

ビール仕込プラントの自動化

Automatic Controls of Mashing Plant

根本通俊* 坂詰良*
 Michitoshi Nemoto Ryo Sakazume

松井辰夫** 森田和夫**
 Tatsuo Matsuida Kazuo Morita

内容梗概

化学バッチプロセスの自動化は、高度のシーケンス制御技術と化学計装技術とを同時に要求し、両者を融合して適用したときはじめて成功するものである。ビール仕込プラントが、かつて全自動化されなかったのは、プラントがバッチプロセスのため、不確定要素が多く、運転条件の整理がむずかしいので、自動化の主要部を占めるシーケンス制御が、計装技術との関連において完成されなかったからである。

今回制御関係を総合的に計画することにより、全自動化装置を完成し、サッポロビール株式会社目黒工場において使用することになった。設計に当たり試みた事項、すなわち、

- (1) インターロックの考案による運転条件の整理、プラント Know-How の制御系への反映
 - (2) プラント特性に合った運転方式として、工程別切換方式、任意手動操作方式の適用
 - (3) 連続式調節計のシーケンス制御への適用
- などの項目について概要をのべる。

1. 緒言

従来化学工業の自動化は、主として工業計器、特に調節計による部分制御によって行なわれ発展してきたが、最近電力の分野で広く採用されているシーケンス制御をプロセス工業にも応用することによって、プロセスの自動化は従来よりもはるかに広く一段と円滑に行なわれることがわかり、活発な論議が行なわれるようになってきた⁽¹⁾⁽²⁾。シーケンス制御の採用により、特に効果があがるのはバッチプロセスの連続化で、この連続自動化により、製品の品質の均一化、生産量の向上、運転員の削減、作業条件の改善など多くの効果が期待できる。

ビールの醸造は、仕込、醗酵、貯酒の3工程に大別される。仕込工程はそのうちの1段階で麦芽、米、澱粉、水、ホップを原料としてビールの素となる麦汁を作る工程である。この仕込工程は生化学のバッチプロセスで、従来これを完全自動化した例がなく、多数の熟練した運転員により手動運転されていた。

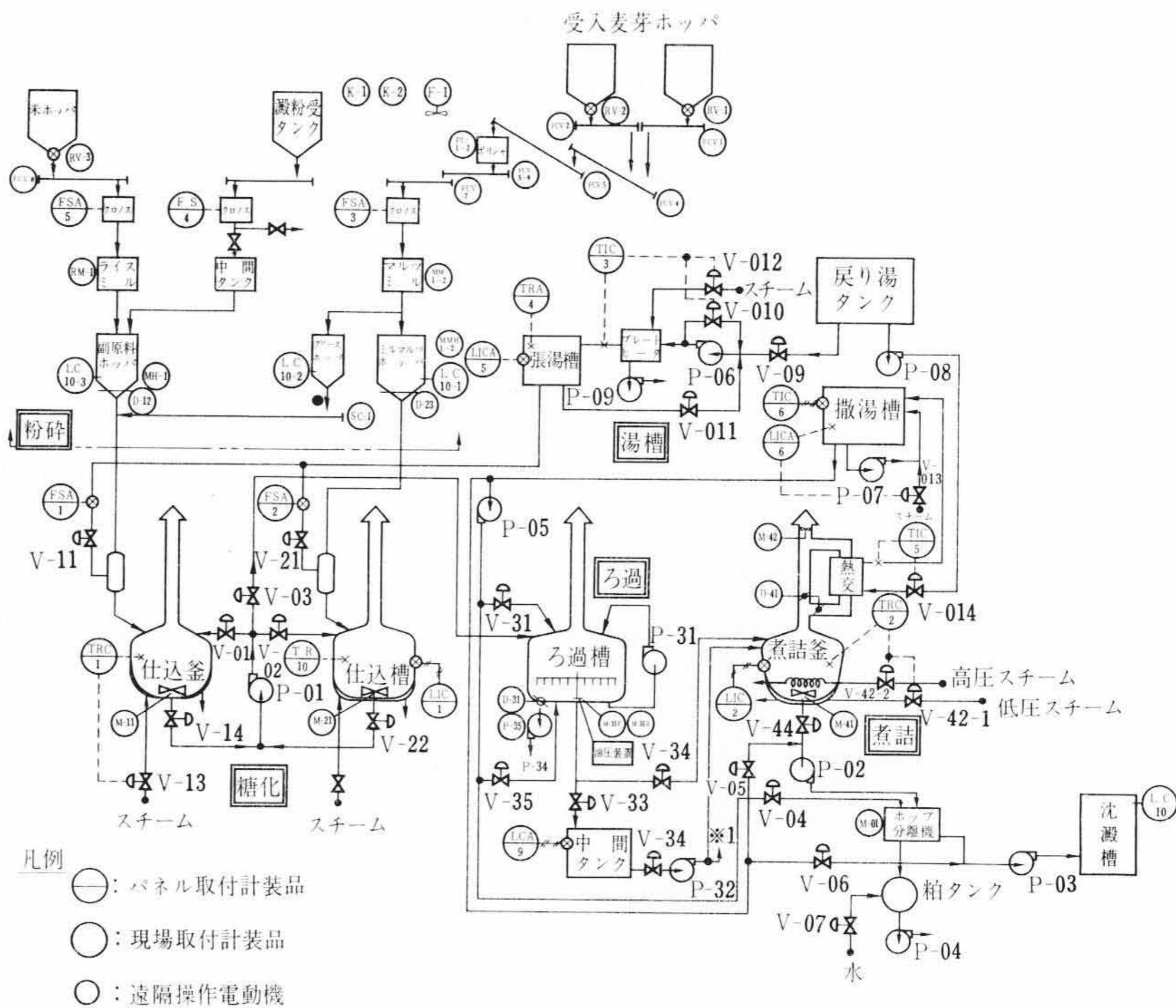
この工程が連続自動化できなかつたのは、このプロセスの特性の把握が困難であることと、化学計装技術と緻密なシーケンス制御技術を合致させることができなかったためである。また実際の生産工場の建設に当たり、電気制御技術者とプロセス制御技術者が独立に計画を進め、両者の融合がみられなかつたからである。

今回サッポロビール株式会社、目黒工場の建設に当たり、上記の点を考え使用者側とメーカーとがお互いに密接な連絡をとり、

- (1) プラント稼働率の向上
- (2) 運転条件の整理
- (3) 保守運転の問題点
- (4) 調節計とシーケンス制御の結合による連続制御

* サッポロビール株式会社

** 日立製作所国分工場



第1図 仕込工程フローシート

を重点的に取りあげ検討の結果、ビール仕込プラントの全自動化装置を完成した。装置は昨年春納入し、目下好調裏に稼働中で、画期的な成果をあげている。以下にシーケンス制御を中心に概要を紹介する。

2. プラントの概要

仕込プラントは第1図に示すように、原料粉碎系統、糖化系統、ろ過系統、煮詰系統および湯系統に分けられ、原料はさらに、米系統、澱粉系統および麦芽系統に分けられる。これらの工程の概要は次に述べるとおりである。

