

2011年度 卒業論文

引き込み動作を有する
劣駆動ロボットグリップの開発

指導教員

立命館大学 理工学部 教授 馬 書根

立命館大学 理工学部 ロボティクス学科

学籍番号 2250080055-4

氏名 西村 紘幸

概要

現在の産業用ロボットハンドは、対象物の形状などによってそれぞれ用意され、変更するものが多い。対して汎用的な把持機構として、多指ロボットハンドが開発されているが、重量の増加や制御が複雑になるといった問題がある。

そこで本研究の目的は様々な対象物に対応できるロボットグリップとして、一般的な平行グリップに引き込み機構としてクローラを追加したグリップを開発し、その有効性を確認することである。把持動作と引き込み動作は遊星歯車機構によって1つのモータによって行われ、出力が受動的に切り替わることで複雑な制御を必要としない。

本研究では静力学の関係を用いて、把持と引き込みに必要なトルクの導出し、最後に製作した実機を用いて剛体の把持、厚みが薄い物体の把持、そして柔軟物体の把持の3つの実験を行った。それにより、動作原理、そしていくつかの想定した物体を把持できることを確認した。

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	4
1.3 論文の構成	4
第 2 章 開発したロボットグリップ	5
2.1 ロボットグリップの構造	5
2.2 ロボットグリップの動作原理	7
2.3 クローラの回転抵抗調節機構	9
第 3 章 ロボットグリップの設計	11
3.1 静力学	11
3.2 モータの選定	14
3.3 回転抵抗調節機構の設計	15
第 4 章 実機実験	19
4.1 実験環境	19
4.2 剛体の把持	22
4.3 シート状, 布地物体の把持	23
4.4 柔軟物体の把持	26
4.5 考察	28
第 5 章 結論	31
5.1 まとめ	31
5.2 今後の課題	31
謝辞	33
参考文献	35
付録 A 製作したロボットグリップの製図	37

目 次

1.1	3自由度グリップの外觀	1
1.2	2自由度ハンドの外觀	2
1.3	回転テーブルを有するハンドの外觀	3
1.4	布地物体ハンドの外觀	3
2.1	ロボットの外觀	5
2.2	ロボットグリップベース部	6
2.3	タイミングプーリ (小) のテンション調節機構	7
2.4	タイミングプーリ (大) のテンション調節機構	7
2.5	出力が伝わる流れ	8
2.6	キャリアへのトルクの流れ	8
2.7	リングギアへのトルクの流れ	9
2.8	回転抵抗調節機構	10
2.9	回転抵抗の調節	10
3.1	幾何学モデル	11
3.2	リンク1の静力学モデル	12
3.3	リンク2の静力学モデル	13
3.4	リンク3の静力学モデル	13
3.5	タイミングベルトに加わる力	15
3.6	対象物に加わる力	16
4.1	剛体把持の対象1	19
4.2	剛体把持の対象2	20
4.3	シート上物体把持の対象	20
4.4	柔軟物体把持の対象	21
4.5	剛体対象物の初期位置	22
4.6	マグカップの把持実験	22
4.7	ハンマーの配置 (重心が下にある場合)	23
4.8	方法1でのシート状対象物の初期位置	24
4.9	方法2でのシート状対象物の初期位置	24
4.10	方法1でのスポーツタオル把持	25
4.11	方法2でのスポーツタオル把持	25
4.12	柔軟物体対象物の初期位置	26
4.13	紙コップの把持実験	26
4.14	コイルバネの把持実験	27

A.1	ロボットグリッパの平面図	37
A.2	ロボットグリッパの断面図 A	37
A.3	ロボットグリッパの断面図 B	38
A.4	ロボットグリッパの断面図 C	38

表 目 次

2.1	ロボットの仕様	5
2.2	部品の詳細	6
3.1	パラメータ	12
4.1	アクリル樹脂板, マグカップの仕様	20
4.2	ビニールシート, スポーツタオルの仕様	21
4.3	紙コップ, コイルバネの仕様	21
4.4	実験機器	21
4.5	把持時のコイルバネの長さ	27
4.6	把持時のコイルバネの力	27

第 1 章 序論

1.1 研究背景

現在，産業用ロボットの把持機構として多くの種類のロボットハンドが使用されている．そのハンドは対象物の形状やサイズによってそれぞれ用意され，基本的に対象物によってハンドを変更する必要がある．

そこで，汎用的な把持機構として，人の手を模した多くの多指ロボットハンドが研究されている．人の手は物を掴むという動作だけでも，円形，棒状，紙状など様々な形の物，そして剛体やスポンジなどの柔らかい物でも把持することができる．また物を掴む以外にも向きを変える，転がす，折り曲げるといった動作も容易である．多指ロボットハンドは上記の動作を可能にする一方，重量，サイズの増加や制御が複雑になるといった問題点が存在する．そこで，複雑な制御を必要とせずに様々な形状，硬さに対応できるロボットハンドが必要だと考えられる．

上記の課題に対して，平行グリッパに機能を加えることによって様々な物体の操作を行うロボットが開発されている．以下にその例を示す．

● 超音波モータを用いた 3 自由度グリッパ

把持爪の開閉は超音波モータにより行っている．把持爪内側には 2 個のスライダが付いており，その前後動作により，把持物を旋回させたり傾斜させることができる．2 個のスライダを同一方向へ移動させれば旋回動作が，個々のスライダを異なる方向へ移動させれば物体を前後に傾斜させることができる．スライダはプーリと駆動ワイヤを介して超音波モータにより駆動している (図 1.1)[1]．

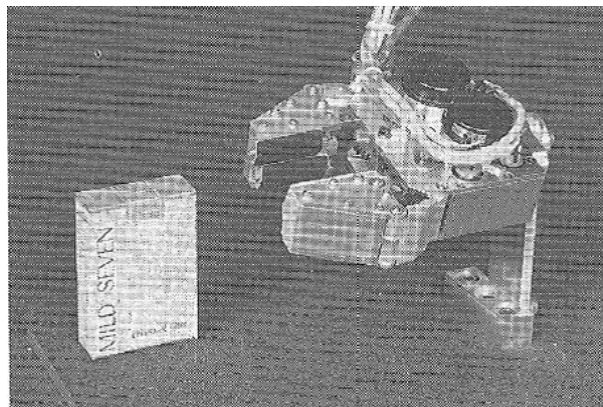


図 1.1: 3 自由度グリッパの外観

● マスタースレーブマニピュレータ用の2自由度ハンド

このロボットは、つかみ動作とひねり動作を行うことが可能な2自由度を持つMSM(Master Slave Manipulator)用ハンドである。つかみ動作は、1つのアクチュエータで歯車を互いに逆回転させ、スクリュー軸を回転させることによって実現している。一方ひねり動作は、つかみ動作のガイド軸にスプライン軸を使用し、1つのアクチュエータで歯車を互いに逆回転させ、固定されたスプライン軸を回転させることでひねり動作を実現している(図1.2)[2]。

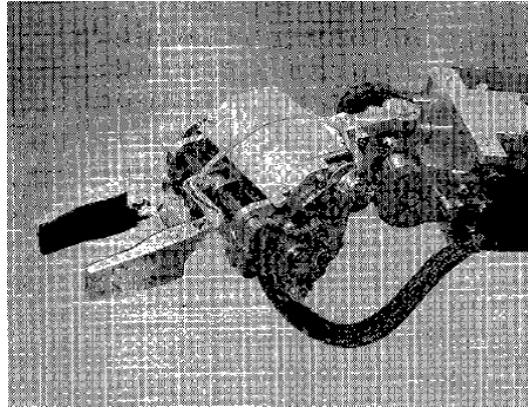


図 1.2: 2自由度ハンドの外観

● 指先に回転テーブルを有するハンドによるマニピュレーション

このロボットは、把持部に回転するテーブルを付けることで、把持した対象物に関して以下のような操作を行うことができる。

- － 対象物を把持しながら左右の回転角、回転速度が等しくなるように回転テーブルを制御することによって、把持物体をを回転テーブル中心回りに回転
- － 左右の回転テーブルを互いに反対方向に回転させることにより、対象物を拘束する固定軸周りに対象物を回転
- － 回転テーブル側面を対象物に押し当てる、または把持しながら回転テーブルを同方向に回転させることで、面上での並進操作
- － 棒状物体を把持しながら左右の回転速度が等しくなるように回転テーブルを制御することで、棒状物体の挿入・引き出し操作

また、指の開閉はDCモータ、回転テーブルの回転は超音波モータを用いて行われている(図1.3)[3]。

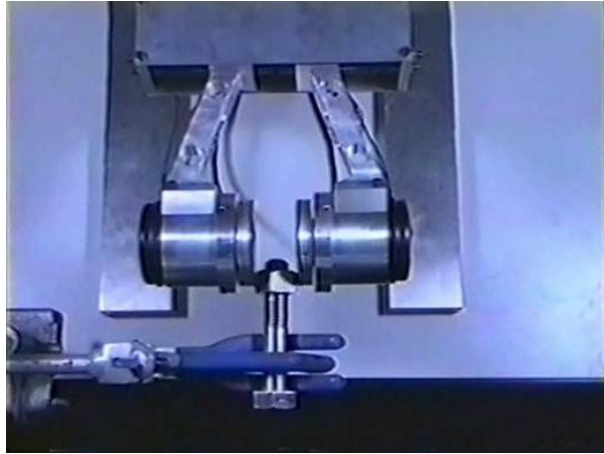


図 1.3: 回転テーブルを有するハンドの外観

● 布地物体のハンドリングに関する研究

このロボットは、ハンド先端に回転機構を付加することで布地物体の把持を行っている．論文中では、布地物体を把持する方法に関して2つ挙げられている．1つ目は、ハンドを開いた状態で対象物に接触させ、巻き込み後ハンドを閉じて把持する方法．2つ目は、ハンドを閉じた状態で対象物に接触させ、巻き込み後ハンドを引き上げ把持する方法となっている (図 1.4)[4]．

