

研 究 紀 要

第 16 号

昭和55年度

奈良工業高等専門学校

目 次

旋削加工の最適化	大橋和正	1
ねじ旋削断続法に関する研究(第2報)	加賀勝也・大橋和正・奥島啓式	5
高温引張試験装置の試作	小島耕二・関口秀夫	9
快削性ガラスセラミックの被削性についての研究	田中義雄・和田任弘	13
旋削加工における切りくず処理に関する研究	和田任弘	21
電気油圧サーボ装置を用いた共振負荷の補償特性	若林敏夫・阪部俊也・森教安	27
不平衡ゲートによるPWM3相逆変換器の動作モード	井村榮仁	33
円筒面走査による長波長ホログラム	世古忠・成田紘一	39
光結合FETを用いたS形負性抵抗回路	高橋晴雄・山内雅好	43
空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置(Ⅳ)	山内雅好・高橋晴雄・提捨男	47
ニトロプルシドナトリウムを用いるケントのニトロソリシス反応機構	石垣昭	51
Heterogeneous Photocatalytic Decarboxylation of Adipic Acid		
Production of Butane via the Photo-Kolbe Reaction	泉生一郎	55
アルコール類の構造とそれらの電気化学的挙動との関係	泉生一郎	61
液膜反応器に関する研究	梅原忠	67
Dynamic Behavior in Continuous Mixed Suspension Crystallizers		
Z ₂ Tの性質について	北川誠之助	75
α-アシロインオキシムの熱分解ガスクロマトグラフィー	石川光二・阪井正	79
スポーツの価値	中和田武	85
柔道における技術形態の変遷	中西茂己	91
「藤村詩集」序と聖書	細井誠司	102
論文抄録		
混炭油(COM)について	小森三郎	103
有限要素法を用いたダイルス引抜きの温度分布の解析 小島耕二・関口秀夫・小坂田宏造・吉川勝幸		104
冷間塑性加工条件における炭素鋼の延性破壊	関口秀夫・小坂田宏造・越島次郎	105
2円孔を持つ帯板の引張り	浜田実・水嶋巖・増田方	106
新型可動式多孔板塔の流動特性 河越幹男・大竹伝雄・木村彰一・野田泰夫		107
アダム・スミスの共感について	谷口文章	108
教官研究活動状況一覧表		109

旋削加工の最適化

大橋 和正

Optimization of Turning Operations

Kazumasa OHASHI

Two objectives, namely, the minimization of the production cost per piece and the maximization of the production rate are considered in this paper, and nonlinear programming techniques called Kuhn-Tucker conditions are used to solve this problem, which is restricted by three inequality constraints. An optimum selection between two objectives should be done from the managerial standpoint according to the manufacturing objective.

Using this proposed computational algorithm, the microcomputer control is developed to show the practical applicability.

1. 緒 言

近年NC工作機械が急速に発達し、今やマシニングセンタといった多機能工作機械が開発されている現代において、その最適な制御がいっそう重要な問題となってきた。また最適化する際の評価関数としては最大能率基準、最小費用基準¹⁾等があり、これらの目標のもとでの最適加工条件の決定問題は確定的²⁾にも確率的³⁾にも解析がなされ、かなりの成果が上げられている。しかしながら解析結果から得られた最適化アルゴリズムを用いて、実際に生産管理システムとして適用した例は少ない。そこで本研究においては、まず解析方法として評価基準を設定し、与えられた制約条件の下で最適加工条件を決定するアルゴリズムを提案する。また、実験方法としては特に旋削加工を対象とし送り量制約、切削速度制約、切削力制約の三つの制約を考えマイクロコンピュータを用いて提案した最適化アルゴリズムの実用可能性を調べる。

2. 基本モデル

2.1 目的関数

評価関数としては次の二つの場合を考え定式化する。

(1) 最大能率基準

一個の品物を最も早く、つまり単位時間あたり最も多量に制作し、生産向上をはかるための基準である。従って単位生産時間を t (min/pc) とすれば、

$$t = t_p + t_m + t_c \frac{t_m}{T} \quad (1)$$

で表わされる。

(2) 最小費用基準

一個の品物を最も安く、つまり単位製品あたりに必要な生産費用を最小にするための基準である。従って単位生産費用を C (¥/pc) とすれば、

$$C = m_c + k_1 t_p + (k_1 + k_m) t_m + (k_1 t_c + k_i) \frac{t_m}{T} \quad (2)$$

で表わされる。

ここで、 t_c (min/edge) は切刃交換時間、 t_p (min/pc) は準備時間、 t_m (min/pc) は切削時間、 m_c (¥/pc) は材料費、 k_m (¥/min) は切削経費、 k_1 (¥/edge) は工具費、 $k_1 = k_a + k_i$ 、 k_a (¥/min) は労務費、 k_i (¥/min) は間接費、 T (min) は工具寿命である。

また、長手方向旋削加工の場合は、

$$t_m = \frac{\lambda}{v}, \quad \lambda = \frac{\pi D L}{1000 s} \quad (3)$$

で、一般テイラー工具寿命方程式は、

$$T \cdot s^{1/m} \cdot v^{1/n} = C_0 \quad (4)$$

で表わされる。ここに D (mm) は切削径、 L (mm) は切削長さ、 s (mm/rev) は送り量、 v (m/min) は切削速度、 C_0 , m , n は定数である。

2.2 制約条件

生産上の制約として次の三つを考える。

(1) 送り量制約

$$0 < s \leq s_{\max} \quad (5)$$

(2) 切削速度制約

$$0 < v \leq v_{\max} \quad (6)$$

(3) 切削刀制約

$$0 < s \cdot v^\alpha \leq \beta \quad (7)$$

ただし、 s_{\max} 、 v_{\max} 、 α 、 β は定数である。

3. 解析

式(3)、(4)を式(1)、(2)に代入し、整理すると、

$$t = t_p + \frac{\pi DL}{1000sv} + \frac{t_c \pi DL}{1000C_o} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-1} \quad (8)$$

$$C = m_c + k_{itp} + \frac{(k_1+k_m)\pi DL}{1000sv} + \frac{(k_{itc}+k_t)\pi DL}{1000C_o} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-1} \quad (9)$$

となる。

ただし、 $0 < s \leq s_{\max}$

$0 < v \leq v_{\max}$

$0 < s \cdot v^\alpha \leq \beta$

である。

次に、最大能率基準、最小費用基準に対するラグランジュ関数をそれぞれ L_t 、 L_c とし、ラグランジュ乗数を ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3 、 η_1 、 η_2 、 η_3 とすれば、クーン・タッカーの必要条件から最適解(s^* 、 v^*)は次のような関係式を満足しなければならない。

(1) 最大能率基準

$$L_t = t_p + \frac{\pi DL}{1000sv} + \frac{t_c \pi DL}{1000C_o} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-1} + \rho_1(s - s_{\max}) + \rho_2(v - v_{\max}) + \rho_3(sv^\alpha - \beta) \quad (10)$$

$$\frac{\partial L_t}{\partial s} = -\frac{\pi DL}{1000s^2v} + \frac{t_c \pi DL(1-m)}{1000C_o m} s^{\frac{1}{m}-2} v^{\frac{1}{n}-1} + \rho_1 + \rho_3 v^\alpha = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L_t}{\partial v} = -\frac{\pi DL}{1000sv^2} + \frac{t_c \pi DL(1-n)}{1000C_o n} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-2} + \rho_2 + \rho_3 \alpha s v^{\alpha-1} = 0 \quad (12)$$

$$\rho_1(s - s_{\max}) = 0 \quad (13)$$

$$\rho_2(v - v_{\max}) = 0 \quad (14)$$

$$\rho_3(sv^\alpha - \beta) = 0 \quad (15)$$

$$\rho_i \geq 0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (16)$$

(2) 最小費用基準

$$L_c = m_c + k_{itp} + \frac{(k_1+k_m)\pi DL}{1000sv} + \frac{(k_{itc}+k_t)\pi DL}{1000C_o} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-1} + \eta_1(s - s_{\max}) + \eta_2(v - v_{\max}) + \eta_3(sv^\alpha - \beta) \quad (17)$$

$$\frac{\partial L_c}{\partial s} = -\frac{(k_1+k_m)\pi DL}{1000s^2v} + \frac{(k_{itc}+k_t)\pi DL(1-m)}{1000C_o m} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-2} + \eta_1 + \eta_3 v^\alpha = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\partial L_c}{\partial v} = -\frac{(k_1+k_m)\pi DL}{1000sv^2} + \frac{(k_{itc}+k_t)\pi DL(1-n)}{1000C_o n} s^{\frac{1}{m}-1} v^{\frac{1}{n}-2} + \eta_2 + \eta_3 \alpha s v^{\alpha-1} = 0 \quad (19)$$

$$\eta_1(s - s_{\max}) = 0 \quad (20)$$

$$\eta_2(v - v_{\max}) = 0 \quad (21)$$

$$\eta_3(sv^\alpha - \beta) = 0 \quad (22)$$

$$\eta_i \geq 0 \quad (i=1, 2, 3) \quad (23)$$

4. 最適化制御

4.1 最適化アルゴリズム

以上の解析をもとに与えられた評価基準の下で最適加工条件(s^* 、 v^*)の組合せを決定し制御を行なう一連のアルゴリズムを以下に示す。

(step 1) 二つの評価基準の中でどれを選択すべきか意思決定する。(式(8)、(9)の選択)

(step 2) 決定された評価基準と制約条件式からラグランジュ関数を求める。(式(10)、(17))

(step 3) クーン・タッカーの必要条件から最適加工条件すなわち最適送り量 s^* と最適切削速度 v^* を決定する。

(step 4) 求められた最適解(s^* 、 v^*)に対応する方形波をマイクロコンピュータより発生させ、NC旋盤を駆動させる。

4.2 制御実験

ここでは旋削加工を対象として最適化アルゴリズムの実用可能性を調べるために図1に示すような構造のNC旋盤を試作した。この旋盤は主軸側と送り軸側の駆動装

置がそれぞれ独立しており個別の制御を可能にしている。

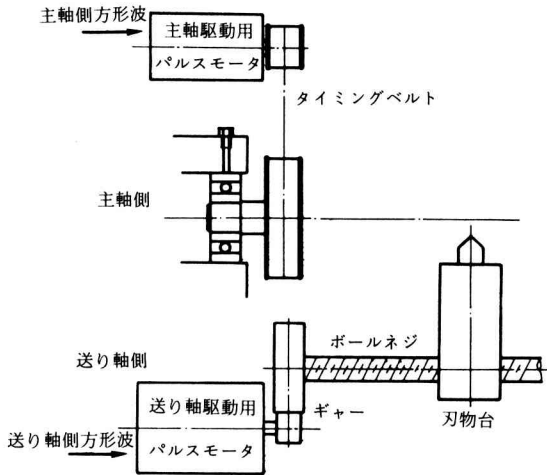


図1 試作NC旋盤の構造図

また、マイクロコンピュータはPET2001を用い、二軸駆動用方形波はMCS6522のタイマ1フリーランニングモード出力とタイマ2フリーランニングシフト出力を使用し、発生させる。送り軸側方形波は、タイマ1フリーランニングモード出力とし、そのしきみはカウンタがゼロになる毎に割込みフラグがセットされ端子PB7ピンの信号が反転し方形波が得られる。一方、主軸側方形波は、タイマ2によるフリーランニングシフト出力とする。このシフトレジスタは内部の8進カウンタにより端子

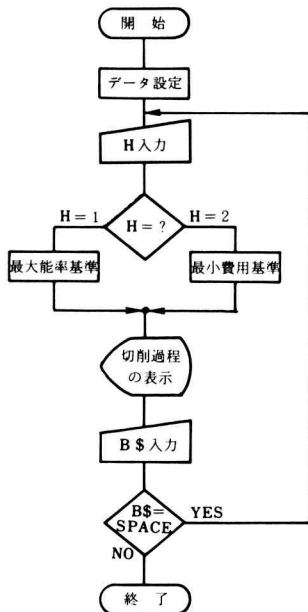


図2 制御フローチャート

CB2ピンを通じてシリアルデータの送受信を行なう。このレジスタに書き込むデータは正しい方形波を得るために、101010102(85₁₀), 001100112(51₁₀), 000011112(15₁₀)でなければならない。

4.3 制御フローチャート

この最適化アルゴリズムをマイクロコンピュータで実際に生産管理システムとして適用する場合、次のようなフローチャートに従って制御を行なう。すなわちキーボードを通じて人とマイクロコンピュータとの対話が可能となり、意思決定者からの命令で評価基準が自由に選択できる(図2)。

4.4 制御例

例として次のような生産情報を与える。すなわち、材料パラメータとして $D=50.00\text{mm}$, $L=200.00\text{mm}$, 時間パラメータとして $t_p=0.75\text{min/pc}$, $t_c=1.50\text{min/edge}$, 費用パラメータとして $k_d=15\text{¥/min}$, $k_i=35\text{¥/min}$, $k_m=5\text{¥/min}$, $k_t=250\text{¥/edge}$, $m_c=400\text{¥/pc}$, 工具寿命パラメータとして $m=0.55$, $n=0.23$, $C_0=1.51 \times 10^{10}$, 制約条件パラメータとして $s_{\max}=0.50\text{mm/}$

表1 最適加工条件

解	基準	最大能率基準	最小費用基準
最適切削速度 v^* (m/min)		202.3	147.5
最適送り量 s^* (mm/rev)		0.50	0.50
生産時間 t (min/pc)		1.15	1.21
生産費用 c (¥/pc)		475	468

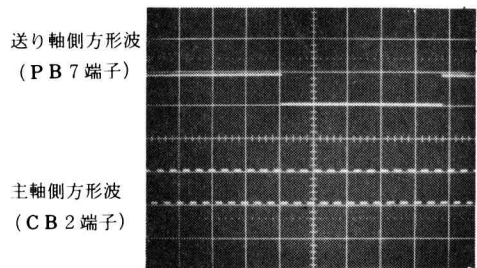


図3 二軸駆動用方形波

rev, $v_{\max}=500.00\text{m/min}$, $\alpha=1.5$, $\beta=90.0$ とする。これらの生産情報に基づいて最適加工条件 (s^* , v^*)

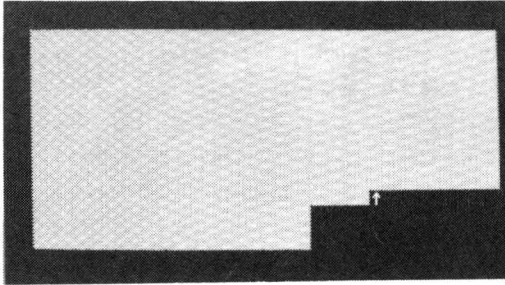


図4 切削過程のディスプレイ

の組合せを上述のアルゴリズムに従って求めた結果が表1である。

また、図3はマイクロコンピュータの端子PB7ピンとCB2ピンから出る方形波を示し、図4はマイクロコンピュータのディスプレイ上に表わした切削過程である。

5. 結 言

本研究では旋削加工の最適化に関する解析と制御実験

を行ない次の結果を得た。

- (1) 最適化の評価基準を設定し、その数学モデルを構築した。
- (2) 解析はクーン・タッカーの条件を適用することにより行ない、最適化アルゴリズムを提案した。
- (3) 得られた最適化アルゴリズムを用いて、実際に生産管理システムとして適用を試み成果を得た。

終わりに本研究にあたり、終始御指導くださった京都大学工学部人見勝人教授、本校加賀勝也教授に厚くお礼を申し上げます。

また、実験をすすめるにあたり協力していただいた卒業生諸氏に感謝の意を表わします。

文 献

- (1) K. Hitomi, Manufacturing Systems Engineering, Taylor & Francis Ltd., (1979).
- (2) K. Hitomi, J. Prod. Res., vol. 15, No6, (1977).
- (3) K. Iwata, Y. Murotsu, T. Iwatsubo, Trans. ASME. (Industry), Vol. 94, (1972).
- (4) K. Hitomi, N. Nakamura, H. Tanaka, ASME Publication, 76-WA/Prod-34.
- (5) H. W. kuhn, A. W. Tucker, Proc. 2nd Berkeley Symp. on Math. Stat. and Prod., Berkely, (1951).

ねじ旋削断続法に関する研究 (第2報)

A Study on the Intermittent Method in Screw Cutting (2nd Report)

加賀 勝也・大橋 和正
奥島 啓 式*

Katsuya KAGA, Kazumasa OHASHI and Keiji OKUSHIMA

第1報で、往復台の早戻しの方法として、空気シリンダとピストンとを用いて、一応の成功を見たが、空気の力と電気制御を用いるこの方法では故障の可能性が高い。そこで、これを改良するため、力・制御ともに電気を用い、2つの方法で試みた。

その1つはねじ棒を用い、他の1つはラックとピニオンとを用いた。本文ではこれら2方法の構造と往復台の挙動とについて考察をする。

1. 緒 言

バイトによるねじ切りは、縦方向にバイトを何回も往復運動させて逐次ねじ山を成形して行くため時間がかかり、時間の短縮をはかる必要がある。往復台をねじの切りはじめの位置まで早戻しをすることは、そのための方法の1つであるが、第1報では圧縮空気をシリンダに入れることによって、ピストンに結合した往復台を戻すことを試み、成功を収めたことを報告した。⁽¹⁾しかし、この装置では、力は空気圧で行い、制御は電氣的に行うため、順序を誤ると故障を起す可能性が高い。そこで本研究は力・制御ともに電気で行うことを試み、可能性を確かめることを目的とする。

2. ねじ棒による早戻し法

2.1 構造と働き

図1はねじ棒による早戻し装置を示す。モータから軸Iに回転が伝えられ、軸IIの歯車を空転させているが、ねじの切り終り時に往復台に取り付けられたドッグがリミットスイッチLS1を押すと、EMC1の電磁クラッチが作動し、軸IIIに回転が伝わってねじ棒を回す。すると、スリーブはその案内に取り付けられたピンによって回転を止められているため右に押し出され、往復台をねじの切りはじめの位置に早戻しする。スリーブは高速

で動くので、往復台がねじの切りはじめの位置に来たとき、電磁ブレーキEMBを作動させることによってすばやく停止させる。また、往復台の運動エネルギーは停止させるべき位置に設けたダッシュポットに吸収させる。往復台に取り付けられたドッグがリミットスイッチLS1

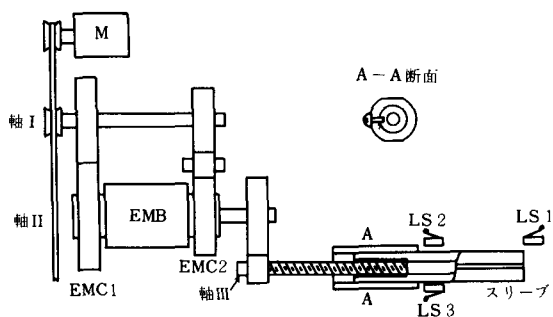


図1 ねじ棒による早戻し装置

を押すと、電磁クラッチEMC1は切れ、同時にEMC2が作動し、ねじ棒は逆転してスリーブを引き戻す。そして、スリーブに取り付けられたドッグがリミットスイッチLS3を押すと、スリーブは定位置に止められる。なお、往復台が切削状態に入る際には、ブレーキEMBの両側のクラッチは切れていて、EMBのみが動く。

* 京都大学工学部名誉教授

2.2 往復台の挙動と考察

図2は同一条件（モータ出力0.75KW, 負荷10kg, スリーブと往復台とのすき間0mm, 早戻し速度17.35cm/sec）で、ストロークを変えた場合の往復台の挙動を示すもので、ストロークが変化しても立ち上がりは変わらないことを示している。

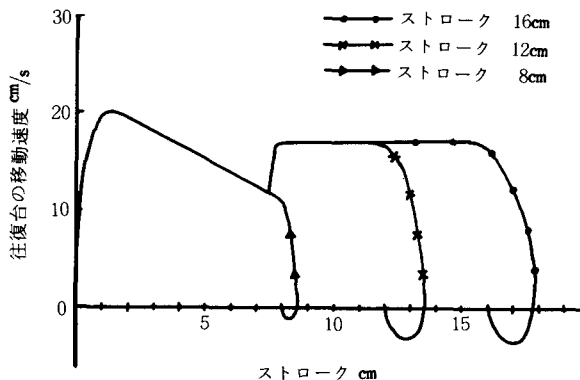


図2 ストロークを変えた場合の挙動

図3は同一条件（モータ出力0.75KW, 負荷10kg, スリーブと往復台とのすき間15mm）で、スリーブの押出速度（早戻し速度）を変えた場合の往復台の挙動を示したもので、同一条件であるので立ち上がりの傾きがほぼ等しく、速度の低下する部分もほぼ平行である。しかし、早戻し速度がはやいほど、スリーブと往復台との速度差が大きくなり、悪影響を及ぼす。反面、早戻し速度が大きいことは時間の短縮をはかれるので望ましいが、両者の矛盾はスリーブと往復台との一体化が可能になれば解決される。しかし、この方法では、切削時に往復台の移動によってスリーブを押し戻すことが困難であるので、一体化は難しい。

図4は往復台に載せる負荷を、0kg, 10kg, 20kg, 30kgと変えたときの往復台の挙動を示している。スリーブと往復台との速度差が大きいとショックが大きいため、図より一番望ましいのは負荷が20kgの場合で、10kg, 0kg, 30kgとなるに従って良くない。すなわち、この装置では往復台の重量には最適な値があり、これは設計における大きな因子である。

3. ピニオンとラックによる早戻し法

3.1 構造と働き

図5はピニオンとラックによる早戻し装置を示すものである。モータより軸Iに回転が伝えられ、ウォームとウォームホイールにより方向を変えて、軸IIより軸III、さらに軸IVに伝えられている。切削工程の終りで、往復台に取り付けてあるドッグがリミットスイッチLS2を押すと、電磁クラッチEMCが作動してピニオンを回し、ラックを水平方向に移動させて、往復台をねじの切りはじめの位置に早戻しをする。往復台はねじの切りはじめの位置に設けたダッシュポットに当たって停止する。この際往復台に取り付けたドッグはリミットスイッチLS1を押す、電磁クラッチEMCを切るので切削状態に転じると往復台がラックを押しに行く。故に、この装置ではピニオンを逆転する必要がなく、ねじ棒による早戻し装

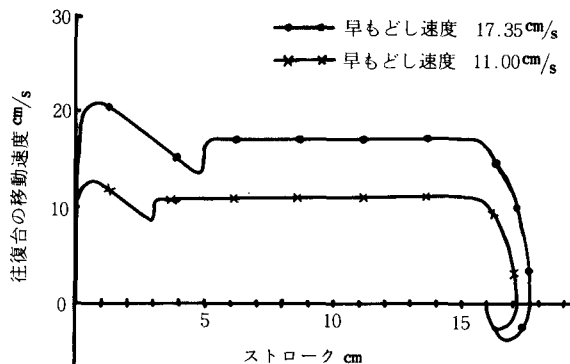


図3 早戻し速度を変えた場合の挙動

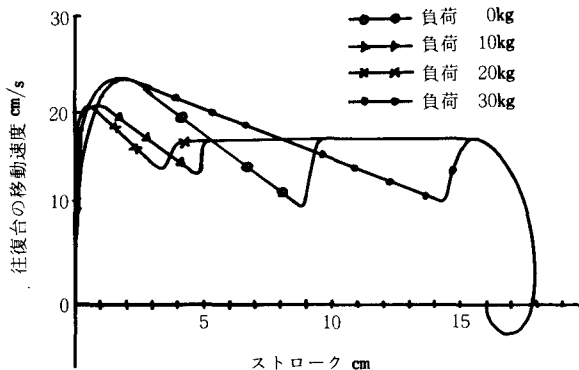


図4 負荷を変えた場合の挙動

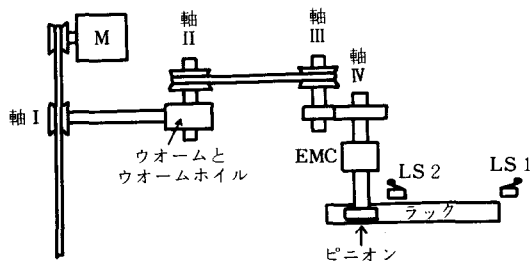


図5 ピニオンとラックによる早戻し装置

置にくらべるとクラッチが1つ少なくすみ、さらに往復台とラックとを一体化できる。

3.2 往復台の挙動と考察

図6はストロークを変えて往復台の挙動を調べたもの

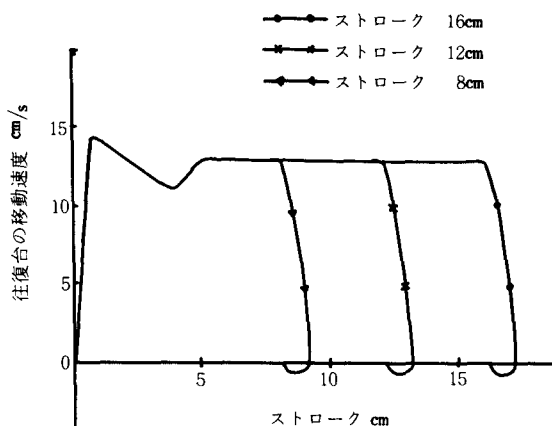


図6 ストロークを変えた場合の挙動

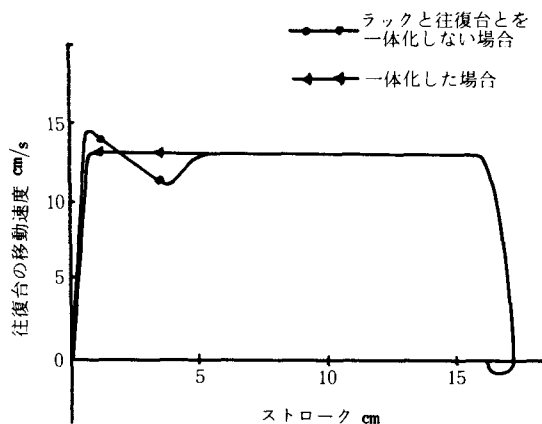


図7 ラックと往復台とを一体化した場合としない場合との挙動の比較

であるが、ストロークが変化しても立ち上がりは変わらぬことを示している。この装置の場合にも、ねじ棒による装置と同じような挙動を示しているが、やはりラックが往復台に衝突を起こしていることが現われていて好ましくない。

図7は往復台とラックとの一体化を試みたもので、この場合には両者を切り放した場合にくらべると理想的な曲線になっている。

4. 結 言

以上の2つの装置により、力・制御ともに電気的に行うことに成功を得たのであるが、ねじ棒による装置ではスリーブを往復させる必要があるため、ダブルクラッチを要して装置がやや高価となるばかりでなく、往復台とスリーブとが一体化出来ないで、往復台の戻し時にショックが避けられぬという欠点を持っている。さらにこの装置を採用する場合には、往復台の重量はショック時の挙動から判断して適当なものがあるので、設計時に考慮しなければならない。

ピニオンとラックとによる装置では、切削時に往復台がラックを押し移動するためクラッチは1つでよく、構造が簡単になる上に、往復台とラックとを一体化できるので、ショックの問題もなくすぐれている。

本研究に当って、卒業研究で多大のご協力をいただいた「ねじ旋削断続法自動化グループ」*の諸氏に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 加賀：奈良高専研究紀要，第15号（昭54），11.

* 池田和史，木下誠亮，寺嶋一雄，中川弘志，寺口勝久，富岡光博，森岡 淳.

高温引張試験装置の試作

小 島 耕 二・関 口 秀 夫

Trial Manufacture of a Tensile Testing Device in High Temperature

Koji KOBATAKE and Hideo SEKIGUCHI

試験片の温度を所定の温度まで急速に加熱するとともに設定温度に達した後は温度の変動がなく、その間に引張変形をいろいろなひずみ速度で与え得るような特殊な装置を試作した。試作した高温引張試験装置は、主として引張装置と加熱装置の二つから構成されている。引張装置の駆動には油圧システムを採用し、最大負荷能力は3.5tonであり引張速度を0~48cm/minの範囲で調節することが可能である。また加熱装置においては、試験片の急加熱の必要性から電気通電加熱法を採用し0~800℃の範囲で温度制御(PID動作による自動制御)が行なえる。この加熱装置では直径4mmの炭素鋼の試験片に最大750Aの電流を流すことができ、そのときの昇温速度は200℃/secであった。

1. はじめに

金属の機械的あるいは物理的性質は、極低温から融点近い高温に至る温度範囲で著しく変化する。塑性加工においては、そうした温度の違いによる金属の特性の変化を有効に利用するためさまざまな温度域で金属を加工する。加工温度の観点から塑性加工を大別すると、冷間加工、温間加工、熱間加工となる。このうちの温間加工とは、冷間と熱間との中間的な温度範囲での加工を指し、一般に200℃~700℃の範囲である。

本論文では、金属の温間域における機械的性質のデータを得るために試作した特殊な高温引張試験装置について述べる。

2. 高温引張試験装置の概要

試作した装置は、引張装置と加熱装置の二つから構成されている。引張装置の駆動には油圧システムを採用した。また加熱装置においては、試験片の温度を所定の温度まで急加熱し、設定温度に達した後は温度の変動がないようにするため温度自動制御装置を備えている。

2.1 引張装置

図1に引張試験装置の本体の概略を示す。この装置は横型であり、二枚の側板を主柱で支えるフレーム構造である。試験片の一端は、固定用ブルロッドを介して一方の側板に固定され、他端を油圧シリンダで引張る。試験片の両端は、ピンを用いてブルロッドに取付けられており、試験片に曲げが作用しない仕組みになっている。こ

の装置の最大負荷能力は3.5tonであり、引張速度は0~48cm/minの範囲で調整できる。引張速度の調整は、油圧回路中に組み込んだ流量調整弁により行う。また油圧シリンダのピストンロッドの運動の向きは電磁方向制御弁により切り換えられるようになっている。

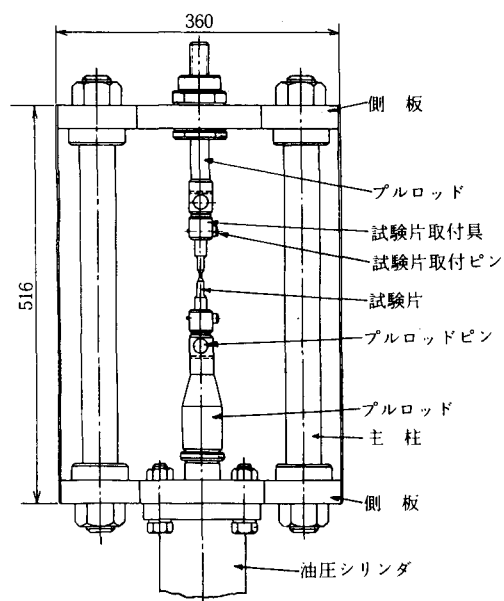


図1 高温引張試験装置の本体の概略図

2.2 加熱装置

引張試験片の加熱方法として、均一にしかも急速に加熱する必要性から電気通電加熱を採用した。また試験片の形状は、その平行部だけが高温に加熱されるとともに

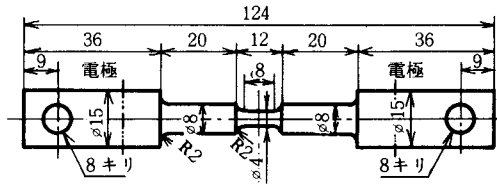


図2 引張試験片の形状と寸法

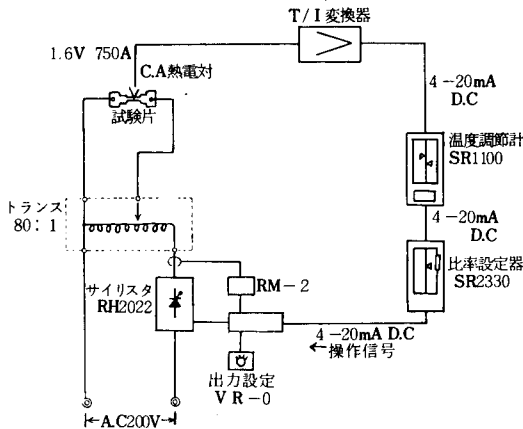


図3 加熱装置の温度制御回路図

軸方向の温度分布が均一になるよう図2のようにした。試験片に通電するための電極は黄銅製で、試験片の両端からそれぞれ26mm中央よりの位置に取付けた。

図3は加熱装置の温度制御回路を示したものである。この回路は閉回路自動制御系（電流フィードバック型）であり、温度制御範囲は0～800℃である。制御量の検出部としては、直径0.1mmのクロメル-アルメル熱電対を用いた。熱電対の熱接点は高温にさらされるので、試験片の平行部中央にパーカッション溶接（付録参照）した。熱電対の出力電圧は、T/I変換器（アイソレータ）と呼ばれる装置で直流電流に変換される。アイソレータでは入力電圧を電流出力に変換するとき直線化を行うとともに試験片の加熱電流（交流）によるノイズの除去も行う。アイソレータからの電流信号は、PID制御^{1),2)}の温度調節計を経て比率設定器（加熱出力の設定）に導かれる。比率設定器からの操作信号は加熱装置の主回路に設けたサイリスタ・レギュレータに流れる電流を制御する。試験片を加熱するための主回路では、電源電圧を交流の200Vとし、巻線比80：1の出力トランスを設けて試験片の電極間電圧を感電防止のため低電圧（1.6V）とし加熱電流を大きくしている。

3. 試験装置の性能

3.1 加熱効率

試作した加熱装置で試験片（S45C炭素鋼）を加熱したところ最大750Aの電流を流すことができ、このときの試験片の昇温速度は200℃/secであった。加熱効率を計算すると次のようになる。

交流電流によるジュール発熱量 Q (cal/sec) は式(1)のように表わされる。

$$Q = 0.24I^2R \cos \phi = 0.24I^2r \frac{l}{A} \cos \phi \quad (1)$$

ただし、 I は電流（A）、 R は試験片平行部の抵抗（ Ω ）、 r は試験片材料の固有抵抗（ $\Omega\text{-cm}$ ）、 l は試験片平行部の長さ（cm）、 A は平行部の断面積（ cm^2 ）、 $\cos \phi$ は力率である。

一方、試験片平行部に与えられた熱量 Q' と温度 T の関係は、

$$Q' = \frac{c\rho VT}{t} = \frac{c\rho AlT}{t} \quad (2)$$

である。ただし、 c は比熱（cal/g℃）、 ρ は密度（g/cm³）、 V は試験片平行部の体積（cm³）、 t は加熱時間（sec）である。

ここで $Q = Q'$ として式(1)と式(2)より昇温速度を求めると

$$\frac{T}{t} = \frac{0.24I^2r \cos \phi}{c\rho A^2} \quad (3)$$

となる。電流値を $I = 750\text{A}$ とし、電流と電圧の位相差は無いものとして $\cos \phi = 1$ とする。また試験片材料の各物性定数は、加熱温度の平均値である300℃の値をとるとすると、 $C = 0.131\text{cal/g}^\circ\text{C}$ 、 $\rho = 7.85\text{g/cm}^3$ 、 $r = 39.5\ \mu\Omega\text{-cm}$ であり、以上の値を式(3)に代入して計算すると昇温速度は $T/t = 329^\circ\text{C/sec}$ となる。したがって、 $I = 750\text{A}$ のときの実験における昇温速度は200℃/secであったので加熱効率は約63%となる。残りの37%の熱量は、試験片平行部両端からの熱伝導、空気中への熱伝達および輻射などによる熱損失分であると考えられる。

3.2 温度制御特性

試験片の加熱温度を制御するPIDの各動作特性について述べる。ここでは設定温度をすべて300℃とした。

図4は、P動作（比例位置動作）の特性を調べたもので、比例帯を15%および45%にしたときの温度変化のようすを示す。比例帯の巾が狭い程制御動作の感度は鋭敏となり、 $P = 15\%$ ではかなり大きなサイクリング（振動）を生じる。このようなサイクリングは $P = 60\%$ 以上で消滅するが温度が平衡に達するまでにかなり長い時間を要

す。図4においては、いずれの場合もオフセット（設定値と制御量の差）を生じている。これはサイリスタに流

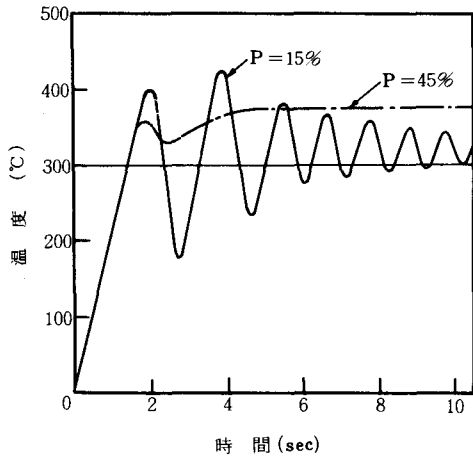


図4 比例帯が異なる場合の温度変化の比較

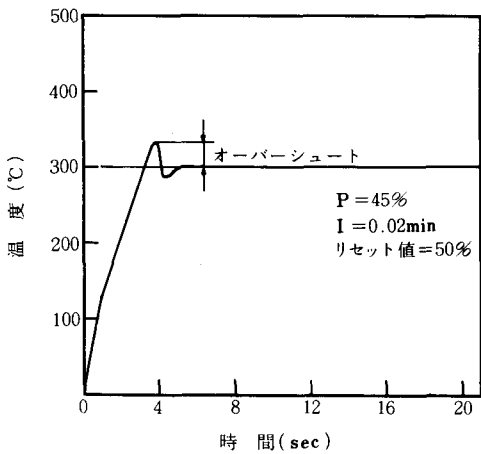


図5 PI動作を行ったときの試験片の温度変化

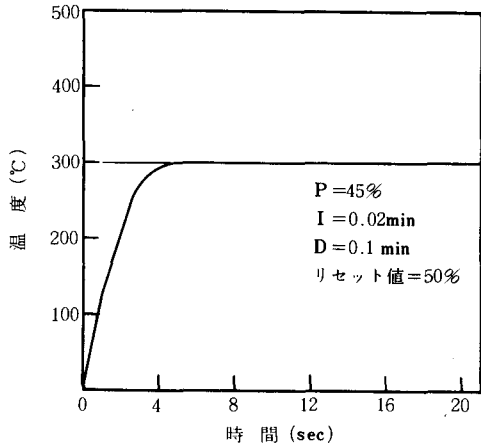


図6 PID動作を行ったときの試験片の温度変化

れる最大電流の設定が良くないためである。したがってP動作におけるオフセットを少なくするために比率設定器（手動リセット機構）の値を小さくする必要がある。リセット値を50%程度にするとオフセットはかなり減少する。

図5に、P=45%としてI動作（積分動作）を付加したときの温度変化を示す。このときの積分時間は0.02minである。積分時間を短かくした場合設定値への収束が早くなりオフセットは消滅する。しかしオーバーシュートが大きくなり安定性が悪くなる。

図6は、図5の加熱条件にD動作（微分動作）を加えたときの温度変化のようすを示したものである。微分時間は0.1minである。微分時間だけを長くした場合、周期を短かく安定性を良くする効果がある。図6ではオーバーシュートは消滅し最適な温度制御がなされている。

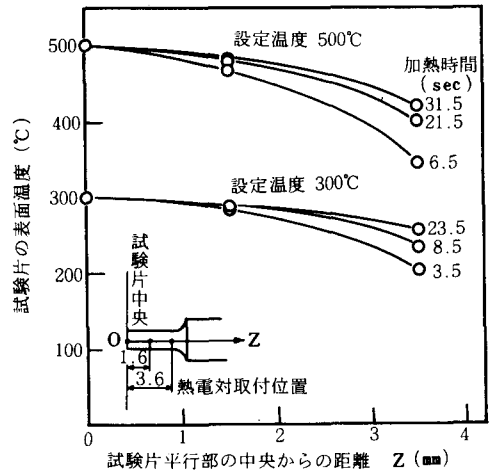


図7 試験片表面の軸方向における温度分布

3.3 試験片の温度分布

図7に引張試験片の平行部における軸方向の温度分布を示す。加熱時間が長くなるにしたがって軸方向の温度差は小さくなり、試験片中央の温度を300°Cに設定したとき、加熱時間が20secでZ=3.5mmの位置の温度は約250°Cであり、試験片中央との温度差は50°Cである。また、設定温度を500°Cにした場合、加熱時間が21.5secのときZ=3.5mmの位置の温度は410°Cである。試験片の平行部中央と両端でこのような温度差を生じるのは熱伝導の影響による。図2に示した引張試験片を通电加熱した場合、以上のような温度分布を生じるが、試験片の機械的性質、たとえば延性などではその評価として平行部中央の絞りを取るのでは問題はない（Z=0~2mmの範囲での温度差は非常に小さい）。

4. おわりに

自動温度制御装置を備えた高温引張試験装置を試作し、2, 3性能試験を行った結果、加熱装置は期待どおりの性能を示すとともに引張装置も円滑に作動した。今後、本装置を用いて各種金属の材質改善に関する研究をすすめる。

参考文献

- 1) 高井, 自動制御, (1967), 15, コロナ社.
- 2) 石黒, プロセス制御実験, (1962), 154, 産業図書.

付録 パーカッション溶接

図8に熱電対を溶接するために製作したパーカッション溶接機の回路図を示す。これは整流回路とコンデンサ

バンクより構成されており、放電成形や電磁成形などで用いられる装置の原理と同種である。コンデンサに蓄えられるエネルギーは CV^2 (C:コンデンサ容量, V:充電電圧)に比例し、コンデンサ容量より充電電圧を大きくした方が効率が良い。しかしあまり充電電圧を大きくすると感電等の危険を伴うので本溶接機では最大充電電圧を24Vとした。コンデンサ容量は $144 \times 10^3 \mu\text{F}$ であり、 $3200 \mu\text{F}$ の電解コンデンサを45個並列に結線した。線径0.1mmの熱電対の溶接では、充電電圧は10V前後が適当である。

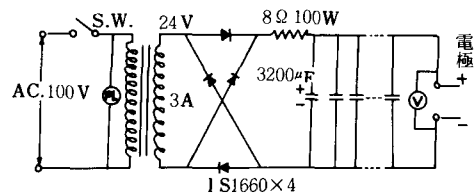


図8 パーカッション溶接機の回路図

快削性ガラスセラミックの 被削性についての研究

田 中 義 雄・和 田 任 弘

Study on Machinability of Machinable Glass Ceramic

Yoshio TANAKA and Tadahiro WADA

In turning of low heat conduction type machinable glass ceramic with cutting fluid, the suitable tool material and the cutting condition are investigated and the effects of the tool material and the cutting condition on both the surface roughness and the tool life are observed. The main results obtained are as follows:

- (1) The high heat conduction type tool material such as the carbide cutting tool (i.e. K carbide cutting tool) is suitable.
- (2) The ceramic or cermet cutting tool has shorter tool life than the carbide cutting tool.
- (3) The built-up edge of the cutting tool can not be found, therefore, the surface roughness is under the little influence of cutting speed. The surface roughness depends on the feed rate and the geometry of cutting tool (i.e. nose radius).

1. はじめに

科学技術の進歩とともに、工業材料に対する要求は日増しに高まってきた。今やセラミックスは金属材料、プラスチックと並んで三大工業材料の一つとして注目をあびている。すなわちその高度の絶縁性、断熱性、耐摩耗性また化学的に安定していることなど種々の長所が見直されてきたといえる。しかしその反面、非常に硬くしかももろくて加工が困難なことなどのため、最近までその用途がかなり阻止されていたものと思われる。

さて、このたび、従来の金属加工用工作機械ならびに工具でもって比較的容易に加工できる快削性ガラスセラミック（マコール）を切削する機会がえられたのでその被削性を調べることにした。

従来から被削性を測定する基準としては

- (i) 切削工具寿命の長短
- (ii) 表面あらさの良否
- (iii) 切削抵抗の大小
- (iv) 切くず処理の難易

以上の四項目があげられているが、今回とりあげたこの快削性ガラスセラミックは、その予備切削実験において一般の金属材料に比較して切削抵抗はさほど大きくなく、また切くず処理についてもあまり問題がないものと

思われたので今回は実験の対象から除くことにした。

そこで未知のこの被削材に対し、最適の工具材料ならびに加工条件を見つけ出すことを目的として数種の工具材料の寿命試験および切削条件と被削面あらさとの関係を調査研究し、その実験結果の一端を報告することにした。

2. 実験要領

2.1 使用機械および切削工具

本実験に使用した旋盤は三菱製精密高速旋盤（5 KW）で、心高は175mm、心間距離は700mmである。また使用した工具は、スローアウェイ型クランプ式超硬合金工具およびダイヤモンド工具（らうずけ）である。

なおそれらの工具の化学成分および物理的・機械的性質の一覧表を表1に示す。

2.2 使用材料

被削材として本実験に使用した快削性ガラスセラミックの成分割合を表2に、またその物理的・機械的性質を表3に示す。次にこの成分割合のものを溶融して型に入れ、成型した後、熱処理するとガラス中に、合成雲母の微結晶が不規則に成長し、ガラスとセラミックの中間的な性質をもった複合材料となる。なお、組織中のこの微

表1 切削工具の化学成分および物理的・機械的性質

種別 (記号)	化 学 成 分			硬 度 (HRA)	抗折力 (kg/cm ²)	抗圧力 (kg/cm ²)	弾性率 (kg/mm ²)	熱伝導率 Cal/cmSec°C	備 考
セラミックW	Al ₂ O ₃ が主体			94.0	40~50	400	} 36000~ 38000	0.04	ノーズ 半径 0.4 mm
セラミックB	Al ₂ O ₃ +TiC			94.5	70~80	---		0.05	
セラミックN	TiC+TiN			92.0	150	---		0.03	
サーメット	TiC	Ni	Mo						ノーズ 半径 0.4 mm
TC 2	80	10	10	92~93	100~120	} (45) 内外	0.07		
TC 3	75	15	10	91.5~ 92.5	120~130		0.08		
X 407	TiCが約50%。他にWC系炭化物を含む。			91~92	140~160				
超硬合金	WC	TiC+TaC	Co	(HV)					ノーズ 半径 0.8 mm
P 10	63	28	9	1600	130	460	53000	0.07	
P 20	76	14	10	1500	150	480	54000	0.08	
P 30	82	8	10	1450	175	500	56000	0.14	
M 20	82	10	8	1550	160	500	57000	0.15	
K 10	92	2	6	1650	170	570	63000	0.19	
CBN				45000	110		(71)	3.1 (0.09)	0.8
ダイヤモンド	天然ダイヤモンド(D型)			90000			(99)	5.0	0.2

備考 (1) 弾性率のらんで()内数字はヤング率を表す。
 (2) この表は主として超硬工具ハンドブックより引用する。

表2 成分割合

成 分	概算重量 (%)
SiO ₂	4 6
Al ₂ O ₃	1 6
MgO	1 7
K ₂ O	1 0
F	4
B ₂ O ₃	7

表3 被削材の物理的機械的性質

項 目	標 準 値
密 度 (gr/cm ³)	2.52
硬 さ (HV)	230
引張強さ (kg/cm ²)	1000
曲げ強さ (")	1000
圧縮強さ (")	3500
ヤング率 (")	6.5×10 ⁵
熱伝導率 (Cal/cm Sec°C)	0.004
熱膨張率 (室温から400°C)	9.4×10 ⁻⁶
最高温度 (°C)	1000

細な雲母結晶のへき開性が機械加工性を容易ならしめているといわれている⁽¹⁾

2.3 作業条件

実験に使用した切削工具のノーズ半径はいずれも0.4, 0.8mmで、ダイヤモンド工具だけは0.2mmである。切削条件としては

切込み (mm) ……………0.5, 1.5, 2.0

送り (mm/Rev) ……………0.06, 0.075, 0.09, 0.105
 切削速度 (m/min) ……20~90

次に、すくい角は0°からわずかに正(ただしM20の工具はすくい面にチップブレイカが施してあったので約10°)、前逃げ角および横逃げ角は約5°、横切れ刃角は0°、切削液としては、軽油が50%、スピンドル油が50%の混合液を使用した。

なお、バイト寿命の判定には、バイト逃げ面における

焼損状況と被削面の表面あらさの両者で行うことにした。
表面あらさの測定器としては、東京精密製触針式サーフコム10Aを用いた。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 各種工具材料の寿命試験

快削性ガラスセラミックの被削性を調べるにあたり、被削材と工具材料との適合性を調べることにした。まず被削材の熱伝導率は0.004 (Cal/cm・Sec°C)で鉄の約 $\frac{1}{10}$ 、また炭素鋼の約 $\frac{1}{10}$ であって熱伝導率はきわめて低い。このような被削材を、熱伝導率の低い工具材料で切削した場合、両者間に発生した熱は急に温度上昇をきたし、工具の刃先寿命を低下せしめることは明らかである。そこで工具材料を表1のごとく、熱伝導率の低いものより順序に排列し、下記のごとく三つのグループに分類して検討することにした。

- (a) セラミックおよびサーメット系工具
- (b) WC系超硬合金工具
- (c) CBNおよびダイヤモンド工具

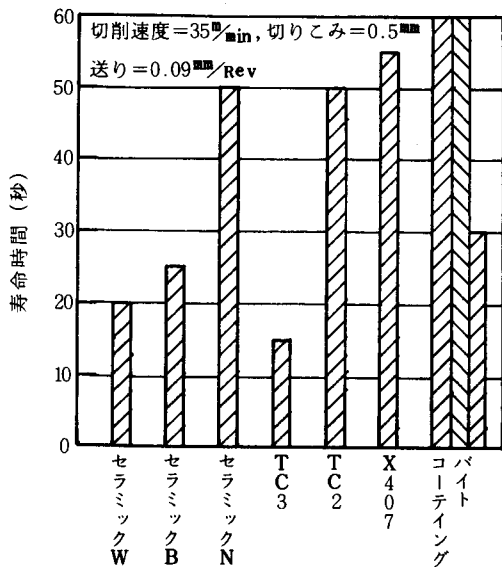


図1 セラミックおよびサーメットの性能比較

切削条件を選定するにあたり、まず切削速度については鉄切削の場合の約 $\frac{1}{10}$ を基準とし²⁾また送り、切りこみについては予備実験の結果を参考にして決定した。

- (a) セラミックおよびサーメット工具

このグループの工具材料の実験結果については図1に示す。加工条件はいずれも切削速度は35 m/min、送りは0.09mm/Rev、切りこみは0.5mmで湿式で行う。

その実験結果はグラフのごとく、コーティングバイト以外はいずれも60秒以内で工具の逃げ面に焼けの現象が生じ寿命がきた。これらの工具はいずれも硬度はかなり高いが、熱伝導率が0.1以下であり、抗折力および弾性係数(ヤング率)が低いと思われる。

なおコーティング工具については、刃先に発生する熱に対し、母材の超硬合金が塑性変形するかどうかによって決定されるが、本実験に用いた工具はWC系超硬合金の表面に約5 μ m程度の厚みのTiCがコーティングされたもので、寿命は約2.5分で焼損した。