2.1 粉碎工程

この工程は麦芽と米を仕込むときに湯との接触時間を短くし、装

置の回転を早くして澱粉や蛋白質の分解を容易ならしめ、また麦汁取得率を増すために、適当な粉碎度にミルで粉碎する工程である。原料のうち、米はホッパから各仕込ごとに取り出し、自動秤量器(クロノス)で仕込1回分を計量し、ライスマルで適度に粉碎して副原料ホッパに送られる。一方澱粉も同様方式で秤量した後、ニューマティックコンベヤで米と同一の副原料ホッパに運ばれる。主原料である麦芽は麦芽ホッパから取り出され、米と同様に仕込1回分を自動秤量し、マルツミルで粉碎して主原料ホッパに入れられる。これらの原料量はビールの質に関係してくるため特に厳重に調整される。

2.2 糖化工程

2.2.1 第一煮沸

仕込釜に前述の粉碎米、澱粉および粉碎麦芽の一部は調温した湯と同時に投入し混合される。このときは湯は規定量だけパッチ式流量計で計量し自動投入される。その後蒸気で規定の時間経過のもとに100°Cに達し、一定時間保持される間に澱粉は糊化する。

2.2.2 第一糖化

仕込槽に湯と同時に残りの粉碎麦芽を投入し、麦芽中の酵素により一部の澱粉および蛋白質の分解を行なわせる。このときも第一煮沸と同様に湯を規定量だけ投入する。

2.2.3 第二糖化

第一糖化に続いて第一煮沸の終わった仕込釜の全量を、ポンプで仕込槽に移し、かきまぜ機により十分混合し、一定時間保持する。ここで麦芽中の糖分分解酵素により澱粉の糖化を行なわせる。

2.2.4 第二煮沸

糖化温度保持の終わった全量のうち、規定量を仕込釜に戻して加熱し、規定時間煮沸し、凝固性窒素化合物の凝固化をはかる。

2.2.5 第三糖化

第二煮沸作業時間中、大半の麦汁を仕込槽で前の温度のまま保持し、糖化を進行させる。これに第二煮沸の終わった麦汁を移しかえ、混合し、全体の温度を75°Cくらいにあげ、未糖化分を糖化する。

2.3 沓過工程

混合した全麦汁を沓過槽に移し沓過する。沓過中は麦粕の堆積により沓過が遅くなるため、適時かきまぜ機を運転する。沓過して残った堆積物中にはまだ多量の糖分を含むため、さらに調整した湯で残存糖分を取り、その麦汁も合わせて煮詰釜に送る。沓過で残った麦粕はダンパより取り出し、ポンプで処理場へ送る。

2.4 煮詰工程

沓過槽から煮詰釜に移った麦汁は煮詰釜の満量と同時に煮沸を始め、規定時間で麦汁温度を上げ、一定時間煮沸し、その間にホップを投入し、ホップ苦味とホップ香の浸透防腐成分の浸出、ホップタンニンと麦汁蛋白質との結合、熱凝固性蛋白質の分離などを行なう。煮沸の終わった麦汁は釜底より取り出し、ホップ分離機を通してホップ粕を除き、ポンプで沈殿槽に送る。

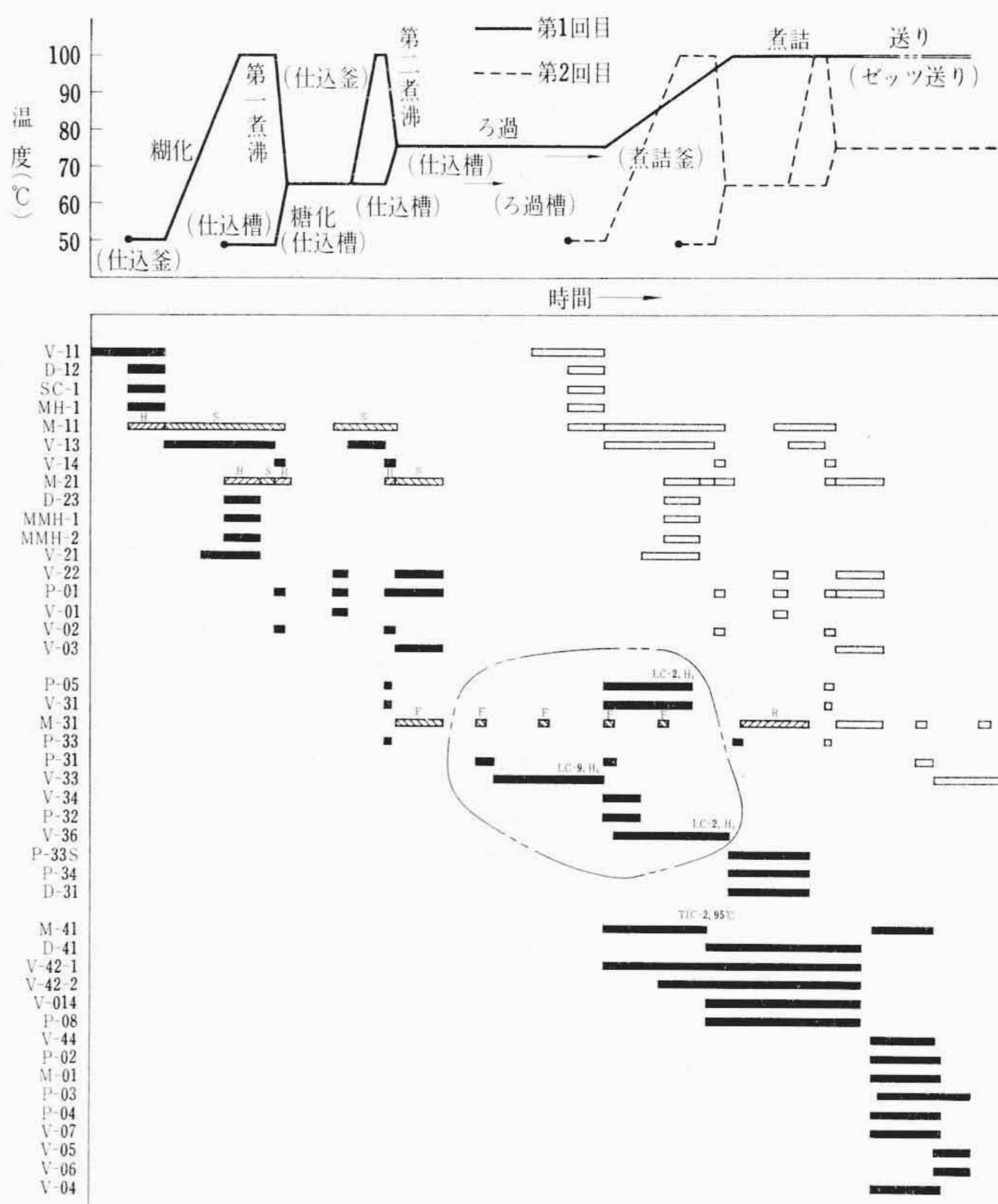
2.5 湯工程

これは糖化工程および沓過工程に使用する湯を作る工程である。糖化工程用の湯は蒸気で加熱して作るが、沓過工程用の湯は煮詰時の熱回収を行ないながら作るものである。

3. 自動化への検討

3.1 バッチプラントの連続化

バッチプラントは間欠運転なので、製品の品質を一定にするには各バッチごとの操作条件を等しくしなければならない。またビール



第2図 タイムスケジュール (粉碎, ホップを除く)

