

流体素子の応用について

野 坂 弥 蔵

Abstract

This is an interim report on some applications of pure fluid devices to
(1) sequential control of machine tools
(2) logic trainers
(3) artificial pumps
(4) fluid oscillators
just to prove that pure fluid devices can be used today.

I 緒 言

§1. 流体素子研究の現状

人工衛星の制御機器の一つとして注目されはじめている純流体素子 (pure fluid devices, 或は fluid amplifiers) は電圧, 電流の代りに流体の圧力, 流量を用いておる上に可動部分がないため, 電子機器の使用が困難な環境条件下 (高温, 放射線, 高加速度など) でも故障がなく, しかも安価に作れるなどの長所がある反面, 流体源を必要とすることや, 応答速度が遅いことなど短所も持つ。この特徴を生かして使えば電気機器より信頼性の高い素子として, 人工衛星のみならず, 工作機械のシーケンス制御, プロセスの on-off 制御などにも広い応用範囲を持つものと思われる。

流体素子を初めて開発したのはソ連である。米国は1958年の訪ソ視察団の報告に刺激され, 1959年より莫大な金と人間を投入して研究を始め, 1962年11月に行なわれた機械学会年次大会では流体素子に関する講演会場は満員であったと報ぜられている。

我国でも Control Engineering 誌に掲載された紹介記事によって流体素子の存在を知り, 1962年より工業技術院機械試験所をはじめとして大学やメーカーなどで研究を始め, 今年5月には計測自動制御学会主催第1回純流体素子シンポジウムが東京で開催されるに至った。この他にも自動制御部会や日本機械学会でも続々と論文が発表されているが, その大部分は米国の

H. D. L. や Johnson Serrice Co. で開発した素子の特性に関する基礎研究である。純流体素子ではないが、スプール弁が動く形の流体論理素子については、機械試験所の研野博士が工作機械のシーケンス制御を目的として論理数学的考察を行ない、シチズン株式会社と協力してこの素子を用いた自動組立機を、また山田油機工業株式会社と協力してガソリンの自動販売機を製作した。また東工大の伊沢研究室では、純流体素子を使ったM系列信号発生器の試作に成功している。けれども一般に我国の研究者の多くは未だ実験用の素子の設計と工作に苦心している段階であって、特性の揃った素子を多量に作って応用研究を行なうまでには到っていないようである。米国では Bowles Engineering Co. や Corning Glass Co. などから素子を出しているし、Remington Rand Inc やユニパック社では百数十個の論理素子を用いて小形の空気圧 digital 型計算機を作っておる。また医用方面の製品もあり、NASA (アメリカ航空宇宙局) のレポート CR-139やCR-245などでも実現可能な応用例が論ぜられておるけれども詳細な記述は少ない。

§2. 本 研 究 の 目 的

そもそも技術の問題には予測が困難なものが多い。蒸気機関や石炭産業の最盛期に今日の衰微を予測し得た人は少ないであろうし、数年前までエレクトロニクスの主役であった真空管がその王座をトランジスターに譲り、我々になじみの深いチューブラタイプの抵抗やコンデンサー類も集積回路の中にその姿を没し去ろうとする現状を見る時、平家物語の筆者と同様に技術の世界でもまた盛者必衰の理を感ずる。けれども一時騒がれたロータリーエンジンが未だにピストン機関に追いつけないように、新しい技術は余程優れたものでなければ、長年の間改良に改良を重ねた伝統のある技術にとって代ることができ難いことも事実である。

流体素子も多くの長所を持つ反面、素子間の結合が難しいこと、応答度の遅いこと、多量の空気源を必要とする点など短所を持つ上に、閉管路内の流れについての流体力学が未だ体系化されておらないため、素子の設計に役立つ理論に乏しく、また製作も容易でないことなど、解決しなければならない問題が多く、今後の盛衰は予測し難い。しかしどのような方面にどのように使用される可能性があるかを検討し、出来れば具体的応用例を示すことは、基礎的面の未解決な現段階に於ても必要なことであると考えられる。このような考えから著者は

- (1) 工作機械の sequence 制御
- (2) logic trainer
- (3) 医用機器 (人工心臓, 呼吸補助器など)
- (4) 流体発振器

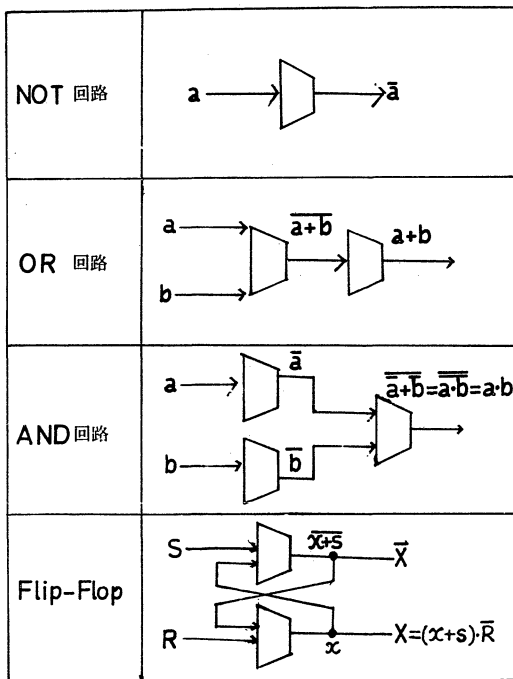
に純流体素子を使用できるかどうかを検討している。本論文はその中間報告である。

§3. 論理回路に用いられる基本素子と基本回路

二進の情報を処理する論理回路は AND, OR, NOT, Flip-Flop, などという基本回路を組合せて作られるが、これら基本回路は、NOR 素子だけを組合せて作ることができる。電氣的 NOR 素子はトランジスタ1箇で作れるのでデジタル電子計算機をはじめとする電氣的論理回路には、この NOR 素子が盛んに使われている。この意味で NOR 素子を基本素子と呼ぶことにする。基本素子としては NOR の他に合意, 禁止, 条件つき離接などが考えられる。即ち基本回路は NAND 素子だけでも組めるし、合意素子だけを使っても構成できる。以下、その組み方を表にして示そう。

(3-1) NOR 素子だけを組合せて構成した基本回路 (第1表)

