

はじめに

中小企業事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業事業団では、平成10年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の継承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、「平成10年度ものづくり人材支援基盤整備事業—技術・技能の客観化、マニュアル化等—工業計器の保全マニュアル」を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力の維持等が問題となってきています。

これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものでありますが、その伝承、継承には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力を頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成11年5月
中小企業事業団
情報・技術部
部長 野元 浩

まえがき

わが国の経済は長引く景気低迷、金融システムの不安、失業率の上昇など、かつてない厳しい状況が続いている。とくに、わが国の経済を支える中小企業の経営環境は国際的な競争の激化、下請分業構造の変化などで危機に面している。各方面に浸透しつつあるグローバルゼーションの中で、経済が再び活力を取り戻すには、「ものづくり」を通じて産業発展の基盤となっている中小企業の体質を強化することが重要である。

21世紀に向けて、経済構造改革に対応できる中小企業を育成するための中小企業政策も打ち出されている。通商産業省・中小企業庁が打ち出した新しい中小企業政策は、設備の近代化というハードの支援から、情報化、人材育成などのソフトな経営資源に対する支援に重点を移してきた。最近、「ものづくり」の現場は優れた技術・技能の継承、若年層の製造業離れなどの問題が深刻化してきている。こうした製造業を取り巻く危機的な状況を克服するために、「ものづくり基盤強化」のためのさまざまな施策を強化している。

具体的な内容の一つが、中小企業事業団が運営主体となっている「ものづくり人材支援基盤整備事業」である。この整備事業の一環として、「ものづくり」の現場の中核を担っている工業計器のマニュアル化を取りあげて受託事業として行った。

「ものづくり」の上で、現在最も大きなウエートを占めているのが職人の技能である。これら技能者の育成を活発強化して、高品質、高効率の「ものづくり」に対応することが要求されてきている。この時代の要求を具現化する格好で、国際技能振興財団によりマネジメントまで習得できる、高度でしかも実践的な人材を育成する“職人大学”が生まれようとしている。ここでも、計器に関するメンテナンスに相当なウエートを置くカリキュラムになる構想である。

今回取りあげた工業計器は、「ものづくり」の現場で多く使われている温度検出端、圧力（差圧）発信器、差圧流量計、面積流量計、容積流量計および調節弁である。技能内容については、いわゆる定修時の作業項目、アイソレーション、取外し、分解・点検・組立て、修理・交換、校正・調整、取付け、リストラクションを中心に、単なる手順・方法だけでなく、なぜそうしなければならないかという具体的な根拠まで記述し、若年層の研修に適した資料になっている。とくにアイソレーション、リストラクションについては、最近、現場でトラブルの多いところなので、意識して取り上げた項目であり、本マニュアルの最も大きな特徴になっている。

終りになりましたが、本マニュアル作成に多大なご指導・ご協力をいただきました通商産業省、中小企業事業団および資料の提供をいただいた関係者の方々に厚く御礼申し上げますとともに、本マニュアル作成に携わった各位に心から感謝の意を表する次第である。

平成11年2月

日本メンテナンス工業会
マニュアル作成委員会
委員長 川端 一正

日本メンテナンス工業会
「工業計器の保全マニュアル」作成委員会委員名簿

委員長	川端 一正	旭テクネイオン(株) 理事 技術管理室長
副委員長	安部 勝一	富士電エンジニア(株) 技術本部 業務部主幹技師
主査	二宮 公重	東芝電機サービス(株) 技術管理部参与
副主査	大野 謙次	富士電エンジニア(株) 技術サポートセンター 技衛管理部技師
委員	松崎 隆保	新潟工事(株)取締役 技術統括部電気計装担当部長
〃	坂井 弘	(株)日鉄エレックス 君津支店 整備部計装保全課部長代理
〃	朝山 正義	旭テクネイオン(株) ME事業本部技術室長
〃	朝井 誠	(株)三興製作所 技術本部エンジニアリング部電計課課長
〃	石田 稔	山武産業システム(株)営業本部フィールド Eng. 課長
〃	小野 勝利	エヌケイエス(株)営業企画推進室係長
事務局	石井 義孝	日本メンテナンス工業会 理事・事務局長
〃	得能 英勇	日本メンテナンス工業会 顧問
〃	安河内 修	日本メンテナンス工業会

目 次

「工業計器の保全マニュアル」

・まえがき

第1章 概 要

1.1	プロセス制御の概要	6
1.2	プロセス制御を構成する機器	9
1.3	工業計器の保全概要	42
1.4	トレーサビリティ	43

第2章 フィールド機器の保全

2.1	温度検出端	46
2.2	圧力（差圧）発信器	60
2.3	差圧流量計	71
2.4	面積流量計	82
2.5	容積流量計	90
2.6	調節弁	103

〔参考・引用文献〕

第 1 章 概 要

1.1 プロセス制御の概要

1.1.1 プロセス制御とは

読んで字のごとく、プロセス・プラントを知ってその目標(目的)に向けてコントロールすること。もう少し工業的にいいかえると、原料やエネルギーを取り込み一定の質の製品またはエネルギーを作り出す過程、すなわちプロセスに関する制御方式一般を指す。最大の関心は出来上がった製品の質である。この製品の質を維持するために温度、圧力、流量などを一定の目標値に保つことが大事である。つまり大量生産が目的であれば、外乱などの変動をある程度吸収することが制御の主要な役割である。

プロセス制御はプラント類の自動化の旗頭であった。

昔は定置制御が中心であったため、航空機や人工衛星の制御技術に遅れを取ってきた。しかしながら今、電子化という急速な技術の流れと、多串種少量生産、および省力化を要求する社会の流れの中、制御理論や制御の手法も大きく変容しつつある。

そのひとつは分散制御システムを用いたプロセス規模の制御への挑戦であり、もうひとつは省力化を目的としたエキスパート・システムの導入である。

これからも、これに至る経過をたどりながら、現在のプロセス制御の問題点や、これからの方向が示されてくるものと考えられる。

ここに制御理論のベースとなったPID制御の概要を紹介し、またそれを構成する機器、そしてこれらを維持、管理するためのメンテナンス手法を紹介する。

1.1.2 プロセス制御の例

PID制御

この制御方法は、プロセス・プラント制御理論の基礎といわれている。現在でも多種のプラント類に適用されている。

(1) Pとは比例 = Proportional 動作のこと。(比例動作という)

たとえば、フロート弁による液面制御の例を図1.1.1と1.1.2で説明する。水は制御バルブ1を通過して槽2へ流れ込んでいる。槽2からは手動バルブ3を通過して水が流れ出ている。槽2にはフロート4が浮かんでいて、フロート4と制御バルブ1は、リンク5, 6を介してつながっている。

今何らかの理由で槽の水面が上昇したとすると、それに伴ってフロート4の上昇の動きが5と6を介して1に伝わり、1が閉まって槽に流入する水の量が少なくなる。こうやって槽の水面はL1の位置(設定値という)に保たれる。すなわち制御されることになる。

この制御では、フロートの動きとバルブの動きがリンク6Aと6Bとの関連だけで比例的に定まっている。測定値(PV)とプロセスの設定値(SP)とのずれ、つまり偏差値(e)と操作量(mv)との間には、

$$m v = K_p e (t), K_p = \frac{A}{B}$$

の関係式が成り立つ。このように偏差に比例して操作量が(演算結果として)得られる制御を比例制御という

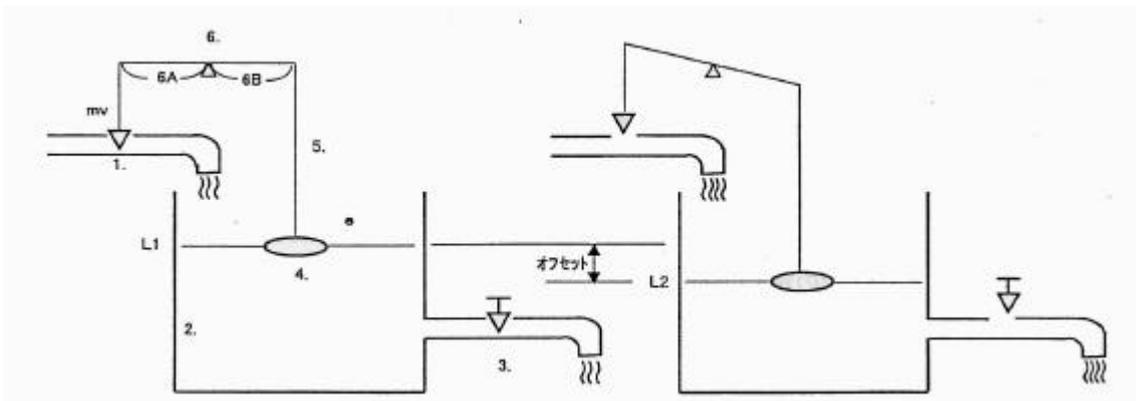


図 1.1.1 フロート弁による液面制御

図1.1.2 外乱が与えられた時の液面制御

ここで次の（積分動作）を説明する前に、図1.1.1で水面がある位置(L1)に制御されているとする。そこに誰かがやってきて、出口の手動バルブ3を少し開けてしまったとする。（これはプロセスに対しての一つの外乱である）

水槽から出ていく水の量が増加するため、当然水面（フロート4）が下がって制御バルブ1は開き、手動バルブ3から出ていく水量と同じ水量が制御バルブ1を通るようになった所で水面の下降が止まってフロートが停止する。

これが、図1.1.2の状態である。このとき水面(L2)は結果としてL1より低い位置で安定することになり、その後時間が経過しても水面がL1まで回復することはない。

これから分かることは、比例動作だけでは、プロセスに外乱が入り込んできた場合にプロセス変数を設定値に保つことができず、最終的には設定値からずれた所でプロセス変数が安定してしまうということである。

言葉を変えれば「外乱（ここでは出口流量の増加）」をちょうど打ち消すのに必要な操作量（入り口制御弁の開度の増加）を得るためには、その操作量を生み出すの見合う偏差（L1からL2迄の液面の下降）が得られる所でプロセス変数を安定させざるを得ないということである。このように比例制御だけではどうしても発生してしまう偏差（L1とL2の差）をオフセット(offset)と呼んでいる。

（2）とは積分 = Integral 動作のこと。（積分動作という）

P動作の所で述べたオフセットを解消するエースとして活躍するのが積分動作である。積分動作とは簡単にいえば、過去に発生してきた偏差の積分値 = 積算値（偏差の曲線が囲む面積）を0とするように働く動作である。少しわかりにくいので図1.1.3で説明をする。

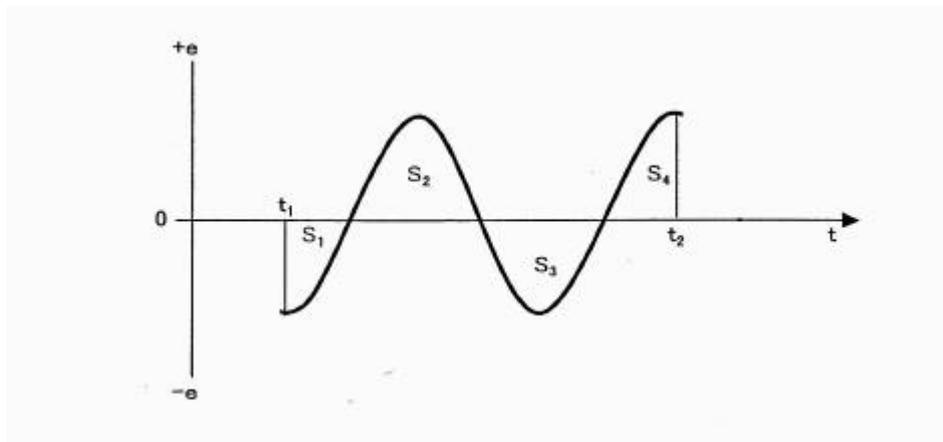


図 1.1.3 積分動作の説明

ある制御が図1.1.3の時間t1に開始され、その偏差が図のように変化したとき、t2において得られる積分動作による操作量の大きさは、

$$m v = K_I \int e(t) dt \quad (t = t_1 - t_2)$$

の式で表される。この式を図1.1.3の面積を用いて表現すれば、

$$m v = K_I (S_2 - S_1 + S_4 - S_3)$$

となる。

積分動作は偏差が存在する限りそれをなくす方向に働き続けるので、その結果最終的にはオフセットは解消されることになる。したがって比例動作に積分動作が加わること（これをP+ 動作という）で、偏差のない制御が実現する。すなわち、動作を「自分の過去の過ち（エラー）をプラス・マイナスで

チャラにするような動作」と考えてもらえればよい。

オフセットをなくすという意味で、工業的には積分動作のことをリセット (Reset) 動作と呼ぶ。

(3) Dとは微分 = Derivative 動作のこと。(微分動作という)

P動作またはP+動作でプロセス・プラントの制御のかなりのものに対応することができるが、たとえば、プラントでの加熱炉(ファーネス)のように、無駄時間があったり、制御に対し反応が遅いプロセスではP+動作だけでは良好な制御や満足な応答性が得られない場合が多くある。これは、P動作は現在の制御の様子(偏差の大きさ)に対応しているだけであり、動作は今までの(過去の)制御の様子(偏差の積算値の大きさ)に対応しているだけであるところに限界がある。そこで現時点での、未来に向けての傾向に対処するためにD動作(微分)が導入される。

微分動作による操作量の大きさは

$$m v = K_D \frac{de(t)}{dt}$$

で表され、その時点での偏差の(増加の、また減少の)時間的変化率(やさしくいえば、将来に向かって今どちらの方向にどれ位の早さで変化しつつあるのか)の大きさに比例する。この時間的変化率を図1.1.4で説明する。

時間 t_3 におけるその値は $(+A' / A)$ であり、時間 t_4 でのその値は $(-B' / B)$ である。したがって、D動作を導入すれば、今起つつある現象から将来発生するであろう偏差を(結果を待つ前に)予測してそれに対応する(それを予め打ち消すような)制御ができる。すなわち、プロセスがある方向にエラーを犯しそうになったときに、微分動作がそれを必死になって抑えにかかると思えば良い。このような微分動作をレート(Rate)動作と呼ぶ。

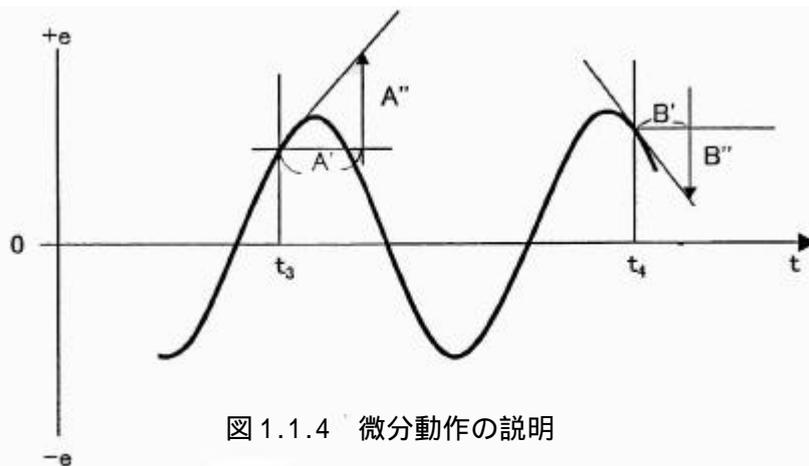


図 1.1.4 微分動作の説明

以上、P動作, 動作, D動作を説明してきた。

一般的にこの3動作を式でまとめると、P I D動作式として表すことができる。

$$m v = \frac{100}{P_B} \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T \frac{de(t)}{dt} \right)$$

この式で P_B は比例帯(%), T_i を積分時間、

T_d を微分時間と呼んでいる。比例帯が狭い程感度(よくゲインと呼ぶ)が高く、積分時間が短いほど積分の効果が大きい。積分の効果については時間の逆数(リピート/分)でその強さを表すのが一般的であり、微分の効果についてはそのまま時間の単位で表す。

ここで、実際のプラントではこのP動作, 動作, D動作を選択する訳であるが、ごく一般の圧力、流量、液面の制御にはP+動作を使えば大体はことが足りる。また、P++D動作を適用する場合は特殊なケース、普通は温度の制御に用いるに止めておけばことは済むと考える。

以上、制御の代表例を紹介した。

1.2 プロセス制御を構成する機器

制御システムを構成する機器の役割とその機能について説明する。

1.2.1 センサの定義

センサとは何か。社団法人日本電気計測器工業会規格 JEMIS 024 - 1984 によれば、

検出器：物理または化学的原理に基づき、諸量の検出を行うが、得られる出力信号に特別な加工を施しているもの。たとえば、熱電対、測温抵抗体、オリフィスなど。

変換器：諸量の検出を行い、生ずる電気信号や機械変位に加工を加え、測定に便利な出力信号として取り出せるもの。

となっているが、最近では技術の流れにより、インテリジェントセンサという検出器と変換器を合わせたものに、マイクロプロセッサの搭載により、種々の演算によって特性向上や機能向上を図ったものも出てきている。そのため、プロセス用センサの一般的な定義としては、検出器と変換器を合わせたものとする。

1.2.2 検出端

本部分は、プロセス制御の基礎といわれるセンサである。このセンサは次のような特性を持っていないとてはならない。またそれが維持されることが大切である。

安全性

安全性には2つの側面がある。ひとつはセンサ自体の破損などにより直接の事故が起こらないこと。もうひとつは検出値に関して信頼性の高い情報を提供することである。

耐久性

センサには寿命があるが、当然破れにくい、疲労（へたり、クリープ）しにくいものでなくてはならない。

耐食性、耐磨耗性

センサの材質を侵すものに、測定流体による腐食、高速流体や粉流体、高差圧流体による浸食、そして雰囲気ガスに含まれている成分、水分による腐食がある。

最近ではプラントの保守のために使われる洗浄液や、溶剤の影響も無視できない。さらに、溶接の応力が残っていたり、温度差による内部に応力が生じて、ここからひび割れ（応力腐食割れ）が生じることがある。

耐候性

プラントの大部分は屋外に設置される。当然センサも屋外となれば風、雨、塩分を含んだ大気、すなわち、大気汚染環境も考えることが必要である。

耐振性

センサの設置場所が機械的に振動する（ポンプ、コンプレッサ、配管等から）場合や、プロセス液体の持つ圧力の脈動により検出値が振動する場合がある。機械的振動の場合には防振装置を設けたり、サポートの強化や耐振形のセンサを考慮する。また、プロセス流体の振動の場合には、信号ラインに減衰装置を入れる方法や、センサ自体の応答を遅くする方法がある。

再現性、感度 精度

たとえば、温度や流量の絶対測定ができなくても、相対的に安定した測定値が得られるもの、すなわち、同じ温度や流量、圧力に対して同じ値が再現されるということが必要である。

感度、すなわちセンサのゲイン（入力に対する出力の比率）は高い方が良いが、工業用としては安全性が重要である。

動特性

工業的な測定対象は常時変動している。たとえば、位置を追従制御するサーボ機構では、センサは早く応答する必要がある。そのためには無駄時間や、時定数^{（注）}の小さいセンサが用いられる。

一方、脈動している圧力や揺動している物の表面温度を平準化して求めるときは、時定数の大きいセンサを用いる。

すなわち、制御の目的に合った動特性のセンサで、必要な速度で外乱に応答するが、不必要な外乱（ノイズ）には応答しないことが望ましい。

（注）時定数：1次容量系にあって、入力ステップ状に変化したとき、出力変化の全幅の63.2%に達するのに要する時間をいう。

(1)温度測定センサ

工業用温度計は温度範囲が - 200 から 2000 にわたり、圧力・雰囲気などの条件が多様多様なので、それに対応できる温度計が要求される。そのため、各種温度計の 特徴と誤差となりうる要因を参考例として表 1.2.7 に示す。

熱電対

2種類の金属導体の両端を電気的に接続して閉回路を作り、両端に温度差を与えると回路中に電流が流れる。この現象をゼーベック効果は（注）といい、電流を起こさせる起電力を熱起電力という。熱起電力の大きさは、導体の材質がそれぞれ均質で、組み合わせる導体の種類が同じであれば両端の温度差のみによって定まり、導体の長さや太さ、および両端以外の部分などには無関係である。したがって、一端の温度を一定温度（基準接点温度 0 ）に保てば熱起電力の値を測定することによって他端の温度を知ることができる。

（注）ゼーベック効果（熱電効果）とは

図 1.2.1 の（1）のように、aとbという違った2種類の金属でループ（回路）を作る。このループの途中に電流計を挿入して電流を測っても何ら針が振れることはない。しかし、この2種類の金属の接合点の片方だけを（2）図のように加熱すると、このループに電流が流れることがわかる。

この電流を流す力となる電圧を「熱起電力」、またそこに流れる電流を熱電流といい、この現象を「熱電効果」、または発見者の名をとって「ゼーベック効果」と呼んでいる。

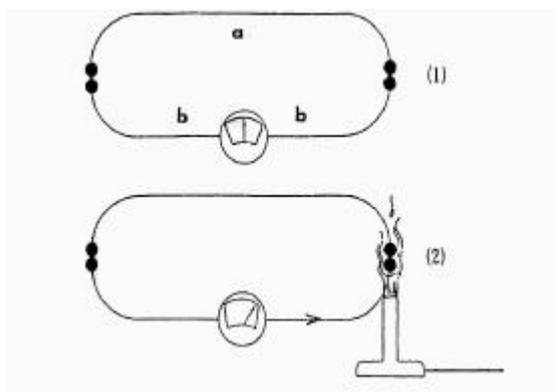


図 1.2.1 熱電効果

以上により熱電対の基本法別は次の3項目に集約することができる。

- 1) 均質回路の法則：均質の金属線で構成される回路では温度差があっても熱起電力は発生しない。
 - 2) 中間金属の法則：異種金属線で構成される回路全体の温度が等しければ熱起電力は発生しない。
 - 3) 中間温度の法則：異なる温度値 t_1 , t_2 , t_3 の3カ所があり、そこに熱電対を配置した場合、熱電対の両接点の温度値が t_1 , t_3 の熱起電力は t_1 , t_2 の熱起電力と t_2 , t_3 の熱起電力の和に等しい。
- ここに、日本工業規格（JIS）で規定している熱電対温度計の仕様を示す。