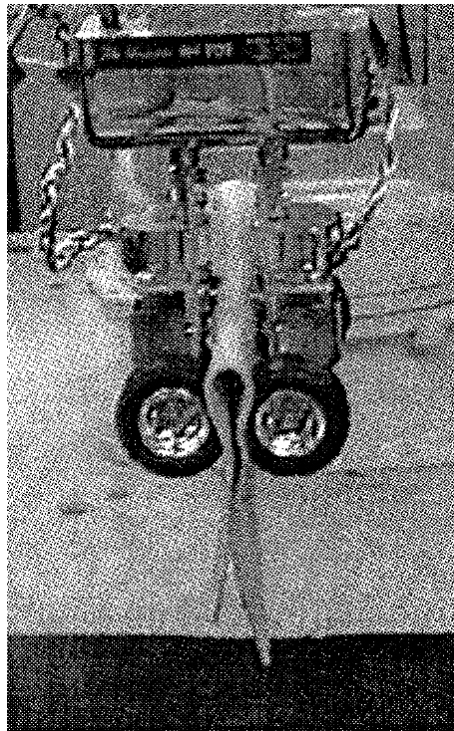


図 1.4: 布地物体ハンドの外観

1.2 研究目的

多指ロボットハンドは従来の平行グリップと比べ様々な動作を可能にするが、サイズ、制御の困難さなど、実用化には多くの課題がある。そこで、本研究では布地物体や硬さに関係なく、また複雑な制御を必要としないロボットグリップを開発することを目的とする。

1.3 論文の構成

本論文の構成は以下のようになる。第2章では、本研究で製作したロボットグリップの構造、仕様、動作原理について述べる。第3章では、ロボットグリップを製作する際の仕様を、静力学モデルを用いて決定している。第4章では試作した実機を用いて実験を行い、その有効性を検証している。第5章では本論文のまとめと今後の課題、改善点について述べる。

第 2 章 開発したロボットグリッパ

本章では，製作した引き込み動作を有する劣駆動ロボットグリッパに関して全体的な構造や機構について述べる．

2.1 ロボットグリッパの構造

まず，本研究で製作したロボットグリッパについて全体的な機構を述べる．製作したロボットグリッパの外観を図 2.1 に，仕様を表 2.1 に示す．

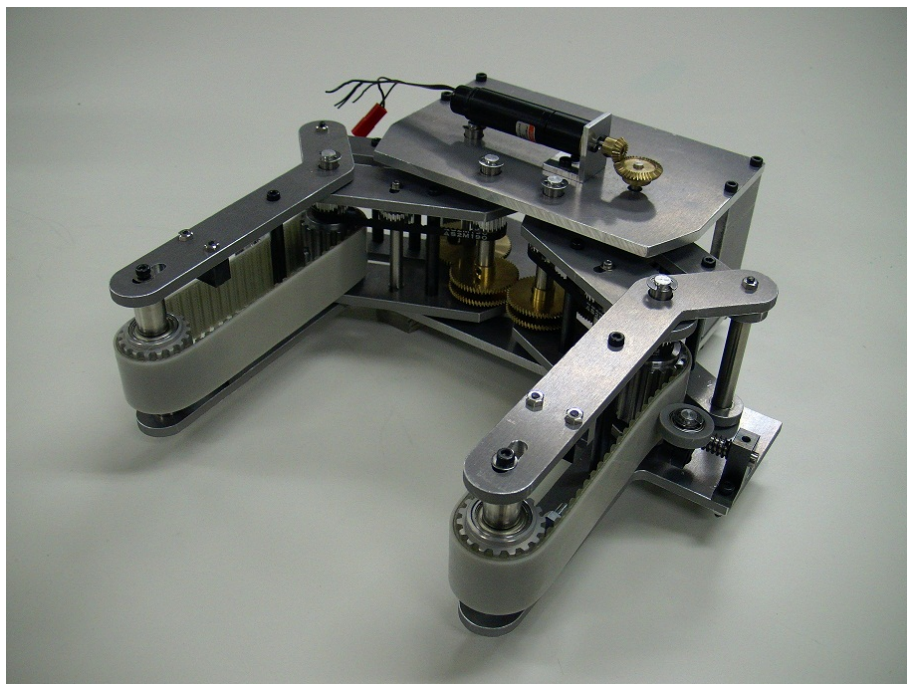


図 2.1: ロボットの外観

表 2.1: ロボットの仕様

質量 [kg]	2.12
高さ [mm]	112
最大縦幅（閉じた時） [mm]	275
最大横幅（開いた時） [mm]	268

ロボットグリッパはベース部と把持部から成っている。ベース部を図 2.2 に示す。ベース部はモータからのトルクを遊星歯車機構によって分配し、平歯車で伝達している。これにより把持動作と引き込み動作の 2 動作を 1 つのモータによって行う。把持部にはタイミングベルトのテンション調節機構が付いている。

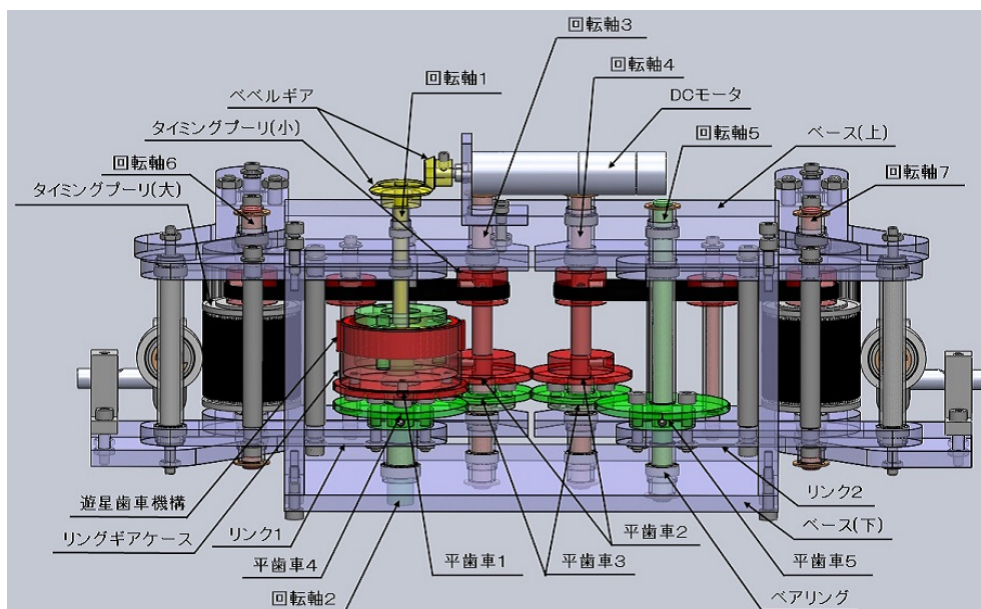


図 2.2: ロボットグリッパベース部

また、使用した部品の詳細を表 2.2 に示す。

表 2.2: 部品の詳細

部品名	製造元	型番
DC モータ	maxon	118729
プラネタリギアヘッド	maxon	134777
遊星歯車機構	マテックス	LGU35-S

把持部の 2 つのベルトテンション調節機構について述べる。タイミングプーリ (小) に関するテンション調節機構を図 2.3 に示す。見やすくするためベース (上) は非表示にしている。図中のアイドラーとその軸は、矢印の方向に動かすことができる。また任意の位置でボルトを締めることで、アイドラーの位置を固定でき、タイミングベルトにテンションをかけることができる。

タイミングプーリ (大) に関するテンション調節機構を図 2.4 に示す。先ほどの機構と同様に、アイドラーとその軸は矢印の方向に動かすことができ、ボルトを締めることでアイドラーの位置を固定できる。位置決め調整ねじブロック内にはめねじがあり、調整ねじを締めていくことによって、ベルトに力がかかったとしてもテンションを維持することができる。

