

# 第14章 機械の設計と精度

機械は**決められた動き**を、**正確**に行う必要がある



機械設計においては、用途に応じた**精度設計**が必要

## ブロックゲージ

よく磨かれた面はたがいに密着するという現象 (wringing; リンギングという) を利用して異なった寸法のブロックゲージを組み合わせ、必要な寸法を正確につくりだすことができる



現存する最古のブロックゲージ



長さの**基準**となる

# 14.1 寸法公差

## 14.1.1 寸法公差のしくみ

(1) 基準寸法と寸法公差、(2)公差域と許容限界寸法

加工においては、必ず**誤差**を生じる

→ **性能に影響を与えない範囲で、許容**する

**基準寸法**:加工の基となる寸法

**寸法許容差**:許される寸法の偏り(誤差)

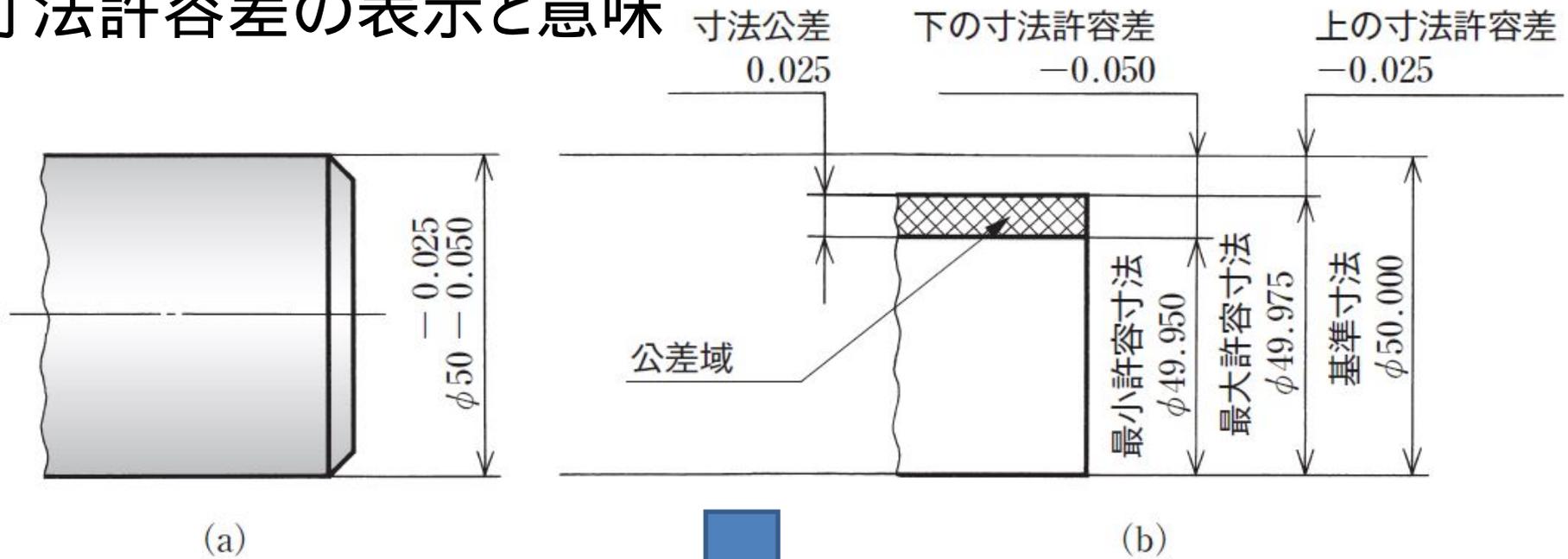
**上の寸法許容差**:加工寸法の上限值

**下の寸法許容差**:加工寸法の下限值



上下の寸法許容差の差 = **寸法公差**

# 寸法許容差の表示と意味



基準寸法 : 50mm

最大許容寸法 : 49.975mm、上の寸法許容差 : -0.025mm

最少許容寸法 : 49.950mm、下の寸法許容差 : -0.050mm

寸法公差 : 0.025mm

公差域 : 上の寸法許容差と下の寸法許容差の間の領域

## 14.1.2 公差域のしくみ

### (1) 基本公差：規格化された寸法公差

ISOで決められており、寸法と等級で公差が決まっている

IT?

- ・等級数値が小さいほど厳しい
- ・寸法が小さくなると同じ等級でも公差は厳しい

基準寸法 [mm]		公差等級											
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16
を超え	以下	公差 [ $\mu\text{m}$ ] <sup>②</sup>						公差 [mm]					
—	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6
3	6	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75
6	10	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9
10	18	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1
18	30	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3
30	50	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6

注 公差等級 IT14 以上は、1 mm 以下の基準寸法に対して使用しない。

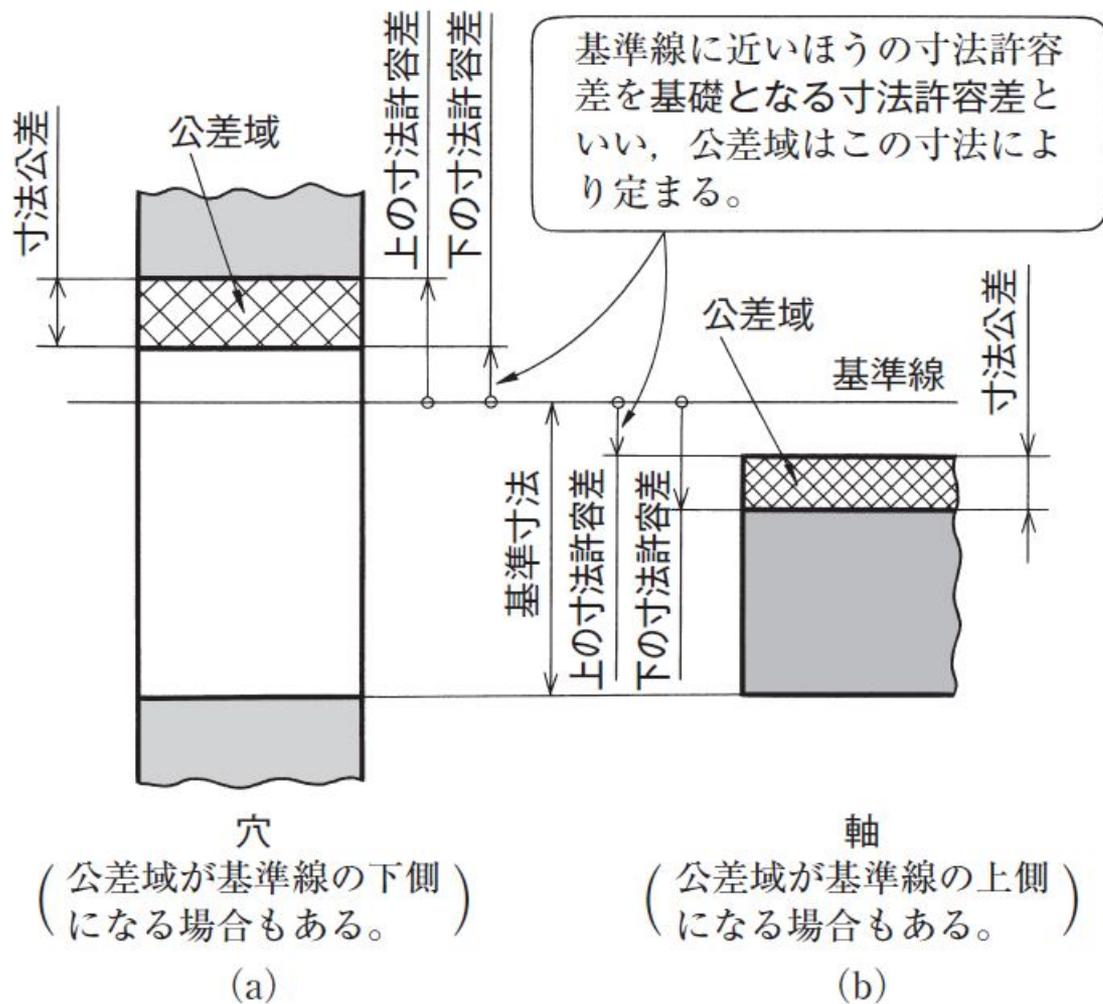
注 IT5 ~ IT16 を抜粋。50 mm を超えた寸法については省略。

(JIS B 0401-1: 1998 による)

