

ISSN 0387-1150

研 究 紀 要

第 17 号

昭和 56 年度

奈良工業高等専門学校

目 次

ねじ旋削における横送り装置に関する研究	加賀勝也・大橋和正・奥島啓武	1
移動回折形レーザ・ドップラ流速計に関する研究	阪部俊也・森 教安・若林敏夫	5
快削性ガラスセラミックの被研削性について	田中義雄・和田任弘	9
フェンスを有する平行平板伝熱面の流動特性に関する研究	中谷 洵・矢尾匡永	17
超音速ノズル流における二原子分子の再結合について	岸下晴亮・松岡一起	23
Poincaré ゲージ場の対角化	宮本止戈雄	29
矩形断面管内における粘弾性流体の二次流れに関する研究	森 教安・堀川 明・三村宣治	33
快削性ガラスセラミックの被削性についての研究(第2報)	和田任弘・田中義雄	37
光結合FETによるS形負性抵抗特性を用いた位相制御回路	高橋晴雄・山内雅好・山本善啓	43
電荷減衰法によるPEの表面電荷の動特性	京兼 純・山本善啓・Coelho Roland	47
Electrical Properties of Hexatriacontane Single Crystal	京兼 純	55
酸性水溶液中における白金アノードでのエタノール酸化におよぼす各種金属塩の影響	泉 生一郎	59
エアリフト型気液接触装置の特性解析	河越幹男・C. W. Robinson	65
古代染織技術に関する研究——第一報 古代染色材料について——	山本 績	77
α -5—メチルフロベンゾインオキシムの性質とその熱分解ガスクロマトグラム	石川光二・阪井正	85
モームの主題とその展開(その1)——「人間の絆」から「月と六ペンス」へ——	中村元一	91
女子体育について——エレン・ケーの教育論を中心に——	中和田武	99

論文抄録

Ductile Fracture of Carbon Steel under Cold Metal Forming Conditions	Hideo SEKIGUCHI, Kozo OSAKADA and Jiro KOSHIJIMA	107
Optimum Process Design for a Single-Stage Multifunctional Production System	Katsundo HITOMI and Kazumasa OHASHI	108
SUR LA DISSIPATION DANS LES MATERIAUX SEMICONDUCTEURS		
SOUmis A UN CHAMP ELECTRIQUE INTENSE	Roland COELHO et Jun KYOKANE	109
Anodic Oxidation of Phenol at Platinum Electrode in Aqueous Alkaline Solution	Ikuichiro IZUMI, Masatoshi ŌUE and Akira KUNUGI	110
Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Hydrocarbons on Platinized TiO ₂ Powders	Ikuichiro IZUMI, Wendell W. DUNN, Keith O. Wilbourn, Fu-Ren	111
Heterogeneous Photocatalytic Decomposition of Benzoic Acid and Adipic Acid on Platinized TiO ₂ Powder. The Photo Kolbe Decarboxylative Route to the Breakdown of the Benzene Ring and to the Production of Butane	Ikuichiro IZUMI, Fu-Ren F. FAN and Allen J. BARD	112
ウェイリイをめぐる——「追いつめられて」考——	中村元一	113
教官研究活動状況一覧		115

ねじ旋削における横送り装置に関する研究

A Study on Cross Slide in Thread Cutting

加 賀 勝 也 ・ 大 橋 和 正

奥 島 啓 弐*

Katsuya KAGA, Kazumasa ŌHASHI

and Keiji OKUSHIMA

ねじ旋削について、バイトの横送り動作は、すでにクリダン型旋盤によってカムを利用して行われているが、構造上かなりの制限を受ける。そこで、このような制限を受けない方法として論理集積回路を用い、パルスモーターを制御することによって、自動的に所要の切り込み動作をつくり出すことの可能性の探究を試みた。塩化ビニールのパイプではあるが、実際のねじ切りを行い、一応の成功をみている。

1. 緒 言

旋盤によるねじ切りは、レバー操作によって各種のねじが手軽に得られることの他に、長尺ねじやねじ部を持つ部品加工の可能な点に特色がある。

縦方向の問題点については、一応の解決をみたが、横方向についての検討が残されている。本研究では論理集積回路を使い、パルスモーターを制御する方法によって自動的にバイトに所要の切り込み動作を与えるを試みるものである。

2. バイトに必要な動作

バイトに必要な動作は

- (1) ねじの切りはじめの位置で、バイトを材料に接するまで k だけ前進させる。
- (2) ねじの切りはじめの位置で、バイトに切り込み a_1 を与える。
- (3) ねじの切りおわりの位置で、バイトを k だけ後退させ被削物より離す。
- (4) ねじの切りはじめの位置で、バイトを k だけ前進させ、さらに切り込み a_1 を与える。

以下、このような動作をくりかえしてねじ山をつくりて行くことになるが、

- a_1 の切り込みで n_1 回
- a_2 の切り込みで n_2 回
- a_3 の切り込みで n_3 回
- a_m の切り込みで n_m 回

というように切削を行ったとき、 $a_1n_1 + a_2n_2 + a_3n_3 + \dots + a_mn_m$ が、そのときの作業に必要な全切り込み量になるようにする。

3. 実験装置

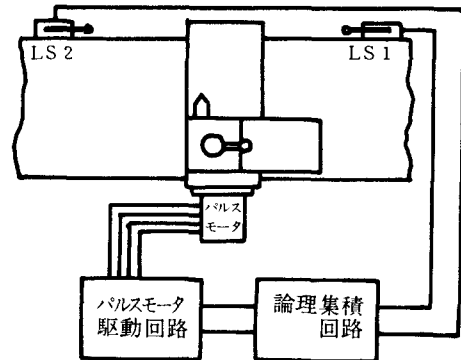


図1 実験装置

図1はバイトの横送りに必要な動作を与えるための装置であるが、ねじの切りはじめおよびおわりの位置を検出するためのリミットスイッチをそれぞれ $LS1$, $LS2$ とし、この2つの信号によって、あらかじめ設定しておいたプログラムに従って、バイトに必要な動作を与えようとするものである。

4. 装置の各部の働き

図2は本実験装置のパルス発生回路図を示す。実験の前の準備として、つぎのことは行っておく。

*京都大学工学部名誉教授

- (1) バイトを被削材に接するまで近づけるに要する長さに対応するパルス数を、ロータリースイッチ $S1$ に設定しておく。
- (2) ロータリースイッチ $S2 \sim S4$ に、切り込み量 (a_1 a_2 a_3) に対応するパルス数を、また接点 K にそれぞれの切り込み量で切削すべき行程を設定しておく。
(図2では第6行程までは a_1 の切り込みで、第7～第11行程では a_2 の切り込みで、また第12～第16行程では a_3 の切り込みで切削することになる。) 図は見易くするために、スイッチを1段に画いてあるが、多くのパルス数を必要とするときは2段あるいは3段にし、切り込みの種類を多く必要とするときには $S2 \sim S4$ をさらに $S5$ $S6$ ……と増せばよい。

4.1 バイトの前進

- (1) 心押台側の $LS1$ の押された状態の位置 (ねじの切り始めの位置) で、バイトを被削材に接するまで前進させる必要がある。上述のように、 $LS1$ が押されると $FF1$ がリセットされるので、点 F は“0”となり、カウンタⅠがパルス発振回路で発振されたパルスをカウンとし始める。また、点 F が“0”のため、 $NAND1$ の出力 H は“1”となり、 $NAND2$ によって発振回路からのパルスがⅠに出始める。

- (2) この間、 F が“0”のため G は“1”となり、カウンタⅡは停止した状態である。
- (3) カウンタⅠからのパルスが $S1$ の設定値に達すると、 E は“0”となり、 F は“1”となるため、カウンタⅠはカウントを停止し、Ⅰに出ていたパルスは止まる。すなわち、 $S1$ に設定したパルス数に対応する長さだけバイトが前進して止まることになる。

4.2 漸減切り込み

- (1) バイトには $4 \cdot 1$ のようにして前進させたあと、さらに切り込みを与える必要がある。カウンタⅠがカウントを停止すると、 F が“1”、ゆえに G は“0”となり、カウンタⅡがカウントを始める。
- (2) ロータリースイッチ $S2$ の A より、切り込み量 a_1 に相当するパルス数が出終るまでは、点 G は“0”、すなわち H は“1”となり、Ⅰにパルスが出る。
- (3) 切り込み量 a_1 に相当するパルス数が出終ると、 A は“0”、 J が“0”であるから、 $FF5$ の Q からの出力は“1”、すなわち G が“1”となってカウンタⅡはカウントを停止する。
- (4) このようにして、カウンタⅠとカウンタⅡの和のパルスが、Ⅰから出てくる。

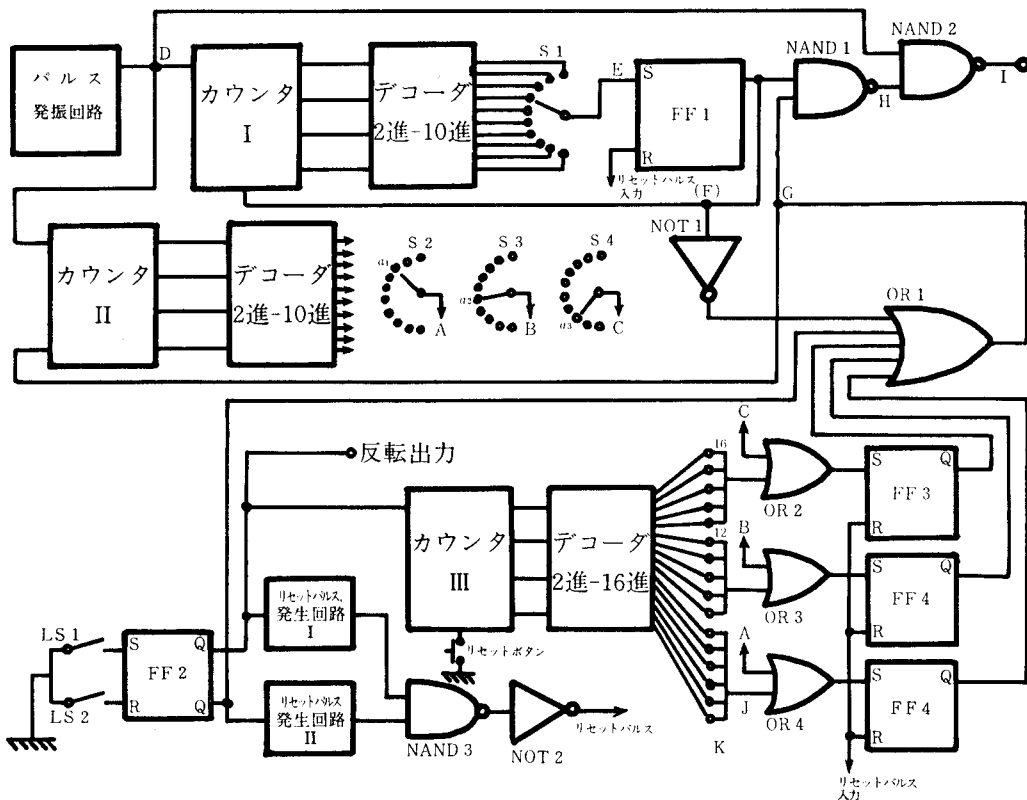


図2 実験装置のパルス発生回路

4. 3 切り込み回数の計数

ある切り込み値で何回か切削を行ってのち、つぎの切り込み値に移るので、その回数を数える必要がある。図2では a_1 の切り込みで第1～第6回の切削を行ったのち、第7回目の切削からは B からの信号により $OR3$ が働き、第12回目の切削では C からの信号により $OR2$ が働くので、 $a_1 > a_2 > a_3 \dots\dots$ に設定しておくで漸減切り込みを行うことができる。

なお、リセットボタンはカウンターⅢをリセットさせるためのものである。

4. 4 バイトの後退

往復台がねじの切り終りの位置に来て、 $LS2$ が押されると、 $FF2$ がリセットされ($\bar{Q}$ が“1”になり)、リセットパルスが出されるので、 $FF1$ $FF3 \sim FF5$ がリセットされ、カウンターⅠがふたたび働き始め、Ⅰよりパルスが出されるが、 $\bar{Q}$ が $OR1$ の入力に接続しているので点 H は“1”となったままとなる。すなわちカウンターⅡは停止したままで、カウンターⅠのみのパルスが出てバイトは後退する。

4. 5 パルスモータの反転

駆動回路の反転入力をも“0”にすればよいので、 $FF2$ の出力 Q を利用することによって、心押台側で正転、主軸側で反転の制御を行う。

5. 結 言

塩化ビニールのパイプではあるが、本実験装置により実際にねじ切りを試み、一応の成功を得た。

バイトの横(切り込み)方向の動作については、すでにクリダン型旋盤において、簡単な構造の装置(カム利用)で漸減切り込み動作を行っている。

ところが、ねじ部の長いものを切削しようとするとき、円筒カムの直径を大きくせねばならず、構造上かなりの制限を受ける。また、被削物のねじ部の長さの変わる毎に、カムを取りかえねばならないので、カムを幾通りも用意する必要があり費用がかかる。

これらの点について、本装置をクリダン型旋盤とくらべて検討してみると本装置では

- (1) リミットスイッチの取り付け位置を変えるだけで、各種の長さのねじに簡単に応じることができる。
- (2) 部品がすべて小型であるため、装置全体を小型にできるので場所をとらない。
- (3) 5Vの単一電源だけで動作することができ、油圧装置のような大がかりなものを必要としないので、安価につくられる。

など自動ねじ切り装置としては利点が多い。

なお、ご協力いただいた、西村繁木・杉浦 隆・竹村敏照・藤本親弘の諸君に感謝の意を表します。

移動回折形レーザ・ドップラ流速計に関する研究

Laser Doppler Velocimeter Using a Rotating Wire Gauze Grating

阪部俊也 森 教安 若林敏夫

Toshiya SAKABE, Noriyasu MORI, Toshio WAKABAYASHI

A frequency shift laser doppler velocimeter is described. The basic element in this system is a rotating diffraction grating functioning both as a beam splitter and a frequency shifter.

A rotating diffraction grating is organized with a wire gauze, which is a simple to set up and a low cost. The utility of the laser doppler velocimeter is verified by experiments on rotating disk used as a water flow.

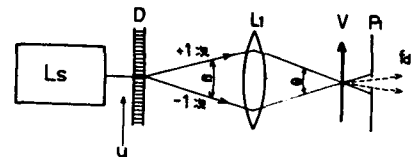
1. 緒 言

流体の流れの測定において、流速測定は古くから、各種の計測がなされているが、近年さらに流速測定の重要性は増している。最近ではレーザ光を用いたレーザドップラ流速計が考案され、かなり普及しつつある。ところでレーザ流速計は流れに無接触で、しかも微小な点の測定が可能であるなど非常に優れた特徴を持っている。また開発当初は、流れの方向が決定出来ない問題点があったが、超音波セルを用いる光変調方式により流速方向の決定も可能であるとともに、信号処理精度も向上することが明らかになった。⁽¹⁾しかしながら、超音波セルによる変調は非常に高価であることから手軽には出来ない、また、変調周波数が高いことから、周波数領域が高くなる難点がある。また他の方法として光学的回折格子を回転させる方法が簡単な方法として用いられている。⁽²⁾⁽³⁾この場合も光学回折格子はかなり高価なものとなる。そこで本研究では、より手軽に変調し、かつ変調周波数も低い範囲で使用することを考え、回折格子として細かい金網を用いることにより同様の効果を試みたもので、その結果について報告する。

2. 測定原理

レーザ流速計は流体中にあって、流体と同速度で移動している粒子にレーザ光を当てることにより、粒子から発する散乱光は、ドップラ効果を受け、もとの周波数からずれることになる。このずれの周波数を測定することで、流速を測定しようとするものである。このずれの周波数は、光の周波数が数百 MHz であるため直接測定することは出来ない。このため各種の方法が考えられているが、本研究では散乱光どうしを重ね合わせ、そのビート周波数から測定しようとするもので、フリンジモード

と呼ばれる方法である。この時、流速方向を決定するためには、流体中の散乱粒子に当てる光をあらかじめ、ある方向による光変調を与えておくことにより方向を決定するものである。この原理図を図1に示す。



D : 回折格子 f_d : 検出周波数
 L : レンズ ($f=100\text{mm}$) β : ビーム回折角度
 V : 流速 θ : ビーム交差角度
 P₁ : ビンホール u : 回折格子の周速度

図1 移動フリンジモード原理図

回折格子Dはuの速度で移動している、このときの回折光のうち、+1次の回折光、-1次の回折光は回折角 β で広がり、かつ速度uによる周波数シフトを受けている。この2つの回折光をレンズL₁により、測定流体中に絞ることにより、流速Vを測定しようとするものである。

レーザ光の周波数を f_0 とすると、速度uで移動している回折格子により回折された+1次の回折光の周波数 f_+ は次式となる。

$$f_+ = f_0 + \frac{u}{\lambda} \sin \frac{\beta}{2} \quad (1)$$

同様に-1次の回折光の周波数 f_- は

$$f_- = f_0 - \frac{u}{\lambda} \sin \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

となる。この二本の光ビームにより、ビーム交差角 θ で測定点の散乱粒子に当てると、それぞれの散乱光を重ね合わせる（フリンジモードの測定）と測定周波数 f_d は次式となる。

$$f_a = \frac{2V}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} \pm f'_0 \quad (3)$$

ここで、 f'_0 は回折光による周波数であり次式となる。

$$f'_0 = f_+ - f_- = \frac{2u}{\lambda} \sin \frac{\beta}{2} \quad (4)$$

流体の流速方向 V と回折格子の移動方向 u が同一方向の場合

$$f_a = \frac{2V}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} + f'_0 \quad (5)$$

となり、逆方向の場合

$$f_a = \frac{2V}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2} - f'_0 \quad (6)$$

となる。すなわち、観測される周波数は

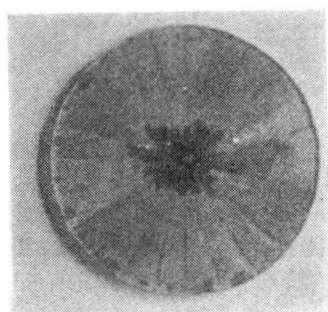
$$f_a = \frac{2}{\lambda} \left(u \sin \frac{\beta}{2} \pm V \sin \frac{\theta}{2} \right) \quad (7)$$

となる。ここで、 u の方向はあらかじめ決めておくことにより、流速 V の方向と大きさが求められることになる。

3. 実験装置ならびに実験方法

3.1 回転回折格子

回転回折格子としては、手軽に、しかも簡単に製作できるものとして、細かい金網をアクリル板ではさむことで回折格子とした。金網としては径が0.03mm、ピッチ0.03mmのものをを用いた。製作した回転回折格子を図2に示す。



直径75mm
厚さ5mm

図2 回転金網格子

回折格子は D.C 3 V のモーターにより回転させた。この時、レーザー光が当たる位置で金網の回折格子の方向が変わらない様出来るだけ、金網を放射状に細かく張り合わせた。放射角15度で24枚で作成した。

3.2 光学系

本研究における実験装置の概要を図3に示す。

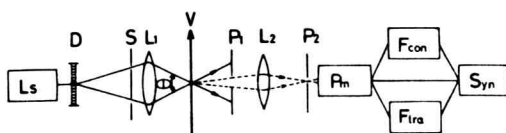


図3 実験装置の概要

L_s : He-Ne レーザ, 60mw, 波長 $\lambda = 6328 \text{ \AA}$

D : 回転金網格子

S : ピンホール, ピンホール径 2ϕ ,
ピンホール間隔 30 mm

L_1 : 集光レンズ, 焦点距離 100 mm

V : 流れ場での流速

P_1 : 散乱光集光用絞り

L_2 : 散乱光集光レンズ, 焦点距離 50 mm

P_2 : ピンホール, ピンホール径 $500 \mu\phi$

P_m : 光電子増倍管

F_{con} : 周波数トラッカ

F_{tra} : 周波数分析器

S_{yn} : シンクロスコープ

レーザー光は、回折格子により回折され、その中で測定方向に対する +1 次、-1 次の回折光のみを通過さすスリット S を置く。この位置は二つのビーム間隔を決定する。

その後、二つの光ビームはレンズ L_2 により測定点に絞られ、これの散乱光を光電子増倍管により検出し、シンクロスコープ、周波数分析器による信号処理の方法を取る。

4. 実験結果

4.1 金網による回折光

光ビームの分離に用いる回折格子の代用として、金網を用いたがこの金網による回折像を図4に示す。

この回折像から、かなり鮮明な像が得られていることが判る。回折角 β は、レーザー光の波長 λ , 金網のピッチ S , 回折次数 k とすれば、次式で求まる。

$$\frac{\beta}{2} = \sin^{-1} \frac{k\lambda}{S} \quad (8)$$

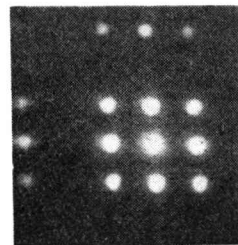


図4 金網による回折像

この回折像のうち、0次の回折像、つまり中心の回折像に対して、左右両側の1次回折像を取り出すことにより、左右方向の流れ成分の大きさ、方向が測定出来る。

同様に上下方向の二つのビームを取り出せば上下方向の流れ成分の大きさ、方向が測定出来る。一次の回折角 $\beta/2$ の理論値は式(8)において、 $S = 0.03 \text{ mm}$ とすれば、求められ、 $\beta = 1.2$ 度となる。実際の回折角は0.75度となり少し小さくなる。この原因は金網の径や間隔が正確でないことによると考えられるが、金網の位置を変えても、ほぼ一定であることから使用出来ると思われる。

4.2 回転回折光

回転回折格子をDCモーターにより回転させた時の回

折光強度変化を測定した結果を図5に示す。

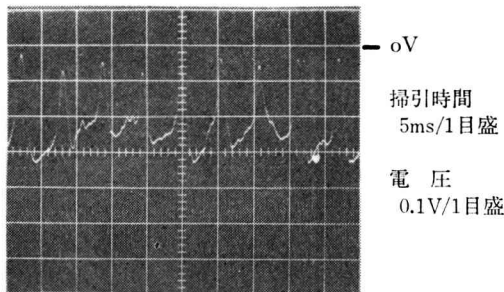


図5 回転回折光強度

回折光強度は常に一定にあるのが望ましいが、レーザ光が当たる金網の位置が回転角位置により、少し変化することによる。また、金網24枚の継ぎ目では、良い回折光は得られず図5のようになる。回転金網格子の回転ぶれも少しあるが、回折光強度にはさほど表われず、使用可能である。

4.3 流れ場の状態

流れは円管内水流とし、管径13.5mm、長さ1mの直管内を測定した。水はポンプにより循環させ、散乱粒子として、脱脂粉乳を良く溶かしたものを混入した。

流れ場の状態を確認するために、従来の方法(参照光モード)⁽⁴⁾により流速分布を測定し、X-Yレコーダに書かせたものを図6に示す。

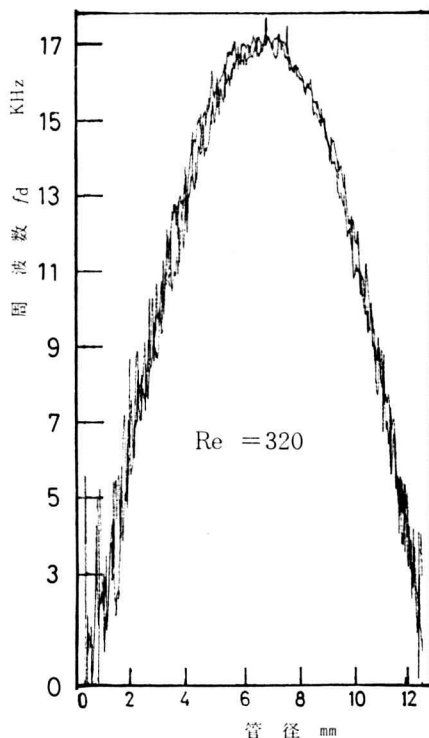


図6 流れ場の状態(層流分布)

流れは層流で、 $Re = 320$ における円管内流速分布を示している。流れ場としてはかなり安定した良い状態であることが判る。

4.4 回転金網格子の位置によるドップラ信号

金網による回折格子の場合、回折光強度が一定ではなく、さきに述べたように変化する、この場合の散乱光強度、ドップラ信号が得られるかどうかを検討した。

図6に示す光ビームの当たる位置によって、光強度が変化する。

図中①の位置で最も光強度は強く十分な散乱光が得られる。②の位置においても光強度は少し低下するが散乱光としては一応のものが得られる。しかしながら、③の位置すなわち、金網を放射状に15度間隔で張り合わせた境界付近においては光強度はかなり弱く

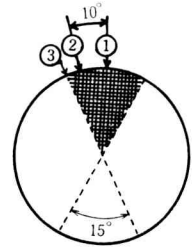


図7 光ビームの当たる位置

なる。このため散乱光強度が十分でなく、測定が不可能となる。

回転金網格子を回転させ、そのときのドップラ信号を調べた結果が図7に示す。

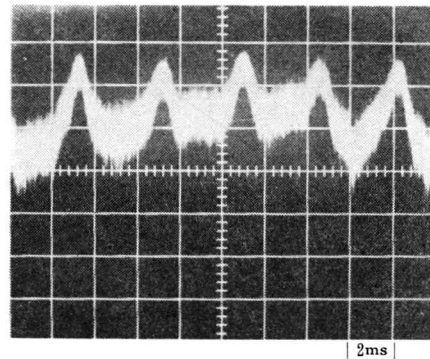


図8 回転金網格子によるドップラ信号

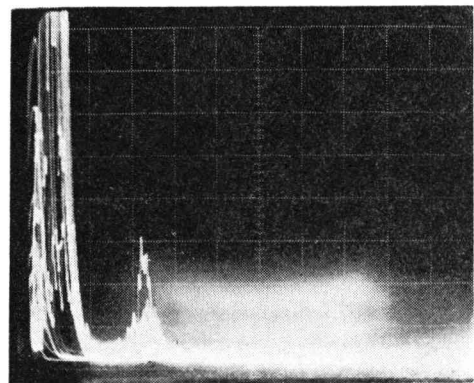


図9 周波数スペクトル

図が示すように、ドップラ信号強度はかなり変化をしている。周期 $T=2\text{msec}$ の間隔で散乱光強度が小さくなることが判る。この周期 T に対して2周期の間はかなり安定したドップラ信号が得られていることが判る。

この時の周波数分析器の出力波形が図8に示されるものである。横軸は周波数で1目盛が 100KHz を表わす。縦軸はスペクトル強度を表わす。この場合、 180KHz に強いスペクトル強度があり、これがドップラ周波数である。

また 0Hz 付近にある大きなスペクトル強度は、レーザービームがガラス性の強度分布をしているために、ドップラ信号が変調され、このために出るベテスタルと呼ばれる低周波ノイズである。また回転金網格子の光強度変化の周波数成分もこの低周波ノイズとして含まれる。

この様に散乱光強度は継続的であるが、この程度の周期のものであれば十分な信号が得られることが判る。

4. 4 回転金網格子による流速測定

以上の結果から、測定可能であることが判った。そこで格子の回転周速度、流速を変化させた場合のドップラ周波数を整理すると図10のようになる。

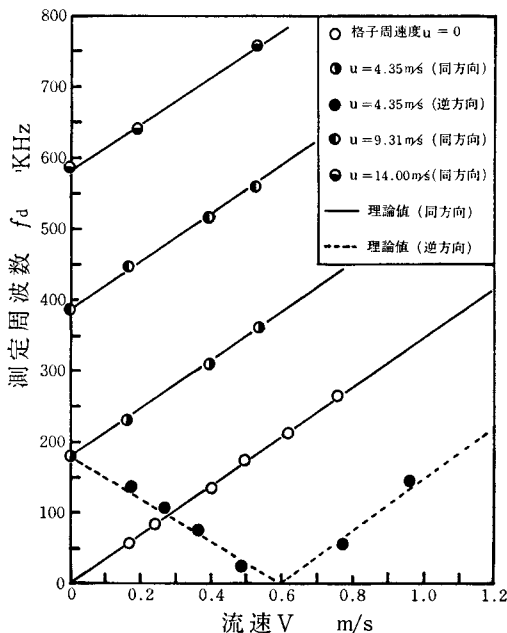


図10 ドップラ周波数特性

図10において、格子回転周速度 $u=0$ は、通常のフリンジモードにおける測定となる。すなわち式(7)において $u=0$, $f_d=2V/\lambda \cdot \sin\theta/2$ となり、ビーム交差角 $\theta=12.5$ 度における流速 V に比例したドップラ周波数が得られる。

逆に流速 $V=0$ の点は、回転周速度 u によるシフト周波数で、式(7)において、 $V=0$, $f_d=2u/\lambda \cdot \sin\theta/2$ となり、回折角 $\theta=1.5$ 度における周波数である。回転周速度を適当に選ぶことにより、シフト量を変えられることが判る。

流速 V に回転周速度 u が加わった場合、式(7)により $f_d=2u/\lambda \cdot \sin\frac{\theta}{2} + 2V/\lambda \cdot \sin\frac{\theta}{2}$ となる。この時、 u と V が同方向の場合、観測される周波数 f_d は、それぞれの周波数の和となり、図9の結果は良く理論値と一致している。また流速 V と回転周速度 u の方向が逆の場合には、 u と V の符号が異なることから、観測される周波数 f_d はそれぞれの周波数の差となる。このことから、二つの周波数が等しくなると f_d は零となり、さらに流速を増すと再び周波数が表われることになり、実験結果は良く一致する。

以上の結果より、未知の流れ方向の流速に対して、同一周波数に対して、流速の値が二つ存在することになるため、回転方向を逆にして周波数を確認後流速を決定する必要がある。

5. 結 言

以上の結果から、金網を回転回折格子に用いる周波数偏移形レーザードップラ流速計は可能であることが実証され、流速方向ならびに流速値の測定が簡単な方法で出ることが明らかになった。

さらに変動流などへの応答性について今後検討する必要がある。

最後に本研究にあたり、終始御指導くださった大阪大学工学部中谷登先生、ならびに山田朝治教授に厚くお礼を申し上げます。また実験にあたり協力してくれた卒業生諸氏に感謝の意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 中谷, 小西, 山田, 阪部; 計測自動制御学会論文集第13巻, 第6号, 603/608 (昭和52年)
- 2) N. Nakatani, T. Yamada; J. phys. E: sci. Instrum, Vol 13, (1980)
- 3) J. Oldengram, P. Vekatesh; J. Phys. E: Sci. Instrum, Vol 9, (1976) 1009
- 4) 阪部, 若林, 中谷, 山田; 奈良高専研究紀要, 第13号 41/46 (昭和52年)

砥石表面の状態を調べるためにはT. W式砥石アナライザを用い、また研削面の表面あらさを測定するために東京精密製触針式サーフコム10Aあらさ計を用いた。

2. 2 使用材料

本実験に使用した材料の成分割合は表2に、またその物理的、機械的性質を表3に示す。

表2 成分割合

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	F	B ₂ O ₃
重量(%)	46	16	17	10	4	7

表3 物理的・機械的性質

項	目	標準値
密度	(gr/cm ³)	2.52
硬さ	(HV)	230
引張強さ	(kg/cm ²)	1000
曲げ強さ	(")	1000
圧縮強さ	(")	3500
ヤング率	(")	6.5×10 ⁵
熱伝導率	(Cal/cmSec°C)	0.004
熱膨張率	(室温から400°C)	9.4×10 ⁻⁶
最高使用温度	(°C)	1000

2. 3 作業条件

本実験に使用した材料寸法は、幅(80)×厚み(28)×高さ(75)の角材で、切込みと送りを併用した平面研削加工を行なった。

砥石速度……36m/Sec (A&C系砥石)

“ ……27 “ (D&C BN砥石)

テーブル速度……7.5m/min

切込み量………0.02~0.03mm

前後送り………1往復ごとに1mm

ドレッシング条件としては、切込み(0.01mm)で、送り速度(0.2mm/Rev), 目直し回数は12回。

研削液としては、水溶性のW1を20倍にうすめたものを1分間あたり40ℓ使用する。

3. 実験結果ならびに考察

3. 1 A系ならびにC系砥石の研削加工

(i) 乾式研削で、前記の作業条件で

A-46K (V), WA46K (V)

C-46K (V), GC-46K (V)

の4種類の砥石について約20分間(実研削長さ22.5m, 左右両端において約50mmの空転あり)研削を行った。得られた表面あらさは図1のとおりである。

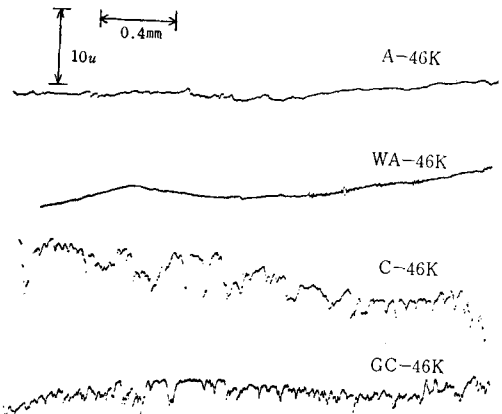


図1 A系およびC系砥石によるあらさ曲線

AおよびWA砥石ではその表面あらさは一見非常に平滑のように見えるが、作業の終り頃には切りくずがほとんど排出されておらず、研削焼けは生じないまでも、研削面は光沢を帯び、研削音はかなり高く、砥石寿命のきていることが認められた。これに対しCおよびGC砥石ではその研削面はかなり凹凸は生じているが(C砥石ではRmax=5~6μm, GC砥石ではRmax=3~4μm)研削音はさほど高くはなく、作業の続行も可能であった。なお、AおよびWA砥石で、切込みを0.03mmで加工した場合、被削材の両肩(こば)に欠けの発生が認められた。これは、この材料をボール盤にて中グリ作業を行うと作業の終端、すなわちドリルの抜きぎわにおいて欠けの発生し易いのと同一理由であると考えられる。

(ii) 次に研削液が表面あらさに及ぼす影響を調べる目的で、GC-46K (V), GC-80M (V) の2種類の砥石について乾式および湿式でそれぞれ約20分間前記と同様に研削を行った後、その表面あらさを測定した結果を図2に示す。

この実験結果よりわかることは、GC-46K (V) に

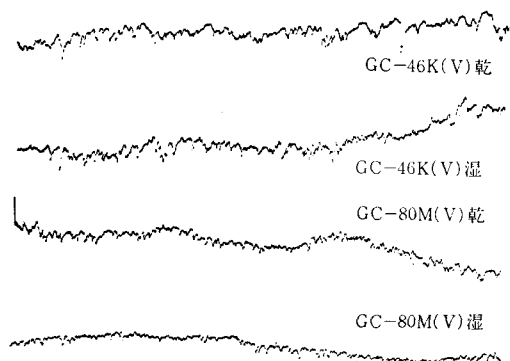


図2 表面あらさに及ぼす研削液の影響

については、湿式の方が乾式より幾分表面あらさは良好であるが、あまり大差は見られない。その理由としては、この砥石は結合度がKで比較的軟らかく、自生作用が活発で引続き研削可能であることを意味するものと思われる。GC-80M (V) についていえば、この砥石は結合度がMでかなり硬いため自生作用は前者ほど活発に行われず、また粒度も細かく、目づまりをおこし易い状態にある故、表面あらさはすこぶる良好である。

つぎに、乾式にくらべ湿式の方が表面あらさのよいのは研削液の潤滑作用により摩擦抵抗が少なく、滑らかな面が形成されるものと推察される。図2の表面あらさを棒グラフにて示せば図3の通りである。

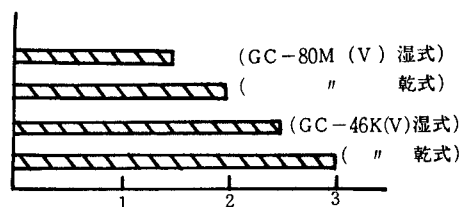


図3 表面あらさの比較

(iii) さらに表面あらさに及ぼす粒度の影響を調べるために下記の4種類の砥石について乾式で、前者と同じ研削条件で20分間連続で研削を行った結果、その表面あらさの様子を図4に示す。

GC-46K (V) ,	GC-60K (V)
GC-80M (V) ,	GC-120I (V)

この図よりわかる如く、粒度の細かいもの程、表面のあらさは良好である。これは一般のA系およびC系砥石で金属（たとえば炭素鋼）を研削した場合とほぼ同じ傾向を示しているものといえる。

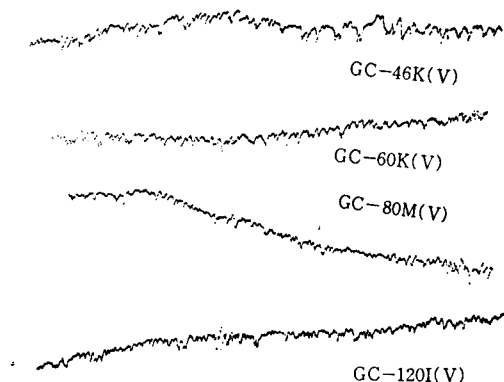


図4 表面あらさに及ぼす粒度の影響

しかし最後のGC-80M (V) とGC-120I (V) では逆の結果を呈しているが、これは次のように考えられる。

粒度80の方は硬度がMでかなり硬く、自生作用があまり行われないうので作業の進行と共に砥粒が摩滅し、目づまり状態に近づいているのに対し、粒度120の方は結合度がIで軟かいため自生作用がかなり活発に行われ、新しい切刃が引続き研削を行うためである。

(iv) 最後に結合剤が表面あらさに及ぼす影響を調べる目的で、C-46KおよびGC-46Kの砥粒でそれぞれビトリファイド (V) およびレジノイド (B) 結合剤の砥石4個について研削した結果、その表面あらさの測定値を図5に示す。

この場合の作業条件は前者とほぼ同じであるが、レジノイドボンドでは、0.03mmの切り込みで研削焼けが生じたので、切りこみを0.02mmに減じ、いずれも湿式で行った。

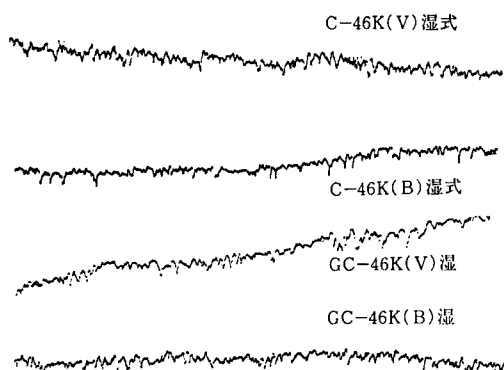


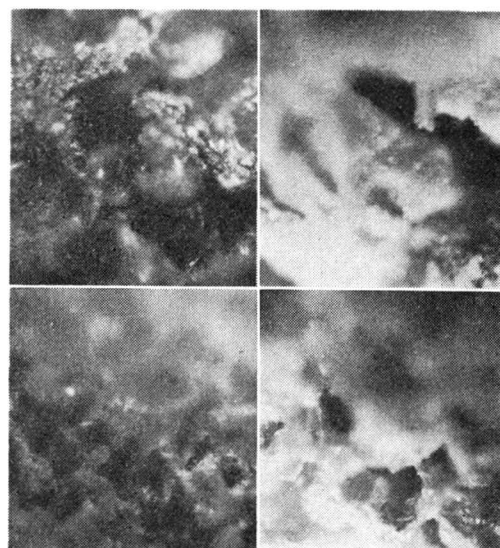
図5 表面あらさに及ぼす結合剤の影響

実験結果からいえることは、ビトリファイドよりレジノイドボンドの方が表面あらさはかなり良好である。その理由としては、レジノイドボンドの多くは熱硬化性のペークライトが使用されていて、これは前者に比し弾力性に富み、工作物に対しあたりが軽く、無理なく研削できるためと考えられる。しかしレジノイドボンドは研削焼けをおこし易く重研削には適さないようである。

なお、この実験に使用したA系およびC系砥石の表面状態を写真撮影したものを記載すれば次のとおりである。

3. 2 DおよびCBN砥石による研削加工

一般の研削砥石は砥粒、結合剤および気孔の三者から構成されているが、ここに用いた超砥粒ではほとんど気孔を有しないことに加えて砥粒率が普通の砥石に比べて非常に低く、1/2程度であるため結合剤の割合は相当大



(写真配置)

	左 側	右 側
上 段	A-46K (V) ドレッシングしたま まの状態	A-46K (V) ドレッシング後20分 間研削目づまり
中上段	C-46K (V) ドレッシング直後の もの	C-46K (V) 乾式, 20分間研削後 の砥石表面
中下段	GC-46K (V) ドレッシング直後の もの	GC-46K (V) 湿式, 20分研削。目 づまり状態
下 段	GC-80M (V) ドレッシング直後の もの	GC-80M (V) 乾式, 20分研削。目 づまり状態。

きく、従って結合剤の研削作用におよぼす影響は無視できないものがある。また切くず排除の問題も大きくクローズアップされることになる。

次にD砥石とCBN砥石との適性を比較検討する立場から両者の諸性質を表4に記載し、またこの超砥粒は非常に高価であるため、この砥粒を有効に活用する目的で各種の結合剤が考案されているのでその代表的なものを表5に示す。

表4 DとCBNの主な性質比較表(2)

項 目	ダイヤモンド(D)	ボラゾン(CBN)
比重 (gr/cm ³)	3.52	3.48
かたさ (HK)	7000	4700
熱伝導率(W/cm ² °C)	20	13
熱 安 定 性	900°C	1400°C
色	黄 色	黒褐〜こはく
破 碎 性	低 い	高 い

(注) HKはヌーブ硬度

(i) まずD砥石とCBN砥石のいずれがこの材料に対し適当であるかを調べる目的で、レジンボンドで結合されているD砥石(Ni被覆したもの)、CBN砥石としては、タイプⅡ(Ni被覆したものでレジノイド結合)を選ぶ。

いずれも粒度(150)、コンセンレーション(100%)作業条件としては次の通りである。

砥石速度=27.5m/sec, テーブル速度=7.5m/min

切りこみ=0.02mm, 前後送り1往復につき1mm。

乾式研削で約20分間連続研削を行ったときの表面あらさを測定した結果を図6に示す。

この図6の①, ③を比較してわかることはD砥石よりもCBN砥石の方が表面あらさは幾分粗目である。

さらにそれぞれの砥石を20分継続して研削した被削材の表面あらさを測定したものが同図の②, ④の図である。これを見てわかることはD砥石では表面あらさが良好になっている。これはD砥石では耐熱性が比較的低く、砥粒切刃が幾分摩滅して鋭い切刃が減少したためと思われる。

これに対しCBN砥石の方は、耐熱性が高いのに加えて破砕性がよいため、40分継続して研削しても新しい切刃が生れ、初めの研削能力を維持しているため、表面あらさは幾分粗目であるものと推定される。

結局、乾式研削においてはD砥石とCBN砥石を比較すると、CBN砥石の方が寿命が長い、表面あらさの方はD砥石の方がすぐれているようである。

表 5 超砥粒と結合剤 (3) (4)

区 分	使 用 結 合 剤	備 考
ダイヤ モンド 砥石 (D)	メ タ ル ボ ン ド	石材の切断, ガラス, セラミック, 超硬合金などの研削, 切断用。
	レ ジ ン ボ ン ド	超硬合金の研削に主として用いられ, 砥粒の保持力を高めるためNi被覆 (湿式), Cu被覆 (乾式) を施す。
	電 着 法	電気メッキ技術の応用したもので, 切れ味, 除去率もよいが, 寿命が短い欠点あり。
	ビ ト リ フ ァ イ ド ボ ン ド	ダイヤ, ルビー, 水晶等の硬い材料の研削に適するが, 選択がむづかしいことと砥石破損の危険が高い。
ボ ラ ゾ ン 砥 石 (CBN)	C B N タ イ プ I (メタル, ビトリファイド)	早くから市販されているもので黒色または透明の結晶, 破碎し易く, また結合剤との接合が弱い欠点あり。
	C B N タ イ プ II (レ ジ ン)	Ni被覆したもので, 結合剤との接合力は強い。
	5 0 0 (電 着 法)	電気メッキ技術の応用したもの。
	5 1 0 (メタル, ビトリファイド)	500型に特殊被覆したもの。 (Ti 被覆したもの)

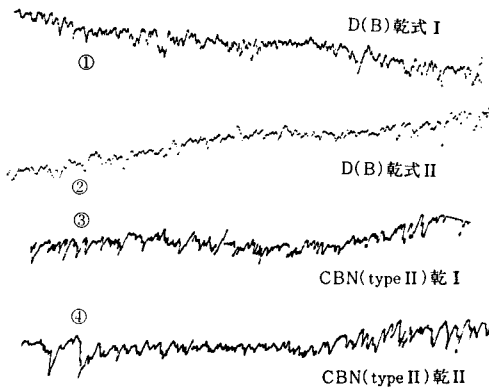


図 6 D&CBN砥石による表面あらさ

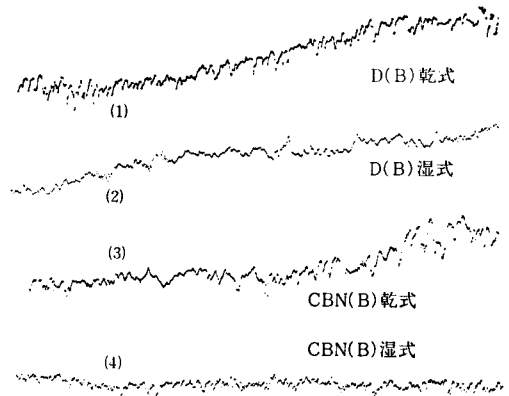


図 7 表面あらさに及ぼす研削液の影響

(ii) DおよびCBN砥石による研削加工において研削液がどのような影響を与えるかを調べるために両者の砥石について, 前記と同様の作業条件で, 乾式湿式それぞれ20分間研削した後の表面あらさを測定した結果を図7に示す。

この図で①, ③は乾式で, ②, ④は湿式であって, グラフよりわかる如く, 湿式の方が表面あらさのすぐれていることが容易にうなづける。

この超砥粒の砥石は前述のAおよびC系砥石と異なりチップポケットを有しないため, 切くず排除が問題になるわけで, その意味からいっても研削液は切くず除去を容易ならしめ, 研削作用を左右する重要な要素であるといえる。そこで研削液の効用を要約すると,

(ア) 研削点を冷却することにより, 研削焼けもしくは研削割れを防止すること。

(イ) 切くず除去を行い, 砥石の目づまりを防止し, 砥

石の寿命を延伸せしめる。

(ウ) 研削液が研削点の奥深く浸透し、潤滑作用を行い摩擦抵抗を減じ、仕上り面あらさをよくし、また砥粒切れ刃の摩滅を少くし、砥石寿命を延すのに役立つ。

(エ) 研削加工において自生作用は砥石の重要な機能であるが、研削液を使用することにより、研削点と砥粒が研削点を離れて急冷された場合、その温度差によるいわゆる熱衝撃のため、砥粒が容易に破砕され自生作用を促進するものと考えられる。

(iii) DおよびCBN砥石の結合剤が工作物の表面あらさに及ぼす影響を調べる目的で、DおよびCBN砥粒をレジンボンドで結合したもの(Ni被覆を施す)および金属ボンドで結合した4種類の砥石を選び、いずれも湿式で20分間研削した場合の表面あらさを測定した結果を図8に示す。

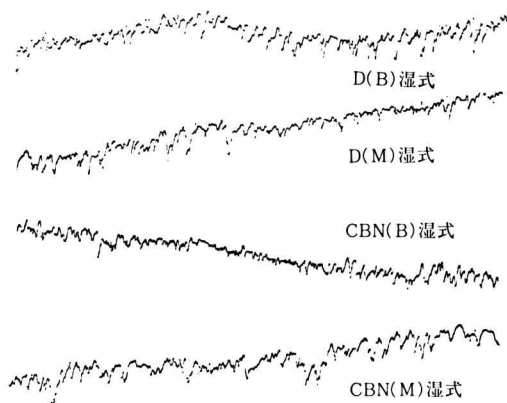


図8 結合剤と表面あらさの関係について

この図よりわかる如く、DおよびCBN砥石いずれの場合にも金属ボンドよりもレジンボンドの方が表面あらさが良好であることが理解できる。

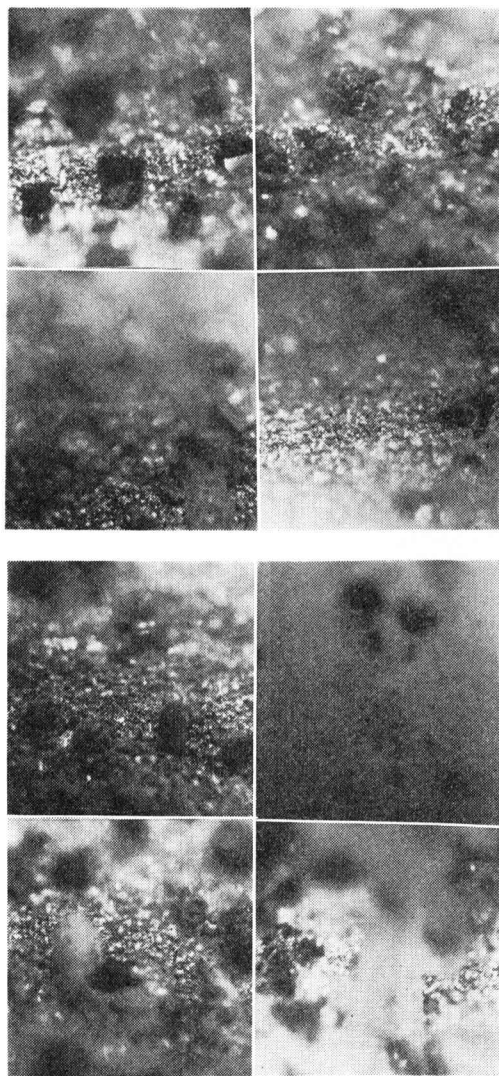
前記の表5はDおよびCBN砥石をその結合剤の種類によって分類したものであるが、DおよびCBNいずれの砥石もその砥粒とレジンとを直接結合したものは結果は良好とはいえず、いずれもNi被覆した後レジンボンドで結合している。このNi被覆を施したものは、接着性を高めるほかにNiの表面は細かい凹凸に富むため、研削熱を逃す役目を演ずるため、研削点温度の低下に役立っているものと考えられる。

なお、このレジンボンドとしては、主として熱硬化性樹脂であるペークライトが使用されるが、これは一度硬化したものは、その後の加熱によって軟化することなく従って砥粒保持力を低下することも少く、弾力性に富み切れ味もよいので一般に仕上げ用として用いられている。つぎに、メタルボンドは表面あらさはレジンボンド

に比し良好とはいえないが、その結合力がレジンボンドより大きい一般に長寿命であり、また多少無理な研削条件にも耐えうるようである。

次に、この実験に使用したDおよびCBN砥石の表面状態を写真にとったものを下図に示す。なおこれらの写真を簡単に説明すれば下記のとおりである。

	写 真 (左側)	写 真 (右側)
上 段	D砥石 (レジンボンド) 新しい砥石の表面状態	左側のD砥石を約20分研削した後の目づまり状況
中上段	CBN砥石 (Ni被覆したもの) 新品の表面状態	左側のCBN砥石を約20分研削した後の表面状態
中下段	D砥石で一度使用したものの水洗後の表面状態	左側のD砥石を約20分研削した後の表面状態 (湿式)
下 段	CBN砥石で一度使用後水洗したものの表面状態	左側のCBN砥石を約20分研削した後の表面状態 (湿式)



結 言

研削砥石の研削能力は、その構成要素である砥粒に大きく支配されることはもちろんであるが、実際の研削作業では砥粒単独の性能で決定されるわけではなく、結合剤や加工液の補助的役割も大いに影響するところであって研削現象はこれらを総合した結果であるというべきである。

本実験において使用した一般砥粒（A系ならびにC系）の中では一番硬度が高く、しかも破砕特性の良いG C砥石が最もよい結果を示したといえる。

なお、被削物であるこの材料は硬脆材料ではあるが、特殊な熱処理が施されていて硬度はかなり低いのでG C砥石で湿式研削を行えば、かなり長時間の寿命が保たれるものと思う。また表面あらさも負荷条件と砥石選択を誤らなければかなり優秀な仕上げ面も可能と思われる。

次にDおよびC B N砥石についていえば、

- (i) 同一粒度の砥石では、D砥石の方がC B N砥石よりも表面あらさは良好である。
- (ii) 乾式研削では、C B N砥石はD砥石よりも長寿命を保ち、また重研削にもたえうる。
- (iii) DおよびC B N砥石いずれも、切くず排除の立場上、ひいては砥石寿命を延ばす意味からも乾式よりも湿式の方が効果的である。
- (iv) 次にDおよびC B N砥石とも、レジンボンドは

金属ボンドに比し仕上面はすぐれているが、砥石寿命の立場からいえば、金属ボンドが長時間使用にたえる。

最後に、D砥石についてはその砥石速度としては、15 m/Secないし20m/Secの範囲が適当⁽⁷⁾のようであるが、本実験では砥石速度の調節が思うにまかせず、必ずしも適切であったとはいいがたく、その加工条件については今後の研究にまつ必要があると思う。

謝辞。 日頃よりお世話になっている大阪大学工学部機械工学科、長谷川教授ならびに花崎助教授に対し深謝致します。なお超砥粒砥石の目直しに便宜をはかっていただいた大阪金剛製砥KKに対し厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 小林正次・精密機械, 46-5(1980)
- 2) 石田泰弘・精密機械, 42-1(1976)
- 3) 小林正次. " 46-5(1980)
- 4) 秋沢英男. 第28回精密工作講習会テキスト (昭和52年6月)
- 5) 高沢孝哉. 砥粒加工研究会会報, 16-1(1972)
- 6) ダイヤモンド工具マニュアル. 工業調査会, (1979. 5), 194
- 7) 石田泰弘. 砥粒加工研究会会報 14-8(1970)

以 上

フェンスを有する平行平板伝熱面の 流動特性に関する研究

中 谷 洵・矢 尾 匡 永

Experimental Investigation of the Flow
between Parallel Plates with the Fences

Makoto NAKATANI and Masanori YAO

The visualization study is made to observe the flow between parallel plates with transverse fins for flow direction, that is, fences using a method of hydrogen bubble techniques. Moreover, the pressuredrop is experimentally studied on the surfaces with the fences in the air channel of rectangular cross section. It is found that parallel plates with staggered fences show the most effective performance, in the case of the ratio of fence pitch to fence height ℓ/h is almost 5.