測温抵抗体

測温抵抗体とは、金属線の電気抵抗値が温度の上昇に伴って増加する（電気伝導度が減少することによって）ことを利用して温度を測るものである。この金属の電気伝導度は金属中の電導電子の動きによって決まる。

金属中に不純物があったり、結晶格子が熱振動して電子が散乱されると電導度が低くなる。温度が上がれば結晶格子の振動が活発となり、電気抵抗値が増加する。

表 1.2.1 JIS 規定の熱電対 (JIS C 1602-1981)

記号	旧記号	構成材料		階級	素線径 (mm)	常用限度 ()	加熱使用 限度 ()	特 徴
		+ 脚	- 脚					
B	-	ロジウム30%を含む 白金ロジウム合金	ロジウム6%を含む 白金ロジウム合金	0.5級	0.50	1500	1700	常温での熱電能が極めて小さい。 特性の差が大きい例もある。 他はR熱電対に同じ。
R	-	ロジウム13%を含む 白金ロジウム合金	白金	0.25級	0.50	1400	1600	安定性が良い。標準熱電対に適する。 酸化性雰囲気に適する。 水素、金属、蒸気に弱い。熱電能が小さい。わずかに履歴変化。 補導線の誤差大。
S	-	ロジウム10%を含む 白金ロジウム合金	白金		0.50	1400	1600	
K	C A	ニッケル及びクロムを 主とした合金	ニッケルを主とし た合金	0.4級	0.65	650	850	起電力の直線性が良い。酸化性 雰囲気に適する。 金属蒸気に弱い。やや履歴変化 がある。
				0.75級	1.00	750	950	
				1.5級	1.60	850	1050	
				1.5級	2.30	900	1100	
E	C R C	ニッケル及びクロムを 主とした合金	銅及びニッケルを 主とした合金	0.4級	0.65	450	500	K熱電対より安価、熱電能は大 きい。 非磁性。 やや履歴変化がある。
				0.75級	1.00	500	550	
				1.5級	1.60	550	650	
				1.5級	2.30	600	750	
J	I C	鉄	銅及びニッケルを 主とした合金	0.4級	0.65	400	500	安価、熱電能やや大きい。起電 力の直線性良。還元性雰囲気 に適す。 特性、品質のばらつき大。 さびやすい。高温で履歴変化。
				0.75級	1.00	450	550	
				1.5級	1.60	500	650	
				1.5級	2.30	550	750	
T	C C	銅	銅及びニッケルを 主とした合金	0.4級	0.32	200	250	安価、低温での特性が良い。 均質性が良い。還元性雰囲気 に適する。 熱伝導誤差が大きい。
				0.75級	0.65	200	250	
				1.5級	1.00	250	300	
				1.5級	1.60	300	350	

ただし、半導体を使った温度計（サーミスタ温度計）は、温度が上昇するとその抵抗値が減少することを利用したもので、同じ抵抗値を利用する温度計でもまったく反対である。図 1.2.2 でマイカ巻き測温抵抗体素子の例と、図 1.2.3 でシース計測温抵抗体の例を示す。

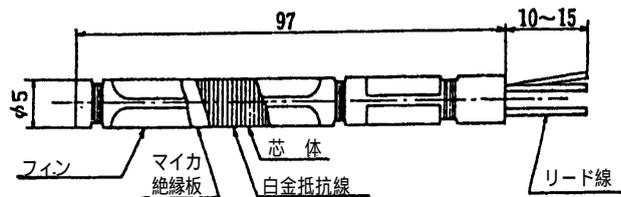


図 1.2.2 マイカ巻き測温抵抗体素子

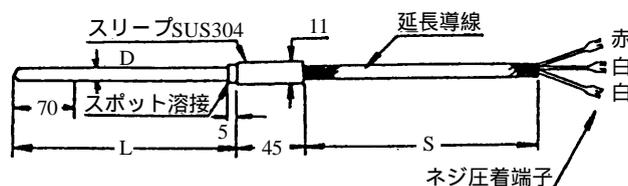
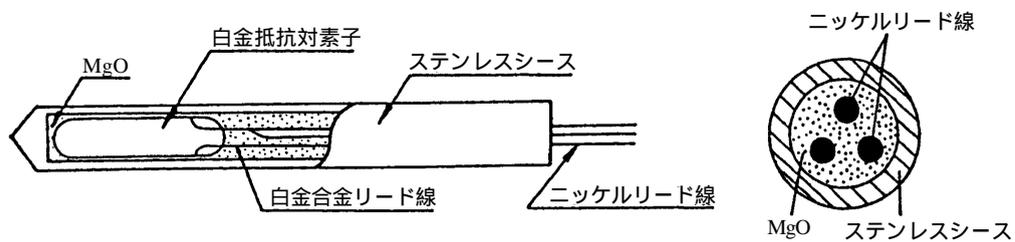


図 1.2.3 シース計測温抵抗体

そのためには次の条件を満足する必要がある。

- 1) 機械的・化学的に安定であること。
- 2) 温度係数が大きいこと。
- 3) 同種の抵抗素子の温度特性が同一かつ安定で互換性があること。
- 4) 温度抵抗曲線が連続的で使用温度範囲内で極大、極小を有しない。

以上の条件に最もよく合った材料は白金で、工業用として広く利用されている。このほかには特定の分野で使用されている材料に鋼、ニッケルがある。

なお、JISに規定されている測温抵抗体は抵抗素線に白金を用いる。白金測温抵抗体は0 における抵抗値は100 に限定している。

表 1.2.2 測温抵抗体の種類

記号	R_{100} / R_0 値	階級	規定電流	使用温度区分	導線形式
Pt ₁₀₀	1.3850	A級 B級	1 mA	L - 200 ~ 100	2線式
			2 mA	M 0 ~ 350	3線式
			5 mA *	H 0 ~ 650	4線式
(J Pt ₁₀₀)	(1.3916)	A級 B級	1 mA	L - 200 ~ 100	2線式
			2 mA	M 0 ~ 350	3線式
			5 mA *	H 0 ~ 650	4線式

- 備考
1. R_{100} は100 における抵抗値
 2. R_0 は0 における抵抗値100
 3. 括弧書きは将来廃止される。
 4. *印はA級には適用しない。
 5. シース測温抵抗体の使用温度区分Hは0 ~ 500 。
 6. 導線形式2線式は、シース測温抵抗体には適用しない。

工業用の温度計測に使用する場合は、測定対象のゴミ、振動、腐食性雰囲気、湿度等の悪影響から保護するために保護管を使用する。

なお保護管の必要性、その仕様については温度検出端の項で説明する。

バイメタル式温度計および充満式温度計

バイメタルは膨張係数の異なる2種類の金属片を接着したものである。バイメタルの一端を固定しておけば、温度変化により他端に変位が生ずるので、この変位を指示部に伝えることにより温度測定ができる。

充満式温度計は圧力式温度計ともいわれ、膨張を圧力変化に換えてブルドン管の変位を指示部に伝えるもので、液体膨張式、蒸気圧式および気体膨張式の3種類がある。

振動、衝撃には丈夫で遠隔測定もできるが、精度が0.5% ~ 1.5%なので精密測定には不向きである。

表 1.2.3 にバイメタル式温度計および充満式温度計の種類と、主な性能および特徴を示す。

注) 蒸気圧を利用したものでは、この他、水、液体酸素、液体窒素、液体ヘリウムなどの蒸気圧式温度計が使われている。

ガラス温度計

温度計としては最も歴史の古いもので、1600年後半から使用されている。取扱いが簡単で安価なため、現在でも制御、記録を必要としない温度測定では多数使用されている。

表 1.2.4 にガラス温度計の種類と主な性能および特徴を示す。

表 1.2.3 バイメタル式温度計および充満式温度計の種類、主な性能および特徴

種 類	使用温度範囲 ()	特 徴	トレーサブルな温度範囲 および精度
バイメタル式温度計	- 50 ~ + 500	簡便で堅固。簡単な温度制御や記録ができる。 遠隔指示ができない。	- 50 ~ + 500 ± 1 目量
充満式温度計	水銀充満圧力式温度計	振動、衝撃に対して堅固。遠隔指示、温度制御、記録ができる。目盛間隔が均一である。	- 50 ~ + 600 ± 1 目量
	液体充満圧力式温度計	振動、衝撃に対して堅固。遠隔指示、温度制御、記録ができる。目盛間隔が均一である。	- 50 ~ + 400 ± 1 目量
	蒸気圧式温度計	測定温度範囲が狭い。特定温度範囲のものが制作できる。 目盛間隔が不均一である。 精度は液体充満圧力式よりやや低い。	- 50 ~ + 200 ± 1 目量

表 1.2.4 ガラス温度計の種類、主な性能および特徴

種 類	使用温度範囲 ()	特 徴	トレーサブルな温度範囲 および精度
水銀封入ガラス製温度計	- 50 ~ + 650	簡易に、比較的精度よく、長期間安定した測定ができる。 標準用としても使える。 破損しやすく、振動、衝撃に弱い。	- 50 ~ + 550 ± 1 目量 精密級：0 ~ 100 ± 0.03
水銀以外の液体封入ガラス製温度計	- 200 ~ + 200	低温用。水銀封入温度計より見やすいが、精度が劣る。	- 100 ~ + 200 ± 2 目量
特殊なガラス製温度計	ベックマン温度計	0 ~ 200 の任意の温度で最大 6	20 ± 0.01
	最高最低温度計	- 30 ~ + 200	- 30 ~ ± 200 ± 1 目量
	ガラス製隔測温度計	- 100 ~ + 200	- 100 ~ + 200 ± 2 目量

[備考] ガラス温度計の形式などによる分類とその特徴

- 1) 形状 二重管：高精度が得られ、標準器として用いられる。衝撃に弱い。
棒 状：二重管より衝撃に強いが、精度がやや劣る。実用、汎用向き。
板 付：目盛が見やすい、精度は高くない。
- 2) 浸没 全浸没：精度よく測定できるが、示度が読み取り難い。
浸没線付：示度は読み取りやすいが、精度は高くない。浸没条件は測定に応じて決められる。
- 3) 目盛 目盛範囲は使用目的に応じて各種温度範囲のものが作られている。
目量（最小目盛）は、水銀封入ガラス温度計では、0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5、水銀以外の液体封入ガラス温度計では、0.5, 1, 2 のものがある。基準ガラス温度計など精密測定用には、目盛範囲に関係なく 0 の目盛線が付されたものが用いられる。

放射温度計

放射温度計は、測定対象物に接触させることなく温度測定が行えるため、移動物体や高温物体、またはセンサを接触させることにより、熱じょう乱を起こすような小熱容量物体、表面温度など測定対象の温度を変化させずに測定できる。

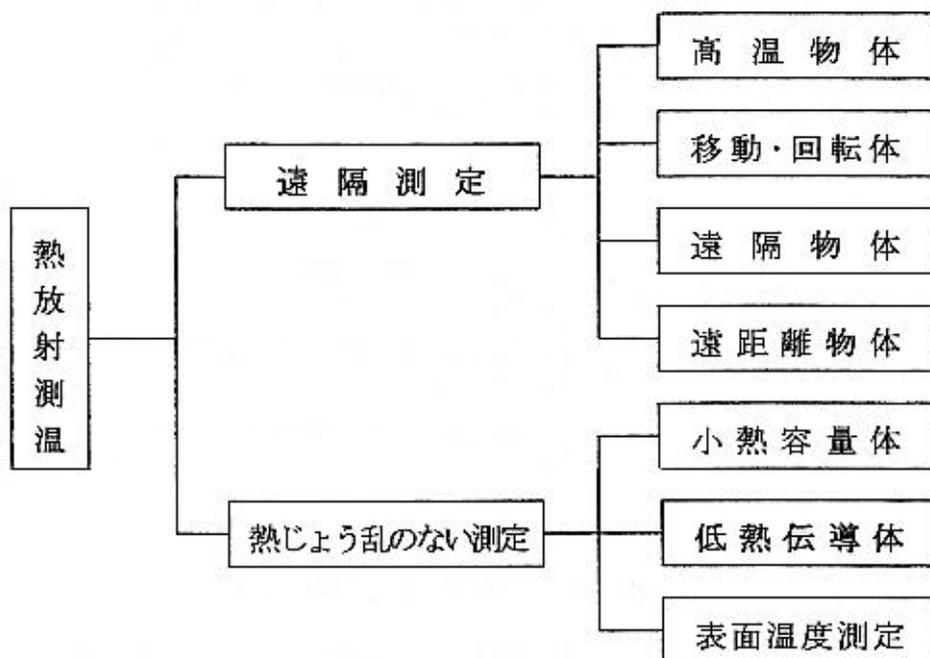


図 1.2.4 放射温度計に適する測定対象

放射温度計の分類は、測定波長帯域、結線方式、測定回路など多くの分類方式があるが、ここでは市販されている放射温度計について JIS に基づき分類し、表 1.2.5 にその種類と特徴を示す。

表 1.2.5 熱放射を利用した温度計の種類と特徴

分 類		使用温度範囲	特 徴
量子形検出器を用いた放射温度計	シリコン放射温度計	300 ~ 3500	波長帯域0.2~1.1 μm。光起電力形。応答性及び安定性良好。比較的安価。精密測定、標準用にも使われている。
	ゲルマニウム放射温度計	250 ~ 1500	波長帯域0.3~1.8 μm。光起電力形。応答性良好。比較的安価。高温特性はシリコン放射温度計の方がよい。
	P b S放射温度計	50 ~ 1200	波長帯域0.3~3.3 μm。光導電形。応答性は比較的よい。感度が周知温度に影響されやすく、経年変化もやや大きい。
	In Sb放射温度計	40 ~ 1000	波長帯域1~5.5 μm。応答性は比較的よい。素子を冷却する。
	HgCdTe放射温度計	- 20 ~ +1000	各種波長帯域のものが作られている。応答性は比較的よい。素子を冷却する必要がある。比較的満価。
熱形検出器を用いた放射温度計	サーモパイル放射温度計	200 ~ 1500	波長帯域0.5~20 μm。応答性はやや悪い。光路の水蒸気の影響がある。比較的安価。
	焦電形放射温度計	- 50 ~ +1000	波長帯域1~15 μm。光学フィルターを内蔵したものが多く。応答性は比較的よい。
	サーミスタボロメータ放射温度計	- 50 ~ +1000	波長帯域0.5~20 μm。光学フィルターを内蔵したものが多く。応答性はやや悪い。
2色放射温度計		180 ~ 3000	各種測定波長のものがある。灰色減光の影響を受けにくい。視野欠けの影響が少ない。反射光の影響は比較的受けやすい。
光高温計		700 ~ 3500	肉眼観測による。比較的安価。標準電球による校正が可能。
走査形放射温度計	機械走査形放射温度計	- 20 ~ +1000	ミラー、プリズムの振動、回転による走査。InSb、HgCdTeなどの素子を用いたものが多く。中低温の測定に適する。
	電子走査形放射温度計	600 ~ 3000	シリコンCCDを用いた可視近赤外域の放射温度計が多い。応答性がよく、高速測定に適する。ダイナミックレンジが狭い。

使用上の注意事項

以上、温度測定センサをいくつか説明してきたが、温度測定の目的に対応して温度計を正しく使用選定することが重要である。表 1.2.6 に一般的に遵守すべき基本的事項を示す。

表 1.2.6 測定対象によって考慮すべき誤差要因と対処法

測定対象		誤差要因	対処法
固体		検出器取付による熱の流 出入	保護管、導線からの熱の流 出入を減らす。
	平均温度	温度検出器と同体の熱接 触	物理的な凄触を強める。
	表面温度	検出器取付による熱的状 態の変化	表面温度計、放射温度計を使う。
	温度変化	検出器の応答	熱電対、サーミスタ測温体 が適する。熱容量の小さ い検出部の温度計を使う。
	高温	迷光による影響	迷光を除去または補正する。
液体		検出器取付による熱の流 出入	保護管、導線からの熱の流 出入を減らす。
	平均温度	液体内の温度分布	攪拌する。
	温度変化	検出器の応答	熱電対、サーミスタ測温体 を使う。熱容量の小さ い検出部を持つ温度計を使う。
気体		検出器の熱容量	熱電対、サーミスタ測温体 を使う。熱容量の小さ い検出部を持つ温度計を使う。
		気体と検出器の熱伝達誤 差	流速を増加させるなど気 体と検出器との接触を良 くする。
		放射の影響	放射シールドを設ける。
	平均温度	気体内の温度分布	攪拌するか、又は多数点 の測定をする。

(2) 圧力測定センサ

圧力は、「単位面積あたりに働く面と法線方向の力」と定義される。物質の各相、すなわち気相、液相、固相それぞれについて圧力を考えることができるが、固体は、気体や液体とは異なる性質をもっている。固体内においては、圧力に伴った流動がないので力の方向性が保存される。つまり圧力は方向性をもっており、1点における圧力も方向によって大きさが違う。流体（気体、液体）は、力の偏りに応じて自由に形を変えて流動するので、圧力は方向性をもたず、ある点におけるどの方向の面に対しても同じ大きさの圧力が作用する。よって、1点についてひとつの圧力値が決まる。この流体における圧力の等方的性質を、発見者の名をとってパスカルの原理という。SI 単位系による圧力の単位パスカル Pa は、この名前にちなんでついたものである。

表 1.2.7 各種温度計の特徴と誤差要因

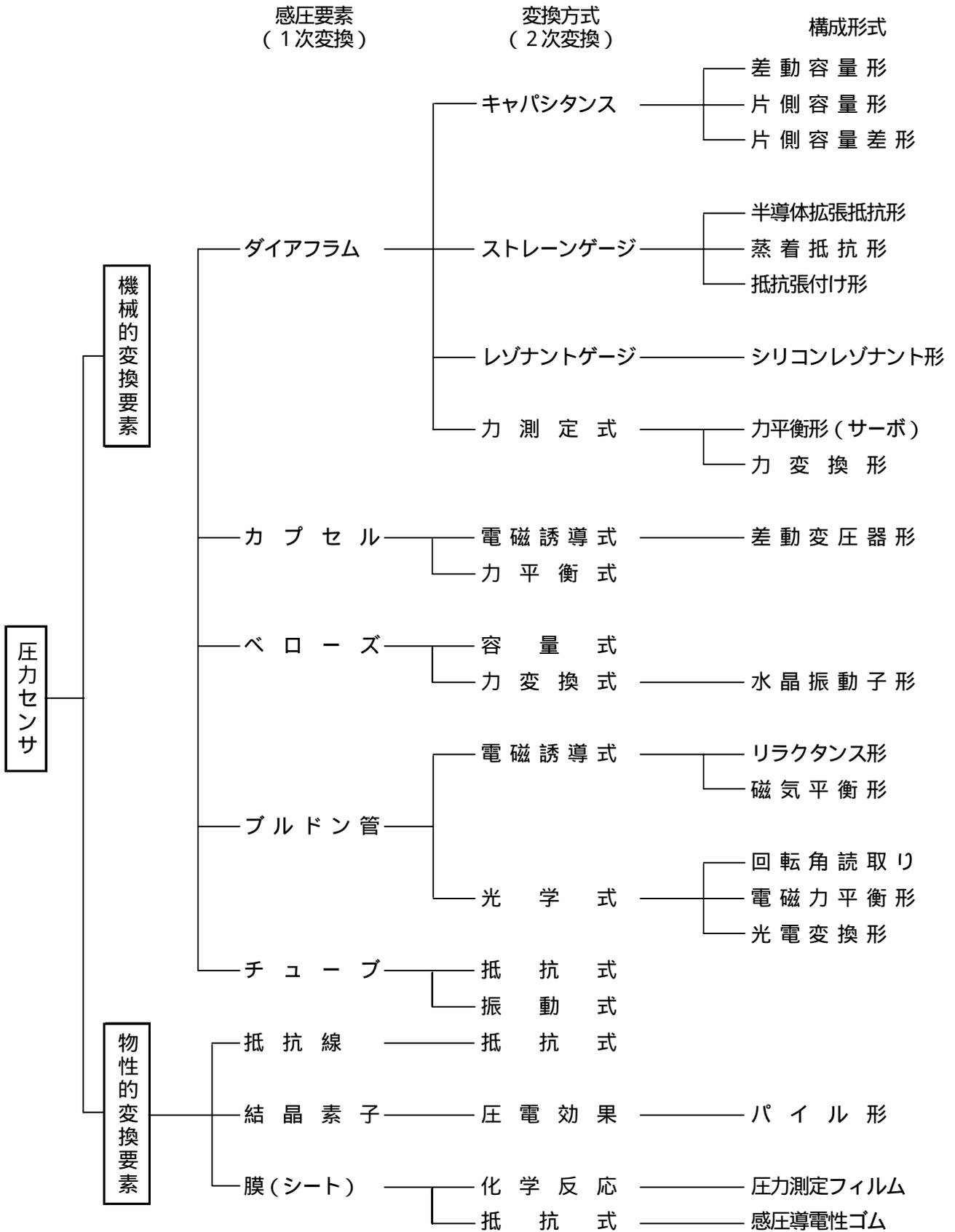
温度計の種類	温度計としての特徴	誤差要因
抵抗温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 数cm^3 (検出素子の大きさ) 程度の温度の平均値を測定するのに適する。 2. 約 - 273 ~ 500 で精度のよい温度測定に通ずる。 3. 強い振動のある対象には適さない。 	温度の変化速度 検出器の経年変化 熱履歴による変化 自己加熱 測定導線からの熱の流出入
サーミスタ温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 数mm^3 (検出素子の大きさ) 程度の温度の平均値を測定できる。 2. 導線抵抗に較べて検出器の抵抗が大きい。 3. 一つの検出器での使用温度範囲が狭い。 4. 衝撃に弱い。 	検出器の経年変化 自己加熱 測定導線からの熱の流出入
熱電温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 原理的には、接点の大きさ程度の空間の温度を測定することができる。 2. 応答がよい。 3. 振動、衝撃に強い。 4. 温度差が測定できる。 5. 高温での測定ができる。 6. 基準接点が必要である。 	基準接点の安定度 補償導線の影響 寄生起電力 検出器の経年変化 熱履歴による変化 熱電対線などからの熱の流出入
ガラス製温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 簡便で信頼度が高い。 2. 高精度の温度判定も可能である。 3. 衝撃に弱い。 	液切れ 露出部影響 経年変化
充満式温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 振動、衝撃に強い。 2. 簡便に使用できる。 	導管からの熱の流出入 履歴による変化 導管部の露出部の影響 経年変化
放射温度計	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高温域の温度測定に適する。 2. 遠隔測定が可能である。 3. 移動または回転している物体の表面温度が測定できる。 4. 被測定物の温度を乱すことが少ない。 5. 原理的に遅れの少ない測定が可能である。 	放射率の不正確さ 放射率の変動 光路中吸収、散乱 迷光 (外来光や反射光) 経年変化