## (2) 基礎となる寸法許容差と公差域クラス

**基準線**：基準寸法を示す直線

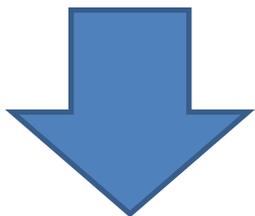
**基礎となる寸法許容差**：基準線に近い方の寸法許容差



基礎となる寸法許容差は  
いくつかの異なった値を  
もち、**アルファベット**で  
決められている

穴：大文字  
軸：小文字

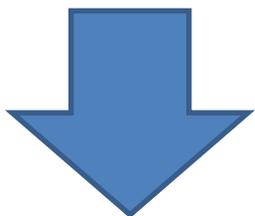
公差域クラス：基礎となる寸法許容差と公差等級の数値の組み合わせ



穴：H7  
軸：h6

のように表す

要は、上下の寸法許容差どちらかがわかれば、それに公差を加減すればよい



基準寸法と公差域クラスが定めれば、実際の寸法を算出できる



## 4.1.3 長さ寸法の普通公差

部品の使用目的によっては、特別な精度を必要としないですむ場合がある → 機能に直接関係しない箇所



公差が指示されていない場合は、寸法公差がないのではなく、**普通公差を適用**する。

公差等級		基準寸法の区分				
記号	説明	0.5 以上 3 以下	3 を超え 6 以下	6 を超え 30 以下	30 を超え 120 以下	120 を超え 400 以下
		許 容 差				
f	精 級	± 0.05	± 0.05	± 0.1	± 0.15	± 0.2
m	中 級	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5
c	粗 級	± 0.2	± 0.3	± 0.5	± 0.8	± 1.2
v	極粗級	—	± 0.5	± 1	± 1.5	± 2.5

注 400 mm を超えた寸法については省略。

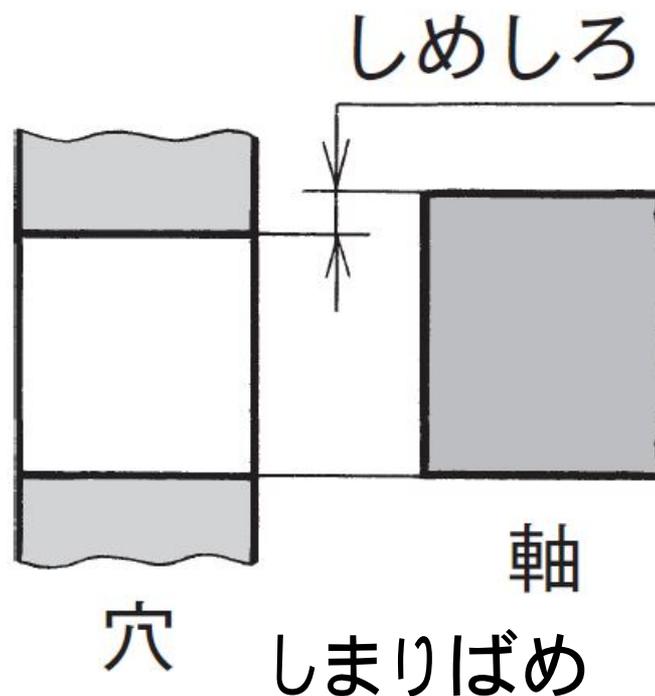
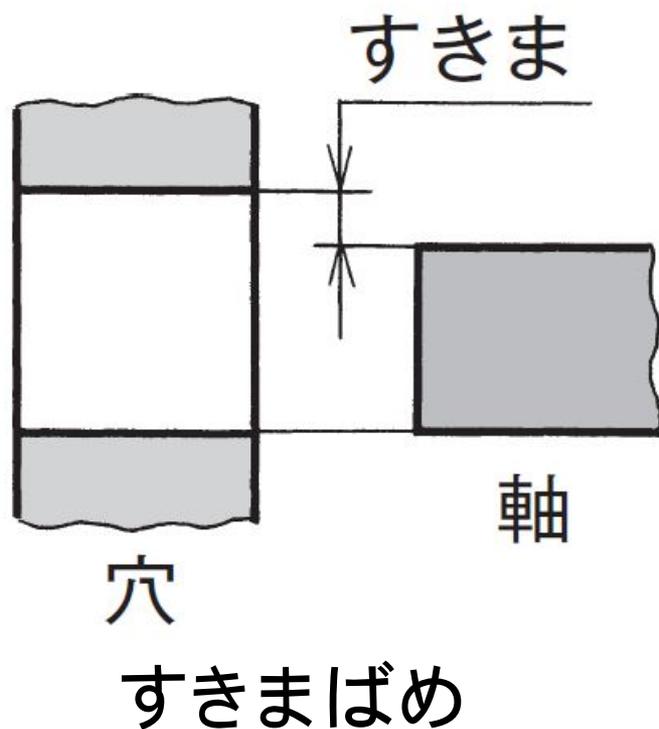
(JIS B 0405: 1991 による)

## 4.1.4 はめあい

# 軸と穴の勘合状態

### (1) はめあいの種類

穴の直径  $>$  軸の直径  $\rightarrow$  すきまばめ  
穴の直径  $<$  軸の直径  $\rightarrow$  しまりばめ  
穴の直径  $\approx$  軸の直径  $\rightarrow$  中間ばめ



