

機械系教科書シリーズ28

# CAD/CAM

工学博士 望月 達也 著

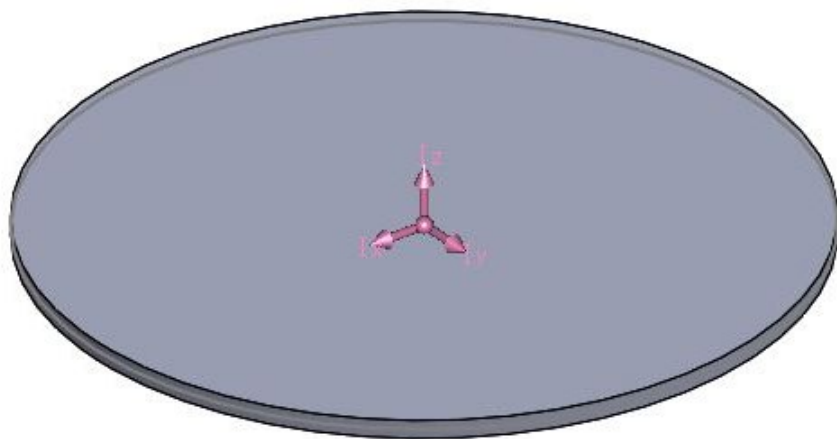
コロナ社



# 5

## 3D-CAD と力学





直径: 200 mm  
 板厚: 5 mm  
 密度:  $7.8 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$

質量特性1の質量特性:  
 コンフィギュレーション: デフォルト  
 座標系: --デフォルト--

密度 = 0.00780 grams per cubic millimeter

質量 = 1225.22113 grams

体積 = 157079.63268 cubic millimeters

表面積 = 65973.44573 square millimeters

重心: ( ミリメートル )

X = 0.00000

Y = 0.00000

Z = 0.00000

慣性主要軸と慣性主モーメント: ( grams \* square millimeters )

重心:

Ix = ( 0.00000, 0.00000, 1.00000)

Px = 3065605.38128

Iy = ( 1.00000, 0.00000, 0.00000)

Py = 3065605.38128

Iz = ( 0.00000, 1.00000, 0.00000)

Pz = 6126105.67450

慣性モーメント: ( grams \* square millimeters )

重心で計算、そして出力座標系と整列します。

Lxx = 3065605.38128

Lxy = 0.00000

Lxz = 0.00000

Lyx = 0.00000

Lyx = 6126105.67450

Lyx = 0.00000

Lzx = 0.00000

Lzy = 0.00000

Lzz = 3065605.38128

慣性モーメント: ( grams \* square millimeters )

( 出力座標系で計算 )

Ixx = 3065605.38128

Ixy = 0.00000

Ixz = 0.00000

Iyx = 0.00000

Iyy = 6126105.67450

Iyz = 0.00000

Izx = 0.00000

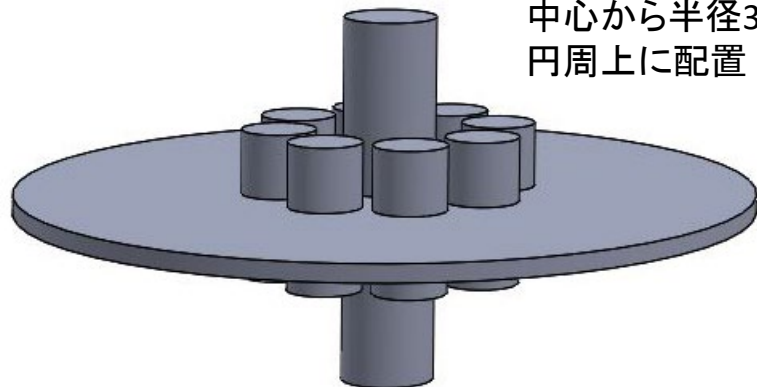
Izy = 0.00000

Izz = 3065605.38128

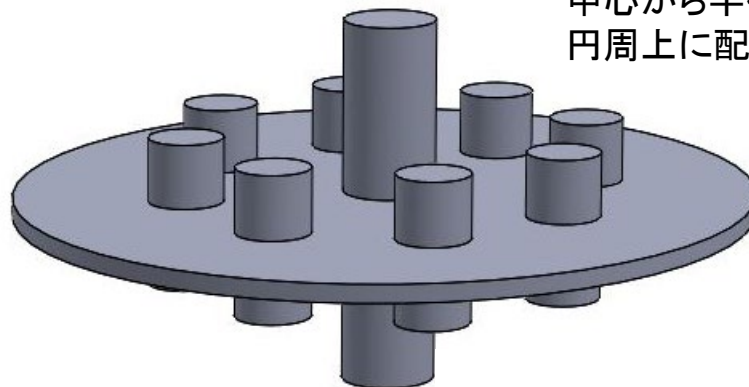
図5.1 円盤の質量特性(直径20 mm, 板厚5 mm)



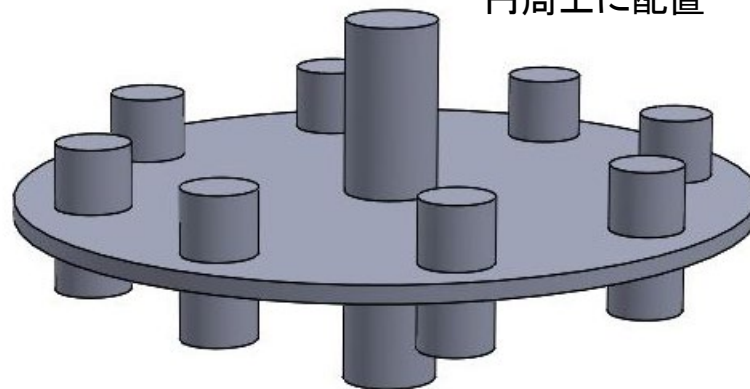
中心から半径30 mm の  
円周上に配置



中心から半径55 mm の  
円周上に配置



中心から半径80 mm の  
円周上に配置



#### 部品の構成

円盤(直径200 mm, 板厚5 mm) : 1 枚

円柱(直径25 mm, 長さ100 mm) : 1 個

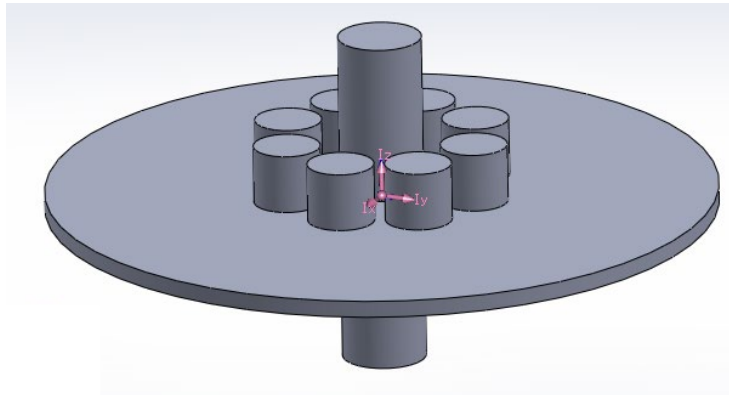
円柱(直径20 mm, 長さ40 mm) : 8 個

密度:  $7.8 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$  ( $7.8 \text{ g/cm}^3$ )

質量: 2 275.082 g

図5.2 質量特性の比較





中心から30 mm

$$Pz = Ly = Iyy = 6.806 \times 10^6 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$$

質量 = 2275.082 grams

体積 = 291677.243 cubic millimeters

表面積 = 91027.647 square millimeters

重心: (ミメータ)

X = 0.000

Y = 0.000

Z = 0.000

慣性主要軸と慣性主モーメント: (grams \* square millimeters)

重心:

$I_x = (0.000, 0.000, 1.000)$

$P_x = 3829098.821$

$I_y = (1.000, 0.000, 0.000)$

$P_y = 3829098.821$

$I_z = (0.000, 1.000, 0.000)$

$P_z = 6806340.312$

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

重心で計算、そして出力座標系と整列します。

$L_{xx} = 3829098.821$

$L_{xy} = 0.000$

$L_{xz} = 0.000$

$L_{yx} = 0.000$

$L_{yy} = 6806340.312$

$L_{yz} = 0.000$

$L_{zx} = 0.000$

$L_{zy} = 0.000$

$L_{zz} = 3829098.821$

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

(出力座標系で計算)

$I_{xx} = 3829098.821$

$I_{xy} = 0.000$

$I_{xz} = 0.000$

$I_{yx} = 0.000$

$I_{yy} = 6806340.312$

$I_{yz} = 0.000$

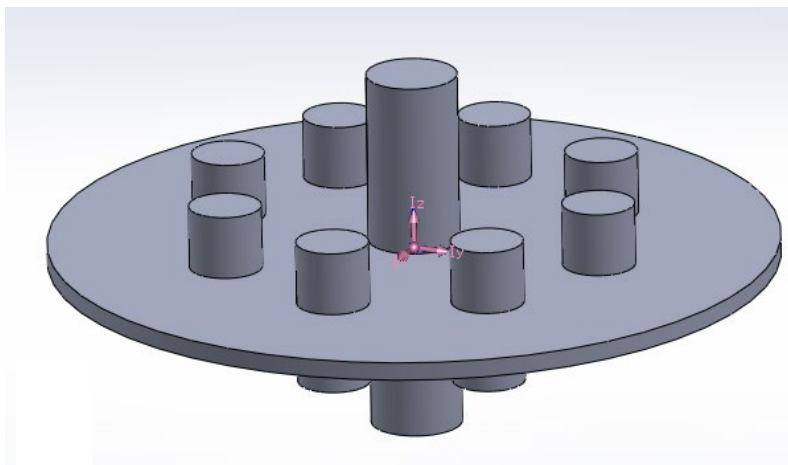
$I_{zx} = 0.000$

$I_{zy} = 0.000$

$I_{zz} = 3829098.821$

図5.3 質量特性の計算結果(続く: 1, 2)





中心から55 mm

$$Pz = Ly = Iyy = 8.264 \times 10^6 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$$

質量 = 2275.082 grams

体積 = 291677.243 cubic millimeters

表面積 = 91027.647 square millimeters

重心: (メートル)

X = 0.000

Y = 0.000

Z = 0.000

慣性主要軸と慣性主モーメント: (grams \* square millimeters)

重心:

Ix = (0.000, 0.000, 1.000)

Px = 4558105.396

Iy = (1.000, 0.000, 0.000)

Py = 4558105.396

Iz = (0.000, 1.000, 0.000)

Pz = 8264353.463

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

重心で計算、そして出力座標系と整列します。

Lxx = 4558105.396

Lxy = 0.000

Lxz = 0.000

Lyx = 0.000

Lyy = 8264353.463

Lyz = 0.000

Lzx = 0.000

Lzy = 0.000

Lzz = 4558105.396

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

(出力座標系で計算)

Ixx = 4558105.396

Ixy = 0.000

Ixz = 0.000

Iyx = 0.000

Iyy = 8264353.463

Iyz = 0.000

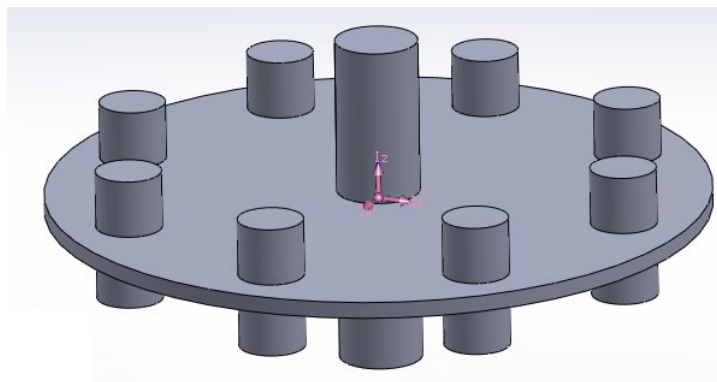
Izx = 0.000

Izy = 0.000

Izz = 4558105.396

図5.3 (続き:1)





中心から80 mm

$$Pz = Ly = Iyy = 10.580 \times 10^6 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$$

質量 = 2275.082 grams

体積 = 291677.243 cubic millimeters

表面積 = 91027.647 square millimeters

重心: (ミリメートル)

X = 0.000

Y = 0.000

Z = 0.000

慣性主要軸と慣性主モーメント: (grams \* square millimeters)

重心:

$I_x = (0.000, 0.000, 1.000)$

$P_x = 5715939.368$

$I_y = (1.000, 0.000, 0.000)$

$P_y = 5715939.368$

$I_z = (0.000, 1.000, 0.000)$

$P_z = 10580021.408$

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

重心で計算、そして出力座標系と整列します。

$L_{xx} = 5715939.368$

$L_{xy} = 0.000$

$L_{xz} = 0.000$

$L_{yx} = 0.000$

$L_{yy} = 10580021.408$

$L_{yz} = 0.000$

$L_{zx} = 0.000$

$L_{zy} = 0.000$

$L_{zz} = 5715939.368$

慣性モーメント: (grams \* square millimeters)

(出力座標系で計算)

$I_{xx} = 5715939.368$

$I_{xy} = 0.000$

$I_{xz} = 0.000$

$I_{yx} = 0.000$

$I_{yy} = 10580021.408$

$I_{yz} = 0.000$

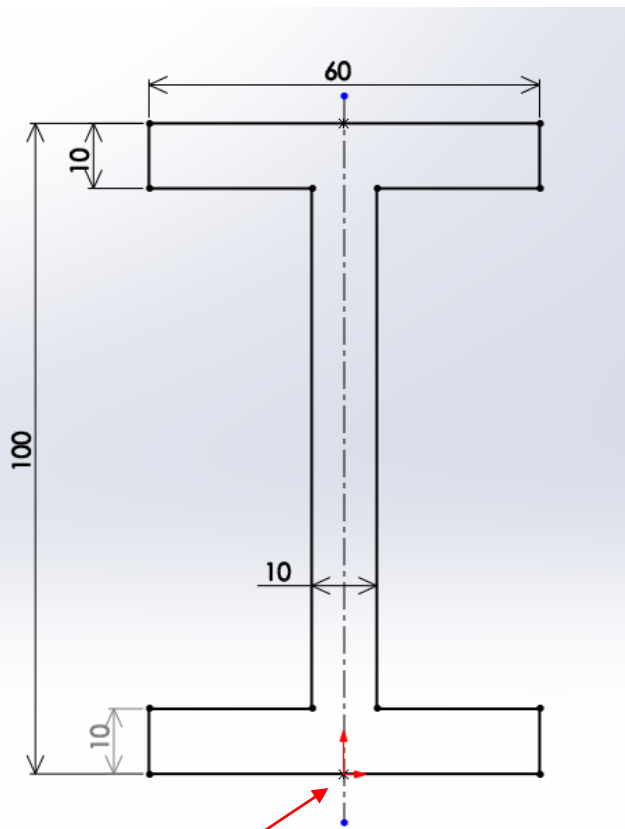
$I_{zx} = 0.000$

$I_{zy} = 0.000$

$I_{zz} = 5715939.368$

図5.3 (続き:2)





原点(0,0,0)

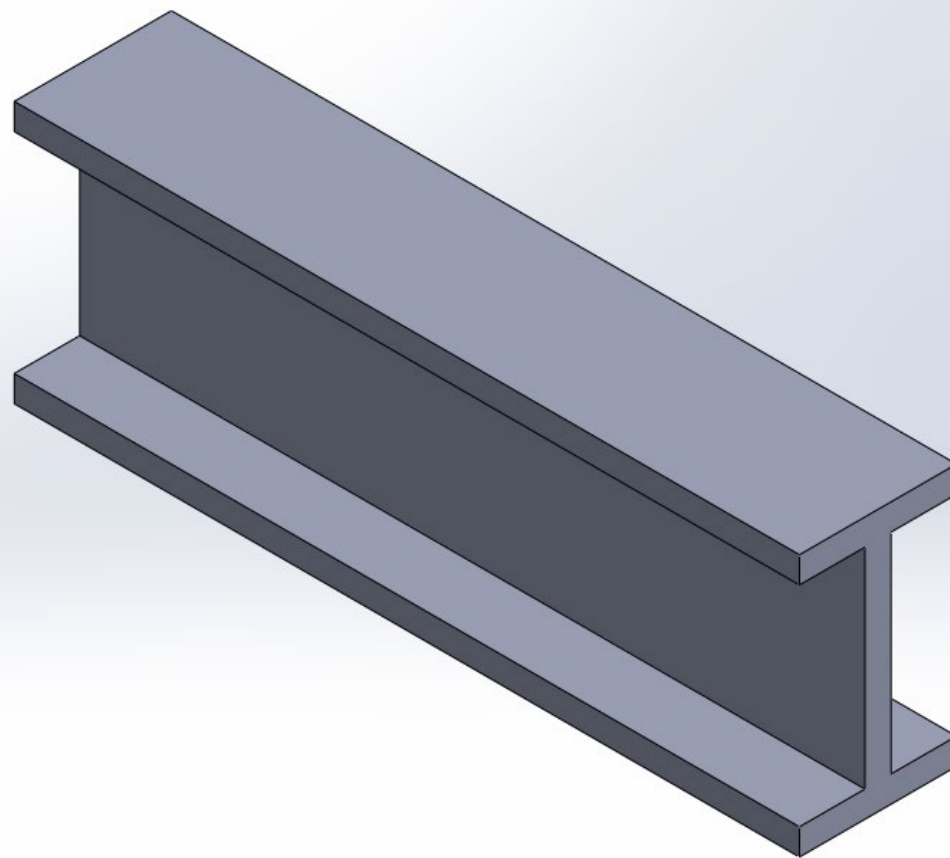
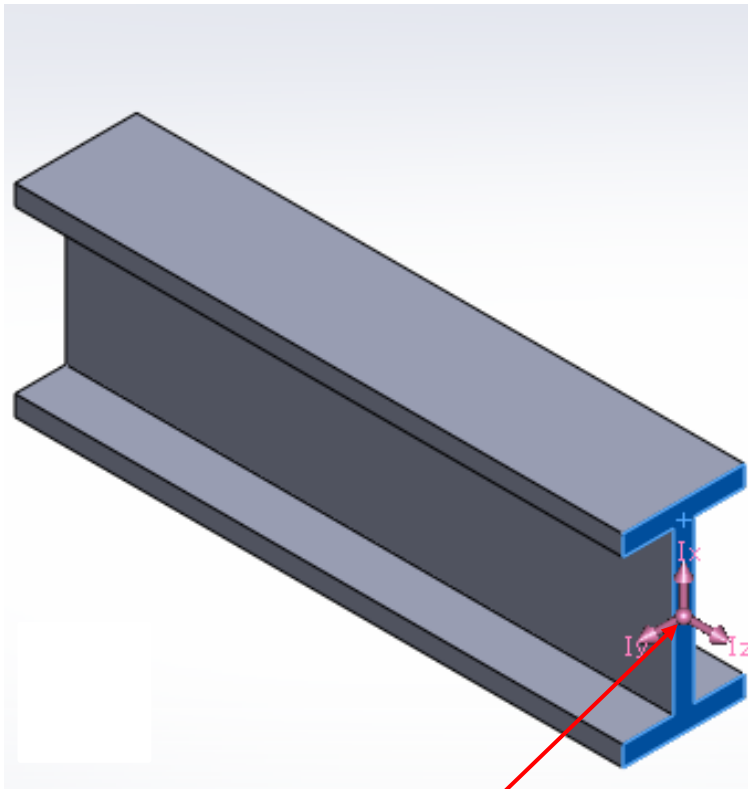


図5.4 「I」形状の梁







(0,50,0)

面積 = 2000.00 ミリメートル<sup>2</sup>

出力座標系の原点に対する重心: (ミリメートル)

X = 0.00  
Y = 50.00  
Z = 0.00

中心点における断面二次モーメント: (ミリメートル<sup>4</sup>)

Lxx = 3233333.33	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 366666.67	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 2866666.67

中心点における断面二次極モーメント = 3233333.33 ミリメートル<sup>4</sup>

主軸と部分軸までの角度 = -0.00 度

中心点における断面二次主モーメント: (ミリメートル<sup>4</sup>)

Ix = 366666.67  
Iy = 2866666.67

出力座標系における断面二次モーメント: (ミリメートル<sup>4</sup>)