圧力センサの種類と構成

変換器、センサといわれるものは、ある物質を処理しやすい出力に変換する機能を持ち、一般的な出力としては電圧、電流、振動数などの電気的信号が用いられる。圧力という力学的な量を、電気的信号に変換するのにひとつの変換要素で行うセンサもあるが、一般には複数の変換要素を組み合わせ用いている。

圧力センサを感圧要素 (1次変換) および2次変換で分類したのが表 1.2.8 である。感圧要素としては、機械的変換の中で最も簡単な形状であるダイアフラムが種類も多く、製品となっているものも多い。ここでは、圧力センサの代表例としてダイアフラムを用いたものとブルドン管を用いたものについて紹介するが、プロセス・プラントにおける圧力検出は、もっとも一般的であり、どこでも見ることができる。しかしながら、種類や使用用途も多く、なかにはプロセス流体の選定ミスならびに取扱い不備のため、その機能が発揮せずトラブルになることも多い。そのぶん、圧力計の選定には必要性も含め、正しい選定をしてほしい。そのために、表 1.2.9 に圧力計の選定を示す。

表1.2.8 圧力センサの分類



ダイアフラムを用いた圧力センサ

ダイアフラムは、圧力変換要素として最も基本的なもので、表 1.2.8 に示す通りダイアフラムを用いた圧力センサの種類は多様である。このダイアフラムは周縁部を固定した円形の薄板で、圧力に対して板の弾性特性を良くし、また有効面積を大きくするために波形に加工されている。

圧力発信器に使われるダイアフラム・カプセルは図 1.2.5 のような構造で、バック・プレートを押込んで 2 枚のダイアフラムを取り付けてある。バック・プレートには細孔があって、この中にシリコン油が封入されている。このシリコン油を通して 2 枚のダイアフラムにかかる圧力が伝わる仕組みである。細孔の中のシリコン油によって圧力伝達に制動がかかり、機器全体の安定性が増している。

このダイアフラム（隔膜ともいう）には金属の薄板のほか、合成ゴム板、プラスチック膜を使用したものもある。

1) キャパシタンス圧力センサ

キャパシタンス圧力センサは、ダイアフラムの変形変位量をその近傍においた電極を用いて、その間の電気容量変化から測定する圧力センサである。

実用化されているキャパシタンス圧力センサの中から、使用実績の多い差圧発信器に用いられる差動容量形について構造を図 1.2.6 に、容量検出方法を図 1.2.7 に例示する。

接液ダイアフラムに加わる圧力が、高圧側および低圧側のそれぞれから封入液を通じて感圧ダイアフラムに伝わると、感圧ダイアフラムは高圧側と低圧側との圧力差に比例して変位する。感圧ダイアフラムは可動電極を兼ねているので、感圧ダイアフラムの変位によって、固定電極との間に静電容量の差を生じる。工業用圧力センサは、この静電容量の差を増幅器で 4 ~ 20mA 等の統一電流信号に変換して伝送する。

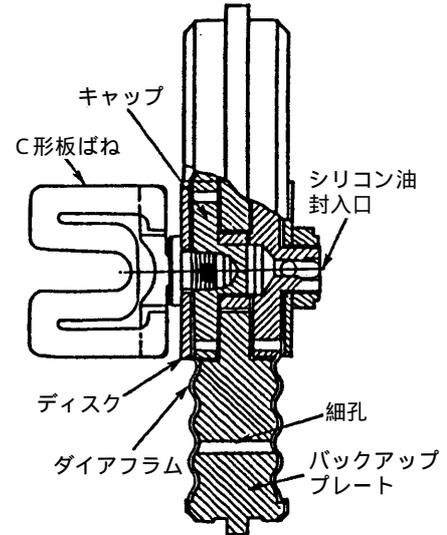


図 1.2.5 二重ダイアフラムの断面図

2) ストレン・ゲージ圧力センサ

ストレン・ゲージ圧力センサは、半導体拡散抵抗形圧力センサ、蒸着抵抗形圧力センサおよび帳付け抵抗形圧力センサの 3 種類に大別できる。ここでは、最新のセンサ技術の成果の代表例としてよく引用される半導体拡散抵抗形圧力センサを取り上げる。

代表的な構造の概要を図 1.2.8(a) に示す。この例では、ダイアフラム面の周縁部 4 カ所に歪ゲージを形成している。半径方向のゲージ R1、R3 の変形率のほうが円周方向のゲージ R2、R4 の変形率より大きいので、この差を図 1.2.8 (b) に示すように、ホイーストン・ブリッジで検出するのが一般的である。結晶に力をかけて歪めると電気抵抗が変化する現象をピエゾ抵抗効果という。

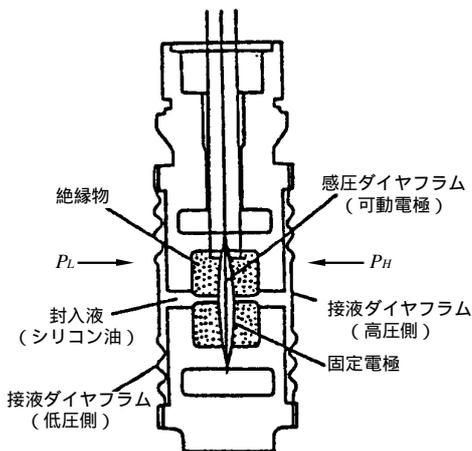


図 1.2.6 カプセル・アセンブリ

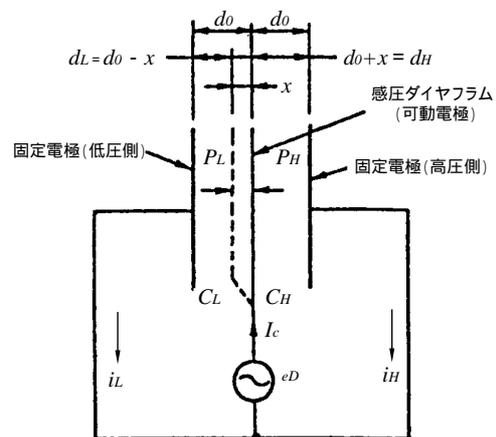


図 1.2.7 原理図

半導体拡散抵抗形圧力センサの特徴は次の通りである。

- 半導体(Si, Ge)は、単結晶が優れた弾性体であり、ヒステリシス、クリープが殆どない。
- 拡散抵抗ゲージの発生するノイズは、低レベルである。
- ダイアフラムとストレン・ゲージが一体なので、温度環境が同じである。
- 数mm以下の小形にできるので、軽量で振動衝撃に強い。

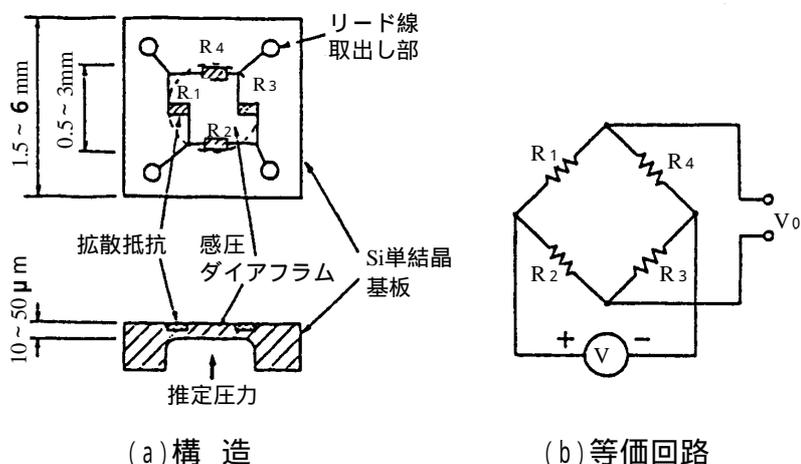


図 1.2.8 半導体拡散抵抗形圧力センサの構造例

3) シリコン・レゾナント圧力センサ

検出部の構造は、ダイアフラムに2個の振動子が設けられていて、1個はダイアフラムの中央に、他の1個はダイアフラムの端部に設置する。振動子の形状は4端子をダイアフラムに固定されたH形をしており、単結晶シリコンのシェルで覆われている。シェルの内部は高真空室になっている。図1.2.9に検出部の構造を示す。

振動子の固有振動数測定方法は、図1.2.10の通りである。ここで、永久磁石により発生する磁界はヨークを通して狭いギャップの部分で磁束が発生する。この磁束に交差するようにH形振動子が設置されている。このH形振動子の片方の梁Aに電流を流すと磁気誘導作用により振動子に力が加わり変位を生じ、梁Aに連結している梁Bも梁Aの動きに同期して変位する。この梁Bの動きと永久磁石による磁束により、梁Bの両端にはフレミングの法則による電位が発生する。この発生電流を正帰還すると、系は振動子の固有振動数で発振するので、この固有振動数を測定すると圧力を知ることができる。

シリコン・レゾナント圧力センサの主な特徴は次の通りである。

- 構造形センサなので、イオンや不純物などの汚染に強い。
- 周囲温度による誤差が小さい。
- 静圧による誤差が小さい。
- 検出素子の信号は周波数なのでデジタル信号処理が容易である。
- 振動子のメカニカルQ値が高く、高精度、高安定性が期待できる。

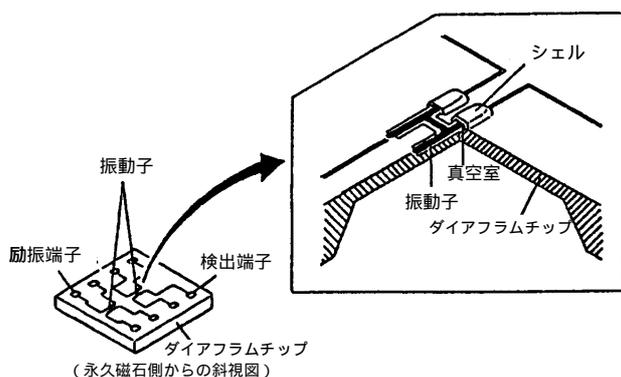


図 1.2.9 検出部の構造

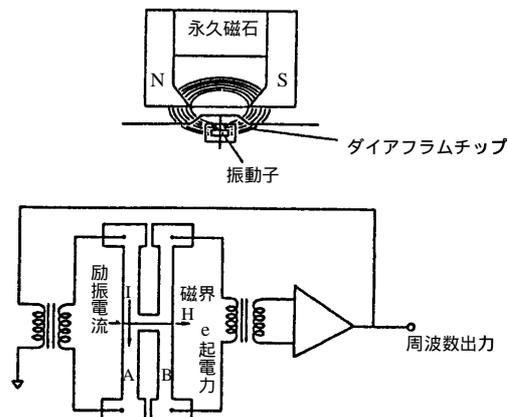


図 1.2.10 振動子の固有振動数測定法

表 1.2.9 圧力計の選定

選定条件	測定方式		名称	力平行	度位平行	感圧半導体	ストレインゲージ	静電容量	注 *1: 導圧配管により、センサ受圧部の温度を -10 ~ +120 程度とすれば使用可能となる。 *2: 機械的には変位平衡式は力平衡式に比し、弱いが適応性的では、むしろ逆のことあり。 *3: スティームジャケット等を実施し、センサ及び導圧配管内の関連を防止すれば使用可能。 *4: 接液材料の耐食性範囲内にて使用可。 *5: センサ内部への侵入防止対策が必要。導圧管およびセンサ受圧部が閉塞すると測定不可。 *6: 同一形式センサに於ける最小スパンと最大スパンの比の大きさにより評価した。 *7: 一般形 - 40 ~ 120 耐爆形 - 10 ~ 105 本安形 - 10 ~ 80
			略号	PF	PI, PN	PP	PS		
	測定原理		圧力を力に変換	圧力を変位に変換	圧力を直接半導体に印加	圧力を微小変位に変換	差動キャパシタンス方式		
	理論式		$F = PA$	$F = Pax$	$F = PA$	$F = Pax$	$C = \frac{6A}{K(PH - PL)}$		
出力信号		電気・空気		電気	電気	電気	電気		
プロセ ス条 件	性状	気体							
		液体							
	圧力	微圧	0.1 ~ 1 kg/2g 以下				x		
		低圧	0.1 ~ 1 kg/2g						
		高圧	1 ~ 100 kg/2g						
		超高圧	100 kg/2g 以上		x				
	温度	低温	-10 以下			*1	x *1	1	
		常温	-10 ~ 120						
		高温	120 以上			*1	*1		
	粘度	低粘度	1CP以下						
		中粘度	2 ~ 200CP						
		高粘度	200CP以上						
	腐食性	有		*4	*4	*4	*4		
	スラリ	有		*5	*5	*5	*5	1	
	ダスト	有		*5	*5	*5	*5		
ミスト	有								
誤動				*2					
常温凝固性			*3	*3	*3	*3			
常温気化性									
性能	精度	%		±0.5	±0.5	±0.25	±0.5		
特徴	測定範囲の変更	*6							
	メンテナンスの容易さ								
	振動に対する影響			*2	x *2				
価格									
備考	印: 一般的に通しているか、特定環境で非常によい。 印: 考慮を要するか、ある場合には通ずる。 *印: 不適あるいは標準的には通さない。								

ブルドン管を用いた圧力センサ

ブルドン管の断面形状は、図1.2.11に示すようないろいろな形をもつ。これらのうち、平円形と楕円形が多く用いられている。また、ブルドン管を形状で分けると図1.2.12に示す4種類がある。

図1.2.12(a)はC形ブルドン管と呼ばれ、最も普通に用いられる。管の曲がり角は、250～270°である。図(b)のつる巻形（ヘリカル形ともいう）と図(c)の渦巻形（スパイラル形）では、曲がり角を1回転以上に大きくすることで管先の変位を大きく取り出すことができる。精密測定用や高圧力など特殊用途に用いられる。渦巻形では図のように外周端を固定する場合と、中心端を固定する場合がある。

ねじり形は偏平管をその中心軸のまわりにねじった異形ブルドン管で回転変位が得られ、高圧用に用いられる。C形の管先に直棒を取り付け、管先の変位を棒の先端の変位に拡大している形状のものもある。

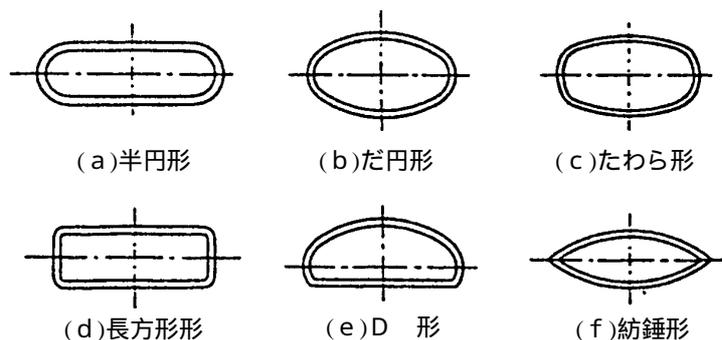


図1.2.11 ブルドン管の断面形状

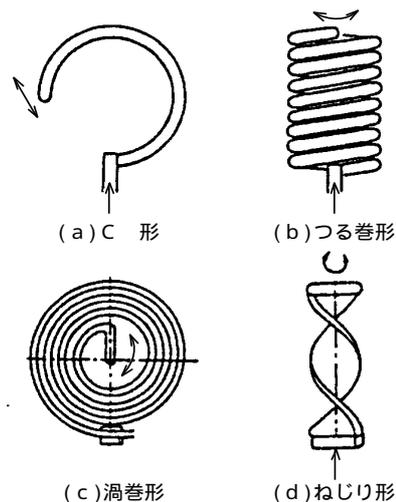


図1.2.12 ブルドン管の形状

(3) 流量測定センサ

液体が流路断面を通過する量の時間に対する割合を流量といい、「kg/h」、「m³/h」などの単位で表される。

プロセス工業で取り扱われる流体は、気体、液体および蒸気と多種類であり、その測定条件においても高温高圧の蒸気、マイナス百度以下の液化ガス、高粘度液体、固形物や繊維質を含むスラリー状流体など範囲が広い。その中の代表的な流量計の測定方法とその検出部について概要を説明する。

絞り流量計

管路内の流れに垂直方向にその断面積を小さくする遮へい物を挿入して、そこに発生する差圧を測定して流量を算出するものである。この種の流量計に属するものとしてオリフィス、ノズル、ベンチュリ管などが挙げられる。構造が簡単で取扱いが容易で、しかも気体・液体ともに測定できることから、各種のプロセスの制御用、天然ガスの測定などにも使用されている。絞り流量計の基本式は、連続の式とエネルギー保存の式から導かれるが途中の式の誘導は省略する。流量と差圧の関係は次式で表されるように、流量は差圧の平方根に比例する。

ここで、

$$Q = a \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho_1}} \quad (1)$$

Q：容積流量

a：流量係数

d：絞り口径

P：絞り前後に生じる差圧

l : 絞り上流側の流体の密度

: 気体の膨張補正係数 (液体の場合は = 1)

流体を測定するためには、前述の差圧と絞り上流側の流体の圧力と温度を測定する必要があるが、流量係数 a 、気体の膨張補正係数などは規格に与えられている値を使用すればよい。

表 1.2.10 絞り流量計の分類と特徴

絞り流量計	細分類	特徴
オリフィス	コーナタップ	オリフィスプレートの直前・直後より差圧を取り出す。
	フランジタップ	オリフィスプレートの上流面より25.4mm、下流面より25.4mmの位置より差圧を取り出す。
	縮流タップ	オリフィスプレートの上流面から1D、下流側は上流面から絞り口径比により0.84~0.34Dの位置より差圧を取り出す。
ノズル	ISAノズル	形状は円弧状の輪郭をもつノズル、入口部と円筒部とからなる。差圧の取出口の位置はコーナタップと同じ。
	長円ノズル	形状は長円の1/4の輪郭をもつノズル入口部と円筒部とからなる。差圧の取出口の位置はノズル入口部前面から1Dと0.5Dとする。
ベンチュリ管	円すい形ベンチュリ	入口円筒部、入口円すい管、スロート部、出口円すい管よりなる。差圧の取出口の位置は入口円すい管の種類(鋳放し、旋削又は板金溶接)により異なる。
	ノズル計ベンチュリ	円弧状入口部、円筒状スロート部、出口円すい管よりなる。上流側の圧力取出口は入口平面部から単孔の場合は孔径の1/2環状室の場合はスリット幅の1/2とする。

一例として、図1.2.13のコーナタップ式のオリフィス流量計について述べる。このタイプは、オリフィス・プレートとそれをささむリング上の環状室とから構成される。そのほかに、環状室をもたないものもあるが、いずれもオリフィス・プレートの直前・直後より差圧を取り出している。

オリフィス・プレートで一番重要なポイントは上流側のエッジであり、この部分が丸みを帯びたり、きずがつくと縮流の様子が異なり流量係数に影響を及ぼす。プレートの板厚・絞り穴の逃げ角、プレートの表面粗さなどは規格で定められている。

さて、絞り流量計は流量計のうちでももっとも流速分布などの管路内の流れの状態の影響を受けやすい流量計であり、管路への設置条件は規定されている。特に流量計の上流側の直管長さは、定常状態の流速分布が得られるまでに十分にとる必要がある。

配管が曲がったり、弁や拡大管、縮小管が取り付けられていると管内の流れは、管軸に対して非対称となったり、流速分布が変わったりするため測定誤差が生ずることになる。したがって、絞り機構の取付部に必要な直管長を規格で指定している。

