

日立 PVQ 型 電子管 応用 工業 計器 に 就 いて

河 井 陽 一*

Type PVQ Hitachi Electronic Industrial
Measuring InstrumentsBy Yōichi Kawai
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In the postwar period, remarkably rapid is the progress of industrial measuring instruments for use in chemical, iron and steel, foodstuffs, paper manufacturing, and many other industries, and among them the controlling meter which combines an electronic self-balanced instrument and a pneumatic controlling mechanism is expected to prove a notable usefulness in the service to these industries.

The electronic self-balanced instrument, a component of the above, is a type of servomechanism, and its application is rapidly extending because of its inherent advantages such as (1) high accuracy, (2) torque large enough to operate pointer and controller, and (3) availability in workshops subjected to dust, moisture and vibration. The pneumatic controlling mechanism, the other component, is of a system that 90% of controlling instruments are today depending on, due to its proofness to explosion and ability to give adequate response.

In this paper, the writer introduces Type PVQ Hitachi Electronic Air-Operated Temperature Recording Controllers with detailed descriptions of their construction and features. They may come into a wider use, the writer remarks, for temperature controlling in such applications that include a process with large time-lag or with abrupt load variations.

〔 I 〕 緒 言

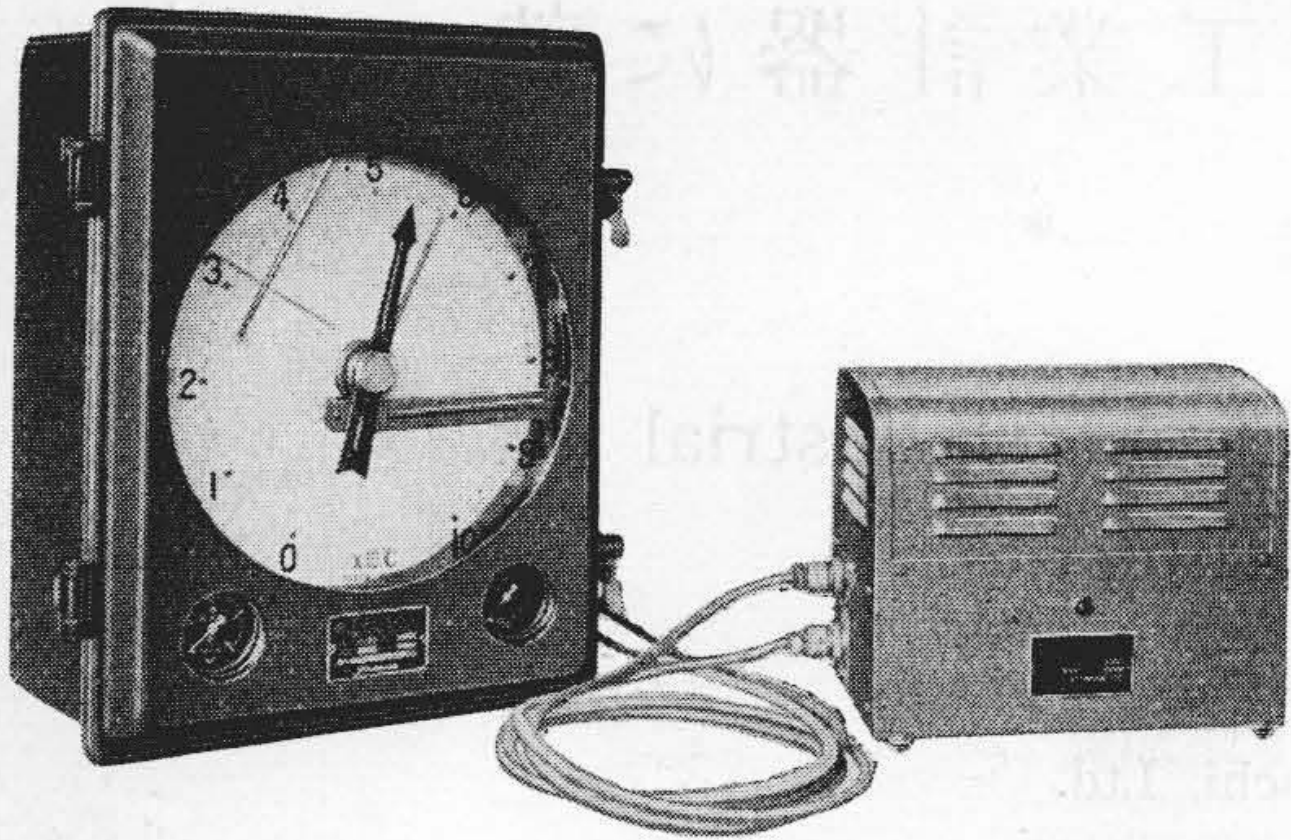
従来、工場に於ける計測管理は計量に主体が置かれ、制御は手動操作に頼っている所が多かつた。しかしながら更に生産企業の合理化をはかり、能率の増進、原価の低減、品質の改良が要求される場合、当然計測技術や自動制御技術が重要な要素となってくる。生産現場で制御計測器に要求される条件は

1. 連続的で、確実な動作をなすこと。
2. 耐久的な構造で、しかも精度の高いこと。
3. 温度、湿度、塵埃、侵蝕性ガス、振動などに影響されないこと。
4. 保守が容易であること。
5. 応答速度が適当であること。
6. 遠隔制御が可能であること。