- (b) WC系超硬合金工具

WC系超硬合金工具は一般にJIS規格ではP, M, Kに分類されているが、本実験では表1に示すごとく、5種類の工具について実験した結果を図2に示す。

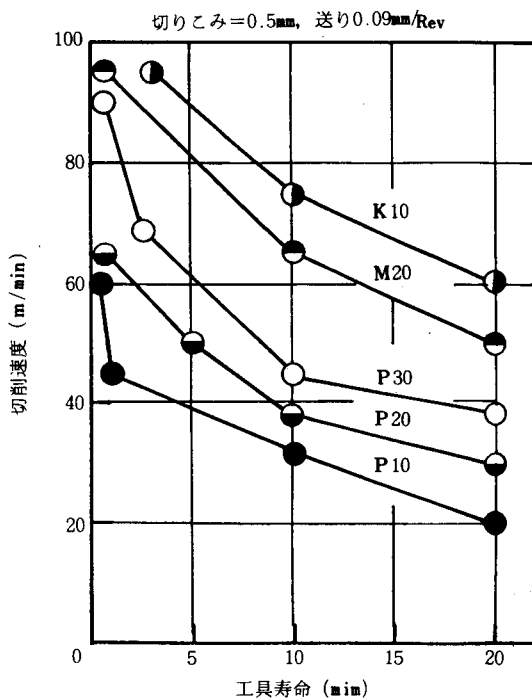


図2 超硬合金工具の切削性能比較

この実験においては前者と異なり、工具の寿命が相当長時間(20分)になるので、被削材の消費の立場から、被削面の表面あらさ(R_{max}=6 μ m)をもって工具の寿命とした。

この実験結果からいえることは、熱伝導率の大きいものほど、V₂₀の値の大きいことがわかる。またこれに対応してV₂₀の値の大きい工具ほど弾性率(ヤング率)や抗折力が大きいといえる。

次に工具の硬度について調べてみると、WC系超硬合金工具では硬度の調節には炭化物の粒度、Co量および複炭化物（TiC+TaC）の量によって行われているが、複炭化物が多くなれば硬度は向上するが熱伝導率が低下するので一応問題外とする。そこで、Co量が多くなると抗折力は向上するが、硬度が低下し、したがって耐摩耗性も低下するのでCo量の増加は工具寿命を増すものといえは断定できない。

なおWCの粒度の微細化したいわゆる超微粒超硬合金は硬度を低下させないで靱性を向上する長所はあるが、熱的には不安定で拡散摩耗をおこし易いといわれている⁽³⁾

(c) CBNおよびダイヤモンド工具

このグループの工具材料は熱伝導率からいって上記の工具に比較してきわめて高く、その性能に期待するところ、すこぶる大きいのであるが、CBNについては図3からわかるようにWC系超硬工具に比し表面あらさがかなり粗雑である。いまこの実験結果からそのあらさ係数（実際のあらさと理論的あらさの比）を求めると大体4.5ぐらいの値を示す。

またこの工具の耐摩耗性については、硬度はWC系に比しHV硬度で約3倍、弾性率は1.5倍ぐらいでかなり高く工具の摩耗という点ではK10と同程度もしくはそれ以上の性能をもつといえるが、価格の点では、はるかに高く、頭底超硬工具にたち打ちできないと思われる。

次に、ダイヤモンド工具では、その切削面あらさは相当に優秀ではあるが、この工具でAl合金やCu合金を削った場合に得られるような光沢度は認められず、格段に優秀とはいえなかった。いま一例として

- | | | | |
|---|-------------|---------------|---------|
| ① | V=45 m/min, | S=0.06mm/Rev, | t=0.5mm |
| ② | V=85 | S=0.06 | t=0.5 |

以上のような条件でいずれも5分間ずつ切削したところ、表面あらさは①、②とも2.0~2.5 μ mの範囲内において理論的あらさ（2.25 μ m）にきわめて近く、そのあらさ係数をとれば大体1という数値を示し、その性能のすぐれていることを示すものである。

しかし①の条件で15分間連続切削を行ったところ、ようやく被削面に工具刃先の摩滅の兆候が見られた。

この種の工具については使用経験も少く、今後大いに研究の余地は残されているものの、WC系超硬工具に比較し、価格の点で相当問題があるようだ。

以上は、切削速度が工具寿命に最も大きい影響を与えるということを前提として、(a)、(b)、(c)三グループの工具に寿命試験を行った結果であって、寿命判定

基準に若干の相違はあるにせよ、全体を見通していえることは、性能的にもまた経済的にもWC系超硬工具が一番適していることが肯定できよう。すなわち切削速度が50 m/min程度で寿命時間が20分維持できるK10, M20が最適のようである。

ここでVは切削速度、Sは送り、tは切りこみ、Tは工具寿命、またl, m, n, Cは被削物、工具材料、工具形状によって決まる定数である。一般の鉄系金属の切削では、切りこみ、送り、切削速度の順に工具寿命への影響が強まることが実験的に確かめられている⁽⁴⁾

そこで本実験においても、切削速度以外に切りこみ厚さの影響を知る一例として図4に示す実験を行った。

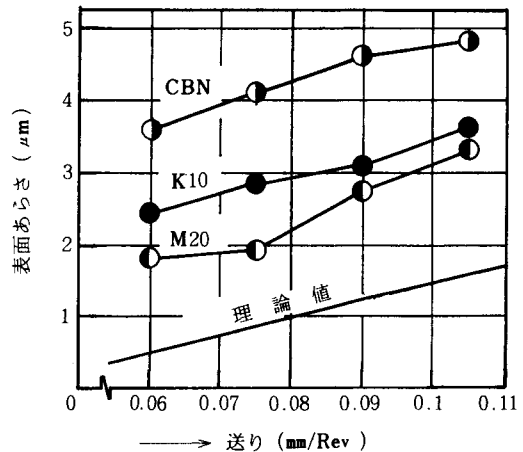


図3 送りと表面あらさの関係

図4の(A)、(B)を比較していえることは、K10, M20とも共通して、切削速度が工具寿命に対して顕著な影響を与えていることである。

次に図2におけるK10, M20の工具寿命曲線と比較すると、K10については切削速度60 m/minにおいて、切込量（0.5mm）、送り（0.09mm/Rev）に対し切込量（1.5 μ ）、送り（0.06 μ ）

前者の寿命時間が20分に対し、後者の方が6.5分であって切込量はかなり大きく影響していることが分る。

またM20については、切削速度45 m/minにおいて切込量（0.5mm）、送り（0.09mm/Rev）で寿命時間が20分以上であるのに対し、切込量（2.0mm）、送り（0.06mm/Rev）で寿命時間が8.5分という結果となり、工具寿命に及ぼす切りこみの影響はかなり大きい。

なお、図2の工具寿命曲線ではK10とM20の性能が割合接近しているのに対し、図4に示す実験結果からK10はM20に対し、かなりすぐれた性能をもっていることが

わかった。

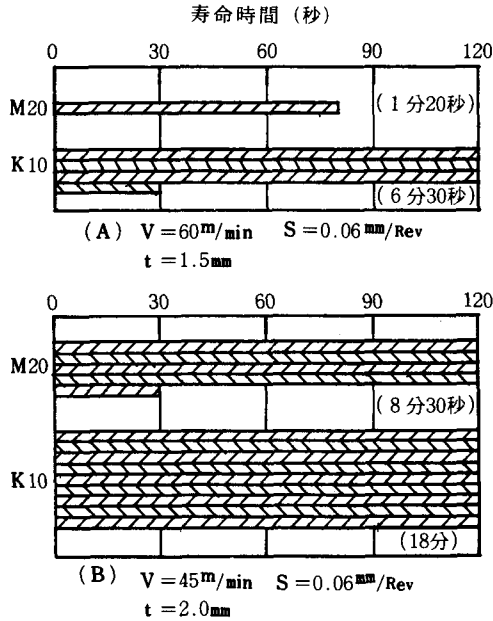


図4 K10とM20の性能比較

3.2 切削条件と表面あらしの関係

切削条件が表面あらしに及ぼす影響を検討するまえに、一般の金属とこの被削材の切くず生成の過程を概観すると、

金属……外力→弾性変形→塑性変形（延性破壊）
 マコール…外力→一部弾性変形（脆性破壊）

以上のように切くず生成の様相が異なる故、当然表面あらしに表われてくる様相が異なるわけで、切削の三条件である送り、切削速度、切りこみがそれぞれどのように関連するかを調べることにした。

(a) 表面あらしと送り

工具のノーズ半径をr、送りをSとし、S/rがきわめて小さいとすれば、工具の軌跡にそって材料がすべて除去されると仮定して得られる理論的あらしRmaxは

$$R_{max} = \frac{S^2}{8r}$$

で与えられる。本実験においては、工具材質K10およびM20を中心に、送りを0.06, 0.075, 0.09, 0.105mm/Revの4段階に分けて切削し、表面あらしを測定した結果を図5, 6に示す。

このグラフよりわかるごとく送りが0.06mm/Revのとき表面あらしは最もよく、送りが0.075, 0.09, 0.105の順

に粗雑になる。なお送りが0.120mm/Rev以上になると表面あらしが極端に粗雑になるので実験の対象から省くことにした。

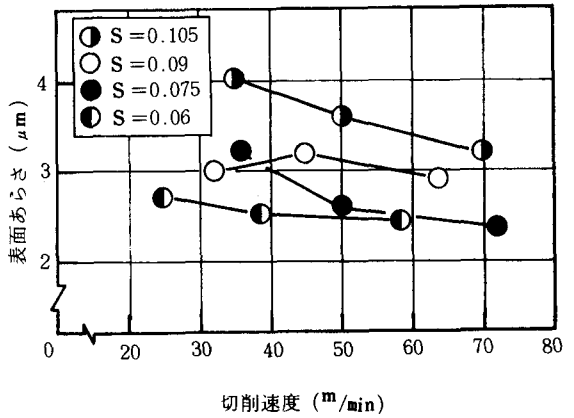


図5 表面あらしと切削条件(K10)

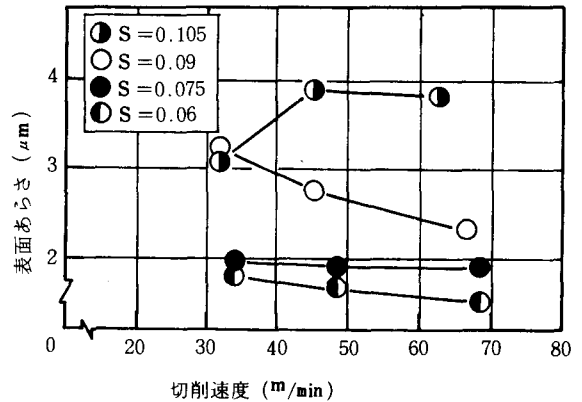


図6 表面あらしと切削条件(M20)

次に表面あらしが、送り0.075mm/Rev以下と、0.09mm/Rev以上では、その様相に若干の差異のあることが認められた。すなわち0.075mm/Rev以下では表面あらしが工具の刃先のすじ目に沿うて、すなわち長手方向に起伏を生じているのに対し、0.09mm/Rev以上では切削表面にクレータ状の凹凸が生じていることである。

ところで金属切削の場合、不連続切くずのうち、せん断型および亀裂型切くずの生成、被削面の様子を模式的に図示すれば図7のようになる。

この快削性ガラスセラミックの切くず生成は、不連続の亀裂型と考えられるが、送りが小さい領域ではこの組織内の雲母結晶のへき開性が関連し、せん断型に近い切くずを形成し、送りがあらかるに従って雲母結晶の切

くず形成への参加が少なくなり主として亀裂型切くずとなるのではないかと推定される。

なお、K10とM20を比較するとき、送りが0.06, 0.075 mm/RevのところではM20の方が表面あらさがよい値を示しているが、これは両方の工具のノーズ半径がいずれも0.8mmで同一ではあるが、M20の工具では、すくい面にチップブレーカが設けてあって10°近いすくい角があるため切くず排除が滑らかに行われるため、表面あらさがよい値を示すものと思われる。

(b) 表面あらさと切削速度との関係

粘い金属材料を切削速度5～数十m/minの範囲で切削を行えば一般に構成刃先が発生するため、その表面あらさは、理論的表面あらさ R_{max} よりかなり大きい数値を示すものであるが、切削速度が100 m/min前後のかなり的高速になってはじめて構成刃先が消滅し、表面あらさは改善されることになる。

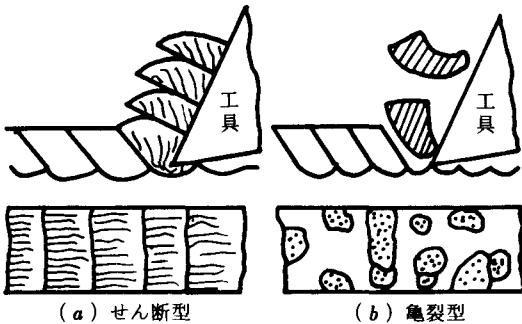


図7 不連続型切くずと切削仕上面

今回とりあげた複合材料マコールは金属材料のような構成刃先の影響はほとんど考えられず、図5、6から推定されるごとく、表面あらさは、切削速度の影響はまず受けられないものと考えられる。

ところで図5、6を詳細に観察すると、切削速度を増すほど表面あらさが、わずかながら向上していることが認められるが、これは工具が切削しはじめて初期の間はバイトのノーズ半径が摩耗のため少し大きくなり、それだけ表面あらさが向上するものと思われる。すなわち切削速度が早いほど、バイトの刃先は早く温度上昇をきたし、塑性変形を受けてノーズ半径が大きくなるものと推定される。

また一面、切削速度が大きい程、バイトの逃げ面と工作物とのすべり摩擦によるみがき作用とも考えられる。

しかし前述したごとく、工具寿命に及ぼす切削速度の影響はきわめて大きいので、切削速度を高めてわずかばかり良好な仕上面をうることも、幾分切削速度を低

くおさえて、工具寿命を長く保持し、平均的に良好な表面あらさをうるほうが得策と思われる。

(c) 表面あらさと切りこみとの関係

表面あらさの理論式 $R_{max} \approx S^2/8r$ には切りこみ深さの要素が含まれていないことからわかるごとく、切りこみの影響は、きわめて少ないと考えられる。この実験においても、切りこみを0.5mm以上に1.5および2.0mmでもって数回にわたり切削したところ、送り、切削速度などの条件を一定にして削った場合、その表面あらさはほとんど変化のないことを確認した。

しかしながら、切りこみを増すことにより、切削点における温度上昇は早くなり、結局工具刃先の軟化につながり、時間の経過と共に表面あらさが粗悪になることは当然のことである。

最後に切削液の影響について少し言及すると、この被削材の熱伝導率がかなり低いだけに、切削液の工具刃先に及ぼす冷却効果はすこぶる大きいといえる。すなわち被削材と工具間に発生した熱量は、切りくずが持ち去る熱量、被削材および切削工具に伝わる熱および切削液が持ち去る熱量にわけられるが、被削材の熱伝導率が低いゆえに前二者に流れる熱量は少く、結局切削液に期待するところが大きいわけである。

本実験においては、軽油とスピンドル油の混合液を用いたが、乾式切削に比し相当効果のあることが認められた。また粘度の低い切削液ほど工具摩耗は少なく、被削面も良好であるが、粘度が高いほど工具摩耗量はまし、被削面も低下するわけであるが、最適の切削液については今後の研究にまたざるをえない。

4. 結 言

今度、快削性ガラスセラミックを切削するにあたり、どのような工具材料を選べばよいか、その選択の基準として、金属切削用工具の場合と同じく

- ① 耐摩耗性の大きいこと
- ② 高温硬度の高いこと
- ③ 靱性(耐衝撃性)の大きいこと
- ④ 熱的特性(熱伝導率)のよいこと
- ⑤ 摩耗特性のすぐれていること

以上の事項があげられるが、これらの条件をすべて満足するような工具材料はまず見当たらない。しかし被削材の熱伝導率が低いことから、工具材料としては熱伝導率の高いこと、また被削材の切くず形状やその物理的・機械的性質からいって鑄鉄切削の場合にかなり近似していることを考えあわせ、WC系超硬合金工具、とりわけK

10が適していることが予測され、また実験的にも裏づけられた。

ところで、セラミック工具が、高温硬度が高く、耐摩耗性にすぐれ、鑄鉄切削用としてかなり実用化されているにもかかわらず、この被削材に対しては、熱的特性のため、また工具自身の脆性のためほとんど問題にはならなかった。

次に最近新しく登場してきたCBN工具については、今後研究の余地はあるものの、被削面あさが粗雑であることと、価格の点で、目下のところ、この被削材に対しては不適当といわざるをえない。ただしダイヤモンド工具(天然のもの)については、送り、切りこみを更に微細化し、適切な切削液を選ぶことによって工具寿命も延び、かなり優秀な切削面をうる可能性はあり、いわゆる超精密仕上用として将来性のある工具材料と思われる。

表面あささについては、この被削材は金属材料のように構成刃先発生へのけねんはほとんどないから、切削速度40~50 m/minの範囲が精度的にも経済的にも適切な切削条件といえよう。

次に送りとの関係については、必ずしも理論的あささ $R_{max} \propto S^2/8r$ に従うわけではないが、あさ係数は2.5~3.0の範囲にあって、送りが小さい程表面あさは良好で、送りが大きくなるにつれてあさも粗となり、送りが0.12mm/Rev以上では、かなり粗雑となる。

ところで、今回の実験結果は、この材料を入手してより日も浅く、実験回数も少く十分掘り下げて検討する時間的余裕も少く、今後多くの問題が残されている。

たとえば

- ◎ 切くず生成の機構
- ◎ 工具摩耗の機構
- ◎ 工具の刃先形状と寿命の関係
- ◎ 寿命方程式

$$V \cdot T^n \cdot t^l \cdot S^m = C$$

における各指数および常数Cの決定。

- ◎ 最適の切削油の選択

以上多数列挙されるが、これらの解明については、次の機会にゆずることとする。

謝辞 本研究を進めるにさいし、終始ご懇篤なるご指導をいただきました大阪大学工学部、長谷川教授ならびに花崎助教授に対し厚く謝意を表するとともに、この実験に消費した快削性ガラスセラミックを提供していただいた石原薬品株式会社ならびに同会社の井村豊氏に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 坂元誠, 岩田重雄, 工業材料, 第26巻第9号 (1978)
- (2) 村井照水, 機械技術, 第26巻10号 (1978)
- (3) 大草, 北川, 山本, 精機学会誌, Vol142, No.2 (1976)
- (4) 臼井英治, 切削・研削加工学(上), 共立出版 (1971-7) 179
- (5) 今中治, 機械と工具, 第23巻第8号, (1979)

旋削加工における切りくず処理に関する研究

— 振動送り切削 —

和田 任 弘

Study on Chip-excluding in turning — The Oscillatory Feed Cutting —

Tadahiro WADA

In the present paper, the effects of the cutting edge oscillation on the mean chip weight (chip excludability), the surface roughness and the tool life in turning are experimentally investigated. The cutting edge was oscillated in the feed direction. The main results obtained are as follows:

- (1) In steel finishing, the conventional chip breakers of throw away types are not effective for the chip-excluding. In this case, the oscillatory feed cutting is desirable.
- (2) The mean chip weight, the surface roughness and the tool life depend on both the ratio of the amplitude of tool oscillation to feed and the ratio of the oscillation number of tool to rotary speed of work.

1. 緒 言

将来、切削作業の形態はNC工作機械やマシニングセンタなどの利用による省力化、あるいは無人化の方向に進むと考えられる。その場合に問題になるのは、切削作業中に生成される切りくずをいかに排除処理するかということである。なぜなら、連続した切りくずは工作物からみついて仕上面を傷つけ、その品位や精度を下げたり、あるいは容積が大きいかさばりやすいため、工作機械の切りくず受け皿がすぐに一杯になるからである。しかし切削現象についていえば、流れ形切りくずの生成される切削状態は望ましい状態である。

工作物と切削工具を相対的に振動させる振動送り切削では、切削が不連続となる条件で、瞬間的に負の送り量となり切削が行なわれないため、必然的に切りくずは切断される。湊¹⁾は、鋼材の仕上旋削において振動送り切削を用いて切りくずを切断し、仕上面あらさがあまり低下しない切削条件を選定できることを明らかにした。また野呂²⁾は、振動送り切削時に問題になるのは工具寿命と仕上面あらさであるとした。しかし切りくず処理性、加工精度、工具寿命の3点を考慮して、振動送り切削時の切削条件を求めた研究はまだない。そこで本研究では、仕上旋削時の切りくず処理性を向上させるために適用さ

れる振動送り切削を、SS41とS55Cを被削材とした仕上旋削に用いた場合、工具の振動が切りくず平均重量、仕上面あらさ、工具摩耗におよぼす影響を調べ、切りくず処理性、加工精度、工具寿命の3点を満たす切削条件について検討した。

2. 理 論

2.1 切削が不連続になるための条件式

振動送り切削時の切削工具の振動を、正弦波振動とする。通常の切削時の送り量を f (mm/rev)、振動送り切削時の工具の全振幅を $2a$ (mm)、工具の振動数を n (cpm)、被削材の回転数を N (rpm)、時間を t (sec)とする。

$f=0$ の場合、送り方向の工具刃先の変位量 x_1 は次式によって求められる。

$$x_1 = a \cdot \sin \frac{2\pi n t}{60} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

$f \neq 0$ の場合、主軸を1回転させると工具刃先は f (mm)だけ進み、その時に要する時間は $60/N$ (sec)である。振動送り切削では、工具刃先が振動しているため時間が $60/N$ (sec)経過することにより、工具刃先の変位量は x_1 となる。すなわち、式(1)中の t に $(t+60/N)$ を代入すればよい。

$$x_1' = a \cdot \sin \left(\frac{2\pi n t}{60} + \frac{2\pi n}{N} \right) \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

主軸1回転あたりの全送り量 x_2 は、 $x_2 = f + x_1'$ (mm)となる。しかし、最初に工具刃先が x_1 の変位をもっているために、 $(x_2 - x_1)$ (mm)が主軸1回転につき実際に送られた量である。以上より実際の送り量 f_t は次式によって求められる。

$$f_t = x_2 - x_1$$

$$= f + 2a \cdot \sin \frac{n}{N} \pi \cdot \cos \left(\frac{2\pi n t}{60} + \frac{n\pi}{N} \right) \quad (\text{mm}) \quad (3)$$

無次元数 $F_t = f_t / f$ 、振幅比 $A = 2a/f$ 、振動数比 $X = n/N$ を用いれば、式(3)は式(4)となる。

$$F_t = 1 + A \cdot \sin(\pi X) \cdot \cos \left(\frac{2\pi N X}{60} t + \pi X \right) \quad (4)$$

式(4)を用いて切削が不連続となるための条件を求めることができる。 F_t が常に正である切削条件では切削が連続となるのに対し負である切削条件では切削が不連続となり、必然的に切りくずは切断される。これより、振動送り切削時に切削が不連続になるための条件式は次式によって求められる。

$$A \geq \frac{1}{|\sin \pi X|} \quad (5)$$

2.2 振動送り切削時の理論仕上面あらさ

通常の切削時の最大仕上面あらさの理論値 H' は、切削工具のノーズ半径を R (mm)、前切刃角を γ (deg)とすると、 $f \leq 2R \sin \gamma$ の場合、次式で求められる。

$$H' = \frac{f^2}{8R} \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

振動送り切削時の最大仕上面あらさの理論値 H は、式(6)中の f に振動送り切削時の最大送り量 f_{tmax} を代入すれば、次式によって求められる。

$$H = \frac{f_{tmax}^2}{8R} \quad (\text{mm}) \quad (7)$$

無次元数 $F_{tmax} = f_{tmax} / f$ を用いれば、式(7)は式(8)となる。

$$H = F_{tmax} \cdot \frac{f^2}{8R} \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

$A < 1 / |\sin \pi X|$ ならば、切削が連続となり、この場合の最大仕上面あらさの理論値は、式(8)に式(4)の最大値を代入することで次式によって求められる。

$$H = (1 + |\sin \pi X|)^2 \cdot \frac{f^2}{8R} \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

一方、切削が不連続となる振動送り切削時の最大仕上面あらさの理論値は、実際に工具軌跡を描き、その描いた工具軌跡の間隔から求めることができる。

図1に振動数比と F_{tmax} の関係を、振幅比($2a/f$)をパラメータとして示す。

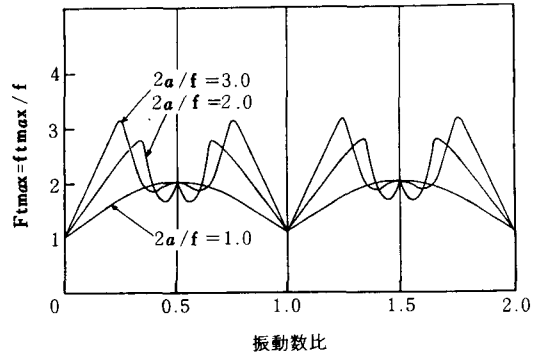


図1 振動数比と F_{tmax} の関係

図2に理論仕上面あらさと振動数比の関係を、振幅比($2a/f$)とノーズ半径 R をパラメータとして示す。

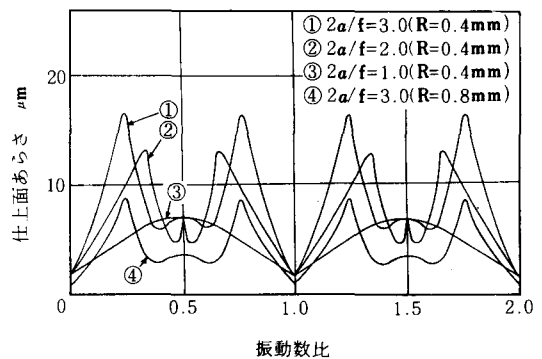


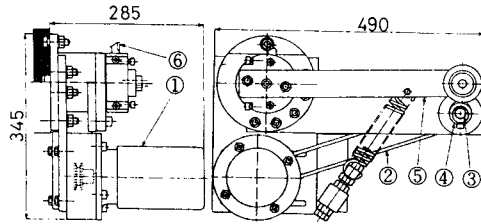
図2 振動数比と理論仕上面あらさの関係

(送り量が 0.075 mm/rev の場合)

3. 実験装置および方法

工作機械は高速精密旋盤を用い、センタワークにより長手旋削を行なった。

図3に工具を振動させるための装置を示す。無段変速モータ①の回転はVベルト②を介してカム軸③に伝達され、カム④が回転することによってアーム⑤を振動させさらに切削工具⑥を送り方向に振動させる。



①無段変速モータ ②Vベルト ③カム軸
④カム ⑤アーム ⑥切削工具

図3 振動装置

切削工具はスローアウェイビット (E22R-22FU)でスローアウェイチップは、表1に示すものを用いた。

表1 スローアウェイチップ

チップ	チップの材種	ノーズ半径	チップブレーカの有無
TNPA321	STi10T(P10)	0.4mm	無
TNPR321	STi10T(P10)	0.4mm	有
TNPA322	STi20 (P20)	0.8mm	無

本研究で用いた切削条件を、表2に示す。

表2 切削条件

切削速度 (m/min)	194,416
送り量 (mm/rev)	0.075~0.229
切込み量 (mm)	0.2, 0.5
被削材の回転数 (rpm)	686~1472
工具の振動数 (cpm)	172~1472
振動数比 (-)	0.25~2
工具の全振幅 (mm)	0.075~0.225
振幅比 (-)	1~3
チップ形状	表1に示す。
被削材材種	SS41, S55C
切削形状	乾切削

振動送り切削時の切りくず処理性を調べる実験では、切りくずの写真撮影と切りくず平均重量を測定した。

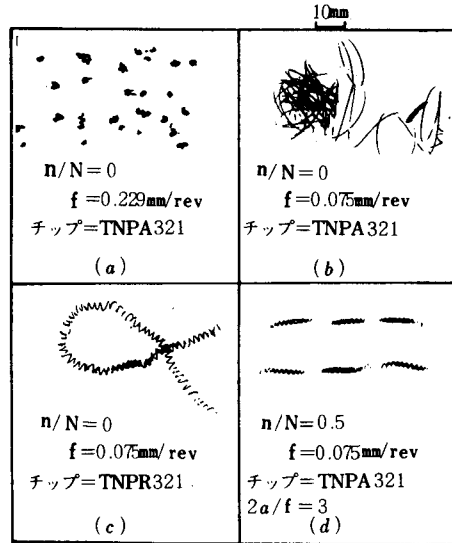
切削工具の振動が加工精度におよぼす影響を調べる実験では、触針式表面あらさ測定機で仕上面のプロフィールを記録し、その最大高さを測定して仕上面あらさを求めた。

切削工具の振動が工具寿命におよぼす影響を調べる実験では、切削工具に形成されたクレータ深さとフランク摩耗幅を測定した。

4. 実験結果および考察

4.1 振動送り切削時の切りくず形状について

図4に切削条件と切りくず形状の関係を示す。図4(a)に送り量が0.299mm/revの場合の切りくず形状を示す。切りくず形状は比較的小さい切断形である。図4(b)に0.075mm/revの場合を示す。切りくず形状は連続形である。以上より、送り量が小さいと切りくずが薄く柔軟なため、切りくずは折れにくくなっている。図4(c)にチップブレーカ付きの切削工具を用いた場合の切りくず形状を示す。一般の仕上旋削で常用されている切削条件に



切削速度：194m/min, 送り量：f, 切込み量：0.2mm, 振幅比：2a/f, 振動数比：n/N, 被削材種：SS41.

図4 切削条件と切りくず形状

近い切削条件では、チップブレーカを設けても切りくずは切断されていないことがわかる。図4(d)に振動送り切削時に得られる典型的な切りくず形状の例を示す。

以上より、振動送り切削にすることで、切りくず切断が可能であることがわかる。

4.2 振動数比が切りくず平均重量におよぼす影響

図5に振動数比と切りくず平均重量の関係を、振幅比、被削材の材種をパラメータとして示す。斜線で囲まれている部分は切削が不連続となる領域を示し、式(5)の条件を満たす。斜線で囲まれた領域内では、振動数比が整数の場合、振幅比や被削材によらず、切りくず平均重量は至極大きくなっている。これは切りくず形状が連続形であるため、切りくず平均重量が大きくなるためである。切削が不連続となる領域に近づくほど、切りくず平均重

量は小さくなっている。これは切りくず自身の重量や切りくずの振動などによって、切削厚さの最も小さいところで切りくずが折れやすいからである。SS41材よりもS55C材のほうが、切りくず平均重量は小さくなる場所がある。これはSS41材よりもS55C材のほうが硬くてもろいパーライトが多く、延性の大きいフェライトが少ないため切りくずが折れやすいからである。

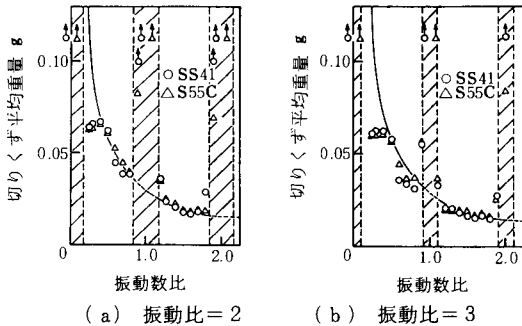


図5 振動数比と切りくず平均重量の関係
 切削速度：194m/min，送り量：0.075mm/rev，切込み量：0.2mm，
 主軸回転数：686rpm，切削工具：TNPA321(P10).

(a) 振動比=2 (b) 振動比=3

一方、切削が不連続となる領域では、切りくずが切断され、振動数比が大きいほど切りくず平均重量は小さくなっている。

4.3 切削工具の振動が仕上面あらさにおよぼす影響

図6に振動送り切削時の仕上面あらさと振動数比の関係を、被削材の材種をパラメータとして示す。実線は仕上面あらさの理論値を示している。実際の仕上面あらさの傾向と理論仕上面あらさの傾向はよく一致している。また、切削が不連続となる振動送り切削の領域では、振動させない場合よりも大きくなるが、振動数比が0.5と1.5の場合、最も仕上面あらさが小さくなっている。図7にノーズ半径を0.8mmに変化させた場合の振動送り切削時の仕上面あらさと振動数比の関係を示す。ノーズ半径が0.8mmの方が0.4mmよりも、仕上面あらさは小さくなっている。しかし、実際の仕上面あらさと理論仕上面あらさの差は、ノーズ半径が0.8mmの方が大きくなっている。これは次のような理由によると考えられる。ノーズ半径が大きいと、背分力は大きくなる。振動送り切削では送り量が時間とともに変動するために、背分力も時間とともに変動する。背分力の変動は仕上面あらさを大きくする。以上より、振動送り切削では送り量が変動し、

さらに背分力も変動するため、ノーズ半径の大きいほうが、実際の仕上面あらさと理論仕上面あらさの差は大きくなる。

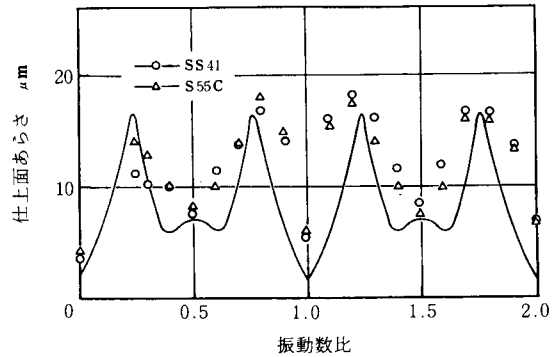


図6 振動数比と仕上面あらさの関係
 (ノーズ半径が0.4mmの場合)
 切削速度：194m/min，送り量：0.075mm/rev，切込み量：0.2mm，
 主軸回転数：686rpm，振動比：3，切削工具：TNPA321(P10).

図6 振動数比と仕上面あらさの関係
 (ノーズ半径が0.4mmの場合)

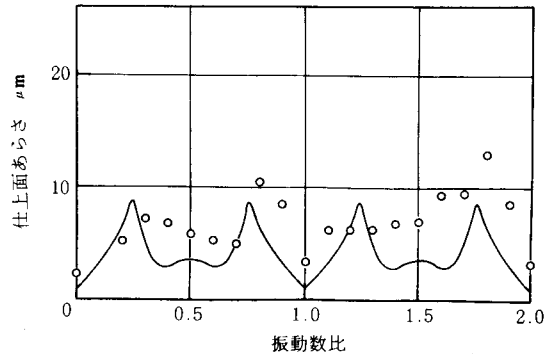


図7 振動数比と仕上面あらさの関係
 (ノーズ半径が0.8mmの場合)
 切削速度：194m/min，送り量：0.075mm/rev，切込み量：0.2mm，
 主軸回転数：686rpm，振動比：3，切削工具：TNPA322(P20)，被削材：SS41.

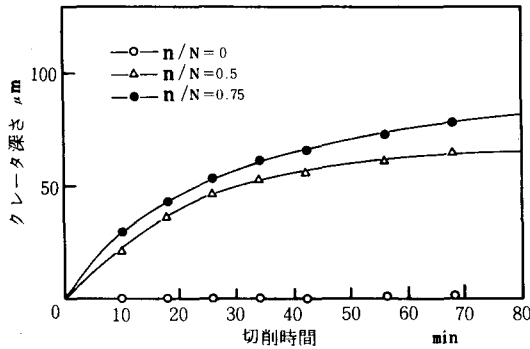
図7 振動数比と仕上面あらさの関係
 (ノーズ半径が0.8mmの場合)

4.4 切削工具の振動が工具摩耗におよぼす影響

(1) S55Cの場合

図8にクレータ深さと切削時間の関係を、振動数比をパラメータとして示す。振動送り切削時の工具摩耗量は通常の切削時のそれよりも著しく大きくなっている。これは次の2つの理由によると考えられる。第1の理由は被削材が比較的硬いため、通常の切削時でも、工具近くでの平均的な切削温度が高くなる。その場合、クレータ摩耗は送りの影響を受けやすくなる。振動送り切削では最大の送り量が通常の切削時よりも大きくなるため、工具摩耗量は大きくなる。第2の理由は、実際の送り量が時間とともに変動するため、切削温度も時間と変動する。

切削温度の変動は切削工具の逃げ面やすくい面で熱応力あるいは熱的な衝撃を引起し、微視的なチッピングやクラックを生じさせる⁶⁾ ために、工具摩耗量は大きくなる。

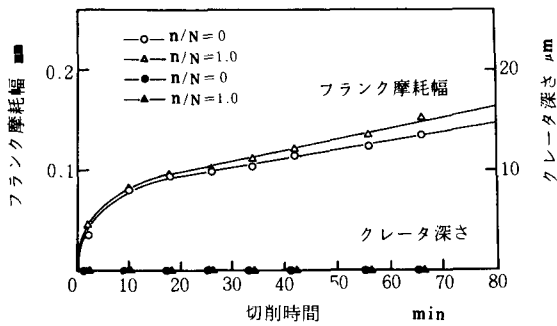


切削速度：194m/min，送り量：0.075mm/rev，切込み量：0.5mm，
主軸回転数：686rpm，振幅比：3，切削工具：TNPA321(P10)，被
削材：S55C

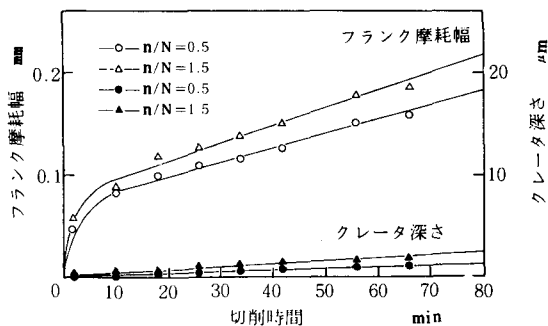
図8 切削時間と工具摩耗量の関係

(2) SS41の場合

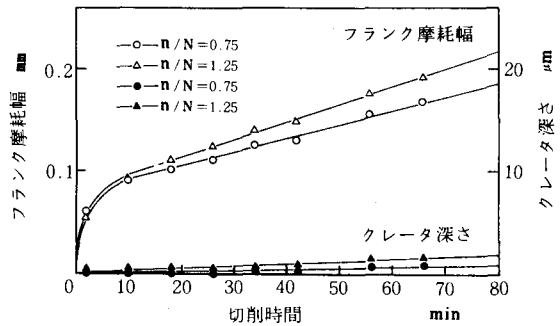
図9にフランク摩耗幅およびクレータ深さと切削時間の関係を、振動数比をパラメータとして示す。いずれの振動数比の場合であっても、工具摩耗量はあまり大差な



(a) 振動数比が0と1の場合



(b) 振動数比が0.5と1.5の場合



(c) 振動数比が0.75と1.25の場合

切削速度：194m/min，送り量：0.075mm/rev，切込み量：0.5mm，
主軸回転数：686rpm，振幅比：3，切削工具：TNPA321(P10)，被
削材：SS41.

図9 切削時間と工具摩耗量の関係

い。定常に達したフランク摩耗幅の単位切削時間あたりの増加量は、振動数比が整数でない場合の方が、振動数比が整数の場合にくらべて大きくなっている。これは、4.4(1)で述べた第2の理由によるものと思われる。

5. 結 言

本研究では仕上旋削時の切りくず処理性を向上させるために適用される振動送り切削を、SS41とS55Cを被削材とした仕上旋削に用いた場合、工具の振動が切りくず処理性、加工精度、工具寿命におよぼす影響を調べた。得られたおもな結果をまとめると次のようになる。

- (1) 振動送り切削時の切りくず平均重量は、工具の振動数と被削材の回転数の比である振動数比および工具の全振幅と工具の送り量の比である振幅比に依存する。
- (2) 振動送り切削時の仕上面あらさは、振動数比、振幅比、ノーズ半径に依存する。
- (3) 振動送り切削時の工具寿命は、被削材の硬度、切削速度、振幅比に依存する。
- (4) 被削材としてSS41を用いた振動送り切削では、切りくずを切断し、しかも仕上面あらさと工具寿命が通常の切削時とくらべてあまり低下しない切削条件は、振幅比が1より大きく、振動数比が0.5あるいは1.5である。

超硬P10種によるS55C材の振動送り切削では、工具寿命が通常の切削時とくらべて著しく低下するため、適当な切削条件を選定することは困難である。

終りに、本研究を進めるに当たり、終始ご指導をいただきました大阪大学工学部 長谷川嘉雄教授、現豊橋技術

科学大学 堀内宰 助教授に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 湊：切りくず処理に関する研究，大阪大学学位論文（1978）。
- 2) 野呂：切りくず処理の現状と問題点(2)，機械の研究，27，11（1976）1359。
- 3) 中山：切削加工論，コロナ社，（昭53）130。
- 4) 湊ほか：振動送り切削における切削力の挙動および切削面粗さ，精密機械，46，2（1980）49。
- 5) 中山：切削加工論，コロナ社，（昭53）134。
- 6) 北川ほか：すくい面摩耗特性の検討，精密機械，42，12（1976）1178。

電気油圧サーボ装置を用いた 共振負荷の補償特性

若林 敏夫・阪部 俊也・森 教安

Compensation of Resonant Load in an Electro-Hydraulic Servo System

Toshio WAKABAYASHI, Toshiya SAKABE and Noriyasu MORI

電気油圧サーボ装置を用いて、支持部にメカニカル・コンプライアンスを持つ負荷—いわゆる共振負荷—を駆動する場合、応答が振動的で制御特性が悪くなる。この振動を防止するために、現在、油圧補助回路を用いた補償法が実用されている。

本研究では、油圧補償法の原理を基礎として電気補償回路を試作し、これに関する理論特性の解析、アナログシミュレーションならびに負荷補償を行なった結果、適当な電気補償回路を用いれば、応答特性が改善されることが解った。

1. 結 言

電気油圧サーボ装置は、入力信号を電氣的に処理する制御回路と、負荷を駆動する油圧回路で構成される。入力信号は電圧を用いるため、信号の演算処理、変換などが容易であり、遠隔操作も可能である。また駆動力は油圧装置を用いているため、大きな負荷も制御出来るなどの特徴を持っている。

電気油圧サーボ装置を用いて、負荷の位置制御を行なう場合、支持機構の剛性が不足していると、負荷の動きには、それに固有の比較的low周波の振動が重畳する。この振動は、支持機構に固有のメカニカル・コンプライアンスが存在するために発生することが多く、このような負荷を共振負荷と呼んでいる。このような負荷の振動を防止するために、油圧補助回路による補償法が用いられている。油圧回路が設計上の制約を受け易いのに対し、電気回路は設計の自由度が大きく、より良い特性改善が期待される。

本研究では、油圧補償法の原理を基礎として電気補償回路を試作し、これを用いて共振負荷を駆動したときの過渡応答特性実験を行なった。これと平行して、系の伝達特性にもとづく応答理論値を求め、またアナログ演算回路によるシミュレーションを行ない、補償効果について検討した。

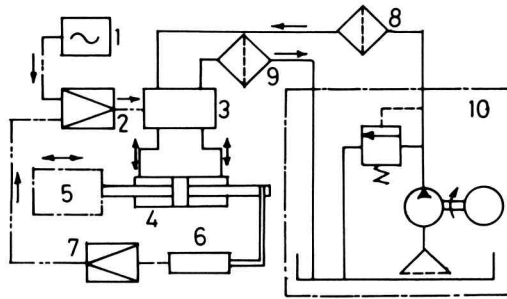
2. 実験装置の概要

はじめに、本研究に用いた電気油圧サーボ装置の構成要素の概要、制御回路の動作原理ならびに共振負荷実験装置に就いて述べる。

2.1 構成要素の概要と回路の動作原理

このサーボ装置は、関数発生器、電圧電流増幅器、電気油圧サーボ弁、油圧発生装置、負荷シリンダ、変位検出用差動トランスおよび変位電圧変換器の7つの要素機器によって制御回路を構成している。図1に系の回路図を示した。

関数発生器1は、制御系の入力信号を得るために用いるもので、本実験では方形波電圧を発信し、ステップ入力電圧として用いた。電圧電流増幅器2は、直流定電圧発生回路、電圧演算回路および電流増幅回路で構成されている。前述の入力電圧から、後に述べるフィードバック電圧を減算した偏差電圧を増幅し、それに比例した電流に変換している。電気油圧サーボ弁3は、トルクモータで作動するフラップと、これに対向するノズルの背圧変化によって駆動されるスプールを内蔵する乾式カフィードバック方式のものである。増幅器から送られる電流がトルクモータに入り、磁極に生じた磁界によりフラップが変位し、ノズルとのすきま量の変化に伴う背圧に応じてスプールが駆動される。油圧発生装置10から送られる圧油は、スプールの変位によって制御されて負荷シ



- | | |
|-------------|---------------|
| 1: 関数発生器 | 6: 変位検出差動トランス |
| 2: 電圧電流増幅器 | 7: 変位電圧変換器 |
| 3: 電気油圧サーボ弁 | 8: ラインフィルタ |
| 4: 油圧シリンダ | 9: ラインフィルタ |
| 5: 負荷装置 | 10: 油圧発生装置 |

図1 電気油圧サーボ系の回路図

リンダ4に流入し、ピストンロッドに結合された負荷5を動かす。ピストンロッドには、差動トランス6のコアが取り付けられているため、ピストンの変位により二次差電圧を生じ、変位電圧変換器7を経て、フィードバック電圧として増幅器に戻され、ネガティブフィードバック回路として作動する。

この制御系の閉ループ伝達特性は、フィードバック経路内にある差動トランスと変位電圧変換器が主経路内にあり、フィードバック電圧を系の出力と考えたときに得られる単一フィードバック制御系と等価であるとみなすことが出来、今後の理論解析は、この等価系に関して行なうこととする。

2.2 共振負荷実験装置

本研究では、直線運動型の共振負荷を用いることとし、ピストンロッドにばねを介して台車を取付けることにより、負荷にコンプライアンスを持たせた。図2に共振負荷実験装置の外観図を示した。

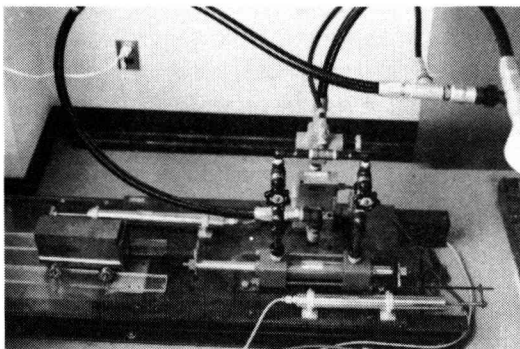


図2 共振負荷実験装置外観図

3. 電気回路による共振負荷の補償

ここでは、系の伝達特性にもとづく理論過渡応答、負荷補償法ならびに電気補償回路の設計に就いて述べる。

3.1 解析に用いた記号

本解析に用いた記号は、次の通りである。

- A ; ピストン受圧面積
- A_i ; 部分分数式の係数 ($i = 0 \sim 4$)
- C_f ; 可動体の粘性抵抗係数
- C_f' ; 共振負荷の粘性抵抗係数
- C_2 ; サーボ弁の圧力-流量こう配
- C_3 ; シリンダとバルブからの漏れ係数
- D_i ; 過渡応答成分波の振幅 ($i = 1 \sim 3$)
- E ; 発信電圧
- E_f ; フィードバック電圧
- E_f' ; 負荷補償電圧
- G_c ; 閉回路伝達関数
- i ; 増幅器出力電流
- K' ; 作動油の体積弾性係数
- K_a ; 増幅器の電圧電流ゲイン
- K_D ; 補償伝達関数
- K_p ; 変位電圧変換器の電圧ゲイン
- K_v ; 電気油圧サーボ弁のゲイン定数
- K ; 作動油圧縮と管路膨脹による体積変化係数
- K_g ; 負荷支持ばねのばね定数
- M ; 可動体の総質量
- M' ; 共振負荷の質量
- P_m ; 油圧シリンダのポート間の圧力差
- Q ; 電気油圧サーボ弁からの流量
- Q' ; シリンダピストンに働く有効流量
- S ; ラプラス演算子
- S_i ; 伝達関数の特性根
- T ; 電気油圧サーボ弁の時定数
- T_3 ; DPF II補償定数
- W ; 系の過渡応答
- Y ; ピストン変位
- Z ; 共振負荷の変位
- β ; DPF II補償定数
- ω_i ; 系の過渡応答成分波の角振動数 ($i = 1 \sim 3$)

(注) 記号中の \wedge はラプラス演算を、 $-$ は共役複素数を示す。

3.2 制御系の伝達特性

制御系を構成する各要素機器の入力ならびに出力間の関係式に就いて説明する⁽¹⁾

電圧電流増幅器へは、関数発生器からの発信電圧と、フィードバック電圧が加わり、減算後の偏差電圧が増幅後、電流に変換され次の式で表わされる。

$$\hat{i} = K_a(\hat{E} - \hat{E}_f) \quad (1)$$

電気油圧サーボ弁は、低周波駆動では1次遅れ特性で近似され、次の式を用いることが出来る。

$$\hat{Q} = \frac{K_v}{TS+1} \hat{i} \quad (2)$$

シリンダピストンに有効に働く流量は、式(2)の流量から、電気油圧サーボ弁の圧力-流量こう配にもとづく流量変化、ピストンでの漏れ流量、および作動油の圧縮と管路の膨脹による体積変化をそれぞれ差引いたものとなり、次式が成り立つ。

$$\hat{Q}^* = \hat{Q} - C_2 \hat{P}_m - C_3 \hat{P}_m - KS \hat{P}_m \quad (3)$$

シリンダピストンに働く有効流量は、積分動作によりピストン変位に変換され、次式となる。

$$\hat{Q}^* = AS \hat{y} \quad (4)$$

次に、運動中のピストンに加わる油圧力は、常にピストンを含む可動部分のもつ慣性力、粘性抵抗力および共振体側からの、それとの相対変位に比例するばね力の合力と釣り合うため、次の運動方程式が得られる。

$$A \hat{P}_m = MS^2 \hat{y} + C_f S \hat{y} + kg(\hat{y} - \hat{z}) \quad (5)$$

また、共振体はピストンを含む可動体との相対変位に比例するばね力によって駆動され、共振体のもつ慣性力、案内部から受ける粘性ならびに乾性抵抗力の合力と釣り合い、次の運動方程式が成り立つ。

$$kg(\hat{y} - \hat{z}) = M' S^2 \hat{z} + C_f' S \hat{z} \quad (6)$$

ピストン変位は、差動トランスを用いて検出され、変位電圧変換器によって次式で示される電圧となり、増幅器にフィードバックされる。

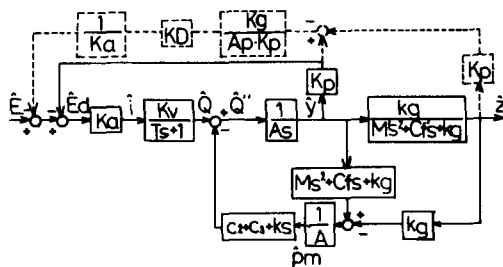
$$\hat{E}_f = K_p \hat{y} \quad (7)$$

負荷補償を行わないときには、この制御系では、上記の7つの式が成り立つ。これらの式から得られるブロック線図を図3に示した。

このブロック線図から、系の閉回路伝達関数 $G_c(S)$ を導くと、分母がラプラス演算子 S に関する6次式、分子が定数によって成り立つ分数式が得られる。

3.3 系の理論過渡応答

この系の過渡応答を求めるために、まず閉回路伝達関



(注) 図中の破線部は、負荷補償回路を示す。

図3 共振負荷制御系のブロック線図

数 $G_c(S)$ に現れる定数値を整理しておき、これにステップ入力を印加し、部分分数に展開し未定係数を決定して、逆ラプラス変換を施すと、次式が得られる。

$$W(t) = A_0 + (A_1 e^{s_1 t} + \bar{A}_1 e^{\bar{s}_1 t}) + (A_2 e^{s_2 t} + \bar{A}_2 e^{\bar{s}_2 t}) + (A_3 e^{s_3 t} + \bar{A}_3 e^{\bar{s}_3 t}) \quad (8)$$