必要な直管長は管路の状況と絞り直径比 によって異なるが、オリフィスおよびノズルの場合を例にあ

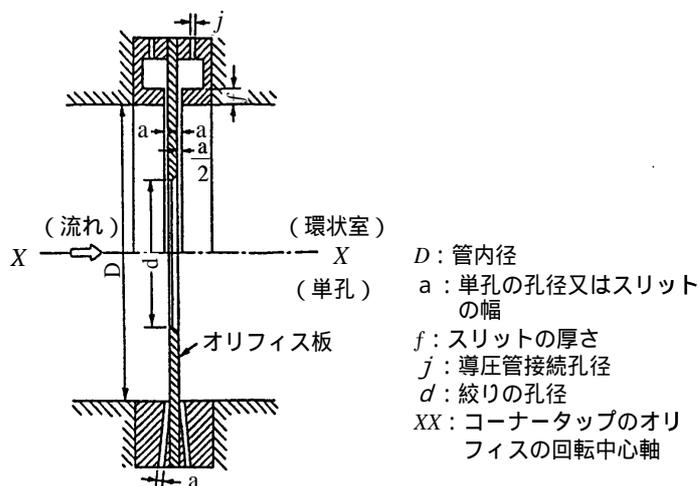


図 1.2.13 コーナ・タップ式オリフィス流量計

げると、上流側は管径の 10 ~ 46 倍、下流側は管径の 4 ~ 8 倍以上必要である。

絞り流量計はその名称の示すように管路を絞って差圧を大きくすることが測定誤差を小さくするために必要である。しかしながら、絞り前後での差圧を大きくとっても上流側と下流側の絶対圧の比がオリフイス流量計の場合は 0.75 以下にならないようにすることが測定条件として規格されている。

特に測定流体が気体で先の圧力比が約 0.5 以下になると、入口部の形状が連続的に絞られるノズルの場合は、スロートの部分で流体の速度はそこの温度・圧力により定まる音速に達する。いったん音速に達すると下流側の圧力がさらにながっても、その影響は上流側に伝搬しないために流量は一定となる。すなわち、先に述べた原理式がここでは使用できなくなる。逆に音速に達したノズル（音速ノズル）は一定の質量流量を発生させることができるから、定流量の発生装置に利用されている。

電磁流量計

電磁流量計はファラデーの電磁誘導の法則を応用した流量計で現在、口径 2.5mm の微小流量計から 2,600 mm までの超大口径流量計が実用されている。

1) 測定原理

磁界中を導電体が横切って動くときに、その移動速度に比例した電圧が導電体中に誘起されるという電磁誘導の法則に従って、流量を求めるものである。

すなわち、図 1.2.14 に示すように磁束密度 B (T) の磁界内に、管内径 D (m) の測定管を磁界の方向に対して直角におき、この中に導電体を、平均流速 (m/s) で流すと、電磁誘導により平均流速に比例した起電力 E (V) が液体中に誘起される。この起電力を、流れおよび磁界の両方向に直角となるように管壁に対向して設置されている 1 対の電極により検出し、変換器により増巾、演算を行うことにより、体積流量が測定できる。この起電力は次式となる。

$$E = k B D v \quad [V] \dots\dots\dots (1)$$

k : 検出部固有の定数

測定管を流れる流量 Q は

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v \quad [m^3 / s] \dots\dots\dots (2)$$

となるので両式により

$$Q = \frac{\pi D}{4} \frac{E}{k B} \quad [m^3 / s] \dots\dots\dots (3)$$

となり起電力 E は次式となる。

$$E = k \frac{4}{\pi} \frac{B}{D} Q \quad [V] \dots\dots\dots (4)$$

(3)式から、磁束密度 B が一定なら、流量 Q は起電力 E に比例する。

検出部で得られた発生起電力 E は、変換器で 4 ~ 20mA および 1 ~ 5VDC 信号に出力される。

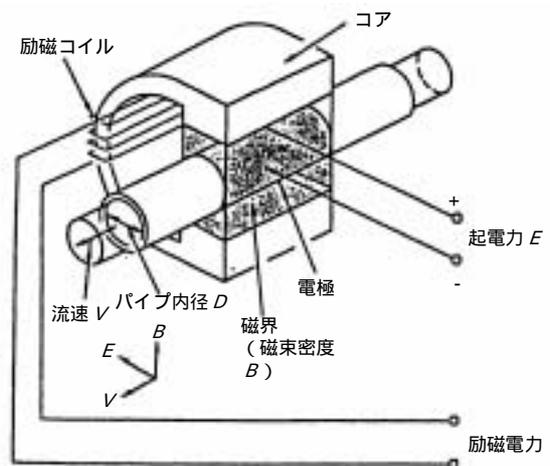


図 1.2.14 測定原理

2) 電磁流量計の一般的特徴

- 1) 出力信号が流速に対し、原理的に比例するので、レンジ・アビリティが極めて広く、高精度の流量測定が可能である。
- 2) 検出部に機械的な可動部や、流れをさえぎるものが全くないので、圧力損失がない。
- 3) 接液部を耐食材料で構成できるため、腐食性流体の測定が容易に可能。
- 4) 原理的に体積流量が得られ、粘度、密度、温度、圧力などの変化の影響を受けない。
- 5) 原理時に流速分布の影響が少なく、したがって、検出器の上流、下流側の直管長が短くてよい。
- 6) 測定レンジの変更が容易。正逆方向の流量測定も可能。
- 7) 気体、油など非導電性流体の測定はできない。

3) 電磁流量計測定上の留意点

1) 測定可能流体

5 μ S/cm以上の導電率をもつ液体ならほとんどすべてが測定できる。

2) 口径の選定

通常は、配管の口径と同じサイズの電磁流量計を選ぶ。流速が1 ~ 5m/sの間にあるとよいが、流速が小さければ1サイズ下のものを選ぶ。また、レデューサを電磁流量計に直結してもよい。逆の場合(拡大管)は流速分布の乱れが大きくなるので、レデューサと電磁流量計との間に直管部が必要となる。

3) 電極材質、ライニング材質の選定

電極材質は流体の腐食性に注意して選ぶ。ライニングは腐食性ととも磨耗性についても考慮する必要がある。腐食性流体ではフッ素樹脂(PFA)を選択する。流体中に固形物が多量に混入した磨耗性流体には、セラミックス、あるいはポリウレタンを使うとよい。

渦流量計

円柱や角柱などを流れに垂直に挿入すると、その両側から交互に渦が放出される。この渦放出の周波数は、ある条件のもとで流速に比例するので渦周波数を計測することにより、流速あるいは流量を測定することができる。

1) 測定の基本原則

柱状物体を流れに垂直に挿入すると、その両側から互いに逆回転の渦が交互に放出され、下流には著名なカルマンの渦列が形成される。渦の発生周波数を f 、流速を v 、渦発生体の流れに対向する幅を d とすると、

$$f = St \frac{v}{d} \quad (1)$$

式(1)の関係がある。Stは、ストローハル数と呼ばれる無次元数で渦流量計にとって重要な係数である。図1.2.15は渦発生体が円柱の場合の特性を示したもので、ストローハル数と(d を代表寸法とする)レイノルズ数の関係で表されている。曲線が平坦な範囲において、渦の発生周波数は流速に比例している。横軸がレイノルズ数であることは、この部分では渦周波数が液体の密度・粘度に影響されないことも示している。

以上の特性は、円管内に柱状物体である渦発生体を挿入した渦流量計においても同様である。したがって、ストローハル数Stをあらかじめ把握しておけば、渦周波数を計測することにより流量を測定することができる。

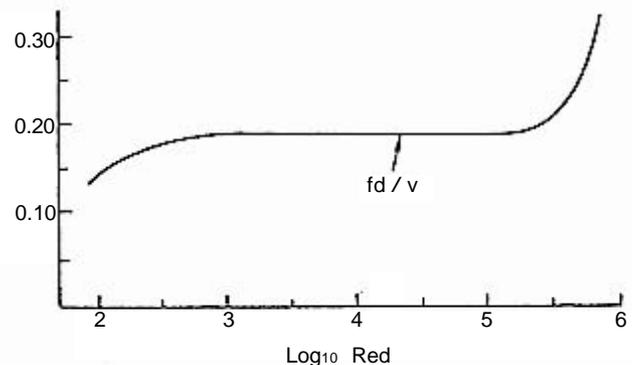


図1.2.15 ストローハル数 - レイノルズ数

2) 一般的特徴

一般に、流量計測の対象は、管路口径、流量

値、流体の種類・温度・圧力などの条件が多岐にわたっている。

渦流量計は原理上次のすそれた特徴をもつので、他方式の流量計と比べて適応性に富み、取扱いが簡便で耐久性にすそれた汎用流量計として好適であるといえる。

流量に1次比例の出力（周波数）が得られる。

測定範囲内にて流体の密度・粘度に影響されない。

レンジ・アビリティが大きく、ゼロ点が安定である。

圧力損失が小さい。

センサは接液しない。

可動部を持たない。

2線式伝送が可能。

スチーム測定も可能。

そのほかに、オリフィス式流量計と比べ、据付コストが安い、差圧発信器の定期校正が不要という、すそれた特長をもっている。

面積流量計

1)測定原理

面積流量計は図1.2.16に示すように、鉛直に設置されたテーパ管と、その内部に収められたフロートによって構成されている。

被測定流体を下から上へ流したとき、流れはフロートにより絞られ、その前後に差圧を発生する。

フロートはこの差圧による上向きの力を受けて上昇し、可動部の有効密度と平衡する位置で静止する。

この関係は次式のようになる。

$$Q = C A \sqrt{\frac{2 g V_f (r_f - r_o)}{A_f r_o}}$$

ここに Q : 体積流量

G : 質量流量

C : 流出係数

A : 流通面積

g : 重力の加速度

V f : 可動部の体積

A f : フロートの水平最大断面積

r f : 可動部の等価密度

r o : 液体の密度

$$G = C A \sqrt{\frac{2 g V_f (r_f - r_o) r_o}{A_f}}$$

上式から判るようにフロートの上昇高さ、すなわち流通面積と流量は一定の関係にあるので、その位置によって流量を測定するものである。

したがって、フロートの前後に生ずる差圧は常に一定になっている。

図1.2.16 面積流量計

2) 特 徴

面積流量計の特徴は、次のとおりである。

絞りによる流量測定方法に比べて、低レイノルズ数における流量が測定できる。

構造上微小流量の測定が可能である。その1例を表1.2.11に示す。

有効測定範囲が広く、最小目盛値は一般に最大目盛値の約1/10である。

目盛が、ほぼ均等な直線目盛である。

圧力損失が比較的少ない。

直管部を必要としない。

表1.2.11 (JIS Z 8761)

流量計の種類	流体	最小容量のものの 有効測定範囲	レイノルズ数(1)	圧力損失
ガラステーバ管	水	0.05 ~ 0.6ml/min	0.6 ~ 8	4mmH ₂ O
	空気	3.5 ~ 40ml/min	3 ~ 35	
金属テーバ管	水	0.03 ~ 0.3l/min	200 ~ 2000	1300mmH ₂ O
	空気	0.8 ~ 8l/min	360 ~ 3600	

注(1) レイノルズ数(Re)は次式で求める。

$$Re = 3.54 \times 10^2 W / D_f = 3.54 \times 10^2 Q / D_f \cdot$$

ここに W : 質量流量

Q : 体積流量

D f : フロートの最大直径

: 動粘度

: 粘度

(2) 空気の流量は、温度20、圧力101.3kpaにおける値とする。

3) 一般事項

設計条件と異なった流体条件(密度、粘度、温度など)で使用する場合、補正が必要である。通常の測定では、密度は2%以内、粘度については2桁程度で求めておけばよい。

流体が管内を満たして流れている必要がある。流体にアワが混入すると誤差を生ずる。正確な測定をするには、上流側にアワ抜き装置を取り付けるべきである。

管路に計器を取り付ける場合、テーバ管の中心が垂直になるように注意すること。また、計器の点検、修理を、管路の流れを止めずに行うためには、あらかじめバイパス管路を設けておく必要がある。

容積流量計

1) 測定原理

容積流量計は「計量部の流入口と流出口との流体差圧によって回転する回転子が、回転子とケースとの間で囲む一定容積の空間(ます)に充満した流体を流出側に何回送り出したか」ということから液体の通過量(積算量)を知る形式の流量計である。また回転子の回転速度から流量の瞬時値を知ることができる。

回転子の形としては図1.2.17に示したようなオーバル(だ円)歯事型、ルーツ型が広く用いられている。

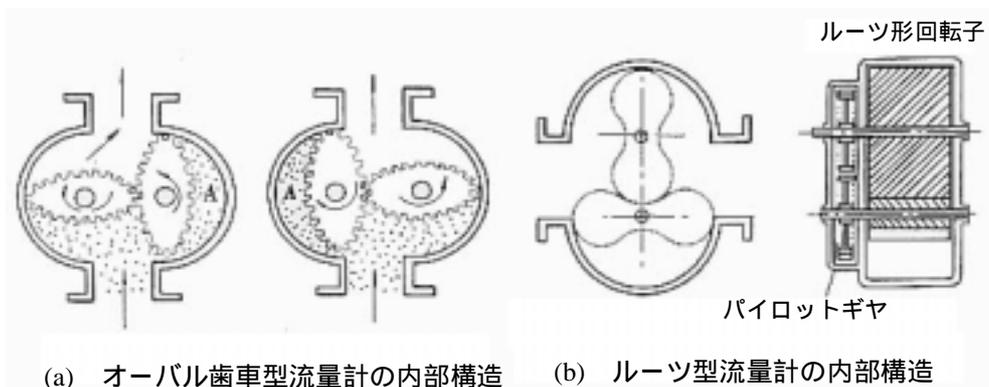


図 1.2.17 容積流量計の回転子

2) 特 徴

高精度で容算流量の測定ができる。

流体の粘度変化による影響が比較的少なく、差圧流量計などとは逆に高粘度の流体の方が誤差が少ない。

脈動による影響がほとんどない。

流量計取付位置の前後に直管整流部が不要である。

ストレーナを含め圧力損失が大きい。

一方、流体中に狭雑物が混入すると、回転子相互間、回転子ケース間にかみ込んで流路を閉止してしまうので、必ずストレーナ（ろ過器）を計量部入口に設ける必要がある。

タービン流量計

1) 測定原理

管中を流体が流れると翼車が回転し、翼車の回転数と流速とが比例し、管の断面積が一定であるから、断面積と流速の積である流量と、回転数が比例するので、回転数を計れば流量を知ることができる。

$$N = K_1 v, \quad v = Q / A, \quad N = Q K_1 / A \dots \dots \dots (1)$$

ここに、N : 翼車の回転数

v : 流体の流速

k₁ : 比例定数

Q : 流量

A : 管の断面積

図 1.2.18 の検出部には、ピックアップ・コイルと永久磁石が内蔵されていて回転翼がピックアップ・コイルの近くを通り過ぎるたびに、コイルを貫通している磁束密度が変化して 1 つのパルス電圧をコイルに発生させるので、単位時間のパルス数を計数すれば流量を、またパルス数を積算すれば積算流量を測定することができる。翼の数を n、パルスの数を p (pulse / min) とすると (1) 式は次の式となる。

$$N = p / n, \quad p / n = Q K_1 / A \dots \dots \dots (2)$$

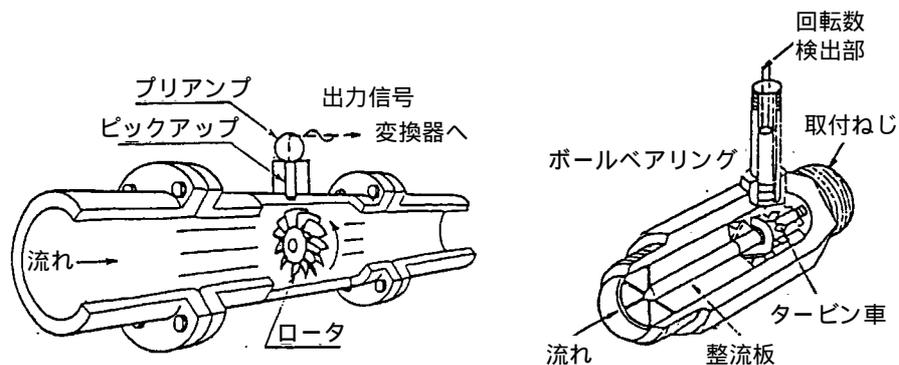
2) 特 徴

この流量計の特徴は下記のとおりである。

流体抵抗の少ない低粘度液に適している。

精度は一般に定格値の ± 0.5%

測定流量範囲も広く、最大流量の 1 / 10 ~ 1 / 30 におよぶ。口径は 15mm から 350mm。



構造が簡単で軽量である。

出力信号は流量に比例したデジタル電気信号である。

上流側には、直管部およびストレーナの取付けが必要である。

超音波流量計

1) 測定原理

超音波は良好な指向性をもつので、各種物体中に容易に透過する。したがって、流体中に超音波を放射し、流速が音速に与える変化から流量を測定することができる。現在、超音波流量計として広く実用化されているものに、伝搬速度差法とドップラー法の2つがある。

伝搬速度差法

斜めに対向して設置された検出器間の超音波の到達時間差から、流体の流速を求める測定法で、工業用超音波流量計の主流をなしている。

ドップラー法

ドップラー効果を利用し、流体中の混入物より反射してもどってくる反射波と送信波の周波数差から混入物の移動速度、すなわち、流体の流速を測定する。

伝搬速度差法に比較し、反射物のない、きれいな水の測定は難しく、音波の透過が悪く、伝搬速度差法では、測定が困難な下水、排水流量の測定に利用されている。

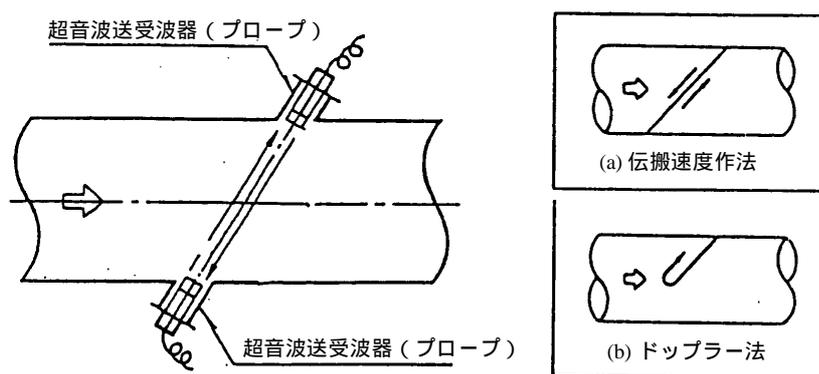


図 1.2.19 超音波流量計の原理

2) 特 徴

1. 配管の外側からでも流速の測定が可能である。

既設の配管に特別な加工なしに、送水を中断することなく検出器を取り付けて、流量が測定できる。検出部は接液しないため、腐食、水もれなどに起因するトラブルがなく、メンテナンス・フリーである。

圧力損失がない。

口径が大きい場合に、他の流量計に比べ価格面で有利である。

2. 超音波が透過し、あるいは反射する流体であれば粘度、電気伝導度などの影響を受けずに測定が可能である。

なお、超音波量計は線流速を測定するため、電磁流量計と比べると偏流や旋回流の影響を受けやすい。そのため、上流側10～20D(Dは管路直径)、下流側5D程度の直管長を必要とする。各種のバルブなどの下流に設置するときには、更に長い直管長を必要とする。

コリオリ流量計

1) 測定原理

図1.2.20において、A点とB点を固定したU字形パイプを上下に振動させる。パイプ内を流体がA点からB点に流れると、流路の前半AC間では、流体の質量と流速の積に比例したコリオリ力が振動を妨げる向きに発生し、流路の後半CB間では、振動を助ける向きに発生する。その結果、パイプはCD軸の周りにねじられる。ねじれ角度はコリオリ力に比例しているため、この角度を計ることにより質量流量を知ることができる。

パイプの形状はU字形に限らず、さまざまな形をとることができる。たとえば、図1.2.21のようにAB間を直線で結んでも、ABの midpointであるC点のまわりに、コリオリ力によるねじれを起こすことができる。

コリオリ流量計は振動を利用しているだけに、本質的に外部からの振動の影響を受けやすい。現在では2本のパイプを共振させ、パイプ間の相対的な位置からねじれ角度を測定し、外部振動の影響を排除する工夫がされている。