LXX = 8233333.33	LXY = 0.00	LXZ = 0.00
LYX = 0.00	LYY = 366666.67	LYZ = 0.00
LZX = 0.00	LZY = 0.00	LZZ = 7866666.67

図5.5 「I」形状の梁の断面特性の計算結果



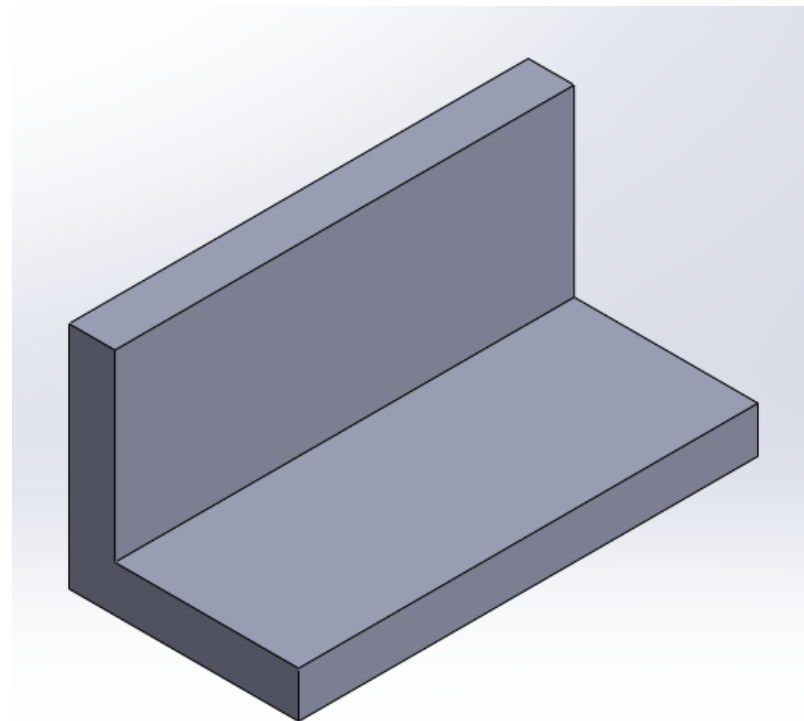
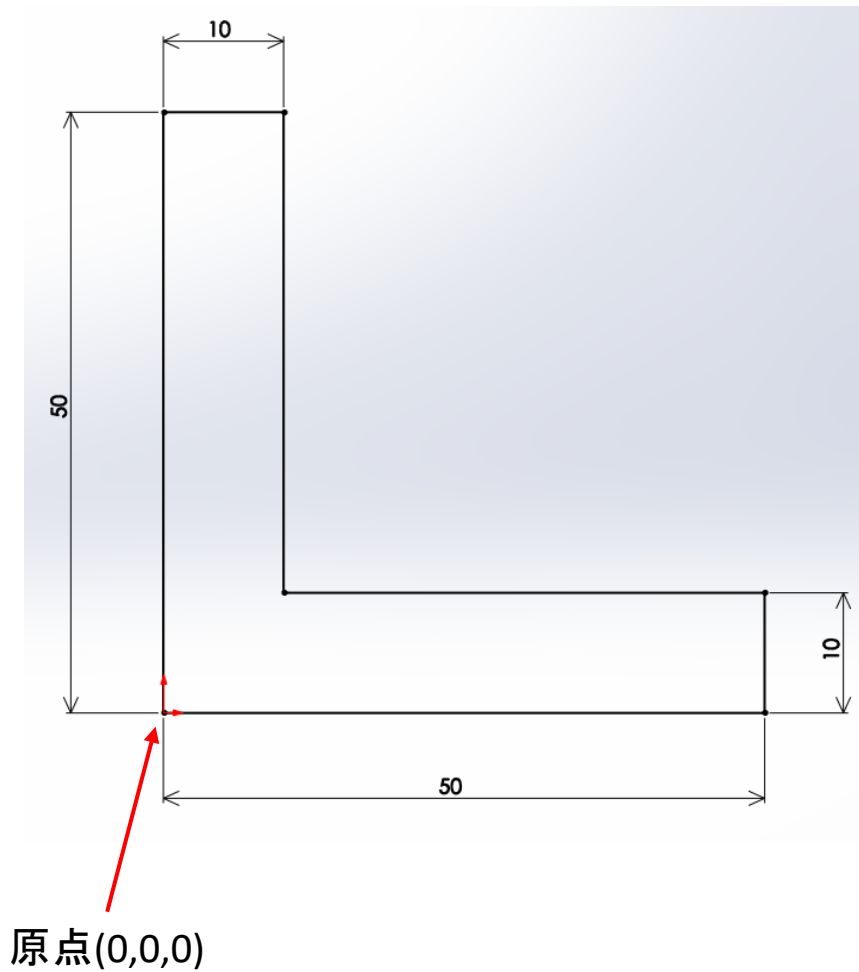
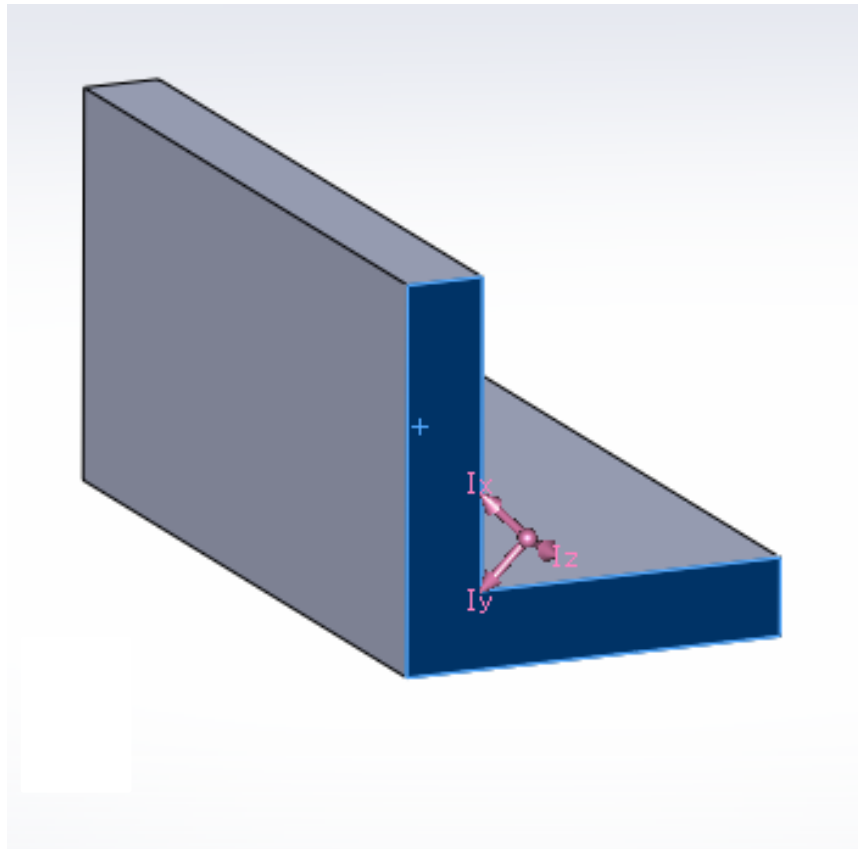


図5.6 「L」形状の梁





面積 = 900.00 シンメータ<sup>2</sup>

出力座標系の原点に対する重心: (シンメータ)

X = 16.11  
Y = 16.11  
Z = 0.00

中心点における断面二次モーメント: (シンメータ<sup>4</sup>)

Lxx = 196388.89	Lxy = 111111.11	Lxz = 0.00
Lyx = 111111.11	Lyy = 196388.89	Lyx = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 392777.78

中心点における断面二次極モーメント = 392777.78 シンメータ<sup>4</sup>

主軸と部分軸までの角度 = 135.00 度

中心点における断面二次主モーメント: (シンメータ<sup>4</sup>)

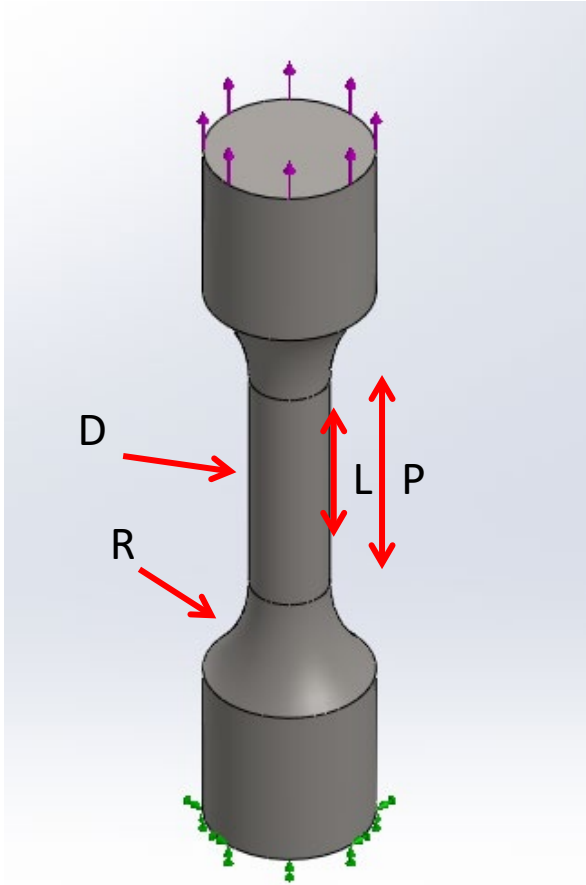
Ix = 85277.78  
Iy = 307500.00

出力座標系における断面二次モーメント: (シンメータ<sup>4</sup>)

LXX = 430000.00	LXY = 122500.00	LXZ = 0.00
LYX = 122500.00	LYY = 430000.00	LYZ = 0.00
LZX = 0.00	LZY = 0.00	LZZ = 860000.00

図5.7 「L」形状の梁の断面特性の計算結果





解析条件

材 料:炭素鋼

縦弾性係数(ヤング率):  $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

ポアソン比: 0.28

材料モデル: 等方性材料

拘束条件: 底面を完全固定

荷重条件: 上面に力10 000 N(方向: 上)

直 径(D) :  $\phi 14 \text{ mm}$

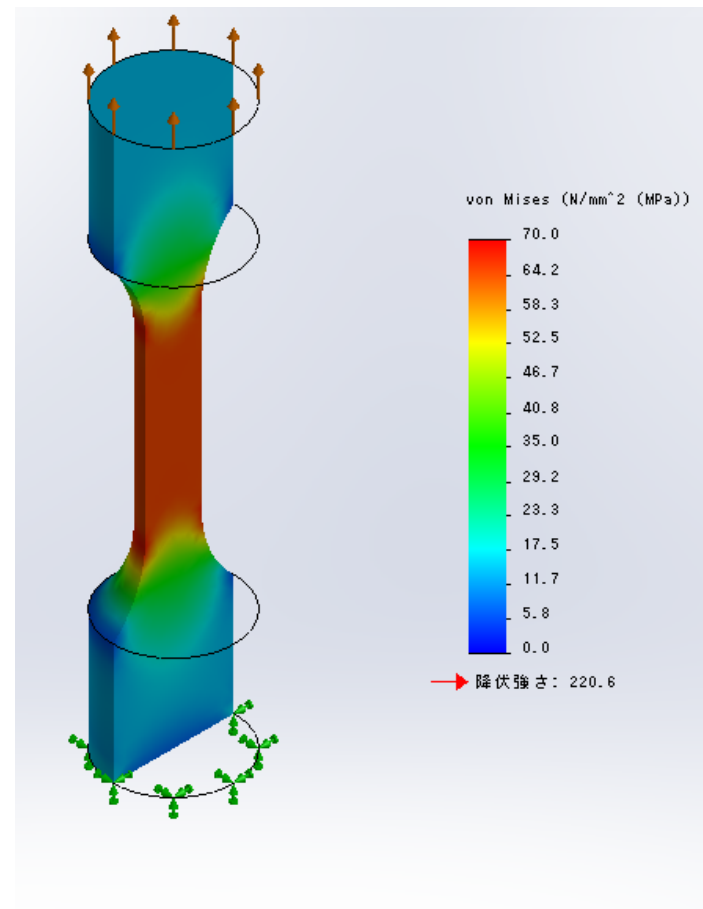
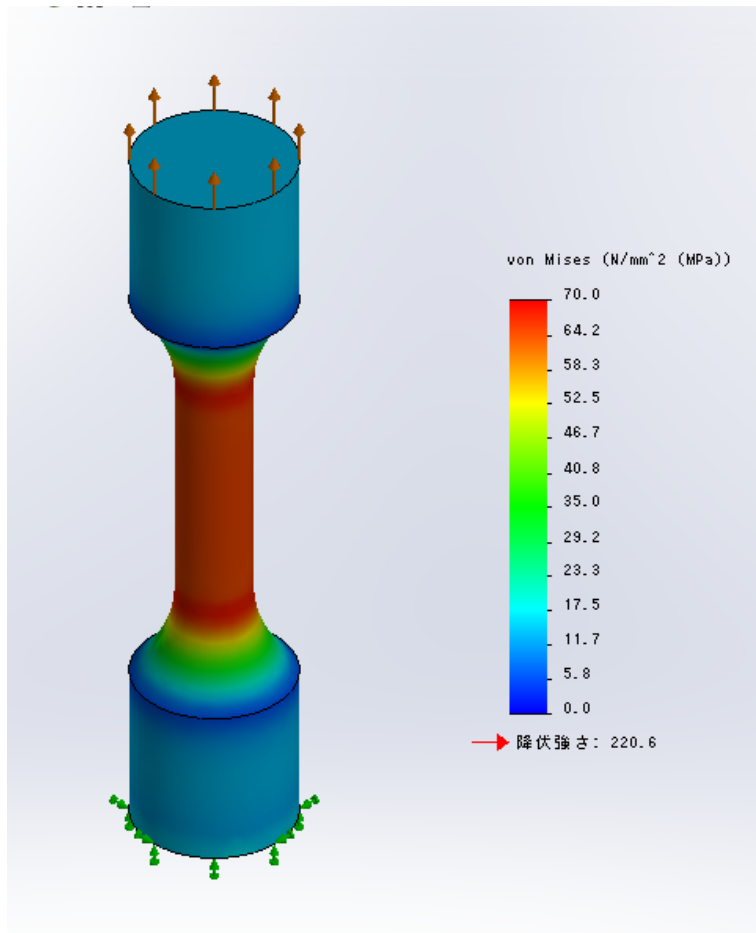
標点距離(L) : 50 mm

平行部の長さ(P) : 約60 mm

肩部の半径(R) : 15 mm

図 5.8 【例題1】JIS 4 号試験片

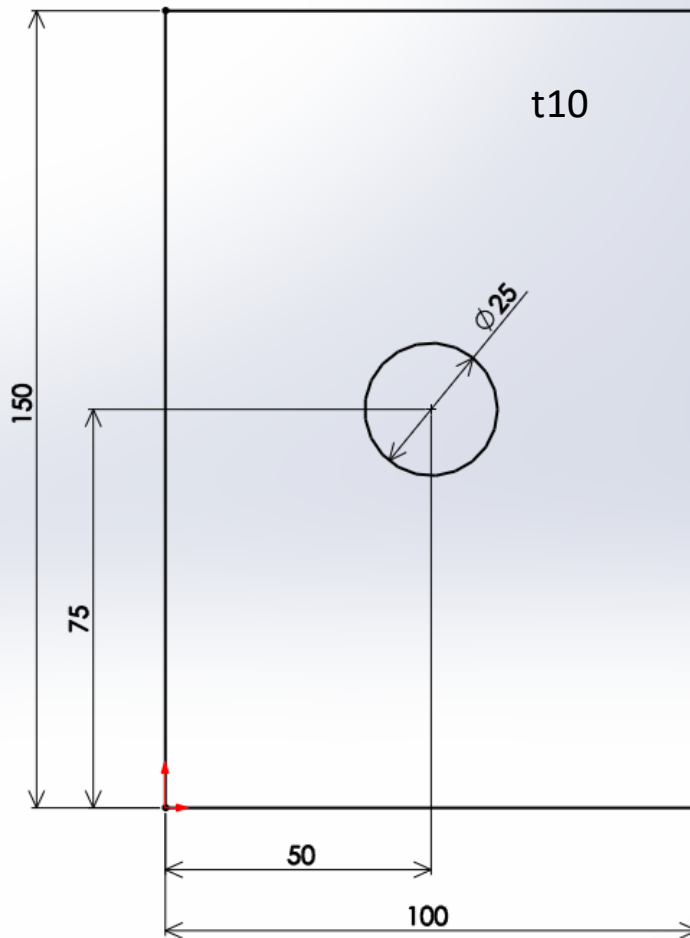




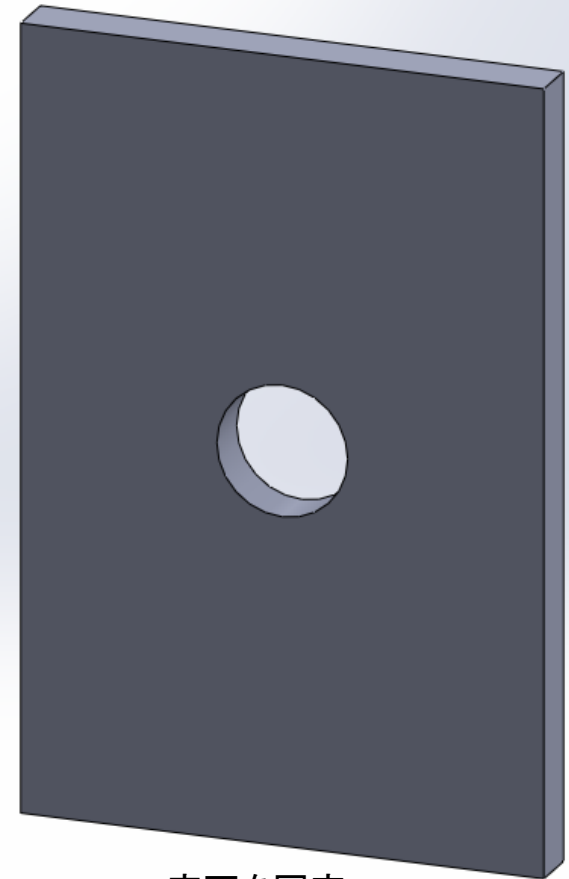
引張応力 65MPa (力10,000N/断面積153.86mm<sup>2</sup>)

図5.9 解析結果(ミーゼス応力)





上面に上向きに50 000 N の力を作用させる



底面を固定

材料 : 炭素鋼  
 弾性係数 :  $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$   
 ポアソン比 : 0.28  
 材料モデル : 等方性材料

図5.10 【例題2】円孔のある平板



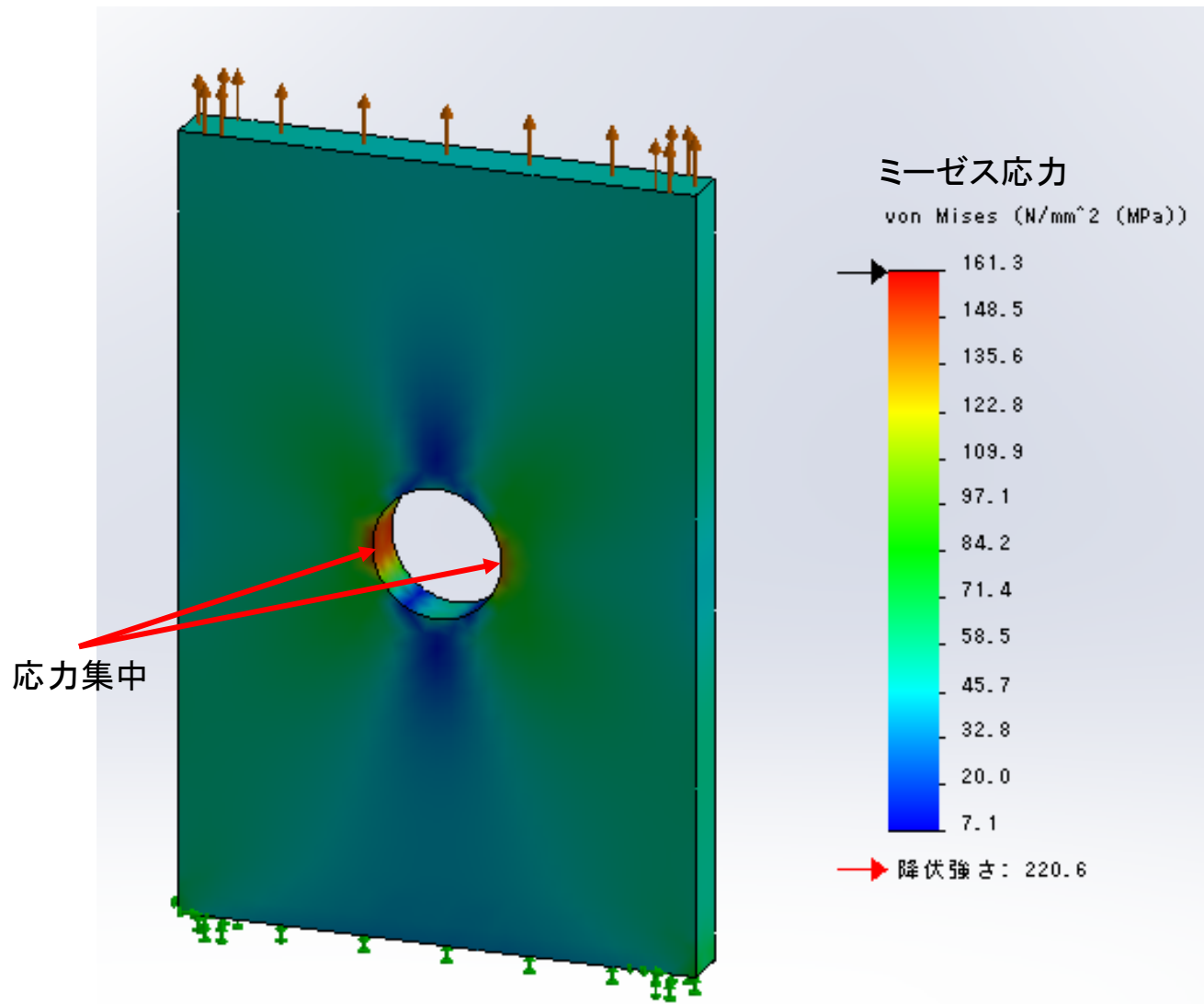
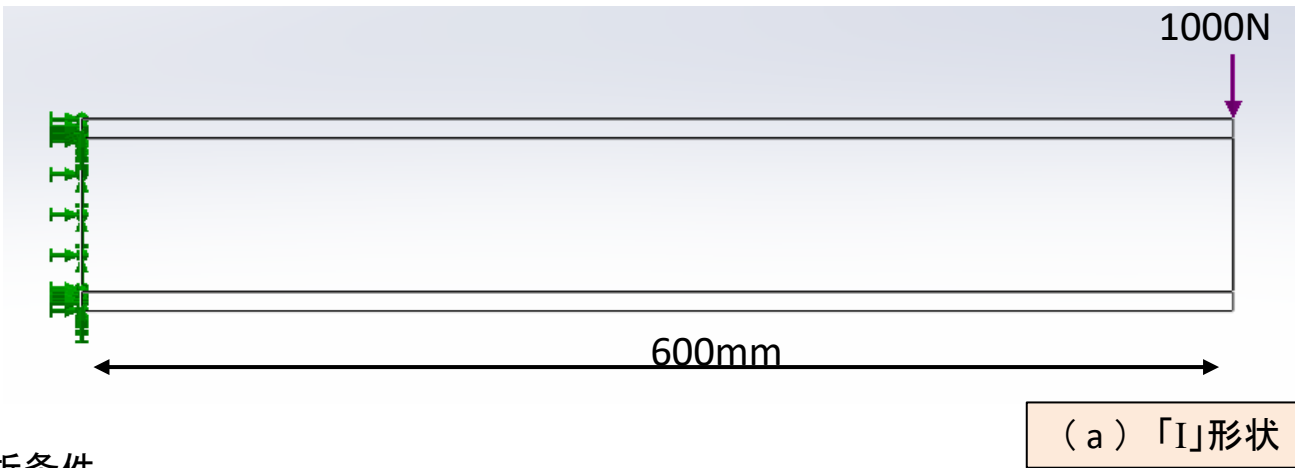


図5.11 解析結果(ミーゼス応力)





解析条件

材料:炭素鋼 縦弾性係数(ヤング率):  $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$   
 ポアソン比:0.28

材料モデル:等方性材料

拘束条件 :梁の左側面を完全固定

荷重条件 :梁の右側面に1000 Nの集中荷重(荷重は下向き)

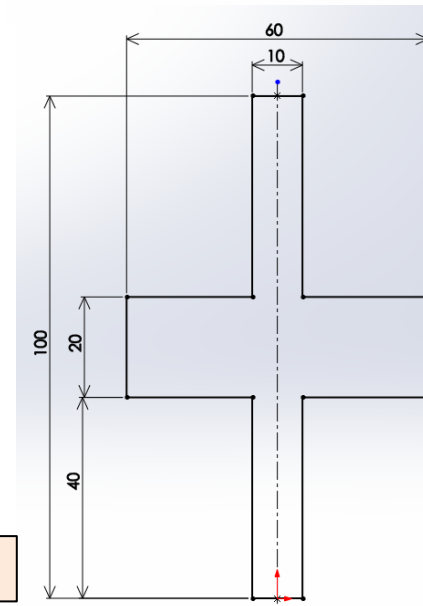
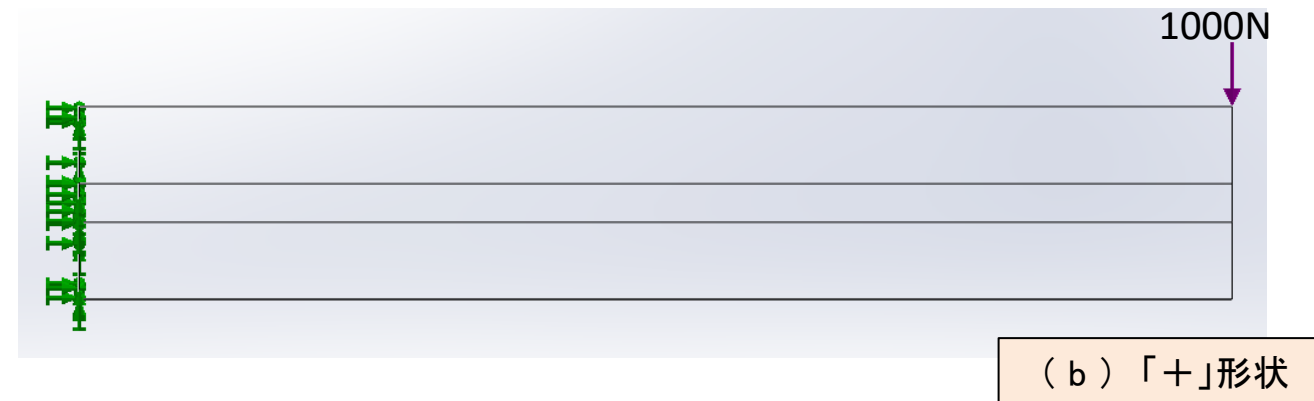
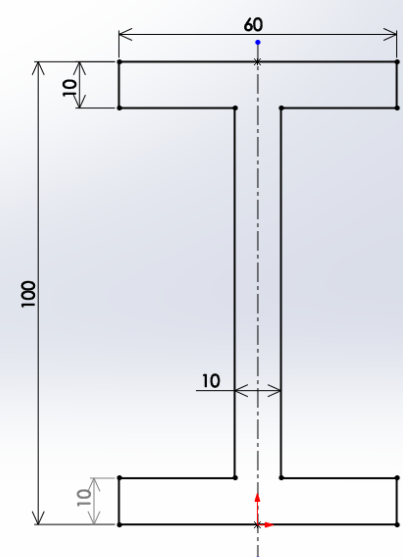
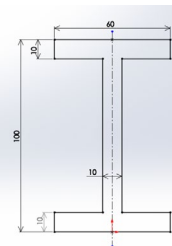