* 日立製作所多賀工場

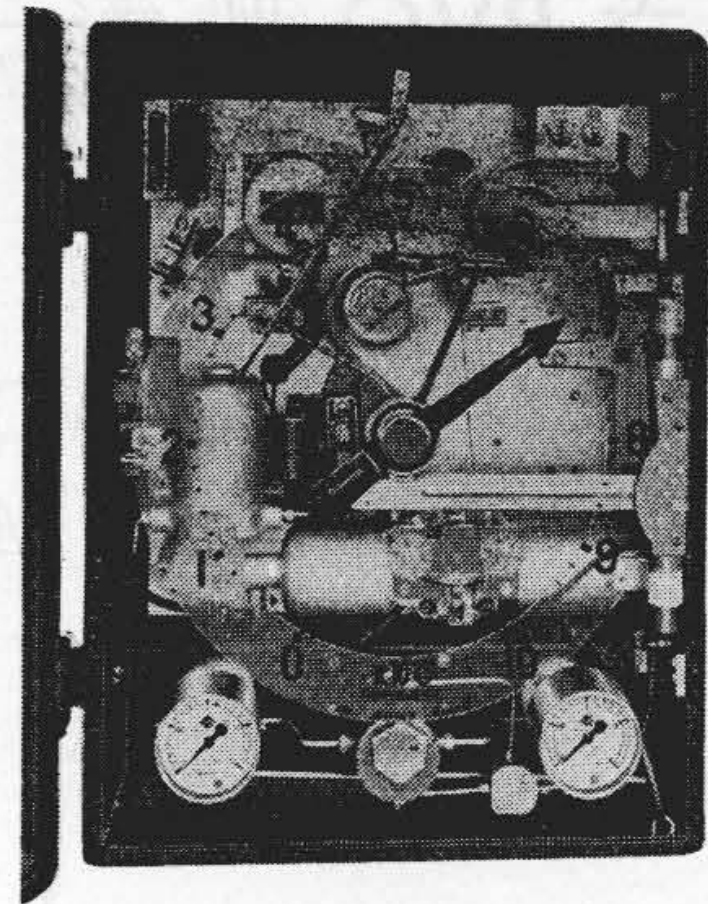
などであつて、遠隔制御による中央集中計測運転はプロセスの変数を総合的に正確に調節でき、作業員の負担を軽減して生産を増加させ得る。

米国に於ける自動制御の普及は目覚ましく、電気応用計測の発展にともなつて新しい変数の制御方式が開発せられている⁽¹⁾⁽²⁾。戦後、我国に於ける工業計測器及び自動制御装置も一段の進歩を遂げつつあるが、こゝ数年来最も斯界の注目を浴びているのは電子管応用の自動平衡計器である⁽³⁾。これは Siemens の W. Geyger の考察⁽⁴⁾による NuMo (Nullmotor) に端を発し、時代の寵児である電子管工学と最近急速に発達して来たサーボ回路の理論とが結びついて生れたもので、現場向き計測器としての条件を十分に満足し、特に従来の計器ではトルクが微弱なために連続記録や、標準型調節計の作動が困難であつた温度計などに応用して最も効果がある。



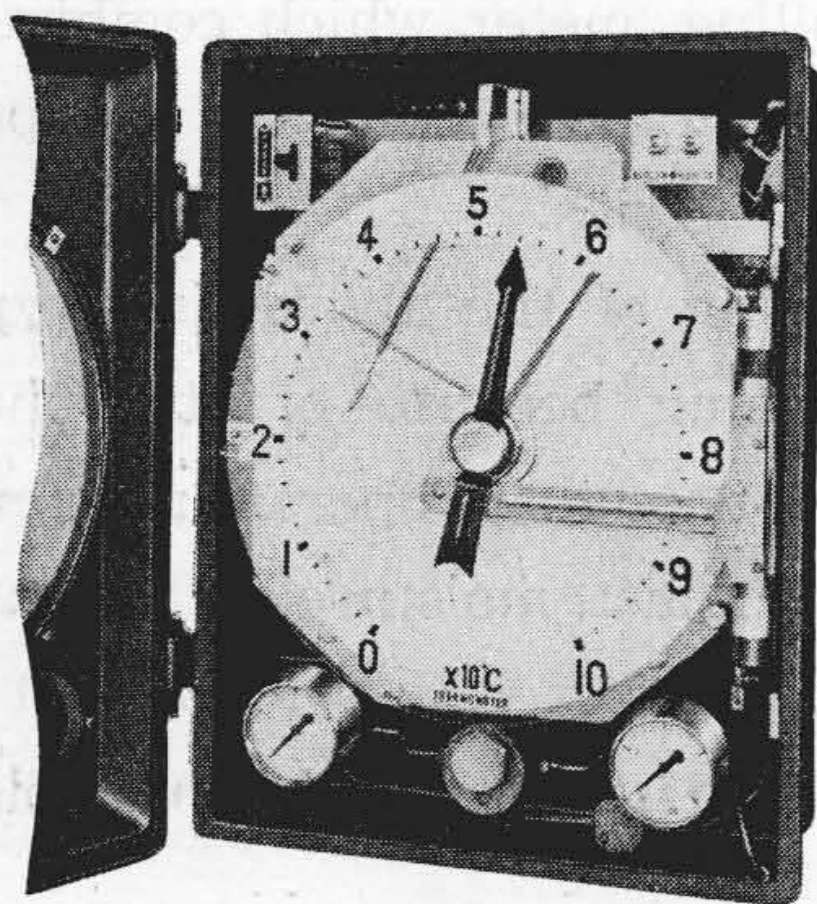
第1図 PVQ 型日立電子管式空気作動温度記録調節計外観

Fig. 1. General View of Type PVQ Hitachi Electronic Air-Operated Temperature Recording Controller



