

# 研 究 紀 要

第 18 号

昭和 57 年度

奈良工業高等専門学校

# 目 次

太陽エネルギーの化学的変換に対する簡単なコメント	桜井 洸	1
X線による耐熱金属材料の弾性定数測定	有間 淳一・岩井 保善	7
槽円管のダイレス曲げ加工に関する研究	市瀬 辰己・小島 耕二・木村 貞男	13
光ヘテロダイン法による振動測定	押田 至啓・加賀 勝也・岩田 耕一・永田 良	19
施削の自動化に関する研究	加賀 勝也・押田 至啓	25
チタンの被研削性について	田中 義雄・和田 任弘	29
ろ紙式排気濃度計の改良	中田 敏夫	35
粘弾性流体のホールエラーに関する研究	森 教安・阪部 俊也・若材 敏夫	39
Study on Chip Treatment in Turning	Tadahiro WADA and Yoshio TANAKA	43
PWM 3 相逆変換器の精密解析 (容量負荷)	井村 栄仁・岡本 弘・市田 博	49
対角走査法を用いた印影の自動照合	上田 勝彦・中村 善一	55
Carrier Mobilities and Breakdown in Halogen Doped Polymers	京 兼・原田・岩川・吉野・犬石	61
キラルなヘテロ環状化合物の製造と応用 (第1報)	石垣 昭	67
有機ライニング材の試験方法について	井口 高行・奥田 聡	71
チオフェンの電解酸化によるマレイン酸生成	泉 生一郎・山本 績	75
溶媒抽出法による銅の分離	河越 幹男	81
酢酸セルロース限外濾過膜の特性	中谷 武志	85
ハックスレーと科学 (I)	三浦 良邦	89
成績情報検索システムの作成	宮本 止戈雄・東野 秋二	95
NC工作機械プログラムのシミュレーション	和田 任弘・東野 秋二	99
ウィリアム・ジェームズの真理論について	三浦 倫幸	110
大和国雑役免庄考	朝倉 弘	134
論文抄録		
Influence of Residual Stress by Surface Treatment on Delayed Fracture Strength of High Tension Steel	Yasuyoehi IWAI and Junichi ARIMA	135
単軸引張りを受ける多孔無限平板の応力集中問題の一数值解法	浜田 実・水嶋 巖・箕浦忠行	136
Effects of Friction in Tensile and Compressive Stress Problems for a Rigid Circular Disk in an Infinite Plate	Iwao MIZUSHIMA, Minoru HAMADA and Hiroshi KITAGAWA	137
粘弾性流体の偏心二重円管内流れ	堀川 明・森 教安・三村 宣治	138
高分子表面のたい積電荷とその移動過程に関する一考察	京兼 純・吉野勝美・犬石嘉雄・Roland Coelho	139
Residual Voltage Characteristics and It's Numerical Analysis in Polyethylene	J. Kyokane, M. Yun, K. Yoshino and Y. Inuishi	139
Residual Voltage in Polyethylene	Jun KYOKANE, Munsoo YUN, Katsumi YOSHINO and Yoshio INUISHI	140
電気的方法による有機ライニング材への液拡散の測定	井口 高行・奥田 聡	141
有機ライニング材への液の拡散速度に及ぼす温度勾配の影響	井口 高行・奥田 聡	142
酸性水溶液におけるエタノールのアノード酸化におよぼす添加金属カチオンの効果	泉 生一郎	143
酸性水溶液中における白金電極での低級アルコールのアノード酸化におよぼす共存カドミウムイオンの効果	泉 生一郎, 大西 康幸	144
New Poly-and Bis(Thiacrown Ether)s as Extraction Reagents As135	Masatoshi ÖUE, Akira ISHIGAKI, Yousuke MATSUI, Takumi MAEDA, Keiichi KIMURA and Toshiyuki SHONO	145
The Kinetics of Dissolved Oxygen Reaction in Aqueous Sodium Dithionite Solutions	Mikio KAWAGOE and C. W. Robinson	146
教官研究活動状況一覧表 (抄録)		147

# 太陽エネルギーの化学的変換に対する 簡単なコメント

桜井 洸

Some Brief Comments on Chemical Conversion of Solar Energy.

Hiroshi SAKURAI

It is suggested that chemical conversion of solar energy appears to meet requirements for an important source of future energy, and recent advances in researches of artificial photosynthetic systems are briefly surveyed. Moreover, other possible methods for utilization of solar energy in chemical processes are also referred to. Some comments are made from practical points of view.

## 1. はじめに

近年省エネルギープロセスの普及および石油の需給関係の緩和などがあって、エネルギー問題に対する緊張感はかつて程ではなくなった。しかし長期的に見れば、化石燃料、特に石油の枯渇は本質的に止めようのないことであり、また原子力エネルギーの開発は社会的コンセンサスを得難いという弱点を抱え、これ以上の大きな発展は望み薄であるなど依然として、エネルギー問題は世界的規模における政治的・社会的重大問題として残されていると言えよう。従って新エネルギーの開発は、各国にとって重大な関心事であり、科学・技術のビッグプロジェクトの1つと見なされている。

新エネルギーの開発と言っても、近い将来の実用化を目指している石炭の液化から極めて長期的展望に立った核融合に至る迄、そのスペクトルは広く多彩である。その中でも近年、最も注目され始めたのが太陽エネルギーの利用である<sup>1)</sup>。それが有望視される理由は、まず地域に到達するエネルギー総量が膨大でありかつ無期限であることにある。その年間総量は、 $4.8 \times 10^{20}$  Kcal に達し、現在人類が消費している年間エネルギー総量の約1万倍にも相当する。次に重要なことは“クリーンなエネルギー”であるということである。化石燃料の燃焼による二酸化硫黄 ( $\text{SO}_2$ ) の増大は、酸性雨としてその被害は近隣諸国にまで及び、欧米では政治問題になっている。また大気中の二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) 濃度の増大による“温室効果”が極地における温度上昇として現れているという報告もなされている<sup>2)</sup>。太陽エネルギーにはこのような心配はあり得ない。最後に無視出来ないのが社会的コンセンサスの問題である。太陽エネルギーは、その“平和的イメージ”のお蔭でその研究開発には支持こそ

あれ、反対は皆無である。

このような意味で太陽エネルギーが未来のエネルギー源として有望視されるのは、当然と言えよう。本稿では太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵に関する研究の一部を、簡単に概観しつつ若干のコメントを加える。

## 2. 太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵<sup>3)</sup>

太陽エネルギーの利用方式として、熱エネルギーをそのまま用いたり、太陽電池（特にアモルファスシリコン）を用いて発電する方式が早期に実現しうるものとして、現在実用化研究が活発に行われている。しかし熱エネルギーも電気エネルギーも貯蔵出来ないのが、地域的および季節的条件に左右されるという欠点がある。太陽エネルギーを貯蔵し、必要な時に取り出すことが出来なければ、本質的解決にはなり得ない。その唯一の方式が化学的変換である。

太陽エネルギーの化学的変換とは、簡単に言うと、ある物質 A を太陽光エネルギーにより化学反応を起こさせ、よりエネルギー含量の高い物質 B に変化させることである。(Fig. 1 参照)。このような吸エルゴン反応を

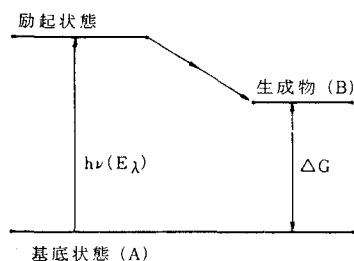


Fig. 1 Diagrammatic representation of uphill conversion by photochemical processes

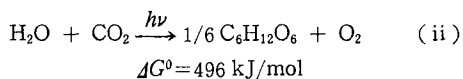
up-hill conversion と言い、光によって始めて引き起こされる反応を光化学反応と言う。光反応生成物Bが半永久的に安定であれば、太陽エネルギーは貯蔵できたことになり、この時のエネルギー貯蔵量は、この反応の自由エネルギー変化  $\Delta G$  である。B から A を再生させることが出来れば、その過程で  $\Delta G$  のエネルギーが放出され、これを利用することになる。

ここでエネルギー変換効率について考えて見よう。ある波長  $\lambda$  における変換効率  $\phi(\lambda)$  は、量子収量  $\eta(\lambda)$  と入射光エネルギー  $E_\lambda$  でもって (i) 式のように示される。

$$\phi(\lambda) = \eta(\lambda) \cdot \Delta G / E_\lambda \quad (i)$$

従って、長波長の ( $E_\lambda$  の小さい) 光でエネルギー含量  $\Delta G$  の大きな生成物 B を、可能な限り高い効率 (最大  $\eta(\lambda) = 1.0$ ) で生成させる光反応を見出すことが、エネルギー変換のキーポイントとなる。一方地球に到達する太陽光は紫外線を殆んど含まず (>400 nm), 600~800 nm にエネルギー量 (光量子 1 個のエネルギー  $\times$  単位時間当りの光量子数) が最大になるスペクトル分布を示す。一般に光化学反応は、紫外光や可視光 (<700 nm) では起こり得るが、赤外光 (>800 nm) では殆んど起こり得ない。従って太陽エネルギーの化学的変換とは、言い換えると可視光の光化学である。

植物の行っている光合成は、太陽エネルギーの化学的変換の理想的な姿であると言える。植物や藻類は、可視光や近赤外光により、水と二酸化炭素というエネルギーの低い物質を炭水化物というエネルギーの高い物質に効率良く変化させている。実測によると、入射した太陽エネルギーの10~12%が変換・貯蔵されているということである。従って光合成の機能をいかに真似て、



人工光合成系を構築するかが現在の太陽エネルギーの化学的変換に関する研究の重要なポイントの1つになっている。

### 3. 人工光合成システム

#### 3.1 光合成における主要機能<sup>4)</sup>

生体の光合成系は非常に複雑であり、従ってそれを完全に模倣したりその機能を再現することは不可能であるばかりでなく、エネルギー変換の研究にとって無意味である。要するにその主要な原理を理解し、類似機能を持つ人工反応を構築することが必要な事なのである。そこで光合成の主要なそして我々にとって興味のある機能をあげてみることにしよう。

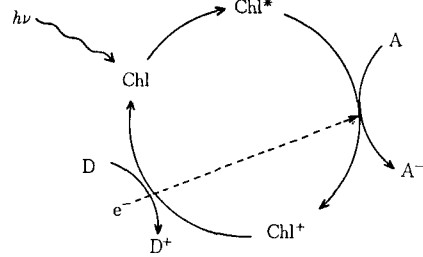


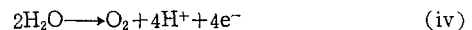
Fig. 2 Pictorial representation of electron-transfer mediation by "specific chlorophyll dimer (Chl)" in reaction center of photosynthesis; D and A denotes the adjacent electron donor and acceptor respectively.

1) アンテナ：太陽光を効率良く捕捉し、そのエネルギーを損失なく反応中心に伝える役割を担うものである。クロロフィルやカロチンなどの色素が主である。生体は、各素子が固定された組織体より構成されているのでアンテナを必要とするが、人工系ではアンテナを特に必要としないようにすることが出来る。従って以下これについては言及しない。

2) 光電子移動：光エネルギーの化学的変換の初期段階であり、中心部である。アンテナ色素から光エネルギーを受け取った反応中心の“特別なクロロフィルダイマー”が、それに隣接した電子供与体(D)から電子受容体(A)への電子移動を媒介する。すなわち、+電荷 ( $D^+$ ) と -電荷 ( $A^-$ ) を分離生成させる (Fig. 2 参照)。これは、従来の光増感反応とは全く異った新しい形式の光増感であるので、筆者はこれをレドックス光増感と命名した<sup>5)</sup>。

3) 電荷分離：反応中心で生成した+と-の電荷はそれぞれ、それに隣接した電子伝達体を通じて、生成物が生成する部位まで伝達されて行く。これらの電子伝達体や反応中心を支え+と-の電荷が集積される部位を隔離しているのが生体膜である。

4) 電荷の集積：分離された+と-の電荷は、電子伝達末端で2個以上集積され安定な物質となる。-電荷は2個集積され NADPH として貯えられる。これが二酸化炭素の還元固定のエネルギー源となる。一方、+電荷は4個集積され、水の酸素への酸化に用いられる。この



ような電荷の集積がどのようにして行われているのかは、まだ不明である。

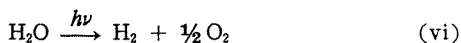
#### 3.2 人工光合成システムによる水の光分解



太陽エネルギーの化学的変換における主ターゲットは水の光分解による水素の発生である。光合成における式 (iii) と (iv) において、式 (iii) を式 (v) に置き換えると水の分解が起こる。反応 (iv) と (v) を人工光



(iv) と (v) より



合成系で実現しようと様々な試みがなされて来たが、次第に淘汰されつつある。

最も活発に研究されて来たのは、アンテナと同時に反応中心の役割を有する光増感剤の開発であった。光増感剤は、まず可視光を強く吸収すること、光励起されたとき電子移動反応をする寿命を有していること、また生じた+と-の電荷が (iv) と (v) の反応を起こしうるポテンシャルを有していること、そして化学的に安定であるという条件を満たさなければならない。このような機能を有している典型的なもの1つがルテニウム (II) トリスビピリジン錯体

である。今後もより良い光増感剤の開発が続けられるに相違ない。

もう1つの重要な課題は、電荷の分離と集積である。均一溶液では、電荷の中和はど

うしても避けられない。ミセルを用いると、その表面の電

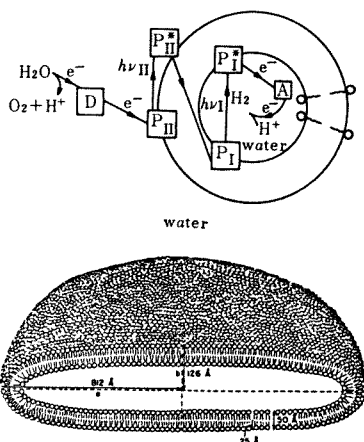
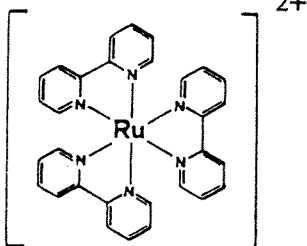


Fig. 3 A possible (hypothetical) model of an artificial photosynthetic system using vesicle in which photosensitizers (P<sub>I</sub> and P<sub>II</sub>) and electron-transporting materials are entrapped (top) and a pictorial representation of vesicle (bottom).

場によって、ミセルの表面または内部で電子移動反応を起こさせたとき、静電的反発の為にいずれか一方がバルク溶液に追い出され、電荷が分離される。また人工小胞体 (ベシクル) の膜内に光増感剤や電子伝達体を埋め込み、膜の外部と内部の方向に+と-をそれぞれ移動させ、電荷を分離させるという複雑な方法も考えられている (Fig. 3)<sup>6)</sup>。

しかし、このような分子集合体を用いる場合、温度や塩濃度および pH などの変化に対する安定性や、また集合体に取り込まれている光増感剤などの保持について十分な解答は与えられていない。特に水の光分解を目指す場合、水の酸化部位では酸化力の強い活性種が発生するはずであり、これが有機分子から成る集合体を酸化的に崩壊させる恐れが多分にある。また分離した電荷を集積するプロセスを更に組み込むとなると、反応系は極めて複雑とならざるを得ない。このような複雑なシステムで水の光分解というシンプルな反応を起こさせるのは、どこかに無理がありはしないだろうか。分子集合体の関与する光化学は、別の学問的目的と価値を含むものではないかと筆者は考えている。

このような意味で、Grätzel らが Fig. 4 に示すような、半導体触媒を含む単純な反応系で水の光分解に成功したのは示唆的である<sup>7)</sup>。この反応系の特徴は、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>) 半導体粒子上に白金 (Pt) と二酸化ルテニウム (RuO<sub>2</sub>) をドーピングした固体触媒をコロイド状態で用いていることであり、TiO<sub>2</sub> で電荷分離をそして Pt 上で-電荷の集積すなわち水素の発生を、および RuO<sub>2</sub> 上で+電極の集積すなわち酸素の発生を一挙に行っている所にある。水素発生効率率は、70°C で6%であるという。しかし、この固体触媒の調製には何かノウハウがあるらしく追試に成功したという情報が今の所無いのは残念なことである。いずれにせよ、このような不均一系では触媒の粒子径、表面状態、Pt や RuO<sub>2</sub> の付

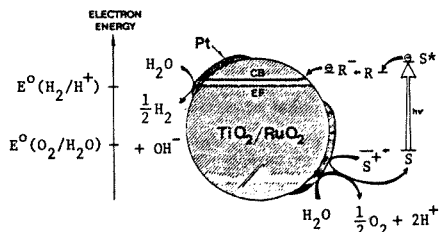


Fig. 4 Pictorial representation of photochemical cleavage of water into dihydrogen and dioxygen using a colloidal catalyst of TiO<sub>2</sub> semiconductor doped by Pt and RuO<sub>2</sub>; S and R denote a photosensitizer (tris (bipyridine) ruthenium (II)) and an electron mediator (methyl viologen).

着状態やその分布等が微妙な要因となっているのであろう。また、この固体触媒をコロイド状態に保ち、系内に均一に分散させなければならないので、やはりバルク溶液の種々の条件によってその状態は左右されるであろう。現在まだ、ここ迄検討はされていない模様である。

#### 4. その他の化学変換

##### 4.1 種々の up-hill conversion

水の光分解において最大のネックとなっているのは、(iv) の水の酸化である。4 電子分の酸化が一点に起こらず、中間段階で酸化力の強い中間産物（遊離基やスーパーオキシドアニオン、過酸化水素など）が蓄積されると、その酸化反応により反応系全体が著るしいダメージを受けると共に、折角生成した水素も酸化消費されて水に戻ってしまう。

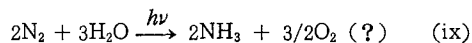
そこで水以外の化合物で入手し易かつ光分解によりエネルギーが蓄積される生成物を与えるものが検討されている。例えば、硫化カドミウム半導体に Pt と RuO<sub>2</sub> をドーブした固体触媒を用いて硫化水素を光分解すると、水素と硫黄が35%という高い効率で生成する（反応 vii)<sup>7)</sup>。



また、大阪大学の坪村研究室では、シリコン半導体を用いた湿式光電池を用いることにより、ヨウ化水素を効率良くヨウ素と水素に光分解することに成功している（反応 viii）。この場合、シリコン半導体の安定化に特別な工夫が施された。

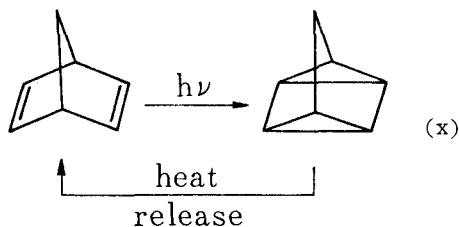


他にも可能な up-hill conversion の方式があるかと思われるが、上記の光分解とは少々趣の異なった反応として、水と窒素分子からのアンモニア光合成がある（反応 (ix)）。<sup>8)</sup> これは、エネルギー問題だけでなく資源の側面からも興味深い。



米国のジョージア大学のグループは、これらと根本的に考えの違ったエネルギー変換・蓄積システムを提案している。それは、ノルボルナジエンを光反応によりクアドリシクリンに異性化させ、光エネルギーをひずみエネルギーとして変換・貯蔵しようというものである（反応 (x)）<sup>9)</sup>。

アイデアの卓抜さとスマートさの為か、多くの有機化学者の注目を集める所となり、数多くの類似の反応が検討されて来た。これらの致命的欠点は、可視光特に赤色光で起こすことが極めて困難であるということである。



京都大学の吉田研究室では、ノボルナジエンにシアノ基やメチル基を導入することにより、紫や青の光で反応が起こるようにさせることに成功している。また米国のポストン大学の G. Jones らは新しい光増感方式を検討している<sup>10)</sup>。

この反応系は更に、正・逆両反応共に 100% の収率で何回もサイクルできなければならないというきびしい条件を満たさねばならず、また火災や環境汚染の問題点も内包している。しかし、これらの欠点を克服すれば、小規模のエネルギー変換・蓄積のシステムとして用途は広いと思われる。例えば、ソーラーハウスや工場の省エネシステム、ハウス・温室栽培農業、離島や山頂の施設や人家等々。

##### 4.2 低温・低圧プロセスへの応用

現在の化学プロセスには高温・高圧を要するものが多いが、省エネルギー対策や事故防止等の側面から低温・低圧プロセスの開発が望まれている。勿論、触媒等の改善による方策が各企業、研究所で活発に検討されているが、全く新しい方法、すなわち光化学反応プロセスの開発も大いに検討する必要がある。

例えば、水性ガスシフト反応を考えてみよう。これは水と一酸化炭素から水素を得るプロセス（反応 (xi)）であるが、発エルゴン反応であるので特に光が無くても進行する。しかし、固体触媒を用いた実用化されている



プロセスでは、200~350°C、数百気圧という苛酷な条件で運転されている。

ロジウムやルテニウムのカルボニル錯体を均一触媒として用いると、常温・常圧で水性ガスシフト反応が効率良く進行することが知られている<sup>11)</sup>。しかしこれらの金属カルボニル錯体は高価である為に実用化に難点がある。これを鉄やコバルト、クロミウム等のより安価な金属触媒を用いて、可視光照射により常温・常圧で進行させることは極めて興味深い問題である。最近予備的ではあるが、W(CO)<sub>6</sub><sup>12)</sup> や Fe(CO)<sub>5</sub><sup>13)</sup> を触媒とした可視光による水性ガスシフト反応に成功した例が報告されている。

水性ガスシフト反応は、光反応プロセスを応用するターゲットの 1 つに過ぎない。他にもオキソ反応やレップ

反応, また最近注目されている C<sub>1</sub> 化学への応用も大いに期待される所であるが, まだ研究は始まったばかりである。

## 5. おわりに

以上, 太陽エネルギーの化学的変換について簡単に概説したが, その研究は始まったばかりであり, まだ基礎研究の段階である。しかし, この分野の研究は爆発的と言っても過言ではない程, 拡大・進展していつている。また, 日本における研究水準は, 世界的にもトップレベルにあり, 光化学討論会を初め各関連学会では多数の研究発表がなされている。太陽エネルギーの化学的変換は, 学問的に言えば可視光の光化学を核とした, 有機化学, 無機化学, 高分子化学, 触媒化学, 材料化学, コロイド化学, 電気化学, 生物化学等を含めた総合化学である。従って, これからもますます研究の深度は深まるであろうし, 周辺分野への拡大も一層促進されるであろう。

1976年にカナダのウエスタンオンタリオ大学で太陽エネルギーの化学的変換・貯蔵に関する国際会議 (International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy) が開催されて今年(1982年)で4回目の会議をイスラエルで迎えた。回を重ねる毎に発表論文数・参加人員共に急増している。1984年には, 大阪で開催されることに決定されたが, 盛大な会議になるであろうことを確信している。

## 文 献

- 1) 太陽エネルギーを一般的に論じた成書として次のものがある。H. メッセル, S.T. バトラー (藤井昭彦訳) “太陽と核エネルギー—未来のエネルギーを考える”, 同文書院 (1979); 押田勇雄, “太陽エネルギー”, 生産技術センター (1975); 工業技術院サンシャイン計画推進本部, “輝ける太陽エネルギー—サンシャイン計画太陽エネルギー研究開発の現状”, 大蔵省印刷局 (1977); 戸倉仁一郎, 三山創, “太陽エネルギー利用—その材料と化学”, 共立出版 (1979)。
- 2) W. Bach, *Environmental International*, **2**, 215 (1979); R. S. Kandel, *ibid.*, **2**, 335 (1979)。
- 3) 太陽エネルギーの化学的変換研究に関する成書・総説集として次のものがある。日本化学会編, 化学総説, No. 12, “エネルギー変換および新しい燃料の化学”, 学会出版センター (1976); 柴田和雄, 今村昌, 池上明編, “太陽エネルギーの生物・化学的利用 I”, 学会出版センター (1978); 柴田和雄, 今村昌, 山田暎編, “太陽エネルギーの生物・化学的利用 II”, 学会出版センター (1979); 坪村宏, “光電気化学とエネルギー変換”, 東京化学同人 (1980); R.R. Hautala, R.B. King, C. Kotal ed., “Solar Energy Chemical Conversion and Storage”, The HUMANA Press Inc (1979); M.S. Wrighton ed., “Interfacial photo-processes: Conversion and Synthesis”, American Chemical Society (1980)。
- 4) 光合成の入門書として, 例えば次の成書が適当であろう。加藤栄, “光合成入門”, 共立出版 (1971)。
- 5) 桜井洗, 朴鐘震, 化学総説 No. 33, “有機光化学の新展開—電子移動反応”, 学会出版センター, p. 75-96 (1982)。
- 6) 松尾拓, 化学総説 No. 33, “有機光化学の新展開—電子移動反応”, 学会出版センター, (p. 211-228 (1982); M. Calvin, *Account Chem. Res.*, **11**, 369 (1978); J.H. Fendler, *ibid.*, **13**, 7 (1980)。
- 7) M. Grätzel, *Account Chem. Res.*, **14**, 376 (1981)。
- 8) G.N. Schlauzer, T.D. Guth, *J. Am. Chem. Soc.*, **99**, 7189 (1977); V. Augugliaro, A. Lauricella, L. Rizzuti, M. Schiavello, A. Sclafani, “Hydrogen Energy progress”, ed. by T. N. Veriroglu, K. Fukui T. Ohta, 3rd World Energy Conference, Tokyo, Vol. 2, p. 589 (1980); F. Khan, p.-L. Yue, *Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1049 (1981)。
- 9) R. R. Hautala, R. B. King, C. Kotal, “Solar Energy Chemical Conversion and Storage”, The HUMANA Press, p. 333-370 (1979)。
- 10) G. Jones, II, P. T. Xuan, S. W. Chiang, “Solar Energy-Chemical Conversion and Storage”, The HUMANA Press, p. 271-298 (1979)。
- 11) P. C. Ford, ed., “Catalytic Activation of Carbon Monoxide”, American Chemical Society (1981)。
- 12) A. D. King, Jr., R. B. King, E. L. Sailors, III, *J. Am. Chem. Soc.*, **103**, 1867 (1981)。
- 13) 松尾, 朴, 桜井, 光化学討論会予稿集 (1982)。



# X線による耐熱金属材料の弾性定数測定

有 間 淳 一 ・ 岩 井 保 善

## X-ray Investigation of Stress Measurement on Heat Resisting Materials.

Junichi Arima, Yasuyoshi Iwai

The elastic constants of nickel base alloy (Inconel X) at high temperature were studied by the X-ray method with a new apparatus consisting of a horizontal type tensile testing machine and a vacuum furnace.

After heat treatment for precipitation hardening, all the plate specimens of Inconel X were finished and then electropolished before being exposed to X-ray. The Characteristic X-ray of  $\text{CrK}\beta$  was irradiated on them through a thin beryllium foil, and the strain was determined by measuring the diffraction from (311) atomic plane by means of the conventional  $\sin^2\psi$  diagrams using counter technic.

The conclusions of the present study are as follows.

(1) The elastic constants of Inconel X obtained by the X-ray technique are in good agreement with those measured mechanically within the experimental errors. The values obtained, however, very slightly with temperature.

(2) The lattice spacings or lattice constants changed about 5.2 degree in  $2\theta$  from room temperature to 923 K. Consequently, it is necessary to take great care of slight change in temperature for stress measurement by X-ray.

### 1. 緒 言

熱機関，化学工業，原子力工業などに使用されている耐熱合金の多くは，熱処理による変態または析出硬化処理により高温における諸性能を向上させて実用されている。これらの高合金では二種以上の相から構成されている場合の異相間の熱膨張の差異に基づく熱応力あるいは熱処理に基因する残留応力などが実際使用中の材料の強度に影響をおよぼすことが指摘されており，これまでも主としてセラミック系ゲージなどによる測定値に基づく解析結果から評価されている<sup>1)2)3)4)</sup>。一方，熱応力，残留応力の測定に関しては，多結晶金属材料の各層のひずみを非破壊的に測定し得るX線応力測定法も有効に適用できるものと考えられる<sup>5)6)</sup>。本報告では，代表的なNi基合金であるインコネルX材について高温条件下におけるX線の弾性定数の測定法に関する実験的検討を行ったので，これらの結果について述べる。

### 2. 応力の解析およびX線の弾性定数の測定法

#### 2.1 多結晶体の応力解析<sup>7)8)9)</sup>

試料の1つの結晶内にFig. 1に示すような座標軸 X,

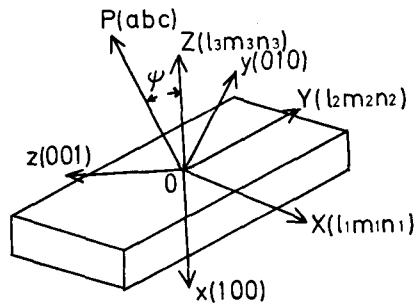


Fig. 1 Principle relation of stress strain and orientation in crystal.

Y, Z を考え，それぞれの方向を結晶軸の方向にとる。また，X, Y, Z を試料軸と一致させ，それぞれ，試料幅，応力軸および試料面法線方向にとる。OP は反射面の法線方向すなわち，格子ひずみの測定方向である。また， $(l_i m_i n_i)$ ,  $(abc)$  は各方向の  $x, y, z$  座標系における方向余弦である。

1つの結晶内の応力とひずみの関係は結晶に固定した座標系に関しては次式で表わされる。

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \delta_{yz} \\ \delta_{zx} \\ \delta_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{11} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{12} & S_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで  $x, y$  および  $z$  方向は結晶の主軸方向を示しており  $S_{ij}$  は材料固有の弾性コンプライアンス定数である。特に結晶系が立方晶の場合には、 $S_{11}=S_{22}=S_{33}$ ,  $S_{12}=S_{21}=S_{13}=S_{31}$ ,  $S_{44}=S_{55}=S_{66}$ , それ以外は 0 であるため、式(1)は 3 個の独立した定数すなわち、 $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{44}$  のみによって表わしてある。

式(1)より 1 つの結晶粒内の応力状態を決定するためには 6 個のひずみ成分を決定する必要がある。X 線回折によって求められるひずみは各格子面間隔の変化であるから、X 線回折面に垂直な方向すなわち Fig. 1 において OP 方向のひずみが得られることになる。この方向のひずみを  $\epsilon$  とすると

$$|H|^2 \epsilon = a^2 \epsilon_x + b^2 \epsilon_y + c^2 \epsilon_z + bcr_{yz} + car_{zx} + abr_{xy} \quad (2)$$

の関係が成立する。ここで  $|H|^2 = a^2 + b^2 + c^2$  である。したがって 6 つの異なる方向のひずみ  $\epsilon$  を測定すれば、式(2)を解くことによって各ひずみ成分を求めることができる。

一方、通常の X 線応力測定法の基礎式は 2 軸応力状態を仮定して組み立てられている。これは X 線の侵入深さが試料の表面薄層に限られるためであって、このことから  $\sigma_3 = 0$ ,  $\tau_{23} = \tau_{31} = 0$  が仮定され、したがって未知数は  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  および  $\tau_{12}$  の 3 つとなる。ここで  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  はそれぞれ X, Y, Z 方向の応力成分であり、 $\tau_{23}$ ,  $\tau_{31}$ ,  $\tau_{12}$  はこれより定まるせん断応力成分である。このような仮定のもとに背面反射法を用いて応力を定めるには最低 3 方向の格子ひずみを測定すればよく、3 軸応力状態の完全解析の場合と比較して便利である。この場合も Fig. 1 の座標系を考える。

2 軸応力状態としての条件を導入するためには、 $xyz$  軸系で表わされる応力成分  $\sigma_x, \sigma_y, \dots, \tau_{xy}$  と XYZ 軸系で表わされる  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \tau_{12}$  の間に成立する関係を導いて置く必要がある。それは次第に示す各応力成分の座標変換で表わされる。

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_1^2 & l_2^2 & l_3^2 & 2l_2l_3 & 2l_3l_1 & 2l_1l_2 \\ m_1^2 & m_2^2 & m_3^2 & 2m_2m_3 & 2m_3m_1 & 2m_1m_2 \\ n_1^2 & n_2^2 & n_3^2 & 2n_2n_3 & 2n_3n_1 & 2n_1n_2 \\ m_1n_1 & m_2n_2 & m_3n_3 & m_2n_3 + m_3n_2 & m_3n_1 + m_1n_3 & m_1n_2 + m_2n_1 \\ n_1l_1 & n_2l_2 & n_3l_3 & n_2l_3 + n_3l_2 & n_3l_1 + n_1l_3 & n_1l_2 + n_2l_1 \\ l_1m_1 & l_2m_2 & l_3m_3 & l_2m_3 + l_3m_2 & l_3m_1 + l_1m_3 & l_1m_2 + l_2m_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \delta_3 \\ \tau_{23} \\ \tau_{31} \\ \tau_{12} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式(1), (2), (3)より OP 方向のひずみ  $\epsilon$  は

$$\begin{aligned} \epsilon &= (S_{11} - S_{12}) \sum_i \sum_j \sigma_{ij} (a^2 l_i l_j + b^2 m_i m_j + c^2 n_i n_j) \\ &+ S_{12} (a^2 + b^2 + c^2) \sum_i \sum_j (l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j) \\ &+ S_{44} \sum_i \sum_j \sigma_{ij} (bcm_i n_j + can_i l_j + abl_i m_j) \end{aligned} \quad (4)$$

で表わされる。ここで  $i, j$  は 1, 2, 3 であり、2 軸応力状態では 1, 3 軸応力状態では 1, 2, 3 である。したがって式(4)は XYZ 座標系に対して任意の方位をとる単結晶の任意の方向のひずみを求める一般式である。

一方、Fig. 1 における幾何学的関係より

$$\left. \begin{aligned} a^2 + b^2 + c^2 &= 1 \\ al_1 + bm_2 + cn_2 &= 0 \\ l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j &= 1 \quad (i=j) \\ l_i l_j + m_i m_j + n_i n_j &= 0 \quad (i \neq j) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

が成立するため、OP 方向のひずみ  $\epsilon(abc)$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \epsilon(abc) &= (S_{11} - S_{12}) \{ \sigma_1 (a^2 l_1^2 + b^2 m_1^2 + c^2 n_1^2) + \sigma^2 (a^2 l_2^2 \\ &+ b^2 m_2^2 + c^2 n_2^2) + 2\tau_{12} (a^2 l_1 l_2 + b^2 m_1 m_2 + c^2 n_1 n_2) \} \\ &+ S_{12} (\sigma_1 + \sigma_2) + S_{44} \{ \sigma_1 (bcm_1 m_1 + can_1 l_1 + abl_1 m_1) \\ &- \frac{1}{2} \sigma_2 (a^2 l_2^2 + b^2 m_2^2 + c^2 n_2^2) - \tau_{12} (a^2 l_1 l_2 + b^2 m_1 m_2 \\ &+ c^2 n_1 n_2) \} \end{aligned} \quad (6)$$

この式(6)より明らかなように未知数は  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\tau_{12}$  の 3 個であり、最低 3 方向の格子ひずみが測定されるならば 2 軸応力状態は決定される。

式(6)を整理すると

$$\begin{aligned} \epsilon(abc) &= (S_{11} - S_{12} - \frac{1}{2} S_{44}) \{ \sigma_1 (a^2 l_1^2 + b^2 m_1^2 + c^2 n_1^2) \\ &+ \sigma_2 (a^2 l_2^2 + b^2 m_2^2 + c^2 n_2^2) \\ &+ 2\tau_{12} (a^2 l_1 l_2 + b^2 m_1 m_2 + c^2 n_1 n_2) \} + S_{12} (\sigma_1 + \sigma_2) \\ &+ \frac{1}{2} S_{44} \sigma_1 (al_1 + bm_1 + cn_1)^2 \end{aligned} \quad (7)$$

となる。ここで材料が等方性の場合には  $S_{11} - S_{12} - \frac{1}{2} S_{44} = 0$  であるから式(7)は

$$\begin{aligned} \epsilon(abc) &= \frac{1}{2} S_{44} \sigma_1 (al_1 + bm_1 + cn_1)^2 + S_{12} (\sigma_1 + \sigma_2) \\ &= \frac{1+\nu}{E} \sigma_1 (al_1 + bm_1 + cn_1)^2 - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \end{aligned} \quad (8)$$

と書き改められる。いま、Z 軸と反射面の法線方向 OP となす角を  $\psi$  とすれば、幾何学的関係から

$$\sin \psi = aI_1 + bI_2 + cI_3 \quad (9)$$

となるため、(8)式は

$$\epsilon(abc) = \frac{1+\nu}{E} \sigma_1 \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (10)$$

となり、通常多結晶試料で使われるX線応力測定の基本式と一致する。 $\epsilon(abc)$  は一般には  $\epsilon\psi$  と表わす。

### 2.2 X線の弾性定数の測定法<sup>9)</sup>

X線応力測定法はひずみとして結晶格子面間隔の変化を測定し、これより応力値を算出する方式であるから、加わっている応力値が既知であるならば、X線によって測定されるひずみと関連づけて弾性定数を求めることができる。

引張応力を負荷しながらX線的に弾性定数を求める方法について述べる。この場合は式(10)において  $\sigma_1 = \sigma_x$ ,  $\sigma_2 = 0$  であるから  $\epsilon(abc)$  を  $\epsilon\psi$  とすると

$$\epsilon\psi = \frac{1+\nu}{E} \sigma_x \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} \sigma_x \quad (11)$$

が得られる。式(11)を  $\sin^2 \psi$  について、続いて  $\sigma_1$  について微分すると次式が求まる。

$$\frac{S_2}{2} = \frac{1+\nu}{E} = \frac{\sigma}{\partial \sigma_1} \left[ \frac{\partial \epsilon\psi}{\partial \sin^2 \psi} \right] = \frac{\partial M}{\partial \sigma_1} \quad (12)$$

また、式(11)において  $\psi = 0$  とおき、続いて  $\sigma_1$  で微分すると

$$S_1 = -\frac{\nu}{E} = \frac{\partial \epsilon\psi}{\partial \rho_1} = 0 \quad (13)$$

が得られる。

実際に弾性定数  $S_1, S_2/2$  を求める手順としては、まず、種々の既知の引張応力下で、軸方向ひずみ  $\epsilon\psi$  をX線的に測定し、 $\epsilon\psi - \sin^2 \psi$  線図を作成する。各応力段階における  $\sin^2 \psi$  線図の傾きを求め、 $\sigma_1$  に対してプロットすると、その直線の傾きが  $S_2/2$  となる。また  $\epsilon\psi - \sin^2 \psi$  の  $\psi = 0$  におけるひずみを  $\sigma_1$  に対してプロットするとその傾きが  $S_1$  となる。

## 3. 実験方法

### 3.1 試験片

本研究に用いた材料は Ni 約73%を基材とするインコネル X である。1413 K で4時間保持したのち空冷、続いて 1116 K で約16時間保持して十分析出硬化させた。これより Fig. 1 に示すような形状寸法に加工した後、表面の加工層を除去する目的で約 150  $\mu\text{m}$  を電解研磨したものを試験片として採用した。Table I に材料の化学成分を、また Table II に析出硬化処理後の材料の機械的性質を示す。

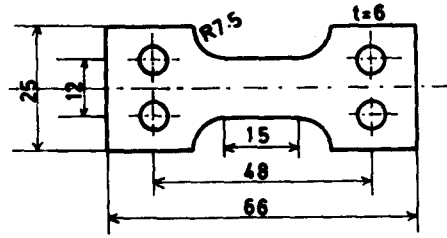


Fig. 2 Shape and dimensions of specimen.

Table I Chemical compositions of material.

Si	Mn	C	Fe	Al	Ti	Nb	Cr	Ni
0.15	0.65	0.08	7.0	0.7	2.4	0.8	15.0	Bal.

Table II Mechanical properties of heat treated material.

Yield stress (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness $H_B$	Young's modulus (GPa)	Poisson's ratio
667	1157	23.0	281	213.7	0.31

### 3.2 実験装置<sup>10)</sup>

格子面間隔の温度に対する変化をできるだけ正確に測定するために本研究ではX線回析装置と組み合わせて使用する試料加熱炉を作成した。Fig 3はその概略を示したものである。すなわち、内径約 50mm の筒(鋼製)の中央に半月形の炉を配置し、試料表面のX線照射部に長方形のスリットを設け、幅 6mm 長さ 65mm のベリウム箔(厚さ 150  $\mu\text{m}$ )を取り付けた。ハーメチックシールで密閉し、上部から真空排気できる構造とした。この加熱炉をX線回析装置(XD-3, 島津製作所)のゴニオメータに装着することにより加熱中の格子面間隔の変化

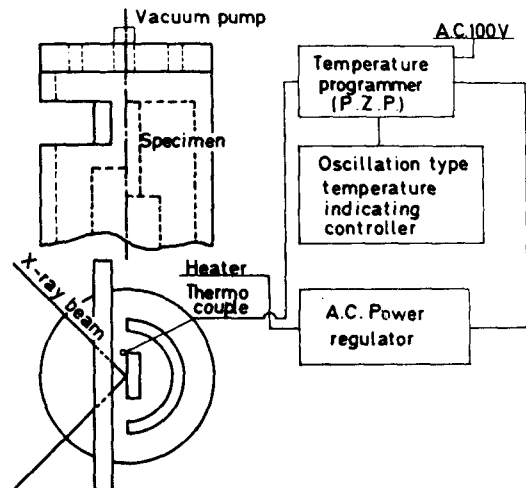


Fig. 3 Furnace and temperature control systems on the X-ray goniometer.

を  $\theta-2\theta$  法で測定することができる。加熱中の試料表面の温度をできるだけ正確に検出し、制御するために、ニクロム発熱体はサイリスタ交流電力調整器と直結し、所定の温度制御はプログラム温度設定器 (PZP, 富士電機製造) および自動平衡型温度調節計 (TZ3-DC3R, 富士電機製造) を連動させて行った。

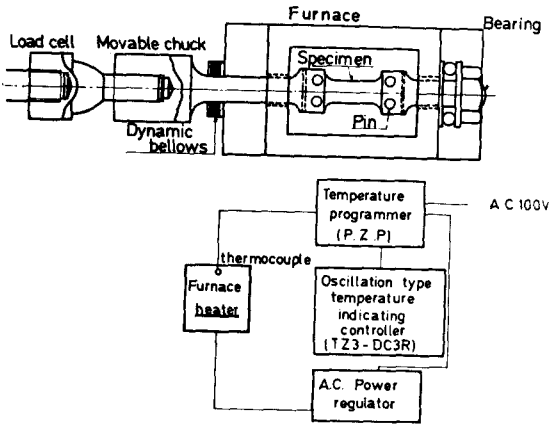


Fig. 4 Furnace and temperature control systems of horizontal tensile testing machine.

また、X線弾性定数の測定には Fig. 4 にその概略を示すような横型の小型引張試験機を試料加熱部と組み合わせた装置を用いた。手動油圧負荷装置により、シリンダーを介して試験片に任意の引張荷重を加え、各応力段階でX線応力測定機 (SMX-50, 島津製作所) を用いて格子ひずみを測定し、X線の弾性定数を算出するような構成とした。

3.3 試験方法

本研究で用いたX線は  $CuK\beta$  線であって、 $\gamma$  相(311)面を測定面に選んだ。

格子面間隔の温度による変化の測定では試験片を前述の試料加熱炉に取付け、常温から約 923K までの温度範囲で約 50K 間隔で  $\theta-2\theta$  法により回析強度分布曲線を求め、回析面法線方向の格子面間隔を測定した。

X線の弾性定数の測定は次のようにして行った。すなわち、Fig. 2 に示した試験片を前述の引張試験機に取付け弾性範囲内における任意の引張荷重を加え、各応力段階で試験片表面中央部にX線を照射し、回析強度分布曲線を求めた。これまで詳述してきた方法に基づき、X線入射角は  $0^\circ \sim 40^\circ$  までの6点入射とし、 $\sin^2\psi$  法により測定を行った。まず、常温でX線弾性定数  $S_2/2$  を求めるとともに、50K 間隔で約 923K までの温度範囲での測定を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 高温条件下における格子面間隔の変化について

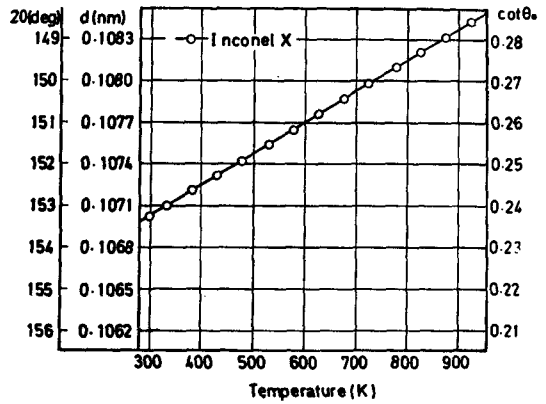


Fig. 5 Relation between lattice spacing and temperature.

Fig. 5, はインコネルX材について常温から約 923K までの温度範囲で測定した回析角  $2\theta$  の変化と温度の関係を示したものである。図中に格子面間隔(d)と応力定数の計算に必要な  $\cot\theta_0$  の値を併記した。図より明らかに回析角と温度の関係は良い直線性を示していることがわかる。インコネル材と比較して常温における回析角の値は異なるが直線的に変化し、傾きもほぼ等しい。インコネル材については常温から 923 K までの温度で回析角  $2\theta$  が約5.2度変化することになり、これは 10 K の温度差で  $2\theta$  がおよそ 0.09 度変化する。10 MPa の応力値に対し  $2\theta-\sin^2\psi$  線図における傾きは約 0.03 であるから、高温条件下におけるX線応力測定では、僅かな温度変動が、測定値に大きく影響する。したがって測定時間内では温度変動をできるだけ生じないよう注意する必要がある。

4.2 高温条件下におけるX線の弾性定数

本研究では常温より約 923K までの温度範囲においてX線の弾性定数を測定した。測定結果をまとめて示したのが Table III である。表にはそれぞれ温度に対してX線の弾性定数、 $E/(1+\nu)$  [ $GP_a$ ], この値を基にして計算

Table III Experimental results of X-ray elastic constants at various temperature.

Temperature (K)	Elastic constant $E/(1+\nu)$ (GPa)	Stress constant $K_p$ (MPa/deg.)	Diffraction angle	$\cot \theta_0$	Young's modulus E (GPa)
300	164 ± 8.7	341 ± 17.0	76°36'	0.2382	214.6
323	161 ± 8.7	339 ± 17.0	76°34'	0.2388	211.7
373	157 ± 8.7	337 ± 16.8	76°20'	0.2431	205.8
423	155 ± 7.7	333 ± 16.6	76°12'	0.2456	202.8
473	152 ± 7.6	328 ± 16.4	76°00'	0.2493	198.5
523	148 ± 7.4	323 ± 16.1	75°51'	0.2521	193.6
573	141 ± 7.0	319 ± 15.9	75°39'	0.2558	185.7
623	140 ± 7.0	316 ± 15.7	75°26'	0.2598	182.8
673	137 ± 6.8	314 ± 15.7	75°17'	0.2627	179.3
723	135 ± 6.7	313 ± 15.6	75°06'	0.2661	176.4
773	134 ± 6.7	309 ± 15.4	74°55'	0.2695	174.0
823	130 ± 6.5	307 ± 15.3	74°42'	0.2736	170.5
873	119 ±12.0	288 ± 25.0	74°39'	0.2745	167.0
923	106 ±15.0	279 ± 28.0	74°29'	0.2776	164.0



した応力定数  $K_T$  [ $MPa/deg.$ ], 回析角  $2\theta$ ,  $\cot\theta_0$  およびインコネル X 材について求められた機械的弾性係数  $E$  [ $GPa$ ] の値を示した。X 線の弾性定数に関しては 95% 信頼限界における平均測定誤差  $\Delta\sigma$  を測定値とともに示した。表中に示した測定誤差の範囲で X 線の弾性定数の値が温度の上昇に伴い変化することがわかる。

一方、インコネル X 材では縦弾性係数の値はおおよそ 800 K までは直線的に変化するデータを得ており、加えて、Fig. 5 に示した  $\cot\theta_0$  の温度に対する直線的な変化を考えあわせると X 線応力測定における応力定数は式(11)を書き換えて次式のように表わされる<sup>5)6)</sup>。

$$K = -E \cdot \cot\theta_0 / 2(1+\nu) \cdot \pi / 180 \quad (14)$$

$E$ ,  $\theta_0$ ,  $\nu$  は常温における縦弾性係数、回析角、ポアソン比である。ポアソン比に関しては温度に対してほとんど変化しないと考えるが、 $E$  および  $\theta_0$  は温度に対して定数とは扱えない。Table III に示した  $E$  の値の温度変化より 0K における  $E$  の値を  $E_*$ 、ある温度  $TK$  における値を  $E_T$  とすると  $E_T$  は次のようになる。

$$E_T = E_* (1 - 3.93 \times 10^{-4} T) \quad (15)$$

同様に Fig. 5 から  $\cot\theta_0$  の温度による変化は次のように示される。

$$\{\cot\theta_0\}_T = \{\cot\theta_0\}_* (1 + 2.46 \times 10^{-4} T) \quad (16)$$

したがって  $TK$  における X 線応力測定の定数は式 (15), (16) を式(14)に代入することにより次式となる。

$$K_T = -E_* \{\cot\theta_0\}_* / 2(1+\nu) \cdot (1 - 1.47 \times 10^{-4} T - 1.096 \times 10^{-7} T^2) \cdot \pi / 180 \quad (17)$$

これで、

- $E$  : 常温における縦弾性係数
- $E_*$  : 0K における縦弾性係数
- $E_T$  : 温度  $TK$  における縦弾性係数
- $\nu$  : ポアソン比
- $\theta_0$  : 常温における無ひずみ状態の回析角
- $\{\theta_0\}_*$  : 0K における無ひずみ状態の回析角
- $\{\theta_0\}_T$  : 温度  $TK$  における無ひずみ状態の回析角
- $K$  : 常温における応力定数
- $K_T$  : 任意の温度における応力定数

以上の関係を図示したのが Fig. 6 である。応力定数  $K_T$  を温度との関係で示したものであって図中の直線は、Table III の  $E$  の値から計算したものである。実験結果

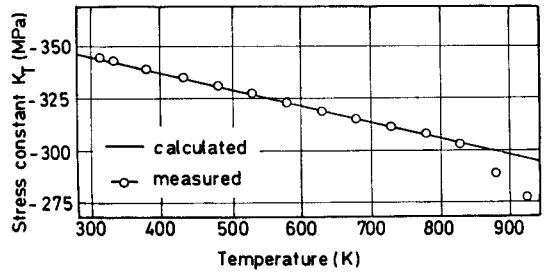


Fig. 6 Relation between X-ray stress constants and temperature.

と計算結果はよく一致している。しかし、約 823 K を超えると実験値は計算値からずれてくる。このような温度範囲での X 線応力測定ではあらかじめ X 線の弾性定数を求めて置く必要がある。

## 5. 結 言

以上述べてきたように、本研究では、試作した試料加熱炉および高温 X 線ひずみ測定機を用いてインコネル X 材の常温および高温における X 線の弾性定数の測定を行った。実験結果に基づき得られた結論を述べる。

- (1) 高温条件下では、回析角  $2\theta$  の値が温度に対して直線的に変化する。測定中にできるだけ温度変化を生じないように注意する必要がある。
- (2)  $\cot\theta_0$  および 800K 程度までの  $E$  の値が温度に対して直線的に変化することを基にして X 線応力測定における応力定数の実験式を示した。測定値が計算値よりずれる温度域では X 線の弾性定数をあらかじめ求める必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 耐熱材料ハンドブック p.104 (1965) 朝倉書店
- 2) D. A. Coss., S. M. Copley., MeT. Trans 2, 1557 (1971)
- 3) 依田連平, 鉄と鋼, 65, 7, 725 (1979)
- 4) 田中千秋, 大場敏夫, 鉄と鋼61, 12, 618 (1975)
- 5) 竹田博光, 森田幹郎, 材料, 24, 35 (1974)
- 6) 有間淳一, 岩井保善, 材料, 28, 211 (1979)
- 7) X線材料強度学, 216(1973), 日本材料学会, 養賢堂
- 8) 改著 X線応力測定法, 129 (1981) 養賢堂
- 9) X線応力測定法標準, 5 (1982) 日本材料学会
- 10) 第19回 X線シンポジウム前刷集76 (1982) 日本材料学会



# 楕円管のダイレス曲げ加工に関する研究\*

市瀬 辰己・小島 耕二・木村 貞男\*\*

Dieless Bending of Elliptical Tubes.

Tatsumi ICHISE, Koji KOBATAKE and Sadao KIMURA

現在異形管は幅広い分野で使用されておりその需要は年々拡大しているが、これら異形管の新しい利用を考えると曲げ加工技術の開発が重要な課題となってくる。本研究においては工具を用いない局部加熱ダイレス曲げ加工法の考案を行い、楕円形状をした鋼管の90度曲げの実験を行った。

加工限界とともに加工精度について調べた結果、本加工法が異形鋼管の曲げ加工法として有効であることがわかった。

## 1. はじめに

著者の一人\*\*は鋼管を素材とし、ロール成形機を使用して、いろいろな形状・寸法の角管ならびに異形管を製造している(図1参照)。これら異形管は農業機械、建設機械、自動車、原子力発電プラントなど幅広い分野で使用されており、その需要は年々広がりつつある。しかし、角鋼管や異形鋼管の新しい利用を考える場合、それらの曲げ加工技術が重要な問題となってくる。とくにトラクタや耕うん機などの農業機械や食品・繊維などにおける産業機械の分野では異形管をより積極的に利用したいという要望が大きいが、新しい需要の採否が異形管の曲げ加工が可能かどうかにより決まる場合も多い。このようなことから異形管製造の側は勿論、使用側にとっても曲げ加工技術の開発は極めて大きな関心もたれている。

管の曲げ加工法にはプレス曲げ<sup>1)</sup>、引張り曲げ<sup>2)</sup>、引き曲げ<sup>3)</sup>など種々の方法がある<sup>4)</sup>。しかし、これらの曲げ加工法はすべて円管を対象にしたものであり、加工限界や加工精度を向上させるために曲げ型や心金などの工具を用いて加工が行われる。図1に示したような断面形状が円形でない異形管の曲げ加工を行う場合、曲げ型などの工具の製作が容易ではない。また、円管の曲げ加工に比べて異形管の断面形状によってはしわや割れなどの欠陥が発生しやすく、一般に異形管の曲げ加工は困難とされている。

そこで、本研究では異形管の曲げ加工法の開発を目的として工具を用いない局部加熱ダイレス曲げ装置を試作

するとともに、楕円形状をした管の曲げ加工について検討を加えた。塑性加工の分野において、工具を用いずに加熱と冷却によって変形を制御しようとするダイレスフォーミング法は極めて特殊な加工法であるが、すでに著者らによって開発されたダイレス引抜き加工法は優れた利点をもっている<sup>5)~9)</sup>。ここで試みる局部加熱ダイレス曲げ加工も、変形の拘束を行う工具を用いないことから多種少量生産に適しているものと考えられる。また、曲げ半径や曲げ角度を連続的に変化させながら任意の形状を得ることができる利点をもっている。しかし、工具による拘束がないことから本加工法における加工精度がどの程度になるのか、また、管の曲げ外側での割れ、曲げ内側におけるしわの発生や穴のつぶれなどの加工限界がどのようになるのかを明らかにする必要がある。本論文ではダイレス曲げ加工装置の概略を述べるとともに、楕円形状をした異形鋼管の90度曲げにおける加工精度および加工限界について報告する。

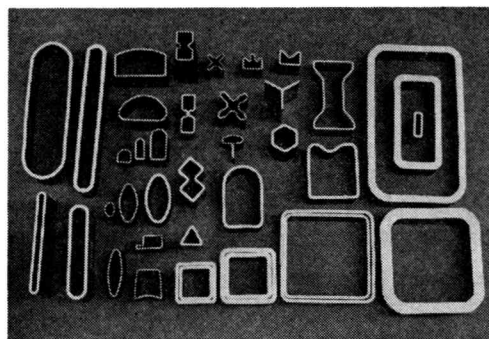


図1 角鋼管と異形管

\* 昭和57年度春季塑性加工講演会にて一部発表

\*\*東洋特殊鋼業株式会社

## 2. 実験方法

### 2.1 ダイレス曲げ加工の原理

局部加熱ダイレス曲げとは、図2に示すように管材の一端を回転アームに取付け、高周波加熱コイルで管材を線状に局部加熱する。その後一定速度で管材を移動させ、連続的に曲げモーメントを作用させることによって曲げ加工を行う方法である。

このような方法は、造船関係や化学プラントの配管で使用される厚肉の大径管ですでに利用されているが、曲げ半径の比較的大きな加工が主であり、加工条件も試行錯誤的に設定されている。本研究では小径の異形管や薄肉円管の曲げ加工にも適用できるものと考え小径管用の曲げ装置を試作した。

### 2.2 試作装置の概要

図3にダイレス曲げ装置の概要を示す。この装置は旋盤を利用して試作したものであり、高周波誘導加熱装置、出力トランス、加熱コイル、回転アーム、ガイドローラ、テールストックおよび駆動装置から構成されている。

#### (1) 加熱装置および曲げ成形部の機構

管材の加熱方法としては、最大出力 15KW で周波数が 410 KHz の高周波誘導加熱装置を用い、出力トランスに接続してある加熱コイルで加熱を行う。数種の加熱コイルを試作したが、その一例を図4に示す。曲げ成形

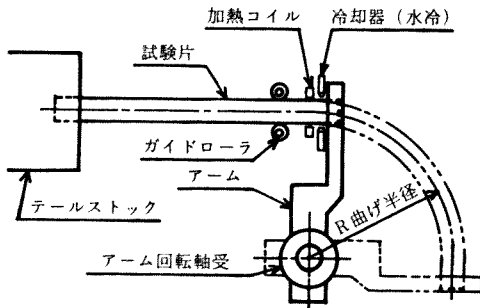


図2 ダイレス曲げ加工の原理

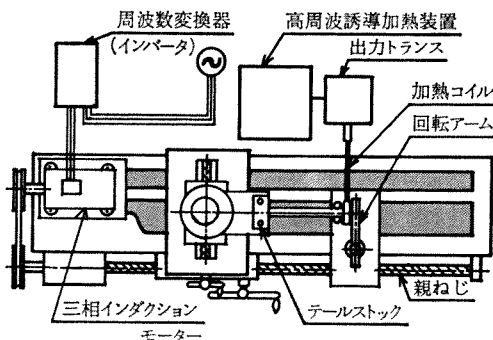


図3 試作したダイレス曲げ装置の概略

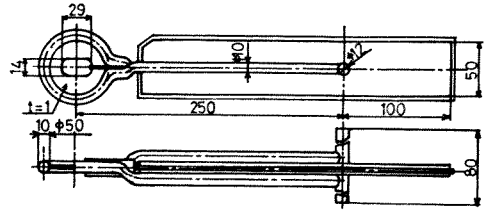


図4 加熱コイル

部は、管材の一端を保持し移動させるためのテールストックとガイドローラおよび管材の他端を保持し曲げモーメントを作用させるための回転アームから構成されている。ガイドローラを介して送り込まれた管材は加熱コイルで加熱され、アームが回転することにより曲げ加工される。曲げ半径はアームの長さを調整することにより、30~130mm の範囲で任意に変えることができる。

#### (2) 駆動装置

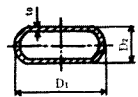
テールストックの駆動には、減速比1/30の三相ギヤードインダクションモータによって行う。モータの回転はVベルトで旋盤の親ねじへ伝達され、往復台の上に取り付けてあるテールストックを移動させる。また、モータの回転は周波数変換器により移動速度0~72cm/minの範囲で無段変速できるようにした。

## 2.3 実験方法

実験に用いた材料は、一般構造用炭素鋼鋼管 STK 41 ( $C < 0.25\%$ ) および機械構造用炭素鋼鋼管 STKM 11 ( $C < 0.12\%$ ) である。断面形状はいずれもフラットタイプの楕円管と呼ばれるものである。表1に試験片寸法および断面形状を示す。材料の肉厚  $t_0$  はいずれも同じであるが、長径  $D_1$  と短径  $D_2$  の寸法は少し異なっており、以下の実験ではおもに STK 41 を用いて実験を行った。曲げ方向は長径方向であり、曲げ角度は90度とした。

表1 試験片寸法と断面形状

材質	長径 $D_1$ (mm)	短径 $D_2$ (mm)	肉厚 $t_0$ (mm)	備考
STK41	25	12	1.2	$C=0.25\%$ 以下
STKM11	20	8	1.2	$C=0.12\%$ 以下



## 3. 実験結果および考察

### 3.1 温度測定

図5に、曲げ変形を行わずに加熱だけを行い、管材を一定速度で移動させた場合の管表面の温度分布の測定結果を示す。横軸に加熱コイルの位置からの距離をとり、たて軸には管材の表面温度をとってある。温度測定は、直径0.3mmのクロメル・アルメル熱電対を管表面にパーカッション溶接して行った。この場合、加熱装置の出力は2.7KWとし、加熱コイルの幅は1mmである。

冷却には放冷と水冷の二通りを用いた。水冷では加熱コイルから 20mm 後方の位置に毎分 75~100 cc の水を噴射して冷却を行った。

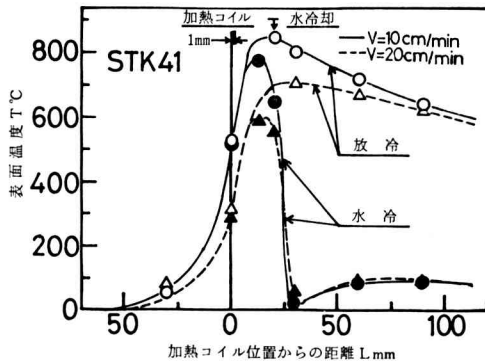


図5 管表面の温度分布

いずれの冷却方法においても、管材の移動速度によって最高温度は相違する。しかし、冷却後の温度分布は移動速度の大小によってあまり変わらない。管材の移動速度が毎分 10cm の場合、管表面における最高温度は放冷の場合約 830°C であり、水冷の場合は約 780°C である。移動速度が毎分 20cm になると最高温度は放冷の場合で約 700°C であり、水冷の場合は約 600°C であった。

つぎに冷却方法の違いによる温度分布の相違をみると、放冷の場合では赤熱状態の領域が加熱コイル後方 100mm 以上にわたっているのに対し、水冷では赤熱領域が狭くなり、良好な局部加熱が行われているのがわかる。管材の移動速度が異ってもこれらの傾向は変わらない。

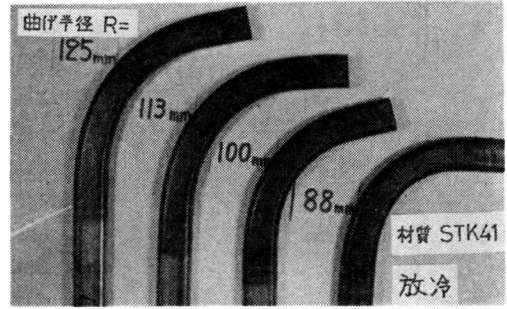
### 3.2 ダイレス曲げ加工の例

図6は、材質 STK41 について放冷の場合(図(a))と水冷の場合(図(b))の加工例を示したものである。放冷の場合、曲げ半径が 88mm までの加工では曲げ外側における割れ、曲げ内側でのしわの発生がなく、良好な曲げ加工を行うことができた。水冷の場合、曲げ加工限界はさらに向上し、曲げ半径 45mm までは割れやしわの発生がなく、良好な加工を行うことができた。

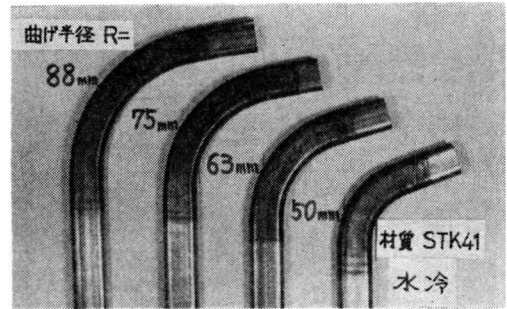
STKM11 の場合、放冷では曲げ半径が 60mm までの加工では割れやしわの発生がなくきれいな曲げ加工が行われたが、曲げ半径が 50mm の場合には曲げ内側での曲げ変形開始の部分でしわが発生した。水冷では、曲げ半径が 35mm までの加工を行うことができ、STK41 の場合と同様、加熱領域を小さくすることが加工限界の向上に寄与することがわかった。

### 3.3 加工精度

図7は、加工前と加工後の断面形状を模式的に示したものである。(a)は加工前の形状を示し、(b)は加工後の形状を示している。曲げ加工後の断面形状はややたまご型



(a) 放冷の場合



(b) 水冷の場合

図6 局部加熱ダイレス曲げ加工の例 (STK41)

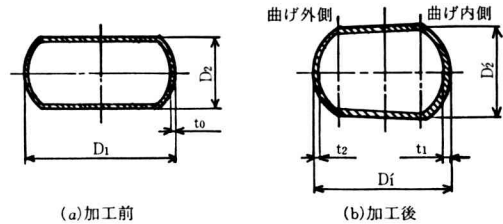


図7 加工前後の断面形状

に扁平化し、曲げ内側で肉厚増加、曲げ外側で肉厚減少が生じる。楕円管の曲げ加工精度を明らかにするために、断面形状の変化を平均扁平化率  $\lambda_1, \lambda_2$  として次のように定義する。

$$\lambda_1 = (D_1 - D_1') / D_1 \quad (1)$$

$$\lambda_2 = (D_2 - D_2') / D_2 \quad (2)$$

また、曲げ内側と曲げ外側における肉厚変化をそれぞれ扁平率  $\beta_1, \beta_2$  として以下のように定義する。

$$\beta_1 = (t_1 - t_0) / t_0 \quad (3)$$

$$\beta_2 = (t_0 - t_2) / t_0 \quad (4)$$

図8および図9は、断面形状の扁平化率  $\lambda_1, \lambda_2$  と曲げ半径  $R$  との関係を示したものである。加工前の長径  $D_1$ 、短径  $D_2$ 、加工後の長径  $D_1'$  はポイントマイクロメータを用いてそれぞれ3回測定し、それらの平均値を採用した。加工後の短径  $D_2'$  の測定は曲げ内側、曲げ中心、

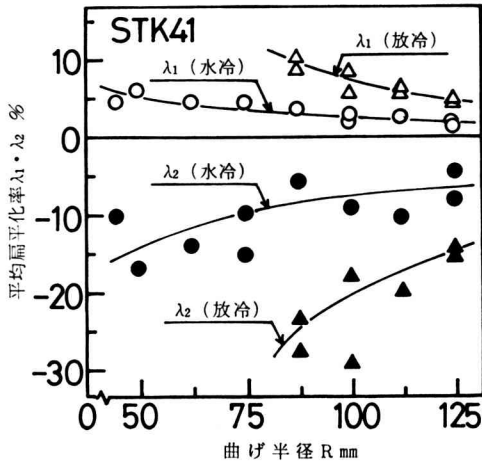


図8 平均扁平化率と曲げ半径の関係 (STK41)

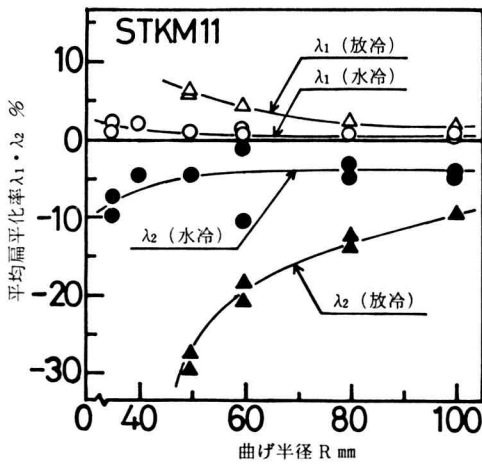


図9 平均扁平化率と曲げ半径の関係 (STKM11)

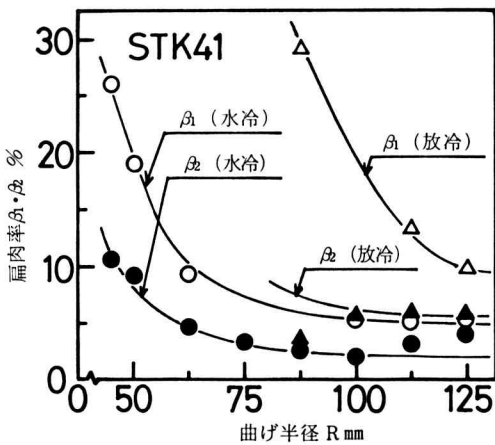


図10 肉厚変化と曲げ半径の関係 (STK41)

曲げ外側の3個所においてそれぞれ3回の測定を行い、合計9回の測定値の平均値によって  $D_2'$  をあらわした。曲げ半径が大きくなると扁平化率は減少するが、水冷の

方が放冷の場合よりも扁平化率が2分の1程度に小さくなり、形状精度がよいことがわかる。STK 41 (図8) と STKM 11 (図9) の場合を比較すると、STKM 11の方が扁平化率は小さく、曲げ加工後の形状精度のよいことを示している。

図10は、加工後の肉厚変化を明らかにするために扁平率  $\beta_1, \beta_2$  と曲げ半径  $R$  との関係を示したものである。本加工法は押し曲げ加工であるため、曲げ外側の肉厚減少よりも、曲げ内側の肉厚増加の方が大きい。曲げ半径が大きくなると扁平率  $\beta_1, \beta_2$  はともに減少する。とくに水冷を行うことにより、曲げ半径が 80 mm 以上では扁平率は一定し、形状精度がよくなることがわかる。

以上のように曲げ半径の比較的大きな範囲では、ダイレス曲げ加工によっても一定の寸法精度が得られることがわかったが、用途によっては許容される扁平率および扁平化率は異なるであろう。一例として造船関係における大径厚肉鋼管の焼き曲げ<sup>10)</sup>における許容寸法の標準は、曲げ半径が直径の2倍以下の場合で肉厚変化率20%、扁平率10%とされている。本実験における STK 41 について水冷の場合、曲げ半径  $R$  が 45mm (直径の1.8倍) における曲げ外側 (肉厚減少) の扁平率  $\beta_2$  は約10%である。また、曲げ内側 (肉厚増加) の扁平率  $\beta_1$  は約25%であるが、しわの発生は認められない。断面形状の扁平化率についても、長径方向の扁平化率  $\lambda_1$  は約5%であり、短径方向の扁平化率  $\lambda_2$  は約15%である。これらのことから、異形管のダイレス曲げ加工においても適正な加工条件を選択することにより、実用上必要とされる加工精度を得ることは可能であると考えられる。

### 3.4 加工限界

一般に管材の曲げ加工における加工限界は破断、穴のつぶれ、しわの発生によって規定される<sup>3)</sup>。

しわが発生した加工例を図11に示す。本実験の範囲内では曲げ外側に割れが生じた例はなく、曲げ内側においてしわが発生することによって加工限界を示した。表2は、本研究にお

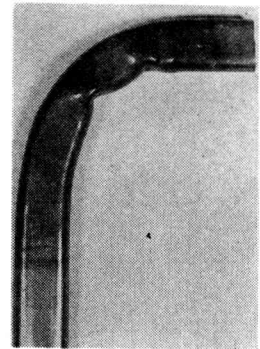


図11 しわ発生の場合

表2 ダイレス曲げによる加工限界

材 質	加工 限 界 値 (R/D <sub>1</sub> )	
	放 冷	水 冷
STK41	3.5	1.8
STKM11	3.0	1.75

る楕円管の曲げ加工限界をしわが発生することなしに加工できた最小曲げ半径の値であらわしたものである。また、加工可能な最小曲げ半径の値  $R$  を長径の値  $D_1$  で除したものを加工限界値として示してある。放冷の場合での加工限界値は STK41 が 3.5, STKM 11 が 3.0 であるが、どちらも水冷を行うことにより STK 41 で 1.8, STKM 11 で 1.75 にそれぞれ向上することがわかった。一般に円形断面の鋼管の冷間曲げ加工における最小曲げ半径は直径の 2 倍程度、すなわちここでいう加工限界値は 2 程度である<sup>3)</sup>。本研究で用いた管材の断面形状は楕円であるが、局部加熱によるダイレス曲げ加工を行うことにより、加工限界は向上するものと考えられる。

#### 4. おわりに

高周波誘導加熱による局部加熱ダイレス曲げ装置を試作し、楕円形状の異形鋼管の曲げ加工を行った。その結果、一定の加工精度内での曲げ加工が可能であることがわかった。冷却条件についてみた場合、放冷よりも水冷の方が加工限界および加工精度は向上する。このことから、ダイレス曲げ加工においてはできるだけ加熱幅を小さくし、曲げ変形の範囲を局部に限定することが重要だと考えられる。

はじめに述べたように異形管の曲げ加工の開発に対する要望はきわめて強く、工業的な利用価値は非常に大きい。ここで示したダイレス曲げ加工法によれば、工具を用いることなく任意の曲げ半径や曲げ方向を持つ製品を

得ることができる。また、この加工法では加熱と冷却によって変形を制御するとともに、曲げ加工部の材質制御も行い得る可能性がある。今後、断面形状がより複雑な異形管や薄肉円管などのきびしい曲げ加工についての最適加工条件を明らかにするとともに、加熱温度、加熱速度、冷却速度などを自動制御する方式についても検討を行い、この加工技術を付加価値の高い多種少量生産方式として確立させたい。

本研究にご指導を賜った本校機械工学科関口秀夫助教授ならびに神戸大学工学部小坂田宏造助教授に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 鈴木：塑性加工，(1980)，(裳華房)，236.
- 2) 日本材料学会：塑性加工学，(1979)，(養賢堂)，123.
- 3) 遠藤ほか 2 名：塑性と加工，19-212(1978)，742).
- 4) 中村：第75回塑性加工シンポジウム，(1981)，25.
- 5) Sekiguchi, H. ほか 2 名：Proc. of M. T. D. R., 18 (1974)，107.
- 6) 関口ほか 2 名：塑性と加工，17-180 (1976)，67.
- 7) Kobatake, K. ほか 3 名：Proc. of M. T. D. R., 18 (1979)，253.
- 8) 小島ほか 3 名：塑性と加工，21-224 (1979)，814.
- 9) 小島ほか 3 名：塑性と加工，21-228 (1980)，52.
- 10) 竹山：熱処理，10-2 (1970)，125.





# 光ヘテロダイン法による振動測定

押田 至啓・加賀 勝也・岩田 耕一\*・永田 良\*

## Optical Heterodyne Measurement of Vibration

Yoshihiro OSHIDA, Katsuya KAGA, Koichi IWATA and Ryo NAGATA

An optical heterodyne system to measure the vibration phase is proposed. In this system the reference beam is frequency-shifted and phase-modulated. The preliminary experiments to measure the vibration phase and to measure the vibration pattern by scanning the object rough surface demonstrate the validity of the theory. Consideration shows that this method is applicable to the sub-pico meter vibration.

