

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 2 2 号

昭 和 6 1 年 度

奈 良 工 業 高 等 專 門 学 校

目 次

無隔膜衝撃波管における高圧室気体挙動	岸 下 晴 亮・松 岡 一 起	1
凸領域について	福 嶋 克 彦	7
定常流および脈動流における繊維配向	森 教 安	11
切りくず処理に関する研究(第4報)―種々の方法による切りくず折断―	和 田 任 弘	17
切削抵抗による工具損傷の検出―計測システム系の試作と適用範囲について―	和 田 任 弘・東 野 秋 二・島 岡 三 義・早 川 恭 弘	23
超電導エネルギー貯蔵における電力変換装置の構成と制御	伊 瀬 敏 史・村 上 吉 繁	31
絶縁性高分子材料の劣化検出法に関する基礎研究	京 兼 純・山 本 善 啓・木 村 伊 一・吉 野 勝 美	37
UNIX上での日本語入力モジュールの開発	世 古 忠 成 田 紘 一	43
Thickness Measurements of Thermal Oxidation Growth-Films on Silicon using Computer Controlled Ellipsometer	Haruo TAKAHASHI and Stieve A. LYON	47
重クロム酸ゼラチンを用いたリップマンホログラムの最適製作条件	宮 田 正 幸	53
遺跡出土木材の保存液含浸過程分析用画像処理システム	上 田 勝 彦・石 垣 昭	57
画像処理的手法による遺跡出土木材の年輪パターン抽出	上 田 勝 彦・石 垣 昭	63
遺跡出土木材へのt-ブチルアルコール浸透過程の非破壊的観測	石 垣 昭・上 田 勝 彦	69
遺跡出土木材の年輪年代測定のためのX線造影法の開発 (チオグリコール酸銀-t-Butyl Alcohol二重造影法)	石 垣 昭・上 田 勝 彦	75
生成物分離型光化学ダイオードの開発とp-ベンゾキノンの定量分析への応用	泉 生 一 郎・大 西 康 幸	79
多孔板塔の気液界面積	河 越 幹 男	83
総合実習を実施して	島 岡 三 義・小 島 耕 二・和 田 任 弘・早 川 恭 弘・梶 嶋 忠 男 島 岡 武 道・山 本 藤 三 郎・中 川 哲 男・柏 井 廣 志・池 内 由 卓	87
Non-Finite Verbs in the Stonor Collection-Infinitive	Kiyokazu MIZOBATA	93
ウィリアム・ジェームズの物質概念について	木 村 倫 幸	106
大和守源頼親小考(二)	朝 倉 弘	114
論文抄録		115
教官研究活動一覧表		129

無隔膜衝撃波管における高圧室気体挙動

岸下 晴亮 ・ 松岡 一起

Gaseous Behavior of a High Pressure Chamber in a Diaphragmless Shock Tube

Haruaki KISHIGE and Kazuoki MATHUOKA

This paper describes experimental measurements of acceleration of piston in a diaphragmless shock tube and numerical consideration of gaseous behavior in a high pressure chamber, using two dimensional piecewise linear method. In numerical calculations, the experimental results were used for boundary conditions. Measured acceleration in the piston was about 200 g. It is shown continuous decreases of the pressure in the high pressure chamber and production of vortex at the entrance of the low pressure chamber.

1. ま え が き

無隔膜衝撃波管は、隔膜式の衝撃波管に比べて、隔膜の交換が不用なため、排気時間の短縮や、自動運転も可能であり、高速・高温・高圧気体流れの実験装置として用いられている。特に、不純物の混入を嫌う化学衝撃波管装置として有用なものである。しかし、この種の装置は、ピストンの挙動が衝撃波形成に重要な役割を果たすため、その応答性が問題となる。無隔膜衝撃波管を用いた実験結果もいくつか報告されているが、ピストン挙動については簡単な報告があるのみである⁽¹⁾。

そこで、ピストン挙動を解明するため、ピストンに加速度センサーを設置し、その時間的変化を測定した。また、この結果を境界条件として、二次元 Piecewise Linear Method (P.L.M.) による数値計算を高圧室内部と低圧室入口付近について行い、ピストン周辺の気体流れを求めたので報告する。

2. 実験装置および実験条件

実験に使用した無隔膜衝撃波管駆動部の概要を図1に示す。駆動部は二段ピストン方式で、高圧室内径256mm、長さ174mm、低圧室内径53mm、長さ4.3m、膨張室容積5.61ℓである。ピストンは、外径130mm、長さ107mm、

質量0.71kgの強化ナイロン製で中空とし、背部は厚さ2mmのアルミニウム板で蓋をした。このアルミニウム板の中央に加速度センサー (Kistler社 Model 8618) をナットおよび接着剤により固定し、リード線を外部に引き出した。同図に加速度測定系のブロック図を示す。

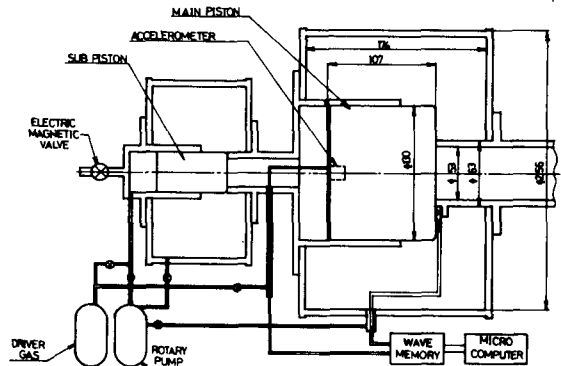


図1 無隔膜衝撃波管駆動部概要

表1 実験条件

補助ピストン 動代気体	高圧室 気体	低圧室 気体	高圧室 圧力kPa	低圧室 圧力kPa	高圧室圧 力と補助 ピストン 膨張室と の圧力比 は1:1 とした。
ヘリウム	ヘリウム	空気	235		
			304	2.00	
			425	6.66	
			506	13.3	

トリガー源として、ピストン端面と低压室入口に板バネスイッチを設け、電池をつないでこの板バネスイッチの断点をトリガー点として用いた。

実験条件は表1に示すように、高压室にヘリウム気体、低压室に空気を用いて、12の条件について加速度を測定した。加速度センサーからの出力をチャージアンプで増幅した後、ウェーブ・メモリーに記憶し、マイクロ・コンピュータのフロッピー・ディスクに記録した。

3. 実験結果

測定記録した加速度波形のデジタル・データより時間に関して一度積分して速度波形を、さらにもう一度積分して位置の時間的変化を数値的に求めることが出来る。

図2に測定した加速度波形の測定結果を示す。これらは、低压室の圧力 $p_1 = 6.66 \text{ kPa}$ と固定して、高压室圧力 $p_4 = 253, 304, 425, 506 \text{ kPa}$ と変化させたものである。 $p_4 = 506 \text{ kPa}$ において測定した加速度は 200 g 程度である。ピストンに加わる力をピストン背部の気体が瞬時に抜けたとした時の圧力差とし、この力を一定と仮定した単純な運動方程式は、 560 g 程度のピストン加速度を与える。それ故、ピストンに加わる力の変動や摩擦の効果は比較的大きいものと思われる。

図2の加速度波形の最初の立ち上がりが、ピストンの動き初めを示す。以後、加速度波形は一定周期の振動を繰り返している。これは、加速度センサーを取り付けたアルミニウム板の固有振動数が 2.76 kHz であるのに対し、加速度波形の振動周期より求めた振動数が約 2.79 kHz ではほぼ一致したため、ピストンの急激な加速によりアルミニウム板が振動し、共振状態にあるものと考えて良い。

この周期的な振動が減衰した後、加速度波形も減少傾向を示す。最後の加速度波形の急激な減少は、ピストン後端がシリンダ後部壁に衝突したことを示しており、立ち上がりからこの点までが、ピストン・ストローク 2.5 cm の距離を移動するのに必要な時間を示し、横軸がこれに対応している。

ピストン加速度のストローク後半における減少は、 p_4 が大きい程大きい。これは、ピストンシリンダの残留ガス圧が、 p_4 が大きい程大きいためである。

ステップ状の圧力変動を伴う良好な衝撃波を得るためには、ピストンの移動初期の速度が問題となる。これを評価するため、移動量がストロークの約 $1/4$ の 6.7 mm までの速度と位置の時間的変化を図3、4に示す。速度の時間的変化は、アルミニウム板の共振の影響が若干表れているが、 p_4 を大きくしてもピストン速度に上限

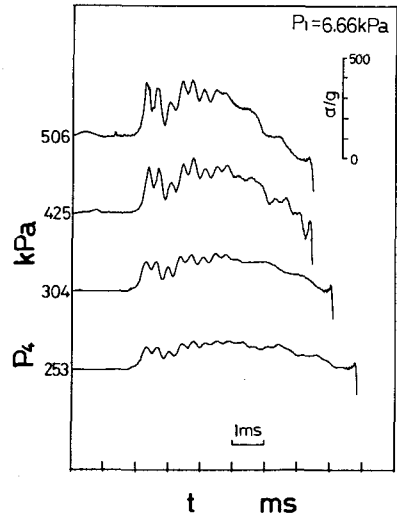


図2 ピストン加速度波形

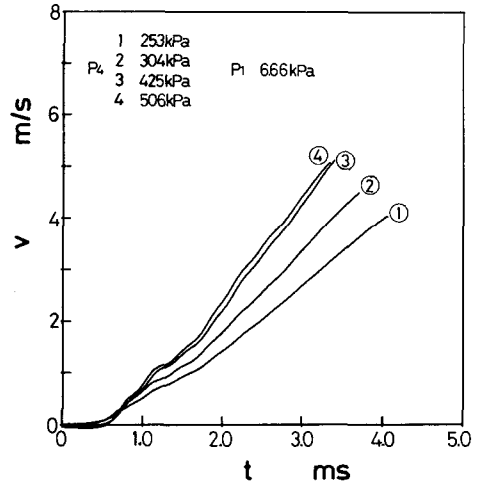


図3 ピストン速度波形

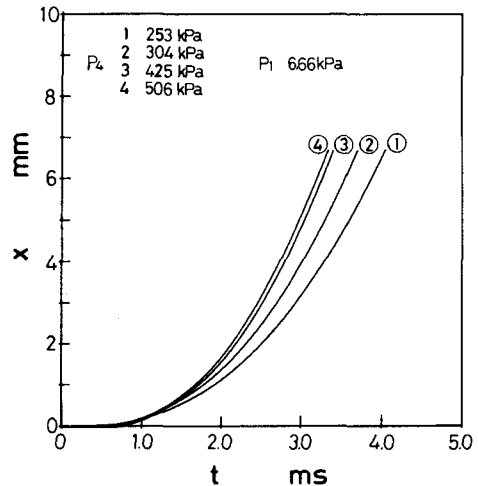


図4 ピストン変位波形

のあることがうかがえる。

図5に初期位置から6.7mm変化するのに必要な時間を、高圧室圧力と低圧室圧力をパラメーターにして示す。高圧室・低圧室の圧力比が Mach 数を決定するが、ピストンの移動速度は圧力の値そのものが大きい程速い。

4. 数値計算

4.1 Piecewise Linear Method (P.L.M.)⁽²⁾⁽³⁾

無隔膜衝撃波管高圧室近傍の数値計算を行うための円筒座標における非粘性、圧縮性気体流れの基礎方程式は、無次元型で次式のように書くことができる。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial r} + \mathbf{Z} = 0 \quad (1)$$

ここに

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ e \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + p \\ \rho uv \\ u(e+p) \end{bmatrix}, \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho v u \\ \rho v^2 + p \\ v(e+p) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{Z} = \frac{1}{r} \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho uv \\ \rho v^2 \\ v(e+p) \end{bmatrix} \quad (2)$$

である。 $x, r, t, p, \rho, e, u, v$ はそれぞれ軸方向、半径方向の距離、時間、圧力、密度、単位体積当りの全エネルギー、軸および半径方向の流れ速度成分を表している。全エネルギーは、内部エネルギーと運動エネルギーの和で、完全気体の場合(3)式で表される。

$$e = \frac{p}{r-1} + \frac{\rho}{2} (u^2 + v^2) \quad (3)$$

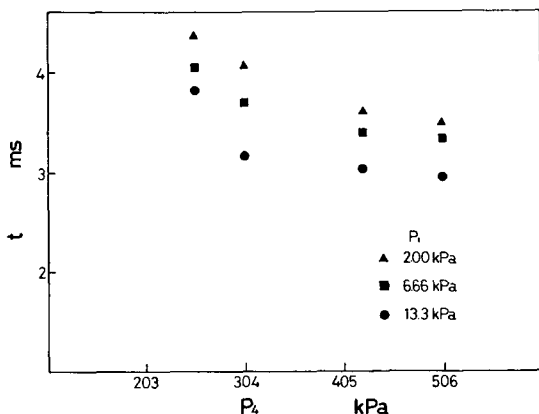


図5 ピストンが6.7mm移動するのに必要な時間

ここに、 γ は比熱比を表す。これらの量はそれぞれ以下のように無次元化されている。

$$\rho = \hat{\rho} / \hat{\rho}_1, \quad p = \hat{p} / \hat{p}_1, \quad u = \hat{u} / (\hat{a}_1 / \gamma^{1/2}), \\ v = \hat{v} / (\hat{a}_1 / \gamma^{1/2}), \quad t = \hat{a}_1 \hat{t} / (\gamma^{1/2} \hat{L}), \quad x = \hat{x} / \hat{L}, \\ r = \hat{r} / \hat{L} \quad (4)$$

ここに、 \wedge は有次元量を、添字1は衝撃波前方の物理量を表している。 a, L は音速、代表長さである。

(1)式の差分計算には、演算子分割法を用いる。この方法は、時刻 t^n から Δt 時間ステップ後の \mathbf{U} の値、 \mathbf{U}^{n+1} が線形差分演算子 $S_{\Delta t}$ を用いて $\mathbf{U}^{n+1} = S_{\Delta t} \mathbf{U}^n$ で表されるとき、(1)式を

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial r} + \mathbf{Z} = 0 \quad (5)$$

に分割し、それぞれに対する差分演算子を $L_{\Delta t}^x, L_{\Delta t}^r$ とすると、

$$S_{\Delta t} = L_{\Delta t/2}^x L_{\Delta t}^r L_{\Delta t/2}^x \quad (6)$$

となることを利用する。(5)式は各々四つの方程式よりなるが、それらのうち一つは、考えている座標系に直角な方向の運動方程式であり、他の三つとは独立に解くことが出来る。このため、(5)式の各々の計算は各々の方向に完全に一次元の計算法が適用できる。

(5)式の差分演算は以下のように解くことが出来る⁽⁴⁾。図6の様は計算セルにおいて、時刻 t^n で全ての格子点の物理量、 p, ρ, u, v が既知であった時、これらの物理量に対し、格子点を中心とする各計算セル内での分布を線形に近似し、分布関数を求める。計算セル内の境界において、時間 $\Delta t / 2$ だけ進んだ点での右側と左側の状態 $\mathbf{V}_{j+1/2L}^{n+1/2} (p_L, \rho_L, u_L, v_L)$ および

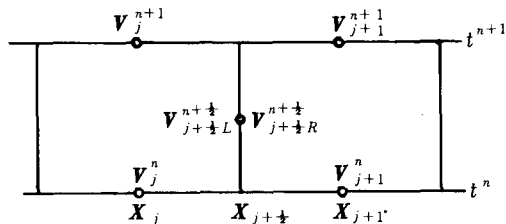


図6 差分計算セル

$V_{j+1/2}^{n+1/2}(\rho_R, \rho_R, u_R, v_R)$ を、対応する側の解依存領域から、先に計算した分布関数と、(5)式を非保存系に変換した方程式を使って求める。次に、 V_L, V_R を初期条件とするリーマン問題を解き⁽⁵⁾、境界での U の値 $U_{j+1/2}$ を求める。さらに $U_{j+1/2}$ から F を求め、それを $F_{j+1/2}^{n+1}$ とする。故に、

$$U_j^{n+1} = U_j^n - (F_{j+1/2}^{n+1/2} - F_{j-1/2}^{n+1/2}) \Delta x / \Delta t \quad (7)$$

により時刻 $t_n + \Delta t$ における解 U_j^{n+1} を求める。

r 方向の演算も同様に求めることができ(6)式にもとずいて、演算を実行すれば、各時間ステップの物理量もとまる。なお、(1)式の非保存系への変換は(8)式の様になる。

$$\frac{\partial V}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + B \frac{\partial V}{\partial r} + J = 0 \quad (8)$$

ここに

$$V = \begin{bmatrix} p \\ u \\ v \\ \rho \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} u & \rho & 0 & 0 \\ 0 & u & 0 & 1/\rho \\ 0 & 0 & u & 0 \\ 0 & r & p & 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$B = \begin{bmatrix} v & 0 & \rho & 0 \\ 0 & v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v & 1/\rho \\ 0 & 0 & r & p \end{bmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} \rho v \\ 0 \\ 0 \\ r p v \end{bmatrix}$$

また、線形近似した各物理量の分布関数は、計算セル内の $V_j(p_j, \rho_j, u_j, v_j)$ の変化量 ΔV_j として隣接する三つの格子点における V の値から最小自乗法を用いて求める。ただし、 V_j が極値と成っている場合には $\Delta V_j = 0$ とする。さらに、この様にして求めた分布関数によって計算される隣接格子点の V_{j+1} が極値を取るように決定する。

V_L, V_R の値は、それぞれ右、および左側からの特性線によって決まる影響領域での V の値を用いて求める。

4.2 数値解析モデル

無隔膜衝撃波管高圧室の気体挙動を数値計算するために図7の様なモデルについて考察した。図7(a)は高圧室全体を表しており、空白部がピストンを示す。境界条件は低圧室下流方向へ r 方向の速度成分がないとした質量

流出を、他の全ての壁面は反射条件を仮定した。ピストンは初期条件として、低圧室入口に密着した状態より一格子分だけ左方に後退した位置に置き、ピストン前面の一格子は高圧室と同じ初期条件とした。ピストンは加速度波形の測定結果を用いて、次の格子点へ移動するのに必要な時間の経過を待って、階段状に移動させた。この場合、実験により測定したある格子点をピストン先端が通過する時刻が、ピストンがその格子点に滞在する時間の中点での時刻と一致するように移動させた。また、ピストン移動直後の格子点では、圧力 p 、密度 ρ の値がなく計算できないため、 $p=0.01$ 、 $\rho=0.01$ と仮定して計算を進めた。

図7(b)は低圧室入口近傍の流れを解明するために、初期条件として、ピストンが一格子だけ動いた状態に固定し、ピストンと低圧室端の間から固定した高圧室圧力 p_4 の質量流入を仮定したモデルを用いた。低圧室右方へは r 方向の速度成分がないとした質量流出を、他の壁面は反射条件を用いた。

4.3 数値計算結果

図8に図7(a)に示した格子を用いて求めた高圧室全体の数値計算結果を示す。左図が圧力分布を示し、右図が速度ベクトルの分布を示している。数値計算の初期条件は、低圧室の圧力、密度で無次元化した値で高圧室の圧力、密度をそれぞれ20とし、 x 方向、 r 方向の初速は共に零とした。また、気体は高圧・低圧室ともにアルゴン気体として求めた。

高圧室内部は全体として緩やかに減圧して行くが、圧力波の壁面間での反射が繰り返され、複雑なものとなった。低圧室への流入も、中央部で周囲から集中してくる圧力が衝突し交差した後、低圧室方向へ伝播してゆく。

図9に図7(b)に示した格子を用いて、高圧・低圧室ともにアルゴン気体とし、図8と同じ条件で数値計算した、低圧室入口近傍の圧力と速度ベクトルの時間的変化を示す。

一格子点から流入した圧力波は管中心で衝突交差した

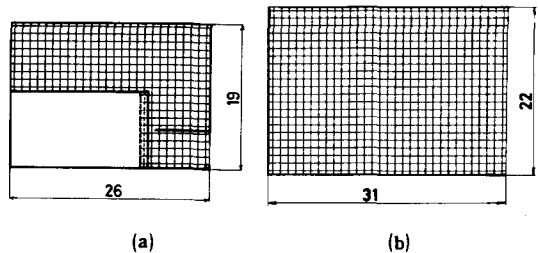


図7 無隔膜衝撃波管駆動部数値解析モデル

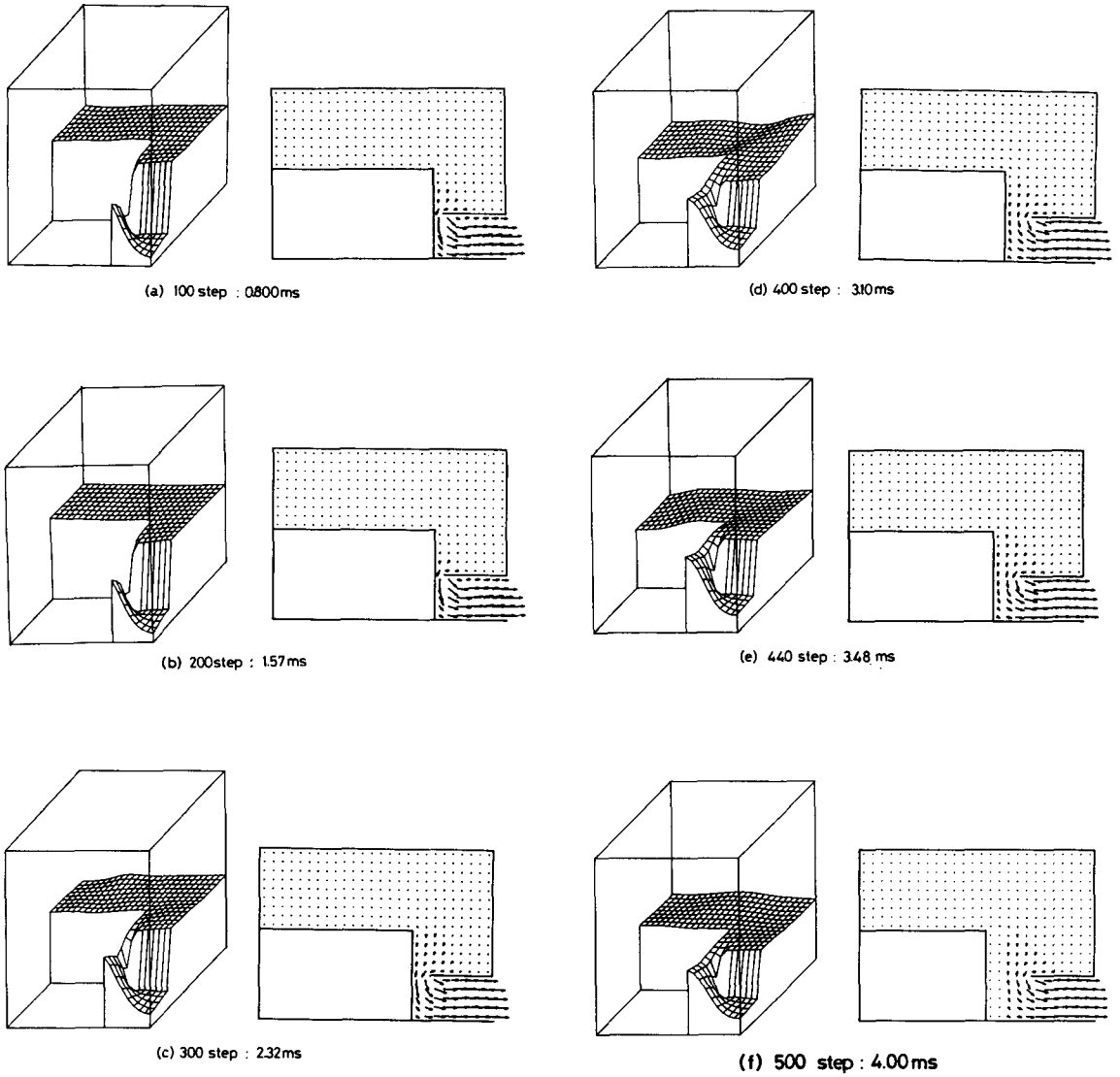


図8 高圧室内部の速度ベクトルと圧力分布の変化

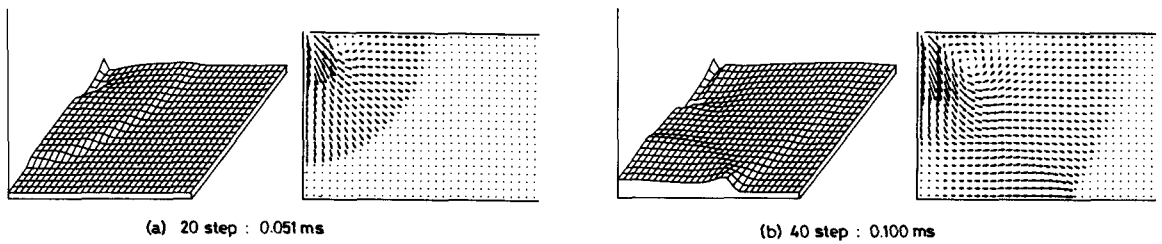


図9 低圧室入口付近の速度ベクトルと圧力変化
(その1)

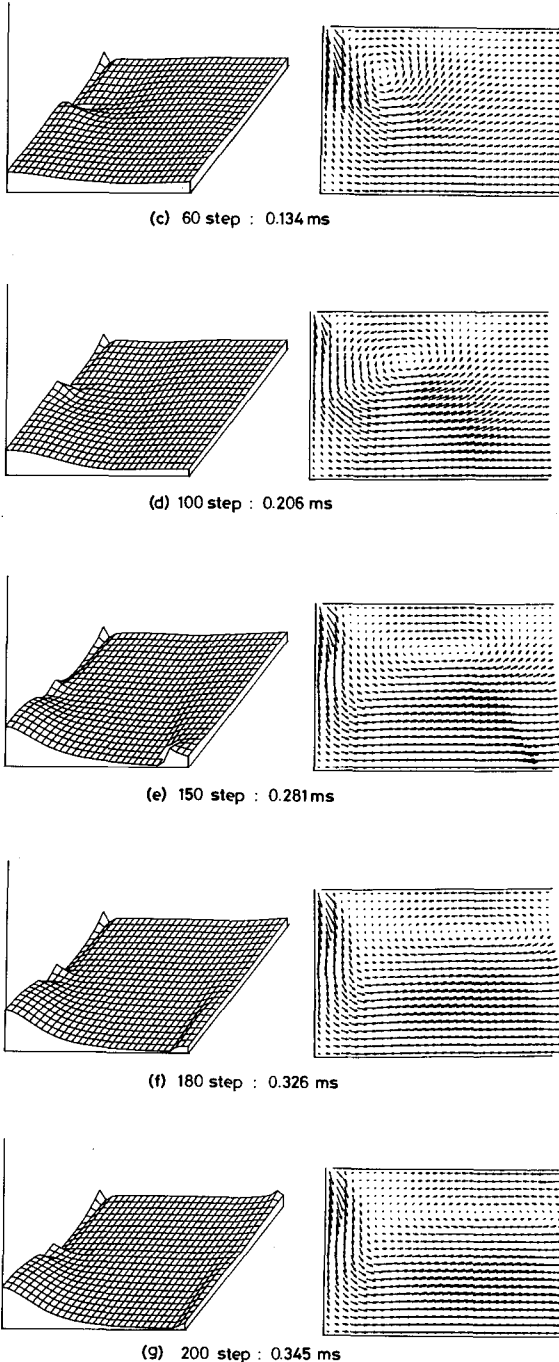


図9 低圧室入口付近の速度ベクトルと圧力変化
(その2)

後、低圧室方向へ伝播するが、ピストン前面近傍で定在波を形成した。低圧室右方への流出条件として r 方向の速度成分なしと仮定したため、成長していく渦を表現し

きれず、出口付近に圧力の上昇がみられた。

5. あとがき

無隔膜衝撃波間の高圧室での気体挙動を解明するため、主ピストンに加速度センサーを設置し、加速度・速度・変位波形を測定した。その結果、高圧室と低圧室の圧力比が75程度で約200gの加速度を得た。また、ピストンの立ち上がり速度を大きくするためには、高圧室・低圧室の圧力を共に高くする必要があることが明らかになった。

高圧室・低圧室ともにアルゴン気体を用い、圧力比を20とした二次元円筒座標によるP.L.M.の数値計算結果は、高圧室内部の気体は壁面での反射を繰り返し緩やかに減圧することを示した。ピストンの移動は、実験結果を用いたが、この移動速度は高圧室の減圧速度を増加させる働きを持っている。低圧室内部の気体は、ピストン近傍で定在波を形成し、入口近傍に発生した渦は、その中心を管壁から直径比で0.125付近の下流位置へ移動させていくことが明らかになった。出口近傍で圧力の上昇がみられたが、これは低圧室出口での半径方向速度成分を零と仮定したためであり、現実的ではない。

6. 文 献

- (1) 石井, 酒井, 原, 前野: 無隔膜ショックチューブ駆動部の特性について, 宇宙科学研究所衝撃工学シンポジウム報告書 (1981)
- (2) Woodward, P. R. and Colella, P.: High Resolution Difference Schemes for Compressible Gas Dynamics, Proc. of 7th Int. Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics, Stanford 1980, ed. by Reynolds, W. C. et. al., (1981), pp.434-441.
- (3) Woodward, P. R. and Colella, P.: The Numerical Simulation of Two-Dimensional Fluid Flow with Strong Shocks, J. Comp. Phys., 54 (1984), pp.115-173.
- (4) Colella, P. and Glaz, H. M.: Efficient Solution Algorithms for the Riemann Problem for Real Gases, Lawrence Lab. Univ. Calif. LBL-15776, (1983).
- (5) van Leer, B.: Towards the Ultimate Conservative Difference Scheme. V. A Second-Order Sequel to Godunov's Method, J. Comp. Phys., 32 (1979), pp.101-136.

凸領域について

福 嶋 克 彦

On the Convex Domain

Katsuhiko FUKUSHIMA

この小論においては、偏微分不等式による凸領域の特徴づけを与える。

1. はじめに

多変数解析関数論に於いて、擬凸領域に関し種々の同値な特徴づけが得られている。その一つに Levi の定理がある〔1〕。

実変数空間内の凸領域について類似の特徴づけを論じる。その応用として、管領域が凸であることと擬凸であることと同値であることが示される。

2. 定 理

$\Omega \subset \mathbf{R}^n$ を C^2 級 (2 回連続的の微分可能) の滑らかな境界をもつ領域 (連結開集合) とし、 ρ を Ω の定義関数つまり ρ は、 $\bar{\Omega}$ (Ω の閉包) の近傍で与えられた C^2 級実数値関数で $\Omega = \{x; \rho(x) < 0\}$, さらに Ω の境界 $\partial\Omega$ 上 $\text{grad } \rho \neq 0$ とする。以上の設定の下で

定 理

Ω が凸であるための必要十分条件は

$$(1) \quad \sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial x_j \partial x_k u_j u_k \geq 0$$

$$\text{但し } \sum_1^n \partial \rho / \partial x_j u_j = 0 \quad (x \in \partial\Omega, u \in \mathbf{R}^n)$$

である。

Levi の定理も述べておく。

定 理 (Levi)

C^2 級関数 ρ を定義関数にもつ \mathbf{C}^n の領域 Ω で、 Ω が擬凸であるための必要十分条件は

$$(2) \quad \sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial z_j \partial \bar{z}_k w_j \bar{w}_k \geq 0$$

$$\text{但し } \sum_1^n \partial \rho / \partial z_j w_j = 0 \quad (z \in \partial\Omega, w \in \mathbf{C}^n)$$

である〔1〕。

3. 補 題

$a, b \in \mathbf{R}^n$ に対し a, b を両端とする線分を

$$[a, b] = \{ (1-t)a + tb; 0 \leq t \leq 1 \}$$

と書く。

Ω を \mathbf{R}^n の開集合とし、 f を $(-\infty, \infty)$ に値をとる Ω 上の関数とする。 f が凸関数というのは $[a, b] \subset \Omega$ のとき

$$(3) \quad f((1-t)a + tb) \leq (1-t)f(a) + tf(b), \quad (0 \leq t \leq 1)$$

がなりたつときである。このことは任意の $x \in \Omega, u \in \mathbf{R}^n$ に対し $t \rightarrow f(x+tu)$ が定義されている処で 1 変数の凸関数であることと同値である。

よく知られているように 1 変数関数 f が C^2 級のとき f が凸であることと、その 2 回微分について $f'' \geq 0$ であることと同値である。従って C^2 級 n 変数関数 f が凸であることと

〔 〕 内の数字は文献の番号

$$0 \leq (d^2/dt^2) f(x+tu) \quad (t=0)$$

が任意の $x \in \Omega$, $u \in \mathbb{R}^n$ についてなりたつことと同値である。故に

補題 1.

\mathbb{R}^n の開集合 Ω 上の C^2 級関数 f が凸であるための必要十分条件は

$$(4) \quad \sum_{j,k=1}^n \partial^2 f / \partial x_j \partial x_k u_j u_k \geq 0 \quad (x \in \Omega, u \in \mathbb{R}^n)$$

である。

領域 $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ が凸であるというのは、 Ω の任意の 2 点に対しそれらを結んだ線分が Ω に含まれるときである； $a, b \in \Omega$ ($[a, b] \subset \Omega$).

$x \in \Omega$ に対し、 x から境界 $\partial\Omega$ までの距離を

$$\delta(x, C\Omega) = \inf_{y \in C\Omega} \|x - y\|$$

とおく、但し $C\Omega = \mathbb{R}^n - \Omega$ (Ω の補集合), $\|x\| = \sqrt{x \cdot x}$, $x \cdot y$ は内積 ($x, y \in \mathbb{R}^n$).

例えば超平面の片側は凸領域である。 $b \in \mathbb{R}^n$ を通り a を単位法線ベクトルとする超平面の片側領域は、 a の向きを適当にとつて

$$\Omega = \{x \in \mathbb{R}^n ; a \cdot (x - b) > 0\}$$

と書ける。このとき $\|a\| = 1$ だから $\delta(x, C\Omega) = a \cdot (x - b)$ ($x \in \Omega$)。 $-\log$ は凸関数だから

$$-\log \delta(x, C\Omega) \text{ は } \Omega \text{ で凸関数である}$$

さて、一般に凸領域 Ω は境界 $\partial\Omega$ の各点で支持平面と呼ばれる超平面の片側にあるから、

$$\Omega \subset \Omega_b = \{x ; a \cdot (x - b) > 0\} \quad (b \in \partial\Omega)$$

として

$$\Omega = \bigcap_{b \in \partial\Omega} \Omega_b$$

と書ける。 $c\Omega = \overline{C\Omega_b}$ だから

$$-\log \delta(x, C\Omega) = \sup_b (-\log \delta(x, C\Omega_b))$$

故に $-\log \delta(x, C\Omega)$ は Ω 上凸関数。このことは、証明を略するが逆もなりたつ〔2〕。まとめて、

補題 2.

連結開集合 $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ が凸領域であるための必要十分条件は

$$-\log \delta(x, C\Omega) \text{ が } \Omega \text{ で凸関数}$$

となることである。

4. 定理の証明

最初に (1) が ρ の選び方によらないことを示そう。別に定理の前提をみたまうような ρ_1 があつたとすると、 $\bar{\Omega}$ の近傍で $\rho_1 = h \cdot \rho$ ($0 < h$) と書ける。

$$\sum_{j=1}^n \partial \rho_1 / \partial x_j u_j = 0 \quad (x \in \partial\Omega)$$

と仮定すれば

$$\sum_{j=1}^n \partial \rho_1 / \partial x_j u_j = h \sum_{j=1}^n \partial \rho / \partial x_j u_j$$

だから

$$\sum_{j=1}^n \partial \rho / \partial x_j u_j = 0$$

ρ については (1) がなりたつ。一方

$$\sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho_1 / \partial x_j \partial x_k u_j u_k$$

$$= h \sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial x_j \partial x_k u_j u_k$$

だから

$$\sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho_1 / \partial x_j \partial x_k u_j u_k \geq 0$$

従つて (1) は ρ_1 についてもなりたつ。

$$\rho(x) = -\delta(x, C\Omega) \quad (x \in \Omega),$$

$$\rho(x) = \delta(x, \Omega) \quad (x \in C\Omega)$$

とおくと仮定より $\bar{\Omega}$ の近傍で $\rho \in C^2, \text{grad } \rho \neq 0 (x \in \partial\Omega)$ がなりたつ。以下 ρ をそのようにする。

(1) の必要性を証明しよう。補題 2 より

$-\log \delta(x, C\Omega)$ は Ω で凸関数

$$\sum_1 \partial \rho / \partial x_j x'_j(0) = 0$$

補題1より, 任意の $x \in \Omega$, $u \in \mathbb{R}^n$ に対し

$$\sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial x_j \partial x_k x'_j(0) x'_k(0) < 0$$

$$\sum_{j,k=1}^n (-\delta^{-1} \partial^2 \delta / \partial x_j \partial x_k + \delta^{-1} \partial \delta / \partial x_j \partial \delta / \partial x_k) \times u_j u_k \geq 0$$

このことは (1) に反する。

5. 応用

がなりたつ。故に

$\Omega \subset \mathbb{C}^n$ が $\omega \subset \mathbb{R}^n$ によって

$$\sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial x_j \partial x_k u_j u_k \geq 0$$

但し $\sum_1^n \partial \rho / \partial x_j u_j = 0 \quad (x \in \Omega)$

$$\Omega = \{z; R_\theta z \in \omega\}$$

を得る。 $x \rightarrow \text{in } \partial \Omega$ と極限移行することによって, $\partial \Omega$ でも上式はなりたつ。

と書けるとき, Ω は ω を底とする管集合という。容易に判るように Ω が凸であることと ω が凸であることは同値である。定理の応用例を次に与える。

逆に (1) をみたととき Ω が凸であることを背理法で証明する。 Ω を凸でないとして仮定すると, 補題1, 補題2より $x \in \Omega$, $u \in \mathbb{R}^n$ があって

例

Ω を管領域とする。このとき, 擬凸であることと凸であることは同値である。

$$\alpha = (d^2/dt^2) \log \delta(x+tu, C\Omega) > 0 \quad (t=0)$$

証明)

と仮定できる。Taylor 展開より

$$\log \delta(x+tu, C\Omega) = \log \delta(x, C\Omega) + At + \frac{1}{2} \alpha t^2 + o(t^2) \quad (t \rightarrow 0)$$

$$\rho(z) = -\delta(z, C\Omega) \quad (z \in \Omega),$$

$$\rho(z) = \delta(z, \Omega) \quad (z \in C\Omega)$$

と書ける。さて, $a \in \mathbb{R}^n$ を適当にとってくると

とおき, ω を Ω の底とし, 同様に

$$\delta(x, C\Omega) = \|a\|, \quad x+a \in C\Omega$$

$$\rho_B(x) = -\delta(x, C\omega) \quad (x \in \omega),$$

$$\rho_B(x) = \delta(x, \omega) \quad (x \in C\omega)$$

とできる。そこで

とおくと

$$x(t) = x + tu + e^{At} a$$

$$\rho(z) = \rho_B(R_\theta z)$$

とおくと, t が十分小さいところで

がなりたつ。

さて, Ω を凸領域として

$$\begin{aligned} \delta(x(t), C\Omega) &\geq \delta(x+tu, C\Omega) - \|a\| e^{At} \\ &\geq \|a\| \cdot (e^{at^2/4} - 1) e^{At} \end{aligned}$$

$$\sum_1^n \partial \rho_B / \partial x_j u_j = 0 \quad (x \in \partial \omega, u \in \mathbb{R}^n)$$

がなりたつ。 $\delta(x(0), C\Omega) = 0$ だから

と仮定すると

$$(d/dt) \delta(x(t), C\Omega) = 0 \quad (t=0)$$

$$\partial \rho_B / \partial x_j = \partial \rho / \partial z_j \quad (x \in \partial \Omega)$$

$$(d^2/dt^2) \delta(x(t), C\Omega) > 0 \quad (t=0)$$

だから

$$\sum_1^n \partial \rho / \partial z_j u_j = 0 \quad (x \in \partial \Omega)$$

ρ を使って書きかえると

従って, Levi の定理 (2) より

$$\sum_{j,k=1}^n \partial^2 \rho / \partial z_j \partial \bar{z}_k u_j \bar{u}_k \geq 0$$

がなりたつ。

$$\partial^2 \rho / \partial z_j \partial \bar{z}_k = \partial^2 \rho_B / \partial x_j \partial x_k \quad \bar{u}_k = u_k$$

だから (1) がなりたつ。故に ω は凸, するとこの節の最初に注意したように Ω は凸となる。

逆に, Ω を凸領域とし,

$$\sum_1^n \partial \rho / \partial z_j w_j = 0 \\ (z = x + iy \in \partial \Omega, w = u + iv \in \mathbf{C}^n)$$

と仮定する。実部虚部に分けるとこの仮定は次の連立関係式となる。

$$\sum_1^n \partial \rho_B / \partial x_j u_j = 0 \quad (x \in \partial \omega)$$

$$\sum_1^n \partial \rho_B / \partial x_j v_j = 0 \quad (x \in \partial \omega)$$

さて, (2) の左辺は

$$\begin{aligned} & \sum_{j,k} \partial^2 \rho / \partial z_j \partial \bar{z}_k w_j \bar{w}_k \\ &= \sum_{j,k} \partial^2 \rho_B / \partial x_j \partial x_k u_j u_k + \sum_{j,k} \partial^2 \rho_B / \partial x_j \partial x_k v_j v_k \end{aligned}$$

と変形できる。 ω は凸だから (1) より上式右辺の2つの項は非負。故に (2) がなりたち, Ω は擬凸となる。

参 考 文 献

- [1] L. Hörmander
An introduction to complex analysis in several variables, D. Van Nostrand
- [2] V. S. Vladimirov
Method of theory of functions of several complex variables, The M. I. T. Press
- [3] S. Bochner & W. T. Martin
Functions of several complex variables, Princeton University Press
- [4] 梶原
複素関数論, 森北

定常流および脈動流における繊維配向

森 教 安

Fiber Orientation in Steady and Pulsating Flows

Noriyasu MORI

In the steady and the pulsating flows between parallel plates, the fiber orientation is measured, and the motion of a single fiber is simulated by the numerical calculation.

When the standard deviation of the fiber orientation measured (σ) is large, σ becomes larger than that of the steady flow by adding the pulsation to the steady flow. However there is no effect of the pulsation on the fiber orientation when σ is small. The result of the simulation for a single fiber are in good agreement with the experimental results.

1. 結 言

繊維を分散させた樹脂を、金型内に充填させ成形する場合などにおいて、流路内や金型内における速度分布により繊維は回転し、種々の角度で配向することになる。このようにしてできた成形品での強度などの特性は、その繊維配向によって大きく影響を受けるために、各種の流れにおける繊維の挙動ならびに配向を解明することは品質向上の面からも重要である。

長谷川ら¹⁾は、繊維を分散させたBMCの射出成形における金型キャビティ内での樹脂の挙動を研究している。Murthy²⁾や中村ら³⁾は、スリット形管内での繊維挙動を観察した。さらに堀川ら⁴⁾は、平行平板スリットおよび拡大・縮小スリット内での繊維の配向角分布をフラウンホーファ回折像の強度分布曲線を用いて定量的に研究している。その結果、平行平板スリットでは、入口よりある程度下流に行くとも繊維配向はほとんど一定で、繊維配向角分布の標準偏差は、スリット壁面上のずり速度のみの関数となることが報告されている。しかし、これらの研究は、すべて非常に薄いスリット内におけるもので、繊維配向角の分布についても厚さ方向のすべての繊維がデータとして処理されているために、上下壁面の影響も

含んだものとなっている。また、従来の研究では、定常流のみを扱っているが、実際の成形加工を考えたときには、非定常流についての研究も重要となる。

そこで、本研究では、流れ中における繊維配向の基礎研究として、もっとも基本的である平行平板流路における二次元流れをとりあげ、繊維配向を調べた。二次元流れとして、定常流と脈動流を用い、繊維配向を測定することにより違いを明らかにした。また、溶液は、ニュートン流体としてグリセリンと水を4:1に混合した溶液を、粘弾性流体としてポリアクリルアミド(PAA)水溶液を用いた。さらに、流れ中における単繊維の挙動を把握するために、塩見らの解析をもとにして、ニュートン流体中での単繊維の運動のシミュレーションを行なった。

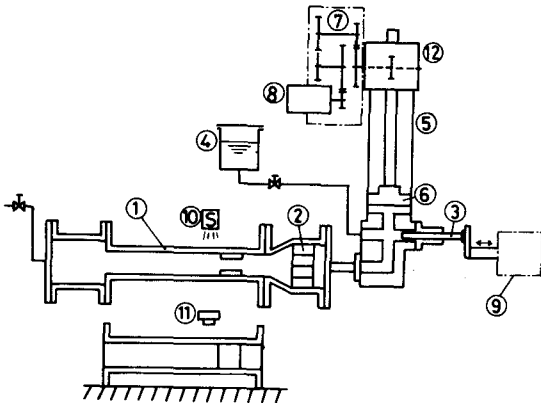
2. 繊維配向角分布の測定

2.1 実験装置および方法

実験装置の概略図を図1に示す。定常流の場合には、給液用タンク④よりメインシリンダ⑤内に供給された溶液を、ピストン⑥で押すことによりテストセクション①内に送る。流量の制御は、可変速モータと減速歯車装置⑦を用いてピストン速度を変化させる方法により行なう。

また、脈動流の場合にはプランジャ③を電気油圧サーボ装置により駆動し、定常流とあわせることにより行なう。

流路内における繊維配向を測定するために、テストセクションにスリット光を当て、カメラ⑪により写真撮影を行なった。平行平板流路には透明アクリル板を使用し、急拡大部を設けた。その形状を図2に示す。



- ① 二次元スリット
- ② 整流格子
- ③ 脈動プランジャ
- ④ 給液用タンク
- ⑤ メインシリンダ
- ⑥ ピストン
- ⑦ 減速歯車装置
- ⑧ 可変速モータ
- ⑨ 電気油圧サーボ装置
- ⑩ ストロボ
- ⑪ カメラ
- ⑫ ピニオン

図1 実験装置概略図

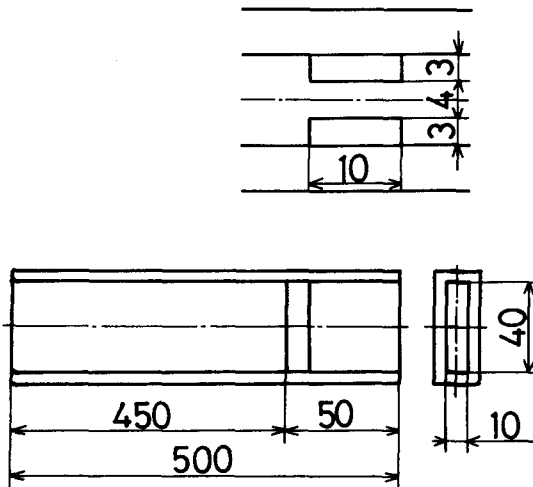


図2 スリット形状

使用した流体は、ポリアクリルアミド (PAA) の 0.8% 水溶液および、グリセリンと水を体積比で 4 : 1 に混合した溶液 (GW 溶液と呼ぶ) である。繊維は、太さ $10\mu\text{m}$ 、カット長 1mm の炭素繊維を使用し、溶液と繊維は体積比 100 : 0.005 の割合で混合した。

写真撮影は、定常流の場合には、急拡大部より 10mm、20mm、40mm、60mm、90mm の位置で行ない、データ整理のために、0 ~ 5 mm (Area 1)、5 ~ 10mm (Area 2)、10 ~ 20mm (Area 3)、30 ~ 40mm (Area 4)、50 ~ 60mm (Area 5)、80 ~ 90mm (Area 6) と流路を分割した。

2. 2 定常流における繊維配向角分布

急拡大部を設けた二次元流路における繊維配向角分布の測定結果を PAA 0.8% 水溶液の場合について図3に示す。ここでは、繊維配向の評価を配向角の標準偏差 σ により行なった。流量 Q がいかなる場合でも、急拡大部からの距離 X が 20mm 以上になると、標準偏差の値は、ほぼ一定値となっている。したがって、繊維配向が大きく変化するのは、急拡大部出口から 20mm までのわずかな間であるが、これは、急拡大部における流れの変化によるものである。このように、急拡大部を設けると、流路の狭い部分で速度勾配が大きくなり、ほとんどの繊維が流線方向に配向するために、急拡大部以後でも、繊維はほぼ流線に沿って流れることになる。このために、急拡大部

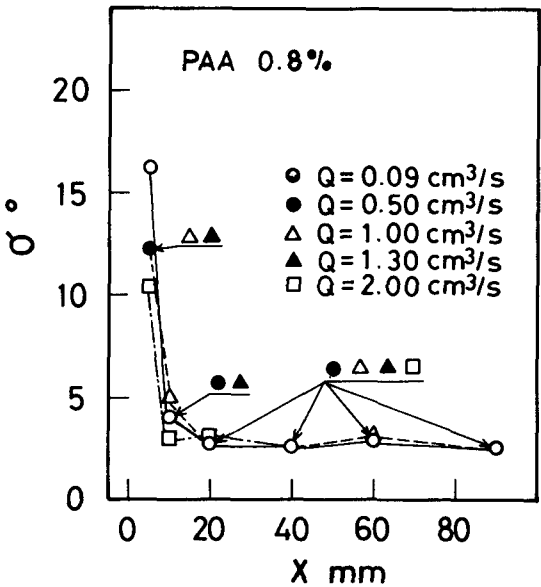


図3 定常流における繊維配向角分布

大部における流れの変化に対しても繊維の方向は流線方向からはずれることが少なく、流れが平行流になると同時に繊維配向も流路軸方向にそろった配向をすることになる。

2.3 脈動流の繊維配向角分布

脈動流における標準偏差と位相の関係の例をArea 1~3について、図4、図5に示す。図4はGW溶液、図5はPAA0.8%水溶液のものであるが、両者ともに、Area 1では標準偏差は大きな変動を示しているが、Area 2, 3では変動は小さい。しかし、変動はしているものの明確な周期性は認められなかった。また、両溶液を比較すると、GW溶液のほうが、標準偏差の絶対値

および変動ともにPAA0.8%水溶液より大きくなっている。

次に、脈動流の標準偏差を1周期で平均し、定常流と比較したものをArea 2について表1に示す。GW溶液の場合には、脈動を与えることにより繊維配向が定常流の場合に比べて乱れており、これは薄いスリットで得られた結果と一致している。しかし、PAA0.8%水溶液では、流路の縦方向の中央断面(CS1)、上壁付近(CS2)ともに、標準偏差はほとんど定常流の場合と差が見られなかった。これらのことから、定常流において繊維の方向が流線にほぼ一致しているものについては、脈動を与えても平均的な繊維配向にはあまり影響を及ぼさないと考えられる。

表1 定常流と脈動流の繊維配向の比較

		Q cm ³ /s	Poiseuille Flow	Pulsating Flow
C.S.1	G & W	0.29	4.673	6.264
	(4:1)	2.07	6.378	6.993
	PAA	0.29	2.503	2.574
	0.8%	2.03	2.783	2.418
C.S.2	PAA	0.30	3.593	3.488
	0.8%	2.05	3.163	3.684

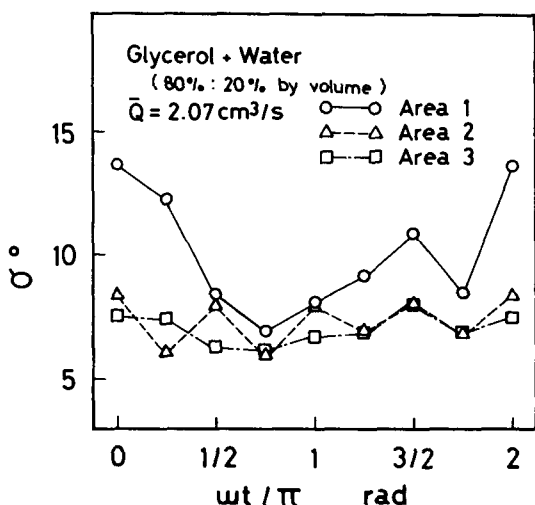


図4 脈動流における繊維配向角分布 (GW溶液)

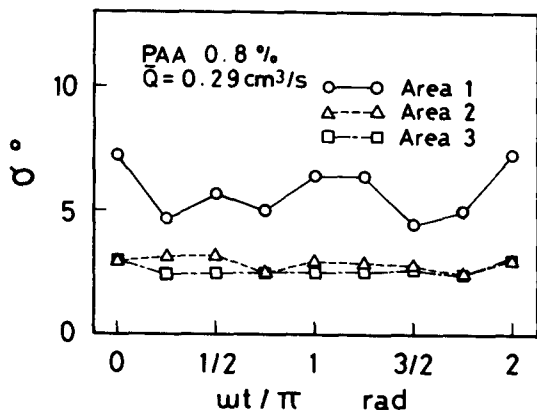


図5 脈動流における繊維配向角分布 (PAA0.8%)

3. 単繊維の運動のシミュレーション

3.1 運動方程式

ここでは、塩見ら¹⁵⁾の計算方法を用いて二次元平行流れ中での単繊維の運動を数値計算により求める。単繊維を、太さに比べて十分長い円柱(以後、線状体と呼ぶ)とし、線状体の運動を並進運動と自転運動に分けて考える。

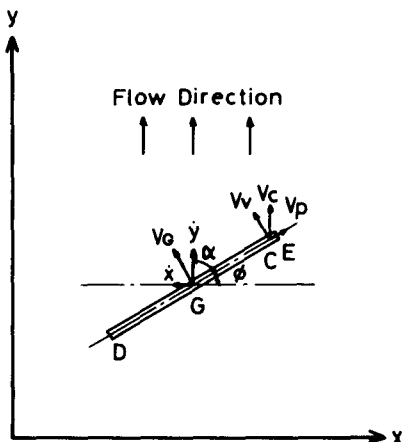


図6 流れ中における線状体と速度成分

線状体が角度 ϕ 傾いた状態で運動しているとすると、並進運動の運動方程式はつぎようになる。

$$m\ddot{x} = -D \sin \phi + F \cos \phi \quad (1)$$

$$m\ddot{y} = D \cos \phi + F \sin \phi \quad (2)$$

ここで、

$$D = \frac{1}{2} \rho d \int_{-L/2}^{L/2} C_d V_v^2 dl \quad (3)$$

$$F = \frac{1}{2} \rho \pi d \int_{-L/2}^{L/2} C_f V_p^2 dl \quad (4)$$

ただし、 m ：線状体質量、 ρ ：流体密度、 d ：線状体直径、 L ：線状体長さ、 C_d ：抗力係数、 C_f ：摩擦抵抗係数、 V_v, V_p ：線状体軸に垂直および平行な流体の相対速度。

また、線状体の重心まわりの自転に関する運動方程式は、次式で与えられる。

$$I \ddot{\phi} = \frac{1}{2} \rho d \int_{-L/2}^{L/2} C_d V_v^2 l dl \quad (5)$$

ただし、 I ：線状体の慣性モーメント。

3.2 線状体運動の数値計算

本計算では、実験との対応を考えて、二次元平行流としてつぎに示すポアズイユ流と脈動流の二つを考える。

(a)ポアズイユ流

$$V_c = V_{max} \left\{ 1 - \left(\frac{x + L \cos \phi}{R} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

(B)脈動流

$$V_c = V_{max} \left\{ 1 - \left(\frac{x + L \cos \phi}{R} \right)^2 \right\} \times \left\{ 1 + e \sin(2\pi ft) \right\} \quad (7)$$

ただし、 V_c ：流体速度、 $2R$ ：平行平板幅、 e ：振幅比、 f ：脈動周波数、 t ：時間。

さらに、 C_d および C_f に関しては、塩見¹⁵⁾と同様の

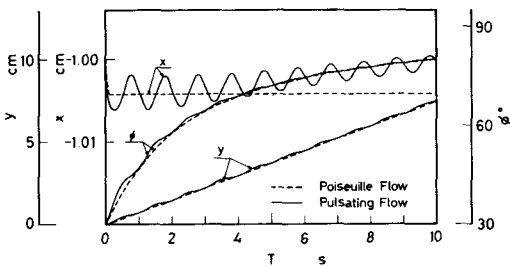


図7 線状体の移動距離と傾き角の変化

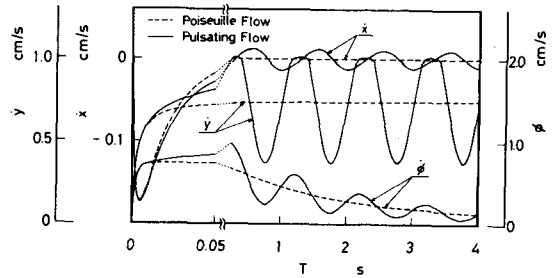


図8 線状体の速度の変化

ものを用いた。

図7、図8に計算の一例を示す。計算時間の都合上、流体としては水を用い、流路幅4cm、線状体直径0.01cm、線状体長さ1cmとした。また、初期位置 $x_0 = -1.0$ cm、初期傾き角 30° である。定常流、脈動流ともに重心の運動は、運動開始直後に急変するが、0.05秒程度のわずかな時間で、水流の速度とほぼ一致するようになる。したがって、その間は相対速度も大きいため、自転速度も大きくなっているが、重心の速度が水流の速度に一致すると相対速度が小さくなるために、自転速度はゆるやかに小さくなっていく。定常流と脈動流を比べると、 x については、脈動を与えることにより定常流の場合からずれてくるのがわかる。しかし、 y については、変動はしているものの平均的には定常流とほぼ同じである。また、 ϕ の場合には、 ϕ が小さいときには脈動による変動は大きい、 ϕ が大きくなるにしたがって変動は小さくなり定常流とほぼ一致してくる。このことから、流線と繊維との角度が大きければ、脈動流と定常流の繊維配向は異なることが期待されるが、繊維が流線方向にはほぼ向いてしまうと、脈動を与えても配向角分布にはほとんど影響を与えないことが予想され、実験結果と一致する。

4. 結 言

二次元流路で定常流および脈動流における繊維配向角分布の測定と単繊維の挙動に関するシミュレーションを行なった。その結果、GW溶液のように定常流における配向角分布の標準偏差が大ききときには、脈動を与えることによりさらに標準偏差は大きくなるが、PAA0.8%水溶液では、定常流での標準偏差が小さく、このときには脈動を与えてもほとんど違いがみられないことがわかった。さらに、単繊維の運動のシミュレーションによりこの事実が確認された。

最後に、卒業研究を通じて協力を得た小田根優君、古石和彦君、加藤達也君、出口善信君、藤山周秀君に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 長谷川, 花崎, 藤原, 日本複合材料学会誌, 3-4, 133 (1977)
- (2) K.N.Murthy and G.F.Modlen, Eng. Sci., 17-2, 848 (1977)
- (3) 中村, 美馬, 日本複合材料学会誌, 2-2, 80 (1976)
- (4) 堀川, 寺岡, 木村, 繊維機械学会論文集, 36-1, 97 (1983)
- (5) 塩見, 木瀬, 宇野, 繊維機械学会論文集, 35-8, T105 (1982)
- (6) 森, 小田根, 古石, 奈良高専卒業論文 (1984)

切りくず処理に関する研究（第4報）

—種々の方法により切りくず折断—

和田 任 弘

Study on Chip Treatment in Turning
— 4th Report, Chip Breaking by Various Cutting Methods—

Tadahiro WADA

In order to find more effective chip treatment methods than the conventional chip breaker in finish-turning of the carbon steel, various cutting methods were applied.

- (1) A cutting edge is oscillated in the direction of the principle cutting.
- (2) A intermittent feed cutting (the cutting edge is intermittently fed in the direction of the feed) is used in combination with oscillatory feed cutting (the cutting edge is oscillated in the direction of the feed).
- (3) A rotary chip breaker put on the top rake surface is tried.

Experiments showed that the above mentioned cutting methods are effective for the chip breaking.