式(8)に含まれる3組の共役項は、それぞれ一つずつの応答波成分をなすものであり、ふたたび係数を整理し三角関数形に改めると、次式が得られる。

$$W(t) = A_0 + D_1(t) \cos(\omega_1 t + \alpha_1) + D_2(t) \cos(\omega_2 t + \alpha_2) + D_3(t) \cos(\omega_3 t + \alpha_3) \quad (9)$$

式(9)の A_0 は応答波のステップ成分を、第2項以下は添字の順に基本波、第2、第3次応答波成分を示している。一般に、安定な制御系では、特性根の実部は負であるから、上記の各応答波成分は、時間経過とともに、異なる角振動数で振動し、その波形が指数曲線に包絡されながら減衰してゆく調和振動であることが解る。また特性根の絶対値が大きい程、減衰が早く過渡応答に及ぼす影響は小さい。

この系は高次であり、数値計算が複雑となるため、本校の電子計算機を用いた。XYプロッタによる計算結果を次章で示した。

3.4 負荷補償法

共振負荷系の過渡応答は、速応性も減衰性も悪く、何らかの補償が必要である。共振負荷系の補償法として、油圧回路を用いた二、三の補償法が示されている。サーボ弁の通路にバイパスを設け、スプールの両端に負荷圧力をネガティブ・フィードバックするPF補償法、サーボ弁内にピストン、スプリング、オリフィスなどを内蔵する補助油圧回路を設け、動的負荷圧力をフィードバックするDPF補償法などがある。前者は負荷の振動はよ

く吸収する反面、応答精度の悪化する欠点が指摘されている。また後者はPF補償法の静特性を改善したもので、すでに実用されている。

これら油圧補償法の補償伝達関数 K_D は、次式で与えられる⁹⁾

$$K_D = K_a \quad (\text{PF補償}) \quad (10)$$

$$K_D = \frac{T_3 \cdot S}{T_3 \cdot S + 1} \cdot K_a \quad (\text{DPF補償}) \quad (11)$$

この伝達関数を含む補償回路は、図3のブロック線図の破線部で示した。破線部内の K_D 以外の伝達関数 $1/k_a$ と $kg/(A_p \cdot K_p)$ は、補償回路の引出点および加え合せ点の変更によるものであり、回路に固有の定数値である。

3.5 電気補償回路の設計

補償回路の設計は、補償伝達関数 K_D の構造と、それに含まれる二、三の補償定数を決定する問題となる。油圧回路は構造設計上で制約を受け易いが、この点電気回路は設計の自由度が大きい。

本研究では、PF補償ならびにDPF補償を拡張して得た式(12)による補償（以後これをDPF II補償と呼ぶ）について補償回路を試作した。

$$K_D = \frac{T_3 \cdot S + \beta}{T_3 \cdot S + 1} \cdot K_a \quad (\text{DPF II補償}) \quad (12)$$

PF補償の場合の閉回路伝達関数は、無補償の場合に比べて、定数項は変化するがその次数は変化しない。またDPF II補償では、伝達関数の分母分子の S の次数が1次ずつ増加し、分母は S の7次式となる。したがって、このときの過渡応答は、式(8)の他に指数関数成分

$$Ae^{-\lambda t} \quad (13)$$

が加わる。これら補償回路に含まれる補償定数は、減衰

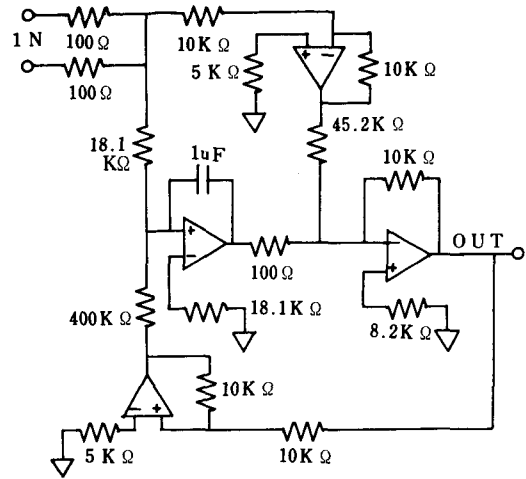


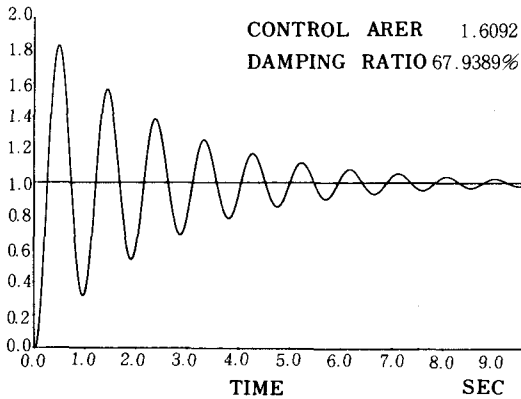
図4 DPF II補償回路

比、行き過ぎ量および応答時間を求めて検討した。図4にDPF II補償回路を示した。

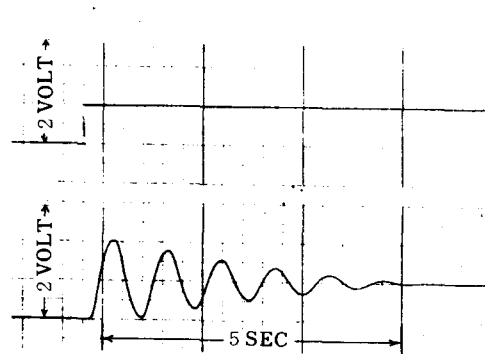
4. 理論解, 実験結果と考察

4.1 理論解と実験結果

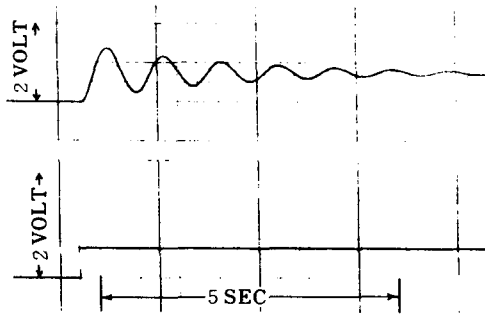
理論解は、電子計算機MELCO M9100/30Fを用いて計算し、XYプロッタで出力した。実験では関数発生器から発信するステップ状入力電圧と変位電圧変換器から出るフィードバック電圧とを2ペンレコーダを用いて記録した。また、実験値を確認するために、アナログ演算回路を用いたシミュレータを試作し、これを併用することとし、実験と同様に入出力電圧を2ペンレコーダを用いて記録した。



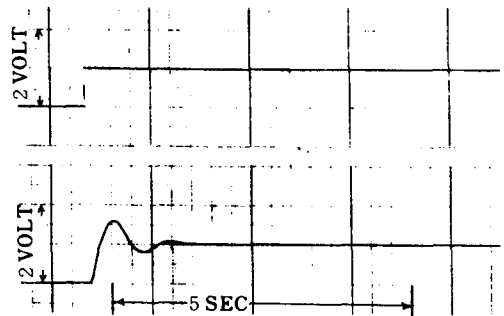
(a) 理論解(無補償)



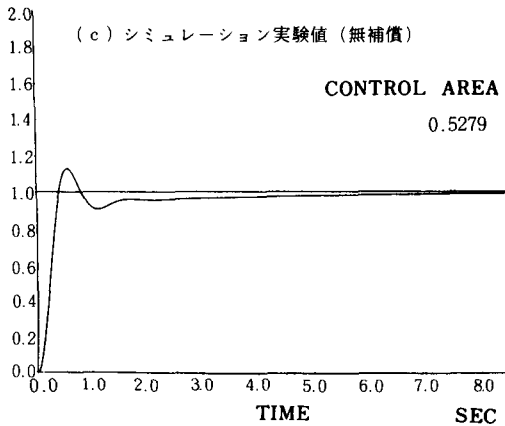
(b) 実験値(無補償)



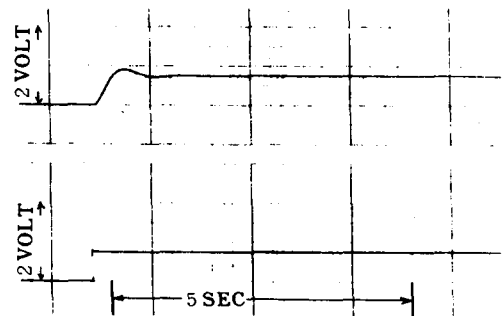
(c) シミュレーション実験値 (無補償)



(e) 実験値 (DPF II補償)



(d) 理論解 (DPF II補償)



(f) シミュレーション実験値 (DPF II補償)

図5 理論解, 実験値およびシミュレーション実験値

図5に、過渡応答に関して求めた無補償ならびにDPF II補償時の理論解, 実験値およびシミュレーション実験値の代表例を示した。また, 表1に理論解に用いた装置各部の定数値を示した。

表1 装置各部の定数値

記号	名 称	数 値	単 位
A	ピストン受圧面積	6.41	cm ²
C _f	可動体の粘性抵抗係数	2.00×10 ⁻²	kgs/cm
C _f '	共振負荷の等価粘性抵抗係数	3.92×10 ⁻²	kgs/cm
C ₂	サーボ弁の圧力-流量こう配	8.58×10 ⁻¹	cm ⁵ /kgs
C ₃	シリンダとバルブからの漏れ係数	0.00	cm ⁵ /kgs
K	作動油圧縮, 管路膨脹係数	4.17×10 ⁻³	cm/kg
K _A	サーボアンプの電圧電流ゲイン	7.41×10	mA/V
K _P	フィードバックループの変位電圧変換器の電圧ゲイン	1.00	V/cm
K _V	サーボ弁のゲイン定数	4.80	cm ³ /smA
K _G	負荷支持バネのバネ定数	2.10	kg/cm
M	可動体の総質量	2.83×10 ⁻³	kgs ² /cm
M'	共振負荷の質量	4.78×10 ⁻²	kgs ² /cm
T	サーボ弁の時定数	1.70×10 ⁻²	SEC

これらの理論解ならびに実験値について求めた過渡応答の代表的評価値である応答時間, 行き過ぎ量および減衰比を表2に示した。

4.2 結果の考察

表2より, 無補償のときに比べて, PF補償では行き過ぎ量約30%, 減衰比は約40%減となるが, 応答時間は

表2 過渡応答特性

		応答時間 (SEC)	行き過ぎ量 (%)	減衰比 (%)
実 験 値	無 補 償	0.52	100	76
	P F 補 償	0.63	70	36
	DPF II補償	0.43	58	10
理 論 値	無 補 償	0.50	80	69
	P F 補 償	0.85	65	38
	DPF II補償	0.43	15	
シ ミュ レ ー シ ョ ン	無 補 償	0.49	80	67
	P F 補 償	0.82	63	38
	DPF II補償	0.54	20	

増加している。また、D P F II補償では行き過ぎ量は約40%、減衰比は約90%、応答時間は約17%いずれも減少しており、速応性、減衰性ともに改善されたことが解る。

5. 結 言

本研究を通じて、適切な電気補償回路を用いれば、共振負荷系の過渡応答はかなり改善されることが確かめられた。さらに、補償伝達関数を高次化することにより、より良い過渡応答特性の実現が期待される。

文 献

- (1) 竹中利夫, 浦田暎三, 油圧制御, 丸善株式会社 (昭45), 181-203
- (2) 加藤一郎, 制御工学の実際, 昭晃堂 (昭51), 241-248
- (3) 畑山茂樹, 共振負荷制御用油圧サーボのD P F補償法, 制御工学, 第14巻, 第1号 (1970), 11-19

不平衡ゲートによるPWM3相逆変換器の動作モード

(容量負荷)

井村 栄 仁

Circuit Modes of a PWM 3-Phase Inverter Driven by Unbalanced Gate Signals (Capacitive Load)

Shigeji IMURA

Circuit modes of a PWM 3-phase inverter are shown, when driven by unbalanced gate signals and with capacitive load. The concept included here is to clarify the relation between the initial conditions and the circuit modes.

In the steady state there are twenty seven modes concerning to both the time constant of the load and the duration of gate signals.

Some experimental results are given with the analytical wave forms.

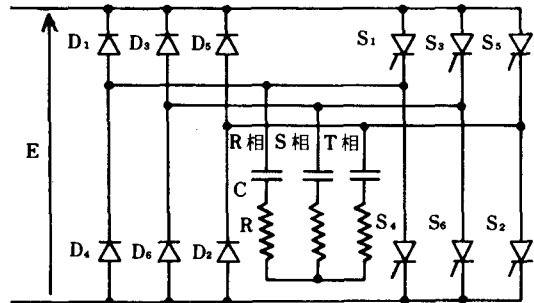
1. ま え が き

半導体素子の発達と普及により電力機器の静止化が進んでいる。これに伴ってサイリスタなどのスイッチング素子を含む回路の解析が広く行われており、代表的な解析方法として状態変数法や断続回路の理論を挙げることができる。3相逆変換器が平衡なゲート信号で駆動され、しかも比較的容易に出現モードが想定できる限り、上記の解析方法は有力である。ただし、この際の問題点は出現するであろうすべてのモードを予想しなければならないことである。

筆者らは、先に図1(a)に示すPWM3相逆変換器が容量性負荷を有し、平衡なゲート信号を印加された場合の動作モード、解析ならびに実験結果について述べてきた^{(1),(2)}。ここでは最初に動作モードを仮定したのではなく、物理的に可能と考えられる回路状態の中から計算機シミュレーションにより、妥当なモードを決定した。

一方、3相逆変換器が不平衡なゲート信号で駆動されるときに現象を明らかにすることは、逆変換器の普及にとれないその必要性が高くなると思われるのにあまりなされていないようである。

そこで、本報告では図1(a)のPWM3相逆変換器が同図(b)に示すような不平衡ゲートを印加された場合の動作モードを明らかにし、ごくわずかではあるが実験結果も与える⁽³⁾あわせて既報の解法の検証としたい。



(a) PWM 3相逆変換器

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
S ₁	[Bar]					
S ₂		[Bar]				
S ₃			[Bar]			
S ₄				[Bar]		
S ₅					[Bar]	
S ₆	[Bar]					

(b) 不平衡ゲート信号

図1 PWM3相逆変換器とゲート信号

2. 動作の概要

2.1 記号と解析にあたっての仮定

図1(a)においてS₁~S₆は主サイリスタを示し、D₁~D₆は対応する主サイリスタに逆並列に接続された帰還

よび転流用ダイオードである。簡単のため転流回路は省略する。これと同図(b)のゲート信号を印加するものとして次の仮定をおく。

- (I) ゲート信号の1周期を T (sec), 6分の1周期を T' (sec)とする。
- (II) $S_1 \sim S_6$ に対するゲート信号は, 図1(b)に示すように6分の1周期ごとに順序よく印加されるものとし, 各サイリスタ S_i ($i=1 \sim 6$)のゲート信号幅 τ_i (sec)は, $0 \leq \tau_i < 3T'$ で可変とする。
- (III) ゲート信号により定まる回路状態とはゲート信号が変化した直後から, 次のゲート信号の変化直前までとする。
- (IV) 負荷コンデンサ容量を C (F), 抵抗を R (Ω)とし, 負荷コンデンサ電圧の基準の方向は, 中性点から負荷端子側に向くものとする。また R, S および T 相に応じて負荷コンデンサ電圧の瞬時値をそれぞれ $e_{c(R)}(t), e_{c(S)}(t)$ および $e_{c(T)}(t)$ とし,

$$e_{c(R)}(t) + e_{c(S)}(t) + e_{c(T)}(t) = 0 \quad (1)$$

が常に成立するものとする。

- (V) 各回路状態の始まりをその回路状態の時間の原点にとる。
- (VI) サイリスタはすべて理想スイッチとする。

2.2 容量負荷の特徴

容量負荷を有するPWM3相逆変換器の特徴は

- (イ) 一つの回路状態の始まりは, ゲート信号の変化する時点と一致する。
 - (ロ) 一つの回路状態は, ゲート信号が一定な期間と少くとも同じ長さの間継続する。
- という事実によって明らかになる。

今, 一例を用いて(イ), (ロ)の根拠を示すにとどめる。図2(b)に示すゲート信号が印加されているときに, 時刻 $t=+0$ において同図(a)の回路状態が実際に起こし

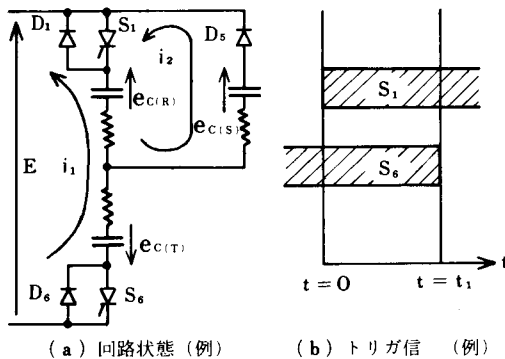


図2 容量性負荷の特徴

たと仮定しよう。 $t=+0$ 直後の回路を解くと,

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{R} \begin{pmatrix} -\{e_{c(S)}(+0) + 2E/3\} \cdot e^{-t'/CR} \\ -\{e_{c(R)}(+0) + e_{c(S)}(+0) + E/3\} e^{-t'/CR} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}(t) \\ e_{c(S)}(t) \\ e_{c(T)}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E/3 + \{e_{c(R)}(+0) - E/3\} e^{-t'/CR} \\ -2E/3 + \{e_{c(S)}(+0) + 2E/3\} e^{-t'/CR} \\ E/3 - \{e_{c(R)}(+0) + e_{c(S)}(+0) + E/3\} e^{-t'/CR} \end{pmatrix} \quad (3)$$

となる。従って現実にこの回路状態が生ずる条件は

$$i_1(+0) > 0 \quad \therefore -2E/3 > e_{c(S)}(+0) \quad (4)$$

$$i_2(+0) > 0 \quad \therefore -E/3 > e_{c(R)}(+0) + e_{c(S)}(+0) \quad (5)$$

が同時に満足されることである。

このように当然のことながら, 或る回路状態が生じするかどうかは, 負荷コンデンサ電圧の初期値に依存する。さて, $t=+0$ で条件(4)および(5)が満たされていると, 式(3)から求めた任意の時刻 $t > 0$ における負荷コンデンサ電圧もまた条件(4)および(5)を満たすことがわかる。ゆえにもし外部トリガ信号に変化がなければ, 図2(a)の回路状態は理論上永久に持続することになる。換言すればゲート信号に変化が生じたときにはじめて他の回路状態に移り得る。別の回路状態について同様のことが言える。

2.3 平衡ゲートで駆動される場合の動作モード

図3(a)または(b)に示すように全トリガ信号の長さが同じときには, 次の諸点に注意すれば動作モードが明らかになる。

- (I) ゲート信号が印加されているサイリスタに接続する相の負荷端子は確定電位にある。
- (II) 任意の区間 $[i]$ ($i=1 \sim 6$)はたかだか2つの回路状態からなる。即ち
C回路状態—3つのゲート信号が重なっている期間
A回路状態—2つのゲート信号が重なっている期間
B回路状態—1つのゲート信号が重なっている期間
と名づけると, $C-A$ ($2T' \leq \tau < 3T'$) または $A-B$ ($T' \leq \tau < 2T'$) である。
- (III) したがって実際の回路状態はゲート信号の印加されていない相の負荷端子の振舞いによって定まることになる。そこで区間 $[1]$ においてこのような負荷端子が $+E$ (v)にあるための条件, 0 (v)にあるための条件またはそのいずれでもない条件を各相負荷コンデンサ電圧の初期値により表現し, 物理的に可能なすべての回路を見つけ出す。この際, 半導体系

子の一方方向性も考慮すると、より詳しい回路の分類ができる。

区間〔1〕におけるC、AおよびB回路状態の分類条件を図4にまた、これらの領域に対応する導通素子を表1に与える。

尚、図4から明らかかなようにC(1)とA(2)1とはまったく同じ回路に対応する。

- (IV) 回路状態が分類できれば回路方程式を解くことができる。
- (V) コンデンサ電圧は連続である。
- (VI) 区間〔i〕 (i=1~6) においては

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}^*(t) \\ e_{c(S)}^*(t) \\ e_{c(T)}^*(t) \end{pmatrix} = K^{-1} \cdot \begin{pmatrix} e_{c(R)}(t) \\ e_{c(S)}(t) \\ e_{c(T)}(t) \end{pmatrix} \quad (6)$$

という変換によって得られた $e_{c(R)}^*(t)$ 、 $e_{c(S)}^*(t)$ および $e_{c(T)}^*(t)$ を用いると、区間〔1〕における分類条件ならびに回路方程式がそのまま適用できる。

ここに、

$$K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

である。

- (VII) シミュレーションの結果、定常状態では

$2T' \leq \tau < 3T'$ のとき

(イ) C(1)→A(2)1→………

および (ロ) C(4)→A(3)1→………

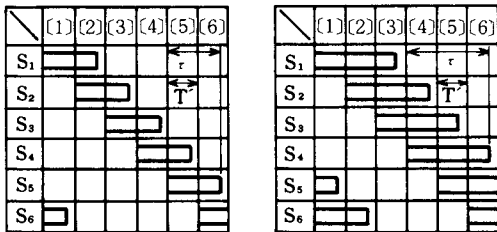
$T' \leq \tau < 2T'$ のとき

(ハ) A(2)1→B(6)→………

および (ニ) A(3)1→B(6)→………

の4つのモードのみが存在し、これをもとに解析した結果は、実測波形と非常に良く一致する。

尚、(イ)のモードは、C(1)とA(2)1とがまったく同じ回路であるため、実質的にはC(1)→C(1)→……と書いた方がすっきりする。



(a) $T' \leq \tau < 2T'$

(b) $2T' \leq \tau < 3T'$

図3 平衡ゲート信号

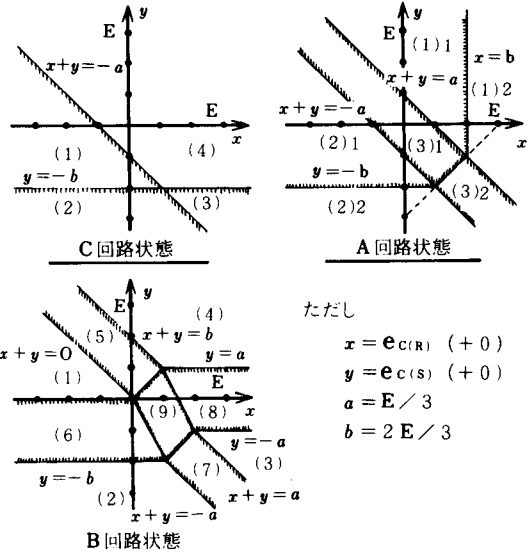


図4 C、AおよびB回路状態の分類条件

表1 各回路の導通素子(その1)

C	(1)	S ₁ , S ₆ , D ₅	B	(1)	S ₁ , D ₃ , D ₅
	(2)	(S ₁ /D ₁), D ₆ , D ₅		(2)	(S ₁ /D ₁), D ₆ , D ₅
	(3)	D ₁ , D ₆ , S ₅		(3)	D ₁ , D ₆ , D ₅
	(4)	(S ₁ /D ₁), S ₆ , S ₅		(4)	(S ₁ /D ₁), D ₃ , D ₂
A	(1)1	S ₁ , S ₆ , D ₂	(5)	S ₁ , D ₃ , —	
	(1)2	D ₁ , (S ₆ /D ₆), D ₂	(6)	S ₁ , —, D ₅	
	(2)1	S ₁ , S ₆ , D ₅	(7)	D ₁ , D ₆ , —	
	(2)2	(S ₁ /D ₁), D ₆ , D ₅	(8)	D ₁ , —, D ₂	
	(3)1	S ₁ , S ₆ , —	(9)	—————	
	(3)2	D ₁ , D ₆ , —			

3. 不平衡ゲートで駆動される場合のモード

サイリスタ S_i (i=1~6)のゲート信号 τ_i がそれぞれ異なるとき、動作モードはいかにして求められるか。一般には、 $0 \leq \tau_i < 3T'$ の範囲ですべての τ_i が可変とすべきであるが、今回は各相上下のサイリスタのトリガ信号が同じ時間 τ

$$\tau_R = \tau_1 = \tau_4, \tau_S = \tau_3 = \tau_6, \tau_T = \tau_5 = \tau_2 \quad (7)$$

を有するものとし、これらの τ_R 、 τ_S および τ_T が0と $3T'$ との間でそれぞれ独立に変化するものとして取扱う。さ

て、図1(a)において簡単のため、+E(v)に接続する各相のサイリスタをそれぞれR、SおよびTとし、同様に0(v)に接続するそれらをR'、S'およびT'で表わすものとする、あらゆるゲートの組み合わせに対し、区間〔1〕における回路状態は表2ようになる。平衡なゲート信号の場合には存在しなかったA1、A2、B1、B2およびOFFの回路状態が新しく加わっている。

表2 トリガ信号による回路状態

3	T, S', R	C	回路状態
	S', R	A	"
2	T, S'	A1	"
	T, R	A2	"
	R, B	B	"
1	T	B1	"
	S'	B2	"
0	—	OFF	"

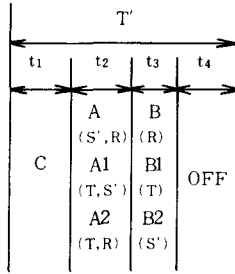


図5 区間〔1〕での回路状態の出現順序

表3 回路状態の推移とサイリスタ

	〔1〕	〔2〕	〔3〕	〔4〕	〔5〕	〔6〕
C	T, S', R	S', R, T	R, T', S	T', S, R'	S, R', T	R', T, S'
A	t1 S', R	R, T'	T', S	S, R'	R', T	T, S'
A1	T, S'	S', R	R, T'	T', S	S, R'	R', T
A2	T, R	S', T'	R, S	T', R'	S, T	R', S'
B	t2 R	t4 T'	R	R'	T	S'
B1	T	S'	T'	T'	S	R'
B2	t3 S'	R		S	R'	T
OFF						

特にOFF回路状態とは、どのサイリスタにもゲートが印加されていないものである。A1~OFFまでの回路状態を考慮しなければならない理由は次のとおりである。不平衡ゲートに対する区間〔1〕では、まず何個のサイリスタがトリガされているかによって回路状態が異なること、さらに同じ数だけトリガされているとしても、いずれの相のサイリスタに対してであるかによっても回路状態が違ってくるためのためである。任意の区間〔i〕についても同様のことが言える。

次にこれらの回路状態が出現する時間的順序は、ゲート信号の構成から容易に知れるように図5のとおりである。tj (j=1~4) は各状態の継続時間を表わす。既述の平衡ゲートの場合のC-Aモードはt3=t4=0の特別なモードであり、またA-Bモードはt1=t4=0であるとみなせる。いずれにしても

$$t_j \geq 0, \quad t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = T' \quad (8)$$

が成立する。従って一周期にわたる各回路の出現順序およびトリガされているサイリスタは表3に示すとおりと

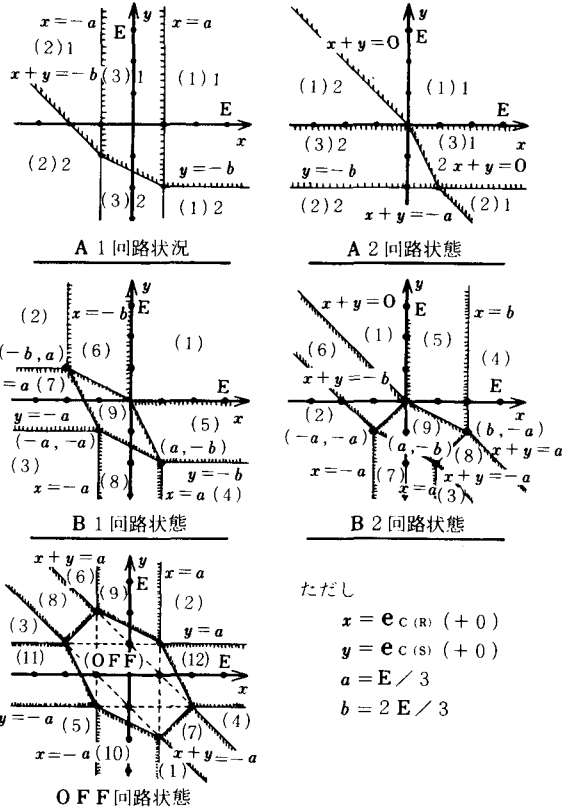


図6 A1~OFF回路状態の分類条件

ただし

$$x = e_{c(R)} (+0)$$

$$y = e_{c(S)} (+0)$$

$$a = E/3$$

$$b = 2E/3$$

となる。区間〔1〕におけるA1、A2、B1、B2およびOFFの各回路状態を2、3項で述べたのと同様の方法でそれぞれ物理的に可能なすべての回路に分類すると図6を得る。同図において、便宜上境界線はハッチングの付加された領域側に属するものとする。尚、これらの各領域に対応する具体的な回路は紙面の都合で割愛するが、代わりに表4にどの半導体素子が導通しているかを掲げておく。

さて、不平衡ゲート信号に対し、一般に区間〔i〕においても図4および図6の分類条件を適用するためには、負荷コンデンサ電圧値を変換する式(6)だけでなく、いずれの相のサイリスタがトリガされているかということも考慮する必要がある。したがって、区間〔i〕における実際のゲート信号をそれぞれτR、τS、およびτTとし、

$$(\tau_R^*, \tau_S^*, \tau_T^*) = [-K]^{i-1} \cdot (\tau_R, \tau_S, \tau_T) \quad (9)$$

で与えられる、みかけのゲート信号 τ_R^* , τ_S^* および τ_T^* を用いると、どの回路状態にあるのかわかる。たとえば、 $\tau_R^* > 0$, $\tau_S^* = 0$ および $\tau_T^* > 0$ のとき回路状態は A2 である。結論として不平衡ゲートに対する動作モードは (i) 式(9)により区間〔i〕での回路状態を把握する (ii) 同時に式(6)で与えられる、みかけのコンデンサ電圧を用い、図4または図6の分類条件を適用する。 (iii) 半周期にわたって〔i〕を順次変化させるという手順で解明できる。

表4 各回路の導通素子(その2)

A1	(11) D_1, S_6, S_5	A2	(11) $(\frac{S_1}{D_1}), D_3, S_5$	OFF	(1) D_1, D_6, D_5
	(112) $D_1, D_6, (\frac{S_5}{D_5})$		(112) S_1, D_3, D_5		(2) D_1, D_3, D_2
	(21) D_4, S_6, S_5		(21) D_1, D_6, S_6		(3) D_4, D_3, D_5
	(212) $D_4, (\frac{S_6}{D_6}), D_5$		(212) $(\frac{S_1}{D_1}), D_6, D_5$		(4) D_1, D_6, D_2
	(31) $-, S_6, S_5$		(31) $D_1, -, S_5$		(5) D_4, D_6, D_5
	(312) $-, D_6, D_5$		(312) $S_1, -, D_5$		(6) D_4, D_3, D_2
B1	(1) D_1, D_3, S_5	B2	(1) D_4, S_6, D_2	(7) $D_1, D_6, -$	
	(2) $D_4, D_3, (\frac{S_5}{D_5})$		(2) $D_4, (\frac{S_6}{D_6}), D_5$	(8) $D_4, D_3, -$	
	(3) D_4, D_6, D_5		(3) D_1, D_6, D_5	(9) $-, D_3, D_2$	
	(4) $D_1, D_6, (\frac{S_5}{D_5})$		(4) $D_1, (\frac{S_6}{D_6}), D_2$	(10) $-, D_6, D_5$	
	(5) $D_1, -, S_5$		(5) $-, S_6, D_2$	(11) $D_4, -, D_5$	
	(6) $-, D_3, S_5$		(6) $D_4, S_6, -$	(12) $D_1, -, D_2$	
	(7) $D_4, -, D_5$		(7) $-, D_6, D_5$	(OFF) $-----$	
	(8) $-, D_6, D_5$		(8) $D_1, D_6, -$		
	(9) $-----$		(9) $-----$		

4. シミュレーションおよび実験結果

表5に定常状態での出現モードを掲げる。同表における記号は次の意味である。(図4, 6と表1, 4参照)
 $C_1 \equiv C(1)$ 回路 = A(2)1回路, $C_4 \equiv C(4)$ 回路
 $A_0 \equiv A(3)$ 1回路, $A_1 \equiv A(1)(3)$ 1回路
 $B_6 \equiv B(6)$ 回路 = A(2)(3)2回路
 $O \equiv B(9)$ 回路 = B(1)(9)回路 = B(2)(9)回路 = OFF回路
 さて、一般に $0 \leq \tau < 3T'$ で可変の τ について、3つの範囲 I ($0 \leq \tau < T'$ のとき), II ($T' \leq \tau < 2T'$) および III ($2T' \leq \tau < 3T'$ のとき) に分けるとすれば、 τ_R, τ_S

および τ_T がそれぞれ独立に I~IIIの範囲で変化するから基本的には合計27個の信号の組について調べる必要が

表5 定常状態の動作モード

$\tau_R^* \tau_S^* \tau_T^*$	モード番号	動作モード(半周期)			
		〔1〕	〔2〕	〔3〕	
I・I・I	0	O	O	O	
I・II・I	$\tau_R^* > \tau_S^*$	1	$A_0 \cdot O$	$B_6 \cdot O$	B_6
	$\tau_R^* < \tau_S^*$	(1)	(モード番号: 1と同じ)		
I・III・I	$\tau_T^* > \tau_S^*$	(1)	(" ")		
	$\tau_T^* < \tau_S^*$	(1)	(" ")		
I・II・II	$\tau_R^* > \tau_S^*$	2	$C_1 \cdot B_6 \cdot O$	B_6	$A_0 \cdot O$
		3	$A_0 \cdot B_6 \cdot O$	B_6	$A_0 \cdot O$
	$\tau_R^* < \tau_S^*$	4	$C_1 \cdot O$	B_6	$A_0 \cdot O$
		5	$A_0 \cdot O$	B_6	$A_0 \cdot O$
		(4)	(モード番号: 4と同じ)		
(5)	(" 5 ")				
I・II・III	$\tau_R^* > \tau_T^* > \tau_S^*$	6	$C_1 \cdot B_6 \cdot O$	B_6	A_0
		7	$C_4 \cdot B_6 \cdot O$	B_6	A_0
		8	$C_1 \cdot A_1 \cdot O$	B_6	A_0
	$\tau_T^* > \tau_S^* > \tau_R^*$	9	$C_4 \cdot A_1 \cdot O$	B_6	A_0
		10	$C_1 \cdot O$	B_6	A_0
		11	$C_4 \cdot A_0 \cdot O$	B_6	A_0
	$\tau_R^* > \tau_S^* > \tau_T^*$	(6)	(モード番号: 6と同じ)		
		12	$C_4 \cdot A_0 \cdot B_6 \cdot O$	B_6	A_0
		(8)	(モード番号: 8と同じ)		
		(9)	(" 9 ")		
		(6)	(" 6 ")		
		(7)	(" 7 ")		
I・III・III	$\tau_R^* > \tau_T^*$	(10)	(" 10 ")		
		(11)	(" 11 ")		
	$\tau_R^* < \tau_T^*$	(8)	(" 8 ")		
		(9)	(" 9 ")		
II・II・II	13	$C_1 \cdot B_6$	$C_1 \cdot B_6$	$C_1 \cdot B_6$	
	14	$A_0 \cdot B_6$	$A_0 \cdot B_6$	$A_0 \cdot B_6$	
II・III・II	$\tau_R^* > \tau_S^*$	15	C_1	$C_1 \cdot B_6$	$C_1 \cdot B_6$
		16	A_0	$C_1 \cdot B_6$	$C_1 \cdot B_6$
	17	A_0	$C_4 \cdot A_0 \cdot B_6$	$A_0 \cdot B_6$	
	$\tau_R^* < \tau_S^*$	(19)	(モード番号: 15と同じ)		
		18	C_1	$C_1 \cdot B_6$	$A_0 \cdot B_6$
19	A_0	$C_1 \cdot B_6$	$A_0 \cdot B_6$		
II・III・III	$\tau_R^* > \tau_S^*$	20	C_1	$C_1 \cdot B_6$	C_1
		(21)	$C_4 \cdot A_0$	$C_4 \cdot A_0 \cdot B_6$	A_0
	$\tau_R^* < \tau_S^*$	(22)	(モード番号: 20と同じ)		
		22	C_1	$C_1 \cdot B_6$	A_0
23	$C_4 \cdot A_0$	$C_1 \cdot B_6$	A_0		
24	$C_4 \cdot A_0$	$C_4 \cdot B_6$	A_0		
III・III・III	$\tau_R^* > \tau_T^*$	25	C_1	C_1	C_1
		26	$C_4 \cdot A_0$	$C_4 \cdot A_0$	$C_4 \cdot A_0$

† “t.” は転置を表す。またKは既出の行列。

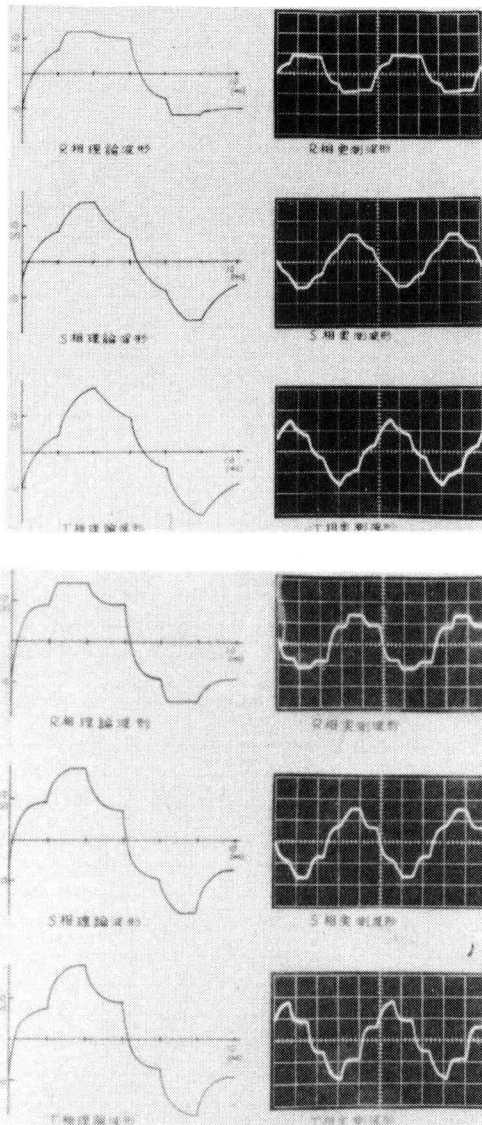


図7 実測および解析波形例

ある。しかるに実際には表5に示すようにたかだか11組の信号の組み合わせについて考えれば充分である。その理由は、各組について相回転の方向を変えることなくR、

SおよびT相のゲート信号を入れ替えても現象的には同じ結果になることから明白であろう。したがってまた $3 \times 1 + (11 - 3) \times 3 = 27$ となるから、表5はすべての場合をつくしている。さらに

$$\tau' = \tau (\tau \varepsilon \text{ I のとき}) \text{ または } \tau - T' (\tau \varepsilon \text{ II のとき}) \\ \text{または, } \tau - 2T' (\tau \varepsilon \text{ III のとき})$$

と定義すると上記の11組をより詳しく分けて調べることができる。シミュレーションの結果、計27個のモードが存在する。()をつけたモード番号は表の上部で概出のものである。残念ながらこれらの全モードに関する解析・実験は行えなかったが、図7にモード番号13に対する実測波形と解析の一例を挙げておく。

$$\left(\begin{array}{l} V : 10\text{v/div, } H : 2\text{msec/div} \\ \tau_R = 70^\circ, \tau_S = 90^\circ, \tau_T = 110^\circ \\ (\text{写真上}) : R = 7(\Omega), C = 100(\mu\text{F}), E = 30(\text{v}) \\ (\text{写真下}) : R = 3(\Omega), C = 100(\mu\text{F}), E = 27.5(\text{v}) \end{array} \right)$$

5. む す び

本報告では入力信号の変化直後の回路状態をその連続な動作量の第2種初期値の或る範囲に対応させることにより、あらかじめモードを仮定することなく、計算機の助けで現実に生起するモードを見出すという方法をとった。この考え方によりPWM3相逆変換器が容量性負荷を有し、不平衡なゲート信号で駆動される場合の動作モードを明らかにできた。容量性負荷では特に回路の継続時間がゲート信号中のみに依存し、負荷定数に関係がないので比較的簡単である。しかし、多少複雑になるが、継続時間が負荷定数にも依存するような誘導負荷についても本法とまったく同じ手法が適用できることをつけ加えておきたい。

参 考 文 献

- (1) 井村：奈良高専研究紀要 第12号 (昭和51年)
- (2) 井村：奈良高専研究紀要 第13号 (昭和52年)
- (3) 井村ほか：パワーエレクトロニクス研究会論文集 vol. 4, pp.61~68 (1978)

円筒面走査による長波長ホログラム

世古 忠・成田 紘一

Long Wavelength Hologram by Cylindrical Scanning

Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA

円筒面を走査する新しいタイプの長波長ホログラムの結像特性が示されている。点物体の再生像の広がり関数は零次のベッセル関数で与えられ奥行き方向の解像限界は、従来の平面走査の場合に表われている様な制限はなく波長の $\frac{1}{2}$ 程度と算出される。本稿では、計算機シミュレーションによりこの特性を確認している。

1. まえがき

電波、音波などの長波長のホログラムを作成するための電界のマッピング方法として従来から主として受波器を走査する手法がとられてきた。この手法には、平面を走査する方法や球面を走査する方法があるが、物理的に走査面を大きくとれないためその再生像の距離(奥行き)方向の分解能が方位角方向の分解能に比べて極端に劣り立体像再生を困難にしている。この解決策としてマッピング方法は従来のままにして多周波によるホログラム⁽¹⁾を作成するものもあるが、著者らは今回マッピング方法そのものに工夫を加えた円筒面走査方式ホログラムにより、距離方向の分解能向上をはかった。以下において、円筒面走査ホログラムの理論と計算機シミュレーションの結果を述べる。

2. 理 論

図1にホログラム作成時の座標系(円筒座標)を示す。点P(r_0, θ_0, z_0)に点散乱源があるものとし半径rの円筒面上の点Q(r, θ, z)に送受一体型アンテナがあり、この円筒面上を走査することによりホログラムを作成するものとする。

ここで点Qにおける点散乱源からの受信波を $R_s(r, \theta, z)$ とすると、 R_s は次式の様に書ける。

$$R_s(r, \theta, z) = \frac{Te^{-j2k_0R}}{R} \quad (1)$$

但し上式で、

- T : 点散乱源の反射率
- R : 点Pと点Qとの間の距離
- $k_0 : 2\pi/\lambda_0$, λ_0 は波長

とし、Rは次式で表わせる。

$$R = \sqrt{(r \cos \theta - r_0 \cos \theta_0)^2 + (r \sin \theta - r_0 \sin \theta_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (2)$$

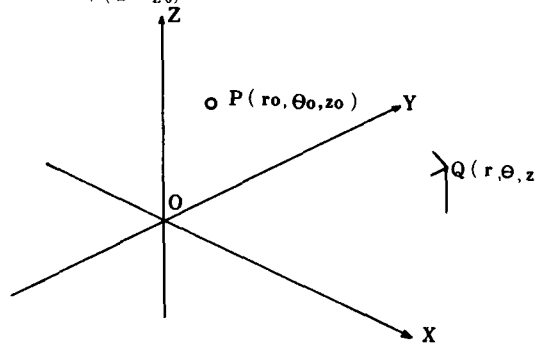


図1 円筒形ホログラム作成座標系

$r \gg r_0$ のとき式(2)は、

$$R = r - r_0 \cos(\theta - \theta_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2r} \quad (3)$$

と書ける。式(3)を式(1)へ代入し受信波 R_s を得る。

ここで、この受信波 R_s と参照波とを加え合わせ2乗検波を行うとホログラム $h(r, \theta, z)$ ができる。

こうして得られたホログラムを、図2の座標系で再生する。今得られた、高さ $2L$ 、半径rの円筒ホログラムにZ軸に集束する波長 λ の再生光をホログラム外部から照射するとき、ホログラム内部の任意点S(r', θ', z')における、再生界 $W(r', \theta', z')$ は次式となる。

$$W(r', \theta', z') = \int_{-L}^L \int_0^{2\pi} h(r, \theta, z) \frac{e^{ikR} r d\theta dz}{R'} \quad (4)$$

ここで $R' =$

$$\sqrt{(r \cos \theta - r' \cos \theta')^2 + (r \sin \theta - r' \sin \theta')^2 + (Z - Z')^2} \quad (5)$$

であり、又 $k = 2\pi/\lambda$

である。 $r \gg r'$ の条件の下で式(5)は、次式の様に書ける。

$$R' = r - r' \cos(\theta - \theta') + \frac{(z - z')^2}{2r} \quad (6)$$

式(6)を式(4)へ代入すると次式となる。

$$W(r', \theta', z') = \int_{-L}^L \int_0^{2\pi} h(r, \theta, z) \exp \left\{ jk \left[r - r' \cos(\theta - \theta') + \frac{(z - z')^2}{2r} \right] \right\} \cdot r d\theta dz \quad (7)$$

今ここでホログラム $h(r, \theta, z)$ のうち像再生に寄与する項のみを取り出し、改めて

$$h(r, \theta, z) = R_s(r, \theta, z)$$

とおくと、 $W(r', \theta', z')$ は式(7)より次式となる。

$$W(r', \theta', z') \propto \int_{-L}^L \int_0^{2\pi} \exp \left\{ -j2k_0 \left[r - r_0 \cos(\theta - \theta_0) + \frac{(z - z_0)^2}{2r} \right] \right\} \cdot \exp \left\{ jk \left[r - r' \cos(\theta - \theta') + \frac{(Z - Z')^2}{2r} \right] \right\} r d\theta dz \quad (8)$$

ここで解析を簡単化するために以下において z を一定にし事実上無視して論をすすめる。このとき式(8)は、

$$W(r', \theta', z') = C \int_0^{2\pi} \exp \left\{ j2k_0 r_0 \cos(\theta - \theta_0) \right\} \cdot \exp \left\{ -jk r' \cos(\theta - \theta') \right\} \cdot r d\theta \quad (9)$$

と書くことができ、 C は複素定数である。式(9)の被積分項は、Besselの母関数を使うと次の様になる。

$$e^{j2k_0 r_0 \cos(\theta - \theta_0)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (j)^n J_n(2k_0 r_0) e^{jn(\theta - \theta_0)} \quad (10)$$

$$e^{-jk r' \cos(\theta - \theta')} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-j)^n J_n(k r') e^{jn(\theta - \theta')} \quad (11)$$

式(10)、(11)を式(9)へ代入し積分を行うと次式となる。

$$W(r', \theta') = C \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(2k_0 r_0) J_n(k r') e^{-jn(\theta_0 - \theta')} \quad (12)$$

ここで $k = 2k_0$ のとき上式は次の様に書ける。

$$W(r', \theta') = C J_0(2k_0 r'') \quad (13)$$

但し、 r'' は次式となる。

$$r'' = \sqrt{(r_0 \cos \theta_0 - r' \cos \theta')^2 + (r_0 \sin \theta_0 - r' \sin \theta')^2} \quad (14)$$

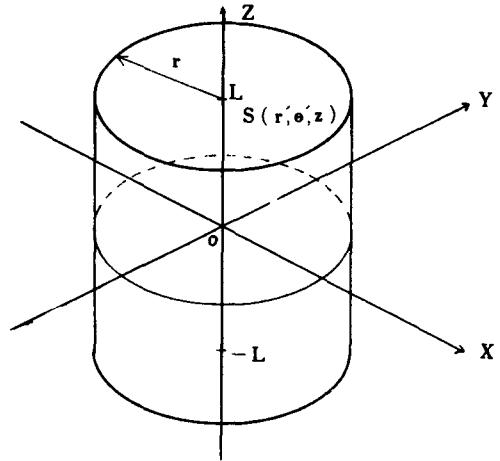


図2 像再生座標系

ここで更に $r' = r_0$ 、 $\theta' = \theta_0$ のときは $r'' = 0$ となり、

$$W(r', \theta') = J_0(0) \quad (15)$$

より再生像が得られることがわかる。

式(13)は、Z軸方向を考慮しない場合の再生像の点拡がり関数と考えられる。そこで $J_0(2k_0 r'')$ の値が零となる時の r'' を算出してみると、Bessel関数表より $2k_0 r'' \approx 2.405$ となり r'' で評価すると

$$r'' \approx \frac{1.20}{k_0} \left(= \frac{1.20}{2\pi} \lambda_0 \right) \quad (16)$$

となり r'' 方向即ち距離方向の再生像の解像限界は波長の3分の1程度となる。

3. 数値的像再生の方法

以上の原理により作成されたホログラム (Z軸方向は無視) に外部より波数 $2k$ の再生光を投射したとき得られる再生界を数値的に得る方法を示す。今点 $A(r', \theta')$ の再生界を $W_a(r', \theta')$ とすれば、 $W_a(r', \theta')$ は次式となる (r は一定と考える)。

$$W_a(r', \theta') = C \int_0^{2\pi} k(\theta) \exp \left\{ -j2k_0 r' \cos(\theta' - \theta) \right\} d\theta \quad (17)$$

式(17)の積分はコンボリューション積分を用いて次の様に書ける。

$$W_a(r', \theta') = C h(\theta) * e^{-j2k_0 r' \cos \theta} \quad (18)$$

但し $*$ はコンボリューション積分記号を表す。

r が一定のときのホログラム $h(\theta)$ はフーリエ積分を用いて次式の様に書ける。

$$h(\theta) \sim \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n e^{jn\theta} \quad (19)$$

$$h_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} h(\theta) e^{-jn\theta} d\theta \quad (20)$$

更に、 $e^{-j2k_0 r' \cos\theta}$ は次式の様に書くことができるので、

$$e^{-j2k_0 r' \cos\theta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (-j)^n \cdot J_n(2k_0 r') e^{jn\theta} \quad (21)$$

式(19)と式(21)より式(18)はコンボリューション定理を用いて

$$W_a(r', \theta') = C \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_n (-j)^n J_n(2k_0 r') e^{jn\theta'} \quad (22)$$

と表わすことができる。

式(22)の h_n は式(20)を高速フーリエ変換(FFT)する事に

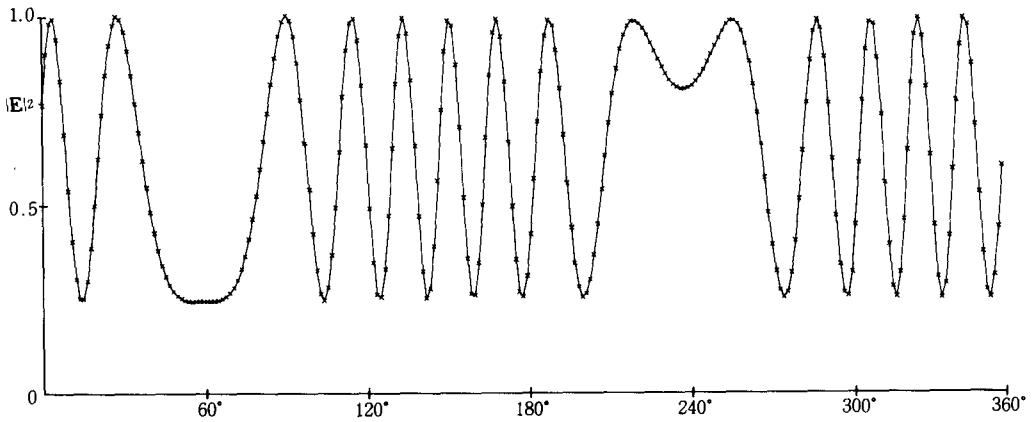


図4 点物体のホログラム ($r = 5 \text{ cm}$)

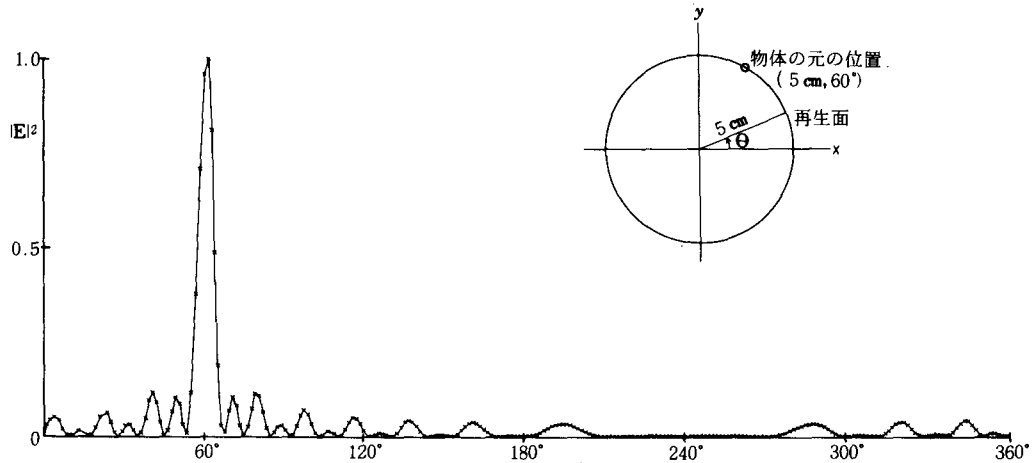


図5 点物体の再生像 ($r = 5 \text{ cm}$)

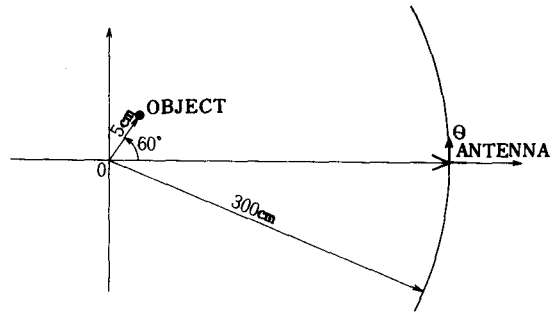


図3 計算機シミュレーションの座標系

より求める。こうして得られた h_n に、ベッセル関数値 $J_n(2k_0 r')$ を掛算しその結果に、もう一度、IFFT (逆高速フーリエ変換) を施すことにより式(22)が計算でき、 $W_a(r', \theta')$ を得ることができる。

4. 結果と考察

図3は計算機シミュレーションの際の座標系である。点O (5 cm, 60°)に散乱物体があり送受一体型アンテナは、半径300cmの円周上を走査する。サンプル点数は256点である。図4に点物体の円ホログラムの計算結果を示す。図5にはその再生像を $r = 5$ cmの円周上で求めた結果を示す。 $\theta = 60^\circ$ の位置に点物体が再生されている事が確認できる。又この図より所望の分解能も得られていることが確認できる。

なお今回解析を点物体に限定し更にZ軸方向について

は無視して、議論をすすめたが、同様にして解析することができる。

本方法の問題点としては、式(2)のBessel関数値の計算に時間がかかることがあるが、関数値そのものを表にして、記憶させておく、などマイクロプロセッサを組み込んだシステムを検討中である。

文 献

- (1) 西村, 繁沢: “多周波電波ホログラフィの結像特性について”, 信学論(D3), J62-B, 6, P.589 (1979)

光結合FETを用いたS形負性抵抗回路

高橋 晴雄・山内 雅好

A S-Type Negative-Resistance Circuit Using a Combination of Two Photo-Coupled FETs

Haruo TAKAHASHI and Masayoshi YAMAUCHI

ABSTRACT

A two-terminal negative-resistance circuit can be constructed with the combination of two photo-coupled FETs which displays the S-type negative-resistance characteristic, and the breakover voltage can be widely changed (80V–30V) with the light input (the current of LED is 1 mA–10 mA).

