

計装・制御



原子力発電所中央制御盤一新(上)と旧(下)

計装概要

② **計装／Instrumentation** : プロセス、プラント、装置(以下、装置等)がその役割を果たすように計測センサ、制御機器、操作機器を装備すること(JISによる定義は下記)

計装の位置付け

生産・社会資本設備(例)	対象流体
化学プラント(石油精製、合成) 食品、醸造、医薬品 原動機プラント(発電、原子力) 交通機器(船舶、航空) 水処理(上下水道) 貯蔵プラント(ガス、LNG、石油)	液体 ガス体、蒸気 粉体、粒子 スラリー(2流体)



流れの状態を計測して、目的に合わせるように操作



図41-1 化学プラント

計装: 測定装置、制御装置などを装備すること
計測: 特定の目的を持って事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、その結果を用いて初期の目的を達成させること(注、測定、データ処理を含めた大きな概念)
測定: ある量を規準として用いる量と比較し、数値または符号を用いて表すこと(注、一般に測定器で計ること)
計量: 公的にとり決めた測定標準を基礎とする計測
検出: 測定量を信号として取り出すこと

表41-1 H20年度生産実績(単位億円)
(日本計量機器工業連合会統計資料)
(※H23、H24年データは巻末)

流量計	441
レベル計	189
アネロイド型圧力計	115
水道メータ	194
ガスメータ	532
プロセス用温度計	107
プロセス用制御機器(除、温度計)	1304
計	2882

なぜ計装が必要か? ①

→ 産業が発展して人々の生活が進歩する
→ 活動の精度、製品の精度への要求の高まり



1. 運転・操業の安全・安定性
2. プロセス生産の品質管理
3. 生産物の取引
4. 生産記録の管理・保存

工業計測のおもな計測量	温度 圧力 流量 レベル	このほか目的に応じて; 湿度、密度、液体濃度、ガス成分、粘度、 変位、力、回転数、速度、振動、 電圧、電流など
-------------	-----------------------	--

計装の設計で配慮すべき項目の例:

装置等の最適運転、使用目的、運転方法、運転要員、保守要員の質および人数、現場環境、地球環境保全、費用対効果、長期間安定性、信頼性、保守性、安全性、ライフサイクルコスト

関連機関: (社)日本計装工業会、(社)計測自動制御学会、(社)日本計量機器工業連合会、
日本圧力計温度計工業会、(社)日本電気計測器工業会、日本硝子計量器工業協同組合、
(社)日本計量振興協会、各県の計量検定所

正しい計測・精度

① 計測器の**精度**＝計測器の性能を表すための数値で、計測器自体に付随するもの（仕様書、取扱説明書、検査成績書等に記載）

精度：測定結果の正確さと精密さを含めた測定量と真の値をと一致の度合い

正確さ：かたよりの小ささの程度

精密さ：ばらつきの小ささの程度

不確かさ：合理的に測定量に結びつけられ得る値のばらつきを特徴づけるパラメータ。測定結果に付記される

(JIS Z 8103)

不確かさの要素：

- (1)測定の結果、測定量の真の値が存在すると考えられる範囲
- (2)信頼水準または信頼率((1)の範囲内に真の値が存在する確立)

正しい計測のために考慮すべきこと	測定目的の明確化	何を、何のために、測定結果で何をするのか
	必要な精度	出荷検査では、その合否判定基準を事前に確認
	測り方	計測器の能力、測定原理、必要な環境条件を理解
	適切な計測器	測定対象に応じた適切な能力の計測器を選択

正しく測られていることを確認する方法	予想される測定結果との差を確認
	計測器の表示値のばらつきを確認
	繰返し性や再現性を確認
	既知の量を入力して出力の差を確認

