

研 究 紀 要

第 15 号

昭 和 5 4 年 度

奈 良 工 業 高 等 専 門 学 校

奈良工業高等専門学校研究紀要 第15号

目 次

遊星歯車装置における効率計算.....	阿野春二.....	1
マシニングセンタの最適工程設計.....	大橋和正.....	7
ねじ旋削断続法に関する研究.....	加賀勝也・大橋和正・奥島啓次.....	11
切りくず形状に及ぼす旋削条件の影響について.....	田中義雄.....	15
楕円型複体の一致点公式 応用2(複素解析的な場合).....	福嶋克彦.....	21
衝撃波管内におけるCOの振動緩和について.....	松岡一起・岸下晴亮.....	25
細管流入部における高分子溶液の流れ.....	森 教安・若林敏夫・阪部俊也.....	29
ホトカブラによる負性抵抗特性の光制御.....	高橋晴雄・山内雅好.....	33
会話型画像処理システムの開発.....	中村善一・上田勝彦.....	39
マイクロコンピュータシステムNATEC/Zの開発.....	成田紘一・世古 忠.....	43
漂白位相ホログラムの光学的条件.....	宮田正幸.....	49
回分型品析装置における粒度分布同定に関する研究.....	中谷武志・奥本 茂.....	55
実数とは何か——デデキントの切断による方法について——.....	入江 隆.....	61
AN EXTENSION OF JOINT CONSISTENCY THEOREM	Hiroyoshi TABATA.....	67
「時は止まらねばならない」について.....	三浦良邦.....	71
学生が国語の授業に求めるもの.....	小谷 稔.....	77
論文抄録		
遊星歯車装置作業解析の一方法.....	阿野春二.....	83
耐熱金属材料のX線応力測定に関する研究.....	有間淳一・岩井保善.....	84
連続型ダイレス引抜き機の試作と加工材質	小島耕二・関口秀夫・小坂田宏造・吉川勝幸.....	85
円形充てん物を持つ無限平板の引張りと圧縮.....	水嶋 巖.....	86
教官研究活動状況一覧表		87

遊星歯車装置における効率計算

阿 野 春 二

Calculation of the Efficiency of Epicyclic Gears

Shunji ANO

遊星歯車装置およびその複数組合せ機構の作動解析に関して、筆者の案出した一方法があるが、これらの機構内の機械損失および効率の計算も、その手法を基礎にして、行なうことができる。本文では、その方法を述べ、これによる計算の二、三の例を示す。

1. はじめに

遊星歯車装置は、一般に、外部機構に連結すべき軸が三つあり、それらの間の運動は、見かけ上、かなりこみいっているので、この装置単独でも、相当複雑な機能が得られるが、さらに、その複数個の組合せにより、より高度な、有用なはたらきを得ることが、可能となる。しかし、機能が複雑化するにしたがって、機械損失や系の効率のあらわれ方も複雑になって、直観的には、容易にその実態を捕えることが、困難となる。場合によっては、設計して製作した装置が、期待に反して、誠に低い機械効率のものにしかならないことも、起りうる。したがって、遊星歯車装置を含む機構を計画する場合には、あらかじめ、機械効率に関する適確な計算を行ない、その値を予測しておくことが必要である。

2. 遊星歯車装置の基本形と基本式

多様な構造の遊星歯車装置の中で、その基本形式は、 $2K-H$ 形に属するもので、それらを共通的に記号表示して、作動の基本式により、単独または組合せ機構の作動解析を行なう筆者の方法は、すでに発表したところ⁽¹⁾⁽²⁾であるが、これを除外しては、本論の説明が理解し難いと考えられるので、まず、その要点を再記する。

2.1 記号表示と回転の基本式

図1の(I)、(II)に示されるものは、基本形遊星歯車装置、 $2K-H$ 形の代表的な二つの例であるが、これらに共通することは、二つの太陽歯車に、それぞれ直結す

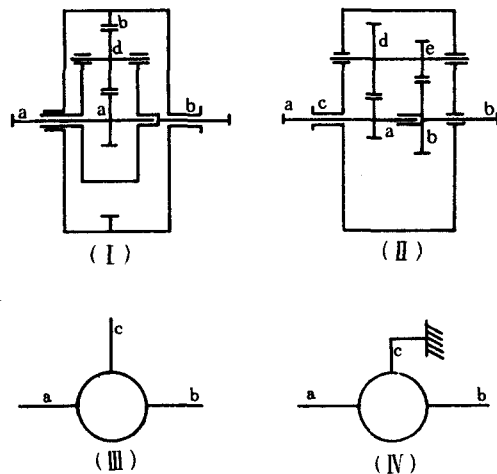


図1 基本形遊星歯車装置

る二つの軸 a 、 b および、両太陽歯車を連結する遊星歯車を支持するキャリアとその軸 c が、それぞれ外部機構と結合し、これら3軸はまた、常に同一中心線のまわりを回転しうることである。

このように、キャリアおよびその軸に常に C という文字を用い、二つの太陽歯車とその軸に、 a と b との文字を定着させることにすれば、上述のような基本形の共通パターンを一括して、図1の(III)に示すような記号で表示することができる。また、3軸のうち、1軸を止めた

場合は、(IV)のように表わせばよく、この形はまた、定回転比の増、減速装置（歯車伝導、チェーン・ベルト伝導等）の表示にも用いられる。

つぎに、 a 、 b 、 c の回転角速度を ω であらわせば、

$$k = \frac{\omega_{ac}}{\omega_{bc}} = \frac{\omega_a - \omega_c}{\omega_b - \omega_c} \quad (1)$$

と定義される k が、「伝達比」といわれるもので、その値は、個々の遊星歯車装置の性質をあらわす。そしてそれは、装置の構成歯車の歯数 Z の比によって、簡単に決まる。すなわち、キャリヤ C の回転を止めたときの、軸 b の回転速度に対する a の回転速度の比が、 k の値を示すので、図 1 の (I) においては、 $k = -Z_b/Z_a$ 、(II) においては、 $k = Z_b Z_d / Z_a Z_e$ として求まる。ただし、 a 、 b の回転方向が、互いに逆になるときは、 k の値を負にしなければならない。

今、式 (1) を変形して、(2) のようにあらわすことができる。

$$\omega_a - k\omega_b + (k-1)\omega_c = 0 \quad (2)$$

この式を「回転の基本式」と定める。ここで、ある軸の回転方向、たとえば、 a 軸の方向を基準にして、これの速度を正の値で示せば、逆転する軸の速度は、すべて負の値にすべきである。

2.2 トルクの基本式

a 、 b 、 c 3 軸が負担するトルクは、軸に連結する外部機構から、これらの軸に加えられるトルクの方法を、その軸のトルクの方法と定め、上記の回転の方法と正、負を一致させてその値を決める。この約束によれば、ある系への動力の入力軸では、その回転方向とトルクの方法が一致するので、入力動力は常に正の値となり、逆に、他の系への出力軸では、それらの方向が互いに逆になるので、出力動力は、負の値となってあらわれる。

トルクを T の文字であらわし、機構内で生ずる機械損失を無視した場合、3 軸の間には、

$$\left. \begin{aligned} T_b &= -kT_a, \quad T_c = (k-1)T_a \\ T_c &= \frac{1-k}{k}T_b \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

すなわち、

$$T_a : T_b : T_c = 1 : -k : (k-1) \quad (3')$$

という関係がある。これら式 (3)、(3') を、「トルクの基

本式」とする。また、3 軸に加わるトルクの和を作れば、

$$T_a + T_b + T_c = 0 \quad (4)$$

3. 遊星歯車装置の機械効率

遊星歯車装置の効率計算方法は、わが国でも、仙波⁽³⁾ 失田⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 両角⁽⁶⁾⁽⁷⁾ などの各氏によって紹介されていて、それぞれ特徴を有しているが、筆者は、上記の作動の基本式を基礎にして、下記のように効率計算へ発展させた。

3.1 基準効率

遊星歯車装置内に生ずる機械損失には、歯面の摩擦損失、軸受の摩擦損失、油のかくはんによる損失などがあるが、この中で、歯面の摩擦損失が、効率構成上最も大きい影響を有するので、ここでは、この損失だけを取り上げて、論ずることとする。ところで、矢田氏によると⁽⁸⁾ 一般に、歯車伝導装置の、かみあいの 1 対の歯車間の、摩擦損失に関する理論式の一例として、次式が示される。

$$\varphi = 10\mu \left(\frac{1}{Z_1} \pm \frac{1}{Z_2} \right) \quad (5)$$

ただし、 φ は損失率 = (損失量) / (入力量)

μ は歯面の表面状態により定まる定数 (0.05 ~ 0.03)

複号 (+) : 外歯同士のかみあい

(-) : 外歯と内歯のかみあい (この場合、 Z_2 の方を内歯歯車の歯数にとる)。

これより、この 1 対の歯車組合せの効率は、

$$\eta_o = 1 - \varphi \quad (6)$$

とあらわされる。

実際の遊星歯車装置では、図 1 の (I)、(II) に示すように、二つの太陽歯車に遊星歯車が組合わされて、2 対のかみあいがある場合が多く、このときは、それぞれの効率を η_{oa} および η_{ob} とあらわせば、総合効率は、

$$\eta_o = \eta_{oa} \cdot \eta_{ob} \quad (7)$$

となる。以上の、 η_o で表示された効率は、「基準効率」と呼ばれている。⁽⁷⁾

3.2 キャリヤ固定の場合

ここではまず、図 1 の (IV) に示されるように、基本形遊星歯車装置のキャリヤ c を固定した場合について、検討する。今、 a を動力の入力軸、 b を出力軸とし、両軸を通過して出入する動力を P_{ac} 、 P_{bc} また、系の内部で

損失する動力を P_i とすれば、エネルギーのつり合いから、

$$P_{ac} + P_{bc} + P_i = 0 \quad (8)$$

が成立する。また、両軸の速度関係は、式(2)の ω_c を零とおいて、 $\omega_{ac} = k\omega_{bc}$ となる。これらの付帯文字の後の方の c の字は、ここでは、 c 軸が止められていることをあらわす。 a 軸を通過する動力は、この軸のトルクと角速度の積であるから、

$$P_{ac} = T_a \omega_{ac} \quad (9)$$

となる。また、 b 軸通過の動力は、上記の速度関係式を用いて、 $P_{bc} = T_b \omega_{bc} = T_b \omega_{ac} / k$ となるが、一方、効率を考慮すると、 $P_{bc} = -\eta_o P_{ac} = -\eta_o T_a \omega_{ac}$ となるにはずである。この式に負号が付されているのは、前記のように、出力軸では、動力が負となるからである。これらより、式(10)、したがって、式(11)をうる。

$$P_{bc} = \frac{T_b \omega_{ac}}{k} = -\eta_o T_a \omega_{ac} \quad (10)$$

$$T_b = -\eta_o k T_a \quad (11)$$

式(11)を式(3)の最初の式と比較すると、前者は、後者の k のところに、 $\eta_o k$ を適用した形になっている。

式(8)に(9)、(10)両式を代入して、計算すれば、損失動力として、

$$P_i = -(P_{ac} + P_{bc}) = (\eta_o - 1) T_a \omega_{ac} \quad (12)$$

をうる。 η_o は1より小さい正の値となるはずであり、 $T_a \omega_{ac}$ も正值であるから、 P_i は負の値となり、動力が消費されることをあらわす。

以上は、 a が入力軸で、動力の流れが軸 b へ向う場合であるが、逆に、 b が入力軸、 a が出力軸となり、動力が反対に流れる場合を考える。系に機械損失がないときは、これら両者は全く可逆的で、式(2)、(3)、(3')は、そのまま双方に適用できる。しかし、損失が存在するときは、非可逆的となり、動力やトルクの式(10)、(11)、(12)において、 η_o の値そのままを逆流の場合に用いることはできない。損失の働く方向が逆になるからである。この場合にも、以上の諸式を形を変えずに利用するためには、基準効率 η_o をすべて

$$\eta_o' = \frac{1}{\eta_o} \quad (13)$$

に代えて用いればよい。この η_o' は1より大きい数値となるが、逆流の場合も、 a 側の動力を基準にすれば、 b 側はその $1/\eta_o$ 倍となるからである。

以上のように、キャリアを固定した場合の、基本形遊星歯車装置の効率 η は、常に基準効率 η_o の値に一致する。

3.3 差動運動の場合の効率

つぎに、キャリア c も、 a 、 b とともに回転して、差運動を行なう場合を検討する。このときの回転の関係は、系に機械損失存在の有無にかかわらず、式(2)がそのまま適用される。一方、損失の発生は、歯車の歯のかみあい部分の相対運動に原因するものであるから、この間に相対運動がなければ、動力の損失はない。つまり、軸 a と軸 b とが、ひいては、軸 c とともに、同一速度で回転していれば、理論上効率は、100%である。このことから、キャリア c に対する a の相対回転速度 $\omega_{ac} = \omega_a - \omega_c$ または、 c に対する b の相対回転速度 $\omega_{bc} = \omega_b - \omega_c$ が、損失または効率の値を決定する要素であることがわかる。したがって、 c の回転を止めた場合の関係式(8)~(13)が、そのままこの場合にも適用される。このときの式中の P_{ac} 、 P_{bc} は、 c に対する a 、 b の動力差をあらわすことになる。

一方、静止系に対する a 、 b 、 c の動力を、 P_a 、 P_b 、 P_c とすると、エネルギーのつり合いの関係は、

$$P_a + P_b + P_c + P_i = 0 \quad (14)$$

となる。損失動力 P_i は、式(12)より、

$$P_i = (\eta_o - 1) T_a (\omega_a - \omega_c) \quad (15)$$

とあらわされ、 P_a は、

$$P_a = T_a \omega_a \quad (16)$$

また、 $P_b = T_b \omega_b$ であるが、これに、式(2)を変形した $\omega_b = \{\omega_a + (k-1)\omega_c\}/k$ と、式(11)を代入すれば、

$$P_b = T_b \omega_b = -\eta_o T_a \{\omega_a + (k-1)\omega_c\} \quad (17)$$

とあらわされ、さらに、 $P_c = T_c \omega_c$ であるので、これらを式(14)に入れて整理すれば、 $\{T_c - (\eta_o k - 1)T_a\}\omega_c = 0$ となる。ここで、 ω_c は任意な値をとりうるの、 $\{T_c - (\eta_o k - 1)T_a\}$ 内が零とならねばならない。これより、

$$T_c = (\eta_o k - 1)T_a \quad (18)$$

したがって、

$$P_c = T_c \omega_c = (\eta_o k - 1) T_a \omega_c \quad (19)$$

という関係が求まる。ここで、式(18)を式(3)の2番目のものと比較すると、やはり k の代りに、 $\eta_o k$ を用いた形になっているが、式(3')に準じて、式(11)、(18)より、

$$T_a : T_b : T_c = 1 : (-\eta_o k) : (\eta_o k - 1) \quad (20)$$

とあらわせば、これが、効率を考慮したときの、3軸のトルク関係の式である。また、このときも、3軸トルクの和を求めてみると、

$$T_a + T_b + T_c = 0 \quad (21)$$

という関係があることがわかる。

ところで、以上の諸式中の基準効率のところには、前記のように、 η_o かまたは η'_o かいずれの値かを適用する。つまり、キャリア c を基準としたときの動力の流れが、 $a \rightarrow b$ または $b \rightarrow a$ のいずれかによって、どちらの値を用いるべきかが決まるが、これを決定するためには、式(15)を判別式として用いればよい。すなわち、 P_i は損失動力であるから、常に負の値となるべきであるが、そのためには、これを負の値にするように、 η_o か η'_o かのどちらかを採用するのである。これによって、動力の流れの方向も判明する。

基準効率の値が決まれば、式(16)、(17)、(19)によって、各軸に入出する動力値が計算できる。これらのうち、値が正になるものは、その軸が入力軸であり、負になるものは、出力軸であることをあらわす。そして正の値の和すなわち、入力動力の和を P_i 、負の値の和、出力動力の和を P_o とすれば、装置の総合効率は、

$$\eta = \left| \frac{P_o}{P_i} \right| \quad (22)$$

となるが、損失動力 P_i を用いて

$$\eta = \frac{P_i + P_i}{P_i} \quad (23)$$

として計算することもできる。ところが、1軸だけが出力軸である場合は、機械損失を無視したときの出力軸トルクを T_o' 、効率を考慮したときのそれを T_o とすれば、

$$\eta = \frac{T_o'}{T_o} \quad (24)$$

を計算してもよい。これら(22)～(24)の関係は、基本形遊星歯車装置のみに限らず、遊星歯車装置を含む複合機構においても成立するのである。

3.4 効率計算例

例1：

図1に示す基本形遊星歯車装置において、 a を入力軸とし、 b を固定して、キャリア c を出力軸とした減速装置について検討する。

まず、図の(Ⅲ)に示す一般的記号によって考える。 b が固定されているから、回転速度の関係は、式(2)を $\omega_b = 0$ とにおいて、

$$\omega_c = -\frac{\omega_a}{k-1} \quad (25)$$

となる。これを式(15)に代入して、

$$P_i = (\eta_o - 1) \frac{k}{k-1} T_a \omega_a \quad (26)$$

ここで、 $T_a \omega_a$ は正值であるから、 $(\eta_o - 1)k/(k-1)$ を負の値にするように、 η_o をそのまま用いるか、またはこれを η'_o にするかを定める。また $P_i = P_a = T_a \omega_a$ であるから、式(23)に、これと式(26)を代入して、

$$\eta = \frac{\eta_o k - 1}{k - 1} \quad (27)$$

が求まる。

さらにこれに、具体的な値をあてはめてみる。図1における(Ⅰ)の場合に、歯車の歯数、 $Z_a = 21$ 、 $Z_b = 69$ 、 $Z_c = 24$ とすると、キャリア c を止めて得られる a 、 b の回転比から、 $k = -Z_b/Z_a = -69/21$ をうる。入力軸 a と出力軸 c との間の減速比は、式(25)より、

$$i = \omega_a/\omega_c = -(k-1) = -(-69/21-1) = 4.29$$

となる。すなわち、軸 c は軸 a の1/4.29の速さで同方向に回転する。

基準効率は、 $\mu = 0.04$ として、式(5)、(6)(7)によって求める。歯のかみあいは、歯車 a と d 、 d と b との2対から成り、前者は、外歯同士であるから、

$$\varphi_a = 10\mu(1/Z_a + 1/Z_b) = 0.0357$$

$$\eta_{oa} = 1 - \varphi_a = 0.964$$

また、 d と b とは、内歯と外歯のかみあいであるから、

$$\varphi_b = 10\mu(1/Z_a - 1/Z_b) = 0.0109$$

$$\eta_{ob} = 1 - \varphi_b = 0.989$$

したがって、基準効率として、

$$\eta_o = \eta_{oa} \cdot \eta_{ob} = 0.953$$

を得る。式(26)に $k/(k-1) = 1.304$ をあてはめてみると、 $(\eta_o - 1)$ が負であれば、 P_i が負になるので、 η_o の値

はそのまま用いればよい。よって、式(27)より、

$$\eta = \frac{0.953 \times (-\frac{\omega_{21}}{\omega_1}) - 1}{(-\frac{\omega_{21}}{\omega_1}) - 1} = 0.964$$

が求まる。

図1の(Ⅱ)の場合または、これらとは構造が異なっているが、基本形遊星歯車装置に属するものであればすべて、 k と η_0 の値の確定により上例と全く同様に計算できる。

例2：

図2の上側の図は、いわゆる3K形遊星歯車装置の一例で、下側の図は、この装置を記号的に表わした回路図で、このように、三つのユニットから成る複合機構であると、考えることもできる。これの、外部へ連結しうるメンバーは、三つの太陽歯車またはその軸で、 p, q, r で示されるが、本例では、 b_2 歯車をすなわち、 r 軸を固定して、 p を入力軸、 q を出力軸とする減速装置として、用いるものとする。構成メンバーの中で、 b_1

図2 3K形減速装置

と a_2 とは、1, 2両ユニット双方に、共用される歯車で、三つのキャリア C_1, C_2, C_3 も共用一体となっている。

まず、回路に、式(2)を順次適用して、回転の解析を、つぎのように行なう。

$$\omega_{b1} = \omega_{a2} = -(k_2 - 1)\omega_{c2} = -(k_2 - 1)\omega_{c1}$$

$$\text{また、}\omega_{c1} = (k_1\omega_{b1} - \omega_{a1}) / (k_1 - 1)$$

$$= -\{k_1(k_2 - 1)\omega_{c1} + \omega_p\} / (k_1 - 1) \quad \text{なる故}$$

$$\omega_{c1} = \omega_{c2} = \omega_{c3} = \frac{-\omega_p}{k_1 k_2 - 1} \quad (28)$$

$$\omega_{b1} = \omega_{a2} = \omega_{a3} = \frac{k_2 - 1}{k_1 k_2 - 1} \omega_p \quad (29)$$

つぎに、 $\omega_q = \omega_{b3} = \{\omega_{a3} + (k_3 - 1)\omega_{c3}\} / k_3$ に(28)、(29)を代入すれば、総減速比

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_q} = \frac{(k_1 k_2 - 1)k_3}{k_2 - k_3} \quad (30)$$

が求まる。これにより、損失を無視したときの出力軸トルクは、

$$T_q = -i T_p = \frac{(k_1 k_2 - 1)k_3}{k_3 - k_2} T_p \quad (31)$$

となるが、損失を考慮したときのトルク計算は、やはりこの回路図に、式(11)、(18)または(20)を順次適用して、

$$T_{b1} = -\eta_{01} k_1 T_{a1} = -\eta_{01} k_1 T_p$$

また、 $T_{b1} + T_{a2} + T_{a3} = 0$ となる故

$$T_{a3} = -(T_{b1} + T_{a2}) = \eta_{01} k_1 T_p - T_{a2}$$

$$T_{c3} = (\eta_{03} k_3 - 1) T_{a3} = (\eta_{03} k_3 - 1)(\eta_{01} k_1 T_p - T_{a2})$$

一方、 $T_{c2} = (\eta_{02} k_2 - 1) T_{a2}$ 、 $T_{c1} = (\eta_{01} k_1 - 1) T_p$

さらに、 $T_{c1} + T_{c2} + T_{c3} = 0$ となる故

$$T_{c1} = -(T_{c2} + T_{c3}) = -\{(\eta_{02} k_{02} - \eta_{03} k_3) T_{a2} + \eta_{01} k_1 (\eta_{03} k_3 - 1) T_p\} = (\eta_{01} k_1 - 1) T_p$$

これらより、つぎの諸式を得る。

$$T_{a2} = \frac{\eta_{01} \eta_{03} k_1 k_3 - 1}{\eta_{03} k_3 - \eta_{02} k_2} T_p \quad (32)$$

$$T_{a3} = -\frac{\eta_{01} \eta_{02} k_1 k_2 - 1}{\eta_{03} k_3 - \eta_{02} k_2} T_p \quad (33)$$

よって、出力軸トルクは、

$$T'_q = -\eta_{03} k_3 T_{a3} = \frac{(\eta_{01} \eta_{02} k_1 k_2 - 1) \eta_{03} k_3}{\eta_{03} k_3 - \eta_{02} k_2} T_p \quad (34)$$

となる。

つぎに、式(15)によって、各ユニット内の損失動力を求めるには、 $P_{11} = (\eta_{01} - 1) T_p (\omega_p - \omega_{c1})$ 、

$$P_{12} = (\eta_{02} - 1) T_{a2} (\omega_{a2} - \omega_{c2})$$

$$P_{13} = (\eta_{03} - 1) T_{a3} (\omega_{a3} - \omega_{c3})$$

に式(28)、(29)、(32)、(33)を代入して、

$$P_{11} = \frac{(\eta_{01} - 1) k_1 k_2}{k_1 k_2 - 1} T_p \omega_p \quad (35)$$

$$P_{12} = \frac{(\eta_{02} - 1)(\eta_{01} \eta_{03} k_1 k_3 - 1) k_2}{(\eta_{03} k_3 - \eta_{02} k_2)(k_1 k_2 - 1)} T_p \omega_p \quad (36)$$

$$P_{13} = \frac{(\eta_{03} - 1)(\eta_{01} \eta_{02} k_1 k_2 - 1) k_3}{(\eta_{03} k_3 - \eta_{02} k_2)(k_1 k_2 - 1)} T_p \omega_p \quad (37)$$

となるが、これらの式により、まず η_{01} 、 η_{02} 、 η_{03} の判別を行ない、それらの値を確定することが必要である。系全体の効率 η を求めるには、以上の結果を用いて、式(22)～(24)に示すいずれかの方法によればよい。

なお、本例の諸式は、いろいろの構造の3K遊星歯車装置に適用される。

つぎに、これらに具体的な数値を投入して計算してみる。かなり極端な、効率の悪い例にするため、 $Z_{a1} = 18$ 、 $Z_{b1} = Z_{a2} = 43$ 、 $Z_{b2} = 104$ 、 $Z_{a3} = 42$ 、 $Z_{b3} = 103$ とする。

これより、 $k_1 = Z_{b1} / Z_{a1} = 43 / 18$ 、 $k_2 = Z_{b2} / Z_{a2}$

$=104/43$, $k_3 = Z_{03}/Z_{03} = 103/42$ の各伝達比を得る。これらを式(30)に入れて、減速比を計算すると、

$$i = 492$$

という甚だ大きい値となる。

つぎに、基準効率を決めるのであるが、やはり、式(5)および(6)による。 $\mu = 0.04$ として計算すると、

$$\varphi_1 = 0.0315, \quad \eta_{01} = 0.9685$$

$$\varphi_2 = 0.00546, \quad \eta_{02} = 0.9945$$

$$\varphi_3 = 0.00564, \quad \eta_{03} = 0.9944, \quad \eta_{03}' = 1.00567$$

をうる。この場合、歯のかみあい個所は、各ユニットとも1対だけであり、このうち、 η_{03} だけは各ユニット内の動力損失の値をすべて負にするために、その逆数 η_{03}' を用いる必要がある。そこで、式(35)～(37)により、

$$P_{11} = -0.0269 \quad T_p \omega_p$$

$$P_{12} = -0.214 \quad T_p \omega_p$$

$$P_{13} = -0.218 \quad T_p \omega_p$$

が求まる。これらによって、式(23)から効率を求めると、

$$\eta = \frac{T_p \omega_p + (P_{11} + P_{12} + P_{13})}{T_p \omega_p} = 0.54$$

という甚だ低い値となる。

なお、これは、式(24)により、式(31)に対する(34)の比 $\eta = T_g/T_p$ を計算しても同じ結果が得られる。

基準効率のどちらの値を用いたらよいかさえ、確定すれば、この計算の方が楽である。

4. む す び

基本形遊星歯車装置の一つを、1ユニットと考え、これを、図1(Ⅲ)に示すように記号表示すれば、複数個の遊星歯車装置を組合せた複合機構は、このユニットを連ねた回路図で表現でき、その回路図の経路にそって、基本式を適用して行くことにより、ほとんど機械的な計算の積重ねで、この機構の機能が判明するが、系の機械効率も、基本式に基準効率を適用すれば、上記のようにして計算できる。

最初に述べたように、遊星歯車装置は、その構成の仕方によっては、効率が甚だ悪くなる場合があるが、上の最後の計算例がそれに相当する。本例のような場合には特に、基準効率 η_0 の少しの違いが、系の効率の値を大きく左右する。つまり、式(5)の μ の大きさによって、効率にかなりな相違が生ずるのである ($\mu = 0.03$ とすれば、 η は61%、 $\mu = 0.05$ のときは、 η は48%となる)。いずれにしても、当然のことながら、歯車の歯の表面を、できるだけ平滑に仕上げ、潤滑を十分にすることは、効率向上のために必要であることが、以上の計算からも、認め

文

献

- (1) 阿野春二, 奈良高専研究紀要, 第13号, (昭52) 1
- (2) 阿野春二, 日本設計製図学会誌, Vol14, No68 (1979), 17
- (3) 仙波正荘, 歯車10巻, (昭42), 3837 日刊工業新聞社
- (4) 矢田恒二, 機械の研究, Vol21, No8, (1969) 39
- (5) 矢田恒二, 応用機械工学, 7月号, (1968), 38
- (6) 両角宗晴, 機械の研究, Vol27, No6, (1975), 42
- (7) 両角宗晴, 機械の研究, Vol29, No8, (1977), 44
- (8) 矢田恒二, 日本機械学会誌, Vol71, No590, (1968), 76

マシニングセンタの最適工程設計

大 橋 和 正

Optimum Process Design for a Machining Center

Kazumasa OHASHI

Problems treated in this paper are to find a method for determining the optimum sequential operations of tools for a machining center, and to determine the optimum cutting conditions for each operation.

Using the zero-one linear programming, a mathematical model in sequential operations is constructed for a maximum production rate. The nonlinear programming method called Kuhn-Tucker Condition is also used to determine the optimum cutting conditions, when the solution is restricted by three inequality constraints.

These optimizing methods are effective in process design, and these computational algorithms are developed.

1. 緒 言

近年生産工程にNC工作機械群とりわけマシニングセンタのごとき多機能を有する工作機械が適用されるようになると、それに対応できる工程設計が強く望まれる^{1)~4)}

そこで、従来の単一機能工作機械における最適工程設計問題を拡張し、個々の最適化から経済性を考慮した全般的な最適化へと解析方法を転換しなければならない。

本研究においては、このような観点からマシニングセンタに関して、最大能率基準（1個の製品を単位時間当たり最も多量に製作する基準）の下で加工順序の最適決定を行なうと同時に最適加工条件も決定できる最適化アルゴリズムを提案する。

2. 基本モデル

2.1 前 提

マシニングセンタの工程設計にあたって、次の前提をおく。

- 1) 自動工具交換装置（ATC）を備えた1台の多機能数値制御工作機械であるとする。
- 2) 送り量，切削速度は連続変数として取扱いが可能であるとする。
- 3) 可能切削長行列は，一義的に決定できるものとする。

2.2 可能切削長行列

マシニングセンタにおける加工順序とは、そこで使用する工具の順序付けであり、その一つ一つの加工を「工程」と名付けておく。そして各工程の先行関係も考慮して可能切削長さを行列表示する(表1)。もし工程 k が工程 l に先行するならば、 L_{lk} は「-」と行列中に記入する。

表1 可能切削長行列

i \ j	1	2	3	...	N
0	L_{01}	L_{02}	L_{03}	...	L_{0N}
1	-	L_{12}	L_{13}	...	L_{1N}
2	L_{21}	-	L_{23}	...	L_{2N}
3	L_{31}	L_{32}	-	...	L_{3N}
...	...	...	...	...	...
N	L_{N1}	L_{N2}	L_{N3}	...	-

L_{ij} : 工程 j の前工程を i と

したときの切削長さ

2.3 目的関数

評価基準としては、最大能率基準、最小費用基準等いろいろあるがここでは単位時間当たり製品を最も多量に製作する最大能率基準(最小時間基準)を考える。

そのときの生産時間 T は次式で与えられる。

$$T = \sum_{k \in A} T_k(f_k, v_k, L_{ik}) \quad (1)$$

ただし、 A はフライス工程、ドリル工程等からなる工程集合とする。 T_k は第 k 工程における切削時間で送り量 f_k 、切削速度 v_k 、切削長さ L_{ik} の関数である。

2.4 制約条件

生産上の制約として次の三つを考える。

1) 送り量制約

$$0 < f_k \leq a_0 \quad (2)$$

2) 切削速度制約

$$0 < v_k \leq b_0 \quad (3)$$

3) 切削力制約

$$0 < f_k^\alpha \cdot v_k^\beta \leq \gamma \quad (4)$$

ただし、 a_0 、 b_0 、 α 、 β 、 γ は定数である($\alpha \neq \beta$)。

2.5 最適解の誘導

このようにして制約条件式(2)~(4)の下で、式(1)を最小化する。

T_k は単調減少関数となり、その最適化は各工程で独立に行なえばよい。解法はクーン・タッカーの条件を適用する。従って、

$$T_0 = T_k(f_k, v_k, L_{ik}) \Big|_{L_{ik} = \text{const.}}$$

$$\frac{\partial T_0}{\partial f} - \lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial f} - \lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial f} - \lambda_3 \frac{\partial g_3}{\partial f} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial T_0}{\partial v} - \lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial v} - \lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial v} - \lambda_3 \frac{\partial g_3}{\partial v} = 0 \quad (6)$$

$$\lambda_1 g_1 = 0, \quad g_1 = a_0 - f \geq 0 \quad (7)$$

$$\lambda_2 g_2 = 0, \quad g_2 = b_0 - v \geq 0 \quad (8)$$

$$\lambda_3 g_3 = 0, \quad g_3 = \gamma - f^\alpha \cdot v^\beta \geq 0 \quad (9)$$

ここに、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 はラグランジュ乗数。
以上より、解として

$$\begin{aligned} 1) & \begin{cases} f^* = \gamma^{1/\alpha} \cdot b_0^{-\beta/\alpha} \\ v^* = b_0 \end{cases} & 2) & \begin{cases} f^* = a_0 \\ v^* = \gamma^{1/\beta} \cdot a_0^{-\alpha/\beta} \end{cases} \\ 3) & \begin{cases} f^* = a_0 \\ v^* = b_0 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

が得られる。

2.6 切削時間 T_k の定式化

フライス、ドリル、リーマ工程におけるそれぞれの切削時間は、次のように示される。

1) フライス加工時間 (min.)

$$T_m = \frac{\pi D_m (L_{im} + l_m)}{1000 f_m z_m v_m} \quad (11)$$

2) ドリル・リーマ加工時間 (min.)

$$T_d = \frac{\pi D_d \cdot L_{id}}{1000 f_d v_d} \quad (12)$$

ただし、 D : 切削工具径(mm)、 L : 切削長さ、加工穴の長さ(mm)、 l : 付加送り長さ(mm)、 f : 1刃あたりの送り(mm/tooth)、1回転あたりの送り(mm/rev)、 z : フライス刃数、 v : 切削速度(m/min)とする。

2.7 加工順序の決定

式(10)で求めた解を式(11), (12)に代入することにより, 各工程での加工時間が切削長さ L_{ik} の関数となる。

そこで, 最初に表1.で求めた可能切削長行列から加工時間を最小にする最適加工順序と各工程における切削長さ L_{ik} が求められる。

その解法として, 0-1型変数 X_{ij} を導入する。

$X_{ij}=1$ のとき工程が i から j に移行することを示し,
 $X_{ij}=0$ のときは i から j に移行しないことを示す。

従って, 次式の条件を満足すればよい。

$$X_{ij}=0, 1 \quad (i, j=0, 1, 2, \dots, N, i \neq j, j \neq 0) \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0j} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{i+j} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i+j} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (16)$$

$$u_i - u_j + N X_{ij} \leq N - 1 \quad (17)$$

($1 \leq i \neq j \leq N, u_i, u_j$ は任意定数)

式(13) - (17)の制約条件の下で,

$$\sum_{j=1}^N T(L_{0j}) \cdot X_{0j} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T(L_{ij}) \cdot X_{ij} \quad (18)$$

の最小化から最適加工順序が決定される。

これらは, 巡回セールスマン問題と類似であり, ここでは0-1線形計画法を適用する。そして, 最適解の算出方法は, 代理制約を導入して解の収束を速めるGeoffrionとBalasの方法を利用する。⁵

3. 最適化アルゴリズム

以上より最大能率基準(最小時間基準)の下で加工順序の最適決定, 並びに最適加工条件を決定するブロックチャートを図1に示す。

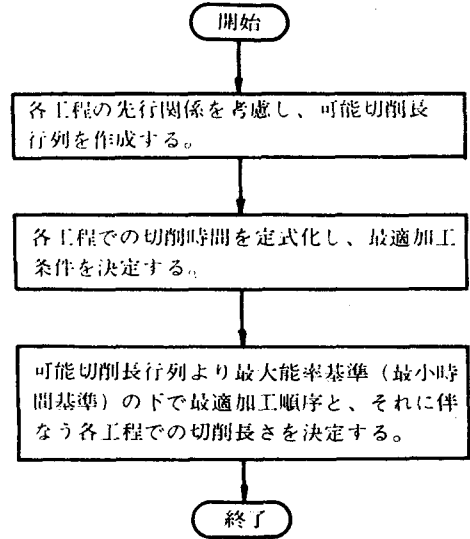


図2 最適化アルゴリズムのブロックチャート

従って, その最適化アルゴリズムは以下になる。
(ステップ1)

式(11), (12)より各工程に用する加工時間を定式化し, ステップ2へゆく。

$$T = \frac{\pi \cdot D \cdot (L_{ij} + l)}{1000 f \cdot z \cdot v}, \quad T' = \frac{\pi \cdot D \cdot L_{ij}}{1000 \cdot f \cdot v}$$

(ステップ2)

式(2) - (4)の制約条件式の下で式(11), (12)を最小化するためにクーン・タッカーの条件を利用し, 次の可能解を得る。

$$\begin{cases} f^* = \gamma^{1/\alpha} \cdot b_0^{-\beta/\alpha} \\ v^* = b_0 \end{cases} \quad \begin{cases} f^* = a_0 \\ v^* = \gamma^{1/\beta} \cdot a_0^{-\alpha/\beta} \end{cases} \quad \begin{cases} f^* = a_0 \\ u^* = b_0 \end{cases}$$

ステップ3へゆく。

(ステップ3)

ステップ2で得られた最適解(f^*, v^*)を, 式(11), (12)に代入し, 加工時間を切削長さ L_{ij} のみの関数とする。

$$T = T(L_{ij})$$

ステップ4へゆく。

(ステップ4)

工程の先行関係も考慮した可能切削長行列(表1)に
0-1 線形計画法を適用し、最適加工順序を決定する。

$$\text{Min.} \left[\sum_{j=1}^N T(L_{oj}) \cdot X_{oj} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{i+j} T(L_{ij}) \cdot X_{ij} \right]$$

同時に各工程での切削長さも決定できる。

4. 結 言

本研究では、マシニングセンタのごとき多機能を有する工作機械の最適工程設計に関する研究を行ない、次の結果を得た。

- (1) マシニングセンタにおける加工順序の決定では、各工程での可能切削長さを行列表示することにより解析を行なった。
- (2) 加工順序の決定モデルでは、0-1線形計画法を、加工条件の決定モデルではクーン・タッカーの条件を適用することにより解析を行なった。
- (3) マシニングセンタの工程設計に適用可能な最適化アルゴリズムを作成した。

終わりに本研究について終始御指導くださった大阪大学工学部人見勝人教授に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- (1) 井上, 本多他: マシニングセンタ加工シーケンスの自動決定システム, 機械学会誌, 78, 675(1975).
- (2) 岸浪, 吉田他: 多段機械加工システムにおける加工手順の決定, 精密機械, 41, 6(1975).
- (3) 人見, 中村: 生産モデルの解析 (単一多能生産設備における工期制約を考慮した最適生産速度の解析), 経営工学会誌, 27, 1(1976).
- (4) K.Hitomi, N.Nakamura, H.Tanaka: An Optimization Analysis of Machining Center, an ASME publication, 76-WA/Prod-34.
- (5) Geoffrion, A.M.: Integer Programming by Implicit Enumeration and Balas' Method, SIAM, Review, Vol. 9, No. 2, April (1967).