The circuit construction and the negative-resistance characteristic are shown and the application to the optically controlled relaxation oscillator also presented.

1. ま え が き

光結合FETは、1次側が発光ダイオードLEDで、2次側がホトFETで構成されており、本来線形回路用のホトカプラである。

このホトカプラを2個組み合わせて、光結合による正帰還回路を形成すれば、電流制御形負性抵抗特性（以下S形特性と略記）を実現することができ、ホトカプラの元来の受動的な用途に加えて、能動的な用途に利用することができる。本S形特性は、外部光により制御することが可能であり、オプトロニク能動回路素子として使用することもできる。⁽¹⁾

以下本稿では、負性抵抗回路の構成と、外部光によりS形特性が変化する様子を明らかにし、応用例としてし張発振器の回路構成とオプトロニク制御の実験結果について述べる。

2. 光結合FETの特性

図1は、本負性抵抗回路に使用した光結合FETの構成図を示したものである。図2は、LEDの電流 I_D をパラメータにした2次側の電圧-電流特性を測定したものである。本ホトカプラは、端子6-4の極性を逆にし

ても同様の特性であり、アナログ回路用に開発されたものである。

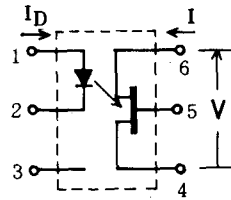


図1. 光結合FETの構成図

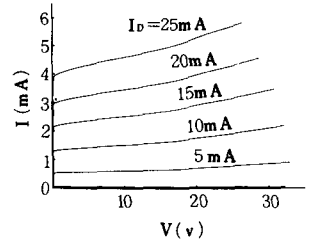


図2. 電圧-電流特性

FETの端子5-4間に抵抗 R を挿入したとき、電圧-電流特性は図3に示すように、光入力（電流 I_D ）が零

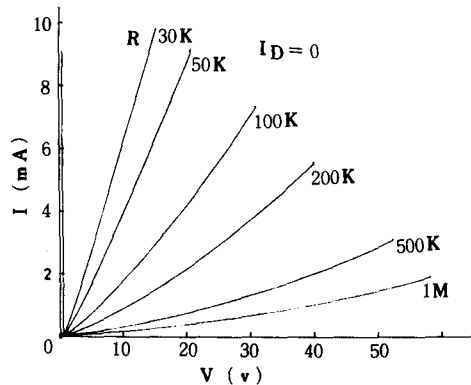


図3. 抵抗 R による電圧-電流特性の変化

本文は、電子通信学会論文誌(C)に昭和55年7月に発表したものに加筆修正したものである。⁽⁴⁾

の場合でも、抵抗 R を減少させれば FET の端子間電圧は減少し、電流は増加することがわかる。この抵抗のかわりに FET を用いれば S 形特性が実現できる。

3. S形負性抵抗回路

図4は、このホトカプラを2個組み合わせて構成した S 形負性抵抗回路の構成図を示したものである。

端子間電圧 V を増加させていくとき、始め FET_R の内部抵抗が高いので、 FET を流れる電流 I は小さい。

LED の発光量が極めて少ないので、光結合された FET_R の内部抵抗を減少させるには至らないからである。

電圧 V がある値に達すると、 FET の電流 I は増加し LED の発光により FET_R の内部抵抗を減少させるようになる。図3に示したように、 FET_R の内部抵抗が減少すれば、 FET の電流は増加し、 LED の発光量はさらに増加する。このような光結合による正帰還再生作用により、 FET を流れる電流は急激に増加し、その端子間電圧は急激に減少する。すなわち、本回路は S 形の負性抵抗特性を呈示する。(2)

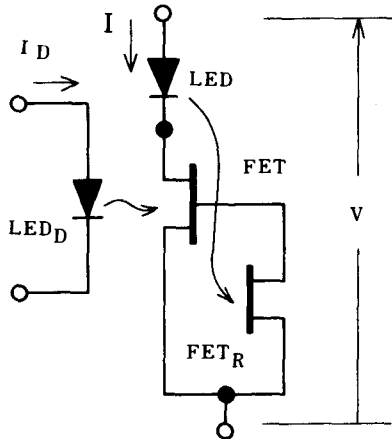


図4. S形負性抵抗回路 (NRF)

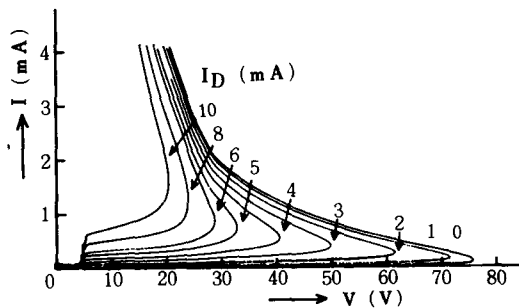


図5. S形負性抵抗特性

図5は、外部光として FET に加える LED_D の電流 I_D をパラメータにして、 S 形特性がどのように変化するかを測定したものである。また、図6は、 I_D と S 形特性のブレイクオーバー電圧 V_T の関係を実験的に求めたものである。

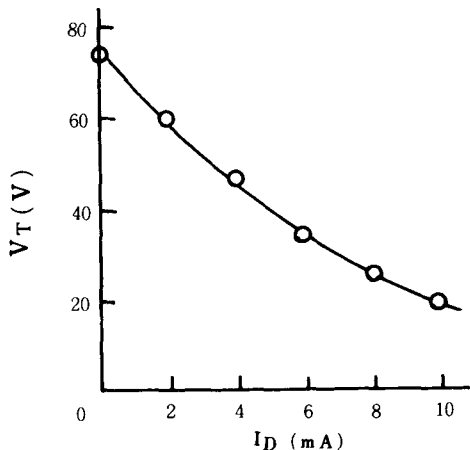


図6. LED_D の電流とブレイクオーバー電圧の関係

図7は、 S 形特性をさらに広範囲に制御するために、図4の基本回路に抵抗バイアスを付加した S 形負性抵抗回路を示したものである。

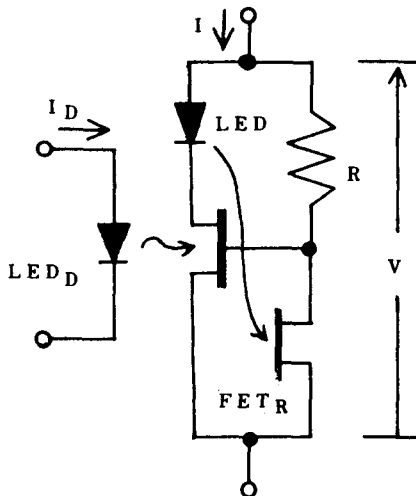


図7. 抵抗バイアス S 形負性抵抗回路 (RNRF)

図8は、 I_D を零にして抵抗 R により電圧-電流特性がどのように変化するかを測定したものであり、図9は抵抗 R を $30K\Omega$ にして、 I_D を変化させたときの電圧-電流特性を求めたものである。

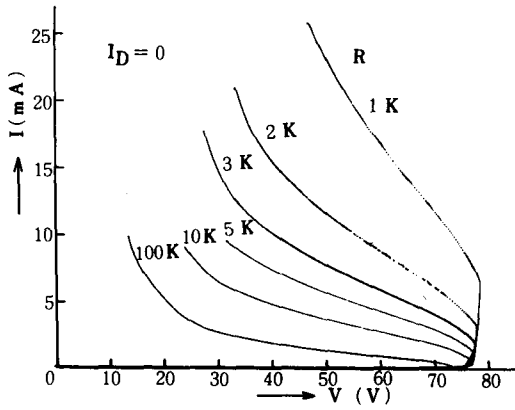


図8. 電圧-電流特性 ($I_D = 0$, R : パラメータ)

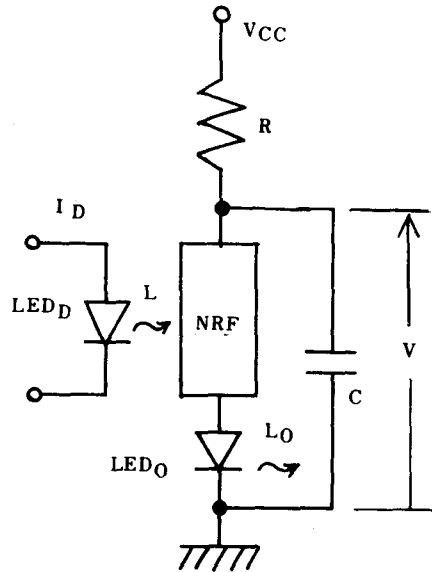


図10. 光制御し張発振器の構成図

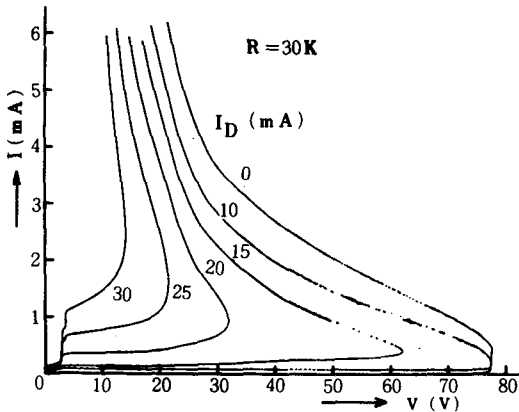


図9. 電圧-電流特性 ($R = 30K\Omega$, I_D : パラメータ)

本負性抵抗特性は、外部光及びバイアス抵抗により広範囲に変化することが明らかになった。したがって、負性抵抗による発振、スイッチング動作等のオプトロニック制御が可能であり、ホトカプラを能動素子として使用することもでき、ホトカプラの使用範囲を拡大することができる。

4. 応用例 (光制御形し張発振器)

図4に示したS形負性抵抗回路(NRFB)のブレイクオーバー電圧が外部光(LED_Dの電流 I_D)により減少することを利用して、し張発振器を構成すれば、外部光により制御可能なオプトロニック発振器として動作させることができる。⁽³⁾

図10は、光制御形し張発振器の構成図を示したものである。LED_oは、し張発振電流を光パルス L_o として出力させるために付加したものである。

図11は、S形特性と負荷線の関係を示した動作説明図である。負荷線を外部光入力 L のない場合のS形特性 L_N とはしゃ断領域のみ(点A)に、 L のある場合のS形特性 L_L とは負性抵抗領域のみ(点B)に、それぞれ動作点をもつよう設定する。すなわち、光入力のないときNRFBはOFF状態で発振は起らず、光入力のあるときのみ発振が持続するように、負荷線を設定する。

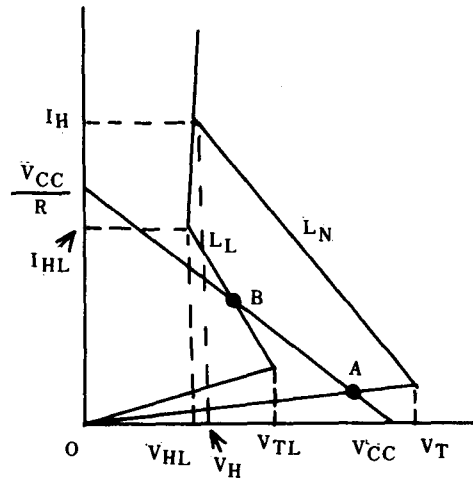


図11. 発振動作説明図

発振条件は、

$$V_T > V_{CC} > V_{TL} \quad (1)$$

$$\frac{V_T I_H}{V_T - V_H} > \frac{V_{CC}}{R} > \frac{V_{TL} I_{HL}}{V_{TL} - V_{HL}} \quad (2)$$

なる関係を満足することである。ここで、 V_H と I_H 及び V_{HL} と I_{HL} は、それぞれ外部光入力がない場合及びある場合のホールド点の電圧と電流である。

発振持続状態における発振周期 T は、 NRF の ON 時の内部抵抗を無視すれば、コンデンサ C の端子電圧が、 V_{HL} から V_{TL} に充電される時間であり、

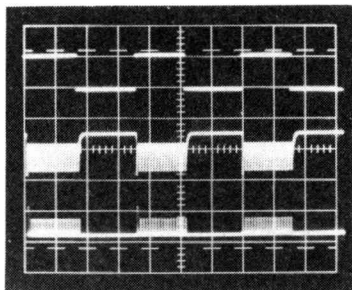
$$T = CR \ln \left(\frac{V_{CC} - V_{HL}}{V_{CC} - V_{TL}} \right) \quad (3)$$

で求められる。

LEDの電流
($V: 2\text{mA/div}$)

Cの端子電圧
($V: 20\text{V/div}$)

LEDの電流
($V: 30\text{mA/div}$)



($V_{CC} = 34\text{V}, R = 3\text{K}\Omega, C = 0.04\mu\text{F}$)
($H: 5\text{ms/div}$)

図12. 動作波形

図12は、 $V_{CC} = 34\text{V}$ 、 $R = 3\text{K}\Omega$ 、 $C = 0.04\mu\text{F}$ に設定した場合の動作波形を示したものである。

図7に示した $RNRFR$ 回路を用いた場合にも同様に動作させることができ、さらに FM 変調器として利用できるがここでは省略する。⁽⁵⁾

5. む す び

本稿では、光結合 FET タイプのホトカプラが、光制御可能な S 形負性抵抗特性を呈示するオプトロニック能動素子として利用できることを実験的に明らかにした。

応用例として S 形発振器を構成しオプトロニックに発振制御できることを示した。

今後は本 S 形特性を変調動作に応用することを試みる

予定である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた大阪市立大学工学部 北浜安夫教授ならびに志水英二助教授にお礼申し上げます。また実験にご協力いただいた本校技官 山本善啓氏に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 高橋, 山内, 北浜: “ホトカプラによる負性抵抗回路とその応用,” 電子通信学会論文誌(C), J61-C, 8, P497。(昭和53年8月)
- (2) 高橋, 山内: “光結合アナログ FET による電流制御負性抵抗特性,” 昭54電気関係学会関西支部連合大会G12-6。(昭和54年11月)
- (3) 高橋, 山内: “光結合 FET による S 形負性抵抗特性,” 昭55電子通信学会総合全国大会, No.447。(昭和55年3月)
- (4) 高橋, 山内: “光結合 FET を用いた S 形負性抵抗回路,” 電子通信学会論文誌(C), J63-C, 7, P448。(昭和55年7月)
- (5) 高橋, 山内, 山本: “光結合 FET による S 形負性抵抗特性(II),” 昭55電子通信学会光・電波部門全国大会, No.380。(昭和55年9月)

空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置 (Ⅳ)

山内 雅好・高橋 晴雄・堤 捨男*

The New Method for the Yarn-Speed Measurement Using the Spatial Filter

Masayoshi YAMAUCHI, Haruo TAKAHASHI and Suteo TSUTSUMI

本報告は、空間フィルタを用いた糸の送り速度測定に際して、空間フィルタ出力信号の周波数測定に、マイクロコンピュータを利用して測定する方法について述べたものである。このことにより、従来の周波数カウンタによる測定に比較して、信号に含まれる系雑音や位相転換によるミスカウントが減少でき、測定精度の向上が期待できる。

1. ま え が き

空間フィルタを用いた糸の送り速度測定法は、連続的に直線運動をしている糸のむらがつウィーナ・スペクトルの特定空間周波数成分を、一次元狭帯域通過特性を有する空間フィルタにより抽出し、糸の速度が時間周波数に変換されることを利用して、その時間周波数を測定することにより、糸の速度を知るものである。

筆者らは、先にこの時間周波数の測定に周波数カウンタを用いて測定した結果について報告し、信号に含まれる系雑音や位相転換による誤差が問題であることを指摘した。

位相転換による誤差とは、信号の周波数が一定であっても、ある時点で位相が急変した場合、シュミットトリガ回路で方形波に波形成形すると、その部分の周期(周波数)が変化することをいう。

この位相転換や雑音の影響を減少させる方法として、PLL(Phase Locked Loop)回路を利用することが考えられる⁽¹⁾。これは、PLLがロック状態にある場合のみ周波数をカウントし、位相転換や雑音によってアンロック状態になれば、カウントしないという方法である。しかし、この方法は、アンロック状態になった時点で、それまでカウント中であったデータをクリアし、次のロック状態で一からカウントしなおさなければならない。したがって、頻りにアンロック状態になるような測定対象の場合には不向きである。また、回路構成が複雑、応答速度、ロックレンジの自由な設定が困難といった欠点

がある。

本報告は、マイクロコンピュータを利用して、この時間周波数を測定する方法、ならびに実験結果について述べ、測定精度が向上できることを示している。

2. 測定原理

空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置の原理については、これまでに述べてきた⁽³⁾⁽⁵⁾。本報告では、マイクロコンピュータを用いて、方形波に波形成形された検知器出力信号の周波数を測定する方法について述べる。

図1は、その原理を示したブロック図である。被測定周波数に比べ十分高い周波数をもつ基準クロック発生器とカウンタを用いて、被測定信号の各一周期分の時間(周期)を測定する。測定された周期データは、マイクロコンピュータに読み込まれ、移動平均が計算される。このとき、読み込まれた周期データは、その時点での移動平均値に対してある定められたしきい値と比較され、データの有効・無効が決定される。すなわち、平均値に対するデータと平均値との差の割合が定められたしきい値よ

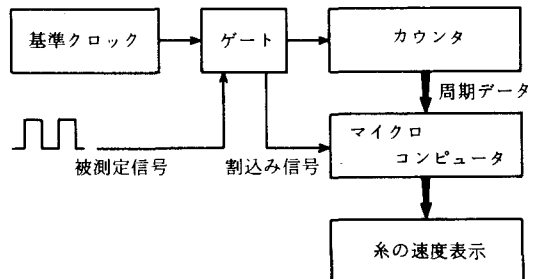


図1. 周波数測定ブロック図

*京都工芸繊維大学工芸学部電子工学科教授

り大きい場合、データは無効と決定され、このデータについては移動平均がとられない。このことにより、糸の速度が急激な変動をしないかぎり、信号の系雑音や位相転換の影響を減少させることができる。なお、周期の移動平均値は、マイクロコンピュータにより、糸速に変換され、適当な出力装置に出力される。移動平均値を計算する際のデータ個数は、精度ならびに積分時間により決定される⁽⁶⁾。

3. 実験装置および方法

3.1 測定装置

図2は、糸の速度測定のための被測定周波数信号を得るまでの装置構成を示したものである。実験に使用した空間フィルタは、ホトダイオード・アレイを用いた有極性柵状レティクル⁽⁵⁾(スリット間隔 $a=1.688[\text{mm}]$, スリット数 $n=13$)である。空間フィルタに照射する糸の像は、従来の糸の影の像ではなく、糸の前方より糸に光を照射し、糸の光の反射像を写真レンズで拡大、結象させた。これは、糸のウィーナ・スペクトルの低周波成分の減少と、糸のねじり幅を測定するためである。(糸のねじり幅の測定については、本報告では述べない。)検知器出力信号は、増幅ならびに高低周波数成分を除去したのち、シュミット・トリガ回路によって方形波に波形成形した⁽⁵⁾。

図3は、シュミット・トリガ回路出力信号の各一周期の周期を測定するための回路構成を示したものである。

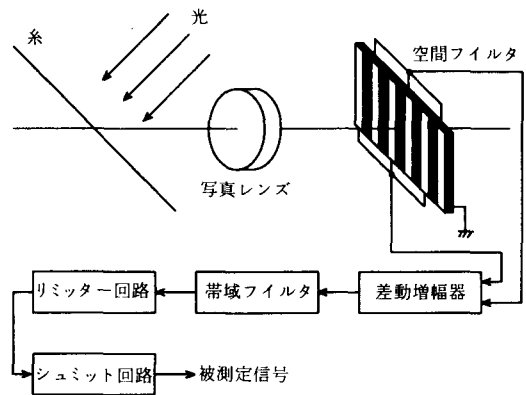


図2. 測定装置のブロック図

実験に使用したマイクロコンピュータは、便宜上、CPUにM6800を用いたマイコンキットを利用した。基準クロック発生器は、被測定周波数が数10~数100[Hz]であることを考慮して、1[MHz]水晶発振器を用い、カウンタは16進4桁(16ビット)とした。使用したマイクロコンピュータは、8ビットCPUであるため、データセレクタによって下位8ビット、上位8ビットに分け、2度の読み込み処理により、1つの周期データを読み込んだ。

図4は、そのタイミングチャートを示したものである。各周期データは、被測定信号の立上りから立上りまで連続して測定するため、データ・ラッチから次のカウント開始までの時間幅が無視できるように、基準クロックの

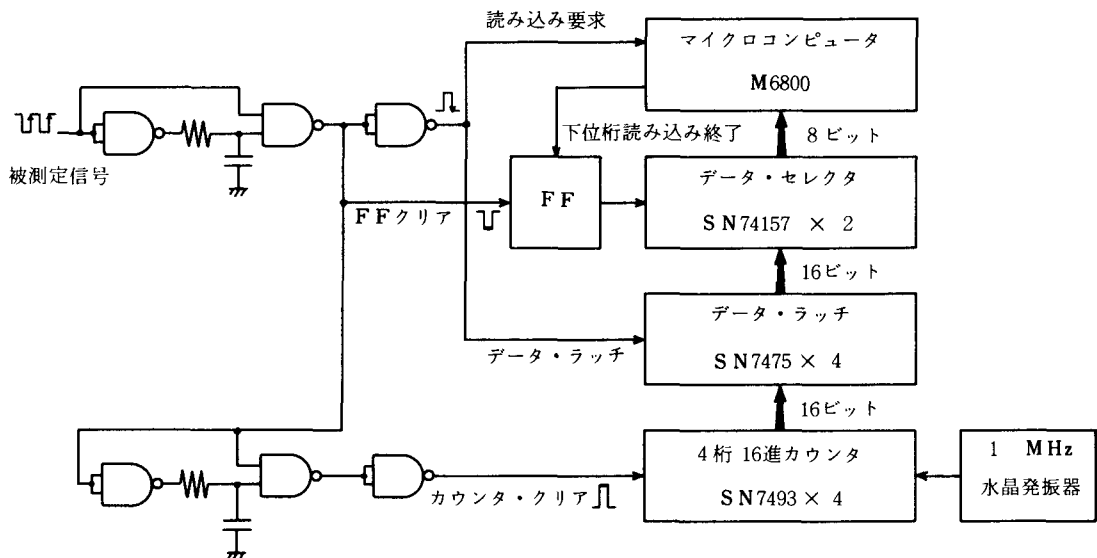


図3. 周期測定装置の構成

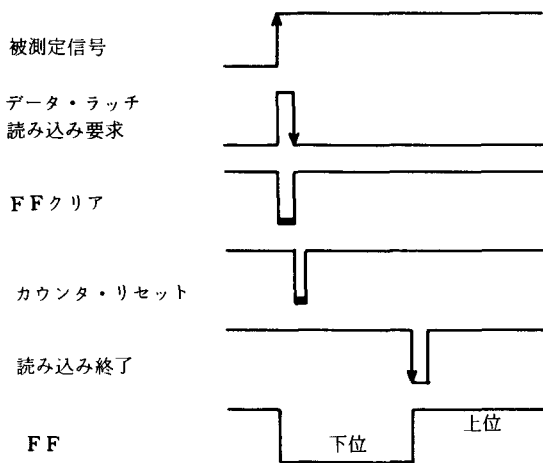


図4. データ読み込みのタイミング

1 [μs] に比べ十分小さくした。

なお、CPUのクロックには1 [MHz] を用いた。したがって、そのマシンサイクルは1 [μs] である。

3.2 データ処理の方法

図5は、マイクロコンピュータによるデータ処理の概要を示したものである。初期設定として、移動平均値を計算する際のデータ個数N、有効・無効判定のためのしきい値等のパラメータの設定を行ない、また比較のための初期平均値は、無条件にN個のデータを読み込み計算する。

メインルーチンは、その時点での移動平均値(周期)を周波数(または糸速)、ならびにBCD変換を行ない、7セグメント発光ダイオードに出力表示することをくり返す。

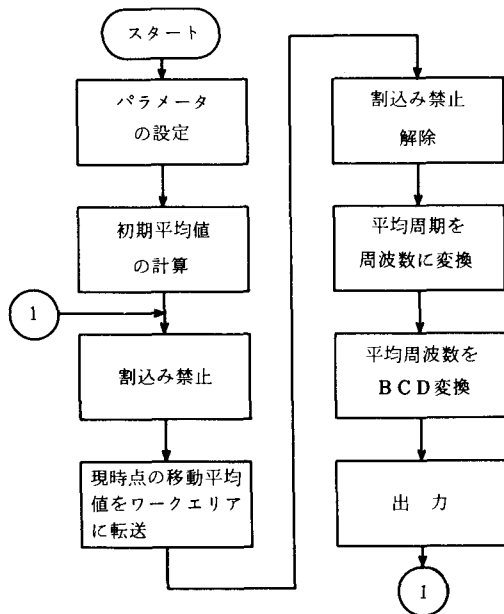
周期データの読み込み、ならびにしきい値との比較は、割込み処理ルーチンで行ない、有効と判定された場合、移動平均値を更新する。すなわち、いま読み込まれた周期データとN個のうち最も以前に読み込まれた周期データとを代入え平均値を計算しなおす。なお、無効と判定されたデータが連続して、ある定められた設定値以上に読み込まれた場合、周波数(糸速)が急激に変化したとみなし、新たに初期平均値の計算処理へ移る。

本実験に使用したプログラムは、機械語で0.5Kバイト、ならびにデータ・ワークエリアとして0.5Kバイトであった。

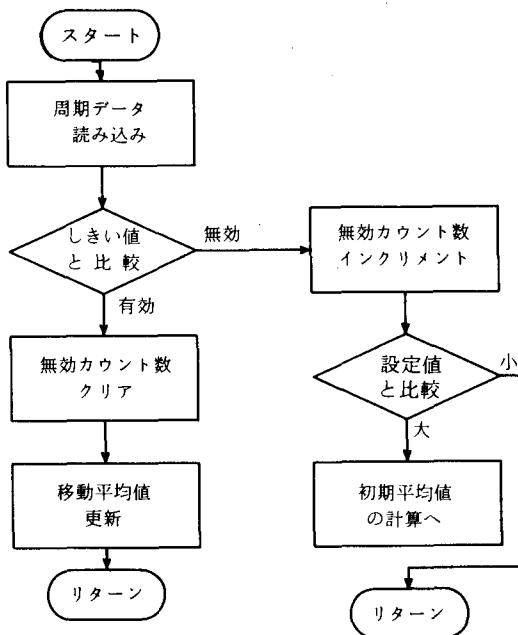
4. 実験結果および検討

表1は、3種類の糸に対して、しきい値20[%]、およびしきい値無し、すなわちすべての周期データを有効として、無条件に移動平均を計算した場合の平均値、なら

びにばらつきを測定した結果である。ただし、移動平均値を計算する場合のデータ個数Nは、積分時間⁽⁶⁾を約1秒とするため、ほぼ平均周波数と等しく選んだ。また、



(a) メインルーチン



(b) 割込みルーチン

図5. データ処理のフロー

表の平均値,ならびにばらつきの測定は,N個の周期データがすべて更新されると思われる時間間隔で256回測定した周波数の平均,およびその平均値に対する標準偏差の割合である。糸の速度は,すべて約0.21 [m/s]であるが,糸の種類によって平均周波数が異なるのは,図2の写真レンズの倍率を変化させているからである⁽⁶⁾。

表1. しきい値有・無の比較

	しきい値20 [%]		しきい値無し	
	平均[Hz]	ばらつき	平均[Hz]	ばらつき
木綿糸	198.2	0.68[%]	197.9	0.83[%]
たこ糸	160.3	0.93	159.9	1.23
レース糸	180.2	0.93	179.5	1.14

表2. しきい値に対する有効率の比較(木綿糸)

しきい値[%]	有効率[%]	ばらつき[%]
100	100	0.82
50	99.7	0.78
30	98.5	0.68
20	96.6	0.63
10	88.9	0.46
5	66.7	0.40

表3. 各糸の有効率の比較

	しきい値20 [%]		しきい値10 [%]	
	有効率	ばらつき	有効率	ばらつき
木綿糸	96.6 [%]	0.63 [%]	88.9 [%]	0.46 [%]
たこ糸	93.0	1.07	80.6	0.69
レース糸	95.3	0.97	86.0	0.82

しきい値を設けることによって,ばらつきが小さくなることは,表1の結果からも明らかである。しかし,しきい値を小さくすればする程,ばらつきは小さくなるが,読み込んだ周期データのうち有効と判定されるデータの割合(データ有効率)は減少すると考えられる。

表2は,木綿糸に対して各しきい値に対するデータ有効率とばらつきを測定した結果である。表3は,3種類の糸に対して,データ有効率を測定した結果である。

表1~3より明らかなように,糸の種類によって,同一

しきい値に対するばらつき,およびデータ有効率が異なるが,これはその糸のもつむらの性質の違いによるものと思われる。したがって,しきい値は,測定対象である糸のむらの性質,ならびに時間に対する糸速の変動率を考慮して,決定する必要がある。また,データ個数Nは,糸速変動率,ならびに測定目的によって決定される。

今後,糸のむらの性質と位相転換,およびしきい値に対して統一的な見解を検討する必要がある。

5. あとがき

実験結果からも明らかなように,マイクロコンピュータを利用した,本周波数測定法は,従来の周波数カウンタを用いた測定法に比較して,位相転換等のミスカウンタによる誤差が減少でき,測定精度の向上が期待できる。

また,一般に空間フィルタを用いた速度測定法は,最終的に,検知器出力信号のパワースペクトルの中心周波数を測定することになる。したがって,本測定方法は,糸の速度測定に限らず,空間フィルタを用いた速度測定全般において応用することができる。

さらに,マイクロコンピュータを利用していることにより,制御信号の発生,データ出力形式・パラメータの変更,およびプログラムの変更等が容易に行なえ,空間フィルタを用いた速度測定システムにおいて,有力な一要素となることが期待できる。

文 献

- (1) 畑雅恭・古川計介：“PLL-ICの使い方”，(産報)
- (2) 堤・山内：“空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置の試作”，電気学会全国大会(昭.48)
- (3) 堤・山内：“空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置の試作”，奈良高専研究紀要(第9号)
- (4) 山内・高橋・堤：“空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置”，電気関係関西支連大(昭.51)
- (5) 山内・高橋・堤：“空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置(II)”，奈良高専研究紀要(第12号)
- (6) 山内・高橋・堤：“空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置(III)”，奈良高専研究紀要(第13号)

ニトロプルシドナトリウムを用いる ケトンのニトロソリシス反応機構

石 垣 昭

Reaction Mechanism of Nitrosolysis of Ketones Using Sodium Nitroprusside

Akira ISHIGAKI

The reaction mechanism of some aromatic ketones with sodium nitroprusside (NP) has been theoretically investigated by HMO method. The most probable mechanism is as follows. Initially, α -hydroxyiminoketones are formed from the ketones with NP as the ligand of prusso complex ions. When the frontier electron density of LUMO on the carbonyl carbon atom is too high, solvolytic cleavage of the ligands occurs by the attack of nucleophilic reagents (RO^- , HO^-) onto the carbonyl group. The solvolysis is promoted, when the π -overlap between carbonyl and oxim carbon atoms of the ligands has decreased by the steric strain due to conformation of the ligands or the prusso complex formation. Many experimental facts support the reaction mechanism.

1. 緒 言

著者らはニトロプルシドナトリウム(以下NPと略記)がメタノール中、アルカリ存在下にシクロヘキサノンと反応して着色した錯体を形成し、この錯体を酸で処理すると室温下で δ -シアノ吉草酸が好収率で生成する事実を見出した。また、この方法をシクロアルカノン類との反応に適用して、シクロアルカノン類から相当する炭素数の ω -シアノカルボン酸を好収率で合成する方法に発展させた。さらに、この反応では中間体として α -オキシイミノケトン配位子とするペンタシアノ鉄(II)錯体(プルソ錯体)が生成し、この配位子が酸の存在下に、Beckmann開裂反応によって炭素-炭素結合が開裂するとの結論に達した。また、開裂生成物の末端シアノ基の窒素原子はNPのニトロシル($-\text{NO}$)配位子の窒素原子が導入されたものであることを同位元素を用いる方法で実験的に確認し、これらをまとめて報告した。⁽¹⁾

著者らはさらに、この方法を芳香族ケトン類に適用し反応生成物を検討した。この結果、縮合環状ケトンではケトン基を含む環の大きさによって環が開裂する場合としない場合があること。ベンジルフエニルケトンでは、炭素-炭素結合が開裂する反応が主として起るのに対しアルキルフエニルケトンではアルキル基の鎖長によって

炭素-炭素結合が開裂する場合としない場合があること等、興味ある事実を見出した。^{(2),(3)}

炭素-炭素結合が開裂しない場合、ケトン基の α 位がニトロソ化された α -オキシイミノケトンが得られており、炭素-炭素結合が開裂する場合でも、前駆体として α -オキシイミノケトンが着色錯体の配位子として生成し、これが加溶媒分解して炭素-炭素結合が開裂した生成物を与えると考えることができる。前者はケトンの α 位のイソニトロソ化反応、後者はケトンのニトロソリシス反応に分類できる。

本報告では中間体の着色錯体の配位子として生成する α -オキシイミノケトンの立体配位の変化が、ケトン基とオキシイミノ基の電子状態にどのように影響するかをHMO法により検討し、炭素-炭素結合がどのような場合に開裂しやすくなるかを調べた。このような分子軌道理論による結果と実験事実を総合して、合理的なニトロソリシスの反応機構を知る手がかりを得ようとした。

2. 方 法

前記のようにケトンとNPとの反応ではイソニトロソ化がおこる場合とニトロソリシスがおこる場合がある。ニトロソリシスはBeckmann開裂反応が主因であり、つぎに示すような α -オキシイミノケトンの求核試薬(例え

ば RO^- , HO^-) による反応と考えられる。(4)(図1)

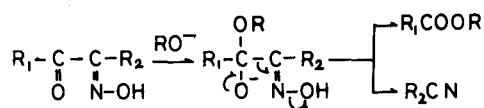


図1 求核試薬によるBeckmann 開裂機構

福井らのフロンティア軌道理論によれば、求核試薬による反応では原子軌道の最低空軌道(LUMO)のフロンティア電子密度が高い原子の部位が求核試薬の攻撃を受けやすいとされている。(5)

本研究では α -オキシミノケトンの π 電子系についてHMO法による分子軌道計算を行ない、分子の立体配位による各原子部位のフロンティア電子密度、形式荷電その他の変化を調べ、ニトロソリシスのおこりやすい状態ではどのような立体配位をとるものであるかを理論的に検討した。

検討の対象として、ベンジルフェニルケトンとNPの反応中間錯体の配位子と考えられるベンジルモノオキシム、ならびに芳香族縮合環状ケトンである5員環の α -インダノン、6員環の α -テトラロンおよび7員環の α -ベンズスベロンとNPの反応中間錯体の配位子と考えられる α -ジケトンのモノオキシム(図3参照)を選んだ。以下、前者(ベンジルモノオキシム)を配位子I、後者(芳香族縮合環状 α -ジケトンのモノオキシム)を配位子IIと略称する。

2. 1 分子軌道計算のための軌道モデルの設定

分子軌道計算と解析を単純化するため、つぎの π 軌道モデルを設定して計算を進めた。

配位子Iの軌道モデルではベンゾイル基とベンゾイルオキシム基の各 π 軌道はそれぞれの平面上にあるとし、この二つの平面のなす相対角 θ が立体配位により変化すると考えて計算をすすめた。(図2)

配位子IIの軌道モデルではつぎのように考えた。この場合、分子は最も安定な立体配位をとるが、その形は環員数によって異なる。その立体構造は剛直で自由度に乏しく、配位子として結合した状態でも他の配位子の影響で立体配位が大きく変化することはないと考えられる。そこでベンゼン環の平面、カルボニル基の π 軌道面、オ

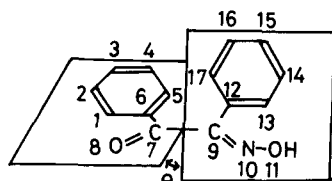


図2 配位子Iの立体配位モデル

表1 θ_1 , θ_2 の推定値

環員数	θ_1 (度)	θ_2 (度)
5 ($n=1$)	0	0
6 ($n=2$)	0	45
7 ($n=3$)	60	90

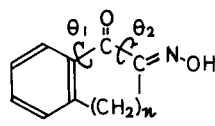


図3 配位子II

($n=1\sim 3$)

キシム基の π 軌道面がそれぞれ θ_1 , θ_2 で交わるとして計算をすすめた。(図3)

この θ_1 および θ_2 の推定値は、それぞれの配位子の分子模型を組み、それぞれの角度を実測した値を用いた。これらの値を表1にまとめて示す。

2. 2 クーロン積分値、共鳴積分値と演算

ヘテロ原子のクーロン積分値、共鳴積分値は文献によって各種の値がとられているが、本研究では米沢らの著書に記載の方法によって評価した値を用いた。(5) また、ねじれ角 θ のP軌道間の共鳴積分値はねじれない場合の値に $\cos\theta$ を掛けて評価した。(6)

永年方程式の解を求める計算プログラムは既成のプログラムの一部を手直しして用いた。計算は本校に設置されている電子計算機MELCOM91000によった。

3. 結果

3. 1 配位子Iについての計算結果

図2のねじれ角 $\theta=0$ の場合について永年方程式の解を求め、その結果を用いて得た主要な部位の形式荷電と求核反応のフロンティア電子密度を表2に示す。

また、配位子の各部位の中で最もフロンティア電子密度がLUMOにおいて大きい、カルボニル炭素上の形式荷電、フロンティア電子密度のねじれ角 θ による変化、全 π 電子エネルギーの θ による変化を表3に示す。

表2 配位子I ($\theta=0$)の主要部位の Q_r と $f_r^{(N)}$

位置*	形式荷電 Q_r	フロンティア電子密度 $f_r^{(N)}$
7	+0.32	0.31
8	-0.70	0.12
9	+0.03	0.02
10	-0.12	0.16

* 位置を示す番号は図2を参照のこと。

表3 カルボニル炭素の Q_r , $f_r^{(N)}$, E_π の配位子 I のねじれ角 θ による変化

θ (度)	Q_r	$f_r^{(N)}$	全 π 電子エネルギー E_π^*
0	+0.32	0.31	28.2
30	+0.33	0.32	28.1
60	+0.38	0.40	27.8
90	+0.41	0.45	27.7

* 単位 eV

3.2 配位子 II についての計算結果

5員環から7員環の配位子 II について、表1のねじれ角の値を用いて計算した結果の中から、主要な部位の形式荷電、フロンティア電子密度、全結合次数を選んで表4および表5にまとめて示す。

表4 配位子 II のカルボニル炭素部位の Q_r と $f_r^{(N)}$

環員数	形式荷電 Q_r	フロンティア電子密度 $f_r^{(N)}$
5	+0.30	0.25
6	+0.35	0.30
7	+0.51	0.71

表5 カルボニル炭素-オキシム炭素間ならびにオキシミノ窒素-酸素間の全結合次数 P_{rs}

環員数	CO-C(NOH)間の P_{rs}	N-O間の P_{rs}
5	1.23	1.20
6	1.17	1.16
7	1.00	1.12

4. 考 察

ベンジルフェニルケトンは NP と着色錯体を形成するが、分解生成物として安息香酸とベンゾニトリルを与える。この反応では着色錯体の配位子としてベンジルモノオキシム(配位子 I)がまず生成し、これが分解して、安息香酸とベンゾニトリルになると考えることができる。

(図1参照)

しかし、一般にベンジルモノオキシムは安定であってうすい酸で処理する程度では室温では全く分解しない。

錯体として鉄(II)に配位した状態で、うすい酸の作用で室温下で円滑に分解する事実を説明するためには配位状態で不安定な状態にあることを支持する根拠が必要となる。

この分解反応は前述のように Beckmann 開裂反応であり、求核試薬によるカルボニル炭素の攻撃によっておこるとされている。

表2に示す結果から、ねじれない状態の π 電子系でもカルボニル炭素の部位が形式荷電が正で最も電子密度が低く、負に帯電した求核試薬の接近に有利となっており、求核反応のおこりやすさの指標となる LUMO のフロンティア電子密度も最も高い値を示し、カルボニル炭素が求核試薬の攻撃を受けて反応を開始する反応開始点として最も可能性が大きいことを裏づけている。

表3に示す全 π 電子エネルギーの値からみてベンジルモノオキシムはねじれない状態が最も安定と考えることができる。したがって、配位状態にない遊離のベンジルモノオキシムはねじれない平面的な立体配位をとる

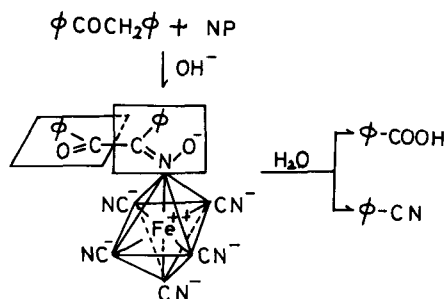


図4 ベンジルフェニルケトンと NP との反応過程

と考えることが妥当である。実験事実から遊離のベンジルモノオキシムは簡単には分解しないので、フロンティア電子密度の値が表2に示す 0.3程度では求核試薬の攻撃を受けても開裂反応をおこすには到らないとすることができる。

カルボニル炭素では、ねじれ角 θ が 90 度に近くなるに従いフロンティア電子密度は増大し、求核試薬との反応性が大なる傾向を示す。また、試薬の接近を有利にする形式荷電もより陽電荷が大となる。逆に、分子全体の π 電子エネルギーは減少し、この点からも分子全体が不安定となり、求核反応にともなう活性化エネルギーが減少して反応しやすい状態に近づくことを示す。(表3参照)

以上のことを考慮するとベンジルフェニルケトンと、NP との反応では図4に示すようなベンジルモノオキシムを配位子とするペンタシアノ鉄(II)錯体が生成し、配位子相互の立体配置の関係でベンジルモノオキシムがね

じれた立体配位をとらざるを得ず、必然的に求核試薬、(OH⁻, RO⁻)の攻撃を受けてBeckmann 開裂反応をおこし、安息香酸ならびにそのエステル、およびベンゾニトリルを生成する反応機構が分子軌道計算結果より支持される。

つぎに、芳香族縮合環状ケトンとNPの反応により生成すると考えられる配位子IIについての計算結果では、5員環、6員環の場合、LUMOのフロンティア電子密度の値は0.3程度以下であり、前述のように、この程度の値では環の開裂反応はおこらないと予想される。しかし、7員環では0.7程度の値となり、配位子Iのねじれ角90度の場合の値を上回っており、当然、開裂反応がおこると予想できる。(表4参照)

これらの予想は実験的にも裏づけられ、5員環の α -インダノン、6員環の α -テトラロンからは配位子IIの構造に相当する化合物が得られるのみで、環の開裂生成物は認められない。これに対し、7員環の α -ベンゾスベロンからは環の開裂した末端にシアノ基を持つアルキル安息香酸誘導体が得られ、上記の理論的予測を裏づけている。表5の結果からも、環員数の増加とともに炭素-炭素間ならびに窒素-酸素間の結合次数が低下することを示しており、この点からも図7に示した、求核試薬の作用によるBeckmann 開裂反応が7員環では、おこりやすくなっていることを示している。

5. 結 言

ケトン類とNPとの反応でイソニトロ化とニトロシリシスがおこり、しかもケトンの種類によって両方、あるいは、何れか一方が優先しておこる実験事実をHMO

法を用いて統一的に解釈することができた。この結果、従来、単に推定にとどまっていた反応機構について、それが決して不合理ではないことの理論的根拠を得た。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、実験に協力を戴いた本校化学工学科大植正敏講師ならびに卒業研究生の諸君、特に、HMO計算プログラムのチェック、演算に協力戴いた、西口秀和君に感謝します。さらに研究にご協力戴いた、大阪大学工学部庄野利之教授ならびに同研究室のかたがたにお礼申し上げます。

文 献

- 1) A. Ishigaki, M. Oue, Y. Matsushita, I. Masuda, and T. Shono, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **50**, 726 (1977)
- 2) 石垣ら, 日本化学会第34春季年会講演要旨集, 3G 37 (1976)
- 3) 石垣ら, 日本化学会第36春季年会講演要旨集, 1T 39 (1977)
- 4) A. F. Ferris, *J. Org. Chem.*, **25**, 12 (1960)
- 5) 米沢ら, “量子化学演習”, 化学同人, (1970) pp. 23, 107
- 6) A. Streitwieser, Jr., “Molecular Orbital Theory for Organic Chemists”, Jhon Wiley & Sons, N.Y. and London (1961) pp. 105

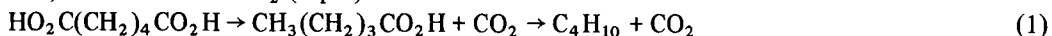
Heterogeneous Photocatalytic Decarboxylation of Adipic Acid Production of Butane via the Photo-Kolbe Reaction

Ikuichiro IZUMI, Fu-Ren F. FAN* and Allen J. BARD*

The heterogeneous photocatalytic decomposition of adipic acid in deaerated aqueous solutions containing a suspension of platinized TiO₂ (anatase) powder leads to the formation of CO₂ and butane with lesser amounts of valeric acid and negligibly small quantities of oligomeric materials. A mechanism for this photo-Kolbe reaction, which yields different product than the electrochemical Kolbe reaction, is proposed.

1. Introduction

The photoelectrosynthetic and photocatalytic reactions occurring on semiconductor powders have been the subject of a number of studies.¹⁻⁴⁾ The heterogeneous photocatalytic decarboxylation of saturated monocarboxylic acids by irradiation of platinized TiO₂ powder (Pt/TiO₂) suspended in the solution has been shown to generate uncoupled hydrocarbon products rather than the alcohols or coupled products produced in the electrolytic Kolbe reaction.^{1b)} The electrolysis of dicarboxylic acids in aqueous media has been reported to yield olefins and alcohols, containing two carbons less than the starting material.⁵⁾ The photooxidation of dicarboxylic acids on Pt/TiO₂ could undergo several different reaction pathways and yield different products from those in electrochemical Kolbe reactions on metal electrodes. Moreover the nature of the products formed could provide insight into the path of the photo-Kolbe reaction. We report here the heterogeneous photocatalytic decomposition of adipic acid, a six-carbon saturated aliphatic dicarboxylic acid, on Pt/TiO₂ to yield n-butane, valeric acid and CO₂ (Eq. 1).



