

プロセス制御の二、三の例

Examples of Process Control

島 田 稔* 今 井 溥*

Minoru Shimada

Hiroshi Imai

内 容 梗 概

最近、日立工業計器を用いて実施したプロセス制御の具体例の中から、ポリ塩化ビニルプラント、クラフトパルププラント、および熱処理炉の三つの異なる性格をもつプロセスに対するものにつき、計装の方式と、その実施に当り考慮すべき事項を述べた。

1. 緒 言

各種工業において、制御の対象となるプロセスは多種多様であり、また日進月歩である。したがって計装の方式也多岐にわたり、同種の工業、製品においても同一ではなく、また常に新しい要求が現われている。特に化学工業、金属工業などでは広く計装が採用されているが、これらについて最近、日立工業計器を用いて実施した計装例を二、三述べてみたい。

ポリ塩化ビニルプラントは、広く計装の採用されている最近の合成化学工業の代表的な例であり、これに対してクラフトパルププラント、および熱処理炉は古くより用いられているプロセスでありながら、計装特に自動化は比較的おくれしている。このように異なる性格をもつプロセスを対象として採り上げたが、これらの主要なる計装および実施に際して考慮すべき特異点を記し、御参考に供したい。

2. ポリ塩化ビニルプラントの計装

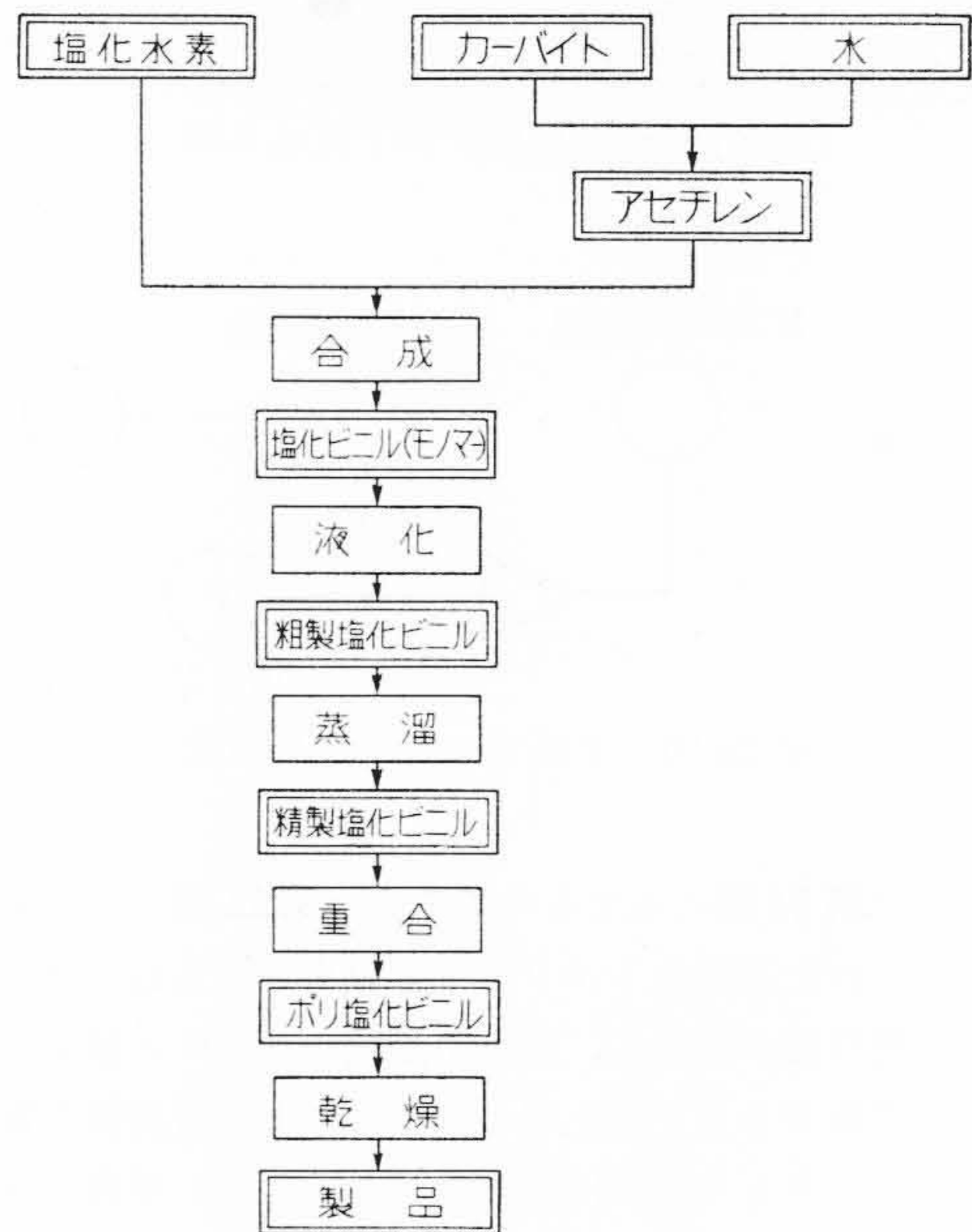
ポリ塩化ビニル (PVC) はアセチレンガスと塩化水素ガスとを反応させて塩化ビニル (VC, モノマー) を得て、これを精製し、さらに重合して作られる。重合物は懸濁液として取り出されるから、これを乾燥して粉状の製品とする。この工程を図示すれば第1図に示すとおりである。

計装の細部についてはプラントの方式によつて異なるが、主要なる点は次のようになる。

2.1 アセチレンガス発生

アセチレンガスはカーバイドと水から発生させることが多く (最近天然ガスの分解も行われている)、アセチレンガス発生機運転のための保安上の計装が多い。原料カーバイドの供給を連続的に行うことがむづかしいので、連続操作ではなく発生ガスはガスホルダへいつたん貯えられ、次のプロセスへ圧送される。

* 日立製作所多賀工場



第1図 ポリ塩化ビニル製造工程

主な計装

発生機の温度監視または制御
発生ガスの圧力監視
圧送ガスの圧力制御
ガスホルダの保有量の監視

2.2 塩化水素ガス発生

濃塩酸より塩化水素ガスを放散し、乾燥ガスとして反応工場へ送られる。蒸溜操作と近似のもので、ほぼ精溜塔と同様な計装が行われる。このプロセスは腐蝕性のはなはだしい流体を取り扱うもので検出部、操作部には材質、構造上の特別の考慮を必要とする。

主なる計装

濃塩酸の供給量の制御
放散塔供給蒸気量の制御
放散塔底液面の制御
発生塩化水素ガスの圧力制御
各段の温度監視

2.3 モノマー反応器

アセチレンガスと塩化水素ガスを一定の比率で供給して混合ガスとし、これを触媒管中にて反応させてモノマーを得る。反応は発熱反応であるから反応熱を奪って反応温度を適当な値に保つ。冷却方式によつて計装は異なるが、日立方式の熱水強制循環方式のものでは、循環熱水の冷却が本反応機の制御の重要な部分となる。

主なる計装

アセチレン、塩化水素ガスの流量制御（比率制御）

モノマー反応器の温度監視および制御

2.4 蒸溜

モノマーは常温、常圧においては気体であるので、これを冷却液化または加圧液化して精製する。アセチレン分離塔にて過剰のアセチレンガス、不活性ガスを除き、次に精溜塔においてモノマー反応にて生じた副反応物（高沸物）を除いて精製VC液となる。

この工程は精溜塔の標準の計装が行われ、これに液化工程が加えられる。

主なる計装

塔供給流量の制御

塔底および還流タンクの液面制御

還流流量の制御

塔圧の制御

塔温度の制御（供給蒸気量の制御）

塔内各段の温度監視

2.5 重合

精製VC液は純水、触媒が加えられ、重合罐内にて重合し水中懸濁液としてPVCが得られる。この反応は初期には加熱を必要とし、中間期にはかすかに発熱し、末期にては急激に発熱する。一方重合温度は製品の品質に関係するので、厳密な温度制御が必要となる。重合罐は加圧下に操作されるが、圧力変化は重合過程の監視に重要なものとなる。この操作はバッチ操作であるので、この工程の前後には貯槽が必要となる。

