

30年度 修士学位論文

電磁ブレーキを用いた
直列弾性駆動システムの制御に関する研究

指導教員 池浦良淳 教授

三重大学大学院
工学研究科機械工学専攻
システム設計研究室
BAHONGQIANG
(巴洪強)

目次

第 1 章 緒言	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究目的	5
1.3 本論文の構成	7
第 2 章 実験装置及び制御理論	8
2.1 実験装置	9
2.2 制御理論	17
第 3 章 実験手法	19
3.1 定電流時の最大摩擦トルク、並びにねじれ剛性の測定実験 I	19
3.2 動摩擦における電磁ブレーキ電流と制動トルクの関係の実験 II	19
3.3 動摩擦における電磁ブレーキ電流変化による制動トルク応答特性の実験 III	20
3.4 等速、定電流時における回転角による制動トルクの変化の実験 IV	20
第 4 章 実験結果	21
4.1 実験 I の結果	21
4.2 実験 II の結果	26
4.3 実験 III の結果	28
4.4 実験 IV の結果	33
第 5 章 結言	39
5.1 まとめ	39
5.2 今後の課題	41
参考文献	42
謝辞	44

第 1 章

緒言

1.1 研究背景

現在の日本は、少子高齢化の影響により、生産年齢人口の割合が年々減少している。Fig.1.1 に年代別の人口を示す[1]。この図の縦軸は各年代別の人口[千人]を示し、横軸は年を示す。また、青色は 0 歳から 14 歳までを示す年少人口、緑色は 15 歳から 64 歳までの年代を示す生産年齢人口、赤色は 65 歳以上の年代を示す老年人口を指す。この図から分かるように、2005 年以降老年人口が増加し、2005 年以降生産年齢人口及び年少人口の減少が見られ、要介護者の増加が見込まれ、介護者も不足するという問題がある。現在、要介護者等からみた主な介護者の続柄をみると、介護者の 6 割以上が同居している人となっており、配偶者の割合が最も多く、「老老介護」となっている[2]。また、Fig.1.2 に介護職と産業計の離職率を示す。こちらからも分かるように、介護職の方が離職率は高いことから介護者不足であるということが考えられる[3][4]。また、介護動作においてももっとも身体的負担が大きいのが移乗動作であり、介護者の負担となっている。そこで、Fig.1.3 に示すような移乗動作のできる介護ロボットが開発された[5]。現在の日本では、従来ロボットは産業用ロボットとして工場などで使用されている。しかし、介護ロボットは産業用ロボットと異なり、人と協調して働くことが望まれ、安心感や安全性が重要視される。そこで、ロボットアームの駆動方法や制御方法について様々な手法が提案されてきた[6][7][8][9]。安心感や安全性を重視すると、ロボットアームの特性が低インピーダンスであることが望まれる。ロボットアームにはダイレクトドライブが採用されることが望ましいとされる。しかし、低インピーダンスの動きをダイ

レクトドライブモータのみで行った場合、高トルクのモータを使用する必要があり、モータ自体が大型化するためロボットに適用できないという課題があった。これに対して、モータを小型化し、かつ高出力を得るために高い減速比のギアを装着したモータによる、アームの直接駆動が採用されてきた[10]。しかし、この駆動方法でインピーダンス制御を適用した場合、駆動部の剛性が高く、制御で柔らかさを表現することから、外部環境と接触した際に不安定になりやすい。そのため、高い減速比のギアを装着したモータを使い、低いインピーダンスの動きを実現するために、一つのモータとアームの間に弾性要素を使用する直列弾性駆動システムが採用され、そのシステムが採用されたロボットを Fig.1.4、Fig.1.5 に示す[11][12][13]。このシステムでは、インピーダンスのうちの剛性特性を、挿入した弾性要素により直接発生させることができる。そのため、このシステムでインピーダンス制御を適用した場合、アーム直接駆動に比べて、より柔らかさは表現される。しかし、高減速器を利用することによる、速度の制限及び応答遅れがあり、速い動きができないということが問題となっている。

この課題を解決するために、直列弾性駆動システムにもう一つモータを付加したアクチュエータシステムが着目されている。このシステムの実用化に向け、各種研究がこれまでに進められてきた。Zinn らは高減速のモータとばねによる直列弾性駆動システムに応答の速いモータを付加する機構を提案した[14][15]。このアクチュエータシステムは高減速機付きモータとばねによる直列弾性機構を高出力トルクであるが低周波数帯のアームの動力源とし、応答の速いモータを低出力トルクであるが高周波数帯のアームの動力源として、先の直列弾性機構に並列して配置するものである。このようにすることで、直列弾性駆動システムに見られる、モータの遅れによるアームの応答遅れを抑えることができる。しかし、モータを付加した直列弾性機構に用いられる応答の速いモータは低減速器を用いているため、トルクの上限值が比較的小さい。そのため、人の抱き上げなどの高負荷がかかった場合には、トルクが飽和し所望の特性を表現できないとい

う課題が存在した。

トルクが飽和し所望の特性問題を解決する為に、本研究では電磁ブレーキを用いて、アームをロックした状態で、トーションバーを前もってねじって、アームを動作する時に、ねじったエネルギーを開放するによって、大きなトルクを達成するのを考案した。

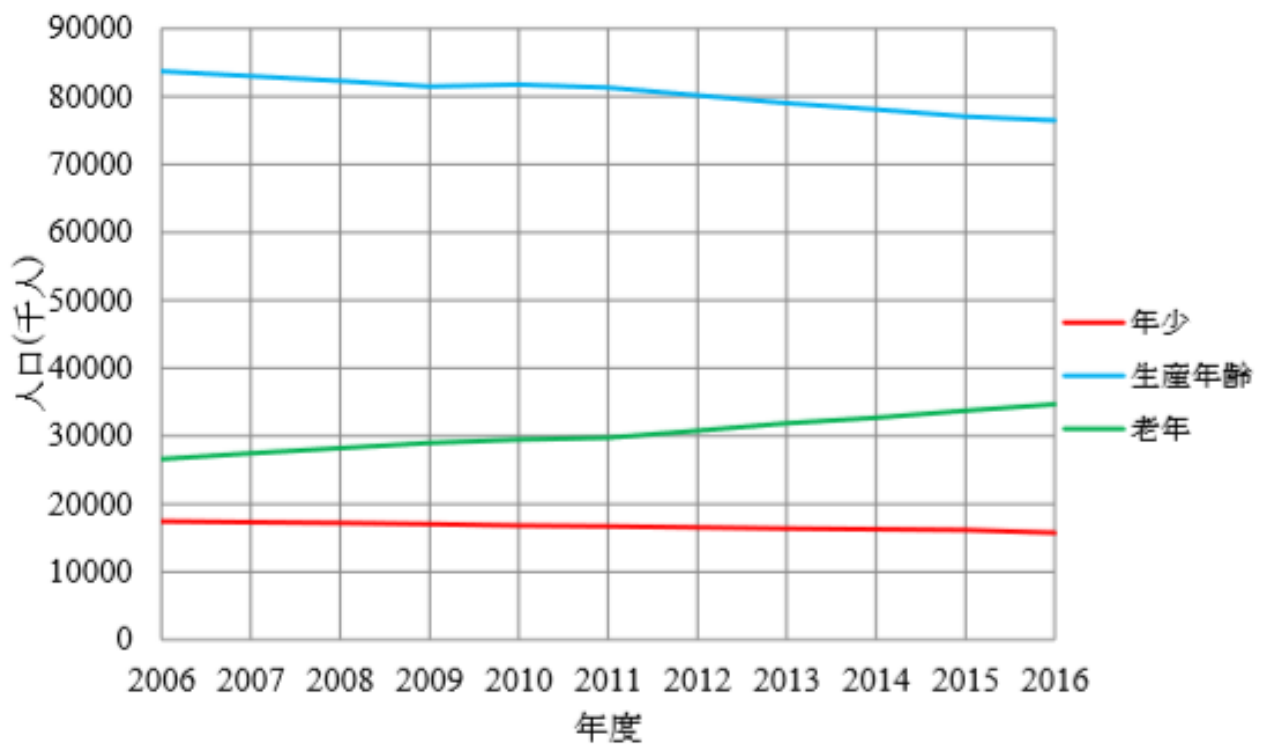
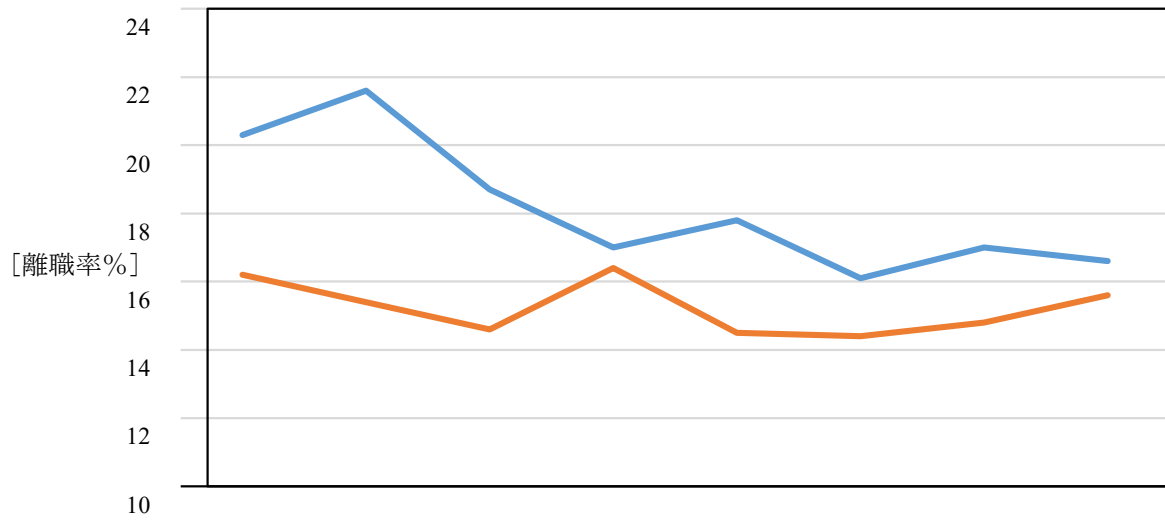


Fig.1.1 日本の各年代別人口の推移^[1]



平成 18 平成 19 平成 20 平成 21 平成 22 平成 23 平成 24 平成 25 年

— 介護者 — 全体

Fig.1.2 離職率の推移^{[3][4]}



Fig.1.3 アーム直接駆動採用ロボット RIBA^[9]



Fig.1.4 直列弾性駆動システム採用ロボット TWENDY-ONE^[11]



Fig.1.5 直列弾性駆動システム採用ロボット Baxter^[12]