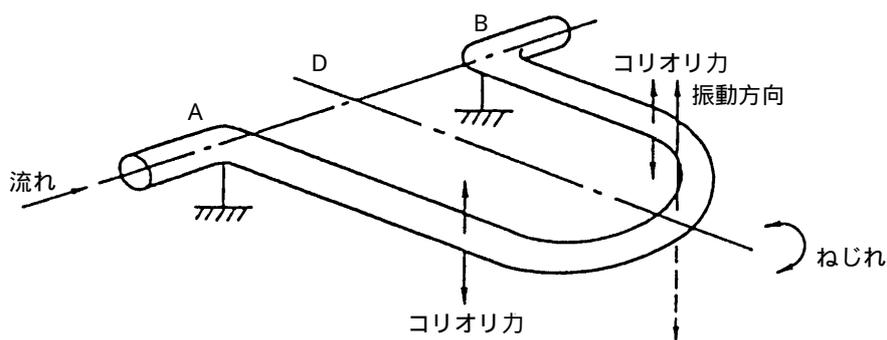


図1.2.20 U字形パイプにおけるコリオリ力

2) 特徴

質量流量信号が直接得られる。

測定精度は測定値の0.4%。流量範囲を狭く限定すれば、さらに高い精度も可能である。このように、高精度の質量流量信号を1台の計器で得ることができる。

広範囲の液体や、スラリが測定可能である。

水、薬液、石油類などの一般的液体のほか、高粘度液体やスラリも計ることができる。

流速分布の影響がない。

パイプ内の流れは、乱流でも層流でも、測定精度に影響しない。

流量レンジが広い。

フルスケールを変えることにより、同一口径で100:1の流量レンジをカバーできる。

流路に障害物がない。

パイプ内に障害物がないので、固形分を含むスラリを流すことができる。流量計の上流側にストレーナを置く必要がない。

脈動流に追従できる。

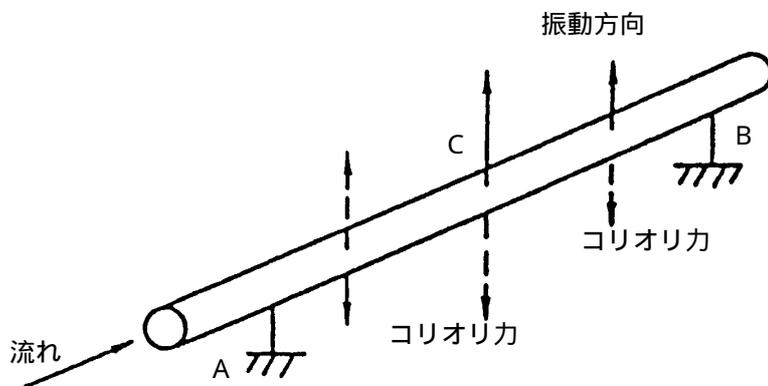
フランジャ・ポンプやダイヤフラム・ポンプから発生する脈動流は、多くの流量計にとって誤差要因となるが、コリオリはこれに追従できる。

可動部がない。

パイプの振動はあるが、振幅が小さいので可動部のない計器と見なすことができる。薬液による腐食やスラリによる磨耗の問題がない限り、部品交換のための定期点検を必要としない。

密度信号が得られる。

パイプの固有振動数は流体の密度によって変化する。したがって、パイプの振動数から密度信号を得ることができる。



以上、現在実用化されている代表的な流量計を説明した。これら流量計もプロセス流体による選定を間違えたり、フィールドにおける取付方法などをあやまると、その機能はさることながら、効果もでてこないで十分な検討が必要である。

表 1.2.12 に各種流量計の比較を示す。

各種流量計の比較

この表は、各種の流量計について大略の目安を示し、流量計選択時の参考としたものである。
特別な考慮を払えば、適用範囲は拡大可能なものもある。

(1)フルスケールの±%
(2)指示値の±%

形 式		最小管径	最大管径	高温	低温	高圧	気体	液体	けん濁物	耐食性	精度 ⁽¹⁾	価格	備 考
しぼり式 (差圧式)	同心 エッジオリフィス	20 A	3000 A	350	-100	150kg/cm ³	可	可	やゝ可	普	2%	低	極めて一般的
	四分円オリフィス	20 A	250 A	350	-100	150kg/cm ³	可	可	やゝ可	普	2%	低	高粘性に適
	フローノズル	40 A	750 A	500	-100	150kg/cm ³	可	可	可	普	2%	中	高温、高流速に適
	欠円、偏心 オリフィス	80 A	350 A	350	-100	100kg/cm ³	可だが 無意味	可	適	普	3~4%	低	沈殿物を含む時、適
	ベンチュリ管	50 A	1200 A	300	-100	100kg/cm ³	可	可	可	普	2%	高	圧力損失を低くしたい時に適
	インテグラル オリフィス	15 Aのみ		80	-40	140kg/cm ³	可	可	不可	普	5%	低	微小流量用 差圧伝送器に内蔵
電磁流量計		2.5 A	2600 A	160	-10	20kg/cm ³	不可	適	適	良	0.5~1% ⁽²⁾	高	圧力損失が殆どない。 流体は導電性あること。
YEWFLO過流計		25 A	150 A	300	-40	50kg/cm ³	スチーム 可	可	可	普	1% ⁽²⁾	低	低コスト、圧力損失小
面積式流量計		10 A	150 A	250	-50	100kg/cm ³	可	可	やゝ可	普	1~2%	中	小流量、高粘性に適
ターゲット式流量計		20 A	100 A	250	-40	100kg/cm ³	可	可	適	普	1.50%	中	沈殿物を含む時と高粘性 流体に適
容積式	オーバル式流量計	10 A	350 A	200	-35	100kg/cm ³	不可	適	不可	制約が 多い	0.2~0.5% ⁽²⁾	高	高精度 メンテナンスが面倒
	ルーツ式流量計	20 A	350 A	150	-30	30kg/cm ³	可	可	不可	制約が 多い	0.2~0.5% ⁽²⁾	高	高精度 メンテナンスが面倒
タービン式流量計		40 A	600 A	120	-30	50kg/cm ³	可	可	不可	制約が 多い	0.2~0.5% ⁽²⁾	高	高精度 パルス発信に適
超音波流量計		150 A	3000 A	60	0	配管による。	不可	適	原理に よる	良	1~1.5%	高	小サイズでは割高だが 大サイズでは安くなる。
せき式または パーシャルフリューム		水路巾 0.5m	水路巾 6.3m	常 温		大気圧	不可	適	やゝ可	普	3~4%	低	開水路用
P - B フリューム		250 A	2400 A	常 温		大気圧	不可	適	適	普	3%	中	円管開水路用

1.2.3 発信器

プロセス制御における、伝送機能として発信器(または伝送器ともいう)がその役目を担っている。その中でもプロセス制御の中で最も多く用いられている差圧、圧力発信器に絞って説明する。

この差圧、圧力発信器は空気式の力平衡方式から、電気式に変わっていった。現在ではマイクロプロセッサ技術の発展により、よりインテリジェント化された発信器が出現し、より一般的に使われている。インテリジェント発信器は、一般的には、2線式で伝送ラインをデジタル通信回線と共用し、通信機能をもつ発信器で、スマート・トランスミッタと呼んでいる。

発信器の構成と原理

発信器には差圧計用と圧力計用とがあるが、差圧計と同様に圧力計も容易に理解できるので、ここでは差圧計用の発信器について説明する。

1) 受圧部

受圧部には、発信器の心臓部であるセンサと検出部(受圧部本体)、測定室カバー、締付ボルトなどから構成されている。次の図1.2.22に発信器の構造を示す。また図1.2.23に検出部の原理図を示す。

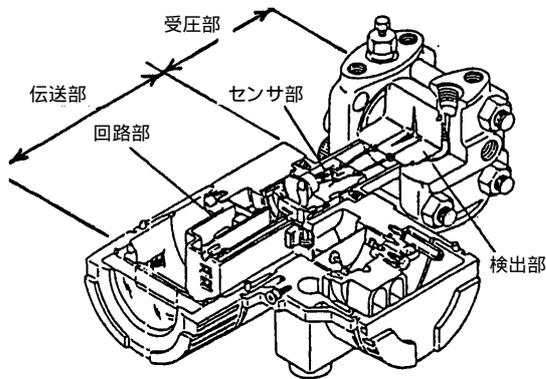


図 1.2.22 発信器の構造例

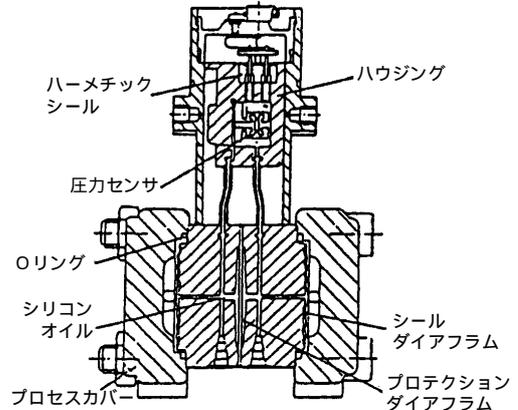


図 1.2.23 検出部の原理図

2) センサ部

センサ部については前項で説明しているのので、ここでは省略する。(圧力測定センサの項を参照)

3) 検出部

検出部はシール・ダイアフラムなどと呼ばれる薄い金属膜で圧力を受け、検出部の封入液を介してセンサに伝える構造である。

差圧発信器では、過大圧に対してセンサを保護するしくみが工夫されている。

たとえば、図1.2.23では、中央にあるプロテクション・ダイアフラムとシール・ダイアフラムの相互作用により、過大圧保護のしくみを実現している。被測定圧力はプロテクション・ダイアフラムとセンサに同時に伝達されるが、通常の測定においてはプロテクション・ダイアフラムへの圧力作用は無視できるように設計されているため、測定すべき圧力は正確にセンサに伝達される。しかし、圧力がセンサの測定限界を超えたある値以上では、プロテクション・ダイアフラムが主に変形するため、シール・ダイアフラムがバックアップ・プレートに当たって、内圧上昇が抑えられる。この様にして、センサの保護や過大圧特性の改善をしている。

静電容量式センサを搭載した差圧発信器では、静圧によって発生する特性変動を改善するための構造を、検出部で工夫している。図2-2では、センサを細いパイプで封入液中に支持する(フローティング)構造としているため、高い静圧が作用したとき、センサの内外圧は同一圧力となり、スパン変動は低く抑えられる。

また、別の構造で静圧による特性変動を改善している例もある。

シール・ダイアフラムは温度変化による封入液の体積膨張を吸収するため、波形のついた0.1mm程度

の薄板が使われる。材質にはステンレス、ハステロイC、モネル、タンタルなどが使われる。

封入液には安定性の高いシリコン・オイルが最も良く使われる。塩素や酸素の測定では、それらと化学反応を起こし難いフッ素系のオイルが使われる。

4) 測定室カバー

測定室カバーは、ガスケット(O-リング)と共に検出部をサンドイッチするようにして、締付ボルトで固定される。材質はステンレス網やメッキ処理をした炭素鋼を一般的に用いる。腐食性のプロセスでは、シール・ダイアフラムと同一材質の耐蝕材を溶接で取り付けた測定室カバーを使用することもある。

締付ボルトにはクロム・モリブデン鋼などの高張力鋼が使用される。

伝送部

伝送部は、センサで得られた空気のまたは電気的变化を空気信号(20~100KPa)または電気信号(4~20mAまたは1~5V)に処理変換するアンプ・ユニット、伝送する信号を出力する接続部(端子革)内蔵形指示計などを入れたケースから構成されている。

ケースはポリウレタン系あるいはエポキシ系の耐蝕性塗料が焼付塗装されたアルミニウム合金製が一般的である。アンプ・ケース蓋、端子箱蓋、配線口などはO-リング、ガスケットにより防水されている。

また、耐圧防爆の場合には、錠締構造が付加され簡単に開けることができないようになっている。

上記のように伝送部には、空気式と電気式があるが、電気式伝送部について外部と接続する端子箱の中には、伝送用ケーブルを接続する端子とアースを配線するための端子箱で構成されている。

アンプ・ユニットは、電子部品をプリント基板上に実装したものであるが、エレクトロニクス技術の進歩を反映してめまぐるしく発展している。従来のは、アナログIC(集積回路)、ダイオード、抵抗、コンデンサなどをスルーホールプリント基板に取り付けたものであったが、アナログICはマイクロプロセッサやデジタルICに、抵抗・コンデンサなどは小型のSMT(表面実装技術)用に置きかわり、プリント基板もSMT用が使用されるようになった。これに伴い、アンプ・ユニットの保守、点検をすることが難しくなり、メーカーはプリント基板ごとの交換を推奨している。

次に、最近のインテリジェント化された発信器の信号処理ブロック図1.2.25(富士電機製)をひとつの例として紹介する。

センサで得られた差圧はアナログ電気信号(A)として検出され、A/D変換器(アナログ デジタル信号)でデジタル信号(D)に変えてマイクロプロセッサに送り込まれる。差圧信号以外に温度センサからの温度信号も取り込まれる。マイクロプロセッサでは送り込まれた情報を、EEPROMに収納されている直線性、温度などのデータを用いて、補正演算子温度などの誤差を除いている。演算結果をD/A変換(デジタル アナログ信号)し、4~20mAの電気信号として伝送される。EEPROMは不揮発性メモリの電源のON/OFFでもメモリが失われることはない。

通信モジュール(デジタル I/O、通信インタフェースなどと呼ばれることもある)により、発信器とハンドヘルド・コミュニケータとの間でデジタル通信を行い、TAGNO.やレンジなどの定数の設定・変更、出力調整、データのモニタ、自己診断などを行うことができる。

この通信方式には、4~20mA信号にデジタル信号を重畳する方式やデジタル信号を送る際に4~20mA信号を切る方式などがあるが、通信プロトコルはメーカーによって違いがあるので確認は必要である。

また、メーカーにより多少の違いはあるが、発信器内部は検出部とセンサ部で構成される受圧部と、回路部、指示部をもつ伝送部分でできている。これを一般的に発信器または、伝送器とよばれている。

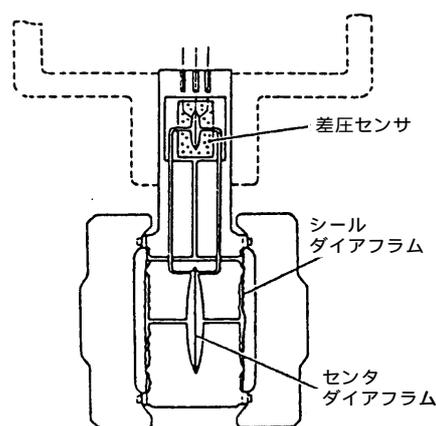


図 1.2.24 代表的な検出部の構造図

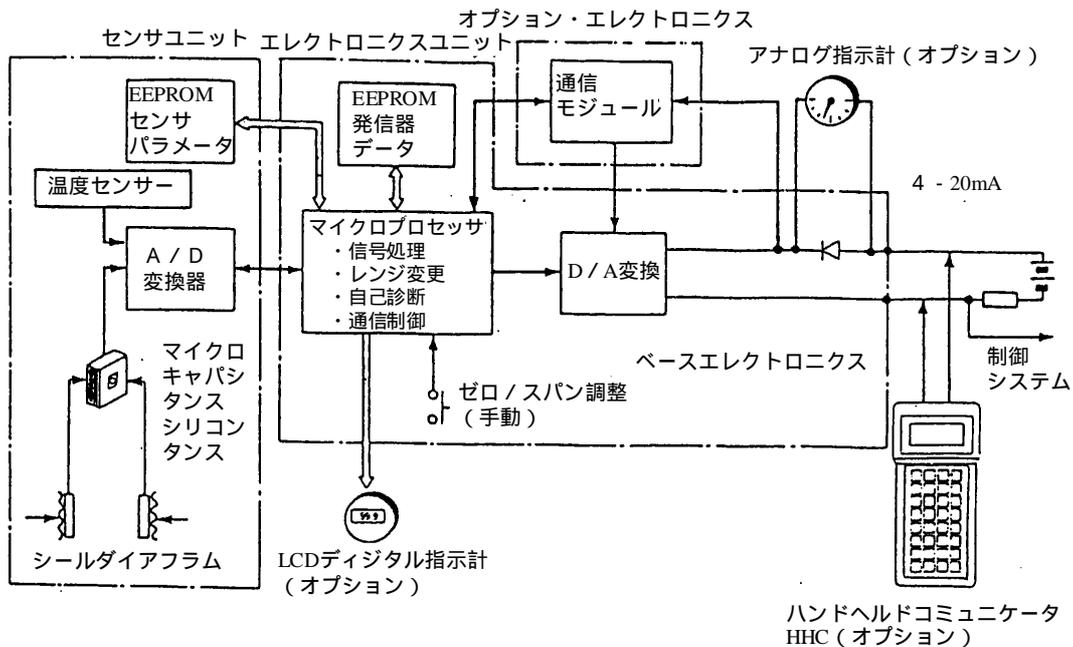


図 1.2.25 発信器の信号処理ブロック図

1.2.4 操作部 (調節弁)

(1) 調節弁 (コントロールバルブ) とは何か。

プラントの運転監視および管理システムで取り扱われる計装の信号は、アナログ系とデジタル系に区別することができる。更に、これらの信号ループを機能的に区別すると下記のように区分される。

アナログ系

- 1) 制御ループ；プロセス量のコントロール
- 2) 監視ループ；プロセス量のモニタリング

デジタル系

- 1) 制御ループ；シーケンス・コントロール (バッチ制御、緊急シャットダウン操作など)
- 2) 監視ループ；ステータス表示 (弁の開閉、ポンプの起動・停止など)

制御ループは一般に検出部 (センサ) から操作部までの閉ループで構成されるが、その中で操作部として主として用いられる自動弁を一般に調節弁と呼び、機能的にはアナログ系をスロット・リング弁、デジタル系をオンオフ弁として区分することが出来る。

- ・スロットリング弁は制御出力の変化に従って、プロセスを定常状態に導くための微妙な開度が要求される弁である。
- ・オンオフ弁は単に弁の開閉操作のみを行う弁である。

(2) 調節弁の基本構成

調節弁はプロセス流体に直接接触し、流体の制御を行う「弁本体部」、駆動源により弁本体部を動作させる「駆動部」および求められる制御機能を実現するための「付属機器類」で構成されている。次に、調節弁の構成を表 1.2.13 に、また調節弁の構造および名称を図 1.2.26 に示す。

表 1.2.13 調節弁の構成

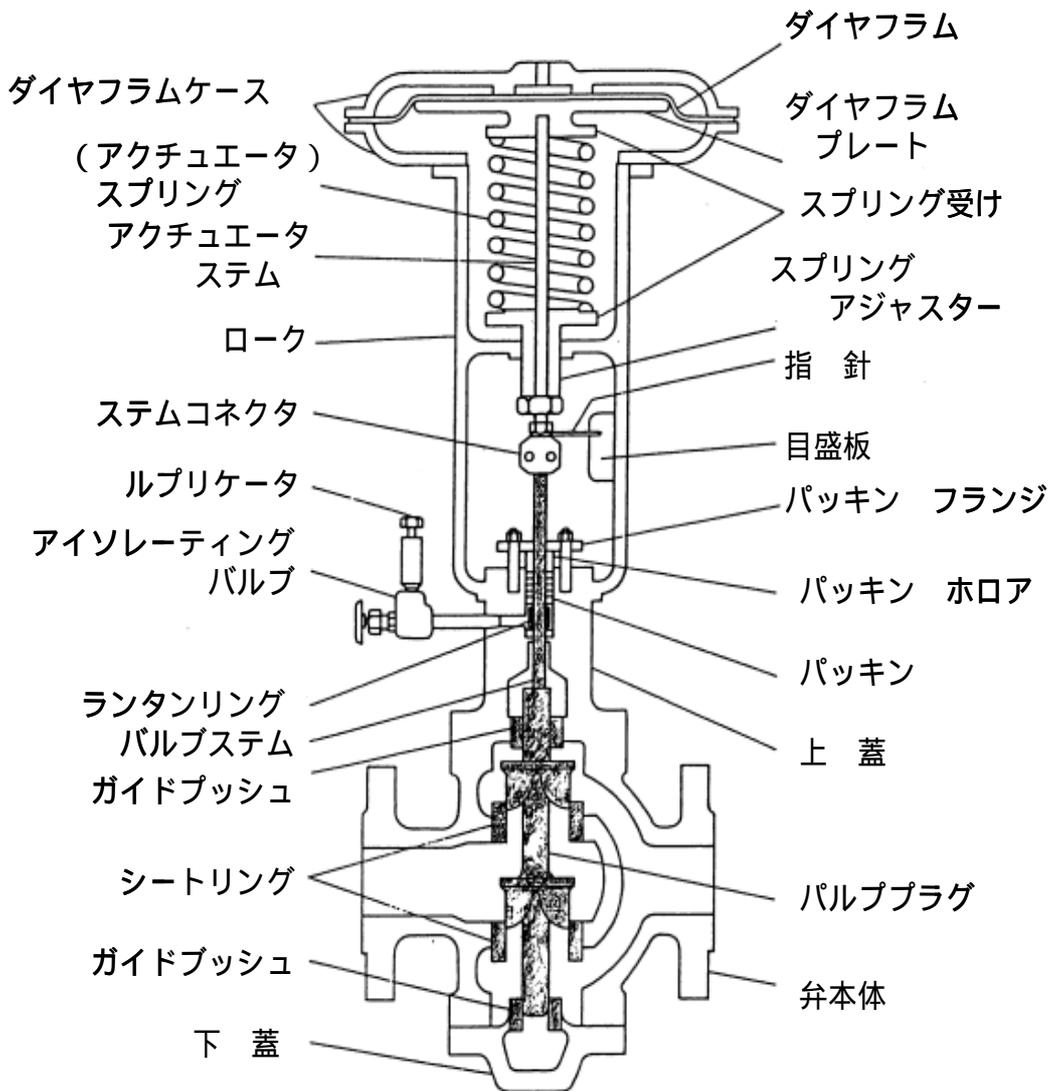
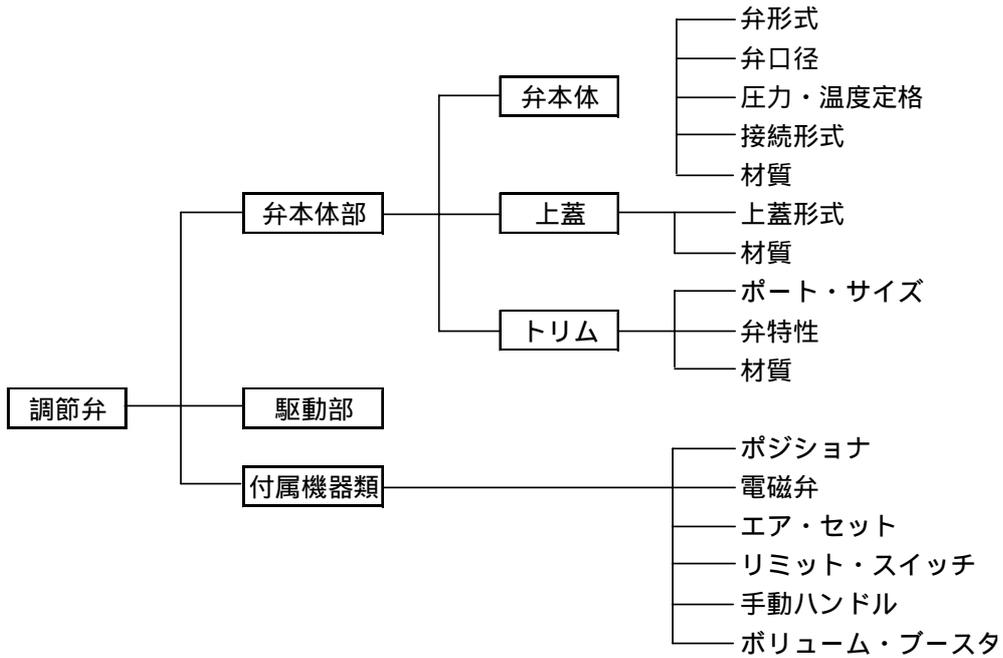


