

研 究 紀 要

第 12 号

昭 和 5 1 年 度

奈 良 工 業 高 等 專 門 学 校

目 次

高張力鋼の水素ぜい化について	有間 淳一・塩田 治雄・岩井 保善	1
高張力鋼の遅れ破壊について	岩井 保善・塩田 治雄・有間 淳一	5
負荷トルクを考慮した定角位置切換方式パルスモータの動特性	大橋 和正・相羽 三良	9
ねじ旋削における断続法の自動化に関する研究(第2報)	加賀 勝也・奥島 啓式	15
有限要素法によるダイレス引抜の温度解析	小島 耕二・関口 秀夫	21
直線的に配列された3円孔を持つ無限平板の応力集中係数	塩田 治雄・水嶋 巖	27
ディーゼル機関排気圧の変動について	島内 一郎・中田 敏夫	31
ディーゼル機関から排出される黒煙の除去に関する基礎的研究	中田 敏夫・島内 一郎	37
弱電離気体流れにおける衝撃波干渉について(第2報)	松岡 一起・岸下 晴亮	43
PWM 3相逆変換器の動作モード(容量負荷)	井村 栄仁	49
紙テープを用いた画像出力装置	上田 勝彦・世古 忠	55
2変数リレー制御系の周波数応答	木村 伊一	61
Electronic Conduction in Polyethylene Induced by Pulsed Electron Beam	J. Kyokane・S. Imanishi et al.	65
2次元FFTを用いたレンズの像空間における界強度分布の計算	世古 忠・成田 紘一	69
順位文法を用いた構文解析	世古 忠	75
オプトロニック・し張発振器	高橋 晴雄・山内 雅好	79
漂白位相ホログラム	宮田 正幸	83
空間フィルタを用いた系の送り速度測定装置(II)	山内 雅好・高橋 晴雄他	85
紙類に含まれるポリ塩化ビフェニールの分離除去技術に関する研究	石垣 昭	91
酸素, 亜鉛系電池のスケールアップに伴う化学工学的試算	犬田 修正	95
Solubility of Gas in Aqueous Solutions of Mixed Salts	梅原 忠	105
白金電極上でのエチレングリコールの電気化学的酸化挙動	大植 正敏・泉 生一郎	109
臨界過飽和度に対する攪伴速度の影響について	中谷 武志・山本 績	115
日本におけるスポーツ規範について, まつり・ひろば・みちのコミュニケーションから	秋山 竹雄	119
理想的な女性像と女子体育	中和田 武	129
銀と暗黒「ノストローモ試論」	中村 元一	135
夏期校外実習について(教育論文)	今西 周蔵	153
教官研究活動状況一覧表(抄録)		159

高張力鋼の水素ぜい化について

有間 淳一・塩田 治雄・岩井 保善

Hydrogen Embrittlement of High Tension Steel

Junichi ARIMA, Osamu SHIOTA and Yasuyoshi IWAI

To study the effects of hydrogen embrittlement on high strength steel, X-ray diffraction analysis and static bending test were performed for hydrogen charged Cr-Mo steel.

In this investigation, the notched specimen dipped in 5% H₂SO₄ solution were offered to examine change in mechanical properties and to measure residual stress. As the result, it has been found that the compressive residual stress near the surface occurred by heat treatment seems to be released by dissolution of hydrogen and the own strength level has close relation to the sensitivity of hydrogen embrittlement.

1. 緒 言

摩擦継手、P C鋼棒、航空機用部品などの素材として開発されている高合金高張力鋼は、実際使用中にしばしば遅れ破壊事故が発生することがよく知られており、この種の材料の各種環境のもとにおける安全使用条件の確立が問題とされてきている。遅れ破壊は、常温における静的荷重のもとでも、一定時間経過後に外見上はほとんど塑性変形を伴わずに突然ぜい性的に破壊するところに特徴があり、しかも引張強さの値が約120kg/mm²以上になるように調質した場合にしばしば生じるようであって、これまでも数多くの研究がなされてきている。この現象に関しては、電気メッキ、酸洗いなどの処理工程中に鋼の内部に吸蔵される水素、あるいは使用中に外部環境より侵入する水素のいずれかが割れの発生に関与し、最終的に破壊に至ることが認められている。^{(1), (2)}

このため、高強度材料について諸種の環境のもとにおける遅れ破壊現象の本質を明らかにすることはきわめて重要であると考えられる。したがって本研究では、実用的な高強度材料における上述の問題に対して系統的な実験的検討を行なうことにした。

本報告においては、調質処理をほどこした2種類のCr-Mo鋼を用い、主として希硫酸溶液浸漬による水素ぜい

性感受性について、静的曲げ試験結果およびX線による表面残留応力の変化から評価を行ない、また補助的に電子顕微鏡により破面観察を行なったのでこれらの結果について述べることにする。

2. 実験方法

2.1 材料および試験片

本実験に使用した材料はCr-Mo強靱鋼 (SCM2) および (AISI 4150) である。化学成分を Table I に示し、熱処理後の主な機械的性質を Table II に示す。

Table I. Chemical compositions. (%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
SCM2	0.31	0.26	0.71	0.008	0.014	0.05	0.03	0.96	0.18
AISI 4150	0.49	0.24	0.82	0.018	0.007	0.16	0.12	0.97	0.17

Table II. Mechanical properties

Material	(0.2%) Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	True fracture strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Vicker's hardness (500g)
SCM2	122	137	173	12.1	475
AISI 4150	162	186	208	11.6	555

Fig.1 に試験片の形状および寸法を示す。遅れ破壊はボルトのネジ部のごとき応力集中部において数多く発生するため、形状係数 α が7.8および1.8 (以下にこれをV型およびU型と称する) を有する2種類の丸棒切欠き試

験片を使用することにした。各々の試験片は、機械加工

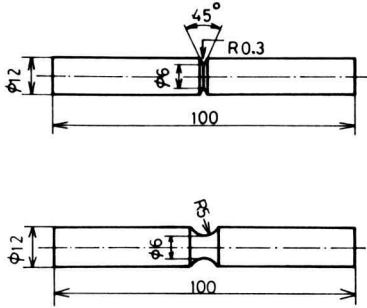


Fig.1 The shape and dimension of specimen.

後、真空中にて 850℃ に 30 分保持したのち、油焼き入れを行ない 350℃ にて 2 時間、油中にて焼き戻しを行なった。

2.2 静的曲げ試験

本試験においては静的曲げ強度におよぼす水素吸蔵の程度の影響を知る必要があるため、調質処理および硫酸溶液に一定時間浸漬せしめた試験片について静的曲げ試験を行なった。すなわち、使用した装置は、Fig.2 に示

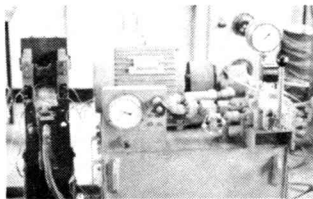


Fig.2 Statical bending machine

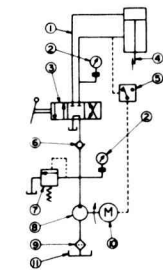


Fig.3 Block diagram

すように、試作した油圧駆動、両端支持二点負荷方式の曲げ試験機である。Fig.3 にそのブロック線図を示す。すなわち、パワーユニット⑧⑨⑩⑪、リリーフ弁⑦、チェックバルブ⑥、手動切換弁③、圧力計②、圧力スイッチ⑤等により構成されており、荷重はシリンダロッド先端に取付けた負荷連結棒に貼布したひずみゲージにより検出した。前述した各々の試験片について本試験機を用いて応力-たわみの関係、最大曲げ応力の変化を求めて比較した。使用した硫酸溶液の濃度は 5% であって、液温は 23℃ 一定に保ち、浸漬時間は最高 2 時間までの間で、任意に変化せしめた。また、負荷速度は硫酸溶液中の水素原子の拡散速度を考慮して 2kg/mm²·sec 一定とした。曲げ試験終了後、破断した試験片について、電子顕微鏡 (JEM-30) を用いて破面の観察を行なった。

2.3 X線による表面残留応力の測定

調質処理および硫酸溶液浸漬により水素吸蔵を行なった場合の試料表面残留応力の時間的変化を求めるために X 線法により応力測定を行なった。各々の試験片は表面をエメリー紙で研磨したのちに、前述のように所定の条件で熱処理および硫酸溶液浸漬処理をほどこして X 線測定に供した。使用した装置は、X 線応力測定機 (島津, SMX-50) である。また、使用 X 線は CrKα 線で、α 鉄の (211) 面回折線よりプロファイルを求め、sin²ψ 法により次式を用いて応力値を求めた。

$$\sigma_x = -E/2(1 + \nu) \cdot \cot \theta_0 \cdot \partial 2\theta_{\phi\psi} / \partial \sin^2 \psi$$

ここで、E, ν ----- 弾性定数

θ₀ ----- 無応力状態の X 線の回折角

θ_{φψ} ----- 2, 3 の X 線入射角における回折角

ψ ----- 試料表面に対する X 線入射角

3. 実験結果および考察

3.1 試料表面の硬度および衝撃試験結果

本実験に先立ち、調質および硫酸溶液浸漬処理をほどこした場合の性質を調べるために硬度および衝撃試験を行なった。Fig.4 は硬度試験結果を示したものである。

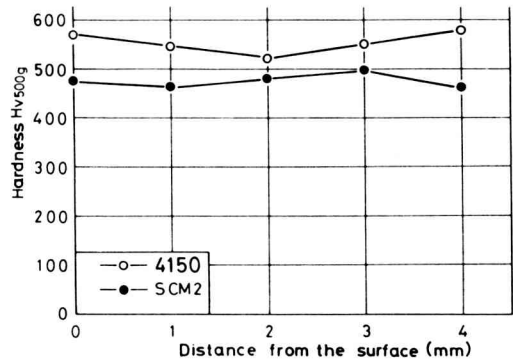


Fig.4 Relation between the hardness and the distance from the surface of specimen.

前述の 2 種類の材料について、所定の条件で調質処理をほどこしたのち、表面から半径方向にマイクロヴィッカー硬度計で測定した結果を表面からの距離との関係で示したものである。4150材の表面硬度の値はSCM2材の場合と比較してやや大きい、両者とも半径方向にはほとんど変化が認められず、調質処理が試験片の中心部まで均一に行なわれていることがわかる。

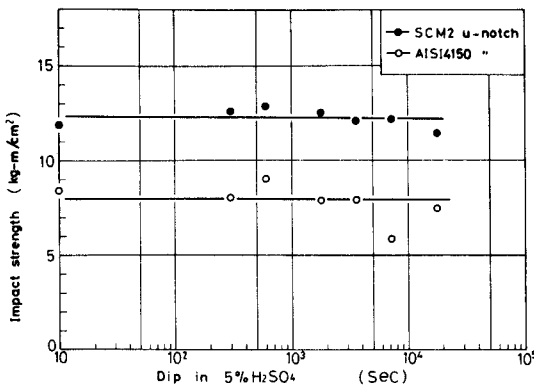


Fig.5 Relation between the impact strength and the dip time.

また、Fig.5 はU型切欠きを有する両鋼種について衝撃試験を行なった結果を5%硫酸溶液に対する浸漬時間との関係で示したものである。硬度試験結果と比較してSCM材の方が靱性がやや大きいようであるが、硫酸溶液浸漬時間による衝撃値の変化はほとんど認められない。これより、衝撃試験のように負荷速度が著しく大きい場合には、水素原子がクラック核まで拡散する時間的余裕がないために、ぜい化現象が顕著にあらわれないことがわかる。

3.2 静的曲げ試験結果

調質処理および硫酸溶液に10分間浸漬せしめた場合の各試験片について行なった静的曲げ試験の結果を応力-たわみ線図としてFig.6 およびFig.7 に示す。

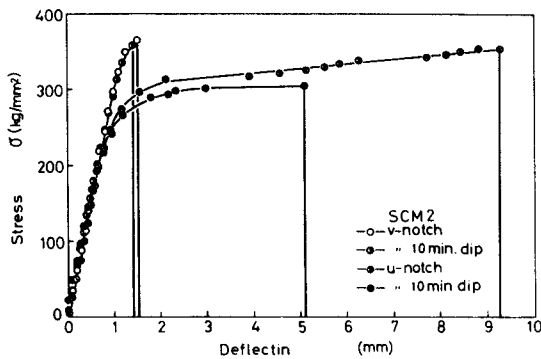


Fig.6 Relation between the stress and the deflection of SCM2 in static bending.

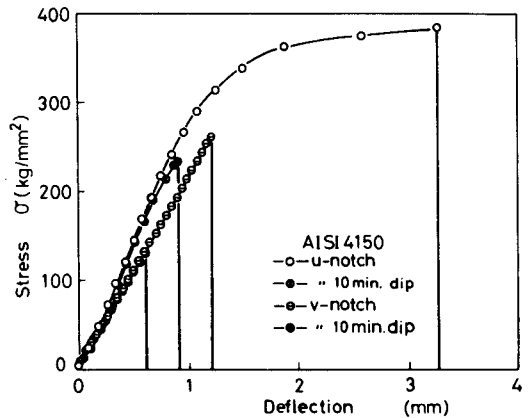


Fig.7 Relation between the stress and the deflection of AISI4150 in static bending.

SCM2材においては、U型切欠き試験片ではたわみ量にかなりの減少がみられるが、最大曲げ応力値に関してはV型切欠き試験片の場合と同様に顕著な差異は認められない。一方、Fig.7 に示すように4150材では、硫酸溶液浸漬後のたわみ量、最大応力値はともに大きく低下し、U型切欠き試験片の場合でも直線関係を示す範囲で破断し、短時間で水素ぜい化を生じることが認められる。これより、水素はまず鋼の塑性変形量を大きく減少させ、

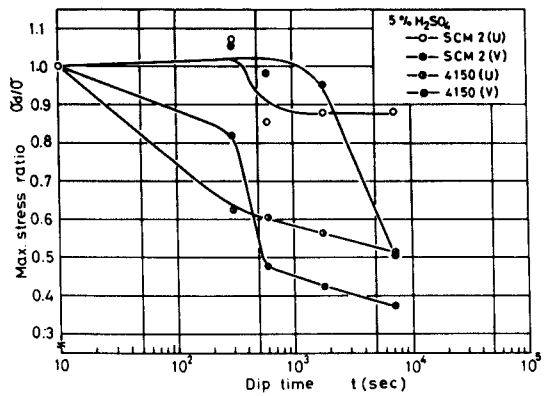


Fig.8 Relation between the maximum stress ratio and the dip time.

強度の高い鋼の方が水素ぜい化感受性が大であると解釈

できるようである。Fig.8 はこれら2種類の試験片について、浸漬時間を5分、10分、30分、2時間と変化させた場合の強度低下の割合を水素吸蔵前の試験片の最大曲げ応力を1として、最大応力比と比較したものである。水素感受性に敏感であると考えられる4150材の場合には切欠き形状にかかわらず10分以内での強度低下が著しく、その後も徐々に直線的に減少するようであるが、SCM2 U型切欠き材では浸漬による影響は少なく、10分でおよそ0.88となるが、その後は2時間までは一定の値を保つ。しかし、V型切欠き材では30分浸漬以後において応力集中の影響が大きく現われることが認められ、2時間浸漬せしめたのちには最大応力比が0.5に低下している。これらの実験結果より、本実験に使用したような強度範囲の鋼では、応力集中係数によって水素ぜい化感受性がかなり異なることが認められ、このような方法で鋼と水素の関係を見出すことができるものと考えられる。Fig.9 に調質処理および硫酸溶液に2時間浸漬せしめた

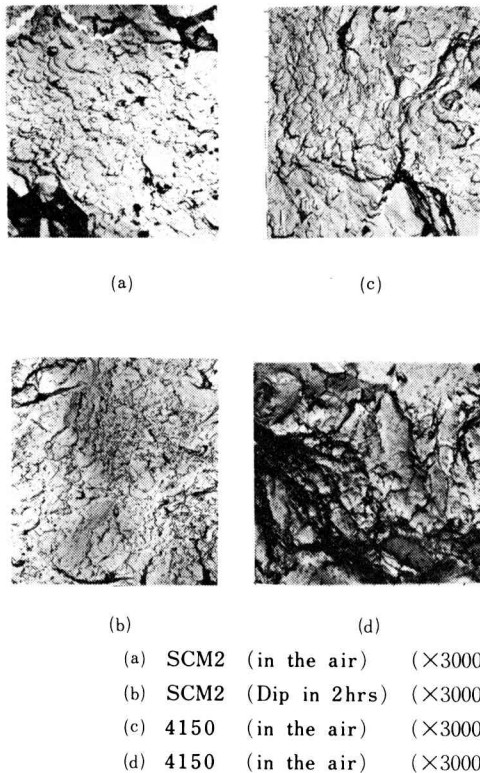


Fig.9 Electron micrographs of fracture surface in static bending test.

場合の2種類の鋼種の破断面の電顕写真を示す。各々についてU型切欠き材の切欠き底引張側表面近傍を観察し

たもので、調質処理材では全面に伸張型ディンプルが見られ、延性を伴った破面であると言える。しかし、硫酸溶液浸漬後の破面ではぜい化を示す擬へき開破面の存在が認められ、ディンプルと混在している。SCM材でも同様の傾向が認められるが、ディンプルは4150材と比較して多く認められ、Fig.8 に示した最大応力比の変化の様子と定性的に一致すると解釈できる。

外部雰囲気から鋼への水素侵入は表面層に限られるとの報告もあり、⁽²⁾関連してX線により表面残留応力の変化を測定した。Fig.10 (a) (b)は測定結果を $2\theta \cdot \sin^2\psi$ の関係で示したものである。硫酸溶液浸漬時間は10分～2時間までとした。調質処理により試験片表面には、SCM2材で -16.9kg/mm^2 、4150材で -14.5kg/mm^2 の圧縮残留応力が存在するが、両鋼種とも浸漬後は表面残留応力が短時間で大幅に減少していることがわかる。これよりFig.8 に示した最大応力比の変化と対応していることから、鋼の水素感受性を評価する有効な手段になると考えられる。

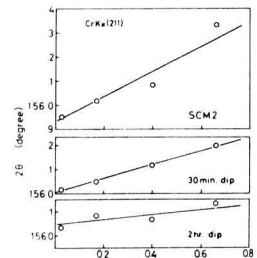
4. 結 言

以上述べてきた実験結果より以下の結論が得られた。

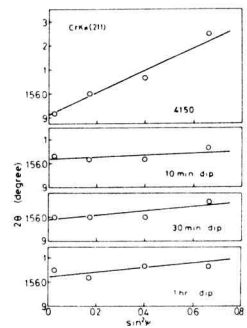
- (1) 180kg/mm^2 級4150鋼は短時間での水素ぜい化感受性が大であるが、 130kg/mm^2 級SCM2鋼では応力集中係数の大小により強度低下にかなりの相異を生じる。
- (2) 硫酸溶液浸漬後の静的曲げ試験により、切欠き底近傍では水素ぜい化破面が観察された。またX線残留応力の測定結果から、水素吸蔵により表面の残留応力が解放され、この時間的変化は最大曲げ応力比の変化と同様の傾向を示すことが認められた。

5. 参 考 文 献

- (1) Klier, E. P., Proc. A. S. T. M 58, 597. (1958)
- (2) 宮本博, 江藤元大, 材料, 21, 275. (1972)



(a) for SCM2



(b) for 4150

Fig.10 Relation between 2θ and $\sin^2\psi$

高張力鋼の遅れ破壊について

岩井保善・塩田治雄・有間淳一

Delayed Failure of High Tension Steel

Yasuyoshi IWAI, Osamu SHIOTA and Junichi ARIMA

In this paper, delayed fracture (sometimes called delayed failure, or static fatigue) which high tension steels having yield strength more than 120kg/mm² is encountered in practice, is treated. Hydrogen embrittlement is regarded to the dominating mechanism of the delayed fracture.

The notched specimens of Cr-Mo steel SCM2 and AISI 4150 were offered to test delayed fracture dipping in 5% H₂SO₄ solution and the relationship between hydrogen embrittlement and delayed fracture has been discussed.

It has been clear by the experimental study that the variation of maximum stress by hydrogen charged time in static bending test seems to be similar to the curve of delayed fracture diagram. Therefore, it is considered that static tests are useful to predict delayed fracture phenomenon due to hydrogen embrittlement.

1. 緒 言

最近、強度水準の高い鋼の開発が進みその実用化に伴って、例えば摩擦継手用高張力ボルト、PC鋼棒、航空機用部品などの用途において数多くの遅れ破壊事故が発生し、¹⁾鋼材料の安全な使用に対する不安の一因となっている。遅れ破壊は引張り強さ約120kg/mm²以上に調質した場合しばしば起きる現象であって、常温における静的荷重下で、ある時間経過後に外見上ほとんど塑性変形を伴わずに突然ぜい性的に破壊するところに特徴があり、これまでも内外で多くの研究がなされてきている。²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

しかしながらこの破壊は大別して、電気メッキや酸洗いなど製造工程中に鋼の内部に吸蔵される水素、あるいは使用中に外部環境より水素が浸入して引き起こす場合が考えられ、いずれも鋼中に吸収された水素が割れ発生に関与していることが認められている。⁵⁾⁽⁶⁾このため、高強度材料について諸種の環境のもとにおける遅れ破壊現象の本質を明らかにすることはきわめて重要であると考えられる。したがって本研究では、実用的な高強度材料における上述の諸問題に対して一連の実験的検討を行なうことにした。

本報告においては、調質処理を施した二種類のCr-Mo鋼を用い、希硫酸溶液中における遅れ破壊試験を行ない遅れ破壊のクラックの進行経過、遅れ破壊におよぼす表面処理の影響について調べるとともに、前報の水素ぜい化との相関について検討を行なったことについて述べる。

2. 実験方法

2.1 材料および試験片

本実験に使用した材料はCr-Mo強靱鋼SCM2およびAISI4150で、その化学成分、熱処理条件、機械的性質および試験片形状は前報と同様でこゝでは省略する。

2.2 遅れ破壊試験

遅れ破壊試験はFig.1に示す片持はり定荷重方式の装置を作成し、5%硫酸水溶液の雰囲気中にて行なった。すなわち、試験片の切欠部に硫酸溶液が接触できるようにプラスチック容器を取り付け、負荷の後すみやかに硫酸溶液を注入した時をもって実験開始時とした。試験片の変位は固定端より100mmの位置に変位計を置き、静ひずみ計を介して、たわみ-時間線図を自動記録させることにより求めた。また、たわみの変化が確認された時点で試験片を取り外して切断し、光学顕微鏡でクラックの

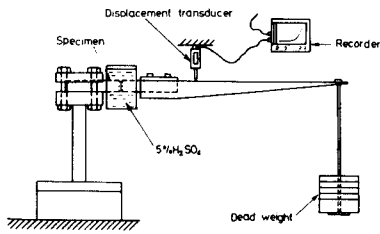


Fig.1 Delayed fracture test equipment.

進行状況の観察、および遅れ破壊破面の電顕観察を行なった。続いて応力集中部を雰囲気から遮断する目的で、Fig.2のように切欠部を真空中にて金属蒸着した場合等の表面処理効果、および陰極電解下で水素吸蔵を促進せしめた場合の影響について調べた。

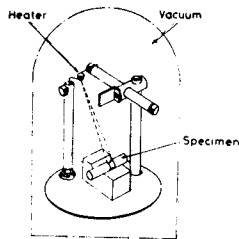


Fig.2 Vacuum evaporation equipment.

なお、腐食の影響が現れないよう配慮して、これらの実験は5時間以内に終らすように条件を設定した。

3. 実験結果および考察

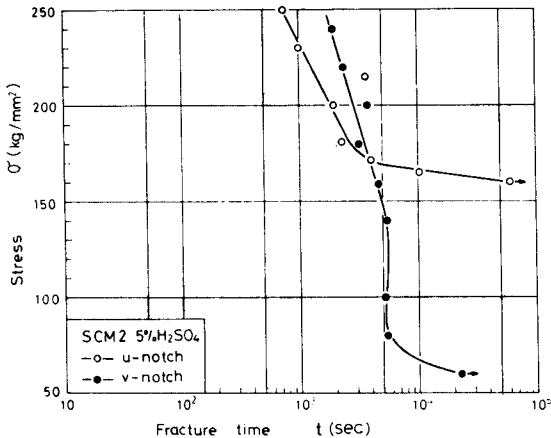


Fig.3 Delayed fracture diagram of SCM2

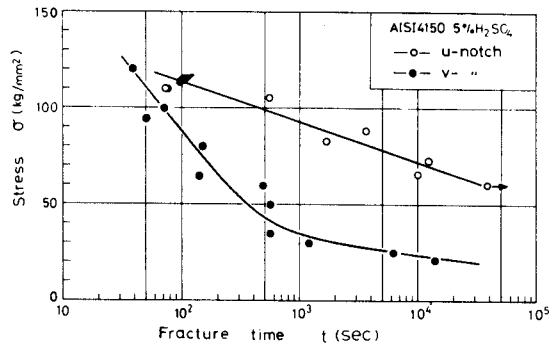


Fig.4 Delayed fracture diagram of AISI4150.

Fig.3 および Fig.4 に5%硫酸溶液中での遅れ破壊試験結果を示す。両鋼種とも明確に下限界応力の存在が認められ、SCM2材の場合、U型切欠き材でおよそ160kg/mm²、V型切欠き材で60kg/mm²、4150材ではU型切欠き材で60kg/mm²、V型切欠き材で25kg/mm²と予想される。このことから切欠き形状にかかわらず静的強度の高い4150鋼の方が遅れ破壊に対する感受性が大きくあることが認められる。またU型切欠き材の下限界応力はV型の場合のおよそ3倍となっている。Fig.4の4150材では破断時間は負荷応力に依存して変化するようであるが、Fig.3のSCM2材では破断時間が一定の範囲に集中し、線図の勾配は急である。特にV型切欠き試験片ではおよそ $2 \times 10^3 \sim 5 \times 10^3$ secですべて破断を起こしているのが特徴的である。このことはSCM2材の場合、この時間範囲で大きく水素の影響を受けることを示すもので、前報の硫酸溶液浸漬時間に対する強度低下の傾向とよく一致する。また約170kg/mm²以上の高応力負荷においてはV型切欠き材の方がむしろ長寿命側にあり、応力集中度の影響はないものと思われる。

遅れ破壊試験において負荷後の試験片のたわみを記録したのがFig.5、Fig.6である。まず負荷時に弾性的なたわみが生じるが、図より明らかに硫酸溶液を接触せしめたのちにクラック発生まである時間経過、すなわち潜伏期間が存在する。その後はゆっくりしたクラックの進行、および機械的急速破断に分かれるが、遅れ破壊に敏感な4150材では潜伏期は短かく、SCM2材に比べクラックの伝ば速度が大であるといえる。また両鋼種とも、たわみは階段状に変化していることから、クラックは間欠的に進行するものと解釈される。間欠的急進伝ばする間の停留期間は二次的な潜伏期と思われ、クラック発生までの一次潜伏期と同様の特性をもっているものと考え

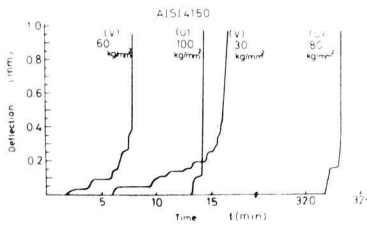


Fig.5 Deflection - Time diagram

られる。SCM2材のU型切欠き試験片で、例えば $\sigma = 165 \text{ kg/mm}^2$ の場合のように一次潜伏期間が長い場合でも、き裂発生から破断にいたるまでの期間は全寿命の $\frac{1}{2}$ と短かいこと、および下限応力以下の負荷ではたわみに全く変化を生じなかったことより、第一次のクラック発生が遅れ破壊を起こす決定要因となるようである。

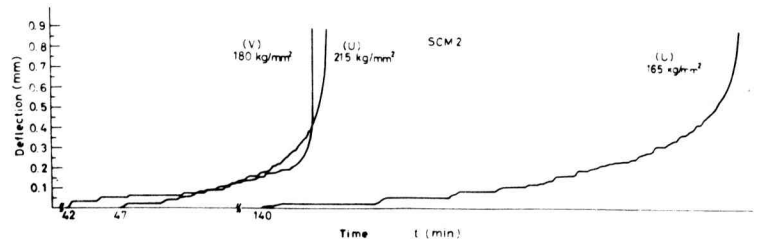


Fig.6 Deflection - Time diagram

りに伴ってV字型に枝分れしているのがわかる。さらに枝分れたクラックは隣接するクラックと合体しながら最終破断にいたるものと思われ、事実SCM2材の巨視的破面は4150材に比べ激しい凹凸を呈する。このように水素濃度が同じ条件下では鋼の静的強度によってき裂の進展の様子が異なるものと考えられる。

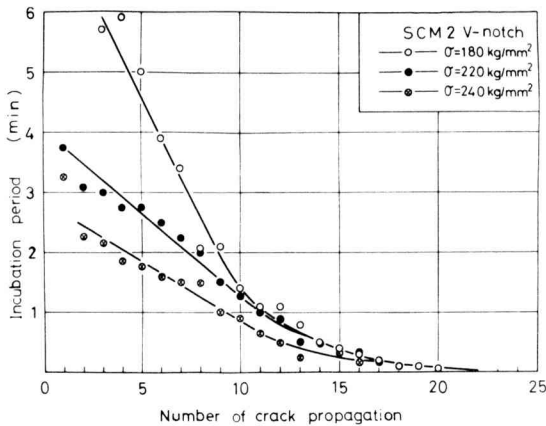
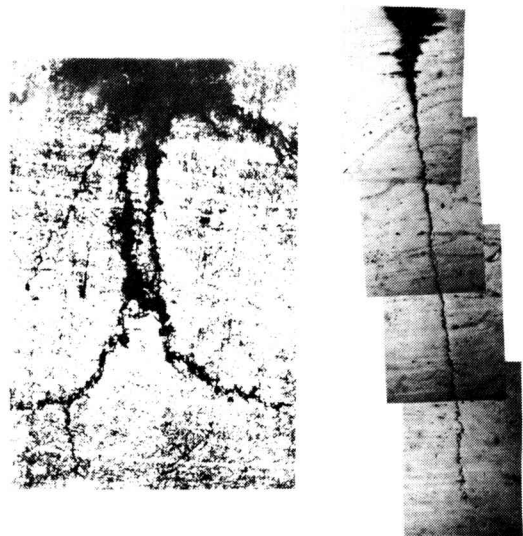


Fig.7 Relation between the incubation period and the number of crack propagation

Fig.7はSCM2材V型切欠きの場合の破断に至るまでの二次潜伏期間を示したものである。こゝでおよそ10回程度までのクラック伝ば範囲では、二次潜伏期間は負荷応力にはほぼ依存して直線的に逐次減少するようであるが、それ以後破断近くになるにつれて負荷応力の影響がなくなっているのが認められる。

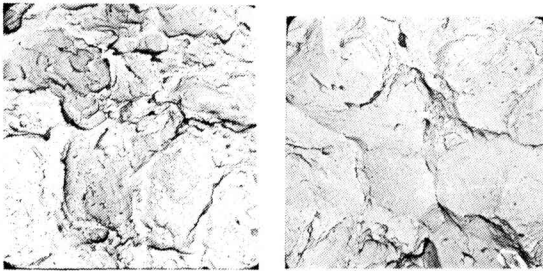
Fig.8にV型切欠き底に生じたき裂写真を示す。これは試験片のたわみがある程度進行した時点で試験を中止し、長手方向に切断して光学顕微鏡で観察したものであるが、4150材は最大応力集中部から細い一本のクラックが直線的に中心方向に向かって進行するのに対し、SCM2材では切欠き底周囲から複数のクラックが発生し、進



SCM2 4150
Fig.8 Crack of the delayed fracture in V notch root

Fig.9は遅れ破壊破面の引張り側切欠き底近傍を電顕観察したものである。静的破面では全面に引き裂きによる伸長型ディンプルが観察されたが、こゝではいずれも粒界ぜい性破面を主体とし、粒内擬へき開を伴っている。おそらく切欠き底は水素によりぜい化され、引張り応力によって初期き裂が形成され逐次硫酸溶液と接触することにより割れが進行したものと考えられる。

以上のように本実験では試験片表面の水素ぜい化機構による遅れ破壊が明らかたため、切欠き底周囲の水素量を変化させた場合について若干検討を行なった。Fig.10



SCM2

4150

Fig.9 Delayed fracture surface

は4150U型切欠き材を陰極とし、 $1A/cm^2$ の電流密度で電解による水素チャージ下、および切欠き部引張り側面にCr, Snを 15μ 真空中で蒸着した場合の遅れ破壊試験結果を示したものである。表面処理としてふつうメッキが考えられるが、本実験で真空蒸着法を採用したのはメッキの過程で水素が吸蔵され必ずしも遅れ破壊の防止には有効でなく、逆に破壊を助長する場合もあることによる。またFig.11は4150材のV型切欠き底に薄くエポキシ樹脂

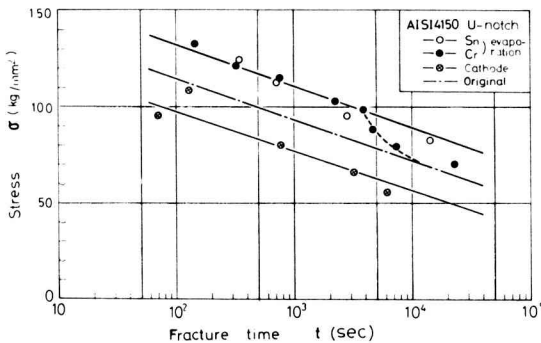


Fig.10 Delayed fracture diagram

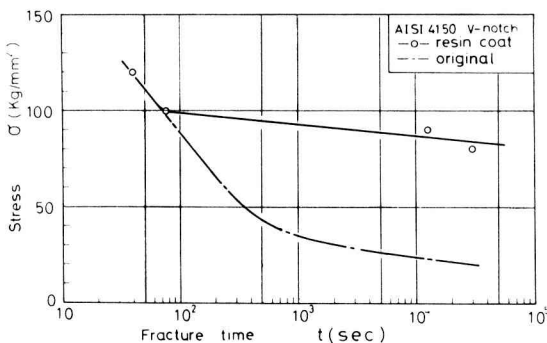


Fig.11 Delayed fracture diagram

(ビフェノールA型)を塗布し同様の効果を調べたものである。Sn蒸着の場合、遅れ破壊線図は長寿命側に平行移動し、時間強度でおよそ20%上昇する。しかしCr蒸着の場合では 4×10^3 secまではSn蒸着した場合と同程度の効果が認められるが、その後は破線のごとくもとの線図に近づき蒸着の効果がなくなっているのがわかる。これは一般に金属蒸着には微細な空洞や割れが含まれているため、硫酸溶液の浸入によって局部電池を形成し、Cr蒸着の場合時間経過とともに鋼表面の水素濃度が徐々に増加するためと思われるが、このことについては今後さらに検討する必要がある。また陰極電解下では、試料内部に吸蔵される水素量が増加するため遅れ破壊線図はやはり平行的に下方に移動する。Fig.11からは、樹脂が負荷時のたわみにより割れを生じないおよそ $100kg/mm^2$ 以下の曲げ負荷では、雰囲気とのしゃ断に有効なことがわかる。以上より、遅れ破壊感受性は鋼表面の水素量に起因し、雰囲気中で長期にわたって安定な、鋼との密着性のよい表面処理法を開発することによって遅れ破壊を防止できるものと考えられる。

4. 結 言

Cr-Mo鋼SCM2およびAISI4150の切欠き試験片について5%硫酸溶液中での曲げ遅れ破壊試験が得られた。

実験結果より以下の結論が得られた。

(1) 前報の硫酸水溶液浸漬後の静的試験で得られた最大応力値の変化傾向と遅れ破壊線図には極めてよい相関が存在する。したがって比較的簡単な静的試験によってある程度遅れ破壊を起こす可能性を推察できるものと考えられる。

(2) 遅れ破壊線図には下限界応力の存在が認められ、たわみ-時間の関係から、潜伏期間の存在およびクラックは間欠的に急進伝播することが判明した。

(3) 遅れ破壊感受性は材料の強度レベルと鋼表面の水素量に依存する。したがって雰囲気中で安定な表面処理法があれば耐遅れ破壊性はかなり向上すると予想される。

参 考 文 献

- (1) 例えば、日本鋼構造協会接合小委員会ボルト強度班, JSSC, 6-4 (1970)
- (2) Trojano, A. R., Trans. A. S. M. 52. p. 54 (1960)
- (3) Shank, M. E., Metal Prog. 76. p. 11 (1959)
- (4) 岩井保善, 研究紀要 第7号. p. 35 (昭46)
- (5) 岩井保善, 有間淳一, 研究紀要 第11号. p.5 (昭50)
- (6) 例えば, Klier, E. P., Proc. A. S. T. M. 58, p597 (1958)

負荷トルクを考慮した定角位置切換方式 パルスモータの動特性

大 橋 和 正
*相 羽 三 良

Dynamic Characteristics of Pulse Motor Driven
by Constant-Angular-Positional Excitation
Considering Load Torque

Kazumasa OHASHI
Saburo AIBA

This paper deals with the movement of the pulse motor driven by constant-angular-positional excitation.

Considering the load torque, the authors attempt to analyze the starting state, the steady state and the stopping state behavior of pulse motor.

In particular, the authors apply to a method of delayed pulse from the steady state in order to stop at the specified position without over run.

Finally, practical application using this method is ascertained in the experiment.

1. 緒 言

パルスモータの駆動方式は、現在2種類考えられている。1つは、パルス列を定周波数で印加する方法（ここでは、これを定周波数切換方式と名づける）で、これは現在最も広く一般に使用されている。もう1つは、パルスモータのロータ軸が各平衡点に対して一定の角位置に

到達したとき、パルスを発生させこれを印加して駆動する方法（これを、ここでは定角位置切換方式と名づける）である。

筆者らは、後者の方式である定角位置切換方式を用いて、2相励磁3相パルスモータの起動時、定常回転時、停止時の挙動の解析を行ってきたが、本研究では、新たに負荷トルクを考慮し、前回同様、起動時、定常回転時、停止時の挙動解析を行なった。^{1), (2), (3)}

ここで停止方法は、遅延パルス方式を導入し、任意の負荷トルクのもとで定常回転時から安定に停止する速度領域まで減速させるため入力パルスを目標値に達する数パルス前から遅延させることによって逆トルクを生じさせ、その後停止させるという方法を考案した。また実験を試み、解析の結果が正しいことが確かめられたと同時に、遅延パルスを用いた停止方法の実用性が立証できた。以下、この結果について報告する。

2. 非線形性の考慮

磁気回路に鉄心が含まれる場合、起磁力と磁束の関係は、磁気飽和現象やヒステリシス現象など複雑であるが、ここでは磁気飽和現象のみを考慮し解析する。従ってトルク T は、電流 i と回転角 θ の関数となり、これは実験により求める。また、励磁コイルのインダクタンス L も同様に i と θ の関数となるが、ここでは非線形のため磁束 Φ の方に注目する。

3. トルク特性の測定

パルスモータは、日本パルスモータ(株)製PF7-48型3相パルスモータ(可変リラクタンス型)を用い、1相励磁で実験を行なった。1ステップ角度は $\theta_p=7.5^\circ$ である。これよりトルクは、使用電流の範囲では電流の強さに近似的に比例して変化していると考えられる。

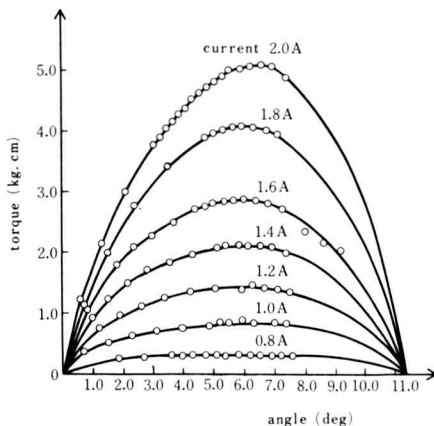


図1 1相励磁トルク曲線

4. 磁束 Φ の測定

3相パルスモータの1相にステップ入力 V を加え、励磁コイルに流れる電流を測定する(回転角 θ は固定)。

すなわち、

$$\frac{d\Phi}{dt} + Ri = V \quad (1)$$

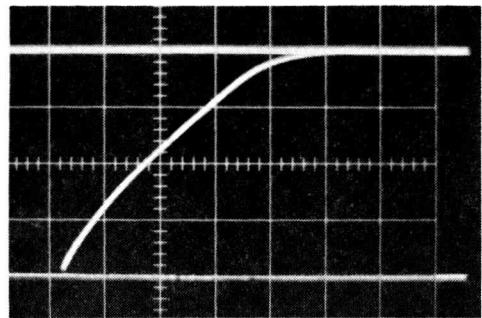
これより、

$$\Phi = \int_0^t (V - Ri) dt \quad (2)$$

従って時間 t に対する電流 i の関係(図2)から、磁束 Φ と電流 i の関係を導き出す。(図3)

これが磁気飽和曲線で $\theta=0^\circ$ から $\theta=11.25^\circ$ (1ピッチ 7.5° で3相の場合、 11.25° で磁束はそれぞれの電流の値で最小となる)における値の範囲で磁束は周期的に変動する。

また、図3より Φ 、 θ 、 i の関係を3次元曲面に表せば図4が得られる。



$\theta=0^\circ$

axis of abscissa: Time(2.0msec/cm)

axis of ordinate: Stator winding current (0.5A/cm)

図2 時間と電流の関係

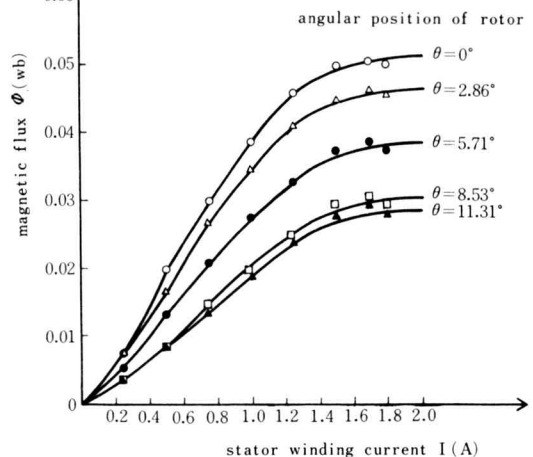


図3 磁束 Φ と巻線電流 i の関係

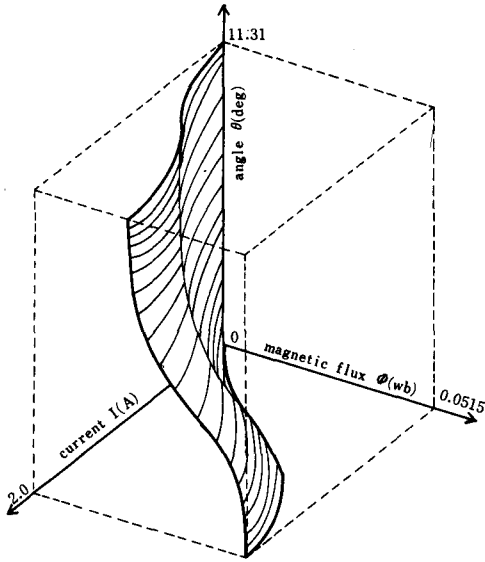


図4 電流, 磁束, 回転角のそれぞれの関係 (3次元曲面)

5. 運動方程式

トルク, 磁束をそれぞれ $T(\theta, i)$, $\Phi(\theta, i)$ とし, 負荷トルク T_q を考慮すれば, ロータの運動および電流, 磁束の変化は次の方程式により記述される。

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + C \frac{d\theta}{dt} + T(\theta - \theta_p/2, i_1) + T(\theta + \theta_p/2, i_2) + T(\theta + 3\theta_p/2, i_3) = -T_q \quad (3)$$

$$\frac{d\Phi(\theta - \theta_p/2, i_1)}{dt} + R i_1 = E \quad (4)$$

$$\frac{d\Phi(\theta + \theta_p/2, i_2)}{dt} + R i_2 = E \quad (5)$$

$$\frac{d\Phi(\theta + 3\theta_p/2, i_3)}{dt} + R i_3 = 0 \quad (6)$$

ここに, i_1 はパルスが新たに印加された相の立上り電流, i_2 はパルス電圧が継続印加されている相の電流, i_3 はパルスがしゃ断された相の立下り電流とする。また, J はロータの慣性モーメント, C は粘性係数, R は励磁回路の抵抗, E は入力電圧とする。ここで,

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial\Phi}{\partial\varphi} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{\partial\Phi}{\partial i} \frac{di}{dt} \quad \text{を考慮し, 図1}$$

よりトルク特性と電流 i とは近似的に比例していると仮定すれば, 次のように無次元化することができる。

$$\begin{aligned} \frac{d^2\bar{\varphi}}{d\bar{t}^2} + 2\xi \frac{d\bar{\varphi}}{d\bar{t}} + \{\bar{i}_1 \cdot \bar{T}(\bar{\varphi} - \pi/3) + \bar{i}_2 \cdot \bar{T}(\bar{\varphi} + \pi/3) + \bar{i}_3 \cdot \bar{T}(\bar{\varphi} + \pi)\} \\ = -\bar{T}_q \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{d\bar{i}_1}{d\bar{t}} + \frac{R \cdot i_{max}}{\omega_n \cdot \Phi_{max}} \frac{\partial\bar{\Phi}}{\partial\bar{i}_1} \bar{i}_1$$

$$= \frac{E}{\omega_n \cdot \Phi_{max}} \frac{\partial\bar{\Phi}}{\partial\bar{\varphi}} \frac{d\bar{\varphi}}{d\bar{t}} \quad (8)$$

$$\frac{d\bar{i}_2}{d\bar{t}} + \frac{R \cdot i_{max}}{\omega_n \cdot \Phi_{max}} \frac{\partial\bar{\Phi}}{\partial\bar{i}_2} \bar{i}_2$$

$$= \frac{E}{\omega_n \cdot \Phi_{max}} \frac{\partial\bar{\Phi}}{\partial\bar{\varphi}} \frac{d\bar{\varphi}}{d\bar{t}} \quad (9)$$

$$\frac{d\bar{i}_3}{d\bar{t}} + \frac{R \cdot i_{max}}{\omega_n \cdot \Phi_{max}} \bar{i}_3 = -\frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \bar{\varphi}} \cdot \frac{d\bar{\varphi}}{d\bar{t}} - \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \bar{i}_3} \tag{10}$$

ここに、 $2\pi\theta/3\theta_p = \bar{\varphi}$ 、 $T/T_{max} = \bar{T}$ (飽和電流におけるトルクの最大値を T_{max} とする)、 $i_j/i_{max} = \bar{i}_j$ 、 $\Phi/\Phi_{max} = \bar{\Phi}$ 、

$$\omega_n = \sqrt{2\pi \cdot T_{max} \cdot i_{max} / 3\theta_p J}, \quad \omega_n \bar{t} = \bar{t},$$

$$2\zeta = C/J\omega_n, \quad 2\pi \cdot T_q / 3\theta_p J \omega_n = \bar{T}_q$$

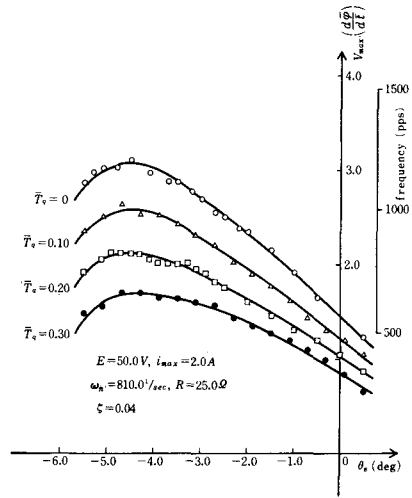


図6 定常回転時におけるシミュレーション結果

である。また $\partial \bar{\Phi} / \partial \bar{i}_j$ 、 $\partial \bar{\Phi} / \partial \bar{\varphi}$ は、図4に示した3次元曲面を局部的平面近似することにより求める。

6. 起動時、定常回転時のシミュレーション

任意の負荷トルクのもとで、切換角位置 θ_0 、初速度を V_0 とし、 ζ を一定として (θ_0 、 V_0) から1ステップごとに演算を行ない定常回転時に到達するまで、これを繰り返す。また θ_0 を変化させることにより切換時における角速度 V_0 を最大ならしめる θ_0 を θ_{opt} とする。以上より図5、図6、図7、表1、に示す関係が得られる。

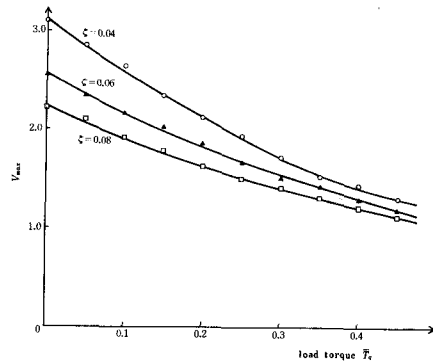


図7 負荷トルクと角速度の関係

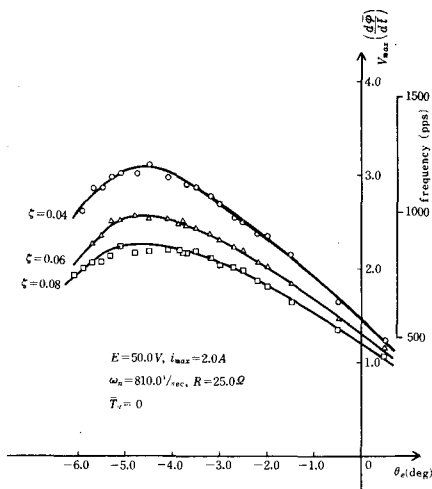


図5 定常回転時におけるシミュレーション結果

表1 負荷トルク \bar{T}_q と角速度 V_{max} の関係

\bar{T}_q	ζ	θ_{opt}	V_{max}
0	0.04	-12.0	3.119
	0.06	-12.2	2.563
	0.08	-12.6	2.226
0.10	0.04	-12.2	2.645
	0.06	-12.0	2.151
	0.08	-12.0	1.929
0.20	0.04	-12.4	2.117
	0.06	-11.8	1.858
	0.08	-11.6	1.621
0.30	0.04	-11.6	1.714
	0.06	-11.4	1.512
	0.08	-11.6	1.406

7. 停止時のシミュレーション

以上より任意の負荷トルクのもとでの θ_{opt} とそれに対する V_{max} は決定できた。次に、この定常回転状態から安定に停止させる方法（乱調現象のない停止方法）として遅延パルスを用いた方法を示す。角位置 $\theta_0 = \theta_{opt}$ からロータが1ステップ回転したとき、次のパルスを遅延した場合にはトルク切換点が θ_0 から θ_1 に変化する。そして斜線部が逆トルクとして働き、ブレーキ効果を呈する。（図8）

このような方法で、適当な遅延時間でパルス位相をずらすことによって乱調現象なしに停止できる。シミュレーション結果を、図9、図10、図11、に示す。また、そのときの trajectory を図12、に示す。以上より、安定領域における遅延時間、遅延パルス数を設定することにより、乱調現象なしに停止することが確かめられた。

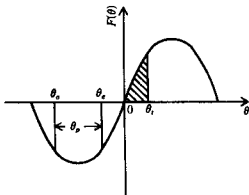


図8 トルク曲線説明図
 $F(\theta)$: static torque curve
 θ : angular position of rotor
 θ_0 : switching point
 θ_1 : 1 pitch of pulse motor(deg)
 θ_s : $\theta_1 - \theta_0$
 θ_2 : switching point of delayed pulse

$\zeta = 0.04$
$\bar{T}_s = 0.10$
○ Stable behavior
● Over run

ζ	0.06
\bar{T}_s	0
delay time (msec)	0.37
the number of delayed pulses	2
delayed switching point	×

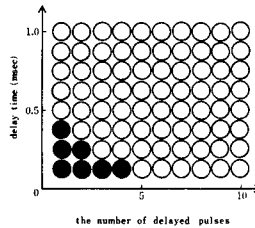


図11 停止時におけるシミュレーション結果(3)

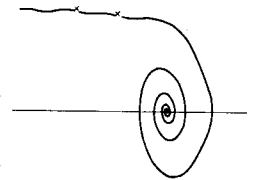


図12 停止時における位相面図

8. 実験

8.1 実験装置

定角位置におけるパルスの発生は、円板に θ_0 (7.5°) 間隔でスリットをもうけ、ロータの平衡位置と角度 θ_0 だけずらせてセットする。そして外部より1パルスを加えることにより起動させる。ここで負荷トルクは0の場合のみ実験を行なう。（図13）

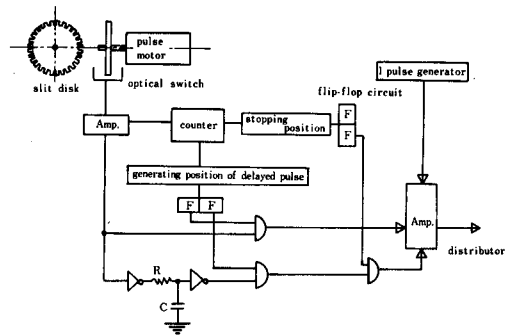


図13 実験構成図

8.2 起動時、定常回転時の実験

この実験においては、図13のカウンタの部分、遅延回路の部分は取除き、オプティカル・スイッチからの出力は直接分配器へ導く。また、切換位置の調節は、ロータ軸とスリット円板をずらせることにより行ない、その計測にはマイクロメータを用いた。

$\zeta = 0.04$
$\bar{T}_s = 0$
○ Stable behavior
● Over run

$\zeta = 0.04$
$\bar{T}_s = 0.05$
○ Stable behavior
● Over run

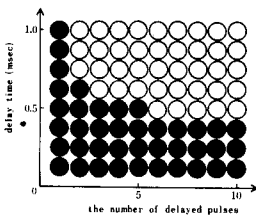


図9 停止時におけるシミュレーション結果(1)

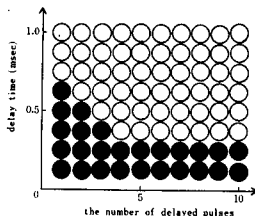


図10 停止時におけるシミュレーション結果(2)

そして、到達した周波数は、ユニバーサル・カウンタにより測定した。図14に実験結果を示す。

これより切換角位置 $|\theta_e|$ が小さいとき、 θ_e と定常周波数の関係は理論値と実験値が比較的一致していることがわかった。 $|\theta_e|$ の変位が大きくなるにつれて誤差が大きくなってきている原因は、 ξ がもはや定数ではなくなるからであると考えられる。

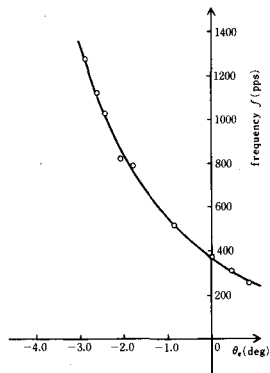


図14 定常回転時における実験結果

8.3 停止時の実験

8.2 より得られた θ_{opt} , f_{max} の状態から遅延パルスを用い乱調現象なしに停止を試みる。図13よりカウンタの遅延パルス発生目標値, 停止目標値にそれぞれ任意の値を代入し実験を行なう。具体的には, 1パルス発生器からの入力でパルスモータは始動し, 遅延パルス発生目標値まで到達する。するとフリップ・フロップからの出力で今までの経路は OFF の状態となり, 遅延装置を含む経路のみが ON の状態となる。ここでパルスの遅延が行なわれ, 停止目標値では, 入力パルスの全経路が OFF の状態となりパルスモータは停止する。以上より負荷トルク 0 の場合, 遅延時間 4.25 msec, 遅延パルス数 9 で乱調現象なしに停止することが確かめられた。

9. 結 論

一般に, 定角位置切換方式の長所として,

- (1) 起動時において乱調現象が存在しないこと。
- (2) 定周波数切換方式と比較して, 定常回転時において高い周波数で安定であること。

などが上げられる。逆に短所としては,

- (1) 停止時においては, 高い周波数のため乱調(行き過ぎ)を生じやすいこと。
- (2) 速度制御が不可能となること。

などが上げられる。

本研究では, この一般の定角位置切換方式の長所を十分生かし, 遅延パルスの方式を導入することによって停止時の乱調現象も克服し, また速度制御も可能であることが確かめられた。

また, 負荷トルクの変動に対する挙動も十分把握することができ, この方式の実用性が確かめられた。

文 献

- (1) 相羽・大橋: 定角位置切換方式を用いたパルスモータの安定性, 第14回 SICE 学術講演会論文集, p. 409-410 (1975)
- (2) 相羽・大橋: 定角位置切換方式を用いたパルスモータの動特性, 第18回自動制御連合講演会論文集, p. 299-300 (1975)
- (3) 大橋: 山梨大学工学部修士論文 (1976)
- (4) 相羽: 電気パルスモータの安定性, 精密機械学会山梨地方講演会論文集, p. 59-66 (昭和47)
- (5) 大石・島・浅原: パルスモータの始動時の挙動, システムと制御, 15巻, 10号, p. 885-892 (1971)
- (6) 大石・島・山崎: パルスモータの定常挙動, 制御工学, 14巻, 8号, p. 609-616 (1970)
- (7) D. J. Robinson: Dynamic Analysis of Permanent Magnet Stepping Motors, NASA TN D-5094, March (1969)
- (8) 下谷・片岡: 位置帰還パルスで駆動されるステップモータの特性, Trans. I. E. E. J., Vol. 93-B, No. 8, p. 347-354 (1973)

ねじ旋削における断続法の自動化に関する研究

加 賀 勝 也
* 奥 島 啓 三

Study of Automation of the Intermittent Method in Screw Cutting

Katsuya KAGA

Keiji OKUSHIMA

In the interlocking method, there exists a difficulty in the kinetic energy absorption of the carriage. And in the on and off method, the existence of waiting time and the fatigue of the operators are problems one should not ignore. The present study aims at solving these problems by automating the on and off method.

First of all, the time required per cycle is considered, then the problematical points are considered comparing with the interlocking method. As a result, it is clarified that the required time is shortened by automating the on and off method.

1. 緒 言

人体および機械材料に対する安全領域内でのねじ旋削法としては、われわれは連動定速早もどり法がすぐれた方法であることを、すでに明らかにしてきた⁽¹⁾のであるが、この方法では往復台の運動エネルギーの吸収に難点がある。断続法によればこの点について配慮する必要はないが、待ち時間が存在するばかりでなく、現在の方法では手動で行なっているために疲労の点にも問題がある。

本研究はこれらの諸問題を解決するために、断続法に

ついて、自動化によって所要時間を減らす観点から考察することを目的とし、さらに待ち時間を減らす問題についても、解決の手がかりを得ようとするものである。

2. 断続自動もどり法

往復台を自動的に移動させる一つの方法として、図1のような場合を考える。

いま、もどり行程において、往復台の質量を M (kg)、往復台とベッドとの間の摩擦力を F (kgm/sec²)、および往復台を縦方向に押す力を K (kgm/sec²) とし、ねじ

* 京都大学工学部教授

切り長さを S (m) (または ℓ mm) とおくと次式が成立つ。

$$M \frac{d^2 s}{dt^2} + F = K$$

$$c = \frac{K - F}{M},$$

$$\frac{ds}{dt} = w$$

とおくと $\frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{dw}{dt}$ であるから $\frac{dw}{dt} = c$

$$t = 0 \text{ で } w = 0 \text{ を考慮すれば } w = ct \quad (1)$$

$$\therefore \frac{ds}{dt} = ct$$

$$t = 0 \text{ で } s = 0 \text{ を考慮すれば } s = \frac{ct^2}{2} \quad (2)$$

これより、

$$t = \sqrt{2s/c} = \sqrt{1/500c} \sqrt{\ell} = k\sqrt{\ell} \quad (3)$$

$$(1), (2) \text{ より } t \text{ を消去して } w = \sqrt{2cs}$$

$$1000w = u_a \text{ (もどり時の往復台の移動速度 mm/sec)}$$

$$\text{とおくと } u_a = 2\sqrt{500c} \sqrt{\ell} = 2\sqrt{\ell}/k \quad (4)$$

したがって、 $\ell - u_a$ 線図上では図2のような放物線を描く。

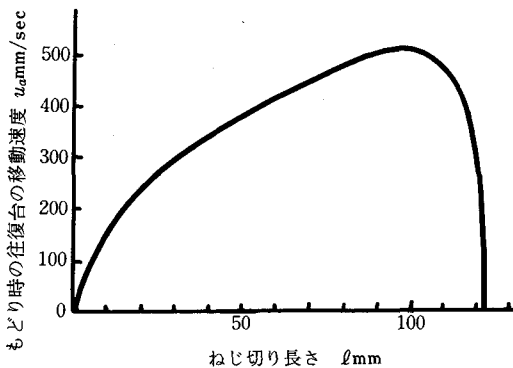


図2 $\ell - u_a$ 線図
(シリンダ直径 40mm, 供給圧力 2kg/cm²)

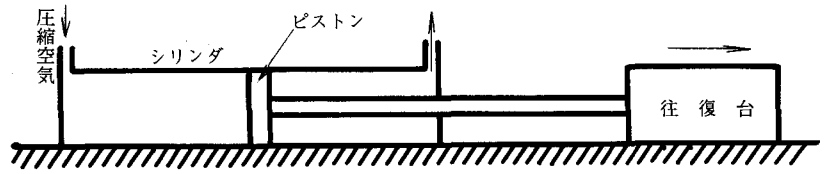


図1 断続自動もどり法における往復台のもどし方の一例

また、この方法での待ち時間なしの1サイクル当りの所要時間 T_1 (sec) は(3)式を考慮して次式で表わされる。

$$T_1 = \frac{\ell}{u} + k\sqrt{\ell} + t_1 \quad (5)$$

ここで、

t_1 : ねじの切り始め、および切り終わりにおける操作時間 (sec)

u : 切削時における往復台の平均移動速度 (mm/sec)

断続法においては、半割ナットを親ねじにかみ合わせるべき時期は周期的にやってくる。その周期 T_a (sec) は

$$T_a = \frac{L}{u} \quad (2)$$

ここで、

L : 合い印の合致する周期 T_a に対応するねじ切り長さ (mm)

図3は断続自動もどり法の1サイクル当りの所要時間を示したものであるが、(5)式の曲線が待ち時間なしの場合であり、階段状のグラフが待ち時間を含めた場合である。

自動化によって t を短縮し、さらに k の値を下げる (破線の場合は、実線の場合に対して、 M を $\frac{1}{2}$ に、 $(K-F)$ を5倍にとった) ことによって、1サイクル当りの所要時間を図中破線のように短縮することができる。

この図より考えられることは、ねじ切り長さの長いほど短縮の効果のあることである。なお、 k の値を下げることについては、つぎのことが必要である。

$$k = \sqrt{M/500(K-F)} \quad \text{であるから}$$

① 先ず、 M を小にする。すなわち、往復台を軽くする。

- ② K を大にする。すなわち、往復台を押しもどす力を強くする。
- ③ F を小にする。すなわち、往復台とベッドとの間の摩擦を減らす。

3. 連動定速早もどり法 に対する時間差

連動定速早もどり法における1サイクル当りの所要時間 T_2 (sec) は次式で表わされる。

$$T_2 = \left(\frac{1}{u} + \frac{1}{u_r}\right) \ell + t \quad (7)$$

ここで、

t_2 : ねじの切り始め、および切り終わりにける操作時間 (sec)

u_r : もどり時における往復台の平均移動速度 (mm/sec)

いま、簡単のために、待ち時間なしの1サイクル当りの所要時間について比較をする。

$$T_2 - T_1 = \frac{\ell}{u_r} + t_2 - (k\sqrt{\ell} + t_1) \quad (8)$$

$t_1 = t_2$ と仮定する。 $T_2 - T_1 = \tau$ として、 $\ell - \tau$ 線図を描くと図4のようになる。図より $\tau = y_1 - y_2$ であるから、 ℓ 軸上で A を境として A より長いねじ切り長さにおいては $\tau > 0$ 。すなわち、断続自動もどり法が時間的に有利になる。また、 A より短いねじ切り長さにおいては $\tau < 0$ となって連動定速もどり法が有利になる。 A の ℓ 座標 ℓ_1 は(8)式において $\tau = 0$ より

$$\ell_1 = k^2 u_r^2 = \frac{M u_r^2}{500(M - F)}$$

となるから、 M を小に(往復台を軽く)するほど、また K を大にする(往復台を押しす力の強い)ほど、さらに、 F を小にする(往復台とベッドの間の摩擦を減ら

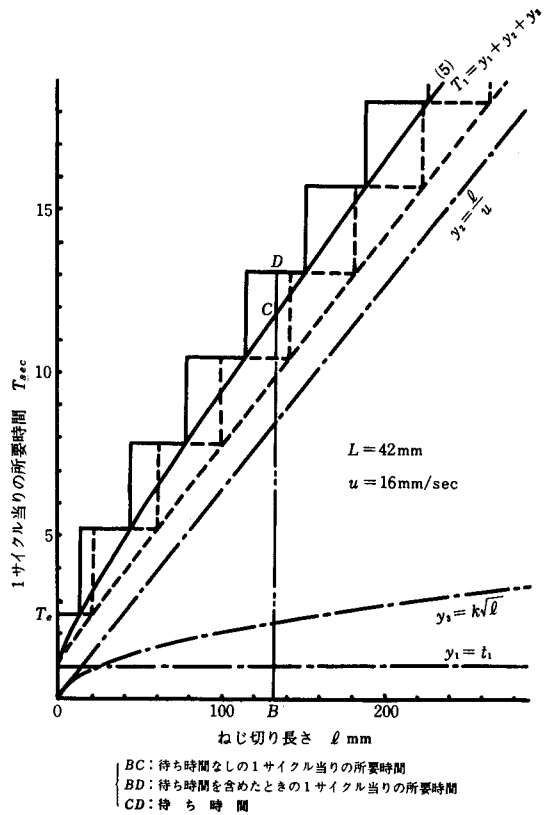


図3 断続自動もどり法の1サイクル当りの所要時間

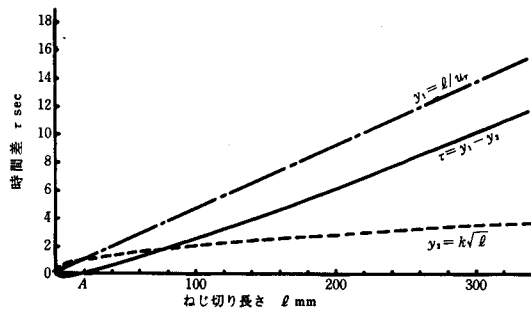


図4 $\ell - \tau$ 線図

す) ほど断続自動もどり法が有利になる。

これらの事柄は、結局 $M/500 (K-F)$ すなわち k^2 を小にすることであるから、図2の右上りの傾斜を急にすることになって、いままで連動定速もどり法について考えてきた危険領域内には入ることが考えられるので、無人機を前提として考えて行かなければならない。

4. 待ち時間

図3より明らかなように、待ち時間 CD の最大値はほぼ T_a (sec) になり、図5より各 L の値に対して算出できるが、 u の関数となるので、 u が先ず求められなければならない。

u は図6の $u-n-v$ 線図¹²⁾ より求めることができるので、この2つの線図より T_a を求めることができる。

この待ち時間の存在することが断続法の大きな問題点の1つである。そこで、 L の大きな場合に T_a を減らすためには、図5より u を高めることが必要で、断続法の場合でも親ねじは主軸と連動しているので、 u を高めることによって親ねじの回転が高まり、これとかみ合っているねじ追い車の回転を早めて、半割ナットを親ねじにかみ合わせる時期を早めることが必要である。

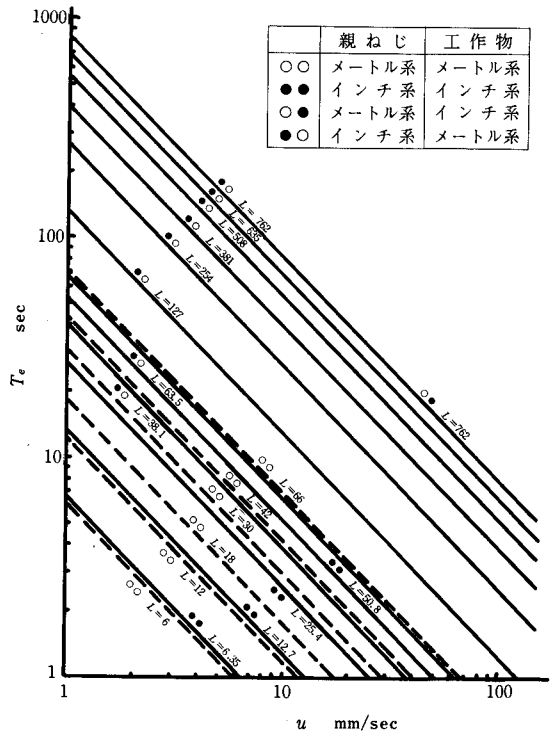


図5 T_a の値

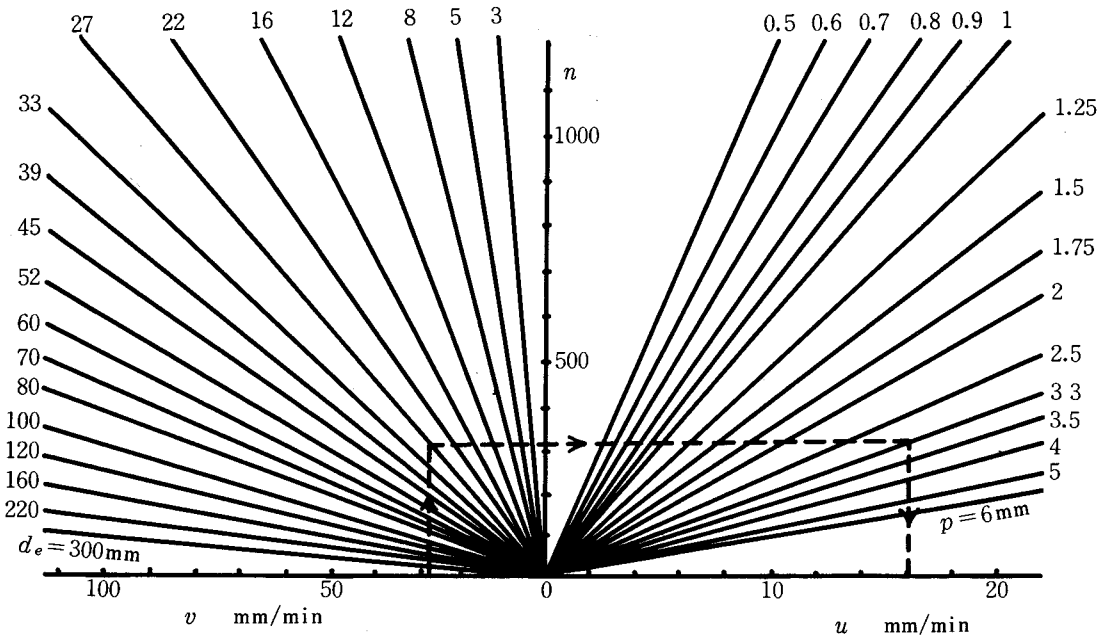


図6 $u-n-v$ 線図 (n : 主軸の毎分回転数, v : 切削速度)

5. 結 言

以上より下記の事柄が明らかになった。すなわち、断続自動もどり法において1サイクル当りの所要時間を短縮するには、つぎの4つの条件を高めるほど効果がある。

- (1) 自動化によって操作時間を短縮する。
- (2) 往復台を軽くする。
- (3) 往復台をもどす場合に押しもどす力を強くする。
- (4) 往復台とベッド間の摩擦を減らす。

また、連動定速もどり法と比較すると $l = \mu v^2 / 500 (K - F)$ よりも長いねじ切り長さの場合に断続自動もどり法が時間的に有利になるが、その有利さについては、やはり上記(1)~(4)の条件を高めるほど効果がある。

いずれの場合においても、ねじ切り長さの長いほど、以上の効果は一層大きくなる。

さらに、待ち時間について、その大きさを知らするための線図の作成法を明らかにしたが、この図より考えられる一つの方法は、待ち時間の長い場合には、親ねじの回転を早めてできるだけやく半割ナットかみ合わせ時期まで近づけることで、待ち時間短縮は今後の課題の1つである。

文 献

- (1) 加賀・奥島, 奈良高専研究紀要, 第10号, (昭49), 7.
- (2) 奥島・加賀, 機講論, No. 724-9 (昭47-11), 68.

有限要素法によるダイレス引抜き温度解析

小 畠 耕 二 ・ 関 口 秀 夫

An Analysis of Temperature Distribution in Dieless Drawing by Finite Element Method

Koji KOBATAKE and Hideo SEKIGUCHI

In dieless drawing, the heating temperature and the cooling rate are the most important factors which determine the success of the process, and the working limits strongly affected by the temperature configuration.

In order to know theoretically the working limit, the variations of temperature along the length of the material, and in the radial direction of the material, are calculated using the finite element method. As the result, the calculated values are in good agreements with the experimental values, and the adequacy of this analysis is ascertained.