1.2 研究目的

人を支え、抱き上げる必要があるため、高負荷に耐えられ、かつ大きなトルクを発揮しつつ、安心感や安全性が重要視されるため低インピーダンスの動きが望まれる。ロボットアームにはダイレクトドライブが採用されることが望ましいとされる。しかし、低インピーダンスの動きにはダイレクトドライブモータを使うことが理想であるが、ダイレクトドライブモータのみで行った場合、高トルクのモータを使用する必要があり、モータ自体が大型化するためロボットに適用できないという課題がある。そこでモータの小型化と大きなトルク両立のため、高減速比のギアを装着した小型のモータを用いたロボット駆動システムが使われる。しかし、問題点として高減速比のギアの摩擦により、位置制御を適用する必要である。また、アドミッタンス制御下にあるロボットが高剛性の外部環境と接触した場合に、システムが不安定となる。そこで、高減速比のギアを用いつつアームの安定性の向上を実現するため、直列弾性駆動システムが用いられることがある。しかし高減速比のギアによる大きな応答遅れ発生することがある。そのため、人の抱き上げなどの高負荷がかかった場合には、トルクが飽和し所望の特性を表現できないという課題が存在した。本研究では、システムの安定性向上や応答遅れを抑えるために、電磁ブレーキの摩擦力を用いた直列駆動システムを提案する。制御に用いる電磁ブレーキによる摩擦力は、電流値によって指令を送る。しかし、指令値を決定するには、電磁ブレーキの特性が前もって分からないと、制御できない。そこで、本研究室は電磁ブレーキの特性を調べる。

1.3 本論文の構成

第 1 章では研究背景と研究目的について述べた。本節では論文構成について述べる本論文の構成を以下に示す。まず第 2 章では本研究で使用する電磁ブレーキを用いた直列弾性駆動システムに適用する制御原理及び実験装置について述べる。第 3 章ではそれぞれの実験手法について述べる。第 4 章では実験結果及び実験結果の分析で述べる。最後に第 5 章では本研究のまとめと今後の研究課題について述べる。

第 2 章

電磁ブレーキを用いた直列弾性駆動システムの 実験装置及び制御理論

本章では本研究で使用する電磁ブレーキを用いた直列弾性駆動システムの制御原理及び実験装置について述べる。2.1 節では電磁ブレーキを用いた直列弾性駆動システムの制御原理について述べ、2.2 節では本機構について述べる

2.1 電磁ブレーキを用いた直列弾性駆動システムの実験装置及び制御理論

2.1.1 構造

Fig2.5 に左から DC モータ、高減速ギア、トーションバー、カップリング、アーム、電磁ブレーキで構成されている。DC モータと高減速比のギアで高減速アクチュエータに構成する。この高減速アクチュエータは弾性要素を通じてアームを駆動させる。ここで使用する弾性要素はゴムメタル製のトーションバーである。直列弾性駆動システムのように、この高減速アクチュエータとトーションバーだけでアームを駆動させると、弾性要素としてトーションバーを用いているので、あらかじめアクチュエータを利用してトーションバーをねじっておき、力を蓄えておくことができる。そして、蓄えたエネルギーを解放して、アームを駆動する。

2.2 実験装置

Fig.2.1 に電磁ブレーキ, Fig.2.2 に電磁ブレーキの特性, Fig.2.3 に DC モータ, Fig.2.4 に DC モータの特性, Fig.2.5 に実験装置, Fig.2.6 に本機構の構成図 a を示す。Fig.2.7 に偶力モーメントレバーを付ける実験装置, Fig.2.8 に本機構の構成図 b を示す。 Fig.2.9 にアームを付けいない実験装置。 Fig.2.10 に偶力モーメントレバー。 Fig.2.11 に DC モータ側に使った直流安定化電源であり, Fig.2.12 に電磁ブレーキ側に使った直流安定化電源であり, Fig.2.13 に波形を表す Digital Phosphor Oscilloscope であり, Fig.2.14 に波形の周波数を変える機械であり, Fig.2.15 に実験装置中で使った機械の全図である。本実験装置の主要構成部品は, DC モータ, 中空減速機, トーションバー, アーム, 電磁ブレーキである。DC モータは澤村電気工業製の DC モータ SS60E6 シリーズを使用し, 種類はモータ単体, モータ種類は標準で, 本体形状は丸で, フランジ寸法 100mm で定格出力は 250W で, 電圧は 24V, 定格トルクは 0.98[Nm] で, 回転速度は 2500rpm, 定格電流は 15A である。ここで使用する減速機も遊星歯車機構で, 減速比が 10 である。トーションバーはゴムメタルという素材で製作している。このゴムメタルは豊田中央研究所が開発した素材であり, 低弾性率ながらも高強度で, 巨大弾性変形能を有するチタン合金である^{[17][18]}。高減速アクチュエータとトーションバーとの締結はパワーロックを使用し締結する。また、トーションバーとアームの締結はカップリングを使用して締結しており、アームと低減速アクチュエータは減速機とアームが直接接続している。アームの材料はアルミで重量は前使ったアームの重量より軽くして、0.87kg アームの全長は 0.6m であり、アームの慣性モーメント 0.21「Nms²/rad」。なお、安全性を考慮し、アームの最上点及び最下点にストッパーを配置し、装置全体をアルミフレームで支える構造となっている。DC モータ側に KENWOOD REGULATED DCPOWER SUPPLY PD36-10AD の直流安定化電源と繋がり、電磁ブレーキ側に KENWOOD REGULATED POWER SUPPLY PA36-3A の直流安定化電源と繋がる。そして波形を表すディスプレイは Tektronix TDS 3014C Digital Phosphor

Oscilloscope である。波形の周波数を DIGITAL FUNCTION GENERATOR 0.1mHz-2MHzDF1906 で変わる。



Fig2.1 電磁ブレーキ

型式	サイズ	動摩擦トルク[N・m]	静摩擦トルク[N・m]	コイル (at20°C)				耐熱クラス
				電圧[V]	容量[W]	電流[A]	抵抗[Ω]	
111-12-13G	12	40	45	DC24	25	1.09	23	B
最高回転速度1/min	アーマチュア慣性モーメント		空隙再調整までの総仕事ET[J]	トルク立ち上がり時間 tp[s]	トルク消滅時間 td[s]	質量 [kg]		
4000	1.31 × 0.001		250 × 10 ⁶	0.09	0.05	1.68		

Fig2.2 電磁ブレーキの特性



Fig2.3 DC モーター

種類	モーター単体	モーター種類	標準
定格出力 (w)	250	電圧 (V)	24
回転速度 (rpm)	2500	定格トル (Nm)	0.98
定格電流 (A)	15	取付タイプ	標準