図 1.2.26 弁の構造および名称

表 1.2.14 調節弁の種類と用途

調節弁機種名	特 徴	主な用途
グローブ単座弁	<ul style="list-style-type: none"> ・便座漏れ率が小さい (定格CV値の0.01%) ・小口径弁まで製作可能 ・大口径弁あるいは高差圧の場合、駆動部が比較的大型になる 	<ul style="list-style-type: none"> ・弁口径が1インチ以下のとき ・便座漏れ量を小さく抑える必要があるとき ・その他汎用的に使用される
グローブ・ゲージ弁	<ul style="list-style-type: none"> ・ポート圧力バランス孔により、流体不平衡力が小さくなり駆動部が比較的小型になる ・耐キャビテーション性に優れている ・低騒音ケーシングの製作が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・大口径および高差圧のとき ・キャビテーションの発生を抑制するとき ・液およびガス流体の騒音を抑制するとき
アングル弁	<ul style="list-style-type: none"> ・単座弁同様便座漏れ率が小さい ・流れが滑らかで、流体が流れ易い ・キャビテーションによる弁本体エロージョンを受け難い 	<ul style="list-style-type: none"> ・配管の角に取り付けるとき ・スラリー流体や固着性の強い高粘性流体のとき ・キャビテーションによる弁本体エロージョンが予想されるとき
バタフライ弁	<ul style="list-style-type: none"> ・弁容量(CV値)が大きい ・グローブ弁などに比べキャビテーションが発生し易い為、許容差圧が比較的小さい ・耐食性ライニングが可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・低差圧で大容量のとき ・耐食性の点からゴムなどのライニングが必要なとき
三方弁	<ul style="list-style-type: none"> ・入り出口の合計が3カ所 ・大口径あるいは高差圧のとき駆動部が比較的大きくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ・2方向のプロセス流体を1方向に混流させたり、逆に2方向に分流するとき ・グローブ弁(2方向)2台を用いる場合とのコスト比較が必要
偏心軸回転弁	<ul style="list-style-type: none"> ・弁容量とレンジアピリティが大きく、小型・軽量 ・動作安定性に優れ、許容差圧が比較的大きい ・流れが滑らかで、ストレート・スルーの流れ易い構造 	<ul style="list-style-type: none"> ・大容量のとき ・ハイレンジアピリティを要求されるとき ・軟質スラリーを含むプロセス流体のとき ・小型・軽量を要求されるとき
セラミック弁	<ul style="list-style-type: none"> ・流れが滑らかで、ストレート・スルーの流れ易い構造 ・ポケットレスの流体滞留がない構造 ・接液部が全てセラミックの構造 ・流体の急激な温度変化が予想される場合には、事前検討が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・磨耗性の高いプロセス流体用 ・腐食性の高いプロセス流体用(薬品など)

(4)バルブの流量特性

調節弁の流量特性は、弁開度を0から100%まで変化させたときの弁開度と弁容量(CV値に等しい)との関係をいう。

流量特性には「固有流量特性」と「有効流量特性」がある。

・固有流量特性は、弁前後の差圧を一定とした場合の弁開度と弁通過流量との関係をいう。外乱を伴わない理想状態の流量特性である。

・有効流量特性は、弁を実際の系、おもに配管に取り付けた場合の流量特性である。

固有流量特性には、リニア特性とイコール・パーセンテージ特性がある。

リニア特性

リニア特性は弁開度とCV値が比例する。

イコール・パーセンテージ

イコール・パーセンテージ特性は弁開度の変化に対するCV値の変化割合が変化前のCV値に比例する。

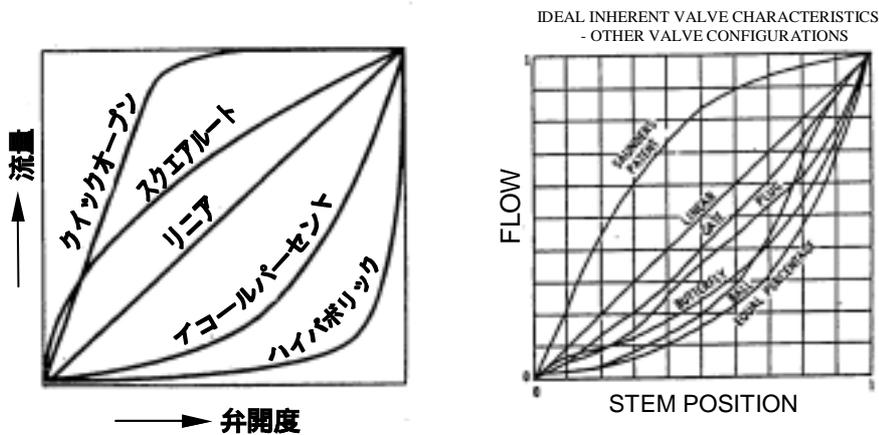


図 1.2.27 固有流量特性 (ISA Hand Book of Control Valve による)

固有流量特性は、メーカー間製品比較等で便利のため良く利用されるが、実際に配管に取り付けられた調節弁は、開度変化と同時に弁前後差圧が変化する為、弁開度と弁通過流量の関係は固有流量特性から外れることになる。

遠心ポンプにより液体を移送する配管ラインに置かれた流量調節弁を例にとると、ポンプの吐出圧力は流量増加に伴い放物線的に降下する特性を持っており、同時に、配管抵抗は流量の2乗に比例して増加する。したがって、流量を増加させるためには調節弁前後差圧を減少させるように、流量調節計は制御動作を行うことになる。この配管系においてイコール・パーセンテージ特性調節弁の弁開度と実流量は、より直線性を示すことが数学的・実験的に判明している。(リニア特性は、上方にふくらみ、直線から離れる。)

単座弁のように、固有流量特性を選択できる調節弁とバタフライ弁、痛心軸回転弁など弁の構造上固有流量特性がリニア/イコール・パーセンテージ特性から外れ、特殊特性となるものがある。

そこで弁本体側の流量特性に全面的に依存することなく、最新のスマート化されたポジションナでは、制御信号と駆動出力の関係をパラメータにより自由に設定でき、制御性を向上させるための特性変更が可能な機能を搭載している。

(5)キャビテーションとフラッシング現象

バルブに液体を流す時に考慮しなければならない現象にキャビテーションとフラッシング現象がある。特に、液化ガスや蒸発し易い低密度の液体、飽和蒸気圧に近いプロセス圧力下での液体の場合に発生する可能性があるためチェックを忘れてはならない。これらの対策はプロセス的な考察を含めた検討が必要である。

キャビテーション現象

キャビテーションは、液体がバルブで絞られた直後に圧力が一度その液体の蒸気圧より低くなり、そのすそで圧力が流体の蒸気圧以上に回復する場合に起きる現象である。液体はバルブの絞り部の後で蒸気圧以下に下がったときに気化し気泡が発生する。この気泡は圧力が蒸気圧以上に回復すると急激に潰れ、その時に発生する局所的な高圧力がバルブのプラグやシートなどに損傷を与える現象をいう。

このキャビテーションを防ぐためには次のような方法が考えられる。

1)バルブの差圧は変えずにバルブの前側(一次側)の圧力を高くしてやる。たとえばバルブの位置を低くして静圧を上げたり、できるだけプロセスの上流側に配置する等を検討する。

2)流体温度を下げて蒸気圧を下げる。これもバルブの位置を工夫し、たとえば、熱交の上流(被加熱に使われる場合)に位置するようにしたりする。

3)差圧を分散し、バルブでの圧力の落ち込み(差圧)を小さくする。この目的のために、しばしば使われるのにリストリクション・オリフィス(圧力制御板)がある。いうまでもなく、オリフィスの孔径は一定であるので、流体変化が大きい場合はあまり有効でないが、簡便な方法の一つである。

この場合1)で説明したように、オリフィスはバルブの後側(二次側)に位置させ、調節弁の一次側圧力を高く保つことが大切である。

4)アンチ・キャビテーション・バルブの使用がある。これは差圧の分散をバルブの内部で行わせる構造のものであり、多段トリム、多孔式、ラビリンス式等各メーカーにて工夫開発したものがある。一般バルブと比較するとコスト高になるので、プロセス条件、コスト等を考慮しながら採用するかどうか検討することが必要である。

フラッシング現象

フラッシングはバルブの2次側の圧力が流体の蒸気圧以上にならないで、液体は蒸発した状態のままとなる。したがって、バルブの出口は気液混相となり、液体でのサイジングをしたバルブでは容量不足で閉塞状態となり、所定の流量が流れなくなる現象をいう。したがって、フラッシング・サービスの場合は、内弁をワンサイズ大きくしたり、懐の大きいバルブを使ったりする。キャビテーションとフラッシングは隣り合わせの関係にある。

与えられた正常運転時のプロセス条件でフラッシングするときは、最小流量時には逆にキャビテーションを起こす恐れがあるので充分注意が必要である。

(6) 操作駆動部(アクチュエータ)

調節弁を構成する部分の中で、外部からの入力信号に応じてトリム(トリムとは、一般的にはプラグ、シート・リング、ステムをいい、調節弁では最も重要な部分をさす)の位置を定める働きをする部分を操作駆動部という。

操作駆動部には空気式、モータ駆動、油圧式等があるが、プラントで最も多く使われるのは空気式である。

操作駆動部に要求される機能

調節弁は外部からの操作信号を受けて所定の動作を行うものであり、そのために操作駆動部には次のような機能を備えていなければならない。

- 1) ストローク ; 調節弁に必要とするストロークを満足すること。
- 2) 応答特性 ; 制御系に十分な応答特性(作動速度)を持つこと。
- 3) フェール・アクション ; 動力源喪失時には、必要に応じて制御系としての安全側への作動が可能であること。
- 4) 出力 ; 流体によってステムに発生する推力および軸封部の摩擦に打ち勝ち、さらに必要な場合には、流体を締め切るに足るシート面圧が得られる操作駆動力を持つこと。
- 5) 剛性 ; いずれの面開度においても、ステムの推力に対して弁開度を安定に保つ

剛性があること。

6) その他の条件

; 設置される場所の環境条件に対応できること(防爆、防塵、防水等)。十分な信頼性と耐久性を持ちメンテナンスが容易であること。

操作駆動部の種類と特徴

操作駆動部には、それに使用する動力源により、大別して空気式、油圧式、電動式の3種類がある。それぞれ一長一短があるが、その特徴を表1.2.15に示す。

表 1.2.15 各種操作駆動部の比較

	空 気 式	油 圧 式	電 動 式
応 答 特 性	むだ時間は他形式に比べて大きい、作動速度は早い	むだ時間は小さく作動速度も早い	むだ時間はないが作動速度は遅い
フェイルアクション	内蔵するスプリング又はボリュウムタンクの併置で容易にかつ確実にとれる	困難(アキュムレータの併置等で不可能ではない)	その位置保持のみ可能である
出 力	スプリングダイアフラム式は中、シリンダは大	油圧源内蔵型は小、別置形は大	最 も 大 き い
剛 性	他形式のものより小であるが、実用的には充分である	大 き い	大 き い
構 造	簡 単	複 雑	複 雑
防 爆 ・ 防 水	考 慮 不 要	考 慮 要	考 慮 要
配 管 ・ 配 線	一般的には簡単	油圧源内蔵型は簡単 別置き型は複雑	一般的には簡単
保 守	容 易	複 雑	複 雑
経 済 性	安 い	高 い	高 い

(7) 付属機器の用途

調節弁（主として空気式調節弁）の付属品として次のようなものがある。

ポジシヨナ、電空変換器、エア・セット、電磁弁、リミット・スイッチ、開発発信器、ロックアップ弁、ブースタ・リレー、スピードコントローラ、開度制限ストッパ、手動ハンドル、ポリウム・タンク、等があるが、次に主なものについて紹介する。

1) ポジシヨナ

ポジシヨナの主な機能は、可動部摩擦、操作駆動部のヒステリシスおよびプラグが流体から受ける不平衡力の影響に関係なく、調節弁への入力信号に対して、プラグの位置を常に正確に比例させることにある。

この機能の他に、調節弁に対する調節計からの出力信号を変えたり、また、弁作動方向を変えたりするものもある。

一般にポジシヨナは、次の様な場合に、付加し使用する。

- (a) 弁前後の差圧が大きい場合
- (b) 応答遅れが問題となる場合
- (c) 制御精度が要求され、静特性を改善したい場合
- (d) 複数台の調節弁を1つの信号で操作する場合
- (e) 標準スプリングと異なるスプリング・レンジを使用する場合
- (f) 調節弁に逆作動操作が要求される場合
- (g) 流量特性の改善をはかりたい場合

ポジシヨナは、入力信号により空気式（空空ポジシヨナ）と電気式（電空ポジシヨナ）とに大別される。最近では、調節弁電空ポジシヨナのスマート化が進み、多くのメーカーがスマート電空ポジシヨナを市場に提供している。

スマート電空ポジシヨナの機能には次のようなものがある。

- (a) リモート・キャリブレーション
- (b) 各種故障診断
- (c) プロセス検知
- (d) 弁制御（PID）

2) エア・セット（フィルタ・レギュレータ）

- ・ポジシヨナ、その他への空気供給圧力を設定する。
- ・フィルタによる計装空気の清浄化

3) ロックアップ弁

空気源喪失時に、信号空気圧またはポジシヨナ出力空気圧を自動的に維持し、弁開度を現状の状態に保つ場合に付加する。

4) ブースタ・リレー

空気式操作駆動部の作動速度を増し、弁開閉スピードを速くする場合や、信号空気圧の伝送距離が長い場合、シリンダ式操作駆動部等の大容量の空気の供給、排気を必要とする場合に付加する。

5) 開度制限用ストッパ

弁全開あるいは弁全閉の信号指示に対し、ストロークを制限して一定の流量に保ちたい場合に、機械的に弁開度を制限するストッパが付加される。

6) 手動ハンドル

試運転や空気源喪失時において、特に調節弁の操作を手動で行うことが必要な場合には、手動ハンドルを付加する。

トップ・ハンドルとサイド・ハンドルがあり、トップ・ハンドルは開度制限用ストッパとして用いられることもある。

7) 電磁弁

操作駆動部への入力信号を電氣的に遠隔操作する場合に電磁弁を付加し、操作する。

電磁弁の選定にあたっては、電磁弁の作動と組み合わせる調節弁の作動に対する「励磁弁開」あるいは「励磁弁閉」などの確認が必要である。

8) ボリューム・タンク

調節弁の複動式操作駆動部へ供給される空気の空気源喪失時または空気圧低下時に、複動式操作駆動部を作動させ、調節弁のポジションを弁開または弁閉に導くための操作空気を供給する高圧空気溜めの容器をいう。

第二種圧力容器に相当する場合には、ボリューム・タンクには通常安全弁および圧力計が設置される。

1.3 工業計器の保全の概要

プロセス・プラントの安全性と防災に対しての社会的要求は高く、それに対する企業の責任も一段と高まっている。

プラントの安全性と防災性を保つには、コストの投資が必要である。その費用の一部をプラントの安全保持に重要な役割を担っている計測と制御の設備に投資することによって、経済性を損なわずに、かつプラントの性能を保ちながら安全性を確保することが可能となる。

以下に述べる工業計器の維持・補修の概要は、プラントの安全と防災の基礎となる計測器や調節弁を念頭に入れながら紹介するが、個々については各論にて詳細を説明する。

1.3.1 アイソレーション

アイソレーションとは、現在、運転中のプラントに付随してその機能を発揮している、または発揮できる準備体制にある計測器、操作盤(盤類)、調節弁等がある理由によりプラントから切り離す(取外し)前工程をいう。

たとえば、流量発信器(差圧式)の場合は、

プロセス流体を直接導いている導圧配管の取出元の第一バルブ(高圧側、低圧側)を完全閉止させ、発信器元の均圧弁を開き、発信器内の圧力を同圧力とする。同圧状態後、高・低側バルブを閉め、且つ導圧管内のプロセス流体ならびに発信器内の流体をドレンバルブ、ドレンプラグを開いて抜き取る。

導圧配管や計測器の性能維持のためにスチーム・トレースや保温材が施されている場合は、スチームの取出バルブを完全に閉め、取外しの準備を行う。

1.3.2 取外し、取付け

アイソレーションされた計測器や調節弁等を、現在国定されているところより切り離す工程をいう。

すなわち、発信器の端子箱(ケーブル接続箱)より信号線を外し、外したケーブルの養生ならびに端子箱の引込口の養生を行い、取外しの準備を行う。

流量発信器を導圧配管から指定された工具類を使用し、完全に取り外す。そのときに発信器本体に荷重や、引張強度がかかることのないように充分気を付けることが重要である。

これに対し、取付けとは取り外した計測器をもとの状態に戻す場合を基本としている。

分解、点検、組立てを終えた計測器を取り付ける場合は、上・下の区分、流れの方向、前後の区分があるものは当然プロセス流体に合わせなくてはならない。また、取付固定時に片寄り、片絞め、ならびに計測器本体への荷重のかかりすぎや、引張り等の変形をもたないように水平、または垂直にしっかり固定する。

1.3.3 分解、点検、組立て

プロセス制御を司る計測器は、センサ、検出部、操作部であっても、ほとんどすべてがハード(機械もの)類の集合体である。そのため長時間にわたり厳しい環境のもとで作動し続けている。当然機械も

のは摩耗をし、電気部分は抵抗値の低下等の絶縁不良を起こすことが十分に考えられる。計測器の性能を保つために定期時に分解を行い、損傷を確認し、また損傷を負っている部品（パーツ）は交換を、また潤滑油の補給、洗浄を行う工程を分解という。ただし、分解は、復旧ができる範囲であること。

点検とは、計測器に規定されている性能を維持するために、ある基準にもとづいて計測器の異常の有無または良・不良を外観により調査確認し、各部分の異常・劣化を早期に発見することをいう。

点検には、日常点検、重点点検、定期点検に分類することができる。

組立てとは、必要性に応じて分解・点検を行った計測器のハードをもとの状態に復旧することをいう。

1.3.4 修理・交換

計測器や調節弁等のハードは分解、点検を行ったことにより、部品の異常、劣化、汚れ等が見られるものは、補修ならびに新しい部品との交換をすることにより、計測器としての性能を完全に復帰することをいう。

1.3.5 調整・校正

調整とは、1.3.3～1.3.4の工程によって修理・交換された計測器類が機能を完全な状態に戻ったことを確認する工程をいう。

校正とは、計測器の指示する値（測定値）が信頼できるかどうかを予め検証しておくことは、あらゆる測定において不可欠な事項である。そのためには、正しい値のわかっている標準器と比較し、計量器の目盛の偏り（器差）を明らかにしておくことが必要である。この工程を校正という。

たとえば、流量計の校正方法には実流校正法（WET法）と理論校正法（DRY法）がある。WET法には体積法、秤量法（質量法）そして比較法がある。

1.3.6 リストレーション

アイソレーションの反対語である。1.3.1～1.3.5までの工程により、実施された計測器や調節弁等のハード類をプラントや設備に戻すことにより、プラント・オペレーションが可能な状態にする工程をいう。

このリストレーションされた計測器類はプラントの実流を直接受けるため、圧力や温度の変化ならびに回転機類や配管よりの振動による計測器の変化、信号系の異常の有無を確認し、変化が見られるときは速やかな対応が必要となる。

1.4 トレーサビリティ

1.4.1 トレーサビリティ

トレーサビリティとは、測定結果から国際標準までさかのぼる校正経路のつながりを、その精度（不確かさの幅）を含めて、はっきり示すことである。

すなわち、すべての計測器、たとえば企業や大学、研究所などで使用する計測器は、公的に認められた機関（校正機関）や企業（認定業者）が持つ標準器によって校正しなければならない。その標準器はさらに国が指定した公的機関（指定機関）の持つ特定標準器によって校正されていなければならない。さらに、これらの公的機関の持つ国家計量標準は、各国の標準研究機関との間で国際比較され、相互承認されたものでなければならない。

このように「標準器または計測器が、より高位の標準によって次々に校正され、国家標準・国際標準につながる経路が確立されていること」をトレーサビリティという。

この計測標準のトレーサビリティという考え方は、1950年代の末にアメリカで、おそらく宇宙開発計画の推進に必要な高精度・高信頼性の計測技術の確立を主な動機として提唱され、1961年国立標準局 National Bureau of Standards (NBS) の支援のもとに、アメリカ全土にわたる組織・全米標準研究所会 National Conference of Standards Laboratories) が編成されるに及んで、この考え方が急速に普及をみせるようになった。そして現在においては、国際標準化機構 International Organization for

