設計工学会
創立60周年記念　設計フォーラム
「CADとCAD周辺技術の60年とこれから」
2026年5月23日

# 2D/3D CADアカデミアの立場から

公立大学法人　静岡文化芸術大学
名誉教授　工学博士
望月達也

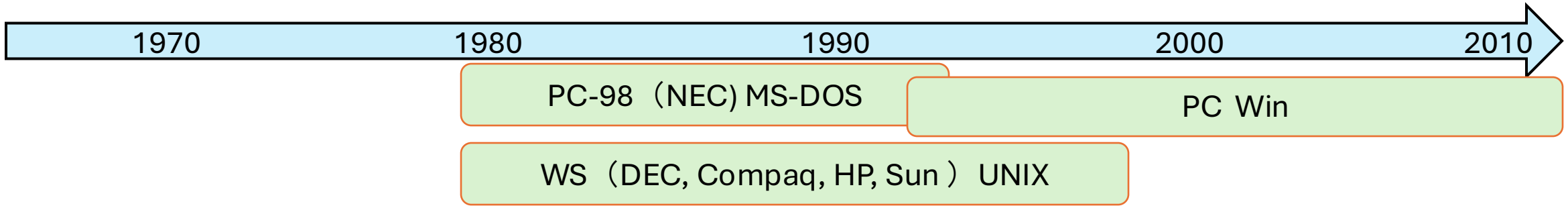
職歴
1977-1993　静岡県工業技術センター　研究員
1993-2000　東京都立工業高等専門学校　助教授
2000-2020　静岡文化芸術大学　デザイン学部　大学院デザイン研究科
2020-現在　静岡理工科大学　機械工学科　（非常勤）

内容

- CADとコンピュータ
- 2DCAD
  - 作図コマンドとプログラム
  - 2DCADによる製図教育
  - 寸法公差と幾何公差
  - 製図教育の評価
- 3DCAD
  - ソリッドモデルとサーフェスモデル
  - ソリッドモデルのデータ構造
  - 幾何拘束と寸法拘束
  - モデリングの履歴
  - 3DCADと設計教育
    - 機械要素と3DCAD
    - 機構設計とアセンブリ
    - CADとCAE
  - 3DCADによる機械設計(事例）
  - PDQ

  - モノづくりの変遷

# CADとコンピュータ




2D CAD

Sketchpad

AutoCAD

ME10

MYPACK

都立高専
2DCAD教育

都立高専
3DCAD教育

静岡文芸大学 デザイン学部
3DCAD教育

3D CAD

CSG
B-Reps

形状モデラー
研究開発

CATIA

Unigraphics

Pro/E

SolidWorks

NX

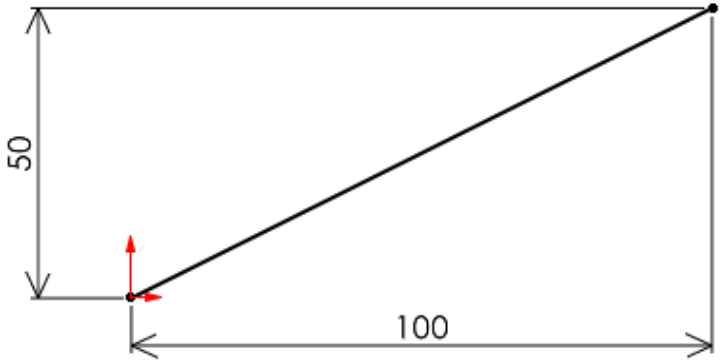
Inventor

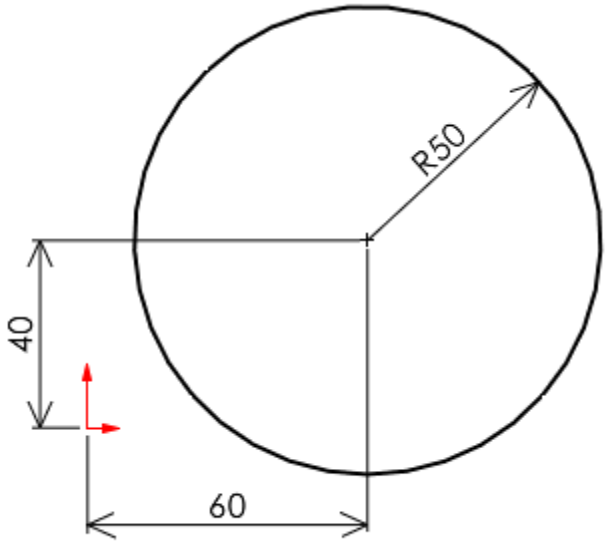
Creo

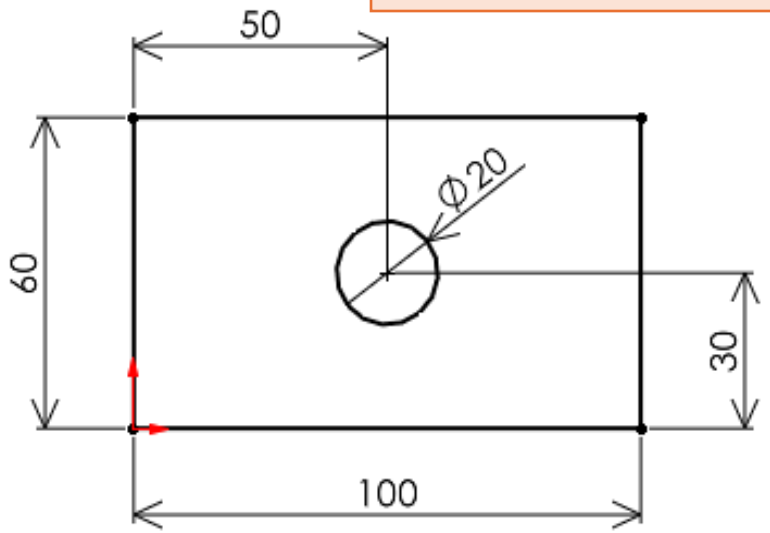
Fusion360

# 2DCAD　作図コマンドとプログラム

2DCAD　　CADデータ




BASIC　「手続き型のプログラミング言語」

**直線:** LINE (x1, y1)-(x2, y2),色、スタイル、

10 LINE (0, 0)-(100, 50), 2

(0,0) ～ (100,50)　色コード2で直線を描く

**円:** CIRCLE (x, y), r, 色、スタイル

20 CIRCLE (60, 40), 50, 2

中心座標(60,40)、半径50、色コード2で円を描く

| LINE | X | Y | X | Y |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| 2 | 100 | 0 | 100 | 60 |
| 3 | 100 | 60 | 0 | 60 |
| 4 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| | | | | |

| CIRCLE | X | Y | R |
|---|---|---|---|
| 1 | 50 | 30 | 10 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

# ２DCADによる製図教育

周辺機器

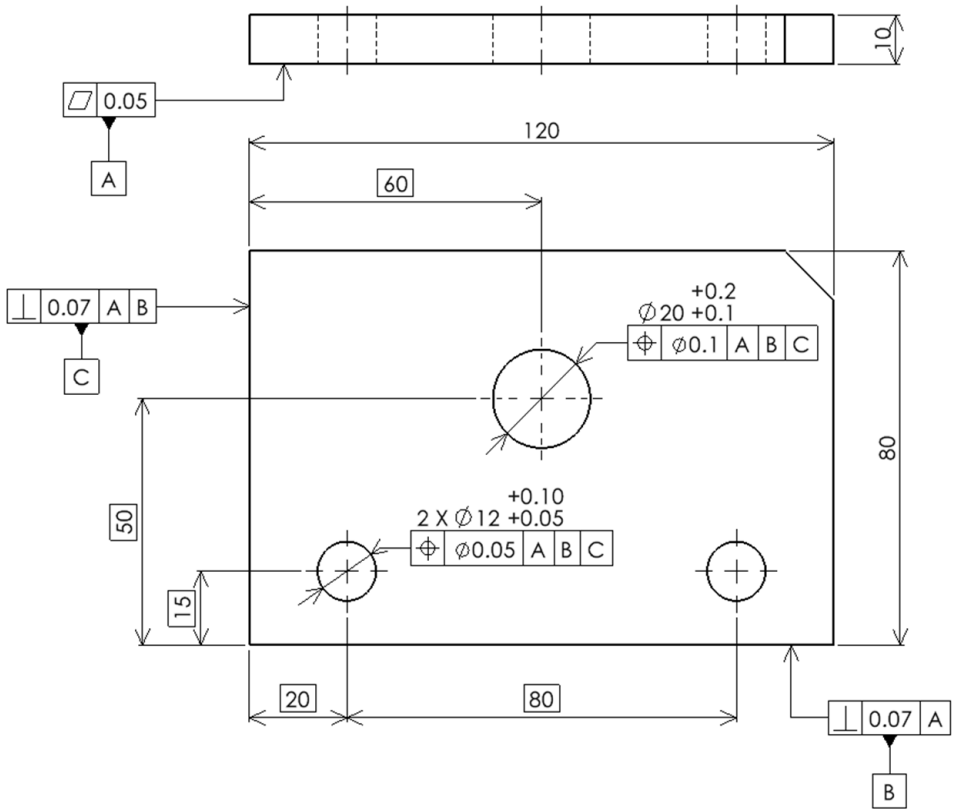
出力；　ペン書きプロッター

（座標値入力；デジタイザー）

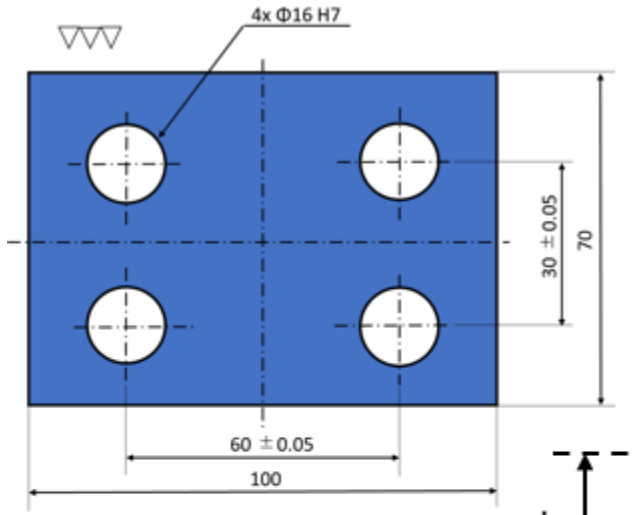
手書き製図　⇒　2DCAD製図

2DCADによる製図教育

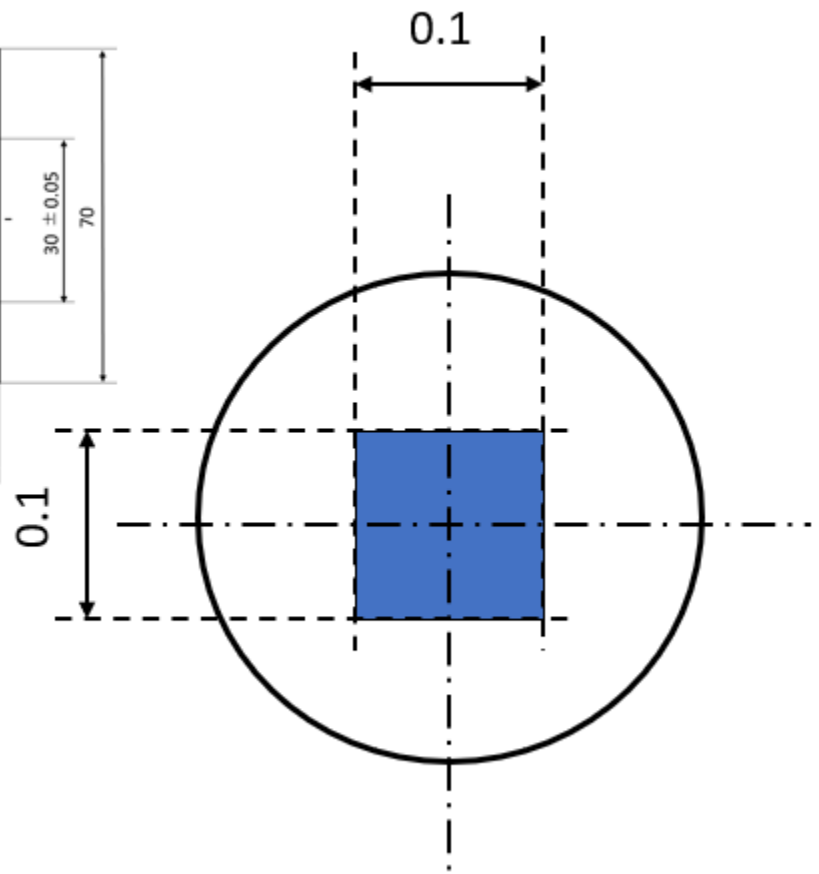
- 作図のスキルアップ → CAD利用技術者試験
- 機械製図
  （データム、TED、サイズ公差、幾何公差、・・）



