講 義

シーケンスの自動制御*

森 政 弘**

1. わが国の工業とシーケンス制御の必要性

日本人は手先が器用である。また日本には物的資源が乏しい。この2つのことが、わが国の工業のかなりの部分に種々の特殊性を与えている。これは先進諸国からの輸入になる大規模な工業よりも、中小企業においていちじるしい。繊維工業もこの例外ではない。このうち自動化に直接関係の深い特殊性としては、(1) バッチ プロセスが非常に多いこと、(2) 多種少量生産であること、(3) 熟練工の名人芸に依存している個所が多いこと、などがまずあげられよう。そしてこれらはいずれも、あきらかに自動化を実行しにくくする要因である。できることなら、この種の要因は極力取除き、バッチ プロセスは連続プロセスに変更し、製品の種類は極力切りつめ熟練工を不要とする生産方法を採用したうえで、自動化を考えるのが一応合理的な行き方であることはだれしもとなえるところである。

しかし現実の問題としては簡単にはこれらの要因を除くことはできない。たとえば、プロセスの中には技術的に連続化困難なものも多く、また多種少量生産の形態をくずすことができぬ(高級毛織物整理工業のような)場合には、連続プロセスにかけうるだけの同一品種のロット量がないこともある。また昨今の激烈な新製品競争に対処してゆくためには、転用融通が容易なバッチ プロセスの方がむしろ好まれるという傾向さえ生じてきている。ゆえにまずわが国からバッチ プロセスを全部追放することは不可能と考えられる。さらに日本人は(日本人に限ったことはなからうが)生活における好みの繊細さ、ぜいたくさ、古来の根強い伝統、社会機構、習慣などが間接的に多種少量生産形態の工業をささえ、名人芸のできる熟練工の存在理由を高めていると見ることもできる。たとえばネクタイ工業などは多種少量生産でなければ成立しないものの典型であろう。また風合のような科学的検出の困難な、官能検査に頼らざるをえない

品質の良否が、その商品価値を大幅に左右しているのである。したがってこの種の工業では名人芸のできる熟練工が依然として必要なのである。

このような実情だからわが国の工業の特殊性は、一朝一夕に自動化がしやすい形態に変化することはまずないと覚悟せねばならないだろう。また一面、むしろこの特殊性を保存することこそ、わが国の工業の国際的な地位を守ることになる。さらに逆に連続プロセスで手がけられるものだけを少品種多量生産の形で生産し、製品の品質についての繊細な(むしろ芸術的な)検定を否定することにでもなれば、それこそ極端ではあるが、全国同一色、同一形の服を着るという、殺風景な戦時の背に帰ってしまうことになる。

だが一方、このような事情にありながら、自動化の必要性は最近ではとくに増大してきている。その原因は多々あろうが、1つには貿易の自由化開始によりわが国の工業が国際競争の荒波にさらされることになったことがあげられる。また、わが国人口の年齢別分布が年少者の方が少ないという逆三角形を呈してきているため、近き将来にはかならず、若い労働人口は減少し、老いた非生産の人口が増加するという事態が到来する。それに加えて最近めざましく向上した生活程度を、その近き将来においても維持ないしは発展させるためには、労働人口1人あたりの生産量を何倍にも増加する必要がある、そのためには自動化を着々実行してゆかねばならなくなったということも他の1つの理由としてあげることができる。

こう考えてくると、以上の自動化のしにくい要因を含むわが国工業の特殊事情をある程度は肯定して、ぜがひでもその自動化を真剣に考えねばならず、いたずらに先

* 最終需要家である一般家庭よりも、主として問屋のような中間業者によってこの種の品質がきびしく判定されているのが実情である

* Sequence Control.

** M. Mori, 東京大学生産技術研究所

進諸外国の自動制御技術に追従することだけで安心すべきではなく、わが国の工業に適合した形態の自動制御を独自で開拓せねばならないと結論できる。

この論拠より、われわれはバッチ プロセスの自動化を、また連続プロセスについてもその運転人員のいっそうの減少を主目的とした自動化を研究することが急務といえる。シーケンス制御はこの要求に対して、ある角度から答えることのできるものである。

