

卒業論文

電磁石の設計と加工精度

高知工科大学

知能機械システム工学科

野尻・百田研究室

1020140

濱口 顕典

共同研究者

小川和秀、高巢正人、浜川恒圭、八木宏樹

目次

第1章 目的

第2章 電磁石の概要

1. 電磁石
2. 製作する電磁石
3. H型電磁石の各部品の名称

第3章 偏向電磁石の設計

1. 今回製作するH型電磁石
2. H型電磁石の断面図

第4章 材料調達

1. 電磁鋼板
2. ボビン、アルミニウム板
3. 導線
4. ポールピース
5. その他（六角ボルト、L字金具、アルミニウム円管棒）

第5章 各部品の加工精度

1. 加工精度の重要性
2. 設計図と各部品との加工精度の誤差
3. 各部品の加工方法

第6章 結論

1. 加工精度の結果
2. 加工誤差を解決

第1章 目的

私は、野尻・百田研究室に配属になり電磁石についての知識を習得するためのセミナーや、実験によって電磁石についての知識が身に付いた。そこで、卒業研究のテーマを電磁石の製作とした。その中でも私は、加工精度の良い電磁石の製作を目的として設計図の作成と、材料調達を担当した。

第2章 電磁石の概要

2.1 電磁石とは

導線のコイルに電流を流すことにより、コイル内に磁束が発生する装置を指す。

2.2 製作する電磁石

今回製作する電磁石はH型電磁石である。偏向電磁石はH型電磁石の応用例で、加速されたイオンビームをローレンツ力により曲げる磁場を発生するものである。

2.3 H型電磁石の各部分の名称

(1) コイル

コイルとは導線をらせん状に巻いたものである。電流を流す事により磁場を発生させる装置として用いられ、内部に、ほぼ一様な磁場を作り出すことができる。

(2) ポールピース

コイルで発生させた磁場を増幅させるために用いる。

(3) リターンヨーク

コイル内で発生した磁束密度を増幅させる役割をもっている。よって、リターンヨークには強磁性体を用いて、製作しなければならない。

第2章 H型電磁石の設計

3.1 今回製作するH型電磁石

図3 1が今回製作するH型電磁石の概略図である。

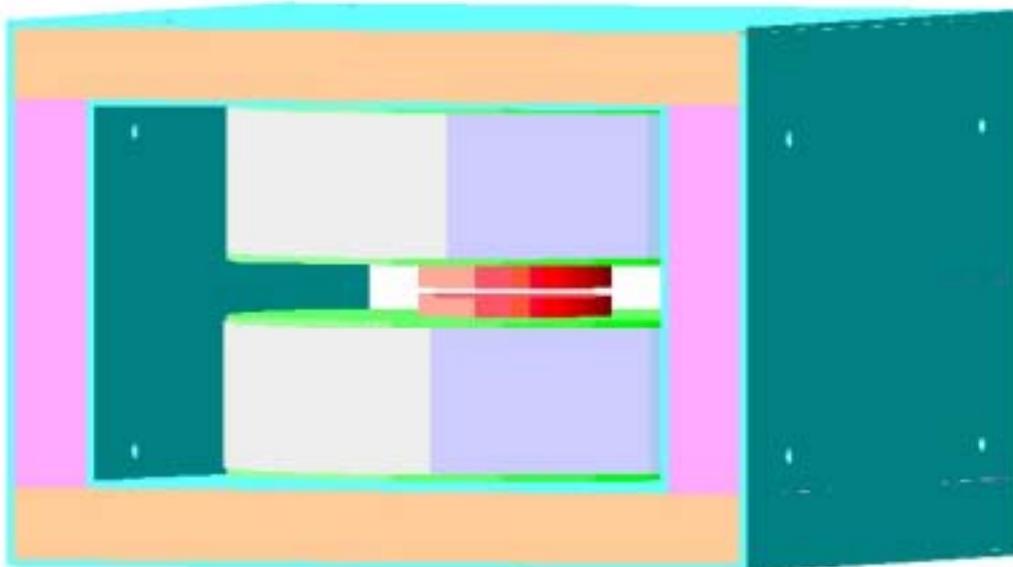


図3 1

3.2 H型電磁石の断面図

今回製作するH型電磁石の断面図は図3-2のとおりであり、その各部の働きを以下で説明する。

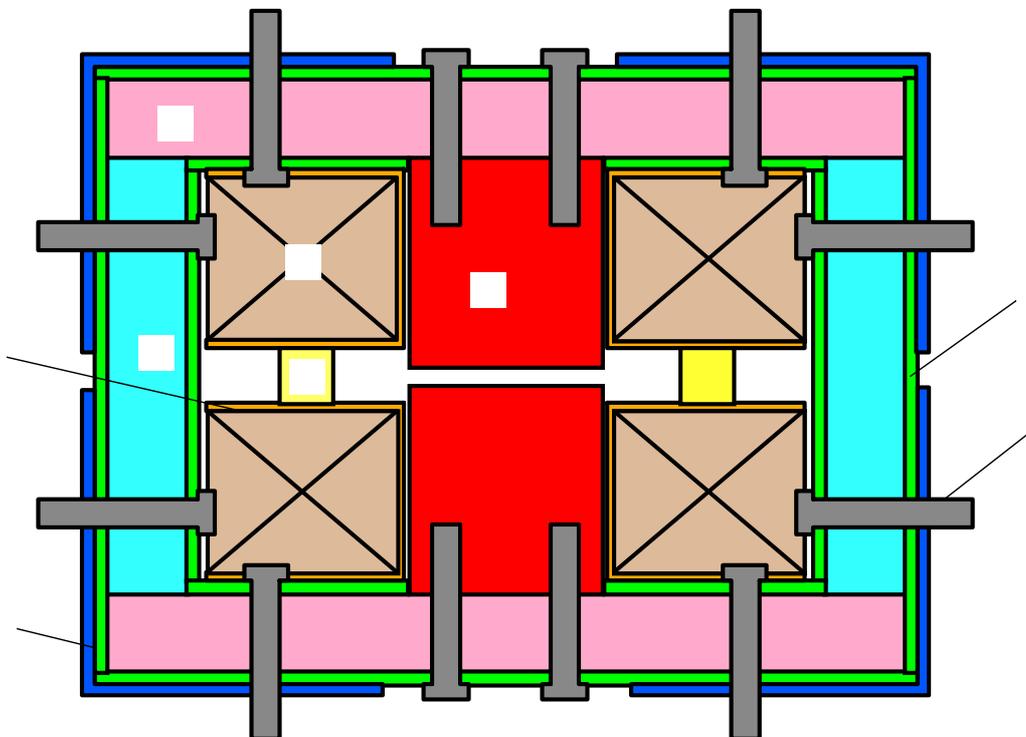


図3-2

(1) リターンヨーク (、)

昨年は、リターンヨーク部分に純鉄を用いたが、今回は純鉄と同等に磁束密度を増幅させやすい電磁鋼板（*注釈参照）を用いてリターンヨークを製作する。

に無方向性電磁鋼板、 に方向性電磁鋼板を使用する。

(2) リターンヨーク固定板 ()

