

- ① measurement
- ② unit
- ③ instrumentation

測定^①とは、ある量を、基準となる量(**単位^②**)と比較し、その大きさを数値または符号を用いて表すことをいう。また、測定する方法や手段を考え、実施し、その結果を利用することを**計測^③**という。

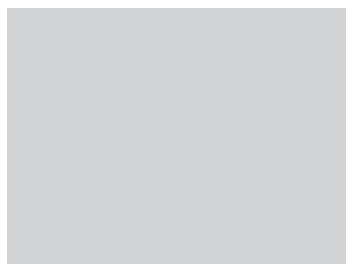
1 生産システムにおける計測

5

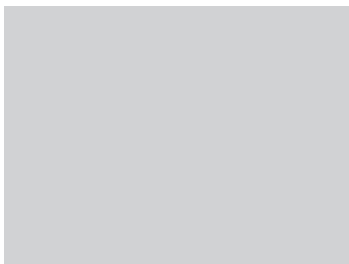
生産システムにおける計測は、一定の品質で製品を生産し、その生産活動を合理的に効率よく行うために必要な作業である。工作機械を中心とした機械加工の生産システムの計測では、品質のよい製品をうみ出すため、加工する部品精度より高い精度や性能が求められる。このため、部品の加工時だけでなく機械の組立時にも計測を行う。図1に、生産システムにおける計測の例を示す。

10

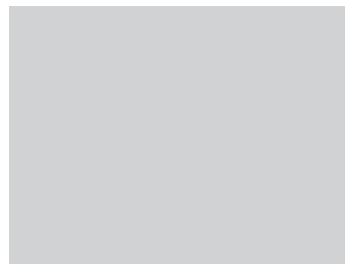
- ④ p.150参照。



(a) 生産システムをつくるときの計測
NC旋盤の組み立て時に、主軸にテストバーを取りつけ、ダイヤルゲージを使って、主軸台の回転中心を計測する例。



(b) システム稼働中の計測
NC旋盤で、工作物を加工しているとき、主軸台に取りつけられたタッチセンサにより、刃先位置を自動計測している例。



(c) 製品の計測
完成した製品の外径寸法をマイクロメータ^④で計測している例。

(a) 生産システムをつくるときの計測

(b) システム稼働中の計測

(c) 製品の計測

図1 生産システムにおける計測の例

2 計測の基礎

1 単位と基準

ある長さを測定するには、長さの基準となる1mを決め、これを単位として、その何倍であるかを求める。この方法は、電気的な量などの測定についても同様である。世界各国で貿易が拡大し、国際的基準の必要性が高まり、世界各国どこでも共通に用いられるように、国際単位系(**SI^⑤**)が定められた。日本では、SIに準拠し、標準となる単位をJISで定めている。表1にSIの基本単位を示す。

15

- ⑤ the International System of Units (le Système International d'Unités：フランス語の頭文字をとり、SIという)。

C



長さの基準・ 重さの基準

長さの基準 メートル[m] 長さは、光の進む距離を基準にしている。長さ1mは、真空中を進む光が29979458分の1秒で進む長さとして定められている。

重さの基準 キログラム[kg] 重さは、原器という物体の質量を基準にしている。原器は、直径・高さともに39mmの円柱形で、プラチナとイリジウムの合金製であり、フランスの国際度量衡局に保管されている。

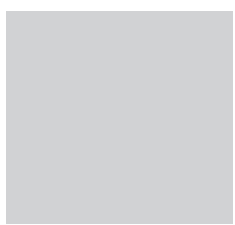


図2 重さと長さの原器の模型

2 測定の誤差 と精度

測定の正しい値を**真の値**①、測定によって求めた値を**測定値**②という。真の値は、

実際には求められないので、真の値とみなすことができる値を使う。

測定値には**誤差**③が含まれ、誤差は、次の式で表される。

● **誤差** 誤差 = 測定値 - 真の値 (1)

誤差の真の値に対する比を**相対誤差**④という。「相対誤差何パーセント」と百分率で表すこともある。

● **相対誤差** 相対誤差 = $\frac{\text{誤差}}{\text{真の値}}$ (2)