主なる計装

重合罐内の温度制御

重合罐内の圧力監視

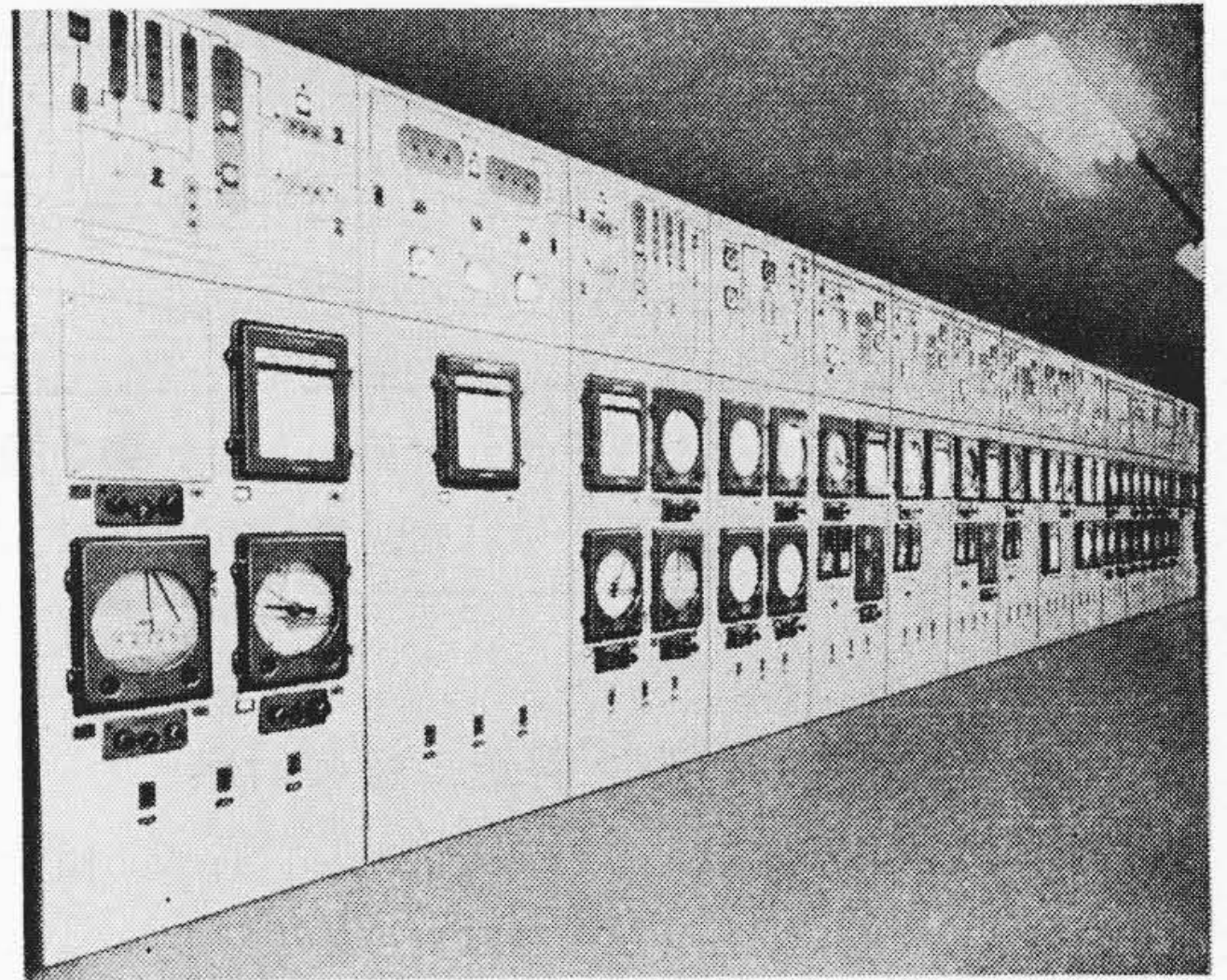
2.6 乾燥工程

PVCは水中懸濁液として得られるので、脱水、乾燥されて製品となる。脱水は化学的または機械的操作によつて行われ、乾燥は熱風乾燥による。熱風乾燥は製品が温度によつて損傷されるおそれがあるので、この限界内の高温に保持する必要があるので温度制御は重要なものとなる。

主なる計装

熱風の温度制御

熱風の流量監視



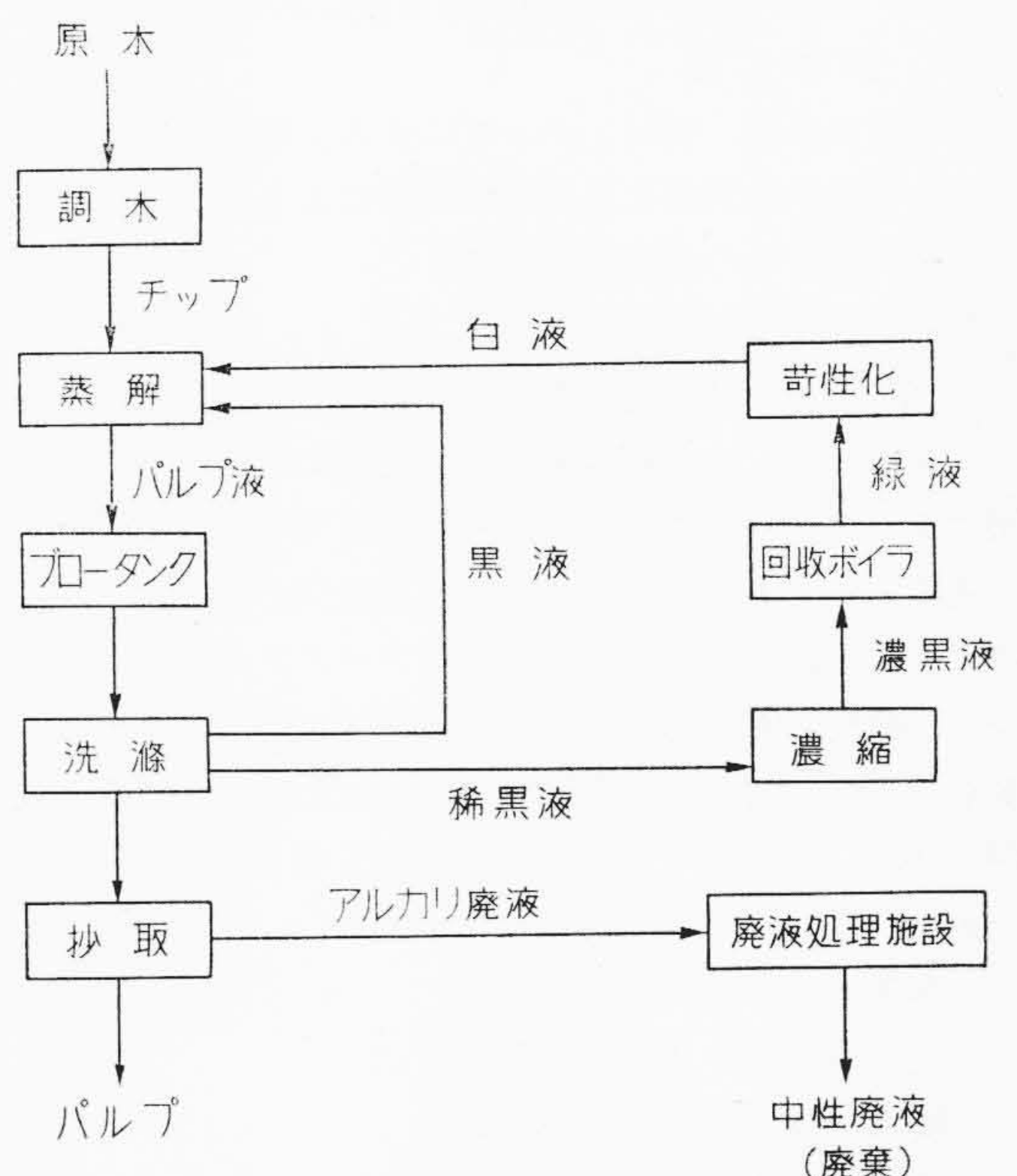
第2図 信越化学工業株式会社納PVCプラント用計器盤の一例

熱風風損の監視

2.7 PVCプラントにおける計装上の特異点

PVCプラントは上記のとおり爆発性、腐蝕性の流体を取り扱い、また中間工程では加圧液化ガスを、最終工程では懸濁液を操作する。操作条件としては温度制御が厳密なものが要求される。これらの点から計装についてもそれぞれ対策、考慮を払う必要があり、実例のプラントの計装では次のような特異点があげられる。

- (1) 空気圧式圧力、流量、液面発信器の採用
- (2) 腐蝕性流体に対する置換装置
- (3) 温度制御におけるカスケード制御の採用



第3図 クラフトパルプ製造工程図

- (4) 塩酸, VC 液などに対する調節弁の構造に対する考慮

PVC プラントの全計装は 100 台以上の計器や調節計が必要となるが, 防爆, 保守, 管理の面から各プラントごとに計器室が設けられる。また比較的混み入った系統のためにグラフィック盤が採用された例がある。第 2 図は信越化学工業株式会社に納入された計器盤の一例である。