1. 結 言

通常の工具で鋼材の高速旋削を行うと、流れ形切りくずが連続的に生成され、この連続した切りくずが切削作業に種々の悪影響を及ぼすことは周知の通りである。このような場合には、チップブレイカによって切りくずを短く折断する方法が一般に行われている。しかし、すべての切削条件に対して有効なチップブレイカはなく、それぞれのチップブレイカには切りくずを折断することができる切削条件の範囲がある。このため、この切削条件以外の範囲では、チップブレイカにより切りくずを折断することができないので、チップブレイカによる切りくず折断以外の方法で切りくずを処理しなければならない。

そこで本論文では、切りくずを短く折断するための幾つかの方法を試み、各切削法により得られた切りくずを調べた。

2. 振動切削法を利用した切りくず折断*

2.1 はじめに

流れ形の切りくずが生成され、しかも構成刃先を生じない鋼材の二次元切削では、切削速度の増加とともに、せん断角は大きくなる¹⁾。このため低速では切りくずは厚く、高速では切りくずは薄くなりやすい。

そこで、切削速度の急激な変化によりせん断角を変化させ、切りくず厚さを変化させる方法として、振動切削法を試みた。

2.2 実験装置および方法

図1に工具を切削方向すなわち被削材の円周方向に振動させるための装置の概略図を示す。使用旋盤（森精機製作所製 高速精密旋盤）の複式刃物台を取外し、図1

* 精機学会昭和58年度関西地方学術講演会にて一部発表

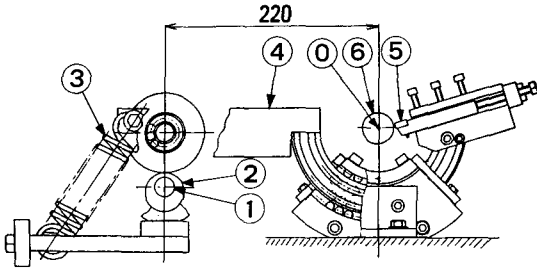


図1 工具を被削材の円周方向に振動させるための装置
1;カム軸, 2;カム, 3;コイルばね, 4;アーム,
5;工具, 6;被削材.

に示す振動切削装置を取付けた。使用モータは、0.75kWの防滴保護型四極三相標準モータで、電源周波数変換装置でこのモータの無段変速を行った。モータの回転をフレキシブルシャフトを介してカム軸①に伝達した。カム軸①に取付けられた偏心カム②を回転させることによって、アーム④が被削材の中心軸⑥を中心として揺動する。さらにアームと一体に取付けられた工具⑤が、被削材⑧の円周方向に微小振動する。

表1に示す切削条件でS45Cの外丸削りを行い、切削条件が切りくず形状に及ぼす影響を調べた。

表1 切 削 条 件

切 削 速 度 V_w m/s	2.2
切 込 み a mm	0.2
送 り S mm/rev	0.09 ~ 0.179
工具の全振幅角 2θ °	0.23 ~ 0.69
工具の振動数 n s ⁻¹	13.3 ~ 33.3
切 削 工 具	(-7, 0, 7, 7, 60, 30, 0.4), 超硬P20
切 削 方 式	乾 式

2. 3 実験結果および考察

図2に本切削法で得られた切りくずの一例を示す。図(a)で示される切りくずは、工具を振動させない、すなわち通常の切削法により得られた切りくずで、連続形となっている。図(b)~図(d)で示される切りくずは、いずれも工具を振動させた場合に得られた切りくずで、短く折断されている。工具の振動数が大きくなるにつれ、切りくずは短く折断されている。

図3に、工具の全振幅角と工具の振動数が切りくず折

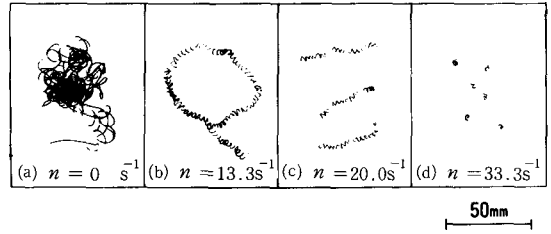


図2 振動切削法により得られた切りくず
切削速度: 2.2m/s, 切込み: 0.2mm,
送り: 0.09mm/rev, 工具の全振幅角: 0.69°,
被削材: S45C, 切削方式: 乾式.

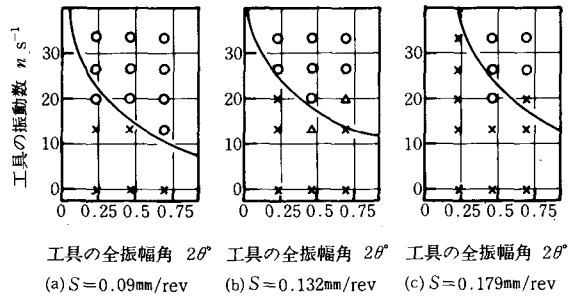


図3 振動切削法を用いた場合の切りくず折断状態
切削速度: 2.2m/s, 切込み: 0.2mm,
被削材: S45C, 切削方式: 乾式.

断状態に及ぼす影響を送りを変化させて示す。連続した切りくずが得られた場合を×印、折断された切りくずが得られた場合を○印、連続した切りくずと折断された切りくずの両方が得られた場合を△印で示す。工具の振動数が0 s⁻¹の場合、送りによらず、連続した切りくずとなっている。図(a)に示す送り0.09mm/revの場合、折断されやすい切りくずを得るためには、工具の全振幅角あるいは工具の振動数のいずれかを大きくしなければならない。また図(a)→図(b)→図(c)に示すように送りが大きくなった場合も、工具の全振幅角が大きいほど、工具の振動数が大きいほど切りくずは折れやすくなっている。しかし、送りが大きくなるにつれ、切りくずを折断するためには、工具の全振幅角、あるいは工具の振動数を大き

くしなければならぬ。

以上の実験に用いたカム線図は、ほぼ正弦波曲線とみなすことができる。この場合、工具を振動させないときの切削速度 V_w (m/s) に対し、工具を振動させることによる切削速度の変化 V_t (m/s) は、わずかである。にもかかわらず、工具を振動させることにより切りくずが折断されやすくなっているのは、このわずかの速度変化 V_t が、切りくず折断に有効に作用しているためと考えられる。

つきに、図4に示すカム線図をもつカムを用いて、工具を振動させた場合について記述する。このカム線図を用いた理由は、切削速度を急激に変化させることができるためである。

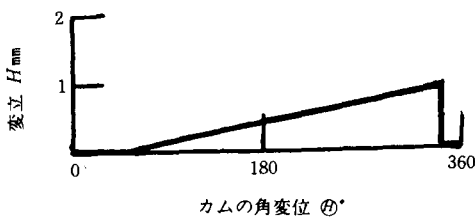


図4 カム線図

図5に、図4に示すカム線図を用いて得られた切りくずを示す。工具の速度変化が正弦波曲線状となる偏心カムを用いた場合に比べ、図4に示すカム線図となるカムを用いた場合のほうが、工具の全振幅角および工具の振動数が小さくとも切りくずを折断することができる。

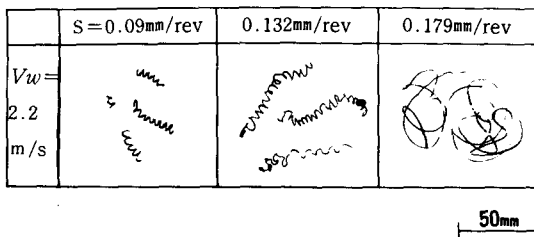


図5 図4により示すカム線図を用いた振動切削法により得られた切りくず

切込み: 0.2mm, 工具の全振幅角: 0.14°, 工具の振動数: 8.3s^{-1} , 被削材: S45C, 切削方式: 乾式。

しかし、送りを0.179mm/revに大きくすると、図4に示すカム線図を用いた場合でも、ここに示す工具の全振幅角および工具の振動数では、切りくずを折断することはできない。

3. 振動送り切削法と間欠送り切削法とを併用させた場合*

3.1 はじめに

鋼材の仕上げ旋削時に、切りくず処理性を向上させるために用いられる振動送り切削法を用いた場合、通常の切削法に比べ、切りくず平均重量(切りくず1個あたりの重量)がかなり小さくなるため、切りくず処理性は向上するが、そのような切削条件では仕上げ面粗さおよび工具摩耗が大きくなる^{2)~5)}。

さて、往復台を間欠的に送る間欠送り切削法を用いた場合、切りくず平均重量を小さくするために、往復台の停止・作動の周期を小さくすることは、往復台の慣性などのために限界がある。また、切削時間も長くなるため作業効率も低下する⁶⁾。

上述のように、従来からの振動送り切削法あるいは間欠送り切削法の研究では、通常の切削法との比較が行われているにすぎない。そこで、振動送り切削法と間欠送り切削法とを併用した場合を、それぞれ単独の場合と比較し、併用した場合の切削特性について調べた。

3.2 実験装置および方法

図6に工具を往復台の送り方向に振動させるための装

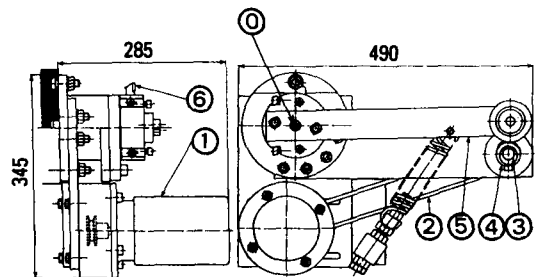


図6 工具を送り方向に振動させるための装置²⁾

- 1 ; 無段変速モータ, 2 ; Vベルト, 3 ; カム軸,
- 4 ; カム, 5 ; アーム, 6 ; 工具

* 昭和56年度精機学会秋季大会学術講演会にて一部発表

置を示す²⁾。工具の振動数を n ，工具の全振幅を $2a$ とし， n と $2a$ を変化させて実験を行った。

図7に，工具を間欠的に送るための装置の概略図を示す⁶⁾。パルスの発生が続いている時間だけステップモータの回転軸が回転し，往復台が移動し，工具は送り方向に送られる。この送られた時間を T_2 とする。パルスの発生が止るとステップモータの回転軸の回転が停止し，往復台が停止し，工具は停止する。停止している時間を， $(T_1 - T_2)$ とする。本実験では T_2/T_1 を変化させて実験を行った。

使用工作機械は，森精機製作所製 高速精密旋盤である。これの複式刃物台を取外し，図6に示す振動装置を取付けた。また，工具を間欠的に送るために，図7に示す間欠送り装置を取付けた。

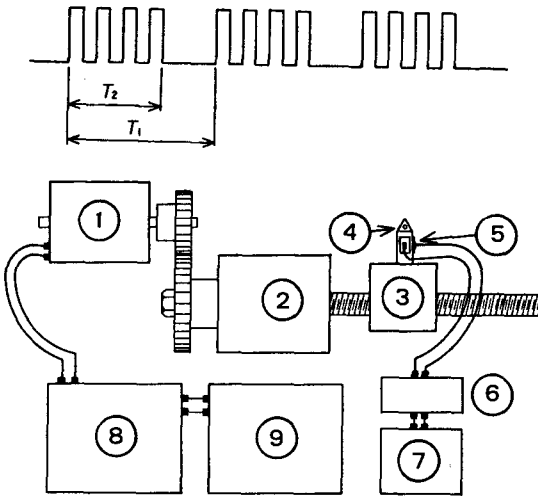


図7 工具を間欠的に送るための装置の概略図⁶⁾

- 1 ; ステップモータ, 2 ; 変速機, 3 ; 往復台,
- 4 ; 工具, 5 ; ひずみゲージ, 6 ; 動ひずみ測定器,
- 7 ; 記録計, 8 ; パルス発生器,
- 9 ; ユニバーサル カウンタ.

表2に示す切削条件で実験を行い，切削条件が切りくず平均重量に及ぼす影響を調べた。

3.3 実験結果および考察

図8に，各種切削法によって得られた切りくずを示す。図(a)に示す切りくずは，通常の切削法によって得られた切りくずで，連続形となっている。図(b)に示す切りくず

表2 切削条件

切 削 速 度 V_w m/s	1.7
切 込 み a mm	0.2
送 り S mm/rev	0.08
振動送り	工具の全振幅 $2a$ mm
切 削 法	工具の振動数 n s ⁻¹
間欠送り	送り時間 T_2 s
切 削 法	停止時間 $T_1 - T_2$ s
被 削 材	SS 41
切 削 工 具	(-6, -6, 6, 6, 6, 30, 0.4), 超硬P20
切 削 方 式	乾 式

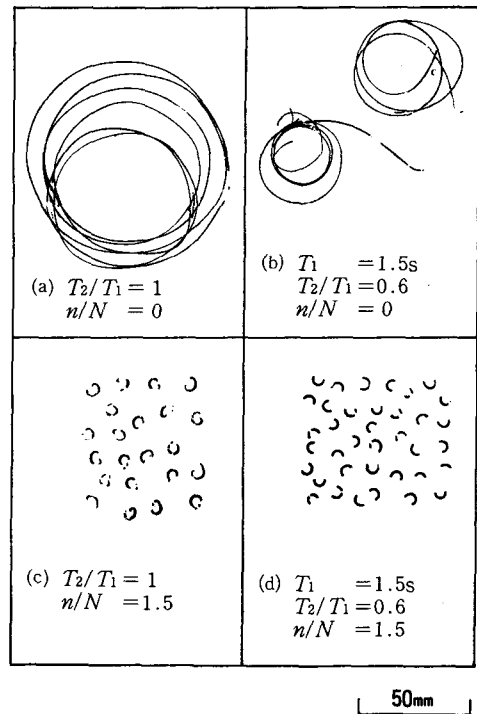


図8 各種切削法により得られた切りくず
 切削速度：1.7m/s，切込み：0.2mm，送り：0.08 mm/rev，被削材：SS41，切削方式：乾式。

は，間欠送り切削法によって得られた切りくずで，切りくずが周期的に切断されているため，ほぼ一定の長さに切断された切りくずとなっている。図(c)に振動送り切削法により得られた切りくずを示す。切断されている切りくずの長さは，上述の二つの切削法を用いた場合よりかなり短くなっている。図(d)に振動送り切削法と間欠送

り法を併用した場合に得られた切りくずを示す。図(c)に示す切りくずと同様、切りくずはかなり短く切断されている。

図9に、振動送り切削法と間欠送り切削法を併用した場合の振動数比と切りくず平均重量との関係を、 T_2/T_1 をパラメータとして示す。 $T_2/T_1 = 1$ の場合には、振動送り切削法のみの場合で、切削が不連続となる条件では、切りくずは短く切断され、振動数が大きいほど切りくず平均重量は小さくなっている²⁾。 $T_2/T_1 \neq 1$ は、振動送り切削法と間欠送り切削法を併用した場合である。 T_2/T_1 が小さいほど、切りくず平均重量は小さくなっている。また、振動送り切削法において、切削が連続となる振動数比と不連続となる振動数比との境界の振動数比では、間欠送り切削法を併用することによって、切りくず平均重量はかなり小さくすることができる。

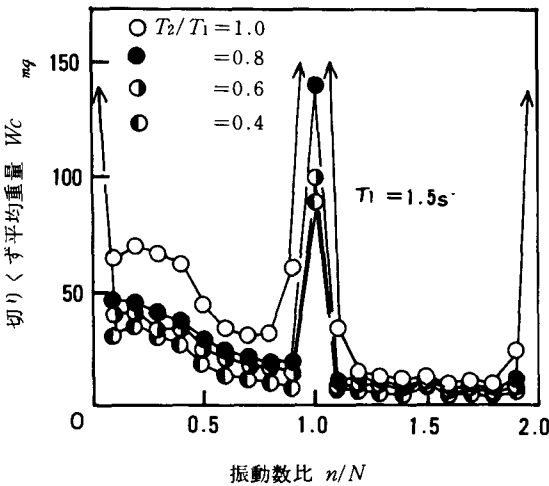


図9 振動送り切削法と間欠送り切削法を併用した場合の振動数比と切りくず平均重量との関係
切削速度：1.7m/s，切込み：0.2mm，送り：0.08mm/rev，振幅比：2.5，被削材：S S 41，切削方式：乾式。

4. 回転カッタによる切りくず折断

4.1 はじめに

前述のように通常の工具を用いた鋼材の高速旋削では、連続した切りくずが生成されやすい。連続した切りくずが生成される状態は、切削抵抗の変動が少く、仕上げ面が良好であるので、これらの点で望ましい状態であるといえる。そこで、連続して生成される流れ形切りくずを、回転しているカッタにより折断する方法を試みた。

4.2 実験装置および方法

図10に切りくずを、回転しているカッタにより折断するための装置の概要を示す。

使用工作機械（津田製作所製 TSL621型旋盤）の複式刃物台を外し、図10に示す装置を取付けた。

表3に示す切削条件で実験を行った。

回転カッタの回転方向を図11に、使用した回転カッタの形状・寸法を図12に示す。

4.3 実験結果および考察

本切削法により、SS41, S45C, SCM440の旋削を行った結果、SS41→S45C→SCM440の順に切りくずは折断されにくくなった。とくにSS41では、表3に示すいずれの切削条件でも、回転カッタを回転させることにより切りくずは短く折断された。これは被削材の破断強さに対応しており、被削材の破断強さが大きいほど、切りくずの破断強さも大きくなり、切りくずが折れにくくなるものと考えられる。また回転カッタの回転方向は、時計回りよりも反時計回りの方向の方が、切りくずは折断されやすくなった。すなわち、送り方向に切りくずを飛散させるような回転方向がよいことがわかる。また、このように回転させることにより、切りくずによる仕上げ面の損傷が防止される。

工具のすくい面と回転カッタの間隙 e （図12参照）が大きいと、切りくずが工具のすくい面と回転カッタとの間隙に入り込み、切りくずは折断されにくくなった。

刃先先端部に対する回転カッタの後退量 a （図12参照）が切込みより小さくなると、回転カッタが被削材に接触する。また、大きすぎると、切りくずは折断されにくくなった。

回転カッタの回転数は大きいほどよく、使用モータの最大回転数 43 s^{-1} が最適であった。

回転カッタによる切り

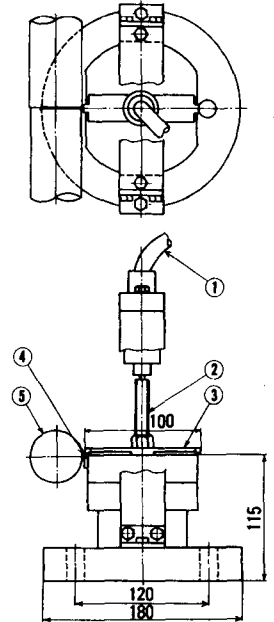


図10 回転カッタによる切りくず折断装置
1；フレキシブルシャフト，2；回転軸，3；回転カッタ，4；工具，5；被削材。

表3 切削条件

切 削 速 度 V_w m/s	2.1
送 り S mm/rev	0.09, 0.192
切 込 み a mm	0.2 ~ 1.0
切 削 工 具	(-7, 0, 7, 7, 60, 30, 0.4), 超硬 P10
被 削 材	SS41, S45C, SCM440
切 削 方 式	乾 式

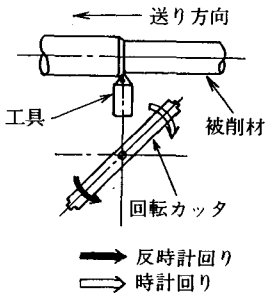


図11 回転カッタの回転方向

くず折断法では、連続した切りくずを折断するため、切削状態は通常の切削時と大差ない。このため、仕上げ面粗さ、工具摩耗、切削抵抗は大きくなり、しかも装置を小形化することができる。しかし、折断された切りくずの飛散による問題が生じるが、たとえば、切りくずを切削仕上げ面とは逆の方向、すなわち送り方向へ飛散させる。切削油剤を多量に供給する、あるいは切削部分をおおうなどの対策により解決することができる。また、外丸削りには本切削法を適用することができるが、中ぐり加工などには不適である。しかし、旋削加工の60~70%が外丸削りであるという現状では、本切削法による切りくず折断はかなり実用的であると考えられる。

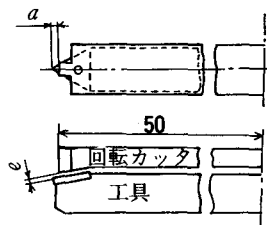


図12 使用した回転カッタの形状・寸法

5. 結 言

仕上げ旋削時の切りくず処理性を向上させるために、切りくずを短く折断するための幾つかの方法を試みた。得られた主な結果は次のとおりである。

- (1) 振動切削法では、工具の全振幅角が大きいほど、また工具の振動数が大きいほど切りくずは短く折断されやすい。
- (2) 振動送り切削法に間欠送り切削法を併用した場合、振動送り切削法において、切削の状態が連続から不連続に変化する境界での切りくず平均重量は、間欠送り切削法を併用することにより、さらに小さくなる。
- (3) 工具のすくい面上に、回転するカッタを取付け、連続して生成される流れ形切りくずを、回転しているカッタにより折断する方法では、回転カッタを高速回転し、工具のすくい面と回転カッタとの間隙を小さくし、工具の対先端部に対する回転カッタの後退量を小さくするほうが、切りくずは折断されやすい。

参 考 文 献

- 1) 菊地庄作, 柳沢重夫: 切削の理論と実際, 共立出版株式会社, 東京, (1965) 14.
- 2) 和田任弘: 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—, 奈良工業高等専門学校研究紀要, 16, (1980) 21.
- 3) 笠原英志: 振動送り切削法, 機械と工具, 13, 11 (1969) 28.
- 4) 野呂周平: 切りくず処理の現状と問題点(2), 機械の研究, 27, 11 (1975) 1357.
- 5) 湊喜代士, 豊島敏雄, 盛田昌宏: 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) 195.
- 6) T. Wada, Y. Tanaka: Study on Chip Treatment in Turning—2nd Report, Intermittent Feed Cutting—, Reserch Report of Nara Technical College, 18, (1982) 43.

切削抵抗による工具損傷の検出

—計測システム系の試作と適用範囲について—

和田任弘・東野秋二・島岡三義・早川恭弘

Detection of Cutting Tool Damage by Cutting Force Signal

Tadahiro WADA, Shuzi HIGASHINO, Mitsuyoshi SHIMAOKA
and Yasuhiro HAYAKAWA

現在、多くの機械工場で、切削工作機械の無人運転を促進する傾向にある。機械工場の無人化を進めるうえで、とくに重要となる一つが、切削中の工具損傷の検出である。そこで、本研究では、切削抵抗の変化を測定することにより、工具損傷を検出する方法を試みた。このため、一連の計測システム系を試作し、旋削加工およびドリル加工を行った結果、バイトあるいはドリルが損傷すると、切削抵抗に変化が生じた。このため、切削抵抗を測定し、工具損傷を検出することは有効な方法であることがわかった。

1. 緒 言

現在、多くの機械工場で、切削工作機械の無人運転を促進する傾向にある。無人化を進めるうえで、とくに重要な一つが、切削中に工具に生じる損傷の検出であろう。工具の損傷の形態は以下のように大別することができる。

- (1) 塑性変形
- (2) 摩耗
- (3) 偶発的に発生する損傷（チッピング、欠損、破損など）

工具に塑性変形が生じた場合、塑性変形だけでは実用上あまり問題となることが少なく、また予備実験によってある程度予測できる。

工具の摩耗については、非常に多くの研究がなされており^{1)~7)}、それらの研究成果により摩耗の進行を予測することができる。しかし、正確に予測することはむずかしいため、安全率を見込む必要がある。

偶発的に工具に生じるチッピングや欠損^{8)~10)}などは、切削開始直後や切削中に突発的に発生することが多く、これらの発生時期を予測することはかなりむずかしい。したがって、偶発的に工具に生じる損傷を知るためには、

工具の状態を絶えず監視する必要がある。

工具損傷の状態を知るためには、工具を観察する方法と、工具損傷のために生じる切削状態の変化によって検出する方法とがある。後者の方法としては、アコースティックエミッション^{11)~14)}、電動機の負荷電流の変化¹⁵⁾、工具-被削材接触部の電気抵抗の変化¹⁵⁾、切りくずの流出状態あるいは形状の変化¹⁵⁾、切削抵抗の変化¹⁶⁾、被削材の断面形状あるいは仕上げ面粗さの変化^{17)~19)}などがある。

そこで、本研究では、比較的簡便で、また実用化しやすいと考えられる切削抵抗の変化によって工具の損傷を検出する方法を試みた。

2. システム系の概要

実験で用いたシステム系を図1に示す。

旋削加工の場合、主分力、送り分力、背分力の信号が測定される。これらのうち、送り分力の信号が切削状態に関する情報を最も多く含む²⁰⁾とされている。しかし、本研究では、すべての分力の信号を処理した。また、ドリル加工の場合、トルクとスラストの信号が測定される。ドリル加工を取扱ったこの種の研究は少いため²¹⁾、切削

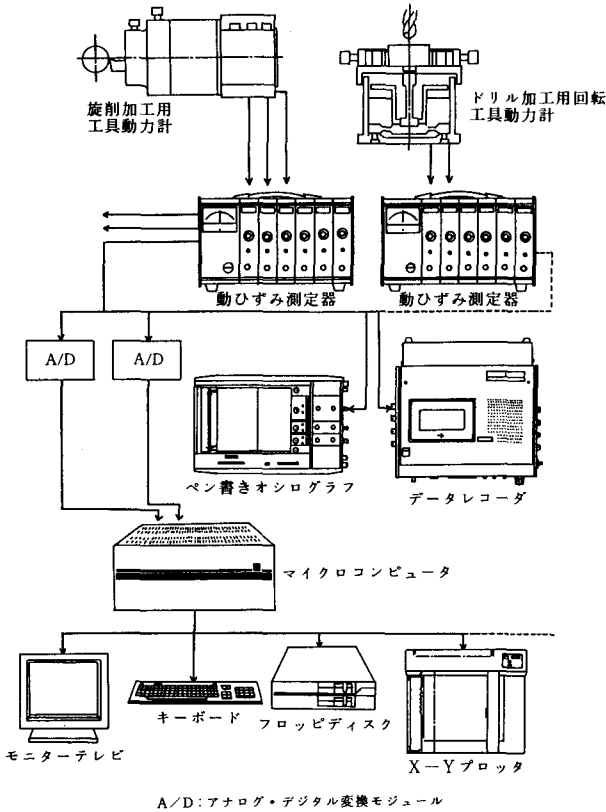


図1 計測システム系

状態に関する情報をどちらの信号が多く含んでいるかを定めることがむずかしい。このため、トルクとスラストの両方の信号を処理した。なお、使用した工具動力計は、旋削加工の場合には、共和電業社製 T D-300 K A 型工具動力計（最大測定値 主分力：3 kN，送り分力：2 kN，背分力：1.5 kN）を用い、ドリル加工の場合には、佐藤マシナリー社製 A S T 式回転工具動力計（最大測定値 トルク：15 N m，スラスト 3 kN）である。

3.1 旋削加工

使用工作機械は、三菱高速旋盤（心高：175 mm，心間距離：700 mm，主軸動力：5 kW）である。

被削材は S55C とし、切削部の観察のため乾式による

外丸削りを行った。

使用工具は、スローアウェイバイトで、ETGNR 1616H32型ホルダに超硬合金 P10種製 TNGG160304R 型チップを取付けたもので、市販のままの状態で使用した。

切削条件は、切削速度 3.5 m/s，切込み 0.5 mm，送り 0.195 mm/rev である。

3.2 ドリル加工

使用工作機械は、山崎鉄工所製 立形マシニングセンタ V7.5（作業テーブル寸法：520 mm × 1100 mm，主軸動力：5.5 kW）である。

被削材は S55C とし、旋削加工の場合と同様、切削部の観察のため乾式で切削を行った。

使用工具は、市販の SKH9 種製標準ねじれ刃ドリル（JIS B4301）で、ドリル径 8 mm，ねじれ角 28°，先端角 118° で、市販のままの状態で使用した。

厚さ 50 mm の板材に、あらかじめセンタ穴ドリルによる前加工をしておき、その後標準ねじれ刃ドリルによる穴あけを深さ 30 mm まで行った。

切削条件は、切削速度 0.25 m/s，送り 52 mm/min (0.087 mm/rev) である。

4. 実験結果および考察

4.1 本計測システム系の信頼性

本計測システム系は、一連の電気信号処理システム系であるため、工具動力計と動ひずみ測定器により計測される切削抵抗が、フロッピーディスク内のディスクに正確に記録されているかを調べた。このため、動ひずみ計より本マイクロコンピュータに入力される切削抵抗の信号の代りに、データレコーダ（ティアック社製、カセットデータレコーダ R-71）の校正電圧信号（AC，2 V_{p-p}，約 500 Hz）を用いた。

図 2 は、データレコーダの校正電圧信号を本計測システム系に入力させ、一度ディスク内にその情報を記録させ、ディスク内に記録されている情報を X-Y プロッタ（岩崎通信機株式会社製 A3 判パーソナルプロッタ SR-6602）により作図した例である。また、発信器（菊水電子工業株式会社製 RC 発信器 418 B）により 10 kHz の正弦波状の信号および方形波（対称）の信号を用いた場合でも、上述の場合と同様に正確な波形が X-Y プロッタにより作図された。

本計測システム系では、最小のサンプリングタイムは使用したアナログ・デジタル変換モジュール（コンテック社製アナログ・デジタル変換モジュール AD12-16A）

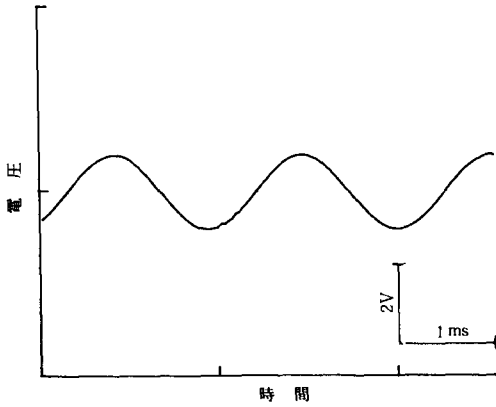


図2 正弦波状の信号を本計測システム系に入力し、X-Yプロッタに出力した例

の変換時間により制限され、 $20\mu\text{s}$ *である。また最大のサンプリングタイムは40minであり、58段階に選択することができる。

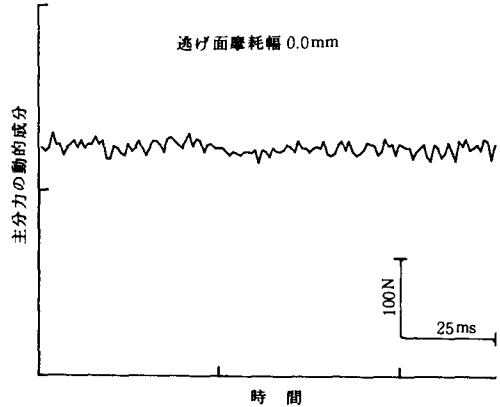
以上のことより、本計測システム系では、10kHz以下の信号周波数**であれば、かなり正確に計測することができる。

4.2 旋削加工

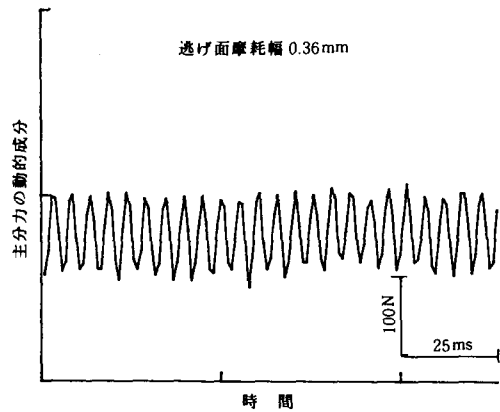
工具動力計と動ひずみ計により検出される切削抵抗の信号をデータレコーダに記録させた後、本計測システム系に入力させた。

図3は、切削時間によって、切削抵抗の主成分の動的成分がどのように変化するかを調べるために、X-Yプロッタによりオシログラムを作図した例である。図3には、切削開始直後（切削時間30秒）、切削時間49分（逃げ面摩耗幅： 0.36mm ）、切削終了直前（切削時間69分、逃げ面摩耗幅： 0.44mm ）の場合について示した。切削時間の増加につれ、工具摩耗量が大きくなり、それにつれ、主成分の動的成分の変動幅は大きくなっている。なお、他の切削時間についても同様な傾向、すなわち、切削時間の増加につれ、主成分の動的成分の変動幅が大きくなる傾向が得られた。

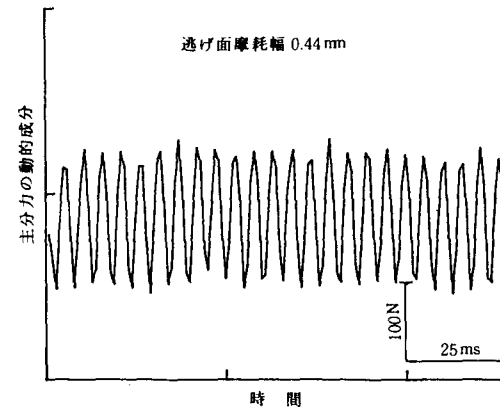
ここでは示さないが、主成分の静的成分、すなわち変動している切削抵抗の平均値は、切削時間が増加するにつれ、わずかに大きくなる程度であった。また、送り分



(a) 切削時間：30秒



(b) 切削時間：49分



(c) 切削時間：69分

図3 旋削加工における切削抵抗（主成分の動的成分）のオシログラム

切削速度： 3.5m/s 、切込み： 0.5mm 、送り： 0.195mm/rev 、被削材：S55C。

* 1つのチャンネルでは $20\mu\text{s}$ のサンプリングタイムでのサンプリングが可能であるが、2つのチャンネルを使用する場合には、最小サンプリングタイムは $40\mu\text{s}$ である。

** 2つのチャンネル同時使用の場合は、5kHz以下。

力および背分力の静的成分および動的成分が、切削時間の増加につれ、どのように変化するかについても調べたが、主分力の場合とはほぼ同様な傾向が得られた。

4.3 ドリル加工

旋削加工の場合、バイトの摩耗につれ、切削抵抗の動的成分の変動幅が大きくなるが、静的成分は、あまり大きくならないことがわかった。そこで、ドリル加工の場合についても同様なことを調べた。

図4(a)に、摩耗の少ないドリルを用いた場合と、図4(b)に摩耗したドリル(ドリルのチゼルエッジを砥石により研削し、ドリルを模擬的に摩耗させた*)を用いた場合

のスラストのオシログラムを示す。チゼルエッジが摩耗した場合のスラストは、摩耗の少ないドリルを用いた場合よりも、かなり大きくなっている。トルクについても同様なことを調べたが、摩耗の少ないドリルの場合に比べ、摩耗したドリルの方が、トルクは大きくなっていたが、スラストと比べると、トルクの方が増加率は小さくなっていた。

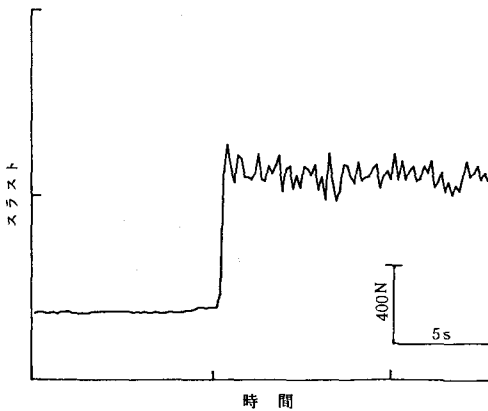
ここでは示していないが、ドリルの切れ刃を研削し、模擬的に摩耗させると、摩耗の少ないドリルの場合に比べ摩耗しているドリルの方が、トルク、スラストとも大きくなる。トルクの方がスラストよりも増加率は大きくなる。

以上のことより、ドリル加工では、摩耗する部分により、トルクあるいはスラストの増加率が大きくなることがわかった。

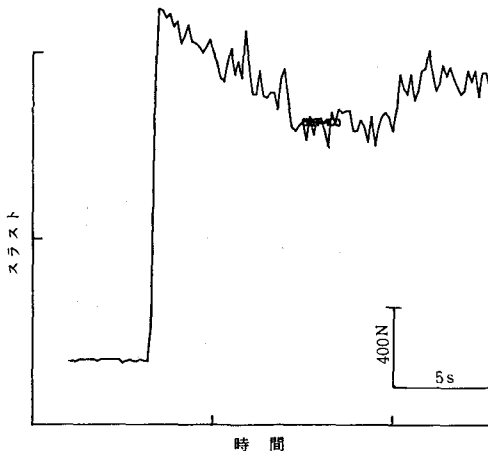
5. 結 言

本研究では、工具損傷を検出するのに、切削抵抗を測定する方法が実用的であるかどうか、またこの方法の適用範囲を調べるために、一連の計測システム系を試作し、旋削加工およびドリル加工を行った。その結果、バイトあるいはドリルが損傷すると、切削抵抗に変化を生じることがわかり、本方法が実用的であることがわかった。しかし、実験データが少いため十分な成果が得られなかったが、今後次のように本計測システム系の改良および適用範囲の拡張を行う予定である。

- (1) 本計測システム系では、切削条件を変化させ(たとえば切込みを大きくする)、切削抵抗が変化(切込みが大きくなれば切削抵抗は大きくなる)と、動ひずみ計より出力される電圧値が変化する。このため、アナログ・デジタル変換モジュールに入力される電圧値を最適な値になるように、増幅器により増幅率を変化させる必要がある。本研究では、手動で増幅率を変化させ、アナログ・デジタル変換モジュールに入力させる電圧値を調整したが、今後、マイコンにより自動的に増幅率を変化させることが必要である。自動的に増幅率を変化させる方法の一例として、本研究で試みた方法を付録Iに示す。
- (2) 本研究では、旋削加工、ドリル加工について実験を行ったが、フライス加工やリーマ加工などの他の切削加工にも、本方法が適用できるかどうか調べる必要がある。



(a) 摩耗の少ないドリル



(b) チゼルエッジを強制的に研削し
模擬的に摩耗させたドリル

図4 ドリルの切削抵抗(スラスト)のオシログラム

切削速度: 0.25m/s , 送り: 52mm/min ,
被削材: S55C.

* チゼルエッジの摩耗の影響を調べるために、このように模擬的に摩耗させた。

最後に、本計測システム系では、切削抵抗をデジタル量で出力することができるため、プログラムを追加することにより、切削抵抗の統計的処理やスペクトル解析も容易である。また切削抵抗以外の計測にも応用することができる、今後さらに本計測システム系を活用することができると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 篠崎襄：高速切削中の工具摩耗に及ぼす切削油剤の影響，精密機械，30，5（1964）394.
- 2) 上原邦雄，竹下英夫，内田和弥，仁科健治：高速領域における超硬工具の摩耗機構，精密機械，38，2（1972）167.
- 3) 関口博，竹山秀彦：切削速度が連続的に変化する場合の工具寿命，精密機械，39，11（1973）1164.
- 4) 石橋彰，甲木昭：切削における塑性変形抵抗と工具摩耗に及ぼす被削材温度の影響，精密機械，36，4（1970）285.
- 5) 竹山秀彦，村田良司：炭素鋼の切削における工具寿命について，精密機械，30，2（1964）206.
- 6) 村田良司，吉川悌二，沢井信重：工具摩耗プロセスの可加法について，精密機械，42，6（1976）453.
- 7) 白井英治，白樫高洋，北川武揚：すくい面摩耗のシミュレーション的予測，精密機械，43，10（1977）1211.
- 8) 根岸秀夫，青木喜代志：超硬工具切刃の信頼性に関する研究（第1報），精密機械，42，6（1976）459.
- 9) 浅井毅，中谷征司，原昭夫：鋼切削用超硬工具の初期欠損に関する研究（第2報），精密機械，44，3（1978）299.
- 10) 浅井毅，中谷征司，原昭夫：鋼切削用超硬工具の初期欠損に関する研究（第3報），精密機械，44，12（1978）1476.
- 11) 小島浩二，稲崎一郎，三宅亮一：アコースティックエミッションを利用したドリル折損の予知，日本機械学会論文集（C編），51，467（1985）1838.
- 12) 大宮毅，稲崎一郎，青山藤詞郎，酒井勝，萩尾雄一：アコースティックエミッションによるドリル折損のインプロセス検出，日本機械学会論文集（C編），51，472（1985）3322.
- 13) 岩田一明，森脇俊道，橋本英文，柴坂敏郎：アコースティックエミッションによる切削工具損傷の検出，精密機械，46，7（1980）875.
- 14) 垣野義昭，リュック・ディ・ジョン，小林昌彦：アコースティックエミッションによる工具破損の検出，精密機械，46，3（1980）344.
- 15) 垣野義昭：切削工具の異常状態の検出法，機械の研究，32，12（1980）1389.
- 16) 宮坂金佳，村田良司，沢井信重：高信頼性切削工具系の研究，日本機械学会論文集（C編），51，463（1985）667.
- 17) 柳和久，前田哲治，塚田忠夫：反射レーザ光強度分布測定による精密加工面粗さの非接触評価技法，精密工学会誌，52，4（1986）723.
- 18) 佐藤壽芳，三井公之：レーザー光を用いた断面形状の高速測定法とその応用について，潤滑，21，11（1976）733.
- 19) 佐藤壽芳：表面粗さの光学計測，O plus E，10（1983）89.
- 20) 松島克守，河野英一，佐田登志夫：パターン認識技術による切削状態の認識，精密機械，42，2（1976）89.
- 21) たとえば，中山一雄，小川誠：切りくず形状からみたねじれ刃ドリルの切削性能，精密機械，43，4（1977）427.

付 録 I

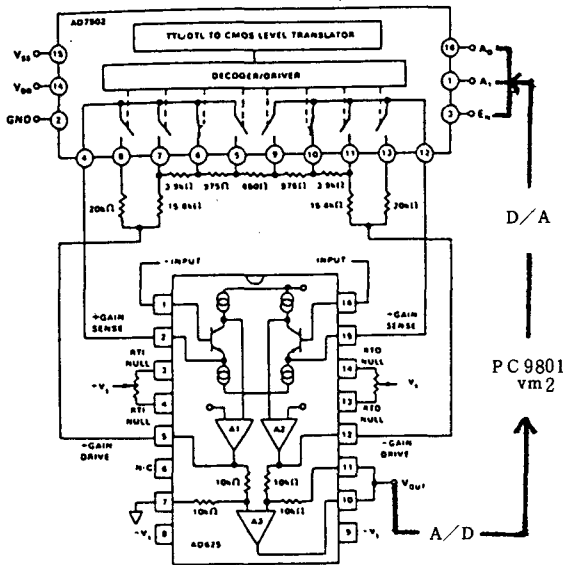
動ひずみ測定器より本計測システム系のアナログ・デジタル変換モジュール（以下A/Dコンバータという）に入力させる電圧値を，マイクロコンピュータによって変化させる方法として，次に示す方法を試みた。

付図1に示すように，本回路は，プログラマブル・ゲイン計装用増幅器（A D625）とアナログ・マルチプレクサ（A D7502）からなり，デジタル入力でゲインを外部プログラムできる能力をもっている。ゲインの設定は，付図2のA D625の抵抗 R_F ， R_G の値によって行う。

$$G = \frac{2R_F}{R_G} + 1 \quad (1)$$

式(1)によりゲイン G が決定され， R_F ， R_G の値をマルチプレクサにより変化させることによりゲインの値も変わる。したがって，本計測システム系で，動ひずみ測定器より出力される電圧値に対し，その増幅率を制御することによりA/Dコンバータに入力される電圧値を変化させる。

所望のゲイン値を得るためには，マルチプレクサにデジタル・アナログ変換モジュールから3ビットの信号を入力させ，そのビットパターンによりマルチプレクサ内



付図1 回路構成*

のスイッチを切替える。それによりR_F, R_Gの抵抗値が変化し、所望のゲイン値が得られることになる。

たとえば、ゲイン値Gを10, 20, 50と変化させたいとき、R_F, R_Gの値は付表1から以下ようになる。

$$G = 10 \quad (R_F = 20k\Omega, R_G = 4.42k\Omega)$$

$$G = 20 \quad (R_F = 20k\Omega, R_G = 2.1k\Omega)$$

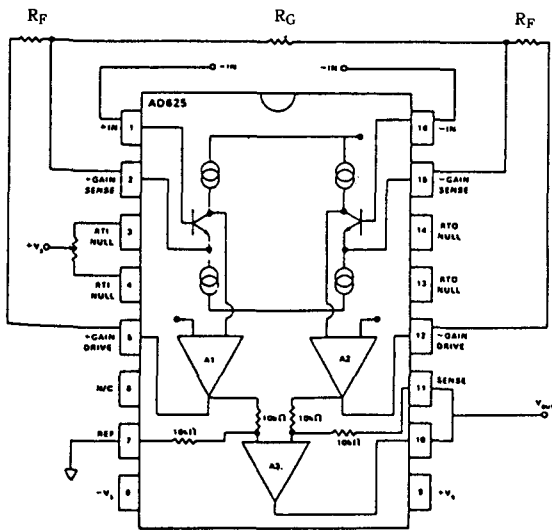
$$G = 50 \quad (R_F = 19.6k\Omega, R_G = 806\Omega)$$

各ゲイン値を設定するための抵抗回路を次に示す。付図3に示すように各抵抗をR₀, R_{F0}, R_{F2}, R_{F3}とした場合、それぞれの抵抗値は次式により求まる。

$$R_{F(i+1)} = (20k\Omega - \sum_{j=0}^i R_{Fj}) \left(1 - \frac{G_i}{G_{i+1}}\right) \quad (2)$$

$$R_0 = 40k\Omega - 2 \sum_{j=0}^N R_{Fj} \quad (3)$$

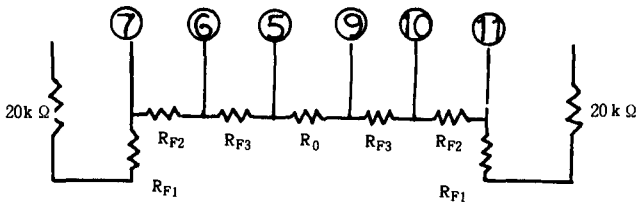
付表1 標準的な1%誤差の抵抗を用いた、±0.5%以内の誤差となるゲイン値*



付図2 AD625の回路構成*

ゲイン	R _F	R _G
1	20kΩ	∞
2	19.6kΩ	39.2kΩ
5	20kΩ	10kΩ
10	20kΩ	4.42kΩ
20	20kΩ	2.1kΩ
50	19.6kΩ	806Ω
100	20kΩ	402Ω
200	20.5kΩ	205Ω
500	19.6kΩ	78.7Ω
1000	19.6kΩ	39.2Ω
4	20kΩ	13.3kΩ
8	19.6kΩ	5.62kΩ
16	20kΩ	2.67kΩ
32	19.6kΩ	1.27kΩ
64	20kΩ	634Ω
128	20kΩ	316Ω
256	19.6kΩ	154Ω
512	19.6kΩ	76.8Ω
1024	19.6kΩ	38.3Ω

* アナログ・デバイセス データブック（昭和61年度版）。



付図3 ゲイン値設定用抵抗回路

前式より全抵抗が40kΩの回路網ができ、回路に必要な抵抗数は、ゲイン数をNとした時 $2 * N + 1$ となる。

本系では $N = 3$ より抵抗数7本となる。

計算結果を以下に示す。 $G_0 = 1$, $R_{F0} = 0$ とすると R_{F1} , R_{F2} , R_{F3} , R_0 以下のようになる。

- $R_{F1} = 18k\Omega$
- $R_{F2} = 1k\Omega$
- $R_{F3} = 0.6k\Omega$
- $R_0 = 0.8k\Omega$

また、抵抗回路網のスケールファクタは、 $1.008 (= 806/800)$ で、このファクタを各抵抗値にかける。

ゲイン $G = 10$ とするには、付図3の⑦⑩のスイッチをONにする。これにより $R_F = R_{F1}$, $R_G = R_0 + 2 * (R_{F2} + R_{F3})$ が求まり所望のゲインが得られることになる。

付 録 II

本システム系で用いたA/Dコンバータは12ビットの分解能をもち、16チャンネルのマルチプレクサと $20\mu s \sim 40min$ のプログラムタイマを内蔵したものである。割り込み信号も発生するが今回の実験では使用しなかった。ソフトウェアのほとんどはBASIC言語で作成したがA/Dコンバータよりデータを取り込む操作をBASIC言語で作成した場合、1秒間に数回程度しかデータを取り込むことができないため、A/Dコンバータからデータを取り込みバッファに溜めるプログラムをアセンブラで作成し、BASIC言語とリンクして使用した。この方法では、A/Dコンバータの最小のサンプリングタイムである $20\mu s$ にも対応できる。このとき使用した機械

```

*****
; get data from a/d converter
; called by Basic as  call xrcv(ch%,tm%,cnt%,bfs)
*****
                                ch% ... channel no
                                tm% ... sample time
                                cnt% ... data count
                                bfs ... receive buffer
*****
inscode          segment byte
assume          cs:inscode
xrcv_ent:
push            ax
push            bx
push            cx
push            dx
push            ds
push            es
mov             cx,10[bx]
mov             es,cx
mov             si,8[bx]
mov             ax,es:[si]
out             0d1h,al
mov             cx,14[bx]
mov             es,cx
mov             si,12[bx]
mov             ax,es:[si]
and             al,0fh
or              al,90h
out             0d0h,al
mov             cx,6[bx]
mov             es,cx
mov             si,4[bx]
mov             ax,es:[si]
mov             cx,2[bx]
mov             es,cx
mov             si,0[bx]
mov             cx,es:[si]
shr            cl,1
cmp            cl,al
jb             xrcv_err
and            ch,ch
and            xrcv_err
jnz            xrcv_err
mov            si,es:2[si]
mov            ds,dx
mov            cx,ax
mov            bx,0
in             al,0d1h
test           al,40h
jz             data_test
in             ax,0d0h
and            ax,0fffh
mov            [si+bx],ax
inc            bx
inc            bx
loop           data_test
pop            es
pop            ds
pop            dx
pop            cx
pop            bx
pop            ax
iret
xrcv_err:
mov            cx,14[bx]
mov            es,cx
mov            si,12[bx]
mov            es:[si],0fffh
jmp            xrcv_ret
inscode          ends
end

```

付図4 機械語プログラム

語プログラムを付図4に示す。さらに改良したソフトウェアとして、メモリの許すかぎり（プログラミングの簡易さから64kBとした）のサンプリングを行い、ディスクに格納する時間だけ一時サンプリングを中断し、再びサンプリングをはじめるプログラムなど（これはすべて機械語である）も作成した。

超電導エネルギー貯蔵における 電力変換装置の構成と制御

伊瀬 敏史 ・ 村上 吉繁*

Configuration and Control Scheme of the Power Converter for Superconducting Magnet Energy Storage

Toshifumi ISE and Yoshishige MURAKAMI*

By using GTO's (Gate Turn-Off Thyristor) in place of ordinary thyristors in a conventional six pulse GTO bridge converter, forced commutation is possible, so in the usage of ac-dc power conversion the reactive power of not only lagging but also leading phase can be controlled. This feature enables superconducting magnet energy storage (SMES) to control reactive power in the wide range between lagging and leading phases. By virtue of this controllability, SMES will be applicable for a power system stabilizer.

A GTO converter which mainly consists of six GTO's was developed and tested. In this GTO converter, the energy stored in leakage inductances of the transformer is handled by voltage clipper circuit. Then, by using two sets of these GTO converters, we carried out some experiments of simultaneous active and reactive power control of SMES. The performance of the developed control system was successfully experimented and the ability of controlling reactive power in the wide range between lagging phase and leading phase was verified.

1. ま え が き

超電導エネルギー貯蔵 (Superconducting Magnet Energy Storage, 以下ではSMESと略記する) は, エネルギーの吸収・放出の切り換えが速やかに行えること, およびその効率が極めて高い点が注目され, 近年各方面で研究が行われるようになった^{(1)~(5)}。筆者らは先にSMESの電力制御方式として, 直列に接続されたサイリスタ電力変換装置の点弧角を適切に制御して有効・無効電力を同時に制御する方式 (P-Q同時制御) を提案し, 直接デジタル制御方式による制御系を構成して0.5MJのSMESによって実験を行った⁽⁶⁾。SMESによってP-Q同時制御を行うと, 電力系統の安定化に大きな効果があることが最近の研究で示されている⁽⁷⁾。

しかしながら, 他励式変換装置を用いた場合, P-Q同時制御の可能範囲は遅れ力率の限られた範囲になる。この制御範囲を広げる方法として, 1) 他励式変換装置に代えて自励式変換装置を用いる, 2) 同期調相機等の無効電力補償装置を別に設ける⁽⁸⁾等の方法が考えられ, それぞれについて検討がなされている。筆者らは, 近年大容量化がめざましく進んだGTOサイリスタを用いた自励式変換装置 (GTO電力変換装置) を開発し, それを用いてSMESのP-Q同時制御を行う方法について検討を重ねてきた^{(9)~(11)}。開発したGTO電力変換装置では, 変圧器の漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーの処理に回生クリップ回路⁽¹²⁾を用い, 転流時のエネルギーを交流系統に回生して電力変換効率の向上を計っている⁽¹³⁾。

本論文では, 開発したGTO電力変換装置の構成と主な特性, ならびに2台のGTO電力変換装置を用いて行ったP-Q同時制御の特性について述べる。

* 大阪大学工学部超電導工学実験センター

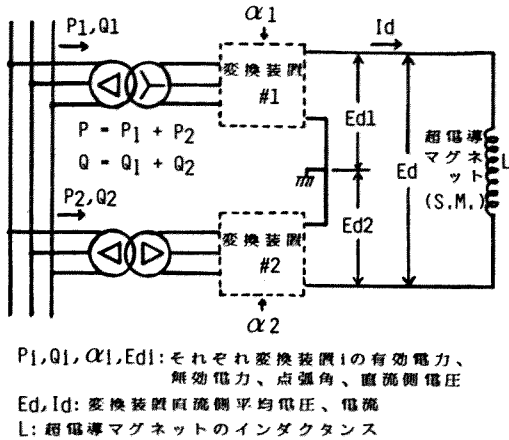


図1 SMESの基本的構成

2. 電力変換装置の構成とP-Q同時制御可能領域

図1は2台の6パルスグレース結線サイリスタ電力変換装置を直列に接続したSMESの基本的構成を示したものである。この装置に交流系統から流入する有効電力(P)および無効電力(Q)の関係を転流の重なり等を無視して考えると次のようになる。

$$P = E_{d0} I_b (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \quad (1)$$

$$Q = E_{d0} I_b (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2) \quad (2)$$

ここで、 I_d : マグネット電流、 E_{d0} : 点弧角 = 0° の時の変換装置1台あたりの無負荷直流電圧、 α_i : 変換装置No. i のサイリスタ点弧角 ($i = 1, 2$)

式(1)および(2)より、直列に接続された2台の電力変換装置の点弧角 α_1, α_2 の制御を適切に行うことによるP-Q同時制御は可能となることがわかる。

SMESの電力変換装置の構成によるP-Q同時制御可能領域の違いを図2に示す。他励式変換装置では、点弧角の値が実用上 0° から 150° 程度までの値に限られる。そのため他励式変換装置2台の構成ではP-Q同時制御可能領域は遅れ力率のかさ形の領域に限られる。 0° から 360° までの任意の点弧角の値を取りうるGTO電力変換装置と他励式変換装置の組み合わせでは、若干の進み電力も制御できるが、中央部に同時制御不可能な部分が存在し、設定値がこの部分に入った場合の処理が繁雑となる。2台のGTO電力変換装置を用いると、遅れ力率から進み力率に至る円形の領域でP-Q同時制御が可能となる。GTO電力変換装置にPWM制御を施した場合には、1台の変換装置だけでも円形の領域内でP-Q同時制御が可能となる。このようにGTO電力変換装置を用いることによってP-Q同時制御の可能領域は大幅に拡張される。

- 2台のGTO変換装置を用いた場合
- ▨ 2台の他励式変換装置を用いた場合
- ▧ GTO変換装置と他励式変換装置を組み合わせた場合

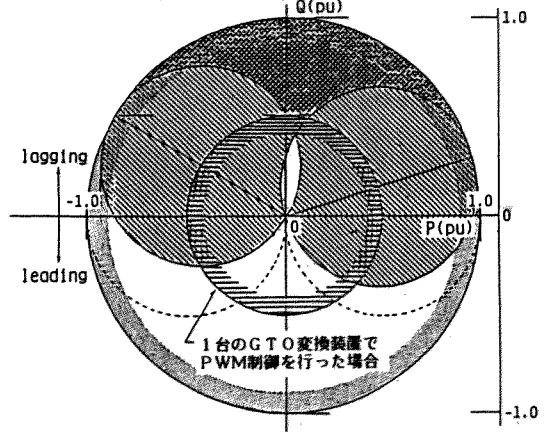


図2 P-Q同時制御可能領域

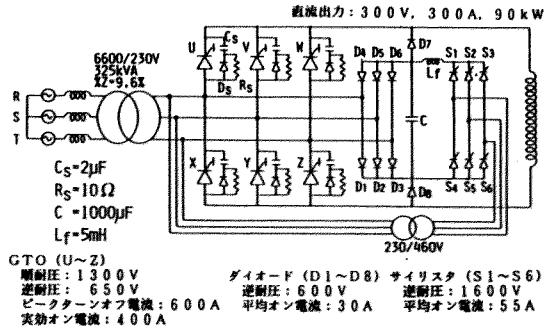


図3 GTO電力変換装置の主回路構成

3. GTO電力変換装置の構成

3.1 主回路構成

図3に開発したGTO電力変換装置の主回路構成を示す。ダイオード $D_1 \sim D_8$ およびコンデンサ C によって交流側の漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーを吸収し、サイリスタ $S_1 \sim S_6$ からなる他励インバータでそのエネルギーを交流側へ回生する。なお、この他励インバータは一定点弧角で制御され、この点弧角によってクリップコンデンサ C の電圧がほぼ決定される。

3.2 回路動作

本回路における素子 U から V への転流動作を図4によって説明する。ただし、点弧角 α は $180^\circ \leq \alpha < 360^\circ$ とする。

[モードI] 素子 U がオフし始めると主回路電流はスナバ回路のダイオード D_s およびコンデンサ C_s を流れる。コンデンサ C_s が充電され、素子 V が順バイアス

された時点をこのモードの終了時点とする(図4(a))。

[モードⅡ] 素子Vが導通し、S相にも電流が流れ始める。一方、変圧器の漏れインダクタンスのためR相の電流も流れ続け、スナバコンデンサC_Sは充電を続ける。素子Uのアノード・カソード間電圧V_{ak}がクリップ回路のコンデンサの電圧を越えると、ダイオードD₁およびD₇がオンする。この時点がこのモードの終了時点とする(図4(b))。

[モードⅢ] D₁およびD₇が導通を始めると、スナバ回路を流れていた電流はD₁~C~D₇へと転流を始める。スナバ回路を流れる電流がゼロになるとD_Sがオフする。この時点がこのモードの終了時点とする(図4(c))。

[モードⅣ] R相の電流が全てD₁~C~D₇を通して流れるようになると、素子Uの両端電圧V_{ak}はクリップコンデンサ電圧で抑制されながらR相の電流は減少し、S相の電流は増加を続ける。R相の電流がゼロになるとD₁およびD₇がオフし、転流が完了する(図4(d))。

GTOに加わる電圧は[モードⅢ]あるいは[モードⅣ]終了時点で最大となる。

なお、0° ≤ α < 180° の範囲では、素子Uがオフする時点で既に素子Vが順バイアスされているため、上記の[モードⅠ]の期間が存在せず、ただちに[モードⅡ]より転流が起こり始めると考えられ。

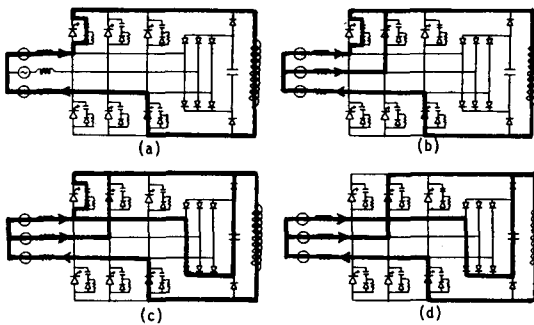


図4 転流動作

本変換装置において、直流回路は超電導マグネットのインダクタンスであり、転流動作において電流遮断による過大な起電力の発生がないようにしなければならない。そこで、ダイオードD₇およびD₈を設けた。上記の転流動作において、素子Vに加えるオンゲート信号が遅れた場合やパルス列で与えられているオンゲートパルスのはざまに素子Vが順バイアスされ、素子Vの導通が遅れた場合においてもD₇が存在するため、GTOオフ直後

の電流路が円滑に形成され、過電圧は生じない。同様に、素子XからYの転流動作において素子Yの導通が遅れた場合にはD₈が存在するため過電圧は生じない。以上のように、GTOの導通遅れがある場合においても超電導マグネットのインダクタンスによる起電力はダイオードD₇、D₈を通じてCに吸収される。D₇、D₈がなければこのエネルギーはスナバ回路の僅かなC_Sに吸収されるのみとなり、ほぼC/C_S倍の過電圧を生じる。