1. ま え が き

近年、エネルギー源の多様化にともない、最適でかつ小型高性能な熱交換器を開発すべく種々の研究がなされているが、熱交換器のうち絶対数からみて最も多いのはコンデンサあるいはエバポレータであろう。通常、コンデンサあるいはエバポレータには作動流体として蒸気（あるいは、フロン、アンモニア等）—空気系が考えられるが、熱交換器の小型高性能化を熱交換効率の向上によって達成しようとするとき、その効率向上のネックになっているのは、主として空気側の熱伝達である。この空気側の熱伝達を改善するために、普通、プレートフィン、ルーバードフィン等の例にみられるように、空気側伝熱面にフィンが設けられる。一般に、フィンを取付けることによって(1)拡大伝熱面として用いる。(2)空気側の速度境界層の発達を防ぐ。(3)流体中の近寄り速度や乱れを積極的に利用する。等の利点が掲げられる。

しかしながら、一方、フィン等の突起物を取付けることにともない、流動抵抗も増加する。この流動抵抗の増加は、熱交換器本体へ空気を供給する送風機の大形化、つまり送風機動力の増大につながり、全体として効率の低下をもたらし、熱交換器の小型高性能化を妨げる要因となっている。したがって、熱交換器の静的な性能を考えるとき、熱伝達と流動抵抗の両方の特性を総合して、最適な使用条件を見出す必要がある。

以上の点に基づき、著者らは、上記(3)に示したように熱交換器小型高性能化の試みの一つとして、流体中の近寄り速度や乱れを積極的に利用すべく、平行平板流路内

に、流れに直角にフィン（以後、このようなフィンをフェンスと呼ぶ）を一定間隔あけて千鳥状に設けた場合の熱伝達特性を明らかにすることを計画している。この研究計画の第一歩として、本論文は、まず千鳥状フェンスを有する平行平板流路内の流体の流動特性を明らかにすることを目的としている。

従来、フェンスを平行平板流路内に1枚、あるいは一方の平板上に複数個設けた場合の研究は多数なされているが、^{(1),(2),(3)}一般に得られる熱伝達率の増加に較べて、流動抵抗の増加の方が大きく、熱伝達特性は二次的な取扱いしかなされていない。しかしながら、本論文では以下に示すように、可視化実験によって、フェンスを千鳥状に設けた場合、フェンスピッチを適切にすれば、流動抵抗の増加を軽減できることを明らかにしている。また、流体として空気を用いた流れ実験装置によって、平板間隔、フェンス高さ、フェンスピッチ、流速等を系統的に変えて行なった実験に基づき、流動抵抗に関する知見を与えている。

2. 記 号

B : テストセクションスパン方向長さ

D_H : 等価直径

f : Fanning の摩擦係数

g : 重力加速度

H : 平板間隔

h : フェンス高さ

L : テストセクション長さ

ℓ : フェンスピッチ

ΔP : テストセクション出入口間の圧力損失

ΔP_f : 摩擦による圧力損失

ΔP_s : 形状抵抗による圧力損失

Q : 貫流流量

u_m : 平均流速

x : テストセクション入口からの距離

ν : 動粘性係数

ρ : 密度

Re_{DH} : レイノルズ数, $=u_m D_H/\nu$

Re_h : レイノルズ数, $=u_m h/\nu$

3. 実験装置および実験方法

3.1 流れの可視化

流れの可視化に供した実験装置の概略系統図を図1に示す。テストセクションは透明アクリル製のく形ダクト(スパン100mm×長さ700mm)であり、平板間隔 H は25mmから100mmまで可変である。流体として用いた水は、常に一定のヘッドを保つ上部オーバーフロータンクより定常的に前置静定室、コントラクションセクションを介して、ほぼ一様な流速分布をもってテストセクションに流入する。水の流量は、前置静定室直前に設けられたロータフローメーターにより測定される。

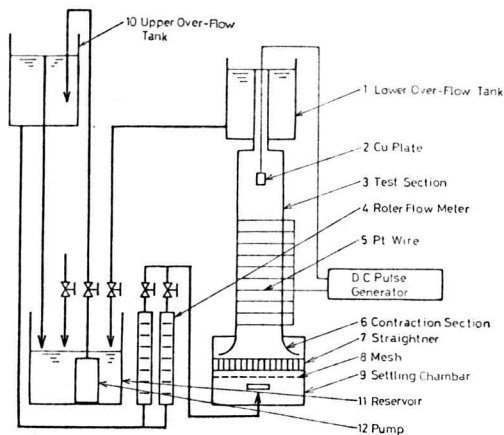


図1. 可視化実験装置概略系統図

流れの可視化法としては、流れ方向に複数個の位置において平板間に張られた白金線電極($\phi 100\mu\text{m}$)に並列にパルス電圧を印可することにより水素気泡を発生させる方法を用いた。可視化されたフローパターンは、写真撮影するとともにビデオカメラにも収録し、ビデオストロボ(SLow-Still Motion Analyzer)にて動的な現象を解析した。なお、写真撮影に際しては、照明用として用いた2個のハロゲンランプの位置を微調整して、可視化写真のコントラストを良くするよう配慮した。

3.2 流動抵抗の測定

流動抵抗の測定に用いた実験装置の概略図を図2に示す。実験には、テストセクション(スパン100mm×長さ600mm)の平板間隔を20mmと50mmとするために、平板間隔方向の寸法だけ異なる装置を2台用いている。実験装置は吸込み型とし、流体として用いた空気は大気中より、静定室、絞り部を介し、テストセクションに流入する。

空気の流量は、テストセクション入口にピトー管をそう入して、平板間隔方向にトラバースすることによって流速分布の一様性を確かめた後、中心流速にテストセクション断面積を乗ずることにより求めた。流動抵抗はテストセクション入口に流速測定用ピトー管を、またテストセクション出口に図3に示す静圧測定用ピトー管をそう入し、各ピトー管によって検知した静圧を多点圧力計測装置により計測、記録した。

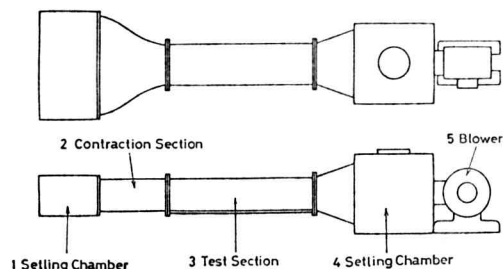


図2 流れの実験装置概略図

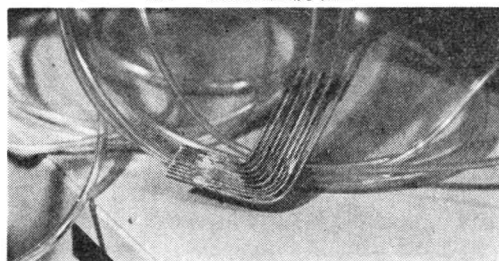


図3 静圧ピトー管

4. 実験結果および考察

4.1 流れの可視化

フェンスを有する平行平板間における流れ場の概要を把握するために、水素気泡法を用いて可視化した流れ場の例を図4、図5、図6、図7および図8に示す。各図は、テストセクション内に複数個設けた白金線電極より水素気泡を周期的に発生させて可視化した流れを、 $\frac{1}{25}$ 秒のシャッタースピードで写真撮影したものであり、平行平板間の流れが、流れ方向に変化してゆく様子が示されている。なお、白金線電極近傍の水素気泡列はタイムラインを示すものと考えられる。

図4は、平板間隔 H を50mmに定め、フェンスを持たない場合、一方の平板にのみ1枚取り付け付けた場合および両

平板にそれぞれ1枚ずつ千鳥状に取り付けた場合の流れの様子を示したものである。図より以下の事が明らかである。フェンスを持たない場合(図4, (a)), テストセクション入口より, 流れは層流を保ちつつ, 境界層をしいに発達させてテストセクション出口にいたる。この流れ中にフェンスを1枚設ける(以後, 単一フェンスと呼ぶ, 図4, (b))と境界層はフェンス前方においては離れ, フェンス後方において再付着する。また, フェンスに対向する平板上 $x=180\sim 220\text{mm}$ では, タイムラインに変曲点が観察されるが, これは, フェンス後方の流路断面積急拡大のためにフェンスに対向する平板上においても境界層ははく離していることを表わしている。さらに, 2枚目フェンスを1枚目フェンスの剪断層の再付着点を考慮して $10h$ の距離あけて千鳥状に設ける(千鳥フェンス, 図4, (c))と, 1枚目フェンスによって加速された流れは絞られたまま蛇行し, 2枚目フェンス位置にいたり, 1枚目フェンス側平板上に再付着した後, 下流にゆくにしたがい拡がり, 2枚目フェンス側平板上に再付着する。

$H=50\text{mm}$ $h=15\text{mm}$ $Q=6\text{ l/min}$

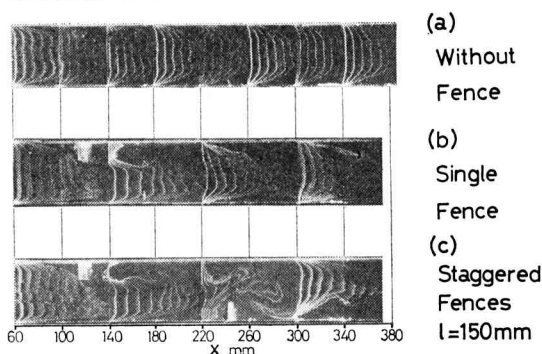


図4. フェンス無し・単一フェンス・千鳥フェンス

次に, 図5に単一フェンスについて流量 Q を3, 6, 15および 30 l/min と変化した場合の流れの様子を示す。図において, 流量毎に流れの様子が変化するのが良くわかる。ここで流動状態を次の3種に大別する。(Ⅰ)流量 3 l/min 前後では, フェンス先端より発生した剪断層は定常的にフェンス側平板上に再付着し, フェンス後方に反時計まわりの大きな渦を持つ定常的な循環流領域が形成される。図には示されていないが, フェンス直後には時計まわりの小渦が大渦に接して誘起される。また, フェンス後方約 $9h$ ($x\approx 255\text{mm}$) 付近にみられる再付着点より下流にゆくにつれて, 再び境界層が発達するため, 両平板上の境界層厚さが著しく異っている。(Ⅱ)流量 6 l/min 以上では, フェンス先端より発生した剪断層が下流にゆくにつれて巻き込み, 規則正しく並ぶ渦列を形成し, フェンス側平板近傍の流れを著しく乱す。ま

た, 再付着点距離(ここでは, フェンスから再付着点までの距離を言う)は, 平板上に渦が衝突することになり, ビデオ等による観察の結果, $9h\pm h$ 程度の範囲で周期的に変動する。(Ⅲ)流量 15 l/min 以上では, 発生した渦および流路断面の急拡大によるはく離流により, フェンス後方の流れは攪乱され, 遷移レイノルズ数(く形ダクトの場合, 最少遷移レイノルズ数はほぼ $Re_{DH}=2000$ で, これに対し, 図5の流量 $Q=15\text{ l/min}$ では $Re_{DH}=3800$)以上で, 後流は乱流に遷移する。なお, ビデオ等による観察の結果, 流量が多くなるほど, 渦の発生する周期は短くなり, 大きな渦が形成され, 乱流に遷移する位置はフェンスに近づいてゆくことが明らかである。また, 再付着点距離は流量によらず $9h\pm h$ 程度である。

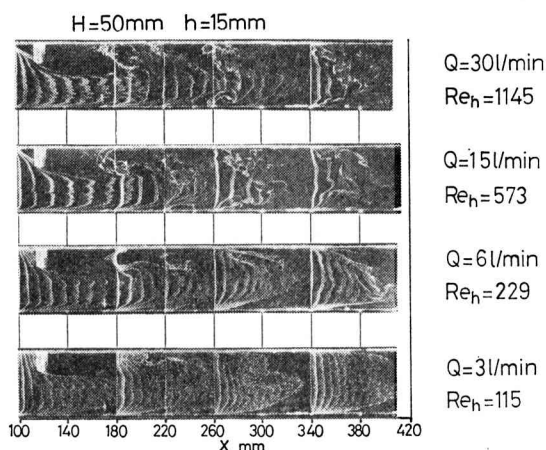


図5 単一フェンス (流量を変えた場合)

単一フェンスの場合, 実験における流れの比較観察から, 流れの相似パラメータとして, 代表長さにフェンス高さを用いたレイノルズ数 $Re_h (=umh/\nu)$ を取った結果を図6に示す。図では, $Re_h=382$ で, 図中の各例の流れの様子はおおむね上記(Ⅱ)の場合と似ている。しかし H/h が約5以下の場合には, フェンス後流の流れは平板間全域に及んでおり, 流れにフェンスに対向する平板の影響が表われ, 再付着点距離も変化すると考えられる。

次に, 2枚目フェンスを1枚目フェンス後方 $10h$ の距離に千鳥状に設け, 流量を4種に変えた場合の実験結果を図7に示す。図において1枚目フェンス近傍の流れの様子は単一フェンスの場合(図5)と良く似ている。しかし, 図中 15 l/min の場合に, 千鳥フェンスでは1枚目フェンスから2枚目フェンスにいたる間で, 流れが絞られたまま蛇行するので, 同流量の単一フェンス(図5)において $x=260\text{mm}$ の位置で観察された乱流への遷移は, 千鳥フェンス(図7)ではみとめられない。

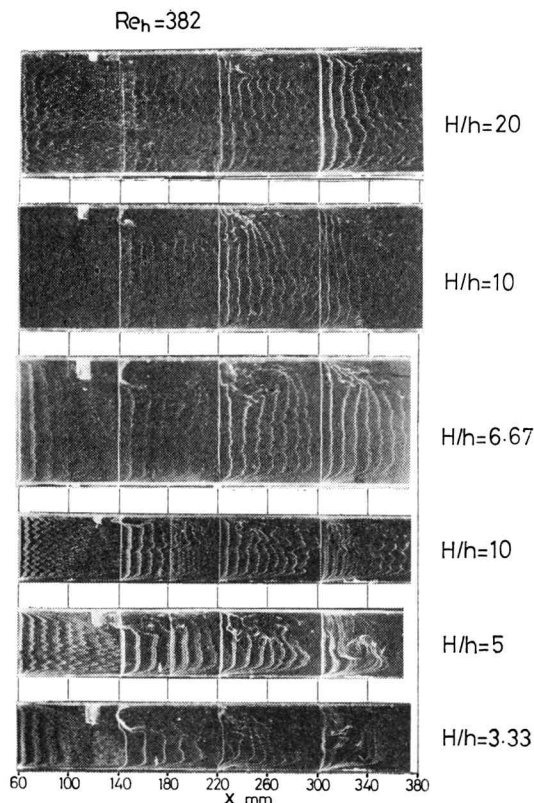
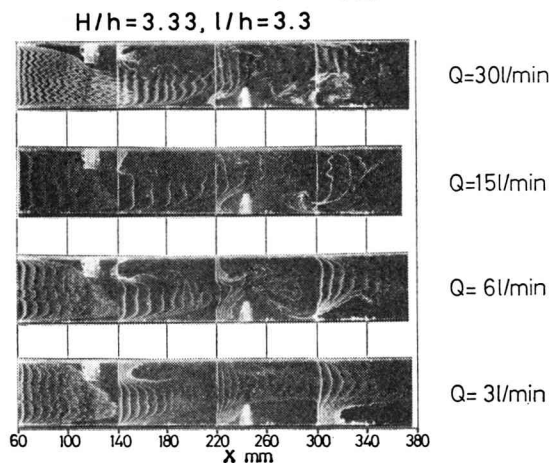
図6 単一フェンス ($Re_h=382$)

図7 千鳥フェンス (流量を変えた場合)

次に,千鳥フェンスについてフェンスピッチ l を150mm ($l/h=10.0$)と50mm ($l/h=3.3$)に変えた場合の実験結果を図8に示す。 $l=150$ mmの場合の例は,図7に示した結果と同じものである。また $l=50$ mmの場合, 1枚目フェンスを通過した流れは, 2枚目フェンスによって急激に曲げられ, 2枚目フェンスと対向平板との間に斜めに流入し, 流れはさらに絞られ加速される結果, 1枚目フェンス後方の循環流領域は減少し, 2枚目フェンス後方

の循環流領域は巨大化する。また, 流れの攪乱は, 2枚目フェンス後方の循環流領域が大きくなることによって平板間全域におよぶ。

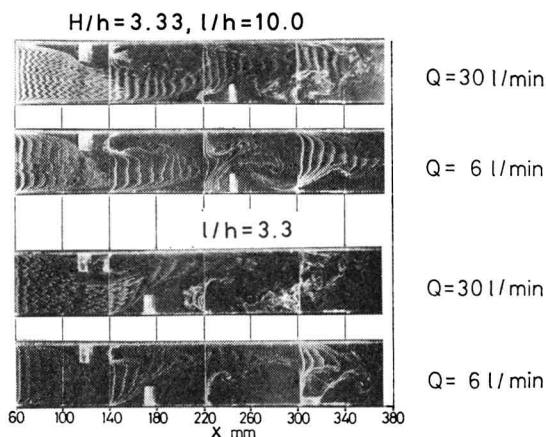
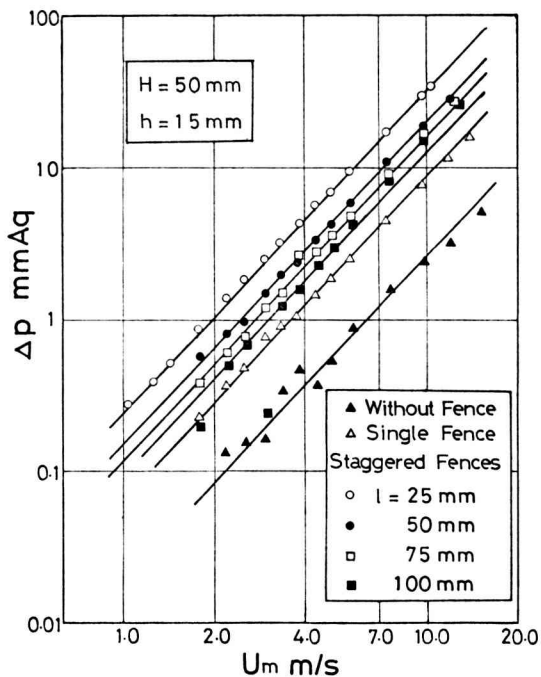


図8 千鳥フェンス (フェンスピッチを変えた場合)

以上図7および図8に示したように, フェンスピッチを極端に小さくした場合(図8, $l/d=3.3$)には, フェンス後流の乱れは激しく熱伝達に良い影響を与えると考えられるが, 流れを急激に曲げ加速するために, 大きな後流域を形成する結果, 抗力は大きくなり流動抵抗は急増すると予想される。一方, 再付着点を考慮したフェンスピッチの場合 ($l/d=10.0$)には, 流れの中の乱れはやや小さいが, 流路断面急拡大によるはく離を防ぎ, 圧力損失を軽減でき, 良好な流動特性が期待される。



4.2 流動抵抗

図9に、実験結果の一例として、平板間隔 H を50mmにフェンス高さ h を15mmに定め、フェンス無し、単一フェンス、千鳥フェンス（フェンスピッチ4種類）の場合の流動抵抗 ΔP と流速 u_m との関係を示す。図において、単一フェンスおよび千鳥フェンスのそれぞれの流動抵抗は、フェンスの無い場合と同様、流速 u_m のほぼ2乗に比例して増加することがわかる。ところで、流動抵抗 ΔP は、フェンス無しの場合（平行平板流路）の摩擦損失 ΔP_f と流れの中にそう入したフェンスの形状抵抗による圧力損失 ΔP_s の和、すなわち $\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_s$ であると考えられるから、形状抵抗による圧力損失 ΔP_s は、単一フェンスおよび千鳥フェンスともに、流速にはよらず、流路形状が決まればほぼ一定の値をとることがわかる。一般に形状抵抗が後流の大きさによって決まるから単一フェンスの可視化実験結果において述べたように、流路形状が決まれば、再付着点距離は流速によらないことと本実験は良く対応している。

次に、千鳥フェンスにおいて、Fanning の摩擦係数 $f (= \Delta P \times 2 / \rho \cdot u_m^2 \times D_H / L)$ と等価直径 $D_H (= 2(H \times B) / (H + B))$ を用いたレイノルズ数 $Re_{DH} (= u_m D_H / \nu)$ との関係を図10に示す。パラメータとして幾何学的形状を表わす無次元数 H/h および l/h をとってある。図において、 f は Re_{DH} の増加に対して幾何学的形状によらず Re_{DH} のほぼ0.18乗に比例して増加している。また、可視化実験結果から予想されたように、 l/h によって f

は、 H/h が大きい場合にはほぼ同じ値をとるが、 H/h が小さい場合には、 l/h が小さくなるほど増加する傾向を示している。

以上の事から、次に $f/Re_{DH}^{0.18}$ と H/h で整理した結果を図11に示す。図よりフェンスピッチ l の影響が顕著となるのは、 H/h が5以下の領域であり、 H/h が減少するにしたがい、また、 l/h が減少するにしたがい $f/Re_{DH}^{0.18}$ は急増する。

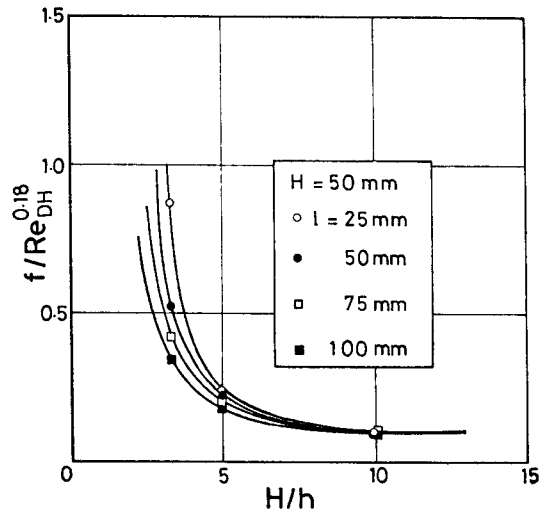


図11 $f/Re_{DH}^{0.18}$

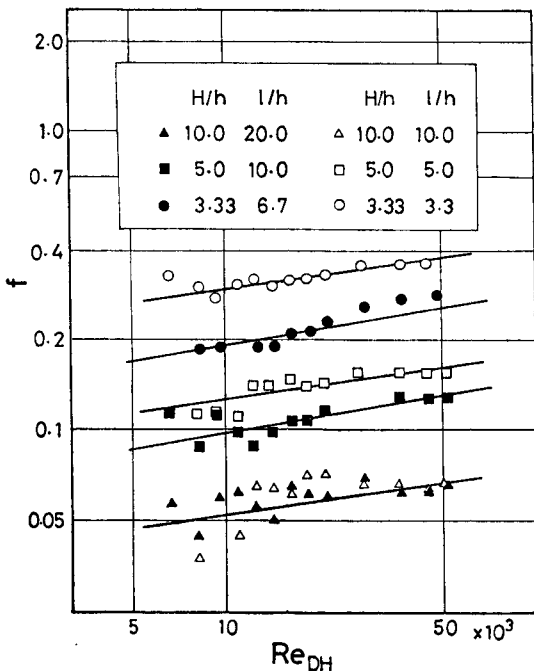


図10 $f-Re_{DH}$

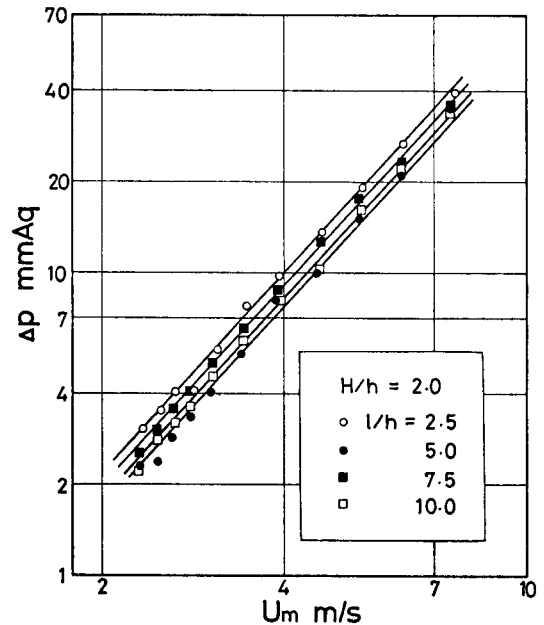


図12 流動抵抗（フェンスピッチについて）

最後に、図12に平板間隔 H を20mmに、フェンス高さ h を10mm ($H/h = 2.0$)にして、フェンスピッチ l/h を4

種類変えた場合の流動抵抗 ΔP の測定結果を示す。図において ΔP の極小値を示す ℓ/h はほぼ 5 であり、 ℓ/h が 5 以上でも 5 以下でも ΔP はより大きな値を示している。可視化実験結果より、 ℓ/h が 5 以上で ΔP が増す理由として、1 枚目フェンス後流の流路急拡大による圧力損失分が流動抵抗に余分に加わることが考えられる。また、 ℓ/h が 5 以下で ΔP が増す理由として、1 枚目フェンス後流が 2 枚目フェンスによって急激に曲げられ、2 枚目フェンス後流が著しく増し、その結果 2 枚目フェンスの形状抵抗が大きくなるためである⁽⁴⁾と考えられる。

5. あ と が き

フェンスを有する平行平板間の流動特性に関し、本実験範囲内で以下の事柄が明らかになった。

- 1 単一フェンスを有する平行平板間の流れ場において、平板間隔 H とフェンス高さ h との比 H/h が 5 以上では、代表長さに h を用いたレイノルズ数 Re_h によって流れの相似性はほぼ満される。
- 2 単一フェンスの場合、 H/h が 5 以上では再付着点距離は流量によらずほぼ $9h \pm h$ 程度である。
- 3 千鳥フェンスの場合、 $Fanning$ の摩擦係数 f は

等価直径を用いたレイノルズ数 Re_{DH} のほぼ 0.18 乗に比例する。

- 4 千鳥フェンスの場合、流動抵抗 $f/Re_{DH}^{0.18}$ は H/h が 5 以下では、フェンスピッチによらずほぼ一定の値をとるが、 H/h が 5 以下では、 H/h の減少にともない急増する。
- 5 また、 H/h が 5 以下では、フェンスピッチ ℓ とフェンス高さ h との比 ℓ/h のちがいにより、流動抵抗に差異がみとめられ、 ℓ/h がほぼ 5 で、流動抵抗は極小値をとる。

文 献

- (1) 植田辰洋, 原田一郎 : 日本機械学会論文集 : 30巻210号 (1964), 278—287
- (2) M.C.Good, P.N. Joubert: J. Fluid Mech. :vol. 31, part3, (1968): 547-582
- (3) F.Durst, A.K. Rastogi: Theoretical and Experimental Investigations of Turbulent Flows with Separation
- (4) 藤本武助: 流体力学: 養賢堂: 第2次改著, 242

超音速ノズル流における二原子分子の再結合について

岸 下 晴 亮 ・ 松 岡 一 起

Recombination of Diatomic Molecule in Supersonic Nozzle Flow

Haruaki KISHIGE, Kazuoki MATSUOKA

In this paper, dissociation and recombination reaction rate of the molecule of iodine are discussed. A supersonic flow of the shock-heated iodine gas is calculated in a convergent-divergent nozzle. For the purpose of simplicity of the analysis, the gas is treated a ideal dissociating gas. Numerical calculations have been carried out using Runge-Kutta-Gill method on the digital computer. The calculated results are compared with another diatomic molecule.

1. まえがき

分子の解離・再結合反応は、単純な二原子分子においてさえも、その詳細な機構はまだ十分に明らかにされて⁽¹⁾いるとはいえない。また、その反応速度は当然温度依存性をもち低温での測定値と高温での測定値が連続的に結びついていないのが現状である。⁽²⁾

そこで比較的簡単に数千度の高温が得られる衝撃波管装置を用いて、二原子分子気体を解離させ、管端に取り付た超音速ノズルよりこの気体を急激に膨張させる。この時、一部解離した気体は速度の増大に伴って急冷され再結合を行う。しかしこの反応は一般に非平衡な状態にある。この非平衡の度合を、ノズル流れ内での分子数をレーザー誘起蛍光法 (L. I. F) を用いて実験的に測定することにより、再結合反応速度を求めることができる。⁽³⁾

本報告はこれらの基礎資料を得るために、超音速ノズル流内での再結合反応を数値計算により数値実験を行なおうとするものである。なお試料気体は実験計画と関連してヨウ素分子を用いた。

2. 衝撃波管ならびに超音速ノズル流れ

2・1 衝撃波管

図1 (a) のように一次元で粘性、熱伝導を無視できるとしたときの衝撃波前後での質量、運動量、エネルギーの各保存式は、衝撃波前方の領域を添字1、後方の領域を2で表わすと次のようになる。

$$\rho_1 v_1 = \rho_2 v_2 \quad (1)$$

$$p_1 + \rho_1 v_1^2 = p_2 + \rho_2 v_2^2 \quad (2)$$

$$i_1 + \frac{1}{2} v_1^2 = i_2 + \frac{1}{2} v_2^2 \quad (3)$$

ここで ρ , v , p , i はそれぞれ密度、速度、圧力、エンタルピを示す。上式の他に気体の状態方程式を用い、熱

的に完全な気体を仮定すると、衝撃波前後の速度、圧力、温度ならびに密度がそれぞれ計算できる。同じ方法で管端から反射した反射衝撃波背後の物理量も求められる。また高圧室側に進行する波は膨張波と呼ばれ、断熱膨張を仮定することにより、圧力、密度、温度等の連続的な変化を求めることができる。それらの結果は一般に図1 (b), (c), (d) のようになる。強い衝撃波 (高温・高圧) を得るためには初期圧力比 p_4/p_1 とそれらに用いる気体の種類を変えることにより簡単に実現することができる。

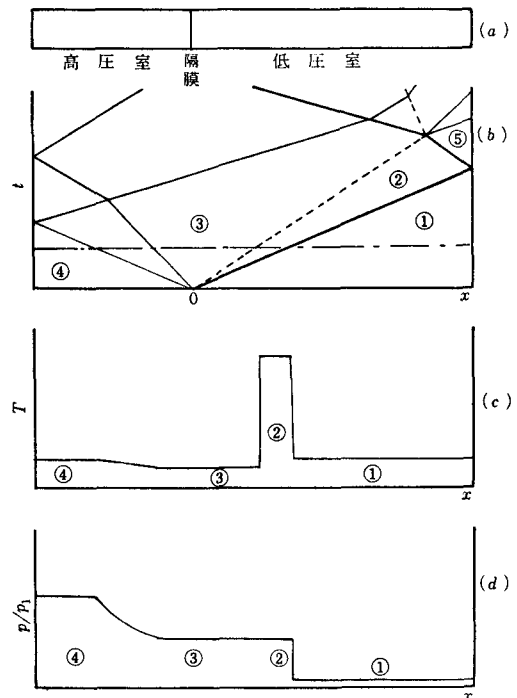


図1. 衝撃波の発生と温度、圧力の分布

2・2 超音速ノズル流れ（ラバール管内の流れ）

一部解離した気体の再結合反応を調べるために反射衝撃波背後で高温に加熱された気体を急激に冷却させる。そのため衝撃波管端にノズルを設け、反射衝撃波背後の気体を貯気槽として膨張流れを実現する。流れは準一次元的で非粘性流れを仮定すると、質量、運動量、エネルギーの各保存式は、図2のように流れの方向を x 座標とすると、

$$\rho v A = \rho^* v^* A^* = \text{const} \quad (4)$$

$$\rho v \frac{dv}{dx} = - \frac{dp}{dx} \quad (5)$$

$$i + \frac{1}{2} v^2 = i_0 \quad (6)$$

となる。ここで、 A はノズル断面積、 $*$ はスロート、 0 は貯気槽での値を示す。

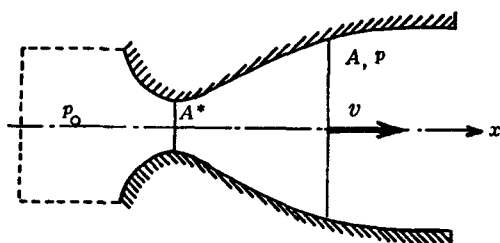
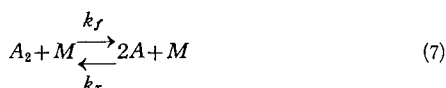


図2 ラバール管内の流れ

3. 理想解離気体

熱的に完全な、対称二原子分子気体の解離・再結合反応は次式で表わされる。



ここで M は第3体で A_2 または A を表わす。 k_f , k_r はそれぞれ解離・再結合反応速度定数である。この一部解離した気体は、その質量比で定義した解離度 $\alpha (= \rho_A / \rho)$ を用いるとダルトンの法則により状態方程式は次式で表わされる。

$$p = (n_{A_2} + n_A) \frac{\widehat{R}}{\widehat{N}} T = \frac{k}{2m} (1 + \alpha) \rho T \quad (8)$$

ここで、 n , $\widehat{N}$, $\widehat{R}$, k , m はそれぞれ数密度、アボガドロ数、普遍ガス定数、ボルツマン定数、原子 A の質量である。混合気体の持つ単位質量当りの内部エネルギー、エンタルピは、分子の持つ並進・回転・振動・電子励起の各エネルギーと、原子の持つ並進・電子エネルギーの和として求めることができる。

いま、この混合気体が平衡にあるとすれば、化学反応の平衡状態は原系と生成系の化学ポテンシャルが等しいことより、解離平衡での解離度 α を求めることができる。

$$\frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} = \frac{m_A^2}{m_{A_2}} \frac{1}{\rho V} \left(\frac{Z_A^2}{Z_{A_2}} \right) \exp(-D/kT) \\ = \frac{\rho_A}{\rho} \exp(-D/kT) \quad (9)$$

ここで V , Z , D はそれぞれ容積、分配関数、解離エネルギーであり、添字 e , A_2 , A は平衡状態、分子 A_2 , 原子 A を示す。(9)式において ρ_A は解離特性密度と呼ばれ、温度と分子質量の関数であるが温度が100Kから7000Kの範囲ではあまり大きな変化はない。したがって $\rho_A = \text{const.}$ と仮定したのが理想解離気体と呼ばれるものである。この理想解離気体の仮定に基づいて単位質量当りのエンタルピ i を求めてみる。原子・分子に対する分配関数 Z は、分子・原子のエネルギー成分を ϵ_i として $Z = \sum_i \exp(\epsilon_i/kT)$ であり、 $\rho_A = \text{const.}$ としたことは $Z_A^2 = \text{const.} \cdot Z_{A_2}$ を意味している。対象としている流れの場合は電子励起を起こすほど高温ではないため電子励起の分配関数 Z_{el} は1と仮定する。これより理想解離気体に対する単位質量当りのエンタルピ i は次式で求まる。

$$i = (4 + \alpha) \frac{k}{2m} T + \frac{D}{2m} \alpha \quad (10)$$

4. 解離反応速度

式(7)の反応における反応速度を質量作用の法則より求める。

$$R = k_f [A_2] [M] - k_r [A]^2 [M] \quad (11)$$

ここで R は A_2 分子の単位質量、単位時間あたりの解離反応速度であり、 $[]$ はその成分の濃度である。原子 A の生成速度は単位体積、単位時間あたり質量で表わした K で次式のように求められる。

$$K = W_A (2 - 1) R \\ = \frac{2k_f \rho^2}{W_{A_2}} \left\{ \frac{k_f}{k_r} \frac{W_{A_2}}{4\rho} (1 - \alpha) - \alpha^2 \right\} \quad (12)$$

平衡の条件式(9)より、平衡時には A の生成速度は零であることから k_f/k_r を求めることができる。その結果解離度 α の時間的な変化は次式で表わすことができる。

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{2k_f \rho_A}{W_{A_2}} \rho \left\{ (1 - \alpha) \exp(-D/kT) - \frac{\rho}{\rho_A} \alpha^2 \right\} \quad (13)$$

ただし W は分子量を表わす。

5. 数値計算および結果

以上求めてきた式(4), (5), (6), (8), (10), (13) とノズル形状を表わす式を連立させるとノズル内の解離非平衡流れを数値的に求めることができる。いま状態量を全て無次元量で示すことにする。すなわち温度 T , 密度 ρ , 圧力 p , エンタルピ i および流れの速度 v をそれぞれ $T_a = D/k$, $\rho_a = m Z_A^2 / 2V Z_{A_2}$, $p_a = D \rho_A / 2m$, $i_a = D/m$, $v_a = \sqrt{D/2m}$ で無次元化する。なおこれらの値をヨウ素

に関して表1に示す。上記6式を無次元量 T' , ρ' , p' , i' , v' で表示する。また、ノズル形状は試作したノズルが二次元であるため次のような変数を導入する。

$$A' = \frac{A}{A^*} = 1 + \xi, \quad \xi = \frac{K_N}{A^*} x \quad (14)$$

ただし K_N はノズルの傾きであり、 ξ は新しい流れ方向座標である。

式(14)の ξ を変数とし、式(4), (5), (6), (8), (10), (13)を無次元量表示すると以下になる。ここでは無次元量を表わす'は省略されている。

$$\rho v(1+\xi) = \rho^* v^* \quad (15)$$

$$v \frac{dv}{d\xi} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{d\xi} = 0 \quad (16)$$

$$i + \frac{1}{2} v^2 = i_0 \quad (17)$$

$$p = \rho T(1+\alpha) \quad (18)$$

$$i = (4+\alpha)T + \alpha \quad (19)$$

$$\frac{d\alpha}{d\xi} = C \left\{ (1-\alpha) \exp\left(-\frac{1}{T}\right) - \alpha^2 \rho \right\} \quad (20)$$

式(15), (16), (17), (18), (19), (20)を整理し、 v と α を未知数とする連立常微分方程式を導びくことができる。ただし式(20)で $C = 4k_r \rho a^2 / W_{I_2}$, W_{I_2} はヨウ素分子の分子量、 C は(1/時間)の次元を持つ。

$$\frac{d\alpha}{d\xi} = \frac{\Phi \rho^* v^*}{(1+\xi)(i_0-i)} \left\{ (1-\alpha) \exp(-(4+\alpha)/(i-\alpha)) - \frac{\alpha^2 \rho^* v^*}{(1+\xi)\sqrt{2(i_0-i)}} \right\} \quad (21)$$

$$\left\{ \frac{6i_0/(1+\alpha) + (7+\alpha)i/(1+\alpha) + \alpha}{2(i_0-i)} \frac{di}{d\xi} + \left\{ 1 - \frac{3(i-\alpha)}{(1+\alpha)(4+\alpha)} \right\} \frac{d\alpha}{d\xi} + \frac{i-\alpha}{1+\xi} = 0 \right. \quad (22)$$

ここで Φ はノズル形状、再結合反応速度から決まる無次元助変数で $\Phi = CA^* \sqrt{2m/D}/2K_N$ である。

数値計算にあたっては、今後の実験計画(レーザー誘起蛍光法による再結合分子割合の測定)に関連して対称二原子分子として I_2 (ヨウ素)を選んだ。

反射衝撃波背後の加熱されて一部解離したヨウ素気体

表1 ヨウ素に関する解離持性量

量	単位	ヨウ素
T_a'	K	17900
$\rho a'$	kg/m ³	0.10182
$p a'$	N/m ²	5.96556×10^4
$i a'$	J/kg	1.17179×10^6
$v a'$	m/s	7.65436×10^2

分子が貯気槽にあると考える。衝撃波管低圧室初期圧をヨウ素の常温での蒸気圧を考慮し 13.3322 Nm^{-2} , マッハ数6の流れが実現されるとして以下の数値計算を行なった。貯気槽での条件を表2に示す。これをもとに、反応を伴う流れであるが、ノズルスロート部までは平衡流れを仮定してスロート条件を求めた。それを表3に示す。

凍結流れでは解離度 α は一定であり、式(22)は解析的に解ける。また平衡流れでは $\Phi = \infty$ であり $d\alpha/d\xi$ が有限であることから、若干の工夫の後これも解析的に解ける。非平衡な反応を伴う流れでは、式(21), (22)をノズルスロートでの条件をもとに、ノズルスロート直後から、ルンゲ・クッター・ジル法を用いて数値計算より求めた。計算は再結合反応速度を評価するため、その関数である Φ を変化させ、解離度 α とエンタルピー i を求めた。この α と i によりノズル内の密度、温度、速度、圧力は式(15)~式(20)を用いて求めることができる。

図3, 4, 5, 6は以上の数値計算より求めた、解離度 α , 密度 ρ , 温度 T , 速度 v の無次元表示した量を、これも無次元表示した流れ方向の座標 ξ に対して示したものである。なお、凍結流れの計算では、ノズルスロートでの条件を、通常の断熱流れを仮定して求めた。

ノズル流れ内の再結合反応は、反応速度が有限であれば流れのある点より突然凍結を起こす。もちろんこの変化は不連続なものではないが、反応を全く起こさない領域が存在する。これは反応がノズル流れ内で生じる急激

表2 貯気槽での条件
(初期圧 $p_1 = 13.3322 \text{ N/m}^2$, $M=6$)

量	単位	有次元量	無次元量
α_0			0.33160
T_0	K	5041	0.28161
ρ_0	kg/m ³	1.77605×10^{-2}	0.17443
p_0	N/m ²	3.90207×10^3	0.06541
i_0	J/kg	1.81794×10^6	1.55142

表3 ノズルスロート部での値(平衡計算)

量	単位	有次元量	無次元量
α^*			0.30614
T^*	K	4251	0.23749
ρ^*	kg/m ³	1.11838×10^{-2}	0.10984
p^*	N/m ²	2.03247×10^3	0.03407
i^*	J/kg	1.55707×10^6	1.32880
v^*	m/s	5.10725×10^2	0.66727

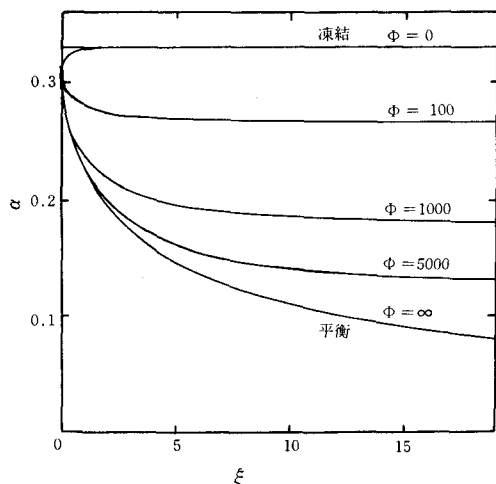


図3 ノズル流れ内の解離度

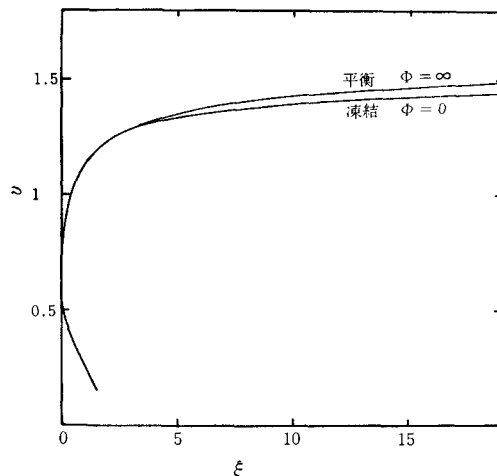


図6 ノズル流れ内の速度

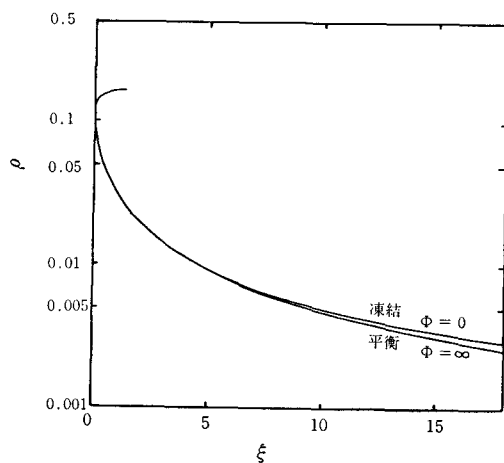


図4 ノズル流れ内の密度

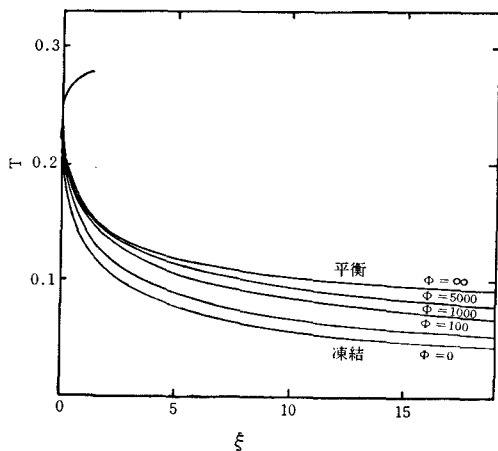


図5 ノズル流れ内の温度

な状態変化に追従できずその点で凍結してしまうためと考えられる。図3は解離度 α に関して再結合反応が突然凍結する様子を示している。図4, 図6はそれぞれ密度, 速度の変化であるが, 平衡流・凍結流ともに大きな差異は見られない。なおこの平衡流・凍結流の間に有限な Φ に対するそれぞれの分布が存在するが複雑なため省略した。図5は温度変化を示す。再結合反応は発熱反応であるため, 反応が進む程温度が上昇しているものと考えられる。

以上の結果を Bary⁽⁵⁾ の酸素分子に対する円錐ノズルの結果と比較すると, ほぼ同様の傾向がみられる。ただヨウ素の場合は Φ の値が非常に低いときに突然凍結現象が起き, 少し高くなるとほとんど平衡に近づいてしまう事が明らかになった。密度, 温度, 速度も二次元ノズルと円錐ノズルの相異を考慮すれば大体同じ傾向が見られる。

6. あとがき

理想解離気体で非粘性を仮定したヨウ素気体分子のノズル流れの解析より, 反応非平衡を伴う場の突然凍結現象を数値計算を用いて求めた。その結果ヨウ素分子の再結合反応は, 比較的低い Φ の値で突然凍結を起こすことが明らかになった。この値は大きくその分子特性とノズル形状に依存しており再結合反応速度 k_r で表示すると, ノズル形状を $A^* = 10^{-4} \text{ m}^2$, $K_N = 0.5 \text{ m}$ とすれば概略 Φ は $5 \times 10^{-11} k_r$ と表わされる。 Φ の範囲(本報告の100~5000)を k_r で表わせば $2 \times 10^6 \sim 10^8 \text{ (litter)}^2 \text{ (moles)}^{-2} \text{ (s)}^{-1}$ となり, ほぼ妥当な範囲内の結果である。⁽²⁾

ノズル流れ内で突然凍結され一定になった後の解離度 α を, ヨウ素分子の吸収線に対応する波長のレーザーを

入射し、これからの蛍光を測定する方法(Laser-Induced Fluorescence)により見積れば再結合反応速度 k_r の変化を求めることができる。

以上の結果より、解離・再結合反応の非平衡が存在するノズル流れ内の諸物理量の変化が明らかになり、実験計画を実施するための諸条件が明らかとなった。また、ヨウ素分子が不活性気体中に希釈された場合の数値計算も可能であることが明らかになった。

文 献

- (1) J. K. K. Ip, G. Burns, J. Chem. Phys., 56 (3 155) 1972.
W. H. Wong, G. Burns, J. Chem. Phys., 58 (4 459) 1973.
- (2) W. H. Beck, J. C. Mackie, Chem. Phys. Lett., 44 (444) 1976.
R. K. Boyd, G. Burns, J. Phys. Chem., 83 (88) 1979.
- (3) J. L. Kinsey, Ann. Rev. Chem., 28 (349) 1977.
- (4) M. J. Lighthill, J. Fluid Mech., 2 (1) 1957.
- (5) K. N. C. Bary, J. Fluid Mech., 6 (1) 1959.

Poincaré ゲージ場の対角化

宮 本 止 戈 雄

Diagonalization of the Poincaré Gauge Field

Shikao MIYAMOTO

Abstract

In the theory that is formulated in order to be invariant under translation and Lorentz transformation, there are two kinds of gauge fields $b_{k\mu}$ and $A_{k\mu}$. These field equations are diagonalized in the linear approximation. We show that these gauge fields can be decomposed into the gravitational field and six diagonalized fields, each of which obeys the Klein-Gordon equation and irreducibility condition in the vacuum. We find that these six gauge fields can be massive, and that their spin and parity are 0^+ , 0^- , 1^+ , 1^- , 2^+ and 2^- . The fields of 0^+ and 2^+ coupled with symmetric energy-momentum tensor and spin-angular-momentum tensor, but other four fields 0^- , 1^+ , 1^- and 2^- coupled only with spin-angular-momentum tensor.