NOR 素子とは、入力 a, b に対して出力 $a + b$ を与える素子であって記号 \square で表わすと、第1表に示したように、4つの基本回路は NOR 素子を組合せて作れる。



第 1 表

〔註〕

- (i) a と b の否定 (NOT) を夫々 \bar{a} , \bar{b} , 論理和 (OR) を $a + b$, 論理積 (AND) を $a \cdot b$ で表わす。
- (ii) de Morgan の定理: $\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$
- (iii) FlipFlop の入力 は set 入力, reset 入力と呼ばれるので夫々 S, R を用いた。
- (iv) この F.F. にはフィードバックがあるため S = 1 が入った後で (S = 0, R = 0) となっても出力は 1 に保持される。つまり F.F. は入力が入ってきたことを記憶しておく訳である。記憶している内容を消すには reset 信号を入れねばならない。
- (v) 入力の組合せとして (S = 0, R = 0), (S = 1, R = 0), (S = 0, R = 1) は許されるが、(S = 1, R = 1) は禁止される。この時は出力 X が一意に確定しないからである。
- (vi) S が入る以前の Flip-Flop の状態を x, S が入って以後の状態 (即ち出力) を X とすると、次表の関係がある。この表より次の論理式を得る。

$$\begin{aligned}
 X &= (x + S)\bar{R} \\
 &= x\bar{R} + S\bar{R} \\
 &= x\bar{R} + S\bar{x}
 \end{aligned}$$

x	0	0	1	1	1	0
S	0	1	1	0	0	0
R	0	0	0	0	1	1
X	0	1	1	1	0	0

(ii) F.F. では X の反対側の出力端子には \bar{X} なる出力が出る。

NOT		NOT	
OR		OR	
AND		AND	
Flip-Flop		Flip-Flop	

第 2 表

$$X = \overline{x\bar{R}\bar{S}} = x\bar{R} + S$$

第 3 表

(3-2) NAND 素子だけを組合せて構成した基本回路 (第2表)

NAND 素子は入力 a, b に対して出力 $a \cdot b$ を与える素子で、これを記号 D で表わすと第2表を得る。

〔註〕

$$\begin{aligned}
 X &= x\bar{R} + S \\
 &= \overline{\overline{x\bar{R} + S}} \\
 &= \overline{\overline{x\bar{R}} \cdot \overline{S}}
 \end{aligned}$$

(3-3) 含意 (implication) 素子だけを組合せて構成した基本回路 (第3表)

含意素子は入力 a, b に対して出力 $a + b$ を与える素子で、これを記号 C で表わすと第3表を得る。

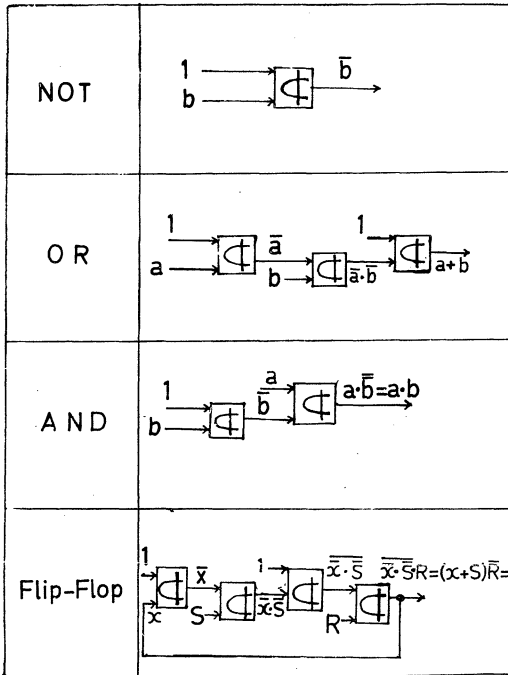
〔註〕

$$\begin{aligned}
 X &= x\bar{R} + S \\
 &= \overline{\overline{x\bar{R} + S}} \\
 &= \overline{\overline{x} + \overline{R}} + S
 \end{aligned}$$

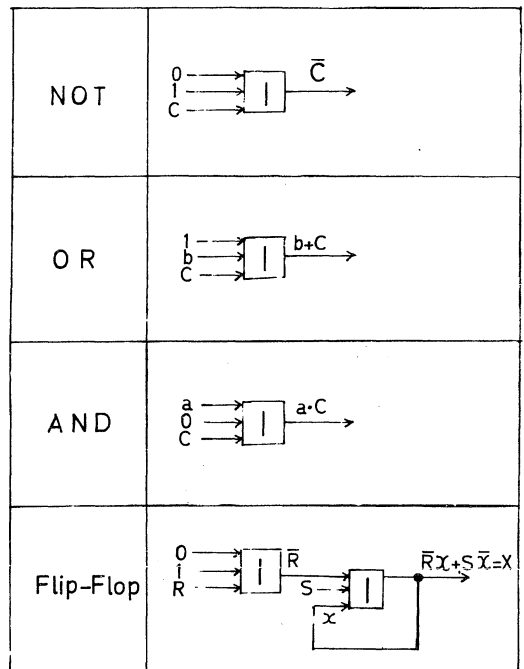
(3-4) 禁止 (inhibit or non-implication) 素子だけを組合せて構成した基本回路 (第4表)

inhibit 素子は入力 a, b に対して出力 $a \cdot b$ を与える素子で記号 D で表わすと第4表を得る。

〔註〕 $X = (x + S)\bar{R}$
 $= \overline{\overline{x + S}} \cdot \bar{R}$
 $= \overline{\bar{x} \cdot \bar{S}} \cdot \bar{R}$



第 4 表



第 5 表

(3-5) 条件つき離接 (conditioned disjunction) 素子だけを組合せて構成した基本回路 (第 5 表)

この素子は入力 a, b, c に対して出力の $a c + b \bar{c}$ を与える素子で、記号 \square で表わすことにすれば第 5 表を得る。

〔註〕 $a = 1$ とすると $a c + b \bar{c} = c + b \bar{c}$
 $= (c + b)(c + \bar{c})$
 $= c + b$

$X = x \bar{R} + S$
 $= x \bar{R} + S(x + \bar{x})$
 $= x \bar{R} + S \bar{x} + S x (R + \bar{R})$
 $= x \bar{R} (1 + S) + S \bar{x} + x S R$
 $= x \bar{R} + S \bar{x} \quad \because SR = 0, 1 + S = 1$

