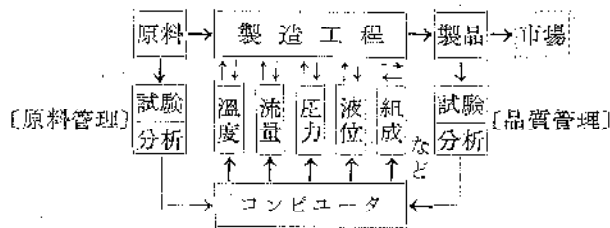


生産と技術

工業用トランスデューサの進歩は、より広い範囲の工業電の検出を可能にし、電子管自動平衡計と各種の理化学機械（質量分析計、分光計、ポーラログラフなど）の組合わせは、従来多くの時間を必要とした分析操作などを著るしく単純化した。一方、大規模電子計算器の目覚ましい進歩によつて培かれた各種の技術（ここでもエレクトロニクス技術が主役となる）は、そのまま工業用コンピュータという特定目的の計算器にも応用されようとして居り、最近小型計算器の試作が各方面で進められつゝある。第7図はプロセスのコンピュータコントロールを示すものであつて、工程管理に必要な各種の「判断！は

経 営〔事務の機械化〕



第7図 コンピュータプロセスコントロール

すべてコンピュータに委ねられる。この場合コンピュータとしては、デジタル型のもが使われるであろうから、コンピュータに供給する各種の情報（アナログ量）を前項で述べたようにして量子化しなければならない。

またコンピュータの出力信号（判断した結果）でプロセスの調節部を操作するためにデジタル-アナログ変換が必要となり、この変換器については将来の研究にまつ所が多い。

6. むすび

ここでは、近代的な工業計測がエレクトロニクスそのものであることを述べ、二三の実例をあげると共にその進展が将来の産業の形態を改革するであろうことを述べた。

エレクトロニクスの進歩によつて生産工場のオートメーションが進展するにつれて、企業はますます巨大し、マネージメントの能力が問題となるだろう。

しかもこのマネージメントも又、情報処理の技術に他ならない。従つて、情報機器（特に工業計測）の進歩によつて推進されつつある第二の産業革命は、ただ工場の形態を改めるだけでなく、当然マネージメントの改革にまで波及するだろう。すでにその具体的あらわれとして一部の事務の機械化が統計器や会計器その他の演算器の導入によつて着々と進められている。「タイプライターと女事務員」で始まった事務の機械化は、近い将来には「エレクトロニクスと女事務員」の姿に変わるだろうといわれている。

温度の測定に就て

島津製作所* 矢 幡 源 三

1. 緒 論

工業用或は研究室において温度を測定することは、より正確に測定せんとすればするほどむづかしい問題であるが、計器の性質、使用の条件、测温個所の構造、温度分布等が十分判明しており、此の対策を綿密に行えば、測定の問題は除去できる。

以下これらの二、三の問題について述べてみたいと思う。

2. 測定温度と熱電対の線径に就て

熱電対は、長時間の連続測定を行つていると、素線の

第 1 表

種 別	線 径 mm	常 用 限 度 °C	過熱使用限度 °C
P R	0.5	1400	1600
C A	0.65	650	850
	1.00	750	950
	1.6	850	1050
	2.3	900	1100
	3.2	1000	1200
I C	0.65	400	500
	1.00	450	500
	1.60	500	650
	2.3	550	750
	3.2	600	800
C C	0.65	200	250
	1.0	250	300
	1.6	300	350

* 京都市中京区桑原町18

表面が酸化され、また内部の金属組織が徐々に変わり、起電力の低下となる。すなわち、この度合は線径の細いほど、また温度が高いほど大きい。この熱起電力低下は使用条件等により定量的な値は出ておらないが次の様な方式に従えば殆んど正確な測定ができる。

表1においての常用限度および過熱使用限度は判然とした限界があるわけではないが、次の表2に示す時間、空気中で連続使用しても熱起電力が同表に示す値以上変化しない程度の温度をいう。

第 2 表

種 別	常用限度 使用時間 hr	過熱使用限度での使用 時間 hr	熱起電力の 変化 %
P R	75	5	± 0.5
C A	1000	25	± 0.75
I C	1000	25	〃
C C	1000	25	〃

