

# 修士論文

## オープンプラットフォームオフィスロボットの開発 -QDD モータを使用した ロボットアームのメカニズムの設計と製作-

Development of Open Platform Office Robot  
-Design and Construction of a Robot Arm Mechanism  
using QDD Motor-

2025年1月13日 提出

指導教員 林原 靖男 教授

千葉工業大学 先進工学研究科 未来ロボティクス専攻  
23S1008 川鍋清志郎



# 概要

## オープンプラットフォームオフィスロボットの開発 -QDD モータを使用したロボットアームの設計と製作-

本研究では、オープンプラットフォームオフィスロボット開発の第一段階として、QDD モータを使用したロボットアームの設計と製作を行った。近年、人手不足を背景に、オフィスロボットの実用化が期待されている。様々な企業や研究室で開発が行われているが、それらのロボットは設計データを公開しておらず、オープンプラットフォームが不足している。本研究では、この課題を解決する第一歩として、QDD モータを使用したオフィスロボットのロボットアームのメカニズムを設計・製作し、その設計データを公開することを目的とする。QDD モータは、低減速比による高い応答性を備えており、適切に制御することで衝突時の衝撃を軽減できることが先行研究により確認されている。本研究では、人に被害を加えないことが極めて重要なオフィス環境において、この特性を活用する。

従来のオフィスロボットの作業内容を調査し、代表的なタスクである「机の片づけ作業」を対象に、ロボットアームの要求仕様を策定した。設計には Autodesk 社の Inventor2023 を使用し、部品の構造解析を行いながら 6 自由度のロボットアームを開発した。また、部品外注サービスを活用し、短期間での部品調達と製作を可能にした。ロボットアームの設計データおよび部品リストは GitHub 上で公開され、他の開発者による利用および改良が可能である。これにより、オフィスロボット開発のコスト削減やスピード向上を促進し、また、QDD モータの新たな応用可能性を切り拓くプラットフォームの構築に貢献する

キーワード: オフィスロボット、ロボットアーム、QDD モータ、オープンプラットフォーム

# abstract

title

keywords:

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	1
1.1	背景 . . . . .	1
1.2	QDD モータの採用 . . . . .	3
1.3	目的 . . . . .	6
1.4	本論文の構成 . . . . .	6
<b>第 2 章</b>	<b>設計指針</b>	7
2.1	作業調査 . . . . .	7
2.2	作業詳細 . . . . .	8
2.2.1	種類 . . . . .	8
2.2.2	サイズと重量 . . . . .	9
2.2.3	設置位置 . . . . .	9
2.3	オフィスロボットのロボットアームとして要求される項目 . . . . .	10
2.3.1	アームリーチ . . . . .	10
2.3.2	可搬重量 . . . . .	10
2.3.3	自由度 . . . . .	12
2.3.4	エンドエフェクタの形状 . . . . .	13
<b>第 3 章</b>	<b>設計</b>	14
3.1	QDD モータの選定 . . . . .	14
3.1.1	選定したモータの性能 . . . . .	15
3.1.2	QDD モータの欠点 . . . . .	15

3.2	ロボットアームの設計 . . . . .	16
3.2.1	構造 . . . . .	16
3.2.2	アームサイズ . . . . .	16
3.2.3	可動範囲 . . . . .	18
3.2.4	アームの手先の移動 . . . . .	19
3.2.5	可搬重量 . . . . .	23
3.3	構造解析 . . . . .	25
3.3.1	部品 1 の構造解析 . . . . .	25
3.3.2	部品 2 の構造解析 . . . . .	28
3.4	平行グリッパの設計 . . . . .	29
<b>第 4 章 製作</b>		31
4.1	部品の製作 . . . . .	31
4.2	組み立て . . . . .	34
<b>第 5 章 結論</b>		35
5.1	まとめ . . . . .	35
5.2	今後の展望 . . . . .	35
<b>参考文献</b>		36
<b>付録</b>		38
<b>謝辞</b>		39

# 図目次

1.1	TIAGo from PAL-Robotics . . . . .	2
1.2	HSR from TOYOTA . . . . .	2
1.3	3-DoF robot arm using QDD motor . . . . .	4
1.4	The Blue robot using QDD motor . . . . .	4
1.5	The proposed 5-DOF articulated quasi-direct drive (QDD) robot arm, together with a commercial 1-DOF soft gripper . . . . .	5
2.1	Survey results of objects grasped by office robots . . . . .	8
2.2	Office robot arm reach survey results . . . . .	11
2.3	Office robot payload survey results . . . . .	11
2.4	Office robot arm DoF survey results . . . . .	12
2.5	End effector of TIAGo . . . . .	13
3.1	The mechanical design of the robot arm . . . . .	16
3.2	Arm reach and link length . . . . .	17
3.3	Arm size . . . . .	17
3.4	Minimum range of motion . . . . .	18
3.5	Minimum range of motion . . . . .	18
3.6	CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the front-right direction. . . . .	19
3.7	CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the back-right direction. . . . .	20

---

3.8	CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the front-left direction. . . . .	21
3.9	CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the back-left direction. . . . .	22
3.10	Center of gravity . . . . .	23
3.11	Configuration of the shoulder components . . . . .	25
3.12	Structural analysis results of Part 1 (current design) . . . . .	26
3.13	Structural analysis results of Part 1 (thickness changed to 5mm) . . . . .	27
3.14	Structural analysis results of Part 1 (shape optimized) . . . . .	28
3.15	Structural analysis results of Part 2 (current design) . . . . .	29
3.16	Exploded view of parallel gripper . . . . .	30
4.1	3D printed parts . . . . .	32
4.2	Meviy parts . . . . .	32
4.3	Parts list . . . . .	33
4.4	Assembled robot arm . . . . .	34

# 表目次

3.1	QDD motor performance comparison . . . . .	15
3.2	Specifications of Part 1 (current design) . . . . .	26
3.3	Specifications of Part 1 (thickness changed to 5mm) . . . . .	27
3.4	Specifications of Part 1 (shape optimized) . . . . .	28
3.5	Specifications of Part 2 (after modification) . . . . .	29
4.1	Specifications of the robot arm . . . . .	34

# 第1章

## 序論

### 1.1 背景

近年，人手不足を背景にサービスロボットの需要が高まり，日常生活の中で目にする機会が増えている。現在，実用化に至っているサービスロボットは，館内の案内 [1]，警備 [2]，掃除 [3]，配膳 [4]，など，1つの作業に特化したロボットが主流である。一方で，複数の作業が行えるサービスロボットであるモバイルマニピュレータロボットの開発が進められている。モバイルマニピュレータロボットは，自律移動ロボットにマニピュレータを搭載したロボットであり，PAL Robotics 社の TIAGo(図 1.1 参照) やトヨタ自動車の HSR(図 1.2 参照) などが代表例として挙げられる。これらのロボットは，人に代わって様々な作業ができる汎用的なサービスロボットとして実用化が期待されている [5]。本研究では，オフィス環境で活動するモバイルマニピュレータロボットを「オフィスロボット」と定義して研究を進める。

オフィスロボットは様々な企業や研究室で開発が進められているものの，設計データを公開している例が少なく，オープンプラットフォームが不足している。オープンプラットフォームとして設計データを公開することは，利用者によるハードウェアの改良を容易にし，開発者間の技術交流を促進する点で大きな利点がある。例えば，自律移動ロボットのオープンソースハードウェアである i-Cart シリーズは，本研究室で開発されている orne-box をはじめとする様々なロボットのベースとして活用してきた。このようにハードウェアプラットフォームが整備されている場合には，開発者はハードウェア製作の工数を削減し，ソフトウェア開発やタスク実装に注力できる。さらに，開発者間の知識や成果を共有することで，技術発展が加速

すると考えられる。

そこで本研究では、オープンプラットフォームオフィスロボットの開発を行う。特に本項では、オフィスロボットの要となるアームに着目し、そのメカニズムの設計と製作について述べる。



Fig. 1.1: TIAGo from PAL-Robotics (source: [6])



Fig. 1.2: HSR from TOYOTA (source: [7])

## 1.2 QDD モータの採用

オフィス環境においてロボットアームが人や物に被害を与えないことは極めて重要である。本研究ではロボットアームが人や物と衝突した時の衝撃を軽減することを目的として、QDD (Quasi Direct Drive) モータを採用する。QDD モータは、低減速比で高いバックドライブabilitiy を有し、優れた応答性を示す点が特徴である。いくつかの研究では、QDD モータを適切に制御することで、衝突時の衝撃を軽減することが示されている。

