

複合加工機ワーク給排出ロボットシステム仕様書

5 班 MSR 23 原田航希

24 藤田崇太

目次

複合加工機ワーク給排出ロボットシステム仕様書.....	0
1. 概要	1
2. 対象ワーク	1
3. 構成	1
4. 運用フロー	4
備考	4
工作機械概要書	5
1. コンセプト	5
シミュレーション結果報告書.....	6
1. シミュレーション条件.....	6
2. シミュレーション結果.....	7
選定計算書.....	8
1. 各軸モータの選定	8
2. スライダーの選定	9
3. エンドミル回転モータの選定	10
4. 自作部品計算.....	10
5. テーブルの耐荷重	11
参考文献.....	11
役割分担表.....	13

1. 概要

本システムは、M4R26 原田が設計した単腕ロボットアームを用いてワークを給排出し、卓上 3 軸マシニングセンタで最大ワーク 72 本を無人運転により連続加工するシステムである。

2. 対象ワーク

図 1 に対象ワークを示す

材料：A5005

寸法：50×50×100

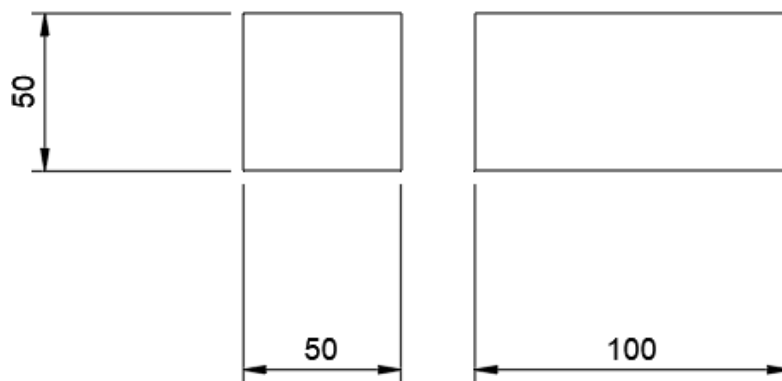


図 1 対象ワーク

3. 構成

1. ロボット

図 2 に搬送多関節ロボット（M4R26 原田）を示す。

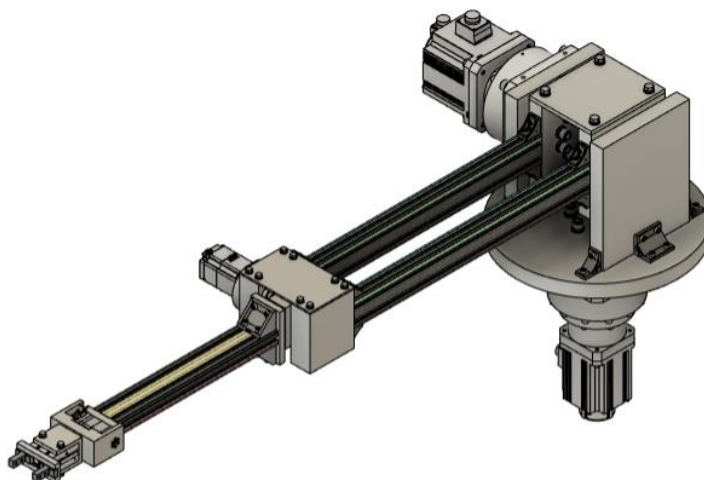


図 2 搬送多関節ロボット

2. ロボットハンド

図 3 にエアチャック (MHZ2-40D) を示す.

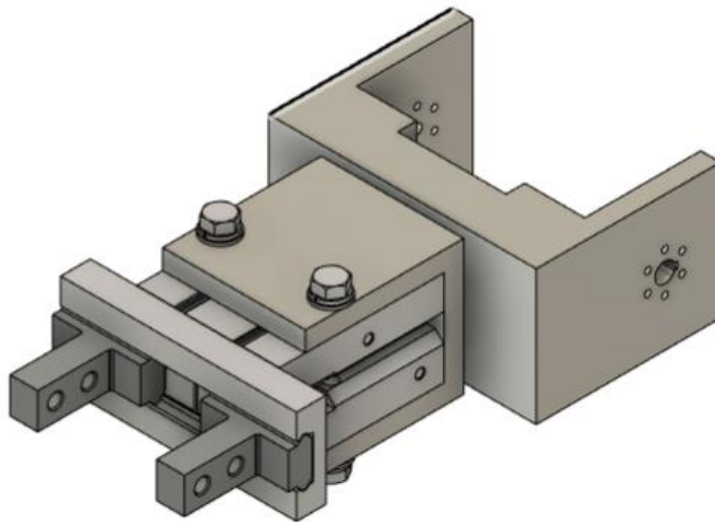


図 3 エアチャック

3. 工作機械

図 4 に卓上 3 軸マシニングセンタを示す.