### 1. 緒 言

微小な振動を測定する非常に感度の良い方法として、光を干渉させそれを電気信号に変換し測定する方法が試みられている<sup>1)2)</sup>。これらの方法は光ホモダイン法と光ヘテロダイン法の二つに大別できる。

光ホモダイン法としては、超音波により励振される鏡面上の薄膜からの反射光と参照光を干渉させてその時間的な強度変化を電氣的に検出して振動を測定する方法が試みられている<sup>3)</sup>。この方法では検出する最小の振幅が数 pm 程度にまでなることが実験により示されている<sup>4)</sup>。しかし測定感度を上げるために静止状態での物体光と参照光の間の光路差を光電面上で光の波長の $\frac{1}{4}$ に正確に設定しなければならない。これは物体表面が粗面の場合には非常に困難である。すなわち光ホモダイン法は粗面物体には用いることができない。

一方、参照光に周波数シフトを加える光ヘテロダイン法による微小振動の測定も多く試みられている<sup>5)6)</sup>。光ヘテロダイン法においては物体光と参照光の間の光路差を正確に設定する必要がなく、この方法は粗面物体に対しても適用できる。またこれらの方法についても数 pm の振幅を測定できることが報告されている<sup>5)</sup>。

以上述べた方法はいずれも振動の振幅を測定することを主たる目的として行なわれており、位相の測定はほとんど行なわれていない。しかし振動の位相を測定することができれば振幅とあわせて測定物体の振動状態を完全に把握できる。また振動が超音波などの進行波の場合には振動の位相情報は非常に重要な意味を持つ。一般に進行波では振幅は場所的あまり変化がないのに対し、

位相は波長だけ離れた位置では  $2\pi$  ずつ変化している。この位相の等しい位置が進行波においては波面を表わしている。物体面上を走査して各点における位相を測定すれば進行波の波面を可視化することができる。

本論文では光ヘテロダイン法を用いた新しい振動の位相測定法を提案する<sup>7)8)</sup>。この方法は参照光の周波数をずらし光ヘテロダイン法にするとともに、さらに物体の振動周波数と同じ周波数の正弦波状の位相変調を参照光に加えるものである。この位相変調の振動の初期位相を基準にして物体の振動の初期位相を測定する。またこの方法では電気信号の処理に信号の搬送波成分を検出する方法と側帯波成分を検出する方法の二つが考えられる。本論文ではそれぞれの検出法によって得られる信号について解析する。次に本法によって振動の初期位相を測定できることを検証するための実験を示す。また振動している物体上を走査して物体の振動状態を測定した実験の一例を示す。

さらに、本法の測定感度を決定するのは電気信号における雑音であると考えられるので、雑音に対する考察から測定限界はほぼ 0.2pm であることを示す。

### 2. 測定原理

本法の基本的な光学系を図1に示す。正弦波状に振動している粗面物体上の点P(位置ベクトル  $\mathbf{r}$ ) における振動を測定する。物体の振動の角周波数を  $\Omega$  とし、点Pにおける振動振幅を  $\mathbf{a}_0(\mathbf{r})$ 、初期位相を  $\mu_0(\mathbf{r})$  とすると、時刻  $t$  における点Pの変位  $\mathbf{d}_0(\mathbf{r}, t)$  は次式のように表わされる。

$$\mathbf{d}_0(\mathbf{r}, t) = \mathbf{a}_0(\mathbf{r}) \cos \{ \Omega t + \mu_0(\mathbf{r}) \} \quad (1)$$

レーザーからの角周波数  $\omega_0$  の光はビーム・スプリッ

\*大阪府立大学工学部

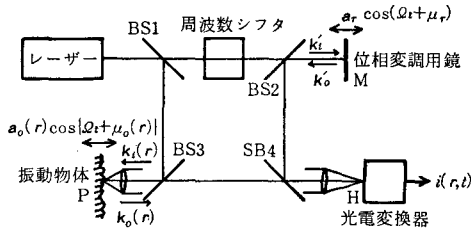


図1 基本的な光学系

タ BS1 によって二光波に分けられ、反射光は物体を照明するのに用いられる。物体を照明しその振動の情報を持った光はレンズ系により光電面上に結像され、光ヘテロダインにおける物体光としてはたらく。一方、透過光は周波数シフトおよび位相変調を受けて光ヘテロダインにおける参照光のはたらしをする。

物体面上の点Pの像をレンズ系によって光電面上の点Hに結像している。光電面の大きさが十分小さく点Hにおける光の状態のみを検出している場合には、物体面上の点Pの振動状態のみを測定していることになる。したがって、光電面より得られる信号は物体面上の位置ベクトル  $\mathbf{r}$  の点Pの情報を与える。この場合に光電面上における物体光の複素振幅は(1)式を考慮に入れると次式のように表わされる。

$$U_o(\mathbf{r}, t) = \bar{U}_o(\mathbf{r}) \exp i [\omega_0 t + p_o(\mathbf{r}) \cos \{ \Omega t + \mu_o(\mathbf{r}) \} + \phi_o(\mathbf{r})] \quad (2)$$

ただし  $\bar{U}_o(\mathbf{r})$  は点Pからの光波の光電面上における振幅、 $\phi_o(\mathbf{r})$  は物体が静止した状態での物体光の位相で物体光の光路長に關係した一定の値である。また  $p_o(\mathbf{r})$  は物体上の点Pの振動振幅に対応した量で

$$p_o(\mathbf{r}) = \{ \mathbf{k}_o(\mathbf{r}) - \mathbf{k}_i(\mathbf{r}) \} \cdot \mathbf{a}_o(\mathbf{r}) \quad (3)$$

で表わされる。ここで  $\mathbf{k}_o(\mathbf{r})$ 、 $\mathbf{k}_i(\mathbf{r})$  はそれぞれ光の観測方向、照明方向の波動ベクトルで大きさが  $2\pi/\lambda$  ( $\lambda$ : 光の波長) で光の伝搬方向を向いたベクトルである。

参照光は図1中の周波数シフタによって角周波数が  $\Delta\omega (\ll \omega_0)$  だけずらされている。さらに物体の振動周波数と同じ角周波数  $\Omega$  で正弦波状に振動している鏡Mによって位相変調が加えられている。鏡Mの変位  $\mathbf{d}_r(t)$  は(1)式と同様に

$$\mathbf{d}_r(t) = \mathbf{a}_r \cos(\Omega t + \mu_r) \quad (4)$$

と表わされる。この場合に光電面上における参照光は(2)式と同様に

$$U_r(t) = \bar{U}_r \exp i \{ (\omega_0 + \Delta\omega)t + p_r \cos(\Omega t + \mu_r) + \phi_r \} \quad (5)$$

となる。ただし  $\bar{U}_r$  は参照光の光電面上における振幅、

$\phi_r$  は鏡Mが静止している状態での光の位相で参照光の光路長に關係した一定の値である。また  $p_r$  は鏡Mの振動振幅に対応した量で

$$p_r = (\mathbf{k}_o' - \mathbf{k}_i') \cdot \mathbf{a}_r \quad (6)$$

で表わされる。ここで  $\mathbf{k}_i'$ 、 $\mathbf{k}_o'$  はそれぞれ鏡Mに対する光の入射方向、反射方向の波動ベクトルである。

光電面上で物体光と参照光が干渉して時間的な明暗の変化が生じる。この干渉光の時間的な強度変化を光電面により電気信号に変換し検出する。光電面からは光の強度に比例した電流が出力として得られる。この出力電流  $i(\mathbf{r}, t)$  は光電変換効率を  $A$  とすると(2)、(5)式より次のようになる。

$$\begin{aligned} i(\mathbf{r}, t) &= A [U_o(\mathbf{r}, t) + U_r(t)]^2 \\ &= A [I_o(\mathbf{r}) + I_r] \\ &\quad + 2A \sqrt{I_o(\mathbf{r}) I_r} \cos \{ \Delta\omega t \\ &\quad - c(\mathbf{r}) \cos \{ \Omega t + \psi(\mathbf{r}) \} - \phi(\mathbf{r}) \} \end{aligned} \quad (7)$$

ただし

$$\begin{aligned} I_o(\mathbf{r}) &= |\bar{U}_o(\mathbf{r})|^2, \quad I_r = |\bar{U}_r|^2, \quad \phi(\mathbf{r}) = \phi_o(\mathbf{r}) - \phi_r, \\ c^2(\mathbf{r}) &= p_o^2(\mathbf{r}) + p_r^2 - 2p_o(\mathbf{r})p_r \cos \{ \mu_o(\mathbf{r}) - \mu_r \} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\psi(\mathbf{r}) = \sin^{-1} \left[ \frac{1}{c(\mathbf{r})} \{ p_r \sin \mu_r - p_o(\mathbf{r}) \sin \mu_o(\mathbf{r}) \} \right] \quad (9)$$

である。また光電変換効率  $A$  は

$$A = \frac{\eta e}{h\nu} \quad (10)$$

で与えられる。ここで  $\eta$  は光電面の量子効率、 $h$  はプランクの定数、 $e$  は電子の電荷、 $\nu$  は光の周波数である。

(7)式をフーリエ級数に展開すれば

$$\begin{aligned} i(\mathbf{r}, t) &= A [I_o(\mathbf{r}) + I_r] \\ &\quad + 2A \sqrt{I_o(\mathbf{r}) I_r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_{2n}[c(\mathbf{r})] \cos \{ (\Delta\omega - 2n\Omega)t \\ &\quad - 2n\psi(\mathbf{r}) - \phi(\mathbf{r}) - n\pi \} \\ &\quad + 2A \sqrt{I_o(\mathbf{r}) I_r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_{2n+1}[c(\mathbf{r})] \sin \{ (\Delta\omega - \\ &\quad (2n+1)\Omega)t - (2n+1)\psi(\mathbf{r}) - \phi(\mathbf{r}) - n\pi \} \end{aligned} \quad (11)$$

と表わされる。ただし  $J_n$  は  $n$  次のベッセル関数である。(11)式からわかるように、得られる信点の角周波数が  $\Delta\omega \pm n\Omega$  ( $n$ : 整数)の成分の振幅は  $J_n[c(\mathbf{r})]$  に比例する。すなわち得られた信号のうちの一つの周波数成分のみをバンド・パスし、その振幅を測定すれば  $c(\mathbf{r})$  の値を得ることができる。 $c(\mathbf{r})$  は(8)式からわかるように測定点Pの振動振幅に対応した量  $p_o(\mathbf{r})$  とその初期位相

$\mu_o(r)$ , および鏡Mの振動の振動振幅に対応した量 $p_r$ とその初期位相 $\mu_r$ によって決まる量である。ところで $p_r$ と $\mu_r$ は先に設定する値であり, これらは既知である。ゆえに,  $c(r)$ の値は物体の振動に対応した量 $p_o(r)$ と $\mu_o(r)$ によって決定される。したがって物体の振幅 $p_o(r)$ が既知の場合には $c(r)$ の値を測定すれば $\mu_o(r)$ を得ることができる。 $p_o(r)$ の値を得るには位相変調用鏡Mに振動を加えないで $p_r=0$ とすればよい。このときは $c(r)=p_o(r)$ となり振動振幅を測定することができる。

また物体の振動が伝搬している進行波(超音波など)の場合には,  $p_o(r)$ の場所的な変化は位相 $\mu_o(r)$ の変化に比べてゆるやかであると考えられる。すなわち位相は進行波の波長ごとに $2\pi$ 変化するのに比べ, 振幅は波長程度の範囲ではほとんど減衰しない。したがって $c(r)$ は $\mu_o(r)$ の値のみに依存し,  $c(r)$ の値を測定することにより $\mu_o(r)$ の値を得ることができる。さらに物体面上を二次元的に走査することにより物体面上の振動の等位相分布を得ることができる。これは進行波が伝搬している面上の進行波の波面を可視化していることになる。

### 3. 測定方法(電気信号処理)

光電面で得られる信号から $c(r)$ を検出するための処理系を図2に示す。

光電面からの信号はまずリミッタにより振幅の変化が取り除かれる。これにより測定点を走査した場合に生じる場所的な強度の変化の影響を除去している。

次にバンドパス・フィルタにより一つの周波数成分を取り出す。この取り出した信号の振幅を測定するために全波整流シローパス・フィルタを通す。これにより出力信号が一つの周波数成分の振幅に比例する。これによって得られる値が, 角周波数 $d\omega$ の搬送波成分をバンドパスした場合には $J_0[c(r)]$ を, 角周波数 $d\omega-Q$ の側帯波をバンドパスした場合には $J_1[c(r)]$ を与える。

#### 3.1 搬送波成分検出法

(11)式で与えられる信号のうちから搬送角周波数 $d\omega$ の

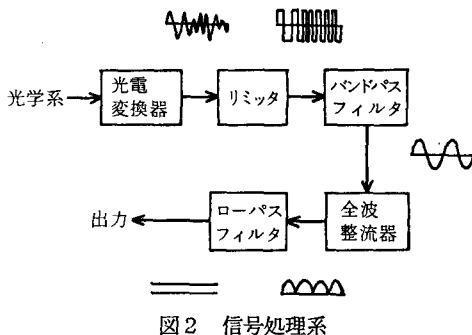


図2 信号処理系

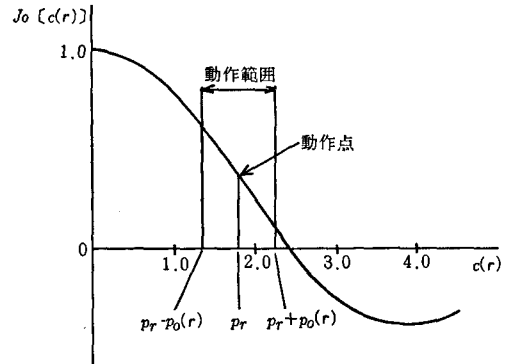


図3 搬送波成分検出法の動作点

成分のみをバンドパスして得られる信号は

$$i_o(r, t) = K_0 J_0[c(r)] \cos\{d\omega t - \phi(r)\} \quad (12)$$

で与えられる。ただし $K_0$ は信号処理系により決まる定数である。これより出力信号の振幅を測定すれば $J_0[c(r)]$ がわかり, これから $c(r)$ を求めることができる。

$c(r)$ と $J_0[c(r)]$ の関係を図3に示す。 $c(r)$ は参照光中の鏡Mの振動振幅 $p_r$ によって決まる動作点を中心とする動作範囲内の値をとる。物体の振動振幅 $p_o(r)$ が同じ場合には $c(r)$ は位相 $\mu_o(r)$ の値により $\mu_o(r) - \mu_r = 0$ に対しては $p_r - p_o(r)$ ,  $\mu_o(r) - \mu_r = \pi$ に対しては $p_r + p_o(r)$ となる。物体の振動は微小で $p_o(r) \ll \pi$ であるから動作範囲が $c(r)$ のわずかな変化に対して最も感度のよい位置になるよう動作点を設定しなければならない。そのためには図3に示すように動作点が直線部分にくるように $p_r$ の値を決めればよい。すなわち $p_r = 1.8$ とすればよい。これは $a_r, k_o', k_i'$ が平行で光の波長が632.8nmの場合には $|a_r| = 90.6\text{nm}$ に対応する。

#### 3.2 側帯波成分検出法

(11)式の信号のうちから角周波数 $d\omega - Q$ の成分のみをバンドパスして得られる信号は

$$i_1(r, t) = K_1 J_1[c(r)] \sin\{(d\omega - Q)t - \psi(r) - \phi(r)\} \quad (13)$$

で表わされる。ただし $K_1$ は信号処理系により決まる定数である。これより出力信号の振幅を測定すれば $J_1[c(r)]$

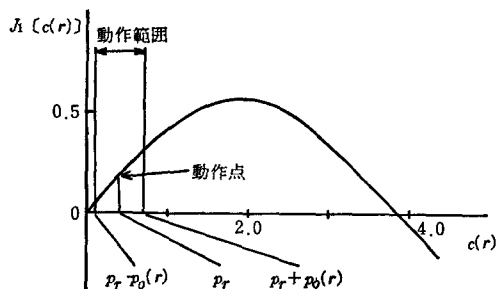


図4 側帯波成分検出法の動作点

( $r$ )] がわかり、これから  $c(r)$  を求めることができる。

$c(r)$  と  $J_1[c(r)]$  の関係を図4に示す。搬送波成分検出法の場合と同様に  $c(r)$  は  $p_r$  により決まる動作点を中心にして  $\mu_0(r)$  の値により  $p_r - p_0(r)$  と  $p_r + p_0(r)$  の間の値をとる。物体の振動は微小で  $p_0(r) \ll \pi$  であるから動作範囲を最も感度のよい位置に決めなければならない。そのためには図4に示すように  $p_r$  と  $p_0(r)$  をほぼ同じ値にすればよい。しかし出力信号の振幅から  $c(r)$  を一意的に求めるためには

$$p_r - p_0(r) \geq 0 \tag{14}$$

でなければならない。すなわち位相変調用の鏡Mの振動振幅は物体の振動振幅よりも少し大きくなければならぬ。このことより参照光の位相変調に鏡Mのかわりに物体面上の最も振幅の大きい点の振動を利用できることがわかる。物体面上の点を参照光の位相変調に用いることにより物体の振動以外の全体的な動きの影響を除去することができる<sup>8)</sup>。

#### 4. 実験および結果

実験光学系および信号処理系を図5に示す。 $M_1, M_2$  はスピーカーの前面にとりつけた鏡でスピーカーを励振することにより振動する。 $M_1$  は周波数シフト用の鏡で三角波状に振動している。 $M_2$  は位相変調用の鏡で物体の振動周波数と同じ周波数で正弦波状に振動している。鏡  $M_2$  の振動の初期位相  $\mu_r$  は0と考える。また物体としては周辺を固定した真鍮製円板の中央をスピーカーで励振したものを用いた。

##### 4.1 搬送波成分検出法

搬送波成分検出法により物体の振動の位相を測定した結果を図6に示す。物体の振動振幅を一定値 21 nm にしたまま位相を 0 から  $2\pi$  まで変えた場合の出力を示す。鏡  $M_2$  の振動振幅は 95 nm,  $\Delta\omega/2\pi = 500$  Hz,  $Q/2\pi = 2272$  Hz である。○は実験結果である。一点鎖線は図3における動作点の位置を示す。物体の振幅が 21 nm,  $M_2$  の振幅が 95 nm の場合の理論値を実線で示す。

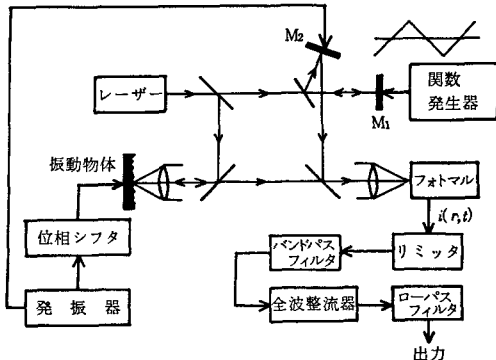


図5 実験光学系および信号処理系

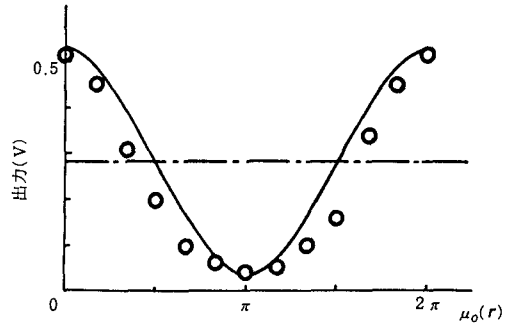


図6 搬送波成分検出法による振動の初期位相の測定結果

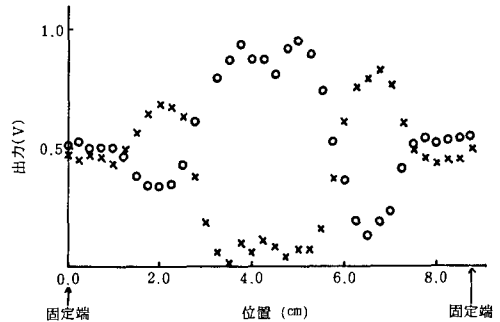


図7 搬送波成分検出法による物体面上の走査結果

次に0-1モード(半径方向に節線が1本)で振動している円板上の振動を走査して測定した結果の一例を図7に示す。 $\Delta\omega/2\pi = 500$  Hz,  $Q/2\pi = 3392$  Hz である。また  $M_2$  の振幅は 80 nm である。○は円板の中央部の振動の位相と  $M_2$  の振動の位相の差が0の場合、×は位相の差が  $\pi$  の場合の結果である。この結果から物体の中心付近と周辺付近とは振動の位相が  $\pi$  だけずれていることがわかる。また○は周辺部分が最も前へ出た状態での物体面の形状を表わしており、×は中心部分が最も前へ出た状態での物体面の形状を表わしている。

##### 4.2 側帯波成分検出法

角周波数  $\Delta\omega - Q$  の成分をバンドパスした場合の結果

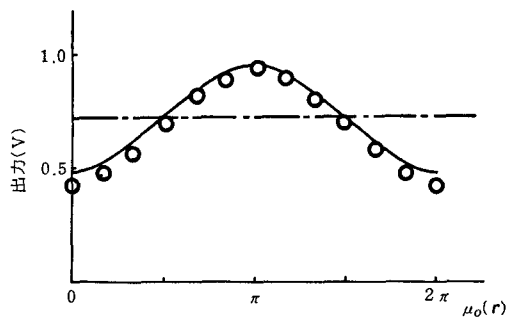


図8 側帯波成分検出法による振動の初期位相の測定結果

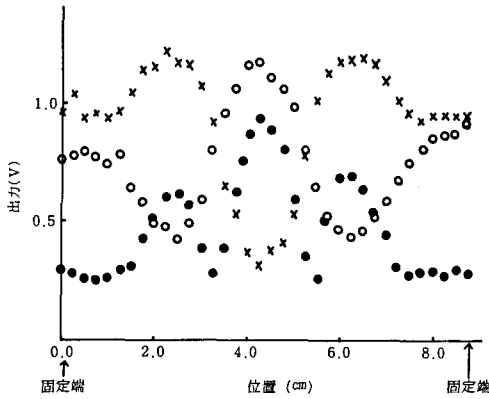


図9 側帯波成分検出法による  
物体面上の走査結果

を図8, 図9に示す。ただし  $\Delta\omega/2\pi=2620\text{Hz}$ ,  $\Omega/2\pi=2272\text{Hz}$  である。

図8は物体の振動の位相を変えた場合の結果である。物体の振動振幅は6nm, 鏡  $M_2$  の振幅は8nmである。○が実験値を示す。一点鎖線は図4における動作点に対応している。また実線は物体の振幅が6nm,  $M_2$  の振幅が8nmの場合の理論値である。

図9は0-1モードで振動している円板上を走査して得られた結果である。 $M_2$  の振動振幅は27nm, 物体の振動振幅は最も大きい所で25nmである。すなわちこの場合には(14)式の条件を満たしている。×は物体の中央部の振動の位相と  $M_2$  の振動の位相の差が0の場合, ○は位相の差が  $\pi$  の場合である。また●は  $M_2$  の振動を止めた場合の結果である。これらの結果より物体の中心付近と周辺部では位相が  $\pi$  だけずれていることがわかる。また○は中心付近が, ×は周辺部が最も前へ出た状態での物体面の形状を表わしている。

## 5. 測定感度

本法における測定感度は雑音によって決まる。粗面からの散乱光を用いて測定することを考えているため光電面上での光の強度は非常に弱い。したがって雑音としてはショットノイズを考えればよい。ショットノイズ電流の2乗平均値は

$$N=2eAI\Delta f \quad (15)$$

で与えられる<sup>9)</sup>。ただし  $I=I_0(r)+I_r$ ,  $\Delta f$  は信号処理系の帯域幅である。また  $A$  は(10)式で与えられる。

搬送波成分を検出する方法では(11)式で与えられる信号のうち角周波数  $\Delta\omega$  の成分のみを用いる。微小振動であり  $p_r=1.8$  と設定することを考慮に入れると信号の2乗平均値は

$$S=2A^2I_0(r)I_r[0.58p_0(r)\cos\{\mu_0(r)-\mu_r\}]^2 \quad (16)$$

となる。SN比は(15), (16)式より

$$S/N=\frac{\eta I_0(r)I_r}{h\nu I\Delta f}[0.58p_0(r)\cos\{\mu_0(r)-\mu_r\}]^2 \quad (17)$$

と表わされる。いま  $I_0(r)=I_r=0.5\text{mW}$ ,  $\eta=0.1$ ,  $\nu=5\times 10^{14}\text{Hz}$ ,  $\Delta f=1\text{kHz}$ ,  $\mu_0(r)=\mu_r$  とし,  $S/N=1$  まで信号を検出できるとすると測定可能な最小の  $p_0(r)$  の値は,  $4.4\times 10^{-6}$  となり, これは振動振幅になおすと0.22pmになる。

側帯波成分検出法では(11)式で与えられる信号のうち角周波数  $\Delta\omega-\Omega$  の成分のみを用いる。微小振動であることを考慮して信号の2乗平均値を求めると

$$S=\frac{1}{2}A^2I_0(r)I_r c^2(r) \quad (18)$$

となる。SN比は(15), (18)式より

$$S/N=\frac{\eta I_0(r)I_r}{4h\nu I\Delta f}c^2(r) \quad (19)$$

と表わされる。搬送波成分検出法の場合と同じ条件を用いれば  $c(r)=5.1\times 10^{-6}$  まで測定可能である。これは振動振幅になおすと0.26pmになる。

以上の考察より光ヘテロダイン法を用いればpm程度の微小振動を検出できることがわかる。

## 6. 結 言

光ヘテロダイン法を用い, 参照光に正弦波状の位相変調を加えることにより物体の振動の初期位相を測定することができることを示した。また本法を用いて物体面上を走査して振動パターンを測定した実験例を示した。

さらに雑音に対する考察より本法はほぼ0.2pmの振動の微小振動を検出できることがわかった。

## 文 献

- 1) G. I. Stegman : IEEE Trans. Sonics & Ultrason. **SU-23** (1976) 33.
- 2) M. E. Haran : Proc. IEEE **67** (1979) 454.
- 3) R. Mezrich, D. Vilkomerson and K. Etzold : Appl. Opt. **15** (1976) 1499.
- 4) S. Sizgoric and A. A. Gundjian : Proc. IEEE **57** (1969) 1313.
- 5) G. A. Massey : Proc. IEEE **56** (1968) 2157.
- 6) F. J. Eberhardt and F. A. Andrews : J. Acoust. Soc. Amer. **48** (1970) 603.
- 7) 押田至啓, 岩田耕一, 永田良 : 光学 **10** (1981) 190.
- 8) Y. Oshida, K. Iwata and R. Nagata : Optics and Lasers in Engineering 投稿中
- 9) 関英男 : 雑音 (岩波書店, 1954) p. 37.



# 旋削の自動化に関する研究

加 賀 勝 也 ・ 押 田 至 啓

## A Study on Automatization in Lathe Cutting

Katsuya KAGA, Yoshihiro OSHIDA

日に日に進歩しているICを機械に組み込んで自動化を図ることは、自動化の手段としては当然用いるべき技術である。このような技術はすばらしく進んだ状態で使われている反面、必要を感じながらも方法がつかめぬために使われていない場合も少なくない。

本研究は旋盤の基本作業について、ごくわずかな種類のICを組み立てて自動化を図ることと取り組み、可能性を確かめたものである。

### 1. 緒 言

近年、疲労を防いだり安全を保つなどのために、TTLICを機械に組み込んで機械を自動的に動かすことが行われているが、マイクロコンピュータとの接続に比べてはるかに廉価に出来る反面、異った作業に対しては異った回路をつくり直さねばならぬという欠点を持っている。

そこで本研究においては、基本的な作業についてICによる構成原理を考えて可能性および簡易化の方法を検討する。

### 2. 基本の動作

例としてとりあげた基本作業つぎに示す。すなわち

#### (1) 横送り

- ① バイトの前進。(バイトを材料に近づける。)
- ② バイトに切り込みを与える。(切削回数によって切り込み量を変える。)
- (2) バイトの切削方向への縦送り。(切削方向での前進。)
- (3) バイトの後退。(横送り。)
- (4) バイトの戻し方向への縦送り。(切削方向での切削開始位置への戻し。)

上記の動作を横送り(Y)および縦送り(X)の2つのパルスモータで行わせることを考える。

#### (1) 横送り

- ① バイトの前進。……前進量に対応する数のパルスを与えることによってYのパルスモータを回す。(切り込み・縦送りを止める。)
- ② バイトに切り込みを与える。……さらに切り込みに対応する数のパルスを与えることによって、Yのパルスモータを回す。(縦送りと前進とを止める。)

同じ切り込みで何回行うかをパルスによって数えて行き、所要の切り込み回数だけ数えれば、信号を出してつぎの切り込みに移らせる。

- (2) バイトの切削方向への縦送り。……縦送りに必要な長さに相当する数のパルスを与えることによって、Xのパルスモータを回してバイトを移動させる。(切り込み・縦送りを止める。)
- (3) 横送りパルスモータを逆転に切り換える。  
バイトの後退。……(1)の①と同じパルス数を与えることによってYのパルスモータを逆転させる。(縦送りを止める。)
- (4) バイトの戻し方向への縦送り。……Xのパルスモータに(2)と同じパルス数を与え、逆転させて、切削開始時の位置に戻す。

### 3. TTLIC による構成

以下の記号は図中の記号と一致し、数字0または1は記号の部分の状態が約0Vか約5Vを示している。また〔 〕内の数字と記号は図中の各小部分の回路を示している。

また、図中555はパルス発振回路に使用するIC、IC7490はカウンタ、IC74141はデコーダ、FFはR-Sフリップフロップ、Sはロータリスイッチを示している。

機械を自動的に作動させる前に、準備としてリセットパルスを発振して各フリップフロップに送る。

Kカウント数ゼロ〔4〕→B0〔1〕→A1〔1〕→Mにリセットパルス〔1, 2 a, 3 b〕→E0〔2 a〕, L<sub>1</sub>L<sub>2</sub>L<sub>3</sub>0〔3 b〕

#### (1) 横送りパルスモータ正回転

- ① ●バイトの横方向への前進。

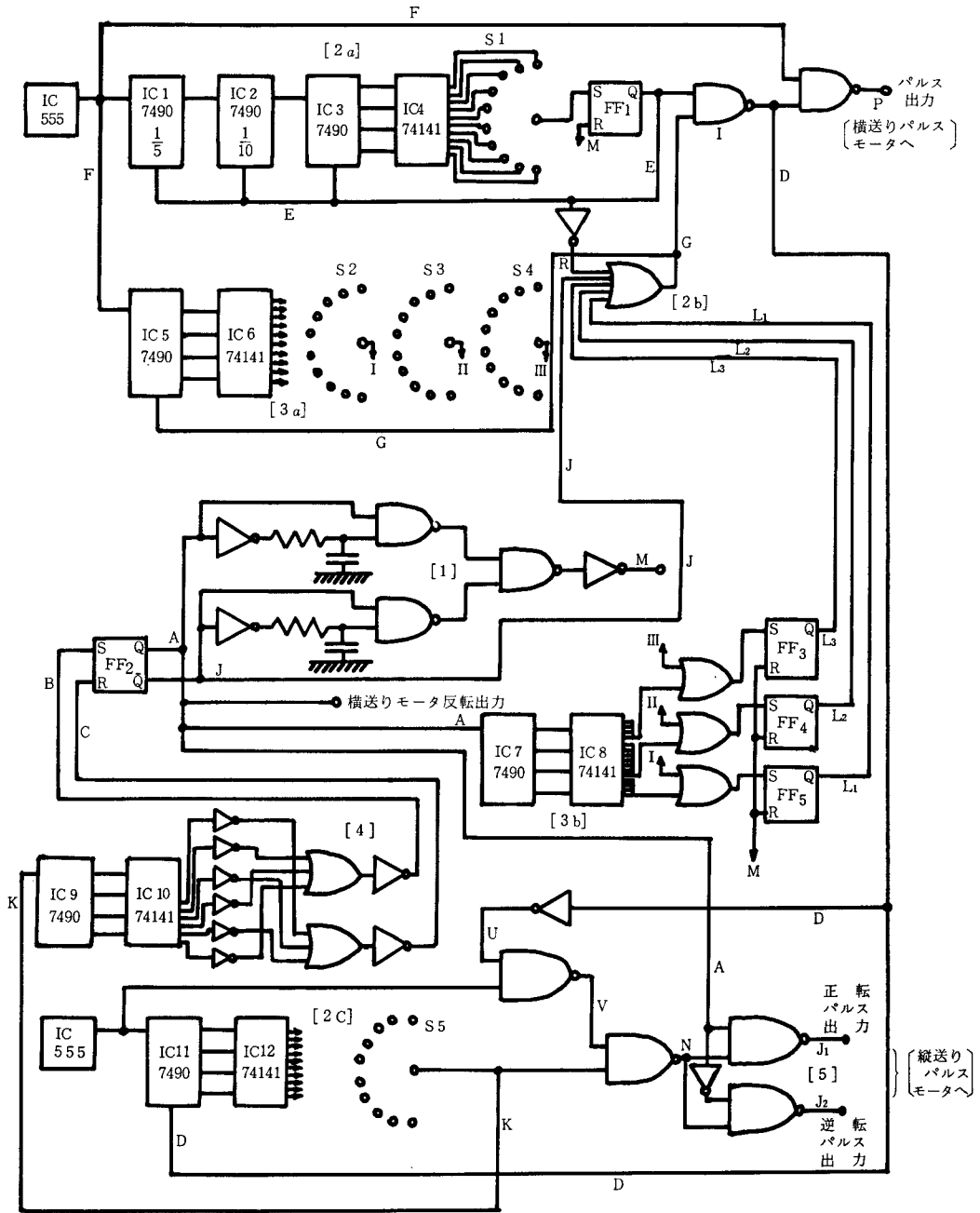
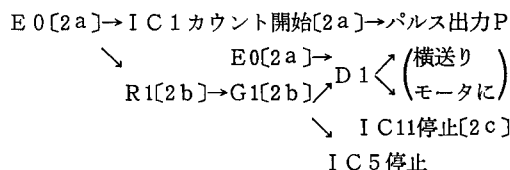
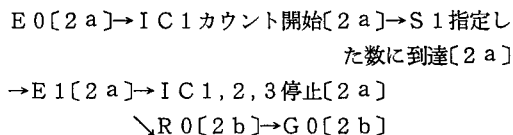


図1 TTLIC による構成図

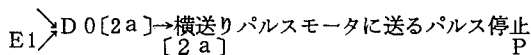
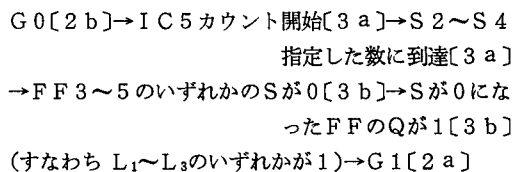




• S<sub>1</sub> が指定した数を数える。



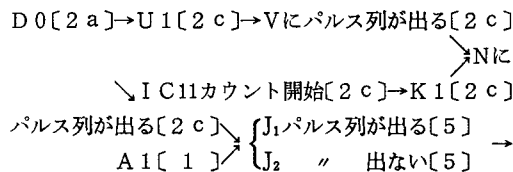
② 切り込み



以上で、横送りパルスモータに必要な前進量+切込量を与えたことになる。

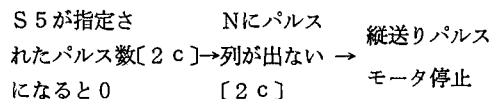
(2) 縦送りモータの正回転

① 縦送りモータの正回転

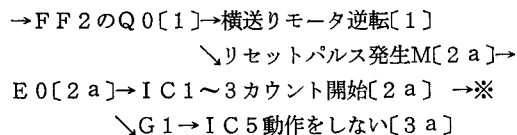
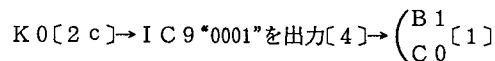


(縦送りパルスモータ正回転)

② 縦送りパルスモータ停止



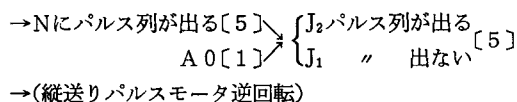
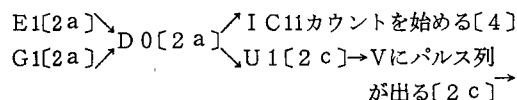
(3) 横送りパルスモータの逆回転



※横送りパルスモータはS<sub>1</sub>で指定したパルス数のみ逆転

(4) 縦送りパルスモータの逆回転

横送りモータが逆転し終ると



4. 結 言

本研究では、ごくわずかな種類のICを使って自動化を図ったのであるが、ICの使い馴れた人であれば、もっと進んだ部品で簡単な構造にされると思う。

ロータリスイッチは使用しなくても可能であるが、これを使用した理由は設定値(切り込み量とか長さとか)を種々に変え得るようにしたためである。

なお、前述のようにマイクロコンピュータでは、プログラムを変えるだけで他の作業も可能になるが、ICを機械に組み込む方法では、作業毎につくり直さなければならぬ欠点をもっている。そこで以上で述べて来たような回路を部分的に組んでおいて、異った作業に対してはNAND・OR・NOTなどのICを使ってつなぎ変えればよく、つなぎの工夫だけとなって簡単化できる。

なお、ご協力いただいた西村繁木・垣野光弘の両君に感謝の意を表します。

文 献

1) 加賀：奈良高専研究紀要，第17号(昭56)，1。



# チタンの被研削性について

田中 義雄・和田 任弘

## Study on Grindability of pure Titanium

Yoshio TANAKA, Tadahiro WADA

In surface grinding of pure titanium, which is ductile and has low heat conduction, the suitable grinding wheel and the grinding condition are experimentally investigated.

The effects of lubricant, abrasive grain, bond and grain size on both surface roughness and wheel life are studied.

The main results obtained are as follows:

Conventional wheel (A class and C class abrasive wheel) (1) GC abrasive wheel has longer wheel life than WA abrasive wheel. (2) The wheel life becomes shorter as it is harder and as a grain size smaller. (3) Cutting fluid gives a long life and a good surface roughness. (4) Low cutting speed gives a long life.

Special wheel (D wheel and CBN wheel) (1) CBN wheel has a longer life than D wheel in dry grinding. (2) D wheel gives a better surface roughness than CBN wheel in wet grinding.

### 1. はじめに

純チタンは耐食性にすぐれ、軽量強度がその特色とされ、将来に期待をかけられている材料で、硬度はさほど高くはなく、加工硬化も顕著ではないが、その比熱および熱伝導率が低いため、研削温度が高くなり易く、また化学的親和力が強いので、研削加工に当っては、付着型めづまりを生じ易いので難削材料の一つとして取り扱われている。

研削加工において大きな障害の一つはめづまりであるが、主として砥石作業面の砥粒や結合剤に切くずや加工金属が溶着する付着型めづまりと砥石の空隙部分に切くずや金属の一部が浸入して生ずる充てん型めづまりに分けられるが<sup>1)</sup>、一般に乾式研削では付着型めづまりを、また湿式研削では充てん型と付着型の混合形に移行する傾向がある。

本研究ではチタンを対象として砥粒の種類、結合度の強弱、砥粒の大小、また作業条件（砥石の周速度、テーブル速度、研削液の有無、およびドレッシング条件）によりめづまり状態がどのように変化するか、表面あらさ、また砥石寿命等を調べる目的でこの問題をとりあげた。

また硬脆性材料の研削には顕著な性能を発揮する超砥粒（ダイヤモンド、ボラゾン）がこの種の材料に対し、どの程度の研削能力を示すか比較検討することにした。

### 2. 実験要領

#### 2.1 使用機械および研削砥石

この実験に使用した研削盤は岡本製平面削盤（PSG 6 E型）で、使用した研削砥石の種類は表1に示す。

また砥石表面の状態を調べるためにT・W式砥石アナライザを用い、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。

表1 砥石の種類

項目 種類	粒 度	結 合 度	組 織	結 合 剤	備 考
WA	46, 60 80	H, K M	m	V	砥石寸法は 200×20× 50.8
DA	60	H	m	V	
GC	46, 60 80, 120	H, K M	m	V	
D	150	レジンボンド (Ni 被覆)			
CBN	150	レジンボンド (Ni 被覆)			
備考	① D & CBN 砥石の寸法は 175×15×50.8 ② D & CBN 砥石の集中度は100%(体積比で 25%)				

2.2 使用材料

本実験に使用した材料の純度は 99.99 % のもので、その物理的、機械的性質は表 2 に示す。

表 2 物理的・機械的性質

密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比熱 (KJ/kg・k)	熱伝導度 (W/m・k)	引張強さ (MPa)	かたさ (Hv)	伸び (%)
4540	0.528	14.6	343	160	20

2.3 作業条件

本実験に使用した材料寸法は (35×35×120) の角材で、テーブルは前後左右を自動送りとし、砥石の切り込みは手送りで行う平面研削加工で実施した。

- 砥石速度……………35 & 25m/sec (WA, GC)
- “……………27 “ (D, CBN)
- テーブル速度 (左右) ………6 m/min
- “ (前後) ………2 mm (1 往復につき)
- 切込み量……………0.005mm (“ )

ドレッシング条件としては、ダイヤモンドドッサで、切込み (0.01mm) で、送り速度 (0.2mm/Rev)、目直し回数は15回。なお超砥粒のドレッシングについては後述する。研削液としては、水溶性のW1を20倍にうすめたもので 50 l/min 使用する。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 WA系ならびにGC系砥石による研削

(i) 砥粒の種類と砥石寿命の関係について

乾式研削で前記の作業条件により下記の種類3の砥石について約20分間程度研削を行った結果、各砥石の寿命は図1の通りである。

WA-60H(V), DA-60H(V), GC-60H(V)

砥石寿命の判定は、工作物表面にひっかきずの発生もしくは研削焼けの発生時をもってその寿命とした。

図1よりわかる如く、GC砥石が一番寿命が長く、WA砥石が最も短かった。その理由としては、WA砥石はGC砥石に比較して、前者は高温において熱伝導率が低く、また靱性に富むため破砕性が悪く、切りくずが砥粒先端もしくは結合剤に付着し、いわゆる付着型めづまりを形成し易いため、この付着物が工作物表面をひっかくためと思われる。

なお、DA-60Hは単一結晶粒といわれるもので、WA系のもので破砕による製造工程を経ないため亀裂痕を有せず、砥粒の破砕発刃は正規の結晶構造による結果、消耗が少なく、鋭い刃先を自生し、優れた研削力を発揮

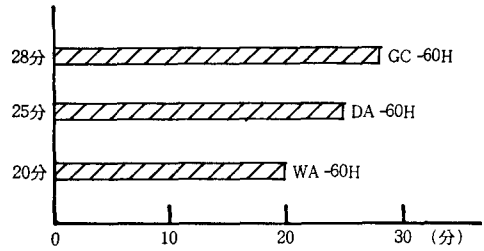


図1 砥粒の種類と砥石寿命の関係

する故、WA-60Hよりその寿命が長いものと思われる。GC-60Hの砥石はその寿命は28分であったが、そのめづまり状況は写真Aでもわかる如く、付着型と充てん型めづまりの混合形を呈しているものと思う。

(ii) 砥石寿命に及ぼす結合度の影響

GC-46(V)およびWA-46(V)ら、それぞれの砥石の結合度をH, K, Mの3種類を選んで前記と同じ条件で実験した結果その寿命の長短を図2に示す。

この図よりわかる如く、結合度の最も軟かいHが一番寿命が長く、結合度の最も硬いMが一番寿命の短いことがわかる。また全体的にみてもGC系のものがWA系砥石より寿命の長いことが理解できる。

その理由としては、一般に結合度が強くなる程、新生切刃の出現や結合剤の破壊に伴ういわゆる自生作用が不活発になることからめづまりが生じ易くなり、その結果発熱を伴い易く、溶着や研削焼けなど生じ、砥石寿命が短くなるものと考えられる。

なお同一粒度の砥石であっても結合度が強くなる程、気孔の平面的大きさが小さくなり、かつ立面的深さも浅くなってめづまりをおこし易い<sup>2)</sup>。

(iii) 砥石の粒度と砥石寿命の関係について

砥石の粒度を変化させた場合、砥石の寿命がどのように変化するかを調べるために

GC-60H(V), GC-80H(V), GC-120H(V)

以上の3種類を選び、いずれも乾式で前記と同一条件

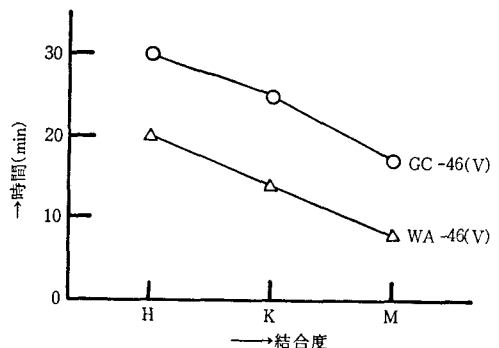


図2 砥石の結合度と寿命時間の関係

で実験したところ図3に示すような結果をえた。

この図よりGC-60Hが最も寿命が長く、GC-120Hが一番寿命の短いことがわかる。

これは粒度が細くなる程、砥石作業面の作用切れ刃数が増して、砥粒切込み深さは減少するために、切くずの大きさも小さくなり、しかも排出される切くずの数も増してくる。また気孔の平面的大きさや立面的深さも減少してくるためにめづまりを生じ易く、結局砥石の寿命を短かくするものと思われる。

(iv) 砥石寿命に及ぼす研削液の影響について

一般に研削液の果す役割は、その冷却性、潤滑性、浸透性および洗滌性等列挙できるが、チタンのように比熱および熱伝導率が低く、研削点温度が高くなる材料では、研削液の効果は相当大きいことが推定できる。

この実験においては

WA-46K, GC-46H, GC-46K  
GC-46M, GC-60H, GC-80H

上記の6種類の砥石について、前記と同一作業条件で乾式および湿式研削を行った場合その砥石寿命の長短を調べた結果を図4に示す。

この場合、砥石寿命の判定は、乾式では主として工作物表面に生じたひっかき疵並びに研削音により、また湿式研削では主として研削焼けにより判定することにした。図4よりわかる如く、湿式研削では乾式研削に比しその寿命が30%から長いものは2倍近く延長されていることがわかる。

乾式研削では写真(A)、(B)によってもわかる如く、砥石作業面の砥粒切れ刃や結合剤に切くずもしくは加工金属の一部が溶着した状態の付着型めづまりをしているものが多く、またその中のいくらかは気孔内部での砥粒や結合剤に切くずが溶着したり、切くずどうしの溶着したいわゆる充てん型めづまりの共存していることがわかる。これに対し湿式研削では、研削液の冷却作用により、砥石作業面の砥粒切れ刃や結合剤と切くずとの溶着状態のものは少く、切くずの多くは単に気孔内に入り込んだ充てん型めづまりのものが多いいえる。

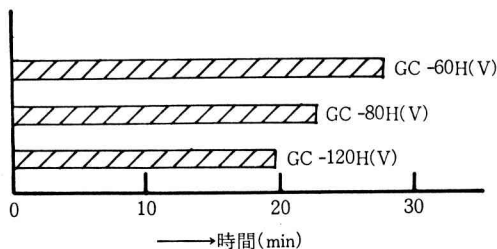


図3 砥石の粒度と砥石寿命の関係

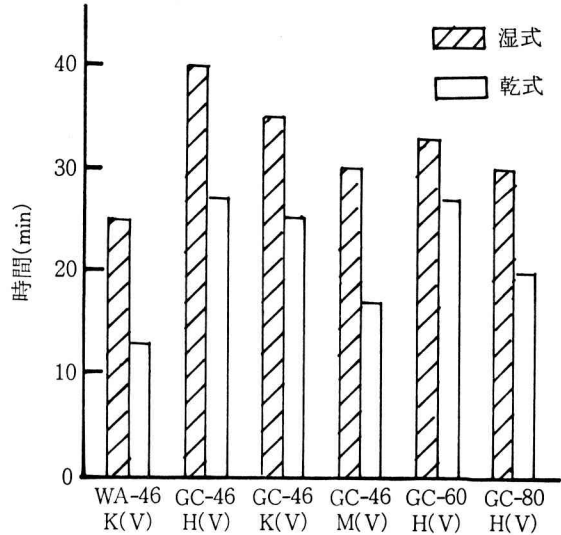


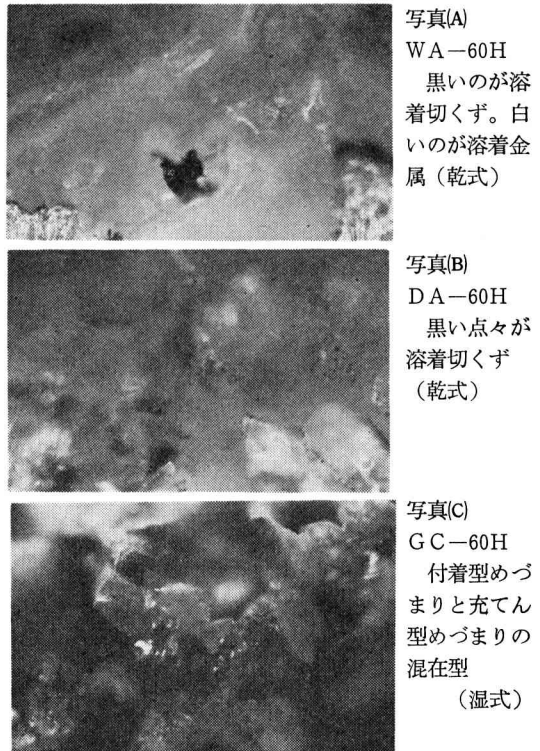
図4 砥石寿命に及ぼす研削液の影響

結局研削油剤や遠心力によって浸入した切くずは容易に砥石の気孔外へ流出もしくは排除されるため、湿式研削の方が砥石寿命を長くする結果となる。

換言すれば、湿式研削は付着型めづまりから充てん型めづまりに変換させる故、砥石寿命が長く維持されるものと考えられる。

(v) 砥石周速度と砥石寿命の関係について

一般に研削作業では使用する砥石および工作物が同一



写真(A)  
WA-60H  
黒いのが溶着切くず。白いのが溶着金属(乾式)

写真(B)  
DA-60H  
黒い点々が溶着切くず(乾式)

写真(C)  
GC-60H  
付着型めづまりと充てん型めづまりの混在型(湿式)

であっても、加工条件が変われば、砥石の作用状態が異なり、砥石の寿命あるいは工作物仕上面あらさ等に異なった結果が現われるものである。チタンの研削加工では砥石周速度を減ずることにより好成績をあげていることが報告されている<sup>3)</sup>。そこでこれを確める目的で、GC-80H, WA-80Kの2種類の砥石について実験を行ったところ、砥石寿命については図5の如く、また表面あらさについては図6のような結果をえた。ここで作業条件は前記と同様で、ただ砥石速度は35, 25m/secの2種類で実施した。

この2つの図より砥石周速度の遅い方が、周速度の速い場合よりも砥石寿命が長く、また表面あらさも良好であることがわかる。その理由としては、砥石周速度の速い方が工作物に対する接触時間は短かいが研削熱の温度上昇が激しいこととあわせて砥石周速度の速い方が砥石が硬く作用するためと考えられる。

これについては、研削理論において、切くず厚みを $\delta$ 、砥石周速度を $V$ 、工作物速度を $v$ 、砥石直径を $D$ 、工作物直径を $d$ 、切込み深さを $t$ 、砥粒切れ刃間隔を $a$ とすると

$$\delta = a \cdot \frac{v}{V} \sqrt{2t \left( \frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)}$$

なる式の成立することが証明されている。すなわち砥石

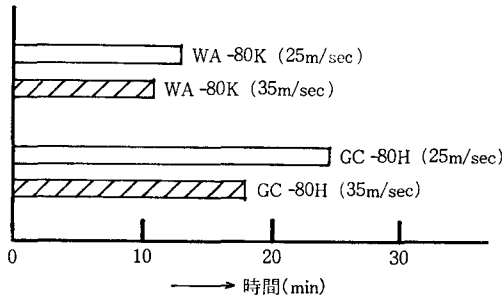


図5 砥石速度と砥石寿命との関係

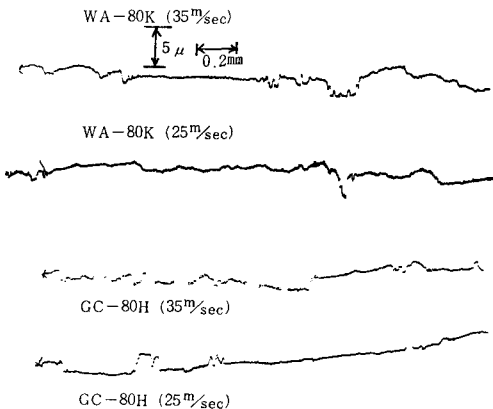


図6 砥石速度と表面あらさの関係

の周速度 $V$ が増加することにより、切くず厚み $\delta$ は減少し、これは砥粒に働く研削抵抗が減じ、砥粒のへき開や脱落が起しにくくなり、要するに砥石が硬く作用することを意味し、前述の如く砥石寿命を短かくする。

他方工作物速度を早くすれば、上式より $\delta$ が大きくなり、従って砥石は軟かく作用し、結果として砥石寿命が長くなるはずであるが、本実験では工作物速度を速くする程、好成績はえられなかった。その原因としては、テーブル速度を早くすることにより、テーブルの往復運動で逆転作用の際、かなりの衝撃を伴い、振動現象の発生のためと思われる。

3.2 DおよびCBN砥石による研削加工

DおよびCBN超砥粒は硬脆性材料の研削にはかなりよい成績をあげうることを、さきの実験により<sup>4)</sup>確認したところであるが、チタンのように粘くて熱伝導率が低く、しかも親和力にとみ化学変化のおこし易い難削材料に対しどの程度の効果を発揮するかを調べる目的で、前記のWAおよびGC砥石で実施した要領とほぼ同じ条件で実験を行った。乾式で約20分、湿式で約40分間研削した後、表面あらさおよび砥石のめづまり状態を調べた。図7の(A)はD砥石で乾式研削を行った後の表面あらさで、工作物表面にはさほど大きいひっかき庇や研削焼けの現象は現われないまでもあまり良好とはいえない。

その理由としてはD砥粒はいうまでもなく、硬度の点では他のいずれの砥石よりもすぐれ、熱伝導率も高く、常温では化学的に安定しているが、高温になると化学的に反応して軟化する。すなわち600~700℃位から酸化し黒鉛化が始まり、最終的にはCO<sub>2</sub>ガスとなる故、研削点が高温になり易い乾式研削ではあまり好成績がえられないためであると思われる。

次に(B)はCBN砥石で乾式研削した後の表面あらさを示す。CBN砥粒は約1,300℃位までは酸化は進行せず、熱的にも安定しており、そのため研削熱の影響はあまり受けないと思われる。しかし研削された工作物表面のあらさはD砥石よりも良好とはいえない。それはCBN砥粒はDよりも硬度は低いが、WA, GCに比較すれば相当高く、従ってその切れ味もよいだけに工作物より削り取る量が多いだけ、表面あらさが低下するものと推定される。(C)および(D)曲線はそれぞれD砥石およびCBN砥石で湿式で約40分研削した後の表面あらさを示すが、いずれも乾式に比較して表面あらさのすぐれていることがわかる。

次に写真により、そのめづまり状態を検討するに、この超砥粒は従来の一般砥粒のように明瞭な気孔がない故、純然たる充てん型めづまりは形成されない。写真より判断される如く、砥粒切刃の先端に付着したものと、切くずの微粒が切刃間に充てんされているのが観察され

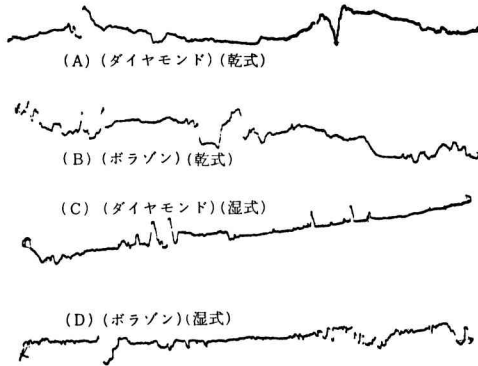


図7 表面あらさに及ぼす研削液の影響

写真(D)  
ボラゾンII  
(目直した  
状態)写真(E)  
ボラゾンII  
(湿式で40  
分研削した状  
態)

る。すなわち付着型めづまりと充てん型めづまりの混在していることがうかがわれる。

次にこのチタン材料に対し、D砥石とCBN砥石のいずれが適応しているかを検討すると、乾式ではD砥石よりもCBN砥石の方が寿命が長く、研削特性はすぐれているが、湿式ではD砥石の方がCBN砥石よりも熱伝導率もよく、チタンとの化学反応もおこしにくく、工作物表面あらさもすぐれているので、D砥石の方が適応しているといえる。なおCBN砥石は湿式においては加水分解をおこし、より早く劣化することが報告されている<sup>9)</sup>。

最後にこの超砥粒の研削性能はその目直し(ドレッシング)の如何によりその寿命や工作物表面あらさの良否に大きく影響することが実験により証明されている。

すなわち普通砥石では、フレ取り(Truing)と目直し(Dressing)は別段区別せず、ほぼ同一条件で行われているが、超砥粒ではフレ取りと目直しは明確に区別して実施されている。特にCBN砥石では目直しは作用砥粒面よりの突き出し量を調整する上で重要な役目を果し

ている。

超砥粒の目直し方法としては、種々の方式が考案されているが、本実験において採用した2つの方法について記述すると、(1)砥粒噴射法、(2)ステイック法

#### (i) 砥粒噴射法

ボラゾンII(レジノイド結合剤)に対しては、GC-80Jの砥石を用い、切り込み量は0.02~0.03mmで湿式で約5分間目直しを行った後、100~150μmのガラスピースを5kg/cm<sup>2</sup>の圧力で空気と共に数分間砥石面に噴射し、砥粒の突き出し量を形成する。

#### (ii) ステイック法

ダイヤモンド砥石に対してはGC-80Jの砥石で数分間、目直しを行った後、GC-120Gのステイックで仕上げ加工を行う。

なお、略式の目直し方法として、この超砥粒の砥石に対し、WA-120G程度の比較的軟質のステイックを、研削液を噴射しつつ砥石面に強く押しつけながら数分間目直しする方法で、前者に比較すれば簡単ではあるが、それだけに砥石寿命も短かく約1/2程度であった。

## 結 言

チタンのような熱伝導率の低い材料の研削では、加工面の温度上昇が甚だしく、乾式研削では主として付着型めづまりを形成し、工作物表面にひっかき疵を生じ、砥石寿命を短かくする。また湿式研削では充てん型と付着型めづまりの混在する状態となり、工作物表面には研削焼けを生じ、砥石寿命に達する。

上記実験結果を要約すると大約次のとおりである。

(i) 普通砥石の場合、WA砥粒はGC砥粒よりも付着型めづまりをおこし易く、従って砥石寿命も短い。

(ii) 同一系統の砥粒では、結合度が強くなるほど、また粒度が細くなるほど、めづまりを生じ易いが、粒度の大小は、結合度の強弱ほど大きい影響は及ぼさない。

(iii) 乾式研削では付着型めづまりを形成し易いのに対し、湿式研削では主として充てん型めづまりを生ずるため、後者の方が砥石寿命も長く、また工作物表面も良好である。

(iv) 砥石周速度を遅くした場合は、速い場合に比し、砥石は軟かく作用し、砥石寿命は延び、表面あらさも良好となる。

次に超砥石粒については、

(v) 乾式研削ではD砥石よりもCBN砥石の方が寿命が長く、また湿式研削ではD砥石はCBN砥石よりも表面あらさもよく、工作物との化学反応も少なく、研削性能はすぐれている。

最後にGC砥石と超砥粒の研削性能を較べると、砥石

寿命という立場からすれば、後者の方が相当優れていることは認められるが、さきに行った硬脆性材料（快削性ガラスセラミック）に対して超砥粒が発揮したほどの高性能は認められなかった。

謝辞、平素よりお世話になっている大阪大学工学部機械工学科、長谷川教授に対し厚く感謝致します。

なお、超砥粒砥石の目直しに便宜をはかっていたいただいた大阪金剛製砥株に対し厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 重松日出見, 精密機械, 32-8 (1966)
- 2) 重松日出見, " , 33-2 (1967)
- 3) 正野崎・石渡, 精機学会秋期大会学術論文集 (348)  
(S. 57-3月)
- 4) 田中・和田, 奈良高専研究紀要, 第17号 (S. 56)
- 5) 海野邦昭, 砥粒加工研究会, 26-1 (1982)



# ろ紙式排気濃度計の改良

中 田 敏 夫

## Improvement of Filter Type Diesel Smoke Meter

Toshio NAKATA

ディーゼル機関より排出される黒煙の測定器は、一般に小型で操作の簡単なろ紙式排気濃度計が多く使用されている。しかし、この濃度計はサンプリングの方法に問題があると思われるので、その点を改良し、市販されているポッシュ式スモークメータと改良したものとを比較検討した。その結果、サンプリングの方法を改良したことにより精度の良い値を得ることがわかった。

### 1. ま え が き

ディーゼル機関より排出される黒煙を測定する方法を大別すると、光透過度測定法とろ紙ろ過法とがある。ろ紙ろ過法においては、スモークの標本が残ることが利点ある。また測定法が光透過度測定法よりも簡単であるため装置は小型で操作も簡単なものであるため、一般にろ紙ろ過法が多く用いられている<sup>1)</sup>。

またろ紙ろ過法を大別すると、目視比色式とフォトセル式とに分けられる。目視比色式は一定量の排気ガスをろ紙に通して、ろ紙に付着したブラックスモークの濃さを肉眼で測定することであり、おおまかな濃さしか測定できないことである。一方、ろ紙ろ過法でもっとも多く用いられているフォトセル式（特にポッシュ式排気濃度計）はブラックスモークをろ紙に通すまでは目視比色式と同じであるが、濃さの測定で光の反射率を光学的に測定する方法である。このため主観が入らず綿密な測定が可能である。しかし、この機器は排気ガス流れに対するサンプリングプローブの向きおよび位置、強制的にサンプリングすることなどのサンプリングの方法に問題があると考えられている<sup>2)</sup>。この測定器についての研究は、使用ろ紙によるブラックスモークの濃さに対する影響<sup>3)</sup>、またフォトセルの使用時間によるブラックスモークの濃さの変化<sup>4)</sup>などいろいろな報告がなされているが、さきに述べたサンプリングの方法の問題点についての対策研究の報告は少ない。そこで、本研究ではサンプリングプローブの向きを排気ガスの流れに対向させ、プローブの位置が移動可能になるようにし、また排気ガスを自然にサンプリングできるように試作改良した。この改良したものとポッシュ式スモークメータとで得られた値を統計的に比較検討しようとするものである。

### 2. 実験装置

実験装置は図1に示すように、ディーゼル機関、吸入空気量測定装置、燃料供給測定装置、ポッシュ式スモークメータおよび試作改良したスモークメータにより成り立っている。負荷装置としては電気渦流式動力計を使用した。また使用したディーゼル機関の諸元は表1に示す。

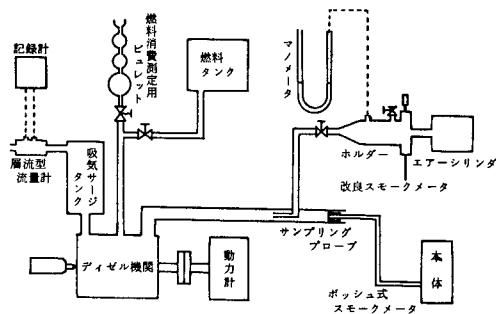


図1 実験装置

表1 供試機関諸元

型 式	横型水冷4サイクル
シリンダ数	1
シリンダ径	75 mm
ストローク	85 mm
総排気量	0.375 l
定格出力	5.5 PS/2400 rpm
最大出力	6.5 PS/2400 rpm
燃焼室形式	球形燃焼室
使用燃料	ディーゼル軽油

## 2.1 ボッシュ式スモークメータ

ボッシュ式スモークメータは、排気ガス採取部と検出・指示部より構成されている。採取部は、本体およびサンプリングプローブより成っている。本体にはサンプリングプローブ内を掃気するためのエアージェボタン、排気ガスを吸引するためのサクシオンポンプおよびポンプ入口にブラックスモークを吸着させるろ紙装置などが取り付けられている。サクシオンポンプはエアコンプレッサーに接続されており、圧力4 kg/cm<sup>2</sup>で作動するようになっている。なお、排気ガスの吸引量は330 ccである。サンプリングプローブは図2に示すように外径8 mmのパイプを直角に曲げたもので、先端には直径2 mmの孔が10個あけてあり、その部分にキャップがねじにより取り付けられている。なおパイプキャップのすきまは約1 mmである。また、パイプには排気ガスを冷却するためにフィンが5枚取り付けられている。サンプリングプローブは排気管出口付近に先端が排気ガスの流れに対向するように固定され、長さ約5 mのホースによって採取部本体と接続されている。

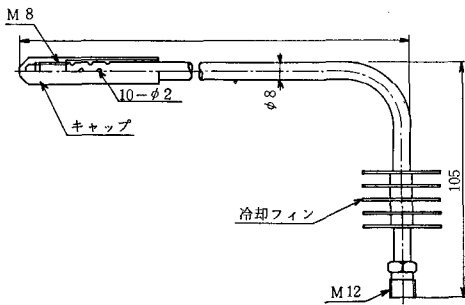


図2 ボッシュ式のサンプリングプローブ

排気ガスは、サクシオンポンプを作動させることによりろ紙を通る。このとき排気ガス中の黒煙がろ紙に吸着する。検出・指示部は、フォトセルアダプタとインジケータより成っている。フォトセルアダプタより出た光が黒煙の吸着したろ紙面に当たり、吸着量により反射光量に変化し、その変化量がインジケータにより測定される。

## 2.2 改良したスモークメータ

改良したスモークメータは、サンプリング部、ホルダー、および排気ガス吸引装置より成っている。サンプリング部は図3に示すように排気管に取り付けられている。サンプリングプローブは、移動用ねじによって排気管内を上下できるようになっており、排気管内での位置は指針でわかるようになっている。プローブの先端は排気ガスの流れを乱さないように約10度のテーパで仕上げられている。ホルダーの構造を図4に示す。図に示すように、ガス吸入口直後で自然流入する排気ガスの流れが

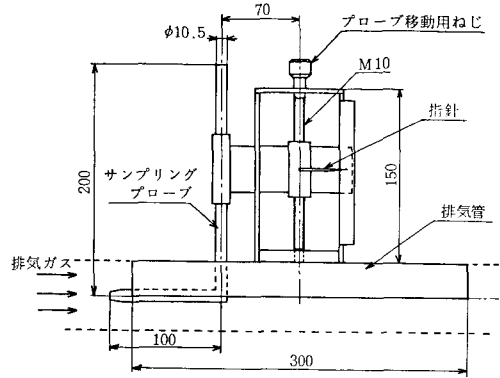


図3 改良したサンプリングプローブ

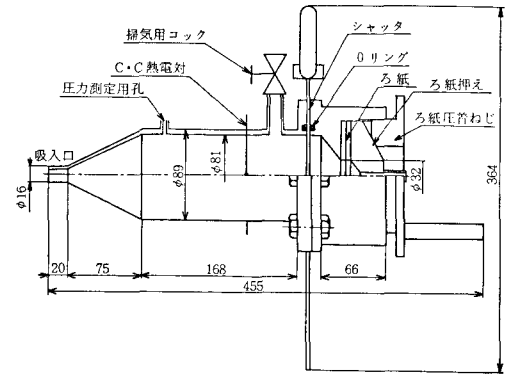


図4 ホルダー

均一になるよう20度のテーパが付けられている。またホルダーには、充满した排気ガスの圧力を測定するための孔、吸入系統内にたまっている空気を抜くためのコックおよび排気ガスの温度を確かめるためのC・C熱電対が付けられている。なお、圧力測定にはU字管水柱マンオメータを用いた。シャッターは充满中に排気ガスがろ紙に接触するのを防ぐために付けられ、このシャッターから排気ガスがもれるのを防ぐため、シャッターの両側からOリングではさみ密閉した。ろ紙は排気ガスのもれを防止するため、2枚のパッキンではさまれ、ろ紙押えとろ紙圧着ねじによってしめつけられている。また黒煙の吸着面積が、ボッシュ式スモークメータのものと同しくするために、ろ紙はホルダーの内径を81mmから32mmに絞ってある所に装着されている。なお、ホルダーはサンプリングプローブとホースで接続されており、ガス吸入口直前に弁が取り付けられている。排気ガス吸引装置は直径50mm、ストローク500mmのエアースリンダーを2台直列に接続し、一方をエアコンプレッサーに、もう一方をホルダーに接続されている。空気圧0.75 kg/cm<sup>2</sup>でエアースリンダーを作動させることにより、ホルダー内の排気ガスが吸引される。このとき、ろ紙表面に排気ガス中の黒煙が吸着する。黒煙の吸着量はフォトセルアダプタとインジケータにより測定される。

### 3. 実験方法

ディーゼル機関を約15分間暖機運転し、定格回転数2400rpmで、所定の負荷になるように操作した。実験中に回転数および負荷が変動すればその都度修正をした。またディーゼル機関から放出される排気ガス中の黒煙が、同一条件で同じであるか確かめるため、この原因となる吸入空気量、燃料消費量を時々測定した。

#### 3.1 実験条件

測定に使用するろ紙は、定量用 No. 6 を用いた。ポッシュ式と改良したものの関係を見る実験では、定格出力 $\frac{1}{4}$ および $\frac{3}{4}$ と $\frac{1}{10}$ の間を9等分した負荷について行ない、それぞれの負荷での測定回数は20回ずつである。また両者の測定値のばらつきをみる実験では、定格出力の $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{4}{4}$ ,  $\frac{1}{10}$ の負荷で、各負荷についておのおの50回ずつ測定した。

#### 3.2 ろ紙上への黒煙の吸着方法

ポッシュ式の場合、サンプリングプローブ内を掃気し、サクシオンポンプを作動させ330ccの排気ガスを直接吸入し、ろ紙上に排気ガス中の黒煙を吸着させた。

改良したものの場合、エアシリンダーを用いてサンプリングプローブ内を掃気し、シャッターを閉じ掃気用コックを開けて約20秒間排気ガスを大気に放出する。つぎに掃気用コックを閉じ排気ガスをホルダー内に充満させて密閉する。このときホルダー内の圧力と温度は、U字管マンオメータおよびC・C熱電対を用いて確めた。その後シャッターを開けて、エアシリンダーによりホルダー内に密閉された約1,000ccの排気ガスを吸引し、ろ紙上に排気ガス中の黒煙を吸着させた。

#### 3.3 黒煙の濃さの測定

ろ紙上に吸着した黒煙の量は、ポッシュ式の付属のフォトセルアダプタとインジケータにより測定した。

### 4. 結果および考察

図5はポッシュ式と改良したものの各負荷状態における測定値の関係を表わしたものである。プロットは20回の測定値を平均したものである。濃さ70%付近までは直線的な関係を示し、それ以後は直線的な関係からはずれることがわかる。これは図6に示すフォトセルと指示計の性能特性および二つの方法の排気ガスのサンプリング量の差によるものではないかと考えられる。

図7と図8は、ポッシュ式および改良したもので得られた50個ずつの測定値の分布状態を表わしたものである。分布状態は、測定値の平均値を頂点とする正規分布を示すと考えられるので、50個の測定値から次式により平均値( $m$ )および標準偏差( $s$ )を求めた。

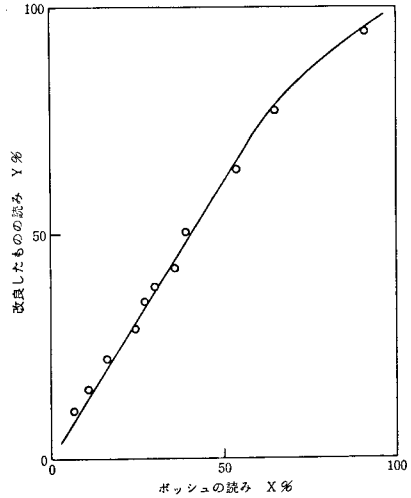


図5 ポッシュ式と改良したものと関係

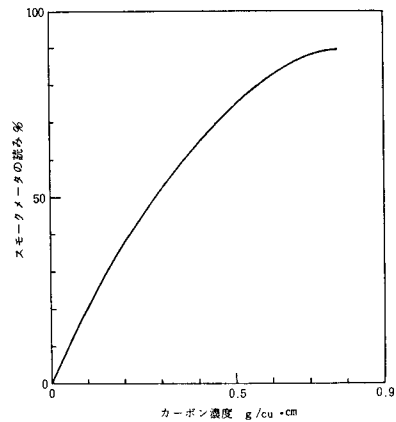


図6 カーボン濃度とスモークメータ読みの関係<sup>1)</sup>

$$m = \frac{1}{n} \sum_i Z_i \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i (Z_i - m)^2} \quad (2)$$

ただし、 $n$ は測定回数、 $Z$ は測定値である。

式(1)と式(2)の結果より、予想される正規分布の計算を式(3)によって行ない、これにより得られたものを図中の曲線で示した。

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S} \exp\left[-\frac{(Z_i - m)^2}{2S^2}\right] \quad (3)$$

以上のようにして得られた平均値と標準偏差をまとめると表2のように表わされる。この表よりどの条件においても、改良したものがポッシュ式より、標準偏差が小さく、ばらつきの少ない測定が行なえることがわかる。これは、ガス吸引の際一部外気を採取する恐れがあり、排気ガスが数回曲げられるために測定値に誤差が生

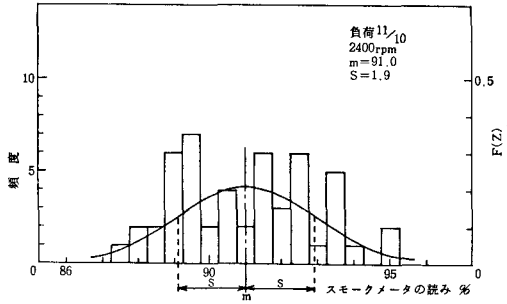


図7 ボッシュ式の測定値の分散状態

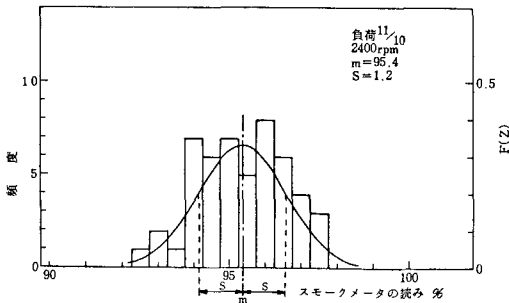


図8 改良したものの測定値の分散状態

じやすいが、しかし改良したものはこれらの影響がないために、誤差が生じにくいためであると考えられる。

表2 測定値の平均値と標準偏差

負荷	平均値		標準偏差	
	ボッシュ式	改良したもの	ボッシュ式	改良したもの
1/4	7.1	10.6	1.2	0.96
2/4	11.2	15.0	1.4	1.3
3/4	27.5	34.4	1.9	1.4
4/4	53.0	64.4	3.4	2.9
11/10	91.0	95.4	1.9	1.2

5. あとがき

ボッシュ式スモークメータと改良したものの関係は、ほぼ直線的な関係を示したことにより、改良したスモークメータは十分使用できる。また、改良したスモークメータの方が測定値のばらつきが少ない精度のよい測定ができることがわかった。

文 献

- 1) 辻村, 内燃機関の燃焼, (昭48), 317~326, 山海堂
- 2) 林, 自動車用機関の燃焼と排気・騒音, (昭50), 111~118, 内燃機関編集部
- 3) 久保田・浜田, 呉工業高等専門学校研究報告, 6-1 (昭45-10), 17~23
- 4) 久保田, 呉工業高等専門学校研究報告, 4-1 (昭43-12), 49~56

# 粘弾性流体のホールエラーに関する研究

(スリットに沿った流れによるホールエラーの数値計算)

森 教安・阪部 俊也・若林 敏夫

Study on the Intrinsic Pressure Hole Error of Viscoelastic Fluids

(Numerical Calculations of Pressure Hole Error in a Slit along a Flow)

Noriyasu MORI, Toshiya SAKABE and Toshio WAKABAYASHI

The intrinsic pressure hole error in a slit along a flow is analyzed for a second order viscoelastic fluid. Numerical calculations are carried out using a finite element method.

For values of  $D/W > 1$ , it is found that the pressure hole error is nearly independent of the slit width and the result of previous works may be applied.