飯塚ら [8] は、DD モータに 10:1 の減速機構を組み合わせた QDD モータを用いた柔軟な 3 自由度ロボットアーム (図 1.3 参照) を開発し、その評価実験を行っている。同研究では、制御周波数を高めることで制御ゲインを向上させることを確認しており、柔軟性と剛性の切り替えが自在に行えることを示している。

また、Gealy ら [9] が開発した Blue(図 1.4 参照) では、アームの関節に QDD モータを採用することで、高いバックドライブabilitiy と応答性を活かした作業を可能にしている。特に、動作中に人間が接触した場合でも、関節が柔軟に動作する特性や、人間が遠隔操作を行い、コーヒーメーカーを操作や、机拭き作業などを行えることを示している [10]。

さらに、Zhao ら [11] は、モバイルプラットフォームへの搭載を視野に入れた軽量ロボットアームを開発している (図 1.5 参照)。同アームは 6 自由度や 7 自由度のロボットアームが多い中、5 自由度で構成されており、部品の形状、素材によって軽量化を図っている。シミュレーション実験と実ロボットを使用した実験により、優れたコンプライアンスを備えていることを示している。

これらの研究から、QDD モータを適切に制御することで、衝突時の衝撃を軽減することが確認されている。一方で、QDD モータを使用したオープンソースロボットアームは確認されていない。また、QDD モータをロボットアームに活用した事例は少なく、QDD モータの技術的なノウハウや応用可能性については、まだ十分に探求されていないのが現状である。



Fig. 1.3: 3-DoF robot arm using QDD motor (source: [8])

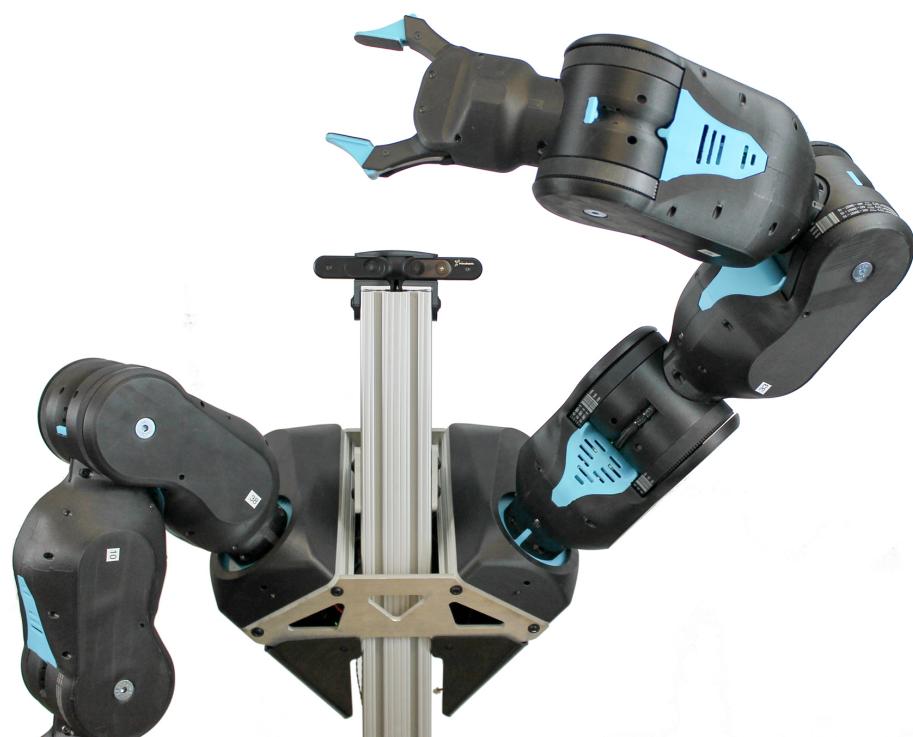


Fig. 1.4: The Blue robot using QDD motor (source: [10])

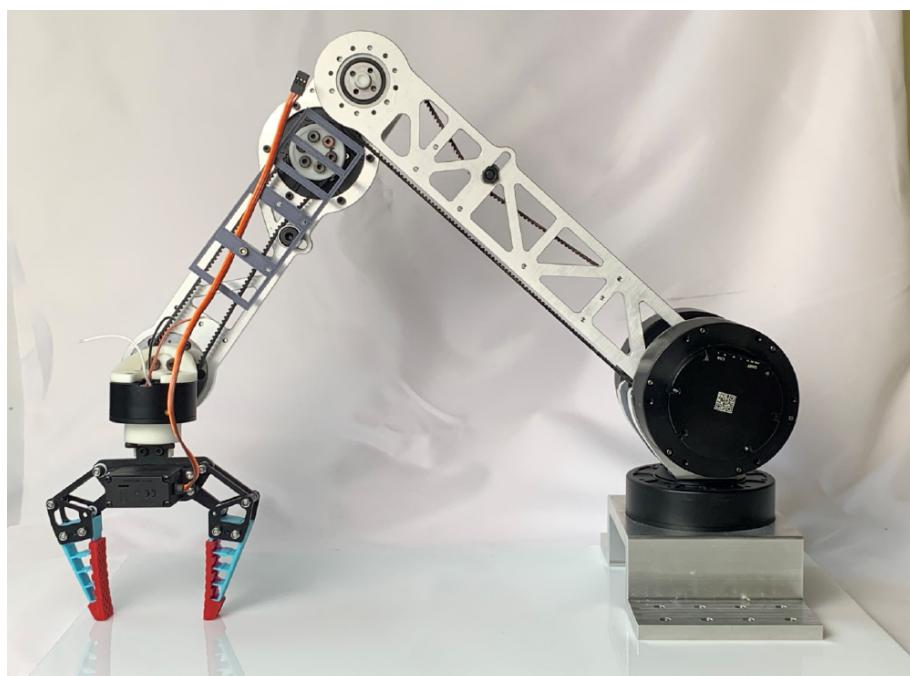


Fig. 1.5: The proposed 5-DOF articulated quasi-direct drive (QDD) robot arm, together with a commercial 1-DOF soft gripper (source: [11])

### 1.3 目的

本研究は、オープンプラットフォームオフィスロボット開発の第一段階として、QDD モータを用いたロボットアームのメカニズムを開発し、その設計データを公開することを目的とする。

### 1.4 本論文の構成

第1章は、研究背景や目的について述べ、本研究と関連する先行研究や文献について調査して、研究の位置づけを明らかにした。第2章では、オフィスロボットが対象とする作業とロボットアームの仕様について述べる。第3章では、QDD モータを用いたロボットアームの設計について述べる。第4章では製作について述べる。最後に、第5章で結論と今後の展望を述べる。

## 第2章

# 設計指針

本研究で開発するオフィスロボットは、従来のオフィスロボットが取り組んでいる作業を基に、特定の代表的な作業に焦点を当てる。本章では、開発するオフィスロボットが対象とする作業を決定し、その作業に必要なロボットアームのメカニズム要件について述べる。

### 2.1 作業調査

対象とする作業は、従来のオフィスロボットが行っている作業を参考に決定する。オフィスロボットが行っている作業事例を動画や文献から合計 77 件抽出したところ、約 61% が台車移動とピック&プレイスを組み合わせた作業であった。例えば、部屋の片づけや荷物の運搬などが代表例である。その他の作業は、ドアの開閉、ボタンの押下、フロアの巡回、などが見られた。

以上の結果から、現在オフィスロボットが対象としている作業の多くは、物体を把持して移動させる作業であることがわかる。そこで、本研究では「机の片づけ作業」を対象とする。これを選定した理由は以下の 3 点である。

- 片づけ作業は、オフィス環境において頻出する基本的なタスクである
- 多様な形状・サイズの物体を扱うため、ロボットアームの性能評価に適している
- 実用化に向けた汎用性が高く、他の作業へ応用しやすい

## 2.2 作業詳細

机の片づけ作業は、机の上に散らばっている物体を事前に設置した箱の中へ移動させる作業である。本節では、具体的に使用する物体の種類、サイズ、重量、設置位置について述べる。