第 3 表

文字記号	種 別	+	-
P R	白金ロジウム —白金熱電対	白金ロジウム Pt 87 Rh 13	白金 Pt
C A	クロメル—ア ルメル熱電対	クロメル Ni 90 Cr 10	アルメル Ni 94 Si 1 Al 3 Mn 2
I C	鉄—コンスタ ンタン熱電対	鉄 Fe	コンスタンタン Cu 55 Ni 45
C C	銅—コンスタ ンタン熱電対	銅 Cu	コンスタンタン Cu 55 Ni 45

第 4 表

種 別	許 容 差	
P R	測定温度	熱電対の階級
		0.5級 1.0級
	0°C以上 600°C未満	± 3°C
C A 並 I C	測定温度	熱電対の階級
		0.75級 1.5級
0°C以上 400°C未満	± 3°C	± 6°C
C C	測定温度	熱電対の階級
		0.75級 1.5級
	400°C以上 常用限度以下	測定温度の ± 0.75%
C C	測定温度	熱電対の階級
		0.75級 1.5級
0°C以上 300°C以下	± 2.3°C	± 4.5°C

以上のように、熱電対は長時間使用すると、熱起電力の変化を起すので、特に正確に温度を測定せんとするような場合は、熱起電力の検定が必要である。

これは比較炉を使用する方法と、定点試験方法とがあり、なお、熱電対の種別、極性、成分ならびに階級を表3および表4にかかげる。

3. 検出端の時間の遅れと挿入誤差

熱電対測温抵抗体等の検出部を測定せんとする物体に挿入しても、計器の指示はある時間を経過しないと被測湿物体の温度を示さない。これを指示時間の遅れ (time lag) といい、この値の小さいものほど応答度が早いと称する。

速かにかつ正確な測温は応答度の早い検出端を必要とし、特に自動調節に使用する場合、被測湿物体がたえず変化する場合においてはなおさら必要である。

検出端の温度と時間の関係は、測温感熱体 (検出端) を第1図 (b) の等価回路で置換して考えると、(1) 式の関係が得られる。

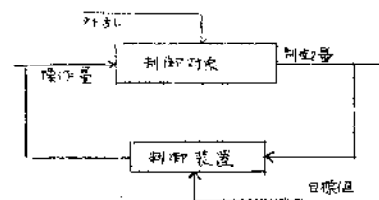
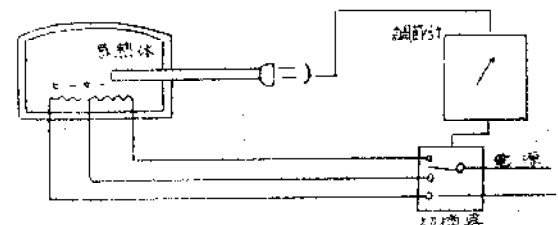
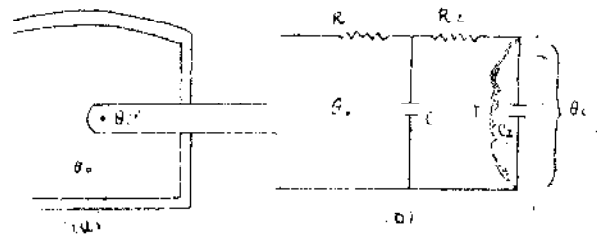
R_1, R_2 : 熱電対保護管表面の熱伝達抵抗、空隙及び絶縁導管の熱伝導抵抗

C_1, C_2 : 保護管の熱容量、熱電対及び導管の合成熱容量

と仮定する。

$$\theta_1 = -\theta_0 K_1 e^{-t/\lambda_1} + \theta_0 K_2 e^{-t/\lambda_2} + \theta_0 K_3 \dots (1)$$

