

Title	螺旋軌道を用いた二次元および三次元測位装置の開発
Author(s)	野口, 尚人
Citation	
Issue Date	2012-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/10428
Rights	
Description	Supervisor: 丁 洛榮, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

螺旋軌道を用いた
二次元および三次元測位装置の開発

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

野口 尚人

2012 年 3 月

修 士 論 文

螺旋軌道を用いた 二次元および三次元測位装置の開発

指導教官 丁 洛榮 教授

審査委員主査 丁 洛榮 教授
審査委員 浅野 文彦 准教授
審査委員 吉高 淳夫 准教授

北陸先端科学技術大学院大学
情報科学研究科情報科学専攻

1010047 野口 尚人

提出年月: 2012 年 2 月

概 要

本研究では，ロボット等が環境や障害物を検出することに用いる三次元測位装置を，従来の手法や機構とは異なる単純な構造と螺旋軌道により走査する機構を考案する．そして，低コストや小型化を見込むことが出来る汎用性の高い三次元測位装置を開発することを目的とする

第1章 はじめに

1.1 背景

近年，センサを用いて外部環境を測位し，障害物や構造体の検出を行うシステムや装置は，数多く研究開発されている．応用範囲は，ロボットや自動車，警備装置，家電等が挙げられ，今後においても様々な装置がより高度化するための核となる技術である．NASA による惑星探査機（図 1.1）では，外部環境の情報取得のために様々なセンサが搭載され，測位等を行っている．全く未知の環境での自律運用を行うためには外部環境の測位は不可欠である．また，東日本大震災後の福島第一原子力発電所では，事故後の調査のために千葉工業大学が開発した災害対応ロボットである「Quince」（図 1.2）が投入された．このロボットにも多数のセンサが搭載され，三次元測位による三次元マップの生成や線量の測定などを行っている．他の機関や会社で開発されているロボットもレーザーセンサを搭載し，外部の環境を測位することに積極的である．ロボット以外にもセコムの屋外侵入監視センサ（図 1.3）では，レーザーセンサにより，外部を測位することで侵入者を監視する．富士重工業製の自動車に搭載された先進運転支援システム「EyeSight」（図 1.4）は，ステレオカメラにより前方の状況を認識し，事故や衝突の回避を支援する．

このように，ロボット等が，実環境下において高度なオペレーションを行うには，外部環境の情報を取得することは欠かすことができない．しかし，狭い範囲の情報や，平面的な二次元情報では，取得していない範囲が多すぎるために，詳細な障害物の検知や環境の認識を実現できることが困難となる．従って，三次元の広範囲な情報を取得することは，重要な要素となる．

測定手段となるセンサには，必ず検出範囲の制限から生じる死角が存在し，単体のセンサによって広範囲の測位を実現することは困難である．そこで，検出範囲を拡張するための従来の技術として，複数個のセンサを搭載することで検出範囲を補う手法や，モータ等のアクチュエータを用いた可動機構を付加し，センサを可動させることによって広範囲の測位に対応している．これらは主に二次元測位における技術であるが，三次元の測位においても同様に，従来の手法を用いて検出範囲の三次元化を実現している．



図 1.1: 惑星探査機



図 1.2: Quince



図 1.3: 屋外侵入監視センサ

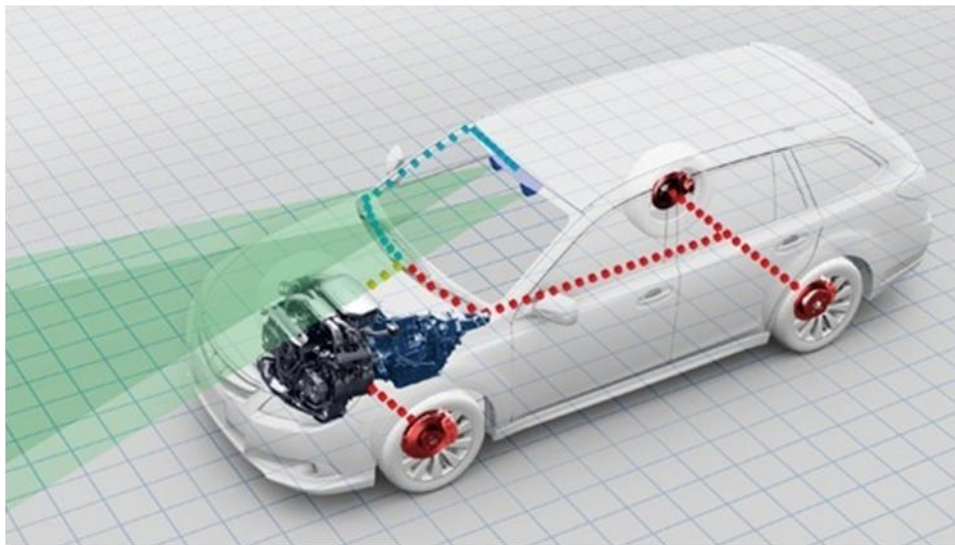


図 1.4: EyeSight システム

1.2 目的

本研究では，三次元空間を従来の手法や機構とは異なる単純な構造と螺旋軌道により走査し測位する機構を考案する．そして，低コストや小型化を見込むことが出来る汎用性の高い三次元測位装置を開発することを目的とする

第2章 従来技術と関連研究

2.1 センサの特性

三次元の測位や外部環境の認識のために使用されるセンサは、様々な種類のものが研究開発され流通しており、それぞれに異なった特性がある。代表的な物としては、レーザセンサ、赤外線センサ、超音波センサが挙げられ、それぞれには距離や対象物によって得意とする用途があることから、条件に応じて使い分けることが必要とされる。レーザセンサは指向性および分解能が高く、遠距離にある物体の検出も可能であるが、検出結果が検出対象の表面色や材質の影響を受けやすい性質をもっている。近年には、レーザセンサを利用した 2 次元の測位が可能な北陽電機株式会社製の測域センサ（図 2.1）も広く採用されている。赤外線センサは、廉価に外部環境の計測を実現することができ、赤外線 の特性として生体の検出なども可能である。しかし、遠距離を検出することは難しく、分解能も低い特性を持つ。超音波センサは、ガラスを始めとした透明な物体や、表面の光沢や鏡面による影響を受けずに対象を検出することが可能である。反面、温度による誤差を考慮しなくてはならず、また、柔らかい物体の検出も不得手である。どのセンサにも共通していることは、検出範囲による制限があることから、センサ単体による三次元測位は困難である。表 2.1 に代表的なセンサの検出範囲を示す。

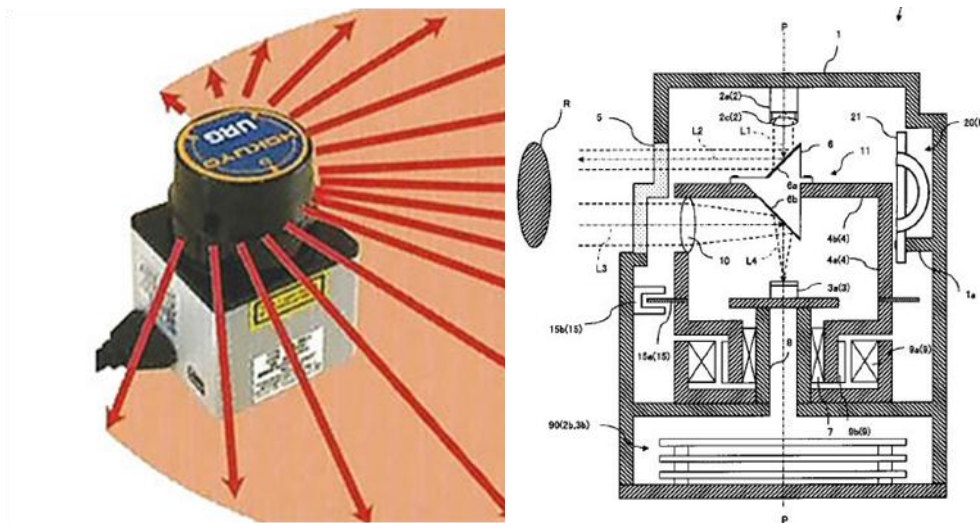
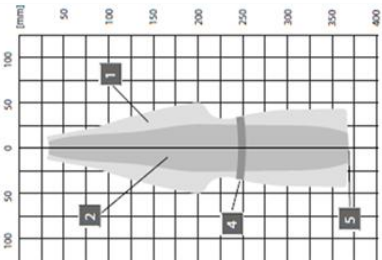
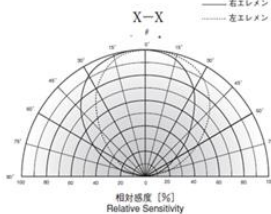
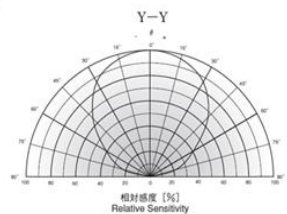


図 2.1: 測域センサ

表 2.1: センサによる検出範囲の差

レーザセンサ	超音波センサ	
		
赤外線センサ		
		

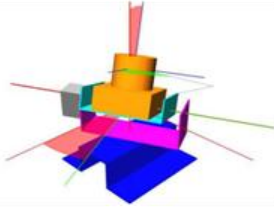
2.2 三次元測位に関する従来の技術

三次元の測位を実現することで、広範囲における周囲の環境や障害物の検出が期待できることから、従来から様々な方法で三次元の測位は実現されている。センサアレイを用いるなど複数のセンサを搭載する方式は、センサの配置や数を調整することによって、それぞれのセンサの死角を補い合う方法である。同様に、複数のセンサを周状に実装することで検知範囲を全方位とする装置も開発されている。

センサに可動機構を付加することで三次元測位を行う技術として、パンチルト機構によるものが研究されている。パンチルト機構では、センサのヨー角度とピッチ角度を2台のモータによりそれぞれ可動させることによって、任意の位置を走査し三次元走査を実現する。また、2次元測位が可能である測域センサを利用する研究では、センサ自体をもう一台のモータで回転させることによって三次元の測位を行う。

また、カメラと円錐状のミラーを組み合わせた全方位カメラによる三次元の測位も開発されている。ミラーを下方からカメラで撮影することで全方位の映状況を撮影でき、それを画像処理することで三次元の測位を行う。それぞれの特徴をまとめたものを表2.2に示す。

表 2.2: 従来の三次元測位技術

	センサアレイ	パンチルト	全方位カメラ
			
		K. Ohno, T. Kawahara, S. Tadokoro, "Development of 3D Laser Scanner for Measuring Uniform and Dense 3D Shapes of Static Objects in Dynamic Environment," Proc. Of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp 2161-2167, 2008	
特徴	複数のセンサを搭載	搭載されたセンサの ヨー角とピッチ角を変 化させる	カメラとミラーの組み合 わせ
問題点	・最適な位置や配置数 の特定が困難 ・死角が存在 ・センサ同士の連携	・使用モーターが二つ 以上 ・	・死角が存在 ・画像処理が必須

2.3 従来技術の問題点

センサを複数使用して三次元を測位する方法は，搭載するロボット等によって形状や大きさが異なるため，最適な位置や数の検証が困難である．また，搭載する対象に特化した構成となることから，汎用性は低くなる．さらに，レーザーセンサの様な一台が高価なセンサを複数台用いる場合にはコストの面でも現実的ではない．周状にセンサを実装した装置でも，使用できるセンサが限定される問題がある．

機構等によりセンサを可動させることで，三次元を走査する技術の多くは，最低でもヨー角回転用とピッチ角回転用の 2 台のアクチュエータを必要とし，水平より上方の半球状の範囲を検出範囲としている．全周囲の測位を考えた場合には，測位装置を上下に二台搭載する必要があることから，単純に 2 倍の数のモータを用いなくてはならない．しかしながら，搭載重量に制限のある飛行装置や小型ロボット，バッテリーの関係により消費電力に余裕がない場合などでは，条件が厳しく測位装置を搭載することが困難となる．

第3章 考案する装置についての概要

3.1 考案する機構の概念

センサを可動させることで三次元を測位する機構では，装置を構成する部品としてモータが重量やサイズに対して大きな影響を持つ要素となる．従来の研究では，水平より上方の半球にあたる三次元を測位するために最低二つ以上のモータを必要とする．従って，単独のモータにより三次元の測位を実現すれば，測位装置の小型化や軽量化を見込むことができ，様々な装置に搭載することが可能になると考えられる．

従来の二つ以上のモータを用いた装置では，複数の軸に対してそれぞれ独立して制御することで三次元空間の走査を実現している．しかし，単独のモータによって三次元を走査する場合，二軸以上を独立して制御することは困難であり，センサのヨー角度とピッチ角度の二軸を同時に変化させ走査する必要性が生じる．そこで，走査を螺旋状に回転した軌跡で行うことによって，ヨー角度とピッチ角度を同時に連続的に変化させることができ，三次元の空間走査を行うことができる．

螺旋軌道での走査を実現するにあたって，複雑な機構による重量やサイズの増大を回避するために単純な機構にする必要がある．ねじとリンクによる機構は，ねじが持つ螺旋構造を利用し，リンク機構により制御することで，単純な機構の構成で螺旋軌道による走査を実現する．

- ・ 単独のモータによる三次元走査の実現
- ・ 螺旋軌道による走査
- ・ ねじとリンクを用いた単純な機構

これら 3 点が本研究で考案する三次元測位装置における特徴である．

3.2 シミュレーションによる検証

試作機を試作するにあたり，シミュレーションにより考案した機構での三次元の走査が実現可能であるか検証した．このシミュレーションでは，考案した機構と走査軌跡により三次元を走査することができるか検証している．三次元測位装置の設計とモデリングは，SolidWorks を用いて作成し，シミュレーションは Recurdyn を用いて検証した．