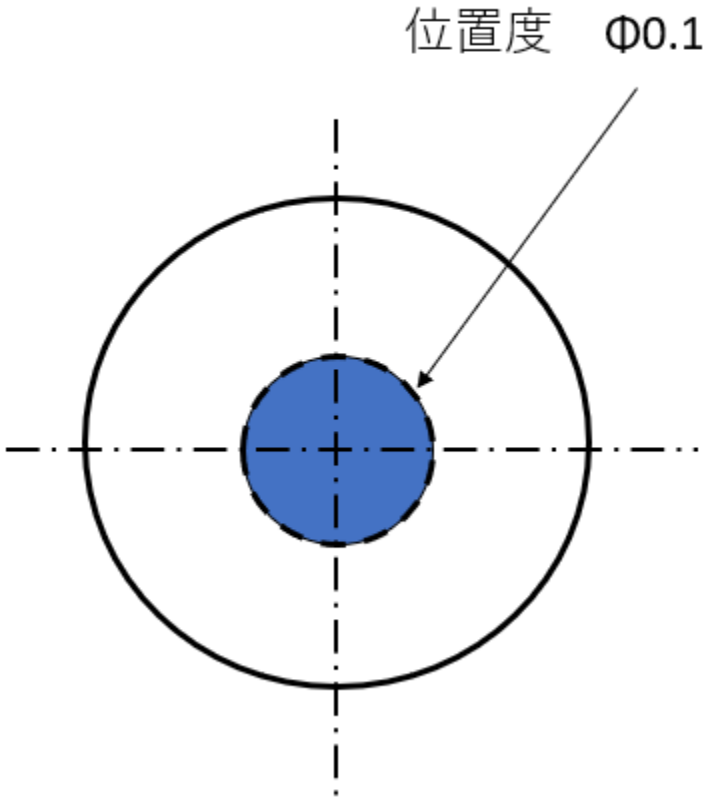
# サイズ公差と幾何公差（位置度）による公差域の違い




1970年代の
機械製図

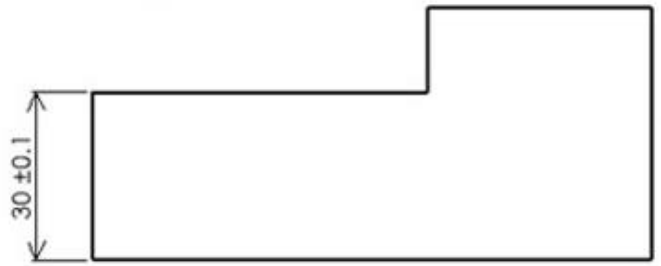



サイズ公差の公差域



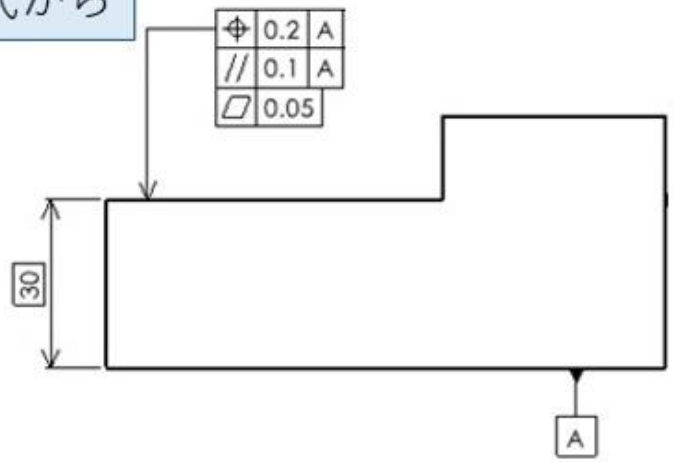

位置度の公差域

1980年代まで

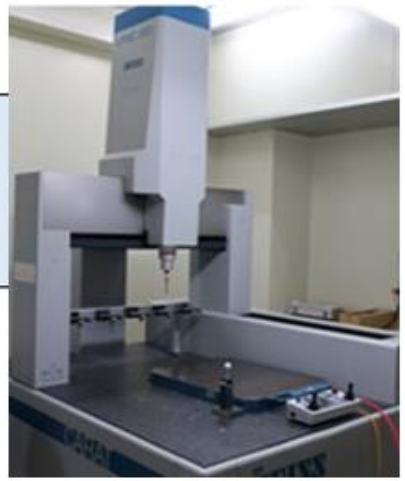



基　準；定盤
測定機；ハイトゲージ

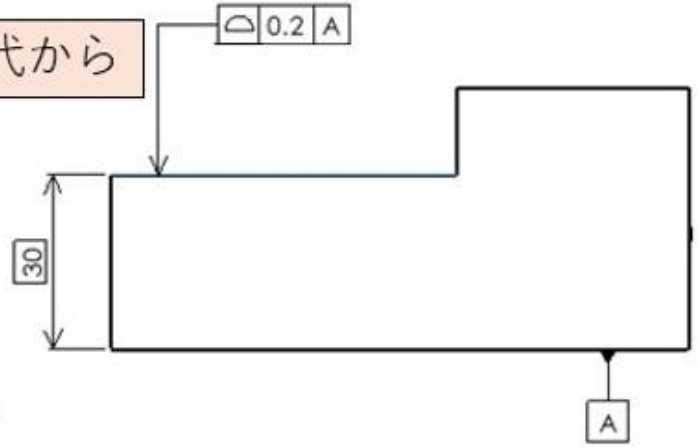
1990年代から

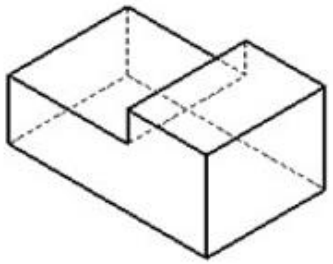



基　準；**最小二乗平面・円**
測定機；接触式三次元測定機
**ワーク座標系**で点の座標測定

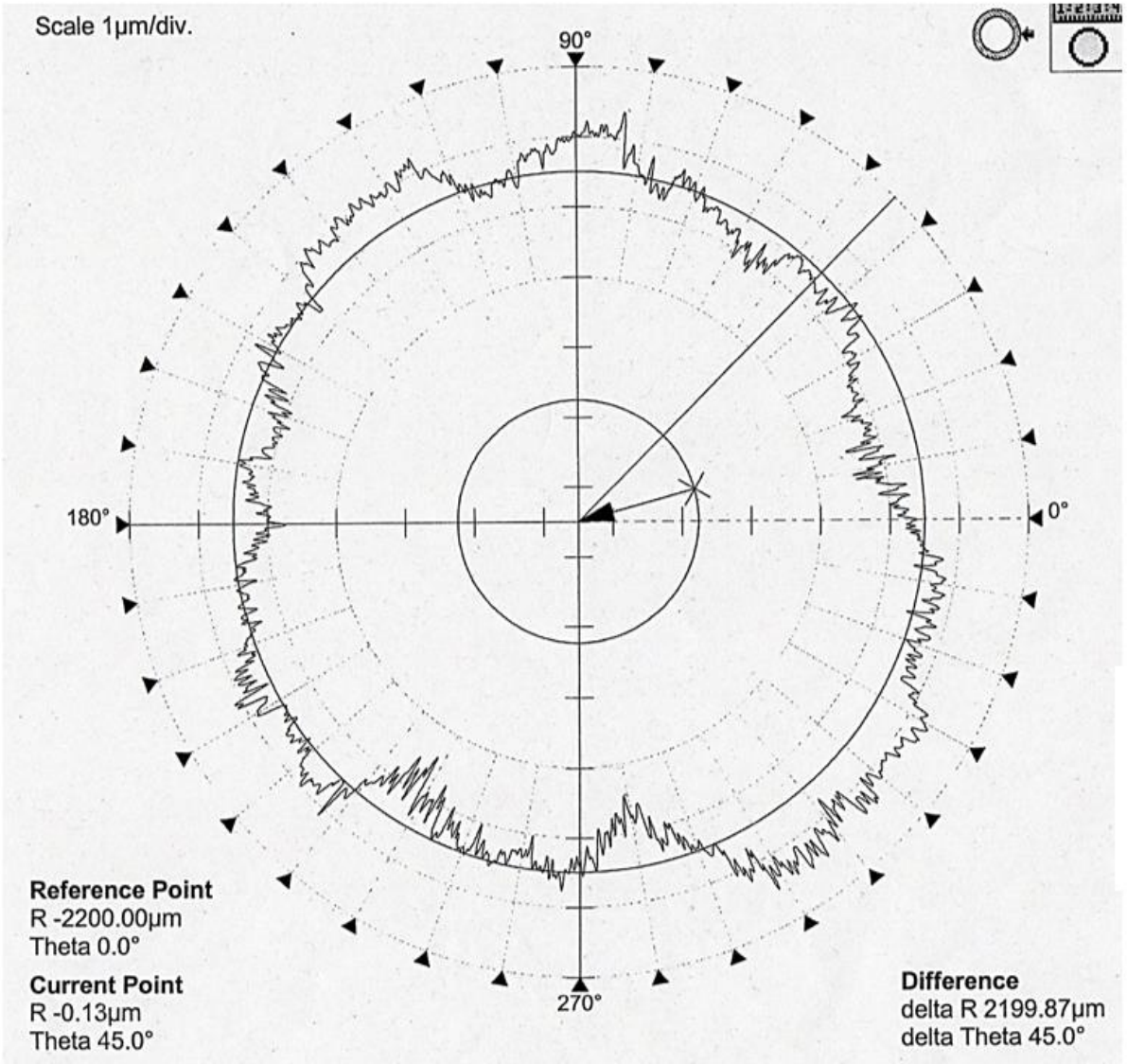


2010年代から



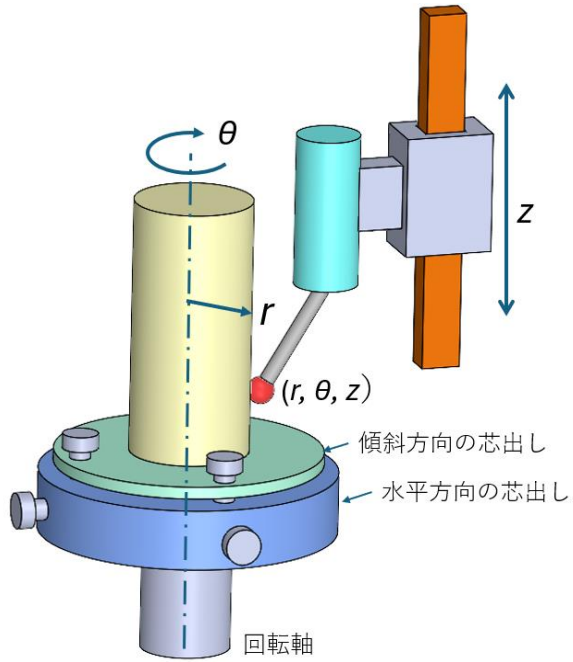



基　準；3DCADモデル(TEF)
測定機；非接触三次元測定機
計測用X線CT
点群データ・ボクセルデータと
**CADモデル**で検証




測定データから中心と真円度は
どのように計算しますか？

最小二乗法
最小領域法
最大内接円
最小外接円




真円度の測定データ

LSCで評価した真円度

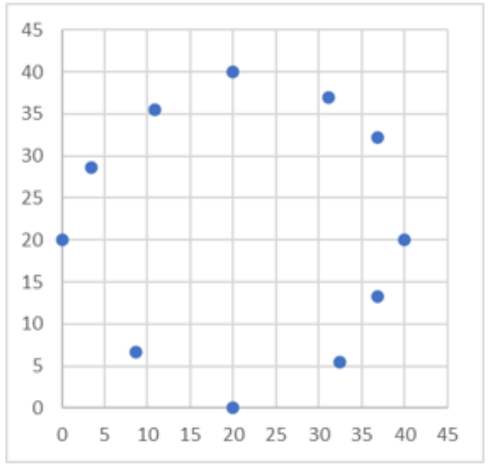
| | | |
|---|---|---|
| RONp | 1.00 | µm |
| RONp Pos | 304.3 | ° |
| RONv | 1.09 | µm |
| RONv Pos | 238.4 | ° |
| RONt | 2.09 | µm |
| Runout | 3.05 | µm |

# 最小二乗法による中心と直径の計算方法

円の一般式

$$X^2 + Y^2 + AX + BY + C = 0$$

| Xi | Yi |
|---|---|
| 20 | 0 |
| 0 | 20 |
| 40 | 20 |
| 20 | 40 |
| 3.4 | 28.7 |
| 32.4 | 5.5 |
| 8.7 | 6.6 |
| 36.8 | 32.2 |
| 36.8 | 13.3 |
| 10.8 | 35.5 |
| 31.1 | 37 |




行列式

$$\begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum (x_i^2 y + y_i^3) \\ -\sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum (x_i^2 y + y_i^3) \\ -\sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix}$$

| | Xi | Yi | Xi^3 | Yi^3 | Xi^2 | Yi^2 | Xi^2*Yi | Xi*Yi^2 | Xi*Yi | 1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 20 | 0 | 8000.000 | 0.000 | 400.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1 | |
| 3 | 0 | 20 | 0.000 | 8000.000 | 0.000 | 400.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1 | |
| 4 | 40 | 20 | 64000.000 | 8000.000 | 1600.000 | 400.000 | 32000.000 | 16000.000 | 800.000 | 1 | |
| 5 | 20 | 40 | 8000.000 | 64000.000 | 400.000 | 1600.000 | 16000.000 | 32000.000 | 800.000 | 1 | |
| 6 | 3.4 | 28.7 | 39.304 | 23639.903 | 11.560 | 823.690 | 331.772 | 2800.546 | 97.580 | 1 | |
| 7 | 32.4 | 5.5 | 34012.224 | 166.375 | 1049.760 | 30.250 | 5773.680 | 980.100 | 178.200 | 1 | |
| 8 | 8.7 | 6.6 | 658.503 | 287.496 | 75.690 | 43.560 | 499.554 | 378.972 | 57.420 | 1 | |
| 9 | 36.8 | 32.2 | 49836.032 | 33386.248 | 1354.240 | 1036.840 | 43606.528 | 38155.712 | 1184.960 | 1 | |
| 10 | 36.8 | 13.3 | 49836.032 | 2352.637 | 1354.240 | 176.890 | 18011.392 | 6509.552 | 489.440 | 1 | |
| 11 | 10.8 | 35.5 | 1259.712 | 44738.875 | 116.640 | 1260.250 | 4140.720 | 13610.700 | 383.400 | 1 | |
| 12 | 31.1 | 37 | 30080.231 | 50653.000 | 967.210 | 1369.000 | 35786.770 | 42575.900 | 1150.700 | 1 | |
| 13 | 240 | 238.8 | 245722.038 | 235224.534 | 7329.340 | 7140.480 | 156150.416 | 153011.482 | 5141.700 | 11.000 | Σ |

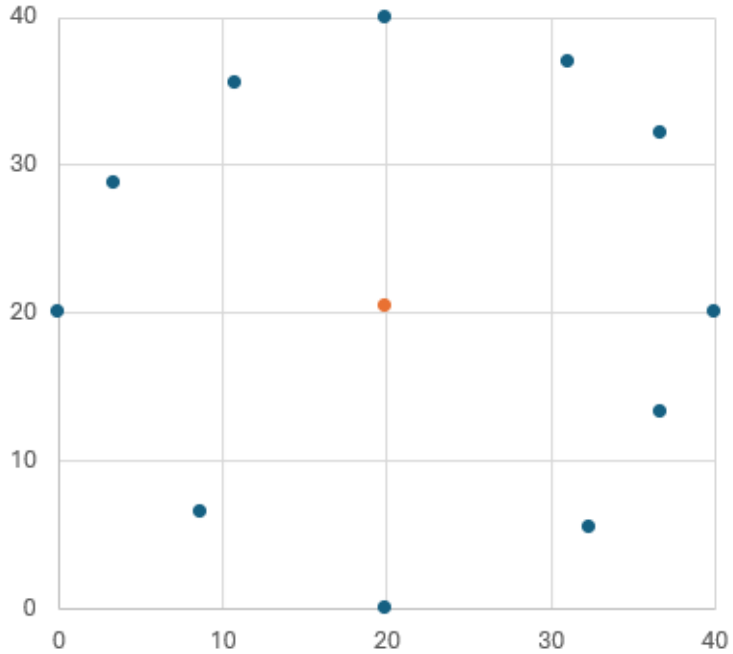
$$\begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum (x_i^2 y + y_i^3) \\ -\sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix}$$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7329.340 | 5141.700 | 240.000 | A | = | -398733.520 |
| 5141.700 | 7140.480 | 238.800 | B | | -391374.950 |
| 240.000 | 238.800 | 11.000 | C | | -14469.820 |

逆行列を求める

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum (x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum (x_i^2 y + y_i^3) \\ -\sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix}$$

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | | 4.7834E-04 | 1.6744E-05 | -1.0800E-02 | | -398733.520 |
| B | = | 1.6744E-05 | 5.1174E-04 | -1.1475E-02 | * | -391374.950 |
| C | | -1.0800E-02 | -1.1475E-02 | 5.7565E-01 | | -14469.820 |




**A,B,C**の値を用いで円の中心座標**(a,b)**、
円の半径**r**を求める

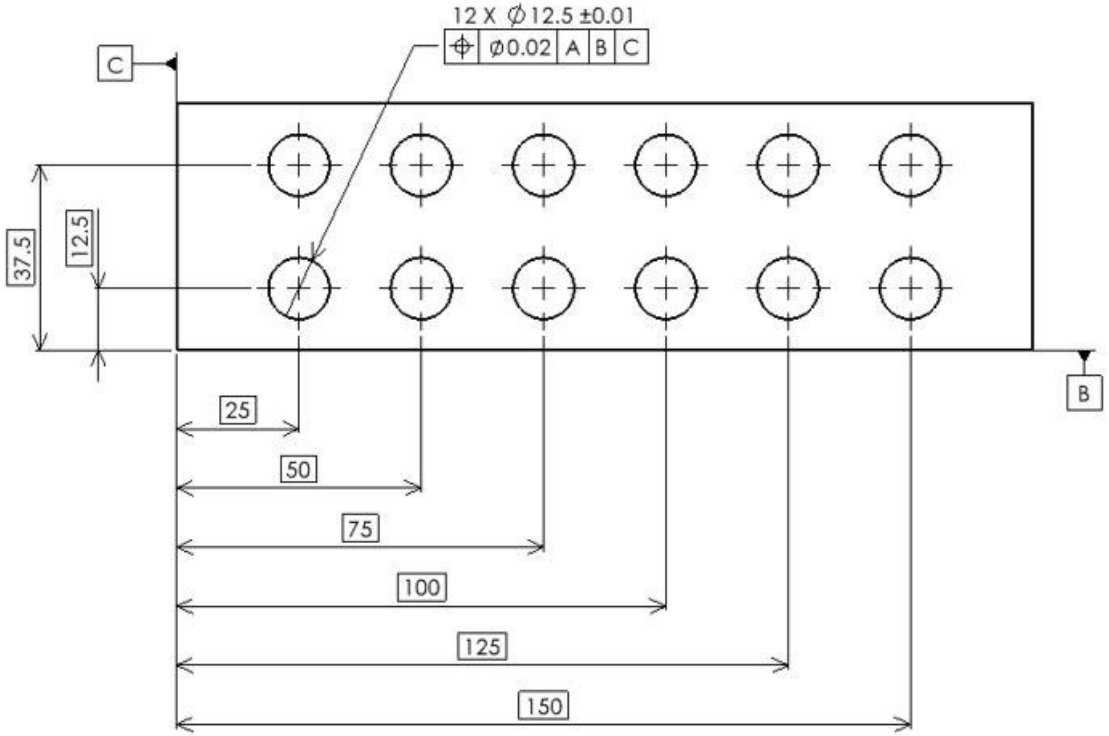
$a = -A / 2$

$b = -B / 2$

$r = SQRT(a^2 + b^2 - C)$

| 円の中心 | | 円の半径 |
|---|---|---|
| a | b | r |
| 20.50446781 | 20.46073449 | 19.27186379 |

# 位置度の測定と評価

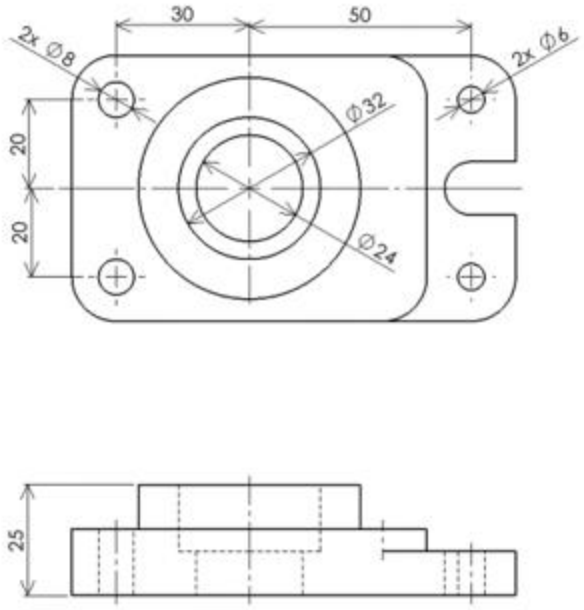


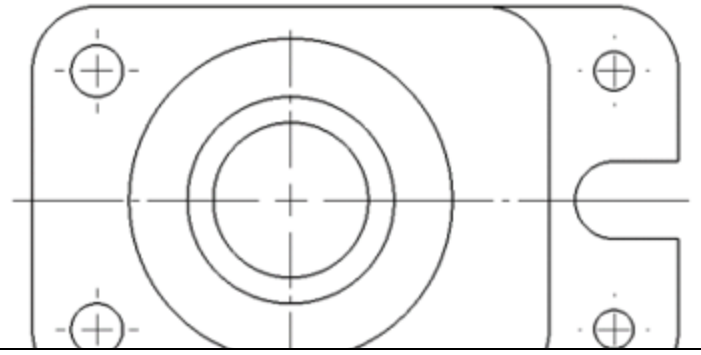

12 X ∅12.5 ±0.01
⌖ ∅0.02 A B C

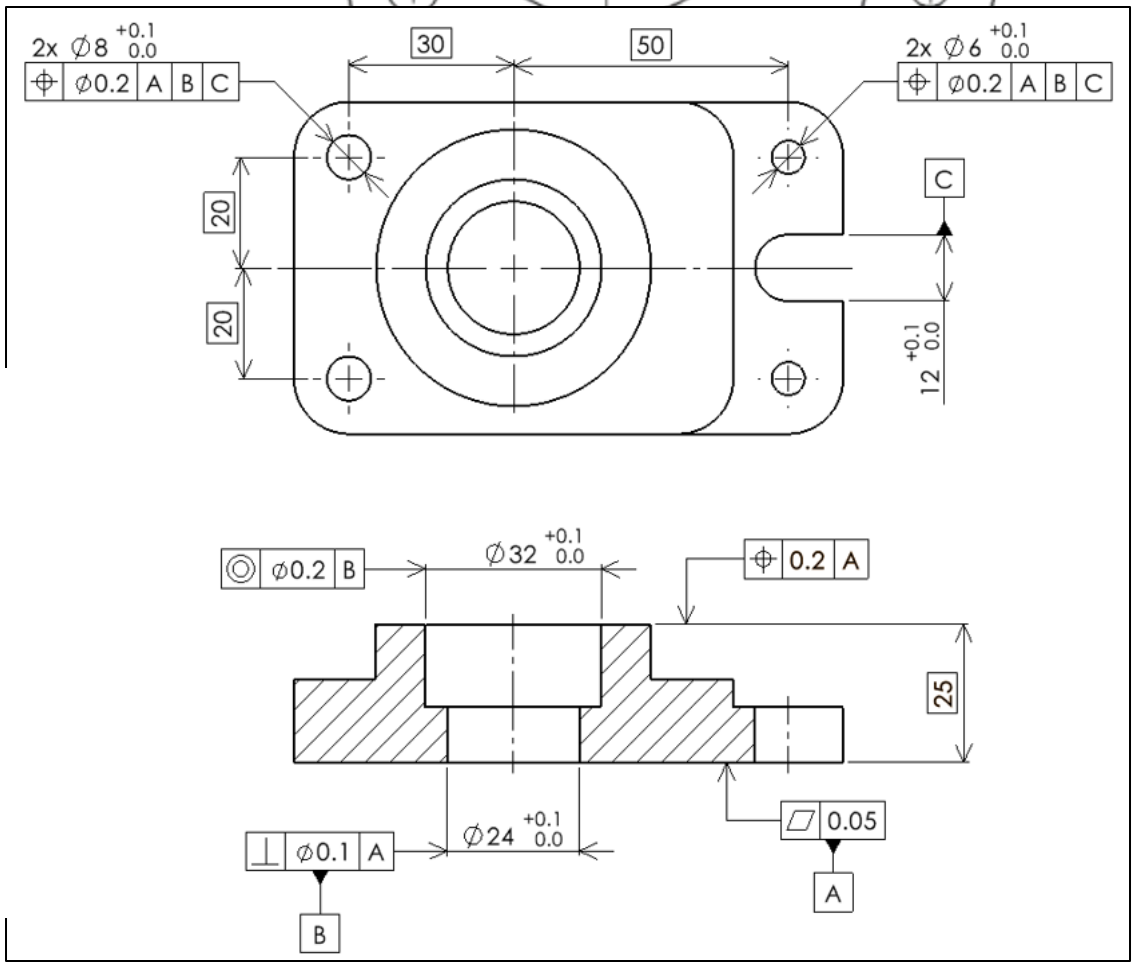
12 X ∅12.5 ±0.01
⌖ ∅0.02Ⓜ A B C

| $x$ | $y$ | 直径 | 直径 | $x$ | $y$ | 直径 | $\Delta x$ | $\Delta y$ | 偏心 | 位置度 | 許容位置度 | 評価 | 許容位置度 | 評価 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TED | TED | 設計値 | MMS | 測定値 | 測定値 | 測定値 | 測定値−設計値 | 測定値−設計値 | $\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2}$ | 測定値 Φ | Φ0.02 | ○or× | Φ0.02Ⓜ | ○or× |
| 25.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 25.0015 | 12.4907 | 12.4904 | | | | | | | | |
| 25.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 24.9951 | 37.5082 | 12.5059 | | | | | | | | |
| 50.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 49.9915 | 12.5013 | 12.5051 | | | | | | | | |
| 50.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 49.9927 | 37.5088 | 12.5017 | | | | | | | | |
| 75.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 74.9940 | 12.5040 | 12.5017 | | | | | | | | |
| 75.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 74.9920 | 37.5084 | 12.5033 | | | | | | | | |
| 100.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 99.9916 | 12.4969 | 12.4952 | | | | | | | | |
| 100.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 99.9882 | 37.5081 | 12.5031 | | | | | | | | |
| 125.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 124.9898 | 12.5001 | 12.4986 | | | | | | | | |
| 125.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 124.9923 | 37.5029 | 12.5035 | | | | | | | | |
| 150.0000 | 12.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 149.9909 | 12.4970 | 12.5025 | | | | | | | | |
| 150.0000 | 37.5000 | 12.5000 | 12.4900 | 149.9950 | 37.5048 | 12.4956 | | | | | | | | |