1. はじめに

半整数スピンを含む系に関して、一般座標変換およびスピンを表現している局所 Minkowski 空間の Lorentz 変換に対して理論が不変になるように定式化するために導入された 2 種類のゲージ場 $b_{k\mu}$ (vier-bein 場と呼ばれる) および $A_{k\mu}$ がある。(1) このゲージ場の一般的な Lagrangian 密度を用いて、場の量 $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ の運動方程式を導くと非線形であるため取扱うのに複雑である。ゲージ場 $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ の運動を調べるため、これらの場が弱い場合を仮定して高次の項を無視するか、相互作用として取扱い運動方程式を線形化する。相互作用の項を無視した場合でも、そのまゝでは場の量 $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ は Klein-Gordon の方程式を満たさない。これは $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ が、実在する場として考えてよい重力場と Lorentz 群の既約表現の変換性を持ち一般的には質量も異なるまだ存否が不明の複数の場との複合体となっているからである。ここでは運動方程式を対角化していくつかの運動方程式に分解する。相互作用を無視した場合にはその各々の場は Klein-Gordon の方程式に従う既約化された場になっている。 $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ がこれらの既約化された場に分解できることを示す。この作業はすでに、林、白藤の両氏によって行なわれているが、ここでは既約化された場の変数の表し方も一部異なり、それによりこれらの相互作用電流 (interaction current) も異なる。また特定のゲージ条件を課さずに一般的に扱う。これらの場の相互作用の関係した現象の実際の計算にあたってはより簡明なると思われる。

2. Lagrangian 密度

最初に運動方程式を決定する Lagrangian 密度について説明しておく。ゲージ場 $b_{k\mu}$, $A_{k\mu}$ と物質場 q^A ($A=1,2,3,\dots,N$) の一般座標変換、および、局所 Lorentz 変換に対して不変な Lagrangian 密度を

$$\mathcal{L} = bL_G(b_{k\mu}, b_{k\mu,\nu}, A_{k\mu}, A_{k\mu,\nu}) + bL_M(q^A, D_k q^A) \quad (1)$$

とする。 L_G, L_M はそれぞれゲージ場と物質場の Lagrangian である。ここで $D_k q^A$ はゲージ変換に関する共変微分で

$$D_k q^A = b_k^\mu (q^A{}_{,\mu} - (i/2) A_{mn\mu} (S_{mn} q)^A) \quad (2)$$

を表す。一般座標変換および Lorentz 変換の変換性を持つ添字をそれぞれギリシャ文字、ラテン文字で区別している。また、 $A_{,\mu}$ は $\partial A / \partial x^\mu$ を表し、 $A_k B_k$ は

$$\sum_{k=1}^4 A_k B_k$$

を表す。 b_k^μ と逆行列の関係にある場 $b_{k\mu}$ を

$$\left. \begin{aligned} b_{k\mu} b_l^\mu &= \delta_{kl} \\ b_{k\mu} b_k^\nu &= \delta_{\mu\nu} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

で定義し、 b は

$$b = \det b_{k\mu}$$

である。ゲージ場 $b_{k\mu}$ と $A_{k\mu}$ により作られる、ゲージ変換に対して共変な場の強さは 2 種類である。すなわち

$$C_{klm} = c_{klm} - b_m^\mu A_{k\mu} + b_l^\mu A_{k\mu} \quad (4)$$

$$F_{klmn} = b_m^\mu b_n^\nu (A_{k\mu,\nu} - A_{k\nu,\mu} + A_{k\mu} A_{\nu\mu} - A_{k\nu} A_{\mu\mu}) \quad (5)$$

である。ただし

$$c_{k\ell m} = b_k^\mu b_\ell^\nu (b_{m\mu, \nu} - b_{m\nu, \mu}) \quad (6)$$

である。場の強さ $C_{k\ell m}$ は次の3個の既約テンソルに分解できる。

$$C_{k\ell m}^T = c_{k\ell m}^T - A_{k\ell m}^T \quad (7)$$

$$C_k^V = c_k^V - A_k^V \quad (8)$$

$$C_k^A = c_k^A - A_k^A \quad (9)$$

ここで

$$c_{k\ell m}^T = c_{(k\ell)m} - \frac{1}{3}(\delta_{k\ell} c_m^V - \delta_{m(k} c_{\ell)}^V) \quad (10)$$

$$c_k^V = c_{mmk} \quad (11)$$

$$c_k^A = \frac{i}{6} \epsilon_{k\ell mn} c_{\ell mn} \quad (12)$$

$$c_{k\ell m} = \frac{4}{3} c_{k(\ell m)}^T + \frac{2}{3} \delta_{k(\ell} c_{m)}^V + i \epsilon_{k\ell mn} c_n^A \quad (13)$$

$$A_{k\ell m}^T = \frac{1}{2} (b_\ell^\mu A_{mk\mu} + b_k^\mu A_{m\ell\mu}) - \frac{1}{3} (\delta_{k\ell} A_m^V - \delta_{m(k} A_{\ell)}^V) \quad (14)$$

$$A_k^V = b_m^\mu A_{km\mu} \quad (15)$$

$$A_k^A = \frac{i}{3} \epsilon_{k\ell mn} b_n^\mu A_{\ell m\mu} \quad (16)$$

$$A_{k\ell\mu} = b_m^\mu (\frac{4}{3} A_{m(\ell k)}^T + \frac{2}{3} \delta_{m(\ell} A_{k)}^V + \frac{i}{2} \epsilon_{k\ell mn} A_n^A) \quad (17)$$

$\epsilon_{k\ell mn}$ は $\epsilon_{1234} = 1$ の完全反対称テンソルである。また、対称化, 反対称化の記号として

$$A_{(k\ell)} = \frac{1}{2} (A_{k\ell} + A_{\ell k})$$

$$A_{[k\ell]} = \frac{1}{2} (A_{k\ell} - A_{\ell k})$$

を用いる。一方, 場の強さ $F_{k\ell mn}$ に関しては次の6個の既約テンソルに分解できる。

$$A_{k\ell mn} = F_{k\ell mn} - F_{k\ell nm} + F_{k\ell nm} + F_{\ell mkn} - F_{\ell mnk} + F_{mnkl} \quad (18)$$

$$B_{k\ell mn} = D_{k\ell mn} + D_{mnkl} - D_{kn\ell m} - D_{\ell mkn} \quad (19)$$

$$C_{k\ell mn} = D_{k\ell mn} - D_{mnkl} \quad (20)$$

$$E_{k\ell} = 2F_{(k\ell)} \quad (21)$$

$$G_{k\ell} = 2F_{(k\ell)} - \frac{1}{2} \delta_{k\ell} F \quad (22)$$

$$F = F_{k\ell k\ell} \quad (23)$$

ここで

$$D_{k\ell mn} = F_{k\ell mn} - \frac{1}{2} (\delta_{k\ell} F_{mn} + \delta_{\ell n} F_{km} - \delta_{im} F_{kn} - \delta_{kn} F_{im}) + \frac{1}{6} (\delta_{km} \delta_{\ell n} - \delta_{kn} \delta_{\ell m}) F \quad (24)$$

$$F_{k\ell} = F_{km\ell m} \quad (25)$$

これらの合計9個の既約テンソルから, 空間反転の変換に対し不変であり, かつ, 場の微分に関して2次以下の最も一般的なゲージ場の Lagrangian 密度は,

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_G = bL_G \\ = b(c_{k\ell m}^T C_{k\ell m}^T + \beta C_k^V C_k^V + \gamma C_k^A C_k^A + \delta \\ + a_1 A_{k\ell mn} A_{k\ell mn} + a_2 B_{k\ell mn} B_{k\ell mn} + a_3 C_{k\ell mn} C_{k\ell mn} \\ + a_4 E_{k\ell} E_{k\ell} + a_5 G_{k\ell} G_{k\ell} + a_6 F^2 + aF) \end{aligned} \quad (26)$$

である。ところで

$$\begin{aligned} -\frac{1}{2} bF + b(\frac{1}{3} C_{k\ell m}^T C_{k\ell m}^T - \frac{1}{3} C_k^V C_k^V + \frac{3}{4} C_k^A C_k^A) \\ = (bb_k^\mu A_k^\nu), \mu + b(\frac{1}{3} c_{k\ell m}^T c_{k\ell m}^T - \frac{1}{3} c_k^V c_k^V + \frac{3}{4} c_k^A c_k^A) \end{aligned} \quad (27)$$

の関係をを用いて変形すると,

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_G = b\{ \alpha_1 C_{k\ell m}^T C_{k\ell m}^T + \alpha_2 C_k^V C_k^V + \alpha_3 C_k^A C_k^A + \delta \\ + f_1 F_{k\ell mn} F_{k\ell mn} + f_2 F_{k\ell mn} F_{mnkl} \\ + f_3 F_{k\ell mn} (F_{kn\ell m} + F_{\ell mkn}) + f_4 F_{k\ell} F_{k\ell} \\ + f_5 F_{k\ell} F_{k\ell} + f_6 F^2 \\ + \omega(\frac{1}{3} c_{k\ell m}^T c_{k\ell m}^T - \frac{1}{3} c_k^V c_k^V + \frac{3}{4} c_k^A c_k^A) \} \\ + \omega(bb_k^\mu A_k^\nu), \mu \end{aligned} \quad (28)$$

となる。ここで

$$\begin{aligned} \omega = -2a \\ \alpha_1 = \alpha + \frac{2}{3}a \\ \alpha_2 = \beta - \frac{2}{3}a \\ \alpha_3 = \gamma + \frac{3}{2}a \\ f_1 = 6a_1 + 4a_2 + 2a_3 \\ f_2 = 6a_1 + 4a_2 - 2a_3 \\ f_3 = 12a_1 - 4a_2 \\ f_4 = -12a_2 - 4a_3 + 2a_4 + 2a_5 \\ f_5 = -12a_2 + 4a_3 - 2a_4 + 2a_5 \\ f_6 = 4a_2 - a_5 + a_6 \end{aligned} \quad (29)$$

の関係がある。 δ は宇宙項と呼ばれているが, 今後この項は無視して考える。

3. 運動方程式

前節で述べたゲージ場, および, 物質場の Lagrangian 密度 $\mathcal{L}_G$ と $\mathcal{L}_M = bL_M$ を用いた作用は

$$I = \int (\mathcal{L}_G + \mathcal{L}_M) d^4x \quad (30)$$

となる。これより $b_{k\mu}, A_{k\ell\mu}$ に関する Euler の方程式を作ると次のようになる。

$$\left(\frac{\partial \mathcal{L}_G}{\partial b_{k\mu, \nu}}, \nu - \frac{\partial \mathcal{L}_G}{\partial b_{k\mu}} = \frac{\partial \mathcal{L}_M}{\partial b_{k\mu}} \quad (31)$$

$$\left(\frac{\partial \mathcal{L}_G}{\partial A_{k\ell\mu, \nu}}, \nu - \frac{\partial \mathcal{L}_G}{\partial A_{k\ell\mu}} = \frac{\partial \mathcal{L}_M}{\partial A_{k\ell\mu}} \quad (32)$$

この2個の方程式はゲージ場 $b_{k\mu}, A_{k\ell\mu}$ の運動方程式であるが, 非線形方程式であるので場が充分弱い場合を仮定して線形近似を行う。

$$b_{k\mu} \equiv \delta_{k\mu} + a_{k\mu} \quad (33)$$

で $a_{k\mu}$ を定義すると

$$\begin{aligned} b_{k\mu}^\mu = \delta_{k\mu} + a_{k\mu} + a_{ik} a_{\ell\mu} - a_{ik} a_{m\ell} a_{\mu m} + \dots \\ \equiv \delta_{k\mu} + a_{k\mu} \end{aligned} \quad (34)$$

この様に近似を行うとき, 一般座標変換に関する添字と Lorentz 変換に関する添字の間の区別がなくなるので今

後は区別せず、すべてラテン文字の添字を用いる。式 (31) と式 (32) のゲージ場 a_{kl} および A_{klm} に関して 2 次以上の項を無視すると、

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{\omega}{3} + \alpha_1 \right) (2\Box a_{kl} + \Box a_{lk} - 2a_{km,lm} + a_{ml,km} \\
 & - a_{lm,km} - a_{mk,lm}) + (-\omega - \alpha_1 + 2\alpha_2) (\delta_{kl}\Box a_{mm} \\
 & - a_{mm,kl} - \delta_{kl}a_{mm,nn} + a_{ml,mk}) - \frac{2}{9} \left(\frac{3}{4}\omega + \alpha_3 \right) \\
 & \times (\Box a_{kl} - \Box a_{lk} - a_{km,lm} + a_{mk,lm} + a_{lm,km} \\
 & - a_{ml,km}) - 2\alpha_1 (A_{klm}^T - A_{kml}^T) \\
 & - 2\alpha_2 (\delta_{kl}A_{m,m}^V - A_{l,k}^V) + \frac{2}{3}i\alpha_3 \epsilon_{klmn}A_{n,m}^A \\
 & = T_{kl} \quad (35) \\
 & 4f_1(\Box A_{klm} - A_{klm,nn}) + (4f_2 + f_5)(A_{mnk,ni} - \\
 & A_{mni,nk}) + 2f_3(A_{knl,nm} - A_{lnk,nm} + A_{kmn,ni} - \\
 & A_{lmn,nk} + A_{lnm,nk} - A_{knn,ni} - \Box A_{kml} + \Box A_{lmk}) \\
 & + f_4(A_{knn,ni} - A_{lnm,nk} + A_{lnn,mk} - A_{knn,mi} \\
 & + \delta_{lm}(\Box A_{knn} - A_{knn,ni}) - \delta_{km}(\Box A_{lnn} - A_{lnt,ni})) \\
 & - (f_5 + 4f_6)(\delta_{km}A_{nii,ni} - \delta_{lm}A_{nii,nk}) \\
 & - 2\alpha_1 A_{m(i,k)}^T - \alpha_2 (\delta_{lm}A_k^V - \delta_{km}A_l^V) + \frac{2i}{3}\alpha_3 \epsilon_{klmn}A_n^A \\
 & + \alpha_1 \left\{ \frac{3}{2}(S_{ml,k} - S_{mk,l} - \frac{1}{2}\delta_{ml}S_{nn,k} - \frac{1}{2}\delta_{mk}S_{nn,l}) \right. \\
 & + \frac{1}{2}A_{ml,k} - \frac{1}{2}A_{mk,l} + A_{kl,m} \left. \right\} + \left(\frac{\alpha_1}{2} - \alpha_2 \right) \left\{ \delta_{lm} \right. \\
 & \left. \left(\frac{1}{2}S_{nn,k} + S_{nk,n} + A_{nk,n} \right) - \delta_{km} \left(\frac{1}{2}S_{nn,i} + S_{ni,n} + \right. \right. \\
 & \left. \left. A_{ni,n} \right) \right\} - \frac{4}{9}\alpha_3(A_{kl,m} - A_{km,i} + A_{lm,k}) = S_{klm} \quad (36)
 \end{aligned}$$

ここで

$$T_{kl} \equiv \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial b_{kl}} \quad (37)$$

$$S_{klm} \equiv \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial A_{klm}} \quad (38)$$

$$S_{kl} \equiv a_{(kl)} - \frac{1}{2}\delta_{kl}a_{nn} \quad (39)$$

$$A_{kl} \equiv a_{(kl)} \quad (40)$$

である。この 2 種の運動方程式から次の式を導くことができる。

$$T_{kl,i} = 0 \quad (41)$$

$$T_{(kl)} = S_{klm,m} \quad (42)$$

ゲージ場の源の T_{kl}, S_{klm} の間にこの 10 個の関係式があり独立な運動方程式は 30 個である。これはゲージ変換のパラメーターが 10 個あることに由来している。

さて、ここで a_{kl}, A_{klm} を用いて次のような力学変数を新たに定義する。

$$A \equiv A_{k,k}^V \quad (43)$$

$$B \equiv A_{k,k}^A \quad (44)$$

$$E_k \equiv A_k^V - \frac{\omega}{(\omega - 3\alpha_1)M_A^2} A_{k,k} + \frac{1}{2}S_{mm,k} + S_{mk,m} + A_{mk,m} \quad (45)$$

$$F_k \equiv A_k^A - \frac{1}{M_B^2} B_{k,k} - \frac{i}{3}\epsilon_{klmn}A_{lm,n} \quad (46)$$

$$\begin{aligned}
 H_{kl} & \equiv A_{klm,m}^T - \frac{\alpha_2}{3\alpha_1}(E_{k,i} + E_{l,k}) \\
 & + \frac{2\alpha_2}{(\omega - 3\alpha_2)M_A^2} A_{k,i} - \frac{1}{3} \\
 & \times (S_{mk,mi} + S_{mi,mk} + S_{mm,ki} + A_{mk,mi} + A_{mi,mk}) \quad (47)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{kl} & \equiv \frac{2}{3}A_{m(i,k)}^T + \frac{\alpha_2}{3\alpha_1}(E_{k,i} - E_{l,k}) - \frac{i}{2} \\
 & \times \epsilon_{klmn}F_{n,m} + \frac{1}{3}(S_{mk,mi} - S_{mi,mk} - \Box A_{kl}) \quad (48)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi_{kl} & \equiv a_{(kl)} - \frac{1}{(\omega + 3\alpha_1)M_H^2} H_{kl} \\
 & + \frac{\alpha_2}{(\omega - 3\alpha_2)M_A^2} \delta_{kl}A \quad (49)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{klm} & \equiv \frac{4}{3}A_{m(i,k)}^T + \frac{1}{M_H^2} [H_{mk,i} - H_{mi,k} \\
 & + \frac{\alpha_1}{(\omega + 3\alpha_1)} \{ \delta_{km}(H_{ni,n} - H_{nn,i}) - \delta_{lm}(H_{nk,n} \\
 & - H_{nn,k}) \}] + \frac{4\alpha_3}{9(\alpha_1 - \frac{4}{9}\alpha_3)M_F^2} \{ 2I_{kl,m} + \\
 & I_{km,i} + I_{mi,k} \} + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 M_E^2} (E_{k,lm} - E_{l,km}) \\
 & + \frac{\alpha_2}{3\alpha_1} (\delta_{km}E_l - \delta_{lm}E_k) + \Phi_{km,i} - \Phi_{im,k} \\
 & + \frac{1}{3}\delta_{km}(\Phi_{in,n} - \Phi_{nn,i}) - \frac{1}{3}\delta_{lm}(\Phi_{kn,n} - \Phi_{nn,k}) \\
 & + \frac{1}{3}(A_{mk,i} - A_{mi,k} - 2A_{kl,m} + \delta_{km}A_{nn,i} \\
 & - \delta_{lm}A_{nn,k}) \quad (50)
 \end{aligned}$$

式 (35) と式 (36) においてゲージ場を (43) ~ (50) で定義した力学変数で表すと、複雑な計算の結果次の様な運動方程式を導き出すことができる。

$$\Box A - M_A^2 A = J^A \quad (51)$$

$$\Box B - M_B^2 B = J^B \quad (52)$$

$$\Box E_k - E_{m,mk} - M_E^2 E_k = J_k^E \quad (53)$$

$$\Box F_k - F_{m,mk} - M_F^2 F_k = J_k^F \quad (54)$$

$$\begin{aligned}
 \Box H_{kl} - H_{mi,mk} - H_{km,mi} + \delta_{kl}H_{mn,nn} - \delta_{kl}\Box H_{mm} \\
 + H_{mm,ki} - M_H^2 (H_{kl} + \delta_{kl}H_{mm}) = J_{kl}^H \quad (55)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Box \Phi_{kl} - \Phi_{ni,nk} - \Phi_{kn,ni} + \delta_{kl}\Phi_{mn,nn} - \delta_{kl}\Box \Phi_{mm} \\
 + \Phi_{mm,ki} = J_{kl}^\Phi \quad (56)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Box K_{klm} - 2K_{nlm,nk} - K_{knn,ni} - K_{lin,nm} + \delta_{km} \\
 \times K_{lij,ij} + \delta_{lm}K_{kij,ij} - \{ \delta_{lm}(\Box K_{knn} - K_{lnn,ik}) \\
 - \delta_{km}(\Box K_{lnn} - K_{lnn,il}) + K_{lit,ik} - K_{kit,li} \} \\
 - M_K^2 (K_{klm} - \delta_{lm}K_{knn} + \delta_{km}K_{lnn}) = J_{klm}^K \quad (57)
 \end{aligned}$$

$$I_{kl} + \frac{i(\alpha_1 - \frac{4}{9}\alpha_3)}{2\alpha_1} \epsilon_{klmn} F_{n,m} = -\frac{1}{3\alpha_1} S_{kl,n,n} \quad (58)$$

ここで質量 $M_A, M_B, \dots, M_K$ は次の式で与えられる。

$$M_A^2 = \frac{3\alpha_2\omega}{4(\omega - 3\alpha_2)(f_1 + f_2 - f_3 + f_4 + f_5 + 3f_6)} \quad (59)$$

$$M_B^2 = \frac{-\alpha_3}{3(f_1 + f_3)} \quad (60)$$

$$M_E^2 = \frac{9\alpha_1\alpha_2}{4(\alpha_1 + \alpha_2)(2f_1 - f_3 + f_4)} \quad (61)$$

$$M_F^2 = \frac{-2\alpha_1\alpha_3}{(\alpha_1 - \frac{4}{9}\alpha_3)(4f_1 - 4f_2 + f_4 - f_5)} \quad (62)$$

$$M_H^2 = \frac{3\alpha_1\omega}{2(\omega + 3\alpha_1)(4f_1 + 4f_2 - 4f_3 + f_4 + f_5)} \quad (63)$$

$$M_K^2 = \frac{3\alpha_1}{4(2f_1 - f_3)} \quad (64)$$

また、相互作用電流は

$$T_{kl}^{(s)} = T_{kl} - (S_{klm,m} + S_{mkl,m} + S_{mkl,m}) \quad (65)$$

として、

$$J^A = M_A^2 \left(\frac{1}{2\omega} T_{mn}^{(s)} + \frac{1}{3\alpha_2} S_{kmn,k} \right) \quad (66)$$

$$J^B = -\frac{iM_B^2}{4\alpha_3} \epsilon_{nlmn} S_{lmn,k} \quad (67)$$

$$J_k^E = \frac{1}{3\alpha_2} M_E^2 S_{kmm} - \frac{1}{(\alpha_1 + \alpha_2)} S_{kmn,mn} \quad (68)$$

$$J_k^F = -\frac{i}{4\alpha_3} M_F^2 \epsilon_{klmn} S_{lmn} - \frac{i}{3(\alpha_1 - \frac{4}{9}\alpha_3)} \epsilon_{klmn} S_{mni,il} \quad (69)$$

$$J_{kl}^H = -M_H^2 \left\{ \frac{1}{\omega} T_{kl}^{(s)} - \frac{1}{3\alpha_1} (S_{mkl,m} + S_{mkl,m}) \right\} \quad (70)$$

$$J_{kl}^\Phi = \frac{1}{\omega} T_{kl}^{(s)} \quad (71)$$

$$J_{klm}^K = \frac{2}{9\alpha_1} M_K^2 (2S_{klm} + S_{kml} + S_{mlk})$$

となる。

式 (58) は力学変数 I_{kl} が他の量によって表せることを示している。式 (56) は Φ_{kl} が質量 0 でスピン 2 の粒子でエネルギー運動量テンソルを源として発生すること

を示している。従って重力場であると考えられることができる。式 (53) ~ (55) および (57) は、添字に関して発散や縮約をとると、真空中では、

$$E_{k,k} = 0 \quad (73)$$

$$F_{k,k} = 0 \quad (74)$$

$$H_{mm} = 0, \quad H_{mk,k} = H_{km,k} = 0 \quad (75)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{kmm} &= 0 \\ K_{klm,k} &= K_{lkm,k} = K_{lmk,k} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (76)$$

となり、対称性として

$$H_{kl} = H_{lk} \quad (77)$$

$$\left. \begin{aligned} K_{klm} &= -K_{lkm} \\ K_{klm} + K_{lmk} + K_{mkl} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (78)$$

を持っているので、それぞれ Lorentz 群の既約表現の条件を満たしていることがわかる。すなわち、 A はスカラー、 B は擬スカラー、 E_k はベクトル、 F_k は擬ベクトル、 H_{kl} はスピン 2 のテンソル、 K_{klm} はスピン 2 の擬テンソルの場を表している。

4. 結 論

ゲージ場 $b_{k\mu}$, $A_{kl\mu}$ は 6 個の既約テンソル、 $A, B, E_k, F_k, H_{kl}, K_{klm}$ および重力場 Φ_{kl} によって表すことができた。この中で A, H_{kl}, Φ_{kl} はエネルギー運動量とスピン角運動量を源としているが他はスピン角運動量のみを源としていることがわかる。現在実在するのがわかっているのは重力場のみで他の粒子については今の所わかっていない。実在の可能性については種々の物理的現象への影響を検討し実験結果と比較してみる必要がある。

文 献

- (1) T. W. B. Kibble, J. Math. Phys. Vol. 2, (1961), 212.
- (2) K. Hayashi and T. Shirafuji, Prog. Theor. Phys. Vol. 64, (1980), 1435
- (3) K. Hayashi, Prog. Theor. Phys. Vol. 39, (1968), 494.

矩形断面管内における粘弾性流体の 二次流れに関する研究

森 教安・堀川 明*・三村宣治**

Study on the Secondary Flow of Viscoelastic Fluids
in Straight Pipes of Rectangular Cross Section

Noriyasu MORI, Akira HORIKAWA and Nobuharu MIMURA

矩形断面を有する直管内を粘弾性流体が流れる時に生じる二次流れについて、数値計算と可視化実験を行なった。

二次流れの強さは、断面形状、圧力損失および流体の非ニュートン粘性に影響を受けるが、その強さは非常に小さく流れにはあまり影響を与えなかった。また、水素気泡による二次流れの可視化により計算結果が確認された。

1. 諸 言

高分子溶液や融液のような粘弾性流体が円形以外の断面を有する直管内を定常に流れる際には、一般に一方方向流れが実現されずに管軸と直角な断面内に二次流れが生じる。この二次流れは、定常ずり流動において第二法線応力差を生じない流体では存在せず、第二法線応力差が二次流れと重要な関係にあることが指摘されている⁽¹⁾。矩形断面については、Dodson⁽²⁾ら、Wheeler⁽³⁾らの研究がある。しかし、従来の研究は二次流れの形状に主眼を置いたものが多く、二次流れの強さやそれに影響を及ぼす因子について検討したものはほとんどない。また、二次流れの実験的研究も少ない。

本研究では、矩形断面直管について二次流れの強さを計算するために、Dodson⁽²⁾らの解析方法を用いた。また二次流れの強さと流体の物性や管断面形状との関係を検討した。さらに、粘弾性流体としてH E C水溶液を用い水素気泡により二次流れを可視化し、その結果を計算結果と比較した。

2. 解 析

Dodson⁽²⁾らは、二次流れを計算するために、第二法線応力差の係数による摂動法を用いつぎの基礎式を得た。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \eta_{(0)} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \eta_{(0)} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} \right\} = -1 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \eta_{(0)} \nabla^4 \phi_{(1)} + 2 \frac{\partial \eta_{(0)}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 \phi_{(1)}) + 2 \frac{\partial \eta_{(0)}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 \phi_{(1)}) \\ & + \left(\frac{\partial^2 \eta_{(0)}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \eta_{(0)}}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial y^2} \right) + \\ & 4 \frac{\partial^2 \eta_{(0)}}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x \partial y} = - \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 w_{(0)}) + \\ & \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 w_{(0)}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \eta_{(0)} \nabla^2 w_{(1)} + \eta_{(1)} \nabla^2 w_{(0)} + \frac{\partial \eta_{(0)}}{\partial x} \frac{\partial w_{(1)}}{\partial x} + \frac{\partial \eta_{(0)}}{\partial y} \frac{\partial w_{(1)}}{\partial y} \\ & + \frac{\partial \eta_{(1)}}{\partial x} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} + \frac{\partial \eta_{(1)}}{\partial y} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} + \theta_{1(0)} \left[\frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 w_{(0)}) - \frac{\partial \phi_{(0)}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 w_{(0)}) \right\} + \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x \partial x} \right. \\ & \left. \left(\frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 \phi_{(1)}) - \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 \phi_{(1)}) \right\} + \frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial x \partial y} \left(\frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x^2} \right) \right] \\ & + \frac{\partial \theta_{1(0)}}{\partial x} \left(\frac{3}{2} \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x \partial y} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x^2} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} + \right. \\ & \left. \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial y^2} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} - \frac{1}{2} \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial y} \frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial x^2} - \frac{1}{2} \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial x} \frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial x \partial y} \right) + \frac{\partial \theta_{1(0)}}{\partial y} \left(- \frac{3}{2} \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x \partial y} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} + \frac{1}{2} \right. \end{aligned}$$

* 大阪大学工学部教授

** トヨタ中央研究所

$$\frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial y^2} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} - \frac{\partial^2 \phi_{(1)}}{\partial x^2} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} - \frac{1}{2} \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial y} \left(\frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial x \partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w_{(0)}}{\partial y^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial y} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial x} - \frac{\partial \phi_{(1)}}{\partial x} \frac{\partial w_{(0)}}{\partial y} \right) \quad (3)$$

ここで、 w は主流方向速度、 ϕ は流れ関数、 η は粘度、 θ_1 は第一法線応力差の係数、 ρ は密度である。また、添字 (0) 、 (1) はおのおの第二法線応力差の係数 θ_2 の零次、一次の量を示す。さらに、

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad (4)$$

である。

境界条件は管壁上で、

$$w_{(0)} = w_{(1)} = \partial \phi_{(1)} / \partial x = \partial \phi_{(1)} / \partial y = 0 \quad (5)$$

となる。

3. 数 値 計 算

速度場を求めるために、基礎式に有限差分近似を用い数値計算を行なった。ただし、計算にはつぎの物性関数を採用した。

$$\eta(\gamma) = \eta_0 \{ (\operatorname{arcsinh} B\gamma) / B\gamma \}^n \quad (6)$$

$$\theta_1(\gamma) = A_1 \gamma n_1 \quad (7)$$

3. 1 二次流れ

図1に管断面のアスペクト比を1/1, 2/1, 4/1にした場合の流れ関数 $\phi_{(1)}$ の数値計算結果を管断面の1/4領域について示す。図1(a)ではうずの大きさが同じだがそれ以外では大小二種のうずとなる。

つぎに、二次流れの強さを評価するために次式で定義される無次元量 ε_ψ を導入した。

$$\varepsilon_\psi = \frac{1}{A} \int_A \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{w} dA \quad (8)$$

ここで、 A は管断面積である。図2はアスペクト比を変えたときの ε_ψ の計算結果で、圧力こう配が等しいと、 ε_ψ はアスペクト比2/1で最大となることを示している。

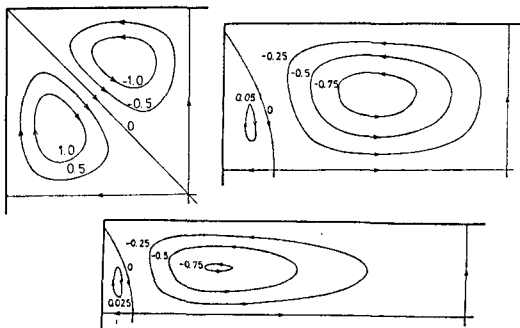


図1 流れ関数 $\phi_{(1)}$ ($\eta_0=150$ dyne s/cm², $n=0.75$, $\bar{p}=1600$ dyne/cm³)

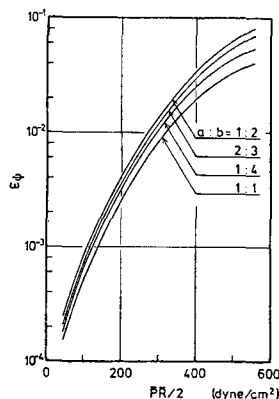


図2 二次流れの強さ ($\eta_0=150$ dyne s/cm², $n=0.75$)

また、どのアスペクト比の場合も圧力こう配が大きいほど ε_ψ が大きくなっている。

図3は圧力こう配を等しくし、流体の流れ指数 n を変えた場合の ε_ψ の計算結果である。 n が大きいほど、つまり非ニュートン粘性が強いほど二次流れも強いことがわかる。しかし、ここで用いた条件では、 ε_ψ の大きさは高々 10^{-2} 程度という比較的小きな値で、流れ場に及ぼす二次流れの影響はそれほど大きくないと考えられる。

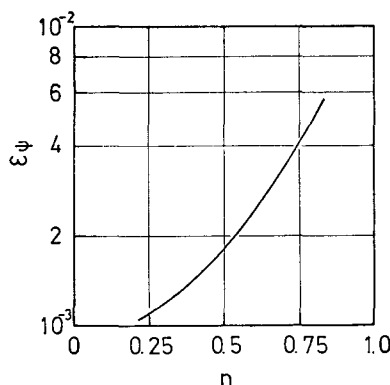
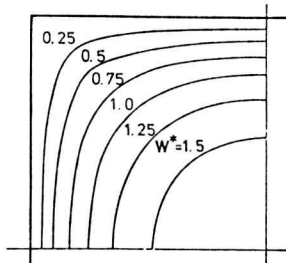
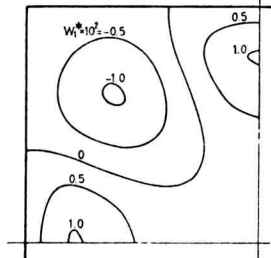


図3 二次流れの強さ ($\bar{p}=1600$ dyne s/cm³)

3. 2 主流方向速度分布

図4に主流方向速度 $w_{(0)}$ の分布を、図5に主流方向速度の摂動速度 $w_{(1)}$ をそれぞれ示す。ただし、図は平均流速 V_a で除した値を示してある。 $w_{(1)}$ は管断面の角付近で負、その他の部分では正となるような複雑な分布を生じている。しかし、その大きさは $w_{(0)}$ に比べると0.1%以下と小さく、通常は無視できる。


 図4 主流方向速度 w_0 ($\bar{p}=1600 \text{ dyne/cm}^3$)

 図5 主流方向速度 w_1 ($\bar{p}=1600 \text{ dyne/cm}^3$)

4. 二次流れの可視化

4.1 二次流れの可視化法

本研究の対象である二次流れはその強さが非常に小さいもので、二次流れの流線を実験で直接得ることは困難である。従来の研究では色素を用いた可視化が行なわれているが、その方法では二次流れの詳細を知ることがむづかしい。そこで、本研究では、二次流れを調べるためにつぎのような方法を考案した。

二次流れを可視化するために図6に示すように直管断面内に2本の白金電極を平行に張り、負電圧を印加して水素気泡を連続的に発生させた。水素気泡は白金電極全面より一様に発生し、流体とともに下流に流れフィルム状となる。二次流れが生じていない場合には、水素気泡フィルムは平面を維持するが、二次流れが生じている場合には、管軸と直角な断面内に速度成分があるために水素気泡はその方向へも変位し、その結果、フィルムは下流へ行くにしたがい曲面状となる。その変化を観察することによって二次流れを知ることができる。フィルムの断面形状を観察するために、図6に示すように直管の横方向より 45° のスリット光を照射し、上方より写真撮影を行なった。

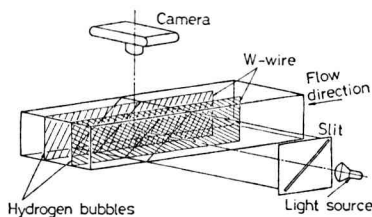


図6 二次流れの可視化法

供試溶液は、Hydroxy Ethyl Cellulose(HEC) の1.0, 1.5, 2.0%水溶液である。また、測定部はアクリル樹脂製で、断面寸法を表1に示す。

表1 矩形管の寸法

Pipe	2a (mm)	2b (mm)	a : b
A	10.0	10.0	1 : 1
B	5.0	10.0	1 : 2
C	5.0	20.0	1 : 4

4.2 二次流れの観察結果

図7は、アスペクト比が1/1の管内にHEC1.5%水溶液を流した場合の水素気泡フィルムの撮影例である。水素気泡フィルムは下流に行くにつれてしだいに变形し明らかに二次流れが生じていることがわかる。また、水素気泡フィルムの形状から、中央部では外側へ向かう流れが存在し、その内側では逆に内側へ向かう流れが存在するのが認められる。このような二次流れのパターンは数値計算で得られた二次流れのパターンと一致している。

図8は、HEC2.0%水溶液のアスペクト比を変えた

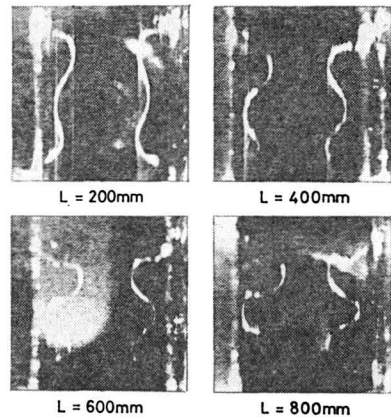
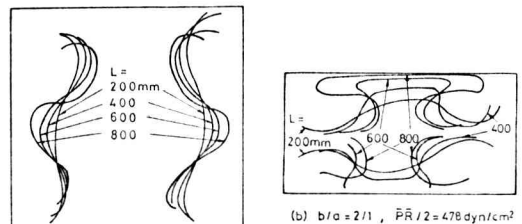


図7 水素気泡フィルムの変化 (HEC1.5%)


 (a) $b/a = 1/1$, $P\bar{R}/2 = 499 \text{ dyn/cm}^2$

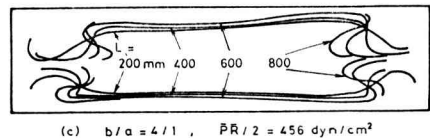
 (b) $b/a = 2/1$, $P\bar{R}/2 = 478 \text{ dyn/cm}^2$

 (c) $b/a = 4/1$, $P\bar{R}/2 = 456 \text{ dyn/cm}^2$

図8 水素気泡フィルムの変化 (HEC2.0%)

時の結果で、撮影位置の異なるものを一つに重ねて表わしたものである。アスペクト比がいずれの場合にも水素気泡フィルムは下流へ行くほど強く変形しており、二次流れが存在するのがわかる。さらに、アスペクト比が4/1の場合には水素気泡フィルムの変形は管中央部よりも隅部の方が強くなっており、二次流れが隅部で強いことを示している。これらのことより、ここで得られた水素気泡フィルムの変化から推定される二次流れのパターンは、数値計算結果と一致すると考えられる。

5. 結 言

粘弾性流体が矩形断面を有する直管流路内を十分に発達して流れる際に生じる二次流れについて数値計算ならびに実験を行ない、以下の結果を得た。

- 1) 矩形断面内には8個のうずが生じ、その二次流れの強さ $\epsilon\psi$ は圧力こう配、流体の流れ指数および管路断面の形状に依存するが、その大きさは高々 10^{-2} 程度で、流れ場に及ぼす影響はそれほど大きくない。
- 2) HEC水溶液では実際に二次流れが観察され、そのパターンは数値計算結果と一致した。

文 献

- (1) Ericksen J.L., Quart Applied Math., 14, 318(1956)
- (2) Dodson, A.G., ほか2名, Computers&Fluids, 2-3/4,317(1974)
- (3) Wheeler, J.A. and E.H. Wissler, Trans. Soc. Rheol., 10, 353(1966)

快削性ガラスセラミックの被削性についての研究 (第2報)

——切削条件が仕上面あらさおよび切削抵抗に及ぼす影響について——

和田 任 弘・田 中 義 雄

Study on Machinability of Machinable Glass Ceramic — 2nd Report, Influence of Cutting Condition on Surface Roughness and Cutting Force — Tadahiro WADA, Yoshio TANAKA

In the first report, the effect of the tool material and the cutting condition on the tool life were studied in order to find the suitable tool material in turning of machinable glass ceramic with cutting fluid, and K 10 carbide tool was found to be promising.

In this paper, the influence of the cutting condition on the chip formation, the cutting force and the surface roughness is experimentally investigated.

The main results obtained are as follows:

- (1) In finish turning, the smaller feed than 0.06mm/rev is desirable for the surface roughness.
- (2) The influence of the cutting speed on the surface roughness can not be found, in the range from 0.09m/s to 0.25m/s.
- (3) The depth of cut to feed ratio has less influence on the size effect of cutting at larger feed rate.

1. 緒 言

従来の金属加工用工具で切削加工が可能な快削性ガラスセラミックは、絶縁性や断熱性あるいは化学的耐久性などの点で優れているため、電気絶縁材料をはじめ断熱材や耐腐食性容器などの工業用材料として各方面に広く利用されている。一般に本材料は成形品のままで用いられることは少なく、成形後完成品に必要な加工物品位を得るために切削や研削あるいは切断などの機械加工を施される場合が多い。第1報¹⁾では、主として被削性の評価基準の1つである工具寿命についての報告だけに留まった。そこで本報では、切削条件が仕上面あらさに及ぼす影響を調べ、仕上面あらさの点で最適な切削条件について検討し、また切削抵抗特性も調べた。

2. 実験装置および方法

使用工作機械は三菱高速精密旋盤（心高:175mm, 心間距離:700mm, 主軸動力: 5 kw）を用い、センタワークにより本材料（成分割合は概算重量で: SiO_2 46%, Al_2O_3 16%, MgO 17%, K_2O 10%, F 4%, B_2O_3 7%）の外丸削りを行った。

使用した切削工具はスローアウェイバイト（E 14R—11U）で、スローアウェイチップはSNPA321を用い

た。工具形状は、 $-6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 6^\circ, 45^\circ, 45^\circ, 0.4$ mmである。工具材種は、超硬K10種を用いた。これを用いた理由は、工具寿命の点でこの工具材種が優れているためである。

切削条件については、切削速度は0.07~0.83m/s, 送り量は0.03~0.48mm/rev, 切込みは0.5~3.0mmの範囲で実験を行った。なお切削は湿式で行い、切削油剤として、軽油が50%とスピンドル油が50%の混合液を用いた。

切削条件が切削抵抗に及ぼす影響を調べる実験では、切削力をAST式工具動力計で測定し、これをペン書きオシログラフ上に記録し、その平均値を測定し、切削抵抗を求めた。また切削条件が仕上面あらさに及ぼす影響を調べる実験では、触針式表面あらさ計で送り方向の仕上面のプロファイルを記録し、その最大値を測定し、仕上面あらさを求めた。

3. 実験結果および考察

3. 1 仕上面あらさ

一般に旋削により形成される仕上面あらさには、被削材の回転方向に形成される「切削方向」の仕上面あらさと、送り方向に形成される「送り方向」の仕上面あらさがあるが、ここではとくに「送り方向」の仕上面あらさ

について調べる。

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

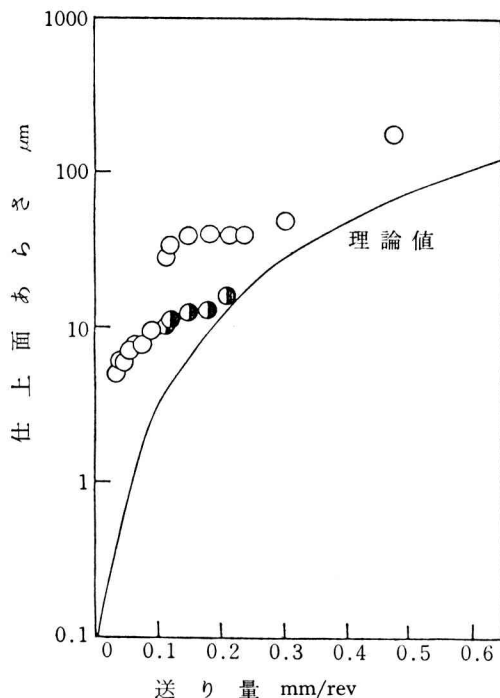
$$H_{max} = \frac{f^2}{8R} \quad (1)$$

(1)式による仕上面あらさを理想仕上面あらさと呼ぶが、実際の仕上面あらさは、被削材の不均一性（たとえば、内部の欠陥）、切りくず生成機構（たとえば、流れ形、せん断形、むしれ形、きれつ形による分類）、切削工具と被削材との相対位置の変動（たとえば、びびり振動）、被削材の盛上りの状態などによって、 H_{max} よりも大きくなる。しかしどの程度大きくなるかは、被削材によっても異なる。たとえば、鋳鉄と炭素鋼を比較した場合、鋳鉄の実際の仕上面あらさは、切りくずの断続性と被削材中に存在する内部欠陥（たとえば、鑄巣）のために炭素鋼のそれに比べ通常大きいとされている²⁾。本材料では、鋳鉄にみられるような内部欠陥が存在しないとされているが、切削条件とくに送り量が仕上面あらさに及ぼす影響は、従来の金属切削とは異なる傾向を示すと推察される。

(1) 送り量と仕上面あらさの関係

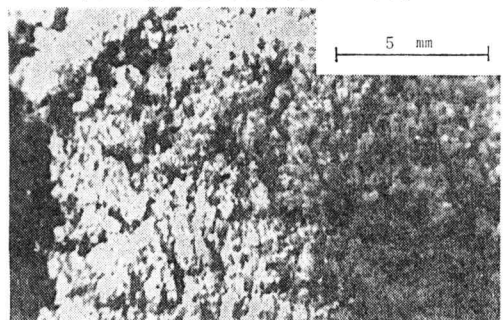
図1に送り量と仕上面あらさの関係を示す。送り量が0.1mm/rev以下では、送り量の増加とともに仕上面あらさは大きくなっている。仕上面あらさは、送り量が0.1mm/revの付近で急に大きくなり、送り量が0.1~0.25mm/revの範囲では、送り量によらずほぼ一定の値になっている。なお図中の実線は、式(1)で示される仕上面あらさの理想値である。●印は仕上面に現われるクレータ部を除いた場合の仕上面あらさを示し、こうすれば仕上面あらさは送り量の増加とともに大きくなっていることがわかる。次にこれらについて考察する。まず送り量が0.1mm/rev以下では、仕上面あらさが切削工具のすじ目に沿うて、すなわち長手方向に起伏を生じていた。また送り量が0.1~0.25mm/revの範囲では、仕上面にクレータ状の凹凸が生じていることが認められた。

本材料の切りくず生成機構は、不連続形のきれつ形と考えられるが、送り量が小さい領域では、この組織内の雲母結晶のへき開性が関連し、せん断形に近い切りくずを形成し、送り量が大きくなるに従って雲母結晶の切りくず形成への参加が少なくなり、主としてきれつ形切りくずを形成するのではないかと推察される。そこでこれを確かめるべく、送り量が切りくず形態に及ぼす影響を調べた。図2にその結果を示す。図(a)に示す送り量が0.03mm/revでは、切りくずは微細な粉末状となっている。また図(b)に示す送り量が0.24mm/revでは、粗大なクラック状となっている。これは、送り量が小さい場合、

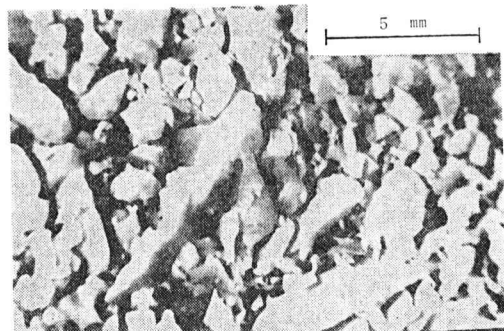


切削速度：0.3m/s，切込み：0.5mm，工具材種：超硬K10種，切削方式：湿式（軽油50%+スピンドル油50%）。

図1 送り量と仕上面あらさの関係



(a) 送り量が0.03mm/revの場合
(粉末状の切りくず)



(b) 送り量が0.24mm/revの場合
(きれつ形の切りくず)

切削速度：0.3m/s，切込み：0.5mm，工具材種：超硬K10種，切削方式：湿式（軽油50%+スピンドル油50%）。

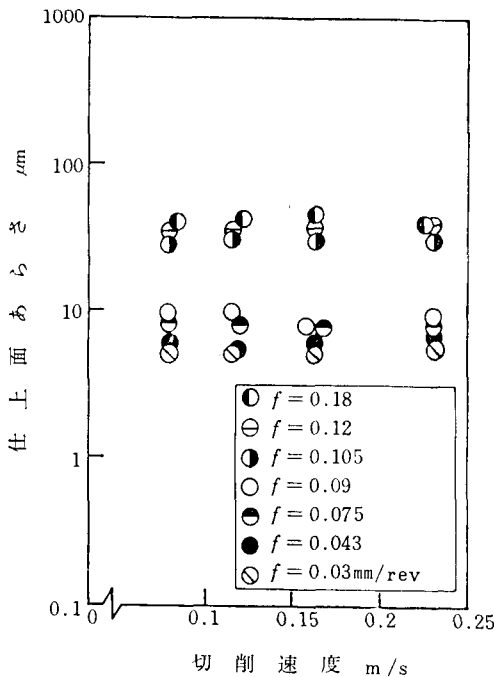
図2 送り量と切りくず形態の関係

切削部分の応力集中が比較的小さく、切削近傍より発生したクラックが切削部分だけに集中し、クラックが材料の内部にまで進まないため、このような粉末状の切りくずを生じたと考えられる。これに対し送り量が大きい場合、切削近傍より発生したクラックを切削部分だけに留めることが不可能となり、クラックが予定仕上面よりもさらに深く進むために、このようなクラック状の切りくずを生じたと考えられる。

(2) 切削速度と仕上面あらさの関係

炭素鋼を超硬工具で旋削したとき、切削速度と仕上面あらさの関係は、通常次のようになる。すなわち、切削速度が $0.1 \sim 1 \text{ m/s}$ では、構成刃先が発生し、これが周期的に成長脱落を繰り返すために、仕上面あらさは、理想仕上面あらさよりもかなり大きくなる。さらに切削速度を大きくしてゆき、 2 m/s 前後になってはじめて構成刃先が消滅し、仕上面はかなり改善されることになる。

図3に、切削速度と仕上面あらさの関係を示す。この範囲の切削速度では、仕上面あらさは、ほぼ一定の値になっている。これは、本材料の旋削では、金属切削時にみられるような構成刃先の発生がほとんどなく、また切りくず生成機構が変わらないためだと考えられる。



切込み: 0.5 mm , 送り量: f , 工具材種: 超硬K10種, 切削方式: 湿式 (軽油50% + スピンドル油50%)

図3 切削速度と仕上面あらさの関係

3.2 切削抵抗

切削抵抗は、被削材の材質・組織などによって異なり、また切削工具の形状(たとえば、すくい角やノーズ半径)

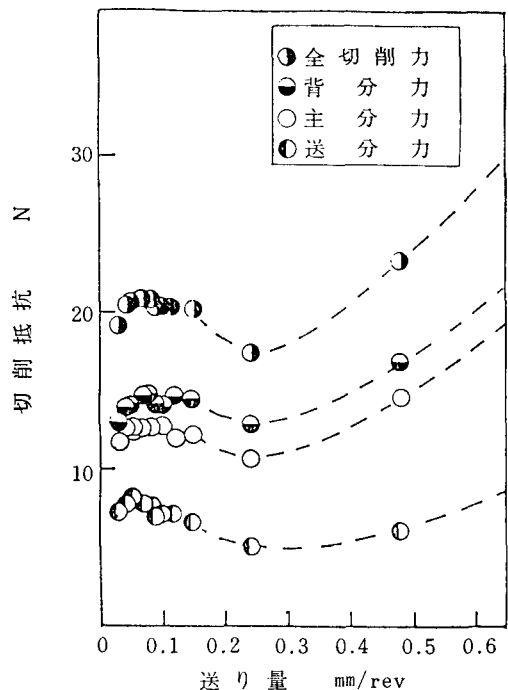
によっては大きく変化する。あるいは、切削速度、切込みや送り量などの切削条件によっても、当然切削抵抗は変化する。

3.1節では、切削条件が仕上面あらさに及ぼす影響を調べたが、その結果、とくに送り量が仕上面あらさに及ぼす影響は、従来の金属切削の理論とは異なる傾向を示すことがわかった。そこで、ここでは、送り量、切削速度あるいは切込みが切削抵抗に及ぼす影響について調べる。

(1) 送り量と切削抵抗の関係

金属切削では、概していえば、送り量が大きくなるほど切削抵抗の増加割合は減少する³⁾。前述のように、本材料の旋削では、切削の状態が送り量によって変化することが、送り量と仕上面あらさの関係より推察され、さらに送り量と切りくず形態の関係より確かめられた。このことから、送り量と切削抵抗の関係も同じように、従来の金属切削の場合とは異なった様子を示すことが推察できる。

図4は、送り量と切削抵抗の関係を示す。送り量が、 0.1 mm/rev 以下では、送り量の増加とともに切削抵抗の



切削速度: 0.3 m/s , 切込み: 0.5 mm , 工具材種: 超硬K10種, 切削方式: 湿式 (軽油50% + スピンドル油50%)

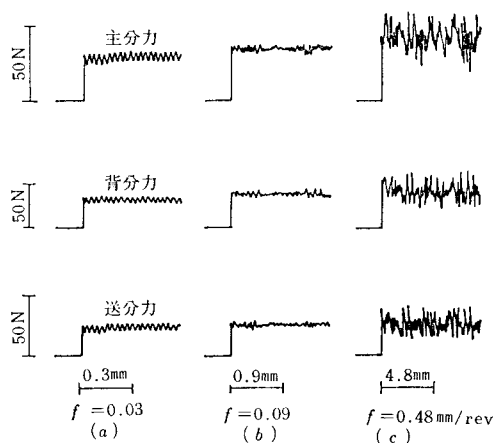
図4 送り量と切削抵抗の関係

増加割合は減少している。送り量が $0.1 \sim 0.25 \text{ mm/rev}$ の範囲では、切削抵抗の最大値は、送り量が 0.1 mm/rev よりも大きくなっていたが、その平均値は、送り量の増加とともに小さくなっている。送り量が 0.25 mm/rev 以上

では、切削抵抗は、送り量が大きくなるにつれ、大きくなっている。これらは、切削の状態が送り量によって変化するためと考えられる。

図5は、超硬K10種による送りを変えた場合の切削抵抗のオシログラムを示す。図(a)に示すように送り量が0.03mm/revの場合、切削抵抗は周期的に変動している。図(c)に示すように送り量が0.48mm/revでは、切削抵抗の変動幅は、送り量が0.03mm/revの場合に比べて大きく、またその周期も不規則なものとなっている。送り量が0.09mm/revの場合、送り量が0.03と0.48mm/revで例示される両タイプの間の遷移域である。

以上の事柄より、切削の状態が送り量によって変化することが、送り量と切削抵抗の関係より、さらに明らかになった。



切削速度：0.3m/s，切込み：1.5mm，送り： f 。工具材種：超硬K10種，切削方式：湿式（軽油50%+スピンドル油50%）

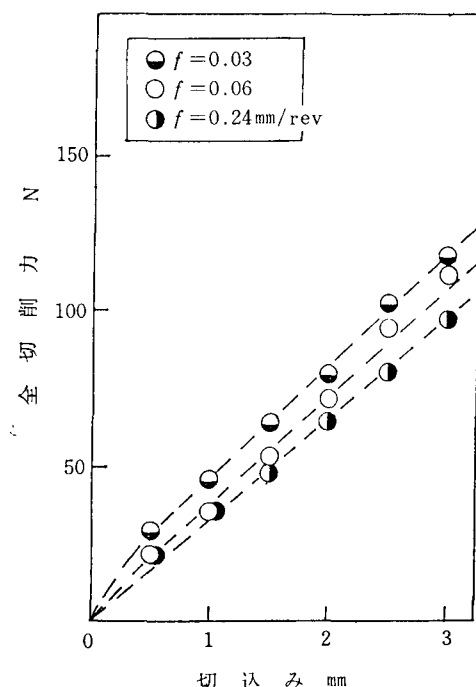
図5 切削抵抗のオシログラム

(2) 切込みと切削抵抗の関係

鋳鉄を旋削する場合と鋼材を旋削する場合とでは、切削過程は異なるが、金属切削では、概していえば、切削抵抗は切込みにほぼ単純に比例する³⁾。図6に、送り量を0.03, 0.06, 0.24mm/revと変えたとき、切込みが全切削力に及ぼす影響を示す。いずれの送り量の場合であっても、切込みの増加とともに、全切削力は大きくなっている。このことから、本材料を旋削する場合、金属切削の場合と同様、切削抵抗は切込みにほぼ単純に比例することがわかった。しかし、この実験結果から、切込みが切削の状態に及ぼす影響を推察することは困難である。

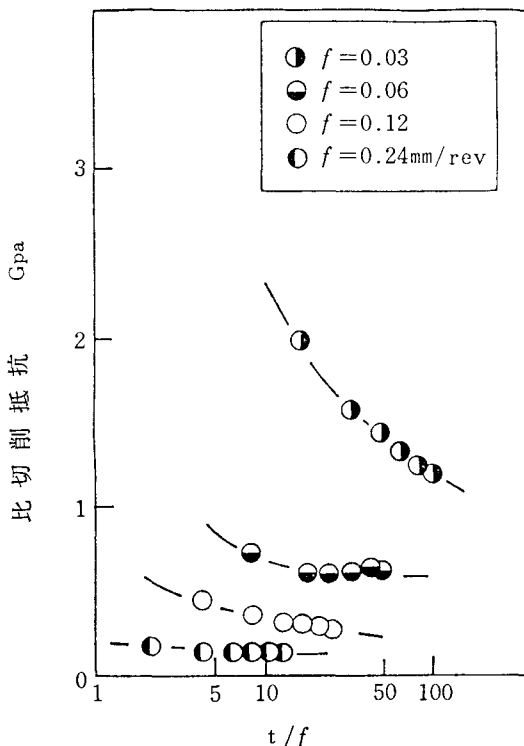
3.3 比切削抵抗

図7に、切込みと送り量との比（（切込み）/（送り量））が、比切削抵抗に及ぼす影響を示す。送り量が0.03mm/revの場合、（切込み）/（送り量）の増加とともに比切削抵抗は小さくなっている。送り量が小さいほど、切削における寸法効果が大きいことがわかる。次にこれにつ



切削速度：0.5m/s，送り量： f ，工具材種：超硬K10種，切削方式：湿式（軽油50%+スピンドル油50%）

図6 切込みと全切削力の関係



切削速度：0.5m/s，切込み： t ，送り量： f ，工具材種：超硬K10種，切削方式：湿式（軽油50%+スピンドル油50%）

図7 （切込み）/（送り量）と比切削抵抗の関係

いて考察する。寸法効果については従来2通りの説明がなされている。その一つは、材料内欠陥の分布と試片寸法の関係より、微少の切削厚さでは、工作物の材料強度が増すためとするもの⁶⁾である。他の説明は工具切刃の不可避的丸味に帰するもの⁷⁾である。すなわち、切削工具切刃稜をどのように仕上げてても、幾何学的に完全な鋭利さは得られない。またこれに加えて、切削中の応力集中のため切刃稜の若干の圧壊は免れがたい。たとえば異なる切刃稜丸味半径の切削工具を用いて短時間切削した場合、鋭利な刃先は圧壊し、大丸味は摩耗して丸味半径1/100mm程度にいずれも落ちつく⁸⁾。

さてこのような切刃で切削すると、丸味部分は切りくずを生成せず、押しならし作用をなして仕上面に加工変質層を生ずる。本材料を送り量0.03mm/revで旋削した場合、切削の状態がせん断形と考えられるので、切削工具の切刃の丸味の影響が切込みの減少とともに大きく現われると考えられる。しかし、送り量が0.24mm/revでは切削の状態がきれつ形であるため、切刃の丸味の影響が小さいと考えられる。

4. 結 言

快削性ガラスセラミックを旋削するにあたって、仕上面あらさの点で最適な切削条件を見出すことをおもな目

的として、切削条件が仕上面あらさおよび切削抵抗に及ぼす影響を調べた。

得られたおもな結果をまとめると次のようになる。

- (1) 仕上旋削時の送り量は、仕上面あらさの点から0.06mm/rev程度以下で加工するのが望ましい。
- (2) 切削速度は0.09~0.25m/sの範囲で仕上面あらさにほとんど影響を及ぼさない。
- (3) 送り量が大きいくほど、(切込み)/(送り量)が、切削の寸法効果に及ぼす影響は小さい。

終りに、本研究を進めるにあたり、終始ご指導をいただきました大阪大学工学部 長谷川嘉雄教授ならびに花崎伸作助教授に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 田中, 和田: 快削性ガラスセラミックの被削性についての研究, 奈良工専研究紀要, 16(昭55)13.
- 2) 機械技術研究所報告, 第91号 20.
- 3) 機械製作法研究会: 機械製作, 養賢堂, (昭53)179.
- 4) 会田ほか: 切削工学, コロナ社, (昭51)287.
- 5) 臼井: 切削・研削加工学(上), 共立出版, (昭53)191.
- 6) 益子: 機械学会論文集, 19, 78(昭28)32.
- 7) 臼井: 切削・研削加工学(上), 共立出版, (昭53)26.

光結合 FET による S 形負性抵抗特性 を用いた位相制御回路

高橋 晴雄 山内 雅好 山本 善啓

A phase control circuit using the S-type negative resistance characteristics by photo-coupled FETs.

Haruo Takahashi, Masayoshi Yamauchi and Yoshihiro Yamamoto

ABSTRACT

An Optically controlled S-type negative resistance circuit can be constructed with photo-coupled FETs. In this paper a phase control circuit using this S-type negative-resistance characteristic is demonstrated. The phase control light signal can be obtained from the optical detection of the phase-zero level with the starting point of the relaxation oscillation and from the optical control of the phase angel with the repetition rate of the relaxation oscillation. It is possible for the sinusoidal wave of 60Hz to change the angle from 30° to 160° using the experimental circuit.