Fig2.4 DC モーターの特性

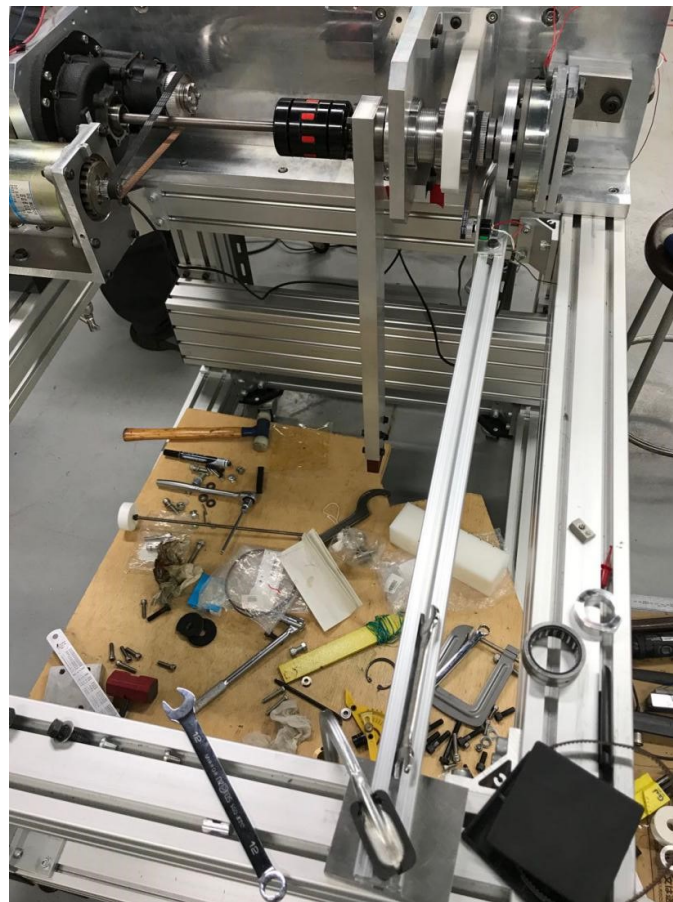


Fig2.5 実験装置

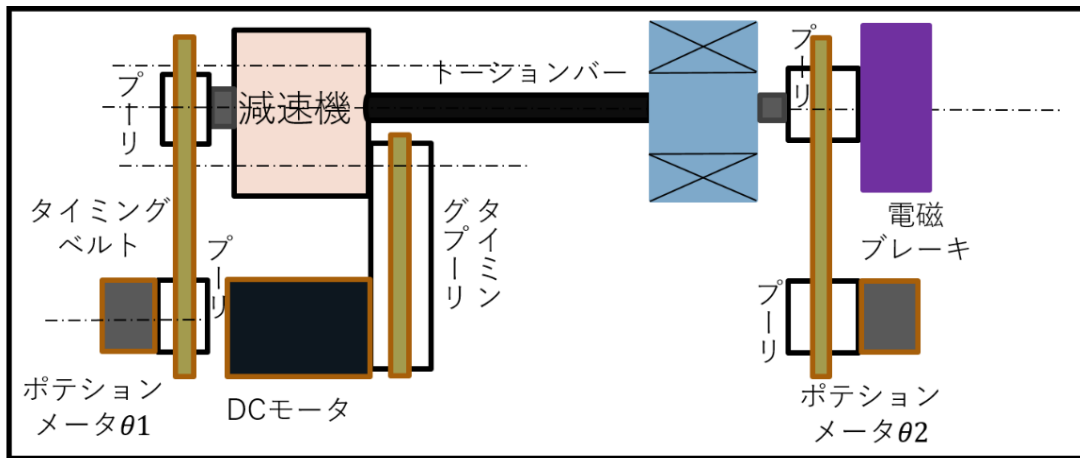


Fig2.6 本機構の構成 a

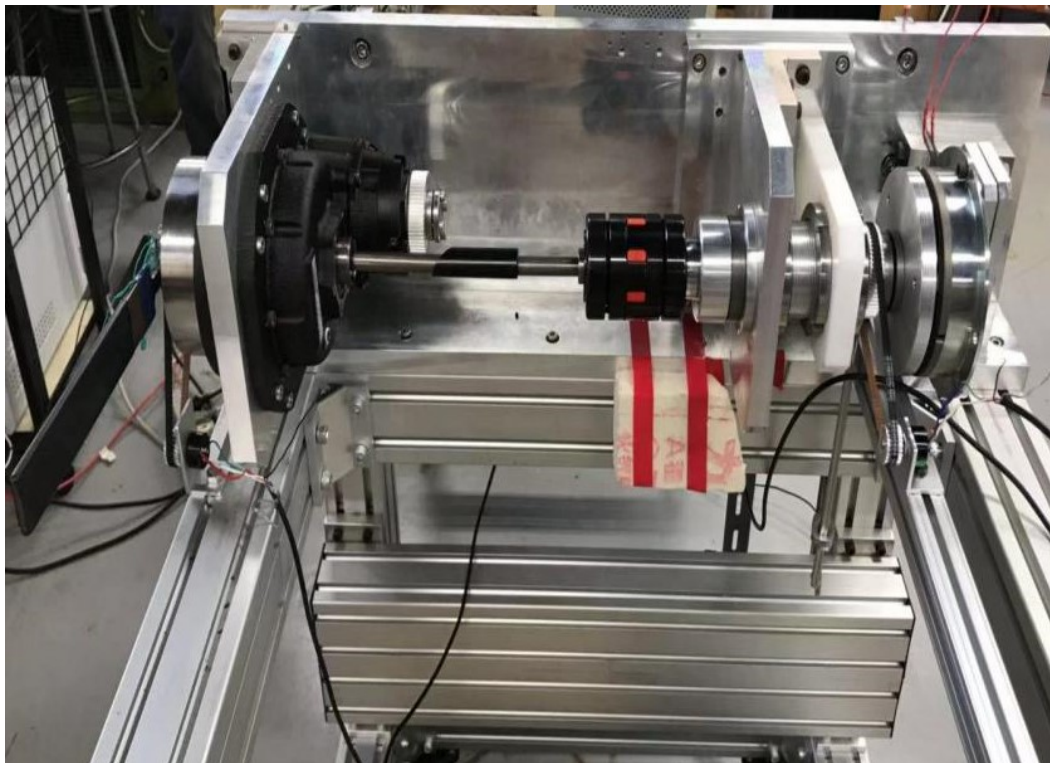


Fig2.7 偶力モーメントレバーが付ける実験装置

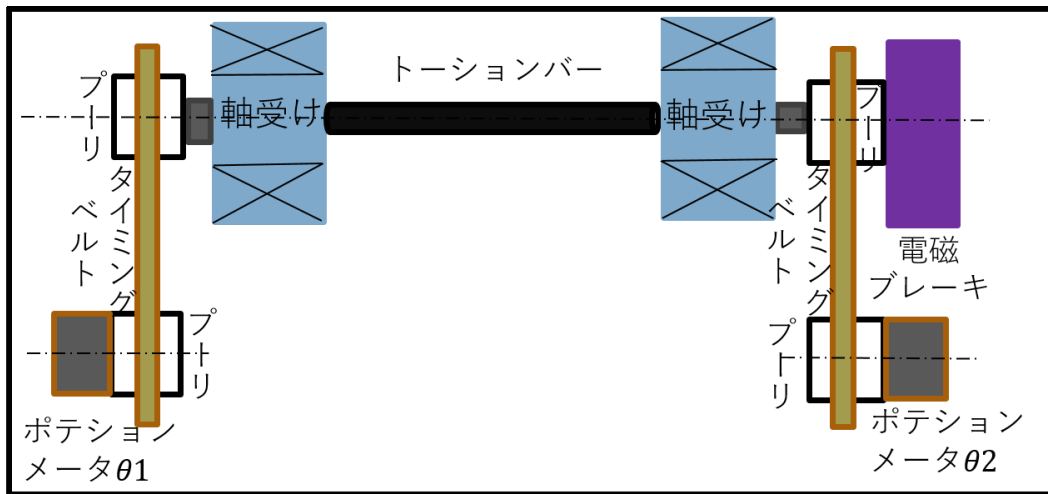


Fig2.8 本機構の構成 b

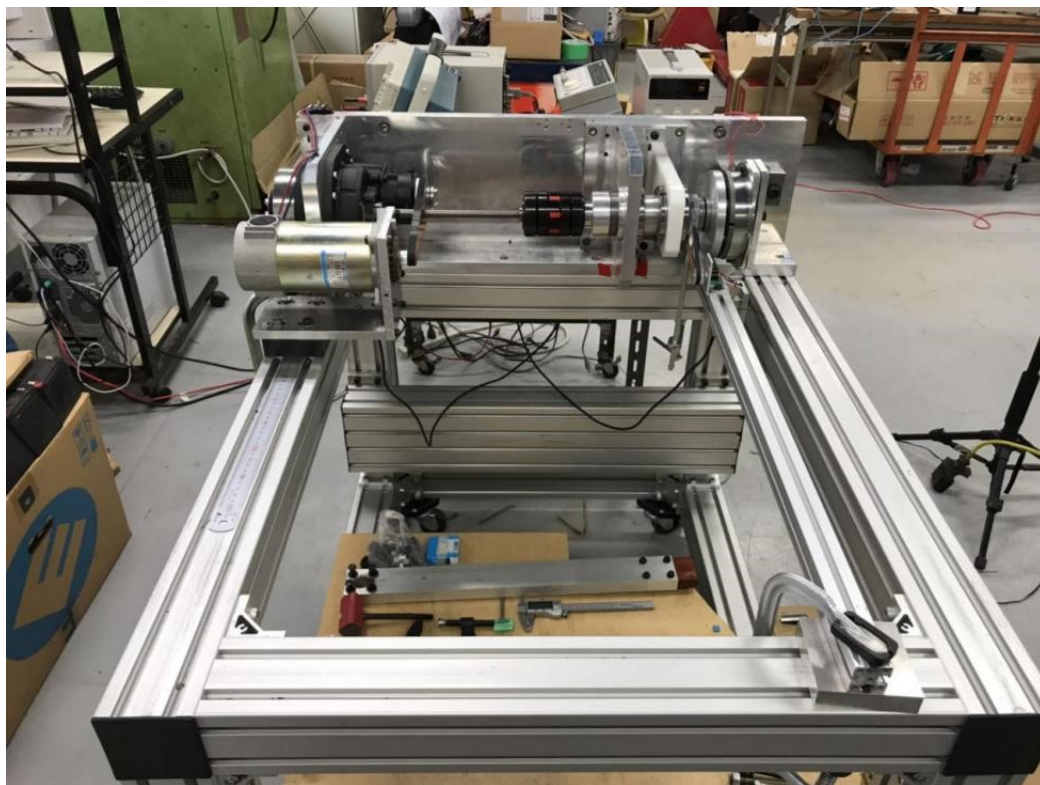


Fig2.9 アームを付けない実験装置



Fig.2.10 偶力モーメントレバー



Fig.2.11 DC モータ側に使う直流安定化電源



Fig2.12 ブレーキ側に使う直流安定化電源

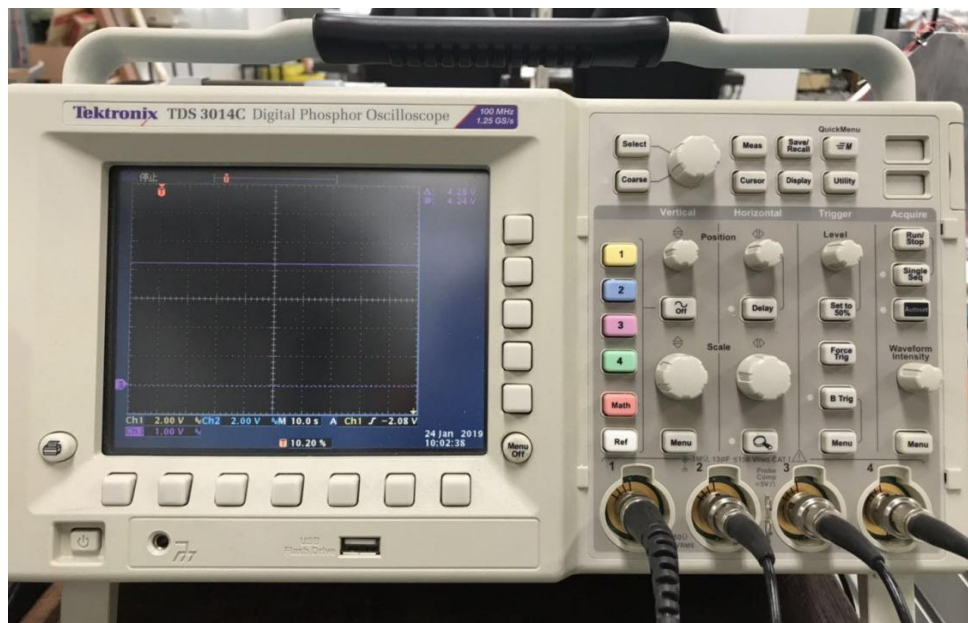


Fig2.13 Digital Phosphor Oscilloscope



Fig.2.14 DIGITAL FUNCTION GENERATION



Fig.2.15 実験中使った機械全図

2.2 制御理論

本機構に適用制御手法について模式図と照らし合わせて説明する。

まず初めに、Fig.2.1 に示す本機構の運動方程式を以下に示す。

$$I\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + K(\theta - \theta_e) + mgl \sin \theta = \tau_b \quad (2.1)$$

ここで、アームの慣性モーメントを $I[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$ 、粘性を $C[\text{Ns/rad}]$ 、トーシヨンバーのばね定数を $k[\text{Nm/rad}]$ 、アームの質量を $m[\text{kg}]$ 、アームの重心までの距離を $l[\text{m}]$ 、アームの回転角度を $\theta[\text{rad}]$ 、位置制御モータの回転角度を $\theta_e[\text{rad}]$ 、電磁ブレーキのトルクを $\tau_b[\text{Nm}]$ 。位置制御モータに入力する軌道 θ_{ed} を求める為に、電磁ブレーキのトルク τ_b を 0 にする。

$$I\ddot{\theta}_d + C\dot{\theta}_d + K(\theta_d - \theta_{ed}) + mg \sin \theta_d = 0 \quad (2.2)$$

位置制御モータに入力する軌道 θ_{ed} を求める

$$\theta_{ed} = \frac{1}{k}(I\ddot{\theta}_d + C\dot{\theta}_d + mgl \sin \theta) + \theta_e \quad (2.3)$$