# 製図教育の評価
# (課題のサンプル)






底面を平面度（公差域 0.05mm）で規制し、データム A とする。

φ24（サイズ公差 0～+0.1mm）の軸直線をデータム A に対する直角度（公差域 φ0.1）で規制し、データム B とする。

12mm（サイズ公差 0～+0.1mm）の切欠きの中間平面をデータム C とする。

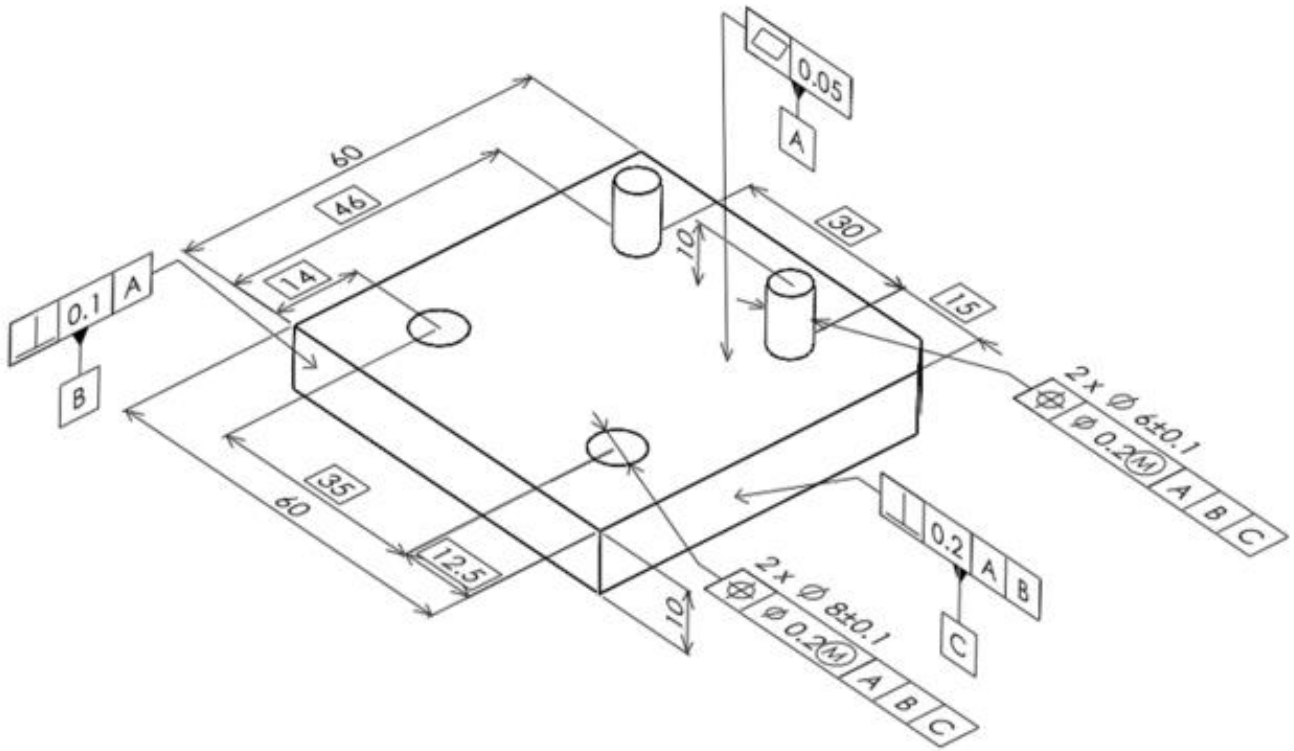
上面（下面から 25mm）を位置度（公差 0.2mm）で規制する。

φ32（サイズ公差 0～+0.1mm ）の軸 線をデータム B に対する同軸度（公差域 φ0.2）で規制する。

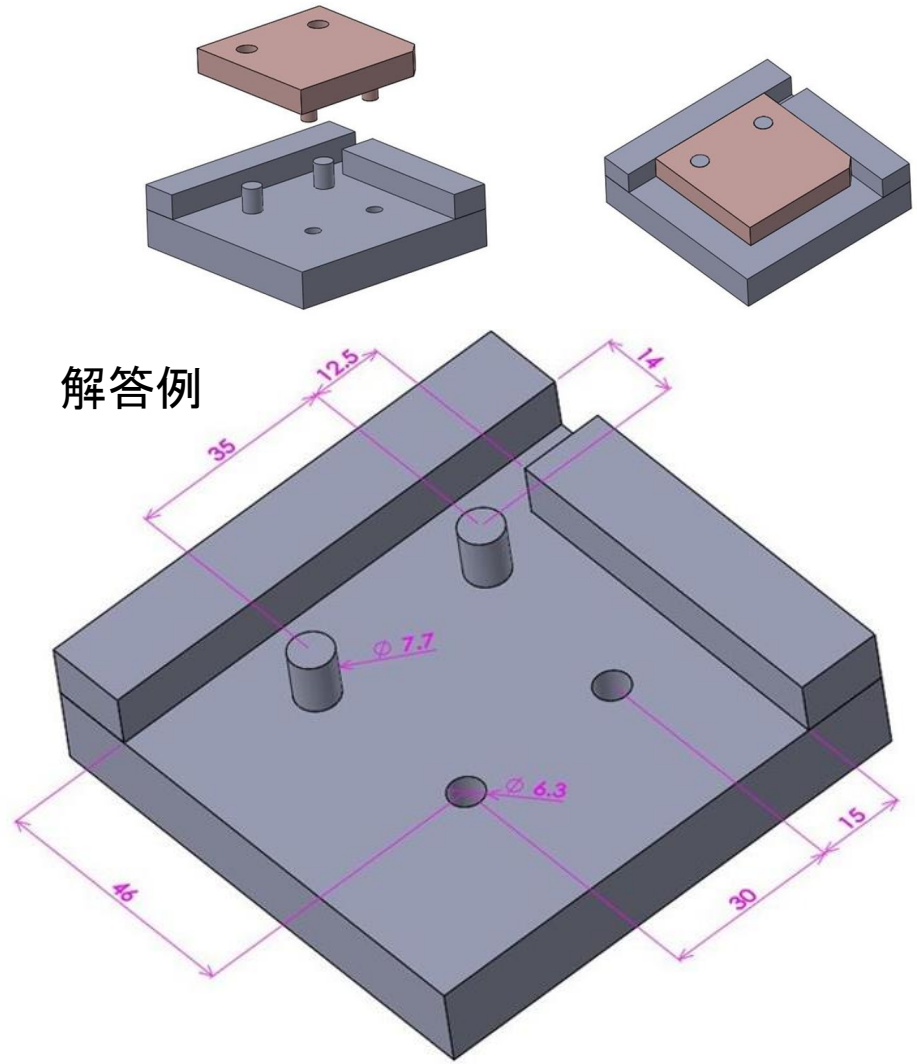
二つの貫通穴 φ6（サイズ公差 0～+0.1mm ）を位置度（公差域 φ0.2）で規制する。

二つの貫通穴 φ8（サイズ公差 0～+0.1mm ）を位置度（公差域 φ0.2）で規制する。

【6】　問図 6 に二つの貫通穴と二つのボスがある部品モデルを示す、モデルに表示されたデータム、TED、直径、サイズ公差、幾何公差を読解して、二つの貫通穴と二つのボスの幾何公差を検査する機能ゲージを設計せよ。

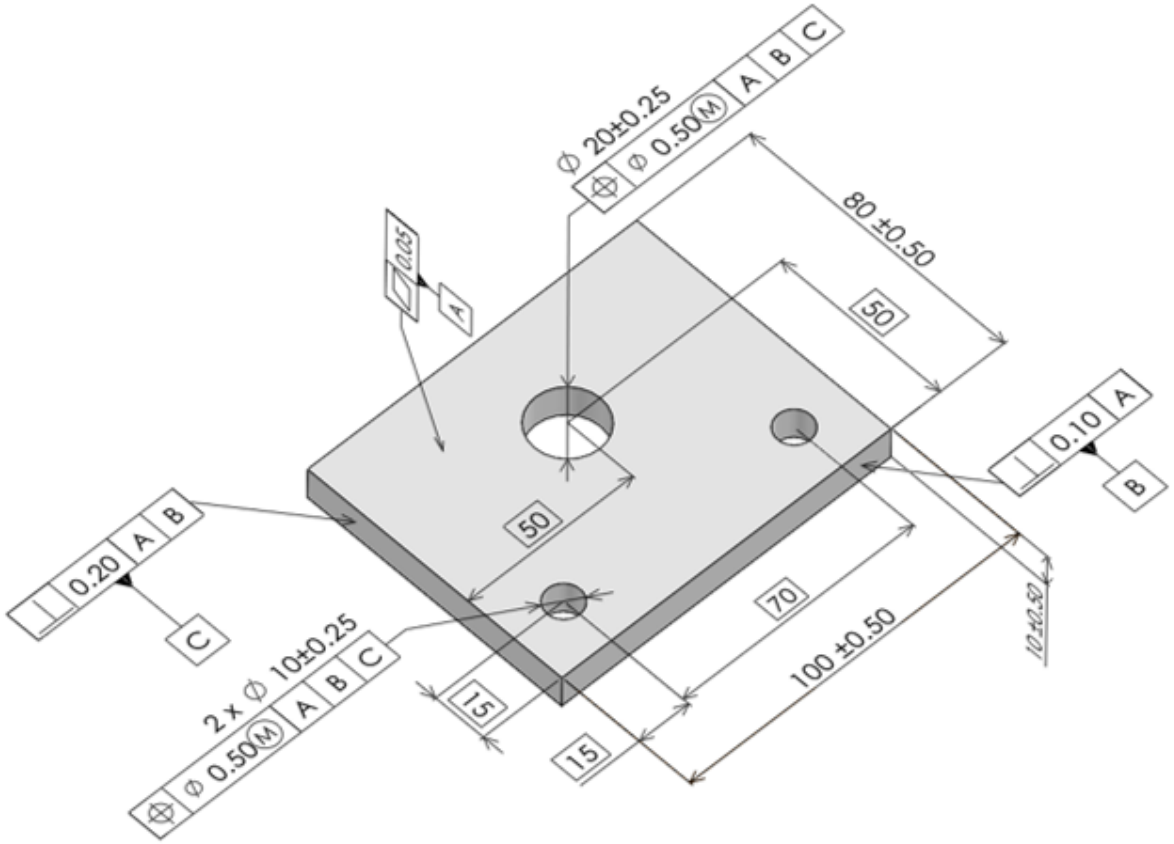



解答例

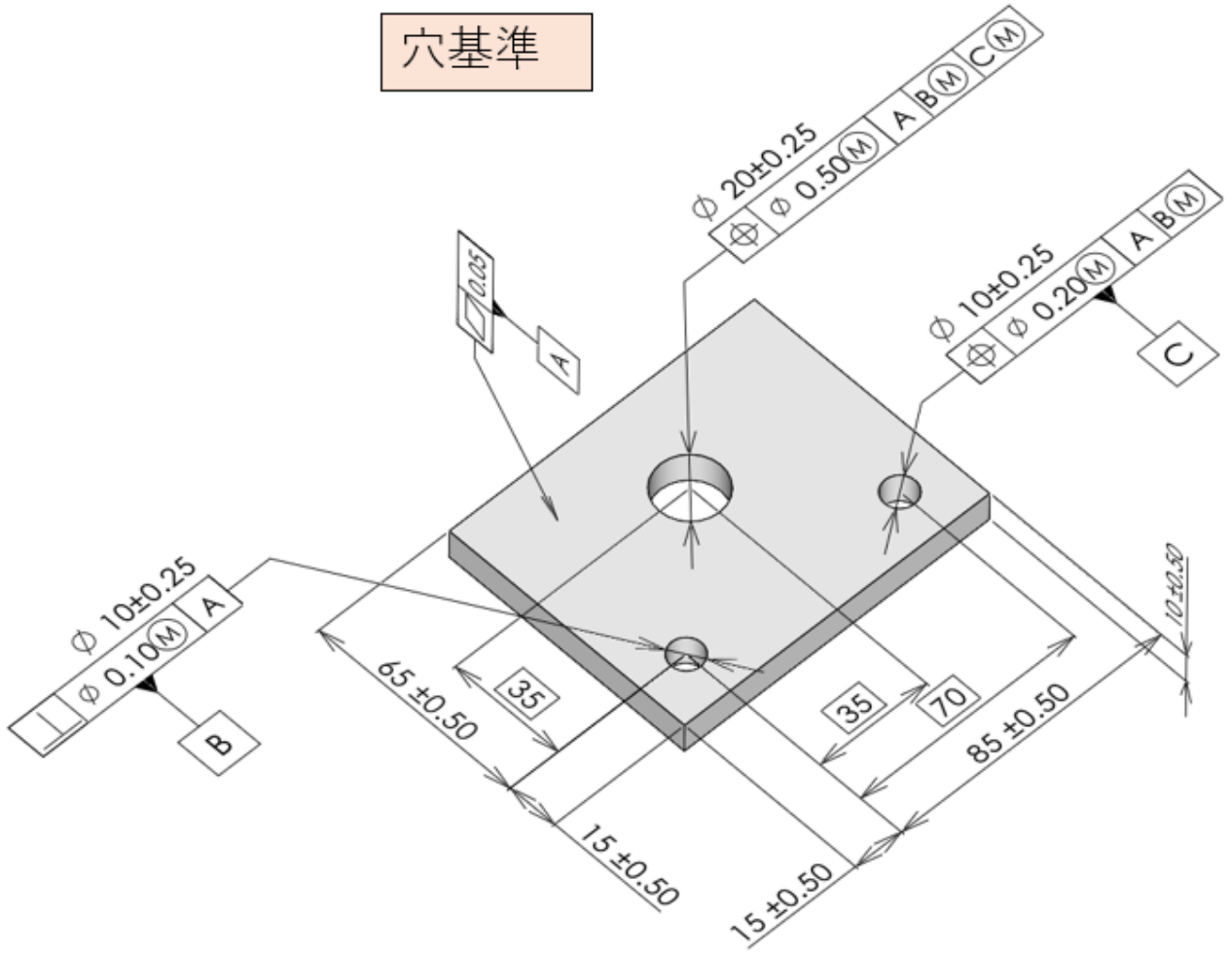


# 3D単独図・PMI（製品製造情報）

面基準




穴基準



| | |
|---|---|
| 発行年月日 | 2025/01/23 |
| 判型 | A5 |
| ページ数 | 138ページ |
| ISBN | 978-4-339-04693-9 |

**1. 形体と幾何公差**
1.1　形体
1.2　幾何公差
1.3　普通幾何公差

**2. 三平面データム系とワーク座標系**
2.1　三つの直交する面を基準とする図面
2.2　一つの平面と二つの貫通穴を基準とする図面
2.3　一つの平面，軸直線，中心平面を基準とする図面

**3. 円・平面・軸の測定**
3.1　最小二乗法：直線
3.2　最小二乗法：円
3.3　最小二乗法：平面
3.4　最小二乗法：円筒
3.5　最小領域法

**4. 三平面をデータムとする穴の図面と評価**
4.1　穴の定義
4.2　三つの面をデータムとする貫通穴の図面
4.3　最大実体公差による貫通穴の図面
4.4　位置度の測定と評価

**5. 穴の軸直線をデータムにする図面とその評価**
5.1　穴の軸直線をデータムにする図面
5.2　位置度の測定と評価
5.3　機能ゲージと最適化計算

**6. 回転体と振れ公差**
6.1　全振れと公差域
6.2　円周振れと公差域
6.3　振れ公差の測定
6.4　評価

**7. 輪郭度とその評価**
7.1　曲面の形体
7.2　形体公差の輪郭度
7.3　非接触式三次元測定による測定データの検証
7.4　輪郭度とその他の幾何公差との関係

**8. 3D単独図とPMI**
8.1　3DCADのファイル形式
8.2　製造情報（PMI）
8.3　図面規格とモデルデータの形式

演習問題
演習解答・解説
索引

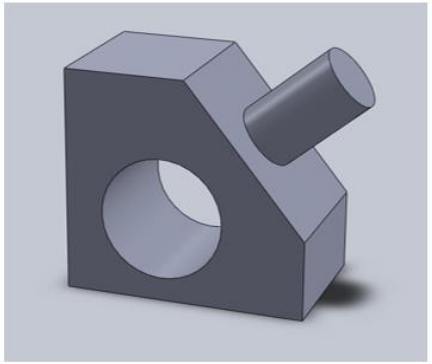
# 3DCAD

## サーフェスモデル

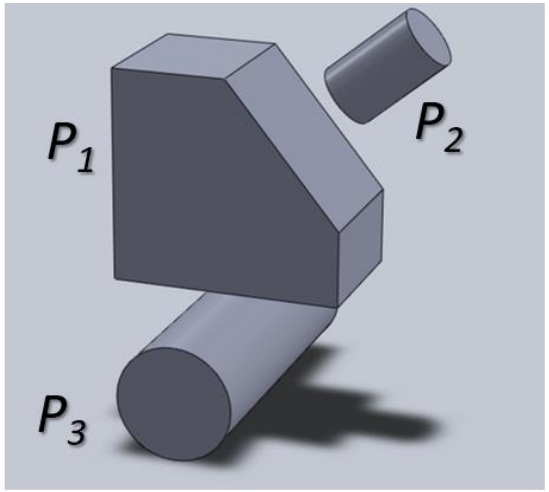
パラメトリック曲面

Coonsパッチ → Bezier曲面・有理Bezier曲面 → B-Spline曲面 → NURBS

## ソリッドモデル

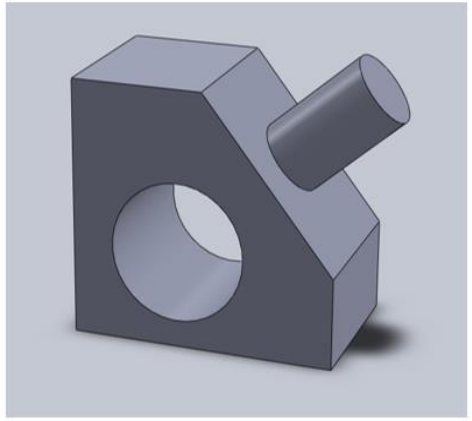


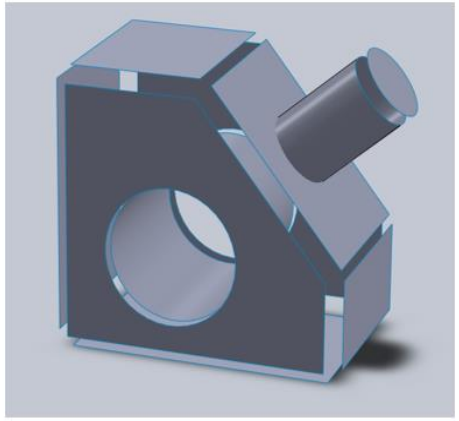
CSG (Constructive Solid Geometry)




$S = P1 \cup P2 - P3$

B-Reps (Boundary Representation)





研究開発・システム開発(1970年代)

形状モデラー 1)

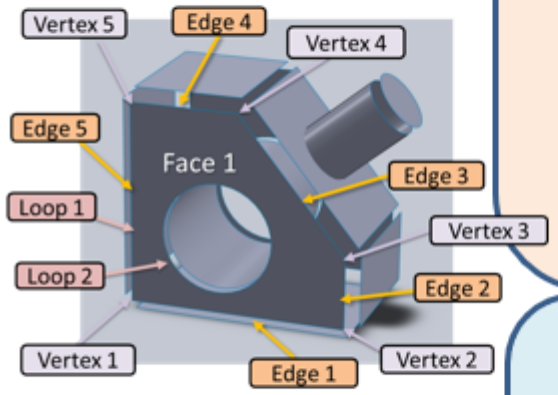
PADL、BUILD、COMPAC、TIPS-1、GDP

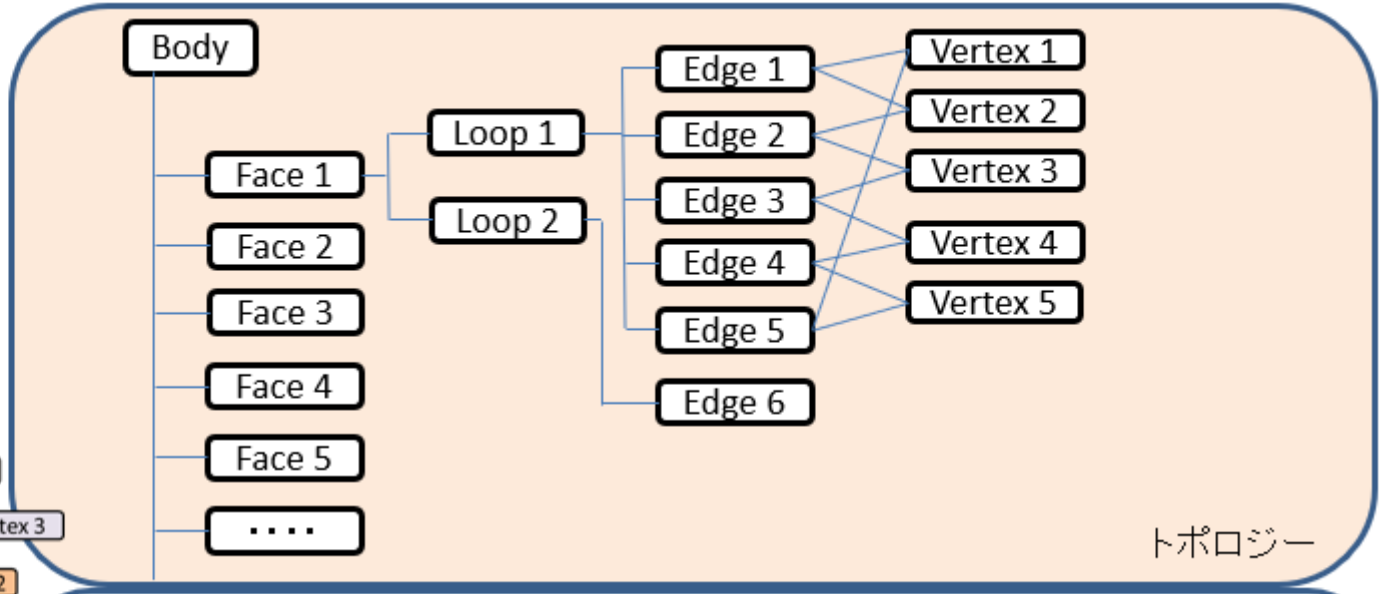
(多面体近似を用いるシステム)
GLIDE、GEOMED、EUCLID、EUKLID、
BORKIN、PARENT、YESSIOS、3DFORM