測定誤差にはさまざまな要因があるが、測定者が気づかずにおかした誤りは、**まちがい**⑤とよばれる。図3に示すように、目の位置などによる読み取り誤差を**視差**⑥という。その他、温度や気圧などの環境による誤差や測定者の技量やくせなどによる誤差がある。

表1 SIの基本単位

量	名称	単位記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

- ① true value
- ② measured value
- ③ error
- ④ relative error
- ただし、間違えるおそれがない場合には、たんに誤差ということもある。
- ⑤ mistake
- ⑥ parallax
- ⑦ p.150参照。

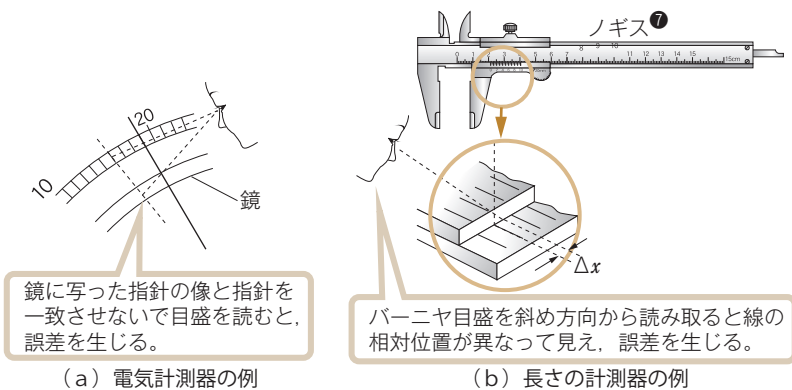


図3 視差の例

測定器の使い方や目盛の読み方などについては、視差やくせをなくし、正しい方法を身につけることがたいせつである。

例題 1 正しい測定値が $\phi 20.00\text{ mm}$ の製品をノギスで測定したところ $\phi 20.05\text{ mm}$ と読み取れた。このときの真の値・測定値・誤差・相対誤差を求めよ。

解答… (a) 真の値 = $\phi 20.00\text{ mm}$

(b) 測定値 = $\phi 20.05\text{ mm}$

(c) 誤差 = 測定値 - 真の値

$$= 20.05 - 20.00 = 0.05\text{ mm}$$

$$(d) \text{相対誤差} = \frac{\text{誤差}}{\text{真の値}} = \frac{0.05}{20.00} = 0.0025 \quad \text{または} \quad 0.25\%$$

また一般的に、計測器に関して「精度が悪い」とか、「感度がよい」

① JIS Z 8103:2000 による。などと表現される。精度と感度に関する用語の説明を表 2^② に示す。

表 2 精度と感度

- ② precision
- ③ accuracy
- ④ overall accuracy
- ⑤ sensitivity

精密さ ^②	ばらつきの小さい程度。
正確さ ^③	かたよりの小さい程度。
精度 ^④	測定結果の正確さと精密さを含めた、測定量の真の値との一致の度合い。
感度 ^⑤	ある測定器が測定量の変化に感じる度合い。すなわち、ある測定量において、指示量の変化の測定量に対する比。

3 有効数字

図 4 に示すように、1 目盛が 1 V の電圧計で、75.4 V と読み取った場合、最

下位の桁の数値 4 は、目分量で読み取ったので誤差を含んでいる。

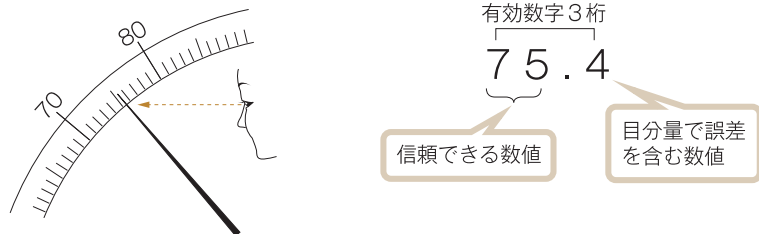


図 4 75.4 と読み取る

⑥ significant figures
たとえば、0.012 3 は、位取りの二つの 0 の桁数を除いて、有効数字 3 桁という。

上位の桁の 75 は、正確で信頼できる数値であり、測定値 75.4 は、75.35 ~ 75.44 の範囲と考えられる。したがって、数値 4 はその範囲を示す意味のある数値であり、上位の 75 は、信頼できる意味のある数値である。このような意味のある数を有効数字^⑥という。

