「常陽」保守技術資料

計装系の較正における誤差の考え方

1980年10月

動力炉・核燃料開発事業団

PNC TN952 80-10
1980 年 10 月

計装系の較正における誤差の考え方

遠藤 昭,* 伊藤忠弘,* 朝倉文雄*

要 旨

保守担当者の便に供するため，プロセス計装など，安全保護系を含む，計測系の較正における誤差の考え方をまとめた。

最初に，計装系における誤差の一般論について解説したのち，これに基づいて，実際の較正作業における許容誤差の基準を導く。

＊大洗工学センタ高速実験炉部原子炉第２課

PNC TN952 80-10
Oct., 1980

A consideration on the Errors in Calibration of Process Instrumentation System

Akira Endou*, Tadahiro Ito*
and Fumio Asakura*

Abstract

The theory of errors in the calibration process of the instrumentation system is described here. Also, criteria of allowable error in the calibration of the reactor protection system are derived based on the theory for convenience of the maintenance.

* Maintenance Section, Experimental Fast Reactor Division, O-arai Engineering Center, PNC.

目　　次

I．まえがき

計装系に許容される誤差は，プラント設計と密接に関連し本来，設計余裕に基づいて算定される。この許容誤差に依存して，使用すべき計装系の精度が決定され，計器類が選定される。

計装系をプロセスに設置した後は，経年変化のチェックのために，定期的な較正検査が必要とされ，入出力特性及び警報・保護作動の動作点の確認試験が行われる。

較正検査の判定基準は，プラント設計余裕から導かれる許容誤差を満す範囲で，最適に設定すべきであるが，これを検討するにあたっては，計測系の誤差に関する基礎的な知識が必要となる。

較正のために使用する計測器に誤差がなく，計装系の許容誤差がプラントの設計余裕に基づいて正しく算定されている場合には，話は比較的簡単であるが，現実には，較正用計器は小さいながらも誤差をもつし，設計余裕に基づく許容誤差があいまいな場合もあり得る。

以下本稿では，計装系の誤差に関する基礎的事項を解説したのち，上述の事情を勘案して，較正検査において補正の要否を判断するための考え方を整理する。

II．計測誤差の一般論

1. 計測誤差

測定とは，ある物理量に数値を割り当てることであり，一般には，ある量が単位量の何倍であるかを求めることである。測定の結果得られる測定値はできるだけ正確に求めたいのであるが，誤差を伴う。したがって測定値は近似的な値である。測定値から真値を引いた値を誤差という。

測定は，測定される事象に適した計測器を用いて，ある環境条件のもとで測定者によって行われ，それぞれが誤差を発生する原因をもっている。すなわち，誤差は，測定事象，計測器，環境条件，測定者に原因するものが組合わされて複雑な様子を示す。誤差は，まちがい，系統誤差，偶然誤差に大別することができる。

(1) まちがい

まちがいは測定値を誤って読んだり，読みは正しくても記録する際に誤って記帳することなどである。まちがいのうち，測定者個人のくせによる誤差を個人誤差という。これは，例えば測定者が目分量で目盛を読むとき，いつも0.8を0.9と読んでしまうくせがあるなどである。最近普及したデジタル計器は，測定者によるこのような誤差を少なくするのに有効である。

(2) 系統的誤差

系統的誤差は，その原因がわかっていて補正によって測定値を正すことのできるような誤差である。たとえば電気計器の磁石の強さの経年変化，コイルや磁石の温度変化等によるゆっくりした特性変動（ドリフト），または目盛板の位置のずれなどである。これらはいずれも正しい計器を用いて補正でき，このような測定器の指示値から真値を引いた値を器差という。

(3) 偶然誤差

まちがいをなくし，系統的誤差を補正してもなおかつ測定値がばらつくのが普通である。この原因は，測定の環境，すなわち温度，気圧，振動などの微小な変化や，測定量の変換器がもつばらつき，つまり電気回路に混入する雑音やわずかな摩擦の変化など，又は測定者の気持の動揺などであって，原因と結果を一意に結びつけることが困難であるため補正することができない。このような誤差を偶然誤差という。

2. 偶然誤差の確率法則

原因と結果を一意に結びつけることが困難で補正のできない偶然誤差はどのように取り扱ったらよいであろうか。測定値がばらついた場合，何回か測定をくり返してその平均値より信頼性の高い値として，この平均値を採用したことは誰もが経験していることであろう。平均値が平均される個々の測定値より果して信頼性が高いのであろうか。これに答えるためには，確率の観点から