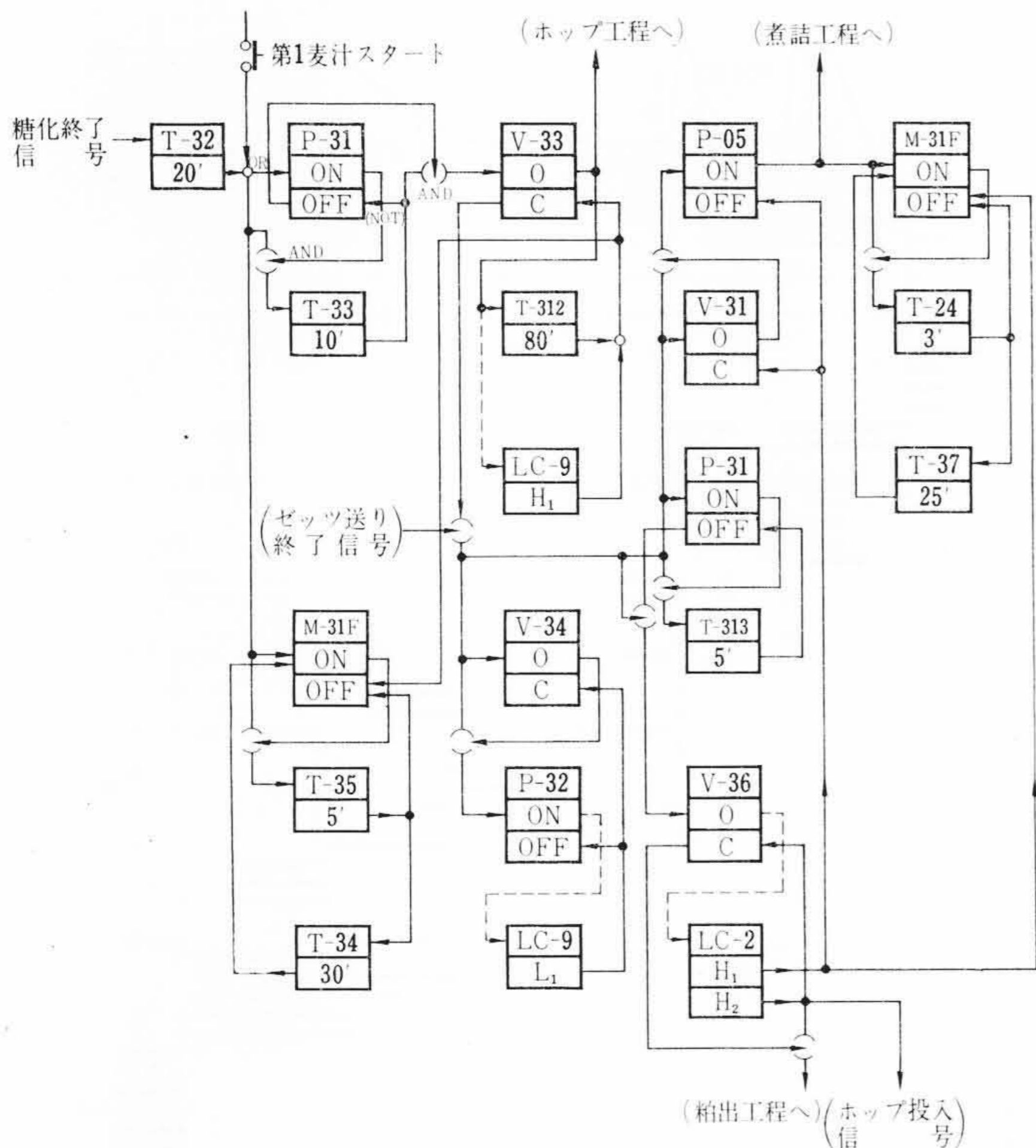
仕込プラントにおいては、多数の機器をオンオフ制御するだけでなく、各プロセス変数も予定されたタイムスケジュールによる複雑な制御を行なわなければならない。

従来このような運転条件を、手動操作でつくり出していたが、これはなかなかむずかしいことで、多数の熟練した運転員を必要とした。しかし、今回これを自動化することにより、運転員の負担は著しく改善され、人員も約1/2に削減できた。

第2図に仕込プラントのタイムスケジュール(糖化工程以後)を示す。このタイムスケジュールによる1バッチ(1工程)は数時間かかっているが、運転される機器はある幅をもって時間とともに移行していることが図よりわかる。1回のバッチ運転が終了してから、次のバッチにはいるという運転でなく、先行するバッチと次のバッチがラップしているので、各機器の運転状態は非常に複雑となっているが、装置は、それらをスムーズに進行させ、あたかも連続プロセスのような運転をする。このような自動スケジュール運転装置のために各プロセスの休止時間を最も短くし、運転効率を高める計画を組むことが容易となった。

3.2 運転条件の整理

バッチプロセスの自動制御の大部分は、シーケンス制御である。一つのプラントで制御される機器は、多くの場合100点近くあり、しかもこれが繰返し制御されるため、1回のバッチで制御される機器は、等価的に数百点になる。たとえば第1図で示す糖化工程のポンプ P-01 は第二糖化、第二煮沸、第三糖化および沓過工程ごとに異なった条件で運転されるが、条件の中には各弁の開閉、各点の温度、各種レベルなどがいろいろと含まれており、それらは互いに細密なインターロックをとっているため、制御装置設計に当たって、直接従来のリレーシーケンスに書き表わすことははなはだ困難である。仮にできたとしても、これがプラント運転条件を完全に満たしているかどうか再検討することが非常にむずかしい。そこで種々のインターロック条件をプロセスフロートに従って整理するため、インターロックシートと呼ぶものを考案した。これは従来自動制御の



(第2図の2点鎖線わく内のみを示す)

第3図 インターロックシートの一例

分野で使用されている、ブロックダイアグラムが信号の流れを表わしており、この信号の流れをプロセス条件に従って機器あるいは接点の動作、成立信号などにおきかえることにより、統一的に信号の流れを書き表わせることに着目したものである。インターロックシートの一例を第3図に示す。これによって、