2. シーケンス制御とは

バッチ プロセスの自動化に際しては、連続プロセスの自動制御で偉力を発揮している流量、圧力、温度、pHなどの値を制御する、いわゆるプロセス調節計によるフィードバック制御だけでは、自動化の効果はあまり上がらない。とくに人員の節減に対しては調節計によるプロセス制御は無効に近い。バッチ プロセスを運転人員を削減することを主目的として自動化するためには、バッチ式の特質である各バッチごとの原料の仕込み、製品の排出、各種の弁の時間やプロセス状況に応じての切換え、などの作業順序進行を自動化することがまず必要である。このような各バッチごとの作業順序を自動的に進行させる制御をシーケンス自動制御という。これなしにはバッチ プロセスの運転人員を節減して自動化の実をあげることはできない。また連続プロセスにおいても、定常運転中の圧力、温度などのプロセス諸量の調節動作だけの調節計による自動化だけでなく、その起動や停止に関係した諸動作までも自動化しなければ、完全自動化による合理化の実は上げにくいと思う。そのためには連続プロセスにもシーケンス制御を採用するのがよい。

昭和 36 年度に審議された自動制御用語 J I S 原案^{***}では、シーケンス制御の用語の意味はつぎのようになっている。

シーケンス制御：あらかじめ定められた順序にしたがって制御の各段階を逐次進めていく制御。

〔備考〕 シーケンス制御では、つぎの段階で行なうべき制御動作があらかじめ定められていて、前段階における制御動作を完了したのち、あるいは動作後一定時間経過したのちにつぎの動作に移行する場合や、制御結果に応じてつぎに行なうべき動作を選定して、つぎの段階に移行する場合などが組合わされることが多い。

実はこのような自動制御は第 2 次大戦前からすでに化学プロセス以外では多少は実施されていた。とくに強電関係、すなわち発電所の起動停止や、各種圧延機、巻上機などの大形電動機が使用されている個所では、その起動、逆転、停止などに関連して昭和のはじめごろから行なわれていた。このため電気分野ではあまりにも常識化して、ことさらその必要性をうんぬんされるということもなしに進んできたようである。そこへ戦後サーボ機構やプロセス制御などのフィードバック制御方式が登場し、フィードバックが極度に重要視され、“フィードバックがなければ制御とはいえない”，とまでいわれるようになった。この風潮に押されて、シーケンス制御はフィードバックがないとの理由で、自動包装機の類の自動機械とともに自動制御の研究の対象としてとり上げられなくなってしまった。^{****}この事実は本当のところは、シーケンス制御を無視し忘却してもよいということではなく、それは、自動制御関係者は常識として当然心得なければならぬ基礎的事項であることを物語っていたのであった。しかしこの風潮が強すぎたのか、それとも自動制御は教えるべき内容が多すぎるためからか、たび重なる各団体主催の自動制御講習会でも、また大学の制御工学の講義においても、シーケンス制御はほとんど講義されずに今日にいたったのである。

このため、戦後においてはじめて自動化技術がはいり込んだプロセス工業畑では、調節計によるプロセス制御という歴史の新しい自動制御に関しては、関心も深く、知識も豊富で、実施も広範囲大規模におよんでいるのだが、この歴史の古いシーケンス制御に関しては、その言葉さえも耳にされたことがないという状況をまねいたのである。

ところがここ数年来の筆者の経験によると、このプロセス工業（繊維工業も含めて）をはじめとして、いままでシーケンス制御が浸透していなかった分野にこれを実施してみたところ、意外にも大きな収獲が上がったこと

^{***} 後述のように、シーケンス制後にフィードバックがないというのは誤りである。とくに現在の進歩したシーケンス制御では、いたるところにフィードバックを採用し、确实安全を期している。

^{****} ただし、工場現場では電気関係ではもちろん、機械関係でも、トランスファマシンや工作機械とくにその数値制御ではシーケンス制御が採用され、ある程度身近なものとなってきた。

^{***} 日本規格協会へ必要の方は問合わせられたい

が多かった。これは考えてみれば当然の話であって、われわれの日常生活の諸動作をはじめ、各工程でシーケンス制御に無関係なものはまずほとんどないからであろう。

シーケンス制御の今日の状況は、電気畑では古くから行なわれてきているその技術が、分野の異なったプロセス工業において、新しい形態で再興されつつあると見ることができよう。

3. シーケンス制御は採算がとれるか

自動化のためにぎりぎりのところ、どこまで金がかかるか、あるいはどこまでの価格の自動制御装置を購入してもよいか、という問に対する答は、おおざっぱながら次式で表わすことができると筆者は考えている。