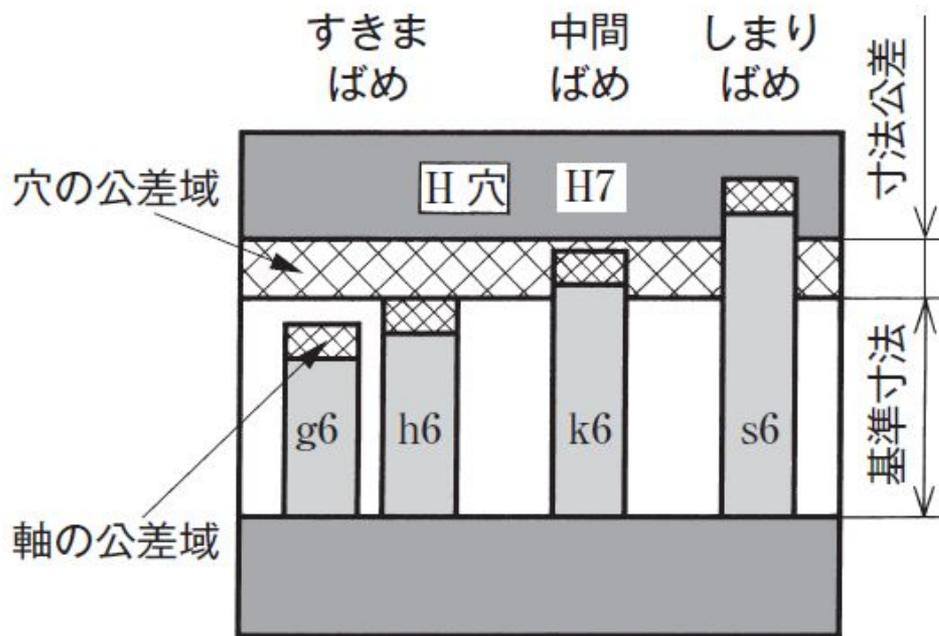
圧入  
or  
焼きばめ

## (2) はめあい方式

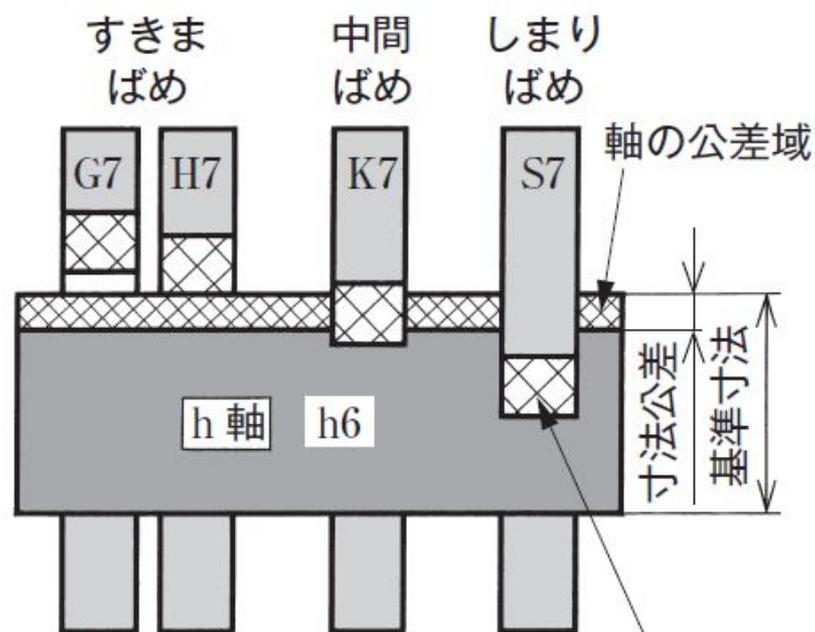
- ・ **穴基準** : 穴寸法を基準とするはめあい方式
- ・ **軸基準** : 軸寸法を基準とするはめあい方式



外形を加工した方が調整しやすいので、**穴基準が多い**



(a) 穴基準はめあいの例



(b) 軸基準はめあいの例      穴の公差域

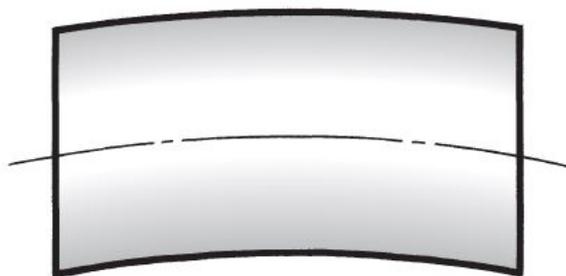
## 4.2 幾何公差

### 4.2.1 幾何公差の必要性

幾何公差：部品の形，穴の向きなどの幾何学的なくるい  
(正確な状態からの偏差)

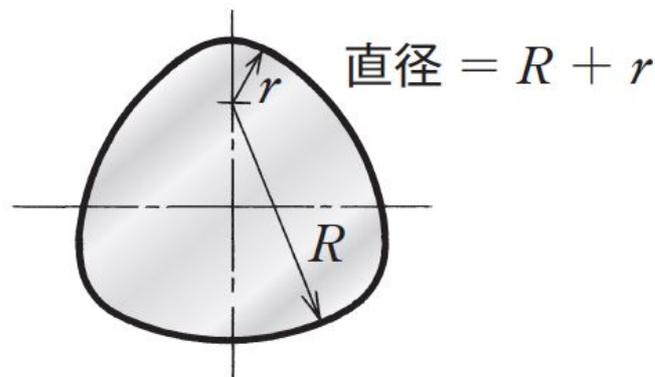


部分的な寸法測定だけでは、評価できない



どの位置ではかっても直径は等しいが曲がっている場合。

(a) 軸の曲がり



どの方向ではかっても直径は  $R + r$  であるが真円ではない場合。

(b) 軸断面の形状のくるい  
(等径ひずみ円の例)

## 4.2.2 幾何公差の種類

**形状公差**: 形のくるい(真直度, 真円度など)の許容範囲

**姿勢公差**: 穴や面などの向きのくるい(平行度, 直角度など)の許容範囲

**位置公差**: 穴などの位置のくるい(位置度など)の許容範囲

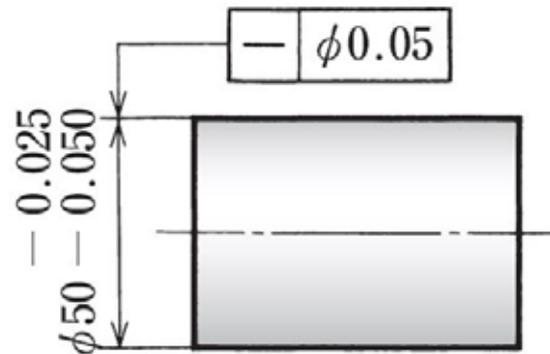
**振れ公差**: 軸の振れなどのくるい(円周振れなど)の許容範囲

### (1) 真直度公差(記号: $-$ )

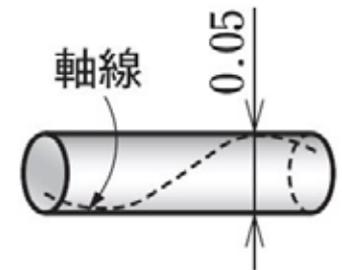
円筒軸の軸線の直線性



軸線全体が含まれる円筒の直径として定義される



(a)



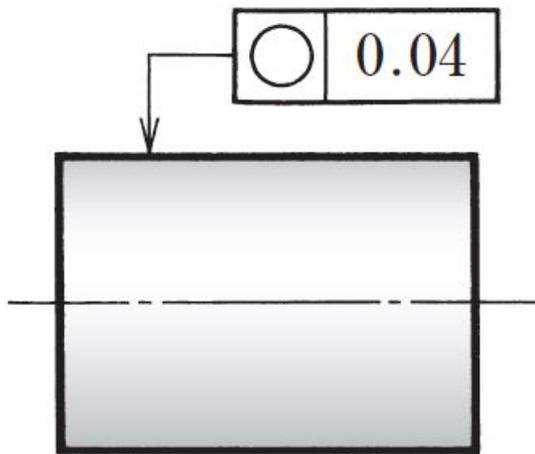
(b)

## (2) 真円度公差 (記号: )

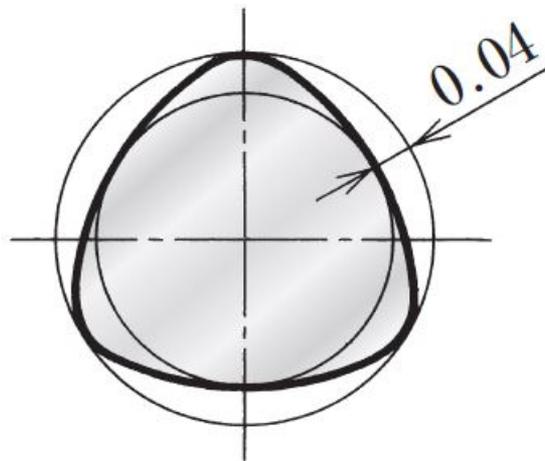
円筒軸の断面形状の真円からのくるい



同じ中心をもつ最大内接円と最小外接円の半径差として定義される



(a)



(b)