3. クラフトパルプ製造工程の計装

クラフトパルプの原木は多く赤松が用いられる。原木は皮をはぎ, 手ごろな大きさに製材されたあと, チップで碎かれる。細かく碎かれた木片 (チップ) は木釜に入り, 苛性ソーダを主成分とする蒸解液 (白液) によって煮られる。ここで木片はパルプ液となり, ブロータンクに流入される。これから洗いに入り幾段もの真空洗滌機を通つて原木に含まれる樹脂その他の不要成分は, この洗滌機で除かれ繊維分だけが取り出されて抄き取りする。

クラフトパルプ製造工程においては, 以上のほかに廃液回収施設が重要な役割を果している。これは洗滌機で抜きとつた黒液を濃縮し, これに薬品を加えて燃料に使用し, そこでできる液 (緑液) をふたたび苛性化してソーダ分を再生し白液にする。この黒液の燃焼によつて発生する蒸気によつて蒸解, 濃縮などの工程が運転される。

以上の工程を図示すれば, 第 3 図に示すとおりである。この工程に用いられる計装は, それぞれプラントによつて細かい部分は異なるが, 主要なる点は次のようになる。

3.1 調木工程

原木の皮はぎ, 製材, チップにする工程で, コンベアによる機械的な自動化以外に, 計器による自動化はほとんど行われないうのが普通である。

3.2 蒸解工程

クラフトパルプ製造工程における中心的設備で, 木釜 (ダイゼセタ) は 2 基以上あつて交互に使用するのが普通である。蒸解液は白液と黒液とを適當の割合に混合して使用する。1 回の蒸解には 2 ~ 4 時間かかるので, この 1 工程をあらかじめ定められたプログラムカーブによつて, 温度, 圧力を制御する。このプログラムカーブは原木の乾湿の度合や, 蒸解液の濃度により違わせる必要があり, 二, 三種のカーブを用意しておく。

主な計装

木釜内各部温度の監視
装入黒液タンク液面の制御
装入白液タンク液面の制御
使用蒸気流量の監視
循環蒸解液温度の制御 (プログラム)

木釜内圧力の制御 (プログラム)

3.3 ブロータンク

蒸解工程がバッチ (非連続) 工程であるのに対して, 次の洗滌工程が連続工程であるため, このブロータンクに木釜からパルプ液が圧送されて一時貯えられる。パルプ液の量はおおよそその値でいいが知る必要がある。

計 装

パルプ液位の監視, 警報

3.4 洗滌工程

蒸解の終つたパルプ液の洗いを行う工程で, パルプ液は真空ポンプで引かれたドラム面に吸いつけられ, 外から洗いを吹付ける。洗いの最終段階で温水を吹付け, その汙液はその前の洗いに使用され, パルプ液と汙液の流れの方向は反対になる。洗いの最初の段階でこされた液は最も汚れているが, この汙液 (黒液) が回収工程に回される。

主な計装

温水流量, 温度の監視
各段汙液の比重監視
回収工程黒液流量の監視
パルプ濃度の監視
各汙液のタンク液位の監視, 制御

3.5 抄き取り工程

洗いの終つたものは未蒸解の皮や節を除いて, 適當な濃度のパルプ液とされ, 真空ドラムに巻取られてシート状に抄き取られる。この工程には計測制御は用いられていない。

3.6 廃液処理工程

抄きとりで吸いとられた液は再生使用されず廃棄されるが, アルカリ性のためこれを処理して中性とし, 沈澱物は除いて捨てられる。

計 装

廃液の pH (酸アルカリ度) の監視または制御

3.7 濃縮工程

洗滌工程からの汙液は真空蒸発罐によつて濃縮される。数基の真空蒸発罐を通つて行くうちに, 次の工程で燃料として用いるのに適當な濃さになる。

主な計装

真空蒸発罐内圧力の監視
黒液液面の監視および制御
ドレン液面の制御
各蒸発罐温度の監視
各罐黒液流量の監視
蒸気流量の監視
各タンク黒液比重の監視および制御

3.8 焙焼工程

濃縮された黒液は, 芒硝を加えられて回収ボイラで燃

やされる。炉底に溜った液が緑液である。回収ボイラは黒液、重油混焼ボイラで主として黒液によつて運転されるが、ここの計装はいわゆるボイラの計装と似ており、これに黒液用の計測が加えられる。

主な計装

主蒸気圧力の監視および制御
 炉内圧の制御
 ボイラ各部のドラフト監視
 押込ファン開度の監視
 送入空気流量の監視
 給水流量の監視
 蒸気流量の監視
 ドレン塩分の監視
 給水塩分の監視
 廃気 O_2 量の監視
 脱気器水位の制御
 ドラム水位の監視、警報
 脱気器温度の制御
 黒液タンク液位の制御
 各部温度の監視
 給水加減機、減温機、一次減圧、二次減圧制御

3.9 苛性化工程

回収ボイラで生じた緑液に石灰を加えて、蒸解に使用される白液に還元する。

主な計装

各タンク液位の監視
 各タンク温度の監視および制御
 タンク白液の比重の監視
 各部流量の制御

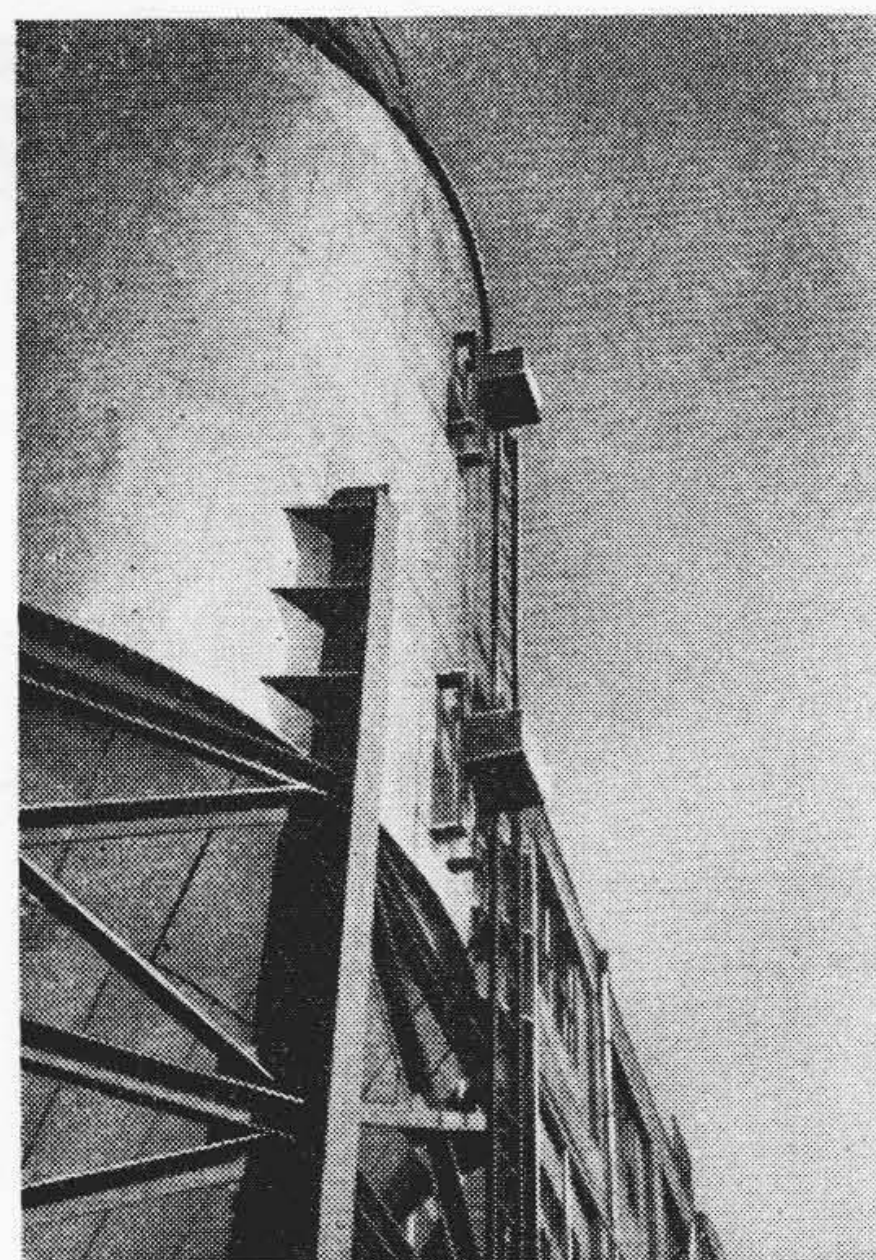
3.10 メインボイラ

回収ボイラ以外にボイラを持つてることが多いが、このボイラは黒液は使用せず、重油または石炭による普通のボイラで、この計装もドラフト、温度、 CO_2 量など一般のものと同様である。

