに小さくなってゆくと、励起や電離衝突周波数の増加はゆるやかになってくる。

以上のような特徴は、ヘリウムホロー陰極放電においても観測されている¹⁰⁾。ヘリウムとアルゴンでは多少異なる点もあるが、非弾性衝突項は比較的差がないので、アルゴンの場合にも同様の傾向が現われると考えられる。しかし、詳細な点についてはもっと詳しい計算が必要と思われる。また比較的簡単に得られるビーム生成プラズマとして、ホロー陰極放電があるので、これを用いて実験との比較に興味をもたれる。特に電子密度の変動は、計算結果に大きな影響を与えている点で非常に興味深い。

その他、問題点として、衝突断面積の精度、電子間衝突項の近似方法、微分断面積のパラメータ(ϵ)等が挙げられるが、ビーム生成プラズマの特徴は、ある程度得られていると思われる。

参考文献

- 1) J. K. Crane, J. T. Verdeyen: J. Appl. Phys. 51 (1980) 123
- 2) C. J. Elliott, A. E. Greene: J. Appl. Phys. 47 (1976) 2946
- 3) 山崎: 呉高専研究報告 16巻1号 (1980) 65
- 4) H. Brunet, P. Vincent: J. Appl. Phys. 50 (1979) 4700
- 5) C. B. Opal, W. K. Peterson, E. C. Beaty: J. Chem. Phys. 55 (1979) 4100
- 6) C. M. Ferreira, J. L. Delcroix: J. Appl. Phys. 49 (1978) 2380
- 7) R. B. Brode: Rev. Modern Phys. 5 (1933) 257
- 8) Rapp, P. Englander-Golden: J. Chem. Phys. 43 (1965) 1464
- 9) L. R. Peterson, J. E. Allen Jr.: J. Chem. Phys. 56 (1972) 6068
- 10) P. Gill, C. Webb: J. Phys. D10 (1977) 299

(昭和56年10月15日受付)

レジンモルタル梁の動的特性

(土木工学科) 久 良 喜代彦

On the Dynamic Properties of Resin Mortar Beams

Kiyohiko KURA

A transverse impact experiment of resin mortar beams was carried out.

These beams were simply supported at the both ends and struck at the midpoint with a steel ball falling freely on them.

The generated bending strain waves were photographed by the dualbeam synchroscope.

On the basis of the experimental data, the propagational characteristics of strain waves on the resin mortar beams and the properties of the resin mortar standing impacts were investigated.

Then, the measured bending waves were compared with the computed results based on the finite difference method of the Timoshenko theory.

§ 1 まえがき

レジンコンクリートはセメントコンクリートに比較して強度が大きく、耐摩耗性、防水性、耐薬品性にすぐれており、硬化時間を広範囲に制御でき、しかも硬化までの時間がきわめて短いなどの大きな特徴をもっている^{1), 2)}。

しかし、その反面、耐火性や耐熱性が劣ると同時に硬化時の収縮が大きいという欠点がある。

耐衝撃性も当然良好であると思われるが、これまでのところ充分解明されているとは云えない。又、応力波の減衰に関するレジンコンクリートの内部摩擦はセメントコンクリートの内部摩擦より大きいと思われるがその度合は不明である。

本研究ではレジンモルタルについて、まず静的試験を行い、圧縮、引張、曲げの諸強度および破壊歪みを求めた。又、硬化収縮ひずみを測定した。

次にレジンモルタル梁に横衝撃を加え、応力波の発生伝播の状況、ならびに破損の状況を調査し、その際得られた実測データと梁の横振動に関する Timoshenkō 式の差分解法による理論解と比較することによりレジンモルタルの内部摩擦、耐衝撃性等の動的特性について検討を加えた。

§ 2 静的試験

(1) 使用材料および配合

レジンモルタルの結合材には不飽和ポリエステル樹脂ポリマール XGK-2 (3373), 粘度25℃ 410cp, ポットライフ16分 (25℃) を用いた。添加剤には促進剤として P 106 6%ナフテン酸コバルト, 触媒としてはルパゾール DDM, メチルエチルケトンパーオキシド, 充てん剤には炭酸カルシウム (日本粉化工業製) を使用した。細骨材には豊浦産の標準砂を用いた。

配合を表1に示す。ここで促進剤および硬化剤の分量はスポットライフが30分になるように調節したものである。

(2) 供試体の製作

供試体の製作にはセメントモルタル用ミキサー（容量5 l）を使用した。

供試体は打設後2時間で脱型し、実験室

内（冬季においては養生室内）に静置し、材齢7日以降において各種試験を行った。

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	ルパゾール DDM	ポリマールの 0.55 %

(3) モルタル試験

圧縮および引張（割裂）試験にはφ5×10cm円柱供試体を用いた。曲げ試験は4×4×16cm供試体についてスパン10cm中央1点载荷で行った。各種試験結果を表2に示す。

なお、圧縮破壊歪みは $\epsilon_{cu}=5.2\times10^{-3}$ 、曲げ破壊歪みは $\epsilon_{bu}=1.85\times10^{-3}$ 、割裂破壊歪みは $\epsilon_{tu}=1.65\times10^{-3}$ であった。

表2 レジンモルタルの静的特性

単位体積重量	0.002	kg/cm ³
静的弾性係数	2.16×10^5	kg/cm ²
動的弾性係数	2.33×10^5	kg/cm ²
ポアソン比	0.275	
圧 縮 強 度	986	kg/cm ²
引 張 強 度	112	kg/cm ²
曲 げ 強 度	375	kg/cm ²

(4) 梁の曲げ試験

レジンモルタルの動的曲げ破壊歪みと静的曲げ破壊歪みとを比較するために、衝撃実験に用いるのと同じ寸法の5×5×50cmの供試体を用い、3等分点2点载荷で曲げ試験を行って、曲げ強度 $\sigma_{bu}'=270$ kg/cm²、曲げ破壊歪み $\epsilon_{bu}'=1.35\times10^{-3}$ の結果が得られた。

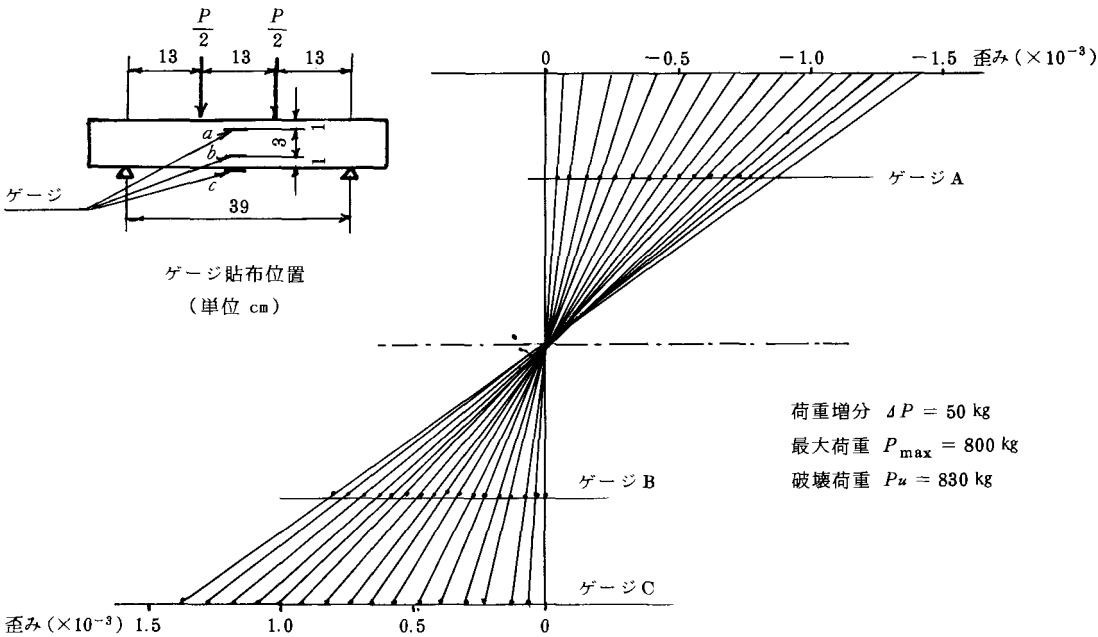


図1 スパン中央断面の歪み分布

なお、供試体のスパン中央断面の供試体表面に軸方向にゲージを貼布し、破壊直前に到るまでの各荷重段階におけるスパン中央断面における軸方向歪み分布を求めると図1のようになる。

(5) 収縮試験

自由硬化歪みは $5 \times 5 \times 40$ cmの供試体の中央に埋込み歪みゲージ（東京測器社製；KM-50）をセットして測定した。その際、型わく側面と底面に離型剤を塗布した上にテフロンを敷き、その上に又、離型剤を塗布して型わくによる収縮拘束を除去するように配慮した。測定結果を図2に示す。

これを見ると、打設後1～2時間はわずかであるが膨張しており、その後約10時間急激に収縮し、その後はゆっくりと収縮し、打込み後60時間では $5/1000$ 程度の歪みとなっている。

本実験で用いた樹脂ポリマールXGK 2は収縮型のもので $1/1000 \sim 2/1000$ 程度の収縮歪みを予定していたが、 $5/1000$ という大きな歪みとなった。この理由は明らかではないが、憶測では炭酸カルシウムや砂の併用によって収縮防止のために発生させた気泡が組織内の空隙をつたって逃げたということが考えられる。

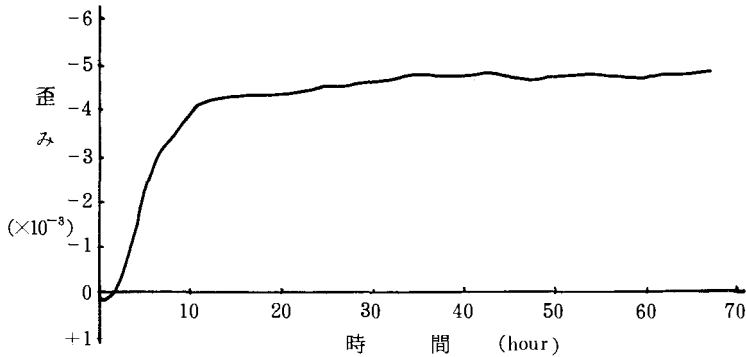


図2 レジンモルタルの収縮歪み

(6) 静的試験結果についての考察

レジンモルタルの曲げ破壊歪みは(3)で述べたモルタル試験では $\epsilon_{bu} = 1.85 \times 10^{-3}$ の結果が得られたが、(4)の曲げ試験では $\epsilon_{bu}' = 1.35 \times 10^{-3}$ の結果が得られた。

曲げ破壊歪みにおける ϵ_{bu} と ϵ_{bu}' とのこの差異は

- i 供試体寸法の差異
- ii 载荷条件の差異

によるものと思われる。

一般に試験片が大きくなると強度が低下することが知られており、このことは強度の寸法効果と呼ばれている^{3), 4)}。これは Griffith クラックによる最小値確率論によって次のように説明されている。

「大きな物体は小さな物体に比較して、より多数の欠陥を含み、したがってまた弱い欠陥を含んでいる確率も大きい。したがって大きな物体の方が、小さな物体よりも強度が小さい。」

これを本研究における試験に適用すると、 $4 \times 4 \times 16$ cm供試体における強度の方が $5 \times 5 \times 50$ cm供試体における強度よりも大きいということになる。

次に载荷条件についてはモルタル試験はスパン中央1点载荷で行ったが、梁の曲げ試験は3等分点2点载荷で行った。

Whitney 等⁵⁾は中央1点载荷の場合の方が3等分点2点载荷の場合よりも強度が大きく得られる理由を Griffith クラックによる最小値確率論によって次のように説明している。

「中央1点荷重の場合には最大応力はスパン中央下縁近傍のみに生ずるに反し、3等分点2点荷重の場合には最大応力は荷重点間の中央部分全般に分布する。したがって、後者の場合の方が、前者の場合よりも弱い欠陥を含む確率は大きい。」

本研究における静的曲げ試験では上記の2つの理由が重なりあってモルタル試験における曲げ破壊歪みが梁の曲げ試験におけるものより大きくなったものと思われる。

表2で曲げ強度 σ_b は引張(割裂)強度 σ_t を大幅に上まわっている。これはコンクリートや岩石のような脆性材料では一般に認められているところであり、この事についても、上述したような Griffith クラックあるいはクラックの核生成の問題がその主要な一原因であるとされている⁶⁾。

なお、その他の原因としては梁の中立軸の移動もあり得るとされているが、本実験では図1に示したように中立軸の移動は認められないように思われる。

§ 3 梁の横衝撃に関する差分解法

梁の横衝撃は通常、初歩的な Bernoulli-Euler 式か又はより厳密な Timoshenkō 式を用いて解かれている。

本研究で用いるような梁の厚さがスパンに比して大きいような場合には Bernoulli-Euler 式の適用性は悪くなり⁷⁾、剪断たわみ、それによる弾性力および回転慣性を考慮に入れた次に示す Timoshenkō 式(1)の使用が望まれる。

$$\begin{cases} E \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial x^3} + k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial y_s}{\partial x} - \frac{I}{g} \cdot \frac{\partial^3 y_b}{\partial t^2 \cdot \partial x} = 0 \\ \frac{r}{g} \cdot A \cdot \left(\frac{\partial^2 y_b}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y_s}{\partial t^2} \right) - k' \cdot G \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y_s}{\partial t^2} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

E : 弾性係数

I : 断面2次モーメント

k' : 梁の剪断係数

G : 剛性率

A : 断面積

r : 単位体積重量

g : 重力の加速度

y_b, y_s : それぞれ曲げおよび剪断による梁のたわみ

$y = y_b + y_s$: 梁の鉛直方向変位

本研究では Timoshenkō 式を差分的手法で解く方法を開発し⁸⁾、実測データおよび振動形解析法による解と比較することにより、差分解法の適用性について検討すると同時に、理論解を通じてレジンモルタルの動的特性について検討を加えた。

なお、鋼球と梁との接触については次に示す Hertz の式(2)を用いた。

$$\begin{cases} F = k \cdot \alpha^{3/2} \\ \alpha = y_r - y_l \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 k : Hertz の定数

y_r, y_l : それぞれ鋼球および梁の荷重点の変位

(1), (2)式と鋼球の運動方程式

$$\frac{W_r}{g} \cdot \frac{d^2 y_r}{dt^2} = -F \quad (3)$$

W_r : 鋼球重量

を組合わせることによって梁の横衝撃を解くことができる。

(1)式および(3)式を1次の微分方程式に分解し、その各々を差分式に転化して得られる1次方程式群に(2)式を加えたものを適宜排列しなおす。

梁を要素に分解し、衝撃後の経過時間 Δt に分解する。1つの時間間隔について上述の1次方程式群を各要素ごとに上から順に解いて行く。これを各時間間隔ごとに反復することによって梁各部のたわみ、曲げモーメント等の波形が得られる。

§ 4 レジンモルタル梁の衝撃実験

(1) 実験の概要

実験梁としては $5 \times 5 \times 50$ cm (スパン $l = 45$ cm) 又は $3 \times 3 \times 60$ cm (スパン $l = 50$ cm) の寸法のものを用い、両端は単純支持とした。スパン中央ならびに $l/4$ 点の下縁に共和ゲージ K 10 A 1 を貼布した。(図 3) 梁のスパン上縁に種々の落高で鋼球を落下させて横

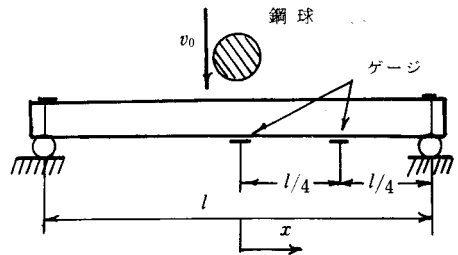


図3 実験梁

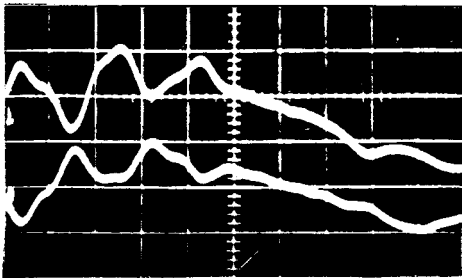


写真1

$W_r = 0.096$ kg, $h_r = 10$ cm, $5 \times 5 \times 45$ cm 角柱
上: $x=0$, 下: $x=l/4$ 位置歪み波形
縦 $88.2 \times 10^{-6}/\text{div.}$, 横 $0.2 \text{ msec}/\text{div.}$

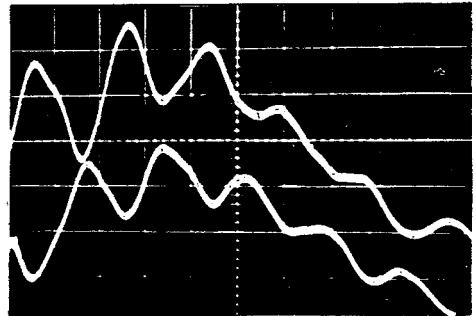


写真2

$W_r = 0.3$ kg, $h_r = 20$ cm, $5 \times 5 \times 45$ cm 角柱
上: $x=0$, 下: $x=l/4$ 位置歪み波形
縦 $166.3 \times 10^{-6}/\text{div.}$, 横 $0.2 \text{ msec}/\text{div.}$

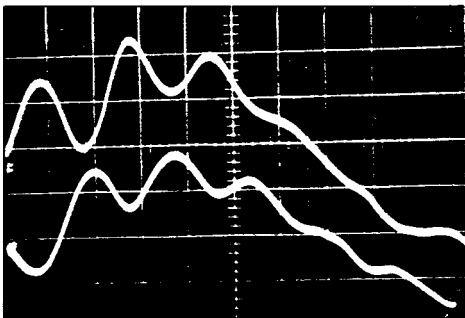


写真3

$W_r = 0.54$ kg, $h_r = 10$ cm, $5 \times 5 \times 45$ cm 角柱
上: $x=0$, 下: $x=l/4$ 位置歪み波形
縦 $166.3 \times 10^{-6}/\text{div.}$, 横 $0.2 \text{ msec}/\text{div.}$

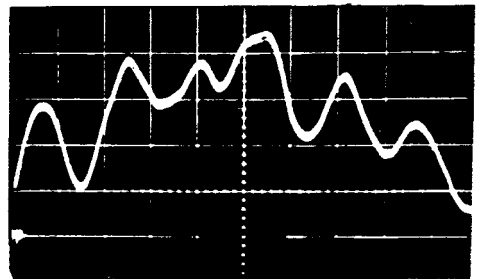


写真4

$W_r = 1.82$ kg, $h_r = 35$ cm, $5 \times 5 \times 45$ cm 角柱
 $x=0$ 位置歪み波形
縦 $332.6 \times 10^{-6}/\text{div.}$, 横 $0.2 \text{ msec}/\text{div.}$

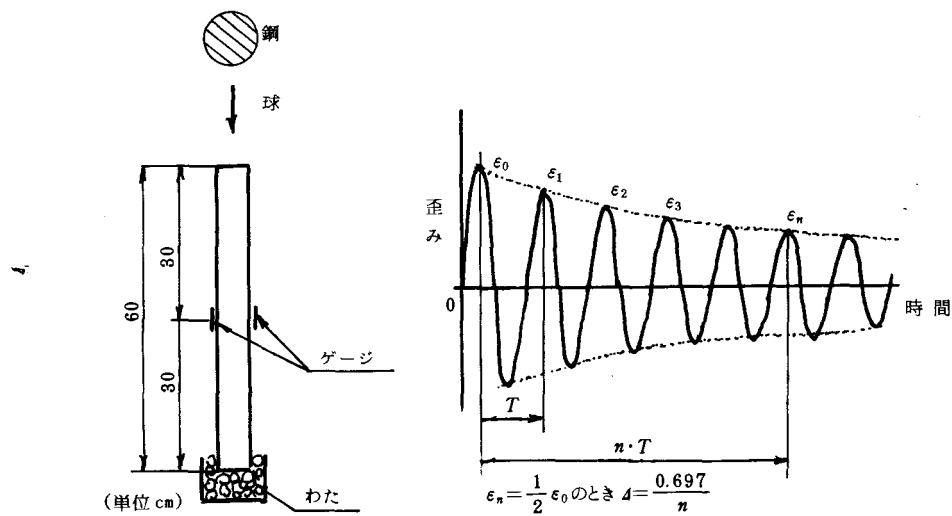


図4 対数減衰率の測定

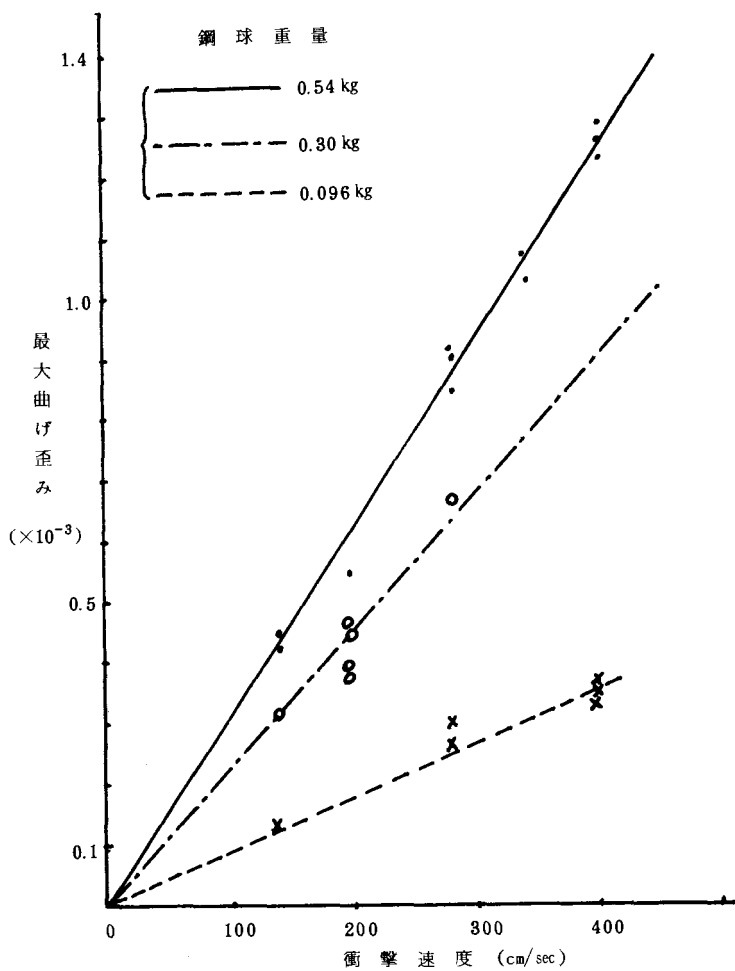


図5 衝撃速度と最大曲げ歪みとの関係

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DS 5016で観測した。鋼球は重量 0.096 kg ($\phi 28.6\text{mm}$), 0.30 kg ($\phi 42.0\text{mm}$), 0.54 kg ($\phi 50.8\text{mm}$), 1.82 kg ($\phi 76.2\text{mm}$) 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1～4に示す。