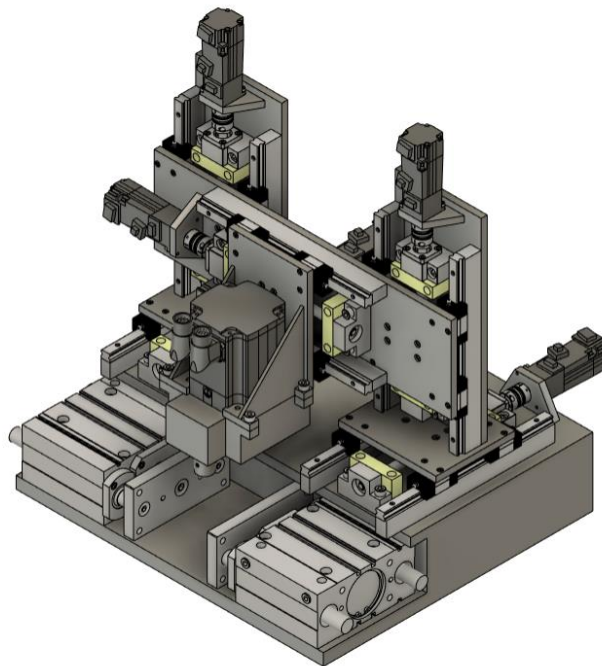


図 4 卓上マシニングセンタ

4. ロボット固定土台

図 5 にロボット固定土台を示す。ロボット固定のため，専用の土台を使用する。土台の固定は地面に穴をあけネジで固定する。

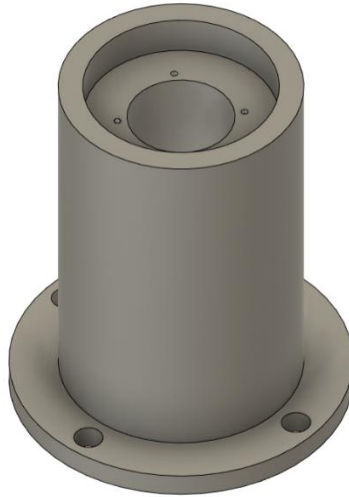


図 5 ロボット固定用土台

5. ワークストッカー

図 6 にワークストッカーを示す。対象ワークをストック供給用，排出用に 2 個必要となる。

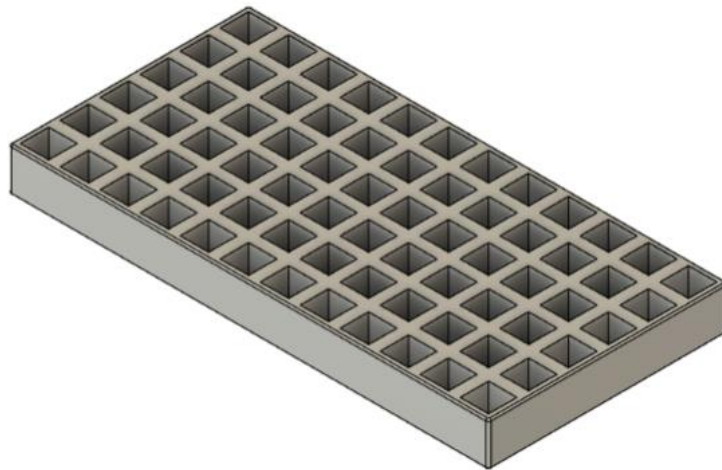


図 6 ワークストッカー

6. テーブル

図 7 に本システムで使用するテーブル（アズワン製 中量作業台）を示す．以下にテーブルの仕様を示す．

材料：スチール

寸法：1500（幅）×800（高さ）×750（奥行）

均等耐荷重：1000kg



図 7 テーブル

4. 運用フロー

1. ワークストッカーに対象ワークを必要分配置する．
2. ロボットおよび卓上マシニングセンタがスリープ状態である事を確認する．
3. レイアウト図のようにロボットの右側に供給前用．左側に排出後用のワークストッカーを配置する．
4. ロボットおよび卓上マシニングセンタから安全な場所まで退避する．
5. ロボットおよび卓上マシニングセンタを起動する．
6. 対象ワークの加工が終了するまで待機する．
7. ロボットおよび卓上マシニングセンタが停止したら．スリープ状態にする．
8. 供給前用排出後用のワークストッカーを回収する．
9. スリープ状態が 5 分以上続くと強制的に電源が停止する．