シミュレーションによる走査軌跡は図 3.1 と図 3.2 で示されるように，螺旋を描き三次元の空間が走査できることを確認した．

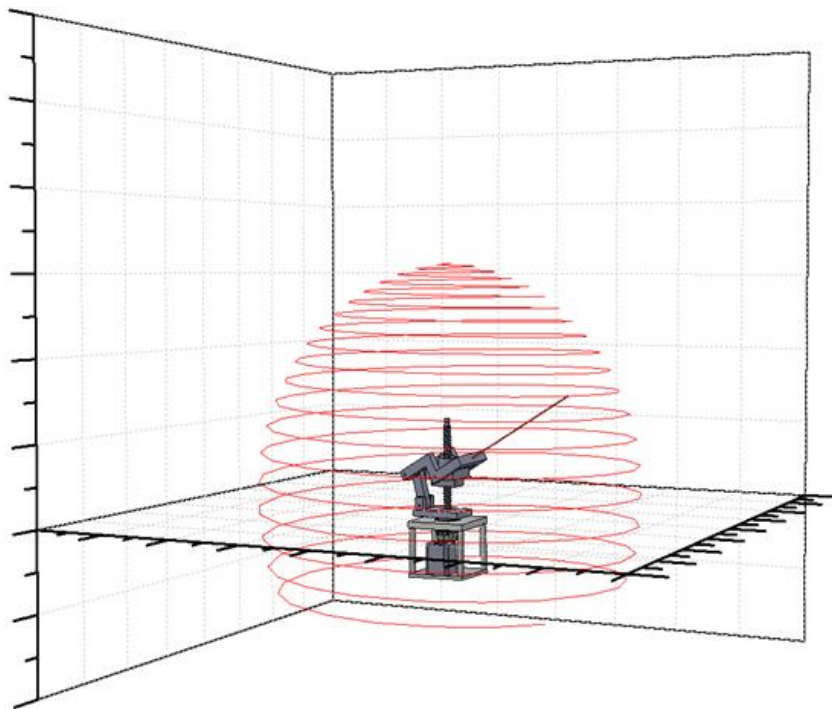


図 3.1: シミュレーションによる軌跡の様子（正面図）

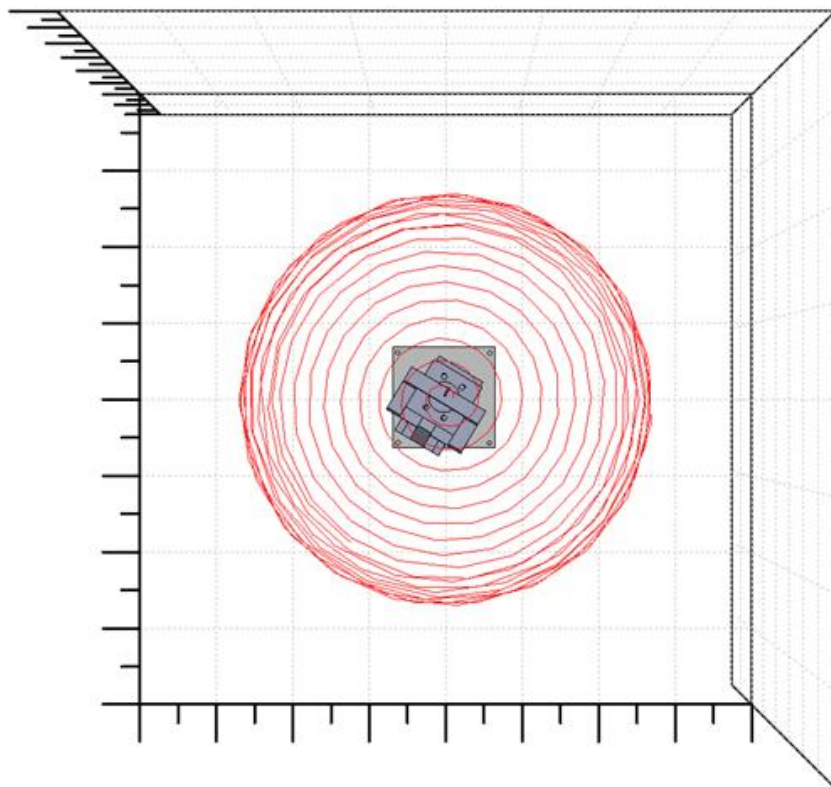


図 3.2: シミュレーションによる軌跡の様子 (俯瞰図)

第4章 三次元測位装置を構成する要素

4.1 三次元走査機構

考案する三次元走査機構は主に、ねじとリンクにより構成されている。SolidWorks により設計したモデリングした組み立て図及び分解図を図 4.1 と図 4.2 に示す。図 4.3 には機構の構成、図 4.4 には伝達経路の詳細を示す。ねじには、回転抵抗の低さにより滑らかな動作が可能な、ボールねじを用いる。ボールねじの軸外径は 12mm、リードは 10mm のものを用いる。リード長より、ねじの一回転あたりの移動量は 10mm である。リンク機構は回転を伴うため、軽量であることが望ましいことから、材料には軽量で機械強度が高く、機械加工性の良いものが好ましい特性を持つ、クアドラントポリペンコジャパン製の MC ナイロンを用いる。その他の部品はアルミ材 A5052P もしくは、A5056 を用いて製作する。

三次元測位装置は、大まかに分別すると 4 つの部品により構成されている。それぞれ、ボールねじのスタッドボルト部分が固定される筐体部、ステッピングモータによる動力を伝達する回転機構部、回転運動を上下動を伴ったものにすると共に、三次元と二次元の切り替えを司る切り替え部、そして、装置を駆動するための動力部である。筐体に固定されたスタッドボルトは、切り替え器と接続されたフランジナットにのみ螺合しており、他の部品とは接触しない。回転機構部にはリンク機構が備えられており、MC ナイロンで製作されたクランクの前端部にセンサを設置する。

装置のパラメータを定義する。装置の寸法とパラメータを図 4.5 により示す。装置はスタッドボルトを中心軸としてフランジに接合されたベースプレートの上面をとの交点を原点とする。スタッドボルトを中心とした角度を θ とする。それぞれの座標を以下の式により求める。