(2) 計算データ

(1)で述べた横衝撃実験を追跡するために行った差分法による計算では時間間隔 $\Delta t = 0.5 \times 10^{-6}\text{sec}$, 梁の分割数 $ND = 20$, 梁断面の剪断弾性係数 $k' = 0.66667$, 鋼球の弾性係数およびポアソン比は夫々 $2.1 \times 10^6\text{kg/cm}^2$, 0.29 とした。

なお、梁の内部摩擦を考慮する場合には、レジンモルタルの内部摩擦係数を $\tau' = 5 \times 10^{-6}\text{sec}$ 又は $\tau' = 10^{-5}\text{sec}$ とした。

(3) 対数減衰率の測定

図4に示すように $3 \times 3 \times 60\text{cm}$ の角柱供試体を垂直に立て、その上から $\phi 28.6\text{mm}$ 又は $\phi 19\text{mm}$ の鋼球を落下させて縦衝撃を加え、ゲージ位置の縦歪みの減衰振動波形から $\Delta = 0.693/N$ (N は $\epsilon_N = 1/2 \cdot \epsilon_0$ となる波数) によって対数減衰率を求めて $\Delta = 0.077$ の値を得た。

(4) 実験結果とその検討

a. 衝撃によるスパン中央下縁の最大曲げ歪みは衝撃速度に大略比例した。(図5)

しかもこの比例関係は破壊近傍まで持続するように思われる。

横衝撃による曲げ破壊歪みは $1.3 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-3}$ 程度で §2 で述べた静的曲げ破壊歪み $\epsilon_{bu}' = 1.35 \times 10^{-3}$ と同程度であった。

b. 梁材料の内部摩擦を考慮しない場合、差分法で得られた理論歪み波形と実測歪み波形とは立上り初期の部分では大略一致したが、その後においてはかなりの開きが出て来ている。(図6)

内部摩擦を考慮することによって少くとも過渡振動の領域ではかなりよく一致させることが出来るように思われる。

本研究では梁材料の内部摩擦係数 τ' を 10^{-5}sec 程度にした時に良好な結果が得られた。

これに対してセメントモルタル梁では $\tau' = 5 \times 10^{-6}\text{sec}$ 程度にした時に良好な結果が得られており、レジンモルタルの内部摩擦の方がセメントモルタルのより若干大きいようである。

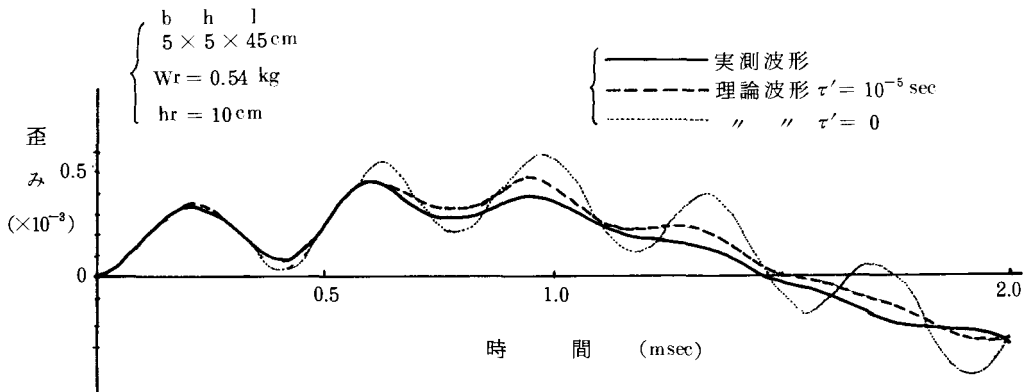


図6-1 実測歪み波形と理論歪み波形との比較
(スパン中央下縁曲げ歪み)

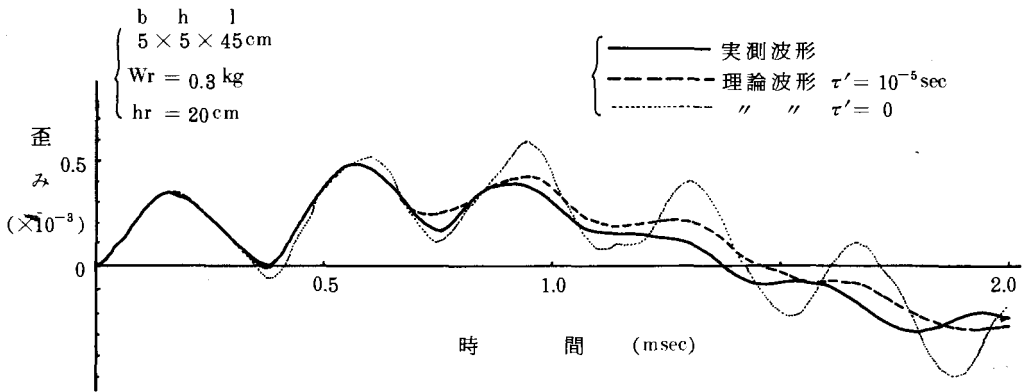


図6-2 実測歪み波形と理論歪み波形との比較
(スパン中央下縁曲げ歪み)

なお、本研究ではレジンモルタルの対数減衰率は $\Delta=0.077$ となり、一方、セメントモルタルの対数減衰率は $\Delta=0.03\sim0.04$ 程度である⁹⁾ので、対数減衰率はレジンモルタルの方が大きくなっている。弾性理論によると内部摩擦係数 τ' は $\tau' = \Delta / 2 \cdot \pi^2 \cdot f$, f : 周波数 で表わされるので、この面からもレジンモルタルの内部摩擦はセメントモルタルの内部摩擦より大きいものと思われる。

しかし、両者の場合とも歪み波の減衰は材料の内部摩擦によるものは左程大きくなく、むしろ支点に

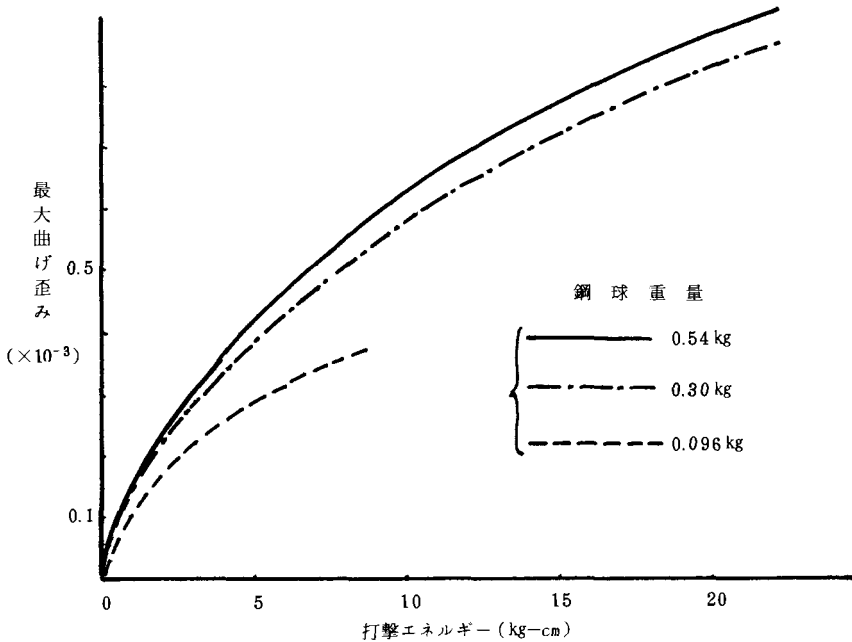


図7 打撃エネルギーと最大曲げ歪みとの関係

おけるエネルギー逸散によるものの方が大きいように思われる。

c. 鋼球重量が異っていても打撃エネルギーが等しい場合には最大曲げ歪みはお互にかなり近い値を示した。

しかし、鋼球重量の大きな場合の方が大きな曲げ歪みの値を示している。(図 7)

d. 本実験の範囲では $5 \times 5 \times 50$ cm のレジンモルタル梁は 50 ~ 60 kg 程度の打撃エネルギーで破壊した。同一寸法のセメントモルタル梁 (1 : 2 モルタル, 曲げ強度 60 kg/cm²) はその 1/10 程度の打撃エネルギーで破壊した。

e. 一種の近似解法である差分解析法による解は振動形解析法による解と大略一致した。

過渡振動の領域では差分解析法の適用性は良好で充分使用することが出来るように思われる。

§ 5 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。

i. 衝撃によるスパン中央下縁の最大曲げ歪みは衝撃速度に大略比例した。しかも、この比例関係は破壊近傍まで持続するように思われる。

ii. 衝撃によるレジンモルタルの曲げ破壊歪みは $\epsilon_{bu} = 1.3 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-4}$ 程度で静的曲げ破壊歪み $\epsilon_{bu}' = 1.35 \times 10^{-3}$ と同程度であった。

iii. 歪み波の減衰の原因としてはレジンモルタルの内部摩擦は余り大きくはなく、むしろ支点におけるエネルギー逸散によるものの方が大きいように思われる。

iv. 本実験の範囲ではレジンモルタル梁は同一寸法のセメントモルタル梁の 10 倍程度の打撃エネルギーで破壊した。

v. レジンモルタルのような脆性材料において、曲げ強度が引張強度より大きいのは Griffith クラックによる最小値確率論によって説明できるように思われる。

終りに、終始、御指導を頂いた京都大学工学部岡田清教授に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岡田清, プラスチックコンクリートの問題点, コンクリートジャーナル, Vol. 7, No. 8, Aug. 1969.
- 2) 岡田清, プラスチックコンクリートの性質と今後の開発, コンクリートジャーナル, Vol. 10, No. 6, June 1972.
- 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 818 号, 1980.
- 4) 山口梅太郎, 西松裕一, 岩石力学入門, 東京大学出版会, 1967.
- 5) Whitney, J. M. and M. Knight: The Relation between Tensile Strength and Flexure Strength in Fiber-reinforced Composites, Experimental Mechanics No. 212, June 1980.
- 6) 上野五郎, 岩石の曲げ強さに関する統計学的研究, 材料試験, Vol. 9, No. 81, 1960.
- 7) 小坪清真, 土木振動学, 森北出版, 1973.
- 8) 久良喜代彦, Timoshenko 梁の差分解析法, 呉高専研究報告, 17 巻 1 号, 1981.
- 9) 久良喜代彦, コンクリートの内部摩擦について, 呉高専研究報告, 13 巻 1 号, 1977.

(昭和 56 年 10 月 14 日受付)

于陳、君子曰、石碯純臣也、惡州吁而厚與焉、大義滅親、其是之謂乎

〔注〕 子從弑君之賊、國之大逆、不可不除、故曰大義滅親、明小義則當兼子愛之

〔傳〕 衛人逆公子晉于邢、冬、十有二月、宣公即位

〔注〕 公子晉也

〔疏〕 宣公即位

正義に曰はく、賊討ぜられて乃ち立ち、自ら前君を繼ぐ。故に年を踰ゆるを待たざるなり。

〔傳〕 書曰衛人立晉、衆也

(未完)

(昭和五十六年十月十五日受付)

是乎不務令德、而欲以亂成、必不免矣、秋、諸侯復伐鄭、宋公使來乞師

〔注〕乞師不書、非卿

〔傳〕公辭之

〔注〕從衆仲之言

〔傳〕羽父請以師會之

〔注〕羽父、公子翬

〔傳〕公弗許、固請而行、故書曰翬帥師、疾之也

〔疏〕故書一疾之也

正義に曰はく、案ずるに、元年傳に「邾人・鄭人、翼に盟ふ。公子豫、往かんことを請ふ。公許さず。遂に行く」とあり。彼は則ち書せず、又た貶責を加へず。此は公子翬の行くに公は亦た許さざるも、而も「經」に書し、又た貶責を加ふるは、公子豫にては、公許さず、私竊にして行く。翬の師は強梁して固く請ひ、公は事已むを獲ずして其の出會を令す。故に君命を以てす。而して書し、又た貶責を加ふるなり。

① 元年傳 隠公元年伝に「鄭共叔之乱、公孫滑出奔衛、齊

人為之伐鄭、取廩延、鄭人以王師・虢師伐衛南鄙、請師於邾、邾子使私於公子豫、豫請往、公弗許、遂行、及邾人・鄭人盟

于翼、不書、非公命也」とある。

〔傳〕諸侯之師、敗鄭徒兵、取其禾而還

〔注〕時鄭不車戰

〔傳〕州吁未能和其民、厚問定君於石子

〔注〕石子、石碏也、以州吁不安諮其父

〔傳〕石子曰、王覲爲可

〔疏〕王覲爲可

正義に曰はく、王處に於いて覲禮を行ふ。此の事、是れ可と爲すなり。

〔傳〕曰、何以得覲、曰、陳桓公方有寵於王、陳・衛方睦、若朝陳

使請、必可得也、厚從州吁如陳、石碏使告於陳曰、衛國偏小、老夫耄矣、無能爲也、此二人者實弑寡君、敢即圖之

〔注〕八十日耄、稱國小己老、自謙以委陳、使因其往就圖之

〔傳〕陳人執之、而請泣于衛

〔注〕請衛人自臨討之

〔傳〕九月、衛人使石宰醜泣殺州吁、石碏使其宰獮羊肩泚殺石厚

〔注〕 諸篡立者、諸侯既與之會、則不復討、故欲求此龍

〔傳〕 使告於宋曰、君若伐鄭、以除君害

〔注〕 害、謂宋公子馮

〔傳〕 君爲主、敵邑以賦與陳蔡從、則衛國之願也

〔注〕 言舉國之賦調

〔傳〕 宋人許之、於是陳・蔡方睦於衛

〔注〕 蔡今汝南上蔡縣

〔疏〕 注蔡今一蔡縣

正義に曰はく、蔡國は侯爵なり。『譜』に云ふ、「蔡は姬姓。

文王の子の叔度の後なり。武王、之を汝南の上蔡に封じて蔡侯と爲す。亂を作して誅せらる。其の子の蔡仲、成王は復た之を蔡に封ず。平侯に至りて新蔡に徙る。昭侯、九江の下蔡に徙る。宣侯二十八年は魯の隱公の元年なり。昭侯の子の成侯十年は獲麟の歲なり。成侯の子の聲侯四年に『春秋』の「傳」終はる。聲侯は十四年にして卒す。聲侯より以下、二世二十八年にして楚、蔡を滅ぼす」^②と。「地理志」に云ふ、「汝南の上蔡縣は故の蔡國、周の武王の弟の叔度の封ぜらるる所なり」と。

① 『譜』 『春秋釈例』世族譜第四十五之下の蔡國の部に
見える。

② 「地理志」 『漢書』地理志・上の汝南郡の条に「上蔡、

故蔡國、周武王弟叔度所封、度放、成王封其子胡、十八世徙新蔡」とある。

〔傳〕 故宋公・陳侯・蔡人・衛人伐鄭、圍其東門、五日而還、公問

於衆仲曰、衛州吁其成乎

〔注〕 衆仲、魯大夫

〔傳〕 對曰、臣聞以德和民、不聞以亂

〔注〕 亂、謂阻兵而安忍

〔傳〕 以亂、猶治絲而棼之也

〔注〕 絲見棼縕、益所以亂

〔傳〕 夫州吁阻兵而安忍、阻兵無衆、安忍無親、衆叛親離、難以濟

矣

〔注〕 恃兵則民殘、民殘則衆叛、安忍則刑過、刑過則親離

〔疏〕 阻兵而安忍

正義に曰はく、諸國の兵を阻^たみて以て勝を求め、而して征伐
已まず。忍に安んじて虐事を行ひ、刑殺度を過ぐるなり。

〔傳〕 夫兵猶火也、弗戢將自焚也、夫州吁弑其君、而虐用其民、於

衛を去りて邢に居り、衛人迎へて之を立つれば、法に於いて正に「入」と書すべく、宜しく齊の小白と同文なるべし。「傳」に「書して『衛人、晉を立つ』と曰ふは、衆なればなり」と言ふ。是れ仲尼、其の衆を得るを善するが故に常例を改め、文を變へて以て義を示すなり。

① 成（公）十八年の傳例 成公十八年伝に「凡去其国、国逆而立之曰入、復其位曰復歸、諸侯納之曰歸、以惡入曰復入」とある。

② 公子晉 本年「伝」を参照。

③ 齊の小白 莊公九年経に「夏、公伐齊納子糾、齊小白入于齊」とある。

④ 「傳」 本年「伝」を参照。

〔傳〕四年、春、衛州吁弑桓公而立、公與宋公爲會、將尋宿之盟、未及期、衛人來告亂、夏、公及宋公、遇于清

〔注〕宿盟在元年

〔傳〕宋殤公之即位也、公子馮出奔鄭、鄭人欲納之、及衛州吁立、將脩先君之怨於鄭

〔注〕謂二年鄭人伐衛之怨

〔疏〕注謂二之怨

正義に曰はく、二年に衛を伐つこと「經」に見ゆるが故に以て之に屬す。未だ必ずしも往前に更に怨無くんばあらざるなり。「衛

世家」に「（衛の）桓公十六年にして乃ち州吁の弑する所と爲る」と稱すれば、則ち隱（公）の二年は（衛の）桓（公）の世に當たる。服虔以へらく、「先君は莊公爲り」と。非なり。何となれば則ち宣公は夷姜に弑して急子を生み、公は急子の妻を納れて壽と朔とを生み、朔は能く兄を構ひ、壽は能く代りて死すれば、則ち是の年に皆な長ずればなり。宣公、此の年を以て位に即き、（魯の）桓（公）十二年に卒すれば、終始二十（年）なり。壽の死は未だ何の歳なるかを知らずと雖も、急子の娶ることは當に宣（公）の初に在るべし。若し隱（公）の二年に莊公猶は在さば、豈に父の在すの時に於いて、已に父の妾に弑して急子を生むを得んや。「史記」は謬誤多しと雖も、此は當に信ずべく然り。

① 二年 隱公二年経に「鄭人伐衛」とある。

② 「衛世家」 『史記』衛世家に「十六年、州吁収聚衛亡人、以襲殺桓公、州吁自立爲衛君」とある。

③ 服虔 本疏引。

④ 宣公 桓公十六年伝に「初衛宣公蒸於夷、生急子、属諸右公子、爲之娶於齊而美、公取之、生寿及朔、属寿於左公子、夷姜縊、宣姜与公子朔、構急子、公使諸齊、使盜待諸莘將殺之、寿子告之使行、不可、曰、棄父之命、惡用子矣、有无父之国則可也、及行飲以酒、寿子載其旌以先、盜殺之、急子至曰、我之求也、此何罪、請殺我乎、又殺之、二公子故怨惠公」とある。

⑤ 桓公十二年 桓公十二年経に「丙戌、衛侯晉卒」とある。

〔傳〕而求寵於諸侯、以和其民

はく、若し罪有らば則ち君は諸を會に列せり」と。是れ會に列して即ち君と成るなり。此の州吁は未だ會に列せざるが故に君と稱せず。曹人の辭は即ち例を成すが故に（杜預注に）「例は成（公）十六年に在り」と云ふ。