θ_1 : 指示温度



第 1. 2. 3. 図

t: 時間

λ_1, λ_2 : 時定数

θ_0 : 被测温物体の温度

K_1, K_2, K_3 : 测温感熱体 (検出端) の構造、挿入長さ
保護管への熱伝達係数による常数

応答に関しては色々な場合があるが、自動調節の場合には特に注意を払わねばならぬので、制御量に変化した場合の二つの簡単な例について説明する。

第2図の温度制御で炉の中に単容量系の感熱部を挿入したとする。

R: 熱伝達及び熱伝導を代表する抵抗

C: 熱容量

μ : 测温すべき真の温度

θ : 感熱体の温度

とすれば

$$(1 + RCp)\theta - \mu \dots\dots\dots (2)$$

ここで $\frac{d}{dt} = p$ $RC = \tau$ とおけば

$$(1 + \tau p)\theta - \mu \dots\dots\dots (3)$$

$\mu = f(t)$ $t = 0$ のときに $\theta = \theta_0, \mu = \mu_0$ とすれば

$$\theta - \mu = (\theta_0 - \mu_0)e^{-\frac{1}{\tau}t}$$

$$-e^{-\frac{1}{\tau}t} \int \frac{d\mu}{dt} e^{\frac{1}{\tau}t} dt \dots\dots\dots (4)$$

若し $\mu = \mu_0 + Kt$ の如く制御量が直線的に変化すれば

$$\theta = e^{-\frac{1}{\tau}t} \left\{ \int \left(\frac{\mu_0 + Kt}{\tau} \right) e^{\frac{1}{\tau}t} dt + C \right\}$$

$$\theta - \mu = -Kt + (\theta_0 - \mu_0 + K\tau)e^{-\frac{1}{\tau}t} \dots\dots\dots \text{長}(5)$$

(5) 式において、第2項は時間の経過と共に消滅するので

$$\theta - \mu = -K\tau \dots\dots\dots (6)$$

即ち温度が直線状に変化するときの動誤差は $K\tau$ だけ真温度より低く現われる。この動誤差は制御数に変化している限り必ず起る。

又 $\mu = \mu_0 A \sin \omega t$ の周期をもつて制御量に変化するとき、

$$\theta = e^{-\frac{1}{\tau}t} \left\{ \int \frac{\mu_0 + A \sin \omega t}{\tau} e^{\frac{1}{\tau}t} dt + C \right\}$$

$$= \mu_0 + \frac{A}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \sin(\omega t - \phi) + C e^{-\frac{1}{\tau}t}$$

$\mu = f(t)$ $t = 0$ のときに $\theta = \theta_0, \mu = \mu_0$ とすれば

$$\theta = \mu_0 + \frac{A}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \sin(\omega t - \phi)$$

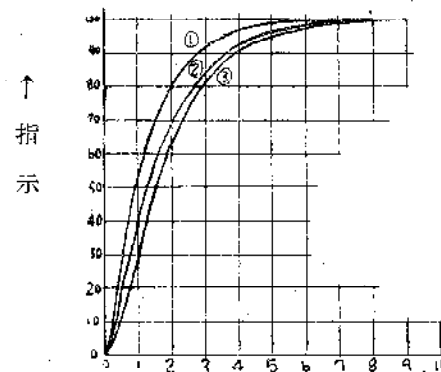
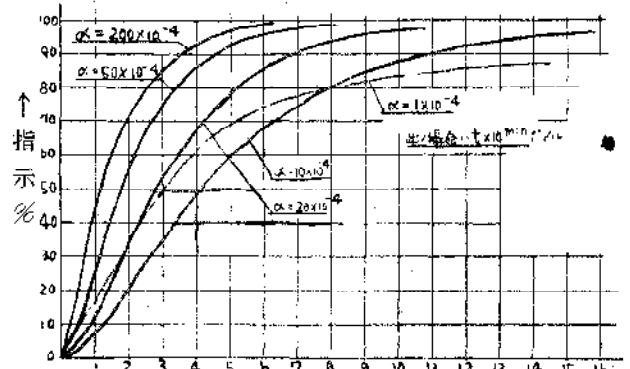
$$+ (\theta_0 - \mu_0 + \frac{A}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \sin \phi) e^{-\frac{1}{\tau}t} \dots\dots\dots (7)$$

第3項は時間の経過とともに消滅するので、この場合の感熱体の温度は振幅が $1/\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}$ に減少し、 ϕ の