## 1. 緒 言

測圧孔やスリットを用いて流体の圧力を測定するとき、流体が粘弾性流体の場合には、測定値に誤差が生じることが Broadbent ら<sup>1)</sup>によって報告され、その誤差をホールエラーと呼んでいる。

ホールエラーに関する理論解析は数多く行なわれている。Tanner ら<sup>2)</sup>は Rivlin-Ericksen のセカンドオーダーモデルを用いて流れに直交するスリットのホールエラーの計算を行ない、ホールエラーと第一法線応力差の比が 0.25 になることを示した。また、Rearsley ら<sup>3)</sup>は同じモデルを用いて流れに沿ったスリットについて計算し、ホールエラーと第二法線応力差の比が 0.5 になると報告している。さらに、Higashitani ら<sup>4)</sup>は特別なモデルを用いず、流れの対称性だけを仮定し同様な結果を得た。しかし、これらの解析は、スリット形状や流路幅についての考慮はなされておらず、十分とは言えない。最近、Rajagopal ら<sup>5)</sup>は流れに直交するスリットについて Rivlin-Ericksen のセカンドオーダーモデルにより解析したが、彼らは Tanner らとちがってスリット形状や流路幅を考慮している。しかし、この解析ではホールエラーの上限と下限を与えたとどまっている。

そこで、本研究では、流れに沿ったスリットにおけるホールエラーの計算を、任意のスリット形状や流路幅に対して行なえるように有限要素法を用い行なった。その結果、スリット形状の影響が明らかとなった。

## 2. 理論解析

図 1 に示す流路を粘弾性流体が流れる時の速度場と応

力場を解析することによりホールエラーを求めることができる。

ここでは、粘弾性流体の構成式として次式で示すところの Rivlin-Ericksen のセカンドオーダーモデルを用いる。

$$T_{ij} = 2\eta(I_2)e_{ij}^{(1)} - \theta_1(I_2)e_{ij}^{(2)} + 4[\theta_1(I_2) + \theta_2(I_2)]e_{ik}^{(1)}e_{kj}^{(1)} \quad (1)$$

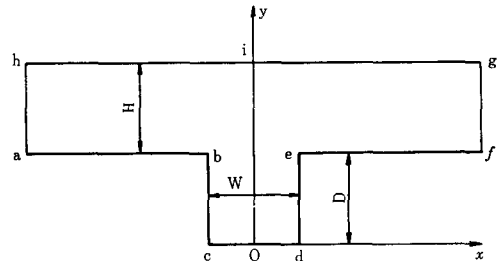


図 1 流路形状

ここで、 $T_{ij}$ : 偏差応力テンソル、 $e_{ij}^{(n)}$ :  $n$  次の変形速度テンソル、 $\eta$ : 粘度、 $\theta_1$ : 第一法線応力差係数、 $\theta_2$ : 第二法線応力差係数、 $I_2$ : 流れの第二不変量である。

流れを  $z$  方向 (紙面に垂直方向) の一方向流れと仮定すると、 $z$  方向の速度  $w$  を与える式は、

$$\frac{\partial}{\partial x}(\eta \frac{\partial w}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\eta \frac{\partial w}{\partial y}) = -\bar{p} \quad (2)$$

となる。ただし、 $\bar{p}$  は圧力こう配である。

このような流れ場において  $y$  方向の法線応力  $\sigma_{yy}$  は、式(1)と運動方程式より

$$\begin{aligned} \sigma_{yy} &= -p + T_{yy} \\ &= -p_0 + \theta_2 \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 - \left( \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right\} + \bar{p} w \right] \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ここで、ホールエラー  $p_e$  を、スリットによる流れの影響のない  $f$  点と、スリット底部の 0 点における法線応力  $\sigma_{yy}$  の差と考えると、

$$\begin{aligned} p_e &= (\sigma_{yy})_f - (\sigma_{yy})_0 \\ &= \frac{1}{2} \theta_2 (r_f^2 - r_0^2) \end{aligned} \quad (4)$$

となる。ただし、

$$r = \frac{\partial w}{\partial y} \quad (5)$$

また、第二法線応力差  $N_2$  は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} N_2 &= T_{yy} - T_{xx} \\ &= \theta_2 r_f^2 \end{aligned} \quad (6)$$

したがって、ホールエラー  $p_e$  と第二法線応力差  $N_2$  の比  $G$  は、

$$\begin{aligned} G &= \frac{p_e}{N_2} \\ &= \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{r_0^2}{r_f^2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

で与えられることになる。

### 3. 有限要素法による数値計算

ホールエラーを計算するためには、式(2)を解いて速度分布を求めることが必要であるが解析的に解くことは困難である。そこで、複雑な解領域にも適用できる有限要素法を用いて計算を行なった。

#### 3.1 要素方程式

式(2)に Galerkin 法を適用すると、

$$\iint_{D^{(e)}} N_i \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \eta \frac{\partial w^{(e)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \eta \frac{\partial w^{(e)}}{\partial y} \right) + \bar{p} \right] dx dy = 0 \quad (8)$$

となる。ただし、 $N_i$  は内挿関数である。つぎに、部分積分を施すと、

$$\begin{aligned} &\iint_{D^{(e)}} \left( \eta \frac{\partial w^{(e)}}{\partial x} \frac{\partial N_i}{\partial x} + \eta \frac{\partial w^{(e)}}{\partial y} \frac{\partial N_i}{\partial y} \right) dx dy \\ &= \iint_{D^{(e)}} N_i \bar{p} dx dy \end{aligned} \quad (9)$$

となり、これをマトリックス表示すると、要素方程式として次式が得られる。

$$[K_w]^{(e)} \{w\}^{(e)} = \{p\}^{(e)} \quad (10)$$

ただし、要素マトリックスの成分は

$$K_{wij} = \iint_{D^{(e)}} \left( \eta \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} + \eta \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} \right) dx dy \quad (11)$$

$$P_{ij} = \iint_{D^{(e)}} \bar{p} N_i dx dy \quad (12)$$

である。

#### 3.2 要素形状および領域分割

ここで用いた要素は、最もよく用いられる三節点三角形要素であり、内挿関数は

$$N_i = L_i$$

となる。ここで、 $L_i$  は自然座標である。

つぎに、解領域の要素分割を図 2 に示す。流路端での影響を考慮し、スリット両側の平行部の長さは、スリット幅の 2 倍とした。

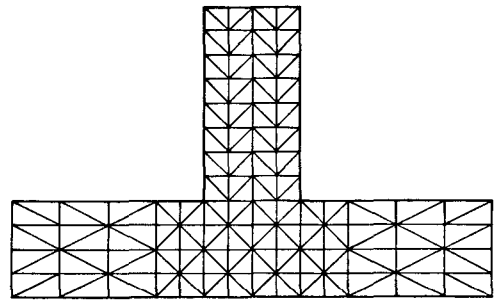


図 2 領域分割

### 4. 計算結果

ここで示す計算結果は、 $\eta = \text{const}$  な流体に対して上部平板を一定速度で  $x$  方向に動かした場合のものであるが、本計算法は非ニュートン粘性を示す流体に対しても、また、圧力流れに対しても適用は可能である。

#### 4.1 速度分布

有限要素法により計算した速度分布を等速度線で示す。なお、図中の左図はスリット中央部における速度分布である。

図 3 はスリット深さが流路幅と等しい場合の速度分布である。スリットに近い部分ではスリットによる影響をうけるが、スリット幅と同じぐらいはなれたところではほぼ直線分布となっている。また、スリット底部の速度

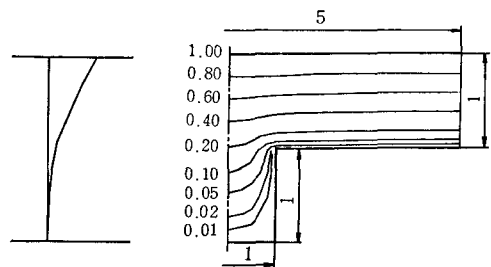


図 3 等速度線図 ( $D/W=1.0$ )

こう配は平行平板部よりかなり小さくなっている。図4はスリット深さを流路幅の2倍と深くした場合で、速度分布の傾向は図3とほとんど変わらないが、スリット底部の速度こう配はほとんど零になっている。

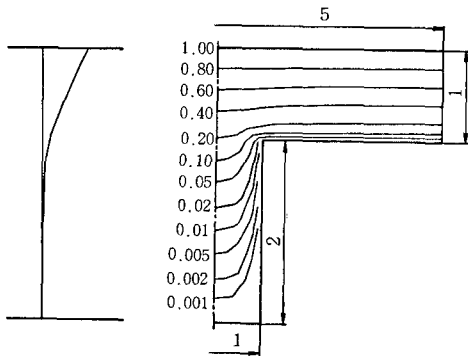


図4 等速度線図 ( $D/W=2.0$ )

#### 4.2 ホールエラー

図5は、速度分布より求められたホールエラー  $\rho_e$  と第二法線応力差  $N_2$  の比  $G$  が、スリットの深さ  $D$  と幅  $W$  の比に対してどのように変化するかを示した図で

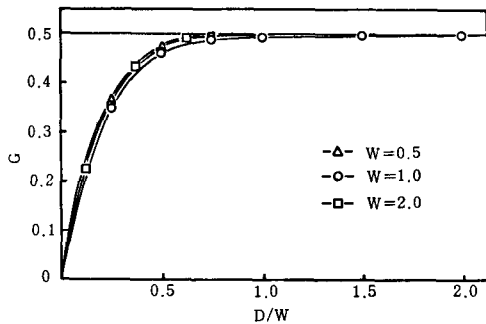


図5 ホールエラーと第二法線応力差の比

ある。ただし、流路幅はすべて  $H=1$  とした。スリット深さ  $D$  が幅  $W$  に対して大きくなると、 $G$  は急速に 0.5 に漸近し、 $D/W$  が 1.0 を越えればほとんど変化しない。これは、スリットが深くなるとスリット底部での速度こう配が零に近づき、式(7)において  $r_0 \ll r_f$  となるためである。また、スリット幅の違いによる差は  $D/W > 1$  ではほとんどないと言える。

従来、スリット形状を考慮しない解析では  $G=0.5$  が得られているが、本計算結果より、 $D/W > 1$  に対しては従来の解析結果が妥当であることがわかる。

#### 5. 結 言

本稿では、流れに沿ってスリットが設けられた場合の粘弾性流体のホールエラーについて、スリットおよび流路形状の影響を明らかにするため有限要素法を用いて解析した。その結果、スリットが深い場合には従来のホールエラーに対する解析が適用できることがわかった。

なお、本計算法は、非ニュートン粘性を示す流体および圧力流れにも適用できるので今後それらについて計算する必要がある。

#### 文 献

- 1) J. M. Broadbent, A. Kaye, A. S. Lodge. and D. G. Vale, Nature, 217 (1968) 55.
- 2) R. I. Tanner and A. C. Pipkin, Trans. Soc. Rheol., 13 (1969) 471.
- 3) E. A. Kearsley, Trans. Soc. Rheol., 14 (1970) 419.
- 4) K. Higashitani and W. G. Pritchard, Trans. Soc. Rheol., 16 (1972) 687.
- 5) K. R. Rajagopal and R. R. Huilgol, Rheol. Acta, 18 (1979) 456.





# Study on Chip Treatment in Turning

—2nd Report, Intermittent Feed Cutting—

Tadahiro WADA and Yoshio TANAKA

In order to find the effective chip treatment method than the conventional chip breaker in finish-turning of the carbon steel, the intermittent feed cutting was tried. The cutting edge was fed intermittently. The effects of the feed period per cycle time on the mean chip weight (easiness of chip treatment), the surface roughness and the cutting forces were experimentally investigated. Experiments showed that the mean chip weight becomes smaller with decrease of the feed period per cycle time.

## 1. Introduction

In finish-turning of steel an usual cutting tool produces continuous chips. These long chips catch the tool holder, the scroll chuck, the workpiece or other parts of the lathe and may scratch the surface, or may choke between the workpiece and the cutting edge and often causes the chipping of the cutting edge. However, if a machine operator is in the presence of the machine tool, the machine tool is stopped rapidly and twined chips are removed then the machine tool can be come operation again, therefore there is only a little loss. The chip breaker should be designed so that the chip will be broken into segments short enough to eliminate any hazard due to long pieces, yet not so short as to cause another trouble due to blasts of small chips flying about<sup>1)</sup>. However the curvature of the chip and its path changes with the change of the workpiece material and with the change of the configuration of top rake surface due to the tool wear. In addition in finish-turning, the conventional chip breakers of throw away types are not effective for the chip treatment. In this case, the oscillatory feed cutting seems to be effective. The cutting edge oscillates in the feed direction of the lathe. If the feed becomes momentarily negative, the chips are broken necessarily. However, in such condition, there occurs as anticipated worse surface roughness and shorter tool life<sup>2)</sup>. Therefore, the suitable condition of breaking chips and that of improving surface roughness

are contrary each other<sup>3)</sup>.

In the present paper, in order to find the effective chip treatment method than the above mentioned two methods, the intermittent feed cutting is tried. The cutting edge is fed intermittently in the feed direction of the lathe. The influences of the cutting condition on the mean chip weight (easiness of chip treatment), the surface roughness and the cutting force are experimentally investigated.

## 2. Experimental Procedures

The machine tool used was a 5 kw engine lathe. A workpiece supported between a scroll chuck and a tail stock center. The workpiece material was SS 41 steel bar of  $\phi 110$  mm diameter and 300 mm long. A P 20 carbide cutting tool was used. A constant cutting condition (the cutting speed; 1.7 m/s  $\pm 10\%$ , the feed rate; 0.08 mm/rev, the depth of cut; 0.2 mm, the rotating number of main spindle; 5.3s<sup>-1</sup>) was applied throughout the experiment. The cutting edge geometry was (0°, 0°, 6°, 6°, 60°, 30°, 0.4mm). A schematic illustration of the experimental apparatus is shown in Fig. 1. The pulse motor giving feed motion had a step angle of 1.8°. The feed period is defined as  $T_2$ . The feed halt period is defined as  $(T_1 - T_2)$ . So  $T_1$  is the cycle time.

For each experiment the mean chip weight, the cutting force and the surface roughness were measured. The chip weight was measured with a balance.

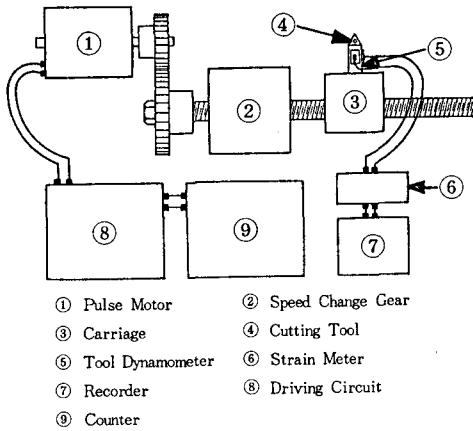


Fig. 1 Schematic illustration of the experimental apparatus

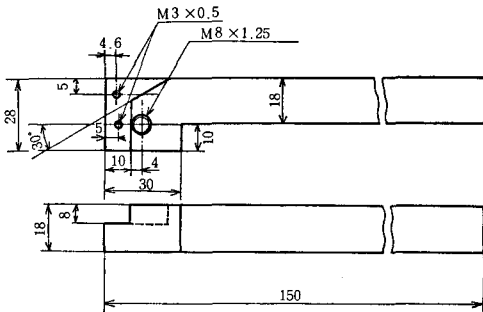


Fig. 2 Tool Dynamometer

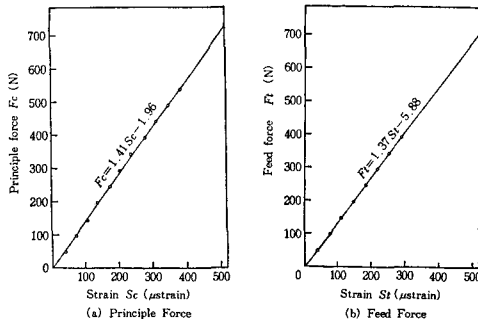


Fig. 3 Calibration Diagram

The cutting force was measured with a tool dynamometer using strain gages. The dynamometer outputs were monitored by a recorder. The dynamometer used is shown in Fig. 2. The calibration diagram is shown in Fig. 3.

3. Experimental Results and Discussion

3.1 Configuration of chip

Fig. 4(a) shows the chip configuration formed with the usual tool (without chip breaker). The

feed rate is 0.299 mm/rev. The chips are discontinuous type and are broken to small segments. Therefore, this cutting condition would be acceptable about chip treatment.

Fig. 4(b) shows the chip configuration formed with the same tool, under the feed rate of 0.08 mm/rev. The chips are continuous type. Therefore, it may be concluded that the cutting condition near the usual finish-turning one could be unacceptable about chip treatment.

Fig. 4(c) shows the chip configuration formed with the conventional chip breaker of throw away type. The chips are continuous type, too. Therefore, it may be concluded that the conventional chip breaker is not effective in finish-turning.

Fig. 4(d) shows the chip configuration in the intermittent feed cutting. All chips shown in Fig. 4(d) are same geometry. Although the chips produced are continuous type, the broken chip did not influence the working process and was not troublesome, therefore, the chip shown in Fig. 4(d) may be more desirable than both chips shown in Fig. 4(b) and in Fig. 4(c) for chip treatment.

3.2 Condition of chip breaking

Fig. 5 shows the area of chip breaking on the

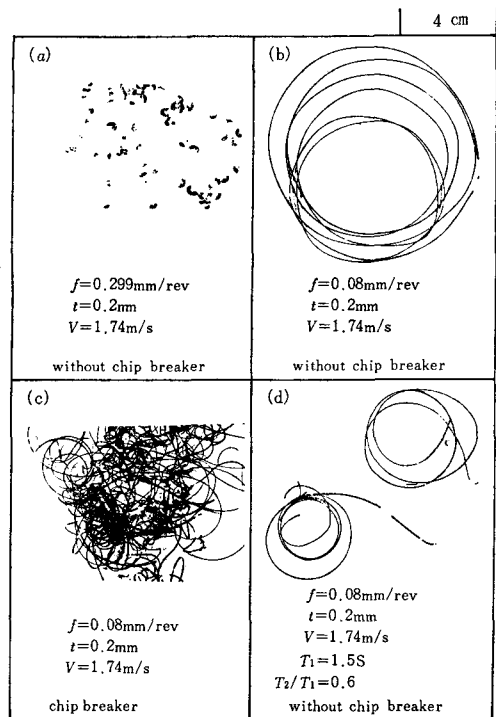


Fig. 4 Configuration of chip

$T_1, T_2/T_1$ -plane.  $T_1$  is the cycle time, and  $T_2/T_1$  is [the [feed period per cycle time. The curve, which is theoretically calculated, represents the boundary between the continuous cutting and the discontinuous cutting. For the discontinuous cutting, the feed halt period must be longer than one revolution time of main spindle, therefore ;

$$\frac{1}{N} \leq T_1 - T_2 \tag{1}$$

where,  $N$ =the rotating number of the main spindle, 1/s

$T_1$ =feed period plus feed halt period

=cycle time, s

$T_2$ =feed period, s

thus equation (1) becomes

$$\frac{T_2}{T_1} \leq 1 - \frac{1}{T_1 \cdot N} \tag{2}$$

The chip due to the discontinuous cutting can be broken necessarily between the boundary line and the abscissa.

The classification of the chips is shown by the following signs: The acceptable chips are the sign  $\circ$  (less than one turn length), and the unacceptable chips are the sign as follows:  $\bullet$  shows the ribbon, spiral or helical type, long chips (more than two

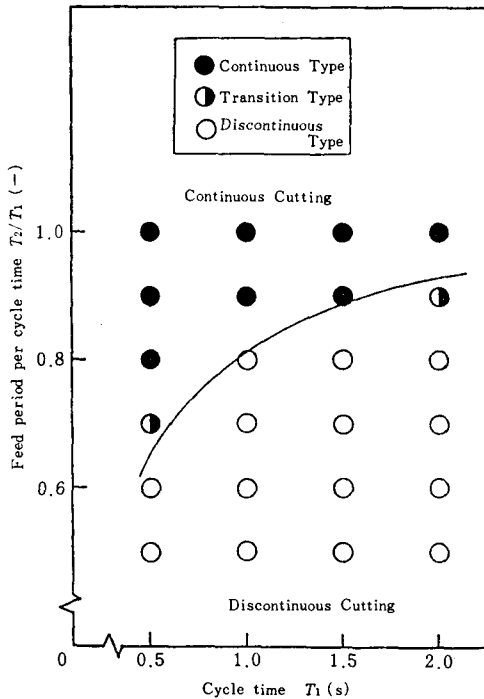


Fig. 5 Chip breaking diagram

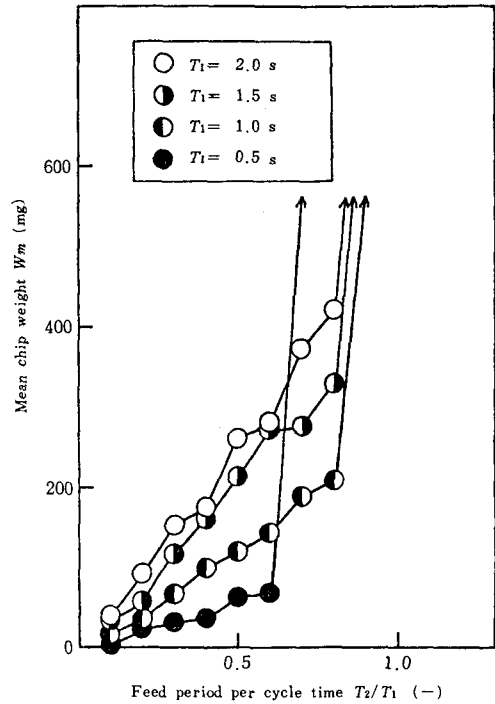


Fig. 6 Relation between feed period per cycle time and mean chip weight

turns length) and  $\bullet$  shows the small helical or spherical chips (less than two turns length).

It can be seen from Fig. 5 that a good agreement between the calculation and the experiment is obtained. However, the point where the feed period per cycle time is equal to 0.7 deviates from the theoretical line. Under this condition, the continuous chip would be broken due to its own weight at the point where the chip thickness becomes the thinnest. Fig. 5 shows that as the cycle time  $T_1$  is smaller, the feed period per cycle time  $T_2/T_1$  must be also smaller in order to obtain the acceptable chip size.

**3.3 Mean chip weight**

Fig. 6 shows the dependence of the mean chip weight on the feed period per cycle time  $T_2/T_1$  and the cycle time  $T_1$ . The mean chip weight decreases with decrease of  $T_2/T_1$  under the discontinuous cutting condition, however, under the continuous cutting condition it is extremely large within this experiment.

**3.4 Surface roughness**

Fig. 7 shows the dependence of the surface roughness on the feed period per cycle time  $T_2/T_1$

and on the cycle time  $T_1$ . The surface roughness is almost constant at the cycle time  $T_1$  of 1.0 s or 2.0 s, however, at the cycle time  $T_1$  of 0.5 s, it decreases with decrease of  $T_2/T_1$  in the range of  $T_2/T_1$  from 0.4 to 1.0. This is due to the reason that the motion of the pulse motor does not propagate rightly to the motion of the cutting edge due to a large inertia of the carriage et al. And then it is extremely large for  $T_2/T_1$  below 0.4 due to the chatter (vibration excited by the intermittent cutting).

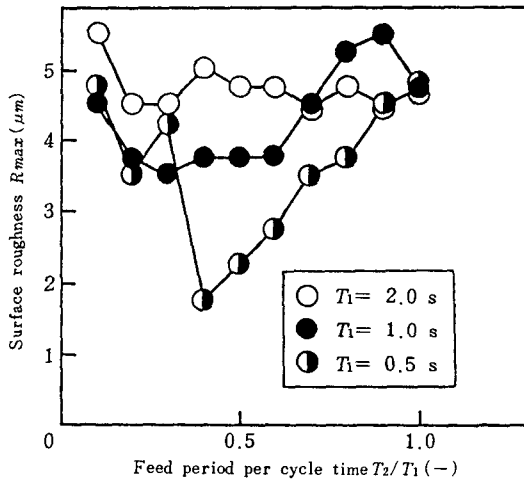


Fig. 7 Relation between feed period per cycle time and surface roughness

### 3.5 Cutting force

Fig. 8 shows the oscillograms of the cutting forces. Fig. 8(a) is the case of usual cutting, and Fig. 8(b) is the case of intermittent feed cutting. In Fig. 8(b) the principle force or the feed force once becomes zero in each cycle and maximum cutting force is nearly equal to the ordinary cutting force. Because, in this instance both feeds are actually equal. The oscillogram is the form of trapezoidal wave.

Fig. 9 shows the dependence of the cutting force on the feed period per cycle time  $T_2/T_1$  at different cycle time  $T_1$ . The cutting force is almost constant in the range of  $T_2/T_1$  from 0.3 to 1.0, however, the principle force decreases sharply and the feed force increases slowly, as  $T_2/T_1$  decreases from 0.3 to 0.1.

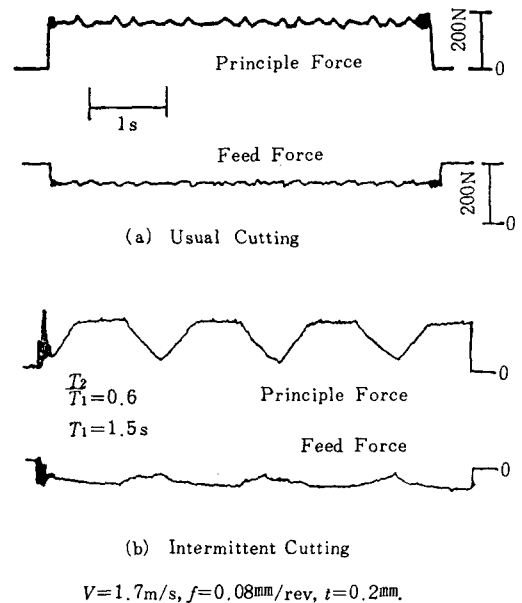


Fig. 8 Oscillograms of the cutting forces

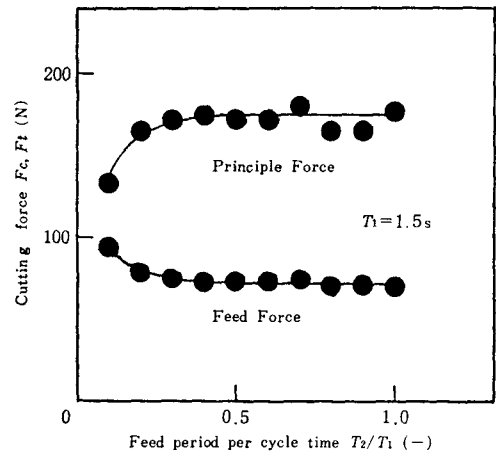


Fig. 9 Relation between feed period per cycle time and cutting force

## 4. Conclusions

- (1) In steel finish-turning the intermittent feed cutting is effective for the chip treatment.
- (2) The mean chip weight, the surface roughness and the cutting force depend on both the feed period per cycle time and the cycle time.

## Acknowledgments

Authors wish to express our gratitude to Professor Y. HASEGAWA and Associate Professor S. HANASAKI, Faculty of Engineering, Osaka Uni-

versity, for their helpful advice and encouragement.

#### Reference

- 1) Kaldor, S., Ber, A., and Lenz, E., "On the Mechanism of Chip Breaking," Trans. ASME, Ser. B, Vol. 101, 1979, p. 241.
- 2) Minato, K., Teshima, T., and Morita, M., "Cutting Force Behavior and Surface Roughness at the Oscillatory Feed Cutting," Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., Vol. 46, No. 2, 1980, p. 195.
- 3) Wada, T., "Study on Chip-excluding in Turning -The Oscillatory Feed Cutting-," Res. Rep. of Nara Techn. College, No. 16, 1980, p. 21.



# PWM 3 相逆変換器の精密解析 (容量負荷)

井村 栄仁・岡本 弘\*・市田 博\*\*

## Precise Analysis of A Three Phase PWM Thyristor Inverter Circuit (Capacitive Load)

Shigeji IMURA, Hiromu OKAMOTO and Hiroshi ICHIDA

This report reveals about coincidence between experimental waveforms and plotted curves of analytical simulation for three phase PWM thyristor inverter circuit with capacitive load, by aid of the theory of periodically interrupted electric circuit of the third genus. By considering the four principal and three pre-incident circuit states, authors have succeeded to fulfil the perfect analysis of steady state periodical solutions.

Some experimental results are given with the analytical wave forms.

### 1. ま え が き

衝撃転流形PWM (パルス巾制御) 3相逆変換器を精密に解析しようとする場合、回路状態の遷移を見出すことが困難であることおよび高次の演算子方程式を解かねばならないことなどの理由から、一般に近似的なシミュレーションで済ますことが多い。すなわち、回路方程式を求めるとき、負荷回路だけを考慮の対象としてスイッチングに必要な素子や付属回路についてはこれらを理想スイッチという仮定のもとに省略してきた。

他方、主サイリスタ点弧時に流れる充電電流や消弧時の転流電流はいずれも回路の設計特に転流回路素子の定数や容量を決定する上で無視できない量である。精密解析を行う時、まず第一に各回路状態の種類と遷移条件並びに定常状態における実際の動作モードを明らかにすることが重要である。

筆者らは本逆変換器が容量負荷を有する場合の回路内部の現象について、過渡状態から定常状態へ遷移する過程および定常状態における動作モードをマトリクス漸化式を用いて解析し、精密な結果を得たり。

上記の事柄は容量負荷のコンデンサ端子電圧の初期値と動作モードとは一定の関係にあることを示したことに基いており<sup>2)</sup>、以下に挙げる数種の実測例と対応する計算機シミュレーションの波形との比較検討を与える。

(1) 転流回路要素  $C, L$  の3種類の組合わせ

(2) 3通りの力率

(3) 主サイリスタへのトリガ信号の長さを3通りの計27通り条件を変化させることとした。

尚、導通角は  $60^\circ \sim 120^\circ$  の範囲で可変であり、直流電圧は  $48(V)$  として実験を行った。実測波形と計算波形は非常に良い一致を見せている。

### 2. 動作モードと負荷コンデンサ電圧初期値

半導体素子を含む回路の回路状態の変化は、外的にはトリガ信号の変化によりまた内的には回路内部の現象そのものに依存する。図1に示すPWM 3相逆変換器において破線  $X-Y$  の左側が主回路であり、6個の主サイリスタ  $T_j$  および帰還用ダイオード  $D_j(j=1 \sim 6)$  が各々逆並列に接続されている。PおよびQはそれぞれ直流入力端子を示し  $R, S$  および  $T$  は3相交流出力の母線を表わす。 $L_j(j=1 \sim 6)$  は転流用リアクトルである。

一方、破線より右側には転流用の補助サイリスタ群  $T_2j(j=1 \sim 6)$  と制御回路とがある。

もしも最初から主回路のみに注目して取扱うならば、一つの回路状態は容量性負荷の場合トリガ信号が一定である期間と少くとも同じ長さだけ継続することおよびその回路状態は負荷コンデンサ電圧初期値に依存して定まることが示せる<sup>3)</sup>。

この逆変換器を動作させるためのトリガ信号については図2のとおりである。同図(1)は導通角  $\tau$  が短い場合 ( $60^\circ < \tau \leq 120^\circ$ ) のまた、同図(2)は導通角  $\tau$  が長い場合 ( $120^\circ < \tau < 180^\circ$ ) のトリガ信号の順序と長さとを与えている。1周期は  $T(\text{sec})$  で  $360^\circ$  に相当する。図2

\*三社電機製作所

\*\*京工大電気工学科

をもとに最初の1/4周期における回路状態を图示したものが図3(1)および(2)のA~D回路状態である、ただし、DはAとまったく同一の回路となる。

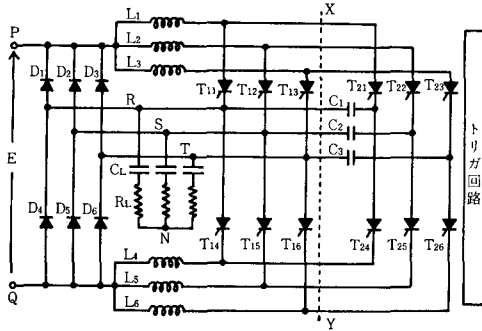
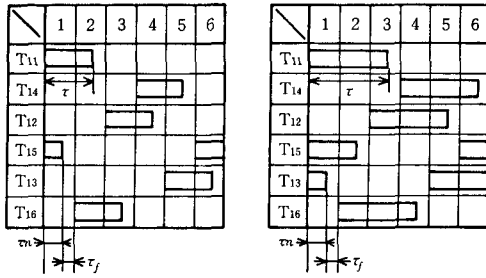


図1 PWM 3相逆変換器



(1)  $60^\circ < \tau \leq 120^\circ$  (2)  $120^\circ < \tau < 180^\circ$

図2 ゲート信号巾と順序

これらの回路状態の各々について実際にどの半導体素子が導通しているのかを、負荷コンデンサ電圧の初期値との関係で分類したときの条件を図4にまた、これらの領域に対応する導通素子を表1に掲げてある。尚、DについてはAと同一であるから省略してある(図4)。

さて図4における  $v_R(+0)$ ,  $v_S(+0)$  などそれぞれ R, S および T 相の負荷コンデンサ電圧瞬時値  $v_R(t)$ ,  $v_S(t)$  および  $v_T(t)$  の各回路状態における初期値であり、中性点 N から3相交流出力母線へ向く方向を正としている。以上は主回路のみを解析の対象にした場合であるが、転流エネルギー蓄積時や転流時の回路状態は内部の現象にも依存する——特にこれらの継続時間はトリガ信号だけでは定まらない——ので、主回路・転流回路双方を含んだ回路を解く必要が生ずる。

3. 精密解析に必要な回路と遷移条件

ここでは導通角  $\tau$  が短い場合について考えることとする。まず主回路に関して図4をもとに何度もシミュレーションを試みた結果、定常状態において実際に出現する回路状態は予想に反して極く限られた領域であることが明らかになった。たとえば回路状態 A については図4の領域 A(2)1 か A(3)1 のいずれかである。逆に言え

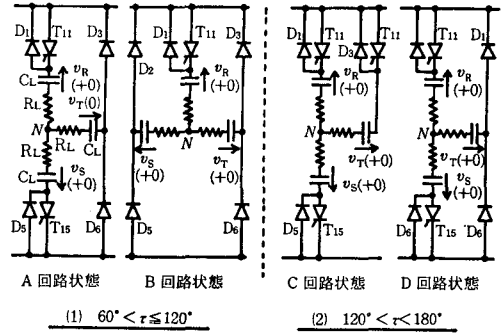
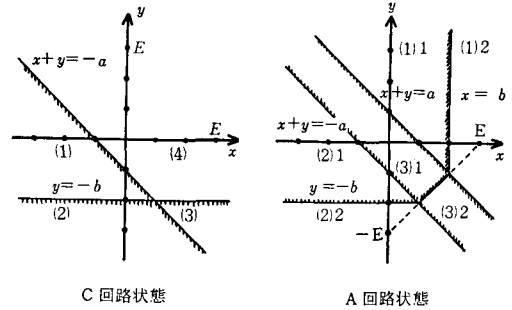
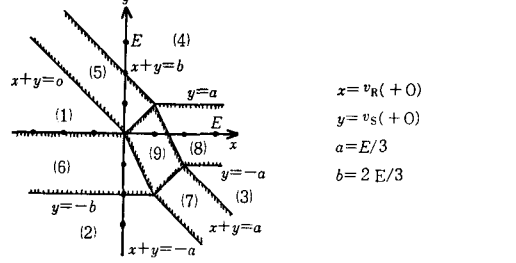


図3 導通角に対する回路状態



C回路状態

A回路状態



B回路状態

図4 C, A(=D)およびB回路状態の分類条件

表1 各回路の導通素子

C	(1)	T <sub>11</sub> , T <sub>15</sub> , D <sub>3</sub>	B	(1)	T <sub>11</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>3</sub>
	(2)	(T <sub>11</sub> / D <sub>1</sub> ), D <sub>5</sub> , D <sub>3</sub>		(2)	(T <sub>11</sub> / D <sub>1</sub> ), D <sub>5</sub> , D <sub>3</sub>
	(3)	D <sub>1</sub> , D <sub>5</sub> , T <sub>13</sub>		(3)	D <sub>1</sub> , D <sub>5</sub> , D <sub>3</sub>
	(4)	(T <sub>11</sub> / D <sub>1</sub> ), T <sub>15</sub> , T <sub>13</sub>		(4)	(T <sub>11</sub> / D <sub>1</sub> ), D <sub>2</sub> , D <sub>6</sub>
A	(1)1	T <sub>11</sub> , T <sub>15</sub> , D <sub>6</sub>	(5)	T <sub>11</sub> , D <sub>2</sub> , —	
	(1)2	D <sub>1</sub> , (T <sub>15</sub> / D <sub>5</sub> ), D <sub>6</sub>	(6)	T <sub>11</sub> , —, D <sub>3</sub>	
	(2)1	T <sub>11</sub> , T <sub>15</sub> , D <sub>3</sub>	(7)	D <sub>1</sub> , D <sub>5</sub> , —	
	(2)2	(T <sub>11</sub> / D <sub>1</sub> ), D <sub>5</sub> , D <sub>3</sub>	(8)	D <sub>1</sub> , —, D <sub>6</sub>	
	(3)1	T <sub>11</sub> , T <sub>15</sub> , —	(9)	—————	
(3)2	D <sub>1</sub> , D <sub>5</sub> , —				



ば、負荷コンデンサ電圧の初期値  $v_R(+0)$ ,  $v_S(+0)$  が最終的にはこれらの領域内の或る値に落ち着くことを意味する。

したがってこれらの値は  $\tau$ ,  $\tau_f$  (または  $\tau_n$ ) (図2参照) および負荷の時定数を用いてきっちり求めることができる<sup>3)</sup>。

同様に回路状態 B については B(6)だけが出現する。次節との関連で領域 A(2)1 および A(3) 1 に対応する回路を簡単のためそれぞれ  $[\alpha]$  回路および  $[\gamma]$  回路と名づける。また領域 B(6) に対する回路を  $[\beta]$  回路と呼ぼう。

さて、補助サイリスタ  $T_{2j}$  に対するトリガパルスは図示しなかったが、主サイリスタ  $T_{11}$  に加えられるトリガ信号の立上がりと同じ瞬間に転流コンデンサ  $C_1$  の左端を正に充電すべく、実は  $T_{24}$  にも極く短いトリガパルスが印加される。したがってサイリスタ  $T_{11}$  に制御信号が与えられた直後の回路状態は大きく2つの状態に分かれる。

その一つは図5(a)に示された  $[CH_\alpha]$  回路状態であり、閉ループ  $P-L_1-T_{11}-C_1-T_{24}-L_4-Q$  の経路を通じてほぼ  $t_{CH} = \pi\sqrt{2L/C}$  の期間、充電電流が持続して流れる。転流コンデンサ  $C_1$  の電圧は  $v_{C1}(t_{CH})$  から電源電圧  $E (=48V)$  まで上昇し、同時に充電電流は零に減少してゆくので約  $t_{CH}(sec)$  後に  $T_{24}$  は自然消弧する。

故に  $[\alpha]$  回路状態へ移るのである。図2から知られるようにこの回路状態はほぼ  $\tau_n(sec)$  の長さだけ継続する。

残りの一つは  $[CH_\gamma]$  回路状態で同図(c)に掲げてある。転流コンデンサの充電経路は  $[CH_\alpha]$  のそれと同一であるが主回路の動作が異っている。やはり  $T_{24}$  の自然消弧とともに今度は同図(d)に示す  $[\gamma]$  回路状態になる。

いずれにせよこれら2つの状態  $[CH_\alpha]$ - $[\alpha]$  または  $[CH_\gamma]$ - $[\gamma]$  は  $\tau_n(sec)$  の長さだけ続く。

次に主サイリスタ  $T_{15}$  を消弧すべく  $T_{25}$  にトリガパルスを加えると同図(e)に描いた  $[CMT_\beta]$  回路となり、転流電流が  $C_2-T_{25}-L_5-D_5-C_2$  のループで流れる。この回路では始め  $-E(V)$  であった  $C_2$  の電圧は終りには  $v_{C2}(t_{CM})$  へ上昇する。ここに  $t_{CM} \approx \pi\sqrt{LC}$  である。

$T_{25}$  の自然消弧の後  $[\beta]$  回路が出現する。尚、まれにはであるが低力率の場合、 $[\beta]$  回路の途中ですべての素子が OFF となる  $[\xi]$  回路に移ることがある。要するに  $[CMT_\beta]$ - $[\beta]$  または  $[CMT_\beta]$ - $[\beta-\xi]$  は  $\tau_f(sec)$  持続した後に次の  $1/6$  周期に入る。ゲート信号の順序に応じた相の入れかえを行えば、一周りにわたる現象を同様に取扱うことができる。

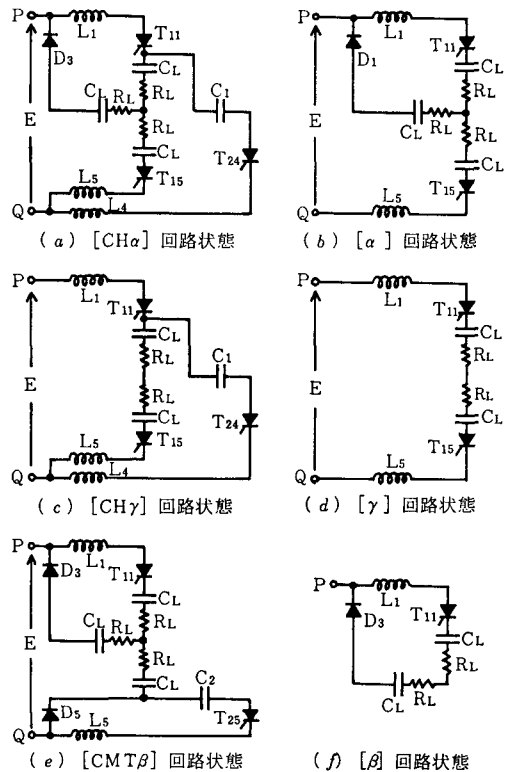


図5 精密解析のための回路状態

#### 4. 解 析

最初に次の仮定を置く。

- (i) 負荷コンデンサ電圧の基準の方向は既述のように中性点から3相交流出力母線側にとる。
- (ii) 記述の簡略のため R, S および T 相の各量を表わすのに添字“1”, “2”, “3”を用いる。例えば  $v_1$  は R 相の負荷コンデンサ端子電圧とし、同様に  $i_1$  は R 相の負荷電流とする。また、負荷は平衡しているとし、  
 $C_L = C, R_L = R, L_j = L (j = 1 \sim 6), C_k = a (k = 1 \sim 3)$  とおく (図1参照)。
- (iii) 時間の原点は各回路状態の始りにとる。

以下図5(a)~(f)の各回路状態の回路方程式を示す。

##### A. $[CH_\alpha]$ 回路状態

最初の  $1/6$  周期においては2つのサイリスタ  $T_{11}$  および  $T_{15}$ , ダイオード  $D_3$ , 補助サイリスタ  $T_{24}$ , 転流リアクトル  $L_1, L_5, L_4$  および転流コンデンサ  $C_1$  が導通している。

$i_1 + i_2 + i_3 = 0$  の条件で方程式を立てると、 $t > 0$  では

7 次の演算子方程式を得る†。

$$[A_P] \cdot \begin{pmatrix} [I] \\ [V] \end{pmatrix} = [B] \quad (1)$$

ここに、

$$[A_P] = \begin{pmatrix} A_{11}, A_{12}, A_{13}, 1, -1, 0, 0 \\ A_{21}, A_{22}, A_{23}, 1, 0, -1, 0 \\ A_{31}, A_{32}, A_{33}, 0, 0, 0, 1 \\ -1, -1, 0, CP, 0, 0, 0 \\ 1, 0, 0, 0, CP, 0, 0 \\ 0, 1, 0, 0, 0, CP, 0 \\ 0, 0, -1, 0, 0, 0, aP \end{pmatrix}$$

ただし、

$$\begin{aligned} A_{11} &= 2LP + 2R, & A_{12} &= LP + R, & A_{13} &= LP \\ A_{21} &= LP + R, & A_{22} &= LP + 2R, & A_{23} &= LP \\ A_{31} &= LP, & A_{32} &= LP, & A_{33} &= 2LP \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} [I] \\ [V] \end{pmatrix} = t [-I_2, -I_3, I_{C1}, V_1, V_2, V_3, V_{C1}] \dagger\dagger$$

$$[B] = t [E, 0, E, 0, 0, 0, 0]$$

である。式(1)の左辺の係数行列の逆行列を  $[F_P]$  としまた、 $t=0$ の直前の  $i_2, i_3, i_{C1}, v_1, v_2, v_3$  および  $v_{C1}$  の初期値(第一種初期値)をそれぞれ  $i_2^{-0}, i_3^{-0}, i_{C1}^{-0}, v_1^{-0}, v_2^{-0}, v_3^{-0}$  および  $v_{C1}^{-0}$  とすれば、断続回路の理論<sup>4)</sup>によって、式(1)の時間解は次式となる。

$$\begin{pmatrix} -i_2 \\ -i_3 \\ i_{C1} \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_{C1} \end{pmatrix} = L^{-1} [F_P] \cdot \begin{pmatrix} E \\ 0 \\ E \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + L^{-1} [F_P] \cdot P \cdot \begin{pmatrix} L^{-0}, 0 \\ 0, C^{-0} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -i_2^{-0} \\ -i_3^{-0} \\ i_{C1}^{-0} \\ v_1^{-0} \\ v_2^{-0} \\ v_3^{-0} \\ v_{C1}^{-0} \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで  $[F_P]$  の分母は7次式

$$A_7 = CP \cdot A_6 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} A_6 &= aC^2L^3P^6 + 6aC^2L^2RP^5 + (6aCL^2 \\ &+ 6aC^2LR^2 + C^2L^2)P^4 + (12aCLR \\ &+ 4C^2LR)P^3 + (6aL + 4CL \\ &+ 3C^2R^2)P^2 + 6CRP + 3 \end{aligned} \quad (4)$$

である。転流コンデンサ、転流リアクトルおよび負荷イ

ンピーダンスの絶対値を一定に保って、力率(進み)のみを変化させた場合、 $A_6=0$ の6個の根を Bairstow's 法で解いて根の様子を調べると図7(1)~(3)を得る。

ただし、同図において

- ① 4実根  $-\alpha, -\beta, -r$  および  $-\delta$  と2複素根を  $-\xi \pm j\eta$
- ② 2実根  $-\alpha, -r$  と4複素根を  $-\xi \pm j\eta$  および  $-\zeta \pm j\sigma$
- ③ 6複素根  $-\xi \pm j\eta, -\zeta \pm j\sigma$  および  $-\lambda \pm j\nu$  としている。

さて式(1)からその逆変換である式(2)を得る操作は全く形式的であるから、以後においては式(1)のような演算子領域での方程式並びにその係数行列の行列式を示すにとどめる。

#### B. $[\alpha]$ 回路状態

ここでは  $[CH_\alpha]$  回路状態の  $T_{24}$  が消弧し終っているため主回路だけで形成される回路となる。帰還ダイオード  $D_3$  が導通している点に注意を要する。この回路が生起するための条件は図4の領域A(2)1内に各相コンデンサ電圧の初期値が含まれていることである。図5(b)を参照して回路方程式をたてると

$$\begin{pmatrix} A_{11}, A_{12}, 1, -1, 0 \\ A_{21}, A_{22}, 1, 0, -1 \\ -1, -1, CP, 0, 0 \\ 1, 0, 0, CP, 0 \\ 0, 1, 0, 0, CP \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -I_2 \\ -I_3 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} & A_{11} = 2LP + 2R, & A_{12} &= A_{21} = LP + R \\ & & A_{22} &= LP + 2R \end{aligned}$$

$$A_5 = CP(CL^2P^2 + CRP + 1)(CL^2P^2 + 3CRP + 3) \quad (6)$$

#### C. $[CH_\gamma]$ 回路状態

ここでは、 $i_3=0$  すなわち  $i_1=-i_2$  である。

$$\begin{pmatrix} 2LP + 2R, LP, 1, -1, 0 \\ LP, 2LP, 0, 0, 1 \\ -1, 0, CP, 0, 0 \\ 1, 0, 0, CP, 0 \\ 0, -1, 0, 0, aP \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -I_2 \\ I_{C1} \\ V_1 \\ V_2 \\ V_{C1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E \\ E \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A_5 &= CP(3aCL^2P^4 + 4aCLR^2P^3 \\ &+ 2L(2a+C)P^2 + 2CRP + 2) \end{aligned} \quad (8)$$

#### D. $[r]$ 回路状態

$$\begin{pmatrix} 2LP + 2R, 1, -1 \\ -1, CP, 0 \\ 1, 0, CP \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -I_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$A_3 = 2CP(CL^2P^2 + CRP + 1) \quad (10)$$

†ここでは、 $f(t) \leftrightarrow F(p) = P \cdot \int_0^\infty f(t) \cdot e^{-pt} dt$

††“ $t$ ” は転置を表わす。

を得るが、ここでも  $i_3 = 0$  の条件を使用した。

$$\begin{bmatrix} LP, 1 \\ -1, CP \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{C_2} \\ V_{C_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

E. [CMT<sub>B</sub>] 回路状態

図5(e)から明らかなように2つの閉ループかな成る。ここでは、中性点  $N$  と電源端子  $Q$  との間に  $C_2$  が存在するため  $i_2 \approx 0$  とみることができる。したがって

$$A_3 = CP(CLP^2 + 2CRP + 2) \quad (13)$$

$$A_2 = CLP^2 + 1 \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} LP+2R, & 1, & -1 \\ -1, & CP, & 0 \\ 1, & 0, & CP \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -I_3 \\ V_1 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

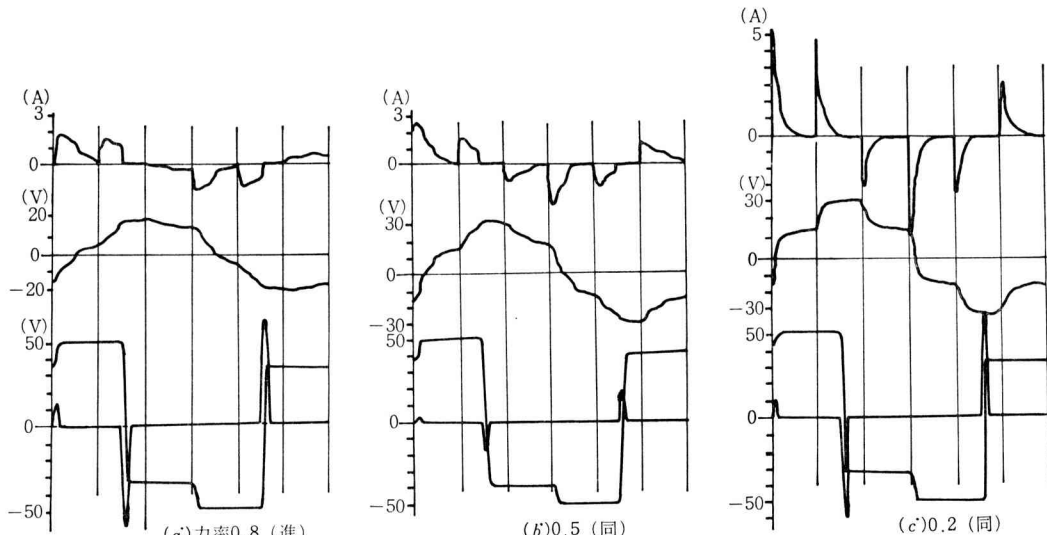
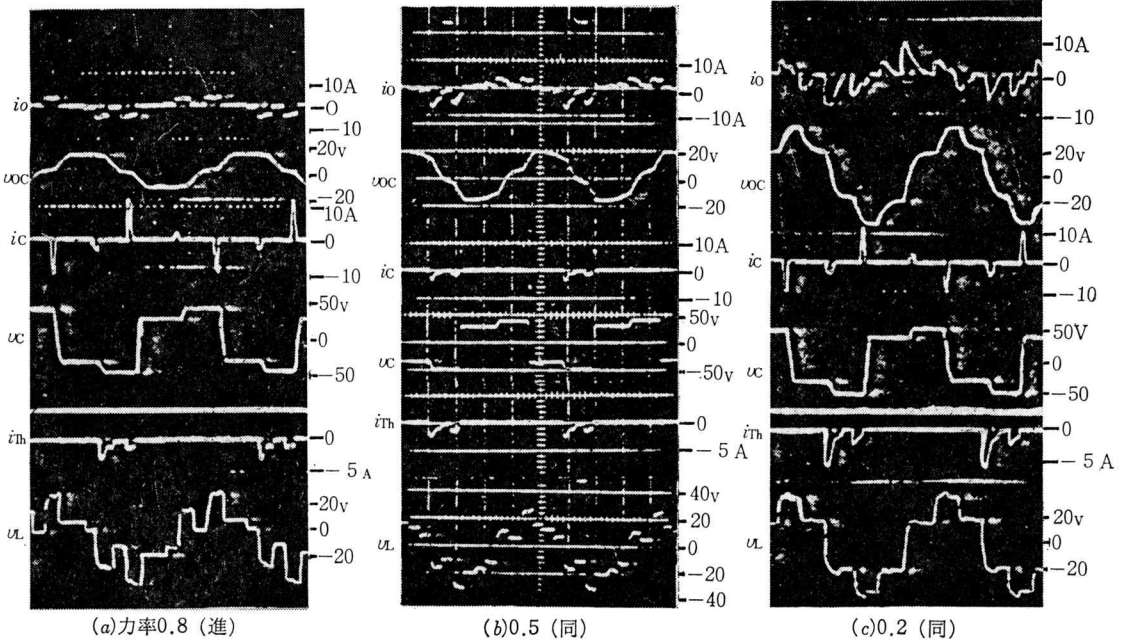


図6 実測波形(写真)と計算波形例

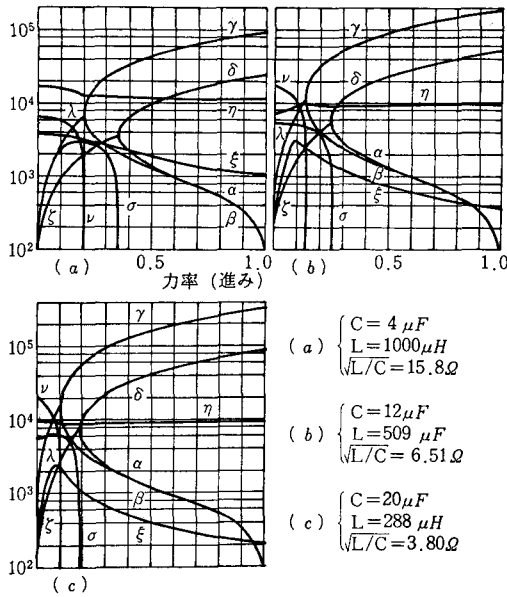


図7 [CH<sub>α</sub>]回路状態の特性根(例)

F. [β] 回路状態

$$\begin{pmatrix} LP+2R, & 1, & -1 \\ -1, & CP, & 0 \\ 1, & 0, & CP \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -I_3 \\ V_1 \\ V_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

G. [ξ] 回路状態

低力率の場合であるが [β] 回路の後にとどき全サイリスタが阻止状態となることがある。つまり、 $i_1=i_2=i_3=0$  で回路内部のコンデンサ電圧はすべて一定値に保たれる。

5. あとがき

筆者等は導通角が  $60^\circ < r \leq 120^\circ$  の場合について種々条件を変えて実験・解析両面からの比較検討を行った。図6(a), (b)および(c)に実測波形の一例をまた、対応する計算波形を同図(a'), (b')および(c')に示す。ただし、写真のトリガ周波数は110 (Hz)である。これらの計算波形は式(1)~(15)から断続回路の理論を用いて時間解を求め、負荷コンデンサ電圧や回路の遷移条件をチェックし、シミュレーションした結果得られたものである。使用した計算機は FACOM M-200 (京都大学) および FACOM 230-28 (京都工芸繊維大学) である。

実測・理論双方の波形に若干相異なる所が見えるが全体的な傾向としては良く合致していると言える。正確なトリガ回路の作製、回路素子定数の測定或は半導体素子の特性考慮などにより一層精密な解析結果が期待できる。尚、導通角が長い場合については今後の課題である。

最後に本研究にあたりお世話になった名和保紀氏、古山尚之氏および山根満氏の各氏に深謝します。

文 献

- 1) H. Okamoto, H. Ichida, M. Fujinami & S. Imura: IEEE-IAS Annual Meeting, vol. 2 pp. 742~747 (1980)
- 2) 井村: 奈良工専研究紀要 第12号 (昭和51年)
- 3) 井村: 奈良工専研究紀要 第13号 (昭和52年)
- 4) S. Hayashi: periodically Interrupted Electric Circuits (1961)

# 対角走査法を用いた印影の自動照合\*

上田勝彦・中村善一

Automatic Seal-impression Verification Utilizing

Local Features on Diagonal Line

Katsuhiko UEDA and Yoshikazu NAKAMURA

印影の自動照合について、計算機を用いて実験を行なった。本方法は、印影を対角線上で走査し、その走査線上の局所的な情報を基に印影を照合するものである。320個の学習サンプルについて実験を行なった結果、同種印影を異種と誤る率が3.75%、異種を同種と誤る率が1.25%であり、総合誤り率は2.5%であった。

## 1. まえがき

現在、金融機関をはじめ、ほとんどあらゆる機関において、印鑑は、本人確認の方法として重要な役割を果たしている。一方、印鑑の登録・照合作業は、ほとんど人手によって行なわれ、銀行等の大量の印鑑を扱う機関においては、その機械化が必要となる。

印影の自動照合に関しては、登録・照合両印影のマッチングをとる方法<sup>1)</sup>や、印影の $xy$ 軸への射影のフーリエ変換の類似度を求める方法<sup>2)</sup>などがある。また、自動照合の前段階として、印影の重心まわりの周辺密度分布の相関を利用して高精度の位置合せを行ない、同時にその最大相関係数の値を照合に利用しようという試みもなされている<sup>3)</sup>。以上のいずれの方法も、基本的には印影全体の相関係数の値によって真偽の判定を行なうものであり、印肉のかすれ、にじみ等の雑音に強いという特長がある反面、非常に類似した印鑑による印影を識別するのは困難であり、また、取り扱うデータ量、計算量が多くなるという欠点がある。

そこで我々は、人間が詳細に印影の照合を行なうときの方法（照合印影を適当に折り曲げて登録印影と重ね合わせてその重なり具合をみる）を参考にして、登録・照合両印影の対角線上の切断面における局所的な特徴の一致度から真偽の判定を行なう方法を提案した<sup>4)</sup>。本報告では、この考え方に基づいて印影照合の実験システムを構成し、学習サンプルについて照合実験を行ない、照合パラメータの有効性ならびに本照合方式の性能評価を行

なった。

## 2. 印影パターンの特徴抽出と照合方式

### 2.1 印影登録・照合システムの概要

今回構成した照合実験システムの処理の流れを図1に示す。このシステムは、照合を行なう際に基準となる印影（以下登録印影という）を登録する印影登録システムと、新たに入力された印影（以下照合印影という）と登録印影を照合する印影照合システムの2つの部分から成る。

印影登録システムでは、まず登録したい印影名を入力することにより印影画像ファイルから印影画像（128×128画素、濃淡8ビット）が入力され、平滑化、2値化の前処理が施される。次に、この2値化画像から照合印影の位置と傾きの正規化のために必要な中心座標等の正規化係数と、照合に必要な特徴パラメータが抽出され、登録印影ファイルに印影名と共に格納される。印影照合システムでは、登録・照合両印影名を入力することにより、印影画像ファイルから照合印影が入力され、登録システムと同様に前処理が施された後、登録印影の正規化係数を基に位置合せが行なわれる。さらに、位置合せに伴うデータ欠損を補正するために、穴埋め処理を行ない特徴パラメータを抽出する。最後に、登録・照合両印影の特徴パラメータの比較を行ない、照合判定のための照合パラメータを計算する。

次節以降に、主な処理について詳しく述べる。

### 2.2 位置・傾きの正規化

印影パターンは必ず円、楕円、矩形等の外枠があり、かつそれらが外枠図形中心に関して点対称であるという前提条件は十分認められるであろう。ここでは、この特徴を利用した簡単な位置合せ法について述べる。

\*本文は、昭和57年5月21日、電子通信学会パターン認識と学習研究会において講演した内容をまとめたものである。

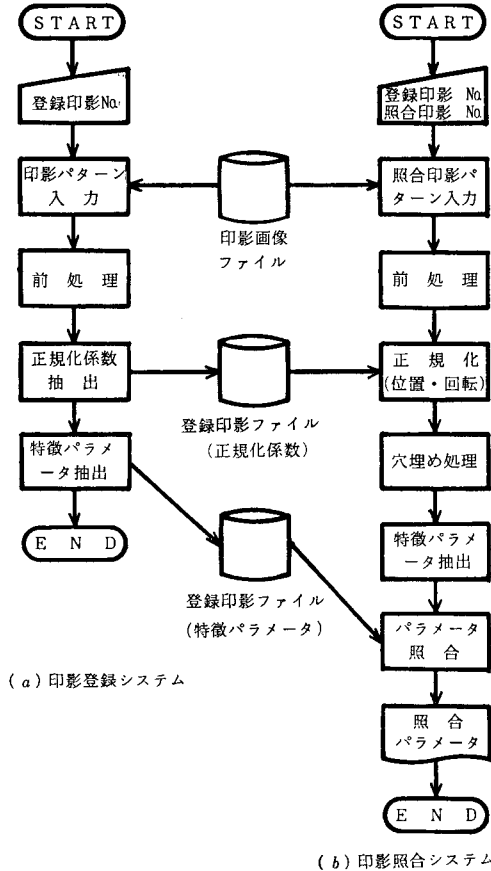


図1 登録・照合のフローチャート

まず、2値化印影画像を順次水平走査し、印影の最外周点（外枠の縁線）を抽出し、この外枠図形の $x, y$ 方向の重心線を求める。そして、これら重心線の交点を外枠図形の中心点とする。また、外枠の一部が欠損している、重心線に欠損部分を生じ交点が求まらない場合は、重心線の欠損部分を直線補間して中心点を求めている。照合印影の中心座標を $(x_c, y_c)$ 、登録印影のそれを $(x_r, y_r)$ とすると、平行移動量 $\Delta x, \Delta y$ は、

$$\Delta x = x_c - x_r, \quad \Delta y = y_c - y_r \quad (1)$$

となる。また、中心座標から外枠までの距離から、印影パターンを外枠の平均半径 $R$ を求め、印影の特徴パラメータとする。

次に傾きの正規化であるが、これは、まず図2に示すように印影の中心点から、半径 $R_1=17, R_2=34$ の円周上の点をサンプリングし、これをリング・データと呼ぶ。照合印影のリング・データをそれぞれ回転させながら、予め求められている登録印影のリング・データとのマッチング率 $P$ を次式にしたがって計算する。

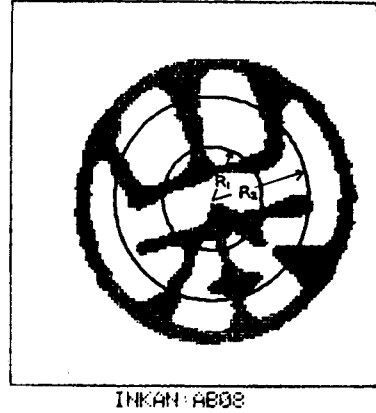


図2 リング・データのサンプリング径路

$$P(k, l) = \frac{1}{102 + 204} \left\{ \sum_{i=1}^{102} r_1(i) \oplus c_1(i-k) + \sum_{j=1}^{204} r_2(j) \oplus c_2(j-l) \right\} \quad (2)$$

ここで、 $r_1(i)$  は半径 $R_1$ の登録印影のリング・データで、 $i=1, 2, \dots, 102$ 、 $r_2(j)$  は半径 $R_2$ の登録印影のリング・データで、 $j=1, 2, \dots, 204$ 、 $c_1(i), c_2(j)$  はそれぞれ半径 $R_1, R_2$ の照合印影のリング・データであり、 $c_1(i-102)=c_1(i)$ 、 $c_2(j-204)=c_2(j)$ の関係がある。また、 $k, l$ はそれぞれ半径 $R_1, R_2$ の照合印影のリング・データの移動数で、 $k=[l/2]$ 、 $l=1, 2, \dots, 204$ である。そして、 $P(k, l)$ の最大値。

$$P_M = \max_{k, l} \{P(k, l)\} \quad (3)$$

を与えるリング・データの移動数 $l$ を求め、これから照合印影の回転角度 $\alpha$ は、

$$\alpha = \frac{l}{240} \times 360(^{\circ}) \quad (4)$$

と求まる。(1), (4)式より、照合印影の座標を次式のように変換することにより、登録印影に位置合せできる。

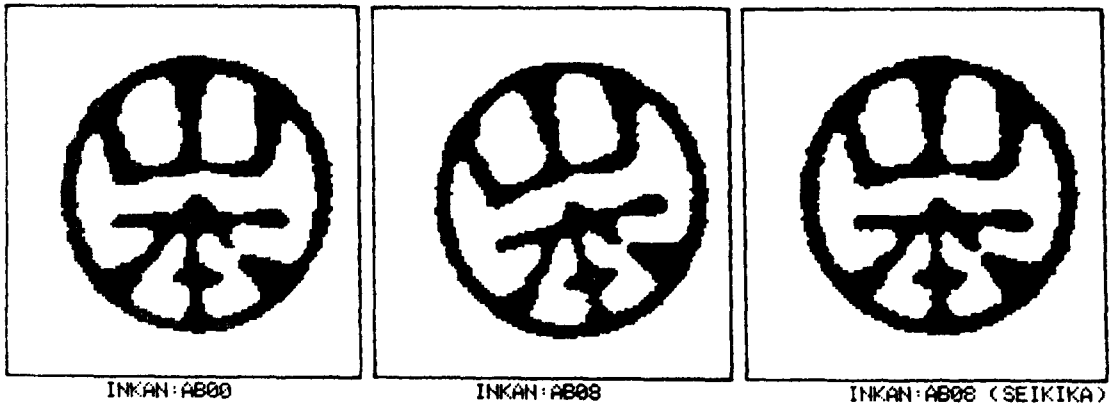
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x - \Delta x \\ y - \Delta y \end{pmatrix} \quad (5)$$

ここで、 $x, y$ と $X, Y$ はそれぞれ正規化前と正規化後の座標である。

この方法による位置合せの例を図3に示す。

### 2.3 特徴パラメータの抽出

人間が行なっている印影照合の方法の1つとして、照合印影を適当に2つに折り曲げて、登録印影に重ね合わせる方法がある。この方法では、人間は印影パターンに関する各種情報の中で、主に次の3種類の局所的な情報を利用して照合していると考えられる。すなわち、登録・



(a) 登録印影 (b) 照合印影 (c) 照合印影(正規化後)

図3 位置・回転の正規化の例

照合両印影の同一切断面に関して、

- (1) 各線が確実に対応しているか
- (2) 対応する線の幅が等しいか
- (3) 対応する線が“なめらか”につながっているか

である。我々は、この方法を参考にして、2.1の位置合せの際に求めた平均半径  $R$  に加えて、次の3種類の特徴パラメータ、(a)特徴点座標、(b)線幅、(c)方向係数を定義する。

まず、これら3種類の特徴パラメータを抽出するために、印影の切断面の各線に相当する特徴点組を求める。すなわち、図4に示すように印影の対角線上、直線  $y=x$  (Left→Right) と  $y=129-x$  (Right→Left) にしたがって順次走査し、白(0)から黒(1)に変化する点  $B_1, B_2, \dots$  と、黒から白に変化する点  $H_1, H_2, \dots$  を特徴点として抽出し、 $y_{G1}=(B_1, H_1), y_{G2}=(B_2, H_2), \dots$  を特徴点組とする。

このようにして求めた各特徴点および特徴点組に対し

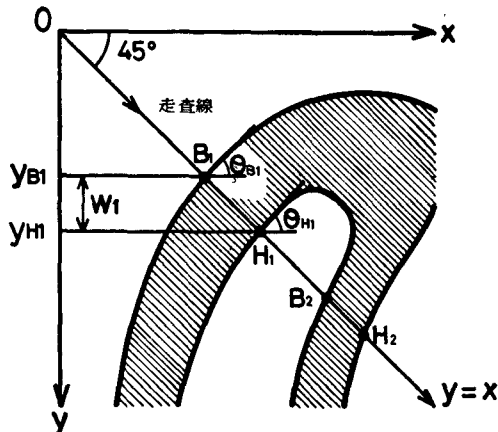


図4 特徴パラメータの抽出

以下のように各特徴パラメータを定義する。

(a) 特徴点座標

図4に示すように、特徴点組  $y_{G1}, y_{G2}, \dots$  の  $y$  座標値  $(y_{B1}, y_{H1}), (y_{B2}, y_{H2}), \dots$  を特徴点座標とする。

(b) 線幅

図4において、各特徴点組  $y_{G1}, y_{G2}, \dots$  の特徴点座標の差を線幅とする。すなわち、

$$W_i = |y_{H_i} - y_{B_i}| \quad (6)$$

で定義する。

(c) 方向係数

各特徴点  $B_1, B_2, \dots, H_1, H_2, \dots$  を中心とする  $11 \times 11$  の近傍を切り出し、その特徴点を含む緑線を抽出して、最小2乗法により、この緑線の1次近似直線

$$y = a_0 + a_1 x \quad (7)$$

を求める。上式より方向係数  $\theta$  は、

$$\theta = \tan^{-1} a_1 \quad (8)$$

で定義する。

## 2.4 照合パラメータの計算

照合パラメータとは、登録・照合両印影間について、前に定義した各特徴パラメータの偏差の平均値である。これは、両印影の走査線上における局所的な一致度を示すものであり、これにより最終的に印影の真偽の判定を行なう。

照合パラメータを計算するために、まず登録・照合両印影間で1対1に対応する特徴点組の対(以下特徴点対という)を構成する。この方法は、登録印影の特徴点組  $y_{G1}^{(R)}, y_{G2}^{(R)}, \dots, y_{GN}^{(R)}$  について照合印影の特徴点組  $y_{G1}^{(C)}, y_{G2}^{(C)}, \dots, y_{GM}^{(C)}$  の中から特徴点座標の偏差

$$d_{ij} = |y_H^{(C)} - y_H^{(R)}| + |y_{Bj}^{(C)} - y_{Bi}^{(R)}| \quad (9)$$

が  $j$  に関して最小となるものを順次選択して対を構成する (図5)。そして、対構成順が  $k$  番目であれば、 $i=j=k$  とする。ここで、 $y_{Hi}^{(R)}$ ,  $y_{Bi}^{(R)}$  は登録印影の  $i$  番目の特徴点組  $y_{Hi}^{(R)}$  の特徴点座標であり、 $y_{Hj}^{(C)}$ ,  $y_{Bj}^{(C)}$  は照合印影の  $j$  番目の特徴点組  $y_{Hj}^{(C)}$  の特徴点座標である。

次に各照合パラメータの定義について述べる。

(a) 特徴点对係数

特徴点对係数とは、全特徴点組の中で以上の対応付けができた割合を表わすものであり次式で定義する。

$$C = \frac{N_{CP}^2}{N_R \cdot N_C} \times 100(\%) \quad (10)$$

ここで、 $N_R$ ,  $N_C$  はそれぞれ登録、照合両印影の全特徴点組の数であり、 $N_{CP}$  は特徴点对の数である。

(b) 特徴点座標の平均偏差

これは、次式で定義する。

$$m_{XY} = \frac{1}{2N_{CP}} \sum_{k=1}^{N_{CP}} (|y_{Hk}^{(C)} - y_{Hk}^{(R)}| + |y_{Bk}^{(C)} - y_{Bk}^{(R)}|) \quad (11)$$

(c) 線幅の平均偏差

各特徴点对について、これに属する登録・照合両印影の特徴点組の線幅を、それぞれ  $W_k^{(R)}$ ,  $W_k^{(C)}$  とすれば、

$$m_W = \frac{1}{N_{CP}} \sum_{k=1}^{N_{CP}} |W_k^{(C)} - W_k^{(R)}| \quad (12)$$

で定義する。ただし、 $W_k^{(R)}$ ,  $W_k^{(C)}$  は(6)式で定義されたものである。

(d) 方向係数の平均偏差

各特徴点对について、(8)式で定義された方向係数を用

いて、

$$m_\theta = \frac{1}{2N_{CP}} \sum_{k=1}^{N_{CP}} (|\theta_{Bk}^{(C)} - \theta_{Bk}^{(R)}| + |\theta_{Hk}^{(C)} - \theta_{Hk}^{(R)}|) \quad (13)$$

で定義する。

(e) 平均半径の偏差

2.2で述べたように、位置合せの際求めた登録・照合両印影の外枠平均半径を、それぞれ  $R^{(R)}$ ,  $R^{(C)}$  として

$$\epsilon_R = \frac{|R^{(R)} - R^{(C)}|}{R^{(R)}} \times 100(\%) \quad (14)$$

で定義する。

(f) マッチング率

2.2の(3)式で定義される登録・照合両印影のリング・データの最大マッチング率である。

### 3. 照合実験

#### 3.1 実験に用いた印影データ

今回、実験に用いた印鑑は比較的文字線構造の簡単な“山本”姓の円形のものである。印鑑は大きく2つのグループに分けられる。すなわち、AAシリーズと呼ぶ10本のグループと、ABシリーズと呼ぶ10本の印鑑グループで、合計20本の印鑑を用いた。AAシリーズの10本は、同じ原版から自動印鑑製造機により製作したものに、人手により局所的にわずかな変形を加えたものである。ABシリーズの印鑑は、AAシリーズの10本の各印鑑をできるだけ忠実に捺印し、この印影を原版として自動印鑑製造機により複製されたものである。これら20本の印鑑による印影の例を図6に示す。図において、AA, AB各シリーズの番号は、それぞれ元の印鑑と偽造印鑑に対応している。

以上述べた20本の印鑑について、それぞれ21個の印影を生成し、その中の1個を登録印影とした。

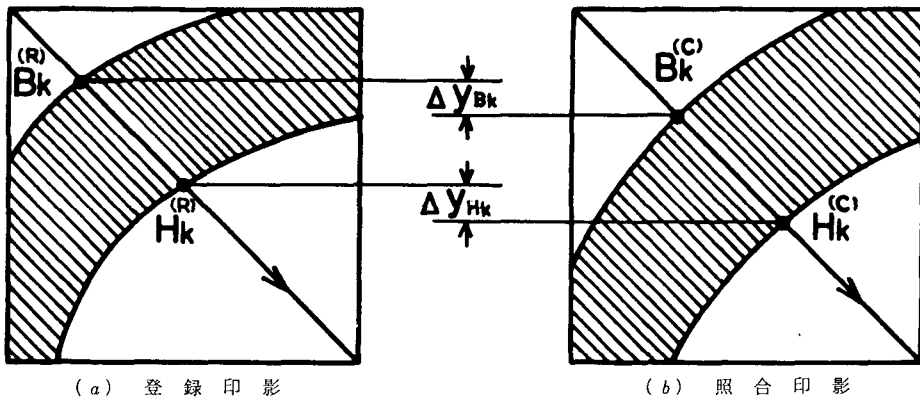


図5 特徴点对の構成



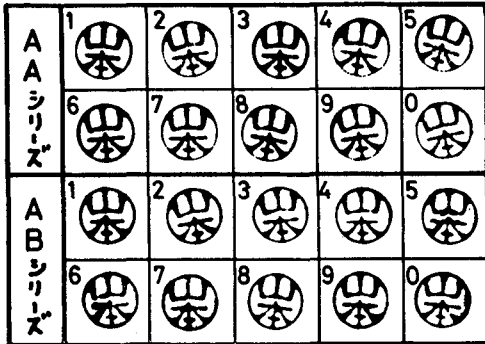


図6 照合実験に用いた印鑑

また、計算機への印影の入力は I TVカメラを用いて、濃淡8ビット、サイズ 128×128 で入力した。実際の印影の直径は約 10mm であるので、捺印面での入力領域は 12.8mm×12.8mm に設定した。したがってサンプル間隔は 0.1mm/sample になる。

### 3.2 照合実験

照合実験は、A Aシリーズの各登録印影とそれと同一印鑑による照合印影の組合せを160件、同じ登録印影とそれぞれの偽造印鑑（A Bシリーズ）による照合印影の組合せ160件を学習サンプルとして行なった。

これら学習サンプルについて得られた照合パラメータから、識別率評価を行なうために判別分析法と数量化分析第Ⅱ類<sup>9)</sup>を用いて真偽の判定を行なった。数量化分析第Ⅱ類の基本的な考え方は判別分析法と同じであるが、前者は数値的データを扱うのに対して、後者は質的データ（カテゴリカル・データ）を扱うものである。ここで問題としている照合パラメータの数値そのものは、捺印の仕方、前処理等の影響によって、同一印鑑による印影の場合でも微小な変動を伴う。そこで連続変量としての照合パラメータを適当な区間にカテゴリー化して、識別することも有意義であると考えられる。以上の考えから、判別分析法と併せて数量化分析第Ⅱ類も分析方法の1つとして採用した。照合パラメータのカテゴリー数は、各パラメータの値の分布に応じて適当に5～10に設定して判別を行なった。

### 4. 実験結果

前節で述べた学習サンプルについて、同種・異種の判別を行なった結果を表1に示す。

まず2つの判別方法を比較してみると、数量化分析第Ⅱ類による結果が判別分析法に比べて誤り率が低くなっている。このことから、照合パラメータのカテゴリー化の際のカテゴリーの境界値やカテゴリー数の設定方法等の問題点もあるが、有用な判別方法の1つと考えられる。

次にここで採用した6個の照合パラメータの判別に対する効果を評価するために、数量化分析第Ⅱ類において計算した偏相関係数の値を表2に示す。この結果をみると、平均半径の偏差の偏相関係数の値が他に比べて非常に大きくなっている。これはA Bシリーズの印鑑がA Aシリーズの登録印影を原版として、全く別の印材を用いて別の自動印鑑製造機から作られたものであるため、印材の径がわずかに異なるためであると考えられる。

表1 学習サンプルの識別結果

分析方法	誤りの種類	誤り率 (同種160組, 異種160組)
判別分析	同→異	6/160=3.75%
	異→同	6/160=3.75%
	総合	12/320=3.75%
数量化分析第Ⅱ類	同→異	6/160=3.75%
	異→同	2/160=1.25%
	総合	8/320=2.50%

表2 照合パラメータの偏相関係数  
(数量化分析第Ⅱ類)

照合パラメータの種類	偏相関係数
特徴点对係数	0.301
平均半径の偏差	0.900
マッチング率	0.154
特徴点座標の平均偏差	0.206
方向係数の平均偏差	0.148
線幅の平均偏差	0.209

以上のことから、実際に識別関数を決定する際には、照合対象の条件を十分分析した上で、学習サンプルを選定する必要がある。

### 5. むすび

非常に類似した20個の印鑑を用いて照合実験を行ない、2つの分析法で真偽の判定を行なった結果、数量化分析第Ⅱ類では、総合誤り率2.50%と比較的良好な結果が得られた。しかし、この種の照合システムの実用化を考えた場合、その誤り率は最大でも0.1%程度でなければならないと言われており<sup>9)</sup>、今後さらに多くのサンプルについて実験を行なうと共に、誤り率を低下させることを考えねばならない。

そのためには、今回用いた“山本”姓以外にさらに文字線構造の複雑な印影や、外枠の形が楕円や矩形のもの

についても実験を行なう必要がある。また、特徴抽出の際に用いた対角走査法では、1つの印影当り抽出される特徴点組の数が8~14と少数であり、捺印時の局所的な条件変動が直接真偽判定に影響すると考えられるので、さらに走査線を増加した、多重走査法を現在検討中である。

最後に、本研究に関してプログラム開発等、多大な協力をしてくれた卒研究生、疋田 浩一君（現、長岡技科大生）に深く感謝します。

#### 文 献

- (1) 三重野：“重ね合せによる印鑑の鑑定実験”，情報処理, 6, 3, pp. 205~211, (1975)
- (2) 田中, 相賀：“印影の自動照合”，情報処理学会第19回全国大会, 5 F-3, (1978)
- (3) 金子, 釜江：“凶心に関する周辺密度の相関を利用した印影パターンの位置合せ法”，信学技報, 1 E 81-13, (1981)
- (4) 上田, 中村：“局所情報を用いた印影パターンの照合実験”，情報処理学会第21回全国大会, 7 H-11, (1980)
- (5) 河口：“多変量解析入門Ⅱ”(数学ライブラリー46), 森北出版, (1979)
- (6) 白井：“個人の識別技術”，計測と制御, 20, 1, (1981)

# Carrier Mobilities and Breakdown in Halogen Doped Polymers

京兼, 原田, 岩川, 吉野, 犬石

J. KYOKANE, S. HARADA<sup>a)</sup>, S. IWAKAWA<sup>b)</sup>,  
K. YOSHINO<sup>c)</sup> and Y. INUISHI<sup>c)</sup>

Carrier mobilities in polyethylene (PE) and polystyrene (PS) doped with halogens such as iodine or bromine, were studied using a short electron signals induced by the electron bombardment in PE and PS increase with doping of halogens but the former is more affected.

