

平成 23 年度卒業論文

磁力による昆虫位置制御実験装置の開発

福岡工業大学 工学部 知能機械工学科

08E1027 佐藤 亮太

指導教員 河村 良行 教授

指導院生 松永 龍太

目次

第1章 諸言	2
1.1 研究背景と目的	2
第2章 位置制御実験装置の概要	4
2.1 位置制御実験装置の構成	4
2.2 対象昆虫の紹介	6
2.3 制御式	8
第3章 位置制御実験	10
3.1 モデルを使用した位置制御実験	10
3.1.1 目標点への位置制御実験	11
3.1.2 円軌道を描かせる位置制御実験	12
3.2 アリを使用した位置制御実験	13
3.2.1 目標点への位置制御実験	14
3.2.2 円軌道を描かせる位置制御実験	15
3.3 CO ₂ を用いたアリの位置制御実験	16
3.3.1 目標点への位置制御実験	17
3.3.2 円軌道を描かせる位置制御実験	18
第4章 結言	20
4.1 結果と今後の課題	20
参考文献	
付録	

第1章 諸言

1.1 研究背景と目的

いままで昆虫の実験を行うために昆虫の飛行や成長など様々な制御を行う装置が開発されている。そこで我々は今までにない新しい制御を用いた実験装置を開発したいと考え本研究を開始した。

本研究室では以前に磁力支持天秤装置(図1)の開発を行っており、我々はその研究で培われた技術を昆虫の制御に応用することは有効ではないかと考えた。そこでまずは平面歩行をする昆虫の位置制御を行える実験装置を開発し実験を行う。

本研究では磁力を用いた位置制御で昆虫の移動を制御することを目的とする。



図1. 磁力支持天秤装置

第2章 位置制御実験装置の概要

2.1 位置制御実験装置の構成

この実験で使用する装置を図 に示す。これは以前に本研究室で開発された磁力支持天秤装置を参考に制作したものである。本装置には上下それぞれに4つのコイルを使用しており、このコイルに電流を流すことにより発生する磁気力を制御力とすることで、対象の昆虫の位置制御を行うものである。このコイルに流れる電流の最大値は10 [A]で、磁気力の最大値は0.2 [mN]である。

また、本装置では昆虫の位置を検出するために CCD カメラを使用している。これを装置の上部に取り付け、アリに付けているマーカを読み取ることで、昆虫の位置座標を取得する。次にシーケンサで算出された制御電圧を D/A 変換器から電流制御回路へ出力している。また、装置の主な仕様について表1に示している。

表1. 装置の主な仕様

コイルのサイズ [mm]		$\phi 85 \times \phi 50 \times 20$
コイルの巻き数		195
コイル最大電流 [A]		10
制御範囲 [mm]		32×28
コイル-磁石間距離 [mm]		70
アリの平均全長 [mm]	(n=5)	9.26
アリの平均体重 [g]	(n=5)	0.04

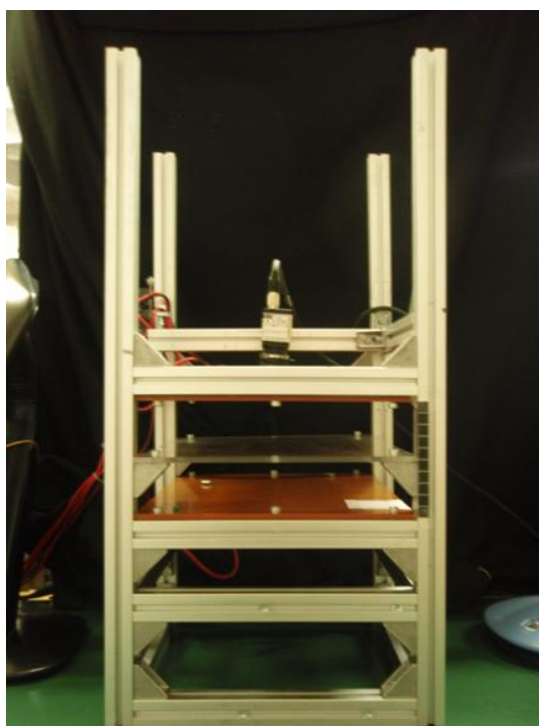


図 2. 実際の位置制御実験装置

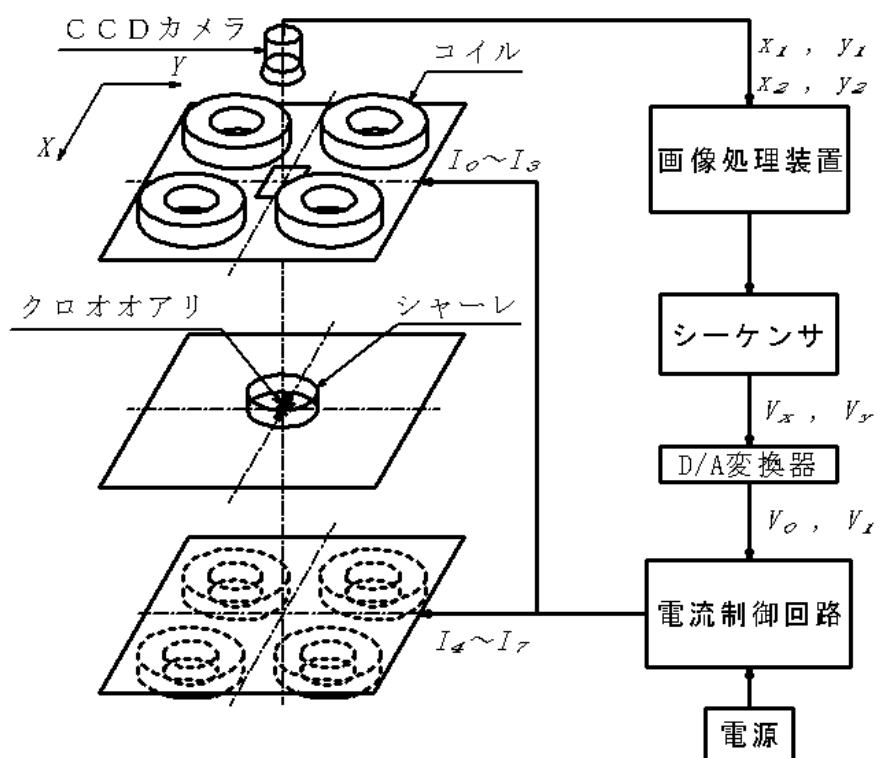


図 3. 位置制御実験装置の概略図

2.2 対象昆虫の紹介

この位置制御実験では昆虫に磁石を取り付ける必要があること、位置情報取得のためのマーカ-用の色を塗る必要がある。このため我々は昆虫のクロオオアリを使用した。このクロオオアリは日本列島に分布するアリの中では最大級となる大型のアリであり、体長は7~12 [mm]になるため、このクロオオアリが適切だと考え使用することにした。