ねじ旋削断続法に関する研究

A Study on The Intermittent Method in Screw Cutting

加 賀 勝 也 ・ 大 橋 和 正

奥 島 啓 武*

Katsuya KAGA, Kazumasa OHASHI

and Keiji OKUSHIMA

ねじ旋削は時間がかかるので間接時間を短縮する必要があるが、そのために往復台を早く戻そうとすると、連動法[†]では往復台の運動エネルギーを親ねじで吸収する欠点がある。その欠点のない断続法^{††}で行なうと、ハーフナットを親ねじにかみ合わせる時期を検出するときの疲労の問題および待ち時間を生ずる問題がある。そこで本研究は、断続法について自動化によってこれらの問題を解決することを試み、さらに圧縮空気の力で往復台を早戻りすることを試み、その場合の往復台の挙動をストローク速度線図上で考察して、実用化に際しての留意点を明らかにしようとするものである。

1. 緒 言

ねじ旋削における間接時間の短縮について、往復台の早戻りを考える場合に、断続法^{††}では、連動法[†]のように戻り行程のおわりでの往復台の運動エネルギーの親ねじによる吸収の問題はないが、待ち時間を生ずる問題および作業者の疲労の問題が存在する。そこで、本研究では、これらの問題の解決を目指す装置を作り、その装置について戻り行程での往復台の挙動を調べて、実用化への手がかりを得ることを目的とする。

2. 実験装置

往復台の縦方向の運動を行う場合に、ねじ切削行程では、親ねじにハーフナットをかみ合わせる通常の方法によって往復台を移動させるが、戻り行程では、空気シリンダ内のピストンと往復台とを連結し、圧縮空気の力を

利用してピストンを押すことにより、往復台をねじの切りはじめの位置まで早戻りをさせる。これらの動作を、リレー回路を使い、電磁弁の開閉によってシーケンス制御を行う。また、往復台の戻り行程の終りに空気ダンパを設け、往復台の運動エネルギーの吸収を試みる。さらに、待ち時間の短縮のために、往復台がねじの切りはじめの位置に到着するや、ハーフナットかみ合わせ時期までの余裕を判断して、余裕があれば親ねじを高速に回転して、かみ合わせ時期の少し手前で低速に切換え、切削体勢を整えてからハーフナットをかみ合わせることを試みる。

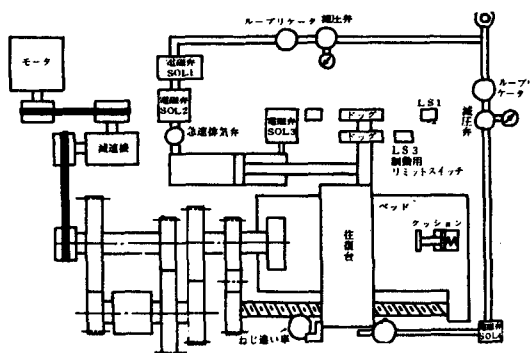


図1 実験装置の略図

* 京都大学工学部 名誉教授

† 往復台の戻り行程においても、切削行程のようにハーフナットを親ねじにかみ合わせたままで戻す方法

†† 往復台の戻り行程において、ハーフナットを親ねじからかみ合いを外して戻し、毎回ねじの切りはじめの位置で、かみ合わせる時期を検出する方法

また、往復台の戻り行程において、停止位置の少し手前でシリンダ内の供給側の空気を急速に抜くと同時に、排出側の弁を一時的に閉じて往復台の戻り速度を減らしてから、弁を開いて大気開放し、クッションにぶつかる力を弱めてクッションのバネによるはねかえりを少なくすることを試みる。

これらの実験装置の概略図を図1に、また、その空気圧回路図を図2に、さらに制御回路図およびタイムチャート図をそれぞれ図3、4に示す。これらの図において、CRはリレー、TR1・TR2はそれぞれバイト切込みと寄せ時間設定用およびバイト切上げ時間設定用のタイムリレーである。また、EMC1・EMC2・EMC3はそれぞれ動力伝達用・高速回転用・低速回転用の電磁クラッチである。また、MP1およびMP2は、それぞれハーフナットかみ合わせ時期および親ねじ回転速度切換え時期の検出用光電スイッチである。

図5は検出装置の原理図で、MP2がB部を検出していると親ねじは高速回転をして待ち時間を短縮するが、切欠きA部が回ってくると電磁クラッチが切りかわって親ねじは低速回転には入って切削体勢を整え、A部の終端までくるとMP1が切欠きを検出してハーフナットを

かみ合わせ、ねじ切削状態にはいる。⁽¹⁾

さらに、SS2はSOL2への通電を断ち、常時ハーフナットを外しておくためのスイッチである。

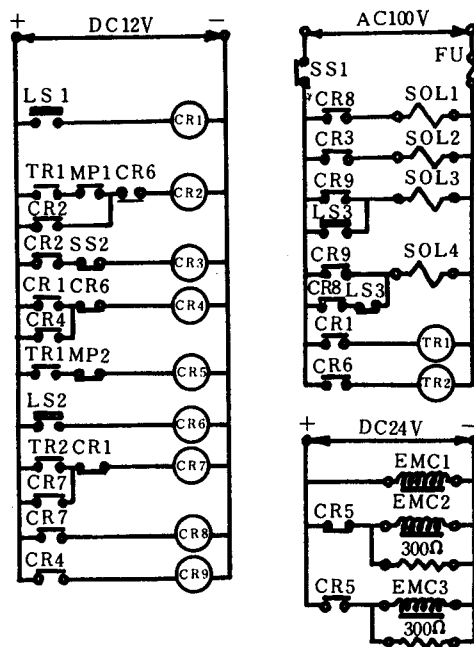


図3 実験装置の制御回路図

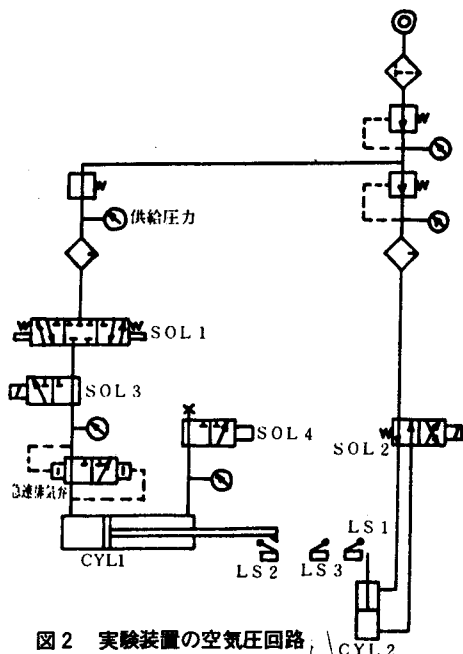


図2 実験装置の空気圧回路

(切削時にはCYL1の両室を大気に開放してピストンが自由に動くようにする)

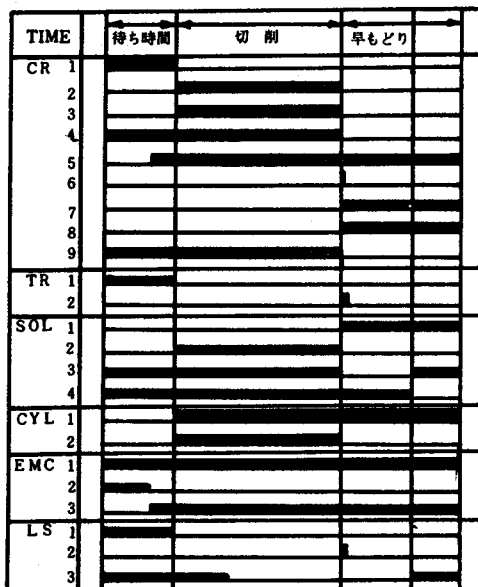


図4 本装置のタイムチャート

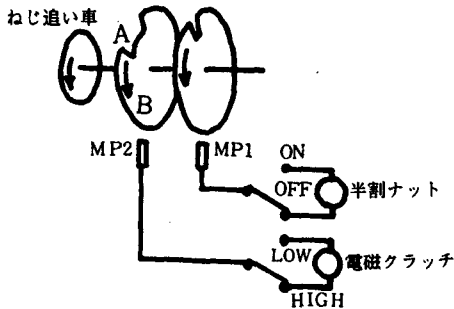


図5 検出装置の原理図

3. 実験方法

空気シリンダへの供給圧力・往復台の重量・シリンダ内径のそれぞれの大きさを変えて、往復台の戻り行程における挙動に及ぼす影響を、距離-速度曲線を描くことによって考察する。

なお、往復台の移動距離はポテンショメータにより、また、移動速度はジェネレータによって、それぞれ電圧に変換し、シンクロスコープ、2ペンレコーダによって記録する。

4. 実験結果・考察

実験の結果、戻り行程における往復台の挙動について的一般特性は、図6に示すようになった。図は戻り時の往復台の移動距離と移動速度との関係を表わしている。A点は往復台の移動開始位置、また、B点は往復台の最終停止位置、さらにC点・D点はそれぞれ往復台の最大到達位置および最高速度を示す。

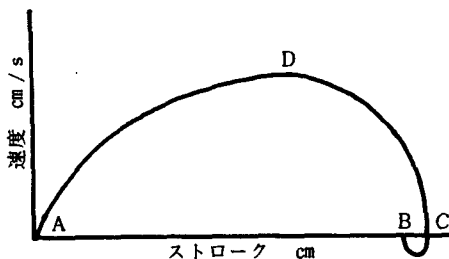


図6 往復台移動距離-速度線図

4.1 供給圧力の変化による影響(図7)

供給圧力を高めると、最高速度が大きくなるとともに、その位置が最終停止位置に移動し、立上りもよくなっている。

4.2 負荷による影響(図8)

ここでいう負荷とは、往復台上におもりをのせたとき、そのおもりの重量のことで、これを0kg, 4.0kg, 7.7kgと変化させる。いずれの場合でも、立上り時ではほとんど変化はなく、変化は減速時に現われている。

負荷を変えたとき、摩擦力と慣性力との変化が予想されるが、図8ではどちらがどの程度に影響を及ぼしているかはわからない。そこで、摩擦力の変化のみの影響を調べるために、往復台と案内面の間の潤滑油の有無の場合について、往復台の挙動を調べたものが、図9である。これをみれば、摩擦力の変化が往復台の挙動に与える影響は非常に少なく、往復台の減速時に慣性が大きく作用していて、負荷が増すとクッションに与える運動エネルギーは大きくなる。すなわち、往復台を軽くすれば、減速に対して有利になる。

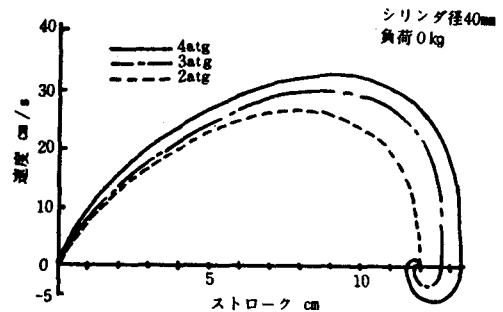


図7 供給圧力の変化による影響

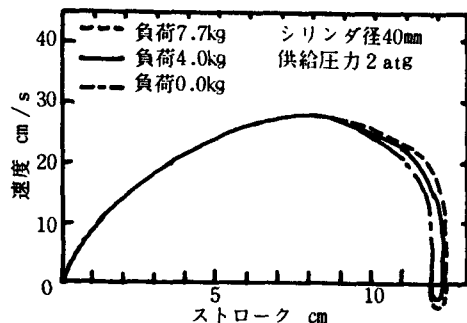


図8 負荷による影響

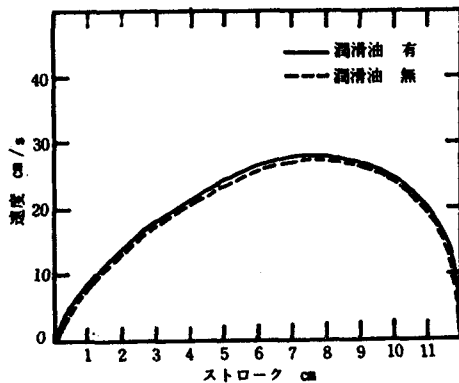


図9 潤滑油の有無による影響

4.3 シリンダ径の変化による影響

表1はシリンダ径を変化させたときの戻り時における各速度の値を示している。

図10より、シリンダ径が大きくなると、ピストンにかかる力が大きくなるので、やや立上りがよくなっている。また、単位ストローク当りの空気吐出量が多くなるため、吐出口の抵抗が増加し、シリンダ内の排出側圧力の増加割合が大きくなる。ゆえに、シリンダ径が63mmでは早い時期に減速が始まっている。ところが、シリンダ径が40mmの場合には、他の2つの場合とくらべて減速開始点が最終停止位置の方へ近づいている。これは、吐出口の抵抗による影響よりも、ピストンにかかる力の影響が大きいため、停止平均速度は他の2つの場合よりも大きい。すなわち、シリンダ径については、停止平均速度を最大にする適切な大きさのものがある。

5. 結 言

本実験装置によって、以下の成果を得た。

- (1) 往復台の運動エネルギーを空気ダンパによって吸収させ、親ねじに負担をかけないようにすることが出来た。
- (2) 往復台の縦方向の運動を比較的簡単なリレー回路によって自動的に行い、作業者の疲労の問題を解決することが出来た。
- (3) 往復台の平均もどり速度が、手動によるもどり速度(約7cm/s)およびNC旋盤での速度(見本市での調査結果では約12~15cm/s)にくらべても早く、間接時間の短縮ができた。
- (4) 高速低速切換え時期検出装置と待ち時間短縮装置により、待ち時間を短縮することが出来た。

また、高速から低速へ切換えてハーフナットかみ合

表1 シリンダ径に対する各速度

(供給圧2atg, 負荷0kg)

シリンダ径 mm	最高速度 cm/s	到達平均速度 ※ cm/s	停止平均速度 ※※ cm/s
28	24.0	21.4	18.2
40	27.7	24.2	19.2
63	16.5	18.6	13.4

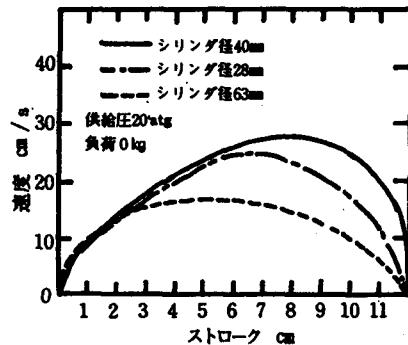


図10 シリンダ径による影響

わせ時期を待つため、ハーフナットのかみ合わせが支障なく行えるようになった。

- (5) ハーフナットかみ合わせ時期検出装置により、同種異種ねじ切りなどねじの種類に制限なく、ハーフナットかみ合わせを自動的に行うことが出来た。
- (6) ストローク設定用リミットスイッチを移動させることにより、任意のねじ切り長さに対しても、ねじ旋削を自動的に行えるようにすることが出来た。

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

文 献

- (1) 加賀：奈良高専研究紀要，第14号（昭53），8。

※ 到達平均速度： 往復台の移動開始から最終停止位置に最初に到達するまでの平均速度

※※ 停止平均速度： 往復台の移動開始から停止までの平均速度

* 谷口尚司, 西田泰久, 橋本清司, 虎杖正三,
廣瀬重典, 松地 修, 奈葉真二, 岸上和嗣,
近藤正一, 住吉賢治, 福井雅清.

切りくず形状に及ぼす旋削条件 の影響について

田 中 義 雄

The effects of cutting conditions on shape
of chip in turning of steel.

Yoshio TANAKA

本論文においては、切りくず生成の状態を調べるにあたり、切りくずのカール半径および流出角が切削条件および刃先形状を変えることにより、どのように変化するかを実験的に調べた結果を記述することにした。

- (i) 切りこみを大きくすることにより、切りくずのカール半径は増加する傾向を示すが、流出角は小さくなる。すなわち、工作物の軸線に近づくように流出する。
- (ii) 送りの小さい範囲では、スプリングバックの影響は大きく、チップブレイカになじまず、カール半径はかなり大きい。送りの増加と共にチップブレイカにフォームされ、ある限度を越すと分断型となる。また、流出角は送りの増加とともにわずかながら増加の傾向を示す。
- (iii) ノーズ半径の増加につれ、カール半径および流出角はともに増加する。
- (iv) 横切れ刃角の大きいほど、カール半径および流出角は大きくなるが、切りくず処理の立場からは横切れ刃角は小さいほど望ましい。

1. 緒 言

最近の切削加工技術の動向をみると、自動機械の進出が目ざましく、作業能率も向上しているなかで、切りくず処理の問題が大きく浮び上がってきた。その理由としては、高価な自動制御方式をとりいれた工作機械が採用され、省力化に努力されている反面、切りくず処理のために従業員を減らせないといった実情にあるようだ。

この切りくず処理の問題は一般に切りくず形状が不規則で不安定であって、やっ介な場合が多く、同一条件で削っていても切削点近傍では塑性状態になっており、わずかな力に加わっても、せん断すべりの方向が変化し、時間の経過とともに刃先角度の変形や温度変化のためにたえず変化するものである。

この変化しやすい不規則な切りくずも、基本的には、各瞬間の条件に対応した定常的な切りくずの組合せと考えられる。この定常的な切りくずの一般形は、らせん形であって、これを決定する三つの独立量としては、つぎの項目があげられる。⁽¹⁾

- (i) 上向きカールの曲率半径

- (ii) 横向きカールの曲率半径

- (iii) 切りくずの流出角

そこでこれらの量が、切削条件や工具の刃先形状によってどのように影響されるかを検討することにした。

なお、使用した工具にはチップブレイカが施こされているので、切りくず形状がチップブレイカによってどのように変形するか、あわせて調べることにした。

2. 実験方法

2.1 使用機械および工具

本実験に使用した旋盤は三菱精密高速旋盤(5 Kw)で、心高は175mm、心間距離は700mm、使用した工具は、スローアウェイ形クランプ式超硬合金工具でいずれも平行型溝つきチップブレイカを設けている。材質はP20(図3.参照)

2.2 使用材料

被削材として使用した材料はS35Cでその化学成分および機械的性質を表1に示す。

被削材の長さは500mm、直径は50~65mmの丸棒でい

れも焼鈍しずみのものを使用する。

表1 被削材の化学成分と機械的性質

	成 分 (%)							硬 度 (H_v)	引張強 (kg/mm^2)
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr		
S35C	0.37	0.3	0.57	0.02	0.015	0.15	0.13	170~175	70~75

2.3 実験要領

使用した切削工具のノーズ半径は0.2, 0.4 (TNJA 331型), 0.8 (TNJA 432型)mmの3種類でいずれも軽くホーニングが施こされている。バイトの横切れ刃角は 0° (0.2, 0.4mm), 15° , 30° , 45° (0.8mm)の4種類で切削条件は表2に示す。

表2 切 削 条 件

	適 用 範 囲
切 込 み (mm)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0
送 り (mm/Rev)	0.12 ~ 0.54
切 削 速 度 (m/min)	70 ~ 80

3. 実験結果ならびに考察

3.1 切りくずのカール方向について

切りくず形状を決定する第一の因子としてまずカール半径があげられる。3次元切削の場合、切りくずカールはふつう2つの方向に分けて考えられる。すなわち、

- (i) 上向きカール (ii) 横向きカール

図1は流出角 $\eta=0$ の場合に、上向きカール($1/\rho_x$)と横向きカール($1/\rho_z$)の組合せに応じて切りくずの形が、円筒 $\rightarrow$ 円すい $\rightarrow$ 円板と変化することを示す。

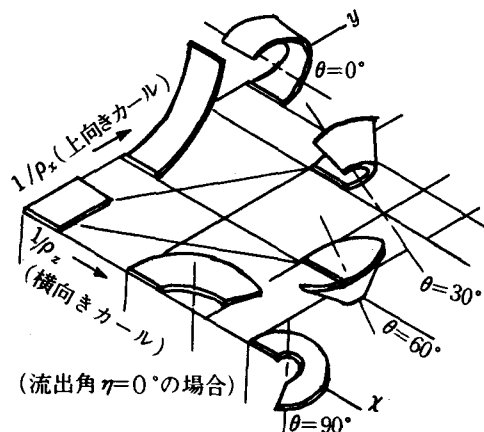


図1 上向きおよび横向きカールの組合せ。

また図2は流出角 $\eta=15^\circ$ とした場合のもので、流出角がある一定のピッチをもたせん形になることを示す。(ただし $1/\rho_x=0$ ではピッチも0である。)

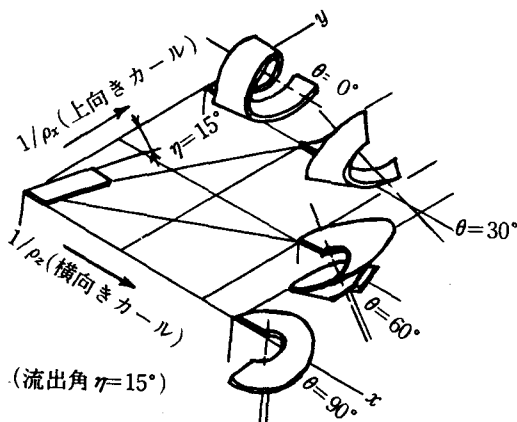


図2 上向きおよび横向きカールの組合せ。

一般に上向きカールの原因としては

- (a) チップブレーカ……切りくず流出円半径。
(b) 構成刃先。 (c) 二次流出。
(d) クレータ摩耗。

横向きカールの原因としては、

- (a) Side Flow ……高送り切削の場合。
(b) 副切れ刃の干渉……一般の切削では横切れ刃が主切れ刃となるが、ノーズ部や前切れ刃も若干切削に参与する場合。
(c) こう配ランド付バイトによる場合。²⁾

3.1.1 切りくずカールの曲率半径について。

工具刃先にチップブレーカの有無により当然切りくず形状は変るものと思われるが、図3は使用した工具のチップブレーカの形状と寸法を表わす。

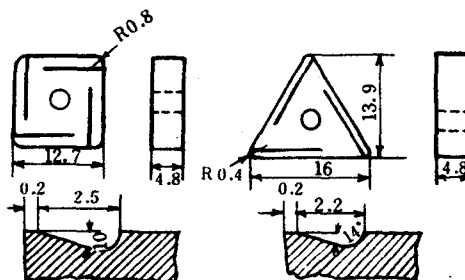
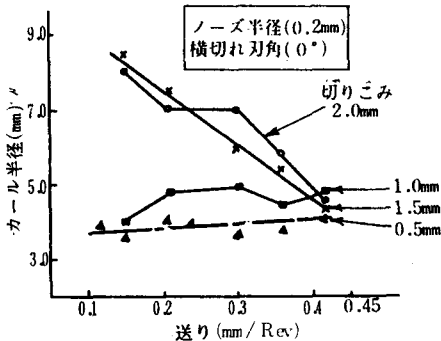


図3 チップブレーカの形状と寸法

図4はバイトのノーズ半径が0.2mm、横切れ刃角は0°、切削速度は70m/minで一定とし、前記切削条件のごとく、送りと切りこみを変えた場合、らせん形切りくずの外形を測定した結果を示すものである。



〔図4 送り、切りこみを変えた場合の切りくずカール半径〕

この場合送りが0.1mm/Rev以下においては、切りくずのフォーミングが非常に困難であって曲率半径がかなり大きくしかも不規則な状態となる。また送りが0.4mm/Rev以上においては、切りくずは半円状(半巻きまたは一卷)に分断され、曲率半径の測定は困難となる。

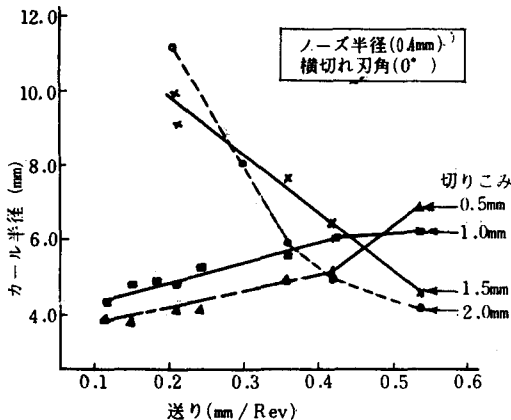


図5 送り、切込みを変えた場合のカール半径

図5はバイトのノーズ半径が0.4mmで横切れ刃角は0°、切削速度は70m/minで一定とし、前記と同様、送りと切込みを変えた場合の切りくずカールの曲率半径の変化の様子を示すものである。

この場合も前者と同様、送りが0.1mm/Rev以下で

は切りくず形状はうまくフォーミングされず、不規則な形状になりがちである。また送りが0.54mm/Rev以上では切りくずは細かく分断され、曲率半径の測定は困難となる。

図4と5を比較して、両者に共通していることは、切込みが0.5および1.0mmにおいては、送りの増加と共に切りくずの曲率半径が、わずかながら増加していること、また切込みが0.5mmより1.0mmの方が全般的に曲率半径が大きくなっていることである。

その理由として考えられることは、この範囲の切りくずは比較的温度低下が早く降伏応力が大きくなってフォームされることになる。また切込みが小さいと切りくずの流出方向がバイトの柄の方向に傾き、一度工作物外周に接触し、それが工作物の回転のために下方におし下げられ、さらにバイトの逃げ面に当り、ねじ状切りくずとなり、数回もしくは十数回巻いた後に切断される。

次に切り込みが1.5および2.0mmのところでは、送りの小さいところでは曲率半径が大きく、送りが大きくなるほど曲率半径が小さくなっている。

その理由の一つとしては、送りの小さい範囲では、切りくず厚みはうすく、スプリングバックの影響が大きいためと考えられる。³⁾

また切込みが大きく、送りのあらいところでは切りくず温度はかなり高いため、フォーミングが行われやすく比較的曲率半径は小さいものと思われる。

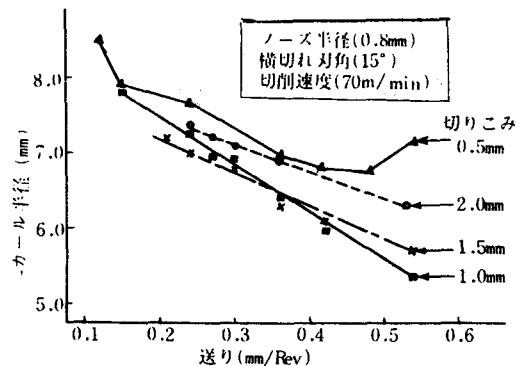


図6 送り、切り込みを変えた場合のカール半径

図6はバイトのノーズ半径が0.8mmで切削速度が、70~100m/minで横切れ刃角が15°の場合で、前二者と同じく、切りこみ、送りを変えた場合の切りくずカールの外径を測定した結果を示す。

この場合は前二者と異なり、切込み深さの如何にかか

わらず、送りの増加につれて曲率半径は次第に減少している。送りの小さい範囲では、切りくず厚みがうすく、スプリングバックの影響が大きくフォーミングされにくいと思われる。送りの増加につれ、切りくず温度は比較的高く、チップブレイカによりフォームされるが、さらに送りの増加と共に切りくずは分断されるようになる。なお、この形状のチップでは切りくずはコイル状にフォームされる傾向が強く、工作物外周への接触が弱まり、あまり下方へ下げられなくなり、切りくずはバイトの逃げ面には当らず、すくい面上を連続的に流出する。

なお、図4, 5, 6を通して共通的に言えることは、ノーズ半径の大きいほど曲率半径が大きく、送りが0.1 mm/Rev以下ではスプリングバックの影響が顕著にあらわれている。また送りの大きいところでは切りくずが細かく分断されるに致る。

つぎにはほぼ中間的な送りでは、チップブレイカによってフォームされるわけであるが、それによって与えられる上向きカール半径 ρ_x は近似的には図7に示す通りである。

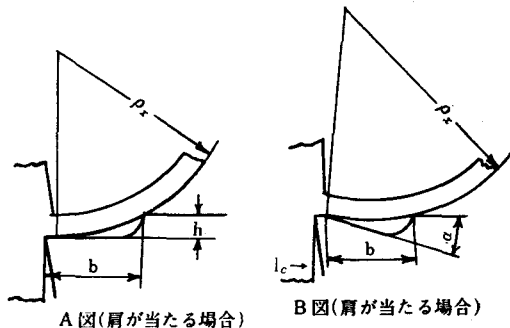


図7 切りくず流出円半径 (ρ_x)

次に、上向きカール半径 ρ_x は切りくず流出半径にほぼ等しく、チップブレイカの形状に応じてそれぞれ次式によって計算される。

$$\text{A 図については } \rho_x = \frac{(b-l_c)^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

$$\text{B 図については } \rho_x = \frac{b}{2\sin\alpha}$$

今回の実験に使用したチップブレイカはB図の方である故、この式にチップブレイカの各寸法を代入して計算すれば、TNJA 432型に対しては

$$\rho_x = \frac{b}{2\sin\alpha} = \frac{2.5}{2\sin 10^\circ} = \frac{2.5}{2 \times 0.1745} \doteq 7.2 (\text{mm})$$

図6においてカール半径が7.0~7.5のところはかなり密集している。

またTNJA 331型に対しては

$$\rho_x = \frac{b}{2\sin\alpha} = \frac{2.2}{2\sin 14^\circ} = \frac{2.2}{2 \times 0.2433} \doteq 4.54 (\text{mm})$$

図5において切りこみ深さのいかにかわらず、カール半径が4.5~5.0のところに密集していることからこの計算値は実測値にかなり近いものといえる。

3.2 切りくずの流出方向について

切りくずの流出方向については、2次元切削では切れ刃と直角方向に流出するものであるが、一般の切削加工では、切れ刃が一つの直線ではなく、二つまたはそれ以上の直線や曲線から成り立っているからその流出方向はかなり複雑なものとなる。切りくずの流出方向は、単に切削抵抗に関係するだけでなく、切りくず処理性に大いに関係するものであるが、これに関して今までに分っていることは、次の三事項ぐらいであろう。

(i) Stabler の法則

一つの直線切れ刃をもつバイトを切れ刃に直角な方向から傾斜角(i)だけ傾けて削る場合、切りくずはすくい面上を切れ刃と直角な方向から流出角(η)だけ傾いた方向に流出するものである。すなわち($\eta = i$)流出角は切れ刃の傾斜角に等しい。⁽⁴⁾

(ii) Colwell の近似。

一般の切削では、横切れ刃が主切れ刃となるが、その他にノーズ部や前切れ刃も切削に関与することが多い。これらの各切れ刃からでる切りくずは相互に力とモーメントを及ぼし合いながら一体となって流出するが、この相互干渉が流出角を変化させるだけでなく、横向きカールの原因となる。これに関してはいくつかの解析的な研究があるが、Colwellはつぎのような近似的関係を示した。⁽⁵⁾

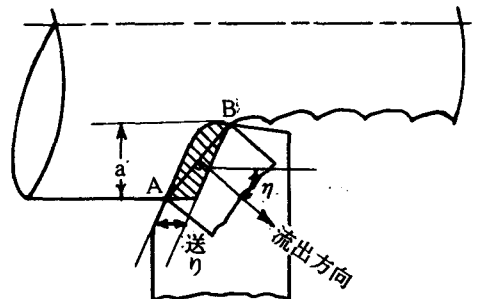


図8 切りくずの流出方向に関するColwellの近似

すなわち図8のような切削では、切削に關与する切れ刃の兩端A Bを結ぶ直線と直角な方向に切りくずは流出するというものである。

(Ⅲ) エネルギー最小説。

3次元切削を支配する原理の一つとして臼井氏らは、切りくずは切削エネルギーを最小にするような方向に流出するというものの存在を確かめた。⁽⁶⁾

3.2 切削条件と切りくずの流出角

使用したバイトは前記のスロアウェイ方式の超硬合金バイトであって、切込みは0.5, 1.0, 1.5, 2.0mmの4種類、送りは0.12~0.54 mm/Revの間を変化せしめ、切削速度は70~80m/min, また横切れ刃角は0°, 15°, 30°, 45°に変え、ノーズ半径は0.2, 0.4, 0.8mmの3種類に変化させてその流出角を測定した結果を図9~図12に示す。

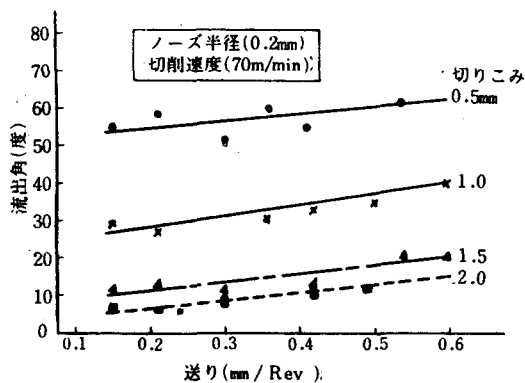


図9 送り, 切りこみを変えた場合の流出角

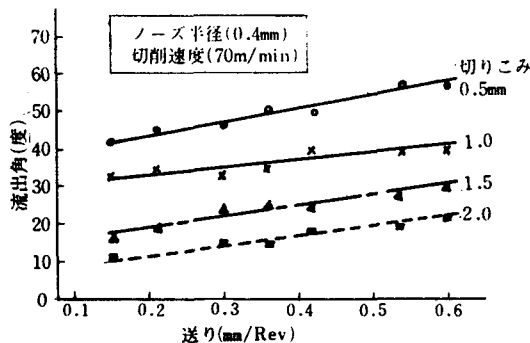


図10 送り, 切りこみを変えた場合の流出角

図9は切削速度は70m/min, ノーズ半径が0.2mmの一定とし、切込み, 送りを前記のように変化させてその流出角を測定した結果を示す。

まず切込みについていえば、切込みが大きくなるほど、切りくずは常に加工物の軸線に近く流出し（流出角は小さい）、この影響はかなり顕著である。また送りが大きくなるにつれ流出角はほぼ直線的に大きくなるが、その影響は切込みほど顕著ではない。

図10はバイトのノーズ半径が0.4mmで、切削速度は70 m/minで一定とし、図9の場合と同様、切込み, 送りを変えた場合の流出角の測定結果を示す。

このグラフから分るように前者と大体同じような傾向を示すが、ただノーズ半径が大きくなっただけ、流出角も全般的に大きい値を示している。

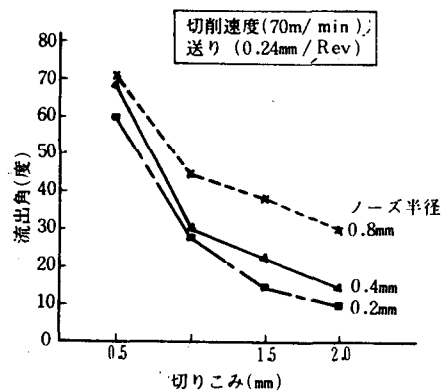


図11 ノーズ半径と切りこみを変えた場合の流出角

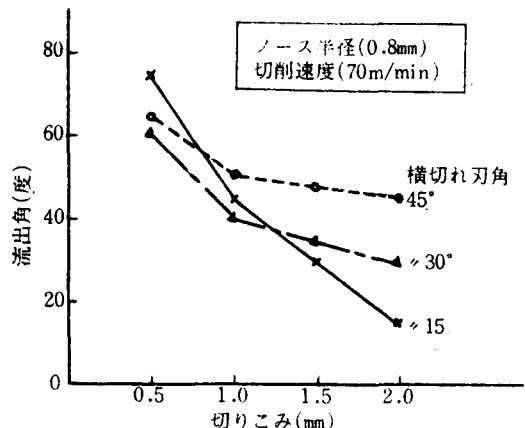


図12 横切れ刃角を変えた場合の流出角

図11はバイトのノーズ半径がそれぞれ0.2, 0.4, 0.8mmの場合の流出角の測定結果を比較した図表であるが、これからわかることはノーズ半径が大きいほど、流出角も大きくなることを示している。

その理由として考えられることは、切込みが大きくて主として横切れ刃のみで切削される場合、切りくずは横切れ刃に直角に、すなわち加工物の軸線に平行に流出するが、ノーズ半径が大きくなるほど、ノーズ部および前切れ刃が切削に関与するため、Colwellの近似からいって当然切りくずの流出方向は工作物の軸線より遠ざかる方向(η が大きくなる)となるわけである。

図12はバイトのノーズ半径が0.8mm, 送り 0.24mm/Rev , 切削速度を 70m/min で一定とし、横切れ刃角を 15° , 30° , 45° の3種類に変化した場合の切りくず流出角の測定結果を示すものである。

このグラフの結果から次のことが推定できる。すなわち、流出角は切込みの小さい範囲では、横切れ刃角の影響は比較的少なく、 15° , 30° , 45° の三者ともかなり接近しているのに対し、切りこみの大きいところでは、三者の値がかなり大きく離れていることがわかる。その理由としては、切込みの小さいところでは切りくずは早く冷却するので降伏応力が高く、したがってスプリングバックする量も大きく、チップブレイカに支配されず三者ともほぼ近い値を示す。一方切込みの大きいところでは、切りくず温度が高く、塑性変形し易く、バイトの刃先形状やチップブレイカの影響を受けやすいためと考えられる。

一般に横切れ刃角の増加は、実効送り量が小さくなるように作用し、切りくず厚さはうすくなり、曲率半径が大きくなる傾向があるため、切りくず処理上あまり好ましくないとされる。一方横切れ刃角の減少とともにカール方向が上向き方向から斜め切りくずを経て横向き切りくずに変化し、切りくず厚みの増加と相まって処理しやすい切りくずが生成される。

結 論

以上の実験結果より、炭素鋼(S35C)を切削した場合の切りくず生成の挙動を、切りくずカールの形状および流出角の立場より検討した結果、つぎの結論をえた。

(A) 切りくずのカール半径と切削条件および刃先形状の間には、つぎのような関係がある。

(i) 送りの小さい範囲(0.1mm/Rev)では、チップブレイカの有無にかかわらず、スプリングバックの影響が大きく、カール半径が大きくなり、切りくず処理上好ましくない。送りが大きくなれば、チップブレイカのあ

る場合、その形状に支配され、送りの増加につれ、カール半径が幾分減少する傾向がある。ある程度以上、送りが大きくなれば、切りくずは分断型となる。

(ii) 切り込みが大きくなれば、切りくずカールは大きくなるが、チップブレイカのあるときはその形状寸法にかなり制約される。

(iii) ノーズ半径が大きくなれば、切りくずカール半径も大きくなるが、反対に小さくなると分断型になりやすい。

(B) 切りくずの流出角と切削条件および工具形状との関係については。

(i) 切りこみが小さいほど、またノーズ半径が大きいほど、切りくずは工作物の軸線より離れる方向に(流出角は大きい)流出する。

(ii) 送りの影響は、切りこみにくらべて小さいが、送りの増加とともに流出角は大きくなる。

(iii) 横切れ刃角の流出角に及ぼす影響については、チップブレイカのある場合、切りこみの小さい範囲よりも大きい範囲において顕著にあらわれる。なお、横切れ刃角は小さいほど、切りくず処理上好ましいといえる。

最後に切りくず処理の立場からいえば、切りくずカール半径が小さいほど、また流出角が大きいほど望ましいわけであるが、以上の実験結果から、同一切削面積に対しては、切込みを小さく送りを大きくする方が、切込みを大きく、送りの小さい場合に比較して切りくず処理上好都合であるといえる。

謝辞。本論文の終りにあたり、終始かわらぬ御懇篤な御指導を賜った大阪大学工学部教授長谷川嘉雄博士に深甚の謝意を捧げます。

文 献

- (1) 中山一雄, 精機学会誌, Vol. 38, No12(1972)
- (2) 中山一雄, 切削加工論. コロナ社(1978-11)198.
- (3) 竹山, 宮坂, 精機学会誌, Vol. 35, No11(1969)
- (4) 臼井英治, 切削・研削加工学(上), 共立出版(1971-7)91.
- (5) 中山一雄, 精機学会誌, Vol. 38, No12(1972)
- (6) 中山一雄, 切削加工論. コロナ社(1978-11)128.