1. はじめに

ダイレス引抜き基礎的研究⁽¹⁾⁻⁽³⁾においては、いかなる加工因子が、引抜きの可否にどのような影響をおよぼすのかを実験的な立場から検討するとともに、加工因子の適当な制御により良好な引抜きが行い得ることを明らかにした。

ダイレス引抜きの主な加工因子は、加熱温度、冷却速度、引張速度(V_1)、加熱域の移動速度(V_2)などで、断面減少率(r)については、 V_1 と V_2 のみによって決定される($r = V_1 / (V_1 + V_2)$)。また、加熱温度および冷却速度は、材料を破断させずに良好な引抜きを行い得るかを定める極めて重要な加工因子である。すなわち、加熱と冷却により生じる材料の変形部の温度分布を、どの程度まで実際に制御できるかによって加工限界(加工度、加工速度の限界)が決まる。ここで、図1に示すような、単純化したモデルにおいて、材料の変形前後の断面積を A_0 および A_1 とし、 $z = 0$ 、 z_1 の位置における材料の温度 T_0 、 T_1 に対する、歪速度を考慮に入れた

変形抵抗を σ_0 、 σ_1 とすれば、 z_1 において破断せしめないための条件は、 $A_0 \sigma_1 > F \geq A_0 \sigma_0$ (F は加工力)となる。したがって加工度の限界は、 σ_0 と σ_1 の比をどれ程にとり得るかによって決まり、破断させることなしに得られる断面減少率は、 $r = 1 - A_1 / A_0$ より、 $r < 1 - \sigma_0 / \sigma_1$ となる。また、ある任意の断面減少率における加工速度

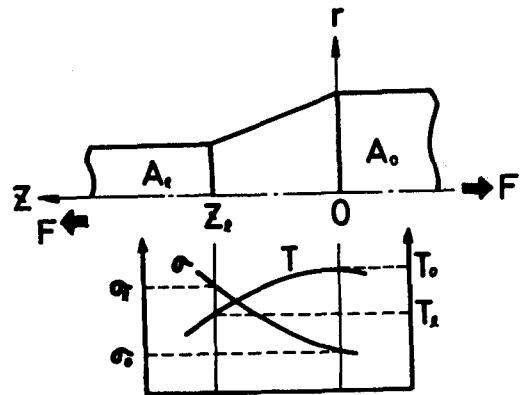


図1 変形部の温度分布と変形抵抗

の限界は $r < 1 - \sigma_o / \sigma_i$ を満足し得る最大の速度で、 σ_o / σ_i は加熱速度と冷却速度とによって決まる。

そこで、本研究では、加工限界を求めるための第1段階として、温度分布の解析を有限要素法を用いて行い、実験結果と対比させることからこの方法の有効性を確かめる。今後、こうした基礎的研究の結果から、理論的な加工限界を見きわめることができ、ダイレス引抜きの高速度を図るとともに、連続型ダイレス引抜き機的设计を合理的に行うことができる。

2. 理論解析

2.1 ダイレス引抜きのモデル化

空気冷却を用いたダイレス引抜きでは、図2に示すように材料の一端を固定し、他端を V_1 なる速度で引張る一方、加熱コイルと冷却装置を引張方向とは逆に移動させていた。そこで、温度分布を求めるための図2に相当するモデルとして図3を考える。すなわち、加熱コイルおよび冷却装置を固定し、変形部のプロファイルは直線であるとする。また、解析の複雑化を避けるため次のような仮定をおく。

- (1) 加熱および冷却は、図3のように、ある巾をもって均一に行なわれる。
- (2) 輻射損失は無いものとする。
- (3) 熱源は、表面に存在する。
- (4) 比熱、密度、熱伝達率、熱伝導率などは温度によ

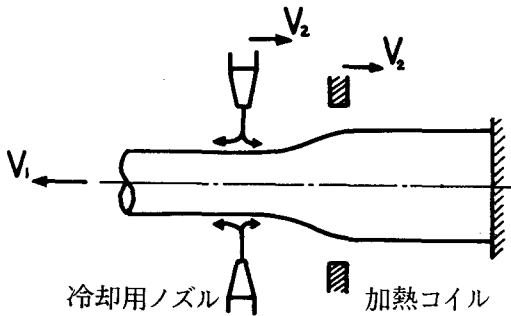


図2 ダイレス引抜き法

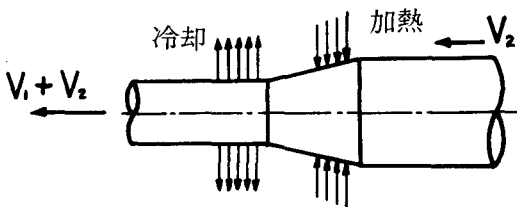


図3 ダイレス引抜きのモデル

らず一定と考える。

- (5) 塑性変形時に発生する材料内の変形熱は無視する。
- (6) 変形前における、材料の断面(平面)は、変形中および変形後も、平面として保たれる。

ここで、仮定の(6)より、変形部の微小要素の移動速度は、次のように考えられる。すなわち、図4において、変形部の i 番目の要素の移動速度 V_i は、変形前および変形部の i 番目の要素の断面積を πr_o^2 、 πr_i^2 とし、定時間中の変形前および変形中の体積が等しいとするならば、 $V_i r_i^2 = V_2 r_o^2$ で、したがって、

$$V_i = \left(\frac{r_o}{r_i} \right)^2 V_2 \quad (1)$$

となる。

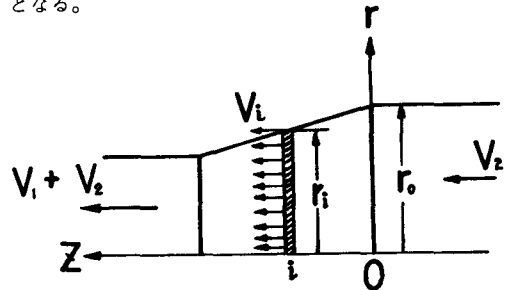


図4 材料の移動速度

2.2 ダイレス引抜きにおける熱伝導の基礎式と境界条件

温度分布を求めるために考慮されなければならない因子は、外部から流入する熱量、物体要素の移動速度ならびに冷却などである。これらを考慮したときの軸対称熱伝導問題における定常状態での熱伝導の基礎式と境界条件は、

$$\nabla \cdot (r \lambda \nabla T) - \nabla \cdot (r c \rho u T) = 0 \quad (2)$$

境界条件は、温度が境界 s_1 上で既知のとき(図5)、

$$T = T_{s_1} \quad (3)$$

変形部の境界 s_2 上で熱源 q_n が存在するとき、

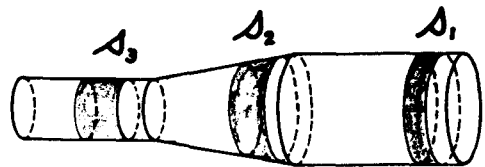


図5 境界条件

$$-N \cdot (\lambda \nabla T - c \rho T u) = q_n \quad (4)$$

変形後における境界 s_3 上で熱伝達が生じているとき、

$$-N \cdot (\lambda \nabla T - c \rho T u) = h(T - T_F) \quad (5)$$

となる。

ただし、 T : 温度、 λ : 熱伝導率、 h : 熱伝達率、 c : 比熱、 ρ : 密度、 T_F : 外部流体の温度、 q_n : 法線方向の熱量、 u : 速度ベクトル、 N : 法線方向の単位ベクトル、 t : 時間 である。

2.3 変分式

以上の熱伝導の基礎式と境界条件を満足する変分式は、次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \delta I = & \iint [\lambda \nabla T \cdot \nabla(\delta T) - (c \rho u T) \\ & \cdot \nabla(\delta T)] r dr dz + \int_{s_2} q_n \delta T \\ & \cdot r ds + \int_{s_3} h(T - T_F) \delta T r ds \quad (6) \end{aligned}$$

以下、この変分式を基に、これに有限要素法を適用して温度解析を行う。

2.4 有限要素法の適用

有限要素に分割された要素内の変分を δI_e とすると要素の領域内で式(6)は、 $\delta I_e = \delta I$ と書ける。ここで、要素内の温度 T_e は、形状関数ベクトル「 B 」とその要素の節点温度ベクトル「 \bar{T}_e 」で表わされて、

$$T_e = \text{「} B \text{」} \{ \bar{T}_e \} \quad (7)$$

となり、式(7)を式(6)に代入すると

$$\begin{aligned} \delta I_e = & \iint \left[\text{「} \delta T_e \text{」} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \text{「} B \text{」} \\ \frac{\partial}{\partial z} \text{「} B \text{」} \end{pmatrix}^T \right. \\ & \left. \left(\lambda \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \text{「} B \text{」} \\ \frac{\partial}{\partial z} \text{「} B \text{」} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c \rho u_r \text{「} B \text{」} \\ c \rho u_z \text{「} B \text{」} \end{pmatrix} \right) \right] \\ & r \{ \bar{T}_e \} dr dz + \int_{s_2} \text{「} \delta \bar{T}_e \text{」} q_n \text{「} B \text{」}^T \\ & r ds + \int_{s_3} \text{「} \delta T_e \text{」} h(\text{「} B \text{」}^T \cdot \text{「} B \text{」}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cdot \{ \bar{T}_e \} r ds - \int_{s_3} \text{「} \delta \bar{T}_e \text{」} h T_F \text{「} B \text{」}^T r ds \\ & \cdot \{ \bar{T}_e \} r ds \quad (8) \end{aligned}$$

ここで、 $\delta I_e = 0$ なる停留条件と「 δT_e 」が独立変数であることを考慮すると、式(8)は

$$\begin{aligned} & [S] \{ \bar{T}_e \} - [U] \{ \bar{T}_e \} + [H] \{ \bar{T}_e \} \\ & = \{ H_F \} - \{ Q_n \} \quad (9) \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} [S] = & \iint \left(\frac{\partial}{\partial r} \text{「} B \text{」} \right)^T \lambda \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \text{「} B \text{」} \\ \frac{\partial}{\partial z} \text{「} B \text{」} \end{pmatrix} r dr dz \\ [U] = & \iint \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \text{「} B \text{」} \\ \frac{\partial}{\partial z} \text{「} B \text{」} \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} c \rho u_r \text{「} B \text{」} \\ c \rho u_z \text{「} B \text{」} \end{pmatrix} r dr dz \\ [H] = & \int_{s_3} h \text{「} B \text{」}^T \text{「} B \text{」} r ds \\ [H_F] = & \int_{s_3} h \text{「} B \text{」}^T T_F r ds \\ [Q_n] = & \int_{s_2} \text{「} B \text{」}^T q_n r ds \quad (10) \end{aligned}$$

である。 u_r 、 u_z は、それぞれ半径方向および軸方向の速度成分であるが、2.1節で述べた仮定(6)より u_r は考慮しないことにする。

全体系の変分 $\delta \bar{I}$ は、

$$\delta \bar{I} = \sum_{e=1}^n \delta I_e \quad (n: \text{全要素数}) \quad (11)$$

で表わされ、全体系の変分の停留条件 $\delta \bar{I} = 0$ より、次の全体系のマトリックス表示が得られる。

$$[\bar{S} - \bar{U} + \bar{H}] \{ \bar{T} \} = \{ \bar{H}_F \} - \{ \bar{Q}_n \} \quad (12)$$

ただし、式中の「 $-$ 」は、全体系を示す。ゆえに、式(12)を解くことによって、各接点での温度を求めることができる。

2.5 要素分割

図6に、有限要素法を用いて計算する場合の要素分割を示す。総要素数は278、総接点数は185である。図6の左端における要素分割で、後尾を突出させたのは、後方に流れる熱量を一点に集中させ適当な有限の大きさで処理するためである。



図6 要素分割

3. 実験による供給熱量、熱伝達率の測定等について

計算上必要な供給熱量の値と変形させた後の空気冷却における熱伝達率を求めるために次の実験を行った。

3.1 供給熱量

直径7.2mm、高さ3.78mmの18-8ステンレス鋼を図7に示すように厚さ約2mmのアスベストで包んで高周波加熱コイルの中央部に置き、加熱出力をいろいろ変えて加熱した。試料の温度測定には、直径0.1mmのクロメル-アルメル熱電対を用いた。熱電対を試料の端面お

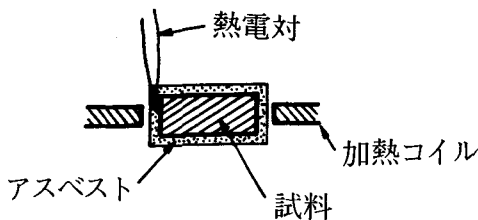


図7 供給熱量の測定方法

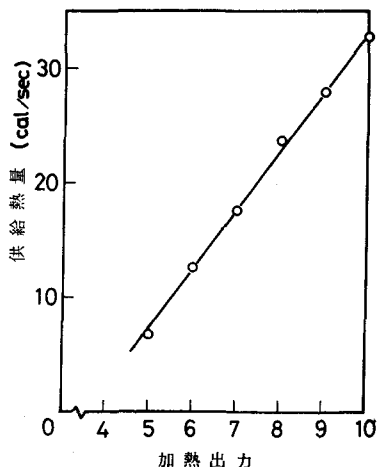


図8 加熱出力と供給熱量の関係

よび側面に取付けて、温度測定を行った結果、それらにはほとんど差はなく、また温度上昇は時間tに対し直線的である。以上の実験で求めた加熱速度(T/t)の熱量への換算は、次の通りである。

$$q_{in} = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \tag{13}$$

試料の体積をVとすると、単位時間当りに試料に流入する熱量Qは、

$$Q = V \cdot q_{in} = Vc\rho \frac{\partial T}{\partial t} \tag{14}$$

となり、ここで加熱速度は直線的であるので $\partial T/\partial t = T/t$ で、式(14)は、

$$Q = Vc\rho \frac{T}{t} \tag{15}$$

となる。図8は、各出力(最大出力3Kwを10とする)における供給熱量を示す。ただし、 $V = 0.154 \text{ cm}^3$ 、 $\rho =$

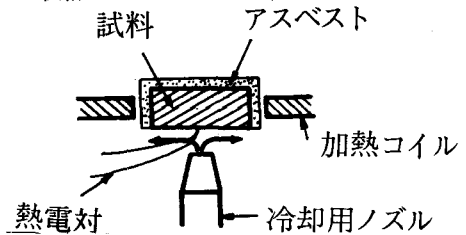


図9 熱伝達率の測定方法

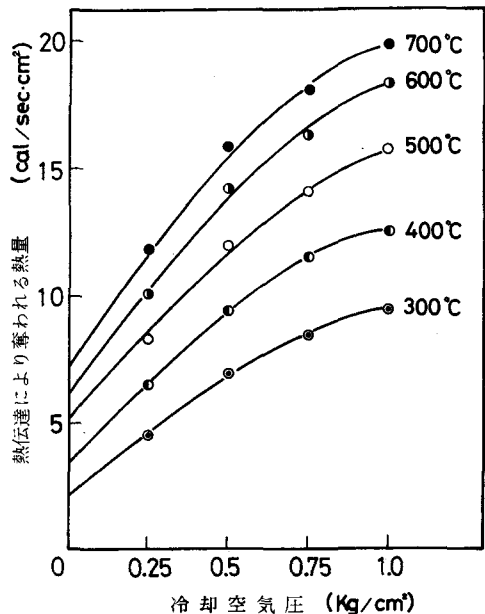


図10 冷却空気圧と熱伝達により奪われる熱量

8.03 g/cm³, $c = 0.134 \text{ cal/g}^\circ\text{C} (800^\circ\text{C})$ 。

3.2 熱伝達率

熱伝達率を求めるために、直径7.2mm、高さ3.71mmの18-8ステンレス鋼の試料を図9のように一端だけを露出させ、まわりをアスベストで包んだ。冷却空気を噴出させる一方、加熱を行い、冷却の表面温度が一定(定常)になるよう加熱出力を調整した。図10は表面温度 T をパラメータとして、冷却空気圧と熱伝達による単位時間、単位面積に奪われる熱量 q_{out} の関係を示す。なお、熱伝達率 h は、次式により求めた。

$$h = \frac{q_{out}}{T - T_F} \quad (16)$$

3.3 ダイレス引抜き

実験に使用した材料は、直径8mmの18-8ステンレス鋼で、引抜き中の加熱は最大出力で行った。加熱コイルの内径は12mmで、巾は2mmである。また、対称に4個配置した冷却ノズルの噴出口の直径は、1mmである。コイルと冷却ノズルの間隔は、11.0mmとした。引抜き中の材料の表面温度の測定には、クロメル-アルメル熱電対を用いた。

4. 計算および実験結果について

図11は、断面減少率30.6% ($V_1 = 15 \text{ mm/min}$, $V_2 = 34 \text{ mm/min}$)における引抜き中の材料表面の軸方向の温度分布と有限要素法を用いて計算した結果を示したものである。計算に当っては、変形部のプロファイルを図11(下)に示すように直線(破線)とした。また、この計算で用いた各々の値を以下に示す。 $Q = 32.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$, $\lambda = 0.051 \text{ cal/cm} \cdot \text{sec}^\circ\text{C}$, $\rho = 0.83 \text{ g/cm}^3$, $c = 0.144 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, $h = 0.013 \text{ cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{C}$, $T_F = 20^\circ\text{C}$, $T_s = 20^\circ\text{C}$ 。供給熱量は、コイル中心($Z = 2 \text{ mm}$)から左右2mmの領域に一様に与えられているとし、また冷却による熱伝達はノズルの中心($Z = 14.5 \text{ mm}$)から左右それぞれ5.5mmの領域におけるとした。変形開始点の前方95mmの位置における温度を境界条件 T_s 、とし 20°C にとった。実験値に対し、計算値は、最高温度が若干高く(40°C程度)ピーク値が、変形開始点の方向に少しずれているがほぼ実験値の傾向と一致している。図12は、材料内部の計算による温度分布を示したもので、表面の温度が最高値を示す位置($Z = 3 \text{ mm}$)での中心部の温度は、約 800°C で、表面との温度差は、約 140°C であることを示している。しかし、変形させた後では、半径方向の温度差はない。

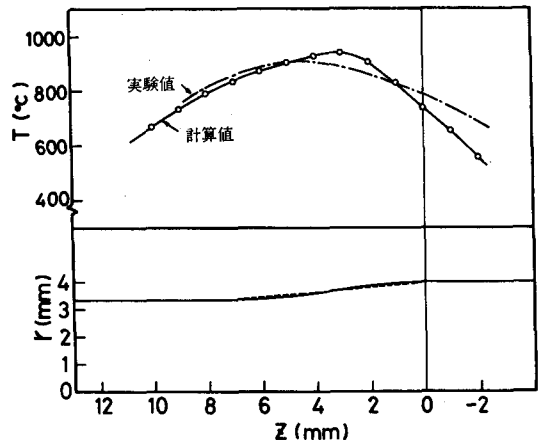


図11 温度分布(実験値と計算値)

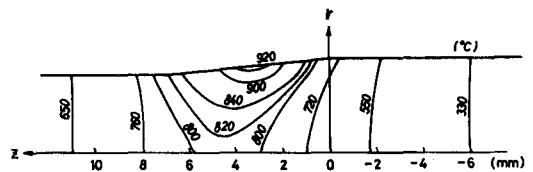


図12 材料内の温度分布

5. おわりに

計算値は、実験値に対し良い一致を示し、温度解析における計算の妥当性が確かめられた。今後、これらの計算手法を用いて、加工度、加工速度の増加に伴う、温度分布に与える影響を調べるとともに、はじめに述べた加工限界の追求に対する観点から、実験により求めた変形抵抗を用いて、加工度および加工速度の限界を明らかにする。本研究は、阿南高専吉川勝幸氏との共同研究の成果の一部を含んでおり、また、研究を進めるにあたって有益な御指導を頂いた京都大学工学部大矢根守哉教授と神戸大学工学部小坂田宏道助教授にお礼申し上げる。

文 献

- (1) 小島他2名: 24回塑加連講論(1974), 237
- (2) Sekiguchi, H. 他2名: Proceeding of M. T. D. R., 15 (1974).
- (3) 関口他2名: 塑性と加工, Vol.17, No.180 (1976).

直線的に配列された3円孔を持つ無限平板の応力集中係数

塩田 治雄 ・ 水嶋 巖

On the Stress Concentration Factor in an Infinite Plate with Three Circular Holes Arranged on a Straight Line

Osamu SHIOTA
Iwao MIZUSHIMA

The stress concentration problem of an infinite plate with three circular holes, which have identical diameters and are arranged in equidistance on a straight line, is treated by a numerical method. In this case, the infinite plate is subjected to uniaxial tensile force or pure shearing force, and the stress concentration factors are calculated by the method in which the general form of the stress function expressed in the polar co-ordinates is recurrently utilized. The influences of the arrangements of three holes on the stress concentration are considered in the next two cases; the distance from one hole to other hole is changed and the angle between the line connected with each center of holes and the tensile direction is varied. The stress concentration factors are also summarized in diagrams in the interests of practical designs.

1. ま え が き

円孔を持つ平板の応力集中問題は設計上重要な基礎的問題である。1個の円孔を持つ無限平板が一様引張りを受ける場合の応力分布はすでに求められている。⁽¹⁾ また円孔が2個の場合については、多くの研究^{(2)~(5)}が行なわれており、筆者の1人⁽⁶⁾も取扱っている。しかし3個の円孔が直線的に配列された場合については、まだ計算例がないようである。

浜田ら^{(6)~(9)}は、このような多円孔を持つ無限平板の応力集中問題に対して、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な方法であることを述べ、多くの円孔が種々に配列された場合の問題を解いている。

そこで本報では、一様引張りを受ける無限平板に大きさの等しい3個の円孔が直線的に等間隔に配列される場合の問題を、浜田ら^{(6)~(9)}の方法で解き、円孔の中心間距離と円孔列の方向を種々に変えて一連の応力集中係数値を求め図示する。また円孔列の方向に一様せん断力を

受ける場合も取扱う。

2. 解 法

ここに用いる解法は浜田ら^{(6)~(9)}と同じ方法である。すなわち極座標で表わした応力関数の一般形を用い、重ね合わせの方法で本問題を解く。

図1~3の各線図中に示すように各円孔に番号1, 2, 3を付す。円孔1の周縁にある応力分布を与えるとき、円孔2または円孔3の周縁に生ずる各応力成分を $\{(\sigma_r)_{12}, (\sigma_\theta)_{12}, (\tau_{r\theta})_{12}\}$ または $\{(\sigma_r)_{13}, (\sigma_\theta)_{13}, (\tau_{r\theta})_{13}\}$ とする。円孔2または円孔3の周縁にある応力分布を与えるとき、他の円孔周縁に生ずる各応力成分を上と同様の記号(たとえば $\{(\sigma_r)_{21}, (\sigma_\theta)_{21}, (\tau_{r\theta})_{21}\}$ など)を用いる。またこれらの記号の右肩につく添字(ℓ)は ℓ 回目繰返し計算における各量であることを表わす。

さて円孔のない場合の一様引張状態において、円孔1の周縁に生ずる応力を打消するような応力分布 $\{-(\sigma_r)^{(1)}, -(\tau_{r\theta})^{(1)}\}$ をこの位置に与える。また同様に円孔のない場

合の一樣引張状態において、円孔2および円孔3の周縁に生ずる応力を打消すような応力分布をそれぞれの円孔周縁の位置に与える。そしてこれらを重ね合わせると円孔1の周縁の位置ではつぎの応力分布が残ることになる。

$$\left. \begin{aligned} (\sigma_r)_1^{(2)} &= (\sigma_r)_{21}^{(1)} + (\sigma_r)_{31}^{(1)} \\ (\tau_{r\theta})_1^{(2)} &= (\tau_{r\theta})_{21}^{(1)} + (\tau_{r\theta})_{31}^{(1)} \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

同様にして円孔2および円孔3の周縁の位置では $\{(\sigma_r)_2^{(2)}, (\tau_{r\theta})_2^{(2)}\}$ および $\{(\sigma_r)_3^{(2)}, (\tau_{r\theta})_3^{(2)}\}$ の応力分布が残る。つぎに、これらの周縁応力の分布を調和解析法によって調和級数の形に表わしたのち、これらを打消すように円孔周縁に応力分布を与えて $\{(\sigma_r)_1^{(3)}, (\tau_{r\theta})_1^{(3)}\}$, $\{(\sigma_r)_2^{(3)}, (\tau_{r\theta})_2^{(3)}\}$, $\{(\sigma_r)_3^{(3)}, (\tau_{r\theta})_3^{(3)}\}$ を計算する。以下この手続きを繰返して円孔周縁の境界条件が満たされるようにする。

3. 計算結果および考察

図1~3の各線図中に示すように円孔の半径を1とし、これに対して円孔の中心間距離をλとする。また円孔列の方向と一樣引張方向とのなす角をζとする。数値計算に際しては、ζを0°, 45°, 90°に変え、またλも2.5か

ら10まで種々に変えて円孔周縁の応力値を求めた。無限遠における引張応力をσ₀、円孔周縁に生ずる最大応力をσ_{0max}とし、応力集中係数 $K = \sigma_{0max}/\sigma_0$ とλの関係を図1に示す。なお計算に際しては、円孔周縁を180等分して、それらの各点の応力値を求め、これらのうち最大の値をσ_{0max}とした。

つぎにζの影響について考えるために、λ = 3.5 および5と一定にしてζを0°から90°まで種々に変えて計算を行ない、Kとζの関係を求め図2に示す。この図よりλが3.5から5の範囲では、つぎのことがわかる。

- (1) ζが約60°の付近でKの値は最大となり、ζが0°でKの値は最小となる。
- (2) 円孔1の場合、ζが約18°より小さい範囲でKの値は3以下となる。また円孔2の場合、ζが約30°より小さい範囲でKの値は3以下となる。すなわち1円孔の場合に比べて円孔周縁の応力は全般的に低下し、円孔がたがいに応力集中緩和の作用をする。
- (3) ζが約38°より大きい範囲では、Kの値は円孔1と円孔2であまり差が見られない。しかしζが約38°より小さい範囲では、Kの値は円孔1の方が円孔2よりも著しく大きくなる。

図3には円孔列の方向と一樣せん断力を受ける場合のKとλの関係を示す。一樣せん断力を受ける場合は、たがいに直交する2方向に大きさの等しい引張力と圧縮力

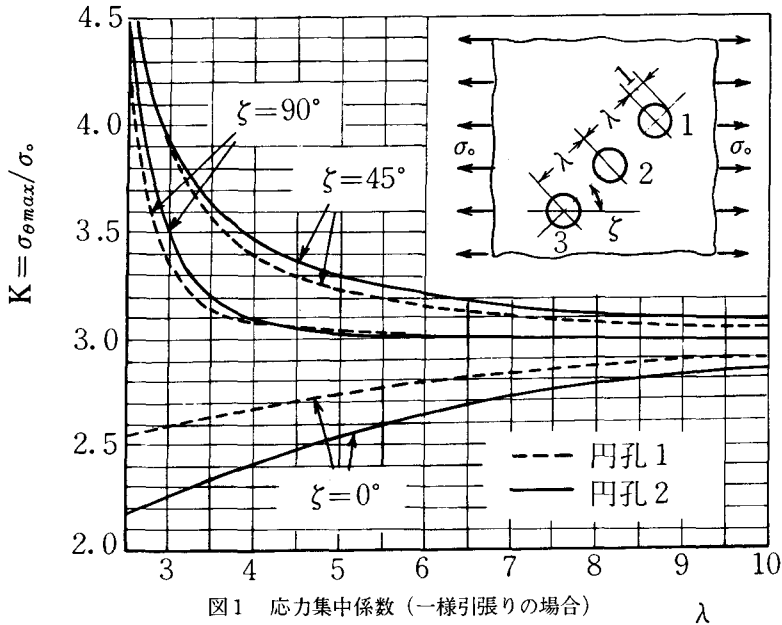


図1 応力集中係数 (一樣引張りの場合)

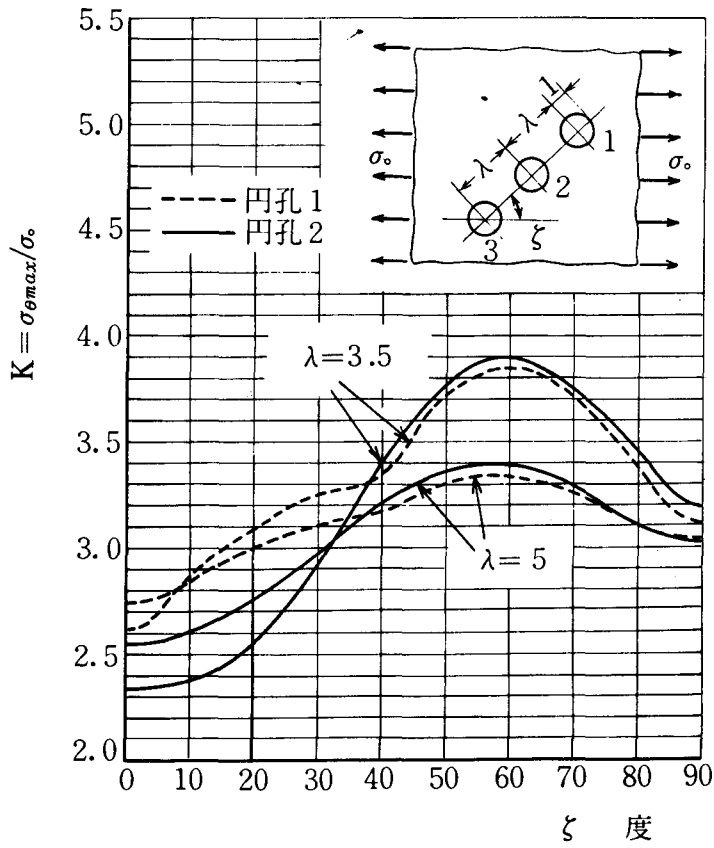


図2 Kと ζ の関係

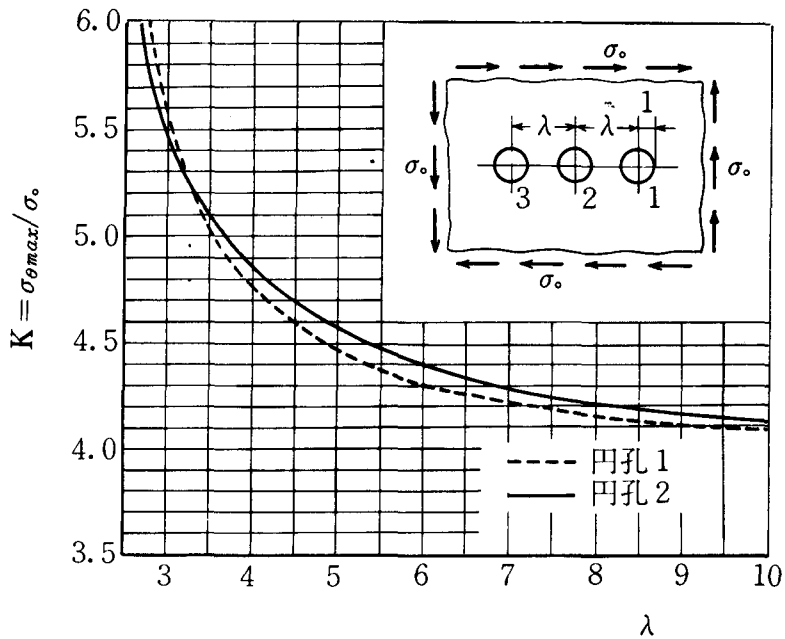


図3 応力集中係数 (一様せん断の場合)

を受ける場合に等しいので、上述の計算結果を用いて円孔周縁の各応力値を求めた。

本解法の誤差の原因としては、つぎの各項目が考えられる。

- (1) 調和解析をするときの項数
- (2) 円孔周縁の等分数
- (3) 重ね合わせの繰返し数

これらによる誤差の程度を十分に検討して、99.5%以上の精度の解を得ることができた。

4. あとがき

一様引張りを受ける無限平板に大きさの等しい3個の円孔が直線的に等間隔に配列される場合の応力集中係数値を、円孔の中心間距離と円孔列の方向を種々に変えて求め、設計上役立つと思われる線図を得た。また円孔列の方向の影響についても調べ、円孔列の方向と引張方向とのなす角が約 60° 付近で応力集中係数値は最大になることがわかった。さらに円孔列の方向に一様せん断力を受ける場合の応力集中係数値も求め図示した。

文 献

- (1) 西田, 応力集中, (昭42), 217, 森北出版.
- (2) 横田, 東京帝国大学工学部紀要, 20-4 (昭7-3), 101.
- (3) 鶴戸口, 応用数学力学, 1-1 (昭22-6), 14; 1-2 (昭22-7), 61.
- (4) Ling, C. B., J. Appl. Phys., 19 (1948), 78.
- (5) 宮尾・岩城, 機講論, No. 204 (昭44-4), 53.
- (6) 浜田・ほか2名, 機論, 37-299 (昭46-7), 1305.
- (7) 浜田・ほか3名, 機論, 36-288 (昭45-8), 1336.
- (8) 浜田・ほか2名, 機論, 38-313 (昭47-9), 2243.
- (9) 浜田・水嶋, 機論, 39-322 (昭48-6), 1846.

ディーゼル機関排気圧の変動について

島内 一郎 ・ 中田 敏夫

On a Fluctuation of Exhaust Pressure of Diesel Engine

Ichiro SHIMAUCHI and Toshio NAKATA

In a supercharged engine by a static pressure system, the out-put is considerably affected by such effects as the pulsation and interference of an exhaust gas from cylinders. The exhaust pressure wave is measured with a single cylinder engine and the flow properties of a gas in an exhaust pipe (i.e., propagation velocity, temperature, maximum pressure of propagation and its decrement) are discussed in the present paper. The results obtained can be employed for the qualitative improvement of the volumetric and charging efficiency of a diesel engine.

1. 緒 言

最近のディーゼル機関は熱効率の改善をはかるため高過給に設計されており、過給方式も静圧過給方式が多く採用される傾向にある。この方式の構造は排気管を容積の大きな1本のものとし、そこへシリンダからの排気ガスを導き、その熱エネルギーを過給機の動力源として利用するものである。そのため機関では、吸・排気管内、特に排気管内での脈動効果、各シリンダへの排気干渉が出力に大きな影響をおよぼす。そこで、本研究は空冷単シリンダ4サイクルディーゼル機関を用いて、排気管内における圧力波の波形、進行速度、最高圧力、およびその減衰状況を測定し考察を行ったものである。

2. 記 号

a	: 音速	m/S
c_p	: 定圧比熱	Kcal/kg $^{\circ}$ K
c_v	: 定容比熱	Kcal/kg $^{\circ}$ K
g	: 重力加速度	m/S 2
K	: 体積弾性率	kg/m 2
P	: 圧力	kg/cm 2
R	: ガス定数	kgm/kg $^{\circ}$ K
T	: 絶対温度	$^{\circ}$ K
t	: 時間の座標	

u	: 流れの速度	m/S
v	: 比容積	m 3 /kg
x	: ガス流方向の座標	
k	: 比熱比	
γ	: 比重量	kg/m 3
ρ	: 密度	kgS/m 4

3. 排気管内排気ガスの運動

ディーゼル機関において、その排気管内で発生した圧力波は、ほぼ音速で管の両側に伝ばしていき、それは縦波である。空気中を伝わる縦波の速さは次式で与えられる。

$$a = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (1)$$

普通、音といわれるものは空気の振動に伴って、各部分では密度がすみやかに変わる。しかし、その間に熱が伝導するひまがないと考えられる。すなわち空気の各部分は断熱的に密度変化を行う。排気ガスを理想気体と考えると次の関係がなりたつ。

$$\left. \begin{aligned} P v^k &= \text{一定} \\ k &= C_p / C_v \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

これから体積弾性率 $K=dP/(-dv/v)$ を計算すると、

$$K = kP \tag{3}$$

この式(3)と $P=\rho gRT$, $c_p=k \cdot R/(k-1)$ により、式(1)は次のようになる。

$$a = \sqrt{gkRT} \tag{4}$$

このことは、Eudress が一端が閉鎖された管に伝わる圧力波の進行、反射および一端が全開された管に伝わる圧力波の進行に関して、式(4)を用いて計算し、図解説明している。⁽¹⁾

4. 非圧縮性流体の非定常流の解析

本研究は、圧力波の伝ばを考慮に入れた脈動理論、すなわち非圧縮性流体の非定常流の理論解析を行う。排気脈動に関する研究は Jenny⁽²⁾, Seifert⁽³⁾ らによる特性曲線法、内田⁽⁴⁾ による流線解析法があり、電子計算機による研究では、八田⁽⁵⁾, 塚原⁽⁶⁾, 東⁽⁷⁾ らによって発表されている。

4.1 非圧縮性流体の非定常流の一次流れの解析

管内のガスによる摩擦、外部への熱伝達、ガスの分子の摩擦は無視する。また、排気管が細いので次元として取り扱う。いま、排気管の長手方向に x 座標をとると、この系における連続の式は

$$\rho \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \tag{5}$$

運動の式は

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{2}{k-1} \frac{\partial a}{\partial x} = 0 \tag{6}$$

従属変数 u, ρ, P と $a^2 = kP/\rho$, $P\rho^{-k}$ =一定の関係を用いると次式が導かれる。

$$a \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{2}{k-1} \left(\frac{\partial a}{\partial t} + u \frac{\partial a}{\partial x} \right) = 0 \tag{7}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{2}{k-1} \frac{\partial a}{\partial x} = 0 \tag{8}$$

4.2 非圧縮性流体の非定常流における特性方向および特性方程式

図1において、 $t=t_1$ における圧力波動の断面をもとにして $t=t+\Delta t$ の波動断面を作る場合を考える。

$t=t_1$ における波が A, B の斜線で示すような素波の集合であるとすれば、 A, B はそれぞれ

前方、後方に向って l_A, l'_A ならびに l_B, l'_B に沿って伝達される。音速 a における素波は l_A, l_B に沿って伝達された情報からきまる。さて、特性曲線法では特性方向で積分を行い、図2のような三角形に近い図形を集めて積分曲面をうる。次に特性方向のもとの方を述べると次のようになる。いま、式(8)に λ を乗じ、これを式(7)に加えると次式となる。

$$\left\{ \frac{\partial u}{\partial t} + (u + \lambda a) \frac{\partial u}{\partial x} \right\} + \frac{2}{k-1} \lambda \left\{ \frac{\partial a}{\partial t} + \left(\frac{\lambda u + a}{\lambda} \right) \frac{\partial a}{\partial x} \right\} = 0 \tag{9}$$

この場合に λ を任意の値とすると、一般の代数方程式では必ず成立することである。

さて式(7), (8)の連立方程式を解いて積分曲面が次の形で得られたとする。

$$u = u(x, t) \tag{10}$$

$$a = a(x, t) \tag{11}$$

$$\Delta u = du = \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{dx}{dt} \right) dt \tag{12}$$

$$\Delta a = da = \left(\frac{\partial a}{\partial t} + \frac{\partial a}{\partial x} \frac{dx}{dt} \right) dt \tag{13}$$

いま式(9)において、 $u + \lambda a = dx/dt$, $(\lambda u + a)/\lambda = dx/dt$ とし、式(12), (13)を用いて整理すると、

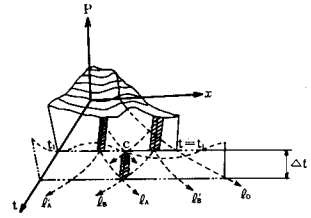


図1 P-x-t線図

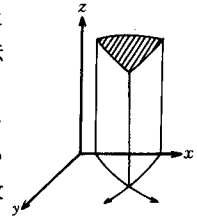


図2 特性曲線法による積分の場合

$$du + \frac{2}{k-1} \lambda da = 0 \tag{14}$$

すなわち、求められた積分曲線上では式(14)が成立する。ところで、 λ の値を任意としたが、積分曲面上では $\lambda = \pm 1$ が同時に満足されねばならない。すなわち、

$$\frac{dx}{dt} = u \pm a \tag{15}$$

また、 da と du との間には式(14)よりつぎの関係がある。

$$du \pm \frac{2}{k-1} da = 0 \tag{16}$$

次に、特性方程式を求める。式(10)、(11)を式(9)に代入し、 $\lambda = \pm 1$ を入れると、

$$du \pm \frac{2}{k-1} da = 0$$

であり、この式は式(10)と同じになる。この両式が特性方向上で、 du と da との間に成立する条件である。本研究ではこの手法をおもに用いた。

次に、図式解法について簡単に述べる。図3および図

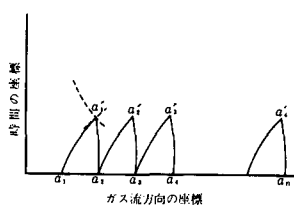


図3 t-x線図

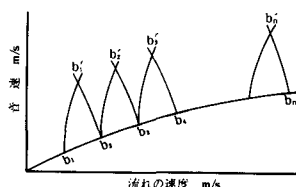


図4 a-u線図

4において、 a_1, a_2, \dots, a_n に対応する点 b_1, b_2, \dots, b_n が $a-u$ 平面上に決まる。また、特性方向の式により、 $a_1 a_1', a_2 a_2', \dots, a_n a_n'$ の線によって、 a_1', a_2', \dots, a_n' の点が得られる。 b_1, b_2, \dots, b_n から特性方程式により b_1', b_2', \dots, b_n' が決まり、 b_1' から b_n' 上の u および a は a_1' から a_n' の位置に対応する従属変数となる。同じように、 a_1', a_2', \dots, a_n' から特性方

向の線を求めるのであるが、 a_1' における u, a は a_1, \dots, a_n のそれと異なるので特性方向の線は、一般に、 $a_1 a_1', a_2 a_2'$ の線とはおくれってくる。一般にディーゼル機関の排気管内の圧力波の速度は一定と仮定して掃気、排気に対して考察されているが、排気弁の近くと排気の出口との間には温度差があり、圧力波速度はしだいに減少している。理論解においては、音速の分布を求めるわけであるが、理論計算がどの程度実際値と合致しているか、理論計算で求められる排気管内の圧力、温度、ガスの流量、圧力波の進行速度をあらかじめ実測しておくことが大切である。

5. 実験装置および方法

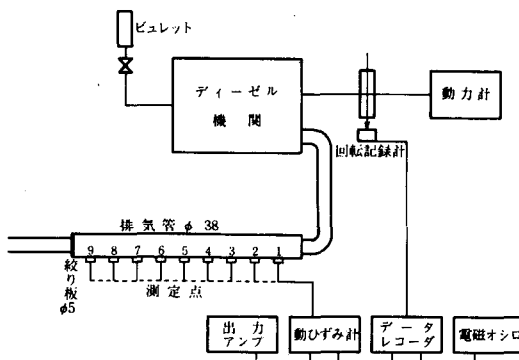


図5 実験装置

実験装置の概略図を図5に示す。装置はディーゼル機関、動力計、測定部(排気管)、各種計測機器よりなっている。ディーゼル機関は空冷単シリンダ4サイクルで、排気量452cc、常用出力8ps/3000rpmのものである。動力計は電気渦流式のものを用いた。また、測定部は、排気管に9ヶ所の測定点を設け、その一端に直径5mmの絞り板を挿入してある。

次に、実験としては、機関の出力、回転数が約4.8ps, 1800rpmおよび約6.4ps, 2400rpmの二種類について負荷試験を行い、それぞれの測定点における排気管内の1サイクル(爆発の上死点から次の爆発の上死点まで)の圧力波の進行状況と温度を測定した。

6. 実験結果

6.1 排気圧力波の波形の変化模様および温度変化

図6は、回転数1800rpm、出力4.8ps、測定点9の場合

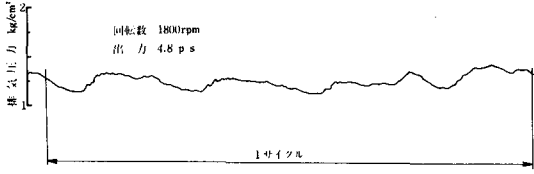


図6 測定点9における圧力波形

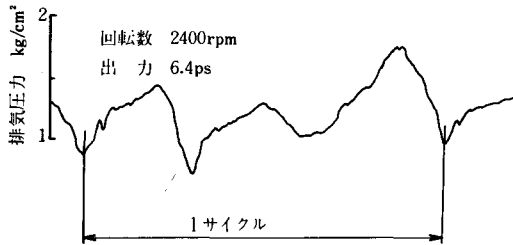


図7 測定点9における圧力波形

合、図7は回転数2400rpm、出力6.4ps、測定点9の場合の圧力波形の変化模様の結果を示している。圧力波は排気管内を進行するから、これらの図では、左から右へ進行している状況を示している。ただし、図中での1サイクルとは、爆発の上死点から次の爆発の上死点までを表わす。

次に、図8は出力、回転数が4.8ps、1800rpm、6.4ps、2400rpmでの各測定点における排気管内の温度変化を示したものである。

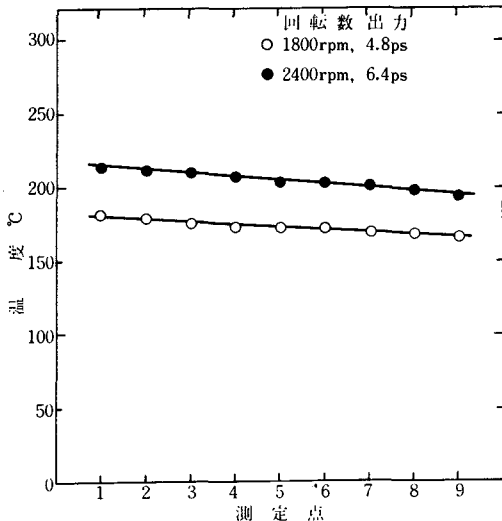


図9 各測定点における温度

6.2 圧力波の速度

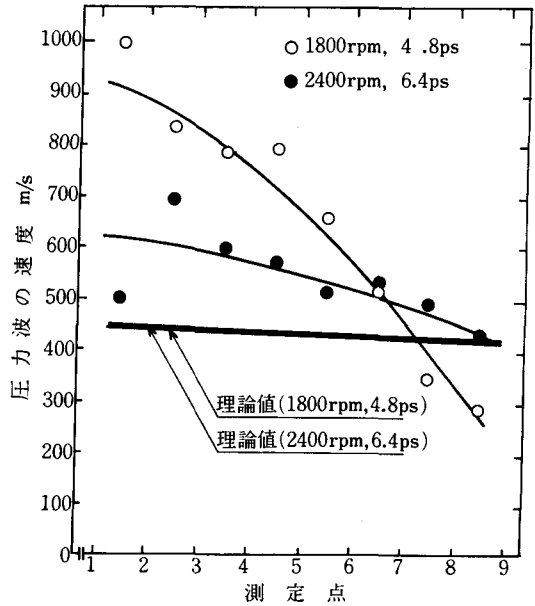


図9 各測定点間の圧力波の速度

図9は、出力、回転数が4.8ps、1800rpm、6.4ps、2400rpmの場合の圧力波の進行速度を示している。ここで、理論値は式(4)を用いて計算を行った。ただし、排気ガスは理想気体として取扱い、ガス定数 $R=29.27\text{kgm/kg}^\circ\text{K}$ 、比熱比は排気ガスが二原子分子として $k=1.4$ 、温度は図8の値を用いた。実験値は、図6および7の1サイクルの長さを計測して求めたものである。図9において、出力4.8ps、回転数1800rpmと出力6.4ps、回転数2400rpmの場合と比較すると、圧力波の進行速度は後者の方が大きい。このことは、後者の機関出力が大きいので、排気温度は高く、理論速度は温度の関係であるからである。理論値と実験値との間に差異があるのは、実験による測定誤差および絞りによる反射波の影響などのためと考えられる。また、実験値において、排気管の長さに沿って速度がしだいに減少しているが、これは排気ガスの摩擦、ガス分子間の相互の摩擦、排気ガスと管壁との間の熱伝達、ふく射などによる大気中への熱損失によると考えられる。また実験値にバラツキがある原因としては、機関の負荷による回転数の変化が、実験中比較的不安定であったので、排気脈動の不規則な変化による進行波の波形を乱した結果であると考えられる。

6.3 排気管内圧力波と距離の関係

図10は各測定点における排気管内の最高圧力の変化を示すものである。この図より、測定点2から3および測

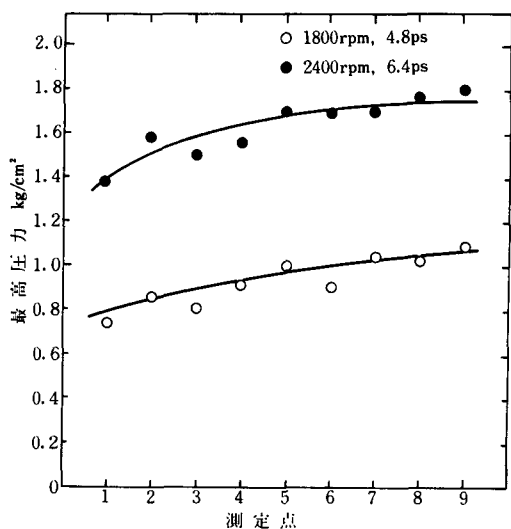


図10 各測定点における最高圧力

定点5から6にかけて最高圧力が減少している。このことは、絞り板を挿入したことによる排気管内圧力波の反射波、および排気弁からの距離が遠ざかるにしたがって、排気ガス流と排気管内壁との摩擦による圧力の減衰によるものと考えられる。

6.3 圧力波にみる反射波の影響

排気吹出しによって、排気管の根元に大きな正圧波が発生し、これが管端で負圧波となって反射され、正負圧力波の合成によって圧力振動を生じる。圧力振動が大きいほど反射波に影響される波の合成、減衰は大きくなる。この圧力波により、負圧が生じれば残留ガスが放出され弁オーバーラップが大きい場合に、この負圧波がオーバーラップ期間に一致すれば掃気が良好に行われる。

また、図6、7を見ると排気管での振動幅の差は少ないことがわかる。これは反射波の影響が非常に少ないか、もしくは反射波が重なったからではないかと考えられる。そこで、1サイクル中における圧力波の起伏は、同回転数、出力の場合、排気弁に近いほど少ない。これは、反射波の影響が少ないためであると考えられる。また図6と7を比較すると、前者の方が少ない。これは、機関の出力、回転数が大きいほど反射波の影響が大きい。したがって、排気管各点における1サイクル中の排気脈動の最高、最低の圧力差が大きくなると考えられる。

7. 結 言

排気管内の排気脈動の進行速度、圧力波のモードなどの計測の結果、ほぼそれが音速（絶対温度の関数の式）に合致すること。ならびに、圧力波の最高圧力は、管長に沿ってしだいに減衰していくことが定量的に明らかにされた。これらを知るにより、多シリンダ機関の場合、4サイクル機関では、吸気弁、掃気弁の開閉時期の決定。2サイクル機関では、排気孔、掃気孔の形状、位置および最適なクランク角度、着火時期、すなわちクランク配置を決定するのに大いに役立つ。一方、これらの圧力波によって生ずる脈動効果を有効に利用すれば、機関の体積効率、充てん効率などの向上に役立つ。

排気管内の排気脈動の状況をあらかじめシュミレートして、予想する解法として、流体の非定常流に関する運動の方程式、連続の方程式およびエネルギーの方程式をたて、これを双曲型偏微分方程式の図式解法である特性曲線法による数値解法が古典的であるが、よく用いられているので、4.2項にその一端を照会して、今後の研究にさらに取り組みたいと考えている。

文 献

- (1) Endress, N., *Verbrennungsmotoren Band II.*, (1966), 55, 56.
- (2) Jenny, E. *Berechnungen und Modellversuche über Druckweilengrofzer Amplitude in Auspufflitungen* Disseration E. T. H. Zürich, (1949).
- (3) Seifert, H., *Instationäre Strömungsorgänge in Rohrlitungen an Verbrennungskraftmaschinen (Die Brechnung nach der Charakteristikenmethode)*, Springer, (1962).
- (4) 内田・ほか1名 応用数学講6巻, 図式計算法, コロナ社
- (5) 八田・ほか1名 二サイクル機関吸排気管系の非定常流れについて, 東京大学宇宙航空研究所報告, 8-4, (昭47-10)
- (6) 塚原・ほか1名 圧縮性流体の管内非定常流について, 日本舶用機関学会誌
- (7) 東, 二サイクル大型ディーゼル静圧過給機関の排気脈動に関する研究(1), 第5回全回大会, 機構論, 75-10, (昭50-10)

ディーゼル機関から排出される黒煙の 除去に関する基礎的研究

中田 敏夫 ・ 島内 一郎

Fundamental Researches on Elimination of Black Smoke Exhausted from Diesel Engine

Toshio NAKATA and Ichiro SHIMAUCHI

The experimental study of an elimination of black smoke is described in this paper. The black smoke contained in an exhaust gas can be effectively filtrated by passing through a water. Using the fact, it was found that the amount of black smoke was considerably influenced by the distance between an exhaust gas hole and a water surface, by a stage number of water tanks and by a diameter of nozzle.

1. ま え が き

近年、内燃機関から排出される排気ガスによる公害が社会問題として大きく取り上げられている。ガソリン機関においては、浄化装置の開発⁽¹⁾、⁽²⁾、機関改造⁽³⁾等における公害対策の研究が行われている。一方ディーゼル機関においては、ガソリン機関に比べて高い空燃比で運転されるため、酸素の多い状態で燃焼し、CO および HC の有害な排出量は少ない。しかし、この機関で問題となるのは NO_x と黒煙である。前者はガソリン機関と共通のものであるが、後者はこの機関特有のものである。この黒煙については、すすの生成機構⁽⁴⁾等についての研究が見られるが、これを排気ガス中から除去する研究はあまり見当たらない。そこで、本研究は排気ガスを水中に放出し、排気ガス中より黒煙を効果的に除去すればよいかを明らかにしようとするものであり、水面から排気孔までの距離、排気ガスの水中への放出段数、および排気孔径を変化させることにより、黒煙除去の基礎的なデータを得ようとするものである。

2. 実 験 装 置

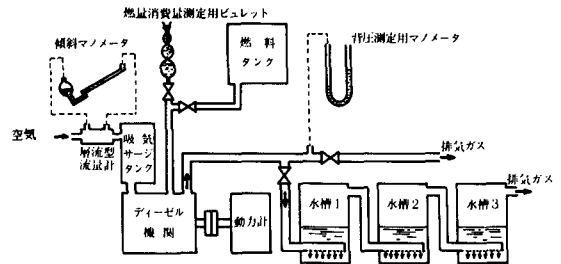


図1 実験装置

図1は、水中放出3段の場合の実験装置の概略を示している。放出1段の場合は、水槽が1個になる。この図に示すように、実験装置はディーゼル機関、動力計、空気の供給部、燃料の供給部、背圧測定部、黒煙除去部により構成されている。使用したディーゼル機関は、単シリンダ4サイクルのもので、排気量 375cc、定格出力 5.5ps/2400rpm、球形燃焼室のものであり、燃料はディーゼル軽油を用いた。この機関の性能曲線を図2に示す。この機関のフライホイールとたわみ継手により結合

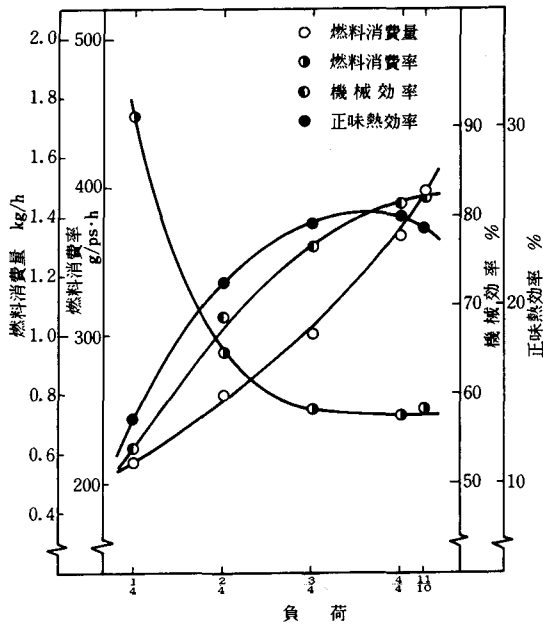


図2 供試機関性能曲線

されている負荷装置は、電気渦流式のものを用いた。この動力計は、電圧を操作することによって機関にかかる負荷が変化している。

空気供給部は、サージタンク、流量計、および傾斜マンノメータによりなっている。サージタンクは、吸入空気量測定の際、脈動の影響を防止するため、タンクの頭部にゴム板を取り付けた大容量のものである。また、流量計は、空気流を整流するため、内部に金網が張られた層流型のものである。吸入空気量は、その差圧を傾斜マンノメータ（水柱）により測定して求められる。

燃料供給部は、燃料タンクと消費量測定のための30ccのビュレットよりなっている。両者は並列に接続されており、通常、燃料はタンクより機関に供給されているが、燃料消費量測定時には、コックを切り換えることによりビュレットより機関に供給される。

次に、排気管は大気に放出するものと、水中に放出するものとに分けられており、コックにより排気ガスの方向が変えられるようになっている。このコックの機関側に水銀柱のU字管マンノメータが取り付けられており、背圧はその水銀柱により、大気圧との差を測定することにより求められる。

黒煙除去部は、3個の水槽よりなっている。それぞれの水槽は同じ大きさのものであり、その主要寸法を図3に示す。この水槽の材質は鉄板で、内面はさび止めの処理を施してあり、水槽の上面と前面は排気ガスの放出状態が観察できるように、透明のアクリル板を使用している。また、水槽内の排気管は、ねじにより交換できるよ

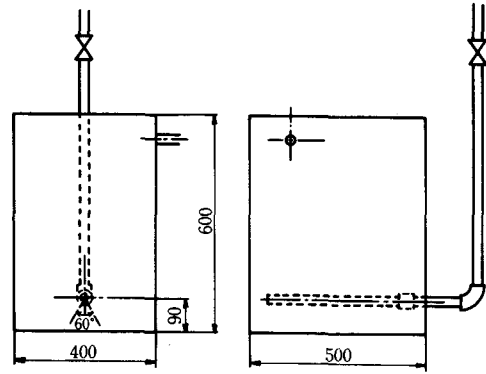


図3 水槽

うになっている。排気孔は60°の角度で2列に並べられており、孔径は4および2mmで、それぞれ20、5.5mmの等間隔であけられている。その合計面積は排気管断面積と同じようにしてある。この排気管は排気孔が下向きになるように取り付けてある。

その他のものとしては、水槽内のカーボンを採集するための吸引ろ過器および定量用NO-6のろ紙、ろ紙および採集したカーボンを乾燥するための乾燥器、ろ紙および採集したカーボンの重量を測定するための直示天秤（感量0.1mg）、機関の回転数測定のためのデジタル表示式回転計および燃料消費量測定のためのストップウォッチを用いた。

3. 実験方法

きれいに清掃された水槽内に、所定の水深まで水を入れる。以下、水深とは排気孔から水面までの距離とする。次に、機関を約20分間暖機運転し、所定の回転数、負荷になるように、速度調節レバーおよび負荷装置を操作する。所定の状態になった時に、吸入空気量、背圧および燃料消費量の測定を行う。その後、排気ガスを水中に10分間放出させる。この間にも、吸入空気量、背圧、燃料消費量の測定を行う。ここで、水深の関係をみるため、1段放出の場合には、水深の設定値は50、100、150、200、250mmの5種類とし、また3段放出の場合は、水槽1個における水深を30、50、70mmとする3種類について実験を行った。この各水深に対し、負荷は定格出力の $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$ 、 $\frac{5}{8}$ について行い、また排気孔径が4および2mmについても実験を行った。機関停止後、カーボンを含んでいる水槽の水を全量ろ過し、カーボンをろ紙に採集した。このままの状態では、カーボンに排気ガス中の油分が付着しているため、脱脂剤として一般によく用いられているメチルアルコールおよびトリクロロエチレンによりこれを除去した。このようにして採集された

カーボン量は、ろ過前とろ過後のろ紙重量を直示天秤により測定し、その秤量差とした。なお、ろ紙およびカーボンともに水分が含まれているため、乾燥させた。この乾燥条件を知るために、十分水を含ませたろ紙を温度100°Cの乾燥器に2時間入れ、直ちに乾燥剤の入られている直示天秤でその秤量を行った。そのろ紙重量と経過時間の関係を図4に示す。この図より、約40分後にろ紙重量はほぼ一定になることがわかる。しかし、実験には、安全のため乾燥後はろ紙を3時間デシケータ中に入れたのち秤量した。

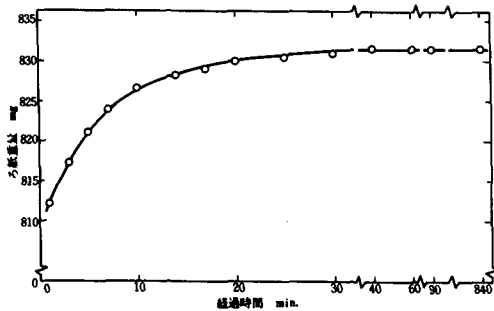


図4 ろ紙の吸湿による重量変化

4. 実験結果および考察

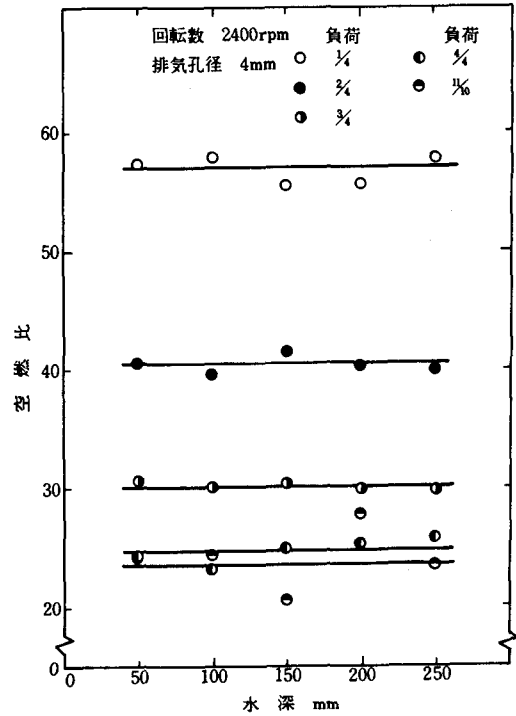


図6 水深と空燃比

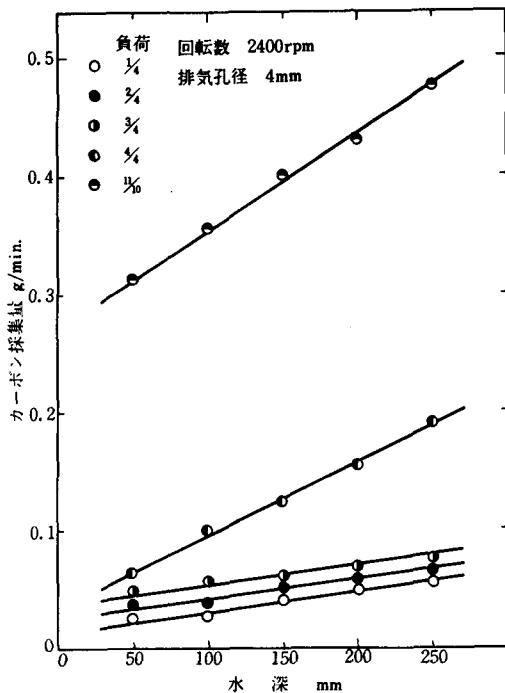


図5 水深とカーボン採集量

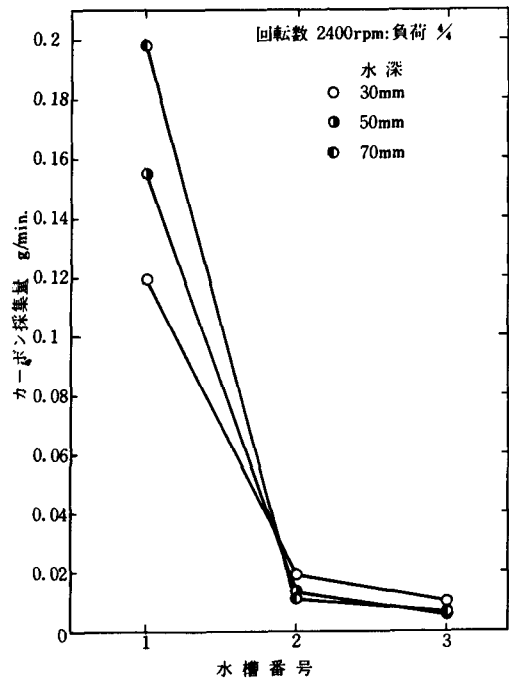


図7 3段放し時の各水槽カーボン採集量

図5は、排気ガスを水中に1段放出させた場合の水深とカーボン量との関係を示している。この図より、水深が増すとカーボン量は直線的に増加し、高負荷になるほどその増加する割合が大きくなる。この時の水深と空燃比との関係を示したものが図6である。この図より、同負荷時における空燃比はほとんど変化していないことがわかる。このことより機関内で生成されるカーボン量(これが排気ガス中の黒煙になる)は等しいと考えられ、水深を増せば、排気ガスと水との接触時間が長くなり、黒煙はより多く除去されることになる。

図7は、排気ガスを水中に3段放出させた場合における、各水槽で採集されたカーボン量を示している。ただし、この図における水槽番号とは、図2で示している番号と対応している。この図より、前述のごとく水深が増せばカーボン量も増加している。また各水槽におけるカーボン量の傾向をみると、水槽1でほとんど除去され、水槽2、3となるにしたがってカーボン量は少なく、水槽3では0に近い状態である。さらにいくつかの水槽を

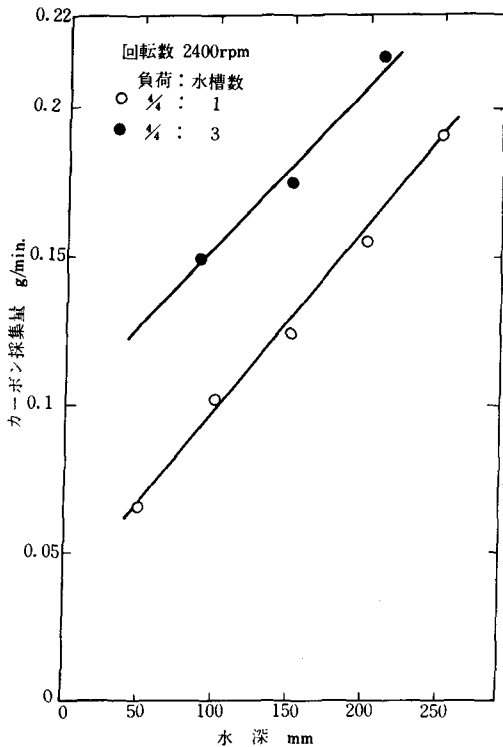


図8 水槽数変化による水深とカーボン採集量

用いて、排気ガスを水中に数段放出させると、カーボン採集量は増加すると思えるが、水槽2と3の間の傾斜から見る限り、それほど多くの効果が期待できないように考えられる。

図8は、排気ガスを水中に1段放出させた場合と3段放出させた場合とのカーボン量の比較を示している。3段放出の水深は、1段放出の水深と対応させるために、水槽3個の和とし、カーボン量についても各々の水槽のカーボン量の和とした。この図より、3段放出の方がカーボン量が多いことがわかる。これは水槽を連結することにより、水槽1および2がクローズド状態になり、また、後続の水槽から背圧を受けることになる。このことにより、排気ガスが水中に停留する時間、すなわち、排気ガス中に含まれているカーボンが水と接触する時間が長くなるためであると考えられる。

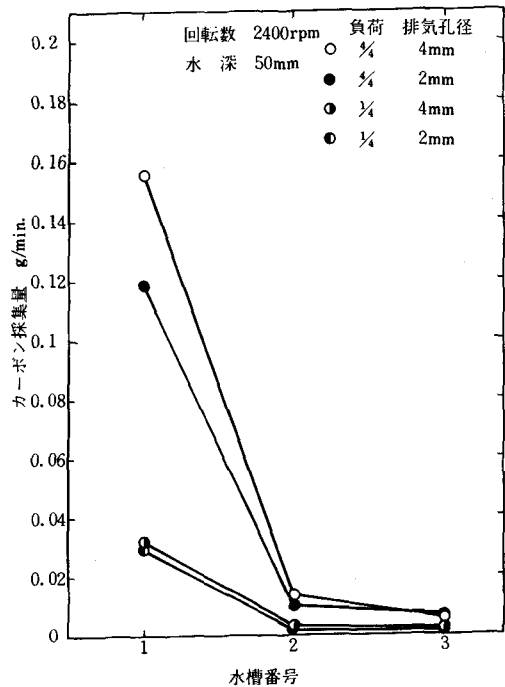


図9 排気孔径の変化による各水槽カーボン採集量

図9は、各水槽における排気孔の変化とカーボン量との関係を示したものである。排気孔径4mmの方が2mmのものよりカーボン量が多い。これは、一般に排気孔が小さい程水とよく接触しカーボン量が多くなると考えられる。しかし、この場合は、排気孔より放出されるカー

ボンを含んだ気泡と水との衝突状態の差によるものであると考えられる。この実験では、排気孔径が異なるが、合計面積は同じであるので、排気孔からの気泡の噴出速度は等しい。また、気泡は排気孔から断続的に放出される気泡を球とすると、全排気孔から1回放出される気泡と水との接触面積は等しい。しかし、気泡径（排気孔径と考える。）が2倍になると、1個の気泡の運動量は8倍となり、その気泡の水中に突入する力が大きくなる。その気泡は、集塵装置によく見られる衝突板⁽⁵⁾のような作用をする水に衝突する。そのとき、運動量が大きいと慣性力も大きくなり、気泡中に含まれているカーボンは気泡表面、つまり水と接触する面に到着しやすくなる。また、大きい運動量を持つ気泡は、水に大きな運動量を与え、水を攪乱する力も大きくなるため、水と気泡の混合状態もよくなる。つまり、気泡の分割や結合などが活発になり、気泡中のカーボンが水と接触しやすくなる。このような理由から、排気孔径の大きい方が、機関から排出される黒煙の除去の効果が増すものであると思われる。

5. あ と が き

以上の結果より、次のことが明らかになった。

- (1) この範囲の水深では、ほとんど機関の出力に影響を与えず、水深を増せば排気ガスの中に停留する時間が長くなり、黒煙除去量（カーボン量）は増加する。この傾向は、高負荷になるほど顕微である。
- (2) 同じ水深のもとで、排気ガスを水中に放出する場合、段数を増すことにより、より多くの黒煙が除去できる。
- (3) 排気孔径については、排気ガスの気泡が水中に突入する際の気泡と水との混合状態が黒煙の除去に影響を及ぼす。この状態を考えて、ある程度排気孔を大きくすれば、黒煙の除去には効果がある。

なお、卒業研究として本実験に当られた昭和50年度卒業研究生の諸君に感謝し付記します。

文 献

- (1) Kaneko, Y., ほか1名, SAE Paper, NO. 720483 (1972-5).
- (2) Kuroda, H., ほか3名, SAE Paper, NO. 720484 (1972-5).
- (3) 浅田・柏木, 内燃機関, 6-56 (昭42-2), 26.
- (4) Broome, D. and Khan, I.M., Proc. Inst. Mech. Engr., Pt. C140/71 (1971-11), 185.
- (5) 井伊谷, 集塵装置, (昭40), 211-215, 日刊工業新聞社。

弱電離気体流れにおける衝撃波干渉について (第2報)

松岡一起・岸下晴亮

On the Shock Wave Interaction in a Partially Ionized Gas Flow.
(2nd Report)

Kazuoki MATSUOKA and Haruaki KISHIGE

When we consider the flow over a two-dimensional semi-infinite flat plate placed parallel to the undisturbed oncoming flow with hypersonic speed, the strong interaction region would be close to the leading edge, and the weak interaction region would be further downstream. In this paper, the intermediate interaction region are treated and the flow properties are calculated at the outer edge of the boundary layer, including the ionized effect.