Standardization (ISO) などの国際機関において、関連する各種の規格・基準を整理・統合を進めると共に、基準適合性の評価と認証の方法について一般的なルールを設ける作業を進めてきた。その成果は新たな国際規格または国際指針（ガイド）として多く出版されている。その中でも企業や団体の「品質システム（品質管理を実施するための組織、責任、手順）」の基準を管理項目ごとに定めた国際規格「ISO 9000 シリーズ」は、その中軸をなすものであるので参考にしてほしい。

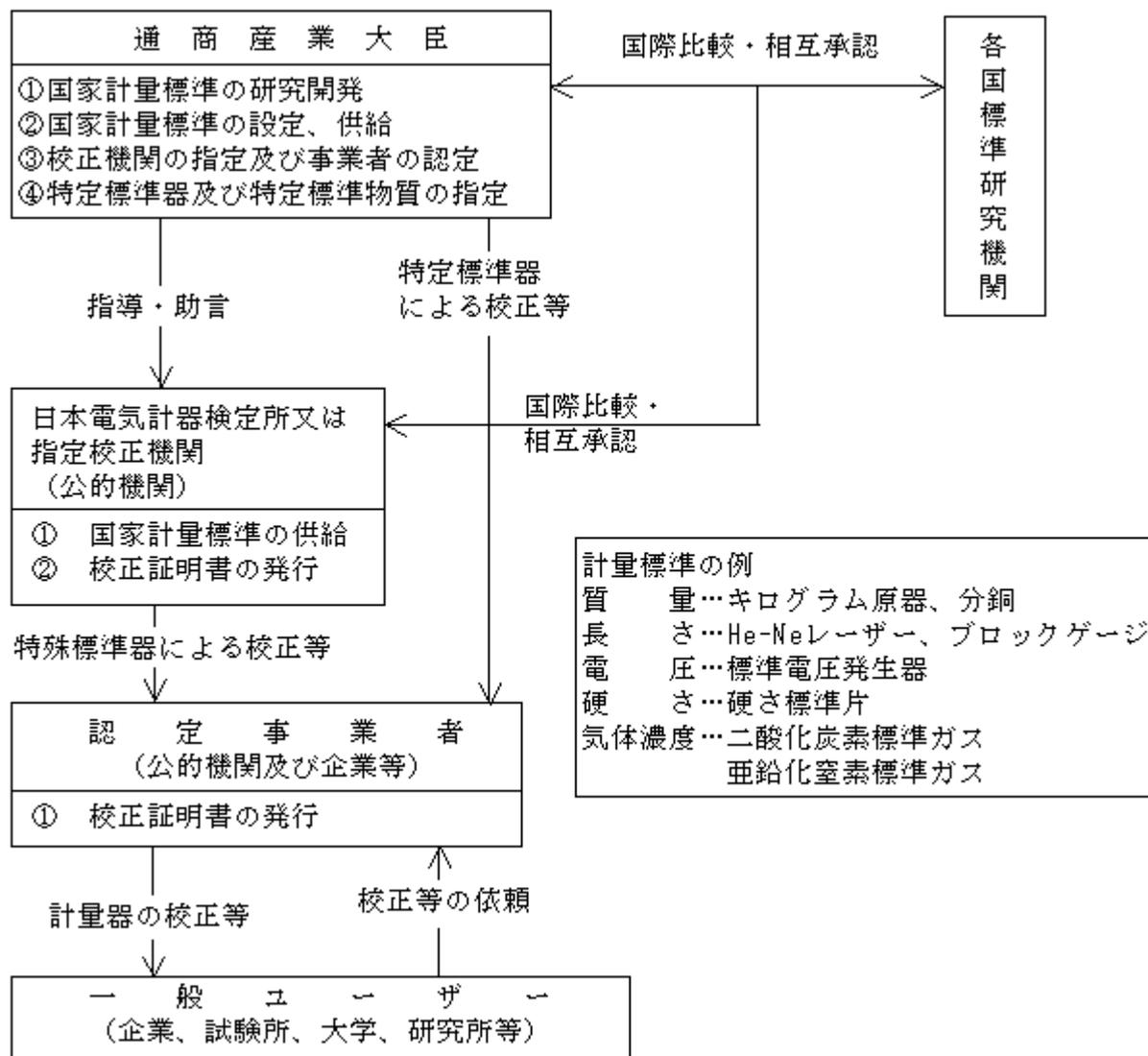
1.4.2 トレーサビリティ制度

新計量法（平成4年5月公布、同年11月施行）では「工業製品の生産に欠かせない計量器の校正に用いられる計量標準を国から産業界に確実に供給することを目的として」このトレーサビリティ制度を新しく規定した。

そのしくみを表1.3.1に示す。

この制度の対象となる計量標準は、産業界のニーズや計量標準の供給体制の整備状況との兼ね合いを見て、当初は現在標準が供給されているものが中心となる。具体的には、国家計量標準を通商産業大臣が特定標準器等として指定することとなる。この特定標準器等は国、日本電気計器検定所または指定校正機関が保有することとなり、特定標準器等による校正等を受けた計量器等（特定二次標準）は認定事業者（計量器メーカー、公的機関など）が持つことになる。計量器の一般ユーザは、この特定二次標準器等による校正等を受けた場合には、認定事業者から国家標準とのつながりを記した校正証明書の交付を受けることができる制度がある。

表1.3.1 トレーサビリティ制度



第2章

フィールド機器の保全

2.1 温度検出端

2.1.1 熱電温度計

(1) 熱電温度計の必要条件と構造

熱電温度計は、熱電対・保護管・補償導線から構成されている。以下に、それぞれの必要条件と構造について述べる。

熱電対の必要条件

一般に熱電対は実用上、下記の条件を満たすものが望ましい。

- 1) 耐熱性、耐食性がよく、機械的にも丈夫なこと。
- 2) 長時間使用しても熱起電力が大きいこと。
- 3) 同種の熱電対では同一の特性のものが得られ、互換性があること。

熱電対の構造

熱電対を構成する2本の金属線を素線と呼び、それらの先端部を接合したものを裸熱電対という。素線の接合方法は線の酸化物や汚れなどを十分に取り除いた後、それを密着させたり、ねじり合わせたりして接触させ、接触面を銀ろう付け、抵抗溶接圧接、あるいはアーク溶接など熱電対の種類、線径および使用温度によって異なる。接合部の形状と溶接方法を図2.1.1に示す。

裸熱電対は絶縁するために絶縁管を通す。これを絶縁管付き熱電対という。絶縁管付き熱電対も、このままでは絶縁管が折れたり割れたりしやすく、また使用雰囲気から素線を保護できないので、実際には保護管の中に挿入して用いる。

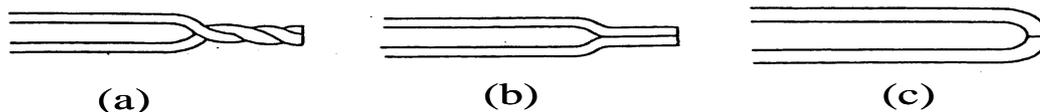


図2.1.1 接合部の形状と溶接方法

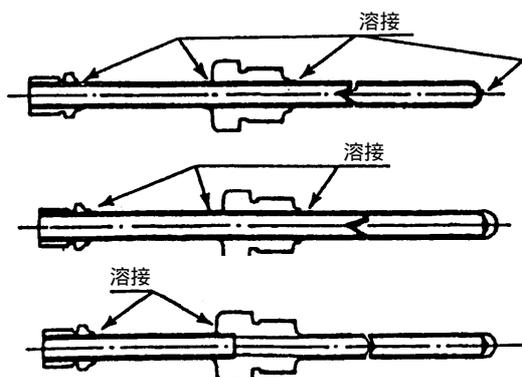
保護管の必要条件

熱電対に用いる保護管は、各種プラントの配管や容器等に熱電対とは独立した形で取付けを可能とし、温度測定個所の環境条件（圧力、流速等）による外力や、腐食性雰囲気等から熱電対を保護する。保護管は少なくとも次の条件を満たす必要がある。

- 1) 使用雰囲気、使用対象に対しての温度、圧力に耐える。
- 2) 高温でも機械的強度を有し、変形せず温度の急変に耐える。
- 3) 酸性、還元性ガスに強い。
- 4) 雰囲気に対して、素子の気密が保て、管内部より有害ガスを発生しない。

保護管の構造

保護管は、使用材料により金属保護管と非金属保護管に分類できるが金属保護管の構造を図2.1.2、非金属保護管の構造を図2.1.3さらにそれぞれの代表的な保護管を表2.1.1、表2.1.2に示す。



・引抜き構造；引抜き管の一端を封じ、取付部および端子箱接続用のネジを溶接。

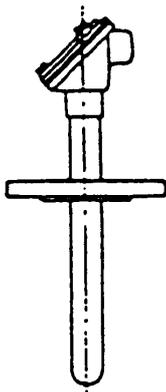
・くり抜き構造；丸棒から管部をくり抜き加工をし、一取付部および端子箱用接続ネジを溶接。

・一体くり抜き構造；棒から取付部を含めて管部をくり抜き加工し、端子箱との接続は別の管を使用する。

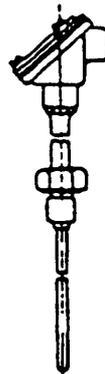
図2.1.2 金属保護管の構造

表 2.1.1 代表的な金属保護管

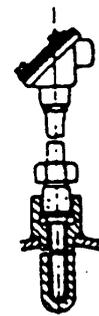
種 類		最高使用温度	特 徴
銅C1100		300	低温用。耐食性・熱伝導性良い。
黄銅C3601		300	加工が容易。低温用。
ニッケル、銅合金NiCu		500	アルカリ、非酸化性の酸および塩類の水溶液に対する耐食性良い（アンモニア、海水）。
軟鋼STPG		600	強度大で安価。湿気があると酸化著しい。
カロライズ軟鋼		800	軟鋼の耐熱性、耐食性改善。還元ガスやイオウに弱い。
オーステナイト系 ステンレス鋼	SUS304	850	最も一般的なステンレス鋼。還元炎やイオウに弱い。
	SUS321	850	SUS304の高温耐食性を改善したもの。還元炎やイオウに弱い。
	SUS310S	1100	ステンレス鋼中最も高温強度大。耐酸化性良い。
	SUS316	850	SUS304より高温における耐食性良い。
チタンT		300	アルカリ、海水、塩化物、塩素ガス、有機薬品、硝酸に対する耐食性良い。
サンドビックP4		1050	耐熱性良い。還元炎やイオウにも強い。
インコネル600		1100	高温強度大。酸化性雰囲気に適す。高温で水素を通す。還元炎やイオウに弱い。



フランジ取付構造



ネジ込み構造



グラント取付構造

図 2.1.3 非金属保護管の構造

表 2.1.2 代表的な非金属保護管

種 類	最高使用温度	特 徴
磁器PT-2	1300	アルミナで急熱・急冷に弱い。機械的には丈夫。
磁器PT-1	1450	PT - 2に比べて耐熱度が高い。
磁器PT-0	1600	高純度アルミナで、急熱・急冷には特に弱い。気密性大。
石英QT	1000	急熱・急冷に強いが、機械的強度は小さい。酸性に強く、アルカリに弱い。
炭化珪素SiC	1550	急熱・急冷に強いが気密性に劣る。耐摩耗性良い。
窒化珪素Si ₃ N ₄	1400	急熱・急冷に強い。多孔質で気密性に欠ける。
ふっ素樹脂	250	耐食性が良い。
硬質ガラス	500	酸化防止、ガス侵入防止、急熱・急冷に弱い。

補償導線の必要条件

熱電対の設置場所と計器との間の距離が長い場合に、熱電対素線をそのまま計器に接続すると、途中で誘導障害により精度が低下したり、また高価にもなる。熱電対素線に代えて他の導線で熱電対と計器を接続すると、熱電対素線と導線の接続点で接触電位差が発生し、それが接続点の温度によって変動し誤差を生ずる。これを避けるために、補償導線を用いて熱電対と計器を接続する。補償導線は、常温を含む相当な温度範囲内で、組み合わせて使用する熱電対とほぼ同一の熱起電力特性をもつ。

補償導線の構造

補償導線は、一般用（90℃以下で使用）、耐熱用（150℃以下）と高耐熱用（200℃以下）の3種類があるJISにより文字記号または表面編組の色によって区別される。直径0.65mm程度の素線を7本程度より線にし、絶縁被覆をしてある構造なのでハンダ付けは難しい。構造図を図2.1.4に示す。

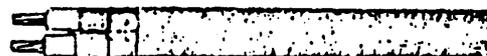


図 2.1.4 補償導線の構造

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

準備として、測定器および工器具類を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。

（電圧電流発生器、デジタル・マルチメータ、メガー）

客先担当者に作業内容、作業時間を連絡する。

DCSの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN - OFFモード等）処置を客先担当者に依頼する。

計器を手動操作に切り替える。

(3) 取外し

誤配線を防止するために、取り外す熱電対のTAG番号を記録しておく。

外した配線（補償導線）には、ビニール・テープを巻く。

高温の炉から保護管を抜くときは、静かにゆっくりと引き抜く。

安全のポイント

1) 炉温が高い場合、炎の吹出し等による火傷の恐れがあるので、客先担当者に炉圧を下げてもらおう。

2) 保護管が高温になっているので、保護手袋の着用や治具を使って作業する。

- 3) 高所の場合、脚立の準備や安全帯の着用等もあわせて実行する。
- 4) 炉下の保護管を引き抜くときは、異物が眼に入らないように保護眼鏡を掛けて作業する。また、炉内、炉上、炉下など粉塵が多いところでは、防塵マスクを使用する。
熱電対は、指示機構が検出部にないため、作業不安定な高所などに設置されている場合が多いので、必ず安全帯を着用する。
取り外した後の穴は、プラントの状況(運転中、休止中)に合わせ、耐火レンガもしくはガラスウール等で塞ぐ。

(4) 保守・点検

補償導線の点検

- 1) 導線被覆や心線の損傷状況の確認を行う。傷みが激しく補修の必要があれば、客先担当者に報告し指示をあおぐ。
- 2) 補償導線の絶縁性を確認するため、線間と対地間の絶縁をメガーにて測定する。
メガー測定後は、抵抗を入れてアースに落とし帯電圧分をゼロにする。

保護管の点検

保護管の亀裂、曲がりなどを確認する。取付ねじ付きの場合、ねじ部の変形、損傷状態も確認する。

碍子、素線の点検

- 1) 熱電対を引き出し、碍子の割れや変色していないかを確認する。
- 2) 素線挿入時、保護管先端より3～5mm程度浮かす。先端まで入れるとゴミがある場合、保護管と素線が融着するので注意する必要がある。

(5) 修理・交換

保護管を修理・交換する場合、接続形式、形状・寸法および材質を見誤らないよう十分に確認する必要がある。その際機械的強度および物理的・化学的適合性および挿入長さの検討が必要である。

機械的強度の検討

耐圧強度(保護管円筒部に生ずる円周応力)、曲げ強度(保護管の根元部に生ずる曲げ応力)、共振(保護管の背後に生ずる強制振動)の検討。

物理的・化学的適合性の検討

- 1) 全面腐食 ; ステンレス鋼の一般的な耐食性を判断する基準。
- 2) 粒界腐食 ; オーステナイト系ステンレス鋼が500～800に加熱される場合に起こる。
- 3) 孔食 ; ステンレス鋼で局部腐食が進行すると局部電池が形成され腐食が加速される。
- 4) 応力腐食割れ ; 曲げ、拡張、溶接などの加工を受けた場所が高温の場合、引張応力が加わると応力腐食割れを生ずる。防止策としては、歪取焼鈍によって残留応力を除いたり、材料自体に引張応力が加からないようにする。

挿入長さの検討

炉内温度計測を行うとき金属保護管の場合、外径の15～20倍、非金属保護管の場合外径の10～15倍の挿入長が必要である。

設置例を図2.1.5に示す。

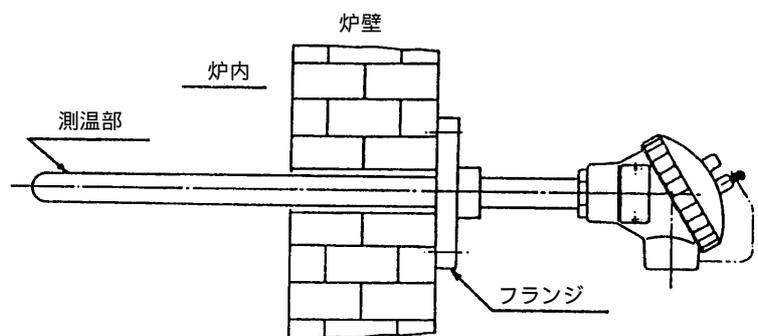


図2.1.5 設置例

(6) 調整・校正

熱電対補正試験

プロセスで使用中の熱電対を定期的に試験し、精度の合否を明確にして不良のものを更新し、つねに正確

な熱電対を使用する目的で補正試験を行う。以下に補正試験手順を述べ、図2.1.6に補正試験の実際例を示す。

1) 素線を電気炉にセットし、基準熱電対と比較試験を行う。校正点は、測定範囲の3点以上が望ましい。(例; 測定範囲 700 ~ 1300 の場合、800, 1000, 1200)

注意事項 素線を扱う時は、手を良く洗いかつ素線をアルコールで清拭する。

2) 比較試験結果、精度を外れた場合は、素線の天地変換(先端部と後瑞部の入替)を行い再度比較試験をする。この際精度内であることを確認する。

3) 精度外れや不良などにより新品の素線を使用する時は、可能ならばガス抜きを行う。

熱電対試験用電気炉に基準熱電対と被補正用熱電対素線を挿入し、温接点を一定試験温度に保ち、基準熱電対と被補正熱電対の発生 mv で比較する。

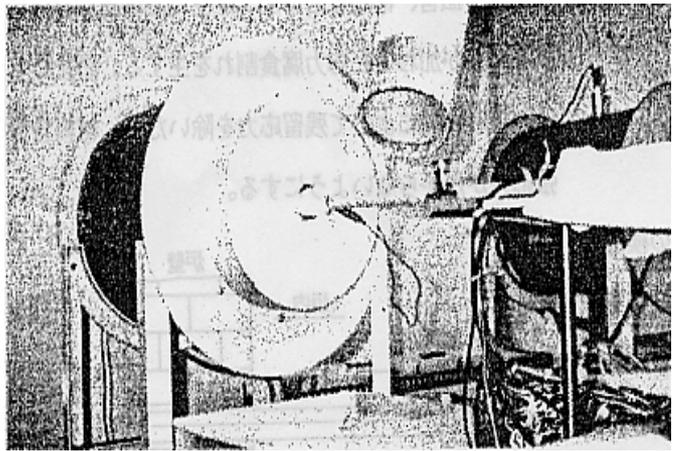


図 2.1.6 熱伝対補正試験の実際例

ループ校正試験

熱電対のループを定期的に試験し、精度の合否を明確にする。以下に手順を記す。

- 1) 電圧電流発生器を $mV /$ 変換器入力端子 + と - に接続する。
- 2) デジタル・マルチメータを $mV /$ 変換器の出力端子に接続する。
- 3) 指定された測定温度レンジ 4 点から 5 点に対応する冷接点を補償された熱電対起電を入力し、各点に対応した $mV /$ 変換器出力をデジタル・マルチメータにて測定する。同時に計器または DCS の場合、CRT の温度指示を読みとる。
- 4) 校正試験結果が指定された値を越えた場合は、ゼロ・スパン調整を行う。
(詳細については、各社取扱説明書を参照のこと)
- 5) 測定器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。バーンアウト回路が正常に動作するか確認する。

バーンアウト基本回路を図 2.1.7 に示す。

【機能説明】

何らかの原因で熱電対が断線した場合、温度指示をアップまたはダウンスケールに振り、制御状態を安全方向に移す。

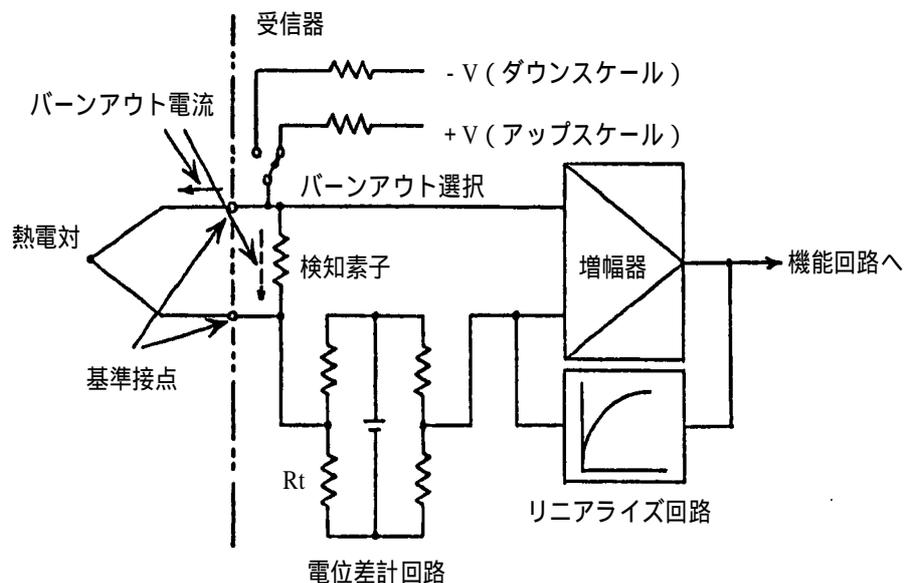


図 2.1.7 バーンアウト基本回路

(7) 取付け

校正済みの熱電対を現場に取り付ける。保護管を高温炉に取り付け（挿入）するときは静かにゆっくり挿入する。急いで挿入すると、急激な温度変化で非金属保護管は割れるので注意すること。取付（挿入）部は、モルタル等で目塗りをし、炉からの火炎吹出しを防ぐ。高圧部へ取り付け（挿入）する時は、パッキン等を用いて気密を守る。補償導線を+と-の極性を間違えないよう接続する。補償導線を結線する時、配線の短絡・地落到注意すること。

