精密測定03a

幾何特性，寸法

2022年8月21日

高増計測工学研究所
東京大学　名誉教授　高増潔
https://www.takamasu-lab.org/

Takamasu Lab

利用上の注意

- このファイルの内容，表現，図（高増潔が作成したもの：©takamasu-lab）は自由に使ってください
  - 改変，コピーなどは自由です
  - 特に許可，コピーライトの表示などは不要です
- 引用している図については，引用元の規則に従ってください
  - 講義での資料としては，自由に使えると思います
  - wikipedia関係は，パブリックドメインになっているものは自由に使えます
  - フリー素材は，フリーです
  - それ以外は，引用元の提示が必要になります
- もしも，お気づきの点，間違い，感想などがあれば，以下にメールしてください．対応するかは，状況によります．
  - takamasu@pe.t.u-tokyo.ac.jp

図面の役割と幾何特性仕様

図面のあいまい性

生産システムにおける図面の役割

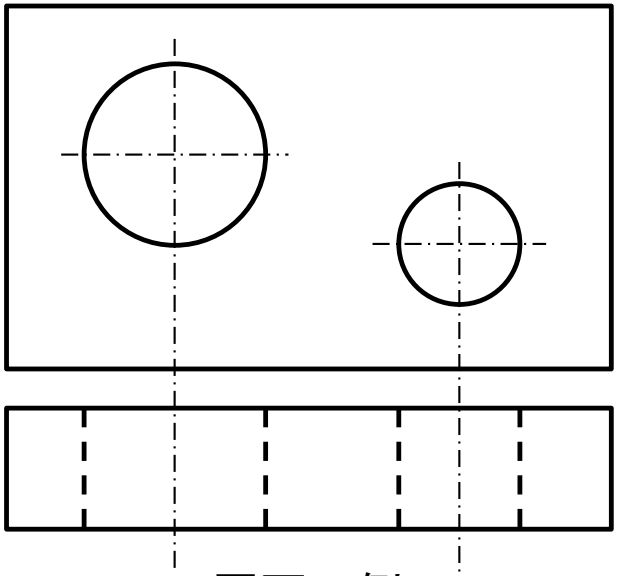
寸法測定，寸法公差

幾何特性の捉え方

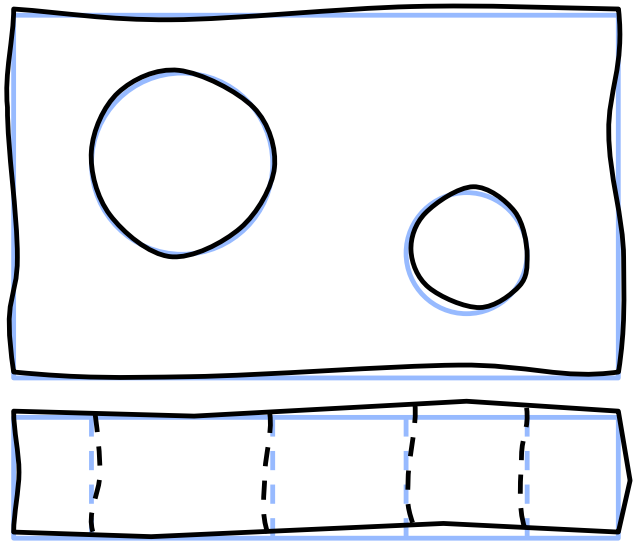
Takamasu Lab

形状偏差

- 部品には寸法の偏差や形状の偏差がある
  - 形状偏差に対応した加工，測定，検証が必要



図面の例

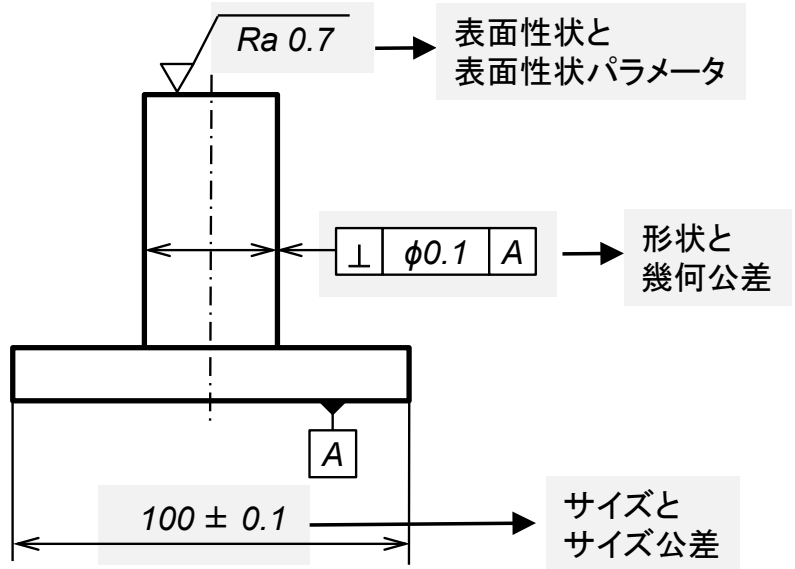


形状偏差のある形状

高増作画©takamasu-lab

幾何特性仕様

- 幾何特性仕様（GPS: Geometrical Product Specifications）
  - 図面の役割は，製造する機械部品の機能を満たすための三次元的な形状を記述すること
  - 部品の寸法（サイズ），形状（位置を含む），表面性状（粗さ，うねり）などの幾何特性→設計，加工，検証において必要
  - 機械部品の寸法（サイズ），形状，表面性状→幾何特性仕様
- 幾何特性仕様と図面の関係
  - 幾何特性が理想的な値からどのくらい偏差が許されるか
    - サイズ：サイズ公差
    - 形状：幾何公差
    - 表面性状：表面性状パラメータ



幾何特性仕様の図示

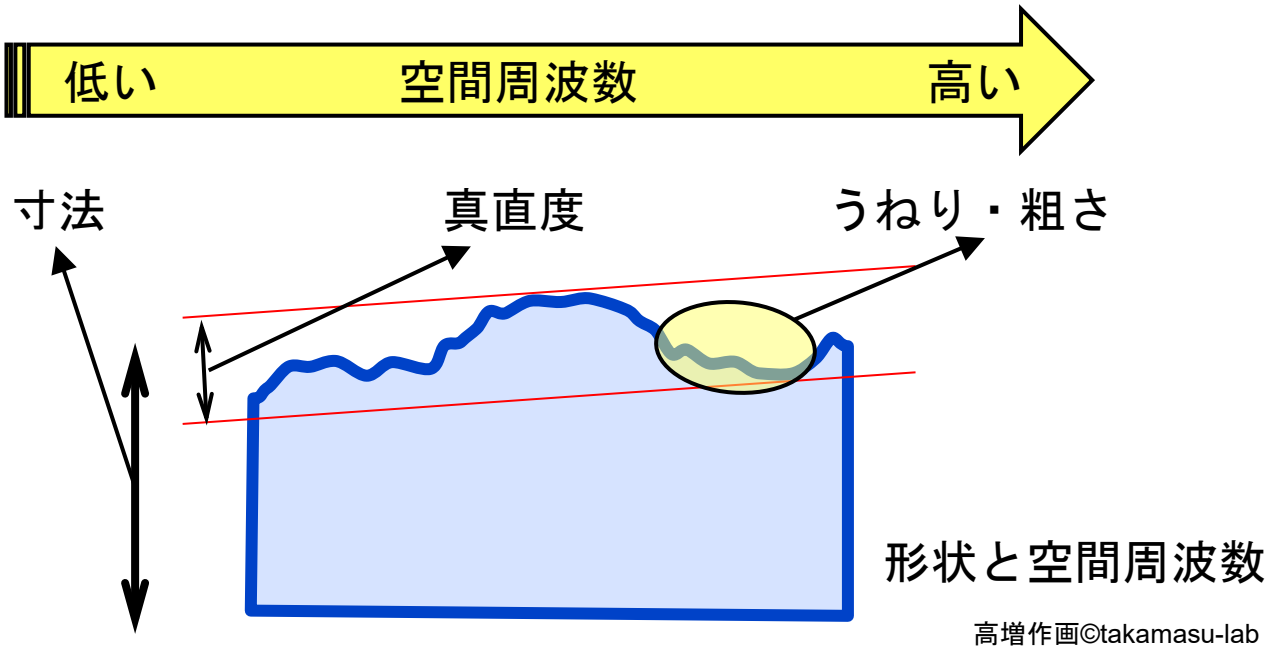
高増作画©takamasu-lab

図面のあいまい性（1）

- 日本のものづくり環境の変化
  - グローバリゼーション，アウトソーシング
  - 世界中の企業を相手に部品の販売や購入を行う
  - 図面がきちんと書かれていなければならない
- 図面がきちんと書かれている
  - 誰が見ても同じように図面を解釈できる（一義性）
  - 図面に合わせた加工ができ，測定・評価ができる
  - 図面に“あいまい性がない”ということが大切
  - 自分で加工し，自分で組立，自分で修正加工するような場合では充分であるが，グローバリゼーションを考えれば，誰も作れないし，誰も検証することができない