また、有効数字が3桁である34.5mmを μm で表す場合、34 500 μm とすると、有効数字5桁を意味してしまう。このような場合には、 $34.5 \times 10^3 \mu\text{m}$ とする。

間接測定^①によって測定値を求める場合などで、計算結果を適切な有効数字の桁数にすることを「丸める^②」という。丸め方は、四捨五入が一般的である。たとえば、5.4gの物質と2.0863gの物質を混合した場合、これらを加えると、7.4863gになるが、小数第2位以下の数字は有効数字といえないから、小数第2位を四捨五入して7.5gとする。

問 1 次の値を有効数字3桁で表せ。

- (1) 489600 (2) 23.046 (3) 0.008627

3 おもな計測器の原理

計測器には測定対象に応じていろいろなものがある。ここでは、生産システムに用いる基本的な電気系と機械系の計測器について学ぶ。

1 電気系計測機器

電気計器は、電圧・電流・抵抗などの電氣量を測定する計測器である。計測器には直流用と交流用があり、変換や表示の方法によりアナログ式とデジタル式のものがある。

(a) 電流計と電圧計 電圧計は、適切な電圧が供給されているかどうかを確認することに用いられ、電流計は、負荷の状況を監視することに用いられることが多い。電流計と電圧計は、どちらも電流



(a) アナログ式直流電流計

(b) アナログ式交流電圧計

図5 電流計と電圧計

① indirect measurement

たとえば、円柱の体積を求めるのに、直径と高さを測定し、計算により求める方法など。一方、測定量を直接測定することを直接測定という。

② 数値の丸め方の詳細は、JIS Z 8401に規定されている。

による磁気作用を利用しており、動作原理は同じである。

① indicating instrument

電流や電圧の値を直接指示する計器を**指示計器^①**という。表3に、おもな指示計器の概要を示す。

表3 おもな指示計器の例

種類	動作原理	特徴	用途	記号 ^②
永久磁石可動コイル形	永久磁石と可動コイルに流れる測定電流との相互作用	高感度 高精度	直流電流計 直流電圧計	
可動鉄片形	可動鉄片と固定鉄片が磁化され、たがいに反発する相互作用	安価 丈夫な構造	交流電流計 交流電圧計	
整流形	整流器と可動コイル形計器を組み合わせた計器	交流では高感度 波形の影響大	交流電流計 交流電圧計	

③ oscilloscope

(b) **オシロスコープ^③** オシロスコープは、時間とともに変化する電圧や電流の波形を測定する装置であり、アナログ式とデジタル式のものがある。

● **アナログ式のオシロスコープ** 図6に示すアナログ式のオシロスコープは、電圧や電流の時間的変化を波形としてブラウン管に表示する装置である。

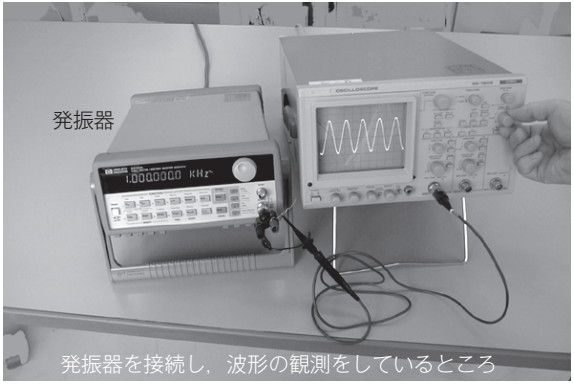


図6 アナログ式のオシロスコープ

● **信号波形の測定** オシロスコープの蛍光面に信号波形が1～3周期現れるように掃引時間切替つまみを調整する。図7は、信号波形として正弦波形が現れているところを示している。蛍光面の垂直方向1目盛あ