ここで、位置制御モータの目標値を $\theta_{ed}[\text{rad}]$ 位置制御モータの実際の角度を $\theta_e[\text{rad}]$ 位置制御モータの動特性により、実際のモータの軌道 $\theta_e[\text{rad}]$ が出力される。モータの特性を一次お遅れと近似して

$$\theta_{ed} = T_1\dot{\theta}_e + \theta_e \quad (2.4)$$

位置制御モータの時定数を $T_1[\text{ms}]$ とする。

応答遅れを防ぐため τ_b を加えるが制動力のみ発生可能なブレーキ力 τ_b で制御するためトーシヨンバーに予めねじり θ_α を加える

$$\dot{\theta}_{ed} = \theta_{ed} + \theta_\alpha \quad (2.5)$$

$\dot{\theta}_{ed}$ を位置制御モータに入力する

$$\dot{\theta}_{ed} = T_1\dot{\theta}_e + \theta_e \quad (2.6)$$

以上(2.3),(2.6)二つの公式で求めた θ_{ed} 及び θ_e から目標電磁ブレーキ力 τ_b を以下の式

で計算する

$$\tau_{bd} = k(\theta_{ed} - \theta_e) \quad (2.7)$$

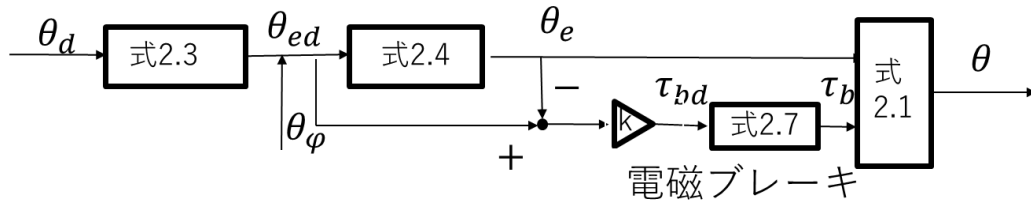


Fig2.16 提案手法による制御図

上記の式でトルク制御モータの目標トルク τ_{bd} を求め、この目標トルク値をトルク制御モータにタに入力する。位置制御モータの目標回転角度 θ_{ed} に θ_α を加えることにより、角度が増えるが、それに相当するトルクをトルク制御モータが逆方向に回ることにより相殺し、アームの運動への関与はない。そして、蓄えられたエネルギーをトルク出力の際に解放するで、アームに加わるトルクを増やすことができ、アームに高負荷がかかった場合でも応答の改善ができる。これが、今回提案するエネルギー蓄積による制御手法である。エネルギー蓄積による制御手法の一連の流れを表した図を Fig.2.16 に示す。

τ_{bd} が電磁ブレーキに入力され、実際のブレーキトルク τ_b が出力される

$$\tau_{bd} = T_2 \dot{\tau}_b + \tau_b \quad (2.8)$$

(2.6),(2.8)で求めた θ_e , τ_b を元の運動方程式に代入し、実際の軌道 θ を求める。

この制御実現する上で、電磁ブレーキの動特性を調べるのが重要であるので、本研究では電磁ブレーキの特性について調べた結果に示す。

第 3 章

実験手法

3.1 実験概要

まず、定電流時の最大摩擦トルク、並びにねじれ剛性の測定するため、以下の実験をした。

実験 I の手順

実験 I の手順を Fig2.7 に照らし合わせて説明する。

まず電磁ブレーキに 0.1A,0.2A,0.3A,0.4A,0.5A の直流定電流を流し、偶力モーメント負荷レバーによって、極低速で最大摩擦を超えるまでモーメントを与える。これにより回転角 θ と偶力モーメント τ の関係を求めた。

Fig2.8 にはポテンシオメータ θ_1 と θ_2 があり、その角度差 ($\theta_1 - \theta_2$) と偶力モーメント τ との相関性を検証した結果、 $\theta_1 - \theta_2$ で正確に制動トルクを表現できたので、以下 $\theta_1 - \theta_2$ をもって制動トルク τ とし、以降の実験でもこれを用いる。

次動摩擦における電磁ブレーキ電流と制動トルクのために以下の実験 II をした。

実験 II の手順

実験 II の手順は Fig2.9 に照らし合わせて説明する。

まず電磁ブレーキに 0.1A,0.3A,0.5A の定電流を流して、トーションバーを下方の鉛直位置から水平位置まで 7.5 度/秒で回転する。その際求められた制動トルク τ と角度 θ の図に示す。

動摩擦における電磁ブレーキの電流変化による制動トルク応答特性を知るために以下の実験をした。

実験Ⅲの手順

実験Ⅲの手順は Fig2.9 に照らし合わせて説明する。

DIGITAL FUNCTION によってステップアップ関数を発生させ、電磁ブレーキに 0A から 0.1A まで電流値をジャンプさせた。また 0.1A から 0.2A まで、0.2A から 0.3A まで、0.3A から 0.4A まで、0.4A から 0.5A まで、0.5A から 0.6A まで同様な電流値を与えた。また、DC モータの電流値は常に 2A を保った。

等速、定電流時における回転角による制動トルクの変化を知るために、以下の実験をした。

実験Ⅳの手順

実験Ⅳの手順は Fig2.5 に照らし合わせて説明する。

電磁ブレーキ 0.3A,0.5A の電流を流して、トーシヨンバーを毎秒 7.5 度の速度で 360 度回転する。

第 4 章

実験結果

本章では実験 I、II、III、IV それぞれの実験結果について述べる。

まず実験 I について実験結果を以下に載せる。

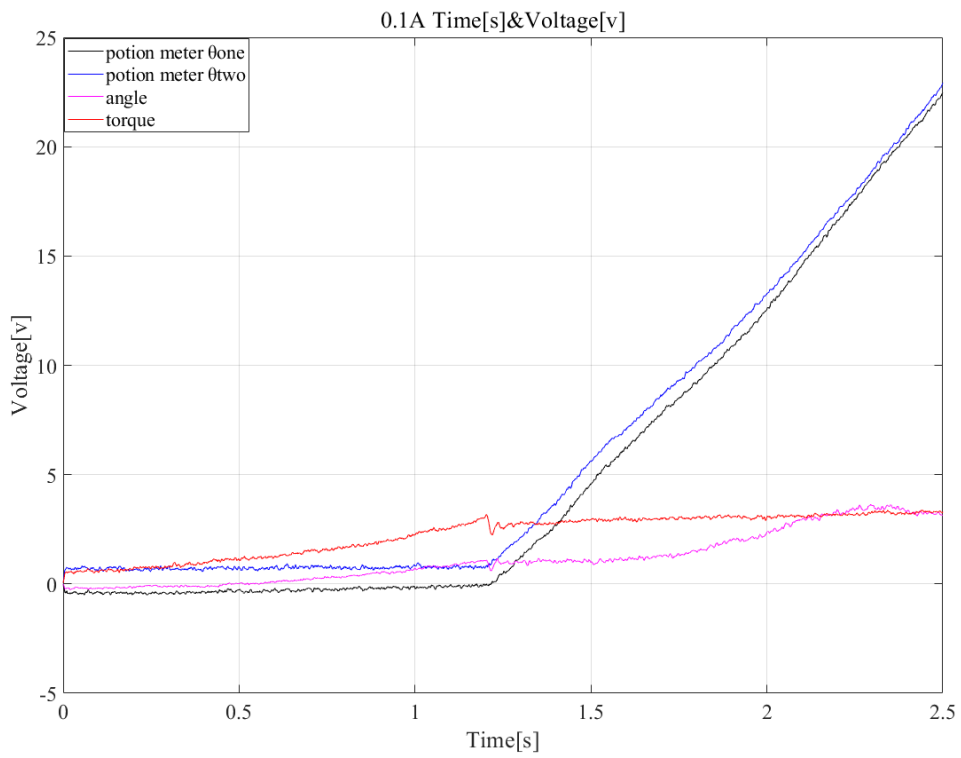


Fig4.1 0.1A flowed in the electromagnetic brake,
the relationship between time and voltage

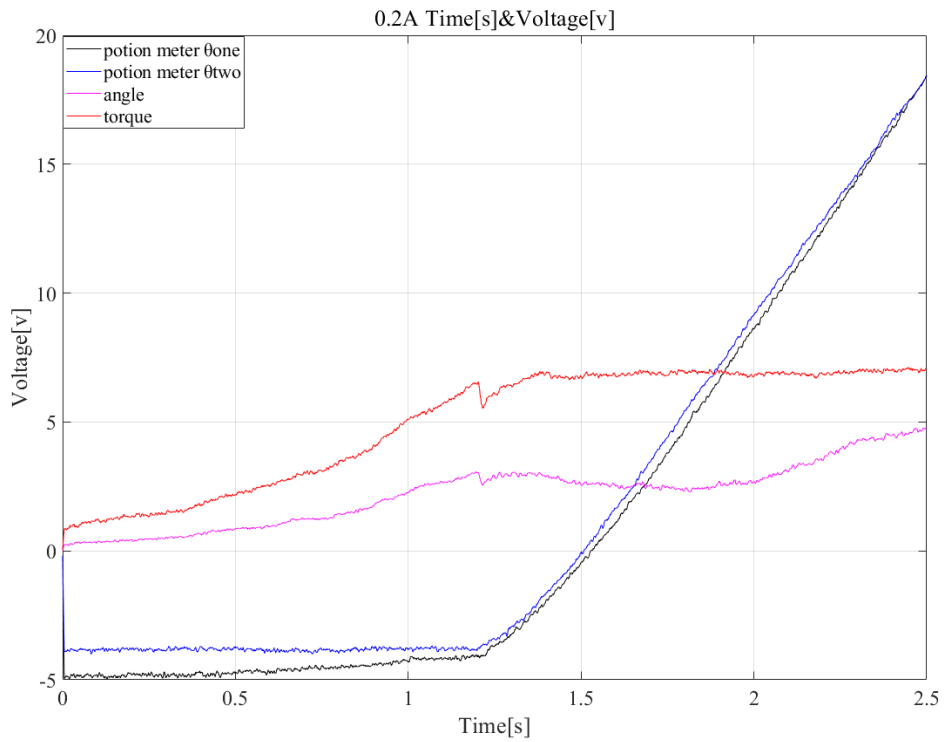


Fig4.2 0.2A flowed in the electromagnetic brake,
the relationship between time and voltage