- (1) 運転順序
- (2) インターロック
- (3) 保安装置

など、およびそれらの相互関係が判然とし、これと第1図のフローシートおよび第2図のタイムスケジュールを併用すれば、ほぼ完全に、かつ容易に装置の理解が可能である。また、インターロックシートを使用することにより、相当複雑と思われるものまで、簡単に表現できるので、制御関係の専門でないプラント設計者や、運転管理者の理解も簡単になった。このためインターロックシートはユーザーとメーカーの媒介となり、制御系完成のためにユーザーの積極的な協力を得ることができた。

また、これによって制御回路のリレーシーケンスはほとんど機械的に作成することが可能になった。この意味から、インターロックシートを第1次シーケンス、リレーシーケンスを第2次シーケンスとも呼ばれる。

インターロックシートに使ったシンボルをまとめてみると、第1表のようになる。

3.3 保守運転上からの検討

3.3.1 監視盤のグラフィック化

本プラントのように、大規模なバッチプロセスの連続化したものは1バッチの間に制御される機器が、被制御対象を考えると、等価的に数百点に及んでいるのでプラントの稼働率をあげるために、各バッチの多重運転を行なうと、その監視は複雑な作業となり、自動回路の故障などのときは、操作がきわめて繁雑となり、誤動作の原因になりやすい。このため、故障時の操作方法を検討し、監視操作盤をいつみても、その時点の工程進行状態を表

第1表 インターロックシートシンボル表

記号	説明
	信号の伝わる方向を表わす(直接信号) 矢印の方向のみ伝わるものとする。
	間接信号を表す。
	信号の分岐(AおよびBに同じ信号が伝わる)
	OR回路: Aの信号でもBの信号でもどちらか一方の信号があれば良い。
	AND回路: Aの信号とBの信号の両方が来なければならない。
	機器を表わし1の欄に機器番号(装置番号ともいう)を記入し2,3の欄に動作を表わす。
	タイマーあるいは信号の発信器を示し、1の欄に器具番号、2の欄にはタイマーの動作時間、その他の信号発信器の場合は信号を発信する状態を表わす。
	スタート 手動 ○ 自動
	その他実際のリレー回路のシンボルを分りにくくならない程度に組合せて使用する。

示すよう考慮されている。この目的のために、監視操作盤を

- (1) 全グラフィック方式とし
- (2) ランプ式工程表示器を採用し
- (3) グラフィック上の各機器を、すべて運転表示灯により状態を示すようにする

などにより、プラントの運転状態が一目でわかるようにしてある。第4図はその外観である。

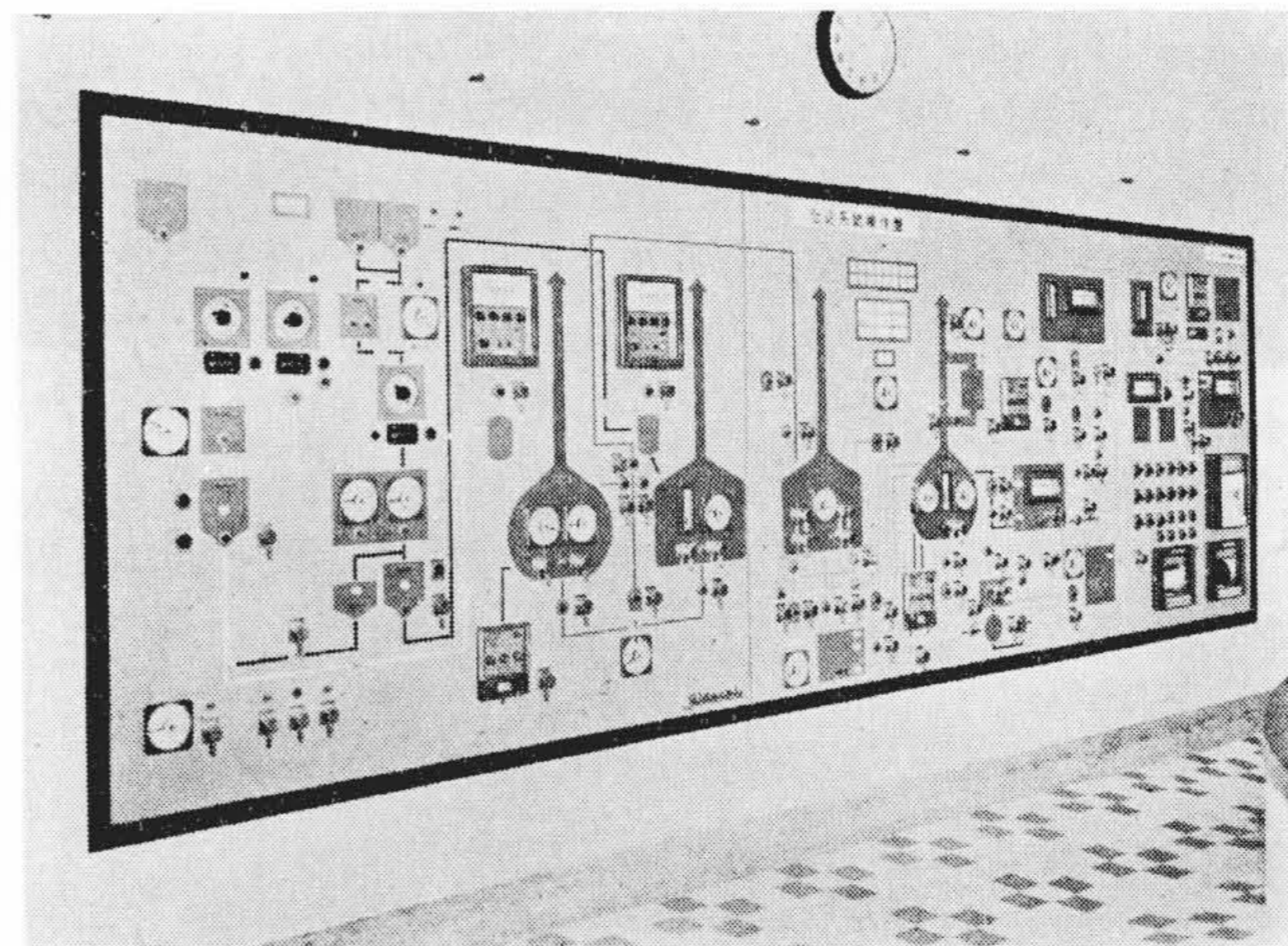
3.3.2 操作器具の集中化

100点近くに及ぶ電動機や遮断弁のための操作器具(電磁開閉器、電磁弁など)は、1台のキュービクルやラックに取り付けられ、保守管理上の手扱かりが生ずることのないようにしてある。すなわち電動機制御用は、プラント各階ごとのキュービクルにし、ロードセンター方式をとって、電磁開閉器などをまとめ、遮断弁操作用は電磁弁架に電磁弁を、これらを制御する継電器類は、一括して監視盤の背面盤に取り付けている。