定期的な較正 — 較正期限(計測器精度の有効期限)の明記

計測にはかならず「**誤差**」がふくまれている

$$\text{誤差} = \text{測定値} - \text{真の値}$$

高精度の計測器 → 測定精度は高まるが、効果上昇に比べコスト上昇が著しくなる。

測定値のばらつきは「正規分布」となる
ばらつきが小さい(精度がよい) → 平均値近くに集中

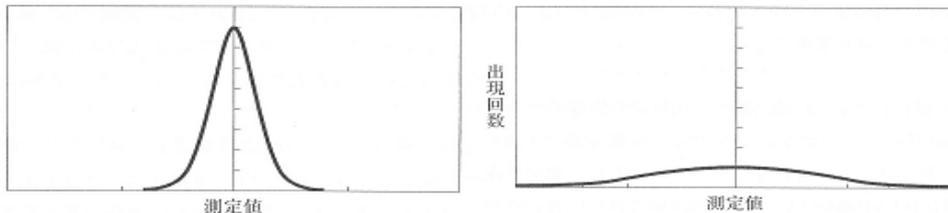


図41-3 ばらつきの小さい正規分布(左)と大きい正規分布(右) ①

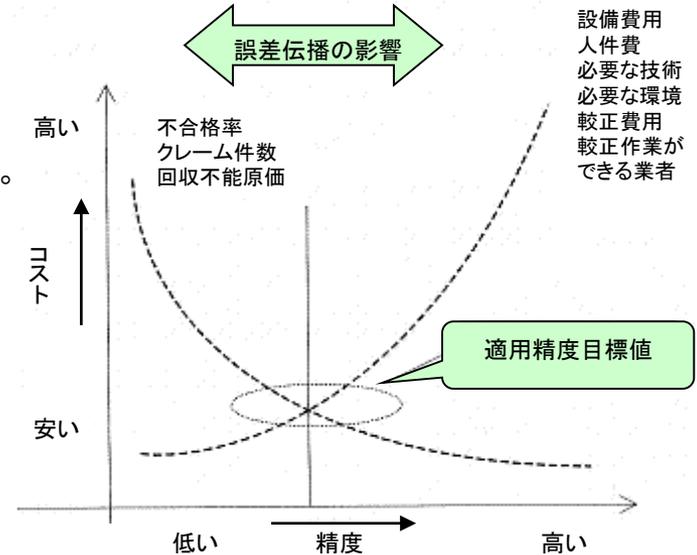


図41-2 精度と運用コストの関係

計装システムの構成

計装システムの基本構成: センサ、表示・監視機器、制御機器、操作部を組合せ、情報処理システムとの接続、帳票作成機能

②

センサは検出部と変換部から成る。変換部では検出部からのデータを電気信号などに変換して表示部、制御操作部、警報・監視部等へ発信

表示計器には指示計と記録計がある

指示計—流量、圧力、温度などのプロセス量を監視する指示計には、計装盤取付タイプと現場表示タイプがある。警報接点、警報遮断接点付などがある。センサの情報を電気信号、電子信号、機械信号に変換して遠隔の計装盤に情報を伝達する

記録計—プロセス量のデータを監視・記録するためのもので、直動式、自動平衡式、デジタル式などがあり、計装盤取付型がほとんどである。最近の電子記録計はマイコンを搭載し、通信機能や特殊演算機能を備えた多機能型記録計で、記録指示部は液晶表示で、記録紙なしで電子メモリとする

例: 熱電対/冷接点補償電圧、ブルドン管/変位、流量計/パルス

例: 熱電対温度計/起電力、ブルドン管圧力計/伸縮、容積式流量計/回転数

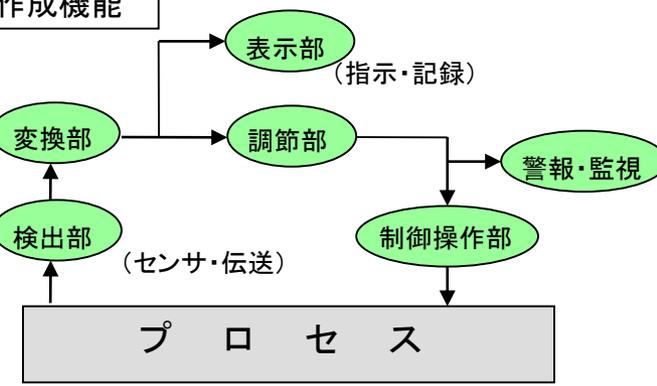


図41-4 制御系の基本構成

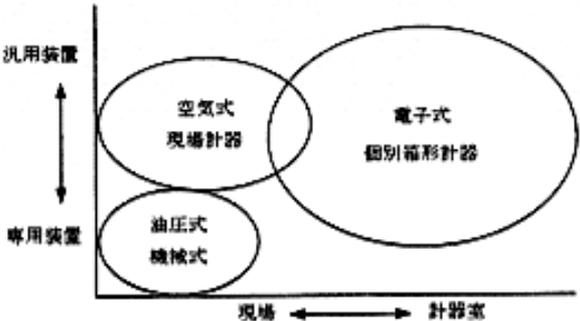


図41-5 制御機器の利用分野 ②

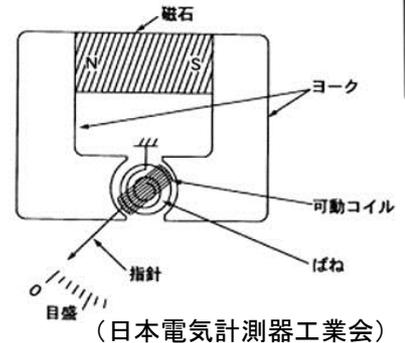


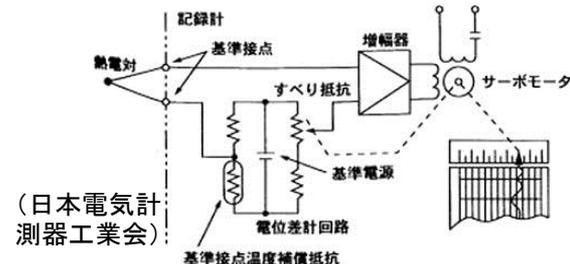
図41-6 可動コイル指示計



(鶴賀電機)