図面のあいまい性（2）：形状と空間周波数

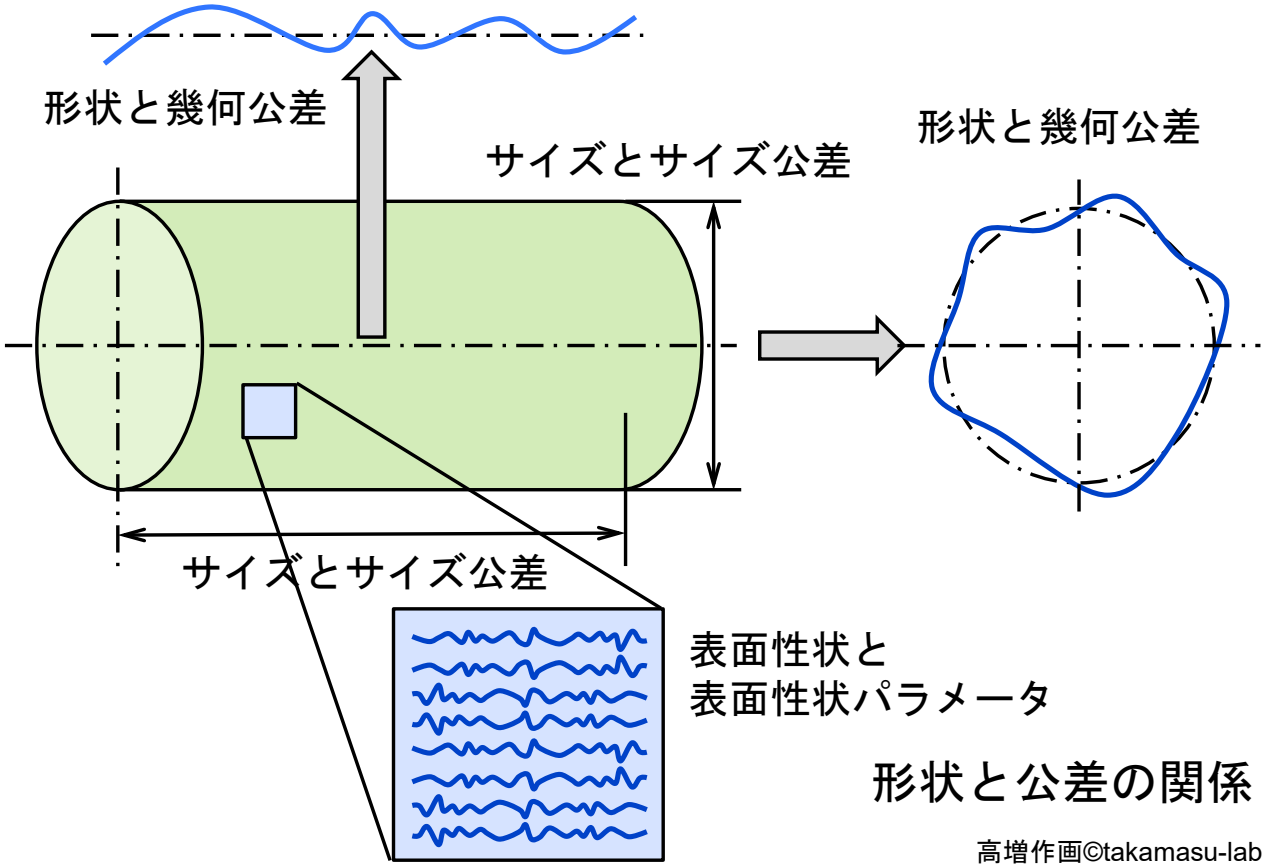
- 空間周波数と形状の関係
  - 形状を空間周波数で考えると
  - 0次成分：寸法に相当する→サイズ公差または位置度／輪郭度で規制
  - 低い周波数成分：幾何偏差に相当する→幾何公差で規制
  - 高い周波数成分：うねり，粗さに相当する→表面性状パラメータで規制



高増作画©takamasu-lab

図面のあいまい性（3）：形状と公差の関係

- 形状と公差は以下のように3種類の関係がある
  - サイズとサイズ公差
  - 形状と幾何公差
  - 表面性状と表面性状パラメータ

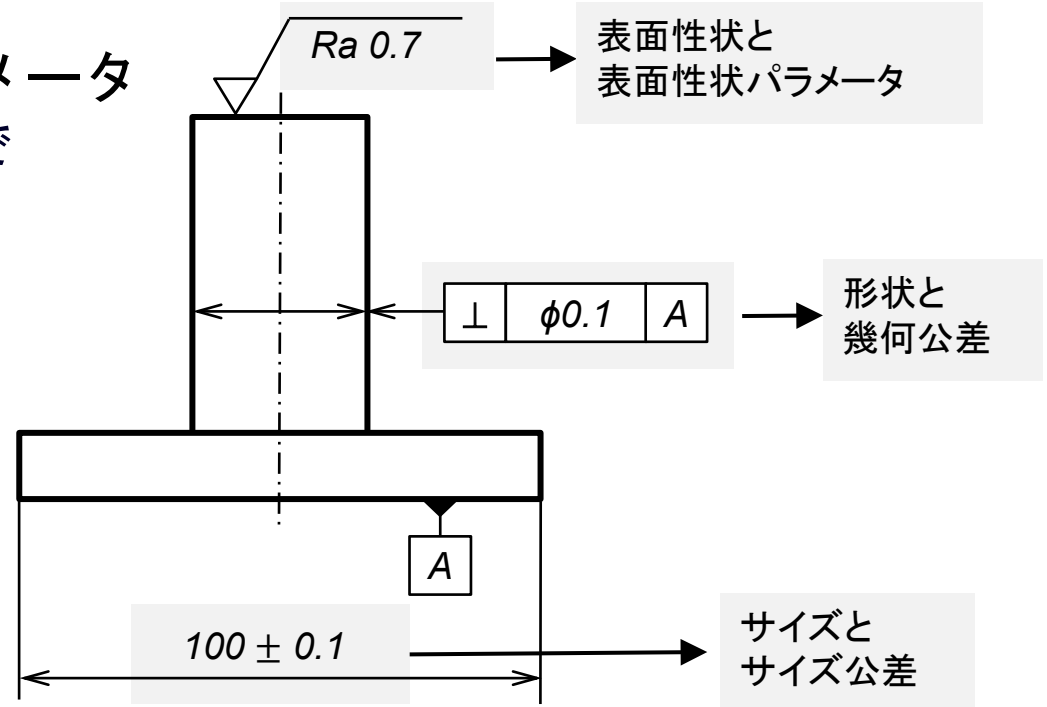


形状と公差の関係

高増作画©takamasu-lab

図面のあいまい性（4）：形状と公差の関係

- サイズとサイズ公差
  - 長さ100 mmに対してサイズ公差±0.1 mmによって，99.9 mmから100.1 mmに寸法が入っている必要がある
- 形状と幾何公差
  - 軸の軸線は，データムAに直角で直径0.1 mmの円筒内に入っている必要がある
- 表面性状と表面性状パラメータ
  - 軸の上面の粗さは，Raで0.7 μm以下の必要がある

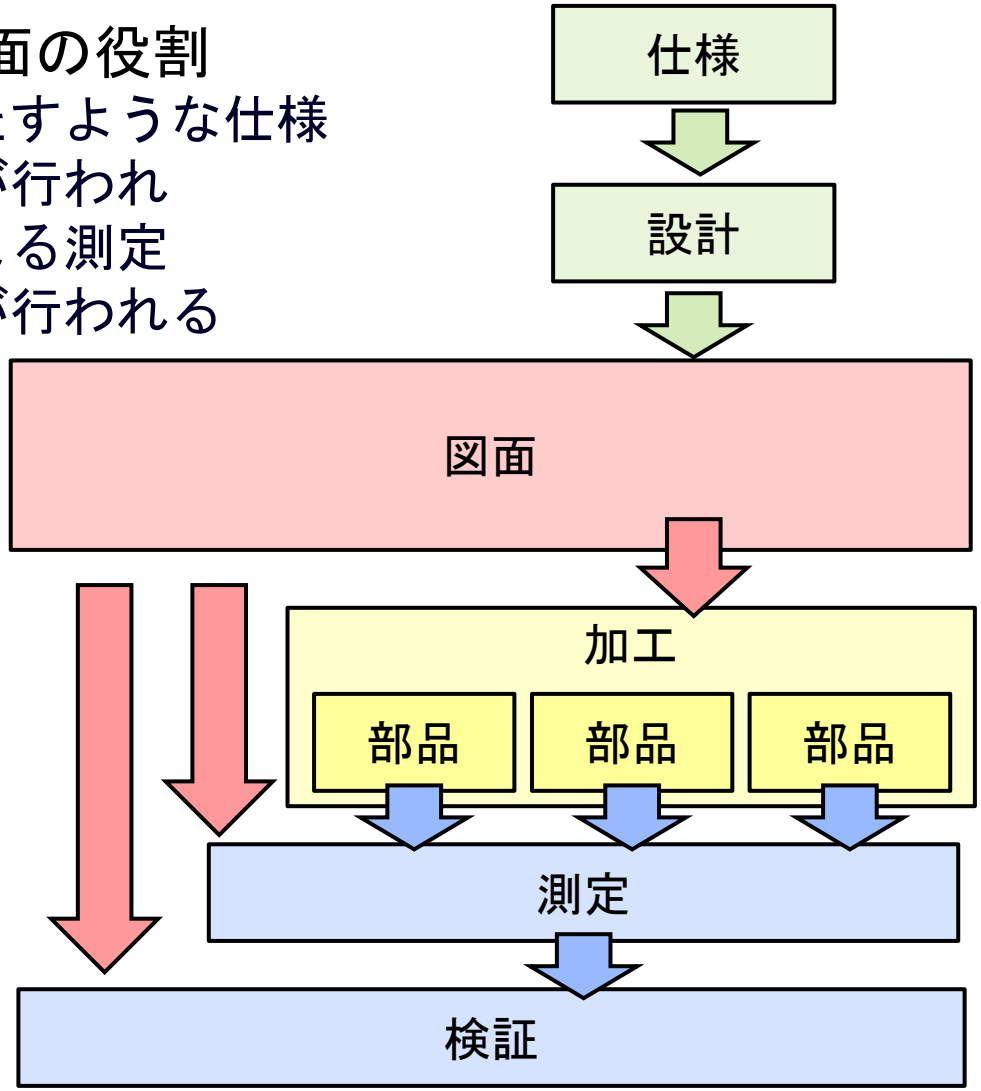


幾何特性仕様の図示

高増作画©takamasu-lab

生産システムにおける図面の役割（1）

- 生産システムにおける図面の役割
  - 設計：部品の機能を満たすような仕様
  - 加工：図面により加工が行われ
  - 測定：各部品を図面による測定
  - 検証：図面により検証が行われる