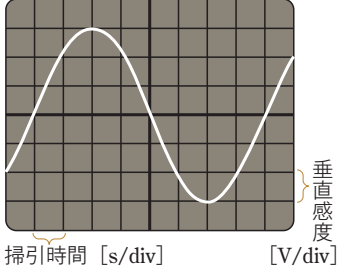


図7 信号波形の測定

④ division 1目盛の意。

たりの電圧の値 $[V/div^④]$ を**垂直感度**といい、水平方向1目盛を輝

点が移動する時間 [s/div] を掃引時間という。

例題2 図7において、垂直感度が0.5V/div、掃引時間が0.3ms/divのとき、この波形の最大値・実効値・周期・周波数を求めよ。

解答… (a)最大値 $V_m = (\text{垂直感度}) \times (\text{波形の山から谷までの目盛数}) / 2$

$$V_m = 0.5 \times \frac{6}{2} = 1.5 \text{ V}$$

(b)実効値 $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad V = \frac{1.5}{\sqrt{2}} = 1.06 \text{ V}$

(c)周期 $T = (\text{掃引時間}) \times (1 \text{ サイクルの目盛数})$

$$T = 0.3 \times 8 = 2.4 \text{ ms}$$

(d)周波数 $f = \left(\frac{1}{\text{周期}} \right)$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.4 \times 10^{-3}} = 417 \text{ Hz}$$

問2 図7の波形の垂直感度が4.0V/div、掃引時間が0.01ms/divの場合、この信号の最大値・実効値・周期・周波数を求めよ。

●**デジタル式のおしロスコープ** 図8に示すようなデジタル式のおしロスコープは、測定したデータをメモリに記録し、測定後に表示したり、パーソナルコンピュータと接続して自動計測システムに組み込むことができる。

アナログ式では、表示された波形を電圧軸と時間軸のスケールから読み取って測定していたが、デジタル式ではスタートカーソルとエンドカーソルで指定した範囲の波形が自動的に測定され、その値を画面に表示する。

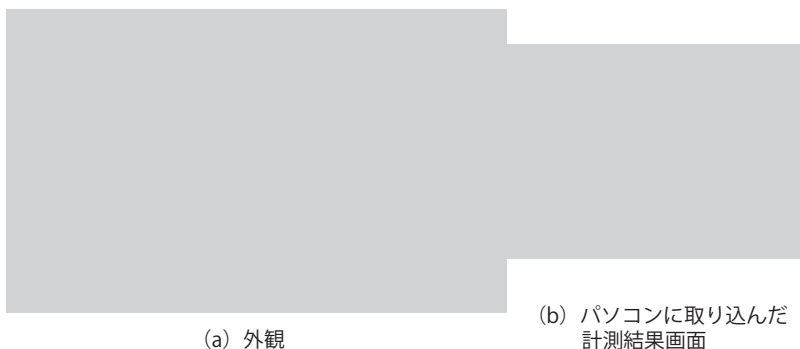


図8 デジタル式のおしロスコープ

(c) 回路計^① 電圧・電流・抵抗などの電気にかかわる基礎的な量を測定する場合には、回路計(テスタ)がよく用いられる。一般に測定項目は、直流電圧(DCV)・直流電流(DCmA)・交流電圧(ACV)・抵抗(Ω)の4種類である。このほか、交流電流・静電容量・温度などが測定できるものもある。図9にアナログ式の回路計、図10

① circuit tester

にデジタル式の回路計の例を示す。

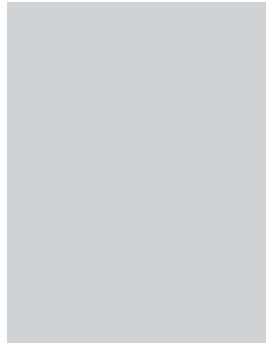


図9 アナログテスタ^①

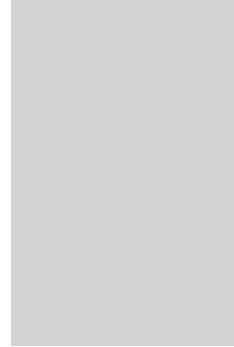


図10 デジタルテスタ^②

① analog tester

② digital tester

2 機械系計測機器

長さの測定は、測定する長さとは基準の長さ（単位長さ）を比較し、単位長さの

何倍になるかを定めることである。ここでは、機械的計測に用いられる基本的な長さの計測器について学ぶ。

5

③ vernier calipers

(a) ノギス^③ ノギスは製品の、外径・内径・溝の幅・深さなどいろいろな形状の長さが測定できる。測定範囲150mm、最小測定単位0.05mmのものが一般的である。図11にバーニヤ（副尺）をもつM形ノギス、図12にデジタルノギスの例を示す。