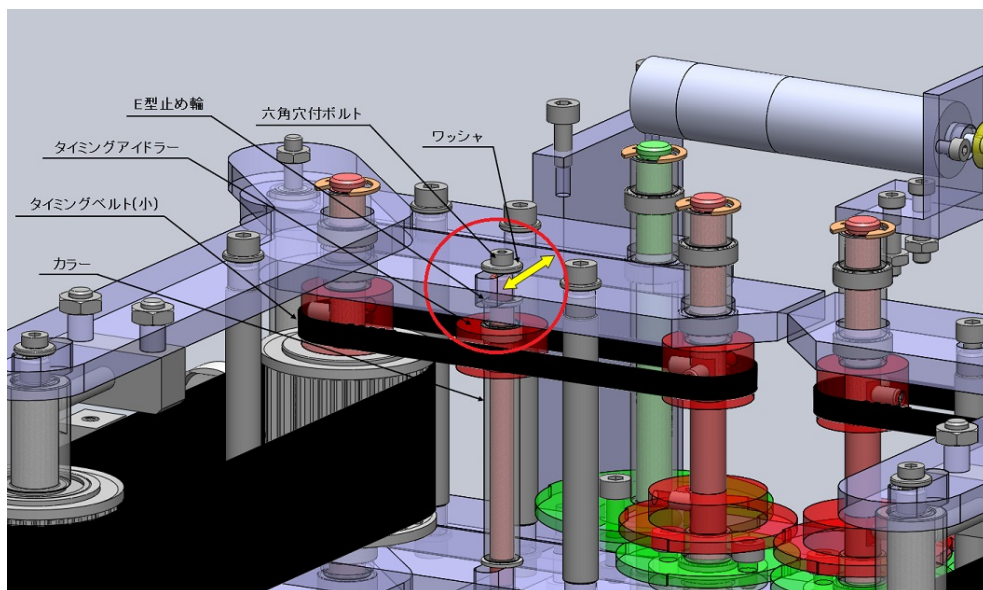


図 2.3: タイミングプーリ (小) のテンション調節機構

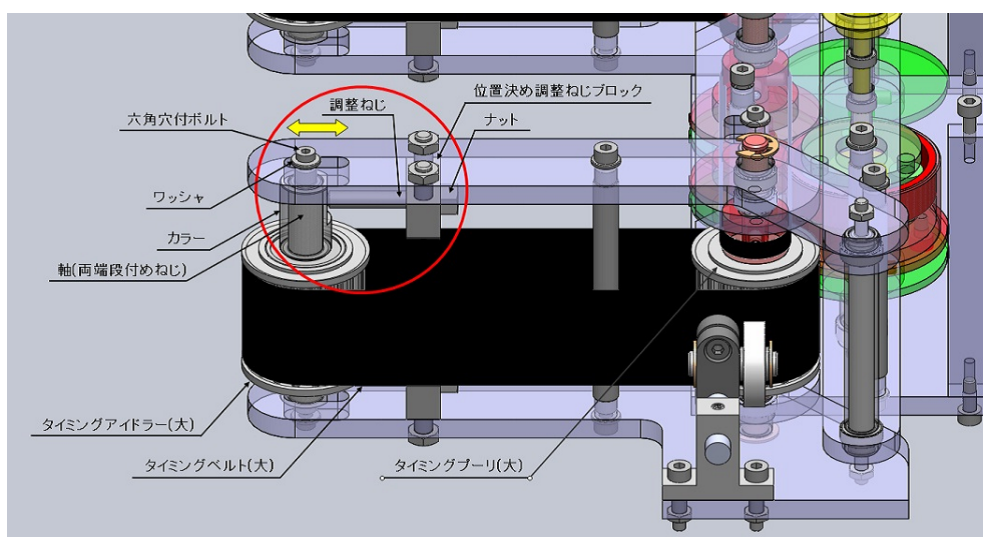


図 2.4: タイミングプーリ (大) のテンション調節機構

2.2 ロボットグリッパの動作原理

本ロボットグリッパは2つの動作を行う。1つは把持部による把持動作。もう1つはクローラによる引き込み動作である。これら2つの動作は、図 2.5 に示すように遊星歯車機構を用いて1つのモータによって行われる。

モータの回転がサンギアに入力されると、後述する回転抵抗調節機構により、リングギアの回転が抑制される。それによりまずキャリアが回転し、グリッパは閉じる動作を行う。把持部が対象物に接触すると、今度は把持部の回転が阻害される。把持部が回転しないことで、今まで回転が抑制されていたリングギアが回転し、グリッパは引き込み動作を行う。

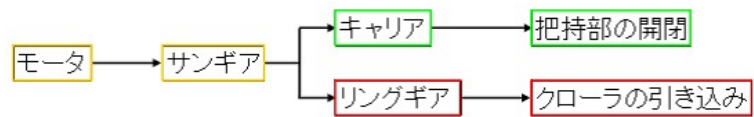


図 2.5: 出力が伝わる流れ

出力の流れを図 2.6, 図 2.7 に, 説明を以下に示す.

1. モータからのトルクはベベルギアを通して回転軸 1 に伝えられる (1).
2. 回転軸 1 は遊星歯車機構のサンギアに接続され, そこでグリッパを開閉させるキャリア, クローラを回転させるリングギアにトルクがそれぞれ分配される (2).
3. キャリアへの流れ
 - (a) キャリアは回転軸 2 と接続されており, 回転軸 2, および平歯車 4 が回転する (C3).
 - (b) 平歯車 4 はリンク 1 と固定されており, 回転が伝わる (C4). ここでリングギアケースと平歯車 1 は軸との間にベアリングがあり, 回転軸 2 の回転は伝わらない.
 - (c) 平歯車 4 の回転は, 平歯車 3, 平歯車 5 と伝わっていく (C5). 平歯車 3 と軸との間にはベアリングがあり, 回転軸 3, 4 は回転しない.
 - (d) 平歯車 5 はリンク 2 と固定されており, リンク 2 に回転が伝わる (C6). リンク 1 とリンク 2 が回転することでグリッパの開閉動作が行われる.

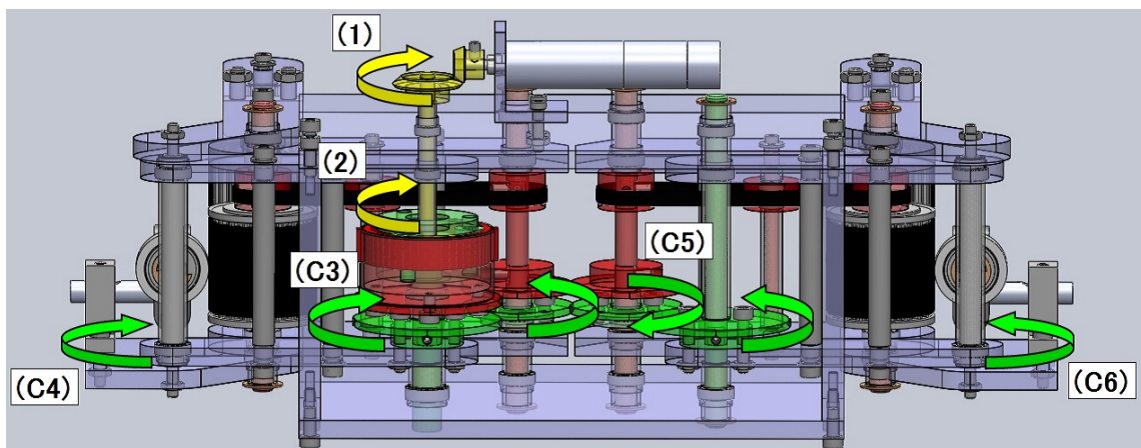


図 2.6: キャリアへのトルクの流れ

4. リングギアへの流れ

- (a) リングギアはリングギアケースを介して平歯車 1 に回転を伝える (R3).
ここでケースと平歯車 1 は軸とは別回転である.
- (b) 平歯車 1 の回転は平歯車 2 へと伝えられ, 止めねじによって固定されている回転軸 3, 4 を回転させる (R4). ここで平歯車 3 は軸とは別回転である.
- (c) 回転軸 3, 4 の回転は, 止めねじによって固定されたタイミングプーリ (小) を回転させる (R5).
- (d) タイミングプーリ (小) の回転はベルトを介してタイミングプーリ (小), そして回転軸 6, 7 に固定されたタイミングプーリ (大) を回転させる (R6).
これにより, クローラの引き込み動作が達成される.

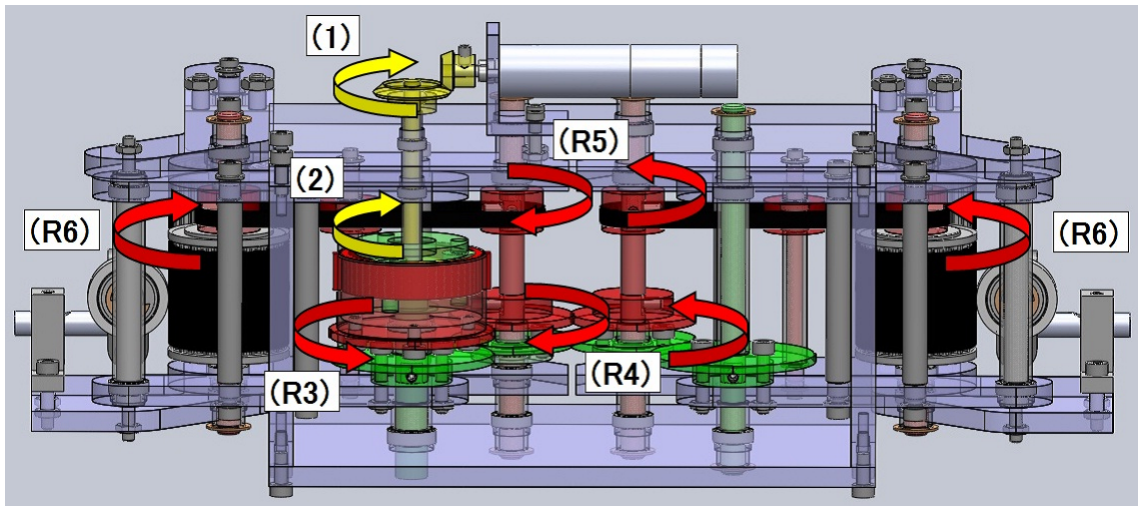


図 2.7: リングギアへのトルクの流れ

2.3 クローラの回転抵抗調節機構

クローラの回転を制限するための機構について述べる. クローラの回転抵抗調節機構を図 2.8 に示す.

この機構は, シリコンタイヤをクローラに押し付けることによって発生する摩擦力によって回転抵抗を調節している. シリコンタイヤはクローラに対して角度を変えることができ (図 2.9), それにより回転抵抗を変えることができる. 具体的にはクローラとシリコンタイヤの向きが平行ならば回転抵抗は小さくなり, 直角に近づくと回転抵抗は大きくなる. 構造としては, シリコンタイヤはクランプにネジを締めることで固定されており, 緩めることで任意に角度を変えることができる. クランプとシャフトホルダの間の軸には溝があり, シャフトホルダに対して回転せず並進移動のみを行う. またその軸の上にはバネが被せてあり, これにより, シリコンタイヤをクローラに押し付ける力を一定にしている.