第3図 内部構造

Fig. 3. Interior View



第2図 前面構造

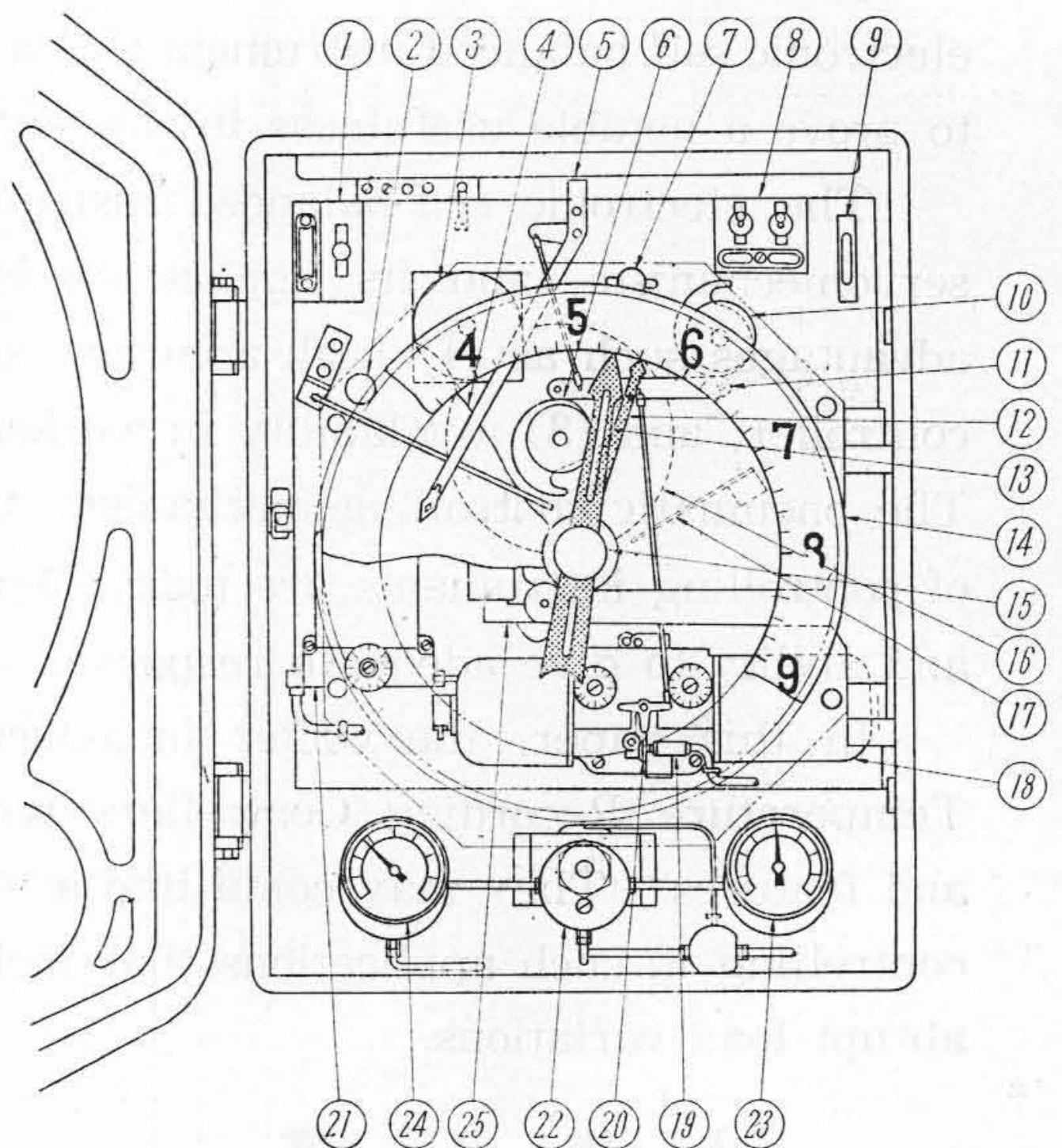
Fig. 2. Front View

従来、調節計としては電気式、空気圧式、油圧式などが使用されているが、防爆、防火性、伝達距離、操作速度などの点で最近では専ら空気作動式の調節計が使用される傾向にある。一方温度の自動制御では伝達遅れ、検出遅れ、不動時間などが大きく、更に負荷変化が激しい場合には比例——積分——微分動作を組合せた調節計が絶対に必要となってくる。

ここに於て上記目的に添うべき日立 PVQ 型電子管式空気作動温度記録調節計の概要を記述して御参考に供する次第である。

〔II〕 PVQ 型電子管式空気作動温度記録調節計の構造

本器の外観、内部構造などを第 1～3 図に示し、第 4 図に各部の名称を示す。本器は温度を指示、記録する電子管式自動平衡機構部及びその指示値と調節希望値（設定値）との差に応じた調節弁の開度を与える空気作動式調節機構部から成っている。



- | | |
|------------------|-------------|
| ① 検定用電鍵 | ⑬ 指針 |
| ② 故障表示灯（赤色） | ⑭ 目盛板 |
| ③ 平衡用モータ | ⑮ 設定用ツマミ |
| ④ チャート | ⑯ スライド抵抗 |
| ⑤ 記録用ペン | ⑰ スライドコンタクト |
| ⑥ カム | ⑱ 自動復帰機構 |
| ⑦ 動作表示灯（緑色） | ⑲ 可動ノズル |
| ⑧ 測定及び記録モータ用スイッチ | ⑳ フラッパー |
| ⑨ ヒューズ | ㉑ レート動作機構 |
| ⑩ カム | ㉒ パイロットバルブ |
| ⑪ 差動機構 | ㉓ 供給圧力計 |
| ⑫ 設定指標 | ㉔ 弁圧力計 |
| | ㉕ 記録用モータ |