3.11 パルプ工程の計装上の特異点

パルプ製造工程上における計装上の特異点は、処理する液が黒液であることにある。黒液中には細かい繊維の含まれる場合もあり、黒液は濃度がひくいほど気泡を発生しやすい。また黒液に接する部分には銅系統の使用をさけ、濃度が高くなると粘度も高くなり低温において固まるおそれもある。したがつて次のような対策を講ずる必要がある。

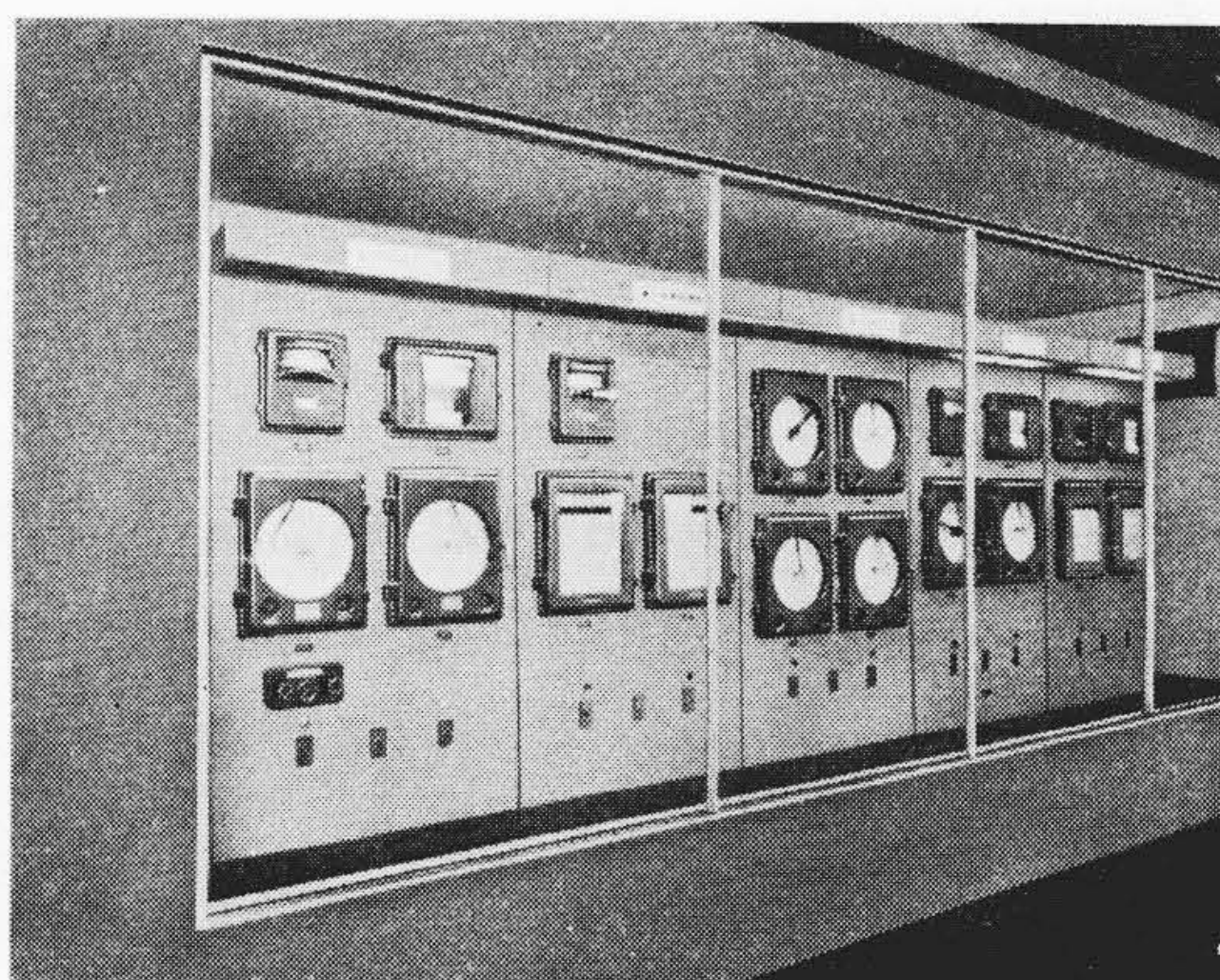
- (1) 黒液は鉄をも徐々に浸蝕するため、黒液接触部にはネジ込みによる気密保持を極力さけ、重要部分には 18-8 ステンレスを用いる。
- (2) 液位測定には一般の方式（基準面による差圧式）は向かないため、エアバージ方式（気泡式）を用い