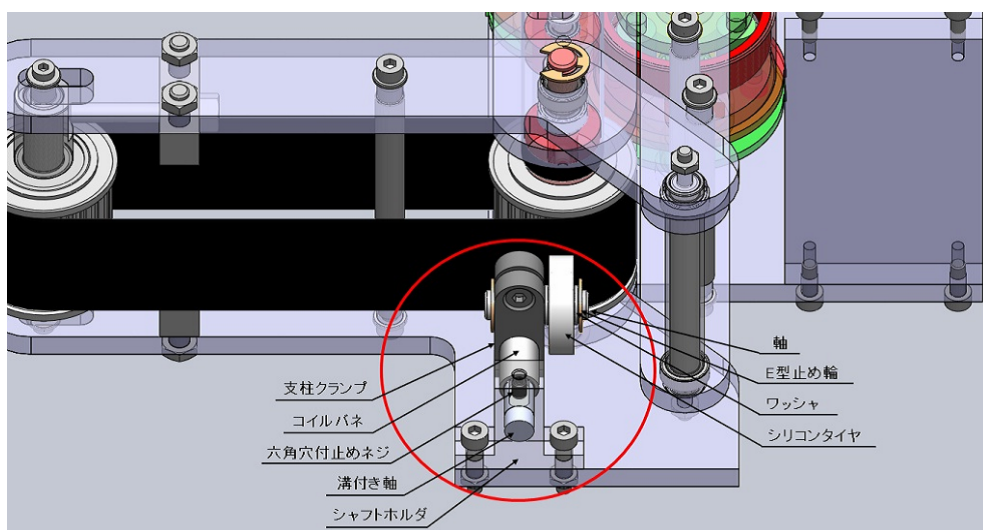
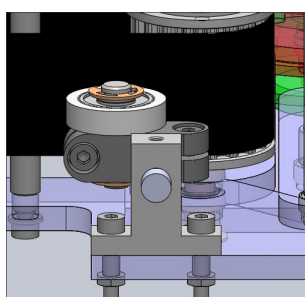
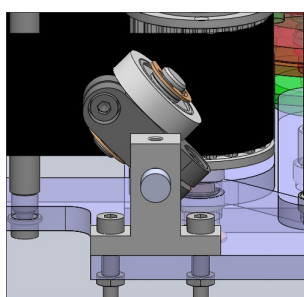


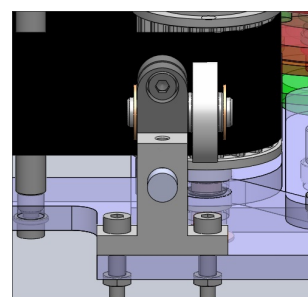
図 2.8: 回転抵抗調節機構



(a) 回転抵抗小



(b) 回転抵抗中



(c) 回転抵抗大

図 2.9: 回転抵抗の調節

第 3 章 ロボットグリッパの設計

この章では，作成した機構に関して静力学モデルを立て，必要な力，把持力と回転抵抗の関係などを求める．

3.1 静力学

幾何学モデルを図 3.1 に，解析用パラメータを表 3.1 に示す．図 3.1 中，●は駆動関節，○は受動関節を表す．

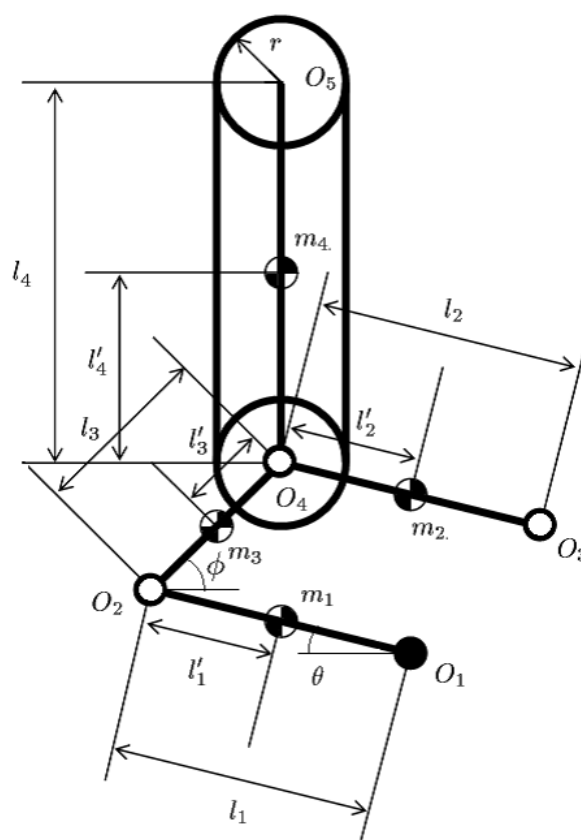


図 3.1: 幾何学モデル

表 3.1: パラメータ

l_1, l_2, l_3, l_4	各リンクの長さ [m]
l'_1, l'_2, l'_3, l'_4	各リンクの重心までの長さ [m]
m_1, m_2, m_3, m_4	各リンクの質量 [Kg]
g	重力加速度 [m/s ²]
θ	リンク 1 の回転角度 [deg]
ϕ	リンク 3 の設定角度 [deg]
r	タイミングプーリ（大）の半径 [m]
α	グリッパの地面に対するロール軸方向の角度 [deg]
β	グリッパの地面に対するピッチ軸方向の角度 [deg]
F_{O_1x}, F_{O_1y}	O_1 に作用する内力 [N]
F_{O_2x}, F_{O_2y}	O_2 に作用する内力 [N]
F_{O_3x}, F_{O_3y}	O_3 に作用する内力 [N]
F_{O_4x}, F_{O_4y}	O_4 に作用する内力 [N]
τ_{car}	キャリアから伝わるトルク [Nm]
N	対象物から受ける力 [N]

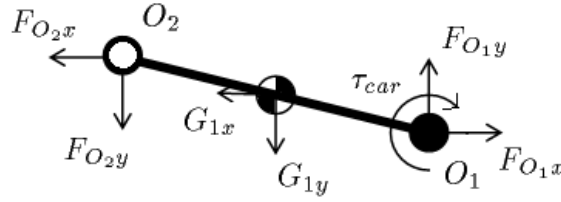


図 3.2: リンク 1 の静力学モデル

図 3.2 で示されるリンク 1 に関する力のつり合いは、

$$x : F_{O_1x} - F_{O_2x} - G_{1x} = 0 \quad (3.1)$$

$$y : F_{O_1y} - F_{O_2y} - G_{1y} = 0 \quad (3.2)$$

となり、 O_2 まわりのモーメントのつり合いは、

$$F_{O_1x}l_1\sin\theta + F_{O_1y}l_1\cos\theta - G_{1x}l'_1\sin\theta - G_{1y}l'_1\cos\theta - \tau_{car} = 0 \quad (3.3)$$

となる。ただし、

$$G_{1x} = m_1g\sin\alpha$$

$$G_{1y} = m_1g\sin\beta$$

であり、リンクに作用する重力である。また、 $\alpha \neq 0$ のとき $\beta = 0$ 、 $\beta \neq 0$ のとき $\alpha = 0$ とする。

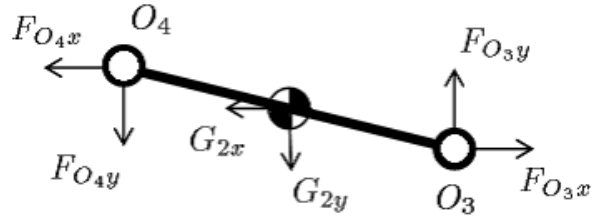


図 3.3: リンク 2 の静力学モデル

図 3.3 で示されるリンク 2 に関する力のつり合いは,

$$x : F_{O_3x} - F_{O_4x} - G_{2x} = 0 \quad (3.4)$$

$$y : F_{O_3y} - F_{O_4y} - G_{2y} = 0 \quad (3.5)$$

となり, O_4 まわりのモーメントのつり合いは,

$$F_{O_3x}l_2\sin\theta + F_{O_3y}l_2\cos\theta - G_{2x}l'_2\sin\theta - G_{2y}l'_2\cos\theta = 0 \quad (3.6)$$

となる. ただし,

$$G_{2x} = m_2g\sin\alpha$$

$$G_{2y} = m_2g\sin\beta$$

であり, リンクに作用する重力である.

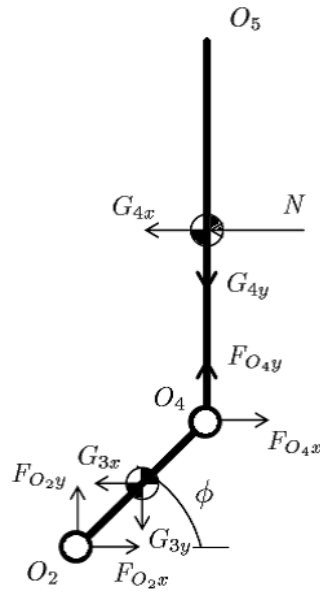


図 3.4: リンク 3 の静力学モデル

図 3.4 で示されるリンク 3 に関する力のつり合いは,

$$x : F_{O_2x} + F_{O_4x} - G_{3x} - G_{4x} - N = 0 \quad (3.7)$$

$$y : F_{O_2y} + F_{O_4y} - G_{3y} - G_{4y} = 0 \quad (3.8)$$

となり, O_4 まわりのモーメントのつり合いは,

$$F_{O_2x}l_3\sin\gamma - F_{O_2y}l_3\cos\gamma - G_{3x}l'_3\sin\gamma + G_{3y}l'_3\cos\gamma + G_{4x}l'_4 + Nl'_4 = 0 \quad (3.9)$$

となる. ただし,

$$G_{3x} = m_3g\sin\alpha$$

$$G_{3y} = m_3g\sin\beta$$

$$G_{4x} = m_4g\sin\alpha$$

$$G_{4y} = m_4g\sin\beta$$

であり, リンクに作用する重力である.

3.2 モータの選定

式 (3.1)~(3.9) より, キャリアが回転するために必要な力 τ_{car} は,

$$\begin{aligned} \tau_{car} = & (G_{1x} + G_{2x} + G_{3x} + G_{4x} + N)l_1\sin\theta \\ & + (G_{1y} + G_{2y} + G_{3y} + G_{4y})l_1\cos\theta \\ & - (G_{1x}l'_1 + G_{2x}\frac{l_1l'_2}{l_2})\sin\theta - (G_{1y}l'_1 + G_{2y}\frac{l_1l'_2}{l_2})\cos\theta \end{aligned} \quad (3.10)$$

となる. $l_1 = l_2$ より,

$$\begin{aligned} \tau_{car} = & (G_{1x} + G_{2x} + G_{3x} + G_{4x} + N)l_1\sin\theta \\ & + (G_{1y} + G_{2y} + G_{3y} + G_{4y})l_1\cos\theta \\ & - (G_{1x}l'_1 + G_{2x}l'_2)\sin\theta - (G_{1y}l'_1 + G_{2y}l'_2)\cos\theta \end{aligned} \quad (3.11)$$

となる. ここで, ロボットグリッパが地面に対して水平だったとすると, $\alpha = \beta = 0$ より,

$$\tau_{car} = Nl_1\sin\theta \quad (3.12)$$

となる.