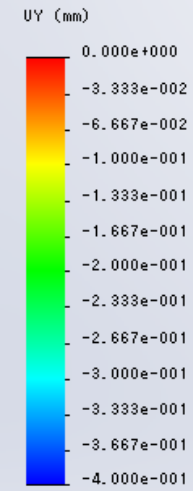
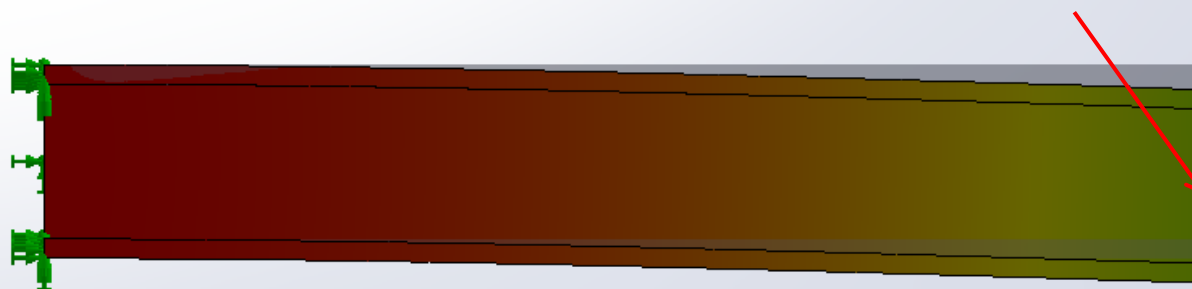
図5.12 【例題3】断面二次モーメントの比較





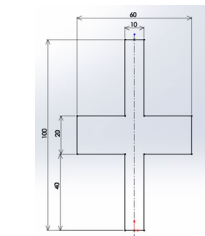


(X,Y,Z)=(0,50,600)における  
Y方向の変位 -0.1207mm

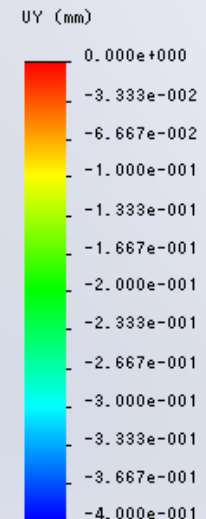
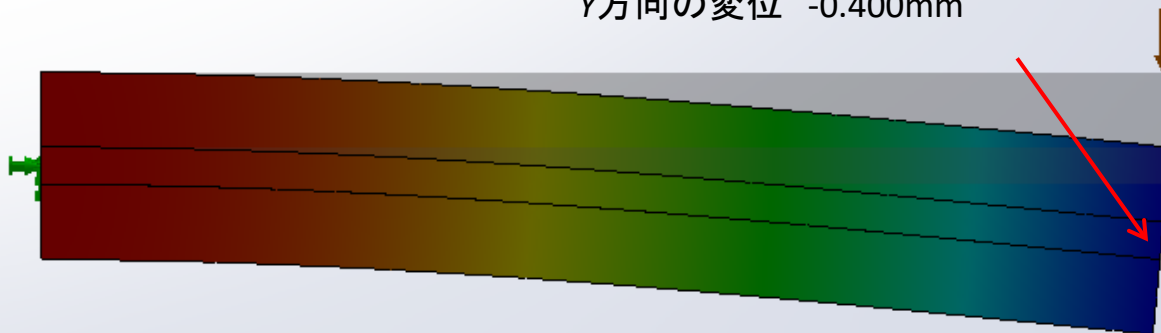


(a) 「I」形状

片持ち梁の計算 (たわみ;0.120mm)



(X,Y,Z)=(0,50,600)における  
Y方向の変位 -0.400mm



(b) 「+」形状

片持ち梁の計算 (たわみ;0.396mm)

図5.13 線形静解析を実行した解析結果(Y方向の変位)



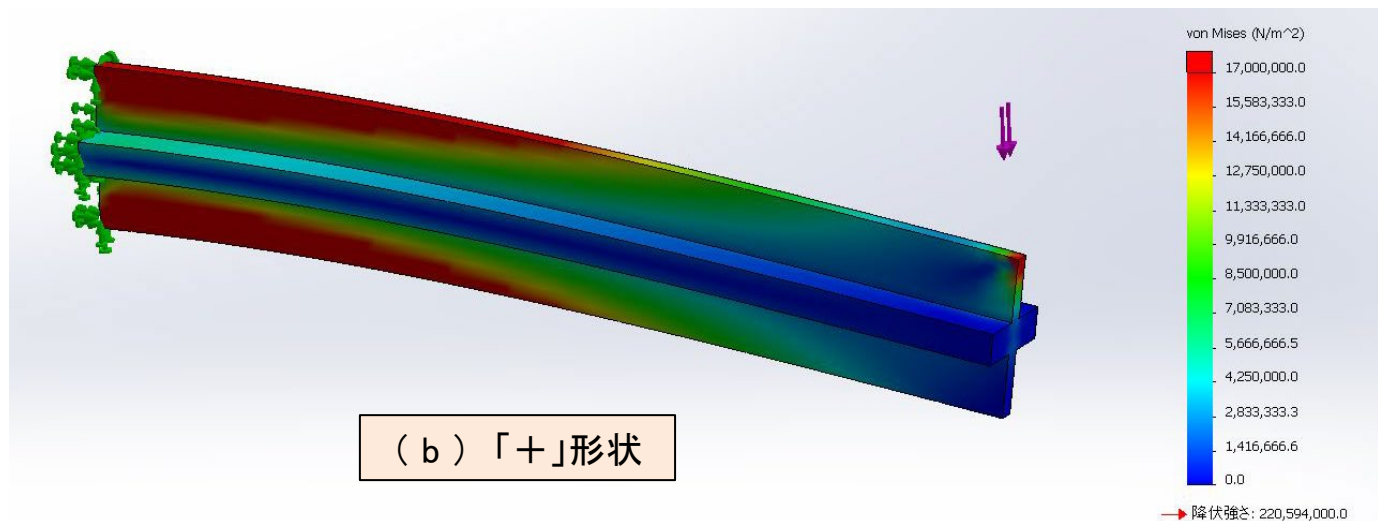
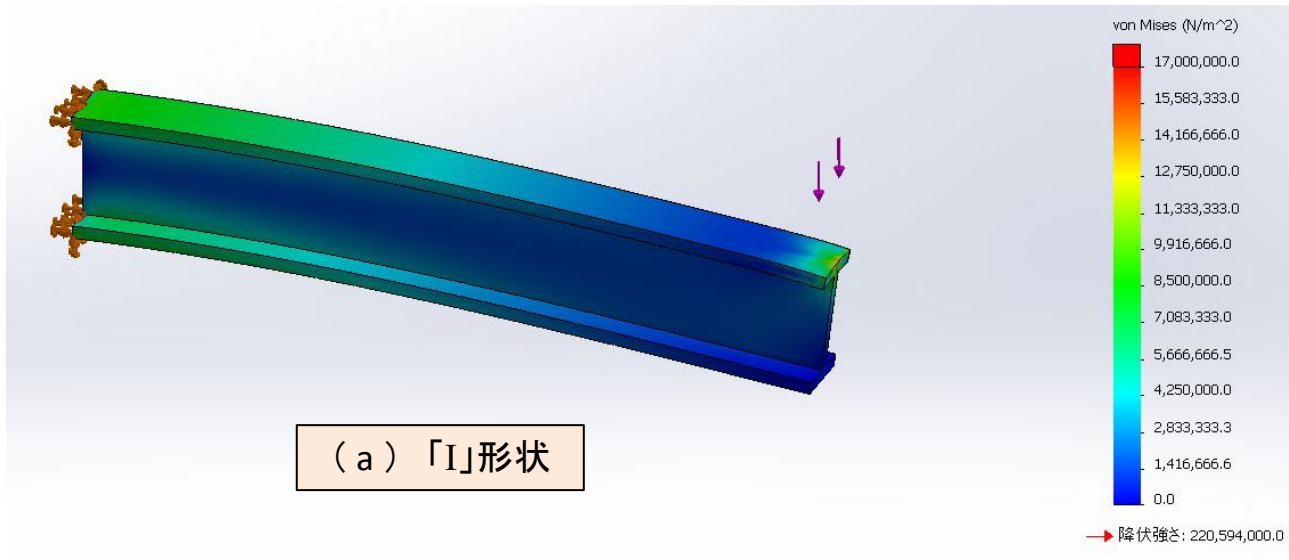
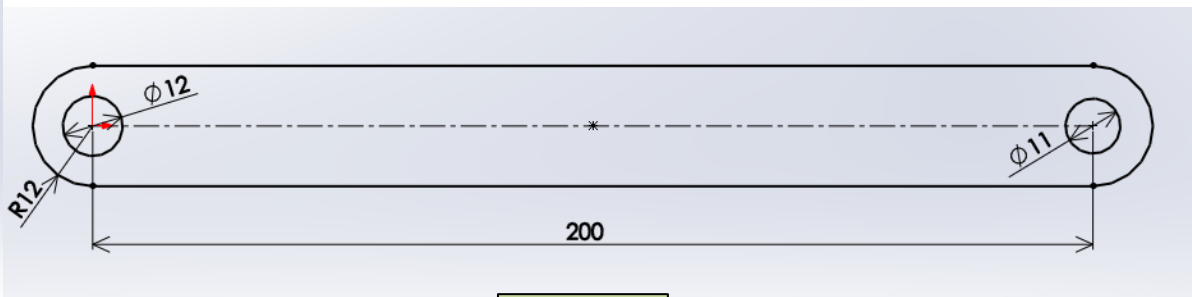
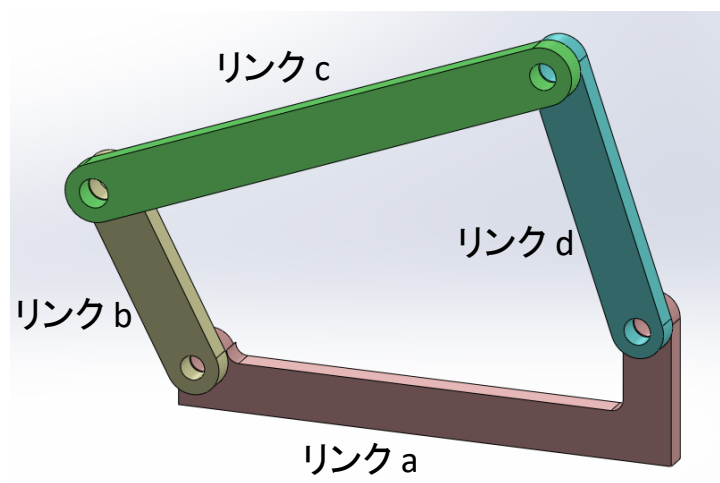
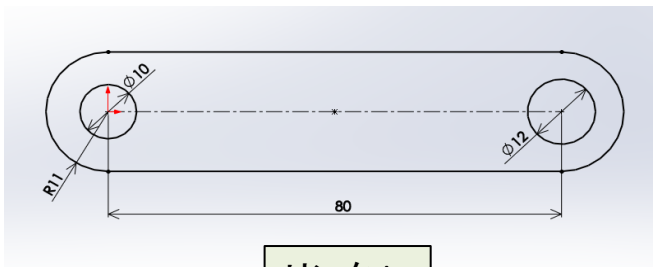


図5.14 解析結果(ミーゼス応力)

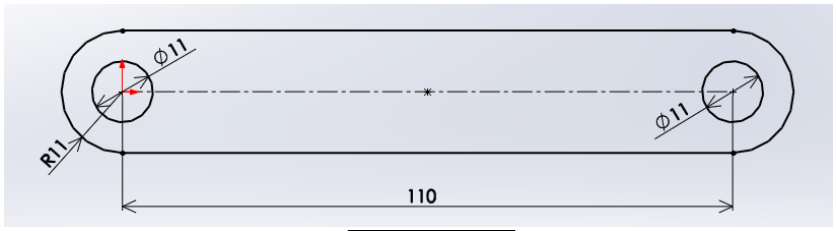




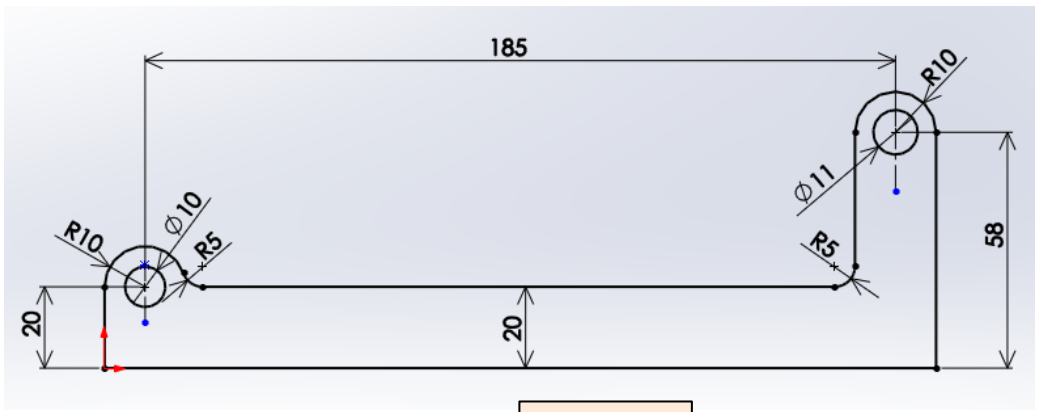
リンク c



リンク b



リンク d



リンク a

図5.15 4 節リンクの形状(例1)



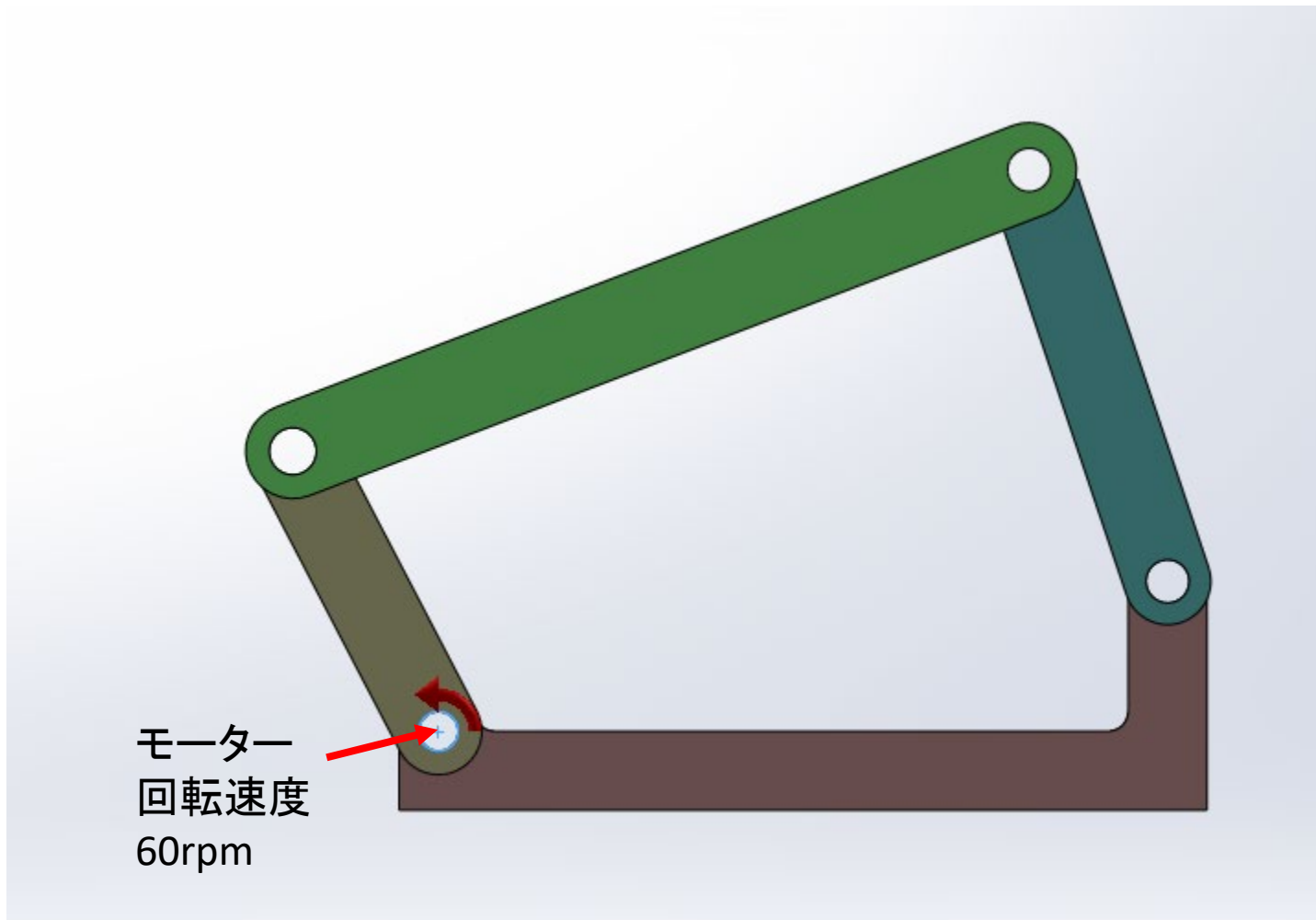


図5.16 モーターの定義



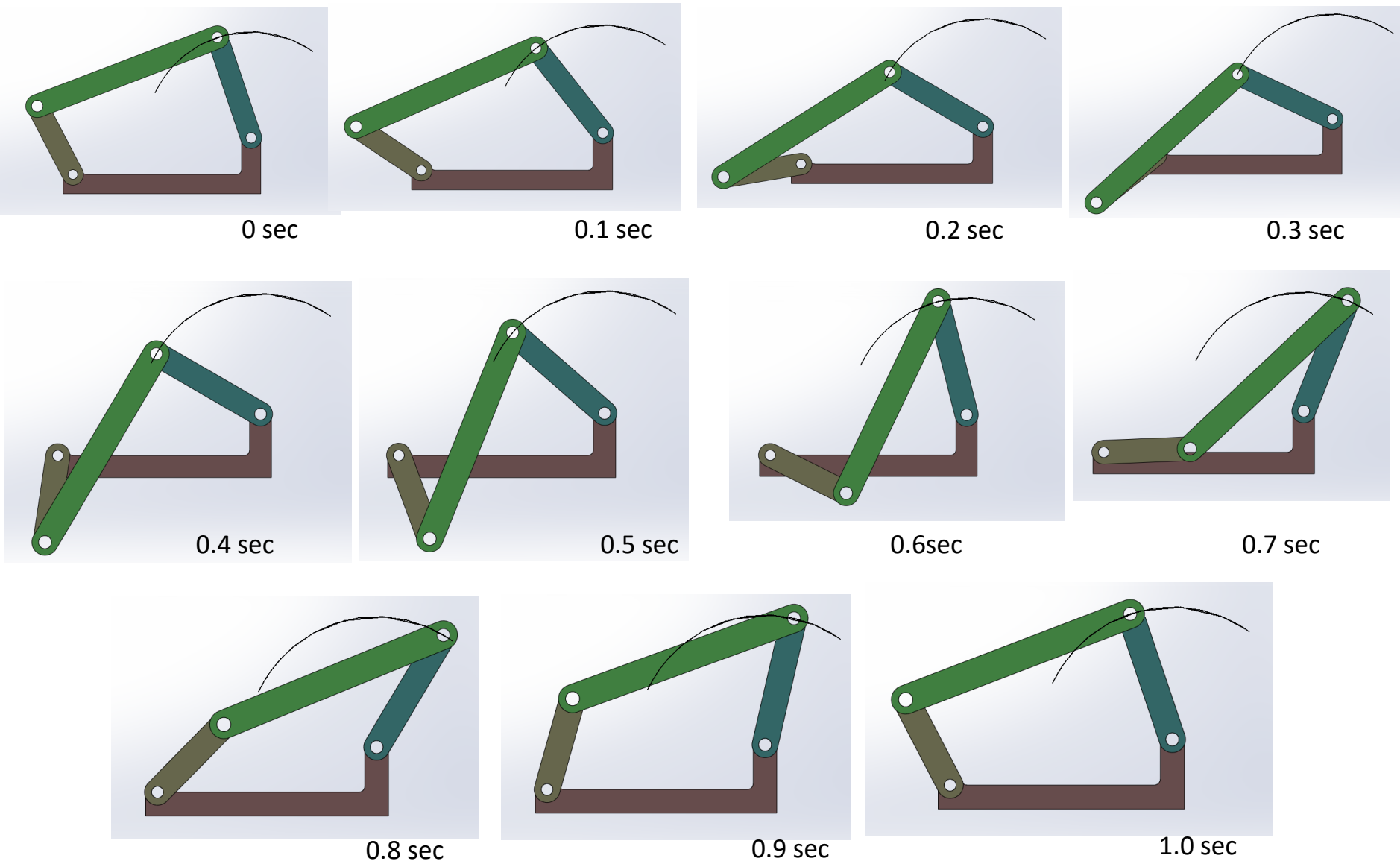
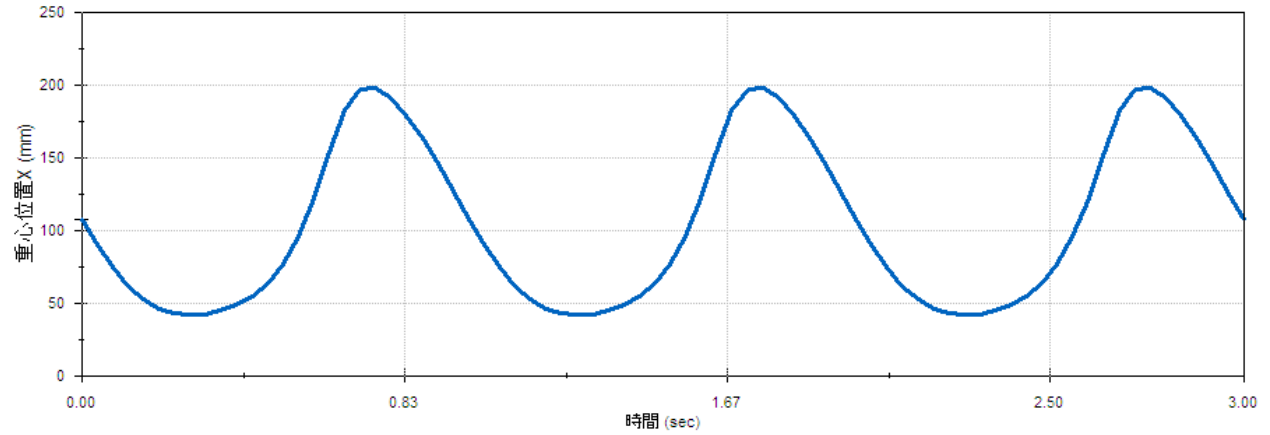