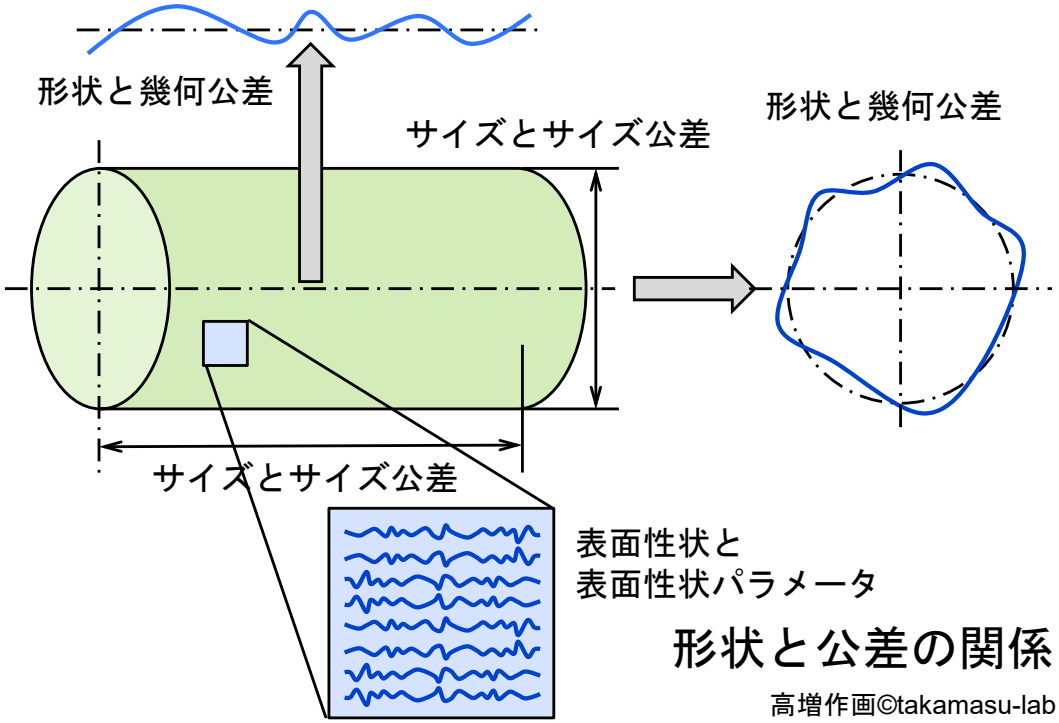


図面の役割

高増作画©takamasu-lab

生産システムにおける図面の役割（2）

- 図面指示のあいまい性をなくす
  - サイズ公差，幾何公差，表面性状パラメータをきちんと記述する
  - 幾何公差の定義のあいまい性をなくす：幾何公差の定義と解釈，データム，図示方法，最大実体公差方式
  - 表面性状の定義：フィルター，図示方法，三次元表面粗さ
- 図面に対応した生産技術
- 検証方法（測定方法）の規格
  - 簡易測定器の規格の整備
  - 三次元測定機の導入
  - 測定の不確かさを考慮した検証



形状と公差の関係

高増作画©takamasu-lab

まとめ：幾何特性仕様

- GPS規格
  - Geometrical Product Specifications
  - 製品の幾何特性仕様
- 図面のあいまい性
  - グローバリゼーションなどを考えると，これからは図面のあいまい性をなくすことが重要
- 生産システムにおける図面の役割
  - 設計，加工，測定を通して図面が重要となる
- 幾何特性の捉え方
  - 加工された部品には形状偏差がある
  - サイズとサイズ公差，形状と幾何公差の捉え方

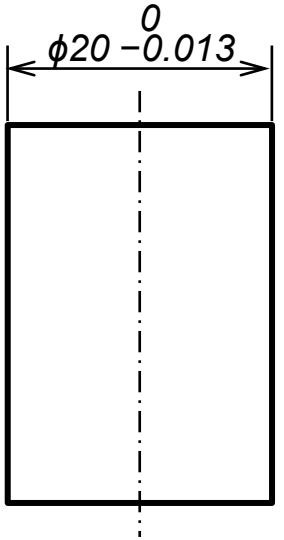
寸法，サイズ

寸法，サイズ

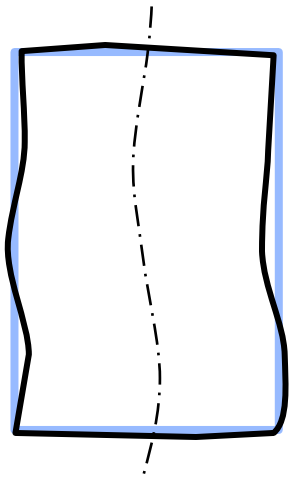
- 広い意味での寸法を2つに分ける
  - サイズ
    - 円筒の直径，対向する平行二平面の距離
  - サイズ以外の寸法
    - 段差，半径，穴および軸の位置，距離
- サイズ
  - 2点測定で測定できるような形体
  - サイズ公差で規制する
- サイズ以外の寸法
  - 幾何公差（位置度，輪郭度）で規制する

サイズの測定（1）2点測定

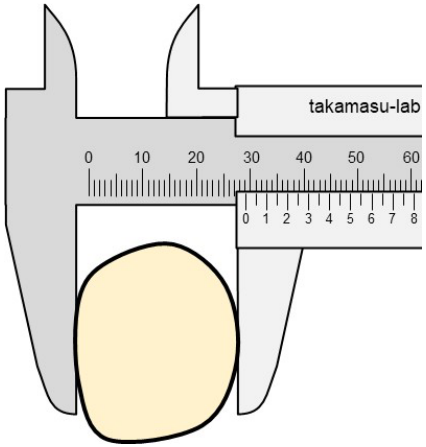
- 軸の直径：ϕ20 mm の意味
  - ノギスで直径を測定：場所によって直径の測定結果は変わる
- サイズとサイズ公差
  - サイズの測定は，既定ではノギスなどで測定したときの測定値（2点測定）
  - 2点測定寸法の値はひとつではなくいくつかの値の集まり
  - 測定した寸法の値がすべて公差内に入っているかで合否を決める
  - サイズ公差：19.987 mmから20.000 mmの間



図面例



実際の形状

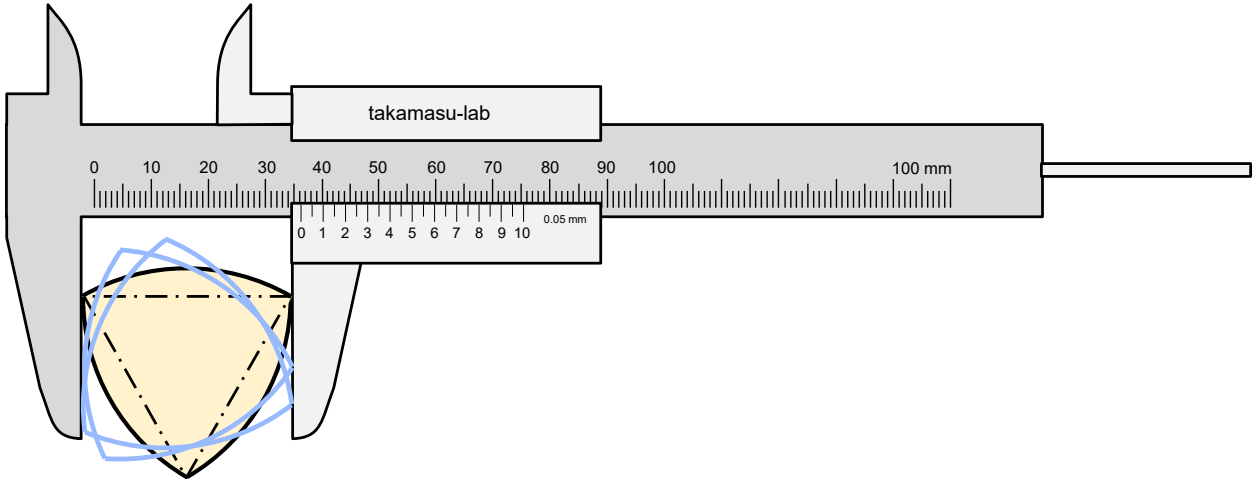


ノギスの2点測定

高増作画©takamasu-lab

サイズの測定（2）等径ひずみ円の測定

- 等径ひずみ円
  - ルーローの三角形のような奇数の次数の変位を持つ形状では，どの方向で2点測定しても同じ直径が得られる
  - しかし，真円度がよいわけではない
    - 真円度は幾何公差で規制する必要がある



等径ひずみ円の2点測定

高増作画©takamasu-lab

サイズの定義（1）

- 従来は，「寸法」という用語を幅広く使っていた
  - 新しいJIS B0420シリーズに基づいて，寸法のうち2点測定で測定できる直径や平行二平面の距離を「サイズ」として，サイズの定義を明確化した
  - サイズは「サイズ公差」で規制する
  - サイズ以外の寸法に対しては，寸法ではなく，「理論的に正確な寸法」および幾何公差（位置度，輪郭度）で規制する

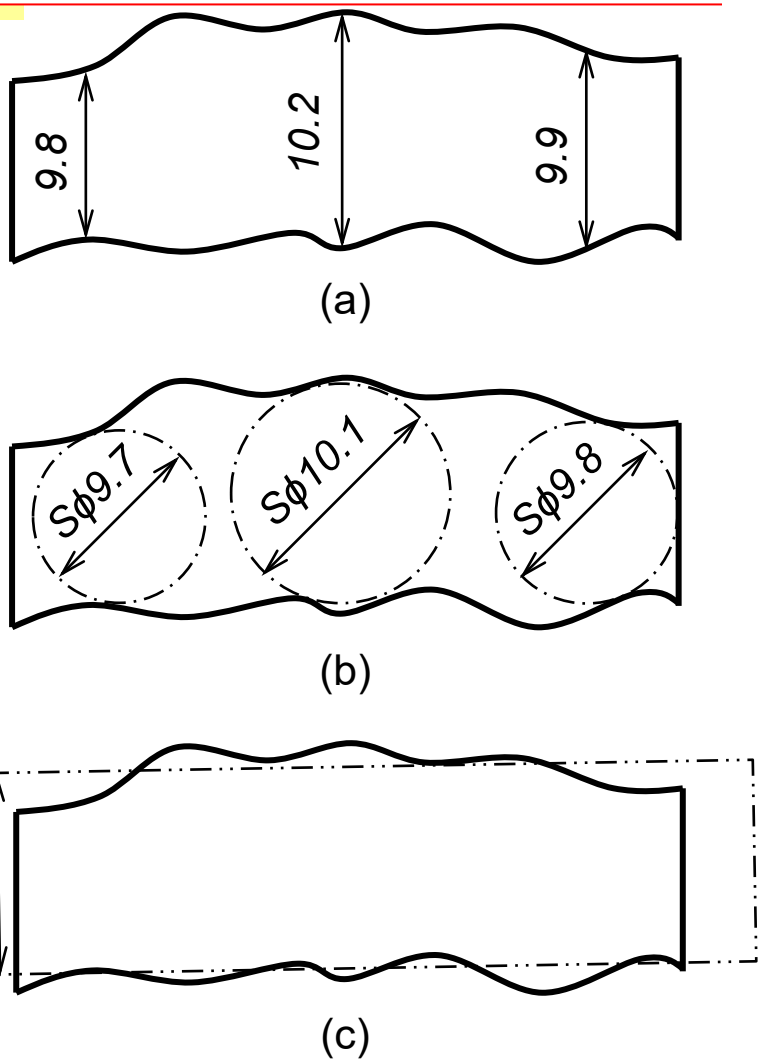
寸法に関する用語（JIS B0420）

新しい用語	従来の用語
寸法（一般的，サイズ以外）	寸法
サイズ（直径，平行二平面距離）	寸法
サイズ公差（直径，平行二平面距離）	寸法公差
図示サイズ	基準寸法

