

2008年12月19日

# 太陽光で動くスターリングエンジンの試作 最終報告書

所属 : 東京電機大学 未来科学部 ロボット・メカトロニクス学科

チーム名 : eco☆スタ

実験者名 : 賀来 雄太  
金子茉莉奈  
鴨下 忠尚  
黒沼 邦彦  
国立 彩織

## 目次

概要 .....	4
1. 序論 .....	6
2. SE の基礎知識 .....	7
2.1. SE の動作原理 .....	7
2.1.1. スターリングサイクル .....	7
2.1.2. SE の構造 .....	11
2.1.3. Schmidt モデルによる出力解析 .....	14
2.2. $\alpha$ 型 SE の試作 .....	18
2.2.1. 製作 .....	18
2.2.2. 運転と結果 .....	21
2.2.3. 運転と結果 2 .....	23
2.2.4. 運転と結果 3 .....	24
2.2.5. 回転数の計測 .....	25
2.2.6. 計測結果 .....	25
2.2.7. 結論 .....	25
2.3. $\beta$ 型 SE の試作 .....	26
2.3.1. 製作 .....	26
2.3.2. 運転と結果 .....	28
2.3.3. 考察 .....	29
2.4. $\gamma$ 型 SE の試作 .....	30
2.4.1. 製作 .....	30
2.4.2. 運転と結果 .....	32
2.4.3. 運転と結果 2 .....	33
2.4.4. 結論 .....	34
3. 太陽光のエネルギー測定 .....	35
3.1. 実験目的 .....	35

3.2.	実験原理.....	35
3.3.	実験手順.....	36
3.4.	測定結果 1.....	37
3.5.	測定結果 2.....	38
3.6.	測定結果 3.....	39
4.	本作の設計 .....	40
4.1.	設計 .....	40
5.	今後の課題.....	45
5.1.	製作.....	45
5.2.	ヒータによる運転 .....	49
5.3.	太陽光による運転 .....	49
6.	結論.....	50
	謝辞 .....	51
	参考文献 .....	52
	会計報告 .....	53
	付録 A : 太陽光の実験データ詳細.....	56
	付録 B : $\alpha$ 型 SE 設計図面 (pp. 64-78) .....	63
	付録 C : $\beta$ 型 SE 設計図面 (pp. 79-89) .....	63
	付録 D : 本作 SE 設計図面 (pp. 90-123) .....	63

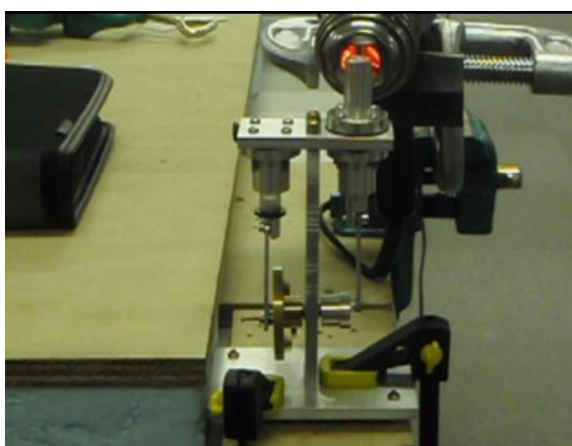
## 概要

本実験では、近年のエネルギー需要の急激な増加、および地球環境の悪化を鑑み、その一つの解決策として、クリーンなエネルギー源を発電に有効に活用する方法について考察する。

現在、我々が利用している主要なエネルギー源は石油資源や原子力であり、様々な観点から地球環境に対する負荷を考えた場合、必ずしも理想的なエネルギー源であるとはいえないのが現実である。このような状況のもと、風力や潮力による発電の実用化など、様々な環境負荷の小さいエネルギー源活用の研究・開発が進められている。そして、そのような取り組みの一つとして太陽光のエネルギーを利用するというものがある。本実験では、このクリーンなエネルギー源である太陽光で駆動可能なスターリングエンジンを設計・製作し、発電を行うことを目指した。スターリングエンジンは外燃機関であり、内燃機関の代表であるガソリンエンジン等と比べて、熱源（エネルギー源）の種類選択の自由度が高いという特長がある。

本実験プロジェクトは、大きくは以下の3ステップで実施された。

- (1) スターリングエンジンの動作原理を理解するため、図面などが公開されている既存の模型スターリングエンジン3種（一般に $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 型と呼ばれている）を製作し、駆動、その評価を行う（図A）。
- (2) フレネルレンズを用いた太陽光の効率的な集光方法を検討し、実際に利用可能な熱量を見積もる。熱量計内の水温変化から太陽光の仕事率を求める（図B）。
- (3) 上記(1)および(2)の評価結果に基づき、太陽光による駆動に適した独自のスターリングエンジンを設計、製作する。



図A： $\alpha$ 型の模型エンジンの駆動実験（本文，図2.10より）：ヒータでエンジンを加熱，快調に駆動できた（最高回転数は約500rpm）。

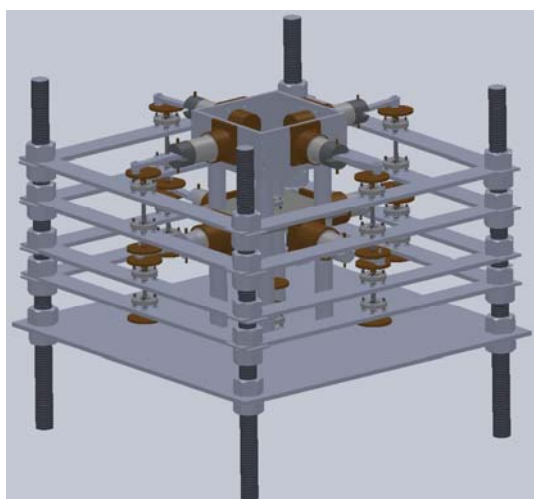


図B：フレネルレンズを用いた太陽光の集光実験（本文，図3.1より）：冬の傾いた日差しでも150W以上の仕事率が得られることがわかった。

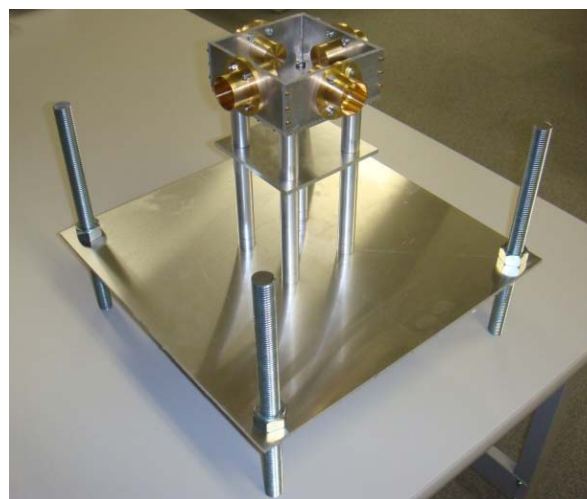
実験結果として、得られた成果は以下の通りである。

- (a)  $\alpha$ 型のスターリングエンジンを、ヒータを用いて動作させることができた。フライホイールの位相角調整により最高回転数約 500rpm を記録した。 $\beta$ 、 $\gamma$ 型については実際の動作までに要する改良点が多数あることが判明し、解決に費やす時間を考慮した結果、製作を途中で断念することにした。 $\alpha$ 型のエンジンについては、ノウハウを含めて動作不良時の問題の解決方法など、様々な知見を得ることができた。そして、その結果に基づき、最終製作機（以下では、本作と呼ぶ）の設計は、この $\alpha$ 型で進めることに決定した。
- (b) 集光面積 1400mm×1050mm のフレネルレンズによる太陽光の集光実験では、天候にも左右されたが、冬季（11月21日）でもレンズ設置方法を工夫し、集光面積など調整した結果、最高で167ワットの仕事率が得られた。
- (c) 上記の(a)、(b)の結果をもとに、本作として4組のエンジン連動の8気筒の遊星エンジンを設計した（図C）。設計上の理想状態（上限）の値ではあるが、約45%の熱効率が得られる仕様である。2008年12月19日現在、本作完成までの総工程の約73%までが完了している（図Dは一部の部品を仮組したものである）。

12月19日の時点で報告できる本実験の成果は以上である。本作の駆動成功を報告できなかったのは残念であるが、引き続きこの活動を継続し、本作の完成を目指していく。近い将来、熱効率を実測し、実際に太陽光でエンジンが駆動できた暁には、また報告させていただきたい。



図C：設計した太陽光駆動のスターリングエンジン組み立て図（本文，図4.3より）：部品数100を超える4連8気筒のエンジンである。



図D：12月29日現在の製作進捗状況（本文，図5.1より）：今後も製作，実験を継続し，太陽光による駆動を目指す！

## 1. 序論

現在、私たちを取り巻く地球環境は、悪化していると言わざるを得ない状況である。例として、二酸化炭素排出量の増加が挙げられる。石油や石炭などの化石燃料を燃やしたときに排出される二酸化炭素は、太陽によって暖められた地面の熱が大気圏の外に出るのを妨げ、地球温暖化を促進している。その問題への対策として、エネルギーの効率を高めた省エネの製品の利用、水力・風力・太陽などの自然エネルギーの有効活用などの、様々な試みが社会では進められている。これらのことを受け、私たちは最もクリーンなエネルギー源の一つである太陽光の有効利用をテーマとして、太陽光で作動する効率の良いスターリングエンジン(Stirling Engine 以下、SE と略す)の試作実験に取り組むことにした。

本実験では、熱効率に優れる SE の製作を行う。SE は外燃機関であるため、熱源の選択に自由度が大きいことが特徴である。その利点を生かし、太陽光の熱を利用して作動する高効率なエンジンの設計をすることを目的とする。

設計を行うに際し、図面などが公開されている既存の SE、3 種類（一般に  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  型と呼ばれる）をそれぞれ製作し、SE の特徴や性能を理解する。また、エネルギー源となる太陽光について、仕事率を測定するための装置を設計・製作し、太陽光の仕事率を計測する。

本レポートは以下の章構成からなっている。第 2 章および第 3 章では太陽光で作動する SE(以下、本作と略す)を製作する前の予備知識について、すなわち SE の動作理論および原理、模型 SE を利用した基礎知識の習得、および太陽エネルギーの仕事率の算出について述べる。そして、第 4 章では今までに得られた知識をもとに行った、本作の設計について、また第 5 章では今後の課題(製作、運転)について述べ、第 6 章で結論を述べる。

## 2. SE の基礎知識

### 2.1. SE の動作原理

#### 2.1.1. スターリングサイクル

図 2.1 の P-V 線図で表されるサイクルを、スターリングサイクルという。このサイクルは等温圧縮 (1-2)、定容加熱 (2-3)、等温膨張 (3-4)、定容冷却 (4-1) から構成されている。以下、作動流体が理想気体であり、質量が一定であると仮定し、熱効率を求める<sup>(1)</sup>。

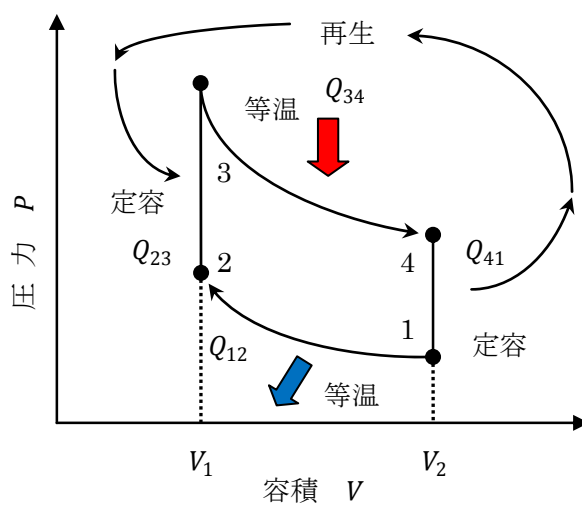


図 2.1 スターリングサイクル P-V 図

等温圧縮のとき、気体の状態を、温度 $T_1$ 、 $T_2$ 、体積 $V_1$ 、 $V_2$ 、圧力 $P$ 、仕事 $W$ 、物体に加えた力 $F$ 、移動した距離を $x$ とする。等温圧縮(1-2)において、気体が外部からされる仕事 $W_{12}$ 、及び放熱量 $Q_{12}$ を求める。

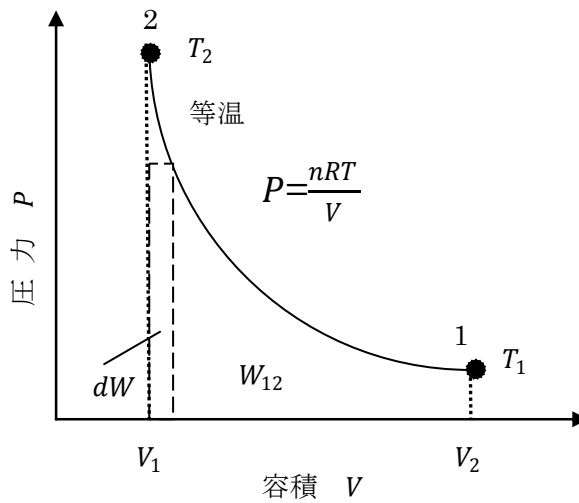


図 2.2 等温変化 P-V 図

図 2.2 より<sup>(2)</sup>,

$$dW = Fdx = PSdx = Pdv$$

$$W_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} dw = - \int_{V_1}^{V_2} Pdv$$

となる.

$n$ を気体の mol 量,  $R$ を気体定数とすると, 理想気体の状態方程式(2.1)より,

$$PV = nRT \tag{2.1}$$

$$P = \frac{nRT_1}{V}$$

$$W_{12} = - \int_{V_1}^{V_2} Pdv = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dv = - nRT_1 \cdot \log \frac{V_1}{V_2}$$

$$W_{12} = -nRT_1 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} \tag{2.2}$$

と表すことができる.

ここで mol 量 $n$ を, 気体質量 $M$ と気体分子量 $m$ で表すと,

$$n = \frac{M}{m} \tag{2.3}$$

となる. また, 気体定数 $R$ は, ガス定数 $R'$ を用いて,

$$R = R' \cdot m \tag{2.4}$$

と表すことができる.



よって式(2.2)~(2.4)より，仕事 $W_{12}$ は，

$$W_{12} = -\frac{M}{m} \cdot R' \cdot m \cdot T_1 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} = -MR' T_1 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} \quad (2.5)$$

となる．

等温変化なので， $\Delta T = 0$ より，内部エネルギー $\Delta U$ は，

$$U = \frac{3}{2} \cdot nR\Delta T = 0$$

となり，熱力学第一法則より，

$$Q_{12} = W_{12} = -MR' T_1 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} \quad (2.6)$$

と表せる．

また定容加熱(2-3)時の体積は一定なので，仕事 $W_{23}$ は，

$$W_{23} = 0 \quad (2.7)$$

である．よって，供給される熱量 $Q_{23}$ は定容比熱 $c_v$ を用いると，

$$Q_{23} = M \cdot c_v (T_3 - T_1) \quad (2.8)$$

となる．

等温圧縮(1-2)と同様に，等温膨張(3-4)の仕事 $L_{34}$ 及び供給される熱量 $Q_{34}$ は，

$$W_{34} = MR' T_3 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} \quad (2.9)$$

$$Q_{34} = W_{34} = MR' T_3 \cdot \log \frac{V_1}{V_2} \quad (2.10)$$

となる．

また定容加熱(2-3)と同様に，定容冷却(4-1)の仕事 $W_{41}$ 及び放熱量 $Q_{41}$ は，

$$W_{41} = 0 \quad (2.11)$$

$$Q_{41} = -M \cdot c_v (T_3 - T_1) \quad (2.12)$$

となる．

ここで、再生器を取り付けることによって、定容冷却(4-1)間で放出した熱量 $Q_{41}$ を全て定容加熱(2-3)間で受けとる熱量 $Q_{23}$ に利用できるものとする。この場合、1 サイクルあたりに外部から供給される全熱量 $Q_H$ は $Q_{34}$ に等しくなる。

$$Q_H = Q_{34} \quad (2.13)$$

また、1 サイクル当たりの仕事 $W$ は、 $W_{23} = W_{41} = 0$ より、

$$W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} = W_{12} + W_{34} \quad (2.14)$$

と表すことができる。

したがって、熱量が仕事に変換される割合、つまり熱効率 $\eta$ は式(2.15)のようになる。

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{W_{12} + W_{34}}{Q_{34}} = \frac{T_3 - T_1}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \quad (2.15)$$

理論上最も高いことで知られるカルノーサイクルの熱効率は、

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{低温部}}}{T_{\text{高温部}}} \quad (2.16)$$

と表される。式(2.16)は、式(2.15)と同等であり、式(2.15)で示されるスターリングサイクルの熱効率は、理論上最も高いカルノーサイクルの熱効率と等しいと言える。

## 2.1.2. SE の構造

SE の基本的な構成要素は、図 2.3 に示すように

- ・ヒータ
- ・再生器
- ・クーラー
- ・ディスプレイサ
- ・パワーピストン

などである。

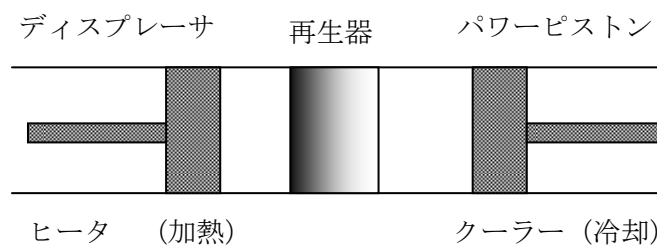


図 2.3 SE の基本構成<sup>(3)</sup>

ディスプレイサとは、シリンダ内の空気を循環させるピストンであり、パワーピストンとは、ディスプレイサによって作り出されたシリンダ内圧力を動力として取り出すピストンである。

再生器とは、ヒータとクーラーの間に設けるもので、気体がここを移動、通過する際に高温の熱量を蓄熱したり、低温気体を高温にしたりする役割がある。

ディスプレイサとパワーピストンの取り付け位置によって、SE は  $\alpha$  型、 $\beta$  型と  $\gamma$  型の 3 つのタイプに分類される (ディスプレイサ型 SE)。これらを、図 2.4 に示す。

①  $\alpha$  型 (2 シリンダ 2 ピストン型)

ディスプレイサ (加熱) とパワーピストン (冷却) の 2 ピストンを 90 度位相差をつけたクランクで連結したタイプ.

クランク軸にはフライホイールをつけて軸の回転を持続させる.

②  $\beta$  型 (単一シリンダ型)

単一シリンダ内に作動空間の容積を変えるためのディスプレイサとパワーピストンの両方をもつ. 小型化できると軸対称なので振動が小さい.

③  $\gamma$  型 (2 シリンダ・1 ディスプレーサ型)

$\beta$  型のディスプレイサと出力ピストンを別々のシリンダに収めたタイプ<sup>(4)</sup>.

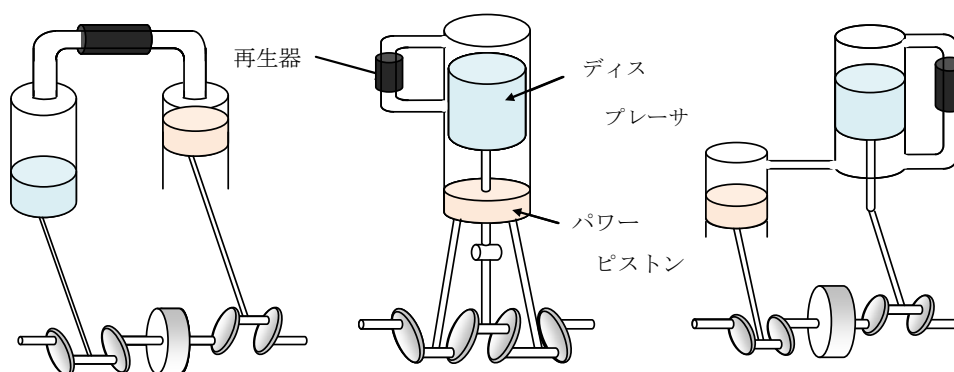


図 2.4 主な SE の構造<sup>(5)</sup>

SE の動作原理を図 2.5 に示す.

- (1)A においては冷却された空気により, シリンダ内の圧力が低下する. そのため, パワーピストンが押し上げられる.
- (2)B では, 押し上げられたピストンが上死点に達し, シリンダ内の空気が加熱部側に移動し, シリンダ内の圧力が上昇する.
- (3)C のシリンダ内の圧力がさらに上昇し冷却部側に空気が流れ込む. それによりパワーピストンが押し下げられる.
- (4)D でパワーピストンが下死点まで下がり, 慣性によりピストンが上昇する. また, 加熱部側の空気が冷却部側に送られる.

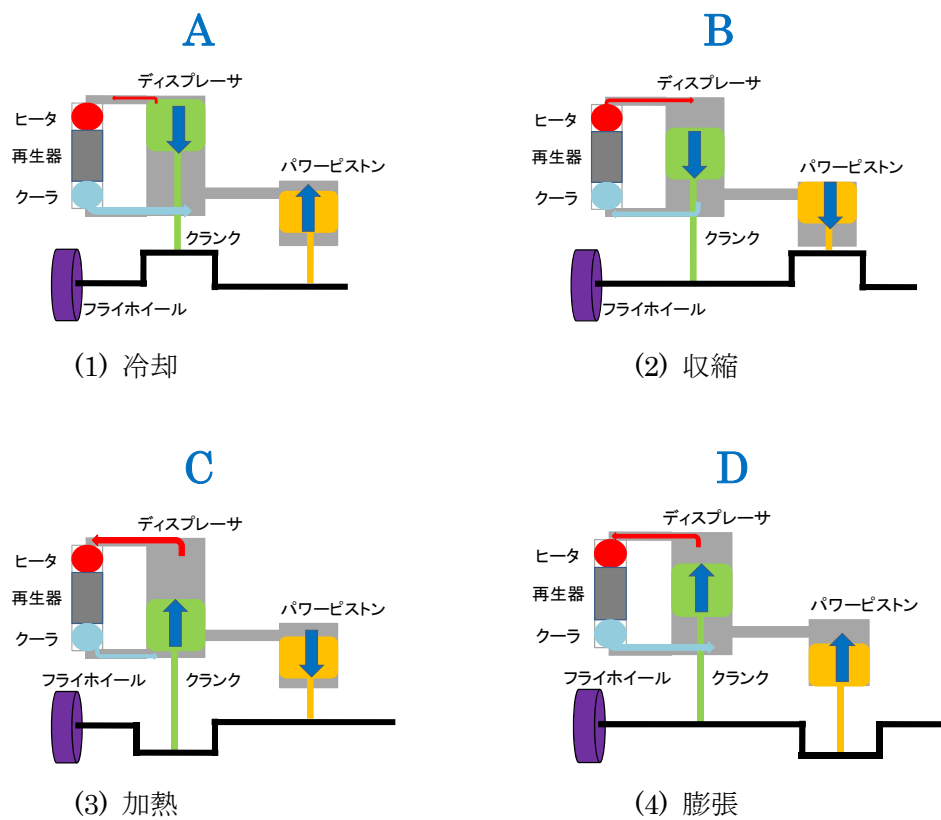


図 2.5 SE 動作の工程

### 2.1.3. Schmidt モデルによる出力解析

表 2.1 変数一覧

記号	変数名
$P$	圧力
$V$	シリンダ内容積
$M$	封入ガス質量
$R$	気体定数
$T$	温度
$W$	仕事
$\tau$	温度比
$Q$	熱量
$P_m$	作動ガスの平均圧力
$f$	回転数
$t$	時間

等温モデルは、膨張空間と熱交換器の内部の作動ガスの温度がそれぞれ一定に保たれているモデルである。

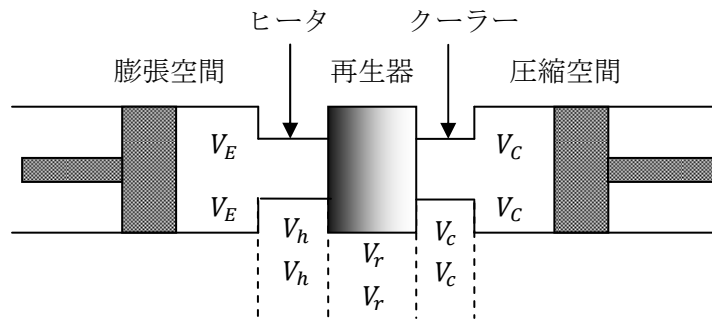


図 2.6 SE のモデル化

図 2.6 の各空間において、理想気体の式

$$PV_j = M_j RT_j \quad (2.17)$$

が成り立っている。(  $j = eE, h, r, c, C$  )

エンジン内には一定量の作動ガスが封入されているので、式(2.18)が成り立つ。

$$M_E + M_h + M_r + M_c + M_C = M_0 \quad (2.18)$$

よって、式(2.17), (2.18)より,

$$\frac{P}{R} \left( \frac{V_E + V_h}{T_h} + \frac{V_r}{T_r} + \frac{V_c + V_C}{T_C} \right) = M_0 \quad (2.19)$$

となる.

容積変化が式(2.20), (2.21)で与えられているときの理想等温モデルを, Schmidt モデルという. 膨張空間と圧縮空間の容積が三角関数の1次式であたえられる場合には, 図示仕事などを数値積分なしで求めることができる.  $\tau$ は温度比は $\tau = \frac{T_c}{T_h}$ ,  $\theta$ は $\theta = 2\pi ft$ とする.

$$V_E \cong v_E \left( \frac{1 - \cos \theta}{2} \right) \quad (2.20)$$

$$V_C \cong v_C \left( \frac{1 - \cos(\theta - \beta)}{2} \right) \quad (2.21)$$

Schmidt モデルでは, 圧力 $P$ は式(2.19)~(2.21)より,

$$P = \frac{P_m \sqrt{1 - \delta^2}}{1 - \delta \cos(2\pi ft - \phi)} \quad (2.22)$$

と表すことができる. ここで,  $P_m$ ,  $\delta$ ,  $\phi$ は,

$$P_m = \frac{2M_0 R T_C}{v_E \zeta \sqrt{1 - \delta^2}} \quad (2.23)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\kappa \sin \beta}{\tau + \kappa \cos \beta} \right) \quad (2.24)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{\kappa^2 + \tau^2 + 2\kappa\tau \cos \beta}}{\zeta} \quad (2.25)$$

となる. 式(2.23)の $P_m$ は, 作動ガスの平均圧力を表す.

膨張空間, 圧縮空間における仕事量と熱には, 式(2.26), (2.27)のような関係式が成り立つ.

$$Q_E = W_E = \oint P dV_E \quad (2.26)$$

$$Q_C = W_C = \oint P dV_C \quad (2.27)$$

1 サイクルにエンジンが外部になす仕事量である図示仕事 $W_r$ は,

$$W_r = W_E + W_C \quad (2.28)$$

となるので, 式(2.23)~(2.25)を用いて式(2.26), (2.27)の積分を実行すると,  
式(2.28)は,

$$W_T = \frac{\pi\kappa(1-\tau)\sin\beta}{\zeta(1+\sqrt{1-\delta^2})} P_m v_E \quad (2.29)$$

となる. 式(2.29)に用いた変数を式(2.30), 式(2.31)に示す.

$$\kappa = \frac{v_c}{v_E} \quad (2.30)$$

$$\zeta = \kappa + \tau + \frac{4\tau\kappa_D}{1+\tau} \quad (2.31)$$

また, 熱交換器容積などの死容積は, 式(2.32)の温度を持つ等価的死容積 $V_D$ に置換され,  $v_E$ との比によって定義される等価的死容積 $\kappa_D$ についてで代表されている.

$$\frac{(T_h+T_c)}{2} \quad (2.32)$$

等価的死容積 $\kappa_D$ は式(2.33)で表わされる.

$$\kappa_D = \frac{V_D}{v_E} = \frac{1+\tau}{2v_E} \left( x_E v_E + V_h + \frac{V_r \ln \tau}{\tau-1} + \frac{V_c + x_C v_C}{\tau} \right) \quad (2.33)$$

ヒータの加熱量 $Q_h$ は, 再熱損失量 $Q_r$ に等しいので, 熱効率は,

$$\eta = \frac{1-\tau}{1+\frac{Q_r}{Q_E}} \quad (2.34)$$

であるから, 1 サイクル中の最高圧力 $P_{max}$ は,

$$\cos(2\pi ft - \phi) = 1 \quad (2.35)$$

式(2.35)のときで, 式(2.36)となる.

$$P_{max} = \frac{P_m \sqrt{1-\delta^2}}{1-\delta} = \frac{\sqrt{(1+\delta)(1-\delta)}}{1-\delta} P_m = \sqrt{\frac{(1+\delta)}{1-\delta}} P_m \quad (2.36)$$



また最低出力 $P_{min}$ は,

$$\cos(2\pi ft - \phi) = -1 \quad (2.37)$$

式(2.37)のときで,

$$P_{min} = \frac{P_m \sqrt{1-\delta^2}}{1+\delta} = \frac{\sqrt{(1+\delta)(1-\delta)}}{1+\delta} P_m = \sqrt{\frac{(1-\delta)}{1+\delta}} P_m \quad (2.38)$$

となる.

よって圧縮率 $\psi$ は,

$$P = \frac{P_{max}}{P_{min}} = \frac{1+\delta}{1-\delta} \quad (2.39)$$

と表される.

膨張空間と圧縮空間内の死容積を含むすべての死容積は, 式(2.32)の等しい温度であることを仮定すると, 死容積比 $x_D$ は式(2.40)となる.

$$x_D = \frac{x_E v_E + V_h + V_r + V_c + x_c v_c}{v_E} \quad (2.40)$$

この $x_D$ を用いると, 全容積の最大値と最小値の比, つまり圧縮率 $\varepsilon$ は, 式(2.41)で求めることができる.

$$\varepsilon = \frac{1+\kappa+\xi+2x_D}{1+\kappa-\xi+2x_D} \quad (2.41)$$

ここで,  $\xi$ は式(2.42)である.

$$\xi = \sqrt{1 + \kappa^2 + 2\kappa \cos \beta} \quad (2.42)$$

以上は,  $0^\circ < \beta < 180^\circ$  のとき,  $T_h = T_c (\tau > 1)$  の場合にも成立する.

よって式(2.29)から,

$$W_r < 0 \quad (2.43)$$

式(2.43)が成り立ち, SE は外部から駆動され, 吸収熱 $Q_E (> 0)$ , 放熱量 $Q_C (< 0)$ の冷凍機またはヒートポンプとして働くことになる<sup>(6)</sup>.

## 2.2. $\alpha$ 型 SE の試作



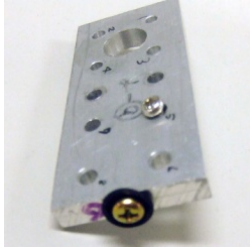
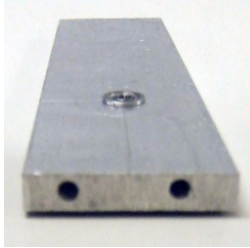
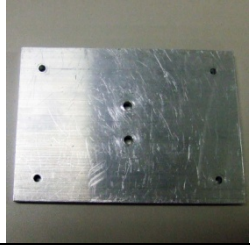



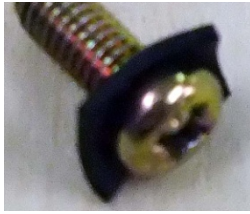
$\alpha$ 型 SE を製作することにより，数多くのシリンダ配置が存在すること，機械損失が大きいこと，圧力漏れ防止のピストンシールが重要であることを理解する．

### 2.2.1. 製作

$\alpha$ 型 SE は埼玉大学工学部機械工学科の方達が知能機械工学セミナーという授業で製作した「模型スターリングエンジンの製作」<sup>(7)</sup>を製作した． $\alpha$ 型 SE を製作するために必要な各部品の図面は付録 B に記載し，製作した部品の図を表 2.1 に示す．

表 2.1  $\alpha$ 型 SE の部品写真一覧

(1)シリンダカバー	(2)加熱器
	
(3)フライホイール	(4)クランクディスク
	
(5)ピストンホルダ	(6)シリンダ
	

(7)ディスプレイサピストン	(8)低温側ピストン
	
(9)連結板	(10)フレーム
	
(11)台座	(12)回転軸
	
(13)コンロッド	(14)パッキン
	
(15)パッキン 2	—
	—

次に、製作した部品の組み立て手順を以下に示す。

- (1)連結板に加熱器，シリンダ，シリンダカバーをねじ止めする。
- (2)フレームに回転軸，クランクディスク，フライホイールを取り付ける。
- (3)低温側およびディスプレイサピストンにピストンホルダを取り付ける。

- (4)回転軸に低温側およびディスプレイサピストンを取り付ける.
- (5)台座とフレームを取り付ける.
- (6)連結板を台座, フレームに取り付ける.

この様にして製作した SE を,  $\alpha$ 型 SE の初号機と称する. また, 完成図を各部品の名称を図 2.7~2.9 に示す.