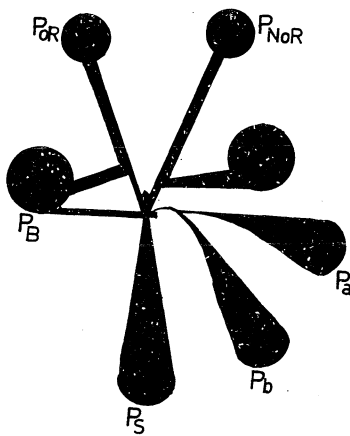
§4. 流体論理素子

流体素子にはアナログ形とデジタル形とがある。前節で述べた基本素子はすべてデジタル形のもので、流体論理素子ともよばれる。現在開発されている代表的なものを挙げると次のようなものである。

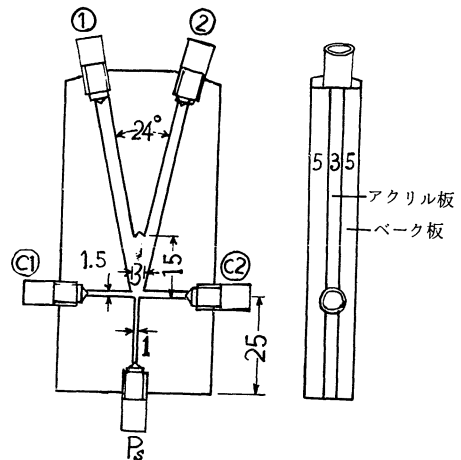
(4-1) NOR 素子

(i) 壁面付着形素子 (第1図, 第2図)

U. S. Army の HDL (Harry [Diamond Laboratory]) で開発した。Coanda 現象を利用したもので単安定と双安定とがある。第1図は単安定で、入力 P_a , P_b がない時は噴流は常に NOR 側に付着するように左右非対称形に設計されている。 P_a , P_b のうち、どれか1つ或は両方が入ると噴流は OR-ポート側に付着し OR 出力となるが、入力がなくなれば再び NOR 側に帰る。空気消費を少なくするには、供給ポートの幅はなるべく小さいがよいが、実験室で手作りする場合は 0.5mm 位が限度であり、しかも同一性能のものを多数作することは容易でないけれども、増巾作用もかなりあるし、1つの素子で OR と NOR と両方に使える。また第2図のように左右対称形にすれば双安定の Flip-Flop となる。現在最も注目されている素子である。



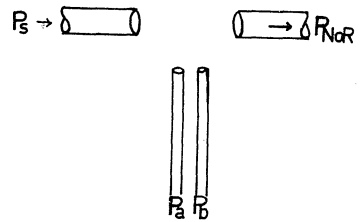
第 1 図



第 2 図

(ii) 乱流形素子 (第3図)

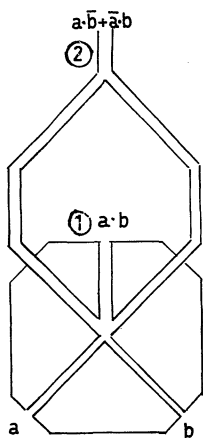
第3図に示すように、一直線上に対向したパイプの一方より層流状の噴流を噴出すると、入力 P_a , P_b のない時は P_{NoR} に入って出力となるが、 P_a , P_b のいずれか1つでも存在すると乱流となり出力圧は激減する。ゲインは大きいが出力レベルは低いし、風などの外乱を受け易い欠点がある。入力信号としては超音波も使用される。



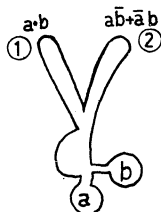
第 3 図

(4-2) AND 素子 (第4 a 図, 第4 b 図)

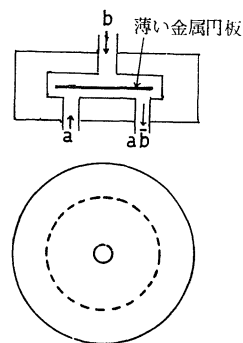
出力ポート①からは AND 出力 $a \cdot b$ が、②からは排他的論理和 (Exclusive OR) $a \bar{b} + \bar{a} b$ が得られる。従って half adder としても使える。形が簡単のため工作は比較的易しいが増巾作用のないのが欠点である。



第 4 a 図



第 4 b 図



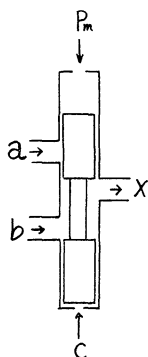
第 5 図

(4-3) 含意素子

これは未だ開発されていない。

(4-4) 禁止素子 (第5図)

製作は容易と思われるが、増巾作用のないことと、可動部分のあるのが欠点である。



第 6 図

(4-5) 条件つき離接素子 (第6図)

スプール弁の上部よりは常に一定の圧力 P_m が加っていて弁の衝突を柔げるバネの作用をしている。c に圧力 P_h が加らない間は弁は下り a は閉じているが、b と x は通じている。

$P_h > P_m$ なる圧力 P_h を加えると弁は上方に動き、b は閉じ a と x が通じる。a, b, c に加わる圧力を入力、x を出力としてすべての組合せを表にしてみると、 $x = ac + b\bar{c}$ が得られる。この素子は可動部分のあるのは欠点であるが増巾作用もあり有望かも知れない。シチズン社や山田油機工業KKで実用化しているのはこれである。

§5. 流体アナログ素子

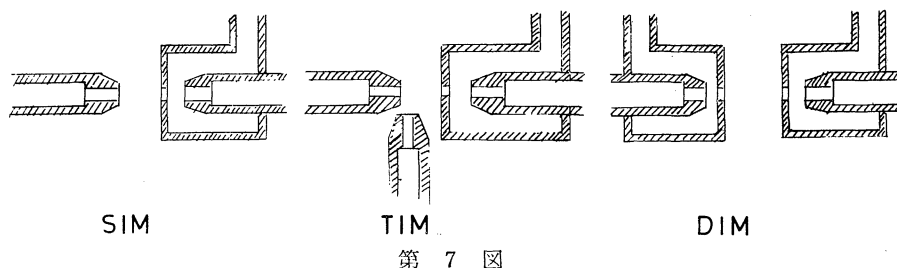
fluid amplifiers とも呼ばれている。次の2つが有名である。

(i) HDL 形

第2図とはほぼ同形だが、噴流が側壁に付着しないように側壁が大きく外方に逃げている点が異なる。

(ii) Impact Modulator

SIM, TIM, DIM の3種が知られている。(第7図) TIM は負ゲインに働き、DIM は正ゲインに働らく増巾器である。SIM はノズルのどちら側に入力を与えるかによって正負いずれのゲ