このクロオオアリに磁石を取り付ける手順を以下に示す。

(手順1)購入したクロオオアリを1匹巢から別の容器(図5.④)に移す。

(手順2)その容器にCO₂を流入してクロオオアリを衰弱状態にする。

(手順3)ピンセット(図5.①)でアリの姿勢を整える。

(手順4)取り付け棒(図5.②)を使用してアリの胸部の背面の前方から1/3の位置に接着剤で磁石を取り付ける。このとき、磁石の向きはアリの前方がN極になるようにする。

(手順5)磁石及びアリの背面の腹部にマーカ-用の色(図5.③)を塗る。

このクロオオアリに磁石を取り付ける中で特に注意しないといけないのは手順3である。アリの胸部背面には気門と呼ばれる呼吸を行うための穴があり、これを接着剤で塞いでしまうとアリはすぐに死んでしまう。そのため、前方1/3の位置に磁石を取り付けるのである。また、接着剤でアリの足が胴体にくっついてしまう、関節をくっつけてしまうなどの可能性があるため十分に注意をして磁石を取り付ける。

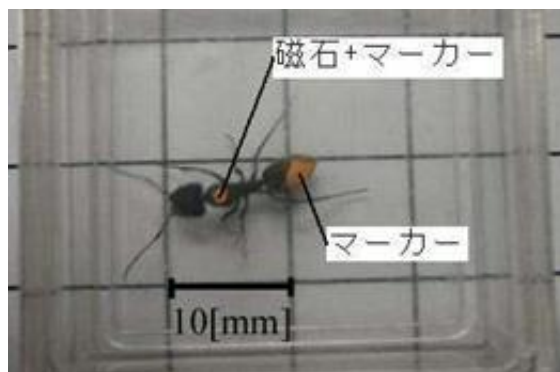


図4. 磁石とマーカ-取り付け後のクロオオアリ



図 5. 磁石取り付け時使用道具



図 6. クロオオアリの飼育ケース

2.3 制御式

この位置制御実験では以下のような計算式を用いる。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (1)$$

$$V_x = -k_{p1}(x_1 - x_t)\cos\theta - k_{p2}(\theta - \theta_t)\sin\theta \quad (2)$$

$$V_y = -k_{p1}(y_1 - y_t)\sin\theta - k_{p2}(\theta - \theta_t)\cos\theta \quad (3)$$

$$V_0 = V_x - V_y \quad (4)$$

$$V_1 = -V_x + V_y \quad (5)$$

まずクロオオアリについている2つのマーカーから胸部位置 x_1, y_1 [mm]及び腹部位置 x_2, y_2 [mm]を読み取り、(1)式からアリの角度を求め、その後目標値 x_t, y_t [mm]との角度 θ_t [rad]に応じた制御電圧をそれぞれ各軸成分で計算し、式(4)、(5)を用いそれぞれの成分を計算した制御電圧をD/A変換器より出力する。

この制御式には三角関数を使用している。これは角度を制御するために必要なものである。参考として図8及び図9を示す。図8はア리를 X方向へ位置制御を行う場合のもので、角度 $\theta=0$ となり X方向に磁気力がかかる。同様に図9は Y方向へ位置制御を行う場合のもので、角度 $\theta=\frac{\pi}{2}$ となり Y方向に磁気力がかかる。また、式(2)(3)の三角関数が逆なのは磁石の角度を制御するためである。