等径ひずみ円は直径法では、誤差0であるが、真円度は半径が異なるので誤差0ではない

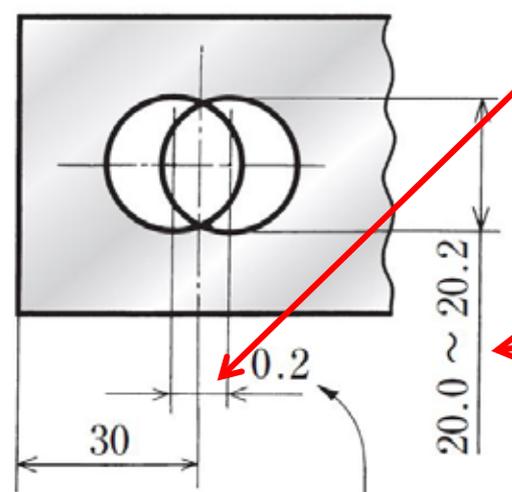
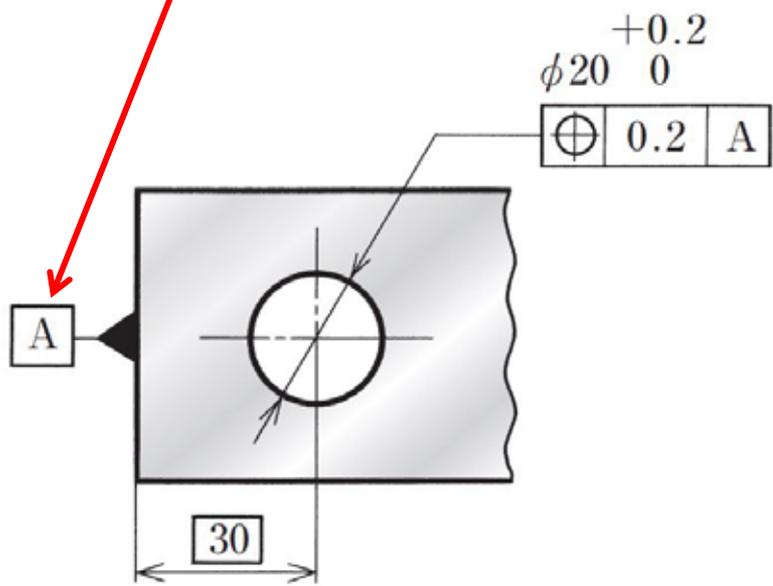
### (3) 位置度公差 (記号: $\oplus$ ) と最大実体方式

位置度公差: データムから穴の位置などのくるいの許容差

データム: 基準となる部分

寸法

このように表示し、囲まれた寸法は、理論的に正しい寸法であることを示す



穴の中心位置は、Aから29.9 ~ 30.1mmの範囲にあることが必要

穴の直径は、20.0 ~ 20.2mm

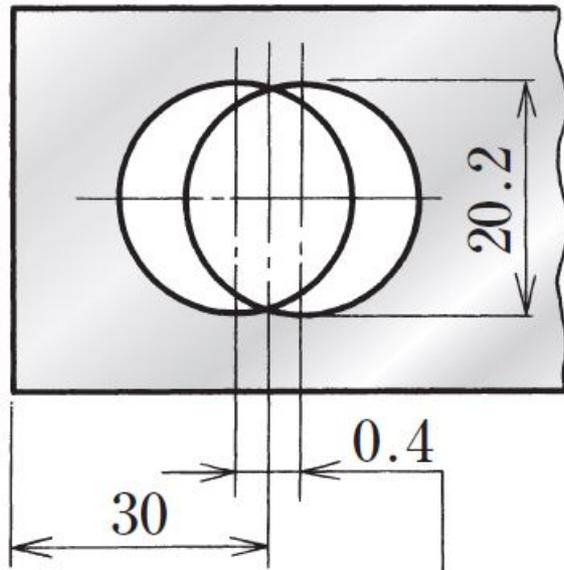
穴の位置度公差  
穴の中心位置は、この間になければならない。

(a)

(b)

# 最大実体公差方式

先の図で直径が上限値の20.2mmであれば、位置度公差が0.4mmでも組み付けられる



穴が大きくなった分だけ中心位置の許される領域が広がる。

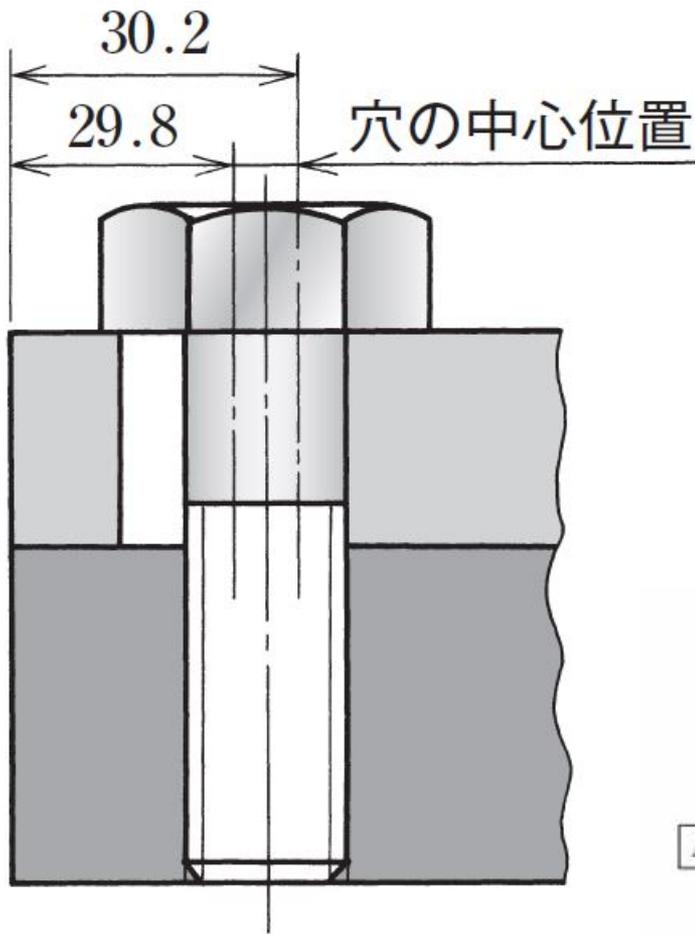


機能的には、先の図と同じ

穴寸法が大きくなった分、穴中心位置の範囲を広げてもよい

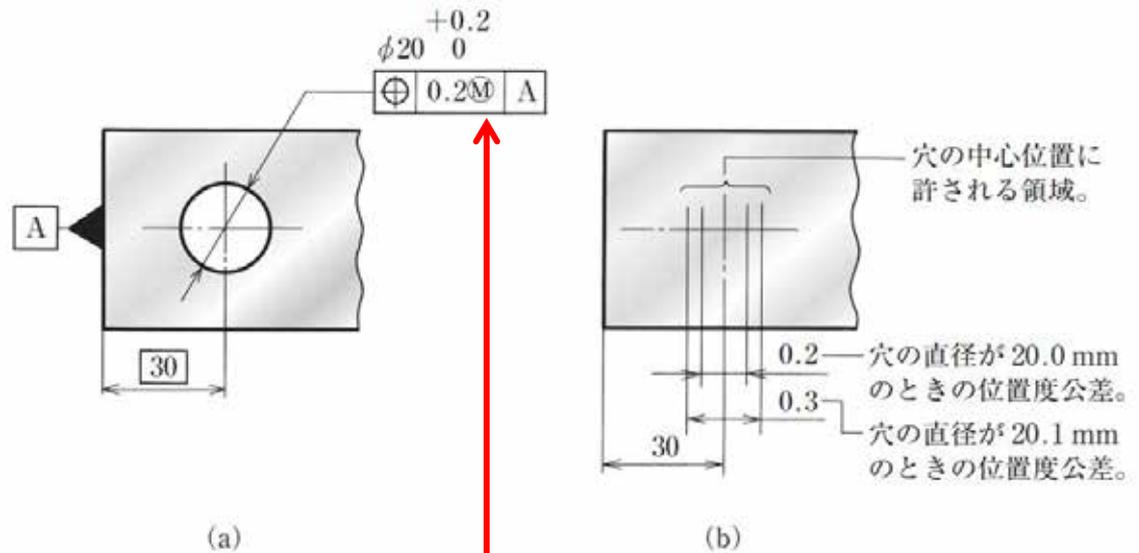


公差を融通と加工精度の面から有利な設計をすることができる



最大実体とは、部品の実体部分  
(材料のある部分)の体積が最大  
になること  
(穴部品では、最小許容寸法の場合となる)