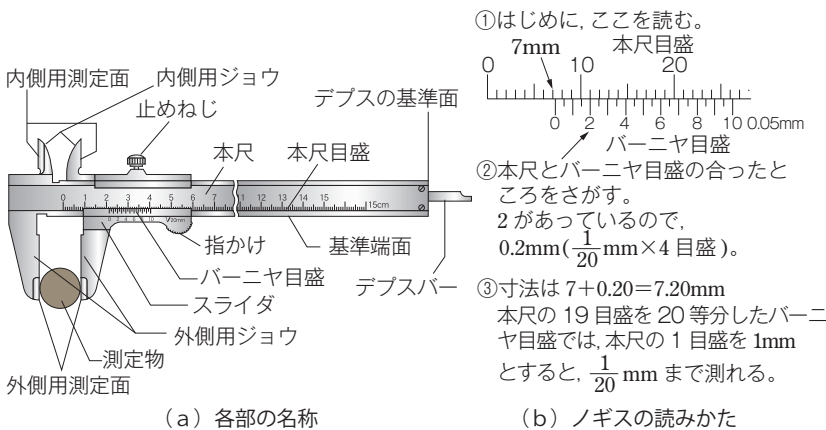


図11 M形ノギス (JIS B 7507:1993)

図12 デジタルノギス

④ micrometer

(b) マイクロメータ^④ 長さのわずかな変位をねじの回転角で拡大する機構の測定器で、外側用（図13）・内側用・ねじ用・歯厚用などがある。長い精密ねじの製作はむずかしいので、測定範囲は0～25mm、25～50mmのように25mmおきに別々の測定器が必要になる。最小測定単位は、0.01mmが一般的であるが、バーニヤのついた0.001mmのものもある。

10

15

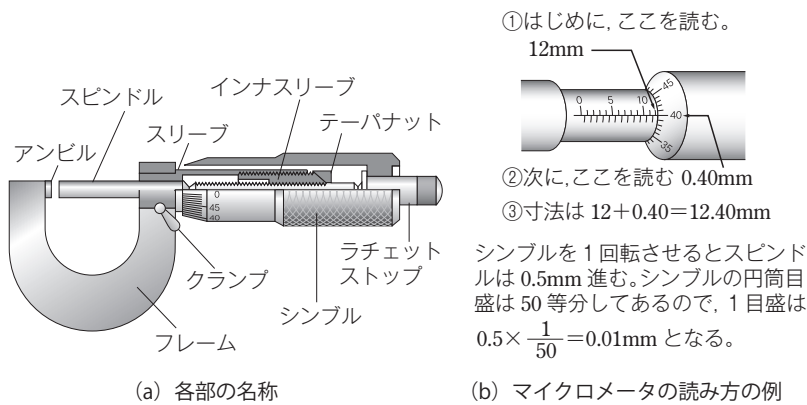


図 13 外側マイクロメータ

問 3 マイクロメータのねじのピッチを 0.5mm とする。スピンドルの変位 10 μm を円周の 1 目盛で 0.8mm の大きさで読み取るには、シンブルの半径をいくらにすればよいか。

(c) **ダイヤルゲージ**^① 測定子の直線変位を歯車によって回転に変え、測定子の移動量を長針と短針の回転に変換して、円形目盛で指示する測定器である (図 14)。