JISを参考に高増作画©takamasu-lab

サイズの定義（2）

- サイズは，既定としては2点間距離で定義される→他のサイズも導入した（JIS B0420）
  - サイズの例：右図
    - (a) 2点間サイズ
    - (b) 球サイズ
    - (c) 最小二乗サイズ
  - サイズの分類
    - 局部サイズ（2点間サイズ，球サイズなど）→測定場所で値が異なる
    - 全体サイズ（最小二乗サイズ，最大内接サイズなど），算出サイズ（面積直径など）→1つの値となる
    - 順位サイズ（最大サイズ，平均サイズなど）

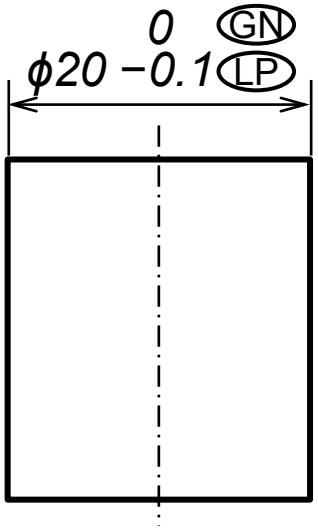


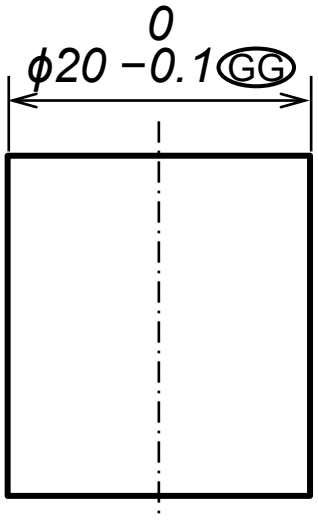
サイズの種類の例（JIS B0420-1）

JISを参考に高増作画©takamasu-lab

サイズ公差の図示

- サイズ公差の指定方法
  - 記号をサイズ公差につける
  - 記号の例
    - 2点間サイズ： LP
    - 球サイズ： LS
    - 最小二乗サイズ： GG
    - 最大内接サイズ： GX
    - 最小外接サイズ： GN
- 図示例
  - 上図：はめあい条件を満たす例
    - 最小外接サイズは20.0 mm以下
    - 2点間サイズは19.9 mm以上
  - 下図：三次元測定機での測定を想定した例
    - 最小二乗当てはめをした直径が，19.9 mmから20.0 mmの間
    - 三次元測定機で測定した直径は，普通，最小二乗当てはめを行っている



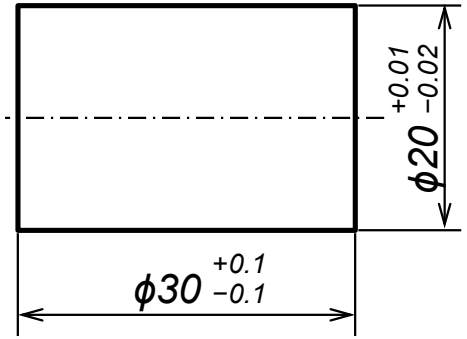


サイズ公差の例

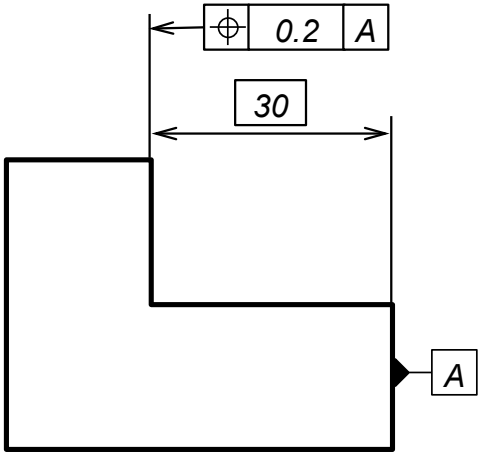
高増作画©takamasu-lab

サイズの定義（3）サイズとサイズ以外の寸法

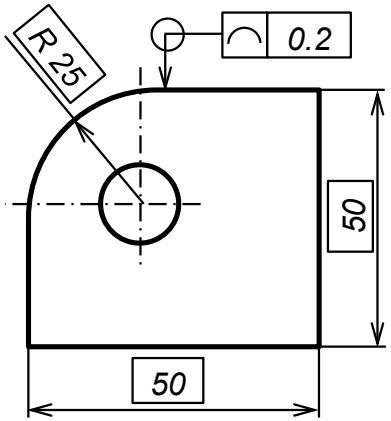
- サイズは右図の円筒の直径，平行二平面の距離
  - 2点測定ができる寸法→サイズ公差で規制
- サイズ以外の寸法
  - 段差：下図(a)
  - 半径：下図(b)
  - 穴や軸の位置：下図(c)
    - 幾何公差（位置度，輪郭度）で規制
    - 幾何公差については「精密測定03b」参照



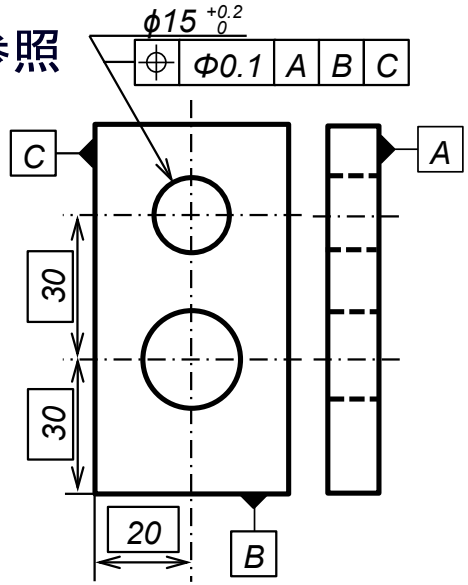
円筒の直径
平行二平面の距離



(a)段差



(b)半径



(c)穴の位置

高増作画©takamasu-lab

まとめ：サイズとサイズ以外の寸法

- 寸法の中で，円筒の直径，対向する平行二平面の距離だけをサイズとして定義した
  - 2点測定可能な寸法がサイズとなる
  - それ以外は，サイズ以外の寸法の扱いとなる
    - 段差，半径，穴や軸の位置，距離，円弧の長さなど
  - これは，サイズはサイズ公差，それ以外は幾何公差で規制するということによる分類
    - サイズ以外は，寸法の意味が曖昧なので，幾何公差で規制する
- サイズを拡張して2点距離以外を導入した
  - 複雑な機能（外接，内接），測定方法（三次元測定機）への対応を考えている
  - 説明した以外でも，面積直径，平均サイズなどが導入されている
- 結果として，複雑な機能要求への対応が可能となった
  - 問題としては，システムとしても理論としても難しく，解釈が難解，用語の変更が浸透しない，産業界への対応ができるかなどを検討する必要がある

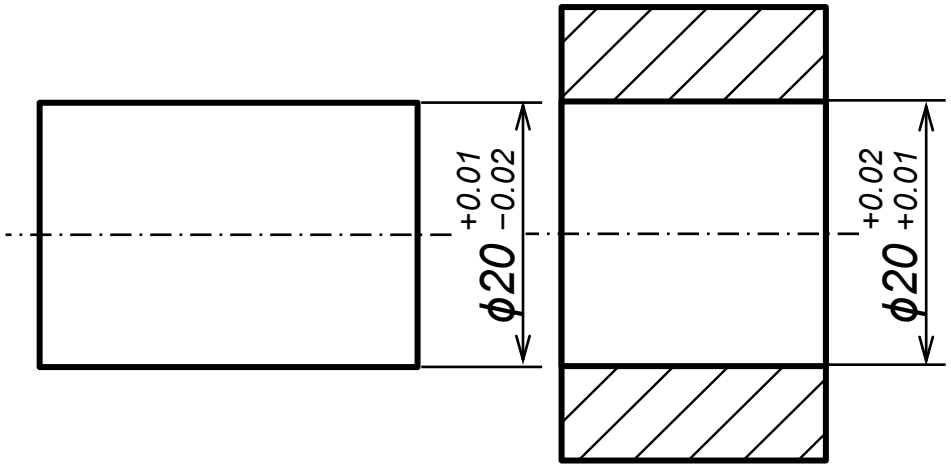
メモ：サイズ

- 関連するJISを参照→かなり難解
  - JIS B0420-1：製品の幾何特性仕様（GPS）－寸法の公差表示方式－第１部：長さに関わるサイズ
  - JIS B0420-2：製品の幾何特性仕様（GPS）－寸法の公差表示方式－第２部：長さ又は角度に関わるサイズ以外の寸法
  - JIS B0420-3：製品の幾何特性仕様（GPS）－寸法の公差表示方式－第３部：角度に関わるサイズ
- この方式を取り入れるか→あまり必要性は高くない
  - 普通は，あまり必要ない→高精度な部分はサイズであり，普通幾何偏差が小さい
  - もともと，三次元測定機などを除くと2点測定以外は高精度では測定できない
  - ころがり軸受（高精度，大量生産，はめあい）では，導入されている
    - JIS B1514-1：転がり軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）及び公差値－第1部：ラジアル軸受→非常に難解
- ここでは，詳細な解釈，角度のことは省略した

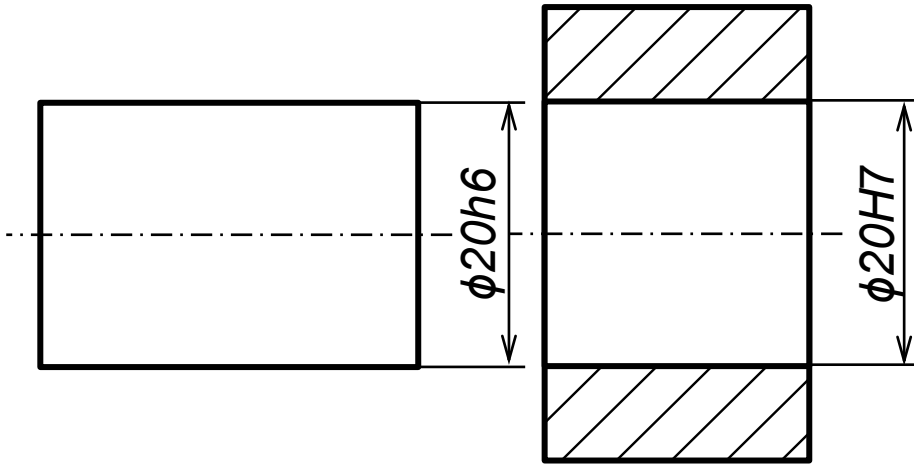
サイズ公差

サイズ公差（1）

- サイズの許容範囲の指示の方法
  - 直接値（許容限界サイズ）を指示する方法（左）
  - 公差等級（ISOはめあい方式）による方法（右）
  - 軸の例（左）：19.98 mm から 20.01 mm
  - 軸の例（右）：19.987 mmから20.000 mm
    - 基準寸法が20 mmで公差等級が6，公差域の位置がhで表されている（JIS B0401参照）