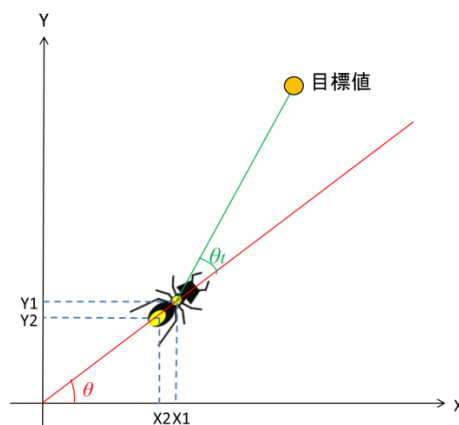


図7. アリの角度と目標値との角度

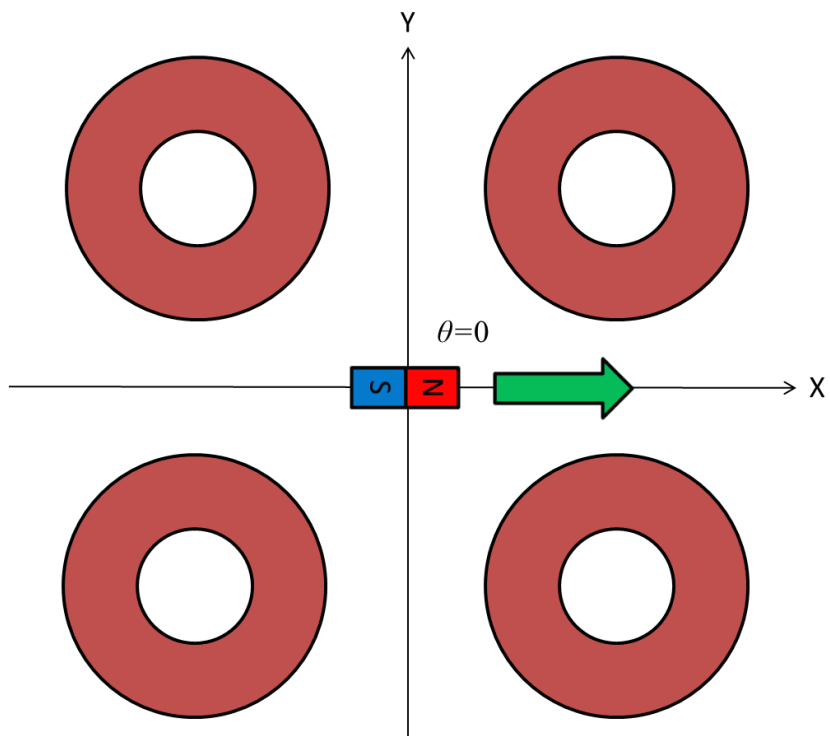


図 8. 磁石を X 方向に移動する場合

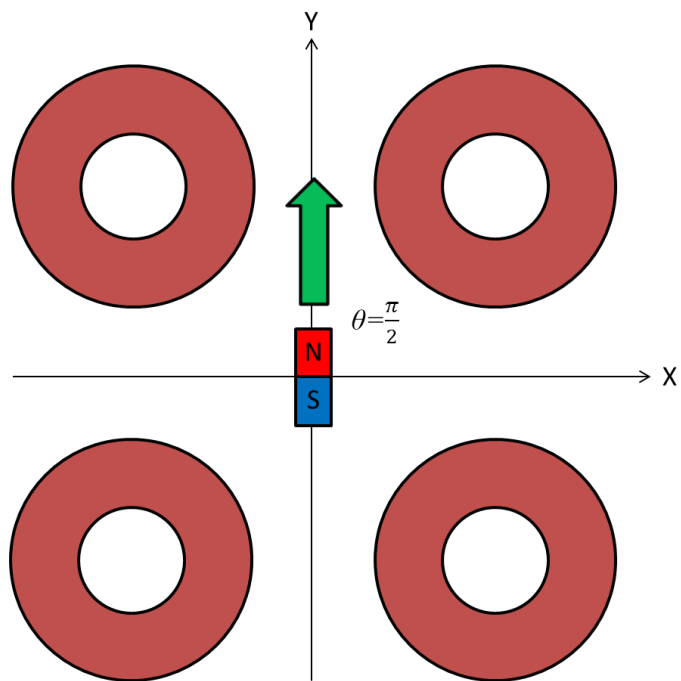


図 9. 磁石を Y 方向に移動する場合

第3章 位置制御実験

3.1 モデルを使用した位置制御実験

製作した位置制御実験装置が正しく作動するのか確認のための実験を行った。そこで図10及び図11に示すようなモデルを製作し位置制御実験を行った。

このモデルはタミヤ製のミニ四駆のローラーから作成したものである。このローラーの片面(上面)にプラスチック製のファイルを円型に切ったものを隙間なく接着し、反対の面には磁石を取り付けた柱を接着している。このモデルのサイズは約 $\phi 10$ [mm]で上面にはマーカー用の色を塗ってある。このモデルを水で満たしたシャーレ($\phi 40 \times 20$ [mm])の水面に浮かせ、位置制御実験を行った。

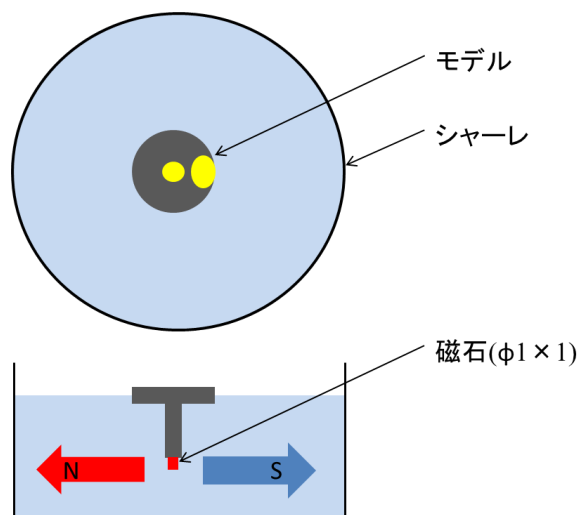


図10. モデルの位置制御実験のイメージ

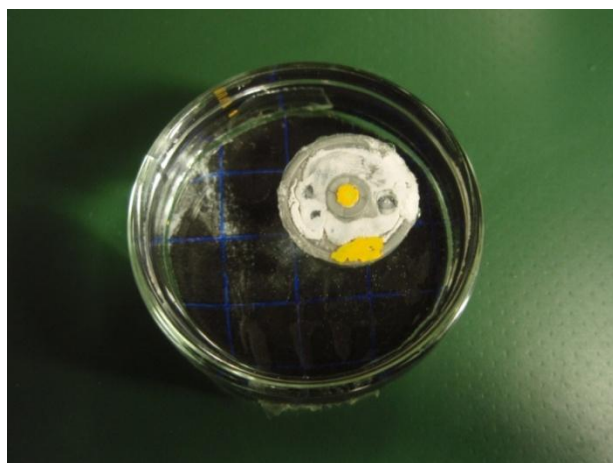


図11. 実際のモデル

3.1.1 目標点への位置制御実験

まず簡単な動きである目標点への位置制御実験を行った。この時の目標点は原点(0, 0)にであり，その結果を図 13 に示す。

この図 13 はモデルの位置(X 座標及び Y 座標)を時間を見たものである。実験開始から約 20 秒のときに位置制御を行っており，モデルは正確に目標点に収束していることがわかる。すなわち，この位置制御実験装置は正常に作動していて，正確な位置制御が行えることがわかる。