備考

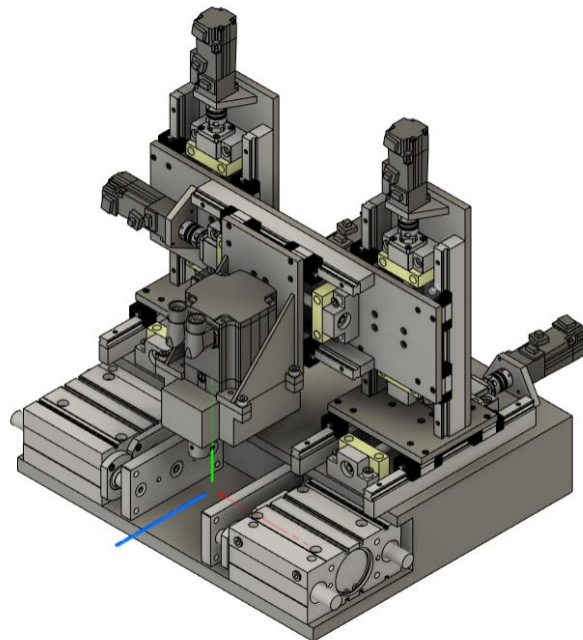
- ・レイアウト．構成につきましては別途提出したレイアウト図をご参照ください．

工作機械概要書

1. コンセプト

本卓上 3 軸マシニングセンタは M5R 23 原田が設計した．図 8 に設計した卓上 3 軸マシニングセンタを示す．各部モータ及びスライダ．ワーク把持のエアチャック等は全て既製品を使用し．自作部品が少なくなるように設計している．これにより生産コストを抑え，工作機械が故障した際も低コストで修理できる．さらに，自作部品は十分な強度を得られるように SUS304 で設計した．

本卓上 3 軸マシニングセンタの軸設定を図 8 に示す．青軸を X，緑軸を Z，赤軸を Y 軸とする．



． 図 8 卓上 3 軸マシニングセンタ

シミュレーション結果報告書

1. シミュレーション条件

Fusion360 でシミュレーションを行った。その際の条件を表 1 に示す。切削力は式 (1) で求めた。

表 1 シミュレーション条件

重力	オン
被切削材	A5005
送り量	1.2mm/rev
切り込み	0.6mm
比切削抵抗	320MPa
切削力	230.4N

$$\text{切削力} = \text{切り込み} \times \text{送り量} \times \text{比切削抵抗} = 0.6 \times 1.2 \times 320 = 230.4 \quad (1)$$

シミュレーションにおいてエンドミルに適用した荷重を、図 9 に青色で示す。エンドミルの側面を、荷重方向に直角な方向の平面と、底面から切り込み量である 0.6 mm をオフセットした平面で分割することで図 9 青色の側面を作成した。

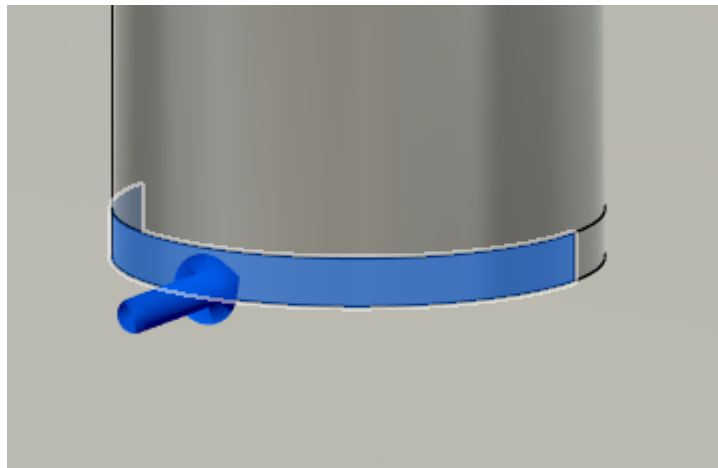


図 9 エンドミル荷重

2. シミュレーション結果

安全率と変位に関するシミュレーション結果を、それぞれ図 10、図 11 に示す。最小安全率が 6.298 なので、十分な安全率を確保できているといえる。マシニングセンタ全体における最大変位は、0.046 [mm] であり、設計条件である工具たわみ量 50 μm (0.050 mm) を満たしている。