### 2.2.1 種類

ロボットが把持対象とする物体は、従来のオフィスロボットが頻繁に把持していた物体を調査したうえで設定した。図2.1に示すように、最も多かったのは服やタオルなどの衣類で、次にペットボトルや缶ジュースなどの筒状物、お菓子の箱や200ml程度のパックジュースなどの箱状物、さらにペンなどの棒状物や雑誌などの薄型物が続いた。これらの結果に基づき、本研究ではハンドタオル、缶ジュース、パックジュースの3種類を使用する。

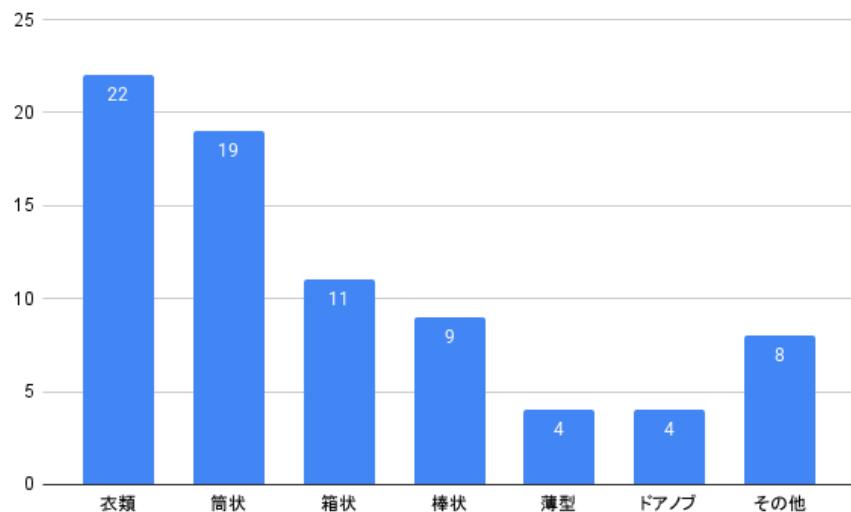


Fig. 2.1: Survey results of objects grasped by office robots

### 2.2.2 サイズと重量

調査の中では、人が片手で持てないサイズや重量の大きい物体を扱う事例は見られなかった。また、対象物として設定した缶ジュースやパックジュースの平均的なサイズと重量は、幅6~8cm、重量300~400g程度であった。これに基づき、本研究では対象物の幅を10cm以下、重量を500g以下と設定した。

### 2.2.3 設置位置

把持対象物と箱の設置位置は、従来のオフィスロボットのアームリーチに基づいて設定した。調査では、Hello Robot社が開発したStretch 3のアームリーチが約0.51mであり、これが現行ロボットの最小リーチ値であることが確認された。このため、本研究では把持対象物と箱の設置位置を机の縁から0.5m以内の範囲とする。

## 2.3 オフィスロボットのロボットアームとして要求される項目

前節で設定した作業（机の片づけ）から導かれる要求事項と、従来のオフィスロボットのロボットアーム調査の結果を踏まえて、以下の項目を要求仕様として設定した。なお、QDDモータの使用とオープンプラットフォーム性は、本研究の前提であるため、ここではその他の項目を示す。以下の項目を仕様として、ロボットアームのメカニズム設計を行う。

- 0.65m - 0.70m のアームリーチ
- 500g 以上の可搬重量
- 6 自由度アーム
- 平行グリッパのエンドエフェクタ

以下では、これらの項目の詳細について述べる。

### 2.3.1 アームリーチ

前節で設定した作業より、ロボットアームから 0.5m 以内の範囲にある対象物を扱えることが求められる。また、従来のオフィスロボット 10 台のアームリーチを調査した結果（図 2.2 参照）、最小値は 0.51m、最大値は 0.90m、平均値および中央値はいずれも 0.71m であった。これらのデータを踏まえ、本研究ではリーチを 0.70m 以下に設定した。

### 2.3.2 可搬重量

前節で設定した作業より、ロボットアームは最大 500g の物体を持ち上げることが求められる。また、従来ロボットアームの調査では、可搬重量の最小は 0.35kg であった（図 2.3 参照）。よって、現時点のオフィス作業においては 0.5kg 以上の可搬重量を確保できれば十分であると考えられるため、本研究では 0.5kg 以上を可搬重量の要件とした。

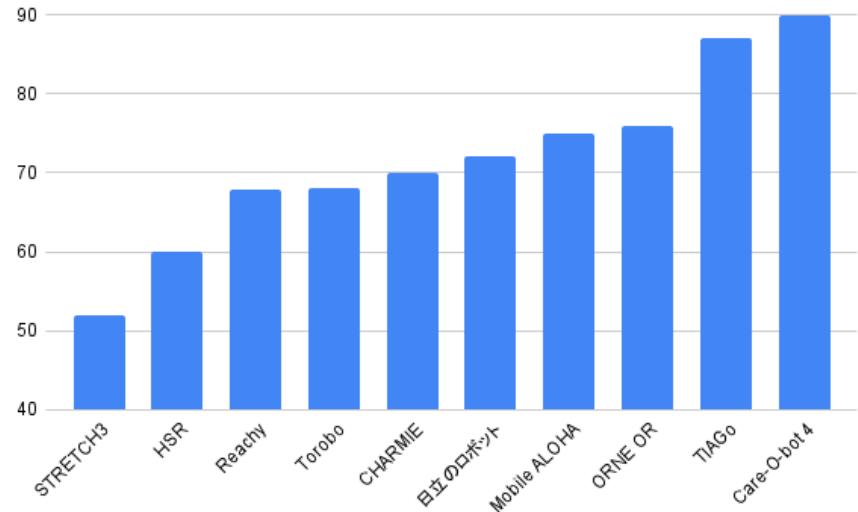


Fig. 2.2: Office robot arm reach survey results

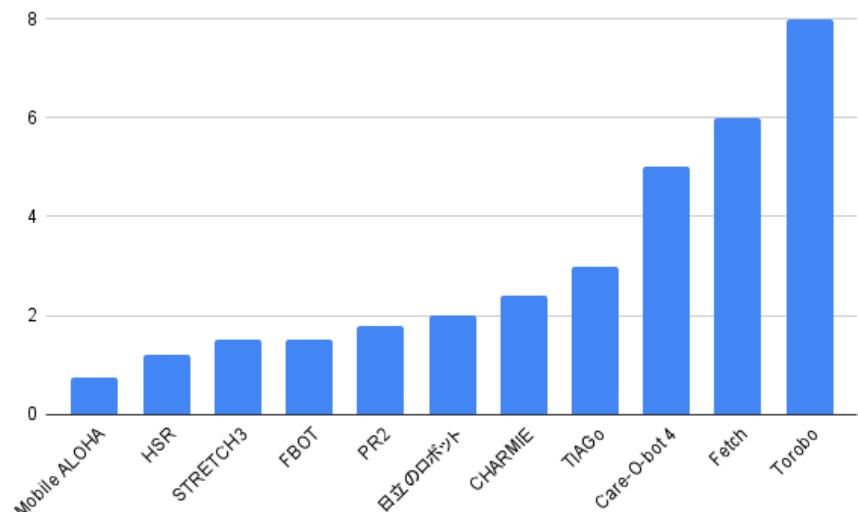


Fig. 2.3: Office robot payload survey results

### 2.3.3 自由度

従来のオフィスロボットのアームの自由度を調査したところ、6自由度と7自由度のロボットが大半であった(2.4参照)。6自由度の軸配置は、肩2軸(ピッチ、ロール)、肘1軸(ロール)、手首3軸(ロール、ピッチ、ヨー)で、7自由度ロボットは肩にロール軸が追加されている。7自由度アームは6自由度アームに比べて姿勢の自由度が増す一方で、アーム重量やコストが増加する。本研究ではコスト削減と軽量化を優先し、6自由度を採用した。