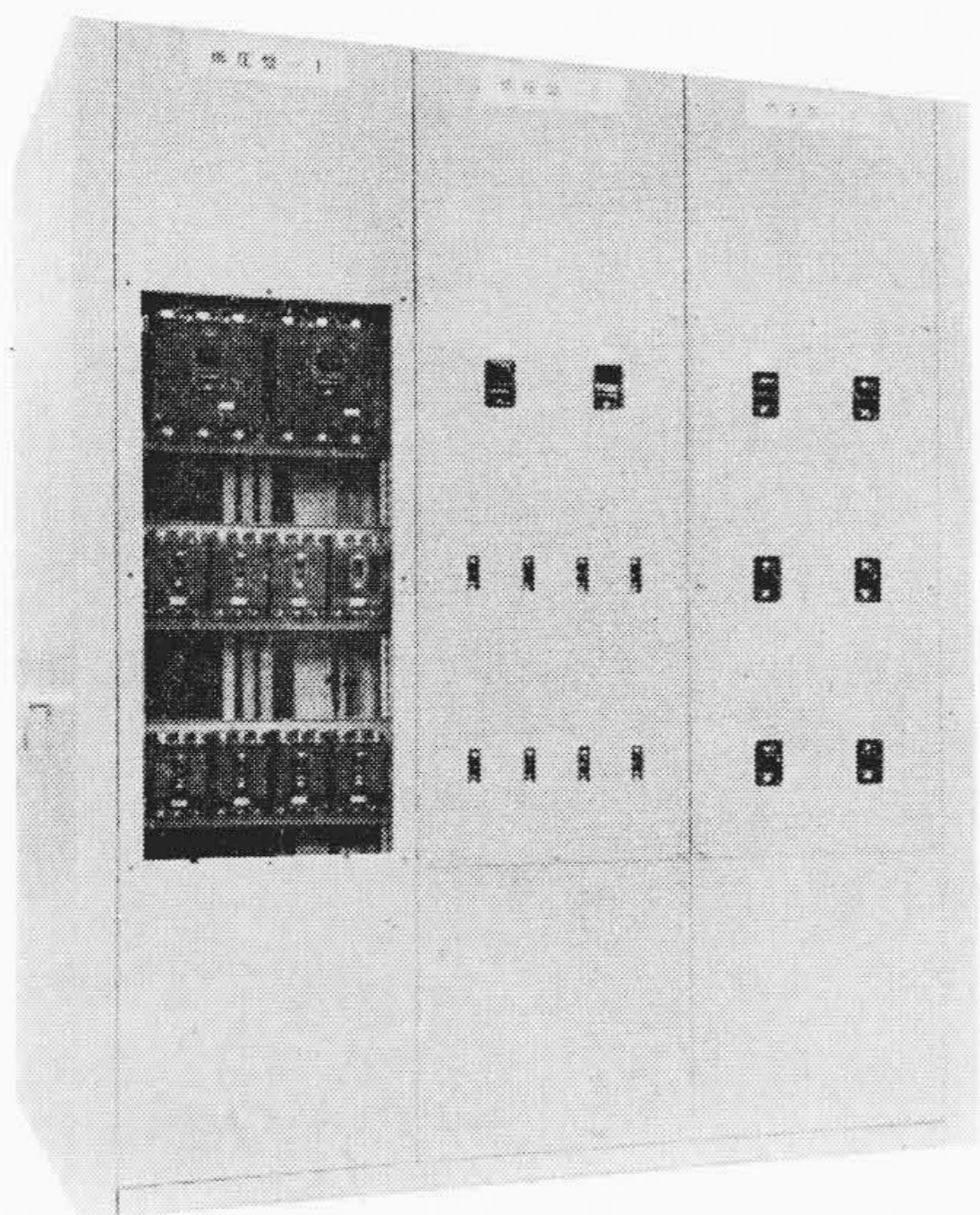
第5図は、電動機制御キュービクル、第6図は電磁弁架、第7図は制御継電器盤の外観である。