之（州吁）を濮に殺すとは、水旁に死するを謂ふなり。『釋例』土地名にては、此の「濮」の下注に「闕」と云ふ。哀（公）二十七年傳の「濮」の下注に云ふ、「濮は陳留の酸棗縣より河の東北を受け、濟陰を経て高平鉅野縣に至りて濟に入る」と。彼（哀公二十七年）の「濮」と此とは名同じきも實は異なり。故に杜（預）は此に於いて「闕」と言はず、直ちに「濮は陳地の水名なり」と云ふ。

① 宣公 文公十八年伝に「文公二妃敬嬴生宣公、敬嬴嬖而私事襄仲、宣公長而屬諸襄仲、襄仲欲立之、叔仲不可、仲見於齊侯而請立之、齊侯新立、而欲親魯、許之、冬、十月、仲殺惡及視而立宣公」とある。

② 「傳」 宣公元年伝に「夏、……会于平州、以定公位」とあり、杜預注に「篡立者、諸侯既与之会、則不得復討、臣子殺之与弑君同、故公与齊侯会後而位定也」とある。

③ 杜（預） 注②参照。

④ 『釋例』 『春秋釈例』書弑例第十五に見える。

⑤ 杜（預） 注②参照。

⑥ 『釋例』 注④参照。

⑦ 『釋例』 注④参照。

⑧ 莊（公）九年 莊公九年經に「春、齊人殺無知」とある。

⑨ 亦た君と成る 注④参照。

⑩ 文（公）十八年 文公十八年經に「夏、五月戊戌、齊人

弑其君商人」とある。

⑪ 曹伯負芻 成公十三年伝に「秋、負芻殺其大子而自立也」とある。

⑫ 成（公）十五年 成公十五年經に「癸丑、公会晋侯・衛侯・鄭伯・曹伯・宋世子成・齊國佐・邾人、同盟于戚、晋侯執曹伯、歸于京師」とあり、「伝」に「春、会于戚、討曹成公也、執而歸諸京師、書曰晋侯執曹伯、不及其民也」とある。

⑬ 十六年 成公十六年伝に「曹人請于晋曰、自我先君宣公即世、国人曰若之何、憂猶未弭、而又討我寡君、以亡曹国社稷之鎮公子、是大浪曹也、先君無乃有罪乎、若有罪則君列諸会矣、君唯不遺德刑、以伯諸侯、豈独遺諸敵邑、敢私布之」とある。

⑭ 例 注⑬参照。

⑮ 『釋例』 『春秋釈例』土地名第四十四之三の水名の部に見える。

⑯ 哀（公）二十七年傳 哀公二十七年伝に「及濮、雨、不涉」とあり、杜預注に「濮水自陳留酸棗縣傍河東北、經濟陰、至高平入濟」とある。

〔經〕 冬、十有二月、衛人立晉

〔注〕 衛人逆公子晉而立之、善其得衆、故不書入於衛、變文以示義、例在成十八年

〔疏〕 注衛人 八年

正義に曰はく、成（公）十八年の傳例に曰はく、「凡そ其の國を去り、國逆へて之を立つるを『入』と曰ふ」と。此れ公子晉は

〔注〕 公子翬魯大夫、不稱公子、疾其固請強君以不義也、諸外大夫
貶皆稱人、至於内大夫貶、則皆去族稱名、於記事之體、他國
可言某人而已、魯之卿佐不得言魯人、此所以爲異也、翬・溺
去族、傳曰、叔孫豹則曰、言違命、此其例也

〔疏〕 注他國ノ魯人

正義に曰はく、案ずるに、「鄭伯^①、宛をして來たりて昉を歸らしむ。庚寅、我れ昉に入る」及び「齊侯^②、我が北鄙を伐つ」及び「我が師敗績す」^③とあり。然らば、魯の事には皆な「我」と稱することを得るなり。さすれば則ち己れの卿佐の貶せらるるも亦た「我人」と稱すべし。然らざる所以のものは、凡そ「我」と云ふは皆な上に他國の辭有り。故に他に對して「我」と稱す。魯人、他國に出會するに、上に未だ他國の文有らざれば、發して「我人」を首言すべからざるが故なり。

① 鄭伯 隱公八年經に「三月、鄭伯使宛來歸昉、庚寅、我入昉」とある。

② 齊侯 例えは、成公八年經に「齊侯伐我北鄙」とあることなどを参照。

③ 我が師 例えは、莊公九年經に「八月庚申、及齊師戰于乾時、我師敗」とあることなどを参照。

〔經〕 九月、衛人殺州吁于濮

〔注〕 州吁弑君而立、未列於會、故不稱君、例在成十六年、濮陳地水名

〔疏〕 注州吁ノ水名

正義に曰はく、春秋の世に王政行はれず、賞罰の柄は天子に在らず。君を弑し國を取ることを、罪爲ること大なりと雖も、若し已に諸侯の會に列する者は、則ち復た討ぜざるなり。其の臣子の之を殺すこと有るは、即ち君を弑すると異無し。未だ必ずしも禮法は當に然るべからず。要するに其の時の俗は是の如きなり。宣公、惡を殺して國を取り、賂を齊に納れ以て會を請ふ。「傳」に「平州に會し、以て公の位を定む」と曰ひ、杜（預）は「篡立する者、諸侯既に之と會すれば、則ち復た討ずるを得ず。臣子之を殺すと君を弑するとは同じきなり。故に公、齊と會して位定まる」と云ふ。是れ其の義なり。「釋例」に又た云ふ、「諸侯の篡立は、諸侯に會するを以て正と爲すと雖も、此れ列國の制なり。國內に至りては名を策し質を委ねて、即ち君臣の分已に定まる。故に諸々の君と成らざる者を殺すも、亦た君と成ると義を同じくす」と。然らば杜（預）は前注に「篡立する者、諸侯既に之と會すれば、臣子之を殺すと君を弑するとは同じ」と云ふ。さすれば則ち若し未だ諸侯に會せざれば、臣子之を殺すと君を弑するとは同じからず。「釋例」^⑥と違ふものに似たり。「釋例」に「諸々の君と成らざるを弑するも亦た君と成ると義を同じくす」と云ふ所のものは、即ち莊（公）九年の「齊人、無知を殺す」及び此の年の「衛人、州吁を殺す」とは、其の未だ諸侯に會せざるを以ての故に爵を書せざるなり。猶を兩つながら下の相ひ殺すの例に従はざるが故に「亦た君と成ると義を同じくす」と云ふ。若し既に諸侯に會すれば、則ち臣、弑するも爵を稱す。則ち文（公）十八年の「齊人、其の君商人を殺す」、是れなり。曹伯負芻、其の太子を殺して自立し、成（公）十五年^⑫に諸侯、戚に同盟す。曹伯は既に會に列し、然る後に晉人之を執ふ。十六年傳に稱す、「曹人、晉に請ひて曰

〔注〕 遇者草次之期、二國各簡其禮、若道路相逢遇也、清衛邑、濟北東阿縣有清亭

〔疏〕 注遇者 清亭

正義に曰はく、「曲禮」下に云ふ、「諸侯、未だ期に及ばずして相ひ見ゆるを遇と曰ふ。卻地に相ひ見ゆるを會と曰ふ」と。然らば則ち、「會」とは豫め間地を謀り、期を克して聚集し、上下の則を訓じ、財用の節を制し、威を衆に示し、各々其の禮を重んずるなり。特に一國に會すと雖も二國以上の若くして皆會と稱するなり。「遇」とは或ひは未だ會期に及ばず、或ひは暫く相ひ見ゆるを須ち、各々其の禮を簡きて、道路に相ひ逢遇するが若く然り。此の時、宋・魯特に會し、舊盟を尋ねんと欲して未だ會期に及ばず、衛來たりて亂を告ぐるが故に二國相ひ遇ふ。三國、禮を簡くが若きも亦た遇と曰ふ。故に莊（公）四年の「齊侯・陳侯・鄭伯、垂に遇ふ」、是れなり。「曲禮」に「未だ期に及ばずして相ひ見ゆる」と稱するは、此の類を指すなり。

⑤『周禮』の「冬に見ゆるを遇と曰ふ」は則ち此と別なり。劉（歆）・賈（逵）以へらく、「遇には冬遇の禮を用ふ」と。故に杜（預）は之を難ず。⑦『釋例』に曰はく、「遇とは倉卒に儀を簡きて道路に相ひ逢遇するが若きもののみ。⑧『周禮』に「諸侯、冬に天子に見ゆるを遇と曰ふ」とあり。劉氏は此の名に因りて以て『春秋』を説くも自づから『傳』と違ふ。案ずるに、⑩『禮』の「春に朝と曰ひ、夏に宗と曰ひ、秋に覲と曰ひ、冬に遇と曰ふ」は、此れ四時の名にして、今は『春秋』皆な之を禮に同じくせず。冬、天子に見ゆるは當に是れ百官、物を備ふるの時にして、遇と云ふべし。禮の簡易なるものは、⑪『經』に「季姬、鄆子と防に遇ふ」と書す。此れは婦、夫を呼んで共に朝す。豈に當に復た天子に見

ゆるの禮を用ふべけんや。理に於いて皆な違ふ」と。是れ『春秋』の「遇」と『周禮』の「冬遇」と異なるを言ふなり。

草次とは猶ほ造次のごとし。造次・倉卒は皆な迫切して暇あらざるの意なり。

①「曲禮」下 『礼記』曲禮・下に「諸侯未及期相見曰遇、

相見於卻地曰會、諸侯使大夫問於諸侯曰聘、約信曰誓、澁牲曰盟」とある。

② 此の時 本年「伝」に「春、衛州吁弑桓公而立、公与宋公為会、将尋宿之盟、未及期、衛人來告乱」とある。

③ 莊（公）四年 莊公四年經に「夏、齊侯・陳侯・鄭伯遇于垂」とある。

④「曲禮」 注①参照。

⑤「周禮」 『周礼』春官・大宗伯に「春見曰朝、夏見曰

宗、秋見曰覲、冬見曰遇、時見曰會、殷見曰同、時聘曰問、殷覲曰視」とある。

⑥ 劉（歆）・賈（逵） 本疏引。

⑦『釋例』 『春秋釈例』會盟朝聘例第二に見える。

⑧『周禮』 注⑤参照。

⑨ 劉氏 注⑥参照。

⑩『禮』 注⑤参照。

⑪『經』 僖公十四年經に「夏、六月、季姬及鄆子遇于防、使鄆子來朝」とある。

〔經〕 宋公・陳侯・蔡人・衛人伐鄭、秋、翬帥師會宋公・陳侯・蔡人伐鄭

取其妻、公怒、督懼、遂弑殤公、君子以督為有无君之心、而後動於惡、故先書弑其君」とある。

⑧ 賈氏 本疏引。

⑨ 宋萬 莊公十一年伝に「乗丘之役、公以金僕姑、射南宮長万、公右歇孫生搏之、宋人請之、宋公斬之、曰、始吾敬子、今子魯困也、吾弗敬子、病之」とあり、莊公十二年経に「秋、宋万弑其君捷、及其大夫仇牧」とある。

⑩ 賈氏 本疏引。

⑪ 南宮長萬 注⑨参照。

⑫ 得臣と宣申 僖公二十八年経に「楚殺其大夫得臣」とあり、宣申については、文公十年経に「楚殺其大夫宣申」とある。

⑬ 大夫公子側・大夫成熊 成公十六年経に「楚殺其大夫公子側」とあり、大夫熊成については、昭公十二年経に「楚殺其大夫熊成」とある。他者については、襄公二年経に「楚殺其大夫公子申」とあり、同五年経に「楚殺其大夫公子任夫」とあり、同二十二年経に「楚殺其大夫公子追舒」とあり、昭公五年経に「楚殺其大夫屈申」とあり、同二十七年経に「楚殺其大夫卻宛」とある。

⑭ 之を嘉す 莊公二十五年伝に「春、陳女叔聘、始結陳好也、嘉之故不名」とある。

⑮ 書して仲孫と曰ふ 閔公元年伝に「冬、齊仲孫湫来省難、書曰仲孫、亦嘉之也」とある。

⑯ 書して崔氏と曰ふ 宣公十年伝に「書曰崔氏、非其罪也、且告以族、不以名」とある。

⑰ 翬・溺 隱公四年伝に「羽父請以師会之、公弗許、固請而行、故書翬帥師、疾之也」とあり、溺については、莊公三

年伝に「三年、春、溺会齊師、伐衛、疾之也」とある。

⑱ 族を稱す 成公十四年伝に「秋、宣伯如齊逆女、稱族尊君命也」とある。

⑲ 族を含つ 成公十四年伝に「九月、僑如以夫人婦姜氏至自齊、舍族尊夫人也」とある。

⑳ 晉を尊ぶ 昭公十四年伝に「春、意如至自晉、尊晉罪己也」とある。

㉑ 經 桓公十七年経に「秋、八月、蔡季自陳歸于蔡」とあり、「伝」に「秋、蔡季自陳歸于蔡、蔡人嘉之也」とある。

㉒ 『傳』 注㉑参照。

㉓ 『傳』 注㉑参照。

㉔ 司馬華孫 文公十五年経に「三月、宋司馬華孫来盟」とあり、「伝」に「三月、宋華耦来盟、其官皆從之、書曰宋司馬華孫、貴之也」とある。

㉕ 莊公以上 本年の「経」を参照。

㉖ 閔公以下 例えば、宣公二年経に「秋、九月乙丑、晉趙盾弑其君夷臯」とあるのを参照。

㉗ 往年 隱公三年経に「冬、十有二月、齊侯鄭伯盟于石門、癸未、葬宋穆公」とある。

㉘ 『長歷』 『春秋釈例』経伝長歷第四十五之一に見える。

㉙ 僖(公)二十八年 僖公二十八年経に「冬、公会晉侯・齊侯・宋公・蔡侯・鄭伯・陳子・莒子・邾子・秦人于温、天王狩于河陽、壬申、公朝于王所」とある。

㉚ 王狩于河陽、壬申、公朝于王所」とある。

㉛ 「経」 注㉚参照。

㉜ 夏、公及宋公遇于清

して著明なり。此れを以て之を推せば亦た仲尼の遺す所に非ざるを知るなり。斯れ蓋し史策の舊法に非ざるが故に凡例無し。當時諸國は意を以て赴ぐ。其の或ひは自ら來聘するの使者の辭に詳略有り。仲尼は『春秋』を脩め、因りて以て義を示す。義の起る所には則ち刊りて之を定め、ならざるものには即ち因りて之を示し、皆なは刊正せざるなり。故に蔡人、赴を嘉して、『經』は從つて『季』を稱し、『傳』は『蔡人、之を嘉す』と曰ふ。崔氏を書するに、『傳』も亦た『且つ告ぐるに族を以てす』と曰へば、明らかに皆な其の本に從ふなり。『司馬華孫、來たりて盟ふ』を書するも亦た他の比無し。大例に非ざるを知るなり。然らば則ち摠べて之を推せば、『春秋』の義は、諸侯の卿は當に名氏を以て『經』に備書すべし。其の貶損を加ふるときには則ち直ちに人を稱す。若し褒異有れば則ち或ひは官を稱し、或ひは氏を稱す。若し内卿に貶有れば則ち特に名を稱す。文として直ちに魯人と言ふべからざるが故に外に異なるなり。若し褒無く、『傳』の發せざる所の者には則ち皆な舊文に就きて、或ひは未賜族とし、或ひは時に詳略有るなり。『經』文を推尋するに、莊公以上、諸々の君を弑する者には、皆な氏を書せず。閔公²⁷より以下は皆な氏を書するも亦た時史の異同にして、仲尼の皆な刊る所に非ざるを明らかにするに足るなり」と。是れ、杜(預)は州吁に公子を稱せざるの意を解す。杜(預)、然るを知るは、正に「經」の書する所に常の比例無きを以てなり。褒には則ち或ひは官を書し、或ひは氏を書す。貶には則ち或ひは人を稱し、或ひは族を去る。即ち定例無ければ明らかに舊典に非ず。仲尼は、起發する所有れば則ち舊史を刊正し、褒貶する所無ければ則ち故策に因循す。仲尼の改むるものは、「傳」其の由を辯ず。「傳」の言はざる所は則ち義無きを知る。正に是れ史官自づから詳略有るが故なるのみ。

戊申は癸未の後二十五日に在り。更に一周を盈たせば則ち八十五日なり。²⁸往年の十二月癸未、宋の穆公を葬る。さすれば則ち此の年の二月には戊申有るを得ず。二月の下を承くと雖も未だ必ずしも是れ二月の日ならず。故に『長歷』もて此の年二月癸亥は朔なるを推すに、十日は壬申、二十二日は甲申にして、戊申有るを得ざるなり。三月壬辰は朔なれば則ち十七日に戊申有るなり。此の「經」上に「二月」有りて、下に「夏」有れば、三月の内に有るを得るなり。是れ字の誤ならざるが故に(杜預注に)「日有りて月無し」と云ふ。僖(公)二十八年は、冬の下に月無きも「經」に「壬申、公、王所に朝す」と有り。日有りて月無し。「經」に比類有るが故に此も亦た之に同じきを知る。凡て此の如き者に十四事有り。

① 宣(公)四年の傳例 宣公四年伝に「凡弑君、称君君無

(三五)

道也、称臣臣之罪也」とあり、杜預注に「称君、謂唯書君名、而称國以弑、言衆所共絶也、称臣者、謂書弑者之名、以示末世、終為不義、改殺称弑、避其惡名、取有漸也、書弑之義、釈例論之備也」とある。

② 注 注①参照。

③ 釋例 『春秋釈例』氏族例第八に見える。

④ 無知 莊公八年経に「冬、十有一月癸未、齊人無知弑其君諸兒」とある。

⑤ 賈氏 本疏引。

⑥ 公子商人 文公十四年経に「齊公子商人弑其君舍」とある。

⑦ 宋督 桓公二年経に「春、王正月戊申、宋督弑其君与夷、及大夫孔夫」とあり、「伝」に「春、宋督攻孔氏、殺孔父而

②② 僖(公)十四年 注②①参照。

②③ 襄(公)二十九年 注①⑨参照。

②④ 桓(公)六年 注①⑧参照。

②⑤ 襄(公)二十九年 注①⑨参照。

②⑥ 取郛 襄公十三年経に「夏、取郛」とある。

②⑦ 取郛 成公六年経に「春、……取郛」とある。

②⑧ 伐邾取須句 僖公二十二年経に「春、公伐邾、取須句」とあり、「伝」に「春、伐邾、取須句、反其君焉、礼也」とある。

②⑨ 成(公)二年 成公二年経に「九月、取汶陽田」とあり、「伝」に「秋、七月、晋師及齐国佐、盟于爰婁、使齐人帰我汶陽之田」とある。

③⑩ 劉君 本疏引。

〔經〕 戊申、衛州吁弑其君完

〔注〕 稱臣弑君、臣之罪也、例在宣四年、戊申三月十七日、有日而無月

〔疏〕 注稱臣、無月

正義に曰はく、宣(公)四年の傳例に曰ふ、「凡そ、君を弑するに君を稱するは、君無道なればなり。臣を稱するは、臣の罪なり」と。注に云ふ、「君を稱するとは、唯だ君の名を書して、國を稱して以て弑するを謂ふ。衆の共に絶つ所を言ふなり。臣を稱するとは、弑する者の名を書するを謂ふ。以て來世に示し、終に不義と爲すなり」と。然らば則ち此に州吁の名を稱し、臣、君を弑すと稱するは、是れ臣の罪なり。完は無道に非ずして州吁をば

賊と爲すを言ふなり。州吁、實に公子なるも公子と稱せざるは、「傳」文には更に褒貶無く、直ちに是れ告辭同じからずして史に詳略有るのみ。公子は復た族に非ずと雖も、而も文は族の處に當つ。「春秋」の族を書するとは否とは大いに乖異有り。故に杜(預)は之を備言するなり。

〔釋例〕に曰はく、「尋案するに、『春秋』の諸々の氏族の稱は甚々參差多し。而して先儒は皆な以て例を爲す。之を外赴に託さんと欲すれば、則ち人身自ら來たる者有るは例として合ふべからざるを思ひ、因りて辟陋・未賜族を以て説を爲す。君を弑するに族を書せざる者は四事あり。州吁・無知は公子・公孫を稱せず。賈氏以爲へらく、『君を弑して國を取るが故に國を以て之を言ふ』と。案ずるに、公子商人も亦た君を弑して國を取る。而るに獨り公子と稱す。宋督には賈氏以爲へらく、『督は君を無するの心有るが故に氏を去る』と。案ずるに、『傳』は自づから先づ君を弑するを以て義を見すにて、氏に在らしめざるなり。宋萬には賈氏以爲へらく、『未賜族』と。案ずるに、『傳』に『南宮長萬』と稱すれば、則ち已に南宮を氏と爲すにて、未賜族と爲すを得ざるなり。大夫を執殺するに族を書せざる者は二事あり。楚、得臣と宣申とを殺すには、賈氏皆な以爲へらく、『陋』と。案ずるに、楚、大夫公子側・大夫成熊の等六、七人を殺すには皆な氏族を稱す。獨り此の二人に於いて陋なりと爲す無きなり。以て通例と爲さんと欲すれば、則ち此の如きの錯有り。以て義例無しと爲さんと欲すれば、則ち『傳』に『之を嘉するが故に名いはず』・『書して仲孫と曰ふは、之を嘉すればなり』・『書して崔氏と曰ふは、其の罪に非ざればなり』・『翟・溺、師を帥るるには、皆な之を疾むと曰ふ』・『族を稱するは君命を尊べばなり』・『族を舍つるは夫人を尊べばなり』・『晉を尊び己を罪す』とあり、炳然と