3. 3 特性試験の結果

点弧角αを0° ~ 360°の範囲で変化させ、特性試験を行った。図5は、変圧器2次側で測定した有効電力Pと無効電力Qの関係である。実線はP、Qの関係を最も単純化した次式により描いたものである。

$$P = E_{d0} I_b \cos \alpha \quad (3)$$

$$Q = E_{d0} I_b \sin \alpha \quad (4)$$

ただし、E_{d0} = 310.5Vである。

実測結果は(3)式および(4)式を用いて描いた円による若干遅れ力率側に片寄った円となっているが、これは回生クリップ回路の他励インバータの無効電力分および転流の重なりによるものと考えられる。

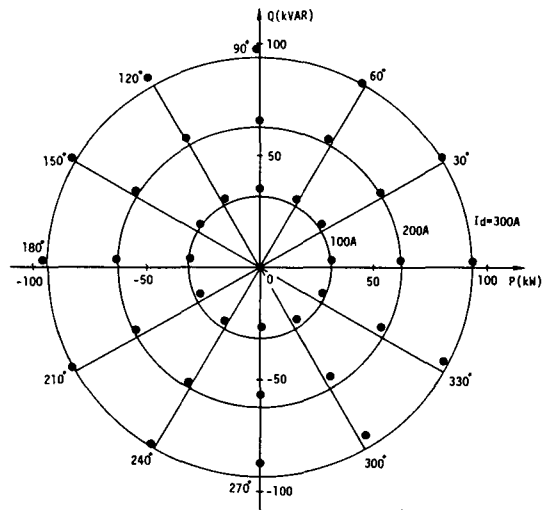


図5 有効電力と無効電力の関係

電力変換に伴う損失(コンバータモードでは、交流側電力-直流側電力、インバータモードでは、直流側電力-交流側電力)と効率(コンバータモードでは、直流側電力/交流側電力、インバータモードでは、交流側電力/直流側電力)を電源電圧230V、直流電流I_d = 300Aにおいて実測した結果を表1に示す。なお、損失および効率において変圧器の損失は含まれていない。表1よ

り損失は最大3.3kWとなっており、この値は最大出力電力(1.35×230×300=93.2kW)の3.5%に相当する。また、効率は92%以上であり、高効率の電力変換が行われている。ここで、効率は点弧角が90°あるいは270°のところでは定義出来ないことに注意が必要である。しかし、損失(%)は全ての点弧角で求めることができ、本電力変換装置の性能を表す指標として適切なものであると考えられる。

表1 損失と効率の実測結果

α (deg)	交流側有効電力 P(kW)	直流側電力 Pd (kW)	効率 (%)	損失 P-Pd(kW)
0	93.99	90.99	96.8	3.00
30	80.56	77.61	96.3	2.95
60	45.84	42.57	92.9	3.27
90	-1.21	-4.26	-	3.05
120	-49.47	-51.21	96.6	1.74
150	-82.86	-84.78	97.7	1.92
180	-95.68	-97.32	98.3	1.64
210	-82.37	-83.82	98.3	1.45
240	-48.38	-48.50	97.7	1.12
270	0.0	-1.95	-	1.95
300	46.21	44.28	95.8	1.93
330	81.04	78.33	96.7	2.71

4. P-Q同時制御

4.1 制御系の構成

P-Q同時制御系の構成を図6に示す。G1は補償演算ブロックであり、与えられた有効・無効電力の設定値 P_s, Q_s と、その出力 P, Q との偏差にPI補償を施して点弧角演算ブロックへの入力 P_r, Q_r を決定する。点弧角演算ブロックG2では与えられた P_r, Q_r およびマグネット電流 I_d とから点弧角 α_1, α_2 を決定する。点弧角演算ブロックでは、2台のGTO電力変換装置を直列接続した時の有効電力Pと無効電力Qの特性を(1)式および(2)式で近似して各変換装置の点弧角 α_1, α_2 を計算する。この近似に伴う誤差は補償演算ブロックで補償を行う。

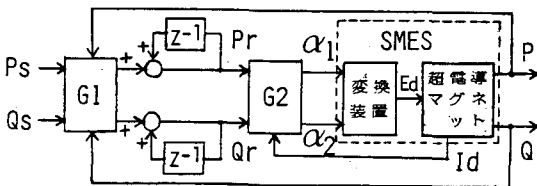


図6 P-Q同時制御系の構成

4.2 実験装置の構成

図7に実験装置の構成を示す。図3ではGTO電力変換装置の交流側電圧を230V、最大出力90kWで設計している。しかし、図7の実験装置によるP-Q同時制御においては、10kW、10kVAR程度の有効・無効電力の制御を行うため、降圧変圧器を用いて変換装置の交流側電圧を31.3Vに低減して用いている。図7に示す制御系では、マイクロコンピュータ(LSI-11/23)による直接デジタル制御を行っている。マグネット電流 I_b はDCCCTにより、また有効電力Pおよび無効電力QはPT, CTおよび電力検出回路により検出される。これらの量をAD変換し12bitのデジタル量としてマイクロコンピュータに入力し、GTO電力変換装置の点弧角 α_1, α_2 の計算を行う。マイクロコンピュータ内部での制御演算に要する計算時間は約10msecである。従って、サンプルタイムは1/80sec(12.5msec)とした。また、スイッチS, P1およびP2は変換装置の直並列切り換え用である。

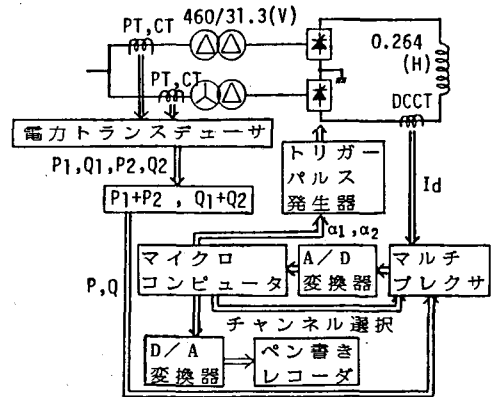


図7 実験装置の構成

次に、電力検出回路について説明する。図8に示した電力検出回路においては、三相交流電圧および電流を(5)および(6)式により二相に変換し、(8)式により瞬時有効電力pおよび瞬时无効電力qを求めている

$$\begin{bmatrix} e_p \\ e_q \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} e_r \\ e_s \\ e_t \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} i_r \\ i_s \\ i_t \end{bmatrix} \quad (6)$$

14。

$$[C] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_p & e_q \\ e_q & e_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} \quad (8)$$

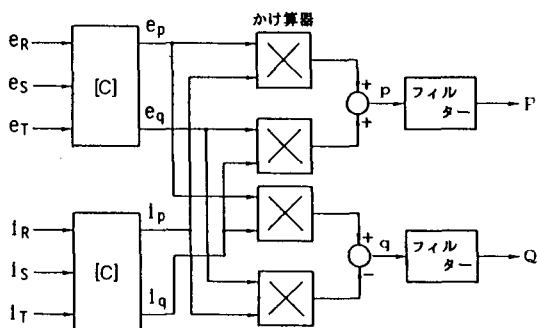


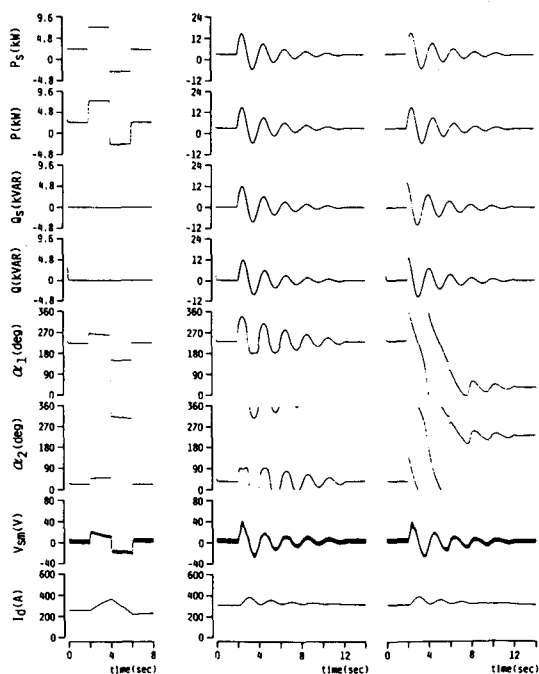
図8 電力検出回路の構成

このようにして得た p および q をローパスフィルターに通して高調波成分を取り除くと、有効電力 P および無効電力 Q が得られる。製作した電力検出回路の応答速度（最終出力の90%に達するまでの時間）は50msecで、市販の電力トランスデューサの応答速度（約500msec程度）より速い。

4.2 実験結果

$P-Q$ 同時制御の実験結果を図9に示す。図9において、 P_S 、 P はそれぞれ有効電力の設定値と出力、 Q_S 、 Q はそれぞれ無効電力の設定値と出力、 α_1 、 α_2 はGTO電力変換装置の点弧角、 V_{sm} はマグネット両端電圧、 I_d はマグネット電流である。また、マグネットの初期電流は(a)では250A、(b)では300Aである。(a)では Q をゼロに保ったまま P をステップ状に変化させるような設定値を与えている。電力の検出が高速に行われているため設定値に速やかに追従する良好な応答波形が得られている。

(b)では設定値 P_S 、 Q_S は、電力システムの安定化を想定して与えた。すなわち、系統安定化装置としてSMESを用いる場合、正弦波状の P 、 Q の吸放出が要求されることが多いが、系統が安定化されるにつれてその振幅は減衰する。実験では振幅14kW、周期0.5Hzの正弦波が時定数3秒で減衰するような設定値を与えている。なお、 P_S に関しては変圧器や変換装置の損失を補償してマグネット電流をほぼ一定に保つための有効電力として3kWを考慮してマグネットの充電電力にバイアスを

図9 $P-Q$ 同時制御の実験結果

与えている。(b-1)では P_S と Q_S の位相を一致させており、(b-2)では P_S の位相を Q_S に比べて 90° 遅らせている。(b-1)、(b-2)ともに設定値に良く追従した良好な波形が得られており、遅れ率率から進み率率に至る広い範囲で有効・無効電力の同時制御が可能であることが実証された。

図10は $P-Q$ 同時制御の周波数応答を調べた結果である。ここでは、 P_S および Q_S に対してそれぞれ振幅10kW、10kVARの正弦波状の設定値を与えた。設定値(P_S または Q_S)の振幅 V_{P_S} と出力(P または Q)の振幅 V_P からゲイン(= $20 \log(V_P / V_{P_S})$)を算出した。この結果より、 P_S を入力とし P を出力としたときの伝達関数および Q_S を入力とし Q を出力としたときの伝達関数はいずれも30msecの時定数をもつ一次遅

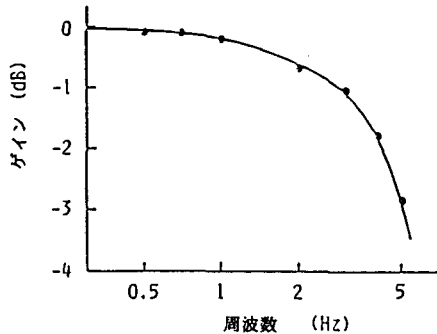


図10 P-Q同時制御の周波数応答特性

れで近似されることがわかる。

7. む す び

GTO電力変換装置を構成し、SME Sの有効・無効電力同時制御の実験を行った。その結果は以下で要約される。

(1) GTOサイリスタを用いて0~360°の全ての点弧角で運転可能なGTO電力変換装置を構成した。変圧器の漏れインダクタンスのエネルギーを交流系統に回生し92%以上の変換効率を得た。

(2) 構成したGTO電力変換装置を2台用いてSME Sの有効・無効電力同時制御の実験を行い、遅れ力率から進み力率に至る広い範囲で有効・無効電力同時制御が行われることが実証された。

(3) フィードバック系で構成したP-Q同時制御系の応答速度は時定数30msecの一次遅れで近似され、電力系統の安定化に適応し得る速応性が得られた。

本研究は、大阪大学超電導工学実験センターで行われたものである。

おわりに、大阪大学超電導工学実験センターでの実験にご協力いただいた各氏に対し深い謝意を表す。なお、GTO電力変換装置の開発にあたっては榎根岸製作所、榎三社電機製作所ならびに榎東芝の協力を得た。

この研究には、文部省エネルギー特別研究「電気エネルギーの有効利用と高密度化に関する研究」の補助を受けた。

参 考 文 献

- 1) H.J.Boenig and J.F.Hauer, "Commissioning Tests of the Bonneville Power Administration 30MJ Superconducting Magnetic Energy Storage Unit", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-104, 2, 302 (1985)
- 2) 石川, 秋田, 上之蘭, 田中, 増田, 新富, 林「超電導エネルギー貯蔵による電力系統の安定化(その1)」電力中央研究所報告181044(昭和57-8)
- 3) 辻, 村上「超電導エネルギー貯蔵研究の現状」パワーエレクトロニクス研究会講演論文集, Vol.9, 96(昭和59-3)
- 4) 林, 佐藤「1MJ超電導エネルギー貯蔵システムとその電力変換器に関する研究」電気学会半導体電力変換研究会資料, SPC-84-76(昭和59-11)
- 5) 白井, 田中, 仁田, 岡田「受動形フィルター・無効電力補償装置を含むSME Sの電力系統特性」電気学会電力技術研究会資料, PE-85-62(昭和60-7)
- 6) 伊瀬, 辻, 村上「0.5MJ超電導エネルギー貯蔵装置による有効・無効電力同時制御」電学論B 104, 545(昭和59-9)
- 7) 三谷, 辻, 村上「超電導エネルギー貯蔵装置による電力系統の動態安定度の改善」電学論B 104, 749(昭和59-11)
- 8) 正田, 田村, 早船, 平岩, 坂田「超電導エネルギー貯蔵装置における無効電力の制御方式」電気学会半導体電力変換研究会資料, SPC-84-78(昭和59-11)
- 9) 村上, 中野, 伊瀬, 湖東, 杉田「GTO変換装置による超電導エネルギー貯蔵の有効・無効電力制御」同上, SPC-83-19(昭和58-8)
- 10) 伊瀬, 湖東, 山田, 村上, 辻「GTO変換装置による超電導エネルギー貯蔵の有効・無効電力制御(その2)」同上, SPC-84-77(昭和59-11)
- 11) T.Ise, Y.Murakami, K.Tsuiji "Simultaneous Active and Reactive Power Control of Superconducting Magnet Energy Storage Using GTO Converter", IEEE Trans. on Power Delivery, PWRD-1, No.1, p.143 (1986).
- 12) 細川, 矢野, 豊田, 赤松「電流形インバータ回生クリップ回路の定常特性」パワーエレクトロニクス研究会講演論文集, Vol. 8, 31(昭和58-3)
- 13) 伊瀬, 村上「回生クリップ回路を用いたGTO電力変換装置の構成とその特性」電学論B 106(昭和61-9)
- 14) 赤松, 金澤, 藤田, 難波江「瞬时无効電力の一般化理論とその応用」電学論B 103, 483(昭和58-7)

絶縁性高分子材料の劣化検出法に関する基礎研究

京兼 純・山本善啓・木村伊一・吉野勝美*

A study on the method of detecting the degradation of insulating polymers

Jun KYOKANE, Yoshihiro YAMAMOTO, Iichi KIMURA
and Katsumi YOSHINO

The measurement of the residual voltage was proposed as a method of detecting the degradation of cable insulation and of another electrical insulating polymers. The residual voltage was found to increase nonlinearly with increasing applied voltage and the duration of voltage application, but to decrease with increasing duration of short-circuiting. A simple numerical calculation indicated good agreement with the experimental results.

Furthermore, the influence of the degradation on the residual voltage by the introduction of imperfections such as chain scission, crosslinking and change of morphology were studied. Chain breaks and crosslinking in PE films be produced by electron-beam or γ -ray irradiation. It was cleared that the residual voltage is strongly affected by radiation.

The residual voltage measurements were indicated the possibility to monitor the degradation cable and insulating polymers.

1 ま え が き

筆者らは、これまでポリエチレン (PE) を始め、各種絶縁性高分子材料の高電界現象、特に高電界下での電子線・紫外線誘起伝導の測定を行い、キャリア生成機構とキャリア種の判別、輸送過程および不純物、添加物の影響を明らかにし、なかでも高次構造 (結晶質・非晶質の比率とその形状など) が伝導に著しく影響を及ぼすことを報告してきた^{(1)~(4)}。また真空紫外光伝導の測定からキャリア発生機構、バンド構造に関する研究を行い分子構造との関係を明瞭にし、さらにトラップと空間電荷の振る舞いなどを調べてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

本論文では、こうした情報をもとに実ケーブルでの劣化診断法につながる基礎的な問題について検討を加えた。近年、CVケーブルの使用が急速に増加している関係上、運転中の破壊事故を未然に防止する方法の確立が急がれている。例えば様々な形態の事故のうち3.3kv級のケーブルでは、実に60%近くまで劣化が直接の原因となっ

ている⁽⁷⁾。それ故高分子絶縁体に生じた各種劣化をすみやかに検出し、かつ評価法を確立することは非常に重要なことである。

ケーブル劣化診断法として、これまで $\tan \delta$ ・直流もれ電流・残留電圧・逆吸収電流・部分放電⁽⁸⁾などが検討されてきた。しかし絶縁劣化の原因としては、極めて多くのものがあり、その現象も複雑であるうえ長時間に渡って徐々に進行するので、劣化開始からその進行に至る過程および機構については依然不明な点が多く、診断技術として十分なものが確立されているとはいえない。さらに劣化現象は、その原因と条件により様々な形態を取るため、有効な診断法も原因と条件により異なることになり、どの方法が一番有効であるかはいえず、対象と条件を考え選択しなければならないという面もある。これらの判定法に関しては、昭和55年に発足したSID委員会の報告書のなかでも詳細に言及されている⁽⁹⁾。

他方、原子力発電所および宇宙 (特に通信衛星) 開発などが急速に進み放射線場でのケーブル等高分子絶縁材料の需要が著しく増加している。従って、これらの環境に曝されている機器等の信頼性及寿命を確保するため、絶縁材料の放射線による劣化をすみやかに検出すること

* 大阪大学・工学部・電気工学教室

が急務であり、極めて重要なことである¹⁰⁾。さらに原子力発電所の冷却材喪失事故（L O C A時）を想定した場合、複合要因による絶縁材料の劣化診断の研究は、今後ますます必要となってくるものと思われる。

最近ケーブル劣化等の一つの診断方法として、上記判定法のなかから残留電圧の測定が有効ではないかという提案がなされている^{11)~15)}。残留電圧が何故発生するのか、絶縁劣化と関連があるのか、関連があるとすればどのような機構によっているのか等々については明らかではなかったし、残留電圧の評価法についてもそれぞれ問題点を持っていた。我々はそれらの問題点が除去でき、精度よくしかも連続的に測定可能となる無接触電位測定法を使用し¹⁴⁾¹⁵⁾、モデル試料として市販のP Eフィルムを用いて、残留電圧を評価する方法をとり、更に電界により注入されトラップに捕獲された電荷が開放時に現れるというモデルをたて、数値解析を行い残留電圧の機構を明らかにした¹⁶⁾。我々の結果、考え方は後に木谷氏らにより確認され¹⁷⁾、さらに金子氏らにより解析がより詳細に進められている¹⁸⁾。

一方、既述のように放射線場におかれた高分子絶縁材料の劣化は極めて重大な問題であり、様々な検討が行われているが、放射線照射による残留電圧への影響に関する議論はあまりなされていない。また、放射線照射試料の残留電圧測定は、残留電圧発生機構の機構という基礎的立場からも興味深い。本論文では、以上のような視点にたってP Eフィルムに γ 線・電子線を照射した場合の残留電圧特性について行った研究の結果を述べる。

2 実験方法

実験に使用したモデル試料は、市販の低密度P Eフィ

ルム（三菱油化製）、厚さ10~50 μ mのものである。試料はエタノールで超音波洗浄した後、両面に20mm ϕ の金電極（半透明）を施したものと、洗浄後石英管あるいはパイレックス管中に真空封入して必要量の電子線・ γ 線を照射した。照射後試料を取り出し、その表面に金を蒸着し電極とした。電子線照射にあたっては、住友電工㈱の電子線加速器（1.8MeV）を利用し、 γ 線照射は京大原子炉実験所および大阪大学附属放射線実験所（⁶⁰Co）で行った。照射線量は電子線：0~90Mrad、 γ 線：0~100Mradである。

図1は残留電圧の測定ブロック図であり、図中の表面電位計はトレック社 360 Sを用い、プローブは試料表面上2~5mmの位置に固定している。下部平板電極はピストンによる高速で移動する駆動方式をとっている¹⁴⁾。実験手順は以下の通りである。図1で下部平板電極上に置いた試料に直流電圧 V_0 を時間 t_0 だけ印加し、その後SW.を切り換え時間 t_1 だけ接地する。しかる後に開放するのであるが、開放と同時に下部平板電極がプローブ直下まで高速（80ms）で移動していき、時間の経過とともに試料表面に発生する残留電圧 V_r が計測できるようにしてある。この方法は従来の計測と異なり、無接触で課電中から残留電圧発生まで連続的に厳密測定できる利点がある。

3 実験結果および考察

3.1 未照射P Eフィルムの残留電圧特性

未照射P Eフィルムの残留電圧特性とその解析については既に詳しく報告している¹⁶⁾ので、ここでは後の放射線照射試料との比較のため必要な程度に述べる。残留電圧は試料に電圧を印加後、接地し、しかるのち開放した時

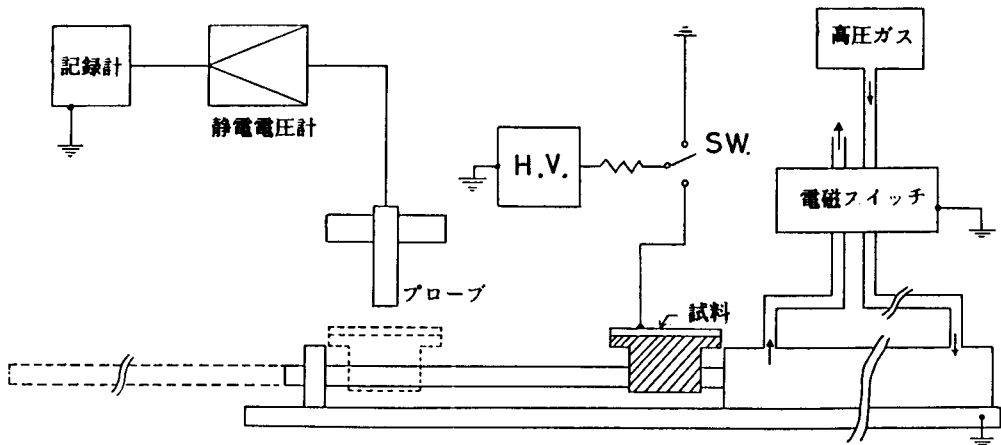


図1 残留電圧実験装置と測定ブロック図

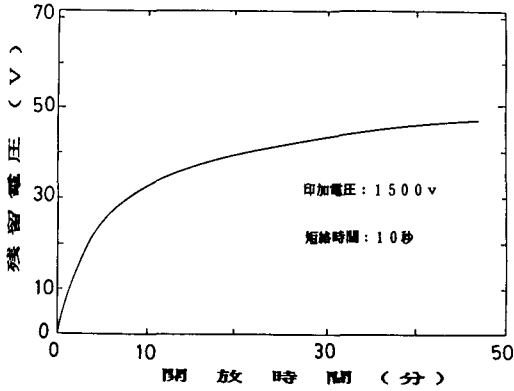


図2 PEフィルムの代表的な残留電圧曲線

発生する電圧であるが、図2は発生した残留電圧の代表的な例で、印加電圧：1.5KV、印加時間：1時間、接地時間：10秒の場合である。図より電圧は連続的に上昇し、数10分のオーダーで立ち上がり、長時間放置していても電位はかなり安定に保たれている。これは未照射PEフィルムであるが、このように大きい電圧が発生しており、放置時間が24時間程度では室温において殆ど電位減衰がみられない。残留電圧の立ち上がりは、トラップされたキャリアのデトラップと移動に対応しているものと考えられ、長時間にわたって電位が安定していることは、室温で試料内キャリアの損失が極めて少ないことを示している。残留電圧は接地時間とともに残留電圧が減少していくが¹²⁾、これは接地中にキャリアが試料内を移動し電極へ吸収されるものとして捉えられる。

また残留電圧は印加時間の増加につれて大きくなるが、ある時間以上から飽和の傾向となる¹³⁾。残留電圧が飽和

傾向にあるのは、電圧を長時間印加することにより試料中で一様な空間電荷が形成される結果と考えられる。それゆえ試料中をキャリアが移動して上記飽和までの時間で空間電荷が形成されたと仮定し、算定した見掛けの移動度は、すでに家田氏らおよび著者らが表面電荷減衰法で求めた移動度に近いものとなっている¹⁴⁾¹⁵⁾。

印加時間と接地時間を一定にした場合、印加電圧が上昇すると図3から明らかなように、あるしきい値電界以上で残留電圧は印加電圧とともに急激に増大する¹³⁾。一般に電極からの電荷注入量は印加電圧に対し非線形の依存性を示すので、残留電圧の上昇は電荷注入量の増大に対応しているものと解釈される。

以上の一連の実験結果から、残留電圧は主に電極から注入された電荷とその移動により発生するものと解釈できる。これらの注入電荷がトラップされ空間電荷を形成し、短絡、開放中に移動すると仮定して残留電圧の時間変化などを計算機(Melcom 70 モデル30)で簡単な数値解析を行うと、解析値と実験結果とが非常に良く合うことが明らかになっている。

3. 2 残留電圧に及ぼす放射線照射効果

すでに述べたように、電気伝導および絶縁破壊は分子構造、不純物、添加剤、高次構造等の影響が著しいことが分かっている。さらに劣化機構と検出の基礎研究を進める意味で、PEの高次構造を変化させたり、主鎖の切断や架橋を行うことにより残留電圧がどのような影響を受けるか調べることは意義深いことである。PE中に上記した分子構造的欠陥を導入するには、電子線あるいはγ線を照射する方法がある^{21)~23)}。ここでは照射量と残留電圧の関係を中心に実験を行った。これはまた、放射線に曝された高分子材料に対する劣化の問題とも関連して興味深い。

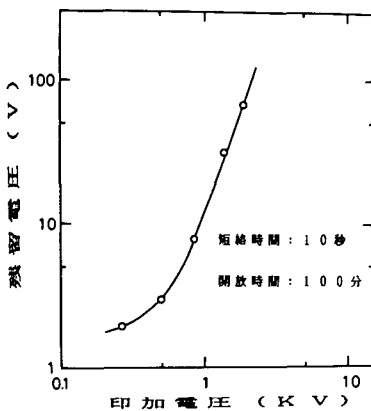


図3 残留電圧の印加電圧依存性

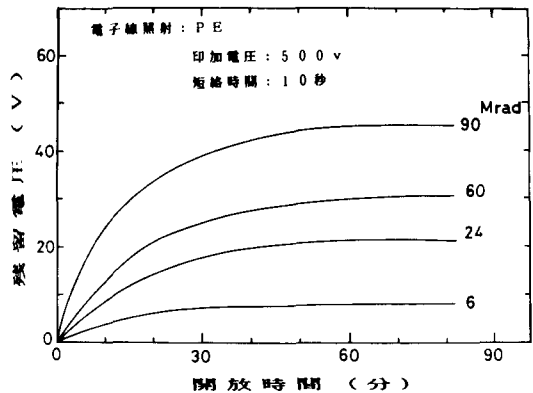


図4 電子線照射PEの照射線量をパラメータとした残留電圧曲線

図4は印加電圧500V、印加時間60分、接地時間10秒とした場合の電子線照射LDPE (30 μ m)における残留電圧の立ち上がり特性を示したものであり、図中の数字は電子線照射量である。電子線を照射した各試料において、残留電圧の飽和値(100分後の値)の照射量依存性を示すと図5のようになる。図より未照射PE試料の残留電圧は、すでに3.1節で触れたように500V印加した場合 V とかなり小さくなっているが、電子線照射試料では照射線量の増加と共に大きくなり、90Mrad照射時には印加電圧の1割近くにもなっていることがわかる。また接地時間特性は、6~90Mradの各試料とも未照射試料の場合と同様接地時間とともに減少している。

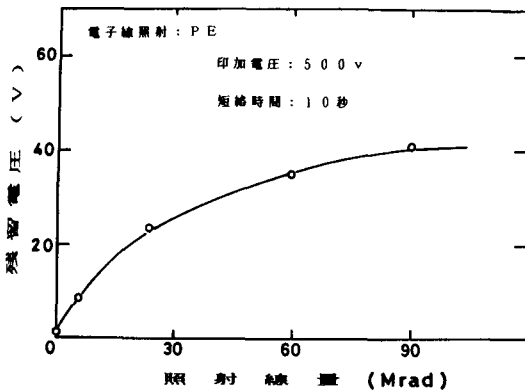


図5 残留電圧の電子線照射線量依存性

このように残留電圧が電子線照射によって未照射試料より大幅に変化することがわかった。これらの詳細な機構は現段階で明らかではないが、照射に伴って試料中には分子鎖の切断・架橋・高次構造の変化に基づく多くの欠陥が生じている²¹⁻²³。ここで残留電圧は図5のように顕著な照射線量依存性を示すため、上記した種々の分子構造的欠陥によって強く影響されることが示唆される。照射により生成されたこれらの分子構造的欠陥は、試料中に数多くのトラップレベルを導入し、電極からのキャリア注入を促進させるとともにラジカル生成に伴ってトラップキャリアを増加させるものと考えられる。他方、電子線照射時における電子の蓄積効果も無視できないかもしれない。これに関しては、花井氏らが電子線照射時に試料に蓄積される空間電荷の影響についてTSC測定法を用いて調べている²⁴。

電子線照射したPEフィルムを325°Kで真空中(10⁻⁶mmHg)において熱処理すると、残留電圧は熱処理前に比べてその大きさが大幅に低下し、顕著な熱処理効果を

示すことがわかった。そこで熱処理時間を30分一定にして、残留電圧の熱処理温度依存性を調べると図6のような結果となる。図6より明らかなように、高温においては残留電圧が急激に低下し、365°K付近で未照射PEフィルムの残留電圧値に近づいている。次に90Mrad照射した試料を用い、熱処理温度を(358°K)一定にして、熱処理時間と残留電圧の関係をみると図7のようになる。これも図6と同様残留電圧は熱処理時間とともに低下していき、熱処理時間が約30分程度までは低下率も大きくなり、30分以上では飽和傾向を示し、未照射PEフィルムの残留電圧値とはほぼ同じになっている。このことは約30分間の熱処理で試料に回復現象が起きていることを示している。以上の熱処理効果から、照射した試料において大きな残留電圧が観測されるのは、照射に

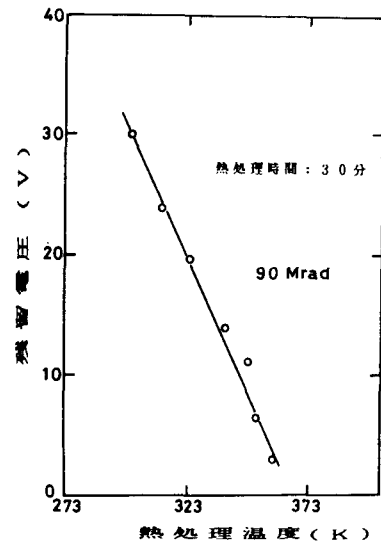


図6 電子線照射PEにおける残留電圧の熱処理温度依存性

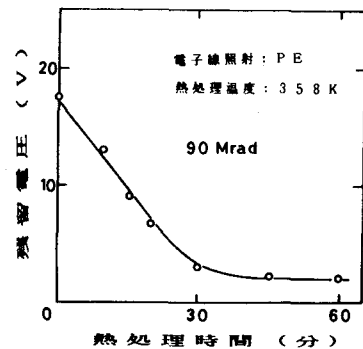


図7 電子線照射PEにおける残留電圧の熱処理時間依存性

より形成された種々の分子構造的欠陥のうち架橋だけによる効果とは考えられず、むしろ分子鎖の切断および高次構造の変化等がきいており、熱処理によりこれらがある程度回復したためと思われる。なぜなら、この程度の温度処理で架橋が低下し元に戻るとは考えられないからである。またこの実験からでは、すでに触れた電子線照射時に注入された電子の蓄積効果も否定しきれないので、 ^{60}Co からの γ 線照射試料に対して残留電圧の測定を行った。

図8は γ 線照射(約100Mrad)後のPEフィルム²の残留電圧特性である。同一量の電子線を照射した場合と比較すると、残留電圧は相対的に小さくなっているが、どの程度の照射効果があるかは当然電子線と γ 線で異なる。しかし図8のように、電子注入を伴わない γ 線照射でも、残留電圧が未照射の場合より2.5倍ほど大きくなることは注目すべきことである。残留電圧の飽和値に対する γ 線照射量依存性をとると図9のようになる。この図より明らかなように、40Mrad 付近からやや飽和傾向を示すようになり、電子線照射した場合(図5)より早く飽和する傾向にある。図10は残留電圧の印加電圧依存性を示したものであり、図中点線で示した未照射試料と

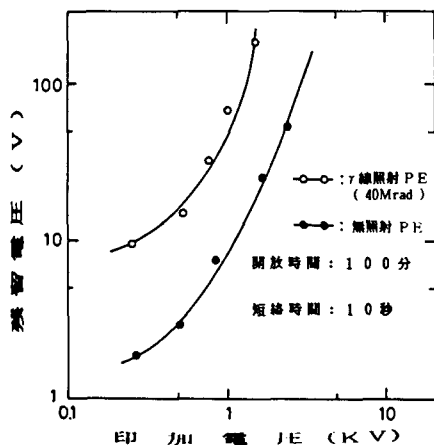


図10 γ 線照射PEにおける残留電圧の印加電圧依存性

同様印加電圧に対して非線形に増大する。このことは、残留電圧の大きさにはやはり電極から注入トラップされた電荷量がきいており、放射線照射により注入が助長されることを示している。

γ 線照射により導入された主鎖の切断、架橋、高次構造の変化などに伴って残留電圧が電子線照射と同様に非常に敏感となっているが、残留電圧の大きさそのものは γ 線照射の場合の方が電子線照射の場合より少し小さい。電子線とエネルギー的に異なる γ 線では、損傷効果も異なり単純に比較できないが、この両者による相違は以下のように考えられる。電子線照射の場合、残留電圧の変化は主に照射で形成された種々の分子構造的欠陥のため電極からのキャリア注入によるトラップ空間電荷の促進として捉えられるが、既述した照射された電子の蓄積による寄与も無視できなくなっているかもしれない²⁾。あるいはまた両者とも放射線量のある値以上増やしても残留電圧は飽和傾向となるため、試料に対する両者の損傷効果の相違がそのまま残留電圧に反映され現れているものと思われる。

いずれにしても現在のところ、照射による残留電圧の増大は放射線で導入される種々の分子構造的欠陥が、注入キャリアとそのトラップ量およびトラップ侵入深さを変化させ、その結果起こっているものと考えている。こうした実験事実から、PEの分子鎖の切断、架橋、高次構造の変化などに対し残留電圧は非常に敏感となることが明らかであり、劣化等の進行度のチェックに有効な方法の一つであることがわかった。

4. むすび

以上、PEフィルムをモデル試料として無接触可動電

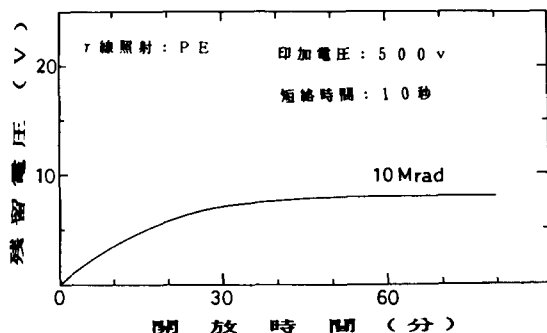


図8 γ 線照射PEの代表的な残留電圧曲線

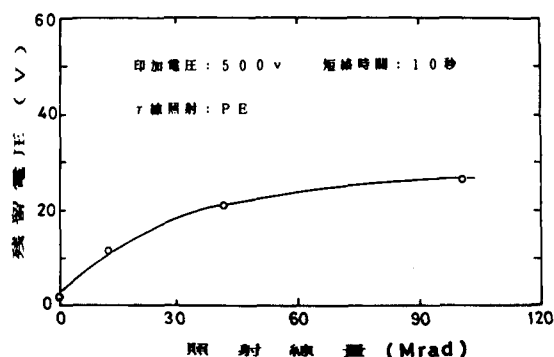


図9 残留電圧の γ 線照射線量依存性

極測定法により残留電圧に及ぼす電子線、 γ 線照射効果等について調べた本研究の結果をまとめると次のようになる。

発生する残留電圧は、主に電極から注入されトラップされたキャリアが回路開放時に移動することに起因している。

残留電圧の放射線照射効果は、電子線、 γ 線を照射した試料とも照射量の増加とともに残留電圧が大きくなり、高照射量領域では飽和傾向となる。残留電圧の相対的な大きさは電子線照射による方が大きくなるが、未照射試料に比べ両者とも数倍大きくなっている。また、電子線照射試料を熱処理すると回復現象を示すことがわかった。

これらのことから、残留電圧は放射線照射時に生じる種々の分子構造的欠陥、特に主鎖の切断と高次構造の変化により大きく影響を受けることが明らかになった。

最後に本研究を進めるにあたり、試料への照射を行った戴いた京都大学原子炉実験所山岡 仁助教授、松山泰史助手、大阪大学附属放射線実験所の方々、住友電気工業照射事業部奥部滋郎氏に謝意を表したい。

また、本実験に種々協力して戴いた卒業研究生、片山浩教君(住友ゴム[㊟])、桶谷高之君(三菱マイコンソフトウェア[㊟])、藤井成男君(キャノン[㊟])に感謝します。

文 献

- (1) K. Yoshino, J. Kyokane, T. Nishitani and Y. Inuishi: "Electron-beam-induced conduction in polyethylene", *J. Appl. Phys.*, **49**, 4849 (1978)
- (2) J. Kyokane, S. Harada, K. Yoshino and Y. Inuishi: "Electron-Beam-Induced Conduction in Polystyrene", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **18**, 8, 1479 (1979)
- (3) 吉野・犬石: 「高分子の電気伝導」, 応用物理 **49**, 212 (1980)
- (4) K. Yoshino, S. Harada, J. Kyokane, S. Iwakawa and Y. Inuishi: "Carrier mobilities and breakdown in halogen doped polymers", *J. Appl. Phys.*, **51**, 2714 (1980)
- (5) M. S. Yun, K. Yoshino, Y. Inuishi and M. Kawatsu: "Induced by Vacuum-Ultraviolet Light", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **21**, 1592 (1982)
- (6) M. S. Yun, M. Ozaki, K. Yoshino and Y. Inuishi: "Electrical Conductivity and Photoconductivity in Polymethylpentene", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **22**, 1810 (1983)
- (7) 福田・福田: 「絶縁劣化診断試験方法」, 電気学会絶縁材料研究会資料, EMI-84-69 (1984)
- (8) 松村・福田: 電気学会全国大会シンポジウム S 4-5, (1982)
- (9) 電気学会技術報告Ⅱ部, 「絶縁劣化診断試験方法」第182号 (昭和59年-12)
- (10) 電気学会技術報告Ⅱ部, 「絶縁材料の放射線劣化と耐放射線性試験法の現状」第86号 (昭和54年-12)
- (11) 坂本・藤井: 「CVケーブルの残留電圧の測定」電気学会絶縁材料研究会資料, EMI 80-58, (1980)
- (12) K. Yoshino, J. Kyokane, M. S. Yun, K. Nojima, Y. Inuishi and N. Kashiwagi: "Residual Voltage in Polyethylene", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **21**, 1333 (1982)
- (13) 柏木・高橋・佐々木・岡本: 「CVケーブルの残留電圧基礎特性」, 同上, EMI-82-84, (1982)
- (14) 京兼・尹・吉野・大石: 「表面電位計による残留電圧の評価とその数値解析」電気学会第15回電気絶縁材料シンポジウム (昭和57-9)
- (15) 京兼・吉野・犬石・R. Coelho: 「高分子表面のたい積電荷とその移動過程に関する一考察」, 電学論A, **102**, 89 (昭和57)
- (16) J. Kyokane, M. S. Yun, K. Yoshino and Y. Inuishi: "Residual Voltage in Polyethylene", *TECHNOL. REPTS. OSAKA UNIV.*, **32**, 121 (1982)
- (17) 家田・沢・篠原: 「高分子表面電荷の減衰過程」, 電学論A, **88**, 1107 (昭和43)
- (18) H. J. Wintle: "Decay of Surface Electric Charge in Insulators", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **10**, 659 (1971)
- (19) 木谷・平野・有井: 「ポリエチレンにおける逆極性残留電圧と解析」, 電気学会第15回電気絶縁材料シンポジウム (昭和59-9)
- (20) 金子・小林: 「残留電圧を利用した絶縁体中のトラップ電荷の新しい測定法」, 電学論A, **105**, 421 (昭和60)
- (21) 高分子工学講座「放射線高分子化学」高分子学会編
- (22) 志田・佐藤: 現代物理化学講座「光化学と放射線化学」東京化学同人編
- (23) A. Charlesby: 「放射線と高分子」朝倉書店
- (24) 花井・相原・会田・塩野: 「電子線照射架橋ポリエチレンの熱刺激電流特性」, 電学論A, **104**, 450 (昭和59)

UNIX上での日本語入力モジュールの開発

世 古 忠 ・ 成 田 紘 一

Implementation of Input Modules for Japanese on UNIX

Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA

本稿では、日本語入力モジュールを Unix 上で開発した結果について述べている。作成した日本語入力モジュールは、C言語の関数として提供され種々の日本語処理用プログラムで使用可能である。このモジュールは、既存のワードプロセッサの基本的な入力方式はすべて使用可能である。また、ローマ字入力モードでは、入力した後にモードの切り替えが可能なので使い勝手が良くなっている。

を作成した。

1. はじめに

最近 Unix *が我国でも広く使われるようになって来たが、Unix は元々日本語のような多バイト文字系をカーネルレベルで扱うように設計されていないため、日本語の処理が問題となっている。一方ある種のパーソナルコンピュータ上では日本語の文書処理、特にワードプロセッサ等の機能が充実したものが多く普及しており、Unix 上で動くものより優れたものが多い。そこで、通常の文書作成は、パーソナルコンピュータを使って行ない、その文書を Unix にファイル転送し処理することが考えられる。こうした場合、Unix 上で手軽に使えるエディタ等があれば便利である。本稿では特にパーソナルコンピュータで作成した日本語の文書との互換性を考慮した日本語入力モジュールを研究室の Unix 上で作成したので報告する。このモジュールの特徴は、

- 1) 日本語コードとして、シフト J I S コードを採用している。
 - 2) Unix マシン上に既にある文節変換などの機能は出来るだけ活用している事。
 - 3) ローマ字入力モードの場合モード先行でなく入力先行の方式を採用し操作性を良くしている。
 - 4) OS 自体には一切手を加えない。
- 等である。このモジュールを使用して簡単な日本語 shell

2. 日本語入力モジュール

作成した日本語入力モジュールはC言語の関数として実現されており、この関数はその他の日本語処理用のアプリケーションプログラムから必要な時に、呼び出せるようになっている。

日本語入力用ガイドライン

この関数に制御が渡されると、図1に示すような、1行分の日本語入力用のガイドラインが画面上に表示され、入力時に必要な情報を表示できるようになっている。

図1の例はカナ、J I S、ローマ字の各モードにおいてカナキーを押さずにローマ字を入力した場合を示している。この後、各種変換キーに従って変換が行なわれる。(付録1に各種変換機能のキーへの割付を示す。)

図2の入力モード表示フィールド(④)はキーボードから入力された文字がどの様に表示されるかを示す。

入力モードには、半角カナ、全角カナ、かなの3種がある。1個のキーに多重の意味(例えば、キー'G'は、'キ'、'き'、'キ'の意味を持つ)が割り付けられているためこれらの区別が必要となる。(J I S型キー

カナ J I S ローマ字 n a r i t a

図1 画面への表示

* Unix は米国A T T社の登録商標である。

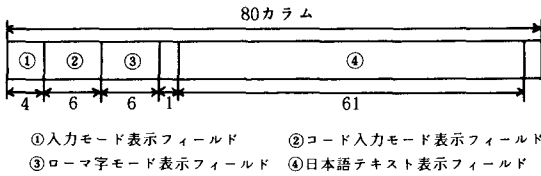


図2 日本語入力用ガイドライン

ボードを使用している)。カナキーを押せばカナが入力される。この切替は、機能キーF7、かなキーにより行なえる。この様子を図3に示す。

コード入力モード表示フィールド(②)は、コードでテキストを入力する場合の区別を行なう。JIS、シフトJIS、区点コードの区別を行なう。この切り替えは、機能キーF9で行なう。

ローマ字/カナ入力モード表示フィールド(③)は、現在の入力モードがローマ字入力モードかどうかを示す。何も表示がない場合は、カナ入力モードと同じである。

日本語テキスト表示フィールド

図4に日本語テキスト表示フィールドの様子を示す。この中で反転表示されている部分を未確定フィールドと呼ぶ。未確定フィールドの始めからカーソル位置の手前までの領域を変換フィールドと呼ぶ。変換フィールド中の文字列に対して各変換機能が働く。一度以上変換を行なうと、変換フィールド中の変換結果にアンダーラインが引かれ、次に変換機能キー以外のキー入力があれば、変換が確定することになる(図5参照)。反転されていない部分を確定フィールドと呼ぶ。なお、未確定フィー

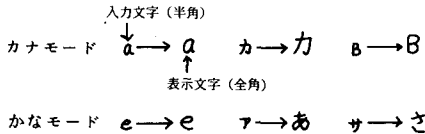


図3 入力表示モードの処理

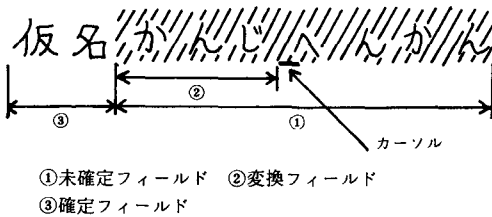


図4 日本語テキスト表示フィールド

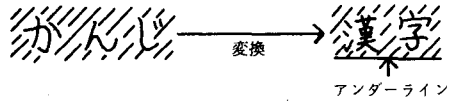


図5 変換フィールド

ルドの最大文字数は25文字までと制限されている。

ローマ字入力と変換

図6にローマ字入力モードでローマ字を入力し、仮名漢字変換を行なった例を示す。ローマ字入力モードでは入力したローマ字を即座にひらがなに変換して表示するのではなく、ローマ字のままモニターを行ない変換キーに従って直接、漢字、ひらがな、カタカナ等に変換を行なう。しかも入力先行方式としているため、後で変換を行なうことができるので、一旦入力した文字をモードを変更して再度入力するという手間が省けるので使い勝手がよくなっている。この方式を採ると、日本語文章の中に英字やカタカナが多く出現する場合、従来のモード先行方式に比べ、

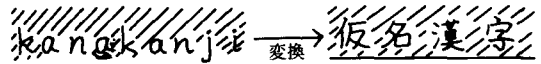


図6 ローマ字入力モード

モード指定及び変換のためのキーストローク数が減少する。

基本機能

作成した日本語入力モジュールの機能を付録1に示す。表には機能のキーへの割りつけも示してある。既存のワードプロセッサが持っている基本機能は、すべて含んでいる。入力モード表示方式は既に上で述べたが、変換機能としては、1) 仮名漢字変換(学習機能付文節変換、音訓変換、人名・地名変換) 2) ひらがな変換 3) カタカナ変換 4) 半角変換 5) 半角/全角変換 6) コード変換が可能となっている。

3. 内部仕様と日本語shell

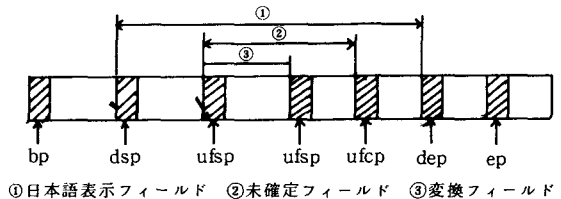


図7 日本語入力用バッファの構造

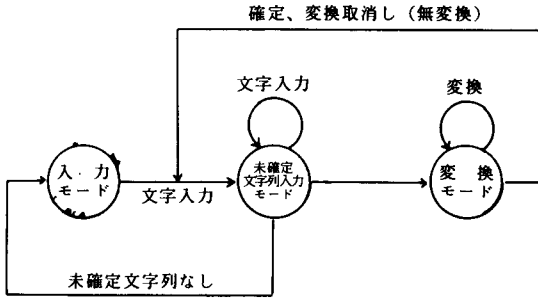


図8 入力時の状態遷移

このモジュールは入力した日本語のテキストを格納するために、図7に示す構造のバッファを持っている。bp はバッファの先頭を指し dsp, ufsp はそれぞれ日本語テキストフィールド、未確定フィールドの先頭を指す。ufcp は現在のカーソル位置を指す。

日本語入力時の状態の遷移を図8に示す。入力モードはまだ文字が入力されていないか、文字列が確定している状態(未確定フィールドが存在しない状態)を示す。次に文字入力があれば、未確定文字列入力モードに移行し、文字を入力している途中の状態となる。この状態で、変換キーを押すと変換モードに移行する。

日本語 shell

作成した日本語入力モジュールを使って簡単な日本語用の shell を作成した(以下これを nsh と呼ぶ)。これにより、幾つかの Unix コマンドの引数かオプションに日本語のテキストが使用可能となった。cp, mv, rm, cat, pr, ls, find, fgrepで動作した。しかし、コマンドが独自に入力を行なっている場合や、7ビットASCIIコードを前提としてコーディングされている場合は日本語は使用できない。

4. 結 論

作成した日本語モジュールは、68000 cpu の Unix systemⅢ(シャープ OA90DX)上で動いた。文字列を入力した後でモードの変換が可能なので使い勝手が良かった。このモジュールはCの関数として実現されているので、他の日本語処理ルーティンから呼び出して使える。応用例として簡単な日本語 shell を実現し、特定の Unix コマンドのファイル名等に日本語が使えるようになった。現在、これを使って日本語エディタを作成中である。

文献1) 大野 `ローマ字入力のモードに関する検討'

昭和60年信学全大予稿 p.1458

付録1 各キーへの機能割付

キー名称	機能
変換	仮名漢字変換(文節変換, 次候補変換)
無変換	変換なしで確定
F 7	入力モード切替(ロータリー式)
F 8	ローマ字モード切替(トグル式)
F 9	コード入力モード切替(ロータリー式)
F 10	記号入力
F 11	コード変換
F 12	ひらがな変換
F 19	カタカナ変換
F 20	半角変換
F 21	半角/全角変換
F 22	仮名漢字変換(文節変換, 前候補)
F 23	音訓変換
F 24	人名・地名変換
かな	入力モードが全角の場合, カナ/かな切替
L F	リターンする
B S	1文字削除(カーソル左)
↑ G	1文字削除(カーソル位置)
↑ D, →	カーソル1文字右移動
↑ S, ←	カーソル1文字左移動
↑ A	カーソル10文字左移動
↑ F	カーソル10文字右移動
↑ W	カーソルをテキストの始めへ移動
↑ Z	カーソルをテキストの終りへ移動
↑ E	カーソルを未確定フィールドの始めへ移動
↑ X	カーソルを未確定フィールドの終りへ移動

音訓変換時のキーの機能

キー名称	機能
スペース, →	カーソルを1つ右の候補へ移動
B S, ←	カーソルを1つ左の候補へ移動
変換	次の候補群へ移動
無変換	前の候補群へ移動
L F	カーソルの位置する候補の選択
0-9	0-9の番号の候補の選択
F 23	元の状態へ

記号入力時のキーの機能

キー名称	機能
スペース, →	カーソルを1つ右の候補へ移動
B S, ←	カーソルを1つ左の候補へ移動
変換	次の候補群へ移動
無変換	前の候補群へ移動
L F	カーソルの位置する候補の選択
0-9	0-9の番号の候補の選択
F 10	元の状態へ
X, x, サ, ↓	50個次の候補群へ
Z, z, ツ, ↑	50個前の候補群へ

Thickness Measurements of Thermal Oxidation Growth-Films on Silicon using Computer Controlled Ellipsometer

Haruo TAKAHASHI and Stieve A. LYON*

The growth rates of the thermal oxidation films on Silicon were measured by using the specially designed ellipsometer.

The ellipsometer could scan one-dimensionally across the silicon sample without disturbing the thermal conditions and could follow sufficiently the in-situ measurements of the oxide growth films with high resolution during the duration of oxidation. It is found that the growth curves from the obtained data show the good agreement with the growth law proposed by Grove.

1. Introduction

The production of the silicon oxide (SiO_2) films on Silicon is of great importance to semiconductor industry. The silicon oxide layer plays two essential roles as a electrical insulator and as a surface passivator in present device technology.

The tendency towards miniaturization of electronic devices imposes a decrease of oxide thickness although the growth mechanism of the first ten angstroms is still questionable.

It is known that growth rate of the oxidized film depends on temperature and duration of oxidation, nature and pressure of oxidant gas, crystalline orientation of the Si-surface, and etc.

The thickness of the thermally growth film can be usually controlled by adjusting the oxidation time based on the previously stored experimental

data. A number of investigation of the kinetics for silicon oxidation in dry oxygen have been made under widely varying conditions^{(1)~(5)}.

Deal and Grove proposed the comprehensive model of the thermal oxidation of Si, and showed that the dependence of the oxide thickness L on the oxidation time t could be expressed, for thickness greater than 35nm, by the linear-parabolic equation

$$\frac{L}{K_L} + \frac{L^2}{K_P} = t + \tau \quad (1)$$

where K_L and K_P are the linear and parabolic rate constants, and τ is the coefficient determined by the condition of oxidation⁽¹⁾.

However, Irene and van der Mulen have pointed out that there is considerable variance among the reported rate-conditions⁽⁶⁾, and have showed the revised kinetic model⁽²⁾. Some other researchers reported the kinetic models to explain the growth mechanism⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁷⁾. However, the model proposed by Deal and Grove is still supported by many workers to describe the kinetics for silicon oxidation. The oxidation mechanism is complicated in the range of the thickness below 35nm, and the growth law is uncertain although many studies have been on various aspects of the process.

It is essentially necessary to study for finding

This work was done at Department of Electrical Engineering and Computer Science, Princeton University, where the author had been staying as a Visiting Fellow supported by the Education Ministry of Japan.

* Princeton University

out precisely the growth kinetics by collecting the detailed growth data continuously during the wide range of the oxidation process.

A thin film layer of a transparent refracting material on a reflective surface alters its effective optical constants corresponding to the thickness and refractive index of the layer, and the change of the optical constants can be measured by ellipsometry.

Ellipsometric technique is one of the most suitable methods to measure thickness of a thin film.

A computer controlled ellipsometer has been specially designed for the purpose to make completely automated measurements to measure thickness of the thin film during the thermal oxidation. In this paper, it is shown that the ellipsometer has an excellent facility to measure the changes of optical parameters and to store thickness data enough to calculate the growth rates of the film during a series of the oxidation process without interrupting the oxidation conditions, and also it is cleared that the growth data obtained has an adequate coincidence with the kinetic model proposed Deal and Grove.

2 The automated ellipsometer

A general ellipsometric measurement yields a set of two optical parameters (ϕ , Δ), that characterize the change of the polarization condition for the light beam reflected on the surface with the relation of

$$\frac{R_p}{R_s} = \tan \phi \cdot \exp(i\Delta) \quad (2)$$

where R_p and R_s are the complex reflection coefficients for the light polarized parallel and normal to the plane of the incident light beam. ϕ and Δ are cylindric functions of the oxide thickness. The detailed process to derive the relation of the thickness with ϕ and Δ are given elsewhere⁽⁷⁾. The thickness of the film can be calculated from these optical parameters, if the complex refractive indices of the substrate (Si) and the film (SiO_2), the angle of the incident

beam, and the wave length of the laser beam are given⁽⁸⁾.

The measuring system for the automated ellipsometer is constructed with the ellipsometric optical elements and the personal computer [Terak 8510/a] as shown in Fig. 1.

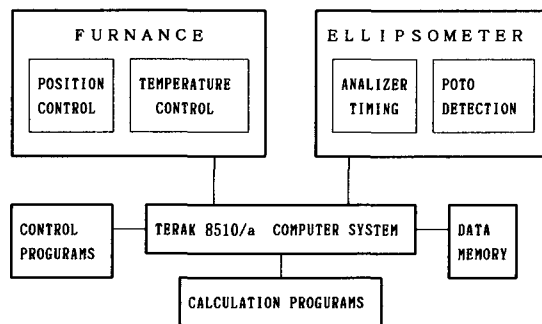


Fig. 1 The block diagram of the measuring system in the automated ellipsometer.

The ellipsometric alignments are shown in Fig. 2.

The light beam from a 2 mW He-Ne laser can be changed to a circularly polarized light beam after passing through a mica-quartz quarter-wave plate, and the polarizer can set the polarized laser-beam axis to a selected azimuth by adjusting manually the attached vernier scale with a resolution of 0.01° . The elliptically polarized light-beam with a desired polarization state can be obtained without the necessity for rotating the laser-tube in its mounting position.

The polarized beam is incident to the sample surface at the angle 70° . The beam reflected from the surface passes through the continuously rotating analyzer, and the optical-glass diffusion filter with a sharp transmission maximum at the wavelength of 632.8 nm, which removes most of the ambient light travelling along the direction of the laser beam.

The silicon photo-detector measures the light intensity of the reflected beam affected by the polarization state with automatically adjusted timing rates corresponding to the previously determined azimuth-angle of the rotating ana-

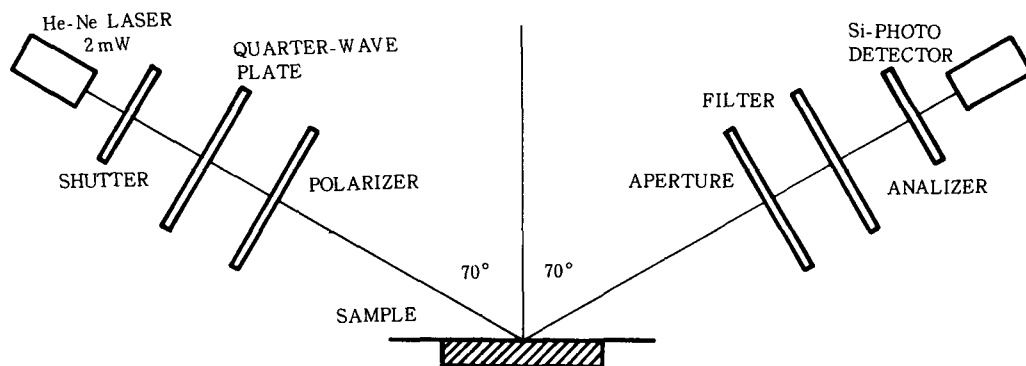


Fig. 2 The ellipsometric alignments.

lyzer.

The ellipsometric parameters ϕ and Δ are calculated from the intensity variation detected periodically by the silicon photo-detector, and are stored to the disk memory of the computer.

The optical stage of the ellipsometer is designed to move one-dimensionally over the sample stage with the stepping-motor controlled by the computer system, and then the ellipsometer can scan across the sample along one-axis to measure continuously the oxide thickness at the desired points.

The measuring points along the axis can be selected in 0.1mm increments at a maximum timing rate of 60 step/min within the scanning length of approximately 4 cm, and the time interval between the consecutive measurements can also be set for the wide range from 2 seconds to several hours.

Fig. 3 shows the furnace for the automated ellipsometer.

The furnace is made of a fused quartz-tube (approximately 8cm in diameter) surrounded with the resistive heating-coils, and has two quartz windows (2 cm in diameter) for the incidence and reflecting paths of the laser-beam. A small pipe is added to the one side of the furnace for the gas flow of N_2 or O_2 . The furnace is mounted on the stage with three micrometer-screws for manual adjustments of the optical alignments.

The silicon block inserted to the furnace-tube holds the sample in such a way that the incident

beam through the quartz window reflects to another window along the azimuth of the ellipsometer, and acts as a heat conductor to diffuse the oxidation temperature uniformly on the whole sample surface.

The temperature of the sample is monitored with the thermo-couple inbeded in the silicon block and the computer adjusts automatically the value of the current through the heating coils to keep the desired temperature within $\pm 1^\circ K$ over the range of $750^\circ K \sim 1300^\circ K$.