3.3.3 各工程の運転操作の区分、および任意手動操作方式

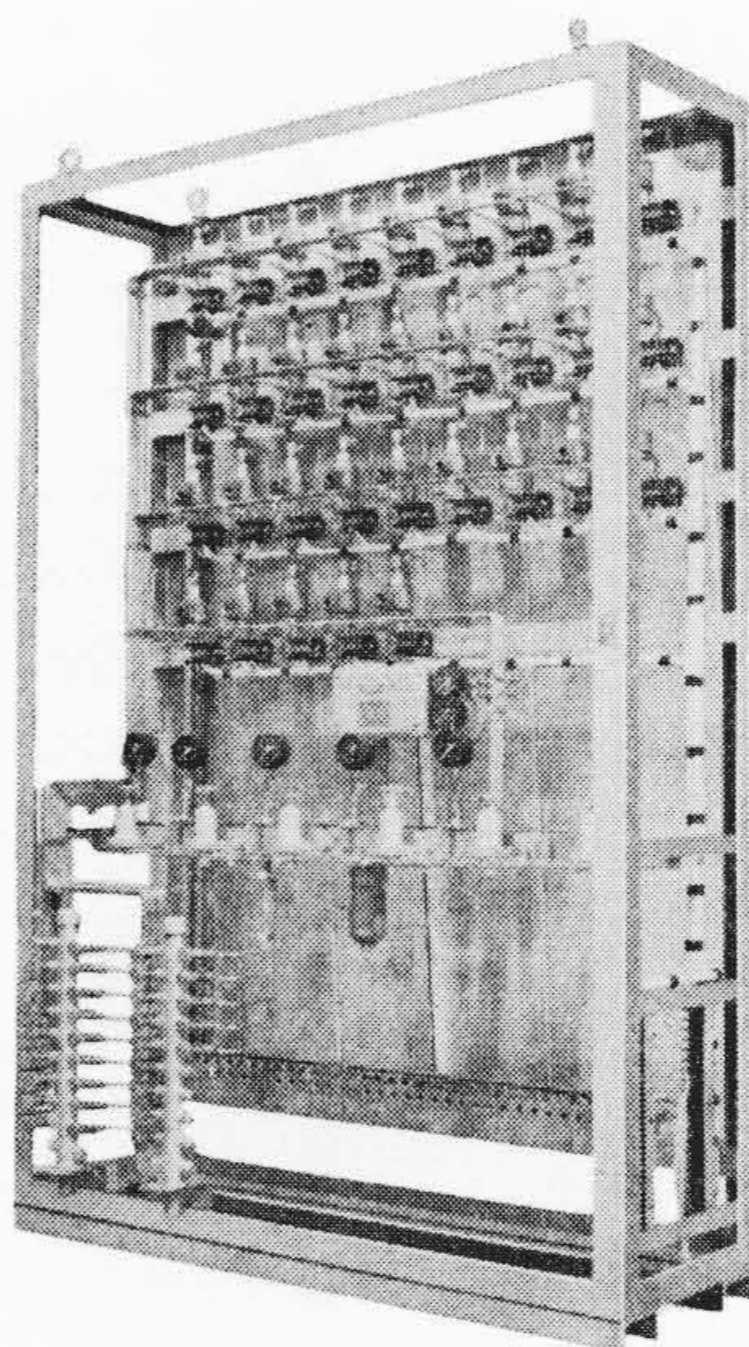
バッチプロセスは、機器の操作ひん度が多く、接触不良などの



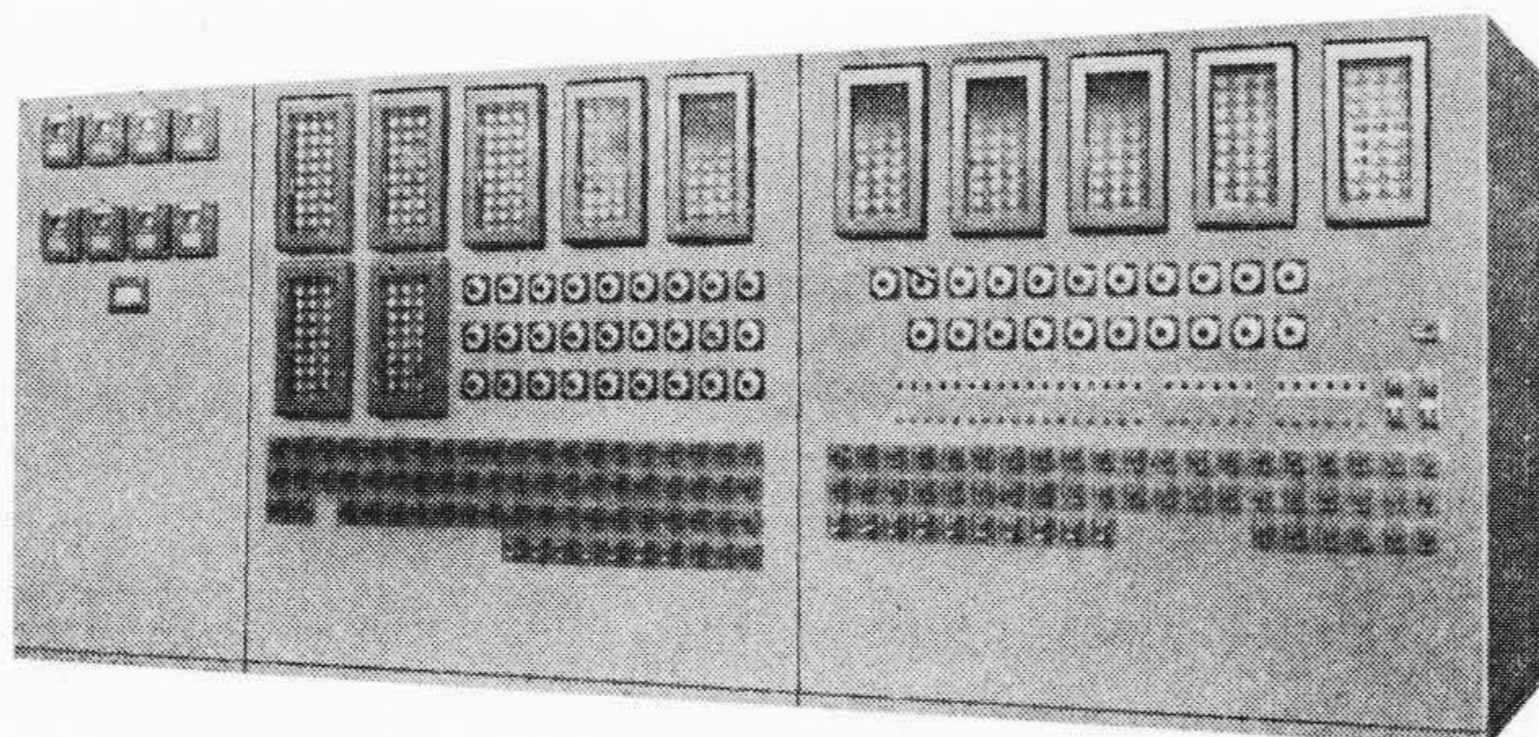
第4図 監視制御盤



第5図 低圧盤



第6図 電磁弁架



第7図 シーケンス制御用継電器盤

事故の発生が当然考えられるが、1個の不具合のため、全体を休止したり、全体を手動に切換えて操作することはさげなければならない。機器をシーケンス制御する場合、自動と手動の両方で制御できるようにするのが通例であり、プラントの機器が数台程度のときは、自動—手動切換器1個で全部を同時に切替えることが望ましいが、数十台にのぼった場合には、全部を同時に手動運転しようとしても、實際上困難である。

ビール仕込プラントは、機器台数が多いうえに、プロセスに対する外乱の入り方によって工程を部分修正して運転することがあるため、この自動—手動の切替えにあたり、プロセスを工程別のブロックに分け、各ブロックに自動—手動切換器を設け、任意の工程を手動に切替えて運転できるようにしてある。全ブロックの切換器を自動にしておけば、全自動で運転されることはいうまでもない。

ここで、工程別とは時間の観念のない操作グループをいい、時間的要素のない系統別切替え方式よりも回路は複雑になるが、操作面での利点は大きい。それらの関係を示すと第8図のようになる。また、工程の部分修正がほんの一部である場合、一々装置を手動に切り換えていたのでは、自動化の効果は半減する。これを避けるため、各工程の数台の機器は、自動優先、任意手動操作方式をとり、装置が自動になっているときも、任意に手動運転できるようにし、使いやすさを増すとともに融通性をもたせてある。

3.3.4 非常時対策

プラント制御においては、常に非常時の対策が重要な問題である。本プラントにおいては、保守面のみでなく、経済的理由から、停電に際し、調節弁類に操作力がなくなっても、半完成品の放出というような不都合を生じないよう逆作動弁を用い、各機器間を

完全に締切るようにしてある。

また、シーケンス制御回路において、温度に関係しない工程では、タイマ、継電器、カウンタなどに電磁復帰式を使用し、停電が発生した場合にも停電前の状態を保持し、停電回復後、スタート用押ボタンを押すことにより、前の工程を継続することができるようにしてある。

温度制御においては、蒸気の停止、あるいは圧力低下に対しても同様の処置が施されている。たとえば仕込工程のうち、煮沸時間は特に厳重におさえる必要があるが、プログラム調整器と組み合わせているため、蒸気の有無に関係なく、工程が進行する危険がある。これを防止し、所定の煮沸時間を確保するよう、特殊回路が設けられている。