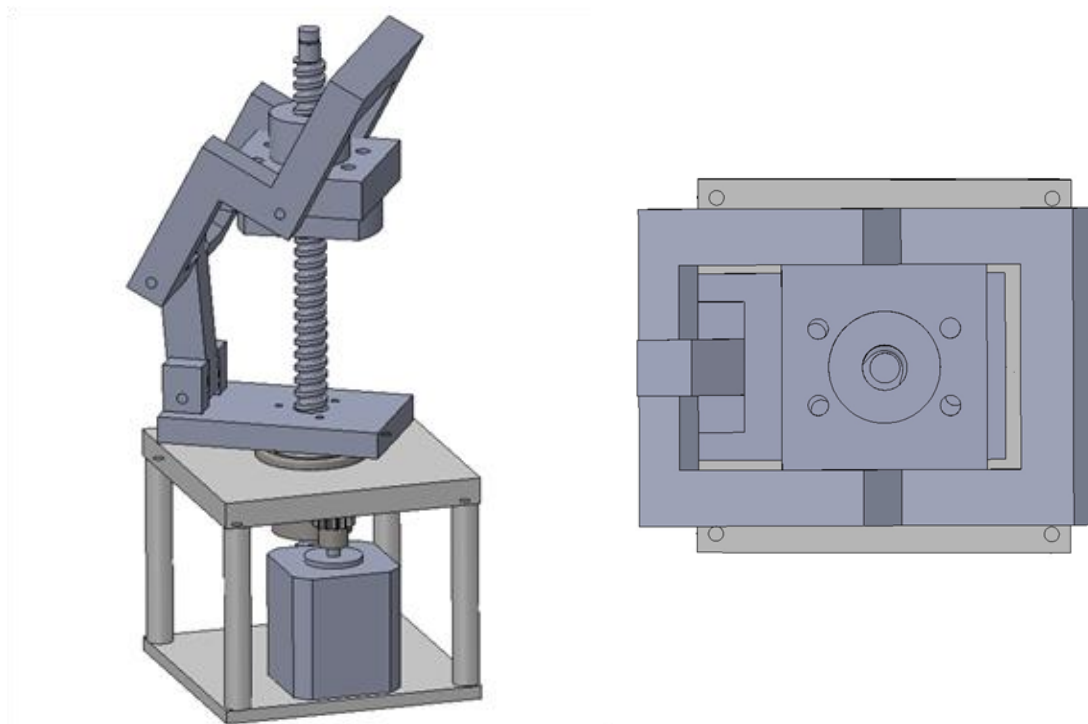


図 4.1: 組み立て図

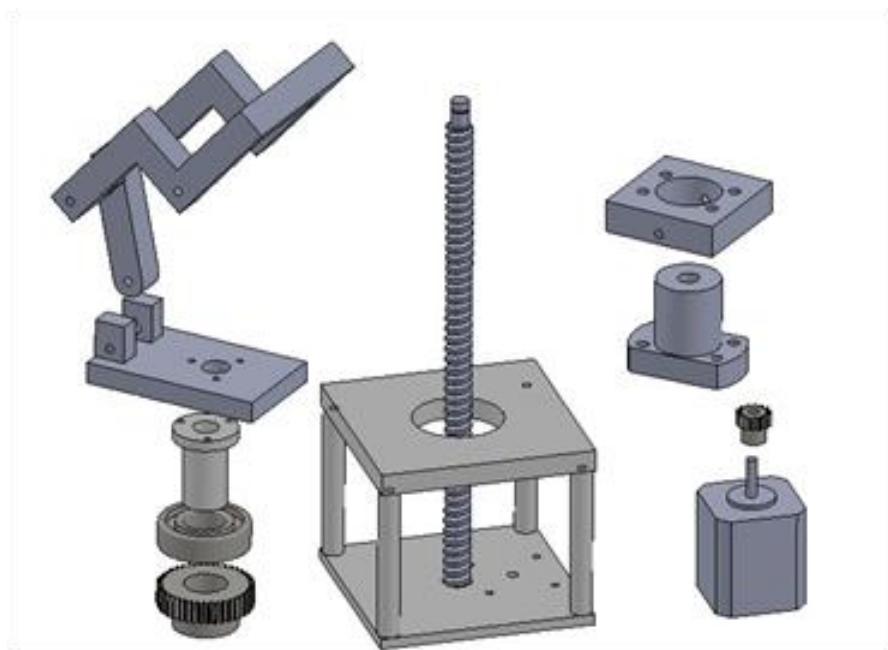


図 4.2: 分解図

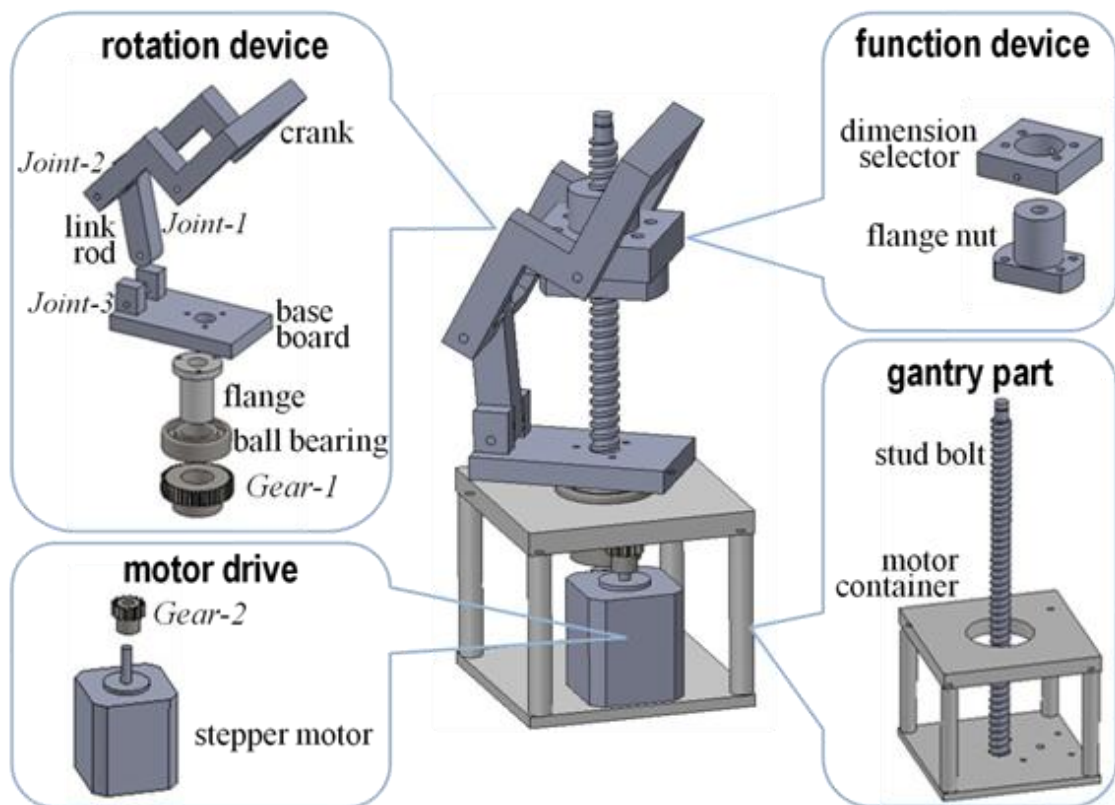


図 4.3 機構の構成

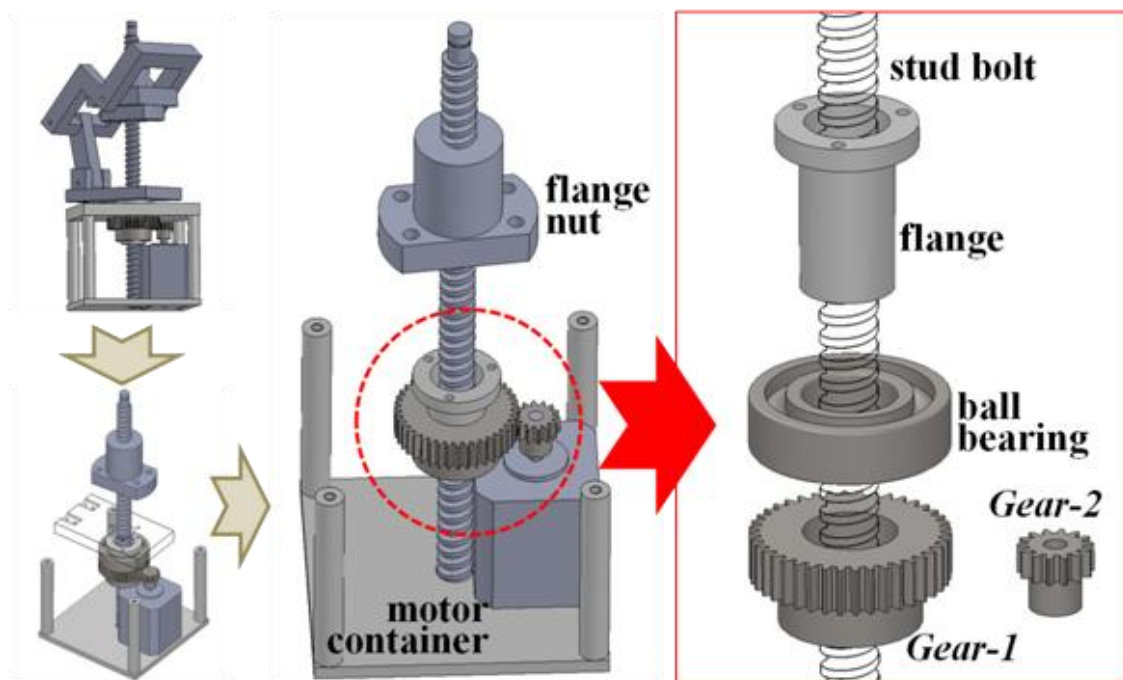


図 4.4 動力伝達部の詳細

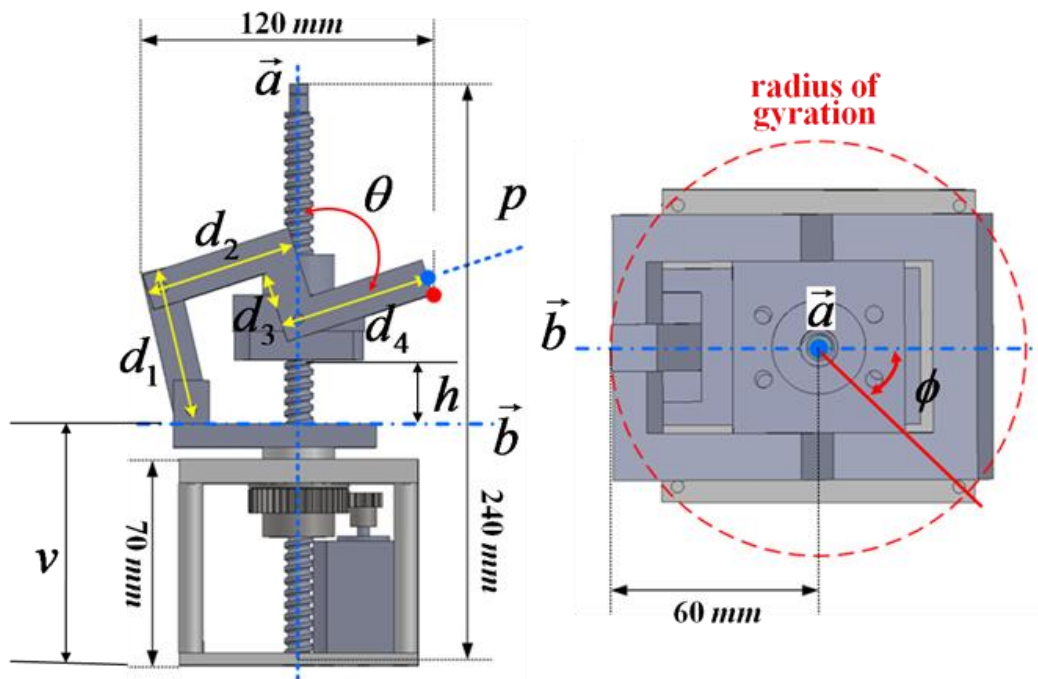


図 4.5: 各パラメータと寸法

- ϕ : アームの回転角度
- θ : ねじとアームの角度
- $d_1 \sim d_4$: 各アームの長さ
- v : 原点までの高さ
- p : 対象までの距離
- h : フランジナットまでの高さ
- o : 原点
- d : アームと測定距離を足した長さ

$$\begin{cases} d = d_4 + p \\ x = d\cos\theta\cos\varphi \\ y = d\cos\theta\sin\varphi \\ z = d\sin\varphi + v + h \end{cases}$$

4.2 螺旋軌道を生成する動作

動力源のステッピングモータの回転力は、ギヤ比 $1 : 0.33$ で構成されたギヤにより減速され、ギヤに固定されたフランジに伝達される。フランジにはベースボードが固定されており、その後端にあるジョイントに軸支されたリンクロッドとそのジョイントを介して、クランク部が可動する。切り替え部は、次元切り替え器とフランジナットにより構成され、次元切り替え器はクランク部のジョイントを介してクランクを軸支している。通常フランジナットと次元切り替え器は固定されているので、次元切り替え器からボールねじのスタッドボルトに回転が伝達され、回転運動は上昇もしくは下降を伴う動作となる。

上昇動作により、フランジナットが上方に移動した場合、ベースボードとフランジナットの間隔が広がり、クランクの前端部はスタッドボルトを中心軸として左右方向への回転動作しながら、次元切り替え器のジョイントを中心として上下方向の回転移動もする。この動作により、先端部に取り付けられたセンサの走査点は、上方に移動ししだいに縮径しつつ螺旋を描く軌跡を通る。この動作による走査範囲は、半球より広い範囲を天頂から走査することが可能となる。図 4.6 に上昇動作の様子を、図 4.7 に下降動作の様子を示す。

この螺旋走査動作は、回転力を与えるだけで三次元走査が可能であるので、図 4.8 に示すように、二台の三次元測位装置を上下に二台搭載し、モータの動力を共有する構成にすれば一台のモータにより三次元の全周囲の走査が可能である。また、クランク部の前端に測定手段のセンサを設置する機構となっているので、サイズが許す限り様々な種類のセンサを用いることができる。動作機構の構成を図 4.9 に示す。

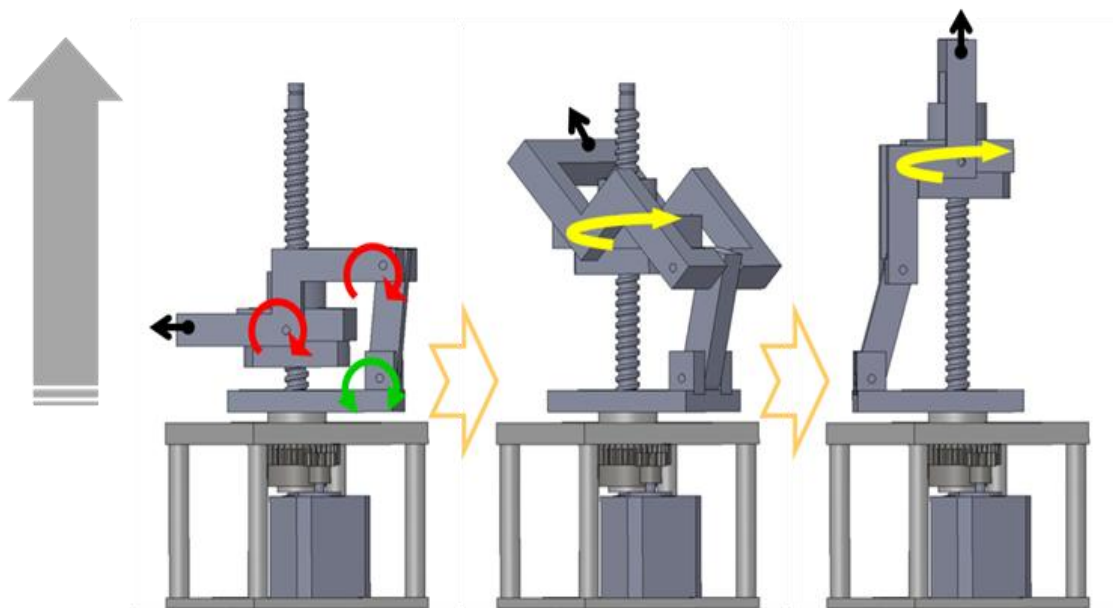


図 4.6: 上昇動作の様子

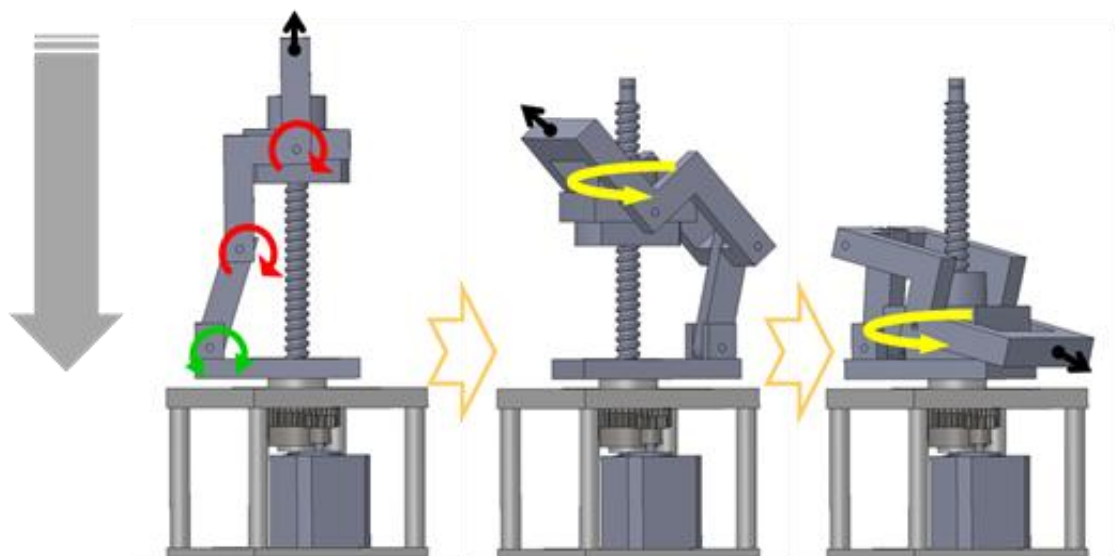


図 4.7: 下降動作の様子

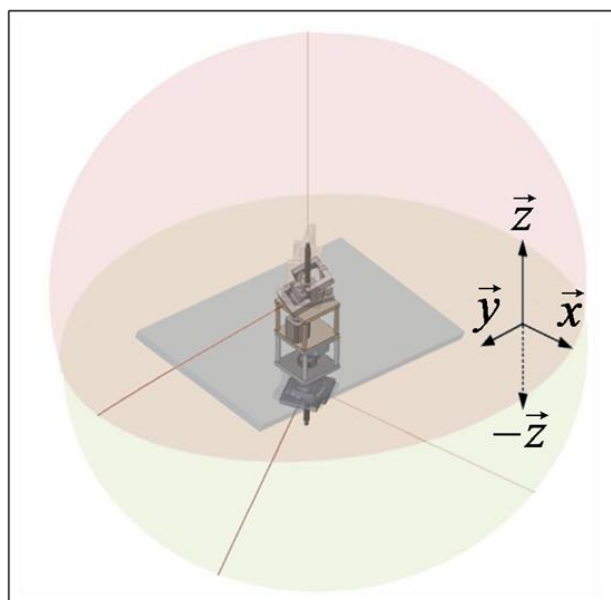


図 4.8: シミュレーションによる軌跡の様子

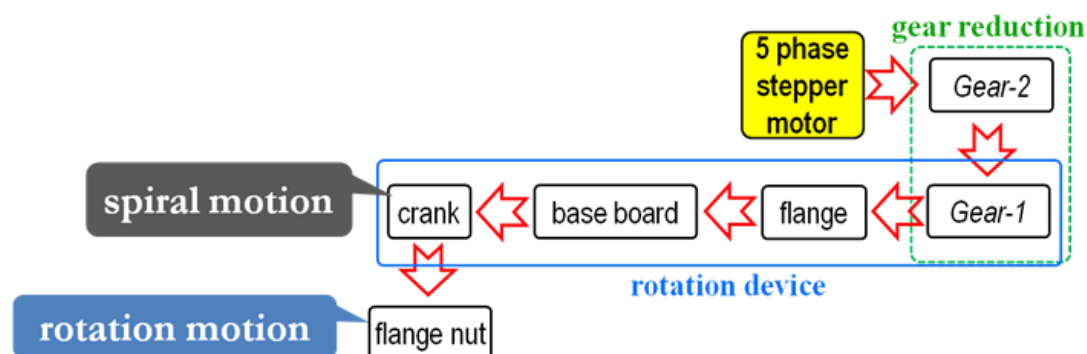


図 4.9: 動作機構の構成

4.3 動力装置

一台のステッピングモータを動力装置として、走査機構を可動する。ステッピングモータは、多摩川精機株式会社製 5 相ステッピングモータ SP5423-2AA0 を用いる。このステッピングモータは、5 相で駆動され、フルステップ動作時にはステップ角 0.72° で動作し、ハーフステップ動作では 0.36° 刻みで回転させることが可能であるので、角度分解能と共に位置決め精度も高い。ステッピングモータを駆動するモータドライバには、同社製の 5 相ステッピングモータドライバ DP500-1200 を用いる。5 相ステッピングモータに特化したドライバにより、ハーフステップとフルステップの双方で駆動が可能である。図 4.10 にステッピングモータの外観図を、表 4.1 にステッピングモータの主要緒元を示す。図 4.11 には伝達の様子を示す。また、図 4.12 にステッピングモータドライバの外観図を、表 4.2 にその主要緒元を示す。