穴の直径が20.2のとき、穴の中心位置は29.8~30.2まで許しても部品は組み付けられる。



# 幾何公差

基準(データム)からの幾何学的偏差

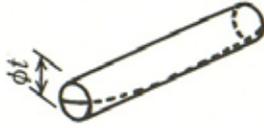
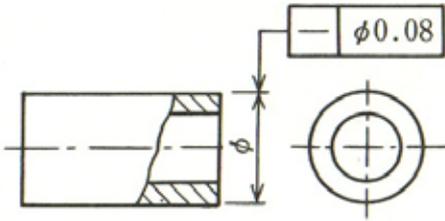
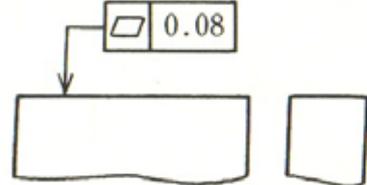
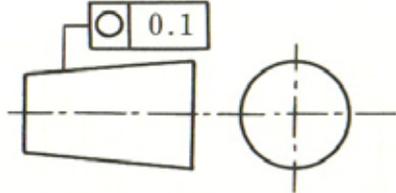
設計の目安

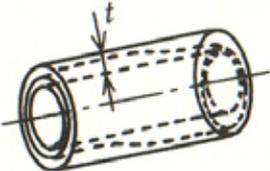
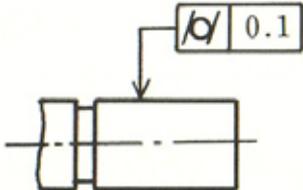
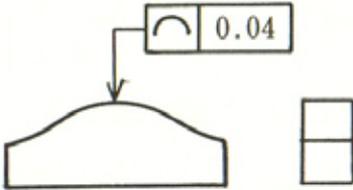
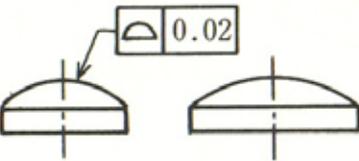
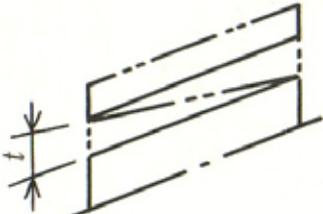
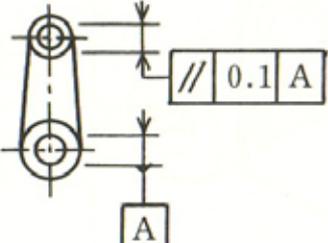
真円度 =  $(0.2 \sim 0.5) \times IT$ 公差

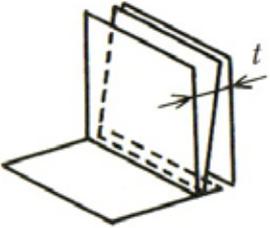
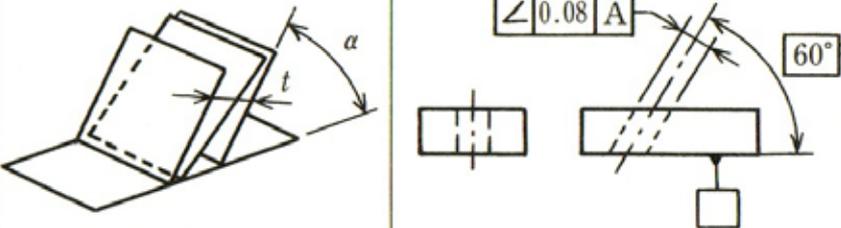
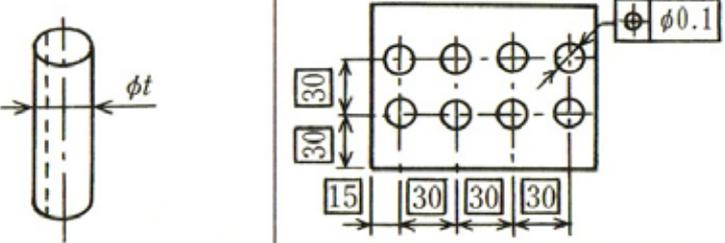
円筒度 =  $(0.3 \sim 0.7) \times IT$ 公差

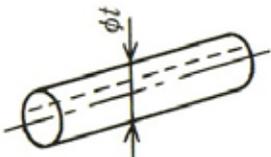
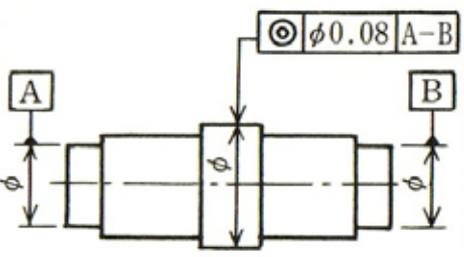
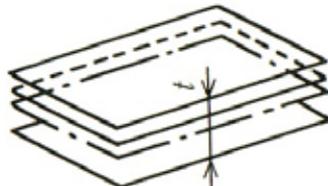
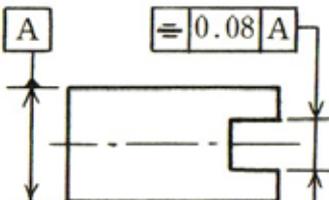
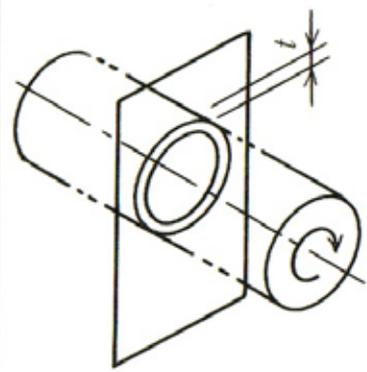
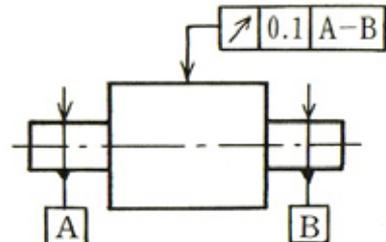
表 1・10 幾何公差の種類と記号

公差の種類	特性	記号	データム指示	適用する形体
形状公差	真直度	—	否	単独形体
	平面度	▭	否	
	真円度	○	否	
	円筒度	∅	否	
	線の輪郭度	∩	否	単独形体または関連形体
	面の輪郭度	∪	否	
姿勢公差	平行度	//	要	関連形体
	直角度	⊥	要	
	傾斜度	∠	要	
	線の輪郭度	∩	要	
	面の輪郭度	∪	要	
	位置公差	位置度	⊕	
位置公差	同心度(中心点に対して)	◎	要	関連形体
	同軸度(軸線に対して)	◎	要	
	対称度	≡	要	
	線の輪郭度	∩	要	
	面の輪郭度	∪	要	
	振れ公差	円周振れ	↗	
全振れ		↗↘	要	