$$\begin{aligned}
 & \text{自許動容化投の資た額め} \leq \left\{ \begin{array}{l} \text{その自動化によって} \\ \text{節減できる作業員数} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{作業員 1 人当りの、1 年間の会社負担費用} \\ \text{（作業員の給与、賞与、諸手当、厚生その} \\ \text{他の間接経費、退職金などすべてを含む）} \end{array} \right\} \\
 & + \left\{ \begin{array}{l} \text{1 日の作業交代数} \\ \text{24 hr 3 交代制ならば 3（さ）} \\ \text{（さらに交代要員があれば 4）、} \\ \text{8 hr 1 部制ならば 1} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{その自動化のための装置の原価消} \\ \text{却年数} \\ \text{（会社により、また設備の種類に）} \\ \text{より異なる} \end{array} \right\} \\
 & + \left\{ \begin{array}{l} \text{その自動化によって得られる} \\ \text{製品の質の向上；収率の向上と安定；衛生性の向上；作業時} \\ \text{間、原料、電力、燃料などのむだの減少；作業の高速化；精密} \\ \text{間、操業の安全性の向上；労働環境の浄化；宣伝的效果；プ} \\ \text{ラント建設費の節減；時間的、精神的余裕の増加と将来計画} \\ \text{の充実；人手では不可能な作業の実行；その他} \end{array} \right\} \text{などの有形、無形の利益} \\
 & - \left\{ \begin{array}{l} \text{その自動化を採用するために生ずる} \\ \text{現用手動設備の廃棄、変更；} \\ \text{製品の品種数の減少；その他} \end{array} \right\} \text{による損失}
 \end{aligned}$$

この式で右辺の第 1 項は、自動化によって得られる人員の節減による利益であって、自動化実施前の計画段階において、かなりの程度定量的な算定ができるものである。筆者の調査によれば、この項中の、作業員 1 人当りの 1 年間の会社負担費用は、その作業員の程度にもよるが、だいたい最低 60 万円程度から最高 200 万円ぐらいのものである。1 日の作業交代数はもちろん最低 1 で最高 3（さらに緊急交代要員が置いてある場合は 4）である。原価消却年数はだいたいにおいて新進気鋭の工場ほど短く、1 年という場合さえある。また設備にもよるが長いほうでは法定の消却年数を採用しているところもある。上式の第 2 項は計画段階での算定を困難にする要素を多分に含んでおり、自動化の実施後ある期間を経て、運転が定常状態に落ちてからはじめてあらわれてくる利益である。筆者の経験ではこの利益は、ほとんど零の場合もあったし、また予期せぬ大きなものとなったこと

もあった。第 3 項の自動化採用による損失というものも忘れてはならない項である。

自動制御の方式や装置が、学者や研究者の手をはなれて実際の営利工場の現場へ適用されようというときには（1）式で規定されたきびしい閾門を通過せねばならない。このことは、軍事目的のような採算を度外視した場合はいざ知らず、営利を目的とした一般の工業の場合にはすべていえることである。そして（1）式右辺第 2 項の利益は、計画段階においては算定困難な要素が多いため、採算の面で安全確実を期する場合には、この項を無視して自動化の利益というものを第 1 項の人の節減だけとみなして計画することが多く、いっそうのきびしさが加わるわけである。しかし、昨今の自動制御界の焦点となっている最適制御、適応制御、計算機制御などの高級な制御方式は、（1）式中の

右辺第 1 項の人員削減による利益よりも、第 2 項の利益のほうをねらったもののように受けとれる。したがってこれらの制御では“採算がとれるか？”という問に対し、この

（1）式をとおして明確に答えにくいわけでこの点がこれらの制御方式の実用化を困難にしている原因の一つではなからうか。

筆者はここ数年間、わが国のプロセス工業の自動化を、とくに（1）式を満足して採算がとれるという点から實際的に研究した。その結果シーケンス制御というものが、わが国の工業に対しては（少なくとも現段階では）、上記の高級な制御よりも實際的に貢献することができるという自信を持ち、また事実採算が十分とれている実施例も大小合わせて 10 例以上経験することができた。幸なことにシーケンス制御は、それによる利益があらかじめ算定しやすい人員の節減を直接の目的としたものである。

***** 筆者の経験では、自動化の計画段階において、現在の各種制御要素、装置、付属装置の価格や工事費などを（1）式左辺に代入した場合、その不等号が成立するという確信を得ることができた場合はそれほど多くはなく（1）式が成立せぬか、せいぜい等号がやっと成立するという場合の方が多かった

筆者が計画あるいは実施したシーケンス制御のうち、代表的なもの4例についてその規模、運転人員数を表示すると第1表のようになる。

このうちB工場以外は、どれも運転人員数は半分以上に節減できている。とくにA工場の蒸気処理工程では1/3に減少している。またD工場とC工場との場合は、工場新設に際し、おりからの求人難に対して偉力を発揮したのであった。B工場の染色工程では、弁の開閉だけを行なうシーケンス制御と、温度とpHの調節計による制御だけでは自動化の実は上がらず、反物の染色そうへのかけはずし作業、その他が手作業のままで残っているため、ほとんど人員節減の効果は上がっていないので