(島津システムソリューションズ)



(日本電気計測器工業会)



(村山電気製作所)

図41-7 自動平衡式記録計

プロセス計装

制御機器の種類=機械式機器、油圧式、空気式、電子式個別箱形計器、分散型制御システム、ネットワークベース制御システム、シーケンス制御など

電子式個別箱形計器—変換器、演算器、指示計、記録計、調節計、警報設定器などの機能を独立した筐体に収納し、相互間を接続する計装。マイコン化が進む

自動制御

②

自動制御は、プロセス・プラントを効率よく運営していく上で、不可欠な要素→バラツキの減少、自動制御による省資源、省エネルギー、省力化、運転コストの低減に寄与、均一性確保、製品の品質向上

制御ループ

- ・配管、塔槽内の運転状況をセンサで測定
- ・読み取りデータを監視制御部に伝送
- ・その結果、制御信号を操作部に伝達
- ・運転状態を目標値に維持

ループ状に循環作用

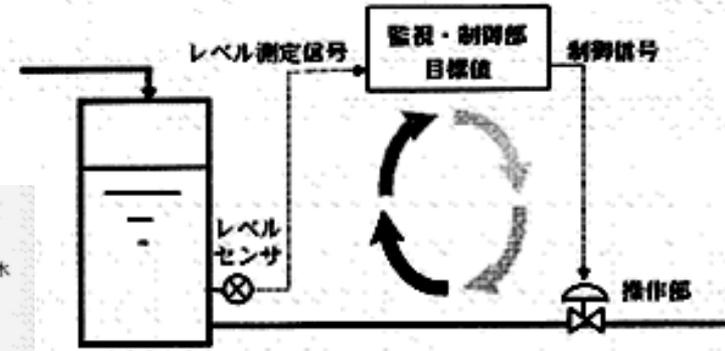
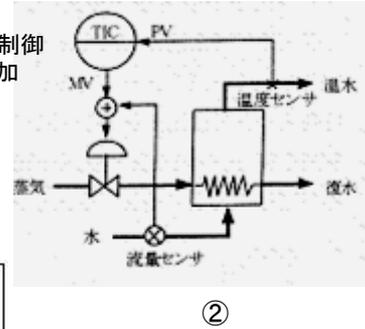
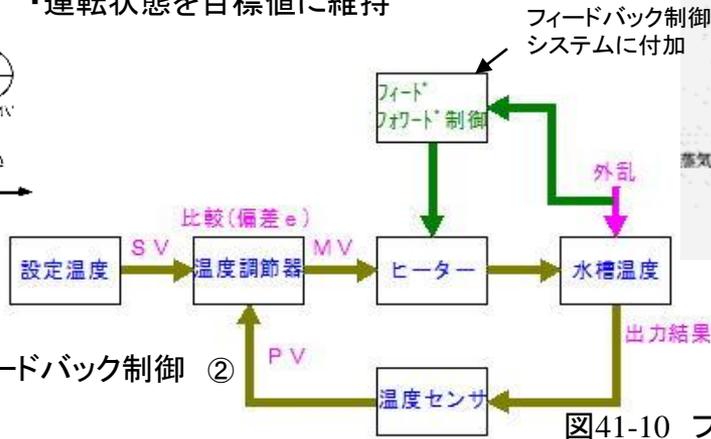
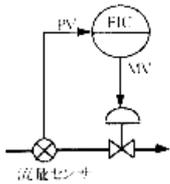


図41-8 流量制御ループの例(レベル制御) ②

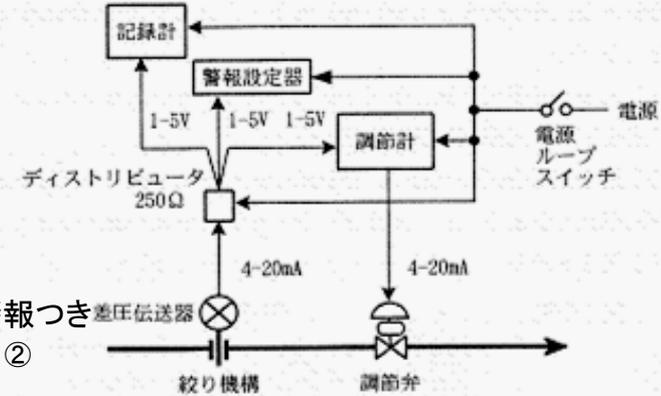


図41-11 記録・警報つき流量制御ループ ②

図41-9 フィードバック制御 ②

図41-10 フィードフォワード制御(水槽内液体の温度制御の例)