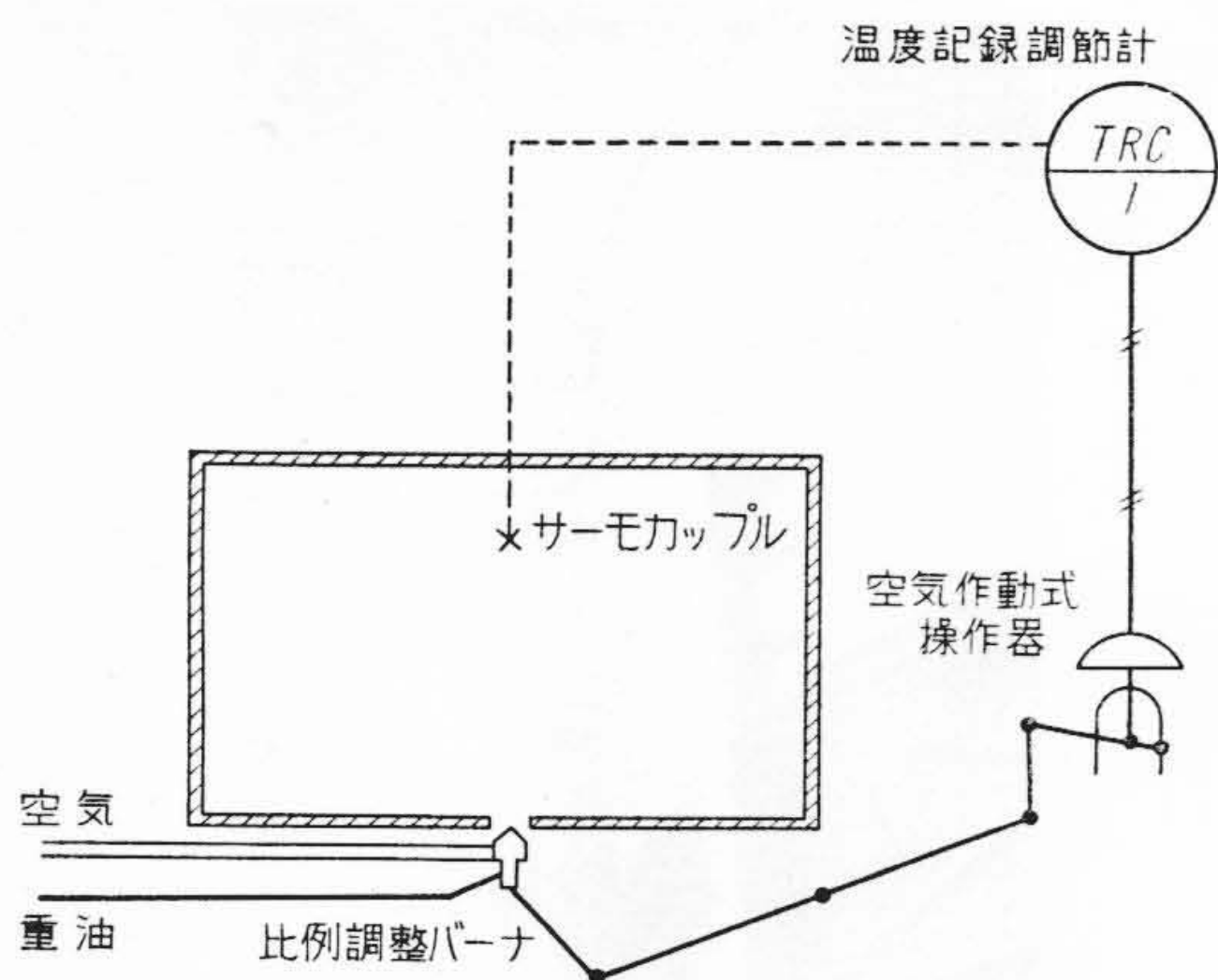
第4図 ブロータンクに取り付けた γ 線液面検出器（兵庫パルプ株式会社納）

るものが多い。

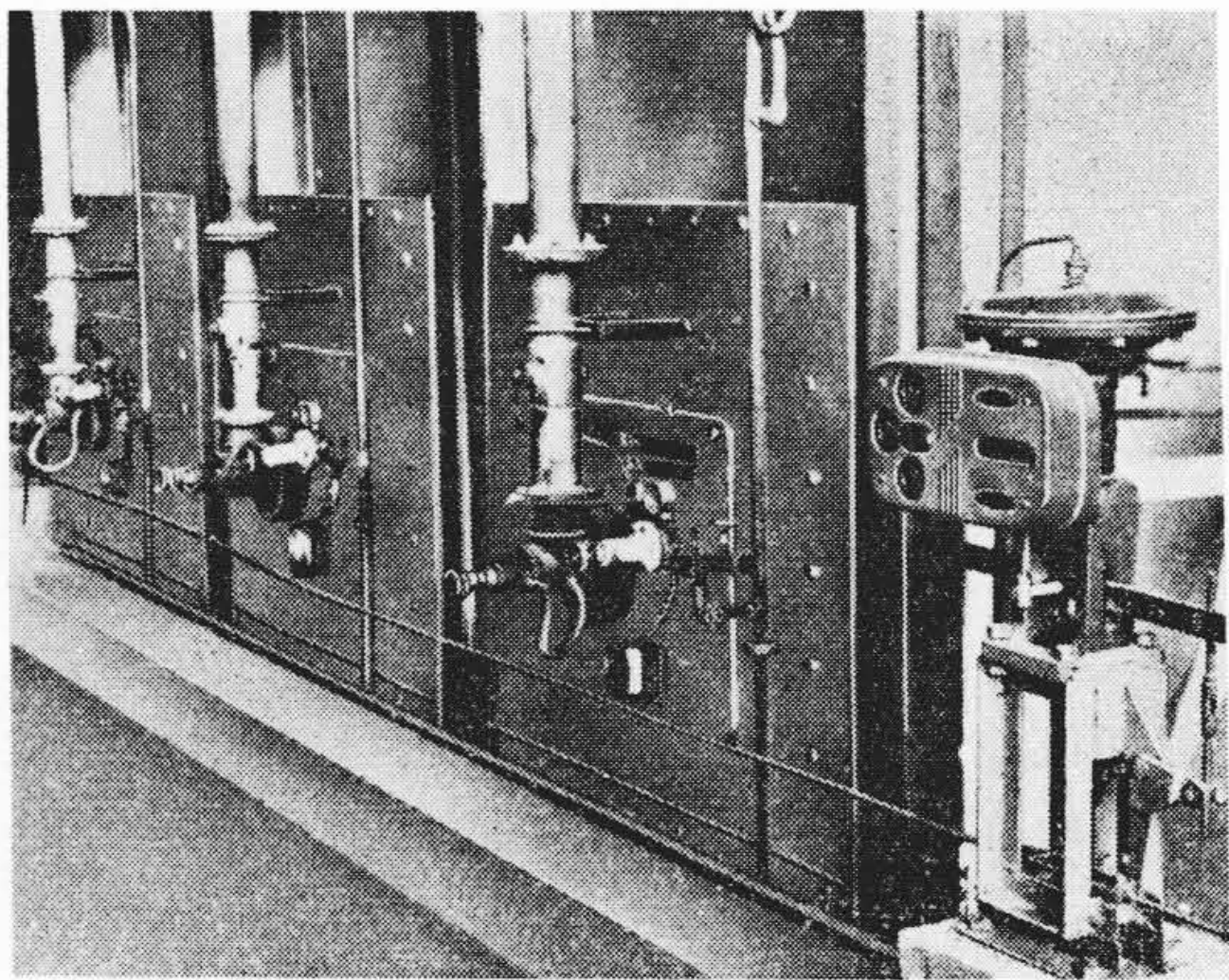
- (3) 黒液流量測定は、ロータメータ、ウォーターバージ方式、または特殊置換器方式によつて行われる。
- (4) ブロータンク液位は、パルプ（繊維）が多く含まれているパルプ液のため、差圧式、気泡式などでは不可能であり、電極式、放射性同位元素利用の方式で検知し警報を発する。第4図は兵庫パルプ株式会社に納入した γ 線液面検出器の取付状況を示す。
- (5) 発生した気泡はなかなか消滅しにくいため特に pH 計の場合には電極部に気泡の接しないような対策が必要である。
- (6) 各部に圧送用ポンプが用いられているが、その空引き防止の意味で、簡単な無指示の液位制御が多く用いられている。



第5図 熱処理炉用計器盤の一例



第6図 比例制御方式（比例調整バーナ使用）



第7図 比例調整バーナ操作用リンク機構

4. 熱処理炉の計装

工業用炉のうちでは比較的小型である熱処理炉は、大型炉に比べて計装はおくれているようであるが、最近では広範囲に採用されるようになってきた。

熱処理炉の制御対象には通常次のようなものがある。

重油炉においては

炉内温度のプログラム制御

炉内圧の制御

重油予熱温度の制御

電気炉においては

炉内温度のプログラム制御

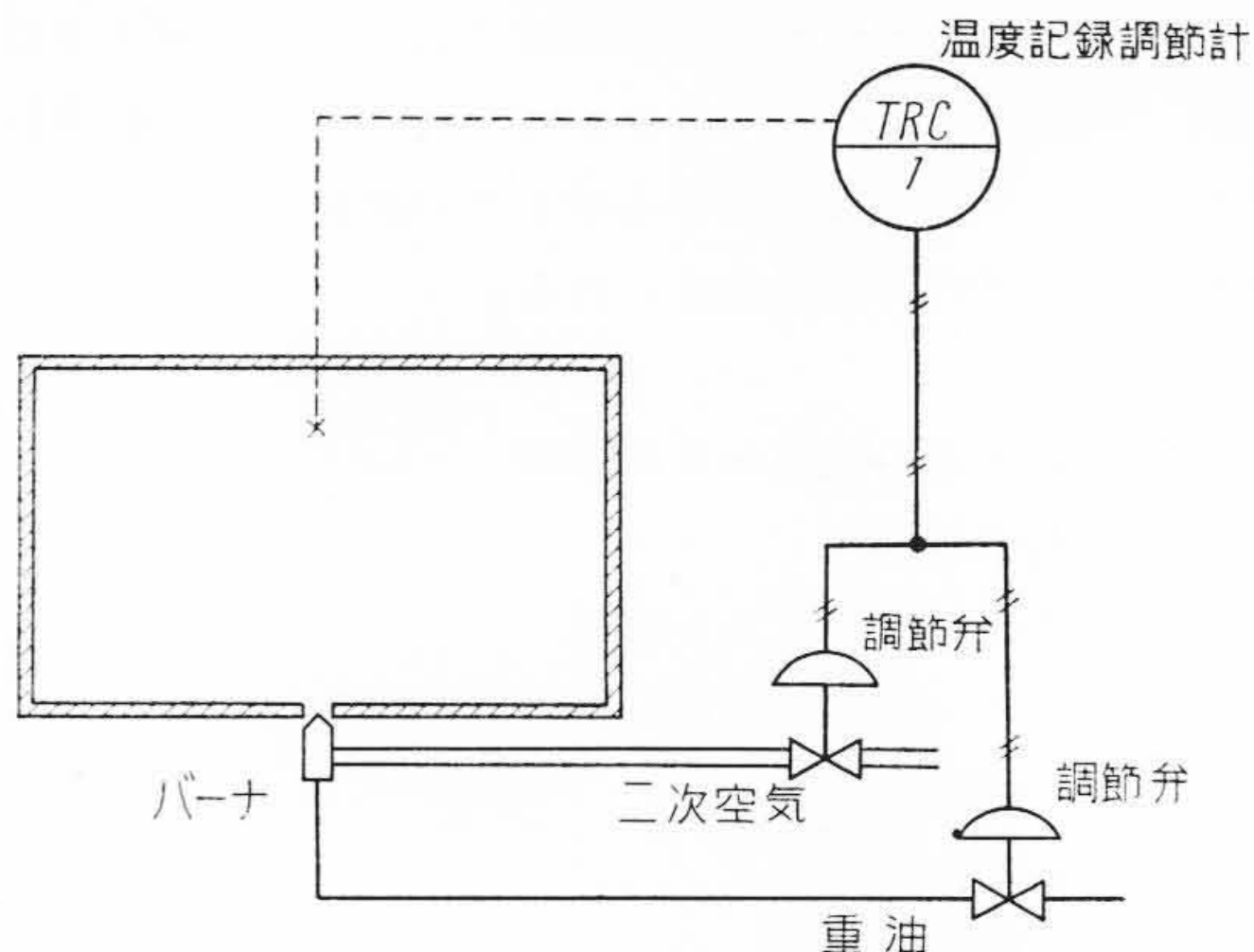
第5図はこれらの計器を熱処理炉4基分収納した計器盤の一例で、これは日立製作所水戸工場で用いられている。