或ひは此の意を疑ひ、遂に「上に伐を言ひて、下に取を言へば、易きに非ず」と云ひて以て杜氏を規すは非なり。

① 『譜』 『春秋釈例』世族譜第四十五之下に見える。

② 桓（公）二年 桓公二年経に「秋、七月、杞侯来朝」とある。

③ 莊（公）二十七年 莊公二十七年経に「冬、杞伯姫来、莒慶来逆叔姫、杞伯来朝」とある。

④ 僖（公）二十三年 僖公二十三年経に「冬、十有一月、杞子卒」とあり、「伝」に「十有一月、杞成公卒、書曰子、杞夷也、不書名、未同盟也」とある。

⑤ 昭（公）五年 昭公五年経に「夏、莒牟夷以牟婁及防兹来奔」とある。

⑥ 文（公）三年 文公三年経に「夏、五月、王子虎卒、秦人伐晋」とあり、「伝」に「夏、四月……秦伯伐晋、济河焚舟、取王宫及郊」とある。

⑦ 襄（公）二十三年 襄公二十三年経に「秋、齐侯伐衛、遂伐晋」とあり、「伝」に「秋……齐侯遂伐晋、取朝歌」とある。

⑧ 昭（公）元年 昭公元年経に「三月、取鄆」とあり、「伝」に「季武子伐莒取鄆」とある。

⑨ 昭（公）十年 昭公十年経に「秋、七月、季孫意如・叔弓・仲孫矍帥師伐莒」とあり、「伝」に「秋、七月、平子伐莒取鄆」とある。

⑩ 襄（公）十三年 襄公十三年伝に「凡書取言易也、用大師焉曰滅、弗地曰入」とある。

⑪ 「地理志」 『漢書』地理志・上の陳留郡・雍丘県の条

に「故杞国也、周武王封禹後東楼公、先春秋時徙魯東北、二十一世簡公為楚所滅」とある。

⑫ 「志」 『漢書』地理志・上の北海郡・淳于県の条の顔師古の引く注に「應劭曰、『春秋、州公如晋、左氏伝曰、淳于公如曹』、臣瓚曰、『州国名也、淳于公国之所都』」とある。

⑬ 應劭 注⑫参照。

⑭ 「春秋」 桓公五年経に「冬、州公如曹」とあり、「伝」に「冬、淳于公如曹、度其国危、遂不復」とある。

⑮ 「左氏傳」 注⑭参照。

⑯ 「釋例」 『春秋釈例』土地名第四十四之三の小国地の部に見える。

⑰ 桓（公）五年傳 注⑭参照。

⑱ 六年 桓公六年経に「春正月、寔来」とあり、「伝」に「春、自費来朝、書曰寔来、不復其国也」とある。

⑲ 襄（公）二十九年 襄公二十九年経に「六月、知悼子合諸侯之大夫、以城杞」とある。

⑳ 昭（公）元年 昭公元年伝に「祁午謂趙文子曰、宋之盟、楚人得志於晋、今令尹之不信、諸侯之所聞也、子弗戒、懼又如宋、子木之信稱於諸侯、猶詐晋駕焉、況不信之尤者乎、楚重得志於晋、晋之恥也、子相晋国、以為盟主、於今七年矣、再合諸侯、三合大夫、服齊狄寧東夏、平秦乱、城淳于、師徙不頓、国家不罷、民無謗讟、諸侯無怨、天無大災、子之力也、有令名矣、而終之以恥、午也、是懼、吾子其不可以不戒」とある。

㉑ 僖（公）十四年 僖公十四年伝に「春、諸侯城緣陵、而遷杞焉、不書其人、有欠也」とある。

⑥ 文(公)三年の「秦人、晉を伐つ」の「傳」に「王宮を取り郊に及ぶ」と稱し、襄(公)二十三年の「齊侯、晉を伐つ」の「傳」に「朝歌を取る」と稱す。並びに「伐」を書いて「取」を書せず。此に「伐」・「取」兩つながら書するは、彼は「伐」を告げて「取」を告げず、此は「伐」・「取」並びに告ぐるが故なり。昭(公)元年(傳)に「莒を伐ちて鄆を取る」とあり、(「經」に)「取」を書いて「伐」を書せず。昭(公)十年(傳)に「莒を伐ちて鄆を取る」とあり、(「經」に)「伐」を書いて「取」を書せず。昭(公)十年は、兵未だ莒に加へずして鄆、逆服するが故に「取」を書いて「伐」を書せず。(昭公)十年は、晉、鄆を取りて公を討つを以ての故に「伐」を書いて「取」を書せず。其の國を伐ち邑を圍むに、「圍」を書すと否せざるも亦た告に従ふなり。

〔疏〕注書取(婁鄉)

正義に曰はく、襄(公)十三年の傳例に「凡そ取を書するは、易きを言ふなり」と曰へば、此の「取」を書するも亦た易きを言ふを知るなり。

⑪ 「地理志」に云ふ、「陳留郡の雍丘縣は故の杞國なり。武王、禹の後なる東婁公を封ず」と。是れ杞は本陳留雍丘縣に都するなり。⑫ 「志」に又た云ふ、「北海郡の淳于縣」と。應劭曰はく、「『春秋』に『州公、曹に如く』とあり、『左氏傳』に『淳于公、曹に如く』とあり」と。臣瓚、案ずるに、「州は國名なり。淳于是國の都する所なり」と。此の淳于縣は漢に於いては北海郡に屬し、晉の時には東莞郡に屬す。故に『釋例』土地名に「州國は東莞の淳于縣に都す」と云ふ。以へらく、雍丘・淳于是郡別なりと雖も、而も竟は連なるなり。桓(公)五年傳に「淳于公、曹に如き、其の國の危きを度り、遂に復らず」と稱す。六年に「春、實に來た

る」とあり、其の國の必ず滅びしを知ると雖も、何の國の之を取るかを知らず。襄(公)二十九年に「晉、諸侯を帥めて杞に城く」とあり、昭(公)元年に祁午、趙文子の功を數へて「淳于に城く」と云へば、是れ淳于是即ち杞國の都なるを知るなり。僖(公)十四年に「諸侯、緣陵に城きて杞を遷す」とあるも、何に従りて遷るかを知らず。故に(杜預注に)「淳于公は國を亡ひ、杞は之を并せて其の地に遷居するに似たり。僖(公)十四年に、又た淳于よりして緣陵に遷る。襄(公)二十九年に、又た緣陵より淳于に遷る」と云ふ。明文無く、疑ひて敢て質さざるを以ての故に(杜預注に)「事迹を推尋す」と言ふも、當に然るべきに似たるなり。若し然らば淳于是杞の并せ定むる所と爲り、虚しくして淳于に遷都せざるに似たるも、未だ事跡有らず。雍丘より緣陵に遷るも亦た知るべきなり。而るに且つ、必ず(杜預注に)「淳于に遷都し、又た淳于より緣陵に遷る」と言ふは、桓(公)六年に淳于公、國を亡ひ、襄(公)二十九年に又た杞、淳于に都すれば、則ち淳于の始末は是れ杞の有する所にて、又た杞の都する所なるを以ての故に、未だ緣陵に都せざるの前も亦た淳于に都するかを疑ふなり。國を取るの易きには、則ち直ちに「取」と言ふ。「鄆を取る」・「鄆を取る」の類の若き、是れなり。故に須らく「伐」を上に加ふべからず。其の國を伐ち邑を取りて、其の邑既に小にして名の通ずるを得ざるが若きは、若し「伐」を上に加へざれば何國の邑を得るかを知らず。是を以て易きと雖も亦た「伐」の文を加ふるなり。則ち「杞を伐ちて牟婁を取る」・「杞を伐ちて須句を取る」の類、是れなり。成(公)二年の「汶陽の田を取る」は、師を乞ひ、盟主、兵を興して齊を伐ち、邑を得るなり。既に難くして亦「取」と書するは、其の齊を伐ち、晉、汶陽の田を還さしめ、魯、兵を加へざるに因るが故に「取」を書し、易きに従ふなり。劉君、

⑥ 曹、邾を奸す 莊公十四年経に「春、齊人・陳人・曹人伐宋」とあり、僖公十五年経に「冬、宋人伐曹」とある。この二つの事件を関連づけて、「伝」には「冬、宋人伐曹、討旧怨」と述べている。

⑦ 陳の靈(公) 陳の靈公の事は宣公九年・十年伝に見える。

⑧ 蔡の景(公) 襄公三十年伝に「蔡景侯為大子般娶于楚、通焉、大子弑景侯」とある。

〔傳〕 去順效逆、所以速禍也、君人者將禍是務去、而速之、無乃不可乎、弗聽、其子厚與州吁游、禁之、不可、桓公立、乃老

〔注〕 老致仕也、四年經書州吁弑其君、故傳先經以始事

〔疏〕 去順效逆

正義に曰はく、州吁は、「逆」に於いては則ち少にして長を陵ぎ、「順」に於いては則ち弟にして敬せざれば、是れ「順」を去り逆に效ふなり。「六順・六逆」は事に因りて廣言す。州吁、偏ねく之を犯すを謂ふには非ざるなり。

〔疏〕 注老致仕始事

正義に曰はく、『禮』の「七十にして事を致す」とは、其の掌る所の事を君に還すを言ふなり。

「傳」の初^{はじめ}始て此(の州吁の事)有り。故に(杜預注に)「『傳』は『經』に先だちて以て事を始む」と言ふ。餘に注せざるは従りて知るべければなり。

① 『禮』『礼記』内則に「七十致事」とあり、鄭注に「致

其事於君而告老」とある。

〔經〕 四年、春、王二月、莒人伐杞、取牟婁

〔注〕 無傳、書取言易也、例在襄十三年、杞國本都陳留雍丘縣、推尋事跡、桓六年淳于公亡國、杞似并之、遷都淳于、僖十四年又遷緣陵、襄二十九年晉人城杞之淳于、杞又遷都淳于、牟婁杞邑、城陽諸縣東北有婁鄉

〔疏〕 莒人牟婁

正義に曰はく、『譜』に云ふ、「杞は姒姓、夏禹の苗裔なり。

武王、殷に克ち、禹の後を求めて東樓公を得、而して之を杞に封ず。今の陳留雍丘縣、是れなり。九世にして成公に及び、緣陵に遷り、文公、淳于に居る。成公、始めて『春秋』に見ゆ。潛公の六年は獲麟の歲なり。潛公の弟の哀公三年に『春秋』の「傳」終はるなり。哀公は十年にして卒す。哀公より以下二世、十三年にして楚、杞を滅ぼす」と。檢するに、杞は此の歲に於いて已に「經」に見ゆ。桓(公)二年に「杞侯の來朝」有り、莊(公)二十七年に「杞伯の來朝」有るも、「傳」に於いては並びに號謚無く、又た其の卒を書せず。僖(公)二十三年に「杞の成公卒す」とあり、其の謚は乃ち「傳」に見ゆるも、未だ此の年(隱公四年)に杞國は定めて是れ何の君なるかを知らず。當に是れ成公の父祖なるべきのみ。

牟婁は杞の邑なり。莒、之を伐取し、是れより以後は常に莒の邑と爲る。昭(公)五年の「莒の牟婁、牟婁を以て來奔す」、是れなり。

〔注〕如此者少也、降其身則必恨、恨則思亂、不能自安自重

〔疏〕夫寵而——鮮矣

正義に曰はく、君の寵愛を特めば未だ驕らざること有らず。亦た既に驕矜すれば必ず自ら其の心を降す能はず。強ひて其の心を降せば未だ恨まざること有らず。亦た既に怨恨すれば必ず其の身を自重する能はず。〔釋言〕に云ふ、「眡は重なり」と。恨めば則ち亂を思ひ、必ず自安、自重する能はざるを言ふなり。寵ありて必ず驕り、降りて必ず憾むは、その勢の必ず自然なるを言ふ。故に其の能く然らざる者は少なきを言ふなり。驕りて降る能はず、憾みて眡ぶ能はざるは、其の心自ら抑へ難きを言ふなり。故に其の能く然る者少なきを言ふなり。〔鮮〕は少と訓ず。一鮮を以て四事を總ぶ。四事皆な少なきを言ふなり。

① 「釋言」 『爾雅』釈言に「眡重也」とある。

〔傳〕且夫賤妨貴、少陵長、遠間親、新間舊、小加大

〔注〕小國而加兵於大國、如息侯伐鄭之比

〔傳〕淫破義所謂六逆、君義臣行、父慈子孝、兄愛弟敬、所謂六順也

〔注〕臣行君之義

〔疏〕賤妨——破義

正義に曰はく、「賤にして貴を妨ぐ」とは、位に貴賤有るを謂

ふ。「少にして長を陵ぐ」とは、年に長幼有るを謂ふ。〔楚の公子申、多く小國の賂を受け、以て子重・子辛に偏らんとす〕とは、是れ賤人にして貴人を妨ぐるなり。〔邾の捷菑、弟を以て兄の位を奪はんと欲す〕とは、是れ年少にして年長を陵ぐなり。〔齊の東郭偃・棠無咎、崔氏の政を専らにして崔成・崔彊を侮どる〕とは、是れ疎遠にして親戚を問つなり。〔晉の荀童・夷羊五、君の寵を得て三郤を去る〕とは、是れ新臣にして舊臣を問つなり。〔息鄭を伐つ〕、「曹、宋を奸す」とは、是れ小國にして大國を加ぐなり。〔陳の靈（公）・蔡の景（公）、姦穢度無し〕とは、是れ邪淫にして正義を破るなり。

「妨」とは害する所有るを謂ふ。「陵」とは之を加尙するを謂ふ。「間」とは其の間に居りて彼をして疎遠ならしむるを謂ふなり。「加」は亦た加陵なり。「破」とは破散を謂ふ。淫・義は兩立せず。惡を行へば則ち善を破るが故に「破」と言ふなり。

(三〇)

① 楚の公子申 襄公二年伝に「楚公子申為右司馬、多受小國之賂、以偪子重・子辛」とある。

② 邾の捷菑 文公十四年伝に「邾文公元妃齊姜生定公、二妃晉姬生捷菑、文公卒、邾人立定公、……晉趙盾諸侯之師八百乘納捷菑于邾、邾人辭曰、齊出纓且長、宣子曰、辭順而弗從、不祥、乃還」とある。

③ 齊の東郭偃 襄公二十五年「齊崔杼弑其君光」の「伝」に見える。

④ 晉の荀童 成公十七年「晉殺其大夫卻錡・卻鮒・卻至」の「伝」に見える。

⑤ 息、鄭を伐つ 隠公十一年伝に「鄭息有違言、息侯伐鄭、鄭伯与戦于竟、息師大敗而還」とある。

〔疏〕注嬌陳——未定

正義に曰はく、「謚法」に「暴慢にして親無きを厲と曰ふ」、
「禮を典りて愆無きを戴と曰ふ」とあり。是れ（厲・戴は）皆な
謚なり。

（本年「傳」に）石碯の、「將に州吁を立てんとすれば、乃ち
之を定めよ」と言ふは、州吁を定めんことを請ふなり。明らかに
太子の位は未だ定まらず。「衛世家」に「完を立てて太子と爲す」
と言ふは非なり。

① 「謚法」 『逸周書』謚法解には「殺戮無辜曰厲」、
「典礼不審曰戴」とある。

② 「衛世家」 『史記』衛世家に「莊公五年、取齊女為夫
人、好而無子、又取陳女為夫人、生子、蚤死、陳女弟亦幸
莊公而生子完、完母死、莊公令夫人齊女子之、立為太子、莊
公有寵妾、生子州吁」とある。

〔傳〕公子州吁嬖人之子也

〔注〕嬖親幸也

〔傳〕有寵而好兵、公弗禁、莊姜惡之、石碯諫曰、臣聞愛子教之以
義方

〔注〕石碯衛大夫

〔傳〕弗納于邪、驕奢淫佚、所自邪也、四者之來、寵祿過也、將立
州吁、乃定之矣、若猶未也、階之爲禍

〔注〕言將立爲太子、則宜早定、若不早定、州吁必緣寵而爲禍

〔疏〕弗納——過也

正義に曰はく、「驕」とは己を恃みて物を陵ぐを謂ふ。「奢」
とは夸矜りて上を僭すを謂ふ。「淫」とは奢（嗜）欲の度を過ぐ
るを謂ふ。「佚」とは放恣して藝無きを謂ふ。此の四者の來たる
や、邪よりして起る。故に服虔の「此の四者の過は邪より起る
を言ふ」と云ふは、是なり。劉炫云ふ「此の四者は自ら己が身
を邪にする所以にして、之を爲して已まざれば、將に邪に至らん
とするを言ふ。邪とは惡逆の事を謂ふ」と。劉（炫）又た服（虔）
を難じて云ふ、「邪は是れ何事か能く四過を起こさんや。若し邪
より起れば、何ぞ須らく『四者の來たるは、寵祿過ぐればなり』
と云ふべけんや。寵祿は、豈に是れ邪事にして、四者の從りて來
たるを得んや。且つ『邪に納れしめず』と言ふは、其の驕に緣り
て以て邪に至るを懼れるにて、先づ邪にして後に驕なるには非ざ
るなり」と。

① 服虔 本疏引。

② 劉炫 本疏引。

③ 劉（炫） 本疏引。

④ 服虔と劉炫の見解の相違は次のようになる。

服虔 邪→驕・奢・淫・佚
劉炫 驕・奢・淫・佚→邪

〔傳〕夫寵而不驕、驕而能降、降而不憾、憾而能眴者鮮矣

兌	艮	離	坎	巽	震	坤	乾	卦象
西	東北	南	北	東南	東	南	西北	方位
沢	山	日・火	月・水	風	雷	地	天	自然
説	止	麗	陷	入	動	順	健	徳
少女	少男	中女	中男	長女	長男	母	父・君	人
口	指・手	目	耳	股	足	腹	首	身体
羊	狗	雉	豕	鶏	竜	牛	馬	動物

〔傳〕美而無子、衛人所爲賦碩人也

〔注〕碩人詩義、取莊姜美于色、賢而徳、而不見荅、終以無子、國人憂之

〔疏〕所爲賦碩人

正義に曰はく、此の「賦」は自ら詩を作るを謂ふなり。班固曰はく、「歌はずして誦するも亦た賦と曰ふ」と。鄭玄云ふ、「賦とは或ひは篇を造り、或ひは古(詩)を誦するなり」と。然らば則ち「賦」に二義有り。此れと関(公)二年の「鄭人、清人を賦す」と「許の穆夫人、載馳を賦す」とは、皆な初めて篇を造るなり。其餘の「賦」と言ふは、則ち皆な古詩を誦するなり。

① 班固 『漢書』芸文志の詩賦の部に「伝曰、不歌而誦之賦、登高能賦、可以爲大夫」とある。

② 鄭玄 本疏引。『毛詩』鹿鳴之什・常棣の小序の正義引に「故鄭荅趙商云、凡賦詩者、或造篇、或誦古」とある。鄭玄が弟子達の經書に關する質問に答えたものを編したものに、魏の鄭子同(鄭玄の孫にあたる)の撰になる『鄭志』がある。

③ 関(公)二年 関公二年伝に「高克奔陳、鄭人爲之賦清人」、「許穆夫人賦載馳」とある。

〔傳〕又娶于陳、曰厲嬀、生孝伯、早死

〔注〕陳今陳國陳縣

〔疏〕又娶于陳

正義に曰はく、陳國は侯爵なり。『譜』に云ふ、「嬀姓、虞舜の後なり。周の興るに當たりて虞遏父なる者有り。周の陶正と爲る。武王、其の器用を利すると、其の先聖の後なるを頼み、元女の大姫を以て遏父の子の滿に妃して陳に封じ、姓を賜ひて嬀と曰ふ。胡公と號す。桓公二十三年は魯の隱公の元年なり。滑公二十一年は獲麟の歲なり。二十四年に楚、陳を滅ぼす」と。此は(陳の)桓公の時に當たれば、二嬀は蓋し桓公の姊妹ならん。

① 『譜』 『春秋釈例』世族譜第四十五之下の陳國の部に見える。

〔傳〕其嬀戴嬀生桓公、莊姜以爲己子

〔注〕嬀陳姓也、厲・戴皆謚、雖爲莊姜子、然大子之位未定

④ 『釋例』 『春秋釈例』 土地名第四十四之三の「水名」の部に見える。

⑤ 『長歷』 『春秋釈例』 経伝長歴第四十五之一に見える。

〔傳〕 衛莊公娶于齊東宮得臣之妹、曰莊姜

〔注〕 得臣齊大子也、太子不敢居上位、故常處東宮

〔疏〕 衛莊 莊姜

正義に曰はく、齊國は侯爵なり。『譜』^①に云ふ、「姜姓、太公望の後なり。其の先（祖）の四岳は禹を佐けて功有り。或ひは呂に封ぜられ、或ひは申に封ぜらる。故に太公を呂望と曰ふなり。太公は周室を股肱し、成王は之を營丘に封ず。今の臨淄、是れなり。僖公九年は魯の隠公の元年なり。簡公四年は獲麟の歳なり。簡公の弟平公十三年に『春秋』の「傳」終はる。平公は二十五年にして卒し、後二世七十年にして田氏、齊を奪ひ、太公の後滅ぶ」と。