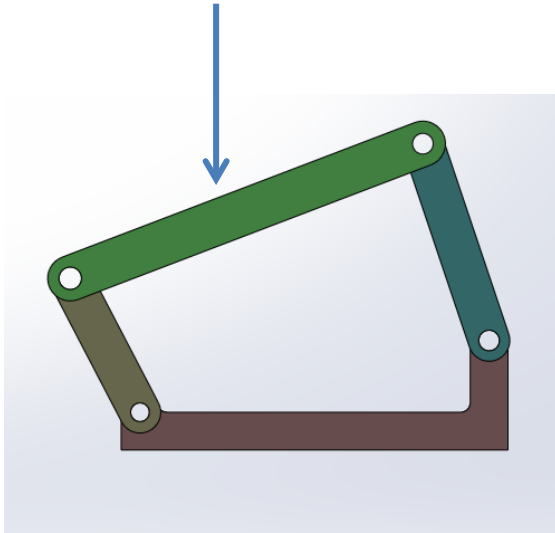
図5.17 機構解析の実行結果



リンクC 重心位置 X方向



リンクCの重心の移動



リンクC 重心位置 Y方向

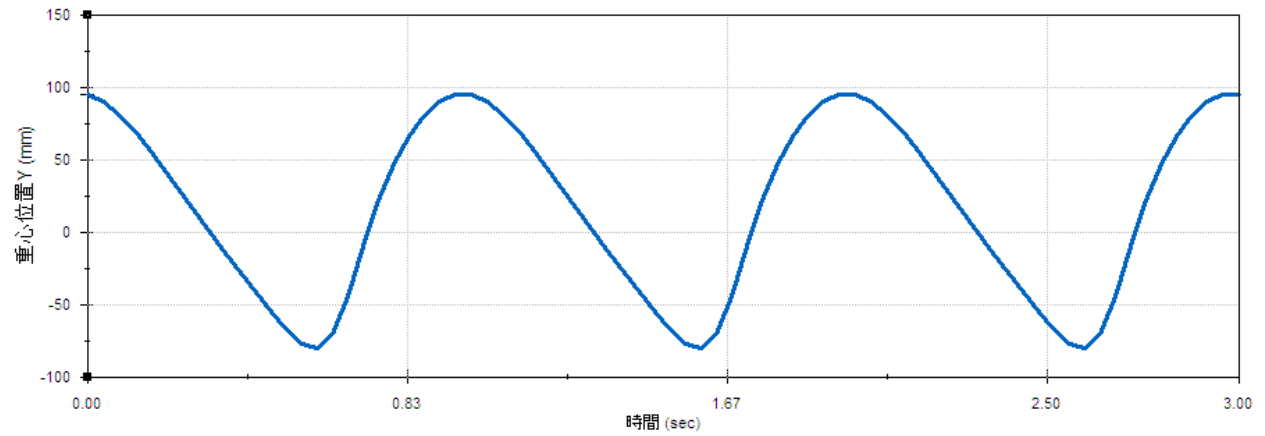
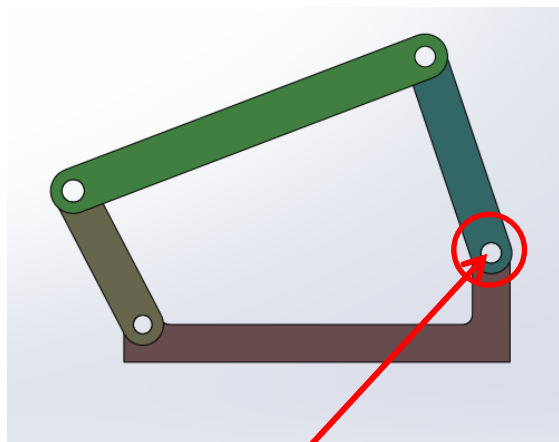


図5.18 リンクCの重心位置の移動





リンクdの角度、角速度、角加速度

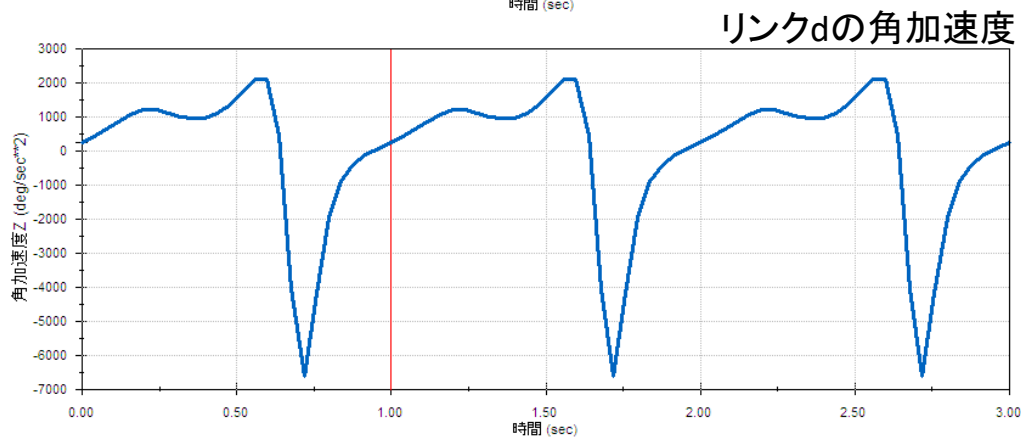
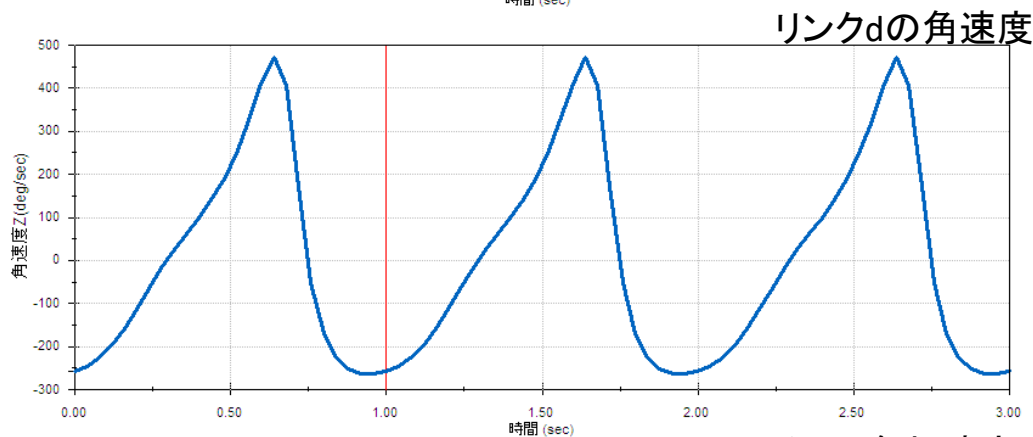
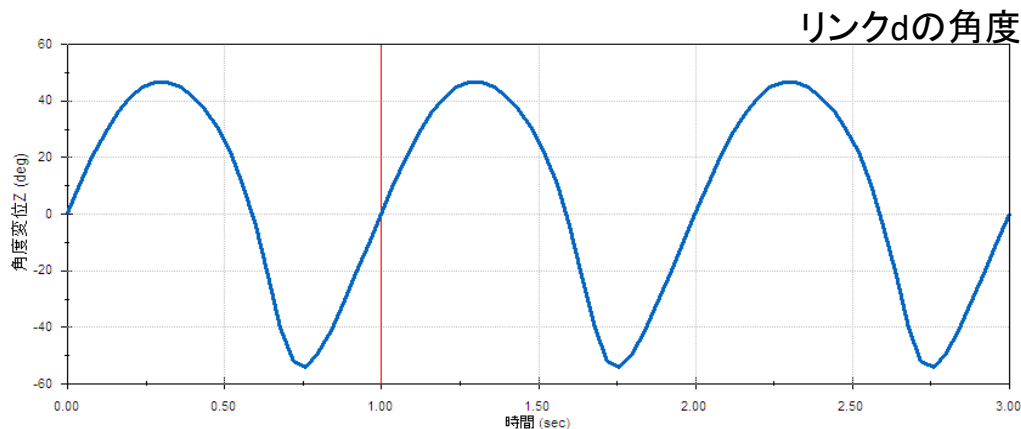


図5.19 リンクd の角度、角速度、角加速度の変化



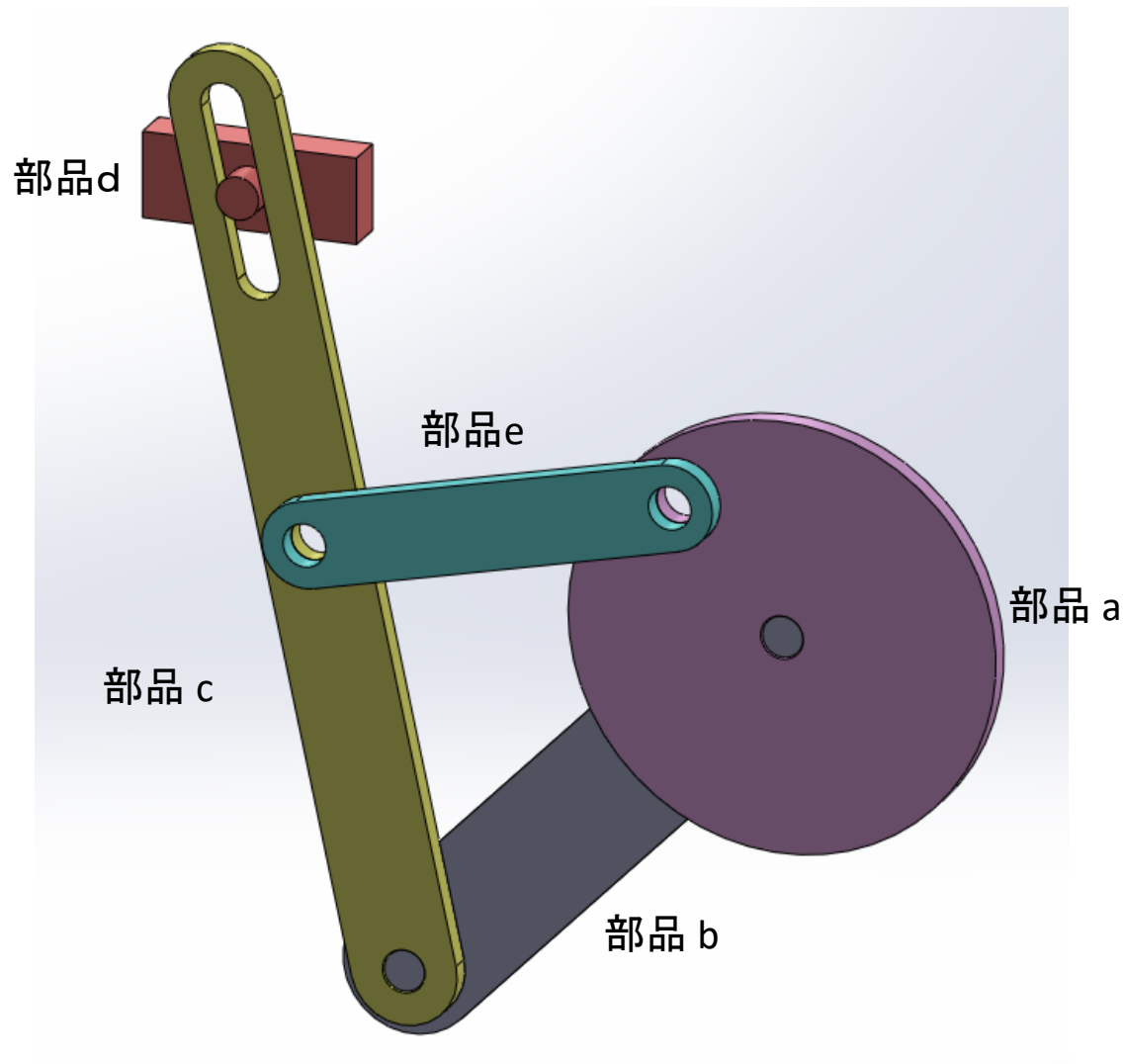
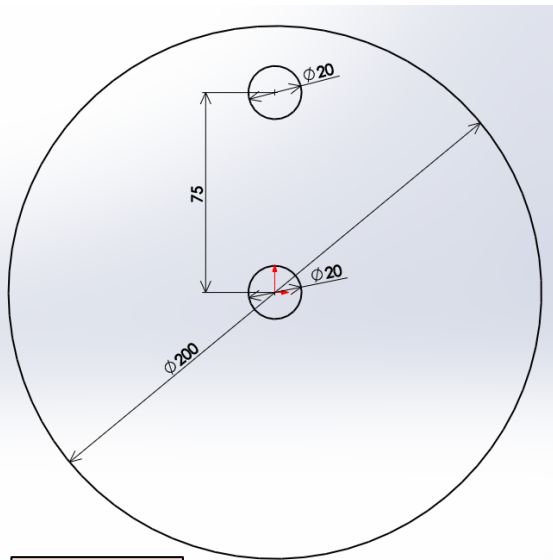


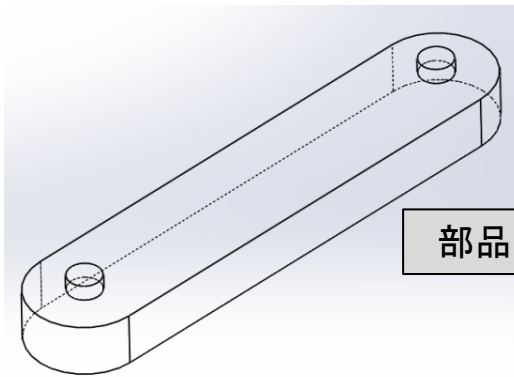
図5.20 4 節リンクの形状(例2)



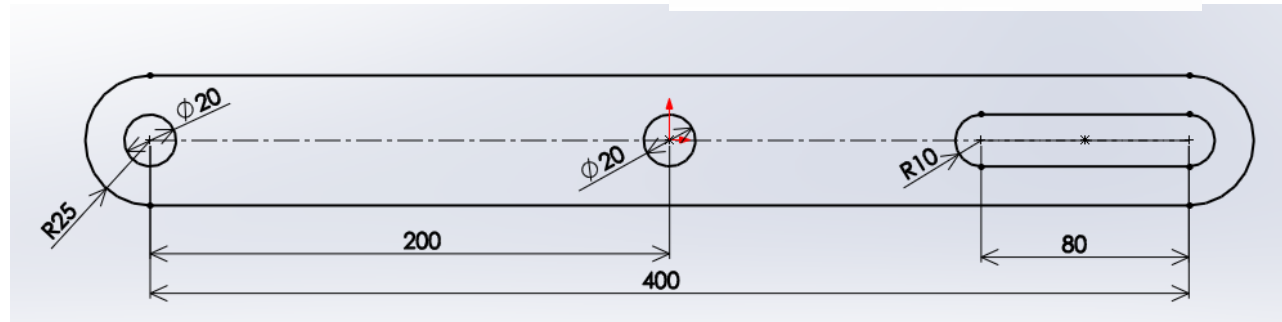
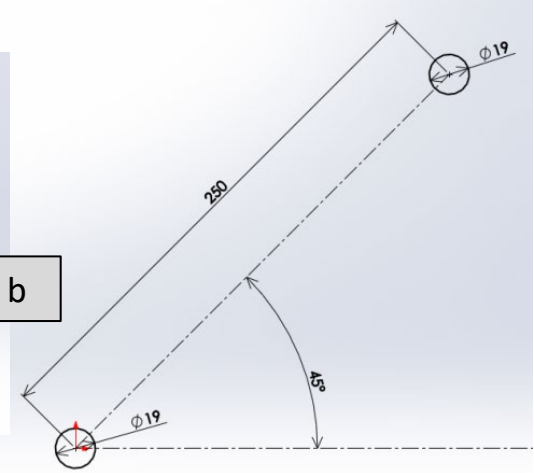




部品 a

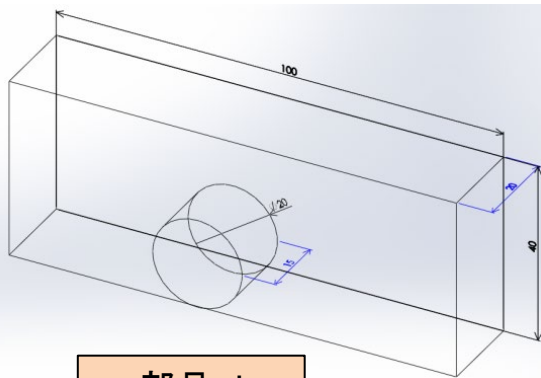


部品 b

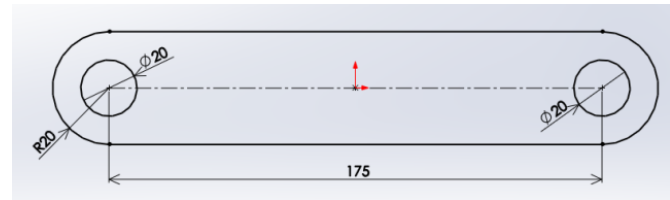


部品 c

図5.21 4節リンクの各 부품の形状と寸法



部品 d



部品 e



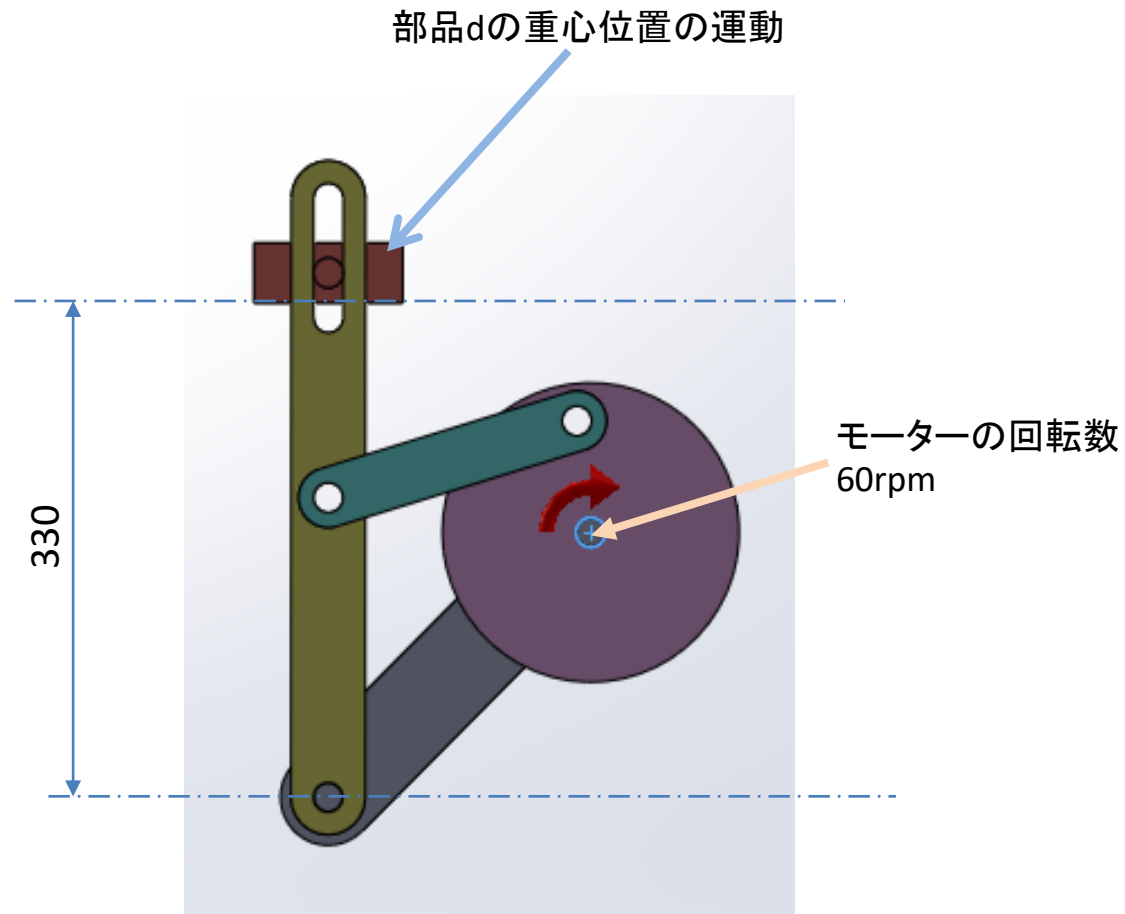


図5.22 部品d の取付けとモーターの回転



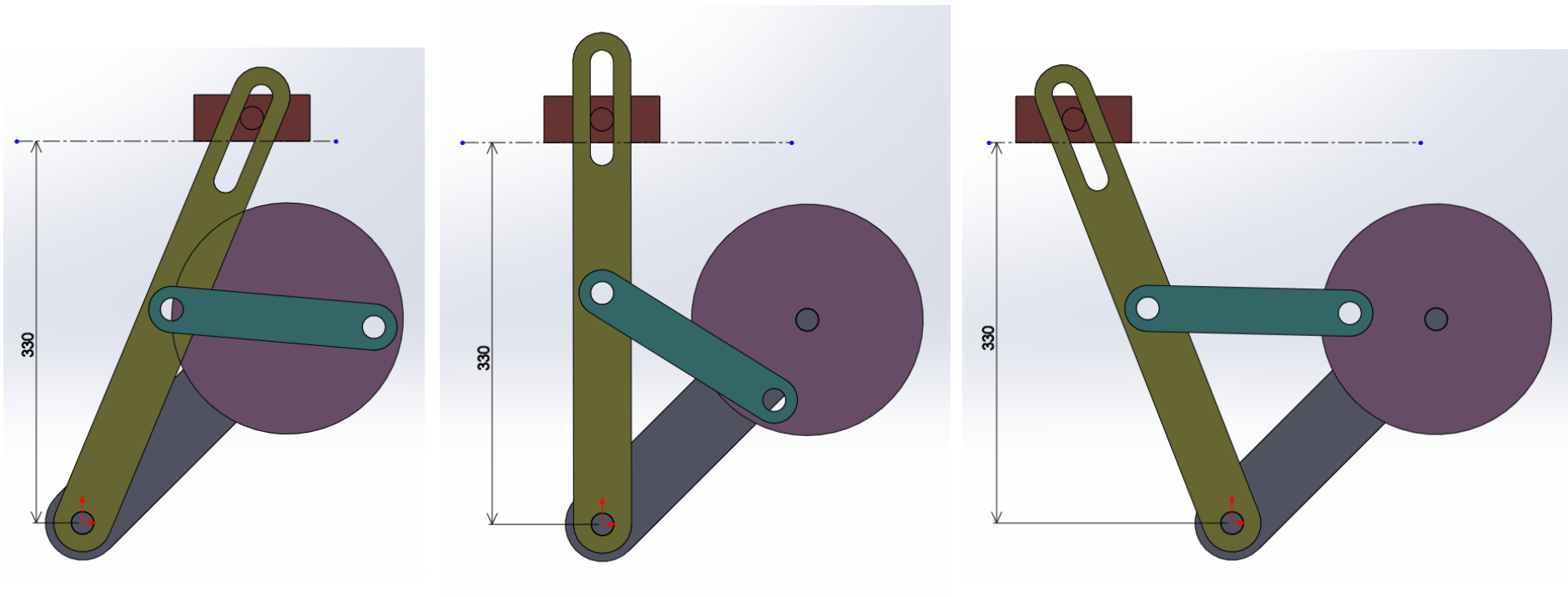
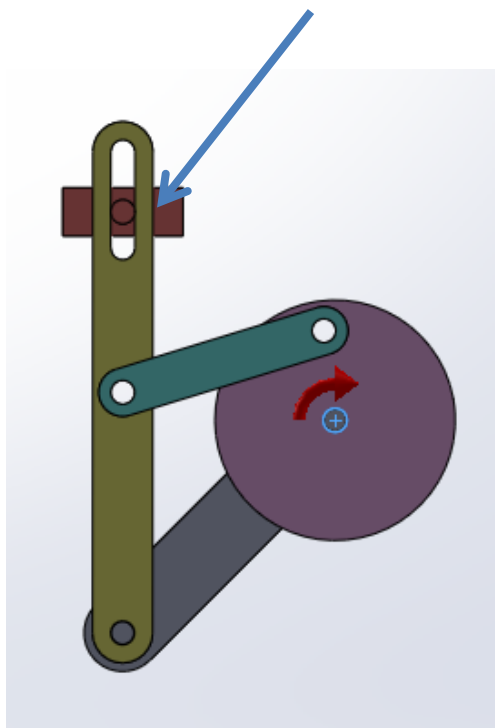