これは、アルミニウム板である。リターンヨークを構成する電磁鋼板の厚みが0.35mm~0.5mmと非常に薄いために電磁鋼板同士を固定する働きを持つ。

(3) コイル (、)

今年度も昨年度と同様にコイルの はアルミニウム製とした。ア

ルミニウムは加工しやすく磁化しない特性を持つ。

はボビンに巻きつける導線である。導線には、昨年度は銅を用いた。銅は、電気の導電率が銀に次いで高く比較的安価であるためにこれを今年度も選択した。

(4) ポールピース ()

ポールピースには強磁性体を用いる。そして、今年度は純鉄を用いた。

(5) 固定具 (、 、)

はリターンヨークを構成する電磁鋼板をアルミ板で固定するために用いた。六角ボルトの長さは M6 × 50 mm のものを 16 本、M6 × 40 mm のものを 8 本用いた。 は組みあがった電磁石の形状保持のために、用いた。L 字金具は 30 mm × 75 mm を用い 8 箇所を固定している。 はボビン同士が接触しないようにするために用いた。アルミ円管棒は 13 mm × 1000 mm を用いた。

* 注釈 電磁鋼板とは

電磁鋼板には大きく分けて方向性電磁鋼板と無方向性電磁鋼板の 2 種類がある。

方向性電磁鋼板は、鉄の磁化しやすい結晶方位が圧延方向にのみそろうように製造されたものである。

無方向性電磁鋼板は、電磁鋼板の全ての方向にほぼ均一な磁場特性が得られるように製造されたものである。

第4章 材料調達

4.1 電磁鋼板

(1) 購入先

方向性電磁鋼板、無方向性電磁鋼板共に珪鋼商事株式会社から購入した。

電磁鋼板を選んだ理由

強磁性体を探した所、鉄よりも磁束密度の増幅率がよい電磁鋼板を発見した。

購入先を選んだ理由

Web サイトで電磁鋼板を取扱っている企業を検索し、メールまたは電話で珪鋼商事と呉竹電鋼を見つけた。両者にコンタクトをとったところ、珪鋼商事からパンフレットと電磁鋼板のサンプルの提供があったので、珪鋼商事から購入することにした。

(2) 価格

a) 方向性電磁鋼板

110.0mm×200.0mm×0.35mm×114枚

b) 無方向性電磁鋼板

200.0mm×200.0mm×0.50mm×80枚

a)、b)で20000円であった。

4.2 ボビン、アルミニウム板

(1) 購入先

株式会社島産業から購入した。ボビンの溶接加工も依頼した。

購入先を選んだ理由

昨年度の卒業生が製作したコイルを参考にしてボビンを設計した。ボビンの製作には部品番号1, 2を固定するために溶接加工が必要であった(図: 参照)。しかし、私達には溶接免許がないので、溶接を外部に依頼した。アルミ板の購入を含めて、昨年度の実績のある島産業に依頼した。

(2) 価格

a) アルミニウム製ボビン 5500円×2個

b) アルミニウム板 200.0mm×206.0mm×3.0mm×2

200.0mm×150.0mm×3.0mm×2

160.0mm×200.0mm×3.0mm×2

200.0mm×104.0mm×3.0mm×2

a)、b)で2360円であった。

4.3 導線

(1) 発注先

発注先は(有)芸陽社旭店である。

購入先を選んだ理由

昨年度実績のある芸陽社に発注した。

(2) 価格

銅線（皮膜はポリエステル）

太さ 1mm・・・11500円(5kg)×2

4.4 ポールピース

(1) 購入先

ポールピース用の鉄材を住友金属工業株式会社から入手していた。

これは、住友金属工業の誉田氏の厚意により無償で納入していただいた。

4.5 その他（六角ボルト、L字金具、アルミニウム円管棒）

(1) 購入先

全て、ホームセンター等で購入した。

(2) 価格

六角ボルト（ステンレス製）

M6×50mm×16本

M6×40mm×8本

合計 1240円

L字金具（ステンレス製）

30mm×75mm×8個

合計 4400円

アルミ円管棒

13mm×1000mm・・・500円

第5章 各部品の加工精度

5.1 加工精度の重要性

電磁石を完成するためには許容誤差内の精度で加工しないといけない。加工した各部品の精度が許容誤差より悪ければ、目標値の磁場を電磁石が発生させられなくなる。

5.2 各部品と許容誤差と加工誤差

電磁石の設計図の作製にあたり、各部品の許容誤差を設定した。必要な性能を出すために守るべき加工誤差の最大値である。

(1) コイル

設計時の寸法と許容誤差は

部品番号1・・・外径	150.0 mm × 2.0 mm (±0.1 mm)
内径	55.0 mm × 2.0 mm (図. を参照)
部品番号2・・・外径	55.0 mm × 41.0 mm (±0.1 mm)
内径	51.0 mm × 41.0 mm
	(図. を参照)

である。

加工品の実寸をノギスで測定したところ、

部品番号1・・・外径	150.0 - 0.1 mm × 2.0 mm
内径	55.0 - 0.5 mm × 2.0 mm
部品番号2・・・外径	55.0 - 0.5 mm × 41.0 mm
内径	51.0 - 0.5 mm × 41.0 mm

であった。

設計と実寸を比較すると、部品番号1の外径の加工精度は許容誤差範囲内だった。それ以外の部分の加工誤差が±0.5 mmとなり許容誤差より悪かった。

さらに、ボビンは部品番号1と部品番号2を溶接して製作した。(図. を参照)

ボビンの溶接の加工精度を評価するために部品番号1同士の距離をノギスで測定したところ、41.0 mmであるべきところが加工誤差が最大で±1.8 mmとなった。

(2) ポールピース

ピンは実寸のサイズ内に収まらなくてはならない。

設計時の寸法は、

$48.0\text{ mm} \times 52.5\text{ mm} (\pm 0.1\text{ mm})$ (図. を参照)

実寸をノギスで測定したところ

$48.0 + 0.1\text{ mm} \times 52.5 - 0.2\text{ mm}$

で、あった。

$\pm 0.2\text{ mm}$ と加工誤差があったがポールピースは、精度よく加工できていた。

ポールピースにある点 D (図. を参照) はリターンヨークとポールピースを固定するためのネジ穴である。

ネジ穴の深さ

$20.0\text{ mm} (\pm 1.0\text{ mm})$ で $7.0\text{ mm} (\pm 0.5\text{ mm})$

実寸をノギスで測定したところ

$20.0 + 0.5\text{ mm}$ $7.0 - 0.1\text{ mm}$

(3) リターンヨーク

リターンヨークの加工精度は磁場強度に直接かかわってくる。

設計時の寸法は、

方向性電磁鋼板・・・ $110.0\text{ mm} \times 200.0\text{ mm} \times 0.35\text{ mm}$
 $(\pm 0.1\text{ mm})$ (図. を参照)

無方向性電磁鋼板・・・ $200.0\text{ mm} \times 200.0\text{ mm} \times 0.50\text{ mm}$
 $(\pm 0.1\text{ mm})$ (図. を参照)