② 「齊世家」を案ずるに、莊公は僖公を生み、東宮得臣は未だ何公の太子なるかを知らず。③『史記』十二諸侯年表を案ずるに、衛の莊公の立つは春秋の前二十五年に在り、齊の僖公の立つは春秋の前八年に在り。然らば則ち莊姜は必ず齊の僖公の女^{むすめ}には非ず。蓋し是れ莊公の女にして、僖公の姊妹ならん。得臣は太子と爲りて早く死するが故に僖公立つなり。僖公の姊妹と言はずして得臣に繋ぐるは、其の是れ適女なるを見すなり。

得臣は太子と爲りて、（杜預注に）「常に東宮に處る」と云ふは、⑤四時は東を春と爲す。萬物の生長は東に在り。西を秋と爲す。萬物の成就是西に在り。此れを以て君は西宮に在り、太子は常に

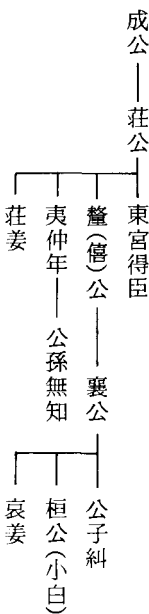
東宮に處るなり。或ひは『易』^⑥の象に據るべし。西北を乾と爲し、乾を君父と爲す。故に君は西に在り。東方は震、震を長男と爲す。故に太子は東に在るなり。

① 『譜』 『春秋釈例』 世族譜第四十五之下の齊國の部に見える。

② 「齊世家」 『史記』齊世家。

③ 『史記』十二諸侯年表 『史記』十二諸侯年表に依れば、衛の莊公元年は魯の惠公（在位四十六年）の十二年に当たり、春秋の前三十五年（疏が二十五年とするのは誤りであらう）である。齊の僖公元年は魯の惠公三十九年に当たり、春秋の前八年である。

④ 莊姜 『史記』齊世家に依つて世系を記すと次のようになる。



⑤ 五行の木・火・土・金・水と季節、方位、色の対応は次のようになる。

五行	季節	方位	色
木	春	東	青
火	夏	南	赤
土	土用	中央	黄
金	秋	西	白
水	冬	北	黒

⑥ 『易』 『周易』 説卦伝、彖伝などに依れば、八卦と（物）象である方位・自然・徳・人・身体・動物などの対応は次のようになる。

「祖甲——康辛

庚丁——武乙——太丁——帝乙——

帝辛（紂王）

③ 「商頌」

『毛詩』商頌の譜に「商者契所封之地、有娥氏之女名簡狄者、吞鵲卵而生契、堯末年、舜舉為司徒、有五教之功、乃賜姓而封之、世有官守、十四世至湯則受命、代夏桀定天下、後世有中宗者……後有高宗者……至於大小無時或怨、此三王有受命中興之功、時有作詩頌之者」とある。

④ 『公羊傳』

隱公三年經「癸未、葬宋繆（左伝繆作穆）公」の『公羊伝』に「莊公馮弑與夷、故君子大居正、宋之禍、宣公為之也」とある。

⑤ 四年傳

隱公四年伝に「宋殤公之即位也、公子馮出奔鄭、鄭人欲納之、及衛州吁立、將修先君之怨於鄭、而求寵於諸侯以和其民、使告於宋曰、君若伐鄭以除君害、君為主、敝邑以賦与陳蔡從、則衛国之願也」とある。

⑥ 「諡法」

『逸周書』諡法解に「短折不成曰殤」、「布德執義曰穆」とある。

〔傳〕 冬、齊・鄭盟于石門、尋蘆之盟也

〔注〕 蘆盟在春秋前、蘆齊地、今濟北蘆縣故城

〔傳〕 庚戌、鄭伯之車償于濟

〔注〕 既盟而遇大風、傳記異也、十二月無庚戌、日誤

〔疏〕 注既盟——日誤

正義に曰はく、「釋言」に云ふ、「償は償なり」と。舍人曰はく、「背陪の意なり」と。車踏れて済に入るは、是れ風の之を吹きて済水に隊せるにて、非常の事なり。故に（杜預注に）「傳」は異を記すなり」と云ふ。

③ 「禹貢」に「汎水を導き、東流して済と爲る。河に入りて溢れて滎と爲る」とあり。④ 「釋例」に曰はく、「済（水）は滎陽の卷縣より、東のかた陳留を経て済陰に至り、北のかた高平を経て、東のかた済北を経て、東北のかた済南を経て樂安の博昌縣に至りて海に入る」と。案ずるに、水流の道を檢するに今古の殊なる或り。

杜（預）は既に元由を考校し、當時の所見に據りて『釋例』に載す。今、一に皆な杜（預）に依る。『水經』と乖異すと雖も、亦た復た根尋せざるなり。

「庚戌」に月無くして而も（杜預注に）「十二月」と云ふは、（本年）「經」の「石門に盟ふ」は十二月に在るを以て、此も亦た十二月なるを知るなり。「經」に「十二月」を書し、下に「癸未、宋の穆公を葬る」と云ふ。計るに庚戌は癸未の前の三十日に在りて、共に一月（内）に在るを得ず。彼の『長歷』もて此の年十二月甲子は朔なるを推すに、十一日に甲戌有り、二十日は丙戌に在りて、庚戌有るを得ず。而るに月に癸未有れば、則ち月にまさに誤りあるべからず。「日の誤り」なるを知るなり。

① 「釋言」 『爾雅』釈言に「斃陪也、償償也」とある。

② 舍人 本疏引。

③ 「禹貢」 『尚書』禹貢に「岷山導江、東別為沱、又東至于澧、過九江、至于東陵、東迤北会于匯、東為中江、入于海、導汎水、東流為済、入于河、溢為滎、東出于陶丘北」とある。

②

〔公羊傳〕に「宋の禍は宣公之を爲す」と言ふは、（宣公）其の子（殤公）を捨てて弟（穆公）を立て、果たして（公子）馮をして争心有らしむるを尤め、（公子）馮の争を以て宣公の禍と爲せばなり。今、此の「傳」は宣公を善みするが故に其の事を申明するなり。若し義に帥ひて行はしむれば、則ち殤公は宜しく此の命を受くべく、宜しく此の祿を荷ふべし。但だ公子馮は父の義に帥はずして其の咸宜を失ふ。（杜預注の）「故に人を知るの稱は唯だ宣公に在るのみ」とは、宣公の穆公を知るを善みするのみ。（公子）馮の自ら國を争ふは宣公の罪に非ず。故に之を善みするなり。

（本年）「傳」に「公子馮をして出でて鄭に居らしむ」と言へば、則ち是れ父の之をして出ださしむるなり。（杜預）注に「忿^⑤って出奔す」と言ふは、四年傳に曰はく、「公子馮、鄭に出奔す。鄭人、之を納れんと欲す」と。又た「衛、宋に告げて曰はく、君若し鄭を伐たば、以て君の害を除かん」とあり。是れ（公子）馮の鄭に出奔して入らんことを求むるは、宋國を害せんと欲するなり。父の鄭に居らしむるは、以て殤公を辟けんと欲するなり。（公子）馮は乃ち鄭に因り、以て殤公を害せんと欲す。故に父に據りて之を言へば、則ち（「傳」に）「之をして出でて居らしむ」と云ひ、（公子）馮に據りて之を言へば、則ち（杜預注に）「忿^⑤つ

② 契 商（殷）の世系を記すと左のようである。（『史記
殷本紀に依る）

振——微——報丁——報乙——報丙——主壬

主癸——天乙（成湯）
 └── 太丁 ── 太甲 ── 沃丁
 └── 外丙
 └── 中壬
 └── 太庚

小甲
 雍己
 太戊

仲丁
 外壬
 河竈甲

祖乙
 祖辛
 祖丁
 陽甲

沃甲
南庚
盤庚
小辛
小乙

「武丁」
├── 祖己
└── 祖庚

〔傳〕公曰、不可、先君以寡人爲賢、使主社稷、若棄德不讓、是廢先君之學也、豈曰能賢

〔注〕言不讓則不足稱賢

〔傳〕光昭先君之令德、可不務乎、吾子其無廢先君之功

〔注〕先君以舉賢爲功、我若不賢、是廢之

〔傳〕使公子馮出居於鄭

〔注〕辟殤公也

〔傳〕八月庚辰、宋穆公卒、殤即位、君子曰、宋宣公可謂知人矣、立穆公、其子饗之、命以義夫

〔注〕命出於義也、夫語助

〔疏〕命以義夫

正義に曰はく、「義」とは宜なり。心を錯くこと方直、動きて事の宜しきに合すれば、乃ち之を義を爲すと謂ふ。宣公の穆公を立てる(所以)は、穆公の賢なること、必ず義理を以て其の子(殤公)を棄てざらんことを知ればなり。今、穆公の方に卒せんとするや、孔父に命ずるに義事を以てして殤公を立てしむ。是れ穆公の命じて殤公を立てるは仁義の中より出づ。故に杜(預)は「命は義より出づるなり」と云ふ。必ず「命以義夫——命ずるに

義を以てせるかな」の、穆公命じて殤公を立てるを謂へるを知るは、杜(預)注に「義に帥しやうひて行へば則ち殤公は宜しく此の命を受くべく、宜しく此の祿を荷ふべし。公子馮は、父の義に帥しやうはずして終に咸宜の福を傷やぶなふ」と云ふを以てすれば、明らかに殤公の、穆公の命を受くること、殷の湯・武丁と同じく咸宜有るを知るなり。是れ穆公の殤公に命ぜしことの是れ義爲るを知るなり。

① 宣公 宋の世系を記すと次のようである。

武公——宣公(力)——殤公(與夷)

穆公(和)——莊公(公子馮)

② 杜(預)注 本年「伝」の「商頌曰、殷受命咸宜……」の注を参照。

〔傳〕商頌曰、殷受命咸宜、百祿是荷、其是之謂乎

〔注〕詩頌、言殷湯・武丁受命、皆以義、故任荷天之百祿也、帥義而行、則殤公宜受此命、宜荷此祿、公子馮不帥父義、忿而出奔、因鄭以求入、終傷咸宜之福、故知人之稱、唯在宣公也、殷禮有兄弟相及、不必傳子孫、宋其後也、故指稱商頌

〔疏〕商頌——謂乎

正義に曰はく、「商頌」玄鳥の卒章なり。成湯・武丁を言ふなり。此の二王は天の命を受け、皆な其の宜を得。故に天の百種の祿をば是に於いてか之を荷負するなり。天祿皆な歸するが故に得て荷負するを言ふなり。今、穆公の殤公を立てるも亦た其の宜を得。故に殤公は宜しく此の祿を荷ふべし。『詩』の意は其れ是れ此の事の謂か。

〔注〕詩大雅也、行葦篇義取於忠厚也、洞酌篇義取雖行潦、可以共祭祀也

〔疏〕雅有行葦

正義に曰はく、「采蘋」・「采蘋」・「洞酌」は、上の「傳」に言ふ所にして、皆な彼の篇の事有り。其の言、未だ「行葦」に及ばず。今、「行葦」を言ふは、其の意は別に忠厚に取るにて、以て上を結ぶには非ざるなり。

① 「采蘋」・「采蘋」・「洞酌」 各篇は『毛詩』国風・召南、及び大雅・生民之什に見える。

② 「行葦」 「行葦」篇は『毛詩』大雅・生民之什に見える。小序に「行葦、忠厚也、周家忠厚、仁及艸木、故能内睦九族、外尊事黄耆、養老乞言、以成其福祿焉」とある。

〔傳〕昭忠信也

〔注〕明有忠信之行、雖薄物皆爲可用

〔傳〕武氏子來求賻、王未葬也、宋穆公疾、召大司馬孔父而屬殯公焉、曰、先君舍與夷而立寡人

〔注〕先君穆公兄宣公也、與夷宣公子、即所屬殯公

〔疏〕武氏 葬也

正義に曰はく、蘇氏云ふ、「案ずるに、文（公）九年、『毛伯來たりて金を求む』の『傳』に曰はく、『王命を書せざるは、未

だ葬らざればなり」と。此の（本年）『傳』に直だ『王未だ葬らず』と云ひて同じからざるは、毛伯には直だ『使』を稱せざるを釋するのみ。故に『王命を書せず』と云ふ。此の『武氏子』は但だ『使』を稱せざるのみに非ず、又た父の族を稱す。二事皆な『采葦』に由るが故に直だ『王未だ葬らざるなり』と云ふ」と。

〔疏〕而立寡人

正義に曰はく、「曲禮」下に曰はく、「諸侯、天子に見ゆるに臣某・侯某と曰ひ、其の民と言ふとき、自ら稱して寡人と曰ふ」と。今、臣と言ふときも亦た「寡人」と云へば、則ち其の臣・民に對しては、自稱の同じきを知るなり。『老子』に「孤寡・不穀」と曰ふは、王侯の謙稱なり。故に以下に諸侯の自稱も亦た多く「不穀」と云ふ。

① 蘇氏 本疏引。

② 文（公）九年 文公九年經に「春、毛伯來求金」とあり、「伝」に「毛伯衛來求金、非礼也、不書王命、未葬也」とある。

③ 「曲禮」下 「礼記」曲礼・下に「諸侯見天子曰臣某・侯某、其与民言、自称曰寡人、其在凶服曰適子孤」とある。

④ 「老子」 『老子道德經』下篇に「是以侯王自称孤寡不穀」、「人之所惡惟孤寡不穀、而王公以為稱」とある。

〔傳〕寡人弗敢忘、若以大夫之靈、得保首領以没、先君若問與夷、其將何辭以對、請子奉之以主社稷、寡人雖死、亦無悔焉、對曰、群臣願奉馮也

〔注〕馮穆公子、莊公也

俗通」は多く『説文』の訓詁を踏襲しているとされているが、『説文』に「池陂也、从水也声」とある。

- ⑪ 「釋水」 『爾雅』积水に「水中可居者曰洲、小洲曰渚、小渚曰沚」とある。

- ⑫ 「釋名」 『釈名』积水に「小渚曰沚、沚止也、小可以止息其上也」とある。

- ⑬ 「周禮」 「地官」載師の職に「凡宅不毛者有里布」とあり、鄭注引鄭司農は「宅不毛者、謂不樹桑麻也」と述べている。

- ⑭ 「釋草」 『爾雅』釈草に「萍・萍、其大者蘋」とあり、郭璞注に「水中浮萍、江東謂之藻」とある。

- ⑮ 舍人 舍人とは官名であり、具体的な人物名は不明である。郭璞に先行する『爾雅』注釈者の一人である。現在その完本は亡んで伝わらないが、『爾雅』鍵為文学注として『玉函山房輯佚書』・『漢学堂叢書』等に輯録されている。

- ⑯ 郭璞 注⑭参照。

- ⑰ 陸機 陸機は三国呉、呉郡の人、字は元恪。著書に『毛詩草木鳥獸蟲魚疏』がある。

- ⑱ 「毛詩義疏」 注⑰の『毛詩草木鳥獸蟲魚疏』のこと。『古経解彙函』・『聚学軒叢書』・『学津討原』等に輯佚書として輯録されている。

- ⑲ 「釋草」 『爾雅』釈草に「藜藿」とあり、郭璞注に「白蒿」とある。

- ⑳ 孫炎 孫炎は三国魏の人、字は叔然。『爾雅』に注釈書がある。現在その完本は亡んで伝わらないが、『玉函山房輯佚書』・『漢学堂叢書』等に輯録されている。

- ㉑ 『疏』 注⑰の『毛詩草木鳥獸蟲魚疏』のこと。本疏引。

- ㉒ 『大戴禮』夏小正の「傳」 「夏小正」は「経」と「伝」とに分かれている。二月の項の経文「采葦、采藜」の条の伝文に「葦菜也、藜由胡、由胡者、藜母也、藜母者、旁勃也、皆豆美也、故記之」とある。

- ㉓ 許慎 許慎は漢の人、字は叔重。著書に『五經異義』・『説文解字』がある。

- ㉔ 『説文』 『説文解字』艸部に「藻、水艸也、从艸・水、巢声、詩曰于以采藻」・「藻、藻或从澡」とある。

- ㉕ 「毛詩傳」 『毛詩』召南・采蘋の「于以采藻」の毛伝に「藻、聚藻也」とある。

- ㉖ 陸機の『疏』 本疏引。注⑰⑱参照。

〔傳〕 筐筥錡釜之器

〔注〕 方曰筐、員曰筥、無足釜、有足曰錡

〔疏〕 注方曰「曰錡

正義に曰はく、此れ皆な「毛詩傳」・鄭箋の文なり。①『説文』に云ふ、「筥は牛に飯するの筐なり」と。②『廣雅』に云ふ、「錡は釜なり」と。③

- ① 「毛詩傳」・鄭箋 『毛詩』召南・采蘋の「于以盛之、

維筐及筥、于以湘之、維錡及釜」の毛伝に「方曰筐、圓曰筥、錡・釜属、有足曰錡、無足曰釜」とあり、鄭箋に「亨頼藻者於魚箔之中是錡羹之菹」とある。

- ② 『説文』 『説文』竹部に「箠、飯牛匡也、从竹康声、方曰匡、圓曰箠」とある。

なり。小水は其の上に止息すべきなり」と。

草は是れ地の「毛」なり。『周禮』の「宅不毛」は、宅内に草木無きを謂ふなり。故に杜(預)は「毛」を以て草と爲す。草は即ち下句の「蘋蘩蕪藻」、是れなり。「蘋」は陸菜なるも、而も(「傳」に)「沼沚の毛」と云ふは、或ひは之を水旁に采り、皆な水内にあるには非ざるなり。

〔疏〕注頻大(聚藻也)

正義に曰はく、「釋草」に云ふ、「苹・藻、其の大なる者は蘋なり」と。舎人曰はく、「苹は一名を藻、大なる者は蘋と名づく」と。郭璞曰はく、「水中の浮萍、江東之を藻と謂ふ」と。陸機の『毛詩義疏』に云ふ、「今の水上の浮萍、是れなり。其の龐大なる者、之を蘋と謂ふ。小なる者を萍と曰ふ。季春に始めて生じ、糝蒸して茹を爲るべし。又た苦酒に淹して以て酒を就すべし」と。『釋草』に又た云ふ、「蘋は蘋蒿なり」と。孫炎曰はく、「白蒿なり」と。陸機の『疏』に曰はく、「凡そ艾の白色なるを蘋蒿と爲す。今の白蒿は春始めて生じ、秋に及びて香美なり。生食すべく、又た蒸すべし。一名は遊胡、北海の人之を旁勃と謂ふ。故に『大戴禮』夏小正の『傳』に、『蘋は遊胡、遊胡は旁勃なり』と曰ふ」と。

許慎の『説文』に云ふ、「藻は水草なり。艸に従ひ、水に従ひ、巢の聲。或ひは藻に作り、澡に従ふ」と。『毛詩傳』に曰はく、「藻は聚藻なり」と。然らば則ち此の草は聚生を好めば、「蕪」は「聚」と訓ずるなり。故に(杜預注に)「蕪藻は聚藻なり」と云ふ。陸機の『疏』に云ふ、「水底に生ず。二種有り。其の一種は、葉は鶏蘇の如く、莖は大にして箸の如し。長さ四・五尺なり。其の一種は、莖は大にして釵股の如く、葉は蓬の如し。之を聚藻と謂ふ」と。又た云ふ、「扶風の人之を藻聚と謂ふは、發聲の爲

めなり。此の二藻は皆な食すべし。煮熟して腥氣を撿去し、米麴に糝蒸して茹と爲せば嘉美なり。揚州の人、饑荒のときは以て穀食に當つべし」と。

① 『爾雅』釋山 『爾雅』積山に「山夾水澗、陵夾水澗」とある。

② 李巡 李巡は後漢、汝陽の人。『爾雅』に注釈したが、現在その完本は亡んで伝わらない。輯本として『玉函山房輯佚書』・『漢學堂叢書』等に輯録されている。本疏引の一句は、他に『春秋公羊伝』僖公三年の条の疏にも引かれている。後出の李巡も同様である。