図5.23 リンク機構の動き



部品dの重心位置の運動



モーターの回転数 60rpm

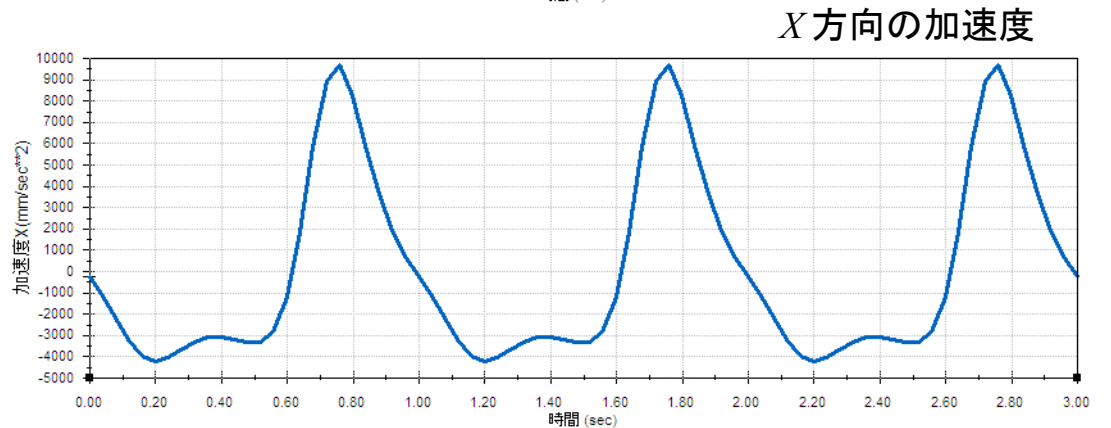
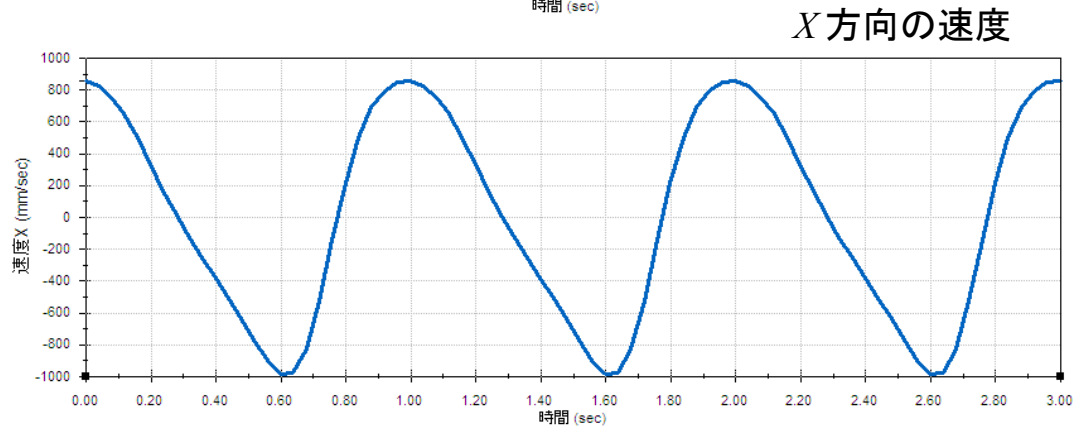
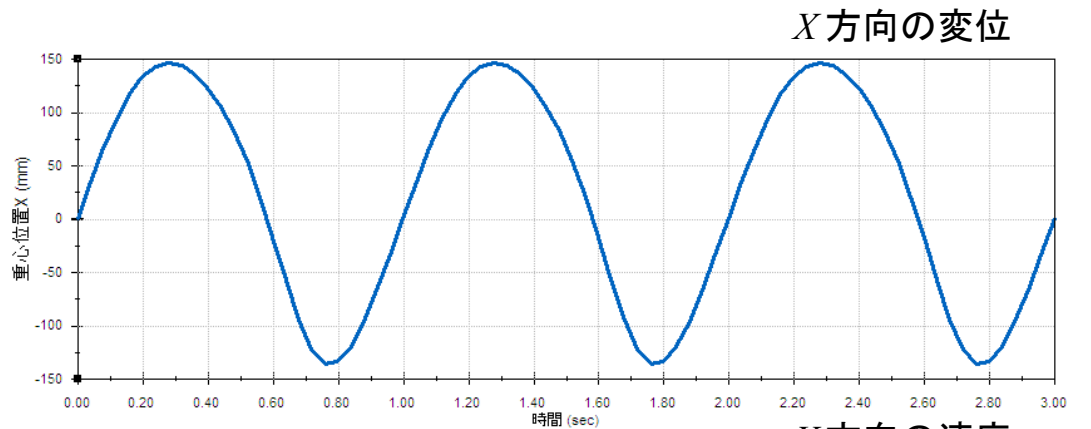


図5.24 部品dの重心位置の動き  
(X方向の変位, 速度, 加速度)



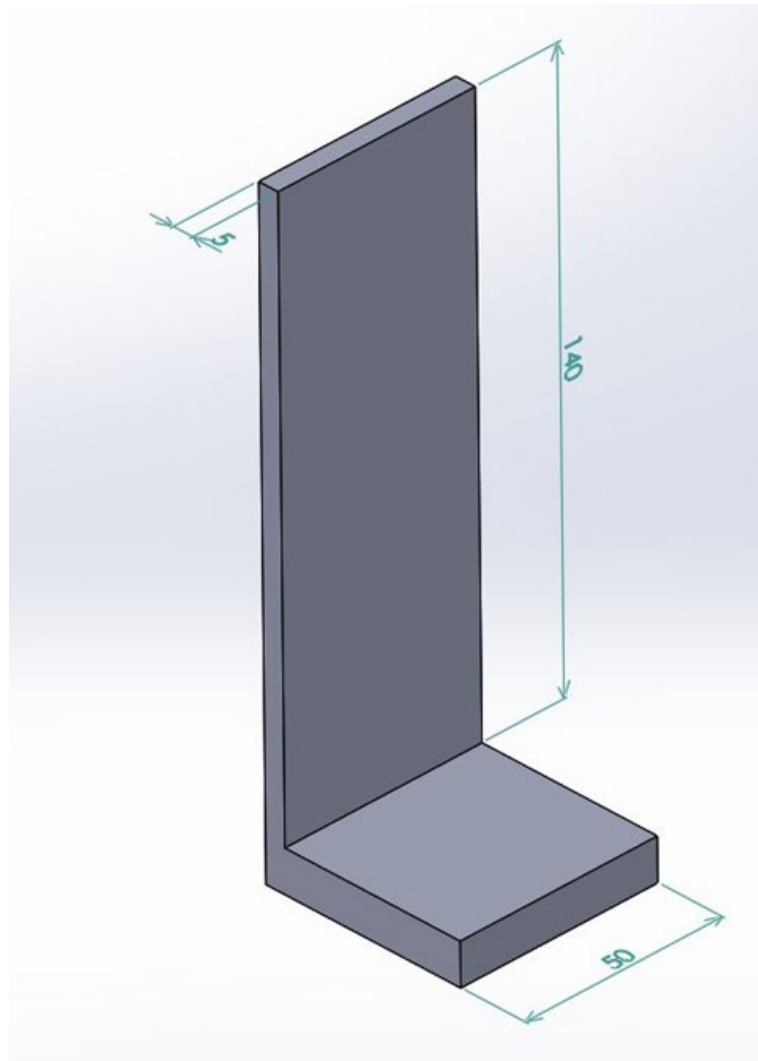


図5.25 解析モデル例 (L字スタンド)



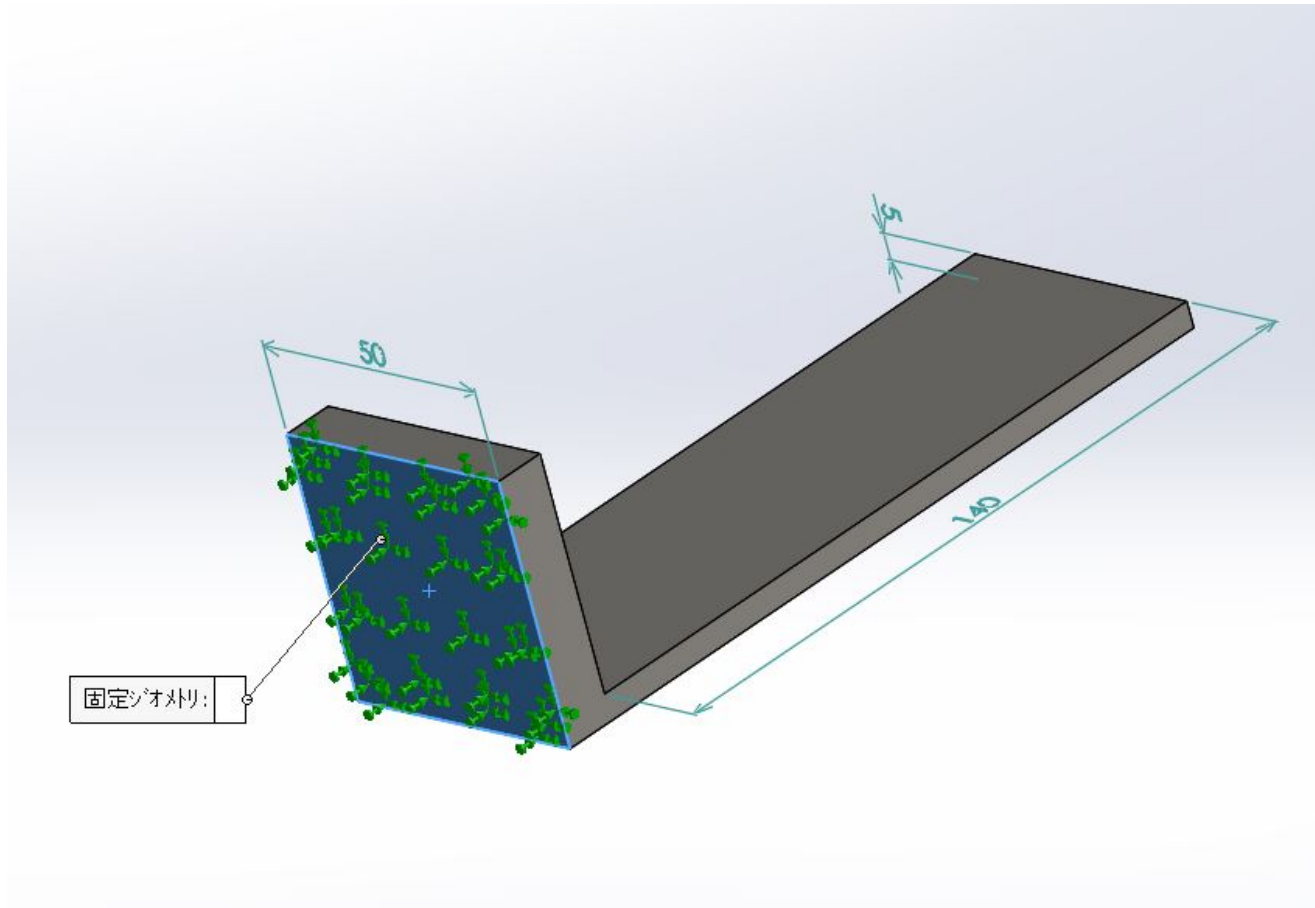
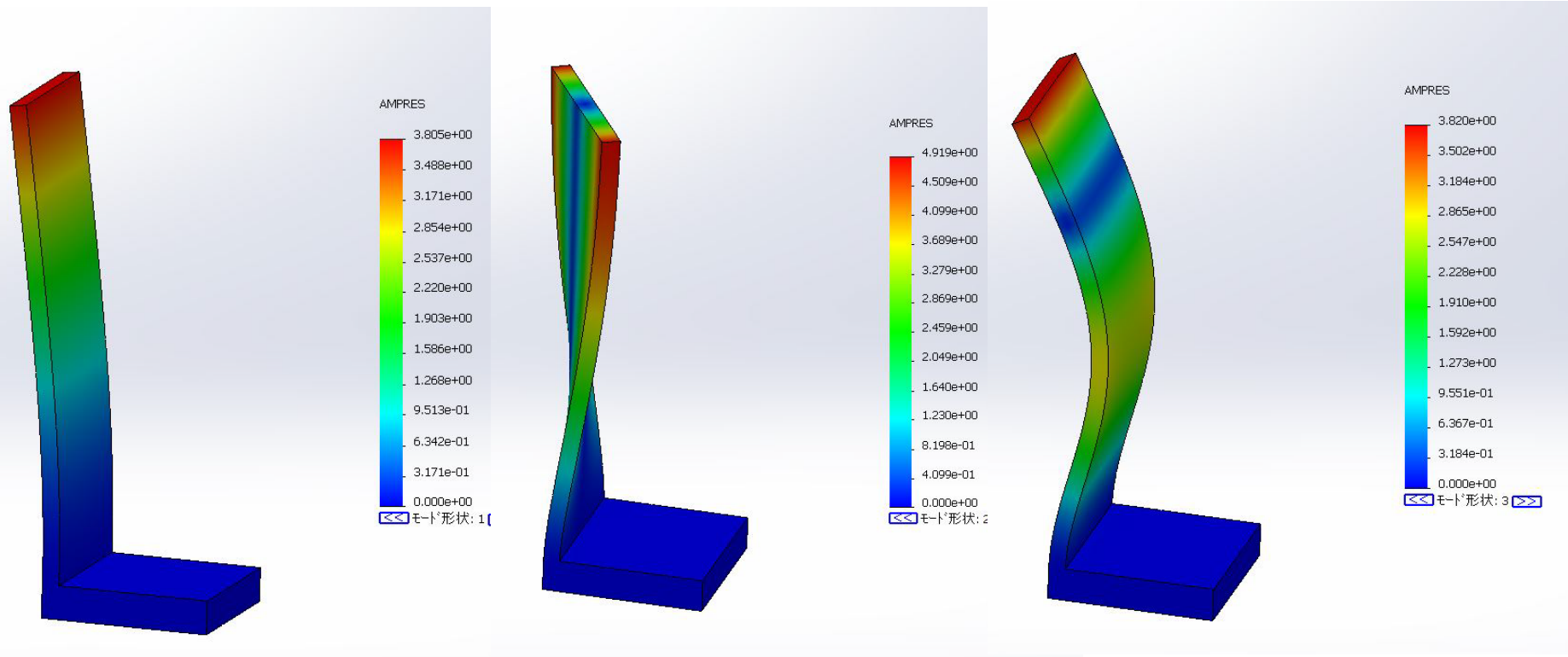


図5.26 拘束条件





( 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)

図5.27 固有値解析の結果



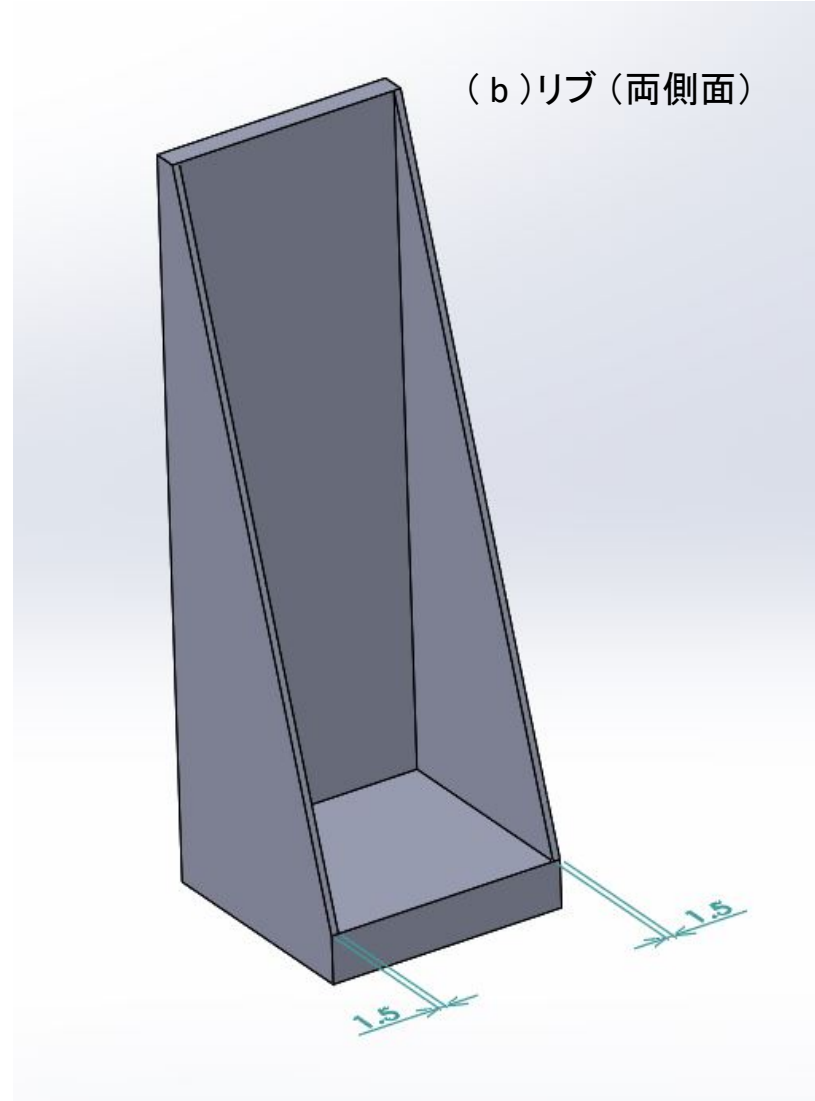
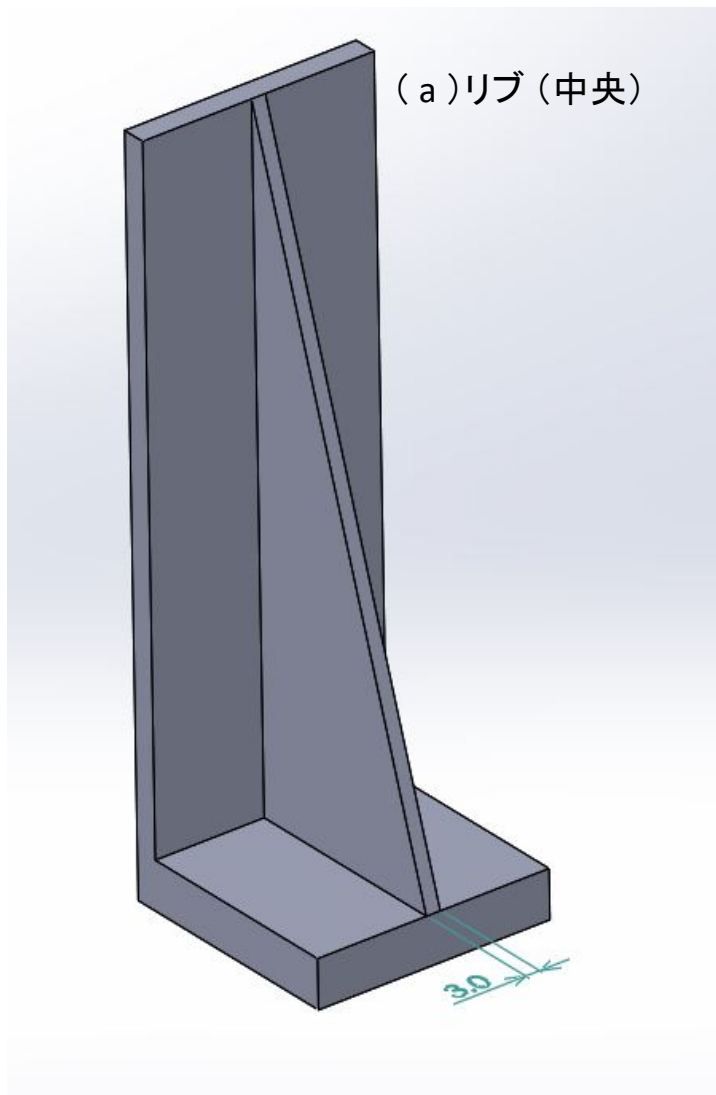
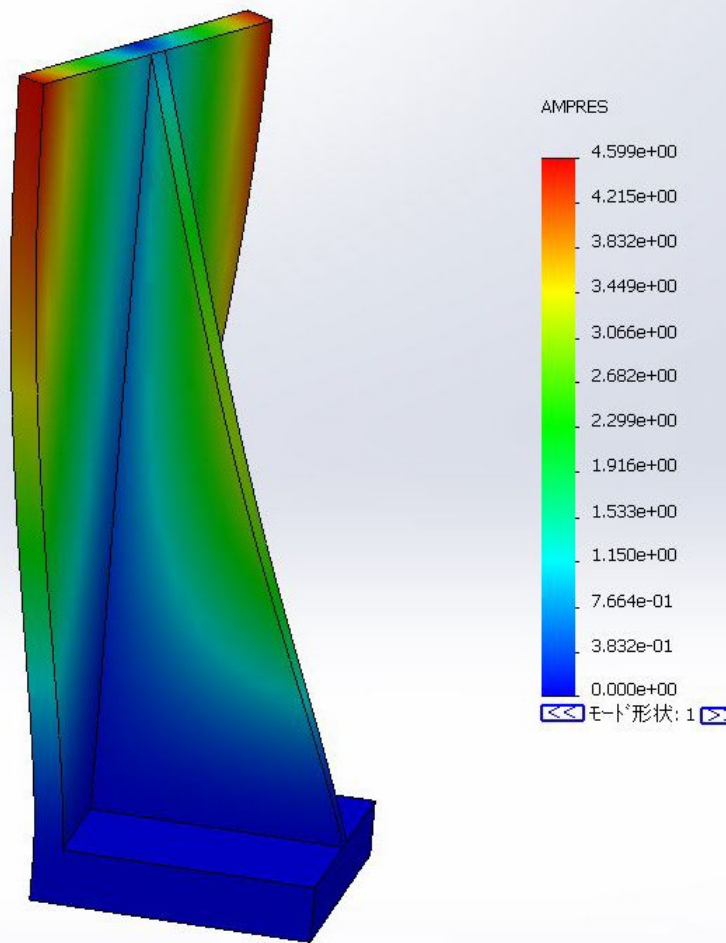