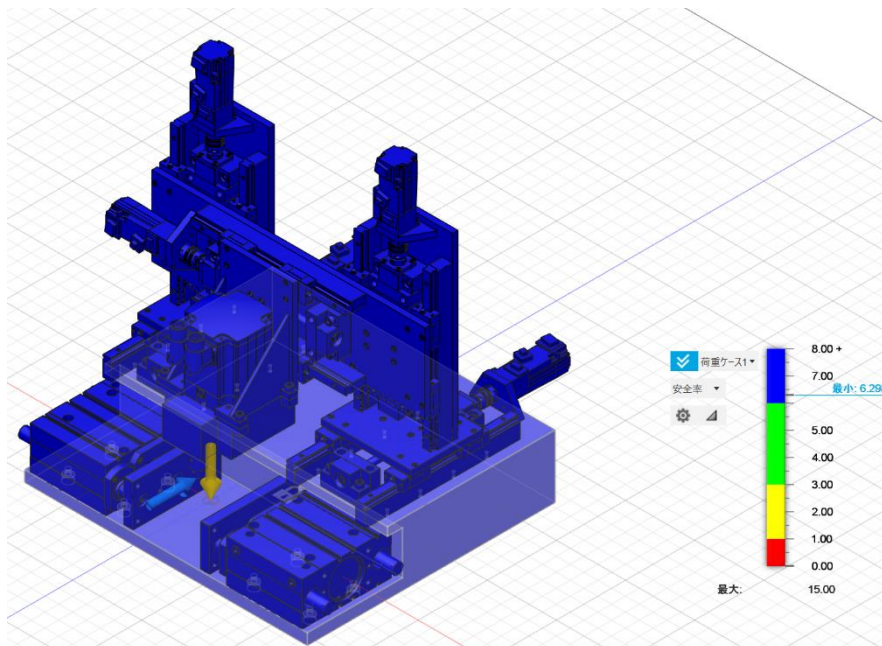


図 10 安全率シミュレーション結果

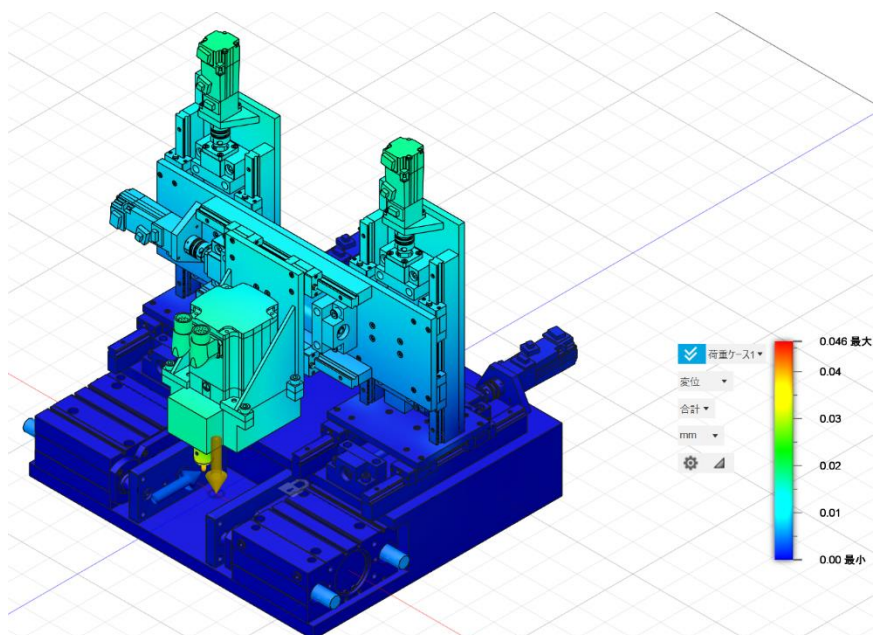


図 11 変位シミュレーション結果

選定計算書

1. 各軸モータの選定

負荷トルクに耐え得るモータを選定する.

X 軸にかかる負荷トルク⁽¹⁾を算出する. 外力は切削時が最も大きくなるので, シミュレーション結果報告書に示す切削力で計算する.