第4図 PVQ 型構造図
Fig. 4. Construction of Type PVQ

〔III〕 電子管式自動平衡機構部

(1) 動作原理

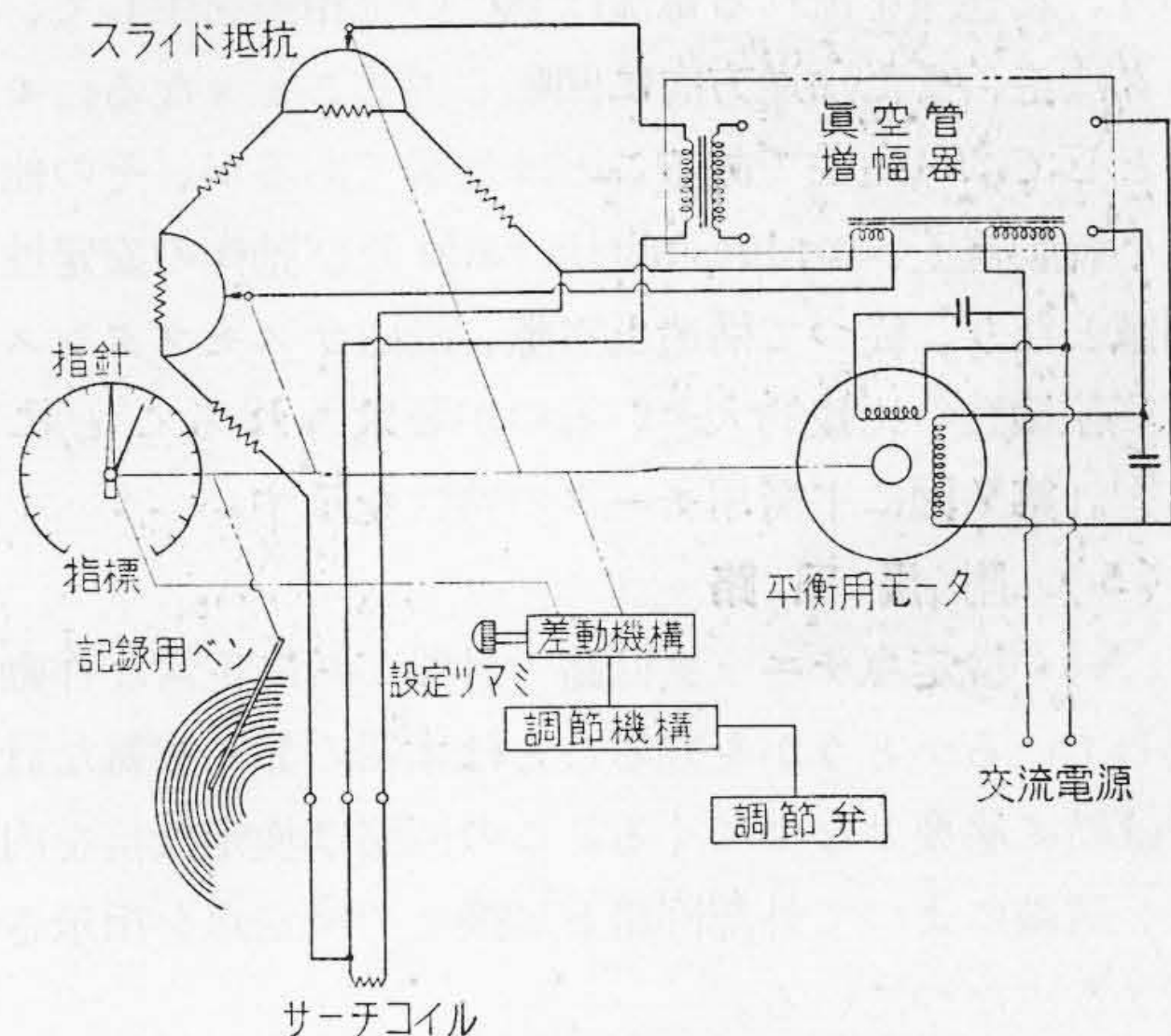
電磁気測定中で最も信頼できる測定法はポテンシオメータ法とブリッジ法で、共に零位法であり、測定量は直接スライド抵抗の接点の位置に置き換えられる。この測定を機械的に行つて自動的に平衡をとらせるのが Micro-max などの自動平衡計であり、更に電子管増幅器と可逆モータを組合せて平衡をとらせるのが電子管式自動平衡計である。即ち、第5図に示す如く 600°C 以下の比較的低温を検出するサーチャコイルはブリッジの一边を成して、温度が変化しブリッジの平衡が破れると不平衡電圧を生ずる。この電圧は入力トランスを経て真空管増幅器で増幅され、二相の平衡用可逆モータに加えられる。平衡用モータは増幅器の出力電圧の方向によつて正回転または逆回転し、ブリッジが再び平衡する方向にスライド抵抗を調整する。従つてモータが回転を始めると増幅器の出力電圧は次第に小さくなり、ブリッジが平衡点に達するとモータは停止する。このモータの回転は間接に指針及び記録用ペンを駆動して指示及び記録を行う。

(2) 測定ブリッジ

不平衡電圧を次の真空管増幅器で容易に増幅するために、ブリッジの電源には交流を使用する。ブリッジの相隣れる辺は常に 1:1 で平衡をとるように設計され、各部の整合、誘導防止、スライド抵抗接点の接触には特に注意を払っている。本方式のブリッジではサーチャコイルへの接続導線を三線式とすれば、接続導線による誤差は全然生じない。しかし接続導線を通じて外部から誘導を受ける場合には誤差として現われるから十分に注意を要する。感度は一例として Ni 線サーチャコイルを使用した場合 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 目盛の 0.2%、即ち 0.2°C の変化に対する電流は $i_g = 2.1\ \mu\text{A}$ 、電圧は $V_g = 85\ \mu\text{V}$ であるから、増幅器の感度と比較して十分検出することができる。