This predominant decarboxylation reaction to yield an uncoupled alkane thus follows previous studies from this laboratory in which unactivated monocarboxylic acids at ambient temperature are decomposed efficiently to the corresponding alkanes in a reaction pathway different from the electrochemical one.

2. Experimental

A typical experiment was performed as follows. In a Pyrex cell connected to a gas volumetric system, 25 ml of a mixture of 0.365 g (0.10 M) adipic acid (Baker grade, Baker Chemical Co.), 12.5 ml 0.2 M sodium hydroxide, distilled water and 100 mg of partially platinized n-type TiO₂ powder (anatase)⁶⁾ was irradiated with a 2.5 kw xenon lamp (operated at 1.6 kw) while stirring at 40°C. Before irradiation the mixture was deaerated with nitrogen. After the irradiation for 40 h, the gaseous products, which were collected in a gas volumetric system, were analyzed by GC-mass spectrometry. The mass spectrum for the separated gas components showed signals corresponding to carbon dioxide, m/e = 44; n-butane, m/e (rel. intensity) = 43 (100), 41 (31.8), 42 (15.1), 58 (14.0), 39 (11.7); and hydrogen, respectively. The identity of n-butane was confirmed by comparison with a standard sample [43 (100), 41 (27.2), 42 (12.8), 58 (16.8), 39 (9.6)]. No additional gaseous reaction

* Department of Chemistry, The University of Texas at Austin

products such as cyclobutane or butene were obtained. The yield of carbon dioxide was determined quantitatively by trapping as BaCO_3 in a separate experiment.*¹ After irradiation the colorless reaction mixture, which had an unpleasant odor, was adjusted to pH 10 with 0.2 M NaOH and extracted with ether. No neutral products nor organic bases were obtained from the ether layer. The aqueous layer was acidified to pH 1–2 with 1 M HCl and then extracted with a large amount of benzene. The aqueous layer was further extracted with ether to yield unreacted adipic acid (m. p. 148–150°C compared to 149–151°C for a standard sample).² The benzene layer was dried over Na_2SO_4 and evaporated under reduced pressure at 40°C to give valeric acid as a liquid product. The infrared spectrum of the product was identical to the spectrum of a standard sample of valeric acid, with strong absorption at wave numbers (cm^{-1}) of 530–560, 950, 1120, 1235, 1295, 1430, 1735 and 3000. Several control experiments in the absence of Pt/TiO₂ and without irradiation*³ under similar conditions as described above resulted in only minute amounts of carbon dioxide corresponding to $\sim 6 \mu\text{mol/h}$ (determined as BaCO_3).

3. Results and Discussion

The amount of CO_2 evolved as a function of time of irradiation of the adipic acid solutions in

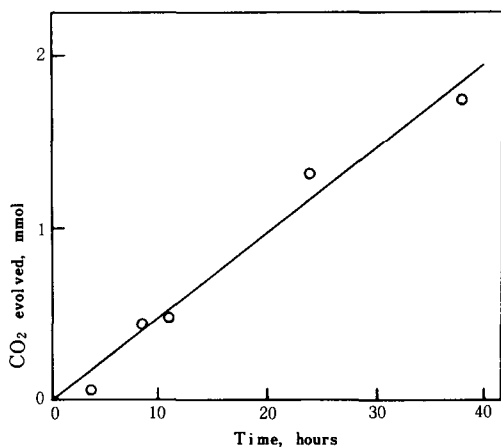


Fig.1 CO_2 yield as a function of the time of illumination of 37.5 ml 0.067 M deoxygenated adipate solutions with 100 mg of suspended 10% platinized anatase powder irradiated with a 2.5 kW xe lamp (operated at 1.6 kW) at $\sim 40^\circ\text{C}$.

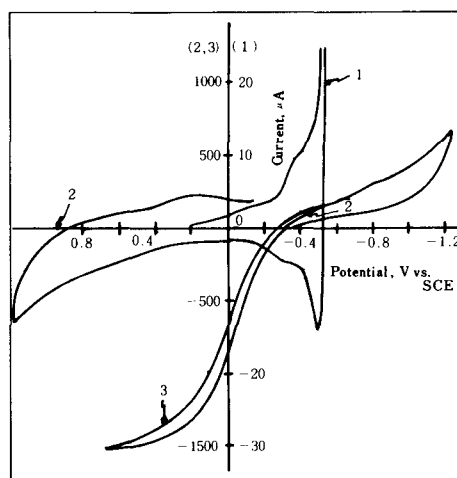


Fig.2 Current-potential curves at Pt and n-type TiO_2 single crystal electrodes in 0.5 M NaClO_4 solutions containing 0.10 M adipic acid half-neutralized with NaOH. A 450 W xe lamp fitted with a water filter was the light source. Scan rate, 100 mV/sec.

1. Pt. Initial potential, 0.20 V vs. SCE.
2. n- TiO_2 in the dark. Initial potential, -0.31 V vs. SCE.
3. n- TiO_2 in the light. Initial potential, -0.31 V vs. SCE.

Curves 2 and 3 use the left-handed current scale and curve 1 uses the right-handed scale.

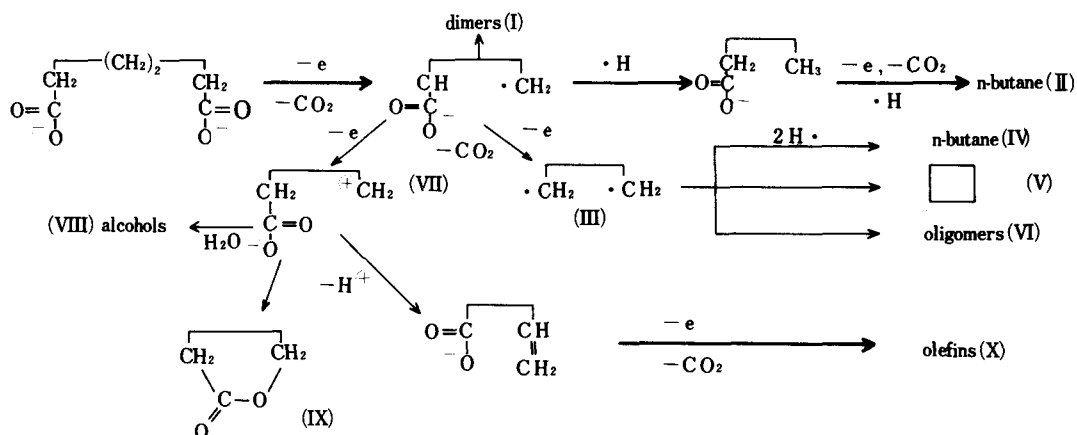


Fig.3 General scheme of adipic acid decarboxylation.

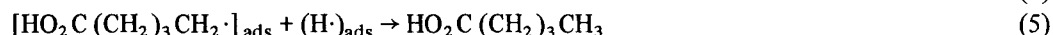
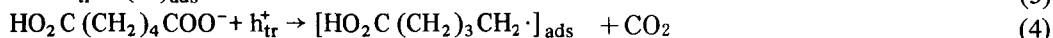
contact with Pt/TiO₂ is shown in Fig. 1. At the end of irradiation an analysis of the solution showed that the ratio of adipic acid reacted : CO₂ evolved : valeric acid : butane was 1.0 : 1.75 : 0.25 : 0.76. These results are in agreement with a basic mechanism in which the adipic acid decarboxylates to form valeric acid, which then decarboxylates further to produce butane, as formulated in Eq. (1). As shown in Fig. 1, the rate of production of CO₂ was constant at 50 μmol/h, suggesting that the decarboxylation rate is limited by the rate of charge carrier generation on Pt/TiO₂.

The photocatalytic activity of suspended platinized TiO₂ powder can be correlated with the behavior of TiO₂ and platinum electrodes in photoelectrochemical measurements, as was previously done for the photo-Kolbe reaction with acetic acid.^{1b)} Thus, the photoinduced oxidation of adipic acid (presumably as the adipate ion) on an illuminated n-type TiO₂ rutile single-crystal electrode takes place at slightly more negative potentials than the reduction of protons on platinum (Fig. 2). Therefore the photooxidation of adipate ions on n-type TiO₂ and the reduction of protons on platinum can easily take place simultaneously at the two electrodes under short circuit conditions, i. e., without applied potential. Moreover the photooxidation of n-valeric acid, the intermediate in the photooxidation of adipic acid to n-butane, on TiO₂ and the reduction of protons on platinum can also be rationalized by similar current-potential curves. Thus, as in previous studies,^{1b)} the Pt/TiO₂ powders act as a multitude of small, short-circuited electrode systems. Irradiation of the particle with light of energy greater than that of the band gap results in the creation of holes in the valence band (VB) and electrons in the conduction band (CB). These charge carriers can further be trapped at the interfacial active sites (tr) before they transfer to an oxidizable or reducible species.



Electrons can further move to platinum sites where proton reduction can take place easily. Holes trapped at the interfacial active sites lead to the oxidation of adipic acid or valeric acid.

-
- *1 The reaction gas mixtures were swept out of the reaction chamber with a stream of nitrogen and were bubbled through a saturated solution of Ba(OH)₂ in 0.2 M NaOH. The precipitated BaCO₃ was filtered off, washed well with distilled water, dried at 120°C and then weighed.
- *2 The ether layer obtained here was dried over anhydrous sodium sulfate and evaporated carefully under reduced pressure at room temperature to give a white crystal, adipic acid.
- *3 The control experiment in the dark was carried out with bubbling N₂ for one day. No CO₂ was precipitated as BaCO₃.



The breakdown of valeric acid then follows a similar route, leading to butane. Because valeric acid photodecarboxylation is so extensive in the presence of a higher concentration of adipic acid in solution, valeric acid is probably adsorbed on the powder surface resulting in its further reaction before much of it can escape into the bulk solution.

The products found for the adipic acid oxidation are useful in providing information about the path of the photo-Kolbe reaction, since several possible routes are possible, as shown in the scheme (Fig.3).

The Kolbe electrolysis of dicarboxylic acids has been reported to occur via carbonium ions (VII) and to produce alcohols (VIII), lactones (IX), and olefins (X)⁵⁾⁸⁾ Homogeneous photochemical reactions of dicarboxylic acids either in FeCl_3 solution^{7a)} or with uranyl salt as a sensitizer^{7b)} usually produce monocarboxylic acids. The results reported here showed that n-butane (II) was the predominant product during the photocatalytic decarboxylation of the adipic acid on Pt/TiO_2 with no cyclobutane (V) or oligomers (VI) obtained. This suggests that the diradical (III) was not formed. Whether any dimers (I) were formed is still not clear and bears further investigation. However their yield is very low, consistent with previous findings that radical intermediates react with $\text{H}\cdot$ or are reduced before extensive dimerization occurs. This probably can be attributed to the rather low surface density of adsorbed alkyl radicals at the prevailing light flux and catalyst surface area. The density of active sites on the catalyst powders may also be quite small. The lifetime of these adsorbed radicals is also sufficiently small that further oxidation to the carbonium ion by another photo-generated hole does not occur. This accounts for the difference between the products of the electrochemical Kolbe reaction (olefins and alcohols)⁵⁾ or oligomers (e. g. the Brown-Walker reaction)⁹⁾ and those of the photo-Kolbe reaction. To our knowledge, decarboxylation of dicarboxylic acids to form the corresponding n-alkanes with such a high yield (at least 75% of the adipic acid reacted converted to n-butane) has not yet been demonstrated.

References

1. (a) S.N. Frank, A.J. Bard, *J. Phys. Chem.* **81**, 1484 (1977); *J. Am. Chem. Soc.* **99**, 303 (1977) (b) B. Kraeutler, A.J. Bard, *J. Am. Chem. Soc.* **100**, 2239 (1978); **100**, 5985 (1978); **99**, 7729 (1977) (c) H. Reiche, A. J. Bard, *J. Am. Chem. Soc.* **101**, 3127 (1979)
2. (a) M. Formenti, S. J. Teichner, *Specialists Periodical Reports (The Chemical Society London)* **2**, Chap. 4 (in press). (b) J. C. Hemminger, R. Carr, G. A. Somarjai, *Chem. Phys. Lett.* **57**, 100 (1978)
3. T. Inoue, A. Fujishima, S. Konishi, K. Honda, *Nature* **277**, 637 (1979)
4. A. J. Bard, *Science*, (in press)
5. (a) B. L. Vanzetti, *Gazz. Chim. Ital.* **34**, II, 504 (1904); *ibid.* **37**, II, 338 (1907); *ibid.* **37**, II, 386 (1907) (b) B. C. L. Weedon, *Quart. Rev. (London)*, **6**, 380 (1952)
6. B. Kraeutler, A. J. Bard, *J. Am. Chem. Soc.* **100**, 4317 (1978); TiO_2 powders were photoplatinized to produce 10% Pt weight.
7. (a) J. A. Kuhnle, R. E. Lundin, A. C. Jr., *J. Chem. Soc., Commun.* **5**, 287 (1972) (b) G. E. Heckler, A. E. Taylor, C. Jensen, D. Percival, R. Jensen, P. Fung, *J. Phys. Chem.* **67**, 1 (1963)
8. C. G. Overberger, P. Kabasakalian, *J. Am. Chem. Soc.* **79**, 3182 (1957)

9. (a) A. A. Adamov, E. P. Kovsman, G. H. Freidlin, G. A. Tarkhanov, *Electrokhimiya* **11**, 1973 (1975) (b) E. P. Kovsman, G. N. Freidlin, Yu. M. Tyurin, *Khim. Prom. (Moscow)* **49**, 16 (1973) (c) N. L. Weinberg, (ed.), "Technique of Electroorganic Synthesis", Vol. V, Part I, Wiley & Sons: New York, 1974; p. 795

(The content of this paper will be partially reported in *J. Phys. Chem.*, (in press)).

アルコール類の構造とそれらの電気化学的挙動との関係

泉 生 一 郎

Relationship Between Structure Properties of Alcohols and Their Electrochemical Behavior

Ikuichiro IZUMI

ABSTRACT

The electrochemical behavior of alcohols with different numbers of C atoms and different structure was studied at a platinum anode in an alkaline solution. The behavior was mainly dependent on the number of H atoms bonded to the C atom with the OH group. A preceding dehydrogenation in the anodic oxidation of alcohols was followed by chemical and/or electrochemical oxidation of the reaction intermediates. The dehydrogenation proceeded via adsorption or through a chemical reaction with platinum surface oxides. Besides alcohols, some aldehydes and carboxylic acids were directed to the present work.

1. 緒 言

有機化合物の固体電極上でのアノード酸化についてはこれまで数多くの研究がなされている^{1)~6)}。しかしその実験条件が必ずしも厳密に制御されておらず、また反応の複雑さも加わって反応機作の体系づけがほとんど行なわれていない。そうした現状を考慮して、本研究では燃料電池の燃料として有用な低級アルコール類のアノード酸化について反応機作の体系化を試み、およそ成功したのでここに報告する。

酸性溶液中における低級アルコール類のアノード酸化は、表1に示したように最終的にメタノールでは二酸化炭素に、第2級アルコールではケトンにそれぞれ酸化され、第3級アルコールでは全く酸化されないものとされている⁷⁾⁸⁾。しかし、これらに共通の詳細な反応機作については今だほとんど明らかにされていない。そこで本研究ではアルデヒド及びカルボン酸を含むアルコール類のアノード酸化について、主としてサイクリックボルタンメトリーによって検討を行ない、反応機作の体系化を行なった。

2. 実 験

本研究はもっぱらボルタンメトリーによって実施した。

Table 1 Anodic oxidation products of alcohols.

$\begin{array}{c} \text{C}-\text{OH} \\ \text{H}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \\ \text{H}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \\ \text{H} \quad \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \text{O} \\ \text{O} \end{array}$
$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \text{H}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}=\text{O} \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}=\text{O} \\ \quad \quad \text{OH} \end{array}$	
$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\ \text{R} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R} \\ \text{R} \quad \text{C}=\text{O} \end{array}$		
$\begin{array}{c} \text{R} \\ \text{R} \quad \text{R} \end{array} \text{C}-\text{OH}$			

ポテンシオスタットは柳本製8-2010型を、X-Yレコーダーは理研電子製F42-B型とF42-C型を用いた。電位走査速度はサイクリックボルタンメトリーで60.6mV/sec、擬定常法で6.67mV/secとした。測定セルはガラス製で、作用極としてはA(0.5mmφ、長さ6.3mm)とB(1mmφ、長さ7.75mm)の2種類の線電極を用い、ルギン毛管によって参照電極(飽和甘汞電極、SCE)に通じ、ガラスフィルター(No.1)によって対極(20×15mm²)から分離されている。溶液の調製には2回蒸留水を用い、1M硫酸を基礎液とした。測定は全て窒素通気しながら30°Cで行なった。

本研究で扱った試薬は全て市販特級品で、次のようなものである。(1)炭素数1~4のアルコール類、(2)炭素数1と2のアルデヒド類とカルボン酸類、(3)2価及び3価

のアルコール類とカルボン酸類, (4)D-グルコース。

なお作用極Bと作用極Aの電極面積は、基礎液における酸化層形成の電流値(i)で比較し、 $i_A = 0.354 i_B$ となった。

3. 実験結果および考察

3.1 各種アルコールの電流-電位特性

1 M硫酸を基礎液としたメタノール, エタノール, 第1級および第2級プロパノール, 第1級から第3級までのブタノールの7種のアルコール水溶液についてサイクリックボルタンメトリーを行ない, エタノールについての代表的な電流-電位曲線を図1に示した。基礎液についてアノード電位走査で見られる0V(vs. SCE)よりも卑な電位領域での2つの電流ピークは吸着水素の酸化によるものであり, 0~0.6Vは非ファラデー電流に基づく電気二重層の充電領域, 0.6~1.2Vは白金表面酸化層の形成電位領域, そして1.2Vからの急激な電流の立ち上がりは酸素発生に基づいている。また, 基礎液についてカソード走査で見られる0.5V付近のピークは酸化層および酸素の還元電流ピークであり, 更に0Vより卑な電位

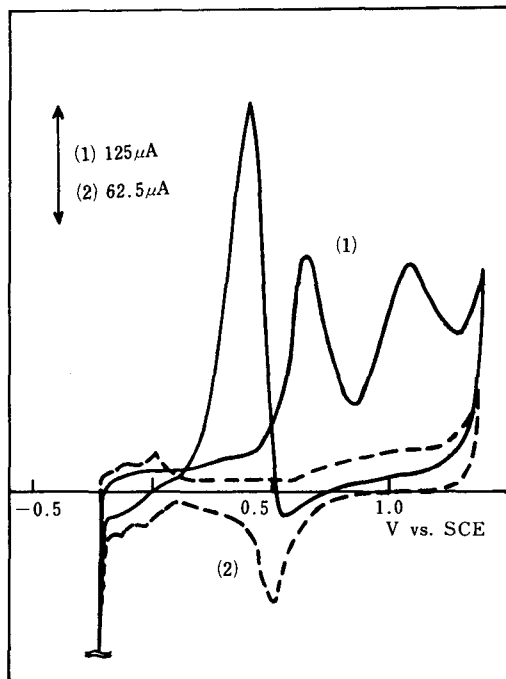


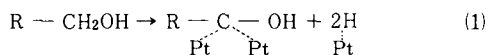
Fig.1 Current-potential curves.
—; 1M H₂SO₄ with 0.2M ethanol.
---; 1M H₂SO₄.

で水素吸着による2つのピークが生じ, 水素発生に至っている。

他方, アルコールの電流-電位曲線には, アルコールの種類による特徴があるばかりでなく共通した点が多く以下の傾向を見出した。

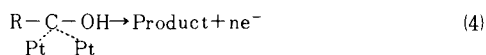
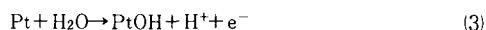
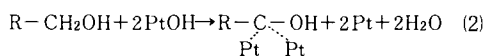
(a) 吸着水素領域 (0Vより卑な電位) この電位領域ではアルコールの種類による大きな相違が現われず, 基礎液での特徴的な水素の吸着波とそれらの酸化ピークが抑制された。唯一, 第2級プロパノールにおいて吸着水素の酸化ピークが抑制されなかった。吸着水素波に対するアルコールによる抑制効果は, 電極表面へのアルコール吸着に起因するものと考えられる。

(b) 電気二重層領域 (0~0.6V) 第3級ブタノールを除く全てのアルコールの酸化はこの電位領域で始まった。たとえばエタノールでは350mVでプラトー電流が観測され, 第2級プロパノールでは200mVから酸化され450mVでプラトー電流が現われた。E. Sokolova⁸⁾は, 第2級アルコールでは500mVで電流ピークが現われると報告している。上記の通り第2級プロパノールでは彼の報告と類似しているが, 第2級ブタノールでは, 相当する電流ピークが明瞭に観測されず, 後述の擬定常法でのみプラトー電流を生じた。OH基に隣接した炭素原子に水素をもたない第3級アルコールでは酸化波が見出せないことと, 自然浸漬電位付近で酸化電流が生じていることなどから, この電位領域では, H⁺とアルコールの競争吸着が起り, 吸着したアルコールの脱水素反応が次式に従って起こるものと推定した。



(c) 酸化層領域 (0.6~1.3V) 第3級ブタノールを除く全てのアルコールについて, 0.6~0.7Vと1.0~1.1V (メタノールでは1.2~1.3V) でそれぞれピーク電流が観測された。0.6~0.7Vでのピーク電流は電極上の酸化層の形成が進むにつれて低下し, この電位領域での反応は酸化層上でのアルコール酸化ではなく, 電気二重層領域におけるアルコール酸化であることを示している。従ってここでは, (1)式の機構によって吸着アルコールの酸化が優先して起こるものといえる。他方, 1.0~1.1Vではエタノールと第1級プロパノールのピーク電流値がほぼ等しく, 第1級ブタノールではその約2倍以上の電流値を与えた。第1級アルコールの分子量が大きくなるにつれてピーク電流が増大することや, 第1級アルコールの方が第2級アルコールよりも大きなピーク電流を与えることなどから, (2)及び(3)式の後続反応である(4)式の反応が白金酸化層の形成によって妨げられるものと考

えられる。即ち、第1級アルコールで、しかもその分子量が大きくなるほど、(3)式による酸化層形成が遅れるものと考えられる。



(d)カソード走査での陽電流ピーク (0~0.6V)

第3級ブタノールを除く全てのアルコールが、カソード電位走査で陽電流ピークを示した。そしてプロパノール、ブタノールと共に第1級の方が第2級のものよりもピーク電流値が大きくなった。カソード走査側における0~0.6Vでのピークが陽電流であるのは、既に報告されているように⁹⁾¹⁰⁾、アノード走査において電極表面に吸着したアルコールの酸化生成物が貴な電位で取り除かれてきれいな電極表面となり、そのことによって電極が活性化されたことに起因しているものと思われる。

3.2 アルコール関連物質の電流-電位特性

アルコール類の電気化学的挙動を明らかにするため、更にアルデヒド、カルボン酸および多価アルコールにつ

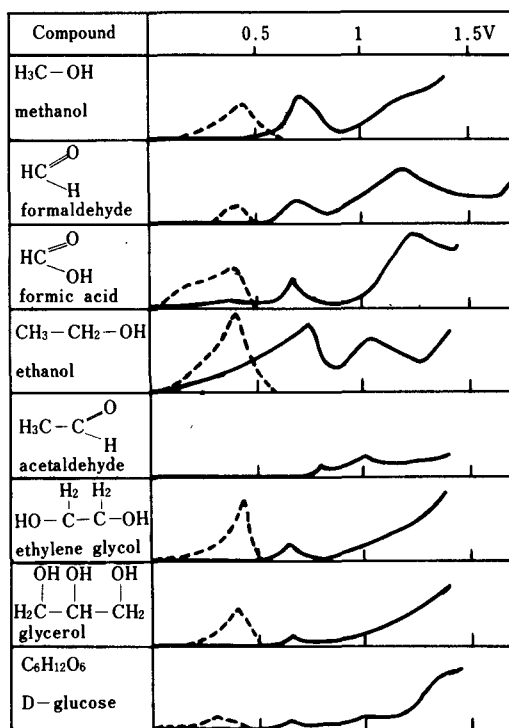


Fig. 3 Voltammetric characteristics.

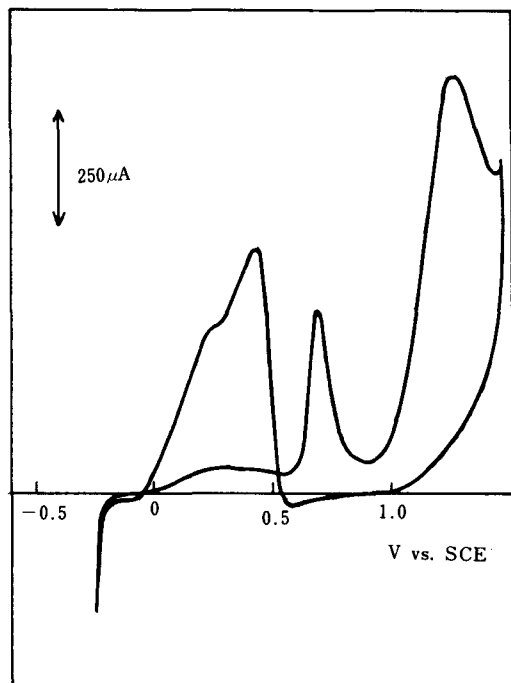


Fig. 2 Current-potential curves in 1M H₂SO₄ with 1M formic acid.

いて電流-電位特性を調べた。それらのうちギ酸についての電流-電位曲線を図2に示し、その他のものについては比較し易くするために図3及び図4にまとめた。以下アルコール類も含めたこれらの結果について考察を行った。

(a)電気二重層領域における酸化電流 図から明らかのように、0.75Vより卑な電位で現われる酸化ピーク電流は、α位炭素に水素があるものに限定されている。ただし、カルボニル基とOH基の両者を官能基として有するものは、カルボニル基をもとにしてそのα位炭素に水素のないものについて上記のピーク電流は観測されな

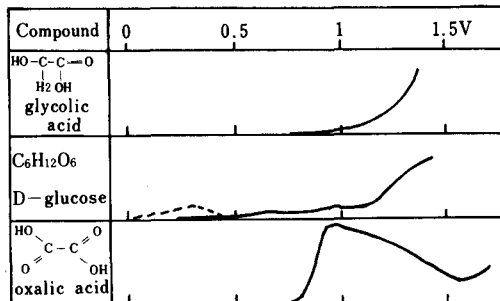
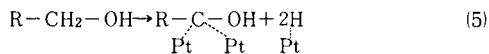
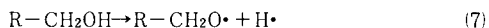


Fig. 4 Voltammetric characteristics.

った。これらのことから電気二重層領域では、既述の通り α 位炭素にある水素の解離吸着によって酸化が起こるものと考えられる。



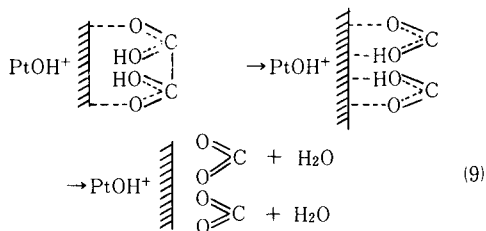
(b)白金酸化層領域における酸化電流 白金表面酸化層の電位領域におけるピーク電流は、1V付近と1.25V付近での2通りに分けられる。1V付近でのピーク電流は、電気二重層領域で酸化電流を生じるものうち2個以上の炭素原子を有するもの、即ちC-C結合をもつものに見出された。しかしこの電位領域での2つの電流ピークは実際には明瞭な区別はできず、1V付近の低電位での電流ピークと1.25V以上でのそれが、ある程度重なり合って観測される。低電位でのピーク電流が電気二重層領域での酸化に相関し、また高電位(1.25V以上)でのピーク電流が全てのものに観測されていることから、酸化層形成領域の低電位では白金酸化層による α 位炭素に隣接した水素の酸化が、高電位では官能基による吸着とその酸化が起こるものと考えられる。従って低電位では(2)式~(4)式によって、高電位では次式によって、それぞれ酸化反応が進行するものと推定した。



以上の酸化層領域での酸化反応が、電気二重層領域で酸化電流を生じるものについては必ず起こっているので、上記の反応には電気二重層領域におけると同様な解離吸着を伴う反応も関係していると思われる。

しかし電気二重層領域で酸化電流を生じなくとも、シ

ュウ酸は酸化層領域でピーク電流が観測された。これは、次のような白金表面での吸着によってC-C結合の解裂や官能基の酸化が起こることによるものと思われる。



(c)活性化電流 カソード走査で現われる陽電流即ち活性化電流は、電位的にみても電気二重層領域での反応と同じく解離吸着に従うものと言える。従ってアノード走査の電気二重層領域でピーク電流が観測されないものは当然、活性化電流も見られない。唯一つの例外として、アセトアルデヒドがその条件を満たしながらも活性化電流を生じなかった。

(d)ホルムアルデヒドとシュウ酸について ホルムアルデヒドとシュウ酸の水溶液では、共に酸素発生電位が約0.25V 貴な電位に移行しているが、同時にピーク電流値が他と比較して大きく、ホルムアルデヒドで10倍、シュウ酸(図3、図4は1M溶液での結果であるがシュウ酸は飽和水溶液として用いた)で25倍程度の大きな電流値を与えた。ホルムアルデヒドとシュウ酸のアノード酸化が速いのは、他のものが一般的に酸性溶液中で中間生成物の脱着過程が遅いと言われている^{11) 12)}のに対して、これらのものはいずれも酸化によって気体生成物である二酸化炭素になって脱着過程が速く反応が促進されるためであろうと思われる。

3.3 動力学的パラメーター

Table 2 Tafel slopes for anodic oxidation of alcohols.

Alcohols	Electrical double layer region			Surface oxide layer region					
				higher potential			lower potential		
	1 M	0.8 M	0.6 M	1 M	0.8 M	0.6 M	1 M	0.8 M	0.6 M
methanol	0.09	0.09	0.09	0.27	0.38	0.39	0.23	0.33	0.30
ethanol	0.15	0.10	0.18	0.51	0.45	0.33	0.26	0.31	0.35
propanol-1	0.10	—	0.18	0.28	0.23	0.35	0.40	0.33	0.37
propanol-2	0.14	—	0.16	—	—	—	0.23	—	0.19
	0.5 M	0.4 M	0.3 M	0.5 M	0.4 M	0.3 M	0.5 M	0.4 M	0.3 M
butanol-1	—	—	—	0.17	0.22	—	0.26	0.25	—
butanol-2	—	—	0.17	0.29	0.10	0.17	0.21	0.22	0.19

3.3.1 Tafel b 係数

電位走査速度が6.67mV/secの擬定常法によって得られた電流-電位曲線から Tafel 1 勾配 (Tafel b 係数) を求め表2にまとめた。表から明らかなように、電気二重層領域における酸化ピーク電流の上昇部分では、メタノール以外のアルコール類に関して平均150~180mVの Tafel 1 勾配を与えている。この説明のために、既述の解離吸着メカニズムを考え、(6)式を反応の律速段階と見なした。そこで、Langmuir 型の吸着をし、(5)式が吸着平衡にあるものとする、反応速度に関する以下の取り扱いができる。

反応物質が電極表面を占有している割合を θ で、反応速度定数を k で表わすと、正逆両方向の反応速度は次のようになる。

$$\vec{v} = k_1(R-CH_2OH)(1-\theta), \quad \overleftarrow{v} = k_{-1}\theta(H\cdot)^2$$

吸着平衡時には両方向の反応速度が等しく、

$$k_1(R-CH_2OH)(1-\theta) = k_{-1}\theta(H\cdot)^2$$

となる。この式から $(H\cdot)$ を求めることができる。

$$(H\cdot) = \left[\frac{k_1}{k_{-1}} \left\{ \frac{1-\theta}{\theta} \right\} (R-CH_2OH) \right]^{1/2} \quad (10)$$

総括反応および反応の律速段階に関する電子数をそれぞれ n および n_a で表わすと、酸化電流 i は電極電位 E との間に次式の関係がある。なお α は律速段階における電子の透過係数である。

$$i = nFk_2(H\cdot) \exp(\alpha n_a F E / RT) \quad (11)$$

(10)式を(11)式に代入すると、次式の反応速度式が得られる。

$$i = nFk_2 \left[\frac{k_1}{k_{-1}} \left\{ \frac{1-\theta}{\theta} \right\}^{1/2} \right] (R-CH_2OH)^{1/2} \exp(\alpha n_a F E / RT) \quad (12)$$

従って、 $\alpha = 0.3 \sim 0.5$ とすれば $150 \sim 180 \text{ mV}$ の Tafel 1 勾配から、律速段階に関する電子数は $0.8 \sim 1.1$ となり、1つの水素につき1電子が関与する(6)式を律速段階とする解離吸着メカニズムを満足させる。なおメタノールについて得られた約 90 mV の Tafel 1 勾配の説明は、現在のところ困難である。

他方、白金酸化層形成の電位領域におけるピーク電流の上昇部分で得られた2つの Tafel 1 勾配は非常に大きな値をもち、生成物あるいは酸化層による電極表面の皮膜抵抗が原因しているものと思われた。

3.3.2 反応次数

白金酸化層領域における低電位及び高電位でのピーク電流の上昇部分での反応次数を図5及び図6のプロットから求め、表3に記した。ここで低電位での反応次数

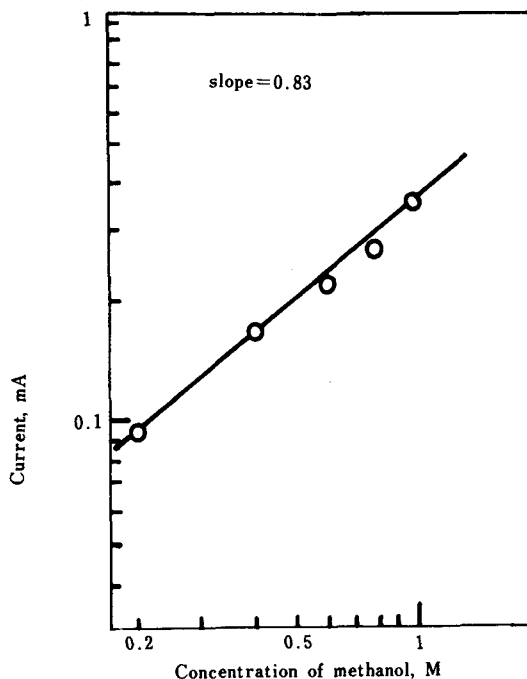


Fig. 5 Estimation of reaction order with respect to methanol at 1.1V.

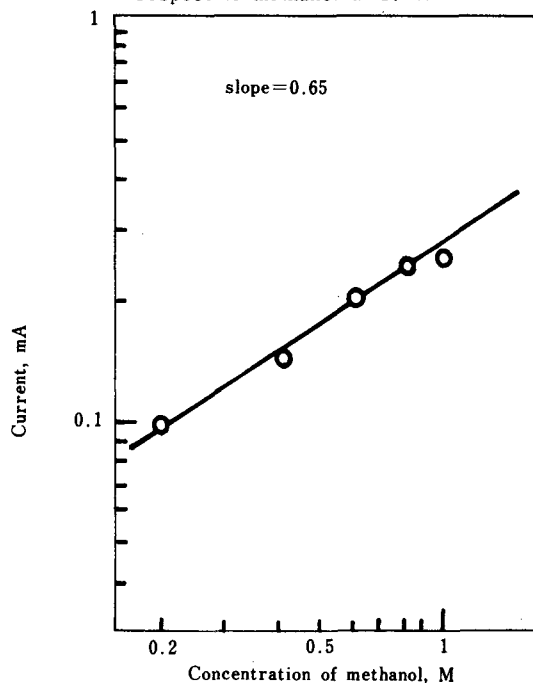


Fig. 6 Estimation of reaction order with respect to methanol at 0.58V.

は、酸化電流と反応物質の濃度の両対数プロットに直線性が之しく、明確に得られないことが多い。また濃度が高過ぎるためか、0次になったり濃度が高くなるにつれて電流値が飽和に達した。一方、高電位側での反応次数はほぼ一定値が得られ、アルコールの種類に関係なく平均0.74であった。低電位側での電流上昇部分で反応次数が0次になったり、濃度による電流増加が頭打ちになったりすることは、これまで説明してきたアルコールの白金酸化層との反応の妥当性を示している。すなわち、こ

Table 3 Reaction order with respect to alcohol in the region of surface oxide.

Alcohols	lower potential	higher potential
methanol	0.65(0.58V)	0.83(1.1V)
ethanol	0.84(0.59V)	0.74(1.0V)
propanol-1	? (0.65V)	0.69(1.0V)
propanol-2	? (0.45V)	0.76(1.0V)
butanol-1	? (0.60V)	0.73(1.0V)
butanol-2	0.0 (0.65V)	0.70(0.95V)

の反応が表面不均一反応であるので、電極表面上へのアルコールの吸着が飽和に達し、上のような結果をもたらしたのであろう。

また高電位側での電流上昇部分では、アルコールの種類によらず平均0.74と一定の反応次数を与えていることは、(7)式のように官能基によって吸着したアルコールが脱水素反応を起こすメカニズムを支持しているものと言える。

4. 結 言

各種低級アルコールを中心に電流-電位特性及び動力学のパラメーターを検討し、以下の知見を得た。

(1)電気二重層領域における酸化ピーク電流は α 位炭素に水素を有するものに現われた。この場合、 α 位炭素にある水素の解離吸着によって酸化が起こり、律速段階は

水素原子の酸化である。

(2)白金酸化層領域における酸化ピーク電流は、電気二重層領域で酸化電流を生じるものに必ず現われ、低電位側と高電位側に2つ存在する。低電位側では酸化層によるアルコールの酸化が起こり、アルコールの分子量が大きくなれば酸化層形成が遅れ、裸の白金表面上で中間生成物の電気化学的酸化が優先して起る。一方、高電位側では官能基によって電極表面に吸着し、酸化が進行する。

(3)カソード走査で現われる陽電流(活性化電流)は、アノード走査における電気二重層領域での酸化反応と同種のものである。

(4)シュウ酸の白金酸化層領域での酸化は、上記アルコール類についてのアノード酸化の体系化に当てはまらず、C-C結合の解裂が伴うものと推定された。

終わりに、本研究を進めるに当って実験に協力していただいた櫻井敬祐君(現 新日本理化)に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 御園生 晃, 長 哲郎, 有機合成化学, **28**, 400 (1970)
- 2) 庄野達哉, *ibid.*, **29**, 865(1971)
- 3) 堤 繁, 小山菊彦, 電気化学, **33**, 328(1965)
- 4) 杉野喜一郎, 有機合成化学, **24**, 1170(1966)
- 5) 元木信一, *ibid.*, **24**, 755(1966)
- 6) 堤 繁, 小山菊彦, 電気化学, **33**, 407(1965)
- 7) J. O' M. Bockris, "Modern Aspects of Electrochemistry", No. 4, p.132(1966), Plenum press New York
- 8) E. Sokolova, *Electrochim. Acta*, **20**, 323 (1975)
- 9) 高橋祥夫, 三宅義造, 電気化学, **40**, 95(1972)
- 10) 泉 生一郎, 未発表結果
- 11) 高橋祥夫, 樋口俊一, 三宅義造, 電気化学, **39**, 590(1971)
- 12) O. A. Khazova, Yu. B. Vasilyev, V. S. Bagotzky, *Elektrokhimiya*, **1**, 439(1965)

液膜反応器に関する研究

梅 原 忠

A Study on Liquid Membrane Reactor

Tadashi UMEHARA

A separation process using liquid surfactant membrane is a new unit operation. This process might be applied to a gas-liquid reactor. Then, a measurement of a liquid membrane thickness was carried out experimentally in a vessel with a nozzle.

From the results, a liquid film thickness changes with a gas velocity through a nozzle, a nozzle diameter, a viscosity, a surface tension and an interfacial tension. And these results could be expressed by eqns. (3) to (5).

1. 緒 言

新しい分離方法の一つとして液体膜を用いる方法が、最近急速に研究されるようになってきた¹⁾この方法は、溶液あるいはガス中の溶質を液体膜を用いて他の相へ移動させることであり、溶質のみを選択的に移動させる方法や溶質が液体膜中で反応し、反応生成物が透過する方法等種々考えられる。著者はこの方法を気液反応に利用することを目的として、すなわち供給ガスが液体膜中の成分と反応し、生成物が液体膜を通して他の相へ移動する二つの単位操作が同時に行なえる反応器を設計することである。液体膜の形状には、液滴型、エマルジョン型、隔膜型などが考えられるが、気液反応への適用を考えるための基礎的なデータを得るために、不安定ではあるが液滴型の液体膜による実験を行なった。そして液体膜生成に関する二、三の知見を得た。

2. 実 験

使用した実験装置の概略を図1に示した。装置本体は50×50×285(mm)のガラス槽であり槽下部にガス供給ノズルを取り付けた。図1のように、ノズルより供給されたガスは、気泡となって界面活性剤を含む水溶液相を通り、上部の溶媒相(水溶液相とは混ざらない)に入る。この時気泡のまわりに界面活性剤の薄膜を付着して溶媒相中を上昇する。溶媒相上部に到達した気泡は割れて界面活性剤の薄膜と分離し、水溶液相は比重差により溶媒相中を自然落下して、下層の水溶液相に戻る。なお、反応を伴う場合には、供給ガスは液体膜(水溶液相)中に

添加した触媒と反応し、反応生成物は液体膜中を溶媒相の方へ拡散する。

このような液体膜を使った分離装置においては、安定な液体膜を作ることが第一条件である。また液体膜厚さは拡散分離操作では重要な因子となる。そこで実験は、主に安定な膜生成条件下において膜厚がどのように変化するかを知るために種々の条件下で行なった。

実験条件を表1に示した。

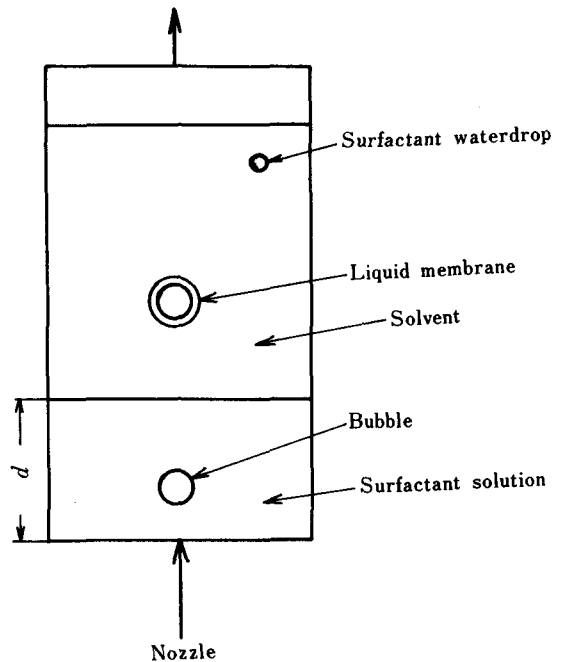


Fig. 1 Schematic diagram of liquid membrane reactor

Table 1 Experimental conditons

Surfactant	Noigen-EA126, Scorole-100
Solvent	Tluene, Benzene
Nozzle diameter	0.14~2.5 (mm)
Surfactant solution depth	4.8~10.0 (cm)
Gas velocity	1~24 (cm/sec)

液体膜を生成するために、溶液相には一般に界面活性剤および膜強化剤が添加される。著者は比較的安定な膜生成が観測されたスコアロール-100(花王アトラス製)を界面活性剤として使用し、膜強化剤にはグリセリンを用いた。また液膜の生成状態に寄与すると考えられる物性値、表面張力、界面張力および粘度を Du Noüy 氏の測定器およびオストワルド粘度計を用いて測定した。

3. 実験結果

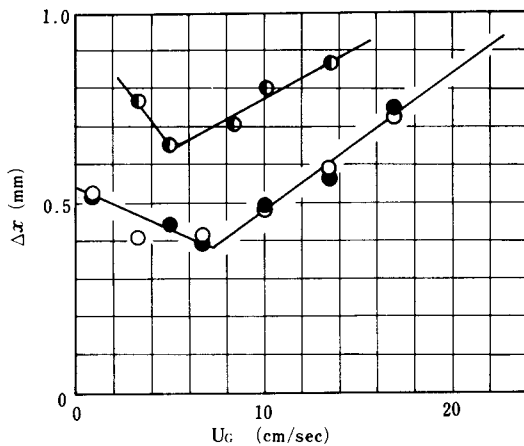
ノズル上の界面活性剤水溶液相の高さを一定にして、ノズルよりのガス供給速度を変えて生成する液体膜の厚さを写真撮影により測定した。ノズル径2.5mm, 溶媒としてトルエンを使用した結果の1例を図2に示した。

図より明らかなように、溶液相高さが8cm以上では生成する液膜厚さは溶液相高さの影響を受けないことがわかった。これは気泡の溶液相・溶媒相界面通過速度に関係するものと思われる。また図より、膜厚はノズルよりのガス供給速度により2種類の変化の仕方をした。比較的低流速域では、膜厚はガス流速の増加につれて減少し、高流速域では逆に、速度の増加とともに膜厚も増加した。このように膜厚はある流速で極小値をもつような変化をした。このことは、単一気泡に関する研究²⁾からも明らかなように、気泡はその上昇速度により球形気泡が楕円体となり、さらに速度が増すとキノコ状気泡となる。また気泡の変形は、液体の表面張力などの物性の影響を受けることが知られている。このように気泡がキノコ状となると界面活性剤水溶液中から溶媒相中へ上昇する気泡は、多くの水溶液を伴ない従って膜厚は大きくなることが予想できる。また流速が小さい領域では、水溶液相と溶媒相の境界で気泡が押し広げられる状態となり、キノコ状と同様に多くの水溶液を溶媒相へ持ち上げ、膜厚が大きくなる。以上のことから、ある適当な流速で気泡は球形で界面を通過する時に、膜厚は最小になるものと思われる。

次に界面活性剤濃度の影響は、臨界濃度以上では膜厚および気泡径は一定となることが観測された。

また膜強化剤であるグリセリン濃度の影響について、

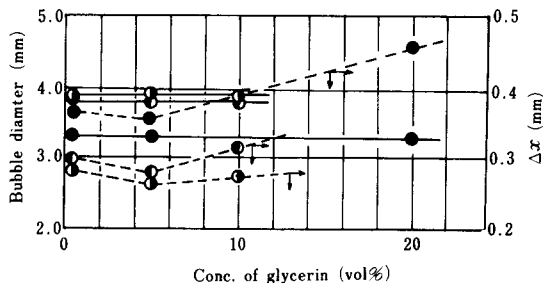
測定結果の1例を図3に示した。



●: d = 4.8cm ●: d = 8.0cm ○: d = 10.0cm

glycerin 5.0 vol%, surfactant 0.022 vol%

Fig. 2 Relation between U_G and Δx



dia.	Surfactant	U_G	Δx
○	9.04×10^{-3} vol%	3.90 cm/sec	0.28
●	9.04×10^{-3} vol%	7.47 cm/sec	0.32
●	4.0×10^{-1} vol%	3.90 cm/sec	0.45

Fig. 3 Effect of glycerin on bubble diameter and Δx

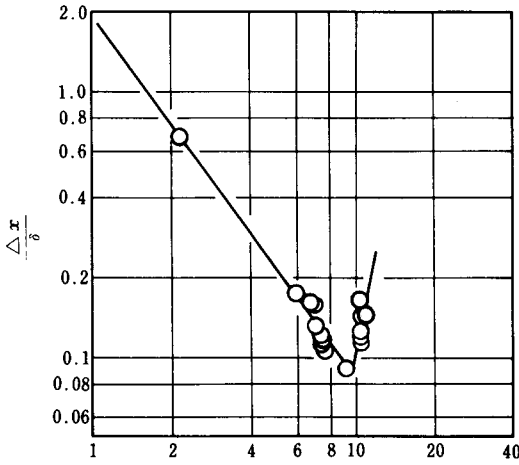
図より明らかなように、グリセリン濃度が5vol%付近を境として、グリセリン濃度の増加とともに膜厚は増加した。5vol%以下の濃度では、膜厚に大きな影響を与えないが、写真撮影の結果、5%付近が一番均一な液膜を生成していることがわかった。なお気泡径は、グリセリン濃度の影響を受けなかった。

そこで、膜厚に影響をおよぼすと考えられる因子であるノズル径、ガス流速、粘度、表面張力、界面張力について次元解析を行なった結果、次の関係式が得られた。

$$\Delta x = \psi(\delta, U_G, \mu, \sigma_1, \sigma_2) \tag{1}$$

$$\frac{\Delta x}{\delta} = \psi \left(\frac{U_G \mu}{\sigma_2}, \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \right) \tag{2}$$

(2)式に示すような三つの無次元数が得られる。そこで実



$$\left(\frac{U_G \mu}{\sigma_2}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)$$

Fig.4 Relation between $\left(\frac{U_G \mu}{\sigma_2}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right)$ and $\frac{\Delta x}{\delta}$

験結果に適合するように各無次元数に対する指数を求め、 $\Delta x/\delta$ を $(U_G \mu / \sigma_2)^{-0.5} \cdot (\sigma_1 / \sigma_2)$ に対し図4に示した。

図より次の実験式を得た。

$$\Delta x/\delta = 1.9 M^{-1.4}, \quad M < 9.5 \tag{3}$$

$$\Delta x/\delta = 2.9 \times 10^{-6} M^{4.5}, \quad M \geq 9.5 \tag{4}$$

$$M = \left(\frac{U_G \mu}{\sigma_2}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_2}\right) \tag{5}$$

4. 結 言

液滴型液体膜反応器を用い気液反応を行なわせるための基礎データを得るために、単一ノズルを用いて実験を行なった。その結果、膜厚は、ノズル径、ガス流速、粘度、表面張力、界面張力により影響を受け、極小値を持つことがわかった。今後さらに膜厚をコントロールするための条件を見出し、気液反応装置としての液膜反応器の設計を試みたい。

おわりに、この研究に協力を願った岡田茂浩君に謝意を表します。

Nomenclature

- d : surfactant solution depth (cm)
- U_G : gas velocity (cm/sec)
- Δx : liquid membrane thickness (mm)
- δ : nozzle diameter (mm)
- μ : viscosity (g/cm \cdot sec)
- σ_1 : interfacial tention (dyn/cm)
- σ_2 : surface tention (dyn/cm)

Refernces

- 1) E. T. Wolynic and D. F. Ollis, *Chemtech*, 111(February 1974)
- 2) Tadaki and Maeda, *Kagaku Kogaku*, 25, 254 (1961)

Dynamic Behavior in Continuous Mixed Suspension Crystallizers

Isao YAMAMOTO

Dynamics of the supersaturation is investigated by digital computer simulation.

The relation between the supersaturation change and the nucleation deviation is discussed.

For the simulation, the merit of the language FORTRAN-MDL/1, compared with FORTRAN IV, is discussed.

INTRODUCTION

Crystallization, one of useful unit operations, is used for the purpose of obtaining a high-purity solid or uniformly size-distributed crystals in actual practice many industrial crystallizers.