ここで, グリッパのトルク比について述べる. 使用した遊星歯車機構のサンギアの歯数 Z_{sun} , 遊星ギアの歯数 Z_{pla} , リングギアの歯数 Z_{ring} の歯数の比は,

$$Z_{sun} : Z_{pla} : Z_{ring} = 18 : 15 : 48 \quad (3.13)$$

であり, リングギアとクローラベルト間の平歯車の歯数の比は, リングギア側の歯数を Z_{spur1} , ベルト側の歯数を Z_{spur2} とすると,

$$Z_{spur1} : Z_{spur2} = 40 : 30 \quad (3.14)$$

である．次に，モータとサンギア間のベベルギアの歯数の比は，モータ側の歯数を Z_{bev1} ，サンギア側の歯数を Z_{bev2} とすると，

$$Z_{bev1} : Z_{bev2} = 20 : 40 \quad (3.15)$$

である．よって，式 (3.12),(3.13),(3.15) から，モータが必要とするトルク τ_{motor} は，

$$\begin{aligned} \tau_{motor} &= \frac{1}{2.00} \tau_{sun} \\ &= \frac{1}{2.00 \cdot 3.67} \cdot 2\tau_{car} \\ &= \frac{1}{2.00 \cdot 3.67} \cdot 2Nl_1 \sin \theta \\ &= \frac{1}{3.67} Nl_1 \sin \theta \end{aligned} \quad (3.16)$$

となる．

3.3 回転抵抗調節機構の設計

ロボットグリッパが地面に対して平行であるとする．このとき，対象物に及ぼす力 N とシリコンタイヤが与える最大静止摩擦力 F_T の関係を考える．クローラベルトが回転するために必要な力を τ_{belt} とすると，ベルトが回転し始める瞬間，

$$\tau_{belt} = F_T r \quad (3.17)$$

となる（図 3.5）．

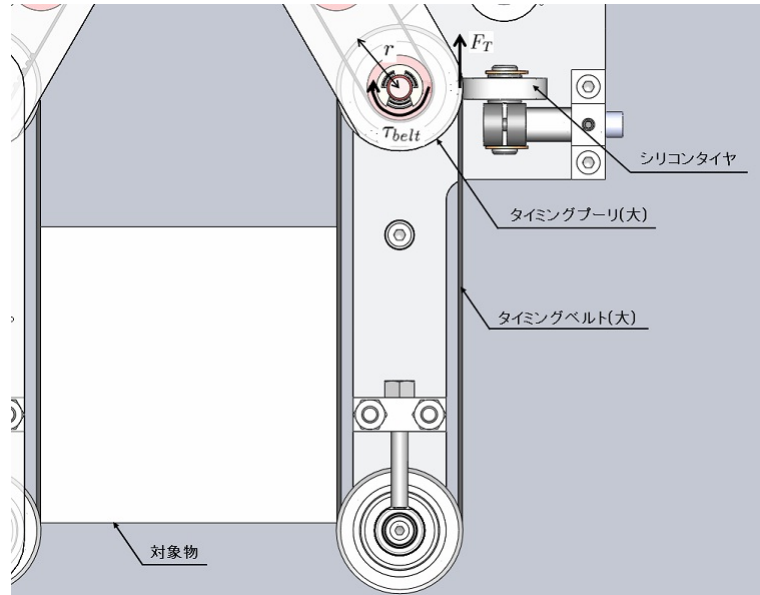


図 3.5: タイミングベルトに加わる力

τ_{car} と τ_{belt} のトルク比は一定なので,

$$\tau_{belt} = K\tau_{car} \quad (3.18)$$

とすると,

$$K\tau_{car} = F_T r \quad (3.19)$$

となる. 式 (3.12) より,

$$\tau_{car} = Nl_1 \sin\theta$$

なので, 式 (3.19) に代入して整理すると,

$$F_T = \frac{KNl_1 \sin\theta}{r} \quad (3.20)$$

となり, F_T を調節することで, 対象物に及ぼす力 N を変えることができる. F_T は最大静止摩擦力なので, その大きさはシリコンタイヤをベルトに押し付けるバネの力によって変わる. そこである対象物を想定し, その対象物を把持するために必要なバネの力を求める.

対象物として重さを $M=0.503[\text{Kg}]$, 対象物とベルトの間の静摩擦係数を $\mu = 1.0$, 把持したときのリンクの角度 $\theta = 77.6[\text{deg}]$ とし, 重心は対象物の中心にあるとする. 重力と摩擦力のつり合いから (図 3.6),

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}Mg &= \mu N \\ N &= \frac{1}{2\mu}Mg \\ &= 2.46 [\text{Nm}] \end{aligned} \quad (3.21)$$

となり, グリッパが出すべき力が分かる.

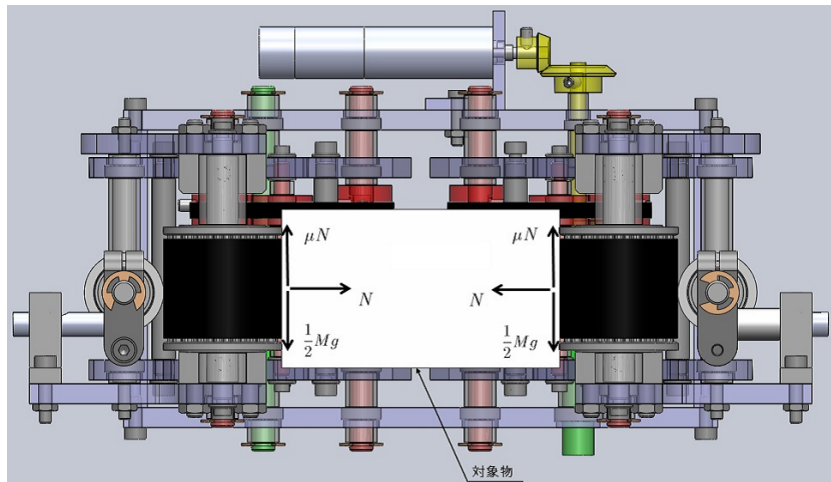


図 3.6: 対象物に加わる力

ここで，トルク比 K は式 (3.13), (3.14) より，

$$K = \frac{\tau_{belt}}{\tau_{car}} = \frac{2.00}{3.67} = 0.545 \quad (3.22)$$

なので，式 (3.20) より，

$$\begin{aligned} F_T &= \frac{K N l_1 \sin \theta}{r} \\ &= \frac{0.545 \cdot 2.46 \cdot 0.07 \cdot 0.977}{0.015} \\ &= 6.11 \text{ [N]} \end{aligned} \quad (3.23)$$

となり，必要な最大静止摩擦力 F_T が求まった．シリコンタイヤとベルトの静摩擦係数を $\mu_T = 1.0$ とすると，必要なシリコンタイヤの押し付け力 N_T は，

$$N_T = 6.11 \text{ [N]} \quad (3.24)$$

となる．

第 4 章 実機実験

この章では，試作した実機を用いて，想定した動作を行えるか検証する．対象物を硬さ，形状などから 3 つに分け，それぞれに関して実験を行う．

4.1 実験環境

大きく 3 つに分けて実験を行う．その内容を以下に示す．

1. 剛体の把持
2. シート状，布地物体の把持
3. 柔軟物体の把持

1 つ目の実験では，対象物として力を受けても変形しないとみなせる物体を把持する．この実験によって章 2.2 で述べたような，対象物を把持し，その後引き込み動作を行えるか確かめる．

剛体とみなせる対象物として図 4.1 に示すようなアクリル樹脂板（左）とマグカップ（右）を用いる．また，形が特徴的な物や，重心が偏っているものとして図 4.2 のようなパンチ（左）とハンマー（右）の把持も行う．対象物の仕様を表 4.1 に示す．

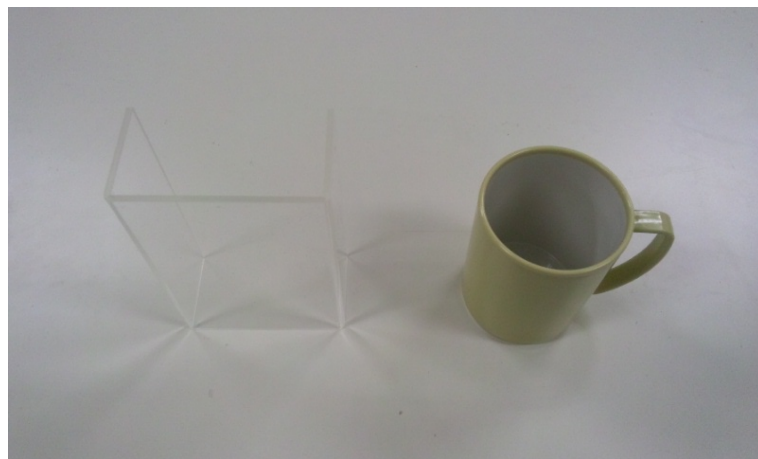


図 4.1: 剛体把持の対象 1



図 4.2: 剛体把持の対象 2

表 4.1: アクリル樹脂板, マグカップの仕様

アクリル樹脂板	
材質	アクリル樹脂
寸法 (縦×横×高さ)	48.0 × 89.5 × 134.1 [mm]
マグカップ	
材質	ポリプロピレン
寸法 (直径×高さ)	70.0 × 95.0 [mm]

2つ目の実験では, 対象物として布のような厚みが薄い物体を把持する. この実験によって開発したグリッパが厚みが薄い物体を掴めるかどうかの検証, また2種類の把持方法に関して把持がしやすい手順を確認する.