1. ま え が き

光結合 FET は、1 次側が発光ダイオード (LED) で、2 次側がホト FET で構成されたホトカプラであり、オプトロニク回路結合用要素として広く使用されている。このホトカプラを 2 個組み合わせれば、電流制御形負性抵抗特性 (S 形特性) を実現することができ、外部光により S 形特性を変化させることができる。したがって、本 S 形特性はオプトロニク能動要素として利用することができる。

本稿では、外部光により S 形特性が変化することを、商用周波数の位相制御へ適応させた基礎実験結果について述べている。

2. S 形負性抵抗回路

図 1 は、光結合 FET の構成図を示したものであり、図 2 は、外部光の受光端子を 2 個保有する光制御形 S 形負性抵抗回路 (NRF) を示したものである。

外部光入力のない場合の動作原理は以下のようになる。

端子間電圧 V を増加させていくとき、始め FET_R の内部抵抗が高く、 FET を流れる電流 I_0 は LED を発光させるには至らない。 V がある値 (FET のなだれ降服の維持電圧) に達すると、 FET はなだれ降服状態になり、 FET の電流 I_0 が増加し始める。 LED は発光を開始し、その発光出力は FET_R に光結合され、 FET_R

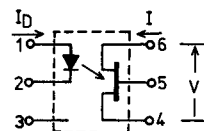


図1. 光結合 FET の構成図

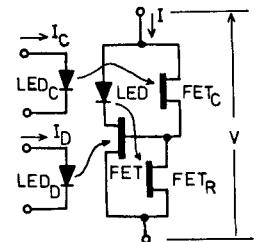


図2. 光制御形 S 形負性抵抗回路 (NRF)

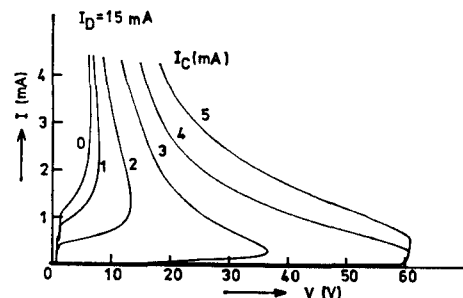


図3. 電圧-電流特性

の内部抵抗を減少させるので、 FET の端子間電圧は減少する。そこで FET の電流 I_0 は増加するので、LED の発光量はさらに増加し、 FET_R の内部抵抗はますます減少する。

このように、光結合による正帰還ループが構成され、再生作用により FET の端子間電圧が急激に減少して、

S形負性抵抗特性を呈示する。

図3は、外部光入力として LED_D に加える電流 I_D を15mAに設定し、もう一つの外部光入力として LED_C に加える電流 I_C をパラメータにした場合の電圧—電流特性を示したものである。 I_C が零のときには、ダイオード特性となりS形特性を呈示しない。 I_C を増加させると、S形特性を呈示するようになり、しかもブレイクオーバー電圧値が増加することになる。すなわち、 I_D をある値に設定しておけば、S形特性が現われるのか否かを I_C によりオプトロニック制御することができる。

なお、実験結果から、 I_D を増加させればブレイクオーバー電圧は減少し、 I_C を増加させればブレイクオーバー電流は増加することが明らかであるけれども、ここでは省略する。

本S形特性は、2つの外部光によりブレイクオーバー電圧及びブレイクオーバー電流をそれぞれ変化する特性を有している。

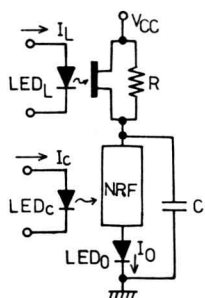


図4. オプトロニック
位相制御回路

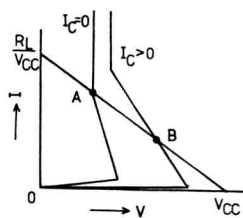


図5. 動作説明図

3. 位相制御回路

一般に、S形特性を呈示する要素に直列に抵抗を、並列にコンデンサを付加すれば、し張発振動作することは広く知られている。

図4は、し張発振原理を利用した位相制御回路の構成図を示したものである。 LED_L は、その電流 I_L により抵抗 R を等価的に、変化させるために付加したものである。

図5は、S形特性と負荷線の関係を示した動作説明図である。発振条件は、S形特性の負性抵抗領域にのみ動作点をもつように設定することである。したがって、 LED_C の電流 I_C が零（負）のとき、動作点がS形特性のON領域（点A）に、電流 I_C が正のとき、負荷線が負性抵抗領域のみ（点B）に、それぞれ動作点を持つように設定する。そこで、 I_C として交流電流を印加すれば、交流の零レベルを越えたときに発振を開始させることができる。すなわち、交流の零レベルの検出を発振が

起らないか起るかに対応させて、 I_C により行なわせることができる。

発振期 T は、

$$T = CR \ln \left(\frac{V_{CC} - V_H}{V_{CC} - V_T} \right)$$

で与えられる。したがって、コンデンサ C 、もしくは抵抗 R を変化させれば発振周期を変化させることができる。

ここでは、抵抗 R に並列にホトFETを接続し、 LED_L の電流 I_L を変化させることにより、等価的に抵抗 R をオプトロニックに変化させる方法を用いる。

なお、 LED_C の電流 I_C によりブレイクオーバー電圧 V_T が変化するので、発振周期が変化することになるけれども、図3に示した電圧—電流特性から、ホールド点電流 I_H も変化しており、位相制御の場合には、発振開始からの最初のし張発振パルスのみが有効であるから、あまり考慮する必要はない。

図6は、 LED_L の電流 I_L と最初のし張発振開始までの位相角 θ が、どのように変化するかを実験的に求めたものである。

試作回路においては、抵抗 R を50K Ω コンデンサ C を0.22 μF とし、 V_{CC} を62Vで動作させている。発振開始の LED_C の電流 I_C の値は、図3のS形特性ではほぼ3mAである。

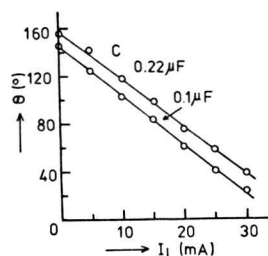


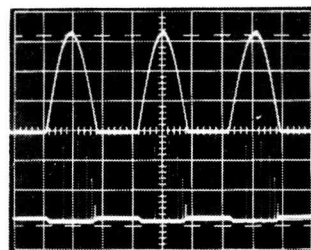
図6 制御電流 I_L と位相角 θ の関係

図7は、 I_D を15mAに設定して、交流の半波電流を I_C とし、位相制御電流 I_L を20mA、10mA及び0mAとした場合の動作波形をそれぞれ示したものである。

制御される位相角は、それぞれ80°、120°及び160°になっていることがわかる。

I_C の波形
(V: 1mA/div)

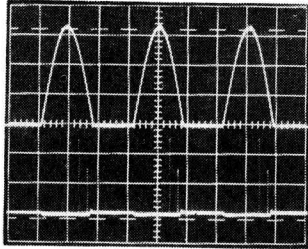
I_O の波形
(V: 10mA/div)



(a) $I_L = 20mA$ (80°)

I_C の波形
($V: 1mA/div$)

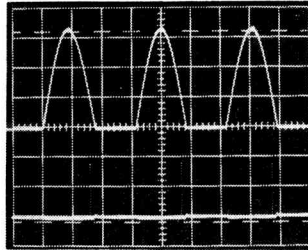
I_O の波形
($V: 10mA/div$)



(b) $I_L = 10mA$ (120°)

I_C の波形
($V: 1mA/div$)

I_O の波形
($V: 10mA/div$)



(c) $I_L = 0mA$ (160°)

$$\left[\begin{array}{l} V_{CC} = 62V, R = 50K\Omega, C = 0.22\mu F \\ I_D = 15mA \\ H: 4ms/div \end{array} \right]$$

図7. 動作波形

4. むすび

本稿では、光結合FETによるS形負性抵抗特性を用いて、位相制御回路が構成できることを実験的に明らかにした。本回路では、交流の零レベルの検出及び位相角の設定をオプトロニク手法により、1つのS形負性

抵抗特性を用いて行なわせることができるので、回路構成が著しく簡化される。

また、位相角は、 30° から 160° にわたり制御可能であり、しかも位相制御出力信号がLEDからの光パルスであり、インピーダンス整合を考慮する必要がなく、アースを共用できない場合などの位相制御用信号として、ただちに利用することができる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた大阪市立大学工学部、北浜安夫教授ならびに志水英二助教授にお礼申し上げます。

5. 文 献

- (1) 高橋, 山内: “光結合FETによるS形負性抵抗回路” 電子通信学会論文誌(C), J 63-C, 7, p448 (昭和55年7月)
- (2) 高橋, 山内, 山本: “光結合FETによるS形負性抵抗特性(Ⅱ)” , 昭和55年度電子通信学会(光, 電波部門) 全国大会, No. 380 (昭和55年9月)
- (3) 高橋, 山内, 山本: “光結合FETによるS形負性抵抗を用いた位相制御回路” 昭和55年度電気関係学会関西支部連合大会 G12-7 (昭和55年11月)

電荷減衰法によるPEの表面電荷の動特性

京兼 純・山本善啓・Coelho Roland

A Consideration on the Decay Process of accumulated Charge on Polymer Surface

J. Kyokane Y. Yamamoto R. Coelho*

ABSTRACT

The initial decay region of surface potential of negative corona charged polyethylene (PE) films was measured by the new apparatus. A characteristics of this apparatus has the moving plate electrode within 0.1 sec from needle electrode to the probe with high pressure gas. It was shown that the decay of potential is depend on the charging time.

When the duration of charging was short the surface short the surface potential was rapid decay compared with a long charging time such as 20 sec and was not uniform in decay rate on a different position (e.g. center and edge) of PE surface. This is considered that the accumulate charge after short charging time migrate in the direction of the both surface and bulk.

On the contrary, the decay of the long charging time was uniformly rate at the center and edge of sample and was observed the crossover phenomenon. It can be concluded that the carrier after along corona charge migrate only bulk. These carriers were discussed in terms of Scher-Montroll theory on the transport in amorphous substances. Logarithmic plot (Scher-Montroll Plot) of the decay time vs. displacement current which is given from the decay curve was differentiated graphically with respect to time gives the transit time of the carrier front. Simple calculation by the formula $\mu = L / (Tr \cdot E)$ were obtained the apparent carrier mobilities μ of $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$ at 293 K for the sample thickness L of 30 μm

1. ま え が き

電気エネルギー輸送という基幹設備の中で用いられている電気材料は、超々高圧送電の実現により益々過酷な条件下で使用され、かつ制約されるようになった。その中で特に、絶縁の分野は非常に重要な要素であり、我国はもちろんのこと諸外国でも盛んに研究されている。それと同時に、機器の巨大化に伴って生じるコロナ放電をも無視出来なくなっている。他方、エレクトロニクス産業の急速な伸びに従って、半導体材料の集積度が増加の一途を辿っている。最近、これらの半導体集積・路中での絶縁性薄膜（酸化膜等）に関する静電的破壊現象の報告が、種々散見するようになった。このように絶縁物の耐コロナ性および静電現象は古くて新しい問題と

っている。しかしながら、上記現象と密接に関連し、重要な事項でもある固体絶縁物の表面に何らかの方法で、堆積された電荷の移動過程に関する研究は、現在まで数多く成されているにもかかわらず、依然杳としている分野である。これらのことを踏まえ、我々はコロナ放電を行ない、高分子表面に堆積される電荷の移動について一考察を加えたものである。

高分子フィルムを用いて、コロナ帯電を行い電位減衰から堆積電荷の移動過程を求める方法は、内外で数多くの研究者により追行され、キャリア移動度として $10^{-8} \sim 10^{-14} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S}$ なる値が求められている⁽¹⁾⁻⁽¹⁰⁾。これら一連の研究に対し、Baum氏は⁽¹¹⁾⁻⁽¹²⁾、コロナの帯電時間と表面状態を考慮に入れず、バルク内のみのキャリア移動度を論ずるのは疑問があると指摘している。しかし、この

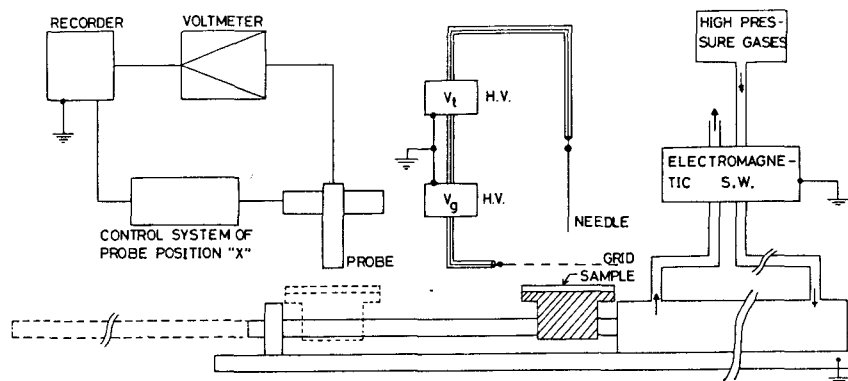
この論文の一部は、電気学会論文誌A分冊に投稿中である。

* LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES DÉCHARGES CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE Plateau du Moulon-91190 GIF-SUR-YVETTE FRANCE

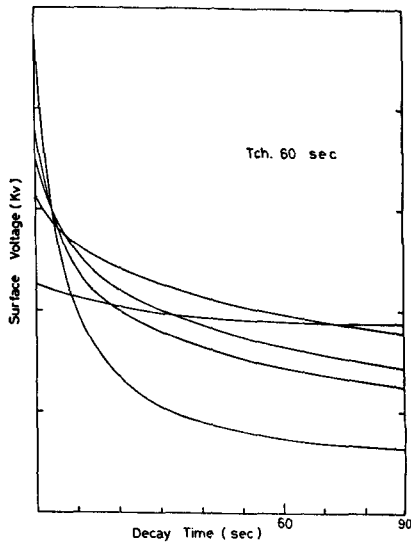
(II) 最近, a-Se, Si や P-VK-TNF系の材料に対し Seki⁽¹⁴⁾ 氏や Scher—Montroll⁽¹⁵⁾ 氏から、キャリア移動に関する新局面からの理論的考察が成されている。さらに Noolandi⁽¹⁶⁾ 氏や Schmidlin⁽¹⁷⁾ 氏らからマルチトラッピングの概念を呈示し、その理論的計算から導かれる結果は、上記 Scher—Montroll 氏らの結果とほぼ同じになるという報告が見られる。この Scher—Montroll 解析法に従って、我々は前の論文で PE の非晶質領域域での見かけの移動度として $10^{-7} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{S} (343\text{K})$ の値を得ている。がしかし、上記論文に於いて指摘した如く、Scher—Montroll 理論の一部に不備が存在することも合わせて述べた。ここでは、長時間帯電させた後の

2. 実験装置および方法

帯電方式は大気中針端コロナ放電を用いた。第1図に示してあるように、針電極と平板電極の間にグリッドとして $1.1 \times 1.1 \text{ mm}$ の網目白金電極を挿入し、帯電電位を制御した。⁽¹⁾ 針電極に V_i 、グリッドに V_g と各々直流負電圧を印加し、コロナ放電を行い試料を帯電された。帯電を行う前に超音波洗浄器で試料を約3分間洗い、帯電時間 Tch. は、1~600秒まで変化させた。試料はそのつど全て交換した。電位の検出はモンロー社168型静電電圧計を用い、試料表面の位置による電位の変化が一様に測定できよう、X軸方向を直流モーターで制御した。各々の出力端は図のように記録計に接続してある。



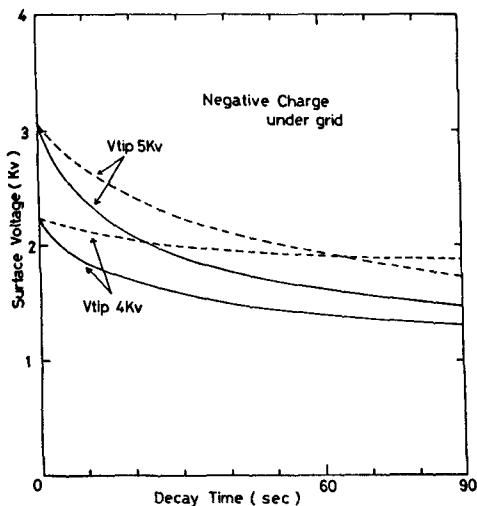
第1図 帯電実験装置および測定系ブロック図



第2図 60秒間帯電後の表面電位減衰曲線

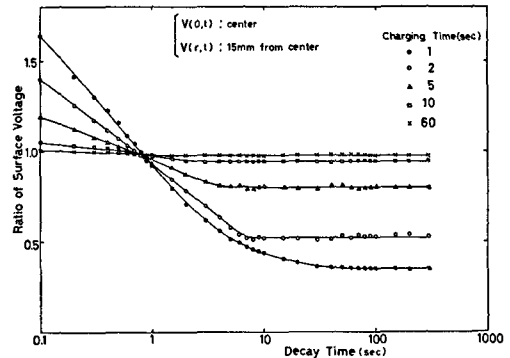
3. 実験結果および考察

第2図は、60秒帯電後のLDPE 30 μ mの減衰曲線である。既に、家田氏⁽¹⁾が発表している表面電位減衰の交差現象が得られた。次に同一条件で、帯電時間Tch.を変化させた時の電位減衰曲線を第3図に示す。帯電時間は、2秒(実線)と60秒(破線)であり、針先端電圧は4, 5 Kvのときである。第3図より明らかなように、2秒間帯電の減衰曲線は、60秒間帯電に比し、早い減衰を示しており交差現象が見られなかった。Baum氏⁽¹²⁾も短時間放電を行った場合に、交差現象が生じなかったことを明示している。また、高田氏⁽⁷⁾らの報告にもある如く、長時間帯電から短時間帯電に移行するに従い



第3図 表面電位の帯電時間依存性

減衰割合が大きくなっている。このとき、グリッドを挿入しても、第3図の結果と大差はなかった。



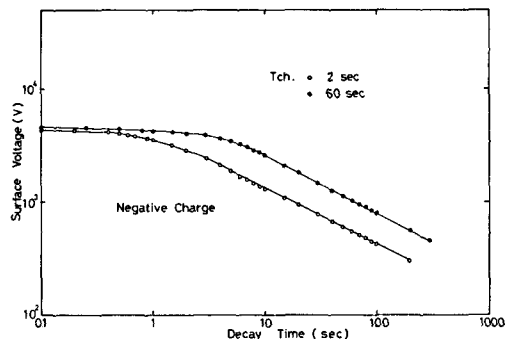
第4図 試料の表面位置の相違による減衰特性

第4図は帯電された試料の、位置の相違による減衰特性を示したものである。この図は、縦軸に減衰電圧の比 $V(0,t)/V(r,t)$ を、横軸に減衰時間を取ったもので、パラメータは帯電時間Tch.である。ここで、 $V(r,t)$ は表面電位の位置と減衰時間を示すもので、 $r=0$ は試料の中心とする。この図では、 $r=1.5$ cm即ち試料中心から1.5cm離れた場所の電位である。

今

$$\frac{V(0,t)}{V(r,t)} \propto f(t)$$

となるならば——任意の表面位置における減衰電圧の比が、ある時間関数となるならば表面電位減衰は中心部と端部で異なっていることが解る。このような時間関数となる変域は、ただ単純に電荷が試料のバルクのみを動き、その結果減衰が生ずるとするには困難があるように思える。そして、この傾向は短時間帯電になり顕著になってくる。また上記の事項は試料と針電極の間にグリッドを挿入した場合でも、短時間帯電においては満足のいく様な電荷分布を行えないことが示唆される。



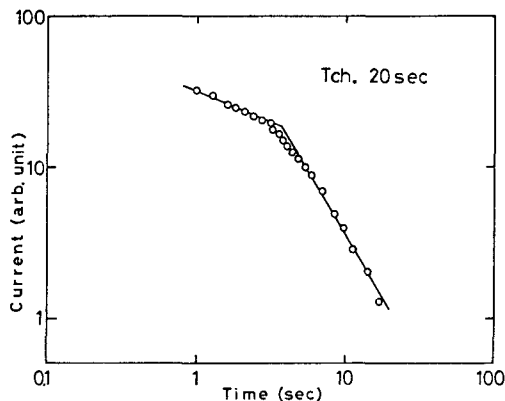
第5図 減衰曲線の両対数プロット

上に示した第5図は、表面電位と減衰時間の関係を、帯電時間をパラメーターにして両対数プロットにしたもの

である。第5図より、2秒間帯電の場合60秒間帯電に比し、非常に速く減衰が始まり、帯電時間が長くなるにつれて初期電位は数秒間保たれることが解った。

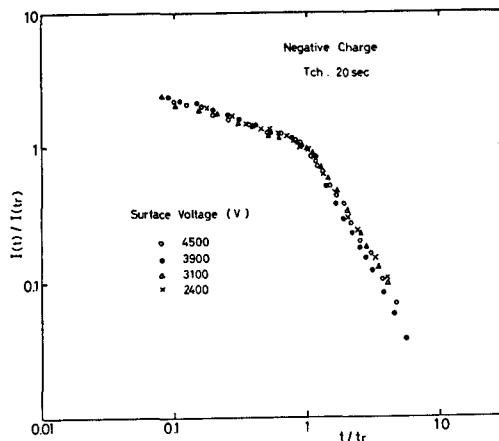
以上の第2, 3, 4, 5図に示した結果から次のことが推論できる。任意の位置における電位減衰の比が時間関数となる領域は、試料表面に堆積された電荷が一樣な割合で減衰していないことから、沿面方向とバルクへ電荷が移動していくものとした。特に短時間帯電では、両者が相乗効果をきたし、早く減衰を始めるものと考えられる。それ故、多く報告されている初期電位減衰から試料のバルクそのもののキャリア移動過程を単純に論議するのは多少疑問が残るし、まして、1秒以下の帯電から移動度を論ずるのはかなり難しい問題であり、注意が必要であると考えている。

他方、第4図のグラフから明らかとなうり、ある時間領域から $f(t) \simeq \text{const}$ となる場所が生じてくる。この $f(t) \simeq \text{const}$ なる領域は試料の中心部と端部との電荷が一樣な割合で減衰しているものと考えられる。そして、この傾向は長時間帯電になるに従い、短時間側に推移してくる。また、既に触れたように長時間帯電の場合、第5図より中心部の初期電位減衰は0.1~3秒の時間域であり大きい変化を示さない。この現象は電荷が試料表面ではほぼ均一に分布されるために、中心部電荷の沿面方向への移動が無視される結果生じてくるものと思われる。それ故、表面でシート状に発生したキャリアは、ほとんど全てバルクへ流れていくものとして捕えられるので、それだけ表面電位の初期減衰が遅くなってくるものと考えられる。



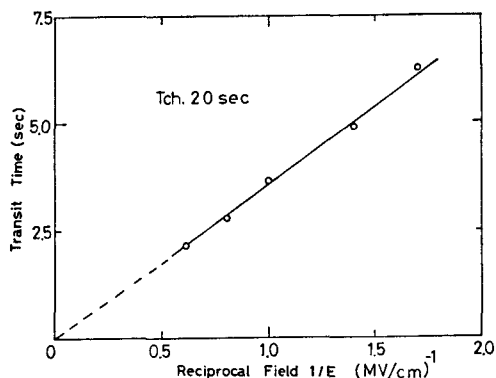
第6図 変位電流と減衰時間の両対数プロット

上記結果を踏まえて、我々は中心部と他端部の比が時間と関数関係にならないところ、第4図の曲線群が平端となるところからキャリアが全て試料のバルクのみを移動するとし、20秒間帯電された試料について以下の論を進めていく。得られた任意の表面電位減衰曲線をグラ



第7図 種々の初期表面電位における t/T_r に対する $I(t)/I(T_r)$ 依存性

フ上で微分を行い、 $j = A (dV_s/dt)$ なる関係から電流を求める。ここに、 j : 変位電流、 A : 定数、 V_s : 表面電位である。この電流と時間の関係を両対数プロット (scher—Montroll プロット) すると、第6図に示すようなグラフが求められる。第6図より、任意の時間域で明瞭な屈曲点が得られることがわかる。この屈曲点を前の論文で述べたように、試料間のキャリア走行時間 T_r と見なすと、20秒間帯電のそれは4.2秒となる。ただし厚さは30 μm の試料である。得られた走行時間 T_r は第4図での曲線が $f(t) = \text{const}$ なる領域に入り、かつ、第5図の表面電位が大きく減衰していない時間域であるため、妥当な値となる。次に、異った表面電位を持



第8図 見かけの走行時間の初期電界強度依存性

つ減衰曲線に対し、同様な操作を行いこれを規格化: $\log \{I(t)/I(T_r)\}$ 対 $\log (t/T_r)$ プロットを施すと第7図の関係が得られる。この関係は、所謂 universality を満足する。また第7図から求められる α の値は、 $\alpha = 0.7$ となり $0 < \alpha < 1$ を満足している。さらに、両対数ブ

ロットから求めた走行時間と表面電位の逆数をグラフ化すると、両者は第8図に示されるような線形関係となる。以上行了一連の実験事実から、PEの20秒以上の長時間帯電での表面電位減衰は、電荷が試料表面近くで様な空間電荷を形成し、バルクを移動していくものと推論できる。このように、PEの長時間帯電後の減衰電位は、電荷(キャリア)のバルク移動として捕えられるので走行キャリアの見かけの移動度が求められる。見かけの移動度は

$$\mu = \frac{d^2}{T_r \cdot V}$$

ここに、 μ : 移動度, T_r : 走行時間, V : 初期表面電位, d : 試料厚さ

なる関係より、厚さ30 μm 、温度280Kで $\mu = 8 \times 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ となる。この移動度の値は、既に報告されている表面電位減衰から得られたものと同じか、あるいは近い数値であった。⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾

ここで、結晶質と非晶質の混在するPEにおいては、各々を走行するキャリアの振舞いに相異があることを前の論文で指摘した。結晶質でのキャリア移動を早い成分、非晶質では遅い成分とし論述を行い、結晶質部でのそれより単純化したモデルとして、直鎖状炭化水素単結晶(例えば、ヘキサトリアコンタン $\text{C}_{36}\text{H}_{74}$)を作製し、キャリアの動的特性に関し別のところでふれた。⁽²¹⁾そして、非晶質を走行する遅いキャリアの移動過程は、結果としてトラップデトラップを伴った熱活性形ホッピング伝導とした。これらキャリアは $\mu = 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ (343K) なる移動度の値を持ち、トラップ状態により律速されるものと考えてきた。しかし、上記数値は高温域で測定されているため、非晶質部を走行するキャリアであるにもかかわらず比較的早い観測値となっている。ここでのキャリアは、トラップで律速されている non-Gaussian分布した状態での移動 (dispersive な移動) としているので、種々のドリフト速度を持ったキャリアの中で一番速い成分が対向電極到達(キャリアフロントの対向電極到達)によって、いち早く観測系にかかっていると思われる。

さて、上で触れたキャリアは熱活性形の移動としているので、もし可能ならばアレニウスプロットを基にして常温付近までの移動を求めることが出来る。活性化エネルギーがこの温度範囲まで一定と仮定して、前論文のアレニウスプロットを常温(288K)まで外挿し、グラフ上から見かけの移動度を求めると 10^{-8} から $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ 近くの値が得られる。しかしながら、本研究で得られた移動度の値は $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ であり、両者を比較すると前者が若干大きい値となる。この相違は以下のように考えられる。第5図から明瞭なごとく、帯電終了

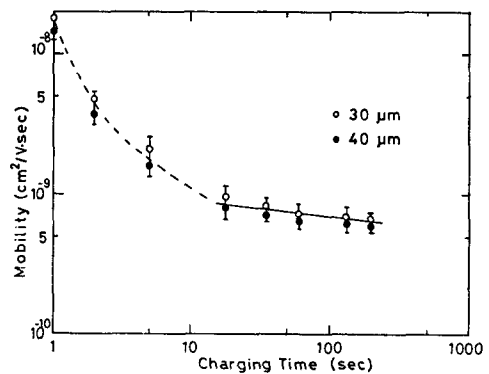
直後すぐに電位が減衰を起こしていないことから、試料表面に推積された電荷はバルク内へ注入され難いことが解る。このことは、キャリアがバルク移動を開始するまでにある時間遅れを持つことになる。時間遅れの原因としては堆積電荷と表面近くで存在するバルク内不純物等との電荷交換か、あるいは表面状態によって生じる電位障壁等があげられる。いずれにしても、このような減衰開始までに現われてくる時間遅れのために、たとえ走行時間法と同様な手順で解析を行ったとしても、見かけの移動度は他の実験系より小さく評価される所以かもしれない。そして、何らかの形で上記時間遅れが改良できれば、PEの非晶質部における見かけの移動度は別の実験手法で解析した数値に一致するものと思われる。また、あるいは前論文で求めた活性化エネルギー値をそのまま室温付近まで外挿するのに無理があるかもしれない。⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

次に、Wintel 氏らはキャリアが長方形分布し、その前面 x が次式

$$x = \alpha + E_0 \mu E$$

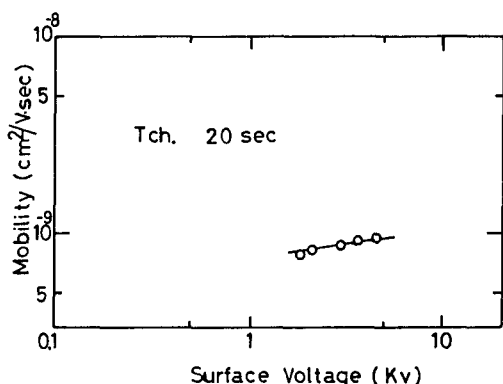
ここに、 α は $E = E_0 x / \alpha$; $x < \alpha$: $E = E_0$; $x > \alpha$ なる関係を持つ任意の位置、 E は電界、 μ は移動度と仮定して、家田氏らの報告している交差現象、バルク内での移動を説明している。彼らはキャリアが下部電極に到達するまで nondispersive な移動として理論研究を行っているが、結果的にはキャリアの前面を取り扱っているため、我々が求めた dispersive な移動から出てくる数値とはば一致している。⁽³⁾

また、同一の電位減衰の実験系からPEを始め他の物質でキャリアの見かけの移動度を算出し、なおかつ小さな値を得ているのは、例えば物質の非晶質部を nondispersive な形をとり、比較的遅く移動するキャリアの中心部を反映したものを測定しているためと考えられる。



第9図 見かけの移動度の帯電時間依存性

第9図は帯電時間と移動度の関係を示したものである。長時間帯電では、上図から両者がほぼ一定となり、



第10図 見かけの移動度の表面電位依存性

見かけの移動度はあまり大きい帯電依存性を示さない。ここで、もし仮に短時間帯電の場合、堆積された電荷による電位の減衰を沿面方向への移動を無視し、全てバルクへ移動していくものとするならば、第9図の点線のごとく移動度は著しい帯電依存性を示すようになる。とすると、このような測定系では、限りなく帯電時間を短くすれば、それにつれて非常に大きい移動度の値が求まることになる。このことは、前述したとおり短時間帯電において、グリッドを挿入しても様な電位分布が成されていないことも合せて考えて、初期電位減衰から単純にバルク移動度を算定していくやり方に多少難点もあることがうかがえる。短時間帯電における帯電依存性の結論を導くに当っては注意する必要があるのではないかと考えている。

見かけの移動度の初期電位依存性を第10図に示す。図中で見られるように、表面電位による依存性はあまりない。が、高電界 (1.5 MV/cm 以上)になれば移動度の値は僅かに上昇するようである。この現象は、パルス電圧法⁽²³⁾によってPEのキャリア移動過程を論じた、田中氏らの論文にも見られる。この中で、彼らは移動度増加をバンドテールの局在状態および波動関数の重なりから説明している。が、ブルフレンケル効果や高電界でのホッピング電子の温度が電界とともに増えることも示唆される。またこのような高電界で増加する移動度で家田氏らの求めた交差現象も説明可能と思われる。

4. む す び

以上、主として新しい装置を用いて短時間領域での堆積電荷の減衰過程および帯電時間との相関関係について述べた。結果をまとめると次のようになる。

電位減衰が帯電時間に依存することから、短時間帯電の場合は、堆積電荷を沿面方向とバルクへの移動とし、長時間帯電のそれはバルク内のみとした。

長時間帯電後の電位減衰から変位電流を求め、Scher-Montroll 法で見かけの移動度を算出すると $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ なる値を得た。この数値は、前論文で求めたPEの非晶質部を走行するキャリアの見かけの移動度(常温付近)に近いものであった。

見かけの移動度の帯電時間および初期表面電位依存性は若干見られるものの、顕著な変化はなかった。

最後に、本研究を迫行するに当たり、種々有益な助言を賜った Dr. Goldman 所長に厚く御礼申し上げるとともに、今回の文部省在外研究員の機会を与えて下さった小森三郎校長、木村伊一教授をはじめ教職員の皆様、大阪大学工学部大石嘉雄教授に深く感謝の意を表わすものである。

文 献

- (1) 家田, 沢, 篠原: 高分子表面電荷の減衰過程, **88** 6, 1107 昭43
- (2) H.J.Wintle: Decay of static Electrification by Conduction Processes in Polyethylene; *J.Appl. Phys.* **41** 10 4004 (1970)
- (3) H.J.Wintle: Decay of Surface Electric charge
- (4) H.J.Wintle: Surface Charge Decay in Insulators with Non-constant Mobility and with Deep trapping; *J.Appl.Phys.* **43** 7 2927 (1972)
- (5) D.K.Davies: Charge Generation on dielectric surface; *J.Phys. D:Appl.Phys.* **2** (1969)
- (6) D.K.Davies: Carrier transport in polythene *J. Phys. D:Appl. Phys.* **5** 162 (1972)
- (7) 高田, 湯本, 堺, 鳥山: ポリエチレンフィルムの表面電位減衰からの見かけの移動度推定, 電学論 A-94, 1, 昭49
- (8) T.J.Sonnonstine and M.M.Pierman: Surface-potential decay in insulators with field dependent mobility and injection efficiency *J.Appl. Phys.* **46** 9 3975 (1975)
- (9) M.M.Pierman and T.J.Sonnonstine; *J.A.St. Pierre*: Drift mobility determination using surface-potential decay in insulators; *J.Appl. Phys.* **47** 11 5016 (1976)
- (10) 安達, 紫田: 表面電位減衰法による移動度の評価について, 絶縁材料研究 EIM-76-7 昭51
- (11) E.A.Baum, T.J.Lewis and R.Toomer: Decay of electrical charge on polyethylene films; *J.phys. D:Appl.Phys.* **10** 487 (1977)
- (12) E.A.Aaum, T.J.Lewis and R.Toomer: Further observation on the decay of surface potential of corona charge polyethylene films; *J.Phys.*

- D:Appl.Phys. **10** 2525 (1977)
- (13) 高田, 湯本, 堺, 鳥山: 電荷減衰法によるポリエチレンのキャリア移動度; 電学論A **97**, 579 昭52
- (14) H.seki, J.Stuke and W.Brening : Amorphous and Liquid semiconductors; 1015 (1974)
- (15) H.Scher and E.W.Montroll: Anormalous transit-time dispersion in amorphous solids; Phys. Rev. B **16** 4466 (1977)
- (16) J.Noolandi: Maltiple-trapping model of anomalous trasit time dispersion in a-Se; Phys. Rev. B **16** 4466 (1977)
- (17) F.W.Schmidlin: Theory of trap-controlled transient photoconduction; Phy. Rev. B **16** 2362 (1977)
- (18) K.Yoshino, J.Kyokane, T.Nishitani and Y.Inuhs Y.Inuishi: Electron Beam Induced Conduction in Polyethylene; J. Appl. Phys. **49** 4849 (1978)
- (19) J.Kyokane, S.Harada, K.Yoshino and Y.Inuishi :E Electroniconduction in Polystyrene Induced by Pulsed Electron Beam; Jpn. J. Appl.Phys. **18** 1479 (1979)
- (20) R.Toomer and T.J.Lewis: Charge Trapping in Corona-Charged Polyeyhylene Films; J.Phys. D: Appl.Phys. **13** 1347 (1980)
- (21) K.Yoshino, S.Harada, J.Kyokane and Y.Inuishi Electrical Properties of Hexatriacontane Singl Crystal; J.Appl. D:Appl.Phys **12** (1979)
- (22) 田中, J.H.Colderwood: ポリエチレン中のキャリア移動度; 電学論A **93**, 11, 473 昭48
- (23) W.D.Gill: Drift mobilities in amorphous charge-transfer complexes of trinitrofluorenone and poly-n-vinylcarbazole; J.Appl.Phys. **43** 5033 (1972)
- (24) 犬石 : 誘電体の電気伝導 ; 電気学会誌 **94** 779 昭49

Electrical Properties of Hexatriacontane Single Crystal

J. KYOKANE, S. HARADA*, K. YOSHINO** and Y. INUISHI*

Nonlinear current-voltage characteristic is observed in hexatriacontane ($C_{36}H_{74}$) single crystals and as the mechanism Schottky effect or Poole-Frenkel effect is suggested. The breakdown strength (1.5MV/cm) of this crystal at the room temperature is (1) much smaller than that of polyethylene (6MV/cm), (2) decreasing with increasing electrode distance and (3) temperature insensitive uptill the temperature near boiling point. These results can be explained by taking the large electron mobility in hexatriacontane single crystal compared with that of polyethylene into consideration. The important role of the amorphous part on the electrical conduction and breakdown characteristics in polyethylene are indicated from these discussion.

1. Introduction

We have studied experimentally the carrier transport in polymers induced by nanosecond electron beam. It was from these experiments that the carrier transport in the crystalline part of polyethylene is much different from that the amorphous part. The carrier mobility in the amorphous part is evaluated from the Scher-Montroll analysis of the slow component in the electron beam induced charge signal. On the other hand, the fast component of the electron beam induced signal is considered to be related with carrier migration in the crystalline part.

In order to clarify the carrier transport process in the crystalline part of polyethylene, we have grown single crystals of long chain linear hydrocarbons as simple models. In this paper, electrical conductivity and dielectric breakdown in hexatriacontane single crystal ($C_{36}H_{74}$) will be reported.

2. Experimental

Hexatriacontane material of commercial grade was purified by a zone refining method and chromatography. Single crystals were grown by the two different methods, (1) the recrystallization from xylene solution, and (2) the Bridgmann method. The

samples obtained by the method (1) were mainly used as specimens in this experiment. The thickness of the grown single crystals was ranged within 15~100 μ m. Evaporated gold film served as electrodes. D.C. conduction was measured using a vibrating-reed electrometer. The procedure and the apparatus for the electron beam induced conduction measurement was already mentioned in our previous papers.

Both the Fletcher type nanosecond voltage pulser (rise time : 2 nanosec, pulse width 100 nanosec,) and a conventional vacuum tube microsecond voltage pulser (rise time : 0.5 μ sec, pulse width : 6 μ sec) were used to investigate the breakdown characteristics of the hydrocarbon crystals, which were immersed into silicone oil to prevent surface discharge.

3. Results and discussion

To obtain D.C. conduction current i , both charging current i_{ch} and discharge current i_d were measured at 5 minutes after the application and the removal of voltage step respectively as illustrated schematically in Fig.1.

The net conduction current i was evaluated from the difference of these two signals, namely by the relation of $i = i_{ch} - i_d$

Super linear current-voltage characteristic was

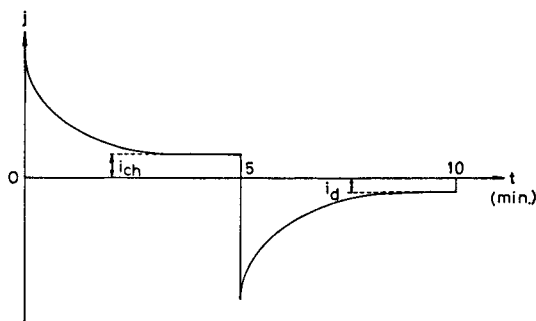


Fig. 1 Schematic explanation of charging current i_{ch} and discharging current i_d

found in the hexatriacontane single crystal at the room temperature. Figure 2 shows a logarithmic plot of current-voltage characteristic. This super linear characteristic can not be ascribed to the space charge limited current, because current is not proportional to the square of applied voltage V as predicted by the theory but to $V^{1.5}$ and is not strongly dependent on the electrode distance under the same field.

As shown in Fig.3, this current-voltage characteristic is well fitted by Schottky plot. Namely the current i at the temperature $T(K)$ is related to the applied field E by the next equation.

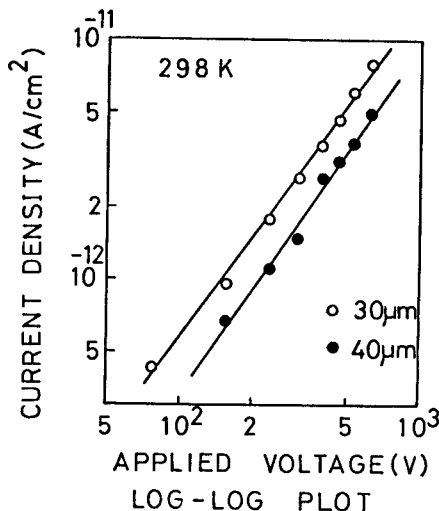


Fig.2 Logarithmic plot of current-voltage characteristic of the hexatriacontane single crystal.

$$i = i_0 \exp \left(-\frac{U + \beta \sqrt{E}}{kT} \right)$$

, where i_0 , U , β are fitting parameters with experimental results and k is Boltzman constant.

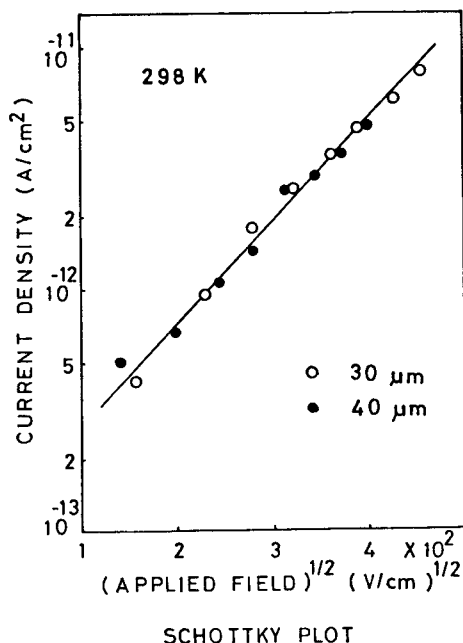


Fig.3 Schottky plot of current-voltage characteristic applied field E by the next equation.

The value of β is estimated to be $4.1 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot (\text{m/V})^{1/2}$ in this case, which is in good agreement with the theoretical value ($\beta = \sqrt{e^3/4\pi\epsilon}$, ϵ : dielectric constant) of $4.0 \times 10^{-24} \text{ J} \cdot (\text{m/V})^{1/2}$. This fact indicates that the current-voltage characteristic is controlled by Schottky effect for the carrier injection from electrodes.

Namely, since the carrier mobility in crystalline part seems to be high, the current is controlled by the electrode-crystal interface. However, the possibility of Poole-Frenkel type effect at the barrier between long chain molecule which accomodates image charge, can not be totally excluded at this stage. The temperature dependence of the current gives the activation energy of about 0.3 eV. Dependence of the current on the electrode materials is now under study.

Figure 4 shows the relation of the breakdown strength by microsecond voltage (time width : 6 μsec) to the sample thickness. The breakdown strength decreases with increasing electrode distance. The breakdown strength of the sample of 25 μm thickness is about 1.5 MV/cm at the room temperature, which is much smaller than that of polyethylene film (about 6 MV/cm under the similar condition) and comparable to those of alkali-halide single crystals.

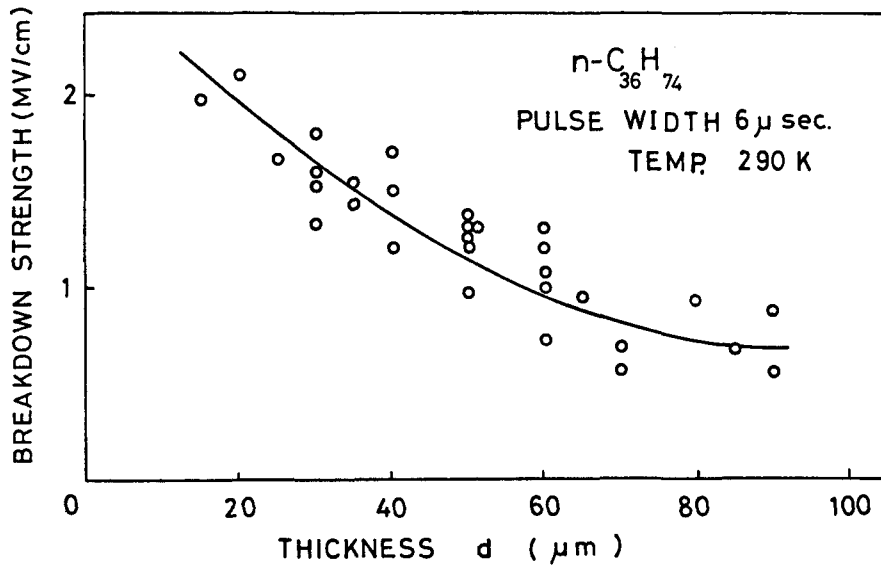


Fig.4 Breakdown strength of hexatriacontane single crystal as a function of the electrode distance

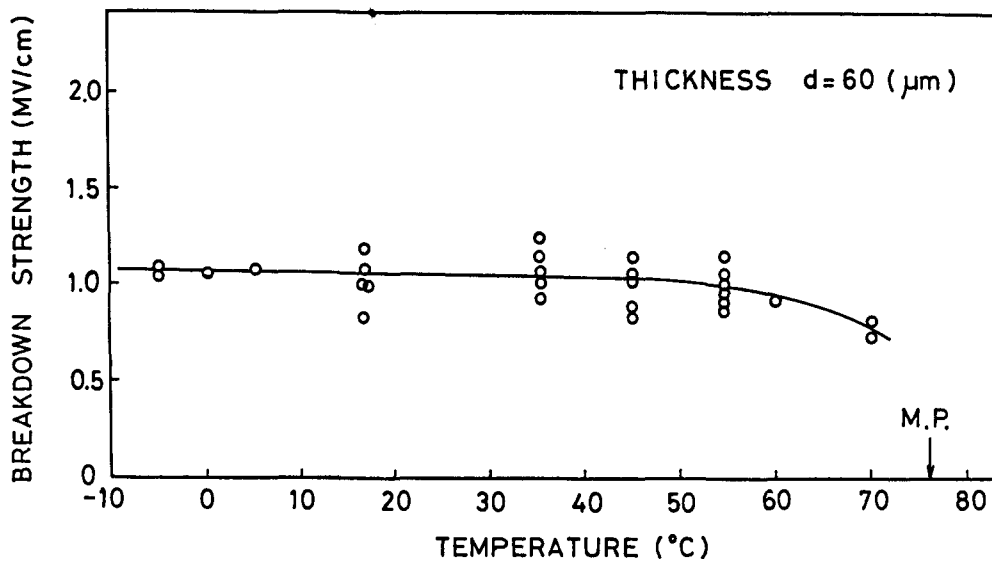


Fig.5 Temperature dependence of the breakdown field of hexatriacontane single crystal

tals. This fact seems to support the electron avalanche as a breakdown mechanism in this material, though there should be still a little ambiguity about the absolute breakdown strength due to edge effect in spite of the use of electrodes with diffused edge. Much higher carrier mobility in the single crystal of hexatriacontane compared with that in the amorphous part of polyethylene ($\sim 10^{-7}\ \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$) can explain the observed lower breakdown voltage in this material.

Figure 5 shows the temperature dependence of the breakdown field of hexatriacontane single crystal by voltage pulse of $6\ \mu\text{sec}$ time width. Contrary to the case of polyethylene, the breakdown strength in this material is rather temperature insensitive between 10 $^{\circ}\text{C}$ $\sim$ 60 $^{\circ}\text{C}$ and decreases only near the melting point. These facts seem to support the speculation that the existence of the amorphous part makes the breakdown strength in polyethylene much higher and temperature dependent around the room temperature.

The electron beam induced charge signal consists mainly of the fast component with rising time comparable to the pulse width of electron beam (100 nano-sec) and the time constant of the measuring circuit. Therefore the determination of the exact mobility value was unsuccessful at this stage. However, mobility must be larger than 10^{-2} cm²/V·sec, because the transit time of the carrier between electrodes is considered to be shorter than the above mentioned rising time of the fast component.

Acknowledgements

The authors are also indebted to Y.Saito and D.Negi for their assistance in experiments.

References

- 1) K.Amakawa, T.Moriuchi, T.Yoshida and Y.Inuishi J.Inst. Elect. Eng. Japan **84** 129 (1964)
- 2) K.Hayashi, K.Yoshino and Y.Inuishi Japan J. Appl. phys. **12** 754 (1973)
- 3) K.Hayashi, K.Yoshino and Y.Inuishi Japan J. Appl. phys. **14** 39 (1975)
- 4) Y.Inuishi and Y.Sung J.Inst. Eng. Japan **82** 1909 (1962)
- 5) Y.Inuishi, K.Yoshino, S.Harada and J.Kyokane IEEE Symposium (1978)
- 6) T.Nishitani, K.Yoshino and Y.Inuishi Japan J. Appl. phys. **15** 931 (1976)
- 7) H.Scher and E.M. Montroll phys. B **12** 2455 (1975)
- 8) K.Yoshino, J.Kyokane and Y.Inuishi J.Appl. phys. **49** 4849 (1978)
- 9) J.Kyokane, S.Harada, K.Yoshino and Y.Inuishi Japan J.Appl. phys. **18** 1479 (1979)

酸性水溶液中における白金アノードでのエタノール 酸化におよぼす各種金属塩の影響*

泉 生 一 郎

Effects of Various Metal Salts on the Ethanol Oxidation
at a Platinum Anode in Aqueous Acidic Solution *

Ikuichiro IZUMI

ABSTRACT The effects of CdSO_4 , $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$, ZnSO_4 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$, K_2SO_4 , KNO_3 and CH_3COOK on the anodic oxidation of ethanol were studied at a platinum electrode in aqueous acidic solution by means of linear sweep voltammetry. At lower anodic potentials corresponding to electrical double layer region, the anodic current of ethanol oxidation is increased by the addition of cadmium or zinc salts excluding $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$, especially by sulfate and nitrate of cadmium, respectively. This electrocatalytic oxidation of ethanol is attributed to the presence of active cadmium or zinc species on the platinum electrode. In the present paper the most probable surface species with the catalytic activity was suggested to be Cd^+ and probably also Zn^+ which can oxidize to remove the reaction intermediates of ethanol from the electrode surface. The sequence of catalytic effect is as follows: $\text{CdSO}_4 > \text{Cd}(\text{NO}_3)_2 > (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd} \approx \text{ZnSO}_4 \approx \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$. Potassium salts and $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ appear to give either no effect or inhibitory effect on the anodic oxidation of ethanol.

1. 緒 言

有機化合物の電極反応において電解液中あるいは電極上に吸着した状態で存在する触媒は、電極反応を実際面へ応用していくうえで非常に重要である。そのような場合、目的の反応物質が電気化学的に発生した触媒と化学的に反応することが多い。たとえばアルカリ溶液中で Os^{6+} から電気化学的に白金電極上に生じた Os^{8+} によるメタノール、エタノール、ギ酸の酸化がそうである¹⁾。触媒効果とは逆に Bagotzki²⁾ らは Cs^+ の存在によってメタノール酸化が10%程度抑制されることを報告している。このような白金電極での反応に対する添加金属カチオンの影響は酸素発生およびその還元による過酸化水素の生成についても検討されており、前者では Ru^{3+} によって低アノード電位領域で触媒活性を示し、後者ではアルカリ溶液中で Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} などによって過酸化水素生成量が著しく減少する。以上のように電極反応の触媒に関する研究で金属カチオンの添加効果は触媒的な役目をもつ場合と、むしろ白金族その他の貴金属電極の触媒活性を低下させる場合の二通りに分けられる。

本研究では硫酸溶液中、白金電極でのエタノールのア

ノード酸化に対する CdSO_4 , $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$, ZnSO_4 , $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$, K_2SO_4 , KNO_3 , CH_3COOK の各金属塩の添加効果を調べ、特に Cd 塩について低アノード電位領域で著しい触媒活性をもつことを明らかにした。

2. 実 験

2.1 試薬と電解セル

実験に供した金属塩およびエタノールはすべて市販特級品である。基礎液の $1N \text{ H}_2\text{SO}_4$ は特級濃硫酸と2回蒸留水から調製した。電極として作用極には長さ1cmで1mmφの白金線を、対極には平滑白金板(1.0×1.5cm)をそれぞれ用いた。電解セルは両極をガラス隔膜(Na_1)で仕切ったH型セルである。電極の前処理法として、 $1N \text{ KOH}$ 中、 $30 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ の電流密度で約5分ごとに極性を切換えて洗浄する電解クリーニング法を採用した。この処理は、基礎液についての線型電位走査で明らかな2つの水素前置波を与え二重層領域の電流値があらかじめ作成しておいた基準のものと一致するまで行なった。なお参照電極には飽和甘こう電極(SCE)を用いた。

2.2 電流—電位曲線の測定

線型電位走査法による電流—電位曲線の測定は柳本製V8—2010型ポテンシオスタットとX—Yレコーダー

* 昭和50年4月電気化学協会第42会大会(山梨)にて一部発表

(理研電子製F42-C型)を用いて $60.6 \text{ mV} \cdot \text{sec}^{-1}$ の走査速度で実施し、電位走査のくり返しで得られた定常曲線を扱った。なお電解セルや参照電極はすべて恒温そう内に置き測定温度を 30°C とした。電解液中の溶存酸素については予備実験によって目的とする結果に影響がないことを確かめたうえで、除酸素せずに測定を行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 添加Cd塩の影響

基礎液中に 1 M エタノールを含む溶液に3種類のCd塩すなわち CdSO_4 、 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ および $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ を添加したときの効果を線型電位走査で調べた。Fig. 1には 10 mM CdSO_4 を添加して得られた結果を示した。白金電極でのエタノール酸化に関してはアノード走査で図に見られる2つの電流ピークのはかに約 1.4 V にプラトー電流が観察されるが、本研究ではその手前の電位で電位走査を折り返したので図示されていない。前報で、電気二重層領域から立ち上がりをみせる低電位でのアノード電流はエタノールの電極上への解離吸着 ((1)~(2)式) によって、また白金酸化層上でのアノード電流はエタノールの白金酸化層との反応 ((3)~(4)式) によって生じるものと結論した。⁷⁾

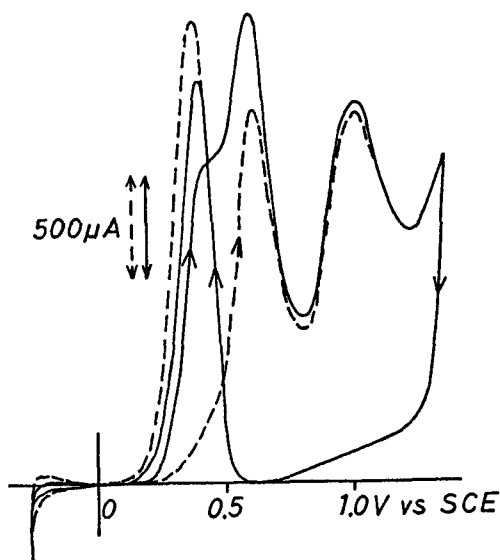
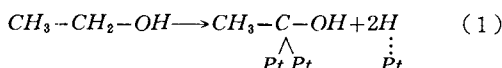
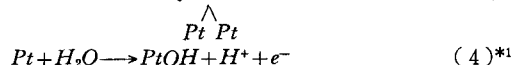
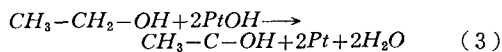


Fig. 1 Current-potential curves of 1 M ethanol in 1 N H_2SO_4 at $60.6 \text{ mV} \cdot \text{sec}^{-1}$ on smooth platinum electrode.
 — ; with 10 mM CdSO_4 .
 - - - ; without CdSO_4 .