The experimental parameters regarding the oxidation temperature, the points to be measured, the time interval between consecutive measure-

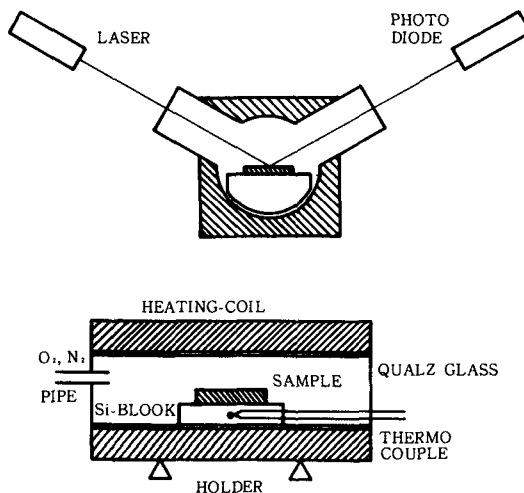


Fig. 3 . The furnace structure for the automated ellipsometer.

ments and the total time for the oxidation process are input from the key board to the computer.

After starting the computer programs, the measurement continues automatically till the total elapsed time has been reached. The thicknesses of the film are calculated with the stored values for the set of ϕ and Δ data by using the another program⁽⁸⁾.

To calculate the values of the thickness, it is necessary to know the value of the complex refractive index of Si, n_{Si} , and the refractive index of SiO₂, n_{SiO_2} , for the given temperature. Table 1 shows these values. The values are used for the complex refractive index published by van der Meulen and Hien⁽¹⁾, and for the refractive index of SiO₂ calculated by Schafer⁽⁸⁾ in a series of experiments.

Table 1 The refractive index of the Si-substrates and SiO₂ films

Temp. °C	Complex index of Si-substrates	Fixed index of SiO ₂ -films
Room	4.215 — 0.127 J	1.461
927	4.274 — 0.158 J	1.468 ~ 1.472
977	4.311 — 0.179 J	1.470 ~ 1.473
1027	4.352 — 0.203 J	1.471 ~ 1.475

In order to check the ability of the completely automated ellipsometer, the sample oxidized already to the reference thickness of 80 nm was measured at room temperature. The obtained data are shown in Fig. 4.

Measurements were taken place at the 6-sampling points with each distance of 0.5mm and with each time-interval of 20 sec, the sample was scanned for three times.

The thickness values at the same sampling point are scattered within ± 0.1 nm because the deviation for the azimuth of the rotating analyzer exists typically in the range of 0.04°.

The mean value of the thickness could be calculated as 81.83 ± 0.27 nm, although the sample was

Substrate Index: 3.865, -0.024
Angle of Incidence: 70.00
Fixed Film Index: 1.461

Time	Position	Psi	Delta	Phase*	Phase**	Thick**
00:00:14	95	33.16	80.65	52.00	-0.003	81.7
00:00:34	105	33.14	80.67	51.97	-0.003	81.7
00:00:54	115	33.11	80.26	52.02	-0.009	81.7
00:01:14	125	33.21	80.29	52.17	-0.007	82.0
00:01:34	135	33.20	80.85	52.04	-0.000	81.8
00:01:54	145	33.30	80.78	52.21	-0.001	82.0
00:05:14	95	33.20	80.61	52.08	-0.003	81.8
00:05:34	105	33.16	80.53	52.04	-0.005	81.8
00:05:54	115	33.13	80.20	52.05	-0.009	81.8
00:06:14	125	33.21	80.30	52.17	-0.007	82.0
00:06:34	135	33.21	80.85	52.05	-0.000	81.8
00:06:54	145	33.27	80.66	52.19	-0.002	82.0

Fig. 4 The obtained data lists for the reference sample.

supposed to be oxidized uniformly on the surface for the whole measuring range.

3. Experiments

For classifying the thermal oxidation methods, a distinction can be made between the so-called "Wet" oxidation in which a water-vapor is the principal oxidant and the "Dry" oxidation where the principal oxidation is oxygen. All experiments in this investigation were carried out in the "Dry" oxidation method.

The silicon substrate was cut in the form of strips with 2cm long and 1cm wide from the standard 2 inch wafers of the <100> orientation.

The sample was chemically cleaned in a succession of rinses with trichloroethylene, acetone, methanol and deionized water to remove the surface contaminations, and etched in the HF to exclude the thin native oxide film.

The cleaned Si-wafer was immediately placed on the silicon block in the furnace filled with a dry N₂ ambient. The experimental parameters described previously were set to the computer.

After the furnace temperature had established, the sample was realigned and a dry O₂ gas was switched. From this point, the experimental process is under the program control of the computer. The experiments were carried out at three different temperatures at one-atmos dry oxygen.

Fig. 5 shows the thickness dependence on time.

The mean values of the thickness at sampling points are plotted.

In order to show a part of the detailed data,

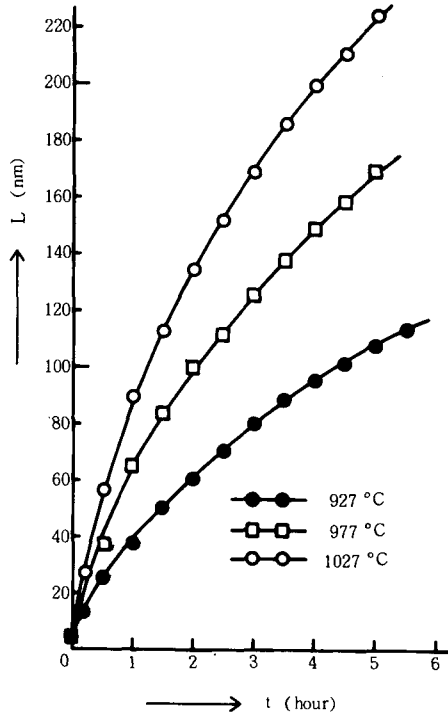


Fig. 5 The thickness of the SiO₂-film dependence on time.

File: TAKA50.1027/N
Substrate Index: 4.352,-0.203
Angle of Incidence: 70.00
Fixed Film Index: 1.474

Time	Position	Psi	Delta	Phase-	Phase++	Thick+
00:00:04	100	13.62	163.17	2.45	-0.009	3.8
00:05:04	100	15.37	138.27	10.41	-0.010	16.1
00:10:04	100	18.37	119.73	17.67	-0.014	27.3
00:15:04	100	21.11	108.71	25.56	-0.013	38.5
00:20:04	100	23.78	100.74	28.69	-0.017	44.4
00:25:04	100	25.55	95.24	33.23	-0.016	51.5
00:30:04	100	27.36	91.19	37.43	-0.015	57.9
00:35:04	100	29.27	87.35	41.54	-0.020	64.3
00:40:04	100	31.05	85.21	44.88	-0.017	69.5
00:45:04	100	32.70	83.16	48.26	-0.020	74.7
00:50:04	100	34.47	81.59	51.54	-0.022	79.3
00:55:04	100	36.18	80.94	54.49	-0.018	84.3
01:00:04	100	37.82	80.12	57.17	-0.022	88.5
01:05:04	100	39.78	80.56	59.97	-0.015	92.8
01:10:04	100	41.77	80.28	62.55	-0.017	96.8
01:15:04	100	44.02	80.46	65.11	-0.019	100.8

Fig. 6 The obtained data lists at a sample point.

the portion of the stored data at the sampling points 100 is listed in Fig. 6.

The thicknesses are measured at the time interval of every five minutes. From these data, the growth rate at a desired elapsed time can be easily calculated.

4. Discussions

In order to obtain the values of linear and parabolic rate constants K_L and K_P from the

experimental results, eq (1) can be expressed as ;

$$\frac{dt}{dL} = \frac{1}{K_L} + \frac{2}{K_P} \cdot L \quad (3)$$

The relation between dt/dL and L becomes to form of a straight line, and the values of the K_L and K_P can be got from the slope of the tangent and the crossing point to the axis.

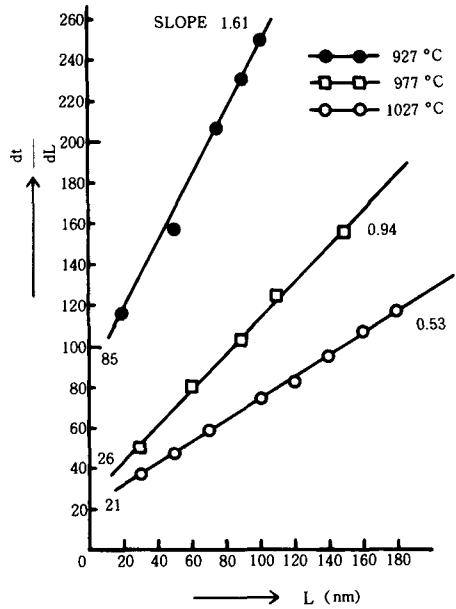


Fig. 7 The dt/dL dependence on L from the experimental data.

Table 2 summarizes the values of K_L and K_P for each oxidation temperature.

These values show good agreements with those derived from others⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾.

Table 2 The values of obtained K_L and K_P

Temp. °C	Linear Constants	Parabolic Constants
	K_L	K_P
927	0. 0 1 1 8	1. 2 4 2
977	0. 0 3 5 8	2. 1 2 8
1027	0. 0 4 6 7	3. 7 7 4
Coefficient r		1 3 3. 6 8 8

When the values listed on the Table 2 are submitted to the eq.(1), the calculated growth traces correspond precisely to the experimental traces

illustrated in Fig.5.

This means that the thickness growth-process obtained by this experiment coincides with the growth model proposed by Deal and Grave.

5 . Summary

The specially designed ellipsometer has shown to hold the ability to scan the thickness distributions of a SiO₂ film along one-axis with the accuracy of ± 0.1 nm and to measure the rate of growth at a desired time-interval during the previously decided duration without interrupting the oxidation conditions.

It is possible to survey a complete oxidized-growth curve with the very high time and thickness resolution during the duration of the oxidation.

The obtained data by the ellipsometer shows precisely the growth process of a SiO₂ film with high resolution and reliability, and the analyzed growth rates follow with reasonably accurate representations for the oxidation growth law proposed by Deal and Grove. The ellipsometer will be applied to study for laser enhanced oxidation because this ellipsometer can measure the changes of the thickness distribution caused by the enhanced oxidation for the normal oxidation process throughout the same conditions if the laser beam will be irradiated to the one point of the sample surface.

References

- (1) B. E. Deal and A. S. Grove : "General relationship for the thermal oxidation of Silicon", *J. Applied Physics*, vol.36. p3770 (1965)
- (2) R. Ghez and Y. J. van der Muelen : "Kinetics of Thermal Growth of Ultra-Thin Layers of SiO₂ on Silicon, Part II Theory", *J. the Electrochemical Society*, vol.119, No 8 , p1100 (1972)
- (3) E. A. Irene and T. J. van der Muelen : "Silicon Oxidation Studies ; Analysis of SiO₂ Film Growth Data", *J. the Electrochemical Society*, vol.123, No 9 , p1380 (1976)
- (4) S. M. Hu : "New Oxide Growth Law and the Thermal Oxidation of Silicon", *Applied Physics Letters*, vol.42, No 10 , p827 (1976)
- (5) H. Matsumoto and M. Fukuga : "Numerical Modeling of Nonuniform Si Thermal Oxidation", *IEEE. Tnans. Electron-Devives*, vol.ED-32, No 2 , p132 (1982)
- (6) Y. J. van der Muelen : "Kinetics of Thermal Growth of Ultra-Thin Layers of SiO₂ on Silicon, Part I Experiment", *J. the Electrochemical Society*, vol.119, No 4 , p530 (1972)
- (7) M. A. Hopper, R. A. Clarke and L. Young: "Thermal Oxidation of Silicon", *J. the Electrochemical Society*, vol.123, No 9 , p1216 (1975)
- (8) S. Schafer : "Automated Ellipsometer Operation Manual", *Ph.D.dissertation, Princeton University*(1985)
- (9) E. A. Irene and R. Ghez : "Silicon Oxidation Studies : The role of H₂O", *J. the Electrochemical Society*, vol.124, No 11 , p530 (1976)

重クロム酸ゼラチンを用いた リップマンホログラムの最適製作条件

宮 田 正 幸

The Optimal Fabrication Conditions of Lipman Hologram Using Dichromated Gelation

Masayuki MIYATA

DCGは比較的取扱にくい記録材料であって、硬膜、現像処理及び乾板の製作条件など種々の要素によって再生像が微妙に変化し影響を受ける。良い再生像を得るには経験的なものが重要である。DCGは従来 Ar レーザの488nm の光を使用してきたが、ここでは感度が $\frac{1}{5}$ と劣るが514.5nm の光とエタロンを使用した。その結果再生波長域の拡大と奥行きが得られた。本研究はこれらの要素のいくつかについて実験的に考察したものである。

1. ま え が き

1968年、Shanhoff によって開発された重クロム酸ゼラチン (DCG) は高回折効率、低ノイズを示す有望なホログラフィ材料であり、これにリップマンホログラムを記録すれば非常に高回折効率の像再生が得られることが報告されている⁽¹⁾。しかしDCGの感光波長域は約570nm以下であり、ホログラムの記録には一般に488nmのArレーザが使用される。今回は感度は $\frac{1}{5}$ の514.5nmの光をエタロンを使用して実験をおこなった。DCGの露光量はおよそ20mJ/cm²であるので、露光に長時間必要とする。

本報告は、DCGを用いたリップマンホログラムの撮影技術に関するものであり、主に以下の点について現在我々が行っている方法を中心に検討した。

- ① 明るい再生像を得るには、現像処理方法に大きく依存するが、その基本的な流れは、硬膜処理、水洗、イソプロピルアルコールによる脱水乾燥のプロセスでホログラムが作られる。この過程での温度、時間について考察する。
- ② DCG乾板は自作しなければならない。乾板はガラスの基板上にゼラチンを塗布し感光溶液の中に浸し作製する。作製した乾板の膜厚と再生像との関係

を考察する。

2. リップマン ホログラム

ホログラムは物光体と参照光で作られる干渉縞を感光材料に記録して作られるが、一般に干渉縞は二つの光が重なっている空間全体にわたって3次的に形成されるので、この中に透明に近く干渉縞の周期に比べて厚い感光材料を置けば、ポリューウムホログラムとなる。⁽²⁾ その原理を図1に示す。

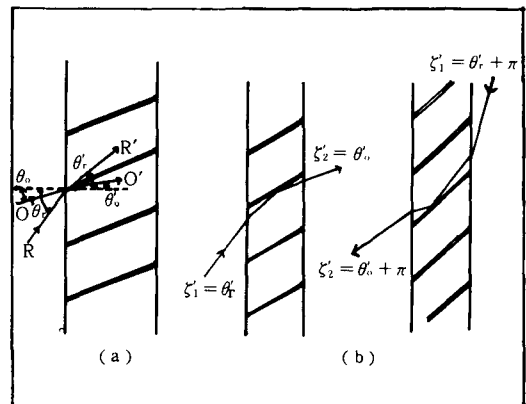


図1 ホログラムの記録、再生

簡単のため物体光Oと参照光Rは平面波とし、ホログラムの法線方向に対し θ_o 、 θ_r の角度で入射するものとする。これらの光波は屈折率Nの感光材料の中ではそれぞれ θ_o' 、 θ_r' の方向に進む。従って、干渉縞は $(\theta_o' + \theta_r')$ / 2の角を成す方向に形成し、その周期dは(1)式となる。ただし λ' は感光材料中の光の波長で $\lambda = \lambda' / N$ の関係がある。

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{(\theta_o - \theta_r)}{2}} \quad (1)$$

このようにポリウムホログラフィにおいてはホログラムの体積内に層状の干渉縞が記録される。次にホログラフィの再生過程で ϕ_1 の方向から波長 λ_c の再生照明光を入射させたとき ϕ_2 の方向に再生波が出たとする。ポリウムホログラムは結晶構造と類似しているので、入射波と反射波の方向はブラッグの反射条件を満たさなければならないから、次の二つの関係式を得る³⁾。

$$\frac{1}{\lambda_c'} (\sin \phi_2' - \sin \phi_1') = \pm \frac{1}{\lambda'} (\sin \phi_o' - \sin \phi_r') \quad (2)$$

$$\frac{1}{\lambda_c'} (\cos \phi_2' - \cos \phi_1') = \pm \frac{1}{\lambda'} (\cos \phi_o' - \cos \phi_r') \quad (3)$$

但し、式中の復号の+は直接像、-は間接像とし λ_c' は再生照明光の感光材料中の波長で $\lambda_c' = \lambda_c / N$ の関係がある。上の両式を同時に満足するには $\lambda' = \lambda_c'$ である上に次の四通りの条件が考えられる。

$$\phi_1' = \theta_r', \phi_2' = \theta_o'; \phi_1' = \theta_r' + \pi, \phi_2' = \theta_o' + \pi \quad (4)$$

$$\phi_1' = \theta_o', \phi_2' = \theta_r'; \phi_1' = \theta_o' + \pi, \phi_2' = \theta_r' + \pi \quad (5)$$

上式の二つの場合は各々の物体の直接像または共役像のみが再生され、それぞれに共役な像は現れない。また、再生に際し異なる波長の光で照明しても、ブラッグの条件から外れて回折効率が極端に低下するので再生されない。これをリップマンポリウムホログラムとよぶ。このホログラムは波長選択性があるので、白色光で再生が可能となる。

3. ホログラム作製方法

3.1 DCG乾板の作製

基板としては1~2mm厚のガラス基板を使用する。ゼラチンを塗布する場合には、ガラスとの接着性をよくするため洗浄を次のように行った。

①流水による洗浄

②セミコクリンによる超音波洗浄

③アルコールによる洗浄

ゼラチン膜厚は10~20 μ m程度と考えられるので、塗布液粘度、塗布方法が重要である。ここでは低速回転方法を利用した。塗布後ゼラチンは一日以上自然乾燥させる。乾燥させた乾板を重クロム酸アンモニウム水溶液(濃度は3~5%)に数分間侵し、感光化処理を行う。処理後自然乾燥を行う。

3.2 撮影系

リップマンホログラムの場合理論でも考察したように、 $\theta_o - \theta_r = \theta$ とし $\Delta\theta$ は波長 λ を参照光と同一としたときの入射角の許容差、 $\Delta\lambda$ は θ を参照光と同一に選んだ時の波長の許容差とする。再生可能な照明光の入射方向、波長の許容差は図2のようになる。90° < θ < 180°の範囲において $\Delta\lambda / \lambda$ の値が極めて小さいことである。

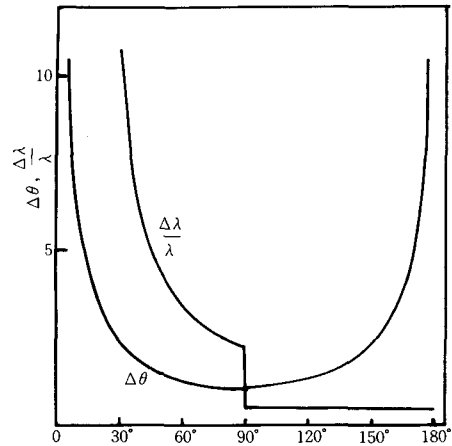


図2 厚いホログラムの再生

これは図3に示すように乾板の表から物体光、裏から参照光を与えてホログラムを撮影したことに相当し、極めて狭い範囲での波長しか再生されない事を示している。

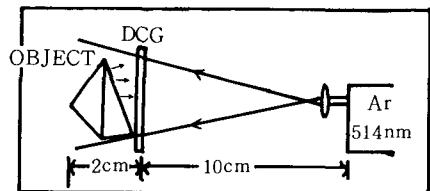


図3 リップマンホログラム撮影系

この場合白色反射照明光により再生像を見ることになる。

これはソ連の Denisjuk によって考察された方式で一光束方のため光量損失が少ない。しかも被写体を乾板の近くに設置すればイメージホログラムとなり広視野の再生像が得られしかもエタロンを使用しているので奥行きのある再生像が得られる。

3.3 現像処理系

ホログラムの再生像はこの現像過程によって大きく影響を受ける。そのため種々の方法が報告されているがここでは、小寺、久保田の方法を利用した。その処理の方法は以下の通りである。

- ① 硬膜処理……硬膜にはミョウバン溶液を利用し、溶液組織は次の通りである。

水	1000cc
ミョウバン	120g
氷酢酸	100cc
無水亜硫酸ナトリウム	60g
- ② 水洗処理……未反応の重クロム酸アンモニウムを洗い流す。
- ③ イソピルアルコール処理……水とアルコールの置換による脱水処理で第一槽として70%アルコール水溶液、第二槽として100%アルコール水溶液で完全置換。
- ④ 乾燥……熱風エア乾燥

4. 再生像の回折効率と波長の変化

4.1 回折効率と露光及び硬膜時間

露光時間を横軸に、再生像の一番明るいものを1.0に規格化して縦軸にとり、現像処理温度をパラメータに取った結果を図4に示す。

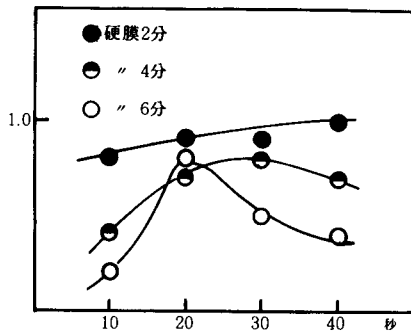


図4-1 23°Cにおける回折効率

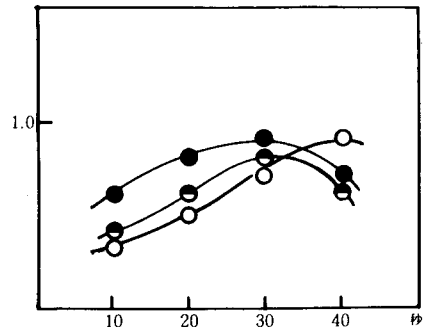


図4-2 26°Cにおける回折効率

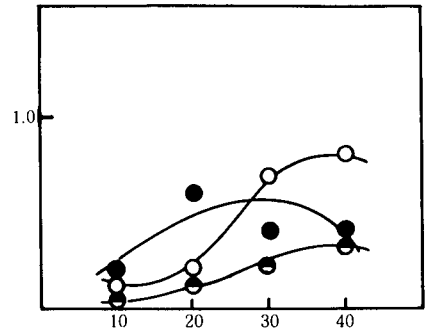


図4-3 29°Cにおける回折効率

回折効率については一般の銀塩感光材料と同じ傾向を示すが、ここでは露光量の絶対値は測定していない。

硬膜時間については顕著な変化は見いだせないが余りに強くし過ぎると膜の状態が剥離し汚れが目だてることがわかった。

4.2 処理温度と再生波長

撮影に使用したレーザ光の波長は514.5nmであるが、再生された光の波長を見ると、現像処理温度が低いとき再生波長は約450nmぐらいで青色で再生しているが、26°Cになると黄金色(600nm)の再生像が得られた。また再生波長は23°C~29°Cの間では変化するがそれ以外では変化しないか全く再生されないかであった。

4.3 再生像と膜厚について

モータの回転数と膜厚の関係は図5に示される。300rpm~600rpmの間、膜厚を3~20μmの厚さに自由に变化させることが出来た。しかし15~20μmの間は一層塗りでは困難であったので二層塗りを試みた。ゼラチンの濃度は10%と20%で、液温40°Cで塗布を行った。

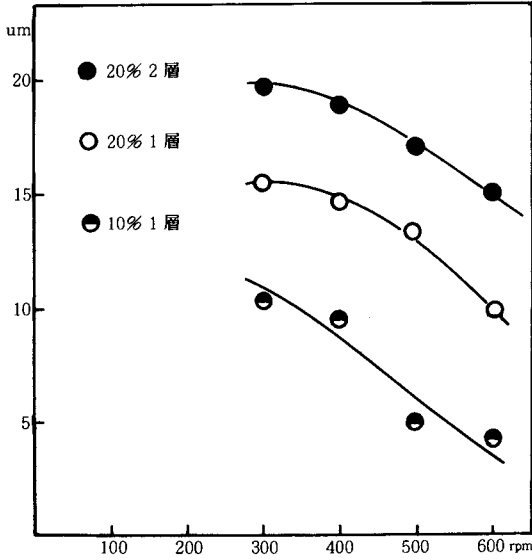


図5 モータの回転数と膜厚

実験を行った結果、像を再生させるためには約7~15 μm程度の厚さが必要ながわかった。また低速回転においては膜厚にかなりのむらが出来ることが膜厚の測定によってわかった。この結果を図6に示す。これらは再生像において回折効率の変化及び波長の変化となって現れてくるものと思われる。その根拠ははっきりしなかったが実験結果からみて、現像処理、露光などによるものとは考えられずやはり膜厚のむらに関係していると思われる。

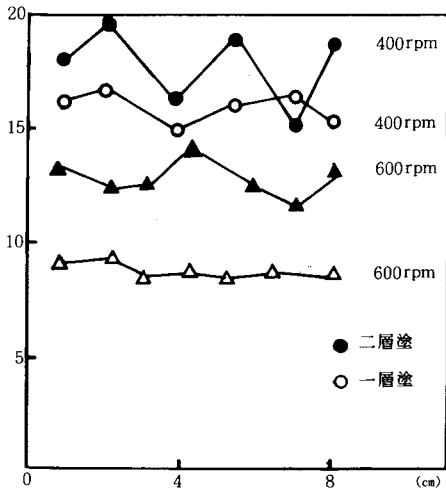


図6 膜厚のむらの測定

5. あ と が き

今回の実験において以下のことがわかった。

- ① 現像処理の温度は再生像の波長に大きく影響することがわかった。一般に温度をたかくするとホログラムに白濁を生じ再生波長も長い方にシフトし、低い場合は透明のホログラムが得られるが再生像は短波長側にシフトした。特に26℃においては再生像が黄金色をしており撮影波長より低い波長の像が再生された。更に硬膜条件を適当にすると白色に近い再生像が得られた。
- ② 膜厚に関しては一層塗で15 μm程度が限界であったが、二層塗では20 μm以上の厚さの乾板も製作できるが、膜厚のむらが大変おおい。実際実験を行っても再生像の回折効率は向上しなかった。再生による厚さは実験によるとだいたい15 μm程度であるので一層塗で十分と思われる。
- ③ レーザにエタロンを使用したので奥行きのある物体についてもかなり良好な再生像が得られた。

今後の課題は、安定してしかも良質な再現性のあるホログラム作製するためには、乾板の作製及び現像処理過程における温度、時間の制御が必要である。更に、プロセス全体の自動化も必要になる。

現在DCGホログラムの研究はカラー化と大型化に向かっており、これらに対応するための基礎的なデータが得られたものと思われる。

文 献

- 1) 小寺, 久保田: 光学, 8, 4 (1979)
- 2) 辻内: 電気通信学会誌, 12 (1982)
- 3) 村田: ホログラフィ入門, 朝倉書店 (1976)

遺跡出土木材の保存液含浸過程分析用 画像処理システム

上 田 勝 彦 ・ 石 垣 昭

Image Processing System for Analyzing Impregnation Process
of Conservation Liquid in Water-logged Wood

Katsuhiko UEDA and Akira ISHIGAKI

遺跡から出土した含水木質遺物の保存処理法の一つとして、PEG含浸法がある。本論文では、この方法における薬液の木材中への含浸過程を、X線造影法により得られた含浸状態を表しているX線画像を用いて分析するための簡易な画像処理システムについて述べる。

本システムはパーソナル・コンピュータをホストプロセッサとして、TVカメラ、フレーム・メモリ、TVモニターなどが接続されたもので、各含浸時間毎のX線画像の濃度特性の変動を正規化し、含浸時間による木材内部への薬液含浸過程を疑似カラーにより強調表示し、木材内部の含浸状態を視覚的に捉える機能を有する。また、任意の位置の画像濃度を求めることも可能であり、分析のための定量的なデータを提供することができる。

1. ま え が き

出土木材の保存処理方法の一つとして、PEG含浸処理法があり、広く用いられている。しかし、PEGなどの薬品が水分と置換してゆく過程については未解明の部分が多い。筆者らはX線造影法によって、含浸中の木材内部における薬品の分布状態を視覚的に捉える方法を開発し、光電濃度法によって薬品の含浸過程を非破壊的に分析した⁽¹⁾。しかし、薬品の含浸過程において、より多くの知見を得るためには、多数の木材試料について含浸状態を分析する必要がある。このためには、光電濃度法よりも更に高速、高精度、且つ自動的に分析が可能になることが必要である。

本論文では、以上の背景に基づいてパーソナル・コンピュータを用いた小形の画像処理システムを開発し、画像処理的手法によって木材内部全体の含浸状態を視覚的に鮮明化して表示すると共に、定量的な分析に必要なデータを提供する方法について検討を行った結果について述べる。

2. システム構成

本研究で用いた画像処理システムのハードウェア構成を図1に示す。本システムの中心はパーソナル・コンピュータPC-9801とフレーム・メモリ(PIAS-II)である。フレーム・メモリは1画面あたり画像サイズ512×512、濃淡8bitで、4画面を備えている。この他に、画像入出力装置としてTVカメラ、TVモニター、カラープリンタなどが接続されている。そしてフレーム・メモリの制御、および基本画像処理プログラムが搭載されたROMがPC-9801内に実装されており、ユーザのコマンドによる単独使用、およびユーザプログラム中での使用が可能である⁽²⁾。

本研究において開発した分析用のプログラムにおいては、画像入出力、フレーム・メモリ上の画素アクセス、および平滑化などの基本的な処理は本ライブラリを使用した。そして分析システム全体としては、ユーザが簡単な指示をシステムに与えることによって、ほぼ自動的に処理を進めることが可能になっている。

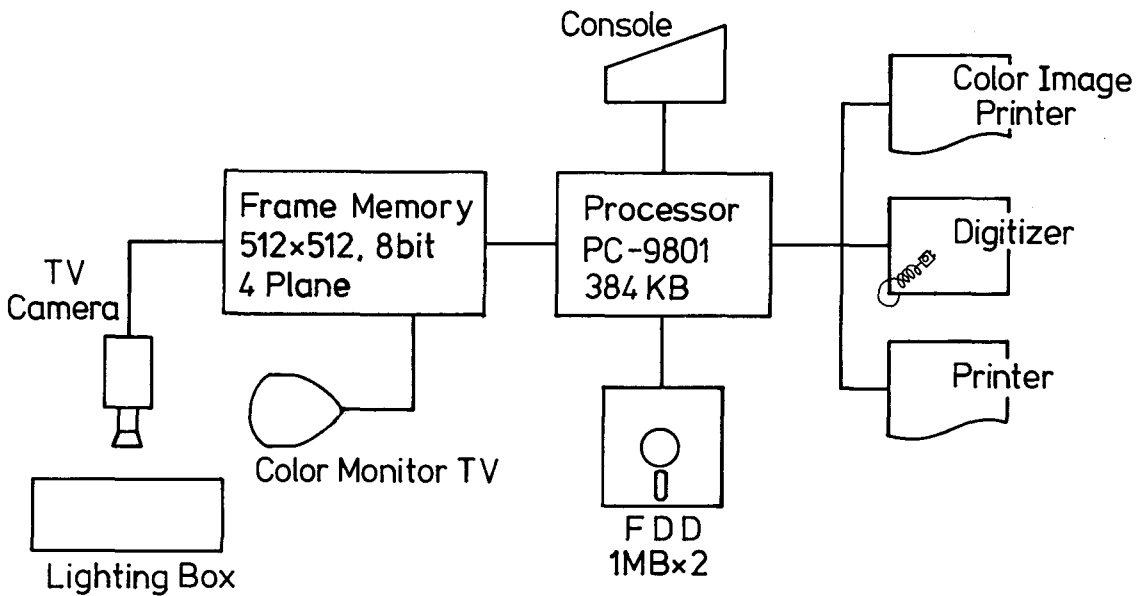


図1 画像処理システムのハードウェア構成

3. 画像分析の方法

今回の実験において対象とした木材試料は図2に示すように、木心に近い部分を木口に持つ一辺3 cmの立方体を切り出したものである。これを薬液中に浸漬して、4, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300各時間後に取り出して、図2のX, Y, Zの3方向よりX線撮影した。なお、撮影時、フィルムの現像時、およびコンピュータへの画像入力時の条件変動による濃淡の変動を正規化するために、撮影の際、木材試料と共にスライドガラス5枚を階段状に重ね合わせて置き、これを各画像の標準濃度スケールとした。木材のX線造影については、筆者らの別報⁽¹⁾に詳しく述べられているので、ここでの説明は省略する。

画像処理のブロック図を図3に示す。以下、同図の流れに沿って各処理方法について説明する。

3.1 画像入力と前処理

出土木材のX線写真をTVカメラにより、画像サイズ512×512、濃淡8 bit (256段階)でコンピュータに入力した。しかし、実際の入力画像の濃淡のダイナミック・

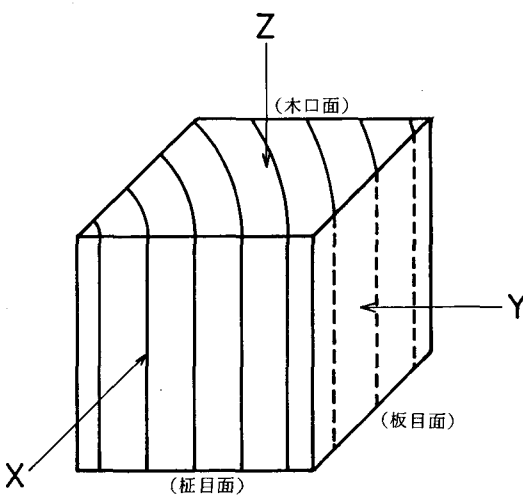


図2 木材試料の切り出しとX線照射方向

レンジは50から150であった。

X線フィルム、およびビデオ信号系の雑音を除去するために、ウィンドサイズ3×3の移動平均処理により、画像の平滑化を行う。

3.2 濃淡の補正

3.2.1 画像間の濃淡特性の正規化

X線造影の過程において、X線照射条件、フィルムの現像条件などの変動によって、画像間で濃淡特性の変動が生じる。例えば、今回の実験に用いた含浸時間の異なる8枚の画像の標準濃度スケールについて、各濃度段階の平均値を図4に示す。図において、各プロットは8枚の画像の平均濃度、上下限は8枚の画像の中で濃度の最大、および最小値を示す。そこで、各画像の標準濃度スケールを用いて画像間の濃淡特性の正規化を行う。

まず正規化の基準となる画像を1枚選択する。本研究では、含浸4時間後の最初の画像を基準とする。この画像のデジタル濃度値と光電濃度計によって測定した光学濃度値の関係を図5に示す。図からわかるように、若干直線関係からずれているが、厳密な関数関係を求めることが困難であるので、本研究においては直線関係にあ

るものと仮定した。そして基準画像の標準濃度スケールの最大濃度値(スライド・ガラス1枚の部分)と最小濃度値(スライド・ガラス5枚の部分)に含浸時間25時間以上の7枚の画像の対応する濃度値を正規化する。すなわち、正規化される画像の元の濃度値を g 、正規化後の濃度値を g' として、(1)式による変換を行う。

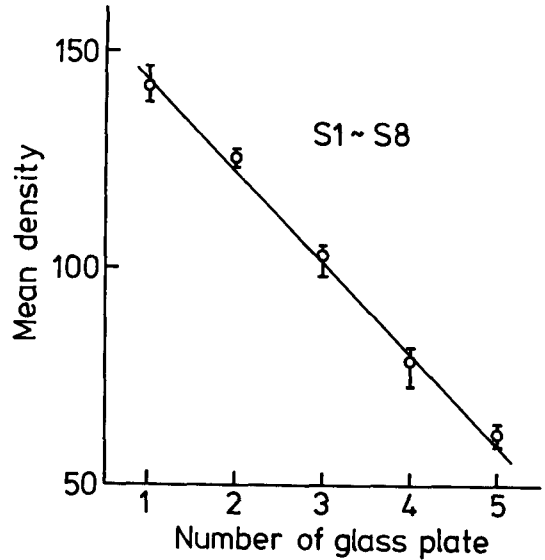


図4 標準濃度スケールの濃度分布

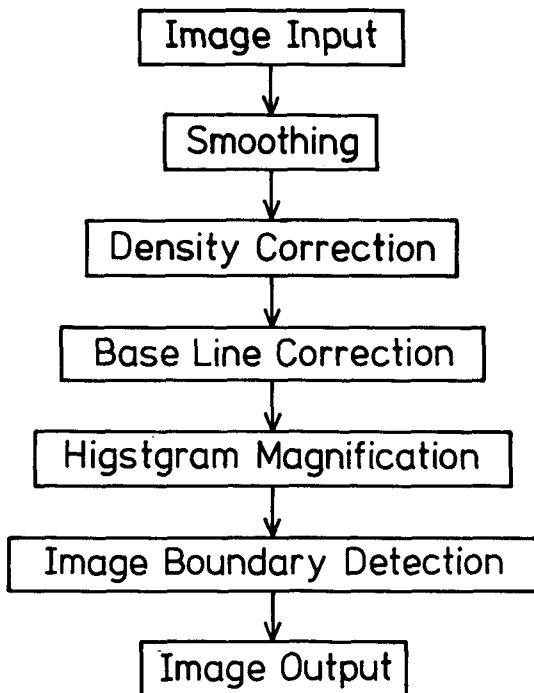


図3 分析処理のブロック図

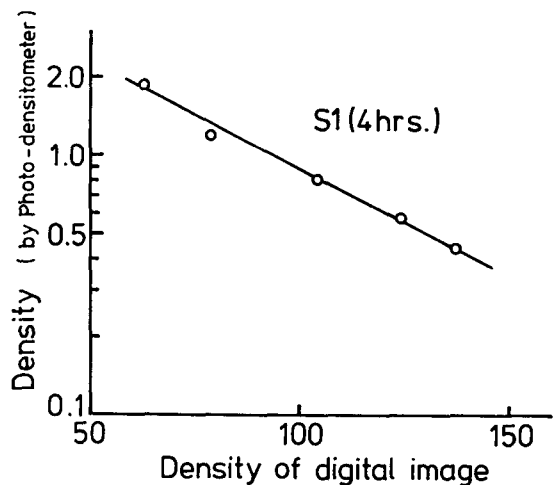


図5 デジタル濃度と光学濃度の関係

$$g' = a \cdot g + b \quad (1)$$

$$a = g_r / (g_1 - g_0)$$

$$b = g_m - g_0 \cdot a$$

ここで、 g_m 、 g_r は基準画像における標準濃度スケールの最小濃度値、および最大濃度値と最小濃度値の差で、 g_1 、 g_0 は正規化される画像の標準濃度スケールの最大、最小値である。

正規化後の8枚の画像の標準濃度スケールの平均値を図6に示す。同図と図4を比較すると、濃淡の正規化効果が見られる。

3.2.2 ビデオ回路の特性による濃淡の偏り補正

X線画像入力装置としては、前述のようにTVカメラを用いている。標準のビデオ信号系は電気的には交流結合回路であるため、コントラストの変動に対してビデオ信号の平均値が常に零となるように動作する。このために信号の絶対値ではなく Peak to Peak の値がコントラストに比例する。一方フレーム・メモリのA/D変換器は入力ビデオ信号の絶対値をデジタル値に変換する。したがって、本研究で対象とするような画面の中央付近に比較的明るい対象画像が存在し、周辺部が黒の背景の画像の場合は、図7に示すようにコンピュータ内のデジタル画像は元の画像の絶対的な濃淡を正確に表していない。

元のX線画像の背景部の輝度はその位置に依らず、ほぼ一定と考えられるので、各水平走査線上の背景部に

ける輝度がある基準値になるように濃淡の補正を行う。具体的には、図7において、最もコントラストの大きい画面垂直方向中央部の水平走査線上(X)の背景輝度を基準とする。そして任意の位置の水平走査線(X')においては、その背景部の輝度がこの値に等しくなるように、全ての輝度値から背景濃度の差 ΔB を差し引く。以上の操作を全画面について行う。

3.2.3 コントラストの強調と画像境界の検出

3.1で述べたように、実際の入力画像のダイナミック・レンジが50から150であったので、視覚的な濃淡差を強調するために濃度ヒストグラムを0から255(8bit)の範囲に均等に拡大する。更にその後、対象画像境界を検出する。この方法は以下のとおりである。

すなわち3.2.2で述べたように、画像の背景部の濃度はほぼ一定であり、対象画像領域の境界で濃度値が急変する。そこで画面を外側から水平、垂直方向に走査する。そして、各走査において注目点*i*の濃度値を d_i 、その直前の点の濃度値を d_{i-1} 、適当なしきい値をTとして

$$|d_i - d_{i-1}| > T \quad (2)$$

を満たす点を対象画像境界として検出する。

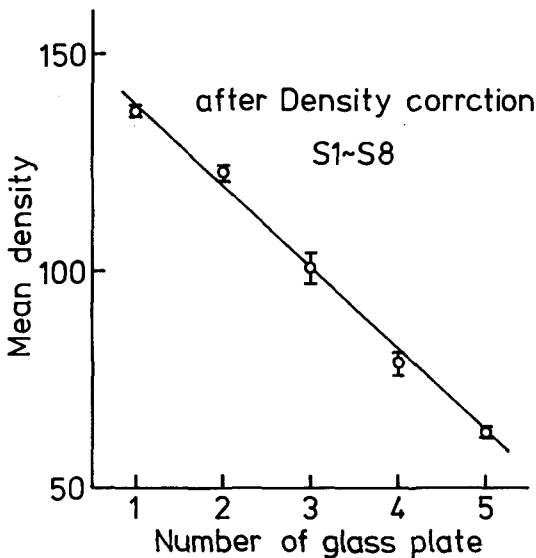


図6 標準濃度スケールの濃度分布(濃度正規化後)

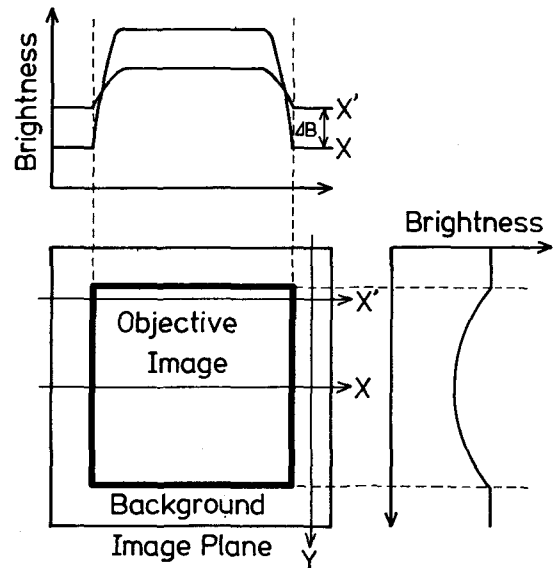


図7 ビデオ回路の特性によるデジタル濃度の偏り

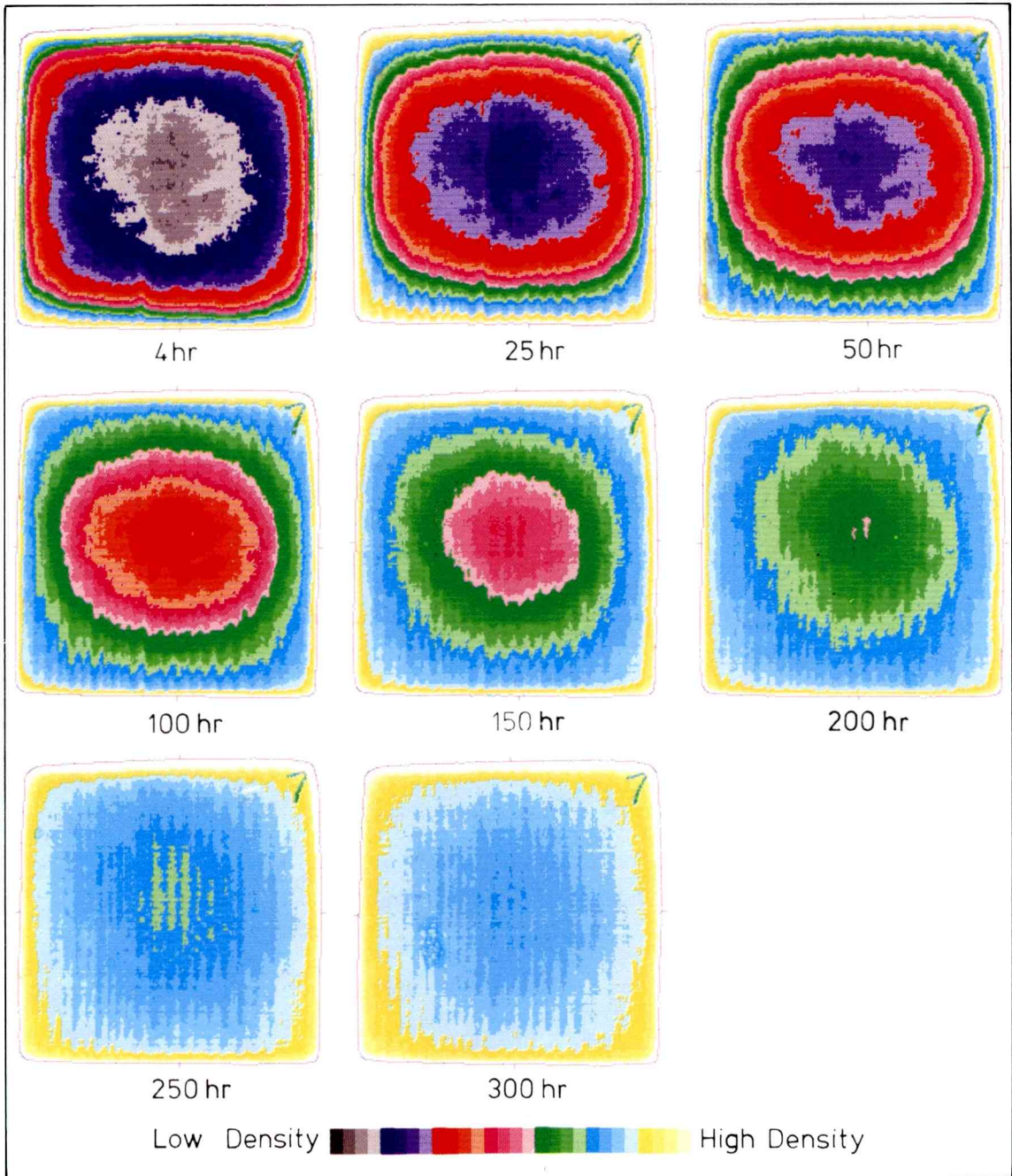


図8 処理結果の表示例 (X方向)

3.3 処理結果の表示と分析用データ

以上の処理を行った後、X線画像の濃淡を更に強調するために、32段階の疑似カラーで処理結果をTVモニタ、またはカラープリンタに出力する。図8に処理結果の表示例を示す。図8は図2のX方向(柾目面)について含浸4時間から300時間の処理画像であり、木材の柾目方向に沿って含浸が進んでいることがよくわかる。本システムにVTRを接続することにより、含浸状態の時間変化を動画像的に見ることもできる。

今回開発したシステムでは、更に定量的な分析を行うために、画像上の任意の位置の濃度値を出力すること、および同じ位置における複数画像間の濃度変化を出力することが可能である。

4. む す び

出土木材中の保存薬品の含浸過程を分析するための画像処理システムを開発し、その有効性を確認するために

実際のX線画像について処理を行った。その結果、含浸状態の変化を視覚的に明瞭に捉えることができた。処理に要する時間は1画像あたり約10分であった。

以上の点から、本システムは出土木材の保存処理の研究において、有効な分析手段として用いることができると考えられる。今後の課題としては、デジタル画像濃度と保存薬品の濃度との定量的な対応関係を明らかにすることがある。

なお本研究は昭和60～61年度文部省科学研究費補助金(試験研究(2))による。

参 考 文 献

- 1) 石垣, 上田: “遺跡出土木材へのトープチルアルコール浸透過程の非破壊的観察”, 奈良高専研究紀要, 22号(1986)印刷中
- 2) P I A S - II User's Manual (K. K. ピアス)

画像処理的手法による遺跡出土木材の年輪パターン抽出*

上田 勝彦 ・ 石垣 昭

Tree-Ring Extraction from X-ray Image of Archaeological Woods by Digital Image Processing

Katshuhiko UEDA and Akira ISHIGAKI

遺跡から発掘された建築物の柱根などの木材の年輪間隔の変動パターンから、その木材の生育年代を推定する、いわゆる年輪年代推定法は、その年代推定精度の高さから考古学の分野では重要な年代推定法の一つとされている。本論文では、X線造影法によって年輪を鮮明化したX線写真を対象として、画像の局所的な濃淡特性に基づいて年輪を高速・高精度に抽出する方法を提案する。

種々の出土木材試料片のX線写真を用いて、本手法による年輪抽出実験を行ったところ、試料片の端の不鮮明な部分を除いて、ほぼ正確に年輪を抽出できることがわかった。

1. ま え が き

遺跡から発掘された建造物の柱根などの木材の年輪間隔の系列データ（年輪間隔パターン）から、その樹木が生育していた年代の推定を行い、その結果に基づいて遺跡の建造年代を推定しようとする、いわゆる年輪年代推定法は、他の年代推定法と比べて推定精度が高いという特徴を持っている。また、日本においては木造文化財が数多く存在するため、この年輪年代推定法について種々の立場から研究が行われてきた⁽¹⁾。更に年代推定作業の効率化と推定結果の客観性を高めることを目的として、コンピュータによる年輪年代推定法の研究も行われている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、コンピュータによる年輪年代推定法においても、試料木材の年輪パターンの測定は一部半自動的な測定装置が開発されているものの、ほとんどの場合人手により行われており、測定時間、労力的負担の点で同推定法の中で最もネックになっている。また試料木材によっては、腐食などのために目視測定が困難な場合がある。

そこで筆者らは以上の問題点を解決するために、試料

木材に適当な造影剤を含浸させ、X線造影によって年輪を鮮明化したX線画像を得て、これからコンピュータを用いて画像処理的手法によって、年輪パターンを高速・高精度で抽出する方法について研究を行っている。

本論文では、X線造影画像からその画像の局所的な濃淡特性に基づいて、試料木材の年輪を安定に抽出する方法を提案する。そして種々の試料木材について本手法による年輪抽出実験を行い、その抽出精度について検討を行う。

2 対象画像の性質と特徴

樹木の成長の過程は、季節に強く依存している。すなわち、春から夏の間の成長速度は大きくて、木材組織の密度は小さくなっている。夏から秋に向かって徐々に成長速度が低下し、秋から冬の間は最も遅く、木材組織の密度は最も大きくなる。この秋から冬の間には生育した木材組織の部分が年輪と呼ばれる。春になると成長速度が急激に増加する。樹木はこの成長過程を毎年繰り返すことにより、それぞれの年の季節・気象条件によって独特の年輪を刻むことになる。

出土木材試料のX線造影画像の一例を図1に示す。なお、具体的なX線造影法については筆者らの別報⁽³⁾に詳しく述べられているので、ここでの説明は省略する。図

* 昭和61年電気関係学会関西支部連合大会（京都）にて一部発表。

1において、画像の濃度の低い部分が年輪（秋から冬の生育部分）であり、濃度の高い部分が春から夏の生育部分である。上に述べた樹木の成長過程に関する特徴は、X線画像の濃淡変化として図2に示すような形で現れる。すなわち、X線画像上の各位置における濃度値は樹木のその位置における成長速度を表していると考えられる。

他方、従来の年輪年代推定における年輪の測定では、測定の容易さから年輪の外側の縁（図1の低濃度部分の外側境界の位置）を年輪の位置としている。これは図2の矢印の位置に相当する。

本論文においても、この位置を年輪の位置として抽出する。また年輪は腐食や傷などによる途切れを除けば、基本的に滑らかな曲線で構成されていると考えて差し支えない。この特徴も本論文における年輪の追跡に利用する。

3. 年輪抽出の原理

2. で考察した出土木材のX線画像の諸特性を利用して、年輪の外側境界線（以後年輪エッジと呼ぶ）を抽出する。

まず図3(a)に示すように、年輪エッジ付近に探索領域（大きさ $N = 2^P$, $P \geq 2$; 整数）を設定する。そして、この探索領域内で村上らが提案している2分法⁽⁴⁾によって年輪エッジを求める。すなわち、探索領域を4等分割し、隣合った分割領域の濃度積分値の差分値を順次計算する。この値が最初にしきい値 T_{p-2} を越えた点を I_{p-2} として、探索領域を I_{p-1} をはさむ二つの分割領域（大きさ $N/2$ ）に縮小する。そしてこの領域を更に4等分割し、上と同様に隣合った領域の濃度積分値の差分値が最初にしきい値 T_{p-3} を越えた点 I_{p-3} を求める。以下同様に I_0 まで求め、これを年輪エッジの位置とす

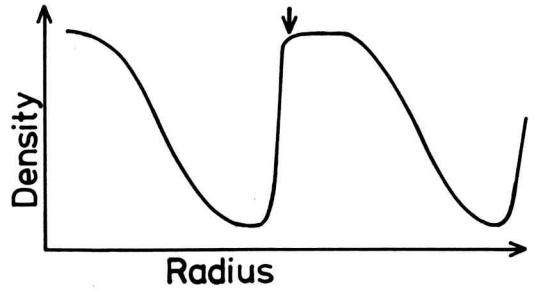


図2 濃淡変化のモデル

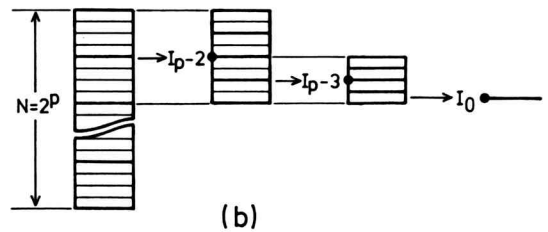
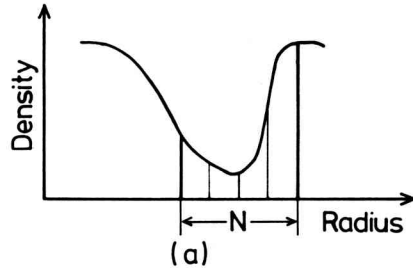


図3 年輪エッジの探索法

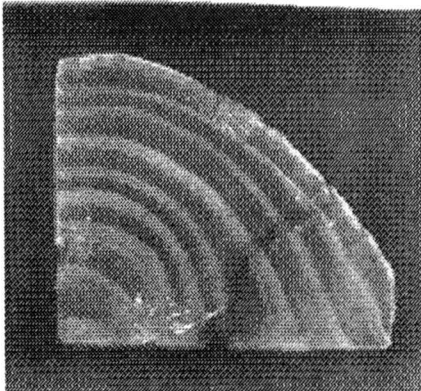


図1 出土木材のX線造影画像の例

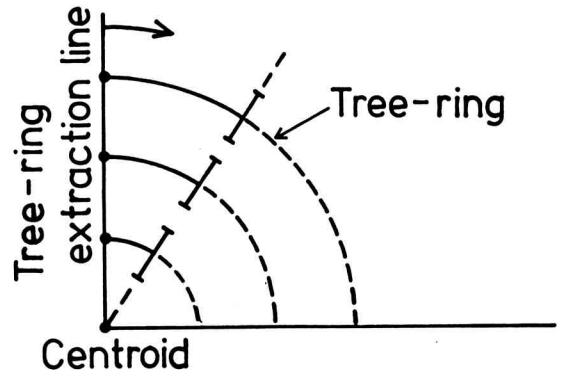


図4 年輪エッジの追跡

る (図 3 (b))。

この方法を実際の年輪画像に適用する場合は、図 4 に示すように、木材の中心から半径方向に年輪抽出線を設定し、この直線上で年輪エッジ付近に先に述べた探索領域を設定し、各年輪毎に年輪エッジを抽出する。そして年輪抽出線を一定角度毎に回転しながら、同様の操作を繰り返し、年輪エッジの追跡を行う。この際、2 番目以降 i 番目の年輪抽出線上の探索領域の設定は、年輪が滑らかな曲線であるという前提条件に基づいて、その直前に抽出された年輪エッジの位置 E_{i-1} の中心からの距離 D_{i-1} に最も近い年輪抽出線上の点を探索領域の中心とする。また、 i 番目に抽出された年輪エッジの位置 E_i と中心からの距離を D_i 、適当なしきい値を T_D として、

$$|D_{i-1} - D_i| \leq T_D \quad (1)$$

を満たさない場合は、抽出された点は年輪エッジではないとして除外する。

4. 年輪抽出実験

4.1 実験方法

年輪抽出処理のブロック図を図 5 に示す。別報⁽³⁾に述べた方法により作製した出土木材試料の X 線写真を TV カメラにより画像サイズ 512×512、濃淡 8 bit でコンピュータに入力した。そして、ウィンドサイズ 3×3 の移動平均処理により画像の平滑化を行い、3. で述べた方法により年輪を抽出する。年輪エッジ探索における探索領域の大きさは $N = 2^4$ 、各探索段階におけるしきい値は実験的な最適値として、 $T_2 = 90$ 、 $T_1 = 40$ 、 $T_0 = 5$ 、年輪抽出線の回転角度幅は 1° 、(1) 式のしきい値は $T_D = 3$ として実験を行った。

4.2 実験結果と検討

実験結果の例を図 6、7 に示す。各図において(a)は原画像、(b)は年輪抽出結果、(c)は(a)と(b)の重畳画像である。図 6 は、松材の出土試料片の X 線画像に本論文で提案した手法を適用した結果である。この試料には年輪中心が含まれていなかったため、同図(a)の試料片の左下隅を仮の木材中心として、 70° の範囲にわたって年輪エッジを抽出した。図 6 の結果から明らかなように、画像の雑音部分を除いて全体として、比較的忠実に年輪エッジが抽出されている。

しかし、この画像では本手法による年輪抽出精度の定量的評価のため、X 線フィルムを直接、顕微鏡で測定する際、コンピュータ上の画像との位置の対応付けが測定

装置の関係上困難であった。そこで、本手法の年輪抽出精度の検討のために、位置の対応付けが比較的容易な試料として、図 7 (a)に示すように、檜材の出土試料片の X 線画像の一部を拡大し、年輪がほぼ平行となるような画像としてコンピュータに入力した。この画像の X 線フィルム上での視野は 1 辺 20mm (サンプル間隔 0.39mm/pixel) である。この画像上に試料片の端や傷など指標になる部分を通して、10 画素毎に目盛を付けた水平線を引く。そして、図の左端の垂線で示されるように年輪抽出線 (左端から 10 画素目) を設定して年輪エッジ探索を行い、以後年輪抽出線を水平方向に 1 画素毎ずらしながら、年輪エッジ追跡を行う。以上のようにして年輪エッジを抽出した結果が図 7 (b), (c) である。この結果から年輪エッジの位置を、図 7 (a)の基準水平線からの垂直距離として求める。そして、元の X 線フィルムの顕微鏡による実測値と比較する。なお、顕微鏡による実測は図 7 (a)の 5 目盛毎に行った。

その結果、本手法における計算値と実測値との偏差が

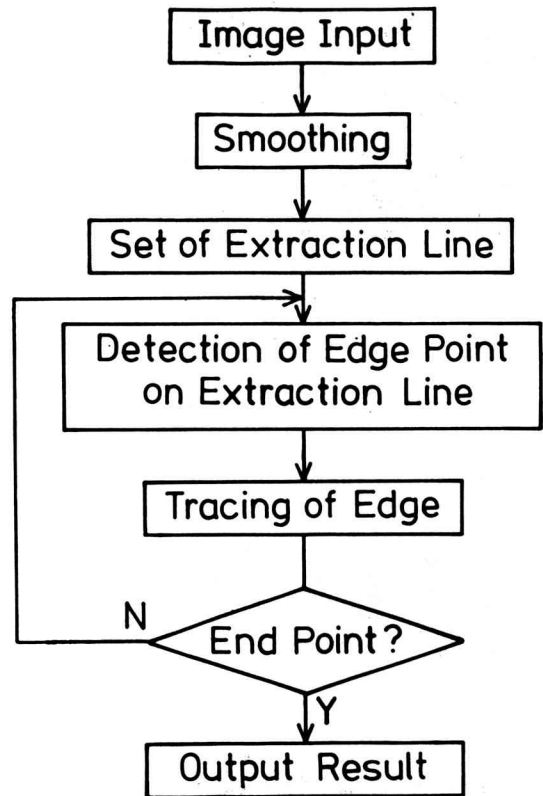


図 5 年輪抽出処理のブロック図

最も大きかった測定点（4目盛り目）における結果を表1に示す。同表において、—印は本手法によって年輪エッジが抽出されなかったことを示す。同表から明らかのように、本手法による結果の実測値からの偏差は、最大0.33mm、平均0.17mmであった。他の測定点においては、停差の最大値、平均値とも、この値以下であった。この偏差の主な要因は、各計算値の偏差の殆どがプラスであることから画像入力の際の視野が設定値（20mm）よりも若干小さくなっていったためと考えられる。また、年代推定に用いられる年輪間隔パターンとしては各年輪について抽出された年輪エッジの平均値の間隔であるので、本手法のように自動的に多数の年輪エッジが抽出できる方法は、上に述べた画像入力精度を向上させることにより、実用的にも十分な精度で測定が可能であると考えられる。

5. む す び

X線造影技術と画像処理技術とを組み合わせ、遺跡から発掘された木材の年輪パターンを抽出する方法のうち、得られたX線画像から年輪を抽出する方法について実験的に検討を行った。その結果、本論文で提案した方法はその測定精度の点でも十分実用の可能性があることが確認された。

今後の課題としては、画像入力精度を高めること、画像のサンプル間隔と測定精度の関係を明らかにすること、更に大きなX線画像の入力方法を検討すること、及び本手法による年輪間隔パターンを用いた年代推定実験を行い、従来の測方方法による結果と比較検討すること、な

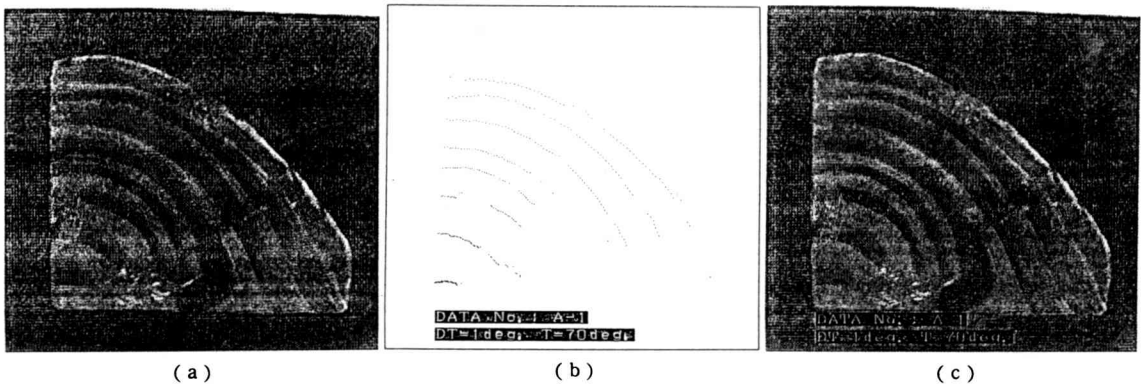


図6 年輪抽出結果（松材）

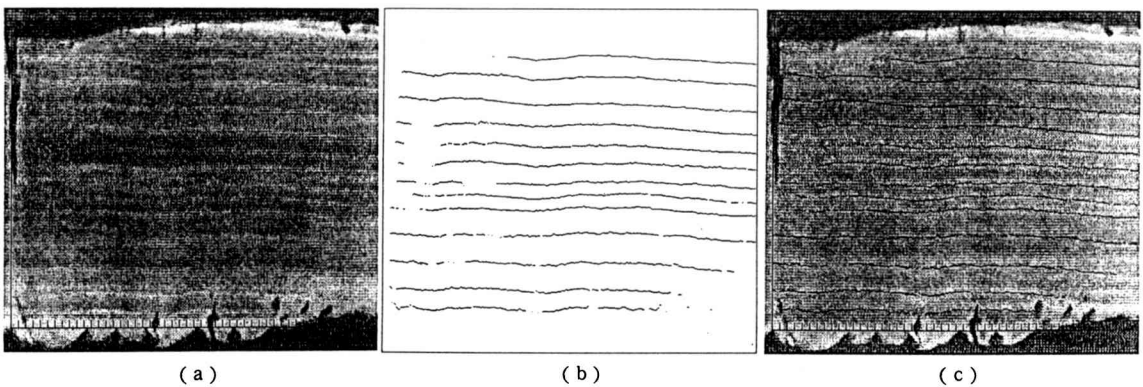


図7 年輪抽出結果（檜材）

表1. 本手法による計算値と実測値の比較
(4目盛り目)

本手法による 計算値	実測値	偏差値
1.09	0.97	0.12
2.15	1.98	0.17
3.48	3.34	0.14
—	4.89	—
6.37	6.24	0.13
7.07	6.95	0.12
7.77	7.64	0.13
8.87	8.69	0.18
9.92	9.76	0.16
10.94	10.74	0.20
12.15	11.92	0.23
13.59	13.26	0.33
—	14.35	—

単位：mm

どが残されている。

なお、本研究は昭和60～61年度文部省科学研究費補助金(試験研究(2))による。

参 考 文 献

- 1) 野田, 東村, 東村: “年輪年代法”, 考古学の自然科学, 16号, pp.17-41 (1983).
- 2) M.G.L.Baillie and J.R.Pilcher: “a Simple Crossdating Program for Tree-ring Research”, Tree-ring Bulletin, Vol.33, pp.7-13 (1973).
- 3) 石垣, 上田: “遺跡出土木材の年輪年代推定のためのX線造影法の開発”, 奈良高専研究紀要, 22号 (1986) 印刷中.
- 4) 村上, 興水, 長谷川: “溶接構造線の識別の高速化アルゴリズム”, 昭61信学全大, 1599 (1984).