シート状, 布地物体の対象物として図 4.3 に示すようなビニールシート (左) とスポーツタオル (右) を用いる. 対象物の仕様を表 4.2 に示す.



図 4.3: シート上物体把持の対象

表 4.2: ビニールシート，スポーツタオルの仕様

ビニールシート	
材質	ポリエチレン
寸法（縦×横×厚み）	300.0 × 300.0 × 0.025 [mm]
スポーツタオル	
材質	綿
寸法（縦×横×厚み）	325.0 × 305.0 × 2.0 [mm]

3つ目の実験では，対象物として力が加わると変形する物体を把持する．この実験によって回転抵抗調節機構により把持力が変わっているのか，またどの程度変化しているか確認する．

柔軟物体の対象物として図 4.4 に示すような紙コップ（左）とコイルバネ（右）を用いる．対象物の仕様を表 4.3 に示す．



図 4.4: 柔軟物体把持の対象

表 4.3: 紙コップ，コイルバネの仕様

紙コップ	
寸法（底×頂点×高さ）	50.8 × 72.0 × 82.0 [mm]
コイルバネ	
自由長	15.0 [mm]
外径	8.0 [mm]
バネ定数	1.0 [N/mm]

実験に使用した機器を表 4.4 に示す．

表 4.4: 実験機器

機器名	製造元	型番
多出力直流安定化電源	TEXIO	PW18-1.8AQ
リモコン・トグルスイッチ	TAMIYA	75023

4.2 剛体の把持

実験方法を述べる．モータへの入力値は，表 4.4 に示した安定化電源を用いて 5.0 [V] の一定電圧を印加する．回転抵抗調節機構の角度は，シリコンタイヤとベルトのなす角を θ_{Tb} とすると， $\theta_{Tb} = 0$ [deg] に設定する．

以上の条件で，図 4.5 のようにロボットグリッパと対象物を配置し，電源のスイッチを入れる．そしてグリッパが対象物を把持できているか，引き込めているかを確認する．この実験をアクリル樹脂板とマグカップを用いてそれぞれ 5 回ずつ行い，パンチとハンマーは置く向きを変えて複数回行う．

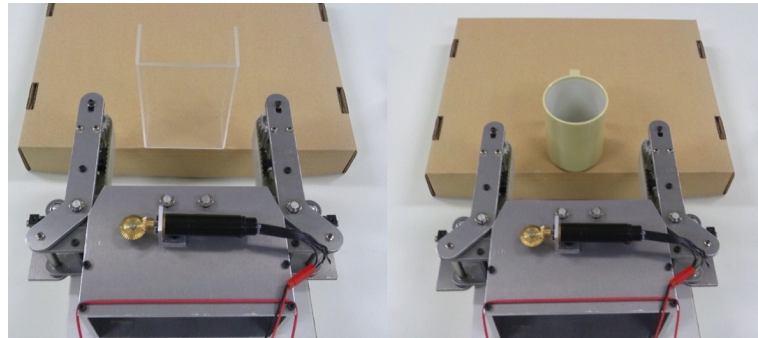
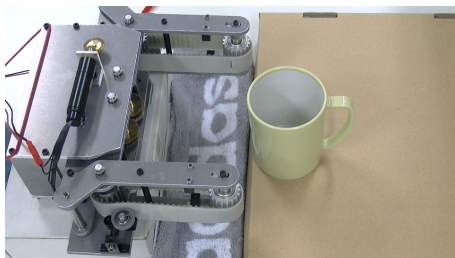


図 4.5: 剛体対象物の初期位置

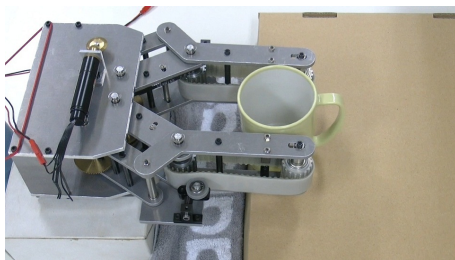
実験結果を述べる．マグカップを把持し，引き込む実験の様子を図 4.6 に示す．



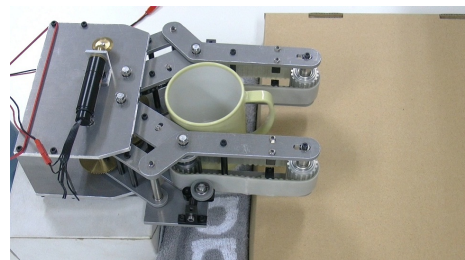
(a)



(b)



(c)



(d)

図 4.6: マグカップの把持実験

アクリル樹脂板、マグカップともに5回中5回、把持と引き込みを行うことができた。

パンチの把持も多くの場合把持することができた。だが、向きによっては出っ張りがグリップ先端に引っかかり、把持はできて引き込めないことがあった。ハンマーの場合も向きによっては把持できないことが多かった。図4.7に示すように重心が下にあると把持できることが多かったが、上にあるとハンマーが把持点を中心に回転し、うまく引き込めなかった。



図 4.7: ハンマーの配置（重心が下にある場合）

4.3 シート状、布地物体の把持

実験方法を述べる。モータへの入力、表4.4に示した安定化電源を用いて5.0 [V]の一定電圧を印加する。回転抵抗調節機構の角度は、 $\theta_{Tb} = 0$ [deg]に設定する。

以上の条件で、2種類の把持方法を検証する。把持方法1での初期位置を図4.8に、把持方法2での初期位置を図4.9に、把持手順を以下に示す。

- 方法1

1. グリップを開いた状態で、ベルト部分を対象物に押し当てる。
2. グリップのスイッチを入れ、ベルトの回転によって対象物を引き込む。
3. 十分に対象物が引き込めたらグリップを対象物から離していき、グリップを閉じていく。
4. グリップが閉じたらスイッチを切る。

- 方法2

1. グリップのスイッチを入れ、グリップを閉じた状態でベルトを回転させる。
2. ベルト部分を対象物に押し当てる。
3. 十分に対象物が引き込めたらグリップのスイッチを切る。

ただし、方法1の手順3と方法2の手順2において、実際にはグリップが移動することを想定しているが、実験では対象物側を動かしている。これはグリップを安定させるために、土台を固定しているためである。

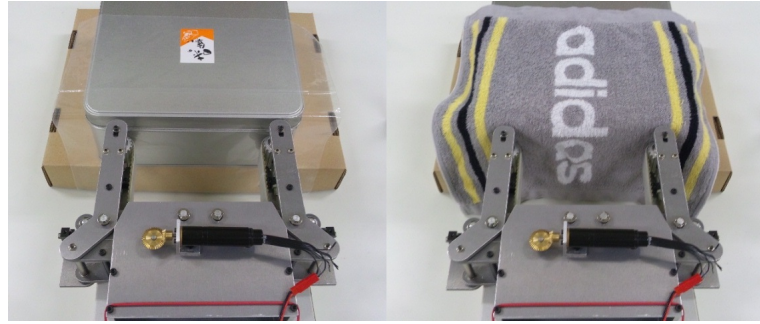


図 4.8: 方法1でのシート状対象物の初期位置

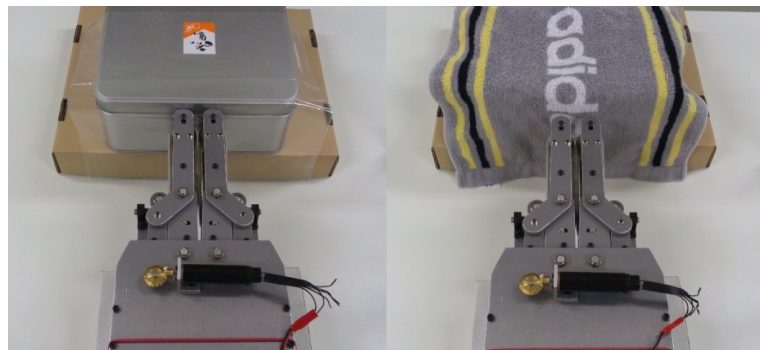


図 4.9: 方法2でのシート状対象物の初期位置

これらの2つの実験方法を、各対象物に対して5回行う。

実験結果を述べる。方法1でのスポーツタオルを把持し、引き込む実験の様子を図4.10に、方法2での様子を図4.11に示す。

スポーツタオルを用いての実験において方法1, 方法2ともに5回中5回、把持することができた。ビニールシートを用いての実験において方法2では失敗なく把持することができたが、方法1では5回中2回、引き込みすぎてグリップ根元のギアにビニールシートが挟まってしまった。



(a)



(b)



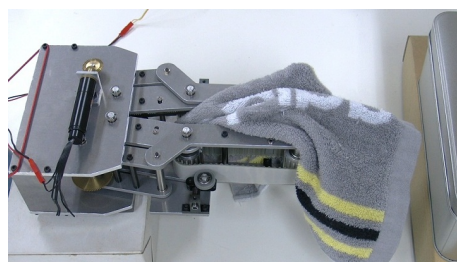
(c)



(d)



(e)



(f)

図 4.10: 方法 1 でのスポーツタオル把持



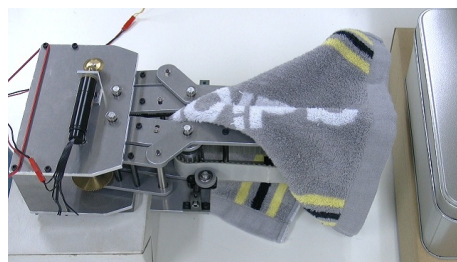
(a)



(b)



(c)



(d)