許容限界サイズで指定



ISOはめあい方式で指定

高増作画©takamasu-lab

サイズ公差（2）ISOはめあい方式

- 「はめあい」のための公差方式（JIS B0401）
  - ISOはめあい方式，ISOコード方式と表現する
    - 穴/軸のサイズとはめあいの関係を示すコード
  - はめあい：穴と軸のサイズ公差に関係
    - すきまばめ：すきまができる
    - しまりばめ：しめしろができる
    - 中間ばめ：すきまばめ，しまりばめのどちらかになる
  - サイズ公差等級：例 20H7
    - 基準寸法（20 mm），公差等級（7），公差域の位置（H）で表現する
    - 公差等級：01，0，1，2，...，18があり，公差等級と基準寸法によってサイズ公差の大きさが決まる→公差等級が01では小さい，18では大きい
    - 公差域の位置：a，b，...，h，js，...，zc（穴は大文字，軸は小文字）があり，サイズ公差の位置が決められる→穴では公差域の位置Aは直径が大きい（すきまが大きい），公差域の位置ZCでは直径が小さい

サイズ公差（3）ISOはめあい方式：推奨

- 推奨するはめあい（JIS B0401）
  - 穴基準の場合：穴の公差クラスをH6～H11として，対応する軸の公差クラスを示す（上図：穴がH７の場合）
  - 軸基準の場合：軸の公差クラスをh5～h9として，対応する穴の公差クラスを示す（下図：軸がh6の場合）

穴基準：穴がH7に対応する推奨するはめあい

すきまばめ			中間ばめ				しまりばめ					
f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	x6

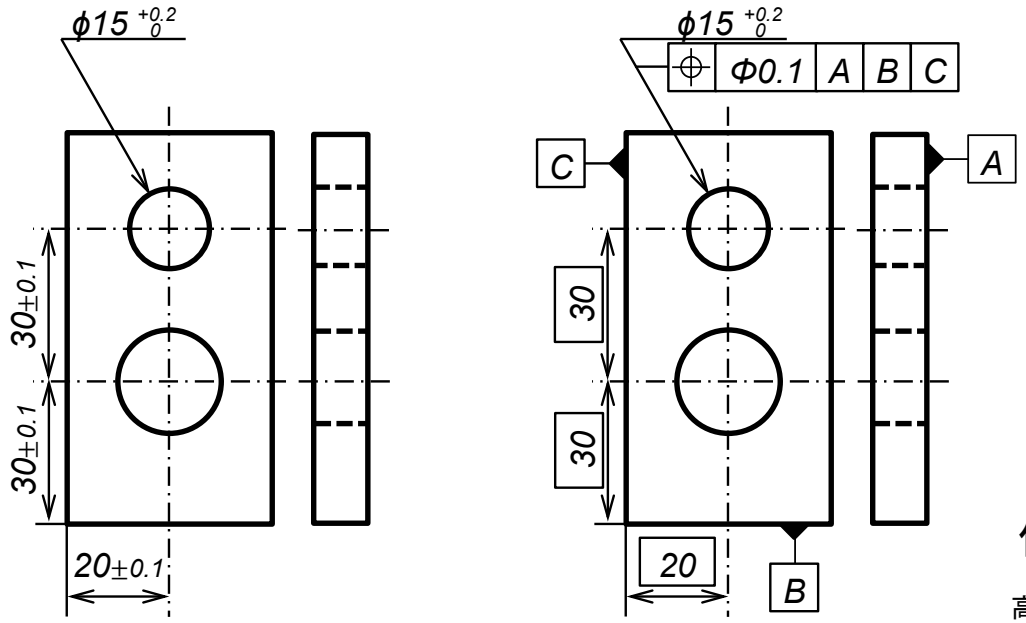
軸基準：軸がh6に対応する推奨するはめあい

すきまばめ			中間ばめ				しまりばめ					
F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	X7

JISを参考に高増作画©takamasu-lab

サイズ以外の寸法（1）：穴の位置

- 穴の位置
  - 従来の寸法公差での規制（左図）では問題が多い
    - 公差の累積，公差の領域が四角になる
    - 基準の取り方が不明確
    - 形状偏差への対応ができない
  - 位置度を利用した方法が優れている（右図）
    - 位置度，データムについては，「精密測定03b」を参照

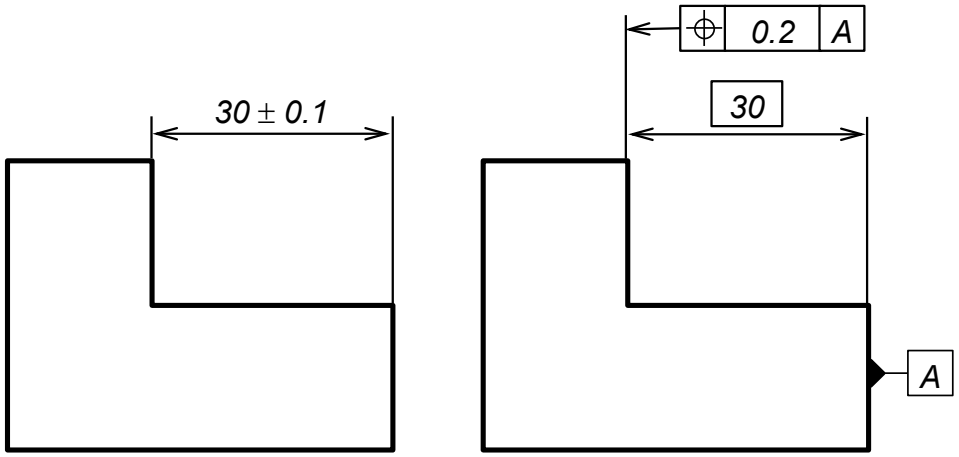


位置度の図示

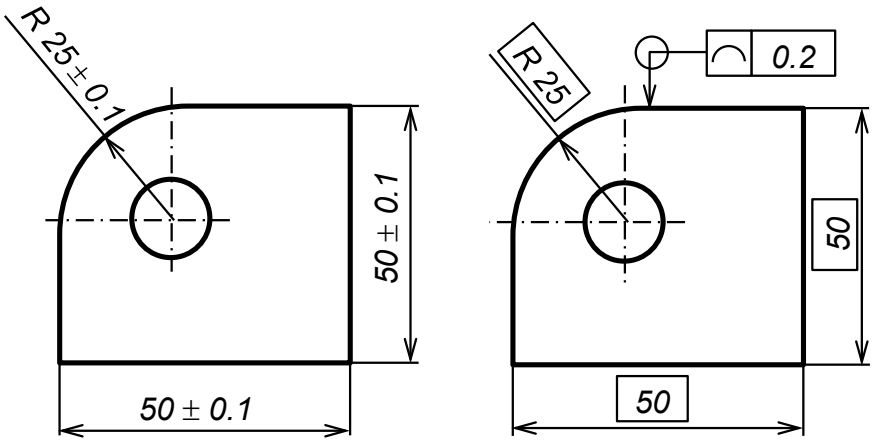
高増作画©takamasu-lab

サイズ以外の寸法（2）：段さ，半径

- 段差（左図），半径（右図）
  - 従来の寸法公差（左側）での規制では問題が多い
    - 基準の取り方が不明確
    - 形状偏差への対応に曖昧性がある
  - 位置度／輪郭度を利用した方法（右側）が優れている
    - 形状偏差の規制方法が明確になる
    - 位置度／輪郭度については，「精密測定03b」を参照



段差の図示



半径の図示

高増作画©takamasu-lab

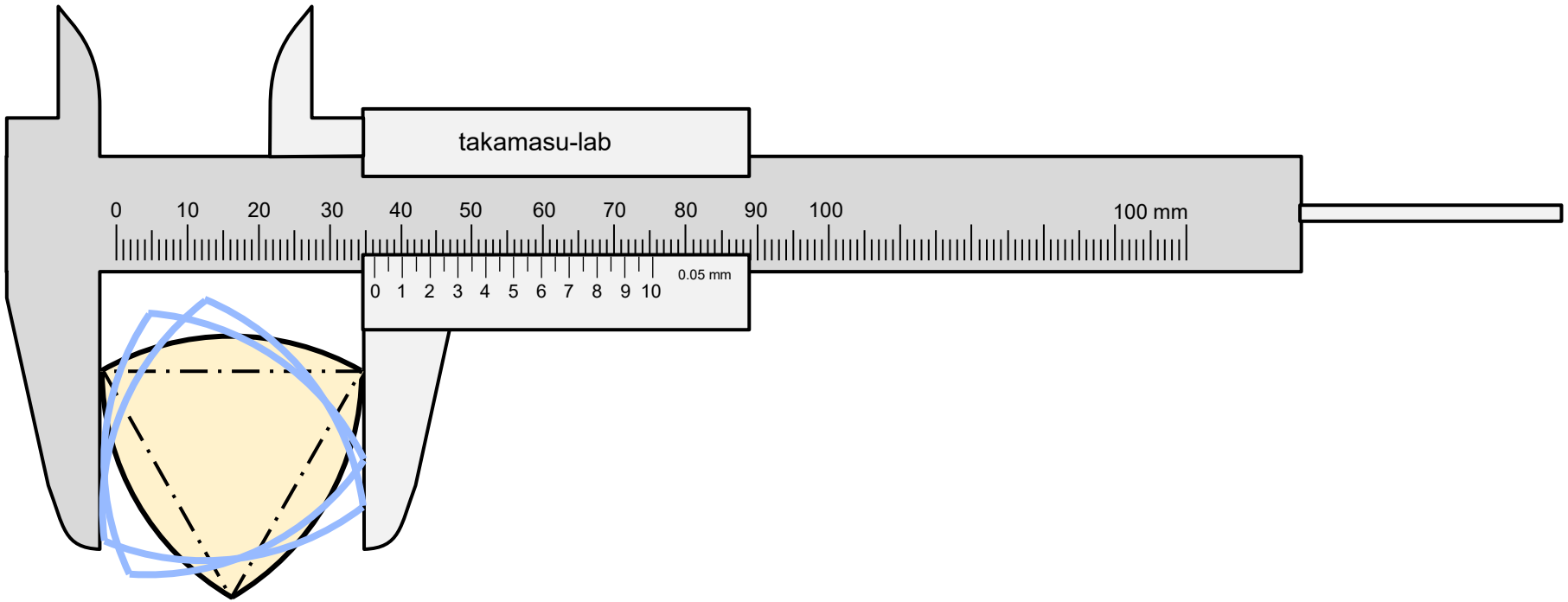
まとめ：サイズとサイズ公差

- 寸法に対して，2点測定の対象となる円筒の直径と平行二平面の距離だけを「サイズ」として定義した
  - サイズとそれ以外の寸法の区別を明確化した
  - サイズとして，従来の2点間距離以外のサイズ（球サイズ，最小二乗サイズ）が導入された→それぞれ別個に規制できる
- サイズはサイズ公差で規制する
  - サイズ公差は，＋および−の値で範囲を示す方法
  - はめあいに対しては，ISOはめあい方式を利用する方法
  - サイズ以外の寸法に対しては，理論的に正確な距離と位置度および輪郭度で規制する
    - この方法で，公差の意味の曖昧さがなくなった（JIS B0420-2参照）
- 注：角度サイズについても同様の方法が示されている（JIS B0420-3参照）→この説明では省略した