1. 緒 言

本研究は一部電離した気体が平板上を極超音速で流れた場合、平板上に発達する境界層と非粘性領域における斜め衝撃波との相互干渉について述べたものである。境界層内の荷電粒子のふるまいを調べるためには、境界層端における物理的な諸量（たとえば、圧力、速度、温度）をあらかじめ知る必要がある。極超音速流に対して平板を平行におくとき、平板の先端近くでは強い干渉領域、平板の後方では弱い干渉領域ができる。特に強い干渉領域では境界層端での物理量が自由流での値と相当な差を生ずる。我々が低密度プラズマ風洞で境界層に関する実験を行う場合、しばしば中間の干渉領域に遭遇する。したがって境界層理論を解析するに先立って弱い干渉領域と強い干渉領域を結びつける必要がある。この種の研究は今までに数多くなされている。最近 Chattopadhyay ら⁽¹⁾は迎え角をもった平板に関連して、強い干渉領域での圧力勾配を干渉パラメータ \bar{x} でもって展開し連立常微分方程式に直して数値計算を行っている。また Hankey ら^{(2), (3)}は差分法を用いて弱い干渉と強い干渉の両領域にわたって圧力勾配を求めている。前報⁽⁴⁾では弱い干渉

領域における数値計算法を提案した。本報では主として強い干渉領域での圧力勾配、境界層端での Mach 数等の数値計算を行ったものである。

2. 境界層方程式

境界層方程式を解析するにあたってつぎのような仮定をおく。(1) 気体はアンゴル原子、イオン、電子より成り立つ。(2) 一部電離した気体で電離度は1に比べて非常に小さい。(3) 一定の比熱比をもった完全気体としてふるまう。(4) 流れは定常流である。(5) 原子はイオン、電子と熱的に平衡である。(6) 両極性拡散を行う。(7) 化学的凍結流である。

図1のように座標をとり、つぎのような座標変換を用いると(5)

$$\xi(x) = x,$$
$$\eta(x, y) = \left(\frac{u_e}{\rho_e \mu_e \xi} \right)^{1/2} \int_0^y \rho dy \quad (1)$$

運動量保存式、全エネルギー保存式はそれぞれつぎのようになる。

$$f_{\eta\eta\eta} + \frac{1}{2} f f_{\eta\eta} + \frac{\beta}{1 - c_{ie} I_{ion} / (H_e m_A)} \cdot (g - f_\eta^2) + \xi (f_\xi f_{\eta\eta} - f_\eta f_{\xi\eta}) = 0 \quad (2)$$

$$g_{\eta\eta} + \frac{1}{2} f g_\eta + \xi (f_\xi g_\eta - f_\eta g_\xi) = 0 \quad (3)$$

ここで、 f 、 g 、 c_i 、 I_{ion} 、 H 、 m_A はそれぞれ無次元流れ関数、無次元岐点エンタルピ、無次元イオン濃度、電離化エネルギー、静エンタルピ、アルゴン原子の質量を示し、添字 e は境界層端を示す。また β はつぎのように表わされる。

$$\beta = \frac{\xi}{M_e} \frac{dM_e}{d\xi} \quad (4)$$

ここで M_e は境界層端における Mach 数を示し、次式で関係づけられている。

$$\frac{p_e}{p_\infty} = \left[\frac{1 + (\gamma - 1) M_\infty^2 / 2}{1 + (\gamma - 1) M_e^2 / 2} \right]^{\gamma / (\gamma - 1)} \quad (5)$$

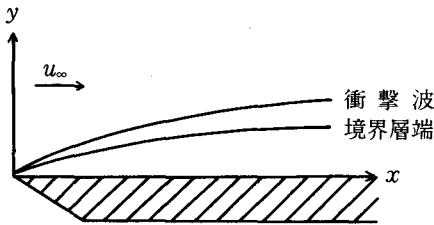


図1 平板の流れ

(2), (3)式の境界条件はそれぞれつぎのようになる。

$$f(\xi, 0) = f_\eta(\xi, 0) = 0, \quad g(\xi, 0) = g_w \quad (6)$$

$$g = f_\eta = 1 \quad (\eta \rightarrow \infty) \quad (7)$$

3. 強い干渉

強い干渉の場合、Tangent-Wedge 近似を級数展開する方法を用いると非常に大きな誤差を生ずる。したがってつぎのように直接変形した式を用いる。

$$M_\infty \frac{d\delta^*}{dx} = \frac{p_e / p_\infty - 1}{[\gamma/2 \{ (\gamma + 1) p_e / p_\infty + (\gamma - 1) \}]^{1/2}} \quad (8)$$

ここで、 γ 、 δ^* 、 p はそれぞれ比熱比、境界層排除厚さ、圧力を示し、添字 ∞ は自由流での値を示す。(5)式と境界層排除厚さの定義式を用いると δ^* はつぎのような形で表わされる。

$$\begin{aligned} \delta^* &= \frac{1}{L} \left(\frac{\mu_\infty \xi}{\rho_\infty u_\infty} \right)^{1/2} \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right)^{(\gamma - 3) / 4 \gamma} \\ &\cdot M_\infty^{1/2} \left[\frac{2}{\gamma - 1} \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right)^{(1 - \gamma) / \gamma} \right. \\ &\cdot \left. \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_\infty^2 \right) - \frac{2}{\gamma - 1} \right]^{-1/4} \\ &\cdot \left[\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_\infty^2 \right) \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right)^{(1 - \gamma) / \gamma} \right. \\ &\cdot \left. \int_0^\infty (g - f_\eta^2) d\eta + \int_0^\infty (f_\eta^2 - f_\eta) d\eta \right] \quad (9) \end{aligned}$$

(9)式に新しい関数 $f(p_e/p_\infty)$, $g(p_e/p_\infty)$ を導入して書き直すと次式が得られる。

$$\delta^* = \frac{1}{L} \left(\frac{\mu_\infty \xi}{\rho_\infty u_\infty} \right)^{1/2} \left[f \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right) \int_0^\infty (g - f_n^2) \cdot d\eta + g \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right) \int_0^\infty (f_n^2 - f_n) d\eta \right] \quad (10)$$

ここで、 $L = 1 - C_{ie} I_{ion} / (He m u)$ で、 $f(p_e/p_\infty)$, $g(p_e/p_\infty)$ はそれぞれつぎのように表わすことができる。

$$f \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right) \equiv \frac{a}{(p_e/p_\infty + b)^{1/2}} \quad (11)$$

$$g \left(\frac{p_e}{p_\infty} \right) \equiv \frac{a_1}{(p_e/p_\infty + b_1)^{1/2}} \quad (12)$$

(11), (12)式で常数 a , b , a_1 , b_1 はそれぞれ(9)式と(10)式を比較することによりきめることができる。図2は $f(p_e/p_\infty)$ と $a/(p_e/p_\infty + b)^{1/2}$ との比較が示されている。この図では $a = 8.322$, $b = 0.153$ が用いられている。同じように a_1 , b_1 も決定することができる。

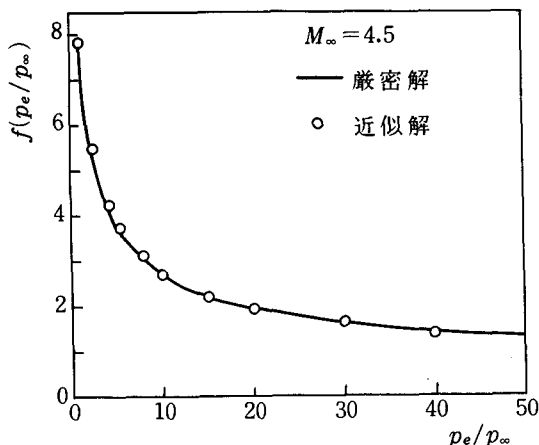


図2 厳密解と近似解との比較

この図からわかるように境界層排除厚さ δ^* は境界層端の物理量の代りに自由流の値で表現でき、しかも(10)式のように p_e/p_∞ の項で簡単に示すことができる。一方、境界層端における圧力は強い干渉領域ではつぎのように表わすことができる。

$$\frac{p_e}{p_\infty} = p_0 \bar{\chi} \left(1 + p_1 \frac{1}{\bar{\chi}} + p_2 \frac{1}{\bar{\chi}^2} + p_3 \frac{1}{\bar{\chi}^3} + \dots \right) \quad (13)$$

ここで $\bar{\chi}$ は干渉パラメータ ($= M_\infty^2 / Re_\infty^{1/2}$) と呼ばれるもので強い干渉の場合は $\bar{\chi} > 1$ である。また p_0 , p_1 , p_2 , \dots は未定の常数である。(4)式は p_e/p_∞ を用いるとつぎのように書き直すことができる。

$$\beta = \frac{\xi}{M_e} \frac{dM_e}{d\xi} = - \frac{\gamma - 1}{2\gamma} \cdot \frac{\xi}{p_e/p_\infty} \frac{d(p_e/p_\infty)}{d\xi} \quad (14)$$

強い干渉の場合は β , f , g はそれぞれ $\bar{\chi}$ を用いてつぎのように表わせる。

$$\beta(\xi, \eta) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\bar{\chi}} + \beta_2 \frac{1}{\bar{\chi}^2} + \beta_3 \frac{1}{\bar{\chi}^3} + \dots \quad (15)$$

$$f(\xi, \eta) = f_0 + f_1 \frac{1}{\bar{\chi}} + f_2 \frac{1}{\bar{\chi}^2} + f_3 \frac{1}{\bar{\chi}^3} + \dots \quad (16)$$

$$g(\xi, \eta) = g_0 + g_1 \frac{1}{\bar{\chi}} + g_2 \frac{1}{\bar{\chi}^2} + g_3 \frac{1}{\bar{\chi}^3} + \dots \quad (17)$$

(15), (16), (17)式を(2), (3)式に代入し $\bar{\chi}$ の同じ巾を比較することにより零次, 1次, 2次等の常微分方程式が得られ

る。たとえば零次の式として次式が得られる。

$$f_o''' + \frac{1}{2} f_o f_o'' + \frac{1}{L} \beta_o (g_o - f_o'^2) = 0 \quad (18)$$

$$g_o'' + \frac{1}{2} f_o g_o' = 0 \quad (19)$$

(10), (13), (14)式より未定常数 p_o, β_o はつぎようになる。

$$p_o = \frac{3}{4LM_\infty^2} \left[\frac{\gamma(\gamma+1)}{2} \right]^{1/2} \cdot a \left(I_o + \frac{a_1}{a} I_o' \right) \quad (20)$$

$$\beta_o = \frac{\gamma-1}{4\gamma} \quad (21)$$

ここで I_o, I_o' は次式で与えられる。

$$I_o = \int_0^\infty (g_o - f_o'^2) d\eta, \quad (22)$$

$$I_o' = \int_0^\infty (f_o'^2 - f_o'') d\eta$$

気体が電離していないときは(20)式はつぎのような式で表わせる。

$$p_o = \frac{3}{8} (\gamma-1) \left[\frac{\gamma(\gamma+1)}{2} \right]^{1/2} I_o \quad (23)$$

上記で I_o' は無視している。

4. 計算結果

数値計算は京都大学大型計算機 FACOM230-75 を用い Runge-Kutta-Gill 法で行った。作動流体としてアルゴンを取りあつかっているため、比熱比 $\gamma=5/3$, 電離化エネルギー $I_{ion}=15.7\text{eV}$ を用いた。また自由流ならばに壁面の条件は風洞実験を考慮してつぎのような値を使用した。 $M_\infty=4.5$, $c_{ie}=1 \times 10^{-3}$, $T_\infty=500^\circ\text{K}$, $\rho_\infty=6.63 \times 10^{-8}\text{g/cm}^3$, $g_w=0.1$ 。

図3は強い干渉領域における p_e/p_∞ の計算結果を示す。(図には前報で求めた弱い干渉領域における計算結果も併せて示している。)この結果より弱い干渉領域における p_e/p_∞ の値と強い干渉領域における p_e/p_∞ の値は中間領域において、比較的精度よく接続しておりこの数値計算法で求めた結果は中間領域である程度使用できるものと思われる。なおこれらは2次近似まで数値計

算したものである。電離度が1/1000にもか・わらず、電離エネルギーが大きいため無視できない程度に現われている。

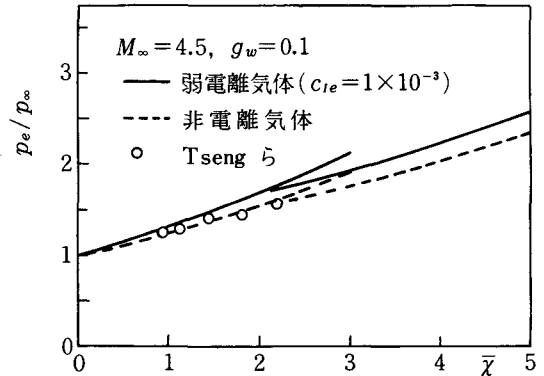


図3 p_e/p_∞ と \bar{x} との関係

図4は M_e/M_∞ の計算結果を示す。平板はるか後方では $M_e/M_\infty=1$ になり、斜め衝撃波の影響が殆んどなくなる。しかし、平板の先端に近づくにつれて衝撃波の影響が強くなり、ついに先端では垂直衝撃波の様相を呈してくることがわかる。この場合も弱い干渉領域での M_e/M_∞ の値と強い干渉領域での値が中間領域でうまく接続している。

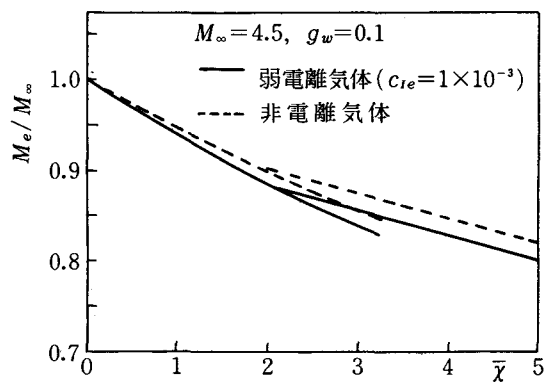


図4 M_e/M_∞ と \bar{x} との関係

図5は β の計算結果を示す。 β の値は平板の先端からはるか後方にわたって0.1から0まで変化する。この結果より β の値は一般に小さく、運動量保存式より境界層内の速度分布を求めるときには β を含む項は一般に無視

できる。

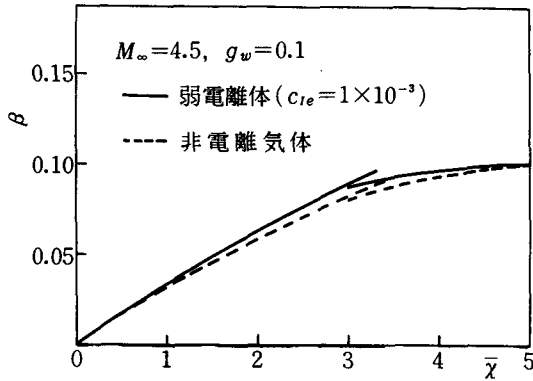


図5 β と \bar{x} との関係

5. 結 論

以上のべてきたごとく、本研究では電離効果を含めながら境界層と斜め衝撃波との干渉問題を取りあかった。数値計算の結果から結論としてつぎのようなことができる。

- (1) 弱電離気体流れの干渉問題に関しては電離の影響は無視できない。
- (2) 弱い干渉領域での p_e/p_∞ の数値計算は M_e/M_∞ の項で展開することにより精度よく計算できるが、強い干渉領域では p_e/p_∞ の項で展開することにより計算できる。
- (3) β の変化は小さいので Blasius 解は境界層内の速度分布に十分用いることができる。

文 献

- (1) Chattopadhyay, T.K. and Rodkiwicz, C. M., AIAA J., 9 (1971), 535.
- (2) Werle, M.J., Dwoyer, D.L. and Hankey, W.L., ARL 72-0011, (1972).
- (3) Hankey, W.L., Dwoyer, D.L. and Werle, M.J., AIAA J., 11 (1973), 1349.
- (4) 松岡, 岸下, 奈良高専研究紀要 第11号 (昭50).
- (5) Nishida, M. and Matsuoka, K., AIAA J., 9 (1971), 2117.

PWM3相逆変換器の動作モード(容量負荷)

井 村 栄 仁

Operational Modes of the PWM 3-Phase Invertor (Capacitive Load)

Shigeji IMURA

Abstract-Using the method of simulation by computer, we determine the operational modes of the PWM 3-phase invertor with capacitive load. In the steady state there are four modes concerning to both the time constant of the load and the duration of gate signals applied to main thyristors. These modes are analysed under condition of the existence of quasi-steady state between transient and steady state phenomenon.

Any other circuit mode can not occur.

1. ま え が き

本報告では衝撃転流PWM3相逆変換器が容量性負荷を有する場合について、過渡状態から定常状態に達する過程及び定常状態における動作モードを計算機シミュレーションとマトリクス漸化式による解析との両面から明らかにするとともに、半導体素子を含む回路解析に対し、一つの解法を示す。特に半導体素子を含む周期的な回路が、過渡状態から定常状態に移行する途中に準定常状態の存在を考慮する必要がある。準定常状態とは、外部制御信号と回路内部の現象とに依存する回路状態であり、したがって一周期内の各回路状態における連続な動作量及び各回路状態の継続時間は変動するが、回路の接続状態は周期的に不変となるような状態をいう。このような準定常状態においては、回路の連続な動作量に注目すれば任意の周期の動作量の初期値とそれに続く周期の初期値とは、外部制御信号の巾と周期及び負荷の時定数などによって定まる、或るマトリクスで関連づけることができる。定常状態が存在する条件は、このマトリクスの固有値が1を越えないことであり、そのとき定常解は相続く周期における連続な動作量の初期値を等しいと置くことにより算定できる¹⁾。

2. 負荷コンデンサ電圧と動作モード

図1にPWM3相逆変換器の主要部と容量性負荷とを

示す。 S_i ($i=1\sim6$)は主サイリスタであり、対応するダイオード D_i ($i=1\sim6$)がそれらと逆並列に接続されている。

図2-(1)および(2)には、主サイリスタに対して外部から制御する導通時間巾 τ と印加順序とが与えられており、逆変換器の周期を T_M とするとき、(1)は導通時間巾が

$$T_M/6 \leq \tau < T_M/3$$

の場合であるのに対し(2)は

$$T_M/3 \leq \tau < T_M/2$$

の場合を示す。

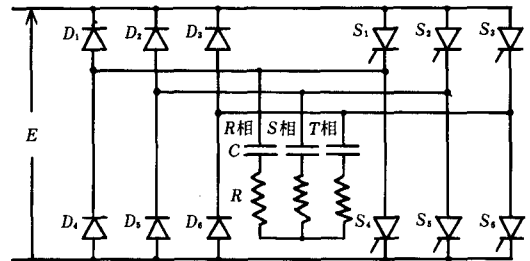


図1 PWM3相逆変換器

負荷が純抵抗ならば回路モードは、いずれの場合にも外部制御信号の導通時間巾により定まるが、容量性負荷については現象が負荷コンデンサ電圧とダイオードの作用とに依存するので、ただちに動作モードが決められない。しかし、容量性負荷における連続な動作量は負荷コ

コンデンサ電圧であるからこれに注目して過渡状態の回路モードを分類してみよう⁽²⁾⁽³⁾。

動作させるにあたってすべての負荷コンデンサが電荷を有していないとすれば、

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

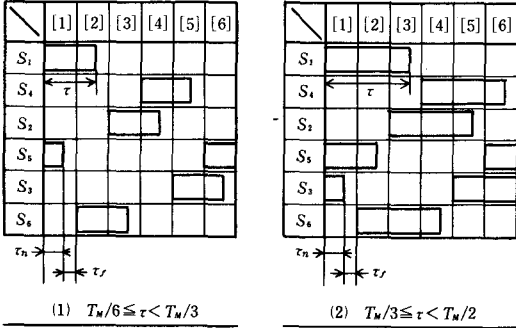


図2 主サイリスタの導通時間巾と順序

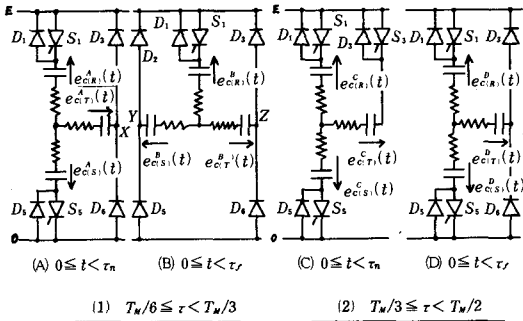


図3 導通時間巾に対する回路状態

図2-(1)および(2)を参照して最初の1/6周期における回路状態を示せば、図3-(1)および(2)のようになる。回路図内の記号は、次のとおりである。

- (i) 負荷コンデンサ端子電圧の基準の方向は中性点側から電源側に向くものとし、R、SおよびT相並びにA~Dの回路状態に応じてその瞬時値をそれぞれ $e_{c(R)}^A(t)$ 、 $e_{c(S)}^A(t)$ および $e_{c(T)}^A(t)$ などとする。
- (ii) 回路状態AおよびC並びに回路状態BおよびDについて、それぞれの回路状態が始まる時刻を時間の原点にとり、これらの継続時間をそれぞれ τ_n (sec) 並びに τ_r (sec) とする。
- (iii) 負荷コンデンサの容量はC (F)、抵抗はR (Ω)。基準の方向を(i)のように定めるとき、この逆変換器を

の関係が常に成立する。そこで逆に回路状態Aの負荷コンデンサ端子電圧初期値として、式(1)を満足する任意の $e_{c(R)}^A(0)$ 、 $e_{c(S)}^A(0)$ および $e_{c(T)}^A(0)$ を選んで考察してもよい。

そのとき回路状態Aのモードは、 $e_{c(R)}^A(0)$ と $e_{c(S)}^A(0)$ によって決まると考えられる。この事実は、残りの回路状態B~Dについても同様である。特に回路状態AとDとは継続時間が異なるだけで本質的に同じものであるとみることができる。物理的条件および簡単な計算から、回路状態Aは次に述べる6個のモードに分類できる。

- A-(I) : R, S相を通じての供給電流およびT, S相を通じての循環電流が流れるモード。
- A-(II) : S, R相を通じての帰還電流およびT, S相を通じての循環電流が流れるモード。
- A-(III) : S, R相を通じての帰還電流が流れ、T相がOFFのモード、
- A-(IV) : S, R相を通じての帰還電流およびT, R相を通じての循環電流が流れるモード。
- A-(V) : R, S相を通じての供給電流およびT, R相を通じての循環電流が流れるモード。
- A-(VI) : R, S相を通じての供給電流が流れ、T相がOFFのモード。

これらのモードは、過渡状態において可能なモードであって、定常状態でもこれらがすべて生ずるというのではない。回路状態Aに対する上記のモードと初期値(負荷コンデンサ端子電圧)との関係を表1-(1)に掲げる。ただし、条件 P_i ($i=1\sim 5$) は、下記のものである。

- $P_1 : e_{c(R)}^A(0) + e_{c(S)}^A(0) - E/3 > 0$
- $P_2 : e_{c(R)}^A(0) + e_{c(S)}^A(0) + E/3 < 0$
- $P_3 : e_{c(R)}^A(0) - 2E/3 > 0$
- $P_4 : e_{c(R)}^A(0) - e_{c(S)}^A(0) - E > 0$
- $P_5 : e_{c(S)}^A(0) + 2E/3 < 0$

これらの条件は、たとえばA-(I)に対しては図3-(1)の回路状態Aで、X点が電源の“0”電位にある条件即ちT相のコンデンサに流れる充電電流が正の条件と、SおよびR相を通じて直流電源に帰還される電流が正である条件とから出る。その他のモードの条件も同様にして

得ることができる。尚、 \bar{P}_i は P_i の否定条件である。

表1 A~D 回路状態のモードと条件

(1) 回路状態 A		(2) 回路状態 B	
モード	条件	モード	条件
A-(I)	P_1 かつ \bar{P}_2	B-(I)	Q_1 かつ Q_2
A-(II)	P_1 かつ P_2	B-(II)	\bar{Q}_1 かつ \bar{Q}_2 かつ Q_3
A-(III)	\bar{P}_1 かつ \bar{P}_2 かつ P_3	B-(III)	Q_1 かつ Q_2
A-(IV)	P_2 かつ P_3	B-(IV)	\bar{Q}_1 かつ \bar{Q}_2 かつ Q_{11}
A-(V)	P_2 かつ \bar{P}_3	B-(V)	Q_1 かつ Q_2
A-(VI)	\bar{P}_1 かつ \bar{P}_2 かつ \bar{P}_3	B-(VI)	\bar{Q}_1 かつ \bar{Q}_2 かつ Q_{11}
		B-(VII)	Q_1 かつ Q_2
		B-(VIII)	\bar{Q}_1 かつ \bar{Q}_2 かつ Q_3
		B-(IX)	\bar{Q}_1 かつ \bar{Q}_2 かつ \bar{Q}_3 かつ Q_{11}
(3) 回路状態 C		(4) 回路状態 D	
モード	条件	回路状態 A の条件と同じ	
C-(I)	\bar{R}_1 かつ R_2		
C-(II)	R_1 かつ R_2		
C-(III)	R_1 かつ \bar{R}_2		
C-(IV)	\bar{R}_1 かつ \bar{R}_2		

まったく同様にして回路状態 B および C におけるモードを分類すれば、

回路状態 B (9 モード)

- B-(I): S, R 相を通じての循環電流および T, R 相を通じての循環電流が流れるモード。
- B-(II): T, R 相を通じての循環電流が流れ、S 相が OFF のモード。
- B-(III): S, R 相を通じての帰還電流および T, R 相を通じての循環電流が流れるモード。
- B-(IV): S, R 相を通じての帰還電流が流れ、T 相が OFF のモード。
- B-(V): S, R 相を通じての帰還電流および T, R 相を通じての帰還電流が流れるモード。
- B-(VI): T, R 相を通じての帰還電流が流れ、S 相が OFF のモード。
- B-(VII): T, R 相を通じての帰還電流および S, R 相を通じての循環電流が流れるモード。
- B-(VIII): S, R 相を通じての循環電流が流れ、T 相が OFF のモード。
- B-(IX): すべての相が OFF のモード。

回路状態 C (4 モード)

- C-(I): R, S 相を通じての供給電流および T から R 相への循環電流が流れるモード。
- C-(II): S, R 相を通じての帰還電流および T から R 相への循環電流が流れるモード。

C-(III): S, R 相を通じての帰還電流および R から T 相への循環電流が流れるモード。

C-(IV): R, S 相を通じての供給電流および R から T 相への循環電流が流れるモード。

となる。回路状態 B および C におけるモードの条件を表 3-(2) および (3) に与える。ただし、

$$\begin{aligned}
 Q_1 &: e_{c(s)}^B(o) > 0 \\
 Q_2 &: e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) < 0 \\
 Q_3 &: e_{c(s)}^B(o) + 2E/3 < 0 \\
 Q_4 &: e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) + E/3 < 0 \\
 Q_5 &: e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) - 2E/3 > 0 \\
 Q_6 &: e_{c(s)}^B(o) - E/3 > 0 \\
 Q_7 &: e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) - E/3 > 0 \\
 Q_8 &: e_{c(s)}^B(o) + E/3 < 0 \\
 Q_9 &: e_{c(s)}^B(o) - e_{c(r)}^B(o) > 0 \\
 Q_{10} &: 2e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) < 0 \\
 Q_{11} &: e_{c(r)}^B(o) - e_{c(s)}^B(o) - E > 0 \\
 Q_{12} &: 2e_{c(r)}^B(o) + e_{c(s)}^B(o) - E > 0
 \end{aligned}$$

および

$$\begin{aligned}
 R_1 &: e_{c(s)}^C(o) + 2E/3 < 0 \\
 R_2 &: e_{c(r)}^C(o) + e_{c(s)}^C(o) + E/3 < 0
 \end{aligned}$$

である。回路状態 D に対するモードの判定条件は、A についてのもと同様である。(表 1-(4))。

図 4-(1)~(4) は、表 1-(1)~(4) にもとずいて各々の回路状態におけるモードの存在領域を求めたものである。

境界は、斜線部側の領域に属する。尚、以上のモードが外部制御信号の変化が生ずるまで持続することの証明は、容量性負荷の場合、容易である。換言すれば、各モードの継続時間は常に τ_n または τ_f に等しい。

3. 計算機シミュレーションによるモード解析

図 2-(1) または (2) によれば逆変換器の 1 周期は、主スイッチスタへの制御信号が $1/6$ 周期ごとに入れ変わるので [1]~[6] の 6 個の回路状態にわかれ、かつ既述のように各々の $1/6$ 周期は、制御信号の時間中に応じてさらに 2 つの回路状態 A, B または C, D (=A) にわかれ、回路状態

A, B, CおよびDは、それぞれ図4-(1)~(4)にしたがってどれかのモードで動作する。いま、明確のため[1]~[6]のうちどの回路状態に対応する量であるかを示す必要から、添字*i* (*i*=1~6)を付加することになれば、一般に $T_w/6 \leq \tau < T_w/3$ のとき、

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i|}(t) \\ e_{c(S)}^{A|i|}(t) \\ e_{c(T)}^{A|i|}(t) \end{pmatrix} \underset{t \rightarrow \tau_n}{\text{lim}} = \begin{pmatrix} e_{c(R)}^{B|i|}(t) \\ e_{c(S)}^{B|i|}(t) \\ e_{c(T)}^{B|i|}(t) \end{pmatrix} \quad t=0 \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}^{B|i|}(t) \\ e_{c(S)}^{B|i|}(t) \\ e_{c(T)}^{B|i|}(t) \end{pmatrix} \underset{t \rightarrow \tau_f}{\text{lim}} = \begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i+1|}(t) \\ e_{c(S)}^{A|i+1|}(t) \\ e_{c(T)}^{A|i+1|}(t) \end{pmatrix} \quad t=0 \quad (3)$$

なる関係がある。モードの分類条件である表1-(1)及び(2)は、*i* = 1 の場合即ち最初の1/6周期における回路状態[1]に対してのみ妥当するが、

$$[K] = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

とにおいて、任意の回路状態*i*での各相コンデンサ電圧の標準の方向または相の入れかえを行うために

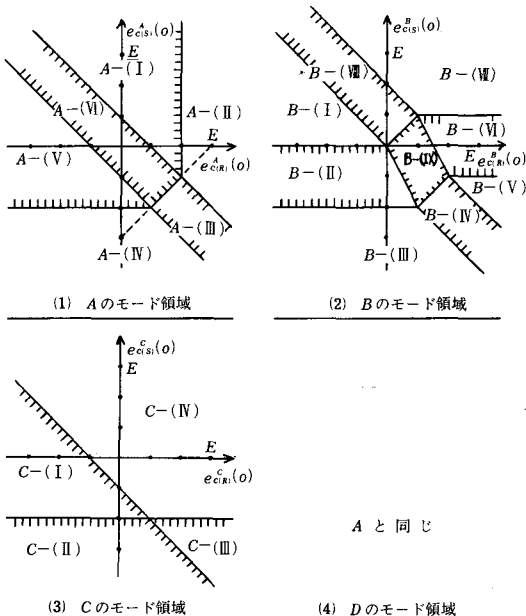


図4 A~D回路状態のモード領域

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i|*}(t) \\ e_{c(S)}^{A|i|*}(t) \\ e_{c(T)}^{A|i|*}(t) \end{pmatrix} = [K]^{i-1} \cdot \begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i|}(t) \\ e_{c(S)}^{A|i|}(t) \\ e_{c(T)}^{A|i|}(t) \end{pmatrix} \quad 0 \leq t < \tau_n \quad (5)$$

とすれば、これら変換された $e_{c(R)}^{A|i|*}(t)$, $e_{c(S)}^{A|i|*}(t)$ については回路状態[1]における同一のモード判定が可能である。特に $[K]^6 = E$ (E : 単位行列)となる。(5)式から

$$\begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i|*}(o) \\ e_{c(S)}^{A|i|*}(o) \\ e_{c(T)}^{A|i|*}(o) \end{pmatrix} = [K]^{i-1} \cdot \begin{pmatrix} e_{c(R)}^{A|i|}(o) \\ e_{c(S)}^{A|i|}(o) \\ e_{c(T)}^{A|i|}(o) \end{pmatrix} \quad (6)$$

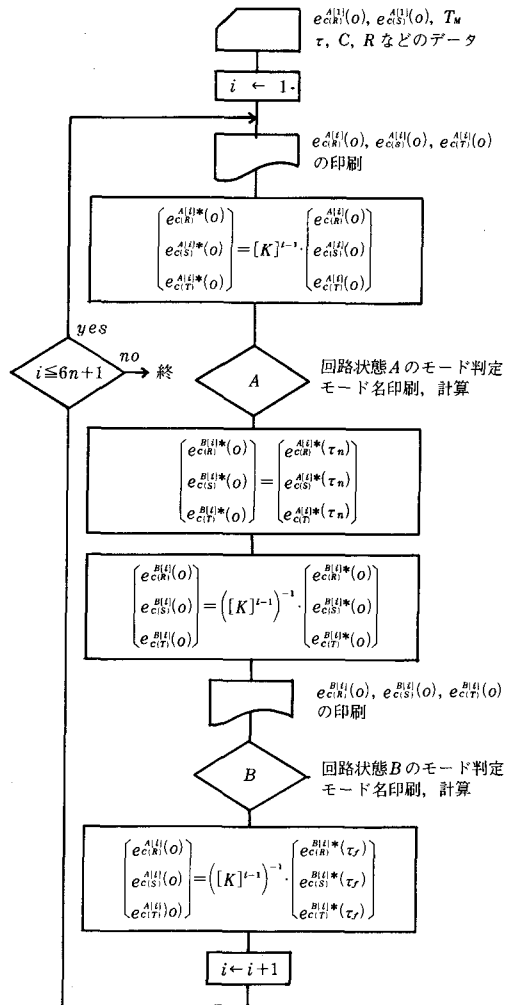


図5 モード解析の流れ図 ($T_w/6 \leq \tau < T_w/3$)

同様にして(5)式および(2)式から簡単に

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[i]*}(o) \\ e_{c(S)}^{B[i]*}(o) \\ e_{c(T)}^{B[i]*}(o) \end{bmatrix} = [K]^{i-1} \cdot \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[i]}(o) \\ e_{c(S)}^{B[i]}(o) \\ e_{c(T)}^{B[i]}(o) \end{bmatrix} \quad (7)$$

を得る。故に回路状態 [i] における、回路状態 A または B のモードの判定は、変換(6)または(7)式によって求めた初期値 $e_{c(R)}^{A[i]*}(o)$, $e_{c(S)}^{A[i]*}(o)$ または $e_{c(R)}^{B[i]*}(o)$, $e_{c(S)}^{B[i]*}(o)$ により実行できる。

$T_M/3 \leq \tau < T_M/2$ のときも、上記とまったく同じ考え方で処理できるが、この場合回路状態 C の継続時間が τ_n で D (=A) のそれが τ_r であることに注意すればよい。いずれの場合にも実際の各相コンデンサ初期値は、(6)または(7)式に $([K]^{i-1})^{-1}$ を乗ずることにより導びくことができる。

図5に $T_M/6 \leq \tau < T_M/3$ の場合のシミュレーションに関するフローチャートを例として掲げておく。

4. シミュレーションの結果と定常状態の動作モード

4.1 準定常状態の存在

定常値は初期値に依存しないが、(1)式を満す任意の初期値を与えてシミュレーションを行った場合、どのモードから過渡現象が起るかによっては準定常状態に達するまでの時間が多少のばらつきを持つ。初期条件 (負荷コンデンサ端子電圧の初期値)、導通時間巾および負荷コンデンサ容量を種々変えたとき、殆んど数 H_z の後に準定常状態に達し、 $10 H_z$ もたてば完全に定常状態が実現される。確認された準定常状態としては次のモードのくり返しである。

(A) $T_M/6 \leq \tau < T_M/3$ の場合

$$A - (V) \rightarrow B - (II) \rightarrow A - (V) \rightarrow B - (II) \dots$$

および

$$A - (VI) \rightarrow B - (II) \rightarrow A - (VI) \rightarrow B - (II) \dots$$

(B) $T_M/3 \leq \tau < T_M/2$ の場合

$$C - (I) \rightarrow A - (V) \rightarrow C - (I) \rightarrow A - (V) \dots$$

および

$$C - (IV) \rightarrow A - (VI) \rightarrow C - (IV) \rightarrow A - (VI) \dots$$

4.2 定常状態の動作モードの解析

定常状態の動作モードは、準定常状態のそれと同じでなければならない。しかし、上記の準定常状態に対する定常状態の動作モードがすべてであり、それら以外の動作モードが現われ得ないということは検証を要する。

A - (V) \rightarrow B - (II) \dots の準定常状態におけるモード列に関して基礎方程式は、コンデンサ電圧が連続だから

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(\tau_n) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(\tau_n) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(\tau_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ab & \frac{a(1+b)}{2} & 0 \\ 0 & a & 0 \\ -ab & \frac{a(1+b)}{2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(o) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(o) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(o) \end{bmatrix} + \frac{E(1-a)}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[1]}(o) \\ e_{c(S)}^{B[1]}(o) \\ e_{c(T)}^{B[1]}(o) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(\tau_n) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(\tau_n) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(\tau_n) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[1]}(\tau_r) \\ e_{c(S)}^{B[1]}(\tau_r) \\ e_{c(T)}^{B[1]}(\tau_r) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b & -\frac{(1-b)}{2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -b & -\frac{(1+b)}{2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[1]}(o) \\ e_{c(S)}^{B[1]}(o) \\ e_{c(T)}^{B[1]}(o) \end{bmatrix} \quad (10)$$

および

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[2]}(o) \\ e_{c(S)}^{A[2]}(o) \\ e_{c(T)}^{A[2]}(o) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[1]}(\tau_r) \\ e_{c(S)}^{B[1]}(\tau_r) \\ e_{c(T)}^{B[1]}(\tau_r) \end{bmatrix} \quad (11)$$

ただし、 $a = e^{-\tau_n/C/R}$, $b = e^{-\tau_r/C/R}$ である。

これらの関係式から

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[2]}(o) \\ e_{c(S)}^{A[2]}(o) \\ e_{c(T)}^{A[2]}(o) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ab & -\frac{a(1-b)}{2} & 0 \\ 0 & a & 0 \\ -ab & -\frac{a(1+b)}{2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(o) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(o) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(o) \end{bmatrix} + \frac{E(1-a)}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

定常状態においては,

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[2]}(0) \\ e_{c(S)}^{A[2]}(0) \\ e_{c(T)}^{A[2]}(0) \end{bmatrix} = [K] \cdot \begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(0) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(0) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(0) \end{bmatrix} \quad (13)$$

が成立するから、これと(12)式とから回路状態[1]のモードA-(V)に対する定常状態の初期値は,

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{A[1]}(0) \\ e_{c(S)}^{A[1]}(0) \\ e_{c(T)}^{A[1]}(0) \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \cdot \frac{(1-a)}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} -(1+ab) \\ 2ab-1 \\ 2-ad \end{bmatrix} \quad (14)$$

ここに $\Delta = 2 + 2a^2b - ab - a$

(8), (9)および(14)式から $(e_{c(R)}^{B[1]}(0), e_{c(S)}^{B[1]}(0), e_{c(T)}^{B[1]}(0))^+$ の定常解は,

$$\begin{bmatrix} e_{c(R)}^{B[1]}(0) \\ e_{c(S)}^{B[1]}(0) \\ e_{c(T)}^{B[1]}(0) \end{bmatrix}_{\text{定常}} = \frac{E}{3} \cdot \frac{(1-a)}{\Delta} \cdot \begin{bmatrix} 2-ab-3a \\ 2ab-4 \\ 3a-ab+2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

となる。このようにして求めた $e_{c(R)}^{A[1]}(0), e_{c(S)}^{A[1]}(0)$ がモードA-(V)を満す条件および $e_{c(R)}^{B[1]}(0), e_{c(S)}^{B[1]}(0)$ がモードB-(II)を満すための条件として

$$ab - 2 + 3a < 0 \quad (16)$$

を得る。その他のモード列についても基礎方程式をたてて定常解を求めたのち、これらの解がそれぞれのモード列を満す条件を列挙すれば、

A-(VI) \rightarrow B-(II)……モード列については

$$ab - 2 + 3a \geq 0 \quad (17)$$

C-(I) \rightarrow A-(V)……のモード列に対しては

$$ab < \frac{1}{2} \quad (18)$$

および

C-(IV) \rightarrow A-(VI)……のモード列の条件は

$$ab \geq \frac{1}{2} \quad (19)$$

となる。

5. む す び

PWM 3 相逆変換器が容量性負荷を有する場合の動作モードを計算機シミュレーションにより明らかにし、その結果確認された準定常状態に対応するマトリクス漸化式により定常状態の動作モードを解析した。

定常状態の動作モードとしては、 $T_w/6 \leq \tau < T_w/3$ の場合、(16)および(17)の両式から明らかなように、これらに対応する2つのモード列以外のモード列は出現しない。同様に $T_w/3 \leq \tau < T_w/2$ のときにも、(18), (19)式で示されるように、モード列C-(I) \rightarrow A-(V)およびC-(IV) \rightarrow A-(VI)以外のモード列は存在し得ないことになる。

ここに示した基本的概念に関しては、外部制御信号によって一見定まるように思われる回路状態も、その回路状態が始まる時点での回路の連続な動作量の初期値に依存していくつかのモードに分かれるが、これら連続な動作量の初期値とモードとの間には決定的な関係があるという事実である。したがって、現象が収束して定常状態に達する場合、必ず準定常状態を経過すると考えられる。本法は、半導体素子を含む周期的な任意の回路解析に適用できる。

おわりに、日頃懇切なる御指導をたまわっている京工繊大・電気工学科岡本弘助教に深謝致します。

文 献

- (1) 井村：奈良高専研究紀要 第9号 (昭和48年)
- (2) MM. Henri Foch et al : Détermination analytique d' un abaque caractérisant la conduction d' un onduleur autonome connecté à une charge active, ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE, Série-B, pp.517~520 (18 mars 1974).
- (3) K. R. Jordan: General analysis of Three phase Invertor, T. of IEEE, IGA. vol. 5, No. 6, pp.680~685 (1969, 11/12).

+ \cdot は転置行列を表すものとする。したがってこれは列ベクトルである。

紙テープを用いた画像出力装置*

上田 勝彦 ・ 世古 忠

Digital Image Display System Using Punched Paper Tapes.

Katsuhiko UEDA and Tadashi SEKO

ABSTRACT

This paper describes the development of a digital image display device using the punched paper tape. With this device, the digital images stored in the paper tape can be displayed on the cathode ray tube by off-line operation with a computer.

To reduce an amount of the paper tape, only the brightness data are punched in the paper tape, and the beam deflection signals are generated by counting feed holes.

This device is possible to display up to 256×256 points. Brightness modulation can be performed by 255 levels. The accuracy of the horizontal and vertical positions and of the brightness modulation are sufficient for practical use.

1. ま え が き

電子計算機による画像情報処理は、光学的な方法と比較して、精度、再現性、汎用性などの点ですぐれているという理由から、多くの分野で関心が高まっている。しかし、画像の入出力装置は非常に高価であり、このことが、この分野の研究を行なう上での困難な問題となっている。これは濃淡のある画像の場合に特に著しい。

この点を解決するために、従来からいろいろな方法が試みられてきた。すなわち、専用の装置を使用しないで画像を出力する方法としては、ラインプリンタにより各種の文字の重ね打ちを利用するもの⁽¹⁾や紙テープに穿孔

される孔の位置や密度を変えることにより文字や濃淡画像を表示する方法⁽²⁾などがある。前者の方法は画素数が限られること、印字のずれがあること、リボンの状態により濃度変化があることなどの欠点があり、後者の方法は紙テープの量が莫大となり取扱い上非常に不便であり、1枚の画像を表示するのに長時間を要するなどの欠点がある。簡単な専用装置としては、紙テープや磁気テープを用いてオフラインでブラウン管に表示する方法^{(3), (4)}がある。前者はやはり紙テープの量が莫大となり実用上不便であり、後者は価格の面で問題がある。

そこで、ここでは紙テープを用いた専用の画像出力装置ではあるが、紙テープのデータ形式および輝度変調方式を工夫することにより、従来の同種の方法と比較して、紙テープ量の減少および装置の単純化を試みた結果について報告する。また、あわせて本装置の性能および実用性についても検討を加える。

* 本報告の内容は第15回 SICE 学術講演会(昭和51年8月25日)で発表した。

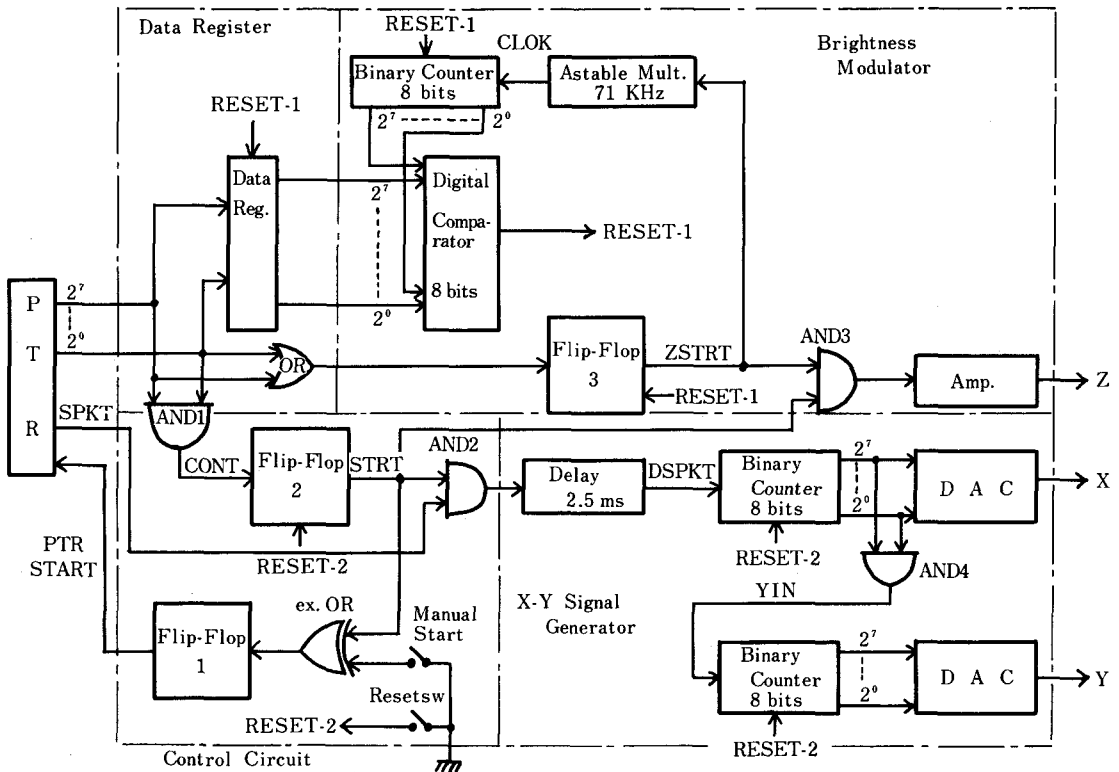


Fig.1 Block diagram of digital image display system.

2. 出力装置の構成・動作

今回、試作した装置のブロック図およびタイムチャートを Fig. 1, Fig. 2 に示す。

この装置は光電式紙テープリーダー (PTR), X-Y座標信号発生回路, 輝度変調回路, 制御回路, 表示装置としてのオシロスコープ, およびカメラより構成されている。

この装置は電子計算機によって処理された画像データを、離散的な中間調をもつ輝点の集合として表示するもので、画像は $N \times N$ 個の画素で構成され、最大 $N = 256$ まで表示可能である。Fig. 3 に本装置の入力となる紙テープのファイル形式を示す。紙テープに記録されるデータは輝度信号 Z のみであり、 Z は 1 バイト (8 ビット) の純 2 進数で表現している。 Z を表わす符号はいろいろ考えられるが、記録密度を大きくするためと、装置の簡単化のために純 2 進数表現を採用した。また、同様の目的から、座標データは穿孔せず、スプロケット孔をカウントすることにより座標信号を発生させるようにした。

したがって、紙テープ上では輝度信号 Z のデータは 1 ラスター分 N 個が、第 1 ラスター、第 2 ラスター、第 3 ラスター、……、第 N ラスターと $N \times N$ 個のデータが順次配列されて 1 画像分のデータブロックを構成している。なお、データブロックの始まりと終りを検出するために、8 ビット全てが穿孔されたコントロール・データを付加しているため、実際に表現可能な階調レベル数は $2^8 - 1 = 255$ となっている。また、打点速度は PTR の読み取り速度により決定される。ここで用いた PTR は 480 c/s と 240 c/s の 2 段階に変速可能であるが、ブラウン管 (CRT) の残光時間などの関係から、240 c/s の速度に設定したので打点速度も 240 points/s になっている。

以下、装置の動作を簡単に説明する。

手動スイッチで PTR に START 信号を与えることにより PTR は駆動され、データブロックの最初のコントロール・マークを検出するとフリップフロップ 2 を反転させ装置を動作可能な状態にする。PTR からのデータがデータレジスタにロードされると同時に輝度変調回

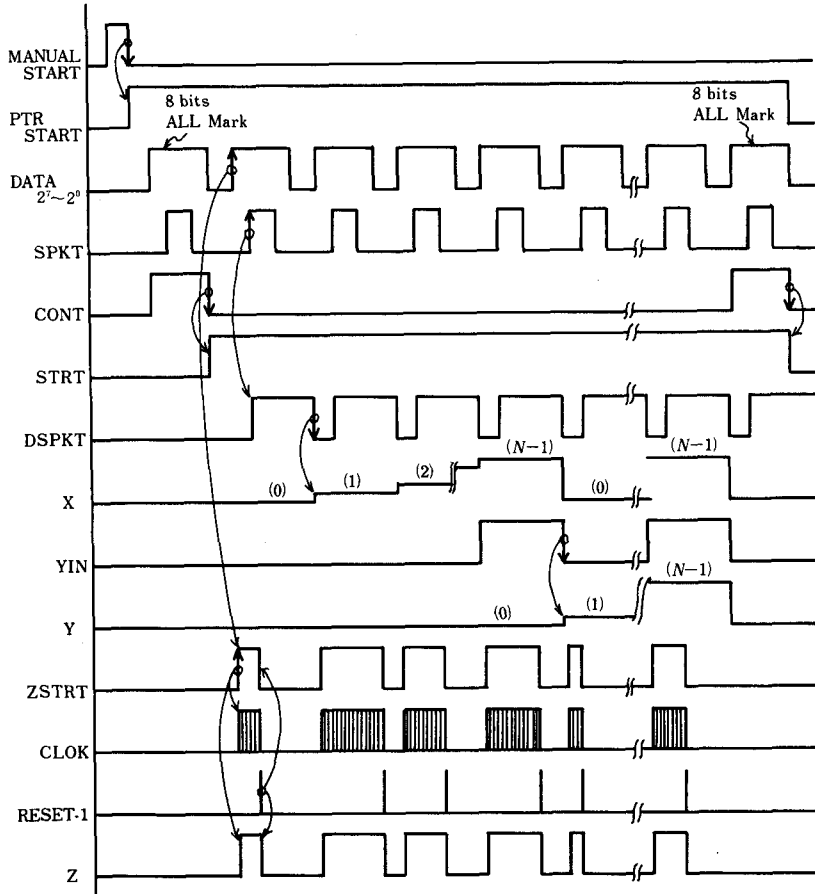


Fig. 2 Schematic time chart of this device.

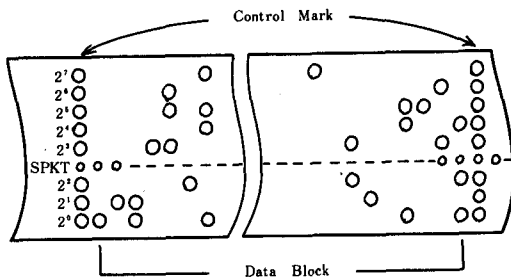


Fig. 3 Data format of 8-units paper tape.

路を通じて、入力データの大きさに比例したパルス幅をもつ輝度信号が出力される。

一方、約1データ分遅延されたスプロケット信号がXカウンタに入力され、このカウンタの内容を直接D-A変換することによりX座標信号が得られ、Xカウンタが

オーバーフローした時点のパルスをYカウンタに入力し、その内容をD-A変換することによりY座標信号が得られる。

このX、Y、Zの各信号をオシロスコープに入力することにより、CRT面上に1画素ずつ輝度変調されたスポットが表示されていく。この1画面をシャッターを開放にしたカメラで撮影することにより、計算機で処理された画像を記録することができる。

2.1 輝度変調回路

CRTのスポットの輝度変調は一般にパルス振幅変調を用いるが、この方式はCRTの輝度信号の大きさと輝度の関係が非線形になるという欠点があるので、これを解決するために本装置ではパルス幅変調方式を採用した。

Fig. 1 および Fig. 2 において、PTR からデータがデータレジスタにロードされると同時にフリップフロップ3を反転させ、輝度信号Zを出力すると共に、発振周波数71 KHzのアステーブル・マルチバイブレータを発振

させ、2進カウンタに入力する。このカウンタの内容とデータレジスタの内容が一致したとき生ずるパルス RESET-1により、フリップフロップ3をリセットしZを禁止すると同時にデータレジスタ、カウンタもリセットし、次ぎのデータが受付可能な状態になる。

以上の動作を繰り返すことにより、各画素の輝度データの大きさに比例したパルス幅の輝度信号が得られる。

1画素あたりの最大表示時間は、打点速度から逆算すると、約4msとれるがPTRのテープ送り速度の変動を考慮して、最大のデータ(254)のとき、約3.6msとするために基準発振器の発振周波数は71KHzに設定した。したがって、輝度信号の単位時間幅は約14 μ sとなる。なお、この基準発振器は回路の簡単化のためと発振の制御が容易であるという理由からNANDゲート2個を用いたアステابل・マルチバイブレータを採用したが、周波数安定度については実用上問題はなかった。

2.2 座標信号発生回路

この回路は2組の8ビット2進カウンタとDA変換器から構成されている。

Xカウンタはデータ信号の立ち上がりより3.8ms遅延されたスプロケット信号によりトリガーされる。この遅延時間は、輝度信号がブランキングの状態にあるときにスポットの座標移動が行なわれるように設定した。Xカウンタがオーバーフローしたときの信号をYカウンタに入力し、それぞれのカウンタの内容を直接DA変換することにより、X、Y座標信号としている。

また、画像データのサイズによりスプロケット信号をこの2進カウンタのLSB側から第1ビットか第2ビットにスイッチにより切り換えて入力することにより、7 \times 7ビットと8 \times 8ビットの画像が表示可能である。

3. 試作結果

試作した装置の外観をFig.4に示す。写真中で、右からPTR、試作装置、表示用オシロスコープの順である。

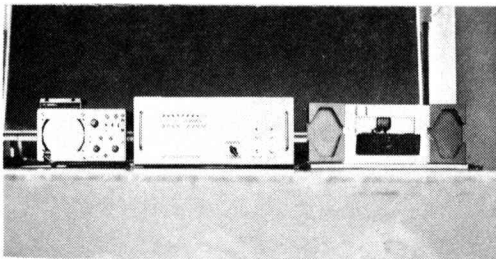


Fig.4 Front view of digital image display system.

この装置のXY座標変換特性を調べるために $Y = \pm X$ 、および $X^2 + Y^2 = (nr)^2$ の関数をCRT上で80 \times 80mmの正方形の中にサンプル数128 \times 128で描かせた結果がFig.5(a)、(b)である。この結果から、スポットの最大偏移量はスポット径の半分以下と非常に小さいことがわかった。なお、スポット径はCRT面上で実測した結果、約0.6mmであった。

Fig.6は、この装置の輝度特性を調べるために、輝度レベル16段階、サンプル数128 \times 128のパターンを表示した例である。使用フィルムはPlus-Xである。マイクロ

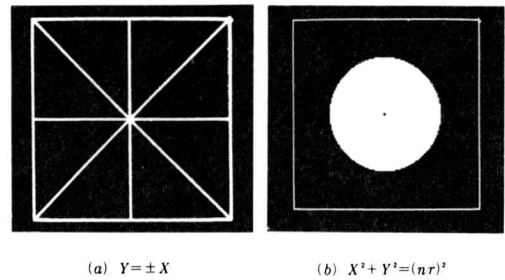


Fig.5 Example of two-dimensional representation

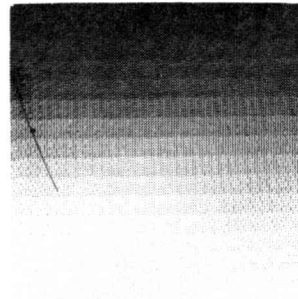


Fig.6 Test pattern (16 Levels).

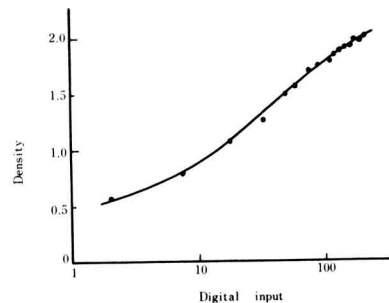


Fig.7 Relation between digital input and optical density for Plus-X film.

フォトメータでその濃度値を測定した結果が Fig.7 であり、直線からの最大偏移量は濃度の最大値に対して $\pm 5\%$ 以下であり、データ出力時に補正を行えば更に改善できると思われる。この実験はマイクロファイン現像液を用いて、液温 20°C 、現像時間 8 分と全て同一条件で行なった。記録用のフィルムとしては、解像度が高いという理由からミニ・コピーフィルムも使用したが、Plus-X に比べて γ 特性曲線の直線範囲がせまいために濃度特性の非線形性が大きくなり、また本装置で表示するサンプル数程度ではフィルムの解像度は問題にならないと考えられるので、Plus-X を採用した。

Fig.8 はこの装置による中間調をもつ画像の代表的な表示例で、輝度レベル 255 段階、サンプル数 128×128 で表示されている。

以上、試作装置の精度、安定性は実用上十分満足なものがえられた。本装置の性能をまとめて Tabl.1 に示す。



Fig.8 Typical representation of half-tone images.

Table 1 Performance of digital image display system.

Plotting accuracy	$\pm 0.3\%$
Accuracy of gray level	$\pm 5\%$
Plotting velocity	240 points/sec
Size of output image	128×128 256×256

4. 結 言

電子計算機による画像処理の研究に使用できるオフラインの画像出力装置を試作した。情報媒体として紙テープを用いることによる低速、低記録密度という欠点はあるが、濃度値を 1 バイト (8 ビット) の 2 進数で表現し、座標データを省略したので、紙テープ量を従来の方法より大幅に減少でき、かつ表示時間も短縮できた。また、輝度変調にパルス幅変調方式を採用したことにより、輝度データ-濃度特性を良好なものとするのができた。しかし、表示用 CRT として観測用オシロスコープのブラウン管を使用したため、残光時間が比較的長く、またスポット径も大きいので、今後この点を改良する必要がある。

現在、本装置を用いて画像の最適量子化や計算プログラムの研究を行なっているが、これらの具体的な応用例については別の機会に報告する予定である。

文 献

- (1) 石塚：京都大学大型計算機センター広報，7，145 (1974)
- (2) 尾上，柴田：情報処理，16，1078 (1975)
- (3) 一岡，三好，鈴木：応用物理，39，427 (1970)
- (4) 奥山他：応用物理，42，1091 (1973)

2変数リレー制御系の周波数応答

木村 伊 一

Frequency Response of Two-Variable Relay Control Systems

Iichi KIMURA

ABSTRACT

In the design of the closed loop control systems with several nonlinearities, the frequency response is the particularly important matter. Even in the simple frequency response, there still remain many unresolved problems. Therefore, we developed the frequency response with two variable nonlinear systems based on the Nikiforuk's an analytical and graphical procedure.

Amplitude, phase response and jump resonance were obtained most suitable value. They had a good agreement with characteristics which was predicted by Nikiforuk et al.

1. 緒 言

自動制御系においては、数多くの操作量と制御量とが多少とも互いに干渉しあっているのが普通である。その相互の干渉が強い場合は、一変数系として取り扱うことはできない。

実際の制御系は種々の非線形特性をもつ制御要素で構成されているので、非線形要素を含む多変数制御系として取扱わねばならない。非線形要素を含む多変数制御系の閉ループ周波数応答を解析することは制御系の設計上有用である。先に報告した自動振動発生条件を適用した解析法⁽¹⁾があるが、本研究は Nikiforuk⁽²⁾らが発表した図式解法により、2変数リレー制御系の閉ループ周波数特性を解析したものである。

2. 制御系の伝達関数

図1に示す非線形要素を含む干渉系の伝達関数は次の

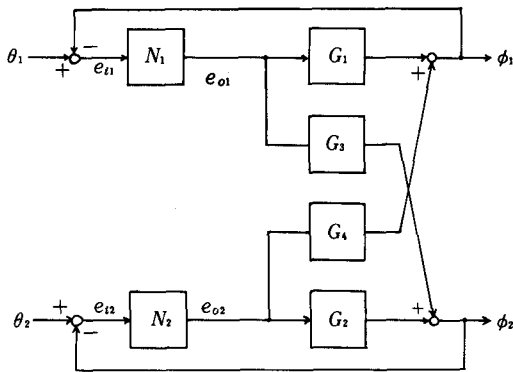


図1 2変数リレー制御系

ようにあらわされる。

ここに、 N_1, N_2 : 非線形伝達関数
 $G_{i(i=1\sim 4)}$: 線形部伝達関数
 θ_1, θ_2 : 入力信号
 ϕ_1, ϕ_2 : 出力信号
 e_{i1}, e_{i2} : 偏差信号
 e_{o1}, e_{o2} : 非線形部出力信号

とする。図1より次の関係式がえられる。

$$\begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_1 & G_3 \\ G_4 & G_2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} e_{o1} \\ e_{o2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_1 & O \\ O & N_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix}$$

これより、偏差信号を求めると

$$\begin{pmatrix} e_{i1} \\ e_{i2} \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} (1+G_2N_2)\theta_1 - G_4N_1\theta_2 \\ -G_3N_2 + (1+G_1N_1)\theta_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

となる。ただし $\Delta = (1+G_1N_1)(1+G_2N_2) - G_3G_4N_1N_2$ である。これより偏差と入力との関係は

$$\frac{e_{i1}}{\theta_1} = \frac{1}{\Delta} (1+G_2N_2 - G_4N_1\gamma_1) \quad (2)$$

$$\frac{e_{i2}}{\theta_2} = \frac{1}{\Delta} (1+G_1N_1 - G_3N_2\gamma_2) \quad (3)$$

となる。ただし、 $\gamma_1 = \theta_2/\theta_1$, $\gamma_2 = \theta_1/\theta_2$ である。

またこの系の閉ループ伝達関数は

$$\frac{\phi_1}{\theta_1} = 1 - \frac{1}{\Delta} (1+G_2N_2 - G_4N_1\gamma_1) \quad (4)$$

$$\frac{\phi_2}{\theta_2} = 1 - \frac{1}{\Delta} (1 + G_1 N_1 - G_3 N_2 \gamma_2) \quad (5)$$

となる。閉ループ伝達関数はえられたが、ここで入力 θ_1 , θ_2 を与えても、(4), (5) 式の2つの式からは直接 ϕ_1/θ_1 , ϕ_2/θ_2 のゲインや位相を求めることはできない。なぜならば、与えられた θ_1 , θ_2 に対応した記述関数 N_1 , N_2 の値が未知であるからである。

3. 図式解析法による動作点の決定

非線形要素の記述関数は、その非線形要素への入力からわからなければ求められない。よって入力と偏差との関係式(2), (3)式を用いて解析を進める。入力信号 θ_1 , θ_2 , および偏差信号 e_{i1} , e_{i2} を複素数であらわすと

$$\theta_1(j\omega) = a \exp(j\omega t), \quad (6)$$

$$\theta_2(j\omega) = b \exp\{j(\omega t + \gamma)\} \quad (7)$$

$$e_{i1}(j\omega) = E_{i1} \exp\{j(\omega t + \xi_1)\} \quad (8)$$

$$e_{i2}(j\omega) = E_{i2} \exp\{j(\omega t + \xi_2)\} \quad (9)$$

となる。ただし ω は入力角周波数、 γ , ξ_1 , ξ_2 は位相角とする。これらの式を(2), (3)式に代入すれば、つぎの結果がえられる。

$$\begin{aligned} \frac{E_{i1}}{a} \exp(j\xi_1) &= \frac{1}{\Delta} (1 + G_2 N_2 \\ &- G_4 N_1 \gamma_1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{E_{i2}}{b} \exp(j\xi_2) &= \frac{1}{\Delta} (1 + G_1 N_1 \\ &- G_3 N_2 \gamma_2) \end{aligned} \quad (11)$$

また、(10)式を(11)式でわると

$$\begin{aligned} \frac{E_{i1}/a}{E_{i2}/b} \exp\{j(\xi_1 - \xi_2 + \gamma)\} \\ = \frac{1 + G_2 N_2 - G_4 N_1 \gamma_1}{1 + G_1 N_1 - G_3 N_2 \gamma_2} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。これを第一振幅条件という。 E_{i1}/a と E_{i2}/b の関係は直接(12)式より求めることは困難であるから次のようにして図式により求める。(12)式を

$$|X| = \frac{E_{i1}/a}{E_{i2}/b} \quad (13)$$

$$|X| = \left| \frac{1 + G_2 N_2 - G_4 N_1 \gamma_1}{1 + G_1 N_1 - G_3 N_2 \gamma_2} \right| \quad (14)$$

とおくと、 E_{i2}/b の定められた値において、図2のように、 E_{i1}/a を横軸にとって(13), (14)式を同一平面に描くことにより、これらの交点として E_{i1}/a , E_{i2}/b の関係が求まる。

交点が存在しない場合には、基本調波振動が発生せず、その系は不安定である。交点が複数個存在する場合は、そ

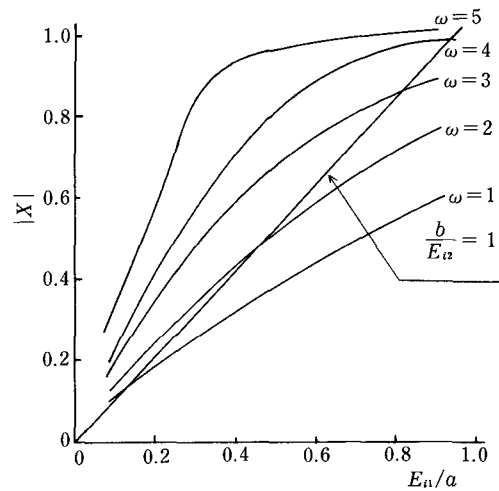


図2 対称2変数リレー制御系の第一振幅条件

の系の直前の状態によって、どの交点が動作点となりえるかが決定される。また、これらの交点はただ与えられた θ_1 , θ_2 における、この系の可能な動作点を与えるだけで、すべての交点が系の実際の動作点になるとは限らない。

そこで、各周波数における実際の動作点を見つけるには、第二振幅条件(10), (11)式を用いる。(10), (11)式を

$$|Y| = \frac{E_{i1}}{a} \quad (15)$$

$$|Y| = \frac{1}{\Delta} (1 + G_2 N_2 - G_4 N_1 \gamma_1) \quad (16)$$

$$|Z| = \frac{E_{i2}}{b} \quad (17)$$

$$|Z| = \frac{1}{\Delta} (1 + G_1 N_1 - G_3 N_2 \gamma_2) \quad (18)$$

とおき、第一振幅条件式から求められた、各周波数にお

ける E_{i1}/a と E_{i2}/b の組合せを(15)式～(18)式に代入し図3のように E_{i1}/a を横軸にとって(15), (16)式を同一平面に描く。これらの交点が実際の系の動作点ということになる。同様に E_{i2}/b に対する $|Z|$ のグラフを描いても実際の動作点が求まる。しかし、実際には $|Y| |Z|$ のいずれか一方から第二振幅条件を求めることができる。

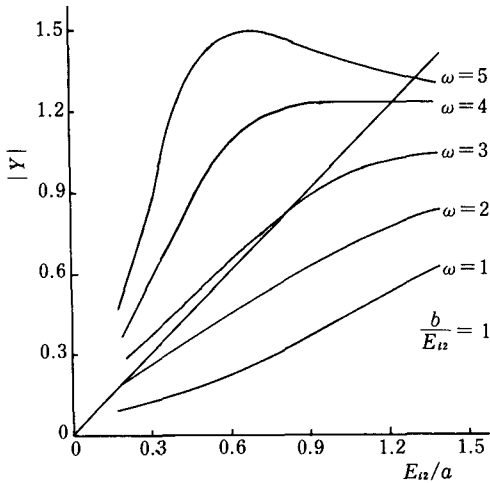


図3 対称2変数リレー制御系の第二振幅条件

これらの結果よりえた、 E_{i1}/a 、 E_{i2}/b の値および周波数 ω の値を閉ループ方程式(4), (5)式に代入すれば ϕ_1/θ_1 、 ϕ_2/θ_2 のゲイン位相図がえられる。

一般に、系の動作点の決定には第一振幅条件、第二振幅条件を満足しなければならないが、しかし図1の系が対称で、かつ、入力信号 θ_1 、 θ_2 が同相で振幅が等しければ、 $E_{i1}/a = E_{i2}/b$ となるので実際の動作点は第二振幅条件より求められる。

4. 周波数応答および考察

図1に示す、2変数リレー制御系において、それぞれの伝達関数を

$$N_{1,2} = \frac{4E_o}{\pi E_i} \left\{ \sqrt{1 - \left(\frac{h}{2E_i}\right)^2} - j \frac{h}{2E_i} \right\}$$

$$G_1 = \frac{K_1}{S(ST_1+1)} \quad G_2 = \frac{K_2}{S(ST_2+1)}$$

$$G_3 = \frac{K_3}{S} \quad G_4 = \frac{K_4}{S}$$

としたときの閉ループ伝達関数 ϕ_1/θ_1 、 ϕ_2/θ_2 のゲイン

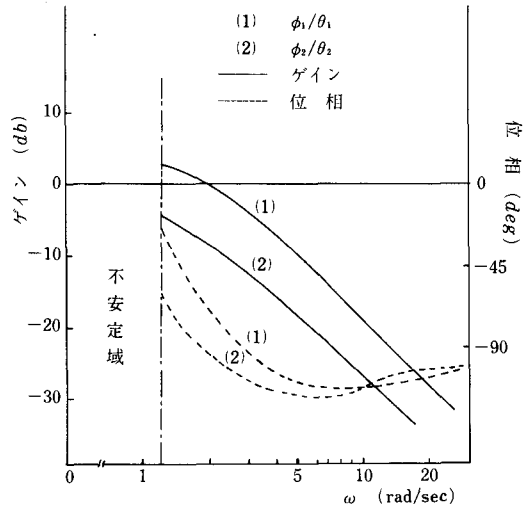


図4 2変数リレー制御系の周波数特性

および位相を図式解析法により求める。図4は各係数を $K_1=12$ $K_2=8$ $K_3=7$ $K_4=3$ $T_1=0.25$ $T_2=0.5$ $E_o=1$ $h/2=1$ $a=10$ $b=10$

としたときの周波数特性である。この特性から周波数が 1.3 (rad/sec) より低い周波数帯域では実際の動作点が

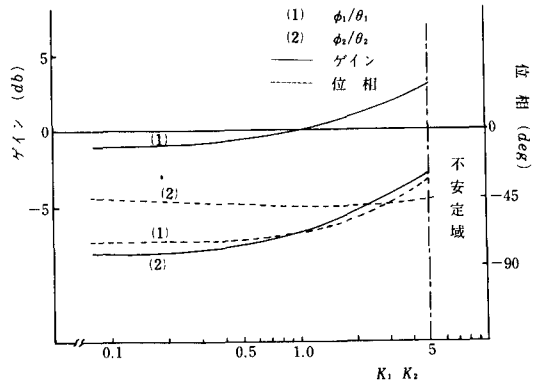


図5 ゲイン位相 (ゲイン定数変化)

存在しないことがわかる。図式解析法では、この周波数帯域での動作状態を明らかにすることは困難であるが、周波数特性曲線が系の共振周波数からはじまっていることから、1.3 (rad/sec) 以下の周波数帯域では非線形振動が起り、不安定領域と考えられる。図5はゲイン定数 K_1 および K_2 を変化させた場合の周波数特性でゲイン定数が大きくなると不安定となる傾向があらわれている。

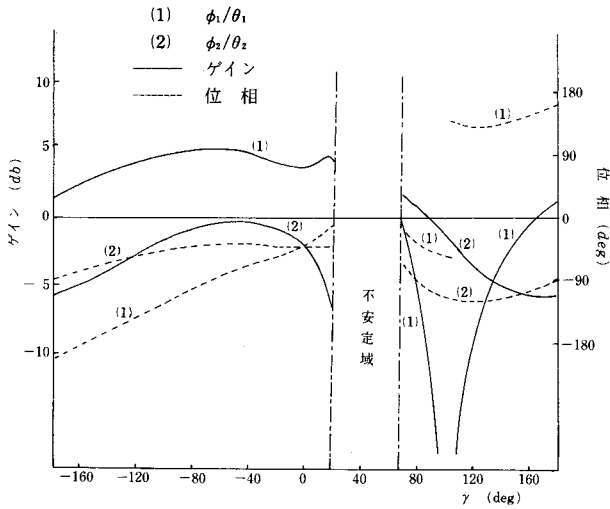


図6 ゲイン-位相図 (入力信号位相差 γ 変化)

つぎに、入力信号 θ_1, θ_2 に位相差がある場合の閉ループ周波数特性を図5に示した。各係数は

$$K_1=10 \quad K_2=8 \quad K_3=7 \quad K_4=3 \quad T_1=0.25 \\ T_2=0.5 \quad E_0=1 \quad h/2=1 \quad a=10 \quad b=10 \\ \omega=1 \text{ (rad/sec)}$$

とし、位相差 γ を 0° から 360° まで変化させたとき、位相差が 20° から 70° 附近までは不安定領域となっている。また、位相差が 90° 附近において ϕ_1/θ_1 のゲイン位相特性が急激に変化し反共振状態を示していることから不安定領域とみなせる。

5. 結 言

2変数リレー制御系において入力信号の周波数、振幅および位相差がどのような範囲にあれば安定領域を拡げることができるか。また入力信号が与えられているとき、系の線形伝達関数のゲインや時定数がどのような値をとれば周波数特性を改善することができるかをしらべた結果、図4および図6に示した諸定数の値が最もよい条件であることがわかった。また非線形振動および跳躍現象も観察できた。

本研究で用いた図式解析法は記述関数を用いているので強制振動の厳密な解析は望めない。しかし図式解析法は記述関数さえ求めればどんな非線形要素を含んだ系にでも適用でき周波数特性の解析に有効であることを示した。

よってこの解析法を用いれば、非線形制御系の補償を比較的容易に行える。

文 献

- (1) 丸橋, 金山 制御工学 Vol.1, 6 (1968)
- (2) P. N. Nikiforuk, B. L. M. Wintonyk INT, J Control Vol.7, No.1 (1968)
- (3) J. E. Giboson Nonlinear Automatic Control.
- (4) 木村 電気学会中国支部連合大会 (1972)

Electronic Conduction in Polyethylene Induced by Pulsed Electron Beam

J. Kyokane,

S. Imanishi, T. Nishitani*, K. Yoshino* and Y. Inuishi*

Even in the simple polymer like polyethylene (PE), there still remain many unresolved properties. In our previous papers,^{(1), (2)} we reported that the electron beam induced conductivity in polymers consists of two parts; fast and slow components. The carrier mobility of fast carriers at high field has been estimated^{(1), (3)} from time of flight measurement in the polymer containing π electron system such as PET (polyethylene terephthalate), PEN (polyethylene naphthalate) and PS (polystyrene). The slow component is related with the carriers which migrate through the specimen by the repetition of trapping and detrapping processes. It was pointed out that the quantum yield for saturated linear polymer is much smaller than that of the polymers containing π electrons. In this paper, the time of flight measurement on PE by the pulsed electron beam (200 ns width) in vacuum will be reported. Commercial grade low density PE films (Yukalon) of $15\ \mu\text{m}$ thickness on which Au electrodes were evaporated in vacuum were used as the specimen. Detail of the experimental procedure is similar to that already reported in our previous paper.⁽¹⁾ The induced current $i(t)$ was estimated by differentiating the collected charge $Q(t)$ graphically.

Inset in Fig.1 shows a typical waveform of the induced charge due to the single shot of electron beam pulse in PE. Contrary to the

case of PET,⁽¹⁾ a clear knee is not observed in the waveform up to 1.8 MV/cm of the applied field even at 70°C, which is nearly equal to the breakdown field. The carrier transport in PE seems to suffer from the much severe influence of the localized states, resulting in the predominance of the slow component over the fast component in comparison with PET. The relative magnitude of this fast component Q_f to the slow component Q_s increases with increasing crystallinity. Namely, Q_f/Q_s is about 0.5 in high-density PE (HDPE) and about 0.2 in LDPE under the field 1.8 MV/cm at 70°C, although the value of the total induced charge $Q(=Q_s+Q_f)$ in HDPE seems to be comparable to that in LDPE. The temperature dependence of Q_f is rather insensitive as shown in Fig.2. Accordingly, the fast component seems to be due to the fast electron migration with short life time in crystalline region and the slow component seems to be related to the migration of carriers through amorphous region in PE. The determination of transit time of carriers in crystalline region was impossible, since the duration of this fast component is comparable to that of our electron beam pulse width. It should be noted that the induced charge was measured at 50 ms after the electron bombardment due to the limitation of the circuit time constant of 500 ms, although the

* Faculty of Engineering, Osaka University

collected charge still continues to increase gradually.

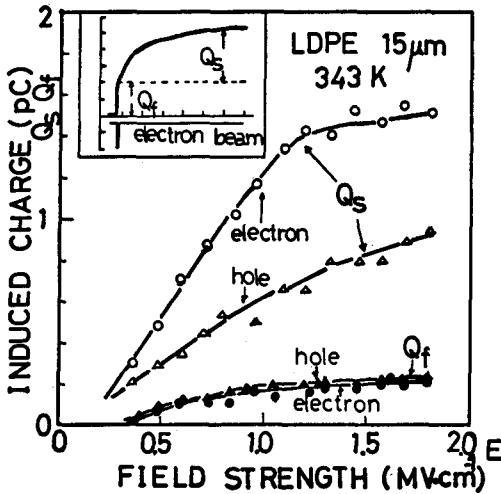


Fig.1 The bias field dependence induced charge Q_r , Q_s .

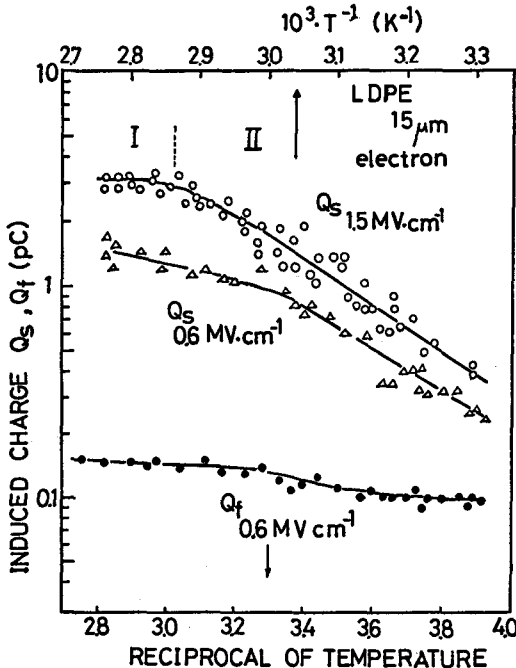


Fig.2 The temperature dependence of induced charge Q_r , Q_s .

Figure 1 shows the relation between the collected charges (Q_r , Q_s) and the bias field (Hecht curve). This Hecht curve for electron

saturates at higher field above 1.2 MV/cm at higher temperature ($\sim 70^\circ\text{C}$), suggesting the transit of slow electrons across the specimen within 50 ms. As shown in Fig.2, Q_s increases with increasing temperature becoming predominant above glass transition temperature ($-21^\circ\text{C} \sim -24^\circ\text{C}$)⁽⁴⁾ compared with Q_r . This curve turned out to be divided into two regions I, II. The activation energy in region II is about 0.35 ~ 0.38 eV, being nearly equal to the trap depth in PE.⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾ Region I is a temperature insensitive saturation region corresponding to the high field case of Fig.1, indicating that almost all slow carriers transit between electrodes and that the quantum efficiency for the carrier generation by the electron beam is rather insensitive to temperature. The induced charge waveforms even in high field and at high temperature do not show clear knee contrary to the case of fast carrier in PET. These behaviour may be explained by the distribution of the hopping time of slow electrons in amorphous region as suggested by Scher and Montroll.⁽⁸⁾ Figure 3 shows a log-log plot of current $i(t)$ versus time t of which the knee point around several ten ms should give the apparent transit time t_r . Although the field dependence of thus obtained transit time t_r were not so clear at this stage of experiment, the temperature dependence shows the activation energy of the order of 0.14 eV supporting partly the speculation mentioned above. The apparent mobility of slow electron estimated from t_r is of the order of 10^{-8} cm²/V·s, since the saturation of Hecht curve is not clearly observed at this temperature.