使用条件: ボールねじの駆動

$$\text{外力: } F = 203.4 [N]$$

軸にかかる質量(Fusion360 の設計モデルより):

$$W = 22.6[kg]$$

$$\text{摺動面摩擦係数: } \mu = 0.1$$

$$\text{重力加速度: } g = 9.81[m/s^2]$$

$$\text{ボールねじリード: } P = 5 \times 10^{-3}[m]$$

$$\begin{aligned}\text{負荷トルク: } T &= \frac{1}{2\pi} \times P(F + \mu \cdot W \cdot g) \\ &= \frac{1}{2\pi} \times 5 \times 10^{-3}(320 + 0.1 \times 22.6 \times 9.81) \\ &= 27.22 \times 10^{-3}[N \cdot m]\end{aligned}$$

以上の負荷トルクを満たすものを選定する. 選定したモータは hg-kr053b である.

$$\text{選定したモータの定格トルク: } 0.64[N \cdot m]$$

安全率を算出すると,

$$S = \frac{0.64}{0.0227} = 2.82$$

であり, モータのトルクは十分といえる.

互換性を高めるため, Y 軸, Z 軸も同一モータを使用する.

Y 軸にかかる質量は 15.9 kg, Z 軸にかかる質量は 4.45 kg である. Y 軸, Z 軸にかかる質量は, X 軸にかかる質量よりも小さいので, モータのトルクは十分であることいえる. よって, 詳細なトルク計算は省略する.

2. スライダーの選定

Z 軸方向のスライダーにかかる質量 (Fusion360 の設計モデルより) は 22.6 [kg] である。スライダーは, SV2R-MX24-WC⁽²⁾を使用した。

軸にかかる質量 : 22.6 [kg]

エンドミルホルダーの重心までの距離 : 107 [mm]

重力加速度 : $g=9.81[\text{m/s}^2]$

$$\begin{aligned} \text{Z 軸方向スライダーに作用するモーメント : } M_x &= 22.6 \times 9.81 \times 0.107 \\ &= 23.72 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

そこで, Z 軸に使用するスライダーの選定は, ブロック 2 個取り付け状態の許容モーメントが 69.5 [N·m] のスライダーを 2 本使用する。安全率を算出すると,

$$S = \frac{69.5 \times 2}{23.72} = 5.86$$

であり, 選定したスライダーには十分な許容モーメントがあることが分かる。

Y 軸方向のスライダーにかかる質量は 15.9 kg である。スライダーは Z 軸と同様の物を使用する。

軸にかかる質量 :

エンドミルホルダーの重心までの距離 : 391[mm]

重力加速度 : $g=9.81[\text{m/s}^2]$

$$\begin{aligned} \text{Y 軸方向スライダーに作用するモーメント : } M_y &= 15.9 \times 9.81 \times 0.391 \\ &= 60.99 [\text{N} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

安全率を算出すると,

$$S = \frac{69.5 \times 2}{61} = 2.28$$

であり, 選定したスライダーには十分な許容モーメントがあることが分かる。

スライダー定格荷重は 3.2 kN である, 各軸にかかる荷重は X 軸方向のスライダーは 454.4 N である。安全率は

$$S = \frac{3200}{454.4} = 7.02$$

である。よって, 選定したスライダーの動作は安全に行える。

また, Y 軸にかかる荷重は 212.87 [N], Z 軸にかかる荷重は 156 [N]であり, X 軸にかかる荷重よりも小さいため詳細な荷重計算は省略する。

3. エンドミル回転モータの選定

XAL シリーズ超硬ラジアスエンドミル，2枚刃ショートタイプ⁽³⁾の使用を想定する．対象ワークはA5005であるため，エンドミルの推奨回転速度が $n = 8300 [rpm]$ である．モータは BMH1001P16A2A⁽⁴⁾ を使用する．本モータは $6000 [rpm]$ までしか出力されない．そこで，ギア比が $8 : 3$ になるように歯車をモータ軸に取り付けた．これにより $16000 [rpm]$ の出力が得られる．推奨回転速度よりも大きいため，十分な回転速度が得られるといえる．