CdSO_4 を添加すると電気二重層領域でのアノード電流の立ち上がりが著しく大きくなり、電流-電位曲線の形状も未添加にくらべてかなり異なってくる。エタノールを含まない同一濃度の CdSO_4 溶液について観察された吸着 $\text{Cd}(\text{Cd}_{\text{ad}})^{*2}$ の酸化電流がこの電位領域で増大したアノード電流に比較してきわめて微小 (1% 以下の値) であることから、この低アノード電位における電流の増大が予想されるような Cd_{ad} から Cd^{2+} への酸化電流を表わすものではないことが明らかである。しかし Cd_{ad} の酸化電位にあたる約 0.3 V 付近においてエタノール酸化に対する CdSO_4 の著しい添加効果を示しているので Cd_{ad} が何らかの形で非常に重要な役割を果たしていることが考えられ後で詳しく議論する。 CdSO_4 の添加効果が見られる $0 \sim 0.8 \text{ V}$ の低アノード電位領域での酸化電流量を図上積分で求め CdSO_4 の濃度に対してプロットしたのが Fig. 2 である。濃度が高くなるにつれて酸化電流量が飽和値に達するのは、この触媒的なエタノールの酸化反応が Cd^{2+} による溶液内触媒反応ではなく電極上に存在する吸着種による表面反応であることを示唆するものである。 Cd^{2+} がエタノールのアノード酸化における直接の触媒でないことは CdSO_4 による添加効果がほとんど低アノード電位領域に限られていることから理解できる。従来、酸性溶液でのアルコールのアノード酸化過程において中間生成物の電極からの脱離過程が反応速度を支配するものとされていることを考慮すれば、本研究で見出された触媒的な酸化反応の原因は、(1)式のエタノール酸化で生じた中間生成物の脱離が CdSO_4 共存下で発生した表面吸着種によって促され、電極上での中間生成物の蓄積 (self-poisoning) を妨げることに求められる。同様な触媒効果をプロパンのアノード酸化について Brummer¹¹⁾ らが見出しているが、ここでは白金格子内に Cd が取り込まれ有効電極面積の増大をもたらすこととしている。しかしこのような白金電極に取り込まれた Cd や Cd_{ad} によってエタノール酸化の電流が増大するとみるのは、カソード電位走査で観察される陽電流ピーク (電極の活性化現象) が Cd_{ad} の生成し始める電位からむしろ抑制される傾向^{*3}にあることから否定的である。

* 1 表面酸化層は PtO 、 PtO_2 、 $\text{Pt}(\text{OH})_2$ などが考えられるが確認されていないのでここでは便宜的に PtOH と記した。⁸⁾

* 2 高村らは酸性溶液における金属カチオンの白金電極への吸着について検討し、吸着体それ自体は O 原子価の原子状のものであるとしている。

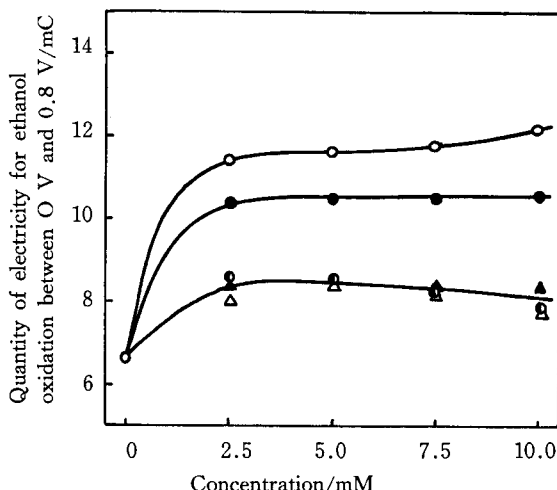
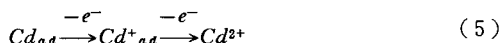
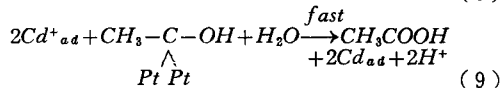
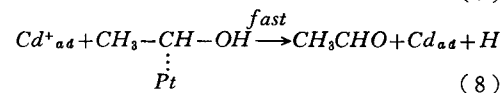


Fig.2 Catalytic effects of various salts on ethanol oxidation.
○; CdSO_4 , ●; $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, ●; $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$,
△; ZnSO_4 , ▲; $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$.

もちろん白金電極に取り込まれた Cd や Cd_{ad} が触媒的酸化電流の増大に重要な役割を果たしていることは否定できない。そこで水溶液における $\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}(\text{Hg})$ 系の電極反応機構^{(13), (14)} にならって、電極表面上の原子状 Cd (以下、 Cd_{ad} で代表させる) が 0.3V 付近で Cd^{2+} への直接の 2 電子過程ではなく、(5)~(6) 式のような段階的な電荷移動過程に従うものと考えた。



エタノール酸化に対して触媒活性をもつ表面吸着種として、エタノールから水素原子を解離する能力の貧弱な原子状 Cd よりも Cd^+_{ad} がむしろ妥当な吸着種であると考えられる。それによってエタノールのアノード酸化過程で生じた中間生成物の脱離を次式のように触媒的に促すことができるものと思われる。



0.3V 以上の電位では(8)~(9)式からの Cd_{ad} は(7)式によって再び Cd^+_{ad} を生じ、(5)~(6)式に従って Cd^{2+} となるか(8)式あるいは(9)式によってエタノールからの中間生成物を酸化脱離させる。白金酸化層領域では Cd_{ad} は Cd^{2+} になって電極表面から離れ、もはやエタノールのアノード酸化過程に寄与しなくなる。またカソード電位走査時の陽電流ピークが CdSO_4 の添加によって増大しな

いのは、(5)式の逆反応によって生じた Cd^+_{ad} は 0.3V 以下の電位で Cd_{ad} に素早く還元され^{*4}、たとえ(8)式や(9)式のような触媒反応に関与したとしても電位的にみて Cd^+_{ad} の再生が不可能であるためと考えられる。

以上のような触媒機構においては、 Cd_{ad} の酸化すなわち(7)式の反応が起る電位に至るまでに電極表面上に存在する Cd_{ad} の量が触媒効果を左右する重要な因子である。そこで、同様に触媒活性をもつ $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ を添加したエタノール溶液についてアノード走査の開始電位を種々変化させ、0~0.8V での酸化電気量を求めて Cd_{ad} の量に対する依存性を調べ Fig. 3 に示した。低電位側ほど Cd_{ad} の量が増し次第に飽和値に近づくことが既に明らかにされている⁽⁹⁾が、Fig. 3 の結果は電位走査のくり返しで得られた電流-電位曲線からのもので形状は異なっているにせよ Cd_{ad} の量が増すにつれてエタノールの酸化電気量が増大していることは確かである。なお Fig. 2 の濃度依存性を調べた曲線の頭打ちは、 Cd_{ad} が飽和値に達することによるとみることができる。

Fig. 2 で明かなように $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ および $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ についてもエタノール酸化に対する触媒効果があり、酸化電気量からみた Cd 塩の触媒活性の序列は次のようになった。

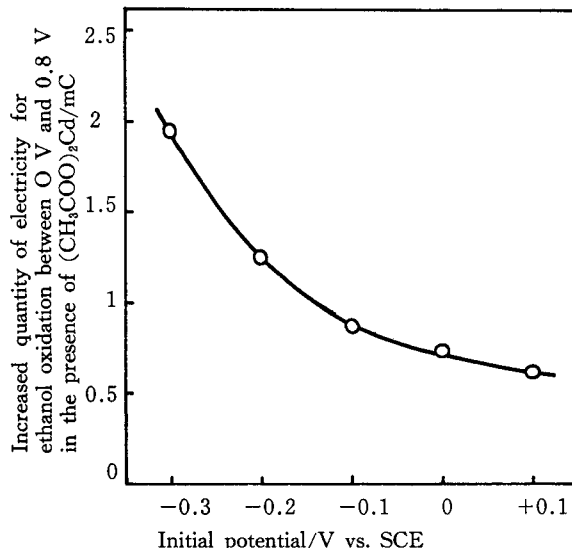
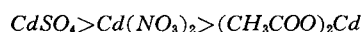


Fig.3 Dependence of the catalytic activity of cadmium surface species on initial potential at anodic potential sweep.

* 3 イソプロパノールでその傾向が特に顕著にあらわれ⁽¹²⁾てくる。

* 4 アノード電位走査では Cd^+ が電極表面上の原子状 Cd の層に特異吸着して幾分安定化されていると思われるが、カソード走査ではそのようなことがない。

3.2 添加Zn塩の影響

1Mエタノール溶液に3種類のZn塩、すなわち $ZnSO_4$ 、 $Zn(NO_3)_2$ および $(CH_3COO)_2Zn$ を添加したときの効果をCd塩と同じく線型電位走査で調べた。Fig. 4には10mM $ZnSO_4$ を添加して得られた結果を示したが、 $Zn(NO_3)_2$ の添加によっても類似の電流-電位曲線が得られる。低アノード電位での触媒的な酸化電流の増大は同種アニオンについてのCd塩ほどではないが、Fig. 2のように0～0.8Vでのエタノールの酸化電流量が $ZnSO_4$ あるいは

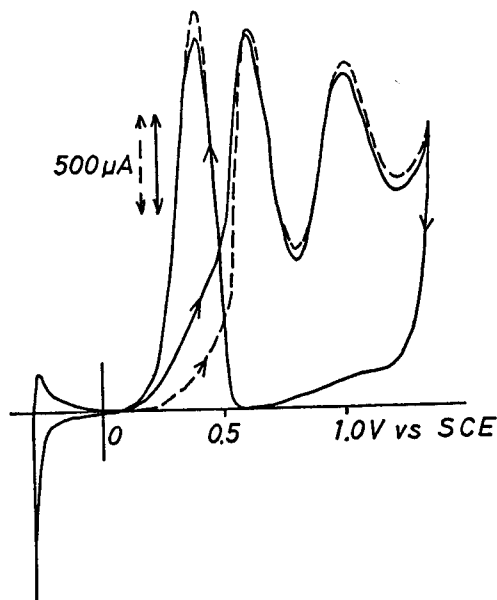


Fig. 4 Current-potential curves of 1M ethanol in 1N H_2SO_4 at $60.6 \text{ mV} \cdot \text{sec}^{-1}$ on smooth platinum electrode.

— ; with 10mM $ZnSO_4$.
 - - - ; without $ZnSO_4$.

$Zn(NO_3)_2$ の添加によって明らかに増大している。エタノールのアノード酸化に対するこれらのZn塩の触媒機構についてはさらに詳細な検討を要するが、Cd塩において提示したと同様な機構で説明できるものと思われる。この場合 Zn_{aa} の酸化電位が Cd_{aa} にくらべて約0.4V低いところにあるので、エタノール酸化が始まる電気二重層領域の電位では表面上にある Zn_{aa} のかなり多くの部分が既に Zn^{2+} となって電極表面から離れ、エタノールのアノード酸化過程に寄与する割合が Cd_{aa} よりも低くなる筈でFig. 2の結果によってこのことがうかがわれる。なお $(CH_3COO)_2Zn$ を添加した場合は、アニオンの電極上への吸着による反応を阻害する効果の方が大きくなってあらゆる電位領域でアノード電流が抑制された。

3.3 添加K塩の影響

K^+ の非常に低いred-ox電位からみてエタノールのアノード酸化に対する触媒活性が期待できないK塩では

K_2SO_4 、 KNO_3 のいずれの塩を添加しても電流-電位曲線の形状にほとんど影響が見られなかった。またアニオン吸着による反応阻害が予想される CH_3COOK の添加によっては、すべての電位領域でアノード電流が減少した。

4. 結 言

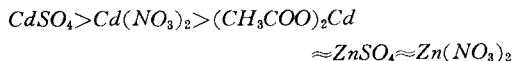
硫酸溶液中でのエタノールのアノード酸化に対するCd塩、Zn塩そしてK塩の各金属塩の添加効果を線型電位走査で検討し、以下の結論を得た。

(1) Cd塩はいずれも電気二重層領域に相当する低アノード電位でエタノールのアノード酸化に対して触媒活性をもち、それは白金電極表面に吸着あるいは含蔵された原子状Cdからの Cd^{+}_{aa} がエタノール酸化の中間生成物を触媒的に酸化脱離させることに起因していると推論された。白金酸化層領域では表面上にあるCdが Cd^{2+} となって離れ Cd^{+}_{aa} の再生がなくなるので、触媒的な酸化電流の増大がほとんど観察されなかった。

低アノード電位領域でのエタノールの酸化電流量に対するアノード電位走査の開始電位およびCd塩の濃度の影響から、 Cd_{aa} の量が増すにつれてエタノールのアノード酸化は触媒的に促進されることが分った。これは提示した Cd^+ による触媒機構を支持する結果である。

(2) Zn塩のうち $ZnSO_4$ と $Zn(NO_3)_2$ が低電位領域でエタノール酸化に対する触媒活性を示し、Cd塩におけると同様な触媒機構が考えられた。ただ Zn_{aa} の酸化電位が Cd_{aa} のそれより低く、エタノールのアノード酸化が起こり始める電位では Zn_{aa} のかなりの部分が既に Zn^{2+} となって電極から離れてしまうため、Cd塩よりもエタノール酸化に対する触媒効果が低下した。

(3) 以上の金属塩についてエタノールの酸化電流量からみた触媒活性を比較すると、次のような序列となった。



(4) K塩ではエタノール酸化におよぼす触媒的な影響は全く見られなかった。また $(CH_3COO)_2Zn$ と CH_3COOK についてはアニオン吸着による反応抑制が大きいため、すべての電位領域でアノード電流が減少した。

終わりに、本研究を進めるにあたり実験に協力していただいた吉田容工君(現 北斗電工(株))に厚く感謝いたします。

文 献

- (1) R. Kalvoda, J. Electroanal. Chem 24, 53 (1970)
- (2) V.S. Bagotzkii, Yu.B. Vasilyev, Electrochim. Acta 9, 869 (1964)

- (3) 岩倉千秋, 浅田朗, 田村英雄, 電化 **44**, 639 (1976)
- (4) D.N.Buckley, I.D.Burke, J. Electroanal. Chem. **52**, 433 (1974)
- (5) 小沢昭弥, 電化 **31**, 682 (1963)
- (6) 泉生一郎, 奈良高専研究紀要No.16, 61(1980)
- (7) E.Sokolova, Electrochim. Acta **20**, 323 (1975)
- (8) 佐々木和夫, 電化 **37**, 80(1969)
- (9) 三国房子, 高村勉, ibid. **38**, 113(1970)
- (10) 高橋祥夫, 樋口俊一, 三宅義造, ibid. **39**, 590 (1971)
- (11) S.B.Brummer, M.J.Turner, H.Feng, J. Appl. Electrochem. **6**, 377 (1976)
- (12) 泉生一郎, 大西康幸, 電気化学協会第44回大会講演要旨集, p.35(1977)
- (13) B.Lovrecek, N.Marincic, Electrochim. Acta **11**, 237 (1966)
- (14) S.Fronaeus, C.L.Johansson, B.Palm, J. Electroanal. Chem. **88**, 1 (1978)

エアーリフト型気液接触装置の特性解析*

河越幹男, C. W. Robinson**

Characteristics of An Airlift Column with External Liquid Circulation

Mikio Kawagoe and C. W. Robinson

The gas-liquid dispersion characteristics of an external-circulation-loop airlift contactor have been investigated and compared to bubble column results. Results are given for gas holdup, bubble slip velocity, bubble mean diameter, specific interfacial area, and the dispersed gas and liquid phase mixing characteristics for both water and electrolyte solutions. The interfacial area as determined by each of the photographic, light transmission and chemical absorption methods is compared. In addition, the kinetics of the reaction between dissolved oxygen and sodium dithionite in alkaline solution was investigated in order to enable it to be applied to the measurement of specific interfacial areas.

緒 言

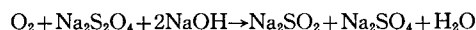
外部液循環式のエアリフト型気液接触装置は、従来の気泡塔を改良した装置である。この装置は、構造が簡単で、混合、伝熱、物質移動などの効率が良好であると言われており、そのため最近、醗酵装置として注目されている¹⁾。この型式のエアーリフト装置は気泡上昇管(Reiser)と液下降管(downcomer)とから成っており、両者は塔頂および塔底の近傍で連結されている。気液混合相は上昇管内を上昇し、ガスは塔頂から塔外へ排出され、液は下降管によって上昇管底部に循環される。最近 Hills²⁾はこの装置の高ガス流速範囲におけるガスホールドアップを測定し、Blakebrough ら³⁾は微生物を含む系の伝熱特性について研究している。

上昇管内における気液の流動状態、物質移動特性などは、本質的には気液並流気泡塔の場合とほとんど変わらない。エアーリフト塔の特徴は、上昇管内と下降管内の密度差によって生じられる液循環にある。この密度差はガス流速によって変化するため、液循環速度もまたガス流速によって変化する。このため、上昇管内の液流速は、

低ガス流速においてさえ、気泡塔の場合に比べて極めて大きい。このようなエアーリフト型装置の最適な操作、設計を行なうためには、この高液流速領域における気液の混合および物質移動特性について検討する必要がある。

本研究では、ガスホールドアップ、液循環速度、液側混合時間、ガス側混合拡散係数及び混合領域、気液界面積について行なった。界面積は三つの方法、すなわち光透過法、写真撮影法、反応吸収法で測定し、測定法の違いによる差異について検討した、

反応吸収法には $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ のアルカリ水溶液における酸素の吸収を用いた。この反応は総括的に次式で表わされる。



この反応に関しては、従来幾つかの研究^{8,9,25,26)}がなされているが、各研究者によって結果が食違っている。本研究では、温度を15~34°Cの間で変化させ、反応速度を測定し、本反応系を界面積の測定に利用できるようにした。

本論文は PART1*** と PART2からなる。PART1では反応速度の解析について述べ、PART2ではエアーリフト塔の特性について述べる。

PART 1. 反応速度の解析

実 験

4枚の邪魔板をもつ内径95mm、容量960mlのガラス製

* 化学工学協会第14回秋季大会(1980年10月、横浜国立大学)にて一部発表

** Department of Chemical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada

*** Can. Jour. Chem. Eng. 掲載

平面接触攪拌槽を用いた。全ての実験は液回分式、ガス流通式で行ない、液の仕込み量は600mlである。液相の攪拌はマグネチックスターラーで行なった。

反応速度の測定は、反応機構が簡単である $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度が 0.08 kmol/m^3 以下で行なった⁸⁾。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ の分析はヨウ素滴定法によった。水酸化ナトリウム濃度の実験範囲は $0.044 \sim 0.8 \text{ kmol/m}^3$ である。

液相および気相における物質移動抵抗の反応吸収速度に及ぼす影響を調べるため、物質移動係数 k_L , k_g をそれぞれ測定した。 k_L は純炭酸ガスの水への吸収から、 k_g は希釈炭酸ガスの水酸化ナトリウム水溶液への吸収から求めた。後者の場合、化学反応によって液測物質移動抵抗が減少し、相対的にガス測物質移動抵抗が増加するため、 k_g の測定が可能になる。

結果および考察

炭酸ガスの吸収速度から得られた k_L , k_g の実測値に酸素と炭酸ガスの拡散係数の比の平方根を乗じて推算された酸素に対する k_L , k_g の推算値は、本実験で用いた攪拌速度、ガス流量において、それぞれ次のようになった。

$$k_L = 2.0 \times 10^{-5} \quad \text{m/sec}$$

$$k_g = 4.9 \times 10^{-4} \quad \text{kmol/m}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{sec}$$

液相成分について m 次、気相成分について n 次の反応 ($A + bB \rightarrow \text{products}$) を伴うガス吸収速度は、境膜説に従うと次式で表わされる²⁷⁾。

$$N_A = a \sqrt{\frac{2}{n+1} D_A k C_B^m (C_A^*)^{n+1}} \quad (1)$$

上式は $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度が十分大きく、液本体と境膜内における濃度が等しいと見なせる場合、すなわち次の条件下で成立する。

$$3 < \sqrt{\frac{2}{n+1} D_A k C_B^m (C_A^*)^{n+1}} / k_L \ll q \quad (2)$$

ここで、 $q = C_B / b C_A^*$, C_B は $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ の濃度、 C_A^* は酸素の液に対する飽和濃度、 D_A は酸素の液相拡散係数、 k は反応速度定数である。 $C_B < 0.08 \text{ kmol/m}^3$ の場合、 $m=1, n=0, b=1$ である⁸⁾。したがって、回分液中の C_B の時間 t による変化は次式で与えられる。

$$-(dC_B/dt) = a \sqrt{2 D_A k C_B C_A^*} \quad (3)$$

ただし、

$$3 < \sqrt{2 D_A k q} / k_L \ll q \quad (4)$$

Eq.(3)において、 a は単位液量当りの界面積であり、本実験では $a = 12.1 \text{ m}^{-1}$ の、一定に保った。ガス流量が十分大きい場合、気相の組成変化は無視できるので、 C_A^* は一定と見なせる。したがって、Eq.(3)を積分すると次式が

得られる。

$$2 (\sqrt{C_{B0}} - \sqrt{C_B}) = a \sqrt{2 D_A k C_A^*} t \quad (5)$$

ここで、 C_{B0} は $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ の初濃度である。Eq.(5)は $\sqrt{C_B}$ 対 t のプロットが直線を与えることを示している。本実験データは良好な直線関係を与えたので、最小二乗法によって勾配を決定し、 k を算出した。 D_A , C_A^* の値は文献値^{28,29)}を用いた。

Eq.(4)はEq.(5)が成立する q の範囲を示している。この q の範囲を決定するため、Fig.1に示したように、 k の実測値を $q_0 (= C_{B0} / C_A^*)$ に対してプロットした。このプロットは q_0 が2500以上で k は 5.0 sec^{-1} の一定になることを示している。この事は、少なくとも $q > 2500$ であれば、Eq.(5)が成立することを示している。したがって k の測定は $2500 \leq q \leq 5000$ の範囲で行なった。この範囲では、ガス側物質移動抵抗は全抵抗の3%以下であり、無視できる。また、Fig. 1は k の値が初濃度 C_{B0} に影響されないことを示している。これは、上で仮定した速度式、すなわち $m=1, n=0$, が妥当であることを示している。

Fig. 2はNaOH濃度の k に及ぼす影響を表わしている。Jahaveri ら⁸⁾は $0.0875 \sim 0.532 \text{ kmol/m}^3$ の濃度範囲では、NaOH濃度の影響を認めていない。一方、Singh ら²⁶⁾は、 $pH=8 \sim 11$ ($\text{OH}^- = 10^{-8} \sim 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$) の範囲では、反応速度は pH の増加と共に減少することを見出している。本実験では、Fig.2に示したように、 k の値はNaOH濃度が 0.27 kmol/m^3 を超えると、 OH^- 濃度の増加と共に減少している。以上の事を総括すると、反応速度は、 pH が低い領域 ($< \text{約} 11$) では pH と共に減少し、 $pH=12.5 \sim 13.4$ の範囲では一定になり、 pH が高い領域 ($> \text{約} 13.4$) になると再び減少するものと思われる。

イオン強度の影響を検討するために、数種類の無機塩を反応液に添加した。Singh ら²⁶⁾は塩化マグネシウム、

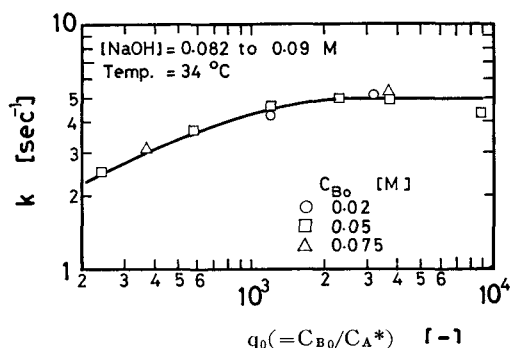


Fig. 1 Plot of rate constant, k , versus q_0 for different initial concentrations of sodium dithionite, C_{B0}

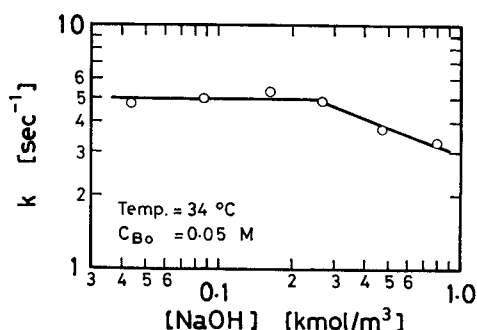


Fig. 2 Effect of sodium hydroxide concentration on rate constant, k

硫酸マグネシウムなどの反応抑制剤の影響を調べている。本研究では、非反応性無機塩である硫酸ナトリウム、塩化カリウムをアルカリ性 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 溶液に加えた。

Fig. 3 に示したように、両方の塩についてはほとんど顕著な影響は認められなかった。

k のアレニウスプロットを Fig. 4 に示した。直線の勾配から、活性化エネルギー $E = 18200 \text{ kcal/kmol}$ と求まった。本実験結果と従来の文献値との比較を Table 1 及び Fig. 4 に示した。本実験結果は、活性化エネルギーは若干異なるものの、疋田ら⁹⁾の結果とはほぼ一致している。活性化エネルギーはSinghら²⁰⁾の値と一致したが、 k の値は本研究及び疋田らの値の約1/2である。これは pH 及び測定法の差異に基づくものと思われる。我々及び疋田らは反応吸収法を用い、異相系反応として解析したのに対し、Singh らは均相反応法を用い、反応熱による反応溶液の温度変化から反応速度を解析している。

以上のことから、本反応系は $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度が少なくとも 0.08M 以下、 NaOH 濃度が $0.044 \sim 0.27\text{M}$ の範囲では、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ に関して1次、酸素に関して0次であることが確認された。さらに、Fig. 4 から温度 T による k の変化が次式で表わされることがわかった。

$$k = 4.56 \times 10^{13} \exp(-18200/RT)$$

ここで R は気体定数である。適用温度範囲は $15 \sim 34^\circ\text{C}$

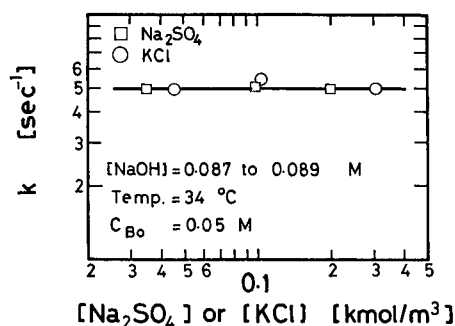


Fig. 3 Effects of sodium sulfate and potassium chloride on rate constant, k

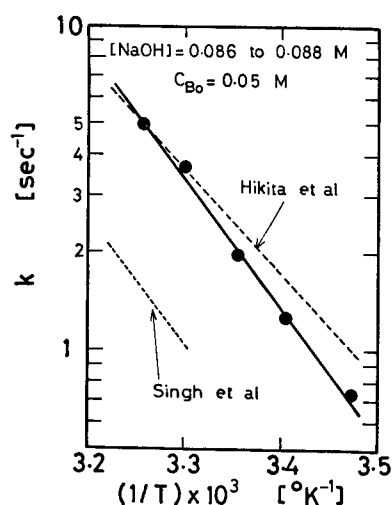


Fig. 4 Arrhenius' plot of rate constant, k である。最近、Midoux ら³⁰⁾及び Deckwer ら³¹⁾は反応転化率に及ぼすガスの滞留時間、気泡径分布の影響を検討し、比界面積の測定に反応吸収法が適用できる反応条件を明確にした。本研究結果は、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ の酸化反応が界面積の測定に利用できることを示している。

PART 2. エアーリフト型気液接触装置

実 験

実験装置

実験装置の概略図を Fig. 5 に示した。塔は全高 290 cm

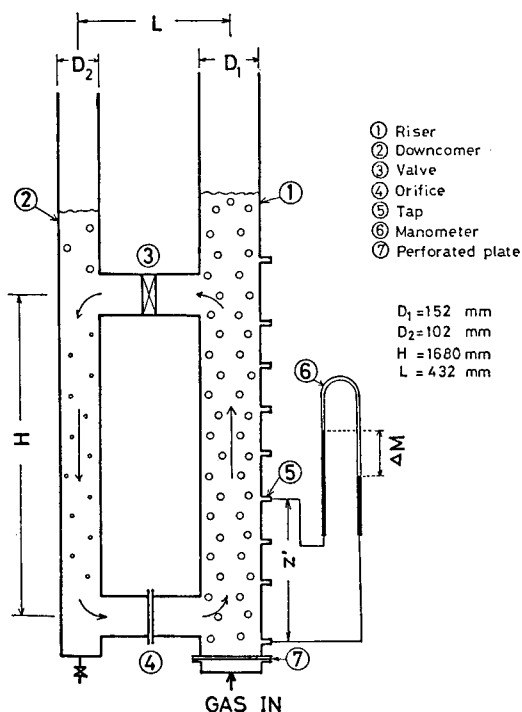


Fig. 5 Experimental set-up

Table 1 Comparison of our data with previous ones

Investigators	E [kcal/kmol]	k at 33°C [sec ⁻¹]	Temperature range [°C]	Range of pH [—]
Present work	18,200	4.6	15 to 34	12.6 to 13.4
Hikita et al ⁴⁾	14,400	4.5	15 to 35	13.7
Singh et al ⁶⁾	17,500	1.4	30 to 90	11.0
Jhaveri et al ⁸⁾	—	7.4 to 9.5	33	12.9 to 13.7

Table 2 Systems and symbols used
Systems

u _{L1} [cm/sec]	Systems A B C D E F					
0	●	■	◆	⊠	▲	▼
7.6 ± 0.4	◐	◑	◒	◓	◔	◕
15.7 ± 0.4	○	□	◇	⊞	△	▽

のバイレックスガラス製である。塔の寸法は Fig. 5 に示されている。気泡上昇管と液下降管を連結している 2 つの連結管の内径は、液下降管のそれと同一である。上部連結管には、循環量を調節するため、バタフライバルブが設置されており、下部連結管に設けた孔径 61mm のオリフィス流量計によって循環量を測定した。ガス分散板として、孔径 1.2mm、孔数 61 個の多孔板を用いた。

Table 2 に本研究に用いた液の種類を示した。実験はすべて室温で行ない、ガスとして空気を用いた。上昇管内の空塔液流速 u_{L1} は、上部連結管に設けたバルブを調節して、ガス流速と無関係に一定に保った。すべての空塔ガス流速に対して $u_{L1} \leq 15.7 \text{ cm/sec}$ であるが、バルブを全開にした場合には u_{L1} はさらに大きくなり、例えば $u_{G1} = 4.8 \text{ cm/sec}$ で $u_{L1} = 20 \text{ cm/sec}$ になった。

ガスホールドアップ

塔軸方向の静圧分布の勾配からガスホールドアップを

求めた。静圧は塔壁に取り付けたタップにマノメータを連結して測定した。ある参照点と測定点の間の静圧差 ΔM は次式で与えられる。

$$\Delta M = \varepsilon Z' \quad (6)$$

ここで Z' は参照点からの高さである。ガスホールドアップ ε は ΔM 対 Z' のプロットの勾配から得られる。上昇管の場合、静圧差に及ぼす摩擦圧損の影響は 4% 以下であったので、その影響は無視した。一方、下降管の場合には、液流速が大きく、かつガスホールドアップも小さいので、摩擦圧損の影響を無視することができない。この場合、下降管内にガスが存在しない条件下で測定した摩擦圧損を用いて圧力分布を補正した。

液循環速度および混合時間

オリフィス流量計の検定はトレーサ法によって行なった。下降管内に 2 本の電極を液の流れ方向にそってある間隔で設置し、その上流から KCl 溶液をトレーサとして注射器で瞬間的に注入する。下降管内の空塔液流速 u_{L2} は、2 本の電極に対応する応答曲線の 2 つのピーク間の時間 Δt 、及び 2 本の電極間の距離 Δl から $u_{L2} = \Delta l / \Delta t$ で算出された。

混合時間は、KCl 溶液をトレーサとして用い、溶液中の電気伝導度の経時変化を測定して求めた。上昇管内にトレーサを注射器で瞬間的に注入し、下降管内に設置したプローブによってその応答を測定し、レコーダに記録した。

写真撮影法

気泡径を写真撮影によって測定した。カメラとフラッシュは塔軸に対して互に反対の位置に設置した。カメラは塔底から約 75cm の高さにあり、焦点面は塔軸と塔壁のほぼ中間に合せた。塔壁の曲面による気泡の変形を除くため、水を満した四角な箱を塔壁に取り付けた。気泡径

の測定は、スクリーン上に実物の約3倍に拡大投影して行なった。測定した気泡個数は100～120個である。簡単化のため、個々の気泡の直径 d_i は長径と短径の算術平均値で代表させ、体表面積平均径 (Sauter 平均径) d_s を次式から算出した。

$$d_s = \frac{\sum N_i d_i^3}{\sum N_i d_i^2} \quad (7)$$

光透過法

比界面積は、気泡分散相を通過してきた光源からの透過光強度を、塔外に設置した直径12mmのCdSセルによって測定し、算出された。光源と受光セルは塔の中心軸に対して反対の位置にある。平行な入射光を得るため、光源の前に2枚のレンズを置いた。また、迷走光線の影響を避けるため、受光セルは内面を黒塗にした内径12mm、長さ300 mm の筒の一端に取り付けた。しかし、高ガス流速では、透過光強度が非常に減衰するため、迷走光線の影響が顕著になる。このような場合には、光源のスイッチを入れた時と切った時の受光強度の差を測定し、補正した。受光セルからの出力はフィルターを通して平滑化し、レコーダに記録した。光透過法による界面積 a_L はEq. (8)から算出される。

$$\ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = -k_s \left(\frac{a_L \ell_p}{4} \right) \quad (8)$$

ここで、 I 及び I_0 は透過光及び入射光の強度、 k_s は散乱係数、 ℓ_p は分散相の透過距離である。本実験の場合、 ℓ_p は上昇管の内径 D_1 に等しい。 k_s の値は0.91～1.17の範囲^(4,5)にあるが、ここでは簡単化のため、 $k_s = 1$ とした⁽⁶⁾。

反応吸収法

比界面積を反応吸収法で測定する場合、気相中の混合の程度を知る必要がある。本研究では、ヘリウムガスをトレーサーとし、パルス応答法によってガス側混合拡散係数 D_G を測定した。 D_G はモーメント法によって求めた滞留時間分布の分散から算出した⁽⁷⁾。

反応次数 m, n が $m = 1, n = 0$ となるように $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度は0.08M以下とした。Eq. (1)から反応吸収速度は次式で与えられる。

$$N_A = a_R \sqrt{2 D_A k C_B C_A^*} \quad (9)$$

Eq. (9)はEq. (4)の条件のもとで成立する。反応吸収法による界面積 a_R の測定は、液回分、ガス流通式で行なった。 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 及び NaOH の初濃度は、それぞれ0.07及

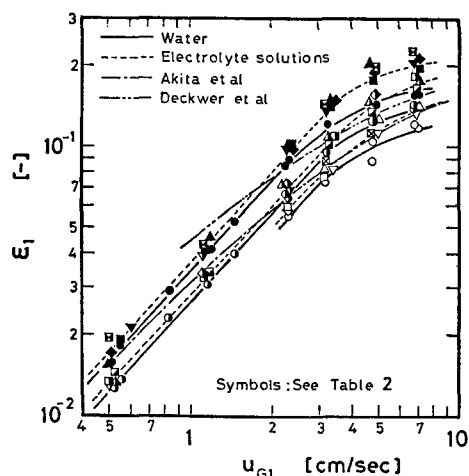


Fig. 6 Gas holdup in the riser as a function of gas velocity for three different liquid velocities
 び0.08Mにした。この条件下では、 $\sqrt{2 D_A k q} / k_L = 4 \sim 7$ 、 $q = 80 \sim 250$ となり、Eq.(4)が成立する。

結果および検討

ガスホールドアップ

(1) 上昇管内のガスホールドアップ 液流速の影響を検討するために、3種類の一定液流速のもとでガスホールドアップを測定した。 ΔM 対 Z' のプロットは、塔頂、塔底の近傍を除けば直線となったので、ガスホールドアップ ϵ はその直線の勾配から算出した。

Fig. 6に ϵ_1 対 u_{G1} のプロットを示した。 ϵ_1 は空塔ガス流速 u_{G1} が約3 cm/sec以下では、ガス流速と共に直線的に増加するが、 u_{G1} が約3 cm/secを超えると、直線関係から下方へ偏倚し始める。ガスホールドアップに及ぼす循環液流速の影響は顕著であり、液流速の増加と共にガスホールドアップは減少する。例えば、液速度が0 (回分気泡塔)と15.7 cm/secの場合のガスホールドアップは、 $u_{G1} = 3.2$ cm/secのとき、それぞれ0.125および

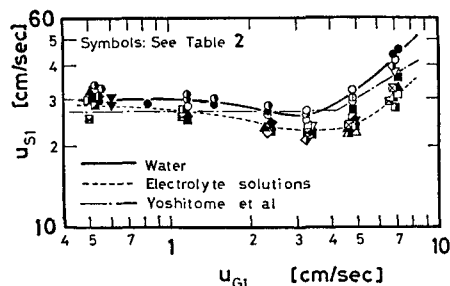


Fig. 7 Slip velocity as a function of gas velocity

0.072である。この大きい方の液流速は、その u_{g1} における液流速の最大値、すなわち、バルブを全開にした場合の値である。

電解質溶液のガスホールドアップは、水の場合のそれよりも、低ガス流速では5~10%、高ガス流速では20~30%大きい。このことは従来の研究者^{10~12)}によっても認められており、電解質溶液における気泡の合体抑制効果に基づく小気泡の影響として説明されている。反応系と非反応系のガスホールドアップの間には顕著な差は認められなかった。

Fig.6 からわかるように、大雑把に言えば、ガスホールドアップのデータは従来の気泡塔の結果^{11,12)}とほぼ一致している。秋田ら¹¹⁾は、気液向流、並流のいずれにおいても、液流速が4.4cm/secの範囲では液流速のガスホールドアップに及ぼす影響は無視できることを示している。これは、彼らの用いた液流速が気泡の上昇速度に比べて非常に小さかったためである。しかし、本実験結果からわかるように、液流速が7 cm/sec以上では液流速の影響が顕著である。

ϵ_1 のデータは、次式で定義されるスリップ速度を用いて相関できた。

$$u_{s1} = \frac{u_{g1}}{\epsilon_1} - \frac{u_{L1}}{1 - \epsilon_1} \quad (10)$$

Fig.7 に示したように、スリップ速度は液流速に無関係に、ガス流速の関数として良く相関された。 u_{s1} は、低ガス流速では30 cm/secのほぼ一定値を示すが、ガス流速の増加と共に徐々に減少し、 $u_{g1} = 3$ cm/sec 近傍で極小になる。さらにガス流速が増加すると、 u_{s1} は u_{g1} と共に急激に増加し始める。この事は、気泡流動から気泡攪乱流動へ遷移が $u_{g1} = 3$ cm/sec 近傍で始まることを示しているものと考えられる。電解質溶液の場合のスリップ速度は、小気泡が多いため、水の場合に比べて小さくなっている。

吉留ら¹³⁾は、液回分式気泡塔($u_{L1} = 0$)のスリップ速度を相関しており、この相関は他の研究者のデータとも良く一致することが示されている¹⁴⁾。Fig.7 からわかるように、本実験データは吉留らの結果と、特に水の場合には、良く一致している。

(2) 下降管内のガスホールドアップ 上昇管内の一部の気泡は上部連結管を通して、液の流れと共に下降管内に流入する。これらの気泡のうち、大きな上昇速度をもつ大気泡は、下降管の頂部から液と分離して塔外に排出され、一方、下降管内の液流下速度よりも小さな上昇速度をもつ小気泡は、下降管の中を下降する。それ故に、下降管の気泡-液間のスリップ速度は次式で表わされる。

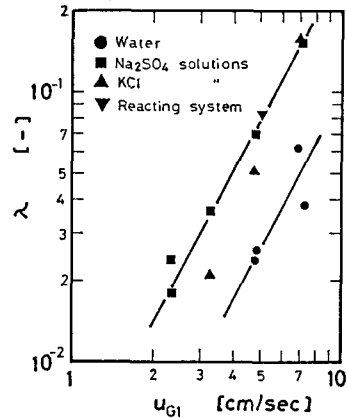


Fig. 8 Plot of λ versus superficial gas velocity for full opened valve

$$u_{s2} = \frac{u_{L2}}{1 - \epsilon_2} - \frac{u_{g2}}{\epsilon_2} \quad (11)$$

一方、下降管における空塔ガス流速は、流入ガス流量に比例するとすると、次式で表わされる。

$$u_{g2} = \alpha u_{L2} \left(\frac{\epsilon_1}{1 - \epsilon_1} \right) \quad (12)$$

ここで、 α は上部連結管から下降管に流入した全気泡体積に対する下降管を流下している気泡の割合である。したがって、 $\epsilon_2 \ll 1$ とすれば、 ϵ_2 は次式で表わされる。

$$\epsilon_2 = \lambda \left(\frac{\epsilon_1}{1 - \epsilon_1} \right) \quad (13)$$

ここで、 $\lambda = \alpha / \{1 - (u_{s2}/u_{L2})\}$ であり、液流速、気泡径分布、連結管の形状、寸法などによって変化する。バルブが全開でない場合には、バルブの背後で気泡の分裂が起るため、バルブの ϵ_2 に及ぼす影響は非常に複雑になる。ここでは、このような気泡の分裂が起きない

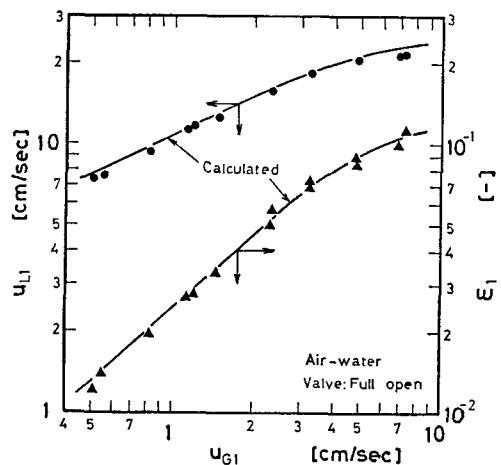


Fig. 9 Comparison of observed and calculated values of u_{L1} and ϵ_1 for full opened valve

バルブ全開の場合について検討した。Fig. 8に、 ϵ_1 , ϵ_2 の実測値を用いてEq. (13)から求めた λ の値を u_{a1} に対してプロットした。電解質溶液に対する λ の値は、小気泡が多いため、水の場合よりも大きくなっている。

本実験で得られた ϵ_2/ϵ_1 の最大値は、水の場合で0.069、電解質溶液の場合で0.18である。すなわち、本実験範囲では、下降管内の気泡体積の、塔内の全気泡体積（上昇管+下降管）に対する割合は、電解質溶液においてさえ7.4%以下である。したがって、下降管内の気泡が塔全体の特性に及ぼす影響は比較的小さいので、後で述べる写真法、光透過法による比界面積の測定は上昇管についてのみ行なった。

液循環速度

上昇管と下降管の間の静圧差 ΔP_s が液循環の推進力である。定常状態では、この静圧差は液循環における圧損の和に等しい。すなわち、次式が成立する。

$$\Delta P_s = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_v + \Delta P_o \quad (14)$$

ここで、

$$\Delta P_s = (\epsilon_1 - \epsilon_2) H \quad (15)$$

$$\Delta P_1 = 4f_1 (H/D_1) (u_{L1}^2/2g) \quad (16)$$

$$\Delta P_2 = 4f_2 (H/D_2) (u_{L2}^2/2g) \quad (17)$$

$$\Delta P_3 = \Delta P_4 = 4f_2 (L_e/D_o) (u_{L2}^2/2g) \quad (18)$$

$$\Delta P_o = \beta (1/c^2) (u_{L0}^2/2g) \quad (19)$$

$\Delta P_1, \Delta P_2$ はそれぞれ上昇管および下降管における摩擦圧損、 $\Delta P_3, \Delta P_4$ はそれぞれ上部および下部連結管における圧損、 ΔP_v はバルブによる圧損、 ΔP_o はオリフィスによる永久圧損である。

簡単化のため、 $\Delta P_3, \Delta P_4$ は180°ベンドの圧損として扱った。すなわち、 $L_e/D_o = 75$ 。 β の値は D_o/D_2 の値によって変化する¹⁵⁾、 $D_o/D_2 = 0.60$ の場合は $\beta = 0.64$ である。流出係数 c はトレーサ法で測定した($c = 0.72$)。摩擦係数 f はBlasiusの式から求めた。

バルブ全開の場合、 $\Delta P_v \approx 0$ 、 $\epsilon_2 \approx 0$ である。この場合、ある任意の u_{a1} に対する ϵ_1 及び u_{L1} の値は、Fig. 7に示した u_{a1} の値を用い、Eqs. (10), (14)を連立して解くと得られる。Fig. 9に示したように、このようにして求

めた u_{L1} 及び ϵ_1 の計算値は実測値と良く一致した。

液相の混合時間

液は塔内を循環しているので、パルス入力に対する応答曲線は2～3個のピークをもつ。第1ピークと第2ピークの時間間隔は、液が塔内を一循環するのに要する時間と考えて、これを循環時間 T_c と定義した。 T_c の測定値をTable 3に示した。この値は、液循環流路の全長を液流速で割って求めた計算値と20%以内で一致した。

混合時間 T_m は、トレーサ濃度がその最終平衡濃度の $\pm 1\%$ 以内に収束するのに要する時間と定義した。液循環時間及び混合時間は、いずれも液流速に比例しており $T_c/T_m = 2 \sim 3$ のはぼ一定値になっていることがTable 3からわかる。

ガス側混合領域

混合拡散モデルに基づくと、気相の軸方向の濃度分布は次の微分方程式で表わされる¹⁷⁾。

$$\frac{1}{Bo} \frac{d}{dx} \left(\frac{P}{P_o} \frac{dY}{dx} \right) - (1 - y_o) \frac{d}{dx} \left\{ \frac{P}{P_o} \left(\frac{Y}{1 - y_o Y} \right) \right\} - (St^*) (KRT) \sqrt{\left(\frac{P}{P_o} \right)} Y = 0 \quad (20)$$

ここで、 $Bo = u_{a1} z_t / D_{a1} \epsilon_1$ (Bodenstein 数)、 $St^* = Ek_L a_{R1} z_t / u_{a1}$ (修正 Stanton 数)、 $E = \sqrt{2D_A k q} / k_L$ (反応係数)である。

原理的には、比界面積は次のようにして求めることができる。最初に、Eq. (20)を適当な境界条件のもとで解く¹⁷⁾。次に試行錯誤法によって St^* を決める。すなわち、出口ガス組成の計算値と実測値が一致するまで、 St^* を変えて計算を繰り返す。 a_{R1} は、この St^* の値から容易に算出

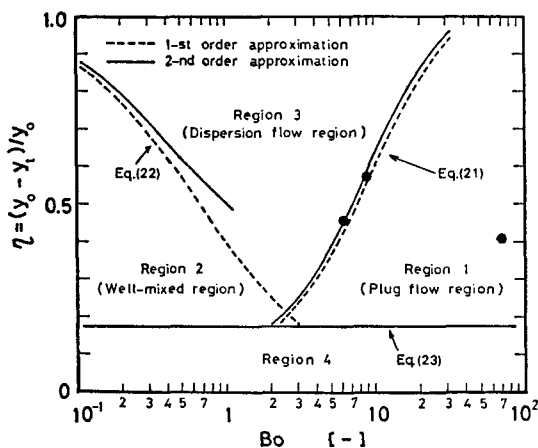


Fig. 10 Chart of mixing region in gas phase

Table 3 Mixing and circulating times in liquid phase (at $u_{a1} = 4.8$ cm/sec)

u_{L1}	[cm/sec]	10.9	16.0	20.1
T_c	[sec]	30.0	19.6	16.1
T_m	[sec]	74.7	51.9	43.5
T_m/T_c	[-]	2.49	2.65	2.70

Table 4 Dispersion coefficient in gas phase for
 $u_{L1}=0$

u_{G1} [cm/sec]	0.90	5.3	8.1
D_{G1} [cm ² /sec]	80	790	1630

される。

次のように押し流れ領域、完全混合領域をそれぞれ定義する。

押し流れ領域、

$$(St^* - St_p^*) / St_p^* \leq 0.05 \quad (21)$$

完全混合領域、

$$(St_w^* - St^*) / St_w^* \leq 0.05 \quad (22)$$

ここで、 St_p^* 及び St_w^* はそれぞれ押し流れ、及び完全混合に対する Stanton 数である。押し流れと完全混合の両極限の中間が混合拡散流れ領域である。しかし、Eq. (20) は非線型方程式であるので、一般的な解析解は得られない。

本実験条件下では、近似解が得られる。すなわち、吸収されるガスの量が少ないので、全ガス流量は一定と見なすことができ、また、液の静圧の吸収率に及ぼす影響は、液高が200cm以内では5%以下である¹⁷⁾ので、 $P/P_0 = 1$ と見なせる。この条件下では、 Bo 数の大きい場合と小さい場合について、摂動法による近似解が求められている¹⁸⁾。この近似解を用い、Eqs. (21), (22) から求めた各混合領域の境界を Fig. 10 に示した。破線は1次近似式、実線は2次近似式から得られた境界である。完全混合領域の真の境界は両者の中間にあり、押し流れ領域のそれは2次近似式からの境界よりさらに数%小さい¹⁸⁾。

上の近似解の精度は、吸収率が低くなる程低くなるので、その範囲の境界を決めることは困難である。そこで、新たに次の領域を定義する。

$$(St_w^* - St_p^*) / St_p^* \leq 0.05 \quad (23)$$

幸運にも、押し流れと完全混合の両極限においては Eq. (20) の解析解が得られる。この解析解を用いて Eq. (23) から求めた境界を Fig. 10 に示した。

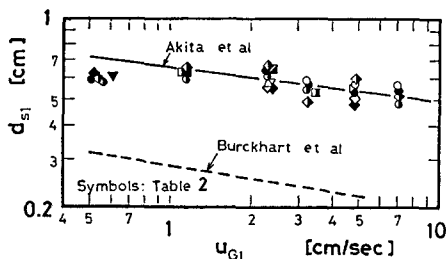


Fig. 11 Sauter mean diameter of bubbles by photographic method

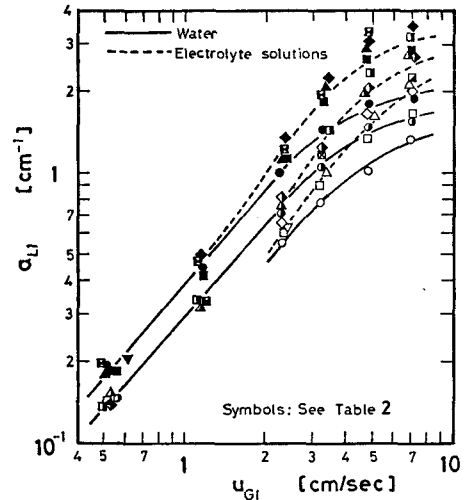


Fig. 12 Interfacial area by light transmission method

写真法による気泡径、比界面積

比界面積は気泡の Sauter 平均径 d_{s1} を用いて、次式から算出できる。

$$a_{p1} = 6 \epsilon_1 / d_{s1} \quad (24)$$

Fig. 11 に示したように、平均気泡径は、 $u_{G1} < 1$ cm/sec を除いて、ガス流速の増加と共に減少する傾向がある。 $u_{G1} = 0.5 \sim 1.0$ cm/sec の範囲では、平均気泡径はほぼ一定である。液流速、液のイオン強度、反応の有無などの d_{s1} に及ぼす影響はほとんど認められない。電解質溶液の場合には小気泡が数多く存在したが、その影響は顕著ではなかった。この事は、全気泡容積に対する小気泡の占める割合がわずかであることを示すものと思われる。

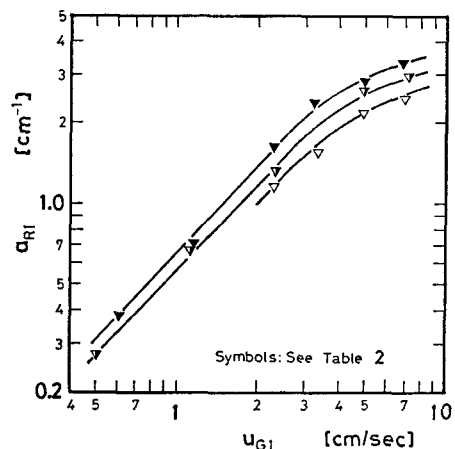


Fig. 13 Interfacial area by chemical absorption method

Fig.11 には、従来の研究者による気泡塔の結果^{19,20)}も併せて示してある。Burckhart ら¹⁹⁾の気泡塔の全高は723cmであり、秋田ら²⁰⁾(250cm)及び本実験(290cm)の約2.5～3倍高い。空塔ガス流速1 cm/sec 以下を除けば本実験結果は秋田らの結果と良く一致している。一方、Burckhart らの気泡径は、 u_{G1} に対する依存性は本実験結果と類似しているが、値は本実験のほぼ1/2である。秋田ら²⁰⁾は、ガス分散板の形状、種類の平均気泡径に及ぼす影響は無視できることを示している。したがって、Burckhart らと秋田ら及び本実験による気泡径の不一致は、主に用いられた気泡塔の高さの差に基づくものと考えられる。

光透過法による界面積

Fig. 12 からわかるように、光透過法によって測定された界面積 a_{L1} のガス流速、液流速に対する依存性は、上昇管内のガスホールドアップ (Fig. 6) の挙動と類似している。これは、先に述べたように、平均気泡径が気液の流速によってあまり変化しなかったためである。

電解質溶液の a_{L1} に及ぼす影響も、上昇管ガスホールドアップの場合と同様であり、反応系の場合にも顕著な影響は認められなかった。

反応吸収法による界面積

(1) 液側混合 液相の軸方向の混合程度を調べるために、いくつかの実験において、液の試料を4ヶ所すなわち上昇管の上部、中央部、下部、および下降管の中央部から採取し、それぞれの $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度を測定した。その結果、採取個所による濃度の変化は認められなかったため、液側完全混合と見なした。

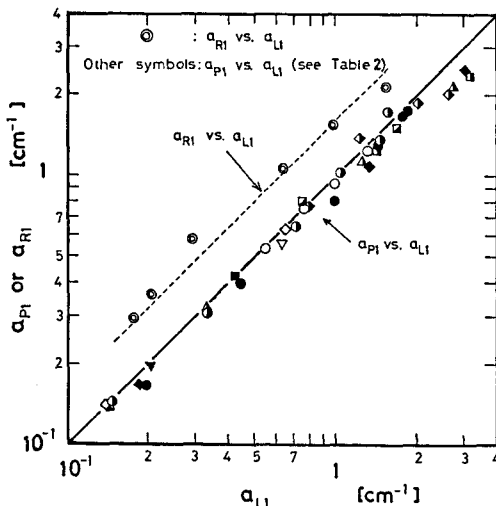


Fig.14 Comparison of interfacial area by three methods

(2) ガス側混合 Table 4 に $u_{L1} = 0$ の場合の軸方向混合拡散係数 D_{G1} を示した。実測値は Towell らの値²¹⁾よりも2～4倍大きい。Fig.10に Bo の実測値を押し出し流れと仮定して算出した吸収率 η に対してプロットした。この場合、この η の計算値は同一条件下における最大値を与えているので、このプロットが押し出し流れ領域にあれば、押し出し流れと仮定できる十分条件になる。したがって Fig. 10 から、本実験条件下では押し出し流れの仮定が適用できることがわかる。