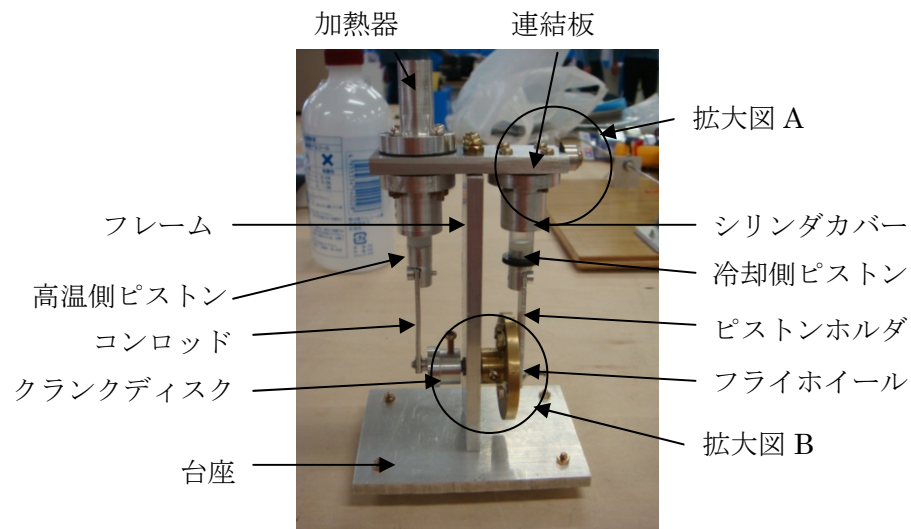


図 2.7  $\alpha$ 型 SE の初号機完成図

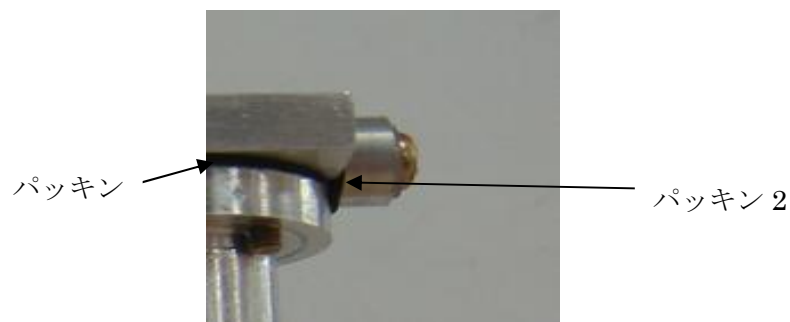


図 2.8 拡大図 A

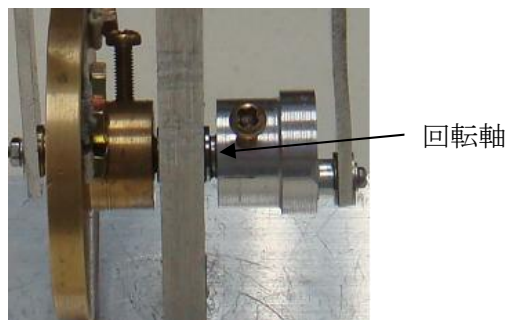


図 2.9 拡大図 B

## 2.2.2. 運転と結果

完成した $\alpha$ 型 SE の初号機をドライヤーで熱し、動作を確認した。以下にその時の様子を示す。

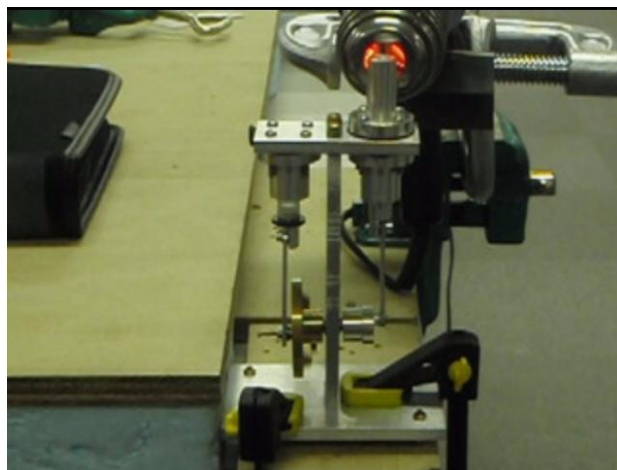


図 2.10 実験風景

組み立て直後の $\alpha$ 型 SE の初号機は動作しなかった。以下のように原因を分析し、改良すべき点を検討し、改良を行った。

### (1)原因

- ・回転軸部分の揺れ  
フレームの穴が回転軸の径より大きすぎたため、フライホイールを回した時にピストンがふらついてしまった。
- ・フライホイールとコンロッドの接続部分  
ボルトとナットで挟んで固定しただけなので、フライホイールを回転させると、ボルトが緩んでコンロッドの位置がずれてしまった。
- ・加熱器とディスプレイサピストンの接触  
ディスプレイサピストン長が、加熱器の上端—シリンダカバーの下端間の長さより大きくなってしまったため、ディスプレイサピストンが上がりきる前に加熱器と接触してしまった。
- ・密封が不十分  
SE に水を入れ、密封のテストをしたところ、シリンダカバーとシリンダの隙間から水漏れが見られた。エポキシを塗った際の斑だと思われる。
- ・フライホイールの重心のずれ  
フライホイールの重心が中心でないことから、回転に一部重い場所ができる。

## (2)改良点

- 回転軸部分にベアリングを入れ、軸のぶれを失くし、回転を滑らかにした.
- フライホイールとコンロッドの接続部分に図 2.11 のピンを作り、図 2.12 のように取り付ける. 結果、フライホイールの回転中にコンロッドがずれることがなくなった.
- フレームと連結版の結合部にワッシャーを入れ、シリンダカバーとディスプレイサピストンの接触を防いだ.
- シリンダカバーとシリンダの結合部の上端と下端をエポキシで埋め、空気が入らない、入っても漏れないようにした.
- 図 2.13 のようにフライホイールの内側にナットを貼りつけ、重心を中心に調整した.



図 2.11 接続ピン(フライホイールーコンロッド間)

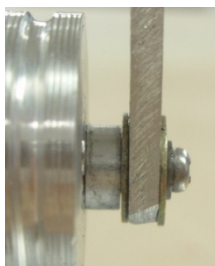


図 2.12 接続ピンの接続部分



図 2.13 フライホイールの内側部分

以上の改良を行い、 $\alpha$ 型 SE の 2 号機が完成した.

### 2.2.3. 運転と結果 2

$\alpha$ 型 SE の 2 号機の動作時間は 30 秒間程度であった。さらにその原因を分析し、改良すべき点を検討し、改良を行った。

#### (1)原因

- ・ シリンダとコンロッドの接続部分

フライホイールとコンロッドの接続部分と同じように、フライホイールを回転させたときの振れが大きかった。

- ・ 密封が不十分

SE に水を入れて空気漏れのテストをしたところ、シリンダカバー—シリンダ管のエポキシ埋めが不完全であること、図 2.14 のパッキン部の密封ができていないことが分かった。パッキン部は、強く締めることによりネジと連結板に挟まれたパッキン 2 が割れてしまうことが分かった。



図 2.14 パッキン 2—連結板間

#### (2)改良点

- ・ SE を水平台の上に置き、加工時の誤差による軸ずれの補正を行った。それに伴い台座を削ったため、加熱器とディスプレイサピストンが接触を起こしてしまったので、フレームと連結板の結合部にもう一枚ワッシャーを入れた。
- ・ 図 2.15 のピンを作り、シリンダとコンロッドの接続部分に図 2.16 のように取り付けた。
- ・ シリンダカバー—シリンダ間をさらにエポキシで埋めた。また、図 2.17 のように、パッキンと連結板の間に紙を挟むことで、パッキン割れと密封の両方の問題を解決した。





図 2.15 接続ピン (シリンダー-コンロッド間)



図 2.16 接続ピンの接続部分

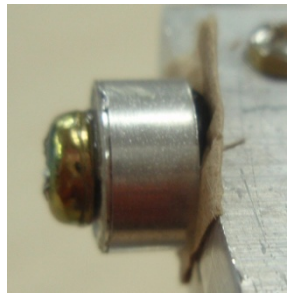


図 2.17 パッキン-連結板間

以上の改良を行い、 $\alpha$ 型 SE の 3 号機が完成した。

#### 2.2.4. 運転と結果 3

$\alpha$  型 SE の 3 号機は、長時間にわたる連続動作に成功した。その動作時間は、30 分以上動作することが分かった。実験では測定を 30 分で終了したため、それ以上どの程度の時間まで連続動作可能なのか具体的な限界値は分からないが、30 分は動作することが分かった。また、完成図を図 2.18 に示す。

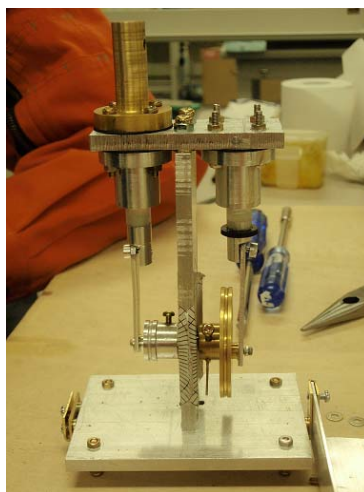


図 2.18  $\alpha$  型 SE の 3 号機



### 2.2.5. 回転数の計測

$\alpha$ 型 SE の出力を求めるために、磁気センサを用いた測定装置を使用して、SE の回転数を求める。また、フライホイールの位相角を 5 度ずつ 80 度から 100 度の範囲で変化させて、最高回転数の出る最適な位相角を見つける。測定装置の構成は、磁気センサ、オシロスコープ、定電圧電源である。図 2.19 に測定風景を示す。

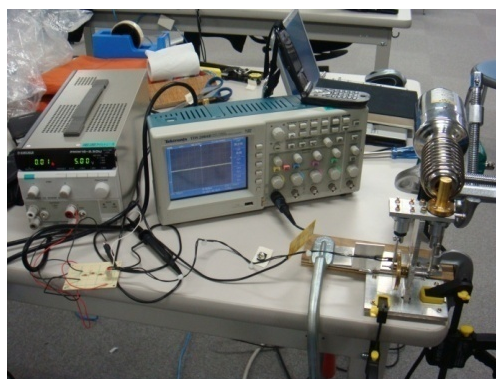


図 2.19 測定風景

### 2.2.6. 計測結果

フライホイールの位相角を変化させて実験を行った結果、85 度から 95 度の範囲で回転することが分かり、90 度 のとき最高回転数が約 500 rpm となった。

### 2.2.7. 結論

$\alpha$ 型 SE を製作するに当たって以下の点が重要であることを理解した。

- ・ 圧力漏れの削減
- ・ ベアリングによる各パーツと回転軸のぶれと摩擦の低減
- ・ 各パーツを組み立てる時のオフセット調整
- ・ ネジの固定による部品の振れ





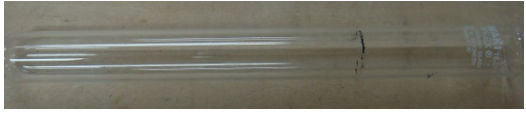



## 2.3. $\beta$ 型 SE の試作









$\beta$ 型 SE を製作することにより、小型および軸対称であることなどを理解する。

### 2.3.1. 製作

$\beta$ 型 SE は「Bellows-mini」<sup>(8)</sup>を製作した。 $\beta$ 型 SE を製作するために必要な各部品の図面は、付録 C に記載し、製作した部品の図を、表 2.2 に示す。

表 2.2  $\beta$ 型 SE の部品写真一覧

(1)ディスプレイサピストン	(2)ディスプレイサロッド
	
(3)ホルダ兼放熱器	(4)ディスプレイサヘッド
	
(5)ディスプレイサシリンダ	(6)コンロッドピン取付け板
	
(7)コンロッド (ベローズ側)	(8)コンロッド (ディスプレイサ側)
	

(9)フライホイール	(10)スペーサー
	
(11)圧力調節用管	(12)延長パイプ
	
(13)フレーム 1	(14)フレーム 2
	
(15)ロッドホルダ	(16)接続パイプ
	

製作した部品の組み立て手順を以下に示す。

- (1)ディスプレイサケースにホルダ兼放熱器を取り付ける。そして、ディスプレイサケースにディスプレイサを入れる。
- (2)ホルダ兼放熱器にフレーム 1 を取り付ける。
- (3)ディスプレイサヘッドにベローズおよび圧力調節用管が差し込む穴をあける。
- (4)ベローズにコンロッドピン取付け板を取り付けて、ベローズと圧力調節用管をディスプレイサヘッドに差し込み、ディスプレイサケースに取り付ける。
- (5)フレーム 2 に歯車、コンロッド(ベローズ側)、コンロッド(ディスプレイサ側)、フライホイールを取り付ける。
- (6)フレーム 1 とフレーム 2 をねじ止めする。

(7)圧力調節用管に延長パイプの一方を取り付け、もう一方をフレーム 1 に書類クリップで留める。

組み立て後の完成予想図を図 2.20～2.21 に示す。

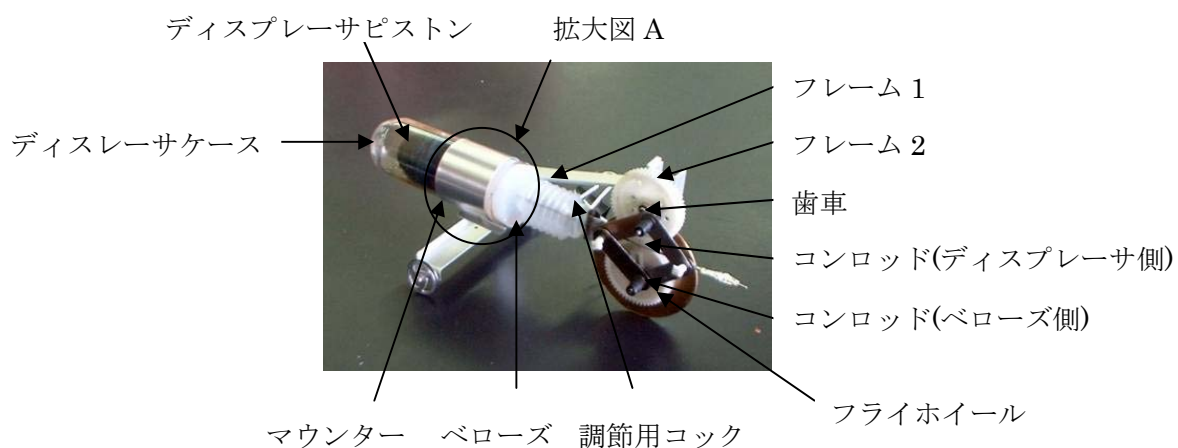


図 2.20  $\beta$ 型 SE の完成予想図

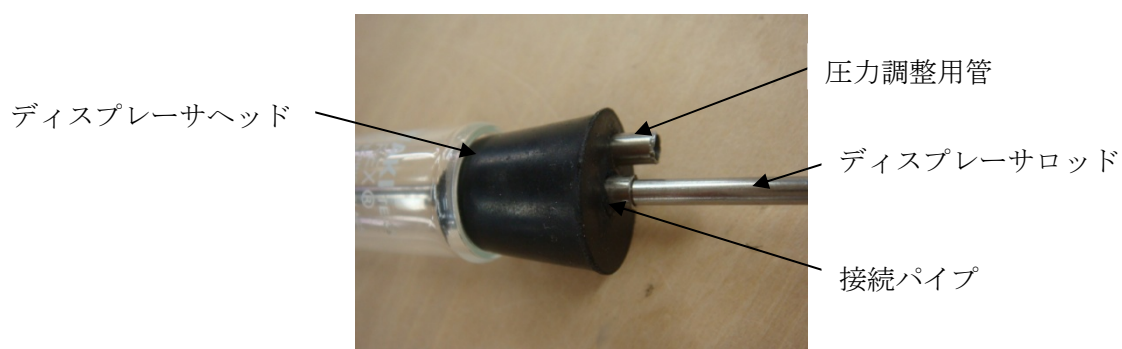


図 2.21 拡大図 A

### 2.3.2. 運転と結果

$\beta$ 型 SE は製作予定期間を過ぎて、SE の組み上がり状況が良くないことから、製作に今後時間をかけても組み上がり、そして動作する可能性が低いと判断し、改良途中で製作を打ち切りとした。

### 2.3.3. 考察

$\beta$ 型 SE の製作が終了しなかった原因として、次の原因が考えられるが、ここではその分析までにとどめることにする。

- ・ 模型 SE 組み付け図の解読間違い
- ・ 引用著書に記載されている図面の寸法読み取り間違い
- ・ 引用著書に記載されていない図面を作成時の寸法誤り

などの原因があげられる。それぞれの原因に関して具体的に説明すると、

- ・ 模型 SE 組み付け図の読み取り間違いによって、既製品で加工してはいけない部分を加工してしまい、部品の再購入が必要になってしまった。
- ・ 引用著書既存図面部品の製作は、図面をそのまま写し、その図面には必要な寸法しか書かれておらず、製作時に必要な細かい寸法を算出せず、部品を加工してしまつたため、失敗が多く作り直しが多くなつてしまった。
- ・ 引用著書にない図面部品は自分たちで図面を作成し、決定していない寸法は部品を製作しながら、決定していったため、寸法が合わず、部品の作り直しが多くなつてしまった。そして、これらの原因や各部品の組み立ての調整が難しいという理由と予定より製作が遅れていることから、製作を中止せざるを得なくなった。

また、これらの失敗から、次のようなことを学ぶことができた。

- ・ 正確な図面(材質，個数，寸法，精度を記入した図面)
- ・ 組み立て図による各部品のつながりの関係
- ・ 組み立ての調整が難しい

## 2.4. $\gamma$ 型 SE の試作



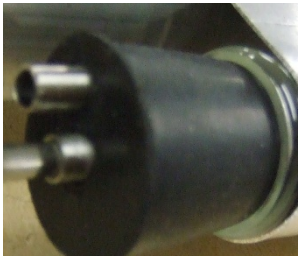

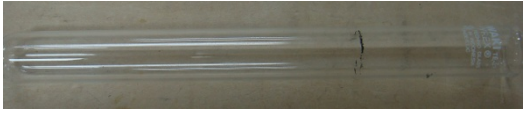
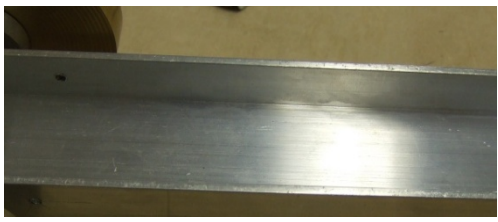
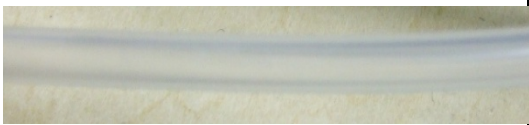

SE の基本 3 形式の 1 つである、 $\gamma$ 型 SE を作成することにより特徴や難しさなどを理解する。



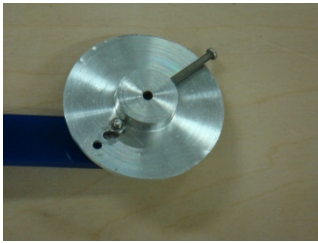



$\gamma$ 型 SE を製作することにより、大型であること、圧縮比の低減などを理解する。

### 2.4.1. 製作

$\gamma$ 型 SE は「noBB」<sup>(8)</sup> を製作した。 $\gamma$ 型 SE を製作するために必要な各 부품の図面は付録 D に記載し、製作した 부품の図を表 2.3 に示す。

表 2.3  $\gamma$ 型 SE の部品写真一覧

(1) ディスプレーサピストン	(2) ディスプレーサロッド
	
(3) ディスプレーサヘッド	(4) マウンター
	
(5) ディスプレーサシリンダ	(6) シャーシ
	
(7) シリコンチューブ	(8) コンロッド (シャーシ側)
	

(9)コンロッド (フライホイール側)	(10)フライホイール
	
(11)クランクディスク	(12)コンロッドピン取付け板
	
(13)圧力調節用管	(14)接続パイプ
	

製作した部品の組み立て手順を以下に示す.

- (1)シャーシに2つのマウンターをねじ止めする.
- (2)シャーシに回転軸を取り付け, 回転軸にフライホイールおよびクランクディスクを取り付ける.
- (3)ディスプレイサピストンをディスプレイサケースに入れ, ケース入口を下にした際, ピストンがゆっくり落ちてくる様に, スチールウールの太さを調節する.
- (4)ディスプレイサヘッドに圧力調節用管とディスプレイサロッドが通るパイプを差し込み, ケースにピストンおよびヘッドをはめる.
- (5)マウンターにパワーピストンおよびディスプレイサピストンを結束バンドで取り付ける.
- (6)ディスプレイサロッドおよびコンロッドピン取付け板にコンロッドを取り付ける.

この様にして製作したSEを,  $\gamma$ 型SEの初号機と称する. また, 完成図を図2.22に示す.



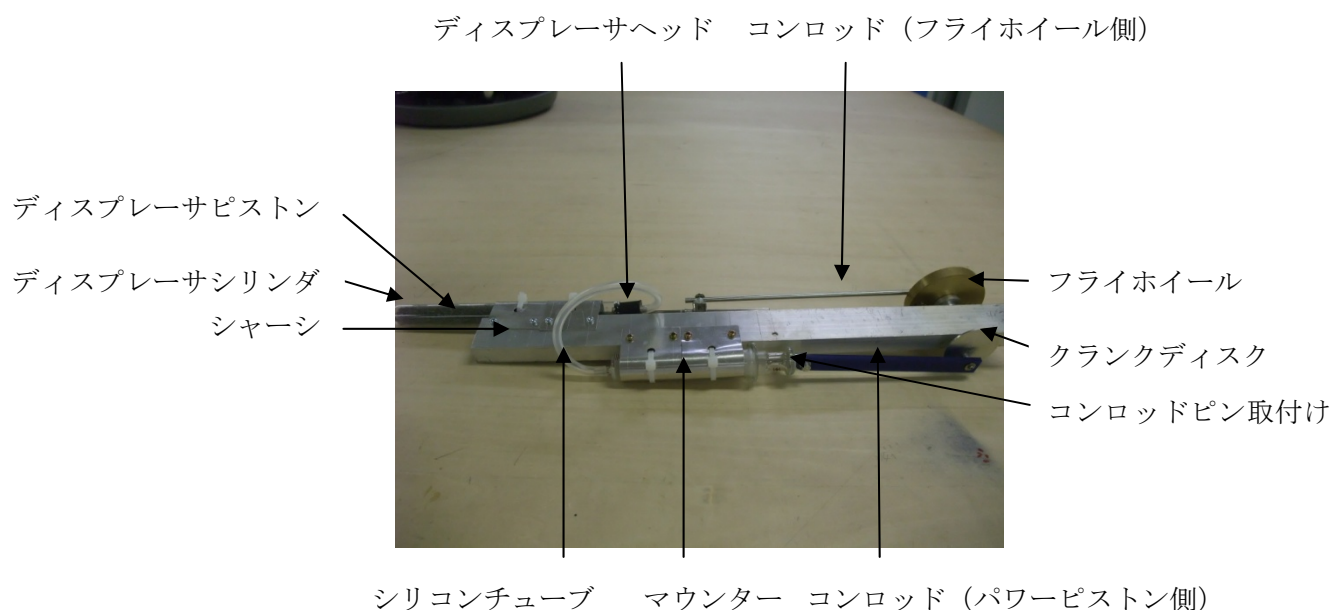


図 2.22  $\gamma$ 型 SE の初号機完成図

## 2.4.2. 運転と結果

完成した $\gamma$ 型 SE 初号機をドライヤーで熱し、動作を確認した。組み立てた $\gamma$ 型 SE 初号機は動作しなかった。

以下のように原因を分析し、改良すべき点を検討し、改良を行った。

### (1)原因

- 回転軸部分の揺れ
 

フレームの穴の位置ずれおよび、フライホイールとクランクディスクを連結する回転軸の径が大きくなりすぎてしまったことおよび、位置ずれにより、フライホイールを回した時にピストンがふらついてしまった。
- ディスプレーサシリンダおよびパワーピストンシリンダの固定
 

ディスプレイサシリンダおよびパワーピストンシリンダを固定するマウンターの拘束力が弱く、ディスプレイサピストンが往復運動を繰り返すと、揺れてしまった。
- ディスプレーサロッドの位置ずれ
 

ディスプレイサロッドとコンロッド(フライホイール側)を接続して、ディスプレイサピストンの往復運動をさせた結果、コンロッドにオフセットが存在し、摩擦が発生していたと考える。



## (2)改良点

- ・回転軸部分に図 2.23 のようにベアリングを入れ，軸のぶれと摩擦を低減し，回転を滑らかにした.
- ・固定しているマウンターの数を 1 つ増やし，図 2.24 のように 2 つで固定することにより，拘束力の増加を図った.
- ・SE を水平台に置き，ディスプレイサロッドとコンロッド(フライホイール側)の往復運動をさせて，オフセットが存在しないように図 2.25 のようにオフセット調整の接続ピンを作成して，図 2.26 のように接続した.



図 2.23 ベアリング

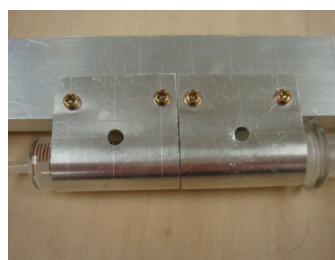


図 2.24 2つのマウンター



図 2.25 オフセット調整ピン



図 2.26 接続図

以上の改良を行い， $\gamma$ 型 SE の 2 号機が完成した.

### 2.4.3. 運転と結果 2

改良した $\gamma$ 型 SE の 2 号機をドライヤーを熱源として，作動実験を行った結果，作動しなかった。 $\gamma$ 型 SE は，時間がないたため，製作を打ち切りとした。そして，作動不良の原因究明のため，各パーツを全て取り外し，シャーシに一部ずつパーツを取り付けて，抵抗を感じるかどうかの抵抗試験を行った。その結果，以下の 2 点が原因だと考えられる。

(1)原因

- ・図 2.26 に示すコンロッド(フライホイール側)とディスプレイサロッドの接触が固かった.
- ・図 2.27 に示す場所から圧力が漏れていた.

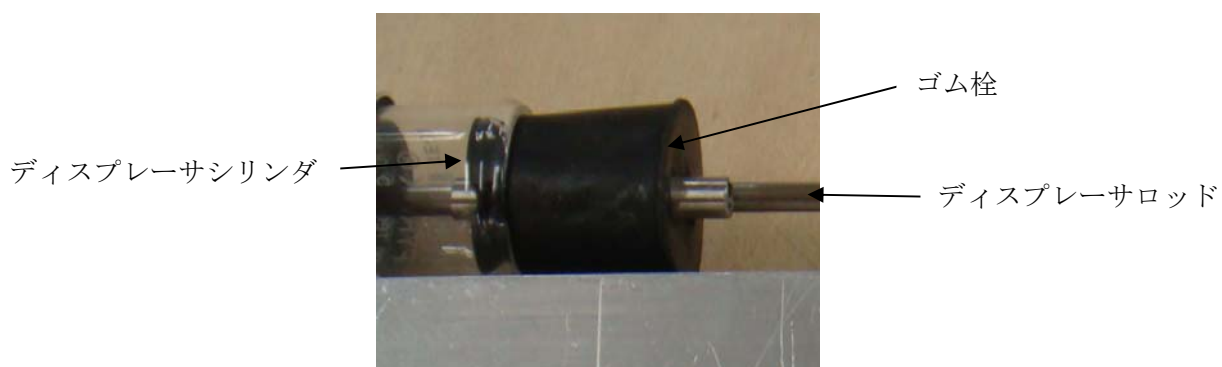


図 2.27 圧力漏れ部分の拡大図

2.4.4. 結論

$\gamma$ 型 SE 製作に当たって以下の点が重要であることを理解した.

- ・圧力漏れの低減
- ・ベアリングによる各パーツ同士のぶれと摩擦の低減
- ・各パーツを組み立てる時のオフセット調整

### 3. 太陽光のエネルギー測定

#### 3.1. 実験目的

地表に降り注ぐ太陽光は季節，日中の時間帯によって変化する．よって，太陽から降り注ぐ光が地球の地表に届く時，いくら光になっているかを，集光面積 1400mm × 1050mm のフレネルレンズを使用して光を集光する．フレネルレンズを使用して集光した光を，墨汁により着色した水に当てて水温の温度変化を測定することによって，SE に使用できる有効な光エネルギーの仕事率を求める．

#### 3.2. 実験原理

水に太陽光を当て，仕事率を求める．  
一般的に比熱 $c$ [J/g·K]，質量 $m$ [g]の物体の熱容量 $C$ [J/K]は式(3.1)となる．

$$C = mc[\text{J/K}] \quad (3.1)$$

また，光が熱に変化する過程は，光，熱，水の温度上昇となり，この関係から

$$\text{水の温度上昇} : \text{光} = \text{熱} + \text{損失}$$

となる．損失は，水に当たった光が熱に変換され，その熱の一部がアルミニウムの容器や攪拌棒に奪われる．そのため，容器と攪拌棒の熱容量を考慮する必要があり，水当量を求める．容器と攪拌棒の質量の合計を $m_{al}$ ，水の比熱を $c_w$ [J/g·K]，アルミの比熱を $c_{al}$ [J/g·K]とすると水当量 $e_w$ は，式(3.2)となる．

$$e_w = m_{al} \times c_{al}[\text{J/K}] = \frac{m_{al} \times c_{al}}{c_w}[\text{g}] \quad (3.2)$$

そして，単位時間当たりの温度上昇を求めるため，最小二乗法を用いる．傾き(温度上昇率) $a$ に熱容量 $C$ をかけた値が太陽光より得られるエネルギーの仕事率が，式(3.3)となる．

$$P[\text{J/s}] = a[\text{K/s}] \times C[\text{J/K}] \quad (3.3)$$

### 3.3. 実験手順

- (1)フレネルレンズを図 3.1 のようにセットする. このとき, フレネルレンズと太陽の向きが一致するようにセットする. フレネルレンズに太陽光が入ると, 照射場所は高温になり燃える危険性があるので実験開始まで太陽光が入らないように気をつける.
- (2)容器, 棒の質量を電子天秤で測定する.
- (3)容器に墨汁と水を入れ, (2)と同様に, 容器と水の質量を電子天秤で測定する.
- (4)熱量計を図 3.2 のようにセットする.
- (5)開始前の水の温度を測定してから, 時間間隔 $T_1, T_2, \dots, T_i$ の時の温度 $K_1, K_2, \dots, K_i$ を測定する. また, 実験中は水の温度を均一にするため, 絶えず攪拌しておくこと.