③ 『釋名』 『釋名』積水に「山夾水澗、澗間也、言在兩山之間也」とある。

④ 『釋水』 『爾雅』積水に「水注川曰谿、注谿曰谷、注谷曰澗、注澗曰澗、注澗曰澗」とある。

⑤ 『釋山』 『爾雅』積山に「山嶺無所通谿」とある。

⑥ 宋均 本疏引。

⑦ 張揖 張揖は後魏の人、字は稚讓。著書として『廣雅』・『埤雅』・『古今字詁』があるが、現在では後二書は亡んで伝わらない。

⑧ 『廣雅』 『廣雅』積地に「湖・陂・陂・塘・都・航・斤・澤・埳・衍・皋・沼、池也」とある。

⑨ 應劭 應劭は東漢、汝陽の人、字は仲遠。著書として『漢官儀』・『風俗通』等がある。

⑩ 『風俗通』 本疏引の「池者陂、池從水也声」の一句は今本にはない。現在『風俗通』の逸文は『經籍佚文』・『全上古三代秦漢三國六朝文』全後漢文等に輯録されている。『風

〔注〕 王子狐平王子

〔傳〕 王崩、周人將昇統公政

〔注〕 周人遂成平王本意

〔傳〕 四月、鄭祭足帥師、取温之麥、秋又取成周之禾

〔注〕 四月今二月也、秋今之夏也、麥・禾皆未熟、言取者、蓋芟踐之、温今河内温縣、成周洛陽縣也

〔疏〕 注四月、陽縣也

正義に曰はく、此に直ちに「秋」と曰ふ。秋に三(箇)月有り。若し是れ季秋なれば則ち今の七月なり。杜(預)、必ず「秋は今の夏」なるを知るは、此の「傳」は「武氏」の上に在るを以てなり。案ずるに、「經」の「武氏」の下に「八月、宋公和卒す」と有れば、此は是れ七月なるを知るなり。故に「今の夏」と爲す。今の五月なるを謂ふなり。麥の熟するは夏に在り、而るに(杜預注に)「麥・禾皆な未だ熟さず」と云ふは、謂へらく、四月の時には麥未だ熟さず、七月の時には禾未だ熟さず、二者時を異にするが故に「皆」と言ふなり。

〔傳〕 周・鄭交惡

〔注〕 兩相疾惡

〔傳〕 君子曰、信不由中、質無益也、明恕而行、要之以禮、雖無有質、誰能間之、苟有明信、澗谿沼沚之毛

〔注〕 谿亦澗也、沼池也、沚小渚也、毛草也

〔傳〕 蘋蘩蕰藻之菜

〔注〕 蘋大萍也、蘩藟蒿、蕰藻聚藻也

〔疏〕 澗谿、之菜

正義に曰はく、「毛」は即ち菜なり、而るに其の文を重ねるは、「谿沼」は地の陋きを言ひ、「蘋蘩」は菜の薄きを言ふが故に重ねと云ふなり。

〔疏〕 注谿亦、毛草

正義に曰はく、『爾雅』釋山に云ふ、「山、水を夾むは澗なり」と。李巡曰はく、「山間に水有り」と。『釋名』に曰はく、「水、兩山の間に在るを言ふなり」と。『釋水』に曰はく、「水の川に注ぐを谿と曰ふ」と。李巡曰はく、「水、山より出でて川に入る」と。『釋山』に又た云ふ、「山澗、谿に通ずる所無し」と。李巡曰はく、「山中の水漬、通ずる所無しと雖も、水の川に注ぐと同名なり」と。宋均曰はく、「水無きを谷と曰ひ、水有るを谿と曰ふ」と。然らば則ち、「谿」も亦た山間に水有るの名にして、是れ澗の類なり。故に(杜預注に)「谿も亦た澗なり」と云ふ。

「沼」は池の別名なり。張揖の『廣雅』も亦た云ふ、「沼は池なり」と。應劭の『風俗通』に云ふ、「池は陂なり。池は水に従ひ、也の聲なり」と。「沚」と「時」と音義同じきなり。『釋水』に曰はく、「小渚を沚と曰ふ」と。『釋名』に曰はく、「沚は止

②① 『釋例』 注⑩参照。

②② 夫人子氏 注⑧参照。

②③ 定姒 定公十五年に見える。注⑧参照。

②④ 「孟子卒す」 隠公元年伝の「孟子卒」の杜預注に「不

称薨、不成喪也」とある。

②⑤ 「定姒を葬る」の「傳」 注⑧参照。

②⑥ (杜預)注 杜預注に「赴同衾姑、夫人之礼、二者皆欠、

故不曰夫人也、公未葬而夫人薨、煩於喪礼、不赴不衾、故不

称小君、臣子怠慢也、反哭於寢、故書葬也」とある。

②⑦ 孟子の「傳」 注⑧参照。

②⑧ 定姒の「傳」 注⑧参照。

②⑨ (杜預)注 注⑧参照。

③⑩ 仲子 夫人子氏を指す。注⑧参照。

③⑪ 仲子の爲めに廟を立つ 隠公五年経に「九月、考仲子之

宮」とある。

〔傳〕 不書姓、爲公故曰君氏

〔注〕 不書姓、辟正夫人也、隱見爲君、故特書於經、稱曰君氏、以

別凡妾勝

〔疏〕 注不書 妾勝

正義に曰はく、(杜預注の)「正夫人に辟く」とは、仲子に辟

くるを謂ふのみ。何となれば、則ち妾子の君と爲れば則ち其の母

は夫人と爲るを得て、須らく仲子を辟くべからざるなり。但だ

(隱)公は位を讓るの故を以て正君の禮に従はず。故に亦た禮を

其の母(聲子)に備へず、之をして仲子に辟けしむなり。〔釋例〕

に曰はく、「凡そ妾子君と爲れば、其の母は猶ほ夫人と爲る。先

君、其の母に命ぜずと雖も、母は子の貴きを以て、その適夫人薨

ずれば則ち尊をば臣子に加ふるを得。外内の禮は皆な夫人の如く

す。故に姒氏の喪、責むるに、小君には(喪を)成さざるを以て

す。成風の喪に、王使葬に會して、「傳」には「禮なり」と曰ふ。

隱(公)は桓(公)に讓りて攝位なるを以ての故に禮を聲子に成

さず、假りに『君氏』を稱して以て凡ての妾・勝に別つなり。蓋

し是れ一時の宜にして、隱(公)の至義ならん」と。是れ其の仲

子に辟くるの意なり。

① 『釋例』 『春秋釈例』内女夫人卒葬例第十一に見える。

② 姒氏 定公十五年経「辛巳、葬定姒」の「伝」に「不称

小君、不成喪也」とある。

③ 成風 文公五年経「三月辛亥、葬我小君成風、王使召伯

来会葬」の「伝」に「春、王使榮叔来含且贈、召昭公来会葬、

礼也」とある。

〔傳〕 鄭武公・莊公爲平王卿士

〔注〕 卿士、王卿之執政者、言父子秉周之政

〔傳〕 王貳于虢

〔注〕 虢西虢公、亦仕王朝、王欲分政于虢、不復專任鄭伯

〔傳〕 鄭伯怨王、王曰無之、故周・鄭交質、王子狐爲質於鄭、鄭公

子忽爲質於周

す」の下の(杜預)注に、「夫人を稱せざるが故に薨を言はず」と云ふは、是れ「夫人」と「薨」とは文相ひ將ふなり。⁽²⁵⁾「定姒を葬る」の「傳」に「小君を稱せざるは喪を成さざればなり」と曰ひ、(杜預)注に「赴げず、耐せざるが故に小君を稱せず」と云ふ。「傳」は「不赴」・「不耐」を以て「夫人」を稱せざるを解す。(杜預)注は「不赴」・「不耐」を以て「小君」を稱せざるを解す。是れ「夫人」・「小君」は文相ひ將ふなり。「夫人」や「薨」や「小君」や、三者は相ひ將ふの物なれば致詰すべからず。蓋し「赴」・「耐」の二禮、一事を課行すれば則ち此の三文を具ふるなり。二事並びに廢すれば則ち三文は皆な去るのみ。何となれば則ち此の「傳」の相ひ配するを檢するに、「赴げざれば則ち薨を曰はず」・「耐せざれば則ち夫人を稱せず」は、是れ「夫人」を稱するは「耐」に由りて「赴」に由らざるなり。⁽²⁷⁾孟子の「傳」に乃ち「赴げざるが故に夫人を稱せず」と云ふ。是れ「夫人」を稱するは「赴」に由りて「耐」に由らざるなり。⁽²⁸⁾定姒の「傳」に「夫人を稱せざるは、赴げず、且つ耐せざればなり」と云ひ、又た二事を以て並びに「夫人」を稱せざるを解す。(杜預)注に「同(盟の國)に赴げ姑に耐するは夫人の禮なり。二者皆な闕くが故に夫人と曰はず」と云ふ。明らかに是れ二者俱に闕けば乃ち「夫人」を去り、一事を課行すれば則ち「夫人」を稱し、「夫人」を稱すれば則ち必ず「薨」を書し、「薨」を書すれば則ち必ず「小君」を稱するなり。異なる所は、反哭せざれば則ち「葬」を書せざるなり。若し「葬」を書せざれば則ち「小君」の文は施す所無きのみ。即ち仲子、是れなり。同(盟の國)に赴げ姑に耐すは、皆な是れ夫人の禮なり。故に赴げて耐せず、耐して赴げざるは、則ち皆な「夫人某氏薨ず」と曰ふ。惠公は自づから元妃有るも、別に仲子の爲めに廟を立つれば、則ち仲子は未だ必ずしも姑

に耐せず。蓋し同(盟の國)に赴ぐるの故を以て「夫人薨ず」と稱するを得るなり。

- ① 僖(公)八年 僖公八年経に「秋、七月、禘于大廟、用致夫人」とあり、「伝」に「秋、禘而致哀姜焉、非礼也、凡夫人不薨于寝、不殯于廟、不赴于同、不耐于姑、則弗致也」とある。

- ② 『禮』檀弓記 『礼記』檀弓・下に「既封、主人贈、而祝宿虞尸、既反哭、主人与有司視虞牲、有司以几筵舍奠於墓左、反日中而虞」とある。

- ③ 「士喪禮」 『儀礼』既夕礼に「乃反哭、入、升自西階東面、衆主人堂下東面北上、婦人入、丈夫踊、升自阼階、主婦入于室踊、出即位、及丈夫拾踊三、賓弔者升自西階、曰、如之何、主人拜稽顙、遂適殯宮」とある。

- ④ 僖(公)三十三年傳 僖公三十三年伝に「葬僖公緩、作主非礼也、凡君薨、卒哭而耐、耐而作主、特祀於主」とある。

- ⑤ 「檀弓記」 『礼記』檀弓・下に「殷練而耐、周卒哭而耐、孔子善殷」とある。

- ⑥ 「喪服小記」 『礼記』喪服小記に「婦耐於祖姑、祖如有三人、則耐於親者」とある。

- ⑦ 「雜記」 『礼記』雜記・上に「婦耐於其夫之所耐之妃、無妃則亦從其昭穆之妃、妾耐於妾祖姑、無妾祖姑則亦從其昭穆之妾」とある。

- ⑧ 「卒」・「葬」の兩事 魯國の夫人の「卒」・「葬」並びに「薨」の記事を対照させると左表のようになる。

年代	時	月	日	卒・薨	伝文
隠2	十有二月	乙卯	夫人子氏薨	一	

某氏薨ず」と云ふ。^⑨仲子・文姜の類、是れなり。或ひは「某氏卒す」と云ふ。^⑪定姒・孟子、是れなり。^⑫「葬」の異なるものは、或ひは「我が小君某氏を葬る」と云ふ。^⑬文姜・敬嬴の類、是れなり。或ひは「某氏を葬る」と云ふ。^⑮「定姒を葬る」、是れなり。或ひは則ち「葬」を書せざるなり。

今、聲子は三禮をば皆な闕く。「經」は常辭に異なり。必ず是れ一事を闕げば則ち一文を變ず。但だ「傳」既に並びに釋すれば、

(杜預)注は配を顧らかにせず。(杜預注に)「釋例」に之を詳らかにす」と言ふと雖も、^⑰「例」も亦た甚しくは分明ならず。

此の(本年)「傳」は上の三事に故あり、下の三事に故あり。次を以て相ひ配するが若くなれば、則ち諸侯に赴げざるが故に「薨」を曰はず、寢に反哭せざるが故に「夫人」を稱せず、姑に耐せざるが故に「葬」を言はず、(「傳」の)文次相ひ屬事して乃ち然るに似たり。但だ下「傳」の義を顧りみるに則ち爾らず。^⑱定(公十五年)「姒氏卒す」の「傳」に曰はく、「夫人を稱せざるは、赴げず、且つ耐せざればなり」と。哀(公)十二年「孟子卒す」の「傳」に曰はく、「死して赴げざるが故に夫人を稱せず。反哭せざるが故に小君を葬ると書せず」と。彼の二「傳」は皆な「不赴」を以て「夫人」を稱せざるを解し、「不反哭」を以て「葬」を書せざるを解す。然らば則ち「不赴」に由るが故に「卒」と曰ひて「薨」と曰はず、「不反哭」に由るが故に「葬」を書せざるなり。二事既に然らば、則ち「不耐」に由るが故に「夫人」を稱せざることを斷じて知るべきなり。「傳」文に次を以て相ひ配せざるは、初めて死すれば乃ち赴げ、葬れば乃ち反哭し、反哭の後に始めて耐す。三者は事の先後に依りて文を爲せばなり。「經」に書するに至りては則ち「夫人」と「薨」とは文を共にす。故に先づ「夫人を稱せず」と言ひ、後に「葬を書せず」と言ふ。「經」

の先後に順ひて文を爲すなり。禮の本意、必ず赴ぐれば乃ち「薨」を稱し、耐すれば乃ち「夫人」を稱し、反哭すれば乃ち「葬」を書するは、夫人は君と同體なればなり。死すれば必ず隣國に赴ぐ。若し以て隣國に赴告せざれば、則ち夫人の禮成らず。尊の成ると否との義は赴告に由る。尊を成すの狀は「薨」を書するに在り。故に赴ぐれば則ち「薨」を稱し、赴げざれば則ち「葬」を稱せざるなり。

^⑳「禮」の「適は適祖姑に耐す」・「妾は妾祖姑に耐す」も亦た既に姑に耐せざれば、便ち是れ適・妾の辯無し。故に耐すれば則ち「夫人」を稱し、耐せざれば則ち「夫人」を稱せざるなり。既に墓に葬り、寢に反哭するは、哀の尤も極なるにて、情の最も切なるなり。既に葬りて反哭せざれば、全く是れ其の親を念はず、葬ると葬らざるとは殆んど以て異なる無し。故に反哭せざれば則ち「葬」を書せざるなり。皆な臣子を慙し、其の禮を行はざるを責むる所以なり。人の禮を行ふに、勤有り、情有り。未だ必ずしも、廢するときは則ち俱に廢し、行ふときは則ち皆な行ふにはあらず。此の聲子は自づから三禮皆な闕く。其餘は、或ひは一つは行ひ、一つは否せざるべし。

^㉑「釋例」に曰はく、「夫人子氏には、赴げて反哭せざるが故に『葬』を書せず、定姒のときは則ち反哭して赴げざるが故に『葬』を書して『小君』を言はざるなり」と。以へらく、此の二者は「傳」に據れば則ち然り。理は惑はざるに在り。但だ、赴げて耐せず、耐して赴げざるは、辭は當に何と云ふべきかを知らざるのみ。

「薨」は夫人の死號なれば、「夫人」を稱せずんば必ず「薨」を稱するを得ざるなり。「小君」は「夫人」の別號なれば、「夫人」を稱せずんば必ず「小君」を稱するを得ざるなり。^㉒孟子卒

② 昭(公)三年 昭公三年経に「夏、叔弓如滕、五月、葬滕成公」とある。

③ 『釋例』 『春秋釈例』弔贈葬例第五に見える。

④ 文・襄の伯 昭公三年伝に「鄭游吉如晋、送少姜之葬、梁丙与張趯見之、梁丙曰、甚矣哉子之為此来也、子大叔曰、將得已乎、昔文・襄之霸也、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」とある。

⑤ 公子遂 文公六年経に「冬、十月、公子遂如晋、葬晋襄公」とあり、「伝」に「襄仲如晋、葬襄公」とある。

⑥ 秦の惠公 昭公六年経に「葬秦景公」とあり、「伝」に「大夫如晋葬景公、礼也」とある。

⑦ 諸侯には薨と曰ふ 『礼記』典礼・下に「天子死曰崩、諸侯曰薨、大夫曰卒、士曰不禄、庶人曰死」とある。

⑧ 『釋例』 『春秋釈例』崩葬卒例第十四に見える。

⑨ 邾・許の君 昭公元年経に「六月丁巳、邾子華卒」、「葬邾悼公」とあり、僖公四年経に「夏、許男新臣卒」、「葬許穆公」とある。

⑩ 『禮』雜記 「礼記」雜記・上に「凡計於其君曰君之臣某死、父母妻長子曰君之臣某之某死、君計於他国之君曰寡君不禄敢告於執事、夫人曰寡小君不禄、大子之喪曰寡君之適子某死、大夫計於同国之適者、曰某不禄、計於士、亦曰某不禄、計於他国之君、曰君之外臣寡大夫某死、計於適者、曰吾子之外私、寡大夫某不禄、使某夷、計於士、亦曰吾子之外私、寡大夫某不禄、使某夷、士計於同国大夫、曰某死、計於士、亦曰某死、計於他国之君、曰君之外臣某死、計於大夫、曰吾子之外私某死、計於士、亦曰吾子之外私某死」とある。

⑪⑫⑬ 『記』 『礼記』を指す。注⑩を参照。

⑭ 『禮記』 注⑩参照。

〔傳〕 三年、春、王三月壬戌、平王崩、赴以庚戌、故書之、夏、君氏卒、聲子也、不赴于諸侯、不反哭于寢、不耐于姑、故不曰薨、不稱夫人、故不言葬

〔注〕 夫人喪禮有三、薨則赴於同盟之國、一也、既葬、日中自墓反、虞於正寢、所謂反哭於寢、二也、卒哭而耐於祖姑、三也、若此則書曰夫人某氏薨、葬我小君某氏、此備禮之文也、其或不赴不耐則爲不成喪、故死不稱夫人薨、葬不言葬我小君某氏、反哭則書葬、不反哭則不書葬、今聲子三禮皆闕、釋例論之詳矣

〔疏〕 注夫人、詳矣

正義に曰はく、僖(公)八年「夫人を致す」の「傳」に曰はく、「同に赴げざれば則ち致さず」と。故に「赴」とは同盟の國に赴ぐるを知るなり。②『禮』檀弓記の葬禮に云ふ、「既に封ず。有司は几筵を以て墓の左に含奠し、反りて日中にして虞す」と。③「士喪禮」に「既に葬れば乃ち廟に反哭し、遂に殯宮に適きて虞す」とあり。是れ既に葬り、日中に墓より反り、正寢に虞す。正寢は既に殯宮なり。僖(公)三十三年傳と「檀弓記」とに皆な「卒哭して耐す」と云ふ。④「喪服小記」に曰はく、「婦は祖姑に耐す」と。⑤「雜記」に曰はく、「妾は妾祖姑に耐す」と。是れ姑に耐すとは、祖姑に耐するなり。此の三者は皆な夫人の喪禮なり。夫人の喪禮に三つ有るも、史策の書する所には二つ有りて、唯だ「卒」・「葬」の兩事のみ。其の「卒」の異なるものは、或ひは「夫人

知るべきなり。^③『釋例』に曰はく、「先王の制、諸侯の喪には士弔し、大夫葬を送る。其の失ふに及んでや、禮、重きに過ぐ。」^④文・襄の伯たるや、因りて之を抑ふ。諸侯の喪には大夫弔し、卿葬事を共す。夫人の喪には士弔し、大夫葬を送るも、猶ほ古制に過ぐ。故に公子遂、晉に如きて襄公を葬るや、『傳』は「禮なり」と言はず。^⑤秦の惠公を葬るや、『傳』に「大夫、秦に如きて景公を葬る」と曰ひて、特に「禮なり」と稱す。一つは以て古制を示し、二つは以て他國の葬を書くに必ず須らく魯の會すべきを示し、三つは以て使(者)を奉ずるに卿に非ざれば則ち『經』に書せざるを示す。此れ丘明の微文なり」と。是れ大夫は正を得、卿は禮に過ぐるを言ふなり。

「諸侯には薨と曰ふ」は禮の正名なり。魯史は自づから君の死を書いて「薨」と曰ふ。若し隣國にも亦た同じく「薨」を書くれば、則ち己の君と別無し。國史は自づから己が國に在りて他國の赴告を承くるも、己が君と同じきが爲めに、故に其の薨名を惡み赴には薨を稱すと雖も皆な赴を改めて「卒」を書く。外を略にして以て内に別つなり。葬を書くに至りては、則ち五等の爵皆な諡を擧げて「公」を稱するは、葬に會する者は國外に在りて彼の國の辭に據ればなり。彼の國の臣子は君を稱して「公」と曰へば、使(者)の行くを書くすれば「公」を稱せざるを得ざるなり。

又た(杜預注に)「其の薨名を惡みて赴を改めて書す」と云ふは、^⑧『釋例』に曰はく、「天子には崩と曰ひ、諸侯には薨と曰ひ、大夫には卒と曰ふは古の制なり。『春秋』の稱する所は曲に魯史の義を存し、内には「公」を稱して「薨」を書す。自ら其の君を尊ぶ所以なり。さすれば則ち外諸侯を略せざるを得ず、『卒』を書して以て自ら異にするなり。既に葬るに至りては、^⑨邾・許は子男の君と雖も皆な諡を稱して「公」を言ふは、各々臣子の辭に順