制御ループの方式:

フィードバック制御—制御した出力の結果を入力側に戻し、目標値と比較して次の制御へ役立てようとする制御。自動制御のなかでもっとも多く適用。外乱に強く安定な制御

フィードフォワード制御—影響を及ぼす外乱が発生した場合、前もってその影響を極力なくすように必要な修正動作を行う制御方式。熱プロセスのように応答まで長時間かかるが外乱が大きい場合に適用

シーケンス制御—一定のON/OFF操作手順を自動化したもので、マイクロプロセッサを搭載し、ロジックをプログラムしリレーで操作する。外乱追従は不可能

比率制御—複数の流体をある比率で混合したい場合に適用

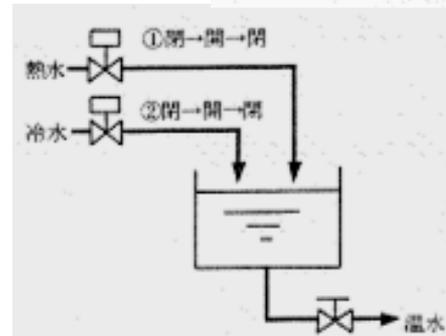


図41-12 シーケンス制御 ②

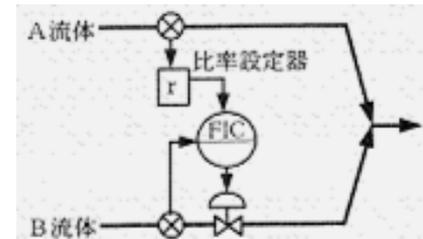


図41-13 比率制御 ②

安全対策

② プロセス・プラント等の安全操業のためには、計装・制御設備に対して種々の安全防護措置がとられる

フルブルーフー 生産設備・製品などで使用者が誤った操作をしても危険な状態を招かないように操作部や表示部を設計すること。ドアを閉めなければ加熱できない電子レンジなど。輸入車の給油口には鍵穴がついているものが多いが、これはガソリンを給油するときはエンジンを切って、直接外に出てキーを使って給油口の蓋をあける必要がある。装置自体と人間の行動を規制する方式とがある

フェイルセーフ 計装機器や周辺機器の故障時、プロセスが安全方向に作動すること。壊れ易い部分を設けておき、高い負荷がかかった場合に意図的にその部分が壊れるようにしておく。電気ヒューズなど

警報と遮断 自動制御の安全操業のためには計装システムに警報接点が組み込まれる。警報設定値を超えて運転が続けられるときは、さらに遮断接点が働き、システムが暴走する前に操業を停止させる（目覚まし時計アラームのイメージ）

防爆 石油化学、化学合成プラントなど可燃性ガス／液体の蒸気が空気中に放置され、電気火花、高温の物体と触れて爆発や火災を発生する危険性のある場所で爆発防止構造を持った「防爆機器」を使用すること — 厚生労働省／労働安全衛生法

危険場所 0種：危険雰囲気がある通常の状態において連続または長時間継続して存在する場所
 1種：通常の状態において危険雰囲気を生成するおそれがある場所（蓋の開閉、点検時など）
 2種：異常な状態において危険雰囲気を生成するおそれがある場所（腐食劣化、誤操作時など）

(AS-1 Academy corner)

(Bansei.com)

機器の 防爆構造

耐圧防爆構造	全閉構造の容器内部でのガス爆発圧力に耐えて外部の爆発性ガスに引火する恐れのない構造
本質安全防爆構造	正常時および事故時に発生する火花や高温部により爆発しないことが公的機関にて確認された構造
内圧防爆構造	容器内の保護ガスを外部圧より高めて維持、あるいはガス濃度を爆発限界より低いレベルに確保する構造
安全増防爆構造	正常な状態で絶縁性能、温度の上昇による危険、外部からの損傷に対する安全性をより高めた構造



図41-14 欧州車の鍵付給油口蓋



図41-15 耐圧防爆タイプのレベル計
(山本電機工業)

温度計測

② 温度の測定は産業、一般生活でもっとも重要な測定量。各種センサの中で、とくに**熱電対**、**測温抵抗体**が多用

表41-2 おもな温度測定法

センサ*3	測定原理	特徴	使用温度℃
熱電対	ゼーベック効果*1	測定温度範囲によって各種の金属が利用可能	-200～2480
測温抵抗体	電気抵抗変化	極細の白金、銅、ニッケルの金属線に一定電流を流し、その両端の電圧値を測ると抵抗値が求まり、その抵抗値を温度に換算。感度は熱電対の約10倍	-200～650
サーミスタ	電気抵抗変化	温度変化に対して電気抵抗の変化の大きい抵抗体を利用	-50～500
放射式	放射光エネルギー	熱処理炉などの内部被加熱物体からの放射エネルギーとして非接触で光学的に計測	-40～5000
ガラス管式	液体の熱膨張	ガラス管内に封入した液体(水銀、アルコールなど)の温度による熱膨張を利用	-200～650
バイメタル	金属の熱膨張	ヘリカル状のバイメタル *2を利用した構造で、温度の変位を指針に拡大指示させる	-50～500