記号および公差の種類		図示例および説明		
		許容域	図示例	解釈
—	真直度			円筒の断面の中心を 連ねた軸線の曲がり が、直径 0.08mm の 円筒の中になければ ならない。
	平面度			表面は、0.08mm 離 れた 2 つの平行な平 面の間になければな らない。
	真円度			軸直角断面における 外周は、半径の差が 0.1mm の同心円の 間になければならな い。

	円筒度			円筒面は、半径の差が0.1mmの同軸同筒の間になければならない。
	線の輪郭度			投影輪郭は、正確な幾何学的輪郭の線上に中心を持つ直径0.04mmの円の2つの包絡線の間になければならない。
	面の輪郭度			表面は、正確な幾何学的形状の面上に中心を持つ直径0.02mmの球の2つの包絡面の間になければならない。
	平行度			上側の軸線は、データム軸線Aに平行で間隔0.1mmの平行面の許容域の中になければならない。

記号および公差の種類		図示例および説明		
		許容域	図示例	解釈
姿勢公差	⊥	直角度		<p>円筒の軸線は、 Datum 平面に直角で 0.1mm 離れた 2 つの平行な平面の間になければならない。</p>
	∠	傾斜度		<p>穴の軸線は、 Datum 平面 A に対して 60° 傾き、 0.08mm 離れた 2 つの平行な平面の間になければならない。</p>
	⊕	位置度		<p>穴の軸線は、理論的に正確な位置に軸線を持つ直径 0.1mm の円筒域の中になければならない。</p>

位置公差	◎	同軸度・同心度			許容値が指示された形体の円筒の軸線は、データム軸線 A-B と同軸の直径 0.08 mm の円筒域の中になければならない。
	≡	対称度			溝の中心面は、データム中心面 A に対称な 0.08 mm 離れた 2 つの平行な平面の間になければならない。
	↗	振れ			データム軸線 A-B の回りを 1 回転させたときの振れは、0.1 mm より大きくてはいけない。

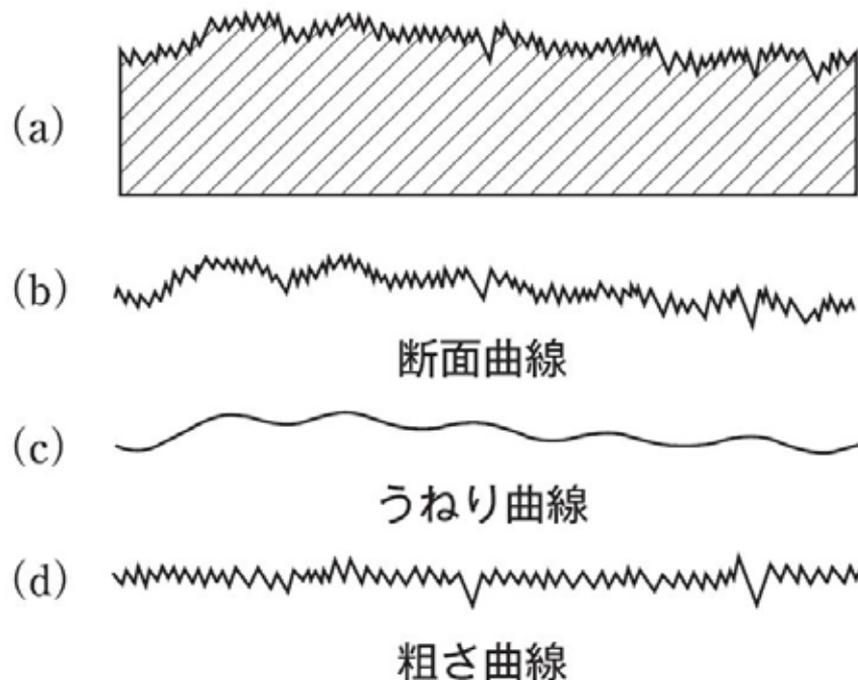
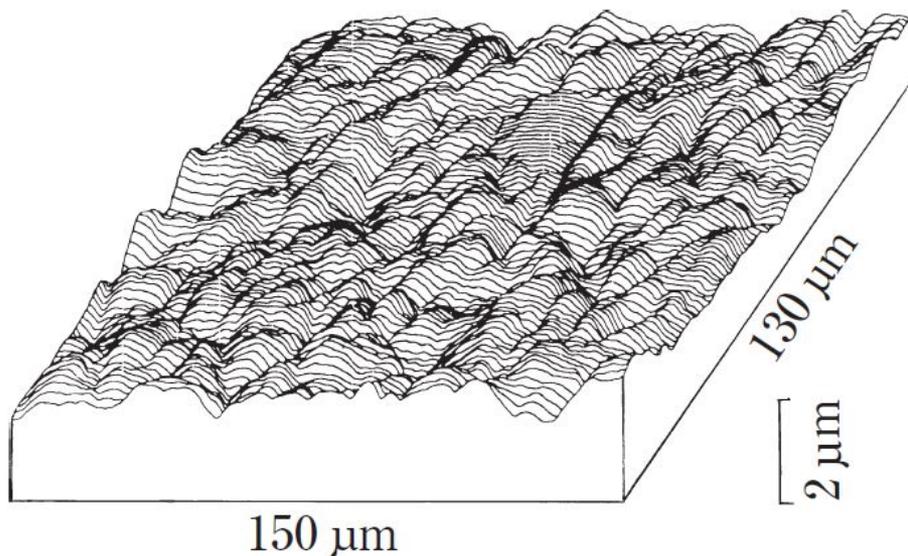
## 14.3 表面性状

### (1) 加工表面の性状

表面の微細な凹凸、加工目や傷などまとめて→表面性状



どんなに丁寧に、加工しても倍率を上げて観察すれば、凹凸は観察される



## (2) 粗さパラメータ

粗さ曲線の微細な凹凸の大きさを数値化したもの

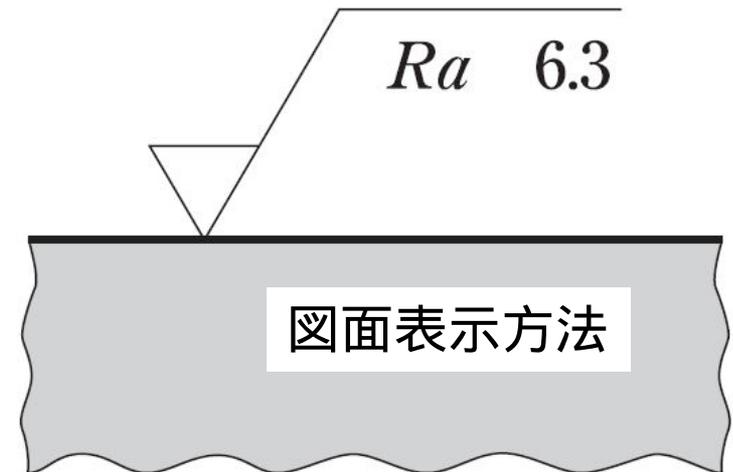
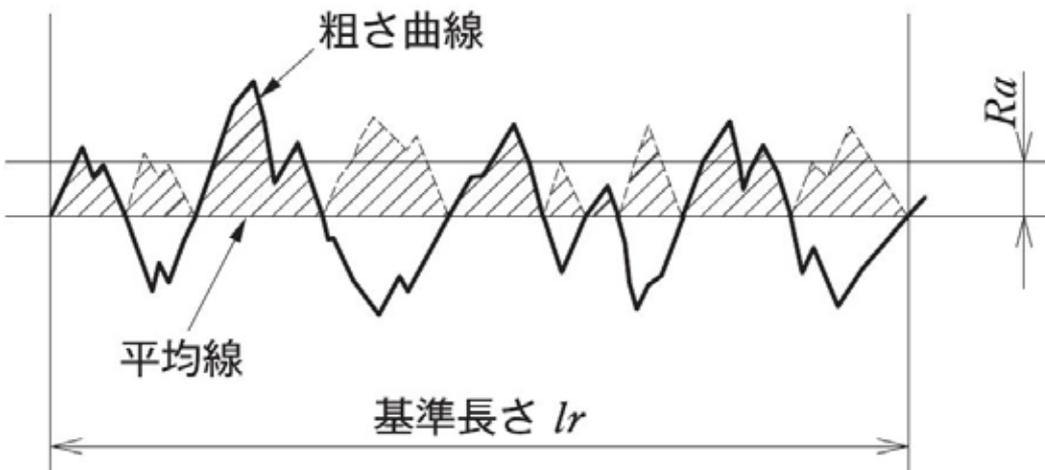
高さ(縦)方向、横方向、総合的なパラメータが  
ISO、JISに規定されている(詳しくは、トライボ概論)