(第1表) シーケンス制御による人員節減の実績

工場	工 程	継電器数	弁 数	運 転 人 員 数	
				自動化なし の場合	自動化した 現在
A	蒸気処理	13	4	3	1
B	染 色	37×30*	4×30*	12	10
C	結 晶	約1800	約 700	約 40 (推測値)**	18 (交代要員 を含む)
D	醗 酵	約2500	約1000	約 40 (")**	20 (")

* 30台分を意味する

** 既存の工程を自動化したのではなく、はじめからシーケンス制御を適用したため、自動化なしの場合の人数ははっきりとは出ない

ある。B工場以外の例でも、自動化した現在の運転人員が零(完全自動)になっていないのは、現在の技術ではとても自動化できぬ、人間にたよらねばならぬ作業が残っているか、あるいはそれ以上の自動化を実施したのでは投資額が増して採算がとれぬとの理由があるからである。

シーケンス制御の効果は人員の節減以外〔上式右辺第2項〕にもある。計画の段階では予期しなかったことだがD工場およびC工場の例では試運転(このときには人員は逆にたくさん必要である)のときからすでに収率が目に見えて安定した。またA工場の例では作業時間が正しく一定に落ち着き、しかもそれが短くなったため1日のバッチ回数が上がった。B工場の場合は人員の節減こそできなかったが、染色時間が安定短縮でき、1日3回しか染色できなかったのが4回できるようになり、ほぼ25%の生産能率向上ができた。また間接的に蒸気量の節約も記録計上に現われるようになった。さらにすべての例についていえることだが、弁の誤操作は皆無となった。

故障はD工場の場合は保守がゆきとどいているためかまだ一度も起っていない。B工場の場合実施後4年になるが温度検出端の絶縁不良が4~5回起っている程度である。A工場では弁座の材質に問題が生じ弁を交換したことがあった。

いうまでもなく、この4例とも上式を満足して採算がとれているものである。B工場の例を除いて経済的にも成功したといってよいと思っている。以上簡単ではあるが、参考までに数例の結果を披露した次第である。

4. シーケンス制御の実例

上述のようにシーケンス制御の歴史は古いものではあるが、以下に二、三の実例をあげてこれまでシーケンス制御になじみの薄かった方々のために、シーケンス制御の概念をつかんでいただくことにしよう。

4.1 シーケンス制御の方式

現在のところシーケンス制御にはつぎの3方式がある。

- (1) カム式シーケンス制御装置を使う方式
- (2) 継電器式シーケンス制御装置を使う方式
- (3) 汎用形シーケンス制御装置を使う方式

このうち(1)のカム式は、小形電動機により駆動されるカムと、リミットスイッチとを組み合わせることにより作業工程の時間的配分を規定するもので、もっとも簡単な方式である。工作機械や各種加工機械の単純なシーケンス制御や高級家庭電器の制御などに使われている。機構が簡単で安価だが、(1)すべてが時間だけで規定されてしまう、(2)前段階の制御結果に応じてつぎの段階を選択するような動作はできない、(3)ある段階まで進行したシーケンスを一部もとへもどして、途中からもう一度くり返したいような要求には応じられないなどの欠点がある。

(2)の継電器式は現在もっとも標準的なもので、柔軟性に富み、小規模なものからきわめて大規模な制御にいたるまで、一応シーケンス制御に要求される条件はすべて満足させるものである。今日の技術の現状から見て、この方式がもっとも実用的かつ信頼性が高いと考えられる。筆者がこれまで各方面で実施してきたシーケンス制御はすべてこれに属する。

(3)の方式は現在ほんの試験、試作段階のものでしなく、したがって実用の経験や古い歴史や伝統があるわけではない。理論的、実験室的にはこの方式はもっともすぐれた方式といえるが、いまずぐ工場現場での実用問題となると100%の責任を持って推しよること

は筆者はさしひかえる。しかし将来いつかはこの方式が大活躍するときがくると思う。これは電子計算機によるシーケンス制御とも密接な関係がある重大問題だが、ここでは説明は省略することにしたい。くわしくは文献(2), (3), (4)を参照されたい。以下もっぱら(2)の継電器式シーケンス制御について解説を進める。

4.2 継電器回路図

継電器式シーケンス制御を理解していただくための前提として、標準的な継電器回路図の書き方を簡単に説明しておこう。

(a) 34号継電器 (富士通信機)

(b) ワイヤスプリング継電器 (日本電気)