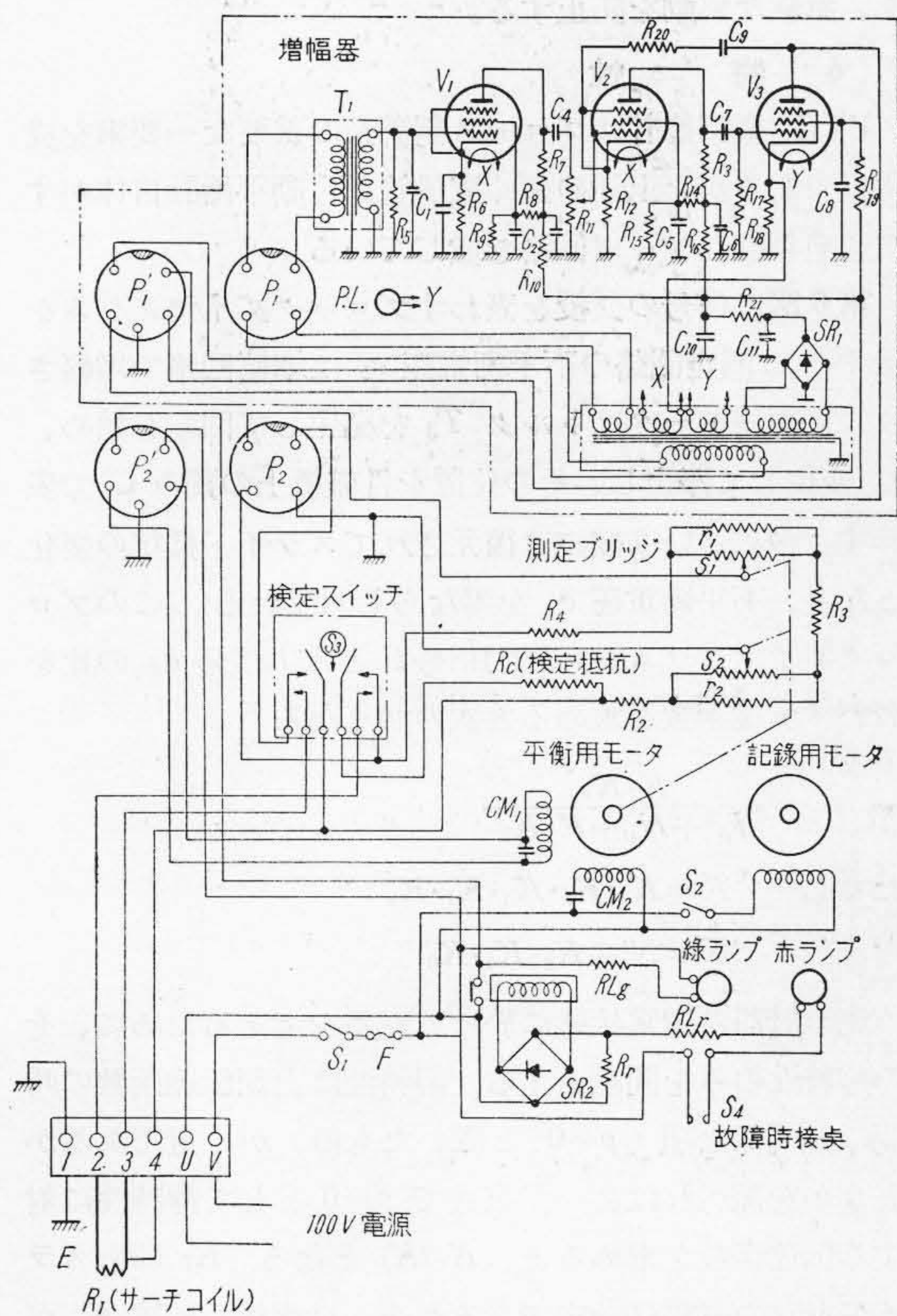
(3) 真空管増幅器

第6図の一部に真空管増幅器の配線図を示す。真空管はラジオ用真空管の代りに寿命の長い通信用真空管を使用し、整流回路は傷み易い整流管を避け、電流量に十分余裕を持たせたセレン整流器を用いている。増幅器は本体と別箇のケースに納め、抵抗器、コンデンサ類は容易に点検できるようになつている。ブリッジの不平衡電圧は高導磁率の鉄心を使用した入力トランスを経て、通信管 CZ-501D 二段で電圧増幅し、CZ-504D で電力増幅を行う。最終段及びその前段には負饋還回路を設け、電圧及び電流の総合饋還率は約 10% である。増幅器全体の利得は最大 80~85db で、計器を最適状態で動作させるために調整抵抗で利得を加減する。



第5図 電子管式温度調節計動作原理図

Fig. 5. Principle of Electronic Temperature Controller



第6図 PVQ 型 電子管式温度調節計配線図

Fig. 6. Circuit Diagram of Type PVQ

(4) 平衡用モータ

このモータは二相可逆、可変速の誘導電動機で、その一相には増幅器の出力が加わり、第6図に示すコンデンサ CM_1 と電源周波数で並列共振を起す。コンデンサ CM_2 と直列に接続された他の相には直接電源電圧が加

わり、両巻線を通れる電流は 90° の位相差を生じて、モータは正、または逆方向に回転し得ることとなる。モータとしては可逆性であることは勿論であるが、その他に最小始動電圧、torque-inertia ratio 及び動作の安定性が問題となり、従つて構造上空隙、励磁サセプタンス及び回転抵抗の比較的大きいものが要求されることになる⁽⁵⁾。第7図に平衡用モータの特性を示す。

(5) 附属回路

(A) 検定点チェック回路 計器が常に正常な作動をなしているかどうかを知ることは本器の如く複雑な計器では特に必要となつてくる。この回路は検定抵抗を内蔵し、電鍵によつて外部回路と切換えて検定点を指示させるようになつてゐる。

(B) 故障時保護接点回路 万一サーチャコイルや接続導線が断線、または短絡事故を起した場合、指針は目盛範囲を越え、赤ランプを点灯して増幅器の電源回路を開き、無駄な駆動を防止する。

(6) 特性

PVQ 型調節計はプロセス制御系の重要な一要素を成す訳であるが、上述の如く電子管式自動平衡計自体がすでに典型的なサーボ回路を成している。

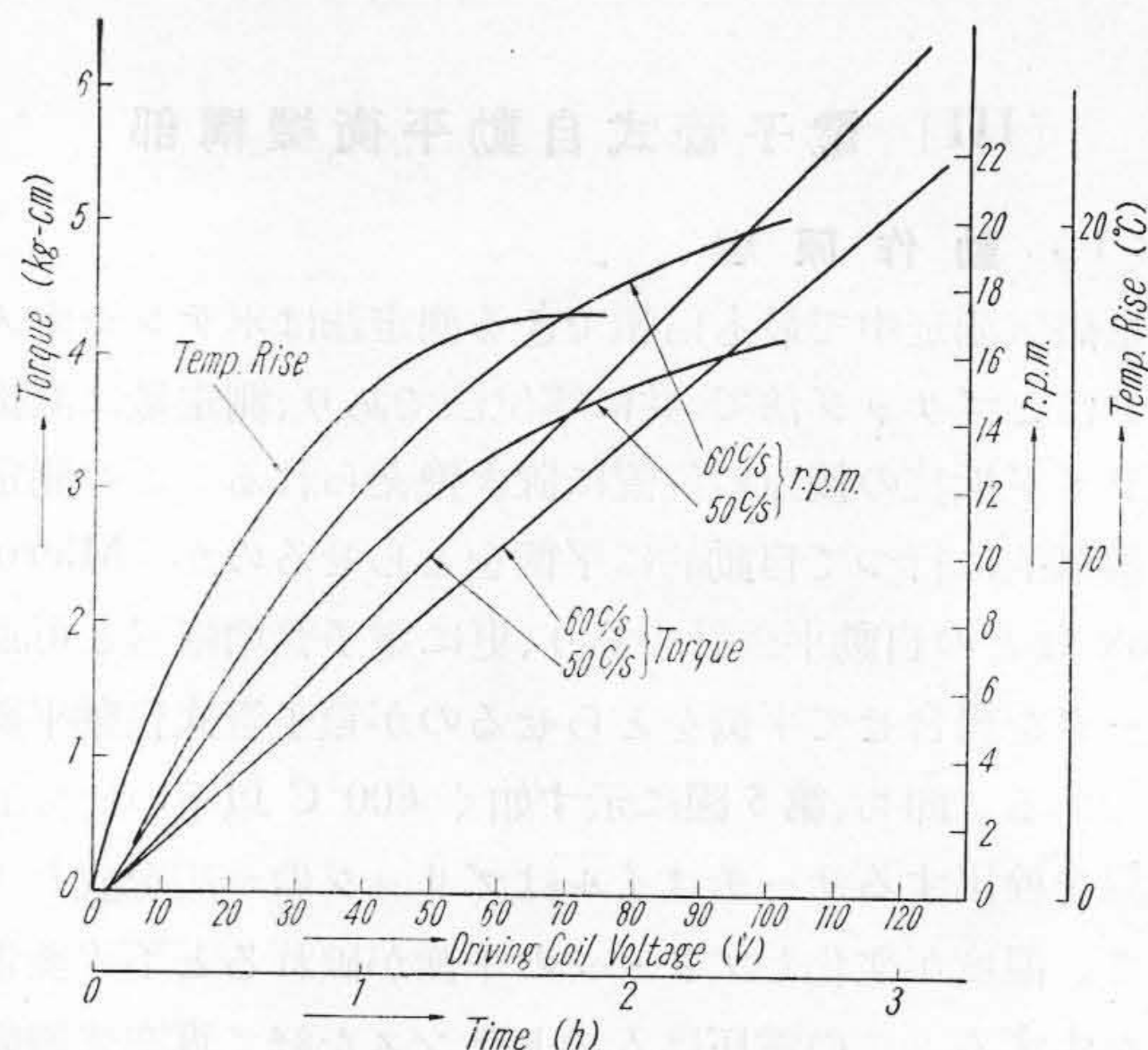
第8図に信号の受授を表わすブロックダイアグラムを示す⁽⁶⁾。測定回路の不均衡電圧 e_1 は増幅回路で増幅され、平衡用モータはトルク T_3 を発生して回転を始め、 θ_c 変位して停止し、その位置を目盛板上の読み C で表わす。 θ_c という変位は復元されてスライド抵抗の変化となり、不平衡電圧 e_1 を零ならしめている。このブロックダイアグラムから出力信号 C と入力信号 e_x の比を表わす伝達函数を求めると次の如くなる。