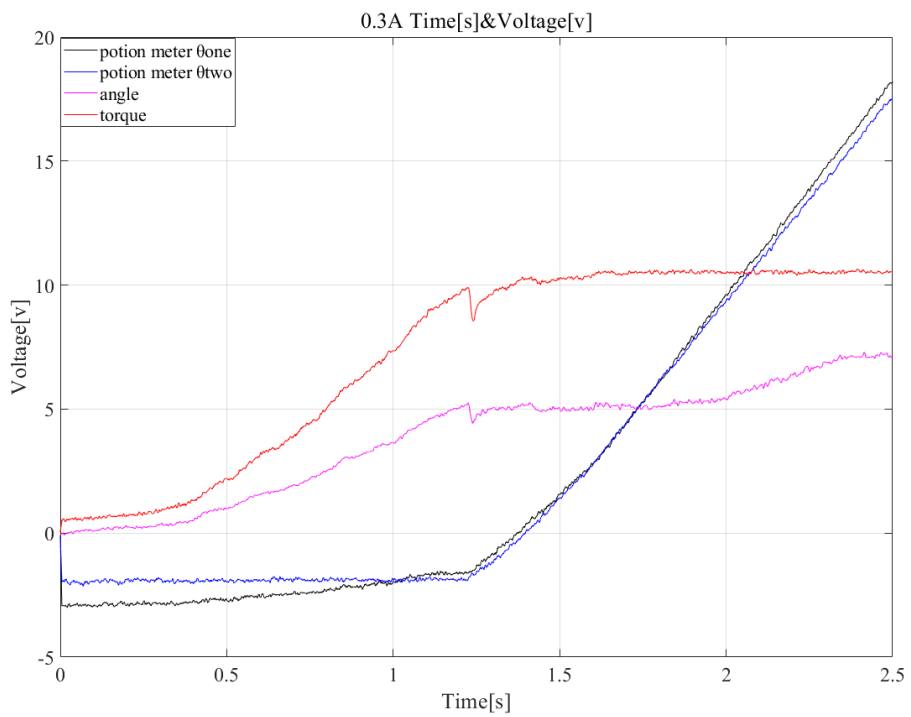


Fig4.3 0.3A flowed in the electromagnetic brake,
the relationship between time and voltage

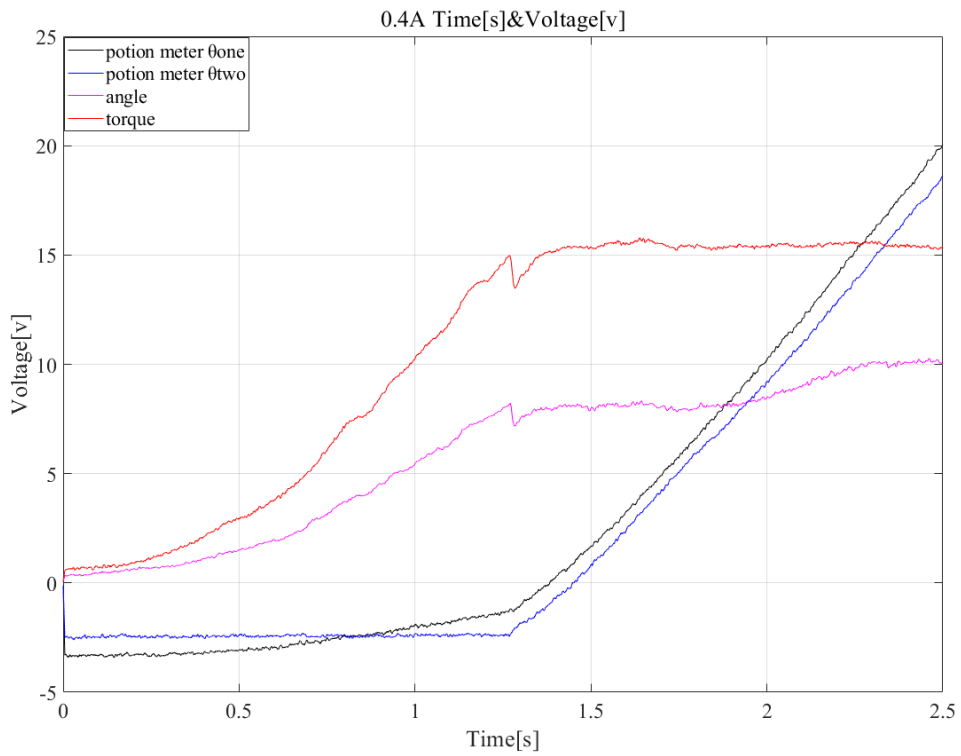


Fig4.4 0.4A flowed in the electromagnetic brake, the relationship between time and voltage

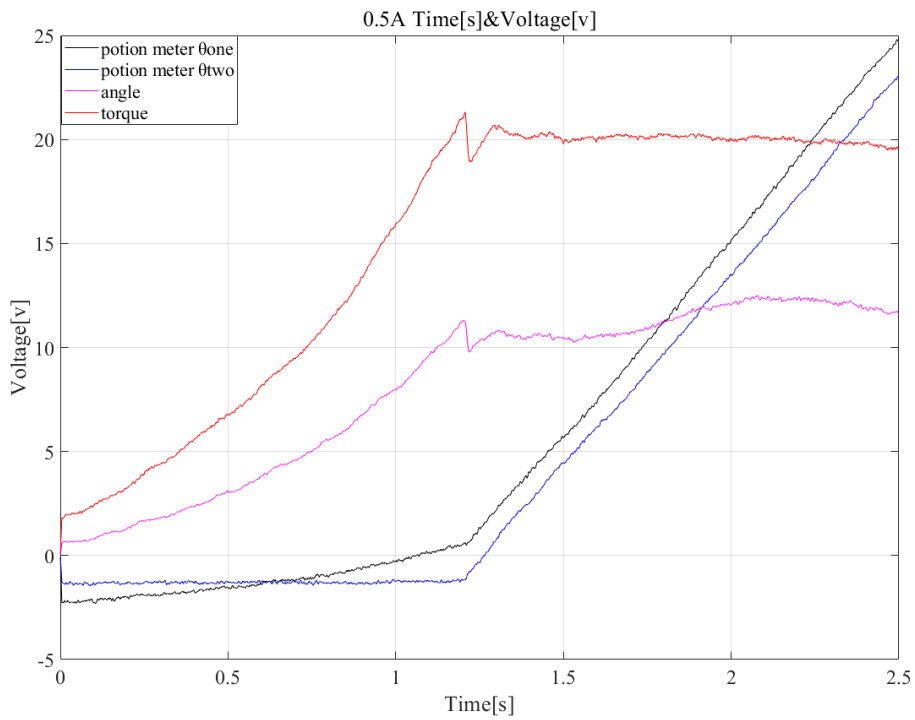


Fig4.5 0.5A flowed in the electromagnetic brake, the relationship between time and voltage

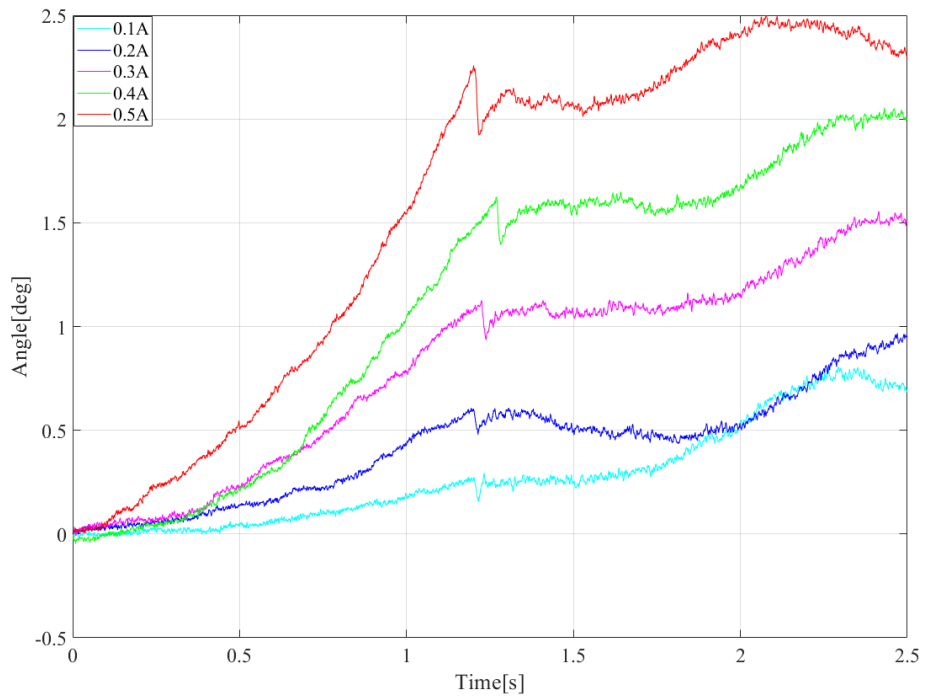


Fig4.6 A current of 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.4 A, 0.5 A was applied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and torsion angle

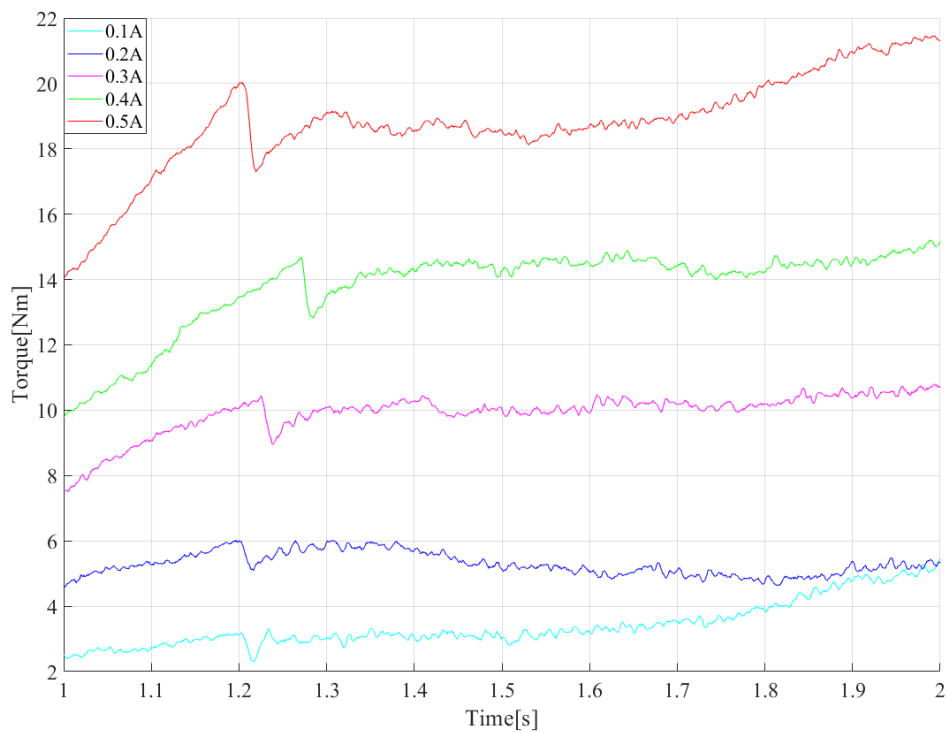


Fig4.7 A current of 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.4 A, 0.5 A is passed through the electromagnetic brake, and the relationship between time and torque

縦軸はトルクであり、横軸は時間を表し、電磁ブレーキに 0.1A、0.2A、0.3A、0.4A、0.5A の電流を一回ずつ流し、大体 1 秒を立ってからトルクを最大値になり、後少し小さくなってから、一定値に保持する。