Trial to fit the observed $i(t)$ curve to the simple detrapping curve with single exponential decay: $i(t) = C \cdot \exp(-t/\tau)$ is not successful as shown by dotted line in Fig.3. However, the observed current decay seems to be fitted to the following equation with two time constants τ_1 , τ_2 .⁽⁹⁾

$$i(t) = C_1 \cdot \exp(-t/\tau_1) + C_2 \cdot \exp(-t/\tau_2)$$

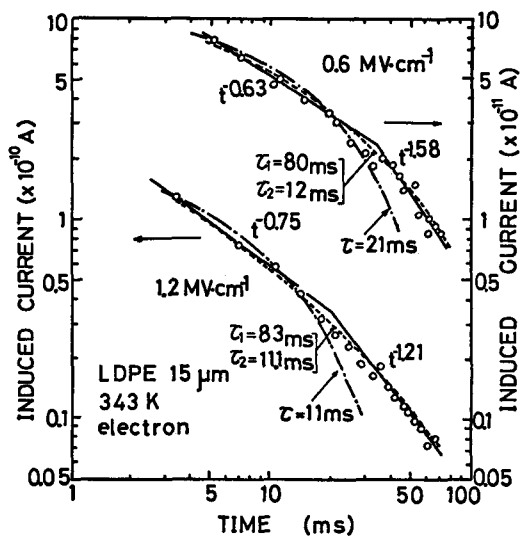


Fig.3 Log $i(t)$ versus log t plot of induced current. Dotted lines show $i(t) = C \cdot \exp(-t/\tau)$, where $\tau = 11$ ms. for (a), $\tau = 21$ ms. for (b).

where, τ_1 and τ_2 are determined by trapping and detrapping time. This fact indicates that the another interpretation of the induced current besides Scher and Montroll cannot be neglected completely at this stage.

When the bombardment side electrode is positively biased, saturation of Schubweg curve is not observed up to 1.8 MV/cm and the induced charge of hole is less than that of electrons, suggesting the lower mobility of slow holes.

References

- (1) K. Hayashi, K. Yoshino and Y. Inuishi: Japan. J. Appl. Phys. 14 (1975) 39.
- (2) K. Hayashi, T. Nishitani, K. Yoshino and Y. Inuishi: 1975 Conf. on Dielectric Materials, Measurements and Applications at Cambridge (IEE, Herts, 1975) p.273.
- (3) E. H. Martin and J. Hirsch: J. Appl. Phys. 43 (1972) 1001, 1008.
- (4) F. Danusso, G. Moraglis and G. Talamini: J. Polymer. Sci. 21 (1956) 140.
- (5) J. E. Fowler: Proc. Roy. Soc. (London) A236 (1956) 464.
- (6) A. Charlesby and R. H. Partiridge: Proc. Poy. Soc (London) A 318 (1970) 459.
- (7) T. Nishitani, K. Yoshino, and Y. Inuishi: Japan. J. Appl. Phys. 14 (1975) 721.
- (8) H. Scher and E. W. Montroll: Phys. Rev. 12 (1975) 2455.
- (9) R. M. Blakney and H. P. Grunwald: Phys. Rev. 159 (1967) No.658.

2次元FFTを用いたレンズの像空間における界強度分布の計算

世 吉 忠 ・ 成 田 絃 一

Calculation of Field-Intensity Distribution of a Lens using Two-Dimensional Fast Fourier Transformation

Tadashi SEKO and Hirokazu NARITA

ABSTRACT-The field intensity distribution in the image space of a thin lens is calculated for normally incident plane and spherical waves by using two dimensional Fast Fourier Transformation and the calculated results are compared with the results in the reference (2). Futher, the expression that can be calculated the field distribution by using F.F.T. in the case of any incident wave-front is derived in this paper.

1. ま え が き

薄肉レンズに、平面波および球面波が入射したときの像空間における界分布は、光波の波長領域での近似として、M. Born 等⁽¹⁾により求められている。さらに、光波以外の波長領域（ミリ波帯）におけるより厳密な解析解を根本等⁽²⁾が求め、誘電体レンズを用い、実験も行い、その式の妥当性を確かめている。

これらの解析解は、いずれも、カスラー波理論における、キルヒホッフの回折積分の近似として位置づけられるものであるが、平面波および球面波が入射した場合の解に限られている。

一般に、任意波面が入射した場合の界分布を解析的に求める事は、困難であり、その場合は、数値的方法に頼らざるを得ない。

近年、高速フーリエ変換法（以下、FFT と略す）のアルゴリズムの開発に伴い、これを用いて、数値的にフレネル変換を求める方法も報告⁽³⁾され、電波、音波等の回折パターンを求めたり、長波長ホログラムの数値的像再生等に利用されている。

本稿では、数値的方法の妥当性を確かめるために、薄

肉レンズに平面波および球面波が垂直に入射した場合の像空間での界強度分布を、一回の二次元FFTを用いて求め、文献(2)の解析解と比較した。さらに、任意波面が入射した場合の計算式を導出した。

2. 平面波、球面波入射時の像空間での界分布を与える計算式

今、図1の直交座標系で、薄肉レンズ（半径 a 、焦点距離 f ）の中心より前面 l の距離にある点波源が、レンズ前面に作る界分布を、 $U_i(x_1, y_1)$ 、レンズ後面に作る界分布を $U_t(x_1, y_1)$ とし、レンズの瞳関数を、 $\text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{a}\right)$ とするとき、 U_t, U_i は、フレネル近似の下、以下の式で与えられる。

$$U_i(x_1, y_1) = \frac{A}{l} \exp\left\{-j\frac{k}{2l}(x_1^2 + y_1^2)\right\} \quad (1)$$

$$U_t(x_1, y_1) = U_i(x_1, y_1) \text{circ}$$

$$\left(\frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{a}\right) \exp\left\{j\frac{k}{2f}(x_1^2 + y_1^2)\right\} \quad (2)$$

ここで、 k は波数を表わし、瞳関数 $\text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{a}\right)$ を、次式で定義する。

$$\text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{a}\right) = \begin{cases} 1: \sqrt{x_1^2+y_1^2} \leq a \text{ のとき} \\ 0: \text{その他の場合} \end{cases} \quad (3)$$

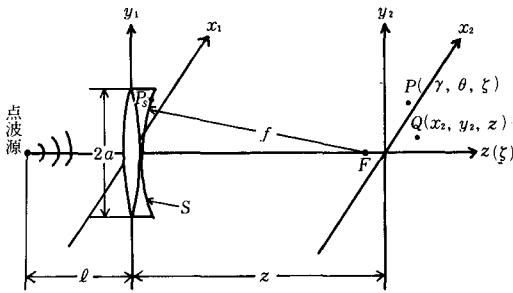


図1 レンズ系

レンズの後面、 Z の距離の観測点 $Q(x_2, y_2, z)$ における界分布を、 $f(x_2, y_2)$ とするとき、これも(1)式と同様、フレネル近似の下、次式で表現できる。

$$f(x_2, y_2) = \frac{j}{\lambda z} \exp(-jkz) \iint_{-\infty}^{\infty} U_i'(x_1, y_1) \exp\left\{-\frac{jk}{2z}[(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2]\right\} dx_1 dy_1 \quad (4)$$

(1)式、(2)式を(4)式に代入し変形すると(4)式は、

$$f(x_2, y_2) = \frac{jA}{\lambda z \ell} \exp\{-jk(z+\ell)\} \exp\left\{-\frac{j\pi}{\lambda z}(x_2^2+y_2^2)\right\} \iint_{-\infty}^{\infty} \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{a}\right) \exp\left\{j\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{\ell}-\frac{1}{z}\right)(x_1^2+y_1^2)\right\} \cdot \exp\left\{j\frac{2\pi}{\lambda z}(x_1x_2+y_1y_2)\right\} dx_1 dy_1 \quad (5)$$

同様にしてレンズに平面波が入射した場合の界分布、 $\phi(x_2, y_2)$ は次式で与えられる。

$$\phi(x_2, y_2) = \frac{jB}{\lambda z} \exp(-jkz) \exp\left\{-\frac{j\pi}{\lambda z}(x_2^2+y_2^2)\right\} \iint_{-\infty}^{\infty} \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_1^2+y_1^2}}{a}\right) \exp\left\{j\frac{\pi}{\lambda}\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{z}\right)(x_1^2+y_1^2)\right\} \cdot \exp\left\{\frac{j2\pi}{\lambda z}(x_1x_2+y_1y_2)\right\} dx_1 dy_1 \quad (6)$$

(5)式、(6)式より、 $f(x_2, y_2)$ 、 $\phi(x_2, y_2)$ は、いづれも、レンズの瞳関数に x_1, y_1 に関する2乗の位相項を掛け合わせ、それを、一回フーリエ変換する事により求められる事がわかる。(4)式は、 $U_i(x_1, y_1)$ と $\exp\left\{-\frac{jk}{2z}(x_1^2+y_1^2)\right\}$ との、たまたみ積分であるから、よく知られたコンボリューション定理に基づき、 $U_i(x_1, y_1)$ のフーリエ変換と、 $\exp\left\{-\frac{jk}{2z}(x_1^2+y_1^2)\right\}$ のフーリエ変換の積を逆変換しても求められるが、特に大容量データを扱う場合には、(4)式を、(5)式のように変形して計算した方が、計算時間の節約となる。

一回のフーリエ変換を用いた計算法

(5)式、(6)式を、一回の二次元FFTを用いて計算する際、図2に示したように、レンズ面 x_1-y_1 での開口(一辺 L の正方形とした)を、 $N \times N$ 個のサンプル点でサンプルする。このとき瞳関数に掛け合わせる、 x_1, y_1 に関する2乗の位相項が、1サンプリング間隔で、最大の位相変化をするのは、開口の端の点においてである。(5)式、(6)式よりこの時の値はそれぞれ次式で与えられる。

$$\frac{L}{N} \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{\ell} - \frac{1}{z} \right) x_1^2 \right\} \Bigg|_{x_1 = \frac{L}{2}} \quad (7)$$

$$\frac{L}{N} \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{z} \right) x_1^2 \right\} \Bigg|_{x_1 = \frac{L}{2}} \quad (8)$$

(7)式、(8)式から、 x_1-y_1 面で、サンプルすべき開口の大きさ L が一定とすると、 z が変化すれば、位相変化も大きく変化するため、サンプル点数 $N \times N$ が固定された場合、(7)式、(8)式が π を越えることがある。そのためレンズの瞳半径 a と、 x_1-y_1 面での開口の大きさ L とを相対的に変化させ、位相変化が大きくならないようにする必要がある。本稿においては、十分な精度でもって結果を導出するため、(7)式、(8)式を $\pi/10$ 以下に抑えた。

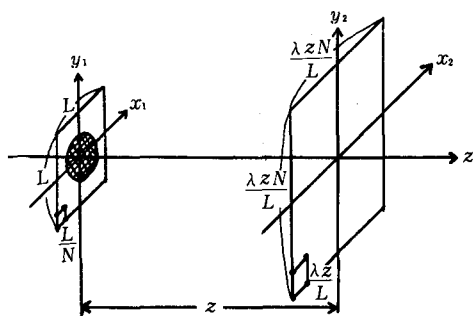


図2 レンズ面、観測面でのサンプリング

3. 像空間での界分布を与える解析解

図1のレンズの中心軸（ ζ 軸）に平行な平面波が入射したとき、像空間での点 $P(\gamma, \theta, \zeta)$ における界分布 ψ を与える回折積分の式は、レンズ頂点を通る等位面 S 上の界 ψ_s を一定であると仮定して、

$$\psi = \frac{jk}{2\pi} \psi_s \iint_S \frac{e^{-jk r}}{r} (1 + \cos \alpha) ds \quad (9)$$

$kR \gg 1$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ : 波長

で与えられる。ここで、

r は、 S 上の点 $P_s(\zeta, \psi, \frac{\zeta^2}{2f})$ と像空間の点 $P(r, \theta, \zeta)$ との間の距離、 α は、ベクトル $\vec{P_s P}$ と P_s での S の法線とのなす角であり、時間因子 $e^{j\omega t}$ は省略している。

いま、(9)式を、レンズ頂点 O を原点とする円筒座標 (γ, θ, ζ) を使い、光波以外のミリ波帯で、文献(1)よりは厳密な解を、根本等⁽²⁾が求めている。その結果を要約すると、以下の式ようになる。

$$\left| \frac{\psi}{\psi_s} \right|^2 = \begin{cases} \left(\frac{ka^2}{2\zeta} \right)^2 \left(\frac{2J_1(\hat{v})}{\hat{v}} \right)^2 \\ \left(\frac{ka^2}{2\zeta} \right)^2 \frac{U_1^2(\hat{u}, \hat{v}) + U_2^2(\hat{u}, \hat{v})}{\hat{v}^2/4} \end{cases} \quad (10)$$

ここで、 $\hat{u} \equiv ka^2(f^{-1} - \zeta^{-1})$, $\hat{v} \equiv ka r / \zeta$

$$U_1(\hat{u}, \hat{v}) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left(\frac{\hat{u}}{u} \right)^{1+2n} J_{1+2n}(\hat{u})$$

$$U_2(\hat{u}, \hat{v}) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \left(\frac{\hat{u}}{v} \right)^{2(1+n)} J_{2(1+n)}(\hat{v})$$

また、 ζ 軸上での界強度 \hat{I} は、

$$\hat{I} = \left(\frac{ka^2}{2\zeta} \right)^2 \left(\frac{\sin(\hat{u}/4)}{(\hat{u}/4)} \right)^2 \quad (11)$$

さらに、図1の ζ 軸上で、レンズの前方 l の距離にある点波源から発する球面波が、像空間の点 P に作る界分布は、上の(10)式、(11)式で、 f^{-1} を $(f^{-1} - l^{-1})$ に置き換えれば得られる。

いま、(10)式が、文献(1)よりは、厳密な解となる理由は、文献(1)においては、(10)式に相等する式で、 $\zeta = f$ と近似しているためである。2、で導出した(6)式は、(9)式をフレネル近似の下、直交座標表現したものに、他ならない。従って(6)式には、数値計算上の誤差はあっても、文献(1)のような近似は、(即ち $\zeta = f$ なる近似)していないため、上の(10)式及び(11)式と同様な結果が得られるものと期待できる。

4. 任意波面がレンズに入射したときの像空間での界分布を求める計算式の導出

前項迄の議論は、レンズに平面波および球面波が入射した場合に限られていた。一般にレンズに任意波面が入射した時に、像空間での界分布の解析解を求める事は困難であり、以下に示す数値的方法に頼らざるを得ない。

下図3において、物体面 $x_1 - y_1$ での波長 λ の波動場を $f(x_1, y_1)$ とし、レンズ前面での界分布を、 $U_i(x_2, y_2)$ とするとき、 U_i は、フレネル近似の下、次式で表わせる⁽⁴⁾。

$$U_i(x_2, y_2) = \frac{j}{\lambda z_1} \exp\left(-\frac{j2\pi z_1}{\lambda}\right) \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda z_1}(x_2^2 + y_2^2)\right] \int_{-\infty}^{\infty} \int f(x_1, y_1) \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda z_1}(x_1^2 + y_1^2)\right] \exp\left[\frac{j2\pi}{\lambda z_1}(x_1 x_2 + y_1 y_2)\right] dx_1 dy_1 \quad (12)$$

レンズ後面での界分布 $U_i'(x_2, y_2)$ は、次の式で与えられる。

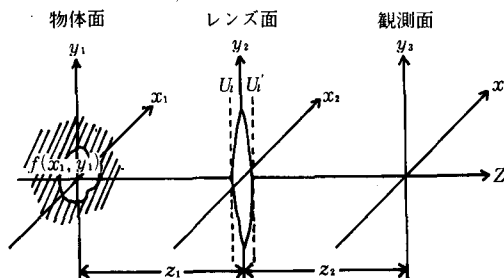


図3 任意波面入射時の座標系

$$U'_i(x_2, y_2) = U_i(x_2, y_2) \exp\left\{\frac{j\pi}{\lambda f} \left(x_2^2 + y_2^2\right)\right\} \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{a}\right) \quad (13)$$

従って、レンズの後方 z_2 の距離の平面内の点 (x_3, y_3) に作る界分布 $f(x_3, y_3)$ は、(11)式と同様にして次式で与えられる。

$$f(x_3, y_3) = \frac{j}{\lambda z_2} \exp\left(-\frac{j2\pi z_2}{\lambda}\right) \exp\left(-\frac{j\pi}{\lambda z_2} (x_3^2 + y_3^2)\right) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U'_i(x_2, y_2) \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda z_2} (x_2^2 + y_2^2)\right] \cdot \exp\left[\frac{j2\pi}{\lambda z_2} (x_3 x_2 + y_3 y_2)\right] dx_2 dy_2 \quad (14)$$

(11)式、(12)式を、(13)式に代入して整理すると、

$$f(x_3, y_3) = \frac{-1}{\lambda^2 z_1 z_2} \exp\left[-\frac{j2\pi}{\lambda} (z_1 + z_2)\right] \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda z_2} (x_3^2 + y_3^2)\right] \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \text{circ}\left(\frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{a}\right) \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, y_1) \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda z_1} (x_1^2 + y_1^2)\right] \cdot \exp\left[\frac{j2\pi}{\lambda z_1} (x_1 x_2 + y_1 y_2)\right] dx_1 dy_1 \right\} \cdot \exp\left[-\frac{j\pi}{\lambda} \left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} - \frac{1}{f}\right) \cdot (x_2^2 + y_2^2)\right] \cdot \exp\left[\frac{j2\pi}{\lambda z_2} (x_2 x_3 + y_2 y_3)\right] dx_2 dy_2 \quad (15)$$

(15)式より、任意波面が入射した場合の像空間での界分布 $f(x_3, y_3)$ を求めるには、最初に、物体面での波動場 $f(x_1, y_1)$ に、 x_1, y_1 に関する2乗の位相項を掛け、それを一回フーリエ変換する事により、レンズ前面での界分布を求め、次に、その界分布に、レンズ面迄の距離 z_1, z_2 と、焦点距離 f の情報を含んだ、 x_2, y_2 に関する2乗の位相項および、瞳関数を掛け合わせ、それを、更に一度、一回フーリエ変換する事により求められる事

がわかる。

5. 平面波および球面波入射時の、計算結果と、文献(2)との比較⁵⁾

2. で導いた、(6)式、(5)式に従い、平面波および球面波が入射した場合の、レンズの中心軸上の界強度、および像空間での界強度分布を、二次元FFTを用いて計算し、3. 項の(10)式、および(11)式の計算結果と共に、図4、図5、図6に示す。但し、二次元FFTの使用の際、サンプル点数は、 64×64 で固定し、 $z = 20\text{cm} \sim 70\text{cm}$ 、 $\lambda = 0.4\text{cm}$ 、 $a = 7\text{cm}$ とし、 x_1, y_1 面のサンプルすべき開口の大きさ L は、 z の変化と共に、 $L = 19\text{cm} \sim 140\text{cm}$ 迄、(7)式、(8)式で与えられる位相変化の最大が、 $\pi/10$ を越さぬように変化させた。また、 L を変化させると、相対的に瞳関数の半径が変化し、(但しデータ点数の上での変化)そのため強度が異なる L の値に対し、異なる計算値を示すので、焦点 ($z = f$) での強度が、解析的に得られた値と一致する様に、規格化した。

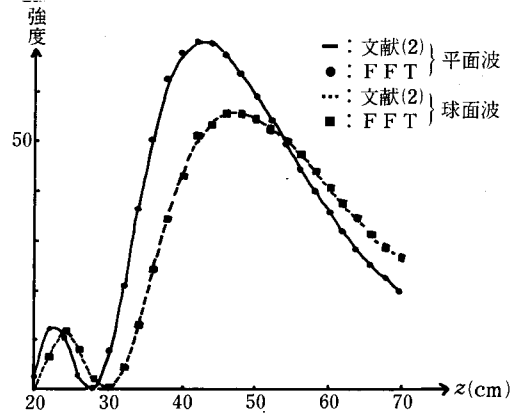


図4 軸上の界強度

図4に示した通り、軸上の界強度は、平面波および球面波入射の場合共に、文献(2)の結果と良く一致している。そして、3. で指摘したように、明らかに文献(1)よりは厳密な結果が得られている。この場合も、軸上の界強度は焦点で最大とはなっていない。

図5、図6に示した像空間での界強度分布の計算結果は、文献(1)の結果とよく一致しているが、数値を詳しくみると、空間周波数が高くなると、強度は非常に小さいが誤差が大きくなる。しかし低周波の部分では良好な結果が得られている。この理由は、サンプル点数を 64×64 に固定したため、レンズ面でのサンプル間隔に限界があるためである。

64×64 という少量のサンプル点数でも、文献(2)と極めて良く一致した結果が得られ、レンズ系の像空間での界

分布を求めるのに2次元FFTを用いる方法は有効な事がわかった。

6. む す び

本稿では、レンズ系に平面波および球面波が入射した場合の像空間での界強度分布を、2次元FFTを用いて求め、解析解と比較して良好な結果を得た。更に、レンズ系に任意波面が入射した場合の像空間での界分布を与える計算式を導出した。また、2次元FFTを用いる計算の場合、文献(2)では述べられていない。光波以外の長波長領域での像空間における位相分布も、全く同様にし求め得る事がわかった。

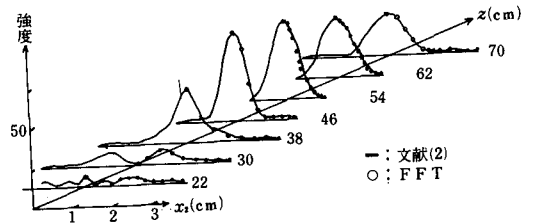


図6 球面波入射時の界強度分布

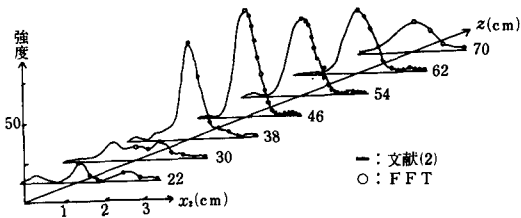


図5 平面波入射時の界強度分布

文 献

- (1) M. Born & E. Wolf: "Principles of Optics. Fifth Edition", p.435, Pergamon Press (1975)
- (2) 根本, 牧本: 信学論(B), Vol. 55-B, No. 4, p.136~p.143.
- (3) 青木, 石塚: 信学論(B), Vol. 57-B, No. 8, p.511~p.518.
- (4) J. W. Goodman: "Introduction to Fourier Optics", p.57, Mcgraw-Hill New York (1968)
- (5) 世古, 成田: 昭51 電気関係学会関西支部連合大会

順位文法を用いた構文解析

世 古 忠

Syntactic Analysis by Precedence Grammar

Tadashi SEKO

ABSTRACT-In this paper, a method for parsing by Wirth-Weber precedence grammar is described. FORTRAN that can be partially described in term of Backus Naur Form is transformed into an equivalent Wirth-Weber precedence grammar. Using it, precedence matrix is constructed and then parsing is preformed.

1. ま え が き

プログラミング言語のコンパイラ的设计, 製作を自動化するには, 対象となる言語とコンパイラに機械的な構文解析が可能となる構造を設定する必要がある。大抵のプログラミング言語の大部分は, Backus Naur Form (BNF) で記述可能であり, それは, 文脈自由文法で表現できる。

従って従来から構文解析の自動化・効率化をめざす立場から, この文脈自由文法 (Context-free Grammar) を基礎にし, この文法に様々な制限条件を付加して得られたある文法の類に応じた構文解析法が考えられて来た。このような文法の類の1つに Wirth-Weber 型の順位文法がある⁽¹⁾。この順位文法は, 簡単な構造の文法であり, 構文解析の順序を規定でき, 文記号に行きつく迄に誤った試行を行なう可能性がなく確実な解析が期待できる。また, 文脈自由文法は通常コンフリクトを有するが, これは適当な文法の変換を行えば, それと等価なコンフリクトのない Wirth-Weber 型の順位文法に変換可能な事がわかっている⁽²⁾。更に, この文法を修正しこれと等価な順位関数をもつ順位文法を作る事ができる⁽³⁾。

本報告では, FORTRAN IV 文法のうち BNF で記述可能な部分に対する一部を文脈自由文法で表現しこれを順位文法に変換し, 構文解析を行った。文法の変換は, マニュアルで行い, 順位マトリックスの生成には, Warshall のアルゴリズム⁽⁴⁾を利用した。

2. Wirth-Weber 型の順位文法

文脈自由文法を $G = (V_N, V_T, P, S)$ とする。ここで V_N, V_T はそれぞれ非終端記号, 終端記号の有限集合を表わす。また, $V = V_N \cup V_T$ とするとき, V^* を V 上の有限長の記号列の集合を表わすものとし, $V^+ = V^* - \{\epsilon\}$ とする^{*)}。 P は, $A ::= a$ (但し $A \in V_N, a \in V^+$) の形式の書き換え規則の有限集合を表わし, $S (S \in V_N)$ を出発記号とする。以下, 特にことわらない限り V_N の元を英大文字 A, B, C, \dots で表わし, V_T の元を英小文字 a, b, c, \dots で表わす。また N_1, N_2, \dots を V の元を表わすものとし V^* の元を, $\alpha, \beta, \gamma \dots$ 等のギリシャ文字で表わすものとする。

いま文脈自由文法 G の書き換え規則に制限を付けて, Wirth-Weber 型の順位文法を以下の様に定義する。

すなわち, $N_i \in V (i=0, 1, 2, \dots)$ の任意の組に対して, 以下に示す関係士, \rightarrow, \leftarrow のうちの高々1つが成立し, かついかなる二つの書き換え規則も同じ右辺をもたないとき, この文法 G を Wirth-Weber 型の順位文法 (単純順位文法) という。

1) 関係士

文脈自由文法 G において, $A ::= \alpha N_1 N_2 \beta$ の形の書き換え規則が存在するとき, $N_1 \pm N_2$ である。

*) ϵ は空記号列を表わすものとする。

ii) 関係 →

文脈自由文法 G において

① $A ::= \alpha B N_2 \beta$ なる書き換え規則があり、かつ関係

$B ::= B_1, B_1 ::= B_2, \dots, B_n ::= \gamma N_1$ が存在するか、または、

② $A ::= \alpha B C \beta$ なる書き換え規則があり、かつ関係 $B ::= B_1, B_1 ::= B_2, \dots, B_n ::= \alpha N_1$ および関係

$C ::= C_1, C_1 ::= C_2, \dots, C_n ::= N_2 \delta$ が存在する。

上の①または、②が成立するとき、 $N_1 \rightarrow N_2$ である。

iii) 関係 ←

文脈自由文法 G において、書き換え規則

$A ::= \alpha N_1 B \beta$ が存在しかつ関係

$B ::= B_1, B_1 ::= B_2, \dots, B_n ::= N_2 \gamma$ が存在するとき、 $N_1 \leftarrow N_2$ である。

ここで定義した、Wirth-Weber 型の順位文法においては、順位関係を用いて、文の句構造を確定的に決定する事が可能である。すなわち、 $N_1, N_2 (N_1, N_2 \in V)$ が隣接して、この順序で表われたとき、これらが、同じ素なる句^{*)}に属するための必要十分条件は、 $N_1 \pm N_2$ なる事であり、 $N_1 \leftarrow N_2$ ならば、 N_2 は N_1 を含まない素なる句に属するし、 $N_1 \rightarrow N_2$ ならば、 N_1 は、 N_1 を含まない素なる句に属する。

3. 順位マトリックスの作成

(定義) 書き換え規則 $U ::= S \dots$ が存在するとき、

U First S と称する。書き換え規則

$U ::= \dots S$ が存在するとき、 U Last S と称する。 U から何回かの導出により $S \dots$ が生成されるならば、 U First* S と称し $\dots S$ が生成されるならば、 U Last* S と称する。

(定理)

① 順位関係 ← とは、関係土と関係 First* の合成関係である。すなわち、

$$(\leftarrow) = (\pm) (First^*)$$

② 順位関係 → とは、関係 Last* の転置と、(土)と、 $(I + First^*)$ との合成関係である。すなわち、

$$(\rightarrow) = (\text{transpose} (Last^*)) (\pm) (I + First^*)$$

さて定義および定理より、順位関係 →, ← は、関係 First* と Last* より導かれるが、これは Warshall

ii) 非終端記号から、一回の導出で生成されるものを、素なる句と呼ぶ。

のアルゴリズムより First と Last を用いて計算できる。いまこのフローチャートを図1に示す。このフローチャートより、 $n \times n$ のマトリックス A の閉包 A^* ができる。

4. 文法の表現および順位を用いた構文解析

構文解析の対象としたプログラミング言語は、FORTRAN IV の一種でBNFで記述可能な部分である。これを、文脈自由文法で表現し、更にマニュアルにより、Wirth-Weber 型の順位文法に変換した。表1に対象としたFORTRAN IVの構文要素を、表2に、順位文法に変換された書き

換え規則の集合を示す。表1で変換素子とあるのは、コンフリクトをなくすための変換記号のことであり、 A の添数字が整列していないのは、文法の変換のためである。3. で作られた順位マトリックスを参照しながら進行する構文解析のフロー・チャートを図2に示す。これは入力された記号系列を左から右へ上向き (bottom up)

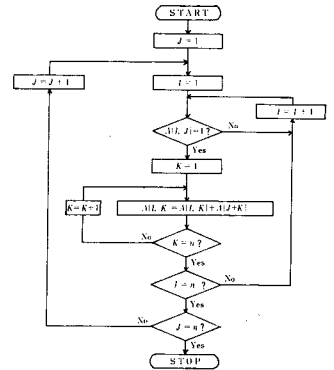


図1 閉包を計算する Warshall のアルゴリズム

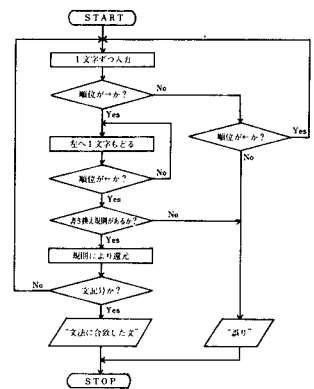


図2 構文解析の手順

11	9	11	10	12	4	12	6	12	7	11	1	11
76	11	10	12	4	12	6	12	1	11	7	11	
14	***	ERROR	***									
16	7	11	8	12	5	12	5	12				
30	***	ERROR	***									
11	9	4	11	2	7	12	6	12	1	11	8	
76	4	11	2	7	12	6	12	1	11	8		
76	4	50	2	7	12	6	12	1	11	8		
76	4	67	2	7	12	6	12	1	11	8		
53	***	ERROR	***									

図3 解析結果

に構文解析するものであり、スタックを使用している。

図3に、解析結果の例を示す。

なお、順位マトリックスは、100×100のものを作成した。文法の読み込みから、マトリックス作成までの時間は、約18秒かかっている。

5. むすび

本報告では、FORTRAN IVの一種を Wirth-Weber 型の順位文法に変換し、この文法を内部表現し、計算機に記憶させ、更にマトリックスの閉包を計算する Warshall のアルゴリズムを利用して、順位マトリックスを主記憶内に作成し、このマトリックスを使用して左から右へ上向きに解析を行い、実際に順位を用いた構文解析を行った。この方法は FORTRAN IVに限らず文脈自由文法で記述可能な(従って順位文法で記述可能な)すべてのプログラミング言語に適用可能である。本稿では順位マトリックスを主記憶に確保しているが、順位文法の記号が多くなると、マトリックスが大となり、2次記憶を利用せねばならなくなり、このアクセス時間も無視できなくなってくる。

表2 書き換え規則表

Table with multiple columns and rows of data, likely representing rewrite rules. The table contains numerical values and symbols arranged in a grid format.

表1 FORTRAN IVの構文要素

符号	構文要素	番号	符号	構文要素	番号
A01	*	01	A19	READ文	41
A02	/	02	A20	WRITE文	42
A03	+	03	A21	END文	43
A04	-	04	A22	配列宣言の並び	44
A05	,	05	A23	配列宣言子	45
A06	.	06	A24	次元の並び	46
A07	(07	A25	次元	47
A08)	08	A26	係数の並び	48
A09	=	09	A27	算符文	49
A10	**	10	A28	係数文	50
A11	identifier	11	A29	左辺	51
A12	定数	12	A30	文番号の並び	52
A13	ARY	13	A31	IF文	53
A14	DO	14	A35	文の文字	54
A15	G O	15	A36	入出力の並び	55
A16	IF	16	A37	出力の並び	56
A17	END	17	A38	実行行	57
A18	STOP	18	A41	出力要素	58
A19	READ	19	A42	制御子	59
A20	FUNC	20	A43	実行指示	60
A21	WRITE	21	A44	文	61
A22	RETURN	22	A45	因子	62
A23	IRANCH	23	A46	因子	63
			A47	関数	64
A01	文	25	A48	関数	65
A02	宣言子	27			
A03	実行子	28	A25'	変換素子 A	16
A04	配列宣言文	29	A26'	変換素子 B C	47
A05	文関数宣言	30	A27'	変換素子 D E F	68
A06	制御子	31	A28'	変換素子 G H	69
A07	入出力文	32	A29'	変換素子 I J	170
A08	ARY文	33	A30'	変換素子 K L	71
A09	FUNC文	34	A44'	変換素子 M N O	72
A10	代入文	35	A45'	変換素子 P Q R	73
A11	G O文	36	A46'	変換素子 S T U	74
A12	BRANCH文	37	A47'	変換素子 V W X	75
A13	DO文	38	A48'	変換素子 Y Z	76
A14	RETURN文	39			
A15	STOP文	40			

おわりに本研究に協力を願った竹川博君 (現電々公社) に謝意を表します。

文 献

- (1) Wirth, N. and Weber, H.: "EULER-A generalization of Algol, and its formal definition." Part 1, CACM, Vol. 9, p13 (Jan. 1966) ; Part 2, CACM, Vol. 9, p89 (Feb. 1966).
- (2) A, Learn and A. L. Lim.: "A note on transforming context-free grammars to Wirth-Weber precedence form.", The Computer Journal, Vol. 13, No2, p.142 (May 1970)
- (3) Martin, D. F.: "A Boolean matrix method for the computation of linear precedence functions.", CACM, Vol. 15, No6. p.448 (June 1972).
- (4) David Gries: "Compiler Construction for Digital Computers", John Wiley & Sons, INC. (1971).

オプトロニック・し張発振器

高橋 晴雄 ・ 山内 雅好

An Optronix Relaxation Oscillator

Haruo TAKAHASHI and Masayoshi YAMAUCHI

Abstract-This paper describes the design method and the experimental results about the relaxation oscillator utilized the S-type negative resistance characteristic.

The negative resistance circuit in this oscillator is constructed with the combination of a photo-coupler and a NPN junction transistor, can easily set the breakover voltage and the hold current at desired values, and emits the light in its turn-on state.

The design of the oscillating condition and frequency is not affected with the electrical influence of the next-stage circuit, and the light pulse output with the low duty factor can easily be obtained.

1. ま え が き

S形負性抵抗特性を呈示する回路要素に、並列にコンデンサを、直列に抵抗を接続すれば、し張発振が生ずることは広く知られている。

回路要素としては、一般にPNPN素子が利用されており、そのS形特性は素子の材質と製造過程で定まっているので、外部的に変えることは容易でない。したがって、し張発振器を構成する場合には、素子のS形特性を基準にして回路設計が行なわれるので、発振条件を満足する抵抗値の許容範囲に特に制限を受ける。また、発振条件の設定と発振周波数は、次段の電気的な影響を受けるので、つねに接続段の入力抵抗、入力容量などの電気的条件を考慮しなければならない。

本稿は、バイアス抵抗により所望のS形特性が実現でき、しかもターン・オン後光出力が得られる光結合負性抵抗回路(以下ONCと略記)を構成要素として用いて、回路条件の設定が容易なし張発振器について述べたものである。本し張発振器は、光信号としての発振出力が得られ、デューティ係数のきわめて小さな光パルス発振器と

して、簡単なタイマー、光トリガ等に利用できる。

以下本稿では、まずし張発振器の構成要素であるONCの概略的な説明を行ない、つぎにオプトロニック・し張発振器の回路構成と動作原理を述べ、さらに試作回路の実験結果を示している。

2. 光結合負性抵抗回路の特性

図1はONCの回路構成図を示したものである。ONCはホトカプラ(帰還用発光ダイオードLED₁)とNPNホトトランジスタ(PT)とNPNジャンクショントランジスタTrにより構成されたものであり、発光ダイオードLED₂は出力発光用である。抵抗R_AおよびR_BはS形特性のブレイクオーバー電圧および導通保持電流に関するTrのバイアス抵抗である。図2はONCのLED₂からの光出力を検出するための受光回路である。

ONCの端子電圧Vが増加すれば、R_AおよびR_Bにより与えられるTrのベース・エミッタ間電圧V_{BE}は増加し、Trのベース電流i_Bが増加することになる。コレクタ電流i_Dはi_Bにより増加し、LED₁およびLED₂はi_Dにより発光し始める。LED₁はPTと光結合されており、LED₁の発光量がある値に達すればPT

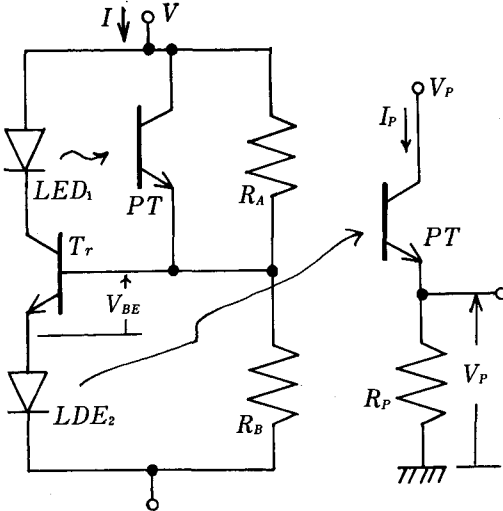


図1 光結合負性抵抗回路

図2 受光回路

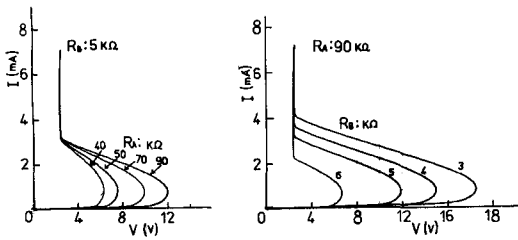


図3 RA, RBによる電圧—電流特性の変化

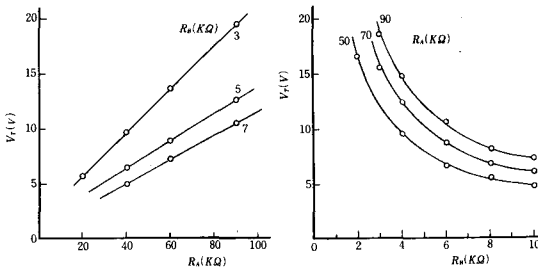


図4 RAによるブレイクオーバー電圧の変化

図5 RBによるブレイクオーバー電圧の変化

には電流 i_F が流れるので i_B は増加することになる。したがって、 i_D は増加し LED₁ および LED₂ の発光量はさらに増加する。Tr のコンタからベースへの光結合による正帰還再生作用により、Tr および PT は飽和状態に達し、ONC は ON 状態になり LED₂ は発光を維持して ON 状態を表示することになる。

図3は RA および RB により ONC の電圧—電流特性が変化する様子を測定したものである。

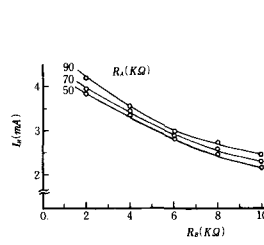


図6 RBによる保持電流の変化

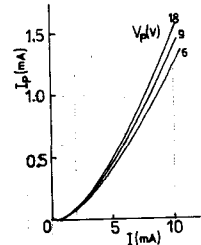


図7 受光回路の電流特性

図4および図5は、それぞれ RA, RB によりブレイクオーバー電圧がどのように変化するかを実験的に求めたものである。また、図6は RB により導通保持電流が変化する様子を測定したものであり、図7は ONC の電流と受光回路の電流の関係を測定したものである。

ONC のブレイクオーバー電圧 V_T は、

$$V_T = \left(1 + \frac{R_A}{R_B}\right) V_{BE(S)} \quad (1)$$

なる関係で与えられる。ここに、 $V_{BE(S)}$ は Tr のベースエミッタ間飽和電圧である。

以上述べたように、ONC はバイアス抵抗により S 形特性を広範囲に変化させることができ、しかもターンオン後発光する表示機能を保持していることになる。

したがって、ONC を用いてし張発振器を構成すれば、回路条件の設定が著しく簡易化され、次段との光結合が可能であり次段からの発振条件および発振周波数に対する電気的な影響を受けないという特長がある。

3. し張発振器の構成と動作原理

図8は、し張発振器の構成図と動作説明図を示したものである。ONC に直列に抵抗 R を並列にコンデンサ C を接続して、動作点を S 形特性の負性抵抗領域に設定すれば、し張発振が生ずる。

以下、発振動作の概要と発振条件および発振周波数の関係を説明する。

電源電圧 V_{CC} が投入されれば、ONC ははじめ OFF 状態であり、コンデンサ C の端子電圧 V_C は時定数 RC により上昇し、動作点は S 形の電圧—電流特性の OT (しや断領域) 上を移動する。 V_C が V_T (点 T) をわずかに越えれば、ONC はターンオンする。このとき C の端子電圧は変化しないので、動作点は A に移動し ONC は発

光する。Cの電荷は ONC の ON 時の内部抵抗 R_{on} によりただちに放電されるので、動作点は ON 領域 AH を H 方向に急激に移動する。Vc が導通保持点 (点H) の

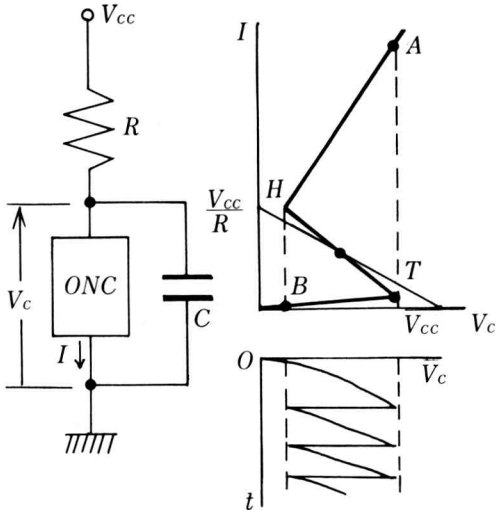


図8 し張発振器の構成図と動作説明図

電圧よりわずかに下れば、ONC は OFF 状態に復帰して発光は停止し動作点は点Bに戻る。再びCは Vcc により充電され以後同様の動作をくり返し、発振は持続する。

発振条件は、負荷線が負性抵抗領域 (TH) のみで交わることであり、ブレイクオーバー点の電圧および電流を V_T, I_T とし、導通保持点の電圧および電流を V_H, I_H とすれば、

$$V_{CC} > V_T, \quad \frac{V_{CC} - V_H}{I_H} < R < \frac{V_{CC} - V_T}{I_T} \quad (2)$$

なる関係を満足することである。

ONC が OFF 状態を保つ時間 T_1 は、Cの端子電圧が V_H から V_T になるまでの時間であり、

$$T_1 = R \cdot C \ln \left(\frac{V_{CC} - V_H}{V_{CC} - V_T} \right) \quad (3)$$

となり、ONC が ON 状態を保つ時間 T_2 は、Cの端子電圧が V_T から V_H になるまでの時間であり、

$$T_2 = R_{on} \cdot C \ln \left(\frac{V_T}{V_T - V_H} \right) \quad (4)$$

となる。

したがって発振周波数 f は、

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \quad (5)$$

となる。実際的には $T_1 \gg T_2$ であり、発振周波数は、 $f = 1/T_1$ としてさしつかえない。

なお、発振波形の電圧振幅 V_o は、

$$V_o = V_T - V_H \quad (6)$$

であり、電流振幅 I_o は、周波数があまり高くない場合には、

$$I_o = I_A - I_T \quad (7)$$

となる。

4. 実験結果と検討

図9は、ONC を $R_A = 90 K\Omega, R_B = 5 K\Omega$ に設定した場合について、容量Cと発振周期 T_1 の関係を実験的に求めたものである。

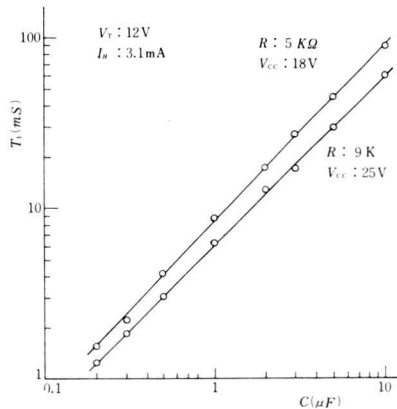


図9 容量Cと発振周期 T_1 の関係

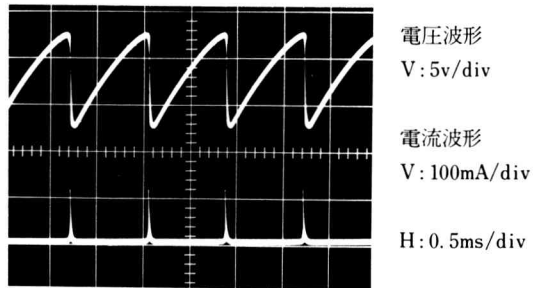


図10 発振波形の1例 ($C = 0.2 \mu F$)

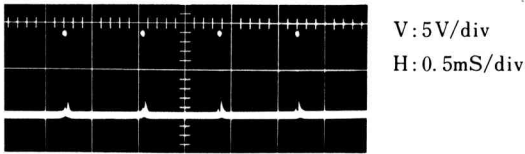
図11 受光回路の抵抗 R_L の電圧波形

図10は、 $V_{CC}=25V$ 、 $R=9K\Omega$ の場合の発振波形の1例を示したものである。なお $C=0.2\mu F$ である。図11は図10の電流出力(光パルス)を受光回路で受けとったときの電圧波形である。

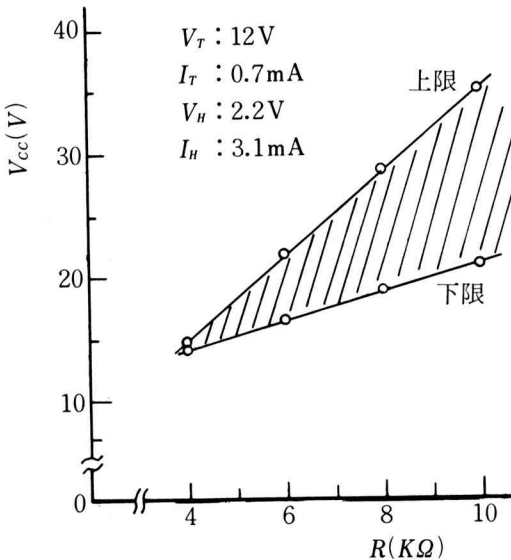
図12 R に対する発振許容電圧範囲

図12は、上記使用のONCを用いた場合の、負荷抵抗 R に対する印加電圧 V_{CC} の発振許容範囲を実験的に求めたものである。

以上の実験結果から、発振周波数(発振周期)は計算値とよい一致を示しており、発振条件の関係も式(2)を満足している。

印加電圧(動作点)により発振電圧波形は変化するけれども、電流波形(光パルス)は変化しないので、利用しやすい。また、発振周波数の上限はPTの応答速度と容量により制限されるので、現在の時点ではあまり期待できない。

5. む す び

以上、ONCを用いたし張発振器について述べたが、その特長をまとめれば以下になる。

(1) S形負性抵抗特性を容易に所望の形に設定できるONCを利用しているので、発振条件の設定が簡略化される。

(2) 出力を光パルスとしたオプトロニックな手法が採用されているので、次段からの電気的な影響に対する配慮を軽減することができる。

(3) 光出力は、デューティ係数の極めて小さな光パルスであるから、簡易タイミングパルス、光トリガ信号として利用できる。

今後、発振周波数の安定性および応用例(特に光パルス変調)について検討する予定である。

謝辞

本研究に対し、ご指導とご助言をいただいた大阪市立大学工学部北浜安夫教授ならびに志水英二講師にお礼申し上げます。

文 献

- (1) H. TAKAHASHI, Y. KITAHAMA: An Optronically Negative-Resistance Circuit, IEEE J. Solid-State Circuits (U. S. A), Vol. SC-9, No. 9, Apr. 1974.
- (2) 高橋, 山内: オプトロニック・し張発振器, 昭50電気関係学会関西支部連合大会, G12-21, 1975.
- (3) 高橋, 山内: オプトロニック・非安定マルチバイブレータ, 昭51電気学会全国大会, No.409, 1976.
- (4) 高橋, 山内: ホトカブラを用いた負性抵抗回路(IV) 昭51電気学会全国大会 No.429, 1976.
- (5) 高橋, 山内: ホトカブラを用いた負性抵抗回路(V) 昭51電気関係学会関西支部連合大会 G 9-8, 1976.

漂白位相ホログラム

Bleached Phase Hologram

宮田 正幸

Masayuki Miyata

In general, a high diffraction efficiency is obtained by a bleached phase hologram. In this paper, diffraction efficiencies of photographic plates (Agfa 10E75) through various bleaching process are described.

1. ま え が き

情報を透過率変化として記録する振幅ホログラムを漂白することによって屈折率変化として記録する位相ホログラムが得られる。⁽¹⁾ この位相ホログラムは再生時の回折効率の点で非常に優れている。位相ホログラムの作製および特性については多くの研究方法が発表されている。ここでは漂白の方法については従来行なわれている直接漂白と反転漂白の二種類を行ない、特に乾板については従来の研究の多くが kodack の材料が使用されていたがここでは Agfa の乾板を使用し位相ホログラムを作製した結果について検討する。

2. ホログラムの回折効率

乳剤層が波長に比べ十分うすければ2次元ホログラムと考えられる。振幅形2次元ホログラムの回折効率はホログラム乾板の透過率を $T(x)$ とすると、

$$T(x) = \left(1 - \frac{m}{2}\right) + \frac{m}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{d}\right) \quad (1)$$

で与えられる。ここで m は変調度、 d は縞の間隔である。この乾板に垂直 (z 方向) に平面波 $c(x, z=0, t) = C_0 \exp(j\omega t)$ が入射したとき、回折格子の左右に生じる二次波源は、

$$C(x, z=+0, t) = C_0 \left(1 - \frac{m}{2}\right) \exp(j\omega t) + \frac{mC_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{d}\right) \exp(j\omega t) \quad (2)$$

で与えられる。これより+1次回折波の回折効率 η は $\eta = (m/4)^2$ で与えられ、 $m \leq 1$ より $\eta_{\max} = 16\%$ が $m=1$ のとき得られる。

これに対し位相形二次元ホログラムの回折効率はその透過率 $T(x)$ は、

$$T(x) = \exp\left\{j\phi \cos\left(\frac{2\pi x}{d}\right)\right\} \quad (3)$$

で表わされ、 $z=0$ における透過振幅は

$$C(x, z=+0) = C_0 J_0(\phi) + 2C_0 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_{2n}(\phi) \cos\left(2n \frac{2\pi x}{d}\right) + 2jC_0 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n J_{2n+1}(\phi) \cos\left\{(2n+1) \frac{2\pi x}{d}\right\} \quad (4)$$

で与えられる。このときの±1次波の回折効率 η は $\eta = |J_1(\phi)|^2$ となり $\eta_{\max} = 33.9\%$ を得る。

3. 実験と結果

最も基本的なホログラムとして、二つの平面波を角 θ で乾板に入射させた回折格子を作製した。本実験で使用したレーザは He-Ne の波長 6228 Å で出力は 20mw である。写真乾板は Agfa のシアンア 10E75 を使用した。以上のようにして得られた乾板を次のプロセスによって処理し振幅ホログラムを得た。

露光 → 現像 (アトマー、3分) → 定着 (G334, 4分) → 水洗 (15分) → 乾燥

このホログラムを次の処理によって直接漂白した。

漂白 (赤血塩, 5分) → 水洗 (10分) → 乾燥

漂白 (赤血塩ハロゲン塩) → 水洗 (10分) → 乾燥

また次の処理によって反転漂白を行った。

露光 → 現像 (アトマー、5分) → 漂白 (重クロム酸カリ, 5分) → 水洗 (10分) → 洗浄 (無水亜硫酸ソーダ, 3分) → 水洗 → 乾燥

振幅ホログラムを直接漂白、反転漂白によって位相ホログラムが得られる。この位相ホログラムにレーザー光をあてると透過光、反射光、回折光に分けられる。第1次の回折光の入射光に対するパーセント比をこの位相ホログラムの回折効率 η とする。測定は光電管によって行なった。この結果を Fig.1, 2 に示す。Fig.1 のAは赤血

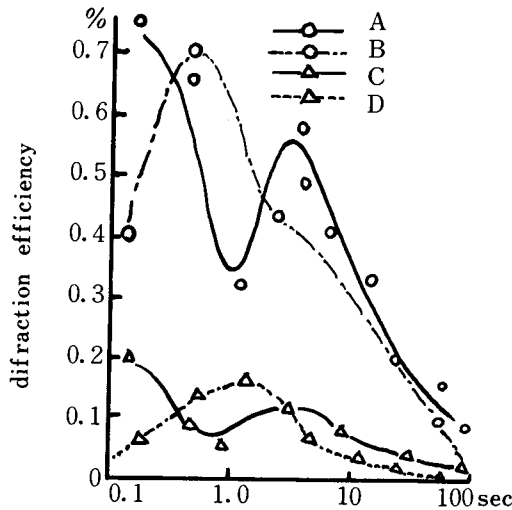


Fig.1 diffraction efficiency by bleaching.

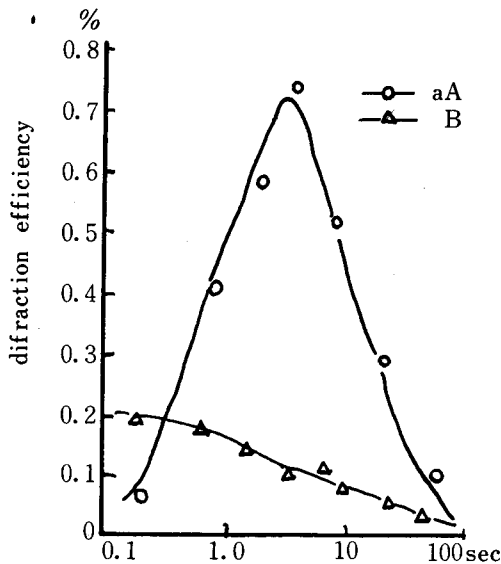


Fig.2 diffraction efficiency by bleaching.

塩, Bは赤血塩ハロゲン塩, Cは漂白後, Dは漂白前, の回折効率を表わしている。Fig.2 のAは直接漂白, Bは反転漂白を示す。

この研究において主に用いられた二平行平面波の入射角は 5° で干渉縞の間隔は $3.36\mu\text{m}$ でほぼ2次元ホログラムと考えても十分有効である。この場合の最大回折効率は $m=0.3$ のとき0.56%で実際の実験ではおおよそであった。また実験データが少なかったため図には示していないが $m=0.8$ のとき位相形ホログラムによって7%の回折効率を得られた。

4. 結 言

この実験から確認されたことを以下にあげる。

- (1) 位相ホログラムが振幅ホログラムに比べて高い回折効率を示すという一般的な結果が得られた。
- (2) 理論値から得られたように回折効率34%に対し7%しか得られなかったことについては、回折効率を測定する光電管のリニアな部分からはみ出したことと、漂白の問題が考えられる。
- (3) 漂白を行なうことによって散乱光が増加し逆に回折効率が減少することがみとめられる。これは振幅ホログラムを作る場合の最適条件の付近で起ることが分った。
- (4) 今回はKodakの乾板が手に入らず比較実験が出来なかったが従来の文献と比較してAgfaの場合かなり低い回折効率であった。この原因として漂白の方法(Agfa社から標準的な漂白の処方)等や回折効率測定方法またホログラムの安定性、ノイズ等についても今後検討する予定である。

文 献

- (1) 武田, 野々垣, 宮村, 金子, 応用物理 p.41, 41, 1, (1970)
- (2) 岡山, 中塚, 江森, 応用物理 p.43, 40, 11, (1971)
- (3) 大越, 三次元画像工学, p. 119. 産業図書

空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置(II)

山内 雅好・高橋 晴雄・堤 捨男*

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

Masayoshi YAMAUCHI
Haruo TAKAHASHI
Suteo TSUTSUMI

Abstract

The system of non-contact speed measurement employs a narrow-band-pass spatial filter to effect the light flux modulation resulting in a time frequency directly proportional to the yarn-speed. This report deals with the results of two different types of spatial filter. One is a parallel slit reticle, and another is a polarized parallel slit reticle.

Experimental results show that unnecessary low and high frequency components may be decreased if a polarized parallel slit reticle is used as a spatial filter.

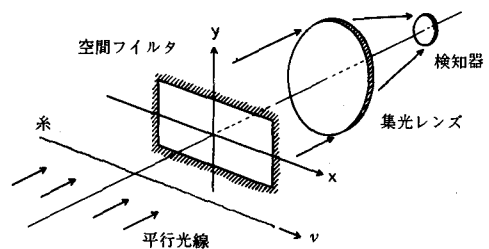
1. ま え が き

本法は、連続的に直線運動をしている糸のむらがつウィーナ・スペクトルの特定空間周波数成分を、一次元狭帯域通過特性を有する空間フィルタにより抽出し、糸の速度が時間周波数に変換されることを利用して、その時間周波数を測定することにより、糸の速度を知るものである。筆者らは、先に空間フィルタとして柵状レティクルを使用した場合の紡績糸の送り速度を測定する例について実験結果を述べ、実用化の可能性を示した⁽¹⁾⁽²⁾。本報告は、空間フィルタとして、新たに有極性柵状レティクルを使用した場合について述べ、柵状レティクルを使用した場合との比較実験結果を示したものである。

柵状レティクルは、その伝達関数の利用する通過帯域以外に、低周波、および、第3高調波等に、不都合な通過帯域を有し、 S/N 比低下の一つの原因となる。この

問題は、正負の透過特性をもたせた有極性柵状レティクルの使用によって改善され、測定精度の向上が望まれる。

2. 測定原理



* 京都工芸繊維大学工学部電気工学科教授

図1 測定原理図

図1に示すように、 x 方向に v なる速度で直線運動をしている糸が、平行光線によって空間フィルタ面上に投ずる影の照度空間分布を $s(x, y)$ 、大きさ有限の透過分布 $r(x, y)$ なる空間フィルタを通過した光が、すべて、集光レンズにより検知器に入射するものとする、検知器に入射する光の照度は時間関数 $u(t)$ となり、式(1)のように表わされる。

$$u(t) = \iint_{-\infty}^{\infty} r(x, y) \cdot s(x - vt, y) dx dy \tag{1}$$

式(1)において、糸むらの影 $s(x, y)$ は、元来、不規則信号であり、その空間領域におけるウィーナ・スペクトルを $W(f_x, f_y)$ 、空間フィルタ関数 $r(x, y)$ の空間領域におけるフーリエ変換(空間フィルタの伝達関数)を $R(f_x, f_y)$ 、検知器に入射する光の照度時間関数 $u(t)$ の時間領域におけるパワー・スペクトルを $U(f)$ とすると、式(1)は、

$$U(f) = \frac{1}{v} \int_{-\infty}^{\infty} |R(f_x, f_y)|^2 \cdot W(f_x, f_y) df_y \tag{2}$$

のように書き表わされる。ただし、

$$f = v \cdot f_x \tag{3}$$

であり、 f_x, f_y はそれぞれ x, y 方向の空間周波数、 f は時間周波数を表わす。

式(2)において、空間フィルタの伝達関数 $R(f_x, f_y)$ が、 f_{xc} を中心空間周波数とする一次元狭帯域通過特性を有し、入力信号のウィーナ・スペクトル $W(f_x, f_y)$ が、 f_{xc} で十分値をもつならば、検知器出力のパワー・スペクトルは、

$$f_0 = v \cdot f_{xc} \tag{4}$$

なる時間周波数で急峻なスペクトルをもつ信号となり、この時間周波数 f_0 を測定することによって、糸の速度は、

$$v = \frac{f_0}{f_{xc}} \tag{5}$$

として知ることができる。

3. 空間フィルタ

3.1 柵状レティクル

一次元狭帯域通過特性を有する空間フィルタとして、図2に示すような柵状レティクルが考えられる。これは幅 a の透明な矩形スリットを x 方向に $2a$ なる間隔で n 個平行に並べたスリット列である。透明な部分を1、他の部分を0として、柵状レティクルの x 方向における伝達関数 $R(f_x, 0)$ は、

$$R(f_x, 0) = \frac{AB}{2} \text{sinc}(z) \cdot \frac{\sin(2nz)}{n \cdot \sin(2z)} \tag{6}$$

となる。ただし、

$$\text{sinc}(z) = \sin(z)/z$$

$$z = a\pi f_x$$

である。

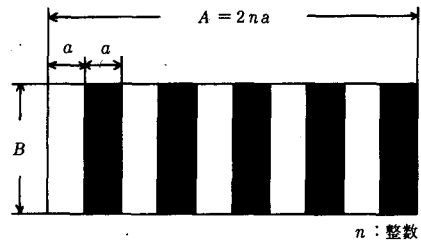


図2 柵状レティクル

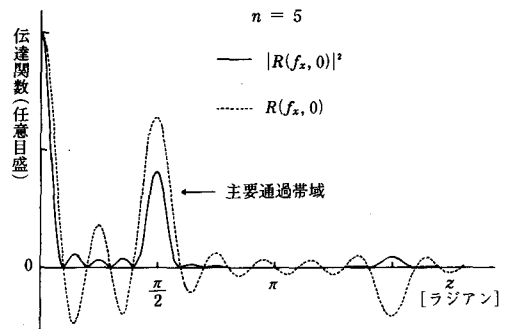


図3 柵状レティクルの伝達関数

図3は、この伝達関数を z に対してプロットしたものである。利用する狭帯域通過特性領域の中心空間周波数 f_{xc} 、および、半値幅 B_x は、

$$f_{xc} = 1/(2a) \tag{7}$$

$$B_x \doteq 1/(2na) \quad n \gg 1$$

で与えられる。

図3に示すように、柵状レティクルは、主要帯域以外に低周波、および、第3高調波等の領域に通過特性を有し、これらの領域を通過した信号は、主要帯域を通過した信号と重畳し、測定精度の低下をもたらす。この不都合な信号は、電気フィルタによって除去することができるが、被測定走行体の速度が広範囲に変化する場合、その速度、すなわち、時間周波数に応じて、電気フィルタの通過帯域を変化させる必要が生ずる。

3.2 有極性柵状レティクル

柵状レティクルの欠点を改善する方法として、有極性柵状レティクルが考えられる。有極性柵状レティクルは、図4に示すように、幅 $p \cdot a$ ($0 < p \leq 1$) の矩形スリットを x 方向に a なる間隔で $2n$ 個平行に並べたスリット列で、交互に正負の透過特性をもたせたものである。

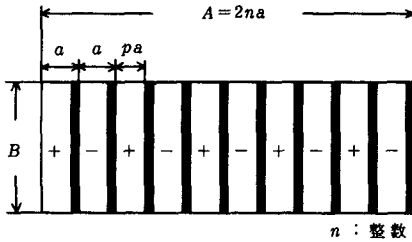


図4 有極性柵状レティクル

有極性柵状レティクルの x 方向の伝達関数は、正負の透過率をそれぞれ $+1$ 、 -1 として、

$$|R(f_x, 0)|^2 = |paBsinc(pz) \frac{\sin(2nz)}{\cos(z)}|^2 \tag{8}$$

ただし、

$$z = a\pi f_x$$

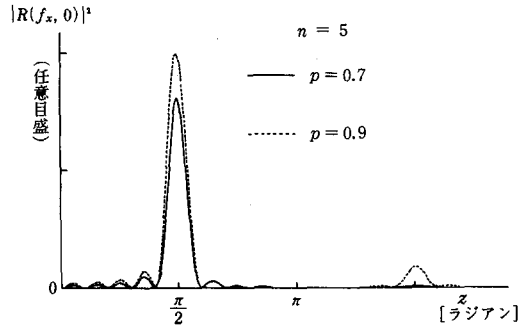


図5 有極性柵状レティクルの伝達関数

で与えられる。

図5は、 $n = 5$ の場合の伝達関数を z に対してプロットしたものである。主要通過帯域の中心空間周波数 f_{xc} は、

$$f_{xc} = 1/(2a)$$

半値幅 B_x は、近似的に、

$$B_x \doteq 1/(2na) \quad n \gg 1$$

で表わされる。図5に示すように、各帯域の通過特性は p の値によって変化する。これを評価するために、図6のように、各帯域の面積の和が主要帯域のピーク値 M を一辺とする矩形の面積に等しくなる幅 B_w

$$B_w = \frac{1}{M} \int_0^{3\pi} |R(f_x, 0)|^2 dx \tag{9}$$

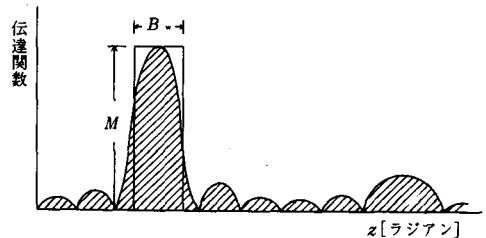


図6 等価帯域幅の計算

を計算した。表1は、 $n=5$ の場合の計算結果である。

有極性柵状レティクルは、不都合な帯域の通過特性を減少できるが、その構成に工夫を要する。構成方法としては、幅 p なる矩形の検知器を平行に並べ、交互に各検知器の電気出力を差動的にとり出す方法、および、空間フィルタ面上に投ずる像をプリズム等で二分割して、各像面に柵状レティクル（一方のレティクルを x 方向に a だけずらしたもの）を置き、各レティクルの電気出力を差動的にとり出す方法等が考えられる。

表1 p に対する帯域幅

p	0.65	0.65	0.70	0.73
B_w	0.338	0.329	0.3231	0.3219
p	0.75	0.80	0.85	0.90
B_w	0.3223	0.327	0.337	0.348

$n=5$

B_w : [ラジアン]

4. 実 験

4.1 糸むらのウィーナ・スペクトルの測定

空間フィルタの比較実験に用いた糸は、一般家庭用の綿糸、絹糸（ミシン糸）、たこ糸、ナイロン糸（釣糸）である。

式(2)が示すように、糸速測定に際しては、入力信号である糸むらのウィーナ・スペクトルの性質を知っておく必要がある。そこで、本実験に使用した糸のむらのウィーナ・スペクトルを以下の方法によって測定した。

図1の空間フィルタにスリット幅 d の単一スリットを用い、糸を一定の速度 v で x 方向に移動させると、検知器に入射する光の時間領域におけるパワー・スペクトルは、式(2)より、 x 方向のみを考えて、

$$U(f) = k_1 \cdot |H(f_x)|^2 \cdot W(f_x) \quad (10)$$

$$f = v \cdot f_x$$

となる。ただし、 k_1 は比例定数、 $H(f_x)$ はスリットの伝達関数

$$H(f_x) = \text{sinc}(d\pi f_x) \quad (11)$$

である。検知器出力信号を直流増幅器で増幅した後、レコーダに記録するものとする。記録波形のパワー・ス

ベクトル $P(f)$ は、検知器の入出力特性が線形で、電気系の周波数特性が $E(f)$ であるならば、

$$P(f) = k \cdot |E(f)|^2 \cdot |H(f_x)|^2 \cdot W(f_x) \quad (12)$$

となる。ただし、 k は比例定数。したがって、記録波形のパワー・スペクトルを求めることによって、糸むらのウィーナ・スペクトルを知ることができる。図7は、記録波形をデジタル計算機によって解析した、糸むらのウィーナ・スペクトルを示す。測定、および、計算の諸データは⁽⁵⁾、

糸の送り速度 $v = 0.18$ [mm/sec]

スリット幅 $d = 0.045$ [mm]

検知器 ホト・ダイオード

サンプリング間隔 0.20 [sec]
(0.36 [mm])

サンプル数 3000

最大ラグ・ナンバー 100

測定長 600 [sec]

(12 [cm])

スペクトラル・ウィンドウは hanning を使用

である。

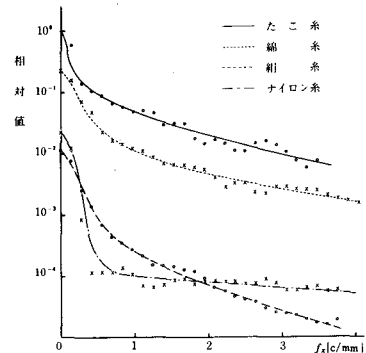


図7 糸むらのウィーナ・スペクトル

4.2 測定装置

図8は、測定装置のブロック図である。空間フィルタとして、有極性柵状レティクルを使用の場合は、シリコン・ホト・ダイオード・アレイを用い、図8に示すように、各素子の出力を交互にとり出し、差動増幅器によって、等価的に正負の透過特性をもたせた。差動増幅器は電流増幅を行ない、各素子の電流を I 、出力を V_o 。とすると、

$$V_o = R(\sum I_{2k-1} - \sum I_{2k}) \quad (13)$$

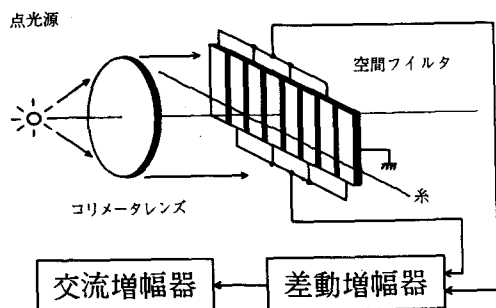


図8 測定装置のブロック図

である。ただし、 $R=10[K\Omega]$ 、 $K=1, 2, \dots, n$ 。
帯域幅は、 $DC\sim 10[KHz]$ である。この出力信号を交流増幅器(利得 $40[dB]$ 、帯域幅 $30\sim 1200[Hz]$)で低周波成分を除去すると共に、さらに増幅した。

柵状レティクルを使用の場合は、図2のパターンの写真フィルムと、シリコン太陽電池を用い、有極性柵状レティクルの場合と同一の回路で処理した。ただし、差動増幅器の一方の入力端子は接地するものとする。

使用した各レティクルの諸定数は、

$$a = 1.7[mm], \quad n = 13$$

$$p = 0.70 \quad (\text{有極性柵状レティクル})$$

であり、図9は、その伝達関数、すなわち式(6)、式(8)と、糸むらのウィーナ・スペクトルをプロットしたものを示す。

4.3 実験結果および検討

図10~13は、各種の糸について、それぞれ糸を速度約 $21[cm/sec]$ で移動させた場合の有極性柵状レティクルおよび、柵状レティクルに対する差動増幅器出力、および、交流増幅器出力の波形例を示す。この波形例からわかるように、有極性柵状レティクルの使用によって、不都合な低周波、および、高周波成分を減少できることが明らかである。

本実験に使用できる適当なホト・ダイオード・アレイの製品が数少なく、任意の中心空間周波数、並びに、帯域幅をもつ有極性柵状レティクルを種々使用することは困難であったが、実際の糸の送り速度測定に際しては、被測定走行糸のむらのウィーナ・スペクトルと、空間フィルタの帯域幅、すなわち、空間フィルタの外形式法 A 、

被測定走行糸の速度等によって、最適な中心空間周波数をもつ空間フィルタを選ばなければならない。たとえば、本実験に使用したナイロン糸の場合、図9に示すように、空間フィルタの中心空間周波数は、より低周波領域に選ぶことが望ましい。しかし、瞬時速度の測定精度は、識別し得る最小周波数編差を Δf とすると、

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{B_x}{f_{xc}} = \frac{1}{n} \quad (14)$$

によって与えられ²⁾、したがって、空間フィルタの外形式法 $A=2na(=n/f_{xc})$ が制限される場合、中心空間周波数 f_{xc} を必要以上に低域に下げるとは、測定精度の低下をもたらす。ただし、糸の速度変化が比較的緩慢な

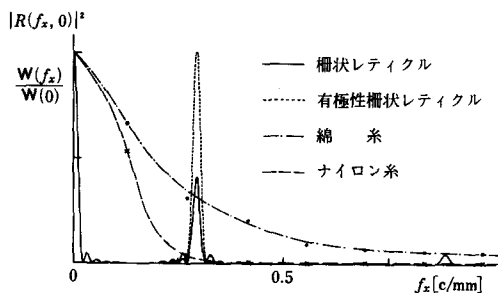


図9 空間フィルタの伝達関数と糸むらのウィーナ・スペクトル

場合は、周波数測定時間を長くして、積分効果を与えることによって、測定精度を上げることができる²⁾。

今後、各種の糸に対する最適な空間フィルタの検討、実際の糸速測定に際しての測定精度の測定、および、測定精度の向上の検討が課題である。

5. む す び

本法は、連続的に直線運動をしている、不透明または半透明の糸状体の移動速度を、非接触方式で、連続測定ができる利点を有している。

さらに、空間フィルタとして、有極性柵状レティクルを使用することによって、不都合な低周波、および、高周波成分を減少させることができ、測定精度の向上が望まれる。

本法は、上記の投影方式以外に、光学的な結像方式も

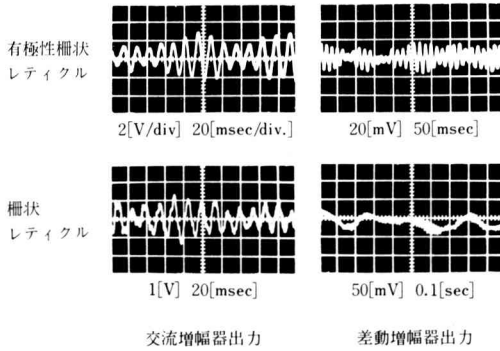


図10 たこ糸に対する波形例

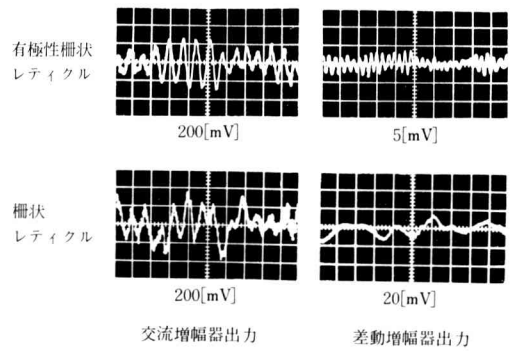


図12 絹糸に対する波形例

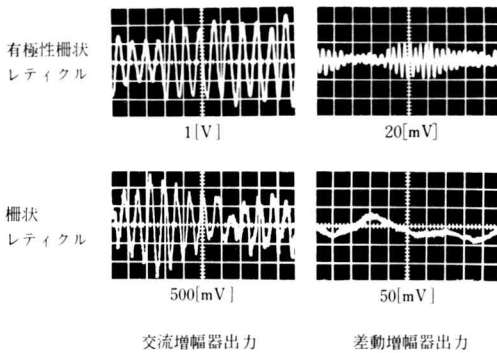


図11 綿糸に対する波形例

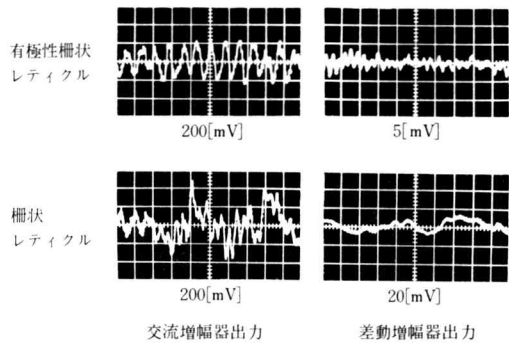


図13 ナイロン糸に対する波形例

可能であり、糸に限らず、帯状体、粉体、液体等の移動速度測定にも応用することができる。

文 献

- (1) 堤, 山内: “空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置の試作”, 電気学会全国大会 (昭48)
- (2) 堤, 山内: “空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置の試作”, 奈良高専研究紀要 (第9号)。
- (3) 堤: “空間フィルタの赤外線応用”, 第11回赤外線技術研究会資料 No.35 (昭48)。
- (4) 山内, 高橋, 堤: “空間フィルタを用いた糸の送り速度測定装置”, 電気関係関西連大 (昭51)。
- (5) Bendat & Pierson: “Measurement and Analysis of Random Data”, J. WILEY & S., (1966)

紙類に含まれるポリ塩化ビフェニルの 分離除去技術に関する研究

石 垣 昭

Investigation of the Method of Separation of Polychlorinated Biphenyls Contained in the Paper-Like Materials

Akira ISHIGAKI

The separation process of PCB contained in a paper-like materials was investigated. The mono- and dichlorobiphenyls, the model compounds of PCB, were synthesized and used for the investigation. The proposed process is as follows. In the process, the PCB contained in the paper is treated with a laurate solution to solubilize PCB into the laurate solution. The solution is separated from the paper pulp by filtration and then is treated with sulfuric acid to precipitate the lauric acid-PCB mixture. Lauric acid and PCB are separated from the mixture through distillation under reduced pressure. About 96% or more PCB can be recovered from the paper through the process.