位相差をもつ Cycling となる。

検出部を被测温物に挿入するときは、挿入長さが短かいと、検出部は外部の温度の影響を受けて高温測定の場合は真温度より低く、また室温より低温測定の場合は高く指示する。この誤差は挿入長さが短かいほど大きくなる。

これは、保護管を通つて熱流、流出流入するからである。即ち、このときは第1図(b)の等価回路において高



α の変化による熱電対の指示時間

t → 時間 (min)

1: 500mm

d: 16φ

NC鋼管

Couple C.A2. 3φ

挿入長 500mm

α : cal/cm²sec°C

第4図

→ 時間分

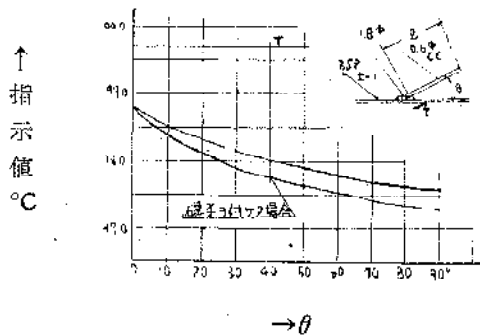
1. 13φ 18-8Nicy 500mm 耐振ヒレツキ
2. 13φ 18-8Nicy 500mm 一般型
3. 13φ 18-8Nicy 500mm

試験ノ挿入長 250cm

100°C 沸騰水中 $\alpha = 200 \text{ Kcal/m}^2 \text{H}^\circ \text{C}$

	No. 1	No. 2	No. 3
100%	6'00"	7'30"	8'30"
98%	4'15"	5'40"	6'25"
95%	3'25"	4'35"	5'00"

第5図 测温抵抗体の時間の遅れ



右上図は熱電対による表面温度測定の場合熱電対位置による誤差 $\theta=0$ の場合80mm

第 6 図

温測定の場合 C_2 の両端を抵抗 γ で分路して考えると定常状態 R_1, R_2 及び γ で定まる熱流が存在することになるので、 R_1 及び R_2 による温度降下だけ温度を低く指示することになる。

今、保護管の外径16φ、内径12φ、18-8NiCr. CA2.3φの熱電対h(1)式を用い、 $l=5\sim 50\text{cm}=1\times 10^{-4}\text{cal/cm}^2\text{sec}^\circ\text{C}$ (3.6kcal/m²h^{°C}) $\sim 200\times 10^{-4}\text{cal/cm}^2\text{sec}^\circ\text{C}$ (720kcal/m²h^{°C}) と変えて計算すると、第4図のような静特性となる。

第5図は测温抵抗体に関するデータである。

以上のように、検出部は十分深く挿入すること。すなわち熱電対でも测温抵抗でも、保護管の外径の15倍以上挿入されれば正確な測定ができ、かつ応答度もその測定条件では最も早い。

4. 熱電対による表面温度の測定

熱電対で測定する場合は、測定面と素線はできるだけ接触するようにして測定することがよい。このことにより、素線の温度傾斜は少なくなつて測定値は表面温度に近づく。第6図は測定面と素線の角度による測定値の關係値を示す。

第7図は弓形温度計の測定実験例である。

a図の方は弓の弦がCA熱電対であり、b図の方は弓の弦がNipでCA熱電対が中央に蟻付けしてある。

第7図aの場合について考えてみると、100°Cにおいて(室温27°C)約1°Cの誤差があり、これを正確に測定するには補正值を加える(減ずる)必要がある。

熱電対の両側の温度を T_1, T_2 とし、熱電対の両面の温

度を θ_1, θ_2 として両面の熱伝達係数を α_1, α_2 、熱電対の伝導率を K とし、厚さを S とすれば、

$$\text{熱貫流抵抗 } R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{S}{k} \dots\dots(8)$$