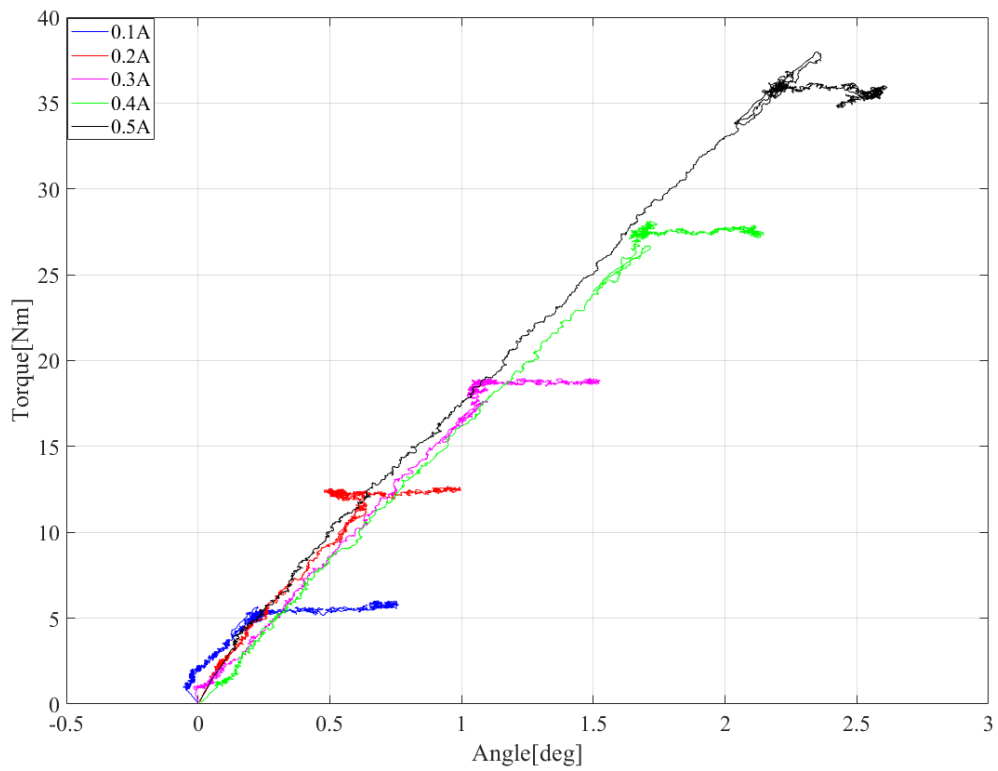


Fig4.8 A current of 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.4 A, 0.5 A is applied to the electromagnetic brake, and the relationship between the torsion angle and the torque

実験Ⅱについて、実験結果を以下に載せる。

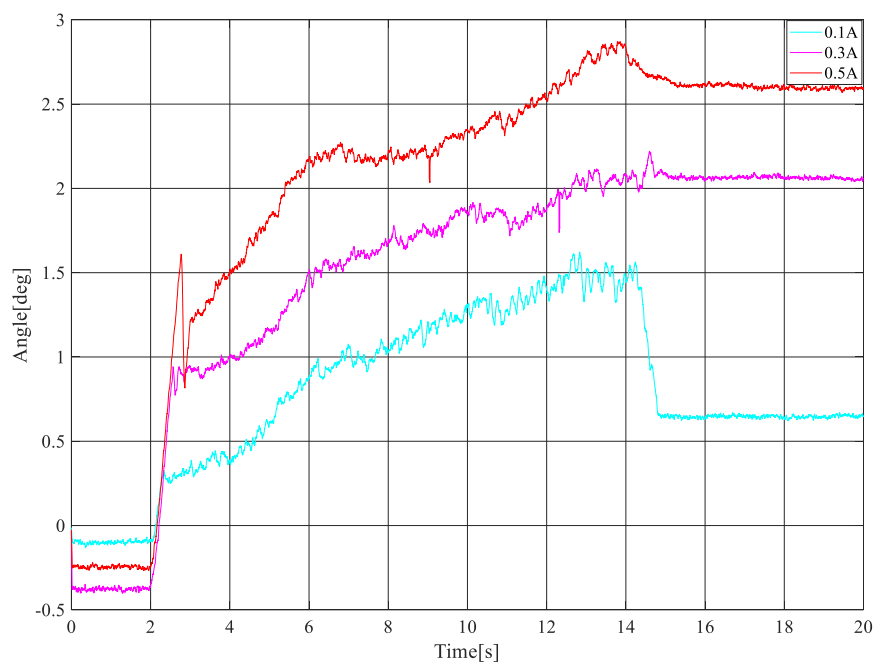


Fig4.9 A current of 0.1 A, 0.3 A, 0.5 A was applied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and torsion angle

アームを付けないままで、電磁ブレーキに 0.1A,0.3A,0.5A を流してから、DC モーターで回すデータである。横軸は時間であり、縦軸はねじり角度を表す。グラフにから見れば、二秒間後少し振動が出てくる、十四秒後また一定値になる。

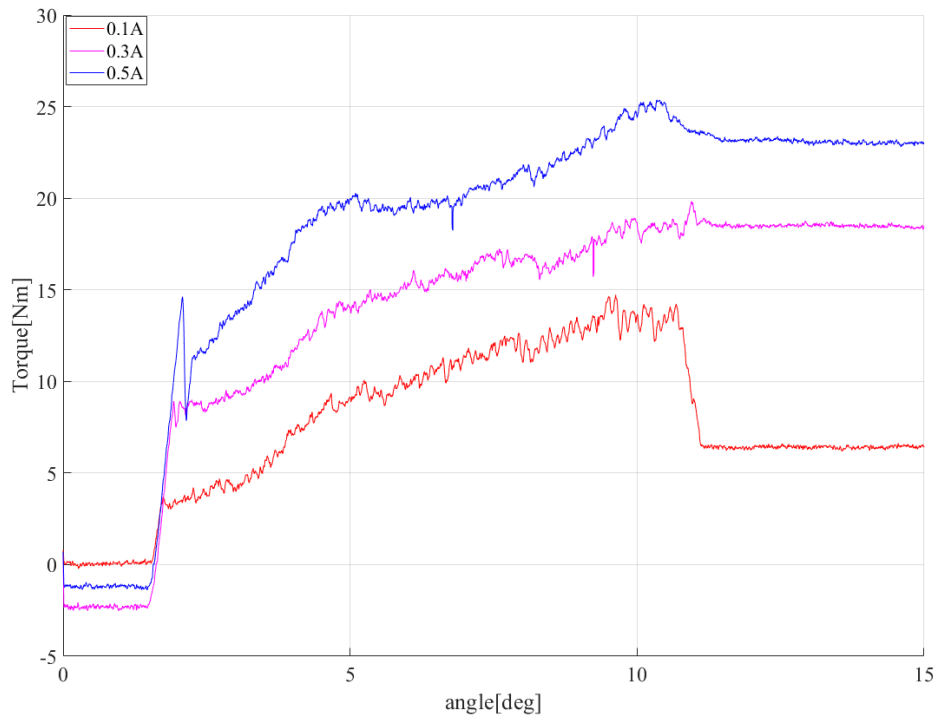


Fig4.10 Relationship between torsion angle and torque by applying 0.1 A, 0.3 A, 0.5 A current to the electromagnetic brake

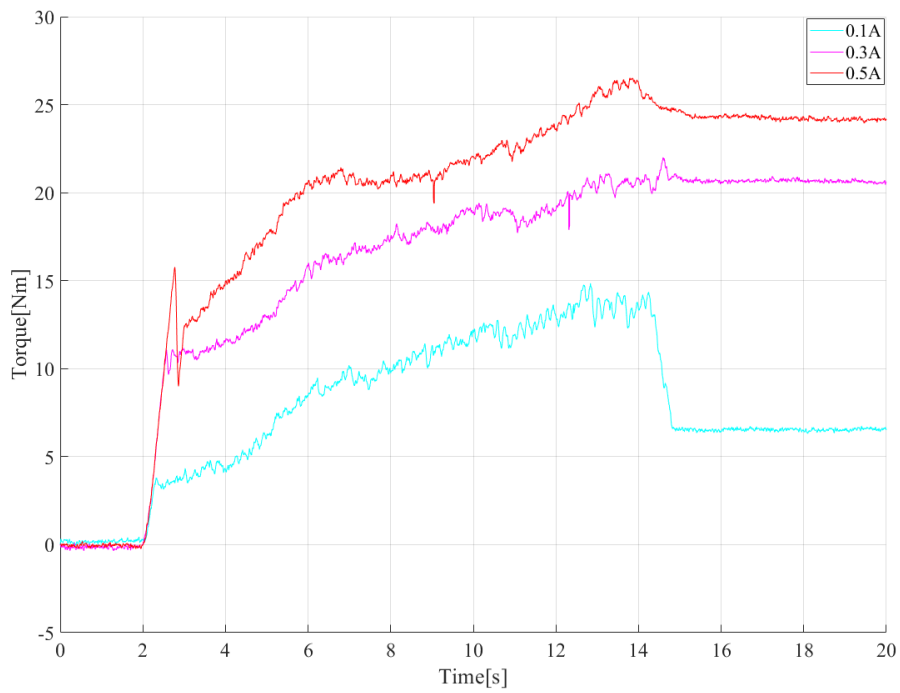


Fig 4.11 A current of 0.1 A, 0.3 A, 0.5 A is applied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and torque

同じ実験条件で、二秒間でトルクの値が 0Nm から急に大きくなって、後ゆっくり大きくなっていて、十四秒後ちょうど小さくなり、それから、一定値になる。

実験Ⅲについて実験結果を以下に載せる。

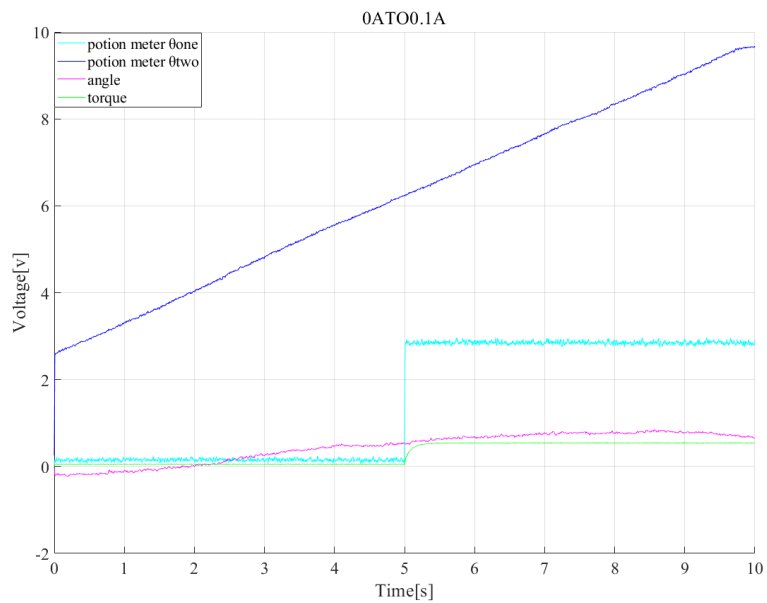


Fig4.12 A current of 0 A to 0.1 A is applied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