$$\frac{K \cdot K_c}{Jp^2 + Np + K \cdot K_7}$$

ただし $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$

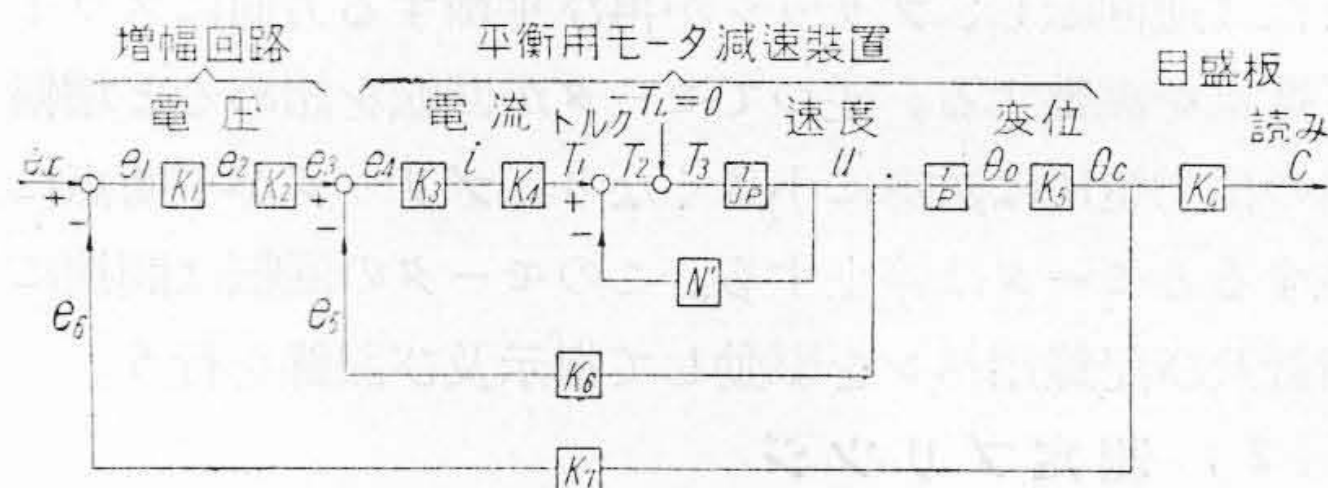
$$N = N' + K_3 \cdot K_4 \cdot K_6$$

先づ計器の定常状態に於ける誤差を考えるために、その静特性のみを問題とする。静特性は上記伝達函数の時間に無関係な項 ($p=0$ と置いたもの) が一定であるかどうかを調べれば良い。上式で $p=0$ として静特性に対する伝達函数を求めると、 K_c/K_7 となる。 K_7 即ちスライド抵抗の利得は一定であるから、目盛板の伸縮 K_c が影響を及ぼすだけであつて、変動し易い増幅器の利得 K_1 , K_2 や K_3 , K_4 などは静特性には全く関係しない。このことが従来の偏位方式の計器では得られない零位方式である自動平衡計——一般にサーボ回路の最大の特長であつて、これに加ふるに計器自体が仕事をする能力を有するのである。元来計器が検出系から受取る入力信号は非常に弱いものであつて、偏位法ではこれによつて直接指



第7図 平衡用モータの特性

Fig. 7. Characteristics of Balancing Motor



$K_1 \cdot K_2$: 入力トランス増幅器回路の利得

$K_3 \cdot K_4$: モータの利得

K_6 : 逆起電力の利得

N' : ダンピングの利得

K_c : 目盛板の利得

K_5 : 減速装置の利得

J : 運動部の慣性

K_7 : スライド抵抗の利得 (復元)

p : d/dt

第8図 自動平衡計部のブロックダイアグラム

Fig. 8. Block Diagram of Electronic Self-balancing Instrument

針を動かすのに反し、自動平衡計では他から供給されるエネルギーによつてこれを行う。従つてモータの出力軸にかかる摩擦もその影響は僅かなものである。

動特性も torque-inertia ratio T/J を遙かに大きくとることができるから、目盛幅をかなり広くしても十分に応答の速いものを作り得ることになる。この原理的に精度、速応度が高く、かつトルクが大きいということは、他分野への応用は勿論のことであるが、特にプロセス制御系に於ける検出計として理想的なものとなり得る訳である。