インにも働らくので増巾作用と同時に加算，減算ができ，これを使って微分回路も組めるし，TIM と組合せれば積分回路も作れるといわれ有望な素子である。最近では都立大や日本電気などから応用例が発表されている。

Ⅱ ボール盤のシーケンス制御

§6. 作業の内容

流体素子は，空気源を必要とするため，空気配管のしてある工場を使うと好都合である。この意味で工作機械の *sequence* 制御を取上げる。一例として，ボール盤による同一円周上の等間隔の穴明けを考えてみる。先ず第一番目の穴がドリルの真下にくるように工作物を *turn table* 上に固定してからドリルを電動機で回転させ，次いで作業開始用空気弁を開くと，後は全く自動的に流体素子が作動して次の3動作を順番にやって行く。

(1) *turn table* がロックされる。

ロック動作開始とドリル下降開始は同時であるがドリルの下降速度を遅くしてロックが完了してから切削開始するようにする。

(2) ドリルが下降して穴明けをやり， 終われば上昇して最上位置で停止する。この間テーブルはロックされている。ドリルの下降速度は小さいが上昇速度は大きくする。

(3) テーブルのロックを解き，次に明けるべき穴の中心がドリルの真下にくるように，所定の角度だけテーブルを回転させる。この間ドリルは最上位にある。回転が終ると再びテーブルはロックされ上記3動作が繰返される。

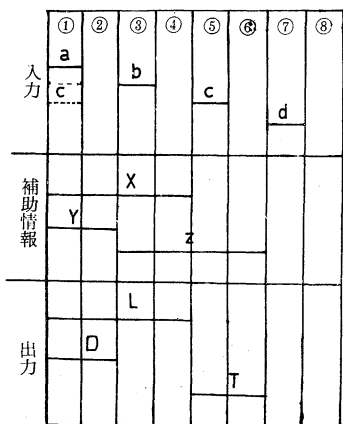
所定の数の穴が明くと，ドリルは最上位に復帰し3動作は停止する。

§7. Sequence Chart

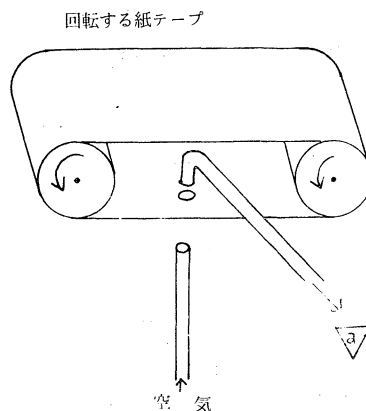
前節で述べた作業を *Sequance Chart* に書くと第8図を得る。

(7-1) 入 力

入力信号 *a*, *b*, *c*, *d* はいずれもパルス状の信号で，その内容および発信源は次のようである。*a* はテーブルのロックとドリル下降とを開始せよという命令である。第9図のような回転する穿孔紙テープより発する。*a* の入る道前では，他の入力，補助情報，出力はいずれも存在



第 8 図



第 9 図

しない。(即ち第10図の Flip-Flop がみなりセット状態にある。)

bはドリルに上昇開始を指令する信号で、ドリルが切削を終了し最下位に達した時、その位置を検出して発する。

cはテーブルのロックを解き、回転を開始せよとの信号である。ドリルが上昇し最上位に達する少し前の位置を検出して発する。従ってドリルが最上位より下降を開始した少し後、即ち第8図の期間①内でもこの発生源から信号 c_1 が出るが、補助情報Zと c_1 とのANDをとることによって不要な c_1 は除くことができる。

dはテーブルの回転終了を指令する信号である。テーブル回転用ピストンの死点位置を検出して発する。

以上 a, b, c, d の中、b と c とはドリルの位置より発する信号であるから $bc = 0$ であるが、a と d とは発信源が異なるので $ad = 0$, $ab = 0$, $bd = 0$ は保証されない。

(7-2) 出力

テーブルはドリルが下降して穴明けを行ない再び上昇し終る迄、出力Lによってロックされていなければならない。Lは入力aによって生ずる。aはパルスであるから短時間で消滅あるが、Lはその後もロック解除信号cが入る迄保持される。このことを表わしたのが区間①より④に亘る水平線分である。