- *1) 異種金属の接合2点間の温度差(測温度接点と基準接点(冷接点))で電圧が発生する
- *2) 温度による膨張係数が異なる2種の金属板を重ねたもので、温度により「そり」が生じる
- *3) このほか蛍光式、光ファイバ式、サーモペイント、磁気式などの方式がある

表41-3 熱電対の種類

記号	構成材料 (+極・-極)	使用温度	特徴
K	クロメル・アルメル	-200～1000	流通量が最多
E	クロメル・コンスタンタン	-200～700	熱起電力が大
J	鉄・コンスタンタン	-200～600	さびやすい
T	銅・コンスタンタン	-200～300	低温測定向き
N	ナイクロシル・ナイシル	-200～1200	広い温度範囲
R	白金ロジウム合金(ロジウム13%)・白金	0～1400	高温測定向き
S	白金ロジウム合金(ロジウム10%)・白金	0～1400	高温測定向き
B	白金ロジウム合金・白金ロジウム合金	0～1800	高温測定向き



図41-16 熱電対による温度測定 (計測器ステーション)

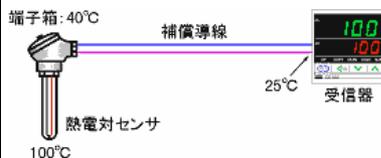


図41-17 熱電対の構成 (理化工業)



図41-19 サーミスタ温度計 (NIHON-SHINTECH)

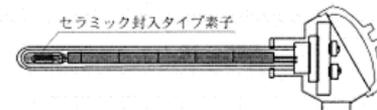


図41-18 保護管付き測温度抵抗体 ②



図41-21 バイメタル温度計



表示設定器との組合せ例

図41-20 放射温度計 (ジャパセンサー)

圧力計測

② 圧力の検出にはブルドン管、ベローズ、ダイヤフラムなどの方式があり、検出部から変換部への伝達方式には、力、変位、電気的变化、熱伝導などがある。現場計測器として水銀柱の高さを測るものもある

表41-4 おもな圧力測定法

名称	検出部 (測定原理)	変換部	特徴
ブルドン管	ブルドン管受圧変位(力)	変位変換器(ポテンシオメータ等)	断面が楕円中空の金属管の一端を封じ、スパイラル形などにした一端を固定したもの。もっとも一般的な圧力計測機器
ベローズ	ベローズ受圧変位(力)	変位変換器(ポテンシオメータ等)	薄肉金属円筒で外周が蛇腹のようにひだを持ったもので、円筒の内外圧力差で伸縮する。耐圧に限度があるため低圧用
ダイヤフラム	ダイヤフラム受圧変位(力)	静電容量変換、半導体振動子等	周辺を固定した円板状の受圧用薄板の両面に差圧をかけて円板状中心部の変位を測定。たわみ量が少ないので、指針を動かすよりは電気信号に変換して計器に指示させる



図41-22 水銀柱マンオメータ (Wikipedia)



図41-23 ブルドン管圧力計の仕組み ②

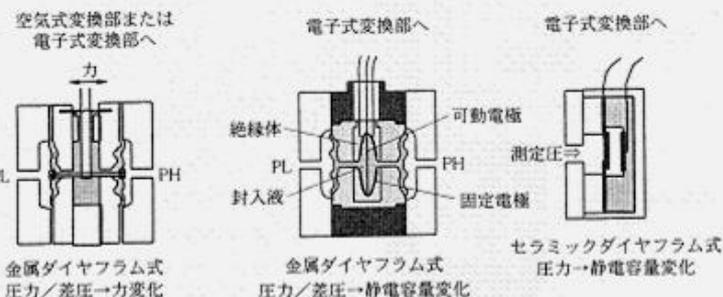
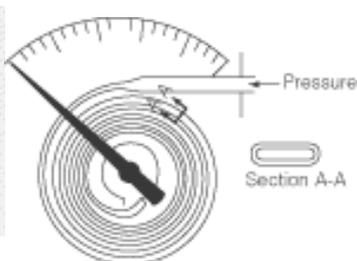


図41-25 ダイアフラム式の構造例 ②

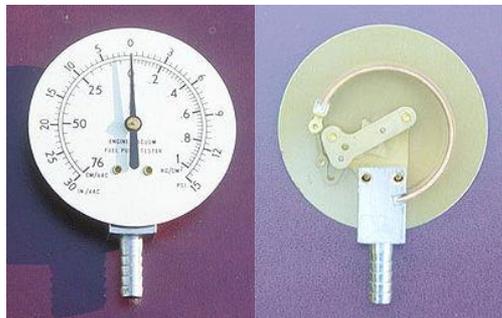


図41-24 ブルドン管圧力計の表(左)と裏(右) (Wikipedia)