である。

しかし、実寸をノギスで測定したところ、

方向性電磁鋼板・・・ $110.0\text{ mm} \times 200.8\text{ mm} \times 0.35\text{ mm}$

無方向性電磁鋼板・・・ $200.0\text{ mm} \times 200.0\text{ mm} \times 0.50\text{ mm}$

で、あった。

測定誤差が $\pm 0.05\text{ mm}$ 以下であり、加工誤差は無いといえる。

図 2, 3 の穴 A、B、C は全て $7\text{ mm} (\pm 0.5\text{ mm})$ の穴である。

穴 A、B 共に、重ね合わせた電磁鋼板とアルミ板で挟み込んだ六角ボルトで固定するための穴である。

穴 C はリターンヨーク部とポールピースをボルトで固定するための穴である。

(4) アルミニウム板

アルミニウム板はリターンヨークで用いた電磁鋼板を両側から挟み込み、電磁鋼板同士間に隙間ができないようにするためと、物理的強度の向上のために用いる。従って、電磁石の性能には直接関係しないので、高い加工精度は要求されない。アルミニウム板の許容誤差を $\pm 1.0\text{ mm}$ とした。使用したアルミニウム板は以下の4種類である。

設計図では、

部品番号3・・・ $200.0\text{ mm} \times 206.0\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$
($\pm 1.0\text{ mm}$)(図. を参照)

部品番号4・・・ $200.0\text{ mm} \times 150.0\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$
($\pm 1.0\text{ mm}$)(図. を参照)

部品番号5・・・ $160.0\text{ mm} \times 200.0\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$
($\pm 1.0\text{ mm}$)(図. を参照)

部品番号6・・・ $200.0\text{ mm} \times 104.0\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$
($\pm 1.0\text{ mm}$)(図. を参照)

実寸をノギスで測定したところ、

部品番号3・・・ $200.5 \pm 0.2\text{ mm}$
 $\times 206.3 \pm 0.1\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$

部品番号4・・・ $200.2 \pm 0.2\text{ mm}$
 $\times 150.5 \pm 0.2\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$

部品番号5・・・ $160.4 \pm 0.4\text{ mm}$
 $\times 200.3 \pm 0.3\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$

部品番号6・・・ $200.6 \pm 0.2\text{ mm}$
 $\times 103.6 \pm 0.3\text{ mm} \times 3.0\text{ mm}$

で、あった。

アルミニウム板は、リターンヨークを構成する電磁鋼板を挟み込むためのものなので設計図のサイズよりも小さくても問題はないが、設計図のサイズよりも大きい場合は設計の寸法になるまで、加工した。

設計図. 7～10中の穴A $7\text{ mm} (\pm 0.5\text{ mm})$ はリターンヨークを構成する電磁鋼板とアルミニウム板を六角ボルトとL字金具で固定し、全体の強度を保持するための穴である。

5.3 各部品の加工方法と加工精度

	加工方法	加工精度 (許容誤差/加工誤差)
コイル (ボビン部)	プレスカット	($\pm 0.1\text{mm}/-0.1\text{mm}$)
	旋盤	($\pm 0.1\text{mm}/-0.5\text{mm}$)
	アルミ溶接	($\pm 0.1\text{mm}/+0.2\sim 1.8\text{mm}$)
ポールピース(純鉄)	旋盤	($\pm 0.1\text{mm}/+0.1\text{mm}$)
	切断	($\pm 0.1\text{mm}/+0.2\text{mm}$)
	ボール盤	($\pm 0.1\text{mm}/-0.2\text{mm}$)
	タップ	($\pm 0.5\text{mm}/\pm 0.5\text{mm}$)
リターンヨーク (電磁鋼板)	プレスカット	($\pm 0.1\text{mm}/\pm 0.05\text{mm}$ 以下)
	ボール盤	($\pm 0.1\text{mm}/-0.2\text{mm}$)
アルミ板	送り切断	($\pm 1.0\text{mm}/\text{最大}+0.7\text{mm}$)
	ボール盤	($\pm 0.1\text{mm}/-0.2\text{mm}$)

(1) コイル

以下の加工は全て島産業に依頼した。部品番号1はプレスカットを用いて、アルミ板を 150.0mmにカットし、旋盤を用いて内径を 55.0mmに部品番号1を削り取る。部品番号2は 55.0mm、51.0mm共に旋盤を用いて部品番号2を削り取る。部品番号1、2をアルミ溶接で溶接した。

(2) ポールピース

以下の加工を大学内で行った。まず、旋盤を用いて側面を削り 48 mm の真円にする。切断機を用いてポールピースの長さを 52.5 mm にカットする。ボール盤を用いてリターンヨークとの固定用の穴の深さ 27.0 mm、 7 mm をあける。固定用の穴を M6 のタップを用いてネジ切りをする。

(3) リターンヨーク

珪鋼商事に依頼した加工

プレスカットを用いて、それぞれ設計図通りの必要なサイズにカット

大学内での加工

ボール盤を用いてポールピースとの固定用の穴 7 mm をあける。電磁鋼板は薄いのでしゃこまんを用いて、57枚と40枚を重ねて 20 mm (± 0.05) の厚さに固定した。リターンヨークにあけた穴は、電磁鋼板を六角ボルトで固定することも兼ねている。

(4) アルミニウム板

島産業に依頼した加工

送り切断機を用いて、設計図通りのサイズにカットした。

大学内での加工

ボール盤を用いてリターンヨークとの固定用の穴 7 mm をあける。部品番号 5 のみにポールピースを通すための穴 50 mm をボール盤であける。

第6章 結論

6.1 加工精度の結果

今回 H 型電磁石を完成する事ができ、その加工精度は一部を除き設計の許容誤差範囲内に収まった。

それぞれの誤差が、 ± 0.1 mm未満の許容誤差範囲内であったために電磁石の製作には問題はなかった。

6.2 問題点とその解決法

ボビンの溶接過程の加工精度に問題があった。

ボビンの加工でプレスカット、旋盤による加工精度においては問題はなかった。しかし、ボビンの溶接加工時に ± 1.0 mmを超える加工誤差が出てしまった。この加工誤差は、設計段階で溶接位置を非常に困難な位置にとってしまったため発生した。これが原因で、ボビンの形状が歪んでしまい整然と密に導線を巻く事が出来ず予定した導線の巻き数だけ巻く事が出来なかった。その結果、溶接位置を検討してみたが、ボビン内部（導線を巻く部分）に溶接を行うと溶接部分が膨らみ、銅線の巻き数に影響が出てしまう。そこで、溶接ではなく旋盤を用いて加工するべきであった。

一般に、加工を行うと必ず加工誤差が生じる。加工誤差を小さくするためには加工精度の良い加工機械を使用する必要がある。しかし、そのような加工機械を使用出来る機会は少なく、加工機械の価格も高く購入も難しい。そこで、設計図作成段階で加工誤差を予測して設計図を作成しなければならない。そして、今回の電磁石設計の場合は、許容誤差を 0.1 mmとしていたが、許容誤差を 1.0 mmの精度で取り誤差が生じても修正できるようにしなければならない。