よく使用されるパラメータの例

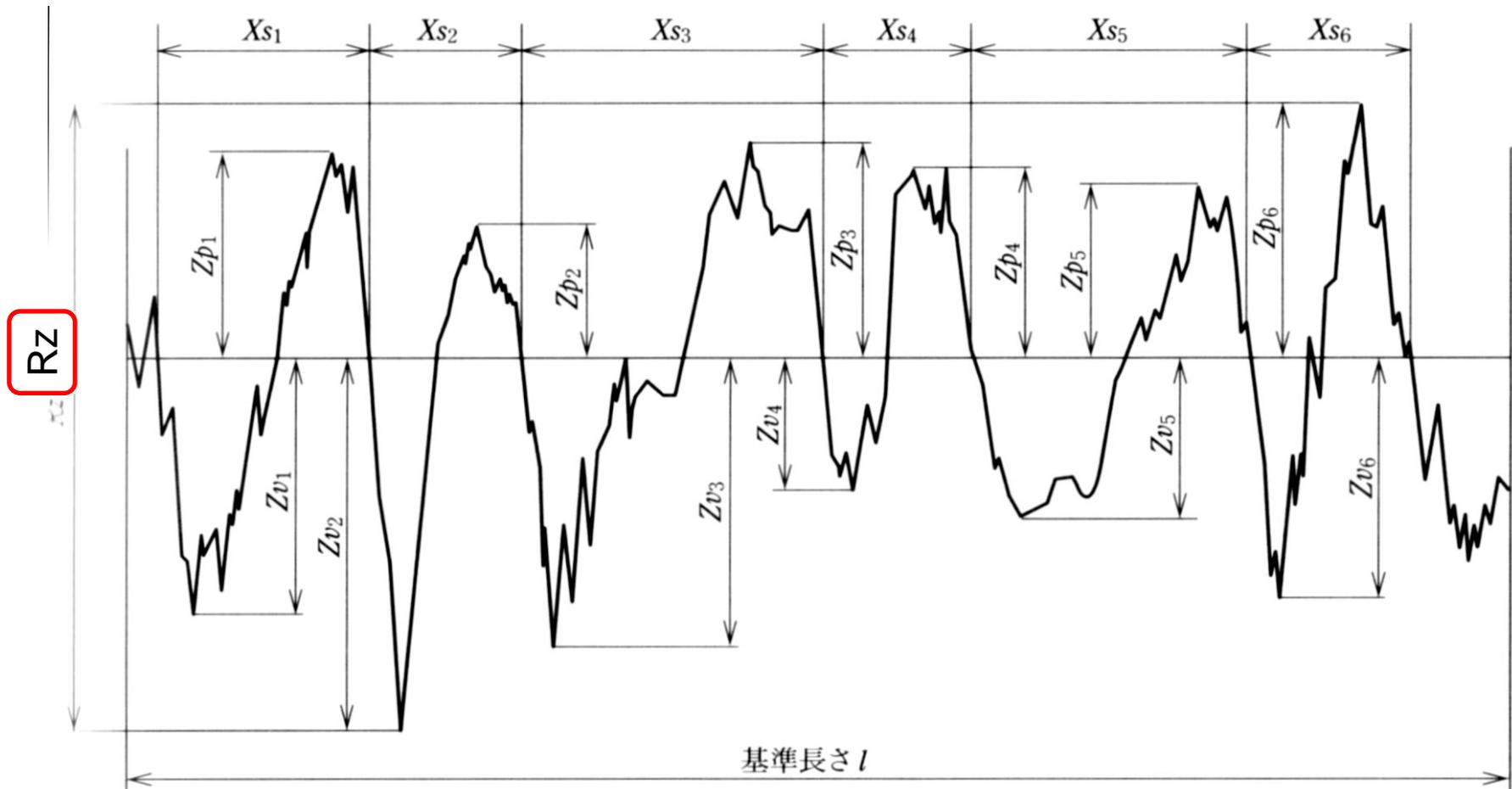
算術平均粗さRa

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx$$

ここに、 $l$ : 基準長さ



# 最大高さ粗さRzと十点平均粗さRz<sub>JIS</sub>



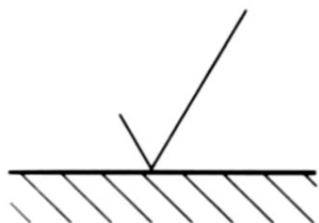
$$Rz_{JIS} = (Z_{p1} + \dots + Z_{p5}) + (Z_{v1} + \dots + Z_{v5}) / 5$$

JIS独自  
パラメータ

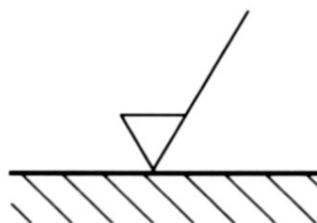
# 表面性状の図面表記方法 (実際には製図 で)

表面性状

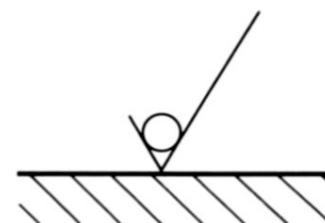
表面粗さ



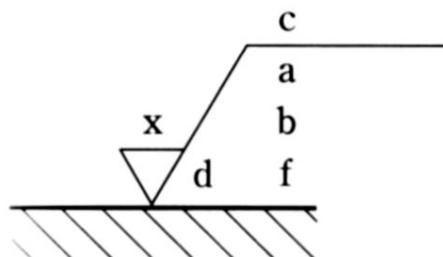
(a) 面の指示記号



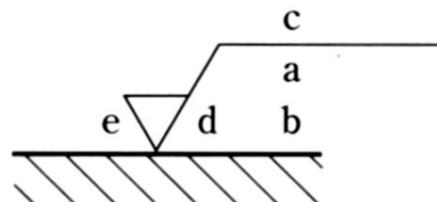
(b) 除去加工を要する面の指示記号



(c) 除去加工を許さない面の指示記号 (前加工の面をそのまま残す)



(旧)



(新)

- x :  $Ra$  の値
- a :  $Ra$  以外の粗さ値
- b : カットオフ値および基準長さ
- c : 加工方法
- d : 筋目およびその方向
- f : 表面うねり (JIS B 0160)

- a : 通過帯域または基準長さ, パラメータとその値
- b : 二つ以上のパラメータが要求されたときの二つ目以上のパラメータ指示
- c : 左記に同じ.
- d : 左記に同じ.
- e : 削り代