なお，位置制御開始から収束まで時間がかかっているが，この位置制御実験の対象は生物であるため，制御に速さは必要ないと考えたためである。

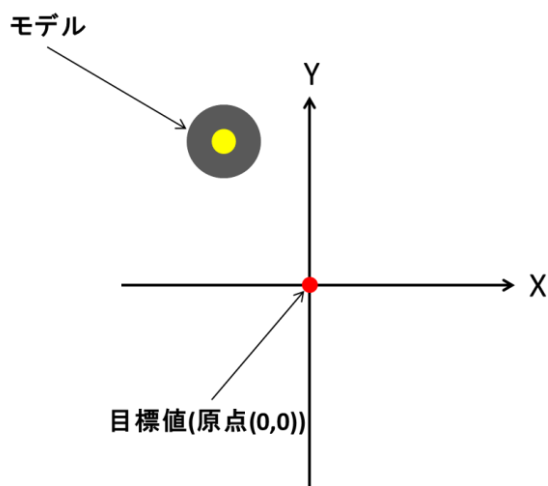


図 12. モデルを用いた位置制御実験のイメージ

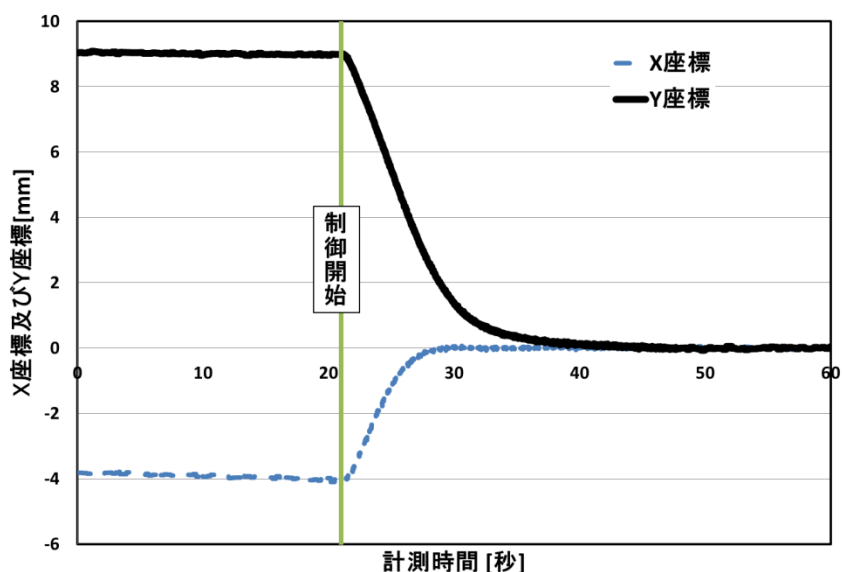


図 13. モデルの原点への位置制御実験結果

3.1.2 円軌道を描かせる位置制御実験

先ほどの実験で装置に正常性、正確性が証明された。そこで今度は複雑な位置制御を行うことにした。そこでモデルに円軌道($\phi 7[\text{mm}]$)を描かせる位置制御実験を行った。その結果を図 14 に示す。

この図 14 は目標値と測定値の関係を X-Y 平面で見たものである。目標値である円軌道に正確に位置制御が行えていることがわかる。

この実験により、単純な点への位置制御だけでなく、円軌道などの複雑な位置制御も行えることがわかる。

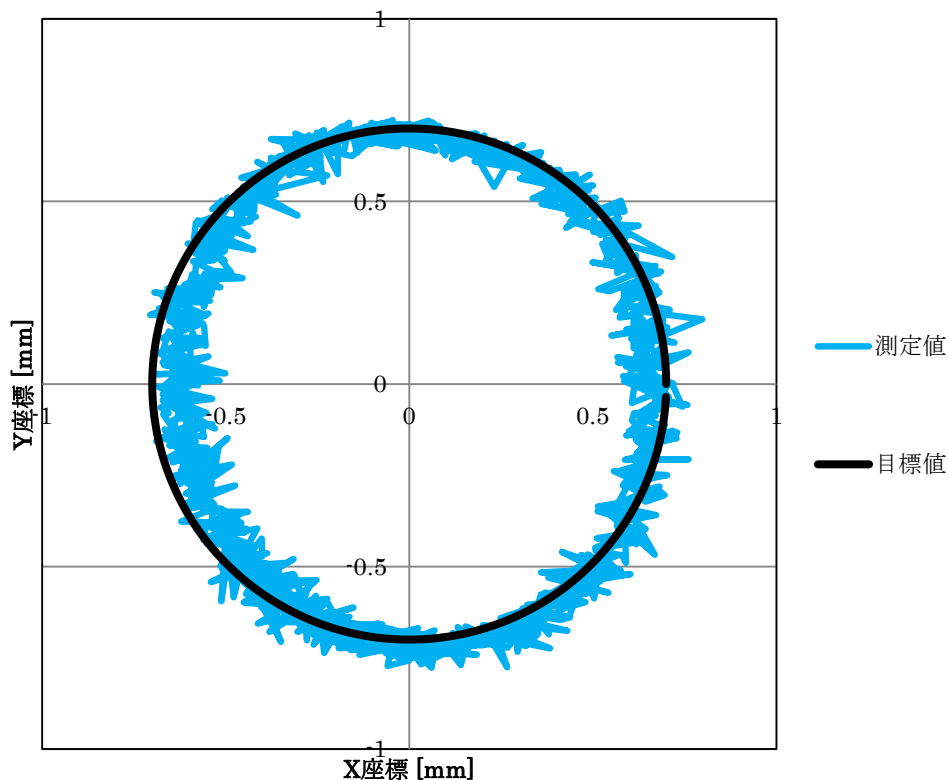


図 14. モデルの円軌道の位置制御実験の結果

3.2 アリを使用した位置制御実験

次にクロオオアリを使用した位置制御実験を行った。磁石とマーカを取り付けたクロオオアリをシャーレに入れ、位置制御実験装置の台上にセットする。この台の高さはクロオオアリの位置が装置の磁気力が最大になる装置の中心位置になるようにしている。

なお、この実験で使用しているクロオオアリはシャーレの側面や上面に上ってしまい、マーカりの位置情報が取得できない可能性があるため、実験中はなるべくアリの位置を確認することに注意する。