楕円型複体の一致点公式

応 用 2. (複素解析的な場合)

福 嶋 克 彦

Coincidence Formula for Elliptic Complexes

Application 2. (The Complex Analytic Case)

Katsuhiko FUKUSHIMA

The purpose of the present paper is to construct the coincidence formula on compact complex analytic manifolds of complex dimension n (topologically $2n$ -dimensions) and analytic transformations, by means of the coincidence formula for elliptic complexes which has been obtained in the previous report by the author.

1. は じ め に

ド・ラム複体と並んで複素解析的多様体上のドルボー複体は重要な楕円型複体である。このドルボー複体では Hermite 計量を考慮すると Poincaré 双対定理と同様な Serre の双体定理がなりたっている。

そこで筆者により既に得られている楕円型複体の一致点公式〔1〕(以下公式 A とかく) をドルボー複体に適用して複素解析的多様体とその間の解析的変換に関する一致点公式を構成しよう。

就中, D. Toledo〔2〕が拡張された留数定理の考えを使い, 従って高度の代数幾何の手法を駆使して, 筆者と同様な結果を得ているのを知った。アプローチの仕方が違うので難はないが参考になった。

2. Hermite 計 量

線形代数からの準備である。実数体 R 上のベクトル空間 V で, $I: V \rightarrow V$ s.t. $I^2 = -id_V$ となる I が存在するとき

I を V の概複素構造といい, そのとき, (V, I) とかい
て概複素ベクトル空間という。 (V, I) 上の内積
 $((,)): V \times V \rightarrow R$ で $((IX, IY)) = ((X, Y))$ を満たすとき,
 $((,))$ を (V, I) の Hermite 計量という。概複素構造を
考慮した Riemann 計量である。

$(V, I, ((,)))$ に対し $V^c = C \otimes_R V$, $id_C \otimes I$ を I とかい
て複素化をする。 $((,))$ は勿論 C 一重線形に拡張する。こ
こでは共役(conjugate)操作が意味をもつ。

$V^+ = \{x \in V^c \mid \|x\| = \sqrt{-1} \langle x, x \rangle\}$, $V^- = \{x \in V^c \mid \|x\| = -\sqrt{-1} \langle x, x \rangle\}$
とおくと V^c は内積 $\langle X, Y \rangle = ((X, \bar{Y}))$ に関し

$V^c = V^+ \oplus V^-$ (直和)

になる。双対原理より双対空間 $(V^*, I, ((,)))$ にも同様の
議論がされる。

よく知られているように概複素ベクトル空間 (V, I) は
偶数次元で自然な向きが一つ指定される。Hermite 計
量が入っているとき $(V, I, ((,)))$ の体積形式が, $\Lambda^{2n}(V^*)$
の中に定義される $(2n = \dim V)$ 。それを Ω とかくとき, 複
素化した状態 $\Lambda^{2n}(V^*)^c$ の中で次の式がなりたつ〔3〕

$$(1) \quad \Omega = \sqrt{-1}^{n^2} \omega_1 \bar{\omega} \quad \text{但し } \omega \in \Lambda^n(V^*)^+, (\omega, \omega) = 1$$

この体積形式 Ω により $*$ -作用素が次式で定義される。
 $((\star \xi, \eta)) = ((\xi, \eta, \Omega)) \quad (\xi \in \Lambda^r(V^*)^c, \eta \in \Lambda^{n-r}(V^*)^c) \quad \star \xi = \star \xi$
 ξ とかくとき, $\omega^1, \omega^2, \dots, \omega^n \in (V^*)^+$ を内積(,) に関する正規直交基とすれば,

$$(2) \quad \bar{\star}(\omega^1 \bar{\omega}^j) = \sqrt{-1}^{n^2} (-1)^{nq+pq} \varepsilon_{11'} \varepsilon_{jj'} \omega^{1'} \bar{\omega}^{j'}$$

がなりたつ。但し, $I = (i_1, i_2, \dots, i_p) (1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_p \leq n)$
 $J = (j_1, j_2, \dots, j_q) (1 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_q \leq n)$, I', J' は I, J の補部, ε は順列の符号, $P = |I|$, $q = |J|$ 。
 この(2)によって $\bar{\star}: \Lambda^{p,q}(V^*)^c \rightarrow \Lambda^{n-p, n-q}(V^*)^c$ は共役線形同型となる。この $\bar{\star}$ は後に示されるドルボー・コホモロジーでの Serre 双対を与える。

上の $\omega \in \Lambda^n(V^*)^+$ に対し $((\star_1 \xi, \eta)) = ((\star_2 \xi, \eta)) = ((\xi, \eta, \omega))$ ($\xi \in \Lambda^r(V^*)^c, \eta \in \Lambda^{n-r}(V^*)^c$) で $\star_1, \star_2$ を与え $\star_1 \xi = \star_2 \xi$, $\star_2 \xi = \star_1 \xi$ で定義するとき

$$(3) \quad \begin{cases} (i) \quad \star_1 \omega^1 = \varepsilon_{11'} \omega^{1'} \quad (|I|=P) \quad \star_1: \Lambda^{P,0} \rightarrow \Lambda^{n-P,0} \\ (ii) \quad \star_2 \omega^j = \varepsilon_{jj'} \omega^{j'} \quad (|J|=P) \quad \star_2: \Lambda^{0,P} \rightarrow \Lambda^{0,n-P} \end{cases}$$

が簡単な計算で確かめられる。 $\bar{\star}, \star_1, \star_2$ の関係は

$$(4) \quad \bar{\star}(\omega^1 \bar{\omega}^j) = \sqrt{-1}^{n^2} (-1)^{nq+pq} (\star_1 \omega^1)_{\Lambda} (\star_2 \omega^j)$$

$$(|I|=P, |J|=q)$$

である。ここで, $\bar{\star}$ は基のとり方に関係ないが, $\star_1, \star_2$ は基のとり方に依存していることに注意しよう。

次に線形変換について論じる, Hermite 計量をもった二つの複素ベクトル空間 $(V, I, ((,)))$, $(W, J, ((,)))$ ($\dim V = \dim W = 2n$) に対し線形変換 $g: V \rightarrow g \circ I = J \circ g$ をみたすとき g を正則な線形変換ということにする。このとき, 容易に $g((W^*)^+) \subset (V^*)^+$ 。そこで g の $(W^*)^+$ への制限を g^+ とおくと $g^{\Lambda q} = (g^+)^p_{\Lambda} (g^-)^q$ がなりたつ。今 $g_{\Lambda q} = \bar{\star}^{-1} g^{n-p, n-q} \bar{\star}, g_{\Lambda p} = \bar{\star}_1^{-1} (g^+)^{n-p} \bar{\star}_2^{-1} (g^-)^p \bar{\star}_2$ とおけば (4) より $g_{\Lambda q} = g_{\Lambda p}^* g_{\Lambda q}^*$ が得られる。更に $g_{\Lambda q}$ の共役(adjoint) $g^{\Lambda q}$ を考えるとき, 今のことより

$$(5) \quad g_{\Lambda q} = (g_{\Lambda p}^*)_{\Lambda} (g_{\Lambda q}^*)$$

さて, $\omega^1, \omega^2, \dots, \omega^n, \bar{\omega}^1, \bar{\omega}^2, \dots, \bar{\omega}^n$ をそれぞれ $(V^*)^+, (W^*)^+$ の正規直交基とし

$$g^+(\omega^1, \dots, \omega^n) = (\omega^1, \dots, \omega^n) G^+$$

とおくと

$$g(\omega^1, \dots, \bar{\omega}^n, \bar{\omega}^1, \dots, \bar{\omega}^n) = (\omega^1, \dots, \omega^n, \bar{\omega}^1, \dots, \bar{\omega}^n) G$$

で $G = \begin{pmatrix} G^+ O \\ O G^+ \end{pmatrix}$ がなりたつ。別に正則な変換 $f: V \rightarrow W$

を考えると, 前号で行った計算技法 [4] を使って, $\det(G-F) \neq 0$ の条件下で

$$(6) \quad \frac{\sum_{q=0}^n (-1)^q \text{tr} g_{\Lambda q} f^{\Lambda q}}{|\det(G-F)|} = \frac{\text{tr}(g^+)^1 (f^+)^p}{\det(G^+ - F^+)}$$

を得る。これが所要の結果である。右辺は $(V^*)^+, (W^*)^+$ の正規直交基のとり方に無関係であることに注意しよう。

3. ドルボー - 複体

X を複素次元 n のコンパクトな解析的多様体とする。つまり積分可能な複素構造をもった実 $2n$ 次元コンパクトな C^∞ -多様体である。又, Hermite 計量の構成可能であることが知られている。 $T^*(X)$ を X の余接束とすると $C \otimes_r T^*(X) = T^+(X) \oplus T^-(X)$ に直和分解する。 $\Lambda^{\Lambda q}(X) = (\Lambda^p(T^+(X)))_{\Lambda} (\Lambda^q(T^-(X)))$ とおけば $\Lambda^r(X) = \sum_{p+q=r} \Lambda^{\Lambda q}(X)$ がなりたつ。

外微分 $d: \Gamma(\Lambda^r(X)) \rightarrow \Gamma(\Lambda^{r+1}(X))$ は $d = \partial + \bar{\partial}$,

$\partial: \Gamma \Lambda^{\Lambda q} \rightarrow \Gamma \Lambda^{p+1, q}$, $\bar{\partial}: \Gamma \Lambda^{\Lambda q} \rightarrow \Gamma \Lambda^{p, q+1}$ に分解して, 積分可能なことより $(\partial)^2 = (\bar{\partial})^2 = 0$ 。ここに $\Gamma(\Lambda^r(X))$ は $\Lambda^r(X)$ の C^∞ 断面全体の集合。

$\Lambda^p \star(X) = |\Gamma(\Lambda^{\Lambda q}(X))|, \bar{\partial}|_q$ は楕円型複体をなす [5]。これがドルボー複体でそのコホモロジーを伝統に従って $H^{\Lambda q}(X)$ とかこう。

Hermite 計量を考慮して $\bar{\star}: \Lambda^{p, q}(X) \rightarrow \Lambda^{n-p, n-q}(X)$ を得るが, この共役線形同型がコホモロジーにまで遺伝して

$$(7) \quad \bar{\star}: H^{\Lambda q}(X) \rightarrow H^{n-p, n-q}(X) \quad \text{共役線形同型}$$

を得る。これが Serre の双対同型である。各 $H^{\Lambda q}(X)$ には内積が入っていることに注意しておく

4. 一致点公式

別に X と同じ条件の多様体 Y とし $f, g: X \rightarrow Y$ を横断的な解析的変換とする。

$$(df)^{\Lambda q} = \Lambda^{\Lambda q}(df): f^* \Lambda^{\Lambda q}(Y) \rightarrow \Lambda^{\Lambda q}(X)$$

とかくとき f による (p, q) -形式の引戻しとして定義さ

れる変換は,

$$f^{\wedge q} = \Gamma((df)^{\wedge q}) \Gamma_f: \Gamma(\Lambda^{\wedge q}(Y)) \rightarrow \Gamma(f^* \Lambda^{\wedge q}(Y)) \rightarrow \Gamma(\Lambda^{\wedge q}(X))$$

(X) となる。知られているように

$$(8) f^{\wedge *} = \{f^{\wedge q}\}_q: \Lambda^{\wedge *} (Y) \rightarrow \Lambda^{\wedge *} (X) \quad \text{は鎖準同型がな}$$

りたつ [6]。従ってコホモロジーに変換を引きおすが, それを $H^{\wedge q}(f): H^{\wedge q}(Y) \rightarrow H^{\wedge q}(X)$ とかく。g についても同様。

$$H^{\wedge q}(g) = \overline{*}^{-1} H^{\wedge n-p, n-q}(g) \overline{*}: H^{\wedge q}(Y) \rightarrow H^{\wedge q}(X)$$

として, その共役(adjoint) $H_{p,q}(g)'$ を考えて, 一致点公式の大域的な指数を

$$(9) L^{\wedge *} (g, f) = \sum_{q=0}^n (-1)^q \text{tr} H_{p,q}(g)' \cdot H^{\wedge q}(f)$$

で与える。

f と g が横断的, $\dim X = \dim Y$, X, Y がコンパクト故その一致点集合 $M = \{x \in X \mid f(x) = g(x)\}$ は有限個からなる孤立点集合となり $\det(dg_x - df_x) \neq 0 (x \in M)$ がなりたつ。df, dg: $T(X)_x \rightarrow T(Y)_y (x \in M, y = f(x) = g(x))$ は正則で 2 節の結果より

$$(6)' \frac{\sum_{q=0}^n (-1)^q \text{tr}(dg)'_{p,q}(df)^{\wedge q}}{|\det(Dg - Df)_x|} = \frac{\text{tr}(dg)'_{p,p}(df)^p}{\det(Dg^+ - Df^+)}$$

但し, $G^+, F^+ = T^*(X)_x^+, T^*(Y)_y^+$ の正規直交基で表現した行列である。(6)' の右辺が f と g の一致点 x での局所指数である。それを $\nu(x)$ とかく。目標の一致点公式は

定 理

$$L^{\wedge *} (g, f) = \sum_{x \in M} \nu(x)$$

で与えられる。特に $P=0$ として $\text{tr}(dg)'_{p,q}(df)^0 = \text{tr}(dg^+)^n = \det(Dg^+)_x$ だから

系

$$L^{\wedge *} (g, f) = \sum_{x \in M} \frac{\det(Dg^+)_x}{\det(Dg^+ - Df^+)_x}$$

5. 一 致 点 公 式 の 証 明

Θ を $\overline{\partial}$ の形式的共役作用素としたとき

$$(10) \Theta = -\overline{*} \partial \overline{*}$$

がなりたつ [5]。この注意により, 前号の計算技法 [4] を使って

$$(11) g^{\wedge *} : \text{鎖準同型} \quad \& \quad g^{\wedge *} = \Gamma_g \Gamma((dg)'_{p,*})$$

を得る。更に, 容易に

$$(12) H^{\wedge q}(g^{\wedge *}) = H_{p,q}(g)'$$

従って $T_{p,*} = g^{\wedge *} f^{\wedge *} : \Gamma(\Lambda^{\wedge *} (Y)) \rightarrow \Gamma(\Lambda^{\wedge *} (X))$ は

$$(13) T_{p,*} = \Gamma_g \Gamma((dg)'_{p,*}(df)^{\wedge p}) \Gamma_f$$

を得る。公式 A より

$$(14) \sum_q (-1)^q \text{tr} H^{\wedge q}(T_{p,*}) = \sum_{x \in M} \sum_q (-1)^q \text{tr}((dg)'_{p,q}(df)^{\wedge q}) |\det(Dg - Df)_x|^{-1}$$

ここで (12), (13) より $H^{\wedge q}(T_{p,*}) = H_{p,q}(g)' H^{\wedge q}(f)$ だから (14) の左辺は $L^{\wedge q}(g, f)$ となる。一方, (6)' より右辺は $\sum_{x \in M} \nu(x)$ となる。

証明終り。

6. 応 用

$H^{\wedge q}(g, f) = H_{p,q}(g)' H^{\wedge q}(f)$ と略記しよう。

ド・ラムコホモロジーに於ける Lefschetz の一致点公式の大域的指数 $L(g, f)$ と本論のそれとの関係は, Fröhlicher のスペクトラル系列 [5] を変換の tr に適用することによって得られる。

$$(15) L(g, f) = \sum_{p=0}^n (-1)^p L^{\wedge p}(g, f)$$

簡単な応用として [6] § 4 Example 1 の拡張をしよう。X, Y をコンパクトな複素曲線, $f, g: X \rightarrow Y$ を横断的な解析的変換とする。この場合 Lefschetz の一致点公式に於ける各一致点での局所指数が +1 だから, f, g の写像を $m = \deg f, n = \deg g$, 一致点の個数を N とおくと

(15) より

$$n - \text{tr} H^{0,1}(g, f) - \text{tr} H^{1,0}(g, f) + m = N$$

X, Y は Kähler 多様体だから $\overline{\text{tr} H^{0,1}(g, f)} = \text{tr} H^{1,0}(g, f)$

又, 本論定理の系より $n - \text{tr} H^{0,1}(g, f) = \sum_{f(x)=g(x)} \text{D}g^+ \times$
 $(\text{D}g^+ - \text{D}f^+)^{-1}$ がなりたつ。まとめて

$$(16) \quad \frac{N + n - m}{2} = \text{Re} \sum_{f(x)=g(x)} \frac{\text{D}g^+}{\text{D}g^+ - \text{D}f^+}.$$

を得る。

文 献

- [1] 福嶋：奈良高専紀要第13号（昭 52）
- [2] D. Toledo : On the Atiyah-Bott Formula
for Isolated Fixed Points,
J. Differential Geometry 8(1973)
- [3] 村上：多様体 共立出版（昭 53）
- [4] 福嶋：奈良高専紀要第14号（昭 53）
- [5] R. C. Wells, JR. : Differential
Analysis On Complex Manifolds,
Prentice-Hall, INC.
- [6] Atiyah & Bott : A Lefschetz fixed
point formula for elliptic complexes
II. Ann. of Math. 88(1968)

衝撃波管内におけるCOの振動緩和について

松岡 一起・岸下 晴亮

Vibrational Relaxation of CO in a Shock Tube

Kazuoki MATSUOKA Haruaki KISHIGE

The experimental results of an investigation of the vibrational relaxation in a shock tube with the reflected shock wave are presented. The data are obtained behind reflected shocks in Ar-CO mixtures, with temperature in the range of 2000°K ~ 3500°K. The vibrational relaxation time for CO are determined from the infrared emission spectra. Obtained results are in good agreement with the experimental equation of Millican-White.

1. ま え が き

高速流では温度、エネルギー、密度のような流れの変化量が急激に変化することがある。この気体分子の内部エネルギーモードは外部の流れの中に、そのような変化に対して必ずしも早く平衡状態になるとは限らない。種々の流れにおいて、分子の回転、振動、電子励起および化学的モードの非平衡状態が観測される。これらの種々のモードが平衡に近づくが、これは時間の一次微係数で表わされる反応方程式で支配される。⁽¹⁾これらの微分方程式を検討すると、考えているモードの平衡化に対してある時間尺度または緩和時間が存在することが判る。あるモードは典型的に非常に短い緩和時間をもつ。たとえば、回転のモードは平衡に達するまでほんの数回の分子衝突しか必要でない。それに反し、振動緩和は普通 $10^3 \sim 10^4$ 回の分子衝突が必要となる。⁽²⁾高温気体の分子運動論的性質の研究には、振動緩和は一つの中心的役割をもっている。振動モードは十分励起し易く、このモードは多くの高エネルギー流れにおいて有力に動く。したがって振動緩和時間は十分長く、振動の平衡化は気体の流れに重要な影響をあたえる。二原子分子気体における振動緩和に関する最初の研究はLandauとTeller⁽³⁾によって行なわれた。その後MillikanとWhite⁽⁴⁾、佐藤と土屋ら⁽⁵⁾によって広範囲の二原子分子の振動緩和に関する研究がなされている。しかし、これらの研究の多くは基本振動帯の赤外発

光強度測定によるものが多く、第一倍音帯を利用したものが少ない。本研究は反射衝撃波背後（温度範囲 2000°K ~ 3500°K）でのCOの基本ならびに第一倍音帯の発光強度を基に、振動緩和時間を求めた。

2. COの振動緩和

大量の希ガス（Ar）中に希釈されたCOの振動緩和はLandau-Tellerの仮定と調和振動子のモデルを採用すると、つぎのような微分方程式がえられる。

$$-\frac{dE_v}{dt} = \frac{1}{\tau}(E_v - E_{veq}) \quad (1)$$

ここで E_v はCOの振動エネルギーで、 E_{veq} はその平衡値である。また τ は、緩和時間である。 E_{veq} は一定であるので、(1)式は容易に積分されて

$$X = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (2)$$

となる。ここで $X = E_v/E_{veq}$ である。(1)式を変形すると

$$\tau = E_{veq} / \left(\frac{dE_v}{dt} \right)_{E_v = 0} \quad (3)$$

となる。(3)式の幾何学的な意味を図1に示す。

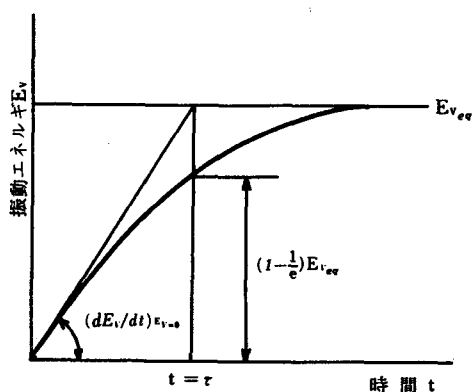


図1 振動緩和過程

図より振動緩和時間 τ は、振動エネルギーの平衡値からのずれの割合が、 e^{-1} になる時間であることが判る。本研究では緩和時間を求めるにあたって赤外発光強度測定法を用いたので振動エネルギーと赤外発光強度との関係を導く。基本振動帯の発光は振動量子数 n を用いると $n+1 \rightarrow n$ の遷移の光の重りであるので、このときの発光強度を $I^{(0)}$ で表わすと

$$I^{(0)} \propto h\nu \sum_n (n+1) x_{n+1} \quad (4)$$

ここで x_n は振動単位 n の分子の割合を示し、 h 、 ν はそれぞれプランク定数、振動数を示す。Montsoll-Shuler⁽⁶⁾ によれば、振動の自由度をもつ緩和過程において各分子は、各振動単位にボルツマン分布をしていると報告されている。この関係を用いると基本振動帯での発光強度 $I^{(0)}$ は次式で与えられる。ただし $\theta = h\nu/kT$ 。

$$I^{(0)} \propto h\nu \frac{e^{-\theta}}{1 - e^{-\theta}} \propto E_v \quad (5)$$

つまり、発光強度 $I^{(0)}$ は振動エネルギー E_v と比例関係にある。つぎに、第一倍音帯では $n+2 \rightarrow n$ へと落ちるときの発光の重りであるから、発行強度 $I^{(1)}$ は

$$I^{(1)} \propto (h\nu)^2 \sum_n (n+2)(n+1) x_{n+2} \quad (6)$$

である。したがって(5)式と同じように表現すると

$$I^{(1)} \propto \left(h\nu \frac{e^{-\theta}}{1 - e^{-\theta}} \right)^2 \propto (E_v)^2 \quad (7)$$

となる。

(5), (7)式を(2)式に代入すると

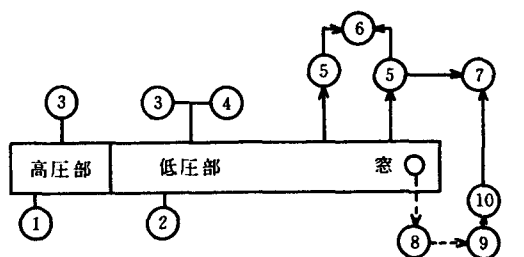
$$1 - \frac{I^{(0)}}{I_{eq}^{(0)}} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (8)$$

$$1 - \left(\frac{I^{(1)}}{I_{eq}^{(1)}} \right)^{1/2} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (9)$$

がえられる。上式は対数をとれば直線関係となり、発光強度の時間的変化を測定すれば容易に緩和時間が得られる。

3. 実験装置および方法

実験装置の概略図を図2に示す。



- | | | |
|----------|-----------|-----------|
| 1 He ボンベ | 6 カウンター | —— 電気信号 |
| 2 試料気体 | 7 オシロスコープ | ----- 光 路 |
| 3 油回転ポンプ | 8 分光器 | |
| 4 油拡散ポンプ | 9 赤外検出器 | |
| 5 圧力変換器 | 10 増巾器 | |

図2 実験装置概略図

衝撃波管は高圧部と低圧部より構成されており、高圧部は駆動用He気体ボンベ、低圧部は試料気体(Ar+CO)用貯気槽とそれぞれパイプにより結ばれている。低圧部管端近くにピエゾ圧力素子と赤外発光測定用窓(C_2F_2)が取り付けられている。光学系の設定にはHe-Ne ガスレーザ光を用い分光器(ブレイズ波長 $2\mu m$, グレーティング刻線数300本/mm)の入口で焦点を結ぶようにした。分光器の補正には前記のレーザ光を用いて既知のレーザ波長の倍数と分光器の指示波長との差をあらかじめ求めておいた。赤外発光強度の検出には光起電力型 I_nS_0 赤外線検知器を用い増巾器を介してオシロスコープに記

録するようにした。まず、高压室と低压室との間に隔膜をはり、低压室側を油回転真空ポンプにより0.1mmHgまで排気し、つぎに油拡散ポンプに切り換えて 10^{-6} mmHg程度まで排気する。高压側も10mmHg程度まで排気する。そして高压側にはHe気体を、低压側にはArとCOの混合気体を設定圧力まで導入し、破膜装置により衝撃波を発生させ反射衝撃波におけるCOの振動緩和に関する情報を測定した。

4. 実験結果および考察

入射衝撃波速度と反射衝撃波背後の温度 T_2 の関係を図3に示す。カウンター時間はピエゾ圧力素子間を衝撃波が通過する時間である。この図は衝撃波前後の気体力学の関係式（実在気体効果を入れた）より理論的に求めたもので、実験よりえられる入射衝撃波の速度（カウンター時間を介して求められる）より反射衝撃波背後の温度が容易に推定できる。図には今回の実験に用いた二つの試料気体について示されてある。カウンター時間の推定から温度は2000°K から3500°K 程度であった。

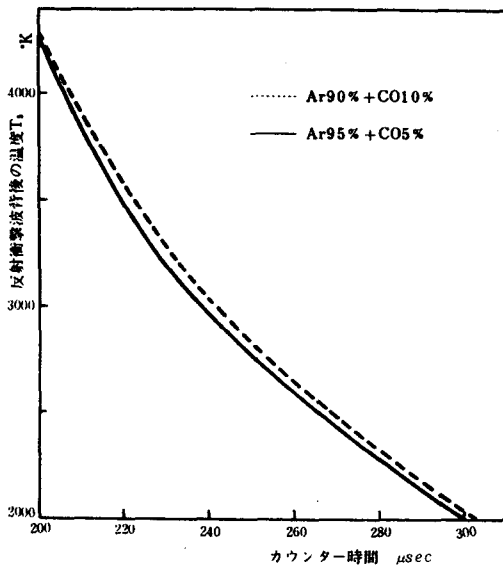


図3 入射衝撃波速度と反射衝撃波背後の温度

図4、図5はそれぞれ90%Ar+10%CO系の基本振動帯および第一倍音帯における発光強度分布を(8)式ならびに(9)式にしたがって整理したものである。これらの図よ

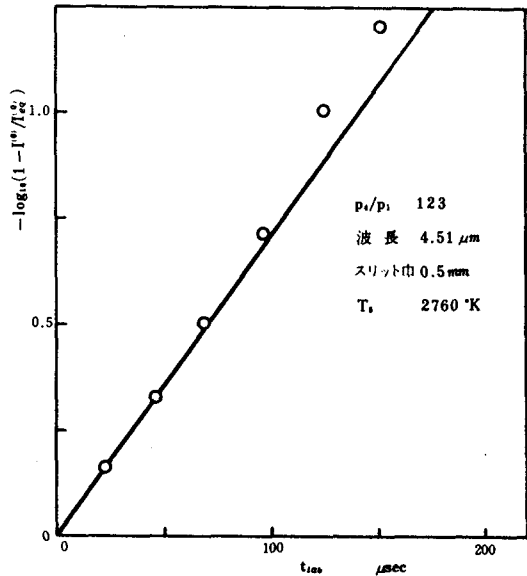


図4 90%Ar+10%CO系における基本振動帯の赤外発光強度測定例

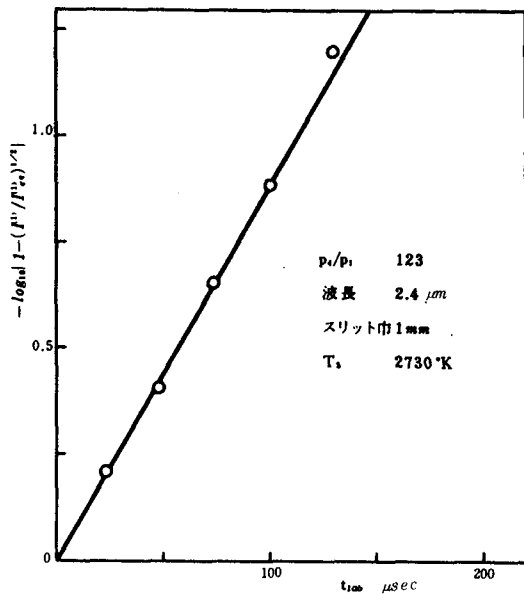


図5 90%Ar+10%CO系における第一倍音帯の赤外発光強度測定例

り緩和時間 τ を求めることができる。いずれの図も時間 t が経過するにしたがって直線より傾斜の大きくなる方にずれていく傾向がある。この原因は振動遷移のみを考えたときに成立つ式を用いて整理しているためで、分光器の分解能が悪くて回転構造を含む光が入っている可能性が十分考えられる。しかし、緩和時間を求める実験ではこれらのデータを十分使用できる。図6はMillikan-Whiteによってまとめられた経験式にしたがって緩和時間を整理したものである。

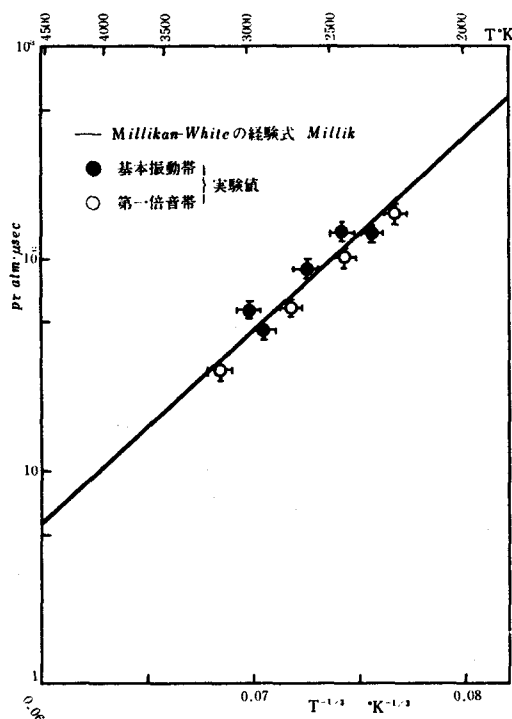


図6 CO振動緩和(90%Ar+10%CO)

Millikan-WhiteはLandau-Tellerの理論をもとにして次式で与えられるような経験式を提案している。

$$l_{np}\tau = 1.16 \times 10^{-3} \bar{m}^{-1/2} \theta^{1/2} (T^{-1/2} - 0.015 \bar{m}^{-1/2})$$

-18.42

(10)

ここで $p\tau$ は $\text{atm} \cdot \text{sec}$ の単位で $\bar{m}$ は相対運動の換算質量で $\bar{m} = m_A m_B / (m_A + m_B)$ である。この式は $\text{CO}-\text{CO}$, O_2-Ar の緩和時間を除けばよく一致することが報告されている。この式を $\text{CO}-\text{Ar}$ 系に用いると $\bar{m} = 2.73 \times 10^{-23} \text{g}$, また振動特性温度 $\theta = 3083.8^\circ \text{K}$ となる。図の実線は(10)式を示している。限られた範囲内での実験ではあるが経験式とは良い一致を示している。基本振動帯の発光は相当強いが第一倍音帯の場合には発光強度が微弱でスリット巾を可能なかぎり大きくしても測定しにくい増巾器を中間に挿入している。この性能面による影響が出ている可能性が考えられる。

5. あとがき

現在、本研究室ではノズル流での振動非平衡流れに関する研究を行っているが、第一段階として衝撃波管内におけるCO分子の振動緩和に関する実験を行った。測定値はMillikan-Whiteの経験式やS・S・H理論に矛盾を与えない結果が得られたことより、衝撃波による赤外発光の測定が緩和時間を求めるのに適していることが確められた。しかし、この実験にも種々の問題点が残っている。たとえば、一つの例としてCOを希釈している熱浴としてのArは緩和時間中一定であると仮定しているが、この仮定はArの希釈度にどのような制限が与えられるのかという問題がある。今後このような問題について実験を積み重ね解明していきたい。

文 献

- (1) Vincenti, W.G., Kruger, C.H., Jr., Introduction to Physical Gas Dynamics, (1965), John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (2) 倉谷・土屋, 衝撃波の化学物理, (昭43), 裳華房.
- (3) Landau, L., Teller, E., Phys. Z. Sowietunion, 10, 34 (1936).
- (4) Millikan, R. C., White, D. R., J. Chem. Phys., 39, 3209 (1963).
- (5) 佐藤・土屋, 日本物理学会年会, (昭42年4月).
- (6) Montroll, E.W., Shuler, K. E., J. Chem. Phys., 26, 454 (1957).

細管流入部における高分子溶液の流れ

森 教安・若林敏夫・阪部俊也

Flow of a Polymer Solution into a Capillary

N.Mori, T.Wakabayashi and T.Sakabe

Flow patterns into a capillary have been obtained for a Newtonian fluid and a viscoelastic fluid (Polyethylene Oxide) by a flow visualization technique using Aluminum powder. The flow of a viscoelastic fluid shows a flow pattern like a wine-glass with circulating secondary flows at the corners, and it is confirmed that the flow pattern depends on the property of solution, the shear rate and the capillary diameter.

A calculation has been performed for the Maxwell model by the perturbation method. And the results indicate that the method is useful for the analysis of a viscoelastic slow flow.