図 4.11: 方法 2 でのスポーツタオル把持

4.4 柔軟物体の把持

実験方法を述べる．モータへの入力値は，表 4.4 に示した安定化電源を用いて 5.0 [V] の一定電圧を印加する．

以上の条件で，まず紙コップを把持する．回転抵抗調節機構の角度を $\theta_{Tb} = 0$ [deg] と $\theta_{Tb} = 60$ [deg] の 2 通りに分け，紙コップの形状の変化を見る．紙コップの把持はそれぞれ 5 回行う．

次にコイルバネの把持を行う．回転抵抗調節機構の角度は $\theta_{Tb} = 0, 30, 45, 60, 90$ [deg] の 5 通り行い，定めた位置でのコイルバネの長さを測定する．測定には定規を使用し，グリッパ把持部に定規を固定することによって行う．コイルバネの把持は，各角度に関して 5 回行う．

実験での紙コップとコイルバネの初期位置を図 4.12 に示す．

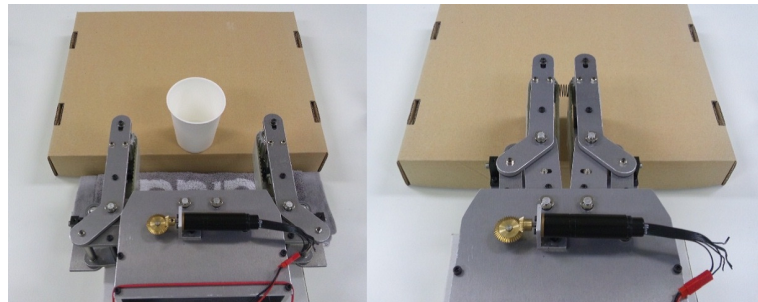
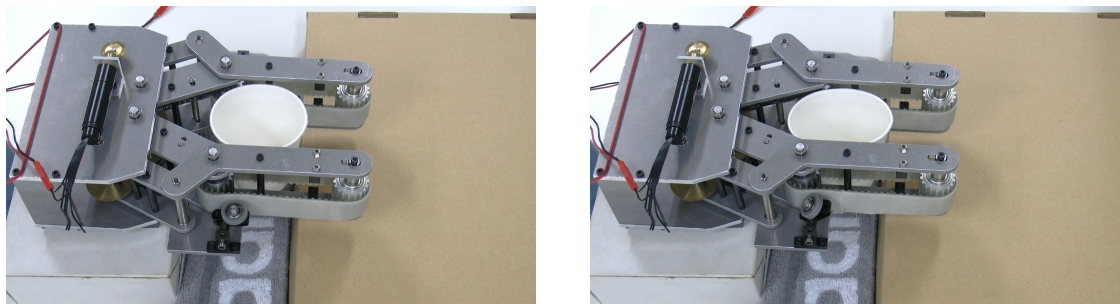


図 4.12: 柔軟物体対象物の初期位置

実験結果を述べる．紙コップを把持し，引き込む実験の様子を図 4.13 に示す．図 4.13(a) は $\theta_{Tb} = 0$ [deg] のとき，図 4.13(b) は $\theta_{Tb} = 60$ [deg] のときのものである．



(a) $\theta_{Tb} = 0$

(b) $\theta_{Tb} = 60$

図 4.13: 紙コップの把持実験

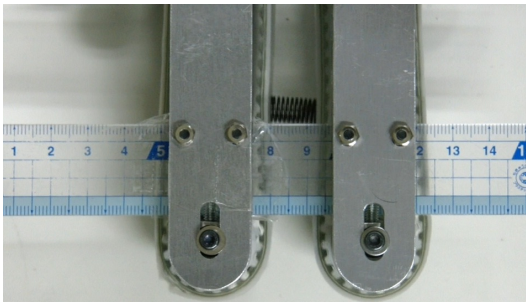
10 回中 6 回は把持と引き込みを行うことができたが，残りの 4 回では引き込みを行う際に紙コップが傾くことがあった．

コイルバネの把持実験の結果を表 4.5 に示す．また $\theta_{Tb} = 0$ [deg] と $\theta_{Tb} = 90$ [deg] のときのコイルバネの様子を図 4.14 に示す．

表 4.5 より，各長さから求めたコイルバネの力を表 4.6 に示す．

表 4.5: 把持時のコイルバネの長さ

	コイルバネの長さ [mm]				
	$\theta_{Tb} = 0$ [deg]	$\theta_{Tb} = 30$ [deg]	$\theta_{Tb} = 45$ [deg]	$\theta_{Tb} = 60$ [deg]	$\theta_{Tb} = 90$ [deg]
1 回目	12.0	10.0	10.0	10.0	8.0
2 回目	12.5	11.5	10.5	10.5	8.5
3 回目	12.5	11.5	11.0	11.0	8.0
4 回目	12.5	12.0	11.0	10.0	8.5
5 回目	12.0	12.0	11.0	11.0	8.0



(a) $\theta_{Tb} = 0$



(b) $\theta_{Tb} = 90$

図 4.14: コイルバネの把持実験

表 4.6: 把持時のコイルバネの力

	コイルバネの力 [N]				
	$\theta_{Tb} = 0$ [deg]	$\theta_{Tb} = 30$ [deg]	$\theta_{Tb} = 45$ [deg]	$\theta_{Tb} = 60$ [deg]	$\theta_{Tb} = 90$ [deg]
1 回目	3.0	5.0	5.0	5.0	7.0
2 回目	2.5	3.5	4.5	4.5	6.5
3 回目	2.5	3.5	4.0	4.0	7.0
4 回目	2.5	3.0	4.0	5.0	6.5
5 回目	3.0	3.0	4.0	4.0	7.0

4.5 考察

実機実験で行った剛体の把持，シート状，布地物体の把持，柔軟物体の把持に関して考察を行う．

- 剛体の把持

アクリル樹脂板，マグカップともに失敗することなく把持することができた．これにより，章 2.2 で述べた動作が達成できたと思われる．パンチでは，向きによって出っ張りが引っかかることがあったが，ベルトによりパンチの向きが変わり，引き込める場合もあった．対象物に出っ張りがある場合，その部分を直接掴むことで把持できるのではないかとと思われる．ハンマーは，重心が下にある場合は把持することができたが，上にある場合は把持点を中心に回転してしまった．対応としては，グリップが出す把持力を上げる，クローラの摩擦係数を増やすことなどが考えられる．

- シート状，布地物体の把持

スポーツタオルの把持では，方法 1，方法 2 ともに失敗なく把持することができた．対してビニールシートの把持では，引き込むことができたが，行き過ぎてグリップ根元のギアに挟まってしまうということが起こった．原因としては方法 1 の場合，開いた状態で引き込みを行うので，どの程度の引き込み量が良いのか判断が難しかったということが挙げられる．

2つの方法を比較すると，方法 1 では上記のように適切な引き込み量が分かりづらい，グリップを閉じるときに把持部が伸びる分グリップの位置を調節する必要があるなど，いくつか問題がある．また方法 2 ではスポーツタオルのような厚みがあるものは難しいのでは無いかと予想していたが，問題なく引き込むことができた．このことから，シート状，布地物体などの薄い対象物を把持する場合は方法 2 がよいのではないかと考えられる．

- 柔軟物体の把持

図 4.13 を比較すると， $\theta_{Tb} = 0$ [deg] より $\theta_{Tb} = 60$ [deg] の時の方が紙コップがよりへこみ，力が出ていることが分かる．この結果から，回転抵抗調節機構の角度 θ_{Tb} を調節することにより，グリップの出す力が変化すると考えられる．ただ問題点として， $\theta_{Tb} = 0$ [deg] の最も力が弱くなる場合でも，紙コップを変形させてしまうことがある．理由としては， θ_{Tb} が 0 [deg] の場合でもクローラベルトの回転抵抗が大きくなっているということが挙げられる．また，10 回中 4 回，引き込み時に紙コップが傾くことがあった．これは紙コップが台形のため，把持部の上側リンクに接触してしまい，紙コップ上部の移動が妨げられたためと思われる．

表 4.6 を見ると，傾向として θ_{Tb} が大きくなるほどグリップの出す力が大きくなっていることが分かる．しかし，同じ θ_{Tb} でも力にばらつきがあったり，

$\theta_{Tb} = 45$ [deg] と $\theta_{Tb} = 60$ [deg] で出ている力が余り変わらなかったりと、いくつか気になる点もあった。この原因として、ベルトのテンションの変化や、定規での測定による誤差などが考えられる。また、 $\theta_{Tb} = 90$ [deg] を見ると、他の角度と比べて力がとても大きくなっていることが分かる。これは、 $\theta_{Tb} = 90$ [deg] の場合、シリコンタイヤがタイミングプーリ（大）の位置と合わさり、押し付ける力が大きくなったためと思われる。

第5章 結論

5.1 まとめ

本論文では、まず現在のロボットハンドの状況と問題点について述べ、その解決策のひとつとして今までに開発されたロボットグリップを紹介した。

そして、開発した引き込み動作を有するロボットグリップの動作原理、出力の流れ、構造や機構の意味について解説した。またその動作のために必要なパラメータに関して静力学モデルから求めた。

次に、実際に製作したロボットグリップを用いて、動作原理を確認し、その有効性を検証した。

5.2 今後の課題

開発したロボットグリップに関して、いくつか問題点があったので、その課題と改善策について述べる。

- 把持力の維持

現在の機構では、対象物の引き込み後に、把持力を維持し続けることが難しい。モータを回し続けると、把持力は維持されるが、シート状の対象物だと引き込みすぎてギアに巻き込まれてしまう。モータを停止すると、把持力が弱くなってしまう。

対策としては、把持機構に平行リンクではなくボールねじなど、モータを停止しても把持力が維持できる機構にすることが考えられる。ただその場合、モータからクローラベルトへ回転を伝える機構を考える必要がある。

- 平行リンクの問題点

現在は、把持機構に平行リンクを用いており、把持するときに把持部先端が前にのびる。それによりグリップを閉じ始める位置が難しいという問題がある。前章でも述べたように、シート状の物体を把持しようとしたときに、開いた状態で対象物に接触させると（方法1）、グリップを閉じながら移動させる必要がある。