3.4 連続式調節計のシーケンス制御への適用

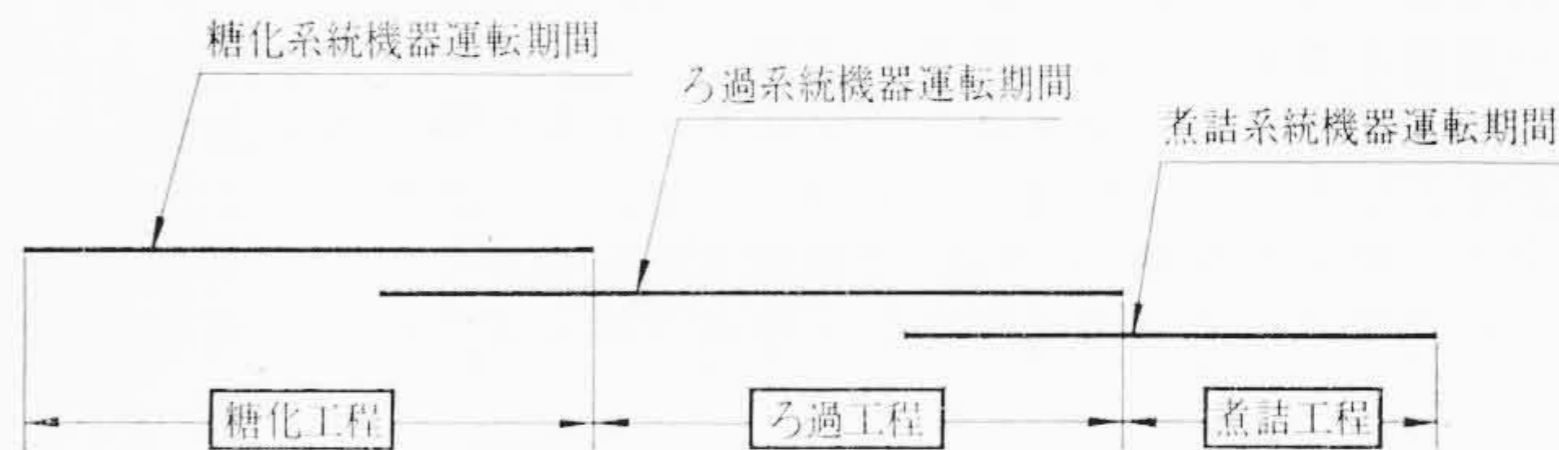
3.4.1 連続式調節計の誤動作防止

バッチプロセスにPI、あるいはPIDコントローラを使用した場合、プロセス休止時にI動作(積分動作)がいかに動作するかが問題であり、休止時閉じていなければならないような温度調節弁(加熱用)および流量調節弁はI動作のため自然に開き、空の釜に蒸気を通したり、原料が流れ出たりする危険がある。この危険を避けるため、調節弁に直列に遮断弁を入れる方法が考えられるが、高価となり、有利な方策ではない。また調節弁への信号回路を切って遮断する方法が従来とられてきたが、この方法も前述のI動作のため調節計の出力は休止時にリミットに達したままとなっており、次のスタート時に大きな出力を調節弁に与えることになるので、急激に蒸気を通して加熱器に損傷を与えたり、あるいはショックに弱い化学ポンプなどに悪影響を与える。

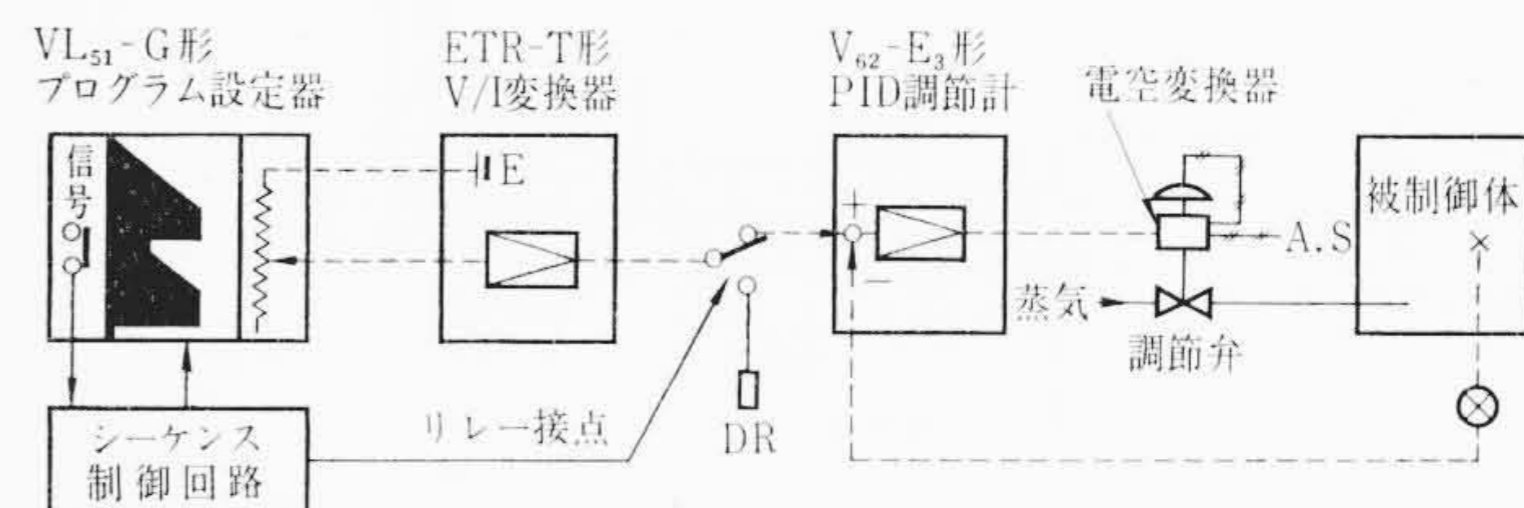
これらの対策としては、スタート時に調節弁にショックのない出力が伝わるようにし、しかも休止時にI動作を調節弁閉の方向に働かす必要がある。これには調節計を外部設定(インデックス)付とし、休止時に設定信号を零とするようにすればよい。

今回は伝送信号が4~20mA DCに統一されている電子式計器を採用し、休止時には設定信号を切って0mAとし、測定信号の4mAとつぎあわせて偏差を出し、確実に調節計出力が調節弁閉の方向に動作するようにしてある。