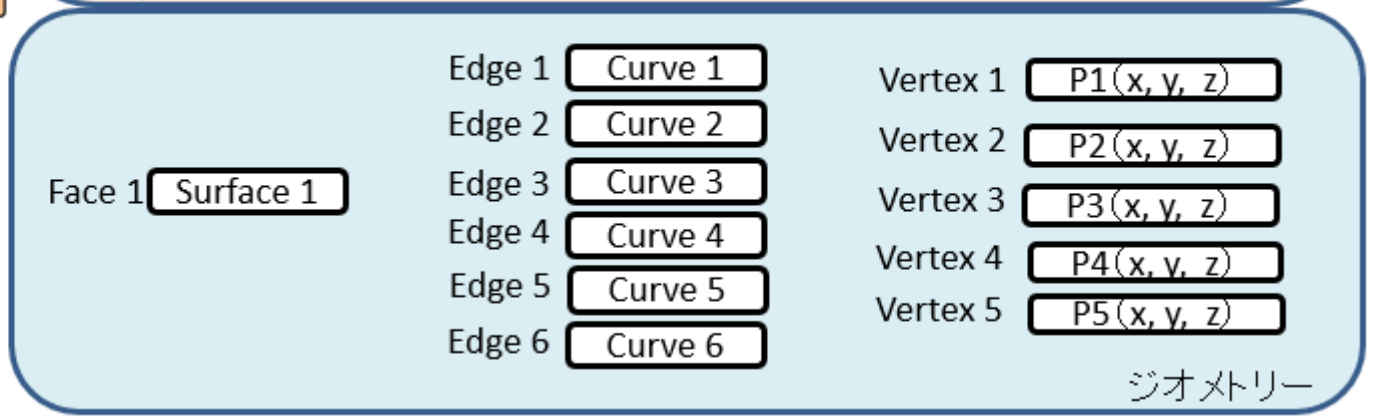
(B-spline曲面で近似するシステム)
GEOMOD、GEOMAP、

1) 自動設計の方法論； 沖野教郎 著、
養賢堂 1982 p.15-20

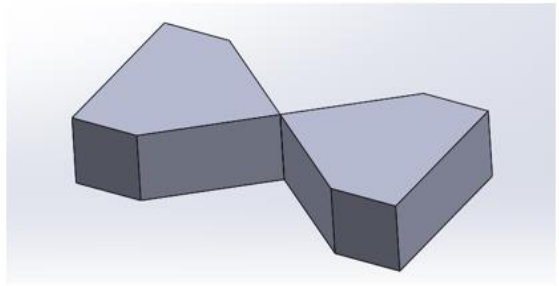
# B-Repsによるソリッドモデルのデータ構造

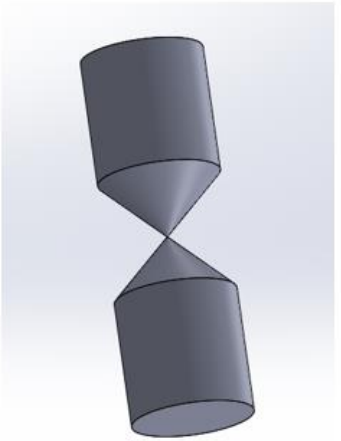


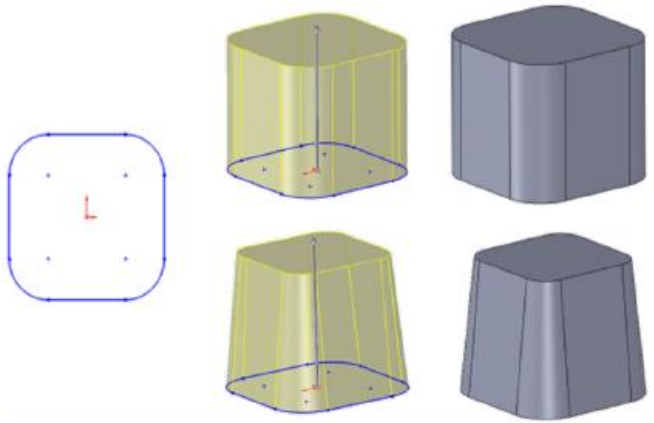




## ノンマニホールドのチェック

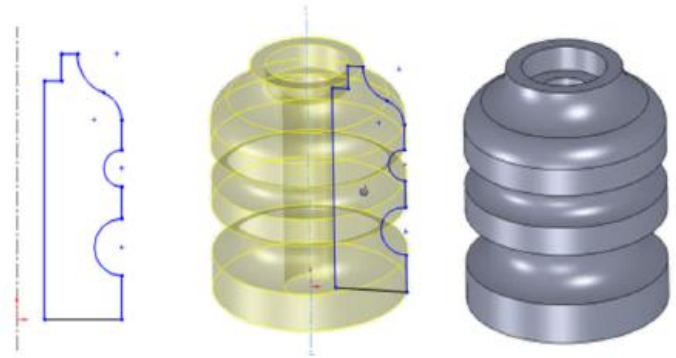




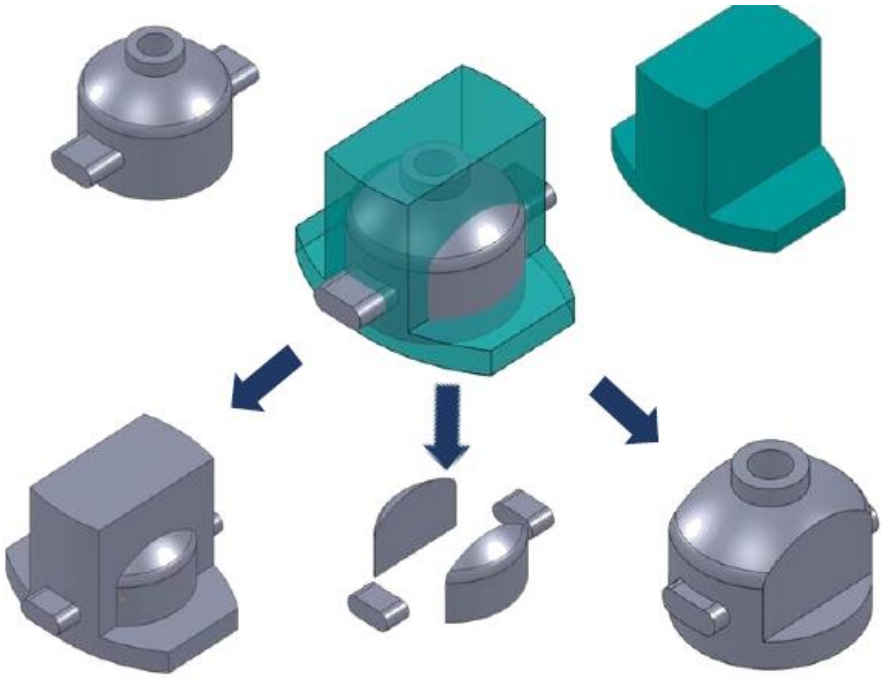
# ソリッドの作成



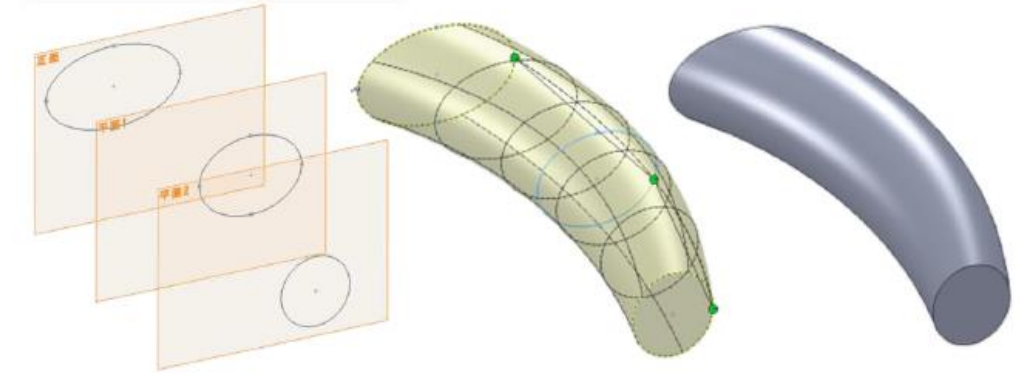
押し出し



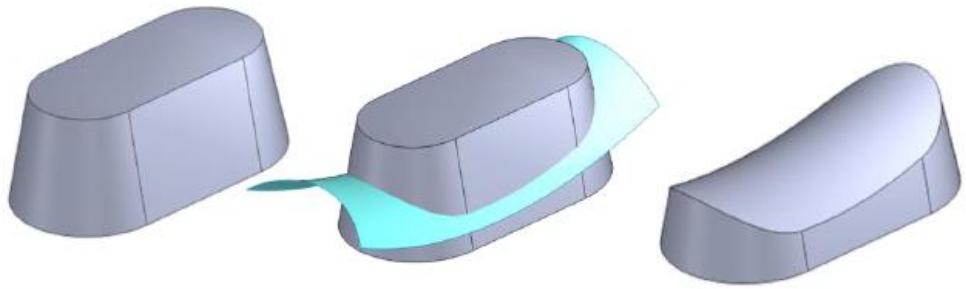
回転



ブーリアン

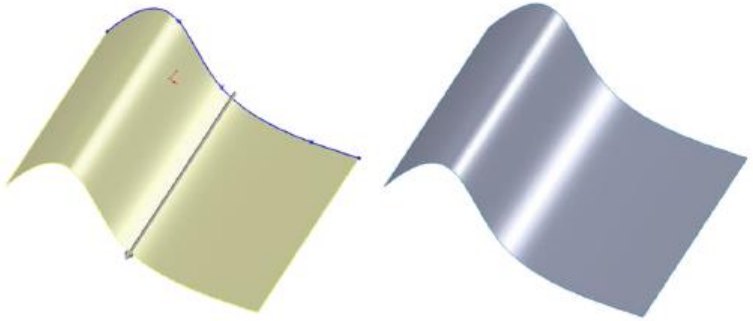


ロフト

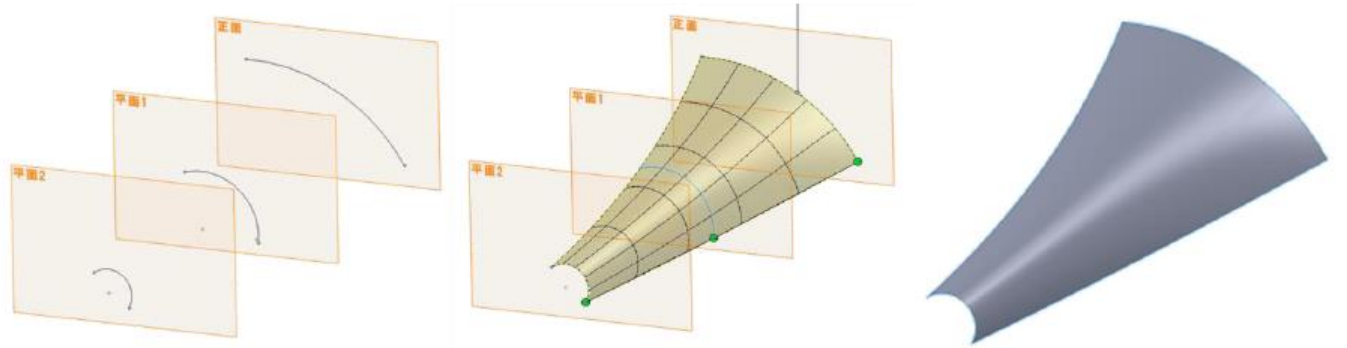


切断

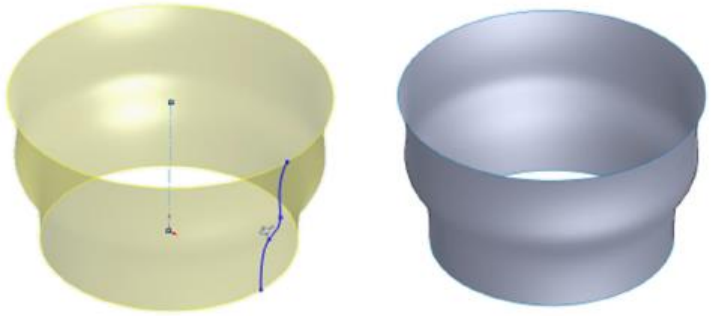
# サーフェスの作成



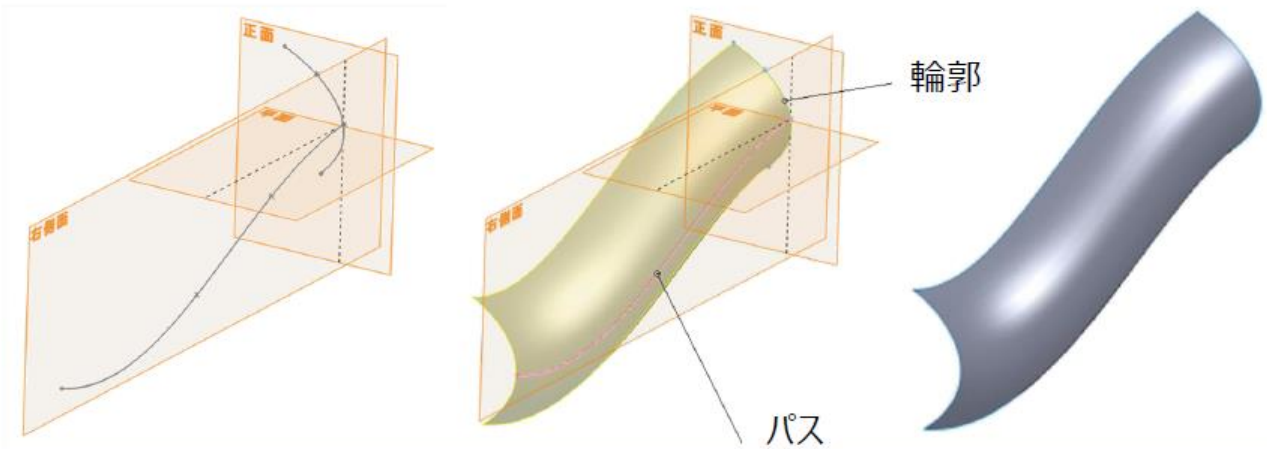
押し出し




ロフト

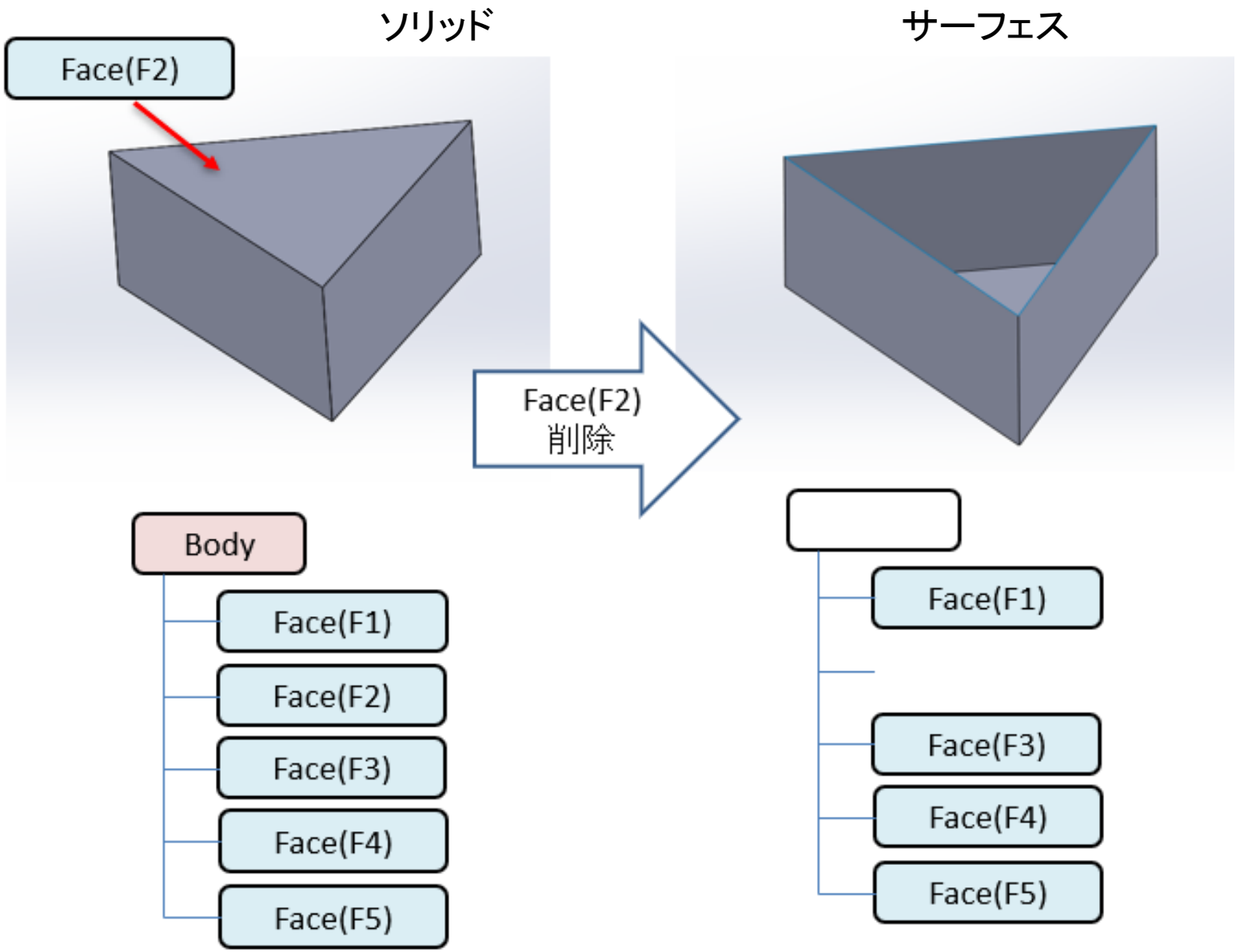


回転

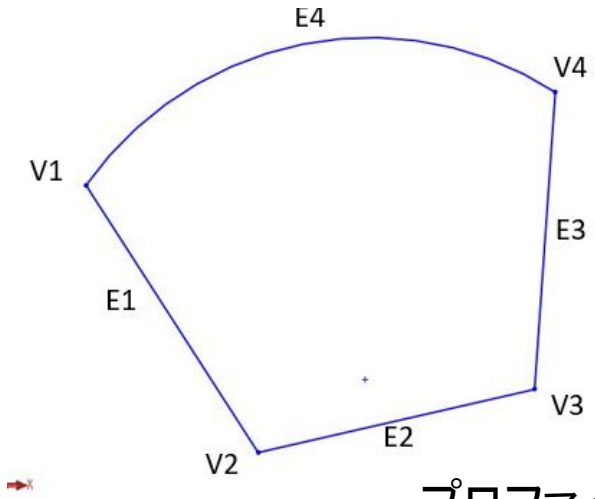



スイープ

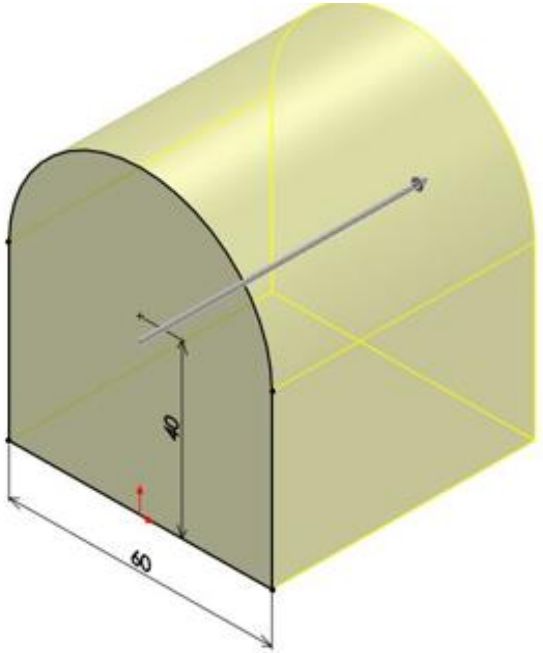
# ソリッドからサーフェスへの更新

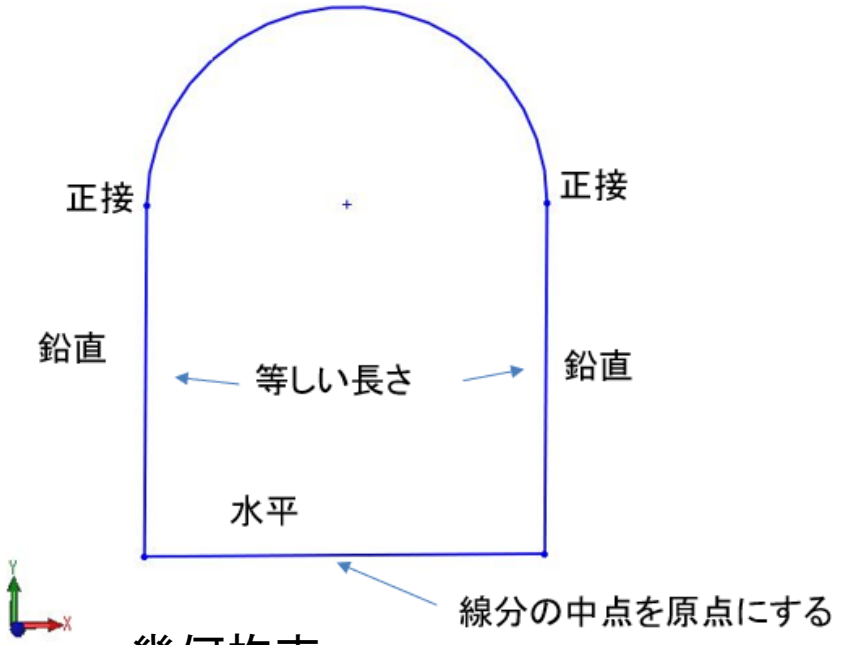