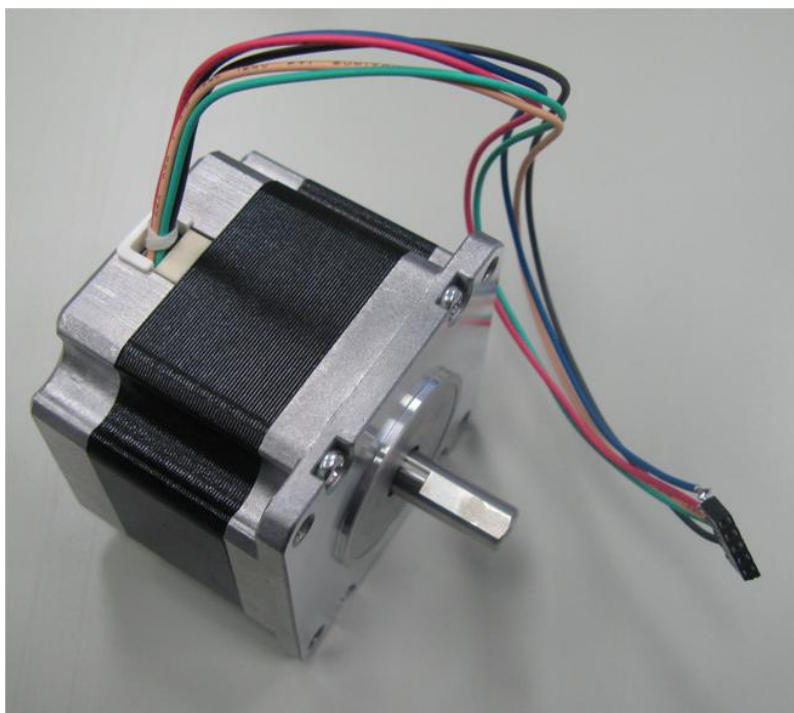


図 4.10: 5 相ステッピングモータ SP5423-2AA0 の外

表 4.1: 5 相ステッピングモータ SP5423-2AA0 の主要緒

メーカー	多摩川精機（株）
型番	SP5423-2AA0
ステップ角 [deg]	0.72
ホールディングトルク [Nm]	0.13
モータ長 [mm]	33
質量 [kg]	0.2
ロータイナーシャ $[\times 10^{-7} \text{kgm}^2]$	35
定格電流 [A/相]	1.4

表 4.2: 5 相ステッピングモータドライバ DP500-1200 の主要

メーカー	多摩川精機 (株)
型番	DP500-1200
電源電圧 [V]	DC20～40
全消費電流 [A]	3 以下
モータ相電流 [A]	0～1.4

4.4 制御回路

制御を行うコントローラでは、モータの制御と PC との通信、センサからのデータ受信、各種スイッチやエンコーダ情報の取得を統合的に行う。制御に用いるコントローラは、Atmel 製の 8bit AVR マイクロコントローラ ATmega328P である。モータの制御では、PWM 制御を用いてモータドライバをコントロールする。メインのコントローラである PC との通信には、RS232C を用いてデータの送受信や三次元測位装置のコントロールを行う。また、回転角の検出にオムロン株式会社製のロータリーエンコーダ E6A2-CW3C を用いており、その信号も処理する。図 4.13 に制御部の構成を示す。図 4.14 に制御基板の外観図を、図 4.15 にロータリーエンコーダの外観図と、表 4.3 に主要緒元を示す。

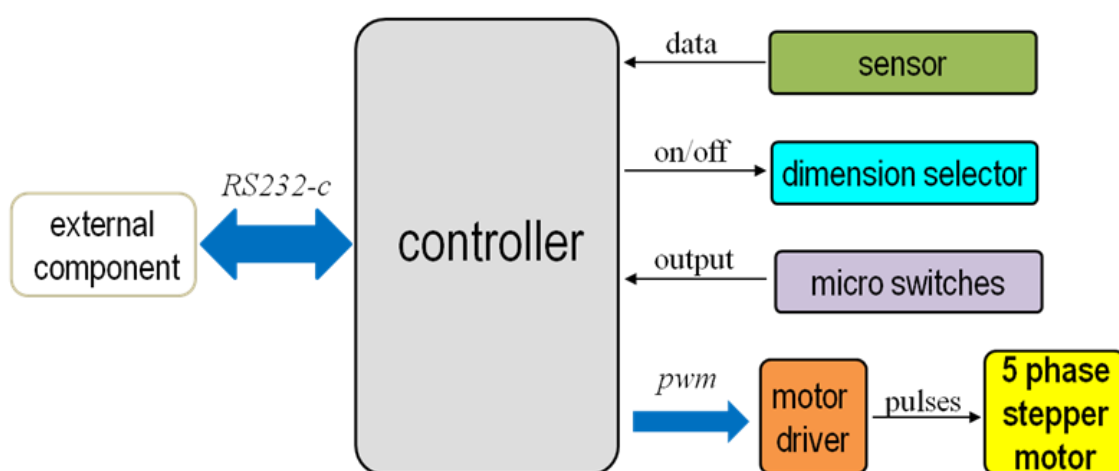


図 4.13: 制御システムの構成

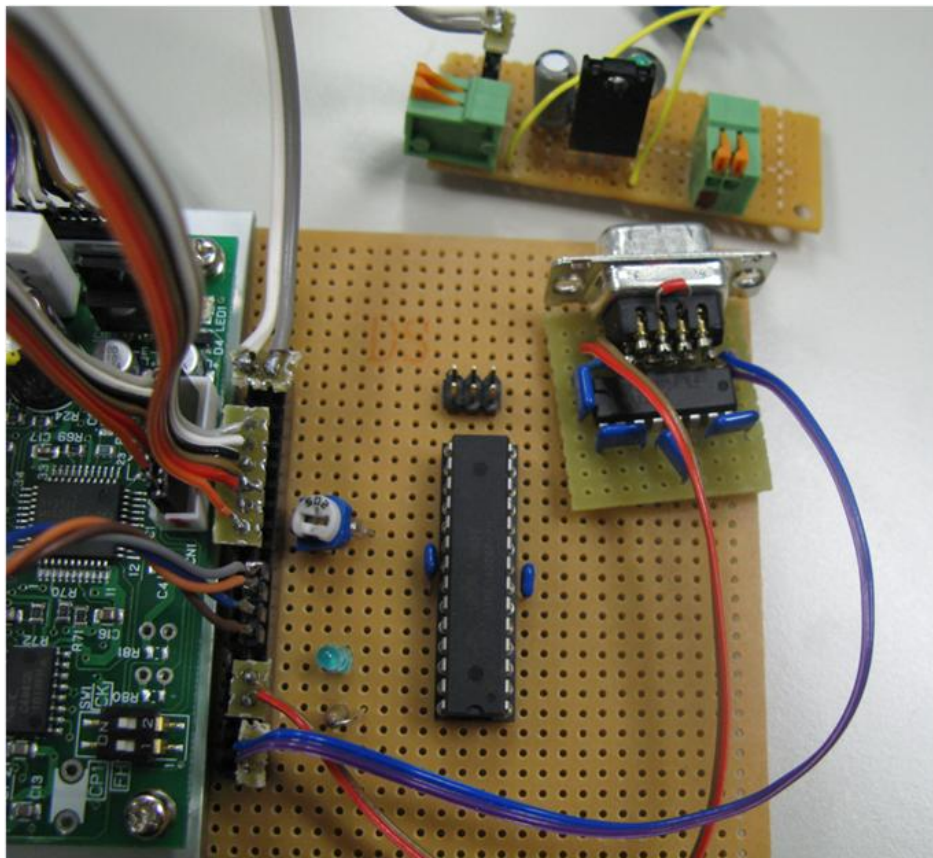


図 4.14: 制御基板の外観



図 4.15:. ロータリーエンコーダの外観

表 4.3:. ロータリーエンコーダの主要緒元

メーカー	オムロン（株）
型番	E6A2-CW3C
分解能 [パルス/回転]	200
電源電圧 [V]	DC 5～12
消費電流 [mA]	30 以下
最高応答周波数 [kHz]	30
質量 [g]	35
ロータイナーシャ [$\times 10^{-7} \text{kgm}^2$]	1 以下

4.5 二次元走査への切り替え機構の考案

4.5.1 切り替え機構の概要

三次元測位を行うことによって、広範囲の情報を得ることができるようになるが、障害物の詳細を確認する場合等状況によっては部分的な範囲を限定的に測位し続けることが望ましい場合もある。しかし、機構によって可動させる形式の測位装置では、一度走査してから同じ部分を走査しなおすまでの遅延時間が構造上存在するため、走査頻度の影響から時間分解能が低下する問題が生じる。そこで、三次元走査と二次元走査を適宜切り替えることによって遅延時間を減少させ走査頻度を向上させることで対応する必要がある。切り替え機構の外観を図 4.16 に、分解図を図 4.17 に示す。この機構は主にフランジナットストッパとバースプリング、ソレノイドにより構成されている。

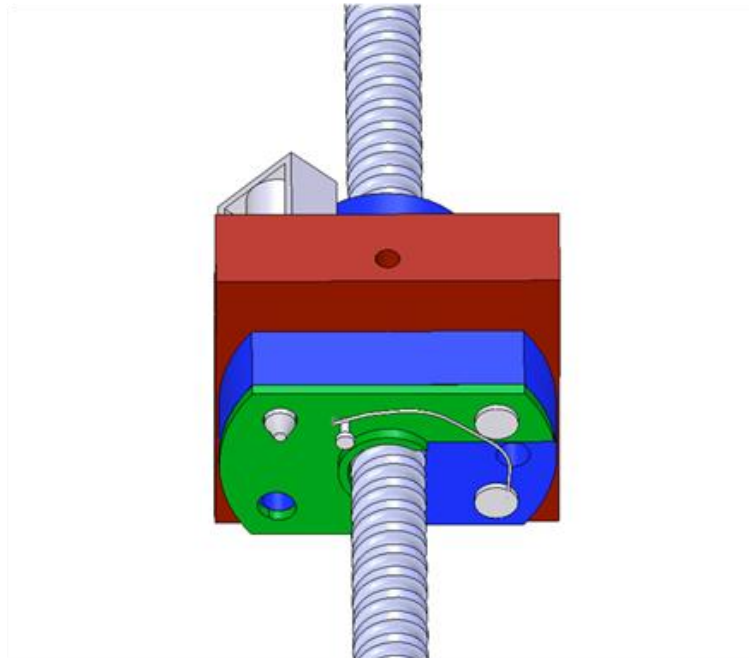


図 4.16: 次元切り替え部の外観

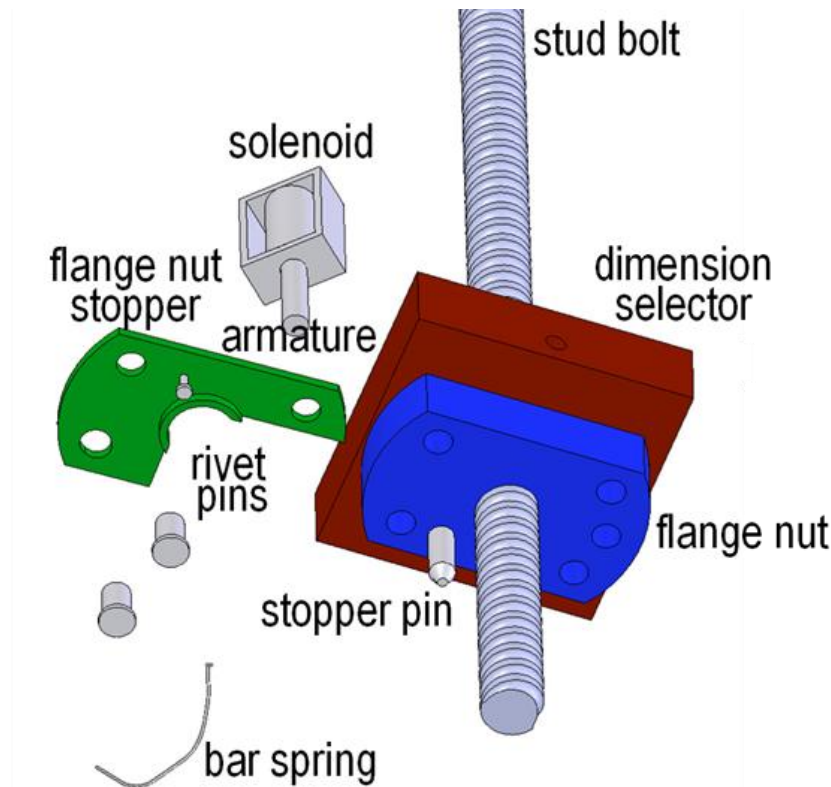


図 4.17: 次元切り替え部の分解図

4.5.2 切り替え機構の動作

考案する二次元の切り替え機構は、ソレノイドとスプリングを用いた単純な機構により動作する。この機構には 2 種類の機能により成り立っており、フランジナットとスタッドボルトを固定する動作をするロック機能と、次元切り替え器とフランジナットを固定する連結機能で構成される。ソレノイドを制御することで、二次元と三次元を逐次切り替える。