遺跡出土木材への t-ブチアルコール 浸透過程の非破壊的観測*

石垣 昭 ・ 上田 勝彦

Nondestructive Observation of t-Butyl Alcohol Distribution in Waterlogged Wood during Immersion in t-Butyl Alcohol

Akira ISHIGAKI • Katsuhiko UEDA

Mass transfer phenomena in the waterlogged archaeological woods have been studied by X-ray absorption photography.

In this study permeation of t-butyl alcohol in the waterlogged wood during immersion in t-butyl alcohol has been observed in detail.

On the initial stage t-butyl alcohol rapidly replaces with water through decayed part of the waterlogged wood. Then the replaced t-butyl alcohol permeates slowly in the neighborhood by diffusion, even when no more change has been detected on the total weight of immersing wooden object.

1. 結 言

出土木材の保存処理に汎用される方法として PEG 含浸法と凍結乾燥法がある⁽¹⁾。凍結乾燥法は比較的短時間に処理出来る利点があり、特に出土木材に含まれる水分を PEG を含む t-butyl alcohol と置換し凍結乾燥する方法は、我が国では木簡の保存処理等に应用され大きな成果をおさめている⁽¹⁾。しかしながら PEG や t-butyl alcohol が水分と置換してゆく過程で出土木材内部の状態によってどのような影響を受けるか等については未解明の問題が多い。

この研究は出土木材に PEG や t-butyl alcohol を含浸させて行く過程での出土木材内における含浸薬品の濃度分布の変化を視覚的に捉える方法の開発を目的とした。

この報告では水分と t-butyl alcohol で軟 X 線の透過力に差があることに着目し、特別な造影剤を使用せず、軟 X 線のみを用いて非破壊的に含浸中の出土木材内の

t-butyl alcohol 分布の変化を求める方法を開発、応用し出土木材内における含浸薬品の浸透過程について興味ある知見を得たので報告する。

2. 実 験 方 法

2. 1 試料の調製, 含浸条件, 重量変化の測定

試料は奈良国立文化財研究所より提供された広葉樹材(弥生時代遺跡の堰の構築材, 直径約 7 cm) から木心に近い部分を木口面に持つ一辺 3 cm の立方体を図 1 のように切り出し使用した。この試料の常法による含水率の分布は試料に接する各部の含水率より推定した。

含浸は 30°C の恒温槽中, 試料の軸方向が垂直となるように t-butyl alcohol 中に浸漬し, 含浸中の重量変化を測定するため天秤の下部からフックで吊下げ, 所定時間ごとに t-butyl alcohol 中に浸漬した状態での重量を測定する方法⁽³⁾によった。

2. 2 X線撮影条件

含浸中の試料は所定時間ごとに取り出して, 図 2 に示すように, 木口面とこれに直交する二面の 3 方向から厚

* 日本文化財科学会第 3 回大会 (東京) にて一部発表

み3 cmでX線撮影した。X線装置はソフテックスC-60型(ソフテックス社製)を使用した。超軟X線を使用するため、撮影中に蒸発する t-butyl alcohol を出来るだけ少なくする必要から、高感度フィルムを使用し20 KV, 4 mA, 60sec, 距離56cmの照射条件を標準とした。

2.3 X線画像濃度の測定

X線照射後、一定条件下で現像定着処理したフィルム上の画像の濃度を定量的に求めるため、光電濃度法により各部分の光学密度(OD)を測定し、前報⁵⁾に記載した方法により画像濃度の等しい部分をコンピュータを用いて抽出し等濃度線として表示し比較検討した。

3. 結果と考察

3.1 t-Butyl alcohol 含浸過程における重量変化

出土木材の含浸状態をその重量の変化により追跡することは保存処理の終了時点を判定するための重要な手段である²⁾。そこで、今回の実験では t-butyl alcohol の含浸過程における浸透状態の巨視的な情報を得る目的で重量変化も同時に測定し、X線による t-butyl alcohol の局所的な濃度変化との関係を検討した。この結果を図3に示す。重量の変化は150時間後には殆どなくなり含浸がほぼ完了したことを示している。これは同じ大きさの一边3 cmの立方体出土材試料で20% PEG水溶液の含浸についての実験結果³⁾(400-500時間)よりもはるかに短時間であり、含浸物質の分子量や粘度が含浸時間に関係することを示す。

3.2 各種の有機化合物のX線透過性の比較

各種の物質のX線吸収は Beer の法則に従い、その吸収強度はその物質の密度と厚みに比例する。その比例定数を質量吸収係数と称し、化合物や混合物では構成元素の質量吸収係数と重量比によりきまる。

一般に連続X線の質量吸収係数は構成元素の原子番号の3乗から4乗に比例して増大し、波長の3乗に比例して増大するとされる。

t-Butyl alcohol を含浸した出土木材のような水分を含む有機物を対象とする場合、構成元素の原子番号(Z)が8以下であるので、波長の長い超軟X線を使用すれば、水のように酸素(Z=8)の含有率が89%を占める物質と、t-butyl alcohol のように比重が小さく、しかも酸素の含有率が22%と低く、逆に、炭素(Z=6)の含有率が65%と比較的高い物質の間ではX線の吸収強度にかんがりの差を生じると考えられる。そこで3 cmの厚みの液

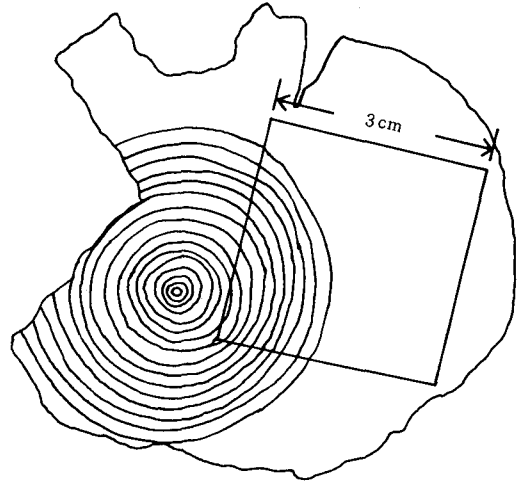


図1 出土木材よりの含浸用試料の採取

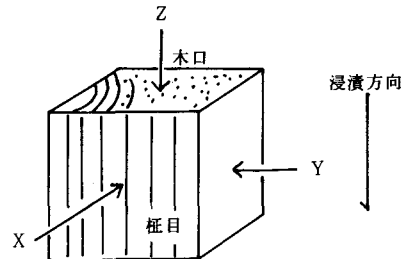


図2 含浸試料のX線撮影方向

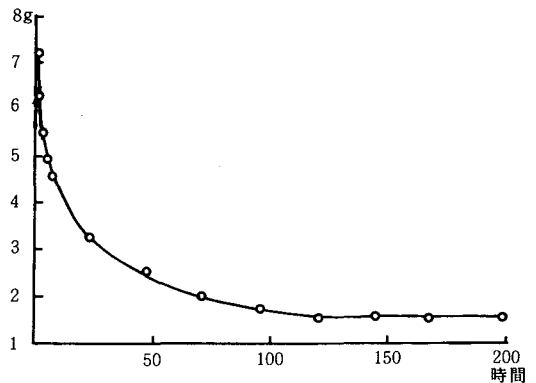


図3 t-Butyl alcohol含浸中の重量変化曲線

層を通して水および各種の有機化合物の X 線写真を撮影し、画像の黒化度を光学密度 (OD) として測定し比較検討した。

X 線の照射条件は超軟 X 線が主となる 20KV, 2mA, 120秒とし、高感度フィルムを使用した。

この研究で使用した有機化合物の元素組成、密度とそれぞれ 3 cm の厚みの液層を通しての X 線写真の光学密度をまとめて表 1 に示す。なお光学密度 (OD) の数値は t-butyl alcohol 100% での OD 値を 1 とし未感光部の OD 値を 0 とする相対値で比較した。

この結果予想通り炭化水素が密度も小さく、酸素含有率が低いため水より遙かに超軟 X 線を透過しやすい。また alcohol 類はこれに次ぎ、PEG は元素組成が ethanol にちかいが密度が高いため、むしろ水に近い値を示す。

表 1 測定物質の元素組成、密度と光学密度 (OD)

化合物	C%	H%	O%	密度	OD
n-Hexane	83.62	16.38	0.00	0.660	1.96
o-Xylene	90.50	9.50	0.00	0.880	1.27
t-BuOH	64.81	13.60	21.59	0.786	1.00
EtOH	52.14	13.13	34.73	0.789	0.81
PEG400	54.53	9.15	36.32	1.140	0.33
Water	0.00	11.11	88.89	1.000	0.15

3.3 t-Butyl alcohol 濃度と X 線画像濃度の相関

前項に述べたように水と t-butyl alcohol では X 線の吸収係数が異なり t-butyl alcohol の濃度が高くなるほど X 線の透過率が高まる。そこで、出土木材試料片の厚

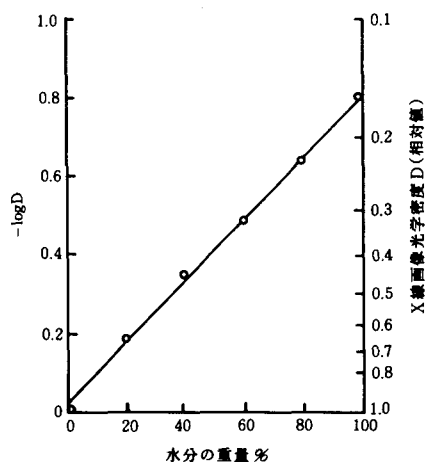


図 4 t-Butyl alcohol の水分と X 線写真光学密度 (相対値) 液層 3 cm, X 線照射条件, 20KV, 2 mA, 2 分

みに等しい 3 cm の液層を通して各種の t-butyl alcohol 濃度で撮影した X 線写真 (前出) の X 線画像の相対的 optical 密度の対数値と t-butyl alcohol 濃度の相関を調べた。この結果極めて良好な直線相関が得られた (図 4)。

3.4 t-Butyl alcohol 含浸過程の解析

出土木材は水分を多量に含んでおり特に広葉樹では含水率 1000% 以上という例も少なくない。出土木材内部の水分が t-butyl alcohol と置換してゆく過程を、図 4 の検量線を用いて X 線画像の optical 密度から含浸の途中における t-butyl alcohol 濃度の分布の変化として求めることは原理的に可能である。ただ、出土木材には残存する繊維素や縮合リグニンがあり、画像濃度におよぼすこれらの物質の影響を考慮する必要がある。しかし、これらの物質は水より密度が大きく、t-butyl alcohol より酸素の含有率が高いため X 線の吸収係数が大きく、その吸収係数は前出の PEG の例からも水に近いと考えられることができる。このことは同一試料の含水率が高い部分と低い部分で、殆ど X 線写真の画像濃度に差がないことから裏付けられる。したがって、t-butyl alcohol の浸透による X 線画像濃度の変化を追跡することにより、非破壊的に t-butyl alcohol の浸透状態を観測することは充分可能である。以上の考えをもとに観測した出土木材中への t-butyl alcohol の浸透過程を検討した。

重量測定法での飽和点までの総重量変化の 90% 程度含浸が進行した含浸 75 時間後の出土木材の試料片について図 2 に示す 3 方向から X 線撮影した X 線写真画像を前報に記載した方法で解析した結果を図 5 から図 7 に示す。この結果、木心に近い部分での t-butyl alcohol の浸透が遅れてくる状況が明瞭に観察できた。これは腐朽の程度が少ない木心に近い部分はホロセルロースが比較的残っており、これが含浸薬品の浸透に抵抗を示すためと思われる。腐朽の程度が大きい部分では上部の方が下部より僅かに速く浸透し、水と t-butyl alcohol の密度の差による下方への細管流動現象の影響が示唆される。

3.5 含浸初期の局所的浸透過程と出土木材の含水率

同一方向から撮影した X 線写真について、異なった含浸時間ごとに同一画像濃度の等濃度線を抽出し、これを重ね合わせることで、出土木材内部の水分が t-butyl alcohol と置換して行く過程を捉えることができる。

この方法による木口方向における浸透状態の経時変化を図 8 に示す。この結果、木口面に垂直な軸方向の含水率分布 (図 9) と含浸初期の局所的浸透速度の間に相関があることがわかる。これは含浸の際、まず含水率の高い部分から急速に薬液が浸透してゆく状況が観察できた。

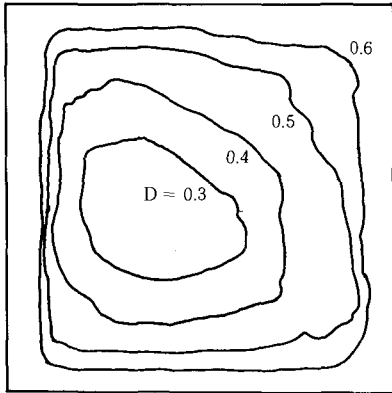


図5 X方向のX線画像等濃度線図 含浸75時間後

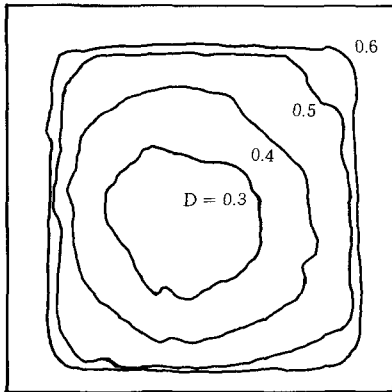


図6 Y方向のX線画像等濃度線図 含浸75時間後

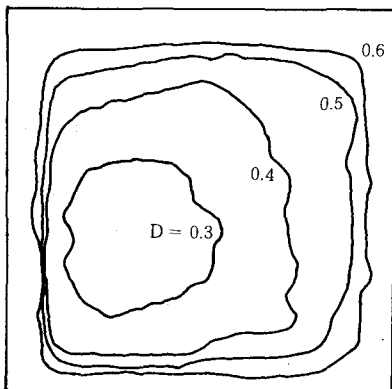


図7 Z方向(木口面)のX線画像等濃度線図
含浸75時間後

3.6 見掛けの飽和点以後の含浸薬品の浸透

薬品類の浸透は個々の出土材の持つ特性や履歴による要因が絡み、単純には論じられないが、今回の試料では、*t*-butyl alcohol に含浸した場合、150時間以後、重量測定結果では殆ど含浸が完了し飽和点に達したように見える。しかしX線画像では150時間経過後(図10から図12参照)と200時間経過後(図13から図15参照)で画像のパターンが著しく異なることが観察された。このことは重量の変化としては捉えられない含浸薬品の内部拡散が時間をかけて、さらにゆっくりと進行してゆくことを示

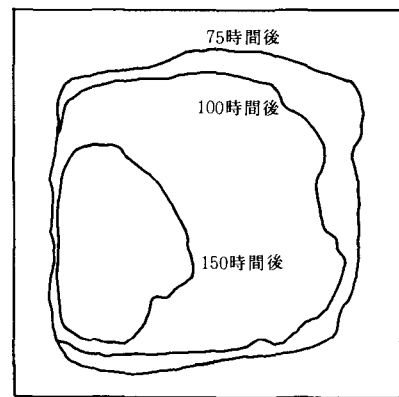


図8 木口面の同一画像濃度(D = 0.5)の等濃度線の
経時変化

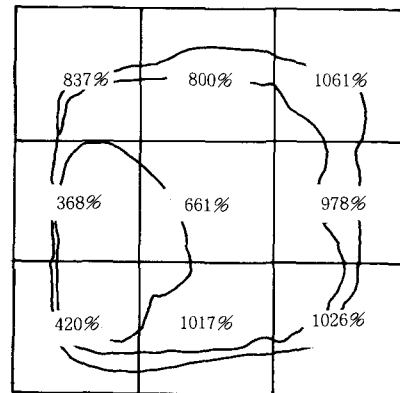


図9 木口面の含水率分布(軸方向9ブロック別の測定値)

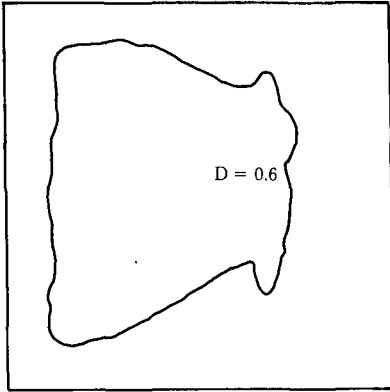


図10 X方向のX線画像等濃度線図 含浸150時間後

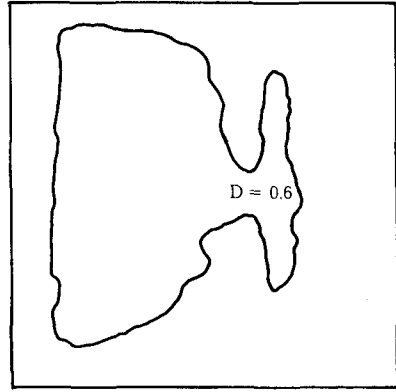


図13 X方向のX線画像等濃度線図 含浸200時間後

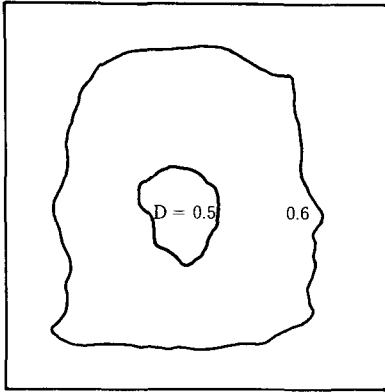


図11 Y方向のX線画像等濃度線図 含浸150時間後

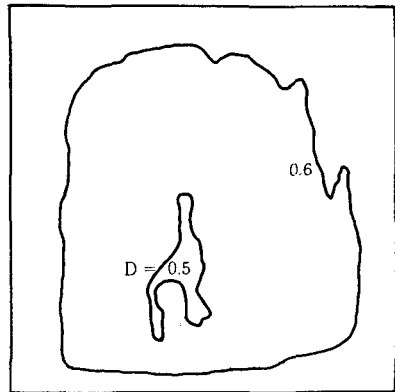


図14 Y方向のX線画像等濃度線図 含浸200時間後

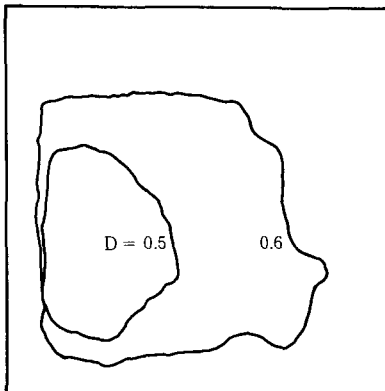


図12 Z方向(木口面)のX線画像等濃度線図
含浸150時間後

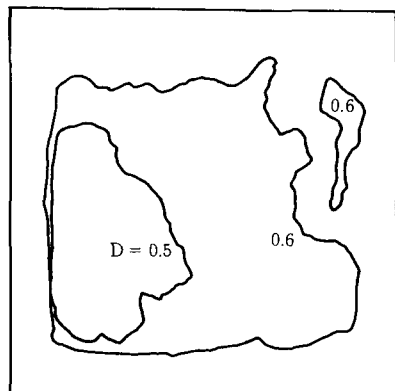


図15 Z方向(木口面)のX線画像等濃度線図
含浸200時間後

している。これはPEG含浸法を含め、重量測定法で含浸完了の目安となる飽和点を判定できても、さらに経験を加味して時間をかける必要があるとする保存処理担当者の判断⁽²⁾に科学的根拠を与える新発見である。

4. ま と め

水浸出土木材の t-butyl alcohol 含浸に際しては、まず、一次的に含水率の高い部分を中心に急速に薬液が浸透し、つぎに、浸透に抵抗する部分に二次的にゆっくりと薬液が浸透してゆく過程を経て含浸が進行してゆくこと、特に、見掛けの重量変化がなくなる飽和点以降も内部の薬液の濃度差による局所的な拡散が引き続きおこることを明らかにした。これは t-butyl alcohol の含浸に限らず、PEGをはじめ各種の薬品の含浸処理でも、このような過程で含浸が進行すると考えることができる。

謝 辞

この研究を遂行するにあたり、貴重な出土木材試料を提出して頂いた奈良国立文化財研究所の沢田正昭、肥塚隆保両氏に厚くお礼申し上げます。

この研究は昭和57年度より3か年にわたって本校が取り組んだ特定研究課題「文化財の科学的測定並びに保存についての新材料の開発に関する研究」において著者らが分担した研究成果^{(3)~(5)}を発展させたもので、昭和60年度より2年間にわたり文部省科学研究費補助金試験研究(2)の助成を受けた。ここに付記して感謝する。

また、この研究に卒業研究を通じて協力して頂いた中村剛、植田昌克、井上あずさの諸君に感謝する。

文 献

- 1) Proceedings of the 2nd ICOM Waterlogged Wood Working Group Conference (1984), Gre noble, France
- 2) 増沢文武：日本文化財科学会会報，第2号（1983），24
- 3) 石垣 昭：奈良高専研究紀要，第19号（1983），39
- 4) 石垣 昭：奈良高専研究紀要，第20号（1984），75
- 5) 石垣 昭：奈良高専研究紀要，第21号（1985），55

遺跡出土木材の年輪年代測定のための X 線造影法の開発

(チオグリコール酸銀—t-Butyl Alcohol 二重造影法)

石垣 昭 ・ 上田 勝彦

Development of X-Ray Contrastradiography Applying to Dendrochronological Measurement for Waterlogged Woods
(Double Contrast Enhancement Using Silver Thioglycolate—t-Butyl Alcohol)

Akira ISHIGAKI and Katsuhiko UEDA

For waterlogged wood specimens greates difficulty may be experienced in the dendrochronological mesurement from tree ring pattern by X-ray photography, because tree ring pattern from the waterlogged wood is very difficult to detect in detail by usual X-ray photography.

In this study we have investigate effective method of contrast enhancement in X-ray photography to detect tree ring pattern of waterlogged archaeological wood.

Thioglycolic acid is known to react easily with wood lignin. After the treatment with thioglycolic acid the modified wood lignin has been easily combined with silver ion as a good X-ray absorbent.

We have succeed the X-ray photographic detection of the tree ring pattern of waterlogged woods by those treatment using thioglycolic acid and silver nitrate, and have also succeed double contrast enhancement by decreasing water content with t-butyl alcohol.

1. 緒 言

考古学的資料の絶対年代を科学的に推定することは極めて重要な課題であり、これによってその資料と同時に出土した遺跡・遺物の歴史的、考古学的解釈に大きなよりどころを与える。

このため絶対年代の推定には各種の科学的測定法が応用されている⁽¹⁾。このなかにはよく知られている放射性炭素法 (Carbon Dating) のほかフィッシュントラック法、熱ルミネッセンス法、黒耀石水和法、アミノ酸ラセミ化法等があるが、我が国では最近になって、木材の年輪による年輪年代推定法が脚光を浴びようになってきた。

年輪年代推定法は1900年代前半に Arizona 大学の Douglas によって確立された方法である。この方法は決定できる絶対年代の正確度が高い点に大きな特徴があ

る。しかしながらこの方法はもともと乾期と雨期の気候変化が比較的はっきりしている地域の遺跡より発掘された木材を対象として考え出された方法であり、この方法を我が国のような温暖多湿で雨量の局地的変動の大きい地域の木材に適用することは永らく疑問視されて来た。しかしながら、奈良国立文化財研究所の研究⁽²⁾によって、地域と樹種を限定すれば予想以上に有力な年代推定法となることが最近になって確かめられ大きな注目を集めている。現在、奈良国立文化財研究所では檜ならびに高野槇について現代から約二千年前の弥生時代に至る標準となる基礎データが蓄積されてきている。適用可能な樹種がさらに拡大され、針葉樹のみならず広葉樹材にも適用出来れば、我が国でも年輪年代法による広範囲な木質遺物による絶対年代の決定が可能になるものと期待される。

一般に現生材や乾燥した古建築用材等を年輪年代推定の測定対象とする場合、年輪面を平滑に研磨する必要がある⁽³⁾。しかしながら、発掘された建築物の柱根等の出

土木材は埋没中に劣化が進行し、極めて脆弱で、平滑な木口面を得ることが難しく、また、測定する年輪面が空気に触れると黒褐色に変色し、その年輪が肉眼的に判定困難になる等の問題がある。

X線を用いて年輪を検出する方法は現生材や乾燥材では試みられ¹³⁾ 有力な方法とされるが、出土木材を対象とする場合、多量に含まれる水分と年輪を構成する木材成分のX線透過率の差が少なく年輪パターンの検出が難しい。この研究では出土木材の年輪を造影処理し、X線で年輪を検出する方法の開発を試みた。この報告では特に、針葉樹出土材の年輪検出に適した、チオグリコール酸と硝酸銀を用いて造影し、さらに、水分を α -ブチルアルコールと置換する二重造影法について述べる。

2. 実験方法

2.1 造影法開発の基本方針

一般に温帯の樹種では春から夏にかけての早材部では成長が速く、細胞が大きく壁が薄い。これに対し夏から秋にかけての晩材部では成長が遅く、細胞が比較的小さく壁が厚い。年輪年代法ではこの晩材部から早材部に移行する年輪の境界の計測が重要な問題となる。X線造影法の開発にあたっては、この境界をX線写真でとらえることを目的とした。

出土木材のリグニンについての南らの研究¹⁴⁾によれば、そのリグニンは現生材のリグニンよりも酸素含有率が少なく縮合が進んでいるが、その基本構造にはほとんど差がない。また劣化による分解の程度が少なく量的にもホロセスロースよりも含有率が高い。

したがって、出土木材細胞の中間膜と一次膜に残っているリグニンを造影する方式によって晩材部から早材部に移行する年輪の境界をX線写真でとらえることは原理的に可能である。

ただ、厚みのある試料で年輪のX線撮影をする場合、照射中心付近は正確な画像がえられるが、周辺部では試料の厚みに基づく影(図1)を生じるため、厚みが大きい試料では実効焦点をいくら小さくしても正確な年輪像が得難い。また、年輪は試料内部で必ずしも規則正しい円筒状になっていない場合もある。このため、できるだけ薄片状にして撮影することが望ましい。しかし、出土木材は地下埋没中に腐食され、脆弱な状態となっている。このような試料では木口面を薄片状に調製することは極めて難しい。

しかし、厚みのある試料でも片方の木口面の表層部のみを造影剤で処理し撮影すれば、表層年輪の陰影が得られ、薄片状に調製した試料での年輪に近いX線画像が得

られると期待できる(図1)。

この研究ではこのような考え方にに基づき厚み2cm程度の試料でも正確な年輪像をX線写真として捉えることを目標として開発した。

2.2 試料の調製とX線撮影条件

出土木材試料として奈良国立文化財研究所より提供を受けた針葉樹材を使用した。X線装置はソフテックスC-60を使用し、距離56cmで撮影した。X線撮影は各種の条件で行なったが、印加電圧を20kvから60kvまで段階的に高めて行くと、X線の透過性は向上するが、画像の鮮明度が低下する。これは二次X線の影響と思われる。そこで、電圧20と30kvを標準とした。電流値と照射時間は試料の厚みにより適宜選択した。

X線フィルムは低感度の微粒子フィルム(ソフテックスFG)を使用した。これは写真画像から年輪幅を測定するため解像度を高くする必要があるためである。

2.3 造影方法

リグニン部分の造影法を開発する過程で Hanus 試薬または Wijs 試薬による直接よう素化法等でも好結果を得たが、試薬の取り扱い方が簡単で、安全性が比較的高いチオグリコール酸を使用し、リグニンに結合させた後、銀塩とする方法を採用した。チオグリコール酸はリグニンと比較的容易に結合するが、ホロセルロースとは結合しない¹⁵⁾ので、晩材部から早材部に移行する年輪の境界をリグニンの密度の変化として捉えるのには適している。以下、これをチオグリコール酸法と称する。その具体的処理例を以下に示す。

水浸出土木材の年輪面を挟んで厚みが1cmまたは2cmとなるように切断し、1N塩酸に測定すべき年輪面を浸す。30℃で一日静置した後、10%チオグリコール酸ベンゼン溶液に測定面を浸し、さらに一日静置する。その後、水で洗浄し、塩酸と未反応のチオグリコール酸を除く。次に、1%硝酸銀溶液中に測定面を約10分間(より鮮明な画像が必要な場合、さらに延ばしてもよい)浸し、表面を洗浄してから希アンモニア水に浸し、その後、充分水洗し未反応の硝酸銀を除く。濡れたまま測定面をフィルム面に密着してX線撮影をする。

2.4 二重造影法

チオグリコール酸銀で造影処理した試料の水分を α -ブチルアルコールに置き換えて撮影する二重造影法も試みた。これは、水分による2次散乱X線で年輪像が少し不鮮明なるのを改善し、より鮮明な年輪像を得るためである。なお、好結果を得るためには α -ブチルアルコー

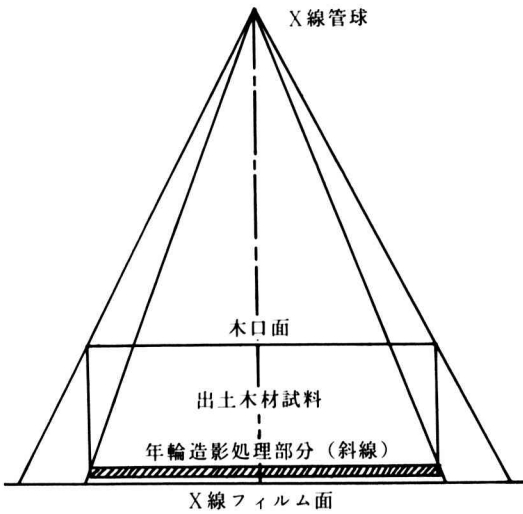


図1 造影処理後の出土木材試料のX線撮影

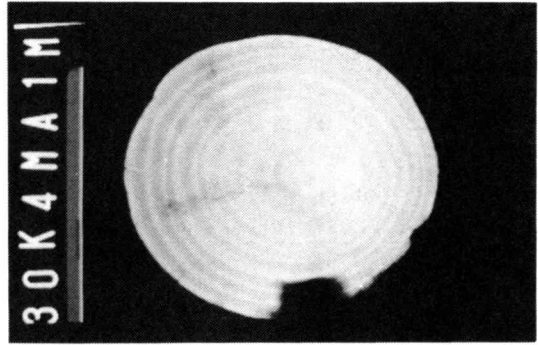


図4 チオグリコール酸一銀処理後の年輪のX線写真 (30kv, 4mA, 1分, 試料は図2に同じ)

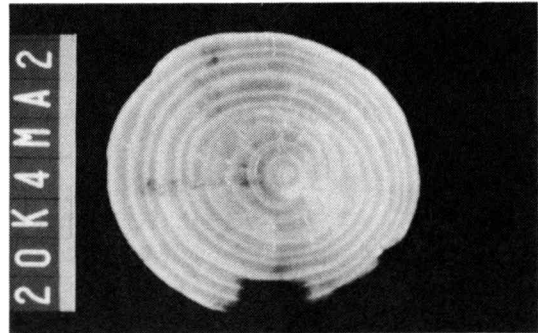


図5 二重造影処理後の年輪のX線写真 (20kv, 4mA, 2分, 試料は図2に同じ)

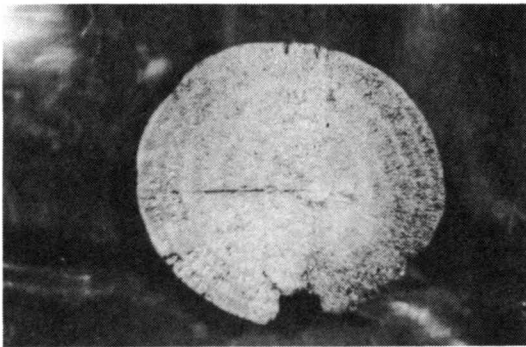


図2 赤松(推定)出土材の木口面(処理前)

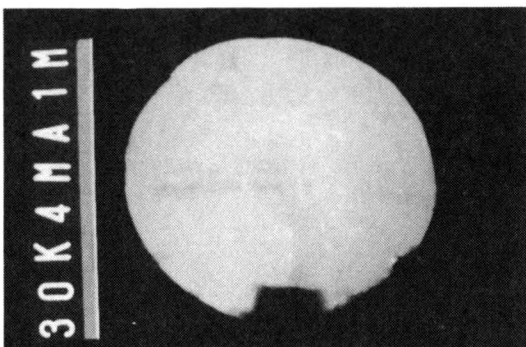


図3 チオグリコール酸処理後の年輪のX線写真 (30kv, 4mA, 1分, 試料は図2に同じ)

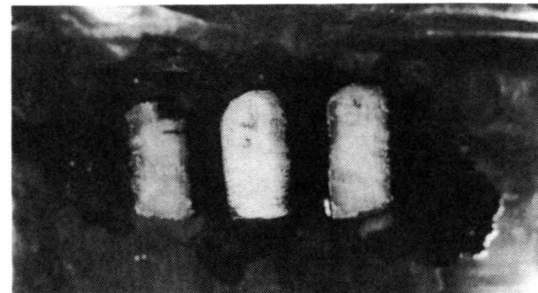


図6 檜出土材の木口面(処理前)
試料の厚み, 中央2cm, 右1cm, 左0.5cm

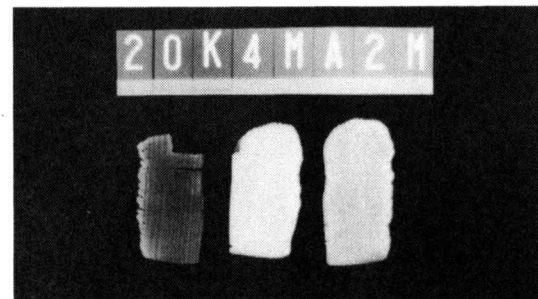


図7 二重造影処理後の年輪のX線写真 (20kv, 4mA, 2分, 試料は図6に同じ)

中に一週間程度浸漬することが望ましいが、厚みの薄い試料では浸漬時間を短縮できる。

3. 結果と考察

チオグリコール酸法は加熱を必要とせず、また、直接よう素化法のように腐食性の薬品を必要としない。しかも木質の表面に近い部分のみを選択的に造影することができる点に特徴がある。

そこで木口面を挟んで厚みが最大2 cmとなるように各種の試料を調製し、片面のみチオグリコール酸法で造影処理した試料と、さらに水分をトープチルアルコールで置換し二重造影処理した試料について、木口面に垂直にX線を照射し年輪を撮影した。直径約8 cmの赤松(推定)の出土材(図2)を用いて厚み1 cmに切り出し、チオグリコール酸で処理してから、硝酸銀で造影する前後の結果を図3と図4に示す。さらに、水分をトープチルアルコールで置換した二重造影処理後の結果を図5に示す。二重造影処理によって、もとの出土材(図2)では不鮮明であった年輪像が、極めて鮮明なX線像として得られることがわかる。

年輪成長方向の幅が約1.5 cmの檜の出土材を厚みが0.5 cm(図6左)、1 cm(図6右)、2 cm(図6中央)となるように切り出し、上記の二重造影処理後の結果を図7に示す。また、厚みが2 cmの檜の出土材を用いて硝酸銀で造影後、板目方向より撮影した結果から、造影部分は表面より約2 mmの厚みの層をなしており、この程度の造影処理で実用上充分であることがわかった。

X線写真について読み取り顕微鏡を用いて計測した場合、二重造影法を採用した鮮明な画像では檜の場合、厚みが2 cmでも年輪幅を0.01 mmまで顕微鏡TVカメラを使用して読み取ることが可能である。

4. ま と め

この研究により、軟X線を使用し、極めて脆弱で薄い試料片とするのが難しい出土材の年輪年代推定に必要な

年輪パターンを抽出できる見通しを得た。

なお、コンピュータ画像処理による年輪計測法の開発も同時に行なったがこれについては報告⁶⁾を参照された。このほか各種の造影方式、特に、広葉樹に適用可能な方式についても検討し興味ある結果を得ているが、これらについては今回は割愛した。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、貴重な出土木材試料を提供して頂いた奈良国立文化財研究所の沢田正昭、肥塚隆保両氏ならびに年輪年代推定法の現状と年輪計測法の実際について懇切にご教示頂いた同研究所の光谷拓実氏に厚くお礼申し上げます。

この研究に対し昭和60年度より2年間にわたり文部省科学研究費補助金試験研究(2)の助成を受けた。ここに付記して感謝する。

また、この研究の発展に卒業研究を通じて多大の貢献をして頂いた中村剛、山口健司の両君に厚く感謝する。

文 献

- (1) 古文化財編集委員会編：古文化財の自然科学的研究(1984)、同朋舎
- (2) 光谷拓実：奈良国立文化財研究所年報 1981, 64
同 上 1982, 63
同 上 1983, 53
同 上 1984, 51
- (3) 野田真人, 東村武信, 東村隆子：考古学と自然科学, 第16号(1983) 17
- (4) 南亨二, 玉井篤：考古学と自然科学, 第12号(1979) 97
- (5) 三川礼, 佐藤孝一郎：工業化学雑誌, 57(1954) 605
- (6) 上田勝彦, 石垣 昭：奈良高専研究紀要, 第22号(1986)印刷中

生成物分離型光化学ダイオードの開発と p-ベンゾキノン の定量分析への応用

泉 生一郎 ・ 大西 康 幸

Development of Product-separable Photochemical Diode and Its
Application to Quantitative Analysis of p-Benzoquinone

Ikuichiro IZUMI and Yasuyuki OHNISHI

A new simple photochemical diode for the conversion of optical energy into chemical energy was prepared by thermal oxidation of one face of a titanium plate. The device, designated "product-separable photochemical diode" was manifested as photoactive wafers, by which two kinds of aqueous electrolyte solutions were completely divided as two compartments cell.

When semiconducting polycrystalline films were exposed to light, such device caused the redox reaction to occur the reduction of p-benzoquinone on the titanium metal surface and the oxidation of OH⁻ and/or water on the semiconducting TiO₂ surface. The transition time for the reduction of p-benzoquinone on the electrode potential-time curve was directly proportional to the concentration of p-benzoquinone in the solution. In this connection, applicability of the device to the quantitative analysis of p-benzoquinone was proposed

1. 緒 言

半導体/溶液接合を用いる光エネルギー変換に関する光電気化学の分野の研究は、光エネルギーを化学エネルギーおよび電気エネルギーに変換することを意図して活発に行なわれ、多方面から注目を浴びている^{(1)~(3)}。半導体を利用した粉末光触媒や電気化学光電池などの研究がそれである。筆者らも前者の研究に取り組み、これまで不均一光触媒系での光コルベ反応^{(4)~(6)}や離分解性有機化合物の光分解⁽⁷⁾⁽⁸⁾を扱ってきた。しかし、このような半導体光触媒粉末を用いて光電気化学反応を行なわせる際の難点の一つとして、反応の可逆性があげられる。光触媒粉末上には酸化サイトと還元サイトが同時に存在するため、反応生成物は別のサイト上では反応物質となってしまう、逆反応により反応効率の低下をまねいたり、副反応を生じさせる。そこで筆者らは、光エネルギー変換素子としての実用的見地から、光エネルギー変換の生

成物を完全に分離し、電荷分離および化学反応の両過程での逆反応を抑えた「生成物分離型光化学ダイオード」の開発を試みた。これの基本原理は、懸濁粒子についての Nozik の光化学ダイオード⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾と類似のものであるが、本研究での光化学ダイオードは光エネルギー変換と生成物分離を同時に行なえる特長を有している。すでにこの光化学ダイオードを用いて金属電析と水からの水素生成に成功しているが⁽¹¹⁾、ここでは p-ベンゾキノン (p-Q) の光分析に適用した結果について報告する。

2 実 験

2.1 サイクリックボルタンメトリー

両極室をガラスフィルターで仕切った H 型セルを用い、Ti 線 (1 mm φ, 1.3 mm) あるいは Pt 線 (1 mm φ, 6.5 mm) を作用極、平滑 Pt 板 (20 × 15.5 mm²) を対極、飽和甘コウ電極 (SCE) を参照電極としてサイクリックボルタンメトリーを行なった。測定は北斗電工製ポテンショ

スタット/ガルボスタットHA-501を同社製ポテンシャルプログラマHB-105に接続し、X-Yレコーダー(理研電子製F-42C)で電流-電位曲線を記録させることによって実施した。実験に使用した試薬はすべて市販特級品で、液の調製には2回蒸留水を用いた。

2.2 生成物分離型光化学ダイオードによるp-ベンゾキノン(p-Q)の光分析

厚さ0.05mmの金属Ti板(31×39mm)をあらかじめエタノールと1 mol·dm⁻³ HNO₃溶液に15分ずつ浸して脱脂洗浄した後、その片面をブンゼンバーナーで約10秒焼成して多結晶TiO₂半導体薄膜を形成させ、裏面をサンドペーパーで磨いて光沢のあるTi金属面とすることによって光化学ダイオードを作製した。このダイオードを2個の石英セルで挟み、半導体側に1 mol·dm⁻³ NaOH溶液、金属側にp-Qを含む1 mol·dm⁻³ NaClO₄溶液を入れて、両液中にU字型の塩橋の両端を浸した。この場合、ダイオードの溶液との接触面積は2.63cm²である。半導体面への光照射は水フィルターを通じて500Wキセノン灯で行ない、同時に裏側金属での電位-時間曲線を東亜電波製C DR-11Aレコーダーに記録した。なお、未反応p-Qの定量は、Pt線電極上での-0.4Vにおけるカソード還元電流の値から行なった。

3. 結果と考察

3.1 p-ベンゾキノン(p-Q)の電気化学的挙動

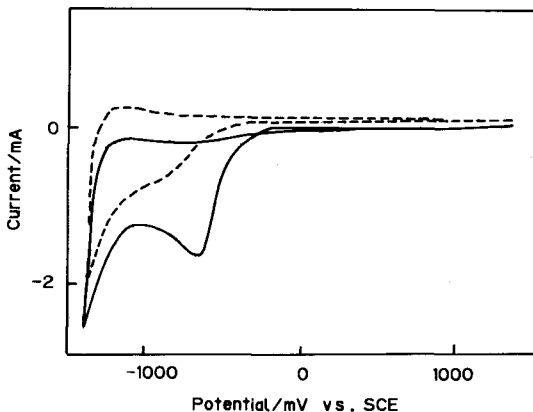


Fig.1 Current-potential curves in 1 mol·dm⁻³ NaClO₄ solutions with (—) and without (---) saturated p-benzoquinone on titanium electrode at the scanning rate of 100 mV·s⁻¹

Ti線電極を用い、基礎液の1 mol·dm⁻³ NaClO₄溶液と、それにp-Qを飽和させた溶液について、-1.4~+1.3Vの電位走査範囲でサイクリックボルタンメトリーを行なった結果、Fig.1の電流-電位曲線が得られた。図から明らかなように、p-Q溶液では-0.25Vあたりの電位からカソード電流が急激に増大し、-0.65Vでピーク電流を示した。基礎液でのカソード電流を差し引いたピーク電流値は、溶液中のp-Qの濃度が高くなるにつれて増大しており(Fig.2)、ピークの立ち上がり電位も貴な電位に移行した。これらの結果は上記カソードピーク電流がp-Qの還元に基づくことを示しており、Ti電極上で-1.15Vからの水素発生に先立ってp-Qの還元が優先して起こることが明らかである。なお、Fig.2に見られるように低濃度域ではピーク電流がp-Qの濃度に比例し、p-QのTi電極上への拡散が律速過程になっていることが示唆された。

他方、Pt線電極を用いた-1.0~+1.3Vでのp-Q溶液についてのサイクリックボルタンメトリーにおいても、-0.39Vより卑な電位でp-Qのカソード還元に基づく電流が観察された。しかしこの場合、ピーク電流とはならず水素発生に連続する形の電流-電位特性を示した。また、電位走査速度10 mV·s⁻¹の擬定常電流-電位曲線から求めたターフェルb係数はおよそ150 mVで、遷移係数(α)を0.5とみなした場合、反応の律速段階に関する電子数(n)は式(1)から0.8となる。このこ

$$b = 2.303 RT / (\alpha n F) \quad (1)$$

とと、Fig.1の電流-電位曲線でp-Qの還元が吸着水

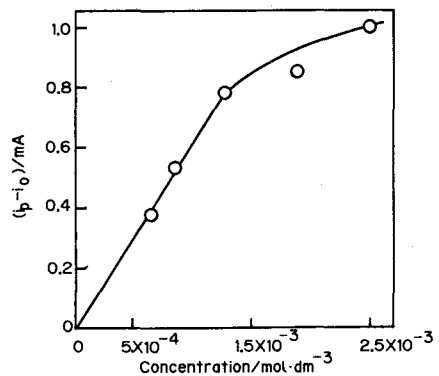
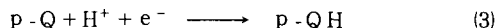
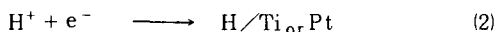
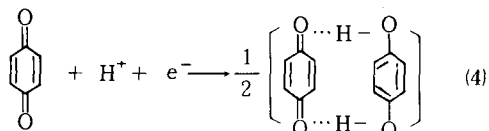


Fig.2 Dependence of cathodic peak current on concentration of p-benzoquinone
 i_p and i_0 denote current values at peak potential in 1 mol·dm⁻³ NaClO₄ solutions with and without p-benzoquinone, respectively.

素の生成 (式(2)) 電位において進行していることから,



式(3)のようなプロトン還元を伴う 1 電子過程によって, p-Q が還元されるものと推定される。実際には, 式(3)の反応は, 次式のベンゾキノンとハイドロキノンの分子化合物であるキノンヒドロンの生成に相当する。



3.2 生成物分離型光化学ダイオードによる p-Q の還元

筆者らが開発した生成物分離型光化学ダイオードの動作原理を Fig. 3 に示した。このエネルギー図は, ダイオード部分のみに着目すれば, 懸濁粒子について Nozik が考案した Schottky 型光化学ダイオード⁽¹⁰⁾と類似しており, n-TiO₂ 半導体薄膜と電解液との接合で生じた空間電荷層内で半導体のバンドギャップ (3.1eV) 以上のエネルギーの光が吸収されることによって作動する。すなわち, 半導体面への光照射により価電子帯の電子が伝導帯にひき上げられ, 価電子帯には正孔が生じる。この光励起された電子-正孔対が空間電荷層内の電位こう配によって分離される。こうして正孔は半導体表面に移動し, OH⁻ や水に捕獲されてそれらを酸化する。他方, 電子は半導体内部に拡散し, 裏側暗部の金属表面で p-Q や水に捕獲されてそれらを還元する。TiO₂ の価電子帯の位置は深く, 正孔は強い酸化力を持っているので, TiO₂ 半導体表面での OH⁻ や水の酸化はたやすく, また前項の電流-電位特性から明らかなように,

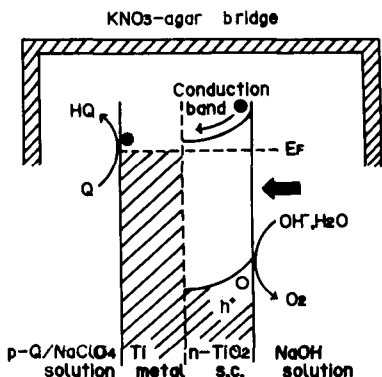


Fig.3 Energy model of "product-separable photochemical diode"

p-Q の Ti 金属面での還元は水素発生 (水の分解) に優先して起こる。これらのことから, 生成物分離型光化学ダイオードの TiO₂ 面で OH⁻ や H₂O の酸化, Ti 面での p-Q の還元を容易に行なわせることができるものと考えられる。したがって, 光励起された電子-正孔対のエネルギーは, 式(5)の右辺で表わされる電気化学反応のためのエネルギーと釣り合いがとれるものと思われる。

$$E_g - V_B - (E_C - E_F) = (\Delta G / nF) + \eta_a + \eta_c + iR \quad (5)$$

ここで E_g は半導体のバンドギャップ, V_B は半導体-電解液接合で生じたバンドの曲がり, E_C は伝導帯エネルギー, E_F はフェルミ準位, ΔG/nF は総括反応の 1 電子当りの自由エネルギー, η_a と η_c はアノード酸化とカソード還元における過電圧で, iR はオーミック損失である。

事実, 空気雰囲気下で TiO₂ 半導体側に 1 mol·dm⁻³ NaOH 溶液, Ti 金属側に基礎液中 1.0, 1.8, 2.5 mmol·dm⁻³ の p-Q を含む各溶液を入れ, 500W キセノン灯で半導体面への光照射を 1 時間行なうと, 暗部の金属側溶液でそれぞれ 0.073, 0.147, 0.210 mmol·dm⁻³ の p-Q が減少した。

以上のことから, 生成物分離型光化学ダイオードにおいて励起電子-正孔対の分離は速やかに行なわれており, 反応速度は励起されたキャリアを捕獲する反応物質の溶液内濃度に比例することが分った。

3.3 生成物分離型光化学ダイオードによる p-Q の光分析

光照射下における生成物分離型光化学ダイオードの, Ti 金属上での電極電位の経時変化を調べたのが Fig. 4 である。基礎液に関しては, 光照射と同時に水素発生電位に移るが, p-Q 溶液では p-Q の還元に対応する電位で停滞した後, 水素発生電位に移行した。Pt を持った Ti 金属上でも同様な挙動が見出され, p-Q の還元に起因する遷移時間は Fig. 5 のように p-Q 濃度におよそ比例した。これらの結果から, 金属上への拡散が律速となっているとみられる p-Q の低濃度溶液では, 生成物分離型光化学ダイオードを用いることにより, 半導体面への光照射で裏側金属上での電位-時間曲線の測定から, p-Q の定量法においては, 暗部金属上での還元反応を利用するので試料溶液に対する直接の影響はなく, また酸化側の溶液と還元側の溶液を全く独立して決めることができるので, 分析上好都合な条件を設定することができる。

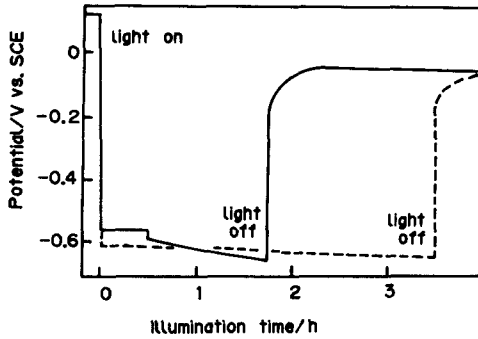


Fig.4 Potential-time curves on titanium metal surface of "product-separable photochemical diode" in $1\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ NaClO_4 solutions with(—) and without(---) $8.3\times 10^{-4}\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ p-benzoquinone

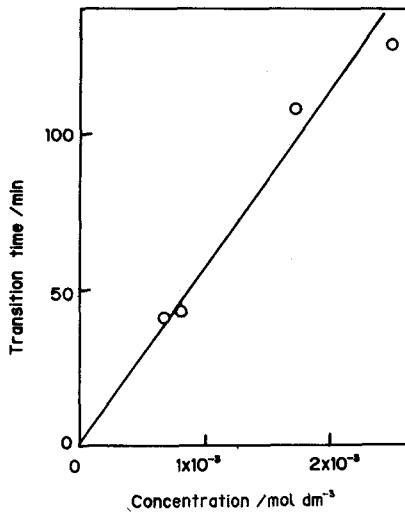


Fig.5 Dependence of the transition time based on the reduction of p-benzoquinone on concentration of p-benzoquinone

4. 結 言

金属Ti板の片面を多結晶 TiO_2 半導体薄膜にして、これを2個の石英セルで挟むことによって構成される生成物分離型光化学ダイオードを開発し、p-ベンゾキノン(p-Q)の定量分析に応用した。以下に、本研究で得られた結論のいくつかを列挙する。

(1) Ti線およびPt線電極上、中性溶液中でのp-

Qの電流-電位特性から、水素発生に先立って、プロトン還元を伴う1電子過程によってp-Qの還元が起こるものと推定された。また、低濃度p-Q溶液では拡散過程が反応速度に対して支配的となった。

(2) 生成物分離型光化学ダイオードの半導体側にアルカリ溶液、金属側にp-Qを含む中性溶液を入れて、半導体面へのキセノン光照射を行なうと、励起電子-正孔対の分離が速やかに進み、p-Qはその溶液内濃度に比例して還元されることがわかった。

(3) 生成物分離型光化学ダイオードの半導体面への光照射と同時に、裏側金属上での電位-時間曲線を測定した結果、p-Qの還元に対応する電位停滞が観察され、その遷移時間はp-Qの溶液内濃度に比例する傾向を示した。これらの結果は、生成物分離型光化学ダイオードを用いたp-Qの定量分析が可能であることを示唆しているものといえる。

このような光化学ダイオードを用いた有機化合物の定量分析法については、これまで報告されておらず、今後の応用が期待されるところである。

本研究の成果は、労を惜しまず実験に協力していただいた樋口加代さん(現 ㈱タクマ)に負うところ大である。記して深甚の謝意を表したい。

文 献

- 1) 田伏岩夫, 松尾 拓共編, 化学増刊82, "明日のエネルギーと化学-人工光合成-", 化学同人(1979)。
- 2) 日本化学会編, 化学総説No.12, "エネルギー変換および新しい燃料の化学", 東大出版会(1976)。
- 3) 魚崎浩平, 化学40, 385(1985)。
- 4) I. Izumi, W. W. Dunn, K. O. Wilbourn, F. F. Fan, A. J. Bard, J. Phys. Chem. 84, 3207(1980)。
- 5) I. Izumi, F. F. Fan, A. J. Bard, J. Phys. Chem. 85, 218(1981)。
- 6) 平野克比古, 山田隆行, 浅見雄作, 高木亮一郎, 泉生一郎, 電気化学 52, 253(1984)。
- 7) 泉 生一郎, 大西康幸, 水処理技術 26, 233(1985)。
- 8) 泉 生一郎, 電気化学 53, 178(1985)。
- 9) A. J. Nozik, Appl. Phys. Lett. 30, 567(1977)。
- 10) A. J. Nozik, J. Cryst. Growth 39, 200(1977)。
- 11) 泉 生一郎, 日本化学会第53秋季年会講演予稿集 I, p.381(1986)。

多孔板塔の気液界面積

河 越 幹 男

Gas-Liquid Interfacial Area in a Perforated Plate Column

Mikio KAWAGOE

The gas liquid interfacial areas were measured by chemical method using oxidation of sodium sulfite by air. Carboxy methyl-cellulose (CMC) solutions which are typical non-newtonian fluids as well as aqueous solutions of sodium sulfite were used as liquid phase, and air was used as gas phase. Areas obtained in the present work were compared with the correlations in the previous works. Further, the areas obtained in this study were tried to correlated with the energy dissipation rate of gas passing through the tray. It was found that the areas for CMC solutions were almost the same as those for aqueous solutions in the concentration range used in this experiment.