次にこれらの計装の方式について述べる。

4.1 重油炉計装方式

4.1.1 炉内温度制御

炉内温度の制御は、熱処理炉制御の目的たる被加熱



第8図 比例制御方式

物の金属組織に密接な関係をもつので最も重要なものである。このため炉内温度は要求される複雑なプログラムに従って、正確に制御されなければならない。さらに炉がやや大型になると燃料費の節約のため、重油と燃焼用空気の流量比率を一定に制御して不完全燃焼を防ぐ要求やまた、炉内温度差を嫌い、これをなくするような制御の要求のあることが多い。いずれにせよ主となる温度調節計にはPVQ-A型電子管式プログラム温度調節計（調節動作は空気作動式PID動作）を用い、サーモカップルまたは輻射高温計で炉内温度を測定しながらプログラム制御を行う。

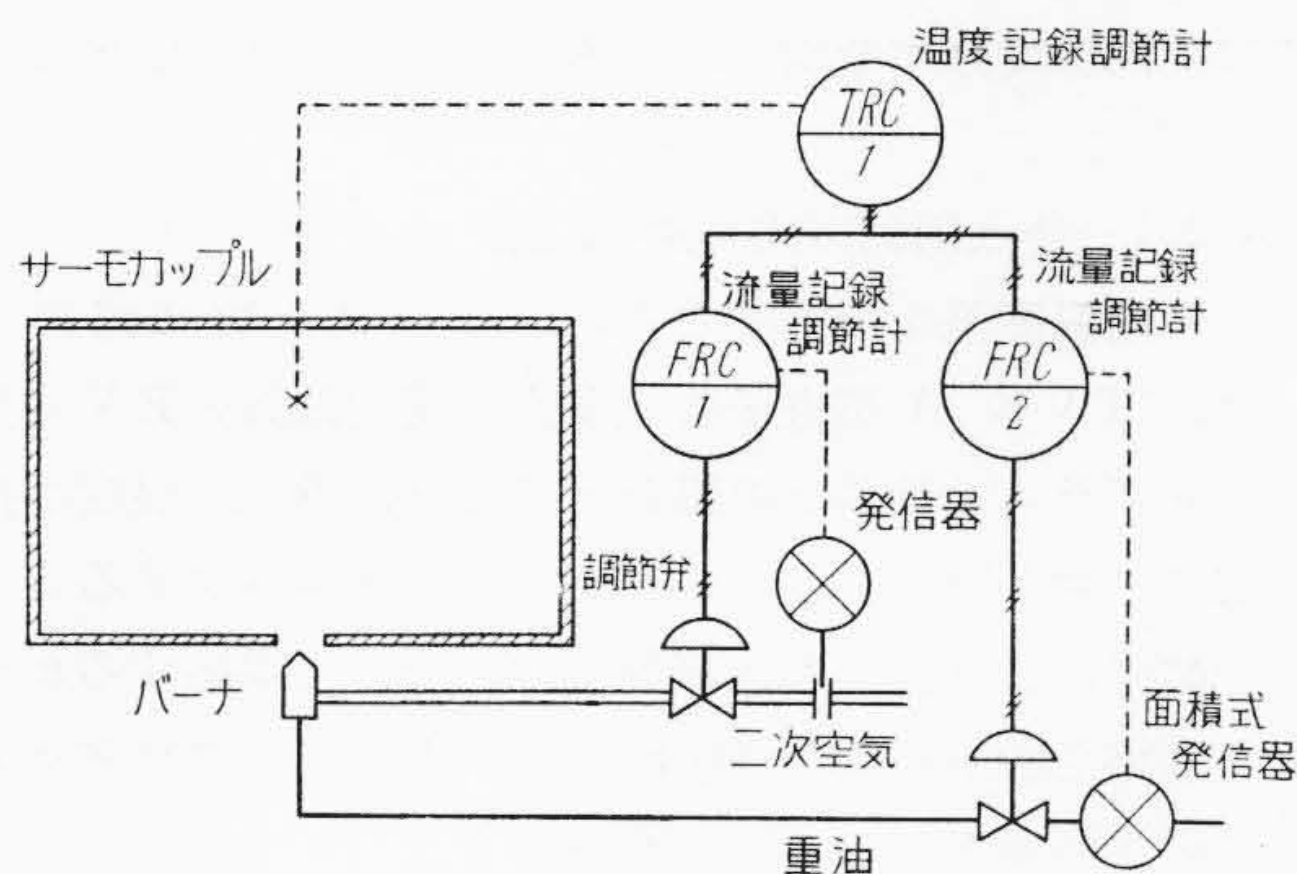
(1) 比例制御方式（第6図）

比例調整バーナとはレバー1個の操作で重油と空気との流量比率を一定に保ちつつ加減できるバーナである。これを使用する場合には温度制御は、調節計より出力空気圧をX-PD型操作器に加え、これによりリンク機構を介して各バーナのレバーを操作する。これは最も簡単で安価な方式であるが、制御の良否は比例調整バーナの特性に左右されることが多く、バーナを選択には注意を要する。第7図はこのリンク機構の一例である。

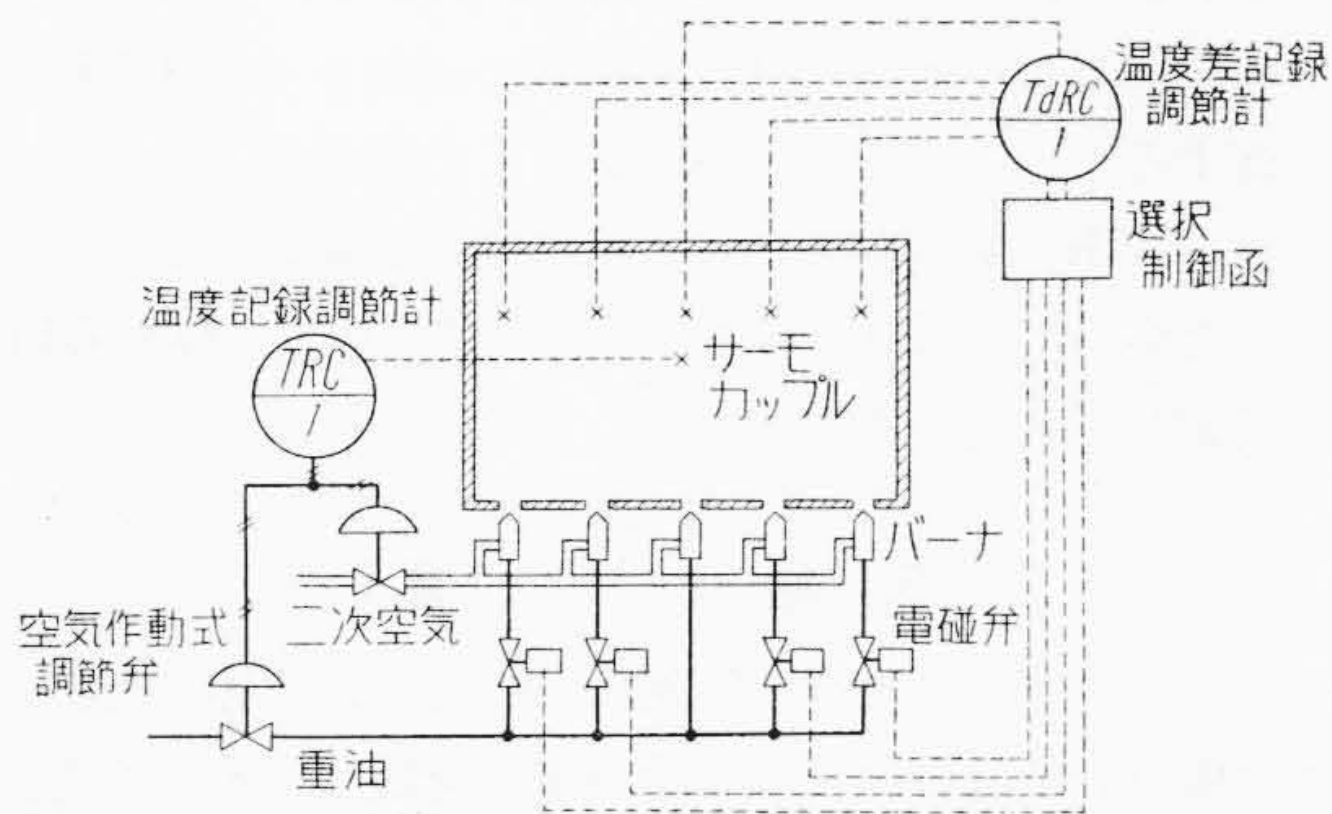
(2) 比例制御方式（第8図）

一般のバーナにより重油と二次空気（燃焼用空気）との流量比率を一定に保ちながら制御を行うためには、調節計の出力空気圧により重油および二次空気の調節弁を同時に操作する。調節弁全閉の場合燃焼がとだえるのを防ぐために、各調節弁にはバイパス弁を設け弁全閉時にもわずかに流れるようにしておかねばならない。重油調節弁には通常栓型弁が用いられ、二次空気調節弁には通常バタフライ弁が用いられるので、バルブポジションを各弁に設けて、これにより両者の操作空気圧対流量特性を一致させることが必要である。