参考文献

第 2、3 章

改訂版 物理学辞典[縮小版]
物理学辞典編集委員会編
培風館

第 5 章

J I S による機械製作図の読み方、描き方
大西 清 著

図 ~

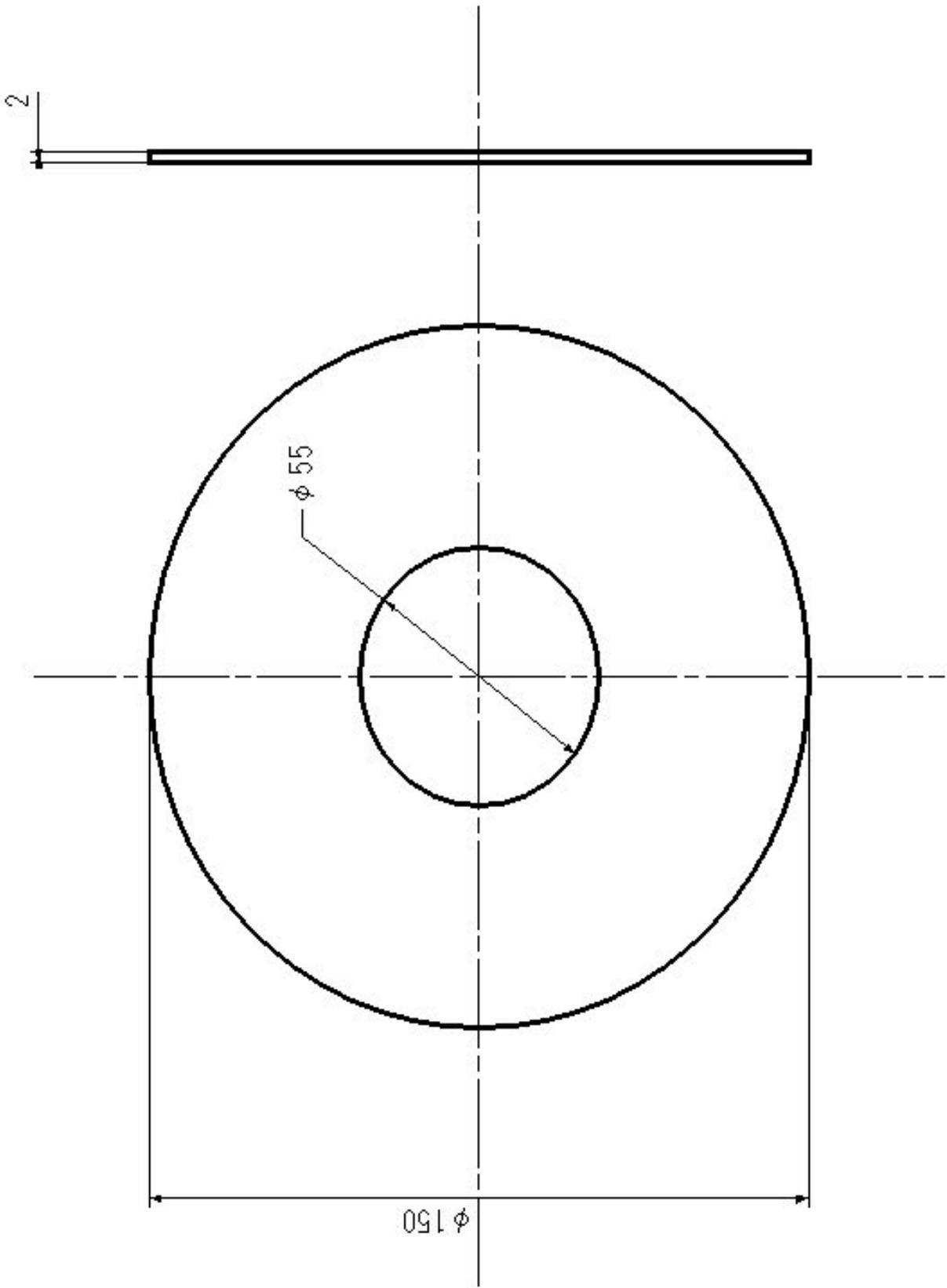
Vector Works (Mini CAD)
A&A CO.,LTD.

謝辞

今回の卒業研究に当たり、様々な助言をいただいた野尻洋一先生（高知工科大学 知能機械システム工学科 教授）、百田佐多生先生（高知工科大学 知能機械システム工学科 講師）。

共同研究者であり、加工作業全般を行ってくれた小川和秀君、強度計算を行ってくれた高巢正人君、磁場計算を行ってくれた浜川恒圭君、全体の取りまとめを行ってくれた八木宏樹君。電磁石の製作において、助言をしてくれた斎原光和子さん（高知工科大学 知能機械システムコース 大学院生）、坂本麻子さん（高知工科大学 知能機械システムコース 大学院生）。

皆様のおかげで、無事に卒業研究を終えることが出来ました。この場を借りて心より感謝の意とさせていただきます。



設計図の全ての単位はJIS規格によりミリメートルで統一している

図. (図 2 - 10)