1. 緒 言

ポリ塩化ビフェニル（PCB）はその優れた耐熱性、不燃性、安定性、電気絶縁性等の特徴のある性質を利用して電気機器用、加熱装置の熱媒体用、感圧複写紙の染料の溶剤等、広い範囲にわたって多量に使用されていた。しかし加熱装置の腐食による食用油への熱媒体として使用されたPCBの混入により端を発したカネミ油症事件を契機としてその毒性和環境汚染が大きな社会問題となった。以来、PCBの生産、販売は中止され、また回収可能なPCB製品は、回収・保管されてきている。

一方回収したPCBの無害な物質への分解方法についても研究が進み、コンデンサーのPCBや熱媒体のPCBのように液状で抜取れるものは高温燃焼炉による燃焼分解法¹⁾や紫外線を用いる光分解法²⁾が開発され、それぞれ実用段階に近いといわれている。しかし、感圧紙に含まれるPCBのような固体の中に含有されている場合には分解処理技術が未だ確立されておらず、研究も立遅れている現状である。感圧紙はノンカーボン紙とも称され複写用カーボンを用いないで手を汚さずに数枚の複写を筆記の際の筆圧によってのみ得られることから、伝票用として現在も多量に使用されている。この感圧紙には

揮発性の少ない粘度の高い溶剤に染料をとかしたものを微細なカプセルに包みこんだ状態で表面に塗布してある。このカプセルが筆圧によって壊れ着色溶剤が滲み出て紙面に文字が表記されるようになっていく。この溶剤にPCBが使用された感圧紙が問題となる。過去において感圧紙として使用されたPCBは我が国で生産された中では1970年では約2千トンであるとされ³⁾、生産中止までに生産された通算量ではPCBとして4～5千トンに達するものと推定される。このうち回収保管されている感圧紙がどの程度になるかは不明であるが、官公庁を中心に保管されているものだけでも膨大な量になるものと考えられ、保管に要する経費、故紙として利用可能な紙の資源の無駄な在庫等、解決すべき重要な問題を提起している。

本研究では紙類に含まれた状態のPCBの処理技術を開発する目的で基礎的な検討を行った結果についてのべる。まず、PCBを含んだ紙類を高濃度の酸素中で白金を触媒として燃焼分解する方式のモデル実験を行ない、やはり紙とともに燃焼する場合完全にPCBが分解しないことを示す。つぎに紙質とPCBを分離する方式の検討を行った結果についてのべ、界面活性剤によるPCBの可溶化現象を利用してPCBを液状に回収分離し、紙質を故紙として再生使用する方式のモデル実験の結果に

ついでのである。

2. 実験方法

2.1 PCBモデル化合物の合成と精製

PCBはビフェニルの塩素置換体の混合物であって、塩素含有率の高いものほど高粘度となる。これらは用途によって異った塩素含有率のものが用いられているが、いずれもモノクロロビフェニルからデカクロロビフェニルにいたる多種類の塩素置換体の混合物である。このことはPCB研究の大きな障害となる。本研究ではこの点を明確にするためモノおよびジクロロビフェニルを合成しPCBのモデル化合物として使用した。モノおよびジクロロ化合物を選んだのは比較的合成が容易で、しかも実験者の体内に蓄積する可能性が少ないことから安全性を考慮して選んだ。合成は非対称ビフェニル類の一般的な合成法である Gomberg-Bachmann 反応によった⁽⁴⁾。合成した粗試料の精製はカラムクロマトグラフィーによった。ガラスカラムφ25mm×500mm、充てん剤 Wakogel C-200、展開剤 *n*-ヘキサンを使用した。精製した試料は赤外吸収スペクトル、質量スペクトルによって同定した。

2.2 塩化ビフェニル類の燃焼分解率の測定

塩化ビフェニルの燃焼分解率は既知量の純品試料に含まれる有機塩素が燃焼後、無機塩素イオンに変化する変化率で測定した。試料の燃焼は改良 Schöniger フラスコを用いるフラスコ燃焼法によった。燃焼ガス吸収液中の塩素イオンは塩化銀として分離しEDTA法による銀の定量値から計算した。

2.3 塩化ビフェニル類の溶解パラメーターの測定

溶解パラメーターは物質の溶解性の評価に重要な指標となるデータであり、これは次式で示される。

$$\delta = \left(\frac{\Delta H - RT}{V} \right)^{1/2} \quad (1)$$

δ : 溶解パラメーター ΔH : モル蒸発熱 Cal/mol
 V : 分子容 cm^3/mol

モル蒸発熱 ΔH は次式により圧力 P と沸点 T より実験的に求めた。沸点の測定はミクロ法⁽⁵⁾によった。

$$\log P = - \frac{\Delta H}{4.576T} + C \quad (2)$$

分子容 V は試料の密度の測定により計算した。測定は臭化カリウム溶液中での浮遊法によった⁽⁵⁾。

2.4 塩化ビフェニル類の可溶性濃度の測定

界面活性剤水溶液に水に難溶な物質が可溶化する現象はよく知られている。本研究では紙質中のPCBを水相に移動させるため界面活性剤を加えて可溶化させることを考えその基礎データを求める実験を行なった。界面活性物質として数種の物質について予備的に検討した結果ラウリン酸塩が本研究の目的に適していることがわかったのでラウリン酸カリウムを主として用いた。ラウリン酸カリウムは市販特級ラウリン酸より常法により充分精製⁽⁶⁾して調整した。可溶性濃度の測定法は濁度法⁽⁶⁾と可溶性平衡法⁽⁶⁾を比較検討し両者がよく一致することを確かめ後者を主体として測定値を求めた。可溶性溶液中の塩化ビフェニル濃度は紫外外部吸収による比色法を用いた。

3. 結果と考察

3.1 塩化ビフェニル類の燃焼分解性

紙類に含まれるPCBを分解処理する最も簡単な方法は紙とともに燃焼する方式である。この場合、空気を用いず酸素で燃焼し、しかも燃焼を促進するため白金を触媒としてガス化したPCBを分解する方式をとれば分解率が高まることが期待できる。そこで汚紙にしまったモノクロロビフェニル類(塩素含有率18.72%)を用いて燃焼分解法のモデル実験を行なった。この際、PCBよりも分解率が良いと考えられるムココロル酸(塩素含有率42.02%)および臭化フェナシル(臭素含有率40.17%)を対照試料として用い比較検討した。結果を表1に示す。

表1 各種有機ハロゲン化物の燃焼分解率

試料	分解率* \bar{x}	標準偏差 σ
o-クロロビフェニル	86.12%	2.16%
m-クロロビフェニル	82.82	2.46
p-クロロビフェニル	86.29	3.70
臭化フェナシル	90.84	3.87
ムココロル酸	93.32	1.63

* 分解率は10回の実験値の平均で示す。

表1より明らかなようにPCB類緑化合物の中で最も塩素含有率の少ないモノクロロビフェニル類においてさえ分解率が通常ハロゲン化物より劣っていることが確認された。一般に塩素含有率の高い塩化ビフェニルほど燃焼分解し難い傾向を示すとされており、さらに置換塩素数の多い試料では分解率が低下することが予想される。したがってPCBを含む紙質を燃焼する方式はたとえ

素中で燃焼しても完全に分解することは不可能であり処理方式としては適当とはいえない。これに代る方式としてはPCBを何らかの方法で紙質と分離し、分離した液状のPCBを現在開発中の高熱分解方式あるいは紫外線による光分解その他の方式で処理するのが適当と考えられる。この方式は分離した紙質を再生利用することも可能であり資源の有効利用の面からも望ましい。

3.2 可溶性現象を利用するPCBの分離法の検討

前述のように感圧紙に含まれるPCBはマイクロカプセル中に存在し、このマイクロカプセルが紙質表面に塗布されている。このカプセルの機械的強度は筆圧で破壊される程度でそれ程大きくはないが、そのすべてを均一に破壊することは通常の機械的操作では困難である。これを実現するためにはある程度水中で繊維質を離解してからスラリーを超音波で処理しカプセルを破壊することも考えておく必要がある。PCBが界面活性剤溶液に可溶化されることは既に河川の汚染等の見地から指摘されているが、マイクロカプセルの破壊により流出してくるPCBを界面活性剤を用いて可溶化させることは可能である。そこでこれらに関する基礎的知見を求め、つぎに可溶化溶液よりPCBを分離する基礎的実験を行なった結果についてのべる。

(1) 塩化ビフェニル類の溶解パラメーターの測定

溶解パラメーターは物質の相溶性を判定するための重要な指標である。この値は(1)式に示すようにモル蒸発熱と分子容より算出できる。モル蒸発熱を求めると、塩化ビフェニル類の蒸気圧と温度の関係を実測した結果を図1に示す。表2に25℃と33℃での密度の実測値より求めた液体状態の塩化ビフェニル類の分子容を示す。

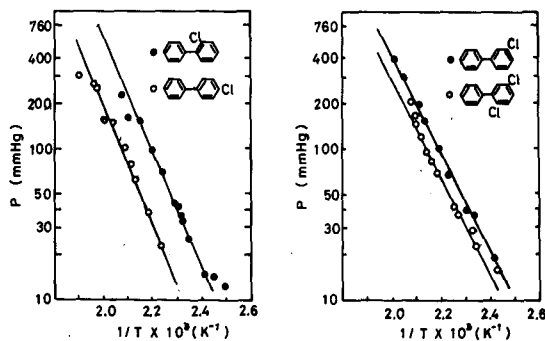


図1 塩化ビフェニル類の温度による蒸気圧の変化

p-クロロビフェニルは融点が76℃のため溶解パラメーター算出のため必要なデータが得られなかった。表3に33℃の塩化ビフェニル類の溶解パラメーター δ とその算出の基礎となったモル平均蒸発熱 ΔH の測定値を示す。

表2 塩化ビフェニル類の分子容

試料	分子容 V cm^3/mol	
	25℃	33℃
<i>o</i> -クロロビフェニル	—	160.5
<i>m</i> -クロロビフェニル	159.7	161.5
2,5-ジクロロビフェニル	173.7	176.3

表3 塩化ビフェニル類の蒸発熱と溶解パラメーター

試料	ΔH	δ
	cal/mol	$[\text{cal}/\text{cm}^3]^{1/2}$
<i>p</i> -クロロビフェニル	11,150	—
<i>o</i> -クロロビフェニル	11,110	8.09
<i>m</i> -クロロビフェニル	9,000	7.21
2,5-ジクロロビフェニル	9,180	6.97

表3の結果より測定例は少ないがPCBの δ 値の概略値を知ることができる。塩化ビフェニル類の δ 値はベンゼン(δ 9.2)より低く、むしろ*n*-ヘキサン(δ 7.3)に近い値を示す。これは塩化ビフェニル類が直鎖炭化水素と親和性を有することを示唆する。このことはまた塩化ビフェニル類が直鎖脂肪族基を接つ界面活性剤のミセル中に可溶化しやすいことをも示唆している。

(2) 塩化ビフェニル類の可溶性

本研究では直鎖脂肪族基を持つ最も簡単な界面活性物質としてラウリン酸カリウムを選び、この0.1 M溶液に塩化ビフェニル類がどの程度可溶化するかを調べた。ラウリン酸カリウムを選んだのは精製が容易なためであって、実用的にはさらに適当な界面活性物質があると考えられる。本研究は基礎的なモデル実験であるのでこの点に関しては検討しなかった。表4に0.1 Mラウリン酸カリウム溶液に対する各種塩化ビフェニル類の可溶化平衡濃度を25℃で測定した結果を示す。比較のためビフェニルについての測定値も併せて示す。表4の結果から明らかなように、かなりの量の塩化ビフェニル類がラウリン酸カリウムによって可溶化されることがわかる。

表4 0.1Mラウリン酸カリウム液への可溶化濃度
試料 可溶化濃度 ppm (25℃)

試料	可溶化濃度 ppm (25℃)
ビフェニル	460
o-クロロビフェニル	2,900
m-クロロビフェニル	1,050
p-クロロビフェニル	235
2,5-ジクロロビフェニル	668
3,5-ジクロロビフェニル	238

(3) 可溶化溶液よりの塩化ビフェニルの分離回収

可溶化溶液中の塩化ビフェニルを分離回収する方式としては炭化水素による抽出法が考えられる。しかし界面活性剤存在下の抽出は技術的にみて問題があり実用化は難しい。本研究では可溶化溶液に硫酸を加え、ラウリン酸とともにミセル内に含まれている塩化ビフェニルを析出させる方式を検討した。この析出物は滷別してから減圧蒸留で分別し、塩化ビフェニルは液状で分解処理しラウリン酸は再利用する。滷液中に微量含まれる塩化ビ

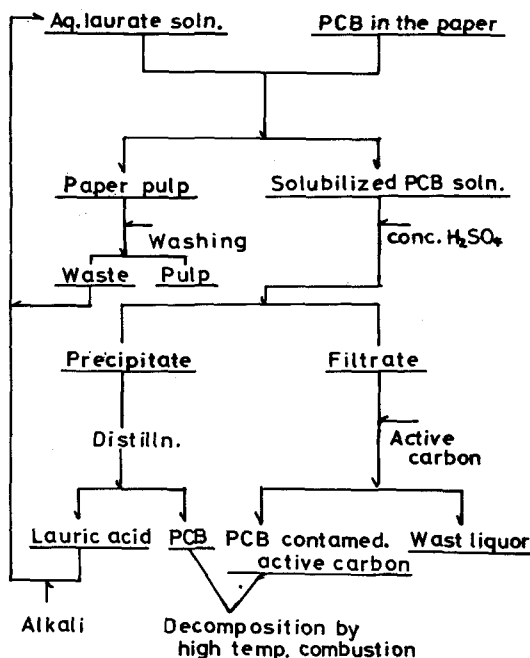


図2 紙類に含まれるPCBの分解処理プロセス

フェニルは活性炭で吸着除去する方式とした。この方式によるPCBの分解プロセスを図2に示す。

このプロセスでどの程度のPCBの回収率と廃液中の濃度が期待できるかを検討するためモデル実験を行なった。実用的には可溶化平衡濃度を実現することは不可能であるので、モデル実験では約10ppmのp-クロロビフェニルを含む0.1Mラウリン酸カリウム溶液を調整し硫酸で中和滷過後の液中の塩化ビフェニル濃度を測定しさらに、この液を活性炭処理した後の濃度を測定し塩化ビフェニルの除去率と滷水中の濃度を調べた。結果を表5にまとめて示す。

表5 可溶化溶液よりの塩化ビフェニル除去実験結果

実験 No.	p-クロロビフェニル濃度 (ppm) 可溶化液	中和滷液	活性炭処理液	最終除去率 (%)
1	11.0	0.92	0.28	97.5
2	11.5	0.82	0.10	99.1
3	12.8	1.06	0.48	96.3
4	12.8	1.10	0.48	96.3
5	12.8	0.82	trace	>99.5
6	12.8	1.06	trace	>99.5

この結果のみから判断すると、可溶化させた塩化ビフェニルの大部分は除去可能である。廃液中の濃度も活性炭処理のみでは排出基準に達していないが別途の方法を併用すれば排出基準に達することは充分可能と考える。しかし本研究はモデル実験であるので実用化に際しては数多くの検討課題を含んでいる。このような問題点はあるにしろ本研究がPCB処理技術の開発に何らかの参考となれば幸である。

終に、本研究をすすめるに当って協力して戴いた島田重行、出口清、中川進、山口晶三、渡辺正範、平井敬人の諸君に厚く感謝します。

文 献

- (1) 河村ら, 科学技術庁研究調整局報告 (1974).
- (2) 西脇ら, 日化, 1975, 2132.
- (3) 立川, PPM, 3, No. 8, 43 (1972).
- (4) W. E. Bachmann, "Org. Reaction" II, p.224.
- (5) 日本化学会, 実験化学講座16, (丸善) p.64.
- (6) 日本化学会, 実験化学講座7, (丸善) p.169.

酸素・亜鉛系電池のスケールアップに伴う化学工学的試算

犬・田 修 正

Chemical Engineering Estimation of Scale-Up of Oxygen-Zinc battery

Shusei INUTA

Some problems on chemical engineering estimation of a scale-up and the design for the practical oxygen-zinc battery system were discussed in this paper.

In the practical oxygen-zinc battery design the common case involves pumping the electrolyte through the compartments of the individual cells for the purpose of decreasing the polarization of the electrodes, so the experimental results obtained with a small rotating disk electrode were used for the scale-up and the design of the oxygen-zinc battery.

1. はじめに

自動車よりの排気ガスによる大気汚染・騒音などに対する対策の一つとして電気自動車が目ざされ、これの動力用電池として現在のところ実用上最も信頼性が高いとされる鉛蓄電池の利用が考えられるが、これの理論起電力は 2.12V で満足すべきものではあるが理論エネルギー密度は 180 whr/kg であり、現在のところ実際値は 40 whr/kg 前後と不十分で、いかに改良を加えても多くは期待できず、この電池は電気自動車用動力源としては不満足である。したがって、このような目的にかなう種類の新型電池が取り上げられ、現在、各方面で強力に研究が推し進められている。そこで、著者らはこれらの中でも特に有望な酸素・亜鉛電池を取り上げ基礎的研究を進めてきたが、さらにそれらの研究結果に基づいて、本報では、実用化に際して電解液循環方式をとり入れた場合のスケールアップに伴う化学工学的試算をおこない適用限界および種々の問題点を明らかにし設計資料を提供

した。

2. 条件の設定

電解液の循環系統図の概略を図 1 (A) に示す。循環ポンプより 1½ in. 管によって導かれた電解液は 10 個の電池に入るとき、図 1 (B) のように ½ in. 管によって分けられ、各電池に入り、反応後 ½ in. 管を通して 1½ in. 管に集められ、ポンプにもどり循環するものとする。電池数、および循環系内部の幾何形状は次のように設定する。

電池数、 $n = 10$

電極間距離、 $2b = 0.5 \text{ cm}$

電極の大きさ、 $2d \times L = 10 \times 10 \text{ cm}^2$

電池内流路断面積、 $2c \times 2b = 10 \times 0.5 \text{ cm}^2$

入口および出口の多岐管、½ in. 管、内径 $d_1 = 0.65 \text{ cm}$ 、内径基準断面積、 $A_1 = 0.33 \text{ cm}^2$

導管、1½ in. 管、内径 $d_2 = 4.16 \text{ cm}$ 、

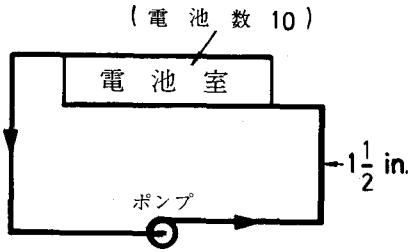
内径基準断面積、 $A_2 = 13.59 \text{ cm}^2$ 、長さ $l = 200 \text{ cm}$

電解液の特性値は次の値とする^{(1), (2)}。
 液温, 25°C
 電解液の種類および濃度, 4.2N KOH
 密度, $\rho = 1.188 \text{ g/cm}^3$
 静粘性係数, $\mu = 0.0148 \text{ poise}$
 電導度, $k = 0.571 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$

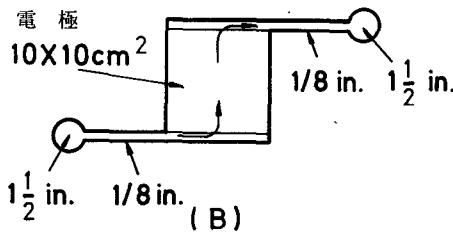
ただし, $E_o = 0.401 (V_{vs. NHE})$
 $a_{H_2O} = p_{H_2O} / p_{H_2O}^o = 18.903 / 23.756 = 0.7957$
 $a_{OH^-} = 6.63$

とする。
 酸素の Eisenberg が用いている実験式⁽³⁾

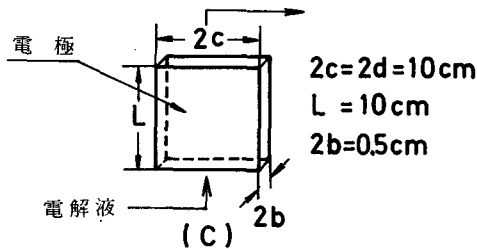
$$\Delta E_{O_2} = 0.28 + 0.18 \log i \quad (2)$$



(A)



(B)



(C)

図1 電解液循環系統の略図および主要部の寸法

3. 開路電圧⁽¹⁾ および分極

酸素極の平衡電位 E_{O_2} は

$$E_{O_2} = E_o + \frac{2.30RT}{4F} \log \frac{p_{O_2} \times a_{H_2O}}{a_{OH^-}^4}$$

$$= 0.349 (V_{vs. NHE}) \quad (1)$$

を採用し, 便宜上, ガス側の濃度分極は純ガスを用いるので本系では無視する。しかしながら, i が大きくなれば式(2)よりも分極はもっと大きくなるであろう。

一方, 亜鉛極の電位は浸漬電位 $E_{Zn} = -1.363 (V_{vs. NHE})$ を平衡電位とみなし, 分極値は回転円板電極を用いて得たそれぞれの回転数における分極曲線より求めた。これらの値より, 開路電圧 $V_{c,o}$ は

$$V_{c,o} = E_{O_2} - E_{Zn} = 0.349 - (-1.363)$$

$$= 1.712 V \quad (3)$$

である。

また, 電極間のオーム損は $\Delta E_{ohm} = i \rho (2b)$
 $= 0.875 i (V)$ である。

4. 電極間距離および流速と助走路長との関係

図1(C)のように流れに垂直に長方形 ($2c \times 2b$) の断面をもつ管路においては助走路長 ℓ_E は流速 U_o の関数である。すなわち, Schlichting によると⁽⁴⁾, かような平行平板の場合, それぞれの壁で形成され成長する境界層の厚さが壁間距離の半分になるまでの区間 ℓ_E は

$$\ell_E = 0.16 b (U_o b / \nu) = 0.04 (2b) Re_{e, 2b}$$

$$(4)$$

ただし, ℓ_E = 助走路長 (cm)
 U_o = 平均流速 (cm/sec)
 ν = 動粘性係数 (cm²/sec)
 $2b$ = 平板間の距離 (cm)
 $Re_{e, 2b}$ = 平板間隔にもとづく Reynolds 数 (-)

である。図2は助走路長に対する極間隔および流速の関係を示す。また, 平行平板の場合, 水力学的半径にもとづく臨界 Reynolds 数は Longwell によると⁽⁵⁾ 2,800 である。図2に示した黒丸はその臨界 Reynolds 数に相当

する点であり、実線部分は層流域、点線部分は乱流域である。2b=0.5cmの場合の臨界速度 $U_{o, crit} \approx 36\text{cm/sec}$ である。本系では流路が曲っているため臨界 Reynolds 数はこれより幾分小さくなると思われるので $U_{o, crit} \approx 30\text{cm/sec}$ とする。

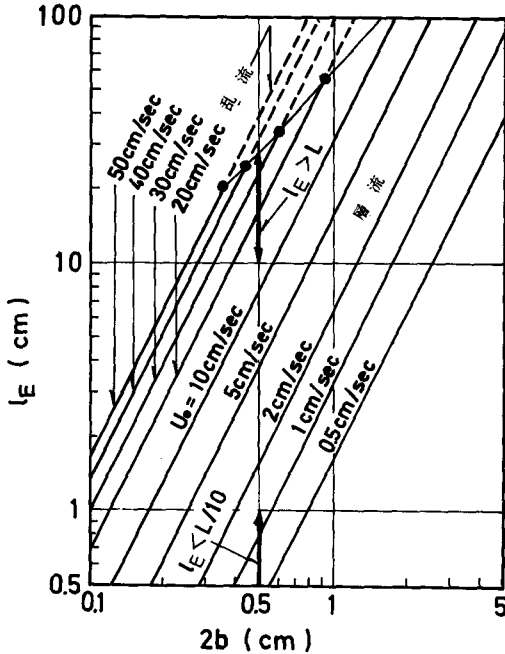


図2 助走路長に対する極間隔および流速の関係

U_o を大きくすると l_E は大きくなり、 U_o が約10cm/sec をこえると、電極の流れ方向の長さ L は l_E より小さくなる。すなわち、 $U_o \approx 10 \sim 30\text{cm/sec}$ では流れは層流で、かつ $l_E > L$ 、従って電極は完全に助走区間に入った状態になっている。

流速が1.2cm/sec より小さくなると $l_E < 0.1L$ となり、 L に比べて l_E を無視することができる。

流速が1.2~10cm/sec では $L > l_E > 0.1L$ である。

こゝでは簡単のために前二者を対象として考察する。後者は前二者の中間の値をとる。

5. 端子電圧および出力

(1) 電極の流れ方向の長さに比べて助走路長が無視で

きる場合 ($l_E < 0.1L$)

かかる場合の解析と実験的裏付けが Roušar らによって報告されているので⁽⁶⁾、これを用いて拡散層の平均厚さ $\bar{\delta}_1$ を求めると次式のようにになる。

$$\bar{\delta}_1 = \frac{1}{1.85} \phi^{-1} D^{1/3} D_e^{1/3} U_o^{-1/3} L^{1/3} \quad (5)$$

ここで、

$$\phi = (1 + b/c)^{-1/3} (c/d) \int_0^{a/c} f^{1/3} d(z/c)$$

$$f = \{1 - 2(2/\pi)^2 \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)^{-2} \cosh$$

$$(pz/c)(\cosh p)^{-1}\} \times \{1 - 6(b/c)$$

$$(2/\pi)^5 \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)^{-5} \tanh p\}$$

$$p = (2n+1)(\pi c/2b)$$

D = 拡散定数 (cm²/sec)

D_e = 水力学的相当直径 = $4bc/(b+c)$ (cm)

一方、回転円板電極に関する Levich の式⁽⁷⁾

$$j = 0.62 D^{2/3} \nu^{-1/6} \omega^{1/2} C_o \quad (6)$$

ここで j = 質量流速

ω = 角速度 (rad/sec)

より拡散層の厚さ δ_2 は次式のようにになる。

$$\delta_2 = 1.61 D^{1/3} \nu^{1/6} \omega^{-1/2} \quad (7)$$

ここで、 $\bar{\delta}_1 = \delta_2$ とおくと U_o を ω (rad/sec) あるいは r (r.p.m.) の関数として求めることができる。始めに設定したこの系の幾何形状に関する値を代入し整理すると

$$U_o^{1/3} = 0.487 r^{1/2} \quad (8)$$

が得られる。回転円板電極を用いて得られた実験データ⁽⁸⁾と式(8)を用い E_{zn} を電流密度と流速の関数として示したのが図3である。この図より流速が0.1cm/sec から1.2cm/sec 変化すると約10mV分極が小さくなることがわかる。

開路電圧よりカソード分極、アノード分極、およびオーム損を差引いた端子電圧 V を電流密度と流速の関数

として示したのが図4である。

また、単位面積当りの出力 iV_0 を電流密度と流速の関数として示したのが図5である。 0.1 A/cm^2 の場合流

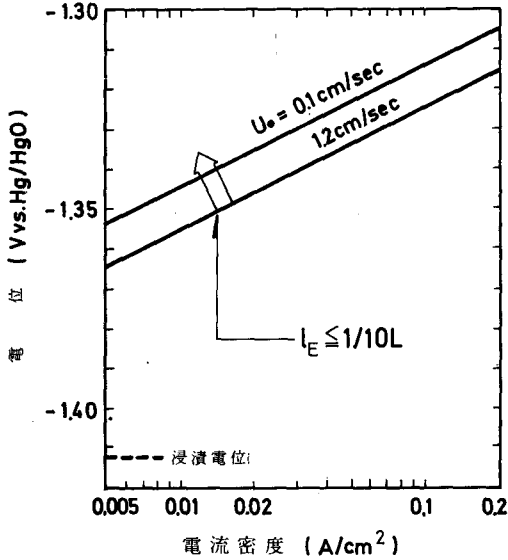


図3 電位に対する電流密度および流速の関係

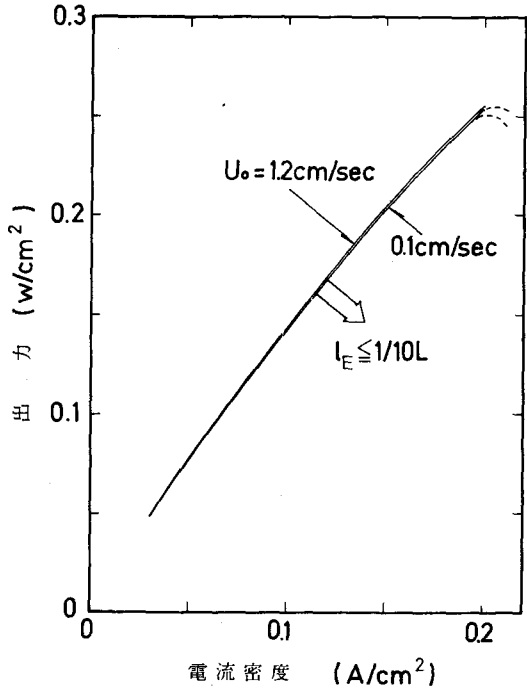


図5 出力に対する電流密度および流速の関係

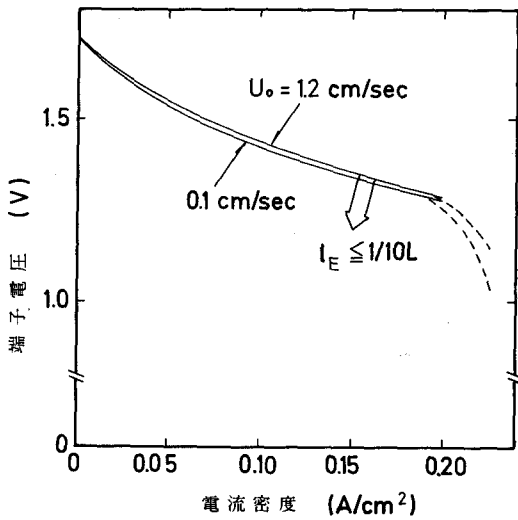


図4 端子電圧に対する電流密度および流速の関係

速が 0.1 cm/sec から 1.2 cm/sec に増加すると 1 cm^2 当り約 0.001 W 出力が大きくなり、本系では電極表面積 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ で10個の電池と仮定したので約 1.1 W の出力増が予想される。同様にして 0.2 A/cm^2 の場合には約 2.2 W の出力増となる。すなわち、電流密度の増大とともに流速による出力増の割合が大きくなることわかる。

(2) 電極の流れ方向の長さ比べ助走路長が長い場合 ($l_E > L$)

この場合、平均拡散限界電流密度は次式で与えられる⁹⁾。

$$\bar{i}_L = 1.36 n F D C_0 (\nu / D)^{1/3} \times (U_0 / \nu L)^{1/2} \tag{9}$$

これより、拡散層の平均厚さは次式で与えられる。

$$\delta'_1 = 0.735 D^{1/3} \nu^{1/6} (L / U_0)^{1/2} \tag{10}$$

(10)式と(7)式より、同様にして U_0 を r の関数として求めると次式のようになる。

$$U_0 = 0.215 r \quad (11)$$

同じく回転円板電極を用いて得られたデータと(11)式より E_{2n} を電流密度と流速の関数として示したのが図6である。この図より流速が10cm/sec から30cm/sec と約3倍になると約7 mV分極が低下することがわかる。

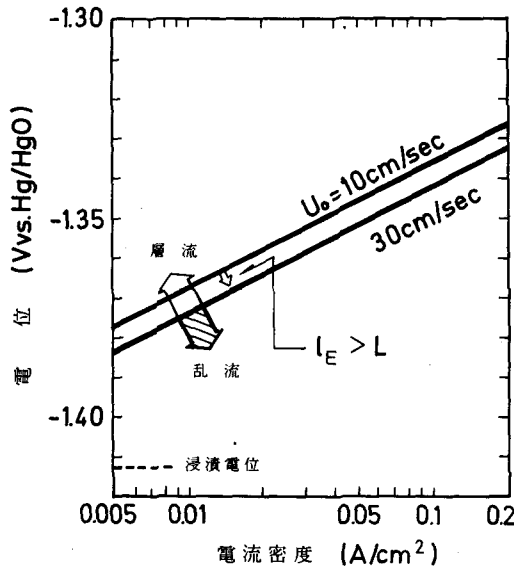


図6 電位に対する電流密度および流速の関係

端子電圧 V_E を電流密度と流速の関数として示したのが図7である。

さらに、単位表面積当りの出力 iV_E を電流密度と流速の関数として示したのが図8である。0.1 A/cm² の場合、流速が10cm/sec から30cm/sec に増加すると1cm² 当り約0.0008 w 出力が大きくなり、本系では約0.8 w の出力増が予想される。また、0.2 A/cm² の場合には約1.4 w の出力増となる。すなわち、(1)の場合と同様、電流密度の増加とともに流速による出力増の度合が大きくなることがわかる。

なお、ここで 1 A/cm² まで亜鉛極、および酸素極の分極が電流密度の対数と直線関係を持続するとして U_0 。

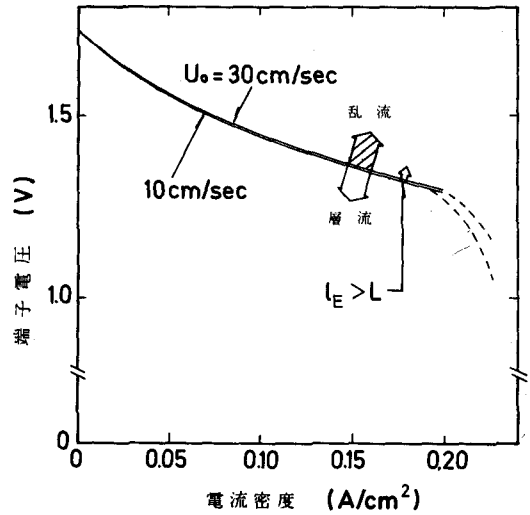


図7 端子電圧と電流密度および流速の関係

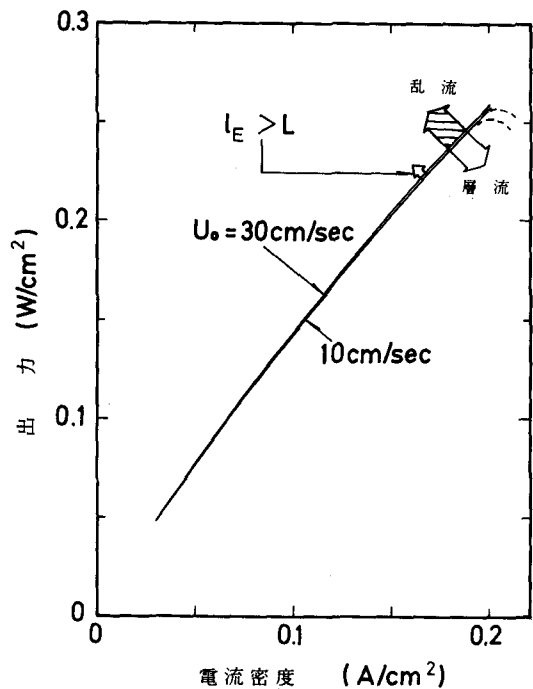


図8 出力に対する電流密度と流速の関係

$=30\text{cm/sec}$ の場合の出力 iV_c と電流密度との関係を図示すると図9のようになる。この図より 0.7A/cm^2 近傍において極大値 0.52w/cm^2 を示すことがわかる。しかしながら、実際にはアノード分極曲線は 0.2A/cm^2 近傍より急激に立ち上るので、本系では実線で示したごとく出力は約 0.26w/cm^2 をこえることはできない。

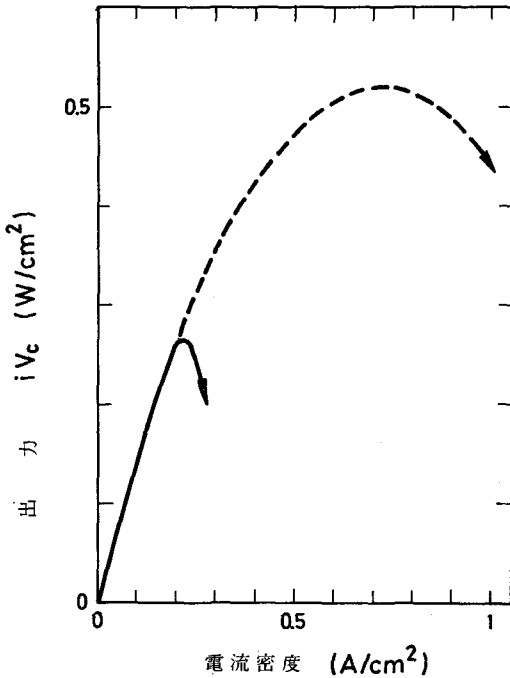


図9 $U_0=30\text{cm/sec}$ における出力と電流密度との関係

6. 頭 損 失

(1) 電池内での頭損失, F_c ⁽¹⁰⁾

ここでは Fanning の式を適用する。

$$\Delta p = (4f)(L/D_e)(U_0^2/2g)\rho \quad (12)$$

ただし、 f は流路断面が長方形 ($2b \times 2c$) で $2b \ll 2c$ であれば、 $D_e = 2(2b)$ 、 $f = 24/R_e$ であるから、圧損失 Δp は

$$\Delta p = 12(U_0 L \mu) / g(2b)^2 \quad (13)$$

従って、本系の場合の頭損失 F_c は

$$F_c = \Delta p / \rho = 0.0061 U_0 \quad (\text{cm}) \quad (14)$$

(2) $\frac{1}{8}\text{in.}$ 管より電池室に流入するときの頭損失, F_i ⁽¹¹⁾

管断面積が急激に拡大する場合であるから、頭損失 F_i は

$$F_i = (U_1^2/2g)(1 - A_1/A_0)^2 \quad (15)$$

ただし、 U_1 、 A_1 は $\frac{1}{8}\text{in.}$ 管内の流速とその断面積で、 A_0 は電池の流路断面積である。従って本系にこれを適用すると

$$F_i = 0.101 U_0^2 \quad (\text{cm}) \quad (16)$$

(3) 電池室より $\frac{1}{8}\text{in.}$ 管に流出するときの頭損失, F_o

管断面積が急激に収縮する場合であるから、頭損失 F_o は、

$$F_o = K_c U_1^2 / 2g \quad (17)$$

ただし、 K_c は抵抗係数で A_1/A_0 の値により変る。 $A_1/A_0 = 0.0664$ であるから $K_c \approx 0.44$ ⁽¹¹⁾ である。従って、本系にこれを適用すると

$$F_o = 0.0512 U_0^2 \quad (\text{cm}) \quad (18)$$

(4) $1\frac{1}{2}\text{in.}$ パイプラインにおける頭損失, F_p

円管における臨界 Reynolds 数を 2,300 としたときのパイプラインにおける臨界流速 $U_{L, crit}$ は 6.63cm/sec である。電池数が10個であることを考慮して本系の U_L と U_0 の関係を求めると

$$U_L = 3.68 U_0 \quad (\text{cm/sec}) \quad (19)$$

である。従って、パイプラインにおける臨界流速 6.63cm/sec に相当する電池内流速は 1.80cm/sec となる。すなわち、電池内流速が 1.80cm/sec をこえるとパイプライン内では乱流となる。

層流の場合の頭損失 $F_{L, lam}$ は、

$$F_{L, lam} = 32\nu \ell U_L / g d_i^2 \quad (20)$$

従って、本系では

$$F_{L, lam} = 4.53 \times 10^{-3} U_L$$

$$= 1.67 \times 10^{-2} U_o \quad (\text{cm}) \quad (21)$$

また、乱流の場合 $U_L > 6.63 \text{ cm/sec}$ で、本系では上限が電池内流速 $U_o = 30 \text{ cm/sec}$ すなわち、 U_L に換算すると 110 cm/sec であるから、 $Re < 3.8 \times 10^4$ である。従って、Fanning の摩擦係数としては Blasius の式¹⁰⁾、

$$f = 0.0791 Re^{-0.25} \quad (22)$$

が適当と考えられるので、これを用いてそれぞれの値を代入整理すると

$$F_{L, turb} = 0.000180 U_L^{1.75}$$

$$= 1.76 \times 10^{-2} U_o^{1.75} \quad (\text{cm}) \quad (23)$$

となる。

1/2 in. 多岐管と 1 1/2 in. 導管との間の頭損失は小さいと思われるので省く。

従って、全頭損失 F_T は

$$F_T \doteq F_c + F_i + F_o + F_p \quad (24)$$

である。頭損失についても(1)流速が小さく ($U_o < 1.2 \text{ cm/sec}$) 電極の流れの方向の長さに比べて助走路長が無視できる場合と(2)流速が大きく ($10 \text{ cm/sec} < U_o < 30 \text{ cm/sec}$) 電極の長さが助走路長より小さい場合にわけて考える。

前者では $U_o < 1.2 \text{ cm/sec}$ なのでパイプライン内は層流であるから、全頭損失は

$$F_T = 0.0061 U_o + 0.1014 U_o^2 + 0.0512 U_o^2$$

$$+ 0.0167 U_o \quad (\text{cm}) \quad (25)$$

後者では、 $U_o > 10 \text{ cm/sec} > 1.8 \text{ cm/sec}$ であるからパイプライン内では乱流である。従って、全頭損失は

$$F_T = 0.0061 U_o + 0.1014 U_o^2 + 0.0512 U_o^2$$

$$+ 0.0176 U_o^{1.75} \quad (\text{cm}) \quad (26)$$

となる。これらを図示すると図10のようになる。これよ

り、全頭損失は電池内流速の増加により急激に増大することがわかる。

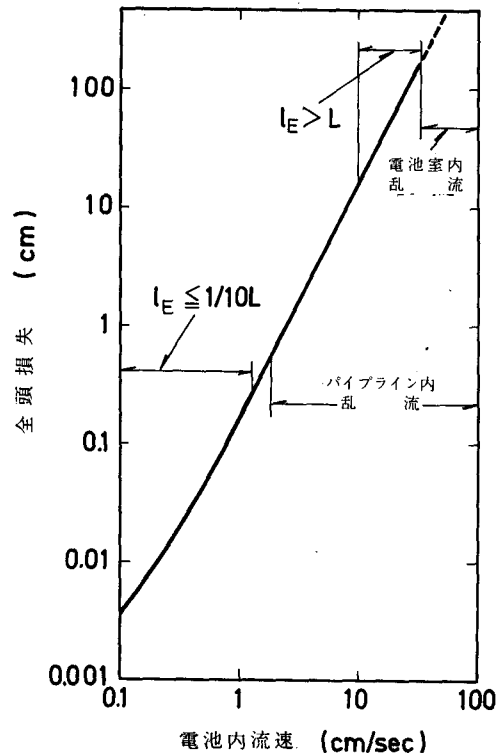


図 10 全頭損失に対する流速の関係

7. 所要動力

液を循環させるための正味の所要動力 P_{net} は

$$P_{net} = n \times (2b) \times (2c) \times U_o \times \rho \times F_T$$

$$(\text{g} \cdot \text{cm/sec}) \quad (27)$$

である。本系では

$$P_{net} = 0.00583 U_o F_T \quad (\text{W}) \quad (28)$$

となる。ここでポンプ効率とモーター効率との総効率を $E_{p, m}$ とすると、モーター所要動力 P_M は

$$P_M = P_{net} / E_{p, m} \quad (29)$$

で与えられる。 $E_{p, m}$ は実験的に求むべき量であるが、

Eisenberg の用いている値¹³⁾にもとづいて、 $U_0 < 1.2$ cm/sec のときは $E_{p,m}$ を 8% とし、10, 20, 30 cm/sec のときは $E_{p,m}$ をそれぞれ 30, 42, 48% と仮定する。

モーター最小ワット数を10として、 P_M と U_0 との関係を図11に示す。この図から $U_0 < 16$ cm/sec では所要動力は 10 w であるが 30 cm/sec のときの所要動力は約 50 w であり、流速を 2 倍にするには約 5 倍の動力が必要になることがわかる。

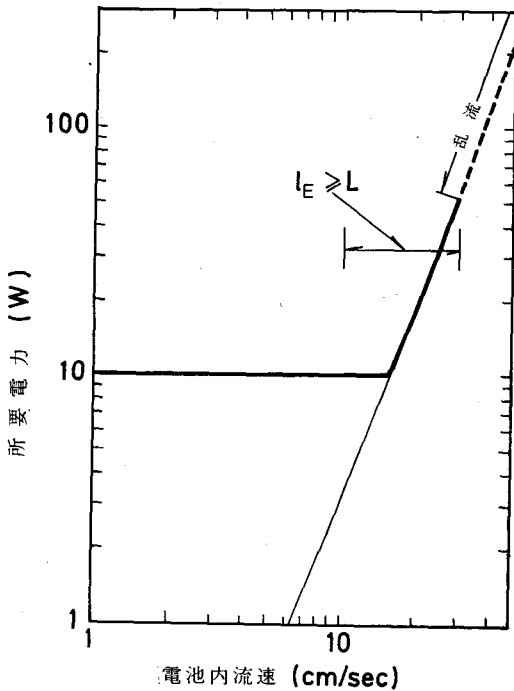


図11 所要動力に対する流速の関係

8. 所要動力と電流密度の関数としての出力

初めに設定した条件下で正味の出力を電流密度と所要動力の関数として示したのが図12である。

正味出力 W_o は

$$W_o = n V_c I - P_M \tag{30}$$

である。ただし、 $I = 2d \times L \times i = 10 \times 10 \times i$ 、 $n = 10$ である。従って、

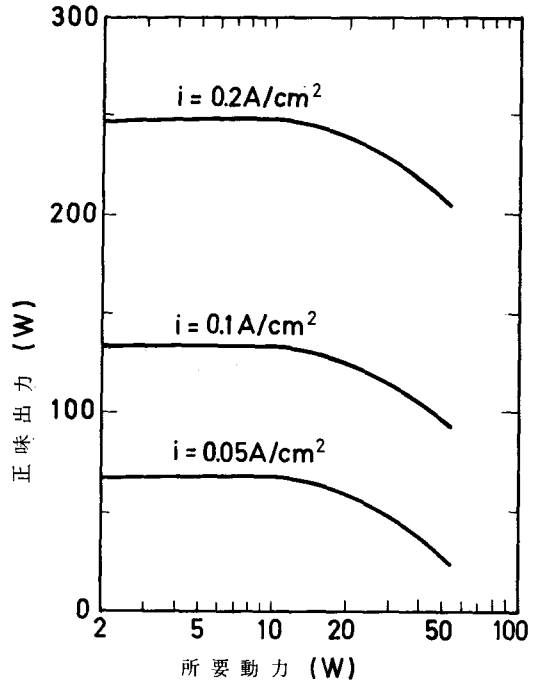


図12 正味出力に対する所要動力および電流密度の関係

$$W_o = 1000 V_c i - P_M \tag{31}$$

となる。図で明らかなように 0.2 A/cm^2 の場合、10 w 近傍の所要動力のとき、最大正味出力が得られ、これよりも大きくなると急激に正味出力が低下する。また、これよりも小さくなるとわずかに正味出力が低下する。それ程差がでないのは本系では電池数が10個と少ないためである。

9. 結 び

酸素・亜鉛型電池のスケールアップに伴う諸問題を取り上げ、いくらかの化学工学的解析を試み、さらに大型化する場合に対する指針と設計基礎資料のいくらかを提出した。

文 献

- (1) 日本化学会編, “化学便覧基礎編”, p. 435, p. 509, p. 1030, p. 604, p. 560, p. 1061, 丸善 (1966)
- (2) 電気化学会編, “新版電気化学便覧”, p. 696, 丸善 (1964)
- (3) M. Eisendberg, “Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering” vol. 2., p. 235, Interscience (1962)
- (4) H. Schlichting, “Boundary-Layer Theory”, p. 178, McGraw-Hill (1968)
- (5) P. A. Longwell, 大谷訳, “化学技術者のための流れ学”, p. 55, 共立 (1970)
- (6) I. Roušar, J. Hostomský, V. Cezner, *J. Electrochem. Soc.*, **118**, 881 (1971)
- (7) V. G. Levich, *Physicochemical Hydrodynamics*, p. 69, Prentice-Hall (1962)
- (8) 竹原善一郎, 犬田修正, 吉澤四郎, *電気化学*, **40**, 431 (1972)
- (9) 犬田修正, 学位論文, p. 72 (1973)
- (10) 亀井三郎編, “新版化学機械の理論と計算”, p. 35, p. 43, p. 36, 産業図書 (1959)
- (11) 藤田重文, “化学工学 I” 第2版, p. 45, 岩波 (1967)

Solubility of Gas in Aqueous Solutions of Mixed Salts

Tadashi UMEHARA

ABSTRACT

Solubilities of ethylene (well used in industry) in aqueous solution which consist of two kinds of salts were measured at 1 atm and 25°C by the gas volumetric method. Then, observed solubility data were compared with which were calculated from author's and Van Krevelen's equations based on the additive rule.

Consequently, solubilities calculated by the empirical equations (5) and (6) agreed well with the observed value.

For the estimation of solubility in aqueous solution of mixed salts (valence 1), these empirical equations will be used.

1. Introduction

The chemical reaction accompanied with gas absorption, gas-liquid reaction, is industrially very important. They are liquid phase oxidation, hydration and the like. When we try to analyze these gas-liquid reactions based on chemical absorption theory, the solubility data of gas in catalytic solutions are necessary.

In many cases, however, the data are reported for only systems which may be regarded as regular solutions, they can be estimated well theoretically.

Therefore, such data for a single salt solution can be estimated from the empirical equation by Van Krevelen et al.⁽¹⁾

However, we have little solubility data of hydrocarbon for systems of aqueous salt solutions, they cannot be easily estimated.

In industry, aqueous solution which consists of many kinds of solutes are often used in gas-liquid reaction. So, author observed the solubilities of hydrocarbon (ethylene) in aqueous solutions of mixed salts (valence 1), and discussed the effect of salts on the solubility.

2. Experimental

2-1 Apparatus and procedure

The apparatus used in this investigation is shown in Fig.1.

The experimental apparatus is immersed in an air bath, the temperature of which is controlled within the range ± 0.1 °C.

The experimental procedures for the measurement of the solubility are as follows:

- a) The mixed salts solution in flask (K) is degassed by boiling under reduced pressure, cooled to 25°C and connected with the inlet cock (C₇). Then, the agitated vessel (G) is evacuated through stopcocks C₂~C₃. The solution is introduced into the agitated vessel up to about 50% of its volume, then the mercury is introduced into the agitated vessel through cocks C₇~C₈. When the solution top level reaches to cock C₂, cock C₇ is closed.
- b) The levels of mercury in the gas burettes D, E, F, are set at the standard lines on the lower part.

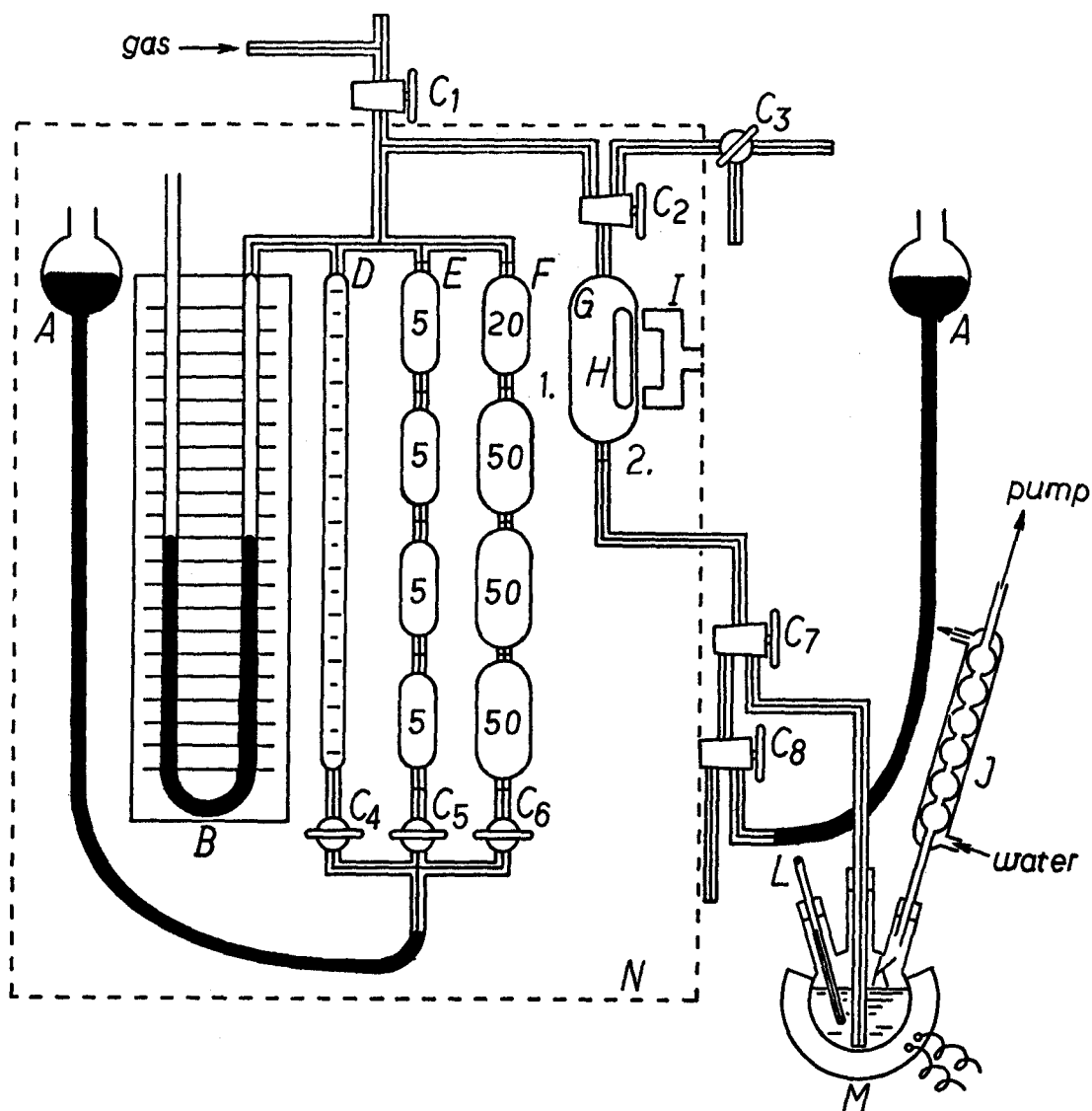


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus A: Hg Holder, B: Manometer. C₁~C₈: Cock, D, E, F: Burette, G: Agitated vessel, H: Stirrer, I: Magnetic stirrer, J: Heat exchanger, K: Flask, L: Thermometer, M: Heater, N: Const. temp. air bath,

- c) When the system attains a constant temperature (25°C), cocks C₇ and C₆ are opened. When the mercury levels in the gas burette F and the agitated vessel G coincide with the standard lines 1 and 2, respectively, cocks C₆ and C₇ are closed.
- d) The magnetic stirrer H in the vessel G is

Table I Experimental conditions

Conc. of NaCl (mol l)	0, 0.5, 1.0, 1.5,
Conc. of KCl (mol l)	0, 0.5, 1.0, 1.5,
Conc. of NaBr (mol l)	0, 0.5, 1.0, 1.5
Part. press. of C H (atm)	1.0

set to rotate.

- e) The pressure in the system is reduced pressure accompanied with gas absorption.

Then, to maintain equilibrium of the manometer B, the mercury in Hg holder A is supplied into gas burette D, E and F.

- f) When the system becomes equilibrium, the mercury levels in the gas burettes D, E and F are measured.

2-2 Materials

Salts used in this investigation are obtained commercially. The grade of reagents is guaranteed one. Ethylene is obtained from commercial cylinder, and the purity is 99.5 vol%.

Experimental conditions are shown in Table 1.

3. Experimental results

The accuracy and reliability of the equipment and procedure are determined by measurement of the solubility of ethylene in pure water. The average value of solubility determined at 25°C agreed well with Morrison's value with a range of 0.3% and Taft's one with a range of 1.05%.

The examples of the results obtained in this experiment are shown in Fig.2 and all data are given in Table 2.

As shown in author's previous report⁽²⁾, the solubility of gases (hydrocarbon) in aqueous solutions containing a single salt component (halogene salts) can be estimated by the following equations:

Author's eq.

$$C_{NaCl} = K_X \cdot C_{X_1} \quad (1)$$

Van Krevelen's eq.

$$\log(h/h_w) = -K_S \cdot I_t \quad (2)$$

where

$$I_t = 1/2 \sum_i Z_i^2 \cdot C_i \quad (3)$$

$$K_S = X_g + X_c + X_a \quad (4)$$

For systems which consist of two kinds of solutes, author tried to apply above equations based on the additive rule, that is,

$$C_{NaCl} = \sum_i K_{X_i} \cdot C_{X_i} \quad (5)$$

$$\log(h/h_w) = \sum_i -K_S \cdot I_t \quad (6)$$

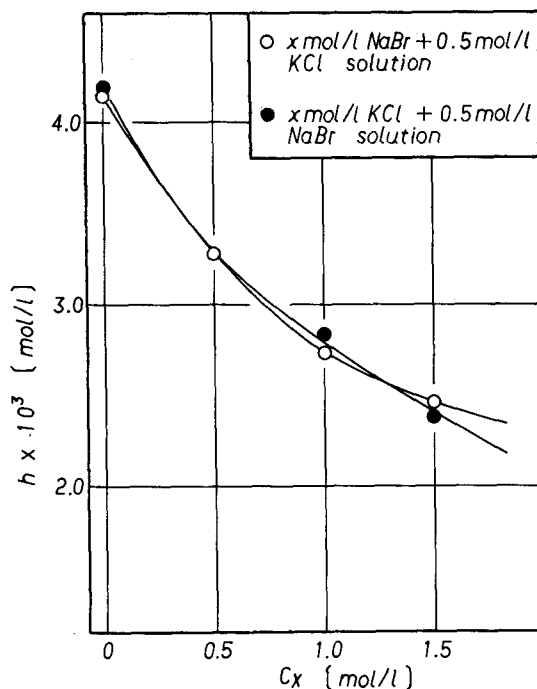


Fig.2 Solubilities of ethylene in aqueous KCl-NaBr mixed solution at 1 atm and 25°C

The observed and calculated values are shown in Table 2. The standard deviation of the results estimated by eqs. (5) and (6) are calculated and are shown in the same table.

As shown in Table 2, the solubility data estimated from eqs. (5) and (6) seems to be practically useful. Therefore, these empirical equations for prediction of solubility of gas

in mixed salts solution will be effective.

For all gases and mixed salts solutions, hereafter, these empirical equations will have to be investigated.

The author would like to acknowledge the continuing guidance and encouragement of Professor Yano and Assistant Professor Suetaka, and to thank Mr. Koshino and Mr. Nakamuro for their assistance in experiments.

Table2.1 Solubilities of ethylene in aqueous NaCl-KCl mixed salts solution at 1 atm and 25°C

Conc. of NaCl (mol/l)	Conc. of KCl (mol/l)	hx10 ³ (obs.) (mol/l)	hx10 ³ (calc. by Eq.(5)) (mol/l)	Deviation (%)	hx10 ³ (calc. by Eq.(6)) (mol/l)	Deviation (%)
0.5	0.5	3.19	3.47	8.8	3.42	7.2
0.5	1.0	2.79	2.96	6.1	2.92	4.7
0.5	1.5	2.39	2.47	3.4	2.50	4.6
1.0	0.5	2.77	2.90	4.7	2.87	3.6
1.5	0.5	2.49	2.35	-5.6	2.42	-2.8
Stadard deviation				0.060		0.048

Table2.2 Solubilities of ethylene in aqueous NaCl-NaBr mixed salts solution at 1 atm and 25°C

Conc. of NaCl (mol/l)	Conc. of NaBr (mol/l)	hx10 ³ (obs.) (mol/l)	hx10 ³ (calc. by Eq.(5)) (mol/l)	Deviation (%)	hx10 ³ (calc. by Eq.(6)) (mol/l)	Deviation (%)
0.5	0.5	3.36	3.49	3.9	3.43	2.1
0.5	1.0	2.71	3.01	11.1	2.94	8.5
0.5	1.5	2.43	2.53	4.1	2.51	3.3
1.0	0.5	2.65	2.92	10.2	2.88	8.7
1.5	0.5	2.19	2.37	8.2	2.42	10.5
Stadard deviation				0.081		0.074

Table2.3 Solubilities of ethylene in aqueous KCl-NaBr mixed salts solution at 1 atm and 25°C

Conc. of KCl (mol/l)	Conc. of NaBr (mol/l)	hx10 ³ (obs.) (mol/l)	hx10 ³ (calc. by Eq.(5)) (mol/l)	Deviation (%)	hx10 ³ (calc. by Eq.(6)) (mol/l)	Deviation (%)
0.5	0.5	3.28	3.56	8.5	3.49	6.4
0.5	1.0	2.73	3.07	12.5	2.99	9.5
0.5	1.5	2.46	2.59	5.3	2.56	4.1
1.0	0.5	2.83	3.05	7.8	2.98	5.3
1.5	0.5	2.38	2.55	7.1	2.55	7.1
Stadard deviation				0.086		0.067

All data are an average of at least five runs.

Nomenclature

- C = concentration of salt in aqueous solutions (mol/l)
 h = solubility of gas (mol/l)
 I = ionic strength (mol/l)
 K = empirical constant in Eq.(1) (-)
 k_s = salting-out parameter (1/mol)
 x = empirical constant in Eq.(4) (1/mol)
 (Subscripts)
 a = anion
 c = cation
 g = gas
 NaCl = sodium chloride
 w = water
 x = x species of salt

References

- (1) van Krevelen, D.W. and P.J. Hoftizer; Chim. Industr. XXI^{eme}, Congr. Int. Ghim. Industr., 168 (1948)
- (2) Yano, T., T. Suetaka, T. Umehara and A. Horiuchi; Kagaku Kogaku, 38, 320 (1974)

白金電極上でのエチレングリコールの 電気化学的酸化挙動

大 植 正 敏 ・ 泉 生 一 郎

Electrochemical Oxidation of Ethylene Glycol at a Platinum Electrode

Masatoshi OOUE and Ikuichiro IZUMI

ABSTRACT

The oxidation of ethylene glycol at a platinum anode was studied. Using a potential sweep method, it was found that the reaction in aqueous media was virtually diffusion-controlled at a peak potential in the lower reactant concentration regions, and that the reaction was inhibited by a platinum surface oxide. In addition the oxidation intermediates were found to be formed in an anodic charge transfer adsorption. The reaction order and the Tafel slope were determined, and the kinetics was discussed.

1. 結 言

有機化学と電気化学の境界領域は有機電解合成⁽¹⁾、燃料電池⁽²⁾、表面処理⁽³⁾、さらには廃水処理⁽⁴⁾の方面へとめざましいものがあり、このため有機化合物の電極反応に関する研究がますます盛んになってきているが、有機電極反応を応用していくためには、より詳細な電解条件等の検討が必要である。本研究ではメタノール燃料電池の研究の一環として、メタノールの放電の際に白金電極上の被毒現象をもたらすと考えられる反応副生成物の挙動に着目した。被毒現象をもたらすと考えられる副生成物には種々あるが、特に本報では・CH₂OHの二量化によって生じる2価アルコールのエチレングリコールについて、白金電極上での電気化学的挙動を調べ、得た結果について検討を加えた。

2. 実 験

電極として作用極には0.5mmφの白金線の一端をガラス管に封じ込めたもの(有効長さ10mmφ、見掛けの電極面積0.157cm²)を、対極には充分な大きさの面積をもつ平滑白金極を用いた。それらの前処理には1N水酸化カリウム溶液中で20分間浸漬し、その後、1N硫酸溶液中で50mA程度の電流により15分間酸化・還元を交互に

繰り返す方法を用いた。電解セルにはNo. 1のガラスフィルターで仕切ったH型セルを用いた。尚、試薬はすべて和光純薬製の市販特級品を用い、試料液の調製には2回蒸留水によって行った。

電位走査法によるボルタメトリーには柳本ポテンシオスタットV8-2010型を用い、理研電子製のF-4213型のX-Yレコーダーによって記録した。この場合の電位走査速度は60.6mV/secであり、その他の走査速度においては横河-ヒュレットパッカード製の特殊波形発生器3310Bあるいは、日垂計器製の設定電位自動加減装置S-5Bを、北斗電工製のポテンシオスタット(PGS-2500型)と組み合わせて行った。測定液温はすべて28.0°Cに設定した。また、窒素通気により溶存酸素を除去して測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 電流-電位特性

図1に示したように1N水酸化カリウム溶液を基礎液として、これに0.1Mエチレングリコール*¹を添加した場合の電位走査法によるボルタメトリーによって、-0.30V vs. SCE*²に明瞭なエチレングリコールの酸化に

*1 図においては、すべてE. G.と略記した。

*2 以下、飽和甘汞電極基準(vs. SCE)で記す。

基づく電流ピークが見出された。また、1N 硫酸溶液を基礎液とした場合には図2のように +0.50 V で、酸化電流ピークが得られ、さらに、カソード走査においても、+0.35 V でこれより大きな陽電流ピークが得られた。アルカリ溶液中でもカソード走査時に陽電流ピークを生じるが、酸性溶液中におけるような大きなものではなかった。アノード走査時の酸化ピークは白金酸化層形成が始まる電位にあたり、酸化層形成と共にエチレングリコールの酸化が抑制されるものと考えられる。尚、図示された電流-電位曲線は6回以上の電位走査を繰り返した後

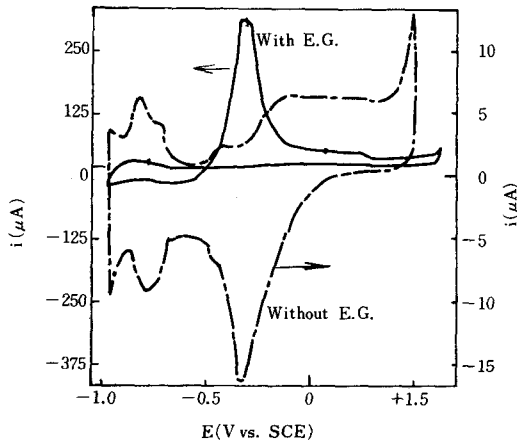


Fig.1 Cyclic voltammograms in 1N potassium hydroxide

ν : 60.6 mV/sec

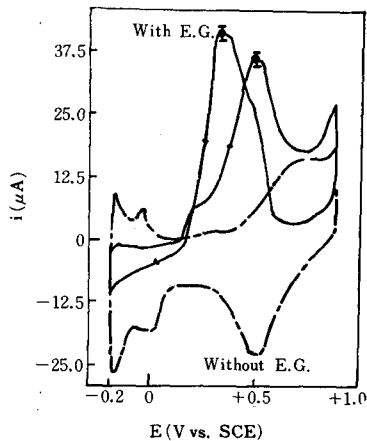


Fig.2 Cyclic voltammograms in 1N sulfuric acid

ν : 60.6 mV/sec

の定常波形であり、この際、ピーク電流は多少変化するが、最終的に定常値を与えた。

3.2 アノード走査時における酸化ピーク電流に対するエチレングリコールの濃度の影響

アルカリ溶液中でのエチレングリコールの濃度変化に伴うアノード走査時の酸化ピーク電流の変化は、図3に示したように50mM以下で濃度に比例している。他方、酸性溶液中でも100mM以下の濃度で同様な関係にある。従って、これらの濃度域では通常の線型拡散の式(1)ある

いは、不可逆過程に対するデラヘイの式(2)からピーク電位付近ではエチレングリコールの酸化は拡散律速であると考えられ、濃度が高くなると、電荷移動過程や、吸脱着過程が支配的になってくるものと思われる。

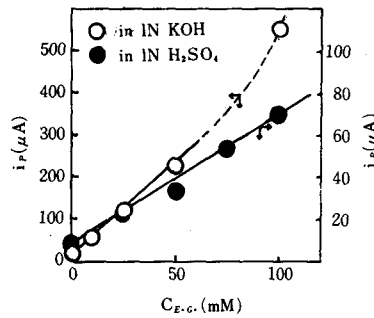


Fig.3 Dependence of i_p on $C_{E.G.}$

ν : 60.6 mV/sec

$$i = nFD(C^0 - C)/\delta \quad (1)$$

$$i_p = 3.01 \times 10^5 n \{(1 - \alpha) n_a\}^{1/2}$$

$$D^{1/2} C^0 \nu^{1/2} \quad (2)*^3$$

上式で、 i 、 i_p は、それぞれ拡散電流および、ピーク電流、 C^0 、 C は溶液内濃度と電極表面での濃度で、他は通常用いられる意味の記号である。

3.3 アノード走査時における酸化ピーク電流と電位走査速度との関係

ピーク電流 (i_p) と電位走査速度 (ν) の平方根との間には反応が拡散律速の時、式(2)が成立する。アルカリ溶液中と酸性溶液中におけるこの関係を調べたのが図4である。100mV/sec以上の走査速度では i_p と $\nu^{1/2}$ との間の比例関係がなくなるが、それより低い走査速度では式(2)にほぼ従う。3.2項の結果をもあわせて考えると、本実験で主に用いた 60.6 mV/sec の電位走査速度ではア

* 3 式中の係数は、25℃における値である。

ルカリ溶液中において50mM以下の、酸性溶液中において100mM以下のエチレングリコール濃度で拡散律速の反応になることが、明らかである。

3.4 電位走査巾の変化による検討

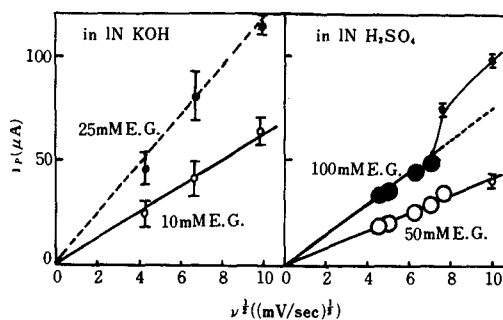


Fig. 4 Dependence of i_p on $\nu^{1/2}$

アルカリ溶液中において、上限電位（折り返し電位）を $+0.55\text{ V}$ に設定し、下限電位（走査開始電位）を変化させた時の電流-電位曲線が図5である。図5-aの下限電位である -0.37 V はすでにエチレングリコールの酸化が起っている電位に相当し、電位走査を繰り返すことによって、酸化ピーク電流は低下し続ける。図5-bのように下限電位を -0.44 V にすると、逆に走査の繰り返してピーク電流は増大し、一定値に達する。図5-c, dはカソード走査時の陽電流ピークの現われる電位よりも卑な -0.50 V , -1.0 V をそれぞれ下限電位にしたものであるが、これらは走査の繰り返しの影響はなく、

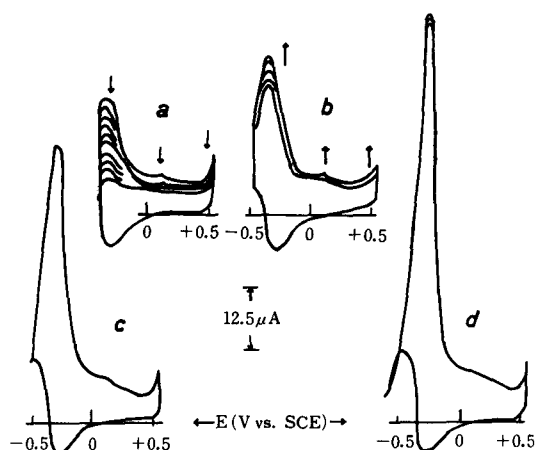


Fig. 5 Cyclic voltammograms at various initial potentials

1N KOH with 0.1ME.G., ν : 60.6mV/sec

初回の電位走査から定常値を示した。図5-a, bにおいては、アノード走査におけるピーク電流の増減に相应して酸素発生電流も変化した。しかし、この場合、白金酸化層の還元電流には変化がなかった。以上の結果から、エチレングリコールの酸化生成物が電極面に吸着し、白金酸化層の還元と共に脱離すると思うが、不十分な酸化層還元で、下限電位を折り返してもカソード走査の酸化層還元電流に変化がないことと矛盾する。そこで、筆者らは不十分な酸化層還元で下限電位を折り返した図5-aでは残存酸化層によるエチレングリコールの酸化抑制が、十分に酸化層還元を行った図5-c, dでは初回の走査から定常波形を与えるものと考えた。この酸化層によるエチレングリコールの酸化に対する抑制は3.1項でも指摘した。尚、図5-bでの酸化電流の上昇は、図5-aと図5-c, dとの中間段階での現象とみることができる。他方、酸性溶液中において、上限電位を変化させたときの電流-電位曲線を図6に示した。アノード走査時の酸化ピーク電流が、上限電位が卑になるにつれて減少し、また、 $+0.75\text{ V}$ よりも卑な電位に上限電位を設定すれば、アノード走査時の酸化ピーク電流よりもカソード走査における陽電流ピークの方が低くなり、このピークの形もくずれて平坦となる。これらの事は、上限電位を卑な電位に設定することによってエチレングリコールの酸化反応の中間生成物の貴な電位での酸化脱離がなくなり電極面に不活性な中間生成物の吸着層が形成されることに起因していると推定される。次に、上限電位を $+0.88\text{ V}$ に設定し、下限電位を変化させた時にはカソード走査時の陽電流ピーク値($i_{p,c}$)と、アノード走査時の酸化ピーク電流値($i_{p,a}$)の比が平均1.28で、ほぼ一定値となった(表1参照*)。 $i_{p,c}$ と $i_{p,a}$ の比が、上限電位を卑な電位に変える事によって次第に小さくな

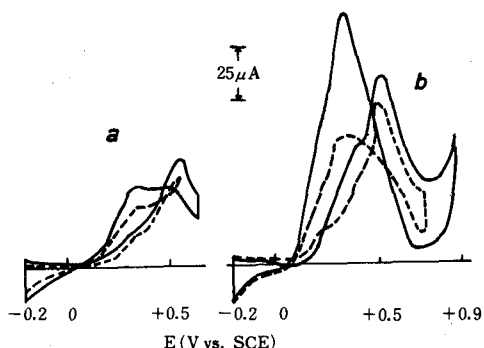


Fig. 6 Cyclic voltammograms at various reversal potentials

1N H₂SO₄ with 0.2ME.G., ν : 60.6mV/sec

ってくる事を既に記したが、その場合と同様に、電極面の活性化の度合で下限電位を変化させた時のそれらの比が一定値になる事を説明できる。即ち、上限電位を貴な電位で一定に保つと、中間生成物の酸化脱離により電極面への活性化の度合が一定になり、上記のピーク比が一定になるものと考えられる。