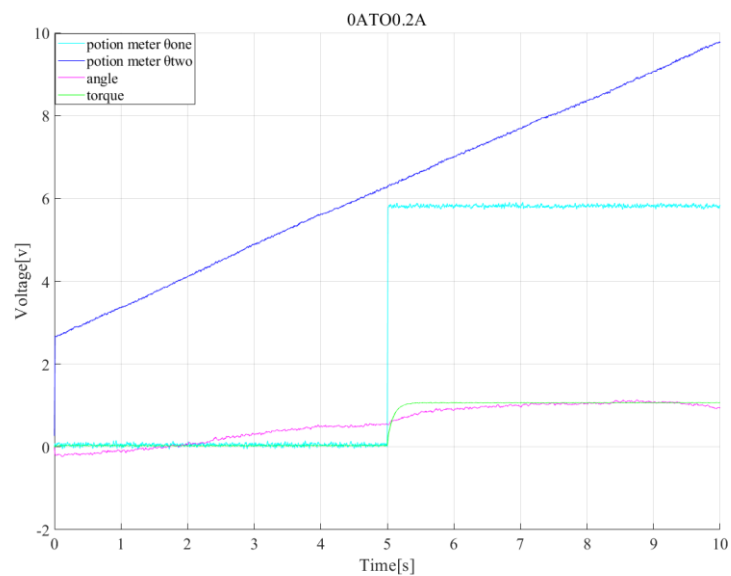


Fig4.13 A current of 0 A to 0.2 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

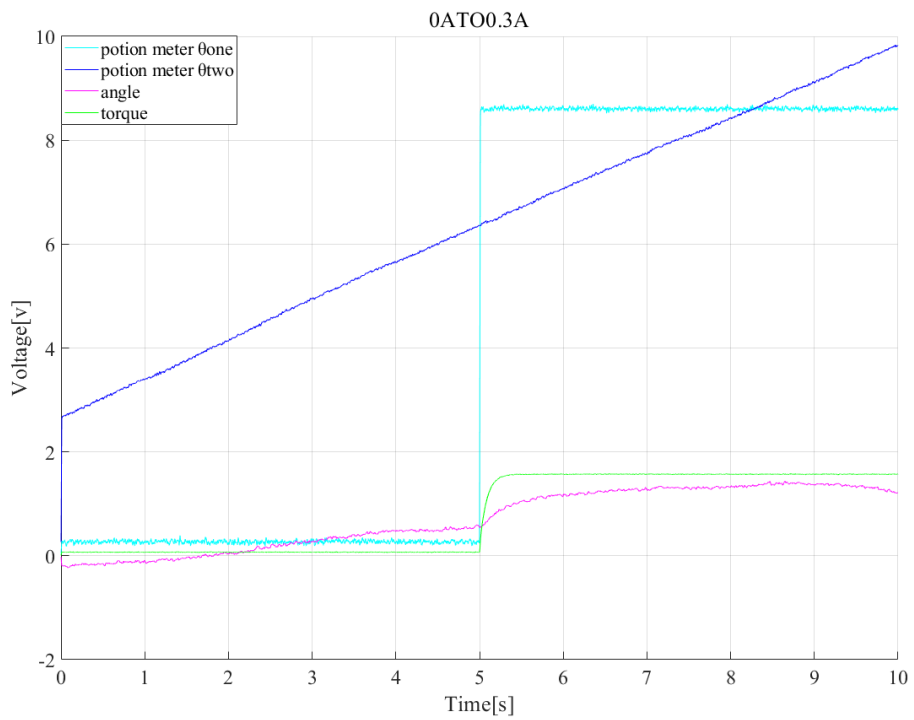


Fig4.14 A current of 0 A to 0.3 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

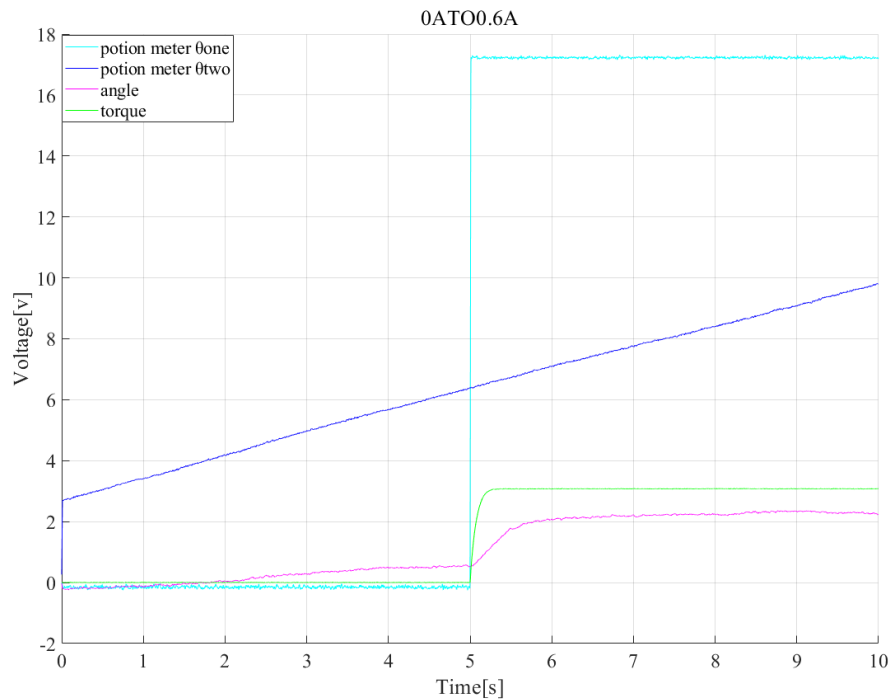


Fig4.15 A current of 0A to 0.6 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

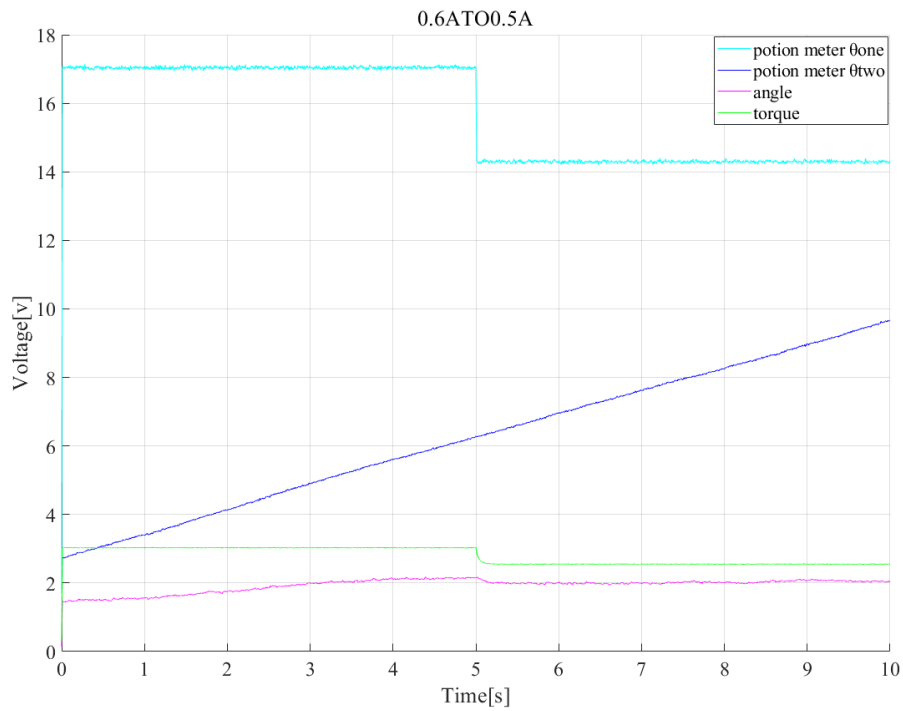


Fig4.16 A current of 0.6A to 0.5 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

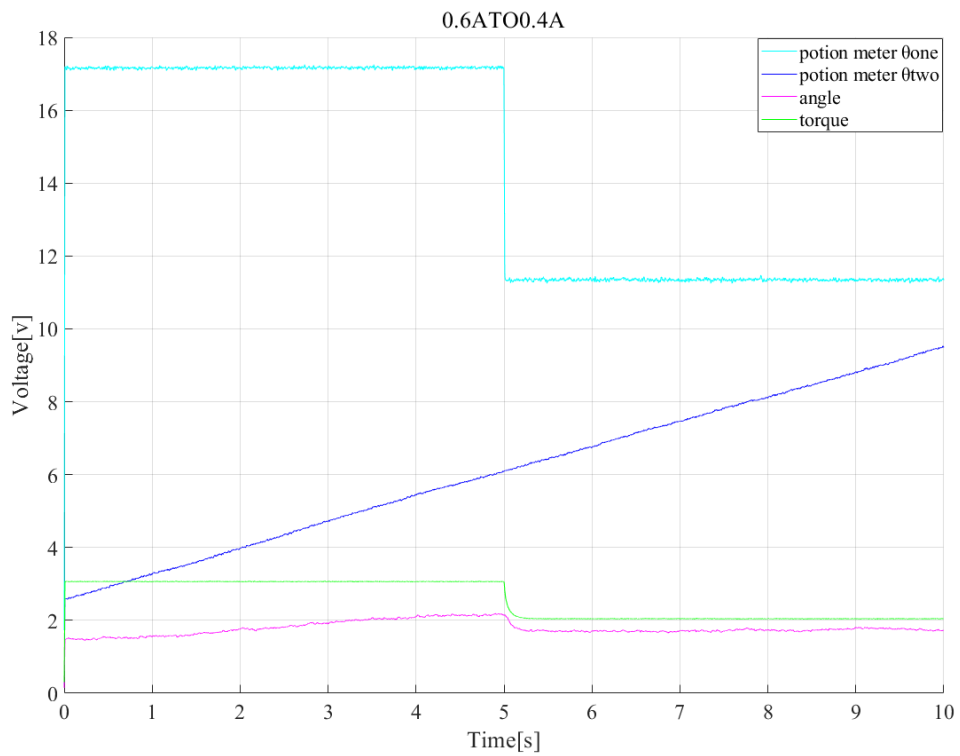


Fig4.17 A current of 0.6 A to 0.4 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