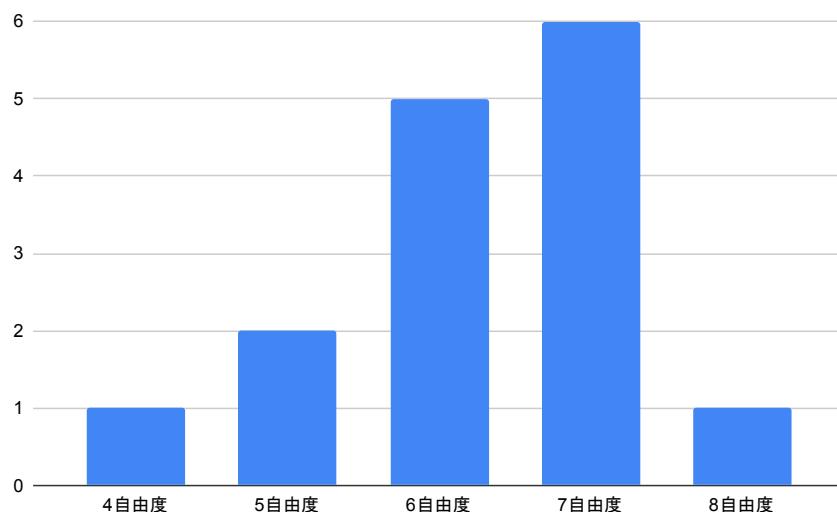


Fig. 2.4: Office robot arm DoF survey results

### 2.3.4 エンドエフェクタの形状

従来のオフィスロボットで多く採用されているエンドエフェクタは、TIAGo のような平行グリッパ（図 2.5 参照）である。TIAGo を開発している PAL Robotics 社が公開している動画 [12] では、布、ジュース缶、スプレー缶、ジュースパック、板状物など多様な形状の物体を把持している様子が確認できる。本研究においても多様な形状の物体把持が求められるため、平行グリッパを採用した。



Fig. 2.5: End effectior of TIAGo (source: [6])

# 第3章

## 設計

本章ではロボットアームのメカニズムの設計について述べる。まず、選定した QDD モータについて説明し、ロボットアームの設計について述べる。

### 3.1 QDD モータの選定

飯塚ら [8] の研究では、減速比 10:1 の QDD モータが使用されている。また、Zhao ら [11] の研究においては、減速比 9:1 の QDD モータが採用されていた。これらの先行研究は、ロボットアームと人の衝突時の衝撃力軽減を実現するためには、この程度の減速比を持つモータを採用することが有効であることを示唆している。

さらに、本研究ではオープンプラットフォームの観点を重視し、他のロボットアームに使用されているモータと同程度、またはそれ以下の価格であることを選定基準とした。調査対象としたオフィスロボットのうち、ロボットアームに使用しているアクチュエータの価格は、約 3 万円から約 8 万円であったため、価格上限を 8 万円に設定した。

以上を踏まえ、本研究では、持つ Steadywin の GIM8108-8 と GIM3505-8 を採用した。減速比は 8:1 であり、先行研究で使用されていたモータと同程度の減速比を持つ。また、価格は約 19,000 円と約 18,000 円であり、価格上限である 8 万円を下回っている。

Table 3.1: QDD motor performance comparison

	SteadyWin GIM8108-8	SteadyWin GIM3505-8	Dynamixel MX-106T
減速比	8 : 1	8 : 1	225 : 1
定格トルク (Nm)	7.5	0.65	-
最大トルク (Nm)	22	1.27	10
重量 (g)	396	97	153
無負荷回転数 (rpm)	320	384	55
許容ラジアル荷重 (N)	900	300	40
許容アキシャル荷重 (N)	225	75	20
価格 (円)	約 19,000	約 18,000	約 80,000

### 3.1.1 選定したモータの性能

表 3.1 に、選定した QDD モータと Reachy[13] のアームに使用されているモータ (Dynamixel MX-106T) の比較を示す。選定した Steadywin の GIM8108-8 と GIM3505-8 は、減速比が 8:1 で、先行研究で使用していた減速比と近しい物になっている。適切に制御することで衝突時の衝撃を軽減することが可能である。また、許容ラジアル荷重とアキシャル荷重も高いため、追加の補強部品を必要とせずにロボットアームの構造を簡略化することが可能である。

### 3.1.2 QDD モータの欠点

QDD モータは高トルク・高スピードでの動作が可能であるという利点を持つ一方で、この特性は制御が不十分な場合にリスクとなる。特に、通電時に動作が暴走した場合、一般的なモータと比較して周囲の人や機器への被害が大きい。そのため、QDD モータを安全に運用するためには、適切な制御と安全対策が必要である。

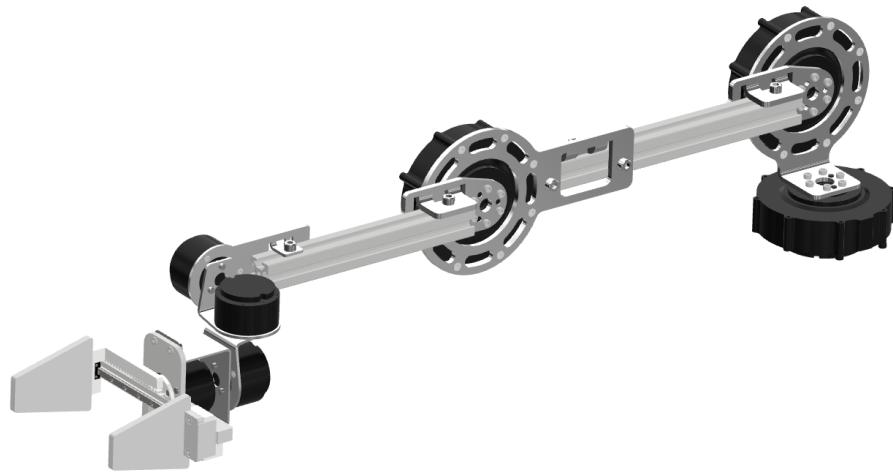


Fig. 3.1: The mechanical design of the robot arm

## 3.2 ロボットアームの設計

要求仕様に基づき、6軸のロボットアームを設計した。設計には Autodesk 社の Inventor 2023 を使用した。設計データは GitHub 上で公開している (<https://github.com/open-rdc/OfficeRobot>)。

本節では、設計したロボットアームの構造と基本的な性能について述べる。

### 3.2.1 構造

図 3.1 に設計したロボットアームを示す。肩ピッチ、ヨー軸と、肘ピッチ軸に、Steadywin GIM8108-8 を用いた。手首の 3 軸とハンドの 1 軸に Steadywin GIM3505-8 を用いた。リンクにはアルミフレームを用いており、モータとリンクを繋ぐ部品はアルミニウム合金 (A5052) で設計した。

### 3.2.2 アームサイズ

図 3.2 にロボットアームのアームリーチとリンク長を示す。人間の腕の長さの比 [14] を参考に、肩から肘までは 290 mm、肘から手首までは 220 mmとした。アームリーチは 660 mm であり、要求仕様の 650 mm - 700 mm を満たしている。図 3.3 にアームサイズを示す。比較のため、机と

ボトルを模したものを配置している。

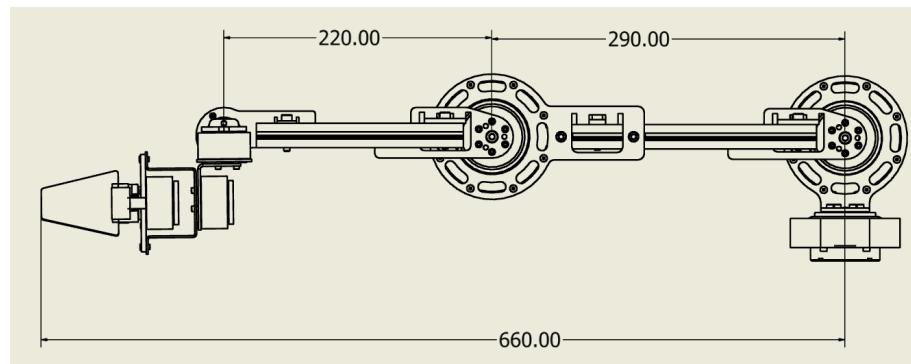


Fig. 3.2: Arm reach and link length

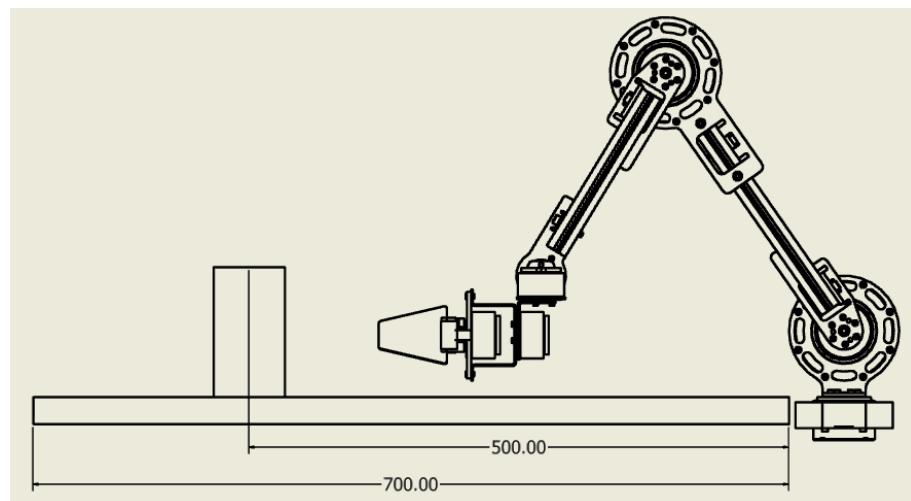


Fig. 3.3: Arm size

### 3.2.3 可動範囲

図3.4、図3.5にアームの最小可動範囲と最大可動範囲を示す。最小可動範囲は、アームの部品が干渉することなく動作できる最小の範囲を示しており、最大可動範囲はアームを最大まで伸ばしたときの範囲を示している。