真の値いに近い程度を定量化して考えなければならない。

今，同一量を同一条件で何度も測定する場合を考えよう。一般的に，真の値の近くでは次のような傾向がある。

(1) 絶対値が同じである正負の誤差は，同じ回数の割合で起る。

(2) 絶対値の小さい誤差は，大きい誤差より数多く起る。

(3) 大きな誤差の起るのはまれであり，非常に大きな誤差は起こらない。z を誤差として，このような性質をもった分布関数を $y=\phi(z)$ と表わすと，この $\phi(z)$ は次のような性質を持たなくてはならない。

(1) $\phi(z)$ は偶関数である。すなわち z^2 の関数である。

(2) $\phi(z)$ が最大値をとる。

(3) $|z|$ が大きくなるにつれて，$\phi(z)$ は零に接近する。

これらの性質を満足する関数は正規分布関数であり次式の如くである。

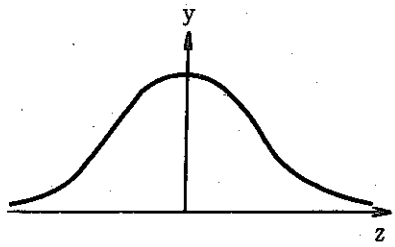

図 1

$$\phi(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\cdot e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここで σ は標準偏差

標準偏差 σ は，$\pm\sigma$ の区間に測定値の個数の 68.3%，$\pm 2\sigma$ の区間は 95.4%，$\pm 3\sigma$ の区間に 99.7% があるという意味をもつ。（図1参照）

さて，偶然誤差の分布関数が正規分布である場合には，算術平均値が最確値を表わすことを示めそう。今，真の値が a である1つの量を同一の条件で測定しその測定値が $x_1, x_2, \cdots\cdots, x_n$ であったとすると，$z=x-a$，かつ $dz=dx$，$\triangle z=\triangle x$ であるので，$x_1, x_2, \cdots\cdots, x_n$ の測定値がすべて起こる確率 P は

$$P=\phi(x_1-a)\cdot\phi(x_2-a)\cdots\cdots\cdot\phi(x_n-a)\cdot(\triangle x)^n$$

$$=\left(\frac{\triangle x}{\sqrt{2\pi}\ \sigma}\right)^n\cdot e^{-\frac{1}{2\sigma^2}\{(x_1-a)^2+(x_2-a)^2+\cdots\cdots+(x_n-a)^2\}^2} \quad \cdots\cdots(2)$$

となる。これは a の関数であって

$$(x_1-a)^2+(x^2+a)^2+\cdots\cdots+(x_n-a)^2=\text{minimum} \quad \cdots\cdots(3)$$

のとき P は最大となる。すなわち，同一の量を同一の条件で測定した一連の測定値から求まる最確値は，残差の2乗の和を最小にするような値である（最小2乗法）。算術平均値が最確値を表わすことは(3)式を微分することにより示される。すなわち，(3)式の微分は

$$(x_1-a)+(x_2-a)+\cdots\cdots+(x_n-a)=0 \quad \cdots\cdots(4)$$

よって，

$$a=\frac{x_1+x_2+\cdots\cdots+x_n}{n} \quad \cdots\cdots(5)$$

となる。

3. 計測系の精度

測定又は測定器の精度の良さは，誤差の大きさによって定まり，たとえば最大の誤差が最大目盛の何%になるかで表示される。まず最初に，測定量を変位に変えるまでの変換器の誤差はないものとして，測定値を読みとる際の読みとり精度について考えよう。今，図2の指針の位置と目盛線を比較し，指針が0と1の間にあれば0，1と2の間なら1，同様に9と10の間なら9と読むものとすると，この測定の最大誤差は目幅に等しく精度は－10%になる。又目盛線の中間を目測して指針にもっと近い目盛線を読むことにすれば精度は±5%になる。この計器の読み取り精度をもっとよくするには，さしあたり目盛線を増して目幅を小さくすればよい。一方，目盛板の長さは有限であるから目盛線の数にも限度がある。人間工学的な研究によれば，目盛を1mmにしてさらにその $^{1}/_{10}$ の目測に誤差がないとすれば，この指示計は指針の位置に1000の数値を割り当てることになり精度は0.1%となる。通常，目測には熟練者でも $^{3}/_{100}$ mm程度誤差があるから，精度0.1%は理想的な場合で，この計器の限界精度になる。もし，これより精度を良くしようとするならば，目盛板をもっと大きくして目盛の長さを長くすればよい。