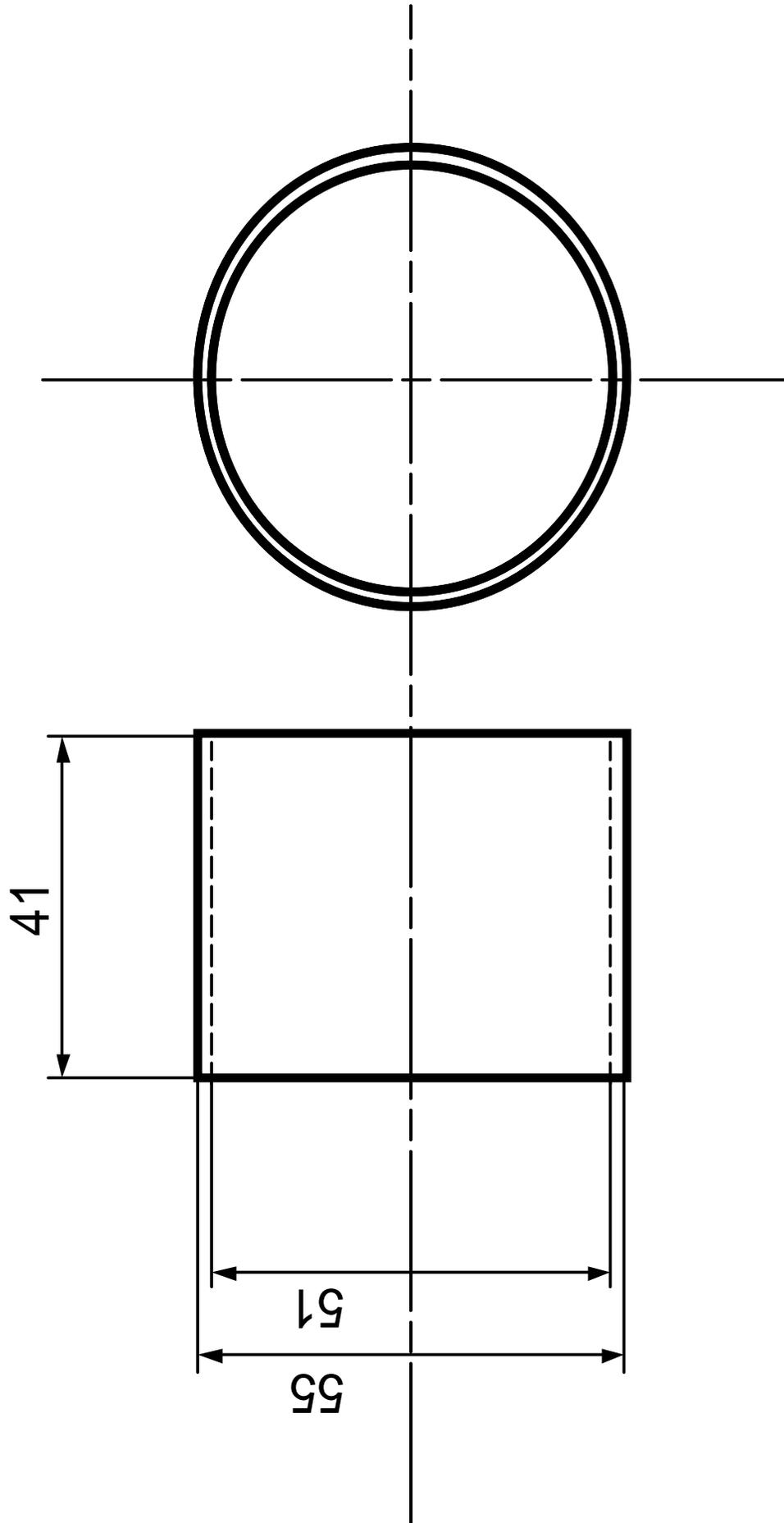


图. (图2 - 10)

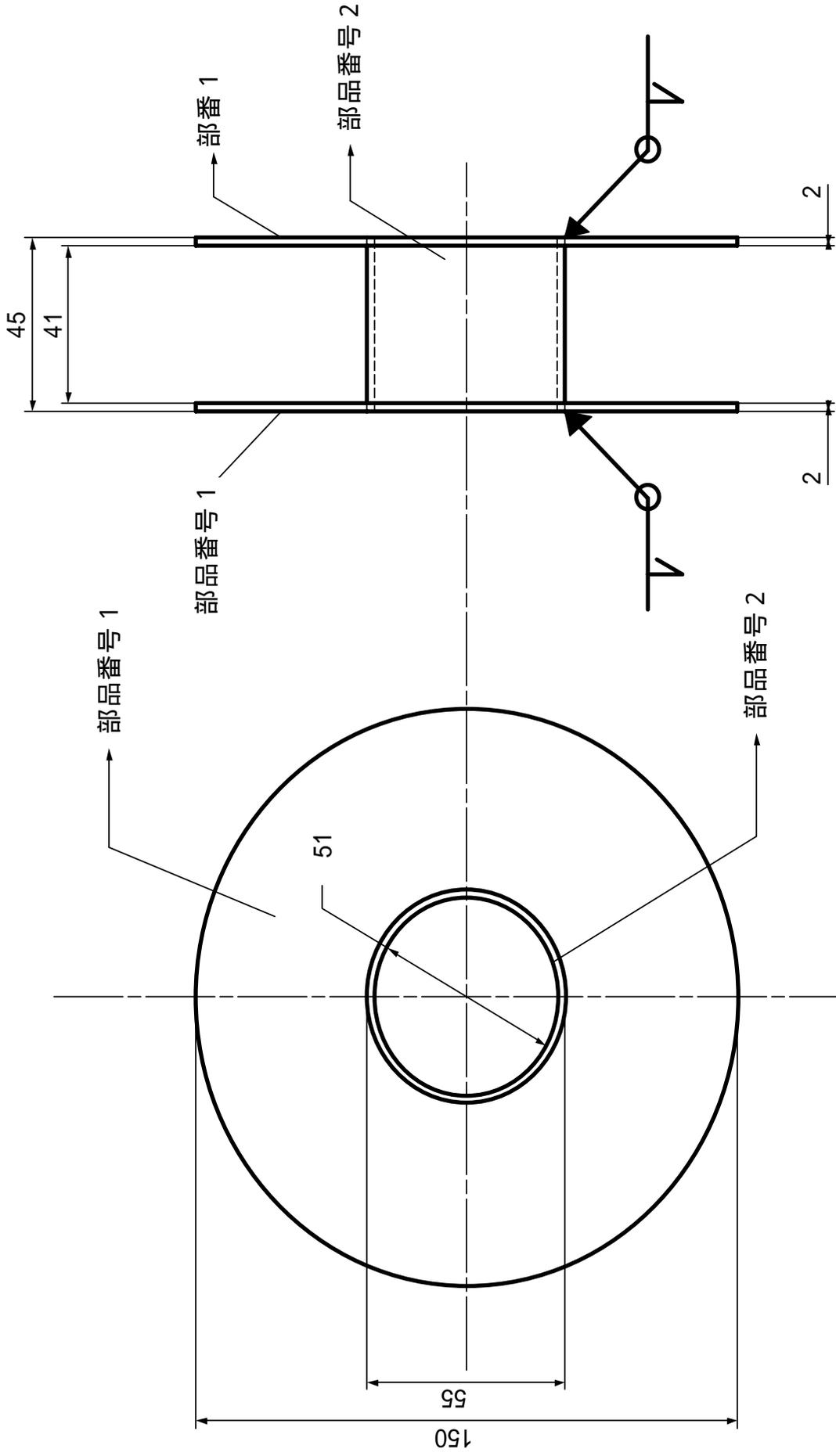


図. (ボビン 図2 - 1の)