図41-26 ベローズ式圧力計 (Wikipedia)



図41-27 圧力発信器 (旭計器工業)

流量計測

② **流量**の測定方法の選定法: 流体の性状(液体、ガス体、粉体、スラリーなど)、流路の形状、配管口径、流体の温度・圧力・粘度、精度、腐食性、許容圧損、価格、保守性、接続方式。商品取引、燃料消費量など経済的価値が重視されるときは、高精度の流量計測が必要

表41-5 おもな流量測定法

測定方式	測定原理・特徴	対象	シェア
差圧式	管路内に絞り(オリフィス)を設け、オリフィス前後に生じる差圧(静圧)を測定。適用範囲が広く、簡単な構造で低価格。一方、流量範囲が狭く、測定精度が低いのが欠点	液、ガ、蒸、ス	30%
渦式	渦発生体の下流に発生する渦の周波数が流速に比例する原理を利用。差圧式に代わる流量計として注目されている	液、ガ、蒸	14
電磁式	液体が磁界の中を横切るとき、磁界と直角方向に電圧が発生する原理を利用。腐食性の液体・スラリー、圧損を嫌う用途に適する	液、ス	15
面積式	上部が広いテーパ状の堅型配管内のフロート位置が流量の増加により上部に移動することを利用。現場の簡易流量指示計に適する	液、ガ、蒸、ス	10
容積式	容器中のオーバルギア、ルーツなどの回転体で升を構成し、その回転数で測定。精度が高く、流体の取引用に使用される	液、ガ	5
タービン式	配管内に設置したタービンロータの周波数が流量に比例する原理を利用。家庭用の水道メータはこの方式を使用	液、ガ、蒸	4
その他	超音波式、堰式、流速計使用、演算式などがある	液、ス	22

注) 液=液体、ガ=ガス、蒸=蒸気、ス=スラリー

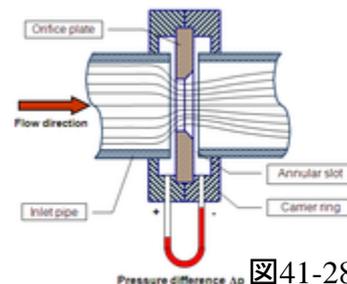


図41-28 差圧流量計 (Wikipedia)

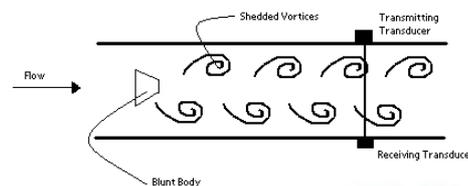


図41-29 渦式流量計 (Wikipedia)

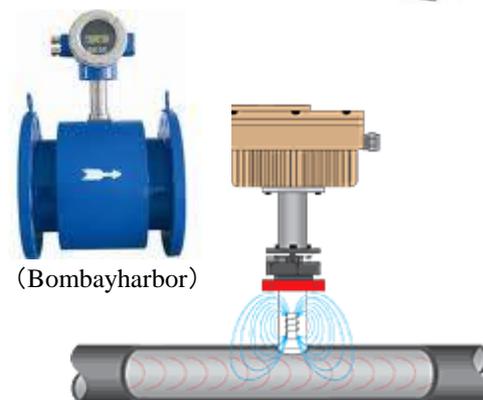
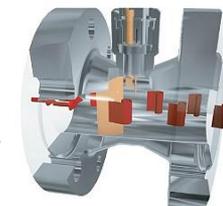


図41-30 電磁流量計 (Wikipedia)

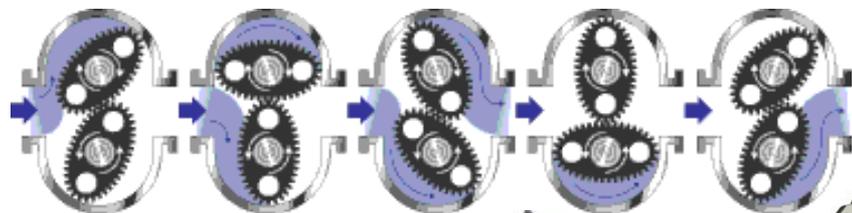
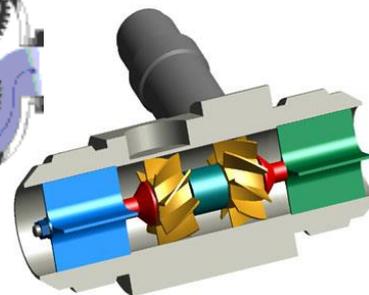


図41-32 容積式流量計 (Oval)



図41-33 タービン式流量計 (Wikipedia)



(Voegtlin/スイス)