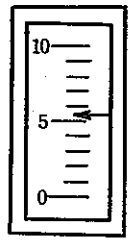

図 2

ここまでの議論では，指針の読み取り精度だけを問題にしたが，現実には，前述したような変換器がもつ不規則雑音による指針のばらつきがある。一般に，このばらつきを含めて測定の精密さが表わされ，ばらつきによる偶然誤差が正規分布をするときには，その標準偏差σを精密度といい，これを測定の精度とする。次に，ばらつきによる偶然誤差が存在する場合に，目幅をどのように選べばよいであろうか。指針のばらつきよりも十分に大きい目幅にして測定を繰り返すと；読みのばらつきよりは小さいけれども，読みの誤差は大きく測定の精度は悪くなる。一方，目幅を指針のばらつきよりも小さくすると，測定のたびごとに読みがばらつくけれども，その誤差は小さくなって精度はよくなる。しかしながら，情報論的に考えると目幅を小さくすれば，得られる情報量は増すけれども，それにもσによって定まる限度があり，目幅を$\sigma/2$まで小さくすると極限情報量の99%が得られるから，これ以上目幅をこまかくすることはほとんど意味がない。また，指針にばらつきのある場合，測定をくり返すことによって情報量が増すことも知られており，これは測定をくり返すとその回数の平方根に比例して測定の精度がよくなることに対応している。

精度には又，系統的誤差によるかたよりを正確度としてこれに含めて考えることがある。すなわち，系統的誤差は補正すべきものであるが，それを知らないで使用した場合には，測定値の平均値をとってもこれは真の値からかたよりをもつ。このかたよりの小さい程度を正確度といい，

正確度はかたよりの値で表わす。

最後に精度，精密度，正確度についてまとめておく。偶然誤差が図3に示すような正規分布に従うとすれば，精密度はばらつきの程度を示している標準偏差σで表わされる。σを最大目盛に対する%値で表わす場合もある。図3の(a)，(b)，(c)，(d)を比較すると，(a)と(c)，および(b)と(d)はばらつき，つまり精密度が同程度で，(a)，(c)の方が(b)，(d)に比較して精密度のよいことがわかる。次に正確度に関しては，(a)と(b)，および(c)と(d)の平均値の真値からのかたよりすなわち正確度は同程度であり，(a)と(b)の場合はかたよりが零であるので，正確度が最良である。精度というときには，精密度と正確度を含めたもの，あるいはそのいずれかをさす。

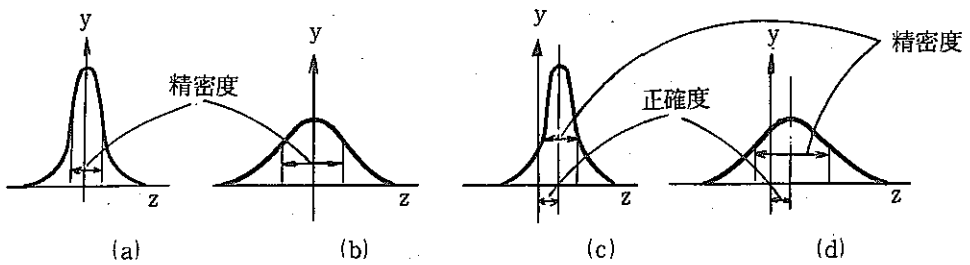

図 3

4. 誤差の伝播

ここでは，プロセス計装系の較正精度の評価にも密接に関連する計装系の総合誤差について考えよう。すなわち，各種計器および演算器を組合わせて使用する場合，計器の組合せ方，使用する演算方式，入力レベルなどが総合誤差に及ぼす影響について検討する。

システムf にある入力 x_1，x_2，……，x_n が入力され，出力 y は次式のように記述できるとしよう。

$$y = f(x_1, x_2, \cdots\cdots, x_n) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

この場合，y の最確値は x_i の最確値から上式により算出されるが，各 x_i の測定に δx_i なる誤差があるとき y に波及する誤差 δy を考えると，

$$\delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1}\partial x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_1}\partial x_2 + \cdots\cdots + \frac{\partial f}{\partial x_n}\cdot\delta x_n \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