また平行リンクだとグリップが地面に対して向きが変わってしまうと、把持部の回転に必要なトルクが変わってしまうということがある。

なので、これらの点から把持機構として平行リンクではなく別の機構がよいと思われる。

- ベルトの回転に必要なトルク

3章で考えた静力学では、ベルトに対象物が接触していないとき、ベルトの回転に必要なトルクは0として考えていた。ところが、実際に作成した実機を見てみると、ベルトの回転にそれなりの力があることが分かった。またベルトのテンションによっても必要なトルクが変わっているように思えた。そのために、予想した把持力より実際の把持力が大きくなったと考えられる。

そのほかにも、4章で述べたシートが歯車に挟まってしまう、対象物の幅が（台形など）一定でない場合上下のリンクに接触してしまう、重量があるのでロボットアームにつけようとする軽量化が必要といったことが挙げられる。

謝辞

本研究の遂行に当たり多大なご指導を下された立命館大学理工学部馬書根教授に深く感謝の意を表します。また、研究において御助言を下さいました同研究室前田浩一教授、同学部野方誠准教授に厚く謝意を申し述べます。そして、ゼミなどにおいて御意見を下された同研究室内の皆様に深く感謝致します。最後に、実験装置の製作にご協力下さいました同大学工作センター職員弓山都志夫氏、山植肇氏、杉本弘之氏に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- [1] 山本広志, 岩本太郎: “超音波モータを用いた 3 自由度グリッパ”, 日本ロボット学会誌, vol.7, no.5, pp.118, 1989.
- [2] 飯倉省一, 番場弘行: “マスタースレーブマニピュレータ用の 2 自由度ハンド”, 日本ロボット学会誌, vol.7, no.5, pp.116, 1989.
- [3] 永田和之: “指先に回転テーブルを有するハンドによるマニピュレーション”, 日本ロボット学会誌, vol.12, no.1, pp.140–148, 1994.
- [4] 蒲谷崇, 柿倉正義: “布地物体のハンドリングに関する研究”, 日本機械学会論文集 (C 編), 64 巻, 620 号, pp.240–245, 1998.
- [5] Clément Gosselin, Thierry Laliberté: “Underactuated Versatile Gripper for the Cleaning of Nuclear Sites”, *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2010 1st International Conference on*, pp.1–6, 2010.
- [6] Thierry Laliberté, Lionel Birglen, Clément M. Gosselin: “Underactuation in robotic grasping hands”, *Machine Intelligence & Robotic Control*, vol.4, no.3, pp.1–11, 2002.
- [7] Lionel Birglen, Clément M. Gosselin: “Force Analysis of Connected Differential Mechanisms: Application to Grasping”, *The international Journal of Robotics Research*, vol.25, no.10, pp.1033–1046, 2006.
- [8] 石塚康孝, 小金澤鋼一: “複合遊星ギアを用いたロボットフィンガの新機構”, 日本ロボット学会誌, vol.26, no.6, pp.699–710, 2008.

付録 A 製作したロボットグリッパの製図

開発した引き込み動作を有する劣駆動ロボットグリッパの組み立て図を示す。
本研究で開発したロボットグリッパの平面図を図 A.1 に、断面図を図 A.2, A.3, A.4, に示す。

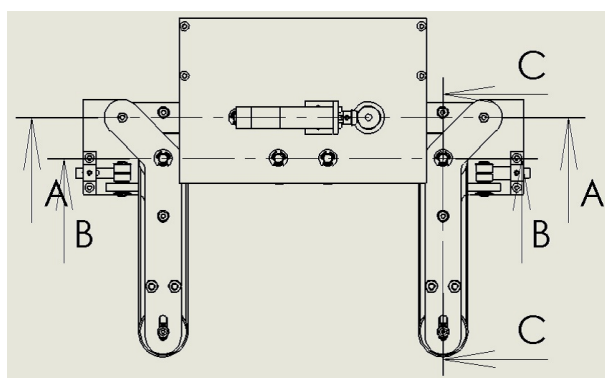


図 A.1: ロボットグリッパの平面図

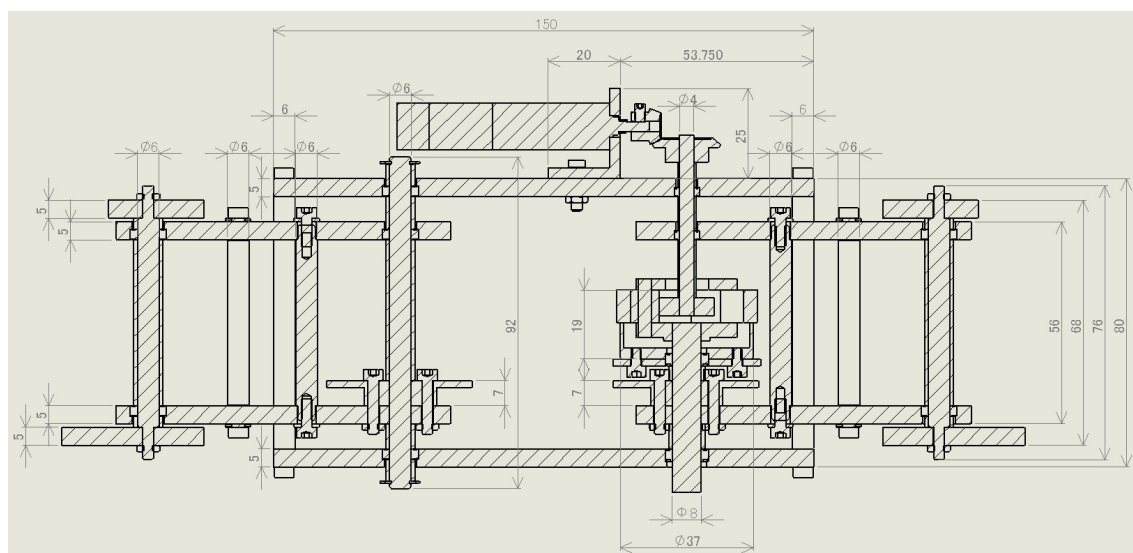


図 A.2: ロボットグリッパの断面図 A

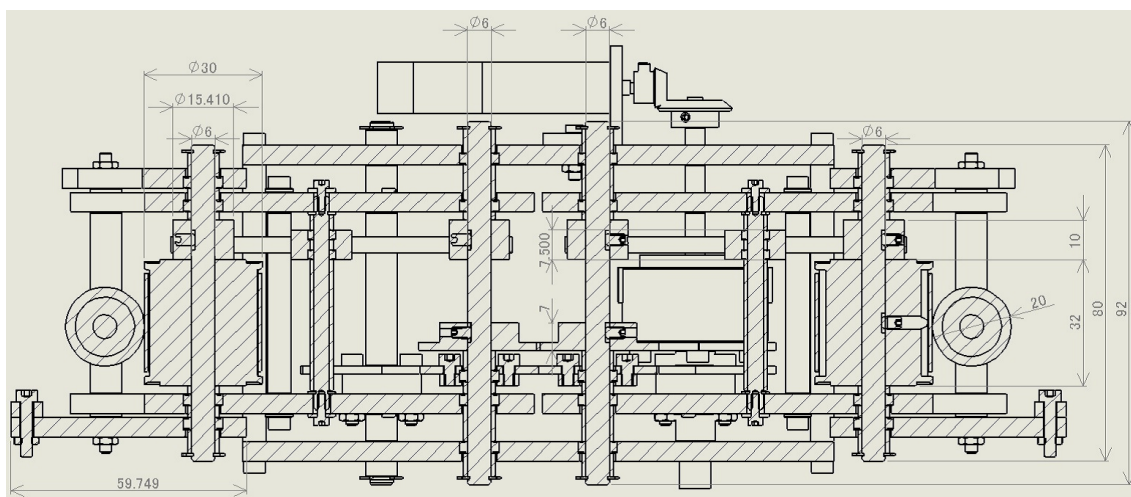


図 A.3: ロボットグリッパの断面図 B

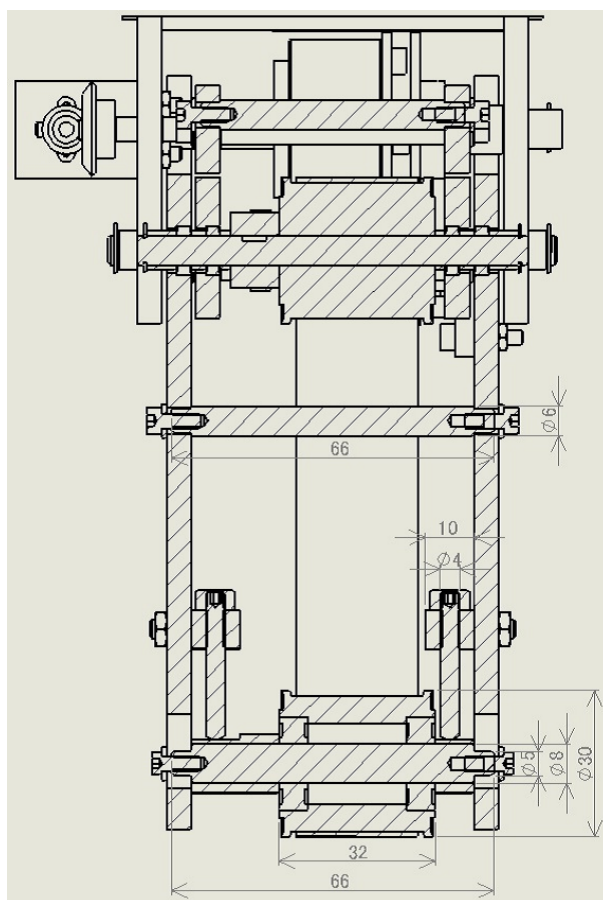


図 A.4: ロボットグリッパの断面図 C