(3) 界面積 液側完全混合、ガス側押し出し流れの場合、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 濃度の回分液中での濃度変化は次式で与えられる。

$$\ln \left[\frac{4 - (St_0^*) (KRT) \sqrt{C_B/C_{B0}}}{4 - (St_0^*) (KRT)} \right] = 0.125 \left(\frac{1}{1 - \epsilon_1} \right) \left(\frac{V_{L1}}{V_{Lr}} \right) \left(\frac{C_{A0}^*}{C_{B0}} \right) (KRT) \times (St_0^*)^2 \left(\frac{a_{G1}}{z_t} \right) t \quad (25)$$

上式の右辺が1よりも十分小さければ、Eq. (25)は次のように簡単化される。

$$2 (\sqrt{C_{B0}} - \sqrt{C_B}) = \left(\frac{1}{1 - \epsilon_1} \right) \left(\frac{V_{L1}}{V_{Lr}} \right) (St_0^*) \times \left(\frac{C_{A0}^*}{\sqrt{C_{B0}}} \right) \left\{ \frac{4 - (St_0^*) (KRT)}{4} \right\} \left(\frac{a_{G1}}{z_t} \right) t \quad (26)$$

ここで、 V_{Lr} は反応溶液の有効体積であり、 $u_{L1} = 0$ の場合には $V_{Lr} = V_{L1}$ 、 $u_{L1} \neq 0$ の場合には $V_{Lr} = V_{L1} + V_{L2}$ である。 V_{L1}, V_{L2} はそれぞれ上昇管および下降管内の反応溶液の体積である。

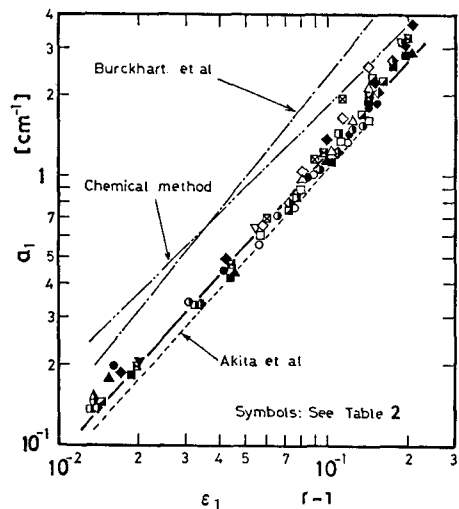


Fig. 15 Correlation for specific interfacial area

Eq.(26)に従って $\sqrt{C_B}$ 対 t をプロットしたところ直線関係が得られたので、直線の勾配から St^* を求め、 a_{R1} の値を算出した。Fig. 13に得られた a_{R1} の値を示した。Fig. 12とFig. 13を比較してわかるように、反応吸収法による界面積は、光透過法の場合と比較すると、 u_{a1} および u_{L1} に対する依存性は一致しているが、値は光透過法の場合よりも大きい。

各測定法による界面積の比較

Fig. 14に3つの測定法による界面積の比較を示した。光透過法による界面積と写真法のそれとを比較すると、全体として前者のほうがわずかに大きい、ほぼ一致している。しかし、 a_{L1} が 2 cm^{-1} を超えると、 a_{F1} と a_{L1} の間の直線関係はもはや成立しない。これは、Eq. (8)の成立条件を示しており、本結果はEq. (8)が $a_L l_p < 30$ で成立することを示す。従来の研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾によると測定可能な $a_L l_p$ の上限は25~26.5である。

また Fig.14 は、反応吸収法による界面積が写真法、光透過法による値よりも約1.6倍大きいことを示している。この原因として、次のような事が考えられる。第1に、写真による観察によると、気泡は球形ではなく、特に比界面積に大きく影響する大気泡ほど不規則な形をしている。Landau ら⁽²²⁾は、同一投影面積を有する球形気泡の周辺長とその投影気泡の周辺長の比を気泡の形状係数と定義し、その実測値を与えている。それによると、形状係数は、空塔ガス流速が 6.5 cm/sec 及び 2.3 cm/sec において、それぞれ1.00~2.18及び1.06~1.92である。したがって、反応吸収法による界面積は、球形気泡を仮定した光透過法および写真法による界面積よりも大きな値を与えるものと思われる。第2に、ガス流量が大きい場合、比較的少数の気泡が下降管内に存在し、これらが反応に関与している。したがって、反応吸収法は、他の2つの方法に比べて若干界面積を過大評価する。しかし、これによる過大評価は、すでに述べたように、約20%以下であり、この場合の差60%を説明する程大きくはない。第3に、上昇管頂部での端効果による反応吸収速度の増大が考えられる。この部分では、高ガスホールドアップ、気泡の崩壊などによって、塔中央部よりも物質移動速度が大きくなっていると考えられる。

次に、以上3つの方法の長所、短所について述べる。光透過法は他の2つの方法に比べて簡単かつ迅速であり多くのデータを取る場合に便利である。しかし、この方法は界面積がある値以上（本実験では 2 cm^{-1} ）になると適用できない。写真法は平均気泡径以外にも気泡分径分布係数などのデータが得られるが、その解析には時間がかかり、煩雑である。反応吸収法は実際に物質移動に関

与する有効面積を与える。すなわち、もはや物質移動が起らない反応ガスを消費し尽した気泡（写真法、光透過法では検知されうる）は a_R の中には含まれていない。しかし、反応吸収法は反応速度、気液両相の混合に関する知識が必要であり、解析が複雑である。さらに、この方法が適用できる濃度範囲が限られている。したがって、気液接触装置の一般的な相関式を得るには適していない。

界面積の相関

Sauter 平均気泡径は、本研究で用いた気液流速、系の物性にはほとんど無関係であったので、界面積はガスホールドアップのみの関数として相関できるものと思われる。Fig. 15に a_{L1} 対 ϵ_1 のプロットを示した。このプロットから次式を得た。

$$a_{L1} = 16.3\epsilon_1^{1.13} \quad (27)$$

Fig.15 には反応吸収法による a_{R1} の挙動も併せて示した。両者の差は、ガスホールドアップが大きくなる程小さくなる。比較のため、従来の研究者のデータの相関を示した。本実験結果は秋田ら⁽²⁰⁾の結果と良く一致しているが、本実験の方が約15%大きい。Burckhart ら⁽¹⁹⁾の比界面積は光透過法による本実験値の約1.5~2 倍である。これは、Fig.11 に示したように、彼らの気泡径が本実験値よりも小さいためである。

結 言

ガスホールドアップはスリップ速度を用いることによって相関でき、その結果は気泡塔の結果とよく一致した。イオン強度 Γ が $0 \leq \Gamma \leq 1.0$ の範囲では、イオン強度はガスホールドアップに影響を及ぼすことが認められた。液循環速度、液相混合時間の測定結果は、液混合が重要なプロセス変数となるような気液接触操作においては、エアリフト型装置の方が従来の気泡塔よりも有利である事を示している。

実測したガス側混合拡散係数を用いて混合拡散モデルから計算した結果から、エアリフト型装置のガス流れは押し出し流れと見なせる事がわかった。

物理的方法（光透過法、写真法）による界面積と反応吸収法による界面積の間には顕著な差異が認められた。光透過法と写真法による結果は $0.14 \leq a \leq 2.0\text{ cm}^{-1}$ の範囲ではほぼ一致した。しかし、反応吸収法による値は、これら物理的方法による値よりも約60%大きい。界面積はその測定法のいかにかわらず、ガスホールドアップの関数として良好に相関できた。下降管ガスホールドアップの塔全体のそれに対する割合は小さい事がわかつ

た。

〔付 記〕

本研究の内容は Canadian Journal of Chemical Engineering (印刷中) 及び Chemical Engineering Science (投稿) に掲載される予定である。

本研究を行う留学の機会を与えて下さいました大阪大学の大竹伝雄教授, ならびに田口久治教授, また貴重な助言を戴きました菅健一助教授に深謝いたします。

NOMENCLATURE

a specific interfacial area based on dispersion volume, cm^{-1}
 Bo Bodenstein number, $u_{G1}z_t/D_{G1}\epsilon_1$, -
 C_A^* interfacial concentration of oxygen, gmol/ℓ
 C_{A0}^* interfacial concentration at the bottom of the column, gmol/ℓ
 C_B concentration of sodium dithionite, gmol/ℓ
 C_{B0} initial concentration of sodium dithionite, gmol/ℓ
 c orifice discharge coefficient, -
 D diameter, cm
 D_A liquid-phase diffusivity of oxygen, cm^2/s
 D_e equivalent diameter, cm
 D_G gas-phase axial dispersion coefficient, cm^2/s
 d_i bubble diameter, cm
 d_s Sauter mean bubble diameter, cm
 E chemical reaction enhancement factor, $[\epsilon_1 2D_A k C_B / C_A^*]^{0.5} / k_L$, -
 E_0 enhancement factor, $[\epsilon_1 2D_A k C_{B0} / C_{A0}^*]^{0.5} / k_L$, -
 f friction factor, -
 g gravitational acceleration, cm/s^2
 H distance between upper and lower connection tubes, cm
 I intensity of light transmitted through the dispersion, lx
 I_0 intensity of incident light, lx
 K Henry's constant, $\text{gmol}/\ell \cdot \text{atm}$
 k reaction rate constant, s^{-1}
 k_L liquid-phase mass transfer coefficient, cm/s
 k_s scattering coefficient, -
 L distance between riser and downcomer (see Fig. 1), cm
 L_e equivalent length, cm
 l_p optical path length through the dispersion, cm
 ΔM manometer pressure differential, cm
 N_A oxygen absorption rate, $\text{gmol}/\ell \cdot \text{s}$

N_i number of bubbles in i -th class
 ΔP pressure loss, cm
 ΔP_s static pressure difference between riser and downcomer, cm
 ΔP_v pressure loss due to valve, cm
 P static pressure in the column at height z , cm
 P_0 static pressure at the bottom of the column, cm
 q ratio of concentration of gas and liquid phase reactants, C_B/C_A^*
 R gas constant, $\text{atm} \cdot \ell / \text{gmol} \cdot \text{K}$, or $\text{cal}/\text{gmol} \cdot \text{K}$
 St^* modified Stanton number, $Ek_L az_t / u_{G1}$
 St_o^* modified Stanton number, $E_o k_L az_t / \bar{u}_{G1}$
 T absolute temperature, K
 T_c circulation time, s
 T_m liquid-phase mixing time, s
 t time, s
 u_G superficial gas velocity, cm/s
 $\bar{u}_G$ mean superficial gas velocity at the bottom and the top of the column, cm/s
 u_L superficial liquid velocity, cm/s
 u_s slip velocity between bubbles and liquid, cm/s
 x dimensionless height, z/z_t
 y mole fraction of oxygen in gas phase
 y_o mole fraction in entering gas
 y_t mole fraction in exit gas
 Y dimensionless mole fraction, y/y_o
 z height from the bottom of column, cm
 z' height from the reference point (see Fig. 1), cm
 z_t total height of gas-liquid dispersion
 α ratio of volume of dispersed gas flowing downward in the downcomer to the total volume of dispersed gas entering the downcomer, -
 β coefficient defined by Eq. (16), -
 Γ ionic strength, gmol/ℓ
 ϵ gas hold-up, -
 η gas-phase solute conversion, $(y_o - y_t)/y_o$, -
 λ coefficient defined by Eq. (10), -

Subscripts

P photographic method
 p plug flow
 w well-mixed flow
 L light transmission method
 R chemical reaction method
 o orifice

- 1 riser
- 2 downcomer
- 3 upper connection tube
- 4 lower connection tube

REFERENCES

- [1] Kanazawa, M., Single-Cell Protein II, (Tannenbaum, S.R. and Wang, D.I.C., ed.) 438 MIT Press, Cambridge, Mass. 1975.
- [2] Hills, J.H., Chem. Eng. J. 1976 **12** 89.
- [3] Blakebrough, N., McManamey, W.J. and Tart, K.R., Trans. Instn. Chem. Engrs 1978 **56** 127.
- [4] Calderbank, P.H., Trans. Instn. Chem. Engrs 1958 **36** 443.
- [5] Lockett, M.J. and Safekourdi, A.A., AIChE J. 1977 **23** 395.
- [6] McLaughlin, C.M. and Rushton, J.H., AIChE J. 1973 **19** 817.
- [7] Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, 2nd Edn. John Wiley & Sons, Inc. New York 1972.
- [8] Jhaveri, A.S. and Sharma, M.M., Chem. Eng. Sci. 1968 **23** 1.
- [9] Hikita, H., Ishikawa, H., Sakamoto, N. and Esaka, N., Chem. Eng. Sci. 1978 **33** 392.
- [10] Yoshida, F. and Akita, K., AIChE J. 1965 **11** 9.
- [11] Akita, K. and Yoshida, F., Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Develop. 1973 **12** 76.
- [12] Deckwer, W.-D., Burckhart, R. and Zoll, G., Chem. Eng. Sci. 1974 **29** 2177.
- [13] Yoshitome, H. and Shirai, T., J. Chem. Eng. Japan 1970 **3** 29.
- [14] Kawagoe, M., Inoue, T., Nakao, K. and Otake, T., Kagaku Kōgaku 1974 **38** 733; *idem*, Int. Chem. Eng. 1976 **16** 176.
- [15] Perry, R.H. and Chilton, C.H., Chemical Engineers' Handbook, 5th Edn. McGraw-Hill, Inc. New York 1973.
- [16] Kawagoe, M. and Robinson C.W., Can. J. Chem. Eng. (submitted) .
- [17] Deckwer, W.-D., Int. Chem. Eng. 1979 **19** 21.
- [18] Burghardt, A. and Zaleski, T., Chem. Eng. Sci. 1968 **23** 575.
- [19] Burckhart, R. and Deckwer, W.-D., Chem. Eng. Sci. 1975 **30** 351.
- [20] Akita, K. and Yoshida, F., Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Develop. 1974 **13** 84.
- [21] Towell, G.D. and Ackerman, G.H., Proc. 5th Eur. 2nd Int. Symp. Chem. React. Engng, Amsterdam 1972.
- [22] Landau, J., Boyle, J., Gomma, H.G. and Al-Taweel, A.M., Can. J. Chem. Eng. 1977 **55** 13.
- [23] Jhaveri, A.S. and Sharma M.M., Chem. Eng. Sci. 1968 **23** 669.
- [24] Joshi, J.B. and Sharma, M.M., Can. J. Chem. Eng. 1977 **55** 683.
- [25] Fukushima, S., Yamaguchi, Y., Tsuji, E. and Mezaki, S., J. Chem. Eng. Japan 1978 **11** 283.
- [26] Singh, D.K., Sharma, R.N. and Srivastava, R. D., AIChE J. 1978 **24** 232.
- [27] Hikita, H. and Asai, S., Kagaku Kōgaku 1963 **27** 823.
- [28] The Society of Chemical Engineers of Japan, "Kagaku Kōgaku Binrun", 4-th ed., p-84, Maruzen Ltd., Tokyo 1978.
- [29] Van Krevelen, D.W. and Hoftijzer, P.J., Chem. Ind. 21-st Congress, Int. Chem. Ind. 1948 168.
- [30] Midoux, N., Laurent, A. and Charpentier, J.C., AIChE J. 1980 **26** 157.
- [31] Schumpe, A. and Deckwer, W.-D., Chem. Eng. Sci. 1980 **35** 2221.

古代染織技術に関する研究

第1報 古代染色材料について

山 本 績

Study on Ancient Dyeing and Weaving Technique

Isao YAMAMOTO

1. On the ancient dyeing materials

The textiles of the Shosoin, made about thousand years ago, have been preserved pretty well. To disclose their secret, the materials of dyeing and weaving of the ancient textiles are scientifically analysed.

Sappan wood, one of the well-known plant pigments, has been used in red dyeing. As the preliminary work, the colours of the extract of Sappan wood, changed by adding acid or base and metallic ions, are investigated by spectrophotometer.

1. 緒 言

法隆寺（607年建立）及び正倉院（756年建立）に遺存されている日本上代の染織物はいずれもきわめて巧緻な織物組織からなり、またその色彩はきわめて鮮明でかつ堅牢であって、千年以上の星霜を経ていながらもかわらず往時を彷彿させる絢爛華麗さを失っていない。

これらの染織物の中には外国由来のものもあるが、多くは7世紀から8世紀にかけてシナ大陸及び朝鮮半島から導入された染織技術者によって育成されてわが国の独特の染織技術となったものにもとづく製品も少なくない。

これらの染織物は現代の機械化により量産されたものに比しその織技の精巧さとその染色の卓越さにおいてはむしろ優れたものがあり、千年以上の昔の一般の産業技術の水準から考えるとまことに驚嘆に値する逸品である。

このような日本上代の卓越した染織技術の秘密を解明するための基礎的資料をうるため本研究を行なった。

もっとも前述の遺物を除いては当時の染織技術に関する手がかりは殆どなく、文献としてはわずかに10世紀前半に制定された延喜式¹⁾（972年）に記述されている染織物に関する規則の類のみであろう。

6世紀以前においては文字を持たなかったわが国には

わずかに口伝を残してはいたが記述の文献はなく、ただ当時交渉のあった大陸及び半島に残された若干の外国文献によってその時代の事象を推測するより他はない。

古代の日本とシナ大陸との交渉は第1期として238年の卑弥呼から266年の壹與までの間に魏及び晉に対して行われ、その後中断があつていわゆる倭の五王時代の第2期では413年の讃から478年の武までの間に宋に対し、ついで第3期として607年推古朝から894年宇多朝までの間隋及び唐に対して行われてきた。

また朝鮮半島に対しては369年に任那政府を樹立してから663年白村江の敗戦によって撤退するまでの間きわめて密接な交渉をもち、この間大陸及び半島からわが国に移住した染織技術者はきわめて多数にのぼったといわれている。

わが国最初の文献である古事記(712年)、日本書紀(720年)は主として口伝にもとづき、いくつかの外国文献を参照して編集されたものといわれるが、せいぜい百年前の推古朝以降の記述の部分はとまかく編集時から数百年以前の倭の五王時代及びそれ以前の部分の記述については真偽は定かではないとされている。

したがってこれらの文献にみられる染織技術に関する記述はたかだか7世紀以降についてのみ史実とみなしうるものと思われる。

「式」とは国としての基本法令である律令に関する施行規則的な性格をもつ詳細規定であつて、飛鳥、白鳳、

天平、平安の時代にわたって制定されたといわれる近江令、飛鳥浄御原令(689年)、大宝律令(710年)、養老律令(718年)等の律令を補完するものとして制定された弘仁式(820年)、貞観式(871年)及び延喜式(972年)がある。

現在ほぼ完全形で残されている延喜式は弘仁式、貞観式を集大成して律令時代の最終の完成した体系を形成しているもので、養老律令以前のすべての律令に対して適用される内容をもっており、7世紀から10世紀前半にかけてのわが国の政治経済の実情を知るためのきわめて有力な資料とされている。

前述の古事記や日本書紀の記述は少なくとも古代の産業技術に関しては延喜式の内容とほぼ同時代のものと考えられるので、技術文献としては延喜式はわが国最古のものであり、唯一のものと考えてよいと思われる。

また延喜式とはほぼ同時代に編集された倭名類聚鈔²⁾(937年)も技術文献として有用である。

本研究ではわが国古代(飛鳥時代から平安時代初期まで)の染織技術を記述した唯一の技術文献とされている延喜式を主な手がかりとしてその秘密を解明するための解析を試みた。

もっとも8世紀末に編集されたといわれる万葉集の中にも染織技術に関する記述がいくつか見られる。

巻12の問答歌(3101)

紫者灰指物曾石榴市之八十街糸相見哉誰

(紫は灰さすものぞつばいちのやそのちまたにあへる兄や誰)

延喜式巻14縫殿寮の「深紫綾一疋、紫草卅斤、酢二升、灰二石、薪三百六十斤」に見るように紫染めは紫草(*Lithospermum erythrorhizon*)の根を用い、灰としてはわら灰の他に椿(*Camellia*)の灰をも用いたと思われる。このような染色技術がその当時ある程度知られていたようで「灰」は「椿の灰」であるとし、その「つばき」という音から「石榴市(つばいち)」「(現在奈良県桜井市)」を連想させる伏線として用いたものであろう。

万葉集の編集の時期は延喜式の制定より早い時期であるといわれているが、技術内容については延喜式の記述と同時代のものと考えてよいであろう。

本報では古代染織技術解明の第一歩として古代の染織物材料の総括を試み、その予備的実験の一つとして当時唯一の高級輸入染料であった蘇芳についてその抽出液の色に対するpH、金属イオンの種類、濃度等の効果について検討した。

2. 古代織物

わが国古代の織物については6世紀以前の遺物は殆ど見当らず、わずかに外国文献たとえば「魏志倭人伝」³⁾

(238年～266年の間)の記述によって推測するより他はない。

「禾稻(いね)、紵麻(からむし)を種え、蚕桑緝績し、細紵、縑(かとり)、縣(わた)を出す」、また「倭錦(やまとにしき)、絳青縑(こうせいけん)、縣衣(めんい)を上献し、異文雜錦(いもんざつきん)を貢ず」等の記述から植物繊維としての麻、動物性繊維としての絹が生産され使用されたことが推測される。

この卑弥呼、壹與の時代から次の大陸との交渉が再開された倭の五王の時代との間に百年以上の空白があり、卑弥呼らの政治社会と倭の五王のそれとのつながりも詳らかではない。

四世紀後半から朝鮮半島との交渉が行われたことは明らかであるが、この交渉の主体が卑弥呼の後裔であるかは明らかではないが、倭の五王とは関連があると思われる。

倭の五王以降大陸及び半島から多くの織物及びその織技術が導入されてわが国独特の技術として育ち、延喜式にみるような織物をつくるようになったのであろう。しかし、卑弥呼の時代の織物及びその織技術と前記の5世紀以降のそれらの関連は明らかではない。

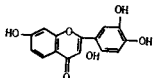
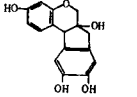
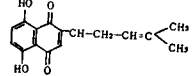
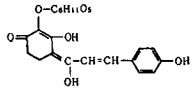
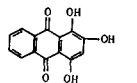
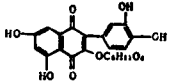
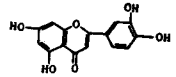
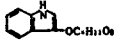
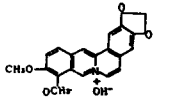
延喜式巻14縫殿寮、雑染用度(くさぐさのそめようど)にみる古代織物(帛(きぬ)、綾(あや)、錦(にしき)、羅(うすきぬ)、紗(うすきぬ)、絁(あしきぬ)、綿紬(わたつむぎ)、絲紬(いとつむぎ)、貨布(さよみぬの)、細布(さいふ)、葛布(くずぬの)、栲布(たくぬの))及び織物材料(苧麻(からむし)、大麻(あさ)、葛(くず)、穀(かじのき))について分類すると表1のようになる。

現在の織物組織からみると、表1の織物組織の他に絹子織をあげねばならないが、古代にはこのような織物

表1 古代織物一覧

織物材料		織物組織		紋 織	
		平 織		あや織	からみ織
動物性 織 維	絹	細 絹	帛	綾 錦	羅 紗
		太 絹	絁		
	紬		綿 紬 絲 紬		
植物性 織 維	草 皮	苧 麻 大 麻	貨 布 細 布		
	樹 皮	葛 穀	葛 布 栲 布		

表 2 古 代 染 料 植 物

名 称	よ み 〔現代名〕	分 類	学 名	染 料 成 分					産 地	医薬としての利用
				部材	有効成分	化 学 式 (構造式)	色	媒染剤 (呈色)		
櫨 (黄櫨)	は じ 〔はぜのき〕	ウルシ科	<i>Cotinus coggyria</i> Scop.	芯材	fisetin fustin	 $C_{15}H_{10}O_6$ $C_{15}H_{12}O_6$	黄褐	Cu (茶) Fe (わずみ) Al (黄) Sn (黄)	日本 (関西北西) 自 生	駆虫剤
蘇 芳	すはう 〔すおう〕	マメ科	<i>Caesalpinia sappan</i> Lin.	芯材	brasilin	 $C_{16}H_{14}O_5$	赤紫	Al Sn	熱 帯 地 方	収斂剤
紫 草	むらさき	ムラサキ科	<i>Lithospermum officinale</i> Lin.	根	acetyl shikonin	 $C_{21}H_{22}O_{11}$	紫	Al	〔中国原産〕 栽 培	火 傷
紅 花	べにばな	キク科	<i>Carthamus tinctorius</i> Lin.	花卉	safflor yellow carthamine	 $C_{44}H_{64}O_{25}$	紅	Sn	〔エジプト原産〕 栽 培	血行障害
支 子	くちなし	アカネ科	<i>Gardenia jasminoides</i> Ellis	果実	α -crocin	$C_{44}H_{64}O_{25}$	黄	Al Sn	日本〔関西北西〕 自 生	止血剤
茜	あかね	アカネ科	<i>Rubia akane</i> Nakai	根	purpurin	 $C_{14}H_8O_5$	緋	Al	〔アジア暖帯原産〕 栽 培	解熱剤
槲 櫨	かち つるばみ 〔くぬぎ〕	ブナ科	<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	果実	quercitrin	 $C_{21}H_{22}O_{11}$	青褐	Cu (茶) Fe (黒)	自 生	収斂剤
刈安草	かりやす	イネ科	<i>Miscanthus tinctorius</i> Hack	穂	luteolin	 $C_{15}H_{10}O_6$	黄	Al (黄) Cu (茶) Fe (う ぐいす)	自 生	中 毒
藍	あ い	タデ科	<i>Polygonum tinctorium</i> Aiton	葉	indican	 $C_{14}H_{17}NO_6$	藍	Al	〔中国原産〕 栽 培	解毒剤
黄 蘗	きはだ 〔おうばく〕	ミカン科	<i>Phellodendri amurense</i> Rupr.	樹皮	berberine	 $C_{20}H_{19}NO_5$	黄	Al Fe Sn	自 生	健胃剤

は生産されなかったものと思われる。

もっとも延喜式には上記の他に調布（ちょうのぬの）庸布（ようのぬの）、商布（たに）等の名称が見られるが、これらは用途による区分であって、調布、庸布はそれぞれ当時の租税であった調、庸として納入された織物を指し、商布は貨幣の代用として交易に用いられた織物（主として植物性繊維によるもの）の名称である。

なお染色技術上の分類⁹⁾として模様染（天平の三纈として知られる夾纈（きょうけち）、纈纈（こうけち）、麤纈（ろうけち））によるものもある。

この三纈のうち纈纈を残して他の2つの染色法は平安朝以降消滅したようである。

3. 古代染料

前記の魏志倭人伝によれば卑弥呼の時代にすでに染色が行われていたようであるが、これは多分きわめて原始的な草摺による染色であったろうと思われる。

半島からの多数の染織技術者の渡来によりきわめて短期間の間に高度な染織技術水準に達するようになったがこれらの技術は専ら支配者階級の衣服の生産のために用いられてきた。

染色技術も前記の摺染から次第に浸染、さらに模様染（主として絞り染）に発展していったが、この染色に使用された染料は主として植物染料であって、わが国に自生の樺、支子、刈安草、黄蘗、山藍等の他に輸入されて栽培された紫草、紅花、茜、蓼藍等が用いられた。

わが国で自給できなかった唯一の植物染料は熱帯地方原産の蘇芳で高価な輸入染料といわれていた。

これらの植物が染料として用いられた経緯は詳らかではないが、これらはいずれもその当時医薬（生薬または民間薬）として用いられていたもので、はじめは生薬を固体のまま服用していたのであろうが、水または湯で浸出して飲用するようになり、その浸出液に布帛、紙等を浸して着色させたのが染料としての使用のはじめであったのであろう。

布帛を染色する意図も詳らかではないが、医薬としての作用を身につけて魔除けにしたいと思ってしのがその動機の一つであったと考えられる。

延喜式の雑染用度に見られる染料植物を一覧にすると表2のようになる。

これらの染料植物のうち現在でも黄蘗は生薬、漢方薬として広く賞用されている。

当麻寺の「陀羅尼助」は今日でも昔ながらの処方により、黄蘗の樹皮を鉄鍋の中に入れ水を加えて数十時間煮つめて真黒な粒に作りあげているが、健胃剤として賞用されている。

4. 古代の色彩

古代の色彩について最初に文献にあらわれるのは前述の「魏志倭人伝」である。わが国が7世紀になって文字を導入し、いわゆる一つの文字に「音」と「訓」とをつけ「訓」では古来のわが国のことばを表わすようにした。

しかし、文字が導入される以前にわが国にはすでに色彩についてのことばたとえば「あか」「くろ」等があったと思われるが、その後文字によってこれを表現するときシナ大陸における色彩の名称と日本における名称とが同一の文字を用いていても必ずしも色彩感覚の上からは同一のものを表示したとは限らなかったようである。

また古代に用いられた色彩の名称も平安時代以降では同一の文字を用いていても異なる色彩を表わすものもでてきたので、現在の色彩に関する名称（文字）をもって古代の色彩を推定することは必ずしも容易ではない。

わが国の文献で色彩に関してはじめて記述されているものは日本書紀の「冠位12階の制定（推古朝）」の項であろう。この時代には間色（基本色を混ぜた中間の色）は卑しいとして敬遠されていたようであるが、時代の推移とともに次第に正式の衣服の色彩として採用されるようになって、延喜式の制定の時には37種の色彩が用いられたようである。

わが国の衣服上の色彩の変遷を表3に示し、延喜式にみられる古代色名を表4に示す。

わが国で「あか」と表現するとき、朱（しゅ）、赤（せき）、緋（ひ）、紅（こう）、丹（たん）等がそれぞれ時代により同一の色彩を表わすことに用いられたり、また色変化の様態を表わすのに用いられた。また「くろ」と表現することも黒（こく）、玄（げん）、皂（そう）、烏（う）、緇（し）等が用いられてきた。

当時の色彩の名称はシナ大陸における名称に由来する赤、青、白、黒、縹、緑等の系統のものと染料植物または染色方法に由来する紅（紅花）、紫（紫草）、櫟、蘇芳、茜等の系統のものとがあった。

色彩は従来主観的要素が強く、個人差が多いとされていたが、これを客観的、数量的に表示しようとする試みがなされオストワルド方式（Ostwald, F.W.）、マンセル方式（Munsell, A.H.）は物体の表面色をあらわすものとして用いられ、液体や光源の色をあらわすには国際照明委員会方式（CIE表色法）（Commission Internationale de l'Eclairage）が用いられている。

ここではCIE色度図を用いた色の領域図¹⁰⁾（Kelly, K. L. による）によって前記表4の37種の色のおよその配置をすると図1のようになろう。

これらの色彩は現存する資料たとえば正倉院の染織物のうち「浅縹地唐花文緯錦」「緋地花文経錦」(染織幡の断片)⁶⁾について浅縹または緋の色彩をその物について見れば明らかになるかもしれないが、染織幡の色彩が千年以上の間たとえ保存の状況が良好であったとしても全

く変色しなかったとはいえないであろうから、この方法によって色彩を同定することはかなりの無理がある。

またたとえば延喜式に示された処方に従って染色を行ない、その色を見るのも一つの方法であろうが、正確な染色条件(水、pH、媒染剤、温度、時間等)が明らか

表3 冠服の色順位の変遷

年 代	色 順 位
推古朝 (603年) 〔冠 位 12 階〕	紫, 青, 赤, 黄, 白, 黒
孝徳朝 (647年)	深紫, 浅紫, 真緋, 紺, 緑, 黒
天武朝 (685年)	朱華, 深紫, 浅紫, 深緑, 浅緑, 深葡萄, 浅葡萄
持統朝 (689年) 〔飛鳥浄御原令〕	朱華, 黒紫, 赤紫, 緋, 深緑, 浅緑, 深縹, 浅縹 (黄, 白)
文武朝 (701年) 〔大 宝 令〕	深紫, 浅紫, 深緋, 浅緋, 深緑, 浅緑, 深縹, 浅縹 (ただし、皇太子は朱華)

〔注〕 真緋〔あけ〕, 紺〔ふかきはなだ〕, 朱華〔はねず〕, 深葡萄〔ふかきえび〕, 深縹〔ふかきはなだ〕, 白〔くろ〕と読む

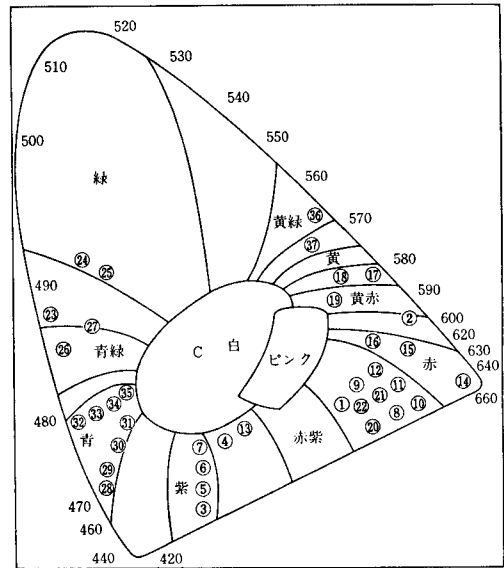


図1 色度図における分布 (単位はnm)

表4 古代色名一覧

1 黄 檯	〔こうろ〕	20 橡	〔つるばみ〕
2 黄 丹	〔おうたん〕	21 赤白橡	〔あかしろのつるばみ〕
3 深 紫	〔ふかきむらさき〕	22 青白橡	〔あおしろのつるばみ〕
4 浅 紫	〔あさきむらさき〕	23 深 緑	〔ふかきみどり〕
5 深減紫	〔ふかきけしむらさき〕	24 中 緑	〔なかのみどり〕
6 中減紫	〔なかのけしむらさき〕	25 浅 緑	〔あさきみどり〕
7 浅減紫	〔あさきけしむらさき〕	26 青 緑	〔あおみどり〕
8 深 緋	〔ふかきあけ〕	27 青浅緑	〔あおあさきみどり〕
9 浅 緋	〔あさきあけ〕	28 深 縹	〔ふかきはなだ〕
10 深蘇芳	〔ふかきすおう〕	29 中 縹	〔なかのはなだ〕
11 中蘇芳	〔なかのすおう〕	30 次 縹	〔つぎはなだ〕
12 浅蘇芳	〔あさきすおう〕	31 浅 縹	〔あさきはなだ〕
13 葡 萄	〔えび〕	32 深藍色	〔ふかきあい〕
14 韓紅花	〔からくれなひ〕	33 中藍色	〔なかのあい〕
15 中紅花	〔なかのくれなひ〕	34 浅藍色	〔あさきあい〕
16 退 紅	〔あらぞめ〕	35 白藍色	〔しろあい〕
17 深支子	〔ふかきくちなし〕	36 深 黄	〔ふかきき〕
18 黄支子	〔きくちなし〕	37 浅 黄	〔あさきき〕
19 浅支子	〔あさきくちなし〕		

〔注〕「深」は「ふかき」とよむときと「こき」とよむときとがあるがここでは便宜上すべて「ふかき」とよむように統一した。「浅」についても同様に「あさき」に統一した。したがって「延喜式」による読み方と多少異なるところもある。

でないものが多く、この方法によっても再現することは容易ではないであろう。

ここではもっとも単純な染色法たとえば黄支子(「綾一匹、支子十斤、薪卅斤」(延喜式縫殿寮))の染色法によって得られる黄色を基準として他の複雑な色彩たとえば交染による色彩を類推することができると考えて、前記のCIE色度図上に色の座標を推定した。

この色度図において右下の660nm単位の波長(色は赤)を示し、曲線に沿って左上の520nm付近を頂点として左下の410nmまでは大体単純色の領域を示し、下方の660nmと410nmを結ぶ線は複合色の領域である。中心のCの点を結ぶ直線の両端が補色の関係を示す。

ここで作図した図はきわめて大まかな憶測によるもので今後延喜式の染色法を忠実に実施できるようになればより完全なものにすることができるとであろうと思われる。

5. 染料植物とその色

本研究では染料植物として唯一の輸入高級染料である蘇芳を取り上げ、その色彩について予備的知見をうるた

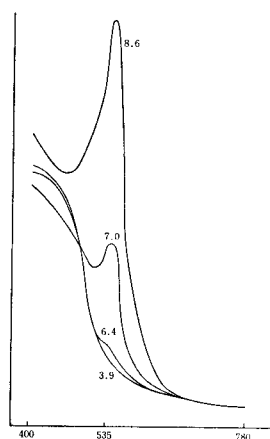


図2 吸収帯のpHによる変動

めにその浸出液の色について調べた。

倭名類聚鈔に「蘇枋 蘇敬本草注云蘇枋(音方俗音須方)人用染色也」と記されている。

延喜式では蘇芳の文字を用い「深蘇芳, 中蘇芳, 浅蘇芳」の染色には単独に用いられ, 「黄櫨」の染色には「櫨」と交染に用いられ, その色彩は「黄櫨染(こうろぜん)」といわれ, 弘仁朝には天子の服色として採用されていた。しかし, 現在では黄櫨染は茶色系統に属する色彩の名称とされているが, 前にも述べたように平安朝では赤紫をおびた色彩であったといわれ, 同じ名称でも時代によって異なった色彩をあらわすのに用いられた一つ

の好例であろう。

蘇芳(Caesalpinia sappan L.)は表2に示したように熱帯地方原産のマメ科の植物で, その芯材を古来赤色染料として使用してきた。

その主成分はブラジレイン($C_{16}H_{14}O_8$, 無色)で容易に酸化されて赤色のブラジリン($C_{16}H_{12}O_8$)に変化するといわれている。

ここでは予備実験の一つとして温水により抽出された溶液について, pH, 金属イオンの種類とその濃度による色彩の変化効果を検討した。

5. 1 実験方法

市販の蘇芳(微細片)約10gを約50℃の純水200mlに1時間浸漬した後, 湯煎上で約80℃に2時間加熱した後その上澄液を傾瀉し, 残渣に純水100mlを加えて同様に加熱し, その上澄液を前者と合せ, 冷却した後遠心分離(3000rpm, 5分間)して原液とした。

分光光度計(日立製124型)を用いて溶液の吸収曲線を求めた。原液のままでは濃厚すぎるので1%に希釈したものを用いた。

希釈前の溶液は橙色をおびた黄色(pH 5.7)であり希釈液はやや紅味をおびた黄色(pH 6.4)であった。

5. 2 実験結果と考察

原液(pH6.4)に酢酸溶液(1.25%)を添加しpHを減少させたときの吸収曲線の変化を調べた。

図2において原液には535nmの附近にやや吸収の大きい点が見られ, 大体440nmより短波長のところに大きい吸収を示している。したがって溶液の色は吸収波長の補色である黄色を土台としやや紅味をおびている。

pHを減少させて3.9以下にすると, 原液のときに見られた535nm附近の吸収が消えて溶液の色は一層明るい黄色を呈する。

次にpHを増加させるため炭酸カリウム溶液(1.25%)を添加すると, 535nm附近の吸収が増大し, 明らかな極大を示すようになる。短波長領域における相対吸収量が減少し, 溶液の色は著しく紅味をおびてくる。もっとも535nmの補色は紫色に近いので, pH増加とともにやや紫色かかってくる。

アルカリとして炭酸ナトリウムを用いた場合もほぼ同様の結果が得られた。

pH 8.6 以上になるように炭酸カリウム溶液を加えると, 吸収量がスケールアウトするのでそれ以上のpH値については測定しなかったが, 肉眼で見ると色は一層紫をおびた紅色に変わっていた。

次に媒染剤として使用されたとされる金属イオンのうちでアルミニウムと鉄についてその添加の効果を調べた。

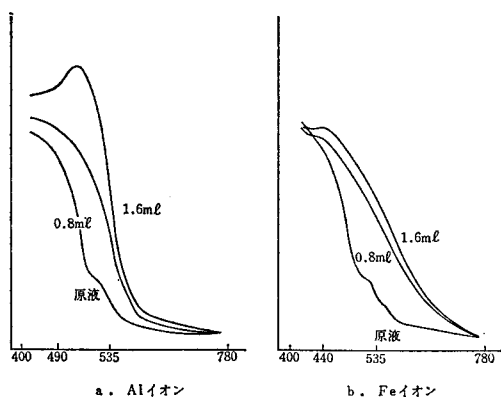


図3 吸収帯の金属イオン濃度による変動

図3に示すように約0.125%の硝酸アルミニウム溶液及び硫酸第一鉄溶液をそれぞれ原液約40mlに対し、0.8ml/1.6ml添加するとき、吸収は次第に長波長領域に増加する傾向がみられた。

アルミニウムイオンの場合、原液にみられた535nm附近の吸収のふくらみが消えて490nm付近に吸収極大の点がみられたが全体としては長波長領域における吸収の増加によって溶液の色は添加量に比例して紅味を増加し、黄色はほとんどなくなった。

鉄イオンの場合はアルミニウムイオンの場合のように明瞭な極大は示さないが440nm附近に極大の傾向が見られた。

鉄イオンの場合は添加量が少量のときはアルミニウムイオンの場合と同様紅味を呈するだけであるが、添加量が増加するにつれて次第に暗茶色をおびるようになった。

なおこれらの金属イオンと色素成分との反応の機構は明らかではないが、金属イオンを添加して長時間密封放置しておくで色が次第に変ってくるので、金属イオンとすぐに反応する部分と長時間かかって反応する部分があるように思われる。

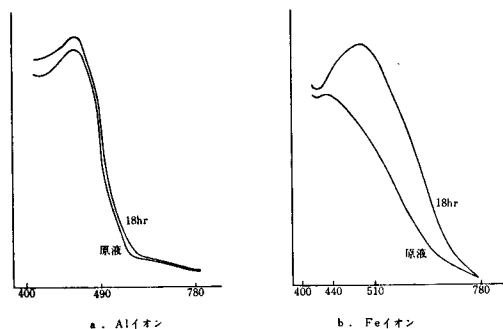


図4 吸収帯の時間による変動

図4に示すようにアルミニウムイオンの場合1.6ml添加した溶液を約18時間放置した後の吸収曲線は490nm附近の極大値がやや高くなり、色は一層紅味（紫をおびる）を呈している。

一方鉄イオン1.6ml添加した溶液は約18時間後には新しく510nm附近に極大点があられてきて、色は一層暗茶色をおびて、アルミニウムイオンの場合に比し色変化が著しい。

蘇芳の溶液は金属イオンに対してきわめて鋭敏な呈色反応を示す。たとえばふつう水道水中に含まれているppm程度の鉄またはマンガンによって黄色から紅色に変化する。

また図2に示したようにpH変化によって鋭敏な色変化を示す。

本実験に使用した金属イオン溶液はいずれも強酸の塩の水溶液であるので相当pHが小さくあり、添加量の増加によってpHはさらに減少する。

したがってpHによる効果と金属イオンそのものの効果とが競合することになる。

そこで一定量の金属イオンを添加して、pHを変えた場合の効果調べてみた。

図2で明らかのようにpHを小にすると吸収が短波長に移り、色としては黄色が強くなり、一方図3からは添加した金属イオンの量の増加とともに吸収は長波長側に移り紅味をおびてくる。

このような酸性の金属イオン溶液の添加は相反する効果をもつもので、より鮮明な紅色をうるには別にアルカリを加えてpHを大きくする必要がある。

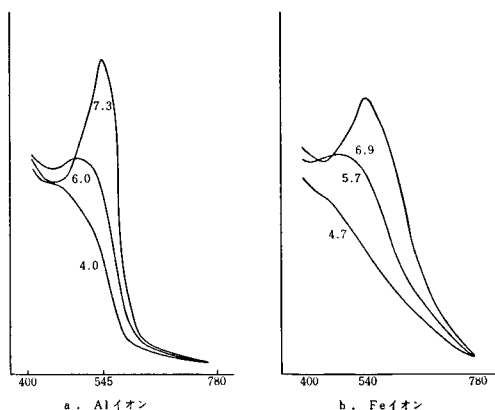


図5 イオン添加時の吸収帯のpHによる変動

図5において金属イオン1mlを添加し、酢酸溶液及び炭酸カリウム溶液を添加してpHを変化させた場合の吸収曲線を示す。

図5aのpH4の場合には図3の0.8ml添加(pH4.2)とほぼ同じ吸収を示すがpHの増加とともに545nm附近に

表5 Sappan Wood 溶液の呈色反応

媒染剤		な し	Al	Sn	Cu	Fe
pH						
アルカリ性 (約 9.0)		紅	濃 紅	紅	濃 紅	青みをおびた 濃 紫
中性 (約 7.0)		紅味をおびた 黄	紅	紅味をおびた 黄	紅	う す 紫
酸性 (約 4.0)		黄	黄味をおびた 紅	黄	紅味をおびた 黄	紅味をおびた 青 黄
試料原液	pH	6.4	4.5	3.5	5.4	5.0
	呈色	やや紅い黄	黄味をおびた紅	黄	紅	紅味をおびた橙
媒染剤添加量		な し	0.5 ml	1 ml	0.2 ml	0.3 ml

〔注〕 媒染剤はいずれも1.25%溶液(塩として)で原液約50mlに対する添加量を示している。

新しい極大吸収があらわれ、色も鮮紅色を呈するようになる。

延喜式の処方で灰を用いたのはその中に含まれるアルミニウムイオンや鉄イオンの効果の上に多量に含まれているカリウムイオンによるアルカリ性効果によって鮮明な紅色をうることができたからであろう。

蘇芳浸出溶液について呈色効果を総括すると表5のようになる。

蘇芳染の化学的研究としては染色布の反射率を測定した報告⁷⁾があるが、金属イオン濃度及びpHの効果については言及されていない。

本報における溶液中の色素成分の挙動と染色布におけるそれとは必ずしも同一であると断じられないが、pH効果または金属イオン効果はほぼ同様であるとしてよいであろう。

絹はアルカリ性には弱いので、鮮明な色彩をうるためにpHを大にするには一定の限度があり、そのpHで最適の金属イオン濃度も存在すると思われるので今後は実さいに染色布を用いてこの点を明らかにしていきたい。

6. 結 言

日本上代の染織物に関し、その織物及び染料について総括し古代染織の秘密を解明する第一歩として植物染料

の一つである蘇芳の浸出溶液の色のpH及び金属イオンの種類とその濃度による効果を分光光度計によって測定した。

蘇芳浸出溶液はアルカリ性下ではきわめて鮮明な紅色を呈し、また媒染剤としてアルミニウム、錫、微量の銅によっては鮮紅色を呈し、多量の銅及び鉄によって暗茶色を呈することが明らかになった。

今後は各染料植物についてその色素成分の抽出、確認、延喜式の処方による布帛の染色を行ない、上代染織物の鮮明かつ堅牢な染色の秘密を明らかにしていきたい。

本研究にあたり、有益な助言を賜った奈良大学 新井清博士に衷心より謝意を表します。

7. 文 献

- 1) 黒坂編, 延喜式(国史大系), 吉川弘文館
- 2) 正宗編, 倭名類聚鈔, 風間書房
- 3) 和田編, 魏志倭人伝, 岩波書店
- 4) 佐々木, 日本上代織技の研究, 川島織物
- 5) 池田, 色彩工学の基礎, 朝倉書店
- 6) 松本, 正倉院年報, 2, 18 (1980)
- 7) 新井, 奈良大学紀要, 4, 12 (1975)

α -5-メチルフロベンゾインオキシムの性質と

その熱分解ガスクロマトグラム

石川 光二, 阪井 正

The Nature of α -5-Methylfurobenzoinoxime and Its Pyrolytic Gas Chromatograms

Koji ISHIKAWA, Tadashi SAKAI

The mixed acyloinoxime having 5-methylfuryl group on the one side has not been known yet.

α -5-Methylfurobenzoinoxime was prepared by acyloin-condensation, between α -5-methylfurfural and benzaldehyde, and oximation using hydroxylamine.

The ultraviolet absorption spectrum and the nature of copper complex of the above α -oxime were also compared with the known α -benzoinoxime, α -furoinoxime, and α -furobenzoinoxime.

Moreover, the pyrolytic gas chromatograms of this oxime at 300°C using PEG 6,000 or SE 52 for packing of columns in helium gas were recorded as one of α -acyloinoxime group mentioned in the first paper of this series. On the chromatograms, the peaks indicated by two main-products were mainly appeared, but the peak areas of by-products were very small in the same way as the case of pyrolysis using the three kinds of oximes mentioned above, and then these main-products were detected qualitatively to be nitrile and aldehyde.

And then, it is considered that α -5-methylfurobenzoinoxime was cleaved to 5-methylfuronitrile and benzaldehyde as the result of nitrile-decomposition by heating.