ドリルに下降運動をさせる出力Dも入力aによって生じ、aが消滅した後も切削終了まで保持される。

テーブルを回転させる出力Tは入力cによって生じ、cが消滅した後も回転終了まで保持される。

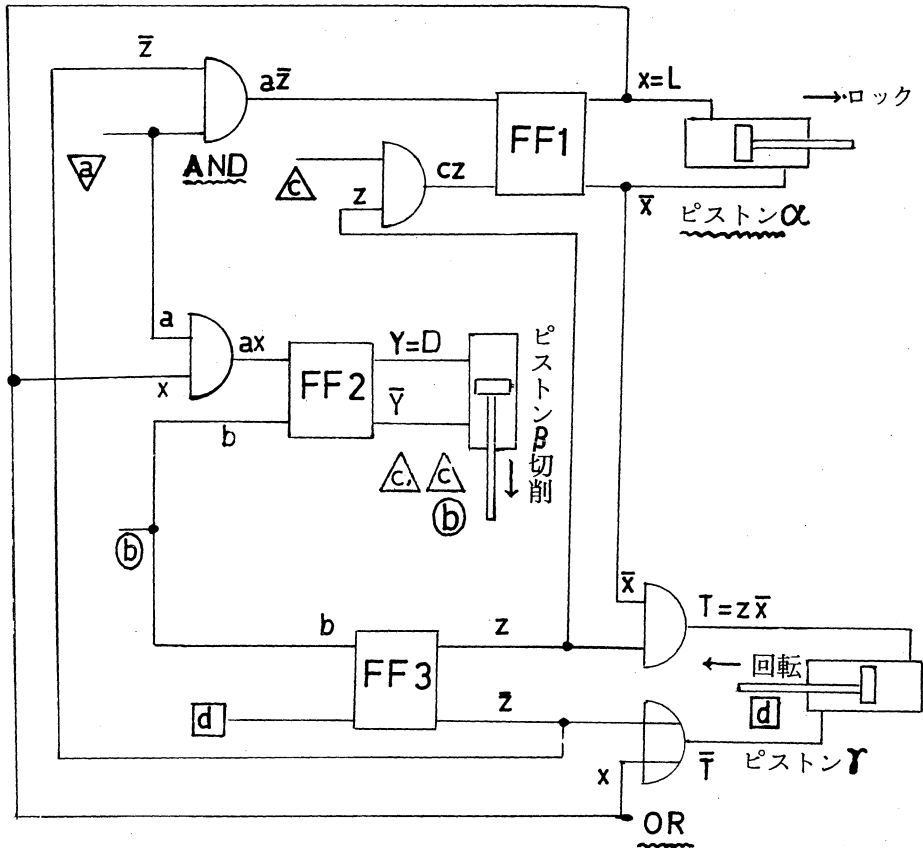
(7-3) 補助情報

区間②④⑥⑧では入力のないことは皆同じであるが出力は異なる。それでこれらの区間を互に区別するため補助情報を作る。パルス入力を記憶しなければならないのでX, Y, Z,

はそれぞれフリップ、フロップ FF1, FF2, FF3 によって作る。

§ 8. シーケンス回路の設計

シーケンスチャートを使って第10図の回路を設計した。テーブルのロックおよび回転，ならびにドリルの上下は，それぞれ1つずつのピストン α , β , γ で行なう。



第 10 図

III Logic Trainer

logic trainer は logic study とも呼ばれる装置で，

(イ) 工高, 高専, 大学などにおける論理回路の教育用として

(ロ) 研究所や工場における Simulator として

近時注目され始めた。既に商品化されているが、これらは主にトランジスタの NOR 素子を使っている。もしトランジスタの代わりに流体論理素子を使った logic trainer ができれば、各ゲートや Flip-Flop の作動を実際に観察体得できる可能性があるから、教育効果がもっと向上するであろう。この意味で流体素子使用logic trainer は試作してみる価値がある。

今回は一例として Exclusive OR, Adder, および Shift Register の回路を考察しよう。

§ 9. Exclusive OR 回路

第 4 図の素子は入力 a, b に対して Exclusive OR 出力 $a\bar{b} + \bar{a}b$ (これを $a \oplus b$ と書く) を与える。しかし増巾した出力の欲しい時は第 11 図の回路がよいと云われる。これは次の論理式に基く。

$$\begin{aligned} a \oplus b &= a\bar{b} + \bar{a}b \\ &= \overline{\overline{a\bar{b} + \bar{a}b}} \\ &= \overline{\overline{a\bar{b}} + \overline{\bar{a}b}} \\ &= \overline{\overline{a} + b} + \overline{a + \overline{\bar{b}}} \end{aligned}$$

つまり \bar{a} と b の NOR である $\overline{\overline{a} + b}$ と a と \bar{b} との NOR である $\overline{a + \overline{\bar{b}}}$ との OR をとれば、それが $a \oplus b$ となる訳である。

§ 10. Adder

(10-1) Half Adder (半加算器)

トランジスタの NOR 素子だけで作ると第 12 図のように 5 箇のトランジスタを要するが流体素子なら、第 4 図のもの 1 箇ですむ。(第 13 図)

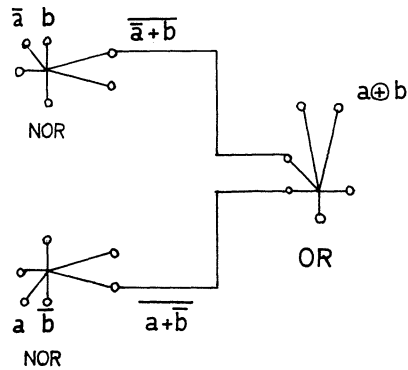
(10-2) Full Adder (全加算器)

全加算器は半加算器 2 つを第 14, 15 図のように組合せて作る。前者はトランジスタ式で、

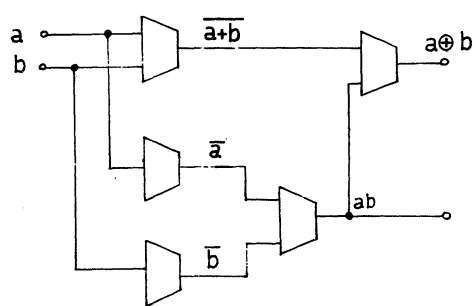
NOR 素子が合計 12 箇組合せてあるが、後者の流体式では AND 素子 2 箇, OR 素子 1 箇, 合計 3 箇ですむ。尤も第 13 図の AND 素子は増巾作用がないから、信号の減衰を防ぐための増巾用素子を中間に入れる必要がある。

§ 11. Shift Register

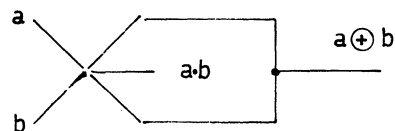
第 16 図は NOR ゲートを使ったシフトレジスタで、前段の Flip-Flop の内容 a, \bar{a} を、シフトパルス $T = 0$ の時に次段の FF1 に送ろうとするものである。今、フリップフロップ FF1