① dial gauge

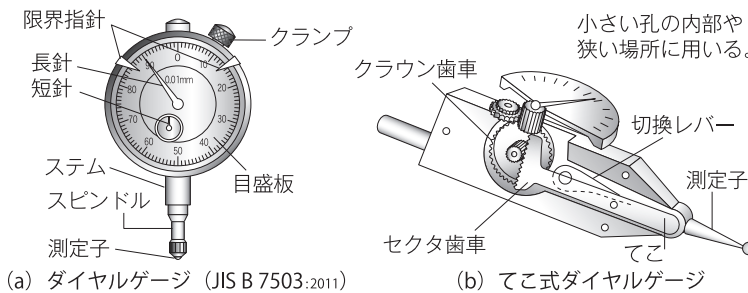


図 14 ダイヤルゲージの例

ダイヤルゲージは、ノギスやマイクロメータのように測定物の長さを直接示すことはできないが、次に示すような測定を高精度に行うことができる。

測定例としては、円筒形の工作物のふれ^②の測定や、ブロックゲージ^③ (図 15) のような基準となる寸法と、工作物の寸法とのずれの測定がある (図 17)。

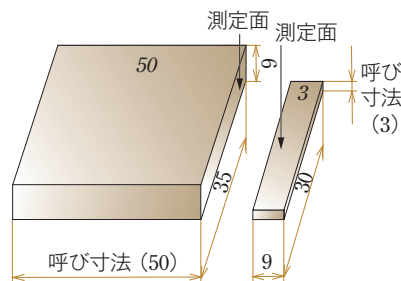


図 15 ブロックゲージの例

② run out

回転している軸の外面または内面の半径方向の周期的な出入りの大きさ。

③ gage block

JIS B 7506では、K級、0級、1級、2級の4段階の精度を規定している。

① cylinder gauge

このほか、図16に示すようなシリ
ンダゲージ^①に取りつけて、内径の精
密測定にも用いられる。

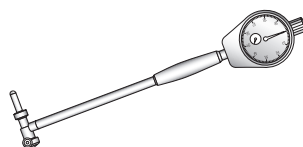


図16 シリンダゲージ

(d) ブロックゲージ 工場などにお
いて、計測器類の精度の点検・調整、

検査などをするときに、長さの基準として使われる。材質には耐摩
耗性の大きい焼入れ鋼やセラミックスなどが用いられる。図15の
ように測定面は長方形で、いろいろな呼び寸法からなっていて、複
数のブロックゲージを密着^②させて所要の寸法にする。図17にブ
ロックゲージとダイヤルゲージを用いた比較測定の例を示す。比較
測定では、測定物の長さなどは直接指示できないが、基準とずれた
量を示すことができるため、製品の精度検査に多く用いられる。

② 密着させることをリ
ンギング (wringing) と
いう。

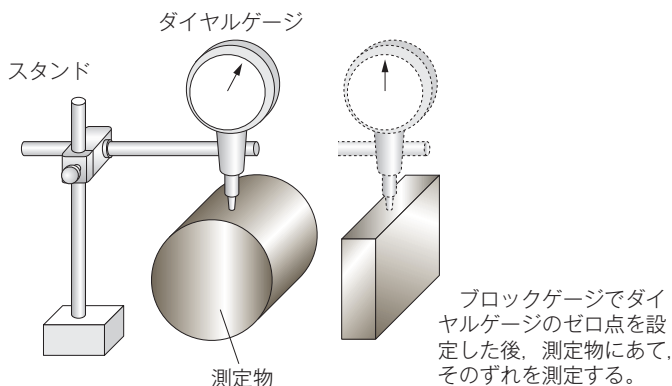


図17 比較測定の例



環境計測

めにも測定を行う。計測には、それぞれの物質の特性に合わせた機器が用いられる。

大気…一酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物、粒子状物質などが計測される。図18は揮発性有機化学物質、消毒副生成物、臭気物質、農薬類などを計測するガスクロマトグラフ質量分析計の例である。

水質…酸性とアルカリ性の度合いを表すpH、濁度・色度、その他水質汚濁の原因とされる物質が計測される。

騒音・振動…工場などで用いられる大型の機器や設備の使用に際して生じる音や振動が計測される。

生産システムでは、気体や液体、その他の細密な物質の測定を行う場合がある。また、製品以外に生じた物質や汚れた気体や水を、法規などに定められた各種基準に合わせて、安全で衛生的に処理し、周辺の環境を悪化させないた

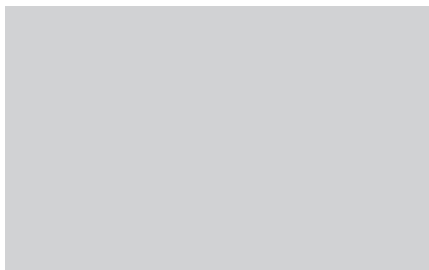


図18 ガスクロマトグラフ質量分析計

4 生産システムにおける自動計測

1 計測の自動化

作業者が手作業で測定する場合には、ノギス・マイクロメータ・シリンダゲージなどが用いられるが(図19)、測定の効率化をはかったり、工作物の寸法を一定に保ち、測定や加工の精度を上げるためには、自動計測を利用する。