1. 緒 言

高分子融液や高分子濃厚溶液を、大きな容器から細管を通して流出させる際の管流入部の流動はその粘性的性質と弾性的性質が非線形的にからみあって、ニュートン流体では見られない特異な現象を生じる。この現象は、Tordella¹⁾以来、多くの研究者によって研究が行われてきたが、大部分は実験的研究であった。また、不安定流動に関する研究が多く、安定流動を示す遅い流れの研究は少ない。そこで本研究では、高分子溶液としてポリエチレンオキサ이드水溶液を用いて安定流動の実験を行ない、細管流入部の流れ模様を観察した。また、遅い流れに対してMaxwelモデルを適用し解析を行なった。

2. 細管流入部の流れ模様の観察

2.1 実験装置および実験方法 図1に流れ模様観察の実験装置を示す。溶液はタンクから、リザーバ（内径50mm）、細管を流れ流量調整用バルブを通して大気中に流出させた。流量はメスシリンダおよびストップウォッチを用いて測定した。細管流入部における流入状態を観察するため、事前にアルミニウム粉を溶液に混入し、その流跡をカメラで撮影した。光源からでる光をスリットにより絞り、撮影部のレザーバ両側を投光した。なお撮影部には光の反射を防ぐために水槽を設けた。使用したレザーバ、細管はアクリル製で、細管は長さ55cm、その内径は5mm、10mmの2種類である。また、実験に用いた流体は、ニュートン流体として水飴溶液、粘弾性流体

としてPolyethylene Oxide（商品名アルコックスC）0.3%、0.5%水溶液である。また高分子の安定剤としてサンデックスCを200wppmの濃度で事前に混入した。

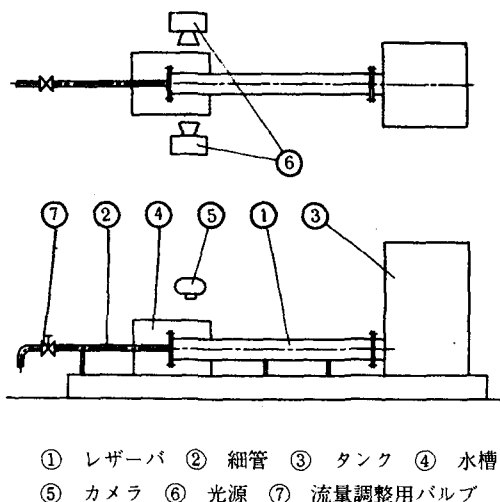


図1 流れ模様観察用実験装置

2.2 流れ模様

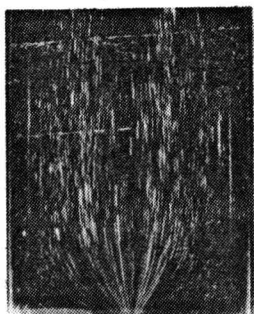
ニュートン流体である水飴溶液は図2に示すように、循環流れが見られず、レーザーバ上流から壁面に沿って曲り、細管に流入する流れ模様を示した。ただし、本論文でのずり速度 $\dot{\gamma}$ は細管内のもので次式で表わされる。

$$\dot{\gamma} = \frac{n+3}{4} \cdot \frac{8V}{d} \quad (1)$$

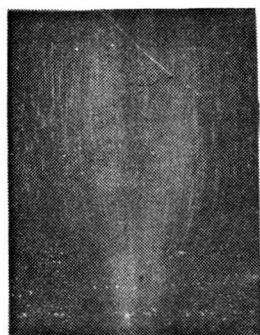
ここで、 n ：指数則モデル中の物性定数、 V ：平均速度、 d ：細管径である。

$d = 5 \text{ mm}$, $\dot{\gamma} = 12.2 \text{ s}^{-1}$

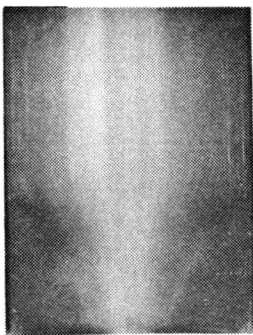
図2 流れ模様(水飴)



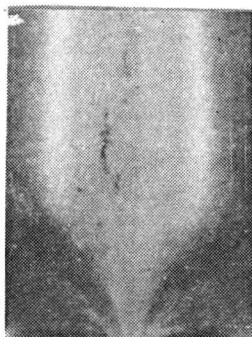
粘弾性流体であるアルコックスC水溶液は、濃度0.3%， $d=10\text{mm}$ の場合、図3に示すようにずり速度の低い状態から細管流入部に安定な循環流れを生じ、この循環流れはずり速度が約 60 s^{-1} までは、ずり速度の増加とともに発達する。このとき主流は循環流れを避けて縮流し細管内へ流れ込むワイングラス状の流れを示した。これよりもずり速度の高い領域では、図3(g)に示すように主流に半径方向のふくらみを生じた。これはずり速度のかなり高いところで起っていることから、慣性の影響が現われたものと考えられる。濃度0.3%， $d = 5 \text{ mm}$ の場合も、ずり速度の低い状態から細管流入部に安定な循環流れを生じ、ずり速度の増加とともに発達したが、主流に半径方向のふくらみを生じることはなかった。また、非常に大きな循環流れが見られた。この様子を図4に示す。濃度が0.5%， $d = 5 \text{ mm}$ ， 10 mm の場合を図5，図6に示す。



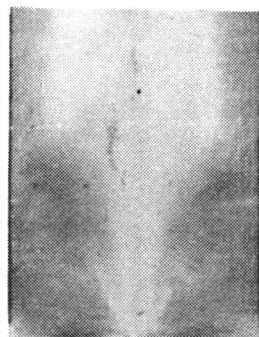
(a) $\dot{\gamma} = 6.55 \text{ s}^{-1}$



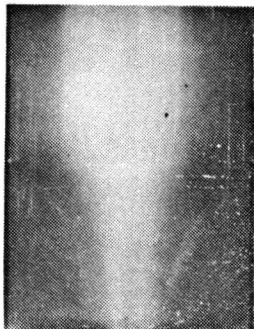
(b) $\dot{\gamma} = 24.6 \text{ s}^{-1}$



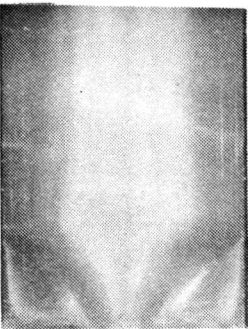
(a) $\dot{\gamma} = 2.87 \text{ s}^{-1}$



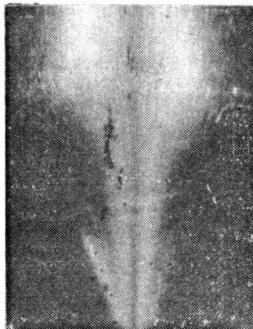
(b) $\dot{\gamma} = 23.8 \text{ s}^{-1}$



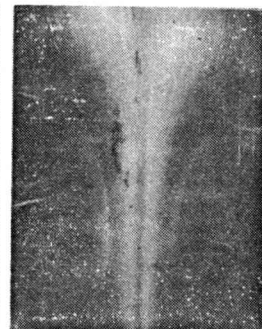
(c) $\dot{\gamma} = 51.6 \text{ s}^{-1}$



(d) $\dot{\gamma} = 165 \text{ s}^{-1}$



(c) $\dot{\gamma} = 48.7 \text{ s}^{-1}$

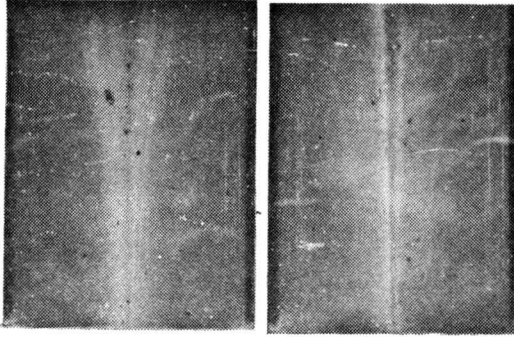


(d) $\dot{\gamma} = 112 \text{ s}^{-1}$

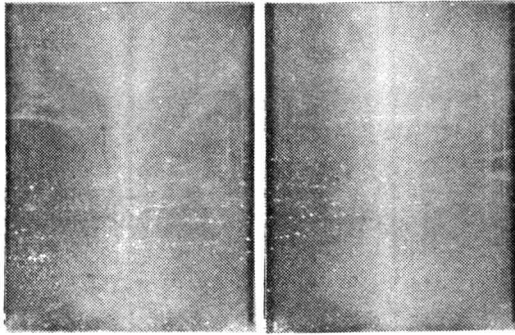
図3 流れ模様(アルコックスC0.3%， $d=10\text{mm}$)

図4 流れ模様(アルコックスC0.5%， $d=10\text{mm}$)

これらの場合も、濃度0.3%, $d=5\text{mm}$ の場合と同じような流れ模様であるが、ずり速度が同じであれば、0.5%の方が大きな循環流れとなった。



(a) $\dot{\gamma} = 9.25 \text{ s}^{-1}$ (b) $\dot{\gamma} = 41.3 \text{ s}^{-1}$
図5 流れ模様(アルコックスC0.5%, $d=10\text{mm}$)



(a) $\dot{\gamma} = 13.6 \text{ s}^{-1}$ (b) $\dot{\gamma} = 52.2 \text{ s}^{-1}$
図6 流れ模様(アルコックスC0.5%, $d=5\text{mm}$)

3. 理論解析

3.1 基礎式 非圧縮な定常流れの場合、連続の式と運動方程式は、

$$v_{i,i}^i = 0 \quad (2)$$

$$\rho v^k v_{i,k}^i = -g^{ik} p_{,k} + T^{ik}_{,k} \quad (3)$$

で表わされる。ここで、 ρ :密度、 v^k :速度ベクトル成分、 g_{ik} :計量テンソル、 p :応力テンソルの等方成分、 T_{ik} :応力テンソルの偏差成分である。また、粘弾性流体の構成式として、Maxwellモデルを用いる。すなわち、

$$T^{ij} + \lambda \frac{D_j T^{ij}}{D t} = 2 \eta D^{ij} \quad (4)$$

である。ここで、 λ :緩和時間、 η :粘性係数、 D_{ij} :変形速度テンソル、 $D_j/D t$:Jaumann微分である。

$$D_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} + v_{j,i}) \quad (5)$$

$$\frac{D_j T^{ij}}{D t} = \frac{\partial T^{ij}}{\partial t} + v^k T^{ij}_{,k} - W^i_k T^{kj} + T^{ik} W^j_k \quad (6)$$

$$W_{ij} = \frac{1}{2} (v_{i,j} - v_{j,i}) \quad (7)$$

3.2 基礎式の無次元化と展開

基礎式を円柱座表示し、つぎに示す量を導入して無次元表示する。

$$v_r^* = v_r/V, v_z^* = v_z/V, r^* = r/R, z^* = z/R$$

$$T_{(ij)}^* = \frac{R}{\eta V} T_{(ij)}, p^* = \frac{R}{\eta V} p \quad (8)$$

ここで、 V :平均流速、 R :円管半径である。無次元表示された基礎式を解くために、ワイゼンベルグ数 We が1よりも小さいという仮定を導入し、速度、応力、流れ関数をワイゼンベルグ数のべき級数に展開する。すなわち、

$$v_i^* = v_i^{(0)} + W_e v_i^{(1)} + W_e^2 v_i^{(2)} + \dots$$

$$p^* = p^{(0)} + W_e p^{(1)} + W_e^2 p^{(2)} + \dots$$

$$T_{(ij)}^* = T_{(ij)}^0 + W_e T_{(ij)}^1 + W_e^2 T_{(ij)}^2 + \dots$$

$$\phi^* = \phi^0 + W_e \phi^1 + W_e^2 \phi^2 + \dots \quad (9)$$

ここで、 $We = \lambda V/R$ 、また流れ関数 ϕ^* は次式となる。

$$v_z^* = \frac{1}{r^*} \cdot \frac{\partial \phi^*}{\partial r^*}, v_r^* = -\frac{1}{r^*} \cdot \frac{\partial \phi^*}{\partial z^*} \quad (10)$$

基礎式を(9)式により展開し、ワイゼンベルグ数の等しいべき乗のものについて整理を行なうと、結局、流れ関数に関してつぎの式を得る。

ホトカプラによる負性抵抗特性の光制御

高橋 晴雄 ・ 山内 雅好

Optical control of negative-resistance
characteristics constructed with a photo-coupler

Haruo TAKAHASHI and Masayoshi YAMAUCHI

Abstract

A Darlington-type photo-coupler can be utilized as a S-type negative-resistance circuit when it is modified to the two-terminal tandem connection.

This paper describes characteristics of the optically controlled negative-resistance circuit, and shows the applications to the optical control of the relaxation oscillator and the light pulse-deley operation of the mono-stable multivibrator.

1. まえがき

ホトカプラは、元来回路結合素子としての機能を有し、インタフェイス要素として一般に広く利用されている。

筆者らは、二次側がホトダーリントンで構成されたホトカプラが、単に一次側の発光ダイオードを二次側に従続接続するだけで、本来の機能とは異なった新しい機能として、電流制御形負性抵抗特性を呈示する2端子能動素子として利用できることを明らかにした^{(1), (2), (3)}。

本文では、外部光入力受光用端子を付加した場合に、負性抵抗電圧-電流特性がどのように変化するかを実験的に明らかにし、ブレイクオーバー電圧及びホールド電流が外発光により制御できることを示している。また、し張発振動作を光制御した実験結果ならびにオプトロニク単安定動作に使用して、光パルス遅延動作の応用例について示している。

本文は電子通信学会論文誌 (61-C, No 8 昭53) に発表したものに加筆修正したものである。⁽³⁾

2. 基本負性抵抗回路の概要

図1は負性抵抗回路の基本構成図を示したものである。本回路の動作原理及び回路解析についてはすでに報告したので、ここでは概略的に動作原理を説明する⁽¹⁾。

印加電圧 V を増加させて、トランジスタ T_{R2} のコレクタ・エミッタ間電圧がなだれ降服の維持電圧に達すると、 T_{R2} のなだれ降服により、 T_{R2} のコレクタ電流が急激に増加するので、発光ダイオードLEDは発光状態になる。この発光出力はホトダイオードPDに光結合され、いまし断状態にあった T_{R1} は能動状態になり、 T_{R2} のベースには T_{R1} のエミッタ電流が流入されるようになる。したがって、なだれ降服状態にある T_{R2} は能動状態になり、 T_{R2} のコレクタ・エミッタ間の電圧は減少する。LEDとPDによる光結合正帰還再生作用により T_{R1} 及び T_{R2} は共に飽和状態に達し、回路電流は外部回路で定まる電流になる。

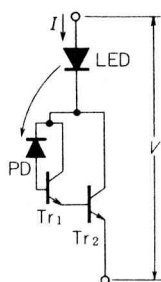
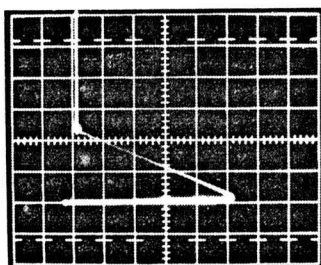


図1 負性抵抗回路の基本構成図



($V: 25 \mu A/div$)
($H: 5 V/div$)

図2 負性抵抗電圧—電流特性 (S形特性)

図2は、本回路の負性抵抗電圧—電流特性を測定したものである。

3. 光制御形負性抵抗回路とその特性

図1に示す基本回路に、外部光の受光用回路を付加すれば、図2に示した負性抵抗特性(以下S形特性と略記)を外部からの光入力により制御することができる⁵⁾。

図3は、2つの外部光入力 L_A 及び L_B (発光素子としてそれぞれ LED_A 及び LED_B を使用)に対する受光回路(PD_A と Tr_A 及び PD_B と Tr_B)をそれぞれ有する光制御形負性抵抗回路(以下LNRCと略記)の構成図を示したものである。

図4は、外部光入力 L_B を零(LED_B に加える電流 I_B を零)にした場合に、外部光入力 L_A として LED_A に加える電流 I_A によりS形特性がどのように変化するかを示したものであり、図5は I_A とブレイクオーバー電圧 V_T の

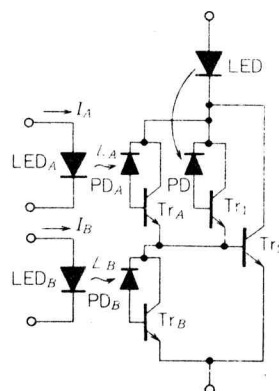
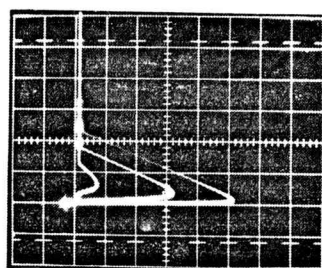
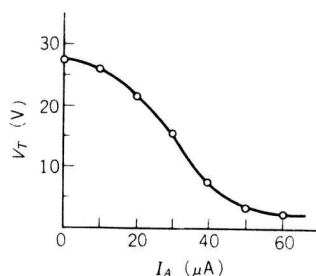


図3 光制御形負性抵抗特性



(右から $I_A: 0, 25, 50 \mu A$)

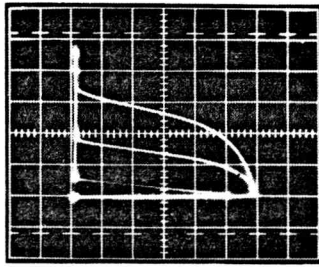
($V: 25 \mu A/div$)
($H: 5 V/div$)

図4 I_A による $V-I$ 特性の変化($I_B=0$)図5 I_A と V_T の関係

関係を実験的に求めたものである。

図6は外部光入力 L_A を零すなわち I_A を零にした場合に、 I_B によりS形特性が変化の様子を示したものであり、図7は I_B と V_T の関係及び I_B とホールド電流の関係を、それぞれ測定したものである。

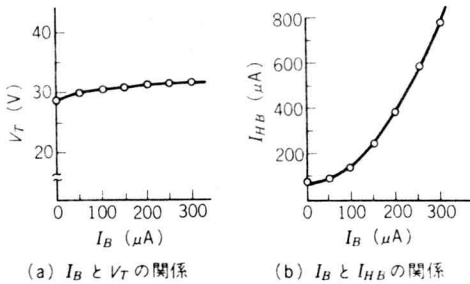
外部光入力 L_A により V_T が減少するのは、 L_A による Tr_A のエミッタ電流が Tr_2 のベースへ注入されるので、 Tr_2 のなだれ降伏状態が能動状態へ変化するためである。従って、外部光入力 L_A は、一般の光SCRの光ゲート入



(下から I_B : 0, 100, 200 μA)

(V : 25 $\mu\text{A}/\text{div}$)
(I : 5 V/div)

図6 I_B による $V-I$ 特性の変化($I_A=0$)



(a) I_B と V_T の関係

(b) I_B と I_{HB} の関係

図7 I_B による V_T および I_{HB} の変化

力に対応しており、LNRCをOFF状態からON状態へ転移させるターンオン動作に利用することができる。

一方、外部光入力 L_B は、ブレイクオーバー電圧をほとんど変化することにし、ホールド電流 I_{HB} を増加させる。これは、 T_{r1} のエミッタ電流が T_{rB} へ流入されるので、 T_{r2} のベース電流が減少するからである。

外部光入力 L_B は、LNRCをON状態からOFF状態へ復帰させるターンオフ動作に利用することができる。

LNRCが外部光入力によりターンオフできるのは、一般の光SCRに見られない新しい特長である。

4. 応用例^{(3),(6)}

図3に示したLNRCは、外部光入力 L_A のみを使用する場合、一般の光SCRと同様の動作に利用することができる。ここでは、LNRCの外部光入力 L_B により、ホールド電流が変化することを利用して、一般の光SCR

Rを用いては実現が容易でないオプトロニクなスイッチング動作へ応用した具体例について示す。

4.1 し張発振動作の光制御

LNRCを用いてし張発振回路を構成すれば、外部光入力 L_B により発振制御を行なわせることができる。

図8はLNRCを用いた光制御し張発振回路の構成図を示したものである。LED₀は、し張発振出力を光パルスとして得るために付加したものである。

図9は本し張発振回路の動作過程を説明するために、S形特性と負荷線の関係を示した動作説明図である。

負荷線を外部光入力 L_B のない場合のS形特性(L_N)とは飽和領域のみ(点A)に、 L_B のある場合のS形特性(L_B)とは負性抵抗領域のみ(点B)に、それぞれ動作点をもつよう設定する。

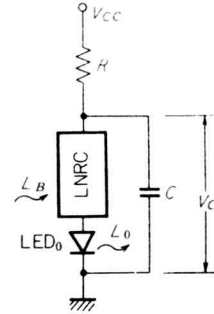


図8 光制御し張発振回路

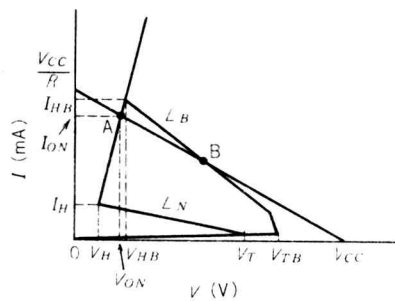


図9 動作説明図(S形特性と負荷線の関係)

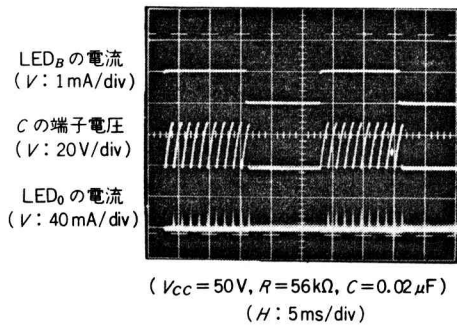


図10 動作波形

外部光入力 L_B のないとき $LNRC$ は ON 状態にあり、し張発振は起らないで、 L_B のあるときのみし張発振は持続する。

発振条件は、

$$\begin{cases} V_{cc} > V_T \\ \frac{V_{cc} - V_H}{I_H} < R < \frac{V_{cc} - V_{HB}}{I_{HB}} \end{cases} \quad (1)$$

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

図10は、 $V_{cc} = 50 \text{ V}$ 、 $R = 56 \text{ k}\Omega$ 及び $C = 0.02 \mu\text{F}$ に設定した場合の動作波形を示したものである。

本し張発振回路は、簡易な光パルス幅一光パルス数変換器として利用することができる。

4.2 光パルス遅延動作

図8に示したし張発振回路は、S形特性と負荷線の間を少し変更するだけで、単安定回路として動作し光パルス遅延動作に利用することができる。

図11は、単安定動作に対する図9に示したのと同様の動作説明図である。

負荷線を外部光入力 L_B がない場合のS形特性 (L_N) とは ON 領域のみ (点A) に、外部光入力 L_B がある場合のS形特性 (L_B) とは OFF 領域のみ (点B) に、それぞれ動作点をもつように設定する。

動作点Aは安定点であり、外部光入力 L_B があれば、

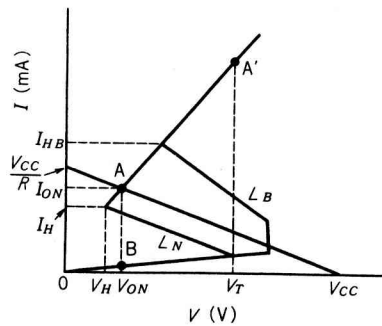
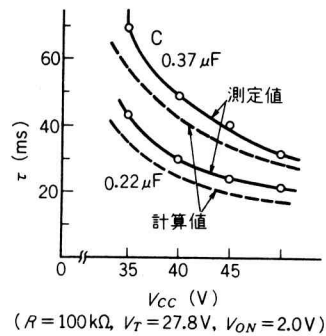


図11 単安定動作に対する動作説明図

図12 V_{cc} と τ の関係

$LNRC$ は OFF 状態になり、動作点は点Bに移る。従って、コンデンサCは電流 V_{cc} により充電され、コンデンサの端子間電圧 v_c が V_T に達すれば、 $LNRC$ はターンオンして動作点は点A'に飛躍し、コンデンサの電荷は $LNRC$ のON時の内部抵抗により直ちに放電されるのでLED₀からは光パルスを発生し、動作点は点A (安定点) に復帰する。

この場合の動作条件は、

$$V_T < V_{cc}, \quad I_H < I_{ON} < I_{HB} \quad (2)$$

で与えられる、但し、 I_{ON} は動作点の電流値である。

遅延時間 τ は、 $LNRC$ のターンオンとターンオフの時間およびON時の内部抵抗を無視すれば、次式で与えられる。

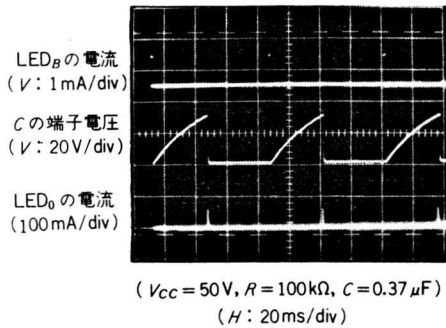


図13 動作波形

$$\tau = CR \ln \left(\frac{V_{CC} - V_{ON}}{V_{CC} - V_T} \right) \quad (3)$$

図12は、遅延時間 τ が V_{CC} によりどのように変化するかについて実験結果と計算結果を示したものである。

図13は、 $V_{CC} = 50 \text{ V}$, $R = 100 \text{ k}\Omega$ 及び $C = 0.37 \mu\text{F}$ に設定した場合の動作波形を示したものである。

5. むすび

本文では、本来回路結合素子であるホトカブラが単に一次側と二次側とを縦続接続するだけで、電流制御形負性抵抗特性を呈示する能動素子となることを示し、この負性抵抗特性のブレイクオーバー電圧およびホールド電流が、2つの外部光入力によりそれぞれ制御できることを実験的に明らかにした。

本負性抵抗特性をオプトロニックなスイッチング要素として利用した具体的な応用例として、し張発振動作の光制御、光信号を対象とした単安定動作が、それぞれ簡単な回路構成で、容易に実現できることを示した。

今後、ホトカブラが単なるインタフェース素子としての利用ばかりでなく、オプトロニック能動素子として広く利用できるものと思われる。

謝辞 日ごろ御支援いただいている大阪市立大学工学部北浜安夫教授ならびに志水英二助教授に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 高橋, 山内: “ホトカブラの負性抵抗特性”, 電子通信学会論文誌 (C), J 60-C, 1, P.62. (昭52-01).
- (2) Takahashi, H. and Kitahama, Y.: “An Optronic Negative Resistance Circuit”, IEEE J. Solid-State Circuits, SC-9, 2, P. 79. (April 1974).
- (3) 高橋, 山内, 北浜: “ホトカブラによる負性抵抗回路とその応用”, 電子通信学会論文誌 (C), J 61-C, 8, P.497. (昭53-08).
- (4) 高橋, 山内: “ホトダーリントンの負性抵抗特性” 昭52 電子通信学会総合全国大会, No462.
- (5) 高橋, 山内: “ホトダーリントンの負性抵抗特性” 昭52 電子通信学会半導体部門全口大会, No198.
- (6) 高橋, 山内: “ホトダーリントンの負性抵抗特性 (IV)”, 昭52 電気関係学会関西支部連合大会, G12-4.

会話型画像処理システムの開発

中 村 善 一 ・ 上 田 勝 彦

Development of Interactive Image Processing System

Yoshikazu NAKAMURA and Katsuhiko UEDA

NOVA-01 の RDOS の下で働く会話型画像処理システムを構成した。本システムは、プログラムスワップ機構を用いて構成したため、従来発表されているシステムに比べて、処理プログラム作成の自由度が増し、コアの有効利用が可能となった。本報告は、特にシステムのソフトウェア構成について述べ、あわせて簡単な処理例を示した。

1. ま え が き

計算機による画像処理の研究が、近年盛んに行なわれるようになってきた。一般に画像処理は、特殊な入出力装置を必要とすること、また一連の処理を人間が判断を下しながら行なう場合が多いことから、ミニコンピュータを用いた会話型システムが広く用いられている^{(1)~(3)}。当研究室でもこのような観点から、ミニコンピュータを用いた会話型画像処理システム NIPS (Nara Technical College Image Processing System) を構成した。

従来発表されているシステムは、OS (Operating System) 自体を画像処理向きに作った画像処理専用システム⁽¹⁾と、汎用の OS の下で運用される画像処理システム^{(2), (3)}とに大別できる。前者は主にメーカーサイドで作られるシステムであり、ユーザーが OS を作ることは困難である。また後者は、汎用の OS の下で運用されるため、画像処理システムの常駐部を大きくすると処理プログラムや画像データ用レジスタ領域が小さくなる。この解決策として、従来のシステムではオーバーレイ構造を用いていた。

本システムは後者のシステムであるが、従来のようなオーバーレイ構造ではなく、プログラムスワップ機構を基にしたシステムであるため、

- (1) システムメインプログラムがコアに常駐しない。
- (2) 処理プログラム領域、画像データ用レジスタ

領域が可変となり、処理プログラム作成の自由度が増す。

という特徴を持つ。

以下本文では、ハードウェア構成について述べ、次にソフトウェア構成、特にシステムメインプログラム、画像データ管理プログラムについて述べる。また最後に簡単な処理例を示す。

2. ハードウェア構成

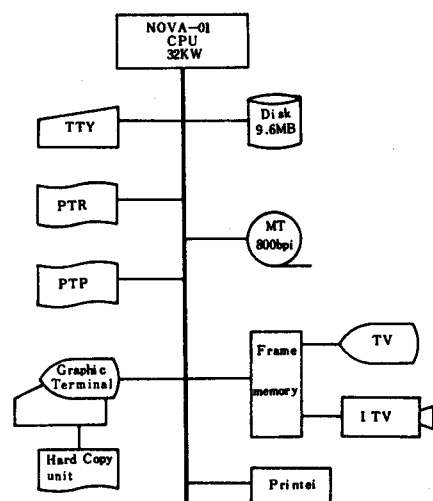


図1 ハードウェア構成

図1にシステムのハードウェア構成を示す。

CPUはNOVA-01 (32 KW) を用いている。画像処理にかかすことのできない入出力装置はTV系を用いており、ITV から読み込まれたデータは一旦64KBのフレームメモリに書き込まれ、画像データは、このフレームメモリとコア間でやりとりされる。このため、画像データの高速入出力が可能となる。また、このフレームメモリを画像レジスタとして使用することも可能である。

3. ソフトウェア構成

次のような考え方を基に、ソフトウェアシステムを構成した。

- (1) システムはNOVA-01のRDOS (Real Time Disk Operating System)の下で運用される。
- (2) コンソールからコマンドをキーインすることにより処理プログラムが実行できる。
- (3) 扱う画像の大きさは任意 (最大 256 × 256) である。
- (4) 処理プログラムは、処理速度等の点から、アセンブリ言語で書く。
- (5) コアの有効利用、および処理プログラム作成の自由度を増すため、プログラムスワップ機構を用いて処理プログラムを実行する。
- (6) コアに入りきらない大きな画像についても、処理プログラム内で統一的な扱いができるように、画像データ管理プログラムを設ける。

図2にシステムのコアマップを示す。システムはスワ

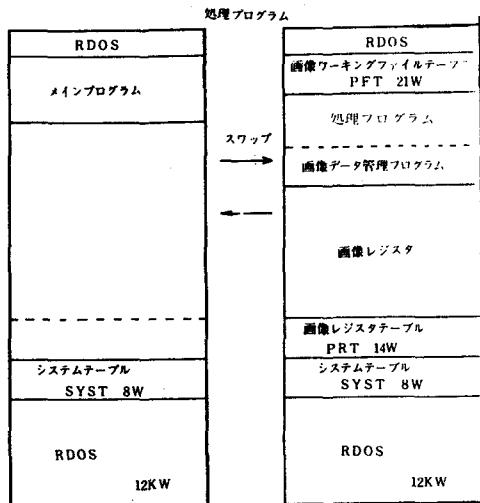


図2 コアマップ

ップ後、システムおよび画像ワーキングファイル、画像レジスタに関するテーブル、SYST, PFT, PRTを持つ。

3.1 メインプログラム

メインプログラムに種々の管理機能を持たせ大きなプログラムとして常駐させると、処理プログラムおよび画像レジスタ領域が小さくなってしまふ。そこで従来発表されている多くのシステムでは、処理プログラムをセグメント化しディスクファイルからオーバーレイ領域にロードして実行する形式が採用され、メインプログラムは単に指定された処理プログラムをオーバーレイ領域へロードし実行する機能しか持っていない。このようにシステムを構成した場合、オーバーレイおよびレジスタ領域は固定となり、処理プログラムの大きさや構造に制限が加えられることになる。

そこで本システムでは、処理プログラムをセーブファイル (実行可能形式のファイル) としてディスク上に持たせ、メインプログラムは指定された処理プログラムをコア上にスワップし実行する形式を用いた。プログラムスワップを用いることにより、処理プログラム作成の段階において、その大きさに制限が加えられず、大きな画像レジスタを必要とする場合は、処理プログラム自体をオーバーレイ構造あるいはチェーン構造にすることにより処理プログラムを小さくし、レジスタ領域を拡張することができる。

図3のフローに示すように、メインプログラムは、まずシステムテーブル (システムに関する情報を持つ) を作成し、画像レジスタテーブル領域を確保する。次にコンソールよりキーインされたコマンドラインを解釈し処理プログラムにスワップする。

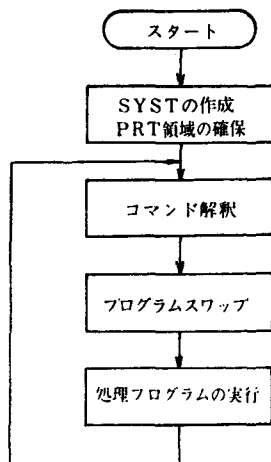


図3 メインプログラムの実行フロー

3.2 画像データ管理プログラム

扱う画像サイズの最大は 256×256 であり、コア内に入りきらない。そこで、ディスク上に PICWORKF という 2049 ブロックのワーキングファイルを用意し、画像データは、このワーキングファイルと画像レジスタとを通してやりとりするようにした。ワーキングファイルは図 4 のような構造を持つ。ワーキングファイル上の画像の大きさは可変であり、それぞれに画像番号 P #1 ~ P #N までが与えられる。

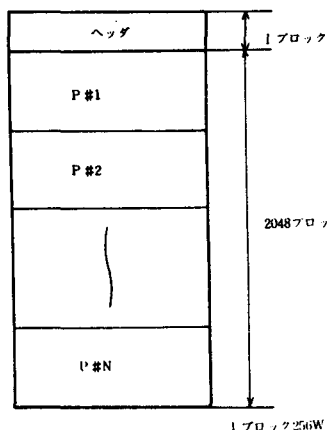


図 4 ワーキングファイルの構造

ワーキングファイルとレジスタ間のアクセスを円滑にするために、ワーキングファイルが仮想的に配列であるとみなし、次のような 3 つの画像データ管理プログラムサブルーチンを作成した⁽²⁾。

(1) .PMP1 サブルーチン

呼び出し形式

(AC0) = レジスタの個数
 (AC1) = 出力ファイルの型
 1 : バック形式 (1 画素 8 ビット)
 2 : 整数型 (1 画素 16 ビット)
 4 : 実数型 (1 画素 32 ビット)
 (AC2) = 出力ファイルの最高アドレス
 上位 8 ビット : X アドレス
 下位 8 ビット : Y アドレス
 JSR @PMP1

ワーキングファイルがオープンされ、コマンドラインにより指定された P # のヘッダ情報が PFT ヘロードされ

る。また指定された P # が新しい番号であれば出力ファイルとみなされ、AC1, AC2 の内容を参照し PFT にヘッダ情報を作成する。また AC0 で指定された個数のレジスタ領域を確保し、その情報を PRT に書き込む。

(2) .PMP2 サブルーチン

呼び出し形式

(AC0) = 上位 8 ビット : PFT のファイル番号
 下位 8 ビット : レジスタ番号
 (AC1) = 上位 8 ビット : X アドレス
 下位 8 ビット : Y アドレス
 (AC2) = 0 : READ, 1 : WRITE
 JSR @PMP2
 (CALL + 1) 番地
 戻り番地

AC0 で指定された P # とレジスタ領域の対応がとられ、AC1 で指定されたアドレスの画素の値が、READ なら (CALL + 1) 番地で指定されたアドレスへロードされる。WRITE の場合は、その逆を行なう。

AC1 で指定した画素がレジスタ内にある場合は、レジスタ内の相当する場所へアクセスする。レジスタ内になければ、指定した画素アドレスからレジスタ内へデータを転送しアクセスするという方法をとっている。

(3) .PMP3 サブルーチン

呼び出し形式

JSR @PMP3

処理終了後レジスタ内の残りのデータおよび PFT の内容をディスクへ戻すとともに、ワーキングファイルをクローズする。

以上 3 つの画像データ管理プログラムを用いることにより、処理プログラムでは、ディスクとレジスタ間とのデータ転送を考える必要がなくなりプログラム作成が容易になる。

3.3 処理プログラム

現在、基本的な画像処理プログラムを作成中であり、できるだけ多くの処理プログラムを作成し、充実させていく予定である。

NIPS START

```

COMMAND?
*  ITVIN  P#1      : I TVよりP # 1へ画像入力
COMMAND?
*  LAPLS  P#1 P#2  : P # 1の画像を2次微分しP # 2へ
COMMAND?
*  TVOUT  P#2      : P # 2をTVへディスプレイ
COMMAND?
*    E           : END コマンド

```

NIPS END



入力画像



ラプラシアン像

図5 処理例

4. 処 理 例

本システムを用いた簡単な例として、ITV より画像を入力し、ラプラシアンをとりTVに出力した結果を図5に示す。

5. あ と が き

NOVA-01 のRDOSの下で働く会話型画像処理システムの1構成法を示した。本システムは、従来のシステムに対しプログラムスワップを用いることにより、処理プログラム作成の自由度が増し、またコアの有効利用が可能になったという特徴を持つ。しかし、まだ処理プログラムが充実しておらず、これから処理プログラムの充実

をはかるとともに、管理機能を付加し、より使い易いシステムにする予定である。

文 献

- (1) 麻田他：“会話型画像処理システムTOSPICS”
信学技報PRL 75-51, PP 19~30
- (2) 高木, 坂上：“ミニコンピュータによる対話型画像処理ソフトウェアシステム”, 信学技報IE77-63, PP. 21~30
- (3) 木村, 福島, 相馬：“小規模ハードウェアで実現する会話型汎用画像処理システム”, 信学技報PRL 78-84, IE 78-104, PP. 49~56

マイクロコンピュータシステムNATEC/Zの開発

成 田 紘 一 ・ 世 古 忠

Development of Micro Computer System NATEC/Z

Hirokazu NARITA and Tadashi SEKO

本稿はザイログ社のマイクロプロセッサZ-80を使用したマイクロコンピュータシステムNATEC/Z (Nara TEchnical College system Z-80) について述べたものである。

このシステムは、RAMを48KB、ROMを2KB備えており、又外部記憶装置として、256KBのフロッピーディスク装置2台と800bpiのデジタルカセットテープ装置2台を備えている。さらにこのマイクロコンピュータシステムは2KBの強力なモニターの下で動作させることができると共に、CP/Mというフロッピーディスクベースのオペレーティングシステムが稼動しファイル管理を始め高級言語も利用できる様になっている。

1. まえがき

最近マイクロプロセッサを応用した各種装置の研究・開発が、企業や大学などで盛んに行われて来ている。現在商品化されているものとしてはミシン、電子レンジ、洗濯機等の様な家庭電化製品、自動車、テレビゲーム、ビジネスコンピュータなどがあげられるが、今後増々、その応用範囲は広がるものと思われる。最近の業界紙等によれば、「マイクロコンピュータを扱える技術者を持たない企業は、今後生き延びることはできないだろう」などと云われている。

この様なことから本校においても学生にマイクロコンピュータに関連した技術を教授することは、非常に重要なことと思われ、そこで著者らは第1段階として、マイクロコンピュータソフトウェア開発用のシステムとして、NATEC/Z (Nara TEchnical College system Z-80) を開発したので報告する。

マイクロコンピュータとは、その核である中央処理装置 (CPU) が1チップで構成されているものの事を言う。この1チップのCPU即ちマイクロプロセッサの出

現はLSI技術の進歩により初めて可能となったのである。その最初のものは、1971年にインテル社から発表された4004でありその後1972年に8008が出され、更に1973年に同社から8080が発表された。そして、この8080の開発により今日の様な、マイクロコンピュータ時代が到来したのである。その後LSI技術の途方もない発達により半導体メモリーの容量も増大し、それと共に各種周辺機器を動作させるためのLSI素子の製造も行なわれる様になり現在では10数年前の中型機並の機能のものが机の上に置かれて使用できる様になったのである。

本システムで使用されているマイクロプロセッサは、ザイログ社のZ-80⁽¹⁾である。このマイクロcpuは、8080の命令 (78種) と機械語レベルでは同一であるが、さらにそれ以上の命令80種を持ち、合計158種類の命令を持っている。このZ-80は、8ビットのcpuとしては市販されているものの中で最強のcpuと思われる。

本稿では以下においてまず始めにNATEC/Zの概略が述べられ次に、このシステムを構成している各モジュールのハードウェアが、その後ソフトウェアが述べられている。

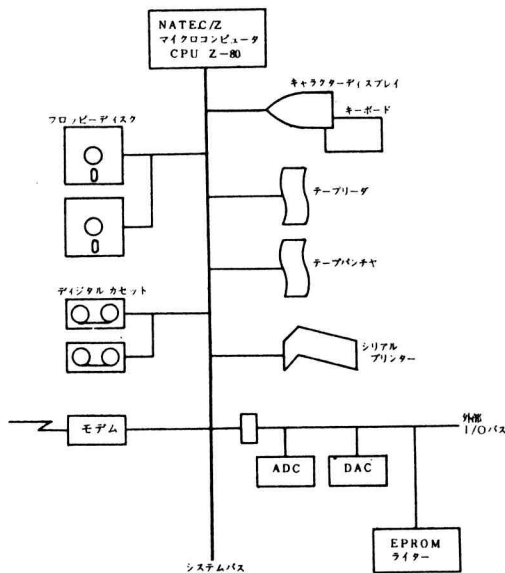


図1 マイコンコンピュータシステムNATEC/Zの構成

2. NATEC/Zのシステム構成

今回開発したNATEC/Zのハードウェア構成を図1に示す。このシステムは、48KBのRAM及び2KBのROMを備えておりモニター用を使用しCRTディスプレイと対話するようになっている。

マイクロコンピュータのバスとして一般的にはS-100バスが考えられるがこのバス方式にはいくつかの欠点があり又、ボード上での配線等も考慮に入れここでは当研究室独自の100ピンバスを使用している。このシステムにはCRTディスプレイ以外に、紙テープ・リーダーと紙テープ・パンチ及びシリアル・プリンターが接続されており、これらはパラレルI/Oポートにより制御されている。その外に又シリアルI/Oポートが設けてあり、これにはカンサスシティ・スタンダードのモデム装置が接続され、外部機器と対話するか又はオーディオカセットテープが使用できる様になっている。本システムから44本の外部I/Oバスが出ておりこれには、EPROM書き込み装置、4チャンネルのマルチプレクサー、プログラムドライバンプ、8ビットA/Dコンバータ、8ビットD/Aコンバータ2チャンネル、10ビットD/Aコン

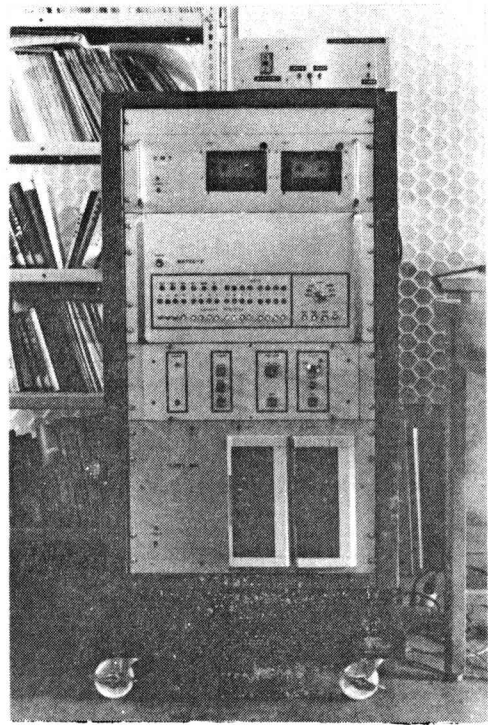


図2 NATEC/Z外観

バータ2チャンネルが接続されている。

外部記憶装置としてIBMコンパチブルの256KBのフロッピーディスク装置2台が接続されており、この装置はLSIのコントローラで制御されており、50芯のフラットケーブルでバッファを介して100バスと接続されている。また、外部記憶装置としてさらに、800 bpi片面256KBのデジタル・カセットテープ装置2台が装備されている。これはコントローラ付の市販品であり、フロッピーディスクと同様バッファを介して100バスと接続されている。