図 3.1 フレネルレンズの設置図

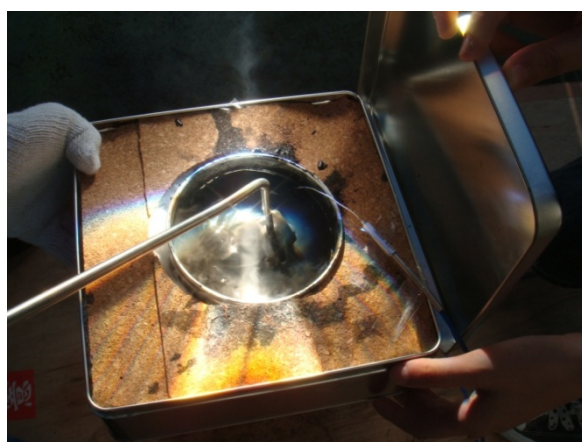


図 3.2 熱量計の設置

### 3.4. 測定結果 1

式(3.1)~(3.3)を用いて、仕事率を求める。なお、仕事率を求める際に使用したデータは Appendix D に記載する。表 3.1 に 10 月 17 日実施の測定結果を示す。集光面積は光をフレネルレンズにより集光した面積である。レンズの角度は、地球に対する角度である。距離はレンズと容器の距離である。

表 3.1 測定 1 日目(10 月 17 日)

実験回数	仕事率[J/s]	天候	集光面積	レンズの角度[°]	距離[cm]
1	30.2	晴れ	かなり広がった	約 45	約 100

表 3.1 より、測定第 1 回目の仕事率は 30.2[J/s]と低かった。この原因を以下のように分析する。

#### (1)原因

- ・集光面積が広い  
フレネルレンズにより集光された光の面積が大きいため、熱量計に全て光が入らず、熱に変換されなかった。
- ・熱量計と焦点位置を遠ざけた  
焦点と容器の位置が近いため、光の焦点が水に当たらなかった。

#### (2)改良点

- ・集光面積を狭くした
- ・熱量計を焦点位置に近づけた。

### 3.5. 測定結果 2

測定 1 回目と同様に式(3.1)~(3.3)を用いて、仕事率を求める。なお、仕事率を求める際に使用したデータは付録 A に記載する。表 3.2 に 11 月 14 日実施の測定結果を示す。

表 3.2 測定 2 日目(11 月 14 日)

実験回数	仕事率[J/s]	天候	集光面積	レンズの角度[°]	距離[cm]
2	51.3	快晴	広がった	約 45	約 140
3	20.1	快晴	広がった	約 45	約 150

表 3.2 より、測定第 2, 3 回目の仕事率は 51.3, 20.1[J/s]となり、測定一回目よりは高い仕事率を求めることが出来た。この原因を以下のように分析する。

#### (1)原因

- ・集光面積を狭くした  
集光面積を狭くすることにより、容器内の水に多くの光を入れることが出来た。
- ・熱量計と焦点位置に遠ざけた。  
集光した光が多く容器内の水に当たり、熱に変換された。
- ・上空の雲量の存在  
空に雲が存在したために、太陽光が遮られることがあった。

#### (2)改良点

- ・集光面積を狭くした
- ・フレネルレンズと熱量計の距離を近くした。
- ・太陽光とフレネルレンズの角度を垂直にした。

### 3.6. 測定結果 3

測定 1 回目と同様に式(3.1)~(3.3)を用いて、仕事率を求める。なお、仕事率を求める際に使用したデータは Appendix D に記載する。表 3.3 に 11 月 21 日実施の測定結果を示す。

表 3.3 測定 3 日目(11 月 21 日)

実験回数	仕事率[J/s]	天候	集光面積	レンズの角度[°]	距離[cm]
4	167	快晴	狭かった	約 60	約 120
5	128	快晴	狭かった	約 60	約 120

表 3.3 より、測定第 4, 5 回目の仕事率は 167, および 128[J/s]と、これまでの最高値を記録した。この原因を以下のように分析する。

#### (1)原因

- ・集光面積を狭くした  
集光面積を狭くすることにより、容器内の水に多くの光を入れることが出来た。
- ・レンズの角度を 60 度にした。
- ・熱量計と焦点位置を近づけた。

## 4. 本作の設計

### 4.1. 設計

動作原理より，SE の設計を行った．設計にあたり，等温モデルの Schmidt 法を適用し，目標性能を決定した．Schmidt 法は，「スターリングエンジンの理論と設計」に付属のソフトを用いた<sup>(9)</sup>．

本作の SE 構造は 2 章で試作した SE の中で，唯一動作確認できた  $\alpha$  型 SE に似せている．ソフトを用いるに当たり，各種パラメータの設定を行う．シリンダ，ピストンは購入予算から最大直径のものを使用することとし，加熱器やシリンダホルダのパラメータを設定した．プログラムを実行した際に入力したパラメータの値を表 4.1 に示す．

表 4.1 設定したパラメータ

名称	値
膨張ピストンの掃気容積	12.76 [cm <sup>3</sup> ]
圧縮ピストンの掃気容積	12.76 [cm <sup>3</sup> ]
高温側の死容積	1.452 [cm <sup>3</sup> ]
再生器容積	0.79 [cm <sup>3</sup> ]
低温側の死容積	1.046 [cm <sup>3</sup> ]
高温側ガス温度	350 [deg C]
低温側ガス温度	70 [deg C]
位相差	90 [deg]
バッファ空間の圧力	102 [kPa]
エンジン回転数	500 [rpm]

#### (a) ディスプレーサピストンの掃気容積

加熱器の内径を  $D_e = 28.5$  mm，ストローク長を  $l_1 = 20$  mm とする．掃気とは，気体をシリンダ内へ送り込み，排出する行程のことなので，ディスプレーサピストンの掃気容積  $V_e$  は式(1)となる．図 4.1 に加熱器の外形を示す．

$$V_e = \frac{l_1 \pi}{4} D_e^2 = \frac{20 \times \pi}{4} 28.5^2 = 12758.7 \dots [\text{mm}^3] \cong 12.76 [\text{cm}^3] \quad (4.1)$$



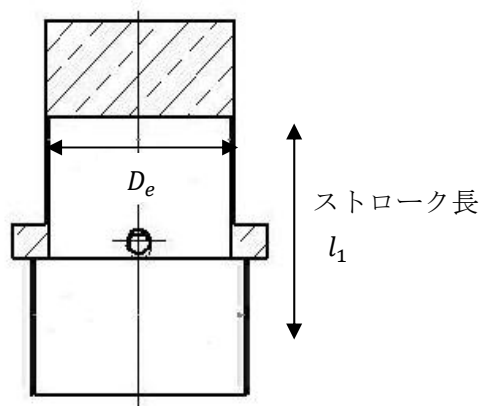


図 4.1 加熱器

(b) パワーピストンの掃気容積

ディスプレイサ側から排出された気体がパワーピストン側に移動するため、パワーピストンの掃気容積 $V_c$ は、式(4.2)のようになる。

$$V_c = V_e \quad (4.2)$$

(c) 高温側の死容積

死容積とは、熱交換や圧縮、膨張などに関与しない容積のことなので、図 2 の黒い部分となる。ディスプレイサピストンの外径を $d_e = 27.5 \text{ mm}$ 、加熱器の内径を $D_e = 28.5 \text{ mm}$ 、加熱器の高さを $h_1 = 23.5 \text{ mm}$ とすると、ピストンの側面の死容積 $x_1$ は、式(3)となる。

$$x_1 = \frac{h_1 \pi}{4} (D_e^2 - d_e^2) = \frac{23.5 \times \pi}{4} (28.5^2 - 27.5^2) = 813.67 \dots [\text{mm}^3] \cong 0.8137 [\text{cm}^3] \quad (4.3)$$

また、加熱器の内部の高さと、ピストンが最も高い位置にくる上死点との差を $S_1 = 1 \text{ mm}$ とすると、ピストンの上側の死容積は、

$$x_2 = \frac{S_1 \pi}{4} D_e^2 = \frac{1 \times \pi}{4} \times 28.5^2 = 637.93 \dots [\text{mm}^3] \cong 0.6379 [\text{cm}^3] \quad (4.4)$$

となる。

よって、式(4.3)、(4.4)より、高温側の死容積 $x_e$ は、式(4.5)となる。

$$x_e = x_1 + x_2 = 0.8137 + 0.6379 = 1.452 [\text{cm}^3] \quad (4.5)$$

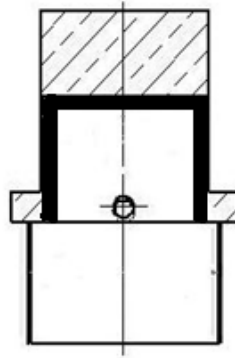


図 4.2. 高温側の死容積

(d)再生器容積

再生器の直径 $d_r = \phi 8.5$ を，長さを $l_r = 14$  mmとすると，再生器容積は $V_r$ 式(4.6)となる．

$$V_r = \frac{d_r^2 l_r \pi}{4} = \frac{8.5^2 \times 14 \times \pi}{4} = 794.4 [\text{mm}^3] \cong 0.7944 [\text{cm}^3] \quad (4.6)$$

(e)低温側の死容積

空気が再生器によって冷却されてから，低温側のシリンダ内に入るまでの間の容積を計算する．通路の太さを $d = \phi 3$ ，長さを $l = 27$  mmとすると，容積 $x_3$ は式(7)で表わされる．

$$x_3 = \frac{d^2 l \pi}{4} = \frac{3^2 \times 27 \times \pi}{4} = 190.85 \dots [\text{mm}^3] \cong 0.1909 [\text{cm}^3] \quad (4.7)$$

また，シリンダホルダの高さと，ピストンの上死点との差を $S_2 = 1$  mmとし，シリンダホルダの内径を $D_c = 33$  mmとすると，ピストンの上側の死容積 $x_4$ は，

$$x_4 = \frac{S_2 \pi}{4} D_c^2 = \frac{1 \times \pi}{4} 33^2 = 855.29 \dots [\text{mm}^3] \cong 0.8553 [\text{cm}^3] \quad (4.8)$$

となる．

式(4.7)，(4.8)より，低温側の死容積 $x_c$ は，式(4.9)となる．

$$x_c = x_3 + x_4 = 0.1909 + 0.8553 = 1.046 [\text{cm}^3] \quad (4.9)$$

(f)高温側ガス温度

太陽光の仕事率を測定した際の，最高温度から 350 度とする．

(g)低温側ガス温度

$\alpha$ 型 SE を動作した際の測定結果から、70 度とする。

(h)エンジン回転数

$\alpha$ 型 SE の最高回転数 500 rpm を用いる。

(i)位相差

パワーピストンがディスプレイサピストンに対して 90 度の位相遅れを保持して動くように設定することで、図 5 のような動作工程が得られる。よって位相差は 90 度に設定する。

(a)~(i)のパラメータを入力し、プログラムを実行して目標性能を決定する。プログラムの実行結果を表 4.2 に示す。

表 4.2 プログラムの実行結果

名称	値
エンジン内の最高圧力	398.9 [kPa]
エンジン内の平均圧力	202.2 [kPa]
エンジン内の最低圧力	102 [kPa]
最大容積	25.1 [cm <sup>3</sup> ]
最小容積	7 [cm <sup>3</sup> ]
圧縮比 (最大容積/最小容積)	3.569
シュミット理論で求めた図示仕事	1.043 [J]
膨張空間図示出力	19339.594 [mW]
圧縮空間図示出力	-10647.642 [mW]
図示出力	8691.952 [mW]
シュミット理論で求めた熱効率	44.94 [%]

SE を 4 気筒に設計したのは出力結果を上げるためである。また太陽光を全加熱部に集光する際、加熱部を一か所に集めるため、概形は星形にした。 $\alpha$ 型 SE を調節する際、圧力漏れが原因で動作しないことが多かったため、シリンダホルダを一体化させ、圧力漏れを軽減する設計にした。また、熱効率を上げるため再生器を追加した。

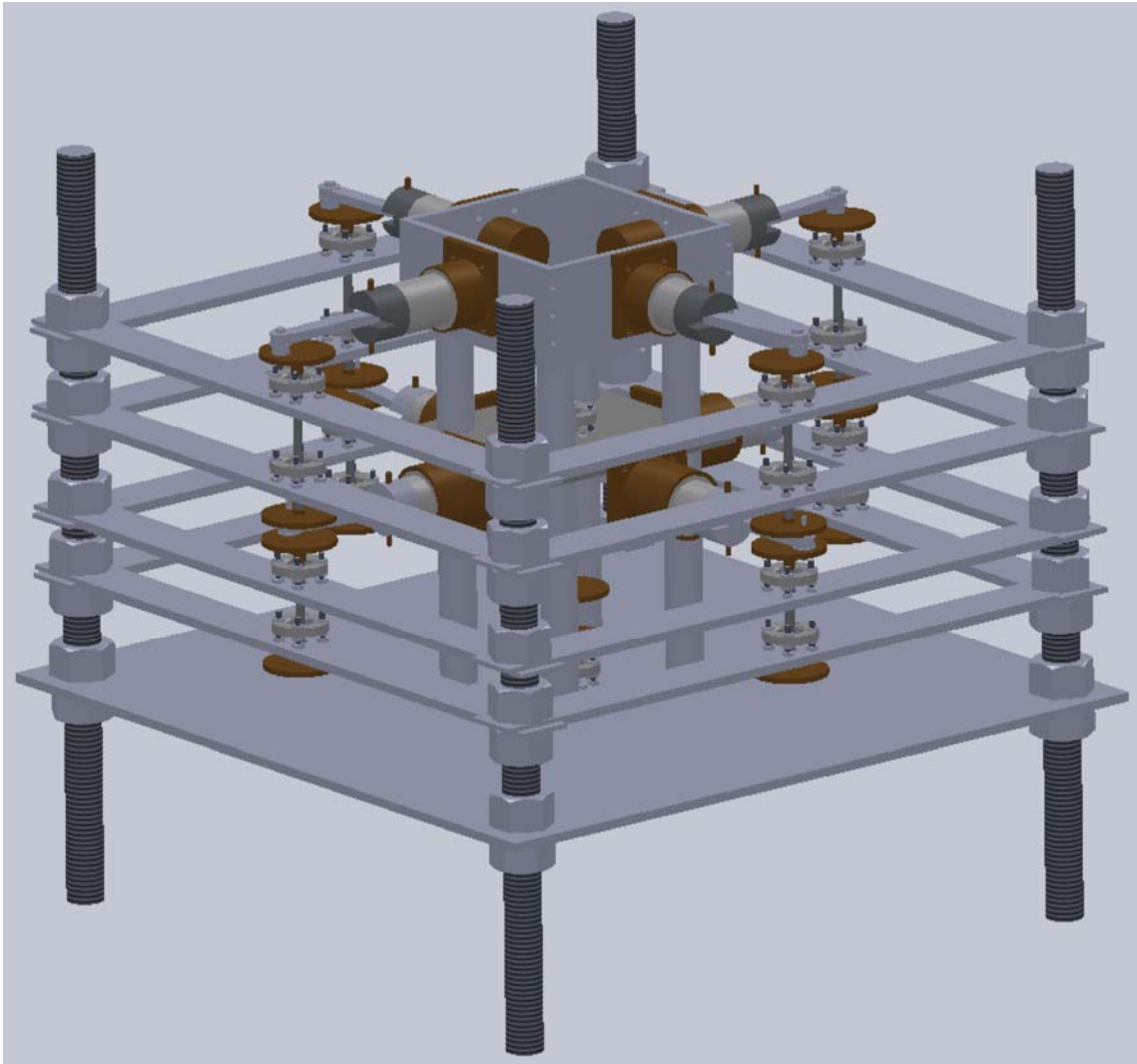


図 4.3 本作の完成予想図

## 5. 今後の課題




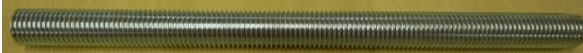






今後の課題として、本作の製作・運転を行う。運転については、ヒータを用いて動作確認を行ったあと、実際に太陽光を当て、測定を行う。







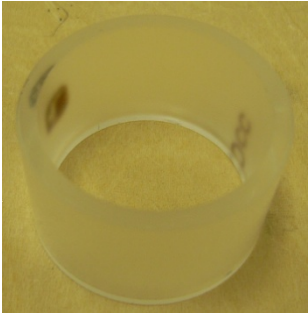

### 5.1. 製作






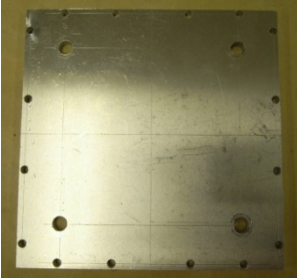
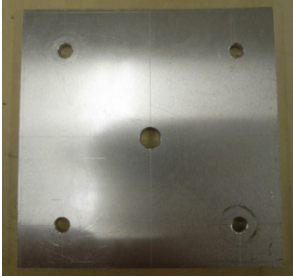
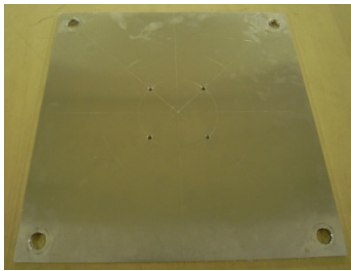
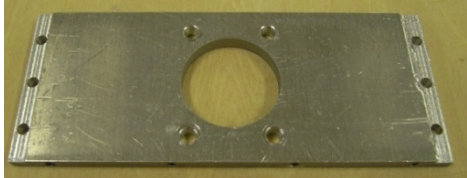
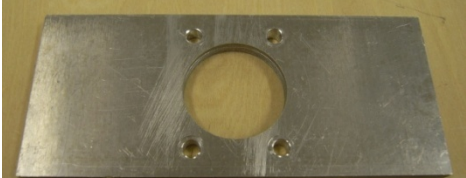
$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 型のSEを試作し、それぞれのSEについて理解したうえで、本作SEの製作を行った。製作するために必要な各部品の図面は付録Eに記載し、製作した部品の図を表5.1に示す。

表 5.1 太陽光で作動するSEの部品写真一覧

(1)Comp Conrod	(2)Comp Conrod Pin A
	
(3)Comp Conrod Pin B	(4)Comp Cylinder
	
(5)Comp Cylinder Holder	(6)Comp Piston Holder
	

(7)Comp Piston	(8)Top Colum
	
(9)Second Colum	(10)Main Colum
	
(11)Shaft Colum	(12)Bearing Holder
	
(13)Bearing Holder2	(14)Crank Shaft A
	
(15)Crank Shaft B	(16)Crank Shaft C
	

<p>(17)Crank Shaft Head A</p> 	<p>(18)Crank Shaft Head B</p> 
<p>(19)Output Shaft</p> 	<p>(20)Extend Conrod</p> 
<p>(21)Extend Conrod Axis Rack</p> 	<p>(22)Extend Conrod Pin</p> 
<p>(23)Extend Cylinder</p> 	<p>(24)Extend Cylinder Holder</p> 

(25)Extend Piston	(26)Extend Piston Holder
	
(27)Final Conrod Axis Rack A	(28)Final Conrod Axis Rack B
	
(29)Final Conrod Pin	(31)Top Plate
	
(32)Second Plate	(33)Final Plate
	
(34)Cylinder Holder Board(Front)	(35)Cylinder Holder Board(Side)
	



製作した部品の組み立て手順を以下に示す.

- (1) Cylinder Holder Board(Front)と Cylinder Holder Board(Side)に Extend Piston Holder をはめ, ねじ止めする.
- (2) Top Plate に(1)でねじ止めした Cylinder Holder Board を取り付ける.
- (3) Second Plate に Top Colum を付け, Second Colum でねじ止めする.
- (4) (2)の Top Plate に, (3)の Top Colum を取り付ける.
- (5) Main Colum に Final Plate を入れ, ボルトで挟んで固定する.
- (6)(3)の Second Colum と(5)の Final Plate を取り付ける.

2008年12月20日現在, 進んでいる組み立て作業は以上である. 組み立てた SE を図 5.1 に示す. この本作が完成したのち, 次節以降の実験を実施する予定であった. これらは, 今後の課題として, 実験を継続していく.

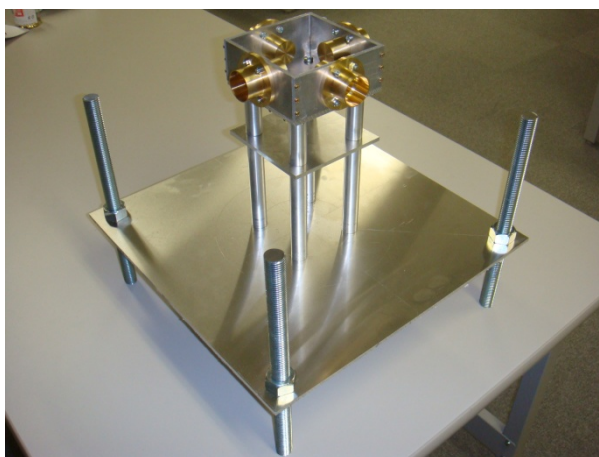


図 5.1 2008年12月19日時点での本作 (完成部品の一部を用いた仮組)

## 5.2. ヒータによる運転

図 4.3 を用いてヒータによる運転を行う. 実験方法は, ヒータを用いて完成した本作の動作確認を行う. これにより正確な入力エネルギーが明らかになり, エンジンの性能分析が可能である.

## 5.3. 太陽光による運転

図 4.3 を用いて, 太陽光による運転を行う. 実験方法は, 3 章にもあるように, フレネルレンズを用いて行うものとする. 図 3.1 のフレネルレンズの集光部分に, 製作した SE の Extend Cylinder を当て, 測定を行う.

## 6. 結論

図面が公開されている既存の SE, 3 種類の試作を行い, SE の特徴や性能を理解した. また, 密封の重要性や位相差によって出力が違うことなど, SE を設計するに当たり, 注意する点を学んだ.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  型 SE の試作については,  $\alpha$  型のみ運転に成功した. フライホイールの位相角を変化させて実験を行った結果, 85 度から 95 度の範囲で回転することが分かった. また, 最高回転数は位相差 90 度のときに約 500 rpm となった. 改善の見込みのない  $\beta$  型,  $\gamma$  型については製作を中止した.  $\alpha$  型に関しては, 調整を重ねていく過程で, 独自のノウハウを見つけることができた. 3 種類の SE の試作を行い, 図面通りに部品を製作しても, すべての部品を組み立てると, 多少の誤差が出てしまうことが分かった.

エネルギー源となる太陽光については, その仕事率を測定するための装置を設計・製作した. 製作した測定装置を用いて, 太陽光の仕事率を求めた. その結果, 最高で 167 W の仕事率を得た.

本作の SE については, 熱効率や Schmidt モデルについて理解し, 44.94 % の熱効率が得られる SE の設計を行った. また, 設計した SE の部品の製作は 73% まで進んだ. 今後, 製作を継続して, 熱効率の計測とエンジン評価を実施し, 太陽光での本作 SE の駆動を目指す.

## 謝辞

本実験は実施に際し、株式会社八光及び株式会社八光電機製作所の助成を受けて行われた。本実験を実施する機会を与えてくださった株式会社八光及び株式会社八光電機製作所の実験コンテスト担当者の皆様に感謝の意を表します。

本実験に関してお忙しい中、エンジンの設計、プロジェクトの方針に対しご指導を賜りました石川 潤 先生はじめ、釜道 紀浩 先生、貞弘 晃宜 先生、鈴木 聡 先生、中村 明生 先生に謝意を表します。

また、特にエンジン部品の加工についてご指導を賜った金竹 隆志 先生、非常に高い精度を必要とする一部のエンジン部品の加工を引き受けてくださった小川 俊夫 先生、院生の方々に謝意を表します。

さらに、本実験の加工作業に協力を申し出てくれた佐々井君、伊藤君、山崎君に対しても感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 平田 宏一 : “スターリングサイクル” ,  
<http://www.nmri.go.jp/eng/khirata/stirling/cycle/index.html> , 2008年9月7日現在.
- (2) 数研出版編集部 編, “リード $\alpha$ 物理 I・II”, 数研出版, pp.103-104, 2005
- (3) 山下 巖, 濱田和洋, 香川 澄, 平田宏一, 百瀬 豊 : “スターリングエンジンの理論と設計”, 山海堂, 1999
- (4) “環境にやさしいスターリングエンジン” ,  
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/bprc/shizuma.s2.html>
- (5) 兵働 努, 米田裕俊彦 : “スターリングエンジン”, パワー社, 1990
- (6) 山下 巖, 濱口 和洋, 香川 澄, 平田 宏一, 百瀬 豊, “スターリングエンジンの理論と設計”, 山海堂, pp.32-44, 1999
- (7) 平田 宏一 : 知能機械工学セミナー “模型スターリングエンジンの製作” ,  
<http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/seminar/index.html> , 2008年9月7日現在.
- (8) 松尾 政弘編 : “スターリングエンジン 製作マニュアル”, 誠文堂新光社, 2001
- (9) schwin ソフト

## 会計報告

本実験を行うために提供していただいた実験費用 10 万円は、以下の物品の購入に使わせていただきました。

別表 1 購入品の一覧

購入年月日	品目名	個数	単価	金額
6月26日	アルコール	1	410	410
8月5日	スターリングエンジン用 注射器 SE-10 (ノーカット)	3	790	2,370
	スターリングエンジン用 注射器 SE-3 (シ リンダ長 24mm×2,ピストン長 24,58×1)	2	880	1,760
	スターリンエンジン用 注射器 SE-3 (ノー カット)	2	520	1,040
	真鍮棒 φ1	1	140	140
	ステン丸棒 φ2	1	200	200
	ステン丸棒 φ3	1	250	250
	アルミ板 0.5×250×300	1	378	378
	アルミ板 2×200×250	1	523	523
	アルミ板 1×200×250	3	340	969
8月6日	アルミ板 6×75×500	1	1,160	1,160
	真鍮板 1×100×200	1	690	690
	試験管 φ18×180	4	94	376
	ゴム栓	3	42	126
8月7日	シリコンチューブ内径 1×100	1	368	368
	歯車 φ31	2	347	694
8月10日	ゴム板 1×200×200	1	199	199
8月11日	M2×20 のナベネジ 100 個組	1	700	735
	エポキシ接着剤 6 グラム	1	273	273
	アルミ板 1×50×400	1	190	200
	ステンパイプ内径 3	1	580	609
8月12日	タップドリル下穴 1.6mm ネジ径 M2	1	280	294
	フレネルレンズ CF1200 1400×1050×3	1	26,000	29,505
8月18日	L型アルミ板 1.5×15×15×1000	1	504	504
8月21日	ゴム栓	1	42	42
8月22日	内径 3mm ベアリング	1	540	540

	内径 6mm ベアリング	1	540	540
8月26日	木材	1	50	50
8月27日	平ワッシャー	1	105	105
	マブチモーター	1	112	112
	ソーラーモーター	1	666	666
8月28日	L型アルミ板 1.5×25×25×1000	6	350	2,100
8月29日	アルミ丸棒φ3	1	110	116
	ギヤ	2	290	580
	戸当たりテープ	2	275	550
9月1日	ファン	1	150	150
	放熱器	1	100	100
9月3日	水道管補修用リング	1	148	148
	ゴム	1	128	128
9月16日	内径 3mm ベアリング	1	540	567
9月25日	CD ケース	1	300	300
10月15日	マルチ L 字アングル	2	936	936
	マルチ L 字アングル	2	1,196	1,196
	マルチ L 字アングル	2	1,456	1,456
	交通費			280
10月24日	ホワイトボードマーカ ノックル細字 黒	2	139	139
	ホワイトボードマーカ ノックル細字 赤	2	139	139
	ホワイトボードマーカ ノックル細字 青	2	139	139
10月27日	大電流スライドスイッチ M	1	100	100
	電源コード	1	100	100
	ヒューズ	1	320	320
	ヒューズケース	1	95	95
	ラグ板	1	40	40
12月5日	ミニチュア玉軸受け, 小径玉軸受け ZZ(フレンジ無)	24	138	3,478
	割りピン	1	300	315
12月8日	スターリングエンジン用 注射 SE-50N (シリンダ長 35.0mm, ピストン長 39.5mm)	3	2,500	7,500
	スターリングエンジン用 注射 SE-50N (シリンダ長 20.0mm, ピストン長 50.5mm)	3	2,500	7,500

12月12日	ユニクロ鉄寸切り M20×1000	2	820	1,640
	ユニクロ鉄六角ナット M20	40	40	1,600
	アルミ板 A505Z 5×430×430	2	2,750	5,500
12月20日	アルミ平版 5×30×1000	6	590	3,717
	タップドリル下穴 1.6mm ネジ径 M2	2	330	693
合計金額			92,376	
残金			7,624	

使用合計金額は¥92,376 となり、残金は¥7,624 となりました。残金は、今後この活動を継続する際の費用に使用させていただきます。

### 付録 A : 太陽光の実験データ詳細

太陽光エネルギー測定の実験により、得たデータを以下に示す。

(1)1回目の測定を10月17日に行った。そのときに得たデータを表 A.1, A.2 に示す。

表 A.1 容器・棒・墨汁の質量

測定回数	質量[g]		
	容器	棒	墨汁
1	10	10	200
2	10	10	200
3	10	10	200
平均	10	10	200

表 A.2 墨汁の温度変化

経過時間[s]	墨汁[°C]
30.0	25.6
60.0	26.3
90.0	26.5
120	27.4
150	27.9
180	28.7
210	29.9
240	31.3
270	34.0
300	35.6
330	37.0
360	38.0



(2)2, 3 回目の測定を 11 月 14 日に行った. そのときに得たデータを表 A.3~A.5 に示す.

表 A.3 容器・棒・墨汁の質量

質量[g]		
容器	棒	墨汁
52.5	10	195

表 A.4 墨汁の温度上昇

経過時間[s]	水温[°C]
0.00	33
10.0	33
20.0	33
30.0	35
40.0	37
50.0	38
60.0	39
70.0	40
80.0	42
90.0	42
100	44
110	44
120	45
130	46
140	47
150	48
160	49
170	49
180	50
190	52
200	53
210	54
220	55
230	55
240	56
250	56

付録 A : 太陽光の実験データ詳細

260	56
270	57
280	58
290	59
300	60
310	60
320	61
330	61
340	62
350	62
360	62
370	63
380	64
390	65
400	65
410	65
420	65
430	66
440	66
450	66
460	67
470	67
480	67
490	68
500	68
510	68
520	68
530	68
540	68
550	68
560	68
570	69
580	70
590	69
600	70

表 A.5 墨汁の温度上昇

経過時間[s]	水温[°C]
0.00	24
30.0	25
60.0	25
90.0	25
120	26
130	26
140	27
150	28
160	28
170	29
180	29
190	29
200	30
210	30
220	30
230	30
240	30
250	29
260	29
270	29

(3)4, 5 回目の測定を 11 月 21 日に行った. そのときに得たデータを表 A.6~A.9 に示す.

表 A.6 容器・棒・墨汁の質量

質量[g]		
容器	棒	墨汁
52.5	10	222.5

表 A.7 墨汁の温度上昇

経過時間[s]	水温[°C]
0.00	23
10.0	25
20.0	26
30.0	28
40.0	29
50.0	32
60.0	35
70.0	37
80.0	39
90.0	41
100	42
110	44
120	46
130	48
140	50
150	53
160	54
170	55
180	57
190	58
200	61
210	62
220	64
230	65
240	66
250	68
260	69

付録 A : 太陽光の実験データ詳細

270	70
280	71
290	73
300	74
310	75
320	76
330	77
340	78
350	79
360	80
370	80
380	81
390	81
400	82
410	84
420	84
430	85
440	85
450	86
460	86
470	87
480	87
490	87
500	87
510	88
520	88
530	88
540	88
550	88
560	88
570	88
580	88
590	88
600	88

表 A.8 容器・棒・墨汁の質量

質量[g]		
容器	棒	墨汁
52.5	10	220

表 A.9 墨汁の温度上昇

経過時間[s]	水温[°C]
0.00	26
10.0	26
20.0	27
30.0	29
40.0	30
50.0	30
60.0	32
70.0	35
80.0	37
90.0	39
100	41
110	45
120	45
130	45
140	46
150	48
160	49
170	50
180	51
190	52
200	53

## 付録 B-D

以下では、別紙付録として、設計図面を添付する。

### 付録 B : $\alpha$ 型 SE 設計図面 (pp. 64-78)

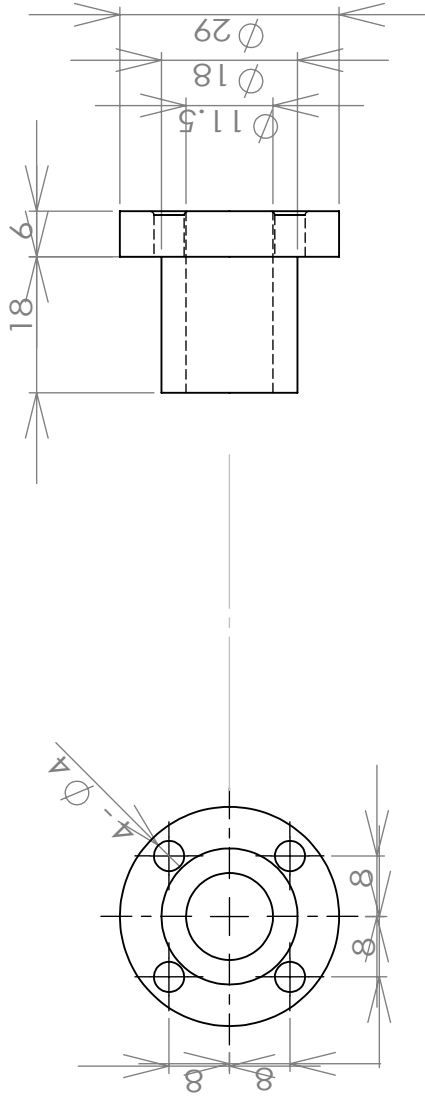
$\alpha$ 型 SE の設計図面を示す。

### 付録 C : $\beta$ 型 SE 設計図面 (pp. 79-89)

$\beta$ 型 SE の設計図面を示す。

### 付録 D : 本作 SE 設計図面 (pp. 90-123)

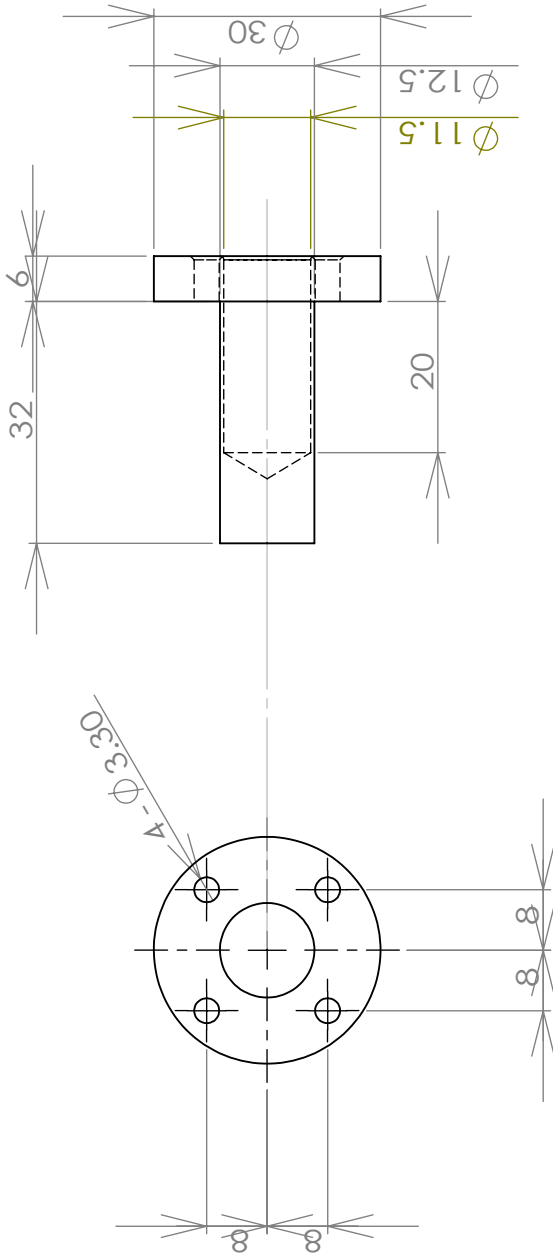
太陽光で作動する本作 SE の図面を示す。



A5056		
TITLE:		
シリンダカバー		
SIZE	DWG. NO.	REV
A		
SCALE: 1:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

1 2 3 4 5





A5056

TITLE:

# 加熱器

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

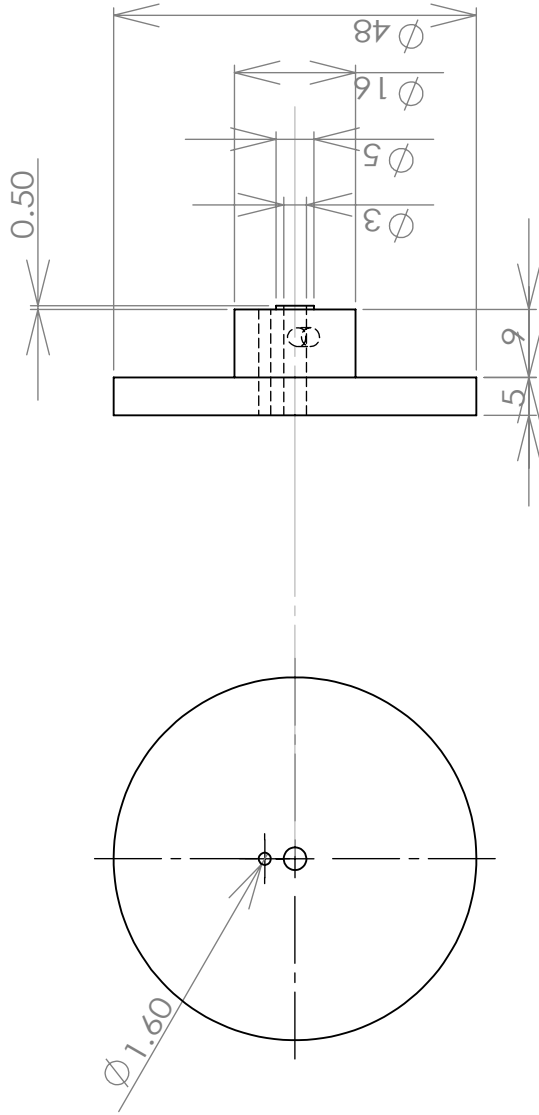
1

2

3

4

5



Brass

TITLE:

# フライホイール

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

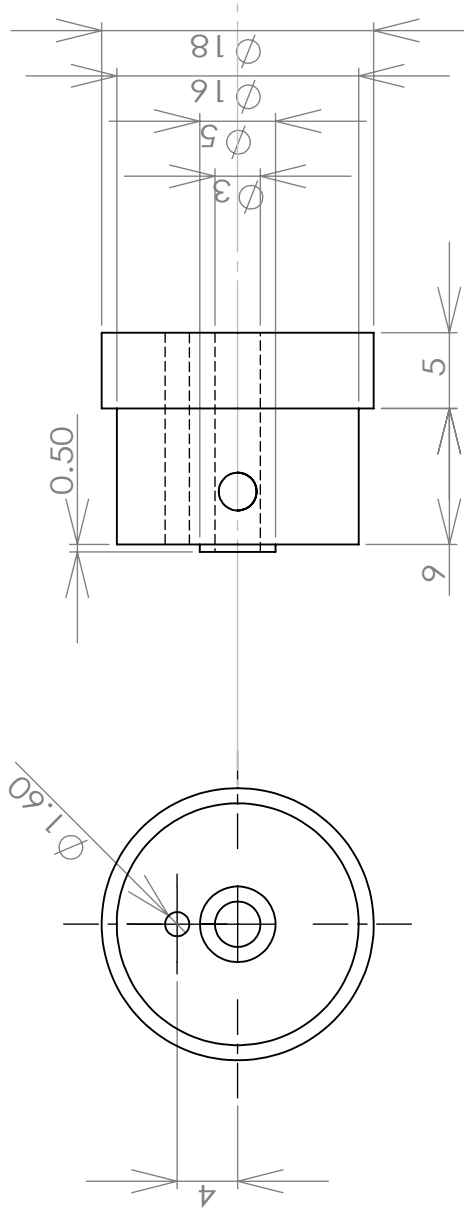
1

2

3

4

5



A5056

TITLE:

クランクディスク

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 2:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

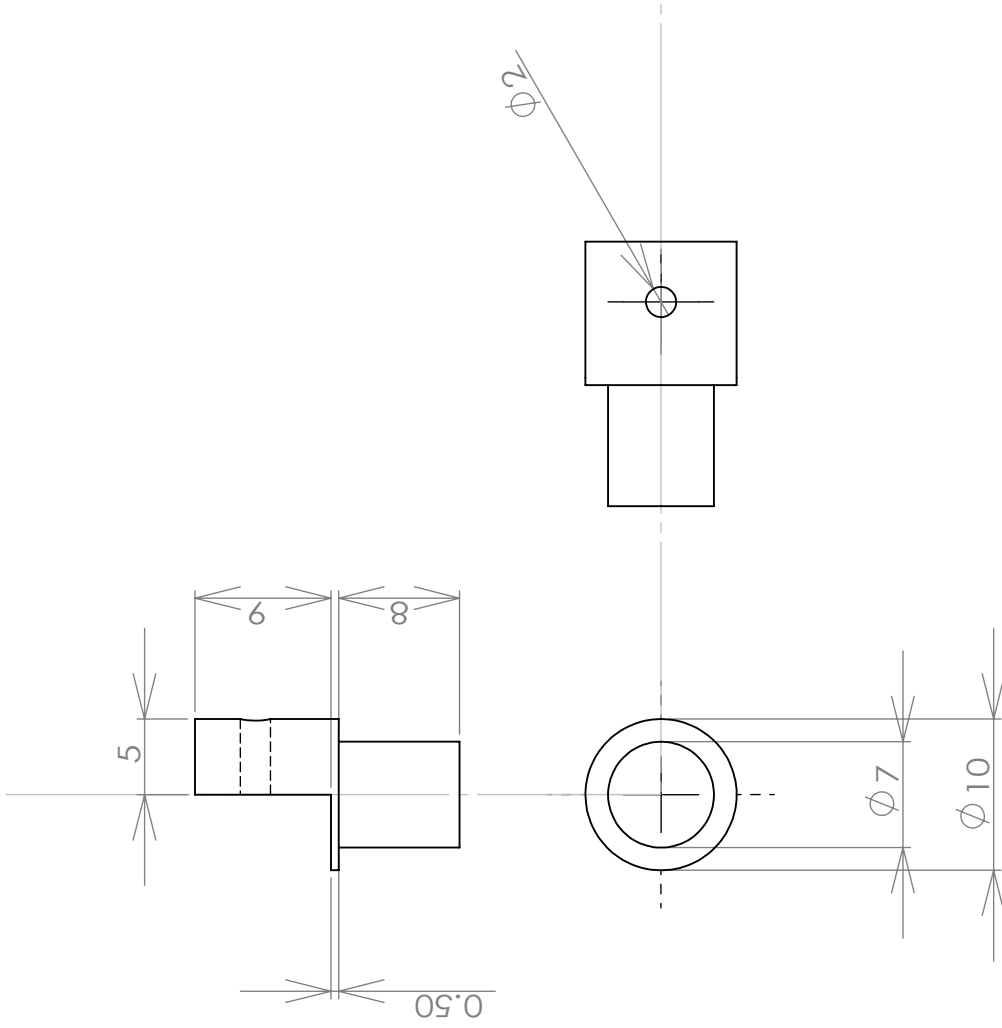
1

2

3

4

5



A5056

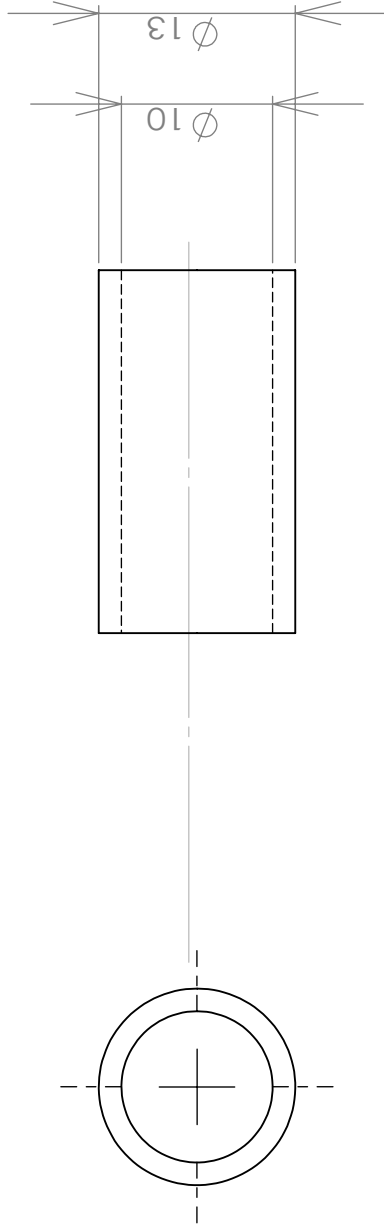
TITLE:

ピストンホルダ

SIZE DWG. NO. REV

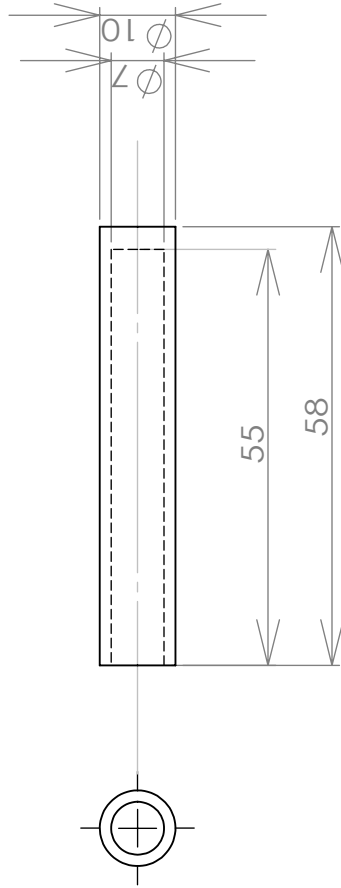
**A**

SCALE: 2:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



Glass			
TITLE:			
SIZE	DWG. NO.	REV	
<b>A</b>			
SCALE: 2:1	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1	1

2 3 4 5



Glass

TITLE:

ディスプレイサピストン

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

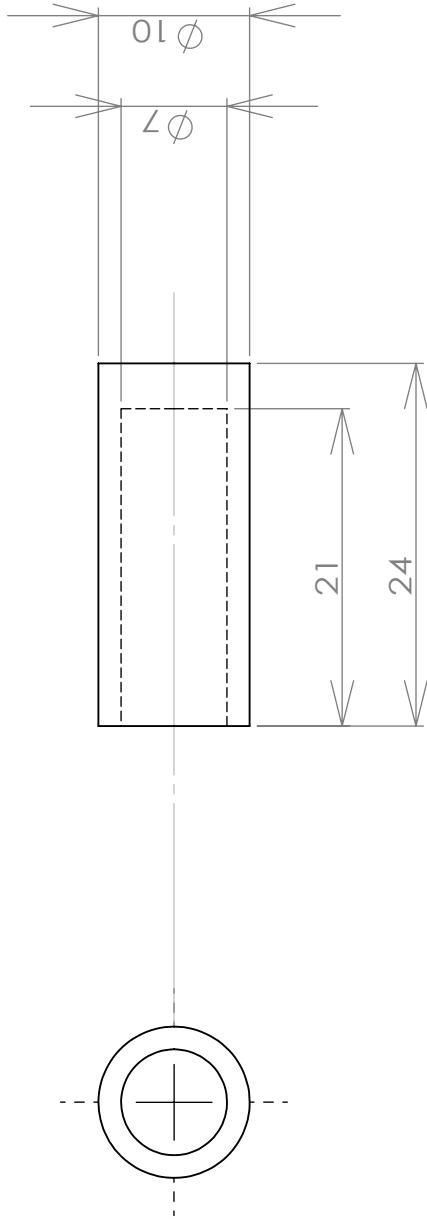
1

2

3

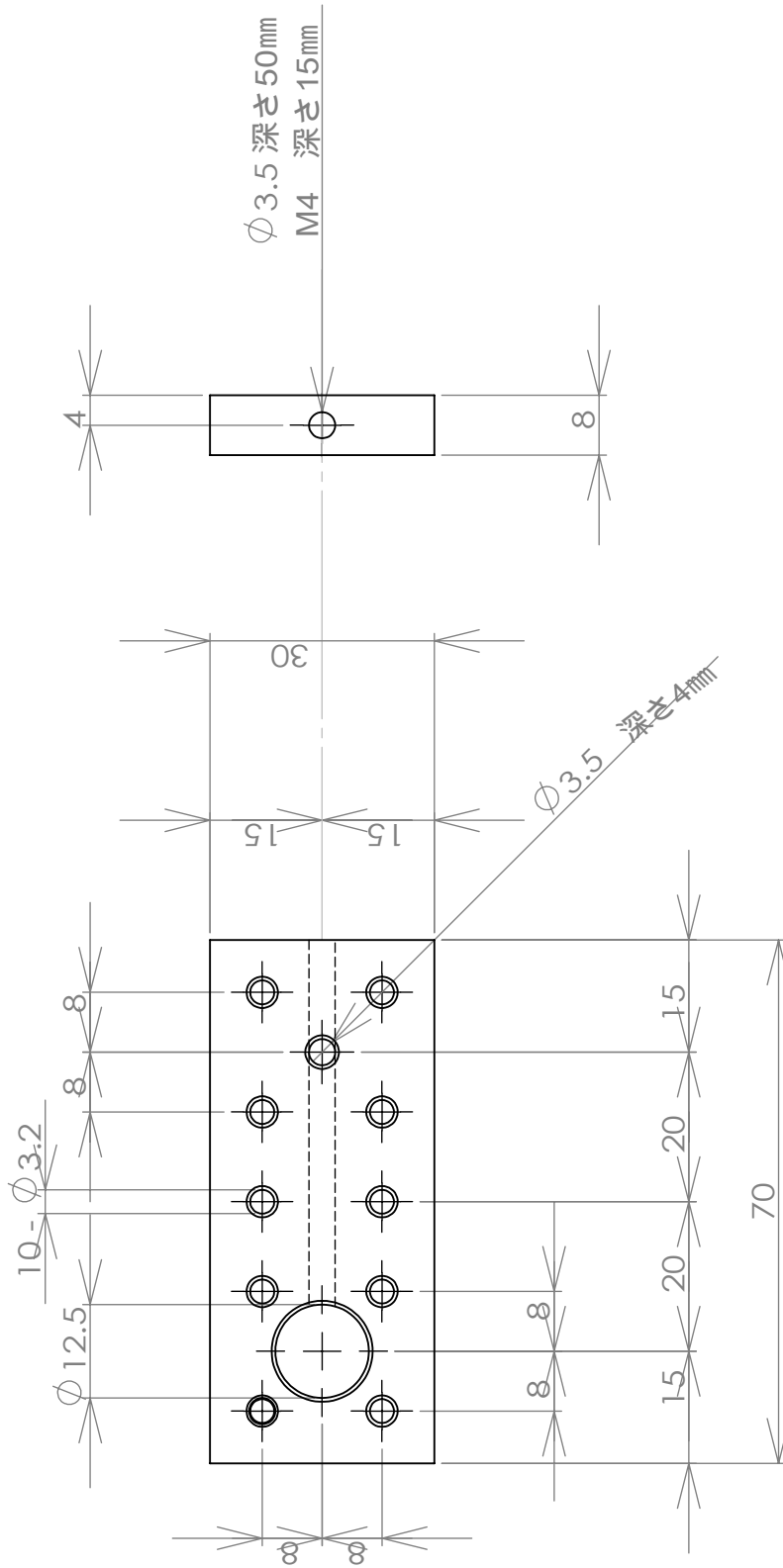
4

5



Glass	
TITLE:	
低温側ピストン	
SIZE	DWG. NO.
A	
REV	
SCALE: 2:1	WEIGHT:
	SHEET 1 OF 1

1 2 3 4 5



A5056

TITLE:

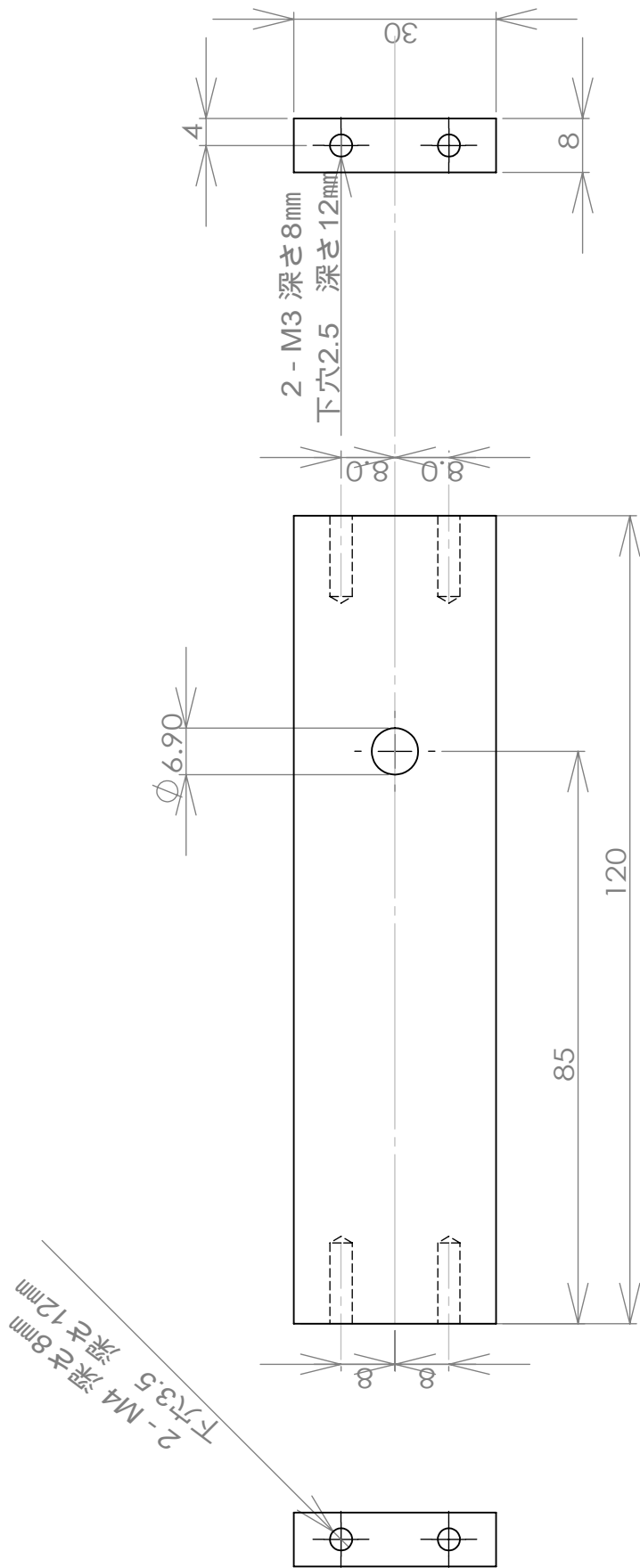
連結板

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1





A5056

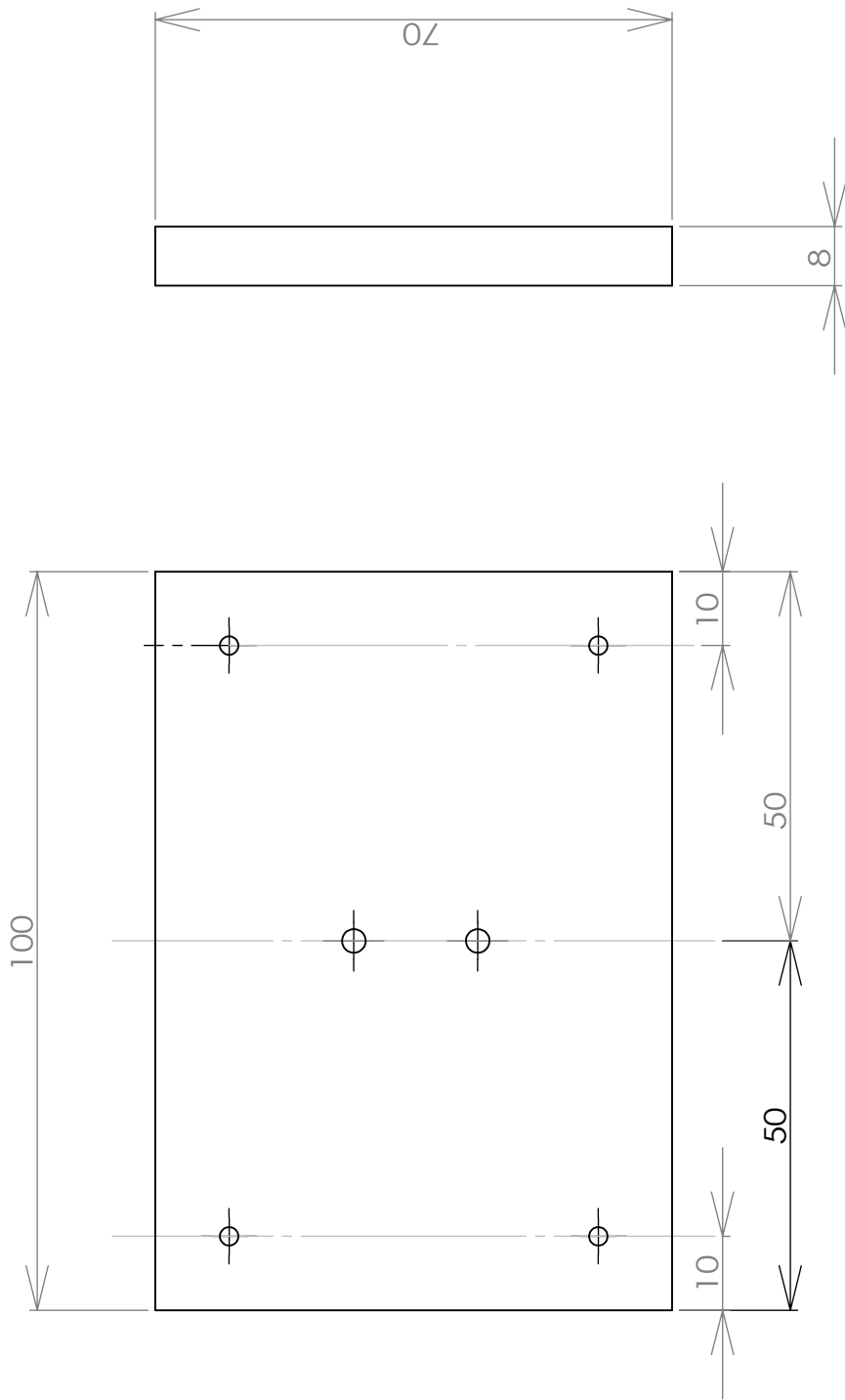
TITLE:

7L-4

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



A5056

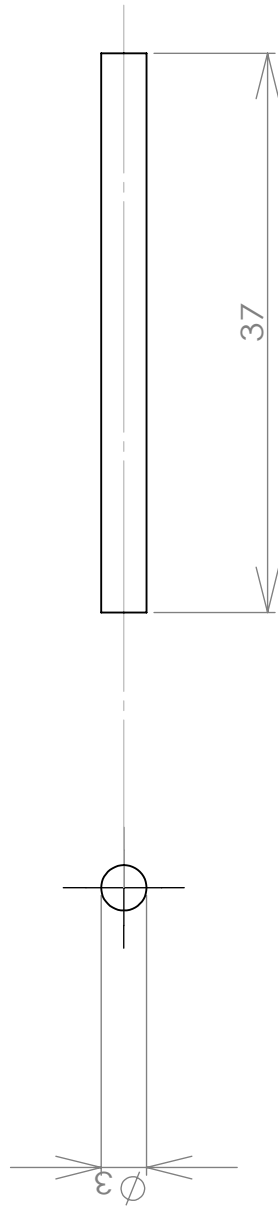
TITLE:

台座

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 1:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



SUS303

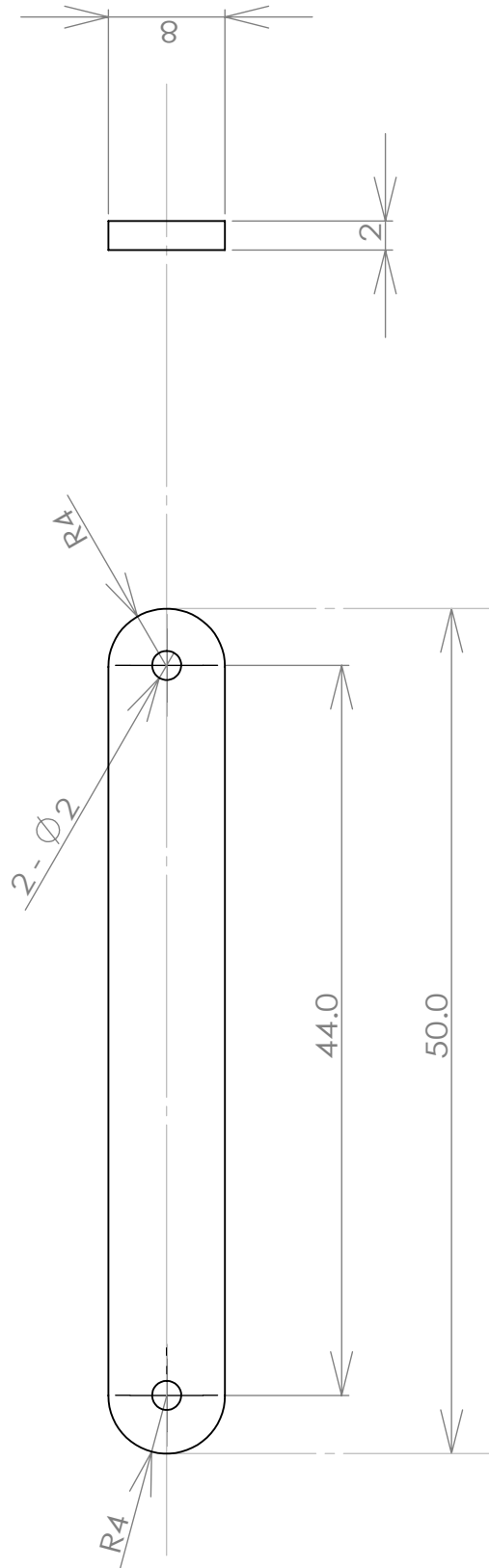
TITLE:

回転軸

SIZE DWG. NO. REV

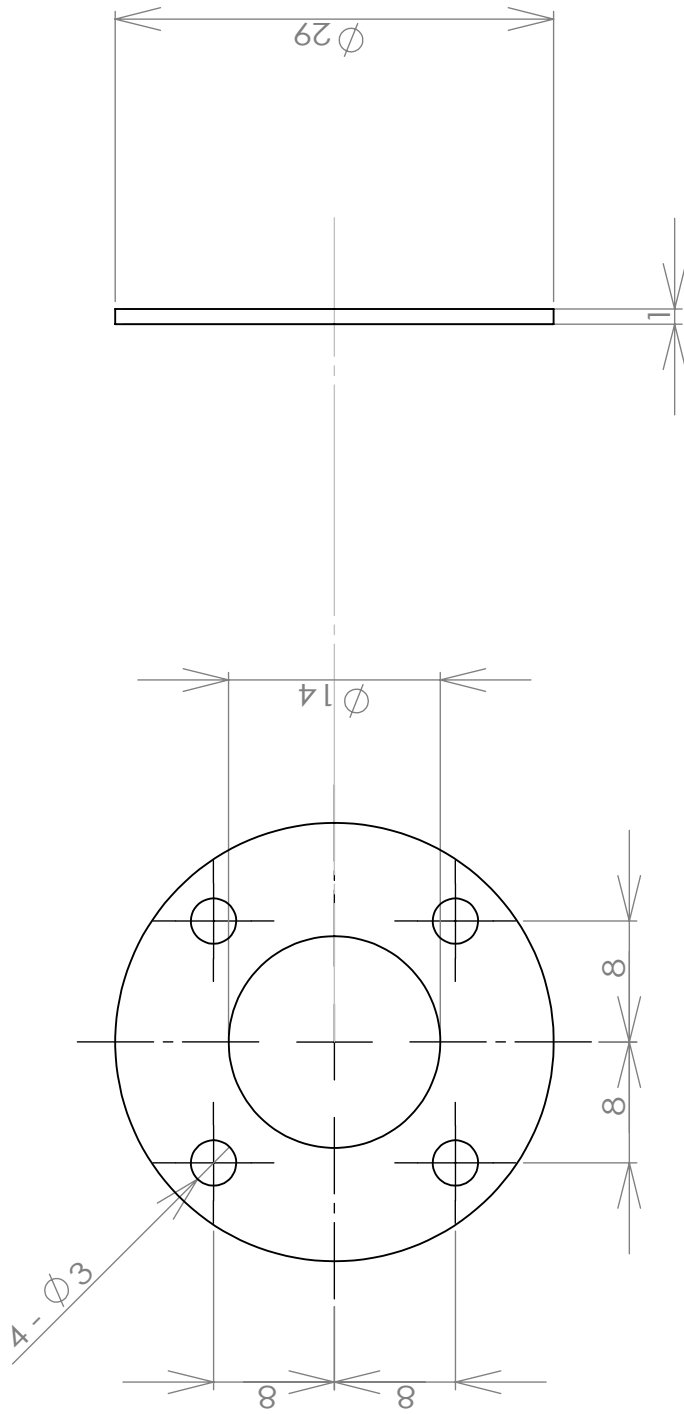
**A**

SCALE: 2:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1



A5056	
TITLE:	
SIZE	DWG. NO.
<b>A</b>	
REV	
SCALE: 2:1	WEIGHT:
	SHEET 1 OF 1

1 2 3 4 5



ゴム

TITLE:

パッキン

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 2:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

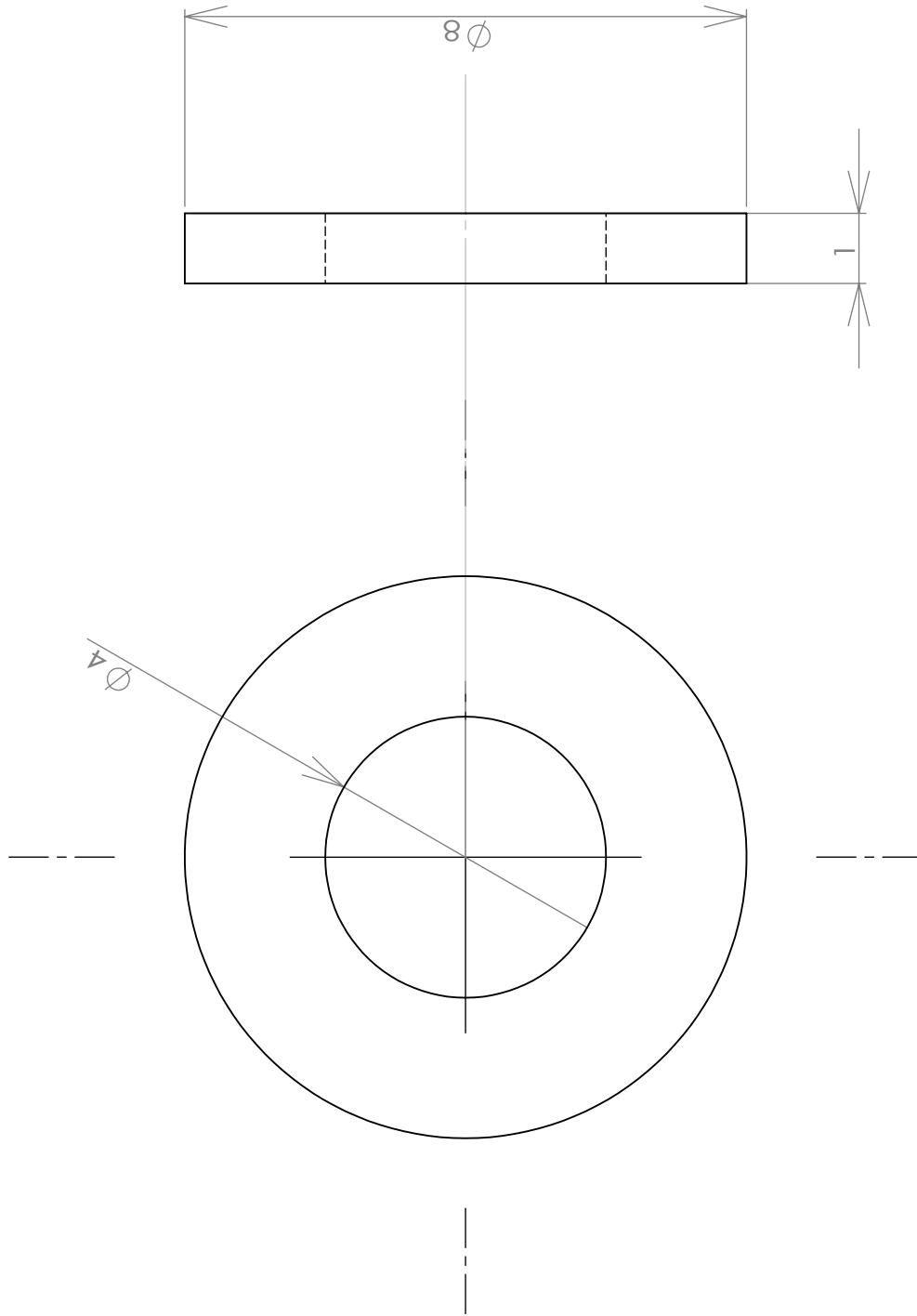
1

2

3

4

5



ゴム

TITLE:

パッキン2

SIZE DWG. NO. REV

**A**

SCALE: 10:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

1

2

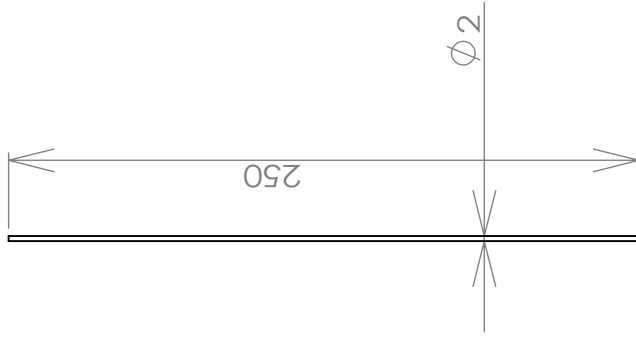
3

4

5

付録C： 型SE設計図面

1 2 3 4 5 6



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

ディスプレイサーロッド

DWG NO.

A4

MATERIAL:

SUS303

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

2

1

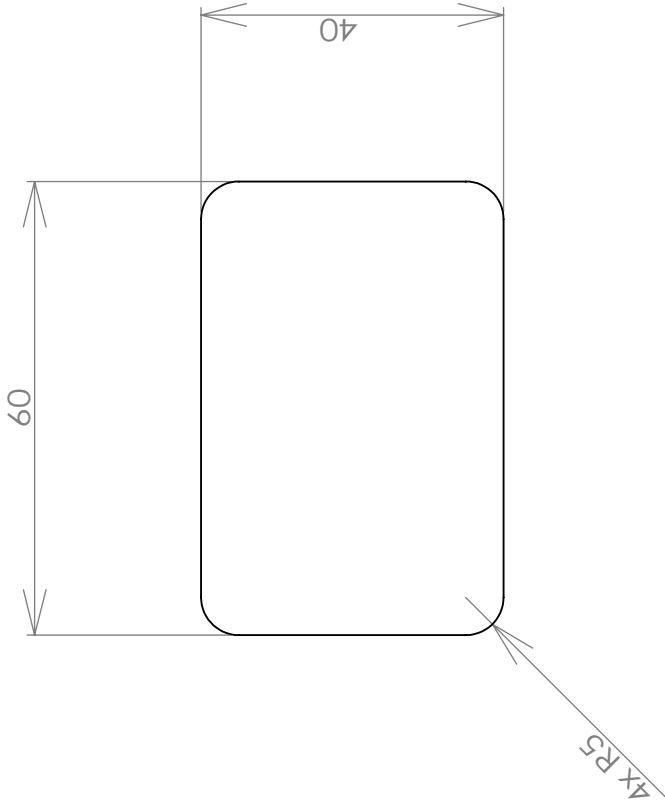
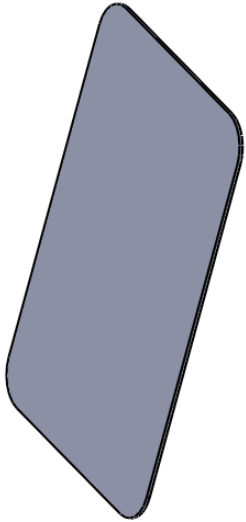
A

B

C

D

付録C： 型SE設計図面



TITLE:

ホルダ

DWG NO.