## 14.4 加工と精度

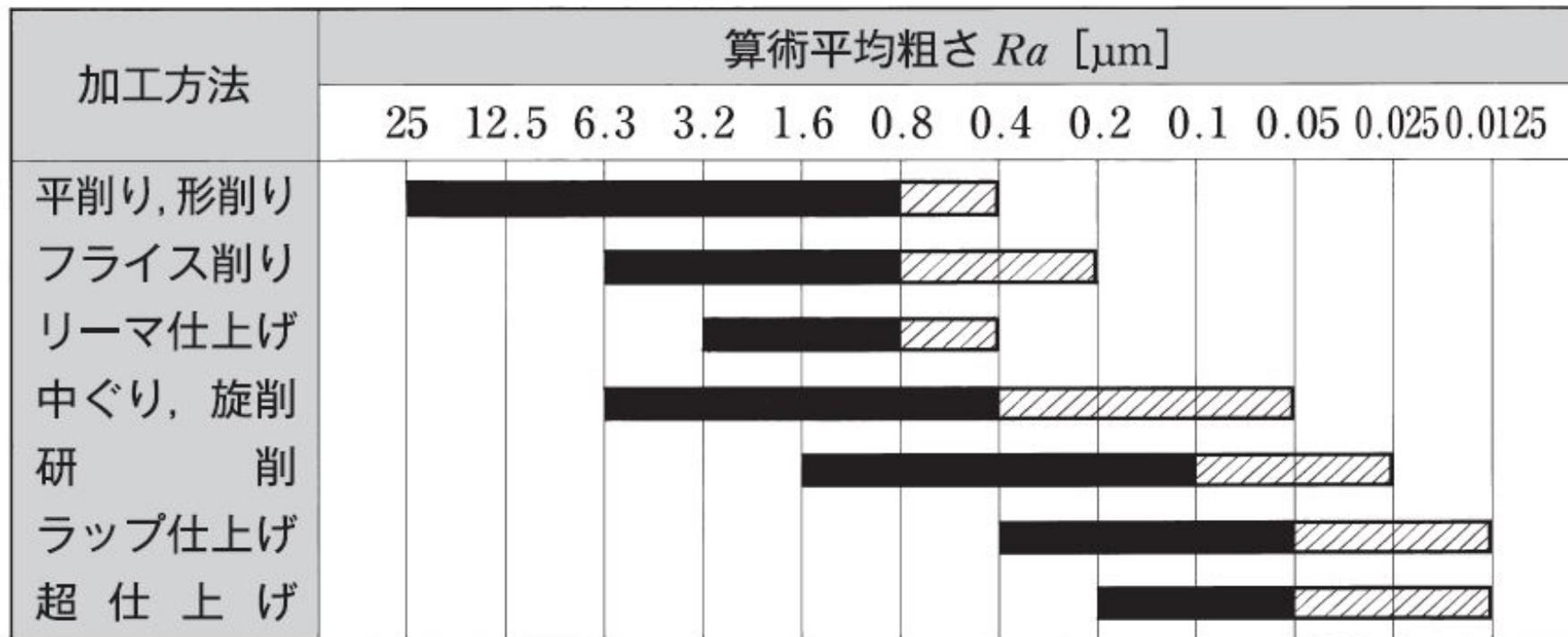
### 14.4.1 寸法公差・幾何公差・表面性状の相互関係



	旋削	研削
$\frac{\text{算術平均粗さ } Ra}{\text{寸法公差}}$	0.02~0.06	0.03~0.05
	並	精
$\frac{\text{真円度}}{\text{寸法公差}}$	0.2~0.5	0.1~0.3
$\frac{\text{円筒度}}{\text{寸法公差}}$	0.3~0.7	0.1~0.4

注 表の数値は、およそのめやすである。

# 加工法と得られる表面粗さ (Ra) との関係



注 ■ 一般に得られる算術平均粗さの範囲。

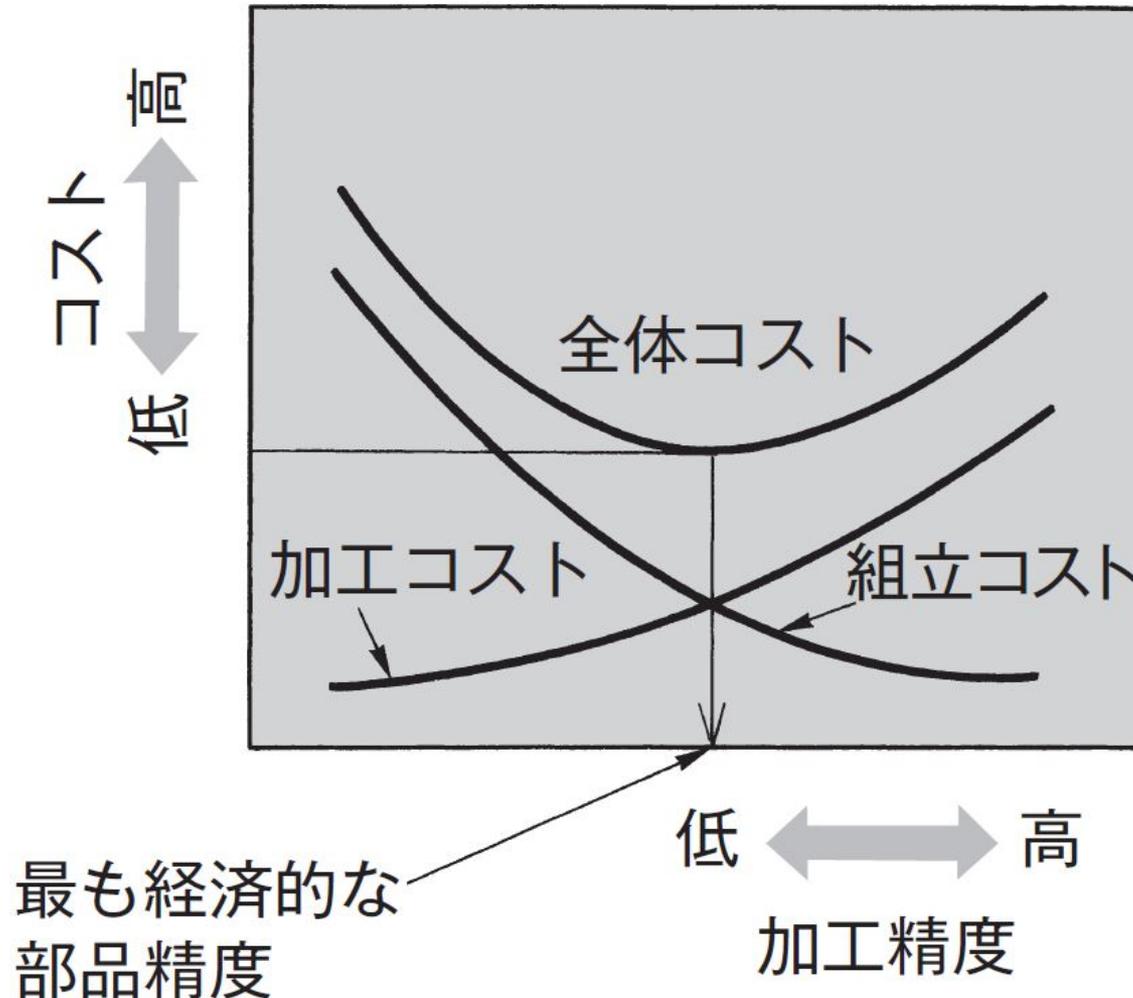
▨ とくに注意をはらって得られる算術平均粗さの範囲。



部品に指示された寸法公差・幾何公差・表面性状は、どのような加工法によって達成できるのか理解していないと、最も適した加工を指定することができない。

## 14.4.2 加工精度とコスト

$$\text{全体コスト} = \text{加工コスト} + \text{組立コスト}$$



最も低コストな  
部品精度が存在  
するが、機械に  
よっては経済性  
よりも、性能や  
安全性を優先  
させる場合がある

## 今週の演習問題

テキストP265、問題3の(1)～(3)において、  
すきまの範囲を求めよ。