図2に、NATEC/Zシステムの外観写真を示す。

3. システムの各モジュール

この節では、図3に示すNATEC/Zを構成する各モジュールにつき簡単に述べる。

3.1 CPU基板

cpuはZ-80を使用している。アドレスバス、データバス、コントロールバスはそれぞれTTLファンアウト10以上のバッファが挿入してあり、このバッファを通して100バスと結合している。又この基板には、Z-80のモード2を使用したエンコーダSN74148による16ポートの割込み端子が接続されている。

図4に、マニュアルにより半田付け配線されたcpu基板の写真を示す。

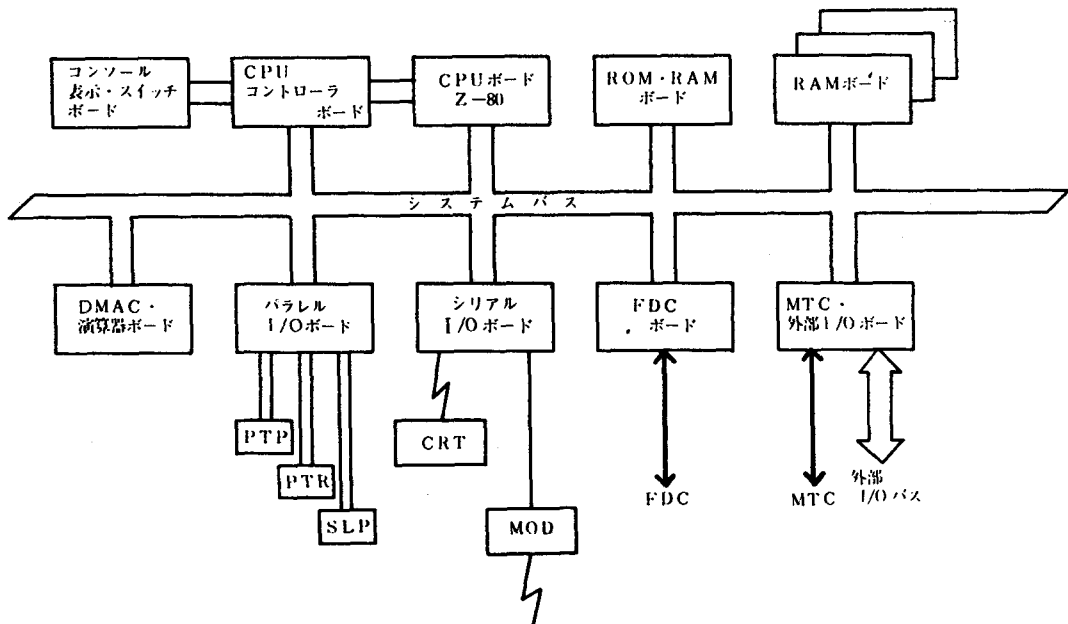


図3 NATEC/Z内部構成モジュールボード

3.2 cpuコントローラ基板

この基板は、ハードウェアデバッグを行うためのロジック基板であり、1ステップ動作、アドレス・スタート、アドレス・ストップ、イグザミン・デポジット機構が含まれる。

3.3 コンソール・パネル表示、スイッチ基板

これは、アドレス・バス、データ・バス、コントロール・バスの状態を表示するためLED表示用バッファ、及びデバッグを行うためのスイッチ類のロジック回路を持った基板である。

3.4 DMAコントローラ、演算器基板

DMAコントローラは、インテル社のLSI8257²⁾を使用しアドレスバス、データバス、コントロールバスはcpuボードと同様にTTLファンアウト10以上のバッファを通して100バスと結合している。ハードウェア演算器は浮動小数点四則演算等が可能な、アドバンスト・デバイス社のLSI Am 9511³⁾を使用している。

3.3.5 ROM, RAM基板

モニターの入った2KBのROM（インテル2708 2個）とモニターワーキングエリア用1KBのRAM（インテル2114L）で構成された基板である。

3.6 RAM基板

4KビットスタティックRAM三菱M58754を32個使用した16KBのRAM基板であり、アドレスバス上位4ビットはデジタルスイッチで選択できる様になっている。本システムではこの基板3枚で48KBのRAMを構成している。RAM基板以外の基板は全て、マニュアルによるいわゆる、ザルソバ配線を行ったがこの基板のみ特注によるプリント配線を行った。

3.7 シリアルI/O、タイマ基板

シリアルI/Oポートはインテル8251を2個使用した。1個はコンソールCRTターミナル用であり、他の1個は、カンサスシティ標準のモデム用である。

プログラムタイマはインテル8253を2個使用しており合計6チャンネルのタイマー端子がある。更に又、このボードには、インテル8224を使用したクロックジェネレータがあり、これより得られた2MHzのクロックは、cpuへ送られている。又このボードにはプログラム可能なボーレート発生器も付いている。

3.8 パラレルI/O基板

パラレルI/Oとしてインテル8255が2個使用しており、1個はPTR、PTPを制御し、他方はシリアルプリンタが接続されている。

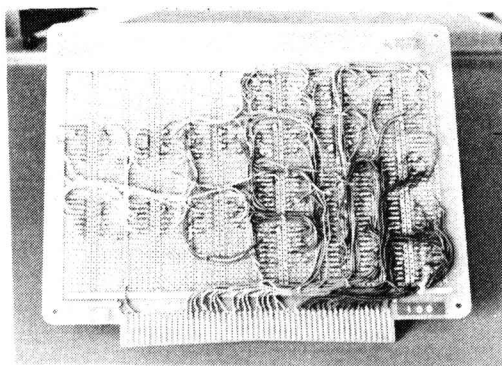
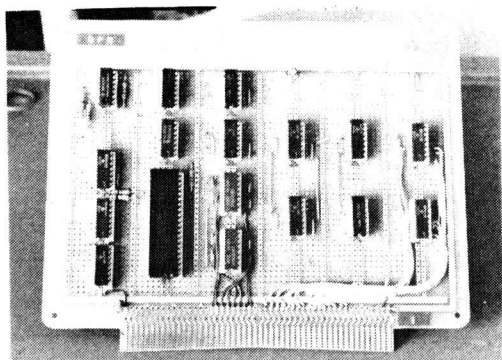


図4 CPU基板

3.9 フロッピーディスクコントローラ基板

この基板は、フロッピーディスクコントローラ東芝、T 3444 Aを制御するための各種のロジックを含んでおり、この基板から50芯のフラット・ケーブルを通してフロッピーディスクコントローラを含むディスク装置と接続されている。

3.10 デジタルカセット、外部I/Oコントロール基板

これは、TEAC MT-2を2台稼働させるための、ハードロジックを持っている。又インテル8216を使用した外部I/O (A/D, D/A, EPROM書き込み装置等) へのバッファも含んでいる。

図5に、以上の基板が筐体に挿入してある時の写真を示す。

以上でハードウェアの各部についての説明は終るが、紙面の都合上回路図はすべて省略した。



図5 内部ボード

4. システムソフトウェア

今回開発したNATEC/Zは以上のようなハードウェア構成となっているが以下において、本システムを稼働させるシステムソフトウェアについて述べる。

本システム用に今回2KBのモニターを開発し更にフロッピーディスクベースのオペレーティングシステム、CP/M⁽⁴⁾を導入した。

図6にメモリ最大装備の場合のメモリマップを示す。モニタの格納領域は、E000H番地からE7FFH番地までの2KBを占めEC00H番地からEFFFH番地迄の1KBはモニターのワーキングエリアとして使用している。CP/Mは、0番地からBFFFH番地までの48KBのRAM領域で動く様になっている。

4.1 NATEC/Zモニター

モニターのスタート番地はE000Hであり、コンソールスイッチにより強制的にこの番地にジャンプさせる様になっている。このモニターは当初ハードウェア開発段階においてデバッグ用としてインテル社SDK-80⁽⁵⁾のモニター(1KB)を使用していた関係上、SDK-80モニターで使用されたコマンド機能はすべて生かし必要なコマンドを追加する事により作成した。

本モニターコマンドは1文字又は2文字の英字名からなりそのすぐ後に適当な番地を指定する形式をとる。

以下にコマンドの種類と機能を示す。但しst, edはそれぞれスタート番地、エンド番地を示し16進4桁以内の数を表わすものとする。又↵はキャリッジリターンを示す。

(1)Rコマンド 形式 Rst, ed ↵

紙テープリーダーよりバイナリデータを読みメモリの、st番地からed番地に格納する。

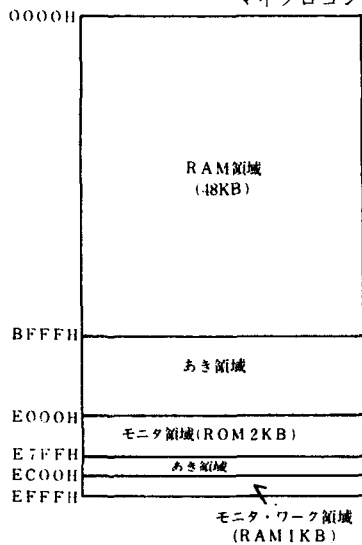


図6 NATEC/Zメモリマップ

- (2)P コマンド 形式 Pst, ed ↵
 メモリのst番地からed番地までの内容をそのままバイナリ・データとして紙テープに出力する。
- (3)L コマンド 形式 Lst, ed ↵, L↵
 st, ed が示された場合インテル16進フォーマットの紙テープを読み強制的にメモリのst番地からed番地に格納する。L↵の場合は、紙テープにすでにパンチされている格納アドレスに格納する。
- (4)H コマンド 形式 Hst, ed ↵
 メモリのst番地からed番地までの内容をインテル16進フォーマットで紙テープにパンチする。
- (5)O コマンド 形式 Ost, ed ↵
 メモリのst番地からed番地までの内容を16進ASCIIコードでシリアルプリンターに出力する。
- (6)T コマンド 形式 Tst ↵
 ROM書き込み器にセットされたROMの内容をメモリのst番地から1KB分格納する。
- (7)W コマンド 形式 Wst ↵
 メモリのst番地から1KB分のデータをROMに書き込む。
- (8)V コマンド 形式 Vst ↵
 ROM書き込み器にセットされたROMの内容とメモリのst番地からの1KB分のデータとを比較し一致しないときは、次のコマンド待ちとなる。
- (9)F コマンド 形式 FLst, ed ↵
 FWst, ed ↵
 FLのときは、オーディオカセットの内容をメモリのst番地からed番地に格納する。FWのときは、メモリの内容をカセットテープに書き込む。
- (10)C コマンド 形式 C↵
 CP/Mシステムをメモリにロードする。

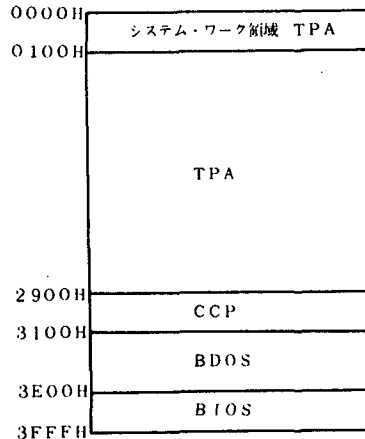


図7 CP/M16KB版メモリマップ

- (11)K コマンド 形式 K↵
 メモリのあらかじめ決められた番地からのデータを、フロッピーディスクの0, 1トラックに書き込む。

以上が新しく追加したコマンドであるがSDK-80モニタのG, D, S, X, Mコマンドもすべて使用できる。

4.2 CP/Mシステム

図7に示す通りCP/Mは大きく、3つの部分に分けられる。即ちCCP (Console Command Processor) と呼ばれるコマンド処理の部分, BDOS (Basic Disk Operating Sgstem) と呼ばれるファイル管理の部分及びBIOS (Basic I/O system) と呼ばれる入出力ルーチンの部分である。この内, CCP, BDOSは入出力装置に依存しない様にな書かれており、我々が修正を加えるのはBIOSの部分のみであり非常に都合である。

CP/Mディスクットには以上に付随し、その下で働くソフトウェアとして、アセンブラ (ASM), エディタ (ED), デバッガ (DDT), ファイル転送 (PIP) などが存在する。更にこのCP/Mの下で動く, COBOL, FORTRAN, ALGOL, PASCAL, APL 等の高級言語処理プログラムが市販されている。

図8にCP/Mディスクットのファイル・ディレクトリをシリアルプリンタに出力した結果を示す。

CP/MのBIOSは, CCP及びBDOSとの交信を個々の入出力装置のドライバールーチンに書かれているアドレスへのジャンプ先を示したJUMPテーブルを介して行う。

現在CP/MのBIOSでサポートしている入出力装置はCRTディスプレイ, 紙テープ・リーダー, 紙

```

A>DIR
A: MOVCPM COM
A: PIP COM
A: SUBMIT COM
A: ED COM
A: ASM COM
A: DDT COM
A: LOAD COM
A: STAT COM
A: SYSGEN COM
A: DUMP COM
A: DUMP ASM
A: BIOS ASM
A: CBIOS ASM
A>B:
B>DIR
B: MOVCPM COM
B: PIP COM
B: SUBMIT COM
B: ED COM
B: ASM COM
B: DDT COM
B: LOAD COM
B: STAT COM
B: SYSGEN COM
B: DUMP COM
B: DUMP ASM
B: BIOS ASM
B: CBIOS ASM
B: SCBIOS ASM
B: SCBIOS BAK
B>

```

図8 CP/Mディレクトリ例

テープパンチャ、シリアルプリンタである。

フロッピーディスクのREAD, WRITEルーチンの一例を図9に示す。これは、cpuにWAITを持たせた方式の場合のプログラム例である。

5. おわりに

本校において開発されたマイクロコンピュータ・システムNATEC/Zのハードウェアとソフトウェアの概要が述べられた。現在このシステムは何らのトラブルもなく順調に稼動していることから、この様なマイクロコンピュータとしては、大形の部類に入るシステムであっても、マニュアル配線でも充分実用になることがわかった。しかし更に信頼性を向上させるにはどうしてもプリント配線を行う必要があるだろう。

このシステムで使用している言語は、現在のところ、アセンブリ言語であるが、複雑なプログラム開発を容易にすすめるにはやはり高級言語が必要であり、近い将来FDOS-CP/Mの下で走るBASICコンパイラ及びFORTRAN等を導入する予定である。

文 献

- (1) 「モステック Z80 マニュアル」モステック社
- (2) 「intel Component Data Catalog 1979」インテル社
- (3) 「Algorithm Details for The Am9511 Arithmetic Processing Unit」Advanced Micro Devices
- (4) 「An Introduction To CP/M Features and Facilities」など, Digital Research
- (5) 「intel MCS-80 Sgstem Design Kit User's Guide」インテル社

```

***** READ DISK ROUTINE *****
READ: PUSH D
      PUSH B
      PUSH H
      MVI D, 0AH
      RTRYRD: MVI B, 80H
              LHLD DMAAD
              LDA TRACK
              OUT TRPORT
              LDA SECTOR
              OUT SCPORT
              MVI A, OFCH
              OUT DRPORT
              CALL STATUS
              MVI A, 0EH: SEEK AND READ CMMAHD
              OUT CDPORT: OUT CMD PORT
      RDATA: IN DPORTR: DATA IN FROM DISK DATA PORT
              MOV M, A
              INX H
              DCR B
              JNZ RDATA: LOOP UNTILL COUNT OVER
              OUT 6CH
              CALL STATUS
              IN DPORTR
              CPI 0FH
              JNZ RERR:
              MVI A, 0H: RETURN SUCCESS PARAMETER A=00 TO CP/M
              POP H : REGISTER UNSAVE
              POP B
              POP D
              RET
      RERR: DCR D : ERROR COUNT DECREMENT
              JNZ RTRYRD: IF NOT COUNT OVER, RETRY READ DISK
              MVI A, 01H : COUNT OVER, RETURN CODE A=00 TO CP/M
              POP H : UNSAVE REGISTER
              POP B
              POP D
              RET
***** DISK WRITE ROUTINE *****
WRITE: PUSH D
      PUSH B
      PUSH H
      MVI D, 0AH
      RTRYWR: MVI B, 80H
              LHLD DMAAD
              LDA TRACK
              OUT TRPORT
              LDA SECTOR
              OUT SCPORT
              MVI A, OFOH: DATA TRANSFER DIRECTION OFO=WRITE
              OUT DRPORT
              CALL STATUS
              MVI A, 0DH: SEEK AND WRITE COMMAND
              OUT CDPORT
      WDATA: MOV A, M
              OUT DPORTR: DATA OUT TO DISK OUTPUT PORT
              INX H
              DCR B
              JNZ WDATA
              OUT 6CH
              CALL STATUS
              IN DPORTR
              CPI 0FH: IF STATUS IS FIN NO ERROR
              JNZ WERR:
              MVI A, 0
              POP H
              POP B
              POP D
              RET
      WERR: DCR D
              JNZ RTRYWR
              MVI A, 01H
              POP H
              POP B
              POP D
              RET

```

図9 フロッピーディスクルーチン

漂白位相ホログラムの光学的条件

宮 田 正 幸

Optical Condition of Bleached Phase Hologram

Masayuki Miyata

ここ数年レーザ光を応用した、立体像再生としてのホログラムが種々作られて来た。しかしホログラムの作成技術、とくに再生像の明るさや抜けの点で国内の技術は外国に劣るといわれている。最近ホログラムの作成がレーザアートの一分野として脚光を浴びている折、よりよいホログラムを作成するためには、基本的な点について検討する必要があると思われる。このような意味で、ここでは小出力のレーザを使用し出来るだけ大きくて明るいホログラムを作成するための種々の条件について検討した。

1. まえがき

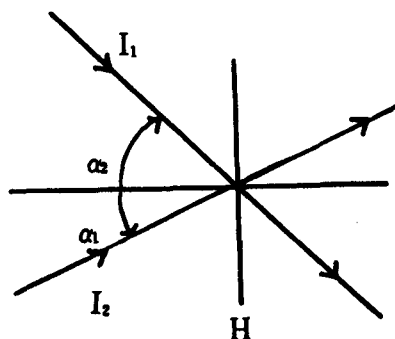
ホログラム作成の場合一番大切な事は、再生時にいかに明るく、明瞭な像を再生するホログラムを作成するかである。この点の技術について外国に劣っているといわれている⁽¹⁾最近ホログラムはDisplayの面でより高い技術が求められている。明るい再生像を得る手段として、振幅ホログラムを漂白して作る、漂白位相ホログラムがある。これは振幅ホログラムに比べて回折効率の点で非常に優れており明るいホログラムが作られる。位相ホログラムは現在いくつかの作成方法があるがここでは一般に使用されている写真乾板と同じ成分の感光材料を使用した。この写真乾板の漂白法については現在まで多くの論文^{(2) (3) (4) (7) (8)}が出されており、筆者もいろいろ試した中で、Direct Bleach法、Revasal Bleach法の中で回折効率の高いものを選んで使用し、また具体的にホログラムを作成する場合の光学的撮影条件の最適なものについていろいろ検討した。

2. ホログラム作成のための Photographic conditionについて

2.1 ホログラムの再生像の良否

ホログラムによる再生像の良否は、Fig 1のように、

2つの角度 α_1 , α_2 をもって写真乾板に入射する、平面波を $A_1 = a_1 \exp[-jR x \sin \alpha_1]$ および、 $A_2 = a_2 \exp[-jkx \sin \alpha_2]$ のダブルビームの干渉露光によって生じた干渉縞(回折格子)を用いて検討できる。



I_1, I_2 : intensity of incident wave

H: hologram plate.

Fig 1 Two beam Holographic Interference.

この回折格子の強度を I とすると次式が得られる。^{(5) (6)}

$$I = a_1^2 + a_2^2 + 2 a_1 a_2 \cos \{ kx (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \}$$

$$= I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos (2\pi N x) \quad (1)$$

ただし N はこの格子の空間周波数で $N = (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) / \lambda$ である。この干渉縞の変調度 (可視度) m は、強度 I の最大値 $I_{\max}$ と最小値 $I_{\min}$ で次式で定義される。

$$m = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (2)$$

(1) 式のような強度を写真乾板に露光として与えて現像すると振幅型ホログラムが得られる。この振幅型ホログラムは露光部のゼラチン層がその濃度に応じて盛り上っているレリーフ像を作っている。さらにこの振幅型ホログラムを漂白することにより、銀粒子を透明な銀塩粒子にするので、レリーフ像は露光量に応じた屈折率分布をもつ。このようなホログラムを位相ホログラムと呼ぶ。このホログラムの位相記録は、透過率を T とすると、

$$T = \exp \{ I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} O(N) \cos (2\pi N x) \} \quad (3)$$

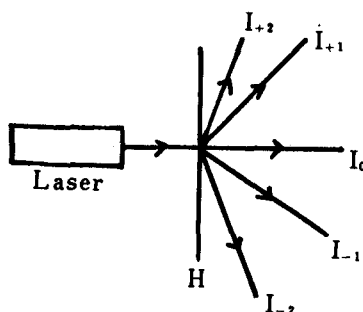
で表わせる⁵⁾ ここで $O(N)$ は感光材料の空間周波数特性である。(3) 式は Bessel 関数の公式を使うと、

$$T = J_0(a) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} J_n(a) \cos (2\pi N x) \quad (4)$$

を得る。ここで $a = 2\sqrt{I_1 I_2} O(N)$ である。これより漂白位相型ダブルビーム干渉露光による回折格子は、 T の位相透過率をもつ。この格子に入射光として平面波を入射すると、Fig 2 のような回折光があらわれる。いま入射光強度を I 、+1 次回折光強度 I_1 の比 $I_1/I \times 100(\%)$ をこのホログラムの回折効率 η と呼ぶ。ホログラムの再生像の良否は、回折効率 η が大きいとき像は明るくなる。一方ホログラムの乳剤の漂白によって入射光は散乱されるこれが Background Noise といわれ像の明瞭さをそこなう原因となる。軟調に現像された振幅ホログラムは、その回折効率は 6% ほどであることが分っているが、位相ホログラムの場合⁴⁾ 式によって高次の回折光を生じ +1 次波の回折効率は (4) 式から簡単な計算によって、振幅ホログラムより約 5 倍高いことが示される。これによって本質的に位相ホログラムが優れていることが分る。ホログラムの良否を決める η は露光量、 m などに複雑に関係してくる。

2.2 検討を行った Process および項目

位相ホログラムを作るための漂白法については、いく



I : incident waves
 I_0 : transmitted wave
 $I_{\pm 1}$: first order diffracted waves
 $I_{\pm n}$: higher order
 H : hologram plate

Fig 2 Experimental Set up for Measuring Diffraction Efficiency.

つかの Process が発表されているが、この中で比較的簡便なものと思われる次の 2 つについて限定した。

(1) Direct Bleach Process

(1)-(a) 赤血塩による漂白

(1)-(b) 重クロム酸アンモニウムとハロゲン塩による漂白法で R-10 と呼ばれている。

(2) Reversal Bleach Process

重クロム酸カリによる反転漂白と呼ばれ、現像後定着を行わずに漂白処理を行なう。これは R-9 反転漂白と呼ばれる。

これらの Process をまとめて Table 1 に示す。ただし Reversal Bleach の場合 step 4 が省略される。

Table 1 Processing Procedure

step	time
1 Expose	
2 Develop (20°C)	5 min
3 Stop bath	30 sec
4 Fix bath	10 min
5 Wash, running water	5 min
6 Bleach	
7 Wash, running water	5 min

以上のような Process について、(1) 黒化度と回折効率、(2) 空間周波数に対する最大回折効率、(3) 回折格子のバックグラウンドノイズ (4) 回折格子の経年変化、使用したレーザの干渉距離について比較検討した。

3. 実験および実験結果

3.1 ホログラム回折格子としての実験

前章でのべた項目について比較検討するため Fig 3 の光学的配置により 2 光束干渉の回折格子を作成した。

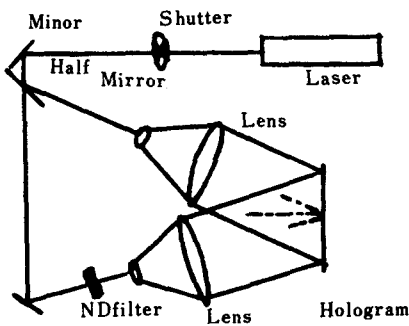


Fig 3 Optical Arrangement for Recording Hologram.

露光された乾板は Table 1 に上げた step により処理され、位相ホログラムとなる。この位相ホログラムに Fig 2 の配置で入射光を与えると、それぞれ透過光、回折光、散乱光に分けられる。それぞれの強度はホトマルによって測定された。実験に使用したレーザは出力 15mW の He-Ne レーザで乾板は Agfa 10E 75 を使用した。

Fig 4 は各プロセスにおける回折効率と黒化度との関係を示す。変調度 m の変化に対して回折効率と黒化度の関係の代表的なものとして Fig 4 (a) は $m=0.69$ 強度比になおすと $m^1 = I_1 / I_2 = 0.16$ Fig 4(b) は $m=0.99$ $m^1 = 0.76$ を示す。また Fig 5 に m の変化に対する回折効率を示す。この場合の試料は process (1)(B) で濃度は回折効率が最も高いと思われる $D=2$ をとった。

しかしデータにかなりのばらつきがあるのではっきりした傾向はわかりにくい。いずれのデータも既発表のデータより下まわっているがその原因については分らない。Fig 6 は process (1)(B) について角度 α 及びこれに対応する空間周波数 N と最大回折効率 $(I_1 / I)_{\max}$ との関係を示す。Fig 7 はバックグラウンドノイズ光の 1 次回折光の割合を % で表わしたものである。この場合中心が +1 次回折光の強度を表わす。これによると process (2) が一番小さく process (1)(a), process (1)(b) の順でこれは回折効率の順になっている。

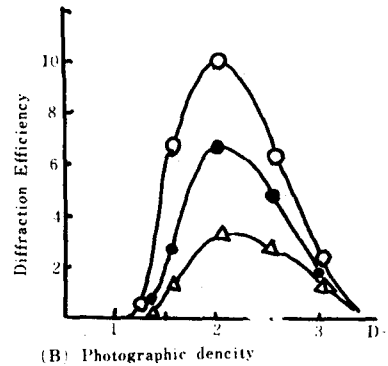
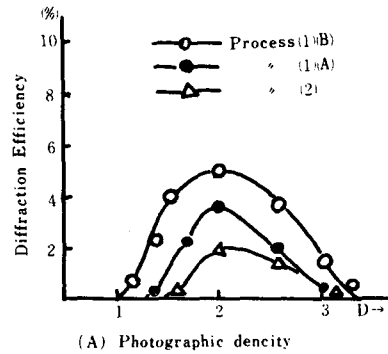


Fig 4 Diffraction Efficiency vs Photographic Density.

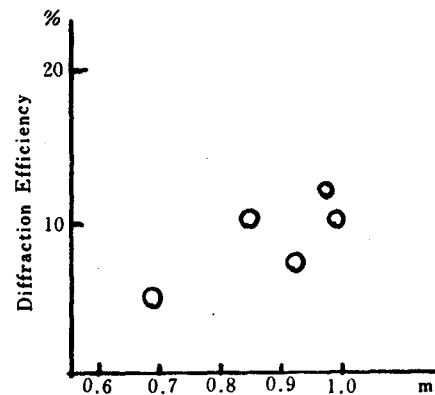


Fig 5 Diffraction of Hologram vs Photographic Modulation.

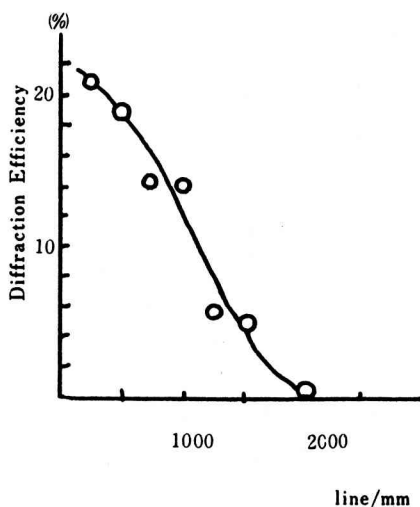


Fig 6 Maximam Diffraction Efficiency vs Spatial Frequency.

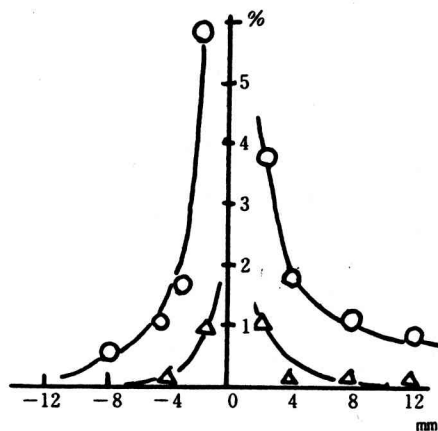


Fig 7 First order diffraction to Background Noise Density of ration vs distance from first order Diffraction Position.

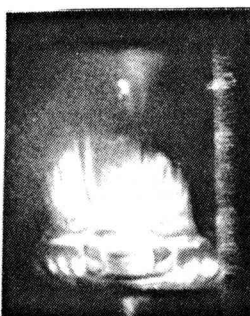
ホログラムの経日変化に対しては、おおよそ1年半にわたってホログラムを自然光にさらし回折効率の変化をしらべた。この結果process (1)B が比較的安定に保存できることが判明した。またこのレーザの可干渉距離は約20 cmで奥行きのある物体の再生に対しても十分であることが確められた。

3.2 3次元物体への応用

前節までの実験より具体的な三次元物体の反射型ホログラムを作成した。その結果を Photo 1 に示す。撮影条件は、物体波強度と参照波強度と1:10に露光時間は、



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

Photo 1 Examples of Reconstructive Image.

182 秒にも及んだ。これは黒化度を最大回折効率付近に選り比較的大きな物体 (10cm×10cm) の場合小出力レーザでは長期間露光になる。実際の再生像をみると(A)がOriginal物体、(B)振幅ホログラム、(C)Process(1)A(D)がProcess(1)B、(E)Process(2)でやはり回折効率の順に像が明るいのが分る。その他参照波の比率、露光時間等を変化させホログラムを作成したが、再生像の明るさに関していえば回折効率が高い所が良いが、像の鮮明さに関しては必ずしもいえない。

4. ま と め

漂白位相ホログラムの作成条件について多角的に検討した結果をまとめてみると、

(1)最も高い回折効率が得られたのは **Pirect Bleach** 法であった。しかしこの方法は **Intermodulation Noise** を構造上からみて発生するといわれておりこれが画像の鮮明さを悪くするといわれている。これに対し **Revasal Bleach** 法はこの **Noise** を減少させるといわれている。²⁾ このことは再生像について回折効率が低いこともあってはっきりと確認出来なかった。

(2)ホログラムの作成の光学的な条件については、露光量を黒化度が1～2の範疇にとれば回折効率が大きくとれることが判った。また変調度 m については、 $m \approx 0.69$ 強度比 $m^2 \approx 0.16$ 以上あれば良いことが実験的に判明した。

(3)ホログラムの安定性については **Process (1)(B)** が他の **process** のものより安定であることが分った。

文 献

- (1) 朝日新聞 8月19日号 (1979)
- (2) 岡山, 中根, 江森 : 応用物理 40, 11 (1971)
- (3) 武田, 野々口, 宮村 : 応用物理 40, 1 (1971)
- (4) R. L. Lamberts and C. N. Kurtz :
Appl. Opt 10, 6 (1971)
- (5) 大越孝敬 : ホログラフイ 電子通信学会編
- (6) 村田和美 : ホログラフイ入門 朝倉書店
- (7) 宮田 : 奈良高専紀要, 12, (1976)
- (8) 「ホログラムによる立体ディスプレイ」特集,
応用物理光学懇話会, (1979)

回分型晶析装置における 粒度分布同定に関する研究

中 谷 武 志 ・ 奥 本 茂*

Simulation of Crystal Size Distribution in a
Batch Crystallizer

Takeshi NAKAYA, Shigeru OKUMOTO*

晶析操作において、結晶核の発生機構や生成速度は、製品の粒度分布や安定操作に重要な因子の一つとなっている。結晶核の生成速度は、熱力学的解析から、臨界径が求められ¹⁾その臨界径のクラスターに1分子付着する過程の速度から求められる。しかし、結晶核生成速度の直接の測定は、臨界径の大きさが十数Å程度で、肉眼では観測できないほど小さく、非常に困難で様々の工夫が必要である。本研究では、回分型晶析装置において、結晶の成長速度が ΔL 法則に従う場合についておこなった。粒度分布既知の種晶を晶析装置に投入し、成長させた後、粒度分布を実測して数式モデルの結果と比較し、モデルの有用性を検討したところ、ある条件の場合は十分に有用であることがわかった。また、生成物の粒度分布の実測から、結晶核の発生率を推定することができ、過飽和度と種晶の粒径が、結晶核の発生率にどのように影響しているか検討した。

1. 緒 言

晶析操作は、蒸留、抽出、逆浸透等による分離操作とならんで、化学工業において重要な分離操作の一つであり、最近、晶析現象についてかなりの研究が進められてきている。晶析現象は、結晶核の生成と結晶の成長との二つに分けられる。結晶の成長機構は、結晶表面の活性点であるキンクやステップへ溶液中の溶質分子が吸着、反応することで説明され、また写真撮映によって、ステップの前進速度や結晶の純度低下の原因となる母液や不純物のまきこみ現象が直接測定、観察されるにいたっている。しかし、結晶核の発生機構については、まだ解明されていない部分が多い。結晶核の生成は、大きくは二つに分類される。一つは、過飽和溶液中で均一に発生する一次核生成、他の一つは、結晶の存在下で起る二次核生成である。実際の晶析操作では、二次核生成が支配的であるという報告もある。²⁾それぞれがどの程度生成に関与しているか、まだ充分な研究がなされていない。核生成速度や機構の解析については、様々な方法で行なわれ

ているが、以下現在行なわれている代表的方法について簡単に述べると、

a) 攪拌槽型連続式晶析装置における核生成速度³⁾

流入液中に種晶を含まず、完全混合取り出し、結晶成長速度は、 ΔL 法則が成立するという仮定のもとに個数密度式を求める。ここで粒径 $L_1 \sim L_2$ 間すなわち ΔL 間に存在する粒子個数を ΔN とすると、

$$\lim_{\Delta L \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta L} = \frac{dN}{dL} = n \quad (1)$$

この n を個数密度とすると、次式の個数密度式が求められる。

$$n = n_0 \exp(-L/r\theta) \quad (2)$$

ここに、 θ は懸濁液の滞留時間である。このことから結晶の代表径 L に対して個数密度 n を片対数グラフに点綴すれば直線が得られる。その傾きから結晶の線成長速度 r が、また縦軸切片から結晶核の個数密度 n_0 が求められ、したがって核生成速度は次式で表わされる。

*東京農工大 化学工学科在学中

$$\left(\frac{dN}{d\theta}\right)_{L=0} = \left(\frac{dN}{dL}\right)_{L=0} \left(\frac{dL}{d\theta}\right) = n_o r \quad (3)$$

この方法は、固液混合において、完全混合が達成しがたいという難点があるが、有力な方法の一つである。

b) 結晶核成長法⁴⁾

過飽和状態で発生した核は非常に小さいので、核発生後、新しく核が発生しない低過飽和度で、即ち発生した核を大きく成長させ、個数を数えて測定する。

c) 待ち時間法⁵⁾

核生成速度は、過飽和状態になってから、核が発生するまでの誘導期間に逆比例するということから、発生誘導期間を測定することによって、核生成速度を推定する。

d) 回分型晶析装置における核生成速度⁶⁾

粒度分布既知の種品を晶析装置に投入し、一定時間成長させた後、結晶の粒度分布を測定し、両粒度分布の解析から新しく発生した結晶核の量を求める。本研究は、(d)の方法について結晶核生成量の推定、および粒度分布の同定式について検討した。

2. 理 論

数式モデルによる粒度分布の推算について、

a) ΔL 法測について

単一結晶の成長速度について、結晶の表面積を A 、重量を W 、溶液濃度を C 、飽和溶液濃度を C_s 、総括物質移動係数を K とすると、

$$\frac{dW}{dt} = KA(C - C_s) \quad (4)$$

ここで、結晶重量 W 、結晶表面積 A をそれぞれ結晶密度 ρ 、体積形状係数 ϕ_b 、面積形状係数 ϕ_s を用いて表現すると、

$$W = \rho \phi_b L^3 \quad (5)$$

$$A = \phi_s L^2 \quad (6)$$

の関係があるので、(5)、(6)式を(4)式に代入すると、

$$\frac{dL}{dt} = k(C - C_s) \quad (7)$$

$$k = \frac{\phi_s}{3\rho\phi_b} K \quad (8)$$

つまり、この式で示されるように、同一の溶液中に存在する同じ物質の相似形の結晶において、幾何学的に対応した部分の長さの成長速度は、結晶の大きさに関係なく液相間の濃度差で表される。これを ΔL 法則という。

b) 粒度分布

種品の粒度分布において、種品の全重量を W_s とすると、粒径 $D_p \sim D_p + dD_p$ 間にある N_s 個の全重量は、

$$dW_s = N_s \rho \phi_b D_p^3 \quad (9)$$

成長すると $D_p \sim D_p + dD_p$ 間にあった N_s 個の種品は、 ΔL 法則から $D_p + \Delta D_p \sim D_p + \Delta D_p + dD_p$ の間にくるので製品結晶の全重量を W_p とすると、上記粒径範囲にある結晶の重量 dW_p は、

$$dW_p = N_s \rho \phi_b (D_p + \Delta D_p)^3 \quad (10)$$

したがって、(9)、(10)式より

$$dW_p = \left(1 + \frac{\Delta D_p}{D_p}\right)^3 dW_s \quad (11)$$

ここで、種品の粒度分布を

$$R_s = f(D_p) [\%] \quad (12)$$

とすると、

$$dW_s = -\left(\frac{W_s}{100}\right) \left(\frac{dR_s}{dD_p}\right) dD_p = -\frac{W_s}{100} dR_s \quad (13)$$