$$\text{板を流れる熱量 } Q = k(T_1 - T_2) \dots\dots(9)$$

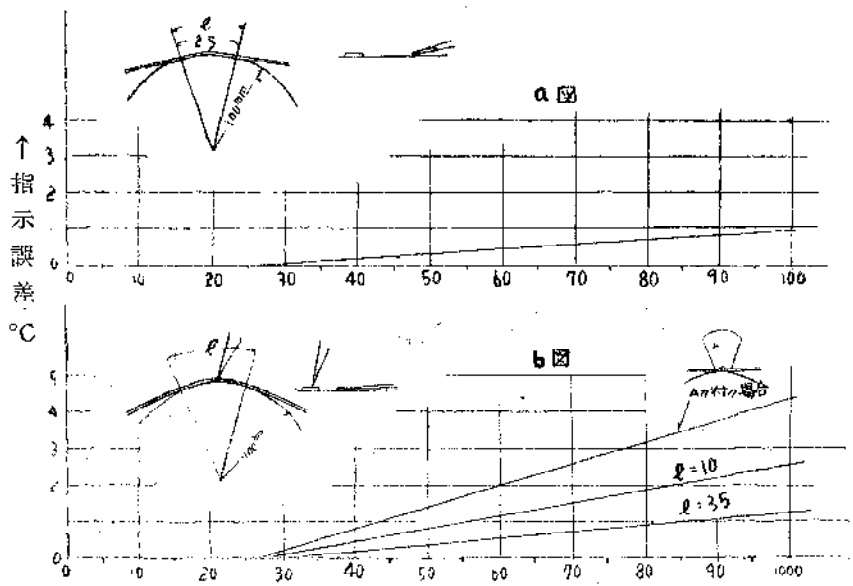
$$\text{このとき } \theta_1 = T_1 - \frac{Q}{\alpha_1} \dots\dots(10)$$

$$\theta_2 = T_2 + \frac{Q}{\alpha_2} \dots\dots(11)$$

$$\text{熱電対の温度 } \theta_0 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \dots\dots(12)$$

実験において、 $\theta_0, T_1, T_2, S, \alpha_1, \alpha_2$ を既知のものとし K を求める。(α はその材質により各々与える)

次に k を求め $(T_1 - T_2)$ に対する時の α_1 を色々と与えてこのとき $(T_1 - T_2)$ は推定しなければならない。



第7図 表面真温度 °C

5. 壁温とガス温度の異なる場合のガス温度の測定

平炉の小煙道あるいは蓄熱室のガス温度の測定において、普通の熱電対でガス温度を測定すれば熱電対は壁の輻射熱を受けて、ガス温度と壁温度との中間の値を指示する。

T_w °K 壁の温度

T_g °K ガス温度

T_{th} °K 熱電対温度

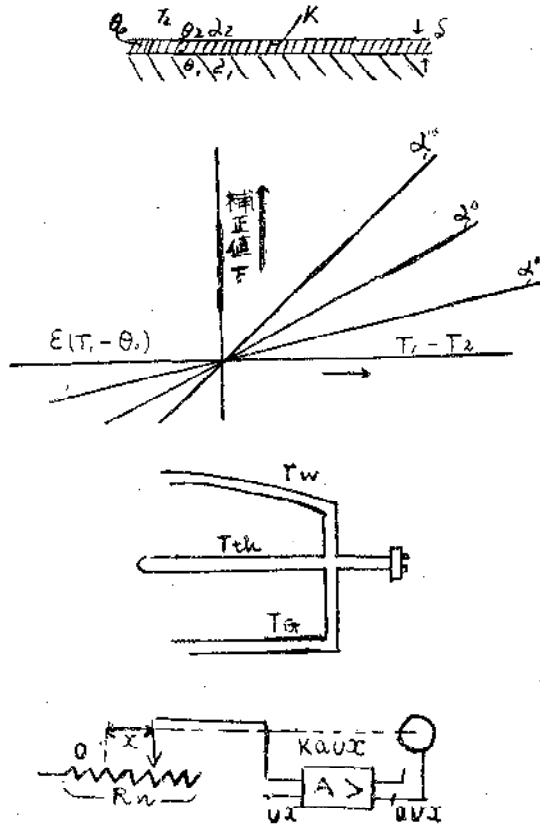
W_m/sec ガス速度 at 0°C760mmHg

dm 保護管径

C 熱電対壁間の輻射係数

とすると、ガスから熱電対に伝えられる熱量 Q_g は

$$Q_g = \beta(T_g - T_{tr})\pi dL \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \dots\dots(13)$$