加工する機械上で計測することを、オンマシン計測という。オンマシン計測には、加工中の工作物を直接測定して機械を制御するための信号を出すインプロセス計測^①(図20)と、加工後の工作物を測定し、その結果を機械にフィードバックするポストプロセス計測^②がある。

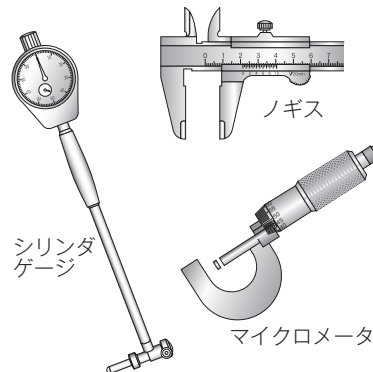


図19 手作業による測定

① in-process measurement

② post-process gauging

参考

機械加工の測定を自動化する場合は、ばりとよばれる、加工後の工作物に残った出張りや、切削液・切りくずなどの処理についても注意を払う必要がある。

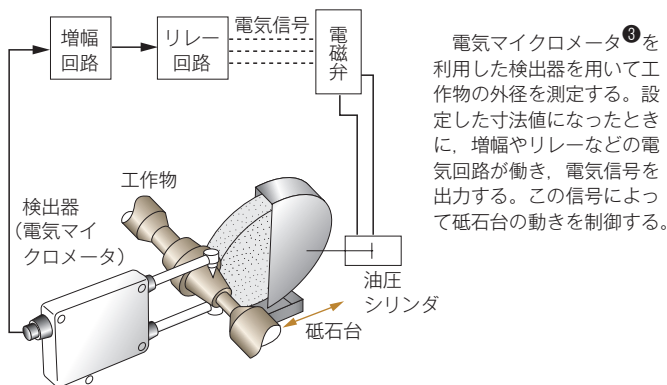


図20 研削加工^③のインプロセス計測の例

2 自動計測の例

機械系の生産システムにおける工作機械上の自動計測は、切削工具の刃先を測定する方法と工作物を直接測定する方法に大別される。

(a) 工作物の測定 刃物台に取りつけたタッチセンサ^⑤のプロープを、加工後の工作物に接触させる。手前と反対側の外周2か所に接

③ electric micrometer
差動変圧器の原理を利用した電気式変位計測器。

④ p.220 参照。

⑤ touch sensor

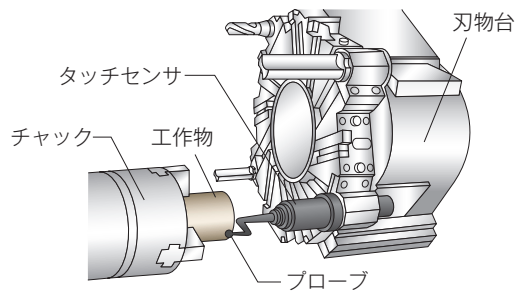


図21 工作物の測定の場合

触させることにより、そのときの位置の差から工作物の直径を計算する。

① numerically controlled lathe
p. 206参照。

(b) NC旋盤^①の切削工具の測定 主軸台に固定された腕の先端部に取り付けられた高精度のタッチセンサに切削工具の刃先を接触させ、刃先の位置を測定する。刃先の摩耗や欠けなどの破損も検知できる
5
ほか、工作物の寸法を確認し、管理することにもつながる。

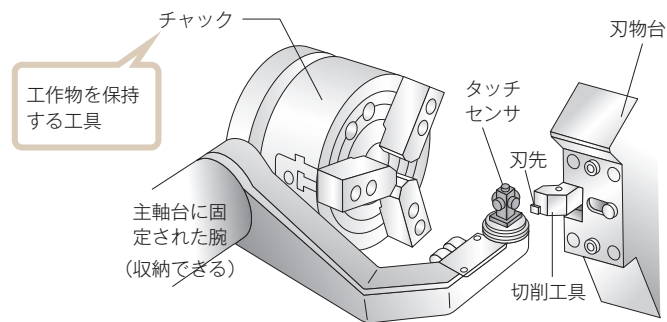


図22 切削工具の測定の場合