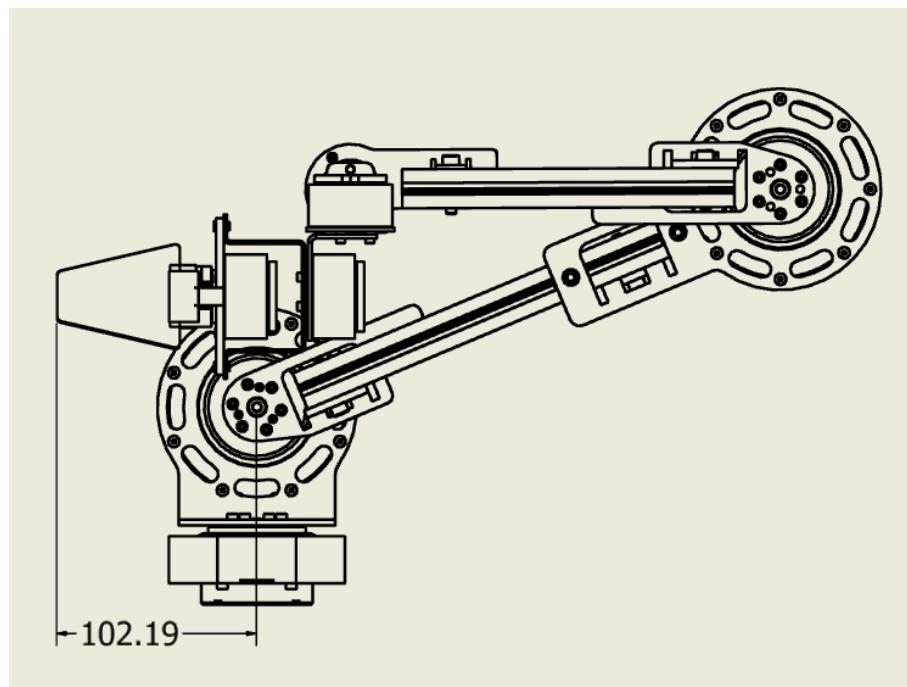


Fig. 3.4: Minimum range of motion

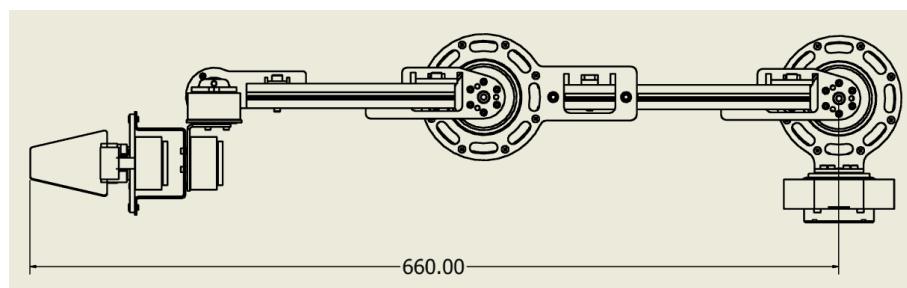


Fig. 3.5: Maximum range of motion

### 3.2.4 アームの手先の移動

アームの手先の移動の様子を図 3.6, 図 3.7, 図 3.8, 図 3.9 に示す.



Fig. 3.6: CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the front-right direction.

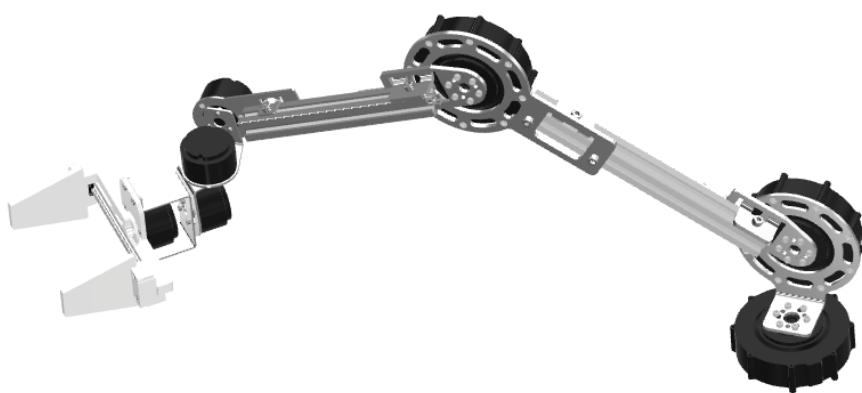


Fig. 3.7: CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the back-right direction.

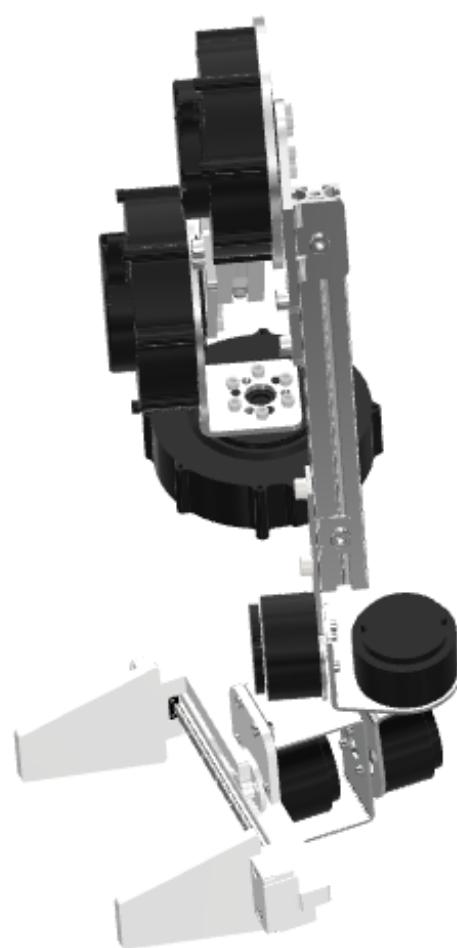


Fig. 3.8: CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the front-left direction.



Fig. 3.9: CAD model of the designed robot arm in a stretched-out posture toward the back-left direction.