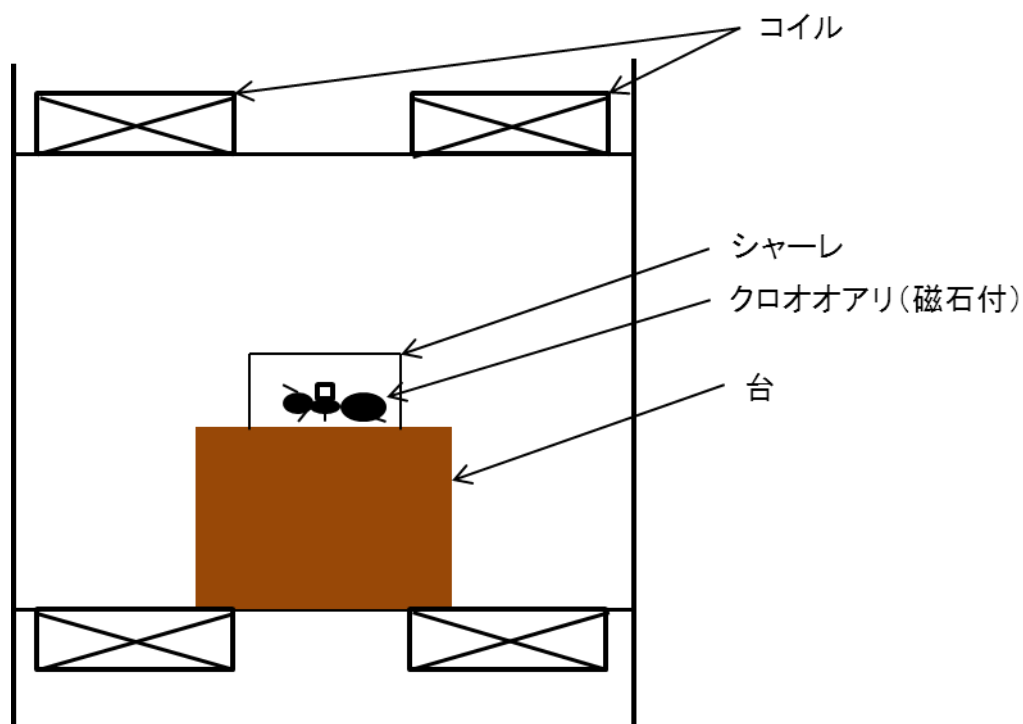


図 15. アリを使用した位置制御実験のイメージ

3.2.1 目標点への位置制御実験

まず、目標点への位置制御実験を行った。目標点は原点(0, 0)とし、そこへ向かうように位置制御を行った。この実験では5匹アリを使用しでそれぞれ10分平均で実験を行った。その結果を図16に示す。

この図16は位置制御を行った時と行わなかった時のアリの位置と目標点との差を示したものである。個体差は見られるが、位置制御をおとった場合は行わない場合に比べ目標点との差が小さくなっていることがわかる。しかし、正確に目標点への位置制御はできていないことが見られる。

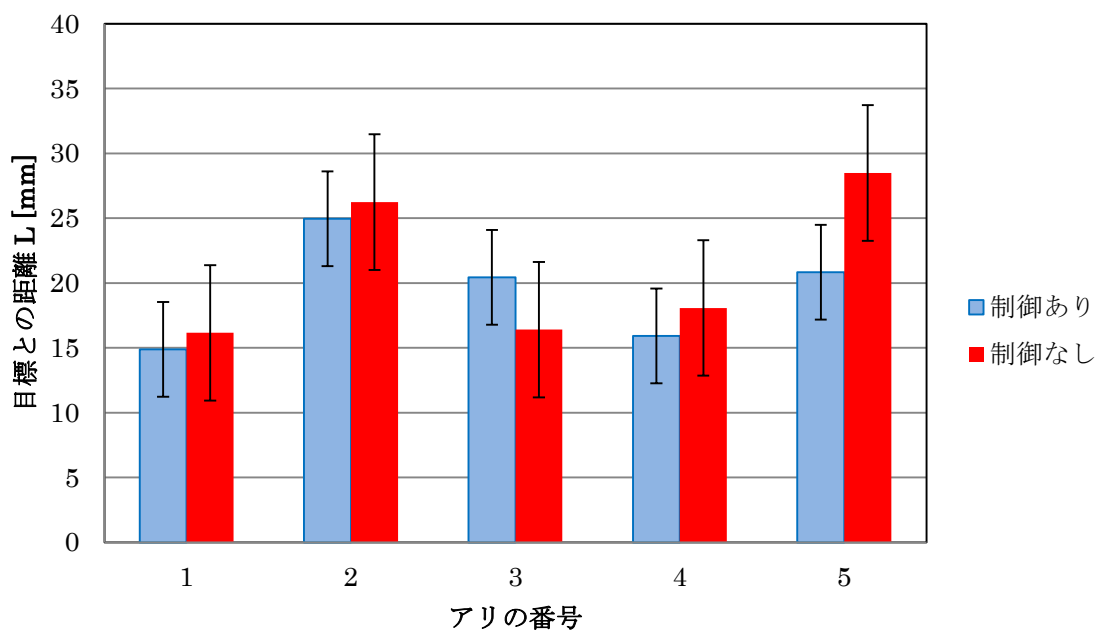


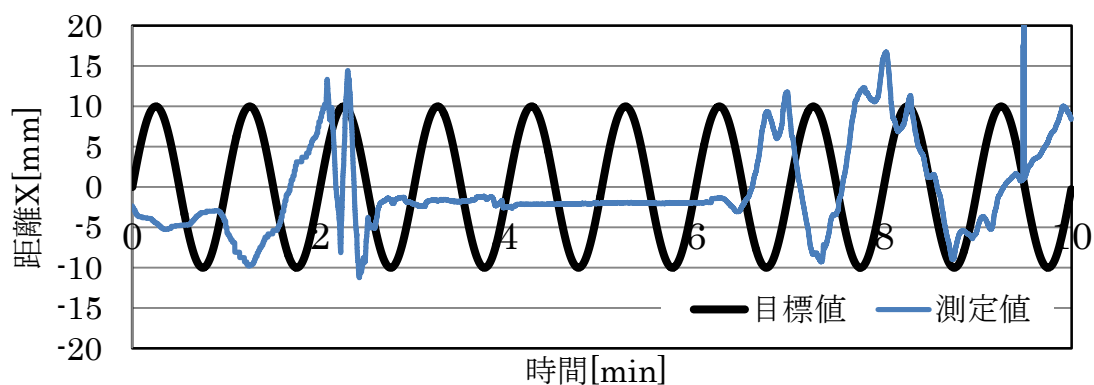
図16. アリの目標点への位置制御実験結果

3.2.2 円軌道を描かせる位置制御実験

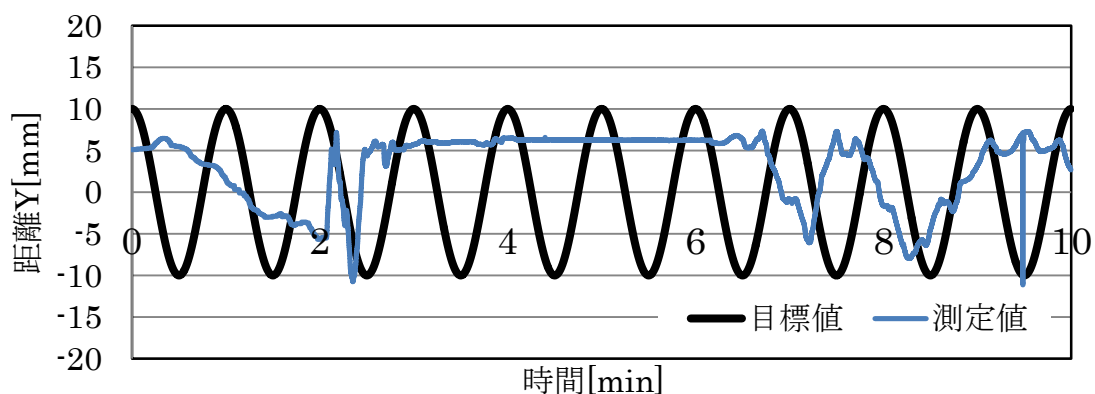
目標点への位置制御だけでなく円軌道を描かせる位置制御も行った。目標値として指定した円は $\phi 20$ [mm]で1周1分間である。また、この実験の測定時間は10分間である。その結果を図17に示す。