メモ：サイズとサイズ公差

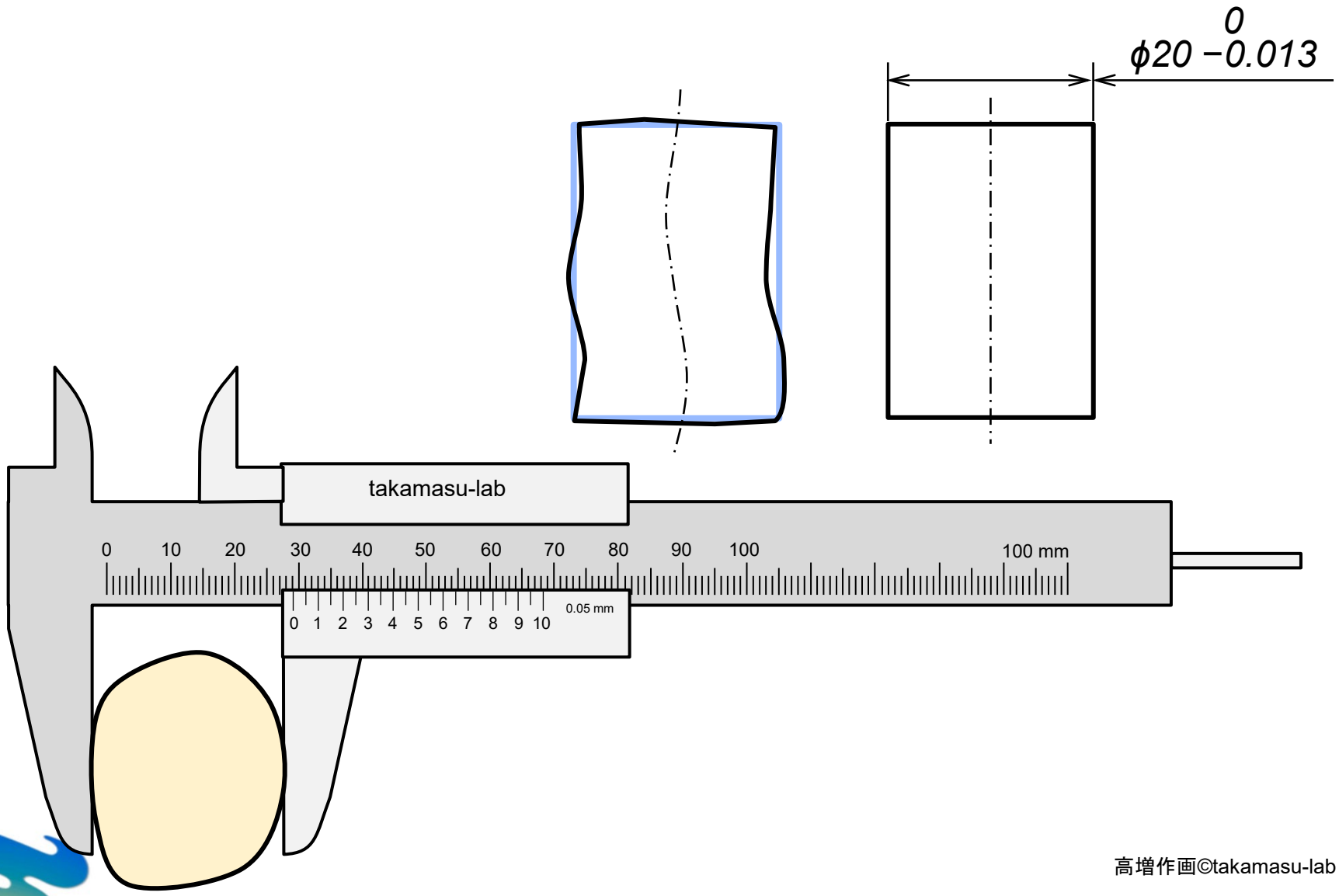
- サイズとサイズ公差の説明は難しい
  - 以下のJISに詳細が示されている
    - JIS B0401-1：製品の幾何特性仕様（GPS）－長さに関わるサイズ公差のISOコード方式－第１部：サイズ公差，サイズ差及びはめあいの基礎
    - JIS B0401-2：製品の幾何特性仕様（GPS）－長さに関わるサイズ公差のISOコード方式－第２部：穴及び軸の許容差並びに基本サイズ公差クラスの表
  - 実際に使用する場合は，機能（すきまばめ，中間ばめ，しまりばめ）にしたがって推奨する組合せを使うことになる
  - 説明は，旧JISよりもサイズに関わる用語（サイズ形体，外殻形体など）を利用して整理されたが，なれない人にとってはかえって分かりにくくなっている
- はめあいは，大量生産での基本的な機能なので，ISOはめあい方式の利用は重要
- 全体としては，精密測定03bで幾何公差，精密測定03cで表面性状パラメータの説明をする