第 8. 9. 10. 12 図

β : ガスと保護管の間の熱伝達係数

L : 熱電対長さ (炉内)

β の値はガス体の種類、ガス流と熱電対との位置の関係で異なる。

ガス流と熱電対が直角の場合

$$\beta = \beta_2 = \frac{4\omega^{0.7}}{d^{0.3}} \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \dots\dots(14)$$

ガス流と熱電対が平行の場合

$$\beta = \beta_2 = 11.1\omega^{0.7} \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \dots\dots(15)$$

空気と熱電対が平行の場合

$$\beta = \beta_2 = 8.9\omega^{0.9} \text{ Kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \dots\dots(16)$$

熱電対から壁へ輻射により移動する熱量 Q_w は

$$Q_w = C \left[\left(\frac{T_{th}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] \pi d L \text{ Kcal/hr} \dots\dots(17)$$

$Q_G = Q_w$ にあつて

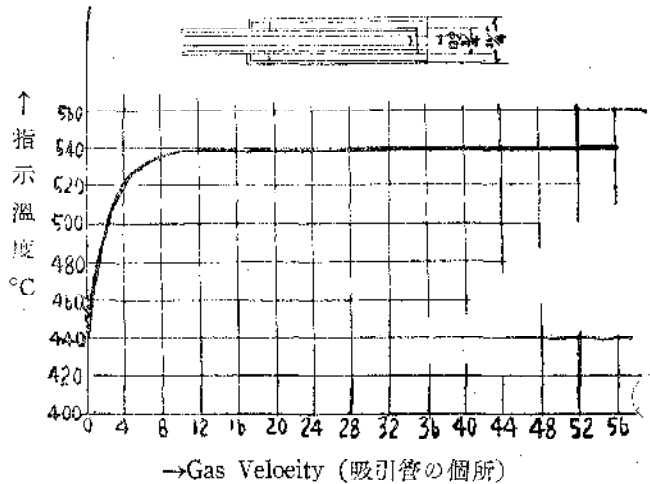
$$T_G - T_{th} = \frac{C \left[\left(\frac{T_{th}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right]}{\beta} \dots\dots(18)$$

(14) 式において、 $T_G - T_{th}$ を最小ならしめるためにはガスの流れを大きくして β を大きくするか、熱電対に輻射壁を設けて T_{th} と T_w の値を近づけることがよい。

この目的のために、吸引温度計 (高速度熱電対) がある。圧縮空気をノズクより吹出させ、このノズク

よりガスを吸引する。即ちガス速度を 200m/sec 以上にし、熱電対は二重シールド管により T_{th} と T_w とを近づけて測定する方法である。ガス温度 845°C、普通熱電対で 663°C の場合、 -5°C の精度を以て測定できる。

第11図は二重管吸引温度計ガス速度と指示温度の関係である。



第11図 二重管吸引温度計によるガス速度と指示の関係

6. 電子管自動平衡型計器

電子管自動平衡型計器については近年急に発達したものであるだけによく知られているから説明を省略するがこの種の計器が従来可動線輪型計器に比して劣る点は制動の理由から指針の全日盛を移動する時間を1秒以下にすることが困難であることである。因に外国品の例を掲げると、Bristol%、3. 10秒、Brownl、4, 5, 12, 24秒 L&N. 1, 1. 2, 4秒、bhilips 1秒である。この時間は可逆電動機の特性及び増幅回路によつて支配されるので、不足制動による cycling を防ぐには色々な方法が考えられている。