通常の三次元走査で動作する状態では、フランジナットと次元切り替え器を固定することで、クランクのジョイントを介して伝えられた回転力をスタッドボルトまで伝達する。ソレノイドの内部に内蔵したスプリングによって可動鉄心は常に押し下げられる力が働いている。可動鉄心が押し下げられことで、次元切り替え器とフランジナットは連動して回転する。フランジナットストップは、フランジナットをスタッドボルトに固定する働きをするが、可動鉄心によりストッパーピンが押し下げられることによりフランジナットストップは解除される。

ソレノイドが通電状態にあるときは二次元走査で動作を行う。ソレノイドによって、可動鉄心が引き上げられるので次元切り替え器とフランジナットの連結が解除される。フランジナットストップはバースプリングにより常にスタッドボルトの方向に力が掛かっている。ストッパーピンは先端部の形状は円錐状をしており、その斜辺部分がフランジナットストップに開けられた穴と摺動する。可動鉄心が引き上げられるとフランジナットストップはバースプリングの

力によりスタッドボルトに固定する方向にわずかに可動すると共に、ストッパーピンは上方に移動する。フランジナットがスタッドボルトに固定されると、次元切り替え器は、フランジナット上を空転する動作を行う。クランクより伝達された回転力はスタッドボルトに伝わらないので、上下動を行わずその場を回転する動作となるため、クランクの先端に取り付けられたセンサは、二次元走査を行う状態となる。

図 4.18 に三次元走査状態を、図 4.19 に二次元走査状態の可動鉄心とストッパーピンの動作によるフランジナットストップの動きを示す。

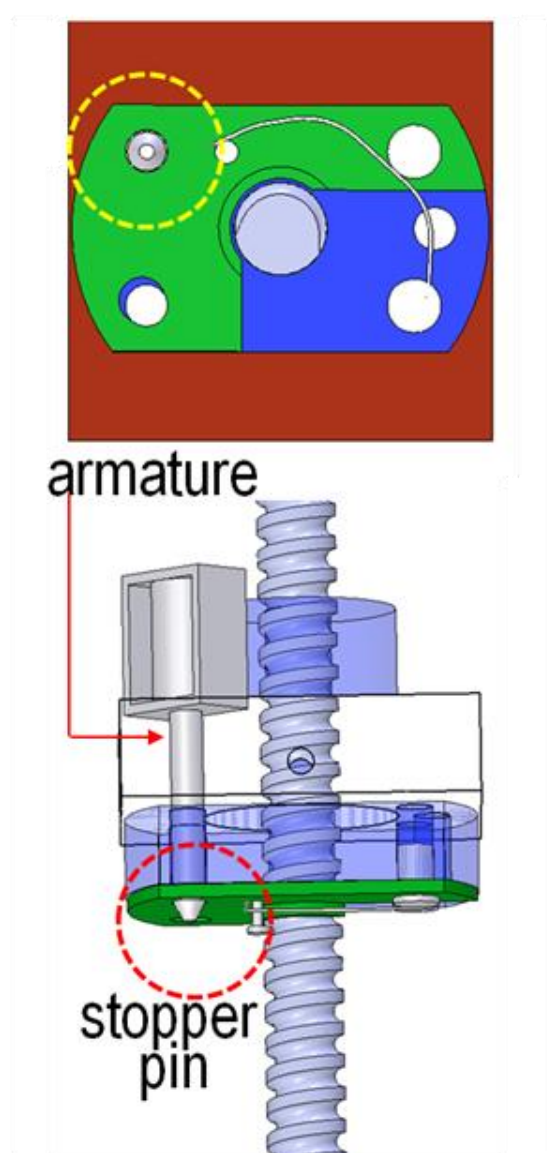


図 4.18: 三次元走査状態の各部品の様子

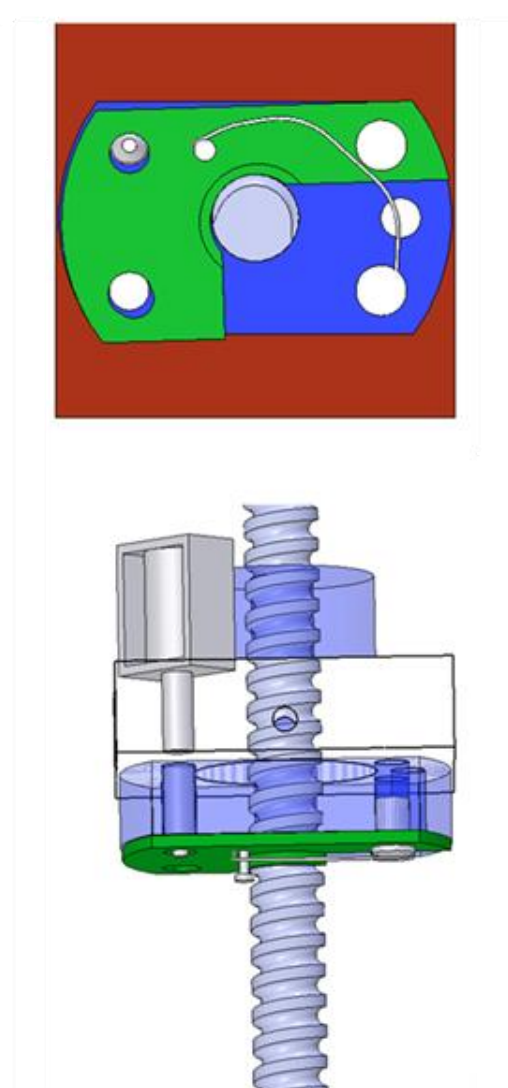


図 4.19: 二次元走査状態の各部品の様子

4.6 搭載するセンサについての概要

4.6.1 レーザセンサの特性

開発した三次元測位装置は、移動ロボットの PIONEER-3DX に搭載して実験することを想定している。そこで、エフエクター株式会社製のレーザセンサ O1D103 を用いる。このセンサは、レーザを利用したセンサで 6mm のスポット径による最長 10m の計測が行える。測位装置に搭載できる小型なセンサかつ、移動ロボットによる移動先の障害物形状や環境認識に必要な検出範囲が備わっていることから、このセンサを選定した。センサの外観を図 4.20 に、主要緒元を表 4.4 に示す。



図 4.20: レーザセンサの外観

表 4.4: レーザーセンサの主要緒元

メーカー	エフエクター (株)
型式	01D103
定格測定範囲 [m]	0.2～10
スポット径[mm]	6 (検出距離 10 m)
サンプリング率[Hz]	1～50
使用電源電圧範囲[V]	DC 18～30
内部消費電流[mA]	150 以下
重量[kg]	0.282

4.6.2 レーザセンサの性能評価

三次元測位装置に搭載するにあたって、レーザーセンサの誤差や特性を検証する実験を行う。レーザーセンサの距離に対する精度を計測するため、500mm ごとに 3000mm までを 20 回ずつ計測する。実験の様子を図 4.21 に結果を表 4.5 に示す。実験結果より、±10mm 以内の測定が可能である。測定環境や誤差を考えると十分な性能と言える。



図 4.21: 実験の様子

表 4.5: 実験結果

距離	3000	2500	2000	1500	1000	500
平均	3.1	5.05	0	1	0.8	3

第5章 試作機による実証

5.1 三次元螺旋機構の動作実験

5.1.1 試作機の動作について

製作した試作機により動作実験を行う．図 5.1 と図 5.2 に試作機の外観を，図 5.3 に試作機の上昇動作の様子を，図 5.4 に下降動作の様子を示す．図 5.5 と図 5.6 には次元切り替え部を示す．