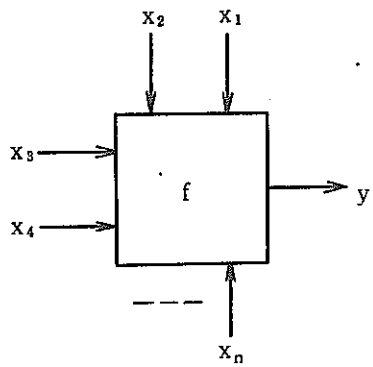

図 4

故に

$$(\delta y)^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2\cdot(\delta x_1)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2\cdot(\delta x_2)^2 + \cdots\cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2\cdot(\delta x_n)^2$$

$$+ 2\cdot\frac{\partial f}{\partial x_1}\cdot\frac{\partial f}{\partial x^2}\cdot\delta x_1\cdot\delta x_2 + \cdot\cdot\cdot\cdot \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

となる。ここで，各x_iについて十分多数回の測定を行ったとして，それらの誤差に対する前式を辺々加え合わせれば

$$\sum_k^N(\delta y)^2=\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2\cdot\sum_k^N(\delta x_{1k})^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x^2}\right)^2\cdot\sum_k^N(\delta x_{2k})^2+\cdots\cdots+\left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2\cdot\sum_k^N(\delta x_{nk})^2$$

$$+2\cdot\frac{\partial f}{\partial x_1}\cdot\frac{\partial f}{\partial x_2}\cdot\sum_k^N(\delta x_{1k}\cdot\delta x_{2k})+\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdots\cdots(9)$$

もし，δx_i，δx_jがそれぞれ正規分布に従う確率で生起するならば，各々が正値，負値をとる確率は等しいから$\delta x_{ik}\cdot\delta x_{jk}$も正値負値をとる確率は等しく従って，$\sum_k^N(\delta x_{ik}\cdot\delta x_{jk})\to 0$が期待される。これに対して，$\sum_k^N(\delta_{jk})^2$はNが増すとともに増大することが期待されるので，相乗項は省略してよく(9)式は次式の如くなる。

$$\sum_k(\delta y)^2=\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2\cdot\sum_k(\delta x_{1k})^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2\cdot\sum_k(\delta x_{2k})^2+\cdots\cdots+\left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2\cdot\sum_k(\delta x_{nk})^2$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(10)$$

従ってx_iおよびyの2乗平均誤差をσ_iおよびσ（Nが大きくなると2乗平均誤差は標準偏差の2乗に一致する。）とすれば

$$\sigma^2=\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2\cdot\sigma_1^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2\cdot\sigma_2^2+\cdots\cdots+\left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2\cdot\sigma_n^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11)$$

の関係が得られる。上式による各種演算要素の誤差伝播を表1に示す。大概の計測系の総合誤差はこれらの組合せにより求めることができる。

次に一つの例として，いくつかの信号変換器を直列に接続した計測系の精度について考えよう。図5に示す温度の計測系を例にとると，この信号線図は図6のようになる。この図に示すように

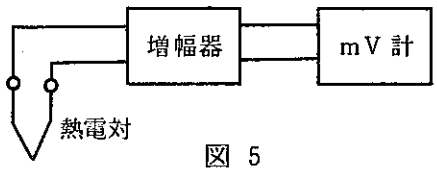

図 5

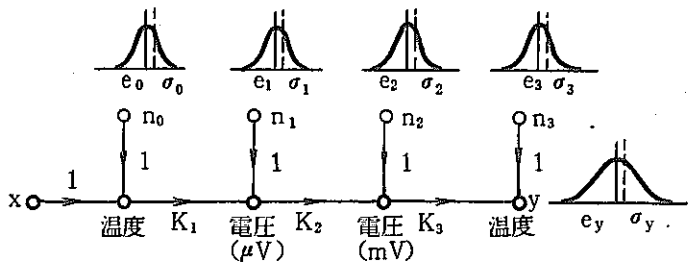

図 6

一次変換器の熱電対でピックアップされるのは測定しようとする温度x（deg）に，雑音信号としての温度n_0（deg）を加えたものである。この雑音n_0の内容は測ろうとする温度そのものの不規則なゆらぎが，定常的な測定に対して雑音信号になることもあるけれども，実際には系統的な誤差が大部分を占める。たとえば，熱電対を測定箇所につけるとそこの温度が変わる。この種の誤差はほとんどすべての測定で避けられず，極端には，動いている糸の温度を無接触で測定するために，輻射を利用しても，受光器を糸のそばに置くだけで周囲の条件が変化して糸の温度が変わると考えるべきである。つぎに熱電対のトランスミッタンスK_1の変動が測