(第1図) 継電器の例

第1図はシーケンス制御によく使う継電器の例であるが、継電器とは要するに、電磁石のコイルへの電流をオン・オフすることによって(一般にそのコイルとは絶縁された)電気接点を開閉する要素のことをいう。したがって継電器の実物では、コイルと接点とは一体になっているのだが、それをそのまま一体として図示すると配線図が非常にさくそうするので、コイルと接点とは別々に離して書くのが原則となっている。(この点が機械製図とは大いに異なっている)

配線図の表示方法は JIS C 0301 にも規定してあるし、またわが国では今日なお JIC (Joint Industry Conference) のものが広く使われているが、いずれも上記の原則に立脚している。以下に簡単にこれについて述べてよう。

(a) 継電器のコイルと接点とは、実際の幾何学的位置とは無関係に切り離して書く。

(b) 継電器のコイルは円で表わし、その中に継電器の記号あるいは番号を記入する。

(c) 接点は第2表の記号で表わす。

(d) 回路は2本の電源基線を両側に引き、その間にコイルや接点などを横にならべて書き込む。

(e) 左側の電源基線に沿って、横(配)線の番地を表示する。

(f) 右側の電源基線に沿って、継電器コイルのある横線の位置に、その継電器の接点の所在する番地を記入する。つまり接点の分布を示す。

(g) (f) の場合、必要に応じてはブレイク接点(常時、つまりコイルに電流が流れないとき、閉の接点)の所在番地を示す数字の下にはアンダラインを引く。

(h) 配線図は、原則として動作していない状態を表わす。たとえば、継電器接点はそのコイルに電流が流れていない場合の有様を、押ボタンスイッチなどは手で

(第2表 a) 配線図用シンボルの抜粋

区分	名称	J I C	J I S
制限開閉器	常時開	(閉状態)	動作の場合に閉路するもの
	常時閉	(開状態)	動作の場合に開路するもの
	中性位置	NP	とくに規定していない
	固定形		とくに規定していない
開閉器(スイッチ)	液面開閉器 常時開		動作の場合に閉路するもの 圧力開閉器とも共通
	液面開閉器 常時閉		動作の場合に閉路するもの 圧力開閉器とも共通
	真空および圧力 常時開		液面開閉器と共通
	真空および圧力 常時閉		液面開閉器と共通
	温度操作 常時開		とくに規定していない
	温度操作 常時閉		とくに規定していない
流量開閉器	常時開		とくに規定していない
	常時閉		とくに規定していない

J I S 日本工業規格

J I C アメリカ産業連絡会議規格

(注) 本文は J I C によっている

押していない状態を表示する。

これらは、第2表、第3表を参照するとすぐ理解されよう。

(第2表 b)

区分	名 称	J I C	J I S
選択開閉器	ドラム形		
	交互形		
	押ボタン形		JISのカム形に相当する
	選択形		
足ふみ	常時閉		とくに規定しないが、 などと示す
	常時開		とくに規定しないが、 などと示す
	単極 常時開		手動操作自動復帰接点
	単極 常時閉		手動操作自動復帰接点
開閉器 (スイッチ)	双極		とくに規定しない
	きのこ形		とくに区別していない
	接点保持形		単投用 双投用
	タイマ接点		線きの接点常時(開) 限時動作(動作のとき)に閉路
一般接点	線きの接点常時(閉)		限時復帰(動作のとき)に閉路
	線きの接点常時(開)		限時復帰(動作のとき)に閉路
	線きの接点常時(閉)		限時動作(動作のとき)に閉路
	線きの接点常時(開)		限時動作(動作のとき)に閉路
電線	熱形過負		JISでは手動復帰接点すべてを示す(本文ではこれのみはJISを採用)
	常時開		継電器 接点
	常時閉		継電器 接点
抵抗器	非接続		線の太さをかえて電線の種類を示すもよい
	接続		

以上の予備知識をもとに、以下にシーケンス制御の簡単な例を2、3あげよう。

4.3 気体により処理を行なうバッチ プロセスのシーケンス制御

(第2図) バッチ プロセスでの気体による処理

(第2表 c)

区分	名 称	J I C	J I S
線輪 (コイル)	継電器マダ		必要に応じ山数の変更可 (抵抗と混同されない場合)
	電磁弁		電圧コイルの場合 電流コイルの場合
	制御変圧器		必要に増減可 鉄心の入る場合
	整流器		半波 矢印は直流の通る方向を示す
電動機	全波		ブリッジ接続
	交流用 (3相)		誘導電動機であることが明らかな場合、文字は記入しなくてよい
	直流用 界磁		JISでは両者を区別しない
	直流用 電機子		G, M の記号で電動機発電機を区別する
継電器	接点位置		とくに指定しない
	抵抗器		山数の変更可
抵抗器	固定		とくに無誘導の場合
	タップ付		上と同様に使い分ける