A logarithmic plot (Scher-Montroll plot) of the induced current vs. time gives a Knee at a time  $T_n$ , which is interpreted as the transit time of the carrier front between electrodes. Hole and electron mobilities in  $\text{Br}_2$  doped PE are about  $2 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  and  $1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , respectively, at room temperature, which are higher than those of un-doped PE by more than two orders of magnitude. The activation energy of the mobilities also decreases from  $0.33 \pm 0.01 \text{eV}$  for both electron and hole in un-doped PE to  $0.27 \pm 0.01 \text{eV}$  in doped PE. Similar effects are also observed in PS. Although hole mobility is much smaller than electron mobility in un-doped PS, these two become comparable after halogen doping. The electric breakdown strength of PE (about 6 MV/cm at room temperature) decreases after the doping of halogen (about 2.5 MV/cm in  $\text{I}_2$  doped PE at room temperature) and becomes temperature insensitive between  $10^\circ\text{C}$  and  $60^\circ\text{C}$ .

## 1. Introduction

Although the electrical conductivity of  $\text{I}_2$  (iodine) doped polyethylene (PE) is much higher than that of un-doped PE<sup>1)2)</sup>, the detailed mechanism of this effect is not fully understood until now. Davies<sup>3)</sup> reported that the mobility estimated by the surface charge decay method in  $\text{I}_2$  doped PE (about  $10^{-7} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$  at about  $40^\circ\text{C}$ ) is larger than that of un-doped PE. The activation energy of mobility was also estimated to be about  $0.85 \text{eV}$ . As is well-known, however, even in the un-doped PE the mobility value is dependent on the experimental procedures. Generally the surface charge decay method gives much smaller mobility than that obtained by the time of flight method<sup>3)~5)</sup>. In this paper, the experimental results on the mobility

measurement in halogen doped PE and PS by the time of flight method using a short electron beam pulse and the electric breakdown characteristics will be reported.

## 2. Experimental

Commercial grade low density polyethylene (LDPE) (trade name Yukalon and Showlex), high density polyethylene (HDPE) (trade name Hizex and Showlex), and Polystyrene (PS) (trade name styron) films of various thickness were used as specimens.

After washing in ethyl-alcohol, the sample was put in vacuum and then exposed to either  $\text{Br}_2$  or  $\text{I}_2$  at  $25^\circ\text{C}$  for about 30 hours. The amount of dopant was roughly estimated to be about 3~15% by comparing the weight of the sample before and

---

The contents of this paper was reported to the J. Appl. Phys. **51** (5) 2714 (1980)

a) Present address: Matsushita Electric Co. Ltd.

b) Present address: Sharp Electric Co. Ltd.

c) Faculty of engineering, Osaka University

after doping. Gold electrodes of 5 mm $\phi$  in diameter were vacuum deposited on both sides of the specimens.

The apparatus and the procedure of the time of flight method were already reported in our previous papers<sup>(4)(5)</sup>. The specimens were mounted between the electrode system with dc bias-voltage and the integrated charge signal  $Q = \int i dt$ , induced in the sample by the bombardment of a single shot of pulsed electron beam, was observed with the apparatus similar to that described in our previous papers<sup>(4)(5)</sup>. The energy of the bombarding electrons was between 8 and 15 KeV and, as a consequence, the generation of charge carriers occurs within a penetration depth of 1~3 $\mu$ m from the top electrode surface. The carriers that have the same polarity as the bombarding-side electrode will drift into the sample, owing to the presence of the dc bias field, until being trapped in the sample, after a life time  $\tau$ , or absorbed into the counter electrode. This carrier drift produces the induced charge  $Q$  in the outside circuit. Both electron and hole signals can be measured by changing polarity of the applied bias voltage. The charge signal was differentiated graphically with respect to time to obtain the current signal. The analysis of the induced current was done by a logarithmic plot (Scher-Montroll plot)<sup>(6)</sup> or induced current  $i$  versus time  $t$  and the mobility was estimated from a knee that appeared in this plot at

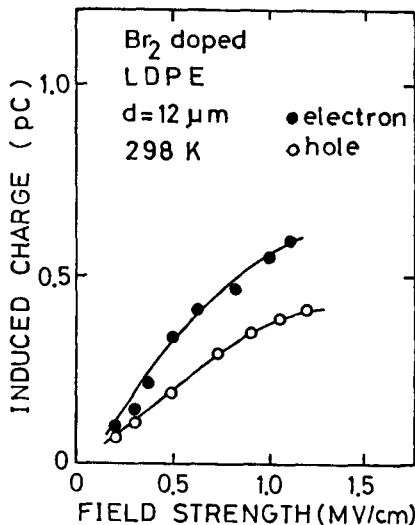


Fig. 1 Electric field dependence of electron beam induced charge in Br<sub>2</sub> doped LDPE.

time  $T_r$  under the application of voltage  $V$  across electrode distance  $d$  with the simple formula of  $\mu = d^2 / V \cdot T_r$ .

### 3. Results and discussion

Figure 1 shows the relation between the magnitude of the slow component of the collected charge until 100 msec after the irradiation of the short electron beam pulse and the bias field  $E$  (Hecht curve) for both electrons and holes in Br<sub>2</sub> doped PE at 298K. Contrary to the un-doped PE in which the fast component of the induced charge is comparable with slow component in magnitude<sup>(5)</sup>, in halogen doped PE only the slow components of the induced hole and electron signals which are considered to be due to the carrier migration in the amorphous part are enhanced strongly. This fact seems to indicate that the halogen molecules mainly enter into the amorphous part of PE and influence on the carrier transport in the part. In PS the increased amount of collected charge after doping was not so remarkable compared with the case of PE.

Figure 2 shows example of the Scher-Montroll plot of the induced current in Br<sub>2</sub> doped PE. Similar plots were also obtained in halogen doped PS. The time at the knee  $T_r$  in the Scher-Montroll

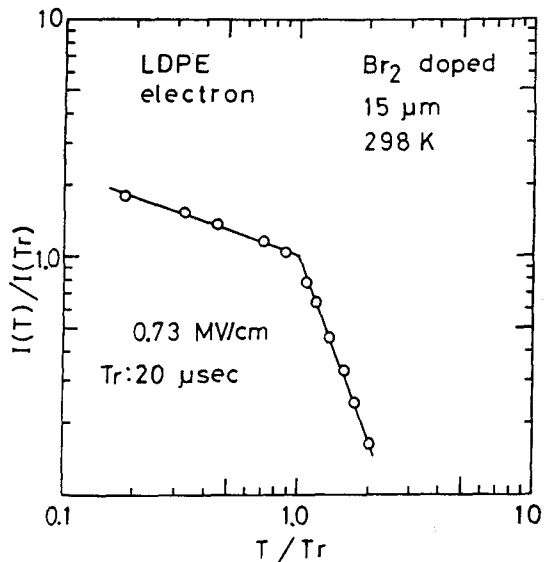


Fig. 2 An example of normalized Scher-Montroll plot of electron beam induced current in Br<sub>2</sub> doped PE.

plot of the electron beam induced current after the electron beam bombardment is proportional to the electrode distance  $d$  and the inverse of the electric field  $E$  as shown in Figs. 3 and 4, for example, which supports the interpretation  $T_r$  as the transit time of carrier front between electrodes. It looks from the data as if the values of  $\alpha$  in the theory, related to the slopes of the current-vs-time plot, have been made larger by doping. However, this change of  $\alpha$  was not large enough to discuss quantitatively.

From  $T_r$ , electron and hole mobilities in  $\text{Br}_2$  doped PE are estimated to be  $2 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{Vsec}$  and  $1 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{Vsec}$ , respectively, at the room temperature

(298K). These values are larger by about two orders of magnitude than those of un-doped PE even at higher temperatures (343K) ( $5.6 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{Vsec}$  and  $3.2 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{Vsec}$  for electron and hole, respectively) and independent of applied field up to 1 MV/cm as shown in Fig. 5. It should be noted that the hole mobility is larger than electron mobility in doped EP contrary to the case of un-doped PE in which the former is smaller than the later.

Both electron and hole mobilities of the  $\text{Br}_2$  doped PE increase with increasing temperature with the activation energies of 0.28 eV and 0.26 eV, respectively, as shown in Fig. 6, which are smaller those of un-doped PE shown in Fig. 7

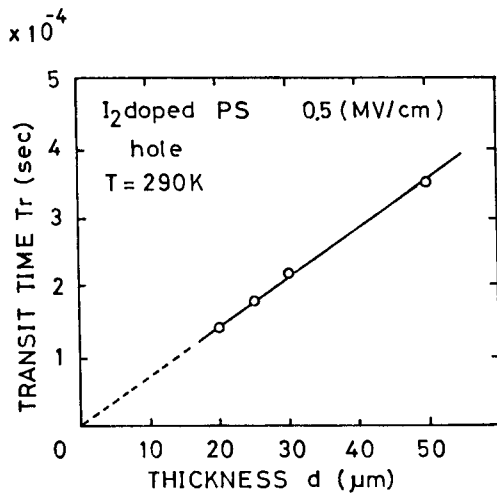


Fig. 3 Dependence of the transit time  $T_r$  on the sample thickness  $d$  in  $\text{I}_2$  doped PS.

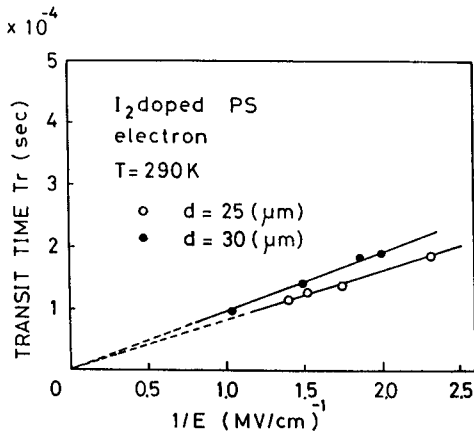


Fig. 4 Dependence of the transit time  $T_r$  on the applied field  $E$  in  $\text{I}_2$  doped PS.

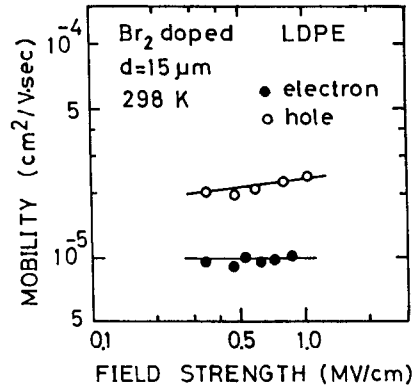


Fig. 5 Electric field dependences of electron and hole mobilities in  $\text{Br}_2$  doped LDPE at 298K.

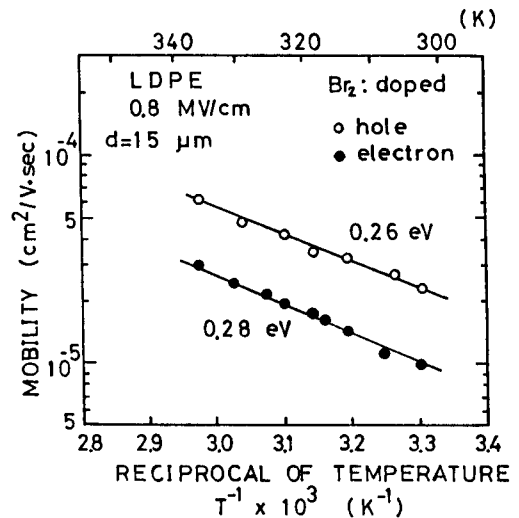


Fig. 6 Temperature dependences of electron and hole mobilities in  $\text{Br}_2$  doped LDPE.

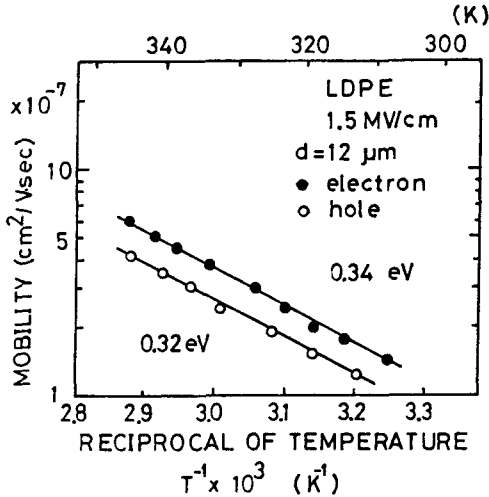


Fig. 7 Temperature dependences of electron and hole mobilities in un-doped LDPE.

(0.34 eV and 0.32 eV for electron and hole, respectively). The pre-exponential factor  $\mu_0 [\mu = \mu_0 \exp(-E_a/KT)]$  of electron and hole mobilities are  $0.45 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  and  $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  respectively, in halogen doped PE, and  $0.1 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  and  $0.04 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  in original un-doped PE, respectively. The knee time  $T_r$  in the Scher-Montroll plot corresponds to the arrival of charge front at the counter electrode. Therefore the mobilities thus obtained also correspond to those of the moving carrier front.

Davies also estimated carrier mobility in  $\text{I}_2$  doped PE by surface charge decay method<sup>19</sup> to be two orders of magnitude smaller than that of our value without separating electron and hole mobilities. The difference of carrier mobilities estimated by the time of flight method and the surface charge decay method can also be interpreted as follows: (1) In the case of second method fairly long waiting time, which is necessary to inject carrier through barrier into bulk from the surface, is apparently included in the evaluation of the decay time<sup>19</sup>, and/or (2) the mobility estimated by the first method is that of moving front and mobility of much slower carriers detrapped from deeper traps is evaluated by the second method.

The increase of induced charge  $Q$  with halogen doping in Fig. 1 can be explained either by (1) the increase of quantum efficiency of carrier generation by electron bombardment with halogen

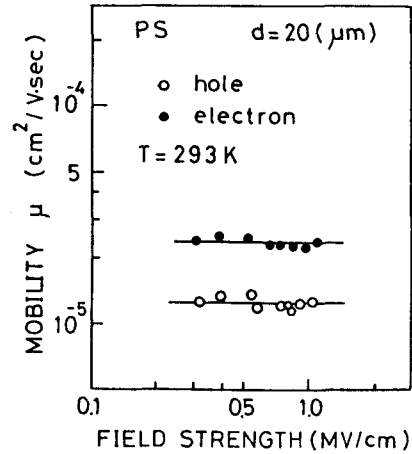


Fig. 8 Electric field dependences of electron and hole mobilities in un-doped PS at 298K.

or (2) increase of carrier numbers which arrive to the counter electrode until the time of evaluation of the collected charge (100 msec after bombardment), due to the increase of carrier mobilities.

In un-doped PS, the electron mobility ( $2.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ) is larger than hole mobility ( $1.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ) as shown in Fig. 8. However, by the halogen doping the increase of mobility is much more remarkable for hole ( $2.9 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ) compared with electron ( $3.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ), resulting in the comparable value after doping as shown in Fig. 9. The activation energy of mobility in PS decreased slightly by halogen doping. The pre-exponential factors of mobility  $\mu_0$  of electron ( $145 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ) and hole ( $40 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ ) slightly increased after halogen doping in PS (in  $\text{I}_2$  doped

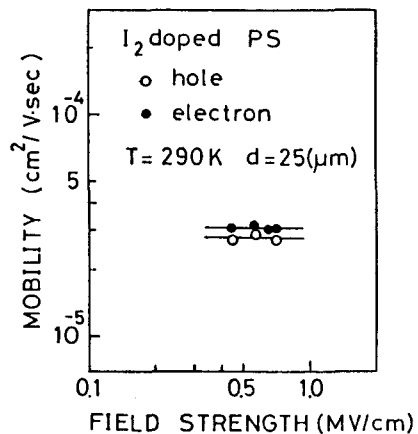


Fig. 9 Electric field dependences of electron and hole mobilities in  $\text{I}_2$  doped PS at 290K.

PS  $180 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  for electron and  $60 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  for hole).

The role of doped halogen atoms in electron transport in polymer is not completely understood following simple speculation may be possible at this stage. The halogen atoms with large electron affinity is known to make charge-transfer complex with organic molecules, which will result in the increase of the hole concentration under dark condition. Therefore the trap levels for hole may be partly filled by this increased hole density and the concentration of the trapping site effective for the generated hole by electron bombardment may be efficiently decreased, resulting in the increase of hole mobility. Most of halogen atoms should be located in the amorphous part of polymer as already mentioned. The fact that not only the hole mobility but also electron mobility increase with halogen doping, suggests that the halogen atoms with large polarizability in the amorphous parts may help to bridge the carrier transport for both electron and hole between crystalline parts in which both electron and hole mobilities are larger than those in the amorphous part. Overlapping of the electronic wave function in the amorphous part of PE is considered to be much smaller compared with that of PS with electron system, resulting in the smaller mobility in PE compared with PS before doping. Therefore the effect of halogen atoms in the amorphous part of PE should be more effective than the case of PS in which considerable overlapping of electronic wave function should already exist before doping.

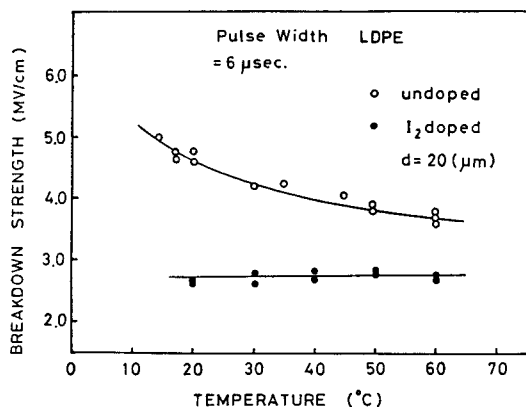


Fig. 10 Temperature dependence of breakdown strength of un-doped and  $\text{I}_2$  doped LDPE.

Dielectric breakdown strength of halogen doped LDPE (around  $2.5 \text{ MV/cm}$  at room temperature with voltage pulse of  $6 \mu\text{sec}$  wide is much lower than that of undoped PE ( $6 \text{ MV/cm}$ ), possibly due to the increased carrier mobility in doped PE. The breakdown strength of  $\text{I}_2$  doped LDPE is not sensitive to the temperature between  $10^\circ\text{C}$  and  $60^\circ\text{C}$ , but that of un-doped PE decreases with increasing temperature in this temperature range as shown in Fig. 10. The temperature dependence of the breakdown strength of un-doped PE has been considered to be due to the characteristic of the amorphous part<sup>(9)</sup>. The temperature independent and low breakdown strength of doped PE can be explained by the large electron mobility and the decrease of the role of the amorphous part by the bridge formation with halogen atoms. The breakdown characteristics of PS were not strongly influenced with halogen doping contrary to PE. Detailed experiment on the mechanism of these effects are now in progress.

#### 4. Summary

(1) Carrier mobilities in PE and PS doped with halogens were studied using a short pulsed electron beam. Hole and electron mobilities in  $\text{Br}_2$  doped PE are about  $2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$  and  $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ , respectively, at room temperature, which are higher than those of un-doped PE by more than two orders of magnitude. The activation energy of the mobilities also decreases by doping.

(2) Hole mobility becomes larger than electron mobility in doped PE contrary to the un-doped PE.

(3) Although hole mobility is smaller than electron mobility in un-doped PS, these two become comparable after halogen doping.

(4) The electric breakdown strength of PE decreases after the doping of halogen and becomes temperature insensitiye between 10 and  $60^\circ\text{C}$ .

These results are explained by the influence of halogen atoms in the amorphous part on the carrier migration.

#### Acknowledgements

The authors are also indebted to Y. Yamamoto, N. Oka and K. Nagahama for their assistance in experiments.

**References**

- 1) D. K. Davies, J. Phys. D: Apply. Phys. **5**(1972) 162.
- 2) T. J. Lewis and D. M. Taylor, *ibid.* **5** (1972) 1664.
- 3) K. Hayashi, K. Yoshino and Y. Inuishi, Jpn. J. Appl. Phys. **2** (1973) 1089.
- 4) K. Hayashi, K. Yoshino and Y. Inuishi, *ibid.* **14** (1975) 39.
- 5) K. Yoshino, J. Kyokane, T. Nishitani and Y. Inuishi, J. Appl. Phys. **49** (1978) 4849.
- 6) H. Scher and E. W. Montroll, Phys. Rev. **B12** (1975) 2455.
- 7) T. Sonnonstine and M. M. Perlman, J. Appl. Phys. **46** (1975) 3975.
- 8) K. Amakawa, T. Moriuchi, T. Yoshida and Y. Inuishi, J. Inst. Elect. Eng. Jpn. **83** (1964) 129 (in Japanese)
- 9) Y. Inuishi, K. Yoshino, S. Harada and J. Kyokane, Proc. 1978 IEEE Symposium (Philadelphia).



# キラルなヘテロ環状化合物の製造と応用 (第1報)

テトラヒドロフルフリルアミンの光学分割

石 垣 昭

Preparation and Application of Chiral Heterocyclic Compounds. 1.

Optical Resolution of Tetrahydrofurfurylamine

Akira ISHIGAKI

Optical resolution of tetrahydrofurfurylamine has been investigated to prepare novel chiral heterocyclic agents effective for the syntheses of the stereospecific chiral compounds. Racemic tetrahydrofurfurylamine has been prepared by ammonolytic reduction of furfural. (±)-Tetrahydrofurfurylamine has been easily resolved into its diastereomeric D-(+)-camphor-10-sulfonates by fractional crystallization from ethyl acetate.

## 1. 結 言

ヘテロ環状化合物についての研究と応用については、すでに多数の報告がなされている。しかし、キラルなヘテロ環状化合物の合成法ならびにその技術的応用についての研究は少ない。

キラルなヘテロ環状化合物として最近注目を集めている化合物として、2,5-ジメチルピロリジン〔1〕、L-プロリン〔2〕等の含窒素五員環化合物がある。これらの誘導体は五員環の剛直な分子構造を母核とし、環内の窒素原子の官能性と $\alpha$ 位置換基のキラリティーによってキラルな反応環境を形成し、不斉合成反応への応用に注目すべき成果を挙げつつある<sup>1)2)</sup>。特に、〔2〕は天然アミノ酸として純品が得られるため、 $\alpha$ 位の置換基を変化させて、この五員環を単位として複数を組み合わせ、より高度な不斉選択性を示す化合物が開発されつつある<sup>2)</sup>。

しかし、〔1〕は trans 型であるため合成が困難であり、また〔2〕もアミノ酸として純品が得やすいとはいえ、工業用薬品としては高価な部類に属し、 $\alpha$ 位のカルボキシル基を他の官能基に変化させることもそれほど簡単ではない。これらを工業的な規模で活用するためには余程付加価値の高い製品に利用するのでなければ利用価

値は少ない。しかし、不斉選択的合成反応を開発することは、今後のわが国の省資源、高付加価値をめざす精密化学工業製品の開発の上からも極めて重要な研究課題である。このためにはより安価なキラルな構造を持つヘテロ環状化合物を開発する必要がある。

本研究は五員環ヘテロ環状化合物である $\alpha$ 置換テトラヒドロフラン類が植物資源中のペントサンより安価に得られる工業用フルフラールから容易に合成でき、しかも $\alpha$ 位の不斉炭素によるキラリティーに着目し、これらの不斉選択的合成反応への応用の可能性を研究しようとするものである。本報ではフルフラールより比較的容易に合成できるテトラヒドロフルフリルアミン〔3〕(以下、**THFAM**と略称する。)の合成法と光学分割法について検討した結果について報告する。**THFAM**の光学分割については、これまで報告された例はない。

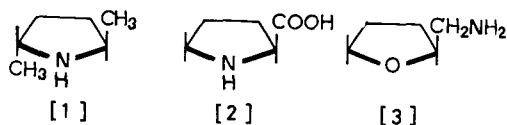
## 2. 実験方法

使用した試薬はすべて市販品を使用した。フルフラールは使用直前に減圧蒸留してから使用したが、それ以外の試薬は特に必要な場合以外はそのまま使用した。

赤外吸収スペクトルは日本分光 IR-G型を使用した。旋光度の測定は島津 Laurent 型 LP-200を使用した。

**THFAM**の光学分割は常法に従い、キラルな酸性物質を使用し、ジアステレオマー塩として分割する方法で検討した。キラルな酸は市販品として入手可能な試薬を使用した。

**THFAM**の合成は常法に従い、100ml 容量のオート



クレープを用い加圧下に行なった。W-1 ラネーニッケルはラネー合金より調製したが、酸化白金触媒は市販品を用いた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 THFAM の合成法

THFAM は現在工業用原料としての利用価値は少なく、一部市販されているが、合成法についての詳細な報告はなされていない。合成法としては各種の方法が考えられるが本報では Fig. 1 に示すような合成法について検討した。これ以外に、フルフラールから工業的に多量に製造された実績を持つテトラヒドロフルフリルアルコールを原料とし、ハロゲン化テトラヒドロフルフリルに導いて、Gabriel 合成法により THFAM を合成する方法も試みたが、揮発性液体を得たのみで目的物は得られなかった。

##### (i) フルフリルアミン [5] を経由する合成法

フルフラール [4] よりフルフリルアミン [5] を合成する方法は既に報告されており<sup>3)</sup>、[4] をアンモニアを含むエタノール中でラネーニッケル触媒を用い、70°C で加圧還元することにより収率66~69%で [5] が得られるとされている。著者もこの方法に準じて実験を行った結果、ほぼ同じ結果を得た。この場合、W-1 触媒を調製して使用した。

[5] より目的物である THFAM を合成する条件については、これまでに詳細に検討された例は少ない。この反応条件について検討した結果、比較的好収率で THFAM が得られる標準的な実験例を以下に示す。

[5] の 9.7 g (0.2 モル) をエタノール 50 ml に溶解し、これに W-1 ラネーニッケル触媒 1 g を加えて、100 ml 容量のオートクレープ中に封入し、120 気圧の水素ガスを充填して加圧下かきまぜながら加温する。水素吸収は 100°C 附近より始まるが、完全に水素を吸収させるためには 180°C 附近まで温度を上昇させる必要がある。余り温度を上げ過ぎると収率は低下する。これは

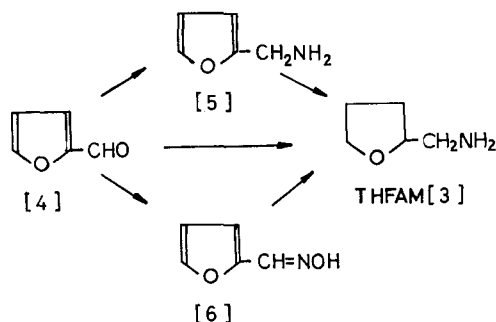


Fig. 1 General scheme of THFAM preparation

テトラヒドロフラン環の還元的開裂をおこすためと考えられる。

反応混合物は触媒を分別した後、減圧下にエタノールを留去し、さらに Vigreux カラムを用いて分留し、沸点 53°C/18mmHg の留分を採取した。収量 5.4 g, (収率53%)  $n_D^{20}$  1.4560, 塩酸塩の融点 98°C, (標品98~99°C), IR (液膜) 3,400 (m), 2,750 (s), 2,900 (s), 1,580 (m), 1,450 (m), 1,360 (w), 1,053 (s), 880 (s) 何れも標品に一致し、原料フルフリルアミンによるフラン環の特性吸収は認められなかった。これより純品の THFAM と考えた。

フルフラールを出発原料としての最終生成物の収率は40%以下であり、次にのべるフルフラールよりの直接合成法の方が優っている。

##### (ii) フルフラール [4] よりの直接合成法

[4] より THFAM をアンモニア存在下に高圧還元する直接合成法については既に報告がある<sup>4)</sup>。これにもとづいて行った実験結果について標準的な実験例を以下に示す。

エタノール 150ml に 48g (0.5 モル) の [1] を溶解し、-10°C 附近に冷却しながら乾燥アンモニアガスを飽和させる。この 40ml と W-1 ラネーニッケルの 1 g を 100ml のオートクレープに封入し、120 気圧以上の水素ガスを充填しかきまぜながら温度を上げて反応させる。反応は 40°C 前後から水素吸収が始まるが、これは [5] の生成が始まるためと思われる。

THFAM の収率を高め、反応中間生成物の [5] をできるだけなくすためには反応温度を最終的に 150°C~180°C まで上昇させて維持する必要がある。反応終了後は前項で示したのと同じ方法で目的物を得た。

この方法の繰返しにより、0.5 モルの [4] より 0.27 モル (収率54%) の THFAM を得た。この収率は [4] を [5] とし、さらにこれを還元する二段階法 (収率40%以下) に比較して向上している。この収率は触媒ラネーニッケルの調製法によりさらに向上することが期待される。

##### (iii) フルフラールオキシム [6] を経由する合成法

[4] より THFAM を直接合成する前項の方法は収率からみて比較的良好な方法であるが、アンモニアを事前に飽和させるという操作があり、操作が面倒である。この点を改良するためにアミノ基の窒素導入のため、まずオキシム [6] とし、これを加圧還元して目的物を得ることを試みた。

[6] の合成法は以下のように行った。96 g (1 モル) の [4] と 69 g (1 モル) の塩酸ヒドロキシアミンを水

500ml に懸濁し、これに 40 g の水酸化ナトリウムを溶解しかきまぜる。溶液を均一とするため 150 ml のエタノールを加える。液は反応により発熱するが、これを一夜放置した後、できるだけ減圧下にエタノールを略去してからエーテルで抽出する。エーテル層を水酸化ナトリウム溶液で処理して生成物のオキシムを水層に移行させ、これに塩化アンモニウムを加えてオキシムを遊離させエーテルで抽出する。無水硫酸ナトリウムでエーテル層を乾燥した後、エーテルを留去し、残留分を減圧下に蒸留すると 75 g の留分が結晶として得られる。沸点  $80\sim 85^{\circ}\text{C}/20\text{ mmHg}$ 、融点  $82^{\circ}\text{C}$  (syn オキシムに一致)、収率 68% であった。

〔6〕の水素加圧還元触媒としては酸化白金触媒を用いた。ラネーニッケルを用いて還元しても目的物は得られず、フランカルボン酸アミドに転位する。

反応の結果、高温、高圧下の反応ではテトラヒドロフラン環の還元的開裂をおこし、収率が 50% 以下であり、また、低温での反応では反応に長時間を要し、未反応が多くなることから、〔6〕を用いる **THFAM** の合成法は不適であることがわかった。

#### (iv) Gabriel 合成法による合成法

試薬の臭化テトラヒドロモフリルを使用しフタルイミドカリウム塩とエタール中反応させ **THFAM** を合成する方法を試みたが、メチレンテトラヒドロフランと推定される揮発性脱離反応生物を得るにとどまった。

### 3.2 **THFAM** の光学分割

**THFAM** の光学分割については、これまで報告された例がなく、適当な分割剤を見出すことから検討を開始した。

分割剤として L-リンゴ酸、D-酒石酸および D-ショウノウ-10-スルホン酸の 3 種について、エタノールを溶媒として検討した結果、**THFAM** との等モル混合物について生成するジアステレオマー塩として、L-リンゴ酸塩は粘性液状となり分離するが結晶せず、D-酒石酸塩も結晶化が困難であることが判明した。これに対して、D-ショウノウ-10-スルホン酸 (以下 **CSA** と略称) とのジアステレオマー塩はその一方がエタノールより柱状結晶として析出し光学分割が可能であることが判明した。この方法により得られる 2 種のジアステレオマー塩である (-)-**THFAM**-(+)-**CSA** 塩と (+)-**THFAM**-(+)-**CSA** 塩は結晶として得られ、その赤外吸収スペクトルは全く異っており、判別が可能である。Fig. 2 に、その指紋領域の吸収スペクトルを比較して示した。また、この結晶をアルカリ性として **THFAM** の対掌体を遊離させ、エーテルで抽出して各対掌体を分離す

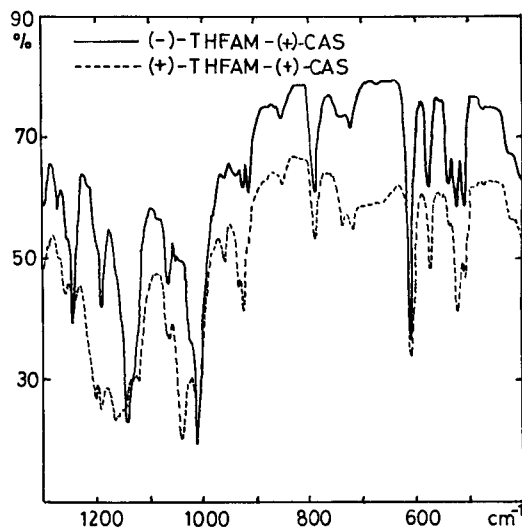


Fig. 2 IR spectra of the diastereomeric salts in the finger print region.

ることができた。以下にこの分割剤を用いる具体的な実験例を記載する。

#### (i) (±)-**THFAM**-(+)-**CSA** (1 : 1) での分離

**THFAM** のラセミ体 (合成品) 97 g (0.96 モル) と (+)-**CSA** 223 g (0.96 モル) をエタールに溶解し、均一溶液となるまでかきまぜながら加温し、放冷したのち、冷蔵庫内に静置する。析出した結晶を汱別し、エタノールで 3 回再結晶を繰返す。無色の粉末状結晶 15 g を得る。 $[\alpha]_{\text{D}}^{25} + 18.0^{\circ}$  (融点  $159\sim 160^{\circ}\text{C}$ )。この結晶を過剰のアルカリで分解しエーテルで抽出したのち、蒸留すると無色の液体 3.6 g を得る。沸点  $153\sim 155^{\circ}\text{C}$   $n_{\text{D}}^{20} 1.4560$ ,  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} - 7.0^{\circ}$  (エタノール)。この液体の IR はラセミ **THFAM** に一致し、(-)-**THFAM** であることを確認した。(-)-**THFAM** としての収率 22.5 %。

難溶性の (-)-**THFAM**-(+)-**CSA** の粗結晶を汱別した母液は減圧下に溶媒を留去し、結晶性の残留分を得る。この残分を酢酸メチルを用いて 3 回再結晶を繰返し、40 g の無色の結晶を得た。 $[\alpha]_{\text{D}}^{25} + 47.0^{\circ}$  (融点  $124\sim 125^{\circ}\text{C}$ )。この結晶を過剰のアルカリで分解し、エーテルで抽出したのち、蒸留すると無色の液体 10.9 g を得る。沸点、屈折率、IR とともに **THFAM** に一致し、 $[\alpha]_{\text{D}}^{25} + 7.0^{\circ}$  (エタノール) より (+)-**THFAM** と確認した。収率 22.5 %。

#### (ii) (±)-**THFAM**-(+)-**CSA** (2 : 1) での分離

前項にエタノールを溶媒とする **THFAM** と **CSA** の等モル混合物よりの2種のジアステレオマー塩の分別結晶法を示したが、この方法では各ジアステレオマー塩の収率が低い難点がある。これは各塩がエタノールに比較的好く溶解するためである。これを解決すべく各種の再結晶溶媒を検討した結果、酢酸エチルにジアステレオマー塩が難溶性であることを見出した。しかし、難溶性であるために2種のジアステレオマー塩の再結晶による分別が逆に困難になる難点がある。ただ、(-)-**THFAM** と (+)-**CSA** の塩の方がより難溶性であることが傾向として認められた。そこで **THFAM** のラセミ体2モルに対し、(+)-**CSA** 1モルを加え酢酸エチルより析出させればより難溶性のジアステレオマー塩のみを比較的純度よく好収率で分離できると期待される。この方法に従って行った実験結果を次に示す。

(±)-**THFAM** (合成品) 20.2g (0.2モル) と (+)-**CSA** 23.2g (0.1モル) を 50 ml の酢酸エチルに混合し、加熱して均一な溶液とする。これを放冷すると、17g の結晶が析出する。この母液を冷蔵庫中に一夜放置するとさらに 4g、合計 21g (収率 62.5%) の結晶が得られる。融点 150~152°C [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>20</sup> + 20.0° (エタノール)。また IR より主成分は (-)-**THFAM**-(+)-**CSA** 塩であることが確認された。この一部をとりエタノールより再結晶すると前項の3回再結晶後の塩よりもさらに高純度の結晶、融点 161.5°C [ $\alpha$ ]<sub>D</sub><sup>20</sup> + 17.5° が、簡単に調製できることが判明した。

この方法は (+)-**THFAM**-(+)-**CSA** 塩の分離にはあまり適当ではないが、(-)-**THFAM**-(+)-**CSA** 塩の分離法としては極めて簡単に純品を比較的収率よく得る方法として適している。

#### 4. 結 言

キラルなテトラヒドロフラン誘導体として、テトラヒドロフルフリルアルコールが詳細に研究されている<sup>5)6)</sup>。しかし、これ以外の誘導体についての研究は極めて少ない。

本報では塩基性のアミノ基を持つ **THFAM** について光学分割を試み、簡単に収率よく分割するための分割剤と分割方法を確立することに成功した。**THFAM** はテトラヒドロフルフリルアルコールよりもアミノ基を利用して、各種の誘導体に導くことが容易であり、新しい、五員環のキラルなヘテロ環状化合物としての今後の応用面の開拓が期待される。

#### 謝 辞

本研究の遂行にあたり、実験に協力戴いた卒業研究生の田中好紀君(現豊橋技術科学大学)ならびに村山裕幸君(現大日本インキ化学工業K.K.)に感謝します。

#### 文 献

- 1) J. K. Whitesell, and S. W. Felman, *J. Org. Chem.*, **42**, 1663 (1967)
- 2) T. Mukaiyama, K. Soai, T. Sato, H. Shimizu, and K. Suzuki, *J. Am. Chem. Soc.*, **101**, 1455 (1979)
- 3) J. Winans, *J. Am. Chem. Soc.*, **61**, 3566 (1939)
- 4) 八浜, 井本, 住友, 根来, 工化, **63**, 24 (1950)
- 5) M. P. Balfe, M. Irwin, and J. Kenyon, *J. Chem. Soc.*, **1941**, 312.
- 6) D. Gagnaire, and A. Butt, *Bull. Soc. Chim. France*, **1961**, 312.

# 有機ライニング材の試験方法について

井口 高行・奥田 聡\*

## Testing Methods to evaluate the Organic Linings for Corrosion Liquids

Satoshi OKUDA and Takayuki IGUCHI

### Summary

Measurements of electrical properties were applied to the degradation tests of organic linings exposed to solutions. Degradation of linings was related to the electrical properties such as capacitance, resistance and dielectrical loss which were measured by using a alternative current of relatively lower cycles. Further, the occurrence of pinholes on lining panels was detected by the rapid increase in loss tangent.

### 緒 言

厳しい腐食環境から化学装置を保護する手段として、有機ライニングやコーティングは優れた方法であるが、長期間安全に保つためには事前に充分な検討を要する難かしい方法であることもまた確かである。樹脂単体では耐薬品性上何ら問題の無い場合でも、ライニング材として使用すると短時間で損傷を起す場合も多い。下地金属と複合したことによって、劣化の要因が複雑な問題を多く含むからで、樹脂単体ではなく必ずライニング材として試験を行なわなければならない。

ライニングの試験規格として一番よくまとまっているものは NACE-TM-01-74<sup>1)</sup> であって、液体浸漬条件下でのライニング材の性能評価、各種のコーティングの性能比較、スクリーニングなどのために有効である。この方法はライニング材の片面あるいは全面浸漬を行ない、浸漬前後の試料について厚さ、ピンホール、鉛筆硬度、外観変化、ナイフを用いた剝離による接着性を調べることになっている。この規格は実用的に優れているが、欠点があるとすれば一つは試験前後の評価の定量化と、いま一つは試験中の経時変化を常時監視できない点である。前者には Berger の定量化の試みがある<sup>2)</sup>が、ふくれの発生の程度やさびの発生の程度など定量化の困難な問題を含む。後者には例えばピンホールの発生時点でそれを検出できず、試験後のピンホールテストやさびの発生によって間接的に知ることになる。

著者らはこれらの欠点を補うために、電気的な測定を併用することを勧め、ここに有機ライニング材の試験

に電気的方法を用いた場合の結果の表われ方と、その解釈について示し、電気容量および損失の連続的測定を行なうのが適当であることを明らかにした。以前より塗膜では  $\tan \delta$  の測定が行なわれていたし、Leidheiser も劣化機構の研究に応用している<sup>3)</sup>。また Menges らがインピーダンスの変化をライニングの劣化測定に適用した報告がある<sup>4)</sup>。ガラスライニングのように損傷が急激で、浸漬液が下地金属に直接接触するような場合には電気化学的手段による測定が可能であるが、樹脂ライニングの場合には通常電気絶縁性の高い皮膜に液が徐々に浸入した際の電気的特性の変化を測定することになるので、電気化学的方法より、樹脂皮膜の交流特性の変化を測定する方が容易である。ただしこの方法によって樹脂皮膜の電気特性の低下から、樹脂皮膜が劣化を受けたと測定されたからといって、下地金属の劣化に直ちに結びつくかどうかは別問題である点には注意が必要である。

### 1. 実験方法

実験にはエポキシ樹脂 Araldite GY250 100部、硬化剤 HY 830, 850 各30部を混合したものをを用いた。下地

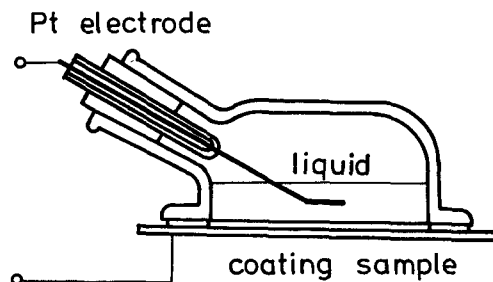


Fig. 1 Testing apparatus

\* 同志社大学工学部化学工学科

軟鋼板は厚さ 3mm のものを酸洗，水洗後，150番以上のディスクペーパーで充分研磨し，さらにアセトン脱脂した。皮膜厚さは本実験の場合約 250 μ である。内径 55mm のガラスセルを用いて Fig.1 のように試料を液と接触させたときの電気的特性の経時変化を周波数が 400 から 100KHz の間で測定した。使用した液は本実験の場合，36% HCl と水 (0.1% NaCl を含む) であった。測定装置を 40°C 恒温槽に入れて測定した。このときの直流表面抵抗は  $10^{14} \Omega$  以上で漏れ電流は無視できる。測定は Fig.2 に示す等価回路の C と  $\tan \delta$  について行なった。

2. 結果および考察

下地金属上の有機皮膜は本来電気絶縁性で比誘電率は 2 から 5 ぐらいのものが多く。この絶縁体に比誘電率約 80 の水を中心とした誘電率の大きい液が浸入したことによる電気容量の増加と，導電性の液が浸入したことによる抵抗の低下を測定するもので，Fig.2(a)のモデルを想定している。キャパシター部を流れる電流  $I_C$  と直流抵抗  $R$  を流れる  $I_R$  には位相差があり，損失角が  $\delta$  である。液が浸入すると  $I_C$  が増加すると同時に，導電性が

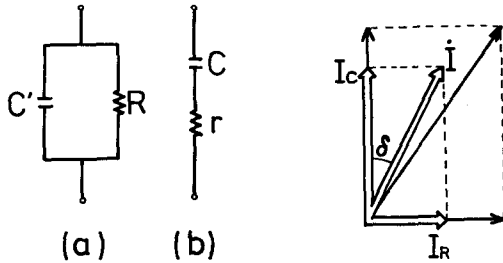


Fig.2 Concept of measurements

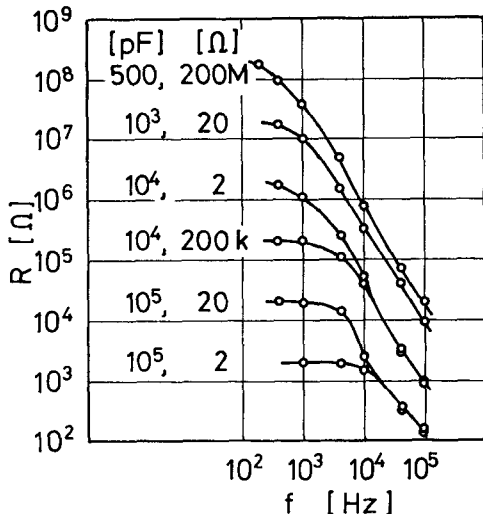


Fig.3 Model change in resistance as a function of frequency

増加し  $I_R$  も増加する。測定周波数を高くすると，エポキシ樹脂の場合  $C'$  自身は少し小さくなるが  $I_C$  は  $\omega C'$  に比例して増加する。損失は有機皮膜の特性として周波数が高くなると増加し，したがって  $I_R$  は増えて直流抵抗は低下する。なお，実際の測定は等価回路の(b)で行ない次式を用いて換算を行なった。

$$C' = C / (1 + \tan^2 \delta) \tag{1}$$

$$R = (1 + \tan^2 \delta) / \omega C \tan \delta \tag{2}$$

$$\dot{Z} = \sqrt{1 + \tan^2 \delta} / \omega C \tag{3}$$

液浸入の過程を手元にあったキャパシタ，抵抗を用いてモデル的に測定すると Fig.3 のようになり，液浸入に伴って上方から下方の曲線に経時的に変化することが予想される。

36% HCl の場合に実際に測定された結果を Figs. 4, 5 に示した。図中の添字は初期値を示す。Fig.4 に示すように浸入した液が水でも塩酸であっても双極子モメントを有しておりその応答性から低い周波数部での容量増加が大きくなっている。損失変化 (Fig.5) も低周波部はエポキシ樹脂自体の損失の少ない領域であるので，液浸入の影響がよく表われている。液浸入にともなう損失の変化は，液浸入による導電性の増加と液浸入による誘電率の増加の比を表わしているのので，液浸入に伴って

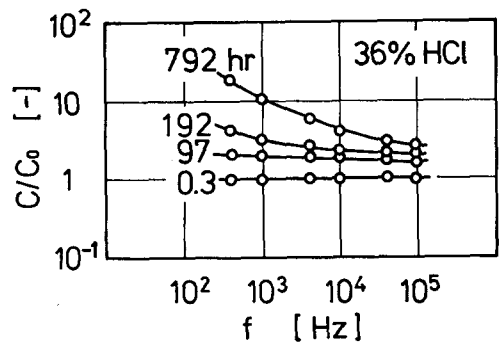


Fig.4 Change in capacitance (Subscript, O, indicates a initial time)

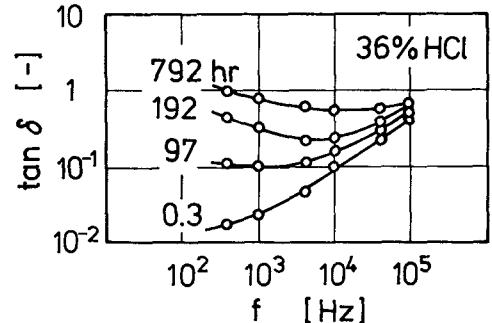


Fig.5 Change in loss tangent

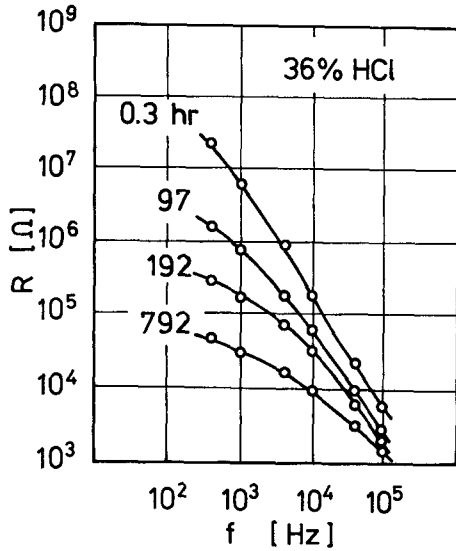


Fig. 6 Change in resistance

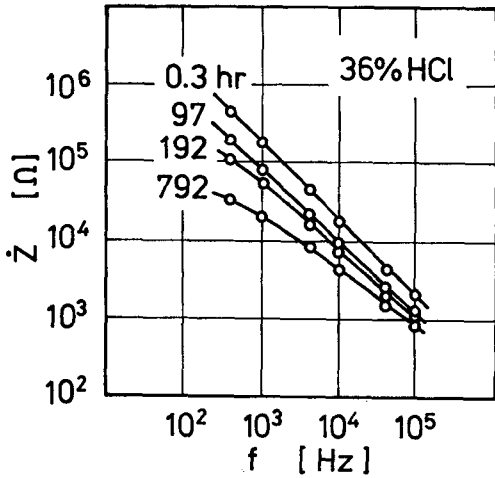


Fig. 7 Change in impedance

必ず増加するとは必ずず、幾分減少する様な場合も有り得る。しかしライニング層が破損するような末期には導電性が急激に増加するので、損失も急激に増加する。この特性を利用するとライニング末期の検出には都合がよいと考えられる。次に Eqs.(2), (3)から計算した抵抗, インピーダンスの結果を Figs. 7, 8に示した。抵抗の結果はモデル的に求めたFig.3と類示の変化をし、低周波部では2, 3桁低下し、液浸入に伴なり電気特性の変化として一番よく表われた。Menges が表わしたと同様のインピーダンス 変化も液浸入の影響を表わしているが、抵抗の低下ほどには顕著ではなかった。その理由は Eq.(3)からわかるように  $C$  の変化と  $\tan \delta$  の変化が相殺される関係にあるからである。また、容量の変化, 抵抗の変化からは液浸入の拡散係数を求めることもできる<sup>5), 6)</sup>。以上のことより交流を用いて有機ライニング材の劣化過程を測定するには 1 KHz ぐらいの低い周波数域を利用し,  $C, \tan \delta, R$  の変化を追跡するのがよい。

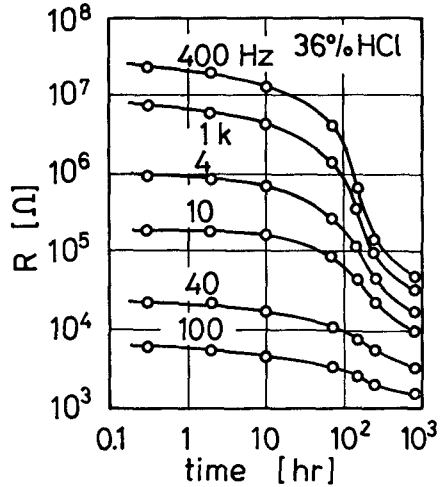


Fig. 8 Time dependence of resistance

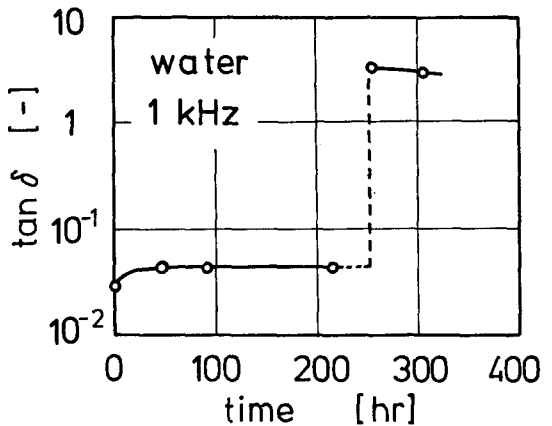
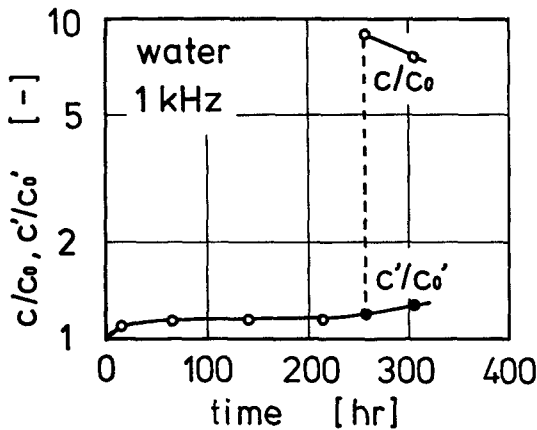


Fig. 9 Change in electrical properties, corresponding to the occurrence of pinhole

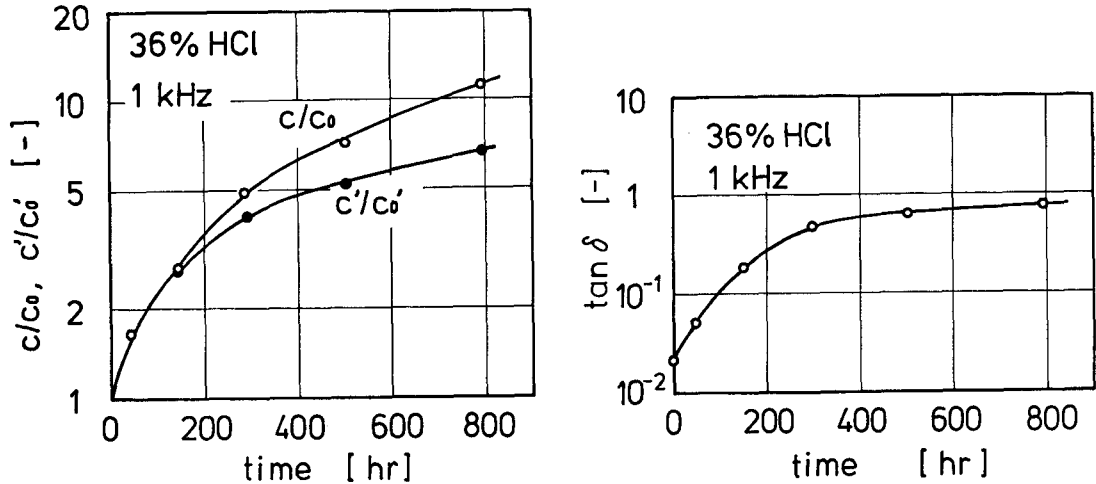


Fig. 10 Change in electrical properties, corresponding to the uniform degradation

なお抵抗の経時変化を Fig. 9 に示した。

次にライニング皮膜にピンホール欠陥が生じた場合、交流法ではどのように測定されるかについて検討しておく必要がある。環境液に水を用い、ライニング皮膜にナイフ刃先を用いて一定深さずつ何度かに分けて小さな切り込みを入れても、刃先が下地に到達するまでは測定値に変化はなく、切り込みが下地にまで達するとインピーダンスブリッジのバランスがとれず測定できない状態になった。したがってナイフ刃先程度の大きな欠陥の場合には損失が大きくなり測定できなくなる。より微細な欠陥の測定例として Fig. 9 のように偶然 214 時間から 258 時間の間に  $C$  と  $\tan \delta$  の測定値に急激な変化がみられた。抵抗が急激に低下しておりピンホールが発生したことは容易に想像できたが、Fig. 2 の等価回路の並列容量  $C'$  を求めると Fig. 9 のようにほとんど変化していないことがわかった。損失は急激に上昇しており、損失変化の要因のうち  $C'$  が変らないのだから誘電率の変化、すなわち樹脂本体の性質の変化ではなく、もう一つの要因である導電性に変化が起ったことになり、ナイフ刃先より充分小さい欠陥を生じたことが結論できた。この時点では肉眼では欠陥は見分けられなかったが、1 年近くの後になって微小黒点を発生し下地が損傷を受けた。なお、樹脂が液によって全面的に劣化する場合には Fig. 10 のように  $C$ ,  $C'$ ,  $\tan \delta$  のいずれもが連続的に増加するのでピンホールを発生した場合とは区別できる。

また、ライニング材の実用性試験の面から重要な先に述べた NACE の片面浸漬試験法と同様の、有機ライニング材の温度勾配下の耐食性試験にも、この電氣的測定を併用できる<sup>7)</sup>。

#### 結 言

有機ライニング皮膜の性能を実験室的に試験する場合、電氣的測定を併用すれば、単なる目視や硬度変化による劣化の観察よりはるかに情報も多く、常時監視でき、かつ定量的である。またピンホールの発生のような局部的な欠陥の発生検出にも有効である。

#### Literature cited

- 1) NACE TM-01-74, "Laboratory Methods for Evaluation of Protective Coatings Used as Lining Materials in Immersion Service"
- 2) Berger, D.M., Chemical Engineering, April 14, 100 (1975)
- 3) Lidheiser, H. Jr., "Corrosion Control by Coatings", Science Press, Princeton (1979)
- 4) Menges, G., W. Schueider, SPE Tech. Paper (ANTEC), 19, 695 (1973)
- 5) 井口, 奥田, 奈良高専研究紀要, 129 (1977)
- 6) 井口, 奥田, 化学工学論文集, 8, 552 (1982)
- 7) 井口, 奥田, 化学工学論文集, 8, 556 (1982)



# チオフェンの電解酸化によるマレイン酸生成\*

泉 生 一 郎 ・ 山 本 績

## Formation of Maleic Acid by Anodic Oxidation of Thiophene\*

Ikuichiro IZUMI, Isao YAMAMOTO

### ABSTRACT

The anodic oxidation of thiophene was studied on a lead dioxide electrode in 1 M sulfuric acid. Voltammetric work with a rotating disc electrode showed that the oxidation was reaction-controlled in the lower potential regions and that it was first order with regard to thiophene and zero order in pH. At higher anodic potentials, oxygen evolution preferentially occurred. When the pH was increased towards neutrality, where lead dioxide might exist in a thermodynamically stable oxidation state, thiophene was difficultly oxidized. It was confirmed that maleic acid was formed with cleavage of the thiophene ring and splitting off of S in the form of SO<sub>2</sub> when thiophene was electrolyzed in 1 M sulfuric acid. The yield of maleic acid was directly proportional to both duration of and current of electrolysis. These results tend to support the mechanism based on electrochemical formation of lead dioxide followed by a chemical reaction of this with thiophene, rather than purely electrochemical mechanisms.

### 1. 緒 言

水溶液中における二酸化鉛電極での有機化合物の電解酸化に関しては、これまで数多くの研究がなされてきている<sup>1),2)</sup>。中でも Kuhn ら<sup>3)</sup>のベンゼンその他の芳香族化合物を扱った研究では、二酸化鉛電極上での有機化合物の電解酸化に対する反応機構を考察するうえで、重要な示唆が与えられている。彼らは、原子状吸着酸素によって芳香環が攻撃されるとする従来の説<sup>4),5)</sup>よりも、むしろ電気化学的に再生される二酸化鉛が、芳香族化合物を化学的に酸化するものとしている。同じく金属アノード酸化物の触媒的反応性については、Ag<sub>2</sub>O<sub>2</sub><sup>6),7)</sup>やMnO<sub>2</sub><sup>8)</sup>などによる低級アルコールの酸化においても報告されているが、電極反応の実際面への応用から見れば、低廉かつ酸素過電圧の高い二酸化鉛電極に特に興味もたれる。

著者らは、水溶液中ではこれまであまり研究がなされていなかったヘテロ芳香環のうち、ベンゼンと類似の物理的および化学的性質をもつ、比較的安定で反応性に乏しいチオフェンの電解酸化を、硫酸溶液中、二酸化鉛電

極を用いて実施した。その結果、チオフェン環が開裂してSO<sub>2</sub>を発生し、マレイン酸が生成することを見出した<sup>9)</sup>。そこで、本研究ではマレイン酸生成に着目して反応機構を検討し、本質的にはKuhn らが提案したのと同様に、電気化学的に再生される二酸化鉛によってチオフェンが酸化されるものと考えることができた。

### 2. 実 験

#### 2.1 回転ディスク電極による定常電流-電位曲線の測定

実験に供したチオフェンおよび他の試薬はすべて市販特級品で、基礎液には1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を用いた。定常法による電流-電位曲線の測定は、白金に二酸化鉛を電着した回転ディスク電極(RDE)を作用極とし、対極として十分大きな表面積をもつ鉛板(5.7×5.6×0.07 cm)を用いて行った。参照電極には飽和カロメル電極(SCE)を用い、二酸化鉛付RDEは再使用せず、実験ごとに新たに二酸化鉛を電着させた。二酸化鉛付RDEは以下の方法によって作製した。まず1.58cm<sup>2</sup>の表面積をもつ白金ディスク電極を濃塩酸で処理し、エタノールで脱脂洗浄した後水洗してから、鉛板をカソードとして21~22%硝酸鉛水溶液中、10.8 A·dm<sup>-2</sup>で電解して白金アノード上に二酸化鉛を電着させた。なお、測定には山崎式

\* 昭和53年4月電気化学協会第45回大会(東京)にて一部発表

回転電極装置 RE-3 型と 北斗電工製 ポテンシオスタット PGS-2500 を使用して、 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$  で行った。

## 2.2 定電流マクロ電解

ガラスフィルターで仕切った H 型容器を電解セルとし、アノードに二酸化鉛 ( $0.12 \text{ dm}^2$ )、カソードに鉛板 ( $0.34 \text{ dm}^2$ ) を用いて、マグネチックスターラーで電解液をかくはんしながら  $20 \sim 25^\circ\text{C}$  で定電流電解を実施した。二酸化鉛アノードは、鉛板をエメリーペーパー (No. 400) で研磨後、 $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$  中、 $1 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$  で 20 分間、さらに  $0.5 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$  で同時間電着させることによって作った電極である。定電流電解の電源には北斗電工製ガルバノスタット (PGS-2500) を使用し、通電量はクーロンメーター (同社製 HF-102 型) によって測定した。試薬、基礎液、参照電極は、いずれも前項のものと同じである。

電解で生成したマレイン酸と  $\text{SO}_2$  は、3.2 項で詳述する方法によって同定した。これらのうち、 $\text{SO}_2$  については定性のみで定量を実施していないが、マレイン酸については、佐々木らの方法<sup>10)</sup>に従って、滴水水銀電極を用いるポーラログラフ法により  $E_{1/2} = -0.48 \sim -0.54 \text{ V vs. Hg}$  プール (純品の  $E_{1/2}$  は  $-0.50 \text{ V}$ ) の波高から定量した。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 電流-電位曲線

$1000 \text{ r.p.m.}$  で回転させた RDE を用いて、基礎液に各種濃度のチオフェンを含む溶液についての定常電流-電位曲線を測定し、得られた結果を Fig. 1 に示した。図で明らかのように、およそ  $1.75 \text{ V vs. SCE}$  より低アノード電位領域においてチオフェン濃度とともにアノード電流が増大し、これより高い電位ではアノード電流が基礎液とほとんど一致している。従って、 $1.75 \text{ V}$  より低い電位領域でチオフェンのアノード酸化が既に起こっており、これより高い電位ではむしろ酸素発生が優先するものと考えられる。

Fig. 2 は、電極電位をパラメーターとして、アノード電流の電極回転速度に対する依存性を調べたものである。この結果から、低電位領域でのアノード電流は電極回転速度に無関係に一定であり、反応律速となるアノード反応を示唆した。他方、電位が高くなるにつれてアノード電流が回転速度に依存するようになり、拡散の影響が現われてくる。一般に、反応律速のアノード反応に関して次の速度式で表わすことができる。

$$i = nFk[C_T]^{m_1}[H^+]^{m_2} \exp\{\alpha FE/(RT)\} \quad (1)$$

ここで、 $[C_T]$  はチオフェンの溶液内濃度、 $E$  は電極電位をそれぞれ表わし、他の記号は通常用いられる通り

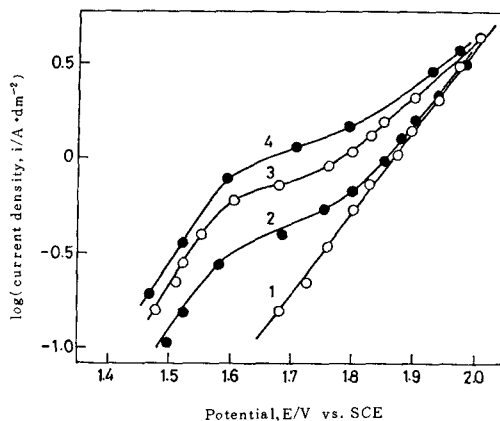


Fig. 1 Potential-current density curves of various concentrations of thiophene in  $1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$  on lead dioxide electrode  
Curve 1: No thiophene, 2:  $2.1 \text{ mM}$  thiophene, 3:  $3.1 \text{ mM}$  thiophene, 4:  $6.3 \text{ mM}$  thiophene

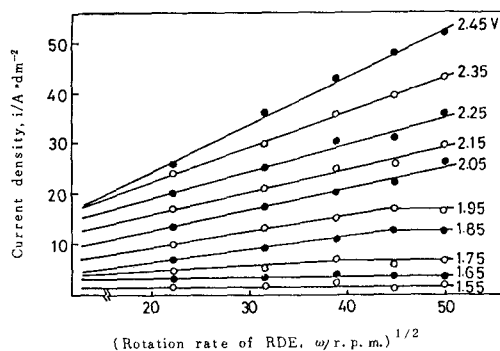


Fig. 2 Variation of anodic current density as a function of rotation rate of RDE in a saturate thiophene solution

である。Fig. 2 で反応律速とみられる  $1.6 \text{ V}$  において、アノード電流 ( $i$ ) とチオフェン濃度との両対数プロットは、Fig. 3 のような直線関係となった。この実験では pH が一定とみなすことができるので、(1)式より直線の傾きはチオフェンについてのこの反応の反応次数となり、その値はおよそ 1 次であった。

$$m_1 = [\partial \log i / \partial \log C_T]_{E=1.6\text{V}} = 1 \quad (2)$$

一方、チオフェンを飽和させた溶液\*1 について、 $1000 \text{ r.p.m.}$  でアノード電流が  $1 \text{ mA}$  となるとき電極電位を種々の pH について測定し、Fig. 4 に示した。この場

\*1  $1 \text{ l}$  中に  $1 \text{ mol}$  のチオフェンを加え、エマルジョンの状態で使用した。

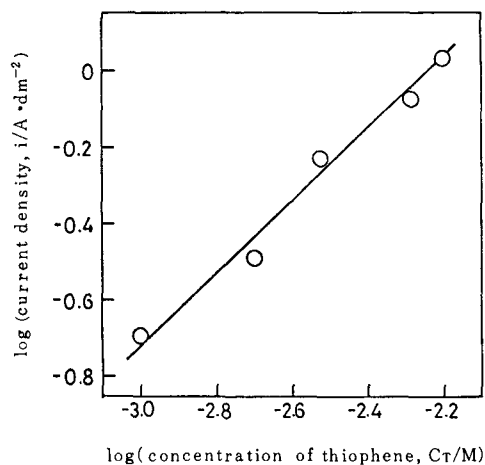


Fig. 3 Logarithmic plots of current density vs. concentration of thiophene  
Electrode potential : 1.6V vs. SCE  
Rotation rate : 1000r.p.m.

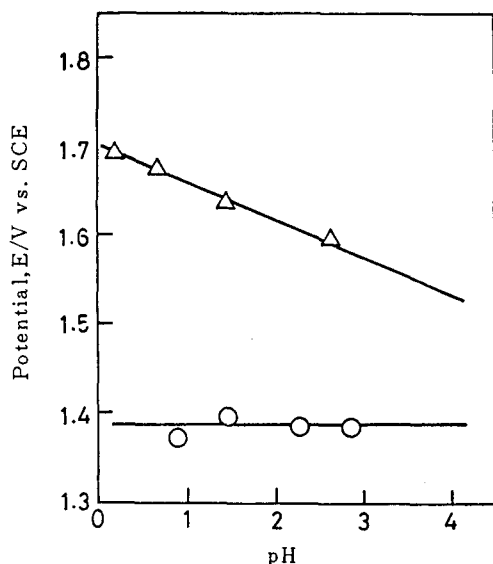


Fig. 4 Dependence of potential corresponding to anodic current of 1 mA on pH

Rotation rate : 1000r.p.m.

△ : 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

○ : Saturate thiophene solutions

合、チオフェン濃度は一定だから、(1)式より Fig. 4 の直線の傾きは pH についての反応次数となる。基礎液においては pH 依存性が見られたが、チオフェン溶液では 0 次であった。

$$m_2 = [\partial \log i / \partial \log C]_{i=1 \text{ mA}} = 0 \quad (3)$$

また、pH が中性に近いチオフェン溶液では、アノード電流がほとんど基礎液と変わらず、チオフェンの酸化が起こりにくくなっているものと考えられた。なお、Delahay ら<sup>11)</sup>は、酸性溶液中で熱力学的に不安定な酸化状態にある活性な  $\beta$ -二酸化鉛が、pH が中性に近づくにつれて、安定な  $\alpha$ -二酸化鉛に変わり不活性となることを報告している。これらの結果から、1.75V 以下の低アノード電位では、電気化学的に再生される  $\beta$ -二酸化鉛によってチオフェンが化学的に酸化されるものと推定された。

### 3.2 チオフェンの電解酸化による生成物

チオフェンの電解酸化による生成物を明らかにするために、チオフェン溶液について定電流マクロ電解を行った。この際、アノード電位を同時に測定し、いずれの設定電流においても電流-電位曲線で反応律速とみられた 1.75V 以下の電位にあることを確認しながら実施した。この結果、チオフェンの電解酸化によってマレイン酸が生成することを明らかにした。マレイン酸生成は、1l 中に 5 mol のチオフェンを加えたエマルジョン状態の液を、かくはんしながら 250mA で 30 時間電解することによって、以下のようにして確かめた。まず、電解後の反応液をベンゼンで抽出して未反応チオフェンを除き、その水層をエーテル抽出して、得られたエーテル層から減圧デシケーター内でエーテル分を蒸発除去すると無色の結晶が残存した。この結晶について、融点、IR スペクトル、さらにベンゼン抽出後の水層についてのポーラログラムの半波電位が、いずれもマレイン酸の標準物質によるものと一致した。

なお、電解中アノードから発生する気体を、重クロム酸カリウム水溶液を浸込ませたろ紙に触れさせると、赤褐色から青灰色に退色し、還元性の気体の発生を示唆した。そこで、電解で発生した気体を窒素ガスで電解セルから追い出し、0.04M 四塩化水銀ナトリウム溶液に吸収安定化して、これをパラローザニン法<sup>12)</sup>で赤紫色に発色させると 560nm に吸収極大が見られることから、発生気体は SO<sub>2</sub> と考えられた。しかし、SO<sub>2</sub> は反応液に相当量溶け込んでいるので、あえて比色分析による定量は行わなかった。

Fig. 5 には、1l 中に 1mol のチオフェンを加えた液について 1A および 2A で定電流マクロ電解を行い、ポーラログラムの波高より求めたマレイン酸の生成量\*2を

\*2 銅アマルガム電極を用いた 100mV·S<sup>-1</sup> の電位走査法によるボルタンメトリーからも、-0.9V のカソード電流ピークによってマレイン酸の定量を行ったが、ポーラログラムの結果とほとんど差がなかった。

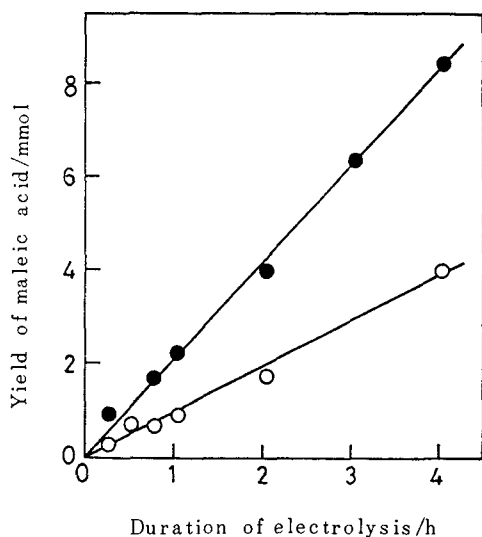


Fig. 5 Dependence of yield of maleic acid on duration of electrolysis

○ : 1A, ● : 2A

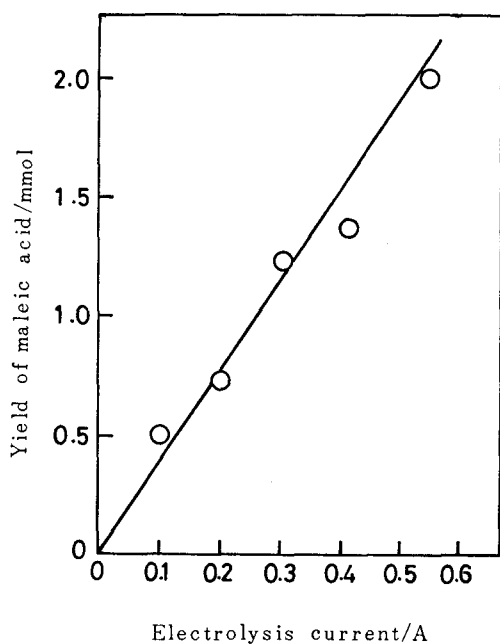
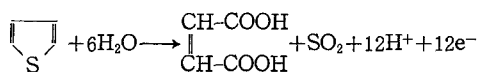


Fig. 6 Dependence of yield of maleic acid on electrolysis current

電解時間の関数として表わした。マレイン酸生成量は電解時間に比例しており、単位電気量当りの生成量は  $2.78 \times 10^{-7} \sim 2.92 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{C}^{-1}$  であった。マレイン酸が次式により生成するものとすれば、電流効率は32~34%と

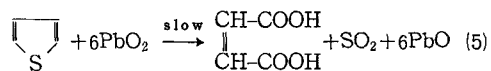


(4)

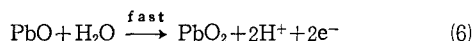
なった。さらに、種々の電流値で4時間電解を行ったときのマレイン酸生成量を Fig. 6 に示した。設定電流に比例してマレイン酸の生成量が增大し、単位電気量当り  $2.64 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{C}^{-1}$  で、電流効率は上記の値とほぼ一致して31%であった。電流効率は電解時間や設定電流による変化がほとんどないことから、マレイン酸の生成は中間に何らかの生成物を経由する逐次経路ではなく、直接的な経路であることが示唆される。本研究では、チオフェンからのマレイン酸生成に着目したが、電流効率が予想外に低いことから、チオフェンのアノード酸化の詳細を知るには、電解の進行とともにアノード側から生成する黄色の樹脂状物質などについても検討が必要であろう。

### 3.3 マレイン酸の生成機構

酸素発生までの低電位領域で、しかも電極が熱力学的に不安定な  $\beta$ -二酸化鉛として存在する pH 範囲で、マレイン酸生成が設定電流に無関係にほぼ一定の電流効率で起こることは、チオフェンが二酸化鉛によって化学的に酸化される反応 (5式) が、反応を支配していること



とを示唆するものと思われる。式中、PbO は  $\text{PbO}(\text{OH})$  や Pb であっても本議論に支障はなく、これらの低原子価状態にある酸化物は、ここで実施した電位領域でいずれも (6式) のようにたやすく二酸化鉛となり、チオフェン



の酸化に寄与することとなる。二酸化鉛が電気化学的に再生される (6式) の反応は、チオフェン飽和下での  $E_{i=1\text{mA}}$  が pH に依存しないことから、非常に速い反応であると考えられる。

次に上記反応機構を確かめるために、1 l 中に 1 mol のチオフェンを加えた 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  に二酸化鉛粉末 3g を懸濁させ、かくはんしながら常温で反応させた。反応時間とともに二酸化鉛粉末のチョコレート色が次第にうすくなり、6.5 時間の反応で 2 mmol のマレイン酸が生成し、 $\text{SO}_2$  の発生も認められた。また、二酸化鉛が熱力学的に安定となる中性およびアルカリ溶液<sup>\*3</sup>では、マレイン酸と  $\text{SO}_2$  の生成は認められなかった。これらは、すべて上の反応機構を支持する結果である、これまで、二酸化鉛電極による水溶液中でのヘテロ芳香環のアノード

\*3 アルカリ溶液になると、鉛酸塩の形成によってさらに安定となる。

酸化については、フルフラールやピペリジンなどで二塩基酸を生成する<sup>13)</sup>ことが既に知られているけれども、これらはいずれも酸性水溶液中での反応である。従って、上記反応機構は、他のヘテロ芳香環、さらには一般的な有機化合物の、高原子価状態にある金属酸化物電極による水溶液中でのアノード酸化に対して共通に成り立つ可能性を有している。このような酸化は、酸素発生の前段階に相当する低電位領域で起こるので、酸素発生の前駆種である HO $\cdot$  や HO $_2\cdot$  などの表面ラジカル種の発生は少ないが、これらのラジカル種によっても、やはりチオフェンが酸化されてマレイン酸を生成することが、フェントン試薬との反応から明らかとなった。同様に Gvozdetkava<sup>14)</sup>によっても、過酸化水素によるチオフェンの酸化によって、二酸化イオウを発生して過酸化物やオキソ化合物とともに二塩基酸を生成することが報告されている。

以上のことから、チオフェンからのマレイン酸生成は、二酸化鉛電極との化学酸化に加えて、一部酸素発生の前駆種である表面ラジカル種によるヒドロキシル化反応<sup>\*4</sup>によっても起こっているものと推定される。

#### 4. 結 言

硫酸溶液中における二酸化鉛電極でのチオフェンのアノード酸化について、RDE による電流-電位曲線の測定と、定電流マクロ電解の結果から検討し、以下の結論を得た。

(1) 1.75V より低アノード電位領域では、アノード電流は、チオフェン濃度とともに増大し、電極回転速度に無関係であった。従って、このような低電位領域でのアノード反応は反応そのものが律速になっているものとみられた。他方、1.75V より高い電位では、アノード電流が基礎液とほとんど一致し、また拡散の影響が現われてくることから、酸素発生が優先的に起こっているものと考えられた。

(2) 反応律速となる低電位領域でのチオフェンおよび pH に関する反応次数は、それぞれ 1 次と 0 次であった。pH が中性に近い溶液では、アノード電流がほとんど基礎液と変わらなかった。

(3) チオフェンの電解酸化による生成物として、マレイン酸と SO $_2$  を確認した。マレイン酸生成は、電解時

間と設定電流に比例し、電流効率は 31~34% であった。なお、中性およびアルカリ溶液ではマレイン酸生成が認められなかった。

(4) 以上の結果から、チオフェンは酸性溶液中で電気化学的に再生される  $\beta$ -二酸化鉛によって化学的に酸化されるものと推定された。

(5) 二酸化鉛粉末による実験は、上記反応機構を支持するものであったが、フェントン試薬との反応からは、酸素発生の前駆種によるヒドロキシル化反応も一部起こっていることが考えられた。

本研究を行うに当たって、実験に協力していただいた本校京兼純教官を始め、中久保順一、河野充也、木村英昭、角谷明彦、染井潤一の諸氏に深く感謝致します。なお、本研究の一部は昭和 57 年度科学研究費補助金(試験研究)で行った。付記して感謝致します。

#### 文 献

- 1) 杉野喜一郎, 有合誌 **24**, 1170 (1966)
- 2) 鳥居滋, “有機電解合成—電解酸化の方法と応用”, 講談社 (1981) p. 112
- 3) J. S. Clarke, R. E. Ehigamuse, A. T. Kuhn, J. Electroanal. Chem. **70**, 333 (1976)
- 4) F. Fichter, R. Stocker, Ber. **47**, 2012 (1914)
- 5) G. Miodon, A. Seyewitz, Bull. Sos. Chim. Fr., Ser. 4, **33**, 449 (1923)
- 6) 外島忍, 佐々木英夫, 板谷謹悟, 電化, **40**, 234 (1972)
- 7) 佐々木英夫, 外島忍, 電化, **45**, 535 (1977)
- 8) 吉村忠与志, 日化誌, **1981**, 307 (1981)
- 9) 泉 生一郎, 山本績, 大西康幸, 木村英昭, 電気化学協会第 45 回大会講演要旨集, p. 142 (1978)
- 10) 井藤壮太郎, 佐々木和夫, 村上幸雄, 柴晴雄, 電化 **40**, 733 (1972)
- 11) P. Delahay, M. Pourbaix, P. V. Rysseberghe, J. Electrochem. Soc. **98**, 57 (1951)
- 12) 日本分析化学会編, “分析化学便覧”, 丸善 (1981) p. 179
- 13) M. J. Allen, “Organic Electrode Processes,” Reinhold, New York (1958) p. 124
- 14) V. P. Gvozdetkava, Zh. Prikl. Khim. (Lenin-grad) **50**(4), 900 (1977); Chem. Abstr., **87**, 22920y (1977)

\*4 ただし、中性溶液においてマレイン酸生成が起こらないことは、この反応だけでは説明できない。



# 溶媒抽出法による銅の分離

河 越 幹 男

## Solvent Extraction of Copper from Aqueous Solutions

Mikio KAWAGOE

The equilibria of copper extraction from copper sulfate aqueous solutions was measured, using capric acid and naphthenic acid as extractants, and benzene and kerosene as organic solvents. The extraction mechanism was investigated based on the scheme proposed previously, taking account of the dissociation equilibrium of copper sulfate in the aqueous phase. For the capric acid system, the scheme was found to be consistent with the data obtained in the present work. For the naphthenic acid system, first the apparent molecular weight of naphthenic acid was estimated, employing the stoichiometry of extraction reaction, as it was impossible to specify the molecular weight of naphthenic acid for its complicated composition. Then, the data were illustrated based on the scheme, using the apparent molecular weight estimated above. No appreciable effect of the organic solvents on extraction was found.