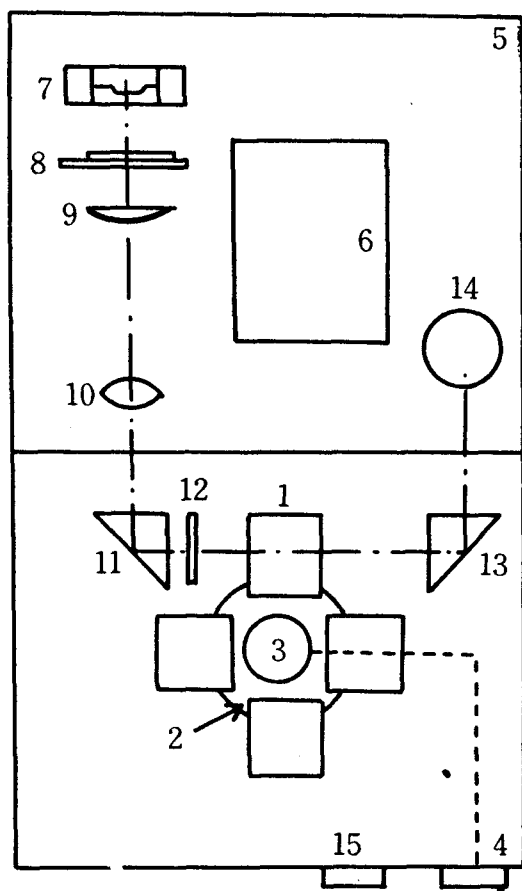
したがって、(11)、(13)式より

$$W_p = \frac{W_s}{100} \int_0^{100} \left(1 + \frac{\Delta D_p}{D_p}\right)^3 dR_s \quad (14)$$

製品の粒度分布 $R_p = g(D_p) [\%]$ を求めるには、種品の粒度分布 R_s を求め、 ΔD_p を仮定して(14)式に代入し W_p を求める。この W_p が実際の析出量に一致するまで ΔD_p を変えて計算する。これによって ΔD_p を決定する。製品の粒度分布は、次式によって推算することができる。

$$R_p = g(D_p + \Delta D_p) \quad (15)$$

$$= \left[\int_0^{R_s} \left(1 + \frac{\Delta D_p}{D_p}\right)^3 dR_s \right] \int_0^{100} \left(1 + \frac{\Delta D_p}{D_p}\right)^3 dR_s \times 100 \quad (16)$$



1.セル 2.セルホルダー 3.セル回転
 4.セル上下調整 5.電源端子 6.定電圧装置
 7.光源ランプ 8.フィルター 9.レンズ
 10.レンズ 11.プリズム 12.スリット
 13.プリズム 14.光電管 15.出力端子

図1 光透過式粒度分布測定装置

3. 実験方法

実験装置は、ごく簡単なものである。晶析装置として500ccピーカを用い、恒温槽に溶液表面の高さのところまでつける。種品の作成は、硫酸銅五水塩結晶を乳鉢ですりつぶし、目的の粒径範囲に分ける。晶析操作方は、目的濃度の硫酸銅水溶液を500ccピーカに用意し、目的濃度に調整した後、一定量の種品を投入し、一定時間成長させて、ろ過して結晶を取り出す。この時、母液が結晶間に残らないように、アセトンで結晶を洗浄する。その後、デシケーターで乾燥して粒度分布を測定する。粒度分布は、図1. に示す光透過式粒度分布測定装置を用い

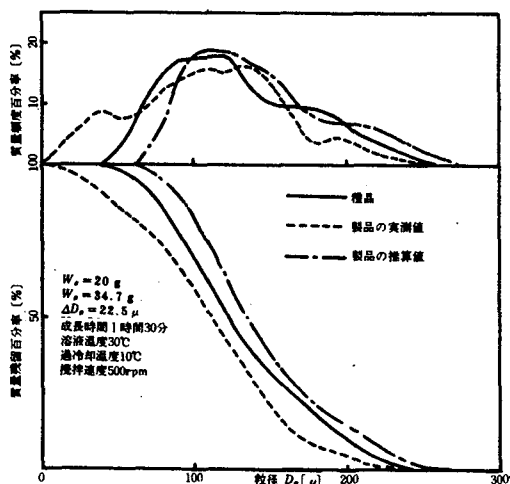


図2 種品を直接過飽和溶液に投入し攪拌した場合の粒度分布

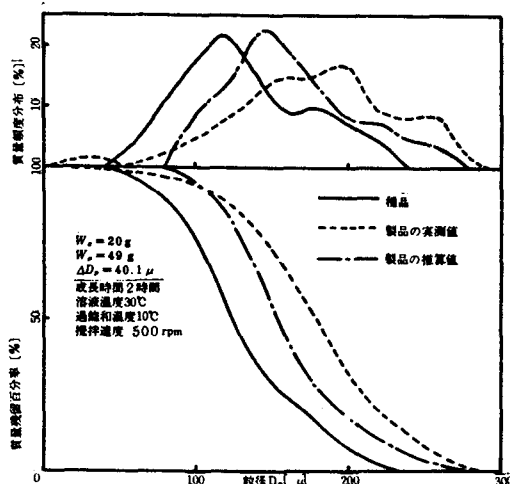


図3 種品を飽和溶液に投入後すぐ攪拌冷却し過飽和濃度とした場合の粒度分布

4. 実験結果と考察

種品の投入条件の違いによって、生成する結晶の粒度分布は、図2. ～図5. のようになった。図2. は、溶液温度30℃、過飽和温度10℃、攪拌なしの状態で種品を投入した結果である。微結晶がかなり多く、数式モデルによる粒度分布の推定値と余り一致していない。このことより、結晶核生成は、ショックロードの影響がかなりあり、それを考慮したモデルが必要であることがわかる。ショックロードに関する研究は現在まだ不十分である。図3は、攪拌しながら飽和溶液に種品を添加し、すぐ冷却し過飽和温度10℃とした場合の粒度分布で、微結晶の生成はかなり減少している。しかし、粒径の大きい部分では、数式モデルによる推定値より、かなり生長速度が

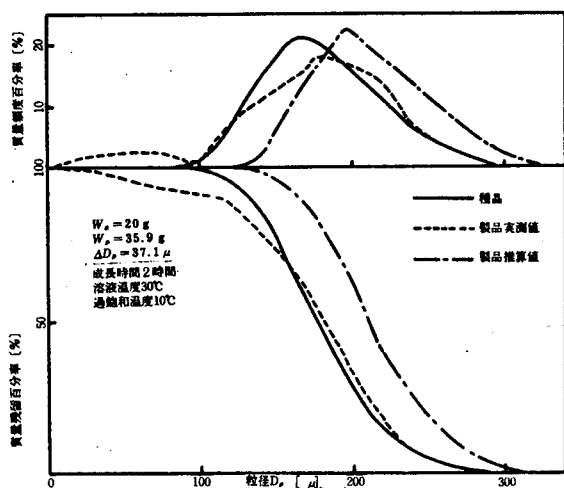


図4 種品を飽和溶液に投入攪拌せずに冷却し過飽和濃度とした場合の粒度分布

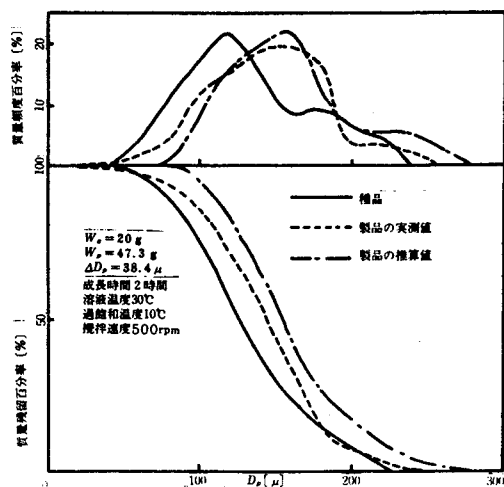


図5 種品を飽和溶液で充分馴ませた後攪拌しながら過飽和濃度とした場合の粒度分布

大きくなっている。しかも結晶内部に母液をまきこみ、品質の低下がみられる。これは、種品を作る際の結晶の破碎による表面の起伏が多く、そのため推定値より成長速度を大きくしていると考えられる。また、図4. は、図3. と同様の方法で種品を投入し、攪拌操作をしなかった場合で、結晶が塊となって沈降する結果、溶液との接触面積が小さくなり、結晶の全体としての成長を遅くしていることがわかる。これに対して、種品を飽和溶液

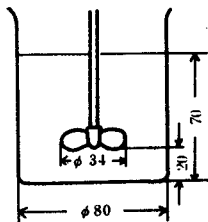


図6 晶析装置

中で馴養させ、攪拌しながら過飽和にした図5.の場合は、微結晶の発生が少なく、粒度分布も数式モデルによる推定とほぼ一致している。

また、微結晶の発生率と種品の径、および投入条件と

表1. 種品の径および投入条件と微結晶発生率の関係

種品粒径 [μ]	過飽和温度10℃の 溶液に投入	飽和溶液に投入
0~63	0.0	0.0
63~125	2.8	1.6
125~210	36.6	25.4

$$\text{微結晶発生率} = \left(\frac{N_p - N_s}{N_s} \right) \div \left(\frac{W_p - W_s}{W_s} \right) \quad (-)$$

N_p : 製品結晶の粒子数 [個]
 N_s : 種品の粒子数 [個]
 W_p : 製品結晶の重量 [g]
 W_s : 種品の重量 [g]

の関係は表1. のようになった。どの程度の粒径のものを結晶核と考えるか判断が困難なので、20 μ以下の微結晶について考察した。種品の径と微結晶の発生率をみると、径が大きくなるに従って発生率は増大し、約60 μ以上の径のものについて微結晶の発生がみられる。投入条件については、過飽和溶液に直接投入した場合は、飽和溶液に投入した後過飽和にした場合と比較して、微結晶の発生が多い。

5. 結 言

回分式晶析装置における結晶粒度分布の同定は、種品粒径や種品の溶液への投入方法の相違による微結晶の生成速度や発生量を考慮しなければならない。しかし、種品を飽和溶液で充分馴養し、攪拌しながら飽和溶液下で投入し、その後過飽和とすれば、本数式モデルで充分粒度分布の推定ができる。現在、過飽和溶液中へ直接種品を添加する場合については、ショックロードの機構が明らかでなく、発生量も定量化されていないので、晶析装置の安定操作が困難である。できる限り、微結晶の発生を抑える投入方法が必要であろう。

文 献

- (1) Symposium on "Nucleation phenomena",
I. E. C., 44, 1269 - 1338 (1952)
- (2) 豊倉ら：化学論文集 2, 561 (1976)
- (3) A. D. Randolph and M. A. Larson : AIChE.
Journal, 8, 639 (1962)
- (4) Pouad, G. M., LaMer, V. K. : J. Am. Chem.
Soc., 74, 2323 (1952)
- (5) 久保田ら： 化学工学論文集 2, 556
(1976)
- (6) 樺田栄一, 東稔節治 : 化学工学実験法

実数とは何か

— デデキントの切断による方法について —

入 江 隆

WHAT IS REAL NUMBER?

— On the Method of Dedekind's Cut —

Takashi IRIE

1. まえがき

実数の連続性は、微分積分学の基礎であるが、この完全な特徴づけは、Newton (1642 ~ 1727), Leibniz (1646 ~ 1716) 等によって、微分積分学が打ち立てられてから、200年の年月を経て、実数の構成理論が次々と展開された中で、19世紀も半ば過ぎになって、ようやく明確になされるに至ったのである。

この理論は、実数論又は無理数論と称せられ、現在、ポピュラーなものとして、G. Cantor の理論と、R. Dedekind の理論がある。G. Cantor は、「基本列」と呼ばれる有理数列を基調とし、R. Dedekind は、有理数の「切断」と称される概念を導入した。

両理論は、表現上は異なるものの、実質的には同一であり、両理論で構築せられた実数の間には、大小の順序、四則演算について、一対一の対応がつくことも示されている。しかし後者の方がより巧妙でかつ有用であるときれている。以下に Dedekind の無理論を概説するが、当時スイス連邦工科大学教授であったデデキントは、微分学の基礎を講義するに際して、数の理論の非科学性に対し、従来抱いていた不満を押え切れなくなり、この厳密な基礎を見出すまで、いくらでも永く熟考しようと決心したという。そして彼の不朽の結果は、1858年の秋に導き出された。しかし彼は、これを出版して公表するだけの決心はつかなかった。それは、この結果が、殆んど他の結果を生まないから、そしてこれを叙述することが容易でないからであったと述懐しているのであるが、他にも理由があったのであろう。そうこうしているうち、彼の手もとに E. Heine の論文と、G. Cantor の論文が届くこととなり、彼は発表の決意を強めていった。同じような内容の2論文と比較して、彼の叙述形式と、本来の核心を一層精密に示しているという点において自信を強

めたものと思う。こうして、1872年になって、「Stetigkeit und irrationale Zahlen」として発表された訳である。([1] 参照)

変動する大きさが、一つの固定した極限値に近づく場合に、絶えず増大しながらも、あらゆる限界を越えては増大しないような大きさは、必ず一つの極限値に近づくかなければならないという定理、これを我々は「上に有界な単調増加数列は収束する。」と言っているのであるが、この証明に当って幾何学的方法に依存する導入を非科学的であると考えていたことに彼の考察の始まりがあった。この定理は、「実数の切断は、下組と上組の境界として一つの実数を確定する。」という、実数の連続性と同値なのである。これがデデキントの定理であり、高木貞治の「解析概論」はここから始まるのである。なお、高木貞治によれば、デデキントの理論は、彼の躊躇と謙遜にもかかわらず、これだけで彼を不朽ならしめるものであるとのことである。

2. 有理数の性質

自然数全体を N 、整数全体を Z 、有理数全体を Q とする。なお、 $Q = \{m/n; m \in Z, n \in N\}$ とする。

有理数が次のような性質をもっていることはよく知られている。

(I) 四則演算

$a, b \in Q$ に対して、 $a + b \in Q$, $a \cdot b \in Q$ が定まり、次の諸法則が成立する。

結合法則 $(a + b) + c = a + (b + c)$

$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$

交換法則 $a \cdot b = b \cdot a$, $a + b = b + a$

分配法則 $a(b + c) = a \cdot b + a \cdot c$

又、 $a \in Q$ に対して、 $a + 0 = a$, $a \cdot 1 = a$

$a + (-a) = 0$, $a \neq 0$ ならば $a \cdot a^{-1} = 1$

(II) 大小関係

$a, b \in \mathbb{Q}$ に対して, $a < b, a = b, a > b$ のいずれかが成立し, 次の推移律を満たす。

$$a < b, b < c \rightarrow a < c$$

そして, 次の三性質は基本的である。

$$a, b, c \in \mathbb{Q}, a < b \rightarrow a + c < b + c$$

$$a, b, c \in \mathbb{Q}, a < b, c > 0 \rightarrow ac < bc$$

$$a, b \in \mathbb{Q}, a < b \rightarrow -a > -b$$

(III) アルキメデスの公理

$$a, b \in \mathbb{Q}, a > 0 \rightarrow \exists n \in \mathbb{N} (b < n \cdot a)$$

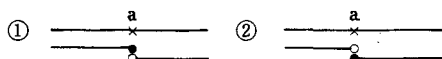
(III') $\mathbb{Q}$ の稠密性

$$a, b \in \mathbb{Q}, a < b \rightarrow \exists q \in \mathbb{Q} (a < q < b)$$

以上のことについて, (I), (II), (III) $\rightarrow$ (III') が成立し, 同時に, (I), (II), (III') $\rightarrow$ (III) も成立し, (I), (II) のもとにおいて, (III) と (III') は同値であることが示される。 ([6])

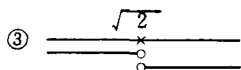
3. 直線の連続性

直線上に, 原点 O と単位の長さを考え, O からの距離を測って直線上の点と数を対応させることは解析幾何学の方法である。この直線上で, 座標が有理数であるもの即ち有理点のみ考え, このような有理線点の一つ例えば a で直線に切れ目を入れると, a より小さい点の集合と, a より大きい点の集合に分割されるが, このとき, a 自身を左側につけるか, 右側につけるか, によって次の様な2つのものが考えられる。



[図1]

しかし, 辺長1の正方形の対角線 $\sqrt{2}$ のような, どんな有理数にも対応しない量 (不通約量) の存在は, 古代ギリシャの時代から知られていた。そうすると直線の次のような分割が考えられる。



[図2]

直線の連続性とは, それをどこで分割しても, 常に①又は②の状態であることを意味し, ③の場合があることは, 有理数のみでは隙間ができることを意味する。

デデキントは「直線は点なる個体において, 有理数が数なる個体におけるよりも無限にずっと豊富である。」と表現している。 ([1])

上の分割 (切断という) で②の右側の組の最小数を左側に移すと ①の場合になるので①と②は同一のものと見なして, a^* なる記号で表す。又③の場合には, これを $\sqrt{2}$ で表してやることにするのである。つまり $\sqrt{2}$ は一つの隙間をうめる新たな点であると考ええる。こうして直線に隙間のないこと (連続性) を認めうる。つまり直線上の点を上のように左右の二組に分けたとき, 左組に最も右の点があるか, 又は右組に最も左の点があるかのいずれかである。これがデデキントの連続観であった。

4. 有理数の切断 (Schnitt, cut)

定義1, 有理数の全体 $\mathbb{Q}$ を次の様に2つの集合 A_1, A_2 に分割する。

$$(1) A_1 \neq \emptyset, A_2 \neq \emptyset \quad \mathbb{Q} = A_1 \cup A_2$$

$$(2) a_1 \in A_1, a_2 \in A_2 \rightarrow a_1 < a_2$$

このような分割を切断といい, $(A_1 | A_2)$ と書く。

そして, A_1 を切断の下組, A_2 を上組といい, A_1 の数を下数, A_2 の数を上数と呼ぶ。

定理1, 有理数の集合 M が, ある切断の下組であるための必要十分条件は, 次の(1), (2)が成立することである。

$$(1) M \neq \emptyset \text{ かつ } \exists r \in \mathbb{Q} (r \in M)$$

$$(2) m \in M, \forall n < m \rightarrow n \in M$$

定理2, M が切断の上組であるための必要十分条件は次の (1), (2)である。

$$(1) M \neq \emptyset \text{ かつ } \exists r \in \mathbb{Q} (r \in M)$$

$$(2) m \in M, \forall n > m \rightarrow n \in M$$

定理1の証明は [2] にあるので, 定理2の証明を同じ論法で与えておく。

(必要) M が切断の上組とすると, (1)の主張は定義より明らかである。(2)については, $m \in M, \forall n > m$ であるとき $n \in M$ であるとする, n は下組 N の数である。 $\therefore$ 定義1(2)によって $n < m$ となり仮

定に反する。 $\therefore n \in M$ である。

- (十分) M に属さないすべての有理数の集合を N とする。 $n \in N$, $m \in M$ で $n > m$ とすると
 (2)より, $n \in M$, となり $n \in N$ に反する。
 $\therefore n < m$, 従って M は上組である。

ところで、有理数の切断は理論上、次の四種が考えられる。

- ① 下組に最大数があり、上組に最小数がない。
- ② 下組に最大数がなく、上組に最小数がある。
- ③ 下組に最大数がなく、上組に最小数がない。
- ④ 下組に最大数があり、上組に最小数がある。

しかしながら、実際には最後の④は存在しない。それは次の理由によるのである。

下組 A_1 , 上組 A_2 とし, A_1 の最大数 a_1 , A_2 の最小数 a_2 とすると, 有理数の稠密性(Ⅲ') により,

$\exists q \in \mathbb{Q} (a_1 < q < a_2)$. 従って, $q \notin A_1$, $q \notin A_2$ となって q は身の置き場がないであろう。

又, 前に述べたように①と②は同一とみなし, 我々は代表的に①の場合をとることにする。

次に③の場合が実在することの証明は色々考えられている。([1], [2], [4], [5])

例えば, 平方が2となる有理数はないので, 平方が2より大きい正の有理数全体を A_2 , その他の有理数を A_1 とすると, $(A_1 | A_2)$ は一つの切断である。

A_2 に最小数があるとしてこれを x とすると $x^2 > 2$ が成立する。従って,

$$y = \frac{x(x^2+6)}{3x^2+2} \in \mathbb{Q} \quad \text{とすると,}$$

$$y^2 - 2 = \frac{x^2(x^2+6)^2}{(3x^2+2)^2} - 2 = \frac{(x^2-2)^2}{(3x^2+2)^2} > 0$$

$\therefore y^2 > 2$ だから $y \in A_2$.

しかし,

$$y - x = \frac{2x(2-x^2)}{3x^2+2} \therefore y < x$$

従って, x より小さい A_2 の数があることになって不合理である。よって A_2 に最小数はない。

次に, x が A_1 の最大数とすれば, $x^2 < 2$, $\therefore y^2 < 2$ だから $y \in A_1$ であり, $x > 0$ としておいてよいから

$$y - x > 0 \quad \therefore y > x$$

このことは, A_1 の最大数 x より大きい y が A_1 の数であ

ることを示しており不合理であるから A_1 に最大数はないと結論される。([1], [4])

尚一言付け加えるならば, この証明は $y = \frac{x(x^2+6)}{3x^2+2}$ を作ったところに秘訣がある。一般には

$$y = \frac{x(x^2+3D)}{3x^2+D}, \quad n^2 < D < (n+1)^2, \quad n \in \mathbb{N}$$

でよい。[2], [5] の証明の方がより解析的で解り易いかも知れない。とにかく③の切断は存在した。

このように, あらゆる切断が有理数のみによって引きおこされたものでないということが, 先にも述べた直線の分割の場合の隙間だらけということ, 有理数の領域の不連続性であり, 一つの切断が有理数によるものでないとき, この切断でもって一つの無理数を定義し, 確定した切断の一つ一つに, 唯一つの有理数又は無理数を対応させられることになった。そしてこのような切断の集まり (実は有理数と無理数の集合つまり実数全体) に, 相等, 大小, 四則演算を定義するに際しては, ①と③の形の切断のみで考えるとよいのである。

以下は[2]の線に沿って説明する。

切断の相等の定義:

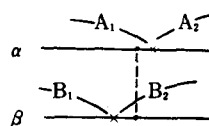
2つの切断 (有理数の切断), $\alpha = (A_1 | A_2)$,

$\beta = (B_1 | B_2)$ において, $A_1 = B_1$ のとき $\alpha = \beta$ と定義する。

切断の大小関係:

2つの切断を上のように α, β とし, A_1 が B_2 の数を少くとも一つ含む (このとき実は無数に含む) とき,

$\alpha > \beta$ (又は $\beta < \alpha$) と定義する。



[図3]

2つの切断 α, β については, $\alpha > \beta$, $\alpha = \beta$, $\alpha < \beta$ のいずれか一つのみ成立する。

又, $\alpha < \beta$, $\beta < \gamma \rightarrow \alpha < \gamma$ である。

なぜならば α, β は前の通りとし, $\gamma = (C_1 | C_2)$ とすると

$B_2 \subset C_1$ で, B_1 は A_2 の数を少くとも一つ含んでいるから, C_1 は A_2 の数を少くとも一つ含むことになり, $\alpha < \gamma$ である。

($\alpha < \beta$, $\beta < \gamma$) [図4]

大小関係に関連した注意を二三付加するならば、有理数 a を下組の最大数とする切断①を a^* (*印は後ではずしてよいことがわかる。) とするとき、 $a > 0^*$,

$\alpha = 0^*$, $\alpha < 0^*$ に従って切断 α を、正、零、負と呼ぶ。

又、 $\alpha < \beta$ の定義と、切断の上組は最小数を含まないことを考えると、 $\alpha < \beta$ のとき、 $\alpha < a^* < \beta$ なる切断 a^* が存在すること、しかも無数に存在することは明らかである。(稠密性!)

切断の和の定義;

切断 $\alpha = (A_1 | A_2)$, $\beta = (B_1 | B_2)$ に対して、

$$M = \{ a_2 + b_2 \mid a_2 \in A_2, b_2 \in B_2 \}$$

を作ると、

1) $M \neq \emptyset$. A_2, B_2 には最小数がないから M にも最小数はない。又、 M に属さない数が存在する。それは例えば、 $a_1 + b_1$ ($a_1 \in A_1, b_1 \in B_1$) のような数である。

2) $m \in M, \forall n > m$ とすると、 $n \in M$ である。なぜならば、 d を正の有理数として、 $n = m + d$ とおくと、 $m = a_2 + b_2$ だから、

$$n = (a_2 + b_2) + d = a_2 + (b_2 + d) \in M.$$

1), 2) から、このような M は、①又は③の形の切断の上組である。このような切断を α と β との和と言い、 $\alpha + \beta$ で表す。勿論これは α, β により一意に定まる。そして $\alpha + 0^* = \alpha$ が成立し大小関係について、 $\alpha < \beta \rightarrow \alpha + \gamma < \beta + \gamma$ も証明できる。この証明にはアルキメデスの公理が使われる。

([2] 参照)

切断の差;

$\alpha = (A_1 | A_2)$, $\beta = (B_1 | B_2)$ があるとき、

$$M = \{ a_2 - b_1 \mid a_2 \in A_2, b_1 \in B_1 \}$$

を作ると、上と同様にして、 M は、 α と β によって一意に定められる切断の上組である。この切断を $\alpha - \beta$ とかいて、 α と β の差と呼ぶのである。

差に関して、 $0^* - \beta = -\beta$ と約束する。

$\beta + (\alpha - \beta) = \alpha$ が成立する。

切断の積;

切断 α, β を共に正とする。(α, β の下数に正の数があるとすると。) このとき、

$$M = \{ a_2 b_2 \mid a_2 \in A_2, b_2 \in B_2 \}$$

とすると、 M は α, β で一意に定まる切断の上組となる。この切断を $\alpha \cdot \beta$ と書いて、切断 α, β の積と称する。

これまでのことから、 $\alpha > 0^*$ ならば、 $-\alpha < 0^*$ が成立する。そして、 $\alpha > 0^*$ のとき、 $\alpha(-\beta) = -(\alpha\beta)$, $(-\alpha)\beta = -\alpha\beta$, $(-\alpha)(-\beta) = \alpha \cdot \beta$ と定めるのである。 $\alpha \cdot 0^* = 0^* \cdot \alpha = 0^*$ が成立。

乗法における交換、結合の法則は明らか。又、分配法則、 $1^* \cdot \alpha = \alpha$ なる等式、大小関係における次のものが成立する。

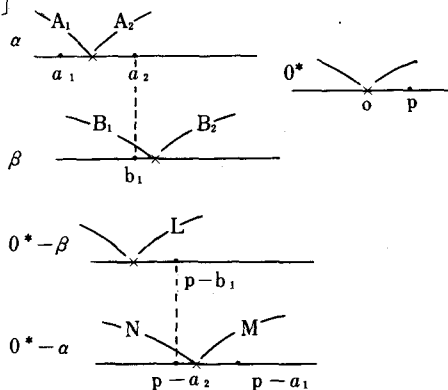
$$\alpha < \beta, \gamma > 0^* \rightarrow \alpha\gamma < \beta\gamma$$

及び、 $\alpha < \beta \rightarrow -\alpha > -\beta$.

これらのうち、最後のものについては[2]にも証明がないので、私の考えた証明を記しておきます。

前の規約により、これは、 $\alpha < \beta \rightarrow 0^* - \alpha > 0^* - \beta$ ということであるから、この証明をするとよい。

[証明]



[図5]

$0^* - \alpha$ の下数で、 $0^* - \beta$ の上数であるような数が存在することを示す。

$0^* - \alpha$ の上組 M の数は定義により、

$p > 0, a_1 \in A_1$ として、 $p - a_1$ の形である。

$0^* - \alpha$ の下組 N はそれ以外の数だから

$p > 0, a_2 \in A_2$ として、 $p - a_2$ の如き数は N の元である。

ところが、 $\alpha < \beta$ だから、 $a_2 \in A_2, b_1 \in B_1$ で、かつ $a_2 = b_1$ となるような a_2, b_1 が存在する。

従って、 $p - a_2 = p - b_1$ である。

$p > 0$ で、 $b_1 \in B_1$ だから、 $p - b_1 \in L$ である。

(ここに L は $0^* - \beta$ の上組)

つまり $p - b_1$ は $0^* - \beta$ の上数、

$\therefore 0^* - \alpha$ の下数で、同時に $0^* - \beta$ の上数でもあるも

のが存在するから $0^* - \alpha > 0^* - \beta$ が成立する。

切断の商:

切断 $\alpha = (A_1 | A_2)$, $\beta = (B_1 | B_2)$ は共に正とする。

このとき

$$M = \left\{ \frac{a_2}{b_1} \mid a_2 \in A_2, b_1 \in B_1 \right\}, (b_1 > 0)$$

を外ると、このMが α, β で一意に定まる切断の上組となる。この切断を $\frac{\alpha}{\beta}$ と書いて、 α と β の商と呼ぶのである。

そして、 $\alpha > 0^*$, $\beta > 0^*$ のとき、 $(-\alpha)/\beta = -(\alpha/\beta)$
 $\alpha/(-\beta) = -(\alpha/\beta)$, $(-\alpha)/(-\beta) = \alpha/\beta$ と定める。

$\beta \cdot \alpha / \beta = \alpha$ が成立する。そして、 $0^* / \alpha = 0^*$

($\alpha \neq 0^*$)。ところで、有理数 a に対応する①の切断 a^* を有理実数、③のような切断を無理数といい、両者を合せて実数というのであるが、今、任意の2つの実数 α, β ($\alpha < \beta$) とし、 γ を無理数とすると、 $\alpha - \gamma < \gamma^* < \beta - \gamma$ となる有理実数が存在するが、このことは、 $\alpha < \gamma + r^* < \beta$, そして $\gamma + r^*$ は無理数なので、実数の稠密性と呼ばれている。

我々は、切断①(②は①に含めた)と③の集合に、相当、大小、四則演算を定義した。一つ気にかかることと言えば、 $0^*, 1^*, a^*$ のような * 印のことであるが、実は $a < b \rightarrow a^* < b^*$, $a^* \pm b^* = (a \pm b)^*$, $a^* \cdot b^* = (a \cdot b)^*$, $a^* / b^* = (a/b)^*$ なども成立する([2])ので、* 印をはずしても混乱のおそれはない。そして有理実数は単に有理数と呼ばれることになる。このようにして構成された実数に対して、体系的には書かなかったが、新しい意味での四則と大小、それに稠密性がチェックできている。

5. 実数の連続性

さて次に実数の切断を考えると、③に相当するものはない。これが実数の連続性である。

これを示すには、実数の切断 $(A|B)$ を考え、 B の要素(これは有理数の切断)の上組全体の和集合を B とし、 B に含まれない有理数の全体を A とする。

$(A|B)$ は一つの切断である。

そのわけは、 $\alpha = (A_\alpha | B_\alpha) \in A$ に対して、

$a \in (A_2)_\alpha$, $(A_2)_\alpha$ は A_α から最大数を除外したものとすると、

$\forall \beta = (A_\beta | B_\beta) \in B$ に対して、 $\alpha < \beta$ であるから、 $(A_\alpha)_\alpha \subset (A_\beta)_\alpha$. $\therefore a \in A_\beta$. 従って、 $a \in B_\beta$.

$\therefore a \in B$. ここに、 $B = \bigcup B_\beta$.

従って、 $a \in A$. 従って $A \neq \emptyset$, $B \neq \emptyset$

次に、

$a \in A$, $b \in B$ とすると、 $\exists \beta \in B; b \in B_\beta$

$a \in B$, だから、 $a \in B_\beta$. $\therefore a \in A_\beta$

$\therefore a < b$ 従って、 $(A|B)$ は切断である。

さて、この切断の定める実数を γ とすると、 $\gamma \in A$ か又は $\gamma \in B$ である。

仮りに、 $\gamma \in A$ とすると、任意の $\delta = (A_\delta | B_\delta) \in A$ に対して、 $x \in (A_\delta)_\gamma$ とすると、 $x \in A$. $\therefore (A_\delta)_\gamma \subset A$ 従って、 $\delta \leq \gamma$. $\therefore \gamma$ は A の最大数。

又、仮りに、 $\gamma \in B$ とすると、任意の $\epsilon = (A_\epsilon | B_\epsilon) \in B$ に対して、 $B_\epsilon \subset B$. $\therefore \gamma \leq \epsilon$

$\therefore \gamma$ は B の最小数

故に、実数の切断では、①又は②の形のもののみで、③は現れないのである。([3])

6. あとがき

有理数の切断により無理数を導入し、両者を一まとめにしたものを実数と呼ぶ。そして実数は有理数が満たす四則演算、大小関係、アルキメデスの公理(稠密性)の他に連続性を有することとなった。これが微分法への重要な第一歩であり、同時に、実数の世界の四則、大小、稠密性は、切断の世界に定義した新しい演算においてのそれらであった。そして、それらの新しい演算は、こと有理数に関する限り、従来の四則であり、大小関係などであった。ここに数学における一つの拡張原理がみられる。

参考文献

- [1] デデキント著、河野伊三郎訳「数について」(岩波書店、岩波文庫)
- [2] 能代 清「極限論と集合論」(岩波書店)
- [3] 竹之内 脩「集合・位相」(筑摩書房)
- [4] 小堀 憲「数学史」(朝倉書店)
- [5] 高木貞治「数学雑談」(共立出版)
- [6] 難波完爾、三宅克哉「微分積分学」(実教出版社)

AN EXTENSION OF JOINT CONSISTENCY THEOREM

Hiroyoshi TABATA

The purpose of this paper is to give a simple proof of the Craig-Lyndon interpolation theorem. We shall obtain a generalization of the Robinson consistency theorem, from which we can immediately obtain a generalization of the Craig-Lyndon interpolation theorem.

1. Introduction.

In the previous note [8], we obtained a generalization of the Robinson consistency theorem [6], from which we can immediately obtain the Craig interpolation theorem but not the Lyndon interpolation theorem (cf. [1], [3], [4], [5]). In this note, we shall obtain an improvement of the result [8; Theorem 1], from which we can immediately obtain an extension of the Craig-Lyndon interpolation theorem. (The Lyndon interpolation theorem holds only for languages which have no function or constant symbols, but our result holds for languages including not only relation symbols but also function or constant symbols.) we apply the notion of a generalized atomic set introduced by Keisler [4], as we did in the previous note [8].

2. Preliminaries.

In this paper we shall be concerned with the first order predicate calculus with equality. We assume familiarity with the basic concepts of model theory (cf. [2]). If L , L' are languages then $L \cap L'$, $L \cup L'$ have obvious meanings. A theory is a set of sentences. If T is a theory then $L(T)$ denotes the language of T . If $\mathfrak{A}$ is a structure for a given language L , then the universe of $\mathfrak{A}$ is denoted by $|\mathfrak{A}|$; for each relation symbol R

of L , the corresponding relation of $\mathfrak{A}$ is denoted by $(R)_{\mathfrak{A}}$; for each function symbol F of L the corresponding function of $\mathfrak{A}$ is denoted by $(F)_{\mathfrak{A}}$. (A nullary function symbol is called a constant symbol.) For any formula φ , we denote by $n(\varphi)$ the number of distinct free variables in φ . we use $\models$ both for the relation of satisfiability in a model ($\mathfrak{A} \models \varphi[\bar{a}]$ where φ is a formula and $\bar{a}$ is an $n(\varphi)$ -tuple of elements in $|\mathfrak{A}|$) and for the (semantic) relation of consequence ($T \models \varphi$ where T is a theory).

A set Γ of formulas of L is said to be a *generalized atomic set* (abbr. by *GA-set*) in L if the following conditions are satisfied: (1) $x = y \in \Gamma$ (where x and y are distinct variables); (2) If $\varphi \in \Gamma$ then $\varphi_x(y) \in \Gamma$ and $\varphi_x(k) \in \Gamma$ for any variable y (free for x in φ) and any constant symbol k of L (where $\varphi_x(y)$ denotes the result of substituting y for the free occurrences of x in φ , and $\varphi_x(k)$ is similar); (3) If $\varphi \in \Gamma$ and ψ is congruent to φ , then $\psi \in \Gamma$ (where two formulas are said to be congruent, if they differ only in their bound variables, and corresponding bound variables are bound by corresponding quantifiers).

Let Γ be any set of formulas of L . we denote by $\mathbf{P}\Gamma$ the set of all formulas that can be formed from the formulas in Γ using only the connectives $\wedge$, $\vee$ and quantifiers $\exists$, $\forall$. (Note that if Γ is a GA-set in L then $\mathbf{P}\Gamma$ is also a GA-set in L .)

For a structure $\mathfrak{A}$, we denote by $L_{\mathfrak{A}}$ the diagram language of $\mathfrak{A}$. Let Γ be the smallest GA-set in $L_{\mathfrak{A}}$ containing a given GA-set Γ , and let $\mathfrak{A}'$ be the natural expansion of $\mathfrak{A}$ to $L_{\mathfrak{A}}$. The Γ -diagram of $\mathfrak{A}$ means the set of all sentences in Γ that hold in $\mathfrak{A}'$.

Let $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}$ be structures for L , and let Γ be a GA-set in L . Then a map f from $|\mathfrak{A}|$ into $|\mathfrak{B}|$ is said to be a Γ -homomorphism from $\mathfrak{A}$ into $\mathfrak{B}$ if for any formula $\varphi \in \Gamma$ and any $n(\varphi)$ -tuple $\bar{a}$ of elements in $|\mathfrak{A}|$, $\mathfrak{A} \models \varphi[\bar{a}]$ implies $\mathfrak{B} \models \varphi[f(\bar{a})]$. If f is a Γ -homomorphism from $\mathfrak{A}$ onto $\mathfrak{B}$, then $\mathfrak{B}$ is said to be a Γ -homomorphic image of $\mathfrak{A}$ by f .

3. Result.

The following is our version of the joint consistency theorem (cf. [7], [8]):

THEOREM. Let T and T' be theories, $L = L(T) \cup L(T')$, $L_0 = L(T) \cap L(T')$ and Γ the smallest GA-set in L_0 satisfying the following four conditions:

(C1) If R is a relation symbol of L_0 which has a positive occurrence in some member of T and a negative occurrence in some member of T' , then

$R(x_0, \dots, x_n) \in \Gamma$ (where $x_0, \dots, x_n$ are distinct variables).

(C2) If R is a relation symbol of L_0 which has a negative occurrence in some member of T and a positive occurrence in some member of T' then

$\neg R(x_0, \dots, x_n) \in \Gamma$ (where $x_0, \dots, x_n$ are distinct variables).

(C3) $\neg x = y \in \Gamma$ (where x and y are distinct variables).

(C4) For any function symbol F of L_0 , $F(x_0, \dots, x_n) = y \in \Gamma$ (where $x_0, \dots, x_n, y$ are distinct variables). Then the following are equivalent:

(i) There exists no sentence θ in $\mathbf{P}\Gamma$

1 $f(\bar{a})$ denotes the $n(\varphi)$ -tuple $\langle f(a_0), \dots, f(a_{n(\varphi)-1}) \rangle$, where $\bar{a} = \langle a_0, \dots, a_{n(\varphi)-1} \rangle$.

such that $T \models \theta$ and $T' \models \neg \theta$.

(ii) There are a model $\mathfrak{A}$ of T and a model $\mathfrak{B}$ of T' such that $\mathfrak{B} \upharpoonright L_0$ is Γ -homomorphic image of $\mathfrak{A} \upharpoonright L_0$ by a map f .

(iii) $T \cup T'$ is consistent.

PROOF OF (i) $\rightarrow$ (ii). $T_0 = T$, $T'_0 = T'$, and $\Gamma_0 = \mathbf{P}\Gamma$. Let Γ'_0 be the smallest GA-set in $L(T'_0)$ containing Γ_0 , and

$\Delta_0 = \{ \neg \theta : \theta \text{ is a sentence in } \Gamma'_0, T'_0 \models \neg \theta \}$.