(第2表 d)

区分	名称	J I C	J I S
雑	ヒューズ (電力または 制御回路)		特に開 放形と 区別す る場合 (包装 形)
	ホーン サイレン など		
	ベル または ブザー		ベル
	プラグと プラグ受		○は端子の数を 示す
	計器		とくに検 定済を示 すとき (電流計) 電流 電圧 電力 計 計 計
	ランプ		特に色を示 す場合 赤は RL 白は WL 青は BL だいだい は OL 緑は GL を記入 する
	電池		長線は 陽極 短線は 陰極 左のよ うに書 いても よい
	接地		
	コンデンサ		電線コン デンサは (とくにロ ータを区 別する場 合) (半固定)

第2図は容量の中に被処理物体を入れ、はじめ被処理物体の外側から処理用気体を入れて時間 t_1 の間処理し、ついで内側から気体を入れて時間 t_2 の間処理するというパッチ プロセスである。

第3図はこのシーケンス制御の配線図である。1番地(2番地と連動)の始動ボタンを押すと、継電器AとBのコイルに電流が流れ両継電器は動作する。このうちAは自己保持する。すると18番地にある接点A₂が閉じるので弁 V_0 用の電磁弁に通電され V_0 は開となる。すると

× 自己保持とは、自分の接点を通して自分のコイルに電流が流れ、他の回路が切れてもその継電器は動作しつづけることをいう。第4図は自己保持回路の例である。接点Aが閉じると継電器Bのコイルに電流が流れ、2番地の接点Bは閉じる。このため、たとえAが開になっても、継電器Bは動作したまま保持される。この自己保持を解くには押ボタン スイッチを押すか、接点Cを開にする

×× ダイアフラム弁の上に第5図のような小形空気用電磁弁を設け、それを介して弁を空気圧で駆動すると、信頼性が向上する。第2図の V_0 , V_I , V_O などには大口径 (1in 以上) の直接電磁駆動される弁を使うよりこの方がよい

(第3表) 継電器の表示法の例

継電器の実物	配線図上での表示例
メーク 接点 コイル 動作方向	配線番地 1 2 5 A 5 接点の所在 5
ブレーク 接点 コイル 動作方向	配線番地 10 21 D 21 接点の所在 21
トランス プリア コイル 動作方向	配線番地 8 14 15 P 2 1 2 1 接点の所在 14, 15
複合 接点 コイル 動作方向	配線番地 7 8 9 10 P P P P 接点の所在 8, 9, 10
サーマル 加熱器 コイル 動作方向	配線番地 3 4 T _h 4 接点の所在 4

容量内の前の工程での残留気体は V_0 および V_I を介して V_O を通り、外へ排出される。同時に31, 33番地の B_1 , B_2 が動作するので、工程表示管は1を表示する。容器内の圧力はしだいに下がり、低圧スイッチ SW_L (第6図) が閉となり継電器Cが動作し、Dが自己保持する。すると18番地の回路が切れ V_0 は閉じ、また21番地の回路が閉じ三方弁 V_0 は切りかわり、 V_0 を通して処理用気体は容器に入る。同時に工程表示管は2を表示する。容器内の圧力が上がって一定値になると高圧スイッチ SW_H が動作し、継電器Eは働きFは自己保持する。このとき SW_L は当然開になっていて継電器Cは復帰している。また同時に16番地の接点 F_4 が閉となりタイマ T_1 は始動する。同時に36, 37番地の接点 F_1 , F_2 が動作して表示管は3を表示する。タイマ T_1 に設定した処理時間 t_1 が経過するとタイマは停止して8番地の接点 T_1 が

(a)

(b)

(第3図) 第2図の装置のためのシーケンス制御装置配線図

(第4図) 自己保持回路

閉じ、継電器Gは動作し、4番地の接点G₃が開き、自己保持していた継電器Dは復帰する。するとV₀は開きV₀が切りかわる。同時に工程表示管は4を表示する。この段階で容器内の気体はV₀またはV_IとV_Oを通して外部へ排出される。

以下順次継電器やタイマなどの動作を追っていただければ、このシーケンス制御は理解されるはずであるが、上記ですでに感じられたように、シーケンス制御回路の動作を逐次追っていくことは複雑かつ単調で、たいていは途中で面倒になってしまう。そこで実際にはシーケンスチャートという表を作り、これを一目瞭然にするのである。