For crystalline materials, it is desirable that size distribution be as uniform as possible. It is reported that inorganic substance, e.g. ammonium sulphate, is produced in either saturators or vacuum crystallizers and that its size distribution is by no means uniform.

It is known that long term transients in product size distribution from a continuous crystallizer can occur in spite of steady state conditions which can be enforced on the system.

The purpose of the present work is to derive a general size distribution equation which describes the transient behavior of particles in the well-mixed crystallizer.

The equation is solved to illustrate the dynamic behavior of a continuous mixed suspension crystallizer.

The fluctuation of crystal size distribution may be attributed to nucleation deviation which may be caused by suspension concentration changes.

The nucleation from supersaturated solution may occur at random, and consequently the concentration of the solution may change.

The concentration change may cause the crystal growth rate deviation, which may result in the fluctuation of crystal size distribution.

The computer simulation on dynamic be-

havior in continuous mixed suspension crystallizers is investigated.

MODELING

Mathematic model is derived under the assumption as follows:

- 1) The crystallizer has a free gravity surface and the volume is maintained constant.
- 2) The suspension is well mixed everywhere.
- 3) The size of crystal is so small that it can be treated as having a continuous length.
- 4) The linear growth rate of crystal is independent of its size length.
(a McCabe's rule can be applied.)
- 5) The crystallizer is kept at constant temperature.
- 6) The amount of removal crystal is directly proportional to the product removal rate, and its size distribution is analogous to size distribution of crystal in the crystallizer.
- 7) The linear growth rate of crystal, attributed to the relative rate difference of mixing, is to be ignored.

Nucleation

A possible kinetic nucleation equation for an inorganic substance is presented as follows:

$$dN/dt = k_N \cdot R_N \cdot s^j \quad (1)$$

where $j \geq 4$.

Robinson and Roberts, Randolph and Larson considered that a nucleation equation was dependent only on the supersaturation, but the equation they presented was not al-

ways described the phenomena.

As nucleation is considered to occur at random, in this work the function of random birth is introduced to the system equation as R_N .

Crystal Size Distribution

Assuming that a crystal growth rate is dL in the time interval dt , local population balance is expressed within the size range L_i to $L_i + dL$ as follows:

$$n_{i-1} - n_i = n_i dt/T \quad (2)$$

if $n_{i-1} - n_i = -dn$,

then equation (2) is changed into equation (3)

$$dn/n = -dt/T \quad (3)$$

Equation (3) is a general population balance for an arbitrary suspension of particles subject to the original assumptions.

The steady state solution which satisfies the equation within range 0 to L , is

$$n = n^0 e^{-t/T} \quad (4)$$

where n^0 is an initial value of n .

When an equation of linear growth rate is given as $r = dL/dt$,

then equation (4) is altered into equation (5)

$$n = n^0 e^{-L/rT} \quad (5)$$

In a continuous, mixed suspension, mixed product removal crystallizer, the assumptions are as follows:

- 1) Feed rate is constant.
- 2) Temperature is controlled to maintain constant suspension.
- 3) Crystallizer volume is kept constant.

A general population balance is given as follows:

$$\partial n / \partial t + \partial (n dL/dt) / \partial L = -Q n/V \quad (6)$$

when $Q/V = 1/T, dL/dt = r$,

then equation (6) is converted into equation (7)

$$\partial n / \partial t = -r \partial n / \partial L - n/T \quad (7)$$

Supersaturation

Considering the total number of particles in the suspension, the material balance for crystal

solid and solute in the solution is expressed mathematically as follows:

$$\begin{aligned} \epsilon ds/dt = (c_i - c_s - s)/T - (\rho - c_s - s) * \\ (Ar + \epsilon k_v BL^3) \end{aligned} \quad (8)$$

where $A = 3k_v \int nL^2 dL$

$$B = dN^0/dt.$$

CALCULATION

Numeric calculation is programmed by using the language FORTRAN-MDL/1 which is developed by Prof. Mano (Aoyama Gakuin University, Tokyo).

The language FORTRAN-MDL/1 is aimed to revise the defect of FORTRAN IV, which can not precisely show the program list, and it has the characteristic to show the structure of the program evidently.

For the simulation, the program by FORTRAN IV is generally so long that its structure is not always evident.

For this work, FORTRAN-MDL/1 is more effective than FORTRAN IV, because the program is much complicated with many loops.

The example of program is shown in the appendix.

RESULTS

From the results of calculation, the supersaturation has a cycling change in spite of steady state operation. (See Fig. 1)

The supersaturation disturbance, consequently, causes significant fluctuation in product size distribution.

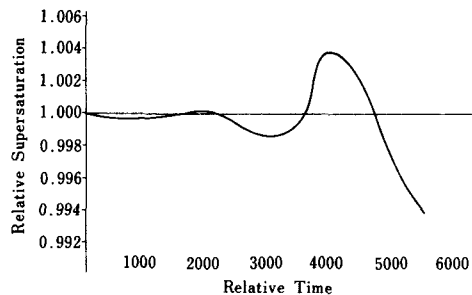


Fig. 1 The supersaturation deviation

Randolph reported that only the original step disturbance caused the transient of long-term duration owing to the relative long length of time required to grow a product-size crystal.

Logically all sources of crystal nuclei except deliberate seeding and crystal attrition should be some function of the supersaturation in solution.

The deviation of the supersaturation causes the disturbance of nuclei birth rate, and the latter causes the fluctuation of crystal size distribution.

It seems that the supersaturation, the nuclei birth, and the crystal growth interact closely with each other.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to thank IITJ (the Institute of Information Technology Japan) for use the FACOM OSIV/X8 computer and especially Prof. Kotaro Mano for his help in programming the equation by language FORT-RAN-MDL/1.

The authors also wish to thank Mr. Tsunehiko Hiromatsu (IITJ) for his **suggestive** advice.

NOTATION

$A = 3k_v \int n L^2 dL$
 $B = dN^{\circ}/dt$
 c_i = Concentration Input Solution
 c_s = Saturated Concentration
 e = Base of Natural Logarithm
 j = Functional Factor to Power of Supersaturation
 k_N = Constant Relating Nucleation Rate to Power of Supersaturation
 k_v = Crystal Area Shape Factor
 L = Crystal Length
 L_i = Crystal Length of an arbitrary Crystal
 L_o = Nuclei Length
 N° = Total Number of Nuclei
 n = Total Crystal Population Density
 n° = Total Crystal Population Density Under Steady State

n_i = Suspension Input Population Density
 Q = Flow Rate
 R_N = Randomness Factor
 r = Crystal Growth Rate
 s = Supersaturation
 T = Drowdown Time
 t = Time
 V = Total Suspension Volume
 ϵ = Space Factor
 ρ = Crystal Density

LITERATURE

Miller, P., and W. C. Saeman, Chem. Engr. Progr., 43, 667 (1947).
 Robinson, J. N., and J. E. Roberts, Can. J. Chem. Eng., 35, 65 (1959).
 Randolph, A. D., and M. A. Larson, AIChE J., 8, 639 (1962).
 Randolph, A. D., and M. A. Larson, Chem. Engr. Progr. Symp. Seri., 61, 147 (1965).
 Sherwin, M. B., R. Shinnar, and S. Katz, AIChE J., 13, 1141 (1967).
 Larson, M. A., D. C. Timm, and R. R. Wolff, *ibid.*, 14, 448 (1968).
 Han, C. D., IEC Proc. Develop., 8, 150 (1969).
 Randolph, A. D., Chem. Eng., 80 (1970).
 Moyers, C. G., Jr., and A. D. Randolph, AIChE J., 19, 1089 (1973).
 Yu, K. M., and J. M. Douglas, *ibid.*, 21, 917 (1975).
 Sikdar, S. K., and A. D. Randolph, *ibid.*, 22, 110 (1976).
 Randolph, A. D., J. R. Beckman, and Z. I. Kraljevich, *ibid.*, 23, 500 (1977).
 Shadman, F., and A. D. Randolph, *ibid.*, 24, 782 (1978).
 Garside, J., I. T. Rusli, and M. A. Larson, *ibid.*, 25, 57 (1979).

APPENDIX

```

*****
* MAIN - PROGRAM : RYUKEI                                PGM, I BUHPU
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MAIN-MDL
1 DIMENSION ALL(6500)
2 WRITE(6,600)
3 600 FORMAT(1H1,10X,25HDISTRIBUTION OF CRYSTALLS//)
4 READ(5,500)JX,IU
5 500 FORMAT(2I10)
6 WRITE(6,601)JX,IU
7 601 FORMAT(1H 1,3X,IU=10,2X,3HU=110/)
8 READ(5,501)ALM,BETA,CNI,CST,EPS,RHO,RKV,TST
9 501 FORMAT(8F10.0)
10 READ(5,502)ALL,ANS,OLL,RRR
11 502 FORMAT(AE15,8)
12 WRITE(6,602)ALM,BETA,CNI,CST,EPS,RHO,RKV,TST,ALL,ANS,OLL,RRR
13 602 FORMAT(1H 4H,10X,E14,7,3X,3HEBETA=E14,7,3X,4HCNI=E14,7,3X,4HCST=
14 E14,7,3X,4HEPS=E14,7,3X,4HRHO=E14,7,1H,4HRKV=E14,7,3X,4HTST=
15 E14,7,3X,4HALU=E14,7,3X,4HANS=E14,7,3X,4HOLL=E14,7,3X,4HRRR=E1
16 E14,7,3X,4HALL=)
17 *DO CLEAR-LOOP L=1 UP TO 6500
18 ALL(L)=0.0
19 *END-DO CLEAR-LOOP
20
21 ASSI=ANS
22 SUP=CNI-CST
23 SHM=BETA*SUP
24 SS=SHM
25 RCR=RKR/SHM
26 *EXECUTE COMPUTE-STEADY-DISTRIBUTION
27 WRITE(6,602)CALL(K),K=1,6400,100)
28 602 FORMAT(1H 1,10E12,3)
29 AKN=ASSI/SHM+JJ
30 STM=AKN*SUP+JJ
31 PS=ASSI/STM
32 N=2
33 TST=TST*36,6
34 *LOOP BUMPU-LOOP
35 CALL RURUM(PS,RN,IU)
36 *EXECUTE NEXTSTEP-DISTRIBUTION
37 IF(RN,LE,0.0)
38 RHO=0.001
39 *END-IF
40 IF(RN,GE,1.0)
41 RHO=.999
42 *END-IF
43
44 *EXECUTE COMPUTE-PARAMETERS
45 MM=20
46 IF(E,EB,MM*20)
47 WRITE(6,640)AREA,BB,CC,DD,EE,M
48 640 FORMAT(1H 3H,AREA=E15,7,3X,3HBB=E15,7,3X,3HCC=E15,7,3X,3HDD=E1
49 E15,7,3X,3HEE=E15,7,3X,3HMM=)
50 *END-IF
51 *EXECUTE COMPUTE-SUPERSATURATION
52 IF(E,EO,MM*20)
53 WRITE(6,620)ALL(I),RN,Y2,SS,PS,IU
54 620 FORMAT(1H 7H,ALL(1)=E15,8,3X,3HRN=E15,8,3X,3HY2=E15,8,3X,3HSS=E15,
55 8,3X,3HPS=E15,8,3X,3HIU=)
56 *END-IF
57 *END-IF
58 IF(M,GT,6400)
59 *LEAVE BUMPU-LOOP
60 *END-IF
61 *END-LOOP BUMPU-LOOP
62 STOP
63 END-HNMDL

```

```

*****
* 2 MODULE COMPUTE-STEADY-DISTRIBUTION                PACK-NAME = CSO          MAIN-PGM, I RYUKEI
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MODULE COMPUTE-STEADY-DISTRIBUTION
1 N=1
2 AKL=ALU
3 *LOOP RYUKEI-LOOP
4 ALL(N)*ANS*EXP(-AKL/(RRR*TST))
5 AKL=AKL*DLL
6 N=N+1
7 IF(AKL,GT,ALM)
8 *LEAVE RYUKEI-LOOP
9 *END-IF
10 *END-LOOP RYUKEI-LOOP
11 END-MDML

```

```

*****
* 3 MODULE NEXTSTEP-DISTRIBUTION                    PACK-NAME = ND          MAIN-PGM, I RYUKEI
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MODULE NEXTSTEP-DISTRIBUTION
1 ALPH=(TST-1.0)/TST
2 ALH=ALL(1)
3 *DO LENGTH-LOOP J=2 UP TO 6400
4 ALG=ALL(J)
5 ALH=ALH*ALG
6 ALH=ALG
7 *END-DO LENGTH-LOOP
8 END-MDML

```

```

*****
* 4 MODULE COMPUTE-PARAMETERS                        PACK-NAME = CP          MAIN-PGM, I RYUKEI
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MODULE COMPUTE-PARAMETERS
1 ALL(I)=RN*STM
2 SUM=0.0
3 AKL=ALU
4 *DO AREA-LOOP I=2 UP TO 6400
5 AKL=AKL*DLL
6 SUM=SUM+3.0*RRK*ALL(I)*AKL**2
7 *END-DO AREA-LOOP
8 AREA=SUM
9 BB=ALL(1)
10 CC=AREA*RCR/EPS
11 DD=(1.0/(EPS*TST))*(RHO-CST)*AREA*RCR/EPS-RKV*BB*ALU**3
12 EE=(CNI-CST)/(EPS*TST)-(RHO-CST)*(RKV*BB*ALU**3)
13 *END-MDML

```

```

*****
* 5 MODULE COMPUTE-SUPERSATURATION                  PACK-NAME = CS          MAIN-PGM, I RYUKEI
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MODULE COMPUTE-SUPERSATURATION
1 X1=0.0
2 Y1=1.0
3 M=1.0/36,6
4 A=31
5 B=11
6 CK1=HFUNC(A,B,CC,DD,EE)
7 A=A+0.5*H
8 BCB=B
9 B=BB+0.5*CK1
10 CK2=HFUNC(A,B,CC,DD,EE)
11 BCB=0.5*CK2
12 CK3=HFUNC(A,B,CC,DD,EE)
13 A=A+0.5*H
14 B=BC*CK3
15 CC=HFUNC(A,B,CC,DD,EE)
16 X2=A
17 Y2=BC*(CK1+2.0*CK2+2.0*CK3+CK4)/6,0
18 Y2=SS
19 PS=(SS/SUP)**JJ
20 END-MDML

```

```

*****
* SUB - PROGRAM : RURUM                                PGM, I BUMPU
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MAIN-MDL
1 SUBROUTINE RURUM(PP,AN,IX)
2 NN=0
3 *DO YOHKOH-LOOP I=1 UP TO 100
4 CALL URUM(OR,IX)
5 IF(OR,LE,PP)
6 NN=NN+1
7 *END-IF
8 *END-DO YOHKOH-LOOP
9 AN=FLOAT(NN)/100.0
10 RETURN
11 END-MDML

```

```

*****
* SUB - PROGRAM : URUM                                PGM, I BUMPU
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MAIN-MDL
1 SUBROUTINE URUM(U,IU)
2 IF(U,EO,0)
3 IU=999999999
4 *END-IF
5 IU=29643*IU
6 IF(U,LE,0)
7 IU=(IU+2347483647)*1
8 *END-IF
9 IF(U,GT,1)
10 AN=FLOAT(IU)/2,147483647E9
11 RETURN
12 END-MDML

```

```

*****
* SUB - PROGRAM : FUNCTION                            PGM, I BUMPU
*****
*** MDL=NO. 1 ***
SEQ, STMNO, C SOURCE STATEMENT
0 #MAIN-MDL
1 FUNCTION FUNC(X,Y,V,W,Z)
2 FUNC=(V+W)*Y*Z
3 RETURN
4 END-MDML

```

Z \times Tの性質について

北 川 誠 之 助

On Property of $Z \times_{\alpha} T$

Seinosuke KITAGAWA

We show that C^* -algebra associated with a irrational rotation is simple and has a unique trace.

序 論

VON-NEUMANNが, II, III型ファクターのモデルを作るのに用いた MEASURE-GROUPの手法は, HAHN, EFFROSS, GUICHARDETSにより, 接合積の概念に拡張された。

HAHN-EFFROSSは, MACKYの誘導表現の自然な拡張として, 一次元トラスとその上に働く, 無理数から出来る C^* -接合積を考察した。ここでは, 得られた C^* -接合積が, 単純で, 唯一のトレースを持つことを示す。

1. 記 号

Mを C^* -代数とする。

Mが, 単純 \Leftrightarrow Mに, (0)又は, M以外の両側イデアルが存在しないことである。

T: 一次元トラス, 実数tに対して, $e^{2\pi it}$ で, Tの元と考える。

α : 無理数, 以下で定められるように, 整数を, T上に作用させる。

Zの元 $n \rightarrow \alpha(n)(t) = t + \alpha n$

この作用によって, 不変な測度は, ルベーク測度でありそれは, 唯一に限るのである。

dx : T上のルベーク測度

$K(T)$: T上の連続関数の全体

$K(Z \times T)$: $Z \times T$ のコンパクトな台を持つ連続関数の全体。

$K(Z \times T)$ の元Fに対して, 次のように, ノルム, 和積を導入することにより, $K(Z \times T)$ は, バナッハ C^* -代数になる。

$$\|F\| = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sup_t |F(n, t)|$$

$K(Z \times T)$ の元F, Gに対して,

$$(F+G)(n, t) = F(n, t) + G(n, t)$$

$$(F \times G)(n, t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} F(m, t) F(n-m, \alpha(-m)t)$$

$$F(n, t) = \overline{F(-n, \alpha(-n)t)}$$

$K(Z \times T)$ は, 単位元を含み, Z及び, $K(T)$ を含むより大きな, 代数と考えられる。

$$n \rightarrow V(n) = \begin{cases} 1 & \text{IF } m=n \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

$$K(T)の元f(t) \rightarrow F(n, t) = \begin{cases} f(t) & \text{IF } n=0 \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

π を $K(Z \times T)$ の表現で, properとする。

$K(Z \times T)$ の元に対して, π は次の条件を満たす。

$\|\pi(F)\| \leq \|F\|$ 従って, 次のような新しいノルムを定める。

$$\|F\| = \sup_{\pi} \|\pi(F)\|$$

新しいノルムは, $K(Z \times T)$ 上に C^* -ノルムを定義する。それによる完備化したものを $Z \times_{\alpha} T$ と書く。

2. $Z \times_{\alpha} T$ に関する性質

1. π を $Z \times_{\alpha} T$ の表現とする。

π をZに制限した表現を π_0 と書く。 π_0 は次のような表現と同値となる。

H: 任意のヒルベルト空間

$$H_0 = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \oplus H \text{の元 } (\eta_i + n)_{i=-\infty}^{\infty} \text{ に対して}$$

$$\pi_0(n) : (\eta_i) \rightarrow (\eta_i + n)$$

列 (η_i) をnだけずらす作用素として表わされる。

π を $K(T)$ に制限したものを, π_1 とする。 $K(T)$ の性質により, π_1 は, $L^2(T, dx)$ の部分空間に表現され, 次のような表現を持つ。

$K(T)$ の元 $f(t)$, $L^2(T, dx)$ の元 $g(t)$ に対して,

$$(\pi_1(f)g)(t) = f(t)g(t)$$

以上により, π の表現空間として,

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \oplus L^2(T, dx) \quad \text{を取ることが出来る。}$$

二つの表現, π_0 と π_1 は, 以下に述べる性質により関係づけられる。

Z の元 n , $K(T)$ の元 $f(t)$ に対して

$$\pi(V(n)f(t)V^*(n)) = \pi_0(n)\pi_1(f)\pi_0(n)^*$$

一方, $Z_X T$ の積の定義により

$$\begin{aligned} \pi(V(n)f(t)V^*(-n)) &= \pi(f(\alpha(-n)t)) \\ &= \pi_1(f(t-n\alpha)) \end{aligned}$$

従って

$$\pi_0(n)\pi_1(f)\pi_0(n)^* = \pi_1(f(t-n\alpha))$$

以上, 述べたことにより, π は, $K(T)$, Z の表現として,

$$\pi_0(m) \left(\sum_{n=-\infty}^n g_n(t) \right) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_{n+m}(t)$$

$$\pi_1(f(t)) \left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} g_n(t) \right) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (f(t-n\alpha)g_n(t))$$

$$H = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \oplus L^2(T, dx) \quad \text{上に, 表現させる。}$$

2. トレース

$K(Z \times T)$ の元に対して,

$$\text{Tr}(F(n, t)) = \int_T F(o, t) dt$$

と定める。Tr は, $Z_X T$ 上にトレースを定める。

実際, F, G を $K(Z \times T)$ の元とすると,

$$\text{Tr}(F \times G) = \int_T \sum_m F(m, t) G(-m, \alpha(-m)t) dt$$

$$= \sum_m \int_T F(m, t) G(-m, t - m\alpha) dt$$

$$= \sum_m \int_T F(-m, t) G(m, t + m\alpha) dt$$

$$= \sum_m \int_T F(-m, t - m\alpha) G(m, t) dt$$

$$= \text{Tr}(G \times F)$$

3. トレースの一意性

上で定めたトレースを τ で表わす。他にトレースが, あったとして, それを τ_1 と表わす。

$N: Z_X T$ の元で, $\tau(x^*x) = 0$ を満足するもの。

N が, $Z_X T$ の部分代数を残すことは, 容易に解かるが, 特に, N は, $Z_X T$ のイデアルをなす。

実際, x を N の元, y を $Z_X T$ の元とする時,

$$\tau((yx)^*(yx)) = \tau(x^*y^*yx) \leq \|y\|^2 \tau(x^*x) = 0$$

$$\tau((xy)^*(yx)) = \tau((xy)(xy)^*) = \tau(xyy^*x^*)$$

$$\leq \|y\|^2 \tau(xx^*) = 0$$

よって, N は, イデアルをなす。所で, 後に示すことであるが, $Z_X T$ は単純だから, $N = (0)$ である。

$\bar{\tau} = \tau + \tau_1$ で, $\bar{\tau}$ を定めると, $\bar{\tau}$ はトレースとなる。

$\tau, \bar{\tau}$ でそれぞれ, GNS-構成法を行い, それぞれの表現と表現空間を $(\pi\tau, H\tau)$, $(\pi\bar{\tau}, H\bar{\tau})$ と書く。

$Z_X T$ の元 x に対して

$$L: \eta(x) \rightarrow \eta^1(x) \quad \text{で定義される。} H\pi \text{ から,}$$

$H\bar{\tau}$ への作用素を考えると, $N = (0)$ により, L は, 閉作用素となる。

$Z_X T$ の元, x, y に対して

$$(1) \quad L\pi\tau(x)\eta(y) = L\eta(xy) = \eta^1(xy) = \pi\bar{\tau}(x)\eta(y)$$

$$(2) \quad LJ\pi\tau(x)J\eta(y) = LJ\pi\tau(x)\eta(y^*) = LJ\eta(xy^*)$$

$$= L\eta(y)(\cdot) = \eta^1(yx^*) = J\pi\tau(x)J\eta(y)$$

(1), (2) により, L^*L は, $\pi\tau(Z_X T)$ のセンターに属する。ところで, 1 で述べたように, Z は T 上エルゴートのでフリーに作用しているから, $\pi\tau(Z_X T)$ により生成される代数は, ファクターになる。

センターは, スカラーからなり, $L^*L = \lambda I (\lambda > 0)$

$L = W|L|$ と極分解する。 $L^*L = \lambda I$ より, $L = \lambda W$ となるが, L の値域が, $H\bar{\tau}$ で, $\text{Ker}(L) = 0$ より, W は, ユニタリー作用素である。

$$\tau(x^*x) = \langle \eta^1(x), \eta^1(x) \rangle \bar{\tau} = \langle L\eta(x), L(\eta) \rangle \bar{\tau}$$

$$= \langle L^*L\eta(x), \eta(x) \rangle \bar{\tau} = \lambda \langle \eta(x), \eta(x) \rangle \bar{\tau}$$

$$= \lambda \tau(x^*x)$$

従って, $\tau + \tau_1 = \lambda \tau$ より, τ と τ_1 は定数倍の差しかないのが解る。

4. 単純となること

Tの元, tに対して, K(Z x T)上に次のような正定値関数を定める。

$$P_t(F) = F(o, t)$$

容易に確かめられるように, P_tは, K(Z x T)上の純状態を定めるから, P_tにより定まる表現は, 既約表現で任意の整数 n に対して, P(t + na)から定まる表現とは, ユニタリー同値である。

補題 1

[P_{t+na} : nは任意の整数]より生成される。

Positive-coneは, K(Z x T)上で定義された, 正定値関数の中で, 弱位相で稠密。

証明

FをK(Z x T)の恒等的に0に等しくなり元とする従って, Zの元n₀, Tの元s₀が存在して, F(n₀, s₀)は0でない。[t - na]は, T上で稠密だから, s₀に近いt - naが存在する。従って,

$$P_{t-na}(F^* \times F) \geq |F(n_0, t-na)|^2 > 0$$

を満すnを取ることが出来る。従って, coneは, K(Z x T)の正の部分と分離するから, HAHN-BANACHの定理により, coneは, 稠密である。

補題 2

πをP_tより作られた表現とする。

$$\ker(\pi) = (0)$$

証明

LをZ_αxTの既約表現とする。η₀をLの表現空間の単位ベクトル, Lが, 既約であることより,

$$P(f) = (L(f)\eta, \eta)$$

で定まるZ_αxT上の状態は, 純状態で, Pより定まる表現は, Lとは同値となる。

$$J = \ker(\pi) \text{ とおく。}$$

mをK(Z x T)上の正定値関数, L^mをmより作られる表現とする。

$$D_J = \{m : \ker(L^m) \supset J\}$$

D_Jは次の性質を満たす。

i) D_Jは, Faceをなす。すなわち, K(Z x T)上の正定値関数m̄が, D_Jの元mにより上からおさえられるとm̄もまた, D_Jに含まれる。

K(Z x T)の元Fに対して

$$\bar{m}(F^*F) \leq m(F^*F)$$

が成立するから,

L^m, L^{m̄}をそれぞれの表現, H_{m̄}, H_mをそれぞれの表現空間とする時, 次のように定められる作用素Aは, 有界である。

$$A : \eta_{\bar{m}}(F) \rightarrow \eta_m(F)$$

今, Aを極分解することにより, L^{m̄}をL^mの部分表現として, H_mの中に埋めこめるから。

$$\ker(L^{\bar{m}}) \supset \ker(L^m) \supset J$$

ii) D_Jは, K(Z x T)のdual空間内で, 弱位相で, 閉集合をなす。

$$\ker L^{\bar{m}} \supset J \iff \|L^{\bar{m}}(F)\| \leq \|F+x\| \text{ 但し } F \text{ は}$$

K(Z x T), xはJに属する ⇔ K(Z x T)の元G₁, G₂に

$$\text{対して, } |m(G \times F \times G_1)| \leq \|F+x\| |m(G \times G_1)|$$

補題 1より, [P_{t+na}, nは整数]は, 弱位相で稠密でP_{t+na}により定まる表現は, nに無関係に同値で, D_Jに含まれるから, 初めに, 定義したPもまた, D_Jに含まれる。

$$\ker(\pi) \supset \ker(L)$$

ここで, Lは任意の既約表現だから, ker(π) = (0)

K_αTが, 単純なることの証明。

LをK_αTの既約表現, J = ker(L)H_LをLの表現空間, K(T)(H_L)で, LをK(T)に制限した時, 得られる作用素の値域の全体とする。ところで, K(T)(H_L)は, K(T)が可換で, Zの変換が, K(T)の内部自己同型を与えることにより, K(T), Zそれぞれとも可換になる。したがって, K(T)(H_L) = H_L

K(T)(H_L) = H_Lにより, K(T)は, H_Lに分離ベクトルを持つ。そのベクトルをηとする。

$$P(F) = \langle L(F)\eta, \eta \rangle$$

FはK(Z×T)の元。

PをK(T)に限れば、忠実で、Lが、既約であることから、PからGNS構成法で得られる表現は、Lと同値である。PをK(T)に限ると、Pは、K(T)の状態を定めるから、下の関係で結ばれる。T上の測度が存在する。

$$P(f) = \int f(s) dm(s)$$

f(s)はK(T)の元。

PをK(T)に制限すれば、忠実になることにより、測度mの台はT全体である。

FをK(Z×T)の元とする。今、Tの元 $e^{2\pi i t}$ を一つ固定し、 $F(n, e^{2\pi i t}) \neq 0$ となるnを小さい方から並べて、 $n_1 < n_2 < n_2 \dots < n_l$ とする。

$$\epsilon = \min \{ \|1 - e^{-n_i \alpha}\| : \text{但し, } n_i \neq 0 \}$$

今、 $\epsilon_1 < \epsilon$ として

$$U(\epsilon_1) = \{ s : |e^{2\pi i t} - e^{2\pi i s}| < \epsilon_1 \}$$

k(s)をK(T)の元で、台がU(ε₁)に含まれ、測度mに關するL²-ノルムが1になるものとする。

FをK(Z×T)の元として、次のような、K(Z×T)上の正定値関数を定める。

$$P_{\epsilon_1}(F) = \langle L(F)L(K)\eta, L(K)\eta \rangle$$

$$= \sum_{n_1}^{n_k} \langle L(V(-l) \times F_l)L(k)\eta, L(k)\eta \rangle$$

但し、 $F_l(s) = F(l, s - l\alpha)$ で与えられるK(T)の元で、K(Z×T)に埋めこまれているとする。

$$| P_{\epsilon_1}(F) - \langle L(F_0)L(K)\eta, L(K)\eta \rangle |$$

$$\leq \sum_{l \neq 0} | \langle L(V(-l) \times F_l)L(K)\eta, L(K)\eta \rangle |$$

$$= \sum_{l \neq 0} | \langle L(F_l)L(K)\eta, L(V(l))L(K)\eta \rangle |$$

$$= \sum_{l \neq 0} | \langle L(F_l)L(K)\eta, L(Km)\eta \rangle |$$

但し、 $K_l(s) = K(s - l\alpha)$

$$= \sum_{l \neq 0} | \langle L(K_l \times F_l \times K)\eta, \eta \rangle |$$

$$= \sum_{l \neq 0} | \int K(s - l\alpha)F(l, s - l\alpha)K(s)dm(s) |$$

K_lの台とkの台は互いに、共通部分を持たないから上の積分値は0。従って、

$$P_{\epsilon_1}(F) = \int_T F(0, s)k^2(s)dm(s)$$

$\epsilon_1 \rightarrow 0$ の時、 $k(s) \rightarrow 0$ 、従って、 $P_{\epsilon_1}(F) \rightarrow F(0, t)$ また、 P_{ϵ_1} は、補題2で述べたD_jに含まれる。D_jが、弱位相で閉ることより、P_tもD_jに含まれる。よってP_tは作りられる表現をπとする時、 $\text{Ker}(\pi) \supset J$ 、又、補題2により、 $\text{ker}(\pi) = (0)$ だから、 $J = (0)$

3. 結 論

2で、 $Z_\alpha T$ の単純性、唯一のトレースを持つことが示されたが、証明中注意すると、 $Z_\alpha T$ は、II₁-ファクター表現を持つから、Non-TYPE I型である。

最近、Voiculescu, Rieffel等により、 $Z_\alpha T$ は、αが異なれば、互いに同型でないことが示された。

Reference

1. Effros and Hahn
Locally compact transformation groups and C*-Algebras. Mem. Amer. math. Soc. 75'6
2. K. Pedersen
C*-Algebras and their automorphism groups
Academic Press.
3. M. Rieffel
C*-Algebras associated with a irrational rotation (preprint)

α -アシロインオキシムの 熱分解ガスクロマトグラフィー

石川 光二・阪井 正

Pyrolytic Gas Chromatography of α -Acylloximes

Koji ISHIKAWA and Tadashi SAKAI

It was found that in such an inert gas as helium or nitrogen, α -benzoinoxime, α -furobenzoinoxime, and α -furoinnoxime have decomposition points at 180°C, 175°C, and 160°C respectively, and within the region indicated by the programmed temperature gas chromatograms from 60°C to 200°C of pyrolytic products at 300°C, each oxime is cleaved to two species of main-products, a nitrile and an aldehyde, and traces of by-products.

Two kinds of main-products might possibly be obtained as the result of nitrile-decomposition of α -oximes.

For, when PEG 6,000 is used as a column packing, the pyrolytic gas chromatograms of three kinds of oximes mentioned above have the discernible peaks separated well among themselves on the stable base lines and the retention volume of their peaks was identified with those of the known reference materials.

Moreover, two species of pyrolytic main-products were specified qualitatively to be nitrile and aldehyde.

1. 緒 言

α -ベンゾインオキシム (以下 α -BO と称する) の二酸化炭素気流中 240°C における熱分解については、すでに Kötz らによりベンズアルデヒド、ベンズニトリルおよび水が生成することが報告され¹⁾ また、山口は水素気流中 200°C で還元銅を触媒として用い、種々のオキシムをベックマン転位させて分解生成物を得た²⁾

しかし、オキシム類の熱分解ガスクロマトグラフィーについての報告はこれまで知られていない。非対称ケトンのオキシムにはシン型とアンチ型の 2 種の異性体が存在することが知られているが、これら異性体の立体構造の相違が熱分解ガスクロマトグラフにどのように現れてくるかを知られば、これら異性体を識別するのに有効であると考えられる。

この目的に対する基礎的な研究として、単一アシロインオキシムとして α -BO、 α -フロインオキシム (以下 α -FO と称する)、混合アシロインオキシムとして α -フロベンゾインオキシム (Buck らの命名法³⁾ にしたがって、アシロイン縮合の結果 -CHO 基が -CH(OH)

-基となったものに -oin をつけた。以下 α -FBO と称する) の 3 種のオキシムについての熱分解ガスクロマトグラフィーを行った。

2. 実 験

2.1 熱分解生成物の定性

2.1.1 試薬: アルデヒド定性用として 2,4-ジニトロフェニルヒドラジン—硫酸試薬⁴⁾ を、またニトリル定性用として 1N ヒドロキシルアミン塩酸塩のプロピレングリコール溶液と 1N 水酸化カリウムのプロピレングリコール溶液の体積比 1:1 の混合溶液および 5% 塩化鉄(III)のエタール溶液を使用した⁵⁾

2.1.2 熱分解生成物の定性実験

窒素気流中 300°C の熱分解炉中に数 mg の試料を入れ、20 秒間放置し、生じた分解生成物を空気に触れることなく、またガスクロマトグラフのカラム層に導入することなく、上述のアルデヒド用定性試薬と上述のヒドロキシルアミン塩酸塩と水酸化カリウムのプロピレングリコール混合液のそれぞれに直接窒素気流により導入した。

アルデヒド定性用試薬中では、導入後しばらくして、 α -FOの場合には深赤色、 α -FBOと α -BOの場合は黄褐色のそれぞれフルフラールとベンズアルデヒドの、4-ジニトロフェニルヒドラゾンが析出した。

また、上述のプロピレングリコール混合液に試料の熱分解ガスを通じたものを2分間煮沸し、冷やしてから5%の塩化鉄(III)のエタノール溶液を加えた。 α -FOと α -FBOの場合は赤かっ色、 α -BOの場合は深赤かっ色に変わり、いずれもニトリルの存在が認められた。

この実験では、アルデヒドとニトリルの共存している溶液についてそれぞれ定性検出を行なっているが、ベンゾニトリルとベンズアルデヒドの同量混合試料についての予備実験では、ニトリル定性の際の加熱の時、アルデヒド共存のため小爆発による飛沫の逸散することを除けば、それぞれの定性検出を互に妨害しないことが確かめられた。

2.2 熱分解ガスクロマトグラフィー

2.2.1 装置および方法

試料の分解温度の高低、コック操作の遅速などが微小であるが保持時間の変化となつてあらわれるので、データ比較のため次のような一定の条件下に測定を行なった。

操作条件

熱分解炉内の空気排出時間：10~15秒，熱分解時間：15秒，熱分解炉からカラムに通じるパイプの温度：170~180℃，カラム：ステンレススチール，長さ2m，内径3mm，キャリアーガス：ヘリウム，流速50ml/min，検出器：FID（TCDも併用した。検出はTCD，FIDのいずれでも行なわれるが，FIDのほうが安定した基線上の鋭いピークを持つガスクロマトグラムを示す）。

(a) 充填剤としてSE 52(5%)/Shimalite W(60~80メッシュ)を使用した場合のその他の条件

熱分解温度：400℃，カラム温度：60→240℃，カラム昇温速度：10℃/min

(b) 充填剤としてPEG 6,000(25%)/Shimalite(60~80メッシュ)を使用した場合のその他の条件

熱分解温度：300℃，カラム温度：60→198℃，カラム昇温速度：6℃/min

2.2.2 熱分解温度

カラムの温度を240℃とし、キャリアーガスとしてヘリウム、充填剤としてSE 52を用いて、分解温度を変えた場合のガスクロマトグラムをそれぞれ測定した。その結果 α -FO、 α -FBOではアルデヒドとニトリルの2つの鋭いピークの他に二次的な分解と考えられる第3の低いピークを示した。

この第3のピークは熱分解の結果フルフラールが生成した時に副生すると考えて、フルフラールの熱分解ガスクロマトグラムを熱分解炉の温度を200℃、300℃、および400℃にしてそれぞれ測定した。その結果、300℃と400℃のとき同じ位置の第3のピークが副生することがわかった。

分解後の生成物の安定性から考えても熱分解生成物はいずれも低温が望ましいが、分解速度などを考慮して、以後の実験の熱分解温度は300~400℃が適当であると考えた。

熱分解管の出口にはガラス綿を高沸点物質除去用フィルターとして用いたが、フィルター上ならびに分解管の出口付近の内壁に、 α -FOでは茶かっ色、 α -FBOでは黄かっ色、 α -BOでは白色の沈積物がかなり認められた¹⁾。

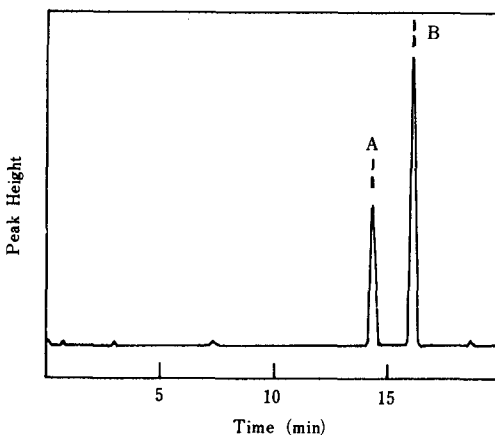
2.2.3 α -BOの熱分解ガスクロマトグラフィー

試薬： α -BO：和光純薬製の特級品を数回エタノールで再結晶した。mp153~154℃（文献値153~155℃）

ベンズアルデヒド：市販一級品（キシダ化学）を等容積の5%炭酸ナトリウム水溶液で洗い、塩化カルシウムで乾燥後蒸留したものを、蒸留後ただちに推定の標準物質として用いた。

ベンゾニトリル：市販特級品（和光純薬）をそのまま推定の標準物質として用いた。

充填剤としてPEG 6,000を用いた α -BOの熱分解



破線A：推定物質ベンズアルデヒド

破線B：推定物質ベンゾニトリル

カラム：PEG 6,000

図1 α -BOの熱分解ガスクロマトグラム

*1 Kötzら¹⁾は240℃，二酸化炭素気流中の α -BOの熱分解残渣のハルツ状物質はロフィン（mp268℃）であると報告している。

ガスクロマトグラムを図1に示した。さらに、 α -BOの場合とまったく同じ条件でそれぞれ単独に測定した熱分解生成物と推定される標準物質のベンズアルデヒドとベンズニトリルのピークの位置を図1中に破線A, Bで示したが、その保持時間(容量)は上述の操作条件の範囲内では α -BOの分解生成物のそれとわけてよく一致した。

図1に見るように、安定した基線上的よく分離された鋭いピークが得られ、上述の分解生成物に対するアルデヒドとニトリルの定性実験と併せて考えると、 α -BOの300°Cの熱分解においては、上述のガスクロマトグラムに示される範囲内では、副生成物は微量で、その大部分はベンズアルデヒドとベンズニトリルに分解されたことが認められる。この場合脱水を伴うので、3種のオキシムの固体試料はすべて減圧下に加温乾燥して結晶水を除いたものを用いた。

また、充填剤としてSE 52を用いた α -BOの分解ガスクロマトグラムでも、主分解生成物のベンズアルデヒドとベンズニトリルのピークに重なりが見られ分離はよくなかったが、カラム温度240°Cに至るまで副生成物のピークは微量であった。

2.2.4 α -FBOの熱分解ガスクロマトグラフィー

試薬: α -FBO: Fischer⁶⁾の方法で合成したフロベンゾインは不純物として単一アシロインを混入している恐れがあるため、とくに元素分析の一致したものをオキシム合成の原料として用いた。これを常法⁷⁾にしたがって α -オキシムにし、ベンゼンとエタノールでそれぞれ数回再結晶した。

フロベンゾインの分析値

C₁₂H₁₀O₃としての計算値; C 71.28%, H 4.98%

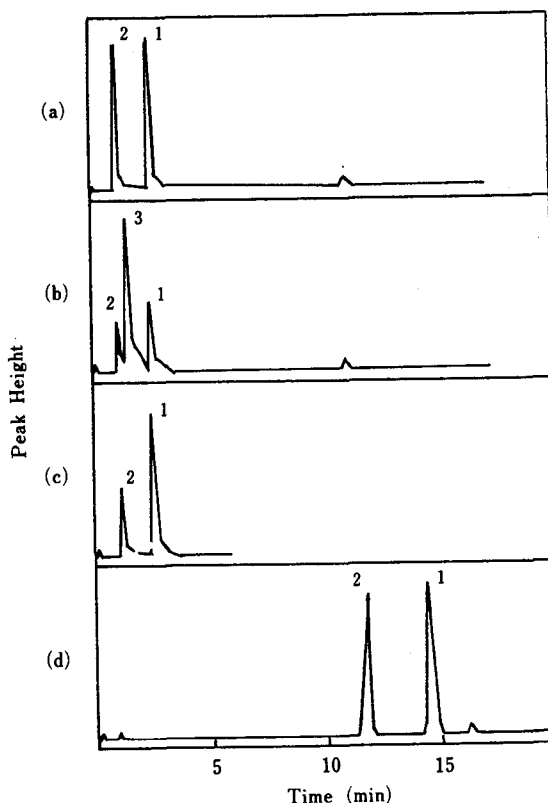
測定値; C 71.98%, H 4.83%

α -FBOのmp 162°C (文献値 160°C)

フルフラール: キンダ化学の一級品を数回蒸留したものを、蒸留後ただちに標準物質として用いた。

α -FBOの単独ならびに標準物質としてのベンズアルデヒドとフルフラールをそれぞれ混入させたものの熱分解ガスクロマトグラムを図2に示した。図2中(a), (b), および(c)は充填剤としてSE 52を、(d)はPEG 6,000を用いた場合のガスクロマトグラムである。

図(c)より明らかなように、(a)~(d)中のピーク1は標準物質として加えたベンズアルデヒドの示す保持容量とよく一致し、熱分解の結果ベンズアルデヒドが生成したことを示している。また、図(b)中のピーク3はフルフラールであるから、(a)~(d)中のピーク2は前述の定性検出によっても解るようにフロニトリルであることが推定される。



カラム: (a)~(c) SE 52, (d) PEG 6,000

試料: (a), (d) α -FBO, (b) α -FBOとフルフラールの混合物, (c) α -FBOとベンズアルデヒドの混合物

図2 α -FBOの熱分解ガスクロマトグラム

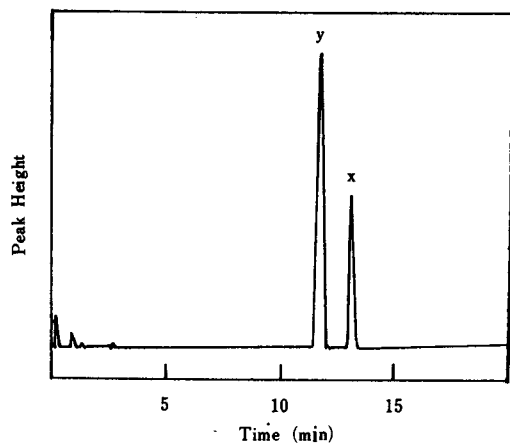
この場合、SE 52, PEG 6,000のどちらを用いても分離のよい2つのピークが得られる。SE 52の場合、カラム温度が63°Cのときフロニトリル、(66°Cでフルフラール)、76°Cでベンズアルデヒドのピークを示すが、162°Cの点に微量であるが、第3のピークが認められ、これはかなり分子量の大きい物質によるものと考えられる。

2.2.5 α -FOの熱分解ガスクロマトグラフィー

試薬: α -FO: 常法⁷⁾によって合成したものをエタノールで数回再結晶した。 mp 159~159.5°C (文献値 160~161°C)

図3にPEG 6,000を用いたときの α -FOの熱分解ガスクロマトグラムを示した。

前述の定性検出および推定物質フルフラールとの保持容量の一致から、ピークYがフロニトリル、ピークXがフルフラールによるものであり、またこの場合のピークYは図2(d)のフロニトリルと考えられるピーク2の保



カラム: PEG 6,000

図3 α -FOの熱分解ガスクロマトグラム

持時間とよく一致している。そしてこの300°Cにおける熱分解ガスクロマトグラムに示される範囲内では、 α -BOとまったく同じように主としてアルデヒドとニトリルに分解されることを示している。

SE 52を用いた場合のガスクロマトグラムでは、 α -BOと同じように多少ピークの重なりが見られる。しかし、PEG 6,000, SE 52のいずれの場合でも、フロニトリルのピークはフルフラールのピークの前方に現われ、ベンゾニトリルのピークがベンズアルデヒドのピークの後方に現われる α -BOの場合とはアルデヒドとニトリルの溶出の順序が逆になっている。

2.3 2種のカラムによる同定

図4は、上述の3種の α -アシロインオキシムについて、2種のカラム SE 52とPEG 6,000を使用した場合の保持時間(容量)、およびこれらオキシムの熱分解生成物の推定物質であるベンズアルデヒド、ベンゾニトリル、およびフルフラールについての保持時間(容量)を比較したものである。

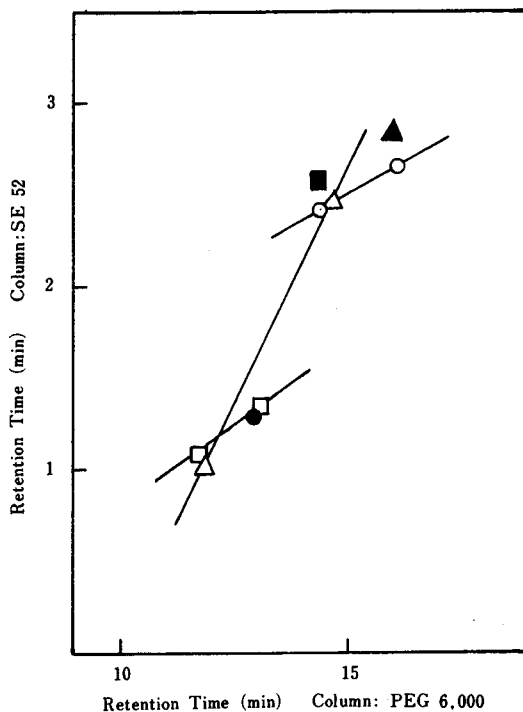
図4に見るように、これら α -オキシム類の熱分解生成物の保持容量は推定物質の保持容量とよく一致している。なお、表1に充填剤としてPEG 6,000を使用した場合のガスクロマトグラムのピークの面積比を示した。

表1 α -アシロインオキシム熱分解生成物のガスクロマトグラムにおけるピーク面積比*2

α -BO	ベンゾニトリル 64%	ベンズアルデヒド 36%
α -FBO	フロニトリル 43%	ベンズアルデヒド 57%

α -FO フロニトリル 64% フルフラール 36%

*2 ピーク面積の測定には DISC Chart Integrator-239型を用いた。面積比は2回測定の平均値を示した。なお、副生成物のピーク面積は微小であるので無視した。



○: α -BO, △: α -FBO, □: α -FO, ■: ベンズアルデヒド, ●: フルフラール, ▲: ベンゾニトリル

図4 α -アシロインオキシム熱分解生成物の2種のカラムによる同定

3. 考 察

Wernerら⁸⁾は α -アシロインオキシムが転位剤によってアルデヒドとニトリルに分解する反応を異常(または第二次)ベックマン転位と命名しているが、 α -アシロインオキシムの熱分解でも同じ生成物が得られる。また、この二次転位を行なうオキシムは、分子構造に分解しやすい点を持つケトンのオキシムである⁹⁾

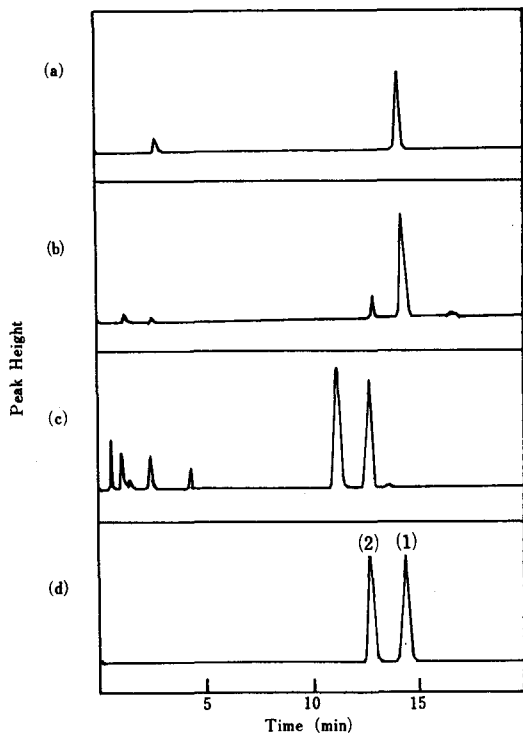
ベンゾイン、フロベンゾイン、およびフロインについて、充填剤としてPEG 6,000を用い、上述の α -オキシムの場合と同じ条件下で測定した300°Cにおける熱分解ガスクロマトグラムを図5に示した。

これらのアシロインの熱分解率は上述のオキシムの分解率に比べるといちじるしく低いので、比較的少量の固体試料を必要とした。

しかし、図5に見るように、その熱分解ガスクロマトグラムに示される範囲内では、いずれもその成分アルデヒドに分解される傾向にあることが、分解生成物の保持容量と、推定の標準物質であるアルデヒドの保持容量との一致によって推定される。ベンゾインの場合は、唯一の分解主生成物としてベンズアルデヒド、フロベンゾインの場合は、ベンズアルデヒドとフルフラールの2種の主生成物に相当する保持時間で、それぞれピークが示されたが、フロインの場合には、成分アルデヒドとしてのフルフラールに相当するピークの前方も同程度のピークが示された。しかし、これらの熱分解ガスクロマトグラムによると、いずれも上述のオキシムの分解に比べるとはるかに低い分解率ではあるが、少なくともその分解物の1つはアルデヒドであり、アシロインの分子構造中の $-CH(OH)-$ 基の部分に分解されやすい点を持つことが推定される。

Wernerら⁷⁾はシアン化カリウムを触媒として、当量のフルフラールとベンズアルデヒドをアシロイン縮合させた場合には、

- (a) $C_6H_5 \cdot CH(OH) \cdot CO \cdot C_4H_3O$ が生じ、
- (b) $C_6H_5 \cdot CO \cdot CH(OH) \cdot C_4H_3O$ が生じないという



カラム：PEG 6,000，試料：(a) ベンゾイン，(b) フロベンゾイン，(c) フロイン，(d) 標準物質；(1)ベンズアルデヒド，(2)フルフラール

図5 アシロインの熱分解ガスクロマトグラム

ことを、その α -および β -オキシムのベックマン転位の生成物によって確認し、Buckら³⁾はその名称をベンズフロイン，(b)，でなく、フロベンゾイン，(a)，であると名付けたが、本研究における α -FBOの熱分解ガスクロマトグラムが、主生成物としてベンズアルデヒドのピークは示すが、フルフラールのピークは示さないという事実は上述の結果とよく一致するものである。

不活性気流中の α -アシロインオキシムの熱分解ガスクロマトグラフィーでは、1 mg以下の微量の試料で、しかも転位剤を用いた大気中溶液内の転位のときのように分解生成物が他の物質に変化することが少なく、アルデヒドとニトリルの2つのピークの面積比を利用した定量的な考察も得られるという利点がある。

本研究に用いられた α -アシロインオキシムはすべてFeigl¹⁰⁾の製法にしたがって銅錯体とし、その α -型であることを確かめた。

文 献

- 1) A. Kötze, O. Wunstorff, *J. pr. Chem.*, **88**, 519 (1913).
- 2) S. Yamaguchi, *Bull. Chem. Soc. Jap.*, **1**, 54 (1926).
- 3) J. S. Buck, W. S. Ide, *J. Amer. Chem. Soc.* **52**, 220 (1930).
- 4) Shriner, R. L., Fuson, R. C., Curtin, D. Y., "The Systematic Identification of Organic Compounds," P. 219(1956).
- 5) Soloway, S., Lipschitz, A., *Anal. Chem.*, **24**, 898 (1952).
- 6) E. Fischer, *Ann.*, **211**, 228(1881).
- 7) A. Werner, Th. Detscheff, *Ber.*, **38**, 69(1905).
- 8) A. Werner, A. Pignet, *Ber.* **37**, 4295(1904).
- 9) 目代 涉, 化評, **9**, 532(1943).
- 10) F. Feigl, *Ber.*, **56B**, 2083(1923).