Table 1 The ratio of cathodic current peak to anodic current peak based on the oxidation of ethylene glycol in 1N sulfuric acid

reversal pot. (V)	initial pot. (-0.2V)	constant pot. (-0.2V)	constant pot. (+0.88V)	reversal pot. (+0.88V)
$i_{p,c}/i_{p,a}$				
	$i_{p,c}/i_{p,a}$			
		initial pot. (V)		$i_{p,c}/i_{p,a}$
+0.88	1.32	-0.10		1.23
+0.72	0.92	0.00		1.29
+0.64	0.75	+0.10		1.24
+0.54	0.71	+0.30		1.34
		average		1.28

3.5 Tafel b 係数

アルカリ溶液中でのエチレングリコールの反応電流は小さく、定常法でのボルタメトリーは電流の観測が難しいので、電位走査速度の幾分遅い 60.6mV/sec で行い、得られた電流-電位曲線を図7のようにプロットを行った。これから、100mM エチレングリコールについての Tafel b 係数は 120mV となり、次のように表わされる。

$$(\partial E / \partial \log i)_{C=100mM} = 2.303 \times 2 RT / F \quad (3)$$

Tafel b 係数はエチレングリコールの濃度が低くなるにつれて大きくなり 10mM エチレングリコールでは酸化ピークの電流上昇部分、下降部分共 180mV となった。しかし、3.2項で述べたように、50mM 以下では拡散が支配的になってくるので電荷移動過程に着目すべき Tafel b 係数については(3)式が妥当であろう。他方、酸性溶液中で 10mV/sec の擬定常法で行ったボルタメトリーの結果を図8に示した。比較的高い濃度のエチレングリコール溶液について、いずれも酸化ピーク電流の上昇部分では Tafel b 係数が 70mV と 210mV の2つの直線部分からなり、下降部分では 255~270mV の Tafel b 係数

を与えた。上昇部分に注目すれば、大略次のような結果になる。

$$(\partial E / \partial \log i)_c = 2.303 \times RT / F \quad (4)$$

$$(\partial E / \partial \log i)_c = 2.303 \times 4 RT / F \quad (5)$$

ピーク付近での Tafel b 係数が大きいのは反応中間物質の吸着が強く、容易に脱離しないためと考えられる。このことは一般的に、アルカリ溶液中よりも酸性溶液中の方が、中性分子やイオンの吸着量が多い⁽⁶⁾ことからもうなづける。

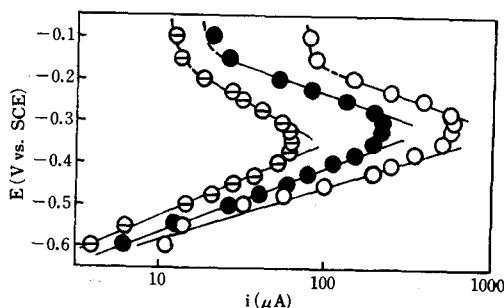


Fig.7 E vs. log i plots

○ : 0.1 M.E.G.
● : 0.05 M.E.G.
⊙ : 0.01 M.E.G.
in 1N KOH

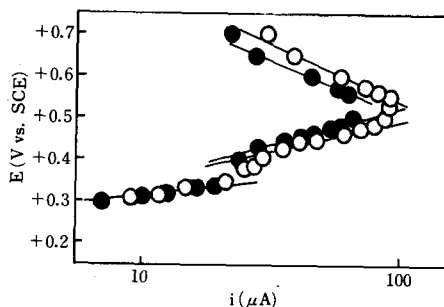


Fig.8 E vs. log i plots

○ : 1 M.E.G.
● : 0.5 M.E.G.
in 1N H₂SO₄

*4 下限電位を変化させることによって反応の前段階でのエチレングリコールの吸着量が異なり、それに伴ってピーク電流も変化するが、アノード走査と、カソード走査のピーク比は一定となった。

3.6 反応次数

電流-電位曲線から電位一定での酸化電流を読み取りエチレングリコールの濃度との関係を両対数プロットした

のが図9と図10である。アルカリ溶液中では電流上昇部に相当する電位領域に於て反応次数, $(\partial \log i / \partial \log C)_E$, は0.62~1.00の値となり, ピーク電位付近では1.00にほぼ等しくなる。即ち, 次のように表わされる。

$$(\partial \log i / \partial \log c)_E = 0.62 \sim 1.00 \quad (6)$$

電流下降部に相当する電位領域においても0.73~0.77という分数次数を示し, 電流上昇部と同様にエチレングリコールの吸着は Frumkin-Temkin 型の吸着型であると思われる。さらに, アルカリ溶液中での反応次数を定電位分極法を用いることによって以下に検討した。図11-aに示したように, 定電位分極時に酸化電流は指数

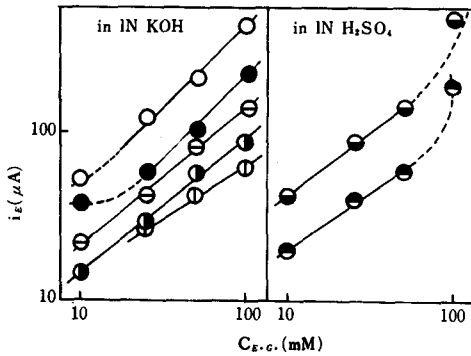


Fig.9 Log i vs. $\log C_{E.G.}$ plots at constant potential, Electrode potential (V) —

○: -0.35, ●: -0.40, ⊖: -0.425, ⊕: -0.45,
 ⊙: -0.475, ⊚: -0.25, ⊛: -0.20,
 $\nu: 60.6 \text{ mV/sec}$

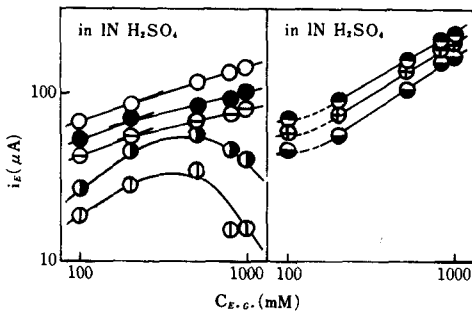


Fig.10 Log i vs. $\log C_{E.G.}$ plots at constant potential, Electrode potential (V) —

○: +0.30, ●: +0.35, ⊖: +0.40, ⊕: +0.45,
 ⊙: +0.48, ⊚: +0.54, ⊛: +0.57, ⊜: +0.60,
 $\nu: 60.6 \text{ mV/sec}$

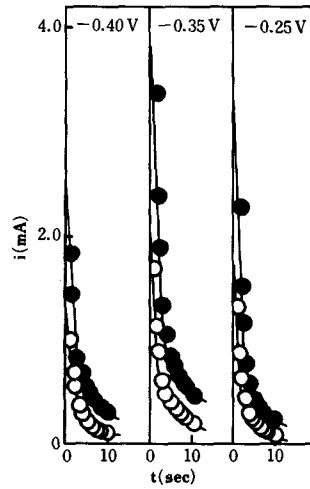


Fig.11-a Current decay curves by potentiostatic polarization

●: 50 mM E.G.
 ○: 25 mM E.G.
 in 1N KOH

関数的に減少している。図11-bには酸化電流と分極時間との両対数プロットを行い, この解析のために以下の取り扱いを行った。酸化電流とエチレングリコールの濃度および, 電極電位との関係は(7)式で表わされる。ここで, β はエチレングリコールに関する反応次数, α は透過係数, k は定数である。

$$i = k C^\beta \exp(\alpha n_a F E / RT) \quad (7)$$

一定電位で, エチレングリコールの濃度が, C_1, C_2 の各溶液を分極させた時の電流値を, それぞれ i_1, i_2 とし, αn_a が扱う濃度範囲で変化しないものとする,

$$i_1 = k C_1^\beta \exp(\alpha n_a F E / RT) \quad (8)$$

$$i_2 = k C_2^\beta \exp(\alpha n_a F E / RT) \quad (9)$$

従って, (8), (9)式から, (10)式が得られる。

Table 2 Reaction order with respect to ethylene glycol in 1N potassium hydroxide

pot. (V)	$(\partial \log i / \partial \log C)_E$	from decay curves	
		$t=1(\text{sec})$	$t=0(\text{sec})$
-0.00	0.98	0.93	0.83
-0.35	1.00	1.00	0.98
-0.25	0.77	0.77	0.78

$$\beta = \log(i_1/i_2)/\log(C_1/C_2) \quad (10)$$

図11-a, bからの $t=0$ と, $t=1$ (sec)への外挿値を(10)式に代入して, 反応次数(β)を求めた結果が表2である。これから明らかなように, 図9から求めた反応次数と良好な一致を示している。他方, 酸性溶液中では, 図10で見られるように, 電流上昇部に相当する電位領域の+0.40Vよりも貴な電位ではエチレングリコールに関する反応次数が, 0.17~0.33でいずれも分数次数を与えている。従って,

$$(\partial \log i / \partial \log C)_E = 0.17 \sim 0.33 \quad (11)$$

また, +0.35Vより卑な電位では $\log i$ vs. $\log C$ 曲線で極大をもつ。これは, 酸化反応の中間物質の吸着が強く, 脱着過程が反応の律速段階になっていることによると考えられ, 電極の被毒効果もこのことに起因しているものと云える。一方, 電流下降部に相当する電位領域での反応次数は, 0.63であった。

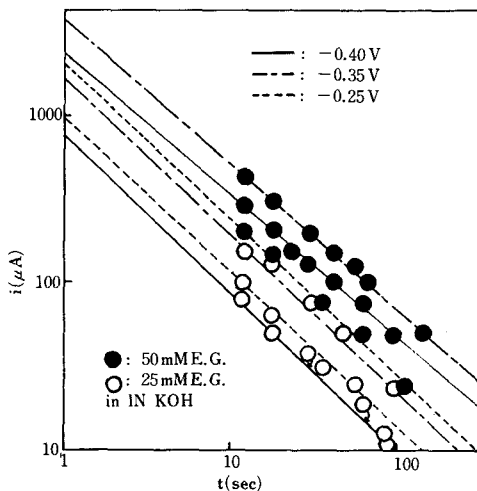


Fig.11-b Determination of reaction order from current decay curves

4. 結 言

メタノール燃料電池の研究の一環として, 2価アルコ

ールのエチレングリコールについて白金電極上での電気化学的酸化挙動を検討し, 以下の結果を得た。

1) 電位走査法によるボルタメトリーによってアルカリ溶液中では -0.30 V vs. SCEに, 酸性溶液中では +0.50 V にエチレングリコールのアノード酸化に基づく明瞭な電流ピークが見出された。また, カソード走査時の陽電流ピークは酸性溶液中における方が, アルカリ溶液中におけるよりもはるかに大きかった。

2) 60.6mV/sec の電位走査ではアルカリ溶液中において50mM以下の, 酸性溶液中において100mM以下の各エチレングリコール濃度で拡散支配の反応である。

3) エチレングリコールの酸化は白金酸化層の存在によって抑制された。また, 酸性溶液中で電位走査の上限電位を貴な電位で一定に保つと, 下限電位を変化させても中間生成物の酸化脱離により電極面の活性化の度合いが一定になり, アノード走査とカソード走査でのピーク比が一定となった。

4) Tafel b 係数 ($\partial E / \partial \ln i$) はアルカリ溶液中で $2RT/F$, 酸性溶液中では電流の立ち上がり電位領域で RT/F , ピーク電位付近では反応中間物質の吸着が強く, 脱離しにくいいため $4RT/F$ と大きな値を示した。

5) エチレングリコールに関する反応次数は, ピーク電流の上昇部に相当する電位領域で, アルカリ溶液中において0.62~1.00, 酸性溶液中においては+0.40Vより貴な電位で0.17~0.33といずれも分数次数をもちエチレングリコールの白金電極への吸着は Frumkin-Temkin型に従うものと思われた。

なお, 本研究ではエチレングリコールの電極反応機構および, 反応速度式を明示しなかったが, これらについては次回の報告で述べることにする。

文 献

- (1) 御園生晃, 長哲郎, 有機合成化学, **28**, 400 (1970)
- (2) J. O'M Bockris, "Modern Aspects of Electrochemistry", (1966), Plenum Press, New York
- (3) 生田利彦, 電化誌, **36**, 828 (1968)
- (4) 泉生一郎, 中田敏夫, 大植正敏, 日化第33秋季年会講演予稿集 I, p.263 (1975)
- (5) O. A. Khazova, Yu. B. Vasilyev, V. S. Bagotzky, *Electrokhimiya*, **1**, 439 (1965)

臨界過飽和度に対する攪拌速度の影響について

中谷武志・山本 績

The Influence of String Speed on Critical Supersaturation in Solution

Takeshi NAKAYA and Isao YAMAMOTO

ABSTRACT

In crystallization processes, the quality of products is affected by supersaturation, impurities in solution. Especially it was found by previous workers that the supersaturation is closely related with crystal nucleation and growth rates. But the clear concept of the supersaturation is unknown.

In this paper, the critical supersaturation in which crystal nucleation is extremely increased was investigated. And it was found that the critical supersaturation depended on stirring speed in an agitated vessel.

1. 緒 言

晶析操作は、溶質の物性によって溶液を冷却するか、または加熱して溶媒を蒸発させるかして、溶液を過飽和濃度の状態にし、溶質を結晶性個体物質として析出成長させる操作である。晶析装置は、操作方法や目的に応じて様々に改良され発展してきており、肥料工業、有機化学工業、製塩、製糖工業等に広範に使用されている。また最近、海水から純水を製造する方法の一つとして、ブタンと海水の直接接点による冷凍法が注目されている。

製造される結晶は、市場の需要や最適操作のために、次の3つの事項が要求される。

1) 結晶の純度

結晶の表面に付着している不純物は、脱水洗浄が充分に行なわれればかなりよくとれる。特に結晶の形状が、針状より板状、板状よりは柱状に近く、また粒径の小さいものより大きいものの方が、より洗浄効果が良い。

結晶格子内に不純物が入る場合、過飽和度をできるだけ低くすれば避けられる。

2) 結晶の硬さ、光沢、色

硬さは、結晶イオンの格子欠陥や、過飽和度が高く急

速に結晶が成長したために、内部に溶液を包含する時に低下し、また透明度も失われる。光沢、色は結晶表面の粗密による不純物の沈着度によってきまる。

3) 結晶の粒度、形状

結晶の粒度、形状は、最終製品とするための分離プロセス、乾燥プロセスと密接に関連しており、必要に応じて管理されなければならない。例えば、汙過分離プロセスでは、結晶の粒度が小さいと圧損が大きくなり不利となる。また、乾燥プロセスにおいても効率が悪くなる。その他、用途に応じて市場の要求もあるので管理されなければならないが、晶析現象にはまだ未知の部分が多く、経験にたよっている。

以上3つの事項を述べたが、溶液の過飽和度は、これら3つの事項の重要な因子となっており、これらを管理するための操作量として注目され研究されている。過飽和状態について、Ostwald⁽¹⁾は、次の2つの領域を考えた。1つは準安定領域と呼ばれ、その領域においては、結晶核を加えない限り、晶析は起らない。もう1つの領域は、不安定域と呼ばれ、この領域においては、自然に核生成が起り成長する。そして、この2つの領域の間を、metastable limitと呼んで説明した。

Miers⁽²⁾らは、溶質あるいは溶媒を変えて広範な実験

を行ない、Ostwald の metastable limit の概念を実証した。彼らは、Ostwald の概念を過飽和度曲線を用いて説明し、この線において準安定領域から不安定領域への急激な状態変化があるとした。これに対し Coppet⁽³⁾ は、準安定領域においてもある有限の時間内に、微少な結晶核の生成が起る可能性があることを確めた。その後、Young⁽⁴⁾ は metastable limit が、攪拌、振動、摩擦、その他の機械的エネルギーを加えることにより変化することを確めた。さらに、Van Hook⁽⁵⁾ は、砂糖の過飽和溶液に対して、音波の影響があることを報告している。しかし、過飽和度に関する概念は、まだ定性的な説明がなされているだけである。

本研究は、特に攪拌速度の過飽和度に対する影響について、過塩素酸カリウムを用いて実験し、実験式を得たので報告します。

2. 実験装置および実験方法

1) 飽和溶解度の求め方

恒温槽内で、蒸留水を入れたピーカーに過塩素酸カリウム(特級)を過剰に加え、充分溶解させ一定温度に長時間放置した後、その溶液をメンブラン濾過器のガラスフィルターの上に濾紙をはさんだもので濾過し、残っている結晶を取り除き、飽和溶液を作った。濾過する際、濾過ピンをあらかじめ乾燥器で温めておき、操作中に微結晶が析出しないよう注意した。この温度における溶解度は、重量法により測定した。他の温度についても同様の操作をくり返し、温度対飽和溶解度のグラフを作成した。

2) 過飽和溶解度曲線の求め方

晶析操作を行なうにあたって、注意しなければならないことは、結晶核の発生がどのような因子に支配されているかを、あらかじめ知っておかなければならない。因子としては、冷却速度、攪拌速度、結晶の数と形、ほりりなど他物質の混入、音波など振動による影響など様々の報告がなされている。本実験においては、因子の中で最も支配的であると考えられる冷却速度、攪拌速度、振動、他物質の混入に留意した。実験装置は、図1(a)、(b)に示す型のものを使用した。攪拌槽300ml、邪魔板無しものを用い、攪拌羽根は三枚羽根スクリューで径3.4cm、ピッチ4.6cmのものを用いた。また、攪拌羽根は図1(b)に示す位置に設定し、攪拌効果が各実験によって変わらないように注意した。冷却速度については、恒温槽内に循環するクールニックスの液流量、およびクーリング・パワーを調節し、1時間当り10℃~16℃の割合で冷却するようにした。冷却速度は、銅・コンスタンタン熱電対により測定し、記録計に記録させた。結晶核の発生は、槽

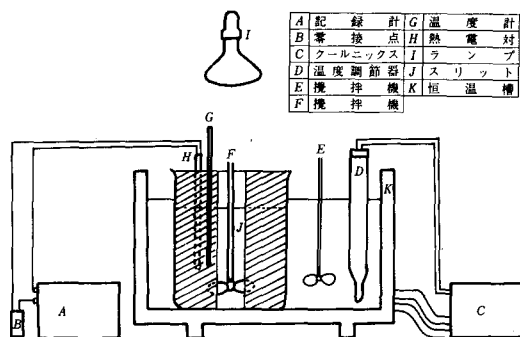


図1 (a) 実験装置

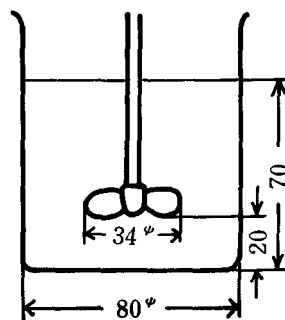


図1 (b) 攪拌槽詳細図

の真上からランプで光をあて、攪拌槽のスリットを通してくる散乱光から確認した。飽和溶液は25℃、30℃、40℃の4種類について、攪拌速度は0rpm、250rpm、500rpm、750rpm、の4種類について実験を行なった。

3. 実験結果および考察

攪拌を開始し、飽和溶液を一定速度で冷却していくと、温度と溶解度の関係は、攪拌速度0rpm、250rpm、500rpm、750rpmについてそれぞれ図2、3、4、5のようになった。ここで、図3に示すように、①と②の間では微結晶は確認されず、溶液濃度にも変化がなかった。②において、光の散乱から微結晶の発生が初めて確認された。しかし、濃度変化はほとんどみられない。しばらく冷却を続けたところ、③あたりから急激に溶液濃度が減少した。この点から急激な結晶核生成が起っていると考えられる。Ting⁽⁶⁾は、②を第1過飽和溶解度、③を第2過飽和溶解度と定義している。しかし、第1過飽和溶解度については、攪拌速度が大きくなるに従って、第2過飽和溶解度と区別が困難になるほど接近してくるので、第2過飽和溶解度のみに着目して、攪拌速度による影響を調べた。その結果、それぞれの攪拌速度について、各

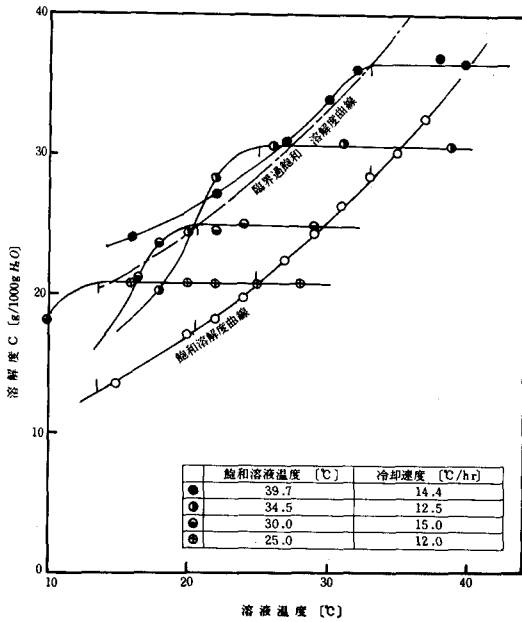


図2 攪拌速度0rpmにおける溶解度と温度の関係

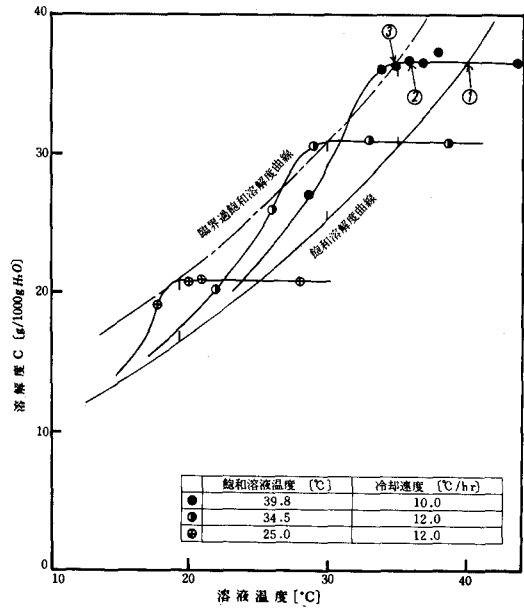


図4 攪拌速度500rpmにおける溶解度と温度の関係

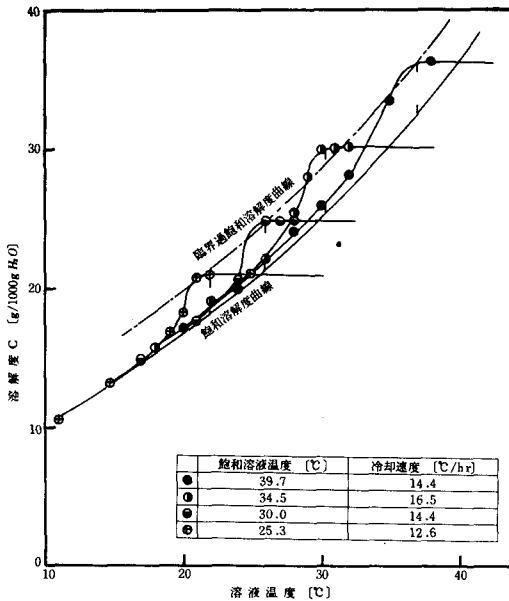


図3 攪拌速度250rpmにおける溶解度と温度の関係

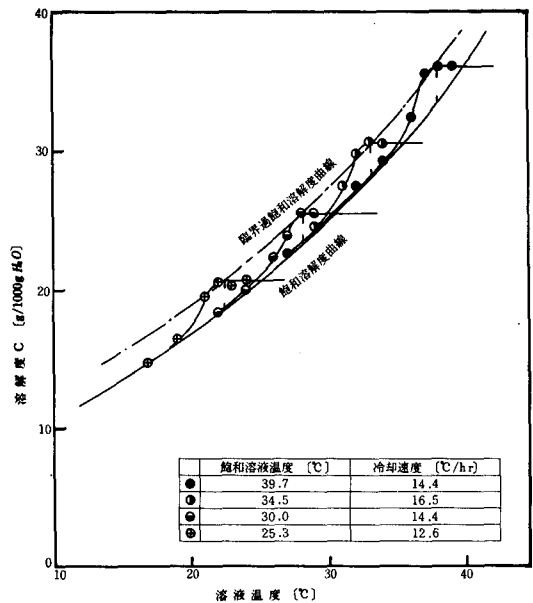
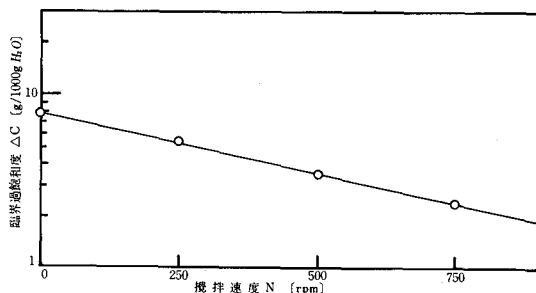


図5 攪拌速度750rpmにおける溶解度と温度の関係

溶液温度における第2過飽和溶解度を一点鎖線で結ぶと、図2, 3, 4, 5からわかるように、溶液温度が25°Cと40°Cの範囲では、飽和溶解度曲線と第2過飽和溶解度曲線は、ほぼ平行移動した形になっている。したがって、この2つの曲線によって囲まれた準安定領域(ここでは、急激な結晶核の生成が起らない過飽和溶解度領域をいう)

は、25°Cと40°Cの間では同じ巾を持っていると考えられる。攪拌速度Nrpmと第2過飽和溶解度と飽和溶解度との差 ΔC (g/1000g H_2O) との関係を片対数グラフにプロットすると、図6のように直線関係が得られた。この関係式を求めると、次式で表わされる。

$$\Delta C = 7.7 \times 10^{-6.6 \times 10^{-4} N} \quad (1)$$



結晶核の生成については、La Mer¹⁶⁾らは、次のように熱力学的説明をしている。溶液中の結晶が成長する場合、球形と仮定すれば、自由エネルギー変化は次式で与えられる。

$$G = 4\pi\sigma\left(r^2 - \frac{2}{3}\frac{r^3}{r_c}\right) \quad (2)$$

ここで、 G は自由エネルギー変化 [Kcal]、 σ は界面張力 [Kcal/m²]、 r は結晶半径 [m]、 r_c は臨界結晶半径 [m]と呼ばれ、小分子の集合した結晶半径 r が r_c より大きければ、 $G < 0$ となり、安定な結晶として成長し、 r_c より小さいと、 $G > 0$ となり不安定な結晶として溶解する。一方臨界結晶半径については、Tompsonの解析があり、無次元過飽和度 α [過飽和溶解度 / 飽和溶解度] との間に次の式が得られる。

$$r_c = 2\sigma V^*/RT\ell n\alpha \quad (3)$$

ここで、 V^* は分子容 [m³/kg-mol]、 T は絶対温度 [°K]、 R は気体定数 [Kcal/°K, kg-mol]である。(2)、(3)式を見れば明らかなように、過飽和度が大きくなれば r_c が小さくなる。このことは、大きな過飽和度のもとでは、安定な結晶核の得られる確率が大きくなることを示す。実験結果より、攪拌速度を大きくすると、溶質分子の衝突する頻度を増大させ、 r_c より大きな結晶半径 r を生成する速度が増大すると考えられる。しかし、攪拌の強さをさらに大きくすると、集合体を破損し核生成速度が減少するという報告があるが、本実験の攪拌速度の範囲では、その傾向は見られなかった。

4. 結 言

臨界過飽和溶解度 (Ting の定義によれば第2過飽和溶解度) は、攪拌の影響を受ける。従って、臨界過飽和度 (臨界過飽和溶解度 - 飽和溶解度) ΔC [g/1000g H₂O] は攪拌の影響を受け、実験結果より次式の形で表わされることがわかった。

$$\Delta C = k \cdot 10^{-\beta N}$$

ここで、 k は攪拌槽の型、攪拌の条件に無関係な定数で、 β は攪拌羽根の種類、攪拌羽根の位置、邪魔板の有無によって決まる定数であると考えられる。本実験では、 $k = 7.7$ 、 $\beta = -6.6 \times 10^{-4}$ となった。

謝辞 本研究に当たり、平素より御指導いただいている京都大学工学部高松武一郎教授にお礼申し上げます。また実験に協力を願った昭和49年度研究生百瀬隆君に感謝します。

文 献

- (1) Ostwald, W. Z.: Physik. Chem., 22, 289 (1897)
- (2) Miers, H. A.: J. Chem. Soc., 89, 413 (1906)
- (3) Coppey, L. C. de: Am. Chem. Phys., 10, 457 (1911)
- (4) Young, S. W., Van Sicken, W. F.: J. Am. Soc., 35, 1067 (1913)
- (5) Van Hook, A.: Ind. Eng. Chem., 44, 1305 (1952)
- (6) La Mer, V. K., Dingen, R. H.: J. Am. Chem. Soc., 73, 384 (1951)

日本におけるスポーツ規範について

(その1) まつり・ひろば・みちのコミュニケーションから

秋 山 竹 雄

On the Spirits of Japanese Sports

Takeo AKIYAMA

「スポーツ自身が規範をもつわけでない。規範のように思われるのは、われわれの価値判断が、スポーツに投影したものである。」⁽¹⁾と浅井浅一は云う。

われわれ日本人の心性が、スポーツに対して、いかにかかわるかが、日本におけるスポーツ規範を決定するのだから、逆に日本人の思惟の方式を考察することによって、日本人のスポーツへの対し方を明確にすることができるであろう。

日本には、武道があり、ここに日本独自のスポーツ規範が形成される基盤があると考えられているが、近藤英男は、「武道の他に、日本独自の芸道を加え、美的探求の技術的世界の中に、絶対を発見するきびしい行一の思想の影響」⁽²⁾を強調している。しかし、武道・芸道いずれにしても、日本人の心性が作り出した日本固有の文化といえるから、さらに遡及して、日本人の心性を探らなければならない。

日本人の心性を明らかにするには、日本民族の歴史的文化を探索し、日本の文化に古くから影響を与えた外来思想はもちろん、日本固有の思惟の方法を探り、そこに見られる受容形態も探究する必要がある。

まず、今回は、日本人のイメージ構造、特に、まつり・ひろば・みちのコミュニケーションから考察をすすめたい。

はじめに

現代はイメージの時代だといわれる。だがイメージほど、あいまいな言葉はない。イメージは、具体的なものとして、写真・映画やテレビなどの人間の視覚に訴える伝達媒体をさす——と同時に、人間のつくり出す想像・心像・幻想を包括する広い概念である。

伝達媒体としてのイメージは、科学的な機械技術がつくり出した普遍的存在で、客観的にあるものだから、誰にでも理解できる。逆に、意識のかたち（心像・表象・概念）としてのイメージは、あくまでその個人の内部に生まれるものであり、主観的にしか存在しない。現代がイメージの時代だといわれるのは、視覚的伝達媒体（写真・映画やテレビなどの）の発達によって、人間の想像

的意識が変化し、世界に対するわれわれの見方考え方がより具体的になったにもかかわらず、その変り方の特質を、適確に指すことができないために、使われる言葉だといってよい。客観的・主観的のいずれであれ、世界と人間、環境と意識を結ぶ関係のし方が、イメージであると考えられる。

われわれは坐ったまま、地球上はもちろん、月や火星のあらゆる風景を見ることができ、地球上に生活する人間を、事件を具体的な、しかも今起った出来事として目撃することができるようになった。われわれの意識は、媒体（メディア）としてのイメージによって、世界のすべてを体験しているかのごとくイメージする。その結果、意識の内部において、距離がなくなり、世界は一つであるような錯覚、文化の均等化現象があらわれる。

(1) 浅井浅一：スポーツモラルから見た体育指導者の理想像，学校体育，第15巻第6号，日本体育社，1962

(2) 近藤英男：スポーツモラルについて，体育学研究，第11巻第5号，日本体育学会，1966

その国の言語や歴史は違っても、同じ技術操作さえ学べば、どこの国でも機械は動く。機械技術は、すべてそういう普遍性をもつから、テクノロジーを中心とする文化が、世界にあふれ、世界共通のイメージ文化を急速につくりあげていくことになる。これがイメージの時代の一つの特質であることは否定できない。だが、それは機械などの媒体によるイメージの世界であって、世界のイメージではない。世界は、映画やテレビでとらえられるほど小さく単純ではないはずである。イメージの世界を世界のイメージと考えるのは、あくまでも意識の錯覚である。

ところが、このわかりきった錯覚をイメージとして重ねるうちに、われわれの意識から、しだいに現実的距離、時間が脱落していく。距離の脱落は、その距離の間にある多様な世界、多様な世界に生きる人々の作り出した文化を忘れさせる。媒体としてのイメージが、発達すればする程、われわれの意識のかたち、文化の原点にあるイメージを再発見していかねばならない。ヨーロッパ人のイメージ、アメリカ人のイメージ、中国人のイメージ——特にそれに対応する、われわれ自身の主体的イメージ・日本人のイメージをみつめなおすことが必要となる。普遍的なイメージに、個性的な意識としてのイメージを重ねあわすとき、はじめて、イメージのもつ意味が変わってくる。日本人のイメージを理解することによって、世界をおおう多様な文化の多様な展開も明らかになるであろう。

ユングは、「意識を〈意識〉〈無意識〉〈集合的無意識〉の三層に構造化して考えている」⁽³⁾ 〈意識〉は瞬間瞬間の外部刺激を受けとめ、直接何らかの反応をする層、〈無意識〉は意識が刺激をうけても、はっきりとした痕跡を残さず、すぐに反応をせず、部分的な知覚が沈潜している層、そして〈集合的無意識〉はユング独特の考え方で、個人意識の底によこたわる人間の歴史的な意識、いのちの普遍的な根源と説明される。意識が、こういう多層構造であるならば〈意識〉と〈無意識〉をつなぎ、〈集合的無意識〉を〈無意識〉化するのがイメージであり、イメージの構造において、意識の構造は具体的にあらわれるとみてよいであろう⁽⁴⁾。

現代に生きる日本人の思考体系、行動様式は〈意識〉レベルの問題であるが、それをささえる歴史のなかに形成された日本人の特質は〈無意識〉レベルまでさがって考えねばならないし、さらに、歴史以前の歴史、言葉以

前の心的状況——神話・伝説・呪術・タブーなどは〈集合的無意識〉のレベルとして沈み、その混沌とした中から、日本人の特性が生まれてくる。どのような文化をとりあげてみても、〈意識〉〈無意識〉〈集合的無意識〉のからみあったかたちがあり、そのかたちがイメージの構造として、日本人独特と考えられる日本人の個性を生み出したものであらうと考えられる。

1. まつり

日本には「まつり」が多い。日本人は「まつり」好きである。各地方には、その地方固有のまつりがあり、そのまつりが、いろいろな形で町や村の年中行事となっている。「まつり」のサイクルが、去年・今年・来年と続くことで、われわれの心には、安定した生活のイメージが生まれる。祝祭日の中での人工的祭日は、日本人のまつりのイメージのなかに定着はしていない。まして、とってつけたような、戦後の「文化の日」や「敬老の日」のような祝日は、まつりの概念から程遠いものである。

「まつり」は、つくられ、与えられるものではなく、自然発生的に、なるものであらう。われわれの意識が、そこに参加することで、祭は「まつり」となる。だからまつりは、人々の参加によって生まれるコミュニケーションのかたちだと理解することができる。コミュニケーションは、人間と人間の関係であり、その人間関係は、その人間の意識の質を決定する。また、コミュニケーションは、イメージの交換であり、イメージの構造は、コミュニケーションのかたちからつくられる場合が多いと考えられる。日本におけるコミュニケーション、人間関係と、ヨーロッパにおけるコミュニケーションが、どう違うか。それによって、イメージの構造に、どんな差が生まれているのか。コミュニケーションのもっとも基本的な「まつり」から考察をすすめる。

(日本のまつり)

神道の古い形は〈祭り型神道〉で、儀礼や呪術や生活習慣の中に実践的な形であらわされるものであった。神道というものは、この世の生活に、神々の加護が加えられていると信じ、期待し得ると信じている信仰であって基本的には、非常に楽天的な世界観、人間観をもっている。仏教のように、自分の住む世界を、煩惱の苦しみの世界、穢土というようなとらえ方をしていないし、キリスト教のように、原罪意識はない。人の心は、本来、清

(3) ユング：心の構造（ユング著作集2）高橋義孝、江野専次郎訳、日本教文社、1970。

(4) 岡田 晋：日本人のイメージ構造、p.14 中公新書、中央公論社、1972。

浄で、したがって善であると素朴に信じていた。

まつりの本質は、「まつり」——「まつる」——「まつらう」が、神につかえること、奉仕することという意味をもつことから考えても、明らかなように、神の要求、命令を聞きいれて実行することにある。人間以上の力をもつと信じられ、万物の生育をつかさどる、土・水・太陽・万物の生存をおびやかす暴風雨・雷・地震、人間に禍福をもたらすと信じられた死者の魂の力などが、「まつり」の対象となる。もっとも身近に恐しいと感じられたのが死者の魂で、時を定めて、この世に帰ると信じられ、水や食物を供して待遇しなければならなかったが、これが、まつりのもつ根本的な形であった。祖先の霊を祭ることによって、その要求や命令を知り、それにこたえることによって、子孫の生活の設計ができた。従って「まつり」の意義は、祭る者と祭られる者とのあいだに意志の通いあうことで、はじめて実現する。祭られるものは、清浄な場所の設定を欲し、祭る者は、これにこたえるために、禁忌・潔斎・鎮魂して、あらかじめ身心を清めなければならず、祭られるものの地位（霊位）が高い程、「まつり」の準備は、入念に行われた。祭る者の資格は、神の子孫であること。血縁関係のないときは、氏子のように信仰上の霊統が想定された。祭る者（氏子）と祭られる神（氏神）とのあいだに質疑応答があるのが原始的な形であったが、しだいに「のり」（託宣）をうけることよりも、「いのり」（祈祷）をささげることが目的となってくる。また「まつり」の時期は、古くは、農耕生産の過程の順序と一致していたと考えられ、年頭の豊作を祝福する祭り、春の農耕開始の報告の祭り……と季節を中心とした「まつり」になる。

また、まつりは、神が訪れてくるのを「まつ」のである。祭場（まつりの庭）を設けて、神が訪れてくるように、神聖なかざりや美しいかざりつけをし、宝物を並べたり、つみ上げたりして、さらに「みけ」（御食）や「みき」（御酒）の用意をしておく。そこへ神が迎えられて降臨し、もてなしをうけ、ほめたたえられ、感謝をうける。参加者は、神と同じ食餌をとり、神の性質を分有することになる。やがて、祈願の言葉がのべられ、踊りや演技や滑稽な笑いや唄・囃子など、練りものや行列が熱演され、遂には神自身、席を立てて舞ったりする。それからは宴席も乱れ、様々な歡樂の場面が展開され、明るい邪気のない、陽気な空気にみちあふれる。神の前で、競技や斗争の行われるのも、この頃であろう。（そこに見られる双分主義ないしは双分観については、くわしく研究をすすめたと考えているが。）これが、神が降臨を

して、祝福を与える「まつり」の雰囲気である。そして、神人共食のなごりとして、みとめられるであろう祭事のあとの「直会」となり、まつりは終了する。

古く、大宝律令（701年）養老律令（718年）に定められた、宮廷祭事についても、季節が大きなポイントになっている。例えば、仲春の新年祭、季春の鎮花祭、孟夏の神衣祭、季夏の日次祭、孟秋の大忌祭、季秋の神嘗祭、仲冬の新嘗祭、季冬の日次祭と。宮廷という限定された場所での「まつりごと」（祭事、祭祀）ではあるけれども、同時に広く日本人の「まつり」意識が「まつりごと」（政事）に反映した結果であろうと考えられる。自然の中に神があり、神は季節によって姿をあらわす。神より季節が優先している。これは典型的な農耕生活者の、神に対するコミュニケーションであり、特に春の種まき、秋の刈り入れが、もっとも盛大な行事であった。生産の願いと収穫の感謝——それは死ぬことによって生まれ変わり、生まれ変わることによって、永遠に生きるイメージ——「生」の信仰によって「生」の神をよび、「生」の神は、季節を媒体として、対人間的なコミュニケーションをつくり出していく。これが日本の「まつり」であろう。

（ヨーロッパのまつり）

フランスを例として、ヨーロッパの祭りをかたんにみみると、新年祭（1月1日）、復活祭（春分後の満月直後の日曜日）、メーデー（5月1日）、昇天祭（復活祭後40日）、聖霊降臨祭（復活祭から50日目）、革命記念日（7月14日）、マリア被昇天祭（8月15日）、万聖節（11月1日）、第一次大戦講和記念日（11月11日）、クリスマス（12月25日）となっている。明らかに、神（キリスト）の「まつり」と、人間の「まつり」が、はっきりとわかれ、ほとんど季節にとらわれることなく独自のイメージを主張して、おこなわれている。ヨーロッパのまつりは、神によって、人間によってつくられた「まつり」であるといつてよい。神は「死」の問題を提示し、人間は「生」の疑問を問いつづける。——と見てよい。この「生と死」との対立関係が、まつりというコミュニケーションにも反映し、人間と人間とのあいだに機能していると考えられる。

日本のまつりは、あくまでも「生」が中心であり、生活が中心であり、ヨーロッパ的な「生と死」の論理的展開ではない。ヨーロッパのように、神の祭りは神のもの、人間の祭りは人間のもの、お互いにその領域を守って、「生と死」を区別するかたちはみられない。

(まつりと娯楽)

季節のイメージを媒体とする「神」と「人間」の対話——ここから生まれた日本の「まつり」は「生のまつり」であり、生の追求、生のよこび、生のつどいといえる。だから、それが信仰から生まれた祭事であっても、コミュニケーションのかたちとして、容易に人間くさい世俗的なものになりやすい。それゆえに、われわれにとっては、まつりは楽しいものであり、「ケ」(褻)日に対する「ハレ」(晴)の日が一つの意味をもち得るのであろう。

江戸時代に制定された五節句も、発想は中国にあるとはいえ、日本人のイメージの中に根をおろしたのは、1月7日の人日→七種(七草)の節句、3月3日の上巳→桃の節句、5月5日の端午→菖蒲の節句、7月7日の七夕→七夕祭・星の節句、9月9日の重陽→菊の節句であり、われわれが「まつり」ということばから連想する、春・夏・秋・冬という肌を感じる季節であったからであろう。明治6年(1873)になって、五節句は公に廃止されたが、一般家庭では、今なお盛んに行なわれている。さらに、これが広がって、お花見やお月見などと、神から離れた、季節だけの「まつり」さえ成立つのである。

まつりの儀式には、娯楽の要素がつよく、それがやがて娯楽との直接的な結合にまで発展する。また「生」の神は、生産的機能「性」をもっているから、まつりには大なり小なり性的要素が混入する。例えば、現行行なわれている各地の社寺の儀式の中にも多く見られる。すなわち、娯楽と性は、「まつり」という日本のコミュニケーションを成立させる重要な媒体として、見世物興業のたぐいを、神々の聖なる領域の中につくり上げたと云えるのである。

社寺の境内の中に建ちならぶ、さまざまな見世物小屋や露店は、日本人のまつり意識に欠かせないイメージだった。娯楽街や遊廓は、しばしば社寺に接した位置を占め、神々の領域をとりまくような形で発達する。聖と俗、神と人間が、ここでは完全にまともまっているのである。

もちろん社寺を中心として、各種の芸能・見世物が定着するのは、戦国時代以後であり、もっとも盛んになったのは、江戸時代であるが、日本人のまつりの意識は、さらに遠く、神々の出現とともに、はじまっている。古事記には、アマテラスオオミカミが天の岩屋戸に身をかくしたため、世界は暗黒になる。そこで神々は岩屋戸の前に集まり、まつりをおこなって、アマテラスをさそい出すという有名なくだりがある。ひどく現世的な描写で語られているが、アメノウズメは、神懸りして……とあるように、アメノウズメは共同体の一員として、同時に神をよびよせるシャーマンとして、この集りに参加して

いる。呪術的な、性的な踊りと、部族共同体全員が集う集団的熱狂、闇から光(生)をよびもどす儀式が、娯楽的な色彩のつよい歌舞・音曲をともなっていたこと——などを通して、広く未開社会にいきわたっていた集団舞踏の状態と、日本のまつりが、今日まで伝えるすべての要素を、同時にみることができる。

未開時代の集団舞踏から、演劇が生まれ、音楽がおこり、詩が発達したことは、ヨーロッパにおいても、同じであろう。また農耕民族や狩猟民族にとっても、身ぶり、舞踏は重要なコミュニケーション活動の原点であったろう。

かの円形劇場で上演されたギリシャ演劇には、日本のまつりに似た神と人間の交流、娯楽と宗教の交流があった。ローマ時代の伝統をひきつぐカーニバル(謝肉祭)は、今日なお娯乐的なまつりとして、ヨーロッパ各地に生き続けているが、キリスト教以後、神と人間のまつりは、つぎつぎと区別され、神の儀式は神の儀式として、人間の娯楽は娯楽として、異なったコミュニケーションのかたちとして、つくり上げられる。中世の教会が主宰する宗教劇——受難劇・復活祭劇・奇蹟劇が、いかに人間らしいスタイルで上演されたとしても、それはギリシャ演劇のまつりの要素をもたない儀式である。

まつりから離れたヨーロッパの娯楽が、基本的なよりどころとしたのは、古典的な商業活動・独立都市を中心とした市場である。常設された市場は、商品流通の広場であり、そこに、さまざまな芸人や興行師が集まり、娯楽センターとして構成されていく。商品流通は、同時にメッセージの流通となり、各種の娯楽興行は、メッセージの媒体となって、日本と異なる機能をもつようになる。

例えば、その広場が、しばしば教会の前にあったとしても、教会の内と外は、全く別の世界である。娯楽の場は人間のものであり、もっとも人間くさい生活の中心であり、娯楽は娯楽以外の何ものでもない。見世物や小屋がけの旅芝居や遊戯場が、性的な出し物も含めて、教会の聖域内に侵入することはありえない。

ところが、日本では、一寸法師やろくろ首などの奇形や不具者を、うり物にする見世物すら、「親の因果が子にむくい……」との口上で、世俗的な信仰の論理をとり入れているし、多くの歌舞演劇が、勧進興行といった形で、成立発展したため、どこかに神の影をやどしている。因果応報の思想などの発展については、くわしく検討しなければならないけれども、近世以降、見世物・興行が、まつりから独立し、まとまった興行形態を確立した後も、日本人の意識の底には、神=まつり=娯楽のイメージが、

ダブっていたのではないかと思われる。まつりは、戦前はもちろん、現在でも年に何度とない特別な日、もの日（もん日）である。例えば、氏神のまつりは一家・一族のまつりであり、人々はそれを「ハレ」の意識でうけとり、「ハレ」がましく「ハレ」着を着て、「ハレバレ」とした気持ででかけていくとき、われわれの心のどこかに、太鼓やお神楽のさざめきや、人々の群の中に自分を埋めたことをとおして、まつりのイメージが今も生きつづけていることを感じるのである。

2. ひ ろ ば

戸井田道三は「芝居の舞台は〈ひろば〉だ。そこへ、いろいろな登場人物が集まり、ドラマが始まる——」と『祭りからの脱出』でいっている⁽⁵⁾。劇場の舞台は、一種のひろばに違いない。だが劇場を過去へさかのぼればのぼるほど、ひろばは舞台だけでなく、そこに集まる人々（俳優や観客もふくめて）も含めて演劇の場全体がひろばであり、すべての人々が参加するコミュニケーション・メディアであったことがわかる。また、その場がまつりの場でもあった。共同体の成員全部をまきこむ未開時代の集団舞踏、神をよび、神の託宣をうけ、体現するシャーマンを中心に、人々を至高の陶醉にさそう古代の儀式——そこに演ずる人、見る人の区別があったとは思われない。舞台は、ひろばなのでなく、ひろばが舞台なのだと云える。そのひろばを主宰するのが神であり、だからこそ演劇の原点には、まつりがあるのである。それが、まつりを離れても、まつりの意識をもって、われわれを、舞台にさそい、参加をよびかけるのだと思われる。

推古帝20年に、伎楽が中国・朝鮮を経て日本に伝って以来、大陸から舞楽・散楽が入ってくる。

舞楽は、雅楽に舞の添ったものであるが、中国では上流社会、貴族の間で行なわれた。民間芸能程度の幼稚なものしかなかったところへ、芸術的な舞楽・雅楽が入ったのだから、それまでの踊りや歌は、舞楽の影響をうけたのも無理なく、神楽とか久米舞・東舞などの古くからあった日本固有の舞踊も、舞楽のふしや舞い方になったのである。

散楽は、民衆的ないろいろな音楽や舞踊であったから今日でいう演芸というものであろう。滑稽な物まね、漫才のような掛合問答、曲芸、軽業、手品、人形まわしなどがその中にあった。1200年余りも前に、中央アジアから中国を経て伝わったのだが、その散楽から、猿楽・田

楽として発展し、さらに能楽が生まれ、人形浄瑠璃も、歌舞伎も生まれてくる。

このようにして、舞楽は儀式的要素だけを残して、宮廷の雅楽となり、民衆から離れていったのに対し、散楽は大衆と結びついて、まつりのエネルギーを、ひろばの中に吸収して展開し、新しい娯楽形式をつくり上げた。娯楽とは、本来そういう集団的な大衆行為を前提としたものであろうと考えられる。

ひろばを媒体とするコミュニケーションのかたちは、まつりのイメージとともに、日本の演劇の歴史を流れる一つの底流となった。演劇だけでなく、日本人にとっては、現在の映画やテレビや軽演劇まで、見るもの、演じられるものは、すべて娯楽である。ヨーロッパのように純粹に思想を伝えるもの、人間の葛藤をとおして、新しいメッセージをつくり出すものは、日本人のまつり意識にぴったりしない。それらは知的興味をひいても、娯楽にはならないのである。神と人間が混然として存在する日本のまつりは、人間対人間の力学的な対話形式にまで、抽象化しえないのであろうか。

（ヨーロッパの舞台）

それをもっともよくあらわしているのが、ヨーロッパの劇場建築のもつ、プロセニウム（proscenium）であろう。舞台のプロセニウムは、見るもの（観客）と見られるもの（俳優）を切り離す。単に、二つの世界を物理的に、きり離すだけでなく、プロセニウムによって、舞台と観客の間に、対立した緊張関係をつくりあげ、それが、ドラマを見るという、コミュニケーションの基本となっている。また、プロセニウムは、舞台の上で演じられる出来事を、日常的な現実の場とは違う、一つのまとまった抽象の場、観念的な意志操作の世界に変えてしまうのである。プロセニウムの発生は、ワク意識の発生であり、現実を抽象化し、そこに現実の底にあるもの、いわば本質的な論理を、離れたところから、みつめることによって発見しようとする近代思想と強く結びついているのであろう。

未開社会の集団舞踏は、ワク＝プロセニウムはもたなかった。ギリシャ・ローマ時代にも、それはない。中世の宗教劇も同じである。それは、しばしばページェント（野外・屋外劇）として演じられた。例えば、土地や農耕に関する古代の呪術と結合した舞踊は、教会でも行なわれた。夏の聖ヨハネ祭では、喜びの火を焚いて、気分を昂揚し身を浄めるため、その上をとびこえる習慣が続

(5) 戸井田道三：祭りからの脱出，三一書房，1963.

けられていた。原始的な祭りに結ばれた信仰の中に、宴会や仮装行列など、一年中生命の神秘を讃えていた。祭祀を司る僧侶さえ、喜んで、こういう演劇遊樂に参加した。典礼劇や聖史劇などの宗教劇は、儀式の一種だが、神を中心としたコミュニケーションだから、あえて見るもの、見られるもの間に区別をつける必要はなかったのである。

ヨーロッパで、プロセニアムの原型があらわれたのは人間が神から独立を主張しはじめた頃である。それまでは、舞台は客席にはり出し、その間をささげ幕さえなかったのに、ルネッサンス以後、民衆のあいだに発達した、コメディ・デルラルテのかんたん組立舞台から市民階級の台頭とともに、舞台はどんどん後退した。ローマ式の半円形から生じた劇場の構成が、世界的に採用される。プロセニアムの前に、矩形の舞台・エプロンがつき出していたのが、プロセニアムが、だんだん前に出てきて額縁様式が出来上る。額縁舞台は、書割と遠近法による舞台装置の粋をこらして、絵画的に美しい舞台をつくり上げ、観客の幻想をよぶ方向へ発展していく。そして17世紀の前半には、フランスを中心として、今日の劇場形式ができ上がるのである。プロセニアムは、ヨーロッパのドラマでは、欠くことのできない要素となっており、舞台のひろばは、人間のひろばから独立して、抽象的な観念を伝えるメッセージとなったのである。

(日本の舞台)

一方、日本の舞台はどうだろうか。猿楽や田楽を集大成した能に、プロセニアムはない。幕もない。かんたんな張り出し舞台である。歌舞伎も、江戸時代を通じて、プロセニアムらしいプロセニアムをもたず、その上「花道」という独特の形式によって、客席と舞台とを結んでいる。歌舞伎が、ヨーロッパ風の劇場で上演されるようになって、花道は歌舞伎演出の必須条件として、プロセニアムの外に残されたまま、今日に至っている。能にしても、能役者が揚幕をあけて「鏡の間」から出る。幕を出てから、舞台へかかるまでの長い廊下を「橋懸り」といって、歌舞伎の花道に相当する。ここで、謡もうたえば舞もする。「後座」にならぶ囃し方も「脇座」に座を占める地謡も、観客からすべて見える。このように能舞台にも、プロセニアムは見当らない。日本の演劇が、プロセニアムをもたないということは、そこに「まつり」の機能が強くはたらいっているからであろう。まつりを主宰する神が、人間的なひろばの参加する楽しみに、いまも力をかけているのだとも解される。

プロセニアムという抽象化の過程をもったコミュニケ

ーションと、いつまでも花道を持ち、意識のなかのプロセニアム（ワク）を必要としないコミュニケーションでは、同じひろば（舞台）でも違った働きをするであろう。これは単に、演劇・舞台形式の問題でなく、ヨーロッパと日本の人間関係、その異質の構造を解明する手がかりになるのではないだろうか。

(ヨーロッパの広場)

ヨーロッパの都市には、古くから広場が多い。広場を中心として、都市が成立している。中心的な広場のまわりには、サブ広場がある。広場と広場を結ぶ道が「街」とよばれる。一つの都市にかぎらないで、都市と都市は広場で結ばれる。ヨーロッパ全体が、広場と広場のネットワークだと考えられる。

その広場は、歴史を通じて、政治・経済・社会の中心となった。なによりも、空間的に人々の集まる場所であって、国王が政令を布告し、革命的大衆が集まるひろばである。人間は、つねに広場へ来る。日常生活のポイントでさえある。いいかえれば、広場は、すべての人間関係をつくり出し、それを集団のレベルにまで高めるコミュニケーションのメディアである。

ヨーロッパのひろば意識には、人間と人間が話し合うというイメージが根底にある。イメージの原点に「ひろば」がある。ヨーロッパのひろばは、人間のつくったものである。人間と人間が話し合うために。物理的に固定した空間であり、季節にも、まつりにも関係なく、常にそこに存在する。都市と都市の対立・斗争が、このような人工的広場と城壁を必要としたのであろうと思われる。道は、軍隊が通るところであり、物資を運ぶところであり、物理的な通信網の機能をもっていた。広場と道は有機的に結びついているが、二つの関係は、ひろばに重点があり、広場あつての道であろう。

(日本の広場)

日本には、ヨーロッパのような形の、人々の交歓の場としての広場、憩や散策の場としての広場（公園）はつくられなかった。日本のひろばと、まつりは密接に関係し、政治・経済などといった人間中心の広場であるよりも、社寺中心の広場であることが、ほとんどである。そして、神は季節と共にあらわれ、まつりが行なわれ、まつりが終れば、季節とともにどこかへ去ってしまうから、ひろばは当然消滅する。まつりのない、見世物や物売り店のない社寺の境内は、われわれのコミュニケーション活動にとっても、何の意味もない。時たま、百姓一揆や合戦前の勝利祈願などで、人々は集っても、ヨーロッパのように、そこが日常の市民生活の人間関係に根をおろ

し、歴史の中で、つねに機能を続けることは殆んどない。日本の広場は、ヨーロッパの広場のように、物理的に、そこにあるもの、人間が自分のためにつくったものではなく、季節のまつりとともに、自然発生的に生まれるものであり、日常の意識のなかにも、存在しつづけるもの、いわば、心のひろばであろう。

3. み ち

ひろばにくらべて、日本では、みちの方が早く発達した。律令制の時代に、畿内を中心として、東海道・山陽道がひらけ、それら幹線による全国区分さえ行なわれているし、歴史のどの時代をとっても、交通網の発達は、ヨーロッパにくらべて、けっしてひけはとらないだろう、何回にもわたる政治権力の東西移動にともなう人々の往来から、戦国時代の武士団のはげしい動きなど、目立った歴史上の事実以上に、平安期における熊野詣の組織的な旅行団、江戸時代の大挙して伊勢神宮に参集する御蔭参りや、物語化した仇討行脚、一宿一飯の仁義に生きた股旅など、いずれも、日本人のはげしい移動性を示しているものであろう。「日本の国民生活のもっとも著しい特徴ともいべきものは、極度の移動性だ」⁽⁶⁾とラフカディオ・ヘルンは「心」の中で指摘している。日本人の旅行好きは、今にはじまったものではない。日本人の体質の一部であり、ヨーロッパ人の旅行と日本人の旅行が、質的にたいへん違うものであることに、改めて注目しなければならないだろう。日本の、ひろばとみちの関係が、ヨーロッパのそれに対して、全く逆転しているからではないだろうか。

ヨーロッパでは、まず広場があり、広場と広場を結ぶ道ができる。広場に従属した道である。これに対して、日本では、道ができる。ひろばは、イメージとして成立しても、物理的には固定しないのである。ヨーロッパ人は、道は広場へ行くための過程と考え、広場が目的地であって、目的地へ行くための手段が道にすぎない。ところが、日本人のみちは、みちとして独立し、みちを歩くことそれ自体が、一つの目的となる。だから日本のみちは、ひろばをつなぐ機能的な線ではなく、人間が歩くところの行為の延長上に、いわば身体的機能の拡張したものととして発達したと考えられる。「道は、すべてローマに通じる」とされた、ローマ時代の直線的なみちと、山すそをまわり、野を越え、曲りまがって、どこまでも続く日本の古い道を比較してみると、その違いがよくわかるように思える。

さらに、日本人は明治に入るまで、乗り物として、カゴ以外の乗り物をつくらなかった。多くの日本人にとって、みちは自分の足で歩くものだった。みちが自分のリズムで、自然な、しかも多様なカーブを描くのは、当然であろう。ヨーロッパ人にとって、道は移動の道具であり、日本人のみちは、歩くこと、移動することで、おのずと生まれるのである。

(旅行)

ヨーロッパ人は、一定の目的をもって旅行にでる。観光さえ目的である。日本人は、旅行それ自体を目的として旅行にでる。現今も、学校で行なわれている修学旅行さえ、旅行それ自体を目的としている。修学旅行専用列車を編成し、大集団を遠くまで運ぶ。個人主義の発達を阻害するとの批判はあっても、子供は大喜びである。子供は、自分の国の中をあちこち見歩く。何を見たということよりも、どこそこへ行ってきたという。こういう旅行をすることに象徴される精神のひろがり、ヨーロッパでは考えられないといわれる。これは「たび」とよぶ方がふさわしい。「たび」からは、新大陸を求めるような大航海や、黄金を手に入れるという冒険旅行は出てこない。「たび」は、もっと情緒的なものであって、日本人の旅行には、つねに情緒がともなっているのだと考えられる。

(ひろば一であり と みち一ふれあいすれちがいのコミュニケーション)

みちとひろばの関係が逆転している。ヨーロッパと日本では、対人関係、他者へのイメージ、コミュニケーションのかたちも、非常に違った構造をつくり上げているのではないかと。

広場は、人の集まる場所であり、集まった人々が情報を交換し合い、議論しあい、愛しあい、自分を確認するところである。広場は、「であい」の空間であり、このいつも存在する物理的空間を媒体とする人間関係は、個人と個人のあいだに生まれる結合のコミュニケーションである。

一方、みちは、歩くところであり、みちで出会った人々とは、すれちがっていくだけである。みちは「すれちがいの」時間であり、流動的なみちを媒体とする人間関係は、個人と個人が、時間のなかで、相互に「ふれあう」だけのコミュニケーションといえる。「であい」による結合と「すれちがいの」によるふれあい——、結合のコミュニケーションは、社会・組織を指向して発展するだ

(6) ラフカディオ・ヘルン：心 (L. Hearn: "Ko okoro" 平井呈一訳、岩波文庫、1951.)

ろうし、ふれあいのコミュニケーションは、人生・循環を指向するだけにとどまる⁽⁷⁾。ヨーロッパの文化がつねに社会的機能の上に成り立ち、日本の文化が、どちらかという、人生論的ニュアンスをもつのは、ひろばとみちの違い、空間的意識と時間的意識の違いからではないだろうか。また言語にしても、ヨーロッパの言語が論理的であり、日本の言語が情緒的であるのは、一方は結合の言語、一方はふれあいの言語として発達したからかも知れないとも考えられる。

日本人は、とにかく自分の足で歩こうとする。みちの上で、すれちがうのは人間だけでなく季節とも、さまざま出来事ともすれちがう。金銭や権力などの欲望とも運命ともすれちがうだろう。すれちがう瞬間のふれあいは、固定しないから新しい組織へと発展しない。すこぶる流動的で変化しやすく、すべて自分の生きる時間の中に埋没させてしまう。生きる時間が、みちとして続き、ふれあいの積み重ねが、自己形成へとみちびいていくのである。

このようにして、単に人の歩く道から、ひろばの論理とは違った、独特の人生論・教育論・道徳論を生み出したと考えられる。日本人の季節感や「生と死」の観念にも、すれちがいやふれあいの感覚が生きている。人生・自然を変転するもの、無常なものとして、とらえたのは仏教の影響であろうが、それをイメージとして具体的にしたのは、みちがつくり出した感覚ではないだろうか。すれちがいとふれあいが、日本人の意識に一つの形を与えているようである。

「旅は道づれ・世は情け」という人間のふれあいや、「旅の恥はかき捨て」式に、あとをふりかえらなかつたりする日本人の思考は、ふれあいとすれちがいの思考であって、われわれの中にいまも残っている。芭蕉の「奥の細道」は、単なる旅行記や自然描写でなく、そこに人生を感じさせるから意味をもっているといえる。

この「すれちがい」と「ふれあい」の思考は、古くからの「まつり」に対する思考、古神道に対する思考と同じものでないかと考えられる。

中江兆民(1847-1901)は『一年有半』で「諸外国の人と日本人をくらべてみると、日本人は、ものごとの道理に、たいへん明らかで、よくその時代時代の必要に応じて移り変わり、けっして頑固な姿がない。……昔からの風俗・習慣を、いっぺんに変えて、これを西洋風にした。昔をふりかえらない。……日本人の軽佻浮薄という

悪い病もでてくる。——独創的な哲学がなく、政治には主義がなく、政治の争いも長続きしない。……つまり小ざかしくて、小利口で、偉大な事業を達成できない理由もここにある。きわめて常識的な人間だが、常識以上にとびだすことは、とうてい望めない……」と、日本人の性質を指摘している。

これは、明治以後の日本の社会状況にもよるが、日本には「ゴッド」がいなかったからではないのだろうか。「ゴッド」とは、アラーの神とか、エホバの神とか一神教の神で、他の神とは共存しない神を云う。ところが日本では「やおよろずの神」がいて、その各々の神の発言力は、そう強くなく、「捨てる神あれば、拾う神あり」で、神には余りこだわらなくてもよい。その神をまつり、そのまつりを心の中に定着させてきたことと同じところから発現していると考えられる。いいかえれば、日本人の意識の底流には、古神道のかた、楽天的な世界観や人間観が、深く沈潜したものとして流れているように思われる。

(みち・道)

近世の日本人は「道」という名称に、すこぶる敏感であった。道徳という言葉の示すように、仏道・神道・武士道・茶道・華道・芸道のように、メタフィジカルな分野のすべてにわたって、「道」という字を加えて、倫理性を示した。今日から、かえりみると、このように倫理的な道ばかりを追求して、いささか異常の感じさえるが、当時の人々にとっては、道とは、現実に秩序的であり、かつ人間生活とある程度、バランスのとれたものに感じられていたに違いない。

たそがれと、それに続く夜の闇を破って、朝は必ず訪れ、春夏秋冬の四季のめぐりも狂わない。——考えてみれば、治乱興亡をくりかえし、秩序が全くみられない人間に比べて、なんと不思議なことではないか。それは自然の中に、自然を秩序あらしめている根源の力=理法というものがあるからであろう。この理法を、道家の老子や荘子も「道」といつている。

「道は沖にして、用いるも益ず」（老子）というように、空虚なものでありながら、いくら用いてもなくなるといふ、不思議な存在である。空虚であることによって、かえって永遠に運動しつつ、存在し続けるのが、道、すなわち最高の原理であるといふ。永遠に不変な本質の存在、絶対的な善や美の存在を否定して、絶えず変り、存在しないように見えながら、しかも存在しないこ

(7) 岡田 晋：日本人のイメージ構造，p.96 中公新書，中央公論社，1972，

とによって存在するものが「道」だと老子はいうのである。そして、精神とも、物質とも名づけられないもので、それを超越したところに、道があるのだから、人間が体得する以外に、何とも云えないものである。しかし、この道家の思想は、後世の日本の思想・文学・芸術・宗教などに、大きな影響を及ぼしているのであるが、やはり日本的に歪曲されているところが多いと思われる。

中国から来た、抽象的「道」観念を、日本独特の「みち」化し、神道・武士道以下、道と名のつく多くのものをつくり上げた日本人の中に、特殊とさえいわれる、意識のかたちがあるのかもしれない。

すなわち、現実の道を歩くという実感的イメージ。人は、みちを歩みつつ、すれちがいふれあいを、くり返し、永遠に達しない目的地を探し求める。歩き方は、はじめの手ほどきをしてくれる人はいるが、歩き出したら、みちを歩くのは一人である。だから、道は人に教えられるものでなく、歩くことで、自ら体得し、みきわめるものでなければならないとする。はっきりとした目的地がわかっていれば、目的地に達する地図も、歩き方の論理も、あらかじめ学ぶことができる。ヨーロッパのひろばのディスカッションは、つねに新しい地図を、歩き方の論理をつくり出す。それが決まると、地図と論理で歩き出し、だれでも、つぎのひろばへ到着できる。ヨーロッパの科学は、こうして発達したものと見える。だが日本人にとって、学習は歩くこと以外の何ものでもない。歩くこと自体が道なのである。目的地は、無かもしれない。しかし、歩くことが目的だから、目的地などはどうでもよい。歩き方を考えるより、歩く方が先である。すれちがいとふれあいのなかから、体験的直観によって、各人が違った学習を得て、いつか目的地に達しているかも知れないし、達すれば、更に先に目的地が動くこともあるのである。ヨーロッパの学習は、歩き出す前にあって、歩き出せば学習の実践という、違った次元の問題と考えられているようだが、日本人にとっては、学習と実践は、きわめてパーソナルな世界で一つのものであり、これが「みち」から「道」を生んだ日本的イメージなのかも知れない。

道は、さまざまな小道に分かれ、さまざまな流派を生み出す。しかし、みちは、元来時間的継承だから、断絶

することなく続く。これもまた道の大きな特徴かも知れない。例えば、ヨーロッパの芸術の中で、3～400年前の流派が、今日も生きているという事実があるだろうか。古い芸術、古い技術は、つねに新しい論理によって止揚され、過去は歴史的存在としてのみ、あつかわれる。ギリシャ彫刻は、ヨーロッパ造形美術の根源であり古典であるが、それが一つの流派として、いまも伝わり、ヨーロッパのどこかで活動を続けているということは、まずないであろう。ところが、日本では、一方に新しい芸術が氾濫しているにもかかわらず、武術も芸術も、武道芸道となり（あるいは人間倫理としての武士道さえも）古い形式のまま、生活の中に生きているのである。過去も現在も「みち」によってつながっている。この観点から一面的にみれば、日本に古典はないといえる。

（道・義理・人情）

みちのイメージは、以上にのべた「道」——神道・芸道・武士道などにとどまらず、日本人の生活感覚にも、広い影響を与えている。例えば、日本的なものとして、しばしば論ぜられ、不可解とさえ考えられがちな、義理や人情も、「みち」と不可分な関係にありそうである。

ルース・ベネディクトが『菊と刀』⁽⁸⁾で、源了円が『義理と人情』⁽⁹⁾で、それぞれのべているが、土居健郎は人情が自然発生的、義理が人為的關係、この二つは対立概念であるより「甘え」という日本人特有の意識に立つた情緒的葛藤だ」と規定している⁽¹⁰⁾。

そういうさまざまな義理・人情論（観）を大ざっぱに「みち」の角度からイメージ的に考えると、義理も人情も、いずれも情の世界がつけられた心理的規範、対人間意識である。情は、ふれあいから生まれる情緒であり、情緒には、なまじのニューアンスがふくまれる⁽¹¹⁾。日本人は、生きていくことに「みち」を感じ、みちの上すべての生活感覚をつくり上げている。とすれば、当然、「みち」を歩くためのルールが必要となる。みちの上で生じる、すれちがいとふれあいのコミュニケーションを公私の立場から、一つのモラルとして構造化していかねばならない。これが、義理・人情だとみることができる。

ベネディクトのいうように、義理と義務は違う。義務は、「ひろば」的組織の中で、各人が共通利益を守るための集団規制であるから、その代償として権利が付随してくるであろう。一方、義理は、「みち」を歩くものの

(8) ルース・ベネディクト：菊と刀，現代教養文庫，長谷川松治訳，社会思想社，1967。

(9) 源了円：義理と人情，中公新書，中央公論社，1969

(10) 土居健郎：「甘え」の構造，弘文堂，1971

(11) 岡田 晋：日本人のイメージ構造，p.101，中公新書，中央公論社，1972。

相互扶助思想が根底になっている。それは、源了円のいう、歩くものが守るべき好意への恩返し、信頼への呼応、みちから、はずれないための念慮にちがいない。人情もまた同じであろう。すれちがいとふれあいの関係において、「旅は道づれ、世は情け」という、みちを歩くものの共感と情緒的交流から生まれるのであろう。義理と人情の葛藤は、定められた「みち」の規範に対して、ふれあいの情緒が矛盾した場合におこるので、ホンネとタテマエ論が発生するのであろう。ふれあいの情が、新しい「みち」を求めても、すでに歩いてきた道の外には出られない。あるいは、自分の歩いている道に対して、たまたま生まれた新しいふれあいのかたちが、相容れない時は、人間は両者の板ばさみになったように思うのである。この日本独特の葛藤が、ヨーロッパの対立のドラマ・ツルギーとは異った、日本的な葛藤のドラマ・ツルギーに形象化されているといえるのである。

結 び

「まつりとみち」日本人が生きていくうえに、これほど意識から離れがたいイメージはないと思われる。われわれは、人生を、みちの彼方にまつりがあり、まつりのあとに、またみちがあるという情緒として、とらえがちである。だから、まつりを基礎とする能や歌舞伎の舞台に、橋懸りや花道が残ってあっても、当然だろうと思われる。まつりの広場、すなわち舞台の上に、これらの「みち」を通して現われる。みちは、単に広場へいくためのプロセスではない。みちをもつことで、ひろばの意味が変ってくる。能を大成した世阿弥も、歌舞伎のお国も旅興行を続け、諸国を放浪する旅役者であった。旅はみちの連続であり、みちは彼らの舞台だった。彼らのこの体験が、ドラマを作らせ、橋懸りや花道をつくらせたといってもよい。多くの人々から指摘されている能の道行や歌舞伎の六法という所作は、すべて、まつり（舞台）に参加するための「みち」を強調したアプローチであろう。日本人のまつり・みちの意識は、単に古典だけでなく、現在の映画やテレビの人気ドラマとなった「愛染かつら」や「君の名は」が、主人公のすれちがいによって成立している事実は、現今の日本人の意識の底に、「みち」が根強く生きていることを示しているようだし、「一生もの」といわれるものも、日本人の心情には、一人の主人公の歩み（人生）を、みちとしてとらえられ、強烈な共感を与えるからであろう。また、道というものが空疎な観念的な世界にだけ希求されるようになると、「ヤクザの道」

「極道」さえも、賛美されるようになるが、これも、一飯の仁義を切ることで、みちを歩むもののコミュニケーションとして、日本人の中に成立するからであろうか。

ヨーロッパにおける、ひろばの思想と、であいのコミュニケーション。日本における「みち」の思想と、ふれあい、すれちがいのコミュニケーション。そこにある人間関係の異質性が、世界のスポーツで日本でしていないものはないという程、何でもとり入れる日本人の体質を生み出したのだと気づくのである。剣道・柔道・空手道・弓道……と道という名をつけた多くの日本古来の武術や、神伝流・水府流と多くの流派に分かれる古武道の発展衰微の中に。さらに野球・テニス・バレーボールなどの外来スポーツのトレーニング、はげしい精神的トレーニングを含めたトレーニングの中に、倫理的な価値を付加している日本人の心性をみつけることができるのは、日本人のみちの思想が、脈々として流れていることを示しているであろう。と同時に、日本人をとりまくすべてのもに「みち」の思想を求めている日本人の姿が、みられるのではなかろうか。

文 献

- (1) 勝部真長編：現代のエスプリ「日本思想の構造」、至文堂、1970
- (2) 丸山真男：日本の思想、岩波新書、1961
- (3) 大林太良編：現代のエスプリ「儀礼」、至文堂、1972
- (4) 岡田 晋：日本人のイメージ構造、中公新書、1972
- (5) 体育原理研究会編：スポーツ規範論、不味堂、1974
- (6) 原田伴彦：日本町民道、講談社現代新書、1968
- (7) 鈴木由次郎編：中国の倫理思想史、学芸書房、1963
- (8) 久木幸男：日本の宗教・過去と現在、サイマル出版会、1971
- (9) 日本思想研究会編：日本の心・民族の原典、国文社、1970
- (10) 河竹繁俊：演劇（百科シリーズ）、三省堂、1956
- (11) ピニヤル：世界演劇史、岩瀬孝訳、白水社、1955
- (12) ベネディクト：菊と刀、長谷川松治訳、社会思想社、1967
- (13) 源 了円：義理と人情、中公新書、1969
- (14) 鯖田豊之：文明の条件、講談社現代新書、1972
- (15) 土居健郎：「甘え」の構造、弘文堂、1971
- (16) 桑原武夫：ヨーロッパ文明と日本、朝日新聞社、1974

理想的女性像と女子体育

中 和 田 武

An Ideal Female Image and the physical Education of Girls

Takeshi NAKAWADA

ベーベルは、未来的女性像として、母性の役割と人間として生きる女性の意図的役割との矛盾を超越し、家庭と労働の調和をはかる能動的女性を描きだしている。このような女性の育成は、教育により達成しうるとし、そのために、一なる道徳理想の確立と、男性本位の美的観念の変革、および身体劣性の回復をはかる教育を志向した。さらに彼は、女性像の基盤として、健康体の育成を強調し、健康体が女性にもたらされることにより、従来の両性間の美的観念も健康なものに変化し、また健康体を創ることは、単に身体面だけでなく、それに対応する精神にも影響を与え、人間としての心の働きにまで発展しうるとしている。彼はこのような考えで体育をとらえ、男女の性的差異を問題としない女子体育を志向したところに特色がみられる。かかる彼の体育観念は、生物学的な体育観ではなく、人間解放に結びついた体育観である。