モータに必要な所要動力 P_c の計算⁽⁵⁾を以下に示す．比切削抵抗値は $320 [MPa]$ ，機械効率は 0.75 とする．

$$\text{切削幅} : ae = 6 [mm]$$

$$\text{切り込み量} : ap = 0.6 [mm]$$

$$\text{比切削抵抗値} : Kc = 320 [MPa]$$

$$\text{送り速度} : Vf = 560 [mm/min]$$

$$\text{機械効率} : \eta = 0.75$$

$$\begin{aligned} \text{所要動力} : P_c &= \frac{ae \times ap \times Vf \times Kc}{60 \times 10^6 \times \eta} \\ &= \frac{6 \times 10^{-3} \times 0.6 \times 10^{-3} \times 560 \times 320 \times 10^6}{60 \times 10^6 \times 0.75} \\ &= 0.0143 [kW] \end{aligned}$$

本モータは $0.15kW$ から $7kW$ の出力ができる．最低値で安全率を算出すると，

$$\begin{aligned} S &= \frac{0.15}{0.0143} \\ &= 10.49 \end{aligned}$$

である．よって，モータの所要動力が十分であるといえる．

4. 自作部品計算

1. エンドミルホルダーや，スライダー取り付け部

エンドミルホルダーや，スライダー取り付け部を設計した．これらの強度については，強度シミュレーション報告書にて全体のたわみが $0.046 [mm]$ と非常に小さく，最小安全率 6.298 と大きいことから問題ないことと考えられる．よって詳細な計算は省略する．

2. ロボット固定用土台

ロボット固定用の土台を設計した．材料は SUS304 を使用する．SUS304 の比重より，耐力は $205 [MPa]$ となっているため， $180 [kg]$ のロボットを十分に支えられる．固定方法は地面に穴を開けネジで固定する．

3. ワークストッカー

ワークストッカーは SUS304 で設計した．ワークをすべて充填したときのワーク全体の総重量は 48 [kg] である．ワークストッカーとワークをすべて含めた総質量は 80.6 [kg] となる．

5. テーブルの耐荷重

耐荷重 1000 [kg] のテーブル⁽⁶⁾（アズワン製 中量作業台）を 2 台使用する．

卓上に乗るワークストッカーの質量は 1 つ当たり 48 [kg]，対象ワークストック時は 80 [kg]，工作機械の質量は 217 [kg] である．安全率は

$$S = \frac{2000}{32 + 217 + 48 + 80.6}$$
$$= 5.30$$

である．よって，十分な耐荷重があるといえる．

参考文献

1. 各軸モータ負荷トルク

<https://jp.misumi-ec.com/ec/incadlibrary/detail/000031.html> 閲覧日：2025_2/1

2. RoHS 対応 中荷重用リニアガイド

https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/110302587230/?utm_medium=ppc&utm_source=google&utm_campaign=21315205645___&lisid=lisid_google_new-x_:cr-:sl-:adg-:dev-c:cam-21315205645_MJP-IM24004-LA01-01&&gclid=CjwKCAiA74G9BhAEEiwA8kNfpcCJRTm61bXW4tIXquq_GPgiKHFqu2YcLiBCunpgxQOu8OcWSUJfthoCREEQAvD_BwE&gclid=aw.ds
閲覧日：2025/2/1

3. XAL シリーズ超硬ラジラスエンドミル，2 枚刃ショートタイプ

<https://jp.misumi-ec.com/vona2/detail/110600008120/?CategorySpec=SP464385%3A%3Aa%09SP464394%3A%3Anvd000000000000006%09SP464396%3A%3Anvd000000000000031%09SP464397%3A%3Anvd0000000000000117> 閲覧日：2025/2/1

4. エンドミル回転モータ

<https://www.se.com/uk/en/product/BMH1001P16A2A/servo-motor-bmh-3-3-nm-6000-rpm-keyed-shaft-without-brake-ip54/> 閲覧日：2025/1/30

5. 所要動力

<https://www.allied-material.co.jp/products/diamond/knowledge/formula.html>

閲覧日：2025/1/30

6. アズワン製 中量作業台

https://www.monotaro.com/p/2864/6818/?t.attr_f946=1000 閲覧日：2025/1/30

役割分担表

本システムは M5R 23 原田，M5R 23 藤田が構築した．表 2 に役割分担表を示す．

表 2 役割分担表

タスク	内容	原田	藤田
設計内容	卓上 3 軸マシニングセンタ (z-t-w-x-y)	済	
	ワークストッカー		済
図面	部品図		済
	部分組立図	済	済
	全体組立図	済	済
	レイアウト図	済	済
設計報告書	強度シミュレーション結果報告書	済	
	工作機械の概要		済
	選定計算書	済	済
	自作部品の設計計算書		済
	運用フロー，動作に関する詳しい説明		済
	役割分担表		済