# 幾何拘束と寸法拘束

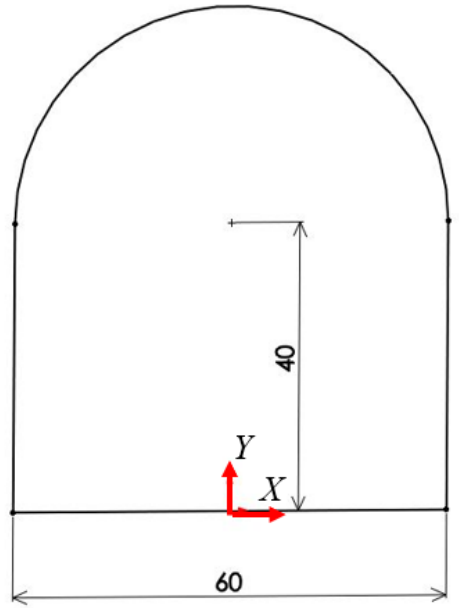



プロファイル
（スケッチ）

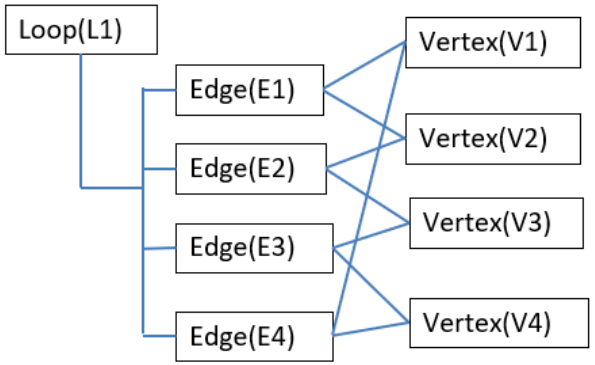



幾何拘束




寸法拘束

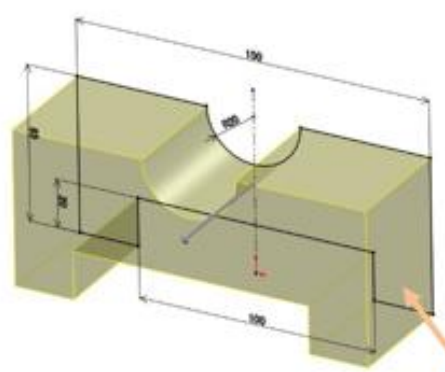


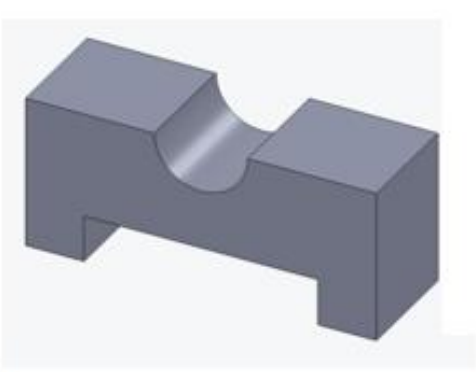

| | |
|---|---|
| E1 | Line |
| E2 | Line |
| E3 | Line |
| E4 | Arc |

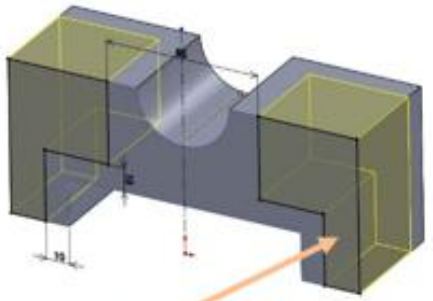
| | |
|---|---|
| V1 | X1,Y1,Z1 |
| V2 | X2,Y2,Z2 |
| V3 | X3,Y3,Z3 |
| V4 | X4,Y4,Z4 |

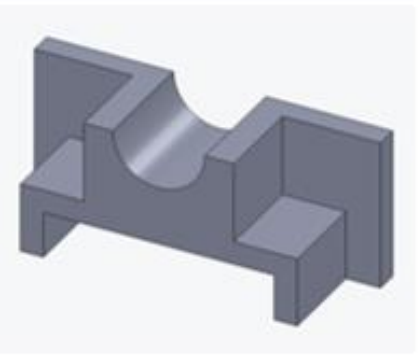
# パーツのモデリング　履歴

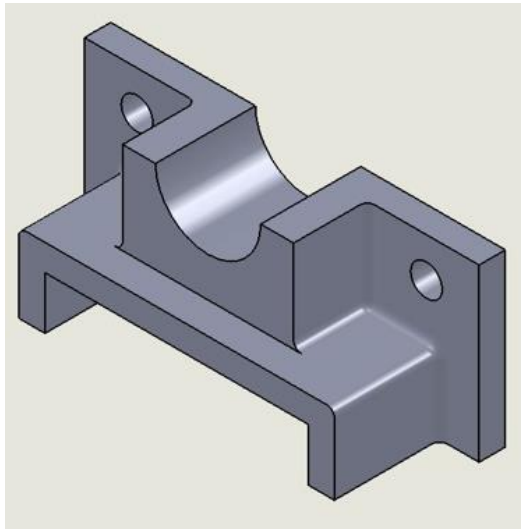
モデリングの履歴は3DCAD教育において重要



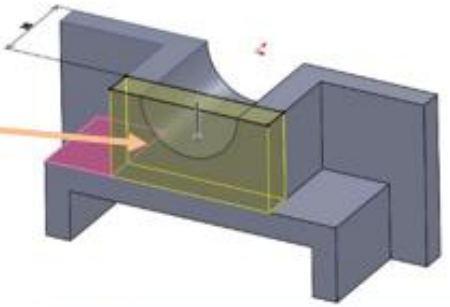


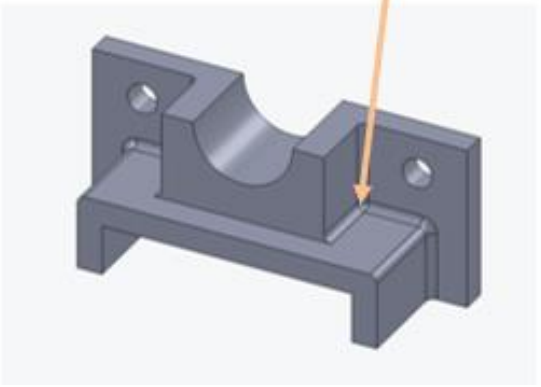


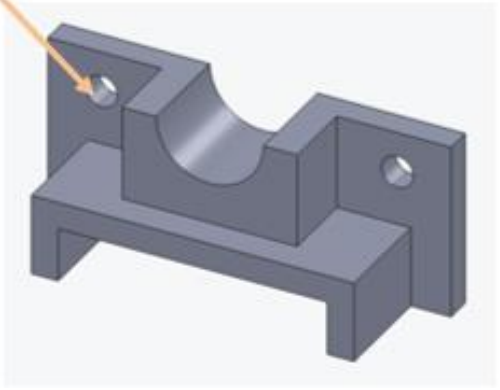


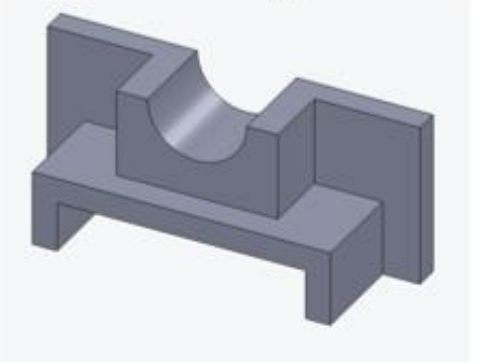


① 押出し
② 押出しカット
③ 押出しカット
④ 押出しカット
⑤ フィレット









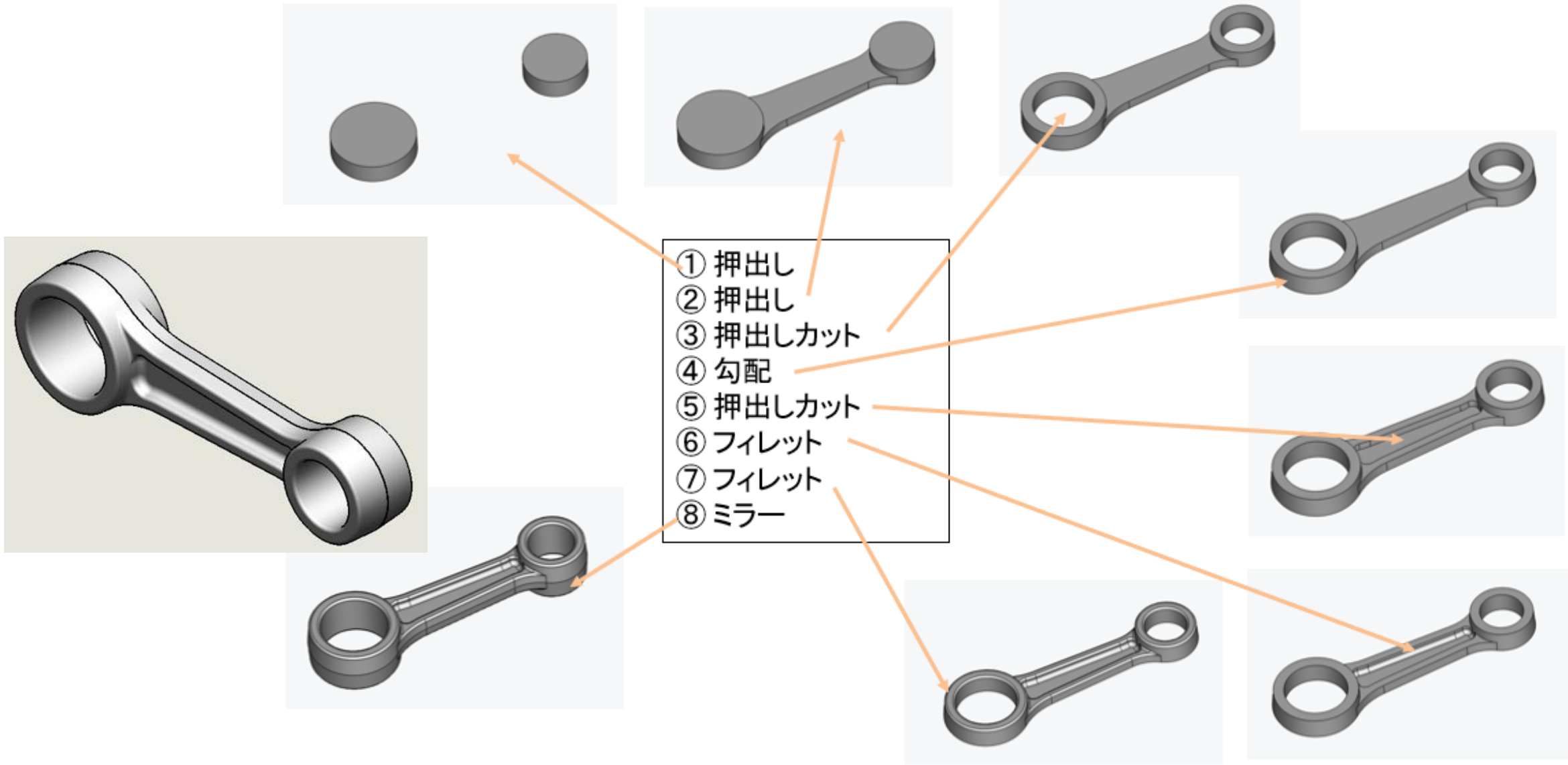
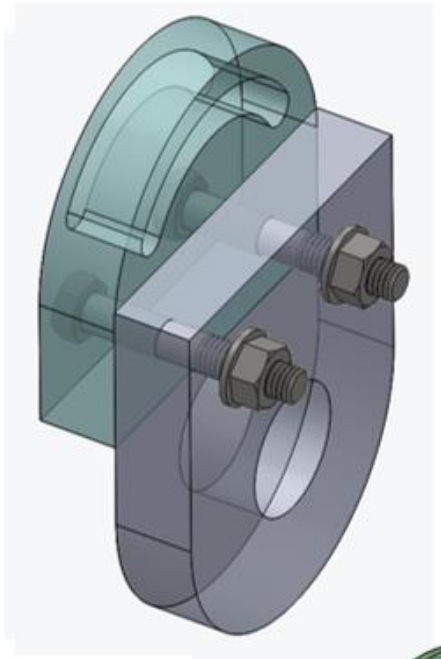
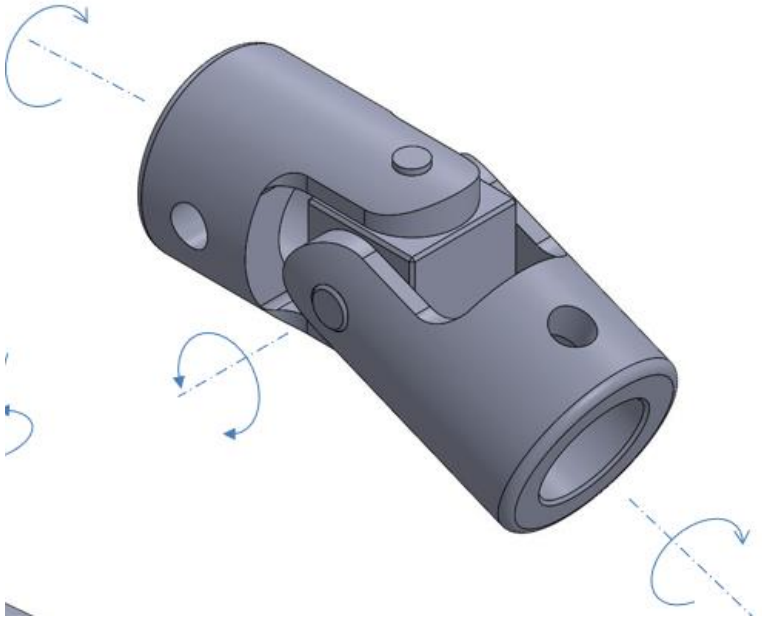
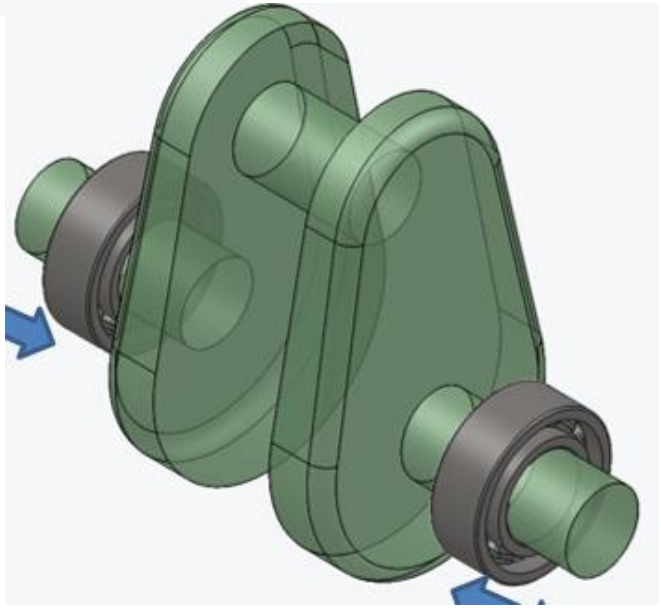