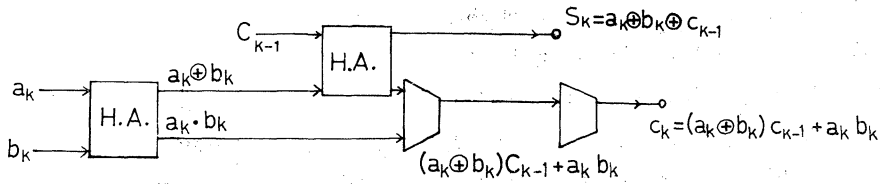
第 11 図



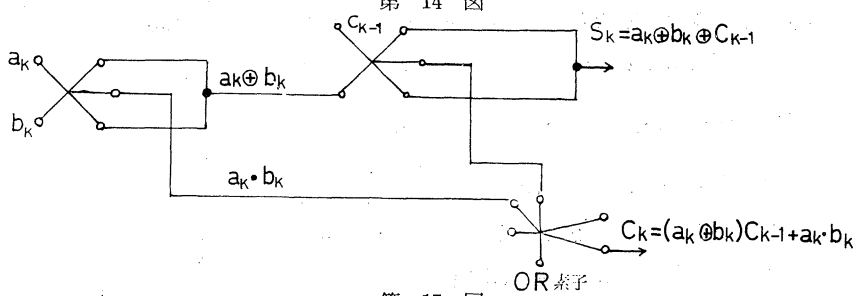
第 12 図



第 13 図



第 14 図



第 15 図

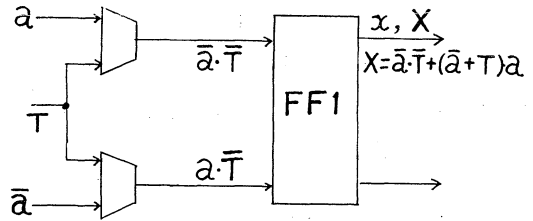
の現在の内容を x , set 信号 $\bar{a}\bar{T}$ が入った後の状態を X とすると

$$\begin{aligned} X &= \bar{a}\bar{T} + \bar{a}\bar{T} \cdot x \\ &= \bar{a}\bar{T} + (\bar{a} + T)x. \end{aligned}$$

$T = 0$ の時は

$$X = \bar{a} + \bar{a}x = \bar{a}(1+x) = \bar{a}$$

これは、前段の内容 a が、shift pulse $T = 0$ の来る毎に FF1 に送られることを示している。

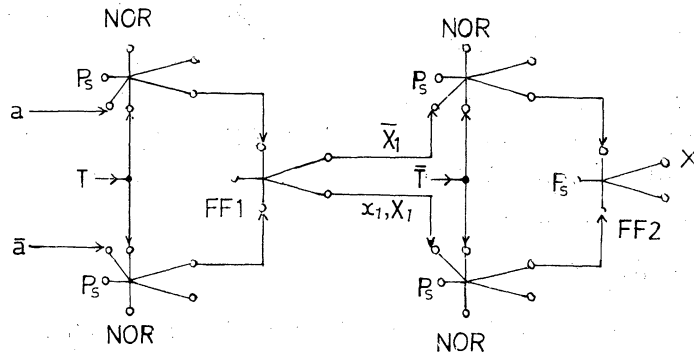


第 16 図

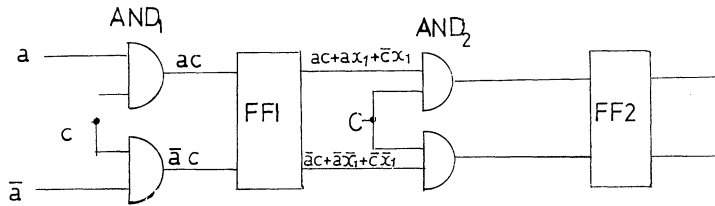
FF1 の内容を更に次段のフリップフロ

ップ FF2 へ送るためには第17図のように接続する。この際注意すべきは、 a が FF1 へ shift され、次に FF1 の内容が FF2 へシフトされるというように順々にシフトされるために、シフトパルの位相を交互に逆相としていることである。

第18図は AND-gate を用いたシフトレジスタである。



第 17 図



第 18 図

Ⅲ 医用機器への応用

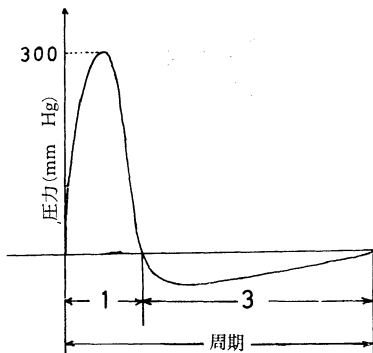
医用機器への応用例として既に商品化が報ぜられているものに呼吸補助器、長期臥床患者の床ずれ防止用布団などがある。流体素子による人工心臓の駆動は1961年に HDL の Woodward 等のグループが始めて以来、今日までいろいろな研究者が手掛けているが、未だ実用化されていないようである。著者は昨年度内地研究員として東大工，産業機械工学科藤井研究室に勤務中，医学部医用電子研究施設の依頼によって，流体素子による人工心臓駆動の実験を行ったのでその結果を述べる。

§ 12. 人工心臓の構造

いろいろなタイプのものが作られているが，要するに心臓は1種のポンプであるから，構造は大体同じで，血液を入れるゴムの袋に吐出弁と吸入弁をつけ，それを硬質プラスチックの容器の中に入れ気密にしてある。ゴム袋とプラスチック容器の間へ圧縮空気を送り込むとゴム袋は収縮し吐出弁が自動的に開いて血液を送り出す。逆にゴム袋とプラスチック容器との間の空気を吸引してやるとゴム袋は膨張し，吸入弁が開いて静脈血を吸引する。

§ 13. 血 圧

(13-1) 圧 力



第 19 図

Systole 圧 { 左心 150~300mmHg
 { 右心 30~100mmHg

Diastole 圧 左, 右心とも -50~-20mmHg

(13-2) 周波数 60~120 C/min

(13-3) Systole と Diastole の持続時間比は
1 : 3 ~ 1 : 4

§ 14. 人工心臓の駆動方式，制御方式

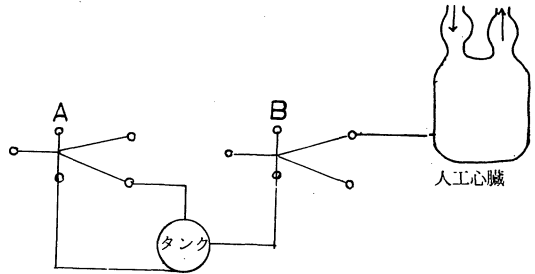
人工心臓を駆動する方法は流体素子による方法だけではない。医用電子で使用中のものは bellofram ポン