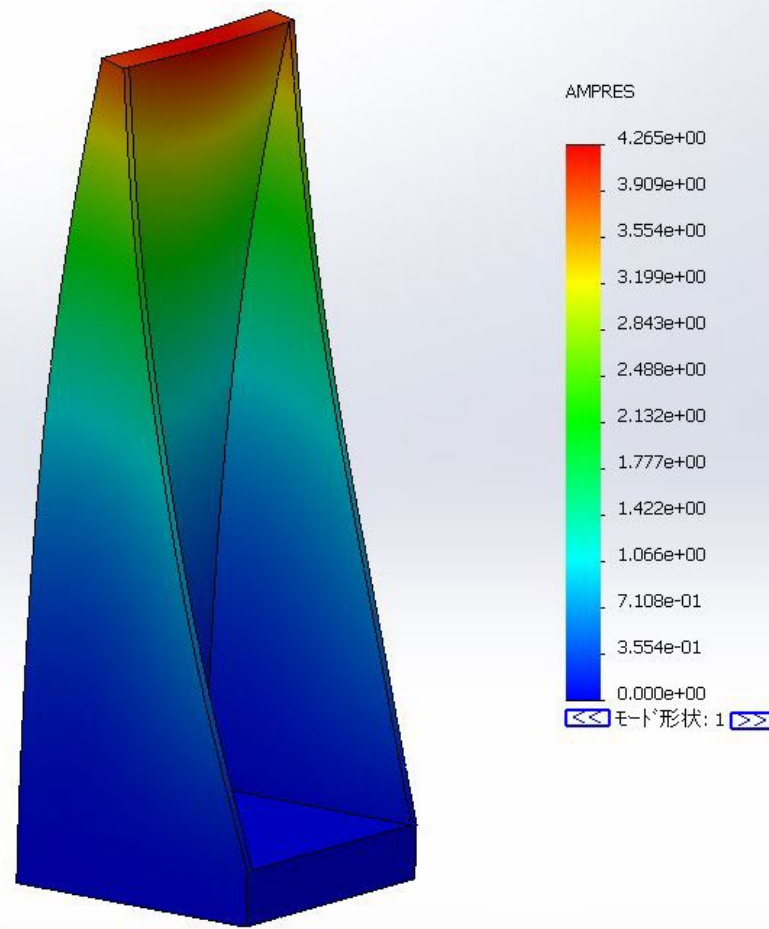
図5.28 リブによる補強例







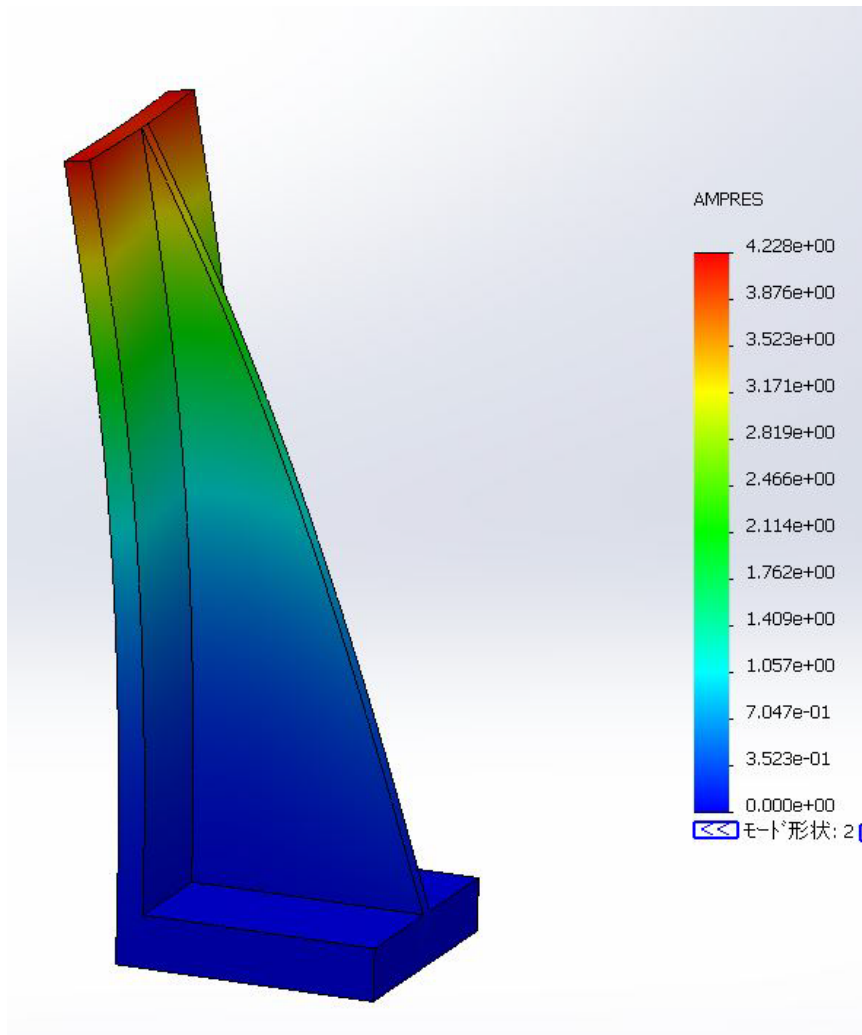
( a ) 1 234 Hz



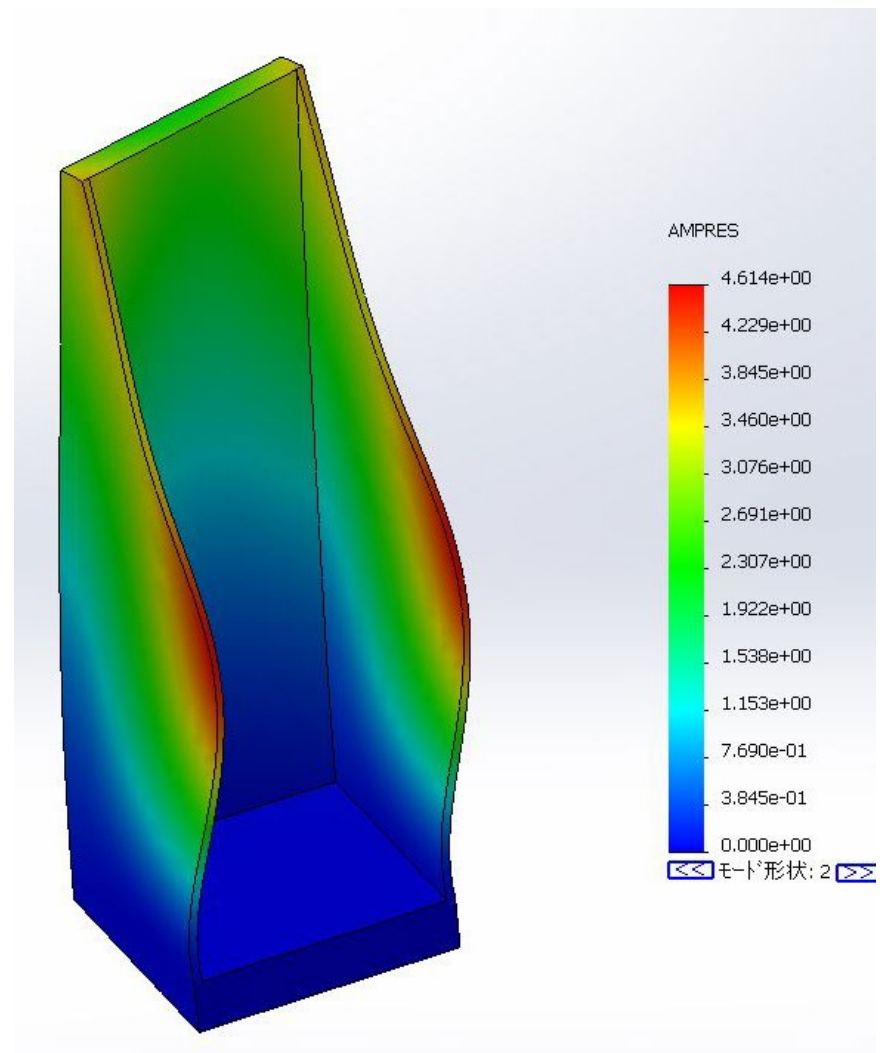
( b ) 1 378 Hz

図5.29 1 次モード





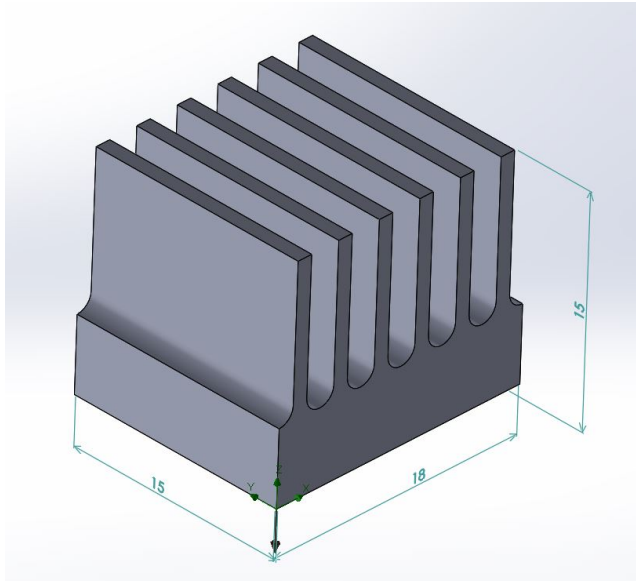
( a ) 1 421 Hz



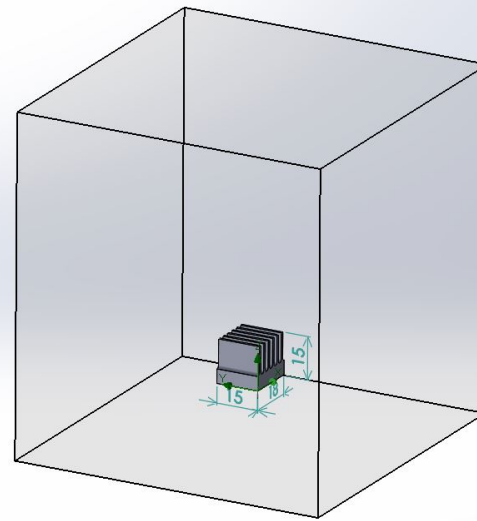
( b ) 1 656 Hz

図5.30 2次モード

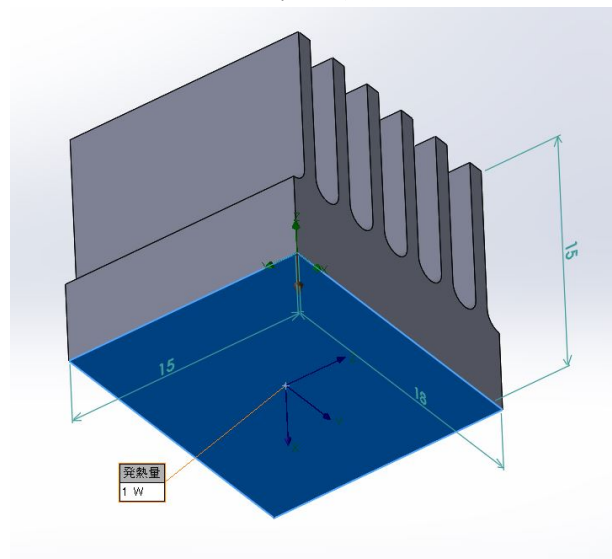




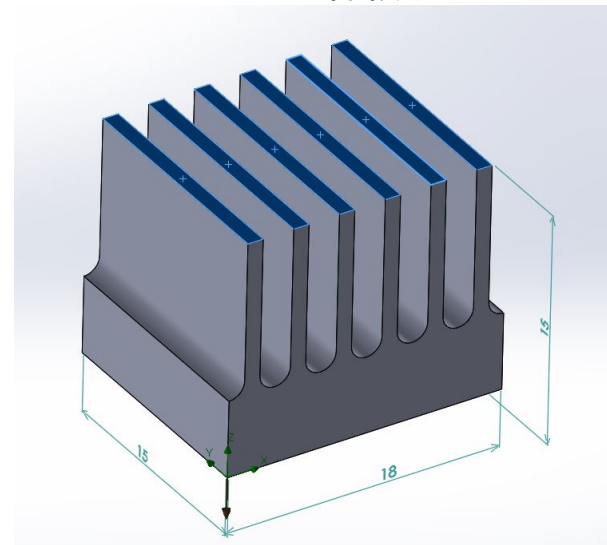
(a) 形状, 寸法



(b) 計算領域



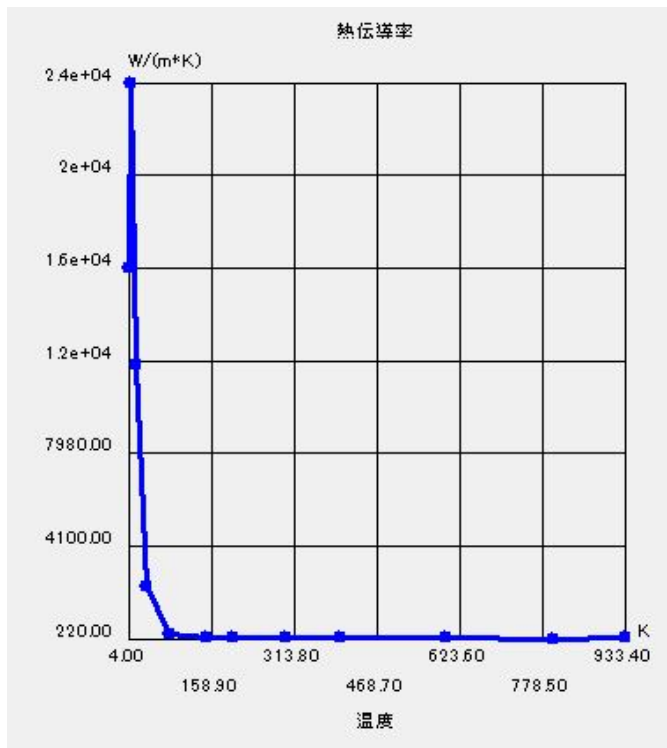
(c) 発熱量



(d) 解析のゴール

図5.31 ヒートシンクの形状と寸法, 計算領域, 発熱量, 解析のゴール





(a) アルミニウムの熱伝導率

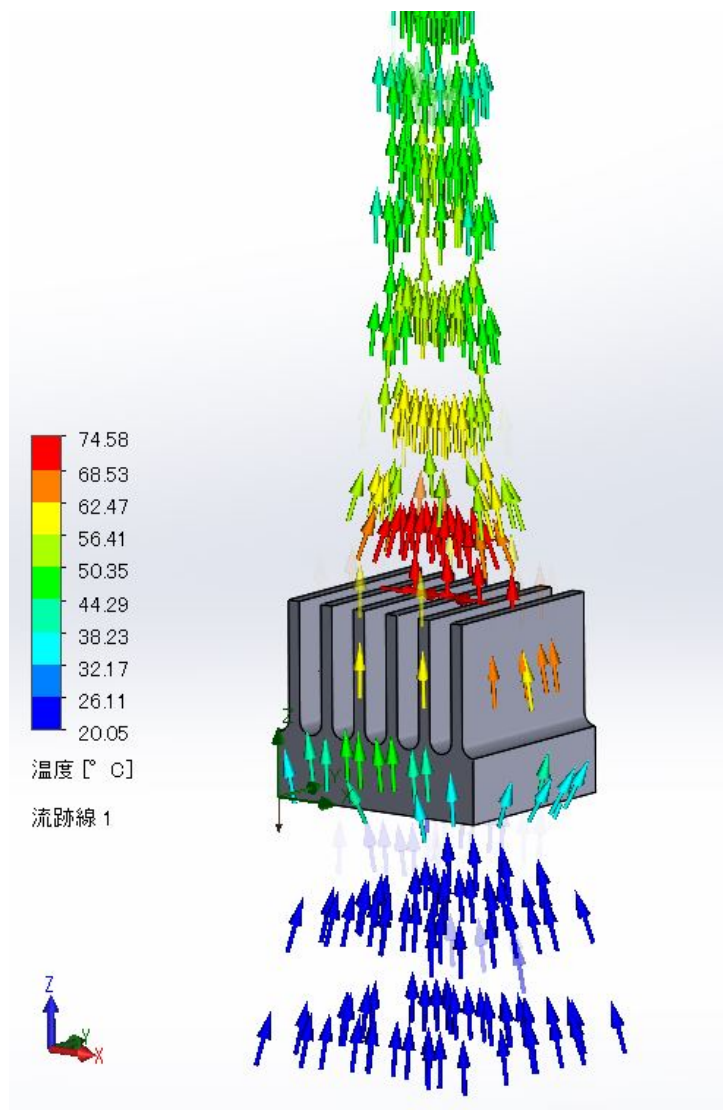
パラメータ	値
パラメータ定義	ユーザ定義
熱力学パラメータ	
パラメータ	圧力、温度
圧力	101325 Pa
圧力ポテンシャル	<input checked="" type="checkbox"/>
原点を参照	<input type="checkbox"/>
温度	20.05 °C
速度パラメータ	
パラメータ	速度
特性評価方法	3D ベクトル
X方向の速度	0 m/s
Y方向の速度	0 m/s
Z方向の速度	0 m/s
乱流パラメータ	
パラメータ	乱流強度および長さ
乱流強度	0.1 %
乱流長さ	0.00015 m
固体パラメータ	
初期固体温度	20.05 °C

(b) 解析のパラメータ

ヒートシンク底面を除くすべての面(表面積 2447.9mm<sup>2</sup>);熱伝達係数 10 W/(m<sup>2</sup>・K)  
 重力加速度 9.81m/s<sup>2</sup> (加速度の方向はZ方向のマイナス方向)

図5.32 アルミニウムの熱伝導率, 解析のパラメータ(熱伝達係数, 重力加速度)