### 緒 言

金属の製錬法には、高温炉を用いる乾式製錬法と、原料中の金属を溶媒により浸出させ分離濃縮する湿式製錬法がある。溶媒抽出法はこの湿式製錬法の1つであり、分離濃縮の段階に抽出を用いる方法である。従来、この方法は核燃料の再処理に用いられていたが、最近、資源の有効利用、省エネルギーなどの観点から、一般の金属、特に銅の回収に関してこの方法が注目されている<sup>2)</sup>。

本研究では、銅の抽出平衡を工業的に用いられている高濃度の範囲で測定した。抽出剤としては、比較的安価なカルボン酸を用いた。従来、この分野の研究は主に分析化学的な観点から行なわれているため、溶質、抽出剤とも比較的低濃度である。しかし、実際に工業的に用いられている高濃度領域では、金属イオンの未解離、共抽出、会合などの現象が起り、複雑である<sup>2,3)</sup>。本研究では、これらのうち特に金属の解離の抽出平衡に及ぼす影響について考察した。さらに、ナフテン酸のような分子量が未知の抽出剤を用いる場合の解析法についても検討した。

### 1. 実験及び方法

実験系は硫酸銅水溶液からの銅イオンの抽出であり、抽出剤として、カプリン酸とナフテン酸を用いた。使用した有機溶媒はベンゼンとケロシンの2種類である。

容量 200 ml の共栓付三角フラスコに、所定の濃度の

硫酸銅水溶液と、溶媒で所定の濃度に希釈した抽出剤溶液をメスピペットで正確に 50ml/づつ取る。次に 1 N の水酸化ナトリウム溶液を添加して PH 調整する。これを恒温槽 (30°C) に入れ、振とうする。平衡に達した後 (予備実験からこの時間は約 1 時間)、分液ロートですばやく有機相と水相を分離し、水相の PH 及び銅濃度を測定した。水相中の銅濃度の測定は原子吸光分析によった。有機相中の銅濃度は総括物質収支から求めた。

実験は、硫酸銅濃度 0.05~0.2 kmol/m<sup>3</sup>、カプリン酸濃度 0.5~2.0 kmol/m<sup>3</sup>、ナフテン酸濃度 94.4~377.7 kg/m<sup>3\*</sup>) の範囲で行なった。詳細は Table 1 に示した。

### 2. 実験結果

(1) 相分離性 硫酸銅水溶液 (水相) と抽出剤溶液 (有機相) の入ったフラスコを激しく振とうすると、一方の相が液滴として他の相に分散される。この混合液を静置しておく、再び水相と有機相に分離される。この相分離性は液滴の安定性に依存し、装置設計において装置の大きさを決める重要な因子である。

本実験の場合、溶媒としてベンゼンを用いた方がケロシンを用いた場合よりも相分離性は良好であった。また、同じ有機溶媒を用いた場合、抽出率が増すにつれて水相の粘度が高くなるため、相分離性は低下した。

\* ナフテン酸は種々の成分の混合物であり、分子量を特定できないので、ここでは質量濃度を用いた。

Table 1 Details of experimental conditions and symbols used

Symbols	Capric acid			Naphthenic acid		
	$[\overline{HR}]_0$	$[CuSO_4]$	solvent	$\overline{W}_0$	$[CuSO_4]$	solvent
○	1.0	0.05	Benzene	188.8	0.05	Benzene
⊕	"	0.10	"	"	0.10	"
⊖	"	0.20	"	"	0.20	"
●	0.5	0.10	"	94.4	0.10	"
⊙	2.0	"	"	377.7	"	"
◐	1.0	"	Kerosene	188.8	"	Kerosene

## (2) 分配比

分配比  $D$  は平衡時の有機相及び水相における銅の分析濃度 (全濃度),  $\overline{C}_{Cu}$  及び  $C_{Cu}$  の比で定義される。

$$D = \overline{C}_{Cu} / C_{Cu} \quad (1)$$

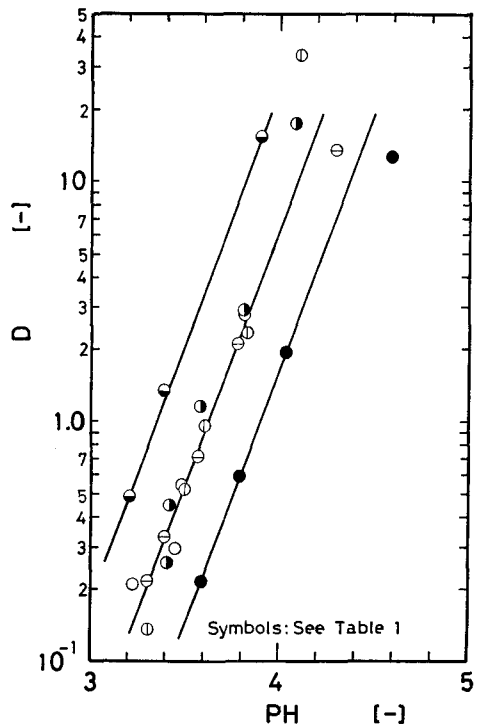
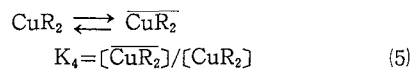
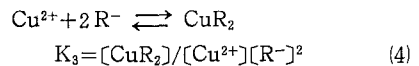
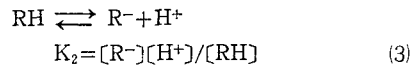
Fig. 1 に抽出剤としてカプリン酸を用いた場合の  $D$  対  $PH$  の関係を示した。このプロットから、分配比  $D$  は  $PH$  の増加と共に急激に増大することがわかる。また、カプリン酸濃度が変化すると、それぞれの濃度に対応した直線が得られ、抽出剤濃度の  $D$  に及ぼす影響は非常に大きいことがわかる。抽出剤濃度が同一の場合、銅濃度を変化させてもデータはほぼ同一直線上にあり、銅濃度の影響はほとんどないことがわかる。また、溶媒がベンゼンとケロシンで変化しても、同一濃度条件における  $D$  対  $PH$  の関係はほとんど変わらず、溶媒の影響もほとんどないことがわかる。

抽出剤としてナフテン酸を用いた場合の  $D$  対  $PH$  の関係を Fig. 2 に示した。このプロットから、ナフテン酸の初濃度が高い場合 (188.8及び377.7kg/m<sup>3</sup>) には、カプリン酸の場合と同様、それぞれの濃度に対して直線が得られることがわかる。しかし、 $PH$  が大きくなると、この直線から偏倚し始める。特にナフテン酸の初濃度が低い場合 (94.4kg/m<sup>3</sup>) には、カプリン酸の場合には認められなかった特異な挙動を示している。

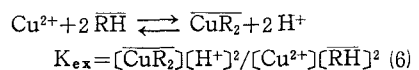
## 3. 考 察

## 3.1 抽出機構

銅の水相から有機相への抽出機構は、次の4ステップからなる。(1)カルボン酸の有機相から水相への分配、(2)水中でのカルボン酸の解離、(3)カルボン酸と銅イオンとの反応、(4)反応生成物の水相から有機相への分配であり、これらは次のように表わされる。

Fig. 1 Distribution ratio as a function of  $PH$  for capric acid as an extractant

ここで、記号の上に付けたバーは有機相を表わす。これをまとめて総括的に表わすと次式が得られる。





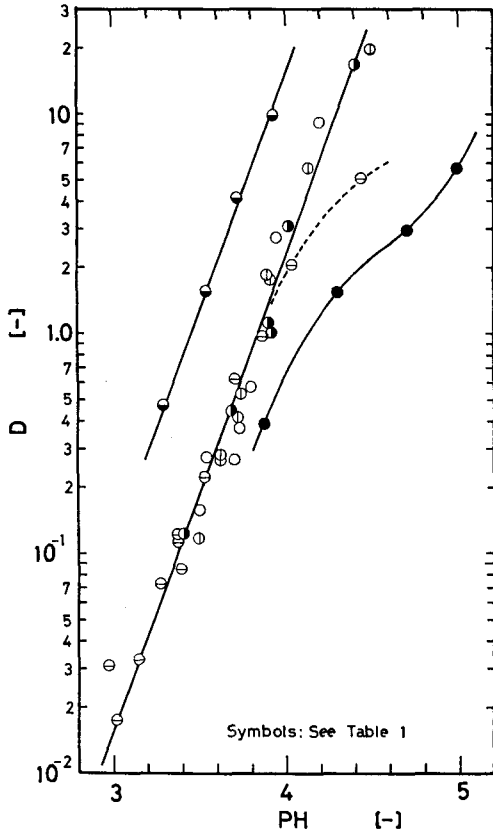


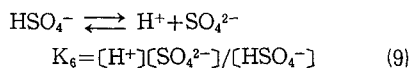
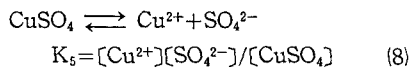
Fig. 2 Distribution ratio as a function of PH for naphthenic acid as a extractant

ここで、Eqs. (2)~(5)から  $K_{ex}=K_1^2K_2^2K_3K_4$  である。したがって、銅イオンの分配比  $D_i$  は次式で与えられる。

$$D_i = \frac{[\overline{CuR_2}]}{[Cu^{2+}]} = K_{ex} \frac{[RH]^2}{[H^+]^2} \quad (7)$$

### 3.2 水相中における銅イオンの解離

水相中の硫酸銅は、濃度の高い範囲では完全に解離せず、次のような解離平衡で表わされる<sup>2)</sup>。



Whewellら<sup>4)</sup>によると、 $K_5=2 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$ 、 $K_6=7.7 \times 10^{-3} \text{ kmol/m}^3$  である。この値を用いて水相中の銅イオン濃度を求めた。本実験範囲は  $PH=3 \sim 5$ 、 $C_{Cu}=0.05 \sim 0.2 \text{ kmol/m}^3$  であるので、 $[Cu^{2+}]/C_{Cu}=0.1 \sim 0.2$  となる。すなわち、全銅濃度の10~20%程度しかイオンに解離していないことがわかる。

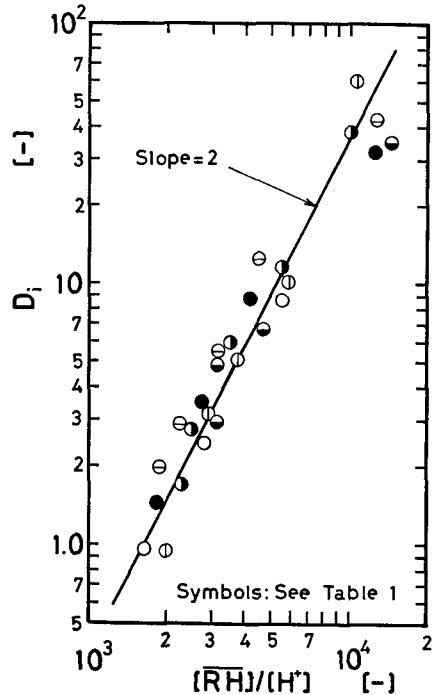


Fig. 3 Relation between  $D_i$  and  $[RH]/[H^+]$  for capric acid as a extractant

### 3.3 各成分の濃度

水相中の全銅濃度  $C_{Cu}$  は  $CuSO_4$ 、 $Cu^{2+}$ 、及び  $CuR_2$  の各濃度の総和であるが、実際には  $CuR_2$  は水中にはほとんど存在しない<sup>1)</sup> から、 $C_{Cu}=[CuSO_4]+[Cu^{2+}]$  と見なすことができる。

有機相中のカルボン酸の全濃度  $\overline{C_{RH}}$  は、水相中に  $RH$  はほとんど存在しない<sup>1)</sup> から、次式で与えられる。

$$\overline{C_{RH}} = (\overline{C_{RH}})_0 - 2[\overline{CuR_2}] \quad (10)$$

ここで  $(\overline{C_{RH}})_0$  は初濃度である。有機相中における  $RH$  の会合がなければ、 $\overline{C_{RH}}=[RH]$  になる。また、 $[\overline{CuR_2}]$  は  $\overline{C_{Cu}}$  に等しい。

### 3.4 カプリン酸の場合の分配比及び抽出定数

Eq. (7)は、 $D_i$  対  $[RH]/[H^+]$  の両対数プロットは勾配2の直線になることを示している。Fig. 3に示したように、本実験から得られたこのプロットは勾配2の直線になり、Eq. (7)が成立することがわかる。また、このプロットから抽出定数  $K_{ex}=3.7 \times 10^{-7}$  と求まった。

### 3.5 ナフテン酸の場合の分配比及び抽出定数

ナフテン酸は種々の成分を含んでおり、分子量を特定できないので、量論関係を利用し、次のような方法でこの平均分子量  $M_{av}$  を推定した。

Eq. (7)及び Eq. (10)から次式が得られる。

$$[H^+] \sqrt{D_i} = \sqrt{K_{ex}} \{ (\overline{C_{RH}})_0 - 2\overline{C_{Cu}} \} \quad (11)$$

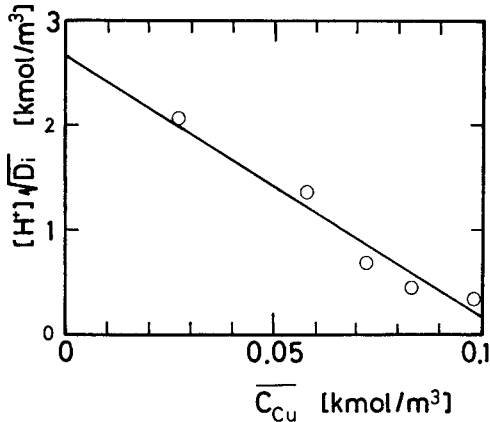


Fig. 4 Determination of average molecular weight of naphthenic acid

Eq. (11)は、 $(\overline{C_{RH}})_0$ が一定の場合、 $[H^+]\sqrt{D_i}$  対  $\overline{C_{Cu}}$  のプロットは勾配  $\alpha = 2\sqrt{K_{ex}}$ 、切片  $\beta = \sqrt{K_{ex}}(\overline{C_{RH}})_0$  の直線になることを示している。したがって、勾配と切片の比から、 $(\overline{C_{RH}})_0 \equiv \overline{W}_0 / M_{av} = 2\beta / \alpha$  が得られ、初期質量濃度  $W_0$  は既知量であるので、これから  $M_{av}$  が求められる。Fig. 4 に示したように、 $\overline{W}_0 = 94.4 \text{ kg/m}^3$  の場合このプロットは直線と見なすことができ、Eq. (11) が成立することがわかる。これから、 $M_{av} = 445$  を得た。この  $M_{av}$  の値を用いて全データの  $[\overline{RH}]$  を算出し、 $D_i$  対  $[\overline{RH}]/[H^+]$  をプロットしたのが Fig. 5 である。このプロットは勾配 2 の直線となり、切片から  $K_{ex} = 1.1 \times 10^{-6}$  を得た。

結 言

銅の抽出実験を、カプリン酸及びナフテン酸を抽出剤として行なった。水相中の硫酸銅濃度が高い場合には、硫酸銅の解離平衡が銅の抽出に大きく影響していることを明らかにした。ナフテン酸の場合には平均分子量が不明であるので、この平均分子量を抽出反応の量論関係を利用して推定した。これらの結果を用いて、カプリン酸及びナフテン酸の抽出定数を求めた。有機溶媒の影響はベンゼンとクロシンでは、ほとんど認められなかった。

Nomenclature

- C = total concentration [kmol/m<sup>3</sup>]
- D =  $[\overline{CuR_2}]/C_{Cu}$ , distribution ratio [-]
- D<sub>i</sub> =  $[\overline{CuR_2}]/[Cu^{2+}]$ , distribution ratio [-]
- K<sub>ex</sub> = extraction constant [-]
- M<sub>av</sub> = average molecular weight of naphthenic acid [-]
- W = mass concentration of naphthenic acid [kg/m<sup>3</sup>]

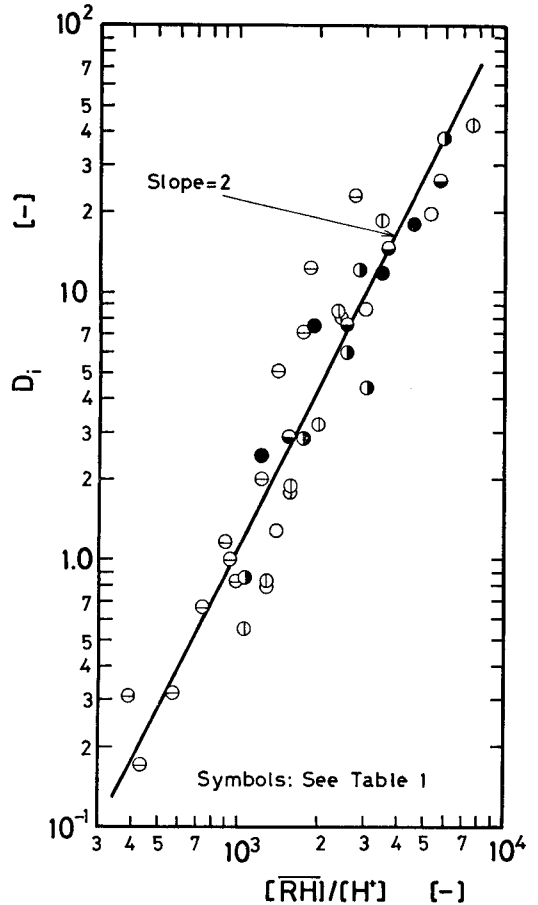


Fig. 5 Relation between  $D_i$  and  $[\overline{RH}]/[H^+]$  for naphthenic acid as a extractant

[付記] 本研究には福島正人氏（現東京農工大）の協力を得ました。記して感謝いたします。

[ ] = concentration [kmol/m<sup>3</sup>]

<Subscripts>

— = organic phase

o = initial

RH = extractant

Literature Cited

- 1) Kojima, M., M. Uchida and M. Tanaka : J. Inorg. Nucl. Chem., **32**, 1333 (1970)
- 2) Komazawa, I., T. Otake and A. Yamada : J. Chem. Eng. Japan, **13**, 130 (1980)
- 3) Nakashio, F., K. Inoue and K. Kondo : Kagaku Kōgaku, **42**, 182 (1978)
- 4) Whewell R. J. and M. A. Hughes : J. Inorg. Nucl. Chem., **38**, 180 (1976)

# 酢酸セルロース限外濾過膜の特性

中 谷 武 志

## Characteristics of Cellulose Acetate Ultrafiltration Membranes

Takeshi NAKAYA

Various doping solutions involving cellulose acetate, acetone (volatile solvent) and formamide (non-volatile solvent) were studied for making ultrafiltration membranes.

It was found that there exists an optimum formamide concentration which doesn't decrease solute rejections in spite of the increase of membrane fluxes.

### 1. 緒 言

半透膜の利用は、既に1854年に報告されており、初めは膀胱膜、浮き袋などの天然膜が用いられ、続いて硫酸紙、コロジオン膜、セロファン膜などの人工膜が用いられた。機械的圧力を加える限外濾過法や逆浸透法への応用は、1960年 Loeb-Sourirajan により酢酸セルロース膜による非対称性の限外濾過膜が開発されて以来、飛躍的に膜の性能が向上し、急速に発展してきた。

この非対称性膜は、従来の酢酸セルロースを用いるが、膜の製法に工夫をこらし、膜に膜表面の緻密層 (skin layer) とその下部に比較的粗い孔を持つ支持層の構造を持たせたもので、溶質の阻止率を低下させずに溶媒の透過流速を数十倍から数百倍に増加させた。

このような膜の開発とともに工業的実用化が進み、限外濾過法への応用は、チーズホエー処理等の食品製造、人工腎臓、ファインケミカルにおける高分子製品の分離などがある。

逆浸透法への第一の応用は、脱塩である。海水から淡水を取り出すのに用いられ、最近、省エネルギーの立場から膜分離が注目されている。また、水中の有機物や微細な埃も除去できるので、エレクトロニクスで重要なIC製造に必要な超純粋洗浄水を作るのに利用されている。

その他、イオン交換樹脂を膜にしたイオン交換膜を用いた電気透析法や、最近ではガス分離にも応用されつつある。また、現在研究されつつある特殊な膜がある。例えば、ある特定のイオンのみと結合するキャリアーを膜内に入れ、水素イオン濃度 (pH) 勾配によって水素イオンが移動すると反対方向に特定イオンが濃縮されるという、促進輸送に似た膜や、膜に特定の官能基を導入し、光の有無によって作動する膜などがある。

本研究は、一般に用いられている酢酸セルロース、揮発性溶媒アセトン、難溶媒ホルムアミドからなるドープ液から限外濾過膜を作り、この膜を用いてポリエチレングリコール (分子量7500及び20000)、ポリビニールピロリドン (分子量40000)、デキストラン (分子量75000及び150000) の水溶液の阻止率、透過流速を調べることに、最適な膜を作るためのドープ液組成及び膜の製作方法について検討を行なった。

### 2. 基本式

溶媒の透過流速は、膜の表裏間の差圧  $\Delta P$  から膜の表裏間の浸透圧差  $\Delta \pi$  を引いた値、即ち  $(\Delta P - \Delta \pi)$  に比例すると考えられる<sup>1,2)</sup>。したがって、次式が成立する。

$$J_W = A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (1)$$

$$\Delta \pi = \pi_W - \pi_P \quad (2)$$

ここで、 $A$  は比例定数で、膜定数という。 $A$  は、溶媒の拡散係数に比例した値であると考えられる。膜定数についての詳細な解析については、ここでは取り扱わない。 $\pi_P$  は透過液濃度に対する浸透圧、 $\pi_W$  は膜表面における濃度に対する浸透圧である。濃度分極が無視できる程度であれば、 $\pi_W$  は供給液濃度に対する浸透圧に等しい。

膜の持つ阻止率  $R$  は、次式で定義される。

$$R = (C_F - C_P) / C_F \quad (3)$$

ここで、 $C_F$  は供給液濃度、 $C_P$  は透過液濃度である。

### 3. 膜の製作方法及び実験方法

#### 3.1 膜の製作方法

手製の酢酸セルロース膜の製作方法は、以下の手順で行なった<sup>3,4,5)</sup>。

① 分級した細かい粒子状の酢酸セルロースを溶媒アセトンと難溶媒ホルムアミドの混合液に溶解し、高粘性のドープ液を作る。

② 種々の組成を持つドープ液を遠心分離機にかけ気泡を除き、縦25cm×横25cmの透明ガラス板に一定の厚さに均一に塗布する。ガラス板への塗布の仕方は、以下のようにして行なう。ガラス板の両端に厚さ1mmのセロテープを平行に貼り、ガラス棒の両端をそのセロテープの上に乗せて浮かし、ガラス板に滴下したドープ液をガラス棒で速やかに展開塗布する。

③ ドープ液を塗布したガラス板を25°Cの大気中に5分間晒し、溶媒アセトンを一部揮発させた後、30°Cの水に浸し、溶媒アセトンと難溶媒を水中に拡散させ、膜を固化させ、水中に一時間以上浸しておく。長時間膜を保存する時は、ホルマリンを数滴加えた水中に浸しておく。

膜は、大気に晒された面が表となり、ガラス板に接していた面が裏面となる。

3.2 実験方法

膜を直径4.3cmの円板状に切り取り、表裏を確めてFig.1に示す実験装置に取り付ける。加圧は、窒素ボンベから減圧弁を通して、実験装置に連結することにより行なった。

膜定数  $A$  は、(1)式より、蒸留水の透過流速を各加圧力に対して測定することにより求められることがわかる。本実験では、分離対象の溶質として水溶性の高分子、即ち、ポリエチレングリコール(分子量7500及び20000)、ポリビニルピロリドン(分子量40000)、デキストラン(分子量75000及び150000)を選んだ。供給溶液濃度は、すべて0.5wt%水溶液とし、25°Cにおける透過流速及び阻止率を測定した。高分子溶液の定量は、全有機炭素分析装置(TOC)を用いた。

4. 結果及び考察

Fig.2は、蒸留水の透過流速  $J_w$  を縦軸に、加圧力  $\Delta P$  を横軸にとったグラフで、一例として酢酸セルロースとアセトンの濃度比が1対3の場合について、各ホルムアミドの濃度比をパラメータとしてプロットした。このグラフより、 $J_w$  が  $\Delta P$  に比例していることがわかり、(1)式が成り立つことが確かめられる。また、このグラフの勾配から、膜定数  $A$  を求めた。種々の組成のドープ液から作られた膜の膜定数  $A$  を、酢酸セルロースとアセトンの濃度比を一定として、ホルムアミドの濃度に対してプロットしたのがFig.3である。このグラフから、難溶媒ホルムアミドの増加にしたがって、膜定数  $A$  が単調に増加していることがわかる。同様な傾向は、アセトン濃度の増加に対してもいえることがFig.4からわか

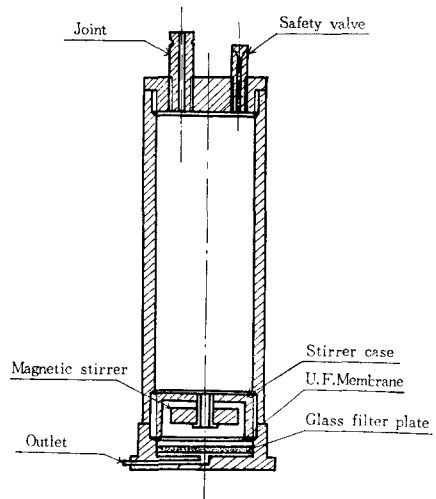


Fig. 1 Experimental apparatus for ultrafiltration.

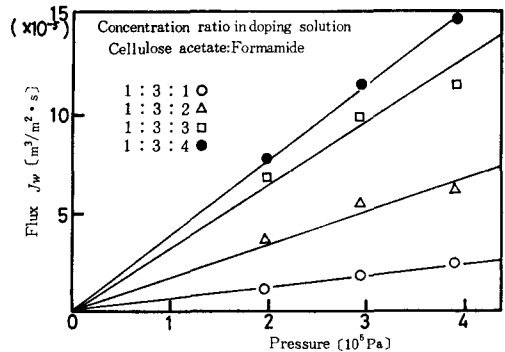


Fig. 2 Water flux vs. pressure difference applied to various ultrafiltration membranes.

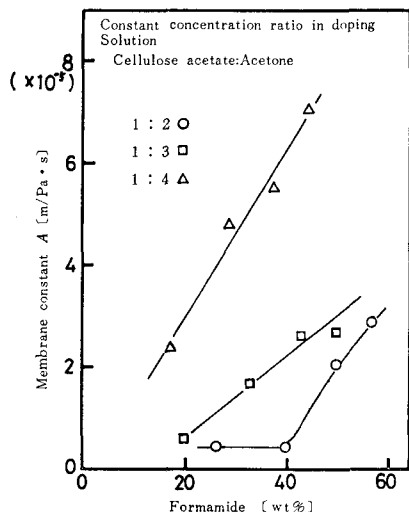


Fig. 3 Membrane constant vs. formamide concentration in doping solution.

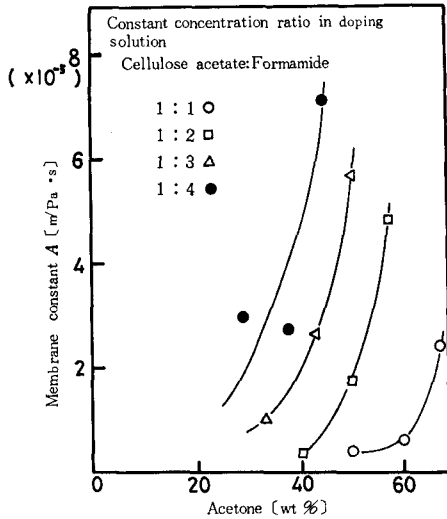


Fig. 4 Membrane constant vs. acetone concentration in doping solution.

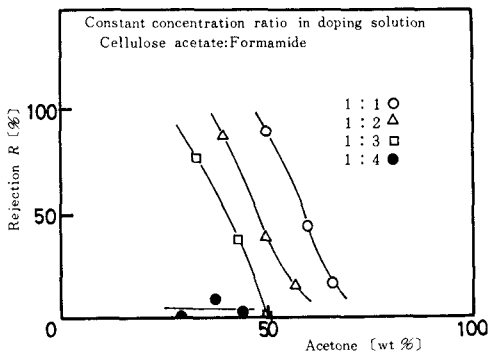


Fig. 5 Membrane macromolecular rejection of polyethylene glycol (M. W.=20000) feed solution vs. acetone concentration in doping solution.

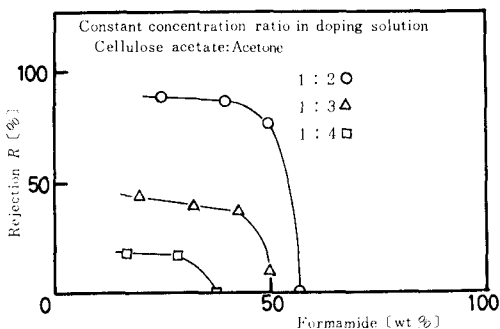


Fig. 6 Membrane macromolecular rejection of polyethylene glycol (M. W.=20000) feed solution vs. formamide concentration in doping solution.

る。これは、ドープ液の溶媒の増加に従って、膜内の空隙率及び孔の平均径が大きくなり、膜の沝過抵抗が減少し、透過流速が増加した結果である。

Fig. 5は、ドープ液の酢酸セルロースとホルムアミドの濃度比を一定とし、ポリエチレングリコール（分子量20000）0.5wt %に対する膜の阻止率をアセトン濃度変化に対してプロットしたもので、同じ結果を酢酸セルロースとアセトンの濃度比を一定として、阻止率をホルムアミド濃度変化に対してプロットしたのが Fig. 6である。Fig. 5より、ドープ液の酢酸セルロース対ホルムアミドの濃度比が1対4の場合は、阻止率がほとんどゼロとなり、それ以下の濃度比の場合は、アセトン濃度の増加にしたがって阻止率が単調に減少していることがわかる。それに対して、ホルムアミド濃度変化に関しては、Fig. 6より、ホルムアミドのある濃度まではほとんど阻止率は一定で、その濃度を超えると急に阻止率が低下しゼロとなる。したがって、Fig. 3及びFig. 6より、阻止率を低下させず透過流速を最大にするホルムアミドの最適濃度が存在することがわかる。そこで、溶質の阻止質量流速  $j_s (=J_w(C_F - C_P))$  をホルムアミド濃度に対してプロットしてみると、Fig. 7となり、ドープ液の酢酸セルロースとアセトンの濃度比が1対3の場合、ホルムアミド濃度が約42.5wt %の時、溶質の阻止質量流速  $j_s$  が最大となることがわかる。他の高分子溶液（ポリビニールピロリドン、デキストラン）についても同様の結果が得られた。

この理由は、現段階では推論になるが、次のように考えられる。阻止率を決定しているのは膜表面の緻密層（skin layer）と考えられ、その層における孔の大きさは、ドープ液中の溶媒アセトン濃度及びドープ液をガラス板に塗布した後のアセトンの大気中への揮発条件によって決まると考えられる。難溶媒ホルムアミドは、アセトンの揮発とともに膜表面から膜内部に拡散し、水に浸すと同時に残存するアセトンとともに水中に拡散し、水分子と置換が起り、非対称性構造の膜ができると考えられる。したがって、支持層の孔径が、アセトンとホルムアミド濃度に大きく影響されるのに対して、緻密層は、主にアセトン濃度に依存しているのだと考えられる。

### 5. 結 言

酢酸セルロース、アセトン、ホルムアミドからなるドープ液を用いて作られる限外沝過膜の阻止率は、主に酢酸セルロースとアセトンの濃度比に関係し、また、阻止率を低下させずに、透過流速を増加させる難溶媒ホルムアミドの最適濃度が存在することがわかった。即ち、Fig. 7に示すように、酢酸セルロースとアセトン濃度比が1対3の時、ホルムアミド濃度の最適値は約42.5 wt

%である。

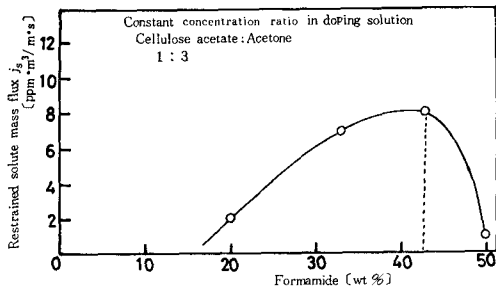


Fig. 7 Restrained polyethylene glycol(M.W.=20000) mass flux vs. formamide concentration in doping solution.

文 献

- 1) S. Sourirajan : Ind. Eng. Chem. Process Design Develop. **6**, 154 (1967)
- 2) R. L. Goldsmith : Ind. Eng. Chem. Fundam., **10**, 113 (1971)
- 3) O. Kutowy, S. Sourirajan : J. Appl. Polym. Sci., **19**, 1449 (1975)
- 4) T. A. Tweddle, S. Sourirajan : J. Appl. Polym. Sci., **22**, 2265 (1978)
- 5) R. M. Livingston : I. Chem. E. Symposium Series No. 51, 21 (1977)

# ハックスレーと科学 (I)

—「島」における「モクシャ薬」について—

三 浦 良 邦

Huxley and Science (I)

On the Moksha-Medicine in *Island*

Yoshikuni MIURA

Huxley, who is well known to have devoted himself to mysticism after *Eyeless in Gaza*, introduces a strange drug in his last novel, *Island*. The drug is called *moksha* medicine. Under the influence of the *moksha* medicine ordinary people are capable of having visionary or even fully liberating experiences. The medicine can liberate the taker from his bondage to the ego. But we cannot but feel strange about the medicine which is said to have such effect. Does this experience really happen? What is the reason for his enthusiasm for the use of the drug? In this study I want to investigate these questions, referring to Huxley's *The Doors of Perception* in which he described his own mescaline's experiences, and other writings.

ハックスレーの小説に不思議な薬が登場する。彼の最後の小説、『島』（1962年）にでてくるモクシャ薬である。ハックスレーが中期以降、神秘主義思想に傾倒していったことは、周知の事実であるが、このモクシャ薬を飲めば、「ごく平凡なひとたちでさえも、幻視の経験や、それだけでなくもっと完全な解脱的経験を持つことができる」(p.172)<sup>1)</sup>というのである。真如を経験できるというのである。

このような効用を持つ薬を目にして、我々は奇異な感じを抱かざるをえない。これは本当に起こりえるのか、という率直な疑問がわいてくる。なぜ、ハックスレーはこのような薬を登場させたのか。彼の真意はどこにあるのか。このようなことを探ってみるのが本稿の目的である。

## I

『島』は、スマトラ島付近にある架空の島、パラを舞台に、東洋の仏教的神秘思想と西洋の科学的合理主義との融合、つまり、ハックスレーが『ガザに盲いて』（1936年）以後、評論・小説で繰返し主張してきた神秘思想を科学の助けをかりて具体化した理想社会で、理想的な人間の生き方を考えたユートピア小説である。この社会の根底に流れる思想は、ウパニシャッドの「汝はそれなり」である。「汝」とは人間であり、内在的自我（アー

トマン、我）である。「それ」とは宇宙の原理であり、究極的實在たる絶対者（ブラフマン、梵）である<sup>2)</sup>。パラの人々の目標は「汝はそれなり」を実現すること、つまり、自分自身をよく知ることによって、「私は本当は誰なのか」を自覚し、日々の生活の中で実践することである。そのために島に1,000羽いるマイナ鳥（九官鳥の一種）は、絶えず「気づきなさい」と発し、人々に自覚を促している。しかし、この目標を達成する主な手段は、一つは瞑想であり、一つはモクシャ薬である。そして、これらを助けるものとして教育や家族制度などが述べられている<sup>3)</sup>。

瞑想とモクシャ薬のおかげで、人々は自己の実体に気づくのであるが、実際の瞑想についてはハックスレーはほとんど叙述していない。単に瞑想室にかかっている絵、風景画について瞑想に適した宗教的絵画だとその理由を述べているだけであり、この叙述は彼の評論、『天国と地獄』（1956年）において語られている絵画論と同じである<sup>4)</sup>。ハックスレーは、自己実現の両輪が瞑想とモクシャ薬であると述べながら、彼の比重は後者にあるのである。

モクシャ薬は別名「解脱薬」、「現実啓示薬」、「真実薬」といわれ、高地試験所の特別キノコ栽培所のキノコから科学的に開発された薬である。これは自分自身からの解放を助ける力を持った薬である。モクシャ薬服用の

場面は小説で二度ある。最初の場面は山頂のシバ寺院での成人式である。宗教のもっとも奥深い真理を学ぶべき時がくると、子供たちは試練と啓示という「現実の直接体験」を二つする。まず、彼らは絶壁を登る試練を受け、「自分たちの住む世界」は、「いつも死と背中あわせだということ、すべての存在は本質的に不安定なものだということ」(p. 159)を自覚する。この後で、彼らは400ミリグラムのモクシャ薬を与えられ、寺院内で宗教的儀式を経験し、啓示を与えられる。この成人式の第二段階で、彼らはモクシャ薬が効いてくるなかで、パラの指導者の一人、ロバート・マックフェイル博士から、創造者にして同時に破壊者である宇宙神、シバ・ナタラジャについての話を聞く。

「シヴァは舞踊の神で「永遠に、永遠の現在」を踊りつづける。彼は宇宙に満ち、実に宇宙そのものである。彼が踊りながら片足を空に浮かしている姿は、解脱の象徴である。シヴァが妻パールパティと相擁する像を見ながら、マックフェイル博士は語る。——「靈的融合とあがないのあの官能の経験には、口に表現できない、何という知恵がみられることか。永遠が時間を抱く。唯一者が多と結ばれ、相対はその唯一者との結合によって絶対化する。涅槃が輪廻と一体化し、仏性の時間・肉体・感情をもって表現されている。」<sup>5)</sup>これを聞く子供たちの顔からはひとつまたひとつと、夜が明けるように、「喜び・認識・理解の啓示」があらわれはじめ、最後にはそれらは「突然の洞察、真または美の啓示」をあらわすのである。儀式の最後で、博士は次のように述べて話を終る。

「解放……すなわち悲しみの終り、おろかにも自分はこうだともいこんでいた自分をやめて、ほんとうのあるがままの自分になること。しばらくのあいだ、モクシャ薬のおかげで、あるがままの自分そのものできるとはどういう感じであるか、知ることができる。なんとという時間を超越した幸福！……モクシャ薬のできることといえば、至福を垣間見せること、ときどき、一・二時間のさとりと解放のめぐみをもたらすこと。その祝福と協調し、これらの機会を生かすかどうかは、あなたがた自身が決めることです。」(p.169)

これがモクシャ薬服用の第一場面であり、子供たちは薬によって「真理」をかいま見るのである。次の場面は最後の章、15章で、主人公ウィル・ファーナビーがモクシャ薬を服用することによって、自己を変革する場面である。このウィルの人格改変は特別の意味を持っている。自己変革は『クローム・イエロー』(1921年)からの40年間におよぶハックスレーの長い歴史の中で、絶えず彼の主人公たちが追い求めてきたものである。それゆえ、彼らが永年探究してきた自己の再生という問題が、

一挙に解決されているという意味で、モクシャ薬は重要な役割を演じているといえる。ウィルは、パラとは対照的な西欧社会で育ち、西欧社会の悪を備え、そのような社会で生きる目的を見失わない、傷つき、苦しみ、死の恐怖にとらわれている人間である。彼は、このような性格を持つが、パラの教育制度、家族制度、育児方法、人々の生活様式を見聞し、最後にモクシャ薬を飲むことによって再生する。

服用後、まず、ウィルは時間感覚を喪失し、「光り輝く至福」を意識し、あらゆることを知識なしで理解し、自身の非存在を感じる。

「ウイリアム・アスキス・ファーナビー——究極的に本質的にそのような人間はいないのだ。究極的に本質的にあるのは、ただ光り輝く至福、知識なしの理解、無限の無分化の自覚においてひとつのものとひとつになること。これこそ、自明のことながら、意識の自然の姿なのだ。」(p.263)

彼は、みじめで墮落していた彼の自己がすっかり生まれ変わったのを意識する。そして、彼は、閉じたまぶたのうしろで、光明の至福が滝がさかさまに落ちるように噴き上げるのを感じ、あらゆるものとの一体感からより完全な一体へ、非存在からより絶対的な自己の超越へ、という「涅槃」を経験する。更に、ハックスレーは、音楽を背景にしてウィルの神秘体験を発展させる。モクシャ薬服用の介添として立会っているスシラ・マックフェイル(四ヶ月前に絶壁を登山中転落死した博士の息子、ドゥーガルドの妻)が、ヨハン・セバスチャン・バッハのブランデンブルグ協奏曲第四番をかける。そして、薬の影響下で、彼が以前聞いた時と違って、この音楽は、美の集中と本質的な意味の深さを持ち、誰のものでもない「ものそれ自体」、光明の至福になる。それには長さがなく、時間がなく、存在するのはただ「永遠」だけ、「先例のない美の啓示」だけであった。

ケイス・M・メイ氏はウィルの体験を三段階に区分しているが<sup>6)</sup>、これが第一段階で、次にウィルはスシラにいわれていやいや目をあける。彼は日頃見慣れたテーブル・壁・本棚・水彩画が奇蹟のように「超自然的存在」へと変質しているのを見る。たとえば、壁については次のように述べられている。

「それは「壁」だった。しかし経験された事実においてそれは生きている過程、しっくいと白色塗料から超自然的存在へと変質する絶えざる過程——そして神の肉となり、それは見ていると、栄光から栄光へとたえず転調しつづけている。ことばのあぶくならたんなるカルシミン塗料として説明してすませてしまうほどのものから、なにかの形づくる精神がよびだしているものは、もっとも微妙に描き分けられた色あいはてし



なき変化、淡く同時に強烈に、潜在から浮かび出て、神の肉の神聖に光る肌をいろどり、ひろがってゆく。すばらしい。すばらしい。」(p.270)

以上がウィルが経験した天国であり、場面は地獄に移っていく。彼が経験することになる地獄は、床の上の動物——トカゲとカマキリ——を意識することによってはじまる。トカゲの背中の中の色青灰色のうろこ、黒曜石の目や真紅ののどの脈搏、よろいのような鼻孔のふちと割れめになった口から、悪の光がたちのぼり、一方、なんともいえず不気味な二匹のカマキリが、交尾の真最中であり、あろうことか、メスがオスの頭を食べているのだった。そして、彼が一瞬前に自己の存在と神の存在がひとつになるという至福を経験した、あの熱帯の風景画や本が悪夢のように、安っぽく、俗悪に、地獄そのものになっていく。音楽は最終楽章プレストに入り、彼はたえられなくなり目を閉じる。彼は恐怖におわれ、はてしない昆虫と爬虫類の行列を見、それらは、突然、はてしない兵士の行列、ナチスの大行進に変わる。そこには、絶叫するヒトラーの顔、おびたしい数のキリスト、マルクス、モスレムの戦士が見え、無数の死体がアフリカの砂漠に横たわっているのである。その後、場面はウィルの個人的様相をていし、彼の現在の自己嫌悪の原因となったいまわしい過去があらわれる。彼と愛人のパブズ、自殺同然に自動車事故死した妻モリー、彼が生涯において唯一愛したメアリー叔母さんの楽しげな顔と苦しげな悪意に満ちた顔があらわれる。彼女はガンで死亡したのだった。彼の苦痛地獄は、不滅の無意味さを伴い、苦しみははてしなく、彼は「本質的恐怖」、つまり、死の恐怖に閉じこめられる。

しかしながら、スシラの導きにより、ウィルの苦痛は終りを告げ、彼の天国と地獄は和合する。彼女の手が彼の顔にかかり、額に動く。「そっと、眉から髪へ、そっと、両側のこめかみから眉間へかけて。上へ下へ、右へ左へと精神の緊張をやわらげ、おどろきと痛みのしわをのばす。」(p.277)そして、指先は閉じたまぶたの上でとまる。これにより、彼の注意は「今、ここに」、つまり、「この親密な、意外な、危険を潜在させた接触」に集中され、肌から肌へと生命の交換を感じ、すこしずつ彼の恐怖はひいていく。ここで、ウィルはモクシャ薬を飲んでではじめて彼女の顔を見る。二人は、画家、レンブラントが描いたような人間、その数千倍も神秘的な人間に見える。そして、彼は愛、「神は愛なり」という愛を理解する。彼は夫を失ったスシラの深い悲しみを理解でき、マイナ鳥が発しているもう一つの言葉、「カルナ」、いわゆる、「慈悲」という言葉の意味がわかったのである。二人は窓辺に寄添い、夜明け前の情景を眺める。

「彼は身動きもせずそこに立って見つめた。時間を超

えて、次から次へと集中が重ねあわさり、意味が深まっていくのを見つめた。涙が目にあふれ、ついに頬をつたわった。……ほかに彼の感謝をあらわす方法がなくて、どうにもならないのだった。生きていることの特権と、この奇蹟を目撃できた——目撃どころか、それに参加している、その一部分であることの特権に感謝した。この光りまぶしい祝福と、あらゆる分別をこえた理解の贈物に感謝した。この神聖なるひとつのものとして一体であると同時に、他の有限なる生物ととも有限な生物であることに感謝した。」(p.283)

かくして、彼は天国、「地上の天国」を体験すると共に、涅槃の至福、すなわち、慈悲であることを理解したのである。以上が、長々と述べすぎたが、ウィルのモクシャ薬体験の叙述である。しかし、この時、隣国レンダンに支援された王、ムルガンの軍隊があらわれ、戦車を走らせ、自動小銃を乱射し、パラの国家の崩壊を告げる。けれども、自我に悩まされ続けてきたウィルの自己は悟りを開き、悲しみが終わったという事実は永遠に残るのである。

## II

上述のようにみえてくると、モクシャ薬は作者の想像上の産物であると考えられるかもしれない。『島』はユートピア小説であり、パラは現実に立脚しない理想郷である。理想郷であるがゆえに、現実に実現不可能な事柄がでてきても不思議ではない。しかし、モクシャ薬には、作者、ハックスレーの直接の体験に基づいた明確な根拠があった。彼は、巻頭言で、「理想をかたちづくるときに、われわれが願望するものを想定することはかまわないが、不可能なことは避けるべきである。」(p. 6)と述べているが、モクシャ薬にも彼の30年におよぶ思索の成果がこめられているといえる。

モクシャ薬の前身ともいえるものは、30年前の『すばらしい新世界』(1932年)のソーマである。同じように科学を使いながら、『すばらしい新世界』は逆ユートピア、『島』はユートピアという違いがあるが、二つの作品の道具だてにはにかよった部分がかかなりある。優生学を応用した人工受精、人工流産、パブロフ式条件反射教育なり育児法、性の解放、薬物利用などである。これらの類似は、『島』が作者の想像力の停滞した作品であり、「ハックスレーの思想と想像力のゆきずまりを認めなければならない」<sup>7)</sup>と批判される原因でもあるが、これらの道具だては「両刃の剣」的使いかたで、『すばらしい新世界』では悪を、『島』では善を達成するために使われている。薬物も同様で、モクシャ薬は人間性を満開させたのに反して、ソーマはキリスト教とアルコールの長所をまぜあわせたもので、あらゆる不快感を消す万能薬

であるが、結果として人間性を喪失させたのである。ここから、モクシャ薬は単にソーマを裏返しにしたものとみなすこともできるわけであるが、ハックスレーの薬に対する思索・研究はその後ずっと継続するのである。ただ、ここで注意すべきことは、彼の薬への関心がすでに1930年代初めにはじまっているということである<sup>9)</sup>。

モクシャ薬に直接関係があるのは、彼の一連の幻覚剤の服用実験である。まず、彼は1953年5月、ハンフリイ・オズモンド博士と妻のマリアの監督下でメスカリンを服用し、その体験記を『知覚の扉』（1954年）として発表した。2年後に、彼は『天国と地獄』（1956年）において、幻覚体験と神秘体験について考察し、その後も彼の薬物実験は続いたのである。その間の事情をメイ氏は次のように述べている。

『島』の最後の章の叙述は『知覚の扉』と『天国と地獄』において述べられているノンフィクションな経験の類の拡張である。しかし、それはかなり拡大されている。ローラ・アーチェラ・ハックスレーは、その『回想記』で「1953年から1963年の間に、オールダスは10～12回科学的に誘引されたサイケデリックな経験をした<sup>9)</sup>と述べている。彼女は明らかに『島』に関係がある（ハックスレーがLSDを服用後、バッハのブランデンブルグ協奏曲第四番を聞いた場合のような）会話や出来事の断片を再現している。彼女はハックスレーが「LSDの発見者、アルバート・ホフマン博士に『島』において個人的なサイケデリックな経験の話は直接の知識です」と書いた<sup>10)</sup>と述べている。これらの事実から、『知覚の扉』が出版された1954年以後、ハックスレーの薬物経験はより豊かにより啓示的になったように思われる。<sup>11)</sup>

ハックスレーがメスカリンを飲んだいきさつは『知覚の扉』に述べられている。直接的には、精神分裂病の研究をしていたオズモンド博士の実験材料になったのであるが、間接的には、メスカリンの適量の服用は毒性が少なく、意識の質を変え、神秘詩人といわれるウィリアム・ブレイクやジョージ・ラッセルが記述したような内的世界へ入っていけると、ハックスレーが考えたからである。彼のこの考えは、メスカリンがメキシコやアメリカ南西部の原住民の間や原始宗教で偶像視されたサボテンの根の主成分であることに原因している。サボテンについての組織的な研究成果が発表されたのは1886年であるが、彼のメスカリンへの関心も比較的早くからあった。彼が『すばらしい新世界』でニュー・メキシコという野蛮人保護地区を設定したさい、そこの住民がメスカル酒やペョートル酒を飲んでいる<sup>12)</sup>。彼は、神秘主義思想に接近するにつれて、百科辞典の知識ともいわれる豊富な読書をした時、神秘主義の古代宗教で、宗教的儀式に使

われ、「陶酔」「恍惚」を呼ぶ薬物があることに興味を持ったと考えられる。ソーマにしても、この名前はインドの古代アーリア人の宗教儀式に使われる植物からとったものである<sup>13)</sup>。ハックスレーは、メスカリン服用により、神秘体験か、または、それによく似た体験ができるのではないかと考えたのである。

ハックスレーのメスカリン服用記とモクシャ薬の描写、特に15章の描写とは類似、いや、酷似しているといつてさへ過言ではないと思われる。それは、本の最初の部分をみても明らかである。まず、彼は服用後30分ほどして、金色の光がゆっくりと踊るのに気がつき、少したつと豊潤な赤い色の広がりも意識する。1時間半後には、花瓶の花は「アダムが創造された日の朝彼が眼にしたもの——一刻一刻の、裸身の存在という奇跡<sup>14)</sup>」となる。そして、彼はマイスター・エックハルトの〈イステイヒカイト〉、存在そのもの、という言葉思いおこし、あるがままの存在そのものとはどういうことを理解し、「〈存在—認識—至福〉——これらのおどろおどろしい言葉の言わんとすることを、はじめて言葉の次元ではなく、漠として不完全な暗示によるのでもなく、…正確に、完全に、理解した<sup>15)</sup>」のである。彼は、また、鈴木大拙の本の一節を思いだしたりもする。彼の一瞬解放された至福の「非自我」は、書棚の本を「仏陀の法」として見る。

「私が眼をやると、花の場合と同じように、これまでにない鮮烈な色彩で、これまでにない深い意味を持って輝いた。ルビーのような赤い本、エメラルドの本、白翡翠装幀の本、瑪瑙の本、藍玉の本、黄色トパーズの本、そして瑠璃の本は、色彩が非常に強烈で本質的意味にあまりに満ちているために、いまにも棚を抜け出してもっと執拗に私の視線に身を投げ付けてくるかのように思えた。<sup>16)</sup>

彼が関与しているのは、事物の「存在と意味」であり、空間に対しては無関心になり、時間に対しては更に完全に無関心になる。彼の体験は「一つの絶えず変化する啓示からできていく永遠の現在」となり、花・タイプ台・椅子・机などすべてのものが「内なる光」に輝き、無限の意味に満たされるのである。このような事柄が本の最初の四分の一の部分に述べてある。これをみても、モクシャ薬とメスカリンの結びつきは明らかである。このあと、ヴァン・ゴッホの「椅子」を契機に絵画論が長々とあったり、清められた知覚と現実の人間生活との関係を考えてたり、音楽をかけた感想、狂気・地獄を感じるところでスシラの役割を示唆している部分などが続く。

『知覚の扉』は、メスカリンの服用体験だけではなく、ハックスレーのメスカリンに関する考察も含んでいる。彼は、メスカリンと人間の知覚との関係、つまり、

なぜメスカリンが幻覚を生じさせるのかという問題や、その他に、メスカリンの効用・価値についても述べている。彼は、まず、メスカリンの体験から、ケンブリッジ大学の哲学者、C.D. ブロード博士の記憶と感覚知覚に関する意見に賛成して、メスカリンと幻覚体験について次のように推論する。一般的には、生物学的存在である人間は、大脳が成長・発達する過程で意識の領域が周囲に拡大していくと考えられている。しかし、ハックスレーの考えでは、人間は、宇宙の「実在」の中に生物学的に存在しており、人間の大脳や神経組織や感覚器官を通して、「実在」が流入してきて、人間の意識、精神の世界ができる。しかし、「実在」が無制限に人間の中へ侵入してくれば、人間は安全に生物学的存在を維持していくことができなくなる。そこで、「実在」は、大脳・神経組織・感覚器官という三つの制限バルブによって、人間が生存を続ける上で役に立つ範囲のものに限定されて人間の中へ入ってくるのである<sup>17)</sup>。このようにして、人間はそれぞれ自分なりの意識の世界を形成しているのであるが、「実在」が導入される制限バルブの他に「側路」というものがあり、それを生まれつき持っている人がいるし、また、この「側路」は自然発生的に、意図的な「精神修行」の結果、また、催眠、薬物の服用などによっても得られることがある。また、大脳には幾つかの酵素体系があるが、メスカリンはその酵素の生産を抑制し、糖分を減らす。それによって、大脳の制限バルブの能力は減じ、ふだん意識しない「実在」がにじみでてきて、幻覚のような異常体験が起こる。これが、ハックスレーの人間の意識形成とメスカリンの影響についての考えであり、『島』においても同様なことを、マックフェイル博士が簡単に述べている。(p.138)

ハックスレーは、更に、本の最後の方で、メスカリンの価値、いかえれば、メスカリンのような薬物は、人間が社会生活を営む上でどのような意味を持つかを考えている。彼は、次に述べるような意味で薬物を推奨しているのである。人間の生は辛く、単調で、貧弱なものである。それゆえ、人間は一時的にでも、その生から逃れたい、自己を超越したいという願望を持っている。これは人間の魂の基本的欲求の一つであり、自己解放のために様々なものが古代から考案されてきた。芸術・宗教・カーニバル・農神祭などがそうである。そして、人間の個人用として、日常に使用できるものとしては、化学的意識変革剤が有効であった。薬物は現在では違法になっているが、現在許可されているアルコールやタバコと比較して、害は少いと思われる。アルコールはアル中患者、また、酔っぱらい運転でおきる交通事故、タバコは肺ガンと関係がある。また、この二つの物に人間が費やす金銭と時間は莫大なものがある。これら二つよりもっ

とよい人間を解放するもの、つまり、「壁の扉」が現在において必要とされる。すなわち、害が少なく、少量で効果があり、合成も可能で、人間を解放するだけでなく、人間を教化するのにも役立つ意識の変化を経験できるような薬物が考案されるべきである。これがハックスレーの薬物利用に対する考えであり、このような考えにたって創造された理想的な薬物がモクシャ葉だといえる。しかし、このような薬物は宗教の化学的代用品である。ハックスレー自身、このことを述べているが、これについて、また、メスカリンおよび薬物の是非については、別の機会、ハックスレーと科学 (II) で考えたい。

モクシャ葉の描写を考える時、もう一つ忘れてはならないことは、ハックスレーの小説、『時は止まらねばならない』(1944年)との関係である。この小説の登場人物の一人、ユースタス・バーナックは、死後も意識があり、その死後の存在をハックスレーは描いたのであるが、その描写は英訳された『チベットの死者の書』に基づいていた<sup>18)</sup>。ユースタスは死後、三段階のパルドを通過し、つまり、転生して生まれ変わるのだが、彼の意識する内容とウィルのモクシャ葉服用後の意識内容とは同一のものが散見されるのである。例えば、「光の認識」が同一であると考えられる。ユースタス自身も、限界がなく堪えがたいほどの光を認識し、至福の一部となり、静寂や美と一体になったりする。しかし、彼の自我が妨げとなり、しだいに、彼の自我、すなわち、彼自身の過去の断片があらわれる。この過去の断片は、彼が愛好した葉巻、情を通じたミミーなどであるが、ウィルもその地獄経験においてこのようなことを経験する。つまり、彼らは過去の悪業、屈辱、快楽を思いだし、恐れ、嫌悪を抱くのである。『知覚の扉』で、ハックスレーは多少これについて触れている。メスカリンは常態では、服用者に天国だけを体験させるものであるが、時として、恐怖を感じさせる時がある。それは、小さな自我が大きな「実在」を前にして、圧倒され、絶望・恐怖を感じるのであるが、『チベットの死者の書』にも、自我にこりかたまつた死者の魂は、「光」を前にして苦悶を感じたじろぐと書いてあると述べている。ハックスレーは、メスカリン服用時に、『チベットの死者の書』が念頭にあったのであり、また、モクシャ葉描写にさいして、ユースタスの死後描写を思いうかべていたと考えられる。

このように述べてくると、モクシャ葉には、ハックスレーの『島』以前の色々な著作が関係していることがわかる。その中でも、特に関係が深いのは『知覚の扉』だということになる。このエッセイを詳しく読んでいくと、驚くほど、モクシャ葉服用の描写、また、その効用などについて『島』の登場人物が語る言葉と類似した部分が多い。まさに、『知覚の扉』は、モクシャ葉の解説

書ともいふべきものである。いや、『知覚の扉』が先に発表されたものであるから、『島』においてハックスレーのメスカリン体験およびその考察が、他の事柄もまじえて、そっくりそのまま小説に結実しているというべきであると考えられる。『島』はハックスレーの以前の評論・小説の集大成であると言われるゆえんである。

## 注

- 1) Aldous Huxley, *Island* (London, Chatto & Windus, 1966)  
以下、この作品からの引用はこの版に基づきページ数のみを記す。なお、翻訳が片桐ユズル氏によって、『島』(京都, 人文書院, 1980年)としてでている。『島』の引用部分はこの本より借用した。
- 2) 拙稿「ハックスレーの『島』——理想郷パラについて」、『山川鴻三教授退官記念論文集』(東京, 英宝社, 1981年), 446—7頁参照。
- 3) 同上, 449—452頁参照。
- 4) Aldous Huxley, *The Doors of Perception and Heaven & Hell* (London, Chatto & Windus, 1968), pp. 107—112。ここで、ハックスレーはどのような風景画が、人間の心を「他界」へ運ぶかを考察している。
- 5) 成田成寿(編)『ハックスレー』<20世紀英米文学案内>(東京, 研究社, 1967年), p. 139。『島』の原文では三頁にわたるが、よくまとめられているので引用させていただいた。
- 6) Keith M. May, *Aldous Huxley* (London, Pula Eleck Books Ltd., 1972), p. 217
- 7) 成田成寿(編)『ハックスレー』, p. 142
- 8) Michael Horowitz and Cynthia Palmer, *Moksha* (London, Chatto & Windus, 1980) は、ハックスレーの1931年の「薬物に関する論文」を最初のものとして取り上げている。
- 9) Laura Archera Huxley, *This Timeless Moment* (London, Chatto & Windus, 1969), p. 131
- 10) *Ibid.*, p. 146
- 11) Keith M. May, *Op.cit.*, p. 218
- 12) Aldous Huxley, *Brave New World* (London, Chatto & Windus, 1967), p. 98
- 13) Aldous Huxley, *Brave New World Revisited* (London, Chatto & Windus, 1974), p. 99
- 14) Aldous Huxley, *The Doors of Perception and Heaven & Hell*, p. 11。なお、翻訳が、河村錠一郎氏によって『知覚の扉』(東京, 朝日出版社, 1978年), また、今村光一氏によって『知覚の扉／天国と地獄』(東京, 河出書房新社, 1976年)としてでている。『知覚の扉』の引用部分は河村氏の本から借用した。
- 15) *Ibid.*, pp. 12—3
- 16) *Ibid.*, p. 13
- 17) この部分は、松島健, 『オルダス・ハックスレーの長篇小説研究』(大阪, 増進堂, 1979年) pp. 290—3において詳しく解説されている。筆者もこれを参考にした。
- 18) 『時は止まらねばならない』と『チベットの死者の書』との関係は、堀正人, 『新訂オルダス・ハックスレー研究』(東京, 英宝社, 1974年) pp. 153—198において詳しく解説されている。

# 成績情報検索システムの作成

宮本 止戈雄・東野 秋二

## Reference System of the Students' Educational Information

Shikao MIYAMOTO, Shuzi HIGASHINO

We have designed and constructed the reference system of the students' educational information by making use of electric computer. Main contents of this information are students' records of all sorts ever since our technical college was established. For the educational purpose one may apply this system to get available data.