(8) リストレーション

計器またはDCSの場合、CRTに温度指示が出ていることを確認する。

（常温指示以上か確認）

計器を手動から自動操作に切り替える。

チューニング（P. .D）係数は、作業前後と変わらないか確認する。

客先担当者に作業終了を報告する。

DCSの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN - OFFモード等）取外処置を客先担当者に依頼する。

2.1.2 抵抗温度計

(1) 測温抵抗体の特質と構造・特性

抵抗温度計は、測温抵抗体とサーミスタがあるが、最も一般的な測温体は次のような特質がある。

測温抵抗体の特質

- 1) Pt (白金) 測温抵抗体は、長期にわたり安定な測定が可能である。
- 2) 回路を流れる電流 (1.0, 2.0, 5.0mA) が大きいと、ノイズには比較的強い。
- 3) 測温抵抗体の細い金属線をマイカ、ガラス等に巻いて作るエレメントは、機械的や振動に弱い。長期間振動の続く場所では、断線する恐れがある。
- 4) 形状が大きく、熱の伝達がわるい構造のため応答が遅い。

測温抵抗体の構造・特性

測温抵抗体は、抵抗素子、内部導線、絶縁物、保護管等で構成される。

抵抗素子；温度を検知してその量を抵抗値に変換する部品。(一般には白金)

内部導線；抵抗素子と測温抵抗の端子とを接続する導線。

絶縁物；内部導線の絶縁として用いる。耐熱性、耐寒性および絶縁性に優れていることが必要。

保護管；抵抗素子、内部導線が被測定物または雰囲気によって侵されないように、気密で十分な耐熱性、耐寒性および耐久性をもっている。

保護管付測温抵抗体の構造を図 2.1.8 に示す。

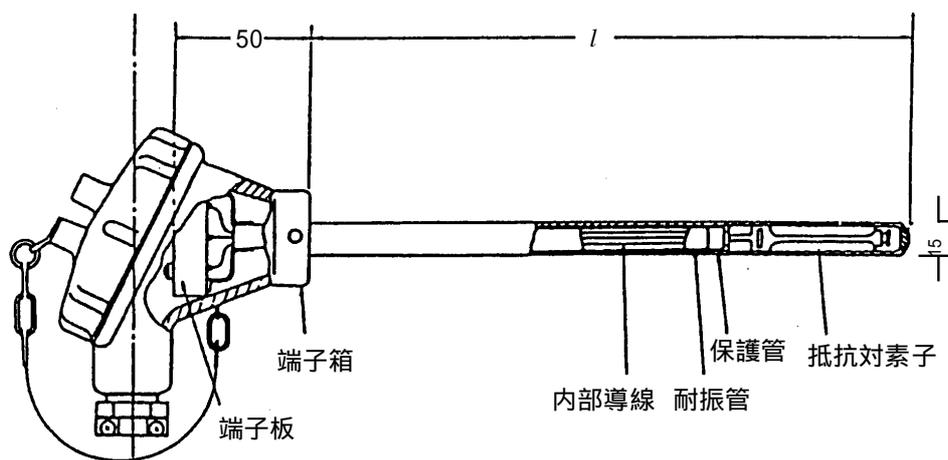


図 2.1.8 保護管付測温抵抗体の構造

内部導線の結線方式は、2 導線式、3 導線式および 4 導線式がある。その結線方法を図 2.1.9 に示す。

2 導線式；抵抗の両端にそれぞれ 1 本の導線を接続した形式。

3 導線式；抵抗素子の一端に 2 本、他端に 1 本の導線を接続し、導線抵抗の影響を除くことができるようにした形式。

4 導線式；抵抗素子両端それぞれ 2 本の導線を接続し、導線抵抗の影響を除くことができるようにした形式。

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

準備として、測定器および工器具類を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。

(デジタル・マルチメータ、標準抵抗器、メガオームメータ)

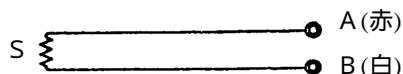
次のことを客先担当者に依頼、連絡する。

- 1) 作業内容、作業時間。
- 2) DCS の場合、面面上での札掛け (点検中または CAL モード・SCAN - OFF モード) 処置。

3) 保安機能付（インターロック機能）の場合の解除処置。

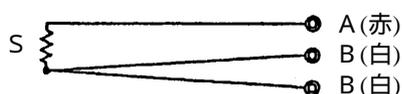
温度変換器または計器への供給電源を断にする。

(a) 2 導線式

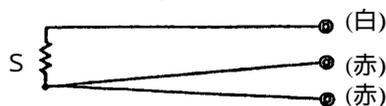


(b) 3 導線式

「JIS」タイプ



「IEC」タイプ



備考 IECタイプであることの
識別表示をしなければな
らない。

(c) 4 導線式



備考 は端子を、Sは抵抗素子を示し端子と抵抗素子を結ぶ線は内部導線を表す。

図 2.1.9 内部導線の結戦方式

(3) 取外し

誤配線を防止するために、取り外す測温抵抗体にTAG番号を記録しておく。

外した配線には、ビニール・テープを巻く。

取外しの際、保護管から液体等が少しでも出てきたらネジ部などを元に戻し、客先担当者にその旨を連絡する。

測温抵抗体は指示機構が検出部にないため、作業上不安定な高所などに設置されている場合が多いので、必ず安全帯を着用する。

(4) 保守・点検

測温抵抗体の性能を維持し、所定の精度に保ち、故障の発生を防止するためには保守作業は重要な役割をもつ。取外し後の点検作業はおよそ次のようになる。

点検作業において、測温抵抗素子に衝撃や振動を与えないようにする。

測温抵抗素子に酸化腐食、変形や損傷の異常がないか確認する。

測定誤差を防止するために、素子の挿入長を記録しておく。

内野導線被覆・芯線の損傷状況を確認する。傷みが激しく補修の必要があれば、客先担当者に報告し指示をあおぐ。

保護管の亀裂、曲がり、腐食等の確認をする。

外部配線引出口のシール状況を確認する。

一連の点検作業後に、測温抵抗素子の抵抗値をデジタルマルチ・メータで確認する。

一般的な保守・点検管理基準を表 2.1.3 に示す。

(5) 修理・交換

保守・点検結果、測温抵抗体に何らかの異常があった場合には、異常箇所の修理または交換を行う。測温抵抗体の交換では、次のことを確認する必要がある。

規定電流の確認

測温抵抗体は、規定電流によって精度が補償されているため、交換時には同一規定電流のものを使用

する。規定電流が異なった場合、素子の自己加熱くジュール熱により誤差発生となることがある。

仕様の確認

使用場所の条件が変更されていないことを確認し、変更がある場合は、構造、構成材料を再検討の必要がある。

挿入長の確認

測温抵抗体の挿入長は、熱伝導誤差に深くかかわりをもつ。同一構造でない物を使用する場合は、交換前の挿入長に合わず必要がある。

表 2.1.3 保守・点検管理基準

項目	基準	管理周期		実施および処置
		始動時	運転時	
温度に対する抵抗値	規定の許容差以内のこと。		定修	氷点および100 付近において校正する。 規格外の場合交換。
絶縁抵抗	室温で100M /100VDC以上 使用時は2M 以上。		定修	メガーで測定。絶縁劣化の原因調査し、清掃・乾燥などの処置で改善されない時交換。
保護管外観・寸法	汚れ・曲がり・傷などおよび腐食・摩耗・割れ・酸化により肉厚減がないこと。		定修	目視による点検、ノギスなどによる測定。 腐食・摩耗・割れ・酸化などにより有
取付部	ねじ部やフランジ部の締付不足および漏れ等がないこと。		定修	触手・目視・聴覚による点検。取付部の締直しおよびパッキン類の交換。
接続導線	導線被覆・芯線に損傷がないこと。		定修	目視・触手による点検。損傷の場合、導線の交換。

(6) 調整・校正

抵抗温度計の校正は、測温抵抗体の温度に対する抵抗値チェック（単体）と受信器の規準抵抗値に対する指示チェック（ループ）である。

単体校正試験

- 1) 測温抵抗体を恒温槽にセットし、標準測温抵抗体と比較試験を行う。校正点は、測定範囲の3点以上が望ましい。(例；測定範囲0～100 の場合、30, 60, 90 の3点) 比較試験に用いる恒温槽について、表 2.1.4 で示す。
- 2) 比較試験結果、精度を外れた場合は、同一の物と交換する。

表 2.1.4 比較試験に用いる恒温槽

恒温槽の種類	温度範囲	恒温槽に使用する主な液体
低温槽	- 100～0 - 70～0	石油ベンジン（液体窒素などによる冷却） 石油ベンジン、アルコール（ドライアイスなどによる冷却）
水温槽	0～100	水
油温槽	100～300	シリコンオイル
硝石温槽	300～600	硝酸カリウム（KN03）と硝酸ナトリウム（NaNO3）の混合物（質量比1：1）

備考1. 恒温槽を用いる部屋は、換気扇などを用いて有害な蒸気などを排出する。

2. 低温槽ではアルコール石油ベンジンを用いるため、火気に注意する。

3. 油温槽に用いる油は、粘度、引火点などによって使用できる温度範囲が異なる。また、使用温度、使用時間によって油の粘度が変化する。

4. 硝石温槽の温度は、650 を越えてはならない。容器には、ステンレス鋼を用い、耐熱性の床に置く。近くに可燃性物がないようにする。

アルミニウムなどの酸化しやすい物質を液槽内で使用しないこと。熔融石英製の温度計を直接挿入すると表面が侵されるので、保護管を使用する。

ループ校正試験

1) 標準抵抗器を温度変換器端子、3 導線式では A、B、B に接続する。

2) デジタル・マルチメータを温度変換器の出力端子に接続する。

3) 指定された測定温度レンジ 4 点から 5 点に対応する抵抗値を入力し、各点に対応した変換器出力をデジタル・マルチメータで測定する。

同時に計器または D C S の場合、C R T の温度指示を読みとる。

4) 校正試験結果が指定された値を超えた場合、ゼロ、スパン調整を行う。

(詳細については、各社取り扱い説明書を参照のこと)

5) 測定機器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。バーンアウト回路が正常に動作するか確認する。(バーンアウト回路は熱電対ループ校正試験参照のこと)

(7) 取付け

校正済みの測温抵抗体を現場に取り付ける。

素子内蔵型は、保護管に衝撃、振動を与えるとエレメントの断線につながる恐れがあるので注意すること。

測温抵抗体外部導線との接続は、+ と - の極性を間違えないように注意すること。

さらに接続は、しっかりと端子を増締めること。

また、取付環境上水滴が発生する箇所には、接続後口ウカウレタン・ゴムを流し込んで、端子が露出しないように防水処置を行う。

(8) リストレーション

温度変換器または計器への供給電源を入にする。

客先担当者に次のことを依頼・報告する。

1) 作業終了と校正結果。

2) D C S の場合、画面上での札掛け (点検中または CAL モード・SCAN-OFF モード) 取外処置。

3) 保安機能付 (インターロック) の場合は、復帰処置。

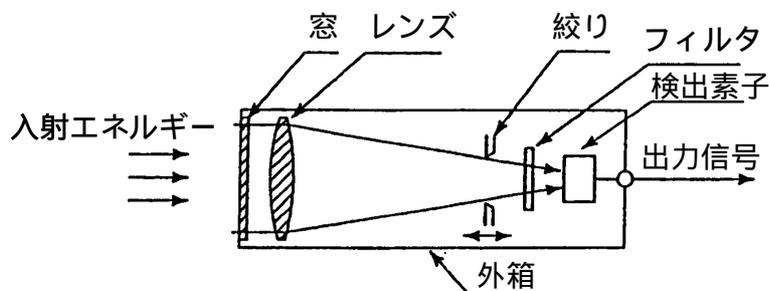
2.1.3 放射温度計

(1) 放射温度計の種類と構造

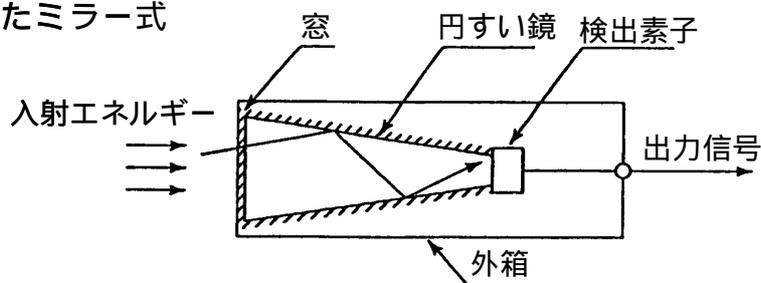
放射温度計は、波長帯域により、単色放射温度計、部分放射温度計、全放射温度計および多色放射温度計に分類される。放射温度計の光学系の例を図2.1.10に示す。

測定対象からの放射エネルギーは、保護管の窓を通過した後、レンズ、円すい鏡あるいは凸面鏡によって検出素子に集光され、電気信号に変換される。

レンズ式



円すい鏡を用いたミラー式



凸面鏡を用いたミラー式

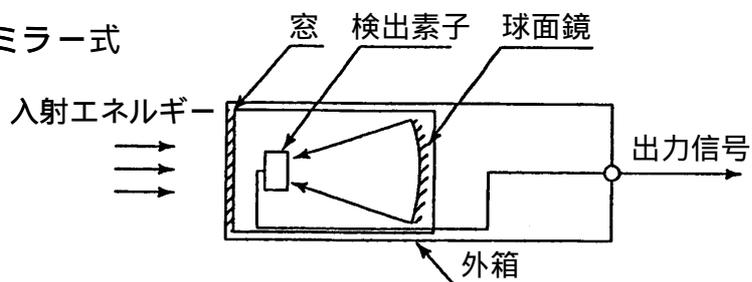


図2.1.10 放射温度計の構成

(2) アイソレーション

アイソレーションの作業は、およそ次のようになる。

準備として、測定器および工器具を揃える。なお、校正試験に使用する測定器は、国家標準とのトレーサビリティが確保されたものとする。

(電圧電流発生器、デジタル・マルチメータ)

単体校正試験用として、黒体炉を測定温度に昇温する。

客先担当者に作業内容、作業時間を連絡する。

DCSの場合、画面上での札掛け(点検中またはCALモード・SCAN-OFFモード)処置を客先担当者に依頼する。

温度変換器(リニアライザー)への供給電源を断にする。

放射温度計の構成を図2.1.11に示す。

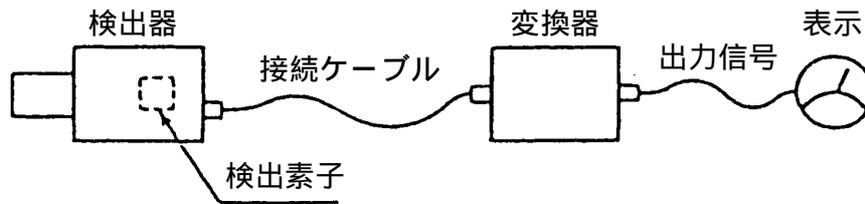


図 2.1.11 接続ケーブルを用いた放射温度計の構成

(3) 取外し

プラントの休止での定期点検もしくは、修理時に変換器と対に取り外す。
誤配線を防止するために、取り外す放射温度計の TAG 番号を記録しておく。
信号線と電源線を間違えないよう、荷札に名称を記入し取り付けておく。

(コネクタ方式で、間違える恐れがない場合は、名称の記入は不必要)

取り外す前の放射率補正值を記録しておく。

放射温度計用としての冷却水、エア・パージのバルブを閉にする。

(4) 保守・点検

保守・点検作業は、およそ次のようになる。

光学部の清掃点検

検出器のカバー・ガラスなどの光学部は、常に清浄に保つ必要がある。汚れや曇りがないか確認し、異常が認められたらガーゼにアルコールを含浸させ拭き取る。

検出器のゆるみ点検

検出器の取付部分がしつかり固定されているか確認する。

配線の接続やコネクタのゆるみ点検

検出器、変換器、受信計器などの端子ネジやコネクタにゆるみがないか確認。

冷却水の水量と水温の確認

水冷を行っている場合、水量は適切か、水漏れはないか、水温は 40 以上になっていないか確認する。

エア・パージ量の確認

エア・パージをおこなっている場合、エアの量・圧力、および清浄度合いを確認する。

(5) 修理・交換

保守・点検結果、放射温度計に何らかの異常があった場合は、異常箇所の修理または交換を行う。放射温度計の交換では、次のことを確認する必要がある。

検出器と変換器の仕様（電源、信号等）が合っているか確認する。

放射率補正の設定は、交換前の値になっているか確認する。

検出器と変換器の接続ケーブルが正しいか確認する。

その他、一般的な留意点を述べておく。

1) 振動・衝撃

振動・衝撃が長期的に加わると、温度計としての信頼を損なう恐れがある。検出器と固定台、固定台と取付場所の間に防振ゴム等を入れると効果がある。

2) 測定距離

温度計と被測定物との距離は、測定精度上で重要なポイントとなる。測定距離は計算値で概略を決めておくと調整の手間が省ける。

3) 視野確保

温度計と被測定物間の光路中に、水滴、水蒸気、煙などが存在していれば、間欠または連続的な視野欠けとなるため、これらを防止する対策が必要である。

(6) 調整・校正

放射温度計の校正とは、異体空洞を校正しようとする放射温度計で測定したときの示度と票体空洞の真温度との関係を求めることである。主な校正試験方法は、次のように分類される。

- 1) 定点黒体炉を用いた校正試験方法
- 2) 比較黒体炉を用いた校正試験方法
- 3) 標準黒体炉を用いた校正試験方法
- 4) 認定事業者に依頼する方法

ここでは、比較黒体炉を用いた校正試験方法について述べる。

比較黒体炉を用いた単体校正試験

- 1) 校正された標準放射温度計を用意し、図2.1.12のように比較黒体炉の空洞と標準放射温度計の光軸が合うように位置の調整を行う。
- 2) 温度計と視野の焦点を黒体炉底面の中心に合わせる。
- 3) 比較黒体炉を校正する温度に設定し、標準放射温度計の指示が安定するまで放置する。(放射率補正設定値は1.00とする)
- 4) 標準放射温度計の指示が安定したなら、標準放射温度計と被校正放射温度計を数回置き換え、標準放射温度計の測定値を比較黒体炉の真値とし、そのときの被校正放射温度計の測定値が校正値となる。
- 5) 校正点は、測定範囲の3点以上が望ましい。
(例；測定範囲600～1100の場合、700、800、1000の3点)

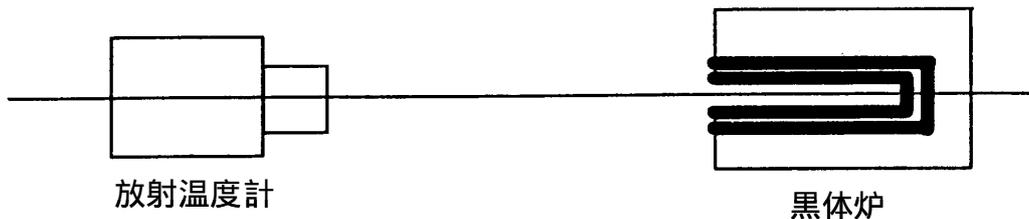


図2.1.12 温度計のセット

ループ校正試験

- 1) 電圧電流発生器を変換器入力端子+と-に接続する。
- 2) デジタル・マルチメータを変換器出力端子に接続する。
- 3) 指定された測定温度レンジ4点から5点に対応する放射温度起電力を入力し、各点に対応した、変換器出力をデジタル・マルチメータにて測定する。
(放射率補正設定値は1.00とする)
- 4) 校正試験結果が指定された値を越えた場合は、ゼロ、スパン調整を行う。
(詳細については、各社取り扱い説明書を参照のこと)
- 5) 測定機器を取り外し、間違いのないように配線を元に戻す。

(7) 取付け

校正済みの放射温度計を現場に取り付ける。

放射温度計は、振動や衝撃に弱い部分もあるので、取り扱いには注意すること。

放射温度計と外部配線の接続は、信号線と電源線を間違えないように注意すること。

冷却水とエア・パージのバルブを開にし、それぞれの量を確認する。

放射温度計にフィルタ等の条件付部品が取り付けられているものは、作業前の状態になっているか確認する。

放射温度計と測定対象物とのセンター・リングを確認する。

放射温度計に懐中電灯等光を照らし、計器またはDCSの場合CRTに指示が出ることを確認する。

(8) リストレーション

温度変換器または計器への供給電源を入にする。

放射率補正值が、取り外す前の値に正しくセットされたか確認し、確実にロックする。

客先担当者に次のことを依頼・報告する。

1) 作業終了と校正結果。

2) DCSの場合、画面上での札掛け（点検中またはCALモード・SCAN-OFFモード）取外処置。