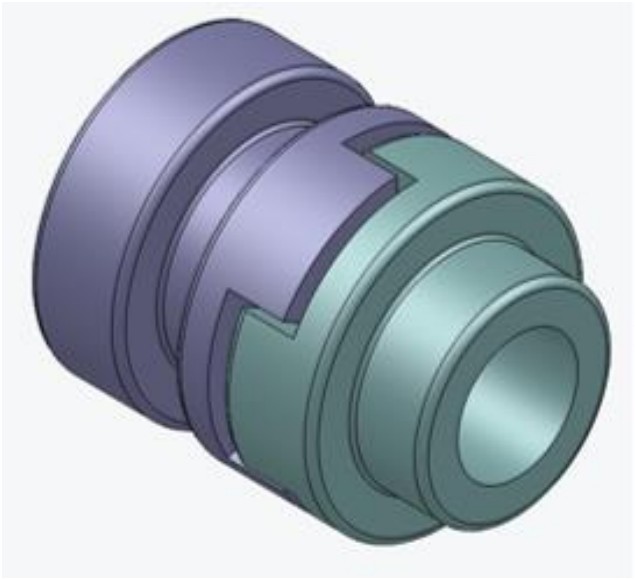

図3.15 モデリングの履歴

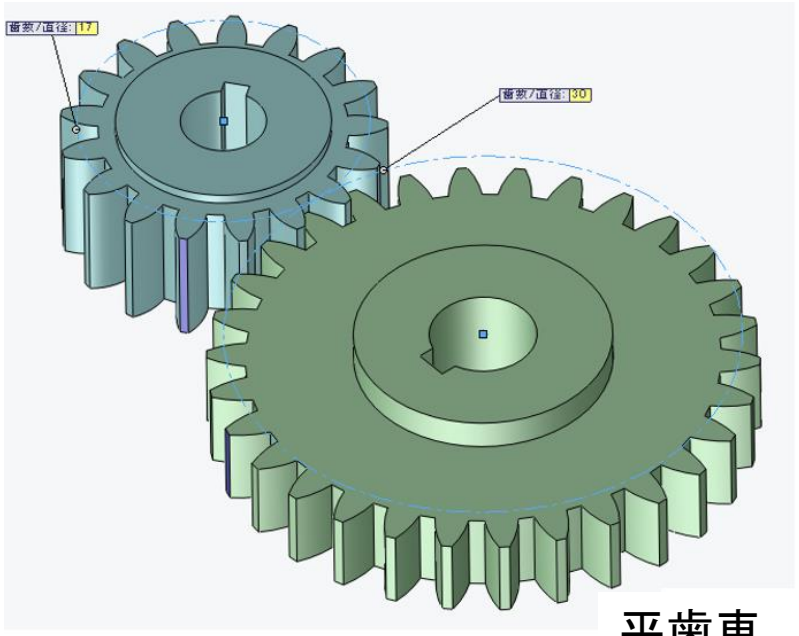




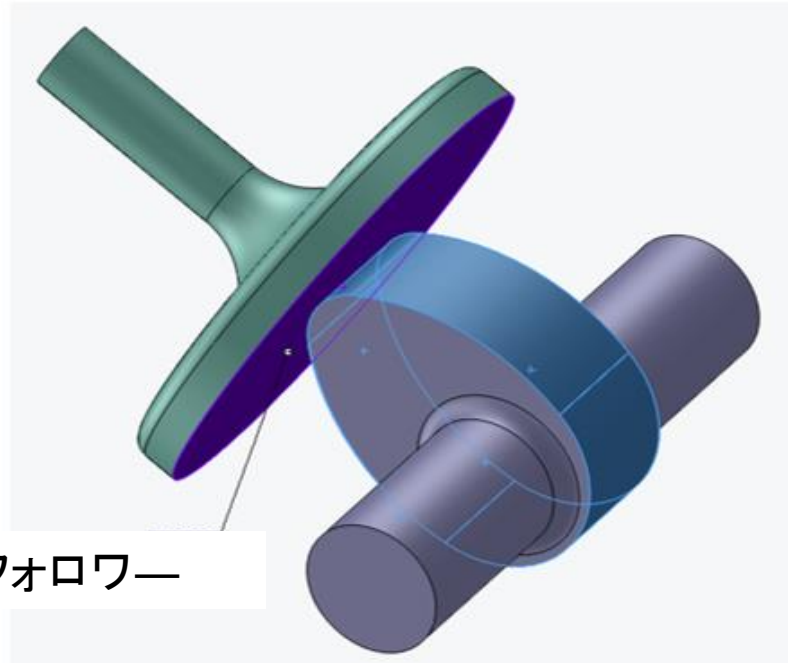


機械要素のアセンブリ

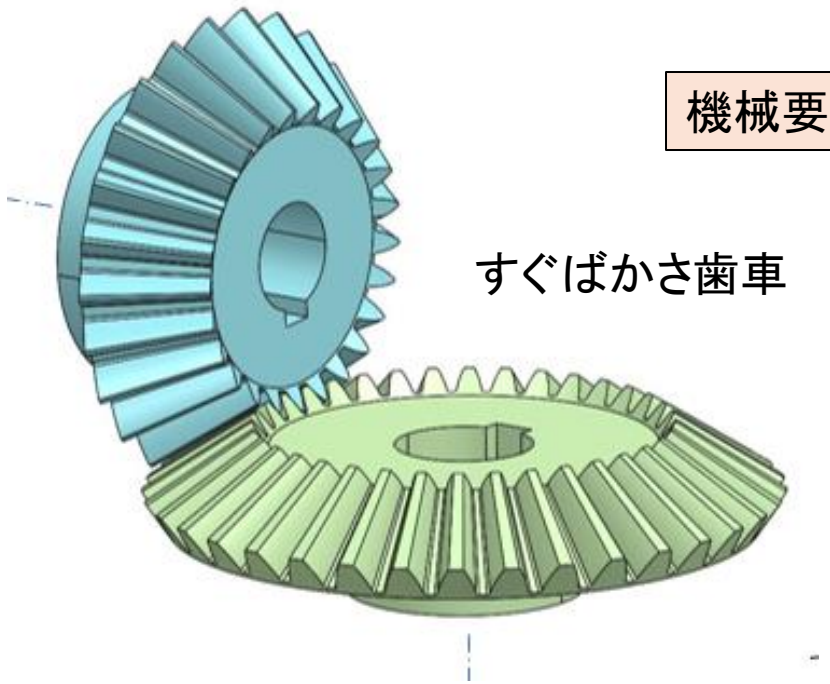





平歯車

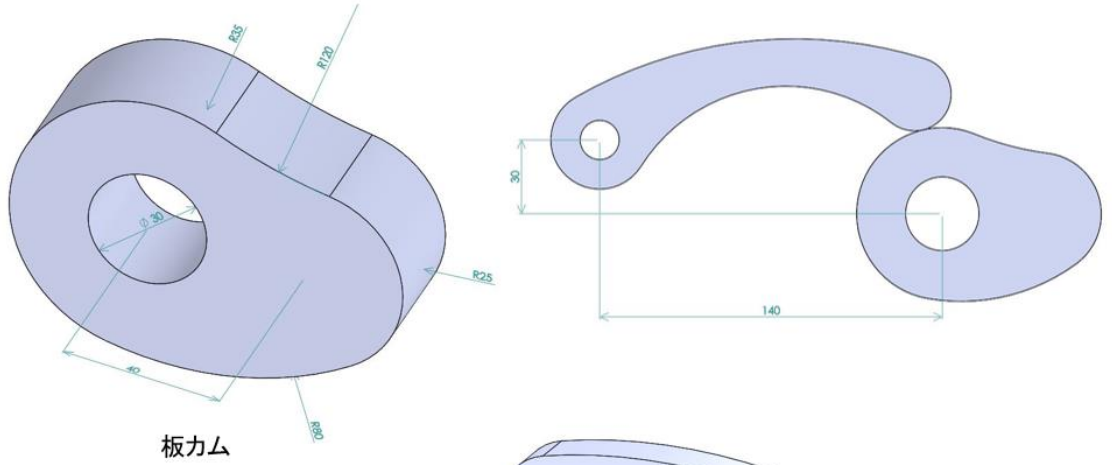


カムとフォロワー

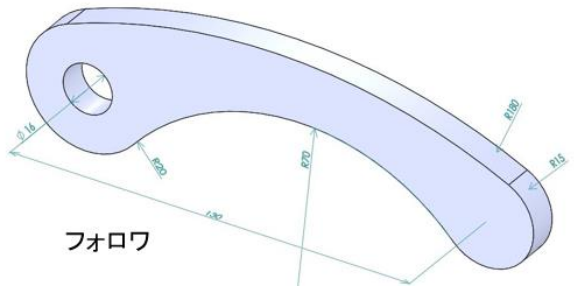


すぐばかさ歯車

機械要素のアセンブリ



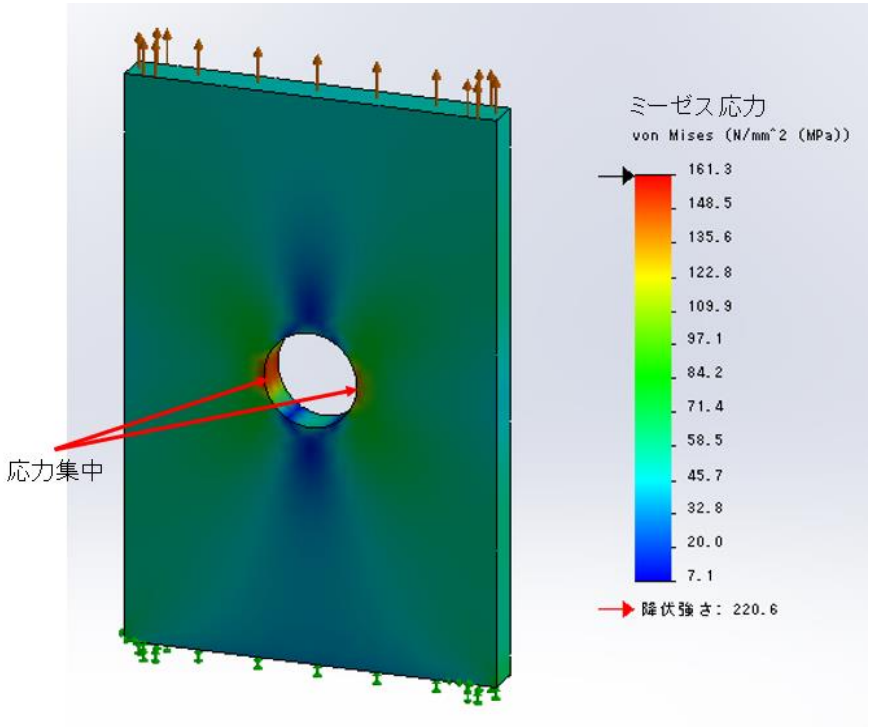

板カム



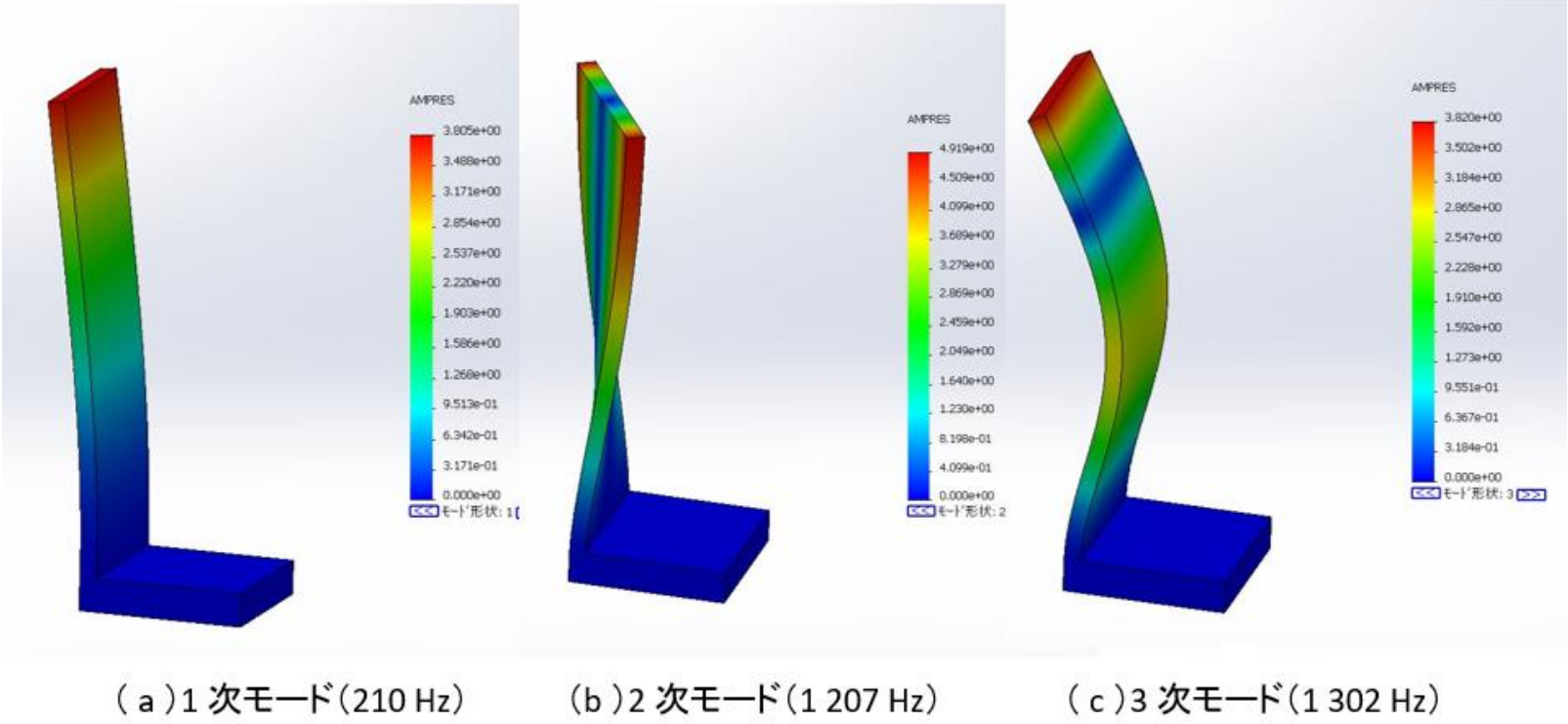

フォロワ

カム機構の練習問題

# 3DCADとCAE（線形解析）




線形静解析



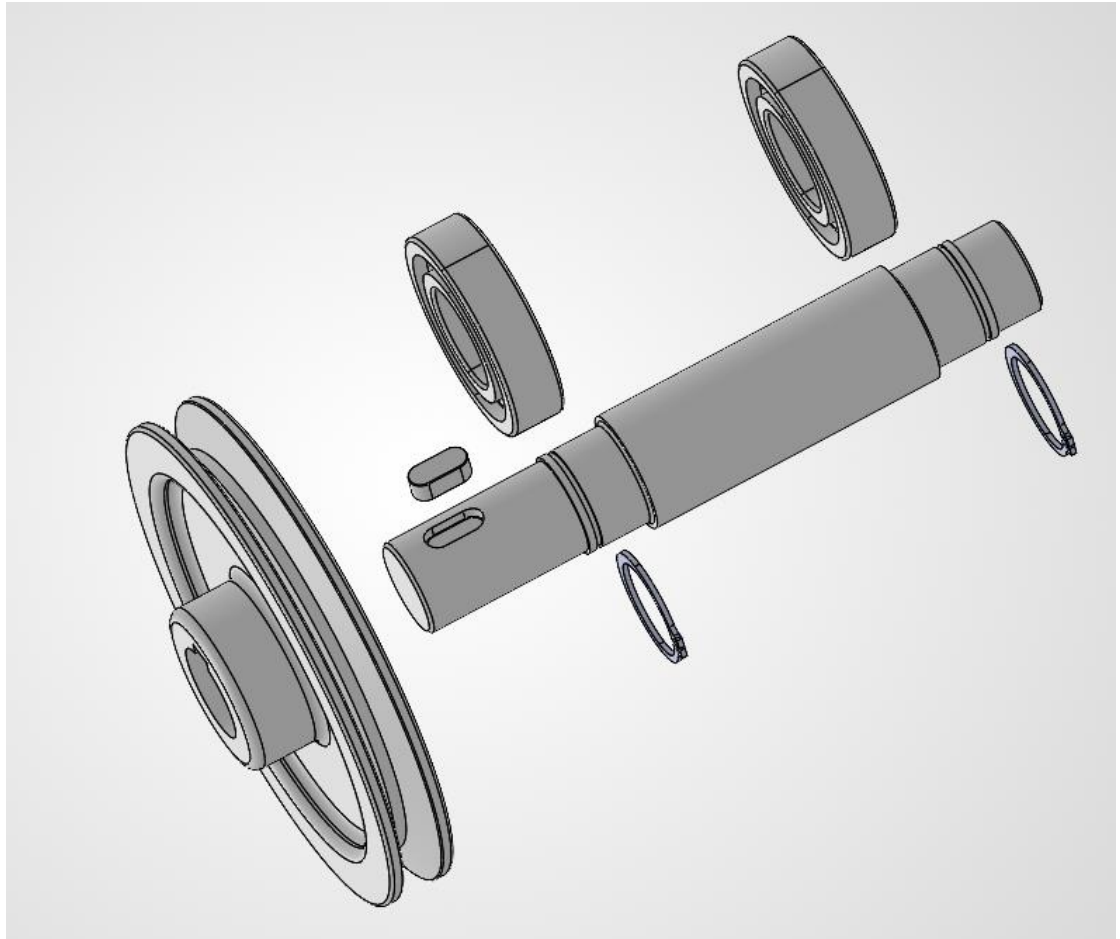

（a）1 次モード（210 Hz）　（b）2 次モード（1 207 Hz）　（c）3 次モード（1 302 Hz）

固有値解析

# 機械設計　軸設計

## 設計仕様

| No. | 仕様 | 記号 | 設計値 | 単位 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | モータ定格出力 | P | 3 | kW |
| 2 | 回転数 | n | 2000 | rpm |
| 3 | 軸の全長（プーリ中心から右の軸受中心まで） | L | 150 | mm |
| 4 | 加速条件:　静止状態から5sで1000min$^{-1}$ | a | 20.944 | rad/s$^2$ |
| 5 | プーリ接線力 | F | 200 | N |



## 4 設計計算

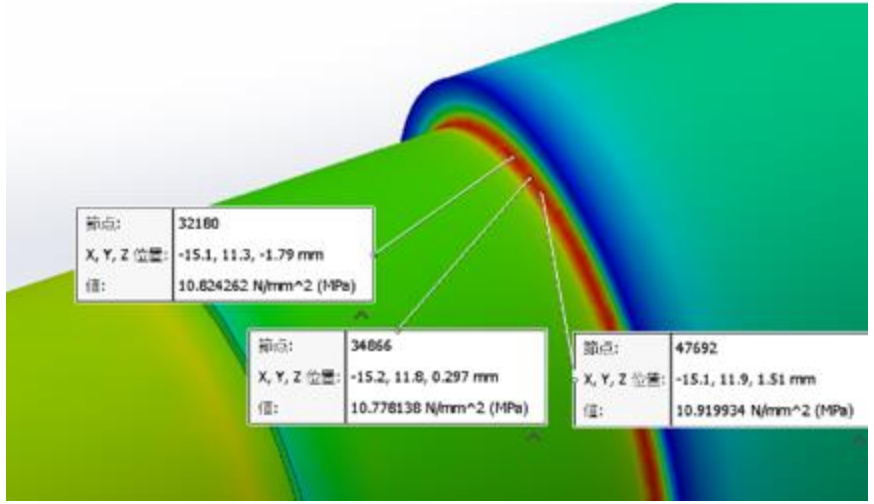
### 4.1 軸径の計算

#### 4.1.1 駆動トルクによる軸径 $d_1$ の決定

モータ出力から軸径 $d_1$ を計算する。

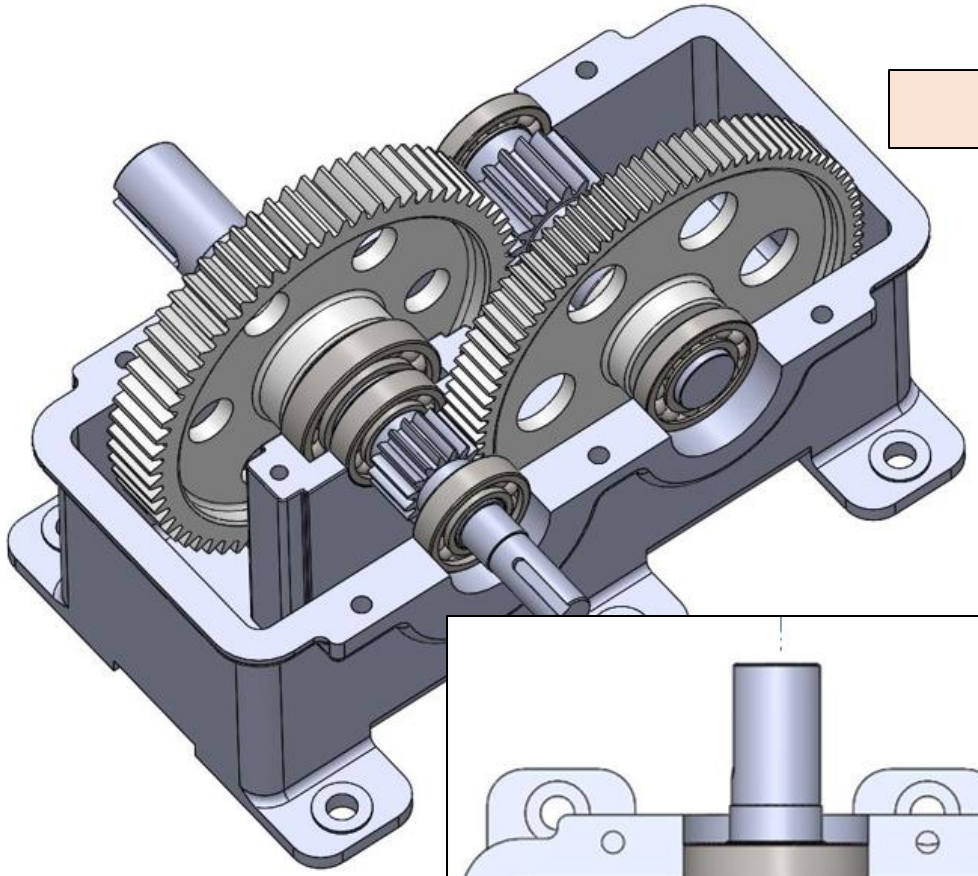
駆動トルク $T$ は次式で与えられる。

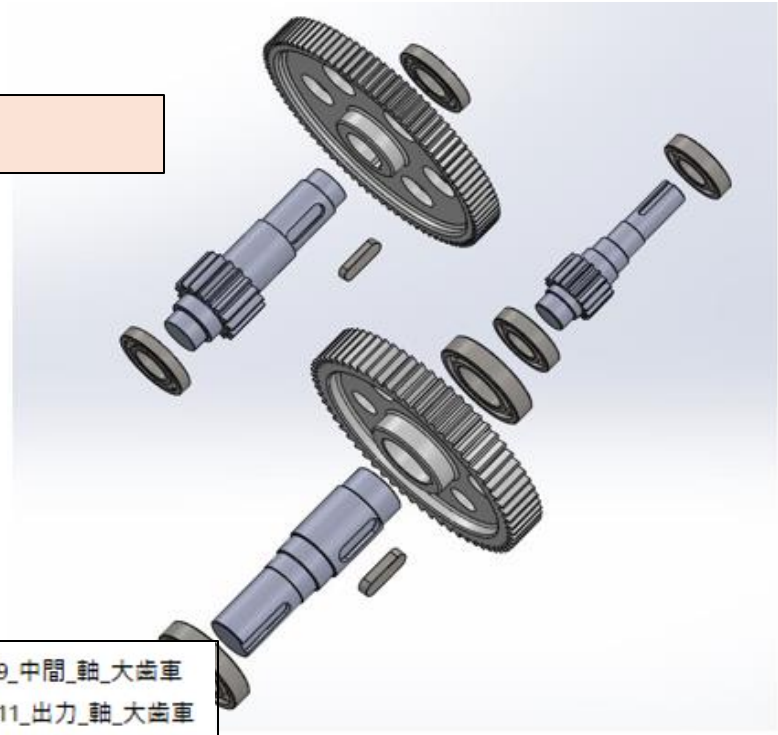
$$T = \frac{60 \times P}{2\pi n} \qquad (1)$$