表1　各種演算要素の誤差伝幡

項目	演算器	略図	誤差計算式
1	$B=RA$	$A\pm a \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow B\pm b$	$b=\sqrt{(Ra)^2+c^2}$
2	$C=K_1A\pm K_2B$	$A\pm a$, $B\pm b \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow C\pm c$	$c=\sqrt{(K_1a)^2+(K_2b)^2+e^2}$
3	$B=\sqrt{A}$	$A\pm a \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow B\pm b$	$b=\sqrt{(\frac{a}{2B})^2+e^2}$
4	$B=A^2$	$A\pm a \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow B\pm b$	$b=\sqrt{(2Aa)^2+e^2}$
5	$C=KAB$	$A\pm a$, $B\pm b \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow C\pm c$	$c=\sqrt{(KAb)^2+(KBa)^2+e^2}$
6	$C=\frac{KA}{B}$	$A\pm a$, $B\pm b \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow C\pm c$	$c=\sqrt{(\frac{Ka}{B})^2+(\frac{KAb}{B^2})^2+e^2}$
7	$D=\frac{KAB}{C}$	$A\pm a$, $B\pm b$, $C\pm c \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow D\pm d$	$d=\sqrt{(\frac{KBa}{C})^2+(\frac{KAb}{C})^2+(\frac{KABc}{C^2})^2+e^2}$
8	$C=K\sqrt{AB}$	$A\pm a$, $B\pm b \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow C\pm c$	$c=\sqrt{\frac{K^2Ba^2}{4A}+\frac{K^2Ab^2}{4B}+e^2}$
9	計器の直列接続	$A \rightarrow \boxed{\pm e_1} \rightarrow A\pm e_1 \rightarrow \boxed{\pm e_2} \rightarrow A\pm r$	$r=\sqrt{e_1^2+e_2^2}$
10	$C=K_1A(K_2B+K_3)$	$A\pm a$, $B\pm b \rightarrow \boxed{\pm e} \rightarrow C\pm c$	$c=\sqrt{[K_1(K_2B+K_3)a]^2+(K_1K_2Ab)^2+e^2}$

表の使用上の注意

1. ABC およびDは入力あるいは出力量で本表を使用する場合0～1.0に標準化(normalize)した無名数とする。
2. abc およびdはそれぞれABCおよびDに含まれている誤差で単位は定格値に対する%で示す。
3. e は演算器，記録計などの誤差で定格値に対する%で示す。
4. K, K_1, K_2, K_3 およびRは定数である。

定の誤差になるが，これは材質の経年変化による起電力の変化のようにゆっくりしたものと，熱電対線の中の温度分布が不均一なために起こる雑音電圧のように，やや不規則なゆらぎが伴うけれども，大部分はかたより誤差の原因になるものであり，これらは等価的に熱電対の出力信号（μV）に加わる雑音 n_1（μV）として処理できる。熱電対に加わる雑音信号 n_1 のなかで通常もっとも大きいのは電磁的な誘導雑音で，フィルタ　でその大部分を除去したとしてもこれがこの計測系の精度の限界になることが多い。一次変換器の信号を増幅する二次変換器のトランスミッタンスの変動は，増幅器を負帰還構成することにより大きく押えられるが，その残りは増幅器の出力信号（mV）に加わる雑音信号 n_2（mV）となる。又，商用電源に接続して使用する増幅器には静電誘導による雑音電圧が入りやすい。最後に，この出力電圧をmV計で測定することになるが，それが温度（deg）で目盛してあれば，mV計の誤差は温度（deg）の読み取りに対する雑音信号 n_3（deg）である。

今，図6の信号線図によってこの計測系の出力信号 y を求めると

$$y = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 x + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 n_0 + K_2 \cdot K_3 n_1 + K_3 \cdot n_2 + n_3 \quad \cdots\cdots (12)$$

となり第2項以下で測定系の誤差が与えられる。雑音 n_0，n_1，n_2，n_3 のばらつき（正規分布を仮定）をそれぞれ標準偏差 σ_0，σ_1，σ_2，σ_3 で表わすと，この計測系の精密度 σ_y は

$$\sigma_y = \sqrt{(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \sigma_0)^2 + (K_2 \cdot K_3 \sigma_1)^2 + (K_3 \sigma_2)^2 + \sigma_3^2} \quad \cdots\cdots (13)$$