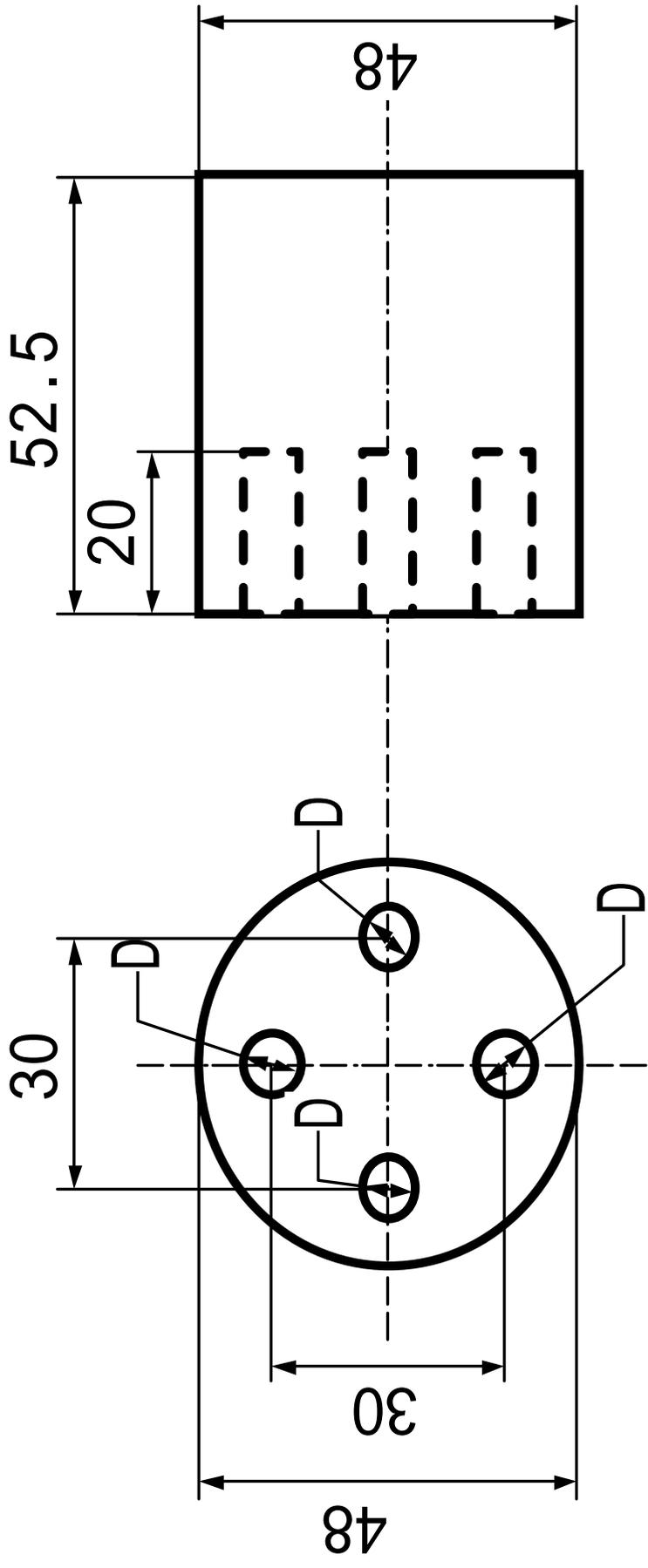


図. (ポールピース 図2 - 1の)

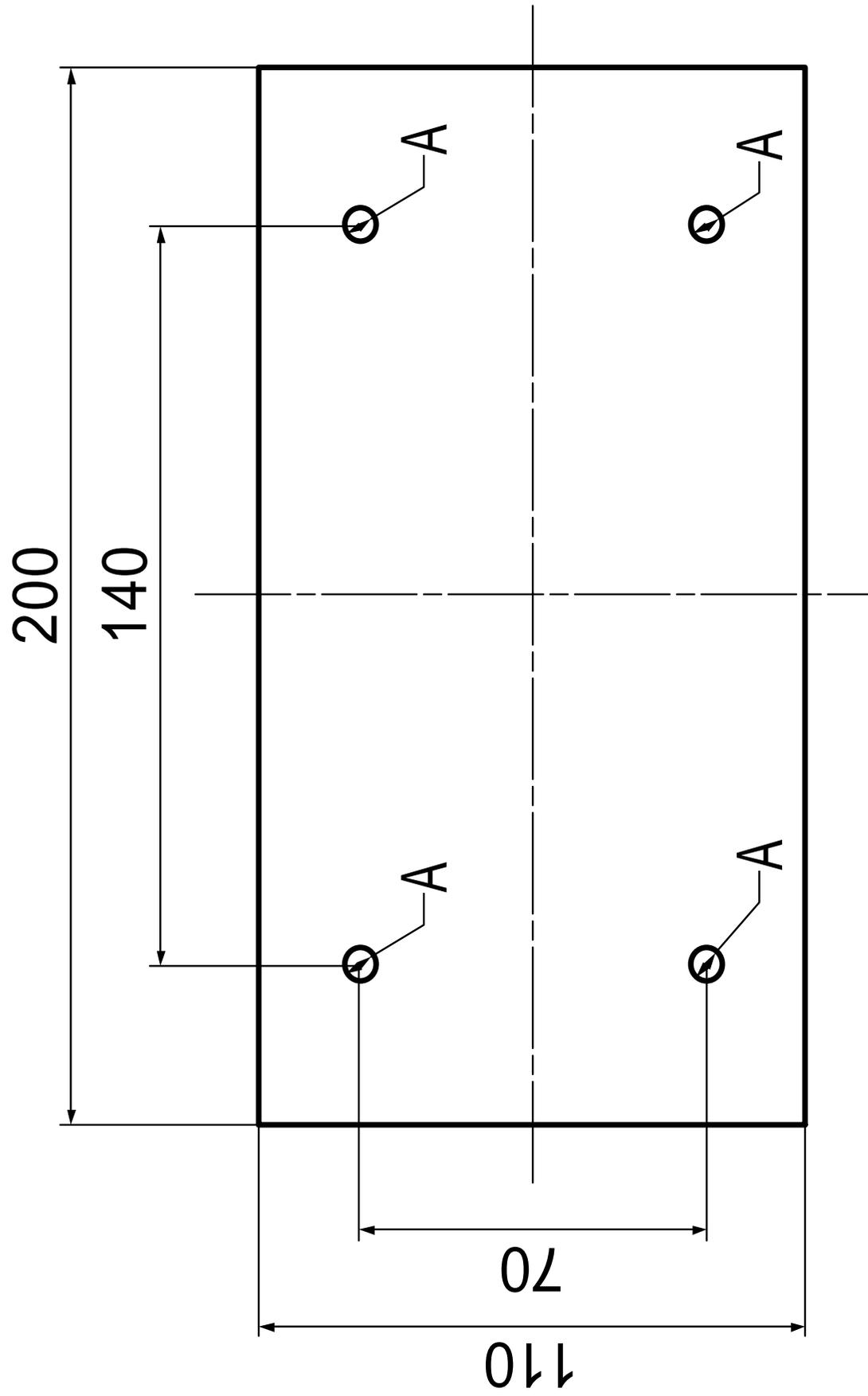


图. (方向性电磁钢板 图2 - 1の)