A4

MATERIAL: A5056

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

2

1



付録C： 型SE設計図面

6

5

4

3

2

1

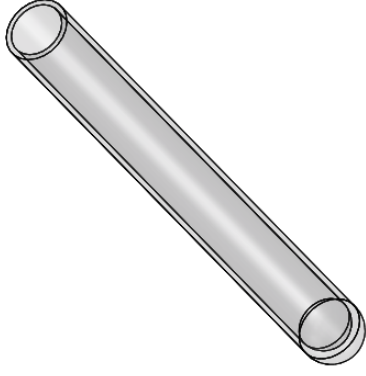
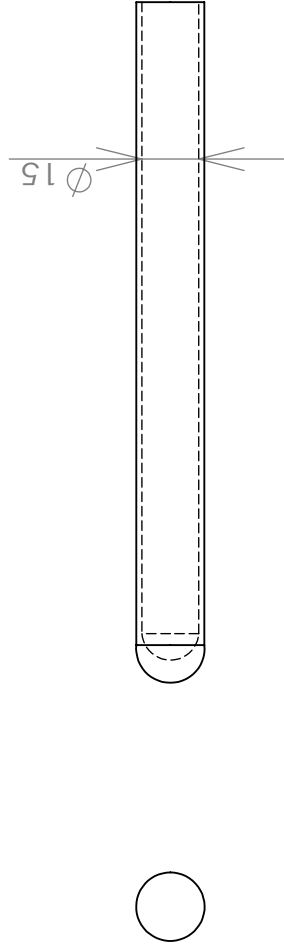
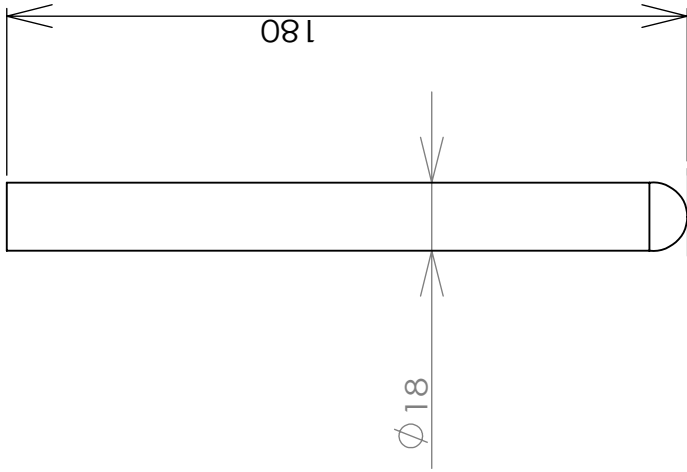
A

B

81

C

D



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

ディスプレイサシリンダー

DWG NO.

A4

Glass

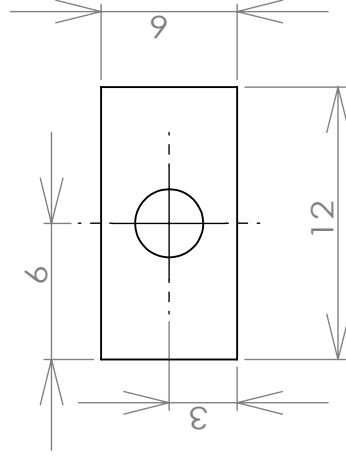
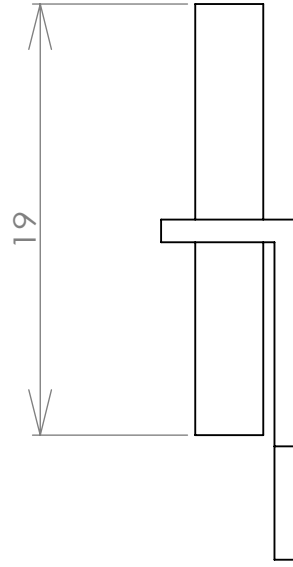
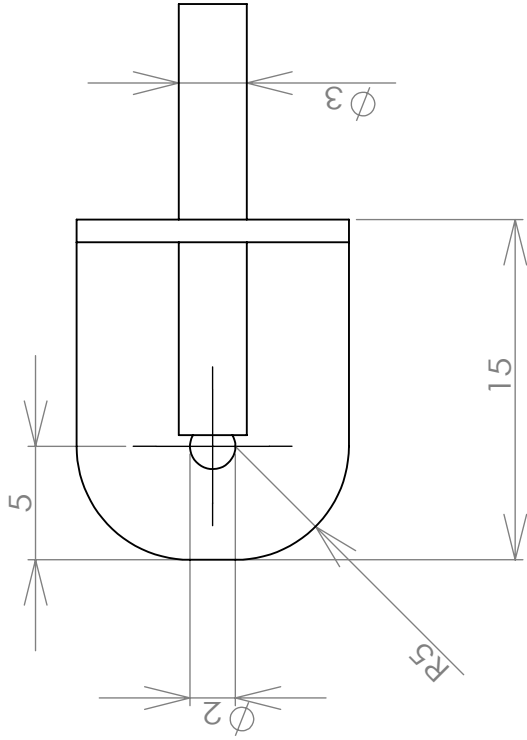
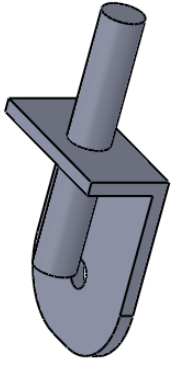
WEIGHT:

2

SHEET 1 OF 1

SCALE:1:2

付録C： 型SE設計図面



TITLE:

コンロッドピン取り付け板

DWG NO.

A4

MATERIAL:  
A5056

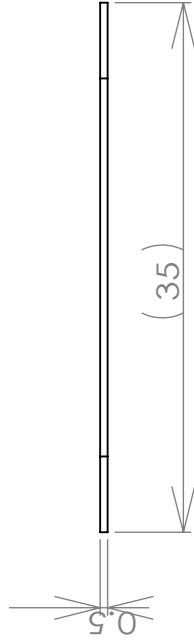
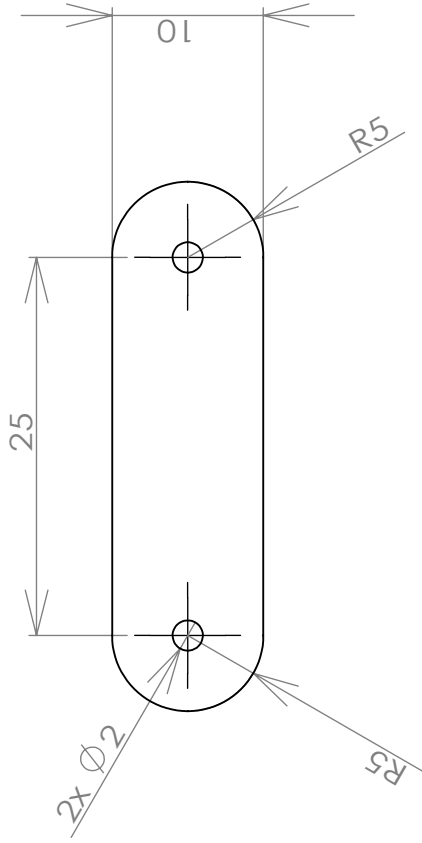
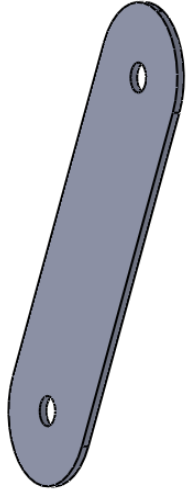
SCALE:3:1

SHEET 1 OF 1

WEIGHT:

2

付録C： 型SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

コントロール棒(ベローズ側)

MFG

Q.A

MATERIAL:

A5056

DWG NO.

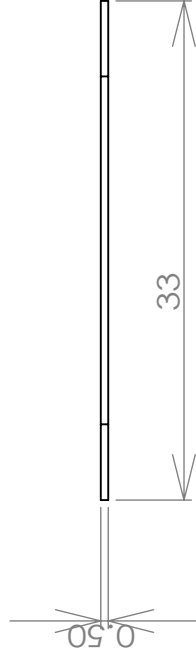
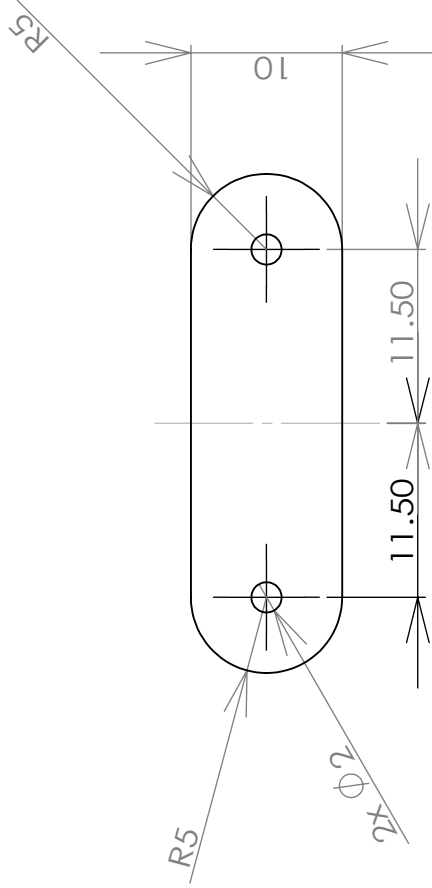
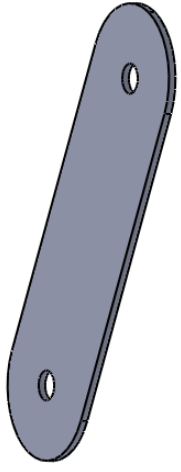
A4

WEIGHT:

2

SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1



TITLE:

コンロッド(ディスプレイ側)

DWG NO.

A4

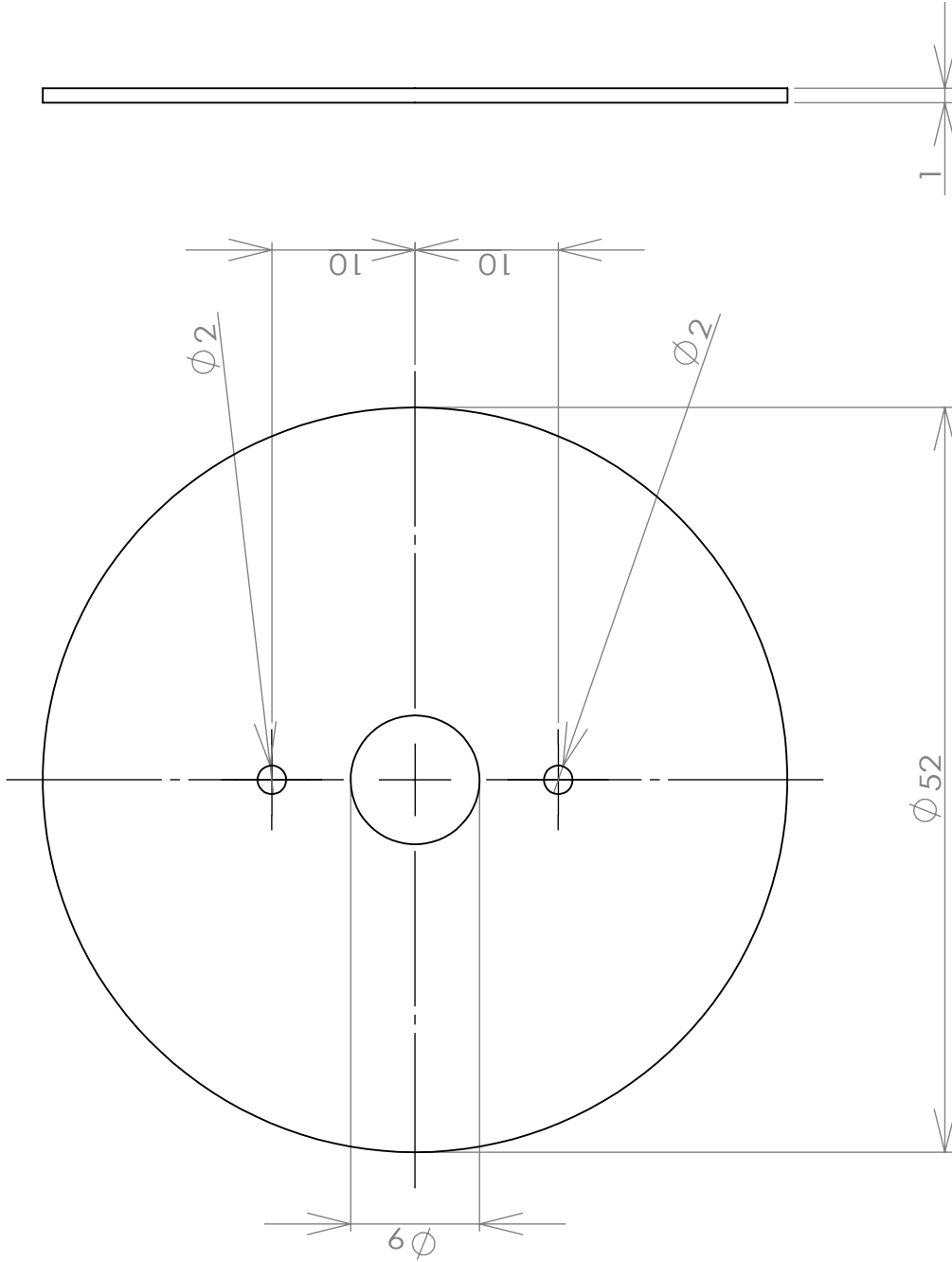
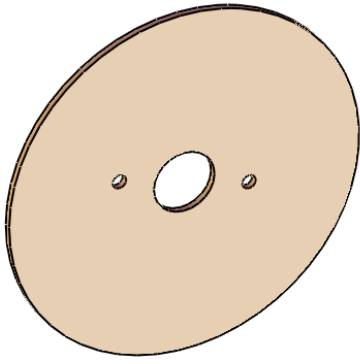
SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1

MATERIAL:

A5056

WEIGHT:



TITLE:

フライホイール

SIZE DWG. NO. REV

**A** No. 1 1

SCALE: 2:1 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

COMMENTS:

Brass

1

2

3

4

5

付録C： 型SE設計図面

6

5

4

3

2

1

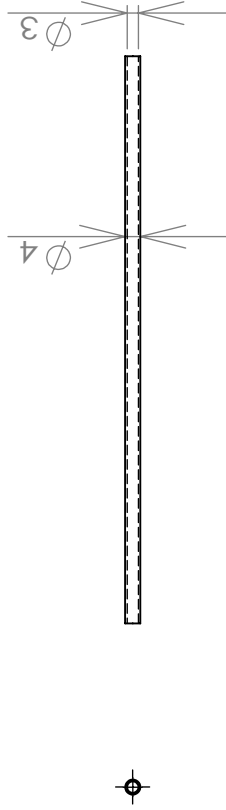
A

B

86

C

D



TITLE:

圧力調整用パイプ

DWG NO.

A4

MATERIAL:

SUS303

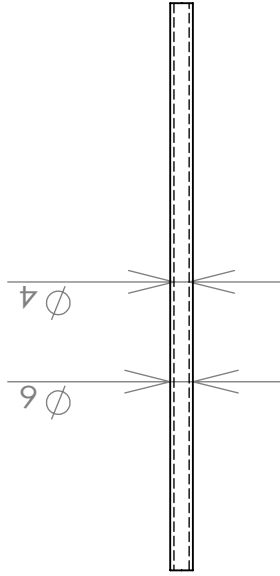
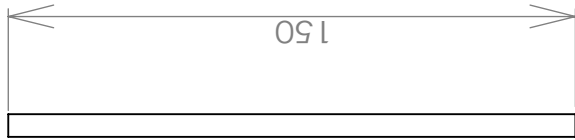
SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

2

1

付録C： 型SE設計図面



延長パイプ

TITLE:

DWG NO.

SCALE:1:2

ゴム

WEIGHT:

A4

SHEET 1 OF 1

1

2

付録C： 型SE設計図面

6

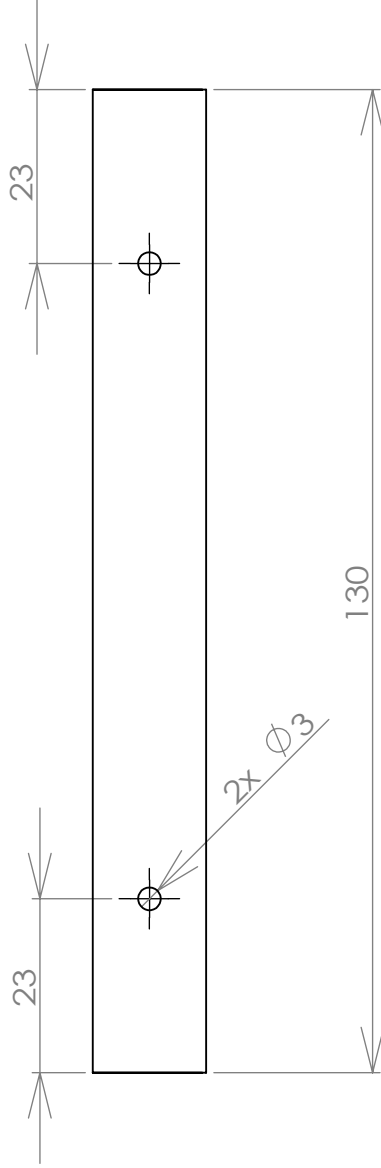
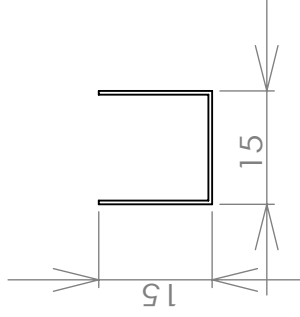
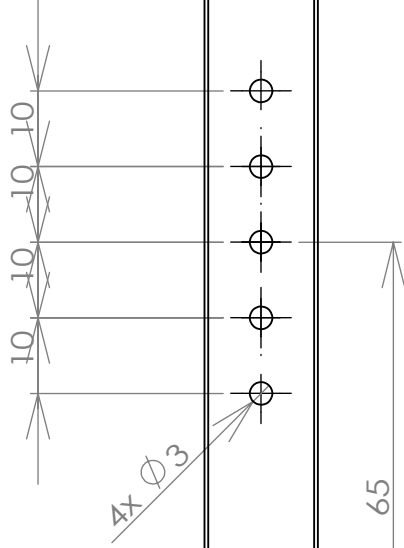
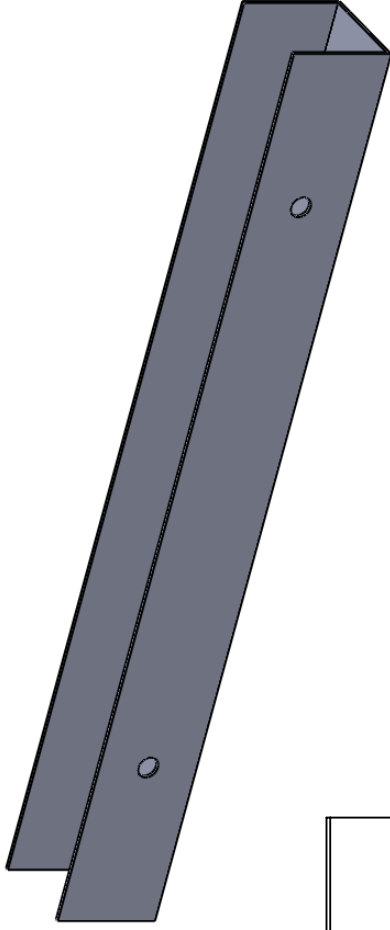
5

4

3

2

1



88

A

B

C

D

TITLE:

7L-A2

DWG NO.

A5056

WEIGHT:

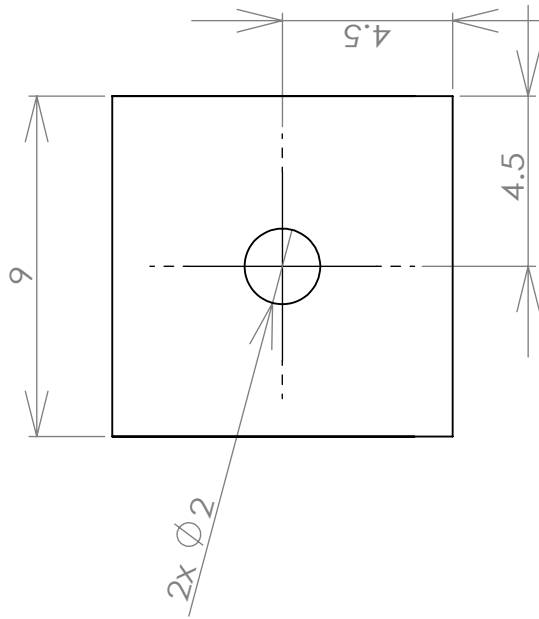
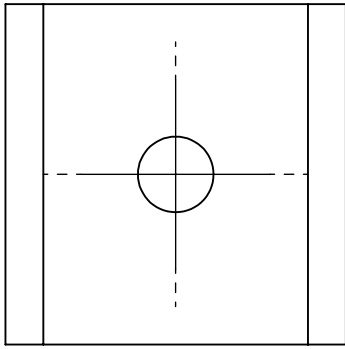
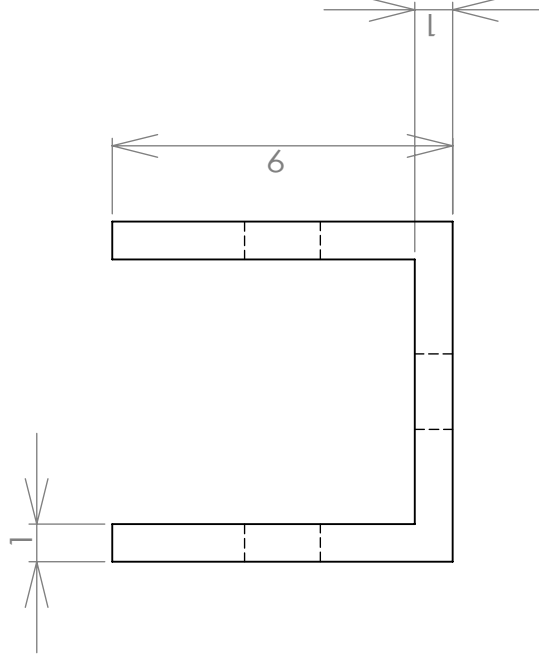
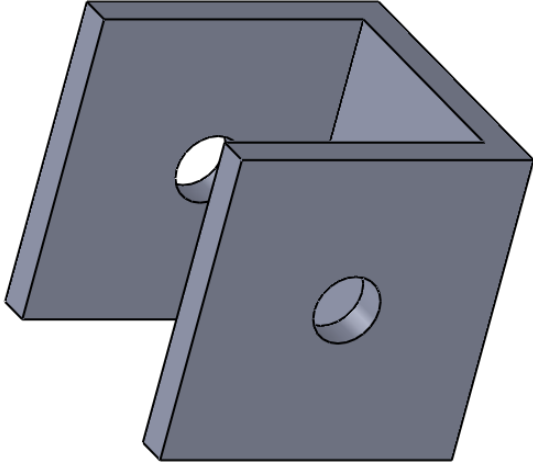
2

SHEET 1 OF 1

A4



付録C： 型SE設計図面



ロッドホルダー

TITLE:

DWG NO.

SCALE:1

MATERIAL: A5056

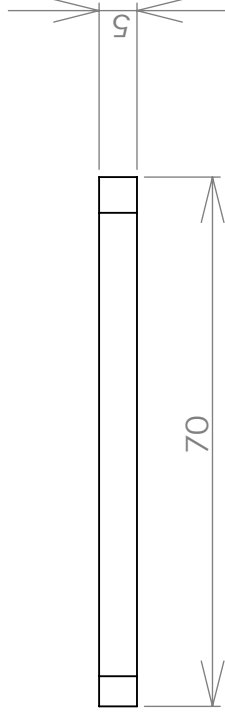
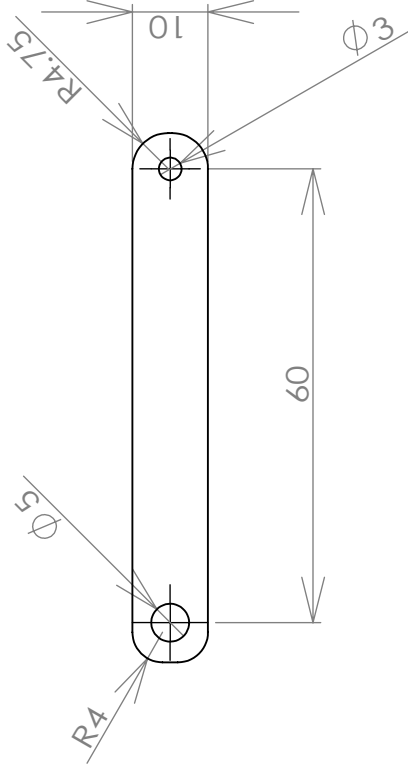
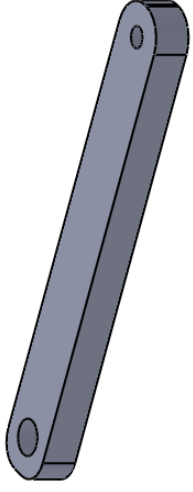
WEIGHT:

A4

SHEET 1 OF 1

2

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE: <b>Comp_Conrod</b>		
DWG NO. A4		
SCALE: 2:1		
SHEET 1 OF 1		

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/11	3
MATERIAL: A5056			
WEIGHT:			

1

2

3

4

5

6

A

B

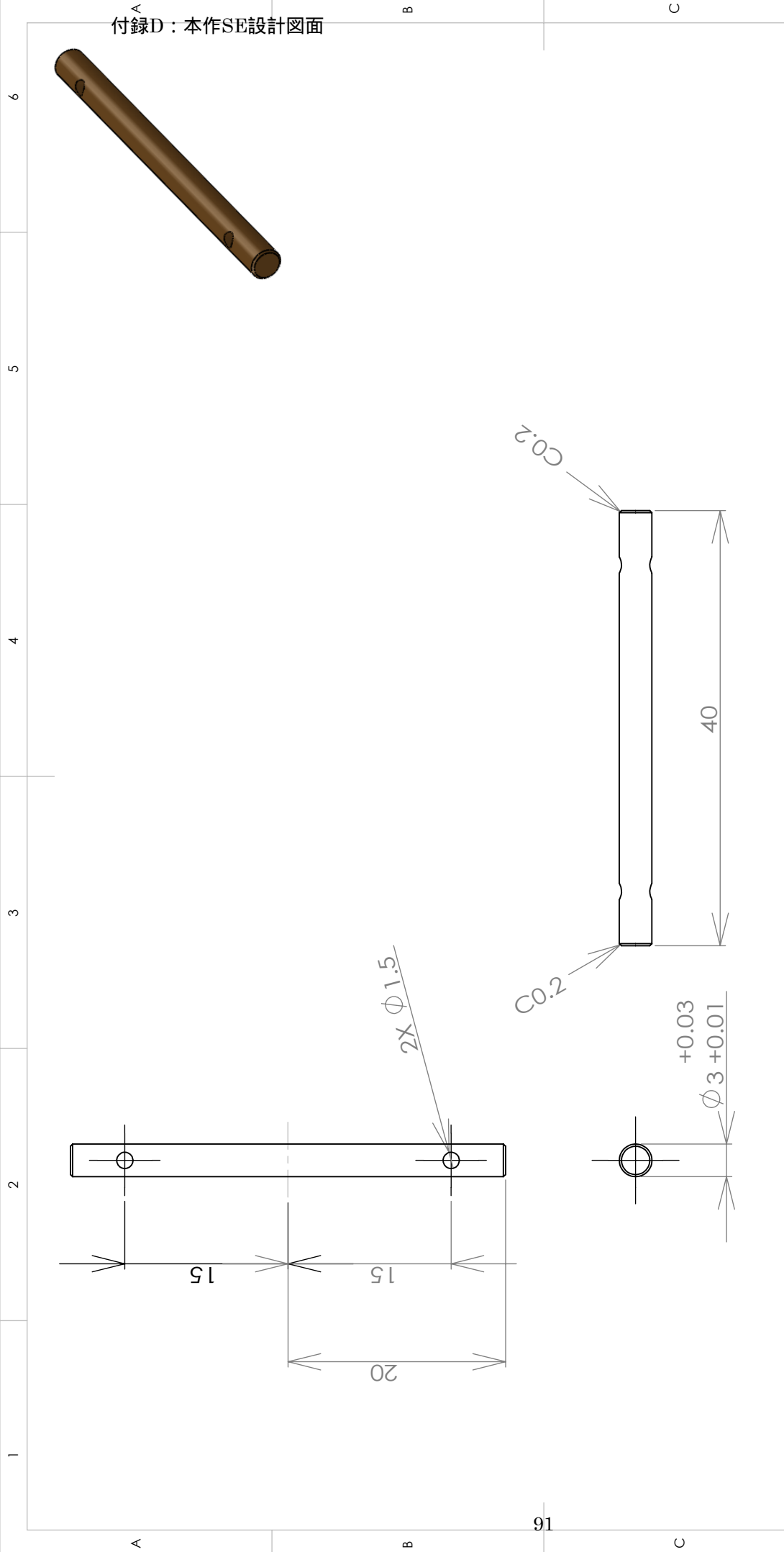
90

C

D

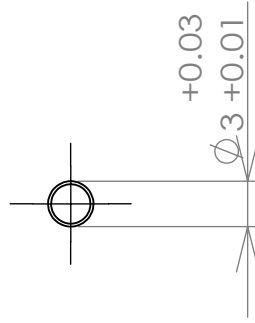
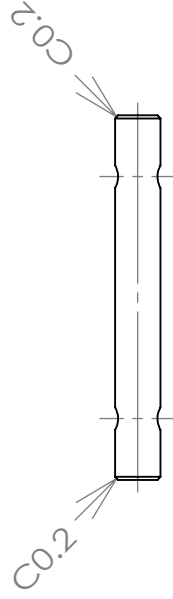
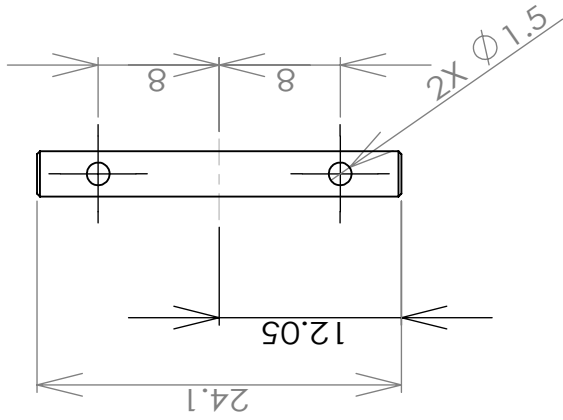
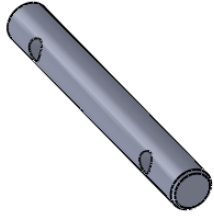
1

2



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE:					
CompConrodPinA			必要数		
3			MATERIAL:		
Brass			DWG NO.		
A4			SCALE:2:1		
SHEET 1 OF 1			WEIGHT:		

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION 1.0

TITLE:

Comp\_Conrod\_Pin\_B

DWG NO.

A4

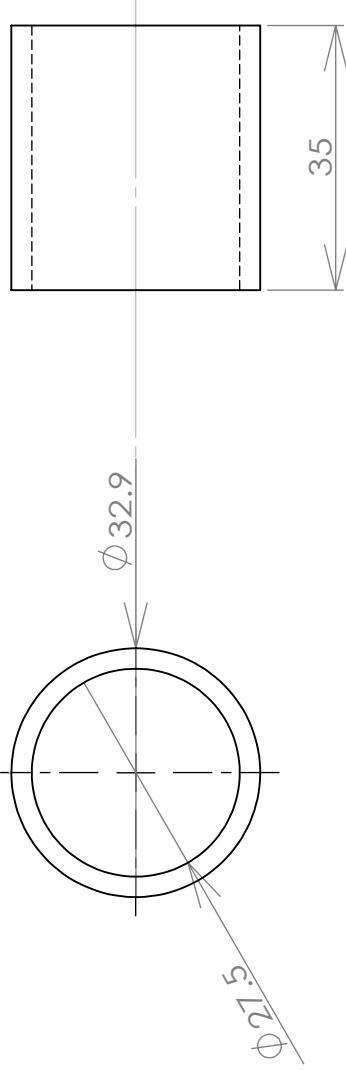
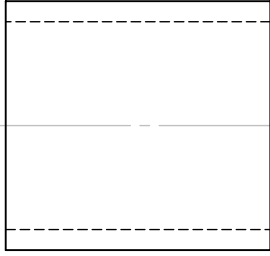
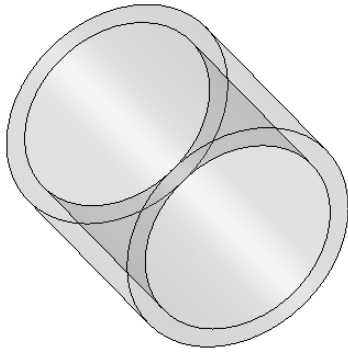
NAME	Kurionuma	SIGNATURE	必要数	DATE	12/13
DRAWN			3		
CHKD					
APPV'D					
MFG					
Q.A					
MATERIAL:			Brass		
WEIGHT:					

SHEET 1 OF 1

SCALE:2:1

WEIGHT:

2



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

CompCylinder

DWG NO.