### 3.2.5 可搬重量

肩ピッチ軸の QDD モータ (SteadyWin GIM8108-8) の定格トルクは 7.5Nm, 最大トルクは 22Nm である。アームを伸ばしたときに自重を支えるために必要なトルクを求め、常時把持することのできる物体の重量と、瞬間的に把持することのできる物体の重量を求める。

#### 自重を支える為に必要なトルク

図 3.10 にアームの重心を示す。アームの重心は肩ピッチ軸から 0.334m の位置にあり、アームの重さは 1.31kg である。重力加速度を  $9.8\text{m/s}^2$  とすると、肩ピッチ軸にかかるトルク  $T$  は次のように求められる。

$$T = 1.31 \times 9.8 \times 0.334 = 4.2\text{Nm} \quad (3.1)$$

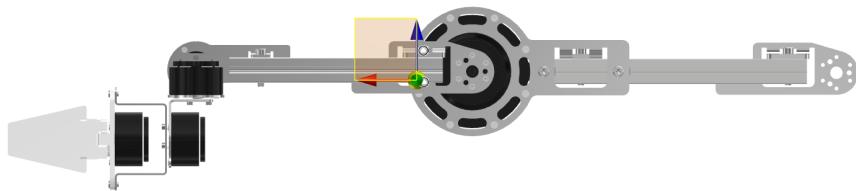


Fig. 3.10: Center of gravity

#### 常時把持することのできる物体の重量

アームの定格トルクから、自重を支える為に必要なトルクを引くと  $3.3\text{Nm}$  であり、肩ピッチ軸から手先までの距離は  $0.66\text{m}$  である。したがって、常時持つことのできる物体の重量  $m$  は次のように求められる。

$$m = 3.3 / (9.8 \times 0.66) = 0.51\text{kg} \quad (3.2)$$

### 瞬間に把持することのできる物体の重量

同様に、最大トルクから自重を支える為に必要なトルクを引くと  $17.8\text{Nm}$  である。したがって、瞬間に把持することのできる物体の重量  $M$  は次のように求められる。

$$m = 17.8 / (9.8 \times 0.66) = 2.75\text{kg} \quad (3.3)$$

### 3.3 構造解析

モータとリンクを繋ぐ板金部品の強度を、Inventor を用いた構造解析で確認した。構造解析を行い、安全率が 1 以上であれば強度が確保されているものと判断した。本節では、特に強度が必要な肩部の部品について解析結果を述べる。肩部は、ヨー軸モータとピッチ軸モータを繋ぐ部品 1、およびピッチ軸モータとリンクを繋ぐ部品 2 から構成される（図 3.11）。

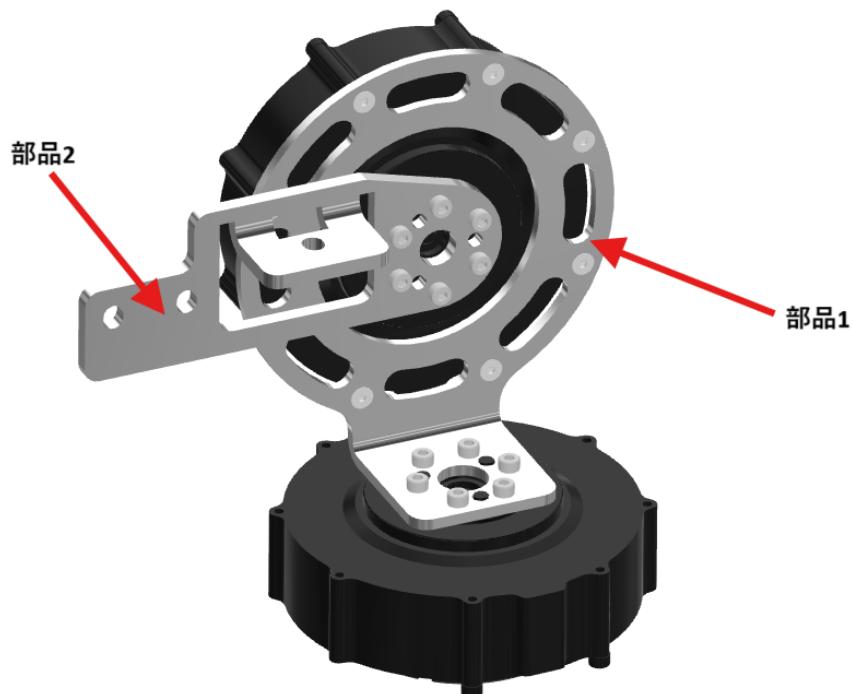


Fig. 3.11: Configuration of the shoulder components

#### 3.3.1 部品 1 の構造解析

部品 1 はアルミニウム合金（A5052）製で、ヨー軸モータの最大出力 22Nm 時に最大負荷を受ける。図 3.12 に構造解析結果を示し、設計仕様を表 3.2 にまとめた。現設計では安全率が 0.39 で、強度が不足している。

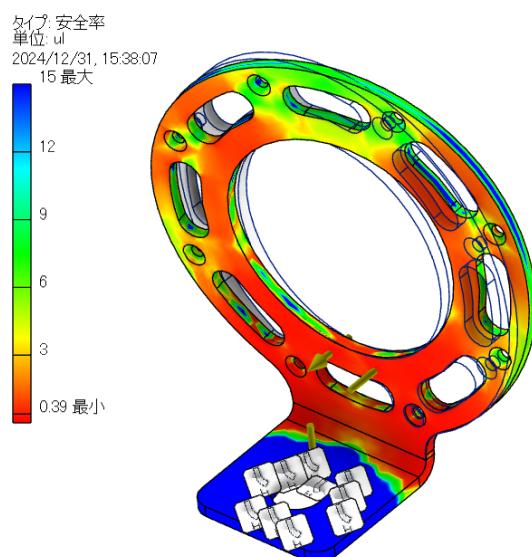


Fig. 3.12: Structural analysis results of Part 1 (current design)

Table 3.2: Specifications of Part 1 (current design)

厚み	3 mm
質量	43.6g
安全率	0.39

厚みを 5 mm に変更した場合、安全率が 1.01 に向上するが、質量が 71.1g に増加する（図 3.13、表 3.3 参照）。一方、厚みを 3 mm のまま形状を変更した結果、安全率は 1.1 に達し、質量を 61.8g に抑えることができた（図 3.14、表 3.4 参照）。図 3.14 の形状を最終設計とする。

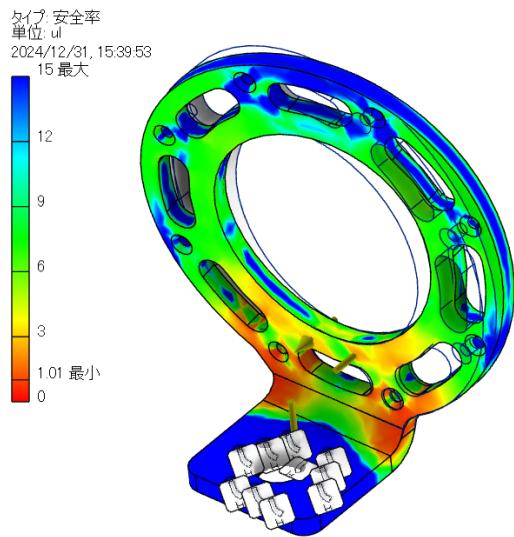


Fig. 3.13: Structural analysis results of Part 1 (thickness changed to 5mm)

Table 3.3: Specifications of Part 1 (thickness changed to 5mm)

厚み	5 mm
質量	71.1g
安全率	1.01

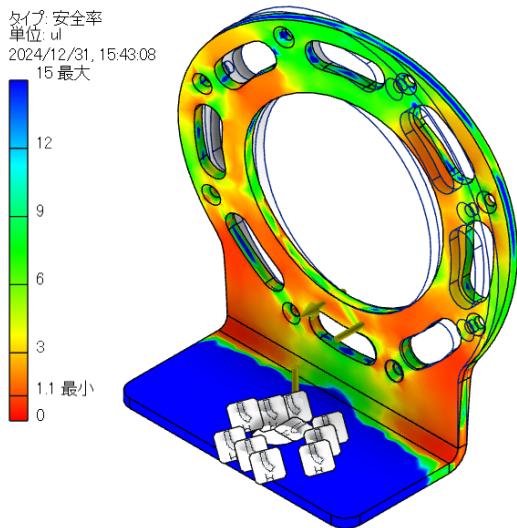


Fig. 3.14: Structural analysis results of Part 1 (shape optimized)

Table 3.4: Specifications of Part 1 (shape optimized)

厚み	3 mm
質量	61.8g
安全率	1.1

### 3.3.2 部品 2 の構造解析

部品 2 は、リンクを 2 方面から固定する形状を採用している（図 3.15）。最大負荷条件（22Nm）下での構造解析結果を図 3.15 に示す。現設計では安全率が 0.47 と低く、特に赤色部分に強度不足が確認される。

厚みを 5 mm に変更した場合、安全率は 0.58 と改善するが依然不足している。構造解析を定格出力 7.5Nm で実施した結果、安全率 1.38 が確認された（表 3.5）。定格条件下では強度が確保できるため、現設計を採用し、今後の形状改善を課題とする。