第4表は第3図の回路のシーケンスチャートである。左端の操作番号にしたがって順次この表を見ていただければ、第3図の回路のシーケンス制御動作はすべておわかりいただけると思う。

第3図の9番地と14番地にある切換えスイッチをhの側に倒すと、第4表で工程は4から、一足飛びに5, 6, 7を飛び越して8に行くようになる。つまり内側よ

(第5図) 安価で信頼性の高い空気専用小形電磁弁(スキナ弁)

銅製ベローズの伸縮によって水銀スイッチを開閉させる

(第6図) 圧力スイッチ(山武ハネウエル)

(第4表) 第3図のシーケンス制御回路のシーケンスチャート

表示管	M	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A	T ₂	T ₁	圧高スイッチ SW _H	低圧スイッチ SW _L	二方弁 V _B	二方弁 V _C	三方弁 V _J	三方弁 V ₀	操作 開始信号	操作	番号
0	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	開	閉	閉	閉	閉	停止ボタンを押してはなす	停止	0
1	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	開始ボタンを押してはなす	全器排出	1
2	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	低圧スイッチ閉	外側より給	2
3	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	高圧スイッチ閉	処理1	3
4	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	タイマT ₁ の動作完了	排出	4
5	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	低圧スイッチ閉	内側より給	5
6	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	高圧スイッチ閉	処理2	6
7	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	タイマT ₂ の動作完了	排出	7
8	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	復帰	閉	閉	閉	閉	閉	閉	低圧スイッチ閉	停止	8

り給気して時間 t_2 だけ処理する工程をはぶくようになる。また 19, 22, 25, 28 の各番地にある切換スイッチは自動—手動の切換用のものである。m の側に倒すと手動となり, 20, 23, 26, 29 番地の各押ボタン スイッチにより手動で各弁を遠隔操作することができるようになる。制御装置の故障のときなどに利用できる。

4.4 着火のシーケンス制御

ボイラをはじめ各種の燃焼装置のバーナの自動着火は最近かなり実用化されてきている。原理は最初エアページをして爆発を防ぎ, ついでパイロット バーナに着火し, それを焰検出リレーで確認して後主バーナに着火す

(第7図) 自動着火シーケンス制御回路

るというものである。第7図はハネウェル社の開発になるそのシーケンス制御回路で、上記正常時における自動着火のほか、たとえばボイラ気胴内が水不足のとき、エアページ不良のとき、着火失敗のときなどに自動的に警報を出したり、自動的に再点火を行なうもので、はじめに述べた「シーケンス制御」の JIS 原案の用語の意味の備考に対するもっとも簡単で適切な例であると思う。第5表はこの動作表である。前例にならって順次見ていただきたい。とくに自動中止や自動再点火、自動停止と