緒 言

溢流管を有しない多孔板塔は、構造が簡単で安価であるため、近年、蒸留、ガス吸収などに用いられるようになってきた^{2,4)}。気液界面積はこの形式の塔の物質移動特性を支配する基本因子である。従来、気液界面積は多くの研究者によって測定されているが、測定法がまちまちであるうえ、限られた装置形状、及び操作条件の下で行われているため、一般的な相関式は未だに得られていない。

本研究では、反応吸収法によって得られた気液界面積と従来の相関式^{1,8,9)}を比較し、界面積に關係する因子を調べ、気液界面積を支配する基本因子について検討した。その結果、単位液量当りのエネルギー消散速度が良好な相関性を与えることが分った。

1. 実験装置及び方法

Fig. 1 に実験装置の概略図を示した。塔は内径159 mm, 高さ500 mm のガラス製であり、測定を簡単にするため段数は1段とした。ガスは塔底から、液は塔頂から多孔板上に供給し、気液を向流接触させた。ガスを多孔板上に均一に供給するため、Fig. 1 に示したように、塔下部の外壁に長さ約30 mm, 内径10 mm のアクリルパイプ64

本を円周にそって等間隔に取り付け、これを通してガスを供給した。用いた多孔板は厚さ2 mm のステンレス製で、Table 1 に示した5種類である。孔径は5 mm ~ 25 mm, 開

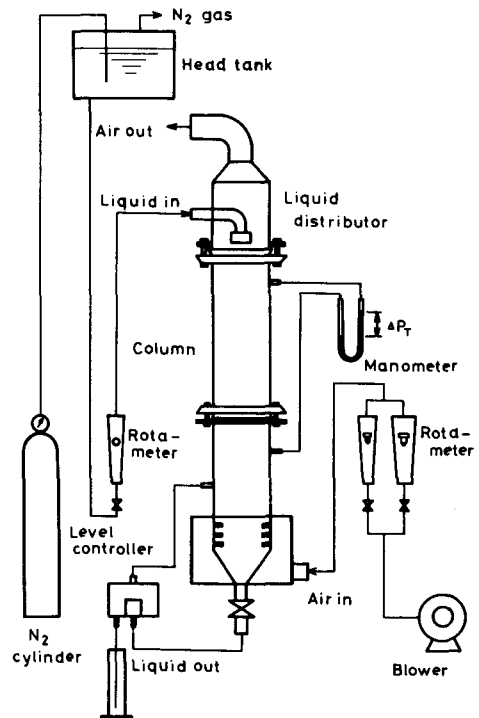


Fig.1 Experimental setup

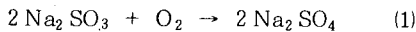
Table 1 Details of perforated plates used and symbols in Figs. 2 to 6

Plate No.	Hole dia. (mm)	Free area (%)	System I**1)		System II**2)		
			Liq. rate (ml/min)		CMC conc. (wt. %)		
			300	1000	0.2	0.5	1.0
1	5	11.9	○		●		
2	10	14.2	△		▲		▲
3	10	7.1	▽		▼		
4	15	16.0	□	■	◆		
5	25	17.3	◇		◆		

*1) System I : Na₂SO₃ aqueous solution
 *2) System II : CMC + Na₂SO₃ aqueous solution
 Liquid rate = 300 ml / min for system II

口比は7.1~17.4%である。

反応系は亜硫酸ナトリウムの酸化反応であり、触媒として硫酸コバルトを用いた。



ガスとして空気、液として水および Carboxy-methyl-cellulose (CMC) 水溶液に亜硫酸ナトリウムを溶かしたものをを用いた。CMC濃度は0.2~1.0wt%である。界面積の測定は迅速擬1次反応領域、すなわち反応係数(反応吸収速度と物理吸収速度の比)が3以上の領域で行なわれる。このため、亜硫酸ナトリウムの原液濃度は約0.6kmol/m³とし、pHは約8.5、硫酸コバルト濃度は約10⁻³kmol/m³とした。この条件下では、酸化反応速度は亜硫酸ナトリウムに関して0次、酸素に関して2次である⁵⁾。実験は全て室温で行った。

ガスおよび液の流量を所定の値に設定し、定常状態に達したのち、気液混相の全層高H_T、多孔板上の液滞留量H_L、全圧損ΔP_Tを測定した。気液混相高さは塔壁に取り付けたスケールによって、また全圧損はマノメータによって測定した。液滞留量は、ガスと液を同時にため、段上の液を塔底から抜き出し、メスシリンダーで計量した。両測定値からガスホールドアップ、ε=(H_T-H_L)/H_Tを求めた。同時に流入液、および段上の液を採取し、ヨウ素滴定法によって液中の亜硫酸ナトリウム濃度を求めた。境膜説に準拠すると、流入液および段上液中の亜硫酸ナトリウムの濃度差ΔC_Bから、次式によって単位液量当りの界面積a_Lが求められる。

$$a_L = L \Delta C_B / \{ 2 V_L C_{Ai} \sqrt{2 k D_A C_{Ai} / 3} \} \quad (2)$$

反応速度定数は別に直径100mm、容量1dm³の平面接触攪はん槽を用いて測定した値を用いた。反応速度定数は文献値と10%以内で一致した⁷⁾。拡散係数D_Aおよび界面濃度C_{Ai}は文献値を用いた⁵⁾。

2 実験結果および検討

2.1 流動状態

溢流管のない多孔板塔の場合、ガス流速がある値以上になると、液が多孔板上に滞留し始める。このガス流速

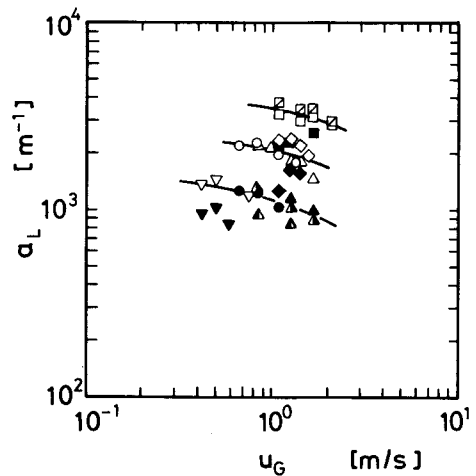


Fig. 2 Relation between interfacial area and superficial gas velocity (symbols; see Table 1)

をローディング速度という。さらに、ガス流速を大きくすると、液停滞量が急激に増加し始めるガス流速が存在する。この点がフラディング速度である。この中間領域が安定操作範囲になる。本実験におけるローディング速度及びフラディング速度は、水系及びCMC系のいずれの場合も文献値^{3,4)}とほぼ一致した。

気液混相の状態は、ガスが分散相となるFroth(あるいはFoam)と液が分散相となるSpray(またはMist)に大別される。この状態は液深H_Lと孔径D₀の比、H_L/D₀と通孔ガス流速u₀によって決り、H_L/D₀が小さいほど、またu₀が大きいほどSprayになりやすい⁶⁾。本実験では殆どの場合、Frothであり、Spray状態は認められなかった。

2.2 気液界面積

Fig. 2に単位液滞留量当りの界面積a_Lの実測値と空塔ガス流速の関係を示した。このプロットから、水系の場合、孔径15mmの場合に界面積は最も大きくなり、開口比が最も小さい多孔板(孔径10mm、開口比7.1%)の界面積が最も小さいことが分る。それ以外の場合には孔径に無関係に両者の中間の値を示していることが分る。CMC系の場合、孔径15mmの多孔板の場合に最も大きな界面積を示す点は水系の場合と同様であるが、その他の多孔板の結果はほぼ一本の曲線上にある。水系の場合と比較すると、界面積はCMC系の場合の方が小さくなる傾向が認められる。

従来、多孔板塔の界面積は写真撮影法、および反応吸収法によって測定されている。主な相関式をTable 2に

Table 2 Correlation of gas-liquid interfacial area in earlier works

Asano et al :

$$a_L D_o = 4.6 X \tag{3}$$

where, $X = (N_o D_o^2) \{ Fr_o \sqrt{\rho_G / \rho_L} \}^{0.34} (H_L / D_o)^{0.15} (Bo)^{0.1}$,

$Fr_o = u_o / \sqrt{g D_o}$ and $Bo = D_o^2 g \rho_L / \sigma$

Rodionov et al :

$$a_L = 350 u_G^{0.15} \{ H_L (1 - \epsilon) \}^{-0.25} \tag{4}$$

Stichilmair :

$$a_F = \{ (\rho_L - \rho_G) g / \sigma \}^{1/2} \{ 2.45 Z^{0.28} - 2 Z^2 (2.22 - 0.146 / \phi) \} \tag{5}$$

where, $a_F = a_L (1 - \epsilon)$

and $Z = 0.4 u_G \sqrt{\rho_G} / \{ \phi^2 \sigma (\rho_L - \rho_G) g \}^{1/4}$

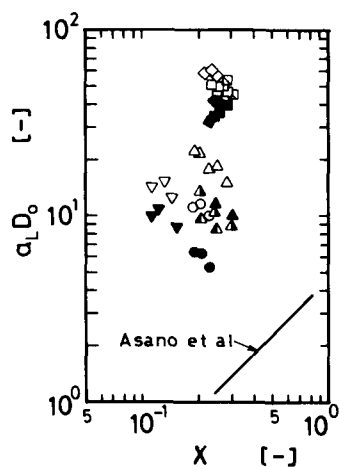


Fig.3 Comparison of observed values with the correlation by Asano et al (symbols;see Table1)

示した。浅野ら¹¹は、単孔板を用い、写真撮影法によって界面積を測定し、無次元式で相関した。この相関式は孔が3個の多孔板に対しても適用できる。Fig.3に本実験結果と浅野らの相関式との比較を示した。本結果は彼らの結果の5~50倍大きい。単孔板の場合、孔直上に形成されるガスジェットの界面積が強調され、液中の気泡が過小に評価されるためと考えられる。

Rodionov⁸はTable2に示したEq.(4)のような簡単な実験式で多孔板塔の気液界面積を相関した。Eq.(4)と本実験値との比較をFig.4に示した。これから、Eq.(4)は本実験値と比較的良好に一致していることが分る。

Stichilmair⁹は、Table2のEq.(5)に示したように、

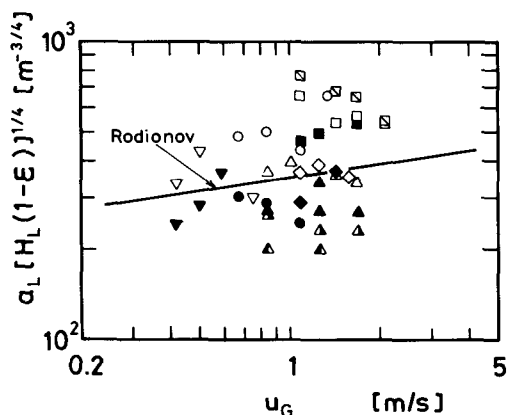


Fig.4 Comparison of observed values with the correlation by Rodionov (symbols;see Table1)

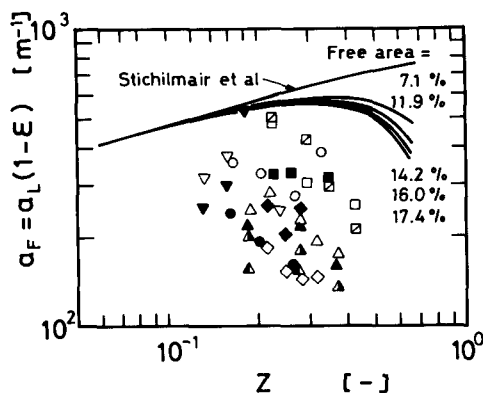


Fig.5 Comparison of observed values with the correlation by Stichilmair (symbols;see Table1)

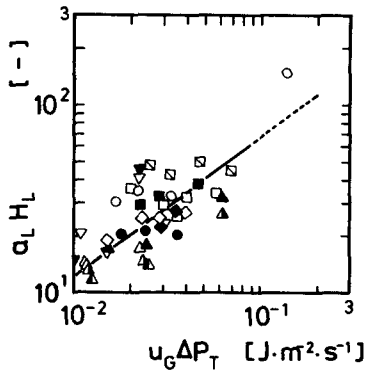


Fig.6 Correlation of the interfacial areas with energy dissipation rate across the tray (symbols; see Table1)

無次元因子, Z を用いて界面積を相関した。Eq.(5)と本実験値の比較をFig.5に示した。Eq.(5)によれば, Z が2以上になると開口比 ϕ の影響が現れてくる。本実験値はEq.(5)よりもかなり小さくなっていることが分る。

著者は, 多孔板塔のガス側物質移動について検討し, ガスのエネルギー消散速度が物質移動に対する支配的因子であることを見出した²⁾。同様の相関を界面積に対して試み, これをFig.6に示した。縦軸および横軸は, それぞれ塔単位断面積当りの界面積, およびエネルギー消散速度である。相関精度はまだ十分でないが, 従来の相関式に比べ, かなり良い相関性が認められる。特に, 系による差が認められず, エネルギー消散速度が界面積に対する基本因子の一つであることを示唆している。

結 言

測定系として亜硫酸ナトリウムの水溶液, およびCMC溶液を用い, 溢流管を有しない種々の孔径, 開口比の多孔板塔における気液界面積を反応吸収法によって測定した。同一気液流量におけるCMC系の界面積は水系のそれに比べ, 小さくなった。また, 従来の相関式と比較, 検討した結果, 他の相関式に比べ, 本実験値はRodionovの相関式と良く一致することが分った。さらに, エネルギー消散速度による相関を試みたところ, 比較的よい相関が得られた。

Nomenclature

- a_L = interfacial area per unit liquid volume on the plate
 C_2 = concentration of sodium sulfite

- C_{Ai} = concentration of oxygen at gas-liquid interface [kmol/m³]
 D_o = diameter of holes of perforated plate [m]
 D_A = diffusivity of oxygen in liquid phase [m²/s]
 g = gravitational acceleration [m/s²]
 H_L = liquid height on the plate [m]
 H_T = total height of gas-liquid dispersion on the plate [m]
 k = reaction rate constant [m³/kmol·s]
 L = volumetric liquid flow rate [m³/s]
 N_o = Number of holes of perforated plate [-]
 u_G = superficial gas velocity [m/s]
 u_o = gas velocity passing through holes [m/s]
 V_L = liquid volume on the tray [m³]
 ΔP_T = total pressure drop across the tray [Pa]
 ϵ = fractional gas holdup [-]
 ρ_G = density of gas [kg/m³]
 ρ_L = density of liquid [kg/m³]
 σ = surface tension of liquid [Pa·m]
 ϕ = free area of perforated plate [-]

Literature cited

- 1) Asano, K. and S. Fujita : Kagaku Kogaku 30, 500 (1966)
- 2) Kawagoe, M., T. Otake and Y. Noda : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 11, 365 (1985)
- 3) Kimura, M., K. Nakao and Y. Yasuda : Kagaku Kogaku Ronbunshu, 8, 358 (1982)
- 4) Krötzsch, P. and M. Molzahn : Ger. Chem. Eng., 3, 257 (1980)
- 5) Linek, V. and V. Vacek : Chem. Eng. Sci., 36, 1747 (1981)
- 6) Lockett, M. J. : Trans. Inst. Chem. Eng., 59, 26 (1981)
- 7) Ogawa, S., Shimizu Y., S. Tone and T. Otake : J. Chem. Eng. Japan, 15, 400 (1982)
- 8) Rodionov, A : Ther. Found. Chem. Eng. (USSR), 7, 14 (1973)
- 9) Stichilmair, J. : Grundlagen der Dimensionierung der Gas/Flussing-Kontakt appates Bodenkolonnen, Verlag chemie, Weinheim (1978)

総合実習を実施して

島岡三義・小島耕二・和田任弘・早川恭弘・梶嶋忠男
島岡武道・山本藤三郎・中川哲男・柏井廣志・池内由卓

Application of a New Educational System in Workshop Practice

Mitsuyoshi SHIMAOKA, Koji KOBATAKE, Tadahiro WADA,
Yasuhiro HAYAKAWA, Tadao KAJISHIMA, Takemichi SHIMAOKA,
Tozaburo YAMAMOTO, Tetsuo NAKAGAWA,
Hiroshi KASHII and Yoshitaka IKEUCHI

1. はじめに

機械工学における工作実習は基本的な加工技術を体験的に修得するという点で、実践的な技術者を養成することを目的としている工業高等専門学校においては特に重要視されている基礎専門科目である。作業手順等がある程度標準化された実習課題では、学生はその課題をこなすことで精一杯であり、その課題に対して十分な考察を加える余裕がないのが実状のようである。そこで本校では新しい実習の試みとして、昭和57年度から第3学年の学生を対象に「総合実習」を実施してきている⁽¹⁾。

この総合実習では、学生が積極的かつ興味を持って取り組めるようにとの考えから、課題にはできる限りの自由度を与えている。またグループ活動を通じて協調性、責任感なども養なわせている。課題には、「カムならい装置」を選び、過去4年間実施してきた。総合実習の実施初年度は部品をすべて自作するということで進めたが、学生の工作技能の未熟さから満足のいく装置はほとんどできなかった。しかし、ベアリングなどの市販品を一部取り入れたり、総合実習発表会に第2学年の学生を聴講させ総合実習についての予備知識を与えたりした結果、年々期待に沿う装置ができあがり、60年度においてはほとんどのグループが満足できる装置を製作している。試行錯誤を繰返しながら実施してきた総合実習であるが、教官側、学生側ともに定着してきたという感を強くしている。

しかしながら、専門知識がまだ十分備わっていない3

年生の段階では装置の強度面の設計が十分に行えないこと、学生の苦心のアイデアも実習工場設備の限界から十分生かされない面があるなど検討すべき問題は多い。

そこで本報告では、総合実習を担当してきた経験および学生に対して行なった総合実習に関するアンケート調査結果をもとに、総合実習をより充実したものにするため、問題点を整理し解決策について検討を行なった。

2. アンケート調査結果

57年度から60年度までの総合実習における作業の流れや課題(カムの変位線図)は基本的に同じであり、文献(1)に詳しく報告されている。グループ作業ではグループ分けをどうするかが問題であったが、学生側に任せることとした。この場合、気の合った者同士がグループを組むことが多いが、実社会でのプロジェクトでは必ずしもそうではないことから59年度は名列順にグループを編成した。しかし、学生の自主編成の方が積極的に取り組むという傾向が強かったため、60年度は再び自主編成に戻した。

総合実習では、教官側はアドバイザーに徹することとしたため、学生自らが考えなければ作業は前に進まないことになり、互いに知恵を出し合って作業を進めていたようである。しかし、グループ作業の場合には学生一人一人を把握することが難しい面があり、学生の声を総合実習に反映させるために総合実習終了後にアンケート調査を行なった。以下にその結果を報告する。

まずはじめに「総合実習に対する不満を述べよ」との

問いには次のような意見が多く寄せられた。

- (1) 工作機械、工具、素材が不足して思うように作業が進まない。
- (2) 部品工作に割り当てられている時間が少ない。
- (3) 1グループの人数が多過ぎ、まじめにやらない者がいる。
- (4) 「カムならい装置」はつまらない。
- (5) グループ編成は自由にやらせてほしい(59年度)。
- (6) 製作課題に対する説明が不十分であり、「カムならい装置」というものがよく理解できなかった。

総合実習そのものは学生主導でかなり自由にやれるものであるが、実際に作業を進めていくにつれ、他のグループと競合して思うように工作機械が使えないという事態に至ったり、たとえグループの班長命令でも素直に従わない学生がでてきて、気の合った者同士のグループでも内外の要因で以外と思うままに作業が進められないといういらだちを感じていたようである。まじめに取り組んでも苦勞が多い割にはその苦勞が報われないとの思いから、60年度実施学生の中には個人で行なう実習形態を望む意見も見受けられた。

(5)の意見はある程度予想されたことであったが、例年と異なりグループ編成が自由にできなかったことで、総合実習に取り組む意欲をそがれた学生もいた。しかし、最後まで投げ出すことなく、前年度よりも立派な装置を考えて製作しており、必ずしも気の合った者同士のグループが良いとは限らないという証明にもなっている。

(4)および(6)の意見は総合実習を行なう上で教官側が最も配慮しなければならないことを指摘している訳であるが、専門知識の十分でない学生を指導することの難しさを感じる場所である。製作課題が恒常的では学生の興味が低下してしまうことになりかねないので、2～3年を目度に変える方が良いと思われる。また教官側のレポトリーを増やすことも大切であり、61年度は「ポンプ」というテーマで取り組んでいる。

次に、総合実習のやり方などについてのアンケート結果を図1～図12に示す。

これらのアンケート結果からうかがえることは、総合実習の仕事内容はそれほどきついものではなかったけれども(図6)、製作品のできばえは必ずしも満足できるものではなかった(図5)。しかし、有意義な実習であった(図1)ということであろう。満足できる装置ができなかった理由をアンケート結果から探れば、学生自らが書いた製作図面にはかなりの不備があり(図8)、1グループの人員に不足はないけれども(図9)、作業分担が思うようにいかず(図10)、結局は計画通りに総合実習が進まなかった(図11)ということになりそうである。

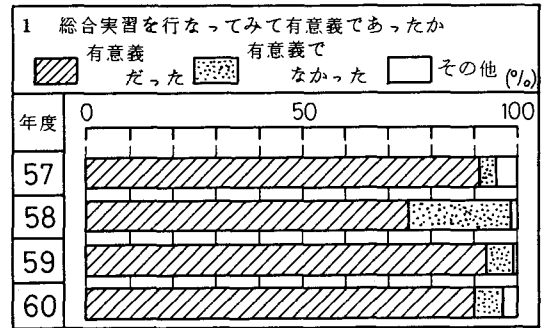


図1 アンケート結果(1)

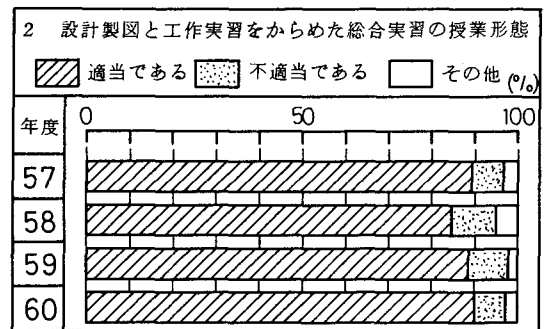


図2 アンケート結果(2)

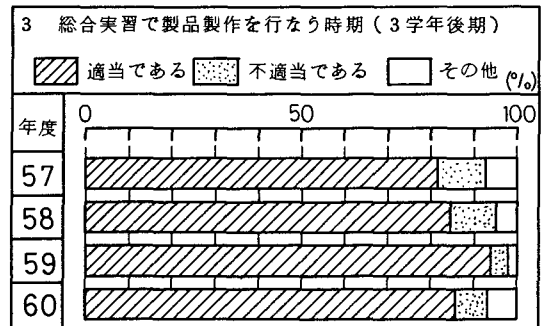


図3 アンケート結果(3)

また、工作のための時間が足りなかった(図4)という解答が多かったが、工作機械の不足から出てくる待ち時間に対する配慮の不足、部品加工に要する時間の見積り違いなどによって生じたことと考えられる。もっとこれらの点に注意して装置の構造などを考えれば余裕をもって工作できたと思われる。3年生にここまで要求するのは酷かもしれないが、ぜひとも念頭に置いて設計してほしいものと思っている。

設計製図の授業との組み合わせ(図2)や総合実習の時

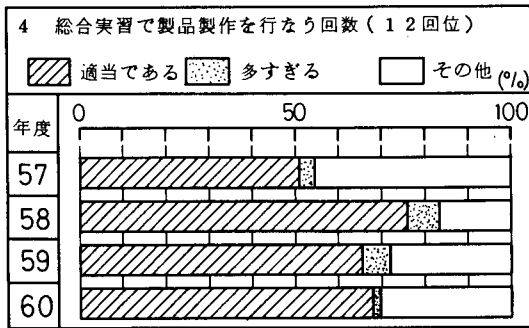


図4 アンケート結果(4)

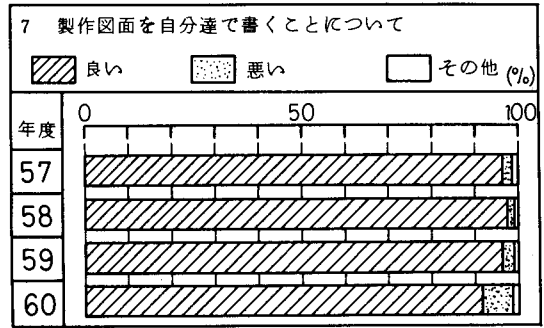


図7 アンケート結果(7)

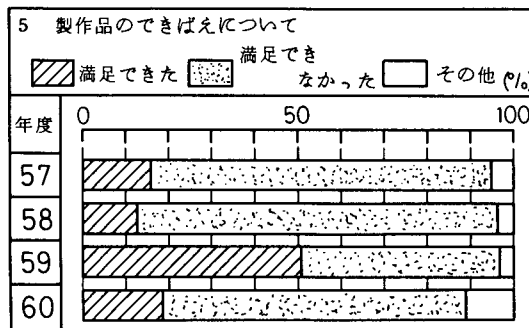


図5 アンケート結果(5)

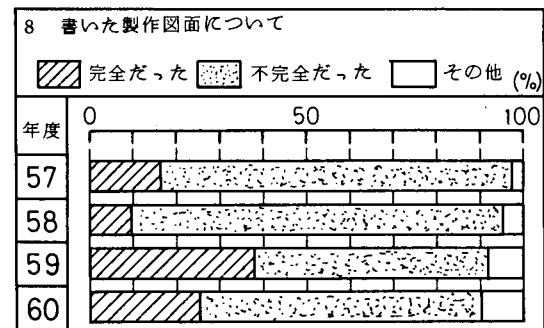


図8 アンケート結果(8)

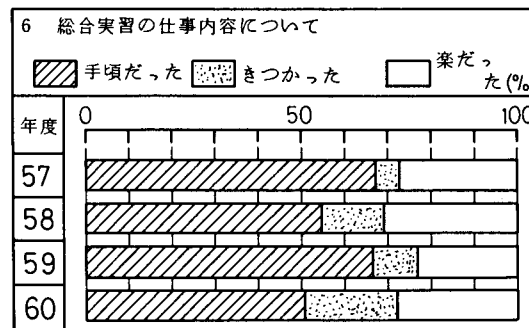


図6 アンケート結果(6)

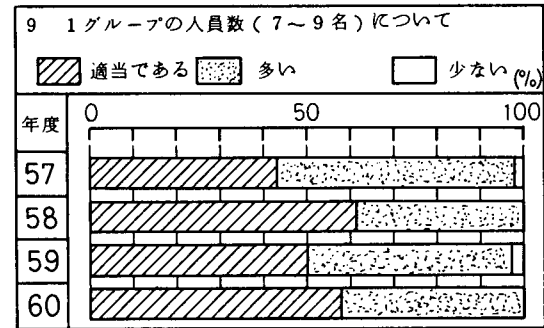


図9 アンケート結果(9)

期(図3), また製作図の自主製作(図7)については学生側もほぼ妥当なものであると受けとめているようである。

また、グループ作業では、全体をまとめ、方向づけをするリーダー(総合実習では班長と呼んでいる)が必要であることは誰もが認めるところであろうが、わずかであるが班長は不要と答えている(図12)。仮に班長を指名しなくてもリーダーシップをとる者が出てくるもので(このような学生が班長に選出されていることが多い

が)、グループがまとまれば強いて班長を決めなくてもよいのではないか、その上班長となれば何かと大変であるというようなことから不要論がでてきているものと思われる。なお、班長にその適性が欠けると思われる学生を選出したグループは、どちらかといえばグループ活動はうまく行っておらず、他の人員の能力が十分発揮できていない。班長の人選はいいかげんであってはならないということを学生には強く認識してほしいものである。

ところで、グループ作業の場合、グループの編成の仕

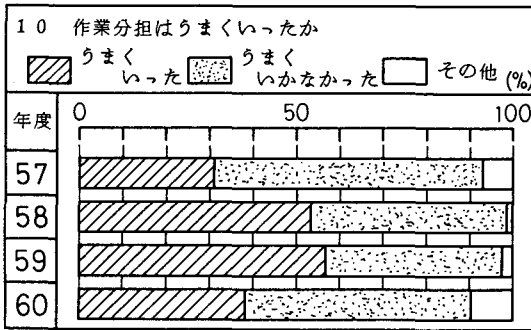


図10 アンケート結果(10)

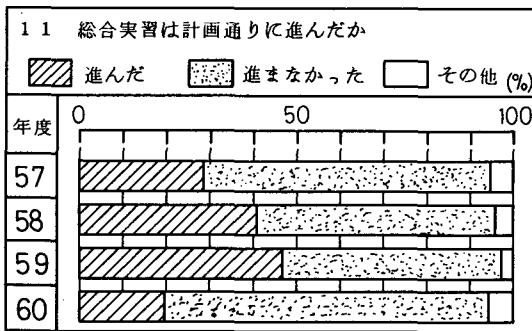


図11 アンケート結果(11)

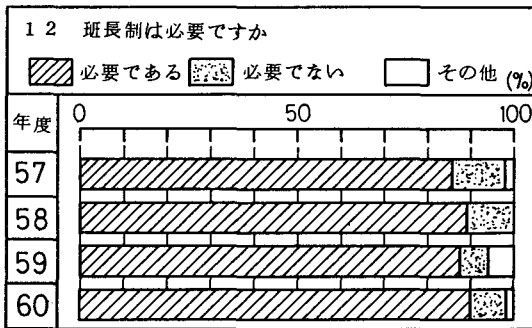


図12 アンケート結果(12)

方によって総合実習の成果に差が生じるものと考えられる。59年度は名列順に編成したものの、学生の感想としては、製品のできばえはまずまず(図8)で、作業分担もうまくいき(図10)、ほぼ計画通りに進んだ(図11)というのが他年度学生よりも多い。とは言っても、グループ編成は名列順にするのが良いとは一概には言えないと思われる。ただし、このようにした方が、グループで成果を上げようとするとき、役割り分担がきちっとできやすくなり、各自がその役割りを責任を持ってやるという

傾向がある。一方、気の合った者同士で編成した年度では、それぞれのグループが和気あいあいと取組んでおり、これもまた良いことのように思う。しかし、互いに気安さがあり、作業分担や各自の責任分担がやや曖昧気味であったところも見受けられた。59年度の学生から、グループ編成について強い不満が出されたためだけではないが、60年度は再び自主編成に戻している。何もかも学生の思い通りにさせる必要はないが、それで教育効果があるならば学生の気持ちをできるだけ尊重してやるのが大切であると思う。

その他、総合実習に対して多数意見が寄せられたので以下に主だったものを示す。

- ・どのグループも同じ物を作るのはもったいない。
- ・いろいろ苦労したが、みんなで一つの物を作るのはおもしろくてよかった。
- ・最終的に当初の設計通りにはならなかったが、実習中考えても見なかったような案が飛び出し、充実した実習だった。
- ・実習中教官の監視の目が届かないところで遊んでいる者がある。遊ぶ者の出ないように教官側で作業分担を考えてほしい。
- ・工作が難しく、組立てや調整のための時間ももっとほしい。
- ・過去に学んだ学習内容をすべて取り入れた内容の実習にしてほしい。
- ・製作品の選定も含めてもっといろんなことを自由にやらせてほしい。
- ・作業を分担して行なうと、自分の分担以外のことはわからず、また、やりたいと思ってもやれない。(特にマシニングセンタの操作)
- ・午前中の授業では居残り作業が絶対できないため、時間に追われる感じがしてやりにくい。
- ・各グループ毎に担当の教官がついていてほしい。
- ・教官のアドバイスがもっとほしい。
- ・実習の総まとめ的なものなので今後も続けてほしい。

いろいろ不備、不満の多かった総合実習ではあるが、図13に示すように、総合実習を今後も続けた方がよいという意見が圧倒的に多く、しかもそれが年々増えてきていることは総合実習を担当してきた者にとっては誠に幸いである。しかしながら、そのようには思わない学生もわずかではあるがいるということを謙虚に受け止め、総合実習をより充実した内容にすべく、今後一層の努力をしていきたい。

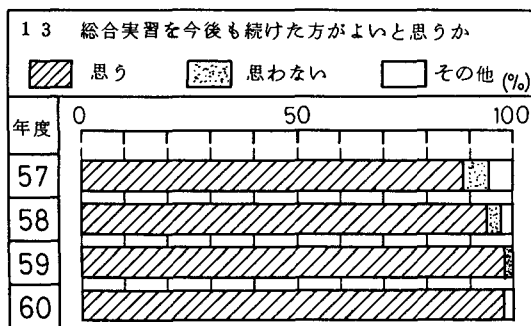


図13 アンケート結果(13)

3. 総合実習実施上の問題点

考えさせる実習としての総合実習も定着してきたというものの完成されたものではなく、多くの問題をかかえている。それらの中で主なものをあげれば、以下に示すようなことであると考えられる。

- (1) 実習工場設備が有効に使用されていない。
- (2) グループ作業のため、学生一人一人の仕事量にアンバランスが生じやすく、不公平感がある。
- (3) 作業内容が各人異なるため、監督、指導が十分行き渡らない。
- (4) 学生の工作技能が十分でないことから、総合実習の目的が製作品の完成だけになってしまい、実習成果の発表のための準備不足になり、発表会が物足りないものになりがちである。

(1)については、部品加工に割り当てられている時間(後期3時間連続で10週程度)や工場の現有設備などから、どうしても切削加工にかたよりがちとなり、工場が有効に使用されていない面がある。鑄造、鍛造、溶接などの作業も実習経験があるので、これらの作業も十分取り入れたものにする必要があると実施当初から検討されてきている。これらの作業は段取りに比較的時間を要することや、他の部品の加工状況に合わせて進めなければならないこともあり、組入れには難しい面があるが、59年度から部品の素材を鑄造で作る工程を設けており、今後さらに検討をしていく必要性を感じている。

(2)については、グループ作業を行なう場合、教官側が最も注意を払わなければならないことである。今までのところ、各グループで仕事量が均等になるように分担しているようであるが、班長になった者にとってこの点をうまくまとめることが難しかったものと思われる。教官側が学生一人一人の仕事を決めてやることは難しいことではないが、積極的にそれを進めることは、みんなで相

談し協力していこうという協調性を養なわせる上でマイナスになりかねない。

1グループの人員が多いという意見があり、それが仕事量のアンバランスの一因になっていると考えられる。しかし、グループ数を増やすと工作機械の割り当てが困難になり、製品完成も難しくなる(57年度は1クラス6グループで実施したが上の理由で58年度以降5グループで実施してきている)。

これまで作業分担をすべてグループに任せてきたが、今後はグループの自主性を損なわない範囲で、しかも作業の進み具合がチェックできるように各人の役割りを教官側である程度明確にしてやることも必要かと思われる。ただし、グループ作業の根幹にかかわることと思われるので慎重に検討したい。

(3)については、教官側の増員が考えられるが、受け持ち授業の時間数などを考えると難しい面がある。また学生からの質問に対するアドバイスは唯一つであるということではなく、教官の考え方によっても変わり、それを受ける学生に混乱が生じかねない。教官の増員が望めるならば、教官の指導の分担を明確にすべきである。60年度は教官2名で指導に当たったが、1名は主として学生へのアドバイザー、もう1名は実習活動の記録と補助という役割分担を守って行なったため、学生に混乱を与えることもなく比較的容易に監督、指導が行なえた。今後このような指導態勢がとれば好ましいと考える。

一方、実習工場技官を各グループの相談相手の窓口として配置することが考えられる。しかし、一つのグループがいろんな作業を行なう総合実習では、特定の作業分野の専門家である技官を配置してもあまり効果的ではないように思われる。

製作課題はどのグループも同じであるが、各グループ毎の作業の進め方が異なるので、教官1名で監督、指導(技官も指導にあたっているが)するのは大変であり、より一層教官と技官が協力していくことが総合実習を続ける上で必要不可欠である。

(4)については、総合実習の授業形態とも関連している。設計製図と工作を有機的に結びつけようとの関点から、装置製作に先立つ設計や製作図面の作成は機械設計製図の前期の授業の中で行なっている。設計が終了したら部品加工に取りかかれればよいのだが、設計製図の授業時間帯には他の学年、クラスの実習があり工場が使えず、3年の工作実習の前期では、1、2年と同様の形態で実習を行なっているので現在の授業時間割ではそれは不可能である。

「カムならい装置」自体は原理、機構が比較的単純であるが、運動するので工作精度が要求される。学生の工

作技能では失敗も多く、学生はどうしても完成させたいという気持ちが強い（このことは非常に大切である）ので、工作に費やす時間が長くなり、発表準備のための時間を圧迫しているようである。学生の工作技能にある程度合わせ、工作精度があまり高くないものを製作課題に選べば、現状よりも発表準備に時間を割り当てられ、発表会もより充実したものにできると考えられる。

また、昨今の工作技術の進歩がめまぐるしい中で、工場設備は古くなる一方である現状を振り返れば、工作実習の内容や設備の見直しが必要であると考えられる。これとともに、総合実習の内容や授業形態についても検討すべき時期にきていると思われる。

4. お わ り に

57年度から取り組んできた総合実習もいろいろと問題を含みながらも4年が経過し、ようやく定着した感を強くしている。

テーマ選定においては実習工場の設備、学生の能力、教官側スタッフなどを考え合わせるとなかなか簡単には見つからず苦勞するところである。「カムならい装置」も60年度ではほぼ満足できる装置ができ、マンネリを打破する意味もあり、61年度は「ポンプ」をテーマに取り組んでいる。学生の希望としては、18才という年令と車社会を反映してか、エンジン、オートバイ、自動車といったものが多く、また、もっと身近で実用的なものをという要望も少なくなく傾聴に値する要望であると受けとめている。学生が興味を持って取り組めるものであれば教育効果も十分大きいと考えられるので、テーマ選定には

慎重を期したいと考えている。また適当と思われるテーマを御教示いただければ総合実習担当者として幸いである。

学生にとっては不満もあり、また失敗もあった実習であったかと思われるが、自分達で作成した製作図面をもとに実際に工作してみるという機会を持ち得たことは大変貴重であったと思う。この経験から、機械技術者として設計時あるいは工作時に配慮しなければならないことは何かを体で感じ取ってくれたものと思うし、今後の実社会でこの経験を生かしてくれることを期待する。

今後も引き続き総合実習を実施してほしいという学生の意見が圧倒的に多かったことは誠に幸い思うところであり、装置の完成を目指して放課後も製作に取り組む、完成した時に学生諸君からわき上がった歓声やこぼれた笑顔、また実習風景を録画したビデオを視聴して自分の姿を見つけては喜んだ彼らの姿を励みとして、総合実習のより一層の充実を目指して今後も努力していきたい。

最後に、総合実習の発表会の準備等で御協力下さった機械工学科市瀬辰己技官に感謝申し上げます。また、総合実習を進める上で多くの御助言をいただきました機械工学科諸先生方に心から御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 小島耕二・和田任弘・梶嶋忠男・島岡武道・山本藤三郎・中川哲男・柏井廣志・池田由卓・市瀬辰己：総合実習への取り組み，奈良高専研究紀要，第19号（1983），89.

Non-Finite Verbs in the Stonor Collection

—Infinitive—

Kiyokazu MIZOBATA

The infinitive, which was originally a verbal noun, had two forms in OE: the nominative and the accusative in *-an*, and the dative in *-enne*. These two forms became identical by the levelling of inflections in the ME period; the infinitive with the preposition *to* prevailed rapidly as compared with the bare infinitive.

In this paper the uses of the infinitive in the Stonor collection are described from a syntactic viewpoint in order to follow a process of the syntactic development of the infinitive in late ME.

1. Introduction

The infinitive, which was originally a verbal noun, had two forms in OE: the nominative and the accusative in *-an*, and the dative in *-enne*. These two forms became identical by the levelling of inflections in the ME period; the infinitive with the preposition *to* prevailed rapidly as compared with the bare infinitive.

In present-day English the infinitive without *to* is used only after the auxiliaries and certain other verbs such as *make*, *let*, *have*, *hear* and *see*, while the infinitive with *to* has come to express a wide variety of meanings besides its original sense 'purpose'.

The aims of this paper are to describe the uses of the infinitive in the Stonor collection from a syntactic viewpoint in as much detail and with as many illustrations as possible, and to follow a process of the syntactic development of the infinitive in late ME.

In preparing this paper, we owe a great debt of gratitude to Professor Seizo Sukagawa whose monograph was very helpful for our study.¹⁾

2. Use as subject

In both OE and early ME, the infinitive as the subject of a finite verb (the subjective infinitive) is relatively of lower frequency of occurrence in comparison with the infinitive as the object of a finite verb (the objective infinitive).²⁾ But in the Stonor collection the subjective infinitive very frequently occurs and all the instances, of which about eighty-five percent appear in the impersonal construction, are limited to the use of the infinitive with *to*.

2.1 *To*-Inf+V (1)³⁾

Only one instance appears in the Stonor.

194/10⁴⁾ to breke the lawe is chargebulle.

2.2 (*It*)-*to*-Inf (20)

87/11 hit were to grete pite to put hir to trowble or charge...

124/35 it is to be remembred her of her joyntur of the lorde Montjoy,...

124/38 it is good to be remembred to her.

306/2 ...right joyfull to here of yowre helthe:...

172/26;216/20;300/19;etc.

2.3 *It*--(*for*)+NP (Noun Phrase)+*to*-Inf (3)

130/16 it is resonable a gentilman to know his pedegre and his possibylte:...

242/14 hit were more metely for me to have hytt to ferme,...

242/3.

2.4 *It* + IV (Impersonal Verb) + NP + (*for*) +

to-Inf (66)

This construction is most frequently found in our corpus.

87/14 it please yowe ferthermore to remembre of pe letter...

111/4 it lyke you to call to remembrance,...

163/9 yt plesse your maystershipe for to understonde pis,...

180/15;195/3;218/15;etc.

2.5 IV + *it* + NP + *to*-Inf (36)

80/19 plesse it your good lordeship gracysusly to concydre the premisses,...

189/1 lyke it youe to be remembred that y desired...

195/2;211/4;321/11;etc.

2.6 { NP+IV + *to*-Inf (1)
IV + (NP) + *to*-Inf (32)

252/15 me thinketh most wysdom to take of pe best.

83/2 like yow to wete pat y have be with my maistrys Langford and Roger...

275/2 pleasithe to wete pat my lady is in gode hele,...

280/1;303/1;329/2;etc.

The following table shows the frequency of occurrences for each structure in the Stonor collection. For comparison, the results of S. Sukagawa's research, which also deals with the 15th century English, will be reproduced here.⁵¹ Our results are very different from S. Sukagawa's. In the Stonor most of the instances of the subjective infinitive (134 out of 158 instances: about 85%) occur in the impersonal construction, while S. Sukagawa's results show that the subjective infinitive in the personal construction makes up about sixty-five percent of the total of his corpus. From this fact we can safely say that the Stonor largely retains Middle English

traits in the use of the subjective infinitive.

3. Use as object

3.1 Infinitive with the auxiliaries

3.1.1 Auxiliary verbs (*can*, *may*, *must*, *shall* and *will*)

In accordance with T. Mustanoja's statement,⁶¹ the bare infinitive (abbreviated as ϕ -Inf) in connection with the auxiliaries is the rule in the Stonor and *to* is used only if the infinitive follows the auxiliary at some distance except for one instance:

301/9 I wolde ye wolde to sewe to be scherve of owr scher,...

With *must* (1) :

289/37 ye must hastily to admitte a poreman in Prynys is hous...

With *will* (2) :

110/11 3e wyl atte pe day of mariage to ley downe upon pe boke xls,...

203/25 I wold not for xl. li. for to breke the promyse...

3.1.2 Other auxiliaries (*do*, *dare*, *need* and *ought*)(1) *Do*

In the Stonor we find eleven instances of periphrastic *do*.

289/36 ye didde occupy this office under you

150/12;239/21;etc.

(2) *Dare*

All the instances of the infinitive with *dare* in the Stonor are ϕ -Inf.

(3) *Need*

Not a single instance of *to*-Inf with *need*

Table 1 Use as Subject

Corpora Types		Stonor	S. Sukagawa's results			
			Pastons	Caxton	Malory	Total
Personal	<i>To</i> -Inf + V	1 (0.6)	1 (2.1)	7 (10.0)	0 (0)	8 (6.0)
	<i>It</i> -- <i>to</i> -Inf	20 (12.7)	18 (38.3)	48 (68.5)	6 (37.5)	72 (54.2)
	<i>It</i> -- <i>for</i> +NP+ <i>to</i> -Inf	3 (1.9)	3 (6.4)	2 (2.9)	1 (6.2)	6 (4.5)
Impersonal	<i>It</i> --IV+NP+ <i>to</i> -Inf	65 (41.1)	12 (25.5)	9 (12.9)	6 (37.5)	27 (20.3)
	IV+ <i>it</i> +NP+ <i>to</i> -Inf	36 (22.8)	7 (14.9)	0 (0)	1 (6.2)	8 (6.0)
	{ NP+IV IV+NP } + <i>to</i> -Inf	33 (20.9)	6 (12.8)	4 (5.7)	2 (12.6)	12 (9.0)
Total (%)		158 (100)	47 (100)	70 (100)	16 (100)	133 (100)

appears in the corpus.

(4) *Ought (owe)*

Four instances of *to-Inf* with *ought (owe)* are found in the Stonor. We cannot find any instance of ϕ -Inf.

213/11 enny trewe person owythe for to jostyfy for a trowthe.

74/12;347/7;etc.

3.2 Infinitive with verbs

We commonly find the instances of the infinitive as the object of a finite verb (excluding the auxiliaries) in the corpus. Most of the finite verbs are followed by the *to*-infinitive, whereas a few of them cooccur with the bare infinitive. We describe the instances of the objective infinitive, referring to both Palmer's and Suka-gawa's classification of the finite verbs.⁷⁾

3.2.1 With ϕ -Inf

(1) Causative (9) : *let, help, make, do*

130/5 Howe be it ye and oper wurshipful haven lete be moved ayenst me...

131/11 y shall do my part to helpe remedie hit after my power.

213/17 maister Betson schold make labor to your mastershippe to brynge the seyde Daveth...

99/11 3e wod do make astate wnto me,...

304/14;335/20.

(2) Perception (4) : *hear*

219/6 Also I here say that he shold show 3ow...

219/5;219/11;etc.

(3) Entreaty (1) : *pray*

236/15 I pray send me word by my servaunt,...

(4) Process (1) : *keep*

63/37 we kepte not sende þe Dede aboute into þe tyme hit were enrowlyd,...

3.2.2 With *to-Inf*

(1) Causative (15) : *help, cause, let, make, do*

49/15 I sshal helpe to bere sum of þe costes.

202/15 yef the said William and his heirez make or cause to be made...

109/14 Thomas Stonor is to let to farm to them all manors etc....

80/51 þe seid Richard tok or made to be takyn the seid John or hym keypd in prison...

89/16 I schall do to plesse you as mych,...

205/6;243/6;etc.

(2) Perception (3) : *think, surmise*

153/21 I thynkke to do ther after:...

344/4 ...surmyssed to be don unto Elizabeth Wynarde callyd þe Kynges wydewe...

44/4.

(3) Futurity (80) : *desire, intend, purpose, like, promise, hope, etc.*

105/3 desyryng to here of 3owr welfare.

151/17 I entende to kepe my gresse tyme...

Table 2 Use as Object

Types \ Corpora		Stonor	S.Sukagawa's results ⁸⁾			
			Pastons	Caxton	Malory	Total
Vt + ϕ -Inf	Causative	9	2	3	25	30
	Perception	4	6	3	4	13
	Entreaty	1	0	0	0	0
	Process	1	0	0	0	0
	Total	15	8	6	29	43
Vt + <i>to-Inf</i>	Causative	15	0	13	2	15
	Process	0	3	29	10	42
	Perception	3	3	24	9	36
	Futurity	80	53	10	9	72
	Reporting	15	4	1	0	5
	Entreaty	2	0	0	0	0
	Miscellaneous	12	29	18	15	62
	Total	127	92	95	45	232

190/10 y purpose to entre in þe Manere of Makney with
Godes grace...

87/5 ye like to wryte unto me...

150/6 I graunte and faithfully promitte to content and
pay ayein...

300/9 and yet theye hope to be:...

105/2;197/2;199/12;etc.

(4) Reporting (15) : *trust, remember, agree,*
etc.

136/15 I trust to spede ther in lyke wyse...

285/62 For goddis sake remember ye to move my lord
Markas...

111/32 your Councill in no wyse wold not agre to have
the said way found:...

127/30;130/17;200/7;etc.

(5) Entreaty (2) : *sue*

330/16 and sued to be made a denyson for fer of þe pay-
ment of þis subtedy:...

301/9.

3.2.3 *It* as a formal (anticipatory) object

In the Stonor there appear only two instances in which an extraposed grammatical object *it* precedes the infinitive as the logical object of a finite verb.

341/24 I hold it best to suffre hym a whyle to be ab-
sent,...

169/13.

But there occur five instances where a modern reader would expect to find the formal object *it*.

120/13 he nor I neyther dar nor wyll take upon us to
reseyve yow,...

276/9 we thynk necessary to have your mastership, my
lady your wif, and Ric. Winslade...

68/8;319/4;344/23.

As Table 2 shows, in the Stonor the verbs taking a ϕ -infinitive direct object are of much lower occurrence in comparison with the verbs taking a *to*-infinitive direct object; it is noteworthy that the verbs of futurity taking a *to*-infinitive direct object predominate over other kinds of verbs, as in the Pastons.

4. Predicative use

In this chapter we treat two kinds of predicative uses of the infinitive: the predicate nominative and the predicate accusative. One appears in the nominative-with-infinitive construction and the other in the accusative-with-infinitive construction.

4.1 Predicate nominative

In the Stonor we find the predicate nominative in the following four types of constructions.

(1) *be*+(*for*)+*to*-Inf (46)

This construction *to be to* in the Stonor almost always implies futurity and obligation, and rarely possibility. Among these forty-six instances are included seventeen occurrences in the formulative phrase 'that is to say' or 'that is to wete'.

Futurity:

54/29 his son John is to have the reversion of the Manor
of Burewardescote...

78/6;306/5;etc.

Obligation:

109/16 Stonor is to have the issues of all other
lands...

94/13;221/11;etc.

Possibility:

322/8 hit were not to doo,...

(2) *Vi*+*to*-Inf (1)

Only one instance:

80/46 the same Richard fortunyd to come home...

(3) *be*+*V*-ed+*to*-Inf (24)

80/82 he may be compellid to yeld to the seid John
Frend...

100/10 ye be not disposid to come here this terme,...

282/5 I am bownd to be your trewe servaunt,...

124/19;217/13;182/23;etc.

(4) $\left\{ \begin{array}{l} \text{a) NP+to-Inf (27)} \\ \text{b) } \phi + \text{to-Inf} \end{array} \right.$

a) NP+*to*-Inf

The infinitive is used instead of the finite form. This phenomenon is called the *historical infinitive*⁹⁾ and often found in the Stonor.

74/53 his preest to go in to the parsonage to kepe peas,...

123/10 I to take þe lesse when I may have þe more,...

129/53 he for to wayte apon þe Dene of Sarum,...

87/18;107/7;215/10;etc.

b) ϕ + *to*-Inf

Here we shall deal with a similar construction without the sense-subject, which accords with that of the main sentence.

201/8 ye wuld be good maister, and to shew hym your good maistershup,...

284/9 he wol do help my saide lady of hir sekenesse, and to com unto hir at his own cost...

272/18;285/13;285/14;etc.

4.2 Predicate accusative

In this type of construction the subject of an infinitive is expressly indicated and the infinitive occurs as a kind of predicate accusative. Out of 461 instances of the infinitive as a predicate accusative, there occur 133 with no marker against 328 with the marker. We also classify all the instances of the predicate accusative into some groups as we did in Chapter 2.

4.2.1 Vt+NP+ ϕ -Inf

Most of the instances of this type occur with verbs of causing and entreaty.

(1) Causative (65) : *make, let, have*

42/8 this persons use makyth ham fulfulle alle [pis].

91/18 Let William cum in all hast.

151/13 I have the teune of them sende me shortely,...

152/6;203/14;335/8;etc.

(2) Perception (1) : *hear*

324/21 I have herd yure sylffe sey that he so schould doo,...

(3) Command (1) : *bid*

166/61 all oure howsold cryed after me and badde me come down;...

(4) Entreaty (66) : *pray, beseech*

102/6 I pray you commaunde me to my Cosyn your wyffe &c.

124/39 I beseche Jhesu spede and directe this mater to his plesyr,...

115/20;203/23;216/13;etc.

4.2.2 Vt+NP+to-Inf

In this type of construction the verbs of entreaty occur very frequently.

(1) Causative (53) : *cause, do, let, have, move, etc.*

166/47 he will cause strangers to advoide and come no more there.

155/4 doying yow to wyt y have spokyn with pe parson of Penyngton of the matyr...

229/14 lett hym nat be forgotten.

341/20 I wulde suffre hym to have a preste to serve hys chirche...

328/9 we have moved Skyp-ton to make serche...

87/11;134/2;276/9;etc.

(2) Factitive (3) : *appoint, prove, ordain*

78/3 ...to appoynte him to be Sherief of youre

Countes...

67/7 ...to profe Thomas to be sone of syr Water Romsey and Jahne,...

67/9 sche wuld ordeyne a suffycyaunte persone to be bounde with here...

(3) Command (17) : *command, charge, require, bid*

333/11 pe kyng hath commawndyd me to sende youe worde to make youe redy,...

116/19 I chargyd hym to kepe the peas,...

323/18 the seyde Syr W.S. ... requeryth the forseide Perkin Marmyun to move...

285/38 I bede Thomas Mathu to infurme you.

113/3;126/7;218/15; etc.

(4) Permission (10) : *grant, suffer*

123/47 daunger and shame woll not suffir her to speke yt...

192/8 y have trauntide here to yeve here a answeere...

200/16;239/17;341/20; etc.

(5) Entreaty (173) : *pray, beseech, entreat*

100/9 I pray you to come your self and to bryng with you...

212/16 I beseche you to be my good mayster and ffeythfull offer,...

115/7 ...wold have entretid hym to have departe his graunte.

87/22;185/22;246/22; etc.

(6) Futurity (41) : *desire, promise, will, etc.*

98/8 he also, specyally desired me to write to you,...

83/3 Langford hathe promysed me to pay yow at London pis same weke:...

269/6 Master Page wyllys me so to do.

181/3;206/10;296/3; etc.

(7) Counsel (15) : *counsel, advise, warn*

207/10 ye counseled me by your letter to take,...

174/9 I advise you to speke with my lorde of Clarence is feoder,...

333/3 ...to have warnyd youe and all other to attende upon his grace,...

Table 3 Predicative Use

Types Corpora Finite Verbs	V+NP+ ϕ -Inf					V+NP+to-Inf				
	Stonor	S.Sukagawa's results				Stonor	S.Sukagawa's results			
		Pastons	Caxton	Malory	Total		Pastons	Caxton	Malory	Total
Causative	65	6	3	2	11	53	37	88	21	146
Factitive	0	0	0	0	0	3	6	0	1	7
Perception	1	0	2	4	6	0	7	3	2	12
Command	1	1	1	1	3	17	8	6	10	24
Permission	0	0	0	0	0	10	3	5	10	18
Entreaty	66	0	0	0	0	173	53	3	20	76
Futurity	0	0	0	0	0	41	34	3	7	44
Counsel	0	1	0	1	2	15	5	2	1	8
Miscellaneous	0	0	0	0	0	16	24	9	7	40
Total	133	8	6	8	22	328	177	119	79	375

70/5;211/40;313/28; etc.

S.Sukagawa's results¹⁰⁾ in Table 3 show that in the predicate-accusative construction *to*-Inf overwhelmingly predominates over ϕ -Inf. But in the Stonor ϕ -Inf frequently occurs after verbs of causing and entreaty. It is interesting to say that in accordance with the results in the Pastons *to*-Inf in the Stonor occurs as the predicate accusative most often with verbs of entreaty, next most frequently with verbs of causing, slightly less frequently with verbs of futurity.

5. Adverbial use

5.1 Infinitive as a modifier of a verb

In the Stonor there are 145 instances of the infinitive as a modifier of a verb, of which 80 pattern with an intransitive verb. The rest of the instances pattern with a transitive verb. Not a single instance of ϕ -Inf is observed. In almost all the cases the infinitive expresses purpose and is used not only with verbs of motion but also with various other kinds of verbs.

(1) Vi+to-Inf (80)

86/4 when y rode to seke M.Sakvyle...

113/5 ye wole take þe labour as to come hider to speke with my seid lord and lady...

166/11 ye myght waxe and grow ffast to be a woman...

127/19;215/32;341/11;etc.

(2) Vt+to-Inf (65)

81/21 and layyth his men yn awayte to murder me...

103/7 I wull make money off my oxyn to kepe with my promys.

166/32;190/5;246/9;etc.

5.2 Infinitive as adjunct to an adjective and an adverb

5.2.1 After an adjective (54)

The infinitive that modifies an adjective is exclusively preceded by *to*. There appears only three instances of an adjective modified by an infinitive that is active in form but passive in sense:

172/41 ...to have your counsell in what is best to do.

74/44;267/8.

Therefore we cannot uncritically accept T. Mustanoja's observation that 'the instances where an adjective is followed by an infinitive active in form but passive in sense, common from OE to the present day ... require no particular comment.'¹¹⁾

In the Stonor there are four instances where an adjective is followed by an infinitive passive in form.

312/6 he is lykley to be distrenyd...

78/7;199/4;244/10.

In the following, the adjectives modified by

the infinitive are quoted in order of frequency.

able (8) ; *glad* (7) ; *like* (6) ; *loth* (6) ;
ready (4) ; *likely* (2) ; the others (19).

5.2.2 After an adverb (3)

In the corpus there occur three instances of the infinitive as adjunct to an adverb.

302/6 þe wych ar so long to writ unto yow...

218/35 I am to bold thus to wryte,...

129/16.

6. Attributive use

In the Stonor there are, in all, 112 instances of the infinitive with nouns. Of these instances, 108 are preceded by *to*, and 4 by *for to*. Not a single instance of ϕ -Inf appears in the corpus. The infinitive with nouns is commonly active in sense, as in form. But we find twenty instances in which the infinitive is passive in form.¹²⁾

231/7 and to have sewrete for the residew of the money
to be paid at Candemas next.

108/11;129/39;202/27; etc.

We divide all the instances of this use into three types according to the classification made in terms of the meaning and function of the infinitive involved.

(1) Retroactive use (20)

In this type of construction the infinitive refers back to the noun preceding to it which is notionally its object.

123/18 it ys not oon to sey,...

173/7 sche sent me a gobelet to amend:...

183/39;216/27;352/16; etc.

(2) Non-retroactive use (43)

In this type the noun is regarded as the logical subject of the infinitive.

213/36 I kan do to your mastership here in tyme to
kome,...

249/23 concernyng the suerte for divers paiementes to be
made by divers merchautes,...

129/39;250/27;323/5; etc.

(3) Attributive use (49)

The infinitive in this type of construction literally modifies the noun preceding it or is used as appositive to the noun.

252/16 I had nat I-now to perfourme yt.

119/16 ye wolle yf my servaunt leve to take his accion.

312/8 I send for Wiliam Waiche to ,e intent to have
dronkyn wyth hym,...

126/19;252/9;314/8; etc.

7. To and For to

According to T. Mustanoja, '*for to*, used to express purpose since the beginning of the ME period, becomes weakened into a mere sign of the infinitive, equivalent to *to*, in the course of the 13th century; in the *Book of London English 1384-1425* the proportion between *to* and *for to* is roughly 5 : 1; the decreasing tendency continues in the 15th century.'¹³⁾ Just in accordance with his observation, the proportion of *to*-infinitive to *for to*-infinitive in the Stonor is nearly 29:1 (1118 against 38). *For to* is used quite as equivalently in meaning and function as *to*. Therefore it may well be said that *for to* has already lost its semantic and stylistic value in the Stonor.

8. Summary

In this study we have described the uses of the infinitive in the Stonor collection as intensively and extensively as possible. The results of our research can be summed up as follows:

(1) Though the subjective infinitive is relatively of high occurrence, it mostly appears in the impersonal construction.

(2) The bare infinitive is the rule in our corpus in conjunction with the auxiliaries. But except for the infinitive with *ought* (*owe*), there appear some instances of *to*-Inf with the auxiliary. As Table 2 shows, the verbs taking a ϕ -infinitive direct object are of much lower occurrence in comparison with the verbs taking a *to*-infinitive direct object; in the Stonor the verbs of futurity taking a *to*-infinitive direct object predominate, as in the Pastons.

(3) In the Stonor there are four types of constructions in which the infinitive occurs as a predicate nominative. In the accusative-with-infinitive construction the bare infinitive occurs

mainly after verbs of causing and entreaty; the *to*-infinitive frequently occurs after verbs of causing, entreaty and futurity.

(4) The infinitive of adverbial use occurs most often as a modifier of a verb, next most frequently as adjunct to an adjective, rarely as adjunct to an adverb.

(5) The infinitive of attributive use is frequently found in our corpus. There are three types of uses: the retroactive use, the non-retroactive use and the attributive use.

(6) In the Stonor *for to* is used quite as equivalently in meaning and function as *to* and has no semantic and stylistic value.