この図17は測定値と目標値の関係性を時間を見たものである。マーカーの位置XとYともに目標値と重なっていない、すなわちクロオオアリを目標値に位置制御できていないことがわかる。

この結果からアリの脚力がコイルの磁気力より大きい、コイルの磁気力が小さいと考えた。



(A)



(B)

図17. アリの円軌道位置制御実験結果(A)距離 X と目標値の関係,
(B)距離 Y と目標値の関係

3.3 CO₂ を用いたアリの位置制御実験

前記 3.2 項の位置制御実験から, アリの脚力が大きいいため正確な位置制御が行えなかったと考えた. そこでアリの脚力を弱くするために CO₂ を使用した. この CO₂ をアリが入っている容器に流入(0.2 [L/MIN])し, 容器中の O₂ を少なくしてアリの脚力を弱くさせ, 3.2 項と同様の位置制御実験を行った.

この実験では CO₂ を流入しながら位置制御を行うため, アリがシャーレの外に逃げる可能性がある. そのため図 18 に示すようにアリを入れたシャーレに, 小さな隙間がある透明な蓋をし, 容器(125×125×25 [mm])に入れ位置制御実験を行うことにした.

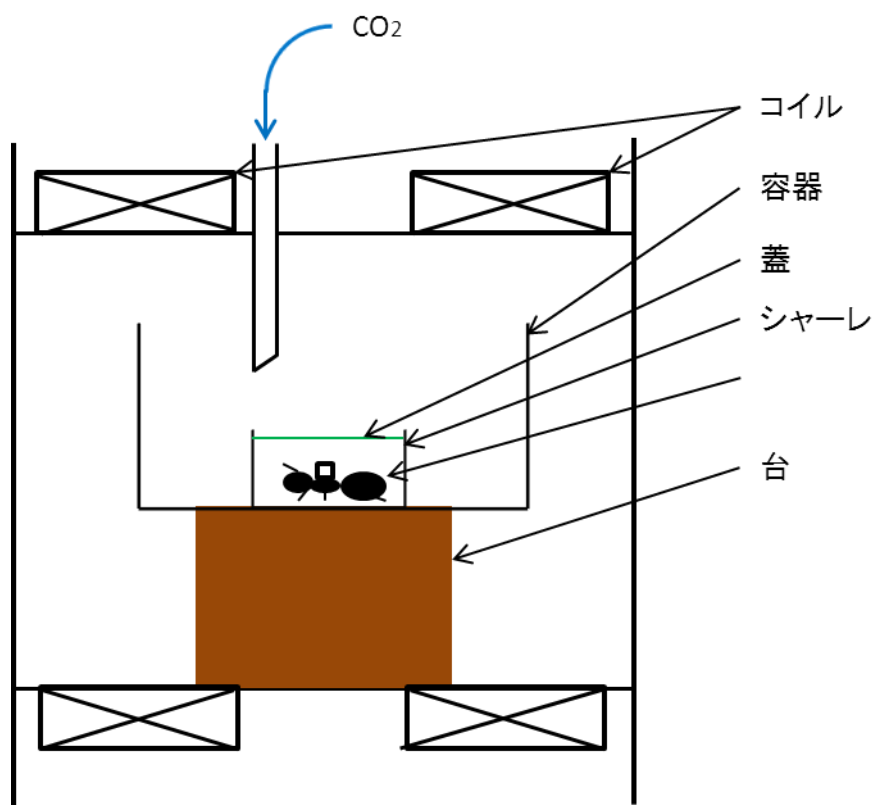


図 18. CO₂ を用いたアリの位置制御実験のイメージ

3.3.1 目標点への位置制御実験

CO₂を用いてアリを弱らせたときの、目標点への位置制御実験を行った。CO₂を用いなかったときと同様に、目標点は原点(0, 0)にし、使用したアリの数は5匹である。その結果を図19に示す。

この図19は位置制御を行った時と行わなかった時のアリの位置と目標点との差を示したものである。位置制御を行った場合は行わない場合に比べ目標値との差が小さくなっていることがわかる。前記3.2.1のCO₂を用いない位置制御実験の結果(図16)と比較すると目標値との差がより小さくなっていることがわかる。