メモ作画：等径歪み円の測定



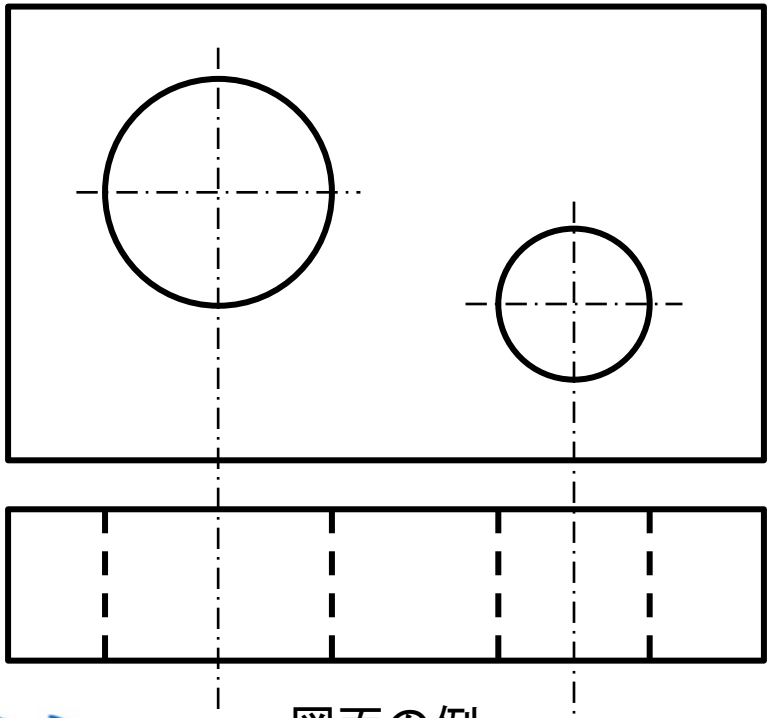
高増作画©takamasu-lab

メモ作画：サイズの定義，2点間サイズ

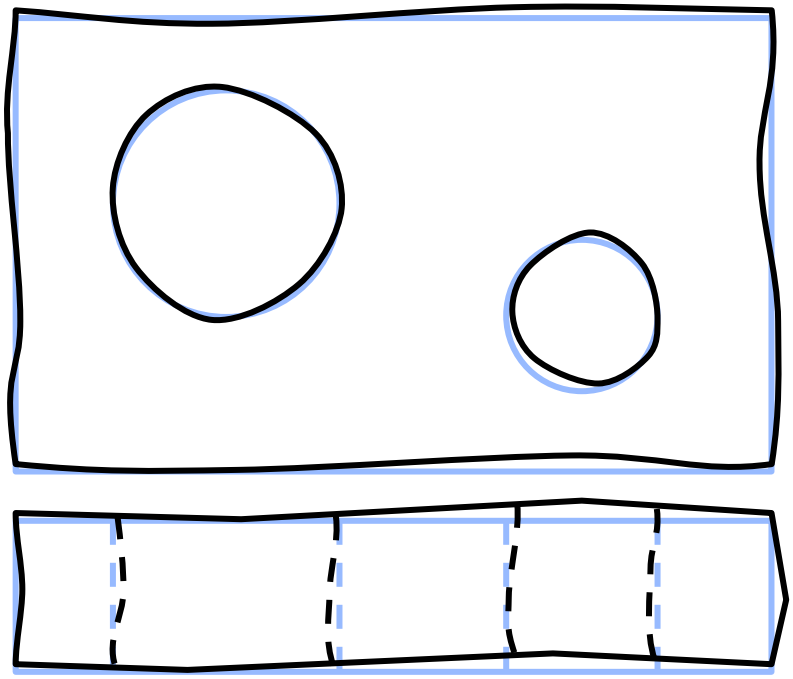


高増作画©takamasu-lab

メモ作画：形状偏差のある形状



図面の例

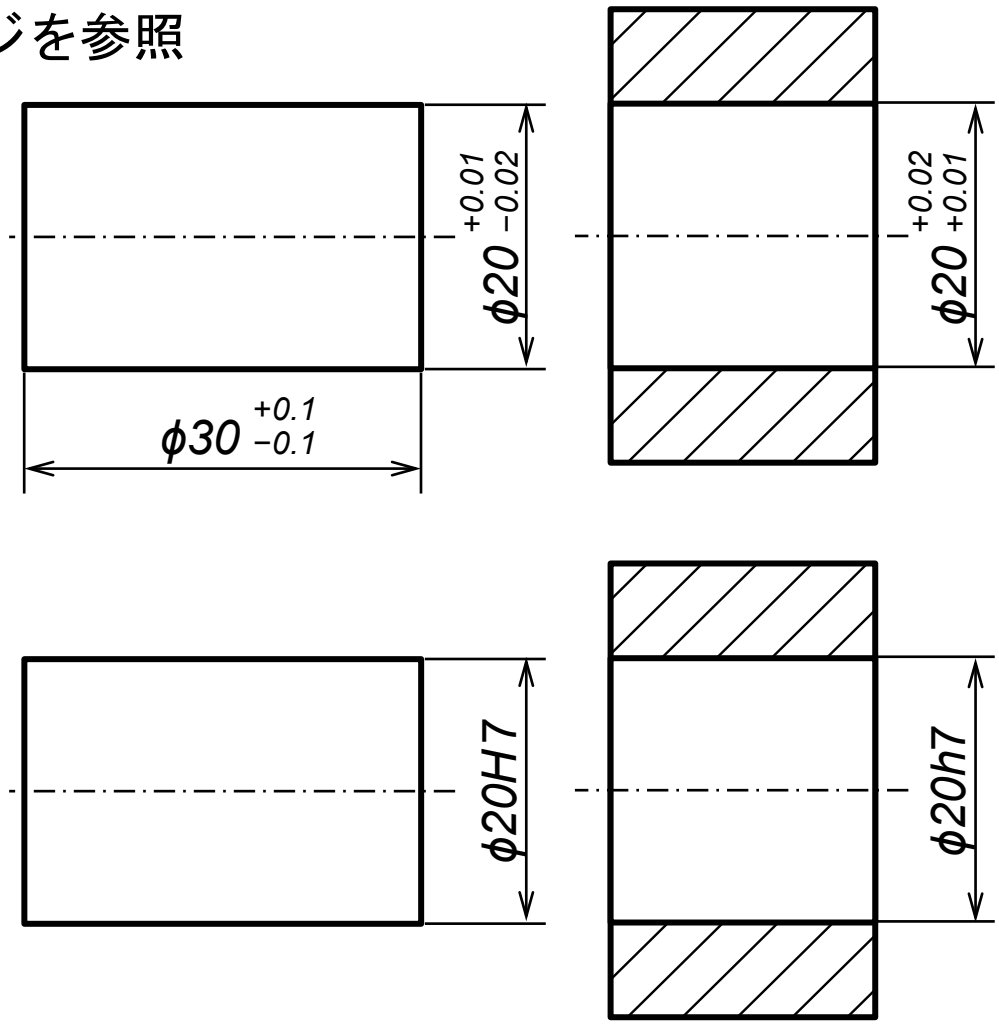


形状偏差のある形状

高増作画©takamasu-lab

メモ作画：寸法公差

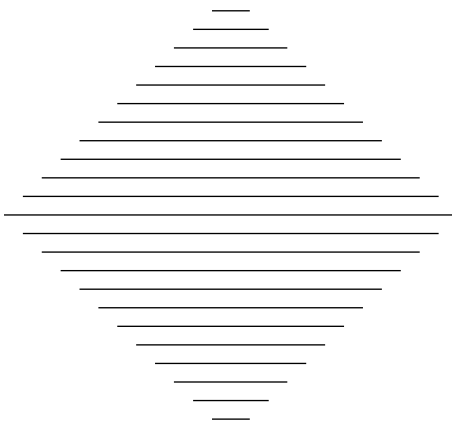
- ハッチングは次のページを参照

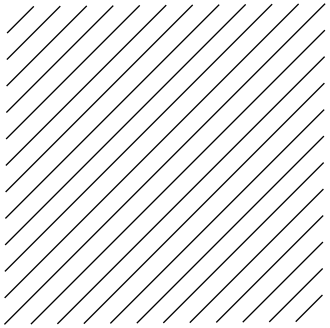


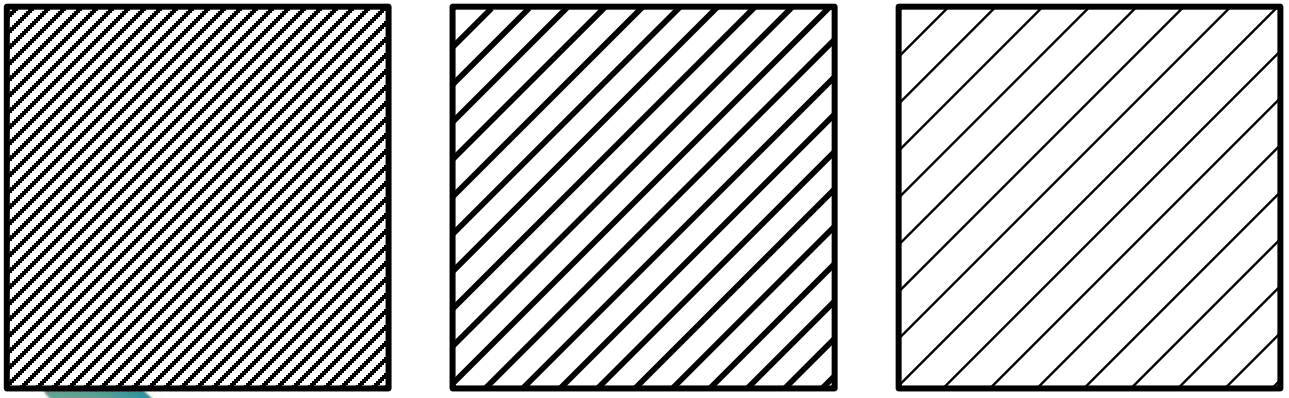
高増作画©takamasu-lab

メモ作画：ハッチング

- 塗りつぶしでハッチングを行う場合
  - 図形の塗りつぶしで，パターンを選択して斜め線を選択すると，左図のようになるが，線の太さ，間隔を調整できない
  - ハッチングパターンを作って，Ctrl-Cで選択し，塗りつぶしで図またはテクスチャを選択，画像ソースでクリップボードを選択する
    - ハッチングパターン（右図上）は，長さを変えた線を並べて作った，その後45度回転したパターン（右図下）を使う→線の太さを変えられる
    - 塗りつぶしでオフセットを調整することで間隔を変えられる（下図左から2枚目，3枚目）