### 1. はじめに

本校が設立され本年で19年目になり、入学者総数は2,893人になっている。この間の教育成果の蓄積には膨大なものがある。また長い間には、学生の資質や気質、また社会情勢も徐々に変化してきており、教育の直面する問題も多様なものがある。このような状況の中で、多くの情報を記憶管理し迅速で正確な情報処理を行う電子計算機の機能を生かした情報提供システムの充実は、教職員の教育活動を支えるために重要である。

本校には昭和50年3月に教育用電子計算機としてMELCOM 9100/30Fが設置され、52年度からこれを用いて成績や欠課時数のデータ処理を行い、進級認定資料等が作成されるようになった。入学者選抜の判定資料の作成にも55年2月から利用するようになった。また、55年3月には新しく研究および教育情報処理用電子計算機としてMELCOM 70/30も設置され、55年8月には教務委員会を中心として設計した仕様書にもとづいてメーカー側により作成された成績管理プログラムが導入された。これにより、OCRによる手書き文字の入力、カタカナ文字が扱えるようになった点、複雑な不可Aや選択制に係る成績処理など多くの進歩があった。

現在使用している成績管理プログラムは現在の在学生のデータのみを対象としているし、電子計算機で利用できる成績等のデータは52年度以降しか揃っていない。それ以前の学生に関する情報は指導要録をはじめとして各種の帳簿に記載され保管されているが、これらを調査するには非常な労力と時間が必要である。そこでこれらの中から必要なデータを電子計算機のファイルに一度整理しておけば、学生に関する各種の実態や動向を統計的に数量化して教育活動の場に提供できる。この目的のため、本校創立以来の在学した全学生のデータ検索を

可能とするマスターファイルおよびその入出力用のプログラムを開発した。また学籍および成績に関するデータもこのファイルに収録したので、その概要を報告する。

### 2. ファイルの設計方針

学生のデータファイルを作成するにあたって、設計の基本方針を挙げる。

- (1) 追跡調査や各種の解析を行う場合、データファイル内の任意のデータの検索、入出力、更新が簡単にできること。
- (2) 最初から必要なデータ項目をすべて考慮に入れることは困難であるので、将来必要に応じて新しいデータ項目が容易に追加できる構造にする。
- (3) ある学生の検索にあたって、キーワードとして「年度、学年、クラス、名簿番号」を用いるのはわかり易い、しかし、留年・転科などもあるので年度が異なった場合、同一学生を同定するには入学時から卒業するまで変化しない学籍番号がよい。そこで便利さを考えて「学籍番号」と「年度、学年、クラス、名簿番号」のいずれでも検索できる構造にする。
- (4) カートリッジディスクパックをマスターファイルとして使用する場合、記憶容量は5Mバイトで多くないので効率よくデータを格納する。

このような方針をかなえる必要性から、数値データは主として次の節で述べるように規格化した380バイトの索引付きレコードの中に格納する。またデータ検索の行い易さを考えて、学籍番号をキーワードとした学生の個人毎のレコードに格納するのは学籍関係など僅かなデータに留め、大部分のデータはクラス毎にまとめて「年度、学年、クラス、データ種別」をキーワードと

する規格化したレコードに格納する。

### 3. データレコードの設計

データを磁気ディスクメモリーに効率的に格納し各種の処理プログラムを作成する際に入出力の操作手続きを簡潔にするため、データの格納様式を規格化する。まず、レコード長は実用的な条件と物理的な制約から380バイトとする。これを図1のように区分して用いる。各使用領域は次のようになる。

第1～4バイト：第1キーワードで、年度、学年、クラスを用いることが多い。

第5～8バイト：第2キーワードで、データの種別を表すコードを用いる。

第9バイト：未使用

第10バイト：書き込みのプロテクションフラッグ

第11～16バイト：データの格納状況を示すゲート

第17～18バイト：格納データの個数で、クラスの人数になることが多い。

第19～80バイト：このレコードに関する補足データの書き込み領域

第81～380バイト：この300バイトを6バイトずつ50の領域に区分し、それぞれ第1データ領域～第50データ領域とする。

次にこの中で、長さ6バイトの50個の各データ領域にデータを格納する場合、データの長さに見合った適当な格納場所を1～128の格納番号で指定する。この様子は図2に示す。図2は6バイトのデータ領域を示し各格納番号はデータの格納領域に対応して付けられている。例えば、格納番号1は左端の1バイトの領域を指定する。また格納番号82は左から2ビット目の1ビットを指定する。領域が重複する格納番号は同時には使用できない。

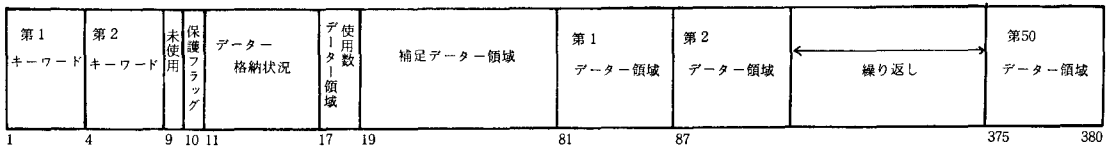


図1 データレコード

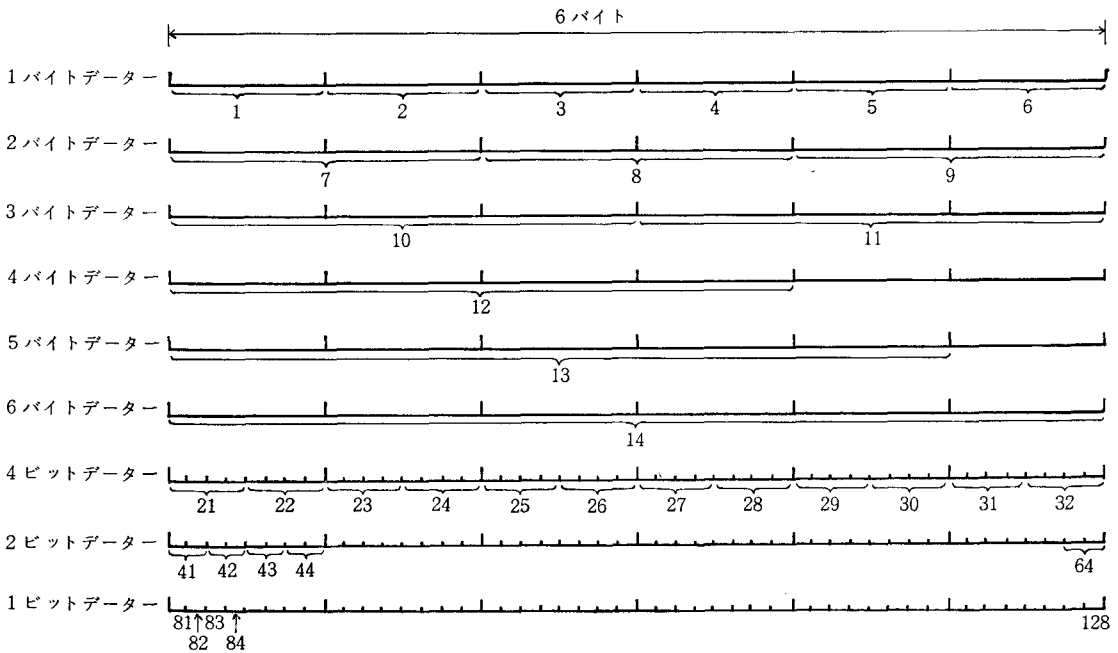


図2 格納番号と格納領域の対応

4. 入出力プログラムの作成

前節で述べた規格化したレコードの集合は8バイトのキーを持つ索引ファイルを構成する。このファイルの所定のレコードへの入出力は、次の様な入出力命令によって行うことができる。

RDREC (I, A, B, NO, K, L)  
 WTREC (I, A, B, NO, K, L)  
 WTFF (I, A, B, NO)

ここでIにはファイルの種別を表す番号を与え、A, Bにはそれぞれ第1, 第2キーワード、NOには格納番号を与える。これらの命令を実行すると、RDRECはキーワードにより所定のレコードを検索し、格納番号で指定された第1～第50データ領域のそれぞれの格納内容をLで示される主メモリの第1～第50ワードにそれぞれ転送する。(図3を参照)

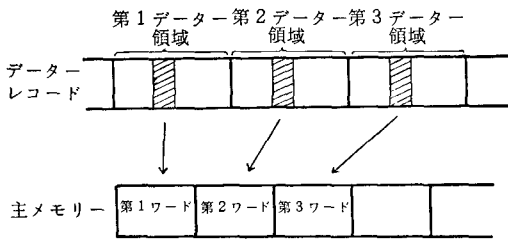


図3 RDREC 命令による転送

ただし、格納番号が10～12のときは主メモリの第1～第100ワードにそれぞれ2ワード毎に転送し、格納番号が13又は14のときは主メモリの第1～第150ワードにそれぞれ3ワード毎に転送する。Kにはデータ領域の使用個数を転送する。WTRECの場合には逆に主メモリからキーワードで示されるレコードに転送する。Kには転送個数を与えておく。WTFFはキーワードで示されるレコードの中の格納番号の領域を初期設定のパターンにする命令で、その領域内のビットをすべて1にする。

5. 格納情報の設定

学生データの内容は多岐におよぶが、ここでは第1段階として、主に学籍関係および成績関係のデータを収集した。その内容は以下の通りである。

- (1) 学籍状況 (学生氏名, 学籍番号, 性別, 生年月日, 入学年度, 進級状況, 各学年の学科, クラス, 名列番号)
- (2) 出身中学校名
- (3) 中学の内申成績と行動の記録
- (4) 入学試験成績
- (5) 基礎学力試験成績 (54年度から, 1年生のみ)
- (6) 各教科の前期および学年末の成績と欠課時数, 単位数, 担当教官名
- (7) 進路先名 (就職会社名や進学校名)

6. データファイルの作成

学籍状況, 出身中学校名, 進路先名のデータを図4

表1 レコードの内容とその格納番号

レコード内容	項目
中学内申成績 1年 (C001) 2年 (C002) 3年 (C003)	国語, 社会, 数学, 理科, 英語, 美術, 音楽, 保体, 技家をそれぞれ (21～29) に格納し, 5段階又は10段階評価の区別を (30) に格納する
行動の記録 (C005)	11個の項目をそれぞれ (41～51) に格納する
入学試験成績 (B000)	国語(1), 社会(2), 数学(3), 理科(4), 英語(5)
基礎学力試験 (E000)	数学(1), 英語(2)
各教科の成績 (各科目のコード)	前期成績(1), 学年末成績(2) 前期欠課時数(3), 学年欠課時数(4) 特別認定成績(不可A, 仮進級等)(5) 名列番号(6) 単位数, 教官コードは補足データ領域に格納する
学籍番号 (G000)	学籍番号(7), 名列番号(6)

学籍番号	学生氏名	性別	生年月日	入学年度	進級状況 (休学, 留年, 退学)	各学年の 学科, クラス, 名列番号	中学校名 コード	進路先名 コード	未使用
1	5	26 27	33 35	45	85	89	93	100	

図4 学籍レコード

表2 出身中学校別入学者数一覧表

\*\*\* チョウカ<sup>ツ</sup>コウ<sup>ハ</sup>フ ニョウカ<sup>ク</sup>シタスウ イチラシロウ \*\*\*

	ニョウカ <sup>ク</sup> シタス <sup>ウ</sup>	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	コ <sup>ノ</sup> ツ <sup>キ</sup>
1	N コオリア	4	7	5	2	8	7	4	3	?	13	9	3	8	6	2	4	4	6	1	99
2	N ミカト	4	1	3	.	6	2	1	7	2	6	6	8	4	6	5	6	4	5	4	87
3	N クワラモト	3	4	2	1	4	4	5	8	5	5	3	3	10	4	1	3	3	5	3	76
4	N トキ	1	5	2	4	3	8	5	5	4	4	6	3	2	2	4	4	5	2	1	70
5	N ヒダシオ	3	1	4	4	1	6	5	2	3	1	2	2	4	4	3	8	7	3	3	66
6	N アクライ	2	2	1	1	3	1	10	5	5	6	3	7	6	6	1	3	1	1	.	64
7	N 八木川	5	3	.	2	.	3	1	.	4	4	3	4	1	6	6	10	6	.	4	62
8	N 八木川	3	3	4	1	4	4	4	3	2	4	.	2	3	3	5	4	4	5	4	62
9	N コウリョウ	8	4	3	3	3	1	4	3	1	3	3	2	3	2	6	3	2	.	3	57
10	N アジミ	2	2	2	3	.	6	3	1	7	2	1	5	3	1	1	3	7	7	.	56
11	N アラキヨウイワガ イフツク	2	1	.	7	4	7	6	8	1	4	1	1	1	3	.	2	1	2	3	54
12	N イノ	1	3	2	4	3	4	6	3	4	7	4	2	1	2	3	2	.	2	1	54
13	N イカヒタ	4	1	5	2	4	3	2	1	1	2	4	.	1	2	4	4	1	6	2	51
14	N アツチ	1	2	1	3	6	5	4	4	1	2	2	.	2	2	4	4	1	2	3	49
15	N コノリトフエミ	.	1	1	1	1	3	1	3	4	3	8	2	1	4	3	1	2	3	1	47
16	N イノ	1	.	4	1	2	2	2	4	2	1	4	2	3	1	4	4	2	2	2	47
17	N トキ	.	1	.	2	.	3	4	4	4	.	1	1	1	3	3	2	6	3	4	47
18	N オシノ	1	2	2	4	3	2	1	2	3	5	3	2	2	3	3	.	2	3	1	47
19	N アカガ	3	6	.	2	1	2	3	1	1	2	3	6	1	4	.	2	2	1	3	47
20	N シカガ	1	3	.	4	3	1	4	4	2	.	1	5	2	2	3	.	2	3	.	47
21	N アカガ	3	3	2	2	.	2	3	1	1	2	3	4	3	1	6	2	.	1	1	47
22	N アカガ	1	2	3	1	1	4	1	.	2	1	5	6	4	2	1	.	.	4	2	47
23	N ハイノ	1	.	2	.	1	4	9	3	2	2	3	1	.	.	1	1	1	2	3	36
24	N トク	2	.	.	3	1	2	.	1	4	3	2	5	1	1	2	.	2	3	3	35
25	N ナシハラ	1	2	3	3	1	3	1	.	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	.	35
26	N ツト	4	.	6	.	3	4	3	1	2	1	3	.	1	.	1	2	.	1	.	32
27	N テンリキ	1	.	2	2	1	1	1	3	2	3	4	4	2	2	1	.	.	3	.	32
28	N コウク	1	1	.	.	1	1	1	2	1	.	2	1	3	5	.	1	4	5	2	31
29	N オツシ	2	1	1	1	5	1	.	1	1	1	5	2	.	3	1	2	2	3	1	31
30	N オオミ	2	3	3	.	.	2	.	1	6	.	1	.	5	1	2	.	2	.	1	27
31	N ヲウツク	.	1	1	3	1	1	3	.	1	2	.	1	1	.	1	4	2	2	1	25
32	N テンシエミ	.	2	1	2	1	4	.	1	2	2	.	.	3	2	3	1	.	.	.	24
33	N コノリトフエミ	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	2	1	4	4	3	.	24
34	N ハクキ	6	3	2	2	1	.	.	.	.	.	2	.	2	1	2	1	.	1	.	24
35	N ヒカクシク	.	1	.	5	3	1	3	7	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	24
36	N ヒカク	.	1	3	2	3	1	2	.	2	2	.	.	.	4	1	1	.	.	.	24
37	N シシキ	1	3	.	2	2	1	1	1	2	1	.	.	5	.	.	.	1	1	.	21
38	N ヲシ	2	.	1	.	1	1	1	1	2	1	.	.	4	.	1	2	.	2	1	21
39	N シンシヨウ	.	.	1	2	1	.	1	.	2	1	5	.	.	1	.	.	2	1	4	21
40	N トミカ	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	1	3	2	1	3	2	2	20

の様に配列して学籍番号をキーワードとする100バイトのレコードを各学生毎に作り、これを集めて学籍ファイルを作成する。前節の(3)~(6)のデータは、いずれも第1キーワードとして「年度、学年、クラス」を持ち、第2キーワードおよび格納番号はそれぞれ表1の中の括弧で与えられるデータ構造のレコードに格納する。成績ファイルはこれらのレコードからできている。表1に表したレコード以外にも平均点、欠課時数の合計、席次等のレコードがある。また必要に応じて新たなデータ項目を自由に追加することもできる。この2種のファイルの他に教官名、中学校名、進路先名とそれぞれのコード番号を対応させるファイルが3種類ある。入力したデータは前期末成績と欠課時数の一部を除いて昭和39年度の本校創立当初から現在に致るまでの全期間におよんでいる。

7. マスターファイルの利用

マスターファイルの完成により多様な教育情報が得られるようになった。ファイルは索引レコードになっているので、年度、学年、クラス名とデータ種別を表すコ

ード、格納番号を与えればそのクラス全員のデータが一度に検索できる。またこれらのデータを氏名、名列番号と共にコンソールターミナルの画面上に表示したり、LP用紙に印字することもできる。またプログラムの中で各種の統計的な調査に引用することもできる。

表2に示したのは出身中学校別入学者数一覧表で出力できる一例であるが、過去の任意の学級の成績一覧表、本校創立以来の全入学生のアイウエオ順の学籍状況一覧表、卒業生の進路一覧表などいろんなものが考えられる。今後、更にこれらの処理を扱い易くするソフトウェアを開発する必要がある。

8. むすび

主として成績関係のデータを扱ってきたが。現在、これらのデータの電算機への入力体制は一部を除いてできあがっている。今後、学生の生活指導、健康管理に関する情報処理を検討する必要があると考える。

最後に、資料の調査にあたり、心よくご協力いただきました米澤清光氏、小泉最弘氏、杉本龍信氏、北博文氏、乾和己氏の方々に深く感謝の意を表します。



# NC 工作機械プログラムのシミュレーション

和田 任 弘 ・ 東 野 秋 二

## Computer Simulation of Programming for Numerical Control Machine Tool

Tadahiro WADA and Shuzi HIGASHINO

NC装置の入力媒体としては、一般に紙テープが使用されているが、プログラムミスやパンチミスは、大事故につながる。そこで本報では、これらの問題の解決の一助として、電子計算機によって、NCプログラムのチェックやトレース・シミュレーションを行なうことを目的とする。

その結果、プログラムミスやパンチミスを、切削加工を行なう前に、発見することができ、より正確なNC工作機械プログラムを作成することが可能となった。

### 1. 結 言

数値制御工作機械 (Numerical Control: NC) は、電子工学の発達、サーボ機構の進歩、あるいは機械技術の発達による工作機械自身の精度の向上という内部条件が満たされたあと、人手不足や人件費の高騰という社会的環境の変化ならびに高精度で複雑な形状の部品の需要増などの周囲条件によって最近急速に発達した。今やマシニングセンタといった自動工具交換装置付のNC工作機械が開発され、NC工作機械の発展は、いっそう加速される傾向にある。このため切削作業の経験の浅い作業者であっても、短期間の教育で複雑な形状の部品を容易に製作することが可能となるだろうと予測されたにもかかわらず、NC工作機械が加工に熟達した技術者を支援する道具として利用されているのが現状であり、またプログラムミスあるいはNCテープのパンチミスにより予期できぬ大事故を引起す危険がある。このため通常のNC工作機械には、補助機能ロック、Z軸無視などの種々のチェック機能が付加されている。ところが、これらのチェック機能が、いずれも切削加工を施すことによって、プログラムミスあるいはパンチミスを見出すのではなく、NC工作機械のテーブル上に、単に図形を描かせるためだけの場合が多いため、種々の切削現象をよく理解しないままに、切削加工を施すと、所望の仕上面品位が得られない、切りくずの処理性が悪い、あるいは切削条件が苛酷すぎるため、切削工具に過大な切削力が加わり切削工具を破損するなどの種々の予測されにくい障害をもたらすことが多い。

そこで本報では、与えられたNCテープを電算機に入

力させ、ラインプリンタに出力させる。つぎにX-Yプロッタに出力させる。さらに被削性の評価基準である仕上面あらさ、切削抵抗、工具寿命および切りくずの処理性を、シミュレーションすることによって把握し、切削状態を予測する。これらが可能な電子計算機プログラムを試作することを目的とする。

### 2. 手 順

プログラムミスおよびNCテープのパンチミスを見出すための方法として、次に示す手順で行なう。

(1) ラインプリンタによる出力：NCテープにせん孔されている情報が穴の配列状態としてせん孔されているため、この情報を肉眼で直接知ることはむずかしい。そこで、この情報をラインプリンタに出力させることにより、パンチミスを見出すことができる。

(2) X-Yプロッタによる図形化：紙テープの内容をX-Yプロッタで図形化することによって、所望の形状・寸法の製品が得られるか否かを知ることができる。

(3) 被削性による切削の状態の評価

次に示す制約条件により、問題を単純化する。

(1) 本工作機械で制御することのできる軸数は、三軸 (X軸、Y軸およびZ軸) で、しかも同一ブロック内で同時に三軸とも制御が可能である同時三軸制御であるが、ここでは、X軸とY軸の同時二軸制御と限定する。

実際の応用面としては、X-Y平面内での輪郭切削などがある。

(2) 本工作機械のマガジン部には、24本の工具を収納することができ、しかもランダムに工具の選択ができるが、ここでは、工具交換を行なわないとする。

- (3) 指令方式は、アブソリュート方式である。
- (4) 被削材の概形は、板材である。また図1に示すように、被削材は所定の位置に設置されている。

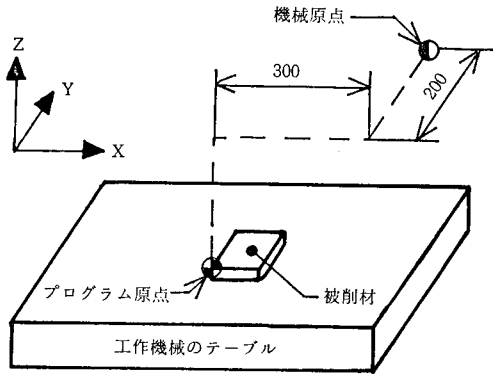


図1 被削材の設置されている位置

(5) プログラム原点は、設置された被削材を基準に決められている。すなわち図2に示す位置に、プログラム原点が存在する。また加工原点は、プログラム原点を基準に決められている。加工原点の高さ(H)を100mmとしたのは、専用の治具があるため、また被削材から離れた位置に加工原点を設定したのは、被削材の交換を考慮したためである。実際の切削では、使用するエンドミルの全長あるいは直径が変化するが、本工作機械のNC装置には、工具長補正(H値)や工具径補正(D値)の機能が付加されているため、HあるいはDの値を変更することによって対応できる。

- (6) 被削材の取付け方法については、考慮しない。
- (7) 切削工具としては、エンドミルを使用する。

### 3. 被削性による切削の状態の評価

被削性は、切削速度、送り、切込み、切削幅、切削油

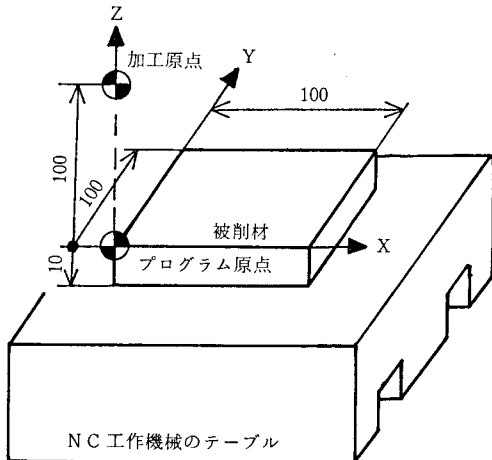


図2 プログラム原点および加工原点の位置

剤の選定、被削材の材質あるいは工具形状などの因子によって変化する。ここでは、とくに切削速度、送り、切込み、切削幅のみが変化し、その他の因子は不変であるとする。これは、同一材料を同一工具で、しかも切削方式を変化させないで切削した場合に対応する。

被削性の評価基準として、工具寿命、切削抵抗、仕上面あらさおよび切りくずの処理性があげられるが、これら四項目をすべて満足する切削条件(ここでは、とくに切削速度、送り、切込み、切削幅に限定する。)を導き出すことは、困難である。

(1) 切りくずの処理性: エンドミル切削の場合、切りくずの処理性が問題となるのは、切りくずがチップポケットの中につまったり、あるいは切削面と切れ刃の間にはさまり、切れ刃のチッピングや欠けを起こさせることである。これらの対策として、切削幅を小さくする必要がある。しかし、本報では、エンドミルによる端面削りを取扱っているので、切りくずを切削油で排除することによって、切りくずの処理性は、かなり向上すると考えられる。この節では、切削方式をチェックし、湿式で切削が行なわれているかを調べる。

(2) 仕上面あらさ: 平フライス削りにより生成される理論仕上面あらさ(Hmax theo.)は、次式で求められる。

$$H_{max \text{ theo.}} \doteq \frac{f^2}{8R} \quad \text{mm} \quad (1)$$

ただし

$$f = \frac{S}{n \cdot z} \quad \text{mm}/(\text{rev} \cdot \text{tooth})$$

n: 切削工具の回転数, rpm

z: 切削工具の刃数, tooth

R: 切削工具の半径, mm

S: 送り, mm/min

しかし、実際の仕上面あらさは、構成刃先の発生、刃の振れ、あるいは各刃形状の相異による要因が加わり、理論仕上面あらさよりも大きくなる。仕上面あらさが、どの程度大きくなるかは、実際に切削してみないと、はっきり把握できないが、構成刃先が発生しない切削速度を選択すれば、かなり理論仕上面あらさに近づけることができる。そこで本報では、メーカの推奨切削速度<sup>1)</sup>と同じ切削速度である20~60 m/min(炭素鋼に対して)を採用する。したがって、この節では、理論仕上面あらさおよび切削速度の計算を行ない、所望の値であるかをチェックする。

(3) 工具寿命: エンドミルで端面削りを行なう場合、正常摩耗によって寿命に達するよりも、切れ刃のチッピングあるいは欠損によって寿命に達する方が問題とな

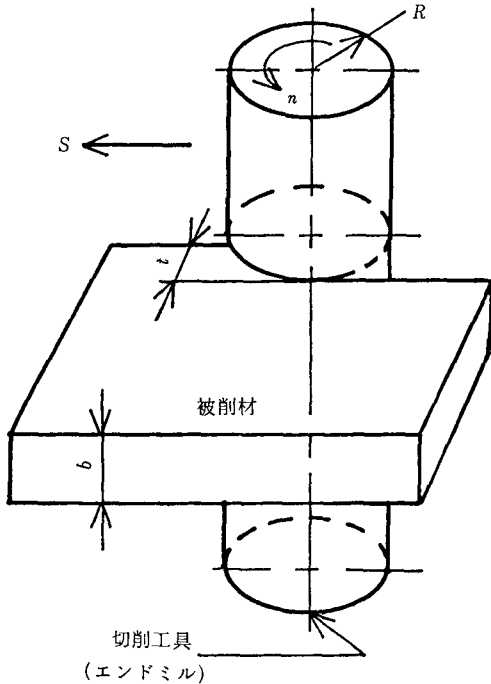


図3 エンドミル切削

る。この対策として、振動の発生をなくす、あるいは過大な切削力が切れ刃に作用するのを防ぐなどが考えられる。前者に対しては、工作機械、被削材や切削工具の取付け時の剛性を高めることで、ほぼ解決できる。後者に対しては、切りくずや切れ刃の摩耗などが原因となる場合や、切削条件が苛酷である場合などが考えられる。

(4) 切削抵抗：上述の切削条件が苛酷であるため、切削工具を破損させないためには、切削抵抗を、許容値以下にする必要がある。フライス削りでは、切削方向すなわち上向き削りあるいは下向き削りによって切削抵抗が変化する。同一切削条件では、工具寿命特性、仕上面品位あるいは取付け方法などの点で、下向き削りの方が、上向き削りよりも有利である<sup>2)</sup>。さらに切削合力も、下向き削りの方が小さい<sup>3)</sup>。これらの理由より、本報では、とくに切削方向は、下向き削りを採用する。エンドミルの円周方向の切削抵抗  $F_T$  は、一般に次式で与えられる。

$$F_T = C \cdot A \cdot P_S \quad \text{kgf} \quad (2)$$

そこで

- C：切削条件による定数 , —
- A：切削面積 , mm<sup>2</sup>
- P<sub>S</sub>：比切削抵抗 , kgf/mm<sup>2</sup>

しかし、切削面積 A が切れ刃の位置 φ によって変化するため、切削抵抗は φ によって変化する。また寸法

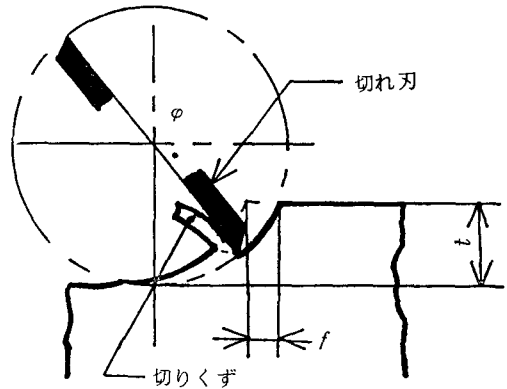


図4 下向き削りの切削モデル図

効果によって当然比切削抵抗が変化し、切削抵抗は変化する。そこで本報では、切削抵抗の平均値  $\bar{F}_T$  を、切削抵抗として採用する。益子<sup>4)</sup>によると、 $\bar{F}_T$  は次式で求められる。

$$\bar{F}_T = \frac{2^{1-\epsilon}}{2-\epsilon} \cdot \frac{b \cdot S}{\pi \cdot n} \cdot \left(\frac{t}{2R}\right)^{1-(\epsilon/2)} \times (P_S) f \quad \text{kgf} \quad (3)$$

ただし

- b：切削幅 , mm
- (P<sub>S</sub>)f：切削厚さ f における比切削抵抗 , kgf/mm<sup>2</sup>
- ε：係数 (P<sub>S</sub> = Ck<sup>-ε</sup>) , —
- h：二次元切削時の切削厚さ , mm
- C：係数 , —

S55C材パイプの端面削り（切削速度：1.0 m/s, 切削幅：1.5mm, 切削厚さ：0.03~0.21mm, 切削方式：湿式, 切削工具：SKH 6片刃バイト, すくい角：15°）の実験結果より、二次元切削データを得た。その結果、比切削抵抗 P<sub>S</sub> と切削厚さ h の関係は次式で表わされる。

$$P_S = 139 \cdot h^{-0.31} \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (4)$$

(4)式より (P<sub>S</sub>)f は、次式で求められる。

$$(P_S)f = 139 \cdot \left(\frac{S}{n \cdot z}\right)^{-0.31} \quad \text{kgf/mm}^2 \quad (5)$$

以上より、切削抵抗の平均値  $\bar{F}_T$  が求められる。またねじれ角のあるエンドミルの場合には、同じ切削仕事が大なる回転角の間に引き伸ばされているだけで、平均切削力は、ねじれ角のない場合と同じになる<sup>5)</sup>。したがってこの節では、切削方向が下向き削りとなっているか、また切削抵抗  $\bar{F}_T$  の計算を行ない、所望の値であるかをチェックする。

#### 4. ラインプリンタによる表示および X-Yプロッタによる図形化

電算機プログラムの流れは、先ず前処理として、NCテープのデータを1ブロック分読み込み、それをラインプリンタに出力するとともに、次の項目についてチェックを行なう。

- (1) 1ブロック内にアドレスGを除く他のアドレスを複数個使用していないか。
- (2) 各アドレスに続く指令値がそのアドレスに許された指令範囲を越えていないか。
- (3) 1ブロック内に同一グループに属するGコードを指令していないか。
- (4) 許されていない英字を使用していないか。
- (5) NCテープのプログラムが正しく終了しているか。

以上の項目についてチェックを行ない、間違いがあれば、そのことを表示する。間違いがなければ、そのブロックを内部表現に変換して配列に取込む。以上の処理をデータがなくなるまで続ける。

NCプログラムを配列に取り終わると、この配列の最初から読み出して行き、シミュレーションを行なう。本電算機プログラムでは、インクレメンタル指令にも拡張できるが、現段階では、アブソリュート指令でNCプログラムを作成する。

第3章での切削抵抗を求めるにあたり、切削速度と送りについては、NCプログラム中に現われた主軸回転数(S機能)と送り速度(F機能)を記憶しておくことにより、現在切削中の切削速度と送りがわかる。ただし、新たにS機能あるいはF機能が現われれば、そのつど記憶している内容を更新すればよい。問題となるのは、切込みであるが、これは、次に示す近似的判断を下して求めた。

先ず、工具補正が右側か、あるいは左側かを判断する。たとえば右側の場合には、工具の移動方向に向かって右側に、 $Nmm$  ( $N$ : 定数) の垂線を考える。この垂線が、以前のすべての工具軌跡および被削材のすべての境界線と交差するかを調べる。もし交差すれば、いくつかの軌跡の交点のうち最も距離の短いものを切込みとする。しかし、交点がない場合には、直線あるいは円弧で表現されている軌跡および被削材の境界線が、変化する節点の座標のうちで、現在移動している点に最も近い距離のものを切込みとした。半径の大きい円には、適応しにくい。

切込みを求める方法としては、この方法以外にも考えられるので、今後他のアルゴリズムも検討していく必要があると思われる。

図5に、メインプログラムのリストを示す。本システムは、電算機プログラムの汎用性を増すために、以下に示すサブルーチン群を持っている。

- (1) SUB. TABLIN: NCプログラムのデータカードを読み込み、電算機内の内部コードとして、配列(BA: アドレス, BV: 数字)に格納する。次に、第4章で示した5項目について、チェックを行なう。
- (2) SUB. MSG: NCプログラムに、文法上の誤りがあれば、エラーメッセージを表示する。
- (3) SUB. GRP00: 00 グループのGコードに属するGコードのシミュレーションを行なう。
- (4) SUB. NCV: NCプログラムのアドレスに続く数字を、数値に変換する。
- (5) SUB. GRP01: 01グループのGコードに属するGコードのシミュレーションを行なう。
- (6) SUB. CTST: 切込みを求め、切削抵抗、仕上面あらかさおよび切削速度の計算を行ない、それらの計算結果を出力する。
- (7) SUB. ANGL: XY平面上の任意の点Pを、極座標( $r, \theta$ )で表現した場合の $\theta$ を求める。

```

C      MAIN PROGRAM FOR NC SIMULATION
      INTEGER FLG(41),BA(300),GDT(15),BCC,KSBF(10)
      INTEGER POF(200),PC,GRP(100)
      DOUBLE INTEGER BV(300),IPB(43),X,Y,Z,KSPB(50),POS(500)
      COMMON /TRA/KSBC,PC,KSBF,POF,KSPB,POS,X,Y,Z
      COMMON FLIN/LC,RR,TOOTH,WIDTH
      DATA GDT/0,0,0,17,91,22,94,21,40,43,80,98,00,56,64,67/
      DATA GRP/1,0,4,-1,2,0,6,-1,3,2,2,6,2,4,3,-1,5,0,-1,1,6,-1,
+3,7,2,8,4+0,8,6,-1,6,12,0,13,2,-1,13,0,2,14,5,-1,2,9,-1,
+9,3,-1,10,9,2,3,0,-1,2,5,2,-1,2,10/
      READ(5,9010) RR,TOOTH,WIDTH
      FORMAT(3F10,2)
      READ(5,9000) KSBC
      9000 FORMAT(14)
      J=1
      DO 10 I=1,KSBF
      READ(5,9020) L,P,Q,R,S,MY
      9020 FORMAT(12,F10,2,14)
      KSBF(I)=MY*1000
      KSBF(J+1)=0+1000
      IF(L.EQ.0) GO TO 20
      J=J+1
      KSBF(J)=0+100
      KSBF(J+1)=5+100
      KSBF(J+2)=MY
      20 KSBF(I)=J
      10 J=J+2
      KSBC=KSBF+1
      KSBF(KSBF)=J
      KSDF(KSBC+1)=+1
      PC=1
      POF(PC)=1
      POF(PC+1)=1
      CALL TABLIN(GRP,FLG,IED,BA,BV)
      BCC=1
      LC=0
      DO 25 I=1,26
      25 IPB(I)=0
      DO 30 I=1,15
      30 IPB(I,25)=GDT(I)
      IPB(42)=0
      IPB(43)=0
      DO 50 I=1,41
      50 FLG(I)=0
      60 I=BA(9CC)
      IF(I.EQ.0) GO TO 70
      FLG(I)=1
      IPB(I)=BV(BCC)
      BCC=BCC+1
      IF(BCC.LT.1ED) GO TO60
      CALL MSG(5)
      STOP
      70 LC=LC+1
      DO 80 I=27,41
      80 IF(FLG(I).EQ.0) GO TO 80
      I=I-26
      GO TO (100,110,300,300+300,300,300,300,300,300,300,300,300,
+300) , J
      100 CALL GRPD0(FLG,IPB)
      GO TO 300
      110 CALL GRPD1(FLG,IPB)
      300 FLG(I)=0
      90 CONTINUE
      DO 90 I=1,25
      90 IF(FLG(I).EQ.0) GO TO 90
      IF(I.GT.3.AND.I.LT.9) GO TO 90
      IF(I.GT.11.AND.I.LT.19) GO TO 90
      IF(I.GT.15.AND.I.LT.24) GO TO 90
      CALL GRPD1(FLG,IPB)
      90 FLG(I)=0
      BCC=BCC+1
      IF(BA(BCC).NE.-1) GO TO 40
      CALL XYOUT(1,0,0,0)
      STOP
      END

```

図5 メインプログラムのリスト

(8) SUB. CROSS: 任意の 2つの線分が、互いに交わっているかの判断を行なう。

(9) SUB. XYOUT: NC プログラムの図形化を行なうために、XYプロッタに出力させる。

(10) SUB. OUT2: XYOUT 内で使用されているサブルーチンプログラム。

上記以外に、完成したNCプログラムを、紙テープに編集するプログラムがある。

### 5. 適用例

単なる穴の配列であるNCテープを、電算機に入力させ、何ら処理を施すことなく、ラインプリンタに出力させた例を図6に示す。これは、NCテープの穴の配列を単に、英数字に交換したにすぎない。

図7に、図6で例示されたのと同じNCプログラムを、読みやすいように電算機で処理された例を示す。

図8に、X-Yプロッタにより、NCプログラムを図形化した例を示す。

図9に、シミュレーションによって、被削性を調べた例を示す。ただし、エンドミルの直径を10mm、切削幅を10mm、刃数を2枚として計算を行なった。また被削材はS55C材である。

```

08291
N01 G90
N02 G41 G80 G90 S300 M03
N03 #38
N04 G92 X0 Y0 Z100.0
N05 G00 X3.0 Y-15.0 Z0
N06 G01 X3.0 Y96.0 F150
N07 G02 X8.0 Y101.0 I5.0 J0
N08 G00 X90.0 Y101.0
N09 G02 X95.0 Y96.0 I0 J-5.0 F150
N10 G01 X95.0 Y12.0 F50
N11 G02 X88.0 Y5.0 I-7.0 J0
N12 G01 X13.0 Y5.0
N13 G02 X6.0 Y12.0 I0 J7.0
N14 G01 X6.0 Y85.0 F150
N15 G02 X17.0 Y96.0 I11.0 J0 F50
N16 G01 X75.0 Y96.0 F100
N17 G02 X90.0 Y81.0 I0 J-15.0 F20
N18 G01 X90.0 Y27.0 F50
N19 G02 X70.0 Y7.0 I-20.0 J0 F20
N20 G01 X50.0 Y7.0 F150
N21 G02 X10.0 Y27.0 I0 J20.0 F20
N22 G01 X10.0 Y72.0 F100
N23 G02 X30.0 Y92.0 I20.0 J0 F50
N24 G01 X70.0 Y92.0 F100
N25 G02 X90.0 Y72.0 I0 J-20.0
N26 G00 X90.0 Y72.0 Z100.0
N27 M09
N28 #35
N29 G00 X0 Y0 Z100.
N30 M30
N32 #
    
```

図6 実行例入力データリスト

```

08291
N01 G90
N02 G41G80G90
N03
N04 G92 X0 Y0 Z100.0
N05 G00 X3.0 Y-15.0 Z0
N06 G01 X3.0 Y96.0 F150
N07 G02 X8.0 Y101.0 I5.0 J0
N08 G00 X90.0 Y101.0
N09 G02 X95.0 Y96.0 I0 J-5.0 F150
N10 G01 X95.0 Y12.0 F50
N11 G02 X88.0 Y5.0 I-7.0 J0
N12 G01 X13.0 Y5.0
N13 G02 X6.0 Y12.0 I0 J7.0
N14 G01 X6.0 Y85.0 F150
N15 G02 X17.0 Y96.0 I11.0 J0 F50
N16 G01 X75.0 Y96.0 F100
N17 G02 X90.0 Y81.0 I0 J-15.0 F20
N18 G01 X90.0 Y27.0 F50
N19 G02 X70.0 Y7.0 I-20.0 J0 F20
N20 G01 X30.0 Y7.0 F150
N21 G02 X10.0 Y27.0 I0 J20.0 F20
N22 G01 X10.0 Y72.0 F100
N23 G02 X30.0 Y92.0 I20.0 J0 F50
N24 G01 X70.0 Y92.0 F100
N25 G02 X90.0 Y72.0 I0 J-20.0
N26 G00 X90.0 Y72.0 Z100.0
N27
N28
N29 G00 X0 Y0 Z100.
N30
    
```

図7 実行例ラインプリンタ出力例

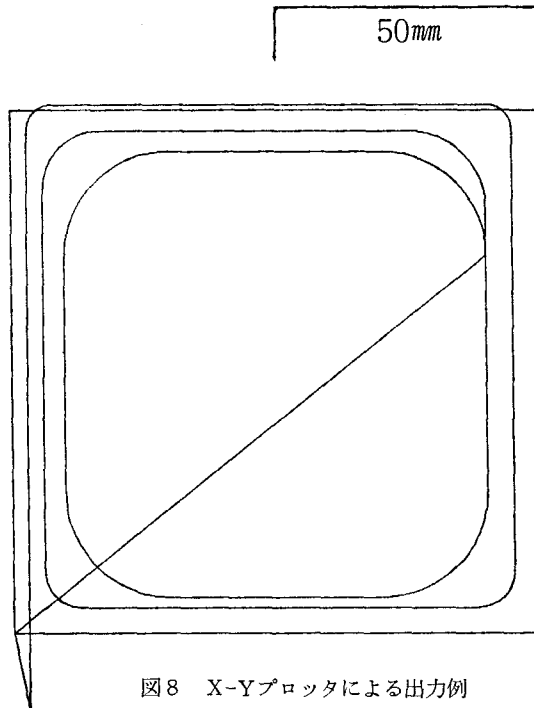


図8 X-Yプロッタによる出力例

### 6. 結 言

与えられた図面によって作成されたNCテープを、電算機に入力させ、ある処理をNCテープに施すことによって、NCテープにさん孔されている情報、工具軌跡および被削性を知ることがができる。このため、切削作業の経験の浅い作業者であっても、NCテープのプログラムミスやパンチミスを見出すことが可能であることが明らかになった。

本報のシステムがまだ完全であるとはいいいにくく、今

	TURN R, L, S	DEPTH OF CUT mm	CUTTING FORCE kgf	OUTTING SPEED m/min	SURFACE ROUGHNESS mm
N 6	R	3.00	0.2191E+02	0.1885E+02	0.7812E-03
N 7	R	4.95	0.3096E+02	0.1885E+02	0.7812E-03
N 9	R	5.66	0.3395E+02	0.1885E+02	0.7812E-03
N 10	R	5.00	0.4869E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 11	R	7.07	0.6185E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 12	R	5.00	0.4869E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 13	R	4.24	0.4348E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 14	R	3.00	0.2191E+02	0.1885E+02	0.7812E-03
N 15	R	7.07	0.6185E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 16	R	5.00	0.1571E+02	0.1885E+02	0.3472E-03
N 17	R	7.07	0.1315E+01	0.1885E+02	0.1389E-04
N 18	R	5.00	0.4869E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 19	R	2.83	0.6986E+00	0.1885E+02	0.1389E-04
N 20	R	2.00	0.1657E+02	0.1885E+02	0.7812E-03
N 21	R	5.66	0.1127E+01	0.1885E+02	0.1389E-04
N 22	R	4.00	0.1347E+02	0.1885E+02	0.3472E-03
N 23	R	5.66	0.5302E+01	0.1885E+02	0.8681E-04
N 24	R	4.00	0.1347E+02	0.1885E+02	0.3472E-03
N 25	R	7.07	0.1996E+02	0.1885E+02	0.3472E-03

図9 ラインプリンタによる計算結果出力例

後に多くの課題が残されている。たとえば、プログラムミスやパンチミスが見つかる、工具軌跡などを、最初からやりなおしたり、パンチをやりなおす必要がある。このため会話形システムによる方法が望ましいだろう。X-YプロッタによるNCテープの図形化では、利用範囲を限定すれば実用的にはさほど問題がないと思われるが、課題を単純化するために、いくらかの制約条件を設定した。また被削性による方法では、今回二次元切削データのみを使用した、今後エンドミル切削時の切削データを蓄積し、より正確に切削状態を把握できるようにする予定である。最後に、電子計算機の代わりに、マイクロコンピュータを利用する方法も考えられる。

以上の他にも、多数列挙されると思われるが、これらについては、次の機会にゆずることにする。

最後に、本研究を進めるにあたり、終始ご指導をいた

だきました青山学院大学間野浩太郎教授に厚く感謝するとともに、昭和56年度高等専門学校情報処理教育研究生の機会を与えて下さった小森三郎前校長、有間淳一教授をはじめ本校の教職員の皆様に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 東芝タンガロイ株式会社：'80～'81 タンガロイ 切削工具総合カタログ、F-34.
- 2) 白井：切削・研削加工学（上）、共立出版、(昭53) 272.
- 3) 田中ほか：昭和56年精機学会秋季大会講演論文集、834.
- 4) 益子：精密機械、30巻1号（1964）60.
- 5) 白井：切削・研削加工学（上）、共立出版、(昭53) 277.

## The Truth Theory on Willam James

Tsuneyuki KIMURA

## ウィリアム・ジェームズの

## 真理論について

木村 倫 幸

ウィリアム・ジェームズにおけるプラグマティズムの真理論は、彼の思想を理解する上に重要な鍵を与える。ジェームズにとって真理とは、厳然として永遠の昔から存在し、あらゆる現実的諸条件を超越してすべての事実に適応される基準であるのではなく、個々の具体的問題、事実に関して求められるべき事柄であった。当然のことながらそれは、伝統的な真理論との衝突を招来することになったが、しかしジェームズは、その批判的検討を通じて伝統的真理論を否定、排除することににより、真理論の改造を目指した。ジェームズは、効用の概念を導入し、その過程における有用性の検証が真理になるという理論を主張、展開したのであるが、この理論はその後様々な論議を喚び起こし、遂にはジェームズの思想の他の側面——多元論、自由意志論等々——を圧倒して、彼の思想の代名詞として当時のアメリカ社会に多大の影響を与え続けたということは周知の事実である。

従ってジェームズの真理論は、プラグマティズムそのもののひとつの核とも言えるものであり、その構造を説明することは、ジェームズの思想全体を一瞬のうちに照らし出す役割を果たすのみならず、プラグマティズムの特質をより明確に認識する有効な方法であろうと考える。

今日アメリカの代表的哲学は分析哲学に取って代わられたつがあるが、しかしそれはプラグマティズムと相互に補い合っており、いわば渾然一体となった様相を呈しているものであり、しかも力点が従来のプラグマティズムの人生論的側面よりも論理的側面に置かれている現状を見るならば、ジェームズの真理論の有している意義と問題点を再度確認することは、分析哲学の評価をなす上にも是非必要な前提であり、その点からもこの真理論の検討が要請されている。

この小論は、かかるジェームズの真理論を、彼の主著である「プラグマティズム<sup>①</sup>」を中心にして説明して行こうとする試みである。

## 一

ジェームズは、考察の出発にあたって自己の立場を明確にするために、哲学の傾向を二分する。その基準として採用されるのが「氣質」(temperaments)であり、彼によれば「哲学史は、大部分が人間の氣質のある一定の衝突の歴史」(一)であるとしてされる。この基準の是非はしばらく措くとして、それによれば世間一般に哲学的傾向と呼ばれているものは、「軟い精神」(tender-minded)と「硬い精神」(rough-minded)とに分けられ、前者には合理論的、主知主義的傾向が、後者には経験論的、感覚主義的傾向が属する。そして今日では後者の傾

向を持った人々がかつてなく増加していると指摘し、彼の問題意識のひとつの焦点をなす宗教心の問題が提出される。というのは、宗教に関しては、前者すなわち「軟い精神」の人々がその傾向を有し、後者、「硬い精神」の人々は非宗教的であると見なされるからである。その結果ここにジェームズの立場からするディレンマが出現する。すなわち一方では「諸事実に対する科学的な誠実さとそれらを進んで考慮に入れようとする」と、要するに適合と適応の精神」(17)のみでなく、他方では「人間的価値への古くからの信頼とその結果として生じる自発性」(同)の双方を結び付ける哲学が必要とされるのである。つまりこのディレンマは、近代の科学的態度―事実を尊重する態度と宗教心―敬虔なる態度との間に横たわる対立として示される。

そしてこの場合、問題の解決を困難にしているのが、合理論の体系志向的な哲学の立場であるとされ、合理論における二つの困難点、体系が閉じたものでなければならぬこと及びそれが絶対的な存在という概念を前提とすることが批判されるのである。この点がジェームズをして合理論からの離反を生ぜしめたものであり<sup>②</sup>、この意味ではジェームズの立場は、上述の後者、すなわち「硬い精神」―事物の有限性、相対性、多様性の立場を前提とすると見えよう<sup>③</sup>。

以上の考察をなして後、ジェームズは、「平均並の精神に対して最も印象的なやり方」(28)として「プラグマティズム」という方法を提唱する。それは彼によれば、「両方の種類の要求を満足させることのできる哲学」(28)として性格づけられる。

「そのような場合におけるプラグマティズムの方法とは、それ(観念)のそれぞれの実際的な結果をたどることによって、それぞれの観念を説明することを試みることである。もしこの観念があの観念よりも真であるとするならば、そのことは、ある人にとってどのような違いを生み出すか。(中略)論争が真剣である場合にはいつでも、我々は、一方もしくは他方が正しいということから結果するに違いないある実際的な違いを示すことができるべきである。」(28)

右に引用した個所がプラグマティズムの方法を端的に示しているが、ジェームズはこのように述べることによって、従来まで合理論哲学において主張されてきた絶対的な存在という概念を粉砕しようとして試みて、それが一種の「謎」(enigma)<sup>④</sup>に過ぎないことを証明しようとする。彼によれば「神」「物質」「理性」「絶対者」「エネルギー」等はこの「謎」の例であって、これらの学説は実は問題の解答ではなく、それを解くための、すなわち世界を説明するための「道具」(instru-

ments)でしかないとして位置づけられるのである。

これに対して、「プラグマティズムが意味しているものは、特殊な結果ではなくて、方向づけ(orientation)の態度であるに過ぎない」(28)とされ、それが観念を具体的に検討する方法、態度であることが強調される。つまりプラグマティズムは、事実即ちして観念を検討し、その「最後の事物、成果、結果、事実」に面する態度「(同)である」とされる。従って「プラグマティズムはその方法を除いては、いかなる教義(dogmas)も主義(doctrine)も持っていない」(同)のである。

我々はこの点にジェームズの基本的な立場を看取できる。ジェームズにとって、合理論の事実との結び付きの弱さ、その外見上は壮大な、しかし内実においては空虚な概念が、我々の事実に対する眼を閉ざしていることがそもそも否定されるべき害悪であったのであり、これに対して事実との生き生きとした結び付きこそが彼の哲学の課題とされるのである。それ故ジェームズは、かかる合理的先入見なしに事実と関係を持つことを出発点として問題の解決をはかろうとする。その場合、問題の解決は、事実についての我々の経験から得られるものであって、それ以前にはいかなる絶対的概念も前提とされるべきではない。従って予め答を出すような、あるいはそれを基準として真偽が決定されるような真理は存在してはならないのである。ここに従来の合理論哲学が唱えていた諸概念が検討の対象として粗上へのぼせられることになる。

この検討の中心となるのは、伝統的な実体概念であって、ジェームズが、「我々が人間の思惟から『独立な』実在について語る時、それを発見することは非常に困難な事柄であるように思われる」(16)と述べる際に、彼は物質的実体も精神的実体も共に考慮に入れていたのである。前者についてジェームズは、パークリーの物質的実体の批判―物質とは感覚に現われる限りのものに与えられる名称に過ぎない―を継承し、「物質とは、色、形、硬さ等の我々の感覚として知られるものである。それらが、その言葉(物質)の現金価値(cash-value)である」(47)として全面的に否定し、「ここから更に哲学上の『唯物論』について、それをむしろ『自然主義』(naturalism)と呼び、進化の衰退と宿命論とをその特徴とするとして批判する。また後者についても、ロック及びヒュームの議論を出すことによって、精神的実体としての魂を否定するにいたる。

かくしてここにジェームズの考察の出発点として与えられるのが、実体概念を排した、現われるがままの「事実」とそれに関する「経験」となる。ジェームズ



によれば、「事実はまだ存在するのみである」(108)とされ、また「それら(新しい内容)は単に来てそして在るのみである」(9)と言われるのであるが、その事実はまだ別の表現で言えば、「感覺的實在の流れ」(the Flux of sensible reality)でもある。この「事実」「感覺的實在の流れ」「経験」が、ジェームズの他のすべての思想の立脚点として、まず前面に出される。

## 二

右に述べたように、事実がただそこに来て存在するのみであると主張、すなわち我々は「大理石の塊」(The block of marble)を受取るとする主張はまた「花盛りと虫のぶんぶんいう大混乱」とも呼ばれるものであり、その中には我々の主観は未だ形を成さず、従ってその事実だけを経験する以外に方法がないのである。

ところがこの状態に対して我々は、我々の概念作用<sup>⑥</sup>によって様々な対象を「刻む」(Carve)ことでそれらに名称を与える。すなわち我々は、この作用によって知覚の流れを切断するのであるが、その場合「我々がどれに留意し、注目し、そして結果においてどれを強調するかは、我々の関心にかかっている」(110)とされることから、「包含や省略によって我々は、それ(知覚)の領域範囲をたどり、我々の強調によって、その前景や背景に注意を払い、我々の順序によってそれをあれこれの方向に解決して行く」(119)のである。すなわち我々が事実に対して、それらについて語ることで、概念的な世界が形成されるとジェームズは主張する。

我々の意識の外部に独立して知覚の流れが存在するのではなくて、ここでは明らかにこの知覚の流れは、ジェームズにとって主観・客観の定立が確認される以前の段階において存在するのである。この意味ではまさに対象となる世界は、認識する主観と共に形造られるのであり、概念的作用によって我々の認識の範囲が定められると言える。つまり合理論、特にカント学派によって主張されている「自然のはじまる前に電光のようにひらめいたカテゴリー」(128)を使用することで形成される認識を否定して、「自然の面前において次第に自己を形成して行くカテゴリー」(同)という経験論的立場からする認識の形成を主張すると言えよう。このようにしてジェームズの世界は、概念的作用によって「知覚された秩序のまわりに建てられ、それを理論的に説明する思考された自然の秩序<sup>⑦</sup>」として定立されるのであり、そこから彼の言う「それ(我々の行為)は、全世界の救

済を創造するのではもちろんないが、しかしそれ自身が世界の範囲に及ぶだけの救済については、救済を創造するのではないか？」(138)という主張もなされるのである。

さてこのジェームズによって主張された世界は、「実在」(Reality)によってその真理性を保証される。というのにも後に述べるように、真理は観念と実在との「一致」(agreement)を意味しているからである。そしてここで再び合理論者との論争が喚び起される。それはひとつには「実在」が何を意味するかについてであり、またひとつには「一致」とは何かについてである。そしてこの両者を独自の意味で使用するところにジェームズの真理論の特質が見出される。

ジェームズにとって、「実在」とは次の三つの部分から構成される。

- ①、我々の知覚の流れ、すなわち具体的な事実。
- ②、事物の抽象的な種類及び事物間に直観的に認められる諸関係。
- ③、既に我々の所有となつている他の真理の全体。

以上で明らかのように、実在とは、我々の知覚、体験のみによってとらえられるものであることが理解される。このことは①と②については明白であるが、③についても、その真理とは「非常に遠い昔の祖先の諸発見であり、それらは後のすべての時代の経験をを通じて自己自身を保存することができた」(98)とされる知識であることから、同様の性質を有していることがわかる。それはいわゆる「常識」(Common-sense)の段階を意味すると考えることができよう。

従ってここで主張されている「実在」とは、いずれも知覚等を通じて我々に認識されるもので、唯心論、有神論における絶対者の概念を意味しただけでなく、唯物論の物質概念をも排除するものとなっている。それらが主張するような「人間の思惟から「独立な」実在」は、ジェームズにとっては、「展開されて並べられた全部の現象を要約する名前に過ぎない」(126)とされ、単なる言葉として位置づけられるのである。

次に「一致」とは何を意味するか。それは次の言葉で示される。「実在と一致するとは、最も広い意味では、ただ真つ直ぐに実在またはその周辺へ導かれるということを意味するか、それとも実在もしくはそれと関係のある何かを、我々が一致していない場合よりもより良く取扱うという実在とのそのような作業的接触に投じられることを意味するか、ということのみである。」(102)つまり一致とは、単に模写(copy)すること——このことをジェームズはひとつの重要な一致の仕方として認めてはいるが——にとどまらず、その「実在」へと「導かれる

過程」(同)を意味している。

それ故右に述べられた「実在」と「一致」から導き出されるのは、「実在」が第一義的には知覚の流れであることから、その知覚の流れを切断してかつ我々に調和的な効果をもたらす、すなわち有効な働きを示す観念の作用こそが「実在」に関して妥当するものとして認められるということである。そのことはまた「知覚された秩序の代りに概念的な秩序を用いる」<sup>⑧</sup>ことが有意義な結果をもたらすことでもある。いずれにせよ、ここにおいて「実在」は我々にとつての実在としてはじめてその姿を現わし、これに対応して我々の認識主観も確立すると言えらる。そしてまたここにおいてはじめて真理について語る事が可能になるのである。すなわち事実として理解された実在と我々の観念の機能との関係として真理が問題として提出されるのである。

### 三

ジェームズは、右に見てきた諸概念の検討を前提として、次に真理の問題を上げる。かつて絶対的存在を否定した時と同様に、この場合にも彼は、「真理そのもの」(the Truth)という概念を、「典型的なあの種族の偶像」(115)「合理的な精神の何という偶像か」(同)として捨て去り、真理に関して次のように述べる。

「真理とは我々の観念のある性質である。虚偽がそれら(観念と実在)の不一致であるように、それは観念と「実在」との『一致』を意味する」(96)と。これは当時の「辞書的定義」(dictionary definition)であったと指摘されている<sup>⑨</sup>が、しかし既に考察したように、観念が「一致」すべき「実在」とは、実は主観の外部に意識から独立して存在するものではなく、知覚の流れ、意識そのものである以上、この「真理」とは、意識の枠内における観念の機能として以外には理解され得ないであろう。

従つて「知覚的な流れが存在するという明白な事実は残るけれども、それに就いて真であるところのものは、最初から最後まで大いに我々自身の創造の問題であると考えられる」(122)とところに我々は真理を位置づけなければならないのである。ここでジェームズは、抽象的に理解された「そのもの」としての真理を否定し、その代りに主観の観念による真理の成立を宣言するのである。このことは、彼の「真理とは、実在であるのではなくて、実在についての我々の信念に過ぎない」(120)という言葉を見る時、対象としての実在の既述の内容とその信念

が真理とされることを重ね合わせることによって二重に裏づけられよう。

さて以上の如く規定された真理は、それでは具体的にいかなる内容を有するものとなるか。それはこう説明される。「我々の観念における真理とは、その観念の働く力を意味する」(96)と。すなわちその観念を有することで、我々の経験の他の部分との満足な関係が保てること、経験の総括が可能なこと、特殊な現象の間を検証なしに巧みに動きまわれること等である。簡単に言えば、我々が様々な事物から事物へ、現象から現象へと自由自在にそれによって動くことのできる乗物のような観念が、「それだけの」意味、範囲で真理であるとされる。かかる道具としての観念がジェームズの言う真理の意味であり<sup>⑩</sup>、この後、プラグマテイズムの重要な柱となるのである。

そしてその観念は、真理である以上上述の実在の第一、第二の部分に適合する訳であるが、また当然それは、第三の部分である過去の真理全体とも適合しなければならぬことになる。すなわち「新しい意見は、それが経験における新しいものを蓄積されている信念に同化する個人の要求を満たすのに比例して『真』と見なされる。それ(新しい意見)は、古い真理に頼ること、新しい事実を把握することとを、二つながらしなければならぬ」(96)となるのである。

以上によって我々は、ジェームズが「働く」という観念の機能を、①新しい経験と古い真理との媒介、②正確な検証の可能な感覚的目的物への導き、という二つの側面を有するものとして理解していたと言ふことができる。この機能により、観念は、その結果が効果的になればなる程、真理としての価値を高めるのであって、このことをジェームズは「真理の真理化(検証)」(verification)と名づける。つまりジェームズにとって観念は、与えられた事実と同様、未だ真でも偽でもなく、それが真理となるのはその後の過程においてであるとされる。そしてその過程とは「導き」の機能の発現に他ならないが、ここにその「導き」の機能を判断する概念が持ち出される。それは導かれてよい価値という概念であり、これに關してかの有名な「諸君はその真理について、『それは真理であるが故に有用である』とも、『それは有用であるが故に真理である』とも言うことができる。これらの両方の語は、正確には同じことを意味している」(96)というまさにジェームズの真理論の核心を突く言葉が述べられるのである。これは、有用性の原理と真理性の原理とを同一視するものであり、何らの方向性を持たぬ観念が依存すべき方向を示し、この方向に適合(一致)すればする程、真理化(検証)の過程がより実現すると主張する。

かくして観念は、有用になることにより、換言すれば「ひとつの過程、自身自身を検証して行く過程、その真理化（検証）の過程」(55)を通して真理となり、その結果、「報酬」(payments)をもたらすもの、「報いという特性のみを共通して有するもの」(106)、「一言で表わせば「我々にとって信じていることがより良いところのもの」(28)として最終的に規定されるのである。

そして、我々は、このような真理を既に信念としてあるいは常識として、すなわち「過去から絞り取られ積立てられた真理の全体」(117)として多数有しているのである。そしてこの資本を以て日々新たに起ってくる事実に対処し、その結果再び新しい真理が産出され、資本に付加されて行くのである。「我々の祖先や我々が既に作った信念をもって、我々は新鮮な経験の分野に突進する。これらの信念が我々の注意するものを決定し、我々の注意するものが我々の行動するものを決定し、我々の行動するものが再び我々の経験するところのものを決定して行く」(122)のである。まさしく「以前の真理があり、新鮮な事実がある——すると我々の精神は新しい真理を発見する」(116)となるのであり、このようにして我々は、有用性を軸にして絶えず真理を産出、付加する過程を無限に進行するにいたる。そして以上の繰り返し過程の中で、我々の知識はストックとして蓄積され続け、それが道具として機能する限り、プラグマティズムの真理として承認されて行くのである。

#### 四

以上我々はジェームズの真理論を考察してきた訳であるが、その過程で明らかにされた事は、ジェームズがその出発点において、従来の合理論哲学への批判——絶対的概念の否定という形で、自己の知覚に関わらない概念をすべて排除したことによって、知覚の流れという意識の枠内のみをその認識の対象としたこと、従って実在の概念も真理も同様にその枠内でのみ規定されたこと、それ故真理は自己自身の外部に客観的な基準を持ち得ず、結果として有用であることを自ら検証して行くことによって真理という名を獲得するのであるということである。

かかるジェームズの真理論は、しかしながら、重大な問題を含んでいると言わざるを得ない。我々は最後にこの点について検討を進めよう。

ジェームズの場合、第一に問題とされねばならないのは、上述の事情から明らかなように、その主観的な本質であろう。「事実」からはじまる彼の哲学において、その「事実」そのものが意識の流れであることがまず指摘されねばなら

い。その流れが我々の前に厳然として存在するという主張は、あたかも客観的に独立なものが存在するかのように響くが、実はそれは我々の主観との関わりにおいてのみ問題にされているという側面を見落してはならない。従ってそれは個々の主観の意識の範囲に、具体的には日常生活の範囲に限定され、それに応じて真理も、何か特別のものではなくて、「経験内におけるあらゆる種類の明確な作業価値に対するひとつの普通名詞」(38)として特徴づけられ、個々の主観にとっての有用さに過ぎないものとなってしまふのである。それ故ジェームズの哲学では徹頭徹尾真理の主観的性格（恣意性）が前面に押し出されている。

そしてこの主観的性格を補充するものとして主張されているのが、真理の調停者 (mediator) としての側面である。それは、真理とは本来的には個々の主観にとつての有用性であるが、同時に他の主観にとつての有用性がそれなりの価値を有している限り、その有用性も同様に認められねばならないという多数の真理の存在をも承認する、いわば折衷的、妥協的性格と言えらるであろう。この側面は、他との交渉、関係において調停 (mediate) の機能を發揮する。そのことは、日常生活においては自己の周囲状況に対する適応が有効である限り真とされるということであり、そしてこれは結局の所、常識の段階に落ち着くのである。周囲との満足的関係、過去の真理との調和的關係、これがジェームズの真理の行先に他ならない。従ってそれは極めて瑣末日常的かつ保守的な側面を有していると言えらるであろう。

更にこれら主観性、折衷性の根底にあつて問題とされるべきは、ジェームズにおいて、観念が実在へと向かう場合に、あるいは知覚の派れを切断する場合に、その観念を向かわせるものあるいは流れを切断させるもの、すなわち主観そのものを動かすより深い原動力については何の考慮も払われていないことである。ジェームズにとって知覚の流れはただあるがままに存在し、それを切断する場合に我々の関心、注意が向けられるのであるが、それについて関心、注意を向ける作用そのものはどこにその源を発するのか。このことについてジェームズは全く眼を向けない。そしてこれがジェームズをはじめとするプラグマティズムの基本的特徴のひとつとなっていることを我々は認めざるを得ないのである。というのは、そもそもその始めから「純粹経験」の枠内で組み立てられた構造には、そのような源泉への視点——それは具体的には社会的な構造、動きについての視点となるのであるが——が欠落しているからに他ならない。そしてこの視点が欠落しているが故に、個々の主観は、自己の周囲に押寄せてくる事実の波に翻弄さ

れながら、そのひとつひとつの事実を処理して行く以外に方法がなく、またそこを泳ぎ回ることのできる道具としての真理こそが大きな価値を有してくるのである。

かくして我々は、ジェームズの思想、とりわけ真理論が、十九世紀末から二十世紀初頭のアメリカにおいて多数の支持者を獲得した理由を理解することができると。それは、資本主義の発展期にあたるアメリカで、個人々が日常生活で無数の事実と直面し、それを自己に有利、有用に解決して行く、そしてそのことで有能——真理化（検証）とはこの過程に他ならない——な社会人として生きて行くというものを哲学において表現したという側面を有しているのである。そしてこの例証を我々は、ジェームズの哲学用語としては卑俗と言える言葉の使用——「観念の現金価値」「投下された資本」等々——に見ることが出来る。それ故ジェームズの思想は基本的には個人主義の思想であり、その真理論はまさに「商取り引き」の真理論とも名づけられるべき性格をも持っていると言えよう。しかしそれが展開した有用性の概念及び概念の機能については、今日の意味で検討されるべき内容を多数含んでいると考えられる。

#### 註

- ① W. James: *Pragmatism*, Harvard U. P., 1975. (abr. Pr.) 以下本書からの引用は頁数のみを記した。引用文中の（ ）は引用者の補註である。なお本書の引用にあたっては、梶田啓三郎氏の邦訳（岩波文庫、昭三二年）より多くの教示を受けた。
- ② この哲学の代表者として F. H. Bradley (1846～1924) に対する批判は、Pr. p. 21 及び W. J.: *The Meaning of Truth*, H. U. P., 1975, p. 83. (abr. M. T.) 等を参照。
- ③ このことについてジェームズ自身、明確に次のように述べている。  
「ラズマティズムは、事物間の統一と不統一のバランスがまさにどのようにあるかということについての最終的な経験的確認を未決定のままにするのであるから、明らかに多元的な側に立たなければならぬ。」(Pr. p. 79)
- ④ 他の個所では、「単に有用な要約語句」(a mere useful summarizing phrase) と表現されている。(Pr. p. 116)
- ⑤ W. J.: *Some Problems of Philosophy*, H. U. P., 1979, p. 32. (abr.

S. P. P.)

⑥ この作用については、S. P. P. pp. 36～7を参照。

⑦ S. P. P. p. 40.

⑧ *Ibid.* p. 33.

⑨ M. T. *Introduction*, p. xxvii.

⑩ これについてジェームズは、「真の思想の所有は、いたる所での行為の非常に貴重な道具の所有を意味する」(Pr. p. 97)とまで主張している。

# 大和国雑役免庄考

朝倉 弘

はじめに

本稿は大和国雑役免庄について、事実究明に中心をおいて考察しようとするものであるが、一一世紀初期の東大寺香菜邑や興福寺維摩会御園の段階から、文治二年（一一八六）の出雲・池田両庄検注帳にみられる一円庄にいたる間の同庄の発展を対象とするものである。

以下に本稿の問題点について、要点的に触れて研究史に代える。

まず右の香菜邑や御園は、今日まで雑役免庄との関係ではとりあげられていないように思われるが、これらを雑役免庄と関係させればどう把握できるであろうか。

「興福寺雑役免大和国坪付帳」にみられる雑役免庄の構造分析等は、一般的には東大寺のそれとの関係から推測されているが、ここでは同帳の雑役免庄にもとづいての分析もおこなってみたい。

いわゆる「相坪の論理」は、加納・出作との関係もふくめて、つとに提言されている。しかし相坪は史料のうえでは「相坪等」となっており、また興福寺の特権でもなかったであろう。相坪等一味同心を平安期のなかで詰めてみたい。

雑役免庄の一円庄への転化の究明は、今日なお明らかになされていないように思う。この点について、東大・興福両寺への官物の給付、検注権の付与、加納田の形成とその公認、そのほか定免化にともなう収取等の面から考察してみる。一円庄への転化は時期的には、保元の庄園整理の進行の中で実現したものであろうと考えるが、興福寺雑役免庄は「別符庄」として一円庄になったのではないかと推測している。なお興福寺雑役免庄の子院への分属、両寺雑役免庄内の社寺・諸司要劇田畠の動向についても触れる。

以上の究明のなかでの問題として、雑役免庄についての史料は、とくに興福寺領の場合は僅少であり、傍証・推測を重ねることが多い点はあらかじめおこわりしておく。また東大・興福両寺の雑役免庄の混乱をさげ簡略化するため、興福寺の場合は進官帳・進官庄等とした。なお引用史料の（平）は平安遺文、（鎌）は鎌倉遺文の略称である。

## 東大寺香菜邑等について

「東大寺別当次第」の権律師澄心の項の寛弘七年（一〇一〇）八月二三日条に「注<sub>三</sub>香菜邑四十八カ処<sub>二</sub>可<sub>レ</sub>令<sub>レ</sub>免<sub>レ</sub>除臨時雑役<sub>一</sub>始<sub>レ</sub>牒<sub>レ</sub>送国衙<sub>一</sub>亥年二月依<sub>レ</sub>宣旨<sub>一</sub>

也」とみえる。これによると東大寺別当澄心が大仏供香菜邑四十八か処の臨時雑役免除を、寛弘七年八月二三日に申請したところ、亥年一翌八年二月宣旨により認められたことがうかがえる。ここにみえる香菜邑（後述）は「香菜庄園」の前段階と考えられるが、右文中の「始牒送国衙」とある牒は「東大寺要録」巻第六にみられる、寛弘七年の「東大寺牒」であろう。もともと同牒には香菜邑四十八か処ではなく、「香菜庄園」として和邇庄以下一八か庄があげられている。これは同牒を要録に収録するに際して改変した結果ではないかと推測する。しかも改変は同牒の都維那法師鴻助の文言の一部にもみられるのではないかと推測する。後にも引用する文もふくめ左に掲げておく（『続々群書類従』）。

牒件庄園司等愁状一併 御寺建立以降 至于大仏御供代々聖皇依々本願之趣 以供御稻被割宛者 仍当国百姓不運御稻已得息肩之便 御業者昔国内道心之輩 隨力所堪吾以備進 其子孫為件庄園司 供奉年久經 部相分雜有其數 公民不幾 往代以後 依免臨時雜役 雖無料物所勤行也 而今當時國掌不幾 雜役宛如平民 況乎又負課防河夫役（下略）「吾以備進其子孫」を訂正）

前掲別当次第の記載を信憑し切るわけではないが、要録の寺牒からみてもいいうることは、寛弘七年の澄心の申請は、香菜邑の臨時雑役免除であったはずで、この限り右に掲げた文言の改変は「以供御稻被割宛者、仍当国百姓不運御稻、已得息肩之便」の部分挿入したことにあるのではないかと考える。この追加にはそれなりの理由があったと考えられるが、御稻の勤仕は香菜邑ではなく、実は要録では寺牒の前に記載されている「大和国雑役免合三百陸拾五町」（計算すると三六〇町余）の「百姓」がおこなったものと考えられるからである。いわば要録では「湛照僧都分付帳云」ということで右の雑役免を寺牒の前にもたらし、御稻勤仕の百姓を挿入したのだらうということである。なお分付帳から引用したという庄園は和邇庄以下一八か庄があげられているが、その形体からみると問題があろう。この点は田村憲美氏が泉谷康夫氏の指摘もふまえて、右の雑役免の記載方式は一一世紀後半以降の内容を示しているとされる<sup>⑧</sup>。もともと前所説であった私も賛成である。寛弘七年の寺牒への前記の挿入や分付帳からの引用ということでの、一一世紀後半以降の雑役免庄（→香菜免庄）一八か庄の「雑役免三百陸拾五町」としての追加は、今日からみて「雑役免」は寛弘当時三三五町もあつたわけではなからうが、一一世紀後半以降では三三六〇町について臨時雑役免除を受ける必要があつたので「三百陸拾五町」として追加したのであろう。御稻勤仕の

百姓の田地は、おそらく一〇世紀後半には、郡郷への大仏供白米の賦課によって御稻勤仕から解放されたものと推測される。この白米の返抄の初見は長保二年（一〇〇〇）である（平）三八九―九五号）。この年御稻の返抄はみられない。

大仏供白米の給付は延喜式にはみられないので、それ以後のはずで、右の返抄からいえば一〇世紀末となる。御稻給付は延喜式民部下にみられる「凡東大寺大仏一季供養料稻百拾束、（中略）以大和国官田稻、季別送入寺家」の官田稻ではなかったかと推測する。同じく延喜式主税にみられる東大寺年料油の返抄の初見も長保二年である（平）三九六―九号）が、これらの点からみると御稻の場合も、それが存続していたとすれば長保二年に返抄があつてもよいと考えられるが、前記のとおり現存しない。たまたま紛失したのかもしれないが、以上を総合的に考えると、御稻は廃止され、べつに白米が一〇世紀末に郡郷から給付されるようになったのではないかといえよう。「已得息肩之便」とは御稻の廃止をいっているものであろうか。しかしそれは単なる廃止ではなくて香菜勤仕への切りかえてはなかつたかと推測する<sup>⑨</sup>。この限りは要録にみえる「雑役免」と「香菜庄園」はともに香菜免と考えられ、「香菜邑四十八か処」は両者をあわせたものであつたといえよう。ところで寛弘七年の「雑役免合三百陸拾五町」（御稻勤仕）のうち官田に係譜する分は白土・中西両庄の左京職田計一町六段余のみである。しかし要録にみえる雑役免一八か庄で三三五町となるわけではなく、不記載分<sup>⑩</sup>のうちにも官田に相当する分があつたと考えれば、前記左京職田に追加できる分があつたといえよう。反面官田稻は一季一〇束であるが、これを春秋二季、一束を五升とすれば年に一石であり、段別賦課分はわからないが、一応大仏供御稻はもと官田稻であつたとみなす余地はあろう。とすると御稻勤仕の「百姓」は官田の田堵であつたと考えられよう。いずれ御稻勤仕から香菜邑をへて香菜庄園に転化するなかで、田堵の経営する官田以外の経営官田としての社寺田畠・公田畠も一体化して香菜免庄としての雑役免庄になったのではないかと推測する。白土・中西両庄はこれに当たらう。そのほか香菜邑の雑役免庄化もあつたであろう。

つぎに「香菜庄園」の前段階と考えられる前記の「香菜邑」について考えてみたい。香菜邑を前掲の鴻助の文言との関係でいえば、それは「道心之輩」の在所といえよう。道心の輩については、最近では田村氏が詳論されているところ<sup>⑪</sup>で、ここでは氏の所論に依拠しつつ私なる考えを述べてみるに、まず氏のとりあげられなかつた「部相分雜有其數、公民不幾」なる部分に注目したい<sup>⑫</sup>。これ

は一応「道心の輩を内分けすると、雑が多く公民は少ない」という程の意味ではないかと考える。とするとこの雑は延喜式主税下の租帳の項に「不輸田若干町 神田若干町 寺田若干町各雑色田准之」とあるなかにみえる雑色でなかったか。公民は負名・田堵<sup>⑥</sup>であつて、あとから道心の輩になったものであろう。前者のうちにも田堵になるものもあつたらうことは「其子孫為伴庄園司」とあることからうかがえるが、時代の経過とともに香菜邑に発展し、また「公民」が増加して、数のうえで逆転したのではないかと考える。

つぎに右に続く「往代以降、依免臨時雑役、雖無料物所勤行也、而今当時国掌不免雑役、宛如平民、况乎又負課防河夫役」であるが、末尾の、「その上さらに賦課される防河夫役」とは中央政府からの要請による臨時雑役(勅事・院事)であらう。冒頭のそれは「国郡差課之雑役」と考えられ、恒常化した国衙からの臨時雑役であつたと推測される。これは、寺牒の時点では不免除の動きがあつたにしても、それまでは、また以降も恒常的に免除されて香菜勤仕の条件になつていたものであろう。天承二年(一一三二)の「東大寺牒」(平)二二二〇号)では香菜免田に関して「件免田者本願勅施人以降、偏為大仏御香菜免、永被停止国役已了、其旨度々宣旨并先々国判頭然矣」とみえる。香菜免田・国役はともに寺牒の時代の投影であらうが、勅施入以降という点からみると、前者は雑色田・香菜邑に系譜していたはずで、後者は前記の「国郡差課之雑役」であらうが、系譜的には律令制の人身賦課(調・庸・雑徭等の課役)を免除された上で、香菜を始めとする雑公事・夫役を勤めたものであろう。雑色田は不輸租であつたから、租(寺牒の時期は官物)も寺家に納付したものとみなしえよう。以上は雑色田が存続したものと仮定しての推測である。これを鴻助の文言をかりていえば「往代以降依免除臨時雑役」る条件のもとで、道心の輩(雑色)は、「雖無料物」つまり寺家からの彼等への給付の料物はなかつたけれども、<sup>⑥</sup>「随力所堪吾以備進」、すなわちその力量に応じ自ら進んで備進したのが香菜であつたらう。この香菜がクローズアップし、寺家は彼等を道心の輩と称し、また香菜は彼等の勤仕する夫役と雑公事の象徴となつたのではないか。香菜の給付は延喜式にもみられないし、以上の限りでは田村氏のいわれるように、私的に東大寺に進納したものとみえよう。

### 進官庄以前の段階

治安四年(一一〇二四)の「從儀師仁静解」(平)四九五号)、同年の「興福寺維

摩会菓子園司解」(平)四九七号)には、それぞれに「興福寺維摩会大仏供御園」、「維摩会料葛上郡菓子御園」がみられる。この両園(園)は、いずれ進官庄としての大仏供庄、西菓子庄になつていったと考えられるが、とすると治安四年の時期には進官庄は未だ成立していなかつたと推測される。同年以前に進官庄の史料がみられない点からみても、進官庄の成立(立券)は治安四年以降といえよう。

この点は後述するとして、まず大仏供御園について考えてみる。前記の「從儀師仁静解」は、同解の、大和国「城上郡司薦口茂頼」の所進文書によると、「興福寺維摩会大仏供園寄人」であつた藤原諸近以下一〇人のものが、もと御園寄人であるが、少なくとも一〇人いたことがうかがえる。同解には「主人右衛門尉」ともあるが、「伴人々(寄人)各雖有其主」ともみえるので、同園には主人が何人か存在し、右衛門尉はその一人であつたらう。そのほか「仁静与僧詮義、付田地聊有相論」ともみえ、こうした寺僧も主人のうちであつたと思われる。主人は僧侶や下級官人等であつたもので、そのもとに寄人がいたと考えられるが、彼等は小規模な田堵であつたと推測される。主人を負名と考えておく。

この城上郡の大仏供御園は、いずれ進官庄の大仏供庄になつたと考えられることは前記したが、進官帳には城上郡として「大仏供庄廿町 不輸田畠二町九段(田脱か)」(主殿寮田一町六反 大神社田四反 川原寺田七反 大井寺二反、いずれも坪付略) 公田畠十七町一段(坪付略)」とみえる。大仏供庄には不輸田畠として主殿寮田等が公田畠とともにみられるが、これら社寺・諸司要劇田畠も、負名の所領に含まれていたものであつたらうことは後述の笠目小二郎田畠の項でみるとおりである。しかし大仏供庄の場合は、多くの小規模田堵がそれぞれ主人(負名)のもとにあり、さらに主人らが一党を構成して一庄が形成されたのではないかと考えられる。坪付は省略したが、同庄は散在性の強い庄園で、桜井市大字新屋敷・東新堂・土之庄等を中心とした地域に比定される。

つぎに同じく治安四年の前記の「興福寺維摩会料葛上郡菓子御園司等解」であるが、同解には「御園是并箇所」、「御園所領田畠并御園司等私田地等」がみえる。これによると葛上郡には興福寺維摩会料菓子御園が三〇か所もあつたことが知れよう。これらはいずれ進官庄としての西菓子庄になつたと考えられることは前記したが、進官帳の葛上郡のうちに「西菓子庄廿二町七段百廿歩 公田畠也」とある。公田畠のみから成る進官庄であるが、その所在は葛上郡二二―三七条の

間であり、極めて散在性が強く、大和高田市北部から御所市中部辺りにかけての地域に比定される。この間に三〇か所の御園が散在していたものであろうが、それぞれには前記のごとく「御園所領田畠并御園司等私田地等」、つまり御園と園司等の田畠があり、一体化してそれぞれに経営されていたと推測される。

一面この解文は雑事三か条を興福寺に訴えたものである。その内の一件は「右馬助頼職朝臣」が「道守」の所領を押し領しようとした事件であるが、それについて「右護案事情、凡田地領掌之道、各任相伝公驗之理、立券領掌者也、而件朝臣不弁是非、寄事死人、御園所領并御園司等私領、恣園領之立券已(下略)」とある。道守は園司と考えられるが、彼の御園と私領は公領内で公驗にもとづいて領掌していたもので、従って彼は公領内の田堵であったといえよう。また御園も公領であった。この点は西菓子庄がすべて公田畠の進官庄であったことと一致する。前記大仏供庄の御園も同様であったと思われる。

つぎにいま一つの問題は「御園司等私宅雑物損亡事」であるが、同伴については「右護案事情、件法師原者、御園司已經數年、而以無道号故道守所由従者、損亡各私宅(下略)」とみえる。これによると右馬助は道守の経営地を横領したのみならず、配下の法師原をして道守の私宅の雑物をも盗らせたようであるが、彼等は故道守を従者(おそらく右馬助の)であるといっていることがうかがえる。それは盗み行為を正当化するために従者といっているように見受けられるが、この背景には菓子御園にも大仏供御園の場合と同様に、主人と従者の階層関係のあったことを推測させる。右馬助は主人のうちの一人であったと考えられるが、ほかにもいたであろうことは同解末尾の署判に「預 若見 僧蓮黄 別当僧勸慶 僧蓮円 上司駿河介賀茂光頼 法師寂祐 法師慶俊 法師賀空 法師平蓮」とあることから知られる。これらのうち、法師を除くほかは主人であったろう。ここでは法師は僧と区別されているが、その理由は明らかでない。法師は前記法師原と同一人かどうか不明であるが、法師原は園司とあったが、この署判の法師は主人のうちであったろうか。この点不詳であるが、いずれにしてもここには御園の役人のほか官人・寺僧がみられる。この点大仏供御園も同様であった。

以上で進官庄の前段階と考えられる、興福寺維摩会料所の大仏供・菓子両御園について、その構成を中心に考察してみたが、最後に興福寺維摩会について、詳細は辞典にまかせて一言触れておくと「興福寺年中行事并勤行事」(興福寺所蔵)には「維摩会七ヶ日於講堂修之、東大寺・興福寺・栗師寺・法隆寺之学侶等参勤之」とみえ、興福寺維摩会は興福寺講堂において東大寺以下の学侶によって勤行

されたことがうかがえる。また講堂の本尊については「大講堂本尊阿弥陀如来」とある。御園とはその供物勤仕、そのほか関係夫役に当たったもので、これが雑役免(進官役)としての興福寺の大仏供であったものであろう。

なお維摩会料所としては、進官帳には「国議不輸免田畠」として、維摩会九口聴衆料免田等計七四町がみられる。これら不輸免田畠は経営の関係で社寺・諸司要劇田畠や公田畠と一体化して進官庄になったと考えられるが、それ以前の段階では官符符庄として存在していたのではないかと推測する。それはもと藤原氏等の寄進になる庄園であったろう。延喜式玄蕃には「興福寺維摩会十月十日始、十六日終、其聴衆九月中旬僧綱簡定、先経藤原氏長者一定之」とみえる。興福寺維摩会は藤原氏長者がその僧綱簡定に当たったことがうかがえるが、とするとその料所は同氏からの寄進が主であったものといえよう。

また『貞信公記』の承平元年(九三一)一〇月二日条と天慶二年(九三九)一〇月二九日条には維摩会不足料として、それぞれ一〇〇石・三〇石が大和国正税から出されている。この不足料とは右の維摩会料所からの不足の補充であろう。