1. 緒言

5-メチルフリル基を一方に含む混合型のアシロインオキシムについてはこれまで報告されていない。著者らは、5-メチルフルフラールとベンズアルデヒドをアシロイン縮合させて5-メチルフロベンゾインとし、これをオキシム化して α -5-メチルフロベンゾインオキシムを得た。

さらに、その紫外吸収スペクトルならびにその銅錯体の性質について既知の α -ベンゾインオキシム、 α -フロインオキシム、および α -フロベンゾインオキシムのそれらと比較検討した。

また、前報¹⁾に引きつづき、 α -アシロインオキシムの1つとして、そのヘリウム中300°Cの熱分解ガスクロマトグラム(カラム:PEG 6,000またはSE 52)を測定した結果、上述の他の3種のオキシムと同じように、主として2種の分解主生成物のピークを示すが、副生成物のピークは微少であり、この主生成物はニトリルとアルデヒドであることが定性的に検出された。したがって、 α -5-メチルフロベンゾインオキシムは熱によりニトリル分解し、5-メチルフロニトリルとベンズアルデヒドに分解されたと考える。

フルフラールや5-メチルフルフラールの単一のアル

デヒドのアシロイン縮合の場合に比べて、これらとベンズアルデヒドとの混合物のアシロイン縮合の場合には、樹脂の副生が少ないので、縮合物が多量に得られるという利点がある。

5-メチルフロベンゾインオキシム(以下5-MFBOと称する)の合成の際、 α -異性体の他に β -異性体²⁾を生ずるが、Wernerらのフロベンゾインオキシムの製法にならって、 β -体と考えられるものをエーテル処理により除いたが、この β -体を繰返しエーテル抽出したほぼ純粋と考えられるものについて、それが銅錯体をつくらないことを確認してから、熱分解ガスクロマトグラムを求め、 α -体のそれと比較検討した。

α -5-MFBO-銅錯体は他のベンゾインオキシム、フロインオキシム、およびフロベンゾインオキシムの銅錯体と同じように、アンモニア、水、クロロホルム、四塩化炭素、ジオキサソンの溶媒に不溶性で、ピリジンにはきわめてわずかだけ溶解する。

2. 実験

2.1 試薬および錯体の合成

5-メチルフルフラール:日本パルプ工業社から提供されたものを数回減圧蒸留した。bp 83~85°C (15mmHg)

5-メチルフロベンズイン：これまで知られていないので、Fischer のフロベンズインの製法³⁾にしたがって合成した。

5-メチルフルフラール72.1g (0.66 mol) とベンズアルデヒド70.0g (0.73mol) をエタノール210g と水280ml に加え、さらにシアン化カリウム14.0g を加えて、25分間加熱還流し、暗赤色の反応液を放冷すると褐黄色の結晶が析出する。これをろ過し、ろ過物を多量の水と少量のエタノールで洗ってから乾燥した。84g。5-メチルフルフラールに対する収率59%。エタノールから1回、水から1回、ベンゼンから1回、さらにエタノールから3回再結晶した。

mp 152°C。淡黄色針状結晶

分析値 C 72.07%, H 5.38%

$C_{13}H_{12}O_2$ ($CH_3 \cdot C_4H_2O \cdot CO \cdot CH(OH) \cdot C_6H_5$) としての

計算値 C 72.21%, H 5.60%

α -5-メチルフロベンズインオキシム：Werner らのフロベンズインオキシムの製法²⁾にならって合成した。

塩酸ヒドロキシルアミン24g (0.34 mol) を水25ml に溶かし、これに、氷冷下に水酸化カリウム40g (0.71 mol) を水25ml に溶かした溶液を加える。出来た溶液を、上述の精製5-メチルフロベンズイン25g (0.11mol) とエタノール200ml の混合物に加える。両液が混合されると最初は汚い紫色を呈するが、数時間時々はげしく攪きまぜながら放置すると、5-メチルフロベンズインが溶けて紫色が消え橙色になる。この溶液に2時間二酸化炭素気流を通じると、半固状のほとんど結晶性の沈殿が生ずる。沈殿物を吸引ろ過後、 β -異性体と考えられる油状物を除くために、毎回40ml の冷エーテルで2回洗うと白色の板状結晶が得られる。5g。5-メチルフロベンズインに対する収率19%。エタノールで3回再結晶したものの *mp* 162°C。

分析値 C 67.53%, H 5.56%, N 6.14%

$C_{13}H_{13}O_3N$ としての

計算値 C 67.52%, H 5.67%, N 6.06%

α -5-MFBO-銅錯体：Feigl の α -ベンズインオキシム銅錯体の製法⁴⁾にならって合成した。

上述の α -5-MFBO の α -体としての純度を知るために、銅イオンの量をより多く用いて次の実験を行った。

0.1M硫酸銅溶液：キンダ化学の特級硫酸銅の5水塩を水に溶かして1ℓとし、EDTA法で標定した。溶液1ml中に銅イオンとして6.274mgを含む。

上述の0.1M硫酸銅溶液30ml (0.003mol) に1Nの塩化アンモニウム水溶液3mlと1Nのアンモニア水12mlを加え、これに、 α -5-MFBO 0.578g (0.0025mol) をエタノール50mlに溶かした溶液を攪きまぜながら滴下し、さらに約1時間湯浴上で加温した。生じた緑色の錯体を

No. 1 G-4 のグラスフィルターで吸引ろ過し、多量の1:100のアンモニア水、さらに熱水、温エタノール、最後に水で洗ってから常温で五酸化リン上で減圧乾燥した。0.704g。

$CuC_{13}H_{11}O_3N$ としての銅のF=0.2170

銅錯体0.704g中に含まれる銅の計算量 0.157g

実験値 0.153g

分析値 N 5.1%

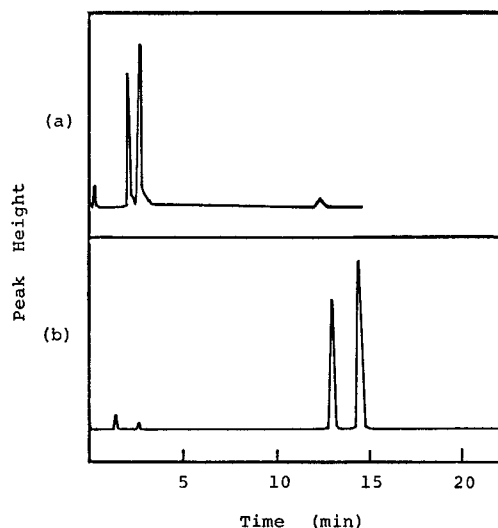
$CuC_{13}H_{11}O_3N$ としての計算値 N 4.8%

2.2 5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラフィー

以下、前報¹⁾と同じ条件で測定した。

熱分解ガスクロマトグラム

キャリアーガスとしてヘリウム50ml/min, 充填剤としてSE 52 (5%) / Shimalite W (60~80メッシュ) 2m × 3mm ϕ を用いた時は400°C, また同じ条件下でPEG 6,000 (25%) / Shimalite (60~80メッシュ) 2m × 3mm ϕ のカラムを使用した場合は300°Cで、それぞれ15秒間熱分解し、パイプ(温度170~180°C)を通じて熱分解生成物をヘリウム気流によりカラムに送り込むと同時に、60°Cから、SE 52では240°Cまで、PEG 6,000では198°Cまで昇温させた場合のガスクロマトグラムを図1に示した。



カラム：(a) SE 52, (b) PEG 6,000

検出器：FID

図1 α -5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラム

図1に見るように、ニトリル分解の主生成物としての2つのピークが示され、SE 52の場合には副生成物と考えられる第3のピークがかなり後方に認められ、これはかなり分子量の大なるものと考えられる。また、推定物

質との保持時間の一致から、溶出温度の低い方のピークが5-メチルフロニトリル、溶出温度の高い方のピーク¹⁾はベンズアルデヒドに相当すると考えられる。前報と同じ操作で、カラム層を通さない熱分解生成物と窒素との混合気流を、それぞれの検出試薬溶液中通じた定性実験の結果でも、黄橙色の沈殿と赤紫色の呈色を得られ、2種の主生成物はアルデヒドとニトリルであることが確かめられた。

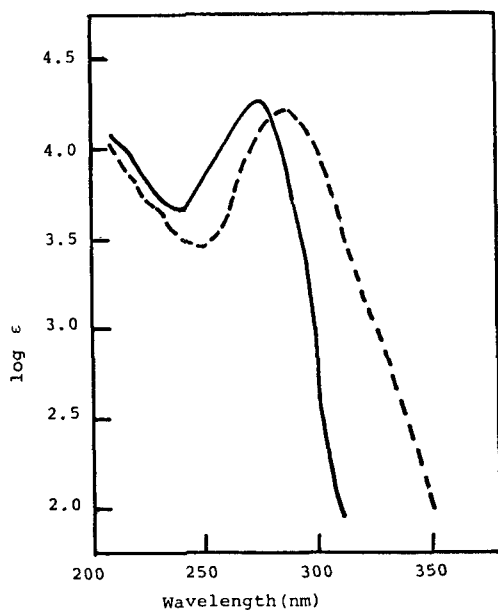
2.3 装置および吸収スペクトル

島津GC-4 APTFガスクロマトグラフおよび島津熱分解装置PYR-1 Aを使用した。また、島津光電分光光度計QV-50形、光路10mmの石英セルを用い、各試薬のエタノール溶液の吸収スペクトルを測定した。各試薬とも可視領域では 4×10^{-3} F、紫外領域では 4×10^{-4} Fの溶液を用いた。測定温度は17℃であった。

3. 考 察

5-メチルフルフラールだけをアシロイン縮合させた場合、単一アシロインの5-メチルフロインを生ずると考えられるが、アシロイン縮合の結果油状物が分離し長時間放置しても結晶が得られなかった。

図2に5-メチルフロベンゾインとα-5-MFBOのエタノール溶液の紫外吸収曲線を示した。



— : 5-メチルフロベンゾインオキシム

--- : 5-メチルフロベンゾイン

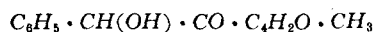
図2 5-メチルフロベンゾインとそのオキシムの紫外吸収スペクトル

これと同じ条件下で測定した吸収極大値はα-フロイ

ンオキシムでは263nm、α-フロベンゾインオキシムでは266nmであり、α-5-MFBOの275nmがもっとも長波長側であった。

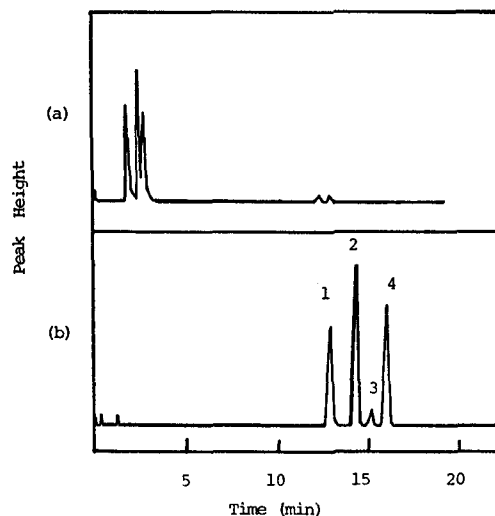
α-5-MFBOは銅イオンと中性または微アルカリ性で緑色の錯体を形成するが、Feigl⁵⁾らは、α-アシロインオキシムは2価の銅イオンに対して二塩基酸として作用し、配位子1に対して1個の銅イオンの配位した錯体を生ずると報告している。上述の分析例に示されるように、その重量関係から、α-5-MFBOの場合も同じような1:1の銅錯体が得られると考える。

前報¹⁾に引き続き、α-アシロインオキシムの1つとして、α-5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラムを測定したが、α-フロベンゾインオキシムと同じように、主生成物に相当する2つのピーク中、ベンズアルデヒドに相当したピークは認められたが、推定物質として測定した5-メチルフルフラールの保持時間に相当するピークが認められないので、5-メチルフロベンゾインの構造は



であることが確かめられた。

werner²⁾らはα-体合成の際、副生するβ-フロベンゾインオキシムについても報告しているが、著者らも、α-5-MFBOの半固状粗生成物をエーテルで処理し、常温でエーテルを蒸発させた後に残る茶褐色の油状物を繰返しエーテル抽出し、これをさらに硫酸銅溶液で処理して生じた微量の緑色の銅錯体を除いた後、さらに1回エーテル抽出し、冷所に1ヶ月以上放置し、粘稠なほとんど白色の半固状物を得た。これは41℃で完全に油状化



カラム:(a)SE 52, (b)PEG 6,000

検出器:FID

図3 β-5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラム

する。この半固状物を水酸化カリウムのエタノール溶液に溶かし、常温でベンゼンスルホニルクロリドを加えると、まもなく微黄色の油状物が分離し、 β -アシロインオキシムによると考えられている強いカルビラミン臭が認められた。

この β -5-MFBOについて、 α -体とまったく同じ条件下に測定した熱分解ガスクロマトグラムを図3に示した。

図3(b)中、1, 2のピークは、それぞれ α -体の熱分解主生成物のピーク保持時間との一致から、5-メチルフロニトリルとベンズアルデヒドによると考えられる。また、3, 4のピークは、推定の標準物質との保持時間の一致から、それぞれ5-メチルフルフラールとベンゾニトリルであると考えられる。

表1に、PEG 6,000を用いた場合の α -および β -5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラムのピーク面積比を示した。

表1 5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラムのピーク面積比(%)

試料

	5-メチルフ ロニトリル	ベンズア ルデヒド	5-メチルフ フラール	ベン ゾ ニトリル
α -体	42.9	57.1		
β -体				
b)				
No. 1	30.4	46.1	1.9	21.6
c)				
No. 2	27.7	45.8	2.5	24.1
d)				
No. 3	24.1	42.1	2.6	31.2

a) ピーク面積の測定にはD I S C Chart Integrator -239型を用いた。なお、副生成物のピーク面積は微少のため無視した。

b) エーテル処理2回後の試料

c) エーテル処理4回後の試料

d) 精製物

図3(b)中、4のピークが標準物質とよく一致することから、ベンゾニトリルに相当すると考えたが、従来の転位説から考えると、その成因に疑問があるので、 β -体の精製の過程におけるそれぞれの試料について、熱分解ガスクロマトグラムのピーク面積比を比較検討した。表1中の β -体であるNo. 1, 2, 3の試料の熱分解物において

(1) より粗製物であるほど、5-メチルフロニトリルとベンゾニトリルの含有率が高いが、これは α -体をより多く混入しているためと考える。

(2) より精製物になるほど、5-メチルフルフラール

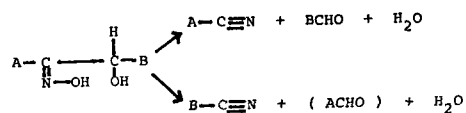
とベンゾニトリルの含有率が高くなることは、これらが不純物によるものでなく、 β -体の熱分解によってのみ生成されたものであると考えられる。また、5-メチルフルフラールの含有率が小である理由は、 β -体の熱分解においては、ベンゾニトリルが生じる時は、かならずこれと当量の5-メチルフルフラールも生じるはずであるが、これが熱分解の過程でかなり分子量の大きい他の物質に変化したのではないかと考える。

(3) β -体が熱分解し、 α -体の熱分解と同じ5-メチルフロニトリルとベンズアルデヒドを生じることは、その一部が α -体と同じようなニトリル分解を行ったためと考える。しかし、図3(b)のピーク4に示されるようにベンゾニトリルも生じることは、 β -体の一部は熱分解の過程で、基の移動を伴う転位を行なうと考えなければならない。

以上の5-MFBOの α -体と β -体の熱分解ガスクロマトグラム(カラム:PEG 6,000, 検出器:FID)に示される範囲内での、熱分解の結果を示す次のようになる。



α -体: 2個の主生成物のピークを示す。



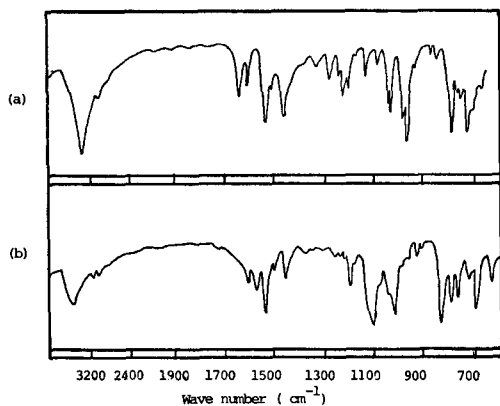
β -体: 4個の主生成物のピークを示す。

ただし、A:フラン核, B:ベンゼン核, ()は低いピークであることを示す。

以上、5-MFBOの熱分解ガスクロマトグラムの測定によって、その α -体と β -体の識別が可能であることを示したが、さらに多くの単一型、混合型の β -アシロインオキシムの熱分解ガスクロマトグラムを測定することにより、 β -体の熱分解のより詳細な機構の解明ができると考える。

図4に α -MFBOとその銅錯体のIRスペクトルを示した。 α -MFBO銅錯体のIRスペクトルは、 α -MFBOのそれに比べて、 824cm^{-1} , 1015cm^{-1} , および 1104cm^{-1} において吸収強度の著しい増大が見られ、また 962cm^{-1} , 978cm^{-1} において吸収強度の著しい減少が見られる。

α -ベンゾインオキシムとその銅錯体についても、同じような傾向がみられ、その銅錯体のIRスペクトルはベンゾインオキシムのそれに比べて、 831cm^{-1} , 1072cm^{-1} , 1087cm^{-1} , および 1120cm^{-1} において吸収強度の著



(a) : α -5-メチルフロベンゾインオキシム

(b) : α -5-メチルフロベンゾインオキシム銅錯体

図4 α -5-メチルフロベンゾインオキシムおよびその銅錯体のIRスペクトル

しい増大, 986cm^{-1} で吸収強度の著しい減少が見られる。

したがって、これら錯体のキレート環の構造はまったく同じと考えられ、吸収強度の変動はキレート環の形成によって生じたものとする。

最後に、5-メチルフルフラールを供与して下さった日本パルプ工業株式会社、元素分析を実施して頂いた大阪大学蛋白研究所、銅錯体の窒素分析をして下さった大阪大学工学部の方々に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 石川, 阪井: 奈良高専研究紀要 (第16号) p79 (昭和55年)
- 2) A. Werner, Th. Detscheff, *Ber*, **38**, 69 (1905).
- 3) E. Fischer, *Ber*, **13**, 1399 (1880).
- 4) F. Feigl, *Ber*, **56B**, 2083 (1923).
- 5) F. Feigl, G. Sicher, O. Singer, *Ber*, **58B**, 2294 (1925).

モームの主題とその展開 (その一)

——『人間の絆』から『月と六ペンス』へ——

中 村 元 一

The Development of W. S. Maugham's Theme (Part I)

—from of *Human Bondage* to *The Moon and Sixpence*—

Gen-ichi NAKAMURA

モームは『人間の絆』において、人生は無意味であり、たとえて言えば、ベルシャ絨毯の絵模様を織り上げるようなものだとして解釈した。この世における生を無意味だと見る考え方はわが国にも古くからあり、大して珍しくもないが、わが国の中世の仏教思想の場合など、それがそのまま現世否定につながったのであるが、モームの場合、それは現世を肯定するものであった。モームは、単に彼の人生観を提示しただけではなく、晩年にいたるまで、彼のこのような人生観を実践した人間を創造していった。人生は無意味だという『人間の絆』の主題が、以後どのように展開するか、また、モームは一般に快楽主義者ということばで片付けられがちだが、彼の快楽主義とはいかなるものか等について考察しようとするのが筆者のねらいであるが、さしあたって小稿では、『人間の絆』の主題と『月と六ペンス』との関わりと、『月と六ペンス』の執筆がモーム自身にとって、どのような意義があったかについて考察し、『月と六ペンス』はゴーギャンをモデルとするストリ克兰ドを英雄として描くために執筆されたのではなく、モームが彼自身を問うために、強烈な個性の持ち主ストリ克兰ドを作り上げたのだという筆者の解釈を述べようとするものである。

I

『人間の絆』のフィリップは少年時代に神への信仰を捨てていた。彼はかつての友クロンショーやヘイワードの死を神の意志による昇天だなどとは思わない。フィリップから見れば、彼らの生涯は空しいばかりであった。フィリップは、突如、クロンショーのくれたベルシャ絨毯の謎をとく。人生に意味はない。太陽系の惑星にすぎぬこの地球上で他の生物の場合と同じく、環境に対する一つの反応として人間は誕生した。人間の誕生は、聖書の語るような創造の頂点にあるものではないのだ。フィリップは、東方の賢人が死の床に横たわる王のために、人間の歴史を「人は生れ、苦しみ、死ぬ」と要訳したという話を思い出す。

There was no meaning in life, and man by living served no end. It was immaterial whether he was

born or not born, whether he lived or ceased to live. Life was insignificant and death without consequence.¹⁾

「人生における意義だなんて、そんなものありはしないんだし、人間は生きていたところで、何の役にも立ちはしないんだ。人間なんか、生れようが、生れまいが、生きようが、くたばろうが、どうってことはないのだ。生きていることもつまらないが、そうかといって死そのものに大した意味があるわけでもない。」

これまで運命の苛酷さに苦しんできたフィリップであったが、彼自身の存在そのものが全く無意味だと気づいてみると、運命の冷酷さも、もう苦しみの種ではなくなってしまった。彼には、もう「こうあらねばならぬ」「こうしなければならぬ」という規範や義務など一切ないのだ。

...it seemed to him that the last burden of respon-

使用テキストは、The Collected Edition of the Works of W. Somerset Maugham (Heinemann: London).

1) Of *Human Bondage* p. 809

sibility was taken from him; and for the first time he was utterly free. His insignificance was turned to power, and he felt himself suddenly equal with the cruel fate which had seemed to persecute him; for, if life was meaningless, the world was robbed of its cruelty.¹⁾

「彼は、責任という重荷が、彼の肩からすっかり取りおろされたのだという気分だった。そうして、やっと彼は、文句なしに自由だった。彼自身が無意味な存在だという事実が、かえって力となって、彼は突如、彼をさいなんでばかりいるようにみえた残忍な運命とも互角にわたりあえるのだと感じた。人生に意味などないということになれば、世界はその冷酷さをもぎとられたことになるからだ。」

広大な宇宙における一つの恒星の惑星にすぎぬこの地球上に、ほんの一瞬とどまるだけの人間個人の存在に興味などありはしない。存在そのものが無意味であるならば、行為などなおさらだ。フィリップは一切の存在と行為の無意味さを確認し得たと自覚することによって、デカルト的に彼自身の存在価値を「ゼロ」だと確認したのである。

人間の存在価値、自らの存在価値をゼロであると認識したとき、フィリップは生きる苦痛から逃れ得た。ベルシャ絨毯を織り上げていく者は、どのように思いつつ、あの複雑な絵模様を織り上げるのか。ただ、美しいものを織りたさに喜々として織りつつけるのか。または、ただ強いられたとおりに織っているだけなのか、それとも絵模様の美しさなどわかりはしないが、織ることそのものを楽しんでいるのか、いずれにしても、それはそれでいいのだ。人生にしても同じことだ。いかに悩み苦しんだところで、人生とは、とどのつまりは複雑な絵模様を持った一枚のベルシャ絨毯のようなものなのだ。どういう織り方をしなければならぬということはない。ただ織る者自身の喜びにつながればそれでいいのだ。好みの糸を自ら選び、どのような模様を織るか、それは織る人それぞれの問題であって、どのような模様ができ上がろうと、織った者としては満足なはずではないか。

フィリップは人生を無意味だと見た上で、さまざまの人生を肯定しようとする。彼はどのように悲惨な人生をも肯定しようとするのである。

His life had seemed horrible when it was measured by its happiness, but now he seemed to gather strength

as he realised that it might be measured by something else. Happiness mattered as little as pain.²⁾

「幸福かどうかということで判断される場合には、彼の人生は全くひどいものとしが考えられなかった。が彼の人生が、もっとほかの何かによって評価されてもいいと気づいた今、彼は勢いづいたようであった。幸福も苦痛もいずれも大したことではないのだ。」

幸福も不幸も、ただ人生の絵模様にくいくばくかの変化をつけるだけのものなのだ。フィリップは、もう、今までのように、幸福とか不幸とかのために奔弄されるようなことはあるまいと確信するのである。フィリップはこの時、今までの彼のような受動的な存在ではなくなったのである。

Whatever happened to him now would be more motive to add to the complexity of the pattern, and when the end approached he would rejoice in its completion. It would be a work of art, and it would be none the less beautiful because he alone knew of its existence, and with his death it would at once cease to be.

Philip was happy.³⁾

「仮りに今この身にどのようなことがおこったところで、それだって、絵模様の複雑さを加えるためのなにがしかの動機となることだろうし、死期が近づいた時だって、自分は、絵模様の完成を喜ぶことだろう。言ってみればそれは一つの芸術品なのであって、その存在を知っているのが、自分一人であって、自分が死ぬと同時に消えてなくなるものであるからといって、その美をいささかも損うものではないのだ。」

フィリップは幸福だった。」

これまでの運命に対する受動的な態度を捨て、彼の生涯において何がおころうと、それを絵模様の意匠の完成の喜びにつながる一つの要素にすぎぬと解釈しえたフィリップは幸福であった。彼は人生に立ちむかっていける力を得たのであった。

II

1904年、30才のとき、モームは「人生への途方もない熱望」を胸に、ロンドンを去ってパリへ向かう。その時の事情を、彼は『月と6ペンス』の序文に次のようにしている。

1) *Of Humna Bondage* p. 809

2) *Ibid.* pp. 810-811

3) *Ibid.* p. 811

I was in a rut. I was exasperated by the quiet and orderly life I had been living. I had had enough of the week-end visits to the houses of the rich and the grand and interminable dinnerparties in Mayfair that I was bidden to. I did not want to go to any more dances. I was growing old (I thought) and the precious years were slipping unprofitably through my fingers. I had a great eagerness for life. I determined to cut myself adrift from the agreeable friends and the monotonous pleasures that were wasting me. I got rid of the little flat near Victoria of which for a moment I had been so proud, sold the furniture and set out for Paris.¹⁾

「わたしはいたたまれなかった。自分が送ってきた、静かで、きちんと整った生活にいら立ちをおぼえた。週末ごとに、豊かな人々の邸宅や、ロンドン社交界メイフェアの盛大で、いつ果てるとも知れぬような晩餐会に招かれて出かけていくことにうんざりしていた。わたしは、もうこれ以上、舞踏会になど行きたくはなかった。わたしは年をとりつつあった（とわたしは思った）し、かけがいのない歳月がいたずらに指の間からこぼれ落ちて行きつつあった。わたしには人生というものに対する途方もない熱望があった。わたしは、わたしを損ねつつあった快適な友人たちや、単調なさまざまな快楽に別れを告げようと決意した。わたしは一時はわたし自身、大そう誇らしく思っていたヴィクトリア駅の近くのフラットを出、家具を売りはらい、パリへと出発した。」

モームがロンドンを去る前年の1903年5月8日、チャールズ・ストリ克兰ドのモデルとなったポール・ゴーギャンが世を去った。35才のとき、株式仲買人としての安定した生活を捨て、妻子を捨て、自ら描きたいと思うものを妥協することなしに描き、同棲した混血の女には裏切られ、捨て去った娘には先立たれ、その強烈な性格ゆえに多くの敵をつくり、貧困と病苦の中で閉じた生涯であった。モームがゴーギャンのことをいつ知ったのか、漠然とした『月と六ペンス』の序文の記述などからはわからないが、感受性の強いモームが、ゴーギャンの作品と生涯から受けた衝撃が相当大きかったであろうことは容易に想像できるのである。彼は次のように言う。

Though I do not now so much admire his pictures I still see how much there is in them to excite the

literary imagination.²⁾

「現在では、わたしは彼の絵を高く買いはしないが、それでもなお、それらの絵の中に文学的想像心をかきたてる要素がいかに多いかということを認めるものである。」

さらにモームは、パリでゴーギャンを直接知る人々から聞いた話の中に、小説の主題があると思い、その想を十年以上もあたためつつけたと述べている。1944年に出版された『剃刀の刃』の第一章でモームは次のように述べている。

Many years ago I wrote a novel called *The Moon and Sixpence*. In that I took a famous painter, Paul Gauguin, and using the novelist's privilege, devised a number of incidents to illustrate the character I had created on the suggestions afforded me by the scanty facts I know about the French artist³⁾

「ずい分昔のこと、わたしは『月と六ペンス』という小説を書いた。その中で、わたしは有名な画家ポール・ゴーギャンをとりあげた。そして、このフランスの芸術家についてのわたしのきわめてとぼしい知識から暗示を得て、わたしが作りあげた主人公を描写するために作家の特権を行使して数多くの事件を創出した。」

「人生への途方もない熱望」を胸に「歳月がいたずらに指の間からこぼれて落ちていくこと」を自覚していたモームは、奔放に生き切ったゴーギャンの人と生涯に一種の共感を持った。そして、十年以上の歳月が流れる間にモームは、ゴーギャンをモデルに、ゴーギャン以上に彼が共感を持ちうる人間像を作りあげていった。そしてその人間像は、モームが『人間の絆』において、人生は無意味であり、何がおころうと、それは人生の絵模様の複雑さを加えることになるだけだという彼の人生への解釈を示した後に、ますます鮮明になっていったのであった。

パーティの席などでは、善良で、退屈で正直な、目立たぬ男としか見えなかったストリ克兰ドは、40才になったとき、ロンドンでの株式仲買人としての安定した生活と妻子を捨てて、わずか100ポンドの金を持ってパリに行き絵を描きはじめる。ストリ克兰ドは「狂信者のひたむきさ」と「使徒の激しさ」を併せもち、「他人がどのように思おうが全く気にせず」「良心」や「生活の

1) *The Moon and Sixpence* pp. v-vi

2) Ibid. p.vii

3) *The Razor's Edge* p.1

安楽」とは無縁に、全神経を集中して絵を描いていた。この物語の語り手であるモームらしき人物「わたし」はそのようなストリ克蘭ドを見て、「人間だとは思われない怪物」を見たような一種の恐怖を感じる のであった。

ストリ克蘭ドがパリへ移って五年後、「わたし」もパリへ移る。「わたし」の以前からの友人、ディルク・ストルーヴは、絵は下手だったが、その鑑賞眼はたしかで、ストリ克蘭ドのことを天才だと断言する。「わたし」が五年ぶりに会ったストリ克蘭ドは、「貧窮を苦痛とも思わず」画塾に通うのはやめて、ひとりで絵を描いていた。彼は「技術上の問題を独力で解決するためにかなりの時間を浪費し」「何かを目ざして」「ものに憑かれた人」のごとく努力していた。ストリ克蘭ドは、「夢に生きており、現実などは彼にとって何の意味もなかった。彼は心の目で見たものをとらえようと努力して何もかも忘れて、強烈な個性の持つ力のすべてを傾けて、カンバスに向かっていった」。そして「彼は、自分の描いたものに決して満足することがなかった」のであった。「展覧会に出品しないか」とか「名声がほしくないか」と「わたし」がたずねると、ストリ克蘭ドは軽蔑をこめて「個人個人の意見にしても二ペンスほどにも気にならぬのに、どうして大衆の意見を気にしなければならぬのだ」と言い切り、絵の巧拙は気にせず、「見えるものを描きたいだけだ」と言うのである。作家の立場から、「わたし」はストリ克蘭ドに次のように言う。

「I wonder if I could write on a desert island, with the certainty that no eyes but mine would ever see what I had written¹⁾」

「自分が無人島に居たとして、自分の書き物が自分以外の誰の目にもふれぬことがはっきりわかっている場合、わたしはものを書きつづけることができるものかどうか疑問だ。」

「わたし」の予想に反して、ストリ克蘭ドは異様に目を輝かせ、無人島へのあこがれのことをばもらす。さらに「わたし」が、夫人との出会いのときのことなど昔のことを思い出させようとすると、彼は「過去のことは考えない。問題なのはただ一つ、永遠の現在なのだ」と言い、パリでの恋愛という問いには「恋に生き、芸術に生きというほど人生は長くない」と答えるのである。彼はそれで幸福だというのであった。

やがて、貧窮と過労でストリ克蘭ドは病む身となる。同情したストルーヴは妻ブランシュの反対を押し切って彼を自分の家に連れてきて看病する。病み衰えた彼の姿を見て、「わたし」は、彼が善悪以前に存在する鬼神にでもとりつかれているのだという印象を受ける。

ストリ克蘭ドが回復したとき、彼の看病にあたったブランシュは、いっしょに出ていくと言い出す。ブランシュが哀れで、ストルーヴは住居を彼らに提供する。彼は見苦しいまでに彼女の身を案じ、彼女に忠告しつづけるが、彼女は耳を貸そうとはしない。ブランシュはストリ克蘭ドに献身的に奉仕するが、ストルーヴの案じたとおりストリ克蘭ドは彼女を捨て去る。捨てられたブランシュは自殺をはかり、病院に収容されるが、息を引きとるまで夫との面会を拒み続けたのであった。

傷心のストルーヴがオランダへ帰った後、ストリ克蘭ドは「わたし」に「あの女、いいからだをしていたので裸体を描きたくなったんだ。描いてしまったら、もうあの女に興味はなくなった」と言った。さらに彼は、めずらしくさまざまなことを語る。

「I don't want love. I haven't time for it. It's weakness. I am a man, and sometimes I want a woman. When I've satisfied my passion I'm ready for other things. I can't overcome my desire, but I hate it; it imprisons my spirit. I look forward to the time when I shall be free from all desire and can give myself without hindrance to my work.²⁾」

「おれは愛などいらぬ。おれにはそんなものを求める暇などない。愛なんぞ弱さだ。おれだって男だから、時には女がほしくなる。欲望を満足させてしまえば、おれはほかのことにとりかかろうという気になるんだ。おれは情欲にうちかつことができないが、それを憎んでいる。情欲はおれの魂まで金縛りにするんだ。おれはあらゆる欲望から解放されて、邪魔されることなく仕事に打ちこめる時が来るのを待ち望んでいる。」

「I know lust. That's normal and healthy. Love is a disease. Women are the instruments of my pleasure; I have no patience with their claim to be helpmates, partners, companions.³⁾」

「おれは肉欲というものを知っている。それはごくあたりまえの健康なものだ。愛だなんて病気だ。女はお

1) *The Moon and Sixpence* p.88

2) *Ibid.* p.164

3) *Ibid.* p.164

れの快楽の道具でしかない。女が協力者だの、相棒だの、仲間だのと言うのにおれはがまんならない。」

“The soul of man wanders through the uttermost regions of the universe, and she seeks to imprison it in the circle of her account-book. Do you remember my wife? I saw Blanche little by little trying all her tricks.¹⁾

「男の魂は宇宙の果てまで放浪するものだが、女はそれを家計簿の枠の中に閉じこめてしまおうとするんだ。おれの女房のことを憶えているだろう？ ブランシュもあいつのありとあらゆる手練手管というやつを少しずつ使いはじめたのにおれは気づいたんだ。」

“She was willing to do everything in the world for me except the one thing I wanted: to leave me alone.²⁾

「あいつは、おれのためにならどんなことでも喜々としてやろうとしてたんだ。おれを放っておいてくれというおれのたった一つの望み以外にはね。」

Life has no value. Blanche Stroeve didn't commit suicide because I left her, but because she was a foolish and unbalanced woman.³⁾

「人生にはなんの価値もないんだ。ブランシュ・ストルーヴが自殺したのは、おれが捨てたからではなくてあいつが馬鹿で、心の平衡を保つこともできぬ女だったからだ。」

さまざまなことを語ったあと、ストリ克蘭ドが見せてくれた絵を見て、「わたし」は、その絵が語ろうとするものを理解することはできなかったが、不思議なほど心をかき乱されて、分析することもできぬ感動を味わった。ストリ克蘭ドが、靈魂のある状態を表現しようとして、悪戦苦闘しているのを知った「わたし」は、彼が表現の手段をまちがえたのではないかとさえ思ってしまうほどであった。これが「わたし」がストリ克蘭ドに最後に会ったときの感想であった。このとき、ストリ克蘭ド、47才であった。

ストリ克蘭ドがパリを去ったあと、「わたし」は彼のことをふりかえてみる。ストリ克蘭ドはごく普通の職人階層の人たちよりもまだ貧しく暮らし、懸命に仕事をし、気持よく整った生活など一切望まず、金銭にも名声にも無関心に、妥協せずに生きた。華やかなパリでテーベの荒野の隠者よりもまだ孤独な生活を送り、自分を放っておいてくれという以外、誰にも何も求めず、ひ

たすら、自分の目的にむかってつきすすんだ。彼はわが身をも犠牲にしたが、他人をも平然と犠牲にした。彼には彼をとらえてはなさぬ「夢」があったのだ。ストリ克蘭ドは、その「夢」にしばられて文学の方がよりびつたりとしている観念を、絵具で描こうとしていたのだと「わたし」は改めて思うのであった。

ストリ克蘭ドはタヒチに渡り、タヒチで死んだ。その死後、9年目に「わたし」はタヒチを訪れ、さまざまな人からタヒチでの彼のことを聞く。彼の名声が高くなってからのことであったから、ニコルズ船長の話のようなでたらめ話もまじっていたが、コーエン氏、ティアレ、ブルノ船長、クートラ医師などの話から、タヒチでのストリ克蘭ドの様子を知ることができた。そして、「わたし」は、ストリ克蘭ドがタヒチで環境に恵まれて生活できたことを知った。かつて無人島へのあこがれを見せたストリ克蘭ドは、ここに安住の地を見出したようであった。

ストリ克蘭ドは、働いて画材を買う金ができると、森へ入って絵を描いた。ホテルの女主人ティアレは17才の島の娘アタとストリ克蘭ドを結婚させた。イギリスに妻がいることを承知の上のタヒチだけでの結婚であった。二人はタラヴァオのアタの地所に住む。その地は、エデンの園の美しさに恵まれていた。二人はベンキを塗らない木造のバンガローで暮らす。バンガローのまわりには、バナナ、マンゴー、アボガド、椰子などの樹があった。少しはなれたところには小川が流れ、そこでは魚もとれたし、また珊瑚礁へおりていけば、さまざまな海の幸に恵まれた。二人は土地でとれるものを食べて、何週間も二人きりで暮らした。ストリ克蘭ドは世界のことなど全く気にせず、また世界からも忘れられて、全く土着民化して暮らした。やがて、二人の間には子どもが生れる。お産の手伝いに来た老婆とその孫娘、島民の若者などがやってきて、一時は二間しかないバンガローで七人一緒に暮らしたこともあった。ヨーロッパにいたころ、ひとりっきりにしてくれと言いつづけたストリ克蘭ドが、アタの一族の者たちと暮らして、モデルに恵まれるのでもいいと喜んでいたという。こういう風にして三年が過ぎた。

かつてブランシュが死んだとき、「死」についてどう思うかと「わたし」がたずねたとき、ストリ克蘭ドは「どうして考えなけりゃならないんだ。そんなことはどうだっていいんだ」と答えたものだったが、彼は、迫りくる死を考えざるをえない状況に追いこまれる。

クートラ医師の伝えるストリ克蘭ド像には一種の雄

1) *The Moon and Sixpence* p.165

2) *Ibid.* p.165

3) *Ibid.* p.166

雄しさがあった。ライ病にかかっていることを告げられた彼は、クートラ医師にいていぬに札を言って絵を贈る。パリでは感謝などしたことのないストリ克蘭ドが感謝したのである。その後で、ストリ克蘭ドは、泣きさけぶアタたちを落ちつかせ、アタに別れてやると言う。アタは別れないという。別れるくらいなら、家の裏の木に首を吊って死んでやると言うのだ。彼女が別れないという理由は、「あんたはわたしの男で、わたしはあんたの女だもの」というだけのことであった。彼女は、愛だの、恋だの、義務だのとは無縁の女であった。ストリ克蘭ドは心を動かされる。

For a moment Strickland's fortitude was shaken, and a tear filled each of his eyes and trickled slowly down his cheeks.¹⁾

「一瞬、ストリ克蘭ドの剛直さにも動揺が見られた。そして涙が両の目にあふれ、やがて静かに頬を伝ってこぼれ落ちた。」

ストリ克蘭ドは「白人だろうと有色人種だろうと、女はみな同じだ」と言う。クートラ医師は、ストリ克蘭ドに対して好感を持てはなかったが、「人間の苦悩の中でもおそらく最もおそろしいものに耐えていることのできる、彼の抑制のきいた勇氣には、いや応なしに感服せざるをえなかった」という。

それからのストリ克蘭ドは、アタと子どもとだけで暮らすようになる。村人は誰も近付かなくなる。素朴なるがゆえに、彼らは残酷であった。石を投げつけられ、家を焼くとおどされて、アタは小川で洗濯することもできなくなる。バンガローの周囲の農園は荒れて、エデンの園の雰囲気は失われ、椰子の実は腐って落ち、二人の子のうち一人は死んで、アタは笑いを失っていった。二度目にクートラ医師が訪れたときは、ストリ克蘭ドは会おうとはしなかった。しかし、医師は、むかつくような臭気と、ストリ克蘭ドの声とは思われぬほどしわがれた声から、病気が確実に進行しているのを察したのだった。ストリ克蘭ドは家の壁に絵を描いているということであった。アタが医師にたのんだのは絵具を届けてほしいということだけであった。医師が彼女にいたわりのことばをかけると、彼女ははじめてにっこり笑って超人的な愛の表情を浮べて、「あの人はあたしの男だもの」と言ったという。

それから2年か3年の後、医師はストリ克蘭ドの危篤の知らせを受けた。臨終には間に合わなかった。異臭

の漂う家の中に入って、医師は魔法の世界に踏み込んだような気持になる。壮大な原始林が広がり、木々の下を歩む裸の人々がいるのを漠然と感じたのだ。壁に絵が描いてあることがわかった。床から天井まで壁面すべてが奇妙で、しかも入念に描かれた絵でいっぱいだった。それはことばで言いあらわすことなどできぬほどすばらしく、しかも神秘的なものだった。異臭の中で、あまりの感動のため圧倒されて、彼は息もつまるような思いであった。彼にはその感動の正体すらつかめなかった。天地創造に立ち会った人間がいたとしたら感じたであろうようなおそれとよろこびに彼は胸をふるわせた。

It was the work of a man who had delved into the hidden depths of nature and had discovered secrets which were beautiful and fearful too. It was the work of a man who knew things which it is unholy for men to know There was something primeval there and terrible. It was not human.²⁾

「それは自然が奥深く隠しているもののところまで分け入り、その美しくかつおそろしい秘密をあばき立てた人間の作品であった。それはまさに、人間がそれを知るのは冒瀆以外の何ものでもない事柄を知ってしまった人間の作品であった。そこには始源的かつおそろしいなにかがあった。それは生身の人間のものではなかった。」

医師は絵については素人だったにもかかわらず、「これこそ天才だ」と確信したのだが、その天才は、部屋の片隅のベッドの上に、おそろしい、人間としての形などなくなった、ぞっとするような物体となって横たわっていた。死体の様子から、医師はストリ克蘭ドが盲目だったことを知る。目などつぶれて形がなかったのだ。アタのことばによれば、ストリ克蘭ドは1年ほど前から目が見えなくなっていたのだった。

医師の話を聞いて「わたし」は、ストリ克蘭ドが彼のすべてを表現しきったのだと確信する。「わたし」は迫り来る死を意識しつつ、最後の機会だと知って、黙々と仕事をすすめ、人生において探った神秘のすべてを表現しつつ、目が見えなくなっても心の目でそれを見て確かめて、満足し、ついに心の平和を見出し得たストリ克蘭ドを想像した。

The demon which possessed him was exorcised at last, and with the completion of the work, for

1) *The Moon and Sixpence* p. 234

2) Ibid. pp. 239-240

which all his life had been a painful preparation, rest descended on his remote and tortured soul. He was willing to die, for he had fulfilled his purpose.¹⁾

「彼にとりついた悪魔はついに祓い清められ、その全生涯がその制作のための苦渋にみちた準備期となった作品の完成とともに、孤絶して、苦悩にみちた彼の魂に安息が訪れたのだった。彼は喜んで死んでいったのだ。彼は彼の目的を果たしたのだから。」

ストリ克蘭ドのこの大傑作が焼き払われたということを知り、²⁾「わたし」は驚愕する。ストリ克蘭ドは自分の運命に愚痴ひとつこぼさず、勇気を失わず、最後まで心は平静であった。彼は、自分の埋葬が終わったら、家に火をつけ、棒杭一本残らぬように焼き払うようにとアタに言い残した。アタは医師が天才の大傑作だからと言って止めることばに耳を貸さなかった。彼女は「天才の妻たるものの社会に対する責任」などとは無縁の女であった。医師の話聞き、「わたし」はストリ克蘭ドが最後まで変らなかったことを確認して、次のように言う。

"I think Strickland knew it was a masterpiece. He had achieved what he wanted. His life was complete. He had made a world and saw that it was good. Then, in pride and contempt, he destroyed it."³⁾

「ストリ克蘭ドはそれが傑作だということを知っていたのです。彼は、やりたかったことをやりとげたのです。彼の生涯は完成したのです。彼は一つの世界を作り上げ、それがいいものだということを知ったのです。それから、誇らしさと軽蔑を感じながら、彼はそれを焼き捨てたのです。」

III

ストリ克蘭ドは、彼自身の目的のために平穏で安楽な生活を捨て、貧しさをものともせず、心を寄せてくる女にも迷わず、名声にも非難にも超然として、自らはもとより他人までも犠牲にし、哀れみの心など一切持たず人の心を傷つけ、妥協などは全くせず、聖書の時代からの業病にもくじけず、死をおそれず、最初から最後まで変わらずに生きた。彼は自分の生涯をその代償として神の領域に入りこみ、神の秘密を探った。彼は見えるものを描きたいと言いつつ、その願望を果たした。彼は、文学による表現の方がよりふさわしいと思われるものを絵画に表現しきった。彼は自分が描き上げたものに満足して

死んでいった。そして、彼はその作品を自分の埋葬の直後に焼き払ったのであった。

『人間の絆』のフィリップは、人生はベルシャ絨毯の絵模様のようなもので、何が起きようと、それは絵模様の意匠がより複雑になったというだけのことから、死期が迫ってきても、すばらしい絵模様ができあがるのだという喜びがあるだけであって、その絵模様が一つの芸術作品であるということを知っているのが、たとえ自分ひとりだけであろうと、そしてその作品が自分の死とともに、たちまちにして消え去るものであろうと、その絵模様の美しさには少しも変りはないはずだと考えたが、このフィリップの解釈どおりの生き方をしたのがストリ克蘭ドであった。モームは『月と6ペンス』においてかつて彼が『人間の絆』で提示した彼の人生への解釈をストリ克蘭ドに実践させたのである。モームがこういう形で、自分の生涯をかけて、自分自身のために、自分が満足できる絵模様を織り上げた男を創り出したという点で『月と6ペンス』は『人間の絆』の延長線上にある作品であり、ある意味では完璧な実験小説であった。

1930年に出版された『お菓子と麦酒』でモームは、人間を複雑で矛盾だらけで、理屈に合わないものと見る場合不自然な書き方を避けるためには一人称単数の視点から書くのが都合がよいと言っている⁴⁾。『月と6ペンス』を書いた時点で、一人称単数の視点から描写することについてモームがどう考えていたかはわからない。『人間の絆』のフィリップを全知の視点から書きあげたその後、モームはなぜ、ストリ克蘭ドを一人称単数の視点から描いたのか。ただ強者ストリ克蘭ド像を作りあげることだけがモームの目的であったとすれば、全知の視点から描いても、ストリ克蘭ド像はゆがめられはしなかったはずである。モームが一人称単数の視点を採用したのは、作家自身の自らを問う姿勢を保つためではなかったかと筆者は考える。自分はストリ克蘭ドでありうるか、自分はストリ克蘭ドのごとく生きられるかという問いが常にモーム自身の胸中にあったと筆者は推測するのである。ストリ克蘭ドに対して、「わたし」が「自分が無人島に居たとして、自分の書き物が自分以外の誰の目にも触れぬことがはっきりわかっているのに、ものを書きつづけることができるものかどうか疑問だ」と言ったことは、そのまま、モームの立場の表明であった。モームは、ストリ克蘭ドとちがって、大衆から受け容れられることを望んだり、貧困をものともせぬ生き方などというものは、観念としては、すばらしいもの

1) *The Moon and Sixpence* p. 241

2) *Ibid.* p. 244

3) *Cakes and Ale* pp. 188-189

4) *The Summing Up* p. 112 参照

かも知れないが、その現実がどれほどみじめなものであるかも知るはモームは知っていた。屋根裏でパン屑をかじって生命をつなぐような生活を彼は望まなかった¹⁾。そしてまた、彼はただひたすら文学の道に精進するような生活も願わなかった。彼は、いろいろなことを試み、さまざまなことを成し遂げて死にたいと思ったのである²⁾。

同じく芸術を志す身ではあっても、芸術のためにすべてを捨てたストリ克兰ドの、ものに憑かれたような生き方を、はるかにはるか彼方の空高く輝く月にたとえるならば、文学以外にも、この世の中のさまざまなことがらに興味がありすぎるこの身は、言ってみれば、硬貨の中でももっとも価値の低い6ペンス硬貨のようなものかも知れぬ。それでもよいではないか——。卑小なるものは卑小なるままに、それなりの人生の絵模様を織り上げればよいではないか³⁾。

『月と6ペンス』は、モームが、彼自身の人生を見きわめるために書いた、彼自身が満足できる作品であったと筆者は考えるのである。

1) *The Summing Up* p. 112 参照

2), 3) *Ibid.* pp. 45-47 参照

女子体育について

—— エレン・ケーの教育論を中心に ——

中 和 田 武

On Physical Education of Women

— In Reference to Ellen Key's Theory —

Takeshi NAKAWADA

エレン・ケーの女性解放論は、精神革命と女性の自覚に重点をおき、恋愛の自由と母性の権利を強調し、母性の権利を女性の最大の権利として主張したところに特色がみられる。未来の女性像としては、子供を生み育てるという母親の役割と、人間として生きるという成人した女性の意図的役割との矛盾を超越し、両者の調和の中で生命の完成をめざす女性的女性、すなわち真の女性を描きだしている。このような女性の育成は、女性の先天的機能と関連する女性独特の能力を徹底的に強化する教育によって達成しうるとし、人間教育の原点に体育をおき、女性像の基盤としての健康体の育成を重視し、体力養成と美の養成を目的とする体育を志向し、母性機能の発達をうながしている。

未来の女性の身体は、女性の役割を完うできる体と近代生活での効率高い活動体としての身体が要求される。健康な体をつくることは、単に身体面だけでなくそれに対応する精神にも影響を与え、人間としての心の働きにまで発展し、心身両面から新しい健康な女性美が生れてくる。未来の女性の女らしさは、母性からくる特性をあますところなく発揮した健康な身体と、それに対応する精神と気質にあり、それらをそなえた未来の女性の美しさを育てることこそ、これからの女子体育の使命である。

は じ め に

今日の校内暴力、家庭内暴力、人命軽視の行動など青少年の非行化現象は、大きな社会問題であり、そこに現代社会の歪みを感じられる。これらの青少年の非行化の原因は、いくつかあげることができるが、その中で子供が生まれ育つ過程でいちばん大切と思われる家庭についてながめてみると、そこには大きな問題がはらんでいるように思われる。特に子供の成長に不可欠の母親についてみるならば、現代の母親は本当に子供の育成に十分な役割を果たしているであろうか。また子供は真実の母親の愛を受けているだろうか。

家庭という領域は、人間存在そのものにとって公的な領域より原始的であり、より根源的である。したがって人間が家庭から蒙る悪影響は、悪い社会に生れたために蒙る影響、被害よりも人間がまだ無力な幼児期に家庭という安全なゆりかごがなかったために蒙る被害の方が、より全面的なのである。そして家庭における母親の精神作用は、子供にたいして決定的な影響力をもつ。母親が子供に与える精神作用が欠落すると、その子供は一生精

神的な健康に達することができず、精神的成熟がさまたげられる。それは、その影響を受ける個人にとっては決定的であり、人格の根源まで決定づけられる性質のものである。

女というものは、子供を生み、育て、心静かに自己実現することを可能にされた女性のことである。しかしながら、現実の女性をながめてみると、女性解放という風潮と相まって多くは、家にいることに劣等感に近いものを持ち始めているのではないと思われる。現代社会においては、社会的に役立つ人間だけに価値を認め、労働価値至上の思想はほとんどゆるがすことのできないほど浸透してきている。女性の中にもそのような立場に廻ろうとする者が増加してきており、出世する女性がまさにそれゆえに尊敬されるという風潮も急進してきている。しかしよく考えてみると、これは非常に恐ろしいことである。母親までも社会的に努力して獲得したものによって価値が決定するということは、真に恐怖を感じざるをえない。そういう風潮が確立すれば、自分が生んだ子供のほほえみをもって最大の喜びとするような母親は、価値なきものとして軽蔑されるということになるからである。これは人生感としては、極めて恐ろしいものである。

獲得至上主義の母親が生じてきても、価値の多様化時代であるからそれはそれでよいと思われる。しかしそうだけでなくもよいという自信はもっと拡大されてもよいのではないか。われわれは、母親の座は特権の座であると思う。母親というものは、たじろがないということが第一条件である。母親が世の中の流行しだいで自分の子供をあづけて社会活動にむかわなければ時代遅れとなると考えるのは、あまり感心したことではない。母親といってもさまざまな気質や条件の人がいるから、そうする人がいてもいいし、そうしなくてもいいというその落着きがなによりも重要ではないかと思う。その心の静けさがあれば、おそらく家庭にも静かなる喜びが回復するのではないだろうか。このことこそ、子供の成育に大きな影響を及ぼすものである。

子供の世界が大人の世界と同一化現象のあらわれている現代社会において、子供とのかかわりにおいて母親の役割がいかに大切であるかを認識し、せめて社会環境、教育環境の変革ののぞめない現在、家庭環境の変革、わけでも母親の存在価値を高く評価する状態が生まれなければならない。そのためには新しい女性の価値の発見と、新しい思想的背景が必要となる。そこで母性の権利を女性の最大の権利として主張した、宗教的、進化論主義者であるエレン・ケーの教育論を中心に、女性解放の原点を把握する中で、理想的女性像のヴィジョンを明らかにし、これからの女性の生き方と、それをささえる女子体育について考察を試みる。

1

エレン・ケー（1849～1926）⁽¹⁾の婦人運動の原点は、その当時においてだれも考えなかった恋愛の自由と女性の特徴を主張する点からスタートしている。エレン・ケーの婦人解放論は、その至るところに理想主義的精神がみち溢れている。その一つとして恋愛の自由を主張したのは、それがその当事者と、その周囲の人々との人格完成にとって有益であるとする立場からであった。また彼女が母親の権利を女性最大の権利として主張したのは、母性としての生活が人間生活のあらゆる形式の中でもっともすぐれたものであって、女性の人格完成にとって、もっともよきものであると判断したためである。そして他の女性論者同様、真に女性の恋愛を解放するためには、適当な経済的基礎が必要であることも忘れてはいない。だが、それにもかかわらず、何といてもエレン・ケーの本旨は、経済制度改革に主眼点をおく女性解放論ではなくて、精神革命と特に女性の自覚にむしろ重点をおいたもので

あって、恋愛の自由と母親の権利との重要性をあらゆる人々の意識に徹底せしめんとするところに彼女の使命を見ることができる。

当時の女性解放運動は、女性の市民権と労働分野の拡大に向けられており、あらゆる権利のうち最高の権利である女性の人格的権利の主張からはずれていた。女性解放運動は事実上、精神と愛情を拡大する解放運動からはずれ、生命の感受性を失って官僚的に教条的に進められ、利己主義そのものを目的とするような運きであった。その当時の婦人運動家を評してエレン・ケーは、「男性に対抗しているのは新しい女性である——それは人間の変わり種である——しかしながら女性解放運動に従事しているあの男性的な上流婦人は、やがて死に絶えるであろう。それゆえに、われわれはこのような婦人はさておき現に女性的魅力を持っている女性や、これから持とうと努める人を対象として検討を進めなければならない」と述べている。⁽²⁾

無限に多種多様なべき人間生活の様式を無視し、すべての人を一つの固定した型に入れ、同一の義務を課せようとする社会、道徳、習慣などに対する反抗をもってその意志としているエレン・ケーは、男性中心の世界観のもとにあって、女性はただ男性の性的奴隷として、久しく取扱われていたのにたいする反抗として、性そのものを拒むことによって、人間となり得るもののごとく考えたり、さらに言えば、男女の人間としての本質的平等面のみに重きを置いて、性としての差別面を明らかにし得なかったこと、今一つは男子の手によって造られた現存の文明の努力の置きどころを誤ったことなど、この理論の中に含まれた矛盾と、実行の中に潜む危険とを指摘し、警告し彼等女権論者等の盲目を曝露することに努めている。過去の女権論者等の主張の中に含まれている婦人問題が「女よ、人間たれ」と言うことだとすれば、今日の女性問題は、「人たる女よ、真の女たれ」ということではないだろうか。そしてこのエレン・ケーこそ、「人たる女よ、真の女たれ」と説く新しい女性論のチャンピオンである。この点でも恋愛の自由を説くエレン・ケーは先進的な考えでもって女性解放をとらえた一人といえる。

従来女性解放理論が、もっぱら強調してきた点は、女性が家庭という私的空間に埋没せずに、そこから解放されて、公的な空間に生きる人間となることであった。ウーマン・リブたちが、仕事と母性を対抗的な魅力と見るのは、極端に偏向した考えといわざるをえない。今日、男性的思考の中で考えられた女性解放の理論に教条的にとらわれ、その頑固さは男性を上まわる。たとえば、女性解放といいながら男性と同型の行動パターンをまねることに終止し、男性が得た地位などを獲得することをもって女性の大勝利と錯覚し、女性の本性に反することを

実行して得意になっている場合がある。要するに男性に追いつき、男性と同じになることをもって女性の解放と考へ、解放が進めば進むほど女性らしい主体性をますます喪失し、男性的ロソスへの従属の道をみずから進んでいるという皮肉な結果を生む。「女性の人格の解放は、たんに女性が男性と同じになること、つまり男性と同じ経済的実力と、同じ政治的権利をもつことだけでは不十分である。経済的、政治的解放は必要的条件ではあるが最終目標ではない。女性の解放は、女性が女性独特の魂の法則を経て成熟することによって完成されなければならない。そのためには、女性がたんに父性社会における男性的価値理想の規準に無理矢理組み入れられるだけでは不十分である。女性は、女性的な魂の法則にしたがった女性的な価値理想に、みずから到達してはじめて自分が存在したという感覚に達することができるのである。⁽⁴⁾これは女性みずからの主体的な価値理想と、男性的な価値理想との調和の上に築かれた自己完成であらねばならない。そのためには、今こそ女性的価値理想が復権されなければならない。

男女の平等ということは、まづ性の原形から考えなければならない。女性の最も大きな特徴は子宮をもっていることだと言われている。この子宮は肉体的にも心理的にも大きな意味を持っている。女性にとっては、子宮は性の器官であり、子を育てる器官であり、そこに女性としての若さ、あるいは女性的魅力などが結びつき、一般に女性の健康自体にも大きな関係がある。どうしても男女の差があるとすれば、ただ子供を生むか、生ませるかの差だということに極言されると言ってもよい。男女の関係は、プラグとコンセンツの関係としてとらえることができる。これらは対照的な形であり、プラグは侵入するもの、コンセンツはこれを受け入れるものである。プラグは男性的原理、コンセンツは女性的原理と言ってもよい。ここで明らかなことは、プラグはコンセンツがなければ全く存在価値がなく、コンセンツもプラグがなければ存在の価値がないということである。この二つのものはワンセットになってはじめて意味を生ずる存在としか考えられない。このように考えると男性と女性は、対等な相補関係にあるということが言える。このことは、わが国の神話におけるイザナギ、イザナミの「みとのまぐわい」にいたる発想こそ、男女の相補関係を端的に示しているものではなく、西洋のアダムとイブの神話とは大いに発想の異なるものであり、わが国の神話は驚くべき近代性を持っているといえる。男性の肉体を観察する限り、明らかにそれは女性の存在をあらかじめ予想していることである。また同時に女性の肉体は明らかに男性の存在を予想している。このような観点からすれば、むしろ男が偉いとか女が偉いという考え方自体おかしいのであ

り、どうしても男女は相補関係にあって、男と女が二つで一つの完成されたものとなるのであり、どちらかが能動的、受動的という関係として理解するのが最も自然である。

男性と女性は競い合わなければならない理由はなく、女性と男性は協力すべきものである。そうするように男女は自然によって意図されている。そうするのが男女の本性である。女性にしかできないこと、すなわち子供のうちから立派な人間に成長する準備を男性のためにしてやることである。男性は女性の、すなわち母親のつとめこそこの世でいちばん意義深い仕事であることを十分に共感をもって理解すべきである。男女の相違を完全に理解することは、女性の向上に通ずると同時に、男性の低下ではなく向上に通ずるものである。