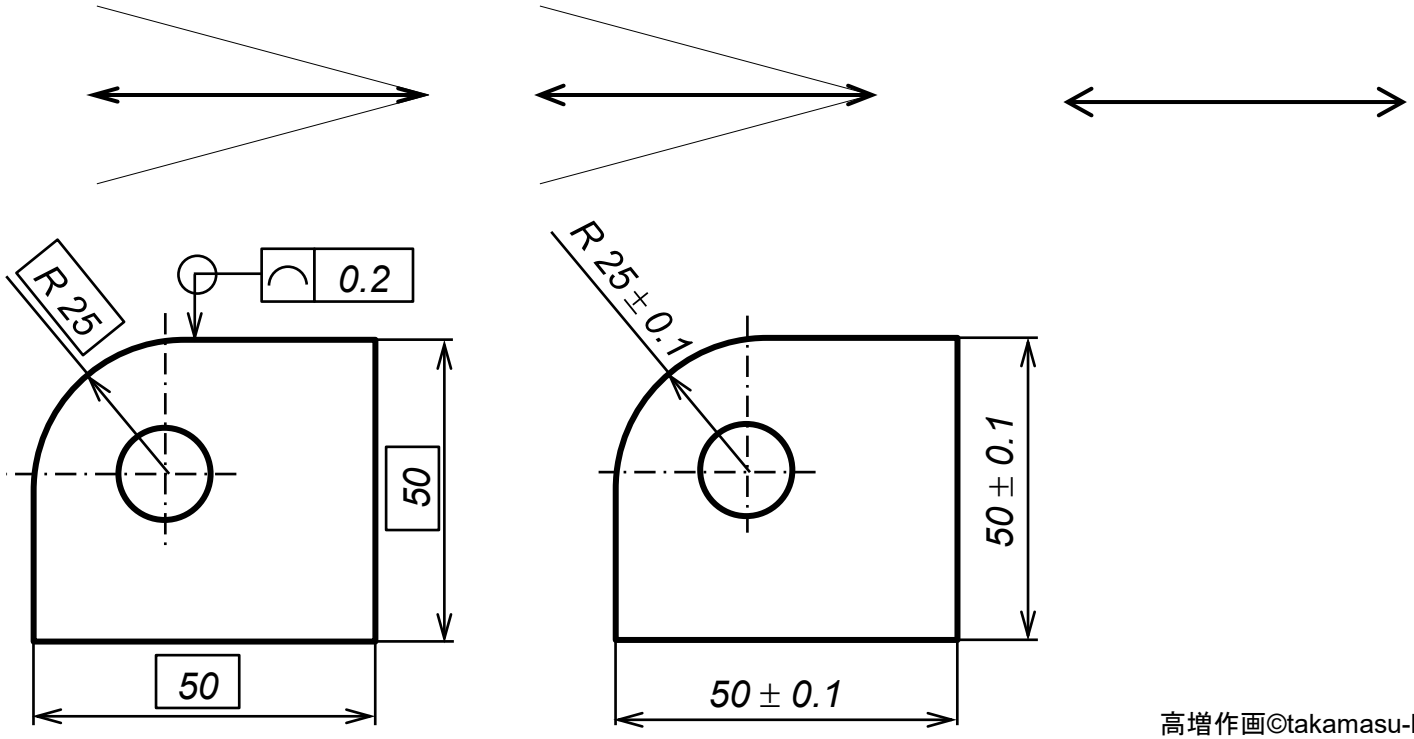




高増作画©takamasu-lab

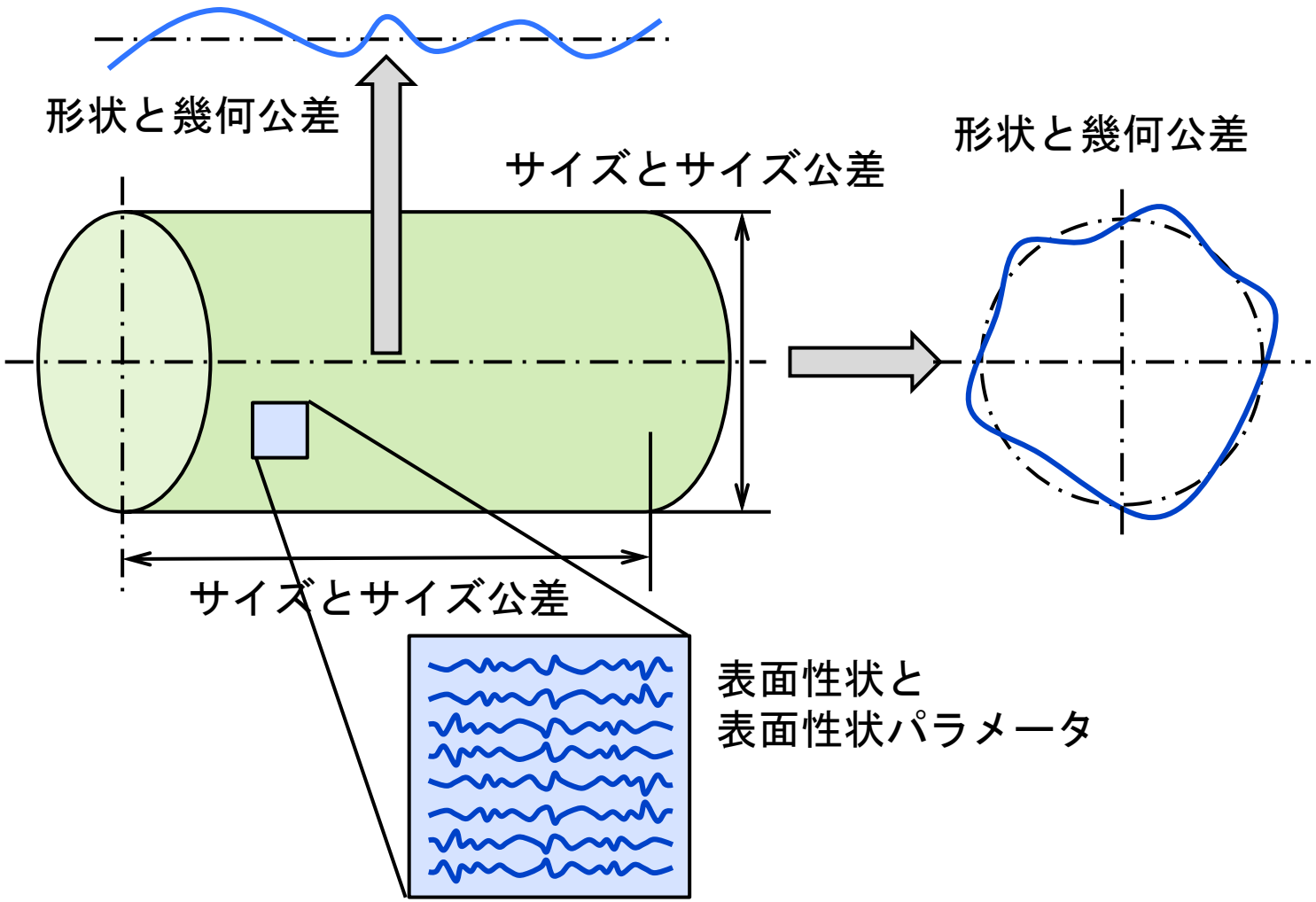
メモ作画：図面の書き方

- 図面の書き方
  - 太線：2.25 pt，細線：1 pt
  - 矢印：大きいで角度が少ない（右上）
  - 文字：Arial 14 pt　斜体　　±はメイリオ　ϕはArial斜体
  - 文字の枠：上下中央揃え，余白0.1 cm
- 説明用の図面を書くツールがあるとよい→よいものがあれば教えて欲しい



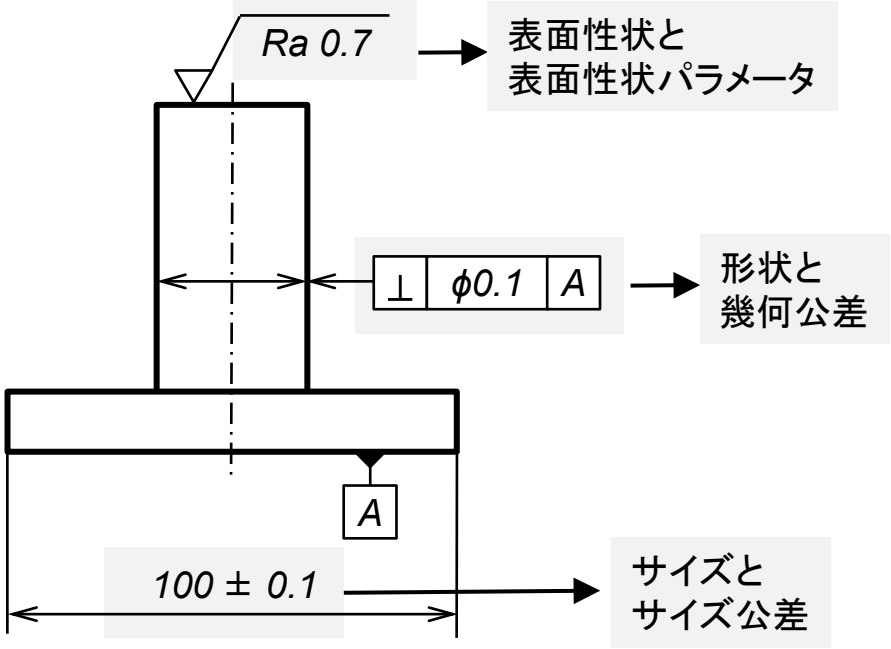
高増作画©takamasu-lab

メモ作画：形状と公差



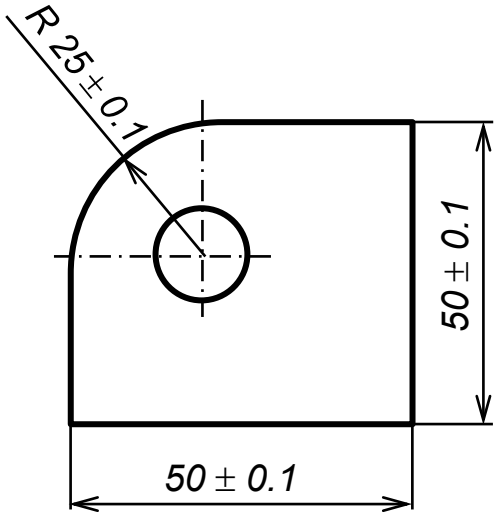
高増作画©takamasu-lab

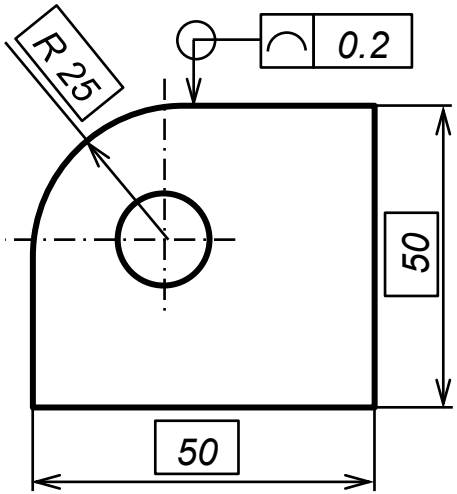
メモ作画：形状と公差

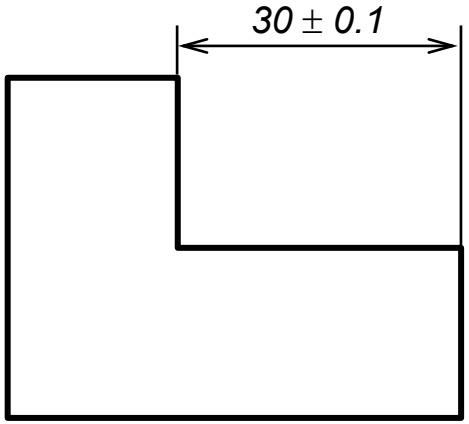


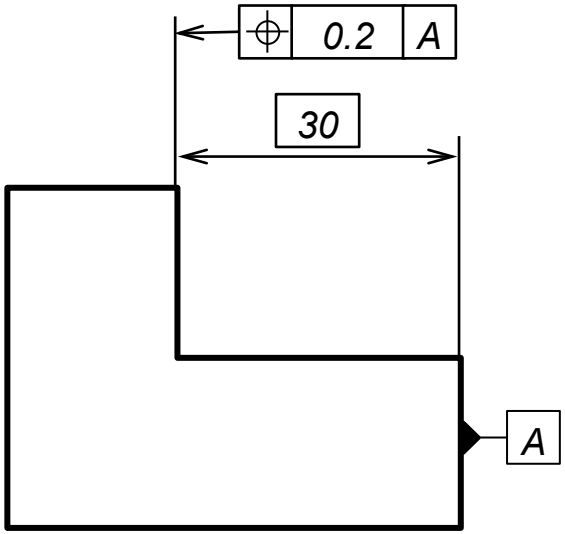
高増作画©takamasu-lab

メモ作画：寸法公差と輪郭度，位置度



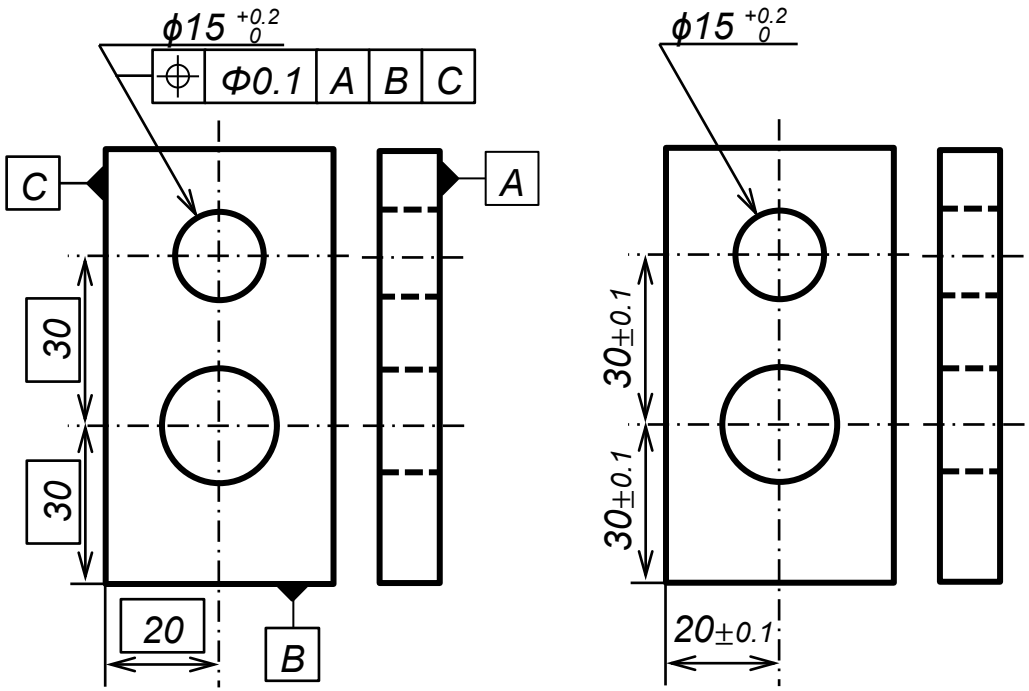






高増作画©takamasu-lab

メモ作画：寸法公差と位置度



高増作画©takamasu-lab