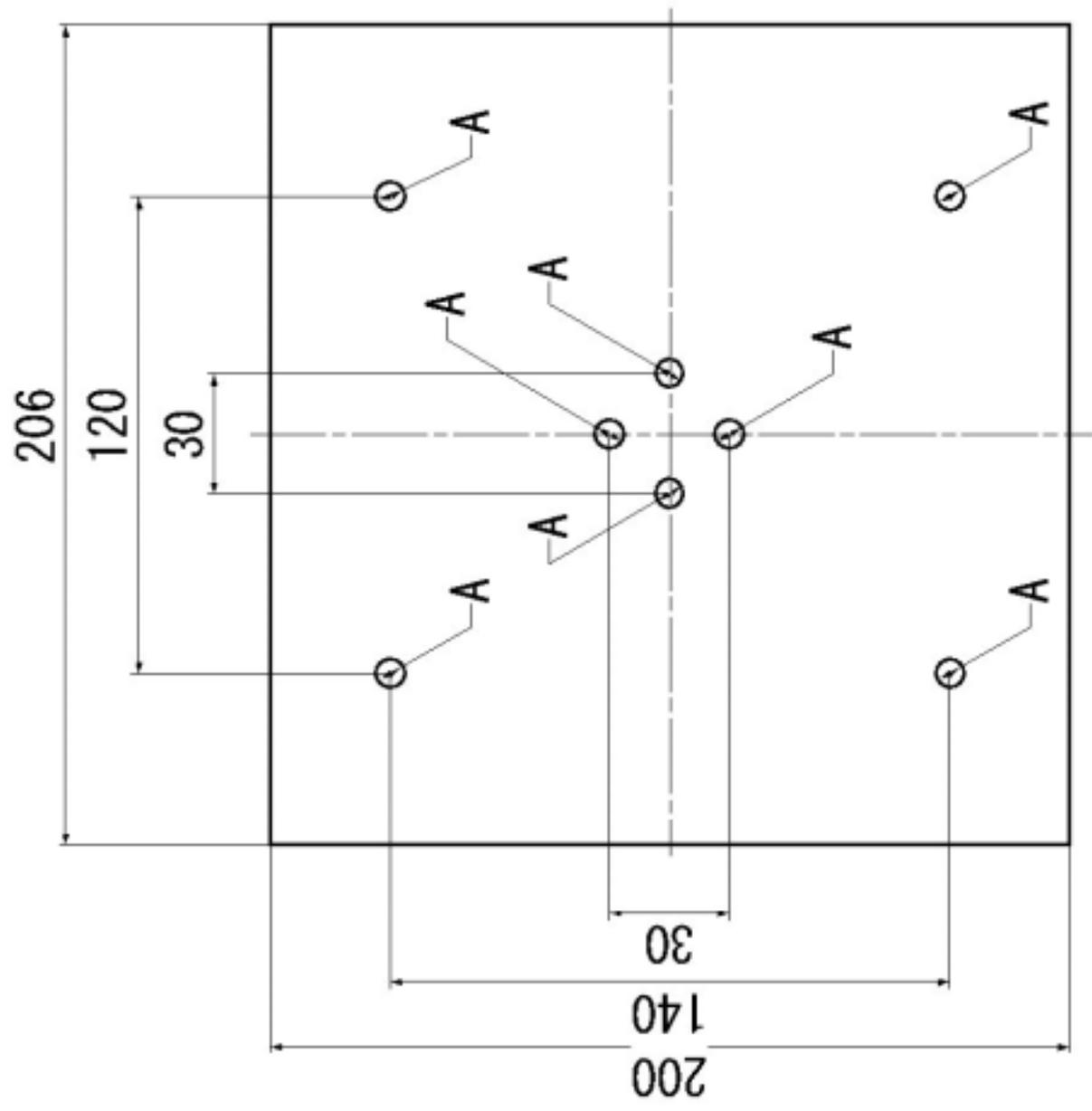


图. (图2 - 10)

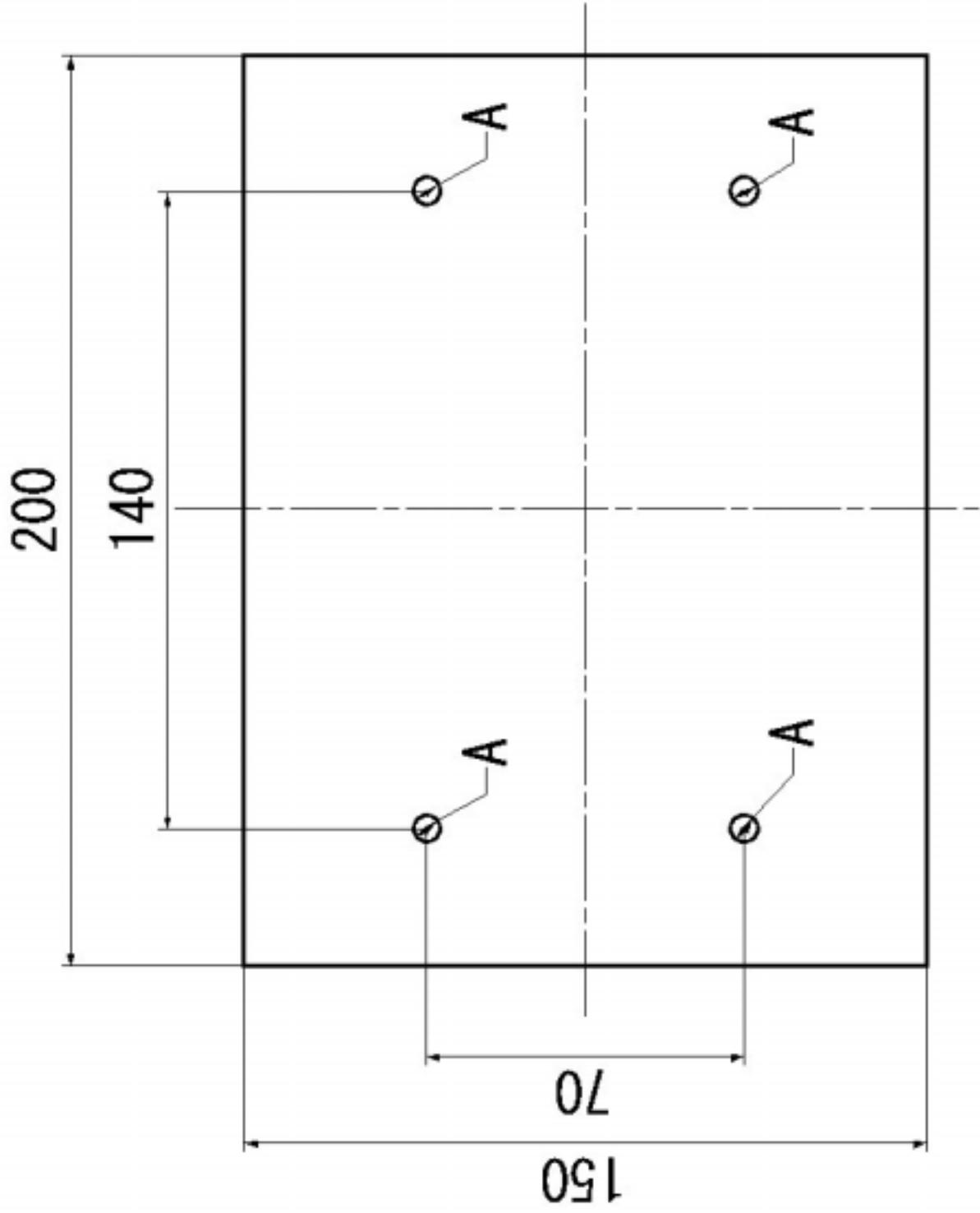


图. (图2 - 10)