(a) 流跡線

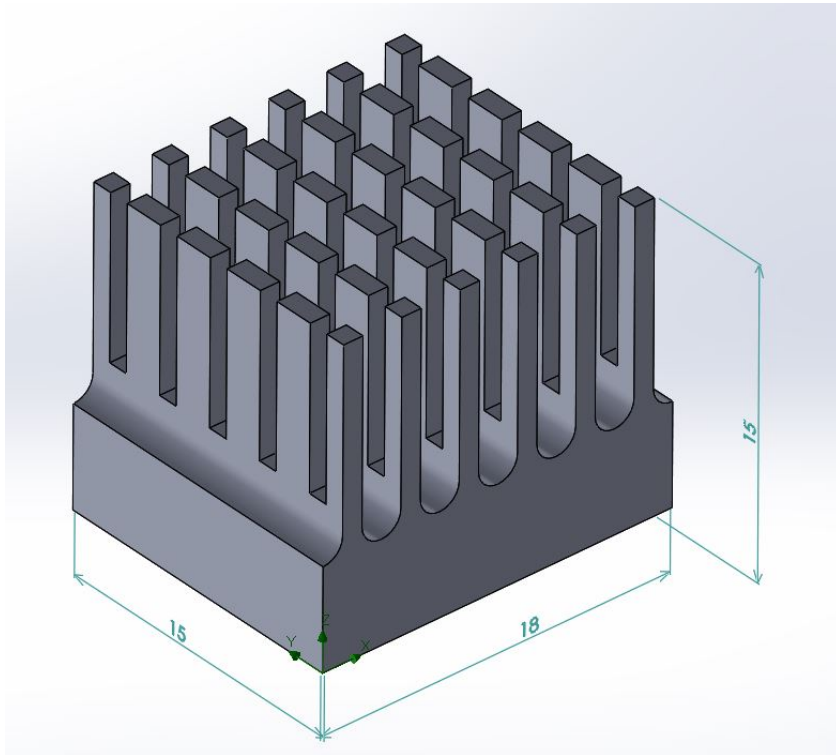


(b) 固体温度

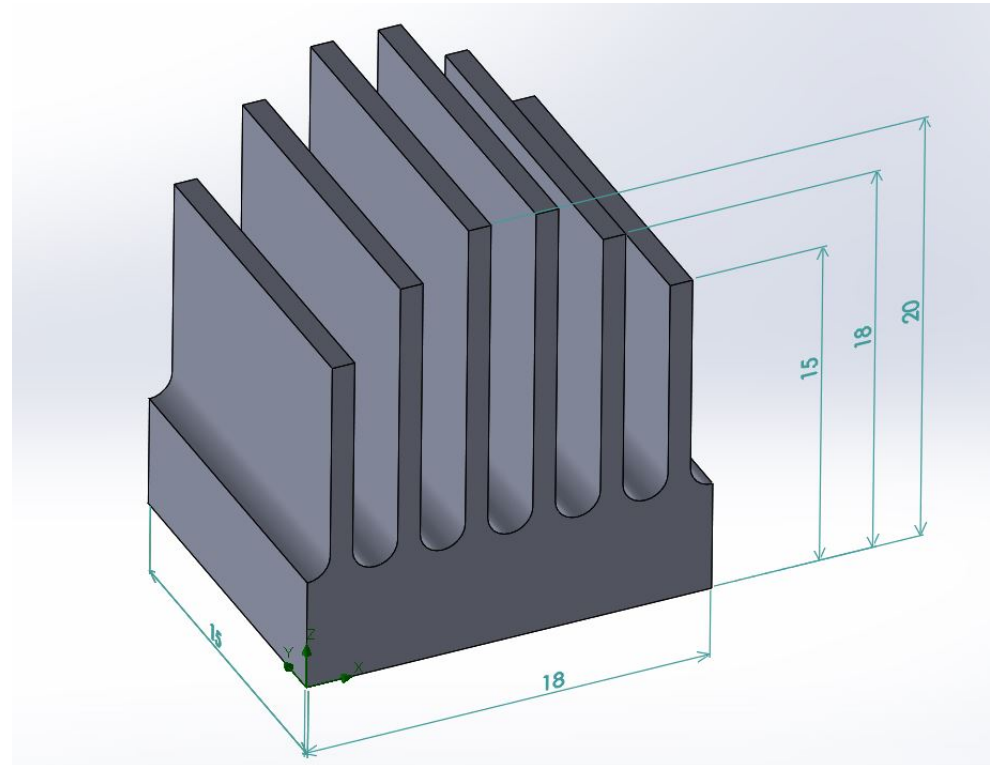
図5.33 流体解析の結果







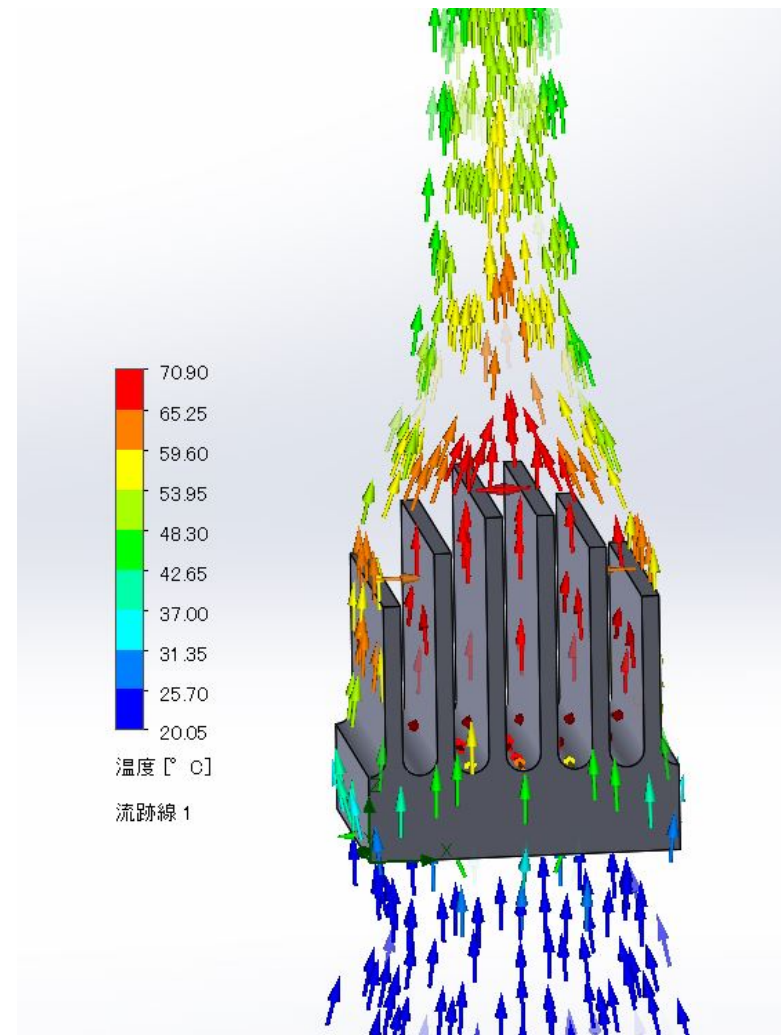
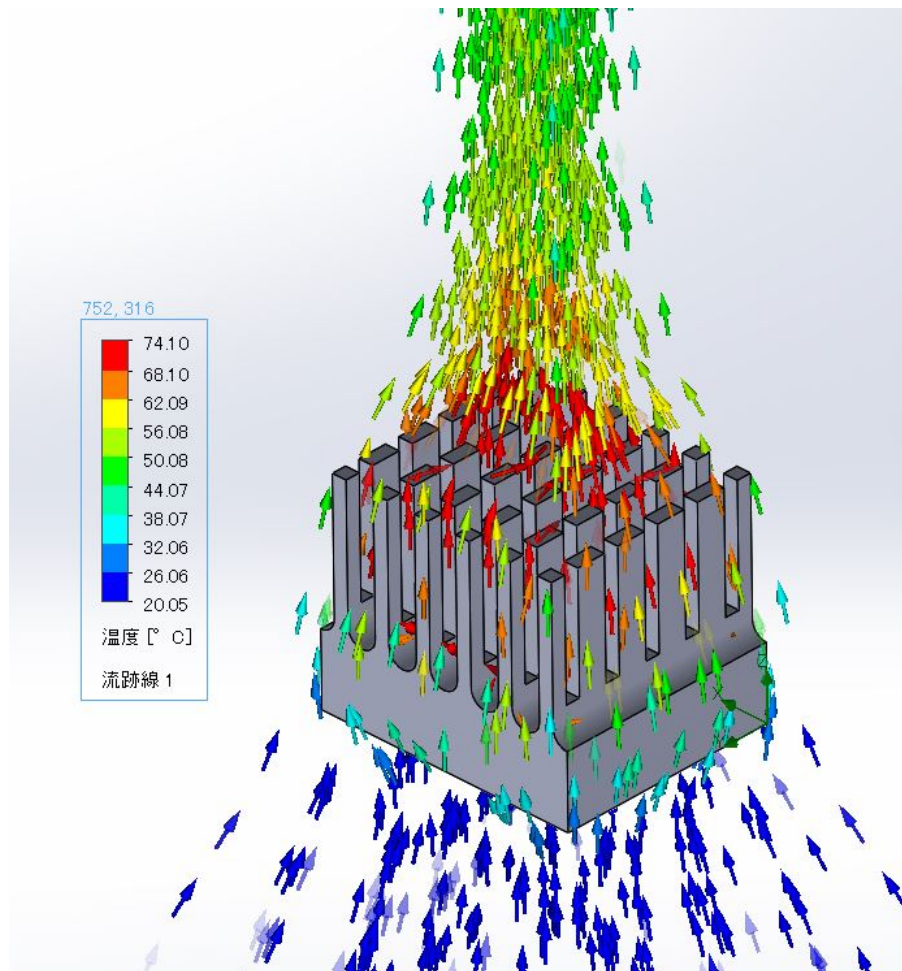
(a) 放熱板(表面積が同じ)



(b) 放熱板(高さを変える)

図5.34 放熱板の形状



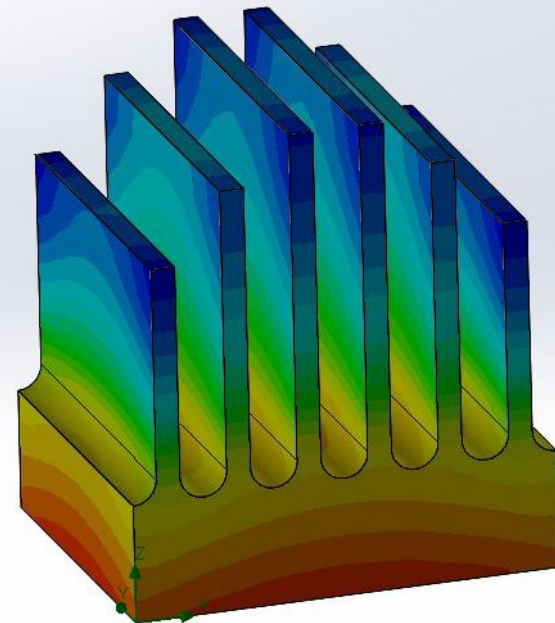
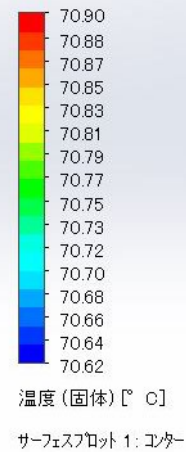
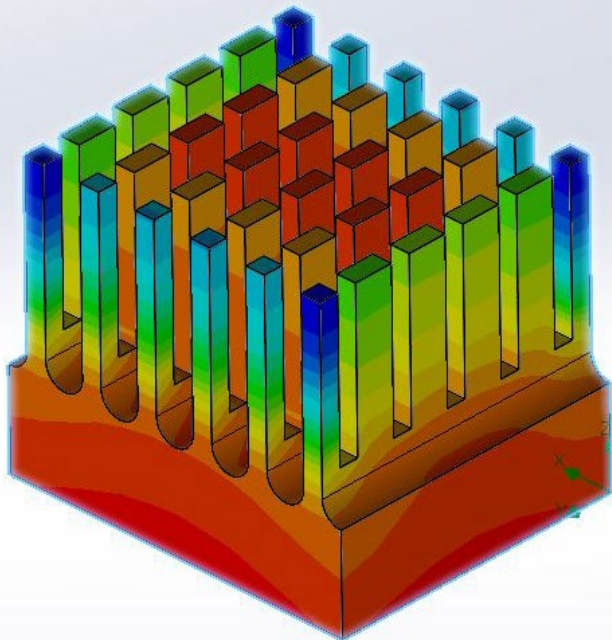
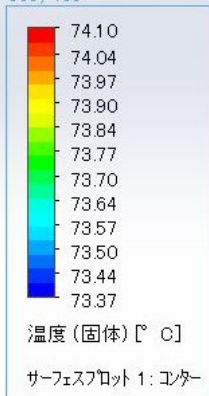


(a) 流跡線

図5.35 流体解析の結果(続く)



665, 409

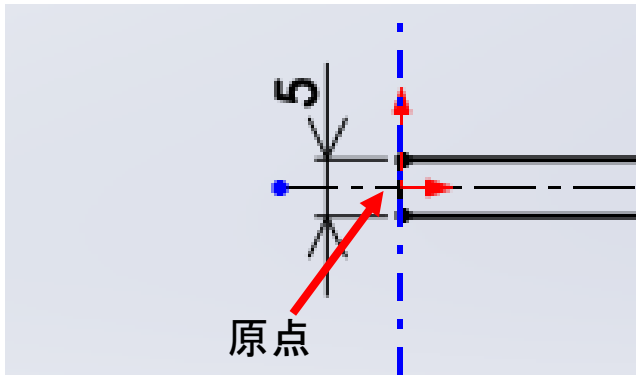


(b) 固体温度

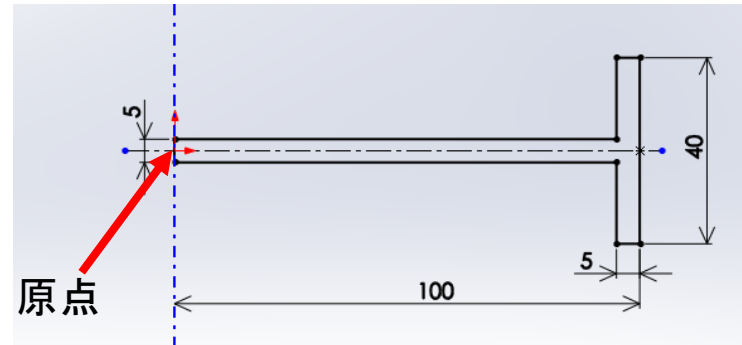
図5.35 流体解析の結果(続き)



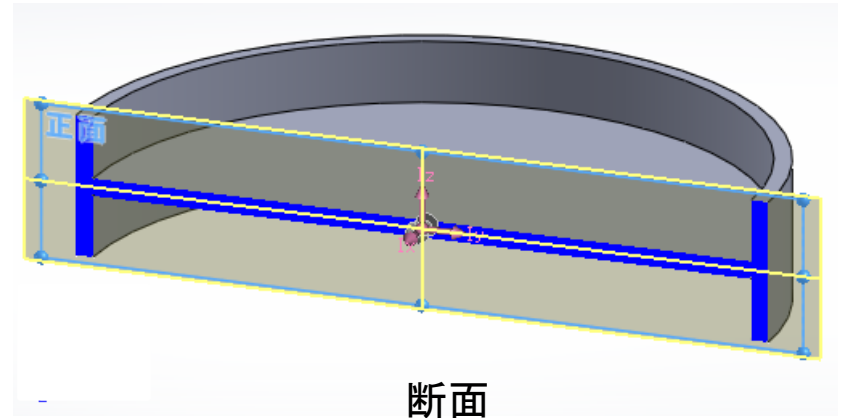
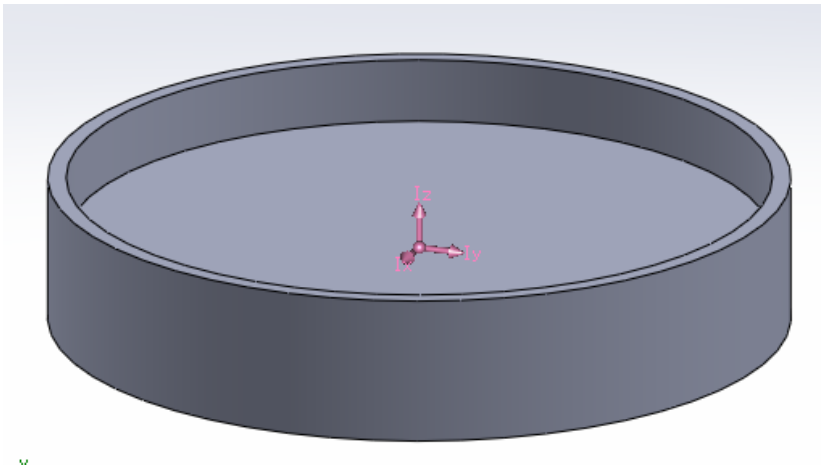




拡大図



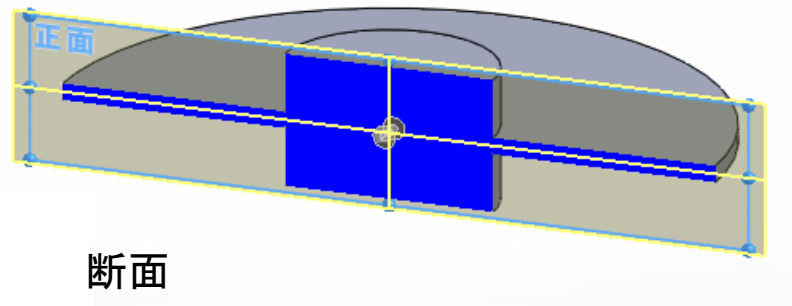
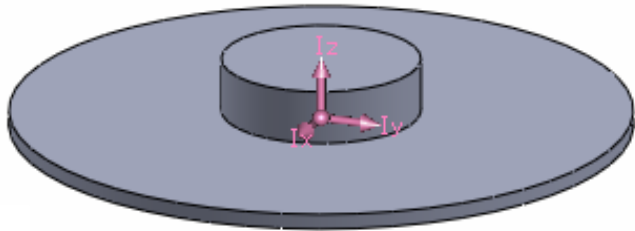
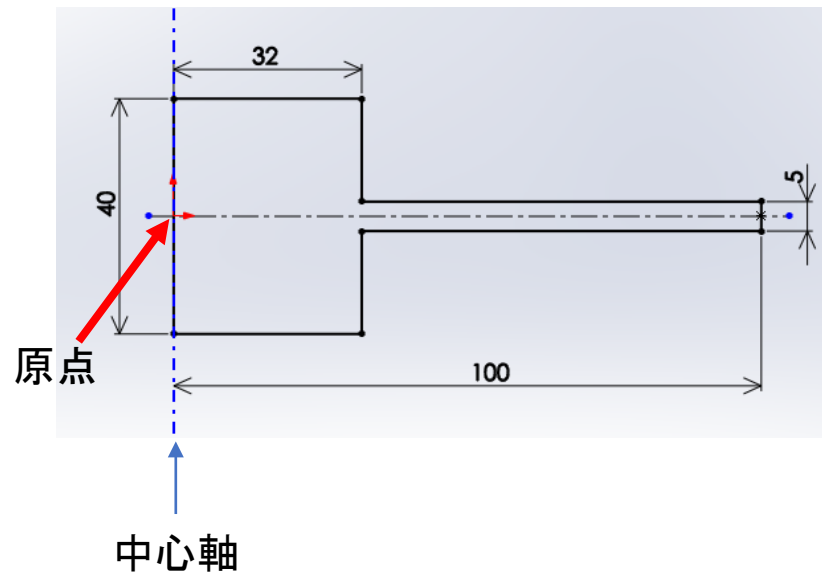
中心軸



断面

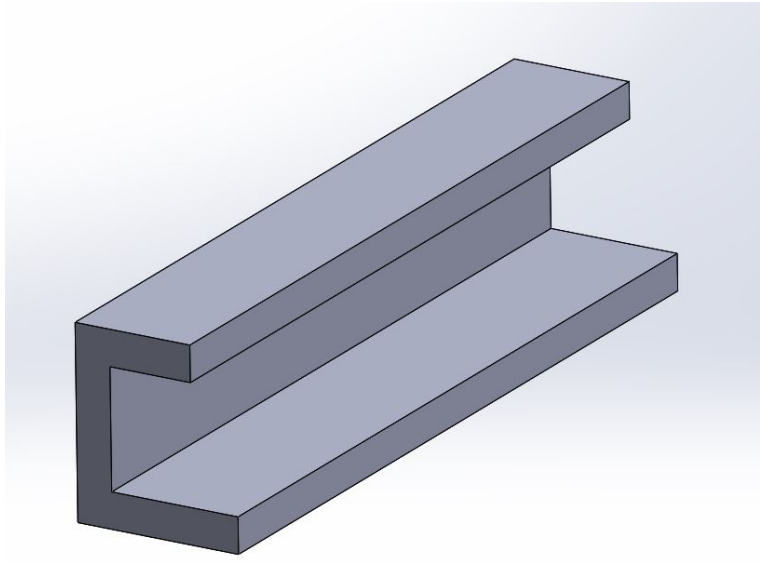
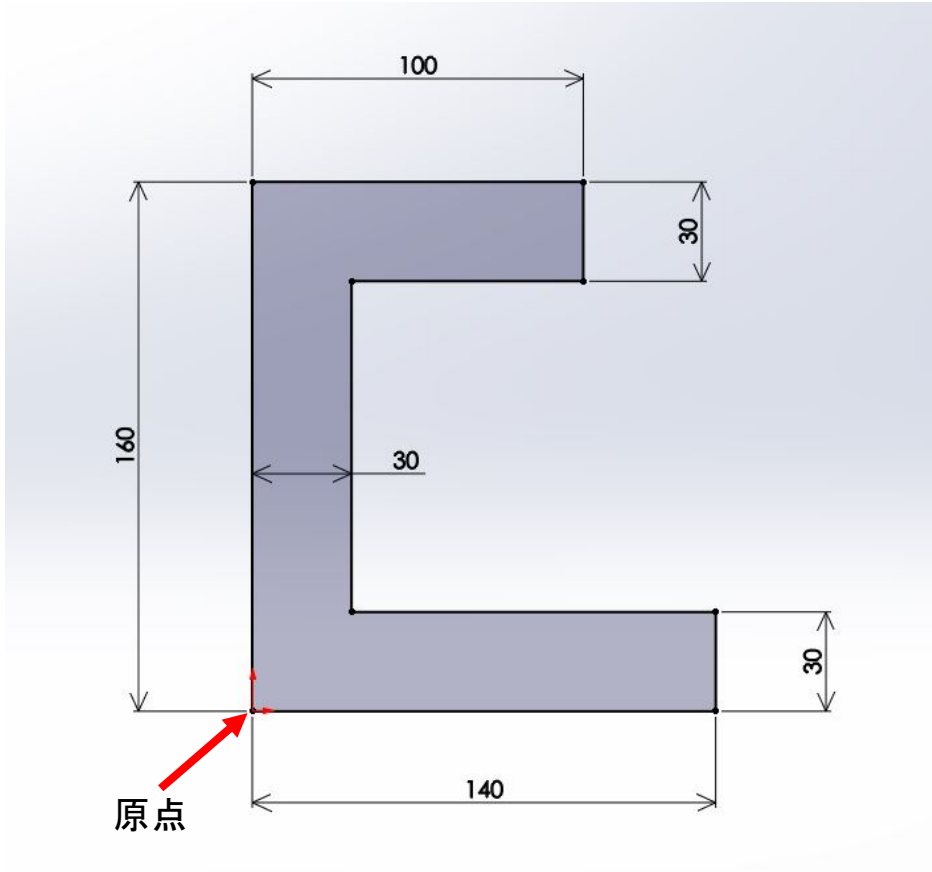
問図5.1





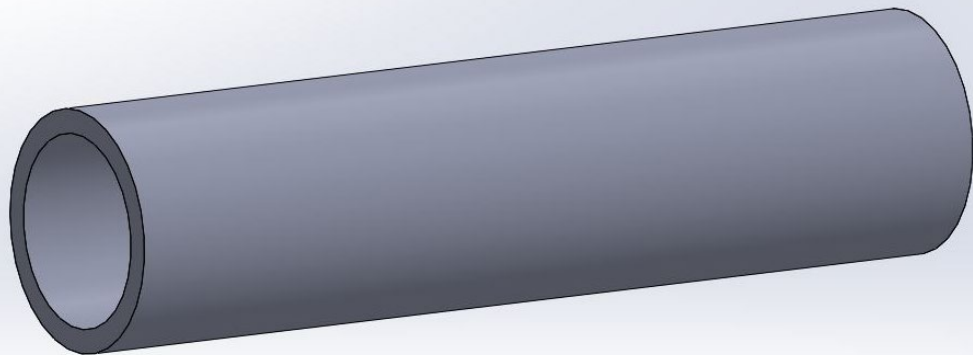
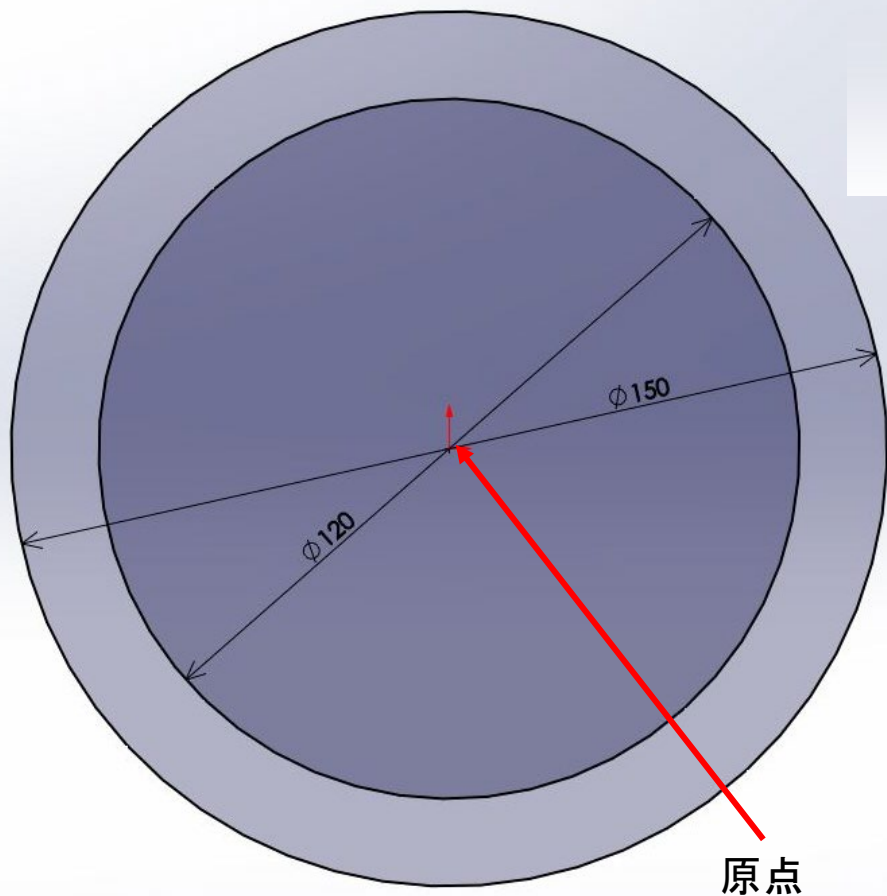
問図5.2