A4

MATERIAL:

Glass

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

DATE

11/25

NAME

Kurionuma

DRAWN

CHKD

APPV'D

MFG

Q.A

SIGNATURE

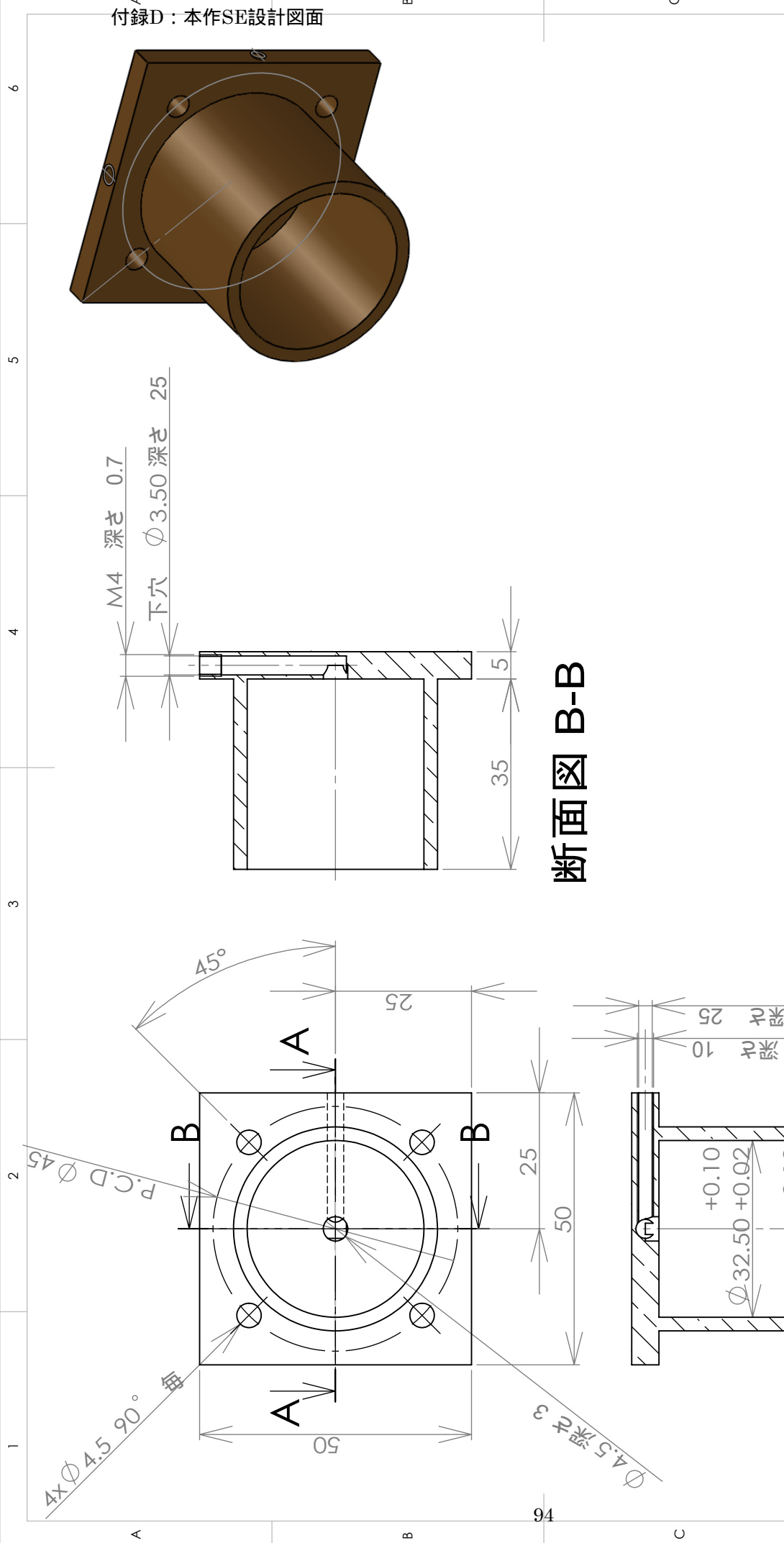
DATE

必要数

4

2

1



断面図 B-B

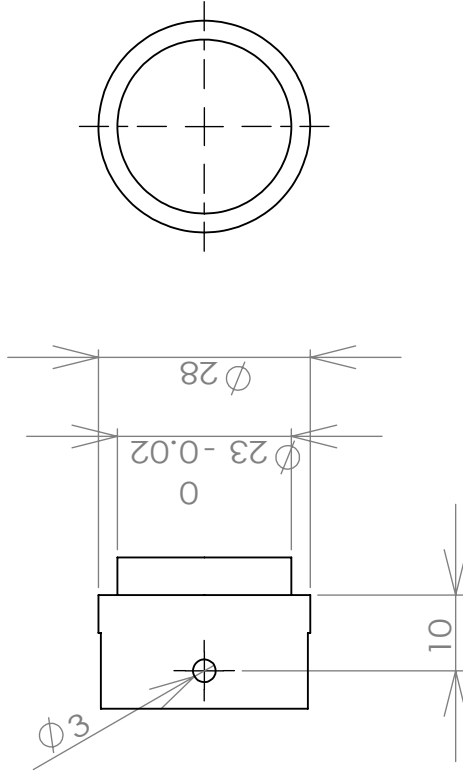
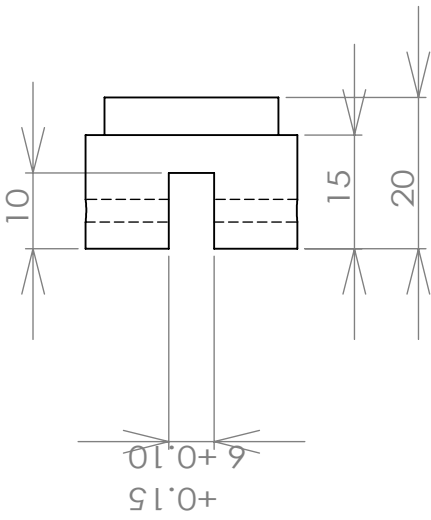
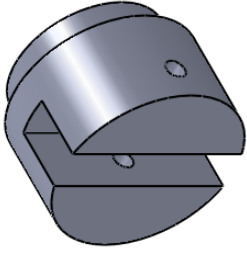
断面図 A-A

DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.1
TITLE:		
Comp_Cylinder_Holder		
DWG NO. A4		
SCALE: 1:1		

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/12	3
MATERIAL: Brass			
WEIGHT:			

DRAWN	CHKD	APPVD	MFG	Q.A
1				
2				

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.1
TITLE:			
Comp_Piston_Holder			
DWG NO. A4			
SCALE: 1:1			
SHEET 1 OF 1			
NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/13	3
DRAWN			
CHKD			
APPV'D			
MFG			
Q.A			
MATERIAL:		A5056	
WEIGHT:			

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

95

1

2

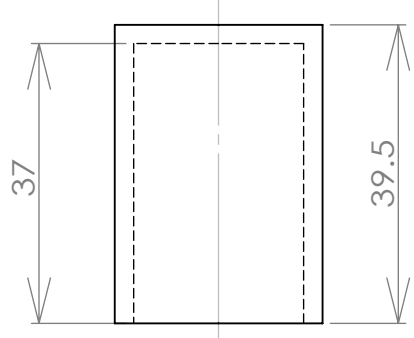
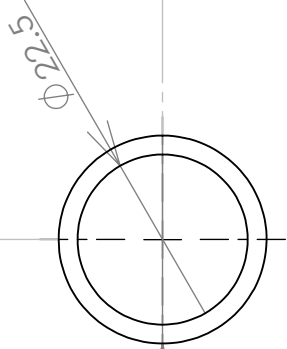
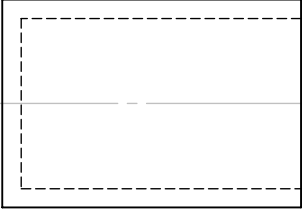
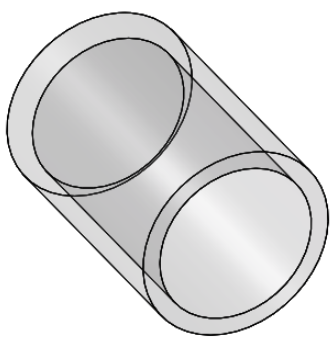
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



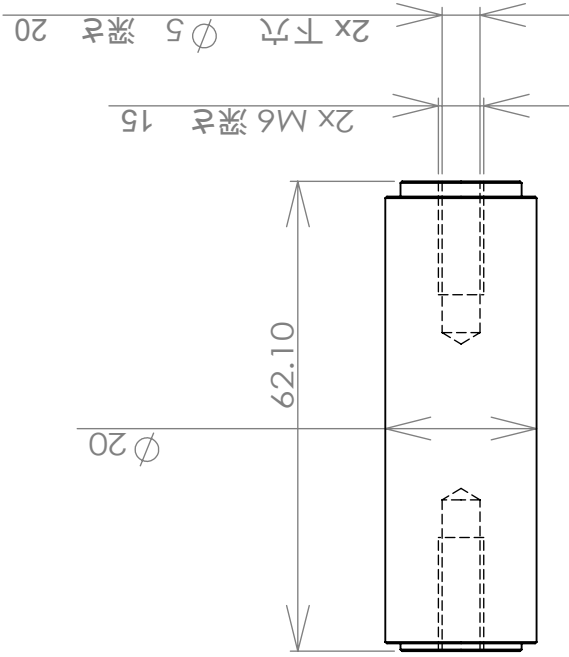
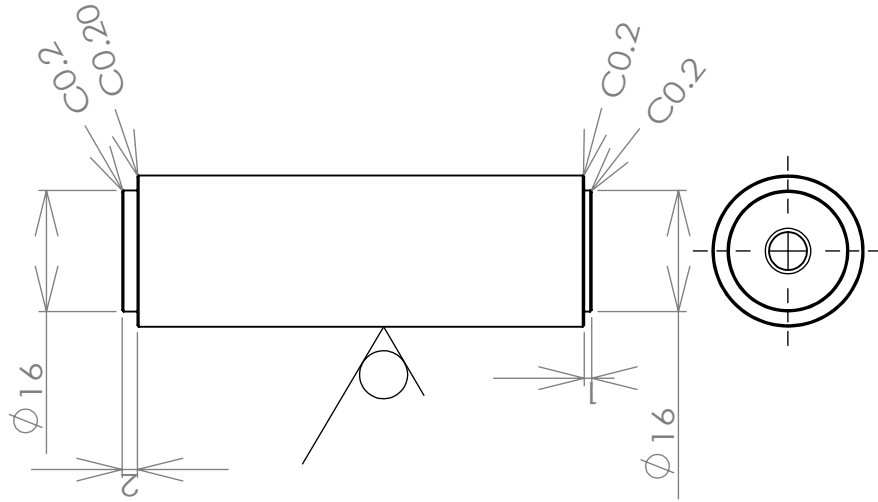
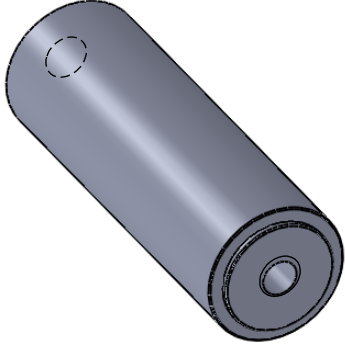
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

DRAWN Kurionuma		SIGNATURE	DATE 11/25	TITLE: <b>CompPiston</b>	
CHKD			必要数 4	DWG NO.	
APPV'D				A4	
MFG				SCALE:1:1	
Q.A				SHEET 1 OF 1	
MATERIAL: <b>Glass</b>			WEIGHT:		



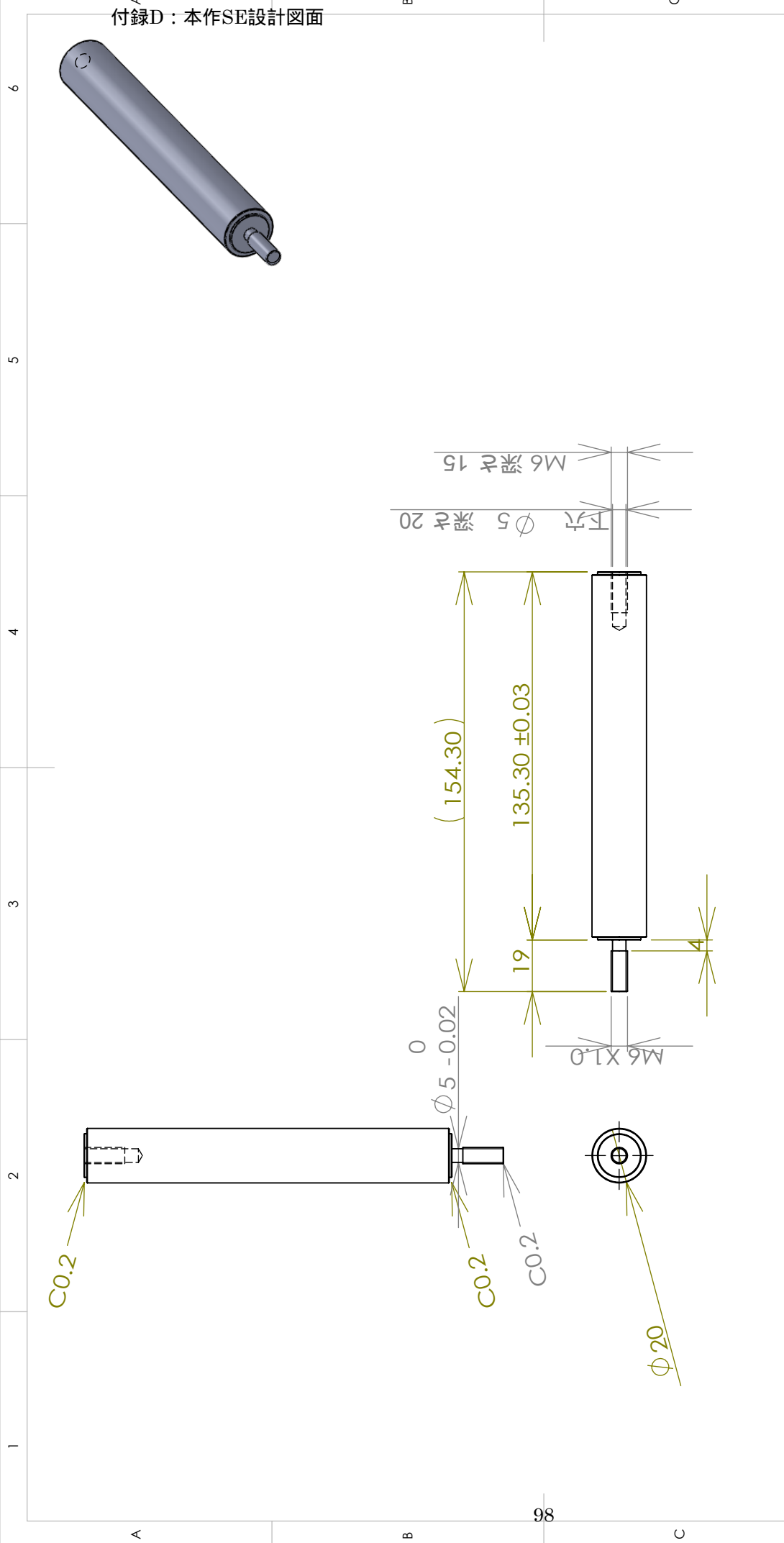
付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.1
TITLE: <h1>Top_Column</h1>		
DWG NO.		A4
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/8	4
MATERIAL:			A5056
WEIGHT:			

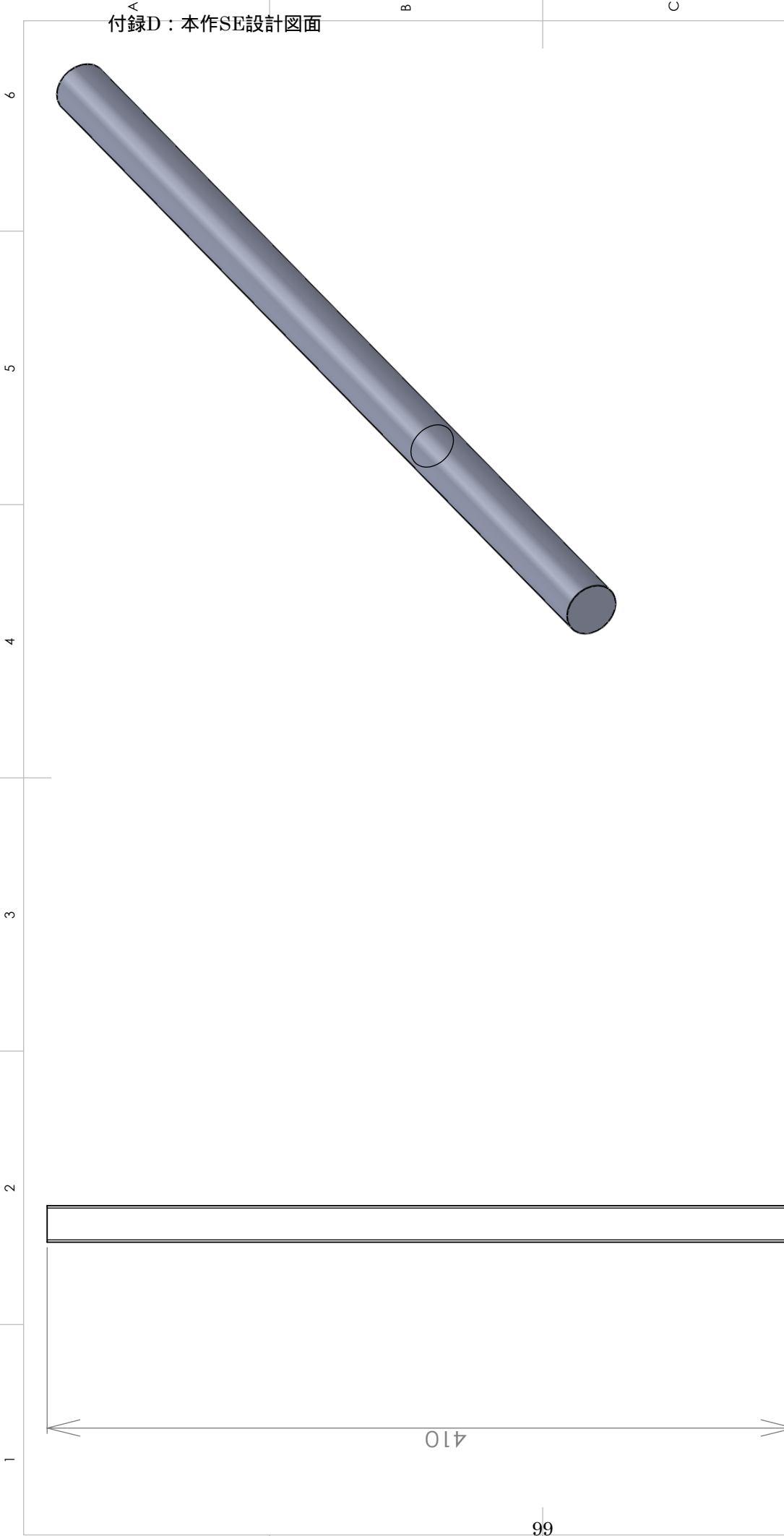
DRAWN	CHKD	APPV/D	MFG	Q.A



DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	2.1
TITLE: <h1>Second_Column</h1>		
DWG NO.		A4
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1

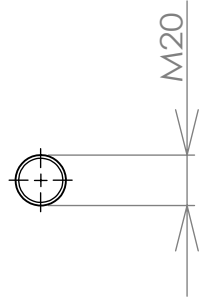
NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/13	4
MATERIAL: <b>A5056</b>			
WEIGHT:			

DRAWN	CHKD	APPV'D	MFG	Q.A.
98				
				2

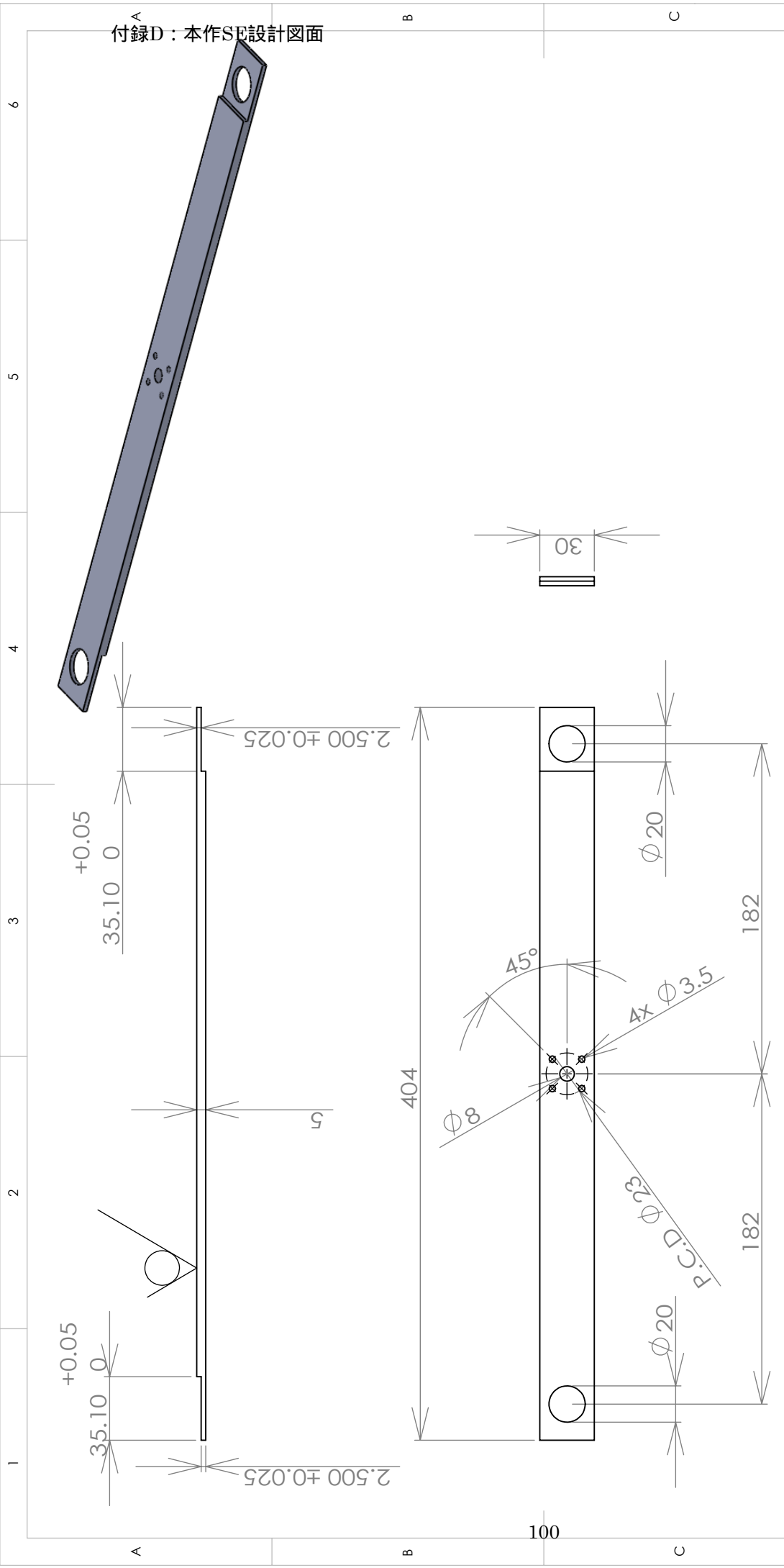


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE:		Main_Column			
DWG NO.:		A4			
SCALE:1:3		SHEET 1 OF 1			

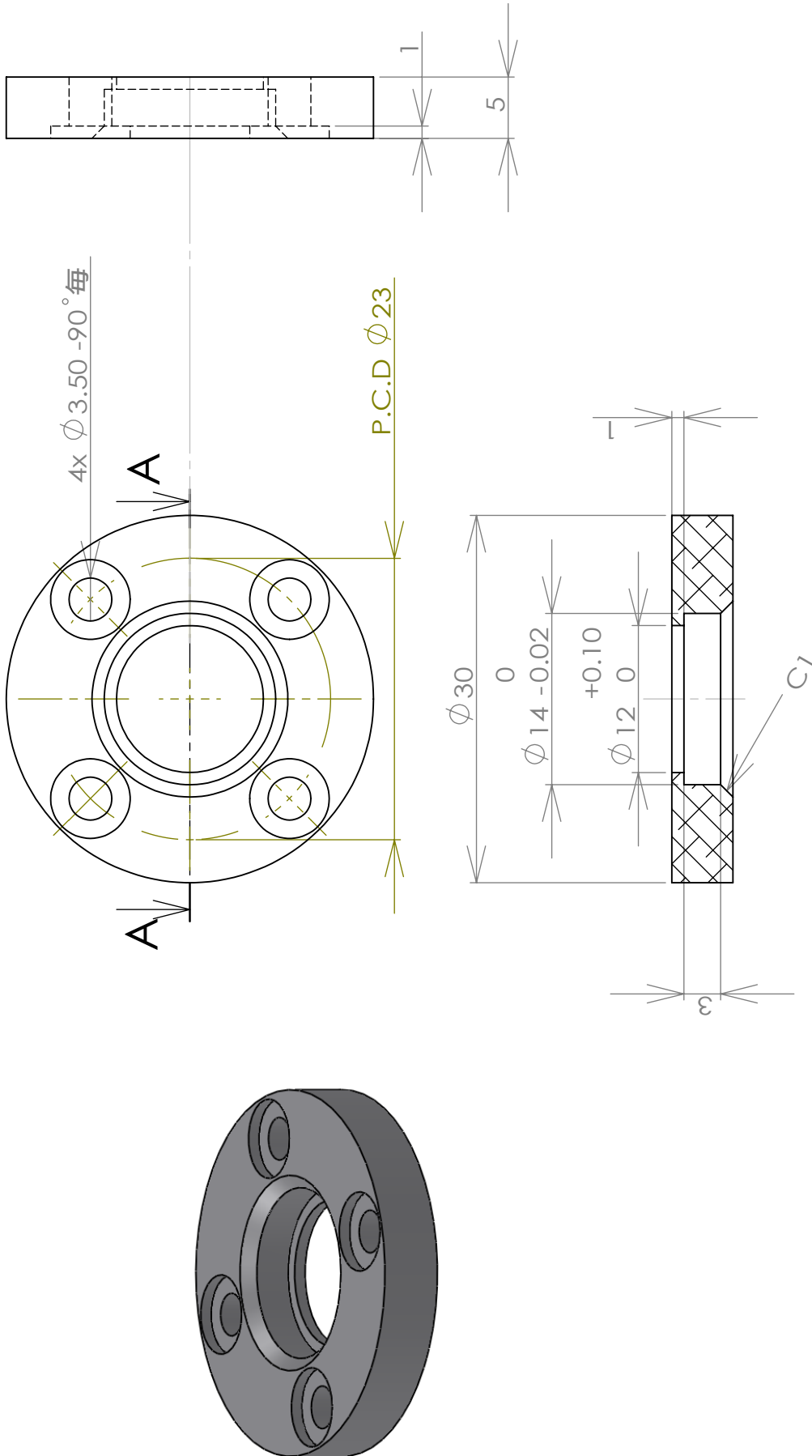
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE	必要数	4
CHKD	Kurionuma		12/20		
APPV/D					
MFG					
Q.A					
MATERIAL:			アルミ		
WEIGHT:					



付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE: Shaft_Column					
DRAWN: Kuronuma		DATE: 12/20		必要数: 16	
CHKD:					
APPVD:					
MFG:					
Q.A:				MATERIAL: A5056	
				DWG NO.:	
				SCALE: 1:3	
				WEIGHT:	
				SHEET 1 OF 1	



断面図 A-A

DRAWN		NAME		DATE	
Required		Kuro		11/28	
TITLE:		BearingHolder			
MATERIAL		SIZE		DWG. NO.	
A5056		A		REV	
FINISH		SCALE: 2:1		WEIGHT:	
		SHEET 1 OF 1		1	

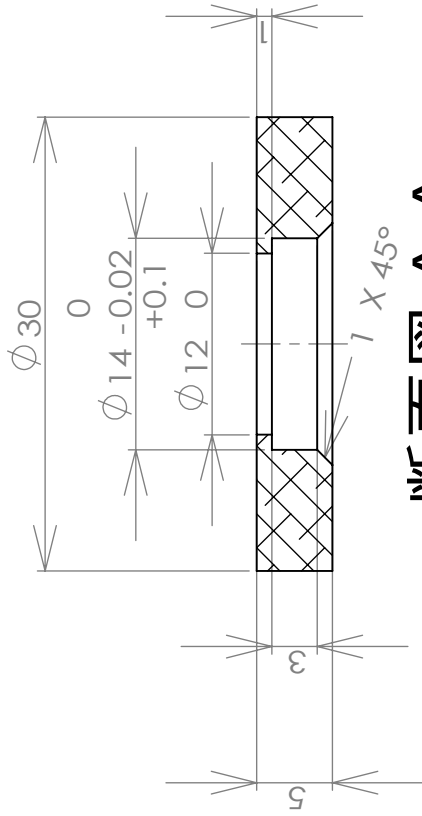
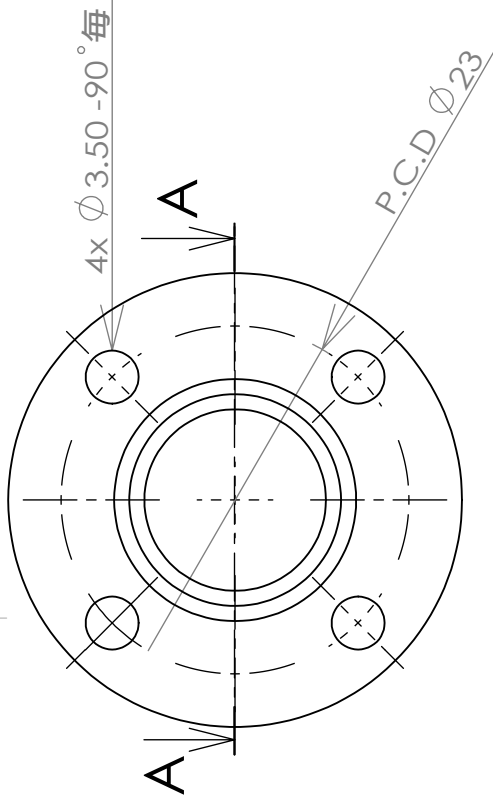
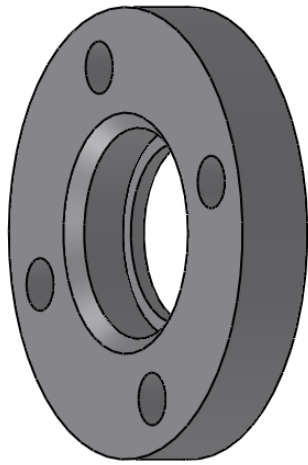
1 2 3 4 5 6

A

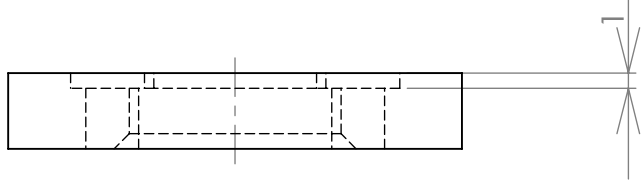
B

C

D



断面図 A-A



DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

1.0

TITLE:

BearingHolder2

2

必要数

DATE

11/28

SIGNATURE

NAME

Kuronuma

DRAWN

CHKD

APPV'D

MFG

Q.A

DWG NO.