Notes

- 1) The uses of the infinitive in the three texts (*The Paston Letters* [1478-1506], *The Book of the Knight of the Tower* [1484], and *Le Morte Darthur* [1485]) are described in Seizo Sukagawa, 'The Syntax of the Verbal Phrases in the Fifteenth Century--Part II The Infinitive', *Dokkyo University Studies in English* No. 14, 1979, pp. 49-73.
- 2) Kazumi Manabe, 'The Infinitive in Early Middle English Prose', *English and English-American Literature* No.7 (Yamaguchi Univ., 1972), p. 41.
- 3) The number in the parentheses refers to the total of instances.
- 4) All references to the Stonor collection are to Charles L.Kingsford's edition of *The Stonor Letters and Papers 1290-1483* (Camden Society, 3rd series, Vols. 29 and 30, 1919) ; and 'Supplementary Stonor Letters and Papers' in *The Camden Miscellany* (Camden Society, 3rd series, Vol. 34, part 2, 1924).
- 5) Sukagawa, *op. cit.*, p. 52.
- 6) T.F.Mustanoja, *A Middle English Syntax: I parts of speech* (Helsinki: Société N ophilologique, 1960), p. 528.
- 7) F.R.Palmer, *The English Verb* (London: Longman, 1974), pp. 189-207 ; Sukagawa, *op. cit.*, pp. 54-64.
- 8) Sukagawa, *op. cit.*, p. 57.
- 9) Mustanoja, *op. cit.*, pp. 538-39.
- 10) Sukagawa, *op. cit.*, p. 61.
- 11) Mustanoja, *op. cit.*, p. 521.
- 12) Cf. Sukagawa, *op. cit.*, p. 70.
He records two instances of the infinitive passive in form in the Pastons and Caxton respectively.
- 13) Mustanoja, *op. cit.*, p. 514.

ウィリアム・ジェームズの
物質概念について

木村倫幸

Tsuneyuki KIMURA

ウィリアム・ジェームズが、物質概念の検討にあたって、バークリー(Berkeley、⁽¹⁾)の見解を尊重し、これに賛意を示したことは、よく知られている。またジェームズが、彼の思想の中心課題と見なした宗教的信念の擁護の問題を追求するにあたって、どうしても避けて通ることのできないのが唯物論の問題であり、これへの反論が彼の思想的特徴のひとつを成していることも周知の事柄であろう。この意味でジェームズが、唯物論の批判に際して、バークリーの物質概念を利用して自己の主張を補強展開したということがあり得るし、またこの方が自然であるようにも考えられる。ところがジェームズの物質概念の理解および唯物論についての理解を検討するならば、この推測が、全くの誤りであるとは言えないにせよ、彼の思想においてはこれら両者の概念についての理解がかなり食い違っていること、従って物質概念の批判を前提にして唯物論の批判へという道筋を辿ることができないことが明白になるのである。

換言すれば、ジェームズにおいては物質概念は唯物論と関係のないままに取り扱われ、また唯物論は物質概念抜きで批判されているのである。この結果彼の唯物論批判は、哲学上の問題としてよりも道徳上の問題として遂行されることになる。

しかしこのことは、ジェームズの思想をより主観的な方向へと進ませる以外の効果を生まず、批判自体も説得性を欠くものとならざるを得なかったと言えよう。そして同時にそれは、それぞれにプラグマティックにという言い表わし方で、ジェームズの思想の矛盾をも示しているのではないかと考えられる。小論は、右に示されたジェームズの物質概念と唯物論の理解の検討を通じて、両者の関係を説明し、この事情が彼の唯物論批判にいかなる影響を与えたかを探ろうとするものである。このことはまた唯物論批判における物質概念の重要性を明らかにすることにもつながるように考えられる。

ジェームズは、物質概念を取り扱うにあたって、常に物質界・物理的世界と精神界・有機的世界との相違を強調する。

例えば「心理学原理」⁽²⁾においては、「習慣」の章で次のように述べている。

「習慣とは何であるかを定義しようとする、われわれは、物質の基本的な特性へと導かれる。自然の法則とは不変の諸習慣以外の何ものでもない。そしてこれに物質の様々な要素が、互いの作用と反作用において従うのである。…(中

略) : 物質の基本的部分の習慣は、(原子論哲学の原理に基づけば) 変化できない。何故ならば、その部分それ自体が不変なものだからである」(Pr.p.p. 109-110)。

そして同じ頁においてジェームズは、有機的世界について、こうも述べるのである。

「有機的世界では、しかしながら、習慣はこれ(物理的世界—引用者)よりも多様である。本能ですら、ある種のひとつの個体から別の個体へと変化するし、後に見るように、同一の個体においても状況の必要に適合するように変えられる」(ib.) 七。

すなわちジェームズは、物質界・物理的世界を不変の物質による必然的機械的運動のみの存する世界として描き、それを人間の意識の世界とは無関係な、冷たい死んだものであるかの如くとらえる。物質は、その世界では何ら変化することなく、永遠の昔から機械的にのみ動いていとされる。これがジェームズの物質界・物理的世界について持つイメージのすべてである。従ってそこには、永遠であっても何らわれわれ人間の精神に関わるものは存在しない。

右のことから、当然のこととして、道徳に関する問題は、この世界から除かれることになる。

「完全に物質的な、次のような世界を想像したまえ。それはただ物理的および化学的な諸事実だけを含み、神やそれに関心を持つ見物人さえいないままに、永遠の昔から存在する、そのような世界である。この世界について、その状態のひとつが、他のものよりもより良いと語ることに何らかの意義があるだろうか。あるいはそのような世界が二つ存在し得るとするならば、そのひとつを善とよび他を悪とよぶことに：(中略) : …どんな道理があるだろうか」(WB.p. 145)。

「確かに、純粹に知覚のない世界には善や悪があるべき地位は存在しない。ただ物理的事実としてのみ考えられているひとつの物理的事実が、他の物理的事実に比べて『より良く』あり得るというのはいかにして可能か。より良いことは物理的な関係ではない。たんなる物質的な能力においてあるものが善か悪かであり得ないのは、それが快苦のどちらでもあり得ないのと同様である」(ib.)。

このようにジェームズは、議論をもつばら物質界とは質的に異なることされる、意識の存在する世界のみ限定しようとする。この場合の彼の姿勢は、徹底して、物質的世界を論じる価値なきものとするのであり、先に述べたように、物質的世界は人間の意識とは無縁なものとして前提されてしまっているのである。そ

して実はこの姿勢から、彼の唯物論の理解もなされていると言えるであろう。ジェームズの唯物論理解の特徴が、その機械論的理解にあることは既に説明されている⁽²⁾。このことは彼の次のような主張を見れば明らかである。

「自然界の諸法則が事物を動かしている、と唯物論者はいう。そして天才達の最高の作品さえが、事実について完全な知識を有している人によって、彼らの生理学的諸条件から算出されるかもしれない」(Pr.p. 49)。

ここでは、(ジェームズの理解する限りの) 唯物論者の主張として、精神的活動をも生理的活動に、さらには分子や原子間の物理的・物質的運動に解消してしまふことが語られている。この叙述が、最初の物質の「不変の諸習慣」と軌を一にしていることが理解されるであろう。このようにジェームズは、物質的世界と精神界・有機的世界との切断・対置を何よりも重視しているのであり、この両者を分けるキー・ワードとも言えるのが、前者の世界の機械的性格なのである。

かくして物質的世界の機械的性格を強調することが、ジェームズのこの世界に対する一貫した姿勢であることが確認された。彼は、このことを強調することによって、これとは異なる世界の道徳的生活とその中で生活する人間の意識・精神のあり方を特徴づけようとした訳である。物質的世界は、この場合、既に視野から消去されてしまっていると言えよう。そして彼の擁護するところの宗教的信念は、より高貴な、人間味のある世界においてのみ意義を持ち得るとされるのである。

しかしこのジェームズの姿勢と同時に、哲学においてはやはり物質的世界、というよりもこれを構成するものとしての物質が歴史的に問題とされてきたし、現在でも問題とならざるを得ない。そしてジェームズもこのことを否定することはできない。そこで次にジェームズの立場からは物質がどのように考えられているかを検討する必要がある。このことは、物質的世界の機械的性格とはやや異なる観点から論じられているように思われる。

二

ジェームズは、物質概念を取り扱うに際して、これを実体概念との関連で物質的実体として取り上げる。そしてこの概念の吟味にプラグマティズムの方法を適用するのである。さらに彼は、物質的実体の検討に先立って、実体そのものの概念が意味するところを説明する。その上で精神的実体および物質的実体に進むと

いうやり方を取る。

さてジェームズによれば、「この観念（実体の観念——引用者）は、最初ギリシア人によって用いられ、中世を通じて非常に注意深く念入りに作られた」（*SPP*.pp.63~64）。ここで言われてきた実体とは、「そのみにて（*perse*）存在し、従ってそれ以上の内在するべき主語を必要としない存在として定義され」（*ib.*）、「内在するべき主語を必要とする」すべての「偶有性」（*accidents*）とまず区別された」（*ib.*）ものであった。従ってそれは、事物の原理・本質と考えられたのである。そして「スコラ哲学が、実体の観念を常識から取り上げて、それを非常に専門的かつ筋の通ったものにしてしまった」（*Pr. p.96*）。しかしこの結果実体は、「外界の背後にあってそれよりもより深くかつ実在的、そして外界を支えるのに必要とされるもの」（*ib.*p.47）、人間には近づくことのできない別の何かになってしまったとされる。

「われわれにとって実体ほどプラグマティックな重要性の少ないものはほとんどないように思われる。というのはわれわれは実体とのあらゆる接触から切り離されているからである」（*ib.*p.46）。

これに対してロック、さらにはヒュームが、精神的実体に批判を加えることになる。とりわけプラグマティックな批判であるとして賞賛されているロックの「人格的同一性」（*personal identity*）の批判は、ジェームズによれば次のようなものである。「経験的にはわれわれの人格的同一性は、われわれの後の精神状態が先のものに続いており、それを記憶しているという機能的かつ知覚できる事実以外の何ものにも存していない」（*SPP*.p.65）のであり、換言すれば「精神的実体、人格的実体（合理論の主張する魂）なるものは、つまり「意識（*consciousness*）」に他ならず、「人生のある瞬間にわれわれが他の瞬間のことを思い出し、そしてそれら全部を一つの同じ人格の諸部分として感じるという事実」（*Pr.*p.47~48）ということなのである。従ってロックの立場からすれば、人格的同一性を構成しているものは「プラグマティックに限定できる個々の場合」（*ib.*p.48）のみであって、「これらの立証できる諸事実から離れて、それ（人格的同一性——引用者）がまた精神的な原理に内在（*inhere*）しているかどうかということは、単に詮索好きな思弁に過ぎない」（*ib.*）。

右の立場を徹底させたのがヒュームであり、彼は、彼以後のほとんどの経験心理学者と同様に、「それ（魂——引用者）を伴って経験の流れの中に再下降し、『諸観念』およびそれら相互の特殊な結合といったやり方で、魂を多くの小銭の

価値に現金化するのである」（*ib.*）。

かくして精神的実体は、個々の具体的に経験し得る小銭（特殊事実）に解体された。同様に物質的実体も取り扱われることになる。この場合その代表的な哲学者は、パークリーである。

パークリーは、物質に関して次のように主張する。

「視覚によって私は、様々な程度と変化を持った光と色彩の諸観念を有する。触覚によって私は、例えば硬さや軟かさ、熱や冷たさ、運動や抵抗を、そしてこれらすべてについて量あるいは程度の多少を知覚する。嗅覚は：（中略）…。そしてこれらのいくつかは互いに伴って観察されるので、それらは一つの名称によって示され、かつ一つの事物として見なされるようになる。このように、例えばある色・味・香り・形および堅さが一団となっていると観察されてきたので、それらはリンゴという名前によって表示される一つの別個な事物と考えられる。他の観念の集まりは、石とか木とか本など、知覚できる諸事物を構成する」^⑬。

つまり物とは「観念の集まり」であるとされ、これらの観念は、それを知覚するもの（心・精神など）なしでは存在できないから、「思考しない事物（*unthinking things*）——それも知覚されることとはいかなる関係をも持たないもの——の絶対的存在について言われることについて言えば、これは完全に不可能であるように思われる」^⑭。

すなわち観念から離れた物質・物質的実体が存在することはあり得ないとされるのである。この場合パークリーは、観念ということをも個々の感覚と同一視しているから、右の主張は結局のところ、「それらの存在することは知覚されることである」^⑮とする、物質を「観念の組合せ」と見る立場の表明に他ならない。

このことは、「家、山、川、一言でいえばあらゆる知覚できる事物が、知性によってそれらが知覚されるのとは別の自然的あるいは本当の存在を有するという、人々の間に奇妙に広く行き渡っている説」^⑯を取り上げるときに、より明白になる。パークリーは、この説（唯物論）に対してこう批判する。

「われわれが感官によって知覚するところの事物を除いて、上述の事物は何であるのか。そしてわれわれ自身の観念あるいは感覚の他に、われわれは何を知覚するのか。またこれらの観念あるいは感覚のどれかが、あるいはそれらの何らかの組合せが、知覚されないままに存在するということは、明らかに矛盾ではないか」^⑰と。

かくしてパークリーによって、物質的実体は、「観念の集まり」「感覚の組合せ」

に解消されてしまうことになる。パークリー自身のこの主張は、後に、主観的観念論の典型であるとして唯物論の側からの批判を受けることになるのであるが、その内容をそのまま受け継いで、ジェームズは、「物質」についてのパークリーの批判は、それ故に全くプラグマティックであった」(Pr.p.47)と評価する。

すなわちジェームズにとっても、「物質とは、色、形、硬さ等々についてのわれわれの感覚として知られる」(ib.)のであり、「それらの諸感覚が、その言葉(物質—引用者)の現金価値なのである」(ib.)。

従ってジェームズは、パークリー同様、物質を次のように定義する。

「要するに、「群の感覚(certain grouped sensations)」というものが、物質的実体がそのようなものとして知られているものすべてである。それ故「物質」という言葉が要求し得る唯一の意味は、それがこうした感覚やそれらの集まりになったことを表わしているということである。これがこの言葉の確認できるただ一つの側面である」(SPP.p.65)。

それ故ジェームズは、「してみるとパークリーは物質を否定する訳ではなく、彼は、物質が何から成っているかをわれわれにただ告げているだけなのである」(Pr.p.47)と主張するのであり、物質は、われわれの感覚にあらわれる限り、現金価値を持ち、それ故に真なるものと見なされることになる。

かくしてわれわれは、物質的世界を構成していることとされる物質そのものが、ジェームズによって如何に把握されているかを明らかにした。その結果物質とは、「一群の感覚」としてわれわれに知られるものであること、要するに「感覚の組合せ」に過ぎないものであることとされた訳である。この意味ではジェームズの主張はパークリーをそのまま踏襲しているが、しかしパークリーが、「私の思考においてある知覚できる物あるいは対象を、それについての感覚あるいは知覚から別に思い描く」⁸⁾ことを主張する「唯物論者」と呼ばれる人々に対する直接の批判から、右の物質に関する結論を出したのに対して、ジェームズは、実体概念にプラグマティズムの方法を適用して同様の結果にいたったと言えよう。確かに、「ある知覚できる諸経験が一緒に所属している(belong together)」と思われる事実が、それ故実体という言葉の意味しているすべてである」(SPP.p.66)とジェームズが言うとき、まさしく実体ではなくて、それらが互にくっつき合っていると思われる事実がどのような価値を持つか、そしてそれがどのような違いを生み出すかが、彼の重視するところなのである。

ところでジェームズがかかる物質概念に到達したとすれば、これは、この物質

から構成されているとする物質的世界についての彼の理解とはどのような関係になるのか。われわれはここでジェームズの物質的世界と物質概念の関係の検討に向かわなければならない。

三

さてわれわれは、最初の節において、ジェームズの物質的世界についての理解が機械論的性格を有していること、およびこの理解の姿勢が彼の唯物論に対する理解においても一貫していることを見てきた。ここでは唯物論は、ひたすら機械的必然性に埋没して世界の出来事を説明するだけの宿命論として位置づけられていたのである。

ところがジェームズは、その物質的世界を構成している物質的実体・物質を説明するにあたって、それを「観念の集まり」「感覚の組合せ」と理解する。このことは、右の物質的世界の理解とは異なり、物質概念を小銭(感覚し得る個々の特殊な事実)に解体することであった。従ってかかる「集まり」「組合せ」とされてしまった物質概念においては、必然性云々ということは問題にもならず、況んやトータルに世界を考える視点すらあり得ないことになる。すなわち実体概念がそもそも始めから否定されているのであるから、物質は、確かにその個々の属性を通じて一応真であると言われるが、この物質から成る世界については、物質概念の右の理解から果たして何を語ることができるのか、ということが疑問としてあらわれてくる。そしてこの疑問を通じて、両者の食い違いが明らかになってくるのである。

このことは、ジェームズが物質概念と唯物論の概念とのそれぞれの実際的な結果について語るときに、より明確なかたちを取るようになる。ただしジェームズは、「すべての真の意味での形而上学の論議においては、たとえ推測に基づくわずかなものであっても、何らかの実際的な論点が含まれている」(Pr.p.52)と語っているからである。これによれば、ある観点あるいは哲学上の立場は、それが現実においてもたまたま行為や状態の差として考えられなければならないとされる。

従ってこのジェームズの主張を物質概念および唯物論の理解に則して適用するとき、われわれは、ジェームズがこの両者の関係をそれほど厳密には考えていなかったのではないかという証拠を提示できるように思われる。

例えば物質概念については、「それが真に存在することによってわれわれに起こる違った出来事とは、そのときにはわれわれはそのような感覚を得るといこ

とであり、存在しないことによっては、われわれはそのような感覚を欠くということである」(ib.p.47)、「これらの感覚が、そこで物質のただひとつの意味なのである」(ib.)と述べられるとき、物質概念は、あくまで感覚の次元のものとしてしか考えられておらず、どこにもこれ以上の意味を含んでいない。しかしこれはこれでジェームズにとってプラグマティックな対応の仕方とされているのである。

しかし問題が唯物論のこととなると、これは全く違う様相を帯びることになる。この問題はジェームズの思想の根幹に関わる世界観的な問題であるとされ、唯物論の全き否定と宗教的信念の擁護が徹底して主張されるのである。すなわち右の物質の存在を支持するか否かということなどは隅に追いやられ、唯物論が機械論であり決定論であり、従って宿命論であって、「全くの最終的な破壊と悲劇」(catastrophe)がその未来の行き着く先であること、これに対する有神論ないし唯心論の側には、われわれを取りまく宇宙への信頼と親密さが存在していることが熱っぽく強調されるのである。

これらの主張から明らかになるように、ジェームズにおいては物質概念と唯物論の理解とは、厳密な関係がないのはもちろんのこと、別個のカテゴリーを形造っているようにさえ思われるのである。すなわち物質概念のプラグマティックな理解と唯物論のプラグマティックな理解との間に、必ずしも論理的整合性がないと言いうことができるのではないであろうか。前者の理解においては後者は念頭になく、後者の理解においては前者は前提とされていないバラバラの理解こそ、ジェームズの物質概念と唯物論の実態であるように思われる。

ではこの問題についてジェームズ自身は、どのように述べているか。彼が「プラグマティズム」において、「哲学的唯物論は、形而上学的原理としての『物質』について信じることに必ずしも結びつくものではない」(ib.p.48)と語っていることに注目しなければならない。この箇所においてジェームズは、物質概念の問題は形而上学的原理の問題であって、唯物論の問題とは関連がないことを自ら告白している訳である。

このジェームズの主張の基礎には、唯物論を「より高次なものはより低次なものによって説明され、そして絶えず『それだけのもの』の事例として——すなわち全く下位の種類の何かであるだけのものとして——取り扱われる」(ib.p.15)という立場、あるいは「より高い諸現象をより低い諸現象によって説明し、そして世界の運命をその盲目的な部分と力のなすがままにする」(ib.p.49)という立

場としてしか理解していない、彼の唯物論の機械的的理解が存在していると言える。このためジェームズは、物質概念は物質概念のみで、唯物論は唯物論のみでプラグマティックに理解せざるを得なかったと考えることができる。そのような事情によって両者は、ジェームズの思想においては別々のものとしてあらわれてくることになるのである。

四

かくしてわれわれは、ジェームズが物質概念と唯物論とを切り離して理解したことにより、彼の思想では物質概念は出発点にならず、単なるプラグマティックな概念把握の例として持ち出されていることを理解することができるであろう。ジェームズの関心は、物質概念そのものよりも、むしろこれに関連した思想的立場とされる唯物論の批判にあったのであり、このなかでは物質は物質的世界(物理的無機的世界)としてのみ取り扱われる。そしてこれは、機械的必然性の支配下に置かれているが故に論じる価値もないほどの世界とされるのである。

従ってジェームズの論理展開では、物質概念のプラグマティックな理解に基づいて、そこから唯物論を批判していくという視点はなく、唯物論についてはまた唯物論として把握され、これに相対していくというコースを取るのである。しかもそのそれぞれが、それぞれのプラグマティックな理解を受け、現実生活に役立つ限りにおいて真とされる訳である。

このような事情は、ジェームズの議論を厳密なる哲学概念から成る体系として構成するよりも、信念を中心とする世界観をめぐるものとして特徴づけることに役立っていると考えられる。事実彼の主張は、宗教的信念の擁護をめぐる行なわれており、このための論理の方が、哲学的な厳密さよりも優先させられている場合もしばしば見受けられるのである。

それ故ジェームズは、前節で見たように、唯物論を機械的必然論としてのみ把握することで、自己の主張の基礎を据えているのであり、ここから唯物論の不当さ、不道德さ、展望のなさ等を非難する訳である。このことは、唯物論を哲学上の問題としてよりも、日常生活の信念の問題として扱うことであって、ジェームズがかかるやり方で唯物論を批判した背景には、物質概念との関連を考慮の外に置いたということがあったのである。

しかしまたそのことが同時に、彼の唯物論批判を一面では実りのない、主観的なものにしていくことは否定できないであろう。ジェームズにとっては、唯物論、

それも機械的に理解された唯物論——それは物質的世界の機械的理解と通じるものであるが——が前面の敵であるとき、その将来持たされる結果が憂うべきものと考えられ、これへの対応がまず考えられねばならなかったが故に、かかる物質概念との関連が二の次に置かれたと考えられるが、このことのもたらした結果は、遙かに大きなものであったと言わざるを得ない。

というのは、哲学上で常識となっているところの唯物論の概念というのは次のようなものだからである。

「唯物論は、世界を理解するにあたって物質的なものを根源的なものとみなし、物質とは無縁な靈魂、意識、精神を認めず、実証科学の成果にもとづいて、意識（思考）を高度に組織された特定の物質（すなわち脳髓）の所産と考える。したがってまた、唯物論は、われわれの意識から独立な客観的实在（物質）を認めるとともに、われわれの認識を、精神の自由な創造としてではなく、頭脳による客観的实在の反映、模写として理解する」⁹⁾。

あるいは唯物論の哲学であることを標榜しているマルクス主義哲学では、以下のように物質概念と唯物論との関係について述べている。

「觀念論に対立する哲学の基本的方向で、觀念論に反対して次の事柄から出発するすべての世界観と見解を含む。すなわち意識に対して物質が、第一次的なもの、根本的なもの、規定的なものであり、従って哲学の根本問題に唯物論的に答えるということである。世界観としての唯物論は、物質と意識との関係の明確な理解に基づいており、それ故倫理的な見解や道徳的な主義と混同されてはならない」¹⁰⁾。

右の例で明らか通り、哲学においては唯物論は、物質概念を抜きにしては考えられないものであり、従ってこれに対する批判もまた同様であると言えよう。ところがジェームズは、これとは全く異なって、両者を切り離したまま批判を進めたのである。この結果唯物論は機械論とされたまま、世界観として道徳的な裁断、非難を受けることになる。まさしく右の第二の引用文の最後のように、唯物論が「倫理的な見解や道徳的な主義と混同」される結果を招いているのである。ジェームズの唯物論批判の中心がまさにここにあるが故に、その誤りが一層明白になっていると言えよう。

そしてその誤りが物質概念との切断を発しているということは、ジェームズの姿勢そのものが矛盾していることを示してはいないであろうか。すなわち物質概念も唯物論もそれぞれプラグマティックに理解されてはいるが、それらがプ

ラグマティックにのみ理解されていて、そこに相互の関連を見出すのが困難であるというまさにそのことが、プラグマティズムの本質を端的に示しているように思われる。

それ故ジェームズの理解するところの物質概念は、明らかに主観的觀念論の性格を帯びているが、ジェームズの思想そのものの觀念論的性格は、物質概念においてよりも、これとは別の、唯物論の理解とその批判において、より明確になっているのである。この意味で物質概念はいわば脇役的な役割を果たしていると言えるが、しかしそれは唯物論とは別個に扱われることによって、ジェームズの唯物論理解の誤りの証人となっているのである。

註

(1) William James: *The Principles of Psychology*, vol. I, Harvard U.P., 1981. 以下本書からの引用は「PP」と略記する。
なおジェームズの他の著作からの引用文の略号は次の通りである。

Pr. = *Pragmatism*, H.U.P., 1975.

SPP. = *Some Problems of Philosophy*, H.U.P., 1979.

WB. = *The Will to Believe and Other Essays in Popular*

Philosophy, H.U.P., 1979.

(2) 拙稿「宗教的信念と唯心論——ウィリアム・ジェームズの唯物論批判についての考察」（奈良高専研究紀要第二十一号、一九八五年）を参照。

(3) *The Works of George Berkeley*, Edited. by A.A. Luce and T. E. Jessop, Thomas Nelson and Sons Ltd., 1949, II, p. 41.

(4) (5) (6) *ib.* p. 42.

(8) *ib.* p. 43.

(9) 『哲学事典』平凡社、一九七二年、一四一—四頁。

なお、この引用文に続いて「唯物論は、その本質からみて反宗教的であり、無神論なのである」とあるが、この説明文が唯物論における物質概念の重要性を前提にしていることは言うまでもない。

¹⁰⁾ Wörterbuch der marxistisch-leninistischen Philosophie, Dietz Verl., 1985, s. 333.

大和守源頼親小考(2)

On Yorichika Minamoto, Governor
of the Province of Yamato (2)

Hirosi ASAKURA

朝
倉
弘

第一回大和守辞任以後

寛弘六年(一〇〇九)三月、源頼親は、前稿でみたとおり、任期あと約十か月を残して大和守を辞任した。以後、頼親についての記録は少ないが、長和元年(一〇一二)から同二年にかけては、都に在って藤原道長(左大臣)に奉仕していたことが『小右記』からもうかがえる。何らかの官職にあったと考えられるが、左記の右馬頭であったものか。

翌長和三年頼親は右馬頭に任じていたが、そうしたなかで撰津守を希望し、道長も彼を同守に推挙したけれども、三条天皇の反対のために実現しなかった。

『小右記』三月十六日条には三条天皇の意向として、つぎのとおり記されている。

撰津守佐光可辞退云々、以右馬頭頼親可任之由、左大臣可奉云々、頼親者住彼国所領太多、如土人、(下略、傍点筆者、以下同)

三条天皇は、道長の権勢をこころよからず思い、両者の対立的であったことが、頼親の撰津守補任をさまたげたにしても、三条天皇は、頼親の撰津守補任に対する反対の理由として、右の文によると、頼親は撰津国に在って同国に基だ多くの所領を持っており、あたかも在地土豪のようであるという点をあげている。所領(私領)の獲得は、当時問題であったもので、この点は前稿でもふれたが、頼親の撰津国内における所領について補足すると、つぎのとおり考えられる。

頼親は、いうまでもなく源満仲の息男(次男か)であり、満仲が撰津国に留任して、所領(多田庄)を持っていた関係で、彼も、父の同国での権勢を背景に所領を獲得していたものと考えられる。もっとも、その所在は、当時の記録では明らかでないが、『尊卑分脈』の彼の項(前稿)にみえる「豊嶋郡」^④内であったろう。この点、のち、彼の子孫の大和国宇野氏のうちから豊嶋に留任するものといったことから推測される(宇野親弘・同基弘、撰津国豊嶋流、「尊卑分脈」)。なお、大和における、頼親の所領、その寄進による庄園化などについては後述する。

つぎに、その後の、頼親の動きについて『御堂関白記』寛仁元年(一〇一七)三月十五日条に、

今日除目也、淡路守貞亮、右馬頭惟憲、件等官頼親借(替カ)、

とある。これは、頼親に替って淡路守には源貞亮が、同じく右馬頭には藤原惟憲が補任されたことを示すもので、従って頼親はそれまで淡路守と右馬頭を併任していたものと考えられる。右馬頭は以前からのものであるが、その後、淡路守を併任したものとみなしえよう。このうち、少くとも淡路守の交替は秩滿によるも

のではなかったらう。この限り、何等かの理由で頼親は淡路守のみならず右馬頭も辞任しなければならなかったものと考えられる。この点について『扶桑略記』寛仁元年三月八日条には、

是日前太宰少監清原清信、日昼被殺、前大和守藤原保昌郎同(党)也、とあり、つづく十五日条には、

坐殺引害致信一事、解却源頼親所帯右馬頭・淡路守、とみえ、これによると、頼親は、前太宰少監清原致信殺害の件に連坐して、兩職を辞任したことがうかがえる。この事件については、実は『御堂関白記』同年三月月条に詳記されている。それによると、

十一日、庚戌、右衛門督来云、行幸申時許六角小路与福(富カ)小路侍小宅清原致信云者侍介り、是保昌(藤原)朝臣郎等(党)、而乘馬兵七八騎・步者十余人許困来殺害了、遺檢非違使等、令日記如此、見之秦氏元子申有此中由、問氏元在所、頼親朝臣相從者々、仍問案内、頼親所為、人々広云、件頼親殺人上手也、度々有此事、是被殺害大和國為頼(當麻)云者阿党云々、

十二日、辛亥、使官等遣氏元在所、是撰津国云々、又召頼親使等也、

十五日、甲寅、追捕氏元官人等奉日記云、氏元家召法師問、申云、件頼親朝臣依仰氏(脱アルカ)奉仕者、子細有事多、

とある。これらによると、石清水八幡宮へ行幸(後一条天皇)のあった寛仁元年三月八日申(午后四時)の頃、京都の六角小路と富小路に宅を持っていた、前太宰少監清原致信を騎馬・歩二十人ばかりの武者が囲み来て殺害したことがうかがえる。殺害された致信は藤原保昌の郎党であったという。早速、檢非違使らを遣して調査させたところ、秦氏元の子が加害者のなかにいたことがわかり、氏元の在所を調べると、それは撰津国であり、また、頼親の從者であることがわかった。さらに、事情を尋ねると、致信殺害は頼親の所為であって、頼親は殺人が上手であることは、広く人びとが知っていることも明らかになってきた。このたび殺害された致信は大和國當麻為頼の阿党(同僚の意味か)であったこともわかってきた。こうしたなかで頼親の使者も召喚されたが、氏元の召し使う法師が申すには、頼親の仰せによって氏元が、頼親に奉仕する意味で致信を殺害した。しかし、これには、多くの事情がからんでいたという。

なお、右の為頼は、前稿でみたとおり、寛弘三年に興福寺領池辺園預を殺害して、同寺僧運聖によって宅を焼かれ、田島を踏み損じられた、頼親の從者と考えられる馬允當麻為頼と同一人であろう。この限り、為頼と同僚という致信は、京

都に二か所の宅をもっていたとはいえず、彼の留住の地は大和であって為頼の在所の近くであったとみてよからう。とすると、それは葛下郡(現北葛城郡)内であったと、いちおうみなしえよう。

ところで、致信は、前掲記録では、藤原保昌郎党とあるが、保昌は、頼親が一回目の大和守を任ななばで辞任した(前稿)あと、藤原輔尹について長和二年(一〇一三)四月十五日に左馬権頭を併任する形で大和守に補任されている(『小右記』)。ついで、万寿二年(一〇二五)正月二十九日再度大和守に任ぜられている(同前)。頼親が二度目大和守になったのは、保昌について長元二年(一〇二九)である(後述)。

清原致信殺害事件は、前記のとおり寛仁元年(一〇一七)であるが、藤原保昌が一回目大和守を辞任し、彼のあとをついだ藤原公輔が大和守在任中に起ったものである。この点からみると、致信が保昌の郎党となったのは、保昌が一回目大和守の時期ないしはそれ以前と、いちおう推測される。致信留住の地は大和と推測されるし、また彼は京宅をも持っていた。大和守以前とすれば、京都において保昌の郎党になったものであろう。頼親のみならず、保昌も大和には特別の関心を持っていたらうことは、つぎに述べるが、従って保昌は大和に留住の地を持つ致信に注目していたとも考えられる。

頼親・保昌の大和への関心であるが、実は、この二人は伯父・甥の關係にあつたものである。保昌は藤原致忠の息男であるが、頼親の母は、外ならぬ致忠の娘であった。致忠は藤原南家出身で、この点で大和守智郡(現五条市)の栄山寺が氏寺であった。兩人の大和への関心の一つにはこうした事情があつたと考えられる。そのほか、大和は撰関家の氏社(春日社)・氏寺(興福寺)の所在する国でもあり、道長への奉仕という点では他国にことなるものがあるとも考えて、この二人は、大和をめぐる相互にライバル意識をつよくもっていたものと、いちおう推測される。

つぎに、頼親と清原致信との關係についての記録と考えられる史料をとりあげたい。それは『今昔物語集』第二十五卷第八話の「源頼親朝臣令罰清原」「語」である。この物語は、表題のみが現存していて、その内容は、逸散したためか存在していないので、明らかにしなうがたいものである。しかし、表題からみると、源頼親が清原某を罰したことに關するものとみなしえよう。この点からみると、頼親が国守の権限をもって罰したものと考えられ、また、清原某を致信とみると、この物語は、頼親の一回目の大和守の時期に關する事件の物語化として時期

の限定をすることができるとともに、致信留任の地を大和とする根拠にもなりうるものと、いちおう考えられよう。また、致信殺害事件の前段階における、頼親と致信との関係についても一つの理解がえられる。としても、致信殺害事件の経緯については、なお不明である。本稿はこの事件を中心課題とするものではないのでせん素はやめて、この事件を中心課題としてとりあげた山田英雄氏の所説を紹介しておくに留めたい。氏は「この事件は何らかの原因で致信が為頼を殺害したので、頼親はその従者を使って、報復として致信を殺害したことになる」と述べている。この場合、致信が為頼を殺害したとするのは、同氏の推測であろうが、当時としては、可能性のあったことと考えられる。

本稿では、致信殺害事件は、頼親と保昌の、大和国内における対立抗争の一環として起こったものと考え、これが露見して、頼親は右馬頭・淡路守を一挙に失ったものと考えておく。なお、この事件から推測すると、頼親の一回目大和守着任早々に起こった池辺園預殺害事件（前稿）も、実は頼親の指示によるものではなかったか。

つぎに、頼親は、右の両職が停任となって二年後の寛仁三年正月の梶召除目で、再び淡路守に補任された（『小右記』二十三日条）。以後、約十年間頼親についての記録はみられない。事なく任期を全うしたものであろうか。

ついで、長元元年（一〇二八）の秋の除目に際して、頼親は欠国の摂津守を希望して申文を提出したが補任されなかった（『小右記』九月二十八日条）。国国守については再度機会を逸したことになる。このとき藤原道長（万寿四年没、一〇二七）はすでに故人となっていた。もっとも、翌長元二年頼親は二度目大和守に補任されることになった。

第二回大和守の時代

長元三年九月二十八日付の栄山寺牒（平安遺文「二の五一六号」）の国守の署名は「大和介源朝臣（花押）」とあるが、この花押から国守は源頼親と考えられる。その前任については、前記のとおり、藤原保昌が万寿二年正月二十九日二度目の大和守に補任されており、その後、長元元年十二月十一日に、なお大和守として確認できる（『左経記』）から、彼は秩満によって大和守を停めたはずで、従って頼親は長元二年春の除目で大和守に補任されたものと考えられる。頼親としては、二度目の大和守であるが、ライバル保昌について、久しぶりに同国守に着任したものとえよう。

保昌は、秩満で大和守を停めたにしても、『左経記』長元元年十月十三日条に

よると、平安京の陽明門において、金峯山寺（現奈良県吉野郡）僧百人によって非法を訴えられているが、内容は不明である。もっとも、そのために停任になっただけではないけれども、彼の政治の一端がうかがえよう。

ところで、二度目大和守となった頼親の場合は、着任後二年間については、記録の上で彼の動きはうかがえないが、三年目になると彼の郎党が暴行を働くという事件が起こった。『小右記』長元四年正月二十六日条の「頼親進下事人」には、

大和守頼親進日記内下手五位、可候之処如何、余云カ・申事由于閔白、有可カ被定下敷、但五位者候左衛門府射場之例也、臨昏来云、頼親進下手五位、可令候左衛門府射場、今四人下手者、儘可令召進、彼等不召進者、不可免之由、有閔白命者、宣下訖、

とある。関連して、『左経記』同年同月二十八日条には、

大和守頼親郎等散位宣孝朝臣、依打彼国住僧道覚之下手、公家有召、仍国司召進、今日檢非使等向頼親宅請宣孝、冠、衣、乘馬、放免者二人取馬口、持到左衛門弓場令候云々、昨日頭弁云、件宣孝令進傍下手人等之後、可被問之由、有仰云、遅召進随久可候敷云々、

とみえる。これらによると、頼親の郎党宣孝朝臣ら数名が大和国の住僧道覚を「打」ったという暴行事件であったことがうかがえる。下手人の宣孝朝臣については、姓名も所在も不明である。この点被害者の道覚も何寺の僧か明らかでないが、あるいは興福寺僧であったかも知れない。また、暴行の原因なども不明であるが、数名による暴行となると、そこに計画性を考える余地もあろうが、記録による限り、単に暴行という以外はわからない。

この事件が露見すると、五位の下手人は左衛門府の射場に居らしめるという例に従って宣孝を召し進めよとの指示があり、二日後の二十八日には宣孝を射場に進めたことがうかがえる。単に「打」ったとしか考えようのない暴行事件が、右のような措置にまで及んだ点からみると、この事件の背後には、大和守頼親と対立する、然るべき勢力のあったことが推測されるが、それは興福寺であったものか。その後については、『小右記』同年三月七日条に、

大和守頼親令免身仮従事、下手事、但請僧延覚下手人等、令儘召進者、依御読経結願、只今不參、事畢可来者、仰可宣下之由畢、

とあり、頼親は罪を免ぜられ、下手人の措置も別段のことはないままに済んだようである。なお、この記録の被害者は延覚とあり、『左経記』の道覚と違うがこ

れは、いずれかが誤記と考えられる。

ところが、右の事件後約半年ぐらいで、また、別の事件が起こった。「小右記」長元四年八月二十九日条には、

関白云、大和守頼親未進先日濫行下手、先可令進典葉允致親、件下手等不進者、可令乞(免カ)国司之由者、即宣下、

とみえる。これは濫行事件とあるが、具体的なことは明らかでない。下手人の典葉允致親は、おそらく頼親の従者であつたらう。頼親は、この場合は、指示があつたにもかかわらず、致親を召し進めなかつたために、大和守を停めさせられてしまった。この点からみると、この濫行事件の背後にも、前回と同様、頼親に対立する然るべき勢力があり、また、頼親としては、大和守を停めさせられても、下手人致親を差し出したい事情があつたものと推測される。いわば、根の深い事件であつたとみなしえよう。

なお、以上の間、「小右記」同年三月十九日条には、「大和守頼親志糸十絢」、同記同年七月六日条には、「大和守頼親志糸十絢、紅花廿斤」とみえる。これらは同記を録した藤原実實に志と糸・紅花を贈つたことをうかがわせるものである。いずれも、この年の二回の事件と関係するものかどうかは不明であるが、前者は事件が有利に解決した謝礼、後者は依頼として頼親が贈つたものと、いちおう考えることもできよう。しかし、濫行事件の方は、それもむなしく、折角の二回目の大和守の補任も、任なかばに停任となつてしまつたものである。

ところが、「左経記」長元五年二月三日条には「大和守保昌朝臣」とみえ、頼親の後任として大和守になつたのは、外ならぬ頼親のライバル保昌であつたと考えられる。保昌の三回目大和守補任である。この点からみると、前記の濫行事件の背後には、頼親と対立する勢力として、保昌のいたことが推測される。

前記の暴行事件のときの、背後にあると推定した対頼親勢力は興福寺と考えたが、同寺は摂関家とは庄園の獲得などで対立しており、この点は道長没後頼通の時代になつても、基本的には変るところがなかつたであらう。この限り興福寺の訴えは実質無力なもので、型どおりの措置がとられた程度で、頼親も下手人も罪を免れる余地があつたらう。濫行事件も暴行事件と大差なかつたと考えられる。両事件の違いは、下手人を召し進めたか否かという点であつた。殺人事件というわけでもなく、下手人を進めなかつたという、ただそれだけの理由で大和守を停任となつたのは、対立する勢力が、頼親と大和守を競合するライバルであつたことによるものではなかつたらうか。

第三回大和守の時期

源頼親は、二回目大和守も任なかばにして、長元四年(一一〇三)八月末頃、濫行事件のために停任となつたことは前記のとおりであるが、その後、十年余の間の彼の動きは記録にはみられず不明である。ついで長久三年(一一〇四)春の除目で信濃守に補任され、寛徳二年(一一〇五)までその任にあつたようである。このうち、長久四年から三年間信濃守として在任していたことは、後掲の「造興福寺記」からうかがえる。また、前稿冒頭の「尊卑分脈」の頼親の項にもみられる。この時期の頼親の勤務振りについては後述することにして、彼は信濃守を秩満で終ると、翌永承元年(一一〇四)三度目大和守に補任された。この点、同年十一月二十八日付の栄山寺牒(「平安遺文」三の六三八号)に「大介源朝臣(花押)」とあるなかの花押から知られる。また、永承四年十二月二十八日も大和守として確認できる(後述)から、頼親は永承元年春の除目で大和守になつたとみて違ひなからう。この限り、右の永承四年十二月二十八日は、頼親にとつては、まさに、大和守を秩満にして都に上ろうとする直前であつたと考えられる。実は、前稿でもふれたとおり、この十二月二十八日、頼親は興福寺大衆によって、大和国衙の館に襲われたのである。「扶桑略記」同日条には、

山階寺大衆向大和守源頼親館、前加賀守頼房等合戦之間、興福寺僧侶等中矢死者、粗有其数、

とある。このとき頼親は八十有余歳であつたらうことは前稿でふれたところであるが、この興福寺大衆との、国衙の館における合戦では、頼親の次男前加賀守頼房が中心となり、館の武士のほか、上番の配下武士らを指揮して戦つたものと推測される。このなかで多くの興福寺大衆が殺害されたため、興福寺は翌永正五年正月頼親・頼房父子を朝廷に愁訴した。「扶桑略記」二十五日条には、

大和守頼親配土佐国、前加賀守頼房流隱岐国、依興福寺訴也、

とみえる。これによると、頼親は土佐に、頼房は隱岐に配流されたことがうかがえる。この配流は、以後興福寺において伝承化し、必要に応じて、興福寺は示威の抛り所にしたものである。

もっとも、この興福寺大衆による大和国衙襲撃事件が何故に起こつたかについては、記録の上では何等記すところがない。この点について、以下に考えてみる。まず、この襲撃事件が、頼親の、三回目大和守の任終の時期に起こつたこと、しかも頼親は八十歳を越えており、最後の勤務であつたと考えられる点からみると、興福寺大衆が大和守頼親に、何等かあらたな要求をおこない拒否されて、偶

然に起こった事件とは考えがたいであろう。それは、頼親の、三回に及ぶ大和守在任中にもった、頼親への積年の憤怒を、計画的に爆発させたという感がある。それは、また、頼親かを生かして再び都へは帰さぬといつてもよい決意の表明とも受けとれる。

一回目・二回目の大和守の時期における頼親と興福寺の対立抗争については、すでにふれたので、つぎに、三回目のそれについて考察してみたい。

頼親の、三回目大和守の時期は、興福寺にとっては、実は多難な時期であったと考えられる。

頼親が大和守となった永承元年の十二月、興福寺は火災にあい、北円堂・唐院・伝法院等を除き、その他の堂舎は全焼している（『扶桑略記』二十四日条）。

この焼亡のあと、焼失した堂舎が再建されて、落成供養がおこなわれたのは永承三年三月二日であり（『春記』同日条）、約一年二か月を要した程度で比較的早い復興であった。それは、講堂・南円堂・中門僧坊は藤氏長者頼通以下一門の寄付によって造営され、その他の堂舎は、造興福寺司により官寺として建設されたことによるものであったからであろう。頼親も大和守として興福寺の造成には協力しなければならなかった。同寺が摂関家の氏寺であつてみれば、労を惜んではいられなかったはずであるが、しかし、そうとばかりは云えぬ問題があつた。それは、頼親の前任信濃守在任中のこととも関係することである。『造興福寺記』永承二年五月二十日条には、

廿日甲午、天晴、興福寺納、信濃国長久四・寛徳元・二、并三箇年封可進濟□□（之由カ）賜宣旨於大和守源頼親朝臣、先是、信濃国新司源経隆朝臣可進濟之由、給論旨之處、申返者、前司頼親朝臣依有身□□（病カ）□□□□（彼カ）国下遣使者、徴取三箇年官物、皆悉運上了、遷替之□□無物分付、然則以前司頼親、被令進濟之、左大臣宣云、新司経隆朝臣所申有其理、宜以頼親朝臣、令并申□□、令給件宣旨一也、

とみえる。これによると、頼親が信濃守であつた、おそらく二年目の長久四年から寛徳三年にいたる三年間の、興福寺に進済すべき封（封租米カ）が未納であり、これを納付するよう、大和守となつていた頼親に宣旨の下されていることが知られる。頼親は信濃守の時期の、おそらく二年目以降は病氣と称して任国に赴かず、代りに「使者」（目代カ）を派遣して、三年間の、興福寺に納めるべき封租米や官物を都に運ばせていたようである。病氣にしても事実であつたかどうか疑う余

地もあり、信濃守としての頼親の勤務振りがうかがえる。

不法に都に運ばせた封租米や官物などは、摂関家への経済的奉仕、その他に費されたことは推測にたたくところである。また、未納の興福寺への封租米を、右の宣旨どおり、同寺に納めたものかどうかは明らかでないが、未納のまま放置していたとしても、それが摂関家への経済的奉仕になつていたとすれば、頼親としては、摂関家の氏寺である興福寺といえども、恐れる必要はなかつたろう。

ところが、興福寺は永承四年二月に再度の火災にあつた。『扶桑略記』一日条には、

山階寺内北円堂・唐院・伝法院焼亡、火不_レ及_レ新造堂舎、是去永承元年之火災之時、所_レ遣堂舎也、

とある。つまり、永承元年の火災のとき焼亡を免がれた北円堂・唐院・伝法院が、前に焼亡した堂舎が落成した翌年の火災によって焼失し、しかも、新造堂舎は火災を免がれたという。ありえぬことではないにしても、不思議な火災といえよう。この二度目の火災は、放火の疑いをかける余地もあろう。とすると、最初のそれも放火であつたかも知れない。

以上の、再度に及ぶ永承の火災は、時期的には、いうまでもなく十一世紀中頃であるが、この時期は、前稿でみたとおり、私領の形成に関して田堵の獲得をめぐるの対立抗争の激しかった時期である。こうしたなかでは、永承五年の太政官符案（『平安遺文』三の六八二号、前稿でも引用）には「強窃二盜・放火・殺害」が連綿絶えることがないとあり、この点からみると、興福寺の再度の火災は、同寺と対立する勢力による放火と推測しても不自然ではなからう。つまり、大和守頼親の配下による放火とみなしうる余地は充分ありえらう。とすると、当時興福寺内において右のような疑いを待った者もいたとみて差支えなからう。このように考えるならば、興福寺大衆が大和国衙の館に頼親を襲った根拠の一つ、というよりは最大の根拠に、頼親の興福寺への放火の疑惑をあげるのである。時期的には、大和国衙襲撃事件は永承四年十二月末であり、二度目の火災は同年二月のことであつて、火災は同事件より約十か月前のことであつた。

なお、私領の形成は、いづれ庄園の寄進に発展するものであり、頼親による、摂関家や東大寺への庄園の寄進も、興福寺内での頼親への反感を招くものであつたと考えられる。この点、つぎに考察してみよう。

源頼親による庄園の寄進

源頼親は、十一世紀前半三回に及んで大和守に任じたことは、前稿・本稿でみ

てきたところである。この約半世紀の時期は、大小田堵農民の請作による荒廃公田の再開発がすずみ、そのうえに官人らの私領の形成が展開した時期であるが、私領は、さらに撰関家を始めとする中央有力貴族や有力寺社に寄進されていった。こうした私領の寄進による庄園の形成が、「対捍國務」といわれるように国衙と対立するものであったことは言うまでもなからう¹⁰⁾。

ところが、国衙の責任者であった国司自らが、私領の獲得を進め、それを中央有力貴族や有力寺院に寄進するのが実情であった。この点、永承五年の太政官符案〔平安遺文〕三の六八一号)には、

抑件庄園其数雖多、於数代之処、何致其愁、而前司季定任終、去年之冬遷替、

今春之比所立加庄園五六箇所、又日本庄園所加寄人三百余人、公民遺少、

とみえる。これは和泉国守菅原定義の奏状にみられる文言である。これによると、和泉国では前任の国守藤原季定が、前年の冬任終に及び私(定義)と交替したが、

今年の春には季定が在任中に獲得していた私領を寄進することにより、五六か所の庄園が成立し、その田堵が皆寄人となるので、公民は残り少なくなつてゆく旨を訴えていることがうかがえる。このような動きが数代の国守に及んでおこなわれ、それを政府に訴えるものいなかつた事情も、彼は進言している。この太政官符案は、和泉国での庄園の形成によって、国衙、ひいては中央政府の基盤である公領の崩壊、公民の減少を防止しようとするものであるが、こうした動向は同国に限られたものではなかつたこと云うまでもなからう。

当面、和泉国守藤原季定を、大和国守に比定すれば、それとして源頼親があげられる。つぎに、頼親の私領の獲得とその寄進による庄園の形成について考えてみよう。もっとも、関係史料はすべて頼親没後のものであることを予め指摘しておく。また、頼親によって実現した庄園といっても、その成立事情は一様ではなかつたようで、大別すると、彼の私領に実現した庄園と彼の郎党・従者らの私領に、彼が仲介して実現したと考えられる庄園があげられるようである。このうち、後者は推測によるものである。まず、頼親の私領に実現した庄園として、撰関家領喜殿田永庄、東大寺灯油料所五か庄園があげられる。叙述の都合上はじめに東大寺灯油料所について考察してみる¹¹⁾。

嘉応二年(一一七〇)の興福寺西金堂滿衆等解案〔平安遺文〕七の三五四七号)には、東大寺灯油料所について、

右、東大寺御油者、聖武天皇以天平勝宝二年割置六十六町料田、遍宛大和一国諸郡令動給之間、源頼親朝臣之時、停一國配分之例、以五箇所私領六十六町施

入件御油免田、所弁来也、今高殿庄者五箇所私領隨一也、

とある。これによると、源頼親が大和守のとき、彼の五か所の私領六十六町を東大寺に施入し、同寺御油免田の設定されたこと、そのうち高殿庄が随一であったことがうかがえる。また、東大寺灯油料所についての経緯も記されているが、聖武天皇の天平勝宝二年(七五〇)に六十六町の料田があつたわけではなく、この点は右解案の時期十二世紀後半からの投影とみられるものであろう。「延喜式」主税上の項には、東大寺年料油について「大和国交易送_ニ寺家、其直用_ニ正税」とあり、大和国衙が正税をもつて灯油を購入して寺家に送つたとみえる。その後は、前掲史料にもみられるとおり、大和国内の諸郡をして灯油を勤めさせたのである。その一史料として、長保二年(一〇〇〇)の東大寺灯油納所返抄〔平安遺文〕二の三九六号)がある。この時期は、未だ灯油免田は固定していなかつたものである。これは浮免の段階と考えられる。

ついで、頼親の私領六十六町に灯油料所御油免田が設定されたと考えられる。免田となつて、はじめてその所在が条里坪付のうえに固定され、庄号が付せられる。もっとも、坪内一町のうちのどの田地かは未定で、この段階は半浮免の段階と考えておく。頼親の私領に灯油料所が設定されたのは、この半浮免の段階と、いちおう考えられる。いちおうとは、前掲史料は前記のとおり、灯油料所設定に関する史料ではなく、頼親没後の関連史料だからである。当面、以上のように考えておく。

つぎに、頼親私領に御油免田が設定された時期を、さらに詰めてみたい。そのためには、浮免から半浮免への転化の時期が明らかになればよいはずであるが、御油免田の始まりは不明である。従つて同免田に準ずる香菜免田から推測してみるに、永久四年(一一一六)の東大寺請文案〔平安遺文〕五の一八五四号)から、いちおううかがえる。同請文案には、香菜免庄について「元是浮免也、依有煩、去万□(寿カ)四年被下 宣旨、停止浮免」とあり、万寿四年(一一〇二七)に浮免(この段階は香菜邑)が停止され、香菜免庄に転化したものと考えられる。この限り、灯油免田の設定は同年以後とみなしえよう。とすると、頼親が二回大和守に任じたのは長元四年(一〇三二)春の除目と考えられる(前記)から、同年か翌五年ないしは三回大和守の時期とみなしえよう。

因みに、頼親が一回目大和守の時期に興福寺領池辺園預殺害事件が起こつたととは前稿で述べたところである。そこで指摘したとおり、池辺園は浮免の段階であり、それが条里坪付に固定すると半浮免となり、庄号が付せられて池辺庄とな

るものと考えられる。同園は興福寺維摩会料所と考えられるが、同料所で庄号を持つ初見は、長元八年(一〇三五)の佐伯寿名九解(『平安遺文』二の五四四号)の「興福寺維摩会所中國濟庄」である。興福寺維摩会料所が園から庄号を持つにいたるのも、東大寺領香菜免庄に準ずるものとみなしえよう。

つきに、撰関家領喜殿田永庄について考察してみる。同庄は、本来は喜殿田永庄と称呼されたものと考えられるが、喜殿庄・田永庄と分けて記される場合もあった。このうち、喜殿庄については豊瀬(浦カ)庄ともみえる。このような庄号の変化は、同庄は相当広範な地域にわたってその田畠が散在していたことにもづくものである。また、何等かの問題が庄内に起り、それが記録される場合、その地域の地名をもって庄号とすることによるものと推測される。以上を予め指摘して、以下喜殿田永庄と頼親との関係について考えてみよう。

承保三年(一〇七六)の関白左大臣家政所下文案(『平安遺文』三の一三二号)には、喜殿庄として、

件庄田畠山野等元者故肥前守源朝臣頼房所領也、

とみえる。この点、同年の大和高市郡刀禰等解案(『平安遺文』三の一三四号)では、

件豊瀬(浦カ)御庄田畠山野池堰等、故肥前守源頼房朝臣相・伝所領也、

とある。これらによると、喜殿庄(豊浦庄)は、源頼房の相伝の所領(私領)でもあったことが知られる。頼房存命の時期には、頼房は私領主(負名)としての得分を取取していたものと考えられる。撰関家領である以上、同家の得分をも上納していたことはいまでもなからう。しかし、この頼房の所領が相伝したものである点からみると、彼の所領は父源頼親から譲渡された私領であったものである。頼房は頼親の次男であり、永承四年十二月二十八日、興福寺大衆が大和国衛に頼親を襲ったとき、中心となって興福寺僧徒と戦った「加賀前司頼房」(前掲)である。以上からみると、頼親は自己の私領を撰関家に寄進して喜殿庄が実現し、それ以後同庄内に持っていた私領主としての権利を頼房に譲渡したものと考えられる。もっとも、右の史料からは、頼親のとき喜殿庄が立券されたことは明らかでない。この点に関連する史料として、弘長元年(一一六一)の大和国喜殿田永庄百姓申状(『鎌倉遺文』二の八六七四号)がある。同百姓申状には「当庄者、四条宮御時立券庄号之刻(下略)」とみえる。

四条宮は後冷泉天皇皇后で、藤原頼通の娘皇子であって、永承五年に女御、ついで翌年皇后となっている。この点からみて、喜殿田永庄が四条宮のとき立券さ

れたとすると、それは永承五年前後と、いちおう推測される。また、この限りでは、喜殿田永庄は皇室領と考えられる。

一方、喜殿田永庄は撰関家領であったもので、平治元年(一一五九)の大和国目代下知状案(『平安遺文』六の三〇二四号)には「宿院領 殿下御領 喜殿御庄 田永御庄」とみえる。ここに、撰関家領としての喜殿庄・田永庄が確認できる。宿院(遺跡、現奈良市宿院町)は預所であったものであろう。また、前掲承保三年の関白左大臣家政所下文案からみても同様のことが考えられる。

なお、前記の東大寺灯油料所五か庄園は、高殿庄(前記)のほか東喜殿庄・西喜殿庄・城戸庄・波多庄であるが、このうち東西両喜殿庄の存在からみると、撰関家領喜殿田永庄ないしは喜殿庄は、庄号からみて、その立券は東西両喜殿庄に先んじていたものとみるのが穏当であらう。

以上から推測すると、喜殿田永庄は、東大寺灯油料所の立券以前の時期に、おそらく源頼親によって彼の私領に雑役免庄として藤原頼通に寄進・立券されたものと考えられる。その上で、彼の別の私領に東大寺灯油料所が、これも雑役免庄として寄進・立券されたものであろう。喜殿庄に東西と冠せられているからである。もっとも、東大寺灯油料所に先んずるとしても、庄号の存在からみると、同料所の場合と同様、万寿四年以後と考えられ、頼親が大和守のときとすると、二回目大和守のとき以後とならう。とすると、前記の四条宮の時の喜殿田永庄の立券とは、そのときまで、なお保留されていた官物の施入であったとみなしえよう。云うまでもなく、雑役免庄の段階では、雑役のみが免除され撰関家に上納されて、官物は国衙が収取していたものであるが、それが四条宮に施入されたという意味である。

以上の、喜殿田永庄と東大寺灯油料所五か庄園が頼親の私領に、頼親によって設定・立券される形で寄進されたと考えられる庄園である。

つきに、頼親の郎党・従者らの私領に、彼の仲介によって設定立券された、いちおう推測される庄園の一として撰関家領平田庄があげられる。

同庄は、『康平記』康平五年(一〇六二)正月十三日条の、関白藤原頼通の「春日詣定」に「六日(正月)夕、秣薊、平田御庄」とあるのが初見である。この記録は、関白頼通の春日詣に際して平田庄から秣薊を勤めたことをうかがわせる。十一世紀中頃撰関家領としての平田庄を確認できるが、源頼親の仲介によって実現したとすると、同世紀前半と考える必要があるが、この点は確認できない。しかし、平田庄官のうち、當麻氏の存在が指摘でき、この点から平田庄の撰関

家領としての立券には、頼親が仲介関与していたものと、いちおう考えられよう。しかし、反面、清原氏も庄官として存在する。この点からみると、保昌が仲介した庄園ともみなしえよう。つまり、平田庄には、清原致信殺害事件以来、敵対的關係にあったと考えられる私領主が肩を並べて庄官として存在する。この限りでは、清原致信は山田英雄氏の所説のように、大和の清原氏とは直接關係がなかったのかもしれない。とすると、平田庄は頼親仲介の庄園とみなす可能性が高まる。本稿では、清原致信を大和の清原氏出自と考えてきたが、なお、後考していきたい。しかし、致信殺害事件は寛仁元年（一〇一七）であり、頼親の二回目大和守補任は長元二年（一〇二九）、三回目大和守任終は永承四年（一〇四九）であり、平田庄寄進の年次は不明であるが、少くとも致信殺害事件から十年余、多くみれば三十年余の後と推測される。また、地域的共同の利害もあり、この間に當麻・清原両氏の關係も変化する可能性もありえたらう。このように考えれば、致信の出自を大和清原氏と考えてもよさそうである。いずれとも判じがたいが、当面、頼親の仲介の可能性を指摘しておくにとどめる。平田庄の關係史料、天永三年（一一二二）の某（万歳氏）処分状（『平安遺文』四の一七八五―一七九）末尾の、永久六年（一一一八）の署判部分を抄出すると、つぎのとおりである。

件字万歳殿所領田島等、任処分帳之旨、所報等立券進如件、仍在地平田御庄司等加署判之、永久六年三月六日（署判は便宜上二段に、初め上段、次下段）

藤原（花押）	「成国」	（裏下同）	公文平	（花押）	「則忠」
清原（花押）	「助依」		公文大原	（花押）	「季方」
藤原（花押）	「常国」		公文僧	（花押）	「能円」
専当置始（花押）	「久行」		置始（花押）	「行吉」	
専当當麻（花押）	「恒包」		源	（花押）	「忠清」

なお、万歳殿は「こさぬきとの」（故讃岐殿）ともあり、讃岐国守の任なけばで没したようであるが、受領層であったといえよう。所領は六人の子女に均等に分譲したもので、四人目の娘の分は十四町六段半とあるので、全体で約八十八町であったと考えられる。所在は葛下・広瀬両郡に広く散在しており、當麻氏の所在と同地域であり、平田庄内となっていたことは庄官の署判からうかがえる。万歳殿も庄官であったと考えられる。また、他の庄官も万歳殿と同様に所領をもっていたもので、これら所領が摂関家に寄進され、平田庄になったものであろう。庄官のうち藤原氏一人、源氏一人がみられるが、出自が藤原保昌・源頼親と同流かどうか不詳。清原・置始・當麻の諸氏は、それぞれ大和武士の俱戸羅・古市・

布施・高田の諸氏になってゆくものと考えられるが、大和武士については稿を改める。（一九八六年九月十六日投稿）

註

- ①「尊卑分脈」では「住大和国豊嶋郡」とあるが、豊嶋郡は摂津国内で大和国にはなく、私領と住地の混同・誤記と考えられる。
 - ②この「清信」は、記録の前後との關係からみると、致信の誤記であろう。
 - ③清原氏は各地に土着しているが、致信は大和清原氏が出自と、いちおう考えられる。応徳二年の橘某家地等立券文案（『平安遺文』四の一二四四号）には、平田庄庄官（推定）として「散位清原真人」二人、在地刀禰として「清原」が三人みられ、清原氏は広瀬・葛下両郡に土着していたことがうかがえる。なお、後掲の永久六年の「某処分状」にも平田庄庄官として「清原助依」がみえる。
- 一方、山田英雄氏は「今昔物語集における殺人事件二つ」（『日本歴史』一四四号）で「清原氏は太宰府々官として土着していたのではないかと推測される」（九四頁）としている。当面、いずれとも断定しがたい。
- ④「尊卑分脈」。
 - ⑤山田英雄氏も清原某を致信とみなしている（前掲書、九二頁）。
 - ⑥山田英雄氏前掲書、九二頁。
 - ⑦当時の大和国衙の所在地は、源頼親の私領（後述）の所在地からみて、高市郡内と考えられる。輕国府（現橿原市西池尻町小字輕古）、国府神社所在地（高市郡高取町大字下土佐）などをその所在地と考える説もあるが、なお不詳をみるのが穩当であろう。
 - ⑧保元三年の興福寺衆僧等申状（『平安遺文』六の二九三七号）等。
 - ⑨廿四日、興福寺火災、金堂・講堂・西金堂・東金堂・南円堂・鐘樓・経蔵・南大門東西上階・僧坊焼亡、但北円堂并正倉院、金堂釈迦・西金堂不空竊案・西金堂仏等取出した。
 - ⑩寛弘九年の和泉国符案（『平安遺文』二の四五七号）、永承五年の太政官符案（『平安遺文』三の六八一・二号）。
 - ⑪大和国庄園については、『奈良県史』十（莊園編）参看。
 - ⑫「尊卑分脈」では、頼房について「加賀・肥前・肥後守」とある。

新素形材の開発と加工熱処理の役割

Development of New Processed Materials and Important Role of Thermo-mechanical Treatments

関口 秀夫・宮川 松男*

塑性と加工 Vol. 27, No.300 (1986), 45~54

本論文は日本塑性加工学会創立25周年を記念して発行された会誌第300号（塑性と加工はどこまでできたか）に掲載されたものであり、今後の研究方針となるべき各分野の総説論文の一つである。

これまで多くの塑性加工技術は、材料と製品の間において、いずれの側からの要望にも対応し、主として力学的手法を用いて製品原価を低減し、信頼性の高い製品を多量に供給するという役割を演じてきた。しかし、近年加工プロセスにおいて材料学的因子を積極的に制御し、加工品の材質改善を行い、また新しい機能を付与しようという考えがみられるようになってきた。すなわち、加工技術が材料から製品への単なる媒介だけでなく、加工によって新しい材質を生み出そうという気運が盛んになりつつあるといえる。

一方、産業の発展とともに既存材料の機能だけでは対応できず、いわゆる「新材料」の開発への期待も大きい。これら新材料の開発に際して不可欠なものは加工技術であり、なかでも塑性加工技術の果たす役割は大きい。ところが、新材料の開発にあたっては、その期待する材質を維持し、できれば更に向上させる必要があるから、材料が受ける外的条件によって材質がどのように変化するかを十分に把握する必要がある。

このように、在来の材料に高い付加価値を与えようとする立場からも、新材料に対応する立場からも、加工プロセスにおいて材料学的因子を積極的に制御し、材質改

善を図っていく必要がある。とりわけ、新材料の多くは既存の加工技術によっては加工が困難ないわゆる難加工性材料であるから、加工工程における加工性改善も大きな課題となる。しかし、両者はいずれも補完し合って、技術的発展の波及効果を期待することができる。

加工目的を材質改善におく場合、現状ではこの目的に適した加工・処理方法の開発方針が十分確立されているとはいえない。ここでは新素形材の開発と加工熱処理を関連づけて、この分野の将来展望を行っている。

表1は、材質改善からみた新素形材の開発動向を示したものである。また図1は、境界領域加工技術（複合加工技術）を図示したものである。こうした観点にたつて、本論文では加工熱処理を温度制御による加工技術の複合化としてとらえ、現状での問題点ならびに対策を論じている。また著者らが今までに行ってきた研究成果を基にして、新素形材開発のための研究方針を提案している。

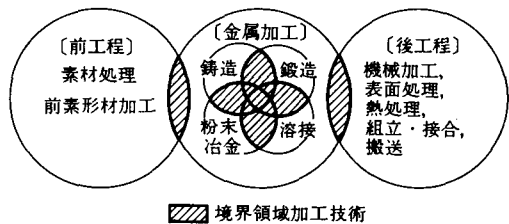


図1 素形材加工における境界領域加工技術

表1 新素形材開発動向

新素形材	新加工プロセスによって創成される新素形材	構造用	高強度、高靱性、高疲労強度、高クリープ強度、異方性
		機能用	防振、超弾性、超塑性、高電磁特性
	新素材から得られる新素形材	機能・構造用	高比強度、超耐食、超耐熱、形状記憶（超弾性）
		機能用	化学機能（水素貯蔵、電池用、触媒） 物理機能（半導体、超伝導、センサ） その他（アモルファス、ウイスカ）

* 長岡技術科学大学副学長

周縁を部分的に支持または固定された円板の曲げ

A New Approach for Bending Problems of Circular Plates with Mixed Boundary Conditions

浜田 実*, 井上 豊**, 水嶋 巖
三船忠志†, 森沢吉孝††

日本機械学会論文集 (A編), 52巻476号 (昭和61-4), p.958~962.