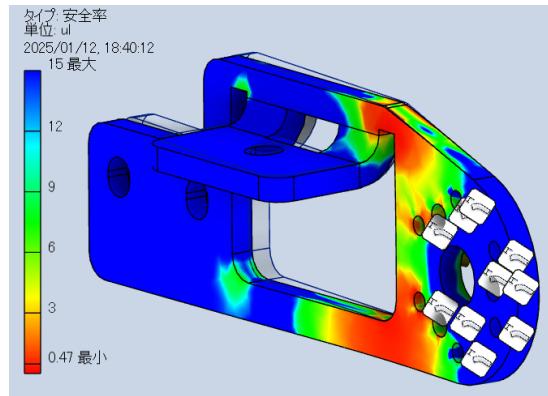


Fig. 3.15: Structural analysis results of Part 2 (current design)

Table 3.5: Specifications of Part 2 (after modification)

厚み	5 mm
質量	34.0g
安全率	1.38

### 3.4 平行グリッパの設計

本研究では、リニアガイドとラック＆ピニオン機構を用いた平行グリッパを設計した。図 3.16 は平行グリッパの分解図である。グリッパの開閉には、QDD モータ (Steadywin GIM3505-8) を使用し、モータに取り付けたギアを介してラック＆ピニオン機構で駆動する。グリッパのスライド部分にはリニアガイドを採用している。また、黄色の部品は 3D プリンタでの製作を行う。

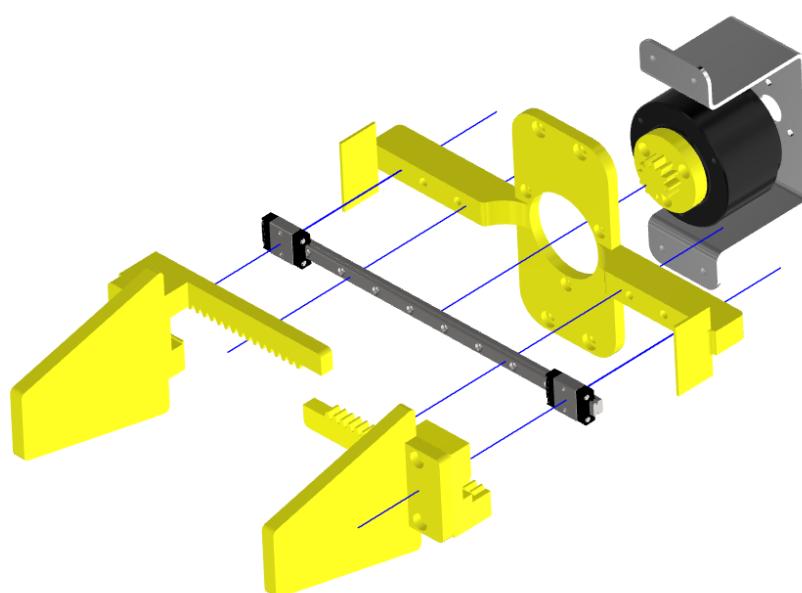


Fig. 3.16: Exploded view of parallel gripper

## 第4章

# 製作

本章では、ロボットアームの製作について述べる。

### 4.1 部品の製作

本研究で製作したロボットアームには、3D プリント部品と板金部品を使用した。3D プリント部品は、FDM 方式の 3D プリンタを用いて製作した(図 4.1 参照)。一方、板金部品については、Meviy<sup>\*1</sup>を利用して外注製作を行った(図 4.2 参照)。このサービスを利用することで、短納期かつ精度の高い部品を調達することができた。

その他の使用部品に関しては、既製品を採用した。特に、QDD モータ以外の部品はすべて MISUMI カタログで発注可能な汎用部品を用いた。部品選定基準は、価格、納期、および性能である。図 4.3 に部品リストを示す。