で表わされる。又，各々の誤差の最大値（最大誤差）を $\pm e_0$，$\pm e_1$，$\pm e_2$ および $\pm e_3$ とするときこの測定系の誤差の最大値 e_y は

$$|e_y| = |K_1 K_2 K_3 e_0| + |K_2 K_3 e_1| + |K_3 e_2| + |e_3| \quad \cdots\cdots (14)$$

となる。

一般に，測定系全体のトランスミッタンスは $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ は1であり，測定しようとする精度x（deg）は温度で目盛したmV計の読みy（deg）で与えられ $x = y$ になる。したがって最大誤差でいえば，系の初段に入る雑音 n_0 と最終段に入る雑音 n_3 はいずれもそのまま測温の誤差になるが，途中の雑音に対してはそれに $K_2 \cdot K_3$ 又は K_3 の係数を乗じたものが測温の誤差になる。たとえば K_1 を 40μV/deg，K_2 を 0.1mV/μV（増幅器の利得は100）とすると K_3 は 0.25deg/mVになるから，熱電対の出力電圧のところに入る誤差（mV）の $1/40$ 増幅器の出力に入る誤差（mV）の1／4が測温の誤差となって現われる。同じ単位でいえば，増幅器の入力側に入る誤差の影響は，出力側に入る誤差の100倍（増幅器の利得）も大きいから，それの防止について特に注意しなければならない。

Ⅲ．計装系の較正における誤差の基準

1. 較正に関する問題点

以下この節では，我々が日常行っている計装系の較正作業を，前述したような観点から見直して見よう。ここでいう較正とは，計装系の系統的誤差の有無を判断し，必要のある場合はこれを補正する操作と解釈できる。存在する誤差が系統的誤差だけであれば話は簡単であるが，計測器単品又は計装系に存在する誤差には偶然誤差が含まれるし，製造者で表示される公称精度も系統誤差と偶然誤差の分離がなされていないので，偶然誤差の扱いが問題となる。この問題を具体的にみるために，図7のような計装系の較正系を考えよう。この較正系の信号線図は図8の如くである。今，模擬信号発生器の誤差は零とし，模擬信号 x_0 を入力したときの出力を y_0 としよう。例えば $y_0=K_1 \cdot K_2 \cdot x_0$ であったとしても，1回だけの測定では，この計装系のV/I変換器以降の誤差が零であるとは言えない。なぜならば，ある系統的誤差が存在し，たまたまこの測定の偶然誤差がそれを相殺するような値であったのかも知れないからである。このような状態であったのかどうかは，さらに何回かの測定を実施してみれば判断できる。測定回数をさらに増加して十分多数回の測定に基づいて y_0 の分布を求めると，y_0 の最確値 y_{0m} から $y_{0m}-K_1 K_2 x_0$ として系統的誤差が求まり，偶然誤差は $\sigma_{y0}=\sqrt{(K_2\sigma_2)^2+\sigma_3^2}$ として求まる。しかしながら，実際の較正作業で統計的処理できる程測定回数を増すことは現実的でないし，相対的には小さくはあるが模擬信号発信器も又，誤差を含む。それでは，現実の較正作業においてはこの問題を如何に処理すればよいであろうか。以下，一つの考え方を示す。

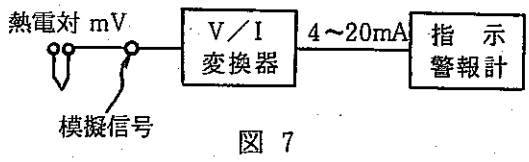

図 7

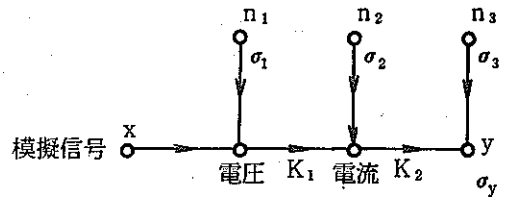

図 8

2. 計測誤差の基準

この節では，計装系の較正における許容誤差の基準，すなわち指示すべき値からどの程度のずれが生じたときに補正を実施すべきかについて考える。

較正を実施しようとする計装系を構成する各計測器の公称精度は，その内訳は製造者によって明らかにされている訳ではないが，系統誤差としての非直線性，ドリフトおよび偶然誤差に依存すると考えられる。許容誤差基準の設定の考え方は，公称精度の内訳の中でそれらのいずれの占める割合が大きいかによって異る。以下，図9に示す一般的な計装系を例にとって，個別に検討