プを使う方法である。

人工心臓を装着した生体の血圧およびその波形と脈搏数とは、常に望ましい状態にあるように制御されなければならない。

§ 15. 純流体素子による駆動

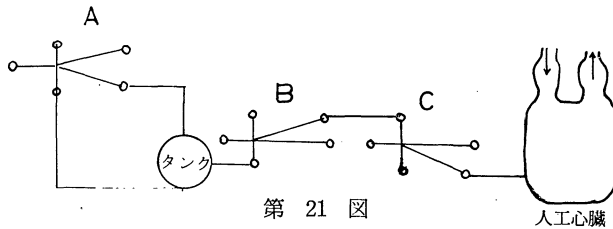
純流体素子を使った発振器によって心臓を動かすことを一応の目標とし、次の段階で波形の改良と制御へ進む方針で試作した結果、第20図の回路を得た。流体素子A、Bは共に第2図のような双安定素子である。A素子で発振、B素子で心臓を駆動させた。この方式で一応の駆動には成功したが、第19図のような波形ではなくて、Systole と Diastole の時間がほぼ同程度となってしまった。



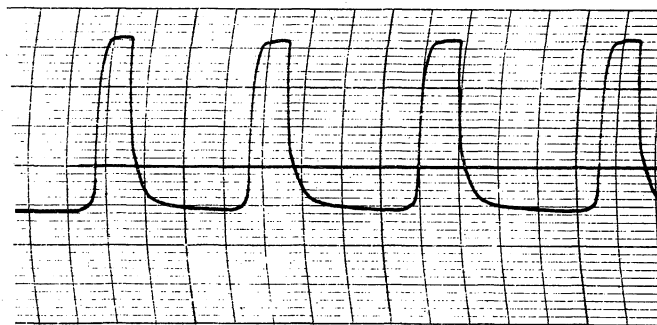
第 20 図

その後、藤井研究室の佐藤助手はこの実験を続行し、2つの単安定素子と1つの双

安定素子を用いて第21図の回路を作った。発振は双安定素子Aで行ない、単安定素子Bで波形の整形を、Cで心臓の駆動をやって第22図の波形を得た。(著者への私信)



第 21 図



第 22 図

§ 16. 今後の問題

- (16-1) 生体の要求に応じた血圧、波形、脈搏の制御。
- (16-2) 駆動用空気の消費量節減

(16-3) 流体素子より発する騒音の低減

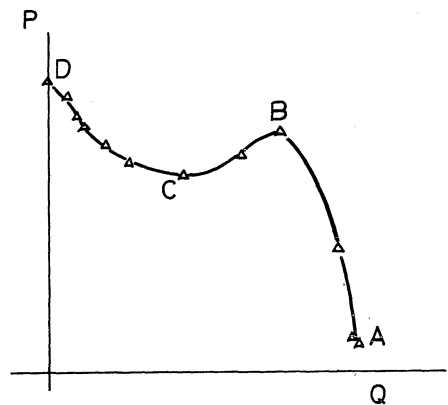
以上いずれも難問であり、一応満足できるところまで到達するのに相当の時間と費用とを要するであろう。

V 流体発振器

流体発振器は shift register の shift pulse を得るのに必要であり、またボール盤の sequence 制御における紙テープの回転、人工心臓の駆動、振動台、部品洗滌機などへも応用の可能性がある。ここでは第2図のような双安定素子を使った発振器につき実験した結果を述べる。

§ 17. 双安定素子の静特性

vent のない双安定素子のすべての port を大気開放にしつつ圧力 P_s の空気を供給ノズルより噴出せしめると、噴流はいずれか一方の port より流出する。この時流出流量 Q と流出 port の静圧 P を測定する。次に流出 port を少し絞ってから同様に流出量と静圧を測定する。順次このようにして次第に出口の絞りを強めて



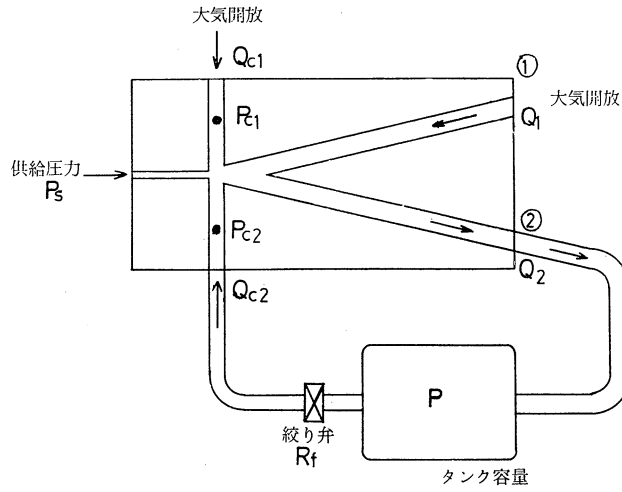
第 23 図

行きながら Q と P とを測定し、その結果を図示すると第23図の特性曲線 $ABCD$ が得られる。D点は流出 port を全閉した場合の静圧を示す。しかし素子によっては $ABCD$ と経過せず、B点に達する前に噴流が突然反対側の出力 port に切替ってしまうものもある。

§ 18. feedback 形 発 振 器

第24図は実験した feed back 形発振器の回路を示す。一方の出力 port ② にタンクを接ぎ、タンクより絞弁を経て同じ側の制御 port C2 へ feed back している。噴流がタンクCに流入し、タンクの圧力 P が高まってくると、反対側 port ① への切替えが起る。するとタンク内の空気は捲込み現象によって噴流に捲込まれて流出し、タンクの内圧は下り、再び噴流の切替えが起る。この過程を繰返して振動する。この振動はタンクへの空気の蓄積、放出のため生ずる弛緩振動であることは第25図に示した $P-\dot{P}$ の位相面からも明らかであるが、不明なのは噴流の切替わるメカニズムである。切替えの起る原因としては色々なものが考えられる。

- (i) 左右制御ポートの圧力差 $P_{c1} \sim P_{c2}$ が或一定値を越すと切替る。
- (ii) 出力 port の負荷効果によって切替る。
- (iii) 前二者の混じた影響