ひ、兩つながら其の義に通ずるなり」と。是れ其の説なり。

案ずるに^⑩『禮』雜記の赴告の辭に云ふ、「君を他國の君に計ぐるには、寡君不祿、敢へて執事に告ぐと曰ふ」と。然らば則ち赴辭には本より「薨」の語無し。而るに(杜預注に)「其の薨名を惡む」と云ふは、以へらく、夫人の薨例にては、(本年「傳」に)「諸侯に赴げざれば則ち薨を曰はず」と云へば、明らかに其の薨を以て人に告ぐるが故に薨を書くなり。是れ知りぬ、王侯の喪は、其の國命を通ずるに皆な「崩」・「薨」を以て相ひ告ぐることとを。^⑪『記』の稱する所は、主人の問ひに答へて其の文辭を飾るを謂ふのみ。若し、^⑫『記』の文に「薨」無きを以て、即ち疑ふらくは「薨」を以て告げずとせば、^⑬『記』に、大夫・士を人に赴ぐるの辭を稱するに皆な「不祿」と云へば、豈に大夫に「卒」の名無からんや。此れを以て知りぬ、相ひ赴ぐれば策書には必ず「薨」を以て文を爲すことを。但だ撰者は口傳もて辭を赴げ、義は謙退に在れば、士の「不祿」に従ふ。故に^⑭『禮記』之を言ふ。赴には則ち必ず「薨」を以てす。但だ赴を改めて「卒」を書くのみ。史、事を書くや、國に在らざる莫し。葬に會する者は自づから外に在るべし。策に書する者は國內にて之を書く。而るに(杜預注に)「彼の國の辭に據る」と云ふは、使(者)の行く事を書くればなり。言ふところは、使(者)は此の事の爲めに行くが故に文は彼の稱に従ふにて、書するものの國に在らざるを謂はざるなり。卿、君の爲めに逆ふ、之を「逆女」女を逆ふ」と謂ふも亦た是れ己の使(者)、彼の「女」と稱するに據るを書するは此と同じきなり。

① 文(公)九年 文公九年経に「二月、叔孫得臣如京師、辛丑、葬襄王」とある。

「子」と爲すは、其の是れ大夫の子なるを明らかにするなり。又た王使、魯に至れば皆な「天王使——天王、——せしむ」と言ふ。此の後に「王使」を言はざるは、其の王命を稱せざるを明らかにするなり。此れを以て知りぬ、此の人の父の喪は已に終はれば、宜しく父の位を嗣ぐべきも、但だ平王未だ命せずして崩じ、新王は喪に居りて未だ其の爵命を行ふを得ず、政事は冢宰に聴き、冢宰之をして魯に適かしめしことなるを。冢宰は命を専らにするを得ざるが故に自ら來たるの文を作るなり。(本年)「傳」に「王未だ葬らず」と言ふは、意は兩事を兼ね。王の喪、殯に在れば新王は臣に爵位を加ふるを得ず。故に此の人仍は父の族に繋く。王は又た臣に出行を命ずるを得ず。故に此の人は王使を稱せず。未だ葬らざるの故を以て此の二事を闕く。故に「傳」は「未葬」を以て之を解す。

① 天王使 「經」に見える「天王使某——」という形式の文は左のようである。

宣 10	1	文 1	僖 30	15	8	5	桓 4	9	7	隱 1
秋			冬	春			夏	春	冬	秋
				二月						七月
				天王使家父來求事						天王使宰咺來歸惠公仲子之賵
				天王使周公來聘						天王使凡伯來聘
				天王使叔服來會葬						天王使南季來聘
				天王使毛伯來錫公命						天王使宰渠伯糾來聘
				天王使王季子來聘						天王仍叔之子來聘
										天王家父來聘

定 14

天王使石尚父來歸賑

〔經〕 八月庚辰、宋公和卒

〔注〕 稱卒者、略外以別内也、元年大夫盟于宿、故來赴以名、例在七年

〔經〕 冬、十有二月、齊侯・鄭伯盟于石門

〔注〕 來告故書、石門齊地、或曰濟北盧縣故城西南濟水之門

〔經〕 癸未、葬宋穆公

〔注〕 無傳、魯使大夫會葬、故書、始死書卒、史在國承赴、爲君故惡其薨名、改赴書也、書葬舉諡稱公者、會葬者在外、據彼國之辭也、書葬例在昭六年

〔疏〕 注魯使——六年

正義に曰はく、文(公)九年に「叔孫得臣、京師に如きて襄王を葬る」と、昭(公)三年に「叔弓、滕に如きて滕の成公を葬る」とあり。此の如きの類の、卿をして行かしむるものは皆なその使(者)の名を書す。此に使(者)の名を書せざれば、是れ大夫の往けるを知るなり。大夫は命を奉じて出使するも、位賤なれば合に名を書すべからず。故に直其の爲す所の事を書すのみ。盟には則ち「及某盟——某と盟ふ」と云ひ、會には則ち「會某人——某人に會す」と云ひ、葬には則ち「葬某公——某公を葬る」と云ふ。其の爲す所の事を擧ぐれば、明らかに使(者)の往くこと有るを

⑤ 「禮」に云ふ、「王の喪を告ぐるに、天王登假すと曰ふ」と。此に「崩」と言ふは、魯史は裁約して文を爲し、當時の赴に道はずんば、「登假」と言はざるなり。

〔疏〕注周平ノ不會

正義に曰はく、今、杜（預）注を検するに、「葬」無きものには皆な其の諡を顯言せり。此は「葬」無きが爲めの故に（杜預注に）「周の平王なり」と言ふ。

仲尼「經」を脩むるに、當に眞僞を改正して以て褒貶を爲すべし。周人赴ぐるに實を以てせず、孔子僞に従ひて書するは、周人諸侯をして速やかに至らしめんと欲するが故に其の崩日を遠くして以て赴ぐればなり。其の實を書せずして其の僞に従ふは、人は其の僞を知れば則ち過ち章らかなるに足るを言ふなり。故に、即ち其の僞を傳へて以て臣子の過を懲創するなり。〔釋例〕に曰はく、「天王には、僞り赴げて遂に其の虚を用ふれば、明らかに日月の闕否も亦た赴辭に従ふなり。君子は其の文を變ぜずして以て其の疑を慎む。且つ虚實相ひ生ずれば、隨ひて之を長め、眞僞の情は以て兩見すべし。赴を承けて之を書するも亦た將來に示す所以なり」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」とあり、鄭注に「異死名者、為人薨其無知、若猶不同然也、自上顛壞之声、卒終也、不禄不終其禄、死之言漸也、精神漸尽也」とある。

② 鄭玄 注①参照。

③ 『穀梁傳』 『穀梁伝』隱公三年に「高曰崩、厚曰崩、尊曰崩、天子之崩、以尊也、其崩之何也、以其在民上故崩之、其不名何也、大上故不名也」とある。

④ 蘇氏 本疏引。

⑤ 「禮」 『礼記』曲礼・下に「君天下曰天子——中略——告喪曰天王登假」とあり、鄭注に「告赴也、登上也、仮已也、上已者若遷去云耳」とある。

⑥ 「釋例」 『春秋釈例』崩葬卒例第十四に見える。

〔經〕夏、四月辛卯、君氏卒

〔注〕隱不敢從正君之禮、故亦不敢備禮於其母

〔疏〕君氏卒

正義に曰はく、「君氏」とは隱公の母の聲子なり。之を「君氏」と謂ふは、是れ君の母の氏を言ふなり。母（の氏族）と子の氏族とは必ず異なり。故に經典通じて母・舅を呼んで母氏・舅氏と爲す。其れ己と氏を異にするを言ふなり。

〔經〕秋、武氏子來求賻

〔注〕武氏子、天子大夫之嗣也、平王喪在殯、新王未得行其爵命、聽於冢宰、故傳曰王未葬、釋其所以稱父族、又不稱使也、魯不共奉王喪、致令有求、經直文以示不敬、故傳不復具釋也

〔疏〕注武氏ノ釋也

正義に曰はく、「武氏」とは天子の大夫の姓なり。直ちに「武氏子——武氏の子」と云ひて其の字を書せざるは、則ち其の人未だ大夫と成爲らざればなり。若し是れ上士なれば、例として當に名を書すべく、又た應に之を父の族に繫くべからず。之を謂ひて

昭7	夏	四月	甲辰	朔	日有食之
15	夏	六月	丁巳	朔	日有食之
17	秋	六月	甲戌	朔	日有食之
21	秋	七月	壬午	朔	日有食之
22	夏	十有二月	癸酉	朔	日有食之
24	夏	五月	乙未	朔	日有食之
31	春	十有二月	辛亥	朔	日有食之
5	春	王二月	辛亥	朔	日有食之
12	春	十有一月	丙寅	朔	日有食之
15	春	八月	庚辰	朔	日有食之
14	春	五月	庚申	朔	日有食之

③ 襄（公）二十一年 注②参照。

④ 二十四年 襄公二十四年經に見える。注②参照。

⑤ 『長麻』 『春秋釈例』 經伝長歴第四十五之一の隠公三年辛酉の項に「二月己巳小」とある。

⑥ 劉歆の『三統』 劉歆に至って完成したといわれる『三統歴』を言う。『漢書』律歴志はこの歴法を伝えている。襄公二十四年經の「秋、七月甲子朔、日有食之、既」の条の正義に「『漢書』律歴志載劉歆三統之術、以為五月二十一分月之二十乃為一交、以為交在望前、朔則日食、望則月食、交在望後、望則月食、後月朔則日食、交正在朔則日食、既前後望不食、交正在望則月食、既前後朔不食」とある。

⑦ 劉洪『乾象曆』 現在完本は亡んで伝わらないが、輯本として『子史鈎沈』・『漢学堂叢書』に輯録されている。

⑧ 『漢書』高祖本紀 『漢書』高祖本紀に「三年冬十月——中略——甲戌晦、日有食之、十一月癸卯晦、日有食之」とあ

る。

⑨ 襄（公）二十四年 注④の条の正義に見える。結論としては、伝写の誤りであろうとしている。

⑩ 『穀梁傳』 注①参照。

〔經〕 三月庚戌、天王崩

〔注〕 周平王也、實以壬戌崩、欲諸侯之速至、故遠日以赴、春秋不書實崩日、而書遠日者、即傳其僞以懲臣子之過也、襄二十九年傳曰鄭上卿有事、使印段如周會葬、今不書葬、魯不

〔疏〕 天王崩

正義に曰はく、①「曲禮」下に曰はく、「天子の死するには崩と曰ひ、諸侯には薨と曰ひ、大夫には卒と曰ひ、士には不祿と曰ひ、庶人には死と曰ふ」と。鄭玄云ふ、「死名を異にするは、人の其の知る無きに變るるが爲めに、猶ほ同じからざるが若く然するなり。上より顛壞するを崩と曰ふ。薨とは顛壞の聲。卒とは終なり。不祿とは其の祿を終へざるなり。死の言たる漸なり。精神の漸盡するなり」と。是れ天子の尊は山の崩ずるが若く然るに由る。諸侯卑しければ、崩ずるの聲を取りて以て尊卑の差と爲すなり。天王の名を書せざるは、海内の王は至尊の極なるを以ての故に敬して敢へて名いはざるなり。③『穀梁傳』に云ふ、「高を崩と曰ひ、厚を崩と曰ひ、尊を崩と曰ふ。天子の崩なるは尊を以てなり。其の民の上に在るを以ての故に之を崩といふなり。其の名いはざるは何ぞや。大上なるが故に名いはざるなり」と。蘇氏云ふ、「王后の崩・太子の卒をば書せざるは、赴の魯に及ばざればなり」と。今、以爲へらく、略するの例は書せざる所なり。喪を告ぐるは、

戰國及び秦の庠紀は全て差ふ。漢より來、漸く天時を候ひて始めて其の術を造る。劉歆の『三統』に以爲へらく、「五月二十三分月の二十にして、日一食す」と。空しく食日（日蝕の日）を得て、加時（日蝕の時刻）を得ず。漢末の會稽都尉の劉洪、『乾象曆』を作り、始めて月行の遲疾を推して日食の加時を求む。後代之を脩めて漸く詳密を益す。今の庠を爲るもの、日食を推歩するに符合せざるは莫し。但だ頻月にして食するの法無し。故に漢朝より以來、殆ど將に千歲ならんとするに、庠を爲るもの皆な一百七十三日有餘にして始めて一交會すとすれば、未だ頻月にして食するもの有らず。今、頻月にして食するは、乃ち是れ正に「經」なれば之を錯誤と謂ふべからざるなり。之を庠術に考するに、事に驗ならざる無ければ、之を疏失と謂ふべからず。是の（杜預）注に由るも定むること能はず。故に未だ之を言はざるなり。又た『漢書』高祖本紀にては、高祖の即位して三年十月・十一日の晦日に頻食す。さすれば則ち自づから頻食の理有り。其の解は襄（公）二十四年に在り。

⑩『穀梁傳』に曰はく、「日を言ひて朔を言はざるは、晦日に食するなり」と。朔・日並びに言はざるは、晦夜に食するなり。朔・日並びに言ふは、正朔に食するなり。朔を言ひて日を言はざるは、既朔に食するなり。

- ①『穀梁傳』 『穀梁伝』隱公三年の条に「吉日不言朔、食晦日也、其日有食之何也、吐者外壤、食者内壤、欠然不見其壤、有食之者也、有、内辞也、或外辞也、有食之者、内於日也、其不言食之者何也、知其不可知、知也」とある。
- ② 三十七食 「經」の日蝕記事は左の37例である。

時	月	日	朔	
隱3 春	二月	己巳	朔	日有食之
桓3 秋	七月	壬辰	朔	日有食之 既
莊17 冬	十月		朔	日有食之
莊18 春	王三月		朔	日有食之
25 春	六月	辛未	朔	日有食之 鼓用牲于社
26 冬	十有二月	癸亥	朔	日有食之
30 春	九月	庚午	朔	日有食之
僖5 夏	九月	戊申	朔	日有食之
12 春	正月	庚午	朔	日有食之
15 夏	五月		朔	日有食之
文1 秋	二月	癸亥	朔	日有食之 鼓用牲于社
15 秋	六月	辛丑	朔	日有食之
宣8 夏	七月	甲子	朔	日有食之
10 夏	四月	丙辰	朔	日有食之
17 成	六月	癸卯	朔	日有食之
16 成	六月	丙寅	朔	日有食之
17 襄	十有二月	丁巳	朔	日有食之
14 襄	二月	乙未	朔	日有食之
15 秋	八月	丁巳	朔	日有食之
20 冬	十月	丙辰	朔	日有食之
21 冬	九月	庚戌	朔	日有食之
21 春	王二月	癸酉	朔	日有食之
23 春	七月	甲子	朔	日有食之
24 秋	八月	癸巳	朔	日有食之
27 冬	十有二月	乙卯	朔	日有食之

〔注〕 治元年取虞延之亂

〔經〕 三年、春、王二月己巳、日有食之

〔注〕 無傳、日行遲、一歲一周天、月行疾、一月一周天、一歲凡十二交會、然日・月動物、雖行度有大量、不能不小有盈縮、故有雖交會而不食者、或有頻交而食者、唯正陽之月君子忌之、故有伐鼓用幣之事、今釋例以長麻推經傳、明此食是二月朔也、不書朔史失之、書朔日例在桓十七年

〔疏〕 注日行一七年

正義に曰はく、古今の麻を言ふ者、大率皆な周天を以て三百六十五度四分の一と爲す。日行は月に比べて遲しと爲す。毎日一度を行なふが故に一歲にして乃ち一周天を行なふ。月行は日に比べて疾しと爲す。毎日十三度十九分度の七を行なふが故に一月内に則ち一周天を行なふ。又た二十九度過半を行なひて乃ち逐ひて日に及ぶ。(杜預注に)「一月に一周天」と言ふは、之を略言せしのみ。其の實、日に及ぶの時は實に一周天のみならざるなり。日・月は共に行くと雖も、而も各々道有り。二十九日過半を積む毎に行道交錯して相ひ與に會集す。其の一會を以て之を一月と謂ふ。一歳の間毎に凡て十二會有り。故に一歲を十二月と爲す。

日食とは月之を掩ふなり。日・月の道は互ひに相ひ出入す。或ひは月は日の表に在り、外従りして内に入る。或ひは月は日の裏に在り、内従りして外に出づ。道に交錯有るが故に日食するなり。二十九日過半にして月の日に及ぶとは、麻家の一度の分をば、九百四十分と爲すを以てすれば、則ち四百七十分を半ばと爲す。今、

月來たりて日に及べば、凡そ二十九日又四百九十九分にして、是れ過半すること二十九分を校へるなり。

(「經」の)「日有食之」日之を食すること有りとは、物の來たりて之を食すること有るを言ふなり。日・月處を同じくすれば、則ち日は月に映はれて形魄見えす。聖人、日の月に食せらるると言はずして、「日之を食すること有り」と云ふは、其の月の見るべからざるを以て、知らざるの辭を作すなり。①『穀梁傳』に曰はく、「其の之を食する者を言はざるは何ぞ。其の知るべからざるを知ればなり」と。是れ言ふところは、懷疑するが故に月を言はざるなり。

朔なれば則ち交會す。故は食は必ず朔に在り。然り而して朔毎に皆な會すれば、應に月毎に常に食すべし。故に之を解して(杜預注に)言ふ、「日・月は動く物なれば、行度に大量有り」と雖も、少しく盈縮有らざること能はず。故に交會すと雖も而も食せざる者有り。或ひは頻交して食する者有り」と。隱(公)の元年より哀(公)二十七年を盡くすまで積むこと二百五十五年、凡て三千一百五十四月にして、唯だ三十七食のみ。是れ交すと雖も而も食せざるなり。襄(公)二十一年九月・十月に頻食す。②二十四年七月・八月に頻食す。是れ頻交して食するなり。

食に常月なし。(杜預注の)「唯だ正陽の月のみ君子之を忌む」とは、日食は陰の陽を侵すを以てなり。陽長ずるの月に當たりては宜しく弱陰の侵す所と爲るべからず。故に(杜預注に)「鼓を伐ちて幣を用ふるの事有り」と。餘月には否せず。其の日食の例には皆な朔を書す。(本年の)「己巳」の下に、「經」に「朔」の字無し。③『長麻』もて此の己巳を推すに、實に是れ朔日なり。而るに「朔」を書せざるは、史之を失するなり。此の(杜預)注は大判を作して言ふのみ。

の爲めに立つ。故に桓（公）の爲めに其の母を祭るなり。然らば則ち何ぞ言ふ。公の意を成せばなり」と。是れ隱公、仲子を成めて夫人と爲すを言ふなり。

① 敬嬴・齊歸

敬嬴については、文公十八年伝に「文公二妃敬嬴生宣公」とあり、宣公八年経に「戊子、夫人嬴氏薨」とある。また、齊歸については、襄公三十一年伝に「立敬婦之娣齊歸之子公子禍」とあり、昭公十一年経に「五月甲申、夫人婦氏薨」とある。

② 仲子 隱公五年経に「九月、考仲子之宮、初獻六羽」とある。

③ 傳例 隱公三年伝に「夏、君氏卒、声子也、不赴于諸侯、不反哭于寢、不耐于姑、故不曰薨、不称夫人、故不言葬」とある。

④ 五年 注②参照。

⑤ 『公羊傳』 『公羊伝』隱公五年に「桓末君則曷為祭仲子、隱為桓立、故為桓祭其母也、然則何言爾、成公意也」とある。

〔經〕 鄭人伐衛

〔注〕 凡師有鐘鼓曰伐、例在莊二十九年

〔傳〕 二年、春、公會戎于潛、脩惠公之好也、戎請盟、公辭

〔注〕 許其脩好、而不許其盟、禦夷狄者、不壹而足

〔疏〕 注許其 而足

正義に曰はく、戎は貪にして信無く、盟ふも之に背くこと或り。公、未だ戎の意を得ず、好の久しく成らざるを恐るるが故に其の盟を許さざるなり。（杜預注の）「夷狄を禦ぐには、壹にして足らしめず」とは、文（公）九年の『公羊傳』の文なり。夷狄を制禦するには、當に漸を以て之に教へ、一度にして即ち足らしめざるべきを言ふなり。

① 文（公）九年の『公羊傳』

『公羊伝』文公九年に「冬、楚子使椒來聘、椒者何、楚大夫也、楚無大夫、此何以書、始有大夫也、始有大夫、則何以不氏、許夷狄者不一而足也」とある。

〔傳〕 莒子娶于向、向姜不安莒而歸、夏、莒人入向、以姜氏還

〔注〕 傳言失昏姻之義、凡得失小故、經無異文、而傳備其事、案文則是非足爲戒、他皆倣此

〔傳〕 司空無駭入極、費庠父勝之

〔注〕 魯司徒・司馬・司空・皆卿也、庠父費伯也、前年城郎、今因得以勝極、故傳於前年發之

〔傳〕 戎請盟、秋、盟于唐、復脩戎好也、九月、紀裂繻來逆女、卿爲君逆也、冬、紀子帛・莒子盟于密、魯故也、鄭人伐衛、討公孫滑之亂也

① 宣(公)五年 宣公五年經に「秋、九月、齊高固來逆叔姬、……冬、齊高固及子叔姬來」とあり、「伝」に「秋、九月、齊高固來逆女、自為也、故書曰逆叔姬、卿自逆也、冬來、反馬也」とある。