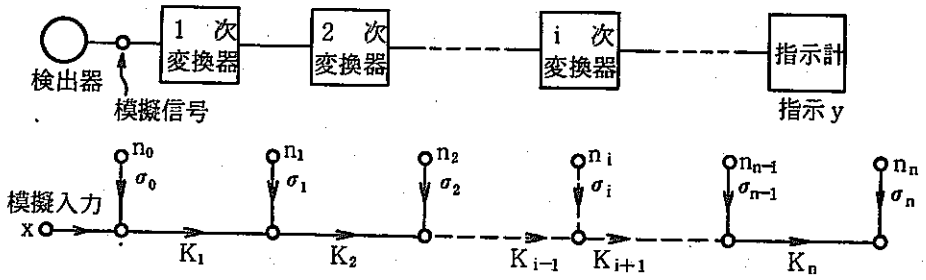

図 9

してみる。簡単のため，模擬信号発生器の誤差は無視しよう。

最初に，公称精度に占める非直線性の割合が大きい場合を考えると，測定範囲の中に最大で精度まで真値からずれる点が存在することになる。従って上図のようにn 個の計器が直列に接続された系では，ずれを生じる点が一致した場合には最大で各計器の精度を加算した分に相当する誤差を生じることになる。確率的に考えてずれる点が一致することは起りにくいとしても，許容誤差としては起こるかも知れない最大誤差の数分の一程度に考えなくてはならないであろう。

次にドリフトの割合が大きい場合も考える。誤差論でドリフトといった場合には系統的誤差に分類される経時変化を指すが，ここでは計測器の大半を占める電子式計器の比較的短時間の温度ドリフト，時間ドリフトについて考えよう。温度も時間的に変化することを考えると，ドリフトは時間的変動ということができる。時間依存性があるにせよ，ドリフトは偶然的現象であると考えられるので，偶然誤差と本質的に変わりはない。

最後に，偶然誤差が支配的な場合について考えよう。計装系を構成する各計器の偶然誤差の生起確率は正規分布に従うと仮定すると，図9の信号線図に示した記法に従うとき，出力yの標準偏差 σ_y は，次式の如く示される。

$$\sigma_y=\sqrt{(K_1\cdot K_2\cdots K_i\cdots K_n\,\sigma_0)^2+(K_2\cdots K_i\cdots K_n\,\sigma_1)^2+\cdots+(K_{i1}\cdot K_{i2}\cdots\cdots K_n\,\sigma_i)^2+\cdots\cdots+(K_n\,\sigma_{n1})^2+\sigma_n^2} \quad \cdots\cdots(15)$$

従って，高々数回の測定では，指示yにこの程度の偶然誤差が含まれるのは避けられない。入力xに対して出力y′が得られるとき，系統誤差が零であるとするとy′は$y=K_1\cdot K_2\cdots\cdots K_i\cdots K_n x$のまわりにばらつき，y′がyである確率が最も大きいが，yにある偶然誤差が加わってy′になっていることが考えられるし，ある系統誤差が存在して偶然誤差がそれを相殺してy′が得られていることも考えられる。

我々が日常扱う計装系では，大きくてもn＝4，単体計器の精度は±0.5％が一般的であるので，この場合の　について種々のケースを考えてみる。

(1) 精度がすべて系統誤差に依存する場合

この場合総合誤差は最大±2％が考えられる。この1/2を考えると±1％である。

(2) 各計器±0.5％のうち系統誤差±0.25％，偶然誤差±0.25％の場合

この場合は総合誤差は系統誤差で±１％，偶然誤差で σ_y =±0.5％ 合計して±1.5％である。系統誤差は 1/2 をとると総合誤差の合計で±１％となる。

(3) 精度がすべて偶然誤差に依存する場合

この場合は(15)式により，総合誤差±１％が得られる。

このように見てくると，いずれの場合も大差ないが，筋としては系統誤差と偶然誤差を考慮している(2)の考え方が適当であろう。

上記(2)に例示したことを一般化して整理すると，

(1) 最初に，計器精度に占める系統誤差（非直線性）と偶然誤差の割合がわからないと議論が進まないので，以下では，これを 50％と 50％に按分する。

(2) 系統誤差が，計器の非直線性に依存するとすれば，これを完全に補正するには，多大の労力を有すること及び，計器を縦続接続した場合に，系統誤差が最大をとる点が一致することは確率的に起こりにくいことを考慮して，系統誤差はそれが計器精度に占める割合の 1/2 の値まで許容するものとする。