問図5.3



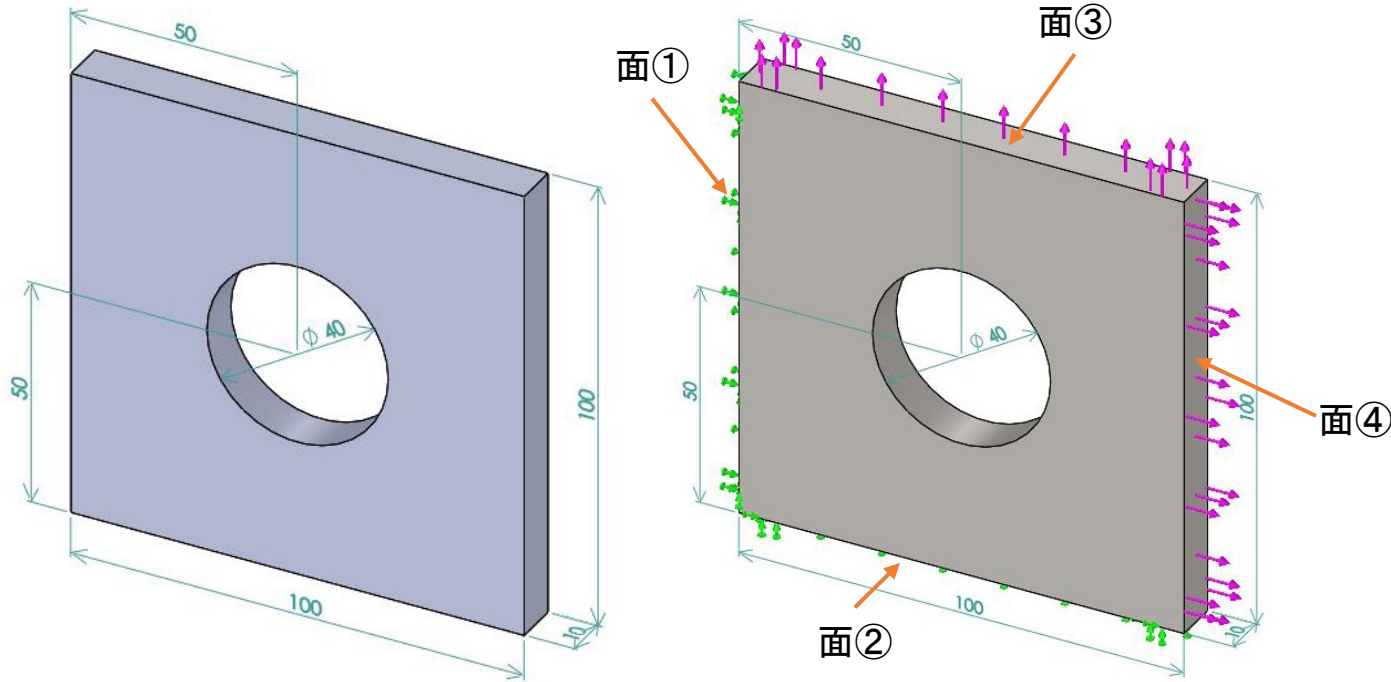


問図5.4



# 材料特性

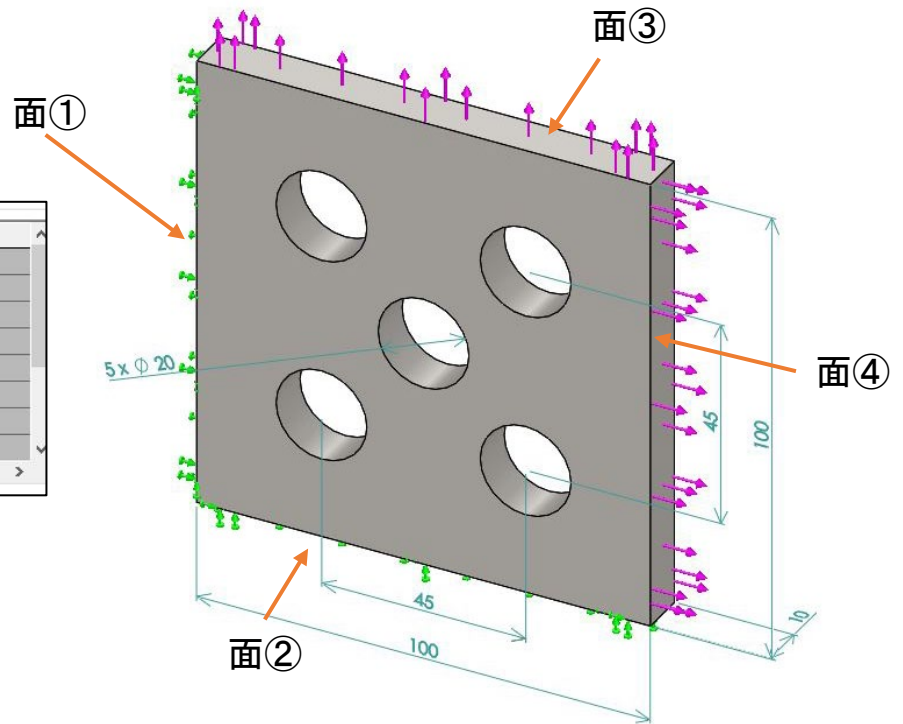
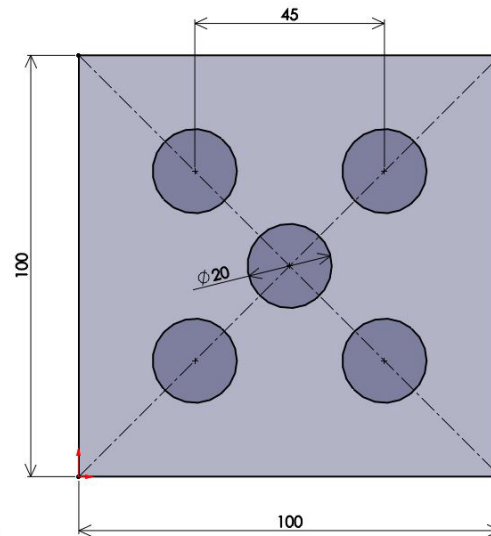
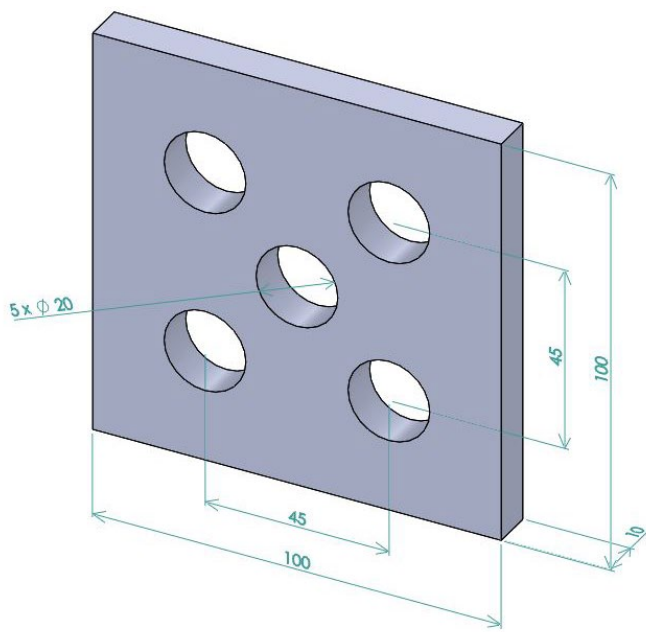
プロパティ	値	単位
弾性係数	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.28	N/A
せん断弾性係数	7.9e+10	N/m <sup>2</sup>
質量密度	7800	kg/m <sup>3</sup>
引張強さ	399826000	N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ	220594000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.3e-05	/K



(a)

問図5.5 (続く)



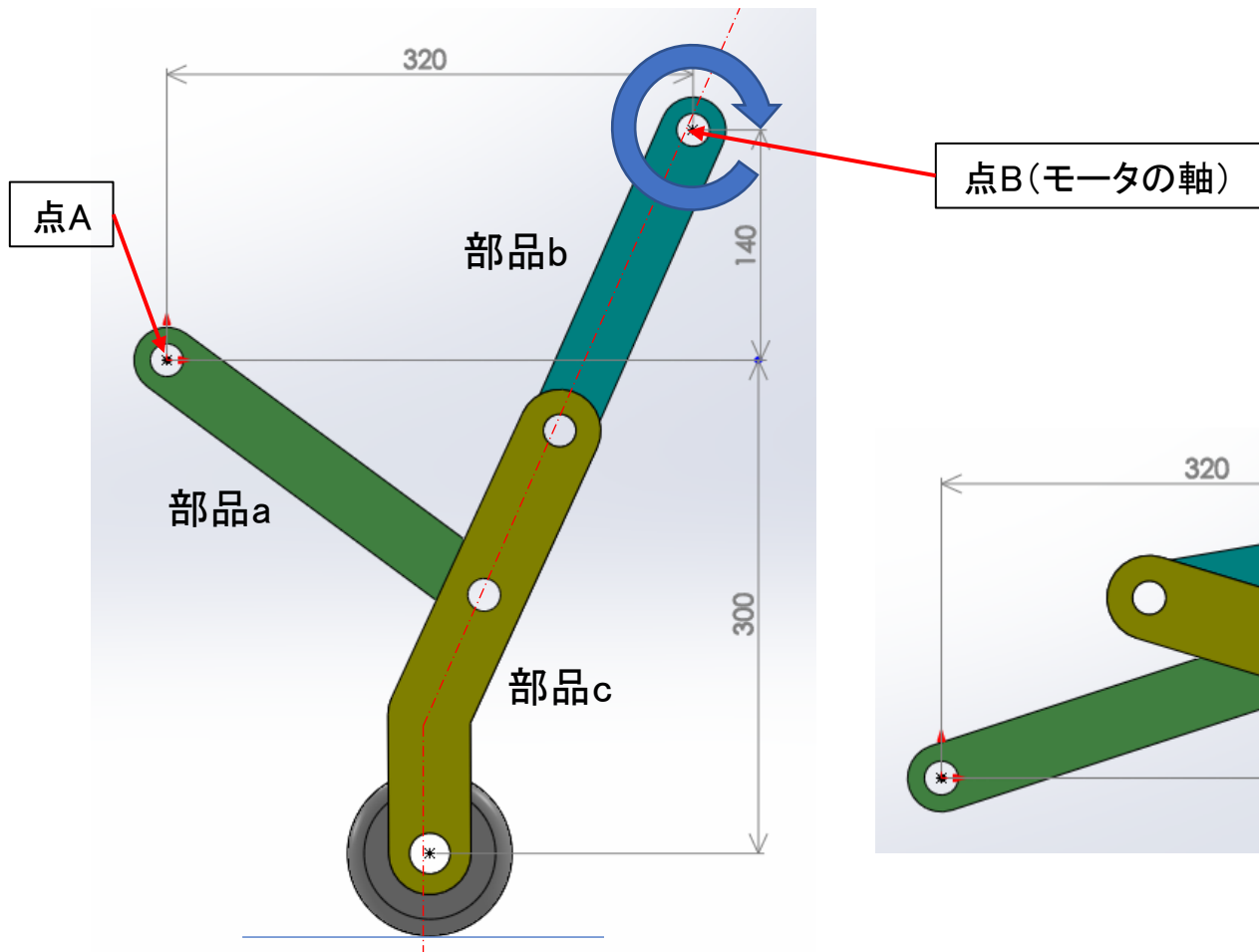


プロパティ	値	単位
弾性係数	2.1e+11	N/m <sup>2</sup>
ポアソン比	0.28	N/A
せん断弾性係数	7.9e+10	N/m <sup>2</sup>
質量密度	7800	kg/m <sup>3</sup>
引張強度	399826000	N/m <sup>2</sup>
圧縮強度		N/m <sup>2</sup>
降伏強度	220594000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.3e-05	/K

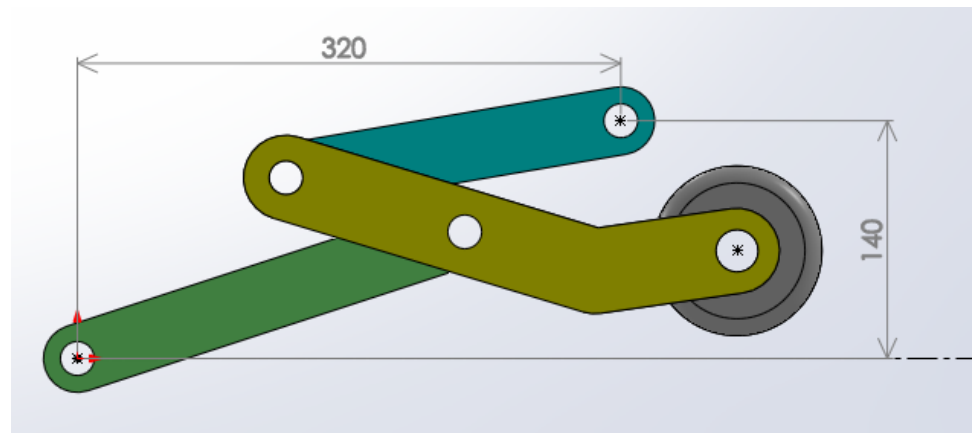
(b)

問図5.5 (続き)





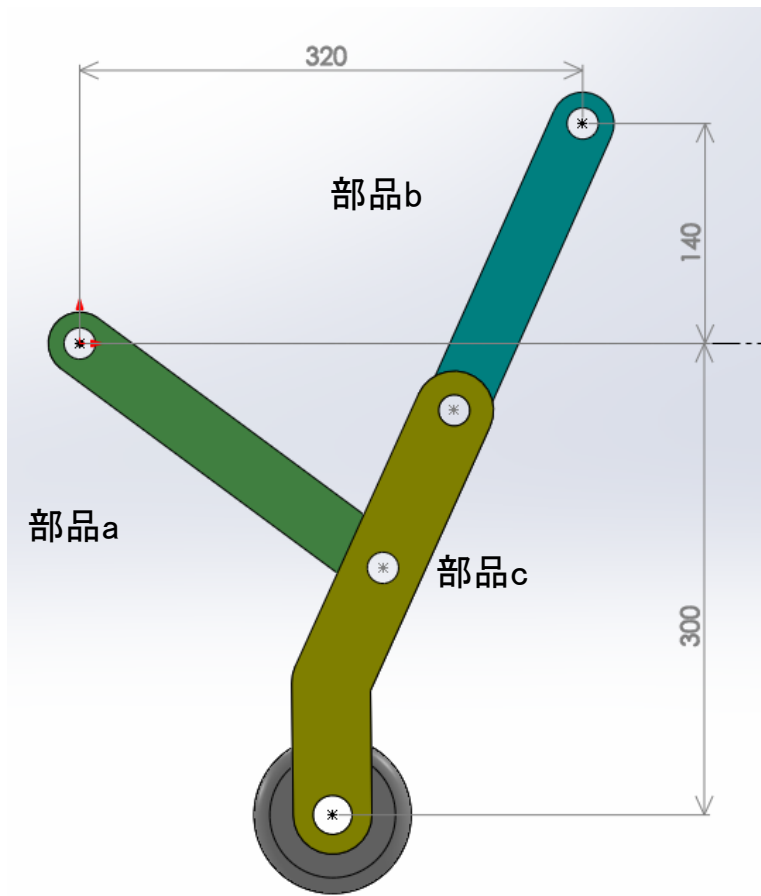
( a ) リンク機構



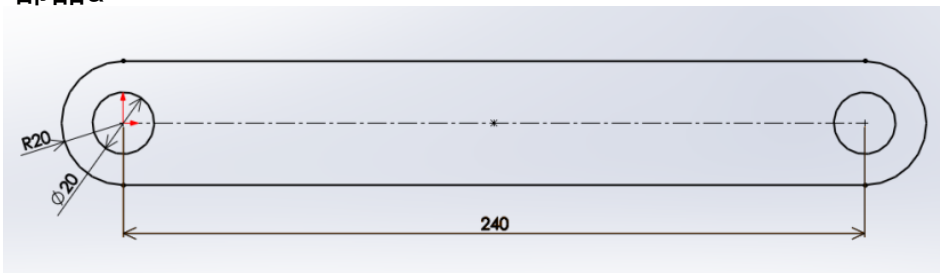
( b ) 折り畳んだ位置

問図5.6 (続く)

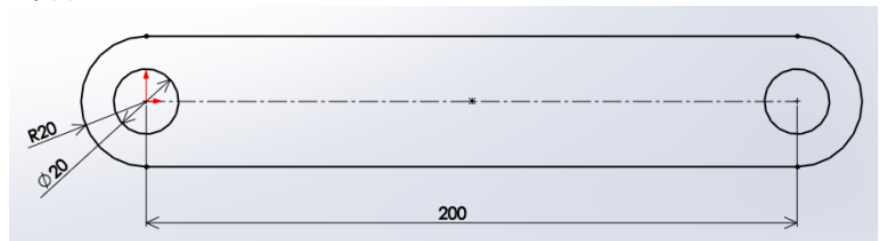




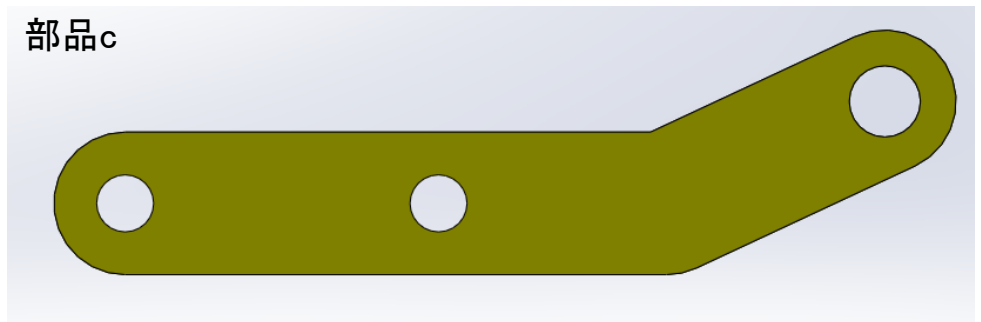
部品a



部品b



部品c

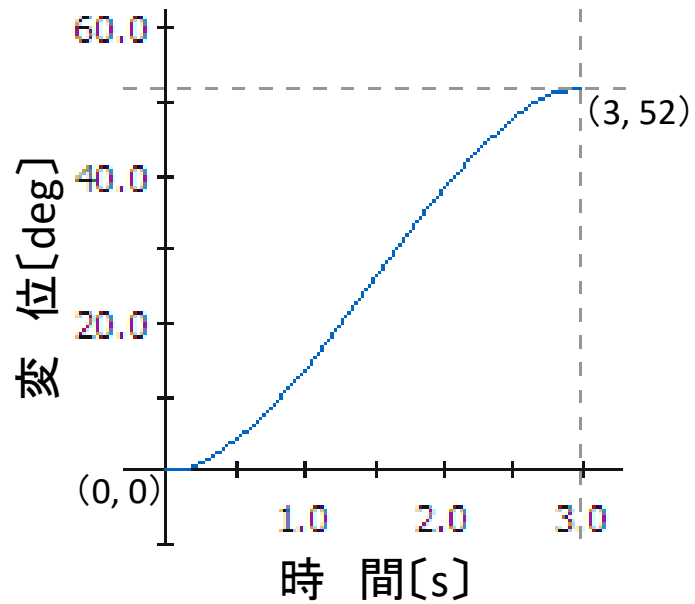


(c) 部品の寸法

問図5.6 (続く)



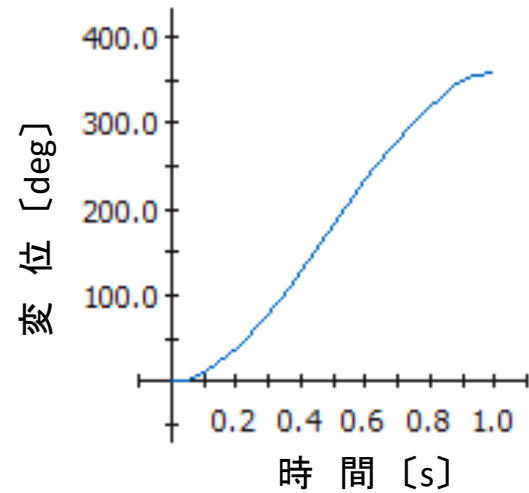
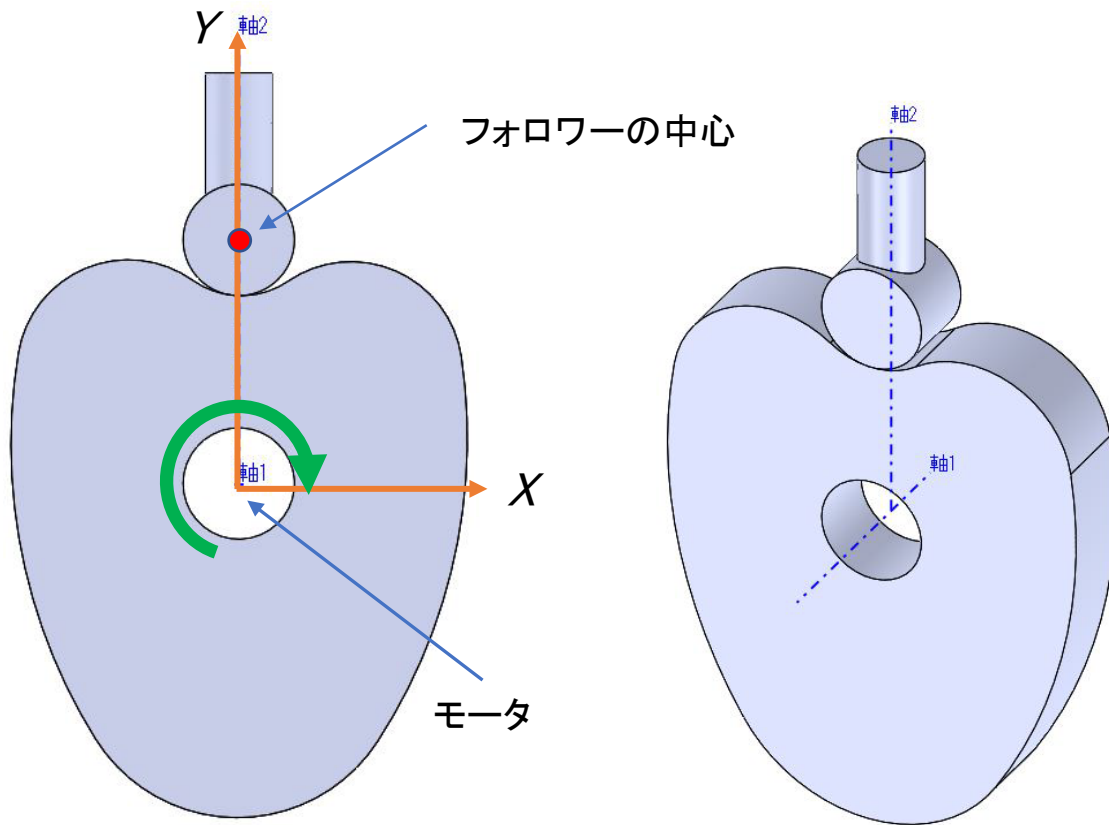




(d) 三次多項式

問図5.6 (続き)





問図5.7