Using the compactness theorem it is easily seen that $T_0 \cup \Delta_0$ is consistent. Hence there is a model $\mathfrak{A}_0$ of $T_0 \cup \Delta_0$. Let Γ_1 be the smallest GA-set in $L_{\mathfrak{A}_0}$ containing Γ_0 , and $\Gamma_0(\mathfrak{A}_0)$ the Γ_0 -diagram of $\mathfrak{A}_0$. It is easy to see that $T'_0 \cup \Gamma_0(\mathfrak{A}_0)$ is consistent. Hence there is a model $\mathfrak{B}_0$ of $T'_0 \cup \Gamma_0(\mathfrak{A}_0)$. Now, let T_1 and T'_1 be the elementary diagram of $\mathfrak{A}_0$ and $\mathfrak{B}_0$, respectively. From the construction it is clear that there is a Γ_1 -homomorphism from $\mathfrak{A}_0 \upharpoonright L_1$ into $\mathfrak{B}_0 \upharpoonright L_1$ (where L_1 denotes the language $L(T_1) \cap L(T'_1)$, i.e. $L_{\mathfrak{A}_0}$), and that $\mathbf{P}\Gamma_1 = \Gamma_1$. Hence there is no sentence θ in $\mathbf{P}\Gamma_1$ such that $T_1 \models \theta$ and $T'_1 \models \neg \theta$. Repeating the similar construction we obtain a pair of elementary chains

$\langle \mathfrak{A}_n \upharpoonright L(T) : n \in \omega \rangle$, $\langle \mathfrak{B}_n \upharpoonright L(T') : n \in \omega \rangle$

such that for each $n \in \omega$, there are a Γ -homomorphism f_n from $\mathfrak{A}_n \upharpoonright L_0$ into $\mathfrak{B}_n \upharpoonright L_0$ and an injective map g_n from $|\mathfrak{B}_n|$ into $|\mathfrak{A}_{n+1}|$ satisfying $f_n \subset g_n^{-1} \subset f_{n+1}$. Put

$\mathfrak{A} = \bigcup_{n \in \omega} (\mathfrak{A}_n \upharpoonright L(T))$, $\mathfrak{B} = \bigcup_{n \in \omega} (\mathfrak{B}_n \upharpoonright L(T'))$

and $f = \bigcup_{n \in \omega} f_n$. Then we can easily see that $\mathfrak{A}$ is a model of T and $\mathfrak{B}$ is a model of T' and that f is a Γ -homomorphism from $\mathfrak{A} \upharpoonright L_0$ onto $\mathfrak{B} \upharpoonright L_0$.

To prove that (ii) implies (iii), we need the following fact:

(*) Let φ be a formula of L , and let Q be a set of relation symbols R_i , $i \in I$, of L such that for each $i \in I$, R_i is an n -ary relation symbol satisfying one of the following three conditions: (a) R_i occurs only positively in φ ; (b) R_i occurs only negatively in φ ; (c) R_i does not occur in φ . Let $\mathfrak{A}$ be a structure for L , and let M_i be a subset of $|\mathfrak{A}|^{n_i}$ for each $i \in I$. Suppose that $\mathfrak{A}^*$ is the structure

for L formed from $\mathfrak{A}$ by taking

- (1) $|\mathfrak{A}^*| = |\mathfrak{A}|$;
- (2) for $R_i \in Q$,
 - $(R_i)_{\mathfrak{A}^*} = (R_i)_{\mathfrak{A}} \cup M_i$ in the case (a);
 - $(R_i)_{\mathfrak{A}^*} = (R_i)_{\mathfrak{A}} - M_i$ in the case (b);
 - $(R_i)_{\mathfrak{A}^*} = M_i$ in the case (c);
- (3) for each relation symbol $R \in Q$,
 $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}}$;
- (4) for each function symbol F of L ,
 $(F)_{\mathfrak{A}^*} = (F)_{\mathfrak{A}}$.

Then, $\mathfrak{A} \models \varphi[\bar{a}]$ implies $\mathfrak{A}^* \models \varphi[\bar{a}]$ for all $\bar{a} \in |\mathfrak{A}|^{n(\varphi)}$.

The proof of (*) is easy. If φ is an open formula, then we can prove this by transforming φ into disjunctive normal form. If φ is not an open formula, then transforming φ into prenex form we can proceed by induction on the number of quantifiers.

PROOF OF (ii) $\rightarrow$ (iii). Assume (ii). Then f is a bijective map from $|\mathfrak{A}|$ to $|\mathfrak{B}|$ because $\uparrow x = y \in \Gamma$ and f is a Γ -homomorphism from $\mathfrak{A} \uparrow L_0$ onto $\mathfrak{B} \uparrow L_0$. We shall construct structures $\mathfrak{A}^*$ and $\mathfrak{B}^*$ for L such that:

- (a) $|\mathfrak{A}^*| = |\mathfrak{A}|$, $|\mathfrak{B}^*| = |\mathfrak{B}|$.
- (b) $\mathfrak{A}^* \uparrow L(T)$ is a model of T and $\mathfrak{B}^* \uparrow L(T')$ is a model of T' .
- (c) f is an isomorphism from $\mathfrak{A}^*$ onto $\mathfrak{B}^*$.

For this, we first define functions on $|\mathfrak{A}^*|$ and $|\mathfrak{B}^*|$ as follows:

- (1) if F is an n -ary function symbol in $L(T)$ then $(F)_{\mathfrak{A}^*} = (F)_{\mathfrak{A}}$ and $(F)_{\mathfrak{A}^*}(\bar{b}) = f((F)_{\mathfrak{A}}(f^{-1}(\bar{b})))$ for all $\bar{b} \in |\mathfrak{B}^*|^n$;
- (2) if F is an n -ary function symbol in $L(T')$ but not in $L(T)$ then $(F)_{\mathfrak{A}^*}(\bar{a}) = f^{-1}((F)_{\mathfrak{B}}(f(\bar{a})))$ for all $\bar{a} \in |\mathfrak{A}^*|^n$ and $(F)_{\mathfrak{A}^*} = (F)_{\mathfrak{A}}$.

To define relations on $|\mathfrak{A}^*|$ and $|\mathfrak{B}^*|$, we will distinguish several cases according to the ways in which relation symbols occur in T and T' . For this, let U be the set of all relation symbols in L , P (resp. P') the set of relation symbols of L having a positive occurrence in some member of T (resp. in some member of T'), N (resp. N') the set of relation symbols of L having a negative occurrence in some member of T (resp. in some member of T'), and $\bar{P}$, $\bar{P}'$, $\bar{N}$, $\bar{N}'$

the complements of P , P' , N , N' in U , respectively. Now, we define relations of $\mathfrak{A}^*$ and $\mathfrak{B}^*$ as follows:

- (1) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}}$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = M_R$
for $R \in \bar{P}' \cap \bar{N}'$, where $M_R = \{f(\bar{a}) : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}\}$;
- (2) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = M_R$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}}$
for $R \in \bar{P} \cap \bar{N} \cap (P' \cup N')$,
where $M_R = \{\bar{a} : f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (3) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}}$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}}$
for $R \in P \cap N \cap P' \cap N'$;
- (4) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}} \cup M_R$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}}$
for $R \in P \cap \bar{N} \cap N'$,
where $M_R = \{\bar{a} : f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (5) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}}$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}} - M_R$
for $R \in P \cap N \cap \bar{P}' \cap N'$,
where $M_R = \{f(\bar{a}) : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (6) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}} - M_R$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}}$
for $R \in \bar{P} \cap N \cap P'$,
where $M_R = \{\bar{a} : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (7) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}}$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}} \cup M_R$
for $R \in P \cap N \cap P' \cap \bar{N}'$,
where $M_R = \{f(\bar{a}) : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (8) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}} \cup M_R$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}} \cup M_R'$
for $R \in P \cap \bar{N} \cap P' \cap \bar{N}'$,
where $M_R = \{\bar{a} : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$,
 $M_R' = \{f(\bar{a}) : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$;
- (9) $(R)_{\mathfrak{A}^*} = (R)_{\mathfrak{A}} - M_R$, $(R)_{\mathfrak{B}^*} = (R)_{\mathfrak{B}} - M_R'$
for $R \in \bar{P} \cap N \cap \bar{P}' \cap N'$,
where $M_R = \{\bar{a} : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$,
 $M_R' = \{f(\bar{a}) : \bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}}, f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}}\}$.

Using (*) we can easily check that $\mathfrak{A} \models \varphi$ implies $\mathfrak{A}^* \models \varphi$ for any sentences $\varphi \in T$, and that $\mathfrak{B} \models \psi$ implies $\mathfrak{B}^* \models \psi$ for any sentence $\psi \in T'$. Hence we can conclude that (b) holds. From the definitions of relations and functions of $\mathfrak{A}^*$ and $\mathfrak{B}^*$ we can easily check that for any relation symbol R of L and for all $\bar{a} \in |\mathfrak{A}^*|^n$, $\bar{a} \in (R)_{\mathfrak{A}^*}$ iff $f(\bar{a}) \in (R)_{\mathfrak{B}^*}$, and that for any function symbol F of L and for all $\bar{a} \in |\mathfrak{A}^*|^n$, $f((F)_{\mathfrak{A}^*}(\bar{a})) = (F)_{\mathfrak{B}^*}(f(\bar{a}))$. Hence we can conclude that (c) holds.

PROOF OF (iii) $\rightarrow$ (i). Trivial.

REMARK. The main part of our proof is that of the implication (ii) $\rightarrow$ (iii). The implication (i) $\rightarrow$ (ii) is due to Keisler; in fact, the implication can be easily obtained from Corollary 3.2.(a) in

[4].

REFERENCES

- [1] W. CRAIG, Linear reasoning. A new form of the Herbrand-Gentzen theorem, *J. Symb. Logic*, vol. 22 (1957), pp. 250-268.
- [2] C. C. CHANG and H. J. KEISLER, *Model Theory*, North-Holland, 1973.
- [3] L. HENKIN, An extension of the Craig-Lyndon interpolation theorem, *J. Symd. Logic*, vol. 28 (1963), pp. 201-216.
- [4] H. J. KEISLER, Theory of models with generalized atomic formulas, *J. Symb. Logic*, vol. 25 (1960), pp. 1-26.
- [5] R. C. LYNDON, An interpolation theorem in the predicate calculus, *Pacific J. Math.* vol. 9 (1959), pp. 129-142.
- [6] A. ROBINSON, A result on consistency and its application to the theory of definition, *Indag. Math.* vol. 18 (1956), pp. 47-58.
- [7] J. R. SHOENFIELD, *Mathematical Logic*, Addison-Wesley, 1967.
- [8] H. TABATA, An extension of Robinson's consistency theorem and its application to the theory of definition, *Research Reports of Nara Tech. Coll.* No. 9 (1974), pp. 123-127.

「時は止まらねばならない」について

三 浦 良 邦

On Time Must Have a Stop

Yoshikuni MIURA

Time Must Have a Stop (1944) gives a full description of Huxley's doctrine of not-self based on his mysticism, like *After Many a Summer* (1939). There he discusses how man should live in this world, describing man's attachment to his personality and commenting on such current events as war, revolution and social reform. And he expresses his thought in the following words in *Henry IV* by Shakespeare: "But thought's the slave of life, and life's time's fool, / And time, that takes survey of all the world, / Must have a stop." In this study I want to examine the meaning of these three lines through the characters' deeds and thoughts. Human being should be free of his ego connected with time, that is, live beyond time. And his final end is to become identified with a Godhead which is the unmanifested principle of all manifestation.

『時は止まらねばならない』(1944年)は、前作、『多くの夏を経て』(1939年)と同様、ハックスレーの神秘主義思想を小説に表現したものであるが、彼はこれを次のような言葉で示している。

*But thought's the slave of life, and life's time's fool,
And time, that takes survey of all the world,
Must have a stop.* (巻頭, P.290)

これは『ヘンリー4世』において死に瀕したホッパーが述べる言葉であるが、¹⁾この二行半句はこの小説の巻頭を飾っており、また、エピローグで再度述べられ、ハックスレーは主人公のセバスティアンにこの内容を考察させている。また、この言葉は、ハックスレーの絶筆と考えられる小論文「シェイクスピアと宗教」の最後で述べられている。²⁾つまり、この文句は、作者が1963年に死亡するまでの約20年間の人生の最大の関心事を要約したものと考えることができる。前段の「考えは生の奴隷、生は時の道化」は、作者の人間の状態についての命題であり後段の「そして、その時も、いかにすべての世界を概観するといえ、止まらなければならない」は、その命

題に対する彼の結論である。このことを、彼は小説で物語っているわけであるが、小説は全体が30章にわかれている。1～29章では、セバスティアン(1927年で17才)の主としてフロレンスでの出来事とユースタスの死後の存在とが交互して物語は進行されており、最後の章はエピローグで、セバスティアン(1944年で32才)の様々な事象に対する思索・内省が1人称でつづられている。このような小説の構成であるが、本稿では、上記の言葉の内容を登場人物の行動・思索を通して詳しくみてみたい。

I

「考えは生の奴隷」とは、思考を持つものは人間であり、人間は彼の考え、つまり、自我に拘束されることにより、その人生の中で様々な束縛され摩擦を起しているということであり、「生は時の道化」とは、時間の経過により、人間の初期の目的が意味をなさなくなることを意味している。このような考え方は、1～29章であまところなく叙述されている。そして、これは、主として

再年前のセバスティアン、彼の交遊した人々、ユースタスの行動や思想において考察されている。

まず、セバスティアン・バーナックであるが、彼の描写は『ガザに盲いて』（1936年）のアントニーのそれと類似している。彼はキーツ流の詩人を志し、人間社会の秩序と混乱についての詩を創作中の17才の青年であるが「天使のような顔と薄い巻き毛の髪」（P.1）を持ち、年令の割に子供っぽく見え、他人に子供扱いされるのを非常に嫌っている。彼にとって、「17才になって不老の成人の心を持ち、13才のデラ・ロビアの天使のように見えること——これは馬鹿げた屈辱的な運命」（P.2）なのであった。例えば、彼は、初対面の女性に死んだ息子そっくりだと子供扱いされチョコレートをもらったり、同年令のスーザンからは、慕われ、子を庇う母のような気持を押しつけられる。しかし、このような彼は、自己中心的でずい面があり、人に物を依頼する時は、「天使のような微笑」をする。また、彼は非常に臆病で勇気に欠け、人前にでると言葉が言えなかったり、口ごもったりする。このような性格を持つ彼は、トムの夜会に招待される。しかし、彼は夜会服を持たないため、出席を渋っていたが、ついに出席するはめになる。しかし、父のジョンは作ってくれそうにもない。

ジョンは、虐げられた人々の救済のために世界中を飛び回っている弁護士、社会主義者で、革命により社会を改革しようとしている人物であるが、彼の描写には作者の自由主義者の理想と現実のギャップに対する諷刺がうかがえる。彼の口実は、「夜会服は階級の象徴だ。我々同様の人間が飢えている時、無用のぜいたく品に金を使うのは罪悪だ。」（P.29）である。しかし、彼にはもう一つ表面下の理由があり、それは、セバスティアンには、夫を捨てて道楽者の男に走った妻の面影があり、彼女が特に夜会を好んでいたからである。つまり、彼は生活上の信条とはいえないが、個人的な理由で息子の願いを拒否しているのであり、外見上の成熟さとは反対に精神的には胎児なのである。

セバスティアンは、父の旅行のため、フロレンスの叔父のユースタスの家に滞在することになる。叔父は、彼が滞在したその日に、夜会服を作ることを約束し、またドガの絵をくれるが、心臓発作で死亡する。しかたがなく、彼は絵を売り夜会服を注文する。しかし、また、財産相続人であるオッカム夫人が夜会服を約束してくれる。そうこうする間に、夫人の管財人がドガの絵がなくなっているのを発見する。それに対して、彼は、生来の臆病さのため、叔父から絵をもらい、売って夜会服を注文した事を言えないでいる。その間に、絵は盗まれたことになり、嫌疑が庭師の女の子にかかる。困った彼は、

知合いになり好意を示してくれたブルーノーに相談し、絵を取戻してくれることを頼む。彼は、古物商のワイルに談判し絵を取戻してくれる。これで絵の件は落着くが、このためにブルーノーは、ワイルに社会主義者だと密告され警察に逮捕されてしまう。その晩、父からの電報で、彼は父の選挙遊説についていくことになり、色々な人間を巻き込み不幸にし、苦勞して手にいれかけた夜会服は駄目になる。

No time, he was thinking, to get either suit; for the dinner jacket he had ordered at Uncle Eustace's tailor——ordered, yes, and paid for——was to have been tried on for a first fitting the very day he had to be in Genoa. It had all been for nothing——all these miseries he had gone through, all this guilt, and Bruno's arrest, and this wretched little dog. And meanwhile there was the problem of Tom Boveney's party, still unsolved and growing more agonizingly urgent with every passing day. (P.269)

何故、こういう事態を招いたのか。セバスティアンが自我に固執したからであると考えられる。彼は外見上の不成熟を気につけ、それは一つには服装によると考えた。このため、彼の大人になりたいという欲求が、その象徴としての夜会服に異常に執着し、彼はどうしても手にいれようとしたのであった。人生はある一定の時間でありその時間的な諸々の欲求に人間は囚われているのが現状である。その最も顕著なものは、権力欲、所有欲、金銭欲などである。セバスティアンの場合は、単なる虚栄心・自己満足としての夜会服であるが、彼もやはり、自我に拘束されたのである。また、一通の電報で夜会服が駄目になったのは、「生は時の道化」、つまり、時の流れで、人間の努力が無駄になることの証明だと解釈できる。人間は時に支配されており、それを征服するのは不可能に近いのである。

セバスティアンの上述のような夜会服の物語の間、数人の人物が登場するが、彼らは、それぞれ人生における一つの態度を彼に示す。彼らとは、ユースタス、ブルーノー、ギャンブル夫人、オッカム夫人、ド・ヴリ、スウェイル夫人である。最初の二人は後述するが、叔父の姑のギャンブル夫人は、白内障で目が見えなく、金持ちで貴族的な「石炭紀から掘出した化石のきそり」（P.68）のような老夫人である。彼女は死を恐れ、死について、「死ぬのではない、次へ行くのだ」（P.66）と語り、また、死者のために降神術の会を開いている。ディジー・オッカム夫人は、感傷的なキリスト教徒で、セバスティアンに死んだ息子の面影を見、「自分たち——気の毒な母の

ない少年と子供を失くした気の毒な母——を引合わせたのは神である」(P.205)と、彼に満たされない母の愛情を押しつける。

作者の痛烈な諷刺が感じられるのは、ポール・ド・ヴリである。彼は、誰にでも「すべての人はアインシュタインについて一応のことを知るべきである」(P.85)と話す人物で、彼の計画は、思想の国際的な交換所を設立することである。

The young man nodded and, putting down his fork, explained that, during the last two years, he had been making a tour of all the leading universities of Europe and Asia. Getting in touch with the really significant people working in each. Trying to enlist their co-operation in his great project—the setting up of an international clearing house of ideas, the creation of a general staff of scientific-religious-philosophic synthesis for the entire planet. (P.87)

しかし、彼は、このような崇高な仕事をしている反面、現実とは著しいギャップがある。この理想と現実、外観と実体とのギャップは、彼のスウェイル夫人への求婚に見られる。彼は、彼女に誘惑され、彼女の実体を理解しないで、自分の天職に必要な独身主義を放棄し、彼女の手練手管に敗北する。彼の理想は、現実の欲望に降参するのである。

登場人物中、最も生彩があるのは、未亡人で恥しらずのヴェロニカ・スウェイル夫人である。彼女は貧困と、善良な両親の牧師としての慈善事業から逃避するためにギャンブル夫人に仕え、ド・ヴリと結婚しようとする。彼女の生活信条は、人生の本質は恥さらしだということであり、「興味ある科学的実験」(P.214)を人間に施し、自分だけのカーテンの陰から、「興奮した無言の笑いと秘密の勝利感」(P.210)を一人で楽しんでいる。実験の標的になるのは、主にセバスティアンとド・ヴリである。例えば、彼女は降神術の会の暗闇の中で、二人の手を握っていたずらを楽しむ。特に、彼女は思春期のセバスティアンに様々ないたずらをしてその反応を楽しんでいる。その上、彼女は、彼の発音の先生として、臆病を克服するには、自分にも他人にも乱暴狼藉をするようにすすめ、詩作の方法を尋ねられれば、「私は消すことのできない鉛筆でトイレの一巻きの紙に書きます」(P.162)と答えるように指導する。また、彼女は生活のために、自分の正体を巧みに隠して、ド・ヴリを誘惑し彼に求婚させる。

At last! The magnet had done its work; the philosophic Eye had finally succumbed to life's essential shamelessness. In the tug-of-war be-

tween appearance and reality, reality had won, as it always must, it always must.

Ludicrous spectacle! But for her, at least, the joke would have important and serious consequences. It meant freedom; it meant power over her surroundings (P.211)

そして、彼女は彼に求婚された夜に、セバスティアンを誘惑するような悪女であり、その悪魔性とシニシズムは『多くの夏を経て』のオビスボ博士に比肩しうるものである。これらの上述した人物は、すべて時間的な欲望に拘束され、不満足な生活をしている人物である。セバスティアンは、彼らの間を人生遍歴するわけであるが、彼はそれに従うことは出来ない。彼らは人間の愚かさときへの隷属を示す人々である。

II

この小説の最大の特徴は、人間(ユースタス・バーナック)の死後の存在・経験が叙述されている点にある。小説は30章より成立しているが、そのうち13, 15, 17, 20, 25, 28章がそれに充当されている。これらの章の内容は、人間にとって未経験の死後の状態であり、そのため難解で、批評家により様々な解釈がなされてきたが、パウアリングがこの死後の存在の描写の原著を明らかにし、内容を詳しく解釈している。³⁾

The second half of the novel, based on Eustace's experiences on the bardo plane, owes its conception to *The Tibetan Book of the Dead*. The *Bardo Thödol* is divided into three parts, all of which are easily recognizable in Huxley's novel: first, the Chikhai Bardo which describes the happenings immediately after death; then, the Chönyid Bardo which deals with karmic visions and hallucinations; and finally, the Sidpa Bardo which is concerned with the events leading up to reincarnation. ⁽⁴⁾

以下、パウアリングの考察を参考にしてユースタスの死後の存在をみてみたい。

まず、ユースタスの死後直後、the Chikhai Bardoでの最初の意識は次のようなものである。

There was no pain any longer, no more need to gasp for breath...

All sound had died away, and it was quite dark. But in the void and the silence there was still a kind of knowledge, a faint awareness.

Awareness not of a name or person, not of

things present, not of memories of the past, not even of here or there—for there was no place, only an existence whose single dimension was this knowledge of being ownerless……

The awareness knew only itself, and itself only as the absence of something else. (P.136)
次に、この「純粹で絶望的な無だけの認識」、「無中の無の絶望させる認識」(P.137) は、光の認識になり、その光は無を否定し、満足と至福をもたらす。この光の意味するものは、ハックスレーがこの小説で主張していることであり、「解脱」の状態、つまり、マハヤーナ仏教徒が、Dharma-kāya、「空のきよらけき光」と呼ぶものである。⁵⁾しかし、ユースタスは精神的に未熟であるので、この状態を長く楽しむことは出来なく、光は次第に輝きを増し、至福の認識はその光に圧迫、苦痛を感じる。「光はますます輝き、苦痛なまでに輝きを増した」(P.139) のである。そして、彼の「不幸な無のちり」(P.140) としての自我意識は、自己防衛として、「もし輝きに参与することがなければ、苦悶の半分は消失するだろう」と認識し、「不透明と分離と無とを求める飢えと輝きへの更に徹底的な参与を求める飢え」は葛藤の状態に陥る。

For an immense duration the two awarenesses hung as though balanced—the knowledge that knew itself separate, knew its own right to separateness, and the knowledge that knew the shameful of absence and the necessity for its agonizing annihilation in the light. (P.140)
最後に自我が勝利をおさめ、輝きは次第に失せ、ユースタスは彼自身を意識し、生前の物体を意識する。この生前の物体の回想は、彼がthe Chönyid Bardo に後退、墮落していることを示している。

15章では、彼は、生前のこの地上での生活上の出来事を認識している。圧迫された快楽と恥ずかしさの少年時代や、売春婦ミミーと一諸にいたりところや、少年時代の「啓示」の瞬間を回想している。この間、光は継続しており、従って、彼は「救済」される可能性があり、また彼の自我と光との葛藤は続いているのである。この光は「やさしい青色」で、最初の bardo の Dharma-kāya の「きよらけき光」ではなく、the Thödol が Dharma-Dhātu の「神聖な青色の光」と呼ぶものである。⁶⁾続いて、17章では、彼は、地上にいる人々と降神術の会の霊媒を通して接触する。

このように、死者の精神的成熟が不十分な時、つまり、光を彼の精神的意識の表示として認識できない時、彼は bardo を 1→2→3 と移り変る。17章の終りでは、過去の光景は退きはじめ、未来の光景「他の誰にもまだ起った

ことのない出来事」(P.228) がそれにとって代る。彼は、ヴェロニカと海軍士官とのたわむれや、25章での彼の甥のジムが日本人に虐殺されるところとか、ジョンと群衆と警官隊との衝突の光景を見る。この間、「懇願するような光」は依然として続いているが、未来の幻想を見ることが、彼がすでに the Sidpa Bardo に入っていることを意味し、自我が結局光に打勝って、彼の再生が間近いことを示している。

The light persisted, ubiquitously present; but this feeling of being in a body was an effective barrier against its encroachments. Behind his sensations he was safe from any compulsion to know himself as he was known. And these Weyls, he now perceived, this Venus with her swarthy Vulcan, could become the instruments of his permanent deliverance from that atrocious knowledge. There was a living uterine darkness awaiting him there, a vegetative heaven. Providence was ready for him, a providence of living flesh, hungry to engulf him into itself, yearning to hold and cradle him, to nourish with the very substance of its deliciously carnal and sanguine being. (P.258)

そして、最後の28章では、ワイルの子供としての彼の再生が暗示されている。

以上がユースタスの死後の存在の概観であるが、この受けとり方、理解の仕方、つまり、ハックスレーの創作の意図が問題である。理解しにくい、多少考えてみたい。死後において、光による救済を退け、自我を堅持したユースタスの精神は、生前の彼の生活様式と一致している。彼は、青年時代に急進的な政治家としての有望な地位を捨て、心臓の弱い金持ちの未亡人と結婚し、フロレンスに隠退して、それ以後、人生を無目的に怠惰と官能の生活に耽溺したのであった。彼は、ブルーノーの忠告にも耳をかさず、自身が取るべき道を自覚しながら、つまり、序で述べた言葉の前段の意味を理解しながら(彼の戦争・社会改革・科学による進歩に対する考えは、作者のものと類似している)、現実を回避し、自身の自我を強め、酒・女・葉巻・芸術品などの放縱生活を送っていたのであった。このような彼の生前と死後の描写の関係を考えると、死後の描写は、死に対する心の準備もしないで、時間的な事柄に執着し、自我に固執する人間の愚かさの一つの表現であり、作者が信じる「無我」の思想を逆説的に強調した叙述であると考えられる。ワッツがふれているように、彼にとって、時はいつまでたっても、永久に、死においてさえも、停止しないのである。⁷⁾

彼は、果しく輪廻転生していくのである。

III

次に、戦争について考えたい。ハックスレーが活躍した今世紀前半は、二つの世界大戦があったわけであるが随筆は別として、今までの彼の小説では、戦争はほとんど話題にあがらなかった。しかし、この小説では、戦争という最も現代的な事柄に対して考察がなされている。まず、登場人物に幾つかの出来事が起る。セバスティアンは戦争で片腕をなくす。彼の叔母のアリス一家は崩壊する。彼女は戦争で家屋・財産を失い、息子のジムはマニラで虐殺され、夫は気が狂ってしまう。また、ユースタスは死後の経験で未来の幻想を見る時、彼は、群衆に対する警官の棍棒による攻撃、ジムの虐殺、戦火を逃れる避難民としてのワイルと彼の妻の貨物自動車による死を見る。しかし、これらの事柄は、直接には物語の筋に関係していないように見える。

セバスティアンは、プロローグで、序で述べた「生は時の道化」と関連して、戦争について次のように述べている。

And yet the only faith of a majority of twentieth-century Europeans and Americans is faith in the Future—the bigger and better Future, which they *know* that Progress is going to produce for them, like rabbits out of a hat. For the sake of what their faith tells them about a Future time, which their reason assures them to be completely unknowable, they are prepared to sacrifice their only tangible possession, the Present.

Since I was born, thirty-two years ago, about fifty millions of Europeans and God knows how many Asiatics have been liquidated in wars and revolutions. Why? In order that the great-great-grandchildren of those who are now being butchered or starved to death may have an absolutely wonderful time in A.D. 2043. (PP.291-2) つまり、戦争や革命で無数の人々が殺されているが、これは、人間が現在を犠牲にして、応用科学を中心とした進歩がより良い未来をもたらすと信じているからである。しかし、「生は時の道化」と叙述されているように、時は単に経過することによって、人間の意識的な計画や企図を無意味にする。それ故、未来を信じ現在を犠牲にするのは人間の愚かな思考である、とハックスレーは考えているのである。ここには、彼の終始一貫した産業革命以

来の科学による進歩の概念に対する批判が見られるのであり、まさしく「時は止まらなければならない」のである。人間は現在を大切にしなければならないのである。そうでないと、パウアリングが述べているように、人間は『素晴らしい世界』(1932年)の科学主義か、『猿と本質』(1948年)の大破壊に直面するのである。⁸⁾

また、戦争の罪という項では、セバスティアンは、彼は政治や経済にたずさわってはいなかった、つまり、戦争の当事者ではなかったけれども、もっと根本的なところで彼にも罪があったと考えている。つまり、戦争は人間、個人個人の責任であると考えている。人間は自らの自我を愛し、その自我を克服することを望まず、個性的に愉快に暮らしてきた。しかし、その結果は、国家主義のような偶像崇拜になり、必然的に戦争を招くか、虚無と絶望を選ばなければならなかった。つまり、個人が問題なのであり、人間の自我が問題なのであった。作中、ブルーノの店の店員のカルロが、「宇宙の一部分で改善することのできる部分がたった一つある。それは自己だ」(PP.82-3)と述べているように、社会を良くするには個人を良くすることから始めなければならないのである。

IV

「時は止まらなければならない」の思想を個人として具現しているのは、ブルーノ・ロンティニである。彼は、ハックスレーの神秘主義思想を土台にした「無我」の思想を実践している人物で、『ガザに盲いて』のミラーや『多くの夏を経て』のプロプターの役目を作中でしている。29章までで、彼はセバスティアンと知合うことにより、正しい生活態度を彼に示し、また、プロローグでは病床にあって、議論と存在によって彼を正しい方向に導いている。彼は、今までの聖者的人物と同様、十分にはその人物像は描かれていないが、これは、主としてこのような人物を描くことの難しさによるものであろう。ハックスレーは、欠点のある人物を戯画的に描くことに卓越しているが、欠点のない人物を描くのは不得意である。ブルーノは、「輝く、静かな、非常にやさしい」(P.232) 眼の持主で、彼の人間性についてセバスティアンは父に次のように語っている。

There were so many things one could mention. That candour, for example, that extraordinary truthfulness. Or his simplicity, the absence in him of all pretensions. Or that tenderness of his, so intense and yet so completely unsentimental and even impersonal—but impersonal, in some

sort, above the level of personality, not below it, as his own sensuality had been impersonal. Or else there was the fact that, at the end, Bruno had been no more than a kind of thin transparent shell, enclosing something incommensurably other than himself—an unearthly beauty of peace and power and knowledge.... He looked up at last. 'One of the things that struck me most,' he said, 'was that Bruno could somehow convince you that it all made sense. Not by talking, of course; by just being.' (PP.304-5)

彼は人間に対して、仏の慈悲に似た「大いなる同情」の実践者であり、その対象はセバステイアンに向けられる。彼は、セバステイアンの困難な状況に深い同情を感じ、自分の身を危険にさらしてまで彼を救う。その結果、彼は獄舎につながれ、亡命の身を余儀なくされ、不治の病気に冒される。しかし、彼は、10年の年月を経てセバステイアンと再会しても、彼を非難し裁くことなく、彼の人間としての愚かさに暖かい同情を示し善導するのである。彼は、人間の善悪を超越した人物である。

さて、セバステイアンは、ブルーノーの逮捕後、一時自責の念にかられるが、自分の都合のよいように解釈し、責任をブルーノーに転化して大学へ進む。そして、自我に束縛される自己本位の生活を続け、今度は妻を裏切る。彼は、妻の妊娠中、ヴェロニカと浮気をし、それが妻に知れ、彼女は病床で彼を恨みながら、敗血病で死亡する。しかしながら、彼は依然として、好色と嫌悪と自己憎悪の錯綜した生活を続けていたのであったが、その時彼はブルーノーに出会い、彼の感化で再生を目指すのである。

ブルーノーが実践しており、セバステイアンが実践しようとしている、時を超越した生活とは、次のようなものである。

That there is a Godhead or Ground, which is the unmanifested principle of all manifestation.

That the Ground is transcendent and immanent.

That it is possible for human beings to love, know and, from virtually, to become actually identified with the Ground.

That to achieve this unitive knowledge, to realize this supreme identity, is the final end and purpose of human existence.

That there is a Law or Dharma, which must be obeyed, a Tao or Way, which must be followed, if men are to achieve their final end.

That the more there is of I, me, mine, the

less there is of the Ground; and that consequently the Tao is a Way of humility and compassion, the Dharma a Law of mortification and self-transcending awareness. (P.289)

セバステイアンは、これを「最小限度の有効な仮説」と呼んでいるが、人間は、宇宙の絶対者と一体になることを目的とすべきであり、時間的な様々な欲望から解放され、自己を超越し、謙譲と同情の道を歩むことによって人間の現在の苦境を乗り越え、平和をもたらすことができるのである。このような考え方だけが、東洋と西洋を統一し、世界平和をもたらす最大公約数なのであり、人間は、現在の日々の生活において、あらゆる瞬間に自我を捨て、神（究極の実在である宇宙の絶対者）を認識し愛さなければならないのである。

付 記

Aldous Huxleyの作品は、Collected Edition によった。引用文末尾の数字は、作品のページ数を示す。*Time Must Have A Stop* (London, Chatto & Windus, 1966)

注

- (1) シェイクスピア、『ヘンリー4世』、第一部、五幕四場。
- (2) Julian Huxley, *Aldous Huxley 1894-1963* (London, Chatto & Windus, 1966), P.174
- (3) Peter Bowering, *Aldous Huxley: a Study of the Major Novels* (London, The Athlone Press, 1968), PP.160-176
原著はBardo Thodolでその翻訳は、W.Y.Evans-Wentz, *The Tibetan Book of the Dead* (New York, 1960)であり、死と再生の中間の状態を述べたマハヤーナ仏教徒のテキストである。
- (4) Peter Bowering, Op.cit., P.167
- (5) Ibid., P.167
- (6) Ibid., P.172
- (7) Harold H.Watts, *Aldous Huxley* (New York, Twayne Publishers, 1969), P.112
- (8) Peter Bowering, Op.cit., P. 178

参 考 文 献

(注にあげたものは除く)

Jerome Meckier, *Aldous Huxley: Satire and Structure* (London, Chatto & Windus, 1969)
Keith M.May, *Aldous Huxley* (London, Elek, 1972)

学生が国語の授業に求めるもの

小
谷
稔

小学校の時から国語が大の苦手であった。文章を書く力など全くなかった。今でもそうであるが、国語が全くだめだということも高専に進学した一つの理由である。今になっても読書のきつかけさえつかめないというのは、自分ながら全くさけない。しかし、このまま機械人間にはなりたくない。

一 読書への欲求

①ぼくは、本を読むことがきらいだ。きらいというよりも、テレビを見てしまつて読書する時間がなくなるといつたほうがよいかもしれない。だから、初めは興味をもつて買う本が多いのだが、途中でやめてしまう。こんな状態なので

ばくは本を読む楽しさというものを習得したいと思っている。

②小学校六年生の時の先生は、よく小説などを読んでもくれました。学年末最後の教材に「最後の授業」というのがありました。一部分しか載っていなかったのので、先生は本を探してきて全文を読んでもくれました。その時、悲しい場面になると、先生は涙を流して読んでくださったのを今でもはっきり覚えています。本校でもできたら先生の氣に入った本を一部分でもいいから読んでほしいと思います。

③月に一度でもいいから、これはいいぞと思うような本を一時間中読むような時間がほしいと思う。そのようなことで、自分自身の思考力を伸長できるならば、このうえないことだと思う。

④本を読みたい。とにかくたくさん本を読める時間を国語の時間にほしい。そして、しっかりした考えをもちたい。

これらはすべて一年生の文章である。読書がテレビに侵されるのは①のようなのが実状であろう。しかし、この学生にしても読書への欲求は失っていない。②のいわゆる「読み聞かせ」は、この作文のように小学生に適した方法であるが、本校に入学した段階においても学生は「一人読み」とは別に、教師の感動を通して朗読を希望していることがわかる。③④は、新入生らしく読書による思考力の伸長を強く願っている。本稿の冒頭に引用した国語嫌いの学生にしても、いまだに読書のきっかけをつかめないという嘆きをうったえており「機械人間」にはなりたくないという、読書による豊かな人間形成への希求が読みとれるのである。本校に入学してきた程度の一定の知的レベルをもつ学生ならば、青年期の、自我の自覚、環境への適応の欲求等の心理的見地からしても、読書を積極的に忌避する理由は見いだしたいのである。これらの作文を見ても読書への欲求はかなり根強くあるといつてよい。

こうした読書への欲求をもちながら現実には読書しないという実態が最も問題である。例えば、本年五月上旬のいわゆる連休（本校では五月三、四、五、六日の四日間）の余暇での読書の実態をみよう。この四日間の行動を一学年と四学年の各一級で、日記を書くことを勧めるために日記の形で書かせたところ、そのなかに読書の記事のある者は次のものだけであった。

- ①一日中、以前読んだ本を読み直した。夏目漱石のものを多く読んだが、やっぱりよいものはよいなあと思った。（四年生）
- ②家にはだれも居らず、一人ぼつねんとしていた。十二、三歳のころは、こう

いう時は必ず本を読んだものだったのに、最近では読書に集中できないことが多くなつてしまった。（四年生）

③近くの大泉緑地で読書をしながら昼寝。太陽がまぶしかった。（四年生）

④二日間ともテレビと大衆小説に溺れる。（一年生）

⑤ディケンズの「大いなる遺産」を半分読む。（一年生）

本校では、夏季休業期間は読書指導として、読書感想文の課題を出しているが、五月上旬のまとまった余暇を利用した読書はほとんど無に等しい実態であり、読書の習慣が形成されていないことを示している。②の学生は「最近では読書に集中できないことが多い」といつているが、この学生を見ると読書にだけ集中できないのではない。慢性的ないわゆる無気力状態が見られるが、こうした傾向は三、四年生あたりによく見受けられる。しかし、②の学生は、自分のそうした状態を内省するだけの心が働いているところは一般の無気力な学生と同列ではない。「僕が本を読むのは、国語の時間だけです。家に帰っても、他の教科の宿題などで本を読む余裕がないのが現状です。だから、国語の読書の時間が貴重なのです。（一年生）」というような勉強熱心な学生の場合には授業も熱心であり、余暇の読書指導の効果をあげる余地がある。最も読書に適応性が乏しいのは安易な娯楽的生活に逃避し、行動的即物的な遊びの世界に墮している一部の学生群である。これはいわゆる生活指導とともに読書による生活指導を積極的に施す必要がある。