A5056

MATERIAL:

SCALE:2:1

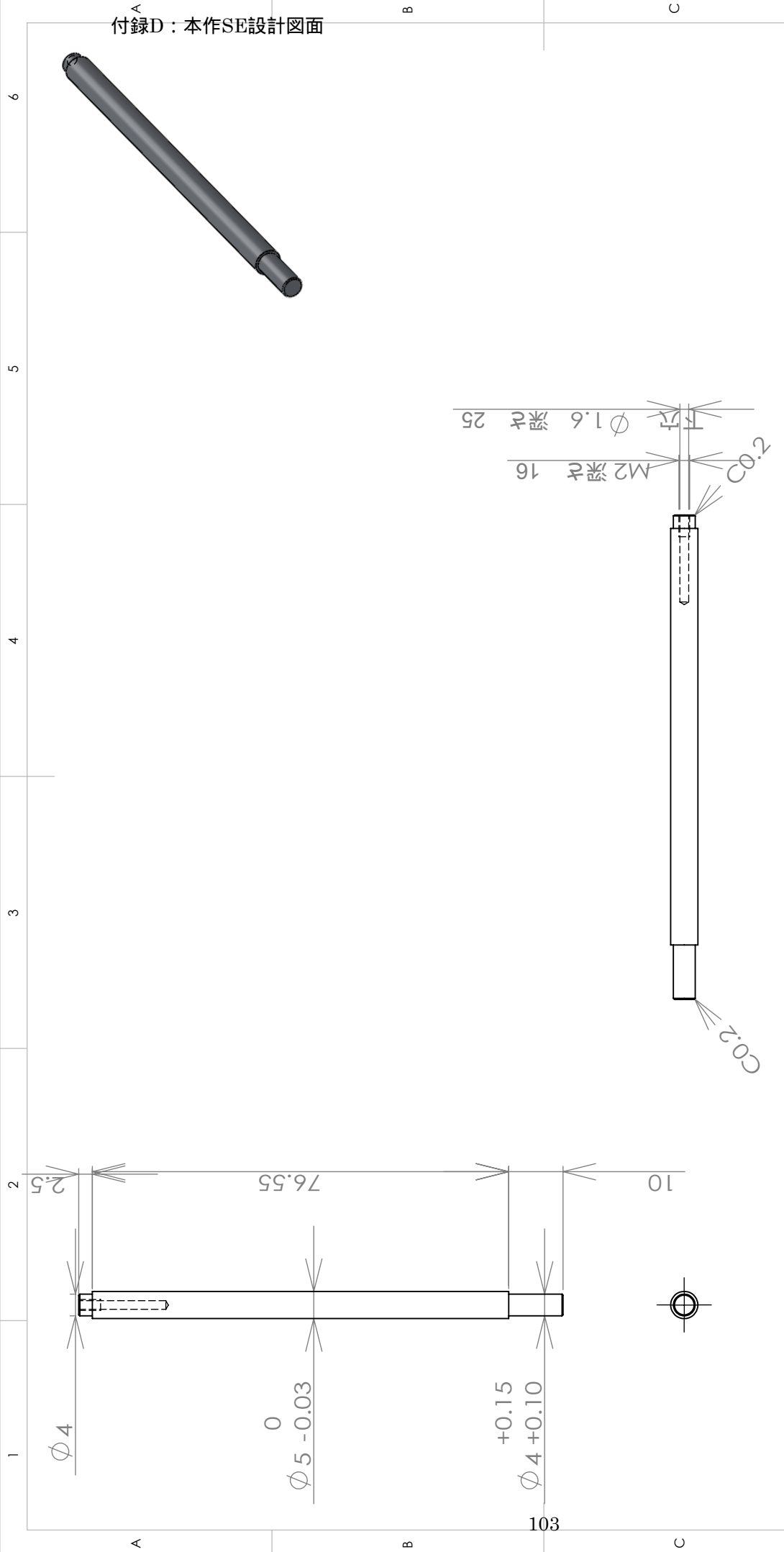
WEIGHT:

2

SHEET 1 OF 1

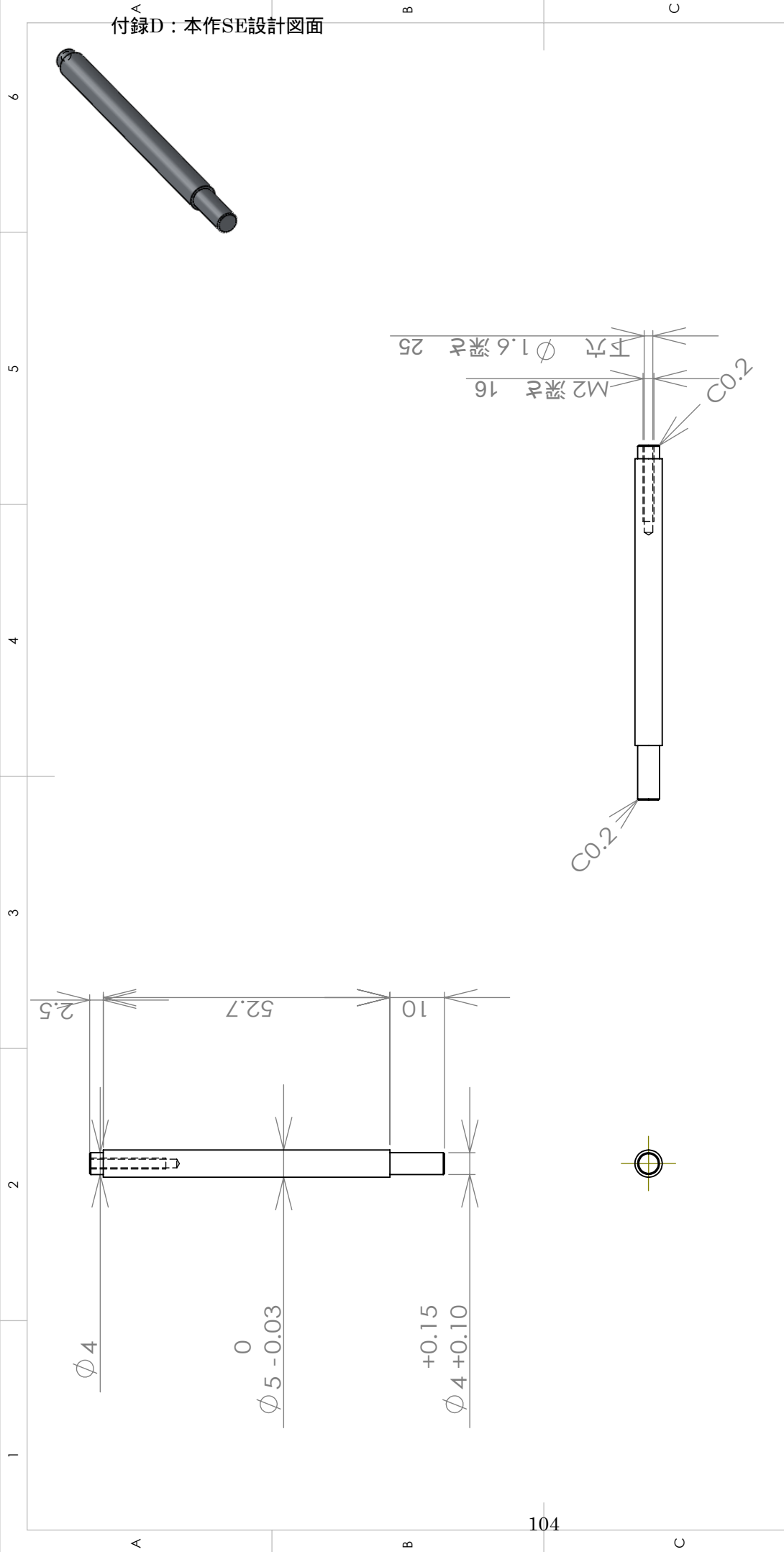
A4

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	2.0
TITLE: CrankShaftA			
NAME: Kuranuma		SIGNATURE	DATE: 12/16
DRAWN		Required	3
CHKD			
APPVD			
MFG			
Q.A			
MATERIAL: SUS303		DWG NO. A4	
WEIGHT:		SCALE: 1:1	
1	2	SHEET 1 OF 1	

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	2.0
TITLE: CrankshaftB			
NAME: Kuranuma		DATE: 12/16	DWG NO.:
SIGNATURE:		Required	3
MATERIAL: SUS303		WEIGHT:	A4
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1	



6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

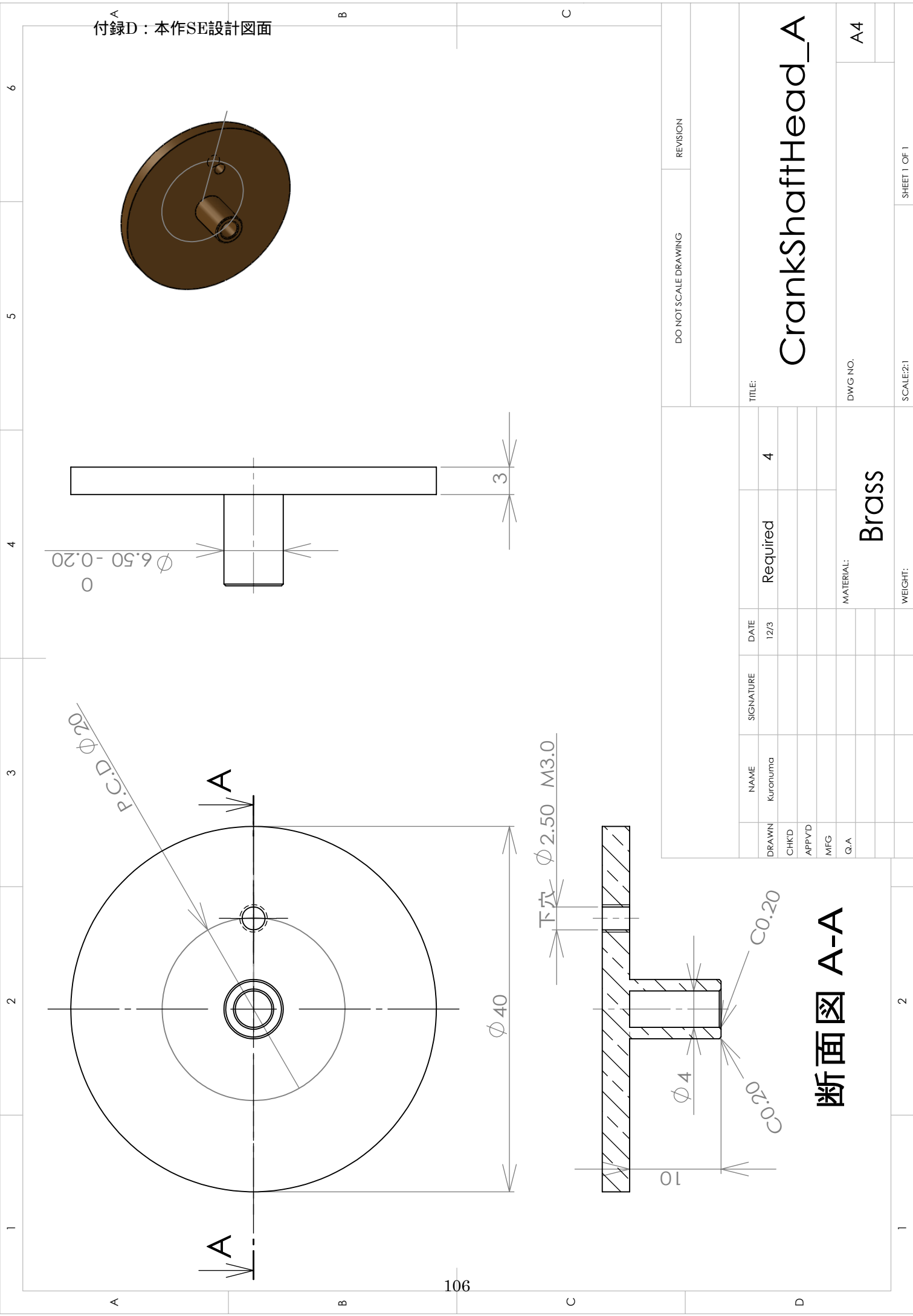
DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.0
TITLE: <b>Crank_shaft_C</b>			
DWG NO.		A4	
SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1	

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kunihiko		12/16	1
DRAWN			
CHKD			
APPV'D			
MFG			
Q.A.			
MATERIAL:		SUS303	
WEIGHT:			

2

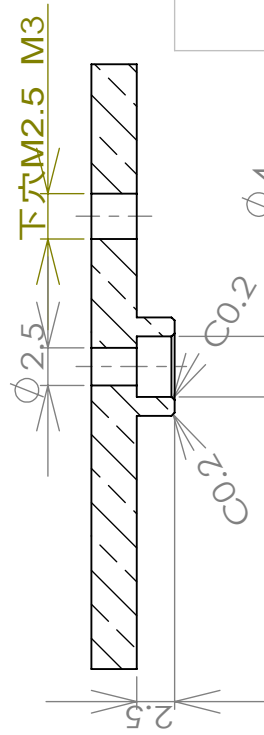
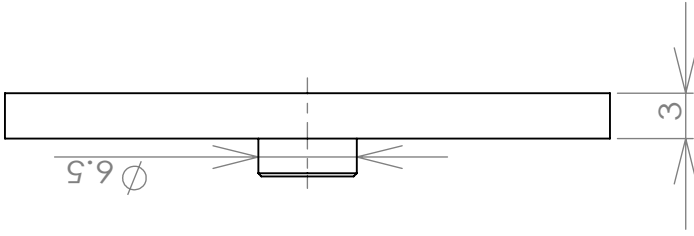
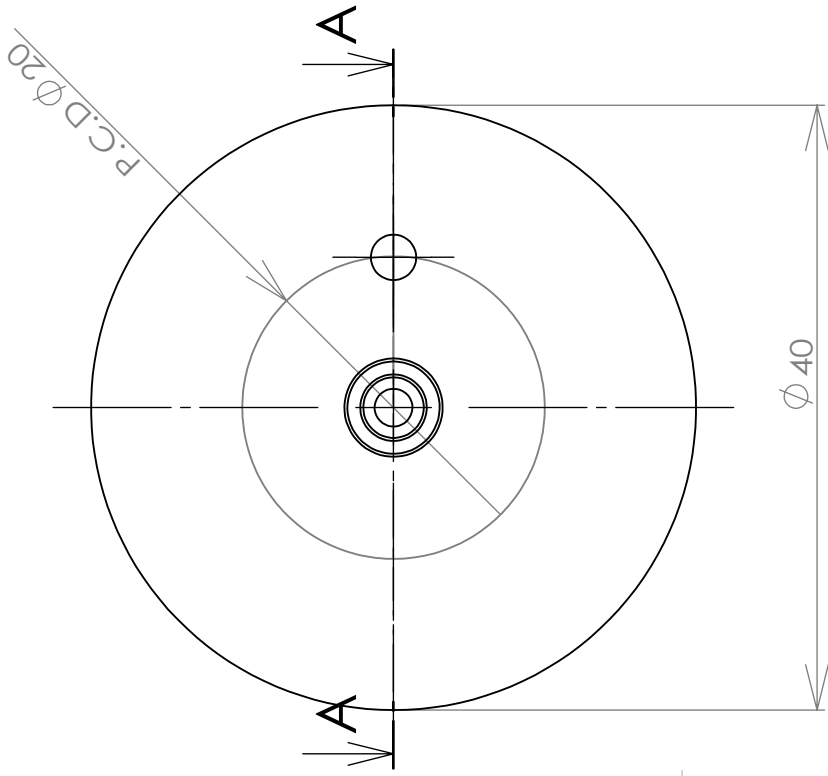
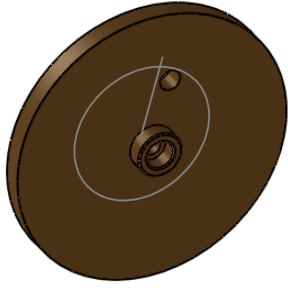
1



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE: CrankShaftHead_A			
NAME: Kuronuma		DATE: 12/3	Required 4
SIGNATURE:			
DRAWN:			
CHKD:			
APPV/D:			
MFG:			
Q.A:			
MATERIAL: Brass		DWG NO. A4	
WEIGHT:		SCALE:2:1	
		SHEET 1 OF 1	

断面図 A-A

付録D：本作SE設計図面



断面図 A-A

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

CrankShaftHead\_B

DATE

12/6

SIGNATURE

Kurionuma

NAME

Kurionuma

DRAWN

CHKD

APPV/D

MFG

Q.A

Required 8

DWG NO.

Brass

MATERIAL:

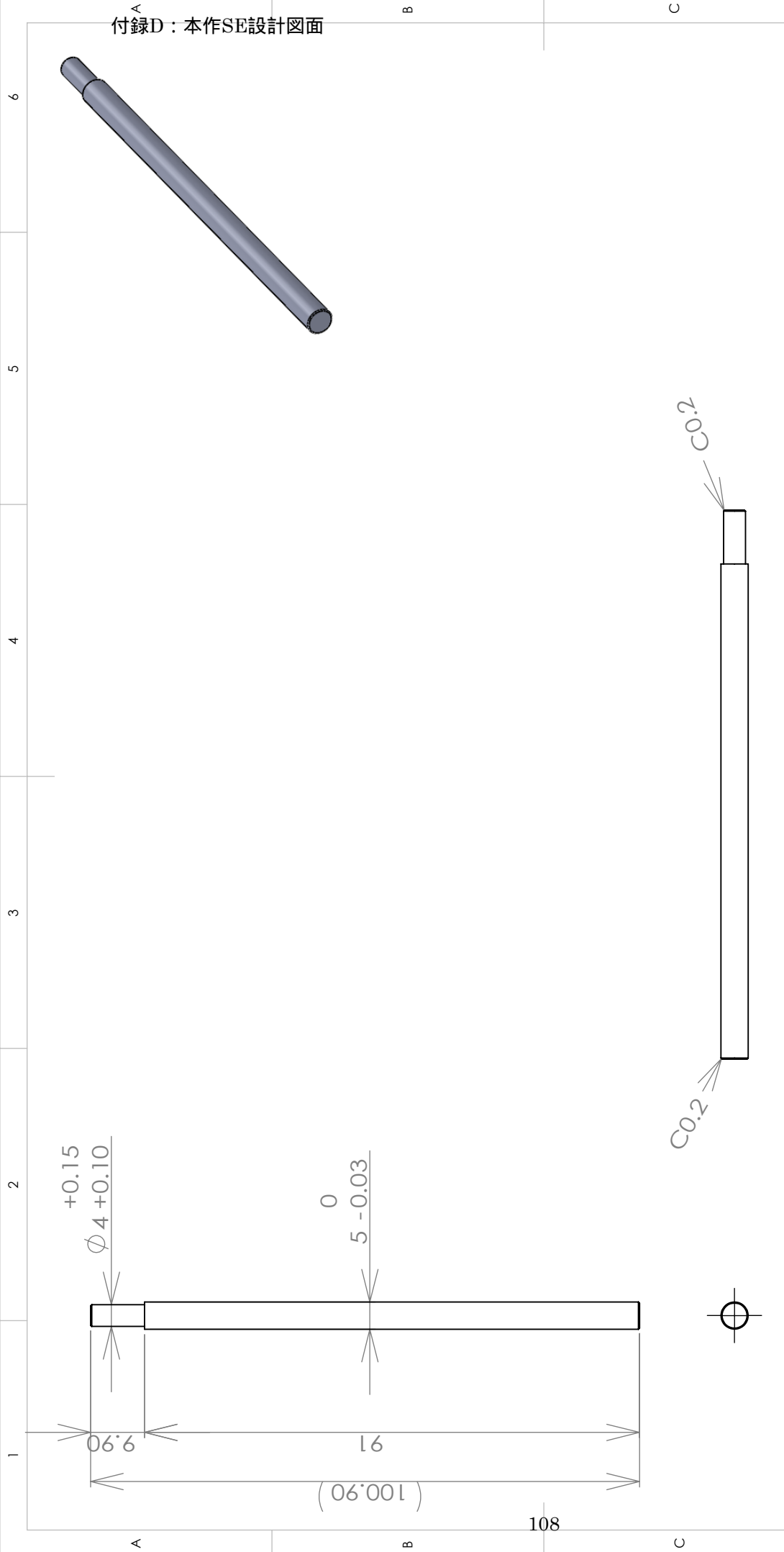
A4

SHEET 1 OF 1

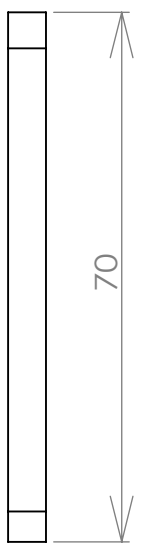
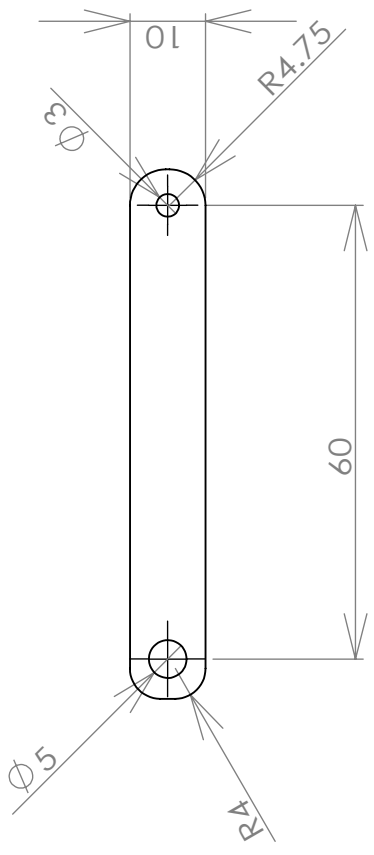
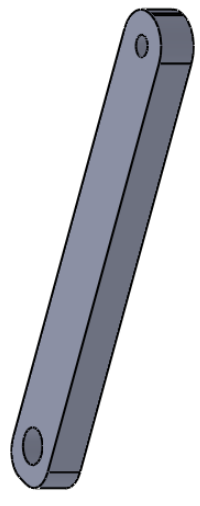
SCALE:2:1

WEIGHT:

付録D：本作SE設計図面

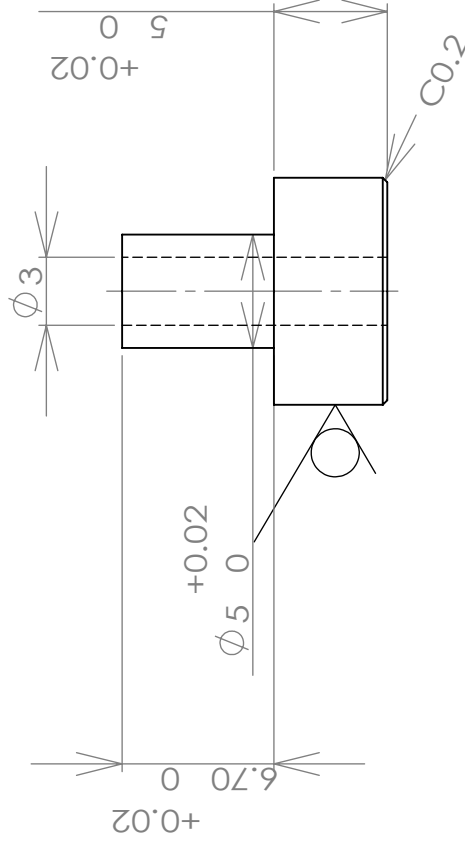
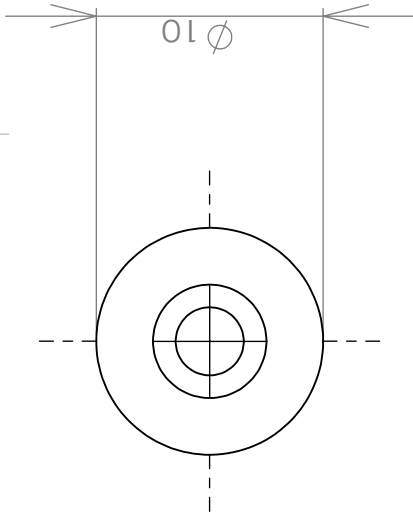
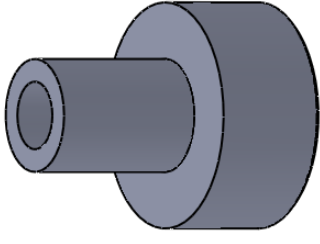


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE:					
Output_shaft			A4		
DWG NO.		SUS303		SCALE: 1:1	
MATERIAL:		SUS303		WEIGHT:	
NAME		SIGNATURE		DATE	
Kuronuma				12/16	
DRAWN		CHKD		必要数	
APPV'D		MFG		1	
Q.A					
1		2		2	
108		91		9.90	
A		B		C	



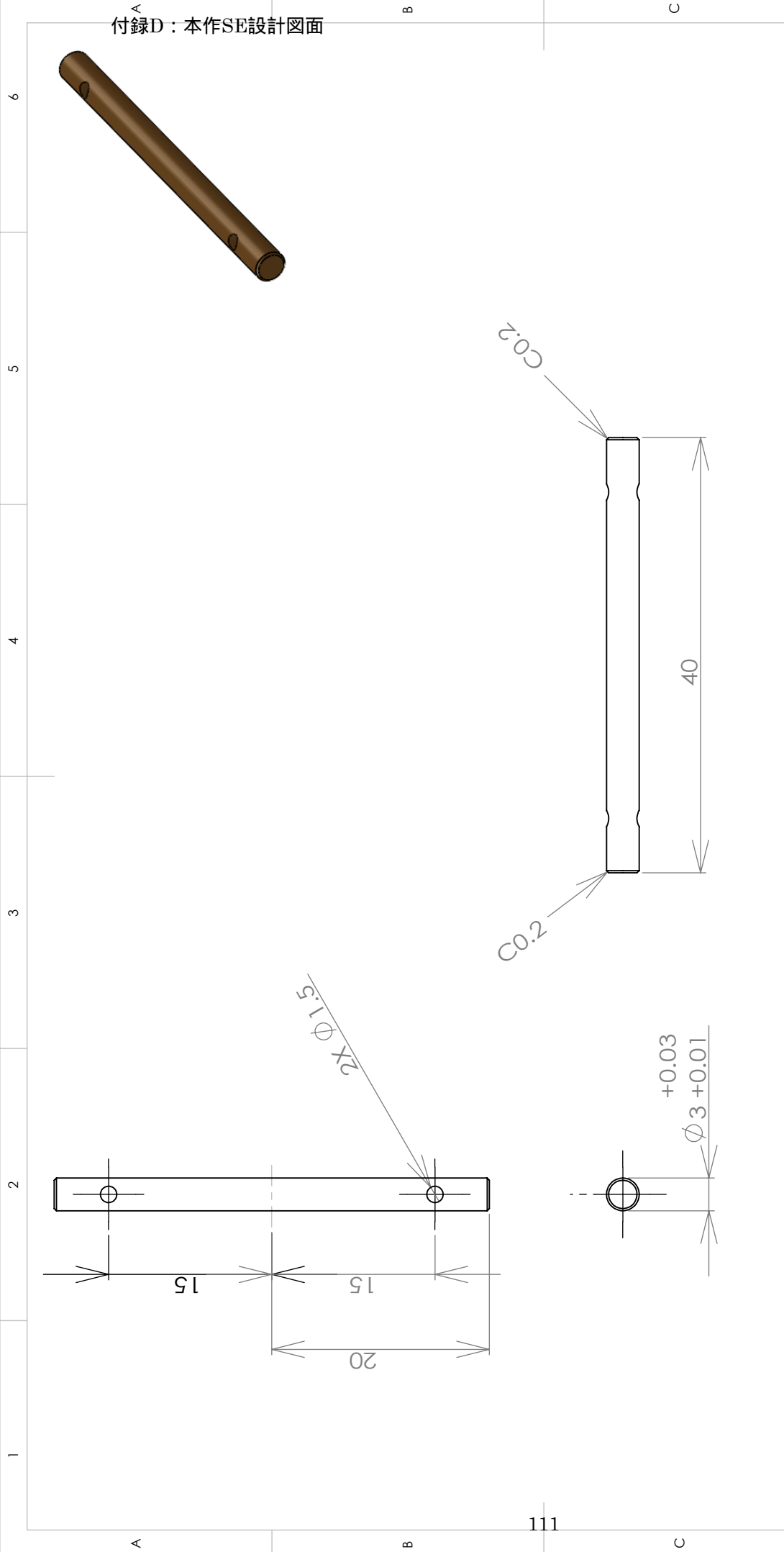
DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE: <h1>Extend_Conrod</h1>		
DWG NO.	A4	
SCALE:1:1	SHEET 1 OF 1	

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数	3
DRAWN		12/12		
CHKD	Kurionuma			
APPV'D				
MFG				
Q.A				
MATERIAL:			A5056	
WEIGHT:				

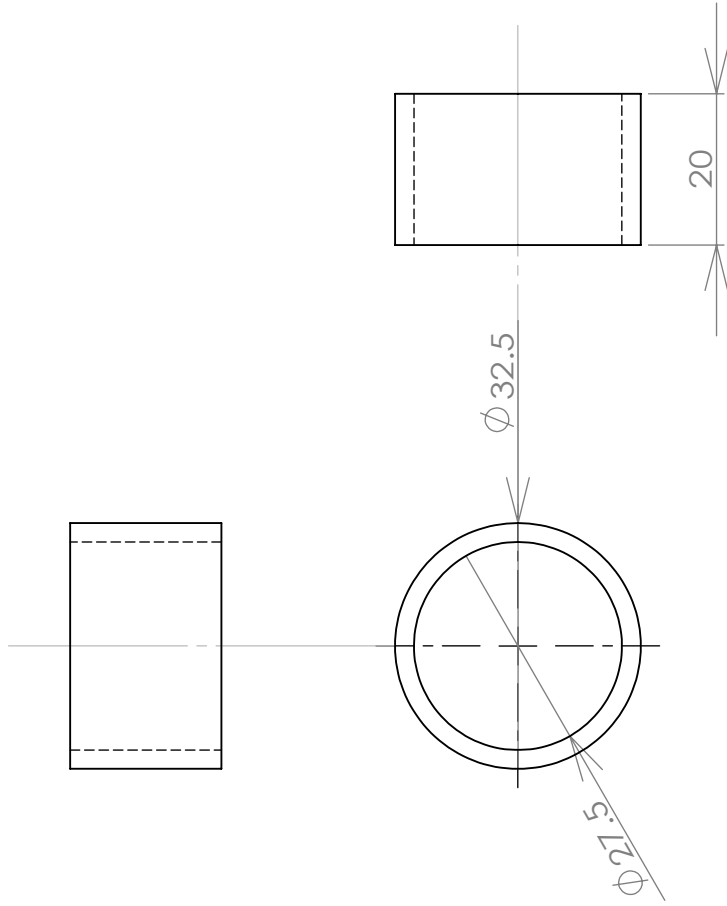


DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.0
TITLE:			
Conrod_Axis_Rack		DWG NO. A4	
必要数		9	
MATERIAL:		Brass	
DATE		12/13	
SIGNATURE			
NAME		Kuronuma	
DRAWN			
CHKD			
APPV'D			
MFG			
Q.A			
WEIGHT:			
SCALE:3:1		SHEET 1 OF 1	

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE:					
Extend_Conrod_Pin			A4		
DWG NO.					
SCALE:2:1					
SHEET 1 OF 1					
NAME	SIGNATURE	DATE	必要数	3	
Kurionuma		12/13			
MATERIAL: <b>Brass</b>					
WEIGHT:					
DRAWN	CHKD	APP'D	MFG	Q.A	
Kurionuma					
				2	
				1	



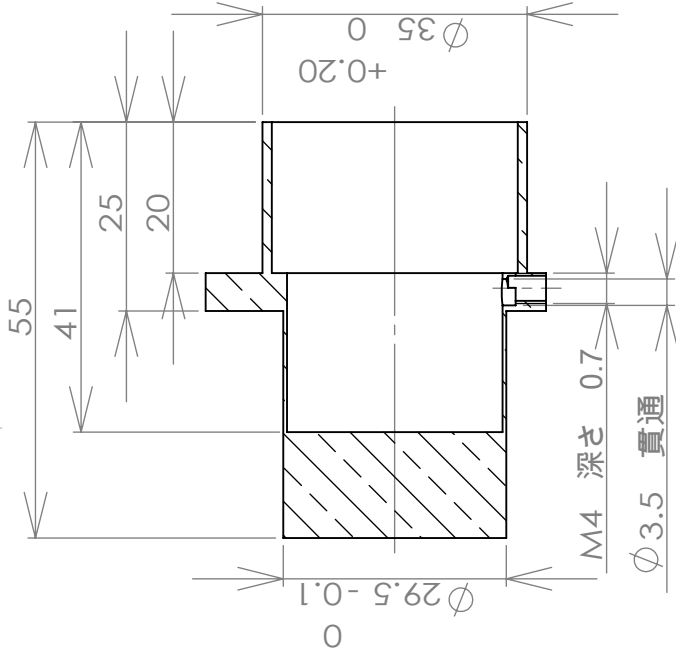
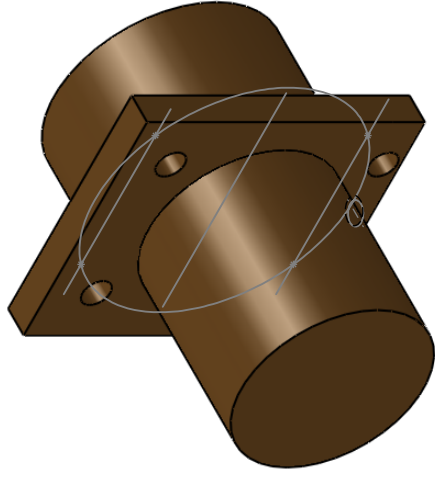
DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

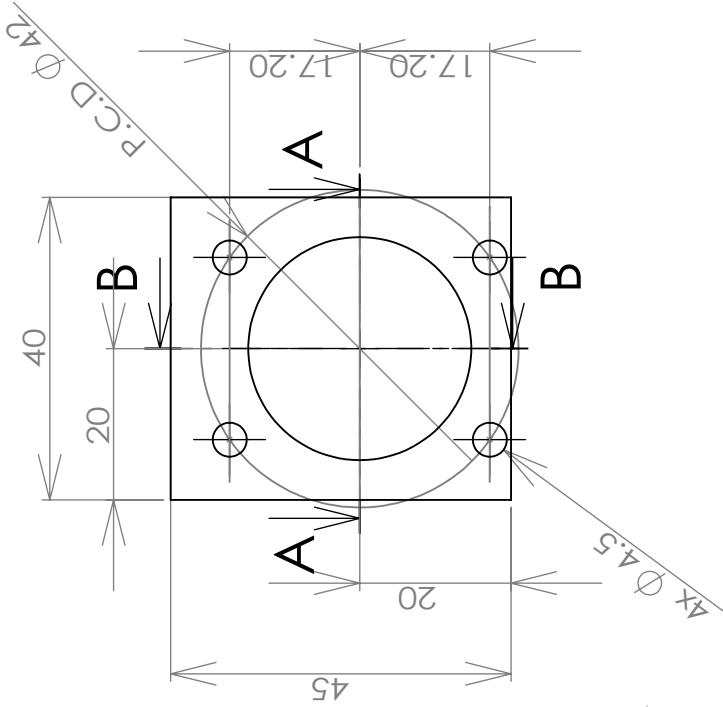
TITLE:		ExtendCylinder	
DWG NO.:		A4	
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1	

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		11/25	4
MATERIAL: Glass			
WEIGHT:			

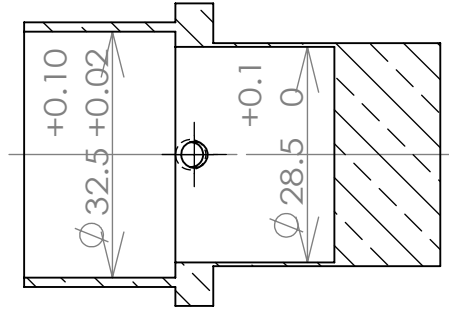




断面図 B-B

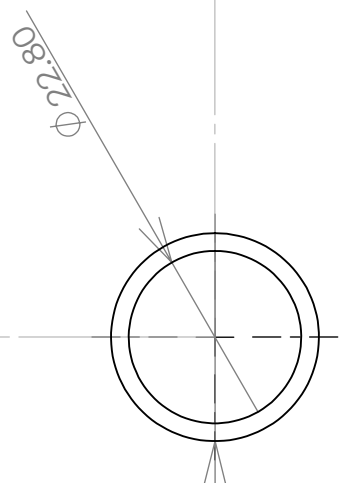
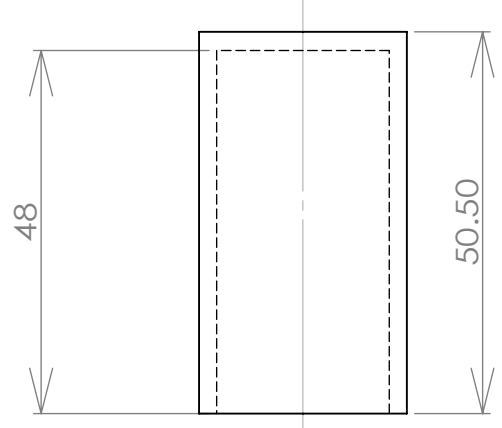
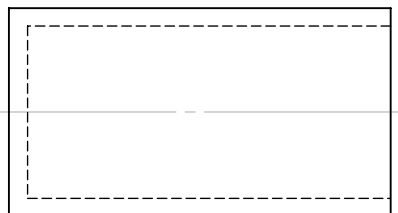
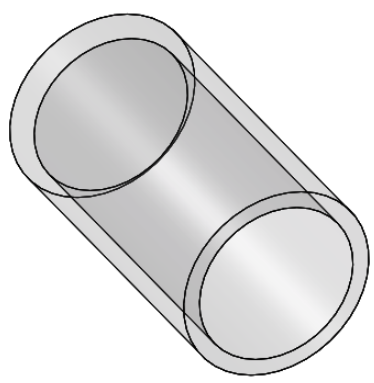


断面図 A-A



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE: Extend_Cylinder_Holder			
NAME: Kuronuma		DATE: 12/3	
SIGNATURE:		必要数: 4	
MATERIAL: Brass		DWG NO. A4	
WEIGHT:		SCALE: 1:1	
SHEET 1 OF 1			

1 2 3 4 5 6



$\phi 27.50$

$\phi 22.80$

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

TITLE:

ExtendPiston

DWG NO.