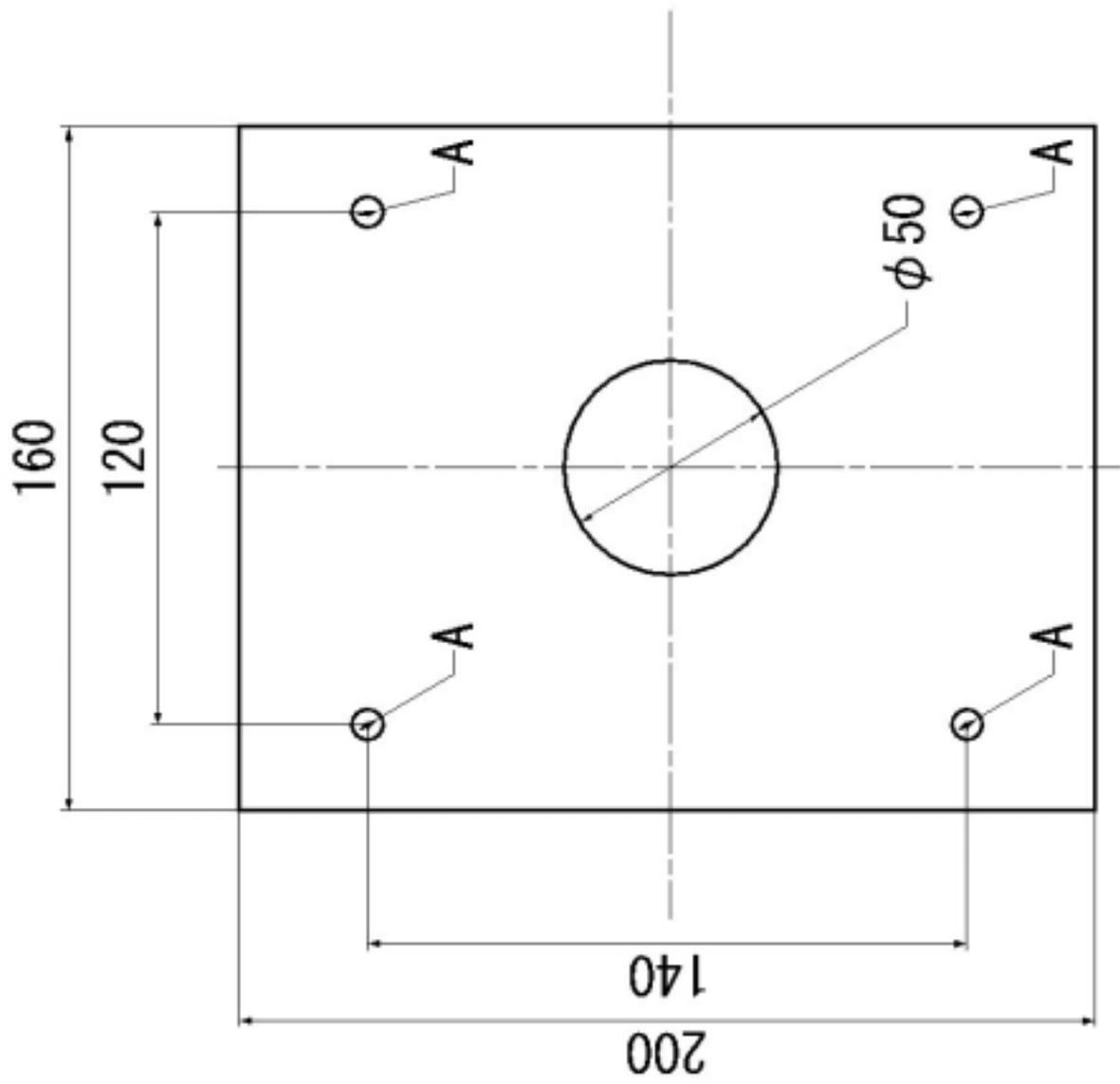


图. (图2 - 10)

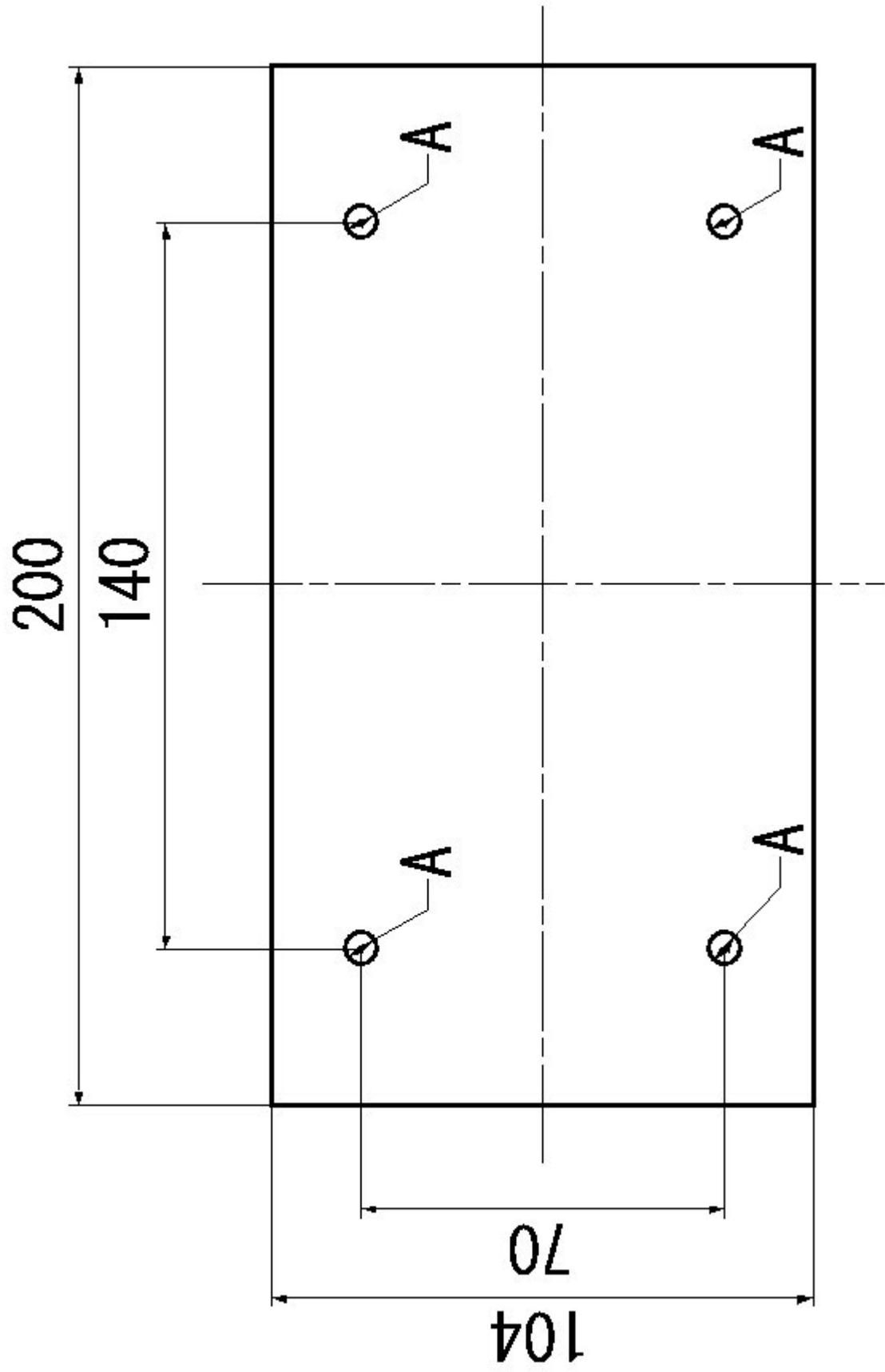


图. (图2 - 10)