また、スライド抵抗に並列に函数抵抗を挿入することによつて目盛の範囲や形状を任意に選び得ることは、ブリッジ回路、またはポテンシオメータ回路を測定部に持つ計器の一つの特長である。

〔IV〕 空気作動式調節機構部

本機構部はすでに示した第3図、または第4図に見られる如く次の4つの部分から成っている。

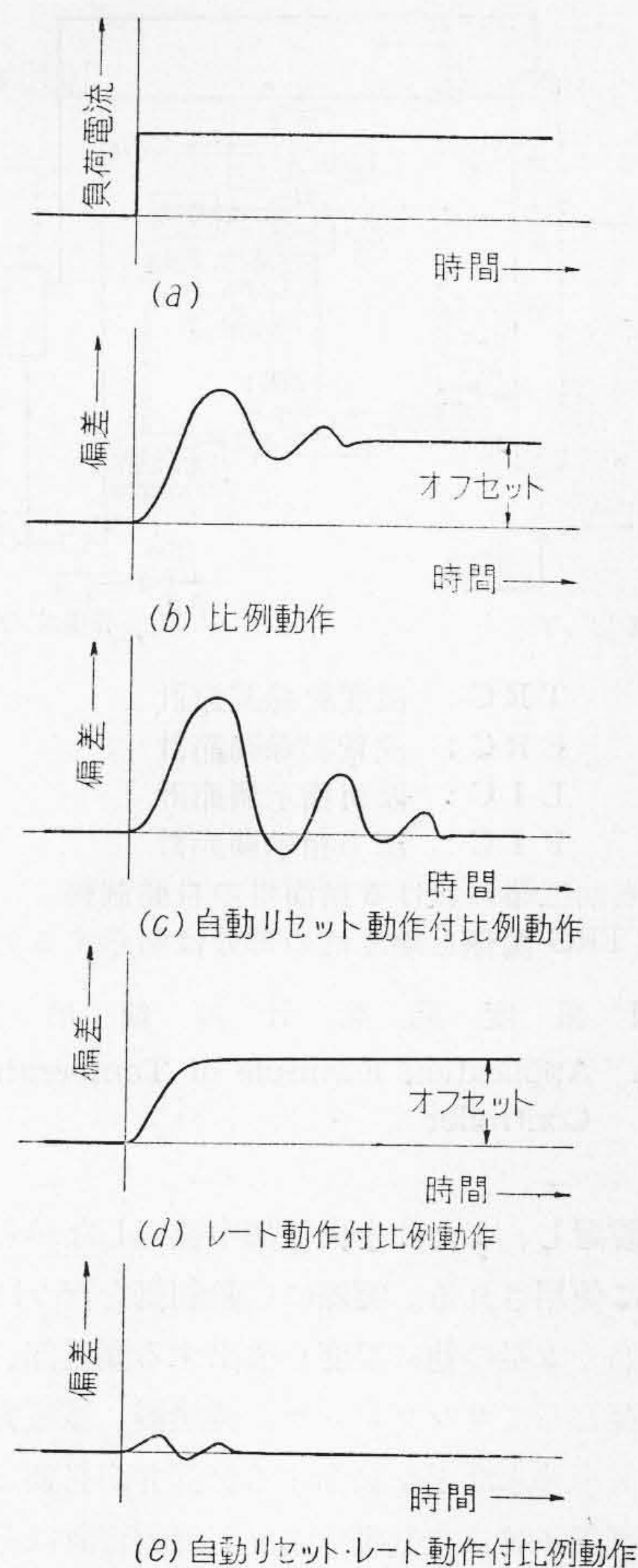
1. 差動機構部
2. パイロットバルブ
3. 復帰機構部(自動リセット付比例位置動作機構部)
4. レート動作機構部

指針と設定値との偏差は差動機構によつて取り出され、この偏差に応じたノズル背圧はパイロットバルブで拡大されて調節弁に行く。このパイロットバルブはノンブリード方式で空気の消費量が少なくて済む。一方、拡大された空気圧は復帰機構にも伝わり、偏差の大きさ及びその大きさの度合に比例して弁開度を変化せしめる。即ち比例位置動作を行わせると共に、それによる調節変位(オフセット)を自動リセット機構で自動的に引戻し、指針が設定値に一致する迄制御動作を止めないものである。レート動作機構は復帰機構への空気圧を遅らせて弁を暫くの間余計に動かす機構で、この弁を過大に操作することが時間遅れの作用を打消すことになる。

以上の比例動作、自動リセット動作(積分動作)及びレート動作(微分動作)を適当に組合せたものを実際のプロセスに適用した場合の制御経過を第9図に示す。これから分かるようにbの比例動作だけで制御した場合には相当のハンチングがあり、オフセットを残す。c及びdの長所を適当に組合せたeの場合はハンチングも比較的少く、オフセットも残さない。かくの如く、本器を用い比例、自動リセット及びレートの各動作を適当に組合せると著しく向上された制御を行うことができる。

〔V〕 PVQ 型電子管式空気作動温度調節計の仕様

電源電圧	交流100 V (標準)
周波数	50 $\sim$ または 60 $\sim$
目盛範囲	目盛幅最小 50 $^{\circ}$ C 以上
測定範囲	 -200 $\sim$ +500 $^{\circ}$ C
目盛板	300 $^{\circ}$ 目盛 (目盛長は約 630mm 透明な有機硝子を使用)
記録方式	一点用ペン実線式
記録紙	有効目盛長110mm, 直径300 mm ダイアルチャート
記録速度	 1 回転 24 時間 (標準)
平衡速度	7sec (秒指針が有効目盛全長を移動する時間)
許容誤差	全目盛の 0.5%
消費電力	約 55 W