スポーツの価値

中 和 田 武

The Value of Sports

Takeshi NAKAWADA

現代社会における価値観は、世界的に多様化し、それが現実的に秩序を欠く原因となっている。これと相まってスポーツも、本来の意味を見失い享楽的方向に歪められ、真・善・美・健よりも「利一害」が最高の価値と考えられ、利のためには他を犠牲にしてもよいとする風潮が現れ、スポーツも社会的諸要因によって変容を余儀なくされ、スポーツの価値も当然これらの要因により変化を来しているように思われる。人間は、常にスポーツ活動の欲求に駆られるが、その欲求の根拠として、スポーツのもつ娯楽性と原始性をあげることができる。つまり、スポーツ活動は楽しい現実の活動であり、その中に自然な人間的欲求が秘められており、複雑多様化した現実生活では味わうことのできない人間本来の自然な姿に、われわれを立ち返らせてくれる活動である。スポーツは、娯楽として快楽を求める現象であり、スポーツ活動を通して人間は、「快」を味わい体験する。しかし快は、単に「ころよい」と感じる感覚的な快ではなくすべての価値と調和統一されて、はじめて価値あるものとして位置づけられる。そして、それが肉体に感ずるだけでなく、内面化して心で感ずるとき、その価値は、はじめて美の範疇に位置づけられ意味あるものとなる。美は生命の展開である。生命は、外界に向かっては現象として現われ、内に向かっては感覚として現われる。われわれは価値のある現象を美しいという。また、価値ある感覚を快と呼ぶ。このようにスポーツの価値は、人間の感覚に訴える「快＝美」というスポーツ的美的体験（運動体感）の追求を通して、すべての価値と融合することによって、人間生命の発展に寄与するものとなる。これは、古代ギリシアのカロカガティアに通ずるものである。スポーツは、限りなき生命の源泉として、人間生命の高揚を可能ならしめる美的実存的世界として、競技である前に教養として、勝敗の法則を超越し、その深奥に理想とする人間完成の価値を出現しなければならない。

はじめに

現代社会は、統計と記録によって支配されているといっても過言ではない。人間の価値尺度は、数量化されるものに向けられ、貨幣価値が唯一の価値として認識され、数字ほど現代大衆と無教養な人々の間で尊敬されているものは他にない現状である。現代ほど数によって、価値が変質している時代はないであろう。このような社会の即物化過程の中で、スポーツもまた、スポーツの中に生じるよろこび、楽しさ、気高さ、美しさなど一量に換算しえない精神的な面が忘却され、力や記録が勝敗を決定し、「いかにして」ということが従属的価値しかもたない傾向にある。

このようにスポーツにおける記録第一主義、勝利第一主義は、近代社会における競争社会の特性と合理主義、量化主義のあらわれと考えられる。しかしながら、これらが高度化するにつれて、本来の人間存在が疎外される

結果に陥ることは、物質文明における物質主義化の人間疎外の問題と同様に考えられ記録、レコード、タイムなど科学的定量化によってスポーツの価値も低下しているのではないだろうか。このことは、競技に勝つことに生きることと同等の価値を与えていることを示しているといっても過言ではない。こうした日本の精神風土を背景としたスポーツ観は、自然発生的な下からの大衆路線の盛り上りに水をそそぐことにならないかと思われる。

スポーツには勝敗があり、勝つこと、勝つための努力に価値があるというならば、それはあまりにも短絡的な論理であろう。勝つことは敗者をつくることであり、スポーツの世界において敗者をつくっても、人生においては自己の勝利のために敗者をつくることは許されない。スポーツの空間が、現実の世界より遊離した特殊な実存の空間であり、この勝敗はあくまでもスポーツ空間における虚の世界たることを再認すべきである。

このような勝利志向のスポーツに対して、今日、スポーツを遊びの範疇でとらえ、スポーツ本来の姿を求める

運きがさかんにってきている。この運きは人間の自然回帰への行動であり、人間本来のあるべき姿に立ち帰ろうとする運きであろう。このようにスポーツの大衆化が進み、巾広くスポーツ人口が増加するにしたがいわれわれは、「スポーツをプレイする」という原点に立ち帰り、ともすれば手段化されたスポーツに対応するというのではなく、個人の自由な意志によりスポーツを楽しみ、快を求め、その中でゆとりの心、ゆとりの人生を送る努力の必要性を強調し、スポーツを人間生命の発展に結びつくものとして位置づけなければならない。

そこでわれわれは、人間の活動欲求を満足させるスポーツ、われわれを魅惑するスポーツの根源的な価値を精神的側面から考察を試みる。

1

戦前と戦後では価値が変わってしまったとか、世界の断絶は価値観の相違によるものとかいわれ、現代、価値の多元化、多様化が問題となっているが、それ自体は個々の人間の生き方として、全く正しい方向であろう。しかしながら、生み出された各種の価値が、人類の滅亡につながるものであってはならないと思われる。どのように価値が多様化しようとも、それらがわれわれを生を創造にむかわしむるものでなくてはならない。そこでわれわれは、スポーツの価値をさぐる前に、価値とは何かを整理しておく必要がある。

価値とは「よさ」のことであり、われわれは価値あるものを「よいもの」と呼ぶ。よいものには価値がありよくないものには価値がない。すなわち、価値とはよいものの「よさ」のことであろう。その「よさ」の質は多種多様であり豊富である。よいものとよい事とよい人では、その「よさ」、すなわち価値の質が違う。このようにすべての価値は質に基づいており、価値本来の意味は「尊さ」であろう。

用語的にみると、価値は本来経済的用語であり、ドイツ語でいえばGüter（財）である。こうみると経済的価値は貨幣価値に帰着する。現代社会においては、人間のよしあしを経済的収入の多少によって計りたがる傾向があるが、このことが端的に示しているように、すべての種類の「よさ」を経済的価値に還元しようとする風潮がある。価値はその対象と人間との関係作用によって生ずる。価値は人間の存在と行動に絶えずつきまとうものであり、また、価値は人間生命に及ぼす影響が大であればあるほど価値は高いといえる。

従来の価値観の体系は、19世紀後半から哲学史の一つの流れとして真・善・美に代表される文化価値の超経験

的な「妥当性」を基礎づけることをめざし、真・善・美あるいは聖を冠した文化価値体系が考えられた。ところが戦後、この価値体系は崩れ分裂状態をおこし、真・善・美それぞれを最高とするものに分かれる傾向が始まった。さらに理想的、観念的価値観に対して、現実的具体的価値観が台頭し、利なる価値が重視される傾向が強まった。すなわち、マルクスは利（物的世界）の価値を明らかにし、人間にとって生産・労働・物的条件の重要性をうかびあがらせたのである。特に唯物論主義の立場からは利が重視されてきている。「かくして真・善・美はすべて利に従属するような考えにまで発展しているとみられる。さらに、観念主義・唯物主義の立場をとわず、真の価値が尊重され、それがおのずから知識偏重・知的偏向・科学偏向のおもむきになっていることも確かである。⁽¹⁾」

今日、現代社会が物質主義に侵され、人間性喪失、人間疎外の現象が現われ、大きな社会問題となっている中で、生命の物質化の原理が頭をもたげ、この原理の影響を受けて人間の欲望が顕現し、巾広くエネルギーを増加してきていることは事実である。このことについて原田・川田は「人の生命であれ、社会制度であれ、また、権力や名声であっても、今や、人的価値を有せず、物的価値として、その立ち場を与えられている。愛さえも、人間的愛ではなく、動物的欲望の対象としての愛欲のみに変化してしまっている。それは、これらの対象物が人間から切り離され、物的価値と結びついた権力や名声や愛等の形で存在するからである。いや、人の生命までが、物的価値を生むものとして、科学的定量化の対象となり、資本の論理に奉仕する商品となり、権力に使われる消耗品となっている⁽²⁾」と述べているが、これは、まさに当を得た現代批判といえる。

このような、今日における生命の物質化の原理は、われわれの時代の価値喪失をあり、この状態は歴史上で比をみないほど大なる危険性をもっている。現代は、世界的に価値体系が疑問視されるほど混乱をきたしているといっても過言ではないだろう。この現代をさして価値の多様化時代と言われているが、正しくは、誰れもが理解しえる価値体系が存在しないという方が妥当であろう。このことが、科学や経済、政治、快楽などの至上主義となって現われており、価値体系の動揺、錯誤、矛盾、混乱の事態が現実的に渦巻いており、価値的統制がとれないのが今日の実情であろう。このように混迷する現代の価値観の多様化は、社会の相違、個人間の相違により当然であるが、この時期にこそ、新しい価値体系が必要ではないかと思われる。「価値は多様化しなければならない。だが、それらの価値が、たがいに抗争しあって混乱をおこしてもならないと考える。とすれば多様化した価

値のすべてをつらぬく、より深い人間的な価値が求められなければならない。⁽³⁾それは人間の根源的な価値としての生命価値であろうと思われる。そして、人間存在の基盤、原点としての生命の尊重は、人類の理念として大きく位置づけられなければならない。

そこでわれわれは、哲学的人間学の立場から人間存在を実存としての人間（実存的存在）、精神としての人間（社会的存在）、生命としての人間（生物的存在）の三層構造として把え、価値感の系譜とからみ合わせることで、価値体系を明らかにすることができる。⁽⁴⁾すなわち、従来の価値体系は真・善・美を価値と認めている。マルクスは生産労働、物質的条件を重視し利の価値を加えた。さらにわれわれは、健（身体文化）の価値を加え、それを諸価値の基盤とすることによって価値をより体系化することができる。そして、これらの価値は、社会の中でそれぞれの働きをしながらも、全体として生命価値のもとに融和し脈動するものであり、しかも有機的にからみ合うものである。

スポーツ（身体文化）は、まず生命としての人間を基盤に健から利という価値を理念とし、生命価値を生み出すことはいままでもないが、それは、また真・善・美などあらゆる価値理念にもかかわり、人間的な生の創造と発展に寄与するものとなる。そして、スポーツは人間生命の太陽として、その光、熱、エネルギーによって、生命と美をわれわれに換げ起こすものとなるだろう。

2

人間は、常にスポーツをやりたいという欲求に駆られるが、その欲求の根拠として、スポーツのもつ娯楽性と原始性をあげることができる。つまり、スポーツ活動は、楽しい現実の活動であり、その中には、自然な限りない人間的欲求が秘められており、複雑多様化した現実の生活では味わうことのできない人間本来の自然な姿に、われわれを立ち返らせてくれる活動である。すなわち、われわれがスポーツを行うのは、楽しいからであり興味と快感が得られるからであり、スポーツ活動の中に、生命の根源から湧きでる限りない人間的欲求が深く秘められているからにほかならない。

このように考えてみるとスポーツは、われわれの「活動の欲求」を前提として成立つことが明らかとなる。活動の欲求は、活動そのものを楽しみたいという活動の自律欲求を生み出す。この自律欲求は、活動のための活動を楽しむこと、あるいは無目的の活動欲求とでもいべきものであり、目的意識をとまわらない「趣味のための趣味」ともいえる活動であり、これがスポーツの本質と

もいえる。これは、はじめスポーツのためのスポーツとして活動の自律欲求を満足させるが、最高のレベルにおいては「無我」の境地にとうたつするものである。

活動の欲求からは、また質のことなる欲求が派生してくる。われわれがスポーツを行う場合、はじめは単純な活動欲求を満足するだけで十分であったのが、しだいにそれだけでは物足りなく感じてくるのが普通である。より練習を重ねてフォームをより美しくし、記録を向上させようとする欲求、つまり単純な活動欲求以上のスタイルの欲求とか、向上の欲求が二次的に生まれてくる。すべての人間は、自分が行っている活動にたいして、それを自己にとってより価値あるものに向上させようとする欲求をもっており、その根底には自我の欲求がある。人間の活動の欲求は、生命の充実感を求める欲求であり、自己のパーソナリティの中核である自我の強化拡大の欲求と結びついて、活動している自分をより高度なレベルに引上げようとする向上の欲求となる。この向上の欲求について南博⁽⁵⁾は、向上の欲求が、身体活動の形式的な美しさという価値に結びつけば、より美しいフォームをつくらうとするスタイルの欲求となる。また、スタイルにはおかまいなしに、よい記録をつくらうという、記録向上の欲求を満足させるための努力になって現われることもある。そしてフォームが美しくなると同時に記録も向上する。結局のところフォームの美しさとよい記録とは、最高のレベルでは一致するものだと述べている。また、向上の欲求は、活動の完成を目標におく完成の欲求へと派生していくのであり、これも自我の欲求と連関をもっている。われわれが価値の有無を判断するのは自我であり、「その人のもつ自我の性質こそが、価値判断と欲望発現に最大の役割をもつ⁽⁶⁾」のである。自我は、欲望の働きを注意深く追いながら価値判断を行い、自己の生命にとって価値あると思われるものを生み出すように欲求をコントロールする。いやしくも生の欲求表現として、よりよく表現され活動している場合こそ、より価値する行動である。人間は、自らの活動をより価値づける能力を持ち、可能性を秘めている。

人間は、また活動の欲求を満足させるための努力を重ねる中で、努力そのものにこそよさを感じることができ。活動に全エネルギーを傾注することにより努力の過程で楽しみがわき上がり、疲労を忘れさせるだけの喜びがそこに生れる。もし、この努力が疲労だけに終るのでは、それは努力ではなく単なるエネルギーの浪費となって現われる。これは、中井正一がいうように「練習に練習を重ねることで、鍛練に鍛練をつみ重ねることのみ、初めて宇宙の中に、ほんとうの自分にめぐりあうことができるのである⁽⁷⁾」ということにほかならない。この

「努力の最高の楽しみは、その努力を通して、なにか自分にとって新しい発見があり、創造がある⁽⁸⁾」ということである。

先に述べたように活動の欲求は、スポーツの前提条件であり、そのもっとも高いレベルでは、われわれに創造の喜びをもたらしてくれるものである。しかし現実の生活の中において創造の喜びを発見することが困難な現代、われわれはスポーツの活動の中に、それを発見するほかないのではなかろうか。そして、心身の健康をもたらすアクティブなスポーツ活動を通して、新しい発見と創造が現出されるとき、スポーツの価値は高まるといえる。

3

スポーツは、娯楽として快楽を求める現象であり、スポーツ活動を通して人間は「快」を味わい体験する。ここにいう快は、生活的価値の範疇でとらえることができる。しかし快は、単に「こころよい」と感じる感覚的な快ではなく、すべての価値と調和統一されて、はじめて価値あるものとして位置づけられる。そして、それが肉体に感ずるだけでなく、内面化し心に感ずるとき、その価値は、はじめて美の範疇に位置づけられ意味あるものとなる。

社会的存在である人間は、実践的活動を通して発展しつつ、すべての領域にわたる自分の思想や感情をゆたかにしてゆく存在である。自分の対象活動にたいする初歩的な満足は、人間的快楽に転化されてゆく。われわれは、快い感動を引き起こすものを美という。もとより価値のあるものとは、少くともわれわれに快感を与えるものがあり、スポーツもその例外ではない。

そこで、われわれは「快」とは何かを問いなおしてみる必要がある。快楽と美についてクーデンホーフは『生命は外部に向っては現象として現われ、内部に向っては感覚として現われる。われわれは価値ある現象を美しいという。また価値ある感覚を快いと呼ぶ。すなわち、美とは「快い感動を引き起こすもの」だということができる。それ以外のすべての価値は、美と快楽という二つの根本的価値に還元することができる⁽⁹⁾』と述べている。すなわち、快楽と美はあらゆる価値の基礎であるといえる。快楽は感覚の世界に、美は現象の世界に存在するのであり、「感覚の世界においては快楽が唯一の価値であり、現象の世界においては美が唯一の価値である。⁽¹⁰⁾」快楽と美とは同一のものではなく、しかも相互に矛盾しないで関連があり、主観的にみるとただ一つの価値「快楽」しか存在せず、客観的にはただ一つの価値「美」しか存在しないのである。この二つの価値は、生命発展という

唯一の価値の両面にすぎないのである。

われわれにとって美的価値と快価値は明白であり、われわれは美と快を求めて努力し、醜と苦をいみきらう傾向にある。「美しいということは、エネルギーと調和が高められた場合のあらゆる現象をいうのである。楽しいということは、エネルギーと調和が高められた場合のあらゆる感覚をいうのである。苦痛ということは、われわれの生命のエネルギーと生活の調和が阻止されるすべての場合をいうのである。すべての人間は、強く美しくありたいと思っている。すべての人間は、力と美を好んでいる。肉体について、性格について、また精神についての力と美を好んでいる。……力は人間に活動することを要求し、形は人間に形成することを要求する。⁽¹¹⁾」

われわれは、生れながらにして美しいほうが醜いよりもよいことだということを知っており、気高いほうが卑俗よりもよく、形のあるほうが混沌よりもよいということを知っている。このことについて、クーデンホーフは「理想化された、われわれの自我は倫理上の要求となり、われわれにたいして「強く、美しくあれ！」また「強く、美しく行動せよ！」と呼びかける⁽¹²⁾』と超倫理的立場で論じているが、まさに人間本来の姿を追求した言葉といえる。

われわれの生命に調和とエネルギーを与えるもの、それは最高理念としての美しさだけである。このような意味から、人間すべての努力は美を目標としているといえる。すなわち、美こそ自然がわれわれの中に承認する唯一の価値といえるであろう。いつも美を認識した人は、美のとりこになって美を愛し、美に没頭するに違はなく、それ以外の行き方はないと思われる。「英雄的、美的人生は快楽や道徳を中心に回転しないで、美の極を中心に回転している⁽¹³⁾』といえるのであり、英雄的な肯定の場合は、苦しみを避けるのに享楽や逃避によらないで行動と美、生命力と調和によって苦しみを克服しようとしている。「快楽と美との間の対立は消失し、美が最高の快楽となり、人生の王冠となる⁽¹⁴⁾」のであり、われわれは、ここで美を最高の価値として位置づけることができる。

現代社会におけるスポーツは、われわれが自己帰帰の場を与えてくれる唯一のものといえる。スポーツは、現代社会において遊びであると同時に社会的な人間性回復の機能を負わされているといってもよいだろう。スポーツには娯楽の面があることは確であるが、スポーツはそれで終るものではなく、また教育で終るものでもない。スポーツは、それらを通して精神が自己自身に帰り、自己自身の美しさを実現するためにあるものといわなければならない。スポーツにおける美も力も、人間の精神の美しさを究極の目的としているところにあると思われる。

このことは、マイケル・ノバックが「プレイは人間の精神と身体の基本構造である。プレイをしている精神や身体は、人類が達成した最高の美的業績を想起させる⁽¹⁵⁾」と述べていることから明白であろう。

われわれは、スポーツに快を求めて活動する。この快を求めることが、スポーツのスタートであろう。だが、スポーツの基本的な方向は人格の美に向けられる。この美とは感覚的な美しさではなく、心によって生じてくる輝き、すなわち精神の所産である。人格美は感覚的な美とは異なった「心の美しさ」、「思いやりの美しさ」、「人柄の美しさ」であり、それらはむしろ人間の内的生活を支配する力である。

理想主義にねざすスポーツは、快楽や気晴らしのスポーツではなく、向上するスポーツが要求される。このような崇高なスポーツが人間を清め、また高めるのである。われわれは、スポーツにおいて生き方の美を学びとることができる。そしてスポーツは、究極的には美的価値を追求し、美的価値の創造をめざすものでなければならない。そして、人間生命の中核をしめる自我構造の変革にまで高まるとき、スポーツの価値は一層高まるのであり、スポーツが魂の琴線をゆさぶるとき、はじめてスポーツの価値は実現されるのではなからうか。

このようにスポーツの価値は、人間の感覚に訴える「快＝美」というスポーツ的美的体験（運動体感）の追求を通して、すべての価値と価値的に融合することによって、それは人生の価値である幸福に結びつき、人間生命の発展に寄与するものとなる。これは、古代ギリシア人の理想としたカロカガティア（美にして善）に通ずるものである。

ま と め

現代社会における価値観は、世界的に多様化し、それが現実的に秩序を欠く原因となっている。これと相まってスポーツも本来の意味を見失い享楽的方向に歪められ真・善・美・健よりも「利一害」が最高の価値と考えられ、利のためには他を犠牲にしてもよいとする風潮が現れ、スポーツも社会的諸要因によってSport of Sport, Sport for Victory, Sport of phize に変容を余儀なくされ、スポーツの価値も、当然これらの要因によって変化を来している。

スポーツは、本来カラーのないものであるが、これに関与する人間によって左右され、その価値もそれを行いつくす条件によってなんらかの価値を実現しうる可能性を秘めている。これは今日、世界的に二大様相を示している二つのイデオロギーによって、スポーツの価値

が異なっている点でも明らかである。つまり、現代の国際社会における資本主義と社会主義の対立は、身体文化（スポーツ）に対する考え方の相違を生みだし、価値観の相違をも生みだしている。スポーツも当然、この影響を受けてスポーツ本来の姿が歪められ、利用的価値として位置づけられている。

しかしながらスポーツの世界は、生活空間から遊離した特殊空間であり、人種や民族を越え、国家や階級や宗教をも越えた、自由と平等と友愛を基盤とする純粋な世界である。われわれは、今、それを再認識した上で、イデオロギーや政治を超越したところにスポーツの存在価値があることを認識し、意義あるものにしなければならない。そしてスポーツは、決してつきることのない生命の源泉として人間生命の高揚を可能ならしめる美的実存的世界として、競技である前に教養として、勝敗の法則を超越し、その深奥に理想とする人間完成の価値を出現しなければならない。

スポーツは、スポーツを行う人間にふさわしいものであった時に、はじめて欲求を満足し身体的、技術的、精神的な向上をもたらす、それによって人間の生活能力が高められた時、スポーツは価値あるものとなる。その反面、ふさわしくないものであった時には、人間は墮落し、非人間化し、健康を害し、スポーツは価値のないものとなる。また、人間生命の中核である自我構造の変革は、真実のスポーツによってなされ、スポーツの経験を通して価値観の根本的変革を可能ならしめなければならない。

スポーツを行うことが、そのままスポーツの価値実現に結びつくものではなく、人間が自然現象や自己超越のための戦いとして、スポーツを追求する過程において、古代ギリシアの道徳指針であった「カロオス・プラティン」、すなわち美しく行動することを通して、人間性が高められ、生活が豊かになり生活に喜びが与えられていくなれば、そこに始めてスポーツの価値が実現されるであろう。

注

- (1) 体育原理研究会編：スポーツ美学論，不味堂，P.232，（1976）。
- (2) 原田嵩・川田洋一：欲望と生命，第三文明社，P.68，（1977）。
- (3) 前掲書(2)，P.193。
- (4) 近藤英男：遊戯論の系譜，近藤英男教授退官記念事業会，P.42，（1978）。
- (5) 南博：意識革命，講談社，P.109，（1965）。
- (6) 前掲書(2)，P.190。

- (7) 中井正一：美学入門，朝日新聞社，P.21，（1975）.
- (8) 前掲書(5)，P.119.
- (9) クーデンホーフ・カレルギー，鹿島守之助（訳）：倫理と超倫理，鹿島研究所出版会，P.163，（1965）.
- (10) 前掲書(9)，P.164.
- (11) クーデンホーフ・カレルギー，鹿島守之助（訳）：物質主義からの離脱，鹿島研究所出版会，P.25～26，（1967）.
- (12) 前掲書(11)，P.95.
- (13) 前掲書(9)，P.224.
- (14) 前掲書(11)，P.151.
- (15) マイケル・ノバック，片岡暁夫（訳）：スポーツその歓喜，不味堂，P.63，（1979）.
- クーデンホーフ・カレルギー，鹿島守之助（訳）：倫理と超倫理，鹿島研究所出版会，（1965）.
 - 原田嵩・川田洋一：欲望と生命，第三文明社，（1977）.
 - 牧口常三郎：価値論，第三文明社，（1979）.
 - 今道友信：美について，講談社，（1978）.
 - 南博：意識革命，講談社，（1965）.
 - 浅井浅一・近藤英男・丹羽劭昭：体育新論，タイムス，（1975）.
 - 大江精志郎：哲学的価値論の研究，理想社，（1967）.
 - 作田啓一：価値の社会学，岩波書店，（1978）.
 - 体育原理研究会編：スポーツ美学論，不味堂，（1976）.
 - 体育原理研究会編：スポーツ規範論，不味堂，（1974）.
 - 佐藤和兄：スポーツ概論，明玄書房，（1964）.
 - NHK海外取材班：スポーツと社会，日本放送出版協会，（1975）.
 - 日本哲学会編：哲学No.26：法政大学出版局，（1976）.
 - 山本信（他編）：講座哲学4，東京大学出版会，（1973）.

文 献

- クーデンホーフ・カレルギー，鹿島守之助（訳）：物質主義からの離脱，鹿島研究所出版会，（1967）.

柔道における技術形態の変遷

——戦国時代から江戸幕末まで——

中 西 茂 巳

Transition in the Techniques of Judo with the Changes of Times — From the Age of Civil Strife to the Edo Period —

Shigemi NAKANISHI

近年講道館柔道は、国際的な発展を遂げ、多くの国際試合への参加国も年々その数を増しており、その層も増々厚くなって来ている。この今日ある柔道は嘉納治五郎師範によって創始されたものであり、古来から多くの流派に分かれていた柔術を母胎に知育、徳育、体育の立場から新しく編成し改革したものである。

我が国においては、かなり古くから多くの武術があった。その中でも柔術は、源平時代頃から江戸時代末期にかけては、その多くの名人、達人が生まれた。そして現代柔道に対して技術的な面でも精神的な面でも大きな影響を与えていると考えられる。

序

古流柔術の代表的流派としては、竹内流、関口新心流、渋川流、楊心流、真之神道流、直信流、起倒流、天心真楊流などがあり、江戸時代末期にはその数も数十種類にものぼったと言われている。

嘉納師範は、これらの柔術の中のいくつかを修行し、また他の多くの流派を研究することによって、その長所、短所の比較検討を行ない、その結果が講道館柔道として姿を表わしたのである。

この柔道は古来から栄えて来た柔術が実戦の中での武術のみに目的を置いたのに対し、体育と精神修養の二点をその上加えて、技術とその方法を構成している。そして、その中でも特に体育の面に重点を置き、それが現在までの発展に至った柔道の根元的要素だといえるだろう。

このように柔道の発展を顧みるとき、その歴史と変遷は今後の発展の土台となるものであり、歴史を知り、その歴史の裏付けを理解することは、非常に重要なことだといえるだろう。そして、未来の柔道界の課題、特に今日外国柔道の台頭に少しづつ姿が薄れて来ている日本柔道への課題は、歴史と共に歩んで来た柔道を調べること

によって徐々に打ち立てられて行くはづである。

これらの点に着目し、約百年の歴史を持つ講道館柔道を技術形態の変遷という角度から調べ、その変化に影響を及ぼした試合形式など、その他多くの事柄を文献調査することによって明らかにして行きたいと思う。

柔術においては、講道館柔道に最も関連の深いところの起倒流と天神真楊流の練習形態について調べることにする。また、講道館柔道の練習形態や柔術における練習形態の原形だといわれ、投技の発達に大きく影響したと思われるところの関口新心流の練習形態についても考察する。

柔術における練習形態

1. 関口新心流（関口流）

関口新心流については、昭和六年に刊行された「南紀徳川史卷之六十一、武術伝第三⁽¹⁾」に次のように記されている。「関口弥六右衛門氏心、関口外記氏幸総領、隠居後柔心、生国駿河。父外記氏幸は刑部大輔氏興総領にて駿河国有渡部関辺之城主にて御座候。隠居剃髮仕柔心と相政関口流柔術之元祖にて御座候」このように、徳川三代将軍家光の頃、柔心は関口流を創始しており、彼は、受け身の名人として天下に聞こえていたと言われている。

受け身は、現在行なわれている乱取りの基礎であり、受け身なくしては投技を用いる乱取りは成り立たないのである。故に、最初に受け身を作り上げたといわれるこの流派は、後の多くの柔術における投技の発達及び、乱取りの発達に大きく影響を及ぼしたといえるであろう。

受け身が関口流開祖柔心によって生み出されたという事実は、「南紀徳川史巻之六十一、武術伝第三」の「大人雑話の頃」の文中「弥六右衛門或時徒然として庭を詠居たるに向ふの屋根に猫一疋睡て居たりしか余りに寝入てころころと落たるに中にてひらりとほね返り四足を立て地に落付けり弥六右衛門つらつらはを見てより請身を工夫しして屋根に上りて下へ落ちることを稽古す先初には茅藁を澤山に敷て身を打さる様に其上に猶蒲團をも厚く敷き庇より落習ふに初は身を打けれとも下和らかにしたれば痛もなし次第々々に落様功者に成て後には高き屋根よりさかさまに落れとも中にて返り落ける故弥修行して柔術一流の門を開て元祖となれり」より証される。

関口流における技術形態を見てみると、大きく二つに分けられる。一つには基本的教練であり、これを表の演習という。二つには戦場必須の方法を教え、これを奥の演習とした。表の演習とは基本を正しく習熟させることである。その目的は「凡そ武夫戦場に於て功を得るは組討を以て最となす。而してこの術たるや体動よろしきを以て肝要となす⁽²⁾」とある趣旨にのっとったもので、起居動作の形によって修練した。これによって四肢五体を調練し、体捌き、体の動きを熟練させると共に気を養い、活気活体となることに専一させたのである。そして、このように自在な動きのできる心身を作った上で戦場実際のやり方を学ぶのが、奥の演習であった。この徳川初世の頃は、もちろん乱取りなどという技術形態はなかった。

しかし、関口流においては表の演習と奥の演習によって、後の乱取りと同じ目的のものを得ようとしたのだと考えられる。故に、関口流の表と奥の演習という技術形態は、柔術及び、講道館柔道の形と乱取りからなる技術形態の原形だと言えるだろう。よってこの技術形態は、後世の組討としての投技の発達を促し、後の柔術、柔道の技術形態及び、その発展に大きく影響を与えたと考えられるのである。

2. 起倒流

起倒流柔術流祖は、茨木専斎俊房であり、この流派は、良移心当和（福野流）から出ているものである。

良移心当和は、福野七郎右衛門正勝が流祖であり、この福野は、「本朝武芸小伝⁽³⁾」や「麻布国昌寺旧記録⁽⁴⁾」によると、明の帰化人、陳元賛から国昌寺で明国における捕縛術の話を聞き、それを工夫して柔術を起したかの



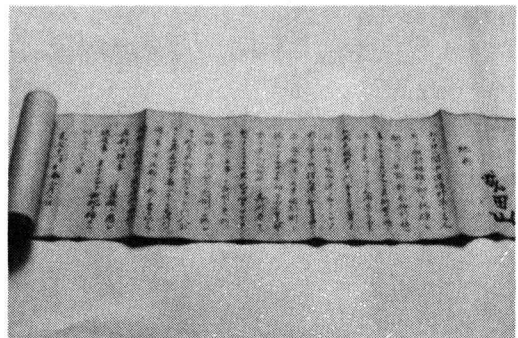
ように書かれているが、本当はそれ以前から組討や捕縛術の研究を積み一流を聞いており、これは、「柳生新陰流下」「月見之伝」の中の文章から証されることである。故に、起倒流は、新陰流の流れをくんでいるとも言えるのである。

次に、起倒流の流祖である茨木専斎であるが、彼は福野と共に新陰流を学び、その後も福野と共に組討法の研究錬磨を重ね彼自らの体系を作り、これを起倒流と名付けたのである。このことは、その後の門流によっても伝えられ、また「起倒流乱得心の目録」「起倒流乱授業目録⁽⁵⁾」及び「起倒流乱組討目録⁽⁶⁾」によってもこれを証することができる。また、寺田勘右衛門満英（幼名正重）が起倒流開祖であるという伝書もあるが、これに対しては老松信一氏が述べている通り⁽⁷⁾、主流または、流祖とは考えられない。

起倒流のその後の門流には、鈴木清兵衛がいて、彼は幕府講武所の師範となり飯久保恒年を教えた人である。

その飯久保恒年こそ嘉納治五郎師範莊年の項に起倒流を教えた人である。

つづいて、技術形態であるが、第一に言えることは、



投技が他の流派に比べて数も多く優れていたということであり、そのことから乱取りが早くから取り入れられ発達していたということである。なぜ投技が早くから発達したか、それは起倒流が鎧組討の投手として発達してきたからだといえる。このことは、「軍陳に至りて勝負の時は、甲を切ても切かたし、よろひたる所は切所なし、然は組討の利方⁽⁸⁾」という文からもわかり、流名起倒流鎧組討⁽⁹⁾という言葉からも察せられる。

また、起倒流で乱取りが盛んに行なわれた一つの理由として、鈴木清兵衛やその弟子飯久保恒年が幕府の講武所で柔術を教えていたということからも言える。

なぜなら、講武所では剣術において早くから試合稽古（柔術の乱取りにあたる）の方法を採用していたと史料「講武所」には記されており、これと同じ場所と同じ趣旨のもとに練習されている柔術に、それが影響しないはずがないからである。

また、柔術におけるもう一つの練習法である形については、他流派ほど多くの割合を占めているとは言えず、このことは、形の本数が、表裏合わせて二十一本と非常に少ないことからわかる。

では、これらの起倒流の技術形態を嘉納師範はどのように取り入れたのであろうか、第一に言えることは、やはり乱取りについてであろう。

講道館柔道では、周知の通り形的練習より乱取り練習が主となっており、これの基礎となったのが起倒流柔術だと言えそうである。また、自然体や組み方も起倒流に大きく影響され、それをより良く工夫したものが講道館柔道だと考えられる。形においては、講道館柔道の古式の形として、起倒流の形、表十四本、裏七本がそのまま残っている。

3. 天神真楊流

天神真楊流は、楊心流と真之神道流を合流したものと称されており、その流祖は磯又右衛門正足（流号柳閑斎）であると多くの記録に残っている。

楊心流の流祖は、秋山四郎兵衛義時であり、このことは、長崎県立図書館「渡辺文庫」の中に所蔵されている楊心流伝書中の一つと、同館「藤文庫」の中に所蔵されている「楊心流静間之巻」に書かれていることから証される⁽¹⁰⁾。

また、真之神道流は、「武術流祖録」に記されているように、祖は、山本民左衛門英早であると考えられる。

「武術流祖録」の真之神道流について書かれている文章の中に出て来る本間丈右衛門は、天神真楊流の流祖、磯又右衛門正足が、真之神道流を学んだ時の先生である。

また、磯又右衛門正足は、真之神道流を学ぶ前に楊心

流を学んでおり、ここでは、一ツ柳織部義路の門に入って修行している。その後二流を合流させて天神真楊流を創始したのである。このことは、「天神真楊流柔術極意教授図解」の真楊流元祖の略伝の文中に書かれている。

この磯又右衛門正足の高弟で、二代磯正光の養子となり後を継いで第三代となったのが、磯正智つまり嘉納師範の天神真楊流における二人目の師であり、その高弟には、吉田千春や福田八之助（天神真楊流の最初の師）がいた。

天神真楊流の技術形態としては、起倒流が鎧組手から投手として工夫され投技が発達したのに対して、平服の者を投げたり当てたり、あるいは捕える修行として工夫し発展した流派である。その起源が異なるため、技の発達や種類も大きく異ってきており、その技術形態も同様のことが言えそうである。

天神真楊流における技術形態を形で述べると、その体系は、楊心流と真之神道流から多く取り入れられていることがわかり、技の特徴としては、当身技や絞技、関節技が非常に多く使われていることがわかる。

また、抑技についてみると、その数は少なくわずかに「亂捕」の項目の中に「ノ込ミ之圖」があるだけである。

このことから、乱取りが非常に少ないということであり、そのことから乱取りは、あまり盛んに行なわれておらず、形を中心とした練習形態であったと考えられる。

乱取り技を、講道館の技の分類によって書き示すと表1⁽¹¹⁾のようになり、これを見ればその数の少なさがわかる。

表1 天神真楊流柔術における乱取り技

講道館における技の分類	天神真楊流柔術極意教授図解
手 技	小手引（体落）背逐投
腰 技	払腰、腰技（大腰） 入掛（腰技）腰入のケゲロ（釣腰）
足 技	スクイ足（釣込足）足払（足車） 股払（大外落）
真捨身技	捨身捕（巴投）
横捨身技	なし
柳 技	シメ込ミ（相手は俯伏せ）
絞 技	胴締め、裸締め、強身締め
関節 技	腕シギ（腕挫十字固）

（ ）内は現在使われている乱取り技

このように乱取り技が少なかった理由として最大のことは、天神真楊流が当身技中心の技術体系であったということである。当身技が中心となったのは、流祖磯正足が、これに重視したからであり、このことは、「天神真

楊流柔術極意教授図解」の真楊流元祖の略伝の文中に次のように書かれており、その経過がわかる。「此時始メテ当身ノ事ニ附テ大ニ悟リシ処在リ、尤モ戰場ニテハ組打ヲ專一トシ、亦敵ニ依リテ当身ノ術ヲ行フ事ハ諸流師家ノ知ル所ナリト雖トモ、諸流ニハ未ダ真ノ当身ヲ以テ修行スルコトハアラザリシニ、柳閑齋先生ハ人命ヲ救ハシガ為メニ処々ニテ真剣ノ勝負ヲ成シ、遂ニ真ノ当ヲ以テ修行セザレバ勝利ヲ得ル能ハザルヲ悟リ、是ヨリ更ニ真ノ当ヲ受ル事ヲ工夫シ、専ラ当身ノ修行ニ心カヲ用イラレテ」。

このように当身技が中心であったがために、技術形態が乱取りへとは移行しにくく、乱取りの発達、いわゆる乱取り技の発達が妨げられたと考えられる。なぜなら、当身技は非常に危険な技であり、それを乱取りに用い、自由練習的に行なうのはとても困難だからである。故に、形中心の練習となり、おのずと形の数、種類も増えて行ったと考えられるのである。このことは、古流柔術全体について言え、昔から形中心の技術形態であったことの大きな理由と考えられる。これについて富木謙治氏は次のように述べている。「このように多様な古流の“わざ”を危険なく習得する方法は、一定の格闘形態を想定して、相手の攻撃に対応する種々の動作を“形”として練習するほかにない⁽¹²⁾。しかし、乱取りが練習の中で行なわれていなかったわけではなく、「天神真楊流柔術極意教授図解」の中にも最後の項に「亂捕」とあり、いくらかの立技も記されている。そして、形の中の技や「亂捕」の項目の中の技から、乱取りにおいては、絞技、関節技などの固技が中心であったと推測される。よって、形が主で乱取りが従であったといえるようである。

次に、この流派をどのように講道館柔道の技術形態に取り入れているのであろうか。形においては、多くの面で取り入れている、乱取りにおいては、危険な当身技は省き、特に固技において絞技、関節技などの多くを取り入れ、更に工夫改良している。また精神面においても、講道館柔道に大きな影響を与えていると言える。

講道館柔道への展開とその概略

嘉納治五郎師範は、前章で述べたごとく、講道館柔道創始以前に天神真楊流と起倒流を学んでいるわけだが、このように柔術を習うようになった。また、関心を持った理由はまことに単純な動機だったようである。その時期は育英義塾に入学し、その寄宿舎に入った頃であり、その当時のことを彼は「其の当時は病身といふではなかったが、極めて虚弱なからだであって、肉体的には大抵の人に劣って居た。それ故、往々他から軽んぜられた。

(中略) 幼少の時から日本に柔術といふものがあり、それは假令非力なものでも大力に勝てる方法であると聞いて居たので、是非此柔術を学ぼうと考えた⁽¹³⁾と書いている。このような単純な動機がきっかけとなって講道館柔道ができたのである。

では彼はどのようにして柔術から柔道への展開を行なったのであろうか。

まず柔術を修業することによって彼は、自分の身体が著しく良くなったことを感じ、そのことを他の運動と比較している。それを「柔術程、本統に身体を鍛練するものはないということを実感するに至った」と表わしている⁽¹⁴⁾。

彼の動機は、単なる「勝負の法」として習うことであったが、その修業の過程において「体育法」としての価値を見出し、そして「修心法」としても非常に良いという結論にまで達したのである。換言すれば、柔術のもつ教育的価値を自覚したものと考えられる。しかし、この柔術の中にも多くの短所があるのに気付く、また流派によって多くの異った点と長所、短所があることもこれらの研究及び、修行によって知るに至ったのである。

柔術における、大の短所は、やはりその修行中において多くの危険が伴うということであろう。その他には、教授法としての学理的研究及び、説明がほとんどなされていないことや、乱取り練習の未発達、姿勢、組み方の悪さ、形の体育的效果の低さなどがあげられる。これらを改良したのが、講道館柔道である。

しかし、この講道館柔道は柔術と全く異ったものではなく、その伝統に対応しながら、教育的価値をより以上に踏まえ、より合理的、科学的に改革したものと言える。このことは、講道館柔道という名称に、「柔」という文字を用いていることから察せられる。そして、彼自身「ソレデハ何ゼ柔理学科カ柔理論トカ云フズシテ柔道ト為シタカト問フ人モ御座イマセウガ(中略)柔理学科カ柔理論トカ申シマスト余リ名称ガ新規ニ成リマスカ何カ全ク自分デ発見シタモノノ様ニ人ニ聞エマセウトノ恐レガ御座イマス。私ハ飽クマデモコノ道ニ就テ古人ノ功劳ハ消滅致シマセヌ様ニシタイト考ヘマシタ処カラ以前ヨリアッタ名称ヲ存シテ置キマシテ其上ヘニ私ノ道場ノ名前ヲツケマシタ⁽¹⁵⁾」とっており、また、「柔術全体ニ就テ考エテ見マスト、実ニ今ノ世ニ於テ貴重スベキ昔ノ遺物ト申サネバナリマセヌ。唯々幾分カノ改良ヲ加ヘサヘスレバ、柔術ハ体育智育德育ヲ同時ニ為スコトノ出来ル一種ノ便法ト成ルコトガ出来ルト申セヨウト存ジマス。ソレデ私ハ数年間工夫ヲ凝ラシ遂ニ一種ノ講道館柔道ト云フモノヲ拵ヘマシタ。コレハ畢竟従前ノ柔術ニ就テ出来ル丈ケノ穿鑿ヲ遂ゲマシタ後、其中ノ取ルベキモ

ノハ取り捨テベキモノハ捨テ、学理ニ照ラシテ考究致シマシテ、今日ノ社会ニ最モ適當スル様ニ組立テマシタノデ御座イマス⁽¹⁶⁾」とも述べていることから証されることである。

講道館柔道は、目的において体育、勝負、修心の三つをあげており、これらを教育的価値に置き換えて考えている。この具体的内容は、彼が二十九歳の時に、大日本教育会の依頼により柔道を世に問うた記念すべき講演の草稿をまとめたもの「柔道一斑並ニ其教育上ノ価値⁽¹⁷⁾」に書かれている。

体育法については、柔道を他の体操より筋肉の全体的発達に良く、その修行において法則を良く守っていさえすれば、他の種目（文中では、器械体操と馬術をあげている）より怪我が少ないと言っている。また、乱取り練習で補えない所を体操の形⁽¹⁸⁾で補足すればよいとも言っている。

修心法においては、「徳生ヲ涵養スルコト智カラ練ルコト、勝負ノ理論ヲ世ノ百般ノコトニ応用シテ、物ニ接シ事ニ当ツテ自カラ處スル所ノ方法ニ熟練サセルコト」と文中にあり、要約すれば、徳育と知育と柔道勝負の理論の応用の三つについて述べていると言える。

その中の徳育では、愛国心養成のための武芸として最も良いといい、また、多くの面で礼儀や良い習慣が身に付くと述べている。そして、知育では、修行によってできる「智力」を、観察、記憶、試験、想像、言語、大量の六つに分け実に巧妙に説明している。この知育について言うならば、彼は、言わば柔道に形式陶治的な教育機態を見出していると言えらう。

柔道勝負の理論の応用については、「自他ノ関係ヲ見ルベシ」や「先ヲ取レ」などの勝負理論を柔道だけでなく、社会や経験の中に置き換えて考えるように説いている。

講道館柔道の目的では以上のことがその主要であるが、古流柔術と比べると他にも多くの点で差異が見られる。

それは、姿勢、組み方、崩しの研究、技の学理的研究などである。姿勢は自然体を基本とし、組み方は、いわゆる四つに組まず片方を襟、一方は袖を取って組む仕方を常態とした。崩しの発見は、修行における学理的研究の姿勢の表われであり、柔術ではこのような研究は全く行なわれていなかったと言えらう。

このように多くの点で、柔術より改革されたことによって後に、乱取りが非常に盛んになり投げ技の発達、足技の発達をもたらすことになるのである。

結 論

このように柔道における技術形態は、時代と共に大き

く変化し、変遷して来ていることが分かった。

練習方法についても、近代的トレーニングや科学的練習法を取り入れることは良いことなのであるが、それより先に、柔道の根元、本質を顧みることが大切なのではないだろうか。講道館創立当時のように技の理合ののった練習を行なうことによって、現代の柔道はより高度な技術的發展と体育的發展をしながら不偏的に進歩していくはずである。そして、これらのことを日本が率先して行ない、世界に柔道の本質を示すことが必要である。

種々の柔術を集大成して成った講道館柔道は現在に至って大きな変化をしていると言える。

現在は競技中心の時代で形的練習の軽視傾向が強くなり、ほとんど練習に取り入れていないのが現状である。

この柔術から講道館柔道創始までの重要な時期を終えその以後、大正、昭和へとどのように変化、変遷したかを調べ、現在また、未来への技術の発達の参考にしたい。

注

- (1) 「南紀徳川史巻之六十一、武術伝第三」南紀徳川史刊行会、昭和六年。
- (2) 桜庭武、「日本教育柔道要義」P290、培風館、昭和十五年。
- (3) 日夏繁高、「小朝武芸小伝」第十卷、正徳四年（1714年）。
- (4) 老松信一、「起倒流柔術について」月刊「柔道」P47、講道館、昭和四十年三月号。
- (5) 茨木専斎自ら書いたもので、佐賀県の旧小城藩、鍋島家に保存されており、寛永16年霜月吉日とある。
- (6) 同上 寛永19年とある。
- (7) 起倒流の道統上、本流をなしている茨木専斎、吉村扶寿の間に、直 流の流祖である寺田満英が主流、または、流祖と入ることは考えられない。また、吉村扶寿が伝書に書いたのは、就職上の都合から、当時有名であった寺田満英の名を師匠として借りたためと見ることができる。（月刊「柔道」講道館、昭和四十年三月号）
- (8) 「起倒流乱心持目録」順天堂大学体育学部紀要、第六号、昭和三十九年。
- (9) 例として、文化十三年(1816年)今堀能寛による「起倒流柔道鑑組討天之巻」などがある。
- (10) これらの二つの史料には、流祖を秋山四郎兵衛義昌としてあり、しかも、後者には、著者大江干兵衛義時の名の横に大江の印と花押がある。故に真実性が高いと言え、また、他の伝書より古いことからそのことがいえる。

- (11) 老松信一、「柔道の技術史」「スポーツの技術史」P211,大修館書店,昭和四十七年.
- (12) 富木謙治、「増補,体育と武道」P272,早稲田大出版部,昭和五十一年.
- (13) 「柔道家としての嘉納治五郎,(1)」(嘉納治五郎口述,落合寅平筆録「嘉納治五郎伝」)「作興」第六卷,第一号,P57~58,講道館文化会,昭和二年.
- (14) 同上 P39~40
- (15) 嘉納治五郎、「柔道一斑並ニ其教育上ノ価値」「大日本教育会雑誌」第八十七号,明治二十二年,(渡辺一郎,「史料,明治武道史」P86,新人物往来社,昭和四十六年)
- (16) 同上 P85
- (17) 渡辺一郎,「史料,明治武道史」P80~97,新人物往来社,昭和四十六年.
- (18) 体操の形とは,この文中 講道館柔道体育法ノ形,とも述べており,第一種と第二種の二種類をあげている。前者は後に剛の形と呼ばれ,後者は,柔の形とも呼ばれ,今日に至っているものである。
- 木村吉次:「日本近代体育思想の形成」杏林新書 昭和五十年
- 嘉納先生伝記編纂会:「嘉納治五郎」講道館 昭和三十九年
- 今村嘉雄:「日本武道全集」第五卷,人物往来社 昭和四十一年
- 富木謙治:「増補,体育と武道」早稲田大学出版部 昭和五十一年
- 松田隆智:「秘伝日本柔術」人物往来社 昭和五十三年
- 月刊「柔道」講道館 三月号 昭和四十年
- 同上 四月号,五月号 昭和四十二年
- 松本芳三:「柔道のコーチング」大修館書店 昭和五十年
- 老松信一:「柔道百年」時事通信社 昭和五十一年
- 「南紀徳川史卷之六十一,武術伝第三」南紀徳川史刊行会 昭和六年
- 「柳生新陰流下」人物往来社 昭和四十一年
- 吉村兵助扶寿:「起倒流地巻」寛文十一年天理図書館蔵 (1671)
- 著者不明:「武術流祖録」天保十四年天理図書館蔵 (1843)
- 五代宗家磯又右衛門,吉田千春合著:「天神真楊流柔術極意教授図解」青木嵩山堂 明治二十六年
- 落合寅平筆録,嘉納治五郎口述:「作興」講道館文化会 昭和二年