一次空気（噴霧用空気）は重油流量に応じて制御を行うと、炎の長さが変わり炉内温度分布に悪影響を及ぼ



第9図 測定制御方式



第10図 温度差制御方式 (重油炉)

すのでこの種小型炉では制御しないのが普通である。

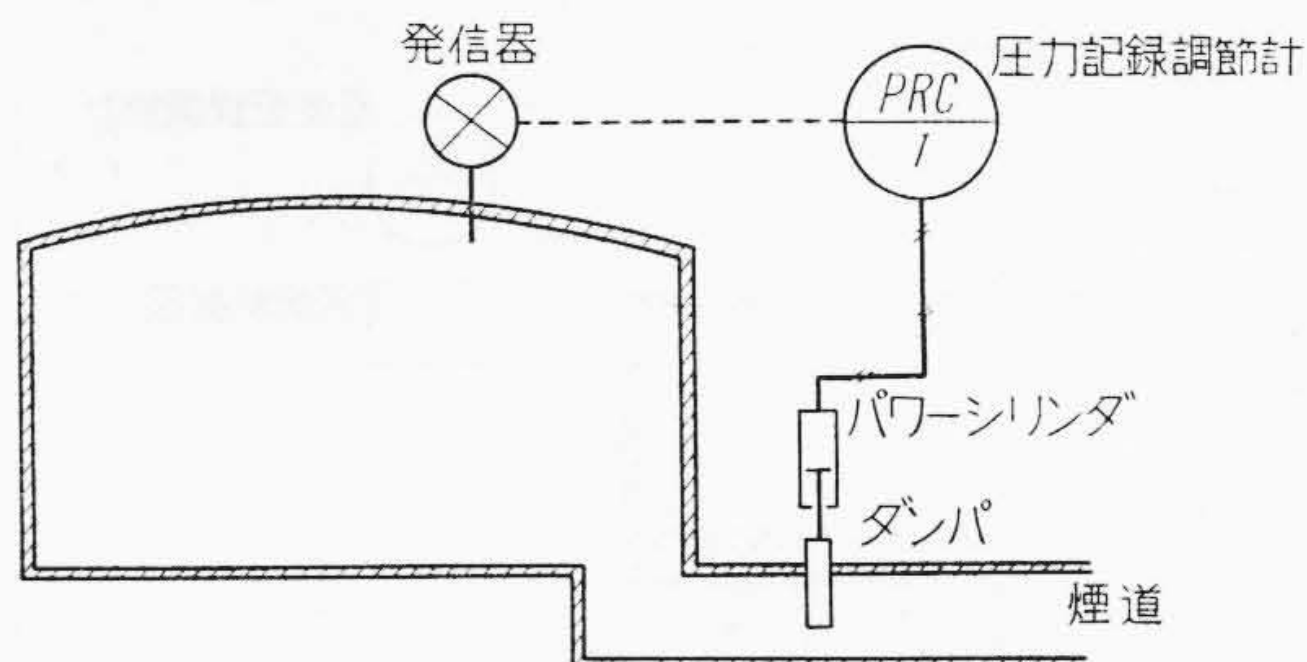
(3) 測定制御方式 (第9図)

上記の方式はいずれも重油と二次空気の流量比率を常に一定にして制御しようとするものであるが、同じ弁の開度であつても流体の元圧や粘度の変動によつて流量は変化する。これを完全に防ぐためには、各管に流量計発信器を設けて P F Q-A 型流量調節計により各流量を調節し、この流量調節計を温度調節計よりの出力空気圧でインデクセットする方式を採ればよい。

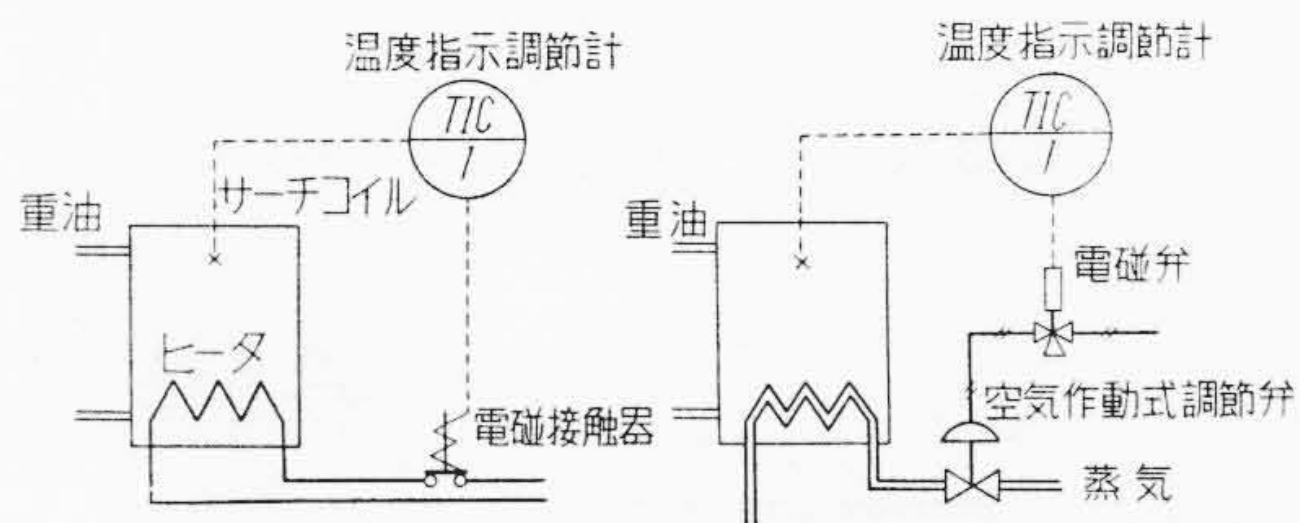
これにより各流量を確実に制御することができる。(2) 項と同様に一次空気は制御しないのが普通であり、また調節弁にバイパス弁を設け燃焼がとだえるのを防ぐ注意が必要である。

(4) 温度差制御方式 (第10図)

まず基準帯の温度が指定されたプログラムに従うよう、(2) 項または(3) 項の方式によつて重油主管および二次空気主管で各流量を制御する。ほかの点では基準帯に対する温度差を T V K-A 型電子管式多点温度差記録計により検出し、選択制御函を用いて各バーナへの重油枝管に設けた電磁弁を ON-OFF させ温度差をなくすようにする。この選択制御函は記録計の測定回路切換と同期して制御端を選択し、測定点の温度



第11図 炉内圧制御方式



第12図 重油加熱槽温度制御方式

差に応じて対応する箇所のバーナの電磁弁を開閉し、ほかの測定点を測定中は次の制御時期まで ON または OFF の状態を継続して保持するように動作する記憶装置である。電磁弁にはバイパス弁を設け重油の大部分はバイパス弁を通し、一部分を電磁弁で制御させればよい。

4.1.2 炉内圧制御

炉内圧が低いと外部より冷い空気を吸込むため燃料が不経済になる上に炉内温度差を生じ加熱を不均一にする。また高すぎるときは外部へ有害ガスを吹出すばかりでなく、炉壁の老朽を早める原因となる。特に熱処理炉のように温度のプログラム制御を行うときには温度も、重油燃焼量も操業中大幅に変化するため、炉内圧が変動しやすくこれを一定値に制御することが望ましい。