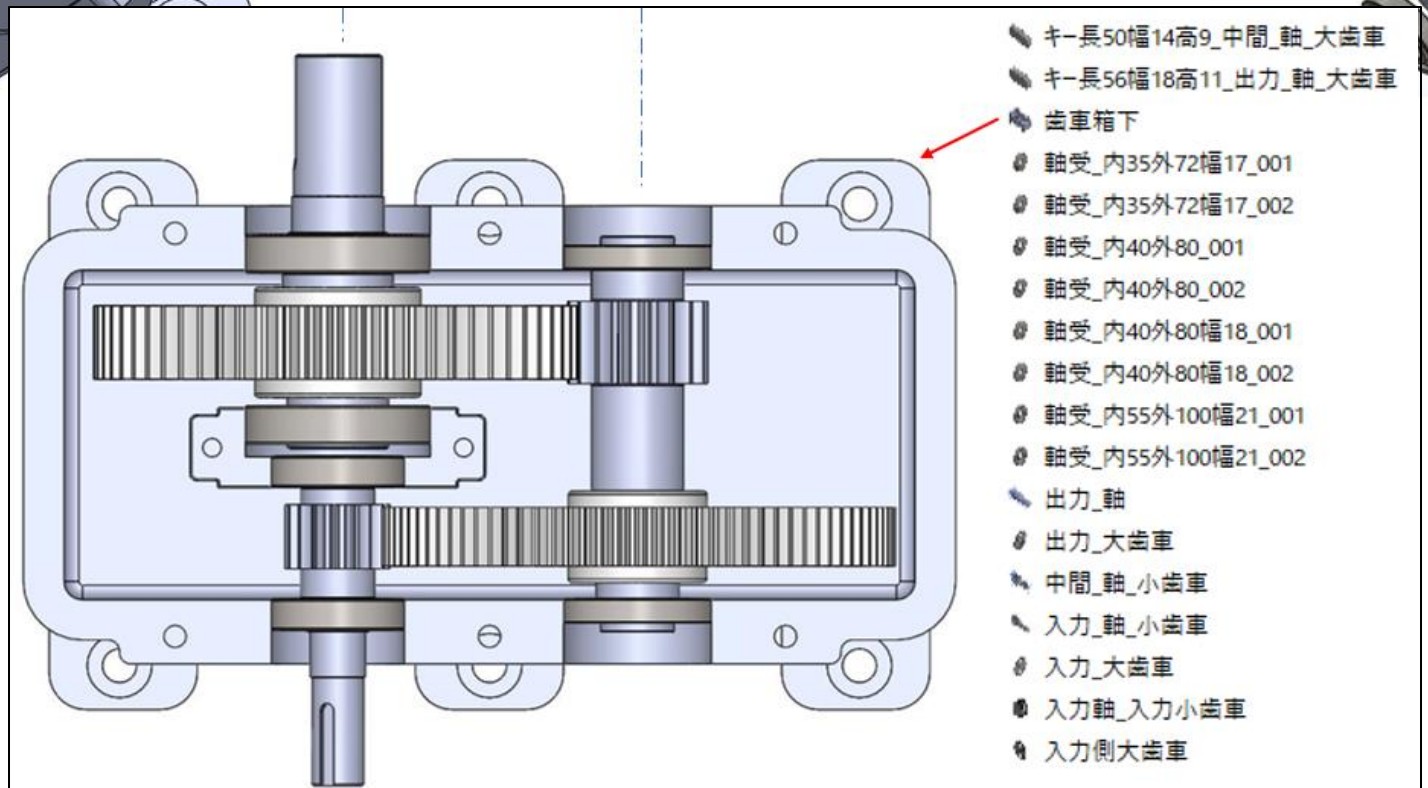



フィレット部を有する段付き丸棒の応力集中

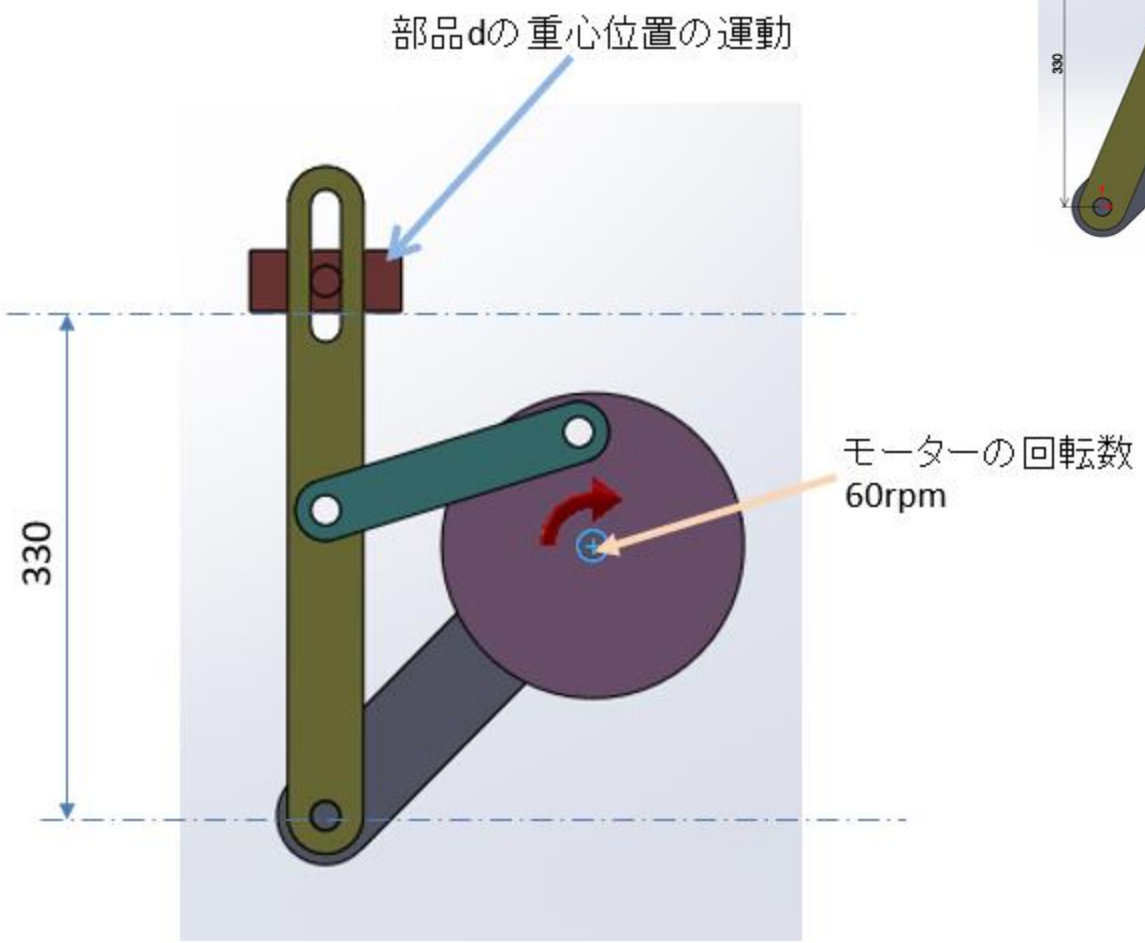
# 減速歯車装置の設計

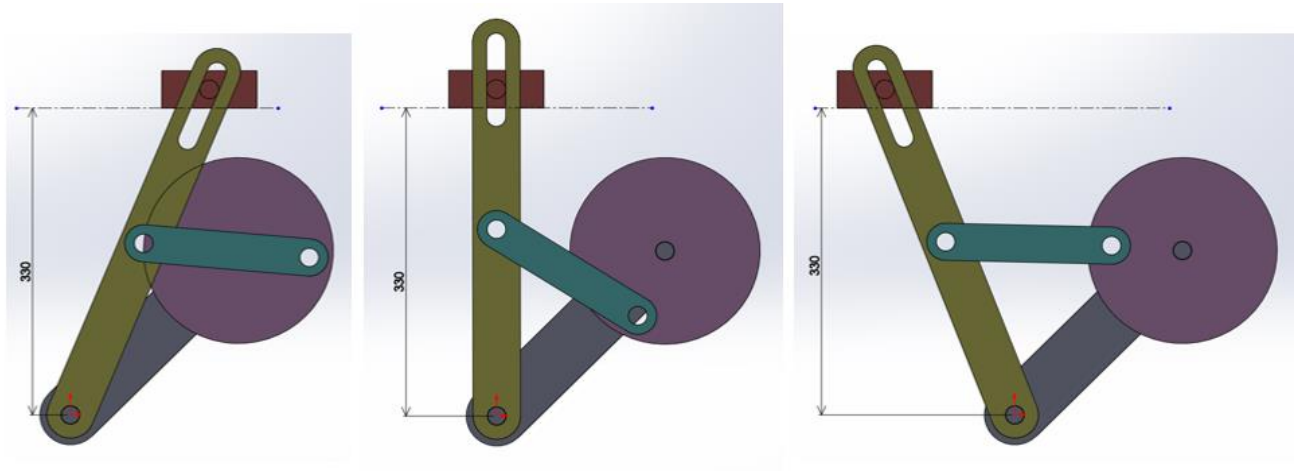


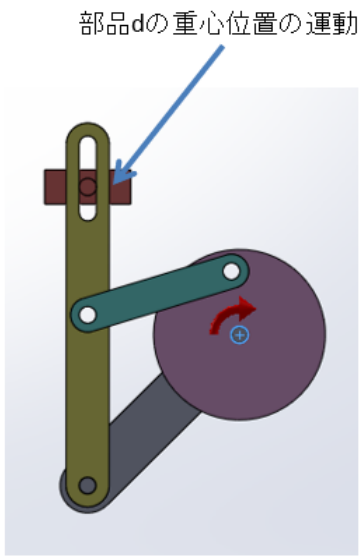



キー長50幅14高9_中間_軸_大歯車
キー長56幅18高11_出力_軸_大歯車
歯車箱下
軸受_内35外72幅17_001
軸受_内35外72幅17_002
軸受_内40外80_001
軸受_内40外80_002
軸受_内40外80幅18_001
軸受_内40外80幅18_002
軸受_内55外100幅21_001
軸受_内55外100幅21_002
出力_軸
出力_大歯車
中間_軸_小歯車
入力_軸_小歯車
入力_大歯車
入力軸_入力小歯車
入力側大歯車