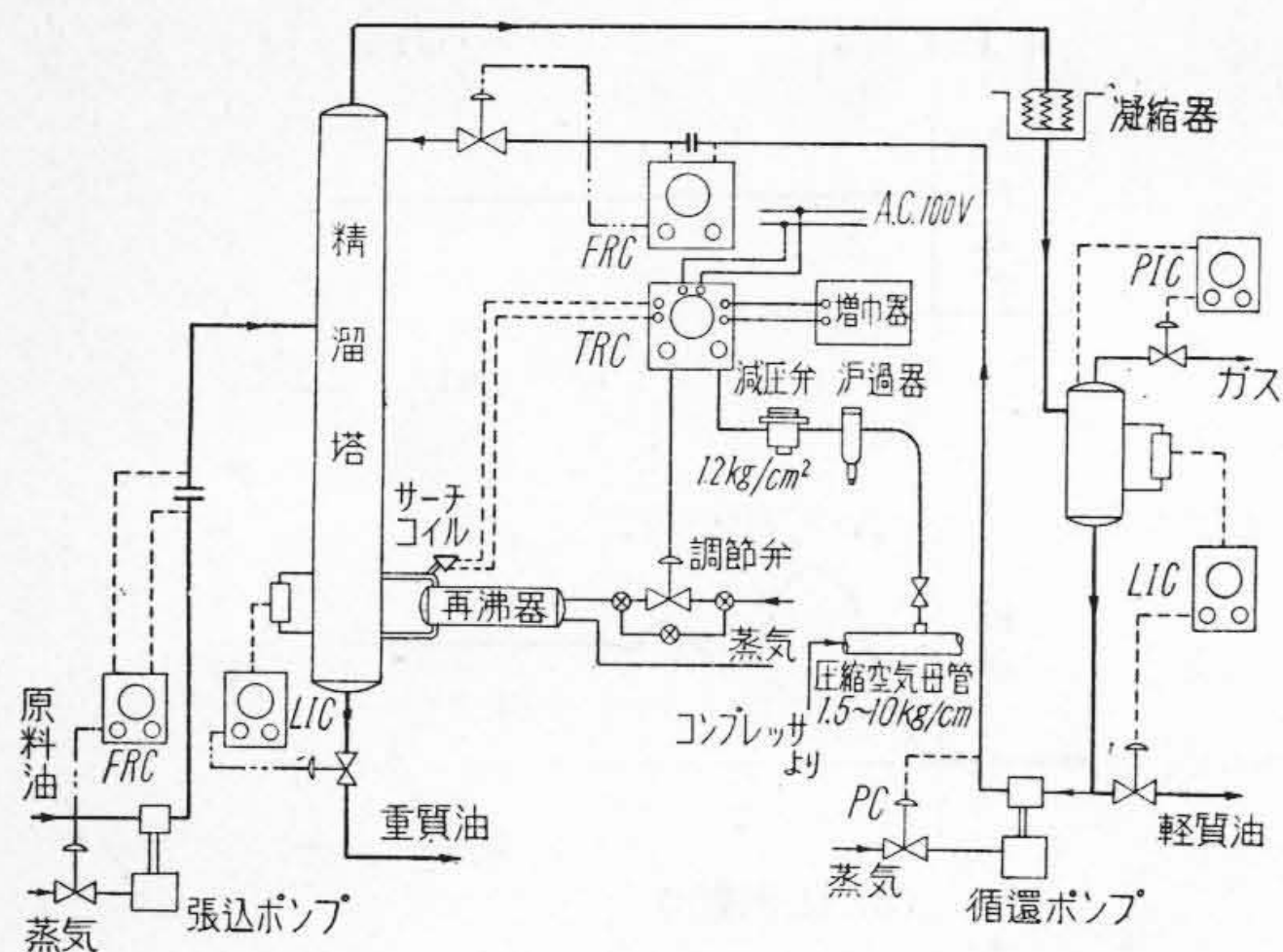


第9図 調節計による制御経過
Fig. 9. Development of Control Action

設定指標	指針と同じく 300 $^{\circ}$ 回転方式
差動機構	カムとレバーの組合せ方式
制御方式	レート及び自動リセット付比例動作空気作動式
比例帯	2 $\sim$ 150%
リセットタイム	 0.2 $\sim$ 50 min
レートタイム	 0.1 $\sim$ 10 min
供給空気	1.5 $\sim$ 10kg/cm 2 の圧縮空気を減圧弁で 1.2 kg/cm 2 に減じて供給する

〔VI〕 適用例

第10図(次頁参照)に石油工業に於ける精溜塔の自動制御⁽⁷⁾に PVQ 型温度調節計を使用した一例を挙げる。本器はこの例の如く蒸溜装置、接触分解装置、精溜装置、整合装置、重縮合装置、分解水添装置、醗酵装置、乾燥装置など比較的低い温度を厳密に一定に保つ場合に遠方



TRC: 温度記録調節計
 FRC: 流量記録調節計
 LIC: 液面指示調節計
 PIC: 圧力指示調節計

石油工業における精溜塔の自動制御
 (TRC 関係を除き他の部分は略示する)

第10図 温度調節計の使用例
 Fig. 10. Application Example of Temperature Controller

調節計を設置し、または中央で集中監視しながら自動調節するのに使用される。実際に自動制御を行うには第10図に示す如く本器の他に温度を検出する測温部、圧縮空気の供給源としてコンプレッサ、濾過器、減圧弁など及び直接蒸気冷却水などを調節する調節弁が必要となる。

PVQ 型電子管式空気動作温度記録調節計はその検出測定回路を取り換えることによつて、上記抵抗温度計以

外高温度、流量、液面などの調節計として使用することができる。また電子管式自動平衡機構単独で指示、または記録用工業計器として使用され、強力なトルクを利用して各種の発振器、変換器に用いられるなどその応用分野は極めて広い。

〔VII〕 結 言

以上電子管式自動平衡方式の温度検出計を用いた空気作動式自動リセット、レート動作付比例位置動作調節計——日立 PVQ 型電子管式空気作動温度記録調節計——の各部の構造、性能につき、主体を電子管式自動平衡機構に置いて概説したが、これら一連の電子管応用工業計器は工場の計測管理、自動運転ということが漸次徹底しつつある今日、化学、鉄鋼工業は勿論のこと食品、製紙、金属冶金など各方面に利用されて、その進歩発展に必ず貢献するものと確信する。

参 考 文 献

- (1) 内藤、宮本、堤、寺尾：電気応用計測
- (2) 高橋安人編：コントロールエンジニア 第1集、第2集
- (3) 計測懇談会：計測 第2巻 第3号 (昭-27) など
- (4) 藤木久男：科学測器 第2巻 第5号 (昭-17)
- (5) R.J.W. Koopman: Trans of A.I.E.E. Vol. 68 (1949)
- (6) 寺尾満：第二回計測講演会予稿 (昭-27)
- (7) 田村誠一：日立評論 第26巻 第2号 (昭-18)