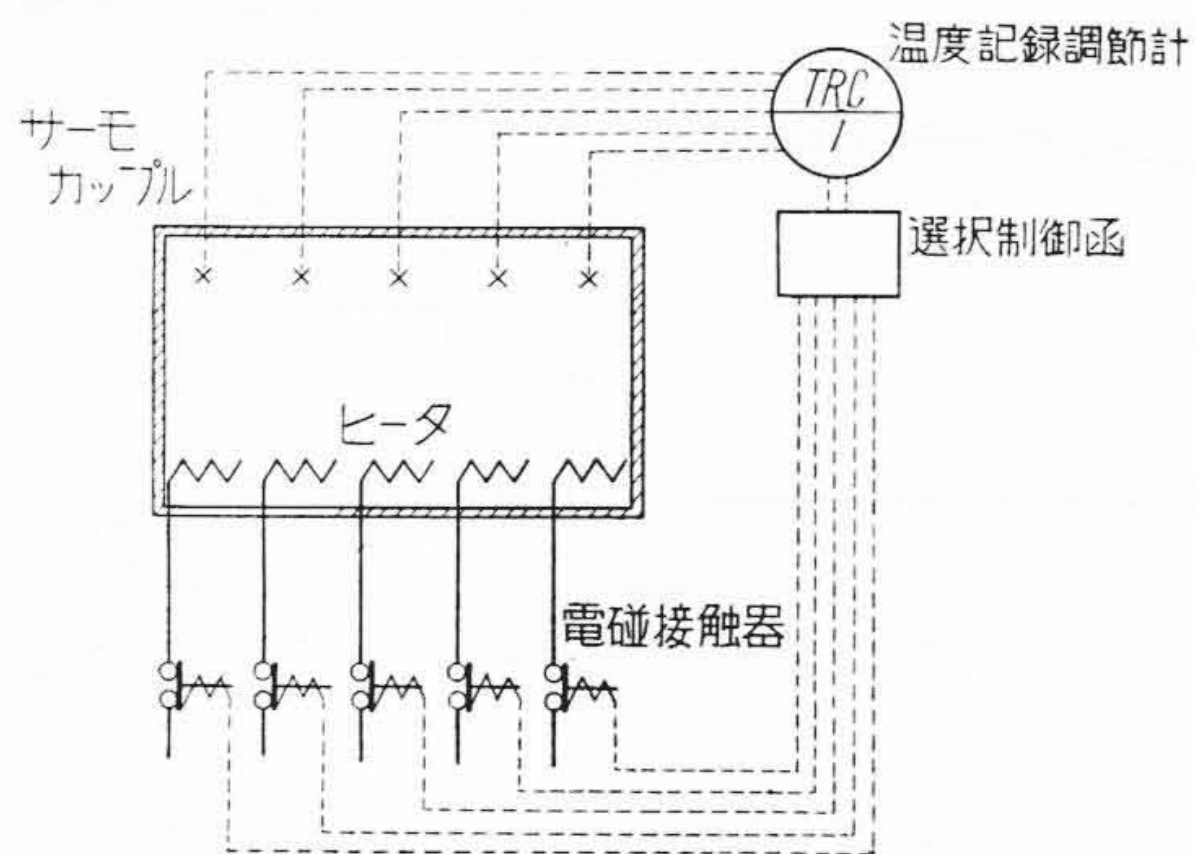
制御方式は第11図のように Z B R 型沈鐘天秤式微圧発信器により検出し、P P Q-A 型炉内圧調節計へ電送しこの設定値との偏差に応じた出力空気圧をパワーシリンダへ送り、煙道ダンパを操作し炉内圧を一定値に保つ。

4.1.3 重油加熱槽温度制御 (第12図)

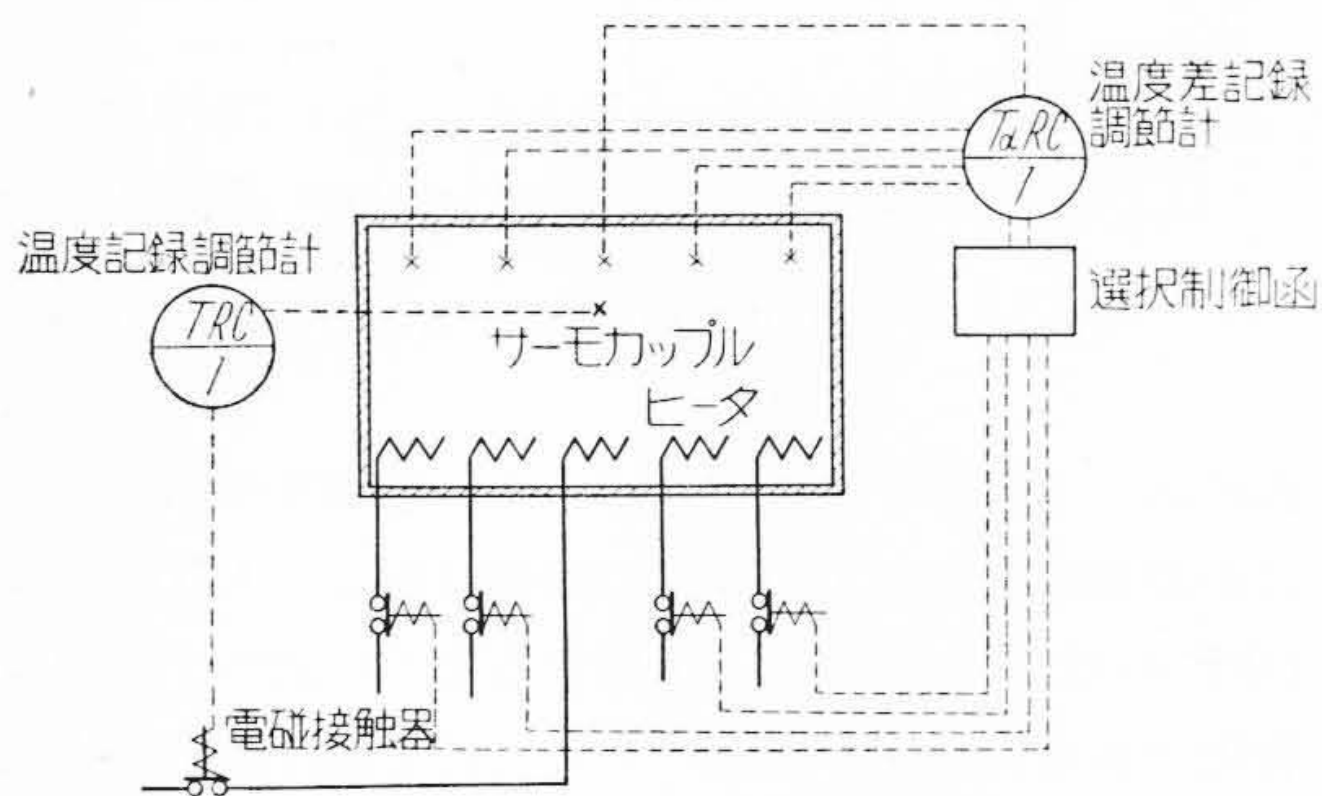
重油炉に用いられる重油は、バーナへ供給される前にあらかじめ 60~70°C に加熱して、粘度を下げ噴霧されやすい状態にしておかなければならない。加熱には電熱または蒸気が用いられるが、いずれの場合でも可動コイル型温度調節計による簡単な ON-OFF 制御で十分である。

4.2 電気炉計装方式

電気炉の制御は簡単な ON-OFF 制御が一般的であ



第 13 図 多点制御方式 (電気炉)



第 14 図 温度差制御方式 (電気炉)

る。可動コイル型温度調節計や電子管式温度調節計が広く用いられており、大部分が計器内部の調節接点によりヒーター回路の電磁接触器を操作するものである。ここ

では炉内温度分布を均一にする方式について以下に記す。

4.2.1 多点制御方式 (第 13 図)

炉内温度差を調整するため、ヒータを数回路に分け、TVK-A 型電子管式多点温度記録計と EVG 型プログラム調節器との組合せにより、各部の温度が指定のプログラムより高いか低いかをチェックする。この結果により前述の選択制御函を介して対応するヒータ回路を独立に ON-OFF し、炉内各部がプログラムに従う温度となるよう制御を行う。

4.2.2 温度差制御方式 (第 14 図)

まず基準帯の温度が指定のプログラムとなるよう TVK-A 型電子管式温度記録計と EVG 型プログラム調節器とを組合わせ、基準帯の回路を ON-OFF 制御する。さらにほかの各回路はこの基準帯との温度差を TVK-A 型電子管式多点温度差記録計により検出しながら、選択制御函により各回路を独立に ON-OFF 制御して温度差を消すようにする。

5. 結 言

以上、プロセス制御の実例について二、三述べたが、この種の計装技術はますます急速に発展するものと考えられる。この分野で大きな役割を果す計器、調節計の進歩改良は製造者側としていつそうの努力を払う必要があるが、これには使用者側よりの積極的な御協力に待つところが大きい。計器製造に携る者として計器の改良、開発に努力し、新しい計装の御要求にも応じたいと思う。

最近の日立製作所社員の自動制御に関する社外寄稿一覧

(その 8)

(第 95 頁より続く)

題 目	氏 名	誌 名	巻 号	頁	年 月
動力用 BWR 自動制御系のアナコンによる検討	小 林, 鈴 木	自動制御研究会資料	93	13	32— 8
動力用 BWR 自動制御系の検討	小 林, 鈴 木	自 動 制 御	4	297	32—12
日立 PVQ 型電子管応用工業計器について	河 井	日 立 評 論	35 別冊第 3 号 電子管および電子管応用特集号	125	28— 7
最近の工業計器	山 下, 佐 藤	日 立 評 論	37 別冊第 10 号 計測器特集号	25	30— 8
日立調節計について	島 田	日 立 評 論	37 別冊第 10 号 計測器特集号	41	30— 8
r 線 液 面 計	鷺 見, 諏 訪	日 立 評 論	39	873	32— 8
新型空気作動式調節計	小野寺	日 立 評 論	39	1,253	32—11
質量分析法	岡 本	オートメーション	3	37	33— 3
液体成分計, 比重計	長 島, 大 木	オートメーション	3	81	33— 4