(3) 一方，偶然誤差の合計は，誤差の伝播則に基づいて算出でき，これに(2)の系統誤差の許容値を加えたものを，計測系として許容できる誤差とし，補正の要否の判断基準とする。

次に，較正用計器の精度の取り扱いであるが，これは被較正計測系を構成する計器単品の２５倍以上程度の精度を有するので，較正のために用いる計測器の精度は，これを無視する。

又，これまでの議論ではプラント設計余裕から導かれる計装系の許容誤差について言及していないが，これはむしろ警報及び安全保護動作の設定許容誤差に関連する議論であるので，次節以降に述べることとする。

3. 設定誤差の基準

この節では，安全保護動作および警報の設定値の誤差の基準について考えることにする。前節では，計装系を構成する計測器単体の精度が，大部分系統誤差すなわち計測器の非直線性に依存する場合，逆に偶然誤差に依存する場合，および両者に半分半分に依存する場合に分けて考えたが，設定誤差の基準を考える場合も，模擬信号を検出器の直後から入力するのがよいのか，設定器の直前から入力するのがよいのかに関連して，検出器の後段以降，設定器前段までの各計器の精度に占める各誤差の割合が問題となる。すなわち，検出器から設定器へ至る途中の計器の精度が偶然誤差に支配される場合は，設定器の直前で模擬信号を測定するやり方の方が有利である（検出器出口で模擬信号値を読みとる場合は，たとえここで正確に読みとれたとしても，数段の変換器群を通過した信号は，それらの変換器群の精度に依存した偶然誤差をもつことになる！）し，又，逆に途中の計器の精度が大部分系統誤差に依存するときは，検出器出口で模擬信号値を読みながら設定値の確認を行うのが有利である。（なぜならば，この方法によると検出器から設定器へ至る途中の計器の系統誤差を補正できるから）

計器精度に占める系統誤差や偶然誤差の割合は明らかでないが，非直線性効果としての系統誤差を含んでいることは事実であり，測定レンジの中の1点だけに注目する設定値の確認においては，この系統誤差を除去することは容易であるので模擬信号値の読みとりは原則として検出器出口で行うのがよい。

次に設定誤差の基準について考えよう。較正用計器は，その誤差が相対的に無視できる程度に小さいものを用いるとし，検出器から設定器へ至る計器の偶然誤差を，それぞれの計器精度の半分と考える。検出器から変換器1台を介して設定器というtypicalな系では，変換器と設定器の信号変換の偶然誤差は精度±0.5％の1/2の±0.25％，設定器の設定の偶然誤差は，typicalな設定精度の±0.2％の半分の±0.1％と考えると，この系の設定許容誤差は，±0.37％（$=\sqrt{2\times(0.25)^2+(0.1)^2}$）となる。

ここで導かれた±0.4％（≒±0.37）を設定許容誤差とすると，これは計装系を構成する計器の精度から導かれた基準であるため，プラント設計余裕を越える恐れがある。これを避けるためには，設定誤差のレンジが等しくなるようバイアスを付加，すなわち安全側に0.8％の誤差を許容し，危険側は現実の設定値が，設定基準値を越えないようにすればよい。

これを整理すると，以下の様になる。

(1) 設定器の設定は，一点較正となるので，非直線性に起因する系統誤差は補正できると仮定する。

(2) その上で，各計器の変換精度及び設定精度の各半分を偶然誤差とし，(15)式に基づいて誤差の合計を計算する。

(3) (2)で算出した値の絶対値を許容誤差のレンジとし，安全側に，このレンジに相当する誤差を許容し，危険側は，現実の設定値が基準値を越えないようにする。

Ⅳ．あ と が き

計装系の較正検査は，電気・計装・制御関係設備の保守作業の主要な位置を占め，プラントの安全性確保の上でも重要なものとなっている。しかしながら，このように重要な計器較正にとって基礎的である誤差の性質となると，現場の担当者に余り知られていないのが現状であろうと考える。

このような状況に鑑み，計測誤差の一般論をプロセス計装系の誤差の解析に直接役立つように整理し，ここにまとめた。併せて，プロセス計装系の較正作業にあたって，補正の要否を判断するるための基準の設定に関して，一つの考え方を示した。

本稿が，今後の実務に少しでも役立てば幸いである。

Ⅴ．参 照 文 献

1) 広川友雄：誤差論と最小自乗法，アース社，東京， 144P

2) 一瀬正巳：誤差論，培風館，東京， 131P

3) 寺尾　満：測定論，岩波書店，東京，