図41-31 面積式流量計

開水路流量計: 工場排水、下水など水路上部が大気に開放され、自然流下により排水されているような自由水面をもつ水路の流量計測装置

堰式流量計: 開水路に四角、三角の切り欠きのある、あるいは切欠きのない堰板を設置し、堰板を超える水位を測定して流量に換算

流速計による流量測定: 大口径管路の流量測定では、費用は相当多額になる。高い測定精度を必要としない場合には、流速計を使用する方法が現実的。管内の流速分布を知って流速計を使用する方法は、流量測定に伴う圧力損失が少ないので、省エネルギーにもなる

熱線流速計 加熱センサの熱放散を利用した流速計で、広い流速範囲での測定が可能。また、センサ部分が小さく点計測が可能、応答性が高い

ピトー管式流速計 流れに対し正面と直角方向とに小孔を持つ、それぞれの孔から別々に圧力を取り出す細管を内蔵。その圧力差(前者が全圧、後者が静圧)を測定することにより、風速を知る

水道メータ: 接線流羽根車式が約98%、軸流羽根車式が約1%のシェア。おもに前者は一般家庭用に用いられ、後者は業務用など大口需要家との取引・証明用に用いられている

ガスメータ: ガスの体積を計量するメータで、用途で都市ガス用、LPガス用、あるいは家庭用、業務用、工業用などに分類される。構造的には膜式、回転子式、タービン式、電子式などがある。1990年代以降、ガス漏れや地震が発生した場合には自動的にガスを遮断する、マイコン内蔵メータが普及

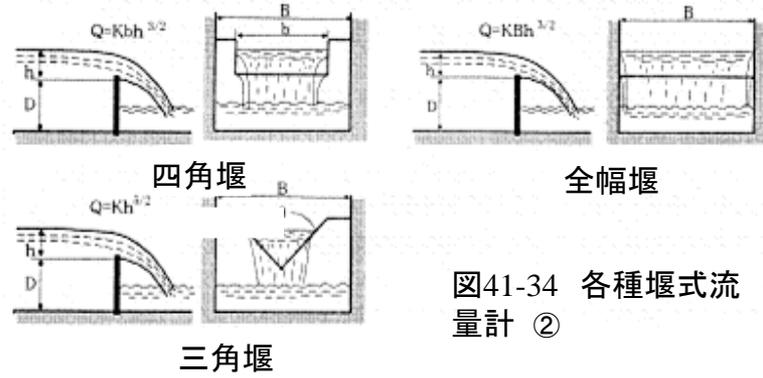


図41-34 各種堰式流量計 ②

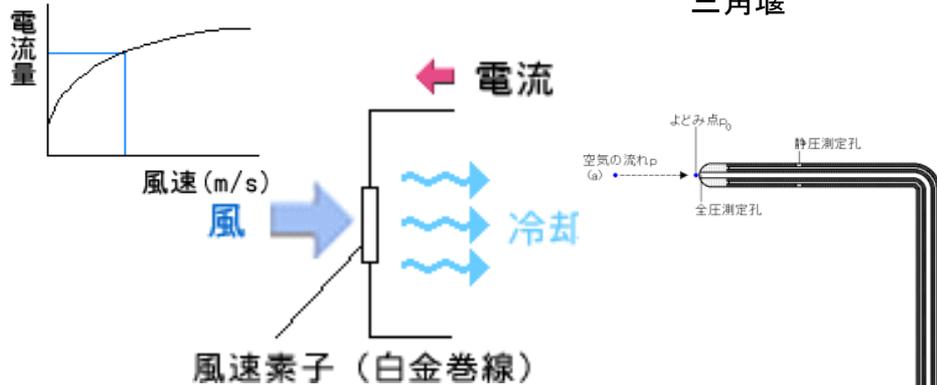


図41-35 熱線流速計 (日本カノマックス)

図41-36 ピトー管流速計 (日本カノマックス)



図41-37 接線羽根車式水道メータ(大阪機工株式会社)

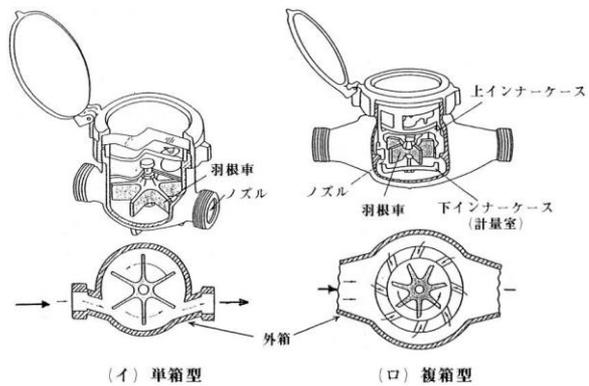


図41-38 接線流羽根車式水道メータ(計量計測データバンク)



図41-39 ガスメータ (関西ガスメータ)