二 学生の望む教材・学習活動

一年生と四年生とで調査した、教材に対する希望順位は次のとおりである。

○ 一年生（二学級・七九人）

1	小説	七八%	11	話し方	一〇%
2	論説	二三%	12	ことば・文法	九%
3	詩	三〇%			
4	随筆	二九%			
5	戯曲	一六%			
6	漢文	一五%			
7	短歌	一四%			
8	作文	一三%			
9	古文	一一%			
10	俳句	一一%			

○ 四年生(四学級・一二九人)

1 小説	七四%	7 戯曲	一六%
2 随筆	三〇%	8 ことば・文法	一五%
3 話し方	二七%	9 古文	一五%
4 作文	二二%	10 漢文	九%
5 論説	二一%	11 短歌	七%
6 詩	二一%	12 俳句	七%

この調査は本年七月実施のもので、希望の教材を数を限定しないで選ばせたものである。一年生は本校に入学して学習した教材は、小説・論説・詩と漢文の一部である。両学年とも共通に小説教材の希望が圧倒的に多い。また、両学年での著しい差異は、話し方・作文のような言語表現の技能に関する学習の希望であって、四年生で高位で一年生で低位である。作文・話し方について四年生が高位になっているのは、卒業後の社会生活への適応を強く意識していることを反映している。一方、古典や短歌・俳句のような教養的性格の強いものは関心が薄れている。週一時間の授業という限界もあって、こうした傾向になったものと考えられる。一年生の場合には、小説・論説という国語教材の中核的なものが高位になっている点は、国語教育の目標からみても望ましいことである。作文や話し方のような表現の分野が低位であるのは、中学校を卒業して間のない時期の学生が思考や感情の成長を求めて、いろいろなすべれた文章にふれることを望み、表現よりも吸収の欲求が優先したものと考えられる。また、入学後の新しい環境で生活の多くが指示や慣例に従う受動的な面が多いところから、積極的な表現活動への自覚と関心が乏しいのであろう。

次にそれぞれの教材を希望した理由のうち、代表的なものを紹介しておく。これらは、すべて四年生のものである。

- ① 高専では、合理的に割り切れる性格の教科が多いが、人生にはそのように割り切れないものがある。その割り切れないようなことを小説や随筆で学びたい。
- ② 自分で進んで本を読まないで、せめて授業で他の人間の生き方、考え方を学んで、プラスにしたい。

③ 小説は、本屋などで捜しても、あの多くの中から自分に合った、おもしろい本を捜し出すことはなみたいではない。その点、国語の授業でする小説が参考になって、興味がわき、その著者の作品を読むことができる。

④ すぐれた小説は、国や時代を超えた価値がある。そういう価値に接したい。

⑤ 高専では社会科学的文章を学習する機会が少なく、文学では、戦前のプロレタリア文学、外国文学を学ぶことも少なかった。とにかく、いろいろのジャンルの本を読むことによって、偏した人間にならないようにしたい。

⑥ 高専は一般教養科目が少ないため、一般常識の貧弱さに自分ながらあきれる。せめて一般の常識程度は国語の授業で身につけたい。

⑦ 高専生は大学生に比べて文章の書き方も話し方も下手だと思うので。

⑧ 古典をやるのはその人の趣味の問題である。これらを学習してもその時限りで、日常何の役にもたない。それよりも話のし方や文章の書き方を学習するほうが社会へ出て行くにもプラスになる。

①から⑤のような教養的な立場と⑥から⑧のような実用的技能的立場とに二分されるが、これらの二つの立場を一体化していく自覚はほとんど見られない。⑧は極端に教養的なものを排除しているが、その求める言語技能が過去のすぐれた言語文化の学習によって磨かれるという自覚はない。教養的なものを求める考え方については、幅広く、片寄らない人間性ということが強調されている。それ自体は望ましいことであるが、技術者としての理想像の中で「教養」をどのように位置づけるかという点での自覚が見られない。工学技術だけでなく、一般的教養も身につけているという程度の認識しかない点には国語科の立場からだけでなく指導が必要である。

三 小説教材への興味

工学の専門科目の学習が多い工業高等専門学校という環境の中で小説の学習は、唯一の自由な想像をふくらませる時間であり、そこに心のゆとり、心のうろたひが得られるという認識を多くの学生はもっている。学年進行とともに専門科目が増加するのでこの傾向は上級学年のほうに著しい。この傾向が低学年では次のような形で表れることがある。

ぼくは、小・中学校のころ、国語と音楽が一番好きでした。そして、理科と社会科が一番好きでした。でもこの学校に来てから理数科系の時間が多く、内容がむずかしいのできらいになり、逆に英語、国語が好きになりました。小説はわりと好きですが、読んでいる途中でつい別のことを考えてしまったりして集中して読めません。しかし、授業でやるとすぐ頭に入り、よくわかります。わかりすぎておもしろくないこともあります。小説の説明を聞きながらいろいろの場面や人物の心理を想像するのはとても楽しいと思います。

一年生で早くも理数科系の学習に興味を失う場合は工業高専への適性に問題が

ある場合がある。こうした場合、理工科系科目での劣等感の補償作用から小説に熱中する者もあるが、全科目的に学習意欲を喪失する者が多い。小説の学習によって「心のゆとり」「楽しみ」を期待することは、それ自体健全なことであるが人間性の追究、生き方の模索というような積極的な意志の乏しい学生では、消極的な「心のゆとり」は単なる娯楽に墮れていくおそれがある。

日本の現代作家の作品を読みたいという希望は、一年生、四年生とも共通に多い。四年生・二級で現代作家のそれがよく読まれているかを調査したことがある。二五〇人の作家名を列記して、読んだことのある作家を選ばせた結果、上位は次のとおりであった。()内は人数。

- ①森村誠一(四六) ②小松左京(四三) ③北杜夫(四一) ④星新一(四〇) ⑤井上靖(三九) ⑥遠藤周作(三二) ⑦五木寛之(三〇) ⑧三島由紀夫(二七) ⑨高木彬光(二五) ⑩井上ひさし(二三) ⑪司馬遼太郎(二二) ⑫柴田錬三郎(一九) ⑬松本清張(一八) ⑭安部公房(一八) ⑮筒井康隆(一七) ⑯新田次郎(一五) ⑰水上勉(一四) ⑱野坂昭如(一三) ⑲大藪春彦(一二) ⑳五味康佑・眉村卓・川上宗薫・瀬戸内晴美・藤本義一(一一) 以下省略

これらのうち、夏季休業中の読書感想文の課題図書として指定した作品を含む作家は、北杜夫・井上靖・安部公房・新田次郎らがあり、北杜夫・井上靖の作品は感想文を提出した者が相当あったこともこの二作家の上位になったことに関係しているであろう。四年生のこの傾向を見ると、一般大衆の流行をよく反映している。宣伝や流行に左右されない主体的な選択の態度は乏しく、娯楽としての読書の傾向が顕著である。この数年間の芥川賞受賞作家なども皆無に近い状態である。上位二〇人の作家にはいわゆるSF作家がかなり入っているが、四年生の一学級で、これまでに読んだSFの冊数を調べたところ、五〇冊以上の者八名、二〇―三〇冊七名、五―一五冊九名で、予想以上の多読であることがわかった。このような娯楽的傾向から長編の大作は敬遠される。夏季休業の読書感想文では「罪と罰」のような大作を毎年課題図書にしているが、読む学生は全校でも数名に過ぎない。

こうした娯楽的な読書生活の傾向は授業で扱う小説の希望とどう関係するかをみると、学生の意見では、授業で読む小説は、日常一人では読めないようなもの、また、現代社会や人間性の問題に深くかわる作品などを読みたいという正統的な希望がかなり多い。四年生の場合、週一時間の授業で丹念な読解、鑑賞の学

習をすることはむずかしい。名作、問題作の紹介を適宜にすることによって読書意欲を喚起し、定期的に読後感を報告させて、できるだけ教師と感想の交換をするという指導法がよいと考える。本の紹介は多くの学生が望んでいることでもある。

一年生の場合、小中学校で習得した読みの基礎に立って、より自覚的な小説への興味を体得させ、自力で読書体験を豊かにしていく態度をつくらねばならない。小説の授業は、その中核となることが期待される。芥川龍之介の「羅生門」の学習をした最後の時間に書かせた感想文で、次のものなどは授業の効果が比較的に顕著に出たものといえよう。

①最初にこの小説を一読した時は、最後の「下人の行方はだれも知らない。」という文だけ、「ほほう、なるほど」と思っただけだった。しかし、授業で先生の質問やみんなの意見を聞きながら考えていくうちに、自分の読みの浅さにあらためて驚いた。全くはじめ気にもとめていなかった言葉にまで深い意味があったからだ。たとえば、門の円柱にとまっていたきりぎりすがどこかへ行ってしまったという場面。僕はなんとも思わなかった。逆に「それがどうしたというのだ。しょうもないスケッチだ。」とさえ思っていた。が、この一文に、夕方が近づいて、きりぎりすもどこかへ行き、一人途方にくれている下人の残り時間が少なくなってきたような感じ、空しい何かが起こるような雰囲気を感じるようになった。そして、「にきび」これは若い下人が悪人になるためらいを捨ててくるまでの心情の移り変わりを表すポイントになっているのだ。さすが芥川だと二度びっくりした。この小説を読んで、授業を受けて、もっと本を、小説を読まねばならないと痛感した。

②僕は以前にも「羅生門」を読んだことがあるが、何度読んでも下人の性格がつかめなかった。でも今回読んで、授業でやって今までは違う角度から作品が見えるようになった。下人は悪人か善人かあいまいで性格がつかめなかったのだが、今では少しわかるようになった。下人の立場に自分になってみると、なかなか自分にはできそうにないことを下人はやっている。例えば、老姿の着物をはぎ取るところなんか、いくら飢えていようと僕にはできそうにない。下人の性格は、無気力ながら二キビを気にしたり、悪を憎んだりどこかやさしいところがあったのに、生死のさかいら来ると人間の性格を狂わしてしまう。となると悪人か善人かということではなく、人間そのものの不安定を作者は書き表したのではないか。人間というものがこわくなってきた。

①は、叙述に即した表現効果をとらえる点に興味の中心があり、②は、主人公を通しての人間性把握という点に興味をもった読み方である。この二つの点は勿論分離して鑑賞しているのではないが、学生の感想文の傾向としては、どちらか一方により重点がかかっている。人間性の把握という点に表現効果が収斂される鑑賞が望ましいが、一律にそうするのでなく、学生個々の身につけた新しい観念の読みを尊重して、それぞれの好みの読み方を基本にしながらそれを豊かにしていく指導がよいと考える。

筆者は、一年生の授業で「羅生門」の指導をする場合、最初の一読後の印象をメモさせるが、その一つに、主人公の下人の年ごろを直観的に推定するよう指示する。主人公の容貌の描写に「にきび」があるのは非常に印象的であるが、学級の約七割は二五歳から四十歳あたりまでと推定し、約三割の者が二十歳あたりまでの若者とする。小説のかなりはじめの方に「右の頬にできた、大きなにきびを気にしながら、ぼんやり、雨のふるのを眺めていた。」という文に出会うのであるが、「にきび」という生理的な若さの表現には気づいても、「気にしながら」という心理的な若さは見のがしやすい。次に羅生門の楼上で死人の髪の毛を抜く老婆を見つけて、その理由もわからず、善悪いずれに片づけてよいかわからないにもかかわらず、老婆に対する憎悪というよりも「あらゆる悪に対する反感」を下人がもつあたりで、学生は多く道徳的な先入観から反応して下人に同感する。ここでは、「しかし下人にとっては、この雨の夜に、この羅生門の上で、死人の髪の毛を抜くということが、それだけですでに許すべからざる悪であった。」という文を考えることによって道徳的な先入観から自由になり、感覚、心理を活動させている人間として、主人公を見るようになり、そこでも若い人間像を確認するのである。それに触れた感想文に次のようなものがある。

ニキビを気にする下人は、幼さの残る若者で、ニキビから手を離れた下人は大人の図太き醜さを持ってきた青年のようである。ニキビはその二つの人間の切り替えスイッチのような効果を表している。下人は生きのびるためには盗人をする以外にはないと思いつめながら行動に移せないで迷っているが、この迷いは下人の若さのもつよいところである。また死体の髪の毛を抜く老婆を見つけて、理由もなく巨大な悪だと一人で興奮するところも若いなと思う。この下人の心理や行動を考えると、服装や環境が違っただけで、現代の若者と同じだと思ふ。

こうした授業によってすぐれた小説への興味を深め、読書の習慣づけを促すこ

とは、一年生にはとくに必要であり、またその効果が期待できるものである。

四 学生の希望する国語科単位数

本校の国語科は、一、二学年各三単位、三学年二単位、四学年一単位、四か年間に九単位履習させることにしている。これに対して学生はどの程度の単位数をどのような理由で希望しているか調査してみた。教科の単位数は学校全体の教育目標によって位置づけられるもので、学生の希望によって安易に左右される性格のものではない。ここでは学生が国語科の授業の必要性をどう考えているか、そういう意識を知ることが主眼にしていることをこわっておく。

○希望単位数 (学年の欄は人数)

希望単位数	一学年	四学年
5	4	4
6	8	2
7	5	4
8	5	3
9	20	20
10	13	29
11	5	16
12	10	19

希望単位数	一学年	四学年
13	1	12
14	2	1
15	1	13
16	2	1
17	2	1
19		4
24		

調査人員 一年二学級七八人、四年四学級二二九人

一年生では現行またはそれ以下が五四％、現行より多い十単位以上は四六％になつており、四年生では、現行またはそれ以下の希望は二六％、十単位以上は七四％になつてゐる。また、五年生でも国語の授業を希望する者は一年生で五八％四年生で八四％ある。

四年生で、現行の単位数よりもやや多く希望しているのは、大別して二つの理由がある。第一は、国語の学習は、言語技能の修得においても、教養の拡充にしても必要であり、現行では不十分であるというもの。これは就職という現実を強く意識していることと関係が深い。第二は、専門科目主体となつた上級学年において、精神的なゆとり、うるおいを求めるもの。ここにはいわゆる「息抜き」と

いう消極的な態度からきた希望も混入していると考えられる。学生の言葉を引用すると、

○社会に出てから正しい国語の力が必要であるのに、社会に出る直前の五年生で国語の授業がないのは矛盾している。

○就職前に時間数をふやして、表現の仕方、他人との話し方、また生き方について学びたい。

○現実にわれわれの周囲の四年生の漢字の知識、文章表現力の貧しさを見れば当然国語の時間をふやすべきである。

○四、五年生こそ低学年にもまして最も文学や文章を必要と感じる時期であり、また、それらに親しむ時期ではないか。

○おぼえる、計算するという専門科目に追われる中で、国語はホッと息のつける時間である。そうしたゆとりがほしい。

○五年生になれば、ますます専門科目に集中するようになる。国語の時間が少しでもあれば人間的社会的な他の分野へ関心がもてるし、視野も広がられると思う。

○ただでさえ本を読まない学生が多いのに、国語の時間が一時間もなくなる五年生では全く本を読まなくなるだろう。

四年生では最終学年まで国語科の授業が必要であると考える者が多数である。

国語科の担当者としても少ない時間で広く浅く授業することになりがちな現在の単位数は不自由であることはいうまでもない。学校によつては五年生にも一単位配当したり、選択制で履習させているところもあるが、単位数の改訂は大きな問題であるから、現行の単位数の中で、指導効果をあげる努力が必要である。

五 おわりに

筆者は、高等専門学校の国語科では、小説、論説の読みとそれを発展した読書指導、それに作文という四つの指導が中心になるべきであると考えている。それらの具体的な実践報告が高専国語教育担当者間で活発に出ることを希望している。本稿はその実践報告までに至っていないが、そのための基礎的な問題を提供したものである。

遊星歯車装置作動解析の一方方法

阿 野 春 二

日本設計製図学会誌 14巻 68号 (昭54-3) その1, P17~22

14巻 69号 (昭54-5) その2, P24~28

遊星歯車装置作動の解析法は種々あるが、筆者も、一つの手法を案出した。これは、多様な構成形態の遊星歯車装置を、共通な基本形にまとめて、回転とトルクの基本式を設定し、同時にそれを、簡単な図形的記号で表わすことを特徴とする。これの要点は、本誌掲載の筆者の論文の頭初に、再記したとおりであるから、ここでは省略するが、これによる計算で、基本形遊星歯車装置の、複数組合せ機構や、他の装置との複合機構などの作動状態が、比較的容易に把握される。

複合機構構成の一例として、われわれが試作した内燃機関用動力計について述べた。その機構は、図1の回路図に示される。図中のEが、その発生動力を計測される内燃機関で、反対の端にあるMは、交流三相誘導電動機を表わす。この電動機の役目は、中間の機構を介して、Eの機関を開始することと、始動後は、機関発生動力により逆に駆動され、制動力を生じて、動力を吸収することにある。誘導電動機は、そのロータ軸の回転速度を増加させる方向に、外部からトルクを加えると、それに応じた負荷トルクが生じ、制動作用が発生するが、加えられるトルクが極端に大きくなり、暴走を起さぬ限り、同期速度に近い回転速度を保持する。したがって、機関をこれに直結して運転したのでは、絞り弁開度を変化しても、回転速度はほとんど変えられない。そこで、両者の間に、 k という無段変速機を介在させ、これの伝達比 k （入出力軸a, b間の回転比）を変化させれば、機関の速度を、ある範囲の間、連続変化できるようになる。

k_1, k_2 は、二つの遊星歯車装置で、 k_1 の方の軸 a_1 は、無段変速機を経て、また軸 b_1 は、定回転Vベルト伝導装置 k_3 を伸介として、電動機軸に連結し、これらの間が閉回路となる。そのため k_1 は、 a_1, b_1 両軸の速度の合成運動が、 c_1 軸に表われる差動歯車装置として働らく。一方 k_2 は、その軸 b_2 が、はかりWを介して外部に固定されるので、軸 c_2 と、軸 a_2 との間を、一定回転比減速伝導とし、また軸 b_2 には、この歯車装置を通過するトルクに比

例した回転モーメントが生ずるので、これをWで計量して、機関発生トルクを測定する役目をする。

この回路図に、遊星歯車装置の基本式を順次適用して、計算すれば、機関回転数 n_E と、電動機回転数 n_M との間の

$$n_E = - \frac{(k k_1 k_3 - 1)(k_2 - 1)}{k(k_1 - 1)} n_M$$

という関係が求まる。 n_M は一定とみなされるので、式中の変数は、 k の値のみであるが、他の伝達比 $k_1 \sim k_3$ の値を適当に選定すれば、 n_E の回転数変化の範囲を、無段変速機の k の変化の範囲より、任意に、はるかに広いものにすることができる。

k_2 歯車装置の軸 b_2 に生ずる回転モーメント T_{b_2} は、機関発生トルクを T_E とすれば、

$$T_{b_2} = -k_2 T_E$$

となり、これをはかりWで計算すれば、 T_E の大きさが求まり、機関発生動力が計算される。

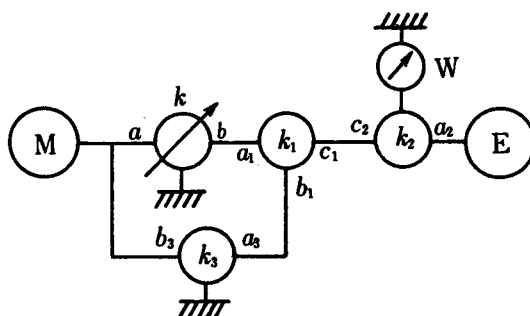


図1 動力計回路図

耐熱金属材料のX線応力測定に関する研究

(ニッケル基合金材のX線の弾性定数について)

X-ray Investigation of Stress Measurement on Heat Resisting Materials

(On The X-ray Elastic Constants of Nickel Base Alloy)

有間 淳一 ・ 岩井 保善

日本材料学会誌「材料」第28巻第306号(昭和54年3月), 211~217

内燃機関、各種熱交換器等に使用される耐熱金属材料は、熱処理により変態または析出硬化せしめ、高温における諸性能を高めて実用されている。これらの合金は二種以上の相より構成されており、母相と異相の間の熱膨張度の差異に基づく熱応力あるいは変態、硬化処理に基づく残留応力が実際に使用される温度条件下での強度に大きな影響をおよぼすことがこれまで問題として指摘されている。これら残留応力の評価の方法としてはX線回折法の適用が考えられるが、高温条件下においては材料の格子定数ならびに弾性的諸性質が変化するために、測定方法に関する基礎的検討が必要である。

本報告は、X線応力測定法を高温条件下で応用するための基礎的諸問題に関する検討結果をまとめたものであって、Ni基超合金材を用い、300℃までの温度範囲におけるX線の弾性定数を求め、高温におけるX線応力定数に対する検討を行ったので以下に述べる。

本実験に用いた材料はNi 73%を基材とし、Cr 15%、Fe 7%を含むインコネルX材である。析出硬化処理を行った素材から長さ66mm、厚さ5mm、平行部長さ15mmの板状に加工したものを試験片とした。

試験片を加熱した状態で引張荷重を加え、X線的に格子ひずみを測定する必要があるため、X線応力測定装置と組合せて稼動させる横型の高温引張試験装置を試作した。構成は手動油圧負荷部を備え、自動温度制御部、真空排気系と一体にしたものである。加熱状態で試験片表面中央部にX線を照射し、回折X線を得る必要があるため、加熱炉の上面にベリリウム箔を使用した。実験に先立ち、試験機としての諸性能について検討し実用し得ることを確めた。

使用X線はCrK β 線であって、 γ 相(311)面よりの回折X線を求めた。X線弾性定数の測定方法はこれまで度々報告した方法に基づき $\sin^2 \psi$ 法を採用して行なうこととし、常温より300℃までの温度範囲で約50℃間隔におけるX線弾性定数を求めるとともに、格子定数の変化も測定した。

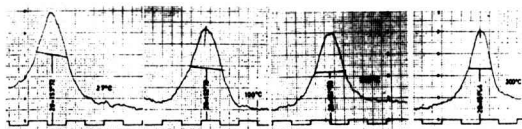


図1 各温度におけるプロファイルの例

図1は各温度におけるX線回折線プロファイルの例を示したものである。温度が上昇するのにしたが、回折角の値が減少していることがわかる。これは格子定数の値が温度により変化することを示し、温度に対して直線的に変化することがわかった。

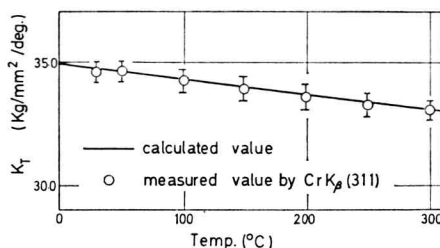


図2. X線弾力定数と温度との関係

図2は、本実験で求めたX線弾性定数より弾力定数を算出し、温度との関係で示したものである。図中の実線は機械的弾性定数より求めた弾力定数と温度の関係であって次式で表わされる。

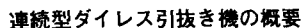
$$K_T = E_0 \cdot \cot \theta_0 \cdot \{1 + \nu\} \cdot \{1 - 2.7 \times 10^{-5} T - 1.98 \times 10^{-7} T^2\} \times \pi / 180$$

計算結果と実験値が良い対応を示すことから、格子定数(X線測定の場合は上式における $\cot \theta_0$)の温度変化による値を求めれば、各温度における弾力値を算出できること、すなわち、高温条件下で直接X線弾力測定が可能であることが結論された。更にひずみゲージ等で測定不可能な温度領域においてX線的にひずみ測定が可能であることを明らかにした。

— ダイレス引抜きの研究 I —

小畠耕二・関口秀夫・小坂田宏造*・吉川勝幸**

ダイレス引抜きを実用化する上での問題点を深めるために図に示すような連続型引抜き機を試作した。本装置では、直径2mmの線材をローラによって供給するとともに、ローラよりも高速回転のドラムで巻取る。断面減少率はローラとドラムの回転周速度比によって決定される(断面減少率 $R = 1 - V_2 / V_1$)。線材は、ローラとドラム間に取付けた誘導加熱コイルによって局部加熱され、加熱



実験に使用した材料は、S45C炭素鋼と各種のステンレス鋼である。引抜き材の硬さは、加工温度と冷却速度などの加工条件によって著しく変化し、その硬さの変化の主な原因は、焼入れ効果によるものである。したがって、加工温度や冷却速度を適当に制御することによって軟質な材料から非常に硬い材料に至る材質調整が可能である。

* 神戸大学工学部 生産機械工学科
** 阿南工業高等専門学校 機械工学科

円形充てん物を持つ無限平板の引張りと圧縮

水嶋 巖・浜田 実*・草野直史**

日本機械学会論文集 45巻389号(昭54—1) p.26~32

円孔を持つ無限平板に充てん物がすきまも締めしろもなく、また摩擦もなくそう入され、その平板が引張りまたは圧縮を受ける場合の弾性問題に関して、平板と充てん物の縦弾性係数の比を種々に変えて、円孔および充てん物周縁での応力と変位の分布を求める。解法は、二次元弾性問題に対する応力関数の極座標に関する一般形を繰り返し用いて数値的に処理する方法である。

その結果、平板と充てん物の縦弾性係数の比に対する最大応力、最大すきま、およびすきま部の大きさをそれぞれ図示し明らかにした。また結果の一部を従来の解と比較して、本解の妥当性を確かめた。

結果の一例として、図2に応力の絶対値の最大値と縦弾性係数比の関係を示す。図中における添字1は平板を添字2は充てん物を示すものとする。また応力 $\bar{\sigma}$ は、無限遠での引張り（または圧縮）応力を基準応力とする無次元量を示すものとする。

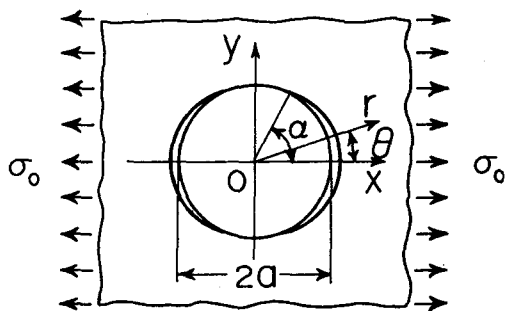
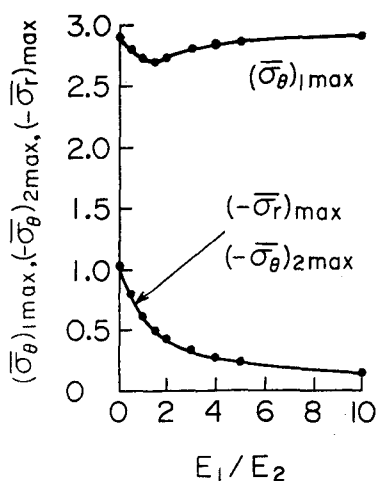
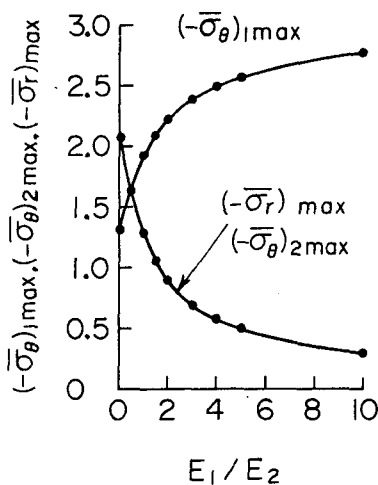


図1 円形充てん物を持つ無限平板（引張り）



(a) 引張り



(b) 圧縮

* 大阪大学工学部

** トヨタ自動車工業株式会社

図2 応力の絶対値の最大値と縦弾性係数比の関係

教官研究活動状況一覧表

遊星歯車装置作動解析の一方法

阿野春二

日本設計製図学会関西支部創立10周年記念研究発表会
(昭和53年11月11日 講演)

単一多能生産システムの最適工程設計

大橋和正, 人見勝人 (大阪大・工)

精機学会広島地方学術講演会
(昭和53年11月20日 講演)

遊星歯車装置作動解析の一方法(その1)

阿野春二

日本設計製図学会誌 14巻 68号 P17~22
(昭和54年3月)

単一多能生産システムの工程計画に関する研究

(評価基準と最適工程設計)

大橋和正, 人見勝人 (大阪大・工)

精機学会関西地方学術講演会
(昭和54年7月12日 講演)

遊星歯車装置作動解析の一方法(その2)

阿野春二

日本設計製図学会誌 14巻 69号 P24~28
(昭和54年4月)

炭素鋼の延性破壊

関口秀夫

日本塑性加工学会関西支部第20回塑性加工懇談会
(昭和53年10月18日 講演)

耐熱金属材料のX線応力測定に関する研究

(ニッケル基合金材のX線の弾性定数について)

有間淳一, 岩井保善

材料 28巻 306号 P211~217
(昭和54年3月)

温間塑性加工における炭素鋼の延性破壊

越島次郎 (神戸大・院), 小坂田宏造 (神戸大・工)

関口秀夫

第29回塑性加工連合講演会
(昭和53年11月23日 講演)

Ni基耐熱材料のX線応力測定

有間淳一, 岩井保善

第16回X線材料強度に関するシンポジウム
(昭和54年7月26日 講演)

ダイレス引抜き加工法

関口秀夫, 小畠耕二, 小坂田宏造 (神戸大・工)

機械の研究 31巻 3号 P351~356
(昭和54年3月)

単一多能生産システムの最適工程設計

大橋和正, 人見勝人 (大阪大・工)

精機学会広島地方学術講演会
(昭和53年11月20日 講演)

連続型ダイレス引抜き機の試作と 加工材質

小島耕二, 関口秀夫, 小坂田宏造 (神戸大・工), 吉川勝幸 (阿南工専)

塑性と加工 20巻 224号 P814~819

(昭和54年9月)

円形充てん物を持つ無限平板の 引張りと圧縮

水嶋巖, 浜田実 (大阪大・工), 草野直史 (トヨタ自工)
日本機械学会論文集 45巻 389号 P26~32

(昭和54年1月)

Tensile and Compressive Stress Problems for a Circular Disk in an Infinite Plate

I. Mizushima, M. Hamada (Osaka Univ.) and
N. Kusano (Toyota Motor Co. Ltd.)

Bulletin of the Japan Society of Mechanical
Engineers Vol. 22 No. 171 P. 1175~1181

(昭和54年9月)

長方形断面を有する直管内における 粘弾性流体の流れ

堀川明 (大阪大・工), 三村宣治 (大阪大・工), 森教安
日本機械学会関西支部第54期定時総会講演会

(昭和54年3月16日 講演)

余弦交叉形サイクロコンバータの開閉 サージによる誤動作の一防止法

市田博 (京工繊大), 岡本弘 (京工繊大), 長谷川俊三 (京工繊大), 井村栄仁

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和53年11月29日 講演)

分割制御形サイクロコンバータの 計算機制御

市田博 (京工繊大), 岡本弘 (京工繊大), 長谷川俊三 (京工繊大), 井村栄仁

電気関係学会関西支部連合大会

(昭和53年11月29日 講演)

容量性負荷3相PWM逆変換器の解析 (第8報)

岡本弘 (京工繊大), 市田博 (京工繊大), 山根満 (京工繊大), 井村栄仁

(昭和53年11月29日 講演)

容量性負荷3相PWMインバータの 精密解析

岡本弘 (京工繊大), 市田博 (京工繊大), 山根満 (京工繊大), 井村栄仁

電気学会制御変換装置研究会

(昭和54年2月23日 講演)

Electron-Beam-Induced Conduction in Polyethylene

J. Kyokane, Y. Yoshino (Osaka Univ.),
and Y. Inuishi (Osaka Univ.)

J. Appl. Phys., vol. 49

(昭和53年)

Electrical Properties of Hexatriacontane Single Crystal

J. Kyokane, S. Harada (Osaka Univ.)

K. Yoshino (Osaka Univ.), and

Y. Inuishi (Osaka Univ.)

J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 12

(昭和54年)

Electronic Conduction in Polystyrene Induced by Pulsed Electron Beam

J. Kyokane, S. Harada (Osaka Univ), K. Yoshino
(Osaka Univ.) and Y. Inuishi (Osaka Univ.)
JPN. J. Appl. Phys., Vol. 18.

(昭和54年)

電子線パルスによる臭素，沃素添加PE の移動度測定

京兼純，原田真二（大阪大・工），吉野勝美（大阪大・工）
犬石嘉雄（大阪大・工）
電気学会関西支部連合大会
(昭和53年10月28日 講演)

高分子絶縁材料及び炭化水素結晶の電 荷輸送過程(I)

原田真二（大阪大・工），京兼純，吉野勝美（大阪大・工）
犬石嘉雄（大阪大・工）
電気学会関西支部連合大会
(昭和53年10月28日 講演)

炭化水素単結晶及び高分子材料の 電荷輸送過程(III)

京兼純，原田真二（大阪大・工），吉野勝兄（大阪大・工），
犬石嘉雄（大阪大・工）
第26回応用物理学会
(昭和53年11月5日 講演)

高分子及び炭化水素単結晶の電荷輸送 と絶縁破壊

京兼純，原田真二（大阪大・工），吉野勝美（大阪大・工）
犬石嘉雄（大阪大・工）
電気学会絶縁材料研究会
(昭和54年3月13日 講演)

高分子絶縁材料及び炭化水素単結晶の 電荷輸送過程(II)

京兼純，原田真二（松下電器），岩川真二（大阪大・工）
吉野勝美（大阪大・工），犬石嘉雄（大阪大・工）
電気学会全国大会
(昭和54年4月5日 講演)

高分子の電気伝導に及ぼす

ハゲロンの影響

岩川真二（大阪大・工），吉野勝美（大阪大・工），犬石嘉
雄（大阪大・工），京兼純
第12回電気学会絶縁材料シンポジウム
(昭和54年9月27日 講演)

放射線計数率計出力のしきい

値到達のシミュレーション

若林信生（神戸大・工），山田辰男（神戸大・工），上田勝
彦（奈良高専）
計測自動制御学会論文集 15巻 1号
(昭和54年1月)

印影パターンの量子化しきい値 決定法

上田勝彦，中村善一
情報処理学会第20回全国大会
(昭和54年7月23日 講演)

理解状態およびそのプロセスの 科学的分析

西川喜良（甲南大），有間淳一（奈良高専），石桁正士（大
阪電通大），上田勝彦（奈良高専），他4名
1979年日本科学教育学会年会
(昭和54年8月9日 講演)

長波長ホログラムにおける 点物体の再生像の界強度分布

世古忠, 成田絃一, 阿座上孝 (名古屋工大・工)
電気通信学会論文誌(B), Vol. No. 2
(昭和54年2月)

ホトダーリントンの負性抵抗特性

高橋晴雄, 山内雅好
電気関係学会関西支部連合大会
(昭和53年10月28日 講演)

温度勾配下における エポキシライニング材の耐薬品性

井口高行, 奥田聡 (同志社大・工)
化学工学協会第44年会
(昭和54年4月4日 講演)

Evaluation of Corrosion Resistance of Plastics by Dynamic Testing Methods

S. Okuda (Doshisha Univ.), T. Iguchi and S. Nishina
(Doshisha Univ.)
ACHEMA '79 (at Frankfurt)
(昭和54年6月20日 講演)

塩化物溶液中での アルミニウム極の陽分極挙動

犬田修正, 平田允 (藤井寺工業高校)
電気化学協会第19回電池討論会
(昭和53年11月8日 講演)

リフトトレイの特性解析

河越幹男, 大竹伝雄 (大阪大・基礎工), 木村彰一 (大阪

大・基礎工), 野田泰夫 (関西化学)
化学工学協会第12回秋季大会
(昭和53年10月11日 講演)

高専の化学

小森三郎監修, 石川光二, 奥住泰三 (東京都立航空高専)
編集

(昭和54年2月20日 森北出版(株)発行)

歌集「石の間の歯染」評 雑誌 放水路 昭53年8月号
歌集「しだれ桜」評 ♫ 柊 ♫ 10月号
歌集「蒸気機関車」評 ♫ 柊 ♫ 11月号
万葉集「短歌合評」 ♫ アララギ ♫ 12月号
土屋文明北陸作品研究 ♫ 柊 昭54年5月号
竹乃里歌短歌合評 ♫ アララギ 年 8月号
篠弘氏の「リアリズムの基底」について
雑誌 アララギ ♫ 4月号
歌集「海のまほろば」「天の辛夷」評
雑誌 アララギ ♫ 8月号

(以上) 小谷 稔

アダム・スミスの道徳論 —『道徳感情論』における 評価原理について—

谷口文章
昭和53年度関西倫理学会
(昭和53年11月11日 講演)

中世の五百井について

朝倉 弘
斑鳩町史
(昭和54年1月30日 発行)

高専における数学教育

笠野卓夫
関西工業教育協会高専部会
(昭和53年10月21日 講演)

フィリピンのヤシ事情

小森三郎

日本油化学協会誌 28巻 P61～62

(昭和54年 1月)

Iminium and Nitrilium in the Dimerization of Cyano Compounds in Acids.

小森三郎, 柳田祥三, 岡原光男

Advances in Organic Chemistry, Vol.9 Pt.2,
P.527～571. (JOHNWILEY & SONS, NewYork)

(1978年)

奈良工業高等専門学校 研究紀要 第15号

昭和55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 市 山 泰 文 堂
大和郡山市東岡町47の8

RESEARCH REPORTS

of
NARA TECHNICAL COLLEGE

No. 15, 1979

CONTENTS

Calculation of the Efficiency of Epicyclic Gears	Shunji ANO	1
Optimum Process Design for a Machining Center	Kazumasa OHASHI	7
A Study on the Intermittent Method in Screw Cutting	Katsuya KAGA/Kazumasa OHASHI/Keiji OKUSHIMA	11
The Effects of Cutting Conditions on Shape of Chip in Turning of Steel	Yoshio TANAKA	15
Coincidence Formula for Elliptic Complex, Application 2 (The Complex Analytic Case)	Katsuhiko FUKUSHIMA	21
Vibrational Relaxation of CO in a Shock Tube	Kazuoki MATSUOKA/Haruaki KISHIGE	25
Flow of a Polymer Solution into a Capillary	Noriyasu MORI/Toshio WAKABAYASHI/Toshiya SAKABE	29
Optical Control of Negative-resistance Characteristics Constructed with a Photo-coupler	Haruo TAKAHASHI/Masayoshi YAMAUCHI	33
Development of Interactive Image Processing System...Yoshikazu NAKAMURA/Katsuhiko UEDA		39
Development of Micro Computer System NATEC/ Z	Hirokazu NARITA/Tadashi SEKO	43
Optical Condition of Bleached Phase Hologram	Masayuki MIYATA	49
Simulation of Crystal Size Distribution in a Batch Crystallizer.	Takeshi NAKAYA/Shigeru OKUMOTO	55
What is Real Number ? —— On the Method of Dedekind's Cut——	Takashi IRIE	61
An Extension of Joint Consistency Theorem.	Hiroyoshi TABATA	67
On <i>Time Must Have a Stop</i>	Yoshikuni MIURA	71
Students' Demands on Japanese Teaching.	Minoru KOTANI	77
Abstracts		83