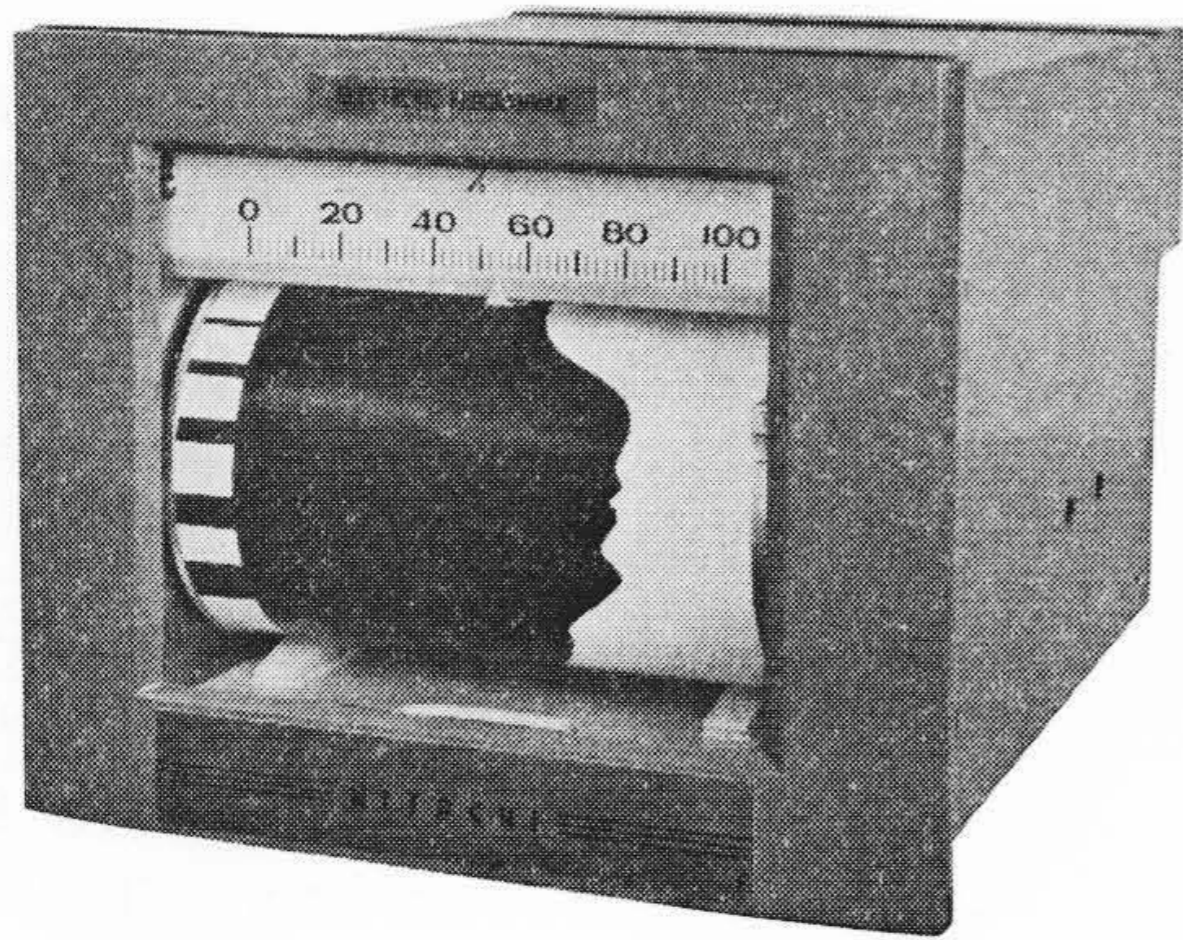
第9図はプログラム設定器付温度制御系に適用した例で、プログラム設定器の出力(発信スライド)を電圧電流変換器で変換し、



第8図 工程と系統の相違説明図



第9図 プログラム温度制御系



第 10 図 プログラム 設定 器

この電流を調節計の設定電流とするものである。プロセスの休止時は、その設定電流をリレーにより遮断し、設定電流を 0 とする。この場合、電圧電流変換器の出力は、開放されたままとならないように、調節計のインピーダンスと同抵抗値の抵抗に接続しておくことが必要である。

3.4.2 プログラム温度制御とシーケンス制御との関係

プログラム温度制御とシーケンス制御との関係は次のようになっている。すなわち、シーケンス制御によりプログラム設定器が動かされ（電源は常に投入してあり、プログラム設定器のドラムの電源が投入される）、それにより温度制御が行なわれる。プログラムが進行すると、プログラム設定器は予定された位置において、シーケンス制御回路に信号（信号接点を ON-OFF）を発生し、次のシーケンス回路を進行させる。プログラム設定器は停止予定位置にくると、再び信号を発生し、シーケンス制御回路により、プログラム設定器は停止され、プログラムの一部を終了する。また、シーケンス制御上の自動運転と手動運転、温度制御の自動制御と手動制御との関係は、

- (1) シーケンス制御が自動-温度制御が自動

- (2) シーケンス制御が自動-温度制御が手動
- (3) シーケンス制御が手動-温度制御が自動
- (4) シーケンス制御が手動-温度制御が手動

のいずれかの組合せも取れるようになっている。(2)の組合せの場合、シーケンス制御が自動であるから、温度制御がどうあろうと進行してしまい、温度が上がらないというような危険もある。このため本装置では、温度制御が行なわなければシーケンス制御はそこで停止するようになっており、手動で温度制御が終了すると、シーケンス制御が自動スタートするようになる。第 10 図にプログラム設定器の外観を示す。

4. 結 言

バッチプロセスであるビール仕込プラントの自動化には、高度のシーケンス制御と化学計装技術とが同時に要求され、両者が融合して適用されたとき初めて成功するものであり、このたび制御面を総合的に計画することにより、良好な自動運転結果を得た。

特にこのようなバッチプロセス制御で最も苦勞する運転条件の整理において、インターロックシートを考え、積極的にユーザーの協力を得ることができた。

この自動化により、従来の 2 倍の容量をもつプラントで、運転員は従来の約半分にまで削減された。

今後このようなバッチプロセスも順次完全自動化されてゆくものと思われるが、この貴重な経験は、さらにすぐれた自動化装置の開発に役だつものと信ずる。

終わりにのぞみ、本装置の計画遂行に当たり、終始適切なお指導をいただいた関係各位に深甚の謝意を表わすものである。

参 考 文 献

- (1) 森 政弘：機学誌 66, 360 (昭 38-3)
- (2) 森 政弘：自動制御 3, 5 (昭 39-1)
- (3) 武富 昇：醗酵工業 79 (昭 35 日刊工業新聞社)



新 案 の 紹 介



登録新案 第 717030 号

石 田 周 二

内 燃 機 関 の 排 気 に よ る 暖 房 装 置

従来の排気暖房装置は、たとえば第 1 図に示すように排気管の途中に切換弁を設け、切換板を切り換えることによって排気をラジエータまたは煙突のいずれか一方に送るものが用いられている。この装置は取り扱いが簡単であるが、非暖房時切換弁によりラジエータへの通路を遮断しても、排気が煙突からラジエータへ逆流あるいは対流を起すため、ラジエータと煙突との間に開閉板を設ける必要がある。したがって取扱いが面倒となり、かつ誤操作により排気が煙突より出るのを塞(ふさ)いで機関を停止させるおそれがある。

この考案は、上述のような欠写を取り除くようにした暖房装置に

関するもので、第 2 図に示すように排気管に接続された切換弁の一侧にラジエータの入口および出口を接続し、他側に煙突を接続し、内部に軸を中心に回転する切換板を設けたものである。暖房時に切換板を実線位置におくと、排気管とラジエータ入口ならびにラジエータ出口と煙突とがそれぞれ連絡され、非暖房時に切換板を鎖線位置におくと、排気管と煙突とが連絡され、ラジエータへの通路は完全に遮断されて逆流のおそれはない。

したがってこの考案によれば、取り扱いが簡単でかつ排気の逆流および誤操作のおそれのない暖房装置が得られる。