② 『釋例』 『春秋釋例』内外君臣逆女例第十に見える。

③ 成(公)八年經 成公八年經に「夏、宋公使公孫壽來納幣」とある。

④ 公孫壽 注③参照。

⑤ 『公羊傳』 『公羊伝』隱公二年に「何以不称使、婚禮不称主人、然則曷称、称諸父兄師友、宋公使公孫壽來納幣、則称主人何、辞窮也、辞窮者何、無母也、然則紀有母乎、曰有、有則何以不称母、母不通也、外逆女不書、此何以書、何譏爾、譏始不親迎也」とある。

⑥ 『公羊』 注⑤参照。

⑦ 「昏禮」記 『儀礼』士昏礼の記に「宗子無父、母命之、親皆没、己躬命之、支子則称其宗、弟称其兄」とある。

⑧ 「昏禮」記 注⑦参照。

⑨ 支子 父のいない庶昆弟を指す。

⑩ 弟 父のいない宗子の弟を指す。

〔經〕冬、十月、伯姬歸于紀

〔注〕無傳、伯姬魯女、裂繻所逆者

〔經〕紀子帛・莒子盟于密

〔注〕子帛裂繻字也、莒・魯有怨、紀侯既昏于魯、使大夫盟莒、以

和解之、子帛爲結好息民、故傳曰魯故也、比之内大夫、而在莒子上、稱字以嘉之也、字例在閔元年、密莒邑、城陽淳于縣東北有密鄉

〔疏〕注子帛ノ密鄉

正義に曰はく、杜(預)、一之を内大夫に比して、莒子の上に在り」と云ふは、案ずるに、諸々の「經」文、魯の大夫出でて他國に會するには皆な先づ魯の大夫を書し、下に即ち「及某人」と云ふ。今、子帛の下に「及」を云はざるは、全く魯の大夫と同じかるべからざるが故なり。

〔經〕十有二月乙卯、夫人子氏薨

〔注〕無傳、桓未爲君、仲子不應稱夫人、隱讓桓以爲大子、成其母喪、以赴諸侯、故經於此稱夫人也、不反哭、故不書葬、例在三年

〔疏〕注桓未ノ三年

正義に曰はく、妾の子、君と爲れば其の母を夫人と成め爲す。敬嬴・齊歸、是れなり。②仲子は實に妾なり。桓(公)未だ君と爲らざるが故に仲子は應に夫人と稱すべからざるなり。今、「夫人薨ず」と稱するは、是れ隱(公)之が讓りを成めて、桓(公)を大子と爲し、其の母の喪を成せばなり。傳例に曰はく、「赴げざれば則ち薨を曰はず」と。故に「薨」を稱すれば、是れ諸侯に赴ぐるを知る。故に「經」は此に於いて夫人と稱するなり。④五年「仲子の宮を考す」の『公羊傳』に曰はく、「桓(公)、未だ君とならざれば、則ち曷爲れぞ仲子を祭るや。隱(公)、桓(公)

下し、制して『長歴』を爲る。此の年の八月壬寅は朔、其の月の三日は甲辰、十五日は丙辰、二十七日は戊辰なれば、其の月に庚辰無きなり。七月壬申は朔なれば、則ち九日に庚辰有り。杜（預）、上下を觀て、月の誤りを容れざるが若きには則ち日の誤りを指言し、日の誤りを容れざるが若きには則ち月の誤りを指言す。此は則ち上に秋有りて下に九月有り。さすれば則ち日・月俱に誤り有るを得。故に（杜預注に）「日・月必ず誤り有り」と云ふなり。

① 『長歴』 『春秋釈例』経伝長歴第四十五之一に見える。

〔經〕 九月、紀裂繻來逆女

〔注〕 裂繻紀大夫、傳曰、卿爲君逆也、以別卿自逆也、逆女或稱使、或不稱使、昏禮不稱主人、史各隨其實而書、非例也、他皆倣此

〔疏〕 注裂繻、倣此

正義に曰はく、此（經）に「逆女——女を逆ふ」と書し、「傳」に「卿、君の爲めに逆ふるなり」と曰ひ、宣（公）五年の「齊の高固、來たりて叔姫を逆ふ」の「傳」に「書して叔姫と曰ふは、卿自ら逆ふるなり」とあり。是れ君の爲めに逆ふれば則ち女を稱し、自ら逆ふれば則ち字を書す。故に（杜預注に）「以て卿自ら逆ふるに別つなり」と云ふ。『釋例』に曰はく、「天子娶らば則ち『王后を逆ふ』と稱す。卿、君の爲めに逆ふれば則ち『女を逆ふ』と稱す。其の（卿）自らの爲めに逆ふれば則ち逆ふる所の字を稱す。尊卑の別なり」と。此に「紀侯使裂繻——紀侯、裂繻をして、せしむ」と言はず。而るに成（公）八年經に「宋公、公

孫壽をして來たりて幣を納れしむ」と書す。俱に是れ昏禮にして、文を立つること同じからず。故に之を解するなり。（杜預注に）「昏禮には主人を稱せず」と言ふは、主人とは壻を謂ふなり。廉恥の心有るが爲めに、自ら婦を娶らんと欲せず。故に卿、君の昏の爲めに行くには、必ず君母の命を稟く。婦人の命は鄰國に通ずるを得ざれば、卿、輒ち自ら來たると言ふが若くす。君の命ずる所に非ざるが故に裂繻には「使」を言はざるなり。其の母無きときには、臣は稟くる所無く、君命を稱せざるを得ず。故に公孫壽には「宋公使」と言ふなり。史は皆な其の實事に隨ひて之を書するにて、褒貶の例には非ざるなり、⑤『公羊傳』に曰はく、「何を以て使を稱せざるや。昏禮に主人を稱せざればなり。然らば則ち曷をか稱するや。諸々の父兄・師友を稱するなり。宋公、公孫壽をして來たりて幣を納れしむ。則ち其の主人を稱するは何ぞ。辭の窮まればなり。辭の窮まるとは何ぞ。母無きなり。然らば則ち紀に母有りや。曰はく、有り。有れば則ち何を以てか母を稱せざる。母通ぜざればなり」と。是れ婦人の言は外國に通ぜず。故に「君使——君——せしむ」と言はず、亦た「母命——母——命ず」と言はずして、自ら來たるの文を作るなり。⑥『公羊傳』に「母無き者には父兄・師友を稱す」と言ふ。宋公に父兄を稱せざるは、諸侯は其の父兄を臣とするが故に稱することを得ざるなり。⑦「昏禮」記に曰はく、「宗子に父無ければ、母之を命ず。親皆な没すれば、己れ躬ら之を命ず」と。宗子の尊を以てして、尙は父兄を稱せず。況んや諸侯をや。其の父兄・師友を稱すとは、大夫より以下、宗子に非ざる者を謂ふのみ。⑧「昏禮」記に云ふ所の「支子には則ち其の宗を稱す。弟には則ち其の兄を稱す」と、是れなり。

不言率師書其重者也」とある。

⑪ 『釋例』 『春秋釈例』侵伐襲例第十二に見える。

⑫ 劉炫 本疏引。

〔經〕無駭帥師入極

〔注〕無駭魯卿、極附庸小國、無駭不書氏未賜族、賜族例在八年

〔疏〕注無駭（八年）

正義に曰はく、『春秋』の例、卿なれば乃ち「經」に見ゆ。今、名は「經」に書し、「傳」に「司空」と言ふが故に無駭は是れ魯の卿なるを知る。諸々の名の「經」に書するは皆な是れ卿なり。故に此に於いて一たび注し、以下には復た之を言はず。又た①「王制」に「上大夫卿」と云へば、則ち卿も亦た大夫なり。故に注にては多く大夫を以て卿と言ふ。下注に「裂繻は紀の大夫なり」と云ふ。此の如きの類は皆な是れ卿なり。其の名、「傳」に見えて（杜預）注に「大夫」と云ふは、則ち其の爵は眞に大夫なり。③『穀梁』は極を以て國と爲す。杜（注に）「附庸」と云ふは、④沈（文阿）云ふ、「以へらく、費伯、師を帥ゐて郎に城き、因りて極に勝つを得。さすれば則ち極は是れ竟内なり。故に（杜預注に）『附庸』と云ふ。凡そ卿の出使には必ず其の名氏を具ふるは、君命を尊ぶを以てなり。今、氏を書せざるが故に（杜預は）解して『未だ族を賜はらず』と云ふ。族の稱すべきこと無きが故なり」と。⑥賈（逵）云ふ、「極は戎邑なり」と。極を戎邑と爲すは、「傳」に文無し。戎の魯に於けるや、本より怨惡無し。（本年「傳」に）「惠公の好を脩む」と言へば、則ち是れ魯と親しむを求む。公、未だ戎の心を信ぜず。故に其の盟を辭するのみ。秋

に即ち盟に與りて復た戎の好を脩む。已に戎と共に會するも、故より盟に與らずして、旋て師をして其の都に入らしめ、然る後に好を結ぶが若きは、其れ惡行爲るも、亦た是れ過たず。讓位の賢君は固より應に爾せざるべし。良史直筆すれば、焉んぞ譏り無きを得んや。「傳」は乃ち其の勝（利）の由る所に本づきて功を費伯に歸するなり。

① 「王制」 『礼記』王制に「王者之制禄爵、公・侯・

伯・子・男、凡五等、諸侯之上大夫卿・下大夫・上士・中士・下士、凡五等」とある。

② 下注 本年「經」の「九月、紀裂繻來逆女」の条の杜預注に「裂繻、紀大夫」とある。

③ 『穀梁』 『穀梁伝』隱公二年に「入者、内弗受也、極国也」とある。

④ 沈（文阿） 本疏引。

⑤ 費伯 隱公元年伝に「夏、四月、費伯帥師城郎、不書非公命也」とある。

⑥ 賈（逵） 本疏引。

〔經〕秋、八月庚辰、公及戎盟于唐

〔注〕高平方與縣北有武唐亭、八月無庚辰、庚辰七月九日也、日月

必有誤

〔疏〕注高平（有誤）

正義に曰はく、杜（預）、「經」・「傳」を勘檢し、月日を上

則ち君行くには必ず師有り。卿行くには必ず旅有り。文は見さざると雖も理は明らかにすべきに足る。君の將たれば師を帥ゐると言はず、卿の將たれば旅を帥ゐると言はざるは、其の知るべき故を以てなり。卿の行くに合に師は従ふべからず。今、乃ち一師を帥領す。若し師を言はざれば則ち師の文見えず。卿は尊く自づから合に名を書すべし。師の文、又た須らく別に見すべし。故に師・將並びに擧げて、「某、師を帥ゐる」と言ふなり。其の師少なきことは卿自づから須らく見すべし。唯だ將の名を擧ぐるのみにて、旅を帥ゐると云はず。衆少なく録するに足らざるを言ふなり。大夫は爵位卑下なれば、名氏は合に「經」に見すべからず。但だ帥ゐる所、師を満たさば師は自づから須らく見すべし。故に師を言ひて將を言はざるなり。若し師を満たさざるときは、一旅の衆なれば則ち例にては書せざる所なり。大夫は位卑しく、又た名は當に見すべからざれば、則ち空しく其の將を擧げ、之を謂ひて人と爲す。人は即ち大夫の身なり。其の將尊く師少なきと、及び將卑しく師衆きとは、其の序列の若きは則ち將卑しく師衆き者は上に在り。襄(公)二年の「晉の師・宋の師・衛の甯殖、鄭を侵す」と、是れなり。隱(公)五年『公羊傳』に曰はく、「曷爲ぞ或ひは師を率ゐると言ひ、或ひは師を率ゐると言はざるや。將尊く師衆ければ、某、師を率ゐると稱し、將尊く師少なければ將と稱し、將卑しく師衆ければ師と稱し、將卑しく師少なければ人と稱し、君將たれば師を率ゐると言はず。其の重き者を書せばなり」と。『釋例』に曰はく、「大夫將たりて師を満たさば師と稱し、満たさざれば人と稱するのみ。卿將たりて師を満たさば則ち兩つながら書し、満たさざれば則ち直ちに名氏を書す。君將たれば師を帥ゐると言はず、卿將たれば旅を帥ゐると言はず。此れ史策・記注の常なり」と。此は『公羊』を用ひて説を爲すなり。劉炫云

ふ、「盟會の例、卿なれば則ち名氏を書し、卿に非ざれば則ち人を書し、人をば名氏の處に當つ。是れに由れば、將卑しく師少なければ則ち人を書す。亦た盟會と同じきなり」と。

① 『世本』 本疏引。

② 文(公)八年傳 文公八年伝に「穆伯如周、弔喪不至、以幣奔莒、從己氏焉」とある。

③ 『譜』 『春秋釈例』世族譜第四十五之下の莒国の部に見える。

④ 『世本』 本疏引。

⑤ 茲丕公 僖公二十六年経に「春、王正月己未、公会莒子、衛甯速、盟于向」とあり、「伝」に「春、王正月、公会莒茲丕公・甯莊子、盟于向、尋洮之盟也」とある。

⑥ 『周禮』 『周礼』夏官・司馬の序官に「凡制軍、万有二千五百人為軍、王六軍、大国三軍、次国二軍、小国一軍、軍將皆命卿、二千有五百人為師、帥帥皆中大夫、五百人為旅、旅帥皆下大夫、百人為卒、卒長皆上士、二十五人為兩、兩司馬皆中士、五人為伍、伍皆有長」とある。

⑦ 『釋例』 『春秋釈例』侵伐襲例第十二に見える。

⑧ 定(公)四年傳 定公四年伝に「君以軍行、拔社豐鼓、祝奉以從、於是乎出竟、若嘉好之事、君行師從、卿行旅從、臣無事焉」とある。

⑨ 襄(公)二年 襄公二年経に「六月庚辰、鄭伯輪卒、晉師・宋師・衛甯殖侵鄭」とある。

⑩ 隱(公)五年『公羊傳』 『公羊伝』隱公五年の「秋、衛師入盛」の条に「曷為或言率師、或不言率師、將尊師衆稱某率師、將尊師少稱將、將卑師衆稱師、將卑師少稱人、君將

人と爲る。故に主人の俗に随ひて以て會禮を爲すを得。朝には、戎の來たるに據りて魯は主人と爲り、戎は主人の俗に従ふ能はず。故に朝禮成らず」と。戎は是れ西方の夷なれば、必ず遠くより來たりて魯に會せず。故に(杜預注の)「中國に居りて、戎子の駒支の若き者を謂ふ」を知るなり。駒支の事は襄(公)十四年に見ゆ。

① 「曲禮」 『礼記』曲礼・下に「其在東夷・北狄・西戎・南蠻、雖大曰子」とある。

② 『詩』商頌 『毛詩』商頌・那の殷武に「維女荆楚、居國南鄉、昔有成湯、自彼氐羌、莫敢不來享、莫敢不來王、曰商是常」とある。

③ 戎子の駒支 襄公十四年伝に、晋の范宣子の詰責に対する戎子の駒支の語として「今宮之師旅、無乃夷有所欠以攜諸侯而罪我諸戎、我諸戎飲食・衣服、不与華同、贊幣不通、言語不達、何患之能為、不与於會、亦無曹焉」とある。

④ 沈氏 本疏引。陳の沈文阿、字は国衛、吳興武東の人。著書とされる『春秋左氏伝義略』は、現在亡んで伝わらないが、『玉函山房輯佚書』に輯録されている。

⑤ 駒支 注③参照。

〔經〕 夏、五月、莒人入向

〔注〕 向小國也、譙國龍亢縣東南有向城、莒國今城陽莒縣也、將卑師少稱人、弗地曰入、例在襄十三年

〔疏〕 莒人入向

正義に曰はく、①『世本』に「莒は己姓、向は姜姓なり」とあり。此の「傳」に「莒人、向に入り、姜氏を以て還る」と云ひ、文(公)八年傳に「穆伯、莒に奔り、己氏に従ふ」と稱すれば、是れ莒は己(姓)にして向は姜(姓)なること、「傳」に見ゆるなり。②『譜』に云ふ、「莒は嬴姓、少昊の後なり。周の武王、玆與を莒に封じ、初めて計に都す。後に莒に徙る。今の城陽莒縣、是れなり。③『世本』に『紀公より以下、己姓と爲す』とあるも、誰が之に姓を賜ふ者なるかを知らず。十一世の玆丕公にして、方て④『春秋』に見ゆ。共公より以下は微弱にして復た見えぬ。四世にして楚之を滅ぼす」と。向は則ち唯だ此の「經」に見ゆるのみにして、其の終始を知る能はず。

〔疏〕 注向小 三年

正義に曰はく、(杜預注の)「將卑しく師少なきを人と稱す」とは、⑤『周禮』に「萬二千五百人を軍と爲し、二千五百人を師と爲し、五百人を旅と爲す」とあり。用兵の多少、其の數に常無し。其の大事を擧げ大衆を動かすを重んず。師を滿たさば則ち之を書し、滿たさざれば則ち書せず。其の衆の少なきを輕んずるが故に「經」に皆な旅を書せざるなり。師とは衆なり。復た五軍・三軍と雖も、悉く皆な師を以て名と爲す。其の衆の義を取るが故に「經」も亦た軍を書せざるなり。⑥『釋例』に曰はく、「『春秋』には軍・旅を書せず、壹に皆な師と曰ふ。衆を従ふるの辭、是れ其の義なり」と。

「經」の大例、君自ら將たるには、君を言ひて師を言はず。卿の將たるには、師を滿たさば則ち師・旅並びに書し、滿たさざれば則ち空しく將の名を擧ぐ。大夫の將たるには、師を滿たさば則ち師と稱し、滿たさざれば則ち人と稱す。然る所以の者は、⑦定(公)四年傳に「君行くに師従ひ、卿行くに旅従ふ」と曰へば、

春秋正義 詁註 (四)

(國語) 榎本 紘二

The Japanese Translation and Annotation of

Chung-qui Zheng-yi (春秋正義) Part 4

Hiroji MASUMOTO

This paper is part 4 of the Japanese translation and annotation of *Chung-qui Zheng-yi* (春秋正義). Part 4 contains the 2nd, 3rd and 4th year of duke Yin (隱公).

〔經〕二年、春、公會戎于潛

〔注〕戎・狄・夷・蠻、皆氏羌之別種也、戎而書會者、順其俗以爲禮、皆謂居中國若戎子駒支者、陳留濟陽縣東南有戎城、潛魯地

〔疏〕注戎狄、魯地

正義に曰はく、「曲禮」に「東夷・西戎・南蠻・北狄」と云ふ。^①然らば則ち四者は是れ九州の外の別名なり。『詩』商頌に「彼の

氏羌より」と曰へば、氏羌は西戎の國名なり。杜（預）、其の遠きに在りて以て相形無きを明らかにせんとす。故に（杜預注に）「氏羌の別種なり」と云ふ。是れ相ひ類するの物を謂ふのみにて、四者は是れ羌内の別なるを謂ふには非ざるなり。其の實、氏羌は乃ち是れ戎内の別なるのみ。

③戎子の駒支云ふ、「我が諸戎の飲食・衣服は華と同じからず、幣幣は通ぜず、言語は達せず」と。計るに、應に會盟に堪へざるべし。故に（杜預）解して（注に）「其の俗に順じて以て禮を爲す」と云ふなり。④沈氏云ふ、「會には、公の往くに據りて戎は主

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 卷 第 2 号 (1982)
(通卷 第 29 号)

昭和 57 年 2 月印刷
昭和 57 年 2 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 (082) 278-2111

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

Vol. 17, No. 2 (Consecutive No. 29)
February, 57th Year of Showa (1982)



1.	A Study of Controlled Composition	Takenobu KAWAJIRI	1
2.	Studies on the Connective Sine Curve Cam (2nd Report) — Oscillating Follower —	Hironori ITOSHIMA	5
3.	Studies on the Connective Hyperbolic Cam (2nd Report) — Oscillating Follower —	Hironori ITOSHIMA	21
4.	Stabilization of an Inverted Pendulum by a Microcomputer	Yoshifumi FUJITA	35
5.	Characteristics of Low Pressure Sodium Lamp by the Rectangular Wave Source	Kazuhiko HARADA	67
6.	A Statistical Consideration of the Difference between Log-mean and Mean-Log for Random Data Processing	Seijiro HIROMITSU Mitsuo OHTA	71
7.	Electron Energy Distribution in a Beam-produced Plasma	Tsutomu YAMAZAKI	81
8.	On the Dynamic Properties of Resin Mortar Beams	Kiyohiko KURŌ	89
9.	The Japanese Translation and Annoatation of <i>Chung-qiū Zheng-yi</i> (春秋正義) Part 4	Hiroji MASUMOTO	142