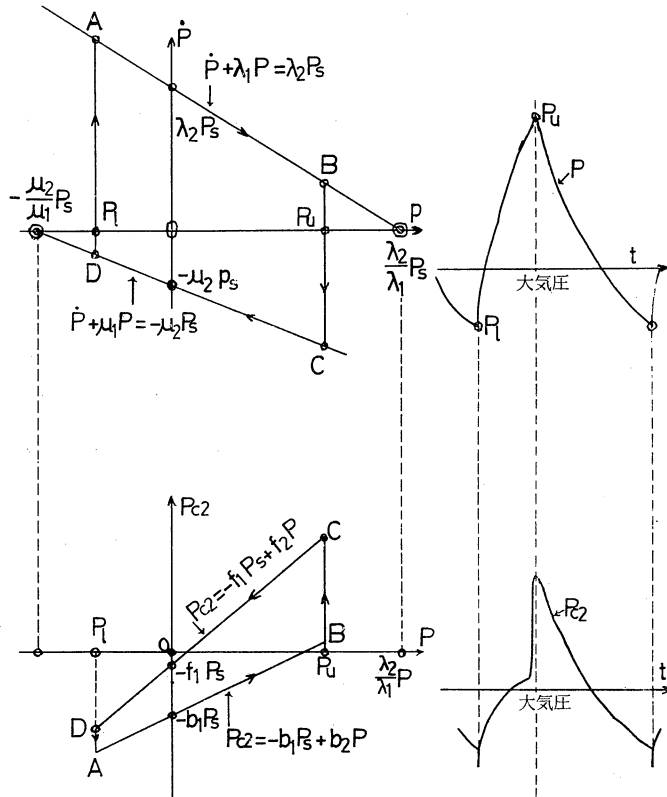


第 24 図

(二) その他

いずれにしても静的な切換のメカニズムも未だ明らかになっていないのであるから、ましてや動的な場合が半然としないのは当然である。

第25図右側の圧力Pの波形は抵抗線歪計によってピックアップしたものの。左側の位相面の \dot{P} は抵抗とコンデンサを使った微分回路でPを微分して求めた。

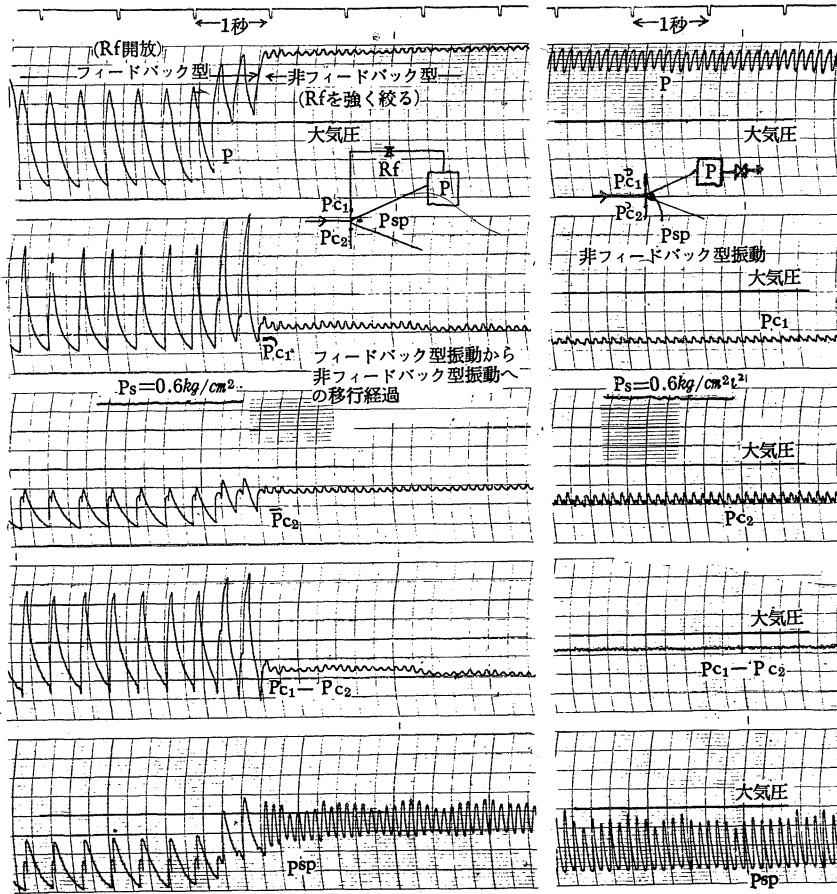


第 25 図

§ 19. 負荷形発振器

第24図の回路で絞弁から C 2 までの管路を取外した場合が負荷形発振器である。絞弁を絞って行くと或処で振動を始める。この場合は制御ポートが両方も大気開放であるから、 $P_{c1} \sim P_{c2}$ に基く切換えではないことは明らかであるが、feep back 形の場合と振動発生原因が異なるという保証もない。

面白いのは feed back 形振動回路でフィードバック管路途中の絞り弁を極端に絞った場合である。この場合は C2 ポートは殆んど全閉状態となるので噴流の②側への付着は強固となり、切換は起らないけれども、タンク圧力 P は比較的高い振動数、小振幅で振動する。絞弁を徐々に絞って、切換を伴った普通のフィードバック振動から、この非切換振動への移行状況を記録したものを第26図に示す。この非切換振動は第27図に示すような静特性曲線の負性抵抗に基く自励振動であると考えられる。



第 26 図

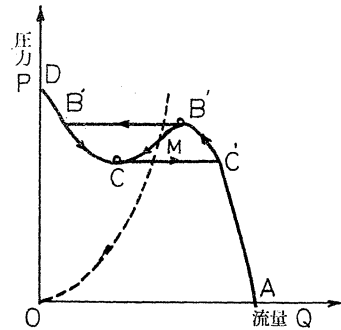
Ⅵ 結 び

(1) 工作機械のシーケンス制御への流体素子応用の一例としてボール盤のシーケンス制御装置を設計した。

(2) 流体素子の logic trainer への応用につき二、三の検討を行なった。

(3) 流体素子による人工心臓の駆動に或程度成功した。

(4) フィードバック形流体発振器について実験を行ない、フィードバック管路の絞りを極端に絞る時に非切換形の振動が起ることを発見した。



第 27 図

この研究は主として東大工，藤井研究室に於て行なわれた。御指導いただいた藤井教授をはじめとする藤井研の諸兄，特に一緒に実験していただいた同研究室佐藤孝夫助手，人工心臓を借していただいた渥美助教授をはじめとする医用電子研究施設の方々，ボール盤のシーケンス制御について有力な示唆をいただいた日立研究所の長谷川氏，発振器について御討論いただいた機械試験所の尾崎博士と東大機械白倉研究室の青木稔氏に深く感謝しますと共に，内地留学を許していただいた技術科をはじめとする島大教育学部の諸先生に厚くお礼申し上げます。