図1に示すように円板の周縁の一部が部分的に支持され、残りの部分が固定された場合のたわみ問題は、薄板構造の基礎的な問題の一つとしての意義を持ち、これに関する従来の研究としては、Conway ら、Leissa らおよび Stahl らの研究がある。

著者らは、複数の円孔を有する平板や帯板の平面応力問題に対し、境界条件が満足されるまで極座標における応力関数の一般形を繰返して用いる反復解法を提案して種々の問題を解いたが、本研究では、平面応力問題と平板の面外曲げ問題の基礎方程式の相似性に着目して、この反復解法を上述の混合境界条件を有する円板のたわみ問題に適用して解を求め、従来の三つの研究結果の精度を検討するとともに、新しく集中荷重が円板の中心に作用する場合の資料も得る。また、上記の反復解法とは別に、周縁上の支持部と固定部における各境界条件を、たわみ解の一般形を積分した形で表して、それにより得られる多元連立一次方程式より解を求める方法も合わせて用い、上記の諸解の結果と比較検討する。

1. 反復解法

まず与えられた荷重に対して、全周縁が単純支持された場合の解を求める。次に周縁でたわみが常に零であるようにしながら、固定部でたわみ角が零になるように上記の解を修正し、さらに支持部では曲げモーメント M_r が零であるように修正し、このような修正を反復することにより円板周縁の境界条件を満足させる方法である。なお、修正の際には、たわみ角と曲げモーメント M_r の修正量をフーリエ級数の形で表し、これらをたわみ解の

一般形から得られるたわみ角、曲げモーメント M_r の式と比較することにより、たわみ解の一般形の未定係数を求めることができる。

2. 数値計算

等分布荷重および集中荷重の問題に対し、それぞれ図1(a), (b)に示す二つの場合を取扱い、また支持部の範囲を示す角 α には種々の値を与えて、円板周縁と対称軸上のたわみ、曲げモーメントの分布を計算した。

3. 成果

- (a) 反復解法が、比較的簡単な方法で精度の高い解が得られ、有効な方法であることを確認した。
- (b) 本解と従来の諸解とを比較して、後者の精度を検討し明らかにした。
- (c) これまでに取扱われていなかった集中荷重の場合に対する解を求めた。
- (d) 多元連立一次方程式による解法によっても取扱い、反復解法による結果の妥当性を示した。

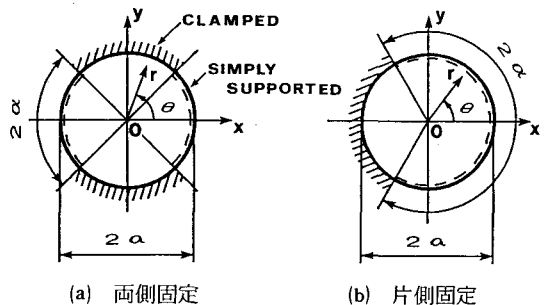


図1 固定・単純支持された円板

* 大阪大学工学部
** 大阪大学工学部
† 大阪工業大学
†† 大阪大学大学院

チップブレーカに関する研究

—広範囲に切りくず折断可能なチップブレーカの開発—

Study of Chip Breaker

—Development of New Chip Breaker Suitable for Wide Cutting Conditions—

長谷川嘉雄*，花崎伸作**，藤原順介**，和田任弘

精密工学会誌，52巻，7号（昭和61—7），p.1211—1217.

チップブレーカの作用は流出してくる切りくずを変形させ、せん断領域で受けたひずみに若干のひずみを付加し、切りくずの一部で破断ひずみに達するようにさせて切りくずを折断することである。現在非常に多くの種類のチップブレーカが実用に供されているが、付加するひずみはおもに曲げによるひずみである。広範囲の切込みと送りに対して切りくず折断可能なチップブレーカ形状を求めるについて、市販されているチップブレーカ形状の修正によって目的を達することは困難と考えられる。切りくずを折断するために付加するひずみは、大きなひずみであれば曲げ以外の他の機構であってもよい。たとえば、送りの小さい場合においても切りくずと被削材との接触の利用が考えられる。このような点を考慮しつつ

次のような過程により、チップブレーカ形状を求めた。すなわち、簡単な形状のチップブレーカを基にして、送りと切込みが切りくず流出状態および切りくず形状に及ぼす影響を調べ、その結果を基に次々にブレーカ形状に改良を加えた。その結果、SS41を被削材とし、図1に示す簡単な形状のチップブレーカ（ステップ形ネガティブリードに分類される形状）を出発形状として、切込み0.10~3.0mm，送り0.05~0.51mm/revの広範囲にわたって、切りくずを折断することのできるチップブレーカ形状（図2に示す）に到達することができた。

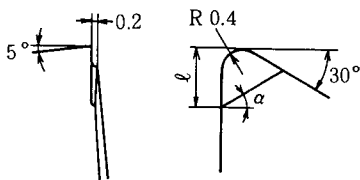


図1 チップブレーカ I の形状・寸法

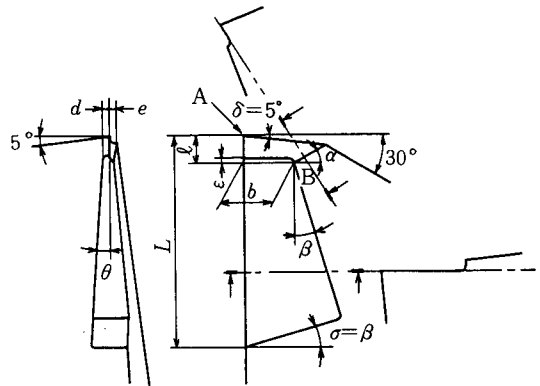


図2 チップブレーカ V の形状（最終形状）

* 大阪大学工学部（現摂南大学工学部）

** 大阪大学工学部

チップブレーカに関する研究

—広域型チップブレーカの切りくず折断機構—

Study on Chip Breaker

—Chip Breaking Mechanism of a Chip Breaker Applicable to Wide Range of Feed Rate and Depth of Cut—

長谷川嘉雄*, 花崎伸作**, 藤原順介**, 和田任弘

精密工学会誌, 52巻, 5号 (昭和61-5), p.858-863.

既報の広範囲に切りくず折断可能なチップブレーカつきバイトで, S S 41の乾式切削を行なった結果, 切込み0.10mmから3.0mm, 送り0.05mm/rev から0.51mm/revの範囲で有効であることがわかった。そこで, S S 41の乾式切削で切りくずがどのように折断されるのかそのプロセスを明らかにした。一般的なチップブレーカによる切りくずの折れ方については中山らの報告, その他があり, カールした切りくずの先端が工具逃げ面に当って, 湾曲の外側へ曲げられて折断される場合の詳細は明らか

である。しかし他の場合の折れ方については必ずしも明確ではない。また細かな点については, 本チップブレーカに特有な折れ方が考えられ, これを明らかにすることは, さらに広範囲の切削条件で切りくず折断可能なチップブレーカの開発のためにも役立つと考えられる。

本チップブレーカによりS S 41を切削速度3.0m/sで乾式切削した場合の切りくず折断様式は図1~6に示す6タイプに大別されることがわかった。

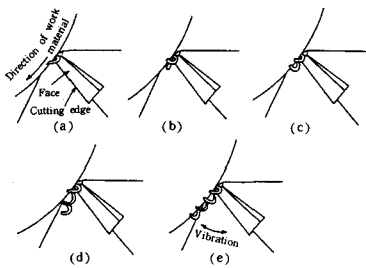


図1 切りくず折断タイプ 1

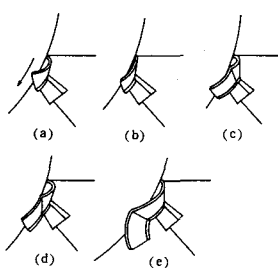


図3 切りくず折断タイプ 3

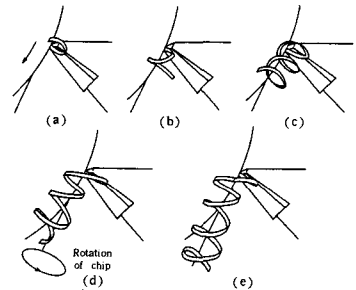


図5 切りくず折断タイプ 5

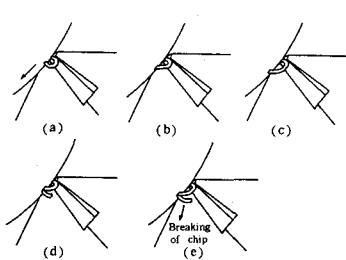


図2 切りくず折断タイプ 2

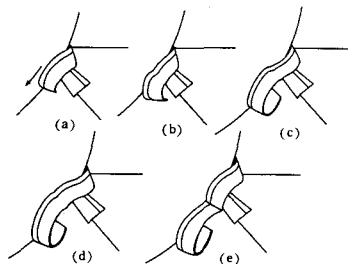


図4 切りくず折断タイプ 4

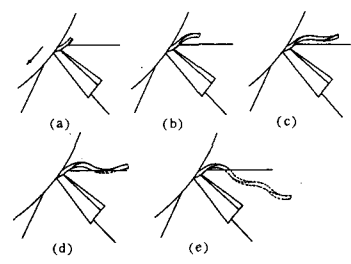


図6 切りくず折断タイプ 6

* 大阪大学工学部 (現棋南大学工学部)

** 大阪大学工学部

回生クリッパ回路を用いたGTO 電力変換装置の構成とその特性

Configuration and Characteristics of the GTO Converter Using Regenerative Voltage Clipper Circuit

伊瀬敏史・村上吉繁*

電気学会論文誌B 106巻9号(昭和61-9)

グレートブリッジ形整流回路において、逆阻止三端子サイリスタ(SCR)をゲートターンオフサイリスタ(GTO)に置き換えると転流用のコンデンサ等を必要とせず自励式変換装置が構成でき、進み力率の無効電力も制御できるようになる。このような電力変換装置(GTO電力変換装置)を超電導エネルギー貯蔵(SMES)に用いると、有効電力と無効電力の独立な制御(有効・無効電力同時制御)が広い力率の範囲にわたって可能となる。

GTO電力変換装置では、変圧器の漏れインダクタンスに蓄えられたエネルギーの転流時における処理方法が大きな問題である。このエネルギー処理をスナバ回路で行う方法も考えられるが、スナバ回路での損失が大きくなり、効率を低下させる。そこで図1に示すGTO電力変換装置では、 $D_1 \sim D_8$ およびCでそのエネルギーを吸収し、 $S_1 \sim S_6$ からなる他励インバータで、そのエネルギーを交流側へ回生する。この他励インバータの点弧角でCの電圧がほぼ決定される。なお、GTOの転流遅れがある場合にも、定電流源である超電導マグネット端子の開放がないようにしなければならない。そこで本回路では、 D_7 および D_8 を設けた。

さらに、回路設計の指針を得るために回路動作のシミュレーション解析を行った。GTO電力変換装置の回路設計においてはGTOのターンオフに伴う過渡電圧の把握が重要である。そこでGTO素子の特性を2ポートスタモデルで詳細に表現して回路解析を行った。この解析では、転流に関与する素子のみを素子特性を考慮した詳細なモデルとし、他は理想スイッチモデルとした。本解析により、理想スイッチモデルのみを用いる方法では困難であった転流時の詳細な波形が図2のように得られ、スパイク電圧の波高値も評価することができた。

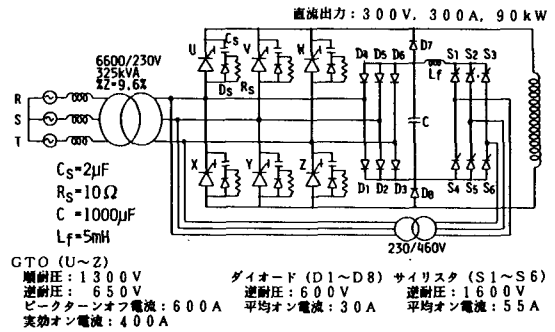


図1 GTO電力変換装置の主回路構成

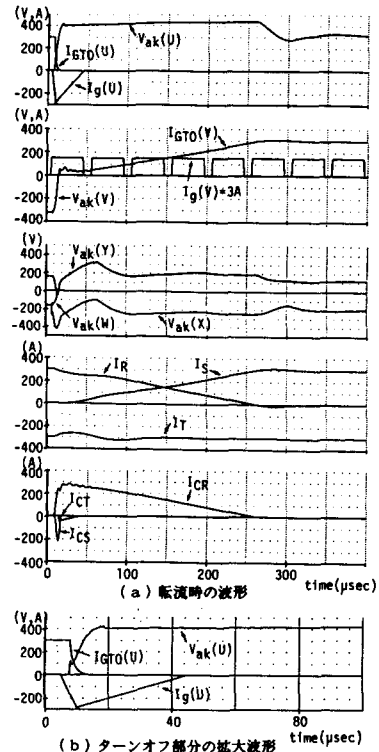


図2 転流動作の解析結果

* 大阪大学工学部超電導工学実験センター

Surface Potential Decay Measurement in Conducting Polymers and It's Doping Effect

Jun KYOKANE, Hul Bon GU* and Katsumi YOSHINO*

"Synthetic Metals", Vol.17 ELSEVIER SEQUOIA S.A. Press, Switzerland, 1986 p.679~684

The conducting polymers which demonstrate insulator-metal transition upon dopings have attracted great interest from both the fundamental and practical view points. Various types of applications of conducting polymers in the insulating state and the phenomenon of the insulator-metal transition have been proposed. However, there are also various types of application of conducting polymers in the field of electrical industry. For example, the accumulation of charge on the surface of insulators used in power equipments and apparatus used in the space technology sometime induces trouble. In such cases, it is necessary to quickly remove the stored carriers for obtaining high reliability and security and conducting polymer should play some role for such purpose.

In this paper, therefore, the surface potential decay in various conducting polymers such as TCNQ (tetracyanoquinodimethane) doped PPS (poly-p-phenylensulfide), PT (polythiophene), PCPA (poly-chlorophenyleacethylene) and PPV (poly-p-phenylenevinylene) is studied by corona charging method. The measurement of the surface potential decay is also important from fundamental view point to understand the mechanism of electrical conduction in conducting polymers on the carrier mobility and trapping state. The decaying speed of surface potential in conducting polymers is much faster compared with the case of insulating polymers. The decaying time of the surface potential in TCNQ doped PPS is dependent on TCNQ concentration and it is also influenced by a double doping of I₂ into TCNQ doped PPS. The mobility of a conducting polymers is evaluated to be 10⁻⁸ - 10⁻⁶cm²/V•sec from analysis of the potential decay curve. The obtained mobilities of these conducting polymers are summarised in Table 1. Especially, it was cleared that the mobility increased by the heat-treatment in the case of PPV.

Table 1 The apparant mobilities of several conducting polymers

Specimen		mobility (cm ² /V • sec)	Specimen	mobility (cm ² /V • sec)
PPS	Non Dope	9.7 x10 ⁻¹¹	PCPA	1.0 x10 ⁻⁸
	I ₂ Dope	2.2 x10 ⁻⁹	PT	8.7 x10 ⁻⁸
PPS - TCNQ (wt.1%)	Non Dope	6.2 x10 ⁻⁸	PPV	1.2 x10 ⁻⁷
	I ₂ Dope	9.0 x10 ⁻⁸	PPV : anneal	9.4 x10 ⁻⁷

The contents of this proceeding were reported on INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SYNTHETIC METALS (ICSM'86), KYOTO, JAPAN, JUNE 1-6, 1986. It was published in book form from ELSEVIER SEQUOIA S.A. Press in Switzerland.

* Faculty of Engineering, Osaka University.

Effect of Electron Irradiation on Residual Voltage of Polyethylene Films

Jun KYOKANE and Katsumi YOSHINO *

Japanese Journal of Applied Physics Vol.25, No.2 (1986) p.301~302

The measurement of the residual voltage was proposed as a method of detecting the degradation of cable insulation and of another electrical insulating polymers. However, it is still not clear whether or not the residual voltage is in fact related to the degradation of the insulator. We reported on measurements of residual voltage in freshly-prepared polyethylene (PE) films by a non-contact method using an electrostatic voltmeter in order to clarify these phenomena. This residual voltage was found to increase nonlinearly with increasing applied voltage and the duration of voltage application, but to decrease with increasing duration of short-circuiting. Simple numerical calculation indicated good agreement with the experimental results.

Furthermore, it seems necessary to study the influence of the degradation on the residual voltage by the introduction of imperfections such as chain scission, crosslinking and change of morphology. Chain breaks and crosslinking in PE films are known to be produced by electron-beam or γ -ray irradiation. No detailed studies have been reported on the radiation effects of the residual voltage until now. To establish a method of detecting the degradation of the polymer materials and cable insulator, this paper discusses the radiation effects of the residual voltage in PE films.

Non-irradiated PE films were prepared by the method used in our previous study. After the PE films had been washed with alcohol, they were sealed in a pyrex or quartz glass tube under a vacuum of 10^{-5} mmHg, and the samples were then irradiated with an electron beam of 1.8 MeV up to dose of 90Mrad. The residual voltage of irradiated PE films was measured by a new apparatus to remove the influence of charging of the cables used as the lead wires.

The residual voltage of an electron-beam-irradiated PE film increases slowly with a time comparable to that of a non-irradiated film. The magnitude of the residual voltage is larger than that of the nonirradiated film under the sample applied voltage and increases with the radiation dose. Though the detailed mechanism of radiation effects on the residual voltage of PE films is not clear at this stage, many defects such as chain breaks (chain scission), crosslinking or change of morphology may be produced by the electron-beam irradiation. As is clear from experimental results, the residual voltage increases greatly with the irradiation dose. Thus, residual voltage seems to be strongly affected by the imperfections formed by the electron-beam irradiation. These imperfections are considered to promote carrier injection from the electrode and trapping of carriers.

The residual voltage decreases sharply with the annealing temperature and with increasing duration of annealing. The decrease of the residual voltage by annealing can be explained as follows. The various defects formed by the electron-beam irradiation seem to be removed by the annealing, resulting in the decrease of trap sites.

* Faculty of Engineering, Osaka University

印鑑照合における印影パターン特性の自動計測

Automatic Measurement of Pattern Characteristics for Verification of Seal-Imprint

上 田 勝 彦

電子通信学会論文誌, Vol. J69-D, No. 6, pp.931-939 (昭和61年6月)

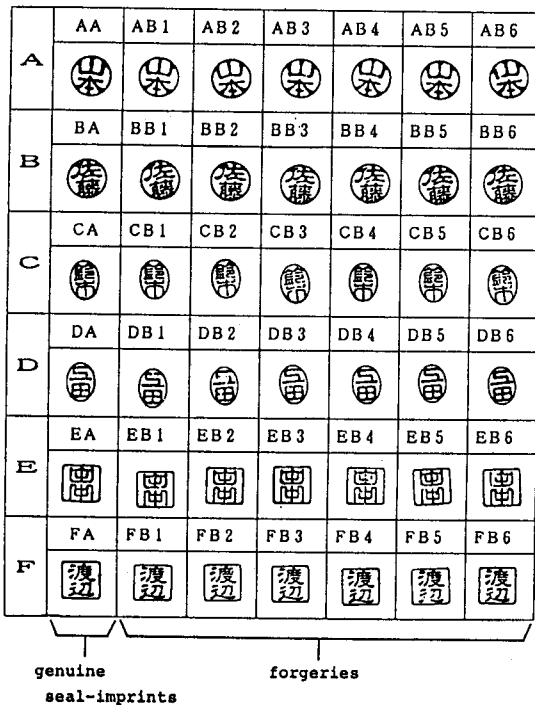
本人確認の手段として、日常広く使用されている印章の刻印文字は、各印章固有の形状を持っている。文書鑑定や金融機関、官公庁などにおける文書処理などの分野では、それが印影の大きさ、全体的形状、配字状態、文字の形状、画線の形態・長さ・接続状態などとして把握されている。

本論文の目的は、自動印鑑照合の基礎研究として、それらを客観的機械的に測定することである。この目的のために、印影の異同を表す照合変数として、画線の線幅、

位置、方向に関する量、印影の大きさに関する量、画線の配置状態に関する量など8種類を定義した。

そして、図に示すような6種類の形状の印章と、それに極めて類似した偽造印章を各形状について6個用意して作成した真正・偽造印影サンプル各々180個、1080個について、上記の照合変数の測定を行い、各照合変数毎に真正・偽造2水準の一元配置分散分析を行ったところ、全ての照合変数が真正・偽造の差異を表していることが確かめられた。

更に、これらの照合変数の真偽判別効果をみるために、前記の印影サンプルについて2群判別分析による真偽判別実験を行ったところ、表に示すように、平均誤り率3.7%という結果が得られた。この結果は、本論文において用いた偽造印章が図に示すように真正印章に極めて類似したものであることを考えると、本論文で定義した照合変数は真偽判別にかなり有効であるといえる。



2群判別分析による真・偽判別結果

照 合 印 章	判別誤り数		マハラノビス 汎距離 D^2
	第1種誤り	第2種誤り	
AA-AB1~AB6	0	0	1227.3
BA-BB1~BB6	1	8	227.9
CA-CB1~CB6	2	15	116.3
DA-DB1~DB6	3	14	85.8
EA-EB1~EB6	0	3	288.6
FA-FB1~FB6	0	0	868.0
合 計	6	40	—

平均判別誤り率：第1種誤り率 $6/180 = 3.3\%$
 第2種誤り率 $40/1080 = 3.7\%$

実験に使用した印章による印影例

自動印鑑照合におけるパターン位置合せの一方法

Method of Pattern Positioning for Automatic Verification of Seal-Imprint

上田勝彦・中村善一

電子通信学会論文誌, Vol. J68-D, No.11, pp.1910-1917 (昭和60年11月)

計算機による自動印鑑照合においては、照合の基準となる登録印影に被照合印影を正確に位置合わせすることが重要な問題の一つであり、種々の方法が提案されている。しかしそれらの中には、印影枠の点対称性を前提条件としたり、特定形状の印影枠に限定したり、あるいは印影の欠損を考慮していないなど、一般性に欠けると考えられるものがある。また多くの方法は、原理的に計算量が多く、位置合わせ処理に長時間を要する。

本論文では、2値化印影画像の印影枠図形の重心点と、その点から適当な半径の円周上の画素列とを用いて、被照合印影の平行移動、回転の位置合わせを行う方法を提案する。本位置合わせ法では、まず図1に示すように印影画像を水平、垂直両方向走査を行い、印影の枠図形のみをある判定基準に基づいて抽出する。次いでこの枠図形中心を印影の中心として、図2に示すようにこの印影中心から適当な半径の円周上の画素列（リングデータ）を抽出する。そして登録・被照合両印影のリングデータの相関係数を計算し、その最大値を与えるリングデータ

の移動量から回転角度を求める。最後に、印影中心と回転角度から被照合印影を登録印影に位置合わせする。

本手法は、印影の局所的な情報を用いて位置合わせを行うので、高速処理が可能である。また本手法は、印影枠図形の重心を印影の中心として位置合わせを行うので、印影枠の欠損が比較的小さい場合は、中心位置決定精度が高く、印影枠の点対称性からの歪みの影響を受けにくいという特長がある。

実際に、種々の形状の印章6種類を比較的にいいに押し得た240個の印影を用いて、本手法による位置合わせ実験を行ったところ、すべての印影が平行移動誤差 $\pm 0.1\text{mm}$ 以内、また99%以上の印影が回転角度誤差 $\pm 1.76^\circ$ 以内で位置合わせされた。更に、本手法を印鑑照合システムに組み込んで照合実験を行ったところ、位置合わせ誤差が原因と考えられる照合誤り率は0.83%であった。以上の結果から、本手法は自動印鑑照合における印影の位置合わせ法として有効であることが確認された。

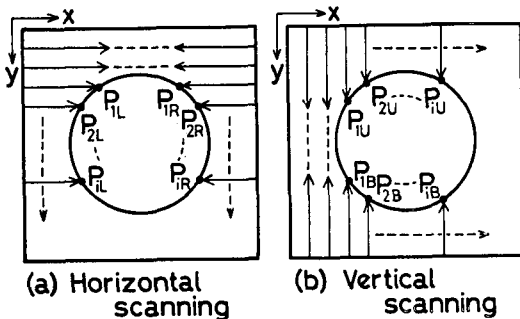


図1 印影枠図形の抽出

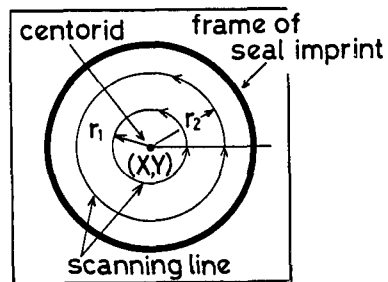


図2 リングデータの抽出

Electrochemical Investigation of Thin Films of
Cobalt Phthalocyanine and Cobalt-4, 4', 4'', 4'''-
-tetracarboxyphthalocyanine and the Reduction of
Carbon Monoxide, Formic Acid and Formaldehyde
Mediated by the Co (I) Complexes

Kousuke KUSUDA* , Ryuichi ISHIHARA* ,
Hidemasa YAMAGUCHI* and Ikuichiro IZUMI

Electrochimica Acta, Vol.31, No.6, pp.657~663 (1986)

Recently, there has been considerable interest in electrochemistry of thin films of metal phthalocyanines because of their potential applications in the electrocatalytic reduction of molecular oxygen. In addition, relating to the unique reactions of vitamin B₁₂, cobalt phthalocyanine (Co (II) Pc:1) and its derivatives have attracted much interest. Generally in the electrochemical reductions of those closed shell phthalocyanines, reduction occurs by electron addition to the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) of the ring system. However, when the central metal ion is transitional, partially filled *d*-orbitals are available for electron uptake and there is a possibility that the first reduction step of **1** involves addition to an orbital of the central cobalt. The mechanism of subsequent reduction stage is however less clear. Although five stages for the electrochemical reduction of **1** are known, their chemical behavior has not been investigated so extensively. Then, to study the chemistry of the electrochemical reduction product, we began with the cyclic voltammetric investigations on thin films of **1** and cobalt (II) -4, 4', 4'', 4'''-tetracarboxyphthalocyanine (Co (II) Pc (COOH)₄:**2**) in 1 M sulfuric acid.

Cathodic reductions of **1** gave irreversibly an oxygen sensitive species (R-1). Compound **2** similarly gave reactive species of unknown structure (R-2). Both compounds are considered to be complexes of Co (I) or Co of equivalent oxidation state. Cyclic voltammetric investigations indicated that CO, formaldehyde, formic acid, DMSO, acetaldehyde and trichloroacetic acid were reduced by these species. To evaluate the scope of application of these species for preparative chemistry, the products of the mediated reductions were investigated. The reductions were carried out on vibrating carbon fiber (*cf*) electrodes modified with **1** or **2**. For the reduction of CO, **2**/*cfe* was more effective than **1**/*cfe*, which was however better than the former in the reduction of formaldehyde. Reduction on the static **2**/*cfe* polarized with a series of rectangular potential pulse in CO-saturated 1 M sulfuric acid afforded quantitative yield of formaldehyde, but the yield of methanol was quite low.

* Research Institute for Atomic Energy, Osaka City University

開回路電位測定による洋酒中のエタノール分析

Determination of Ethanol Contents in Liquor by the Rest Potential Measurement

片倉 勝己・泉 生一郎

日本化学会誌 No.5, pp.733~734 (1986)

本研究では、酒類中のエタノール分析を目的としたセンサの開発と、実試料への適用を試みた。このセンサは、硫酸水溶液中で低周波パルスの印加による前処理を行なった白金電極の開回路電位が、エタノールの存在によって低下するという印象を利用したものである。本研究において、基礎液中にエタノール試料を逐次的に添加する際、白金電極の開回路電位が、基礎液中のエタノール濃度の対数値に対して Fig.1 に見られる様な直線関係を与えることがわかった。(1)式)

$$E_{\text{rest}} = E_{\text{rest}}^{\circ} + s \log[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] \quad (1)$$

ところが、(1)式中の E_{rest}° , s は測定毎に異なる値を示す為、通常の電位差測定法による分析手段を用いることが不可能となった。そこで新たに動的な検量による分析法を工夫し、実試料の分析に適用したところ Table 1 の様な結果を得、本法のエタノールセンサシステムとしての可能性が示された。

本研究で開発したエタノールセンサは、(1)白金電極を用いている為、プローブ自体非常に安定である、(2)前処理が容易であり、失活が生じても容易に再活性できる等の利点を有していることがわかった。又今回用いた動的検量による分析法は、検量線を用いる通常のイオン電極による分析や、検量線を作成し得ない様な電極系を用いる分析にも有効な手段を与えるものと期待される。なお、本研究では詳細な選択性、測定精度の面からの検討は行っていない為、これらは今後の課題としている。

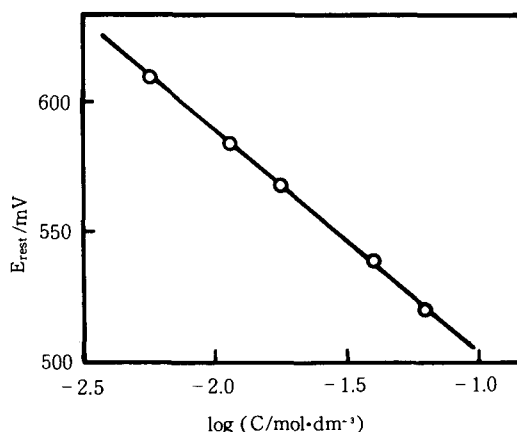


Fig 1 Linear relationship between E_{rest} and logarithmic concentration

Table 1 Analytical results of ethanol contents in liquor (vol %)

Run No	Liquor(1)	Liquor(2)
1	37.8	41.8
2	38.5	43.3
3	38.5	40.6
4	39.8	41.8
Average	38.7	41.9
Labelled value	37	43

脈動可動式多孔板塔の分散相ホールドアップ 及び軸方向混合拡散係数

Dispersed Phase Holdup and Axial Dispersion
in a Double-perforated Plate Column

河越 幹男・大竹 伝雄*・野田 泰夫**

化学工学論文集 12巻 5号 465~468 (1986)

蒸留及びガス吸収装置として開発された可動式多孔板塔(化学工学論文集, 6巻 123 (1980); 同 11巻 365 (1985))を液々抽出塔として利用するため 装置設計の基本因子である分散相ホールドアップ及び連続相の軸方向混合拡散係数を測定した。

液々抽出塔の場合, 液滴の分散を促進して抽出効率を増大させるため, 塔に機械的エネルギーを加える方式がよく用いられている。多孔板塔の場合, 多孔板を往復運動させる方式(往復多孔板塔)と液自身に直接脈動を与える型式(脈動多孔板塔)がある。可動式多孔板は, 液に脈動を与えると可動板も振動するため, 上述の両型式の特徴を兼備している。

本研究では脈動速度が比較的小さい領域について実験を行った。脈動速度を大きくしても, 液滴の再分散が妨げられ, かつ逆混合も大きくなるため 期待するほどの効率の上昇は望めないためである。

分散相ホールドアップは, 特性速度を単位体積当りのエネルギー消散速度で相関することにより Fig. 1 に示したように整理できた。このプロットから分るように, 従来の単一多孔板塔と異なり ホールドアップに及ぼす孔径 D_0 の影響は認められなかった。可動板による液滴の再分散効果のためと考えられる。

軸方向混合拡散係数は逆流モデルを用いて解析できた。まず, 従来の方法では不正確であった脈動速度の小さい領域における逆流量を正確に計算した。この結果を用いて逆流モデルのパラメータを決定し, 脈動速度の小さい領域にも適用できる混合係数の相関式を得た。これを示したのがFig. 2である。脈動速度 Af と連続相流速 u_c の比が小さい領域では従来の結果よりも若干大きくなるが この比が大きい領域では従来の結果と一致する。

* 中部大学, 工学部, 工業学科

** 関西化学機械製作㈱

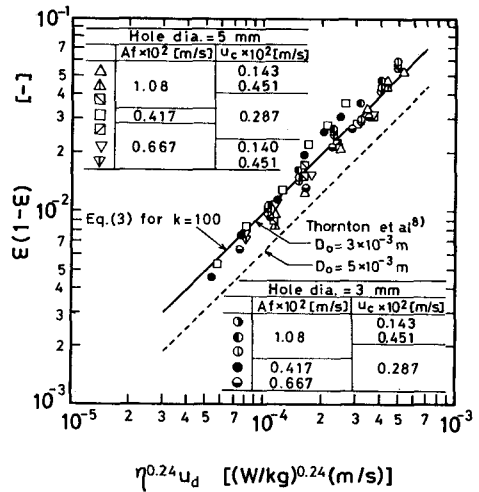


Fig 1 Correlation of dispersed phase holdup

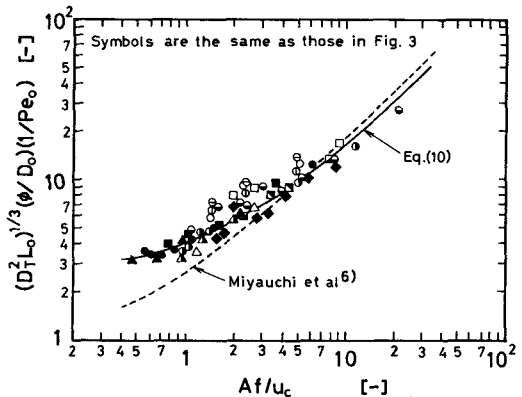


Fig 2 Correlation of Pe_0 as a function of Af/u_c

Some Pedagogical Notes on Psychological Predicates

Kiyokazu MIZOBATA and Tadahiko HIGUCHI *

Memoirs of Osaka Kyoiku University,

Ser. V, Vol. 34, No. 2 (December, 1985), pp.213~225.

The global/local distinction which M. Burt *et al.* proposed as a criterion for determining error gravity can be effectively applied to the compilation of English teaching materials as well as error correction. In this paper we limit ourselves to psychological predicates, one of the syntactic categories which may cause global errors, and describe how they are treated in the textbooks of Japanese junior and senior high schools and to what degree they are really recognized by senior high school and college students in the higher stage of English learning. Based on these facts, some pedagogical notes on psychological predicates are suggested.

* Osaka University of Education

Better Method of Teaching Reverse Psychological Predicates

Kiyokazu MIZOBATA and Tadahiko HIGUCHI *

Memoirs of Osaka Kyoiku University,
Ser. V, Vol. 35, No. 1 (August, 1986), pp.11~22.

In Japan it is true that not a few proposals have been made on the compilation of English teaching materials and the improvement of teaching methods, but the scientific corroboration of their validity has been neglected. For lack of scientific support for such proposals, most are not effectively applied in English classrooms.

In the previous study we not only indicated that reverse psychological predicates which may cause global errors were not systematically treated in the textbooks of Japanese junior and senior high schools and therefore insufficiently recognized by English learners, but also proposed some pedagogical notes focused on the syntactic rules of reverse psychological predicates. In this paper the validity of our proposals is demonstrated on the basis of experimental data.

* Osaka University of Education

教官研究活動一覽表

(機械工学科)

反射衝撃波の収束過程に関する数値シミュレーションと実験

西田通雄(京大・工), 岸下晴亮
衝撃工学シンポジウム
(昭和61年9月26日 講演)

二チャンネル光ファイバLDVによる横振動伝ばの計測

阪部俊也, 中谷登(阪大・工), 山田朝治(阪大・工)
第28回自動制御連合講演会
(昭和60年11月5日 講演)

最新塑性加工要覧

関口秀夫(執筆分担)
日本塑性加工学会刊行
(昭和61年8月)

炭素鋼の焼もどし温間鍛造(続報)

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造(広大・工)
第36回塑性加工連合講演会
(昭和60年10月7日 講演)

温間鍛造への加工熱処理の適用

関口秀夫, 小島耕二, 小坂田宏造(広大・工)
中一日塑性加工学術座談会「温間鍛造」
(昭和60年10月24日 講演)

新素形材の開発と加工熱処理の役割

関口秀夫, 宮川松男(長岡技科大)
塑性と加工, 27-300(1986), 45

加工熱処理の鍛造プロセスへの適用事例

関口秀夫
日本塑性加工学会鍛造分科会
(昭和61年3月20日 講演)

素形材複合加工技術の現状と課題

関口秀夫
素形材センター技術講演会
(昭和61年7月30日 講演)

内外の鍛圧機械技術の動向

関口秀夫
(社)日本機械工業連合会, 日本鍛圧機械工業会, 鍛圧機械の技術予測調査報告書(Ⅱ)(昭和61年7月),
(執筆分担)

温度制御による加工技術の複合化

関口秀夫
(財)素形材センター, 素形材技術調査報告書(昭和61年7月), (執筆分担)

On the Stress Concentration in a Strip with a Row of Circular Holes Subjected to In-plane-bending

M.Hamada (Osaka Univ.), I.Mizushima and Y.Shibutani (Toshiba Co.)
Bulletin of JSME, 28 - 244 (Oct. 1985),
2234~2239.

周縁を部分的に支持または固定された円板の曲げ

浜田実(阪大・工), 井上豊(阪大・工), 水嶋巖,
三船忠志(阪工大), 森沢吉孝(阪大・院)
日本機械学会論文集(A編), 52-476(昭和61-4),
958~962.

教育情報検索システムの作成

宮本止戈雄, 東野秋二
第2回ソフトウェアコンファレンス
(昭和61年3月26日 講演)

ローレンツ・ゲージ場とスピン角運動量

福井哲夫, 福間一己, 中野董夫, 田村佳信(以上, 阪市大), 大谷晃也(関西外大), 宮本止戈雄
日本物理学会第41回年会
(昭和61年3月29日 講演)

Lorentz ゲージ場による超微細構造への補正

福井哲夫, 福間一己, 中野董夫, 田村佳信(以上, 阪市大), 大谷晃也(関西外大), 宮本止戈雄
日本物理学会第41回年会
(昭和61年3月29日 講演)

粘弾性流体の脈動流に関する研究

稲田源次 (阪大・工), 鈴木章介 (阪大・工), 森教
安, 中村喜代次 (阪大・工), 堀川明 (阪大・工)
日本機械学会関西支部第61期定時総会講演会
(昭和61年3月20日 講演)

千鳥状配列円柱群を有する平行平板伝熱面の研究

矢尾匡永, 中谷洵, 鈴木健二郎 (京大・工)
第23回日本伝熱シンポジウム
(昭和61年5月27日 講演)

チップブレーカに関する研究——広範囲に切りくず折断可能なチップブレーカの開発——

長谷川嘉雄 (阪大・工), 花崎伸作 (阪大・工), 藤
原順介 (阪大・工), 和田任弘
精密工学会誌, 52巻7号 (昭和61-7), 1211~1217.

チップブレーカに関する研究——広域型チップブレーカの切りくず折断機構——

長谷川嘉雄 (阪大・工), 花崎伸作 (阪大・工), 藤
原順介 (阪大・工), 和田任弘
精密工学会誌, 52巻5号 (昭和61-5), 858~863.

広域型チップブレーカつきバイトの湿式切削時の性能

長谷川嘉雄 (摂南大・工), 花崎伸作 (阪大・工),
藤原順介 (阪大・工), 和田任弘
昭和60年度精機学会秋季大会学術講演会
(昭和60年10月13日 講演)

(電気工学科)

GTO変換装置による超電導エネルギー貯蔵の有効・無効電力制御(その3)

山田信一 (阪大・工), 伊瀬敏史, 村上吉繁 (阪大・
工), 辻毅一郎 (阪大・工)
電気学会半導体電力変換研究会
(昭和60年10月31日 講演)

電子回路解析システムANAP-6を用いたGTO電力変換装置の解析

伊瀬敏史, 村上吉繁 (阪大・工)
電気学会半導体電力変換研究会

(昭和60年10月31日 講演)

素子特性を考慮したGTO電力変換装置の解析

伊瀬敏史, 村上吉繁 (阪大・工)
昭和60年電気関係学会関西支部連合大会
(昭和60年11月23日 講演)

Simultaneous Active and Reactive Power Control of Superconducting Magnet Energy Storage Using GTO Converter

T. Ise, Y. Murakami and K. Tsuji (Osaka Univ.)
IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No 1, 143, (January, 1986)

電圧型電力変換装置を用いたアクティブフィルタの特性

山田信一 (阪大・工), 松原為敏 (阪大・工), 伊瀬
敏史, 村上吉繁 (阪大・工)
昭和61年電気学会全国大会
(昭和61年4月2日 講演)

アクティブフィルタを付加した超電導エネルギー貯蔵の充放電制御特性

伊瀬敏史, 松原為敏 (阪大・工), 村上吉繁 (阪大・工)
第68回パワーエレクトロニクス研究会
(昭和61年6月28日 講演)

超電導エネルギー貯蔵における能動形高調波フィルタの設計と補償特性

松原為敏 (阪大・工), 伊瀬敏史, 村上吉繁 (阪大・
工)
電気学会半導体電力変換研究会
(昭和61年7月12日 講演)

模擬電力系統における超電導エネルギー貯蔵の制御

伊瀬敏史, 松原為敏 (阪大・工), 村上吉繁 (阪大・工)
電気学会電力技術研究会
(昭和61年8月5日 講演)

模擬電力系統における系統安定化用超電導エネルギー貯蔵の特性解析

村山薫 (阪大・工), 三谷康範 (阪大・工), 伊瀬敏史,
辻毅一郎 (阪大・工), 村上吉繁 (阪大・工)

電気学会電力技術研究会

(昭和61年8月5日 講演)

回生クリップ回路を用いたGTO電力変換装置の構成とその特性

伊瀬敏史, 村上吉繁 (阪大・工)

電気学会論文誌B, 106巻9号 (昭和61年9月)

Charging and Discharging Characteristics of SMES with Active Filter in Transmission System

T. Ise, Y. Murakami and K. Tsuji (Osaka Univ.)

1986 Applied Superconductivity Conference,
Hyatt Regency-Baltimore, Maryland, U.S.A.
(September 29, 1986)

超電導コイルを用いたアクティブフィルタ

白井康之, 仁田旦三, 岡田隆夫, 芹生浩之 (以上, 京大), 井村栄仁

パワーエレクトロニクス研究会資料 PES-86-68 H

(1986年6月28日 講演)

Effects of Electron Irradiation on Residual Voltage of Polyethylene Films

J. Kyokane, M. S. Yun and K. Yoshino
(Osaka Univ.)

JPN. J. APPL. PHYS. Vol. 25, No 2

(1986) S 301~302

導電性高分子材料の表面電位測定 I

京兼純, 具轄本, 朴大熙, 吉野勝美 (以上, 阪大・工)

昭和61年電気学会全国大会

(昭和61年4月3日 講演)

Surface Potential Decay Measurement in Conducting Polymer and It's Doping Effect

J. Kyokane, H. B. Gu and K. Yoshino (Osaka Univ.)

INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SCIENCE AND TECHNOLOGY OF SYN-

THETIC METALS (ICSM '86, Kyoto)

(June 3, 1986, Poster Presentation)

導電性高分子材料の表面電位特性

京兼純, 木村伊一, 具轄本, 朴大熙, 吉野勝美 (以上
阪大・工)

電気学会絶縁材料研究会 EIM-86-75

(昭和61年8月6日 講演)

絶縁破壊前駆現象に関する報告

京兼純

電気学会 固体絶縁材料の電気伝導と絶縁破壊調査専門委員会第4回会合

(昭和61年8月21日 講演)

Surface Potential Decay Measurement in Conducting Polymer and It's Doping Effect

J. Kyokane, H.B. Gu and K. Yoshino
(Osaka Univ.)

"Synthetic Metals", Vol.17 ELSEVIER SEQUOIA S.A., Switzerland, (1986), 679~684

導電性高分子材料薄膜と表面電位測定

京兼純, 具轄本, 吉野勝美 (以上, 阪大・工)

電気学会 第19回電気絶縁材料シンポジウム

(昭和61年9月30日 講演)

高分子の高次構造と導電性及び高電界現象

朴大熙, 吉野勝美 (以上, 阪大・工), 京兼純

電気学会 第19回電気絶縁材料シンポジウム

(昭和61年9月30日 講演)

リアルタイムモニターRTM86の開発

山崎善弘, 世古 忠

第2回ソフトウェアコンファレンス

(昭和61年3月26日 講演)

高専の電気工学科学生に対するプログラム演習用の作図教材

高橋晴雄, 山本善啓

ソフトウェアコンファレンス

(昭和61年3月26日 講演)

工業英語能力検定試験受験者のための学習支援プログラム

山崎善弘, 高橋晴雄

ソフトウェアコンファレンス

(昭和61年3月26日 講演)

A Light-Sensing Fiber Circuit With an Optically Controllable S-Type Negative Resistance Characteristic

H. Takahashi

First Optoelectronics Conference (OEC'86)

Technical Digest, D5-10

(July 29, 1986, Tokyo)

署名文字切出しの一手法

中村善一, 上田勝彦

昭和61年度電子通信学会総合全国大会

(昭和61年3月24日 講演)

(情報工学科)

自動印鑑照合におけるパターン位置合せの一方

上田勝彦, 中村善一

電子通信学会論文誌, Vol. J 68-D, No. 11, 1910~1917 (昭60-11)

印影パターン照合に影響する要因とその解析

上田勝彦, 中村善一

情報処理学会第32回全国大会

(昭和61年3月12日 講演)

印鑑照合における印影パターン特性の自動計測

上田勝彦

電子通信学会論文誌, Vol. J 69-D, No. 6, 931~939 (昭61-6)

(化学工学科)

出土木材へのト-ブチルアルコール浸透過程のX線的研究

石垣昭

日本文化財科学会第3回大会

(昭和61年4月29日 講演)

遺跡出土木材の保存技術の最近の動向

石垣昭

化学工学, Vol. 50, No. 7, 503 (1986)

多結晶TiO₂薄膜上での乳酸の光触媒分解

和田精久(歯健・研), 松下恵子(歯健・研), 小野

田金児(歯健・研), 泉 生一郎

日本化学会第51秋季年会

(昭和60年10月5日 講演)

コバルトフタロシアニン薄膜の電気化学的性質と還元反応への応用

楠田貢典(阪市大・原研), 石原龍一(阪市大・原研),

山口英昌(阪市大・原研), 泉 生一郎

日本化学会第51秋季年会

(昭和60年10月7日 講演)

Electrochemical Investigation of Thin Films of Cobalt Phthalocyanine and Cobalt-4, 4', 4'', 4'''-tetracarboxyphthalocyanine and the Reduction of Carbon Monoxide, Formic Acid and Formaldehyde Mediated by the Co (I) Complexes

K. Kusuda (Research Institute for Atomic

Energy, Osaka City Univ.), R. Ishihara

(Research Institute for Atomic Energy, Osaka

City Univ.), H. Yamaguchi (Research Institute

for Atomic Energy, Osaka City Univ.), I.

Izumi

Electrochimica Acta, Vol. 31, No. 6, (June,

1986), 657~663.

電気化学的手法を用いたアルコールセンサー

片倉勝己, 泉 生一郎

日本化学会第51回秋季年会

(昭和60年10月5日 講演)

開回路電位測定による洋酒中のエタノール分析

片倉勝己, 泉 生一郎

日本化学会誌, No. 5, (昭和61年5月) 773~734

液外部循環エアリフト型気泡塔

中尾勝実(山口大・工), 河越幹男

セミナー「気泡塔，懸濁気泡塔の装置設計」

(昭和60年11月12日 講演)

液外部循環式エアリフト型気泡塔の流動特性

河越幹男，大竹伝雄（中部大・工）

化学工学協会第51年会

(昭和61年3月28日 講演)

脈動可動式多孔板塔の分散相ホールドアップおよび軸方向混合拡散係数

河越幹男，大竹伝雄（中部大・工），野田泰夫（関西化学機械）

化学工学論文集，Vol.12，No.3，(1986年7月)，465～468

リフトトレイの物質移動特性について

大竹伝雄（中部大・工），河越幹男

第11回化学工学講習会（関西化学機械製作K.K主催）

(昭和61年8月22日講演)

回分型晶析装置における粒径分布シミュレーション

中谷武志，高松武一郎（京大・工），塩谷捨明（京大・工）化学工学協会第19回秋季大会

(昭和60年10月17日 講演)

(一般教科)

Elementary classes of α -existentially closed structures

K. Aragane, T. Fujiwara (Univ. of Osaka Prefecture)

Mathematica Japonica, Vol.30, No.6 (1985), 989～1007

Syntactical characterizations of universal Horn classes with AP or WAP

荒金憲一

第9回半群論シンポジウム

昭和60年11月28日

心理的述語に関する指導上の問題点—教科書分析と学習者の理解度調査に基づいて—

溝端清一，樋口忠彦（大阪教育大）

大阪教育大学紀要 第V部門第34巻第2号

(昭和60年12月)，213～225.

教材研究から指導法の改善へ—逆心理的述語の実験授業に基づいて—

溝端清一，樋口忠彦（大阪教育大）

大阪教育大学紀要 第V部門第35巻第1号

(昭和61年8月)，11～22.

疑問文の聴取についての考察

守屋雅博

SONY LL通信 (No.127)

(昭和61年2月)，6～9.

Dictation についての考察

守屋雅博

SONY LL通信 (No.128)

(昭和61年4月)，6～9.

Oral Narration における Speech Errors についての考察

守屋雅博

SONY LL通信 (No.129)

(昭和61年6月)，10～13.

音声変化する語群の聴取についての試み

守屋雅博

SONY LL通信 (No.130)

(昭和61年8月)，2～6.

早期英語学習経験者の追跡調査—第一報

樋口忠彦（大阪教育大），守屋雅博，北村豊太郎（梅田学園），三浦一朗（近畿大），中山兼芳（加藤学園）

日本児童英語教育学会研究紀要第5号

(昭和61年3月)，48～67.

早期英語学習経験者の追跡調査（その2）

樋口忠彦（大阪教育大），守屋雅博，北村豊太郎（梅田学園），三浦一朗（近畿大），中山兼芳（加藤学園）

国方太司（大阪教育大附属天王寺高）

日本児童英語教育学会第7回全国大会

(昭和61年6月22日 講演)

土屋文明著書解題

小谷 稔

「短歌」昭和60年11月号 角川書店

現代の自然詠

小谷 稔

「短歌現代」昭和61年6月号 短歌新聞社

読書感想文における創造性の教育

小谷 稔

関西工業教育協会高専部会

(昭和61年8月11日 講演)

「桜の実の熟する時」について

細井誠司

日本キリスト教文学会関西支部春季大会

(昭和61年4月26日 講演)

「桜の実の熟する時」の構想について

細井誠司

島崎藤村学会全国大会

(昭和61年8月24日 講演)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第22号

昭和62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 明新印刷株式会社
奈良市橋本町36

RESEARCH REPORTS

of
NARA NATIONAL COLLEGE

of
TECHNOLOGY

No. 22, 1986

CONTENTS

Gaseous Behavior of a High Pressure Chamber in a Diaphragmless Shock TubeHaruaki KISHIGE and Kazuoki MATSUOKA.....	1
On the Convex Domain.....Katsuhiko FUKUSHIMA.....	7
Fiber Orientation in Steady and Pulsating Flows.....Noriyasu MORI.....	11
Study on Chip Treatment in Turning - 4th Report, Chip Breaking by Various Cutting Methods-.....Tadahiro WADA.....	17
Detection of Cutting Tool Damage by Cutting Force SignalTadahiro WADA, Shuzi HIGASHINO, Mitsuyoshi SHIMAOKA and Yasuhiro HAYAKAWA.....	23
Configuration and Control Scheme of the Power Converter for Superconducting Magnet Energy Storage.....Toshifumi ISE and Yoshishige MURAKAMI.....	31
A Study on the Method of Detecting the Degradation of Insulating PolymersJun KYOKANE, Yoshihiro YAMAMOTO, Ichi KIMURA and Katsumi YOSHINO.....	37
Implementation of Input Modules for Japanese on UNIXTadashi SEKO and Hirokazu NARITA.....	43
Thickness Measurements of Thermal Oxidation Growth-Films on Silicon using Computer Controlled Ellipsometer.....Haruo TAKAHASHI and Stieve A.LYON.....	47
The Optimal Fabrication Conditions of Lipman Hologram Using Dichromated Gelatin.....Masayuki MIYATA.....	53
Image Processing System for Analyzing Impregnation Process of Conservation Liquid in Water-logged Wood.....Katsuhiko UEDA and Akira ISHIGAKI.....	57
Tree-Ring Extraction from X-ray Image of Archaeological Woods by Digital Image Processing.....Katsuhiko UEDA and Akira ISHIGAKI.....	63
Nondestructive Observation of t-butyl Alcohol Distribution in Waterlogged Wood during Immersion in t-butyl Alcohol.....Akira ISHIGAKI and Katuhiko UEDA.....	69
Development of X-Ray Contrastradiography Applying to Dendrochronological Measurement for Water Logged Woods (Double Contrast Enhancement Using Silver Thioglycolate - t -butyl Alcohol)Akira ISHIGAKI and Katuhiko UEDA.....	75
Development of Product-separable Photochemical Diode and Its Application to Quantitative Analysis of p-Benzoquinone.....Ikuichiro IZUMI and Yasuyuki OHNISHI.....	79
Gas-Liquid Interfacial Area in a Perforated Plate Column.....Mikio KAWAGOE.....	83
Application of a New Educational System in Workshop PracticeMitsuyoshi SHIMAOKA, Koji KOBATAKE, Tadahiro WADA, Yasuhiro HAYAKAWA, Tadao KAJISHIMA, Takemichi SHIMAOKA Tozaburo YAMAMOTO, Tetsuo NAKAGAWA, Hiroshi KASHII and Yoshitaka IKEUCHI.....	87
Non-Finite Verbs in the Stonor Collection - Infinitive -.....Kiyokazu MIZOBATA.....	93
A Study of William James's Concept of Matter.....Tsuneyuki KIMURA.....	106
On Yorichika Minamoto, Governor of the Province of Yamato (2).....Hiroshi ASAKURA.....	114
Abstracts.....	115
Research Activities in 1985-1986.....	129