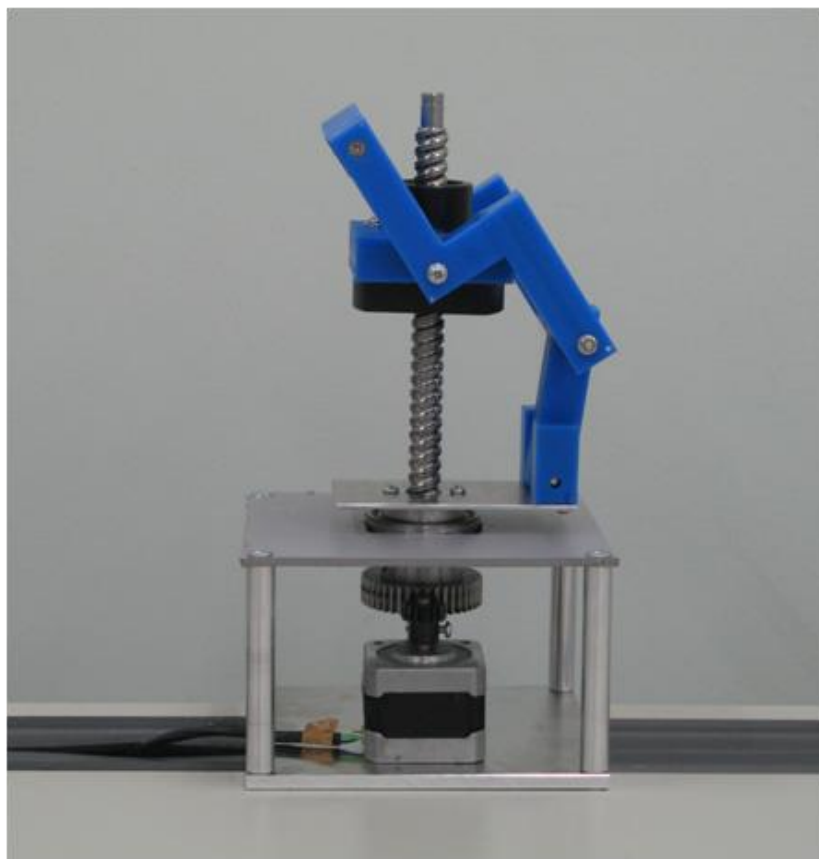


図 5.1: 試作機の外観（正面）

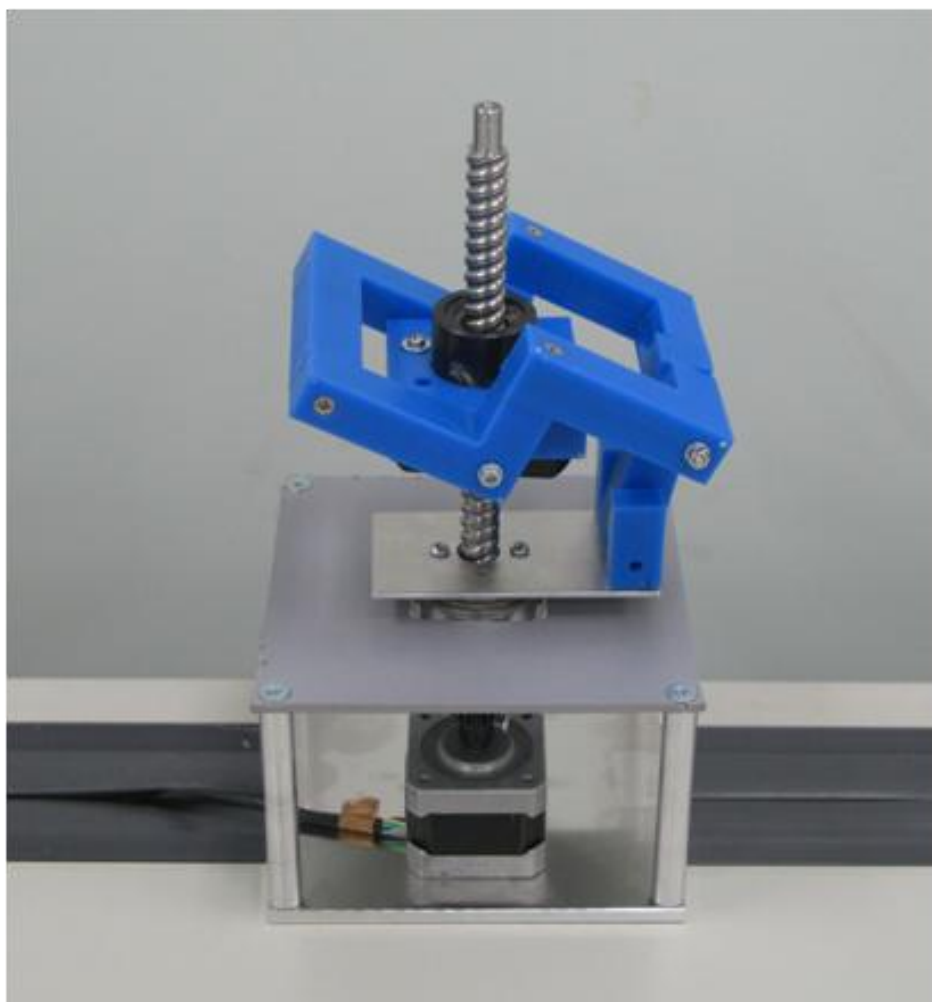


図 5.2: 試作機の外観（俯瞰）

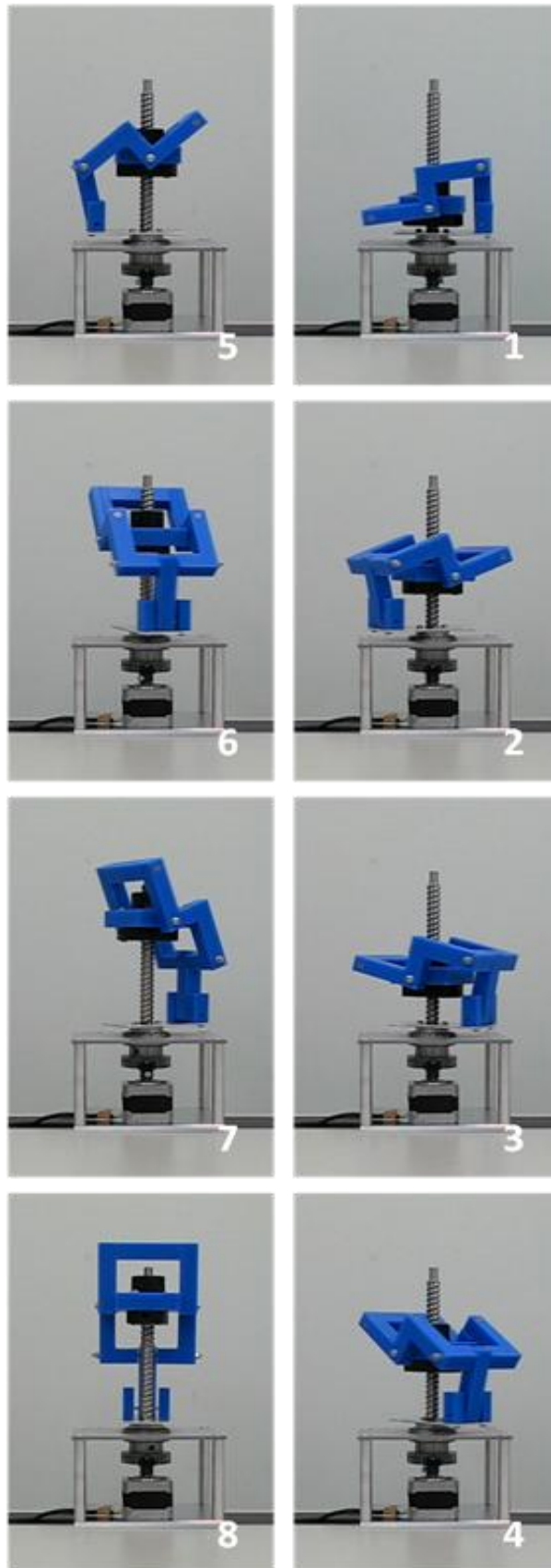


図 5.3: 上昇動作の様子

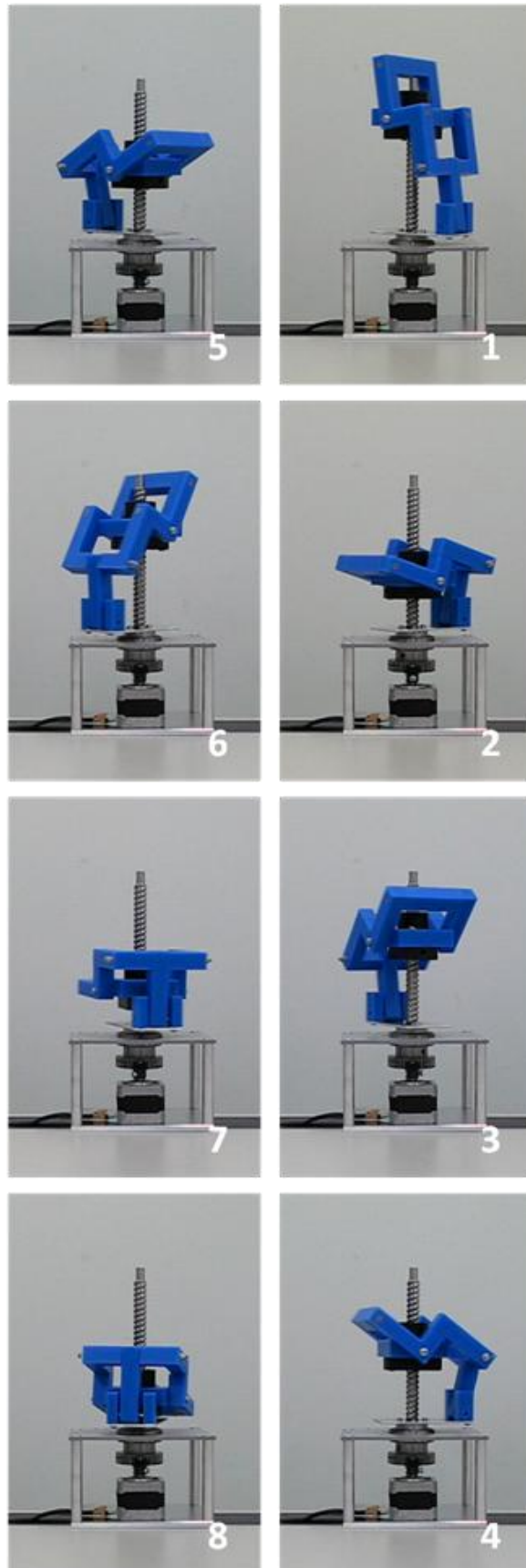


図 5.4: 下降動作の様子

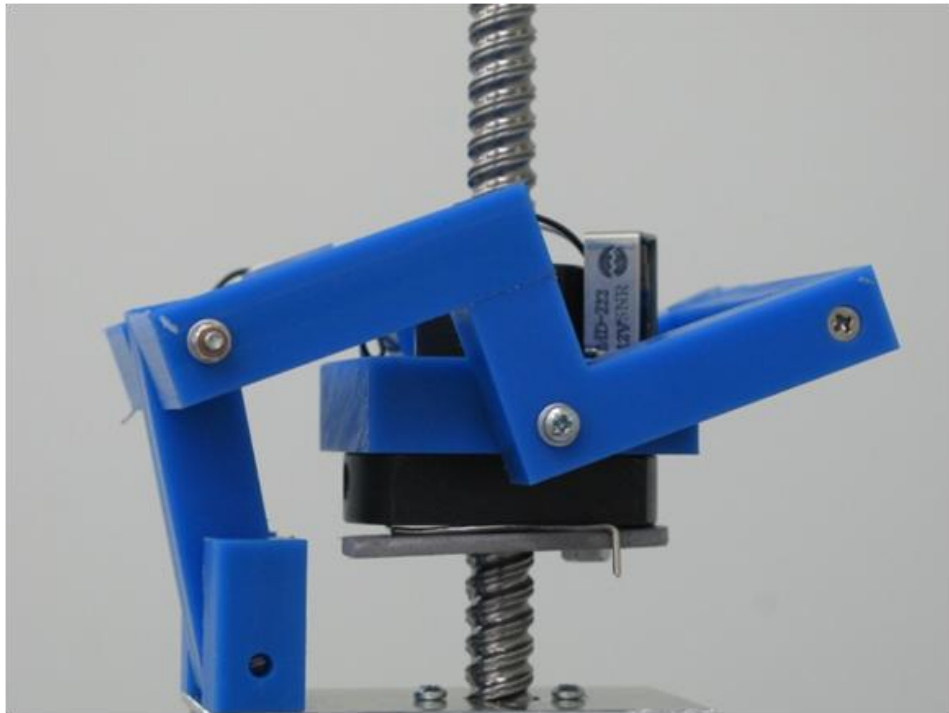


図 5.5: 次元切り替え器の外観（横）

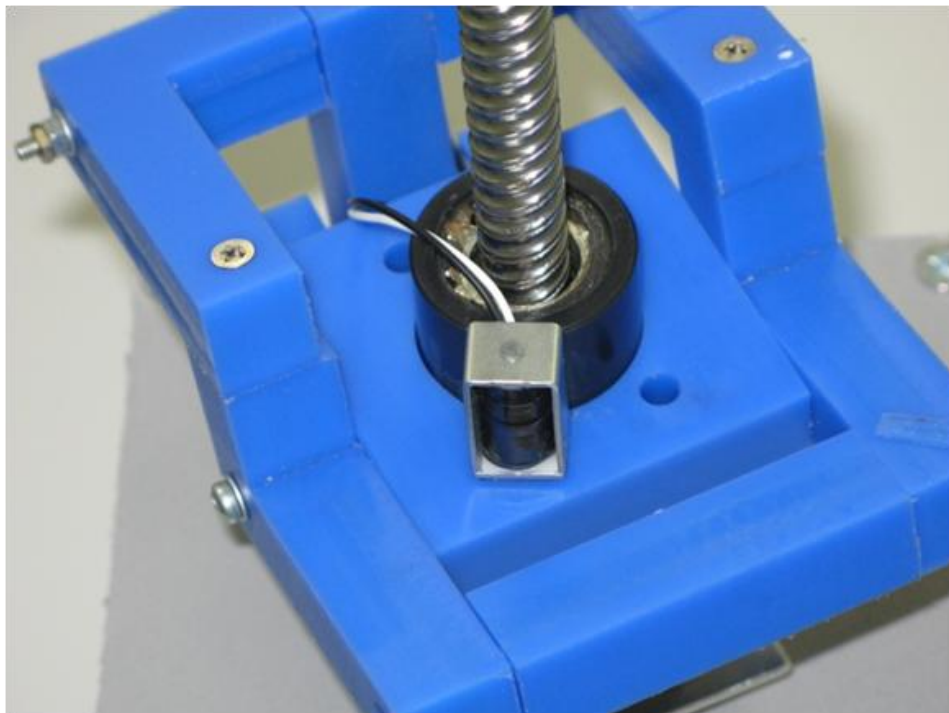


図 5.6: 次元切り替え器の外観（俯瞰）

5.1.2 走査軌跡の実験

クランク先端のセンサが搭載される予定箇所に，レーザーセンサを模してレーザーポインタを搭載して軌跡の検証実験を行う．図 5.7 には三方を箱で囲んだ状況で走査した走査軌跡を示す．図 5.8 では部屋の角で三次元走査した走査軌跡を，図 5.9 と図 5.10 は角度を変えた二次元の走査軌跡をそれぞれ示す．尚，走査軌跡は長時間露光により撮影している．