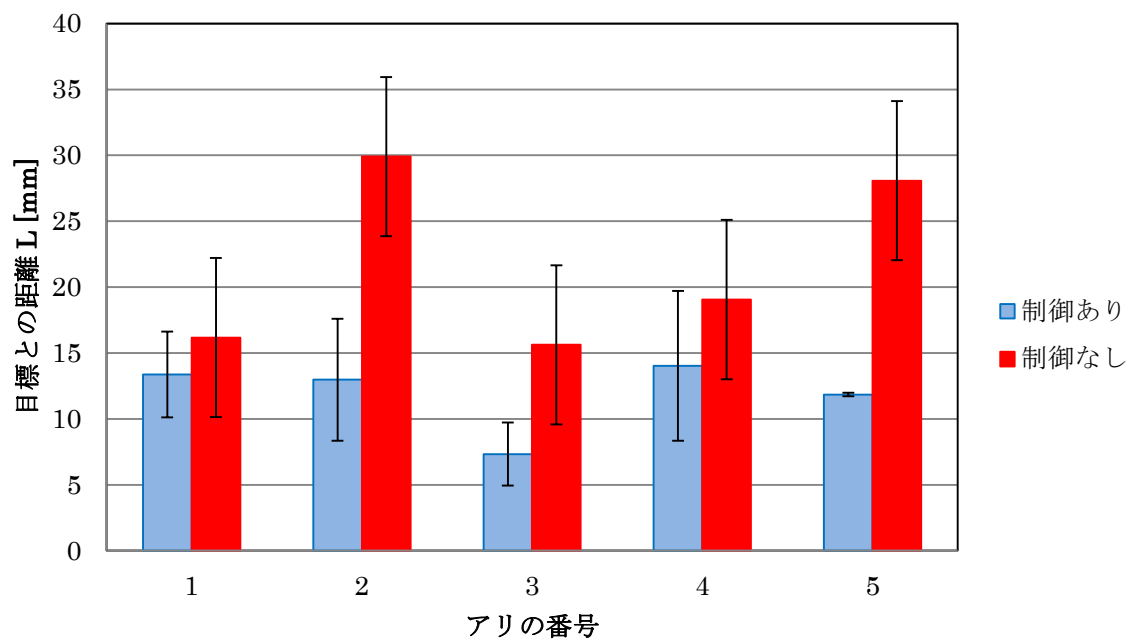


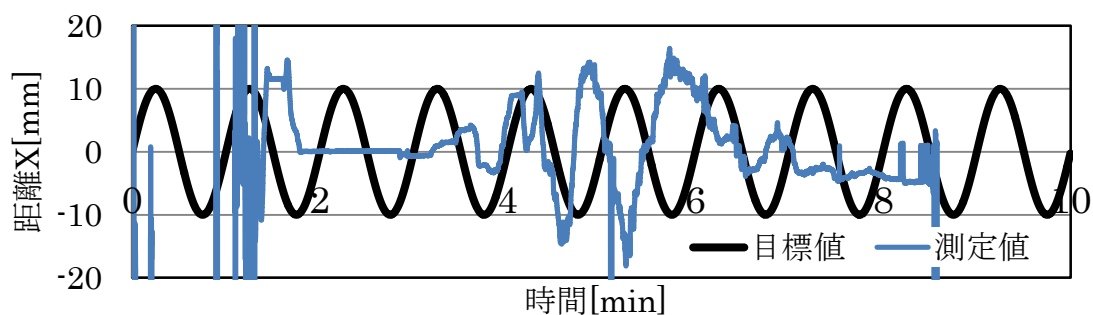
図19. CO₂を用いたアリの目標点への位置制御実験結果

3.3.2 円軌道を描かせる位置制御実験

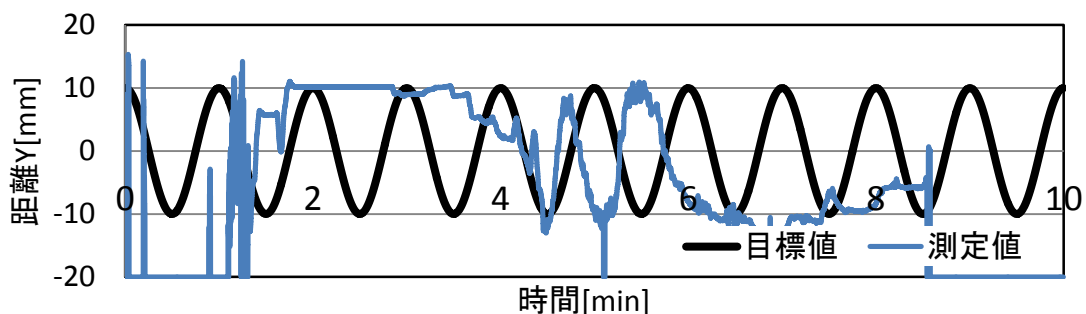
CO₂を用いてアリを弱らせたときの円軌道の位置制御実験を行った。目標値の円はφ20 [mm]で、1周1分間である。測定時間は10分間でCO₂は制御開始から流入している。この結果を図20及び図21に示す。

この図は測定値と目標値の関係性を時間を見たものである。制御開始から4分間までは位置制御ができていないことがわかる。しかし、4分間から7分間の間では目標値に近い位置制御が行えていることがわかる。位置制御実験にCO₂を用いるとアリの移動距離が増加することがわかった。

なお、この図20の測定値が途切れているのはアリが倒れてしまいマーカータを読み取ることができなくなっているためである。



(A)



(B)

図20. CO₂を使用したアリの位置制御実験(A) 距離 X と目標値の関係、
(B) 距離 Y と目標値の関係

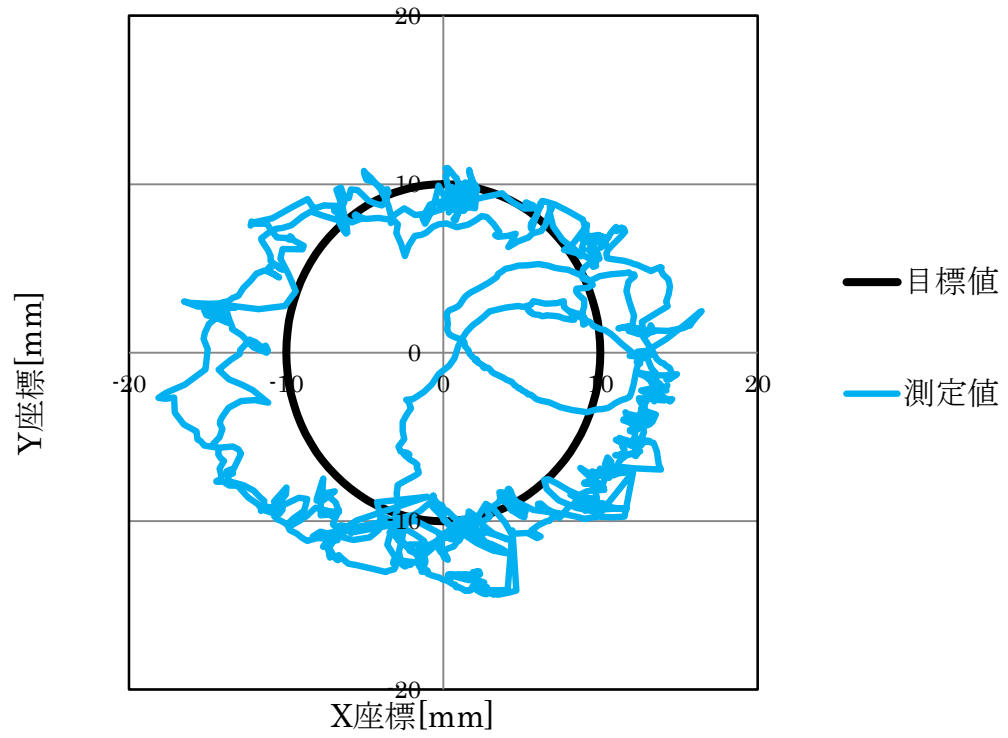


図 21. CO₂ を使用したアリの位置制御実験の結果
(X-Y 平面での測定値と目標値の関係, 4~7 分間)