レベル計測

② **レベル計**: 液体用が最も多く、粉体、粒体、二種の液体境界(界面)、液体と固体類の境界位置を測定するものもある

表41-6 レベル計の種類

名称・形式	測定原理	液体接触	測定対象
サイトグラス	液槽壁または配管に透明ガラス窓を設け液面の状態監視に利用	接触	液体、界面
レベルゲージ	強化ガラス、強化プラスチック製の透明な管に目盛りをつけ、測定槽と連通管で接続	接触	液体
液圧式	液面下の適当な高さ位置の圧力を測定し、液面からの深さを知る	接触	液体、界面
フロート式	液面上のフローとの上下変動をその上部のプーリの回転角に変えて液面位置を測定	接触	液体
重量式	ホッパー、タンク容器内の測定対象物の重量を測定。バッチ式、連続式があり、流量計としても使用される	非接触	液体、界面、粒体
超音波式	上部の送波器から出た超音波が測定対象物の液面で反射して受波器に戻ってくるまでに要した時間を測定	非接触	液体、界面、粒体

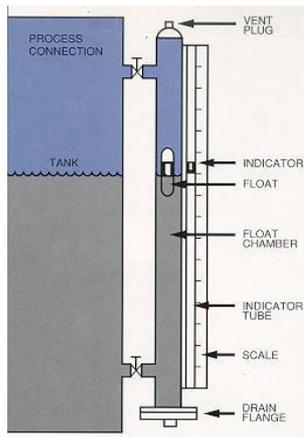


図41-40 サイトグラス (大同工機)

上記のほかに マイクロ波式、静電容量式、放射線式などがある



(大同工機)



(Babbitt International)

図41-41 レベルゲージ



(エンドレスハウザー)



(Veksler Engineering)

図41-42 フロート式レベル計

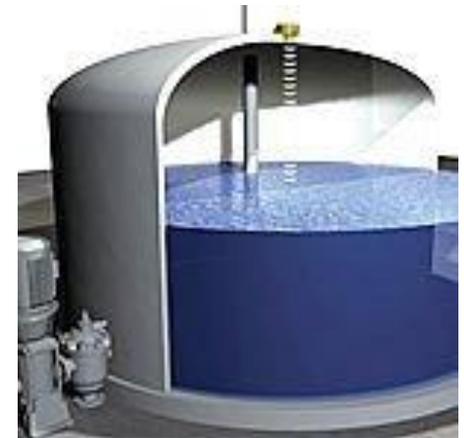


図41-43 超音波式レベル計 (Banner)

課題

①、②

計測の高精度化	化学プラントなど環境有害物質のリーク防止、食品の生産の安全、医療の技術進歩などでプロセスラインでの計測の高精度化、制御の迅速応答性などの要求が高まり、計測機器に対しても新タイプの出現に注目する必要がある
高度制御方法	プロセス制御の精度、複雑さ、迅速応答など高度化に伴う制御方法としてファジー制御、多変数制御、モデル予測制御などがある。
データの保存	プロセスライン、工場運転でのデータ保存・解析は安全対策上必須。とくに医薬品メーカー、医薬品原料メーカーの製造ラインデータ記録(圧力、温度、保管冷蔵庫温度など)は法律で義務付けられており食品ではHACCP(Hazard Analysis Critical Control Point)により流通段階まで含めた管理データ記録保存が行われる。計測装置もこれに対応して電子式自動記録の導入が要求される
計測と品質管理	計測は生産活動の品質維持には欠かせない行為。正しい計測を実施するためには計測に係る技術・環境と計測器の精度維持が適切に行われることが不可欠で、ISO9001などの国際規格でも要求される。高品質レベルの生産のために計測器の取引(売買)、管理を担当する人の技術、知識、経験の教育・訓練も欠かせない

キーワード

パイロメータ	熱放射を感知し測定する非接触装置であり、物体の表面温度を測定するのに用いられる。動く物体の温度や、高炉操作において届かなかつたり接触できないような物体の温度を測定するのに特に適している。信頼性が高く冶金での連続して熔融温度を測定できる方法
トレーサビリティ	正確にものを測るためには、計量器が正確な標準器で較正されていることが重要である。トレーサビリティとは、「ユーザの計測器がどういう経路で校正されたかが分かり、その経路がきちんと国家標準までたどれること」をいう(計量研究所)
計器の較正	物差しや秤、温度計、圧力計などの計器・測定装置の目盛と標準となる計器・測定装置の目盛との差を測定すること。計測機器の指示は経年変化などで次第に狂ってくることもあるので、指定された期日前に較正することが要求される
ヒステリシス	たとえば圧力計では初期状態から加圧して後に初期状態の圧力に戻しても受圧部が最初の状態に戻らず、少したわみや歪が残ってしまう現象。JISの規定では「測定の前歴によって生じる同一測定量によって指示する値の差」