A4

MATERIAL:  
Glass

必要数 4

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHKD	Kurionuma		11/25
APPV'D			
MFG			
Q.A			

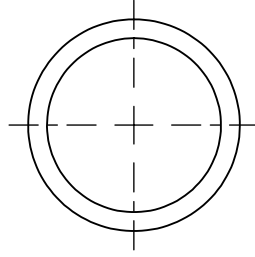
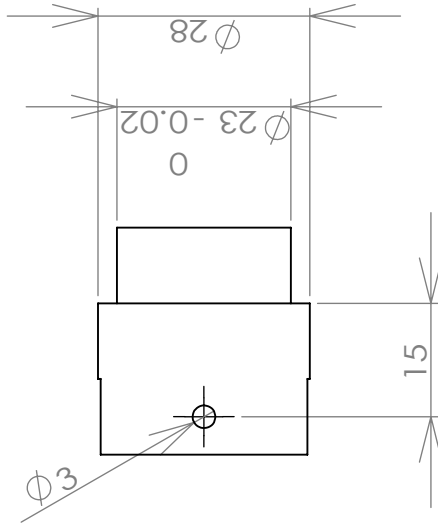
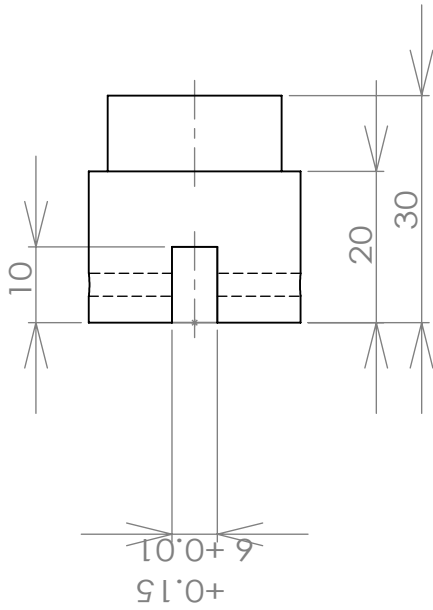
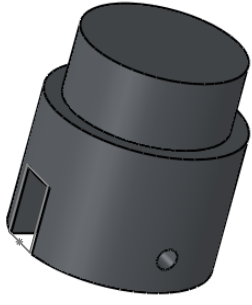
A

B

C

D

付録D：本作SE設計図面

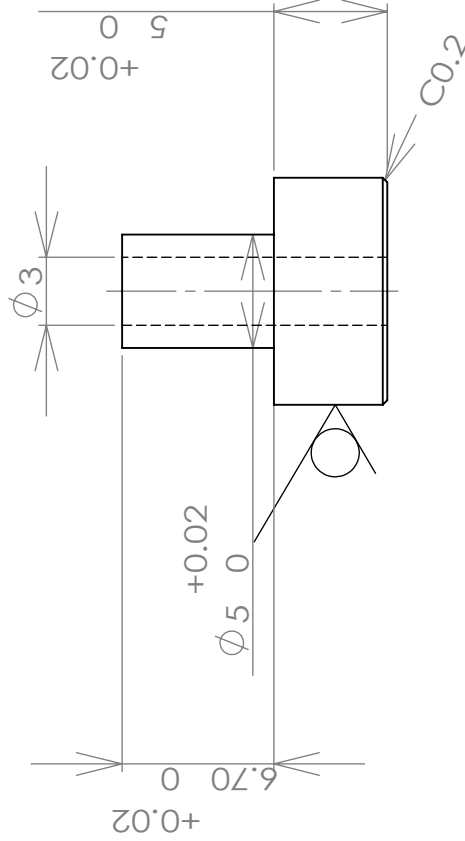
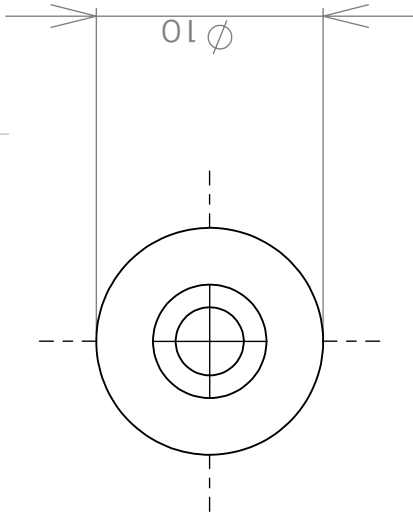
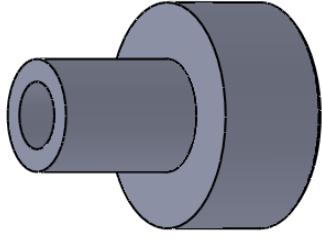


115

DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.1
TITLE:			
Extend_Piston_Holder			
DWG NO.		A4	
SCALE: 1:1		SHEET 1 OF 1	

NAME	SIGNATURE	DATE	3
Kurionuma		12/13	必要数
MATERIAL:		A5056	
WEIGHT:			

DRAWN	CHKD	APPV'D	MFG	Q.A
Kurionuma				
1				
2				



DO NOT SCALE DRAWING REVISION 1.0

TITLE:

Conrod\_Axis\_Rack

DWG NO.

A4

必要数 9

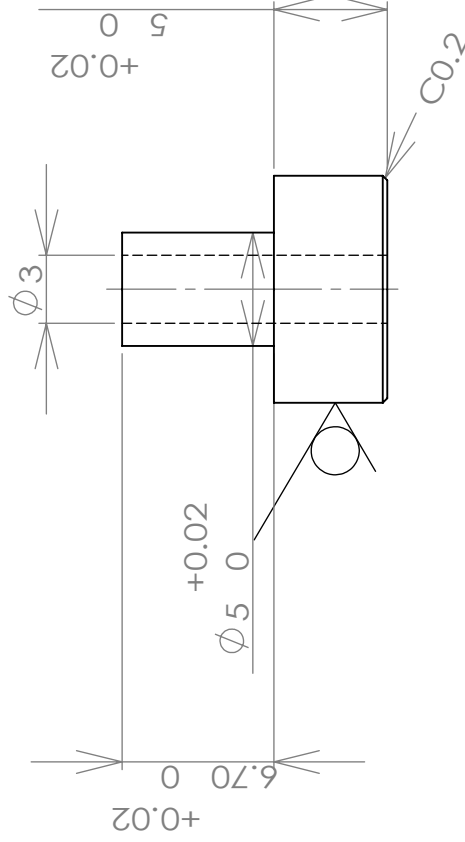
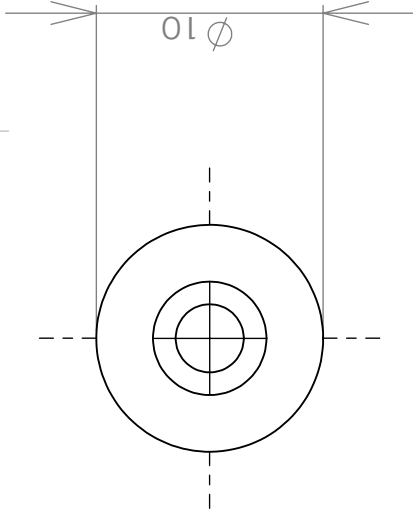
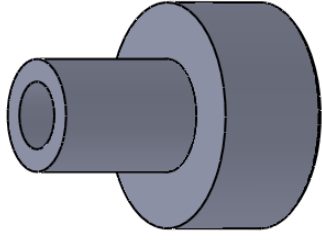
MATERIAL:

Brass

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

2

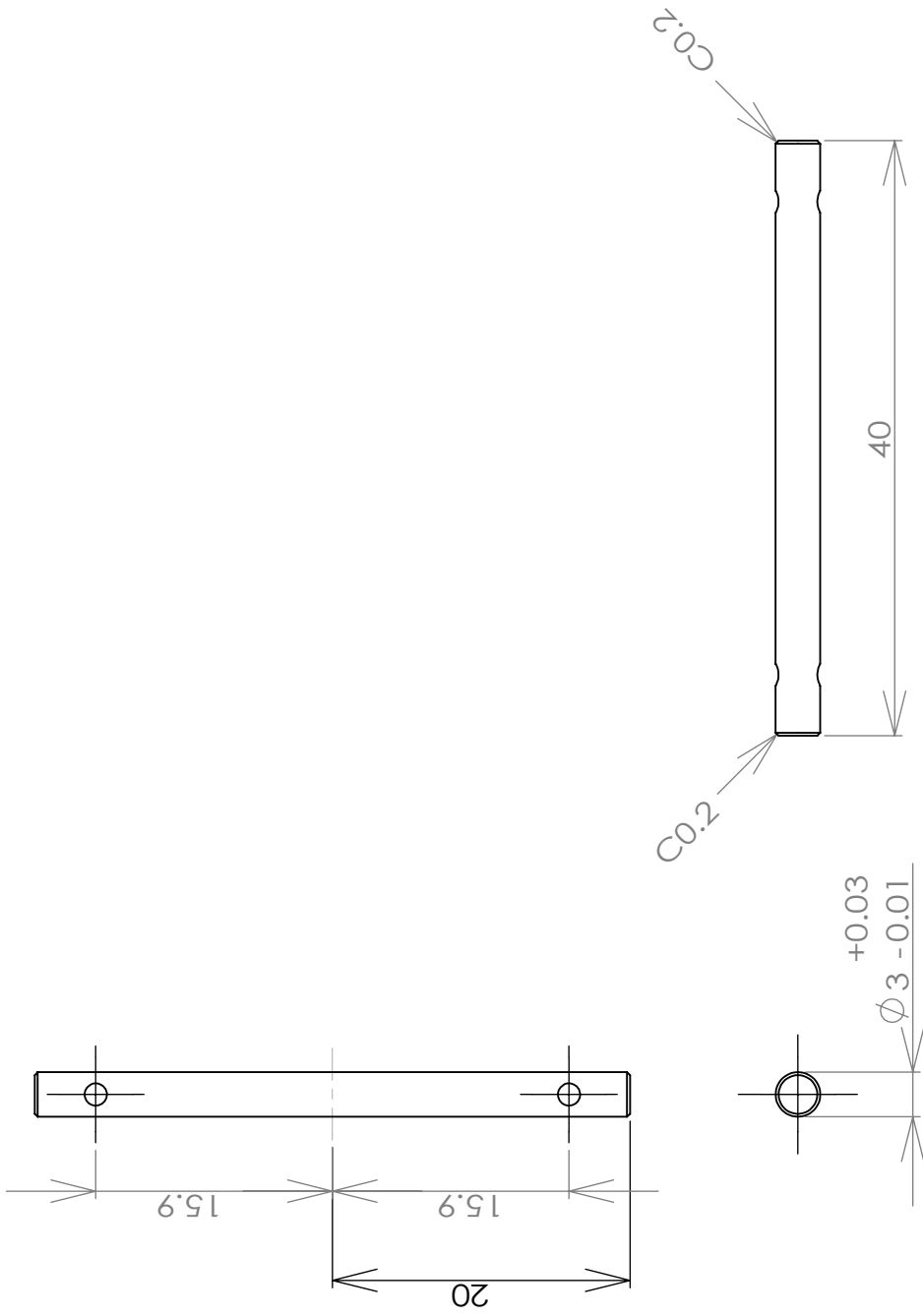


DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE:		
Conrod_Axis_Rack		
DWG NO. A4		
SCALE:3:1		
SHEET 1 OF 1		

DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE:		
Conrod_Axis_Rack		
DWG NO. A4		
SCALE:3:1		
SHEET 1 OF 1		

DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE
CHKD	Kurionuma		12/13
APPV'D			
MFG			
Q.A			
MATERIAL:		Brass	
WEIGHT:			

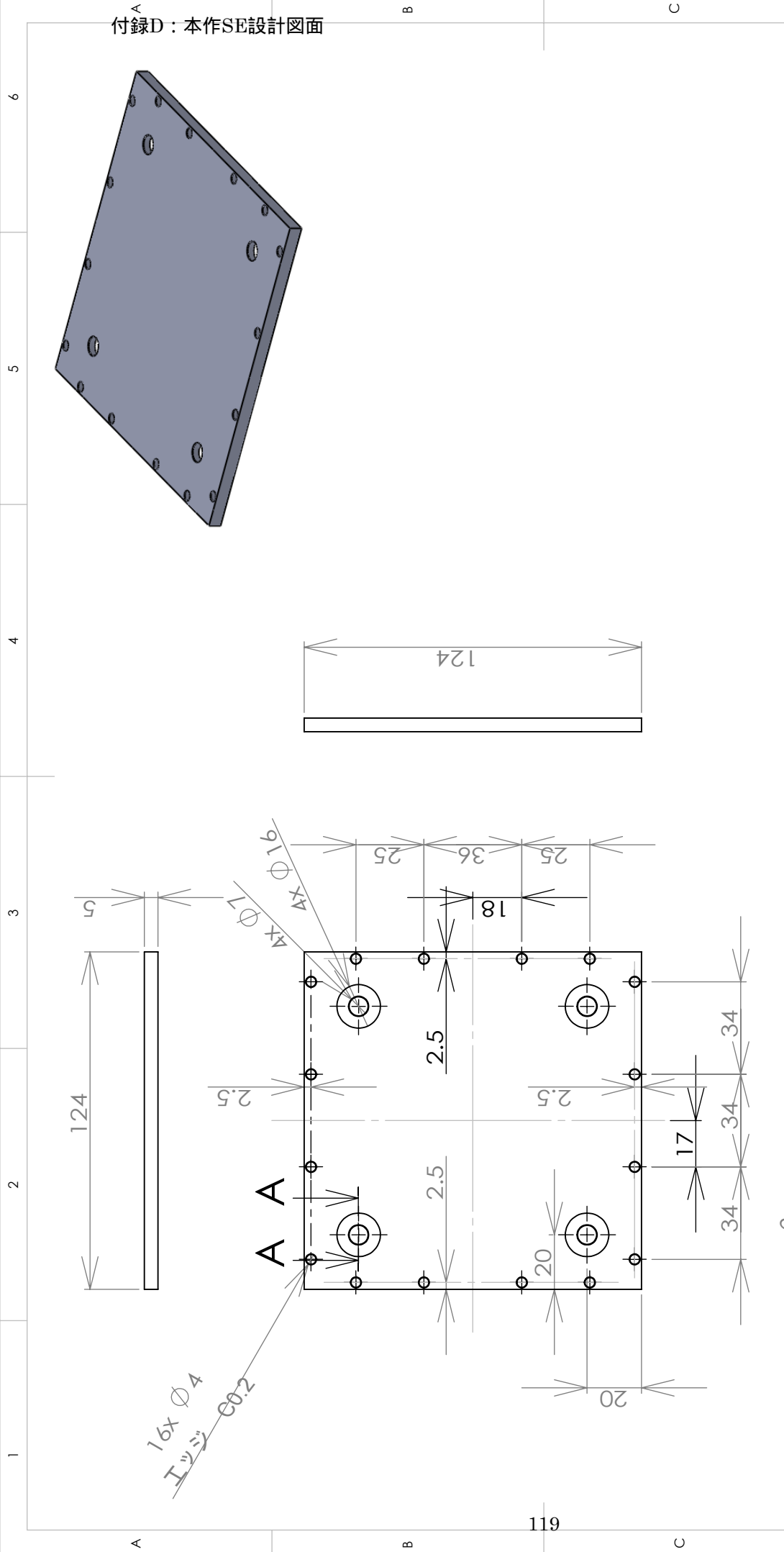
付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE:		
<h1>Final_Conrod_Pin</h1>		
DWG NO. A4		

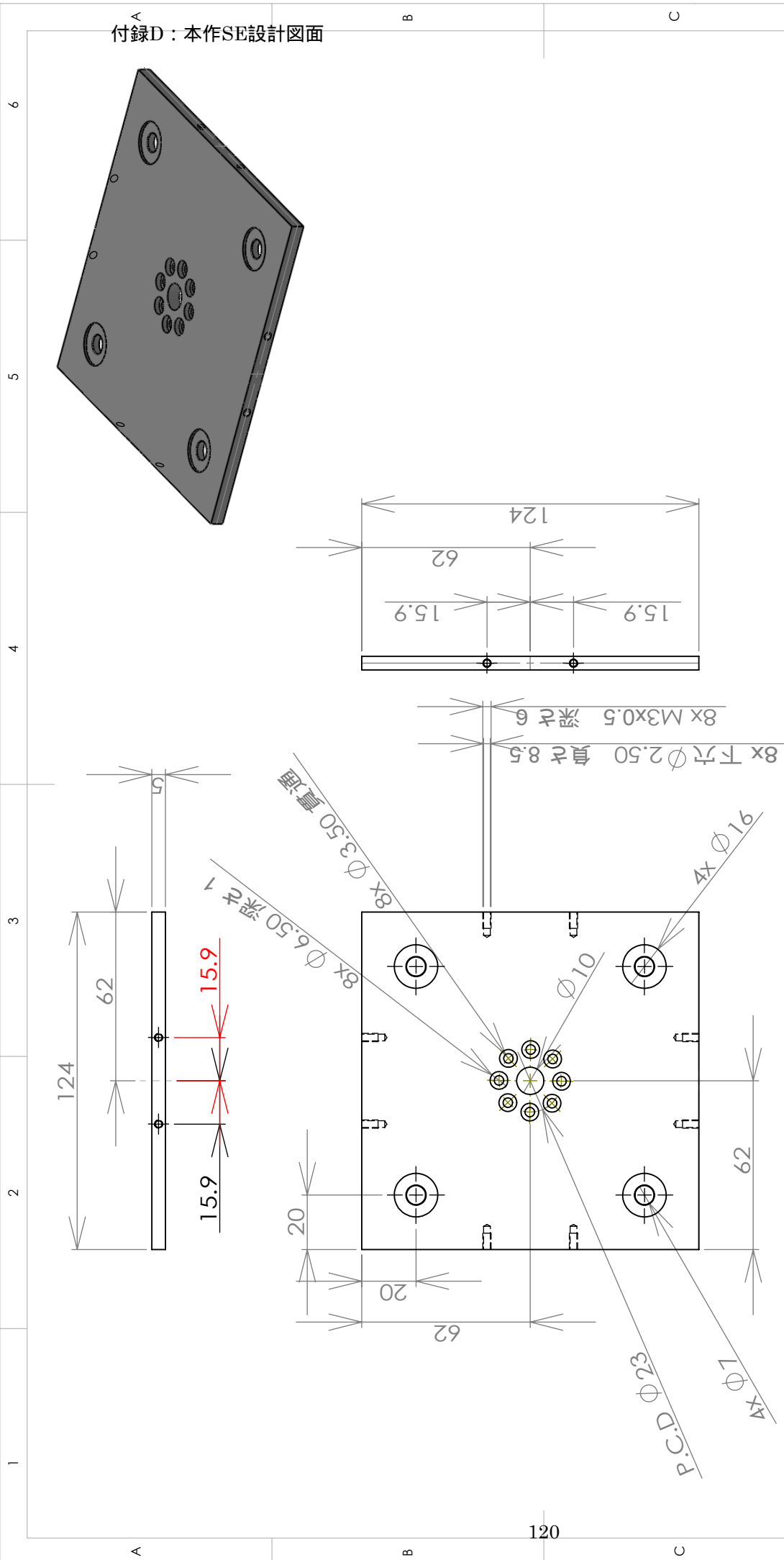
NAME	SIGNATURE	DATE
Kurionuma		12/20
必要数	1	
MATERIAL: SUS303		
WEIGHT:		

DRAWN	CHKD	APPV'D	MFG	Q.A.
1	2			



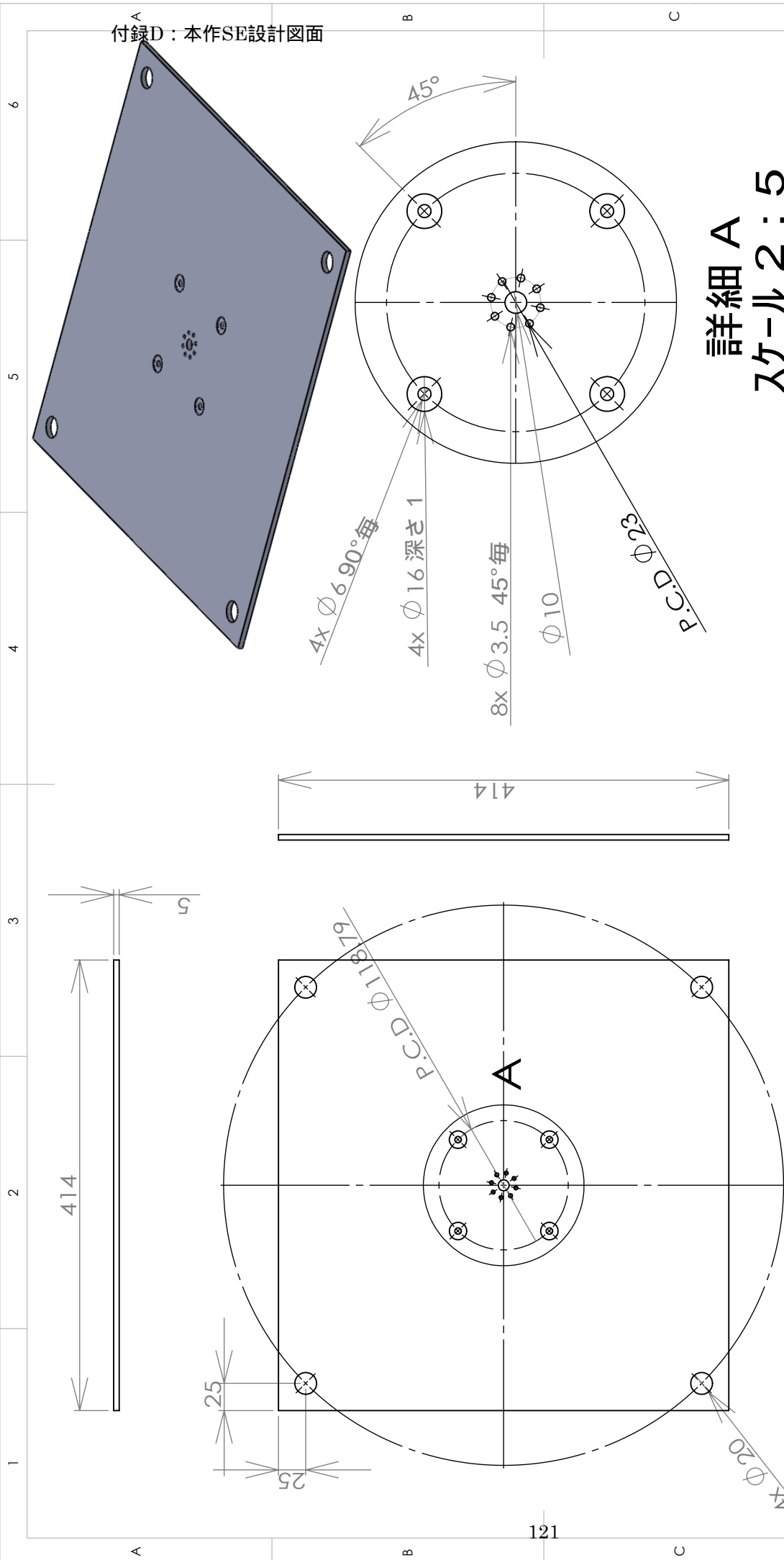
DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	1.0
TITLE:		Top_Plate	
DATE	12/19	必要数	1
NAME	Kurionuma	MATERIAL:	A5052
DRAWN		DWG NO.	
CHKD		SCALE:1:2	
APPVD		WEIGHT:	
MFG			
Q.A			
断面図 A-A		スケール 2:1	
1		2	
119		A4	
		SHEET 1 OF 1	

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION		1.0	
TITLE:					
NAME		SIGNATURE		DATE	
DRAWN Kurionuma				12/20	
CHKD				必要数	
APPVD				1	
MFG				MATERIAL:	
Q.A				A5056	
SCALE:1:2		SHEET 1 OF 1		DWG NO.	
1		2		A4	





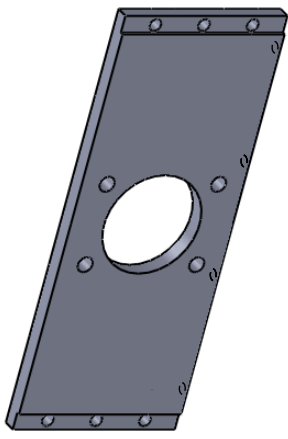
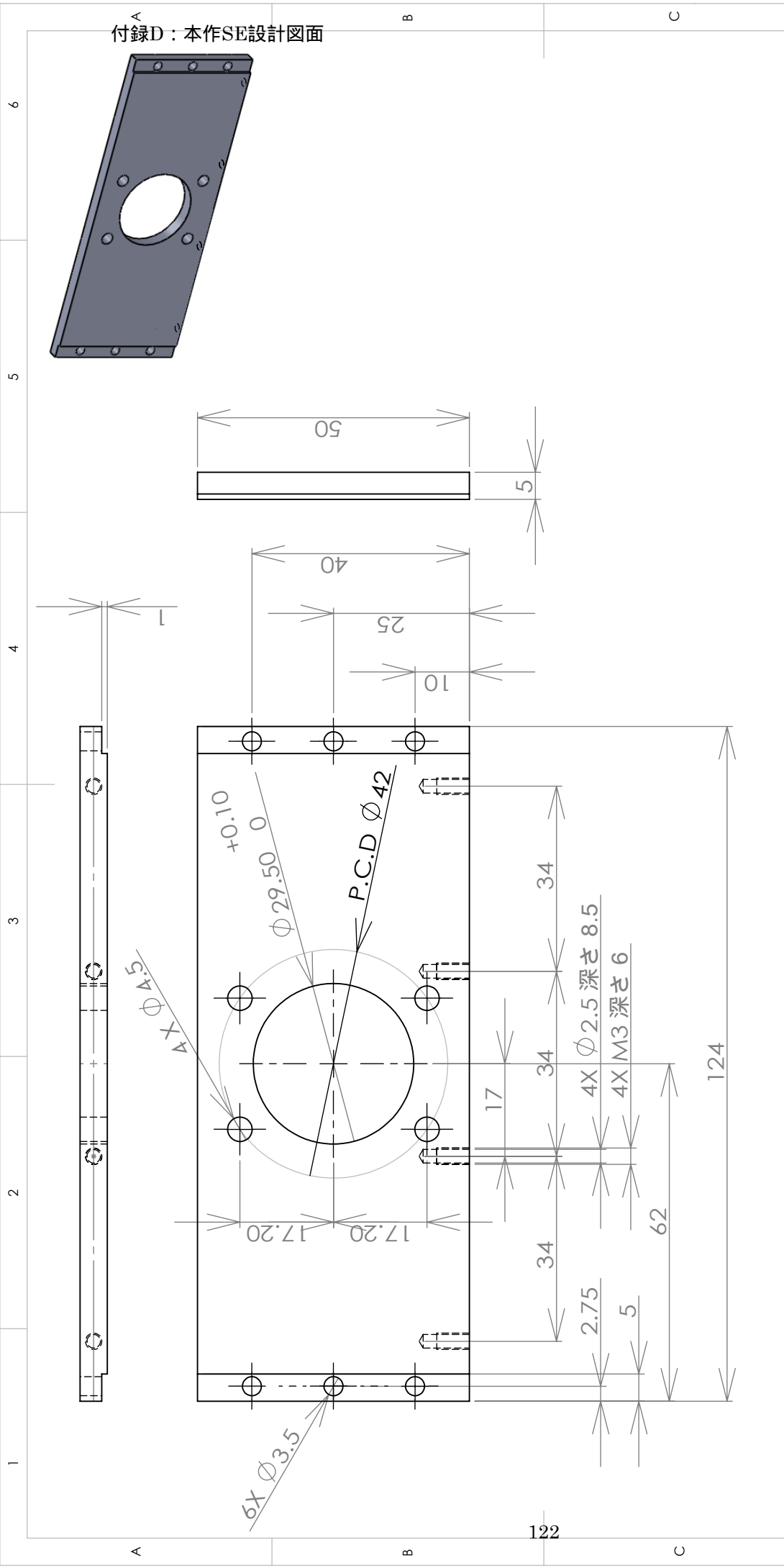
詳細 A  
スケール 2:5

DO NOT SCALE DRAWING	REVISION	1.0
TITLE:		
Final_Plate		
DWG NO. A4		
SCALE: 1:10		
SHEET 1 OF 1		

NAME	SIGNATURE	DATE	必要数
Kurionuma		12/20	1
MATERIAL: A5056			
WEIGHT:			

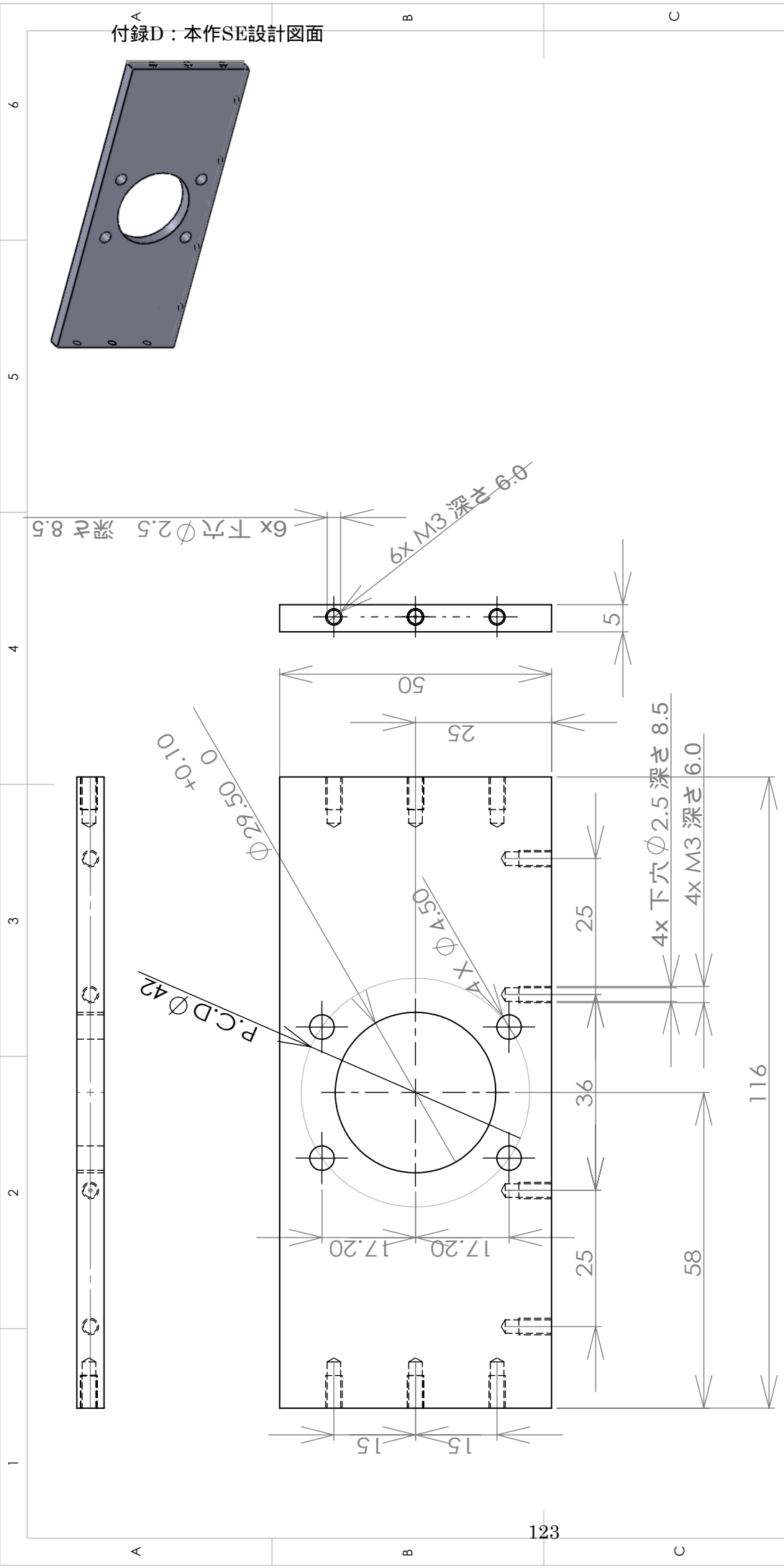
DRAWN	CHKD	APPVD	MFG	Q.A
1				
2				

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE: CylinderHolderBoard(Front)			
DRAWN: Kuriyama		DATE: 12/4	
CHKD:		必要数: 2	
APPV/D:		DWG NO.:	
MFG:		MATERIAL: A5052	
Q.A:		A4	
SCALE: 1:1		WEIGHT:	
SHEET 1 OF 1		2	

付録D：本作SE設計図面



DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TITLE: CylinderHolderBoard(Side)			
DRAWN: Kujonuma		DATE: 12/5	必要数: 2
CHKD:			
APPV'D:			
MFG:			
Q.A:			
MATERIAL: A5052		DWG NO. A4	
WEIGHT:		SCALE: 1:1	
1	2	SHEET 1 OF 1	