(第5表) 第7図の自動着火シーケンス制御のシーケンス動作表

() 内は所在番地を表す

エア パー ジ	1	電源SWがONで ^{蒸気圧が下っているか} ガス流量操作弁 (0番地) が ^{ある程度でも開いている} → {ファンモータ (1) 起動 → エアパージ開始 [Th ₁] (2) に通電
	2	30 sec (パージ時間) 後 Th ₁ (3) ON となり → [1R] (3) に通電 (エアパージ時間経過を意味する)
	3	1R ₂ (4) ON となり → { [1R] (3) 自己保持 (第7図参照) 緑ランプ (4) 点灯 同時に 1R ₁ (2) OFF となり [Th ₁] (2) 冷え始め、後 Th ₁ (3) OFF となる
	4	1R ₃ (7) ON となり、かつ ^{通風スイッチ (7) ON (エアパージ確認) で} 低水位スイッチ (7) ON ^(空だきでないことを確認) → { Th ₂ (7) に通電 (火花時間の限定) [3R] (7) に通電 (点火開始)
自 動 点 火	5	{ 3R ₁ (7) ON } → 3R (7) を [Th ₂] を通さずに、2R ₁ (6) を通して 5 または 5' へ { 3R ₂ (7) OFF } となり トランスに直接つなぐ準備がととのう
	6	同時に 3R ₄ (10) ON となり → { パイロット バーナ電磁弁 ソレノイド (11) に通電 → ガス流出 正常なら イグニッション トランス パイロット 1次側に通電 → 2次側で火花 バーナ点火
	7	パイロット バーナが点火すれば → [2R] (5) ON (点火確認) 7 または 7" へ
	8	{ 2R ₁ (6) ON } → { [Th ₂] (7) は断となり、冷え始める となり [3R] (7) は直接トランスにつながる
自 動 中 止	9	2R ₃ (10) ON となるから → [4R] (10) に通電される
	10	4R ₂ (13) ON となるから → 主バーナ弁ソレノイドに通電 ↓ 主バーナよりガス出る ↓ 正常なら主バーナに着火
	11	4R ₁ (12) OFF で → イグニッション止る 11 または 11" へ ↓ 起動完了 ↓ 定常運転へ
	5'	1R ₃ (7) ON でも { 通風スイッチ OFF (エアパージ不良) か } → [3R] (7) 作動せず { 低水位スイッチ OFF (空だきの危険) } ならば
自 動 中 止	6'	3R ₃ (9) ON のままだから → { 警報ベル鳴り } → もちろん、ガスも出ず火花もとばない { 赤ランプ点灯 (9) }
	7"	パイロット バーナに点火しなければ → [2R] (5) はいらず
	8"	2R ₃ (10) OFF だから → [4R] (10) 作動せず → 主バーナへガス行かず
	9"	15sec 後 [Th ₂] (7) 動作し → Th ₂ (7) OFF となる
自 動 再 点 火	11'''	{ パイロット バーナ吸き消され } → [2R] (5) OFF となる 主バーナ点火失敗ならば
	12'''	2R ₂ (8) ON にもどるから → [Th ₂] (7) に通電
	13'''	2R ₃ (10) OFF になるから → [4R] (10) 断
	14'''	4R ₂ (13) OFF にもどり → 主バーナへのガス停止
自 動 停 止 と 警 報	15'''	4R ₁ (12) ON にもどるから → イグニッション トランスに通電 ↓ パイロット バーナ点火 ↓ 7 へ
	16'''	以上をくり返すうち [Th ₂] (7) が熱し → Th ₂ (7) OFF 16" へ
	17'''	Th ₂ (7) OFF だから → [3R] (7) 断
	18'''	3R ₄ (10) OFF となり [4R] (10) 断 → { パイロット、主バーナともにガス停止 イグニッションも停止
自 動 停 止 と 警 報	19'''	3R ₃ (9) ON となり → { 警報ベル鳴り 赤ランプ点灯 (1R ₄ (9) は [1R] (3) の自己保持により ON になっている)

警報など巧妙をきわめているものである。

5. お わ り に

以上でシーケンス制御の概要はおわかりいただけたことと思う。この解説では継電器式シーケンス制御について主として述べたが、周知のとおり現在は半導体ばかりである。読者の中には“いまごろ古くさい継電器の話をして何だろう”と思われた方も少なくないであろう。たしかにトランジスタ、シリコン制御整流器、無接点継電器など新素子も多く出回ってきてはいるが、継電器にも捨てがたい長所、とくに一つのコイルに多数の接点を積むことができ、かつ接点間の抵抗が開のときには無限大で閉のときには零という長所があり、そのうえ長年月の間の経験に裏づけられた信頼性がある。最近の継電器には非常に優秀なものが多い。このため当分の間は継電器式シーケンス制御装置は現場からは消え去らないことは明らかである。上記新素子によるシーケンス制御装置は未だ研究室装置や試作品としての段階のもので、筆者はまだ責任をもって現場の実用機にはおすすめることはできないと思っている。

しかし、汎用シーケンス制御装置の開発とあいまって次第に上記新素子が導入されることは当然の流れであろう。

最近では最適制御だの適応制御だのと、自動制御界は討論が活発である。しかし、それらはいっこうに実用化されてこない。それはそれらの制御方式には必然性が少ないからであろう。換言すればそれらは思想から生れた制御方式であって、現場の要求からやむなく生まれたものではないといえよう。だがシーケンス制御は現場の必然の要求を背景にして、目下日本の各産業で着々と実施されその成果をあげている。外国の学術雑誌にシーケンス制御が載っていたから行なわれるようになったのでは決していないことを明記したい。諸外国の状態にはまったく無関係に、日本の工業の特殊事情こそがシーケンス制御を真に必要としているのである。いまずぐに各種繊維工業に応用されることを望んで止まない。

文 献

- 1) 森 政弘：“自動化促進に対するシーケンス制御の役割と効果”，機械学会誌，66，530，p. 360～370 (1963-3)
- 2) 森 政弘：“汎用シーケンス制御装置”，第6回自動制御連合講演会前刷，p. 203～204 (1963)
- 3) 原 明弘，飯田 裕，山下 直：“シーケンス用電子計算機の機能に関する考察”，第6回自動制御連合講演会前刷，p. 205～260 (1963)
- 4) 森 政弘：“汎用作業順序自動進行装置”，昭和38年特許願 60259 号
- 5) シーケンス自動制御便覧，オーム社