以上からみると前記維摩会御園は右の料所とは別枠であり、進官庄となっても不輸免田ではなく、社寺・諸司要劇田畠や公田畠の雑役免(進官役)に留まったもので、いわば維摩会料所としてはアウトサイド的な存在ではなかったかと推測される。

なお進官帳では本願施入田畠や国議不輸免田畠(興福寺領)には免除について記されていないが、官物はもちろん雑役も免除されたものと推測したい。この点について、竹内理三氏は「日本莊園史」(『日本歴史』一三三号)のなかで「不輸免田畠はこの場合、興福寺に田租を納める田地である。不輸田とはなくて不輸免田とあるところに、この田地には賦役をも免除された一田不輸田畠である。」とのべられているが、雑役免庄の形成過程を考えるならば、氏の所説はもっともと考えられる。

#### 寺僧領・官人領と香菜免庄・進官庄の形成

前項の興福寺維摩会料所の御園では、寺僧・下級官人等が「主人」として「従者」をもっていた関係を見たが、従者は「寄人」とも称されていたにしても、彼等はその田畠(公田)を公驗によって「領掌」していたもので、いわば田堵であったといえよう。

官人の所領では山村氏の大田丸丸名(負田)が有名であり、すでに稻垣泰彦氏



等によって究明されているところであるが、氏は康和六年(一一〇四)の「小東庄白米免田負所名注文案」(平)一五三二号)の分析「大田丸名丸の構成」のなかの註七で「彼等の所領経営が領主の直接経営でなく、その下に独立した農民の小経営をふくんでいたことも泉谷氏をはじめ最近の業績の示すところ(中略)彼等の所領は開発によるものではなく、その経営もほとんどは直接経営ではなかった。また所領からあがる収入もさして大きいものではなかったらう」と述べているが、農民の小経営とは田堵のことであろう。この点平治元年(一一五九)の「小東庄名名坪付」(平)二九九八号)の「東大寺小東庄地主之田堵等」として「仏聖僧僧都御房御田堵伴吉久」以下があげられているが、この伴吉久等からうかがえるとともに、一二世紀中頃では小東庄の「地主」(負名)も殆ど寺僧になつてゐる。史料の上では、一一世紀後半では俗名の負名が多い。例えば前項の分付帳引用という一一世紀後半以降と推測した雑役免庄でも、和邇庄は「永富負」、箕田庄は「常富」等となつてゐる。進官庄でも後述のごとく、笠目小二郎・和常永等がみえる。稲垣氏は、これら負名は仮名であつて実は寺僧領であつたらうといわれているが<sup>⑧</sup>、仮名とすれば官人のそれが多かつたのではないかと推測する。官人の仮名について泉谷氏は五位以上の私営田は禁止されていた關係で、当該官人の場合は仮名を使用したとされている<sup>⑨</sup>。しかし一二世紀に入ると、史料の上では寺僧領の増加が見受けられる。この点小東庄でもいふことであるが、『平範記』保元三年(一一五八)七月一日条には「大和国伊春日御社興福寺等負所寺僧領無一步公田(下略)」とみえる<sup>⑩</sup>。しかしその構造をうかがわせる史料は案外に少ないようであるが、稲垣氏はこの寺僧領については、永承二年(一一〇四七)の「高橋世大丸田地売券」(平)六四六号)を引用していられる。同売券は世大丸が東五条三里(添上郡)の相伝の「所領田」(公田)の作手を永年を限り橋則公に売却したものであるがその末尾に

売人高橋(花押)「世大」(裏)

名主僧(花押)「助照」(裏)

とある。この末尾の署判者二人について、稲垣氏は「名主と世大丸との關係を竹内氏のように名主と作人とは考えない。むしろ前述のように負名と土地占有者(一般に領主ともよばれた)との關係と考える<sup>⑪</sup>。」と述べられているが私も同意できる。

ところで大和では、公田内の寺僧・官人の所領は便宜要門田<sup>⑫</sup>(便田ともいふた)である場合が多かつたが、一定の地位の寺僧・官人はその所領を申請により

国衙の承認のもとに便田として立券できたようである。その初見は正暦五年(九九四)の「大僧正寛朝帖」(平)三五八号)であろう。寛弘九年(一一〇二)の「東大寺諸司等解」(平)四六八号)によると、東大寺僧と考えられる大僧正房(雅慶)は、添上郡に「卅余町便田」をもつていたことが知れる。官人の便田としては、山村氏の大田丸名が便田であつたことは、康和三年(一一〇一)頃の「小東庄内山村吉則紛失状」(平)一四六〇号)からうかがえるが、さらには一一世紀三〇年代頃大和守源頼親の私領内六六町に東大寺灯油料所が五か庄の形で設定され、それまで大和国内郡郷から寺家に納付されていた灯油は右の五か庄から納められることになつたが、この六六町は嘉應元年(一一六九)の「勸学院政所下文」(平)三五二〇号)では「便田六十六町」とみえる。またこの制度は山城・伊賀でも一部にみられるが、とくに大和で発達したもので、泉谷氏の「公田変質の一考察」によると、家地との關係で一定の公田(経営地)を便田とし、その占有・用益権を国衙が公認したものであつて、大和における公田私領化の先駆的役割を果たしたもののようで、その私領化の時期は一一世紀二〇・三〇年代で、それは国衙による加地子得分権の公認でもあつたという。なお便田の發展は、中小農民(田堵)の作手権を永年化し、私有権にまで高めようとする動きを背景にしたものであつたともいふ。とすると田堵はその経営地を寺僧・官人に寄進し、それを使田として公田内経営地の私領化をはかつたと考えられる。のみならず田堵は課役の免除をも求めたのではないかと推測する。寺僧や官人はともに不課口でもあつたが、彼等はさらに權威を求めて、有力権門・社寺にこれを寄進し、いづれ立券・庄園化していったであろうが、その一環として前記東大寺灯油料所や同じく頼親の寄進になる喜殿庄がある<sup>⑬</sup>。香菜免庄や進官庄については立券の公驗等はみられないが、とくに一一世紀前半は、公田の私領化、それを基礎として、頼親のように国司でありながら、その立場を利用して自ら便田を設定し、寄進によつて庄園化してゆく官人もいた事を考えると、香菜免庄や進官庄も急速に増大したのではないかと推測される。この場合寺僧・官人の所領は雑役免庄の前記負名や後述の進官庄のうちの笠目小二郎田嶋等からみると、そのうちに各種不輸免田嶋や公田嶋を一体化していた田堵の経営をそのうちにもつていたと考えられるが、香菜免庄や進官庄のように雑役免庄に留つた理由は、右のような田堵の経営にあつたのではないかと一応考えられる。

なお便田は一一世紀初期に、大和では公田私領化の先駆的役割を果たしたものと考えられることは前記したが、便田にならなかつた公田内田堵の負田も、いづれ

公地制の消滅にともなつて、徴税上の最下部の単位として私領化していったものであろう。

ところで永久四年(一一一六)の「東大寺請文案(平)一八五四号」には「以香菜免、謂雜役免」免田三百六十町者、元是浮免也、依有煩、去万四年被下宣旨、停止浮免、承保三年六月十日載坪付、被付宣旨已畢」とある。これによると万寿四年(一一二七)には雜役免田としての香菜免田三六〇町が宣旨によつて浮免を停止されたという。この点は宣旨自体が現存しないので明確とはいえないが右の限りでは万寿四年の時点での香菜免田三六〇町は認めざるをえない。とするとそれは香菜邑のほか御稻田(官田)とその百姓(田堵)の経営地、それに新しく道心の輩となつた田堵の経営田を、そのうちにもつた寺僧・官人の負名の所領が母胎となり、寺家の申請によつて三六〇町が宣旨にもつて浮免から、おそらく半浮免になるとも、負名の所領は香菜免を勤仕する雜役免庄になつたのではないかと推測する。半浮免とは渡辺澄夫氏になつた用語であるが(後述)、右の請文案の承保三年(一一〇七六)の「載坪付」を定免化と考へて、万寿四年には半浮免になつたものと考えたい。半浮免については、香菜免(役)を坪付にのせて免田とするが、坪内では免田を固定させないでおく。つまり方付をしないでおく。これは耕地安定度が低い関係によるもので、従つてその年の作物如何によつては、一定の収取を確保するために、坪内皆損の場合は他の坪をもつて代へることも、また坪内免田数の変更もありえたもの考へておきたい。もつとも耕地安定度が高まるにしたがつて、坪内免田数も漸次一定化し、坪の変更もみられなくなり、さらには免田は坪内で實質的に固定化していったものであろう。右の過程は定免化の条件の形成といえよう。免田の坪内での固定化は、寺家としては下地の確保となるので、耕地安定度が高まり、免田の固定化によつて収取が半浮免のときに比べて不利とならない限りは、定免化を要望したのであろう。宣旨によるその実現は請文案についていへば承保三年であつたといえる。反面万寿四年以前は浮免とみえるが、これは香菜邑の段階となろう。この香菜邑が香菜庄園、あるいは雜役免庄と称され、その田畠が香菜免田・雜役免田と呼ばれるようになったのは万寿四年以降であつたろう。各段階の収取については後述する。

なお白米免庄として有名な小東庄は、寛弘七年(一一〇一〇)の「東大寺牒」(「東大寺要録」)によると香菜免庄でもあつたと考えられる。同庄の延年年間(「東大寺要録」)によると、白米免田はなお半浮免の立場にあつたといえる。この点からみると、香菜免田も半浮免であつたといえよう。それが定免化したのは承保三

年であらう。

つぎに進官庄について考へてみる。渡辺氏は、二条僧正御房の御沙汰にみえる「於進官坪者、自本依無方付、(下略、後掲)」にもつて、進官庄の坪付は「半浮免」とも称すべきとされた。進官帳の坪付記載は、一応半浮免といえよう。右の御沙汰によると進官庄にも半浮免の段階のあつたことは否定できないであらう。これを香菜免に準じて考へれば、進官免も浮免から半浮免へは宣旨によつて切りかえられたはずであり、時期的には万寿四年(一一二七)頃とならう。関連して、前記の治安四年(一一〇二四)の興福寺維摩会料所の大仏供御園と菓子御園が問題となるが、これはいづれ大仏供庄と西菓子庄になつたとすれば、両園は浮免の段階にあつたとみなしう。とするとそれが半浮免となるのは治安四年以降のはずで、万寿四年であつてもよいが、史料の上では不明である。長元八年(一一〇三五)の「佐伯寿命丸解」(平)五四四号)には「興福寺維摩会所中園濟庄」とみえる。この中園濟庄は大仏供御園等と同じく維摩会料所としての御園が庄号を付与されたものと考えられるが、その所在は不明で、進官帳には類似の庄号の「中園庄」はみられるが、「中園濟庄」はみられず、進官庄かどうか不明である。しかし佐伯寿命丸解は治安四年の大仏供御園の「從儀師仁靜解」、菓子御園の「興福寺維摩会菓子御園司解」と同じく「九条家本延喜式裏文書」である。この点からみると大和の御園であつて、「中」と冠されたのは、城上郡大仏供御園と葛上郡菓子御園の中間に位置していたことによるのではないかと一応は推測される。また延年の坪付帳までの間に「濟」が略されたことも考えられぬことはなからう。進官帳の中園庄の所在は城下西郷・十市西郷の両郷に及んでおり、城上・葛上両郡のほぼ中間に位置している。都合よく推測を重ねた嫌いはあるが、考へる余地ないことでもないであらう。仮に長元八年(一一〇三五)の中園濟庄が延年二年(一一〇七〇)の進官帳の中園庄になつたとすれば、進官庄の半浮免化は香菜免の半浮免化の万寿四年(一一〇二七)の前後とならう。中園濟庄と中園庄とは無関係としても、香菜免のみが半浮免化して、進官免が長く半浮免とならなかつたとは考へがたく、いづれにしても一一世紀前半とみてよいのではないかと考へる。

なお香菜邑が半浮免になつた年、万寿四年(一一二七)二月四日に藤原道長が没している。その前月の一日二六日には、道長の病平愈のため法成寺への行幸があり、宣旨を下し僧一人による説経があつた。この道長の病気が香菜免の宣旨による半浮免化と関係があつたとすれば、道長は興福寺を冷遇したともいわれるが

(後述)、それは摂関家の威を募る興福寺の過大な動きに対する調節であったとも推測され、とするとこの際(死期に及んで)はそれを認める余地もあつたらうと考え、進官免の半浮免化を認められたかもしれない。翌々年の長元二年(一一二九)には、源頼親は二度目大和守となり、同四年八月過ぎまで在任したが、彼が自分の私領に東大寺灯油料所を設定したのは(前記)、おそらく右の間と考えられるが、これは摂関家としての政策であつて、東大・興福両寺の調節であつたかも知れない。頼親は、前記のとおり、長元四年八月過ぎ、任半ばにして解任となつたが、これは興福寺との対立ではなかつたようである。

さて史料の上からいえば、一〇世紀末以来一一世紀前半にかけて、大和では便田の制によつて公田の私領化がすすみ、官人・寺僧の所領が形成され、寄進によつて、雑役免・進官免の寺領の拡大がみられたであろうことは前記したが、すると当時期は摂関家の全盛期に当たつており、興福寺がその権威を募つて、東大寺を凌ぐ寺領の拡大を実現していったであろうことは推測に難くないが、この点ではあるが一応うかがえるのではない。

伝聞、今日関白(頼通)於高陽院立講演仁王經、山階寺僧綱皆故障不参云々、事有由緒、其故者、當時長者不被勞寺家、所領庄園、国々司等悉收公、地子不納、頼雖令愁申、一切無承引、他事亦々如此、就中近江備中等庄有□已寺家以件二庄地利、多免用要須料、(下略)

摂関家と興福寺との間に対立がうかがえるが、それは近江等の諸国にできてくる興福寺領庄園を国司が収公したのに対して、寺家は「地子」(官物等か)も収めないで、さらに万事において対抗しているからであろう。日下佐起子氏は、右のほか『御堂関白記』の、寛弘三年六月の興福寺と大和国司(源頼親)との間の所領をめぐる争いにおける道長の「公正な態度」をもふまえて、摂関家(道長・頼通)は興福寺に対して「冷淡」であつたとされる。それはもつともであるが、その背景に摂関家の権威を募る興福寺の過分な動き―庄園の拡大などを考慮すると、それはとくに膝下の延暦寺、大和では東大寺等に対する配慮、それはそのまま摂関家の立場維持のための政策であつたといえよう。おそらく大和では、摂関家といえども「冷淡」を装はざるを得ない程の興福寺領の増大があつたものであろう。前記の大仏供御園や菓子御園、それに中園は、史料の現存からうかがいえた興福寺領の一端にすぎないので、西菓子庄に対する菓子東庄も菓子御園として早くから存在していたものであろう。

また進官帳のうちには、方位等をもつ同号の庄園がある。そのうちには、方位等と関係なくその田畠が同一地域に交錯している場合がある。南樺本庄と樺本北庄、糸井南庄と同北庄等はその一例であるが、これらは、その基盤の負名の所領が相伝・売却等で分割されたことによつて生じたもので、もと樺本庄・糸井庄ではなかつたかと推測する。この分割以前と推測される庄園は、时期的にどこまでさかのぼりうるか不明であるが、これらの庄園は進官帳の庄園が、延久二年以前に形成されていたことをうかがわせる一端であろう。

以上は一〇世紀末以来一一世紀半頃前後までの進官庄の形成について、傍証や推測を重ねる形で、一応のことを考えてみたものであるが、これは史料の関係上やむを得ぬことであつた。進官帳の進官免田は、本願施入田等の興福寺の不輸免田を除いても、一八五四町余であるが、この広大な免田数がいつ実現したかは不明というほかないが、摂関家の「冷淡」からみると、その実現は案外早かつたのではない。

つぎに進官庄の定免化であるが、延久の庄園整理令に際して、それは官旨によつて公認されたものであろう。赤松俊秀氏が指摘されているように、同庄園整理が浮免の廢止を一つの目標にしていたことは、延久元年(一一〇六九)の「筑前国嘉麻郡司解案」(平)一〇三九号)の末尾に「今年二月廿二日官符(中略)或無定坪付庄」とある点からうかがえよう。この進官免田の官旨による定免化の公認は、寺家による下地進止権確保の第一歩と考えられるが、当時檢注権はなお国衙にあつたので、そこに問題が新らしく発生してくる。進官帳自体もふくめて、定免化の段階における進官庄の動きについては次項で触れる。

#### 進官庄の基盤(構造)

まず進官帳(並)四六三九・四〇号)の記載のうちから、進官庄の構造等をうかがいうる部分を抽出するところとつぎのとおりである。

①笠目小二郎田畠八町一段三百歩

不輸免田八町三百歩

公田畠一段

内蔵寮田一町三段九十ト(坪付略、以下同) 御寮免田五町 法興院田八段

平隆寺九段二百十歩 公田一段

①②に対応する「国議不輸免田畠」「神社仏寺諸司要劇田畠」のまとめの項には

五町 春日御社御供免田十町内笠目小郎

一町五段三百卅下 平隆寺

九段二百十ト 笠目小二郎

四町一段九十歩 内蔵寮

一町三段九十歩 (小腕カ)  
笠目二郎

八町四段百廿ト 法興院田

八段 笠目郎

とある。

⑦笠目庄田畠二町五段 不輪免田也(坪付略)

⑧⑨に対応して「国議不輪免田畠」の項に

五十町五段(西諸郡面積) 常楽会免田 百十町内(国内面積)

二町五段 笠目重永

とみえる。つぎに、「和常永」(負名か)が記されている庄園として興田南庄・伊保戸庄がある。つぎのとおり。

⑩十市東郷 興田南庄和常永一町七反小 公田也(坪付略)

⑪城下東郷 伊保戸庄の末尾に

和常永八反小 公田已(坪付略)

とある。また興田南庄と同号庄園として

⑫城上郡 興田南庄十三町三反三百ト(下略)

⑬榎本庄負田卅二町四段二百廿歩(下略)

以上のうち、⑦の笠目小二郎田畠には庄号はみられないが、他の諸庄と同様に進官帳に記されており、進官庄とみなしてさしつかえないであろう。これは⑩の不輪免田畠と社寺・諸司要劇田畠と公田畠とからなることはいうまでもないが、これらは⑩との関係でいえば、負名と考えられる笠目小二郎・同二郎の負田(所領)であろう。⑦では負田とみえる。二郎は小二郎の誤記かも知れないが、別人としても一族であろう。

つぎに⑨の笠目庄は⑫からみると、負名と考えられる笠目重永の負田である。重永も前記小二郎の一族とみてよいであろう。笠目小二郎田畠、笠目庄についての坪付は略記したが、いずれも坪付からみると生駒郡安堵村大字笠目辺りに近接存在していた。

⑩・⑪の和常永も負名であろう。彼の負田は興田南庄と伊保戸庄の一部に分か

れている。これは負田が二郡にわたっているからであろう。この点興田南庄についてもいいえよう。十市東郷と城上郡の両興田南庄(⑩・⑪)は地域的に同一とあってよいもので、城上郡の興田南庄には負名が記されていないが、おそらく和常永であつたらう。

以上の数か庄からうかがうことは、まず進官庄の基盤には負名がいたこと、而も笠目庄の場合は一負名一庄であつたが、笠目小二郎田畠についても、二郎が小二郎の誤記とすれば一負名一庄といえよう。この点は東大寺雑役免庄、たとえば北田中庄や榎北庄、その他付帳引用という諸庄からみても、改めて指摘するまでもないことで、先学によつても明らかにされているところである。ただ笠目小二郎田畠の場合は、国議不輪免田畠と社寺・諸司要劇田畠と公田畠から成っていたが、これらが集まつて一個の庄園となつた根拠は、負名が同一ないしそれに進ずることにあつたと考えられる点に注目したい。これは進官庄のみならず、雑役免庄についてもいいうることであろう。もつとも一庄必ず一負名というのではない。負名が一党をなして一庄を構成する(たとえば維摩会料所)等の場合もありうるが、一庄のうちに各種免田がどのように含まれるかは、基本的には負名の負田がどのような免田から成っているかによるといえよう。反面一負名の負田が全部一庄となることも限らない。和常永の場合はその一例であるが、慶寿の寄進はその代表例といえよう(平一八九六ノ八号)。興福寺不輪免田をふくむ進官庄の場合は、同不輪免田は一般的には以前から、不輪免田であつたもので、その負名の他の負田をふくめて進官庄になつたとみなしえよう。なお進官庄や雑役免庄にみえる負名の名前は官人の仮名ではないかと推測する。従つて彼等官人のもつには田堵が隷属していたものとみなしえよう。もつとも笠目小二郎・同重永等の場合は、実名ではなかつたかという印象をもつ。小二郎は春日社御幣田五町の経営者でもあり、早くから春日社ないし興福寺の寄人であつたと推測されるが、また五位以下であつたので仮名が必要でなかつたのかもしれない。また進官帳にみえる進官庄には、一般に負名の記載がみられないが、官人でなく寺僧が負名となつていた庄園も勿論あつたらう。

つぎに⑩・⑪にみられた、進官帳の郡別の記載は郡別の検注を思わしめる。進官帳作成の一世紀後半には、国衙による検注が郡検田所によつて、郡毎におこなわれていたことは、天喜二年(一〇五四)の「白米免安田庄序宣案」(平七二二号)の「平群郡検田所」や大田大丸負田の治曆四年(一〇六八)の検注状(平一〇三二号)等からうかがえる。この限り進官帳は末尾の署名から

みると、興福寺が太政官に進めたものであるにしても、その内容は郡検田所の検査の結果を集録したものと考えられる。延久の時点興福寺には進官庄に關して下地進止権がなかったのであろうことは、先学によって一般的に指摘されているところであるが、その根拠は半浮免であった(延久以前)ことのほか興福寺にはこの時期はなお檢注権がなかったことによるものであろう。

### 「相坪等」の論理と進官役等の収取

興福寺の二条僧正御房(雅縁)の御沙汰は、いわゆる相坪の論理として有名であるが、一応關係部分を抄出するとつぎのとおりである。

於進官坪者、自本依無方付、仮令一町坪内、有進官一段者、省一町之于坪々、令勤仕彼役者也、(中略)仍進官領之資、致彼相坪等者、一味同心令勤件役者也、是当国平均之習也、

これは嘉禎四年(一二三八)の「上吐田庄沙汰人申状」(鎌)五三二二号)の一部であるが、ここでの問題点は平安期にはみられなかったといつてもよい「進官坪」であろう。不明な点もあるが、一応坪内に進官免田が一段でもあれば進官坪であり、その坪内作人は一味同心して進官役を勤めなければならないと理解されよう。勿論それは半浮免の段階のことであるが、前記との關係でいえば、実質定免化に近い時期についての状況をいったものであろう。反面東大寺花叡会料田沙汰人とみられる千得法師は、同申状のなかで「是皆被除進官坪、被充置之間、無懈怠者也(中略)兼又康平八年三月二日慶寿威儀師花叡会田寄進状云、右件坪々者皆是進官之外也云々」と主張している。花叡会田は進官坪の外であり、進官役を勤める必要のないことを、慶寿の同会田寄進状をひき合いに出して反駁していることがうかがえる。康平八年(一〇六五)の寄進状(平)八九八号、平安遺文では天喜六年となっているが、これは誤りであろう)では「是進官之外也」とあり、問題の箇所が伏字となっているので、慶寿の後家への讓状である「東大寺三綱等解案」(平)一六六九号)によると「除興福寺進官免田之外、撰上件公田貳拾町、永為会料免田、所令勤其役也」とみえる。これによる限り慶寿が「是進官之外也」としたのは進官坪ではなく、進官免田といえよう。慶寿寄進状・讓状ともに、花叡会免田の坪付が記されているので、これを進官帳の吐田庄坪付と引き較べると、進官免田と花叡会免田とは、多くの坪において相坪となっている。これは建保六年(一二一八)の「上吐田庄買主交名案」(鎌)二三九〇号)からも明らかである。

ところで半浮免の段階は、坪内での付付がないから、同坪内の作人は一味同心して所役を勤仕したとするならば、この限りそれは進官庄に限ったことではなく、東大寺香菜免・白米免ともに、半浮免である限り一味同心する必要があるであろう。しかし現実には、そうではなかったようである。史料の關係で大田丸負田についていえば、永承二年(一〇四七)以降康平七年(一〇六四)にいたる間の結解状によると、東大寺白米をふくめて各種賦課は負名が一括納付している(平)六五二二号等)。白米免も負名山村氏が一括納付したものであろう。同負名の白米免田は延久元年(一〇六九)でも、当時の檢田帳を比較すると、半浮免であったと推測されることは前記した。これからみると、進官帳の進官庄も、なお半浮免であった段階においては、進官役は一庄一負名の場合に限らず、一庄が負名の党的結合をなす場合等もふくめて、庄園単位で納付したものと考えてよいのではなからうか。もっともそれは雜公事(物件)の場合に限定されたはずで、夫役(人件)ともなれば別であつたらう。ここに一味同心が必要であつたと推測される。しかし二条僧正御房の御沙汰をみると「相坪」ではなく、「相坪等」となっている点に注意をむけるならば、一味同心は相坪でない場合もあつたわけである。大仏供庄や西菓子庄のように、多くの負名が一党をなし、散在的であるときは各負名内ということもあつたらう。一負名一庄園で小規模な場合は一庄内作人の一味同心もあつたといえよう。これらは他にそれぞれ裏付ける余地はない推測であるが、敢えていえば「相坪等」が裏付けといえよう。また慶寿寄進状にみられた、進官免田を除いて私領を花叡会田として東大寺に寄進した慶寿の配慮の意味を考えるならば、夫役に關する一味同心は基本的には、当該庄園領内に限定されたものであつたと考えられる。もし庄園の枠を越えて、他の領主の庄園等の作人(田堵)も、相坪等の限りは一味同心して進官役を勤めなければならなかつたとすれば、慶寿が私領を花叡会田として東大寺に寄進した時点でも、相坪等の作人は進官役を勤めなければならなかつたはずである。慶寿の寄進田のうちには進官免田と相坪の田地もあつたのだから、その作人は進官役を毎年勤めていたとみてよいが、そのようななかで、慶寿が進官免田を除いて花叡会田を寄進したとする配慮は意味あるものではなかつたことにならう。これを意味ある配慮とする限り、一味同心は庄園の枠内でのことであつたと推測される。前記したように東大寺香菜免等も半浮免の段階では相坪等一味同心の勤仕があつたはずで、この場合庄園の枠を越えてのそれであれば、進官庄の作人も香菜免等を勤めなければならなかつたであらう。他庄の作人が相坪等一味同心で勤仕する限りは、物件を伴う

こともあったであろう。以上からみると、いわゆる「相坪の論理」は進官庄の領域拡大の根拠にもされているが、右との関係でいえば問題であろう。また「進官坪」は二条僧正御房の創出とも考えられ、それは興福寺が鎌倉期において東大寺領等を侵害する一環ではなかったかと推測する。

「相坪の論理」は相坪等の論理であり、また半浮免の段階においては進官庄のみならず、香菜免等においてもおこなわれたものであろうこと、而もそれは庄園の枠内で、夫役に限定しておこなわれたと考えられる点についてのべたが、この進官役等の勤仕は、浮免の段階でどうであったかは不明というほかない。基本的には物件・人件ともに、国衙からの雑役、臨時雑役の賦課の方式に準じたものではないかと推測する。このうち物件は前記のとおり負名等のもので一括して寺家に納付、人件は前記の枠で一味同心して勤仕したものであろう。進官免も香菜免も、国衙へ納付する雑役を免除して、寺家に給付されたものであることを考えれば、その収取は基本的には、右のごとくであったといえよう。勿論寺家の都合による変容もありえたであろうことはいうまでもない。後のいわゆる均等名から推測すれば、均等な賦課という立場もあつたのかも知れないが、確認できない。

以上はいうまでもなく浮免・半浮免の段階での進官役等の収取についての私見であるが、前述したとおり進官庄は延久の庄園整理令において、香菜免庄は承保三年（一〇七六）に定免化したと考えられるが、この宣言による定免化の段階における進官役等の寺家の収取は、半浮免の段階における収取とは異なるものであつたらう。単的に考えても、定免化すれば進官免田畠の坪内における場所が固定するのであるから、否応なくその責任者が明確化せざるをえなかつたらう。従って、人件のみならず物件もふくめて、進官役等の収取はその責任者に賦課されるようになったとみてよいであろう。この点に関しては進官庄については史料が現存しない。当面白米免小東庄についての稲垣氏の「初期名田の構造」等に依拠しつつ考察してみる。康和六年（一一〇四）の「小東庄白米免田負所名注文案」（平）一五三二号）によると、山村吉則の所領は九人の子女に分割譲渡されている。長男分は「一男則房名一町二段之中白米二斗絹五疋」とみえる。この白米二斗は大仏供白米免であろう。とすると半浮免の段階では負名が一括納付していたのが、定免化したこの段階では白米免も分割されていることがうかがえる。その納付責任者は九名の子女（負名）と一応推測される。もと負名が賦課の対象であつたことの帰結であろう。もつとも九人の子女の白米免は計三石五斗であり、吉則の所領は白米免小東庄の全部ではなかったといえる。同庄全体の名（負所名）は

「広瀬（小東か）庄白米上納日記」（平）四六九八号）の康治二年（一一四三）の日記にみえる名にうかがえる。そのうちには吉則の子女の負所名の後身と推測される名（葛上四郎大夫名・日熊殿名・安証房名等の房名）と吉則以外の負名の負所名（山本入寺名等）がみえるようである。反面右の日記には、長承三年（一一三四）以来の白米免上納者の名前もみられるが、彼等は負名もとの田堵と考えられる。ところが康治二年の日記には負名の負所名のほかに白米免上納者であつた田堵の名がみられる。それとして仁慶名・吉道名があげられる。さらには右の康治二年の日記に負所名と考えられる安証房名（吉則の子女の負所名と推定）内の田堵として白米免を上納していた正末、山本入寺名内田堵の重定、平光房名内田堵の貞行等は、平治元年（一一五九）の「小東庄正末名注文」（平）二九八九号、「小東庄名名坪付」（平）二九一一八号）では「正末名」、「重貞（重定と同一人と推定）名田」、「貞行名田」等と記されている。これらによると、負名の負所名が崩壊し、田堵の名の形成の動きがうかがえる。田堵の白米免上納は、いうまでもなく定免段階では白米免田が固定しており、自己の経営田に同免田が存在するから白米免を上納するわけであるが、この点からみると、それは一一世紀（承保三年の定免化以降）以来のことと推測される。しかし一一世紀の段階では負名の分割相続もみられなかった関係で負名（負所名）を媒介して白米免が上納されていたのではないかと考える。しかし一二世紀に入つて負名の負田の細分化がすすむと、直接田堵が白米免を上納するように転化し、負名の負所名が崩壊し、田堵の名の形成がすすんだのではないかと推測する。前記康治二年の日記と同年の「小東庄坪付」（平）二五〇七号）には、山本入寺名以下一八名がみられ、そのうち例えば吉則の子女の負所名に系譜すると考えられる唯識房名は一段となつている。ここには相続のみならず売買による負名の負田の細分化がみられる。田堵の名の形成による白米免の上納は右のような負名の負田の細分化に対応するものではなかつたかと推測する。もつともこの田堵の名は収取の枠であり、すべての白米免上納の田堵が名を構成したわけではなく、白米免の上納では名のもとに入る田堵もあつたらう。なお負所名の崩壊は負名の得分の崩壊に連るものではなかつたようで、この点は前記の小東庄名名坪付の末尾の史料「小東庄地主之田堵等」からうかがえよう。

以上は白米免小東庄の定免段階における白米免収取の体制についての考察であるが、とくに一二世紀に入ると、負名の負所名に代つて田堵の名が形成されてきたことがうかがえたが、このような動きは史料の欠如のために知りえないが、進

官庄や雑役免庄についても同様であったと推測したい。

なお田堵の名の形成は在地にもその要因があったにしても、庄園領主としての寺家の指導にもとづく形で名の設定が基本ではなかったかと考えられる。とくに領主としては一國平均役（臨時雑役）賦課に対応する必要もあったろう。この点では田堵の名は在家役賦課の単位ともなったものであろう。この田堵の次元に設定された名が文治の出雲庄等にみられる名に系譜すると考えるが後述したい。

検注権・官物の動向

進官庄の基盤の項で興田南庄について述べたように、進官帳は、おそらく各郡検田所が所轄の郡内の進官庄についておこなった検注の結果を興福寺が集録して太政官に進めたものと考えられるが、このことは、いうまでもなく庄園の検注権が国衙にあったことを示すものである。この点大田丸負田や同負田の東大寺白米免田の、一一世紀後半の検注帳等からも肯けるのであるが、康和五年（一一〇三）の「大和国今吉負田検田帳」（雑役免北田中庄、（平）一五三〇号）、同年の「大和国樺北莊稻吉負田坪付」（雑役免庄、（平）二五三二号）からみると、国衙による郡検田所の検注は一二世紀初頭にも及ぶものであったことが知れよう。

一方、官物であるが、進官帳では公田畠については「官物并国宰」とあるのを引用するまでもなく、進官庄の公田畠の官物は国衙に納付、不輸免田畠のそれは領主であった興福寺のほか、神社・仏寺・諸司等に給付されたものであったこと言うまでもない。この点香菜免庄の場合も同様であったろう。

ところで右の両事項のその後の動向であるが、嘉承元年（一一〇六）の「東大寺牒案」（（平）一六六四号）、同二年の「東大寺政所下文案」（（平）一六七八号）から右の動きがうかがえる。便宜上後者をとりあげれば左記のとおりである。

政所下 雑役免庄々下司田堵等

可早請寺家検田使、進濟所当官物等事

右、件雑役免田官物者、前々国司皆使補寺家封戸物等、其来尚矣、而国検田使入勘之間、致阿容、損田甚多、得田甚少、追年如此、為寺家大費也、仍以此旨の当国司伏其理、期永代雑役免田検田、偏付申寺家先了、而今年違約諾、国検田使可入之由、有其聞、事若実者、甚非常也、若違此旨、実国検田使罷入者、專不可承引、可請寺家使也、若違此旨、有請国検田使所者、且召誠庄民加重科、又任寺家凶帳坪付、不論損得、可令徵納官物之状、所仰如件、各宜承知、勿違失、故下

嘉承二年十月 日

都維那法師在判

（別当以下の署判者略）

判

件香菜免田、於官物者、如旧令弁補御寺封戸代、至于検田事者、任嘉承元年例、永付進寺家、兼又任度々、宣旨、臨時雑役免除者、在庁官人等承知、勿違失、大介藤原朝臣在判

この下文案は東大寺政所の、雑役免（香菜免）庄の下司・田堵等宛の下文であるが、大和国司の保証もみられる。前記の二つの事項との関係でいえば、前後するがまず「雑役免田官物」の寺家への給付は「便補寺家封戸物等」としてのそれとあるが、前記嘉承元年の「東大寺牒案」では「寺家之当国（大和）封戸調庸雑物等多以未済<sup>②</sup>」の故の便補であるとみえる。時期的には「前々国司皆便補」とみえるので、嘉承二年をさかのぼるわけであるが、当面は康和三年（一一〇一）の「東大寺料米切符」（（平）一四五六九号）には「米貳斗柒升 工廿七人別間酒料」等について「可下雑役免官物」等とみえる。前々国司以来、「其来尚矣」をも考慮すると、それは一一世紀にもさかのぼりうる事が推測されるが、この点については「東大寺封戸文書書上」（（平）一三三四号）のうちに「伊与国飯納米百石成下、大和守雑役免田官物代、承暦三年十月廿日成之」、「土佐国御封米佰斛飯納返抄成之了、大和守給当国雑役免田沙汰之代云々、承暦三年十一月九日成之了」とある。右のうち、前者からは承保三年（一一〇七六）の伊予国からの封戸米のうち一〇〇石が当年の雑役免田官物の代として便補されたことが知られる。同年は前項で述べたように、香菜（雑役）免庄が定免化した年でもあった。とすると雑役免庄は定免化のほか官物が、少くとも承保三年以降給付されることになったとみなしえよう。この限り「其来尚矣」とも一致する。定免化とは官物給付もふくめてのことであったものようで、当面は伊予国の封戸米をもって代えたものであろうか。後者の「雑役免田沙汰之代」としての土佐国からの封戸米弁補は、承暦二年（一一〇七八）に雑役免・官物の収取が少なかったことによるものであろうか。ところで右の官物給付とは官物（もと三斗、一二世紀では六斗）金額であったろうか。史料の上からは明らかでないが、同じく東大寺領黒田庄出作公田については、承安四年（一一七四）の「後白河院序下文案」（（平）三六六六号）には「黒田庄出作者、往古寺領也、所当官物便補当寺御封之外、所济来园庫也」とみえるが、この便補の官物は応保二年（一一六二）の「官官旨」（（平）三三二二号）にみえる「是往古国衙所当官物也、而於見米百四十石者、為恒例便補彼寺御封米

内、至干残見米百十四石八升八合准米百廿石六斗七升六合准稻等者、任例可令弁  
 济国庫之処(下略)のうちの便補分と考えられ、おそらく伊賀国内からの東大  
 寺封戸米の代として早くから黒田庄出作公田官物の約三分の一は寺家に給付され  
 ていたが、大和における封戸物弁補の官物も全給ではなく、約その三分の一では  
 なかったかと推測したい。

ところで一一世紀以来検注権は国衙にあったことは前記したが、定免化によっ  
 て下地進止権確保の第一歩を実現した東大・興福両寺にとつて、つぎには官物の  
 全給もあつたにしても、より基本的なものとしては寺家による検注権の獲得の問  
 題があつたはずで、東大寺はそれを嘉承元年(一一〇六)に確保したわけである  
 が、それは、前掲嘉承二年の下文案によると「国検田使入勤之間、致阿容、損田  
 甚多、得田甚少」という理由、つまり定免段階で国衙が検注権をもつていると、  
 検注の際に庄内の田堵が国検使におもねって、得田をも損田としてしまふので寺  
 家としては損害が大きいという理由による検注権の寺家への付与の要望によるも  
 のであつた。この理由は、官物全給の場合もつともな理由と推測される。従つ  
 て前記の官物給付も全給かとも考えてみたが、反面香菜免庄・進官庄はともに、  
 一般に散在性をもっており、公田畠と交錯もしていたので、官物の一部給付の場  
 合でも、田堵が国検使にとり入る余地がなかったわけではないが、これは「一致阿  
 容」すやう国検使が仕向けた策であつたのかも知れない。とすると嘉承元年の東  
 大寺の検注権の確保は、寺家と国衙の抗争の結果といえよう。その関係か翌二年  
 にはまた国衙の検注の動きがみられたので、前掲の下文案となつたわけである  
 が、このような動きは以後も続いたようである。東大寺は天承二年(一一三二)にも  
 「欲被早任先例、以香菜免田官物弁補御寺封戸、并停止国検田、如旧付寺家状」  
 として寺牒(平)二二〇号)を国衙に送っている。これらによると東大寺は検  
 注権は獲得したにしても、一二世紀前半において、どれほど下地進止が確立して  
 いたか疑問とせざるをえない。

しかし下地進止が確立しがたい理由はほかにあつたらう。この点について同  
 牒には「一件免田(香菜)之内、除諸司要劇之外、以殘公田官物、便補寺家封戸  
 年尚矣」とあるが、これによると官物を便補されたのは「除諸司要劇(このうち  
 には社寺田も含まれていたらう)之外」、つまり公田畠の香菜免田畠のみであつ  
 た。この点は前掲嘉承二年の下文案にも官物使補は「雑役免田官物」とあること  
 と一致する。また検注権も下文案には「雑役免田検田」とみえる。反面には前記  
 したように香菜免庄は、進官庄も同様であるが、一般に散在的であつたので、庄

内といつても、そのうちには全坪公田畠もありえたり、また坪内三段が香菜免田  
 と仮定すれば残る七段は公田畠である場合もあつたであらう。とすると検注権の  
 寺家への付与といつても、国検使は少くとも公田畠検注のために庄内に入部した  
 ことが考えられる。そのほか進官免田が香菜免田と交錯するような場合も多かつ  
 たといえる。従つて東大寺は国衙、庄内田堵のほか興福寺等をも対立的存在とし  
 て抗争しなければならなかつたらう。そのほか私見によれば官物給付はその一部  
 であつたらう。右のような状況のもとでは、下地進止の確保がうまくいかぬ庄園  
 も多かつたらう。このような場合は「顛倒」せざるをえなかつたものと考ええる。  
 久安四年(一一四八)の「東大寺大和国雑役免(香菜免)顛倒庄々」(平)二六  
 五四号)には一〇か庄余がみられる。

反面下地進止のうまうかつた場合は加納田の形成が進んだようである。平治元  
 年(一一五九)の「大和国雑掌奉成安切符」(平)三〇二三号)には「東大寺雑  
 役加納三百七十八町二百六十歩 所当柴垣十八丈九尺町別五寸定」とみえる。同年  
 は東大寺雑役免庄和邇庄以下二一か庄にも野宮柴垣所当が臨時雑役として課せら  
 れたが、「東大寺雑役免野宮柴垣支配符」(平)三〇二二号)、右のとおり加納分  
 にも賦課されている。ここに加納田の形成がうかがえる。それは庄内ないしは周  
 辺の公田畠の加納が中心であつて、庄内公田畠の場合は坪内田畠の全庄田畠化の  
 方向にあつたものと推測される。この点白米免小東庄についてであるが、康治二  
 年(一一四三)の「小東庄坪付」(平)二五〇七号)から一応うかがえる。こう  
 した形で雑役免庄は地域的一円化をも、大なり小なり進めたものとみなしえよ  
 う。これら加納田は、臨時雑役が賦課されている点からみると、その限りは国衙  
 から事実上承認されていたものと考えられる。もつとも右の史料は保元元年(一  
 一五六)の記録所の設置に始まる庄園整理が進行中のものであり、この整理のな  
 かで雑役免庄加納田がどうなつたかは、進官庄等をもふくめて後述したい。当面  
 東大寺のこれら加納田からの収取について、史料の関係で白米免小東庄について  
 考えてみよう。これも前記と同様庄園整理進行中の平治元年の史料であり、また  
 明確な史料ではないが、「小東庄名名坪付」(平)二九九一―一八号)には「於加納余  
 田所当者、如庄民所濟、可弁進状、謹請進状如右、以解 紀重貞」等とみえる。  
 加納余田の所当の内訳は明確ではないが、庄民と同じようにとあるので、所当と  
 は官物のうちの白米免は東大寺へ、その残は国衙への意味と解するのが自然であ  
 る。この限りでは前記雑役免加納田の場合も、少くとも雑役免は東大寺に納め  
 たとみなしえよう。



以上によって、一世紀後半から一二世紀前半における雑役免（香菜免）庄の定免段階における動きとして、免田についていけば香菜免と官物（一部か）と検注権を獲得したほかに、加納田という形で庄園の散在性を払拭して景観的一円化を進めることによって、一円庄に近づく過程をみてきたが、加納田をも含めて雑役免庄が官物をも全給されて一円庄として完成するのは、保元の庄園整理の時期と推測している。また右の雑役免庄の一円庄への過程は、進官庄がたとえば文治二年の「出雲庄坪付帳」にみられる一円庄にいたる道程でもあったと考えているが、この点は定免化にともなう名の設定の問題もふくめて、香菜免庄とともに次項で考察したい。

#### 保元の庄園整理における香菜免庄・進官庄の動向

延久の進官帳以後、進官庄の動向をうかがう史料は皆無といってもよいが、そうしたなかで、突如文治二年（一一八六）の「出雲庄坪付帳」、「出雲庄検注目録」、同年の「池田庄丸帳」（鎌二〇一―一三号）が出現する。出雲・池田両庄はともに進官帳にみえる出雲・池田両庄の後身と考えられ、すでに先学によって究明しつくされているといつてよい。ここでは先学（とくに渡辺澄夫氏）の研究に依拠しつつ、便宜上出雲庄を中心に、延久・文治の両時期比較の立場に立つて、文治にみられる名の設定、その条件を主にして考察したい。事項としては、  
 (一)進官免田の半浮免から定免への転化、  
 (二)下地進止権と関係する検注権の動向、  
 (三)公田畠内進官免田の官物の給付、  
 (四)庄内坪の全田畠の庄田畠化と坪の交換・分合等による庄園の景観的一円化（庄園村落の形成）等の問題をとりあげたい。結論的には、名の設定は(一)から(三)までの事項が確保された上で始めて可能と考えられるが、多少とも補足説明したい。

まず名の設定という場合、その設定の目的であるが、出雲庄について渡辺氏は「均等名の形成過程」の末尾で「均等名形成の目的は、庄園領主側公事・夫役とくに佃の一律割り付けを主軸としている（下略）」とされている。「均等」についてほとんどかくとして、右のうち「公事・夫役」とは、進官帳の「雑役勤寺家」の雑役（進官役）であるこというまでもない。この限り名の設定は進官役收取の体制であるが、それは既述の半浮免の段階の收取体制とは異なった新しい体制といえよう。この体制は、ともかく進官免田の固定（定免化）なしには実現不可能である。定免化は前記のとおり延久の庄園整理令のなかで官旨によって確保されたと考えられる。しかし以後文治にいたる間の進官役の收取についての史料は皆無

といつてよい。相坪等の論理の項で触れた白米免小東庄の田堵の名の形成・設定がその前程となろう。

なお名の設定は寺家と負名・田堵との話し合いでおこなわれたと考えられる点からみると、その前提には寺家による下地進止権の獲得が必要であったろう。この点に関しては、出雲庄坪付帳の末尾に「検注言上如件」として「御使惠俊 僧林詮 勾当法師静耀」とあり、検注権、従つて下地進止権は獲得済みであったといえる。

つぎに名設定のいま一つの目的とされている佃は、一円庄である場合、当時の生産力段階にもづく必然的帰結と考えられるものであるが、雑役免の給付みの段階では佃の設定は不可能であつて、官物の寺家への全給がその条件であつたといえよう。この点に関しては、出雲庄検注目録によると、同庄は一名から成っているが、うち三名については分米の記載がみられる。「重国名一町五(三)反三百ト 分米九石四斗八升八合八勺」「国時名一町六(四)反百九十ト 分米十一石一斗一升八合三勺」「国久名一町二反三百卅ト 分米七石八斗二升六勺」である。この三名の分米を段別に換算すると、重国名約六斗、国時名約六斗七升、国久名約六斗四合となり、多少の出入りはあるが、段米六斗余平均といえよう。この数値は大まかにみて、当時の官物にほぼ等しいとみなしうる。出雲庄は官物全給の庄園になっていたとみて差支えない。

最後に佃の庄内の坪内全田畠（一町）の庄田畠化等について触れてみる。検注目録によると、文治の出雲庄の総面積は四三町五段であり、延久時の二一町三段半に比べると、約二倍の増加といえる。坪付帳は、右四三町五段のうちの三二町二段余の坪付を記したものであるが、それは三五か坪のうち三〇か坪が坪内全田畠（一町）が庄田畠、五か坪は庄田畠が一町未満となっている。残る一一町二段余は検注目録では「方々知行間田」とあり、坪付・坪数ともに不明であるが、仮にこの分も坪付帳に準じて考えるならば、文治の出雲庄では約八割五分余の坪が坪内全田畠が庄田畠と考えられる。延久時では、坪内一町が庄田畠となっているのは不輸免田（大蔵省田・大神神田・主殿寮田・右大臣御位田各一町、計四町）四か坪のみで、その他の庄田畠は公田畠の進官免田であるが、坪に平均四・八段余となり、五段に及ばない。従つて景観的一円化―これは出雲庄の場合は延久・文治両時期を比較すると、前記不明の間田を慮外視すれば、基本的に変化はみられないのであるが、この限り出雲庄では、延久以来文治にかけて、坪内の進官免田以外の公田畠の庄田畠化が著しく進み、面積が二倍余になったといえよう。

以上は私なりの庄面積増大の分析であるが、渡辺氏は氏の分析（結論は同じ）にもとづいて、「出雲庄の成立<sup>⑧</sup>」のなかで「このように庄田の集中拡大が可能であったのは、既述の如き寺家の勢威と、雑役免が元来坪内部の付を欠き従って残る相坪も「一味同心令勤件役」めた半浮免性による所が大であろう」とのべ、また「均等名形成の歴史的前提<sup>⑨</sup>」のなかでは、均等名庄園一般に関して「後（平安末期か）の集中化の道程においては、大小社寺の農民や国衙領の小土地保有者が、興福寺と身分的隷属関係を結ぶ下からの積極的運動が先行し、遂に後の如き形態をとるに至ったものであろう」ともべられている。右のうち、氏のいわれる相坪・一味同心の論理は、私見（前述）からみていかかかと考える。寺家の勢威、それは大和を賜国とする興福寺の権威のことであろうが、出雲庄についていえば氏の「国衙領の小土地保有者」、つまり小規模負名・田堵が興福寺の右の権威の故に、基本的には、負田を寄進するという動きがあったものと考えたい。この点は大和について前記したように、「加納余田」の確保に当たるものと考えられる。東大寺雑役免が加納田三七八町余を獲得していたことも前記したが、興福寺の場合もと膨大であったろう。出雲庄についていえば、前記のとおり、延久時の約二倍であった。基本的にはこれら寄進による考えられる進官庄加納田は、前記小東庄の加納田の所当（白米免）弁済に準じて考えると、進官免を弁済したといえよう。反面寄進した小規模負名等は国衙への雑役ない臨時雑役免除を興福寺の権威のもとで対押したのではないかと考える。この限り国衙としては問題視したであろう。そのほか官物の問題があったはずである。この点はい前からの進官免田の負名にも国衙に納付すべく賦課されていたものである。しかし文治の出雲庄からみる限り、本来の進官免田も加納田もともに官物全給の体制が実現していたとみえる。これは名設定の条件である点からみて明らかである。

さて出雲庄の官物の動向に示唆を与えるのは、久安年間（一一四五―一一五二）と考えられる「僧晴誓書状」（平）五〇二〇号）であろう。同書状には「於出雲御庄内東大寺負田者、追年官物無懈怠、於雑役者、依為進官令勤仕御寺（興福寺大乗院）、全東大寺に無勤仕例之由（下略）」とみえる。これによると出雲庄内の東大寺僧の負田（公田内）では官物はおそらく国衙に、雑役免（進官役）は御寺に勤仕していたと考えられる。この限りは久安年間、出雲庄の進官免田の官物は免除されていなかったといえる。しかし同じく久安四年の「平田庄内検帳」（平）二六五二号）によると、多くの寺僧領がみられる。おそらく興福寺僧が多いと推

測されるが、彼等の得分は水田からの分米であったと考えられる。とするとこれは官物のほうであるが、段別一斗二升平均であるので、その一部と考えられ、残は国衙に納めたと推測したい。出雲庄の東大寺僧が官物を懈怠なく納めたというのは右の残に当たる分であろう。この限り出雲庄では官物は国衙から一部給付されていたとみなしえよう。とすると久安年間には、まだ文治にみられる名設定の条件は成立していなかったろう。つまり官物全給は久安以後となる。この点は後述するとして、当面右の官物の一部給付であるが、進官庄についてはこの点に関する史料も見当たらないので、前記の東大寺雑役（香菜）免田の官物給付から推測するよりほかない現状である。それは少なくとも承保三年（一〇七六）と考えられた。この年は香菜免田が定免化した年でもあった。興福寺についていえば、後述のごとく承保元年は左大臣藤原師実（翌年闕白となる）男の覚信が興福寺に入った年であり、摂関家が興福寺に接近した時期であったといえよう。また興福寺内の伝承として「寺門事条々聞書」（内閣文庫所蔵）の応永二十一年（一四一四）七月八日条には「大和洲者承保之明時御寄附一国之吏務於興福寺、元曆之往代重被付守護職畢」とあるが、この前半は承保年間に、おそらく宣旨により興福寺に何等かの給付のあったことをうかがわせる。この点もあわせ考えると、進官免田の官物の一部の給付は香菜免田の官物の一部給付と相前後する時期でなかったかと推測したい。或は延久二年進官庄定免化と同時にあったかも知れない。延応元年（一二三九）の「興福寺小目代申状」（鎌）五四六〇号）には「護檢旧貫、被寄附大和一國於当寺者延久二年」とみえる。これも何等かの給付を思わしめるが、いづれとも判断し兼ねる。

つぎに進官庄の検注権の問題であるが、これに関する史料も見当たらない。東大寺雑役免に準じて考えれば、それは前記のとおり嘉承元年（一一〇六）であったから、進官庄も一二世紀初頭ではなかったかと推測される。この場合も藤原氏との関係でいえば、師実男の覚信が興福寺別当に任じたのは後述のごとく康和二年（一一〇〇）であった。前記久安四年（一一四八）の平田庄内検帳に結果する検注は、同庄の領家であったと考えられる興福寺によるものであった点を考えると、少くとも一二世紀前半末には進官庄の検注権は興福寺にあったとみて違いあるまい。一応幅をもたせて一二世紀前半のうちに考えておく。検注権の寺家への付与は、下地進止権の獲得であり、以後の動きについては、東大寺雑役免庄等についてはすでに触れ、進官庄についても推測したが、それは加納田の拡大であつたといえよう。

加納田の形成は負名等の寄進を中心としたものであろうこと、出雲庄の場合も公田畠の負名等の寄進であつたらうことは前記したが、一般的には、公田畠のみならず社寺・諸司要劇田畠等（不輸）の負名等からの寄進もありえたらう。この場合はすでに進官免田・香菜免田になつていたという点に立てば、社寺・諸司等への官物（不輸の得分）の対捍があつたと推測される。いずれこれら社寺・諸司要劇田畠が平安末期から鎌倉期にかけて崩壊してゆく根源はここにあつたといえよう。この間にあつて、とくに社寺は末社末寺化の方向に進み、田堵の官物対捍を喰ひ止めようとしたと考えられるが、社寺田の崩壊はまぬがれなかつたらう。

公田畠の場合も、進官・香菜両免田以外については、進官・香菜両免の給付は勿論、官物の一部給付もなかつたのであるが、これらを両寺家が国衙に要望したことはいうまでもなからう。白米免の場合であるが、小東庄では加納田から白米免を収取していただであらうことは前記した。これからみると、おそらく加納田からも未給付の進官・香菜両免、官物の一部を収取していただであらう。雑役免庄の加納田への臨時雑役の賦課（前記）はそれを裏書きするものであろう。これら加納田は、以前からの進官・香菜両免田とともに、寺僧領になつていたのではなからうか。その得分は免田に準じて官物の一部であつたと推測される。

ところでこれら加納田は一二世紀を通じて年とともに増加したと考えられるが、それは国衙との対立を次第に激化させたものであろう。こうした状況のなかで、この加納田及び同田畠にかかわる右の諸問題を解決しようとしたのが、天養元年（一一四四）に大和の国主となつた摂政忠通が源清忠（大和守）をしておこなわしめた検注と保元の庄園整理令による検注であらう。

天養の検注については、『台記』の天養元年九月二十五日条によると、興福寺僧徒の反対にあつて「至于寺僧領、止享検注、於検注者、所不許也、不<sub>レ</sub>検注者、不可<sub>レ</sub>分別別与、僧領<sub>レ</sub>中他領上之故、僧徒莫復訟矣、つまり寺僧領の検注は止めるが、寺僧領と他領を区別する為に必要なということ検注をおこなうことになつた。それでも検注を始めると僧徒の反対にあい、一月には僧徒は内大臣頼長について清忠の配流を訴えている。忠通の検注は失敗に終わったといえよう。忠通の検注は興福寺加納田がいかに多いものであつたかをうかがわせる。

つぎに保元の庄園整理令であるが、その問題点は同二年（一一五七）三月の「太政官符案」（平二八七六号）の雑事五か条のうちにみられる。それは社寺院官諸家の「新立庄園事」、「本免外加納余田并庄民濫行」、それに「神人」・「悪

僧」・「社寺」の「濫行」の五か条である。このうちここで問題となる中心は「加納余田并庄民濫行」であらう。これについて「右、件庄園等、或載官省符、或為勅免地、四至坪付券契分明、而世及澆季、人好貧婪、号加納稱出作、本免外押領公田、暗減率法、対捍官物、蚕食之漸、狼戾之甚也、兼且在在庁官人郡司百姓、補庄官定寄人、恣募名田遁避課役、郡県之滅亡、乃貢擁怠、職而此由（下略）」とみえる。加納出作による公田の押領、率法を減ずる形での官物の対捍、或は庄官に或は寄人になることがうかがえるが、これらの根本には負名等の寄進があつたはずである。以下保元の庄園整理の大和内の動きについて考察する。

まず大和における庄園整理のための検注は保元三年七月頃おこなわれようとしたが、『兵範記』の同年七月十七日条には「今日南京有合戦云々、大和国併春日御社興福寺等負所寺僧領無一步公田、仍賜官使六人、国司重副目代、可検注由、去十三日被宣下、任勅定致沙汰之間、山階寺上座法橋信実与国司親昵之間、法橋奉行之處、大衆結鬱、急発向信実住房、信実整兵相禦、如此之間、及合戦、両方相互中矢蒙症者不知数、其庭死者数十、官使逐電帰参云々」とみえる。これは、興福寺の信実が国司と親しかつた関係で、国司に代つて検注を進めようとしたところ、反対する興福寺大衆と合戦になり、官使も逐電してしまつたという事件であるが、前記の加納田も含めて負所つまり進官・香菜両免田が寺僧の知行するところとなつている状況は、「公田無一步」とする文言から一応うかがえよう。

この合戦のあと、平清盛が大和の知行国主となつたためか、その子基盛（重盛の弟、宗盛の兄）が大和守に任ぜられているが、保元三年十一月六日の「大和守基盛請文」（平二九五六号）等によると、東大寺領の検注についての、おそらく中央からの官使の「供給（派遣か）の停止を行っている。これは寺家の検注権を尊重し、従来の郡衙検田所と寺家の使者とが立ち合ひの上で検注を進める方針に変わったことを示すものではないかと考える。また庄園文書の提出を求めたようである。これらに関する東大寺の史料は割合現存している。そのうち大和内関係分では、保元三年二月の「東大寺大和国寺領并寺僧領坪付事」（刑部録中原兼請文、平二九六二号）、同四年の「小東庄仏聖来所済注文」（平二九六八号）、平治元年六月の「小東庄正末名注文」（平二九八九号）、同年同月の「小東庄名名坪付」（平二九九一―一八号）等がある。これらは、検注、庄園文書の提出、加納田等に関するものである。しかし興福寺領については、右に類する史料は、大和国に関してはみられない。

平治元年九月の「大和国目代下知状案」(平)三〇二四号)は目代と考えられる刑部録の中原貞兼が、庄園領主からの提出文書を調査した結果にもついで下知したものであるが、この調査は、葛上郡内の宿院領(櫻園家領)等のほか、東大・薬師・多武峯の諸寺、春日社・同末社の庄園について加納田を調査し、官物等に関して指示を与えたものである。調査対象の全庄園について明らかにされているのではないが、「椿峯吉領 石園庄」については「件西所内官下坪付相交云々、彼坪付之外田島所当官物止苛法、相尋之」とみえる。このうち官下坪付(官から下給された坪付の明らかな田島か)の「外田島」は加納田と推測される。苛法は文書調査のみでなく、検注も行なう方法と一応考えられる。

春日社と末社の庄園については「件所々領不帯指証文、名辛事於左右、致対捍之条、無其謂、早於不進免除証文之以前者、苛法可加其催之」とみえる。これは提出文書のうちに公驗等がないので、その限りは検注を加えるというものである。春日社領は山川原庄・小太郎名・伴田庄の三か庄、同社末社領は在地の四か神社領であるが、これらはいづれも負名等の寄進になるもので、未だ公驗等はなかったものと推測される。もっとも右のうち伴田庄は、元暦元年(一一八四)の「春日若宮神社中臣祐重解」(平)四二〇五号)からその後の存続を確認できるが、同解には「件所祐重先祖藤原氏女、寄進於 当社御領之後、以彼所当地子所備進九月九日御節供也」とみえ、寄進による庄園であることがうかがえる。また山川原庄も存続していた(平)三四五八号)。小太郎名等については不明であるが、検注はこれをうけたにしても、結局伴田庄同様に存続したのではないか。その他村田庄については「件庄私御優恕之処也、仍所当官物不可寄徴」とみえる。右の文中の「私」は下知状案末尾の署判者刑部録中原(目代)であろう。そこには何等かの根拠があったのかも知れないが文面からみると、村田庄は彼の「優恕」(宥恕か)によって官物が免除されたものと考えられ、目代の権限の程がうかがえる。極言すれば、調査の結果どのように処置するかは、彼の考え次第であつたらうと推測する余地も考えられる。

目代下知状案は葛上郡の分しか現存していないが、他郡についても郡毎に中原貞兼によって庄園の調査・検注がおこなわれたのではないかと考えられる。この場合郡毎という点からみると、各郡の検田所が彼のもとで協力したものであろう。ところでこの際注目すべきは、葛上郡の調査では興福寺領→進官庄がその対象になつていないことである。

保元の庄園整理に関する興福寺領関係史料が大和国内については見当たらないことは前記したが、しかし前記の刑部録中原貞兼請文には、東大寺が提出した同寺領と寺僧領の文書三巻のうち、おそらく加納田等の分一卷を返却する理由として興福寺領について「興福寺之寺僧御領等、官下坪付之外、未御沙汰候之故」とみえる。これによると、興福寺の寺僧領等については、官下坪付分→進官庄等分(寺僧領分はこのうちにもある)の文書は提出済みであるが、坪付之外である加納田等分の文書は未提出であつたことがうかがえる。しかし前記目代下知状案では、興福寺領についてはみられなかったが、その他の庄園領主(東大寺をふくむ)からの文書、それは官下坪付分のみならず加納分等もふくむ文書の調査とそれに対する処置がみられるから、興福寺も官下坪付以外の分の文書もいづれ提出したものと考えられる。その上で興福寺領についての処置はみられないので、この限り進官庄については、加納田の公認とともに、それをもふくめて官物も全給されたのではないかと考える。春日社領等は興福寺領ではなかつたので、寄進分等は調査はうけたが公認されただろうことは前記した<sup>⑧</sup>。

東大寺領はどうなつたかについては、小東庄について考察することで推測したい。

平治元年は保元の庄園整理が未だ終っていない時期であるが、同年九月二十九日の「大和国在庁下文」(平)三〇三〇号)によると、小東庄についての寺家使者相共検注」のなかで「或云寺領、或云権門庄、兼号公領諠譁之由」とあるように、争いが起る始末で東大寺も強い抵抗を示している状況がうかがえるが、翌永暦元年(一一六〇)一〇月の「東大寺公文所下文案」(平)三一〇六号)には、加納田の公認とそれを含めて官物も全給されて一円庄になつた小東庄がうかがえるようである。同下文案はつぎのとおり。

(端裏)「白米免下文案」

公文所下 小東庄

可早催進新免仏聖米、兼処其過科去五日官居□式料雑事欠怠輩等事

右、於新免者、為往古負所之上、度々検注之時、就作民請文、令沙汰遁皆了、隨依 院宣、国使相共立券、去奉又了、加之任道理、偏可為寺領之由、被下宣旨又了(下略)

この史料は難解であるが、右のうち「新免仏聖米」とか「於新免者」とあるのは、あらたに免ぜられた仏聖米の田地の意味で、加納田が白米免田として公認されたことを示すものと考えられる。この新免が「往古負所」とあるのはもと公田

内の香菜免田であったという程の意味ではなからうか。とするとこの免田の作人（田堵）が当免田を東大寺に寄進（加地子分）することで加納田となり、不法に仏聖米も東大寺が収納していたものであろう。寄進に際して作人が東大寺と交した請文がたびたびの検注において皆見逃されて不法のまま今日にいたったが、この度院宣によって国使のもとで新免田として確認され、去年立券されたものと理解できるのではないか。去年とはいいうまでもなく平治元年である。また「加之」以下は宣旨によって「偏可為寺領」とあるが、これは官物の全給を意するものではないからうか。この宣旨の年次は不明であるが、長寛二年（一一六四）の「石名庄住人等解案」（平）三二六九号）には香菜免庄石名庄について「任先例可動仕寺役之由、以去平治元年重被下、宣旨畢」とあり、小東庄も香菜免庄であるので右の小東庄の宣旨も平治元年と一応考えられよう。また以上によると、平治元年には宣旨・院宣によって香菜免庄は全体として加納田をもあわせて、官物も全給されて一円庄になったのではないかと推測する。とすると保元三年七月の興福寺信実と同寺大衆との前記の合戦以来、庄園整理の当事者が東大寺以上に気を遣った進官庄も、前記のとおり加納田をふくめて官物も全給され一円庄になったとみて差支えないであろう。この限り文治の出雲庄にみられる名設定の諸条件は平治元年に確保されたものとみてよいであろう。渡辺氏は「楊木庄の成立」のなかで、同庄が進官庄から建長四年（一一五二）の検注帳等にもみられる一円庄への転化に關して「雑役免帳にみられる負所の負渡しの竄入等から推測して保元前後が画期的時期であろう事は、出雲庄と同一轍であろう。従って後に詳述する名構成も、凡そこの時代に行われたものと推定して大過ないものと考えられる」と記されているが、一円庄への転化の時期についてももっともな推定と考えられる。

ここで進官庄を中心に名の設定について考えてみるに、前記のとおり平治元年宣旨によって進官庄は加納田をふくめて一円庄として立券されたものとする、この時点における進官庄の名設定と關係して考えられなければならないことは、前期の一円庄という以外では、加納田の形成はなお進行中であつたらうことがまづあげられよう。つぎに「相坪等の論理」の項で小東庄について考察したように、定免化以来の白米免の上納者は始め負名の名所名であつたと考えられるが、一二世紀に入って同名が細分化してゆくなかで、これに代つて設定されるようになった田堵の名の形成が考慮されねばならないであろう。そのほか右の渡辺氏の文言にみられる負所の負渡しによる進官庄と村落との結合（後述）が進んでいいたといえよう。これは進官帳での初見は仁平三年（一一五三）であるので、平治以

前からみられた動きといえる。以上を総括すると、進官庄は一円庄となった上で、なお進行したと考えられる加納田の形成と負所の負渡しを寺家が指導するなかで、田堵の名については進官役等の負担の均等化と庄園と村落の結合化をすすめたのではないかといいことである。このうち進官役等の均等化がよりよく実現した庄園は均等名庄園と今日いわれるのではないか。この場合其名の設定、そのほかこれまでの行論からみると、田堵に寺家への隸属性がなかったとはいえないが、それは強固なものではなかったらう。とくに進官役等を寺家に勤仕した田堵は、ともあれ国衙に納めるべき国役（雑役）を国衙から免除された上での、その寺家への勤仕であつたことはいうまでもないが、この点からみれば田堵は基本的にみて寺家に対する隸属的存在であつたとはいえないであろう。

なお平治元年以降の興福寺の立場であるが、保元の庄園整理のなかで要求を貫徹したあと、興福寺は大和をより一層神国化し、賜国化していったものである。その後治承四年（一一八〇）清盛が重衡を遣して興福・東大阿寺の僧徒を討たしめた、いわゆる南都焼討ち（玉葉等）以後、結果的にこの両寺は源頼朝と結ばれていった。このような状況のなかで興福寺は大和の守護権も確保したという（寺門事条々開書、前掲）。それは「元暦之往代」（一一八四）とある。この年にそれを確認はできないが、鎌倉期以降興福寺が守護権を行使したこと<sup>⑧</sup>は今日一般に認められているところである。南都焼討ちの翌養和元年（一一八一）三月には、興福・東大阿寺の進士官の任命がおこなわれた（玉葉等）が、一面興福寺は東大寺領庄園と寺僧領に造興福寺役を宛課している（「東大寺諸司等解案」（平）三九五号）。これは大和を賜国とする立場に立つての興福寺からの賦課である。いわば興福寺は平治元年以降は大和国司の立場を確保したといってもよいであろう。文治二年（一一八五）の出雲・池田両庄の検注帳にみられる両庄は右のような条件のもとで形成されたものであろう。もっとも渡辺氏によると、文治の時点で出雲庄の名はなお形成の途上にあつたとされている<sup>⑨</sup>。この点からみると興福寺は大和国内では強大な権限を實現していたにしても、名の設定・形成については在地の田堵等の立場も考慮するものであつたと推測される。

つぎに前記の平治元年に宣旨によって實現したと推測した興福寺の一円庄は正治二年（一一〇〇）の「維摩会不足米餅等定案」（鎌一五五九〇号、後掲）にみられる「別符庄」ではないかと推測する。つまり進官庄は平治元年に別符によって一円庄に転化したのではないかといいことである。同定案では「一乘院別符御庄々」のうちに池田庄が、「大乘院別符御庄々」のうちに出雲庄がみられる（後

述)。文治二年の両庄の檢注は別符庄としての両庄の檢注であったものと考えたい。

最後に四の項目の、加納田の形成、坪の交換・分合等による庄園の景観的一円化について触れてみる。結論的には庄園村落の形成が、おそらく在地の負名・田堵等の意向もあって進んだものと考えられる。

文治の出雲庄の場合は一部の「方々知行間田」の坪が不明であるが、この点を慮外視すれば同庄の景観的形態は、基本的には延久のそれにほぼ等しいと考えられることは前記した。幾らかの坪の移動のあったことは勿論であるが、この点について徹視的に考察してみよう。まず城上郡一八条一里(城下郡一八条四里でもある<sup>④</sup>)では、文治にはあらたに七・八・一七・二八・二九・三一坪が、城下郡一九条一里では三六坪が加わっている。このうち二九坪には神社、三一坪には寺院が現存し、この地域は今日集落でもある。この社寺について文治の坪付帳では、二九坪には「堂敷地大」、三一坪には「寺敷地小」とみえるので当時も存在していたとみてよいであろう。また坪付帳では屋敷地の所在は明らかでないが、おそらく堂・寺と遠からぬ地域にあったろう。堂が神社かどうか不明であるが、神仏習合の関係で堂となっているにしても、神社もあったのではないかと推測したい。とすると文治の時点では延久時に比べて社寺のある坪等があらたに加えられて庄園と村落の結合が進んだといえよう。このような変化は庄内ないしは周辺の公田が寄進されて実現したものといえよう。加納田である。加納田の形成自体が負名等の国衙支配からの脱脚である点からみると、庄園と村落との結合も負名等の望むところであったのではないかと推測するが、とすると寺家による名の設定、その完成化と合致する面があったものといえよう。またこうした動きは庄公分離の動向でもあり寺家も望むところであったろう。こうしたなかで田堵等は庄内に村落的地縁関係も形成していったと考えられる。以上の庄園と村落の結合は池田庄についてもみられる。同庄は延久時には京南二条三・四里、同三条三・四里にその田島が存在していたが、文治の丸帳では二条四里以外は、おそらく西井殿庄に負渡し、二条四里を中心に景観的一円化を実現している。これは池田庄の庄園村落化、逆にいえば西井殿庄の庄園村落化であったといえよう。出雲・池田両庄の文治における庄園と村落の結合については、渡辺氏がすでに指摘されているところである<sup>④</sup>。

なお村落的地縁関係の形成については、現北葛城郡香芝町大字下田の鹿島神社所蔵の「座衆帳」(「香芝町史」)にその頭人の記載がみられるが、それは建久七

年(一一九六)に始まる。この座衆帳からみると出雲・池田両庄にも下田におけるような田堵の村落地縁的結合が形成されていたと推測することができよう。

以上で名設定の条件が保元の庄園整理の進行のなかで実現した点と定免化以来の雑役(香菜免・進官免)の収取体制としての名の形成と進官・香菜両免庄が基本的に庄公分離の立場に立った一円庄となる経緯について多少とも照明を与えてみた。

#### 進官庄の分属

進官庄の興福寺子院への分属をうかがいうる初見は<sup>④</sup>、一応保延二年(一一三六)の「法隆寺金院灯油畠注文案」(平)二三四四号)であろう。同注文案には平群郡九条九里内の四か坪の田島について「右坪々田島等、已載山階一乘院御領字興富庄立券内、被盡檢収之處、承保二年十月廿五日注其坪付、令申金光院三味堂領之由、隨則僧正御房所勸除了也」とみえる。右のうちの「一乘院御領字興富庄」であるが、当面この表現は承保年間(一〇七四―七)興富庄が一乘院領であったために右のように記したものか、保延二年の時点の投影なのか明確でないが、少くとも保延二年には興富庄が一乘院領であったことは否定できないであろう。投影でないとするれば、進官庄の分属は承保年間に始まっていたといえる。出雲庄については、前記の久安年間(一二四五―五二)と考えられる「僧晴著書状」に「大乘院御領」とあるのが初見であるが、この進官庄の子院への分属の方向をうかがわせるのは、正治二年(一一二〇)の「維摩会不足米餅等定案」(鎌一五五九〇号)であろう。同案には

- 一 一乘院別符御庄々
- 一 竜花院別符御庄々
- 一 大乘院別符御庄々
- 一 一乘院別符御庄々(一五か庄等略、うちに池田庄がある)
- 一 竜花院御庄々(八か庄略)
- 一 大乘院御庄々(六か庄略、うちに出雲庄がある)
- 一 (記載なし)(八四か庄略)
- 一 ほか大和国内約二〇か庄(略) (寺務領か、うちに上吐田庄がある)

とみえる。以上は興福寺維摩大会料上納の庄園であるが、大和国内としては合計一三〇余所があげられている。これら諸庄には進官庄以外の庄園もふくまれているが、その中心は教の上では進官庄と考えられる。そのうちに池田・出雲両庄も

みられるが、池田庄は一乗院別符庄、出雲庄は大乗院別符庄のうちに分属している。つぎに分属の標記のみられい庄園八四所と「維摩会料石物符案」の標記のうちの大和国内庄園二〇所が記されているが、この一〇〇余の庄園は寺務領と推測される。とすると右の三か子院への庄園の分属はその初期の段階を示すものといえよう。いづれこの分属は、一乗院領の記録「簡要類聚鈔」(京都大学所蔵)と大乗院領の記録「三箇院家抄」(内閣文庫所蔵)にみられる庄園の分属にまで発展していったものと考えられる。

また文治二年(一一八六)の池田庄丸帳や出雲庄坪付帳の末尾にみられる檢注使は同一人となっている。同年にはこの両庄はすでに一乗院と大乗院に分属していたことを考えると、両庄の檢注は興福寺寺務がおこなったと推測される。寺務領の檢注はいずれまでもなく寺務がおこなったことは、建保六年(一一二八)の上吐田庄買主交名案に「三所御目代之沙汰」とあることからうかがえる。

以上によると平安末期から鎌倉期においては、寺務領も子院領もともに寺務三目代の知行下にあったものといえよう。半浮免の段階では国衙に下知進止権があったにしても、進官役の收取等は当然のことながら、寺務が行使したものであることは想像に難くないところといえよう。また進官庄の子院への分属は、子院の寺内での勢力の拡大にとともに、寺務から配属したのではないかと推測する。この子院の台頭は貴種の入寺と関係しよう。

興福寺へ貴種の入った最初は、関白師実男の覚信であるが、彼は頼信僧正の弟子として承保元年(一一〇七)入寺し、頼信が創立した菟花院に居たものである(『大乗院寺社雜事記』文明二年四月二五日条)。彼はいづれ一乗院主となり、さらに興福寺別当に任じたのは康和二年(一一〇〇)であった(『興福寺別当次第』)。彼について一乗院主となったのは覚信の弟玄覚(師実男)であるが、以後も貴種が継ぎ、子院の第一位の格となったようである。玄覚の弟尋範(師実男)も入寺したが、彼も菟花院主の実覚の弟子となり、同院に住し、彼について菟花院主となっており、同院は一乗院につぐ格をもつにいたったと考えられる。大乗院へ貴種が入ったのは、尋範が最初であるが、それは彼が権少僧都の時であった。同院が門跡となるのは、承安元年(一一七一)前関白忠実男の信円が門主となつて以来のようである。この時信円は菟花院・禪定院の院主をも兼帯したので、この両院は大乗院の配下に入り(以上は『大乗院日記目録』等)、いづれ三箇院といわれるようになったものであろう。とともに漸次興福寺の子院は一乗院・大乗院の両門跡の体制に推移していったものと考えられる。とすると前掲の維

摩会の定案は、一応は承安以前の体制といえよう。それが正治年間まで続いていたものではないかと推測する。またこの限りは進官庄が別符庄として一円庄になつたのは、保元の庄園整理令の進行するなかで、おそらく前記のとおり平治元年(一一五九)に、宣旨によって立券されたのではないかと考える<sup>④</sup>。