文 献

- 老松信一:「柔道の技術史」大修館書店. 昭和四十七年
- 桜庭 武:「柔道史攷」目黒書店 昭和十年
- 桜庭 武:「日本教育柔道要義」培風館 昭和十五年
- 横山健堂:「日本武道史」三省堂 昭和十八年
- 木村吉次:「日本近代体育思想の形成」杏林新書 昭和五十年
- 嘉納先生伝記編纂会:「嘉納治五郎」講道館 昭和三十九年
- 今村嘉雄:「日本武道全集」第五卷,人物往来社 昭和四十一年
- 富木謙治:「増補,体育と武道」早稲田大学出版部 昭和五十一年

『藤村詩集』序と聖書

細井誠司

Toson's Introduction to his Poetical Works and Biblical Influences on them

Seiji HOSOI

一

藤村は、明治二十一年十七歳のおりに受洗したが、五年後の二十六年二十二歳のおりには、早くも教会から籍を退いている。離教後の藤村は、文学の世界に沈潜し、いわば詩神に仕えることになるから、彼にとってキリスト教は、青春時代に通過した精神的な道標にすぎなかったのであり、真の信仰は確立しなかったと言ってよからう。

そこで、彼の信仰については、辛い評価が与えられることになる。

例えば、佐古純一郎氏は、牧師でもある立場から批判して、「彼ら（注1藤村ら明治期のプロテスタント作家のこと）の信仰がロマンティックな気分分として受けとめられていて、イエスを主と告白するキリスト論的な信仰告白が成立していなかった」と論断し、日本の近代文学とキリスト教との関わりというテーマを考えるとき、藤村とキリスト教との関係を、「あまり高く評価することはできない」と述べておられる^①。

一方、肯定的な評価もないわけではない。

伊東一夫氏は、中期から後半生へかけての藤村が、カソリシズムへ接近したことを重視して、「いわば日本化されたあらたな信仰（それは正統的キリスト教とはいえない）が生まれているともみられるのである」と述べておられる^②。

いずれにしろ、厳密な意味でのキリスト教信仰は失われていたと思われるが、信仰の内実を吟味することが本論の目的ではないので、それは別の機会に譲ることにしたい。そこで問題は、藤村の信仰が（たとえ一時的なものであったにせよ）その思想にどのような影響を与え、それが作品にどう反映しているかということである。

こうした点についての研究は、先学の手によって既に多くなされており、彼の詩や小説の随所に、その痕跡の見られることが解明されている。

例えば伊東氏は、「破戒」のもつ宗教的性格について論じて、この作品がキリスト教思想に支えられていることを主張しておられる^③。韻文の方面では、聖書や讚美歌を母胎にしてどんな詩がうみだされているかについての研究が、笹淵友一氏によってなされており、関良一氏もまた、藤村詩の注釈研究の中で、典拠となつた聖書や讚美歌について詳細にふれておられる^④。

本論においては、そうした先学の業績を踏まえつつ、「藤村詩集」の「序」に

見られる聖書の影響を考察してみたい。聖書を下敷きにして「序」を読むとき、それがどう見えてくるかという問題である。結論としては、発想においても、用語の上からも聖書の影響が大きく、その中でも、特にヨハネ伝との関係が深いことを論じようとするものである。

二

ここという「序」とは、いうまでもなく、『若菜集』以下の四詩集を集めて明治三十七年九月に刊行された合本『藤村詩集』の序のことである。論を運ぶうえで必要な箇所を、長い引用になるが次に掲げておく。

遂に、新しき詩歌の時は来りぬ。
 そはうつくしき曙のごとくなりき。あるものは古の預言者の如く叫び、あるものは西の詩人のごとくに呼ばはり、いづれも明光と新声と空想とに酔へるがごとくなりき。

うらわかき想像は長き眠りより覚めて、民俗の言葉飾り。

伝説はふたゝびよみがへりぬ。自然はふたゝび新しき色を帯びぬ。

明光はまのあたりなる生と死とを照せり、過去の壮大と衰頹とを照せり。

新しきうたびとの群の多くは、たゞ穆実なる青年なりき。その芸術は幼稚なりき、不完全なりき、されどまた偽りも飾りもなかりき。青春のいのちはこれらの口唇にあふれ、感激の涙はこれらの頬をつたひしなり。こゝろみに思へ、清新横溢なる思潮は幾多の青年をして殆ど寝食を忘れしめたるを。また思へ、近代の悲哀と煩悶とは幾多の青年をして狂せしめたるを。われも拙き身を忘れて、この新しきうたびとの声に和しぬ。

詩歌は静かなるところにて想ひ起したる感動なりとかや。げに、わが歌ぞおぞき苦悶の告白なる。

なげきと、わづらひとは、わが歌に残りぬ。思へば、言ふぞよき。ためらはずして言ふぞよき。いさゝかなる活動に励まされてわれも身と心とを救ひしなり。

誰か旧き生涯に安んぜむとするものぞ。おのがじゝ新しきを開かんと思へるぞ、若き人々のつとめなる。

生命は力なり。力は声なり。声は言葉なり。新しき言葉はすなはち新しき生涯なり。

われもこの新しきに入らんことを願ひて、多くの寂しく暗き月日を過しぬ。
 ……………(以下、略)……………

三

「序」の文が、発想のうえで聖書の影響をうけている点の一つは、「新しき詩歌」が擬人化され、メシヤとしてのキリストになぞらえて表現されていることである。「新しき詩歌」の到来が、キリストの来臨にも比肩すべき出来事のごとく表現されていることである。

いうまでもなく、キリストとは、ヘブル語の「メシヤ」(＝油注がれし者の意で、「油注ぐ」とは、王の任職の時に行われた儀式である)のギリシヤ語訳で、キリスト教で終末思想のうちに待望された救済者のことである。ユダヤ民族には昔から、民族の救済者への強い期待感があった。神の代弁者としての預言者たちは、警世の言とともに民族の未来に関する預言と期待とを語ったが、その期待の中心は救い主の到来であり、「新しい時代」の誕生であった。

その「新しい時代」には、メシヤが支配する政治的な王国が確立されるだけでなく、社会生活が根底から変革され、その王国の市民は、新しい心と霊とを授かるであろう。そして、新しい契約がたてられ、平和と義とが支配し、救い主自身が全地の王となるであろう。そういう預言と、またそれに対する期待とである。

マタイ伝は、イエス・キリストの降誕・来臨を、そうした預言の成就であると語る。神が君臨し支配する新しい王国と新しい時代の始まりである。支配者としてのキリストは、数々の奇跡と癒しの業と罪からの救いによって、その縄目から人々を解放する。したがって、イエス・キリストの来臨は、「すべての民に与えられた大きな喜び」(ルカ二・10)であり、ほめ讃うべき出来事であった。

さて、「序」の中で藤村は、「新しき詩歌」の出現に歡喜する若き詩人たちの姿を喩えて、「古の預言者の如く叫び」、「呼ばはり」、「酔へるがごとく」であったと語る。「感激の涙」を流し、「寝食を忘れ」、「発狂した者さえあると記す。彼ら青年詩人たちの熱狂する有様は、キリストを迎えて狂喜した群衆の姿にそっくりではないか。おそらくこの両者は、藤村の脳裏にあって一つに重なりあっていたのであろう。相違しているのは、一方が拝跪すべきまことの神なら、他方は非人格的な詩神であるという対象の違いだけである。

つまり、ここで藤村は、「新しき詩歌」という非人格的な存在を、擬人化して

表現しているのである。もちろん、その人とは、受肉した神なる人キリストである。

さらにまた藤村は、「新しき詩歌」を制作すること、いわば詩神に仕えることで「身と心」とを救ったという。ここにいう「救い」は、もちろんキリスト教信仰でいう「救い」の本義——罪からの救い——ではない。しかし、変質し転義しているとはいえ、「救い」という宗教的用語を使っていることに注目したい。つまり、ここで「新しき詩歌」は、キリストに代わって救済者の役割を担っているわけで、これもまた、「新しき詩歌」をキリストに擬して表現していると考え、その一証左である。

四

次に、「新しき詩歌の時」の「時」について考えてみたい。この「時」がもつ観念・意味あいについては、既に笹淵友一氏にご論考があり、それは、この「序」における「時」の意味にも当てはめて考え得ることなので、援用する意味で、初めにその論旨を紹介することにする。

笹淵氏は、藤村文学の性格を、「時と労働」の文学であると規定し、その「時」の思想的媒介は、キリスト教・聖書であるとされた。その論拠の一つとして、「若菜集」の「潮音」をとりあげ、

もゝかはの / よろづのなみを / よびあつめ / とくみちくれば / うららかに / とほくきこゆる / はるのしほのね
 の一節にふれて、およそ次のように言われる。

「潮音」の「ときがみちた」という認識は、「とほくきこゆる / はるのしほのね」という事実を踏まえている。そしてこの春潮と、「もゝかはのよろづのなみ」が「よびあつめ」られたこととの間には、必然的關係がある。前者は結果であり、後者はその原因である。この繋りは単なる事の成り行きではなく、両者を結び意志が作用している。この原因と結果を支配している意志の主体は、大海であり、自然という概念である。したがって、「ときみちくれば」ということは、自然の意志に基づく計画があり、その計画が達成されたことを意味する。

日本の詩歌・文学の伝統の中には、「ときみつ」という思想も表現もないから、このような「時」の観念の根拠を求めるとすれば、聖書以外にはない。聖書におけるこの「時」の観念は、旧約における預言が成就して、メシヤ（キリスト）が

誕生して神の国が近づいたことを意味する。「時」を満たしたのは、歴史を通じて働く神の経綸である。藤村は、メシヤ待望というイスラエルの「時」の観念を根拠として、彼の詩的想像を形成した。

以上が、笹淵氏の論考の骨子である。

敷衍するならば、聖書に見られる「時満つ」という表現は、

「時は満てり、神の国は近づけり……」（マルコ一・15）

「然れど時満つるに及びては、神はその御子を……」（ガラテヤ四・4）

「即ち時満ちて経綸にしたがひ……」（エペソ一・10）

等がある。その「時」は、物理的的年代の意味での時ではない。神の定められた救いの時、すなわち、イスラエル救済という神自身の約束が成就すべき時が来た、という意味である。

「潮音」において藤村は、メシヤ待望・到来の時という「時」の観念を、春の到来という季節感に置き換えている。さらに、そうすることで、近代詩歌・文芸の「春」の意を寓し、その「春」の到来を待望し予見する思いを表現したのである。

さて、この「序」に関しても同様のことがいえると思う。「時は来りぬ」であって、「時満つ」という語の構成をとってはいないが、この「時」の意味は、当然「潮音」における「時」と同一の線上において把握すべきものである。すなわち、「潮音」で待望し予見した近代浪漫主義の文芸思潮が、「新しき詩歌」において、ついに到来し実現したとの意味である。

こう解釈してみると、藤村は、この「序」の「新しき詩歌の時」の「時」においても、メシヤ待望という聖書の「時」の観念を借り、それを媒介にすることによって、自己の感慨を表現していると言ってよからう。

さらにまた、「新しき詩歌の時来る」という語の構成にも注目したい。

既に述べたように、「新しき詩歌」が、キリストに擬した表現であるとするとすれば、「新しき詩歌の時来る」は、まさに「キリストの時来る」の置き換えになるから、これは聖書の中に典拠をもつ表現ではなからうかという問題である。そう考えて、これに該当する用例を聖書の中に捜してみると、次の数例が見つかる。

「我が時は未だ来らず。」（ヨハネ一・4）

「わが時はいまだ到らず……」（ヨハネ七・6）

「わが時はいまだ満たねば……」（ヨハネ七・8）

「彼（キリストのこと）の時、いまだ到らぬ……」（ヨハネ八・20）

「父よ、時来れり……」（ヨハネ一七・一）
 この他に四例あるが、省略する。

いずれの場合も、「われ」とはキリストを指しており、「わが時」とは、キリストが父なる神の意志に基づき、神性を顕示する時、十字架によって栄光をあらわす時、の意味である。

初めの四例が否定形で、最後の一例（これも、「わが時」の意である）のみが肯定形であるが、藤村は、こうした聖書の表現を十分認識し意識して、「新しき詩歌」をキリストに擬したのではないだろうか。「新しき詩歌の時」は、「キリスト来臨の時」にもなぞらえるべき、画期的な「時」であったわけである。

以上の論述からわかるように、この「序」は、その最初の一行をとりあげてみただけでも、聖書との強い結びつきを予想させるものがある。しかも、右の五例（省略したものを含めて九例）は、いずれも「ヨハネ伝」の語句であることが注目される。そこで、次に、この「序」と「ヨハネ伝」との関係的をしぼって、考察してみることにする。

五

「序」の中の発想や用語は、聖書の中でも、特にヨハネ伝の思想や用語に類似したものが多く。そこで私は、この両者の間に密接な関係があり、この「序」の一部は、ヨハネ伝を下敷きにして表現したものではなからうかと考える。

ヨハネ伝は、イエス・キリストのことを、万物に先立って神とともに存在した「言」（聖書の原典ギリシャ語の表記では「ロゴス」であり、「ロゴス」は「言葉」の意とともに、「（神の）理性、存在原理」の意をもつ）であると宣言し（一・2）、さらに、次のようにいっている。

この言に生命があり、この生命は人の光であった（一・4）。言は受肉して全き人となり、この世に来た（一・14）。それは、神の子イエスを信じる者が、ひとりも滅びないで救われ、永遠の生命を得るためである（三・16〜17）。審きは既に進行し、永遠の生命に定められている者と、滅びに向かっている者との分離が始まっている（三・18〜21、五・24）。

いま、ヨハネ伝のメッセージの中から、「序」の中にとり入れられ関わりをもつと思われる部分のみを摘記すれば、右のようになる。摘記したこの箇所は、ヨハネ伝の第一章を中心にしており、ヨハネ伝というより福音書全体の序説であり、

結論にもなる部分である。そして、この中の付点の語「言」「生命」「光」は、ヨハネ伝を特徴づける重要な基本語となっている。

そこで、これらの語が、「序」の中にどうとり入れられているかを考察してみれば、両者の関係はおのずと明らかになるであろう。そう考えて、まず、「言」をとりあげてみる。

「言」の一面は、字義どおり「言葉」の意味である。これが「序」の中では、「新しき詩歌」という語に置き換えられて、とり入れられている。「新声」「声」「言葉」は、いずれも、「新しき詩歌」の同義語と考えてよい。

また、「言」の一面は、「神の理性、万物の存在原理」の意味である。しかし、それは、ヨハネ伝によれば、ギリシャ哲学的抽象的な理念ではない。受肉のイエス・キリストであり、常に生きて働く神である。したがって、「言」には力があり、「言」として働く「新しき詩歌」にも、力がこもることになる。若き詩人たちを熱狂の渦にまきこみ、「うら若き想像」をして「長き眠」よりめざめさせ、「伝説」を「よみがへ」らせる。そうした力を持つものとして「新しき詩歌」を擬人化したのも、この「言」の力によっているからである。

藤村は、ヨハネ伝の重要概念の一つ「ロゴス」の意味を、明確に認識して、こういう形で「序」の中にとり入れたのではないだろうか。

ついでにいえば、「長き眠りより覚め」、「よみがえりぬ」の二語は、ラザロの復活の物語り（一一・1〜44）との関係が考えられ、その語句を借用しているのかも知れない。復活・甦りの思想は、キリスト教信仰最大のテーマであり、聖書の随所に登場してくるが（例えば、「正しくキリストは死人の中より甦り、眠りたる者の初穂となり給へり」（コリント前一五・20）など）特にヨハネ伝のこの物語りの、次の付点の語を踏まえているように思われる。

死んで既に四日もたっているラザロを、イエスは眠っているのだとい（一一・11）、甦らせる。そして言う、「我は復活（よみがへり）なり、我を信ずる者は死ぬとも生きん。凡そ生きて我を信ずる者は永遠に死なざるべし。汝これを信ずるか」（一一・25〜26）と。さらに一言すれば、これに続く場面で、「心を傷め悲しみて」（口語訳聖書では、「激しく感動し」）、「涙をながし給ふ」イエス（一一・33〜35）が出てくる。これが、「序」の中の「感激の涙はかれらの頬をつたひしなり」に響いているように思われるが、どうであろう。

次に、付点の語「生命」について、それが「序」の中にどうとりこまれているか考察してみる。

ヨハネ伝によれば、「生命」とは、単純にいつて「救い」の意味であり、破滅・審き・死等の対立概念である。神によって罪赦され、新生の経験を経て救われることである。それは、イエスを信じることによって与えられる神の命、「永遠の生命」である。

この「生命」ということばは、「序」の中では、「生」「生活」「生命」等ということばとして活かされている。しかし藤村は、この聖書のことばに拠りつつ、その信仰的側面を捨象して、自己の生命讃歌のことばに変えている。「生命は力なり」が、それである。

「生命は力なり。力は声なり。声は言葉なり。新しき言葉はすなはち新しき生涯なり」。この格調の高い定言的な表現が、既述の聖書の引用箇所のパリエーションであることは、もはや明らかであろう。

最後に、付点の語「光」についてである。この「光」は、「序」の中にどうとり入れられているだろうか。

ヨハネによれば、イエス・キリストは、「生命」であるとともに「光」であった。「光」は、罪に染んだこの世に来て、信じて救われる者と、信ぜず滅びに向かう者とを「審く」（「分ける」の意）のである（三・16〜21）。

「序」の中で、この「光」は、「明光」という類義語（さらには、「曙」という類縁語）に変えられてとり入れられている。「明光」は、「新声」と並んでイエス・キリストに擬した表現である。したがって、「明光」が「まのあたりなる生と死とを照」し出し、「過去の壮大と衰頹とを照」し出すという擬人化の表現が可能だったのである。この表現が、右記の、ヨハネ伝三章16〜21節の「光が審く」という思想（「審き」もヨハネ伝の重要語である）に拠っており、そのパリエーションであることは確かであろう。

ヨハネ伝の特徴の一つは、「神とサタン」「光と闇」「信仰と不信仰」というように、二元論的に把握することであるが、その中の一つ「生と死」は、「まのあたりなる生と死とを照せり」という表現の中に、そのままとり入れられている。

六

以上の論述からわかるように、藤村は、ヨハネ伝固有の用語や思想を、類似語として活かし、或いは、発想の上に活かすなどして、「序」の中に巧みにとり入れている。

そして、その核になっているのは「言」である。「言」が、言葉であると同時に、神・キリストであり、その力であるという二面性が、「新しき詩歌」の人格化を可能にしたのである。

「言」がとり入れられれば、その「言」から派生し、しかも一体であるところの「生命」「光」もとり入れ可能となった。その際、「生命」や「光」のもつ信仰的側面は切り捨て、解釈自由で象徴的な側面を利用して、文学的に表現したのだといえよう。

「言葉」「光」「命」「よみがえる」「新しい」等は、藤村固有の言葉として後の作品にも見られ、藤村の生きざまを表す語となっているが、その淵源をたどれば、みな聖書に行きつく。それほど聖書の影響は大きいのである。

また、この「序」と聖書との関係は、ヨハネ伝を離れても指摘できるところが幾つかある。例えば、「古の預言者」がバプテスマのヨハネを想わせたり、「明光と新声と空想に酔う」という描写は、聖霊降臨の出来事（使徒行伝二・1〜14）を連想させたり、「告白」が救いにつながったという表現は、キリスト教の「懺悔」を踏まえたいい方であったりする点である。しかし、ここではこれ以上ふれないことにする。

藤村は、キリスト教から離れて文学への道を歩み、それで救われたと、いわば文学の福音宣言をする。文学創造という自力による自己救済である。ところが、既に述べたことから明らかなように、救いの主体は自己であるはずなのに、外在の他者であるかのような表現をとっている。信仰という側面から、この「序」文を評するなら、そうした点にも、キリスト教信仰の影響が残っているといえるであろう。

(注)

- ① 佐古純一郎 「明治文学とキリスト教」(『文学』昭37・6)
- ② 伊東 一夫 「島崎藤村とキリスト教」(『本の手帖』昭42・5)
- ③ 伊東 一夫 同右 後に「島崎藤村研究」(明治書院)に所収
- ④ 笹淵 友一 「『文学界』とその時代下」(明治書院)
- ⑤ 関 良 一 「藤村詩集 日本近代文学大系15」(角川書店)
- ⑥ 笹淵 友一 「島崎藤村の文学と『時』」(『キリスト教と文学研究会報』第八号)

(補記) ⑥については本論成稿後、「島崎藤村研究第六号」に同趣旨の論が掲載されているのを見つけた。

混炭油 (COM) について

On the Coal Oil Mixture (COM)

小 森 三 郎

油化学 29巻 1号 (昭55年1月) P.60

COMはCoal Oil mixtureの略である。わが国では混炭油または石炭石油混合燃料と呼ばれている。石油の価格が度々の値上げのため、カロリー当りの燃料費が石油は石炭の2.4倍になった上、入手も困難になったため、石油の節約が急務となった。石油専焼炉の簡単な手なおして石炭を燃やすことを目的に開発を進めているのがCOMである。

火力発電所を始め、石油専焼装置を石炭専焼装置に変更するには数年の年月と多くの設備費が必要である。石炭の荷上げには大型船が接岸出来る岸壁、荷上げ用大型クレーンならびに貯炭場が不可欠である。石油は液体であるため、沖に船を停めて、パイプで汲み上げるので容易である。燃やすのもノズルから吹き込めばよい。この石油の流体である利点を生かし、石炭粉を約50%混ぜ、流動性をもたせ、輸送と燃焼の容易さを残したのがCOMである。石炭を微粉にすれば流動性は与えられるが粉炭爆発の危険が高くなる外、高比重が低くなり、船積みでの輸送力は低くなる。COMでは比重は1.15~1.2で石油よりかなり高い。COMは油に包まれているので爆発の危険性は全くない。COMの実用化が成功すれば石油専焼火力発電所の石油消費量を大巾に節減出来る外、鉄工業、窯業、中小容量のボイラーにも比較的容易に利用出来るので電源開発(株)が通産省の全面支援を得て、民間企業と共同で開発を進めている新技術である。

世界的に見るとCOMにも種々の方法があるが、わが国の方法は微粉炭と石油の50:50混合物に0.1~0.125%の界面活性剤と1.2%の水を加えラインミキサーで調製する方法である。これに使用する界面活性剤が鍵であるが、現在花王石鹼、ライオン油脂、日本油脂、第一工業製薬ならびにネオスの五社が電源開発のテストに合格し、指定を受けて協力している。

現在は長崎の三菱重工(株)の研究所内にある、電源開発(株)のパイロットプラントでCOMの調製、貯蔵および輸送試験が進められている。電源開発(株)では1日100~200トンのCOM製造と実証プラントでの燃焼テストを計画している。わが国のCOMは1ヶ月以上流動性をもっているため、世界的に見ても最も優れている。

COM中の界面活性剤は添加量0.1%程度では100%近く、石炭に吸着されている場合にのみ良いCOMを与える。石炭粉末の表面は界面活性剤で良く包まれて、親油性となり、油によくぬれて、粉末相互は接合しない。

COMの実証試験が成功すれば九州と北海道にCOM製造基地が設けられ、各地の需要工場に船で輸送される予定である。

本文ではCOMの安定性の簡易試験法、使用される界面活性剤の種類、固体が50%もあるのに流動性をもつ機構について解説した。

有限要素法を用いたダイレス引抜き温度分布の解析

——ダイレス引抜きの研究II——

Analysis of Temperature Distribution
in Dieless Drawing by Finite Element Method
— Studies of Dieless Drawing II —

小島耕二・関口秀夫・小坂田宏造*・吉川勝幸**

日本塑性加工学会誌「塑性と加工」, 21巻228号(昭和55-1), 52~58

ダイレス引抜きにおける最も重要な加工因子は加工温度と冷却速度である。これらの因子は線材における温度分布を決定するので、適当な加工条件を見つけるためには温度分布を解析する必要がある。そこで温度分布を予測するために伝熱に関する有限要素法を開発した。

解析においては、ダイレス引抜きを定常状態における軸対称熱伝導問題として取扱い、熱伝導基礎式と境界条件式を導き、それらを満足する変分式を求めた。そしてこれに有限要素法を適用して温度分布を計算した。

計算手法の有効性を確かめるために、引抜き速度が5, 20, 95cm/minの場合について、計算による材料表面の温度分布と実験結果を比較した。図1に、引抜き速度が95cm/minにおける材料表面の温度分布を示す。計算値と実験結果は変形開始前の温度分布を除いて良く一致している。また引抜き速度が5, 20cm/minの場合も同様に計算値と実験結果は良く一致した。引抜き中の材料内部の温度測定は非常に困難である。しかし本解析手法を用いれば容易に予測できる。図2は引抜き速度が95cm/minのときの材料内部の温度分布を示したものである。

以上のことから計算手法の有効性が確かめられたので、実験ではまだ実現していない高速の引抜き(1000cm/min)における温度分布を計算した。その結果、変形部における表面の最高温度は加工可能な温度に達しているが、材料内部の温度分布は変形部の半径方向に急激な勾配を生じており、材料の中心部はほとんど加熱されておらず良好な引抜きは困難であることがわかった。そこで加熱方法の改善策として変形部の前段で予熱を行った場合の温度解析を試みた。予熱を行った場合には変形部の半径方

向の温度差は小さくなり、高速の引抜きでは均一な予熱が効果的であることがわかった。このことは実験によっても確めており、高速ダイレス引抜きの見通しを得ることができた。

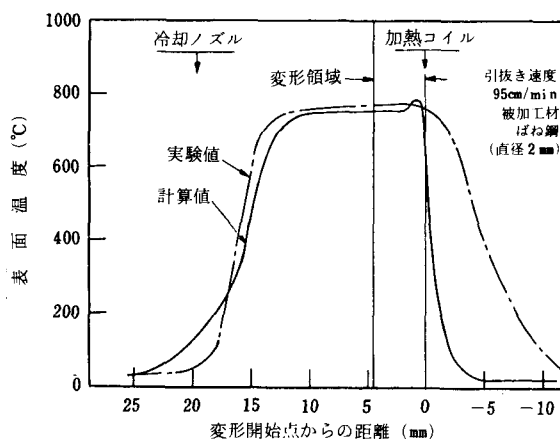


図1 計算による材料表面の温度分布と実験結果の比較

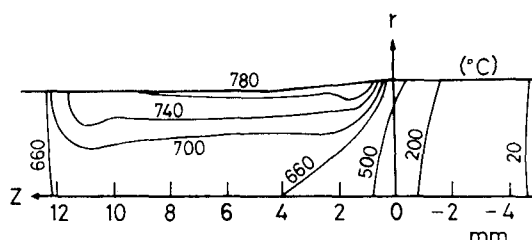


図2 計算による材料内部の温度分布

* 神戸大学工学部 生産機械工学科

** 阿南工業高等専門学校 機械工学科

冷間塑性加工条件における炭素鋼の延性破壊

(第3報, 変形方法と変形履歴の影響)

Ductile Fracture of Carbon Steel Under Cold Metal Forming Condition (3rd Report, Effects of Deformation Mode and Deformation History)

関口秀夫・小坂田宏造*・越島次郎**

日本機械学会論文集 (A編), 46巻407号 (昭55-7), P.844~851.

冷間塑性加工における炭素鋼素材の延性破壊による加工限界を予知することを目的とし, 前2報⁽¹⁾⁽²⁾においては, 高圧下ねじり試験に基づく延性破壊条件式を次式の如く提案した。

$$\int_0^{\epsilon_f} \langle \epsilon + a\sigma_m - b \rangle d\epsilon = C \quad (1)$$

ここで, ϵ_f は破壊ひずみ, ϵ は相当塑性ひずみ, σ_m は応力の静水圧成分 (kg/mm²) であり, $\langle \rangle$ は

$$\langle x \rangle = \begin{cases} x (x \geq 0) \\ 0 (x < 0) \end{cases} \quad (2)$$

と定義する。炭素鋼では a と c は材質によらずほぼ一定であり ($a \approx 0.02$, $c = 0.12$), b は金属組織により大きな影響を受け, 次のように与えられる。

$$b \approx 0.1 \left(\frac{1-\gamma}{\gamma} \right) 0.58 + 1.5\beta \quad (3)$$

γ : セメントタイト体積率, β : セメントタイト形状係数。すなわち, この条件式は変形中の応力履歴および金属組織を考慮したものである。実際の塑性加工における破壊予知にこの破壊条件式を応用するためには, ねじり試験と実際の加工との変形条件の相違が破壊ひずみにどのような影響を与えるかを確かめ, その精度や適用限界を明確にしておく必要がある。

前報で示したように, この条件式から求められる「破壊の核の成長開始ひずみ」は微小クラックが急激に成長を開始するひずみであるため, 加工製品の材質からみた加工限界の予知や中間焼鈍の設定などにも, この条件式

を応用できる可能性がある。本論文では, 高圧下引張り試験, 高圧下端面拘束圧縮試験を行うとともに, 変形方向逆転および中間焼鈍に関する実験を行い, 次のような結論を得た。

(1) 破壊条件式を各種変形様式での破壊予測に適用すると, 破壊ひずみを比較的良く推定できる。しかし, ねじり変形でも材料の相違により標準偏差で15%程度のばらつきがあり, 引張り試験に適用すると標準偏差は24%に増加し, 変形様式の相違の影響もある。

(2) ねじり試験の途中で変形方向を逆転させた場合, 逆転前のひずみが「破壊の核の成長開始ひずみ」より小さいと逆転後の破壊ひずみは大きな変化を示さないが, それより大きなひずみでは逆転後の破壊ひずみは逆転前のひずみとともに急激に低下する。

(3) 「破壊の核の成長開始ひずみ」以前の材料を中間焼鈍すると, 材料中の欠陥はほぼ完全に消滅するが, 核成長を開始していると中間焼鈍を行った後も欠陥は残り, 中間焼鈍後の破壊ひずみを低下させる。

(4) 「破壊の核の成長開始ひずみ」は材料内に重大な欠陥が生じ始めるひずみであり, 一種の加工限界として重要な意味をもつものである。

文 献

- (1) 小坂田ら, 日本機械学会論文集, 43 (昭52), 1251.
- (2) 同上, 43 (昭52), 4463.

* 神戸大学工学部

** 神戸大学院生

2円孔を持つ帯板の引張り

On the Stress Concentration in a Strip with Two Circular Holes Subjected to Tension

浜田 実^{*}, 水嶋 巖, 増田 方^{**}

日本機械学会論文集 (A編), 45巻399号 (昭54-11), p.1332~1337.

円孔を持つ帯板が引張りを受ける場合の応力集中問題は、機械設計における重要な基礎的問題の一つであり、円孔が1個の場合については、すでに多くの理論的および実験的研究が行われている。しかし円孔が2個の場合に対しては、石田、渥美らの理論的な研究があるのみのものであり、しかもこれらの研究は、いずれも円孔の配列方向が帯板の中心線と直角の場合か、あるいは一致する場合のみを取扱ったものである。

そこで本研究では、板の中心点に関して対称に配列された大きさの等しい2個の円孔を持つ無限長帯板が引張りを受ける場合の問題(図1)に対して、一つの数値解法を提案し、これにより円孔の配列方向、直径および中心間距離を種々に変えて計算を行い、応力集中係数に関する資料をより充実させる。また、得られた計算結果の一部を従来解と比較し、本解の妥当性も確認する。

解法は、極座標で表された二次元弾性問題に対する応力関数の一般形を用い、選点法とフーリエ解析法を結びつけることにより円孔周縁の境界条件を満足させる過程と、フーリエ変換法を利用して帯板直線縁の境界条件を満足させる過程とを繰返して解を求める方法である。すなわち、まず円孔のない無限平板の一樣引張り状態に対する応力関数の解を求め、つぎに各円孔周縁の半径方向垂直応力 σ_r とせん断応力 $\tau_{r\theta}$ が零でなければならないこと、また帯板直線縁でy軸方向垂直応力 σ_y とせん断応力 τ_{xy} が零でなければならないこと、これらの二つの条件が交互に満足されるよう上記の解を修正する。そしてこれらの条件が数値的に十分満足されるまで修正を繰返せば問題は解けることになる。

つぎに数値計算の結果であるが、円孔の配列方向と帯板の中心線とのなす角を ϕ 、帯板の幅を基準長さとする円孔の直径と中心間距離の無次元量を λ および ξ とし、 ϕ が 0° , 45° , 90° の場合に対して、 λ と ξ を種々に変えて計算を行い、応力集中係数Kを求め図示した。また円孔

周縁における応力分布も図示した。結果の一例として、図2に $\phi=45^\circ$ の場合に対する応力集中係数Kの値を示す。ただしKは円孔周縁の最大応力を帯板の最小断面の平均引張り応力で除したものとしている。

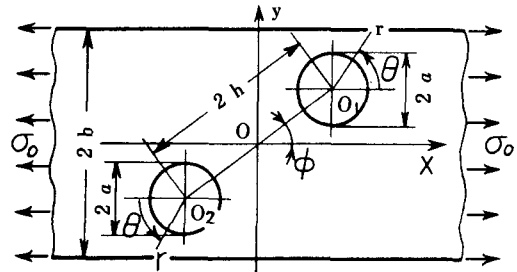


図1 2円孔を持つ帯板

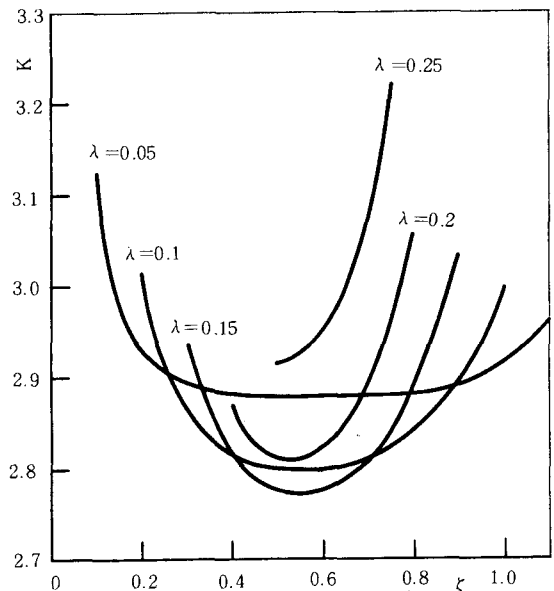


図2 応力集中係数 ($\phi=45^\circ$)

* 大阪大学工学部

** 川崎重工業株式会社

新型可動式多孔板塔の流動特性

Flow Characteristics of a New Double-Perforated Plate Column

河越 幹男・大竹 伝雄・木村 彰一・野田 泰夫

化学工学論文集, 第6巻, 第2号, P.123~128 (1980)

この新型多孔板塔（商品名はリフトトレイ）は、従来の多孔板塔とバルブトレイの両方の機能を併せ持っている。すなわち、トレイは一对の固定多孔板と可動多孔板からなり、可動板が上昇ガスから受ける抗力によって浮遊できるような構造になっている。（Fig.1及びFig.2参照）。このため、広いガス流速範囲にわたって圧損は小さく一定で、安定した操作が可能である。さらに、可動板による気泡の再分散効果などによって気液の接触効率の増加が期待できる。本研究では、この新型多孔板塔の操作、設計の基礎となる可動板の状態、圧損、段上の液停滞量、ガスホールドアップなどについて実験的に検討した。

可動板の状態はガス流速によって次のように変化した。低ガス流速領域では、可動板は固定板面上に静止しており、圧損はガス流速と共に増加する（静止領域）。ガス流速が増加して、ある流速以上になると可動板は浮遊し始め、圧損はガス流速に関係なくほぼ一定値を示す（浮遊領域）。さらにガス流速が大きくなると、ついに可動板は完全に浮上し、ストッパーの上端でほとんど静止する（完全浮上領域）。

圧損は、領域によってそれぞれ次のように整理された。静止領域では、従来の単一多孔板と同様の方法で整理できた。浮遊領域では、圧損が見かけ上可動板重量と釣り合っていることを示した。完全浮上領域では、二枚の多孔板をある間隔を保って固定した二段式多孔板と見なすことができた。

段上の液停滞量は次元解析に基づいて整理できた。段上の液の静圧とガスの運動エネルギーの比で表わされるオイラー数は液流下に及ぼす重力の影響を考慮したフルード数、開孔比及び気液の質量流量比の関数として相関された。

ガスホールドアップに及ぼす可動板の影響はほとんど

認められず、従来の段塔に対する相関式が、この新型多孔板塔に対しても適用できることを明らかにした。

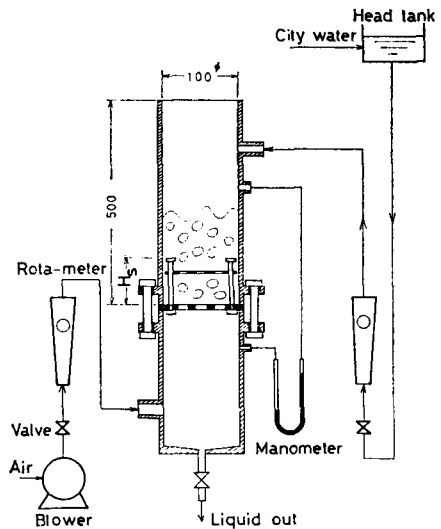


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus

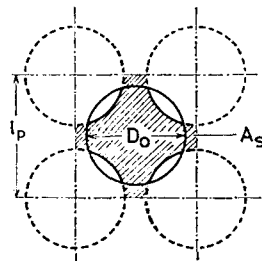


Fig. 2 Arrangement of holes of double perforated plates

アダム・スミスの共感について

——『道德感情論』をめぐって——

On Sympathy

— A Study of Adam Smith's Theory of Moral Sentiments —

谷 口 文 章

待兼山論叢（大阪大学文学会）第13号（1979年）PP. 5～21

1. 序 言

スミスが『国富論』によって経済学の祖とされていることは周知のことであるが、それに比較して『道德感情論』は、倫理学史上必ずしも高く評価されていない。しかし近年改めて前者の倫理的基礎づけとして、後者の存在が重要視されてきている。そこで我々は『道德感情論』を倫理的立場から研究したいと考え、広い意味での彼の道德哲学＝社会哲学を解明していきたいと思う。

2. 共感の構造

スミスは、人間行為の基礎を感情におき、人間本性の根源的感情である利己的情念と利他的情念とをどのようにして調和すべきかという基本問題の提起から出発する。そしてその調和の原理として「共感sympathy」を考える。想像力を働かせて、当時者の感情の印象を写し取り、傍観者spectatorの感じる印象と、当事者の感じている感情とが一致する場合に共感が成立すると考えられる。このように傍観者は当時者の感情を受け取り、自分自身が形成する印象から、相手のことを思いやり、同胞感情fellow-feelingを感じるのである。

3. 共感の機能の特徴

①共感の成立過程は、きわめて心理的色彩の濃いものだが、その機能には、空想、理解、思考、予想、判断といった理知的能力もある。

②共感による状況認識は、具体的に行動的である。例えば、当事者の動作や振る舞いを観察している傍観者が、いつのまにか、同じ動作や振る舞いをしている等。

③共感は悩みや苦しみに対する同情的情念と共に、喜びや愉快さに対する同慶的情念も、その機能の中を含むことができる。従って共感の機能自体は、中立的であり、利己的情念も利他的情念もあらゆる種類の感情が共感の対象となることができる。

④共感は感情の適正性を決定し、行為の道徳的判断の

基底となる。

4. 共感による同胞感情が、いかにして普遍的道德感情となり得るのか。

①共感によって生じた同胞感情が、なぜ道德感情となるのか。

共感によって生じる傍観者の感情と当事者の感情の一致を見ることは、快であり、不一致を見ることは、不快である。一致する場合の相互共感mutual sympathyの快感こそは、個人的な感覚とは異なる社会的感覚であり、道徳性の源泉ともいえる。そして共感が成立するか否かが、道徳的是認・否認の判定となり、その是・否の根拠は、「協和concord」という感情の一致にあるとされる。

②共感によって生じた同胞感情が形成する道德感情は、普遍的妥当性を保証し得るかどうか。

共感が現実にもいつも成立するとは限らないという疑問が生じるかも知れないが、それは過去の経験から「仮定された共感の意識」によって常に成立すると考えられる。そして偏った感情を抱いている場合、経験から導き出された一般規則general rulesが、その不適正さを修正し、感情の道徳的適正さを保つようにするのである。

感情の道徳的適正の評価原理に基づいて行為の是認・否認を判断する時、一方で共感の「協和して一致する」という現象面から市民社会的正義すなわち公共的道徳性及び妥当性が保証され、他方その内実において共感の自覚的意識から生じるところの「快適な感情」により普遍的な道德感情が存すると考えられる。

5. 結 語

市民社会における感性的人間像を分析して、共感を基底とした道徳的適正感という評価原理によって、人間の根源的感情である利己的情念と利他的情念を、調和・止揚し、人々の新しい行動原理を発見したのは、まさにスミスの独創であったと認められるのである。

教官研究活動状況一覧表（抄録）

- | | |
|---|--|
| <p>耐熱金属材料の X 線応力測定法に関する研究
（インコネル X 材の X 線弾性定数）</p> | <p>有限要素法を用いたダイレス引抜き
の温度分布の解析
（ダイレス引抜きの研究 II）</p> |
| <p>有間淳一，岩井保善
第11回応力ひずみ測定シンポジウム
（昭和55年1月17日 講演）</p> | <p>小島耕二，関口秀夫，小坂田宏造（神戸大・工），吉川勝幸（阿南高専）
塑性と加工，21巻 228号 P 52~58.
（昭和55年1月）</p> |
| <p>耐熱金属材料の X 線応力測定法に関する研究（組織と残留応力について）</p> | <p>冷間鍛造用炭素鋼における延性の改善</p> |
| <p>有間淳一，岩井保善
第17回 X 線材料強度に関するシンポジウム
（昭和55年7月25日 講演）</p> | <p>関口秀夫，小坂田宏造（神戸大・工），城戸寿之（神戸大・院）
塑性加工春季講演会
（昭和55年5月21日 講演）</p> |
| <p>耐熱金属材料の X 線応力測定法に関する研究</p> | <p>ダイレス引抜きについて</p> |
| <p>有間淳一，岩井保善
第24回材料研究連合講演会
（昭和55年9月17日 講演）</p> | <p>関口秀夫
日本塑性加工学会関西支部
（昭和55年7月2日 講演）</p> |
| <p>遅れ破壊強度に及ぼす表面処理効果について</p> | <p>冷間塑性加工条件における炭素鋼の延性破壊（第3報，変形方法と変形履歴の影響）</p> |
| <p>岩井保善，有間淳一
日本材料学会第29期学術講演会
（昭和55年5月20日 講演）</p> | <p>関口秀夫，小坂田宏造（神戸大・工），越島次郎（神戸大・院）
日本機械学会論文集 46巻 407号 P 844~851.
（昭和55年8月）</p> |
| <p>単一多能生産システムの工程計画に関する研究（多品目生産の最適工程設計）</p> | <p>2円孔を持つ帯板の引張り</p> |
| <p>大橋和正，人見勝人（京都大・工）
精機学会秋期大会学術講演会
（昭和54年10月9日 講演）</p> | <p>浜田実（大阪大・工），水島巖，増田方（川崎重工）
日本機械学会論文集 45巻 399号 P 1332~1337.
（昭和54年11月）</p> |
| <p>単一多能生産システムの工程計画とスケジューリングに関する研究</p> | <p>剛性円形充てん物を持つ無限平板の引張り
と圧縮（摩擦がある場合）</p> |
| <p>大橋和正，人見勝人（京都大・工）
日本経営工学会学術講演会
（昭和55年5月27日 講演）</p> | <p>水島巖，浜田実（大阪大・工），北川浩（大阪大・工）
日本機械学会関西支部講演会
（昭和55年3月18日 講演）</p> |

On the Stress Concentration in a Strip with Two Circular Holes Subjected to Tension.

M. Hamada (Osaka Univ.) I. Mizushima and T. Masuda (Kawasaki Heavy Indr., Ltd.) Bull. Jap. Soc. Mech. Engr., Vol. 23 No. 181 P1043~1047.

(昭和55年7月)

理解状態およびそのプロセスの科学的分析(2)

仁保寛二(阪電通大), 石桁正士(阪電通大), 上田勝彦(奈良高専)他5名

日本科学教育学会

(昭和55年8月28日 講演)

粘弾性流体の偏心二重円管内流れにつ

いて

三村宣治(大阪大・院), 堀川明(大阪大・工), 森教安, 白石哲也(大阪大・工)

日本機械学会関西支部講演会

(昭和55年3月19日 講演)

Carrier Mobilities and Breakdown in Hologen Doped Polymers

J. Kyokane, S. Harada* K. Yoshino** and Y. Inuishi**

(*松下電器株式会社(1980), **大阪大・工)

J. Appl. Phys. 51, 2714~2717

平行円板間のはく離を伴う放射状流れと熱伝達

望月貞成(東京農工大), 矢尾匡永

日本機械学会全国大会講演会

(昭和55年8月23日 講演)

高分子の電気伝導に及ぼすハロゲンの影響(I)

京兼 純, *岩川真二, *吉野勝美, *犬石嘉雄(*大阪大・工)

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和54年11月3日 講演)

線幅を正規化する濃淡の2値化法

上田勝彦, 中村善一

電子通信学会総合全国大会

(昭和55年3月31日 講演)

高分子の電気伝導に及ぼすハロゲンの影響(II)

京兼 純, *岩川真二, *吉野勝美, *犬石嘉雄(*大阪大・工)

電気学会全国大会

(昭和55年4月3日 講演)

会話形画像処理システムNIPSの開発

中村善一, 上田勝彦

電子通信学会総合全国大会

(昭和55年3月31日 講演)

光結合アナログFETによる負性抵抗特性

高橋晴雄, 山内雅好

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和54年11月4日 講演)

局所情報を用いた印影パターンの照合実験

上田勝彦, 中村善一

情報処理学会第21回全国大会

(昭和55年5月23日 講演)

光結合FETによるS形負性抵抗特性

高橋晴雄, 山内雅好

電子通信学会総合全国大会

(昭和55年3月31日 講演)

光結合 F E T による S 形負性抵抗
特性（II）

高橋晴雄，山内雅好，山本善啓
電子通信学会（通信，光，電波）部門別
全国大会
(昭和55年9月11日 講演)

光結合 F E T を用いた S 形負性抵抗
回路

高橋晴雄，山内雅好
電子通信学会論文誌（C）
Vo. 63C, No. 7 448~450. (昭和55年7月)

C P / M の下で動作する M T - 2 用
ファイル管理システム

世古 忠，舟木勇夫，成田紘一
「インターフェース」1980 No.35 (昭和55年4月)
P 110~130.

塩化物水溶液中での A l 極の温度依存性

平田 允（藤井寺工高），犬田修正
日本化学会 第41回春季年会
(昭和55年4月2日 講演)

白金担持 T i O 2 粉末上での光コルベ
反応

泉 生一郎，A.J. Bard（テキサス大学）
電気化学協会第47回大会（エネルギーと電気化学シン
ポジウム）
(昭和55年4月5日 講演)

有機ライニング性能の電気時測定法の
検討

井口高行，奥田 聡（同志社大・工）
化学工学協会第45年会
(昭和55年4月3日 講演)

新型可動式多孔板塔の流動特性

河越幹男，大竹伝雄（阪大基礎工），木村彰一（阪大基
礎工），野田泰夫（関西化学）化学工学論文集，
6，123
(昭和55年3月)

視聴覚教材を使用してのドイツ語教育
の実際

田北寛剛
東京ドイツ文化研究所
(昭和55年11月15日 講演)

アダム・スミスの共感について
—「道徳感情論」をめぐる—

谷口文章
待兼山論叢（大阪大文学会）No.13 5~21 1979
(昭和55年1月)

十津川郷・十二村について
「円光寺所蔵之書」の紹介

朝倉 弘
『大塔村史』所収 発行所 大塔村役場
(昭和54年12月5日 発行)

近衛家領大和国吉田庄小考

朝倉 弘
天理図書館報『ヒブリア』No.74所収
発行者 天理大学出版部
(昭和55年4月18日 発行)

混炭油（C O M）について

小森三郎
油化学 Vol 29 No.1 60 1980
(昭和55年1月)

奈良工業高等専門学校 研究紀要 第16号

昭和56年3月15日発行

編集兼
発行者 奈良工業高等専門学校
大和郡山市矢田町22

印刷所 株式会社 奈良明新社
奈良市橋本町36

RESEARCH REPORTS

of
NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 16, 1980

CONTENTS

Optimization of Turning Operations	Kazumasa ŌHASHI	1	
A Study on the Intermittent Method in Screw Cutting (2nd Report)	Katsuya KAGA, Kazumasa ŌHASHI and Keiji OKUSHIMA	5	
Trial Manufacture of a Tensile Testing Device in High Temperature	Koji KOBATAKE and Hideo SEKIGUCHI	9	
Study on Machinability of Machinable Glass Ceramic	Yoshio TANAKA and Tadahiro WADA	13	
Study on Chip-excluding in turning — The Oscillatory Feed Cutting —	Tadahiro WADA	21	
Compensation of Resonant Load in an Electro-Hydraulic Servo System	Toshio WAKABAYASHI, Toshiya SAKABE and Noriyasu MORI	27	
Circuit Modes of a PWM 3-Phase Inverter Driven by Unbalanced Gate Signals (Capacitive Load)	Shigeji IMURA	33	
Long Wavelength Hologram by Cylindrical Scanning	Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA	39	
A S-Type Negative-Resistance Circuit Using a Combination of Two Photo-Coupled FETs	Haruo TAKAHASHI and Masayoshi YAMAUCHI	43	
The New Method for the Yarn-Speed Measurement Using the Spatial Filter	Masayoshi YAMAUCHI, Haruo TAKAHASHI and Suteo TSUTSUMI	47	
Reaction Mechanism of Nitrosolysis of Ketones Using Sodium Nitroprusside	Akira ISHIGAKI	51	
Heterogeneous Photocatalytic Decarboxylation of Adipic Acid Production of Butane via the Photo-Kolbe Reaction	Ikuichiro IZUMI, Fu-Ren F. FAN* and Allen J. BARD*	55	
Relationship Between Structure Properties of Alcohols and Their Electrochemical Behavior	Ikuichiro IZUMI	61	
A Study on Liquid Membrane Reactor	Tadashi UMEHARA	67	
Dynamic Behavior in Continuous Mixed Suspension Crystallizers	Isao YAMAMOTO	71	
On Property of $Z\alpha T$	Seinosuke KITAGAWA	75	
Pyrolytic Gas Chromatography of α -Acylloximes	Koji ISHIKAWA and Tadashi SAKAI	79	
The Value of Sports	Takeshi NAKAWADA	85	
Transition in the Techniques of Judo with the Changes of Times	From the Age of Civil Strife to the Edo Period	Shigemi NAKANISHI	91
Toson's Introduction to his Poetical Works and Biblical Influences on them	Seiji HOSOI	102	
Abstracts		103	