われわれは、この理念を参考として、女性が人間として真に解放されていく場としての新しい女子体育、更には、人類共同体意識の確立と、真の女性美の創造に努める女子体育を志向しなければならない。

はじめに

すべての人間は、人間として尊重されなければならない。これは人類普遍の原理である。これまでの長い人間の歴史は、この実現のためのたゆみない努力の過程であった。人類を二分する男女両性関係についてみても、女性の完全な解放と男女同権の確立は、人間文化発展の一つの目標として、その実現のために努力がはらわれ、牛歩ながらも進展してきている。しかしながら、現代社会においては、形式的な法律上の平等は表面的に実現するに至ったが、現実の生活においては、まだその精神が生かされるまでに至らず、完全な平等に到達していない。

それは、現代の資本主義社会における形式的平等が経済的不平等を引きおこし、その結果として社会的不平等をも内包しているところに起因している。このような資本主義社会における階級差別と共に、両性差別から解放される社会を確立するためには、人間による人間支配を廃止する社会が実現することに基づいてのみ可能となる。

そのためには、新しい価値の発見と新しい思想的背景が必要となる。

そこで、未来における人類の繁栄は「女性の教育および経済制度の根本改革の如何に左右される」とする、社

会主義的婦人論者であるベーベル⁽¹⁾の女性論を中心に、彼のいう新社会の女性像より、未来の理想的女性像のヴィジョンを明らかにし、かかる女性の育成と女子体育について考察を試みる。

1

19世紀後半のドイツにおいて、社会主義運動を身をもって実践したベーベルは、未来は社会主義のものであると述べている。すなわち、第一に労働者と女性のものであるとし、被抑圧者たることが労働者と女性の共通の運命であり、真の女性解放は、広く人類全体の解放運動と共に行うべきであるとする観点に立って、女性解放論を提唱したのである。

ベーベルは、女性は男性に対して二重に隷属していると述べている。すなわち、男性への社会的隷属と経済的隷属である。そこでベーベルは、一人の人間、性および階級を他の人間、性および階級に隷属せしめる一切のものを排除することのうちに、人類の進歩は存在し、自然によって与えられた個性の差異と自然目的の達成に必要な不平等以外には、いかなる他の不平等も是認されるべきではないとする基本的イデオロギーに基づいて形成される新しい社会が実現するに至って、はじめて女性は、経

済的、社会的地位を獲得することができる」と論じている。

ベーベルの構想する新しい社会とは、政治が真に民主主義と平和主義によって貫かれた社会主義社会であり、女性が経済的に独立できる諸条件が整い、社会保障が充実し、家庭内労働が社会化され、女性が社会的に完全に解放され、真の平等の民主的な家族共同体の幸福が保障される、などの一連の条件が満たされる社会である。この社会主義社会は、プロレタリアの生活をするために作られるのではなくて、むしろ人類の大多数のプロレタリアートの生活を廃止し、すべての人々に生きることの最大限の悦楽を与えるよう努力し、高度の発展をとげた文明国民として生活することを求めるために建設されるものである。そして新社会においては「すべての人々が同等の生活条件を持ち、教育条件を持つように、そして、その先天性と性質とに応じて、知識と能力を発達させるようあらゆる機会を、各人に与えるように、努力される^[2]」のであり、すべての人間は、万人平等の生活条件の許す限り存分に自分を発展させることができる。

また、このような人間が人間として尊重される健全な新社会は、それぞれの性に特有の資質、それぞれの性に共通な資質を活用することによってのみ完成するものである。

2

新社会における女性の生き方についてベーベルは、女性も一人の独立自由な人間として、すべての能力を全面的にのばし存分に発揮できる諸条件を獲得し、「女は家庭に」という従来の社会通念を脱脚し、男性的諸価値を受入れ、同じように独立自由な男性と共に社会の有用な、かつ同権の成員とならなければならないと述べている。

これは、女性が原始社会で持っていた男性と本質的同等の人としての能動的地位を回復することによって、もはや運命に対し、ひたすら受動的な存在ではなく、彼女自身運命の主人となり、自分の定めたライフワークに向けて、あくまでも追求してゆく主体性をもった責任ある存在者となることを強調したものである。

そして、このような女性の姿の中にこそ、未来の理想的女性像としての「能動的女性」をみることができる。これは従来の良妻賢母主義の女性像を一蹴した考えに立った女性像である。

歴史的に見て母権制社会より父権制社会に移行していった女性は、ボーヴォワールの言うように、女となるのではなく他律的に女につくられてきたのである。しかし女性は、単に妻であるだけでは決して自己を完全に実現することはできないのであり、自己の希望や性向になっ

た活動領域を選択し、社会的にも経済的にも独立し、どんな支配や虐使にも服することなく、男性と同等に実存者とならなければならない。そのためには、みずからの個性が欲する多様な価値目的を求めて、より自由に動けるチャンスと手段を持つことに生きがいを見つけ、あらゆる固定観念と旧態依然たる体制に反抗し、つねに新しい未来へ向って「動き」、彼女自身の力によって女とならなければならない。

また、これまでの女性の役割についてみても、多方の社会でみられる、男が外で活動し、女が家庭と子供の世話をするという役割の分け方も、それが本来、男と女にそれぞれ内在している必然性ではないのであって、男女間にある本質的性差、つまり生物学的性差、いいかえるならば生殖に果す役割の差異によって社会的役割の差異をも拡大し、精巧化してしまったためであり、女はありのまま母性となることを忘れたものである。

これからの女性の役割について、ベーベルは「有為な労働婦人としてなんらかの産業に従事するかたわら、彼女はさらに一日の他の時間には、教育者、教師および保母となり、第三の時間にはなんらかの芸術を習うかまたは科学を研究し、第四の時間には行政的ななんらかの職務につく^[3]」と述べている。このことは女性の役割の拡大と行動範囲の拡大を示唆するものである。しかるに、未来社会における女性の役割は、これまでの母性中心の役割ではなく幅広く人間性に立脚した役割をもつものとなる。女性は母性であり、教育者であるばかりではなく、生産と労働活動の責任をもつようにならなければならないのであり、今日の家族社会学でいう母性としての役割と、独立した人間として生きるという成人した女性の意図的役割との矛盾をのり越え、家庭と労働の調和をはかり、悔なき人生を完うすることにあると思われる。

3

次にこのような能動的女性の育成は、教育によって達成しようとしているが、従来の道徳観念と教育理想における性的差別を誇張した教育制度においては、絶対に完成されるものではないとして、教育の根本的改革を試考し、ベーベルは、社会主義的教育制度をかかげた。

この教育は、男女両性に対し平等で共同でなければならないとする立場に立脚したものであり、両性の分離は、それが絶対に必要とされる場合のみ正当化され、肉体的、精神的、社会的に正常な発達をとげた両性の育成をめざすものである。かかる教育は、人生の最高目標である人格完成の理想においては、両者同一でなければならないとし、両性に対して同一の道徳理想をかかげ、両性が対

等の立場で、社会生活を営むためには、今日の男性中心の社会モラルから、人間が人間として尊重される全く新しいモラルの確立に精進する覚悟がなくてはならないことを強調している。

確かに男女両性には、性的な差はあるが、それにもかかわらず人間として一なるものを持っており、しかもこの部分は極めて重要であり広汎にわたっている。人間には、男性と女性の他に人間として共通の基本的要素がある。従来男性のみが持つべきものとされた男性的徳目を観察するとき、ほとんどすべての場合にそれらは、その性のみに限られてはならない徳目であることを認めざるを得ない。しかし従来の教育においては、男性の教育は悟性機能の発達に向けられており、これに対して女子の教育は、おもに形式的な優美な教育により神経過敏と想像力が高められるに過ぎなかったが、勇気、決断力、思想信念に対する忠実さ、是を是とし非を非としよう力、拒むべきことを拒みうる力など男性的な徳も、女性が真に美しき女性となるためには、これらのすべてを欠くことができないものである。これに対して愛情、やさしさ、従順さ、純潔などは、すぐれた女性的徳目とみなされているが、これらのすべては男性にとってもなくてはならない徳目である。

今後、女性はもっと人間として一なる道徳理想のために精進する覚悟が必要となり、教育もまたこのことを忘れてはならない。性差および性的機能の相違に基づく差別の外は男子教育と同一であり、自然に合った生活条件のもとに生活する結果、女性はその肉体的、精神的能力を必要に従い発達させ活用することができなければならないのであり、自分の価値に目ざめた強健な自覚ある女性が教育されなければならない。

女性美の観念についても、ベーベルが暗示したことは貴重なものである。従来の社会においては、両性の差別的な教育に照応して男女に対する美の観念までがこれに準じて形成されてきた。元来ゆきすぎた道徳観念や形式的な礼儀作法などから、女性のつましさがいられて、活動的な動的な美は極端に押えられていた傾向がある。また性的快楽に仕えることのみを目的とし、性的魅力を誇張することのみを意図して作りあげられた女性の美しさには、不健康を感じる。今日、女性美に関する観念ももっと健康的なものとなるべきである。この点についてベーベルは、絶対的な弱さを女性美の必須要素と考える偏見をもった従来の男性本位の美的観念は、知的教育と肉体力によって健全なものに訂正されなければならないとし、精神的、肉体的に自立する力を持ち、男性に拮抗して振舞いうる独立女性の中にこそ、健全な美的観念がめざめると論じている。

これからは、女性がより道徳的となり、より慈悲深き女性となり、社会的役割を完うするためには、健康なたくましい肉体力をもたねばならないのである。すなわち、生き生きとしてよく活動する身体そのものに明日の女性のあるべき姿が浮んでくる。

また、ベーベルは「今日の婦人の服装は、婦人の力を自由にはたらかせることを妨げ、婦人の身体の発達を害し、婦人の内に無力と虚弱な感情を育てるものである⁽⁴⁾」と述べており、これまでの女性の服装が、女性の能力に嬰退的影響をおよぼし、服装によって非常に活動性を抑制されてきたことを指摘している。

服装は歴史的にみて、女性の男性への従属の表徴でもあった。母権時代より父権時代への変化は両時代の服装の差異にもあらわれている。服装の相違がいかに顕著に男女の心身の異なる発達に影響したか、今日においてもそれは女性の弱さの重大な原因となっており、女性をきゅうくつにし、女性の内に無力と虚弱の感情をよびおこし、女性の起居動作や品性にまであらわれるに至るのである。また、それは女性の身体的発達を阻害するにとどまらず、不自然な緊縛その他によって直接的に健康を害することにもつながっている。また、これは男性中心の社会構造において、価値基準も男性によってつくられたためであり、女性もその基準を信じているという所に起因している。

服装の複雑さは、身体活動に反比例する。女性が受動的であればあるほど服装は複雑美化されていく。女性が能動的であればあるほど服装はシンプル化し活動性を増す。すなわち、服装はシンプルであればあるほど活動は活発となり、動くことによって形の変化や深みを生みだし、服装が複雑であればあるほど活動を阻止し、動ごける身体の発達を阻害する。女性がすそを引きずるようなドレスを着、身体を締め付けるコルセットなどによってプロポーションを整えようとすることは、自然の節理に反する行為であり、またそれに傾注しているかぎり、女性は動的な美を得ることができない。

今日、Tシャツにジーンズ姿の女性が増したことは喜ばしいことであり、行動的、活動的な服装をすることによって、身体も自然に活動性を増し、女性は行動的となり、それが女性解放の基盤につながるものとならなければならない。

4

女性の身体観についてみると、古代社会においては、一般に男女の肉体的、精神的差異は現代社会におけるよりもずっと少なかったようである。それが何故、現代の

ような差異が生じたかという根拠は、先にも述べた美的観念および教育・体育に起因するといえる。

この点についてペーベルは、男女両性間の最も顕著な自然的相違とされている肉体の強さ、たくましさにおいても先天的に劣っているとは断定できないとし、少なくとも鍛え方によっては、女性は今よりもはるかにたくましい肉体を持ちうることを結論している。

女性が女性の最大の魅力を発揮し、女性の社会的な役割を完うするためには、肉体がただ繊細であるということだけでは役に立たないのであり、か弱い女性は、それだけでも美の点において欠けるものであるとし、女性像の基盤としての健康体の育成を強調し、体格、体質、体力的に条件のそろった健康な体が女性にもたらされることによって、従来の両性間の美的観念も健康的なものに変化すると論じている。すなわち、健康な純真な粉飾されない女性美は、動ける女性だけがもつ特権となり得よう。

体育は、身体面を通して健全な人間を育成する方法であり、健康（身体的、精神的、社会的）を目標とするものであるが、今までの女子体育といえば、すぐ性差を問題とし、人間として主体的に女性の体育を問題にしようとはしなかった傾向がある。それは、体育、特にスポーツ、レクリエーション活動が、やはり男性の確立した体育観に依存してきたところに起因しており、女性には相入れられない所が多くみられる。元来「男女の体力差は、これまでに用いられてきた規定項目だけで判断すべきでなく体力の質的なちがいが、精神的なちがいで明確にされなければならない⁽⁵⁾」といわれている今日、現代の統計資料でみられるような男女差があってよいと考えるわけではなく、男性にしてもこれらの基礎体力がもっと高いことが望まれるし、女性が男性と同様に運動、スポーツに親しんだとしたら両性の差は、もっと少なくなるはずだと考えられる。

一般的にみて、女性には立派な子供を生み育て、充実した家庭を築き、その上特性を生かした仕事もでき、人生を豊かに過ごすことのできる体力が望まれると言ってよい。未来女性の身体は、女性の役割を完うできる体と近代生活での効率の高い活動体としての体が要求される。

そこで、これからの女性には、特に行動体力の育成が必要であり、筋力、持久性、敏しょう性をねらいとする運動をもっと重視すべきである。たとえば、筋力を強く発達させるためには、今日、行われている美容体操のようなリズム的に手足を動かし、体を動かすだけではだめであり、持続的に全力を出すような運動が必要となる。そして、これからの女子体育を考える場合、身体と精神の密接なかかわりを常に認識し、体力の向上が精神のより

効果的な利用に寄与することを忘れてはならない。

以前にも増して今日の女性は、スポーツなどによって体をつくることの喜びを知っている。機能の高いものの形には美がある。女性の道徳に関する健康な意識が目覚るところには、女性美についても健康な感覚が生れるに相違ないし、また道徳的目的にそいえないような女性の心身が美しいものであろうはずはない。健康で能率的な働きのできる体とは、美しい体であって近代美学は女性美に活動的な性質を取入れることを認めており、行為が活動的でスポーティに行われることが女性美の条件に数えられている。

今日のスポーツ女性にみられる行動や、活発果敢な活動的姿態は、一般女性とは異なるとしても、女性の男性化というより女性が近い将来に備えるべき基本的な性格であり、近代生活が要求する人間の基本的性格であると考えられる。すなわち、新しい意味でのたくましい雄々しき体が女性美にふさわしいものであり、未来の女子体育においては、女性がそうやってゆくことを決して恐れてはならないのであり、健康でも、鍛えても女性は美しくならなければならない。女子の体づくりが男性化であってはならないのである。このことについてペーベルは、「女性が精神的に如何に賢明になり、身体的に如何にたくましくなっても人格の中核たるべき愛情さえ深められてゆくならば、如何なる弊害も起らない」と述べており、健康な体をつくることは、単に身体面だけでなく、それに対応する精神にも影響を与え、人間としての心の働きにまで発展しようとし、心身両面から新しい健康な女性美を身につけるよう心がけることの必要性を強調している。すなわち、未来の女性の女らしさは、母性からくる特性をあますところなく発揮した健康な肉体と、それに対応する精神と気質にあり、それらをそなえた未来の女性の美しさを育てることこそ、これからの女子体育の使命であり、ここに究極の美は究極の善と融合するとするカロカガティアの現代化ともいべきものを見ることが出来る。

以上のようなペーベルの教育理想は、古代ギリシャにおいて両性の体育がもっとも重要視されていたスパルタの体育と、当時、進歩的な教育が行われていたアメリカの体育を参考として描き出されたものであり、原則として男女両性に同一の教育を授くべきであると主張し、一なる道徳理想の確立と男性本位の美的観念の変革、および身体劣性の回復をはかる教育を志向したのである。

また、教育の第一義的なものとして体育をとらえ、女性として母として、二重の体づくりを考え、体育の生物学的、社会学的価値を認識し、この体育を基盤とした教育によって、二重に疎外されている女性を解放し、新し

い共同体社会が創造されることを強調したのであり、ここにベーベルの教育理想の特色をみることができる。

ま と め

今日、人間の努力目標は「物質革命」から「人間革命」へと転換がせまられているとき、社会主義は女性解放の実現に十分な条件ではないとしても、必要な条件であることは確かである。そして何千年の間、人間社会はあらゆる発展段階をへてきたあげく、再びその出発点、すなわち公有財産と完全な自由と友愛との状態へ帰ろうと努力している。

このような社会状態の中における女性の真の解放は、教育と経済構造の変革なしには絶対に完成されるものではないと主張し、その可能性の根拠を社会主義に求めたベーベルの社会主義思想は、マルクスが労働者のために彼らを疎外する社会制度を変革し、社会主義社会を構想し、理論化したのに対し、労働者のみでなく、一般に女性がおかれている疎外状態をきわめて深刻にえぐり出すことによって、一步を進めたものであり、この点にベーベルの偉大なる人間愛につらぬかれた思想をうかがうことができる。

そして、それを基盤とした未来の女性像の基底には能动性を置き、自分の生活を主体的に生きる女性をかかげている点は、ポヴォワールの女性観に相通ずる考えであり、今日のウーマンリブ理論よりも未来性のある考えであり、アリアナ・スタシノプロスのいう「女性的女性像⁶⁾」すなわち、男性と平等になっても女性本来の本質を保持し、男性と同質になろうと努めることのない女性に相通じる超現代的な女性像である。

また、こうした女性の育成にあたっては、力の訓練と肉体美の保護育成に重要な意義と役割を与え、男女の性的差異を問題としない女子体育を志向したところに特色がみられる。かかるベーベルの体育理念は、個人主義の確立を基盤とした共同体意識の形成を目標とするものであり、生物学的体育観ではなく人間解放に結びついた体育観である。

われわれは、この理念を参考として、今日の女子体育を、過去の女子体育の伝統と反省の上にならって、狭い範囲でとらえることなく、巨視的観点に立って運動文化としてとらえ、女性を性差の観点よりも人間として主体的にとらえ、女性の意識の変革を通し、女性の社会的地位を決定する根本が自然の生理的条件にあるのではなく、社会的条件にあることを認め、心理的、社会的な面を重視する女子体育を発展させなければならない。しかも、それは未来の人間生活を予見しつつ行われるべきであり、

社会変革を荷う人間、すなわち両性の変革にも大きな役割を果すものとならねばならない。

そのためには女子体育は、女子の身体活動をモメントとして女性を人間としての女性に実現する上に必要な原理とならなければならないのであり、「人類共通の課題ともいうべき平和を基調とした体育、人間性に立脚した体育」、すなわち女性人間として解放されていく場としての新しい女子体育、更には人類共同体意識の確立と、精神美、造形美、身体美の三つが互いに融合した女性美の創造に寄与する女子体育を志向しなければならない。

以上の小論は、日本体育学会で発表の研究「女子体育について(1)」、1970年を基礎として、さらに研究を進めたものである。

謝 辞

本研究をすすめるに当り、終始ご懇切なご指導をいただきました奈良教育大学、近藤英男教授に対し深く感謝いたします。

注

- (1) Ferdin and August Bebel. (1840—1913)
ドイツのケルンにおいて、貧しい下士官の長子として生れた。貧困不遇のなかで成長した彼は、少年時代から組合活動に献身し、盟友リープクネヒトと共にドイツ社会民主党の領袖として、プロレタリアのために社会主義を構想化、理論化し実践した。世界的名著として知られる「婦人論」は、労苦のなかで報いられることなしに過労と病苦のなかでわびしく死んでいった、彼自身の母親の姿が基盤となった女性論であり、女性論のバイブルともいうべきものである。
- (2) ベーベル、森下修一(訳):婦人論(下巻)、角川書店、p. 130, (1968)。
- (3) 前掲書(2), p. 214。
- (4) ベーベル、森下修一(訳):婦人論(上巻)、角川書店、p. 200, (1968)。
- (5) 金原勇:女子の体力、体育科教育、Vol. 14, No. 9, p. 480, (1966)。
- (6) アリアナ・スタシノプロス、竹間久江(訳):女性的女性、評論社、(1976)。

文 献

- 村井実, 室俊司, 樋口恵子編: 人間のための教育, 日本放送出版会, (1973).
- 上沼八郎: 近代日本女子体育史, 不昧堂出版, (1972)
- 岩山三郎: 美の哲学, 創元社, (1966).
- 香山健一: 未来学入門, 潮出版社, (1967).
- ベーベル, 森下修一(訳): 婦人論(上・下巻), 角川書店, (1968).
- ベティ・フリーダン, 三浦富美子(訳): 新しい女性の創造, 大和書房, (1970).
- 村上益子編: 婦人論のイデオロギー, 啓隆閣, (1970)
- シモース・ド・ボーヴォワール, 朝吹登水子, 朝吹三吉(共訳): 女性と知的創造, 人文書院, (1968).
- クアーンホーフ・カレルギー, 鹿島守之助(訳): 倫理と超倫理, 鹿島研究所出版会, (1965).

銀 と 暗 黒

「ノストローモ」試論

中 村 元 一

Silver and Darkness

— On *Nostromo* —

Gen-ichi NAKAMURA

Conrad's view of the world was extremely pessimistic at the turn of the century. He was sceptical about social progress and had little faith in the legitimacy of established order. In *Nostromo* (1904), he depicts the futility of human struggles in political and economic situations of a modern world. In such situations we inevitably suffer the loss of illusion, which places us in eternal darkness—this Conrad seems to say.

In this essay I aim to clarify the point of his negative theme of the novel through examination of some symbolic uses of imagery in it. He so contrives them as to imply the eventual destruction of the people involved in the process of material interests. Silver which has a shining face is in reality a nocturnal metal dark at the core. Involvement with silver is described as a 'forbidden' act in allusion to the original fall of man. Thus disasters caused by silver suggest the ruin of man in the world of material civilization.

「ノストローモ」の主題をめぐって、古くは、R. P. ウォレンが、コンラッドの懐疑的主張は認めながらも、「ノストローモ」に描かれる結末部の社会は、冒頭部の社会よりも好ましくなっている⁽¹⁾として、物質的利益にその基盤を置く社会の未来に、ある種の明るさを認めようと努めている。最近ではC. B. コックスが、「ノストローモ」は人間の努力の空しさを伝える作品ではなくて、人間の意義ある行動の可能性を探った作品であると言う。⁽²⁾いずれの説も「ノストローモ」の主題の中に肯定的要素を見出そうとしている。

しかし、これらの説によって、この作品の主題が否定的であるとする伝統的な解釈が崩されたとは考えられない。上述のウォレンの説に反ばつて、ゲラードは、こ

の作品は 'a deeply skeptical novel' であると強調した。⁽³⁾ 彼のほかに、この作品の余韻はうつろであるとするリービス、⁽⁴⁾ 物質的利益による“進歩”のかげにひそむ“アイロニー”を指摘するヒューイット、⁽⁵⁾ この作品は、極端にペシミスティックな小説であると断ずるペインズ⁽⁶⁾など、この作品の主題の否定性を強調する評者が多い。筆者も、このような見解を支持するものである。

このようなコンラッドの否定的な思想は、「ノストローモ」執筆当時の彼をとりまいていた社会および人間に対する不信感を反映したものと考えてよかろう。「ノストローモ」は近代物質文明社会の機構の中で幻想を失い破滅に追いやられていく人間像を描いた作品なのである。

チャールズ・グールドと通称ノストローモのジャン・パチスタ——彼らは、一方は経営者として、他方は労働者として、それぞれ有能な人物であったにもかかわらず、作者が彼らにたどらせた人生は悲劇的であった。

ところで「ノストローモ」における中心的イメージがアニミスティックな力を持つ「銀」であることは言うまでもないが、これに加えて「銀」と関った人間の破滅をあらわす「暗黒」のイメージもきわめて重要だと考えられる。本稿では「銀」と「暗黒」のそれぞれの象徴性および相互の関連を示すいくつかのイメージに焦点をあて「二人の外国人(グリンゴ)」であるチャールズ・グールドとジャン・パチスタ、わき役の人物デューやマニガム等の人物描写や、語りの技法等を検討し、作品の主題が否定的であることをあとづけようとするものである。

I

「ノストローモ」の舞台は、19世紀の半ばスペインから独立したという設定の南米の架空国コスタグアナの西部地方(オキシデンタル・プロヴィンス)のスラコであり、物語はスラコ近郊のサン・トメ銀山の銀をめぐって展開する。

コンラッドは死の前年の1923年、彼の研究者ベンツにあてて、

I will take the liberty to point out that *Nostromo* has never been intended for the hero of the Tale of the Seaboard. Silver is the pivot of the moral and material events, affecting the lives of everybody in the tale. That this was my deliberate purpose there can be no doubt. I struck the first note of my intention in the unusual form which I gave to the title of the First Part, by calling it "The Silver of the Mine," and by telling the enchanted treasure on Azuera, which, strictly speaking, has nothing to do with the rest of the novel. The word "Silver" occurs almost at the very beginning of the story proper, and I took care to introduce it in the very last paragraph...¹⁷

と書き送った。彼は「ノストローモ」の中心になるのはあくまで「銀」であると主張する。何ゆえに彼はそれほどまでに「銀」を重要視したのか。これも問題にしなければならない。

物語の中心をなす「銀」を生産するサン・トメ銀山は、まず原初の楽園にその原型を見出すことができる。チャ

ールズ・グールドによって再開されるまでは、銀山のあるその地一帯は見事な樹状羊歯が青々と茂り、峡谷には清らかな水が流れ、滝からは豊かな清水が落下していた。鉱山管理人のドン・ペベはチャールズの花嫁エミリアをそこに案内して、そこは「まさに蛇の楽園」'the very paradise of snakes' (p.105) であると語った。しかし、その「蛇の楽園」も、合衆国の巨大資本の力を背景に、最新式の機械が導入されて銀山が再開されたとき、羊歯は枯れ、鉱石くずは峡谷を埋め、水流をせきとめて、昔のおもかげは見るかげもなくなってしまった。楽園は一変して荒野と化したのである。エミリアはチャールズに 'We have disturbed a great many snakes in that Paradise.' (わたしたちはあの楽園にいるおびただしい数の蛇を騒がせてしまいましたわ) (p. 209) と言う。エミリアのこのことばは「ノストローモ」を解釈するにあたってのキーワードである。「楽園のおびただしい蛇」とは、サン・トメの山の地底深く埋蔵されている大量の銀を意味する。「蛇を騒がす行為」は「機械力を用いて銀を掘り起こすこと」にほかならない。地底の銀鉱石が銀塊となって日の目を見たとき、それはエデンの園の蛇と同様に、人間を唆かして「禁断の行為」に駆り立てる。光沢のある腐朽しない「銀」は、人間の魂をとらえてはなさない。サン・トメの山から、とぎれることなく運び出される銀の流れは、魔性のエネルギーに満ちた「蛇」なのであった。この蛇は自ら働きかけて人類を墮落させたエデンの園の一匹の蛇ではない。人類によって目ざめさせられ、活動を開始したおびただしい数の蛇である。これらの蛇は、やがて人間を唆かし、物質文明社会という名の荒野に彼を追いやる。この荒野においては人間は、ただひたすら、破滅への道を歩む。「銀という名の蛇」と関りを持つことは、まさしく「禁断の行為」なのである。

ところで、上記の手紙文で述べられる「アスエラ半島の魔の宝の伝説」は、物語の重要な伏線である。「ある二人の外国人船乗り(グリンゴ)が、アスエラ半島(スラコへの入り口をなすブラシード湾を抱く半島)に埋められている宝のうわさを聞き、その宝を求めて岩山に入る。彼らは、宝の在りかにたどりついたけれども、宝に呪縛されて、外へ出られなくなり、宝のまわりを幽鬼のごとくさまよう」という伝説である。

..... the two gringos, spectral and alive, are believed to be dwelling to this day amongst the rocks, under the fatal spell of their success. Their souls cannot tear themselves away from their bodies mounting guard over the discovered treasure. They are now rich and hungry and

thirsty—a strange theory of tenacious gringo ghosts suffering in their starved and parched flesh of defiant heretics, where a Christian would have renounced and been released. (p.5)

前掲の書簡で言うごとく、コンラッドが作品の冒頭でこの伝説を語ったことは、きわめて意図的である。それは、作品中で「銀」に呪縛された人間を形容するために何度か「アスエラの幽人」を登場させていることからもうかがえる。作者はさらに、上記の引用に引き続いて、

‘These (two gringos), then, are the legendary inhabitants of Azuera guarding its forbidden wealth. (p.5)

と述べて「アスエラの秘宝」を‘forbidden treasure’「禁断の財宝」としてとらえているが、この「禁断」‘forbidden’による形容は、周到な配慮にもとづくものだと考えられる。「禁断の財宝」は作中人物の関る銀を暗示するからである。ここで言う「禁断」は、言うまでもなく蛇に唆されたアダムの行為に重なるイメージを持つ。「禁断」のイメージによって、「銀」と「アスエラの宝」を結びつけたところに、この作品における作者の意図があると言ってよい。このほか「禁断」のイメージは、作中でしばしば用いられ、作品の重要な基調をなしているのである。

まず作品の舞台のストラコが禁断の地として描かれる。蛇が騒ぐようになるまで、すなわち近代機械力を導入して銀山が再開されるまで、ストラコは「ブラシード湾の厳肅な静寂の中にあつて、商業世界の誘惑から隔絶された侵しがたい聖域」(p.3)であった。その地は「あたかも喪服のひだのように、雲を身にまとってそびえ立つ山々を城壁として」「広漠とした入江の、他を威圧するような静けさに守護されて」侵略者たちを寄せつけることがなかった。(p.3) 断がい絶壁の峡谷、城壁のごとくそびえ立つシェラの連山・霧にとざされた大草原・帆船はもとより、ふかをも拒んだ「真黒な洞穴」のようなブラシード湾などに囲まれて、その中にオレンジの花の咲きこぼれる牧歌的で平和なストラコの町が位置していたという設定なのである。後にも述べるが、このように隔絶した地形は、コンラッドが参考にしたという文献の中には見当らず、全く彼の独創によると思われるが、これは一つのエデンの園と言ひ得るものであった。このような平和の楽園ストラコに、人間は機械文明を導入し、「聖域」は荒らされることになる。まず、蒸気船が入ってくるようになった。帆船を拒み続けたブラシード湾のなごも、「この大洋汽船会社(略称OSN)の優秀な船団が備える蒸気の力を妨げること」(p.9)はできず、異教のオリンポスの神々の名を名乗る蒸気船が次々と入港する。し

かし、それは蒸気船の勝利ではない。作者は次のように言う。

Sky, land, and sea disappear together out of the world when the Placido—as the saying is—goes to sleep under its black poncho. The few stars left below the seaward frown of the vault shine feebly as into the mouth of a black cavern. In its vastness your ship floats unseen under your feet, her sails flutter invisible above your head. The eye of God Himself...could not find out what work a man's hand is doing in there; and you would be free to call the devil to your aid with impunity if even his malice were not defeated by such a blind darkness. (pp.6-7)

上記の文は、ブラシード湾の暗黒が絶対的なものであり、それに対しては悪魔の力も無力であることを示唆していると言えよう。悪魔の力を物質文明の力と解するとき、神の目を盗んで悪魔に助けを求める行為は、すなわち蒸気船に象徴される機械力を導入することを意味する。悪魔がブラシード湾の暗黒に打ち克つことができないということは、人間の知恵の結晶である物質文明の力など、善悪を超えて存在する「暗黒」に対するとき、あつてなく敗退することを意味するものであろう。

後述するように、ブラシード湾の暗黒は、銀と関った人々の営みをすべてのみ込むイメージとして用いられているのである。

「ノストローモ」は禁断の行為を犯して暗黒におちいる人間の運命を描いた作品だと言えよう。ここに見られる人間が不幸にいたるその因果関係の提示は、単純かつ必然的なのである。以下、こういう観点から論を進めることにする。

II

ストラコ市を中心とするオグシデンタル・プロヴィンスに住みついたクレオール(スペイン系白人)の中でも、政治的発言力と経済的実力を持っているのは、スペイン貴族階級の子孫たちであった。これらのストラコ・オリガーチと呼ばれた人々は、独立後、コスタグアナに連邦制度がしかれると、それを積極的に支持した。ストラコ地方の首都は、ストラコ市におかれ、チャールズ・グールドの伯父ヘンリ・グールドが初代知事となった。しかし、連邦制度は永続しなかった。国内の内紛に乗じて、武力を掌握したグズマン・ベントがアルゼンチンのロサス

を思わせる恐怖の独裁政治を始めたからである。秘密警察の手があちこちにのび、連邦制度の信奉者たちは次々に検挙せられ、反逆者として、ある者は処刑され、ある者は投獄された。処刑された人々の中には、ヘンリー・グールドがいたし、獄につながれた人々の中には、ドン・ホセ・アヴェラノスやマニガム医師もいた。ベントは15年間独裁者として君臨したが、その晩年には、恐怖政治の反動と見られる紛乱があちこちに生じ、政局はいくつかの党派に分かれ、醜く露骨な争いに明け暮れた。ベントが死ぬと、政界はさらに混迷を続けた。自由のための革命という大義をかざして新しい政権が誕生しても、その実体は私腹をこやすための利権集団以外の何ものでもなかった。政権の交替は、政治ボスたちの利権争いの表面化に過ぎなかった。

チャールズ・グールドの父に突如として、サン・トメ銀山の使用権が強制的に譲渡されたのは、ちょうどこの時期である。スラコの大商人として着実な地盤を築いていた彼は、それまでも、歴代の政治ボスのえじきにされ、すでに財産の大部分を失っていた。こうした彼に、銀山を押しつけたのは、時の大蔵大臣であった。かつてグールドはこの男の借金の申し出を拒んだいきさつがあり、それを恨んで、このような形で合法的復しゅうを企てたのであった。このサン・トメ銀山は、スペイン植民地時代に発見されたという設定であり、ボリビアのポトシー銀山を連想させるが、ペルーのセロ・デ・パスコ銅山の開発(1901~1902)にアイデアを得たものであろうという指摘⁸⁾もある。

サン・トメ銀山は、グールドに使用権が渡される前から、すでに悲劇的な歴史を背負っていた。コスタグアナ独立後、英国の会社が経営権を得て採掘したけれども、グズマン・ベントの死後、政界ボスのつけねらうところとなり、「首都から放たれたスパイたちにあおられて暴動が引き起こされ」坑内は焼かれ、英国から来た技師たちは惨殺された。その後、銀山は国有財産となり、一時閉山されていたのである。長く放置されていたために、グールドに譲渡されたときは、鉱山はすっかり荒れ果てていた。銀山譲渡に際してのグールドに対する条件は、「5年間の特許使用料」を前納するというきびしいものであった。鉱山経営に関しては経験も自信もなかったグールドは、銀山からいくばくの収益を上げることもできなかった。それにもかかわらず、彼は巨額の使用料と滞納罰金を容赦なく課せられた。「彼の財産に対するこのあまりにも意表をつく無法な行為にグールドの感受性はひどく傷つけられた。」「合法性と正当な事業の名目のもとに、強奪されることは、彼の想像力にとって耐えられ

ぬことであり」「この事件からは、たちのよくない偽りの正義が痛切に感じられて」「それが精神的なショックとなり、たくましい彼の肉体をさいなむことになった」(p.56)のである。彼が、当時のイギリス遊学中であった14才の息子チャールズにあてて「例の鉱山の不正・迫害・非道について」の苦しみを書き送り、「絶対に鉱山に触れないことと近付かないこと」を命じた。(p.57)はじめ、当惑するばかりであったチャールズも、成年に達するに及んで、次第に父の憤激がわかるようになった。しかし「鉱山を働かせることを怠ったかどで、重い罰金を払わされ」「将来の特許使用料の名目で献金を強いられ」「彼の財産の最後の部分も手許から失われつつある」という父親からの報告にも、チャールズは怒りを感じなかった。むしろ、父の悲劇を招いた銀山そのものが、彼にとって「劇的興味」の対象となった。彼は鉱山技師を志し、ヨーロッパ各地の鉱山をめぐり、研さんを積む。父親が世を去ったのは、それから間もなくのことであった。チャールズが父親に繰り返し厳禁された銀山経営に自ら乗り出そうと決意したのはそのときであった。彼は婚約者エミリアに言う。

“Well, yes. It was iniquitous. They corrupted him thoroughly, the poor old boy. Oh! why wouldn't he let me go back to him? But now I shall know how to grapple with this.”(p.63)

このとき、はじめてチャールズには肉親の父や伯父の怒りと苦しみがあった。まだ若く、理想主義者であったチャールズにとって、この苦しみは耐えがたく、やりきれないものであった。彼は、こうした苦しみを克服する方法として、何らかの行動を起こすしかなかった。

His breathing image was no longer in his power. This consideration, closely affecting his own identity, filled his breast with a mournful and angry desire for action. In this his instinct was unerring. Action is consolatory. It is the enemy of thought and the friend of flattering illusions. Only in the conduct of our action can we find the sense of mastery over the Fates. For his action, the mine was obviously the only field. (p.66)

コンラッドは、人間に生きるエネルギーを与えるのは論理的なものではなく、その人間自身のもつ幻想だと考えた作家であった。父親の遺言にそむいてまで、チャールズに銀山経営に乗り出す決意をさせたのは、上の引用文で述べられているように、「行動」に対するチャール

ズ自身の幻想であった。コンラッドが彼に「あの鉱山は今までは愚かしい魂の退廃そのものであった」と考えさせ、「その鉱山の仕事を魂の勝利を生み出すものにななければならない」(p. 66) と、決意させたのは、チャールズをして、鉱山における実践的行動の中に幻想を求めさせたことなのである。イタリア滞在中に知り合ったエミリアとの結婚にしても、彼の鉱山における行動への幻想を満たすためのものであった。「女性の献身の本能と、男性の活動の本能は、最も強い幻想から最大の衝動を受け取った」のである。その時の彼らの「希望に満ちた愛の輝き」は「地上の諸悪に対する善の勝利」を信じさせるに足るものだったのである。(p. 74) こうして彼らは「(父親の) 疲労と絶望の不自然な誤りに対して、おのれの強靱な人生観を有効たらしめることが倫理的に義務づけられている」(p. 74) とまで意識して、父親のいましめを破るという「禁断」を犯して、あえて帰国したのであった。

帰国後、チャールズは、まずスラコ政庁および首都サンタ・マルタの要人にわたりをつけることから活動を開始した。

The Gould Concession had to fight for life with such weapons as could be found at once in the mire of corruption that was so universal as to almost lose its significance. He was prepared to stoop for his weapons. (p. 85)

鉱山再開に幻想を持っていたチャールズは、目的のためには、いろいろを使うこともいとわなかった。彼は命がけで戦う決意をした。勤勉で一本気であった父親が、腐敗しきった政治屋たちのえじきにされて、幻滅のあげく非業の死を遂げたのと対照的に、息子のチャールズは、自己の幻想を生かすために、政界の汚濁を逆に利用したのである。またその一方で、彼は滞欧中に知り合ったホルロイド一族との交際によって、サン・フランシスコの大財閥ホルロイドの資金的技術的援助を得ることに成功していたのである。チャールズの幻想は、鉱山のもたらす「物質的利益」による繁栄を実現させることと、そのための不可欠の条件「法と秩序と安全」を確保することであった。チャールズは、物質的利益と社会秩序は表裏一体をなしていると信じ、物質的利益を確保することにより、コスタグアナに欠けている秩序と平和はまちがひなく生み出されると確信していたのである。

"I pin my faith to material interests. Only let the material interests once get a firm footing, and they are bound to impose the conditions on which alone they can continue to exist. That's how your money-making is justified here

in the face of lawlessness and disorder. It is justified because the security which it demands must be shared with an oppressed people." (p. 84)

鉱山が再開されるまでのコスタグアナは、「法も安全も正義もない悪夢のような見せかけの政治を行なう官僚機構のもたらす恐怖」(p. 88) の状態、すなわち無秩序と混迷が象徴する「暗黒」であった。それはチャールズにあてた父親の手紙がよく示している。

"God looked wrathfully at these countries, or else He would let some ray of hope fall through a rift in the appalling darkness of intrigue, bloodshed and crime that hung over the Queen of Continents." (pp. 83-84)

チャールズの鉱山経営の行動を支えた幻想は、単に鉱山を活動させることにとどまらず、コスタグアナの暗黒に「希望の光」をもたらそうとすることであった。「希望の光」をもたらすことは、彼の父親や伯父の暗黒を排除することを意味したはずであった。こういう幻想を持った時点でのチャールズは、たしかに理想家であった。

ところで彼の幻想は、行動への幻想という点では、「闇の奥」のマーロウの抱いた「船乗りの幻想」と同質のものであった。この船乗りの幻想というのは、拙稿「二つの幻想」において、すでに触れたように「所与的な条件によって得られるようなものではなく、孤独のうちになされる職務など、主体自身の行動によって、初めて獲得される」ものである。⁹⁾ たとえば、船を船主が信じているようにきちんと浮かべて、間違いなく目的地へ着けるというような、最も手近なものにひたすら忠実であることによって満たされる幻想であった。チャールズの場合について言えば、銀を次々と生産し、契約通り、間違いなくホルロイドに届けることによって満たされる幻想であった。

しかし、チャールズは、同時に物質的利益に信念をかけ、「法・秩序・安全」を彼自身の力で、コスタグアナにもたらし得ると信じこんだ。彼は、自分が暗黒のコスタグアナに「希望の光」を送る使徒たりうると錯覚したのであった。このような幻想が維持され得ないというコンラッドの主張は、「闇の奥」におけるアフリカの奥地の大自然の中で自己崩壊を遂げるクルツの描写によっても示されている。クルツは文明社会のかかげる大義名分のもとに、自分を暗黒のアフリカ大陸に文明の「希望の光」を送る使徒だと信じたのであった。

サン・トメ鉱山経営に乗り出した時点で、チャールズが抱いた幻想は、上述したような二つの幻想による二重構造をなしていたのである。幻想は幻想である以上、いづれそれは消え果てる宿命におかれている。問題は幻想

が消えたとき、チャールズがどう変ぼうするかということであり、それによってコンラッドが何を示唆しようとするかということなのである。

III

鉱山の内部の建設は順調に進み、チャールズはスラコにおける地盤を着々と固めていく。荒れ放題であった坑道は整備され、荒野は切り開かれ、サン・トメのがけから山ろくまで馬車道路が作られた。600人を越える坑夫のためにいくつかの村落が形成された。選鉱器や鉱石粉碎機、それらの動力源である水力タービンや電池など最新鋭の機械類が導入された。(pp.106-107) こうして、サン・トメの山の無尽蔵の銀鉱石は、次々に銀塊に変えられ、二頭立ての馬車で山からおろされ、スラコの町中を通り、港へと運ばれていった。銀の生産量は増し、銀塊の流れは大きくなり、その値は莫大なものとなっていった。サン・トメ銀山は、「生活するために、秩序と安定を必要とするこの地方におけるすべてのものの集合点」となり、スラコの状況は「グールドが確保することができると信じたあの常識と正義の支配に最も近いものであった。」(p.110)

このようにしてスラコには、物質的利益の伸長に必要な「秩序・誠実・平和」が生み出されてくる。「かつては党派間の復讐の戦場であったスラコ地方は、ある意味で政治的経歴を得るための有力な足がかりの一つになり」(p.116) 有力な政治家は自分の縁者を西部地域へ送りこむまでになり、銀山の富を背景に、チャールズはスラコ地方ではもちろんのこと、コスタグアナ国内でも陰然たる力を持つようになる。

チャールズ・グールドを協力者を持ったがゆえに、ドン・ホセ・アベラノスは大義達成のための資金調達力があると見なされて、彼の声望は増大し、政界の黒幕となった。彼の推薦を得て、哲学博士ドン・ビンセンテ・リビエラは大統領になり、リオ・セコの勝利を契機に政権は一応安定した。彼は五ヶ年統治委任法を得て、欧州国際資本を導入して、大規模な開発計画、サンタ・マルタ及びスラコ平野部を中心とする新しい鉄道建設計画など、いくたびかの内乱によって荒廃した国土の再建事業に着手した。このリビエラ政権は、チャールズの資本力のカライ政権であり、これらの事業はすべて銀山の生み出す物質的利益の力との関りにおいて可能なのであった。このような「力」を持つ銀山は「帝国の中の帝国」と呼ばれ、そのあるじチャールズ・グールドは「スラコの王(レイ・デ・スラコ)」として、すべての国家的大義名分と信用を取りもどすための陰の実力者としての地位を確

立したのであった。

こうした状況のもとで、黄金時代を現出したリビエラ政権は、スラコ地域における国営中央鉄道の起工式でその頂点をきわめた。進歩的愛国的事業としての鉄道工事には、英国資本が投入された。鉄道会社のジョン会長は、険阻な山越えで、リビエラ大統領はカイト経由のジュノー号で海路から、それぞれスラコに到着し、チャールズをはじめとするスラコの紳士淑女とともに起工式の式典に列席したのである。さまざまな人間の思惑を内に秘めつつも、式典は無事にとり行なわれた。人々の目には、文官リビエラの政権はきわめて安定したものと映ったはずであった。

ところが、この式典のあと、6ヶ月もたたぬうちに、リオ・セコの戦いの国民的英雄でリビエラの片腕であったはずのモンテロ将軍が反乱を起こしたのである。彼は公然とリビエラを非難し、外国勢力に依存するその姿勢を攻撃した。当初、反乱軍はリビエラ派によっておさえられたかに見えたが、次第に勢力を盛り返し、首都を包囲しはじめる。首都サンタ・マルタをうかがう反乱軍を鎮圧するため、パリオス将軍のひきいるスラコ地方の駐屯軍が海路カイトへ向かったが間に合わなかった。反乱軍は首都を陥落せしめたのである。反乱軍に首都を掌握された大統領は、ソコロの戦いにも敗れ、吹雪の中を山を越えてスラコへおちのびる。一方、モンテロ派の勢力はさらに増大し、モンテロの弟ベドリートの指揮するリビエラ追討軍が山越えでスラコに迫ってくる。一方、海外電信基地エスメラルダはソティリョ一派によって占領されてしまい、通信が途絶え、スラコは孤立する。こうして盛大に挙行された鉄道起工式の日からわずか一年半で、スラコは無法の町と化し、ちまたには暴徒があふれるにいたるのである。

名目はともかく、ベドリートにしても、ソティリョにしても、暴徒にしても、ねらいは「銀」であった。言わば「銀」がスラコへ彼らと呼んだのである。コスタグアナの地に「法・秩序・安全」をもたらす力であり、「希望の光」であったはずのサン・トメの山の「銀」が、この混乱を招いたのである。「法・秩序・安全」などしん気楼のごとく消えてしまった。それが「物質的利益」の正体であった。ここにおいて「物質的利益」にかけたチャールズの信念はもろくもついで去り、彼の理想主義は敗退したのであった。チャールズは、彼に残された彼の意志一つでどうにでもなる銀山に執着していく。そのようなチャールズを評してデクーは言う。

He holds to it (i.e. the mine) as some men hold to the idea of love or revenge. Unless I am much mistaken in the man, it must remain

inviolable or perish by an act of his will alone. A passion has crept into his cold and idealistic life. A passion which I can only comprehend intellectually. A passion that is not like the passions we know, we men of another blood. But it is as dangerous as any of ours. (p.245)

チャールズの関心は、銀山の安泰にのみ向けられるようになる。そのためには、彼は、何はさておき、関税事務所に保管中の銀塊を、それが反乱軍や暴徒の手に渡らぬうちに、一刻も早く、沖合を通過する大洋汽船に届けなければならないと考えた。そこでこの銀搬出のために選ばれたのがジャン・パチスタである。

ジャン・パチスタとともに、銀塊を積んだはしけに乗りこんだのは、パリジャンを自称するデクーである。その上に作者は、略奪のちまたと化したスラコで逃げるのに疲れ果ててぼう然となったエスメラルダの不幸な皮革商人ヒルシュをこのはしけにこっそりもぐりこませている。やがて、彼らの乗ったはしけは、暗黒のブラシード湾の真中で、エスメラルダの反リビエラ軍ソティリオの軍艦に衝突し、はしけは大破し、ヒルシュは衝突のショックで軍艦に放り上げられて、捕えられてしまう。ジャン・パチスタとデクーは、銀塊を汽船に届けることをあきらめた。彼らは、それを、一たん大イザベル島に隠すことにする。

一方、捕えられて取り調べられたヒルシュは、銀塊は沈んだと伝える。この誤報は、たまたま、その調べを立ち聞きたマニガム医師を通じて、やがてチャールズの知るところとなる。

チャールズにとって、スラコの無秩序状態は耐えがたいものとなっていく。彼は「さながら振りかえる余地のない断がい絶壁の道へと歩を進めた男」のようであった。こうなれば「安全の唯一の機会は、ひたすら前進すること」しかなかった。(pp.361-362) 反乱軍によるスラコ占領の衝撃で病いの身となったドン・ホセ・アヴェラノスの弱々しい姿を目にしたときから、チャールズは失望し、リビエラ政権に深く関りすぎたことを後悔しはじめた。

He(Charles)might have known.....that Ribierism could never come to anything. The mine had corrupted his judgement by making him sick of bribing and intriguing merely to have his work left alone from day to day. Like his father, he did not like to be robbed. It exasperated him. (pp.364-365)

チャールズは、いまや理想主義者ではない。コスタグ

アナの「法・秩序・安全」などは、もう問題ではなかった。彼はただひたすらサン・トメの山にしがみついた。彼は、それをみすみす強奪されるのがまんならなかった。チャールズは、書齋で伯父ハリーの形身の剣を見ながら伯父と同じ不幸に陥らぬためには、銀山の富の力を武器として戦う以外に道はないと決心する。

Only his weapon was the wealth of the mine, more far-reaching and subtle than an honest blade of steel fitted into a simple brass guard.

More dangerous to the wielder, too, this weapon of wealth, double-edged with the cupidity and misery of mankind, steeped in all the vices of self-indulgence as in a concoction of poisonous roots, tainting the very cause for which it is drawn, always ready to turn awkwardly in the hand. There was nothing for it now but to go on using it. But he promised himself to see it shattered into small bits before he let it be wrenched from his grasp. (p.365)

物質的利益は非情なものであった。それはつねに力のあるものの味方であった。危険なことを承知でチャールズはそれを武器として戦うことを決意する。彼は銀山を奪い取られるくらいなら、それを跡かたもなく吹っ飛ばしてしまう腹であった。かつて、銀山再開に乗り出したときも、彼は戦う決意をした。しかし、それは、あくまで建設のための戦いであった。しかし、今のチャールズがしようとしている戦いはそうではなかった。こういうようなチャールズの描写の中に、コンラッドは、危険であることを承知の上でより強力な武器の使用がなされ、果ては破壊以外の何ものをももたらさぬ近代戦争というものの本質を示唆していると思われる。以上のようなチャールズの変ぼうの描写には、大義名分を美々しくかかげた当時の列強の領土拡張政策へのコンラッドの批判がひそかにこめられているのであろう。

チャールズは、スラコを占領したペドリート・モンテロの銀山引渡し要求に対して、銀山爆破の手配が完了していることを告げ、拒絶した。コスタグアナの繁栄などすでに念頭になかったチャールズにとって、銀山を守るために残された道は、デクーの唱えたスラコの分離独立計画を実行に移すことであった。それまで政治の実際には関心を示そうとしなかったチャールズに対して「物質的利益が彼の超然たる態度を捨て去ることを要求した」(p.378)のである。チャールズは、カイトに進駐したパリオスを連れもどせば、その武力により、スラコの独立を達成し、「巨大な物質的利益を永遠の安全な状態に置

く (p.379)」ことができるという一種のもう想に囚われた。彼の、銀山に対するこのようなもう執は、かつて彼が銀山経営に乗り出す決意をした際の、彼の光と希望に満ちた理想とは遠くかけはなれた「固定観念」であり、「暗黒」と結びつくものであった。婚約当時の互いの誓いと、チャールズの理想主義的な決意を記憶しているエミリアにとって、夫の変ぼうは耐えがたいものであった。

Mrs Gould watched his abstraction with dread. It was a domestic and frightful phenomenon that darkened and chilled the house for her like a thundercloud passing over the sun. Charles Gould's fits of abstraction depicted the energetic concentration of a will haunted by a fixed idea. A man haunted by a fixed idea is insane. (p.379)

この 'fixed idea' (固定観念) は、人間の魂をまひさせ、ついには人間性を喪失させるものである。このように固定観念にとりつかれざるを得なかったチャールズの運命は、それに至るまでにさまざまな石のイメージで予告されているのである。

すでに述べたが、銀山経営に乗り出した際のチャールズの幻想は、一鉱山経営者としての行動への幻想と、物質文明社会の掲げる大義名分を信じた幻想との二重構造をなしていた。歳月の流れる間に、彼の行動への幻想は消え、物質的利益にかけた信念のみが、もう執となって彼に残った。かつて理想達成のためにかたむけられた彼の精魂は「銀山へのもう執」つまり「物欲」を募らせるすさまじいまでの執念に変質した。こうして彼の伯父や父親に続いて彼もまた「暗黒」に閉じこめられてしまうのである。サン・トメの山から得られる物質的利益の非情な力を信じたがゆえに、彼の人生は伯父よりも父親よりも、より悲劇的であった。コスタグアナのイギリス人チャールズ・グールドはこうして、やがて「アスエラの幽人」となるのである。

IV

チャールズ・グールドと並んで、もう一人の主要人物は、「民衆の一人」ノストローモと呼ばれたジャン・パチスタである。「著者の覚え書き」によると、コンラッドは船員として西インド諸島を航海していたころ、革命のどさくさにまぎれて、はしけ一杯分の銀を盗んだ男の話を目にした。それから二十数年のち、アメリカの一船員の自叙伝の中に、この盗賊の話を見出したコンラッドは「この財宝を盗んだ男が必ずしも札つきの悪漢とは限らなくて、逆に本来はひとかどの人物で、革命の変動的

な状況の中を縦横に活躍した男で、ひよっとすると、その犠牲者であったかも知れない」(p.xvii) と思うにいったという。この盗賊がジャン・パチスタのモデルなのである。

ジェノアの船乗りであったジャン・パチスタは、伯父との折り合いが悪く、いさかいの果てに出奔し、イタリア船の水夫頭としてスラコへやってくる。彼はその気性を大洋汽船会社スラコ支店長のミッチェルに見込まれて港湾人夫頭に取り立てられ、「ノストローモ」と呼ばれてスラコに住みつくことになった。彼は、港から少し入り込んだ場所でレストランを経営する独立戦争の戦士・ガリバルディ派のピオラに気に入られて、ピオラ夫婦の息子のように愛され、何くれとなく生活の面倒を見てもらうことになった。生まれながら大胆で、決断力に富む彼は、やがて人夫頭として港湾一帯を取りしきる親分となり、銀塊を運び出す頭頭の仕事をみごとにさばく一方、港の治安責任者のような役割をも果すようになった。彼の活躍は次第に世人の注目をあつめ、賞賛的となった。パチスタの超人的な働きなくしては、港の機能は一日たりとも動かなくなったからである。周囲の信頼が高まるにつれ、彼は自己の虚栄心を満足させることに次第に喜びを感じるようになった。彼は、世間の注目、評判、賞賛に生きがいを見出した。彼は、自分の働きに「精神的な価値」'spiritual value' を認め、彼自身の勇氣やそれに対する名声を重んじ、「自分の生命の価値が個人的尊厳にある。(p.248)」と信じこみ、地位の高い人からの信頼と、大衆からのへつらいに満足を覚え、そして「良い評判とはそれだけで宝物」であると信じたのであった。彼が多くの港湾労務者に君臨し、彼らを一糸乱さず統率できたのも、英国資本家の巨頭で鉄道会社のジョン会長がスラコを訪れた際、エントラダ峠の名にし負う難路を無事案内し得たのも、モンテロ反乱の際、敗走するリビエラ大統領を命がけで救出し得たのも、こうした「評判」への虚栄心ゆえであった。この彼の虚栄心の本質は、外から与えられた幻想であって、それに生きがいを見出すことは「闇の奥」のことばで表現すれば、'hollow at the core' になりやすい状態に身を置くことであった。

こうした外面的きらびやかさを追い求めるジャン・パチスタを形容するに際しては、作者が用いるのは、「銀」のイメジャリーである。ジャン・パチスタは、「銀の組みひもと房」'a silver cord and tassels' つきのソンプレロをかぶり、「銀ボタン」'silver buttons' のついた上着とズボンを着用し、「銀の板金」'silver plates' をほどこしたくらを付けた「銀灰色のめす馬」'silver-grey mare' にまたがり(pp.124-125) 靴には「銀製の拍車」'silver spur' そして「銀製の笛」

‘silver whistle’で群衆を制した。そして彼は、「銀は、永久に価値の下がらぬ、腐しよくしない金属である(p.300)」と信じ、銀以下のすべての金属を軽蔑するのであった。この「腐しよくしない’incorruptible’」という形容詞は、そのまま「腐敗しない」という意味で、作者は、ジャン・パチスタの外面を形容するのに用いている。デクーに「この男は途方もない虚栄心のために腐敗することがない」と評価させているのである。後述するように銀のきらびやかさ、すなわち「明」のイメージは、虚栄心のために腐敗することのない彼の外面の姿であって、この銀メッキの奥にある彼の内面を示すものではない。形容詞‘incorruptible’は、この点でアイロニーを含むことばなのである。

革命派がつけねらう「物質的利益の象徴」である銀を、デクーとともに国外へ運び出すことになったとき、ジャン・パチスタは、それを「きわめて重大な任務」と考え(p.129)「わたしの一生のうちで一番有名になるような命がけの出来事にする」と豪語し(p.265)、銀塊を汽船に無事に引き渡して、大評判になることを願ったのであった。そのとき、ピオラの妻テレサは死の床にあった。彼女はジャン・パチスタの物の考え方に批判的で、「身体と心を交換に」評判を得ようとする愚かさをなじり、このままではやがて、貧しさと飢え(p.257)に苦しむだろうと予言した。しかし「自分がせっかく手に入れ、持続したいと願っていた名声がけなされること」を不服に思ったジャン・パチスタは、テレサのためにざんげ僧を呼びに行くことをも断わって、銀を運び出すために出かけてしまう。旧教徒の臨終にざんげ僧を呼ばずに、背徳の徒となることをも恐れず、彼があえて「禁断」の銀を運び出そうとするところに、作者は父の禁に逆らって帰国するチャールズの場合との共通点を持たせている。

ダウデンは、第三部ではジャン・パチスタは、銀との連関では示されなくなり、暗やみまたは金のイメージで表わされるという。¹⁰ たしかにジャン・パチスタが「栄光と名声」という一種の銀メッキの状態の中で生きたのは、出帆前に古い城内のアーチの下で悲しみうめいていた老婆に所持金を全部与えたのが最後であった。それ以後は、「明」のイメージは失われ、かわって「暗黒」のイメージがジャン・パチスタにつきまとうことになるのである。すでに第二部の最終章において、銀棒とデクーを残して彼が大イザベル島を去ったとき、彼の周辺は深いやみに閉ざされていたし、はしけを沈めたあと、古いとりでの中庭でぐっすり眠り、夕刻目覚めたとき、彼のまわりはブラシード湾のやみにおおわれていた。第三部第八章では、深い眠りから覚めたジャン・パチスタの幻滅感が描かれる。はげたか以外には何もかも住まぬ廃き

よと化したとりでの中庭に身を置いた彼には、「どういうわけか、生きる必然性が姿をくらましてしまい、自分が今までやってきたことが、空虚で馬鹿げたことのように思われた」のである。港全体を包む壮大なやみが彼を取りまいていた。遠くのスラコの町の建物は、すべて暗く、まるで夜に降服しているようであった。ジャン・パチスタは、これまでの自分が、偉い人間に利用されていただけであり、「王や大臣・貴族など富める人々はなべて民衆を、貧しさと屈従のうちに押えつけ、犬のように飼いならし、自分たちに役立つようにたたかわせたり、狩りをさせたりする」と気付き、富める者の身勝手さを呪うとともに、自分の貧しさを思い知るのである。ここで作者は、ジャン・パチスタに、これまで世間に没入しながら疎外されていた自分の姿に気付かせ、彼の銀メッキをはぎとってしまったのである。彼は「主観的な性質の人間を襲ってやまない、世界崩壊のあの混乱した身近な感情」に苦しみ、彼の存在の基盤は根底からぐらついた。彼はしらけきった気持で、「急にまったく違った見方」で銀搬出の行為を顧みるようになり、「裏切られた」という想念が彼の頭の中にとっかりと根をおろしてしまった。彼にとって「裏切られたことは破滅させられたことであつた。こうした彼をアダムになぞらえることは容易である。彼はもともと無邪気で単純な男であった。それが「名声」とか「評判」とかいう外からの幻想を吹きこまれて、富者に利用されてきたのである。E・K・ヘイが指摘¹¹するように、ジャン・パチスタは「自らもがずに、他から押しつけられた」知恵の木の実を食したあげく没落したアダムであった。彼は、自分のみじめな状態をテレサののろいの結果だと判断する。彼は「女たちの賞賛とか、男どものへつらいとかいうある種の単純な現実を奪われてしまうと、冒とくの罪の重荷が肩に重くのしかかる」のをひしひしと感じたのである。

栄光と名声に酔い得たジャン・パチスタを、腐しよくされない銀が象徴する「明」だとすれば、身の破滅を知り、テレサののろいを意識する彼は、銀の輝きの失せた「暗黒」であった。すっかり夕やみに包まれた港の暗さ、マニガム医師と出会う関税事務所の暗さ、こっそり訪れたピオラ館の真暗やみ、これらの「暗黒」の描写はそのままジャン・パチスタの心理状態を象徴している。「暗やみのために果てしないように思われた平野の広がり」と「裏切られ、破滅したという意識」が彼の孤独感をより深刻なものにしたのである。

ジャン・パチスタがこのように変ぼうを遂げていたのに、関税事務所で彼に出会ったマニガム医師はそれに気付かない。ここで生じた二人の意見の食い違いは、暗黒のとらわれ人ジャン・パチスタと彼をいまだに「墮落し

ない男」と信じるマニガムとのギャップに由来する。二人は、このギャップを埋めることのないまま、異常に緊張して長時間対話をするのである。すでにヒルシュの証言を立ち聞きしていたマニガムは、はしけは沈んだものとばかり思いこんでいた。彼は、沖仲仕頭ジャン・パチスタの精神構造を理解するのに、自分ほどふさわしい人間はいないと信じ、「君の身を救う一番いい方法を提供する」と言って、カイトにいるバリオス將軍をスラコへ呼びもどす役を与えようとする。しかし、ジャン・パチスタは、富者に利用された果てに、裏切られるようなことは二度としたくないと思っているので、はじめは、その申し出を受け付けようとしな。が、反乱軍がピオラ家に踏みこんだとき、テレサが「ジャン・パチスタ、子どもたちを守って」と叫んで息絶えたと聞くと、彼は決心を変えてしまう。「貧しさ、飢え、苦しみ」の運命が待ち受けているであろうというテレサの怒りの予言とそののろいを振り切るためには、死にぎわの彼女の願いを忠実に守らねばならぬという思いに駆り立てられて、彼はカイトへ行こうと決心したのである。

ジャン・パチスタは命がけで馬を駆って、カイトへ行き、バリオス將軍のひきいる精鋭部隊を連れもどすことに成功した。スラコを占領していた反乱軍は鎮圧され、銀山も救われ、やがてデクーの立案どおりにオクシデンタル・プロビンス（西部地方）の独立が達成されたのであった。

ここで確認しておかなければならないことは、スラコの町を救ったジャン・パチスタの勇敢な行為は、後になってミッチェル所長が礼賛したような「献身と勇気と忠誠と知性」(p. 483)によるものでもなければ、かつての彼が外面を飾るためにひたすら求めた「評判」「名声」に執着する虚栄心によるものでもなかったということである。それは、彼の心の奥にある罪の意識にもとづく恐怖という、いわば暗黒からの衝動によるものなのであった。

以後、ジャン・パチスタは「暗黒」の世界から「明」の世界へ帰ることなく、死んでもなお「アスエラの幽人」の一人となってしまふのである。

V

西部地方は、独立後、銀山の富を背景に外国から資本と技術を導入して、近代化を進めた。鉄道は整備され、都市計画は着々と実行された。市街電車が通じ、ガラスや鉄骨を惜しげもなく使った中央鉄道駅やギリシャ神殿風の関税事務所などが出現した。物質文明の恩恵が、新しい国のすみずみまで行きわたったのである。こうした新しい西部地方独立国における物質的利益による進歩の

姿は、第三部第十章において、ある観光客を案内するミッチェル所長によって語られる。しかし、ヒューイットの指摘¹⁰するとおり、ミッチェルのナレーションは全くのアイロニーである。ミッチェルの愚鈍なまでに皮相なものの方が真実を見きわめ得ないことは、すでに作者が何度か強調しているとおりでであるので、読者が彼の語りをそのまま受け入れることはあり得ない。作者の意図はアイロニカルな全知の視点からすでに語られており、その意味合いで、ミッチェルの語りはすべて「カッコ」に入れられているのである。

ところで西部独立計画を立案したのは、人を冷笑して楽しむ逃避的なデクーであった。彼の起草した独立宣言文もつまりは、‘ironical senseless buzzing’(p.499)にすぎなかった。にも拘らずその実現を強く望んだチャルズの心的状況が、固定観念に取りつかれていたとしか言いようのないものであったことは、エミリアが見抜いていたとおりでである。そして実際の独立は、テレサののろいを意識して不安に駆られたジャン・パチスタのせっぱつまった行為によって可能となったものであった。これらのことは新スラコの繁栄が、いくつかの偶然的重なりによって成立したものに過ぎず、いつ突如としてその終末を迎えるかも知れないような、きわめてもろいものであるということを意味する。作者が、西部地方独立のいきさつをこのように設定したということは、体制および新体制の誕生ということに対して、常に懐疑的な作者の立場のアイロニカルな表明であろう。政治的主義主張ということについて言えば、保守であろうと革新であろうと、コンラッドの立場から見れば何ら変りないようで、彼は新スラコの体制の持つ思想の内容については多くを語らない。物質的利益のもとでの人類の平和・安住・繁栄に対し否定的なコンラッドの立場は、この作品の直後に執筆された「戦争と専制政治」¹¹などのエッセイや彼の書簡で何度か示されている通りであり、「ノストロモ」の中ではミッチェルの語りの中で、そういうものを肯定するように見せかけ、実は、マニガムの口を通して一旦安定したかに見える新スラコの将来に横たわる「暗黒」を次のように予告する。

“There is no peace and no rest in the development of material interests. They have their law, and their justice. But it is founded on expediency, and is inhuman; it is without rectitude, without the continuity and the force that can be found only in a moral principle. Mrs Gould, the time approaches when all that the Gould Concession stands for shall weigh as heavily upon the people as the barbarism, cruel-

ty, and misrule of a few years back.”(p.511)

スラコ独立後の銀山の生産量はさらに増し、スラコの発展ぶりはめざましく、世界のすみずみまでその宝をばらまき、チャールズは確固たる地盤を築いたかに見える。しかし、物質的利益をあくまで追求する「スラコの王」の姿勢はさらに冷酷に、非人間的な度合いを濃くしていく。彼の施政方針は「最悪の政府以上に残虐で独裁的」であり、彼のやり方は「どんな暴君よりも、非情であった」(p. 521) こうした方針は、当然労働者の気質にも反映し、彼らの考え方や感情にも変化をきたして、憤りや流血や復しゅうを呼ぶ可能性を生み、銀山でも労働争議が起きるようになっていく。政府転覆を企む秘密結社も組織され、こうしてスラコにおける社会不安は増大していくのである。すでに述べたように、チャールズ・グールドは、かつて父の遺言に背いて帰国したとき、彼が抱いていた人類の平和や社会の正義への願望など一かけらも残さぬ、理想主義とは無縁の男に変ぼうを遂げていたのである。マニガムは「経営者閣下は、あの巨大な銀山に対する献身という点で、どうにも手がつけられない」と言う。エミリアは「あのサン・トメの銀山が、このコスタグアナのグールド家の最後の者の生命にとりつき、それを食いつくし、燃焼しきっていること」を悟り「それが父のあの悲しむべき弱さを征服したように、その息子の精力的な精神をも征服している」と嘆く。父親をとり殺した暗黒に打ち克つためであったはずの、銀山への彼の情熱は、すでに見たごとく、暗黒におちいってもう執と化しており、それは彼自身の運命をも暗転させることになる。物質的利益を「人類のどん欲と悲慘という両刃の刀を持った富という武器」として用いたチャールズは、周囲の人々はもちろん、彼自身をも破滅へと追いこんでいくのである。父親の戒めを破るという「禁断」の行為によって、「銀」と関りを持ったチャールズは、あえて「禁断」を犯して宝を求めたがゆえに、幽鬼となったアスエラ半島の伝説中の男たちの運命を、ジャン・パチスタと同様にたどらねばならないのである。

チャールズは禁断の木の実を自ら食したアダムであった。自ら食すか、他からすすめられて食すか、いずれを問わず、知恵の木の実の味を知った人間は、墮落の果てに暗黒へ陥っていくというコンラッドの主張がここにあるのであり、それはあきらめなどということばでは片付けられないがん固なまでの強さで迫ってくるように思われる。

VI

ジャン・パチスタのカイタ行きの壮挙は、後々まで人人の語り草となるほどのものであった。西部地方を存亡の危急から救った彼は、国民的英雄に祭り上げられた。しかし、彼はいかに贅えられようと、もはや昔のように栄誉に酔うことのできない人間となっていた。海路、カイタからの帰途、船上から波間に漂う無人の救命ボートを見つけた彼は、不安に駆られて泳いでボートにたどりつく。それは、まちがいがなく、デクーのためにイザベル島に残したボートであった。船板にかつ色のしみが附着していることだけが、新しい発見であった。作者は、このときのジャン・パチスタを「でき死体」‘a drowned corpse’のイメージで描写する。(p.492) これは、救国の英雄となってこれからスラコへ帰る人間の姿ではない。作者は、ここでそれまでのジャン・パチスタを殺してしまうのである。彼は、魂が肉体から飛び去ってしまった人間のように、興奮もなく、ブラシード湾など全く知らない人間であるかのように、どんよりした目つきで、まばたきもせず虚空を見つめたのち、「再生」するのである。この「暗黒」のブラシード湾上での再生は、大イザベル島の銀の奴隷の誕生と考えるべきであろう。彼は、大イザベル島へ向かってボートをこいでいく。島にデクーはいなかった。彼は、すぎが人目につくように置かれているのを発見して、デクーに対する軽べつを心がけるが、このとき、ふっと銀塊を一目見たいという気持ちになる。掘り起こしてみると、銀棒は4本なくなっていた。座りこんで考え込むジャン・パチスタの耳に、マスケット銃の烈しい銃声が聞こえる。それはスラコへ到着したパリオス軍が、ソティリョー派を制圧した銃声であった。ここで作者はその激しい銃声の中に、デクーが自らの頭がいを打ち砕いた一発のピストルの音を、一つの幻聴としてジャン・パチスタが聞いたという解釈が成り立つように演出している。ジャン・パチスタは「彼はもう決して説明にもどって来ることはないであろう」とデクーの死を確信するのである。そして彼は、自分がテレサのろいに勝ったと確信して、残った銀塊は独り占めにしようと決心する。「私はきわめてゆっくり金持になっていかなければならない」と彼はひとり言を言ったのであった。(p. 503)

スラコには、再び平和が訪れた。海鳥も住みつかない無人島であった大イザベル島には、大洋汽船会社の灯台が築造され、ビオラ父娘が灯台守として住みこんだ。ジャン・パチスタはフィダンザ船長と呼ばれて、エミリアとミッチェルから贈られた一そうのスクーター船で沿岸交易に従事することになる。これで、作者はジャン・パチスタを「著者の覚え書き」の中の盗賊に似通った人物に仕立て上げることを完了したのである。ジャン・パチ

スタは、その誓い通り、次第に財をなして行った。彼は大イザベル島に隠してある銀棒を少しずつ持ち出しては、商売先で現金化していった。彼は、ミッチェルに頼んでピオラを大イザベル島の灯台守に任命してもらった。そうすれば、ピオラの娘たちの後見人である彼が、島に足繁く通ったところで、何ら怪しまれることはなく、彼は夜陰にまぎれてゆうゆうと銀棒を持ち出すことができるからであった。かつては、その虚栄心ゆえに決して「腐敗することのない」‘incorruptible’な男であった彼は、その虚栄心を失うやいなや‘corruptible’な人間へと変ぼうし、「アスエラの幽鬼」のごとく、銀の奴隷と化し、彼自身そういう意識を強めていったのである。このような彼を作者は次のように描写する。

..... Nostromo(G. Battista) had lost his peace; the genuineness of all his qualities was destroyed. He felt it himself, and often cursed the silver of San Tome. His courage, his magnificence, his leisure, his work, everything was as before, only everything was a sham. But the treasure was real. (pp. 523—524)

His audacity, greater than that of other men, had welded that vein of silver into his life. And the feeling of fearful and ardent subjection, the feeling of his slavery—so irremediable and profound that often, in his thoughts, he compared himself to the legendary Gringos, neither dead nor alive, bound down to their conquest of unlawful wealth on Azuera—weighed heavily on the independent Captain Fidanza.....(p. 526—527)

ピオラ老人の二人の娘のうち、ジャン・パチスタが心をひかれたのは、豊かな金髪、なめらかな額、銀の鈴のような美声、白いのどを持った妹娘ジゼルであった。しかし、ピオラ老人がジャン・パチスタとの結婚を望んでいたのは、母親そっくりの姉娘リンダであった。ジャン・パチスタがピオラに結婚のことを口にしたとき、早合点したピオラは、亡き妻の望んだ通り、花嫁はリンダだと決めてしまう。この意外な老人の思い違いに、ジャン・パチスタは失望したが、彼にはそれを断る勇氣はなかった。老人に逆らえば、島に来ることは恐らく禁じられ、銀棒を持ち出すことなど望めそうもなくなるからであった。彼は、仕方なくリンダとの婚約を宣言するのであるが、この瞬間、彼にとってジゼルは「禁断」の女となった。そして、ジャン・パチスタは、ピオラ老人の喜びとは裏腹に苦悩を深める。彼は、ジゼルに魅せられていくのをどうしようもない。

He looked at her. He fastened his eyes upon the hollow of her white throat, which had the invincible charm of things young, palpitating, delicate, and alive She was a danger, A frightful danger. The instinctive mood of fierce determination that had never failed him before added its steady force to the violence of his passion. She, in a voice that recalled to him the song of running water, the tinkling of a silver bell, continued (pp. 534—535)

ジゼルは「率直に見つめるまなざしと、白いのどを持ち、しなやかで口数も少なく、じっとしていて、ものぐさそうに見えるのに、その実興奮を好む」(p. 524) 女なのであった。「銀の鈴のような声」の「白いのど」を持ったジゼルは、ここでは、せせらぎに住む危険な銀色の蛇のイメージでとらえられている。この蛇の魅力には抗しがたく、ジャン・パチスタは、ピオラと亡きテレサの願いに背いて、ジゼルと関わってしまうのである。これは、パチスタが「蛇」「銀」によってますますじゅ縛され、それから脱することは不可能であることを暗示しているであろう。やがて、ジャン・パチスタはできる限り銀棒を持ち出して金を作り、ジゼルと駆け落ちしようとする。そうすることが、彼にとっての自由を意味していた。つまり、彼は自分が自由の身ではないことを強く意識していたのである。