つぎに進官庄(別符庄)の子院への分属であるが、進官帳にみえる興福寺の不輸免田のうち、「本願施入田」をそのうちにふくむ田村・糸井南・菩提・雲飛・大原・片岡・長柄の七か庄、「灯油免」田をそのうちにふくむ菓子(東)・一夜松北・同南・小野・西宮・立野・□□(不明)・槻本・西興田・池上・弁・今井・璽・石摩・近宇治・田口の一六か庄は寺務領の仏聖領・七堂灯油料所等になつたと考えられる。『大乗院寺社雜事記』の文明一四年閏七月二三日条には「仏聖領」として三橋・片岡・長柄・十市・雲飛・大原の諸庄が、また「同御油庄々」として立野・西宮・西興田・尺度・片岡・今井・槻本・小野・北一夜松・藤井・正道寺・瓦口の諸庄、その他池上・典河(号西菓子庄)・中村(号宿院)・維摩(非御油地云々、年貢ハ致其沙汰者也)の諸庄がみられるが、これら諸庄について「年始仏聖ハ自國・他國寺務領所出也」とある。田村庄は同記康正二年二月二五日条の「寺務寺領」のうちにみえる。以上にみられない諸庄は不明のものが多いが、同様寺務領であったと推測している。もつとも寺務領は以上のみではない。大仏供庄は室町期でも実質をもつていた(雜事記延徳三年一月二日条)。一方興福寺不輸免田でも維摩会免田・常楽会免田・春日社神戸田をふくむ進官庄は寺務領・一乗院領・大乗院領に分属している。以上は進官庄分属のあらましであるが、基本的な配分と考えられるのではないか。

#### 神社仏寺諸司要劇田畠の動向

ここにいう杜寺・諸司要劇田畠とは、いうまでもなく雑役免庄(香菜免庄・進官庄)のうちの不輸免田として官物を給付された田畠である。これら各種免田畠が公田畠をふくめて、いかに組合わされて一つの雑役免庄を構成するかは、その基盤の負名の所領によるものであったろうことは前項のべたところである。この場合負名は、雑役免は東大寺・興福寺等に、官物は杜寺・諸司等に納付する責任を負っていたわけであるが、一一世紀から一二世紀初頭にかけての時期は雑役免庄の檢注権は国衙にあり、雑役免庄の領主であった東大寺・興福寺といえども下地進止権はなかつたであろう(前述)から、杜寺・諸司等についても同様であったといえよう。物件としての官物は国衙の下地進止のもので、負名から杜寺・

諸司等に納付されたであろう。史料の関係で大田丸負田についていえば、天喜元年（一〇五三）の同負田結解（平七〇八号）等からうかがえることも前述した。これは半淨免の段階までの雑役免庄の収取体制であったが、定免の段階になると、雑役免庄の収取は雑公事（物件）・夫役（人件）ともに、始め負所名、のち田堵の名から、できるだけ均等に納付されるようになった。この過程は東大・興福両寺が、定免化、官物の一部給付、檢注権の付与、官物の全給付等によって下地進止権を確保する道程でもあった関係で、社寺・諸司等の官物の収取は両寺に依存化していったろう。右の両寺家による庄園の下地進止権の確保の過程は、国衙支配の崩壊過程でもあったといえるが、その崩壊度の深まるとともに、これら社寺・諸司等の収取は漸次減少し、消滅していったものと考えられる。社寺は未社未寺化する形でその減少を防止しようとしたが、減少を防ぎきれなかった場合が多かつたろう。これらについては前述したところであるが、位田についても同様のことがいえる（後述）。

しかしおそらく右のとおり両寺の下地進止権が確立してくる状況のなかにあっては、不輸免田の面積が大きい等の場合は、在地庄官の設置によって官物の確保をしようとする動きもみられた。建永元年（一一〇六）の「大和国一品位田田數注文」（東大寺文書、鎌一二二四号）では、まず同注文は「下司則弘」の注進状であるが、「石河庄一丁是位田下司給田」とみえるので、下司が石河庄に在地したのではないかと推測する。また「一丁定使給」もみえる。同位田は、東大寺・興福寺等の雑役免庄一三か庄にわたって一三町づつ、計二一町の面積があり、所当は段別三斗とあるので平安期以来の官物と考えられる。湛照僧都分付帳引用という雑役免庄「同田中庄」内の「不輸租田」のうちに「一品御位田一町八段」とみえるのが初見であるが、同分付帳の雑役免庄は一世紀半以降と推定したことは前記のとおりである。下司がいつ頃かからいたかは不明であるが、嘉祿二年（一一二六）の「勸学院政所下文」（鎌三五五八号）には「件一品位田（二町）、任于光仏之讓、令僧長允宜令領掌之状、依長者宣、所仰如件、不可違失、故下」とあり、これによると同位田は僧長允の相伝の私領（負田）を基盤としていることが知られ、平安期以来長者宣のもとで、始め国衙の支配下にあつたが、一二世紀に入ると東大・興福両寺と關係を維持しながら、鎌倉期まで存続したものと見える。下司は負名のうちから出ていたものと推測される。前記注文のうちには建保六年（一一一八）の注進もみられるが、これは二一町分の得分としての官物の算用と考えられる。以上一品位田の在地における庄官（下司）を中心にみてき

た。同位田には定使もいたが、これは一品位家（不明であるが、某親王家か）から派遣されたものであろう。

ところで右の一品位田のように下司等がいた場合でも、鎌倉期に入ると崩壊の度を深めていたようで、すでに前記注文でも四丁の「顛倒」のほか、春日社への寄進分二斗等がみられる。鎌倉末期から室町期になると、その崩壊は一層激しく、室町期の若槻庄内の一品位田二丁（内二反川成）の収取は次掲の通り一石八斗となっている。反別三斗の官物は同一斗となっていることが知られる。

文治の出雲坪付帳・池田庄丸帳からは、社寺・諸司要劇田畠の動向はうかがえないので、ここでは若槻庄を中心にこれら諸田畠の動きを考えてみたい。

「三箇院家抄」（内閣文庫所蔵）の「十八若槻庄」（興福寺大乗院領）には、  
一負所米者大宅寺分・二階堂分・南曹弁領知也勸学院分・右近（右近府か）分・一品位分・無主位分・各名田・給主田・諸職田以下「懸之、注文在別

一寛正二年已注進百十六石余 田畠十五丁九反八反切半 当時名主十余人 自此

内出負所米等事、十三石六斗大宅 三石九斗六升右近 一石八斗一品 四石二番

堂 七石三斗名ノ右近 六斗勸學院 二斗四升無主位此外諸公事反米反錢等引之云々、

々、条々背御記者也

とある。右の大宅寺分以下無主位分にいたる「負所米」収取の主体は、二階堂を除けばその他は平安期以来の社寺・諸司要劇田畠等からの官物の収取の主体であらう。

つぎに時代的に前後するが、鎌倉末期徳治二年（一一三〇七）の若槻庄土帳及び坪付図（若槻莊史料）があるが、いづれにも大宅寺以下の社寺・諸司要劇田畠等がみられる。しかしいづれもすでに名田等と化してしまっており、社寺・諸司要劇田畠等としては存在しない。大宅寺分六町のうち、京南二条一里四坪の一町分を土帳によって例示すると「一町 中町（小字名）大宅寺 四段公文給田 二反宗時名御米田 一反半弘宗名御米田 半行弘名御米田 二反公文名御米田 合六段御米田」である。三箇院家抄の前掲分のうちに、大宅寺分以下は「各名田・給主田・諸職田以下「懸之」とあつたがそのとおりになつていたといえよう。すでに鎌倉末期には、若槻庄内の社寺・諸司要劇田畠等の実体はなくなつて、全く興福寺大乗院に依存する得分的なものとなつて室町期に及んでいることが知られる。社寺・諸司要劇田畠等が実体を失なうのは、どの時期かは明確にはならないが、右の土帳から考えると、名の設定の時期といえよう。とすると名の設定はそれぞれ庄園によって時期に差があつたにしても、平安末期までさかのぼりうるで



あろう。前記若槻庄土帳によると、一品位田もその実体が失われているが、前記鎌倉初期の一品位田下司は各庄からの得分の収取算用に任ずる程度であったと推測される。またこれら官物は「負所米」といわれているが、この点は前記の平安期における官物収取についての推測からすると、負所米と呼ばれたかどうかは別として、平安期以来実質負所米であったと考えられよう。(一九八二年九月一日投稿)

## 註

- ① 田村憲美氏「成立期における大和国雑役免荘園の構造」〔荘園制社会と身分構造〕所収。
- ② 嘉応元年の「勸学院政所下文」(平)三五二〇号)では、箕田庄は、鴻助のはからいにより、御稻勤仕から香菜勤仕に転化していると考えられる。
- ③ 永久四年の「東大寺請文案」(平)一八五七号)では、東西両吉助庄・喜庄がみられるが、これらは不記載分のうちの一部であろう。
- ④ 田村氏前掲論文。
- ⑤ この部分は「統々群書類従」以外の刊本では「部相分雖有其數公民不幾」とみえる。この場合でも公民のほかにも、おそらく多数いたと考えられる道心の輩の存在が推測され、その実体が問題になるのではない。
- ⑥ 雑役免庄園は東大・興福両寺領ともに、大和平担地域に位置しており、すでに奈良時代以前からの条里制地域を中心としている。従って田堵といっても、そのうちには班田農民の階層分化によって残ったものも多かったであろう。また荒廃公田の再興も彼等による場合もあったと考えられる。なお負名も田堵であるにしても、本稿では田堵からの加地子分の寄進によって形成されたと考えられる私領主としての寺僧・官人等を負名とし、田堵と区別しておきたい。
- ⑦ 天喜元年の「美濃国西郡荘司住人等解」(平)七〇二号)を参照した。
- ⑧ 泉谷康夫氏「負名と在家」〔律令制度崩壊過程の研究〕所収)等を参照。
- ⑨ 田村氏前掲論文では「無料物」を公的に寺家に給付される年料物としての香菜がないとの趣旨に解されているが、とすると前後の文になじまないのではない。
- ⑩ 「初期名田の構造」〔中世の社会と経済〕所収)。
- ⑪ 「大田丸名名の成立と東大寺」(前掲書)。

⑫ 「作手に関する一考察」(前掲書)。

⑬ 文中の「寺僧領知」の寺僧領は、たとえば平田庄内検帳(平)二六五二号)にみられる寺僧領に同じと考えられ、その得分には、寺家に給付された官物の一部が寺家から寺僧に給付されて寺僧領になったと考えられる寺僧領が多くふくまれているものと推測する。平治元年の小東庄の地主の寺僧領もこの類であろう。ここでいう前記御園等の寺僧領は、右の寺僧領のうちにもふくまれるにしても別であって、田堵からの寄進による寺僧領を考えている。なお右の官物の一部とは、長寛三年(一一六五)の「官宣旨」

(平)三二九二号)の「件村地主徴納取段別官物六斗、不弁済合口所当米於国庫之時、録子細令言上故禪定殿下(忠通)之日、地主得分段別一斗之加地子也、是承前不易之例也、其殘段別五斗究国庫者、亦当他国又恒例規也」とあるなかにみえる加地子分の意味である。一方保元三年(一一五八)の「伊賀国在庁官人等解」(平)二九一九号)には「云領主者、官物之外給庁宣、段別或五升或一斗令徴納加地子者、当他国之例也」とみえるが、この加地子も前者のそれと同じであろうと考える。この加地子は文言の上では「官物之外」とあるが、しかし「給庁宣」ともみえるからである。本稿でいう田堵からの寄進による寺僧領等の場合の得分は、両者間のものと考えている。もっとも田堵の剰余は官物のうちに吸収されていくから、いづれは右のようになるのかも知れない。

⑭ 註⑬に同じ。

⑮ 「公田変質の一考察」(前掲書)等を参考にした。

⑯ 承保三年の「関白左大臣家政所下文案」(平)一一三二二号)等。

⑰ 稻垣氏前掲論文内の註一六では小東庄が香菜免庄であったかどうかは問題であるとし省いていられるが、本稿では小東庄は香菜免庄でもあったと考えていきたい。白米免庄として有名な安田庄も同様である。

⑱ 「畿内庄園の基礎構造」の序論のうちの「畿内庄園研究の現状と課題」。

⑲ 「平安遺文索引」では「蘭濟庄」とし、所在を紀伊国としているが、「維摩会所中蘭濟庄」の「中」は庄号にかかると考えたい。

⑳ 進官帳では、中蘭庄のほかに十市西郷に「南中蘭庄」がみられる。これは中蘭庄が延久二年にいたるまでの間に分割されたことを意味するものである。この点からみると、中蘭庄の立券は延久以前相当さかのぼると考えられる。なお中蘭庄は城下・十市の両郡に及んでいたことや南中蘭庄を分

化したことからみると、菓子御園等と同様極めて散在的であったことを思わせる。

⑳ 『小右記』。

㉑・㉒ 臈谷寿氏「大和守源頼親伝」(『古代学』一七卷二号)。

㉓ 日下佐起子氏「平安末期の興福寺」(『史窓』二八号)。

㉔ 「鎌倉仏教の課題」(『史学雑誌』六七篇七号)。

㉕ 「相坪の論理」は村井康彦氏「雑役免荘園の特質」(『古代国家解体過程の研究』所収)に詳論されているが、つとに渡辺氏が前記のとおり半浮免の段階における進官役勤仕の在り方として主張されているところでもある。それはまた、庄領田田化の論理でもあったという。「畿内庄園研究の現状と課題」(註⑩)のなかで、氏は「半浮免と称すべきで、しかも「相坪」も一味同心これを勤仕するという特異な形態は、その田田化を可能とし(下略)」とのべていられる。

最近では泉谷氏は「中世における興福寺雑役免田」(『奈良教育大学紀要』二八巻一号)において「相坪の論理は、実際において在地で貫徹していなかったと考えられるのである」として疑問を投げかけていられる。もともと氏の引用史料は鎌倉期の田地売券と宛行状であり、ともに定免化以後のものである点からみると、その引用には問題があるのではなからうか。

㉖ もっとも負名が所領を分割相続する場合には、均等化ということがあったように、後述の山村氏のそれからうかがえる。

㉗ 負名の分割相続については、山村氏のほかに大和では「某(万歳)氏処分状」(平一七八五号)によると、中流官人万歳氏がその所領を子女に分割した初めは天承三年(一一一三)と考えられ、時期的に山村氏と同じである。負名の分割相続は史料の上では一二世紀に入ってからという印象をもつが、それは一二世紀における所領細分化を促進する契機になったのではないかと考える。

㉘ この封戸調庸雑物等は延喜式玄蕃寮にみえる「凡東大寺四天王像、併東西阿塔破損者、用寺家例修理料封戸調庸雑物之内、修理之」と関係するものであろうか。

㉙ 赤松氏は「鎌倉仏教の課題」において、渡辺氏の名の「再編成」について「その前提条件である国役の定免化を重視されなかったために、再編成の意味を正しく評価しておられないことが惜しまれる」と述べていられる。

また村井氏は「田堵の存在形態」(前掲書)のなかで「均等名荘園のほとんどは雑役免系荘園であることで、その事実からすれば、先述した雑役免田(負田)の均等化が目目されなければならないが、氏にはこの観点ほとんど欠けていることである」と述べられている。これに対しては渡辺氏の反論もあるが、本稿では定免の段階における進官庄の進官役取の体制としての名について考察したい。

㉚・㉛ 前掲書。

㉜ 大和以外では、保元三年七月の「興福寺衆僧等申状」(平)二九三七・八号)に「請殊蒙天恩、停止山城・河内・摂津三ヶ国々司、令収公当寺庄々、繼維摩大会、兼令修造伽藍僧房破損状」とみえる。これは国司による興福寺領の収公に対する興福寺衆僧の訴えであるが、同年一月の「興福寺衆僧申状案(平)二九五八号)には「去月九日院宣状云、三ヶ国庄々、早可免除、信忠請文所被副下也」とみえ、早々に院宣により山城以下三ヶ国の興福寺領収公が解除されたことが知られる。なお前者には、源頼親配流を例にあげて信実と興福寺大衆の合戦後における大衆の信実配流の要求もみえる。これは三ヶ国の寺領返還の要求と関係するものであるが、大和国内での庄園整理にも影響を及ぼそうとしてのことではなかつたかとも推測される。

㉝ 高田実氏「平氏政権論序説」(『日本史研究』九〇)では、保元の大和国検注は、平氏の目代中原貞兼が寺僧領・加納余田の把握に成功したと述べられている。貞兼の徹底した姿勢はわかるが、保元期ではなお院や朝廷の意向が問題であったのではなからうか。もともとそれは、註④からもうかがえるように興福寺衆僧の一押しで動揺する程弱体化していたようである。竹内理三氏は右の小東庄の白米免下文案にいたるまでの同庄の経緯について「封戸・正税物の荘園化」(『寺領荘園の研究』所収)のなかで「かくて東大寺はその領掌権を次第に強化し、永暦元年遂に院宣を得て、国使と共に立券し、偏に寺領たるべき由の宣旨を下さしめ(下略)と述べていられる。史料内の語句をも引用する形で結論付けであり、明確さを欠く感もあるが、基本的には私見と同じではないかと考える。小東庄が一円庄となつた点について、稲垣氏は「東大寺小東庄の成立」(『日本中世社会史論』所収)のなかで、承保三年の検田帳(平)一一三八号)に「白米皆免」とあることにより、同年一円寺領化した旨のべられているが、いかなるも

のかと考える。承保三年の時点の小東庄については私なりに前に触れたところである。反面白米免の返抄等しか現存しない点からみて、小東庄は一円庄にはならなかったとの説もきくが、この点稲垣氏も指摘されているが、官物や香菜免の返抄は一般に現存しないので小東庄のそれも現存しないのであろうが、白米免の返抄のみの現存をもって小東庄が一円庄にならなかったとする考えは、一応もつともであるが、本稿では平治元年に一円庄になったと考えたい。

前掲書。

36 大和の神国化、賜国化については、永島福太郎氏「社寺王国」(奈良県の歴史)所収)等を参照した。興福寺は保延元年(一一三五)には、春日若宮を創建し、翌年から若宮祭礼を興福寺がおこなない(『興福寺略年代記』、大和の神国化を一層すすめた。賜国化については、「寺門事条々聞書」等の関係部分は前掲した。大和守護職の掌握については、同氏の「大和守護職考」(『歴史地理』六八の四)を参照。

39 以上によってほぼ実現したと思われる興福寺の立場は、黒田俊雄氏の「権門」(「中世の国家と権門」、岩波講座『日本歴史』所収)と当面考えている。

40 「出雲庄の成立」(前掲書)。

41 城上郡一八条一里と城下郡一八条四里は同一であることは『奈良県遺跡地図』等によったものである。渡辺氏は「出雲庄の成立」のなかで、この両里は隣接していると理解されている。氏の立場では氏のいわれるAとB1とは離れているが、私見ではAとB1は一体的となる。

42 庄園と村落の結合に関連して、極めて散在性の強い庄園、たとえば葛上郡の西菓子庄や宇陀郡の石田庄・山戸庄などは、村落と関連する形で分解してしまい、それぞれの村落地域の加納田をもあわせて、別の庄号(村落名)をもったいくつかの庄園になっていったのではないかと推測する。進官庄には散在性の強い庄園が多い。従って村落との結合は個々についてみれば極めて多様であったといえよう。なお散在性の歴史的性格については渡辺氏の「畿内庄園研究の課題」(前掲書)に準じた。

43 興福寺領の分属については、永島氏「興福寺領の概観」(奈良文化の伝流)所収)を参照した。ここでは進官庄の分属について考察する。進官帳に「十町 一乘院長講料免田卅町内」とみえる。これが分属を示す最初か

も知れないが、なお明確なものではなかったらう。そのほか子院の東院や喜多院の創立は古いものである(永島氏「京都文化の流入」、前掲書)が、喜多院二階堂領となった「山内七所」は永昭僧都(喜多院四代院主)以来といわれている(『都祁水分社縁起』、『大和志料』所収)。とすると山内七所は進官帳にはみられないが、興福寺子院領として存在していたといえる。東大寺では早くから庄園の分属がみられる。興福寺の場合も進官庄以外に右のような形で子院領等が存在していたようであるが、基本的には進官庄が分属していったのではないか。なお喜多院二階堂領については、最近では宮崎美基氏「興福寺大乘院領における負所権の拡大と門跡段銭」(『荘園制社会と身分構造』所収)に詳しい。氏は同堂領を大乘院の負所型所領として究明されている。それは社寺・諸司要劇田にあたる勅使田と一度売却されたあと信円のはからいによって加地子分等が寄進される形で実現した二階堂負所領等から成るといえる。この二階堂負所は次項に多少ともみられる。

44 延応元年の「興福寺小目代申状」(鎌)五四六〇号)には「勅免進官領」とみえ、進官庄は勅免と考えられている。

#### 追記

八月下旬稿了の時期に、田村氏の「十一・十二世紀大和国における国衙領支配と興福寺」が『古文書研究』第一九号(一九八二年七月刊)に掲載されている由、池田末則氏から聞いた。本稿の参考にはできなかったが、保元の庄園整理のなかでの、目代中原貞兼の大和国における庄園の調査・検注に関する私見を、氏の所説によって補強しておきたい。私見は、目代の庄園の調査・検注は一応は徹底したものであったにしても、それは興福寺領を除外した上でのものであったらうことを、葛上郡における庄園の調査・検注、その他から推測し、東大寺領もいづれ除外されていたであらうというものであった。この点に関連すると思われる事項として、田村氏の「興福寺政所(公文所)下文一覽」がある。これによると、興福寺政所は長寛二年(一一六四)には「宇智郡司刀祿等」(平)三二九三三号)に、仁安二年(一一六七)には「葛上郡刀祿司并延福寺住人等」(平)三四三二二号)に、翌三年には「葛上宇陀両郡司刀祿等」(平)三四四八号)に下文を宛てている。これらによると、興福寺は保元の庄園整理の直後に、右の諸郡、そのうちに葛上郡もみら

れるのであるが、郡司刀祢を支配下においていることがうかがえる。この限りは保元・平治期には、興福寺は実質的には葛上郡郡司刀祢を掌握していたのではないかと推測できよう。とするとこのような状況においての平氏派遣の目代貞兼の庄園調査・検注であったといえよう。しかも庄園整理の実権は院・朝廷にあったと考えられることは前に述べたところである。また右の興福寺政所の郡司刀祢宛の下文は、平治の乱以後の平氏台頭期のものといえる。

なお右の田村氏の研究は最近のものであるが、以前からの先学の本稿関係の研究でみおとしているものがあるのではないかと考えられる。また参考にした先学の所説を誤解しているむきもあるかも知れない。いづれもご寛容を乞う。

鎌倉期以降については別稿を準備中である。

# Influence of Residual Stress by Surface-Treatment on Delayed Fracture Strength of High Tension Steel

(3rd Report, Fundamental Study on Delayed Fracture of High Tension Steel)

Yasuyoshi IWAI and Junichi ARIMA

Journal of the Society of Materials Science Vol. 30, No. 338, pp. 1074~1078 Nov. 1981.

In order to investigate the influence of residual stress due to surface-treatments on the hydrogen sensitivity and delayed fracture strength, static bending tests and cantilever bending delayed fracture tests were performed on Cr-Mo high strength steel. The methods of paper polish, sandblast and shotblast were adopted in this experiments and the results of these specimens were compared with those without surface-treatment. The residual stress in the surface layer was measured by X-ray diffraction technique.

The conclusions obtained were summarized as follows;

The sensitivity of hydrogen embrittlement for the blasted specimens decreased by the presence of compressive residual stress in comparison with that for the specimens without surface-treatment. It was found there was a good correlation for the surface-treated specimens between the variation of maximum stress in static bending tests and that of residual stress corresponding to the change in hydrogen charged time.

The delayed fracture life for the surface-treated materials also depended on the residual stress distribution near the surface, and the crack initiation time in delayed fracture tests was largely prolonged in the case of shotblasted specimen.

Therefore, it was considered that the application of blast-treatment to the material surface was much effective for the improvement of not only the adhesion of coating but also delayed fracture strength.

# 単軸引張りを受ける多円孔無限平板の 応力集中問題の一数值解法

(第7報, 縦横に無限個の円孔が配列された場合)

## A Numerical Method for Stress Concentration Problems of Infinite Plates with Many Circular Holes Subjected to Uniaxial Tension

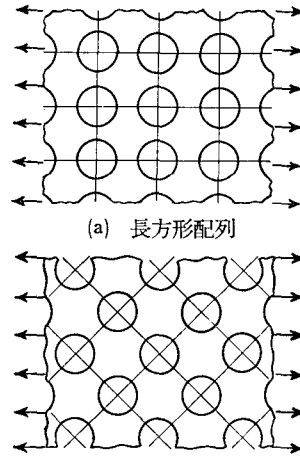
(7th Report, Case of Infinite Circular Holes Arranged in Rectangular or Rhombic Doubly-Periodic Pattern)

浜田 実\*, 水嶋 巖, 箕浦 忠行\*\*

日本機械学会論文集 (A編), 47巻423号 (昭56-11), p. 1253~1256.

著者ら<sup>(1)~(6)</sup>はいままで、多円孔をもつ無限平板の応力集中問題に対して、二次元応力問題の応力関数の一般形を繰返し用いて数値的に処理する解法が有効であることを示し、応力集中係数に関する多くの資料を得てきたが、本報ではこの解法を用いて、図1に示すように大きさの等しい無限個の円孔が長方形配列または千鳥形配列をしている無限平板に対して、その配列の方向に単軸引張りが作用する場合の応力と変形の問題を解き、応力集中関数、相当縦弾性係数および相当ポアソン比に関する一連の結果を求める。

この問題は熱交換器や原子力機器などの設計における基礎的問題の一つとして実用上重要であるため、従来より多くの研究が行われており、理論的研究としては、Bailey and Hicks<sup>(7)</sup>, Hulbert and Niefenfuhr<sup>(8)</sup> および Meijers<sup>(9)</sup> の研究が目ざされており、また実験的研究としては西田<sup>(10)</sup> の光弾性実験の結果がよく知られている。これらの諸研究の結果を比較すると、実験的研究の結果には当然実験上の誤差が含まれるが、理論的研究の結果の相互間にも多少の差異が認められる。そこで本研究では、著者らの解法による結果とこれらの諸研究の結果とを比較して検討を加え、これらの研究結果の相互の関係を明らかにする。また、種々の多円孔平板の応力集中問題に対して従来用いてきた著者らの解法が、縦横に無限個の円孔がある場合に対しても有効であることを示す。



(a) 長方形配列

(b) 千鳥形配列

図1 円孔配列

### 文 献

- (1) 浜田・ほか3名, 機論, **36**-288 (昭45), 1336.
- (2) 浜田・ほか2名, 機論, **37**-299 (昭46), 1305.
- (3) 浜田・ほか2名, 機論, **38**-313 (昭47), 2243.
- (4) 浜田・水嶋, 機論, **39**-322 (昭48), 1846.
- (5) 浜田・水嶋, 機論, **43**-373 (昭52), 3287.
- (6) 浜田・ほか2名, 機論, **44**-382 (昭53), 2009.
- (7) Bailey, R. and Hicks, R., *J. Mech. Eng. Sci.*, **2**-2 (1960), 143.
- (8) Hulbert, L. E. and Niefenfuhr, F. W., *Trans. ASME, Ser. B*, **87** (1965), 331.
- (9) Meijers, P., *Proc. 1st Int. Conf. Pressure Vessel Technol.*, (1969), 551.
- (10) 西田, 応力集中, (昭51), 475, 森北出版.

\*大阪大学工学部

\*\*神戸製鋼所機械技術研究所

# Effects of Friction in Tensile and Compressive Stress Problems for a Rigid Circular Disk in an Infinite Plate

Iwao MIZUSHIMA, Minoru HAMADA\*  
and Hiroshi KITAGAWA\*\*

Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineers, Vol. 25, No. 207 (1982-9), p. 1354~1358.

The plane stress problem of an infinite plate, which has a circular hole containing a disk and is subjected to uniaxial tension or compression as shown in Fig. 1, is one of important and fundamental problems in machine designing. There have been published many papers on this problem, but they do not treat effects of friction between the hole and the disk.

In this paper, introducing an empirically confirmed rule for friction in the hole-disk interface, stresses and displacements around the hole are analyzed numerically and the influence of friction is discussed. It is assumed that the disk is rigid and that the diameters of the hole and the disk are identical in the unstressed state. The numerical method is essentially the same as that in the previous papers<sup>(1)(2)</sup>, i. e. a method using a general form of a stress function expressed in the polar coordinates, in which coefficients of the stress function are adjusted successively so that the

stress function satisfies boundary conditions around the hole.

Since states of contact are quite different between tensile loading and compressive loading, these two cases must be treated separately, although the same method of solution can be applied.

Distributions of stresses and displacements around the hole are calculated and are shown in figures. They are discussed in relation to friction property. It is found that the numerical method described in the previous papers<sup>(1)(2)</sup> for the case when there exists no friction is also applicable when friction exists.

## References

- (1) Mizushima, I., et al., Bull. Japan Soc. Mech. Engrs., Vol. 21, No. 159 (1978-9), p. 1325.
- (2) Mizushima, I., et al., Bull. Japan Soc. Mech. Engrs., Vol. 22, No. 171 (1979-9), p. 1175.

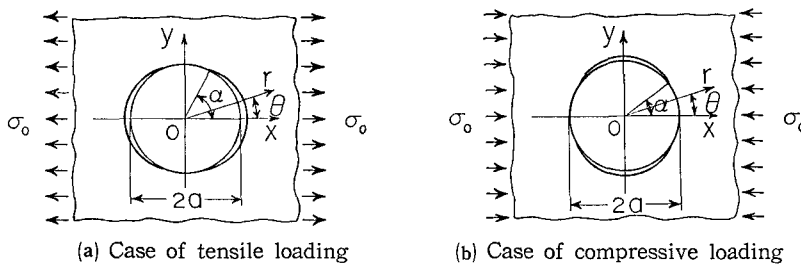


Fig. 1 Infinite plate with a circular hole containing a rigid disk

\* Professor, Faculty of Engineering, Osaka University.

\*\* Associate Professor, Faculty of Engineering, Osaka University.

# 粘弾性流体の偏心二重円管内流れ

## Flow of a Viscoelastic Fluid between Eccentric Cylinders

堀川 明\*・森 教安・三村 宣治\*\*

日本機械学会論文集 (B編), 47巻422号 (昭56-10), p. 1971~1977

粘弾性流体の二重円管内流れを解析することは、押し出し機のダイの中の流れや法線応力差測定装置内の流れを知るために重要である。偏心二重円管の場合には、同心と違い一般には一方向流れとはならず、軸直角断面内に二次流れが生じることが知られている。また、この二次流れに関しては、流体の第二法線応力差係数が重要な因子であることが指摘されている。

本研究では、粘弾性流体が偏心二重円管内を一定圧力こう配で流れるときに生じる二次流れと管壁上での圧力分布を解明するために、Dodson らが長方形断面直管内の流れの計算に用いた解析方法を 偏心二重円管に適用し、計算を行なった。さらに、Hydroxy Ethyl Cellulose (HEC) 水溶液を用いて実験を行ない、数値計算結果と比較した。

解析には構成式として変数係数の二次流体モデルを用いた。基礎式は複雑な非線形であるため、無次元化した第二法線応力差関数  $\theta_2'$  による摂動法を導入した。また、境界条件の設定を容易にするため、二重極座標により基礎式を変換した。得られた式は複雑で解析的に解くことは困難なため、本研究では差分法を用いて数値計算を行なった。

数値計算により得られた二次流れの形状を図1に示す。断面内には、内管側と外管側にそれぞれ二つずつ二次うずが生じている。さらに二次流れの強さを評価するために主流方向の速度の大きさも考慮して、二次流れの強さを定義し計算を行なった。しかし、二次流れの強さはここで計算した範囲では、 $10^{-2}$ 以下という小さな値であり、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思われる。つぎに、内管および外管壁上の圧力分布を計算した。二重円管が偏心した場合には管壁上の圧力は一定ではなく、内管・外管ともに、すきまが狭い部分にいくにしたがい小さくなることがわかった。

計算の妥当性を確認するために実験を行なった。内・

外管は直径がそれぞれ20mmと25mmの亚克力管である。また、粘弾性流体として、HEC 1.0, 1.5, 2.0%水溶液を使用した。実験結果は数値計算結果と定性的に一致した。

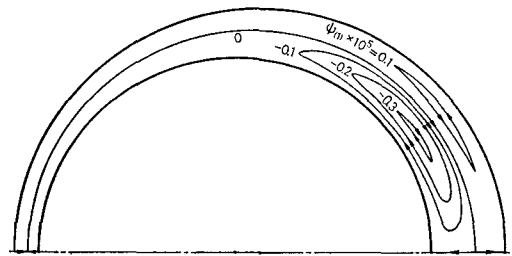


図1 二次流れの流れ関数  $\psi^{(1)}$

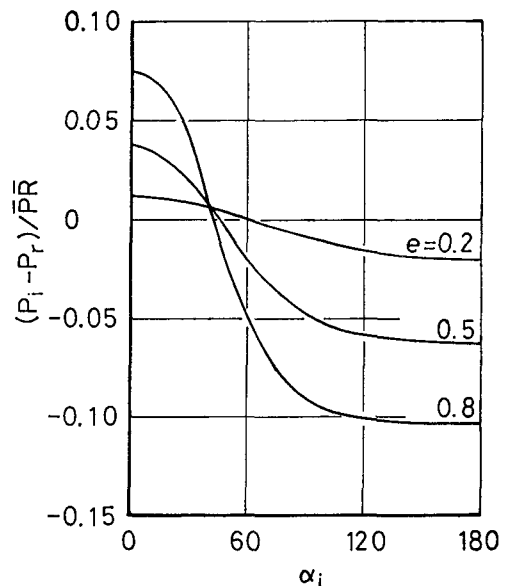


図2 内管上の圧力分布

\*大阪大学工学部

\*\*豊田中央研究所



## 高分子表面のたい積電荷とその移動過程 に関する一考察

京兼 純, 吉野 勝美\*, 犬石 嘉雄\*, Roland Coelho\*\*

電気学会論文誌A, 102巻2号, 89 (1982)

高分子材料にコロナ帯電を行ない表面電位減衰からたい積電荷の移動過程を求める研究は、内外で多くの人々によって追行されているが、我々の場合はポリエチレンを用いて以下の点に焦点を合わせ実験を行なった。

(1) 既に報告されている論文は表面電位の減衰が数10秒以上の時間域で論述を行っており、1秒以下の早い現象に対しては、一、二論文は見受けられるものの、混んとしていること。最も重要な減衰初期における、たい積電荷の流れと表面およびバルクとの関係が定まっていないことなどの理由から、比較的短時間域で測定可能となる装置を作製した。この装置を使い、たい積された電荷の短時間領域での動特性、帯電時間との相関関係について検討を加えた。

(2) 他方、我々は種々の論文でポリエチレンの非晶質部でのキャリア移動に関し、Scher-Montroll 解析法に従って論述を行った。そこで上記装置を用いて得られる結論（長時間帯電後の電位減衰特性を試料のバルク内のみのキャリア移動としてとらえられること）から、Scher-Montroll 法の適応性について考察を加えたものである。結果として、常温域における見かけの移動度 $10^{-9} \sim 10^{-10} \text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{sec}$ の値が得られた。

\*大阪大学工学部

\*\*フランス国立科学研究センター放電物理学研究所

## Residual Voltage Characteristics and It's Numerical Analysis in polyethylene

J. Kyokane, M. Yun\*, K. Yoshino\* and Y. Inuishi\*

JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS; 24, 9, (1982)

In some cases, fairly high voltage appears on the innerconductor of a power transmission cable after opening the circuit which was previously electrically stressed and then short-circuited for a short time interval. This voltage gives us an electric shock when touched and named as a residual voltage. Recently, the measurement of the residual voltage was proposed as a method for the detection of the degradation of the cable insulation. Usually the residual voltage was estimated from the initial value of a decaying current measured by an electro-meter with low input impedance. The growth of the residual voltage can not be measured continuously by this method, because most of the charge stored in the cable will be lost by one measurement. For the next measurement, we must repeat another procedures of voltage application and short-circuit. Therefore, this method needs many procedures and takes extremely long time. The accuracy and reproducibility seem also to be poor.

It is not clear at this stage whether the residual voltage is really related to the degradation of the insulator or not. It seems necessary for the first step to study whether the residual voltage also appears in non-degraded polyethylene.

In this paper, we will report on the measurements of the residual voltage in freshly prepared polyethylene films with non-contacting method using an electrostatic voltmeter, which allows us continuous measurements in a short time.

\*Faculty of Engineering, Osaka University

# Residual Voltage in Polyethylene

Jun KYOKANE, Munsoo YUN\*, Katsumi YOSHINO\*

and Yoshio INUISHI\*

TECHNOLOGY REPORTS OF THE OSAKA UNIVERSITY; 32, 1665, 121 (1982)

Fairly high residual voltage can be observed even in non-degraded polyethylene by a non-contacting method using an electrostatic voltmeter as shown in Fig. 1. This residual voltage increases nonlinearly with increasing applied voltage (in Fig. 2) and duration of voltage application (in Fig. 3) but decreases with increasing time of short-circuiting (in Fig. 4).

The simple computer analysis is found to indicate good coincidence with the experimental results using the carrier mobility of the order of  $10^{-12} \text{cm}^2/\text{v}\cdot\text{sec}$ .

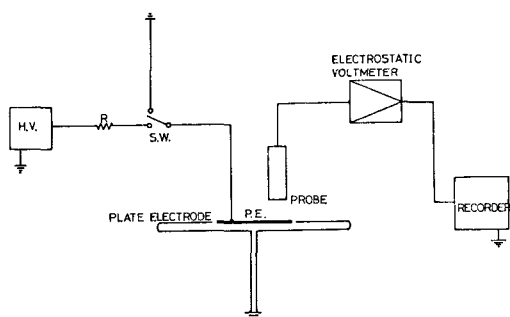


Fig. 1 Experimental set-up for the measurement.

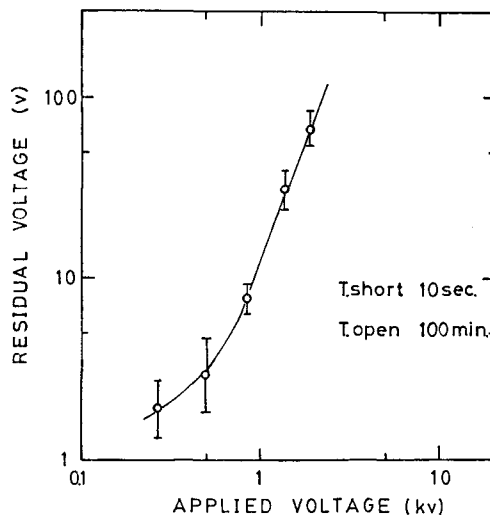


Fig. 2 Dependence of the residual voltage on the applied voltage.

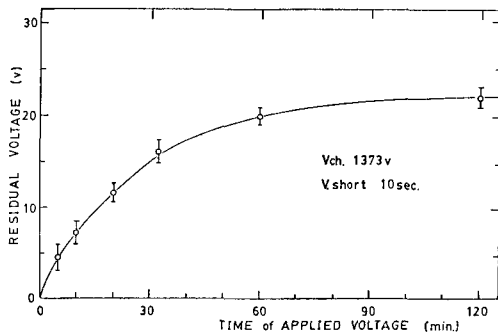


Fig. 3 Dependence of the residual voltage on the time of voltage application.

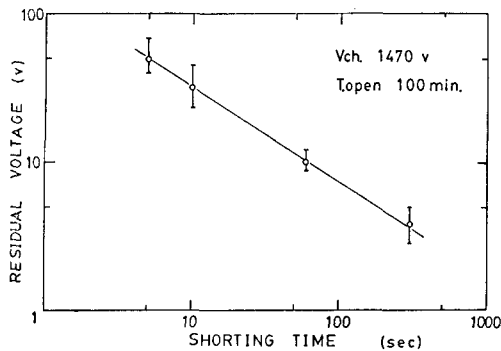


Fig. 4 Dependence of the residual voltage on the short time.

\*Faculty of Engineering, Osaka University

# 電気的方法による有機ライニング材への液拡散の測定

## Electrical Measurements of Liquid Diffusion into Organic Linings

井口 高行・奥田 聡\*

化学工学論文集, 第8巻, 5号, pp. 552~555 (1982)

有機皮膜への液の浸入を電気容量の変化から測定する方法については、有機皮膜内の液の濃度分布を考慮に入れて理論容量増加曲線を求めた。すなわち誘電率  $\epsilon$  は液浸入によって厚さ方向  $x$  に変化する。測定される電気容量を  $C_p$  とすると、

$$\frac{C_p - C_{p0}}{C_{p\infty} - C_{p0}} = \left(1 / \int_0^1 \frac{dx}{\alpha} - 1\right) / (B-1) \quad (1)$$

となる。ここに添字  $0, \infty$  は初期および無限時間後を表わす。また  $\epsilon_1/\epsilon_2 = \alpha, \epsilon_1/\epsilon_2 = A, \epsilon_\infty/\epsilon_2 = B$  とおいた。添字 2 は樹脂を示す。t 時間後の有機皮膜中の液の体積分率を  $\phi$  とすると、Böttcher の関係より

$$\phi/\phi_\infty = (\alpha-1)(2\alpha+A)B / \{(B-1)(2B+A)\alpha\} \quad (2)$$

を得るので、液拡散過程における樹脂中の液の濃度分布に拡散係数  $D$  一定の Fick 拡散を適用すると、式(1)が数値計算でき、理論容量増加曲線が求まる。この結果を実験値に適用したのが Fig. 1 である。

次に有機皮膜への液浸入を電気抵抗の変化から測定する方法について検討した。一般的に行われる解析では樹脂自身の抵抗は最終的に考慮されないが、実際への応用では不都合が多いので樹脂の抵抗も考慮に入れた理論抵抗低下曲線を求めた。液拡散方向を  $y$  とし、測定される電気抵抗を  $R$  とすると、

$$\frac{R}{R_{1\infty}} = \frac{1}{l} \int_0^l \frac{dy}{(\phi/\phi_\infty) + 1 / \{(R_0/R_\infty) - 1\}} \quad (3)$$

と得られた。ここに添字 1 は液を表わす。 $\phi/\phi_\infty$  は有機皮膜中の液の濃度分布で、容量変化の場合と同様に拡散係数一定の Fick 拡散とし、式(3)を数値計算することによって理論抵抗低下曲線を求めた。パラメーター  $R_0/R_\infty = 3.5$  の理論曲線と実験値は Fig. 2 のように一致した。

容量法、抵抗法の場合それぞれ Fig. 1, Fig. 2 を求めるに当って、拡散係数を仮定し理論曲線と実験値が一致

するまで試行法を行う必要があるが、これらの方法によって精確に拡散係数を決定できることが明らかとなった。また、容量法と抵抗法を比較すると測定値のうえからは電気容量法が優れていた。

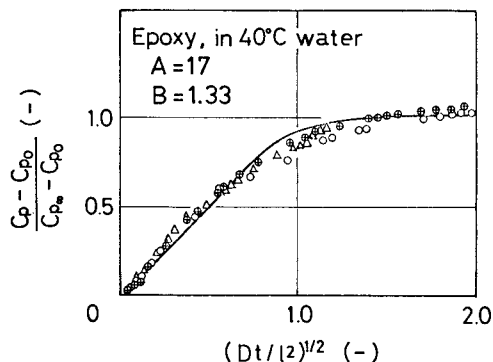


Fig. 1 Comparison of the theoretical curve and experimental results.

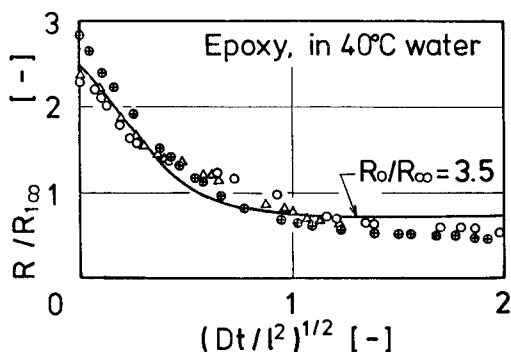


Fig. 2 Comparison of the theoretical curve and experimental results.

\*同志社大学工学部

# 有機ライニング材への液の拡散速度に及ぼす温度勾配の影響

## Effects of Temperature Gradient on Liquid Diffusion Rate in Organic Linings

井口 高行・奥田 聡\*

化学工学論文集, 第8巻, 5号, pp. 556~559

有機ライニング材を各種薬液環境条件下で使用する場合、ライニング材側が高温の液に接し、下地金属側がより低温であると、ライニング材にふくれ（プリスタ）が発生するなど劣化しやすいといわれている。この液側が高温になる条件は通常多くの実用条件であり、実際にもこれが原因と考えられるライニング材の損傷もみられる。本論文では電気容量法を応用して温度勾配下におけるライニング材への液の浸入を連続的に測定し、拡散速度に及ぼす温度勾配の影響を調べるとともに、実際の劣化に対比させて、この現象の原因について検討した。

試料にエポキシライニング材を用い、Fig. 1に示す各種温度勾配（ライニング側—下地金属側）条件下で水と約200時間接触させたときの劣化の外観変化を調べたところ、一般に経験的にいわれている現象を実験的に再現することができた。

電気容量の測定からは温度勾配下では液の浸入が加速されることが明らかとなったので、温度勾配下で物質移動が起る熱拡散を考慮することになると、拡散方程式は

$$\partial c / \partial t = (\partial / \partial y) (D \cdot \partial c / \partial y + D_1 k_2 C)$$

となる。ここに  $D$  は濃度拡散係数、 $D_1$  は熱拡散係数、 $k_2$ 、 $C$ 、 $y$ 、 $t$  はそれぞれ温度勾配、濃度、表面からの距離、時間である。初期および境界条件を

$$\left. \begin{aligned} C=0, & \quad 0 < y < l, \quad t=0 \\ C=1, & \quad y=0, \quad t > 0 \\ D(y) \cdot dc/dy + D_1 k_2 C=0, & \quad y=l, \quad t \geq 0 \end{aligned} \right\}$$

として差分化して数値計算した。 $y=l$ はライニング界面に相当する。得られた濃度分布の時間的変化を電気容量の増加に換算すると、Fig. 2のように熱拡散係数の値によって各種の曲線が得られ、実験値に合致したのは、 $D_1=4 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{hr} \cdot \text{deg}$ のときであった。この値を用い

ると他の温度勾配条件の場合にも測定値と一致した。このように熱拡散項を含めると液浸入過程をうまく説明できるので、温度勾配下のライニング材の劣化機構に熱拡散が重要な役割を果している結論した。

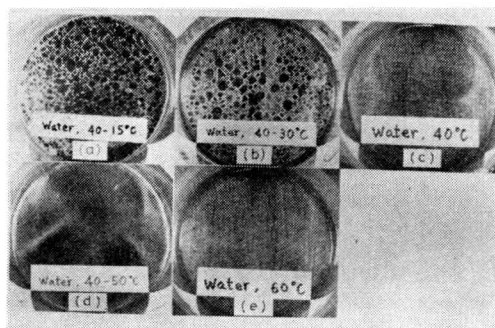


Fig. 1 Photograph of lining samples tested under condition of various temperature.

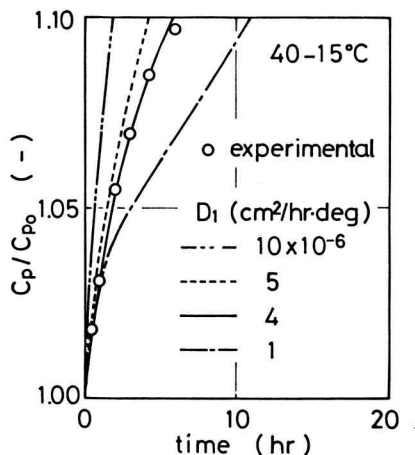


Fig. 2 Comparison of calculated curves with experimental data.

# 酸性水溶液におけるエタノールのアノード酸化に およぼす添加金属カチオンの効果

## Effects of Various Metal Cations on the Ethanol Oxidation in Aqueous Acidic Solution

泉 生 一 郎

日本化学会誌, No. 5, pp. 873~875 (1982)

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を利用することは、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。Kalvoda はアルカリ溶液中で  $\text{Os}^{6+}$  イオンから電気化学的に白金電極上に生じた  $\text{Os}^{8+}$  イオンによるメタノール、エタノールおよびギ酸の酸化を報告しているが、この種の添加金属カチオンによる触媒効果は酸素発生に対する  $\text{Ru}^{3+}$  イオンや、酸素還元による過酸化水素の生成に対する  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  などの各イオンでも見いだされている。本研究では、硫酸溶液中に硫酸塩、硝酸塩、酢酸塩として添加した  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  の各イオンについて白金電極でのエタノールのアノード酸化におよぼす影響を調べ、 $\text{Cd}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+}$  の両イオンが二重層領域の電位で触媒活性をもつことを明らかにした。なお、得られた結論は主に以下のである。

(1) サイクリックボルタントリーによる電流-電位特性を調べた結果、 $\text{Cd}$  塩や  $\text{Zn}$  塩の添加によって二重層領域の電位でアノード電流が著しく大きくなった (Fig. 1)。

(2) 金属塩の添加濃度が高くなるにつれてエタノール酸化の電気量が飽和値に達することから、この触媒的な酸化反応が、 $\text{Cd}^{2+}$  イオンや  $\text{Zn}^{2+}$  イオンによる溶液内触媒反応ではなく、電極上に存在する触媒による表面反応であることを示唆した (Fig. 2)。

(3) 酸性溶液でのアルコールのアノード酸化過程では中間生成物の電極からの脱離過程が反応速度を支配しているが、たとえば  $\text{Cd}^{2+}$  イオン共存下では、エタノールの解離吸着で生じた中間生成物の脱離が、 $\text{Cd}^{+ad}$  によって触媒的に促進されるものと推論した。

(4)  $\text{Cd}$  塩、 $\text{Zn}$  塩についてエタノールの酸化電気量からみた触媒活性を比較すると、以下の序列となった。

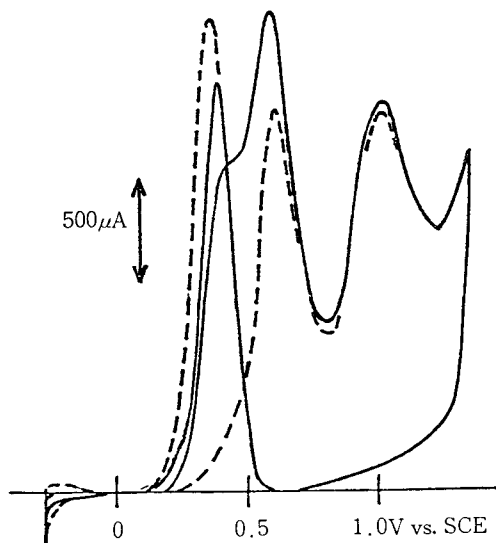
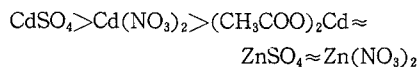


Fig. 1 Current-potential curves of 1M ethanol in 1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  at  $60.6 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$  on smooth platinum electrode.

— : with 10 mM  $\text{CdSO}_4$   
- - - : without  $\text{CdSO}_4$

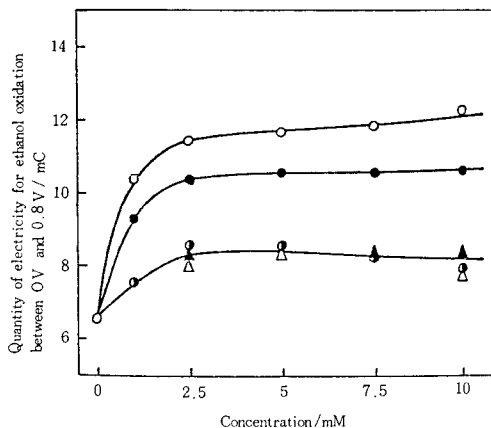


Fig. 2 Catalytic effects of various salts on ethanol oxidation.

○ :  $\text{CdSO}_4$ , ● :  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ , ● :  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}$ ,  
△ :  $\text{ZnSO}_4$ , ▲ :  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$

# 酸性水溶液中における白金電極での低級アルコールのアノード酸化におよぼす共存カドミウムイオンの効果

## Effect of Cadmium Ions on the Anodic Oxidation of Lower Fatty Alcohols at a Platinum Electrode in Aqueous Acidic Solution

泉 生 一 郎, 大 西 康 幸

電気化学および工業物理化学, Vol. 50, No. 5, pp. 413~417 (1982)

酸性水溶液中における白金電極での、第3級ブタノールを除く炭素数4以下の低級アルコールのアノード酸化におよぼす共存カドミウムイオンの効果について検討し、以下の結論が得られた。

(1) サイクリックボルタンメトリーによる電流-電位特性から次のようなことがわかった。a)  $\text{CdSO}_4$  の添加によって 0.3 V vs. SCE 前後からアノード電流の立ち上がりが著しく大きくなった (Fig. 1)。b) この電流増加は単に  $\text{Cd}_{ad}$  の酸化電流を表わすものではない。c)  $\text{CdSO}_4$  の濃度とともにアルコール酸化の電気量が増し、飽和値に達する傾向がある。d)  $\text{Cd}/\text{Cd}^{2+}$  系の酸化還元電位より低い電位では、アルコール酸化に基づくアノード電流およびカソード走査時の活性化電流が抑制される。e) アノード走査での触媒的な酸化電流は、カソード走査での活性化電流と同質のものである。f) 白金酸化層領域では  $\text{Cd}^{2+}$  イオンによる影響が非常に小さい。

(2) クロノポテンシオメトリーによる電位-時間特性からは次のようなことがわかった。a)  $\text{CdSO}_4$  の添加によって電位振動数が減少し電位振幅が小さくなったが、アルコールの酸化電気量は増加した (Fig. 2)。低アルコール濃度、高電流の条件下では  $\text{CdSO}_4$  の添加によって電位振動現象が消失する。c)  $\text{CdSO}_4$  の濃度とともにアルコールの酸化電気量が増し飽和値に達する傾向がある。

(3)  $\text{Cd}^{2+}$  イオン共存下では、 $\text{Cd}_{ad}$  のような活性な表面吸着種によってアルコールのアノード酸化過程で生じる中間生成物が触媒的に酸化脱離させられるものと推論した。その触媒機構は上記結果と合致するものである。

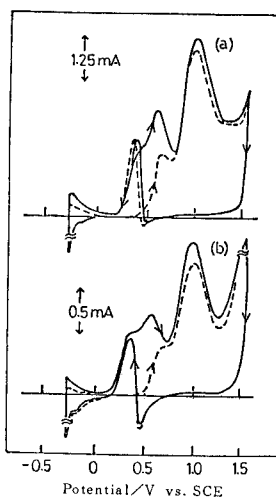


Fig. 1 Current-potential curves of 1 M n-propanol (a) and 0.1 M n-butanol (b) in 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  on smooth platinum electrode at 60.6 mV/s  
 ——— : with 10mM  $\text{CdSO}_4$   
 - - - - - : without  $\text{CdSO}_4$

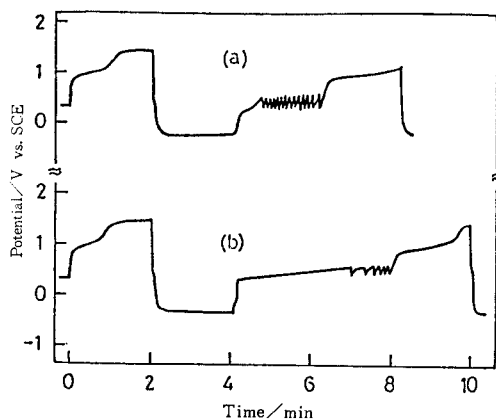


Fig. 2 Potential-time curves of 1 M iso-propanol in 1 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  on smooth platinum electrode at 0.6 mA.  
 curve (a) : without  $\text{CdSO}_4$   
 curve (b) : with 10mM  $\text{CdSO}_4$

# NEW POLY- AND BIS(THIACROWN ETHER)S AS EXTRACTION REAGENTS

Masatoshi ŌUE, Akira ISHIGAKI, Yousuke MATSUI\*,

Takumi MAEDA\*, Keiichi KIMURA\*, and Toshiyuki SHONO\*

Chemistry Letters, 1982, 275 (1982).

The synthesis of a number of poly- and bis (crown ether)s derived from aromatic vicinal diols and the solvent extraction of alkali and alkaline earth metal picrates with them have been previously reported. The results have shown that the extractability of the poly- and bis (crown ether)s are superior to those of their monomeric analogs for alkali and alkaline earth metal picrates. Though there are many reports about the synthesis of "thiacrown ether", the solvent extraction of poly- and bis (thiacrown ether)s **II**, **III** in which three to four oxygen atom linkages are replaced by sulfur atom linkages has not been reported previously. We prepared poly- and bis(thiacrown ether)s, which contain two oxygen atoms and three to four sulfur atoms in the macrocyclic polyether-polysulfide, from the polymerization of acryloylaminobenzothiacrown ether and the reaction of aminobenzothiacrown ethers with glutaryl chloride, and screened them for the extractability of silver picrate.

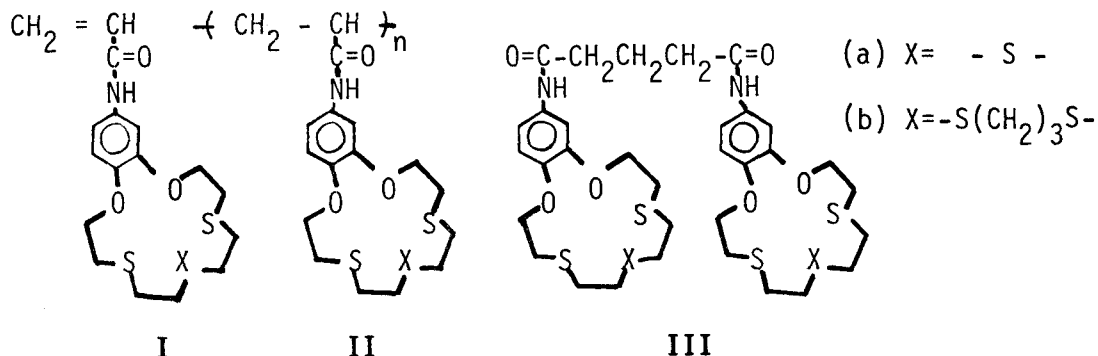
The results are shown in Table 1. In the solvent extraction of silver picrate with poly(thiacrown ether)s **IIa**, **IIb** formed precipitation, which might suggest that the complexing ability of the

poly(thiacrown ether)s is larger than the others. As compared with the distribution ratio of PB 15-CR-5, the values for thiacrown ethers are extremely large, about ten times as much. This may be mainly due to the substitution of the sulfur atoms for the oxygens. And also the thiacrown ether/Ag ratio is equal to unity in their monomer, while in the bis(thiacrown ether)s 2 : 1 ratios have been found conductometrically. Thus, the cooperative effect of two adjacent crown rings in forming the sandwich-type complexes might be concerned with the increase of the extractability of the poly- and bis(thiacrown ether)s.

Table 1. Distribution ratios and percent extraction

CROWN	D (PERCENT EXTRACTION)
Ia	1.552 (60.82)
Ib	4.083 (80.32)
IIa	... *
IIb	... *
IIIa	4.276 (81.05)
IIIb	4.721 (82.53)
PB 15-CR-5	0.043 ( 4.10)
PB 18-CR-6	0.091 ( 8.36)

\* precipitations are formed



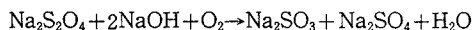
\*Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Osaka University

# The Kinetics of Dissolved Oxygen Reaction in Aqueous Sodium Dithionite Solutions

Mikio Kawagoe and C. W. Robinson\*

Can. Jour. of Chem. Eng., 59, 471 (1981)

The absorption with reaction of oxygen in alkaline aqueous sodium dithionite solutions has been used to measure the specific interfacial area in gas-liquid contactors such as packed columns and mechanically agitated tanks. The overall reaction for the oxidation of sodium dithionite by dissolved oxygen in aqueous solution is



This reaction has been investigated in some detail by several workers. Some authors measured the kinetics of this reaction using the chemical absorption method, while others used a flow-thermal method, that is, the homogeneous reaction method. The previously proposed orders of the reaction with respect to dithionite and oxygen have depended upon the concentration of sodium dithionite employed. In order to apply this particular reaction system to the measurement of the specific interfacial area, the reaction kinetics must be known accurately.

In this present work, we have conducted further investigations of the kinetics of the oxygen-sodium dithionite reaction in aqueous alkaline solution. The kinetic study was of sufficient scope to enable the results to be used directly in a separate series of experiments designed to evaluate the specific interfacial area in a gas-liquid contactor of the airlift type. We have studied not only the temperature dependency of the reaction rate, but also the effects of sodium hydroxide concentration and added inert salts (sodium sulphate and potassium chloride).

The experiments were carried out in a 95mm i. d. stirred glass vessel with a plane surface. The

vessel was equipped with four baffles and had 960ml total capacity. All runs were made using 600ml of batch liquid and continuous flow gas. The liquid phase was agitated by a magnetic stirrer.

The orders of reaction were found to be first order and second order with respect to sodium dithionite and oxygen, respectively, for the concentration of sodium dithionite less than 0.08 kmol/m<sup>3</sup>.

Fig. 1 shows the Arrhenius' plots of  $k$  for the reaction. The activation energy was calculated from the slope of the straight line as 76.2 MJ/kmol. From the plots, the rate constant for temperatures ranging from 15 to 34°C was found to be given by

$$k = 4.56 \times 10^{13} \exp(-76200/RT)$$

when  $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4] \leq 0.08 \text{ kmol/m}^3$  and when  $0.044 \leq [\text{NaOH}] \leq 0.27 \text{ kmol/m}^3$ .

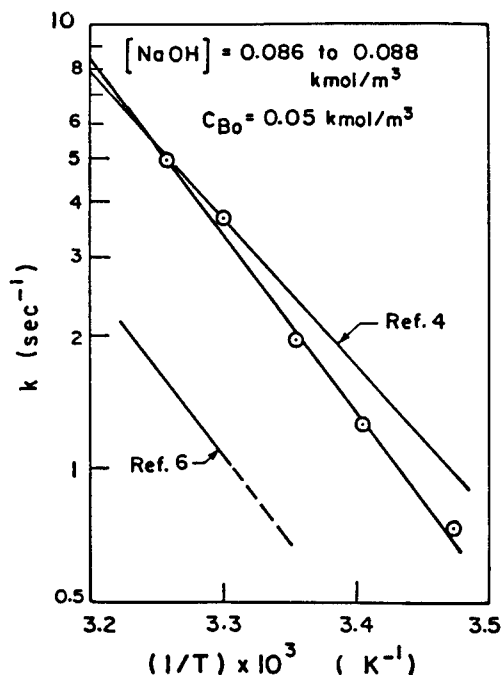


Fig. 1 Arrhenius' plots of rate constant,  $k$

\*Dept. of Chemical Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada



## 教官研究活動状況一覧表（抄録）

（機械工学科）

### 炭素鋼における延性の異方性

関口秀夫, 小坂田宏造 (神大・工), 城戸寿之 (神戸大・院)

日本機械学会・精機学会北陸信越支部共催講演会論文講演

(昭和57年6月18日 講演)

### 焼もどし温間鍛造に関する研究

—第3報 ヘッディング加工への応用—

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工)

第32回塑性加工連合講演会

(昭和56年11月20日 講演)

### 焼もどし温間鍛造

小島耕二

第69回塑性加工懇談会 (日本塑性加工学会)

(昭和57年3月10日 講演)

### 焼もどし温間鍛造に関する研究

—第4報 各種鋼材に関する実験—

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工)

昭和57年度塑性加工春季講演会

(昭和57年5月21日 講演)

### パイプのダイレス曲げ

市瀬辰己, 小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工)

昭和57年度塑性加工春季講演会

(昭和57年5月22日 講演)

### Visualization of High Frequency Ultrasonic Wavefronts by Holographic Interferometry

M. Ueda, Y. Oshida, K. Iwata and R. Nagata  
IEEE Trans. Sonics & Ultrason., vol. SU-28, pp. 436-438, Nov. 1981

### 遅れ破壊強度に及ぼす表面処理硬度について

岩井保善, 有間淳一

日本材料学会第31期学術講演会

(昭和57年5月25日 講演)

### 溝をもつ平行平板間を流れる粘弾性流体の流れ

神本雅弘 (動燃), 堀川明 (阪大・工), 森教安, 前田龍夫

日本機械学会関西支部第57期定時総会講演会

(昭和57年3月 講演)

### 粘弾性流体の偏心二重円管内流れ

堀川明 (大阪大・工), 森教安, 三村宣治 (豊田中研)

日本機械学会論文集47巻422号 p. 1971~1977.

(昭和56年10月)

### 単軸引張りを受ける多円孔無限平板の応力集中問題の一次数値解法

(第7報 縦横に無限個の円孔が配列された場合)

浜田実 (阪大・工), 水嶋巖, 箕浦忠行 (神戸製鋼)  
日本機械学会論文集 (A編), 47巻423号 (昭56-11), p. 1253~1256.

### 剛性円形充てん物を持つ無限平板の引張りと圧縮 (摩擦がある場合)

水嶋巖, 浜田実 (阪大・工), 北川浩 (阪大・工)  
日本機械学会論文集 (A編), 48巻425号 (昭57-1), p. 42~48.

### Effects of Friction in Tensile and Compressive Stress Problems for Rigid Circular Disk in Infinite Plate

I. Mizushima, M. Hamada\* and H. Kitagawa\*  
Bull. Jap. Soc. Mech. Eng., Vol. 25, No.207 (1982-9) (\*Osaka Univ.)

### 円孔列を有する帯板の引張り

浜田実 (阪大・工), 水嶋巖, 渋谷陽二 (阪大・院)

日本機械学会関西支部第57期定時総会講演会

(昭和57年3月16日 講演)

### 光ファイバ L. D. V. による振動測定

阪部俊也, 中谷登 (阪大・工), 山田朝治 (阪大・工)

第21回計測自動制御学会, 学術講演会

(昭和57年7月28日)

### コンピュータによる成績情報処理

宮本止戈雄, 東野秋二

高等専門学校, 情報処理教育研究協議会

(昭和57年8月25日 講演)

### (電気工学科)

#### 容量性負荷 3相 PWM 逆変換器の精密解析 (第11報) ……導通角の長い場合

岡本弘, 市田博, 木口博之, 猪飼俊之 (京都工芸繊維大学), 井村栄仁 (奈良高専)

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和56年11月23日 講演)

#### 容量性負荷 3相 PWM 逆変換器の精密解析 (第12報) ……導通角の長い場合

岡本弘, 市田博, 木口博之, 猪飼俊宏 (京都工芸繊維大学), 井村栄仁 (奈良高専)

電気学会全国大会 (昭和57年4月2日 講演)

#### タコグラフによる走行状態の把握

石桁正士, 田中和希 (大阪電通大), 田中聖人 (阪大・工), 上田勝彦

大阪交通科学研究会総会 (昭和56年11月27日 講演)

#### 局所情報を用いた印影の自動照合

上田勝彦, 中村善一

電子通信学会「パターン認識と学習研究会」

(昭和57年5月21日 講演)

#### 基礎情報の処理

石桁正士 (大阪電通大), 上田勝彦, 田中邦宏 (大阪府立高専)

パワー社 (昭和57年3月)

#### 線幅を正規化する濃淡の2値化法

上田勝彦, 中村善一

電子通信学会論文誌, Vol. J65-D, No. 6 pp. 805~806, (1982) (昭和57年6月)

#### 理解状態およびそのプロセスの科学的研究(4)

仁保寛二 (大阪電通大), 有間淳一 (奈良高専), 石桁正士 (大阪電通大), 上田勝彦 (奈良高専), 大西良雄 (大阪電通大), 下村武 (大阪電通大), 田中邦宏 (大阪府立高専), 田中啓一 (尼崎工高), 寺田弥須男 (大

阪工大), 西川喜良 (甲南大), 穂積正人 (塩原学園高)

日本科学教育学会年会 (昭和57年8月23日 講演)

#### ステートメントとプロトコールの研究(2)

石桁正士 (大阪電通大), 有間淳一 (奈良高専), 上田勝彦 (奈良高専), 大西良雄 (大阪電通大), 下村武 (大阪電通大), 田中邦宏 (大阪府立高専), 田中啓一 (尼崎工高), 寺田弥須男 (大阪工大), 西川喜良 (甲南大), 仁保寛二 (大阪電通大), 穂積正人 (塩原学園高)

日本科学教育学会年会 (昭和57年8月23日 講演)

#### タコグラフを用いた道路走行状態の分析の基礎的研究

石桁正士 (大阪電通大), 田中聖人 (阪大・工), 上田勝彦

交通科学, Vol. 11, No. 2, pp. 9~16, (1982)

(昭和57年9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, 吉野勝美 (大阪大学), 犬石嘉雄 (大阪大学)

R. COELHO (フランス国立科学研究センター)

電気学会論文誌A-12, 89 (昭和57年2月)

#### Residual Voltage Characteristics and It's Numerical Analysis in Polyethylene

J. Kyokane, M. Yun\*, K. Yoshino\* and Y. Inuishi\* (Osaka University)\*

JPN. J. APPL. PHYS., Vol. 21, 1333(1982)

#### Residual Voltage in Polyethylene

J. Kyokane, M. Yun\*, K. Yoshino\* and Y. Inuishi\* (Osaka University)

TECHNOL. REPTS. OSAKA UNIV., Vol. 32, 121 (1982)

#### 表面電位計による残留電圧の測定

京兼純, 寺内正治\*, 吉野勝美\*, 犬石嘉雄 (大阪大学\*), 柏木信治 (関西電力)

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和56年11月23日 講演)

#### 極低温液体中の絶縁破壊特性

大迫浩司\*, 小山順一郎\*, 寺内正治\*, 吉野勝美\*, 犬石嘉雄 (大阪大学)\*, 京兼純

電気学会全国大会 (昭和57年3月31日 講演)

### 残留電圧特性に関する基礎的考察

京兼純, 尹文洙\*, 野嶋健一\*, 吉野勝美\*, 犬石嘉雄  
(大阪大学)\*

電気学会全国大会 (昭和57年4月1日 講演)

### 表面電位計による残留電圧の評価とその数値解析

京兼純, 尹文洙\*, 吉野勝美\*, 犬石嘉雄 (大阪大学)\*  
電気学会第15回電気絶縁材料シンポジウム

(昭和57年9月21日 講演)

### 真空紫外及び紫外領域における絶縁性高分子材料の光電導

尹文洙 (大阪大学), 京兼純, 吉野勝美\*, 犬石嘉雄  
(大阪大学)\*

(昭和57年9月21日 講演)

### マイコン・システム間のファイル転送

世古忠, 成田紘一

インターフェス 1982年3月号 pp. 166~182

### 奈良高専学生の情報処理に関する意識調査

成田紘一, 東野秋二

高等専門学校, 情報処理教育研究協議会(西日本地区)

(昭和57年8月25日 講演)

(化学工学科)

### 半導体光触媒と OH ラジカル

會川義寛\*, 鋤柄光則\*, 泉生一郎, 平野克比古\*\*,  
A. J. Bard\*\*\* (東大・生研\*, 芝浦工大\*\*, The  
Univ. of Texas at Austin\*\*\*)

第1回固体および固体表面の関与した光化学に関する  
討論会 (昭和56年12月1日 講演)

### 水溶液中における白金酸化層電位領域での各種脂肪族カルボン酸の酸化反応

泉生一郎, 寺内節郎

日本化学会第45春季年会

(昭和57年4月4日 講演)

### 酸性水溶液におけるエタノールのアノード酸化におよぼす添加金属カチオンの効果

泉生一郎

日本化学会誌 Vol. 1982, No. 5, pp. 873~875

(昭和57年5月)

### 酸性水溶液中における白金電極での低級アルコールのアノード酸化におよぼす共存カドミウムイオンの効果

泉生一郎, 大西康幸

電気化学 Vol. 50, No. 5, pp. 413~417(1982)

(昭和57年5月)

### 電気的方法による有機皮膜への液拡散の測定

井口高行, 奥田聰 (同志社大・工)

化学工学協会, 第47年会

(昭和57年3月31日 講演)

### 電気的方法による有機ライニング材への液拡散の測定

井口高行, 奥田聰 (同志社大・工)

化学工学論文集 Vol. 8, No. 5, pp.552~555

### 有機ライニング材への液の拡散速度に及ぼす温度勾配の影響

井口高行, 奥田聰 (同志社大・工)

化学工学論文集 Vol. 8, No. 5, pp. 556~559

### チアクラウン誘導体を用いる金属イオンの溶媒抽出

松井洋介\*, 前田拓己\*, 木村恵一\*, 庄野利之\*, 大植  
正敏 (阪大・工)\*

日本分析化学会第30周年大会

(昭和56年10月4日 講演)

### New poly and bis(thiacrown ether)s as extraction reagents.

M. Ōue A. Ishigaki, Y. Matsui\*, T. Maeda\*, K.  
Kimura\*, & T. Shono(Osaka University)\*

Chemistry Letters, 1982, 275. (昭和57年2月)

### チアクラウンエーテル類を用いる金属硝酸塩の溶媒抽出

大植正敏, 石垣昭, 松井洋介\*, 前田拓己\*, 木村恵  
一\*, 庄野利之 (阪大・工)\*

日本化学会第45春季年会 (昭和57年4月3日 講演)

**The Kinetics of Dissolved Oxygen in Aqueous Sodium Dithionite Solutions**

M. Kawagoe and C. W. Robinson, Can. Jour. Chem. Eng., 59, 471(1981)

(一般教科)

三輪地方の庄園

朝倉 弘

『大美和』第63号

(昭和57年7月1日)

高専の化学(改訂版)

小森三郎監修, 石川光二, 奥住泰三(東京都立航空高専)

森北出版

(昭和57年3月1日)

**Das Nibelungenlied に用いられている受動文**

桐川 修

ドイツ文学語学研究第6号

(昭和57年2月15日 発行)

高専の数学(第3版)

田代嘉宏, 浅野重初, 田端敬昌

森北出版

(昭和56年11月5日)

奈良工業高等専門学校 研究紀要第18号

昭和58年2月28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22

印刷所 株式会社 奈良明新社  
奈良市橋本町36番地

# RESEARCH REPORTS

of

## NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 18, 1982

### CONTENTS

Some Brief Comments on Chemical Conversion of Solar Energy.....	Hiroshi SAKURAI .....	1
X-ray Investigation of Stress Measurement on Heat Resisting Materials. .....	Junichi ARIMA, Yasuyoshi IWAI .....	7
Dieless Bending of Elliptical Tubes...Tatumi ICHISE, Koji KOBATAKE and Sadao KIMURA .....		13
Optical Heterodyne Measurement of Vibration .....	Yoshihiro OSHIDA, Katsuya KAGA, Koichi IWATA and Ryo NAGATA .....	19
A Study on Automatization in Lathe Cutting.....	Katsuya KAGA, Yoshihiro OSHIDA .....	25
Study on Grindability of pure Titanium.....	Yoshio TANAKA, Tadahiro WADA .....	29
Improvement of Filter Type Diesel Smoke Meter.....	Toshio NAKATA .....	35
Study on the Intrinsic Pressure Hole Error of Viscoelastic Fluids .....	Noriyasu MORI, Toshiya SAKABE and Toshio WAKABAYASHI .....	39
Study on Chip Treatment in Turning.....	Tadahiro WADA and Yoshio TANAKA .....	43
Precise Analysis of A Three Phase PWM Thyristor .....	Shigeji IMURA, Hiromu OKAMOTO and Hiroshi ICHIDA .....	49
Automatic Seal-impression Verification Utilizing Local Features on Diagonal Line .....	Katsuhiko UEDA and Yoshikazu NAKAMURA .....	55
Carrier Mobilities and Breakdown in Halogen Doped Polymers .....	J. KYOKANE, S. HARADA, S. IWAKAWA, K. YOSHINO and Y. INUIISHI .....	61
Preparation and Application of Chiral Heterocyclic Compounds. 1. Optical Resolution of Tetrahydrofurfurylamine .....	Akira ISHIGAKI .....	67
Testing Methods to evaluate the Organic Linings for Corrosion Liquids .....	Satoshi OKUDA and Takayuki IGUCHI .....	71
Formation of Maleic Acid by Anodic Oxidation of Thiophene .....	Ikuichiro IZUMI, Isao YAMAMOTO .....	75
Solvent Extraction of Copper from Aqueous Solutions .....	Mikio KAWAGOE .....	81
Characteristics of Cellulose Acetate Ultrate Ultrafiltration Membranes...Takeshi NAKAYA .....		85
Huxley and Science ( I ) On the Moksha-Medicine in <i>Island</i> .....	Yoshikuni MIURA .....	89
.....	Shikao MIYAMOTO, Shuzi HIGASHINO .....	95
Computer Simulation of Programming for Numerical Control Machine Tool .....	Tadahiro WADA and Shusi HIGASHINO .....	99
Reference System of Students' Educational Information		
The Truth Theory on Willam James.....	Tsuneyuki KIMURA .....	110
On Zoyakumen-Sho in the Province of Yamato .....	Hiroshi ASAKURA .....	134
Abstracts .....		135