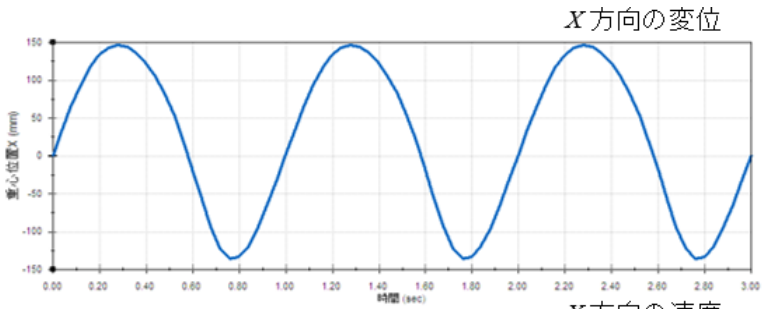
# リンク機構の設計とモーション解析

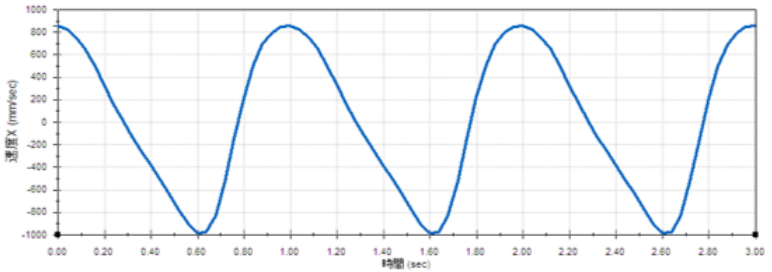


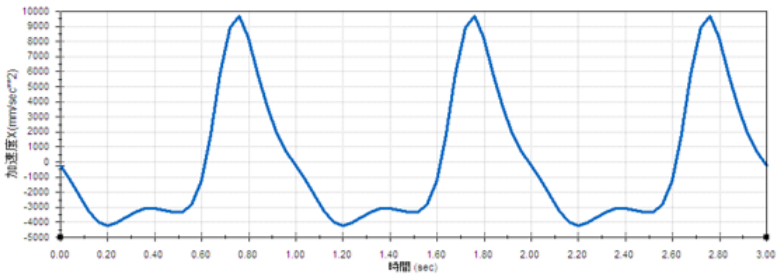



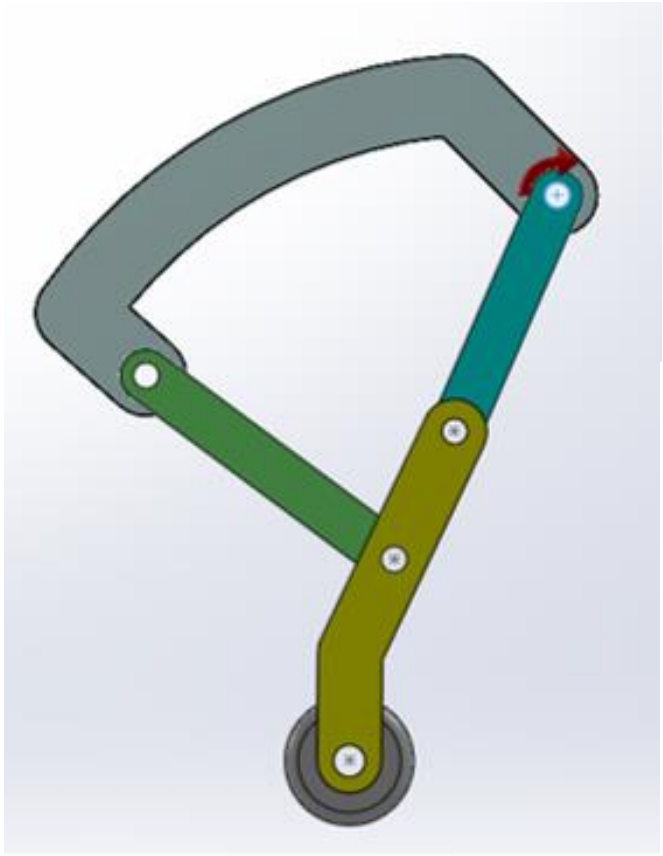

モーターの回転数　60rpm

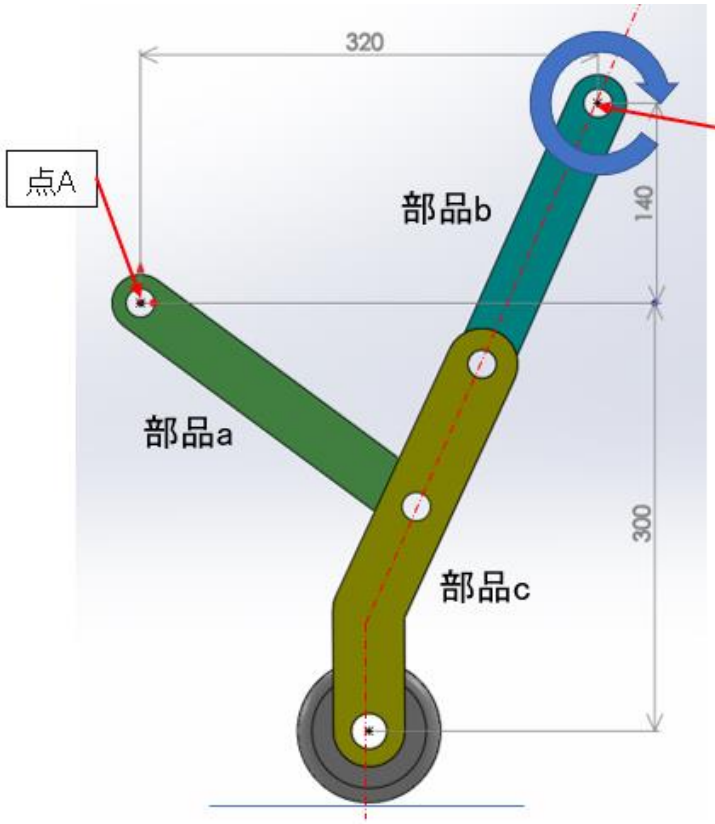


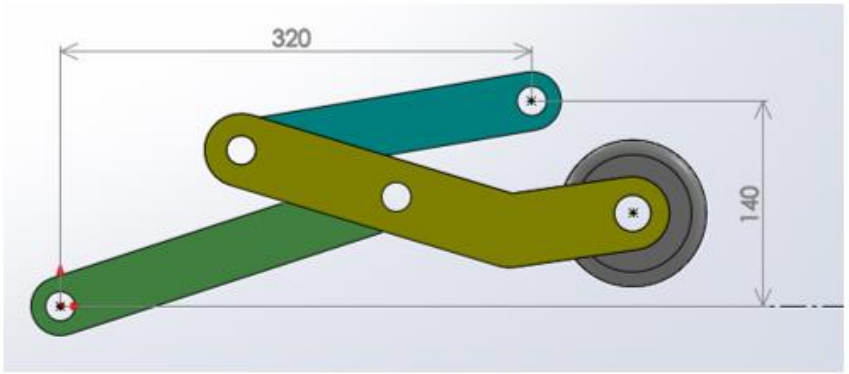



# リンク機構設計

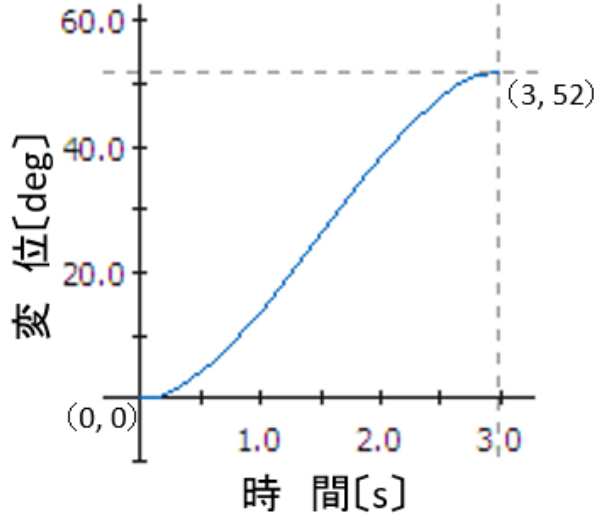




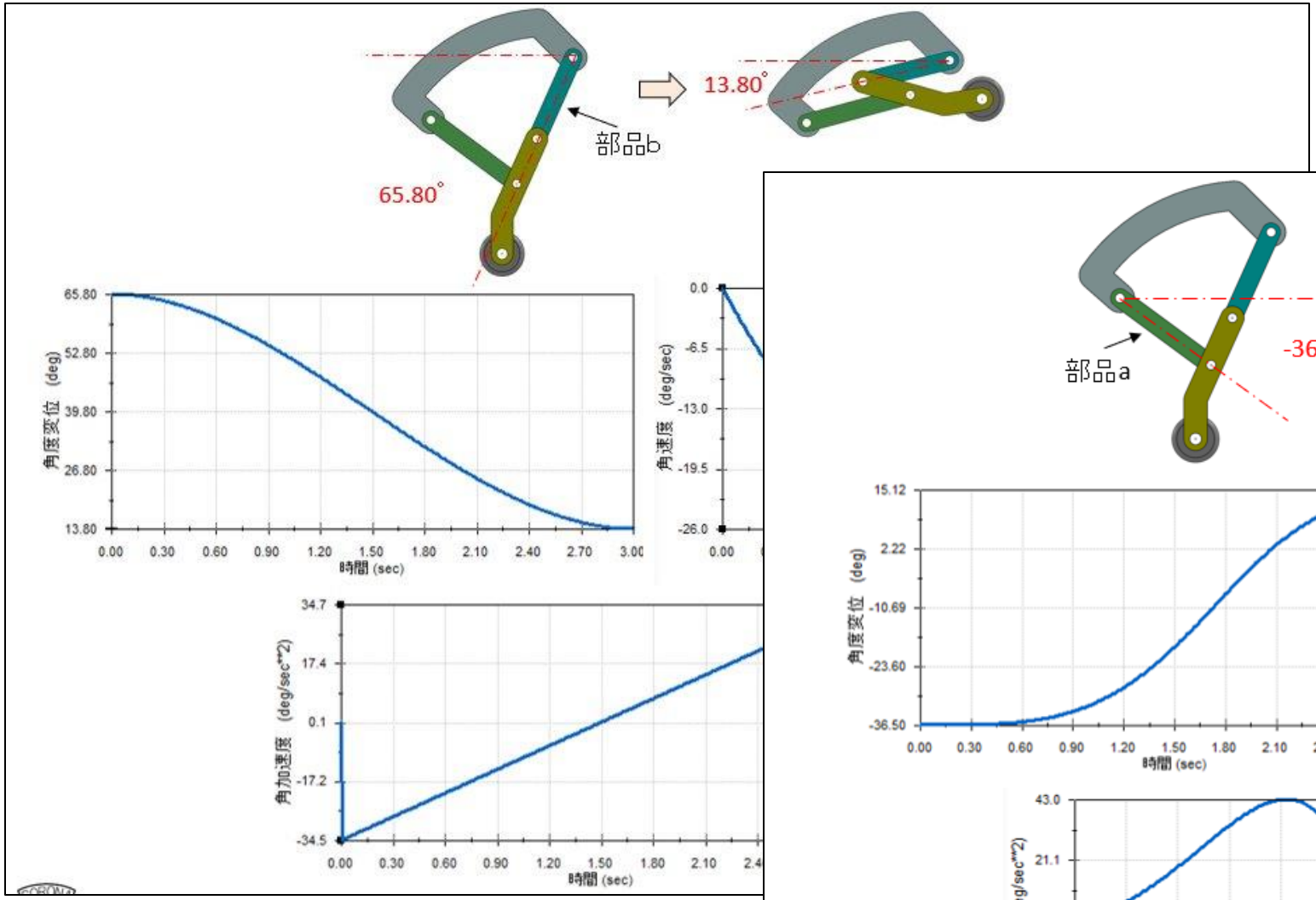

（ａ）リンク機構

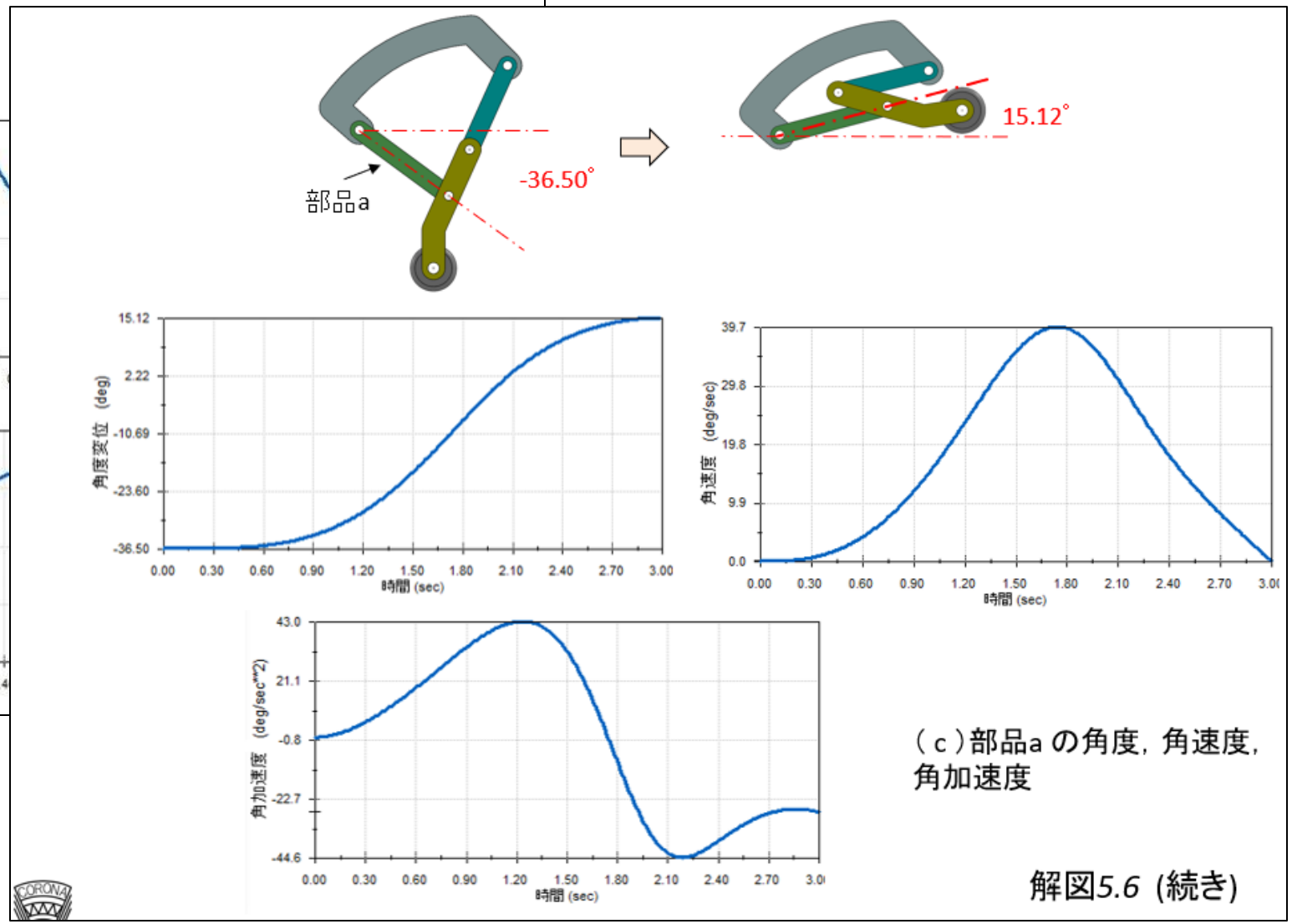



（ｂ）折り畳んだ位置




（ｄ）三次多項式

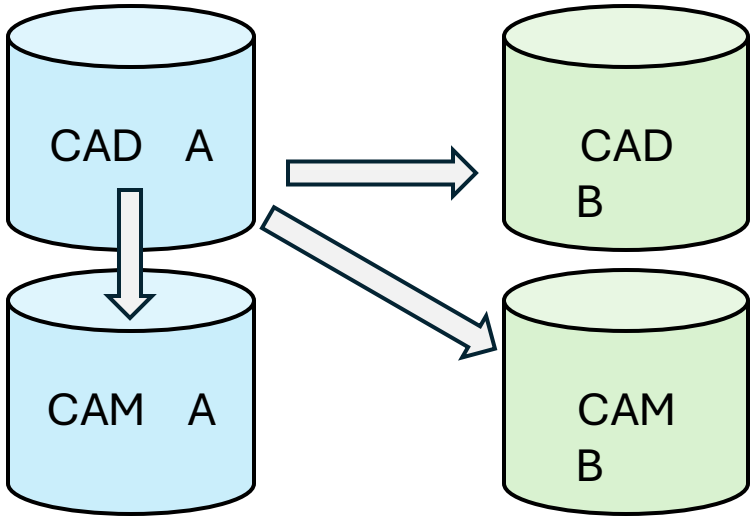


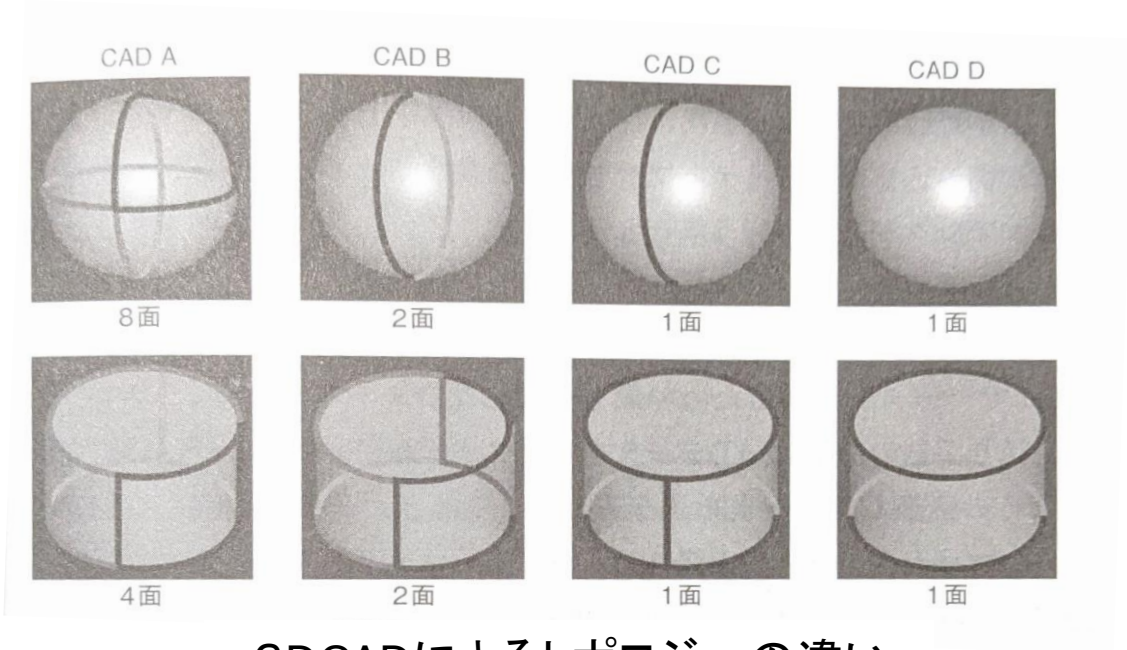

（c）部品a の角度，角速度，角加速度

解図*5.6* (続き)

2000年の頃
PDQ(Product Data Quality)




3DCADデータの交換の難しさ

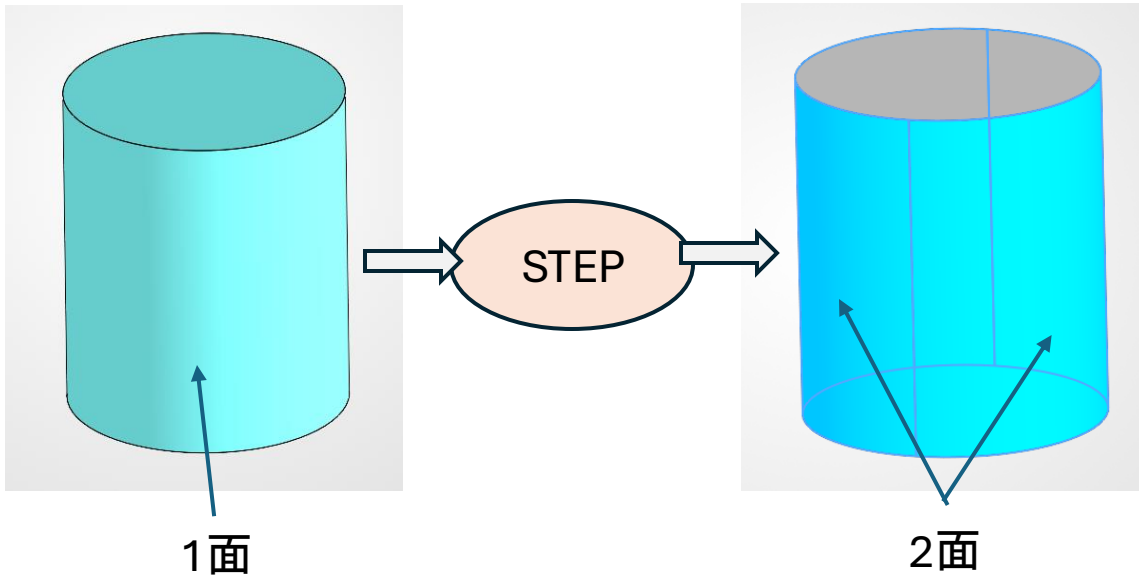


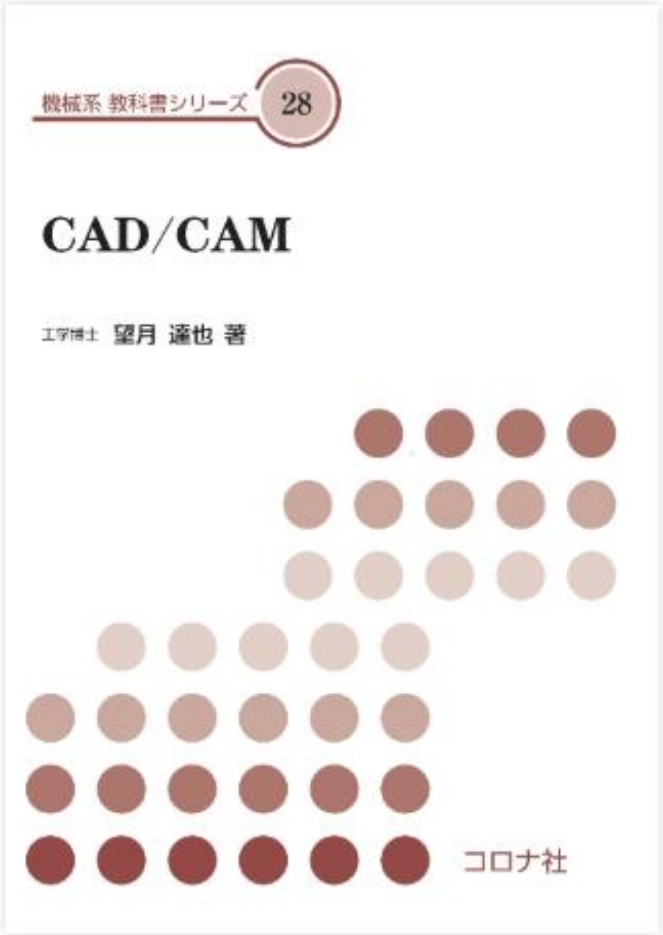

3DCADによるトポロジーの違い
2026年度版CAD利用技術者試験
3次元公式ガイドブック　P107

トレランス（モデリング精度）

許容誤差（許容範囲）のことで、例えば、二つの点が同じ位置にあるか否かは、二つの点間距離が許容誤差の範囲内にあるか否かで判断する。

3DCADによってトレランスが異なる。







| | |
|---|---|
| 発行年月日 | 2021/04/30 |
| 判型 | A5 |
| ページ数 | 224ページ |
| ISBN | 978-4-339-04478-2 |



**1. モノづくりのソフトウェア**
1.1 モノづくりとソフトウェア
1.2 3次元の形状モデル
1.3 ソリッドモデルとサーフェスモデル
1.4 3D-CADのデータ構成
1.5 3D-CADのデータ形式
1.6 図面と3D単独図
演習問題
引用・参考文献

**2. ソリッドとサーフェスのモデリング**
2.1 ソリッドの生成と編集
2.2 サーフェスの生成と編集
2.3 フィーチャとモデリング
2.4 モデリングの履歴
演習問題

**3. 機械部品のモデリング**
3.1 プロファイルとデータ構造
3.2 プロファイルの作図
3.3 三面図と立体のモデリング
3.4 補助投影が必要な立体のモデリング
3.5 回転体のモデリング
演習問題

**4. 機械要素とアセンブリ**
4.1 自由度と合致の拘束
4.2 締結（ボルト，ナット，座金）
4.3 軸と軸受
4.4 軸継手
4.5 歯車
4.6 カム
4.7 ばね
演習問題

**5. 3D-CADと力学**
5.1 質量特性
5.2 断面特性
5.3 応力解析
5.4 機構解析
5.5 固有値解析
5.6 流体解析
演習問題

**6. ソリッドと幾何公差**
6.1 モノづくりの情報
6.2 幾何公差と最大実体公差
6.3 MMCのある幾何公差
6.4 データムにMMCがある幾何公差
6.5 機能ゲージの設計
演習問題

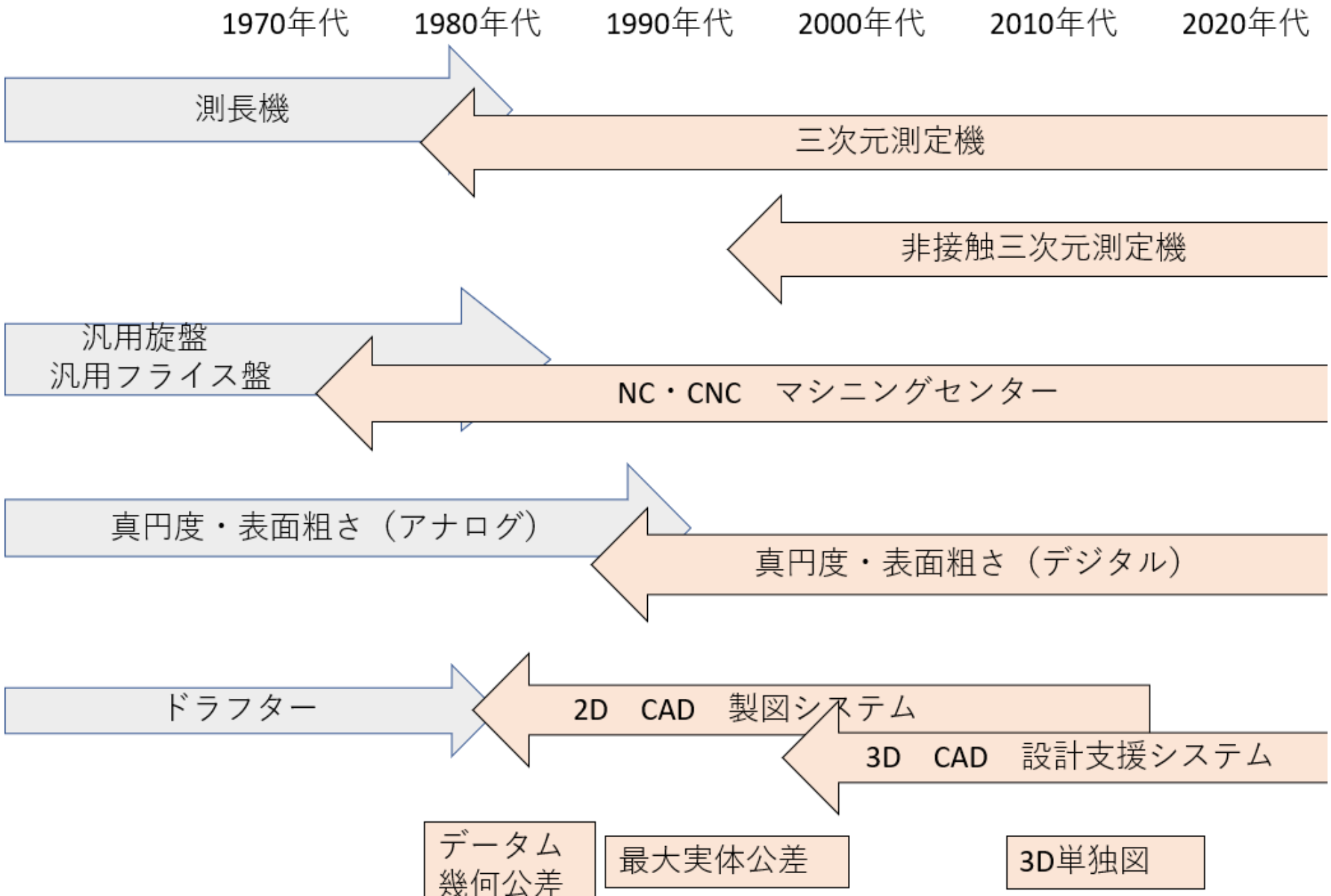
**7. 機械加工とCNC**
7.1 機械加工と工作機械
7.2 アップカットとダウンカット
7.3 直線補間（G01）と工具移動（G00）
7.4 円弧補間（G02,G03）
7.5 座標系
演習問題

**8. 穴・輪郭加工とCAM**
8.1 CAMとは
8.2 穴加工
8.3 輪郭加工
8.4 凹凸のある輪郭加工
8.5 工具径の補正（G40,G41,G42）
演習問題

**9. サーフェスとCAM**
9.1 切削点と工具軌跡
9.2 工具中心の経路
9.3 3軸加工
9.4 5軸加工
演習問題

**10. additive manufacturing(AM)**
10.1 積層造形の方法
10.2 PBFとAM
10.3 DEDとAM
演習問題

# モノづくりの変遷


1970年代
1980年代
1990年代
2000年代
2010年代
2020年代
測長機
三次元測定機
非接触三次元測定機
汎用旋盤
汎用フライス盤
NC・CNC　マシニングセンター
真円度・表面粗さ（アナログ）
真円度・表面粗さ（デジタル）
ドラフター
2D　CAD　製図システム
3D　CAD　設計支援システム
データム
幾何公差
最大実体公差
3D単独図