第4章 結言

4.1 結果と今後の課題

過去に製作した磁力支持天秤装置を参考にして、磁力制御を用いることで昆虫の歩行に関する実験を行える位置制御実験装置を開発した。

この実験装置は位置制御用の磁石と位置情報取得のためのマーカが必要のため、大型のアリであるクロオオアリを使用することにした。

モデルを用いて動作確認を行ったところ、この位置制御実験装置は正常に作動しており、目標点への位置制御や円軌道を描く位置制御などの正確な位置制御が行えることを確認した。

クロオオアリを用いて位置制御を行ったところ、目標値への正確な位置制御が上手くいかなかった。その原因としてクロオオアリの脚力が大きいためだと考えた。

そこで CO_2 を流入しながら位置制御を行うことで、アリの弱らせ脚力を小さくして位置制御実験を行うことにした。その結果、 CO_2 を用いるとアリの移動距離は増える、しかし正確な位置制御を行えないことがわかった。

今後はこの結果をもとに、コイルの磁気力を強くする、アリに取り付ける磁石のサイズ今まで($\phi 1 \times 1$)よりも大きくするなどを行い、装置の精度向上を目指すことを課題とする。

謝辞

本研究及び論文作成で数々のご指導をいただいた河村良行教授並びに院生松永龍太氏に深く感謝の意を表します。

また、実験などでお世話になった同研究室の皆さんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1)池田 哲夫:「基礎からの電気・電子工学 電気理論」 森北出版株式会社
1989年
- 2)呉 鎮彬:「風洞実験用 6 軸制御磁力支持天秤装置の開発」, 平成 15 年度修士
論文, 福岡工業大学工学部知能機械工学科

付録

1. アリの脚力測定実験
2. CCDカメラの遅れ測定
3. 位置制御実験装置の図面

1. アリの脚力測定実験

この位置制御実験で使用するクロオオアリの脚力の大きさを調べるための実験を行った。方法として、図1に示すようにシャーレに磁石を付けたクロオオアリを逆さまに配置する。その下から磁石を近づけていき、下の磁石の初期位置とクロオオアリがシャーレから離れたときの距離からクロオオアリの脚力を求めた。その結果を表1に示す。クロオオアリ5匹の平均の脚力の大きさは約1.3[mN]という結果が出た。これは位置制御実験装置の磁気力である0.2[mN]よりも大きい。

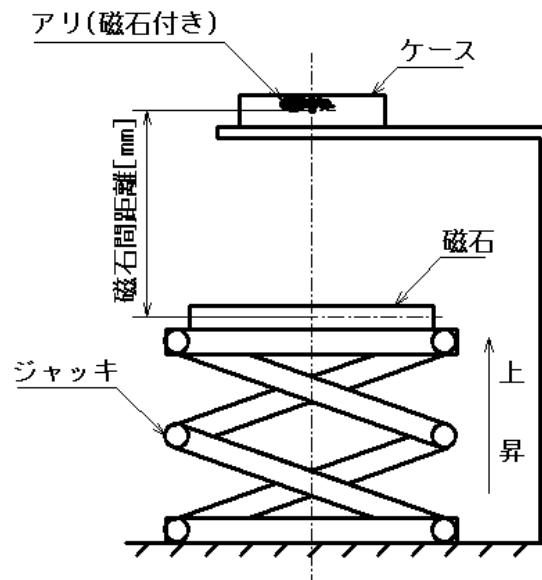


図1. アリの脚力測定実験装置

表1. アリの保持力測定結果

アリの番号	各歩行面時の保持力	
	印刷用紙 [mN]	ガラス [mN]
1	1.5	測定不可能
2	1.05	
3	×	
4	1.3	
5	×	
平均	1.28	×

2. CCD カメラの遅れ測定

本装置では CCD カメラを画像処理装置として使用し、アリに塗った色をマーカーとして読み取り位置情報を取得している。この CCD カメラは KEYENCE 社の画像処理装置 (CV-3000) と同社のシーケンサ (KV-5000) を使用している。

この CCD カメラを使用した場合、トリガ間隔やシーケンサまでの転送時間などによる遅れが生じる。この遅れを図 2 のような簡易測定装置を製作し測定した。導線にマーカーをつけたものをカメラの前方に配置し、この導線をドリルで高速で巻き取ることで導線が切れて電圧が流れなくなった時のマーカーの位置を比べて遅れを測定した。5 回測定を行い、その平均から遅れを求める。

測定したところ、転送にかかる遅れは約 22[ms] という結果になった。これは本研究室が以前調査したものとほぼ同じ結果のため、CCD カメラを実験に使用しても影響が少ないと考えられた。また、この遅れをより早くするためには CCD カメラの処理範囲を狭める、処理範囲の明るさを調整するなどによって調整することが可能であることも分かった。

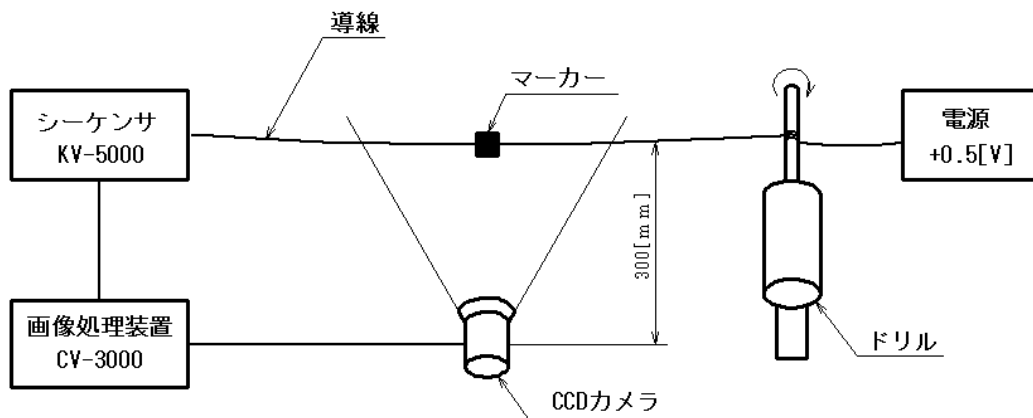


図 2. 画像処理の遅れ測定用の装置