---

<sup>\*1</sup> Meviy は、ミスミ株式会社が提供する板金・機械加工のオンライン外注サービスである。

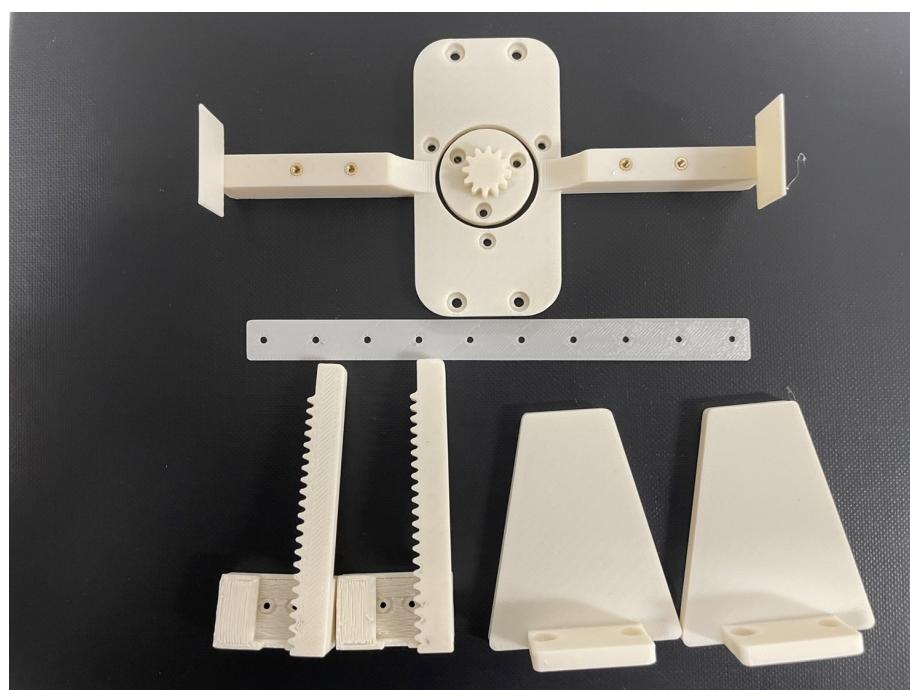


Fig. 4.1: 3D printed parts

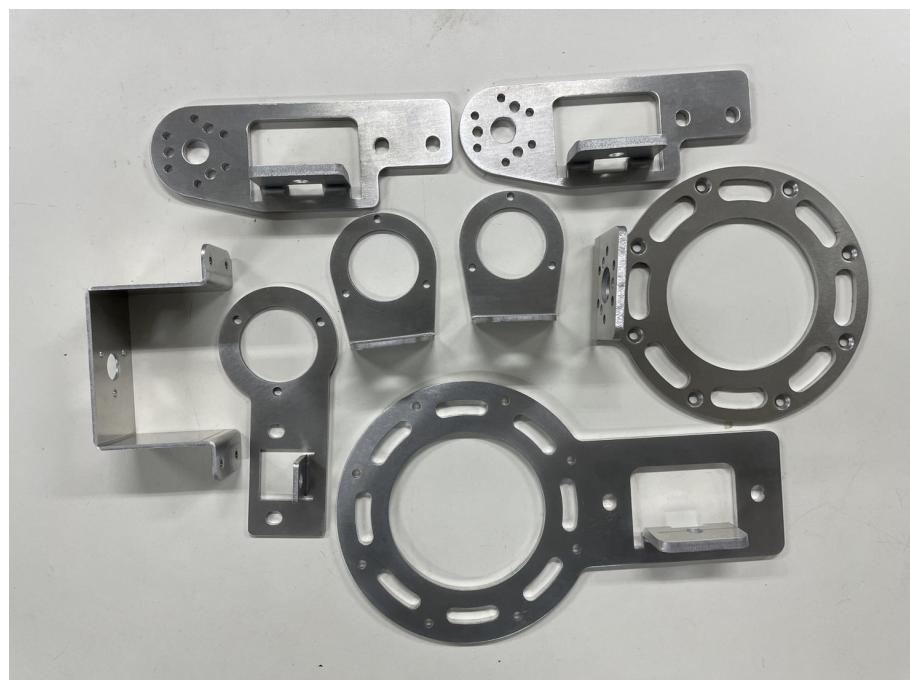


Fig. 4.2: Meviy parts

合計金額(2025/01/12時点)					
¥221,095					
購入先	型番	URL	単価(税抜き)	必要数	購入金額(税込み)
MISUMI	CBE3-8	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥58	18	¥1,148
MISUMI	CBE3-5	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥70	8	¥616
MISUMI	HFBCM3-8	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥72	16	¥1,267
MISUMI	CBSTS2R2.5-6	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥260	9	¥2,574
MISUMI	SCB5-25	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥252	4	¥1,109
MISUMI	SCB5-10	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥226	6	¥1,492
MISUMI	SCB5-8	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥237	2	¥521
MISUMI	HNTU5-5	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥52	12	¥686
MISUMI	FWSJJ-D5-V2.6-T2.5	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥260	9	¥2,574
MISUMI	FB-305530	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥29	4	¥128
MISUMI	FB-2001	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥30	6	¥198
MISUMI	NFS5-2020-215-AV15-BV180	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥545	1	¥600
MISUMI	NFS5-2020-170-AV15-BV145	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥545	1	¥600
MISUMI	CSH-316L-M2-6	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥152	4	¥669
MISUMI	CSH-316LM2.5-6	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥129	6	¥851
MISUMI	CSH-316LM2.5-8	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥129	9	¥1,277
MISUMI	SSE2B6-145	<a href="https://jp.misumi-ec.com/vona2">https://jp.misumi-ec.com/vona2</a>	¥7,610	1	¥8,371
AliExpress	GIM8108-8	<a href="https://ja.aliexpress.com/item/1">https://ja.aliexpress.com/item/1</a>	¥18,515	3	¥61,100
AliExpress	GIM3505-8	<a href="https://ja.aliexpress.com/item/1">https://ja.aliexpress.com/item/1</a>	¥19,642	4	¥86,425
Meviy	MVSHM-AN03054-41L-KXY42		¥11,787	1	¥11,787
Meviy	MVSHM-AN04050-41D-2N2EY		¥6,204	2	¥12,408
Meviy	MVSHM-AN04054-41D-5MELN		¥11,153	1	¥11,153
Meviy	MVSHM-AN02050-41C-YNWWC		¥3,647	1	¥3,647
Meviy	MVSHM-AN02050-41C-JKCBT		¥3,113	2	¥6,226
Meviy	MVSHM-AN01552-41R-U1G17		¥3,669	1	¥3,669

Fig. 4.3: Parts list

## 4.2 組み立て

組み立てたロボットアームの全体図を図 4.4 に示す。また、寸法等の仕様を表 4.1 に示す。  
組み立て時間は、約 1 時間である。

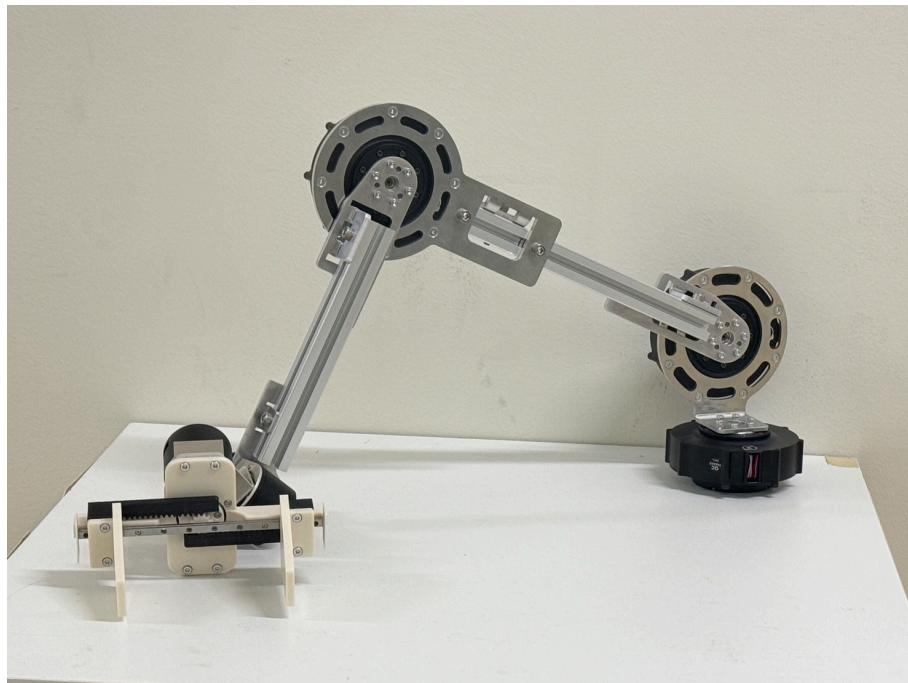


Fig. 4.4: Assembled robot arm

Table 4.1: Specifications of the robot arm

Weight	2.2 kg
Length	760 mm
Materials	A5052, A6063S-T5, ASA

# 第5章

## 結論

### 5.1 まとめ

本研究では、オープンプラットフォームオフィスロボット開発の第一段階として、QDDモータを用いたロボットアームの設計と製作を行った。従来のオフィスロボットが対象としている作業を調査し、「机の片づけ作業」を対象作業とした、作業を行うロボットアームに求められる要求仕様を策定し、それに基づきロボットアームの設計を行った。設計したロボットアームは6自由度を有し、すべての関節にQDDモータを採用している。設計にはAutodesk社のInventor2023を使用し、部品の構造解析を行った。また、部品外注サービスであるMeviyを活用し、短期間での部品調達と製作を可能にした。設計データや部品リストなどはすべてGitHub上で公開している。

### 5.2 今後の展望

今後の課題として、動作実験を通じた性能評価の実施、他のタスクにも対応可能な仕様拡張、さらには設計データのさらなる汎用性向上を検討する必要がある。また、オープンプラットフォームとしての設計データの公開を通じて、他の研究者や開発者による再利用や改良を促進し、技術の発展に寄与することを目指す。

# 参考文献

- [1] 株式会社 cij — サービスロボット「ayuda」シリーズ. <https://ayuda.cij.co.jp/service/product/ayuda/index.html#ayuda>. (Accessed on 1/15/2025).
- [2] Seqsense — 自律移動型警備ロボット sq-2. <https://www.seqsense.com/product>. (Accessed on 1/15/2025).
- [3] Panasonic — 業務用ロボット掃除機. <https://panasonic.biz/appliance/VacuumCleaner/>. (Accessed on 1/15/2025).
- [4] Elmo — bellabot. <https://www.elmo.co.jp/product/robot/bellabot/>. (Accessed on 1/15/2025).
- [5] 古賀達也, 井尻善久. IoT の側面から見た, モバイルロボット・モバイルマニピュレータの現状と今後の展望. 日本ロボット学会誌, Vol. 37, No. 8, pp. 707–710, 2019.
- [6] Pal robotics — mobile manipulator tiago. <https://pal-robotics.com/robot/tiago/>. (Accessed on 1/15/2025).
- [7] Toyota — トヨタ自動車、生活支援ロボットの実用化に向けて研究機関等と技術開発を推進するコミュニティを発足. <https://global.toyota/jp/detail/8709536>. (Accessed on 1/15/2025).
- [8] 飯塚浩太, 鈴木諒太郎, 武居直行, 徳永晋也, 深澤俊樹, 山本章. 準 dd モータと重力補償機構による柔軟ロボットアームの特性評価. ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2021, pp. 2P3-I02, 2021.
- [9] David V. Gealy, Stephen McKinley, Brent Yi, Philipp Wu, Phillip R. Downey, Greg Balke, Allan Zhao, Menglong Guo, Rachel Thomasson, Anthony Sinclair, Peter Cueliar, Zoe McCarthy, and Pieter Abbeel. Quasi-direct drive for low-cost compliant robotic manipulation, 2019.

- [10] Quasi-direct drive for low-cost compliant robotic manipulation. <https://berkeleyopenarms.github.io/>. (Accessed on 1/15/2025).
- [11] Yuntian Zhao, Binxin Huang, Shiyuan Lin, Zheng Zhu, and Zhenzhong Jia. A light-weight quasi-direct drive collaborative robot arm. In *2023 9th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)*, pp. 24–29, 2023.
- [12] Tiago — manipulation compilation. <https://www.youtube.com/watch?v=Bmk4EASGTJI>. (Accessed on 1/15/2025).
- [13] Reachy 2023 — reachy 2023 documentation. <https://docs.pollen-robotics.com/>. (Accessed on 1/15/2025).
- [14] 人工知能研究センター — 人体寸法データベース 1991-92-寸法項目一覧. <https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/91-92/data/list.html>. (Accessed on 1/15/2025).
- [15] 日本機械学会. 機械工学事典 — バックドライバビリティ. <https://www.jsme.or.jp/jsme-medwiki/doku.php?id=14:1010220>. (Accessed on 1/15/2025).
- [16] Meviy(misumi). <https://meviy.misumi-ec.com/worldwide/>. (Accessed on 1/15/2025).

# 付録

組立動画、部品リスト、を記載する

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、1年に渡り、熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。