He had not regained his freedom. The spectre of the unlawful treasure arose, standing by her side like a figure of silver, pitiless and secret, with a finger on its pale lips. (p. 542)

自由を得ようとして、銀棒を運び出すジャン・パチスタは「銀の宝の亡霊につきまとわれ、いくらあがこうと恥ずべき足かせの重荷が次第に増してゆく」(p. 552)

「銀の奴隷」であり、彼の行為は、「銀を負うてする卑きょうな奴隷の仕事」であった。ジャン・パチスタの姿は、ここにおいて、「縛られて、死んでもいなければ生きてもない、伝説上のアスエラの外国人」とまったく重なるが、これは最初から作者が意図していたイメージであることは言うまでもなからう。

作品の結末部、第三部の第十二・十三章は、ブラシード湾を背景にした大イザベル島が舞台であり、月の光と湾の闇による明暗のイメージが交錯し、詩的で壮大な描写がなされる。まず、第十二章の後半に見られる「明」がすべて「暗」にのみまるといふ描写は、きわめてコントラド的であり、かつ効果的である。たとえば、「湾の

育やみの中でも、まるでキラキラ照りつける真昼の光の中で見るようであった魅力」あるジゼルの姿が、プラシード湾の濃い暗やみにのみこまれ、「長い暗い底知れぬ深い沈黙の中に姿を消したよう」になるという描写などがそれである。(p. 540) ジゼルの白さをのみこんだプラシード湾の暗やみは、「神が見通すにも、悪魔が策略をめぐらすにも暗すぎる」(p. 543) のであり、ここに、作品の冒頭と同様の比喩が使われるのは、湾の暗黒が絶対的なものであり、「永遠のくらやみ」¹⁶ であることを示唆したものと言えよう。こういう暗黒の中での「明」のイメージは、「銀」と「月光」であり、これら二つのイメージは相乗的に用いられる。

..... the moonlight in the offing closed as if with a colossal bar of silver the entrance of the Placid Gulf—the sombre cavern of clouds and stillness in the surf-fretted seaboard. (p. 552)

このように月光と関る銀のイメージは、D. V. ゲントの言葉を借りれば「夜の金属」‘nocturnal metal’ と呼ぶことができる。月の光は、しょせん借り物の光であり、月そのものも、月光の被写体もその実体は暗黒である。これは同時に‘incorruptible’ だと言われる銀の本質を示唆したものであろう。つまり、われわれが銀の‘incorruptible’ な性質に価値を見出し得るのは、しょせん、それが光に照らされている時だけのことであり、その本質は、暗黒であって、それと深く関る人間を結局は暗黒に追いやってしまうということである。暗黒そのもののプラシード湾に月光の明るさを持ちこんでも、湾の暗さを強調することはあっても、その暗さをやわらげることなどはなく、その光は消えゆくもののイメージしか持ち得ない。作者がここで主張するのは、「銀」の「明」は一時的なものに過ぎず、結局は人間を暗黒に閉ざすということなのである。ジャン・パチスタが身を置いているのは、「銀によってふさがれた」「無気味な洞穴のような」プラシード湾の底知れぬやみの世界である。言い換えれば、ジャン・パチスタは銀によってプラシード湾の「永遠のくらやみ」の中に閉じこめられてしまったのである。

「禁断」の銀と関りを持ったジャン・パチスタは、一生涯銀の奴隷として終る運命を担わされていた。作者は「禁断」の宝を守るアスエラの精霊のイメージを用いて次のように言う。

..... the spirits of good and evil that hover about a forbidden treasure understood well that the silver of San Tome was provided now with a faithful and lifelong slave. (p. 501)

銀を盗み出そうとして、ジャン・パチスタは、ピオラ老人に誤まって射たれて死んでしまう。その死を叙して「ノストローモ」の悲劇の幕は閉じられるのであるが、ペンツあての手紙文で告白したように、作者は作品の最後を銀のイメージを用いて次のようにしめくくっている。

In that true cry of undying passion that seemed to ring aloud from Punta Mala to Azuera and away to the bright line of the horizon, overhung by a big white cloud shining like a mass of solid silver, the genius of the magnificent Capataz de Cargadores dominated the dark gulf containing his conquests of treasure and love. (p. 566)

上文において‘his conquests of treasure’ というのはもちろんアイロニーである。「銀」という宝によって征服されたのはジャン・パチスタであった。それは「あの銀が私を殺した。銀が私を捕えてしまったのだ」(p. 559) とエミリアに死の床で告白する彼のことがばからも明らかである。うちかつことのできぬ銀の堅固さは、上記の引用文中にある‘a mass of solid silver’の比喩表現で示される通りである。ジャン・パチスタが暗い湾の支配者になるという表現は、「昇天もできず、幽鬼となって宝のまわりをさまよう外国人」の魂と同様に、死んでも解放されず銀の永久の奴隷となった彼の姿を暗示する以外の何ものでもなからう。

以上明らかにしたようなイメージの総合的仕組みが浮き彫りにしているように、ジャン・パチスタは、銀のとりこになり、「暗黒」に閉ざされたのであった。作品の結末部については、それをまったくの蛇足であるとする説¹⁷や、構成上の失敗であるとする論¹⁸もあるが、作者がペンツあての書簡で明らかにしているように、銀のイメージを意図的に使用している点から考えても、作者が作爲的に設けた不可欠の部分だと解釈すべきであろう。

Ⅶ

既述したように、コンラッドが「ノストローモ」に登場した主要人物たちに与えた人生は、悲劇的な人生であった。彼らの悲劇は、すべて彼らと「銀」との関りによって生じたものであった。作品をこのように暗く否定的な形で展開させたコンラッドの意図はどこにあったか。また、なぜ彼はそのような意図を持ったのか、などについて、背景及び人物設定などからも今しばらく検討してみる必要がある。

この作品の舞台である架空国コスタグアナは、南米の

太平洋岸の一小国という設定である。コンラッドは、C. グラハムあての書簡で「コスタグアナは、一般的な南米の国家をあらわすことを意図している」と述べている。⁴⁷ 南米滞在の体験のほとんどないコンラッドは、「ノストローモ」執筆にあたり、南米通のグラハムから知識を得る一方、さまざまな文献や記事を参照したという。ところでコンラッドはなにゆえ南米を物語の舞台に選んだのか。少くとも当時の南米諸国に共通した現象であった政情不安定が、コスタグアナを描くに際して大きなヒントになったのは明らかである。そうした南米の状況は、読者から見れば、コスタグアナの姿と重なるのである。

コスタグアナの地でひき起こされる革命は、民衆の内発性に基づくものではない。作者は革命の原因が「人民の政治的未熟・上層階級の怠惰と下層階級の知的暗黒」(p. 387)にあると述べている。この国では、外国資本と結託した一部の支配者層や軍事力を掌握した人物が、民衆のための政治を標榜するさまざまな大義名分をにかけて革命を繰り返すのである。グズマン・ベントは、その独裁体制を「わが国の幸福のために、自分が樹立した民主的政治形態」(p. 139)と言い、その後が続いた政権は「自由の大義を防衛する神聖な任務のために剣をぬいた」(p. 53)と言い、モンテロは「人民の直接投票にもとづく」「民主的帝制」によってこそ、「平和」や「繁栄」が確保されると主張した。(p. 405) しかし、権力の座につくと、彼らは、物欲と支配欲をつのらせ、民衆をさらに悲惨と貧困に追いこむという点で共通していた。こういううち続く革命のあらしの中で生きる指針を見失い無残な犠牲者となった「民衆の一人」として、ジャン・パチスタは描かれているのである。

コンラッドは、種々の体制のかかげる大義名分に対して、絶対的な不信感を表明することをやめない。彼は銀山の富の力を背景に、理想的民主的共和政権を打ち立てたかに見えるリビエラ政権を内部分裂させて、国内を戦乱のちまたと化すように演出して、その標榜した多くのモットー「正直」「進歩」「名誉」「愛国心」等を無力化して見せる。作者は「この国の永続的な安寧」とか「正直・平和・法の尊重・国の内外を通じての政治的なよき信念・これらは国の名誉を守るとりでである」と説く哲学者大統領リビエラを「頼もしいというよりは、むしろ痛々しい感じ」であったと表現し、(p. 119) 自分がカイライであることにも気付かぬインテリのよろさを暴露するのである。さらに作者は高い理想と信念を持って鉱山の経営に乗り出したチャールズに「自由・民主主義・愛国心・これらのすべては愚行と殺りくの意味あいを持つ」(p. 408)と悟らせ、彼のかつての信念を容赦なくもう執へと変質させたのである。また、コンラッドは、フラン

ス帰りの軽薄なインテリ・デクーを登場させて、愛国心とは「暴虐の叫びであり、無法と犯罪と略奪との隠れみの」(p. 187)だと主張させる。物質文明社会において、さまざまな人間が時としては、命をかけるモットーや信念も、コンラッドから見れば、それぞれがその時々に応じて気ままに心に描く幻想あるいはもう想なのであって、共通の大義名分とか、不変の価値は存在しないのである。物質的利益に根ざした主義主張が風前の灯であることは、スラコの騒乱のとき、グールド邸に集まった病みおとろえたドン・ホセ・アベラノスや、あごひげの焦げてみすばらしいロベツなどのリビエラ平和主義の信奉者たちの無力な姿に象徴されている。

ねこの目のようにめまぐるしく変転する価値観の規準に振りまわされてなされる個人の努力は、コンラッドから見れば、空しさ以外の何ものでもない。リビエラ政権倒壊後のスラコの混乱時における人々の状況は、次のように描かれる。

The cruel futility of things stood unveiled in the levity and sufferings of that incorrigible people; the cruel futility of lives and of deaths thrown away in the vain endeavour to attain an enduring solution of the problem. (p. 364)

さらに、コンラッドはサン・トメ銀山の力による物質的利益の非情さをエミリアに認識させ、彼女をして「わたくしたちが努力したのは、こんなことになるためであったか」とつぶやかせる。彼女は「長年の善行に飽き疲れ、自分の努力の空しさに対する心のなえるような疑い」で傷ついていくのである。

この作品における時間順序の倒錯の手法は、何事も徒勞に帰したことを示すアイロニカルな効果を持つというペインズの主張⁴⁸は妥当だと思われる。第二部第五章において、作者はスラコ市内へ通ずる道の途中にある古い門のアーチを描いている。

The squat turreted sides held up between them a mass of masonry with bunches of grass growing at the top, and a grey, heavily scrolled, armorial shield of stone above the apex of the arch with the arms of Spain nearly smoothed out as if in readiness for some new device typical of the impending progress. (p. 173)

ここで言われる「進歩」‘progress’とは、独立したスラコ国を賛えるミッチェルの語り同様、ひとつのアイロニーである。植民地時代の遺跡であるそのアーチの下には鉄道が敷かれ、ごう音を立てて貨車が走っていく。その音を耳にしつつ、デクーは「この騒音は、大昔から

あるひとつの真理に新しい刃をつけるようなものです。………そうです。市の城壁の外に聞こえる騒音は新しいものです。だが、その原理は昔からのものです』(p. 173) と言って、彼はそれを独立戦争のラッパの音と比較する。彼のこのことばは、機械文明の産物は、たとえ全く新しいと目に映ったとしても、新しいところがあるとすれば、それは「刃」で象徴される危険性だけなのであり、その他の点は、しょせん朽ち果てた過去の遺物と何ら変わることなく、いずれ消え果てる宿命を持つのだと解釈できよう。

コンラッドは近代機械文明導入の旗手ともいうべき鉄道の技師長をして「山を動かすことなどできない」(p. 41)と言わせた。作品中では、南米の自然環境は人間の営為を非常に阻む何かがあるものとしてとらえられている。万年雪を頂いてそびえるアンデスの支系シェラの連山にしても、霧に閉ざされた大草原にしても、暗く静かなブラシード湾にしてもそうである。ここには善悪を超えて存在する大自然の冷厳さの前には、人間の知恵の力などごく微細なるものにすぎないという作者の主張がそのまま示されていると言えよう。

作者はさらに、ヨーロッパ物質文明社会から来た二人の外国人チャールズとジャン・パチスタを破滅させることによって、文化的土壌の異なるところで人間のエゴの伸長の不毛性を主張していると考えられる。これは、コンラッド自身の問題でもあったはずである。イギリス社会に身を置くポーランド士族出身の中年の帰化作家が、日々感じた苦痛は、単にポーランドからの立ち跳びの悔いや痛みというような単純なものに起因するとは考えられないのである。

コンラッドは、この作品において、物質文明そのものを否定すると同時に善悪を超えて人間を強力に支配する力の存在することを示しているのである。おだやかな自然環境にめぐまれ、何十年にもわたって政権の安定した国家を舞台にしては、物質文明否定を主題とする物語を展開することは不可能だったのである。物質文明社会の非情な価値観のメカニズムに奔ろうされて、破滅へと追いやられる人間を描く舞台として、コンラッドが選んだのが南米であった。少なくとも、彼はこの地のその時点までの物質文明の歴史に進歩や発展というものを認めていないのであり、人間の営為を徒労だと見ているのである。南米の偉大な解放者ボリバルは言う、「アメリカ大陸は統治することなどではしない。アメリカ大陸の独立のために戦った人々は、大海原を耕そうとしたようなものだった」(p. 186)と。既述したように、コンラッドは、この作品の舞台コスタグアナは「一般的な南米の国家」をあらわそうとしたと言うが、上記のような種々の

点から、この作品の舞台設定は周到かつ慎重になされたと言わねばならない。

コンラッドがスラコの土地を、「物質文明」の禁断の地として設定したのも、先に述べたような彼の「物質文明」否定の意図と関ると言ってよからう。彼は「著者の覚え書き」の中で「ノストローモ」の人物のイメージが心に浮かんだとき、はじめて「一つのぼんやりとした国の姿が生まれ、その姿があの高くそびえ、影に包まれたシェラ山脈と霧に閉ざされたキャンボが良きにつけ、悪しきにつけ、目先のことしか考えぬ人々の情熱から生まれる多くの出来事を、沈黙を守って見つめるスラコの土地に発展していった」(p. xvii)と述べている。この高くそびえるシェラ山脈とは、高所に険路があるのみの、コルディーラ山脈の支系であり、そこは一年を通じて、吹雪が荒れ狂い、普通の人間による踏破は困難な場所として描かれている。アスエラ半島とプンタ・マラの二つの岬に抱かれたブラシード湾の一方には「コルディーラの短い突出部や峡谷部が海辺まで直角に降下し」「他方の側には広大なスラコの大草原がはるかかなたに乾いた霞の衣をつけた乳白色の神秘の中に身を没して」いる。こういう環境の中にスラコ市が位置していたのである。このようなコスタグアナの地理的環境を創作するために、コンラッドはE. B. イーストウィック、G. F. マスターマンや、W. E. カーティスなどの南米紀行文を参照した。¹⁹ スラコをとりまく地形は、E. B. イーストウィックの文章にあるベネズエラのプエルト・カペロの地形をまねたものであると言われる。しかし、スラコのように全く隔絶した地形は、イーストウィックの著書には見当たらない²⁰ということで、恐らくは、コンラッド自身の独創であろうと思われる。コンラッドから見れば、スラコは、太古から物質文明侵入の時点までは、外界と隔絶した「秘境」でなければならなかったのである。

前掲の序文中のコンラッドのことばで判るように、スラコの大自然は、人間どもの卑小な営みを拒否する姿に描かれる。この大自然は、あえて挑戦する人間を破滅させるもののイメージとして用いられているのである。

また、禁断の宝の伝説のあるアスエラ半島の見おろすブラシード湾の暗黒は、禁断の掟を破った者たちの宿命を象徴する最も重要なイメージである。

コンラッドは、ジャン・パチスタとともにブラシード湾に乗り出したときのデクーを次のように描写する。

A great recrudescence of obscurity embraced the boat. The sea in the gulf was as black as the clouds above…………… It was a new experience for Decoud, this mysteriousness of the great waters spread out strangely smooth,

as if their restlessness had been crushed by the weight of that dense night. The Placido was sleeping profoundly under its black poncho When his voice ceased, the enormous stillness seemed to affect Decoud's senses like powerful drug. He didn't even know at times whether he was asleep or awake. Like a man lost in slumber, he heard nothing, he saw nothing. Even his hand held before his eyes did not exist for his eyes. (pp. 261-262)

以上の引用は、暗黒の形而上的描写であり、無力感にとらわれた人間から、時間空間の感覚を奪って、さらに虚脱状態へ引きずりこむ「暗黒」の、コンラッド的表現の典型である。ルーセルによれば、「ブラシード湾の暗黒は、人間のすべての意識を超越して、それを否定するものである」²⁰という。「銀」の箱の上に横たわったデクーは、暗黒に閉ざされて「アントニアへの激しい献身すら、今ではあらゆる現実性を喪って」しまうのである。この暗黒は、皮肉な目で世界をながめ、ちょう笑し、懐疑主義を振りまわしていたデクーの世界を消し去ってしまったのである。彼の絶対視していた知性の世界も、根柢のない、幻想の産物に過ぎず、ジャン・パチスタがローソクの灯を片手で消したとき、その光とともに、完全に消えてしまったのである。さらに彼は、大イザベル島にただ一人残されたとき、しょせん、ロビンソン・クルーソーにはなり得ず、孤独感にさいなまれ、あらゆる実体感を失い、ピストルで頭骸を打ち砕き、銀塊4個の重みで海底に身を沈めたのであった。海底に沈む彼にとって、銀塊は鉛であろうと、岩石であろうと、いっそうにかまわぬ、要するに彼の身を再び浮上させないためのただのおもりでしかなかった。コンラッドはここにおいて、デクーを物質文明社会に身を置きながら、ただ周囲の状況を否定的に批判し、エデンの蛇のごとくアイデアを提供するばかりで、生産的なことは何もなさず、しかも物質文明のわくの中でしか生き得ぬ男、銀に頼らなければまとも死ぬこともできぬ男としてとらえて、インテリの弱さを風刺した。このように、デクーも、「銀」による束縛には打ち克てなかったのであり、これは知恵の贅美者すなわち「禁断の木の実」に関ったものに作者が与えた当然の結末であった。

ところで、「ノストローモ」の中の傍観者の人物マニガムは、この作品の中でどのように位置づけられるべきかということも問題になる。

マニガムは、グズマン・ベントの恐怖政治のあらしが吹きすさぶ中で、捕えられて、裏切り者のレットルをはられ、投獄されたという過去を背負った英国人の医師で

ある。ごう問によって、醜い姿となった彼に対するスラコ社会の人々の評価は、時が過ぎても高くはならない。しかし、コンラッドは、この人物を銀の束縛からは自由な人物として描いている。マニガムは物質文明社会のメカニズムによって、徹底的に社会のわくの外にはじき出された人間であり、体制が変わって、価値観の規準が変わった中でも、はっきりした形で名誉を回復することはなかった人間であった。作者が、マニガムに医師という職業を与えて、物質文明社会のらち外でも、ある種の行動の幻想が持続できるように演出していることには注意したい。「裏切り者」のレットルをはられても、マニガム自身には裏切りの意識はない。作者が彼に「私は真実なら言えるんです」と言わせたことばや、物質的利益の未来には平和も安息もないという主張(p. 511)には、時々には転換される物質文明社会の価値観を排除して、自己に忠実に生きた人間の気迫と重味さえ感じられるのである。このような彼に、生きる希望を与えたのは、エミリアの存在であった。青年期を混乱そのものの境遇の中で過ごし、すでに五十才を越えた医師マニガムが、西部地方独立後、国の医務機構の責任者という重職を引き受けたのは、社会機構の中へ積極的に復帰しようとしたのではなく、ただ、エミリアが喜ぶならというだけの理由からであった。それでいて、彼は、エミリアへの想いは一切口にしない。作者がこういう人物を設定したことを、どう考えるべきか。単に貴婦人とナイトという関係を想定して、読者受けをねらったというだけではすまずことができなくとも考えられる。作品の結末部で、作者は、亡きジャン・パチスタの霊に呼びかける「あなたを愛していたのは、私だったのよ。(中略)あなたのことは決して忘れないわ、決して」というリンダの声をマニガムに聞かせて、地の文で、それはジャン・パチスタの「最もうらやむべき勝利」だったと述べる。ジャン・パチスタは、リンダを愛したのではなかった。それなのになぜ、マニガムから見れば、リンダの叫びがジャン・パチスタの「うらやむべき勝利」となるのか。思うてもいない女から思われたところで、何も勝利ではあるまい。それより、相手がどう思うかが、思うことのできる女が存在するかどうかの問題であり、「勝利」はむしろマニガムの方にあってよいはずであるのに、コンラッドはこのような評価をしてしまった。これは単なるアイロニーと解すべきか。それとも、コンラッドには、本質的に、思われることをもってよしとする受動的なところがあつたと解すべきか。これは、あとでもう一度触れるが、コンラッドが「銀こそこの物語の中心である」と述べて、「ノストローモ」の主体は「銀」だとしたこととも深く関るようには私には思われるのである。

コンラッドは、人間に生きるエネルギーを与えるのは幻想であると考えた。さらに彼は人間に存在感を与えるのは「行動への幻想」であり、それは「もっとも手近なものにひたすら誠実であること」によって生じると信じた。²² この幻想は伝統的倫理観と結びつけて解釈することもできようし、不毛の現実におけるある種の救済としてとらえることもできよう。繰り返して述べてきたことであるが、こういうコンラッドの信念は、彼の過去の海の体験にもとづくものである。²³ 彼は、彼の過ごした帆船船乗りの世界にはそのような幻想を持続させる何かがあると信じていた。現実社会の暗さから逃避するために、自己の過去の世界を、彼の想念の中でより美化して映像化して、そこに存在感と充実感があったと自己暗示にかけていると思われるが、とにかくコンラッドは、過去の海の世界に幻想を求め、それにしがみつき、現実社会への絶望によって押しつぶされてしまいそうな自分を、やっと持ちこたえているのである。現実に対して幻想が持てなかったのはコンラッド自身だったからである。

さて、チャールズ・グールドの場合であるが、彼の行動への幻想は、それを持った時点では、たしかに、彼の生きる実感とつながり得た。しかし、最新の機械力を導入して、銀山が大量の銀を産出するようになり、「スラクの王」と呼ばれるようになったとき、彼はすでに人間ではなく「石」のような男となっていた。かつて彼が抱いた一銀山経営者としての行動への幻想は、ぼう大な量の銀の力によって消されてしまい、物質的利益にかけた信念のみがもう執となって残り、「著者の覚え書き」の中でコンラッドが「この人物は、その銀山に残しておくほかはないのだ。どう考えても、彼は、この世でこの銀山からは絶対に脱け出せない人物だから」(p. xix) と言うように、チャールズは、ジャン・パチスタ同様に「アスエラの幽人」となってしまったのである。作者は現実において、彼らに救いを与えなかった。コンラッドは、近代物質文明の社会機構の中では、個人が幻想を保つことが不可能であり、そこには、人間を人間として生かす場がないということを主張するのである。

コンラッドは、「銀」の二つの相「明(表面)」と「暗(実体)」を示すことにより、物質文明社会において人間の抱く幻想と、その消失後の暗黒を象徴するという作為を用いた。幻想の消失の後の暗黒は、また、プラシード湾の「永遠のくらやみ」によっても象徴される。「銀」と関わりを持つことを「禁断の行為」としたわけは、禁断を破れば、必然的に永遠のくらやみに陥ることを予告するためであった。つまり、コンラッドが、この作品において主張したのは、「銀は人間を永遠のくらやみの中に閉じこめる」ということであつた。主体性は、あくまでも

銀が保つたのである。

ところで、この場合の人間を閉じこめる「永遠のくらやみ」は、人間再生の条件としての実存を認識する場となる「暗黒」ではない。コンラッドの場合、「暗黒」は破滅そのものであり、終末そのものなのである。彼は、「暗黒」の束縛を断ち切って、自由を獲得し、積極的に生きる人間像を創造することはなかったのである。これは、彼がペンツにあてた手紙で物語の主体は銀であると主張したことや、「著者の覚え書き」の中で、ジャン・パチスタのモデルとなった盗賊を革命の犠牲者のイメージでとらえたことなどに見られるように、コンラッドの作家としての受動的な姿勢に起因すると言つてよからう。

以上述べたように、原初の楽園につながるさまじまのイメージを用いて描かれたこの作品は、きわめて暗く、そこに登場する人物たちは、物質文明のもとで生気を失っていた。グールド夫妻にしても、いわば病めるアダムとイブだったのである。彼らは、運命に対してきわめて消極的であり、受動的であつた。彼らは楽園を復活することはなかったのである。この作品は、どのように見ても、救いのない、ペシミスティックな作品であると断ぜざるを得ないゆえんがここにあるのである。

コンラッドのこのような消極的受動的姿勢は何に起因するのか。彼自身の気質によるのか、何かにしがみついても生きようとする執念を示すことは、異郷に帰化して生きるポーランド土族の最後の誇りが許さなかつたのか、それともいわゆるポーランド・コンプレックスに由来するのか等については、筆者は即断を避けたい。ただ彼の作品に見られるこのような暗さの背後には、帆船船乗の精神で作家活動に幻想を求めた彼の前を、巨大な壁のように立ちふさいだ現実社会への限りない絶望感があることは否めない事実であるように思われるのである。

付記

Nostromo のテキストは Dent's Collected Edition によつた。引用文末尾の数字は、上記テキストのページ数をしめす。なお、訳文については、「筑摩世界文学大系50コンラッド」所収の「ノストロモ」を参照させていただいた。

参考文献

(注に挙げたものは除く)

F. R. Karl et al., *A Reader's Guide to*

Great Twentieth Century English Novels (London: Thames & Hudson, 1959)
 B. Johnson, *Conrad's Models of Mind* (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1971)
 B. E. Teets et al. ed. *Joseph Conrad: An Annotated Biography of Writings about Him* (Illinois: Northern Illinois U. P. 1971)
 J. A. Palmer, *Joseph Conrad's Fiction* (Ithaca: Cornell U. P., 1968)
 20世紀英米文学案内 3 コンラッド (研究社 1966)

注

- (1) R. P. Warren, Preface to *Nostromo* (New York: Modern Library, 1951) p. xxix
- (2) C. B. Cox, *Joseph Conrad: The Modern Imagination* (London: J. M. Dent & Sons, 1972), p. 74
- (3) A. J. Guerard, *Conrad the Novelist* (Harvard U. P., 1958) p. 190
- (4) F. R. Leavis, *The Great Tradition: George Eliot, Henry James, Joseph Conrad* (London: Chatts & Windus, 1948) p. 200
- (5) D. Hewitt, *Conrad; A Reassessment* (London: Bowes & Bowes, 1952) p. 68
- (6) J. Baines, *Joseph Conrad: A Critical Biography* (London: Weidenfeld & Nicolson, 1960) p. 310
- (7) G. J. Aubry, *Joseph Conrad: Life & Letters* (London: Heinemann, 1927) Vol. II p. 296
- (8) 増田義郎「ノストローモ」と南アメリカ 筑摩世界文学大系 50 付録 p. 4
- (9) 奈良高専 研究紀要 第11号 (1975) p. 114 参照
- (10) W. S. Dowden, *Joseph Conrad: The Imaged Style* (Nashville: Vanderbilt U. P., 1970), p. 97
- (11) E. K. Hay, *The Political Novels of Joseph Conrad* (Chicago: The University of Chicago Press, 1963), p. 182
- (12) D. Hewitt, *Op. cit.*, pp. 68—69
- (13) *Notes on Life and Letters*, p. 107
- (14) 「永遠のくらやみ」とはコンラッド自身のことばである。拙稿「初期作品に見られるコンラッドの変ぼう」奈良高専 研究紀要 第10号 p. 69 参照
- (15) A. J. Guerard, *Op. cit.*, p. 203
- (16) F. R. カール「ジョウゼフ・コンラッド」(野口啓祐・野口勝子訳 北星堂) p. 228
- (17) C. T. Watts ed. *Joseph Conrad's Letters to Cunninghame Graham* (Cambridge U. P., 1969), p. 157
- (18) Baines, *Op. cit.*, p. 301
- (19) N. Sherry, *Conrad's Western World* (Cambridge U. P., 1971), pp. 190—201
- (20) Baines, *Op. cit.*, p. 297
- (21) R. Roussel, *The Metaphysics of Darkness* (The Johns Hopkins Press, 1971) p. 110
- (22) 拙稿「二つの幻想」(奈良高専 研究紀要 第11号) p. 114 参照
- (23) 拙稿「初期作品に見られるコンラッドの変ぼう」および「二つの幻想」において、この点について詳述した。

夏季校外実習について

今 西 周 蔵

On The Outside Schoole Summer Training

Shuzo IMANISHI

1. ま え が き

学校というものは広い意味で学生、生徒が社会での生きる方法を学び、生きる力をつける場所である。学校を卒業して一人の専門技術者として生きて行くには、遅かれ早かれ技術者としての物の考え方を身につけねばならない。学校におけるいわゆる技術教育を、より一層効果的にすすめるために内外諸国では産学間の人事交流が行われている。その方法は (a) 産学間の教師の長期的な交流、(b) 産業界から教育界へ講師の派遣、(c) 産業界での教師の短期的な実習、(d) 産業界での学生の短期的な実習、(e) 教師、学生の産業界の見学、などである。ここではそのうちの (d) について、近年の校外実習の低調と、その原因の整理、対策を述べ、産学間の研究、懇談を提案している。

戦前のいわゆるのどかな良き時代を懐古する人々は、夏休み中の工場実習は学生にとって楽しかったし、また有意義であったと言う。当時は学生数が少なかったから受け入れ側も行き届いた指導ができたであろうし、そのことが相互の信頼感を一層に高めていたのであろう。しかし現代では事情は一変し、(a) 学生数は激増して受け入れ側の収容能力をはるかに越えている。(b) 受け入れ側も昔とちがって甚だ忙しくなっていて、学生に対する指導も思うように行かない。(c) 不馴れな学生に対する災害予防の点で厳しい責任と配慮が必要。(d) 技術革新によって企業秘密が多くなり、自由に開放できない、などの問題がある。

一方、学校教育の中での工場実習の位置づけやあり方についても明確さを欠き、学生に対する工場実習についての方向づけ (オリエンテーション) があいまいで、説得力に乏しく、強い動機づけ (モチベーション) が困難である。それゆえ、学生達は実習に対する明確な目標を持

たないまま、目先の利害関係にさどくなり、実習希望者は年毎に激減しつつあるのが現状である。

工業教育の立場から見て、この状況を、たゞ手をこまねいて時流にまかせて置いてよいのであろうか。ここに問題点を明らかにし、広く産学間の協議を提案したい次第である。

2. 実習への動機付け

何のために工場実習に出かけねばならないのであろうか、学校教育ではできない何かを、それによって得られるからであろう。

(1) ある大学の経験^①

ある大学では、5年間の実習経験をまとめて、学生に対する主な利益として次の4点をあげている。

(a) 理論と実際との関係の理解に役立ち、その後の学習意欲を高める。(b) 社会の仕事に対する理解を深める。(c) 職業選択における自己の適性判断に役立つ。(d) 社会生活に必要な協調性、責任感、判断力、発表力などの人間形成に役立つ。

(2) 筆者の経験

筆者はかつて長らく製造会社において、夏季学外実習生を受け入れた経験を持っているが、実習とは、既知の知識を体験によって理解させるだけでなく、知識を総合し、応用する技術や研究の方法を教える場であると思っている。学校教育と工場実習とのちがいは、前者は主に一般的な基礎知識を教えることが多く、内容が抽象的で理解しづらいのに対して、後者は (a) 内容がたいへん具体的で理解しやすい、(b) 実習の期間や実習生の能力に応じて適度の目標が示される、(c) 指導者がいつも身近にいて、困った時の相談相手になってくれる、(d) 毎日長時間一つのことに専念できる (学生には苦痛である) ので目的を達成しやすい、(e) 知識を応用する方法を知り、実践

的な能力が付き、自信がわく、それによって学校の授業に興味があわく、(f)不馴れな環境での緊張感が努力の心構えをつくる、などである。

現代の学校教育が長い歴史的な経過をたどった結果であるにちがいないが、今日、多くの学生達に見る学習意欲の低下から、学生達を立ち上らせるために、何らかの思い切った試みが必要ではないだろうか。戦前の工場実習の良さとはちがって、(a)学習意欲を促し、(b)実社会のきびしさを知る、ために工場実習を見直す必要がある。

(3) 学習への動機付け

学校教育に欠けているものは多い、ある人は、学生側の責任に属するもの、一つとして、学生の多くが、学校教育を受ける必要性を感じていないことを挙げている。約10年前、東京のある私立大学¹²⁾では学生の出席率が、第2部では多いのに、第1部では甚だしい、ことから察せられるように、その科目が何のために必要なのか、第2部の学生は体験によって知っていると言っている。英、仏、西独、ソ、中、の各国では、学校に入学前または入学後の在学中に、0.5~2ヶ年間の工場実習を義務付けている。これには色々の効果をねらっていると思われるが、そのうちの一つは学習に対する動機付けであると言われている。またこれにも二つの見方があって、(a)専門分野に対する予備知識が得られ、もっと高度の知識に対する欲求が生れる、(b)欲求を追求し、し遂げようとする強い意志力を育てる、などであって、学生である前えに、一人の社会人として、自分の立場を知り、学習をすすめる上に最も必要な自己啓発の態度を教えている。わが国の大学、高専では、在学中、高学年でわずか3週間が普通となされているので、その効果を疑う向きも多い。

3. 技術者と科学者

工業高専制度が生れた当時は、工業高専は製造部門を担当する高度の技術者を養成すると言う考え方があった。しかし授業科目やその内容は、それに伴わず、筆者の所属する電気工学科では、生産工学的な考え方が甚だしい¹³⁾。学校はこれまで物ごとの真相を究明する分析的な手法については、学生をよく指導して来た。しかし、その反対にパラバラの知識を組み合わせ、新しいものをつくり出す創造的、設計的な手法については極くわずかの指導しかなされていなかった。国語や外国語の学習では他人の文章を理解するだけでなく、自己を表現するための作文が課せられている。そのことを思えば、すべての工学専門科目においても設計を課し、自力によって具体的なイメージアップをなし遂げる、体験をさせてやりたい。企業の、大学卒新入者の多くは研究開発部門への配属を

希望すると言われる。これは製造部門への自信の無さにもよるが、製造部門を一段下に見る誤った考えによると言われている。その心得ちがいが、学外実習、特に生産実習に魅力を感じない一つの原因かも知れない。このような学生の傾向は、学生を指導する立場の教育関係者が産業界で経験を持たないことが大きな原因であろうと言われている¹⁴⁾。

同じようなことが、(a)米国では、工学教育が科学的な段階に関心をもち過ぎ、大学卒業者が工業技術にうとくなる、ことが指摘され、産学間の教師の交流が義務付けられている、(b)ヨーロッパでも、産学間の教師の交流や学生が実習先の工場で設計の方法を学ぶことが行われている、(c)米国や中国の一部では、技術者が大形のプロジェクトテーマを学校に持ち込み、研究と設計の方法を教えている。

わが国の工業高専は企業出身者の教師が多く、この方面の授業を展開するには比較的好都合のはずであるが、これまで大学に準ずる教育と言う合い言葉のもとで、技術教育は開花するに至らなかったように思われる¹⁵⁾。

4. 夏季校外実習の実施状況

高松高専が昭和50年に全国立工業高専43校について調査したところによると¹⁶⁾、夏季実習の実施状況は次のようである。

(1) 実習制度の扱いについて

(a)必修または学生全員の参加としているもの15校、(b)学科により必修または希望者のみ参加とするもの3校、(c)希望者のみ参加とするもの23校、(d)学科により希望者のみ参加または全員実施しないもの1校、(e)全員実施しないもの1校である。

しかし、企業の実習受け入れがかなり困難になっている現在、(a)(b)は実施状況と言うよりも、建て前としての方針を述べたものと思われるし、その方針について、いま大きな転換を余儀なくされているのではないだろうか。

(2) 実施の学年について

4年生が33校、4年生または5年生が8校、その他が2校、土木工学科では3~5年生である。

(3) 実施の期間について

ほとんど企業側の都合によるもので1~4週間の範囲にあり、そのうち大部分は2~3週間である。

次に企業の実習受け入れ状況を、当校、昭和51年度について見ると、(a)学生、教官の希望によって実習を依頼、申込んだ企業数は約30社、そのうち(b)受け入れ可が、14社、(c)否が10社、その他未回答、(d)受け入れ人数は1社当り1~3名、ほとんどの企業は1名で、実習に参加

し得る学生は全学生のうちの極くわずかである。

5. 夏季実習が消極的になった理由とその考察

当校では、これまで主に5年生が就職内定先で実習することが多く、実習に参加する学生の数は、電気工学科の場合、昭和43年夏から3～4年間はほぼ全員であったが、その後急激に減少し、不況になった昭和50年夏以来4～5年生合わせて数名になってしまった。夏季実習がこのような消極的になった原因は、学校側にも、企業側にもあるが、こゝでは、学生を実習へ誘導する立場にある学校側から見たところを主に述べたい。

(1) 必修または全員参加の制度がつかれないこと。

これには(a)実習を希望する学生数が企業の受け入れ可能な人数を著しく越していること、(b)災害保険制度が充分でないこと、などが大きな理由である。

(1-a) 学生数の激増と企業の受け入れ能力

大工工学部や工業高専では、建て前として、ある学年の学生全員の実習を希望している。しかし企業の受け入れ可能な人数はわずかであるから、学生全員に実習を義務付けることはできない。それゆえ、教師が実習について指導した上で、学生が希望するか否かは、学生の自主的な考えに任さざるを得ない。これが実習制度を消極的にしている大きな理由の一つである。

しかし、現状では、自主的に希望する学生に絞っても、その数はなお企業の受け入れ能力を著しく越している。それゆえ、現在、一部の企業で行なわれている方法は、(i)必修または単位を認めている大学を優先する、(ii)高専は4年生を優先する。それは実習がその後の学習による影響を与えるとしても、5年生では残る在学期間が短く、効率が低いからである、(iii)宿泊を必要としない学生を優先する、などである。また単位をとるために、いやいや参加する学生を、予め学校で除いてほしいとの声が企業側にある。

(1-b) 災害について

災害予防については学校、企業とも学生に対して厳重な注意や配慮がなされているが、災害は実習現場のみならず、宿泊を要する場合は宿泊中の生活、宿泊場所または自宅と実習現場との間の交通の途中、などでも起きる心配がある。もし不幸にして災害が起きた場合のことを考えると、われわれ教師は、実習を奨励することに重大な責任とちゅうちょを感じる次第である。

学校安全会⁽⁷⁾によると、学校の管理下の範囲として、高専の校外実習では「実習中のみが授業中」(原文)と見なし、その他の場合を含めていない。常時、学校に通学する場合と同じような条項まで拡大解釈できるよう、今

後の研究と上部機構への働きかけが必要である。企業でも、災害予防に対する配慮だけでなく、学生の実習を対象とする短期の災害保険について、学校側と協力して研究してほしい。

(2) 学生の意識

学生を指導する上に二つの大きな障害のあることは上に述べた。これと相まって学生側にも実習を消極的にするいくつかの原因がある。

(2-a) 未知への不安

実習を希望しない学生の中には、心構えに大きな遅れが見られる。それは未知への不安であり、どんな問題に出会うかわからない学力への自信の不足、見知らぬ年長の人々から見られる人間関係への不安、馴れない環境への不安などであろう。

学校教育がやゝもすれば知的教育に熱心の余り、人間にとって最も基礎的な情操や意志の教育にまで手が廻りかねるのであれば、また学生々活がやゝもすれば自分の殻に閉じこもり勝ちなのを打ち開くためにも、校外実習と言う異質の経験が人間的な幅を一層大きくすることに役立つのではないだろうか。しかし後にも述べるように、学生達は実習がそれほど価値あるものとは考えていないようにも思われる。

(2-b) アルバイトと実習

筆者の調査では、高専の高学年生の多くが夏休みを利用してアルバイトをしているわけではない。しかし実習の話が手当金の少額なことに及ぶと、学生達とはたんに魅力を失うように見える。同じようなことが大学でも言われている。実習と言うものは、企業の社会的な奉仕であり、日常多忙な関係者によって、講義、見学、実習など意識的な指導が行われ、なおその上に学生達はわずかでも手当金を手にすることができるのは、学生達にとってマイナスであるはずがない。

若い学生にとって、アルバイトと言う学校教育とは異質の生活体験である。それに比べて、技術実習は学校教育の延長線上にあるほど同質の知的体験であると見て、その効果に余り期待していないのではないかと思われる。

(2-c) 学校規則による夏季休暇

夏季休暇は文部省や学校の規則によって定められた休業、休暇であるゆえ、学生は学校から拘束されずに、銘銘の自主的な計画を持ちたいと訴えている。

(2-d) クラブ活動や趣味に過す

夏休みを利用して学校のクラブ活動を強化し、合宿練習することが多い。スポーツ選手は二、三次にわたる高専の体育大会に出場し、またそれに備える練習に毎日余念がない。また、ある者はアルバイトをし、その収入に

よって旅行や楽器などの購入に意欲をもやしている。その他ドイツ語の講習会に参加する者もいる。筆者の調査ではクラブ活動、アルバイト、旅行、講習会などに参加する者の人数は、学生達が言うほど多くはないが、しかし実習に参加できない大きな理由の一つである。これらの理由の夫々は学生達にとって有意義なものばかりで、その計画は好ましいものと思う。それゆえ、できれば実習も趣味も両方がかなえられるように、全企業の実習受け入れ期間を予め同じに定めて置き、例えば、夏休みの前半、または後半と言うようにできないものだろうか。実習が今日のように消極化した原因はこのほかにも多い。こゝにはそのうちこれまでよく知られている主な点のみを挙げた。

6. 教育界、産業界による実習研究会の提唱

いやいや参加する一部の学生を別にして、真に希望しながら参加できなかったり、初めからあきらめる多くの教師、学生などを見捨てないために何らかの良い方法を研究する必要がある。実習が、今日のように消極化した現状に対して、教育界、産業界とも無関心に過ぎ、学校の教師は産業の実態を、産業人は学校教育の実態を夫々知らな過ぎる⁽⁴⁾と言われている。実習が、学校では得られない実践的な知識、技術を研修し、学問への興味と問題意識の高揚、学習意欲の向上に役立つのであれば、学校は企業に任せ放しにせず、もっと話し合わねばならない性質のものであり、例えば、教師は実習先を見廻り、見聞をひろめ、授業にとり入れる心がけがほしいと言われている。また国家的見地に立てば、産業界は将来どこかの企業で雇用するであろう学生に対して、実習受け入れは産業界自らへの寄与であるとも言われている。産学間の相互理解が不足している二、三の例を挙げよう。

(a) 実習の目標

実習の目標が、知的な技術体験にあるのか、もっと人間的な労働体験にあるのか、現状では多くの学校は前者を考えている。しかし企業の中には生産現場の作業の実態を体験させることを主にする余り、学生達の誤解を受けることがある。そのような場合は自分の作業を反省する管理的な見方を体験させることも付け加えて頂ければよかったと思う。

(b) 実習の内容

企業では災害防止の立場から、実習の場所を研究室、試験室、計算室に求めることがあるため、実習の内容が学校の実験や電子計算機演習と余りちがわないことがある。また講義や見学の時間が大部分で、それはそれで有意義であるけれども、実習の時間が極めて少い、防災の

ための並々ならぬ配慮はよくうかがえるが、できれば日常の机上の実務に、もっと適切な題材が得られないものだろうかと思う。

(c) 学生の予備知識

実習に参加する学生は4年生が多く、実習するための予備知識や基礎学力に乏しい、そのために受け入れ側では実習テーマの選定に困ることがある。これは高専が、大学に準ずる教育をPRして来たことが、そのまゝ企業に受取られているためであろう。

以上は極く一部の例である。実習制度を充実させるために産学間の話し合いが必要である。その項目を挙げて見ると次のように考えられる。

(1) 実習の目標

人間的な労働体験と知的な技術体験の両方を望む声がある。それらをどのように取り上げるか。

(2) 実習受け入れ人数と希望者の選抜

多くの実習希望者の中から受け入れ可能な人数を選抜する方法として、かつて、地域的に学校と企業が会員制度をつくり、学校、企業に人数を割り当て、予め計画できるような組織が試みられたことがある。現在でも適用し得るであろうか。

(3) 実習災害保険制度の充実

安全教育の方法、学校安全会の規準の改訂、企業における短期実習保険制度の研究、など。

(4) 実習に適する学年

実習の目標が、労働か技術か、夫々に適する学年を定めたい。

(5) 実習の期間

現状では2～3週間が多い。夏休みの前半にそろえるか、後半にそろえるか。

(6) 実習の形態

講義、見学、実習、報告、を確立したい。

(7) 実習の内容、程度。

(8) 学校での行事

オリエンテーション、実習先の見廻り、報告書など。筆者はかつて、製造会社において大学や高校の教師の内地留学、学生の夏季実習などに関係したが、上に掲げた諸項目は学生のみならず教師を含めた広い範囲を対象にして考えたい。

7. あとがき

夏季校外実習が消極化した今日、その対策として産学間の研究会を提唱した。そして主に学校側から見た諸問題を述べた。実習制度の研究をパイプに産学間の相互理解を深めることは、技術教育を充実する上にまことに都

合のよいこと、思う。

科学技術大学でも構想が具体化するまでの過程で、入学後の学外実習を義務化するための調査、研究がなされたであろう、公表される日を待ちたい。

文 献

- (1) 工業教育 Vol. 17, No. 1, p. 37 (昭44.12)
- (2) 同 上 Vol. 18, No. 2, p. 62 (昭46.5)
- (3) 今西 奈良高専研究紀要 No. 10, p. 85 (昭49)
- (4) 工業教育 Vol. 18, No. 1 (昭45.12)
- (5) 今西 奈良高専研究紀要 No. 11, p. 139 (昭50)
- (6) 高松高専 夏季実習について (資料) (昭50.5)
- (7) 奈良県支部 学校安全会事務の手びき (昭49)

教官研究活動状況一覧表(抄録)

(機械工学科)

高張力鋼の水素ぜい化と 遅れ破壊について

岩井保善, 有間淳一
日本材料学会 第25期 学術講演会
(昭和51年5月21日 講演)

高張力鋼の遅れ破壊について

岩井保善, 有間淳一, ほか5名
日本機械学会 関西支部 学生卒研発表講演会
(昭和51年3月18日 講演)

Cr-Mo鋼の水素脆性と遅れ破壊

岩井保善, 有間淳一
日本材料学会 第13回材料強度に関するシンポジウム
(昭和51年7月10日 講演)

定角位置切換方式を用いた パルスモータの動特性

大橋和正 (奈良高専), 相羽三良 (山梨大・工)
計測自動制御学会 第18回自動制御連合講演会
(昭和50年11月7日 講演)

3相パルスモータの2相励磁方式において, パルスモータ自体を非線形磁気回路と考え, 角位置および電流の変化による励磁コイルのインダクタンス, ならびにトルクの変化などを考慮し, 定角位置切換方式によるパルスモータの起動時, 定常回転時および停止時の挙動について解析した。とくに停止時においては遅延パルスを用い, 逆トルクを生じさせ乱調を生ずることなく停止させる方法を考え, 解析と実験を行なったので報告した。

ねじ旋削における往復台の挙動の研究

萩村裕司 (奈良高専), 梶本吉則 (奈良高専), 加賀勝也
日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会 講演前刷集
(1976年3月18日)

普通旋盤によるねじ切りは時間がかかるので間接時間を短縮する必要がある。本研究はその方法として連動定速早もどり装置を考案して往復台の挙動を研究し, 従来の方法にくらべての有利性を検討することを目的とする。

そこでこの装置について, XYレコーダを用い縦軸および横軸にそれぞれ距離および速度をとってバイトの先端の軌跡を記録し, 負荷・摩擦係数・回転数・動力を変化させて検討した。

その結果, 大きい動力のモータを用いること, 安全領域内での最高速度で切削すること, 摩擦力をなるべく小さくすることが望ましいこと, および慣性負荷が立上りに大きな影響を及ぼすことなどが明らかになった。

連続型ダイレス引抜機の試作

小畠耕二 (奈良高専), 関口秀夫 (奈良高専), 小坂田宏造 (神戸大・工)
昭和51年度 塑性加工春季講演会

(昭和51年5月12日 講演)

本研究は, ダイレス引抜き機の連続化と, 加工の高速化を図るために, 連続型ダイレス引抜機を試作し, 本加工法の実用化への展望について検討するとともに, 試作機を用いて加工した材料の機械的性質について調べた。本試作機では, 加熱コイルおよび冷却器を固定し, 材料はその変形部の前後で相対速度差が生じるよう移動させている。試作機による実験の結果, 変形後の材料の冷却に水を用いているので従来の空冷における加工速度の増加に伴う冷却効果の著るしい低下の問題が解決され, 加工の連続化に成功するとともに, 大巾に加工速度の向上を図り得た。また, 引抜き材の機械的性質については, 主に硬さを調べ, 加工熱処理法の適用の展望を得た。

ダイレス引抜きにおける温度解析

吉川勝幸 (阿南高専), 小畠耕二 (奈良高専), 関口秀夫 (奈良高専)

昭和51年度 塑性加工春季講演会

(昭和51年5月12日 講演)

ダイレス引抜きにおける加熱温度と冷却速度は, 材料を破断させずに良好な引抜きを行い得るか否かを定める極めて重要な加工因子で, それらにより生じる材料の変形部の温度分布を, どの程度まで実際に制御できるかによって加工限界 (加工度, 加工速度の限界) が決まる。そこで, 本研究では, 加工限界を求めるための第1段階として, 温度分布の理論解析を有限要素法を用いて行い, 実験結果と対比させることからこの方法の有効性を検討している。解析の結果において, 計算値は実験値に対し良い一致を示し, 温度解析における計算の妥当性が確め

られた。なお、解析に際しては、ダイレス引抜きを定常状態における軸対称熱伝導問題として取扱っている。

高圧下における炭素鋼の延性破壊

関口秀夫, 綿谷晶広, 小坂田宏造 (神戸大・工)

日本機械学会 関西支部 第234回講演会

(昭和50年11月8日 講演)

一定圧力下 (~5000気圧) で実験の行えるねじり試験装置, 引張試験装置を試作し, S25C炭素鋼について, 各種の実験をおこなった。変形途中で周囲圧力を変化させ, 破壊の核発生ひずみを推定する方法を考案した。核発生ひずみにおよぼす静水圧成分, 変形方法などの影響を明らかにするとともに, 核成長に基づく破壊条件式を提案した。

高圧下における炭素鋼の延性破壊について

関口秀夫, 綿谷晶広, 小坂田宏造 (神戸大・工)

第26回 塑性加工連合講演会

(昭和50年11月13日 講演)

応力履歴, ひずみ履歴が破壊ひずみにおよぼす影響について調べ, 種々の予ひずみを与えた試験片について, 表面および内部の微視的観察をおこない, 核発生についての検討をおこなった。また, 破壊の核の成長に注目して, 破壊条件式を導いた。さらに, パーライト組織と球状炭化物組織による破壊ひずみの相違についても, 実験検討をおこなった。

ダイレス引抜き加工法

関口秀夫 (奈良高専), 小島耕二 (奈良高専), 小坂田宏造 (神戸大・工)

塑性と加工 (日本塑性加工学会誌) Vol. 17, No. 180

(昭和51年1月)

本研究は, ダイレス引抜きの工業用材料への適用を目的として行った基礎的研究である。実験には, 18-8ステンレス鋼, チタン, 各種炭素鋼などを用い, 種々の加工因子が引抜加工中に与える効果などについて調べるとともに, ダイレス引抜きの応用面についても検討を加えている。たとえば, テーバ棒, 段付棒, 波形棒および被覆材などの製造である。

以上の一連の基礎的研究の結果, 未来の技術と考えられていたダイレス引抜き法が, 充分実用可能であることが確められ, 種々の応用が明らかにされた。

高圧下における炭素鋼の延性破壊

関口秀夫, 綿谷晶広, 小坂田宏造 (神戸大・工)

日本機械学会 関西支部 第51期総会講演会

(昭和51年3月20日 講演)

塑性加工における破断みずみを予知するためには, 金属の延性破壊過程を数式表示した破壊条件が必要となる。本研究では, とくに金属組織を考慮した破壊条件式を提案し, 実験結果とよく一致することを確めた。

炭素鋼の延性破壊機構について

関口秀夫, 綿谷晶広, 小坂田宏造 (神戸大・工)

昭51年 塑性加工春季講演会

(昭和51年5月13日 講演)

前報までの一連の研究から, 金属材料の延性破壊過程を解明し, これらを教式表示した破壊条件式を得ることができた。本研究では, 破壊の核発生, 成長の過程を, 電子顕微鏡により観察し, 破壊条件式中の核発生ひずみについての物理的意味を明確にした。従来の実験結果の全てが, 提案した条件式とよく一致することが確められた。

弱電離プラズマ流における干渉問題について

松岡一起, 岸下晴亮, 西田迪雄 (京大・工), 神元五郎 (京大・工)

日本機械学会 関西支部 第234回講演会

(昭和50年11月8日 講演)

無限円孔列を持つ平板の引張り

浜田実 (阪大・工), 水嶋巖 (奈良高専), 箕浦忠行 (阪大・工)

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(昭和51年3月18日 講演)

1個の円形充てん物を持つ無限平板の引張りと圧縮

浜田実 (阪大・工), 水嶋巖 (奈良高専), 赤土雄美 (阪大・工)

日本機械学会 関西学生会卒業研究発表講演会

(昭和51年3月18日 講演)

剛性円形充てん物を持つ 無限平板の引張りと圧縮

水嶋巖 (奈良高専), 浜田実, 赤土雄美 (阪大・工)
日本機械学会 関西支部 第235回講演会
(昭和51年6月30日 講演)

(電気工学科)

技術者としての人間形成について

今西周蔵
関西工業教育協会 高専部会 教育懇談会
(昭和51年10月30日 講演)

抄録, 人間形成に関する多くの文献を調査して, (1)人間形成の要素は多いが, (2)高専卒業者の社会における実態を明かにして, (3)長所をのびし, 短所を反省して, 今後の高専教育に重視すべき点を述べ, 自主性, 積極性, 完遂力などの育成に留意すべきことを述べた。

夏季学外実習の諸問題

今西周蔵
関西工業教育協会 電気部会研究集会
(昭和51年12月4日 講演)

容量性負荷を有する3相PWM 逆変換器の動作と解析(第4報)

岡本弘, 市田博, 名和保紀, 中右盛計 (京都工機大),
井村栄仁 (奈良高専)
電気学会 連合大会
(昭和50年11月3日 講演)

容量性負荷を有する3相逆変換器 の動作と解析(第5報)

岡本弘, 市田博, 名和保紀, 中右盛計 (京都工機大),
井村栄仁 (奈良高専)
電気学会 全国大会
(昭和51年4月 講演)

紙テープを用いた画像出力装置

上田勝彦, 世古忠, 中村善一 (奈良高専)
第15回 SICE 学術講演会
(昭和51年8月25日 講演)
簡易な画像出力装置として, 従来より紙テープを用い

た方法が, 種々提案されている。ここでは, 紙テープフォーマットの工夫及び輝度変調方式をパルス幅変調とすることにより, テープ量の大幅減少と信号レベル輝度特性の改善の良好な結果を得たので, いくつかの表示例と共に報告した。

ポリエチレン中の電荷輸送 “結晶域及び非晶質域での振るまい”

京兼純, 木村伊一, 今西周蔵, *吉野勝美, *犬石嘉雄
(*阪大・工)
電気学会「第9回 電気絶縁材料シンポジウム」
(昭和51年9月16日・17日 講演)

我々は, パルス幅約100n sec の電子線パルスをポリエチレン(PE)に照射し, 誘起電流を観測すると, 立上りが極めて早い“速い成分” Q_r とパルスが切れて後, 緩慢に誘起される“遅い成分” Q_s の2つから成る。 Q_r の Q_s に対する比率はHDPEで大きく, LDPEでは小さい。温度上昇と共に Q_s は急激に大きくなるが, Q_r は余り大きい依存性は示さない。 Q_r は電荷の結晶域での輸送, Q_s は非晶質域での輸送に基づくことが明らかとなった。電子に於ける Q_s は高温(70°C), 高電界(1.8MV/cm)になると電界に対して飽和する。即ち Schubweg 効果が見られキャリアの電極間走行が明らかである。この Q_s に関して Scher-Montroll 流のプロットを行い, 移動度を評価してみると70°Cで電子に対し約 $10^{-4} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 程度となる。

オプトロニック負性抵抗特性を 用いたマルチバイブレータ

高橋晴雄・山内雅好 (奈良高専)
電気学会 全国大会 No.409
(昭和51年4月4日 講演)

オプトロニック負性抵抗回路, すなわち, バイアス抵抗によりブレイクオーバー電圧が可変でき, しかも可逆特性をもつS形の負性抵抗回路は, 抵抗とコンデンサを付加することによりし張発振器を構成することができる。

本報は, この回路の可逆特性を利用した, レ張発振を原理とする非安定マルチバイブレータ動作について, その発振条件および発振周期の解析結果を述べ, 実験結果を示したものである。

ホトカプラを用いた負性抵抗回路(IV)

高橋晴雄, 山内雅好 (奈良高専)

電気学会 全国大会 No. 429

(昭和51年4月3日 講演)

ホトカプラを用いて構成した可逆特性を有するS形負性抵抗回路は、バイアス抵抗値により、ブレイクオーバー電圧、導通保持電圧・電流、および、負性抵抗部分の傾き等を変化させることができる。本回路のブレイクオーバー電圧における条件式は、回路方程式より導出でき、実験結果とよい一致を示した。

ホトカプラを用いた負性抵抗回路(Ⅲ)

高橋晴雄, 山内雅好 (奈良高専)

電気関係学会 関西支部連合大会 G12-21.

(昭和50年11月4日 講演)

筆者らは、先に、ホトカプラを用いた負性抵抗回路、すなわち、ホトカプラの発光ダイオードとホトトランジスタを接続した。可逆のS形負性抵抗特性を有する回路について報告した。本報は、この回路に、さらに抵抗を付加することにより、その電圧-電流特性の負性抵抗部分の傾き、ターンオン後の電圧-電流特性の傾き、保持電圧等を変化させることができ、その測定結果について述べたものである。

本回路は、この特性を利用して、発振回路、スイッチング動作、比較動作等に应用することができる。

オプトロニック・し張発振器

高橋晴雄, 山内雅好 (奈良高専)

電気関係学会 関西支部連合大会 G12-22

(昭和50年11月4日 講演)

ホトカプラとジャンクショントランジスタを組み合わせた、可逆のS形負性抵抗電圧-電流特性を示す負性抵抗回路は、し張発振器、方形波発振器に应用することができる。

本報は、その回路構成、発振条件、および、発振周期等について述べ、実験波形例を示したものである。

ガウスビーム波の円筒波表示

成田絪一 (奈良高専), 水野晴彦, 阿座上孝 (名古屋工業大学)

電気関係学会 東海支部連合大会

(昭和50年10日 講演)

無限長完全導体円柱による

ガウスビーム波の散乱

成田絪一 (奈良高専), 阿座上孝 (名古屋工業大学)

電子通信学会 論文誌 Vol. 58-B, No. 11, p. 547

(昭和50年11月)

2次元ガウスビーム波の円筒座標における表示式が導出された。次に、得られた表示式を使ってガウスビーム波が無限長完全導体円柱に、TMモード及びTEモードで垂直に入射したときの散乱波が計算された。計算結果は、入射ガウスビーム波のスポットサイズの大きさにより、前方散乱波のパターンは顕著に変るが、後方散乱波のパターンはあまり影響を受けず、又、スポットサイズが散乱円柱の半径より小さくなると、回折により前方へ回りこむ入射波の強度が減少することなどを示している。

Measurements of Field Intensity Scattered from Plasma Column in Microwave Region

Takashi AZAKAMI, Tadayoshi OONO, Haruhiko MIZUNO (Nagoya Institute of Technology) Hirokazu NARITA (Nara Technical College)

Bullein of Nagoya Institute of Technology, Vol. 27

(昭和51年3月)

The pattern measurement of the scattered microwave from the nonuniform plasma column, in which the electron density distribution is parabolic, is carried out. The diameter of He-discharge plasma column is 4cm and the frequency of microwave is 2GHz. The measured patterns are compared with the theoretical patterns, from which the electron density in the plasma is determined. The values of electron densities obtained from the pattern measurements relatively agree with the values from the Langmuir probe method.

Divergence of a Gaussian Laser Beam by an Inhomogeneous Plasma Column

Hirokazu NARITA (Nara Technical College) Takashi AZAKAMI (Nagoya Institute of Technology)

Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 15, No. 9, p. 1703

(昭和51年9月)

The propagation and refraction of a Gaussian laser beam normally incident upon an inhomogeneous plasma column, in which the electron density distribution is parabolic, are theoretically investigated from the viewpoint of wave-optics. The phase shift and beam radius of the laser beam transmitted through the plasma column are computed at various electron densities. When the cutoff frequency of the plasma is much lower than the frequency of incident laser rays, the phase shift obtained analytically in this paper shows a good agreement with that from the WKB approximation.

A Structural Investigation of the 2-Methylthiophene Trimer and Its Related Compounds

石垣昭 (奈良高専), 庄野利之 (阪大・工)
Bull. Chem. Soc. Jpn., 48, No.10, 2977 (1975)
(昭和50年10月)

A structural investigation of the 2-methylthiophene trimer and its crystalline oxidation products has been performed. These compounds have been found to be identical with 2,4-bis(5'-methyl-2'-thienyl)-2-methylthiolane and its sulfone derivative.

金属ニトロシル錯体を用いる反応(2) ニトロプルシッドナトリウム (^{15}N) と環状ケトンの反応

松下好和 (阪大・工), 石垣昭 (奈良高専), 増田勲, 庄野利之 (阪大・工)
日本化学会 第33年会
(昭和50年10月 講演)

ニトロプルシッドナトリウム (NP) は脂環式ケトンと反応して着色錯体を形成する。この錯体をアルカリ下で加熱分解すると ω -オキシイミノカルボン酸を生成し、酸性下、室温で分解すると ω -シアノカルボン酸を生成することを前報で報告した。本報では ^{15}N でラベルしたニトロシル基を有する NP を合成し、これと脂環式ケトンを反応させ、上記の含窒素カルボン酸の窒素原子が NP のニトロシル酸位子より導入されることを確認し、反応が Beckmann 開裂によりおこるとする反応機構で説明した。

金属ニトロシル錯体を用いる反応(3) ニトロプルシッドナトリウムと環状ケトンの反応

石垣昭, 大植正敏 (奈良高専), 庄野利之 (阪大・工)
日本化学会 第34年会
(昭和51年4月 講演)

代表的な金属ニトロシル錯体であるニトロプルシッドナトリウム (NP) と環状ケトン類の反応につき検討した。縮合環状ケトンと NP の反応では相当する α -オキシイミノケトンが生成することを見出した。これは環が開裂しないことを示し、脂環式ケトンで開裂した生成物を与えることと対比して新しい知見である。また、脂環式ケトンと NP より生成する着色錯体の配位子の構造をしらべるためピリジンとの配位子置換を試みたが、開裂した生成物しか確認できなかった。

高専教育を考える

石川忠夫 (奈良高専・化学工学科)
工業教育 第23巻, 第2号, 8頁 (昭. 51)

まえがきに、「考えるということは、過去を考え(反省)、現状を考え(反省)、そうして、よりよい将来像を考えることであると思う。現場のひとりとして、ひろく高専外の方々に高専への理解をいっそう深めていただき、側面より高専育成にお力添え賜わるにあたって参照していただくための問題点提起ということで、現場での経験を通して日頃考えさせられている点のいくらかを述べる」とある。

染料廃液の電解処理に関する基礎研究

泉 生一郎 (奈良高専), 中田敏夫 (奈良高専), 大植正敏 (奈良高専)
日本化学会 第33秋季年会
(昭和50年10月 講演)

染料含有廃水の処理はこれまで、鉄塩、アルミニウム塩を凝集剤とする凝集剤処理法が主流をなしているが、一般に凝集剤の添加量が多く、多量のスラッジが放出される。また処理操作のコントロールが難しく十分な効果をあげることが困難である。そこで最近、電解による電極板溶解を利用し凝集させる方法等の電解処理法が検討されている。ここでは、染料含有廃水の効果的な電解処理法を見出すために、塩基性染料のローダミンBを含む塩化ナトリウム水溶液を用い、主として定電位電解脱色効果に関する基礎研究を行なった。

Anodic Oxidation of Acetate and Electroinitiated Polymerization of Acrylic Acid in Aqueous Acetate Solution

泉 生一郎 (奈良高専), 梶 章 (大阪市大・工), 清水俊之 (大阪市大・工), 長浦茂男 (大阪市大・工)

DENKI KAGAKU Vol.43, No.10, 562 (1975)

(昭和50年10月)

Electrode reaction processes in aqueous acetate solution in the presence of acrylic acid were studied at various anodes mainly by means of voltammetry and macroelectrolysis. The electrolysis using a platinum anode gave the oligomer of acrylic acid. Voltammetric investigation suggested that the polymerization of acrylic acid at a platinum anode was electroinitiated by radical intermediates originated from the anodic oxidation of acetate. It has also been shown that the anodic electroinitiated polymerization is a heterogeneous surface reaction occurring on the platinum electrode surface. Similarly, the polymerization of acrylic acid was also observed at a platinum cathode. By considering corresponding cathode potential it was confirmed that the cathodic electroinitiated polymerization was initiated by an atomic hydrogen produced in the course of hydrogen evolution reaction.

On the contrary to the case of the platinum electrode, the electrolysis at both lead dioxide and carbon anodes gave only negligible amounts of the oligomer.

白金電極への水溶性有機 ポリマーの吸着

泉 生一郎 (奈良高専), 梶 章 (大阪市大・工), 長浦茂男 (大阪市大・工)

電気化学 Vol.44, No. 5, 346 (1976)

(昭和51年5月)

平滑白金電極での2, 3の水溶性有機ポリマーの吸着挙動を, 亜硝酸塩の酸化反応に対する抑制から, pH7.6緩衝溶液中, 比較的貴な電位領域で検討した。ポリエチレングリコール (PEG) とポリビニルアルコールは, その単分子層形成に十分な濃い溶液においてさえ, 吸着

率が低かった。PEGの吸着率はその平均分子量と単純な関係が成立しなかった。上記の事実は, 白金表面の不均一性に起因しており, そうした表面上では, 多分子層が不規則な多孔性のもになっていると考えられた。亜硝酸塩の酸化に基づくピーク電位は, 上記ポリマーの添加によって貴な電位に移行し, Triton X-100の場合には, そのもの自身の陽極酸化ピークが明瞭に見いだされた。

硬質塩化ビニルの環境応力クレージング

奥田聡 (同志社大・工), 井口高行 (奈良高専)

材料 24, (265) 961 (1975)

(昭和50年10月)

硬質PVC平板について各種環境中におけるクレーズ発生時間の測定およびクレーズ成長速度の測定を行なった結果, 環境応力割れの起しやすさを示すパラメーターとして Gibbs の自由エネルギー変化 ΔG を用いることによって普遍性のある説明ができた。またこのことから硬質PVCを実用する場合, あらかじめ ΔG を測定することによってその薬液中での割れに対する危険性の判定ができることを示した。

電子顕微鏡によるポリプロピレン の環境応力割れの観察

奥田聡 (同志社大・工), 井口高行 (奈良高専)

材料 24 (265) 966 (1975)

(昭和50年10月)

ポリプロピレンを試料に各種環境中でクレーズを発生させ, その成長を電子顕微鏡レプリカ法によって観察, 検討したところ, クレーズ成長過程と以前に行なったクリーブ破断試験強度に相関のあることがわかった。また環境の種類, 時間の経過によってクレーズに起る変化を模式的に整理し, 実用中の材料に発生しているクレーズのレプリカ観察からクレージングの進行の判定, あるいは破壊物の破壊原因を調べるための資料とした。

Degradation of Plastic Lining under Temperature Gradient

Satoshi OKUDA, Takayuki IGUCHI (Doshisha University)

Society of Plastics Engineers (NATEC)

November 17 (1975) (meeting)

The authors have confirmed that the diffusion

rate of liquid in plastics is accelerated under the temperature gradient, and this diffusion process can be expressed mathematically by the introduction of thermal diffusion effects. The thermal diffusion is an important factor as to the mechanisms of blistering under the temperature gradient.

温度勾配下における 有機ライニング材の耐薬品性

奥田聡 (同志社大・工), 井口高行 (奈良高専)

化学工学協会 第9回 秋期大会

(昭和50年10月18日 講演)

温度勾配下のライニング材劣化機構説明の手段として温度勾配下にあるエポキシ・アクリレート系樹脂ライニング材への水の浸入速度を測定し、熱拡散によって液の浸入速度が加速されることを明らかにし、これにもとずいてライニング材の劣化機構について考察を行なった。

濡れ壁塔によるエチレンの 液相酸化反応

梅原忠 (奈良高専), 矢野武夫, 末高透 (阪府大・工)

日本化学会誌 No. 12 (1975)

(昭和50年12月)

先に Wacker プロセスによるエチレンの液相酸化反応の研究を、平面接触攪拌槽を用いて行なった結果、この反応の生成物であるアセトアルデヒドがガス吸収速度に影響をおよぼすことがわかった。そこで気液接触時間の短いデータの得られる研究用気液接触装置の一つである濡れ壁塔を用いて、反応生成物濃度の低い条件下で実験を行ない、攪拌槽実験で得られた結果と比較検討した。そして攪拌槽実験結果は初期反応吸収速度とみなし得ること、またこの反応は擬1次反応として取り扱えることが明らかとなった。

リフトトレイの流動特性

河越幹男 (奈良高専), 大竹伝雄 (阪大・基礎工), 野田泰夫 (関西化学機械製作K.K.)

化学工学協会 第9回秋季大会 (福岡)

(昭和50年10月 講演)

リフトトレイは、従来の固定多孔板の上にもう一枚の可動多孔板を設置したもので、可動板がガス流速に応じて浮遊するため、安定した広い操作範囲が得られる。

本研究では、このトレイの操作範囲を規定する可動板の挙動を静止領域、浮遊領域及び完全浮上領域に大別し、トレイの性能の支配する圧損及び液留量について解析した。

リフトトレイの物質移動特性

河越幹男 (奈良高専), 大竹伝雄 (阪大・基礎工), 野田泰夫 (関西化学機械K.K.)

化学工学協会 第41年会 (仙台)

(昭和51年4月 講演)

前報の流動特性に関する知見に基づいて、物質移動特性を整理した。まず、物質移動特性に大きな影響を及ぼす気液滞留比を測定し、各領域に分類して整理した。次に、亜硫酸ソーダの酸化反応を用いて液相物質移動容量係数を測定し、操作、装置変数の影響について検討した。その結果、リフトトレイは従来のトレイに比較して優れた特性を有していることがわかった。

Der junge Kleist (Über "Die Familie Schroffenstein")

Hirotake TAKITA

Germanistisches Seminar der Rheinischen Friedrich-Wilhelm-Universität, Bonn

1. August 1976

Das Drama "Die Familie Schroffenstein" hat, wie es Kleist selbst anerkennt, manchen Fehler. Trotzdem zeigt sich viel darin der Keim seines großen Dichters. Es hat zwar allzusehr rhetorische Ausdrücken, und im dramatischen Aufbau sind die letzten zwei Akte etwas spannungsloser. Es hat aber eine vollkommene dramatische Struktur, sogar besser als diejenigen von Goethes Dramen.

Es ist ein Schicksalsdrama, in dem das Mißtrauen gegen die Welt und Menschen und die Lebensangst, die Kleist selbst durch das Kant-Erlebnis erfahren mußte, gestaltet worden sind. Das Interessante an diesem Stück ist die Handlung. Die Personen sind Marionetten, mit denen ein Zufall spielt; es fehlt ihnen an Individualität. Wenn man es als abgespaltenes Ich oder Doppelgänger des Menschen Kleist betrachtet, könnte man darin seine Lebensanschauung kennenlernen.

香芝町の中世史料

朝倉弘（奈良高専）

香芝町史 史料編

（昭和51年4月25日）

香芝町の中世史料の主なもの、鹿嶋神社文書である。これは宮座文書であるが、建久7年（1196）から慶応2年にいたる頭人記録としての座衆帳、経営古記、座衆経営録、カシマノミヤノホツソクノ次第、下田ホウラクシノサノホツソクノ次第などがある。宮座文書としては稀有のものの中にぞくする。

奈良工業高等専門学校 研究紀要 第12号

昭和52年3月15日発行

編集兼
発行者 奈良工業高等専門学校

大和郡山市矢田町22

印刷所 (株) 奈良明新社

奈良市橋本町39

RESEARCH REPORTS

of

NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 12, 1976

CONTENTS

Hydrogen Embrittlement of High Tension SteelJunichi ARIMA, Osamu SHIOTA & Yasuyoshi IWAI	1
Delayed Failure of High Tension SteelYasuyoshi IWAI, Osamu SHIOTA & Junichi ARIMA	5
Dynamic Characteristics of Pulse Motor Driven by Constant-Angular-Positional Excitation Considering Load Torque	9
Study of Automation of the Intermittent Method in Screw Cutting Katsuya KAGA & Keiji OKUSHIMA	15
An Analysis of Temperature Distribution in Dieless Drawing by Finite Element Method	21
On the Stress Concentration Factor in an Infinite Plate with Three Circular Holes Arranged on a Straight Line	27
On a Fluctuation of Exhaust Pressure of Diesel Engine Ichiro SHIMAUCHI & Toshio NAKATA	31
Fundamental Researches on Elimination of Black Smoke Exhausted from Diesel Engine	37
On the Shock Wave Interaction in a Partially Ionized Gas Flow (2nd Report) Kazuoki MATSUOKA & Haruaki KISHIGE	43
Operational Modes of the PWM 3-Phase Inverter (Capacitive Load)	49
Digital Image Display System Using Punched Paper Tapes Katsuhiko UEDA & Tadashi SEKO	55
Frequency Response of Two-Variable Relay Control Systems	61
Electronic Conduction in Polyethylene Induced by Pulsed Electron Beam Jun KYOKANE & Shuzo IMANISHI, et al.	65
Calculation of Field-Intensity Distribution of a Lens Using Two-Dimensional Fast Fourier Transformation	69
Syntactic Analysis by Precedence Grammar	75
An Optronic Relaxation Oscillator	79
Bleached Phase Hologram	83
The New Method for the Yarn-Speed Measurement Using the Spatial Filter Masayoshi YAMAUCHI & Haruo TAKAHASHI, et al.	85
Investigation on the Method of Separation of Polychlorinated Biphenyls Contained in the Paper Like Materials	91
Chemical Engineering Estimation of Scale-Up of Oxygen-Zinc Battery Shusei INUTA	95
Solubility of Gas in Aqueous Solutions of Mixed Salts	105
Electrochemical Oxidation of Ethylene Glycol at a Platinum Electrode Masatoshi OOUE & Ikuichiro IZUMI	109
The Influence of Stirring Speed on Critical Supersaturation in Solution Takeshi NAKAYA & Isao YAMAMOTO	115
On the Spirits of Japanese Sports	119
An Ideal Female Image and the Physical Education of Girls	129
Silver and Darkness —On Nostromo—	135
On the Outside School Summer Training	153