制動値は次の方法によつて求むればよい。

0 = 増幅器に供給する電圧が零である場合の摺動抵抗上の点

x = 0 点からの摺動子の偏位

v_x = 増幅器に加えられる電圧

a = 増幅率

kav_x = av_x の電圧が電動機に加へられた時電動機 M の力

m = 可動部の Mass

この場合の運動式は

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kavx = 0 \dots\dots(19)$$

(19) 式を満足する (x) の値は不足制動の場合には

(20) 式の角周波数の函数として表わされる。

$$\omega = \sqrt{\frac{kav}{m}} \dots \dots \dots (20)$$

然しかやうな運動機構では電磁的にも又機械的にも可動部の運動速度に比例する制動力が働くので p を制動係数とすれば運動式は

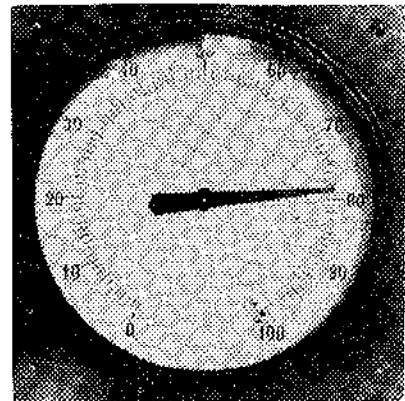
$$m \frac{d^2x}{dt^2} + p \frac{dx}{dt} + kavx = 0 \dots \dots \dots (21)$$

(21) 式で示される x の値は振幅が $e^{-p t / 2m}$ に比例する damped oscillation で表わされる。然し多くの計器では aperiodic motion でなければならぬのでそのためには p の値は臨界制動を与えるために充分な値でなければならぬ

$$p^2 = 4mkav \dots \dots \dots (22)$$

(22) の条件を機械的或いは電磁的の一方のみで解決することは極めて困難であるが、 m を小にする意味で最終 6 吋の電子管自動平衡型計器を完成したがこの指示速度は 1.0 秒である。

第13図は直流電位差計式であるが標準電池及び電位差計回路の電流規正用の平衡電動機を使用しない方式である。指示計が小型であるため増幅器及電源部は小型にし



第 13 図

て計器外部に取付けるやうにしてあるため、指示計は抵抗式又は熱電対式の何れも全く同一構造である。

電氣的に制動を与える方法として、philips の方法は tachogenerator を可逆電動機に連結して、generator の端子電圧を増幅器に加へてある随つてこの場合の運動式は

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + ka \left(vx + l \frac{dx}{dt} \right) = 0 \dots \dots \dots (23)$$

となる。philips は指示部の移動時間を 1.0 秒以下にすることも可能であるとしてある。

化 学 分 析 装 置

横河電機製作所*

片 桐 道 男
玉 手 徳 太 郎

1. 緒 言

化学工場の操業は其のプロセスの性質上、分析管理は重要な部門を占めてをり、プロセスの要所から試料を採取して分析室で分析をし操業の指針としている。従来の操業では、優秀な分析機器もなかつたし、時間的にもそれ程迅速な分析を必要としなかつた。しかし最近の化学工業の著しい進歩に伴い、分析操業の近代化は急激に必要度が増大して来た。より無駄のない精度の高い操業をする為には分析機器がより精度が高く、速応性があつて人的誤差の入らないものとならなければならない。最近の合成化学の発達に更に新しい原理に基づく分析機器を必要とし、或は又従来研究所でしか必要としなかつた。分析装置が直接現場の操業計器として重要性を増して来た。我国に於ける実施例は未だ少ないが己に質量分析計

或は夫れを応用した計器⁽¹⁾が相当数現場に於て使用され実用化されている。分析の分野は広汎であり、原理を化学操作が主体であるから、之を全自動化することは容易なことではなかつたが、戦後に於けるインストルメント工学の進歩は此の様な化学部門に対しても機器化を促進する上に大いに役立つて来た。之等の進歩の過程を見ると特に電子管を応用した機器が随所に見られ、従来は通信工学でしか考えられなかつた電子管が殆ど分析機器の全分野に入りこんで来た電子管の増幅作用、発信回路インピーダンス変換は勿論のこと、リレー動作、計数回路、サーボ回路等が分析機器の電子管部の主要部分を構成している。電位測定、IP測定、電気伝導度、ガス分析カロリー分析、分光分析、或は質量分析計等全部に亘つて電子管機器が種々の形で適用され、電子管の特徴から考えて将来に於いては益々分析機器の電子管化が促進されると考えられる。己に現在迄に種々優秀な電子管化された分析装置が発表⁽²⁾⁽³⁾された。

* 東京都武蔵野市吉祥寺3000