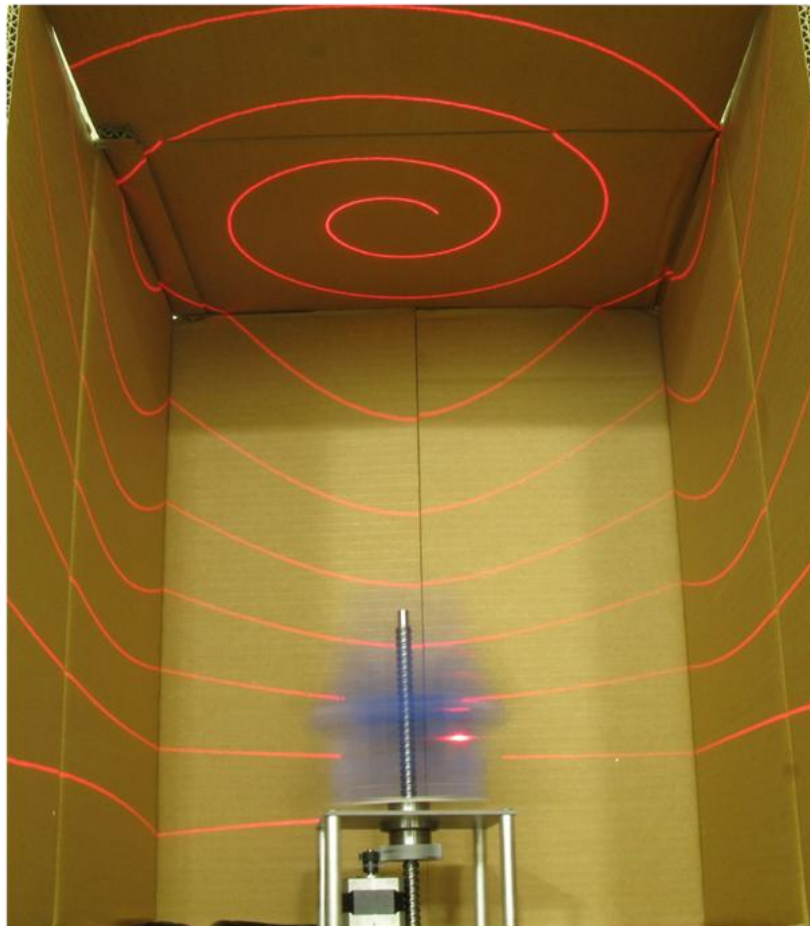


図 5.7: 三方を箱により囲った三次元走査軌跡



図 5.8: 部屋の角で三次元走査した軌跡の様子

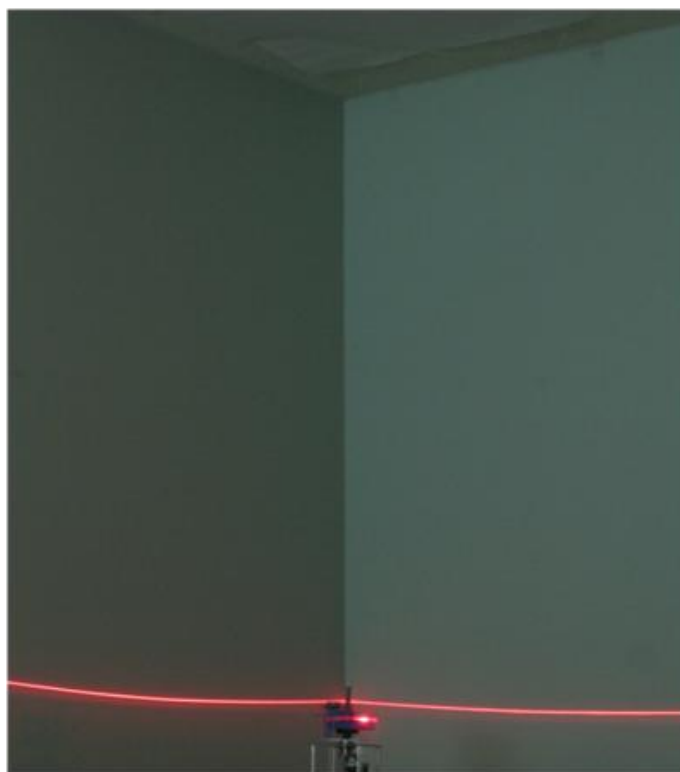


図 5.9: 二次元の走査軌跡の様子

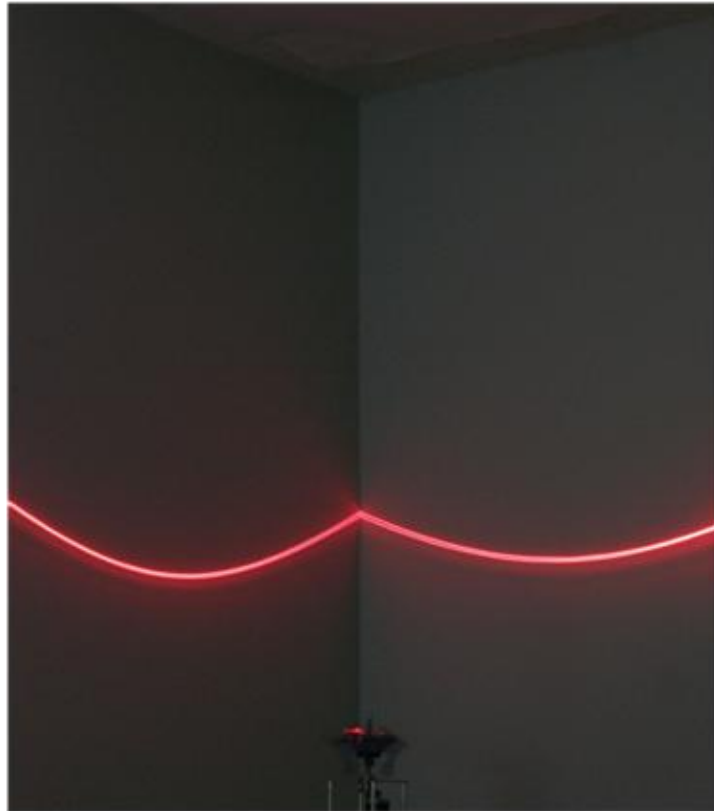


図 5.10: 二次元の走査軌跡の様子（角度変化）

5.2 搭載したレーザセンサによる測位実験

5.2.1 二次元走査

四方を箱で囲った状態と実環境下で二次元測位を行う．測定結果には，フィルタ等の処理をしていない生データである．三次元測位装置にレーザーセンサを搭載した様子を図 5.11 に示す．実験の様子を図 5.12 と図 5.13 に，実験結果を図 5.14 と図 5.15 に示す．図 5.14 よりほぼ箱の大きさと同じ形状を実験結果から得られた．また、図 5.15 では装置の前方、グラフにおいて右方にドアの形状を捉えることができた．実験は、目前にある物体の形状を検出できるかに重点を置いて行ったので、センサの検出範囲を最大 1.5m に設定した．グラフで半円が描かれているのは 1.5m 以上を検出した結果なので、実際の形状と関係はない．

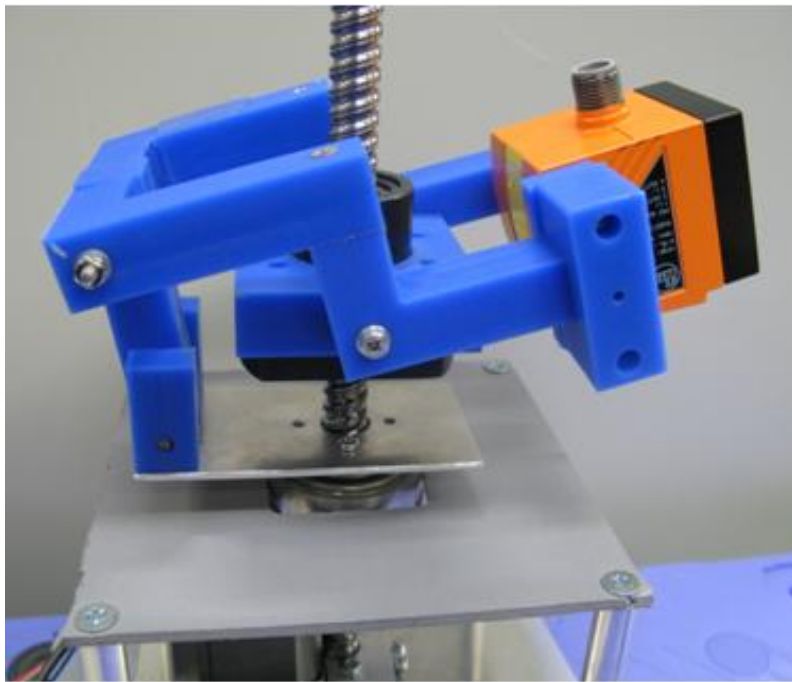


図 5.11: レーザーセンサを搭載した様子



図 5.12: 四方を囲った二次元測位の様子



図 5.13: 実環境下の二次元測位の実験の様子

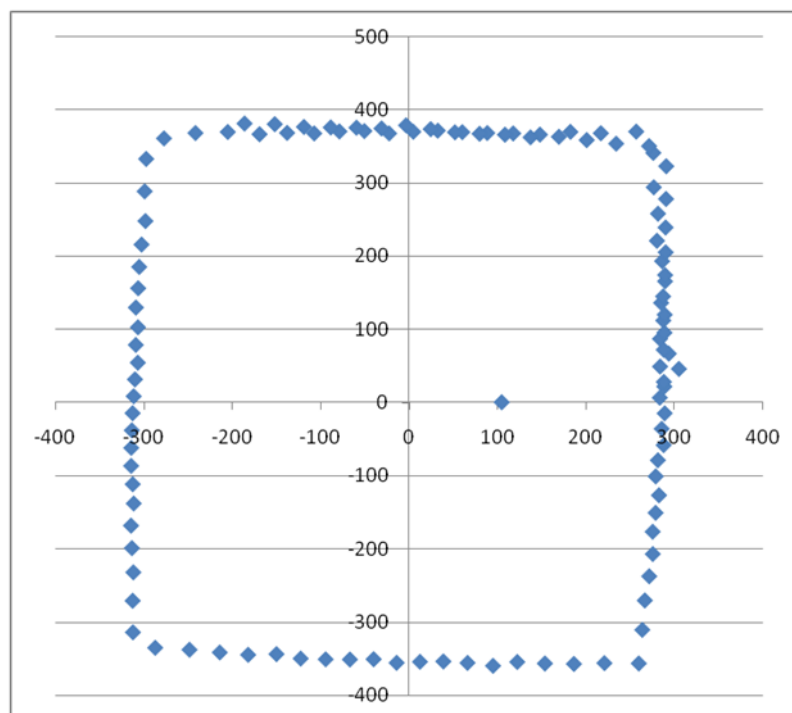


図 5.14: 四方を囲った二次元測位の実験結果

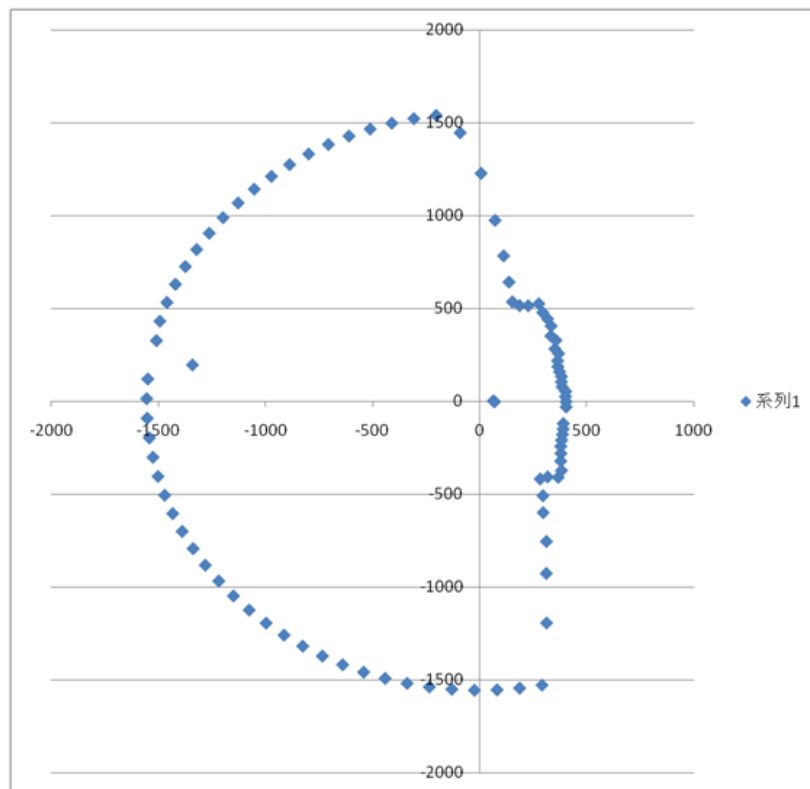


図 5.15: 四方を囲った二次元測位の実験結果

5.2.2 三次元走査

二次元測位と同様に四方を囲って三次元測位を行う。また、ロボットに搭載することを想定して、MobileRobots 社製 PIONEER-3DX に搭載して実環境下において三次元走査を行う。PIONEER-3DX の外観を図 5.16 に、主要緒元を表 5.1 に示す。実験の様子を図 5.17 に示す。そして、四方を囲った実験結果を図 5.18 に、実環境下の実験結果を図 5.19 に示す。二次元走査の場合と同様に三次元走査での実験を行う。図 5.19 より前方にあるドアの形状を捉えることができた。



図 5.16: PIONEER-3DX の外観

表 5.1: PIONEER-3DX の主要緒元

メーカー	MobileRobots
型式	PIONEER-3DX
全長[cm]	44
幅[cm]	38
高さ[cm]	22
最大積載量[kg]	23



図 5.17: 実環境下の三次元測位の様子

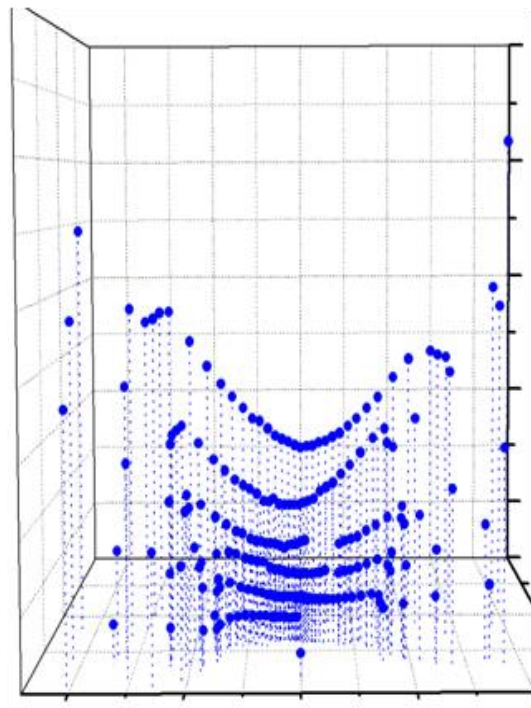


図 5.18: 実環境下での実験結果

5.3 小型化の検証

試作した測位装置の大きさは、ねじとリンク機構が体積の大部分を占めている。そこで装置の小型化をするためにリンクの最適化を検証する。各リンク部材のそれぞれの長さを変更することで、検出範囲に与える影響を検証する。図 5.19 から図 5.22 にリンク部材と検出角度の変化を示す。実験結果よりリンク部材 d_1 の長さの変化が角度に与える影響が多きことが分かった。 d_1 と比較して他の部材の長さが角度 θ に与える影響は少ないことから、リンクの最適化は d_1 の長さを考慮して行う必要がある。