個人として、人格としての見地から等しく人間であるということにおいて平等である男女が、性においてはあくまでも不平等であって少しも差支えないのみならず、そうしなければならないのであり、これは何も男女の優劣を意味することにはならない、男性も女性もそれぞれが自分がよしと思える人生を選ぶことを保証されることを目ざして、手に手をたずさえていくパートナーとして、尊重し助け合っていかなければならない。すなわち、男女というものは非常に違っているものであるというこの現実を目をふさがないで、その意味を考えその差を伸ばすことによって差は大きくしながらしかも損得においてバランスがとれるように考えるのが真の男女の平等論ではないかと思われる。

2

恋愛の自由と共にエレン・ケーが力説したもう一つのものは、母性の権利である。エレン・ケーは他の女性論者のように女性の「男性との同権」を云々したというよりはむしろ男性と異なる女性独特の権利を強調したのである。すなわち、女性は男性と同等であるゆえに女性解放の必要性を強調したのではなく、むしろ女性は男性とは大いに異っているものであるゆえに、その独特の能力と権利とを保全するためには女性の解放が必要であることを力説した。そして独特の能力と権利の中核をなすものは、「母たるの権利」であると論じている。母性としての生活と活動が、女性の人格完成にとってまた人類種族の進化にとっていかに重要な意味をもっているかについて最大の雄弁をふるった思想家の一人は、エレン・ケー⁽⁵⁾であると塩尻は述べている。

子供は、生みの親の永遠性を保証するところの唯一の芸術作品である。一度でも子供を自分の胸に抱いた女性は、簡単に母性を放棄し去ることがいかに愚かな損失で

あるかを身をもって痛感せざるを得ないであろう。エレン・ケーは母親の心について、次のような印象深い経験を語っている。「南国の鉄道旅行であるとき、顔色、容姿、態度に、憔悴の色が現われている婦人に出会ったことがある。この母親は美しい六つの女の子を連れていた。わたしは、この母の膝に抱かれた子供を見たときほど、恐ろしい思いをしたことはなかった。また、あわれな手がこの子の頬に懸けてあったあのマスコットの聖像ほど、加護の無力さを感じたことはなかった。その女の子が母によりかかると、この酔った娼婦らしい女は、やさしい感動をこめてこの子を抱いた。この感動は彼女に尊い人間性の片鱗を回復させたのであった。そして女の子は、相客の嫌悪のまなざしが母に注がれているのを見てとるや、黒い目に怒りと悲しみを現わし、母を庇うやさしい態度を示した。この子をこのけがれた手から取り上げねばならないことに、疑いをさしはさむものは一人もなかった。しかし、瞬間に子供の心が作用したあの偉大な感情を、発露させることのできる養育方法が、母を措いて他にあり得るだろうか。この場合のように、必要と弊害とのけじめを決定しかねるとき、他の多くの場合も見て、次のことが確められる。人間は必ずしも最上の食事や、一番清潔なベッドや、平均した世話を受ける場所で、最も良く成長するものとは決っていない。むしろ、人間の精神は最も温かく、最も偉大な感情によって大きくなるものだということである。⁽⁶⁾」

このことは、すなわち何にもまして母の愛こそ子供の成長に最大の必要条件であることを認識することができる。エレン・ケーは、婦人の最大の社会的任務と、その最高の幸福は母性のなかにあると論じ、婦人がその特色ある女としての本質を完全に豊かに発達させるならば、人類の形態に美しくかつ高尚な価値を与える助けとなるであろうと述べている。すなわち子供を生むことは肉体的成熟であり、子供を教育することは精神的成熟の完成である。女性にとって出産・育児は大きな喜びの源泉であるばかりでなく、男性からも大いに称賛され尊敬される。女性が最も女性らしさを発揮するのは母親であるときであり、出産と育児は人生最大の快楽の一つであることが確信できる。女が女性として成長するためには、どうしても妊娠が必要である。子供が母を必要とするということはだれでも言うことであるが、女性もまた子供を通して成長した女になるのである。子供をつくることについて親の意志が作用しうるようになった現在では、親の子供に対する責任は大である。子供の体の育成にとってビタミン類が必要なように、子供の心の成長にとって母親の愛情が不可欠なことをわすれてはならない、どれだけ悪い母親でも最高の施設にまざるものはないとまでいわれるほど、子供の性格形成期には安定した母親の愛

情が必要であることは承知の通りである。

エレン・ケーは、「人間であって女であり、市民であって個人である——未来の社会の母は、それ以外のものであってはならない。強いには違いないが、眼界の狭かった家庭の母や、考えなしに献身的だった主婦など、古い女の理想像に逆戻りできる橋はすべて、彼女自らの手で切り落してしまった。しかし、未来の社会の母は、無休運転の機械となったり、中途半端な試験合格証を持つ専門家となるのを名誉としたりするような、近視眼的な婦人運動家といっしょにされてはならない。社会の母は、古い型からも新しい型からも何を学ぶか、そのどちらにも似ない。なぜならば、生命の完成のみが、彼女にとって人生の意義である⁽⁷⁾」と未来の女性の理想を描いており自分の幸不幸を選択するのは女性それぞれの権利であると論じている。『婦人の幸福——ときには不幸とも言うべきか——は、自然の大きな全体のなかに含まれているもので、婦人に「その性からの免除」は全然許されない。それゆえ、婦人が肉体および心理的に一番奥にもつ生命力、すなわち母親の力が、だんだん弱まるようになってきた場合には、個人の上に、民族の上に、種族の上に、仕返しを受けることになる⁽⁸⁾』と述べている。母性がこのような傾向を示し、このような状態になるとすれば、新しい人類の母となる資格はなくなってしまふ。女は母性として、男は父性として自ら修養を積んで はじめて、両方が一緒になって新しい世代を育て世に送り出すことができるのである。新しい世代がつくり出す社会では、完成した人間——「超人」が朝の光のなかに照し出されるであろうとエレン・ケーは述べている。

陰と陽、昼と夜、男と女、これらはすべて相反する存在である。しかしこの二つをあわせて本当にひとつをつくる。これがこの世の秩序の根本である。すなわち対立する二つが完全な一つの調和と繁栄を生むのである。このことについて常岡は「これが天地のお手本である。だから相対するものはたいせつな味方である。それをすぐ敵だと考える人がある。おろかなことである。相反するものこそわりがたい半分である。生かせば、とうとい味方である。相対立するふたつが生かし合う、調和する、融合する。男女が新しい生命を生み出す、陰陽が天地のめぐみを生み出す。ふたつでひとつ。これが秩序の基本である⁽⁹⁾」と述べているが、この思想こそ男女が未来へ向かって進む上での大原則とならなければならない。すなわち、これからの女性は、男性と平等になっても女性本来の本質を保持し、男性と同質になろうと努めるのではなく、女性的女性とならなければならない。

人間である前に女であり、女である前に妻であり、妻である前に母であるという生き方、女性の人生観の価値序列を正しくみつめ、女性としていちばん価値ある存在

のしかたは母であり、その次は妻になることである。単なる女は、その素材にすぎないということを認識しなければならない。すなわち妻や母の役割とより広い社会の一員としての役割を複雑な創造的方法で、ライフサイクルの各段階に応じて変えながら、相互作用を行う女性こそ女性の女性ではないかと思われる。

3

エレン・ケーの教育理想の背景となっている世界観は、宗教的進化論主義である。エレン・ケーはこれを「生の信仰」⁽⁹⁾と名づけている。これは彼女が永年にわたる心の遍歴を経たのちに到達した信念である。それは自己主張と自己抑制を二つの対立とする世界観として論じている。この対立する二つの世界観の一つは東洋的であり、他の一つは西洋的である。東洋の世界観を代表するのは仏教的生命観であり、その特徴は自主的禁欲による生の調整であり、西洋の世界観を代表するのはキリスト教的生命観であり、それは生活の知恵の働きで、知恵をフルに働かせて自己の拡大を主張するのが特徴である。この二つがそれぞれ特徴を伸ばしながら、調和によって統一されるのが人生にとって最も望ましい姿であると述べている。人間性の発展を推し進めるためには、多様性を認めその間に調和を求めるような健全な世界観と、これを実践する生活設計が不可欠の前提条件であるとしている。

エレン・ケーがいう「生の信仰」とは、人生の目的はその日その日の生活そのものであるとし、その目的に合うように毎日の生活の仕方に喜びを見出すものである。すなわち、個人と人類全体の生活と生の価値を最高度に高めるために努力しながら、人間生活を清く美しくすることである。これはクーデンホーフのいう「生命の掟」⁽¹⁰⁾にも相通ずるものである。

以上のような世界観を基盤とするエレン・ケーの教育理想は、自由主義を基調とする徹底した自己啓発と、美の倫理性を社会に結びつけた倫理美学的教育観である。エレン・ケーは当時の教育を批判して次のように述べている。「教育は、普通教育も高等教育も、人格の形成ではなく、試験用知識教育であり、精神文化のない専門教育である。中途半端な教育の弊害は、個性を抹殺し、本能を根底から覆してしまうことである。今日のあらゆる教育計画は、男性の特質を磨くことに向けられているから、中途半端な一面的なところはあっても、男性が強くなることでその目的は達成している。これに反し、女性が弱くなるのは、中途半端な教育が、女性から女性の特質を奪いながら、男性の特質を与えもしないからである。われわれはしばしば文盲の婦人が、本質的な平等に対して、卓越した本能感覚を持っていることを発見する。中

途半端な教育を受けた女性は、このような感覚を失っているか、少くともそのような感覚に信頼を持っていない。⁽¹²⁾これは何よりも女性自身にとって本質的な特徴である。」このことは、まさに今日の社会における教育批判にも相通ずるところがある。

エレン・ケーは女性の教育について、「母親としての天職を果たすために、その永遠の使命たる新しき生命の養育者、保護者としての使命を果たすために、単にその心情ばかりではなくその頭脳をも働かしめることができるように、必要な解放を与えられなくてはならない」⁽¹³⁾と言っている。そして現代の教育された母親、否教育されない母親ですらも、その子供の養育、保護のために、かつて彼女たちの祖母の2倍以上の脳力を使用していることを指摘し、子供と病人との世話に関して、あらゆる母親が今後いっそう適切な実際の訓練を受けるならば、女性たち個人にとっても社会にとっても驚くべき進歩と幸福とが見られることを確信している。すなわち「母親はその英知と創造力とその芸術的感覚とその心理上および生理上の諸々の本能の一切をあげて、子供の発育にとっても好適なもっと自由な環境を作り出すように、工夫をこらすことができるようになるであろう。」⁽¹⁴⁾このような実際の訓練という点では、適度な職業的な仕事や頭脳の仕事は母としての天職を阻害することなく、貴重な訓練となると論じている。

次に女性教育との関連において子供の教育についても「児童の世紀」で明らかにしているがこれは興味深いものがある。「母親が家庭外の仕事や社会生活から子どものもとに帰ってきたとき、初めてルソーやスペンサーの精神による自然教育、すなわち家庭生活を通じて生命ある教育が実現する」⁽¹⁵⁾として、学校教育よりも家庭教育の子供に対する重要性を強調している。子供と正しく遊ぶことは、一つの大きな熟練のいる仕事である。遊戯は親と子のあいだの信頼を増し、親は子に対する認識を深めることができる。「子どもに、肉体の健康と美を道徳的価値の高いものと評価させ、健康と美を損うのは醜い行為であることを覚えさせる……そして……生活の不平等や不快さや危険に対抗するための合理的な訓練などは、子供に生きる喜びを与え、精神力を強めるための優れた条件の一つである」⁽¹⁶⁾ことの自覚が必要であろう。また子供たちが何も言わなくても、自分のまわりで善が行われているのを見れば、善をおこなうことを学び、大人が自然の美や芸術の美を觀賞するのを見れば、その觀賞を学ぶようなものだ。一言でいえば、大人自身が美しく寛い心を持ち、バランスのとれた人間であることによって、子供に対して立派な話をするができることも述べている。そのためには、母親の教育能力が婦人の進歩の目標に置かれるようにならなければならない。このような

く教育された新しい世代の母親をつくることこそ将来の仕事の一つであり、今こそ女性がさらに発展することが望まれる時である。

「現代の教育は男女を同じ種目で、また同じレベルで競争させること自体を善と認めているようなところがある。これによって男と競争することによって生きがいを感じるようなタイプの女性がつくられつつあるのではないだろうか。」⁽¹⁷⁾ 教育の本筋から言えば、男の特徴を徹底的に伸ばし、また女性の先天的機能と関係する能力をも徹底的に強めるべきではないだろうか。そして女性は、その肉体的、精神的能力を必要に従い発達させ活用することができなければならないのであり、今こそ自分の価値に目ざめた健康な自覚ある女性が教育されなければならない。

4

「健康は第一の富である」とエマーソンは言っているが健康はあらゆる活動の基礎である。健康は人間だれでも望むことであるが、中でもこれから何か事をなそうとする女性にとって、健康は欠かすことのできない条件である。出産は一生に二度程度であるが、その時に基礎体力が物を言う。まず健康な子を生むか不健康な子を生むかは、あとの人生設計にも大きな影響を与える。母体は健康でなくてはならない。また育児期間は、過重労働になりやすい。この時期を乗り切るためにはなんといっても体力である。そして子育ても終り中年以後の仕事にたづさわる時期においてももちろん体力が勝負である。これは男性も同じだが、それまでの苦労が経験となり蓄積となって、いざ収獲というときにダウンしてしまつては元も子もない。それまでの苦労は水泡にきず。このように女性のライフサイクルは健康という基盤に立った上で描かれるものである。

このことについてエレン・ケーは恋愛の自由を通して論じ、女性がその天職をまっとうするためには健康が如何に大切であることを指摘している。「婦人は国民の最も尊い宝ではない、母となった者または母となるべき者が国民のうちの最も尊い部分であつて、社会が母性の機能を守るときに要求するのは、彼女たちの最良の健康状態である。母性の機能は子どもの出産または授乳によつて終るのではなく、教育期間中継続すべきものである」⁽¹⁸⁾と論じ、また肉体の美しさや力強さの点ですぐれた条件をそなえている男女が、はなはだ多くの場合において恋愛の選択の選に入りがちであると指摘しており、そこに健康な肉感の力によって種族全体の利益のために心と神経との才能を平均せしめようとする自然界の法則があらわれていることを読みとることができる。

エレン・ケーは、スポーツ、ダンス、遊戯、体操、散歩、野外活動などが人間の心身の刷新にとって、最上の源泉の一つになったと述べており、人間教育の原点に遊戯や体育をおいていることはすばらしい発想である。「肉体の軽快さは、勇気と自信に反映して、支配意識と生の喜びを昂揚することは、高貴な人びとの特徴である。個々の場合、この証明がどれ程確かであるかは定かでないが、少くとも、この証明の基本的な見方は真実に反していない。この見方の根拠は、精神と肉体が同時に周囲に適応しつつ、競い合つて向上することにある。したがつてこれは、最上として選択された条件を発見するばかりでなく、すでに自然淘汰によって基礎づけられた特性を、強化または弱化する外的条件の発見にも通用するものである」⁽¹⁹⁾とし、体育の目的を体力の養成と美の養成においている。

総合体的には女性は男性よりも強いことはあらゆるデーターが証明している。基礎体力を養うために、どんな体を使うことである。使えば鍛えられて強くなる。おしゃれに身をやつすよりも積極的にスポーツを楽しむことが人生においていかに大切かを悟らなければならない。ただカッコよさとかにとらわれず、その意義を十分に理解した上で取り組むことが必要であらう。成人してからも、あらゆる機会に体力づくりを心がける必要がある。日常の生活の中で、自分の体に関心を怠らず、甘やかさないことが必要である。この日常の心がけが、健康だけでなく美しさをももたらす。そして最大の健康法、美容法は心の張りであらう。いつも明るい心で多忙な毎日を送っている女性のほうが、年輪を重ねるとともにきれいになる。健康と美しさは、向こうからはやつてはこない。こちらから努力してつかまえるものであることを認識しなければならない。

エレン・ケーが論じているように、女性が母性の権利をまっとうするためには、細い白い指を大切に保存していたのではだめであり、健康なたくましい肉体をもたねばならない。これからの女子体育は、やさしい女性づくりはもちろんのこと、勇気あるたくましい女性づくりを積極的に考えなければならない。女性の身体について医学的にも解明された今、われわれは幼児教育から身体・精神・社会性を高める体育を、一貫性をもって生涯体育の立場から志向しなければならない。

女性が女性の最大の魅力を発揮し、女性が社会的な役割を完うするためには、肉体が繊細であるということだけでは役に立たない。か弱い女性は、それだけでも役に立たないのであり、それだけでも美の点において欠けるものである。女性像の基盤としての健康体の育成を通して体格的、体質的、体力的に条件のそろった健康な体が女性にもたらされることによって、今までの美的観念も

健康的なものに変化するだろう。そして健康な純真な粉飾されない女性美は、動ける女性だけがもつ特権となり得よう。

女性には立派な子供を生み育て、充実した家庭を築き、その上に特性を生かした仕事もでき、人生を豊かに過ごすことのできる体力が要求され望まれるといつてよい。未来女性の身体は、女性の役割を完うできる体と近代生活での効率の高い活動体としての体が要求される。これからの女子体育を考える場合、身体と精神の密接なかわりを常に認識し、体力の向上が精神のより効果的な利用に寄与することを忘れてはならない。そして女性が一生涯、美を保つ力は魂の輝く力と、肉体の透明清純さの度合によって左右されることを熟知しなければならない。

ま と め

現代は、愛の不毛の時代といわれている。快楽と欲望の氾濫する時代であり、愛を神聖なものとする事態がおかしいと思われる時代である。女性の地位は向上したけれども愛にたいする思想は、昔よりも少しも高まらないのが現代の不思議な現象である。女性が法的に経済的に解放されても、女性的価値理想が復権されないかぎり社会は美しくならない。そのような観点から今日、女性の解放は法的、経済的解放だけでは不十分となってきた。これにもまして道徳的、美学的解放が重要となってきた。すなわち女性は、女性独特の魂の法則を経て成熟することによって完成しなければならない。そして女性は、人間を変革するのは肉体ではなく、魂に触れることであり、魂のみが人の魂をかちとり、心のみが人の心に灯をともしることができるという方向に意識を変革しなければならない。

公的な世界に関わることなしにもっぱら私的領域に閉じこもる女性を、人間以前の生物ということはたしかに一面の真理があるが、同時に私生活をまったくもたない人間も一種の抽象の人間である。もし人間にとって公的世界のみが価値あるもののすべてだとすれば、私的な世界は価値なきものとする思想は、取り戻しのきかない不幸を招く原因となるであろう。そこでわれわれは、私的な生活を充実させ、幸福にし、創造的なものたらしめ

るその法則を追求し、男性的な理想価値（公的価値、能動的価値）と女性的な理想価値（私的価値・受動的価値）との不毛の対立を、創造的な相補作用へ転化しなければならない。家庭の機能という点からみたとき、今後ますます子供の養育、家族員の情緒的安定などの機能は重視されるだろう。これからの女性は、家庭の中にこそ女性の理想的価値の存在することを認識しなければならない。

エレン・ケーの女性解放論は、精神革命と女性の自覚に重点をおき、恋愛の自由と母性の権利を強調したものであり、この点にエレン・ケーの人間愛につらぬかれた思想をうかがうことができる。そして、それを基盤としたこれからの女性像の基底には「母の権利」を置き、子供を生み育てるという母親の役割と独立した人間として生きるという成人した女性の意図的役割との矛盾をのりこえて、両者の調和をはかり悔なき人生を完うする女性を理想としてかかげている。これはアリアナ・スタシノプロスのいう「女性的女性」、すなわち男性とは個人として、人格として人間たるべきことにおいて平等になっても、性差を意識し、女性本来の本質を保持し、男性と同質になろうと努めることのない女性が相通ずる超現代的な女性像である。人間たる女性は、今こそ真の女性とならなければならない。

また、こうした女性の育成にあたっては、女性の先天的機能と関連する女性独特の能力を徹底的に強化する教育によって行うべきであるとし、女性の理想的価値に目ざめた強健な自覚ある女性の育成を目的とし、健康を第一と考えたエレン・ケーは、体育の重要な意義と役割を与え、その目的を体力養成と美の養成においた体育を志向したところに特色がみられる。

健康な体をつくることは、単に身体面だけでなくそれに対応する精神にも影響を与え、人間としての心の働きにまで発展し、心身両面から新しい健康な女性美を身につけるよう心がけることが必要となる。すなわち未来の女性の女らしさは、母性からくる特性をあますところなく発揮した健康な肉体と、それに対応する精神と気質にあり、それらをそなえた未来の女性の美しさを育てることこそ、これからの女子体育の使命であり、ここに究極の善は究極の美と融合するとするカロカガティアの現代化を見ることができる。

注

- (1) Ellen Karolina Sofia Key. 自由主義者で政治家であるスウェーデンの大地主の家に生れた。彼女は近代スウェーデンが生んだ異色の女性解放論者であり、教育理論家である。彼女の著書、「恋愛と結婚」、「児童の世紀」は古典的名著として現代においてもなお輝いている。
- (2) エレン・ケー、小野寺信、小野寺百合子(訳):恋愛と結婚(上)、岩波書店、p. 183、(1973)。
- (3) 平塚らいてう:むしろ女人の性を礼拝せよ、人文書院、p. 104、(1977)。

- (4) 村上益子:女の可能性, 亜紀書房, p. 126, (1978).
- (5) 塩尻公明:女性論, 社会思想社, p. 117, (1967).
- (6) エレン・ケイ, 小野寺信, 小野寺百合子(訳): 恋愛と結婚(上), 岩波書店, p.253, (1973).
- (7) 前掲書(2), p. 44~45,
- (8) エレン・ケイ, 小野寺信, 小野寺百合子(訳): 児童の世紀, 富山房, p.134,(1979).
- (9) 常岡一郎:運命をひらく心, 講談社, p.73, (1978).
- (10) 前掲書(2), p.11~62,
- (11) クーデンホーフ・カレルギー, 鹿島守之助(訳): 人生の戒律, 鹿島研究所出版会, p.1~3, (1964).
- (12) 前掲書(2), p.30~31,
- (13) 前掲書(5), p.120,
- (14) 前掲書(5), p.120~121,
- (15) 前掲書(8), p.186,
- (16) 前掲書(8), p.191,
- (17) 渡部昇一:知的風景の中の女性, 主婦の友社, p.178, (1977).
- (18) 前掲書(8), p.109,
- (19) 前掲書(8), p.28,

文 献

- 渡辺淳一:解剖学的女性論, 大進堂, (1976).
- アリアナ・スタシノプロス, 竹間久江(訳): 女性的女性, 評論社, (1976).
- ベティ・フリーダン, 三浦富美子(訳): 新しい女性の創造, 大和書房, (1970).
- エレン・ケイ, 小野寺信, 小野寺百合子(訳). 恋愛と結婚 (上, 下), 岩波書店, (1973).
- エレン・ケイ, 小野寺信, 小野寺百合子(訳): 児童の世紀, 富山房, (1979).
- 柏原ヤス(編): 女性といきがいの, 第三文明社, (1976).
- 村上益子: 女の可能性, 亜紀書房, (1978).
- 塩尻公明: 女性論, 社会思想社, (1967).
- 菅原真理子: 女性に挑戦する, 主婦の友社, (1978).
- 松原治郎, 神田道子(編): 現代のエスプリ (婦人論), №56, (1972).
- 渡辺昇一: 知的風景の中の女性, 主婦の友社, (1977).

Ductile Fracture of Carbon Steel under Cold Metal Forming Conditions

(3rd Report, Effects of Deformation Mode and Deformation
History on Ductile Fracture Strain)

Hideo SEKIGUCHI, Kozo OSAKADA* and Jiro KOSHIJIMA**

Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineers Vol. 24 (1981), No. 189, p. 534—539.

For the purpose of predicting the working limit in cold metal working processes, a ductile fracture criterion has been proposed in the previous papers^{(1),(2)} based on the experimental results of torsion tests under high pressures. The criterion takes account of the stress histories during deformation and the effects of microstructures (volume fraction and shape of cementite in carbon steel). To predict the fracture strain in actual metal forming with the criterion, it is necessary to clarify the limit and accuracy of the criterion.

It has been shown that the initiation strain of fracture-nuclei-growth, defined in the previous report⁽²⁾, is a strain at which micro-cracks begin to grow abruptly. Since the existence of grown cracks usually deteriorates the property, the criterion may be used for predicting the working limit from the viewpoint of the mechanical properties of the deformed products, and for determining the strain at intermediate annealing.

The constants in the criterion were determined in terms of the volume fraction and shape of cementite. Other structural factors such as non-metallic inclusions and minor chemical compositions other than carbon are also likely to affect the values of the constants. Thus, it is desirable to develop a simple method for determining the constants.

In this paper, some problems in applying this criterion to the practical processes are pointed out and the solutions are given:

- (1) The fracture criterion can be applied to different modes of deformation, but some errors are caused with the material and the deformation mode. The standard deviations of the error in torsion and tension tests are 15% and 24%, respectively.
- (2) The fracture strain after reversal in torsion tests is constant for small pre-strains and it decreases remarkably when the pre-strain exceeds the initiation strain of fracture-nuclei-growth ϵ_1 .
- (3) The defects caused in plastic deformation can be eliminated completely by intermediate annealing when the strain is smaller than ϵ_1 . If the strain exceeds ϵ_1 , the defects remain and cause a marked drop in ductility even after annealing.

References

- (1) Osakada, K., et al., Bul. JSME, 20-150 (1977), p. 1557.
- (2) Osakada, K., et al., ibid., 21-158 (1978), p. 1236.

* Assistant Professor, Faculty of Engineering, Kobe University

** Postgraduate Student, Kobe University

Optimum Process Design for a Single-Stage Multifunctional Production System

Katsundo HITOMI* and Kazumasa OHASHI

Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Industry
Vol. 103, MAY, 1981, pp. 218-223

A mathematical model is constructed for analysis of optimum process design of a multifunctional production system, such as machining centers, under the minimum-time criterion.

Production times taken into consideration in this paper can be divided into two main classes, namely, cutting time and noncutting time. The noncutting time is considered as a total of tool exchange time for a sequence of operations. In the analysis of determining the optimum sequence of operations, noncutting time plays an important role. This noncutting time depends on how to extract tools from the tool magazine, namely, a sequence of operations (Table 1).

Hence, the main purpose of this paper is to determine the optimum sequence of operations under a constraint that precedence relationship for finishing a product is not violated (a primary objective).

After determining it, the optimum cutting conditions are determined under the minimum-time criterion as a secondary objective such that the sequence of operations are maintained. Computational algorithms for these problems are shown as a flow chart in Fig. 1.

The conclusions of this paper are summarized as follows:

1. A mathematical model is constructed for optimum process design. Optimization analysis is performed by minimizing the time for extracting the tool under the minimum-time criterion.
2. The optimum cutting conditions are determined by the nonlinear programming.
3. Optimizing algorithm, in which the tool wear is taken into consideration, is developed.
4. In order to show the practical use of the algorithm, a numerical algorithm is given.

Table 1 Time matrix for randomly extracting tools

J	I	TOOL NUMBER					FINAL POSITION F
		1	2	3	...	N	
INITIAL POSITION S	1	T_{01}	T_{02}	T_{03}	...	T_{0N}	...
	2	...	T_{12}	T_{13}	...	T_{1N}	T_{1F}
TOOL NUMBER	3	T_{21}	...	T_{23}	...	T_{2N}	T_{2F}
	...	T_{31}	T_{32}	...	...	T_{3N}	T_{3F}
N	...	...	...	...	...	...	...
	N	T_{N1}	T_{N2}	T_{N3}	...	...	T_{NF}

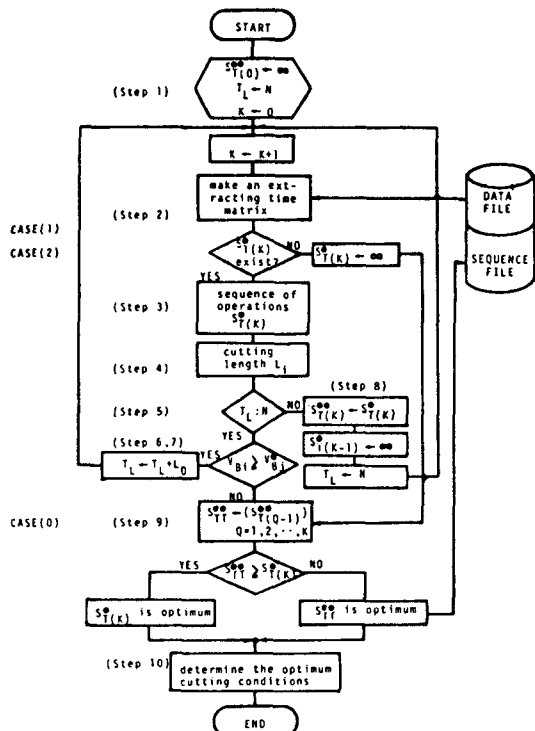


Fig.1. Flow chart for computational algorithm

* Kyoto University Precision Engineering

SUR LA DISSIPATION DANS LES MATERIAUX SEMICONDUCTEURS SOUMIS A UN CHAMP ELECTRIQUE INTENSE

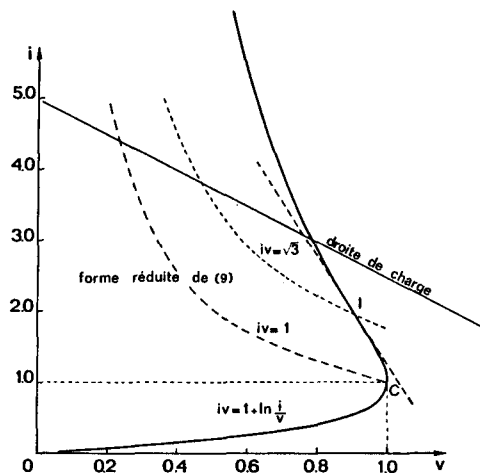
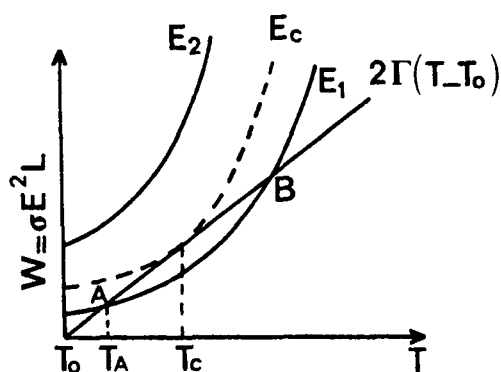
Roland COELHO et Jun KYOKANÉ

MEMOIRE de l'ECOLE SUPERIEURE d'ELECTRICITÉ 12 1980

LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES DECHARGES (E.R. 114 du C.N.R.S.)

Résumé

On étudie la variation du courant de conduction avec la valeur de la tension continue (ou TBF) appliquée à une plaque d'un matériau semi-conducteur, en tenant compte de la dissipation interne. On discute la forme des caractéristiques courant-tension en examinant le rôle d'une éventuelle discontinuité de température aux interfaces. On montre qu'une telle discontinuité entraîne l'existence d'une branche à pente négative sur la caractéristique. On en tire quelques conclusions relatives au "claquage thermique". On montre que l'existence des gradients de température dans l'épaisseur de l'échantillon provoque une polarisation par charge d'espace, et on calcule l'incrément de permittivité statique qui en découle.



Anodic Oxidation of Phenol at Platinum Electrode in Aqueous Alkaline Solution

Ikuichiro IZUMI, Masatoshi ŌUE, Akira KUNUGI*

Memoirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, 21, 131~139 (1980)

The anodic oxidation of phenol in aqueous media have been reported in a wide range of papers; these include the organosynthetic studies for the hydroxylation of aromatic compounds, the studies relating to the effective quantitative analysis of phenol with a polarographic technique, the research and development of corrosion inhibitor, and the subjects of much interest in the field of biochemistry. In spite of a large number of detailed papers relating to the anodic oxidation mechanism of phenol in acidic solutions, the literature relating to that in alkaline solutions is extremely scant. A study carried out in an alkaline solution by Fichter et al. showed resinous and/or condensation compounds as the oxidation products of phenol but shed no light on the detail of oxidation mechanism. The present work was carried out with the use of potential sweep voltammetry, chronopotentiometry, and macroelectrolysis to ascertain the anodic oxidation mechanism of phenol at a platinum electrode in an aqueous sodium hydroxide solution. The main conclusions in this work can be summarized as follows:

- (1) Voltammetric and chronopotentiometric studies showed that the anodic oxidation of phenol occurred even through a film formed from adhesive products but it was retarded by the film which grew to a certain fixed thickness.
- (2) The anodic oxidation mechanism of phenol in alkaline solutions was proposed. Using the assumption of the rate determining step; $\text{PhO}\cdot + \text{PhO}^- \rightarrow \text{Intermediate} + e^-$, Tafel's b coefficient and the reaction order with respect to phenol were evaluated to be $2.303(2RT/3F)$ and 2, respectively, in agreement with experimental results.
- (3) Phenol was oxidized in the potential region where platinum oxides are formed to give both soluble and adhesive products at lower concentrations of phenol, whereas at higher concentrations mainly to give adhesive products. On the film of adhesive products the reaction forming soluble products could not take place.
- (4) The dependence of E_p on C was formulated as

$$E_p = K - (0.12 \pm 0.01) \log C.$$

With the application of the theory of electrosorption of organic species based on a competition-with-water model, which was described by Bejerano et al., the number of water molecules replaced by each phenoxide radical was estimated to be four, indicating that the radical was adsorbed through the oxygen atom with the aromatic ring at an angle to the surface.

- (5) From preparative results of macroelectrolysis, yellow brown precipitates were obtained. Product analysis by GC-mass spectrometry suggested that a dimerization product of quinone type was formed as one of oxidation products.

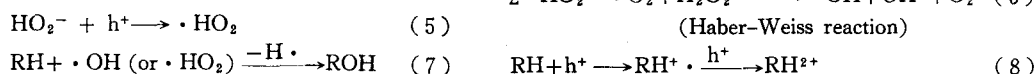
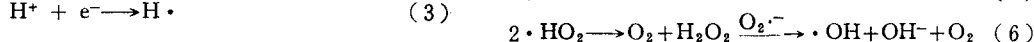
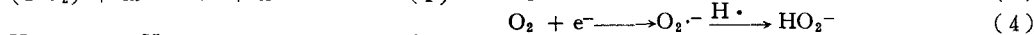
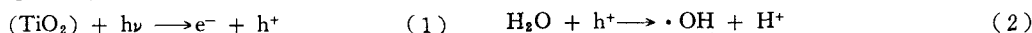
* Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka City University

Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Hydrocarbons on Platinized TiO₂ Powders

Ikuichiro IZUMI, Wendell W. DUNN,* Keith O. Wilbourn,*
Fu-Ren F. FAN,* Allen J. BARD*

The Journal of Physical Chemistry, **84**, 3207~3210 (1980)

In the presence of oxygen, several n-type semiconductor powders have been shown to behave as photocatalysts and promote the oxidation of substrates. Irradiation of a semiconductor with light of energy higher than the band gap results in the creation of holes in the valence band and electrons in the conduction band of the semiconductor. These charge carriers can recombine, or the holes can be scavenged by oxidizable species (for example, H₂O, H₂O₂, or hydrocarbons (RH)), and electrons by reducible species (for example, O₂ or H⁺) in the solution.



The electrochemical and photoelectrochemical measurements suggest that the reduction of H⁺ on Pt and the reduction of O₂ on TiO₂ do not occur at an appreciable rate at the potentials where significant anodic photocurrent on TiO₂ is observed. However, the reduction of O₂ on Pt occurs at these potentials, and this represents a viable half-reaction at the photocatalyst particle. The role of the Pt for this reaction is thus to provide a site for the more efficient utilization of the photogenerated electrons in the reduction of O₂ (e.g., eq 4), in agreement with the finding that the photooxidation of hydrocarbons in deoxygenated solutions does not occur to an appreciable extent. It is also possible that intermediates formed during the reduction of O₂ play an important role in the oxidation process, as suggested by reactions 4-6.

The very slow rate of CO₂ production in pure benzene, the lack of the intermediates other than hydroxylated compounds, and the dependence of the CO₂ evolution rate on the degree of phase mixing suggest that the photogenerated holes are scavenged by water (eq 2) rather than by hydrocarbons (eq 8). These would form ·OH or ·HO₂ and lead to the hydroxylation of hydrocarbons and eventually the complete oxidation. The mode of the complete decomposition of the hydrocarbons has not been established. However, the detection of phenol for the case of benzene and of alcohols for the cases of aliphatic hydrocarbons suggests that attack by ·OH or HO₂· radicals is a likely first step. The probable role of ·OH in these reactions is also supported by the reaction of benzoic acid and hydrocarbons with Fenton's reagent.

Thus the heterogeneous photooxidation of hydrocarbons in suspensions with Pt/TiO₂ can be explained by a mechanism similar to that invoked for benzoic acid; that is, the photooxidation proceeds via hydroxylated intermediates. In both experiments it is of importance that hydrocarbons, which are unattacked by most oxidizing agents, readily react with ·OH to form the final product CO₂. Since aliphatic hydrocarbons are themselves the products of the photo-Kolbe reaction, their isolation in experiments involving the photodecomposition of organic acids suggests that they are capable of escaping from the powder surface. They then are swept from the reaction medium or react with ·OH less readily than the organic acid precursor.

* Department of Chemistry, The University of Texas at Austin

Heterogeneous Photocatalytic Decomposition of Benzoic Acid and Adipic Acid on Platinized TiO₂ Powder. The Photo-Kolbe Decarboxylative Route to the Breakdown of the Benzene Ring and to the Production of Butane

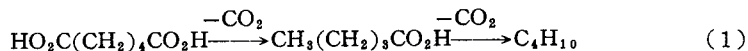
Ikuichiro IZUMI, Fu-Ren F. FAN*, Allen J. BARD*

The Journal of Physical Chemistry, **85**, 218~223 (1981)

Semiconductor materials are currently of much interest in electrochemical systems which can utilize solar energy for the production of electricity or useful chemical species. Recently semiconductor powders suspended in solution have been used to carry out heterogeneous photocatalytic and photosynthetic processes. For example, applications of particulate semiconductors, e.g., TiO₂ and ZnO, to photocatalytic oxidation of cyanide, sulfite, and other substances have demonstrated the versatility and ease of application of these methods. Recent studies from this laboratory have shown that irradiation of reaction mixtures containing suspended platinized TiO₂ (Pt/TiO₂) powders can promote several photocatalytic and photosynthetic reactions, such as the photo-Kolbe reaction, in which acetic acid is decomposed to methane and carbon dioxide, and even the photosynthesis of amino acids from methane-ammonia-water mixtures. To extend the scope of synthetic methods at illuminated semiconductor powders, we describe here the heterogeneous photooxidation of benzoic acid on Pt/TiO₂ powders in the presence of oxygen, and also the heterogeneous photocatalytic decomposition of adipic acid in deaerated aqueous solution.

The oxidation of benzoic acid has been demonstrated by the thermal decomposition of the cupric or molybdenum salt to phenol and carbon dioxide, by the radiolysis of aqueous solutions of benzoic acid or benzoate to monohydroxylated compounds and carbon dioxide derived from the carboxyl group, and by the Kolbe electrolysis in nonaqueous solvents to products due to the intermediacy of benzoyloxy and/or phenyl radicals. We report here the photocatalytic oxidation of benzoic acid in aqueous solutions containing suspended Pt/TiO₂ powders involves the breakdown of the benzene ring through the addition of hydroxyl radicals to aromatic rings (unlike the usual electrochemical Kolbe reactions described above).

The electrolysis of dicarboxylic acids in aqueous media has been reported to yield olefins and alcohols, containing two carbons less than the starting material. We report here the heterogeneous photocatalytic decomposition of adipic acid, a six-carbon saturated aliphatic dicarboxylic acid, on Pt/TiO₂ to yield n-butane, valeric acid, and CO₂ (eq 1). This predominant decarboxylation reaction to



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

* Department of Chemistry, The University of Texas at Austin

ウェイリイをめぐって

——「追いつめられて」考——

中 村 元 一

菅 泰男・御輿員三 両教授退官記念論文集

(昭和55年11月3日 京都あぼろん社 発行)

帆船時代から蒸気船の時代への過渡期に海に生きたコンラッドは、19世紀末から20世紀の初頭にかけて、機械文明の発達による価値基準の転換の中で混迷に陥っていく人間のもろさ、疎外感、孤独感や、時としては人間を勇気づけ、鼓舞するさまざまな観念の皮膜性など、きわめて現代的な問題をテーマとして、作品を執筆した。彼は予言者のごとく文明のもたらす悲観的な面を指摘した。20世紀も終りに近づき、文明の世界がその混迷の深さを急速に増し、種々の観念に基づく価値基準が容易に転換される中で、コンラッドの現代性が改めて認識されている。

コンラッドは文明社会における人間の未来をきわめて冷めた目で、悲観的に見ていたけれども、彼のこの否定的な価値観をそのまま読者に示したわけではない。『オールメイヤーの愚行』で、エキゾチックでロマンチックな海洋作家としてイギリス読者層に迎えられたコンラッドが、職業作家としての生活を維持していくためには、彼の冷めた現実認識をむき出しにして作品を執筆することはできなかったのである。彼が絶えず筆の停滞に苦しまねばなかったのも、作家としての彼自身が意図するものと、読者の期待するものとの間の溝の深さを意識するがゆえのことであったと考えられる。この苦悩の果ての打開策として、彼が用いた手段が語り手マローウの起用であった。

マローウは当時のイギリスの読者層から見れば、隊伍の中であって努力する好ましい人物であると同時に、中年の海の男だという点で、読者が容易にコンラッド自身だと錯覚しうる人物であった。このような人物を語り手として彼は『闇の奥』『ロード・ジム』を書き上げ、読者とのつながりを保った。いわば、コンラッドは、現実の社会には存在しようにもない理想の人物マローウにすがって、やっと執筆を続け得たのであった。

『闇の奥』『ロード・ジム』を読み、次の大作『ノストローモ』を読んだ読者は、語りの技法の変りよ様の唐突さに、一種の戸惑いを感じる。『ノストローモ』において、ひやかやかで否定的なコンラッド本来の価値感が前面に押し出されているからである。

小稿は『ロード・ジム』と『ノストローモ』の間に位

置する「追いつめられて」がコンラッドの一連の作品の中で持つ意味について考察し、その位置づけを試みたものである。

主人公ウェイリイの解釈をめぐっては、英雄説と墮落説があり、1958年に主人公を「墮落ゆえに盲目を偽り、自殺することにより、船の難破の犯罪的事実を隠蔽した男として描いた」というコンラッドの書簡が発表されたのを契機に、現在は墮落論が有力である。カールは『闇の奥』から「追いつめられて」への移行を「普遍的な悲劇的体験から生ぬるい個人的体験への移行」と見なし、グレーバーやバージェスも、主人公の悲劇を個人的なレベルで墮落もしくは犯罪としてとらえている。

この作品を執筆中の1902年5月、コンラッドはブラックウッドにあてて「私の作品が完全な失敗作になるはずがない」「その価値は時が証明するであろう」と書き送った。筆者はコンラッド自身のこの自負を重視して、この作品の普遍性について考察した。

結論を言えば、コンラッドはこの作品において、天変地異とは関わりなく、人間の欲望に呼応して、契約書と金の力によって人為的に作り出される極限状況を描き、『ロード・ジム』のマローウと共通する性格を多く持つ帆船時代の英雄ウェイリイを近代文明の産物である蒸気船において墮落させ、自滅させることによって、近代文明社会に生きる人間の陥る混迷をきわめて象徴的に描いてみせた。作家は語り手を起用せず、その代りに主人公に海の英雄としての輝かしい経歴を与えて、読者の共感をつなぎとめた上で、彼を自滅させてマローウ的世界観の現実性を否定した。それと同時にコンラッドは『個人的記録』で示した、対象を「スペクタクル」として隔絶した位置から眺める執筆態度を確立したと考えられる。そして、この態度によってこそ近代社会機構における倫理の不毛性を証言しうろという作家の自信が「私の作品が完全な失敗作になるはずがない」「時が証明するであろう」ということばにつながり、やがて『ノストローモ』を生み出すと見られるのであるが、この傍観者的姿勢から作り出された世界では登場人物たちは、常に受動的であった。

教官研究活動状況一覧表 (抄録)

(機械工学科)

遅れ破壊強さに及ぼす

試料表面硬度の影響について

岩井保善, 有間淳一,
日本機械学会関西支部

(昭和56年3月19日 講演)

Optimum Process Design for a
Single-Stage Multifunctional Production
System.

K. Hitomi (Kyoto Univ.) and K. Ohashi
ASME 80-WA/PROD-19

(昭和55年11月21日 講演)

単一多能生産システムの工程計画と
スケジューリングに関する研究。
(評価基準と最適工程設計)

大橋和正, 人見勝人 (京都大・工)
日本経営工学会春季研究発表会

(昭和56年5月17日 講演)

焼もどし温間鍛造に関する研究

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工)
第31回 塑性加工連合講演会

(昭和55年11月13日 講演)

焼もどし温間鍛造について

小島耕二
第29期第3回 塑性加工委員会 (日本材料学会)

(昭和56年1月20日 講演)

焼もどし温間鍛造に関する研究

—第2報・加工後の機械的性質—

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工)
昭和56年度 塑性加工春季講演会

(昭和56年5月22日 講演)

冷間鍛造用鋼の延性異方性について

関口秀夫, 小坂田宏造 (神大・工)
第31回 塑性加工連合講演会

(昭和55年11月13日 講演)

Ductile Fracture of Carbon Steel under
Cold Metal Forming Conditions

K. Osakada,* J. Koshijima* and H. Sekiguchi
(*神大・工)

Bul. JSME, 24—189 (1981) p. 534~539.

球形燃焼容器壁面における火炎冷却
および未燃焼炭化水素

富田栄二 (京大・工), 浜本嘉輔 (京大・工),
中田敏夫

日本機械学会関西支部第56期定時総会講演会
(昭和56年3月19日)

火花点火機関における未燃焼炭化水素

浜本嘉輔*, 脇坂知行*, 富田栄二* (京大・工),
中田敏夫

内燃機関合同シンポジウム

(昭和56年1月27~29日)

多円孔を有する帯板の引張り

(中心線上の円孔列の場合)

渋谷陽二 (阪大・学) 浜田 実 (阪大・工)
水嶋 巖

日本機械学会 関西学生会卒研発表講演会
(昭和56年3月18日 講演)

剛性円形充てん物を持つ無限平板の応力
解析 (充てん物に荷重が作用する場合)

水嶋 巖, 浜田 実 (阪大・工)
日本機械学会 東海支部講演会

(昭和56年7月14日 講演)

ポアンカレゲージ場と弱場近似

大谷晃也 (関西外大), 田村佳信 (大正高校)
中野董夫 (阪市大) 宮本止才雄

日本物理学会

(昭和55年10月3日 講演)

Linear Approximation for the Lorentz Gauge Field

S. Miyamoto, T. Nakano (Osaka City Univ.), T. Ohtani (Kansai Univ. of Foreign Studies), and Y. Tamura (Taisho High School).

Prog. Theor. Phys. Vol. 66 (1981), 481.

(昭和55年10月3日)

(電気工学科)

容量性負荷 3 相 P W M 逆変換器の解析 (第10報, 導通角の長い場合)

岡本弘, 市田博, 古山尚之, 福井雅彦 石井一史 (京工繊大), 井村栄仁

電気学会関西支部連合大会

(昭和55年11月23日講演)

3 相 P W M インバータのマイコンによる 制御回路・プログラムの試作

岡本弘, 市田博, 古山尚之, 福井雅彦, 石井一史 (京工繊大), 井村栄仁

電気学会全国大会

(昭和56年3月30日講演)

Precise Analysis of A Three Phase PWM Thyristor Inverter Circuit with Capacitive Load

H.OKAMOTO, H.ICHIDA, M.FUJINAMI AND S.IMURA.

Kyoto Institute of Technology, Kyoto,

Japan (Three Authors)

And Nara Technical college, Nara

Japan (The last Author)

IEEE-IAS Annual Meeting

(昭和55年10月1日講演)

ステートメントとプロトコールの研究 (1)

石桁正士 (大阪電気通信大) 上田勝彦

日本科学教育学会年会

(昭和56年8月26日講演)

理解状態およびそのプロセスの 科学的分析 (3)

仁保寛二, 石桁正士 (大阪電気通信大)

上田勝彦

日本科学教育学会年会

(昭和56年8月26日講演)

一般教育としての基礎科学実験

石桁正士, 大西良雄 (大阪電気通信大)

上田勝彦

一般教育学会誌 (第1巻1号) (昭和56年11月)

高分子表面の堆積電荷と, その移動 過程に関する一考察

京兼純, R.COELHO

(フランス国立科学研究センター)

電気学会全国大会

(昭和56年4月1日講演)

高分子フィルム表面における堆積電荷の 動的特性

京兼純, 吉野勝美 (阪大工)

犬石嘉雄 (阪大工), R.COELHO

(フランス国立科学研究センター)

電気学会第14回電気絶縁材料シンポジウム。

(昭和56年9月27日講演)

光結合 F E T による S 形負性抵抗特性を 用いた位相制御回路

高橋晴雄, 山本善啓, 山内雅好

電気関係学会関西支部連合大会 (G12-7)

(昭和55年11月23日講演)

光結合 F E T による S 形負性抵抗特性 (Ⅲ)

高橋晴雄, 山本善啓, 山内雅好

電子通信学会総合全国大会 (No.522)

(昭和56年4月1日講演)

画像処理に関する学生実験

中村善一, 上田勝彦

高等専門学校情報処理教育研究協議会

(昭和56年8月25日講演)

(化学工学科)

有機ライニング材の劣化の測定

井口高行, 奥田聡 (同志社大・工)

化学工学協会第46年会 (昭和56年4月2日講演)

Heterogeneous Photocatalytic Oxidation of Hydrocarbons on Platinized TiO_2 Powders.

I.Izumi, W. W. Dunn*, K. O. Wilburn*, F.F.Fan*, A.J.Bard* (*The Univ. of Texas at Austin)
J. Phys. Chem. Vol.84 No.24 pp. 3207~3210 (1980)
(昭和55年12月)

Anodic Oxidation of Phenol at Platinum Electrode in Aqueous Alkaline Solution.

I.Izumi, M.Ōue, A.Kunugi (Osaka City Univ.)
Memoirs of Faculty of Eng., Osaka City Univ.
Vol.21 pp. 131~139 (1980) (昭和55年12月)

Heterogeneous Photocatalytic Decomposition of Benzoic Acid and Adipic Acid on Platinized TiO_2 Powder. (The Photo-Kolbe Decarboxylative Route to the Breakdown of the Benzene Ring and to the Production of Butane.)

I.Izumi, F.F.Fan*, A.J.Bard* (*The Univ. of Texas at Austin)
J.Phys.Chem., Vol.85 No.3 pp. 218~223 (1981)
(昭和56年2月)

工業化学実験教材の研究 (1) 電気化学分析法による酒類中アルコール分の定量

泉 生一郎, 大西康幸, 石川忠夫
日本化学会第43春季年会 (昭和56年3月30日講演)

白金担持 TiO_2 粉末による炭化水素の光触媒分解

泉 生一郎, F.F.Fan*, A.J.Bard*
(*The Univ. of Texas at Austin)
日本化学会第43春季年会
(昭和56年4月2日講演)

外部循環式エアリーフトコラムの特性解析

河越幹男, C.W.Robinson (Univ. of Waterloo)
化学工学協会 (昭和55年10月16日講演)

(一般教科)

河合町 (奈良県) の中世

朝倉 弘
『河合町史』所収
発行所 河合町役場 (昭和56年4月5日)

奈良県の中世

(荘園 433か荘園, 中世史概説)
朝倉 弘
『日本歴史地名大系30 奈良県の地名』所収
発行所 平凡社 (昭和56年6月23日)

高専の数学1 <第3版>

田端敬昌, 田代嘉宏, 浅野重初
森北出版 (株)
(昭和55年10月1日)

ウェイリイをめぐる

「追いつめられて」考
中村元一
菅泰男・御輿員三両教授退官記念論文集
(昭和55年11月3日)

ハックスレーの「島」—

理想郷バラについて
三浦良邦
山川鴻三教授退官記念論文集
(昭和56年4月1日)

生甲斐とやさしさと (歌壇作品評)

小谷 稔
短歌新聞10月号
(昭和55年10月10日)

ある透視のかたち (歌壇作品評)

小谷 稔
短歌新聞11月号
(昭和55年11月10日)

戦後を見つめる (歌壇作品評)

小谷 稔
短歌新聞12月号
(昭和55年12月10日)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第17号

昭和57年3月10日発行

編集兼 奈良工業高等専門学校
発行者 大和郡山市矢田町

印刷所 共同精版印刷株式会社
奈良市三条大路2丁目2-6

RESEARCH REPORTS

of

NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 17, 1981

CONTENTS

A Study on Cross Slide in Thread Cutting.....	
.....Katsuya KAGA, Kazumasa ŌHASHI and Keiji OKUSHIMA	1
Laser Doppler Velocimeter Using a Rotating Wire Gauze Grating.....	
.....Toshiya SAKABE, Noriyasu MORI and Toshio WAKABAYASHI	5
Study on Grindability of Machinable Glass Ceramic. Yoshio TANAKA, Tadahiro WADA	9
Experimental Investigation of the Flow between Parallel Plates with the Fences.....	
.....Makoto NAKATANI and Masanori YAO.....	17
Recombination of Diatomic Molecule in Supersonic Nozzle Flow.....	
.....Haruaki KISHIGE, Kazuoki MATSUOKA.....	23
Diagonalization of the Poincaré Gauge Field.	Shikao MIYAMOTO.....
Study on the Secondary Flow of Viscoelastic Fluids in Straight Pipes of Rectangular Cross Section.....	Noriyasu MORI, Akira HORIKAWA and Nobuharu MIMURA.....
Study on Machinability of Machinable Glass Ceramic - 2nd Report, Influence of Cutting Condition on Surface Roughness and Cutting Force -	
.....Tadahiro WADA, Yoshio TANAKA.....	37
A phase control circuit using the S-type negative resistance characteristics by photo-coupled FETs.	Haruo TAKAHASHI, Masayoshi YAMAUCHI and Yoshihiro YAMAMOTO.....
A Consideration on the Decay Process of accumulated Charge of Polymer Surface.....	
.....Jun KYOKANE, Yoshihiro YAMAMOTO and R. Coelho.....	47
Electrical Properties of Hexatriacontane Single Crystal.....	
.....Jun KYOKANE, S. HARADA, K. YOSHINO and Y. INUISHI.....	55
Effects of Various Metal Salts on the Ethanol Oxidation at a Platinum Anode in Aqueous Acidic Solution.....	Ikuichiro IZUMI.....
Characteristics of an Airlift Column with External Liquid Circulation	
.....Mikio KAWAGOE and C.W. Robinson.....	65
Study on Ancient Dyeing and Weaving Technique.....	Isao YAMAMOTO
The Nature of α -5-Methylfurobenzoinoxime and Its Pyrolytic Gas Chromatograms.....	
.....Koji ISHIKAWA, Tadashi SAKAI.....	85
The Development of W. S. Maugham's Theme (Part 1) -From of Human Bondage to The Moon and Sixpence-.....	Gen-ichi NAKAMURA.....
On Physical Education of Women. -In Reference to Ellen Key's Theory-.....	
.....Takeshi NAKAWADA.....	99