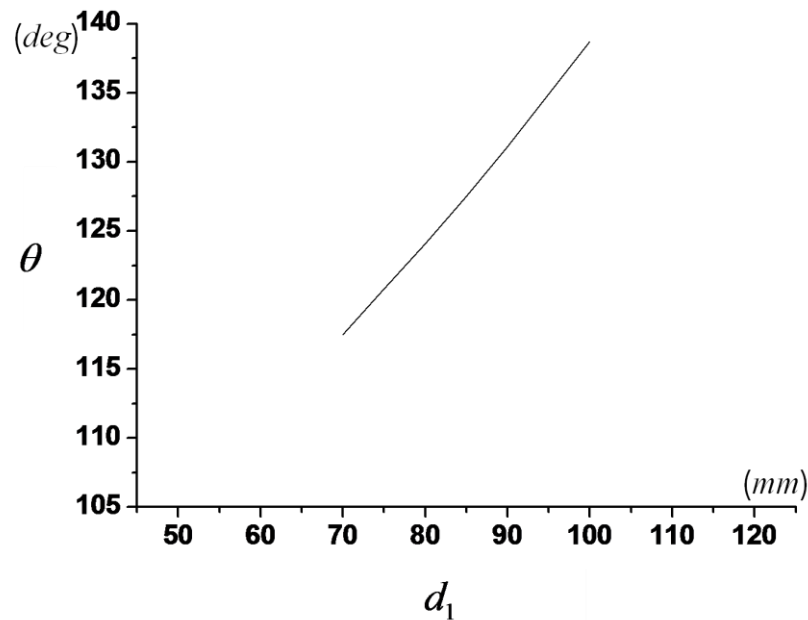


図 5.19: リンク部材 d_1 と角度 θ の関係

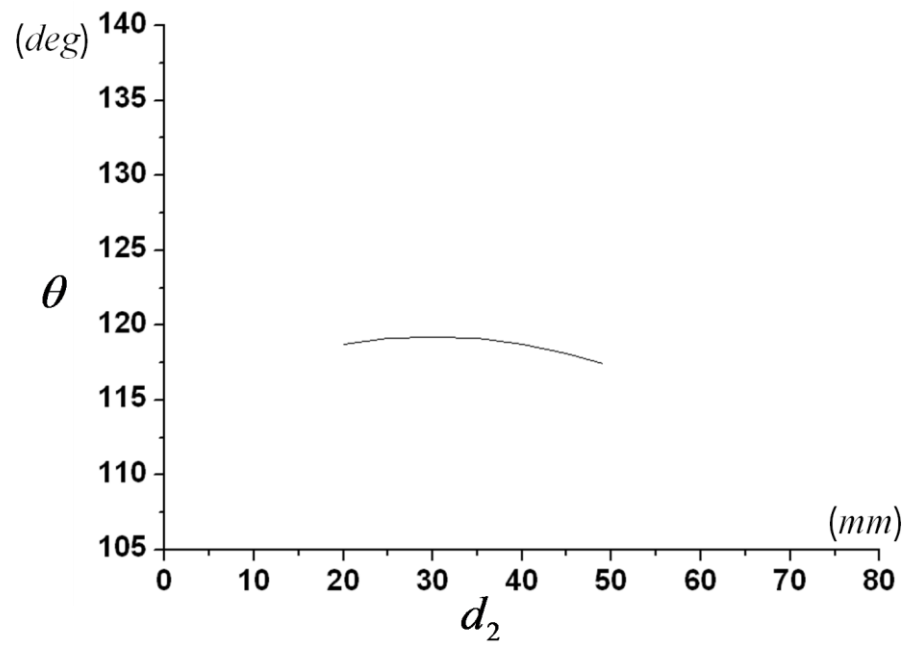


図 5.20: リンク部材 d_2 と角度 θ の関係

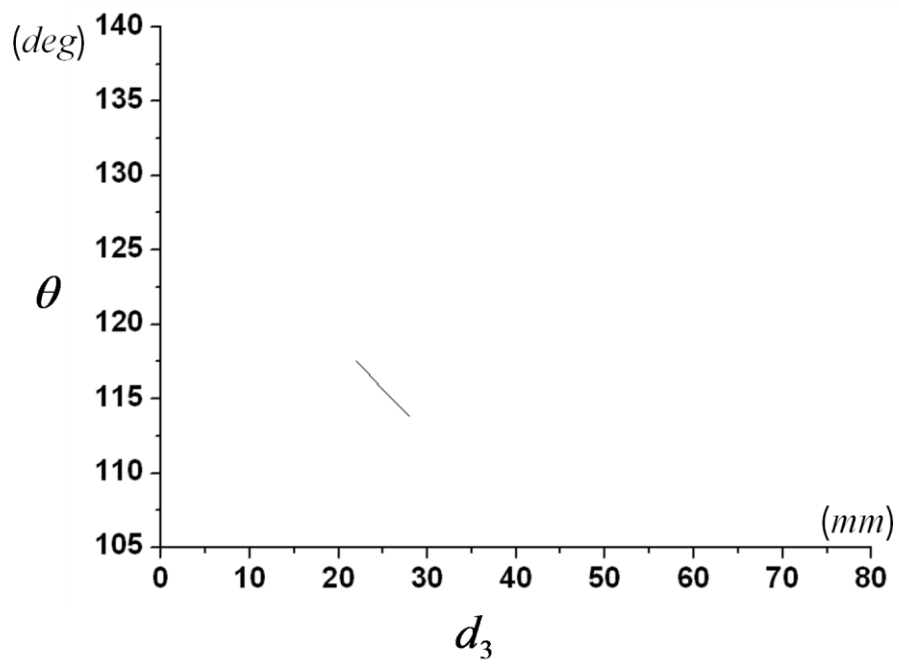


図 5.21 リンク部材 d_3 と角度 θ の関係

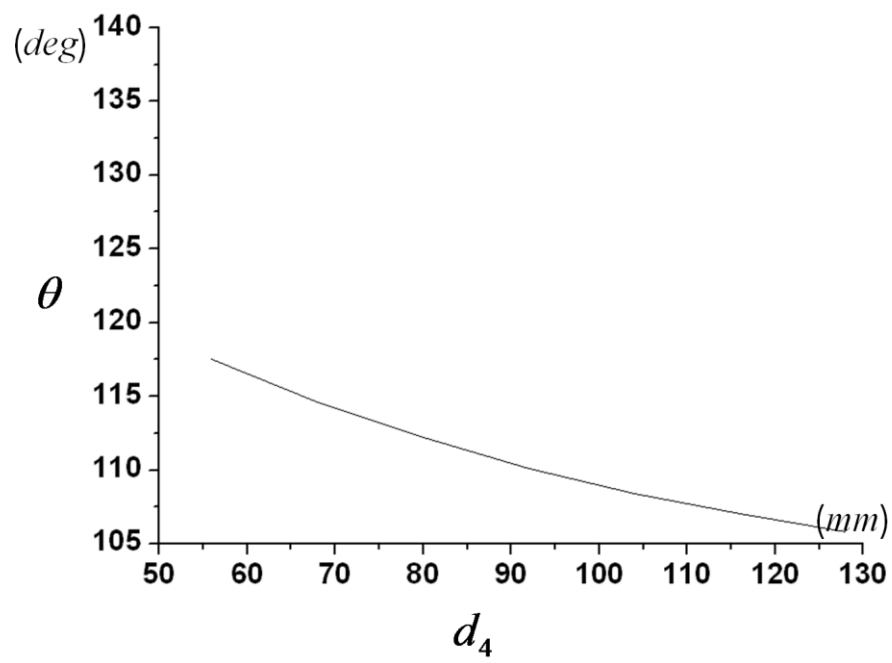


図 5.22: リンク部材 d_4 と角度 θ の関係

第6章 まとめ

6.1 結論

本研究では単独のモータを用いて、螺旋の走査軌道で動作する機構の考案により、三次元測位装置の開発をした。また、二次元と三次元を切り替えることで、どちらの測位も行うことができる切り替え機構を開発した。そして、センサを搭載して、二次元と三次元の両方の測位が可能なことを確認した。

6.2 今後の課題

今後に解決すべき課題を以下にまとめる。

- ・現在の試作機では、リードが 10mm のボールねじを用いているため、走査間隔が広く遠方の詳細な測位が困難であるので、ねじのリードを小さいものに変えると共に、機構の開発を行うことで走査間隔の改善をする。
- ・リンクや機構を最適化することで、三次元測位装置の軽量化とサイズの小型化を行う。
- ・レーザーセンサに特化した機構に最適化することで、小型で高速動作が可能な次世代機の開発を行う。
- ・移動ロボットに登載し実環境下での運用実験を行う。
- ・センサで測位したデータを処理し、形状を推定するアルゴリズムを開発する。

謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導していただいた北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 丁洛榮教授に深くお礼申し上げます。また，研究の助言やご指導をいただいた丁研究室 李根浩特任助教に深くお礼申し上げます。さらに，日々の研究で助言やアドバイスをしていただいた丁研究室 博士後期課程 西村康弘氏，大沼孝徳氏，装置やセンサに関する助言や支援をしていただいた 博士前期課程 川崎暢也氏に深く感謝致します。そして，日々様々な面でご支援いただいた丁研究室の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] K. Ohno, T. Kawahara, S. Tadokoro, “Development of 3D Laser Scanner for Measuring Uniform and Dense 3D Shapes of Static Objects in Dynamic Environment.” Proc. Of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp 2161–2167, 2008
- [2] T. Yoshida, K. Irie, E. Koyanagi and M. Tomono, “3D Laser Scanner with Gazing Ability,” Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 3098–3103, 2011
- [3] 根元 善太郎(東京理科大), 全方位型 3 次元小型レーザレンジスキャナの構築と対象物体の抽出, ROBOMEC2007
- [4] Keith Sevcik, Designing Aerial Robot Sensor Suites to Account for Obscurants. Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, Drexel University, 2007
- [5] Eric Rohmer, Quince A Collaborative Mobile Robotic Platform for Rescue Robots Research and Development. IEEE Int. Conf. Advanced Mechatronics, Tohoku University, 2010
- [6] P. Jensfelt, S. Ekvall, D. Kragic and D. Aarno, “Integrating active mobile robot object recognition and SLAM in natural environments,” Proc. IEEE/RSJ IROS, 5792–5797, 2006
- [7] A. Saxena, L. Wong, M. Quigley, and A. Y. Ng, “A vision-based system for grasping novel objects in cluttered environments,” IJRR 27(2):157–173, 2008
- [8] D. Gurdan, J. Stumpf, M. Achtelik, K.-M. Doth, G. Hirzinger, and D. Rus, “Energy-efficient autonomous four-rotor flying robot controlled at 1 kHz,” Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 361–366, 2007
- [9] N. Kato, “Control performance in the horizontal plane of a fish robot with mechanical pectoral fins,” IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 25, no. 1, pp. 121–129, 2000

- [10] U. Scarfogliero, C. Stefanini, and P. Dario, "Design and development of the long-jumping 'Grillo' mini robot," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 467–472, 2007
- [11] J. Pugh, X. Raemy, C. Favre, R. Falconi, and A. Martinoli, "A fast on-board relative positioning module for multi-robot systems," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 14, no. 2, pp. 151–162, 2009
- [12] G. Lee and N. Y. Chong, "Low-cost dual rotating infrared sensor for mobile robot swarm applications," IEEE Trans. Industrial Informatics, vol. 7, no. 2, pp. 277–286, 2011
- [13] Y. Xu and D. Song, "Systems and algorithms for autonomous and scalable crowd surveillance using robotic PTZ cameras assisted by a wide-angle camera," Autonomous Robots, vol. 29, no. 1, pp. 53–66, 2010
- [14] R. Beira, M. Lopes, M. Praga, J. Santos-Victor, A. Bernardino, G. Metta, F. Becchi, and R. Saltaren, "Design of the robot-cub (iCub) head," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 94–100, 2006
- [15] M. E. O' Brien and D. G. Fouche, "Simulation of 3D laser radar systems," Lincoln Laboratory Journal, vol. 15, no. 1, pp. 37–60, 2005
- [16] O. Naroditsky, A. Patterson IV, and K. Daniilidis, "Automatic alignment of a camera with a line scan LIDAR system," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 3429–3434, 2011
- [17] X. Yuan, C.-X. Zhao and Z.-M. Tang, "LIDAR scan-matching for mobile robot localization," Information Technology Journal, vol. 9, no. 1, pp. 27–33, 2010
- [18] K. M. Nickels, A. Castano, and C. Cianci, "Fusion of LIDAR and stereo range for mobile robots," Proc. 11th Int. Conf. Advanced Robotics, pp. 65–70, 2003
- [19] J. Morales, J. L. Martinez, A. Mandow, A. Pequeno-Boter, and A. Garcia-Cerezo, "Design and Development of a Fast and Precise Low-Cost 3D Laser Rangefinder," Proc. 2008 IEEE Int. Conf. Mechatronics, pp. 621–626, 2011
- [20] Eric Rohmer, Quince A Collaborative Mobile Robotic Platform for Rescue Robots Research and Development. IEEE Int. Conf. Advanced Mechatronics, Tohoku University, 2010

- [21] S. Iwashita, A. Yamashita, T. Kaneko, "3-D Map Building in Dynamic Environments by a Mobile Robot Equipped with two Laser Range Finders," proc. of 3rd Asia Int. Symp. On Mechatronics (AISM), August 2008.
- [22] Kyoungmin Lee, "Grid Map for Local Motion Planning with using Sonar Sensors," Int. Conf. Advanced Mechatronics, Department of Information and Communication Engineering, Kookje College, 2010
- [23] 大矢 晃久, 移動ロボットの環境認識用光学式距離センサとその利用技術. SICE, 2004
- [24] Ankit Desai, Daniel Huber, "Objective Evaluation of Scanning Ladar Configurations for Mobile Robots," IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, October 2009