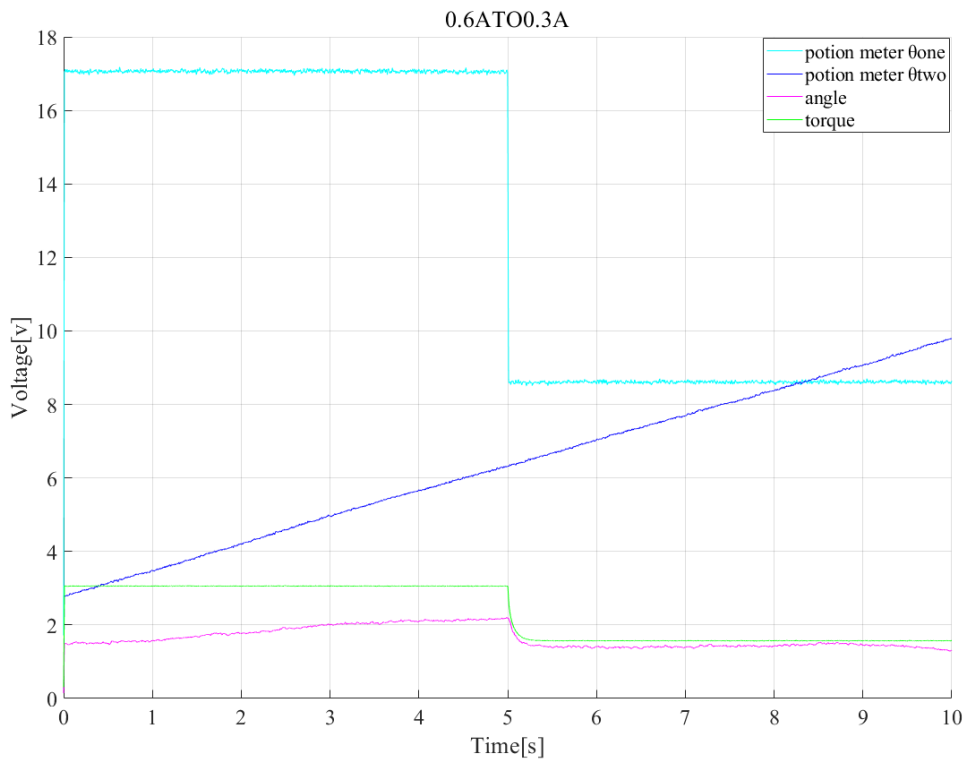


Fig4.18 A current of 0.6 A to 0.3 A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

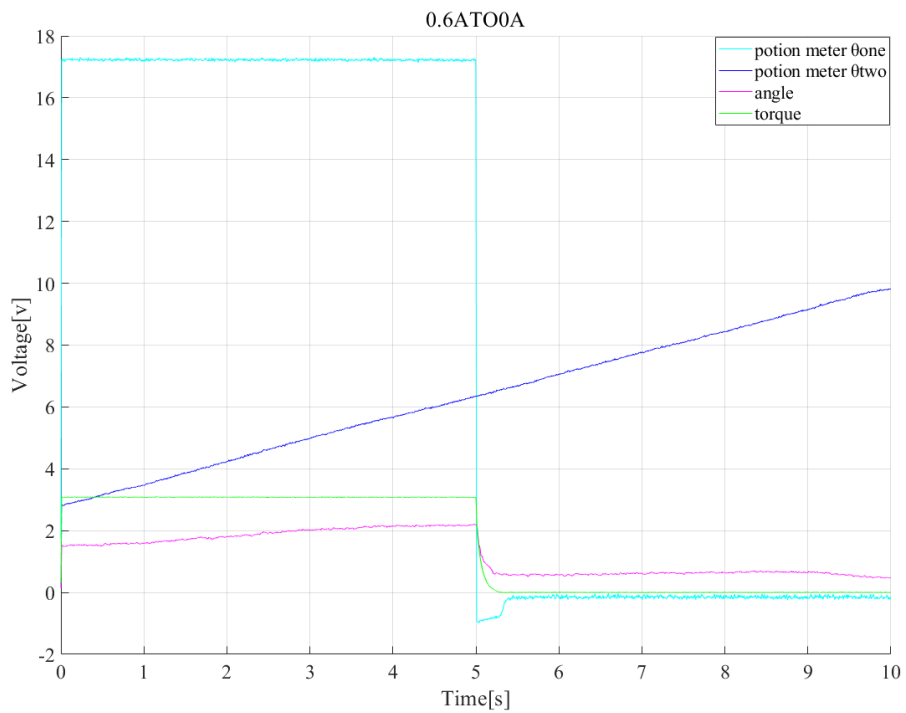


Fig4.19 A current of 0.6 A to 0A is supplied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and voltage

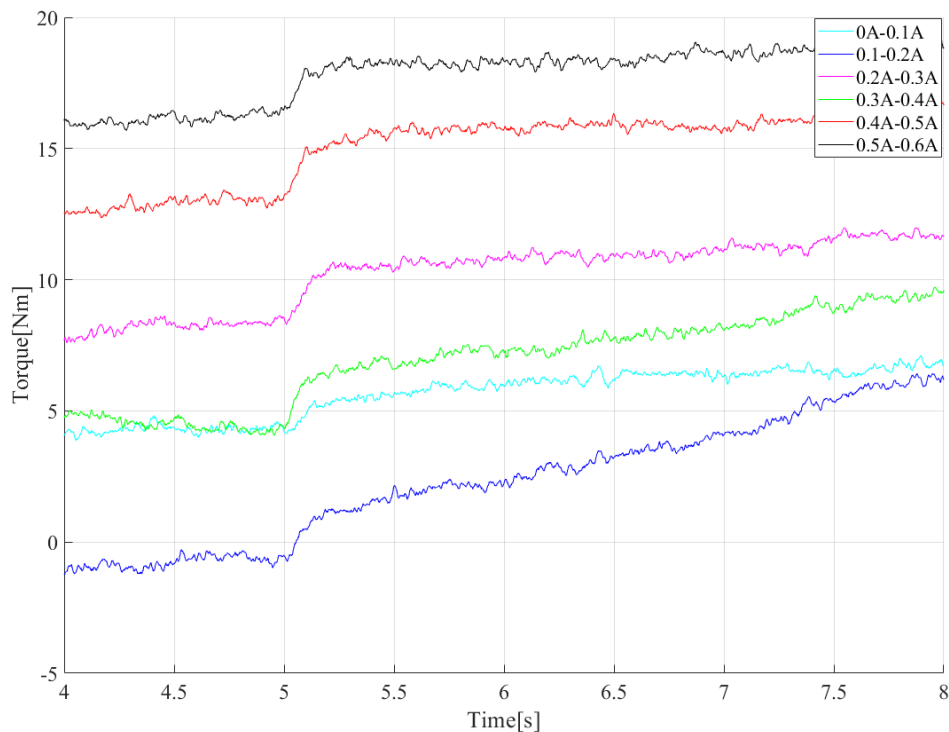


Fig4.20 From 0 A to 0.1 A ,0.1 A to 0.2 A ,0.2 A to 0.3 A ,0.3 A to 0.4 A ,0.4 A to 0.5 A and from 0.5 A to 0.6 A, the relationship of the electromagnetic brake and time

実験Ⅲについて、実験データを説明する。横軸は時間であり、縦軸はねじり角度を表し、水色は電磁ブレーキに DIGITAL FUNCTION GENERATION で 0A から 0.1A までの電流を流したポテンションメータの差であり、つまりねじり角度であり。電流値が大きくなるに従って、ねじり角度も徐々に大きくなる。ブルは 0.1A から 0.2A までの電流を流して、ねじり角度の線であり、グラフから見れば、一秒までにねじり角度は一応大きな値になって、後徐々に下がって、5秒からまた値が大きくなる。紫色は 0.2A から 0.3A までの線であり、0.2A から 0.3A まで、電流値が大きくなると、ねじり角度はずっと徐々に大きくなり、5秒後、値が急に大きく変化してから、また徐々に大きくなる。実験データから見れば、一番安定な範囲を分かれる。これ以上超えると、不安定性が出て、グリーンはそうである。2.5秒までにねじり角度を 0 から 0.5deg までに

急に上がり、それからゆっくり 0.5deg まで下がり、それからまた徐々大きくなる。その過程少し振動が出てる。茶色は 0.4A から 0.5A までの線であり、黒いは 0.5A から 0.6A までの線であり、この二つの線は 0.2A から 0.3A までの線と比べて、波形は上昇する。

実験Ⅳについて、実験結果を以下に載せる。

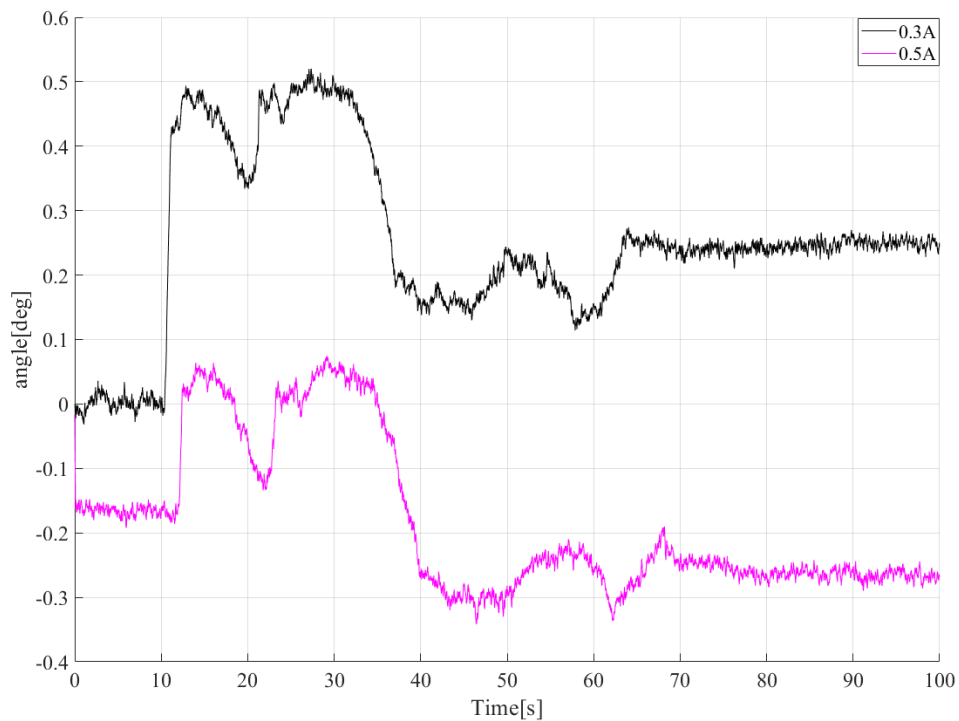


Fig4.21 For the first time relationship between time and torsion angle by applying 0.3 A, 0.5 A current to the electromagnetic brake

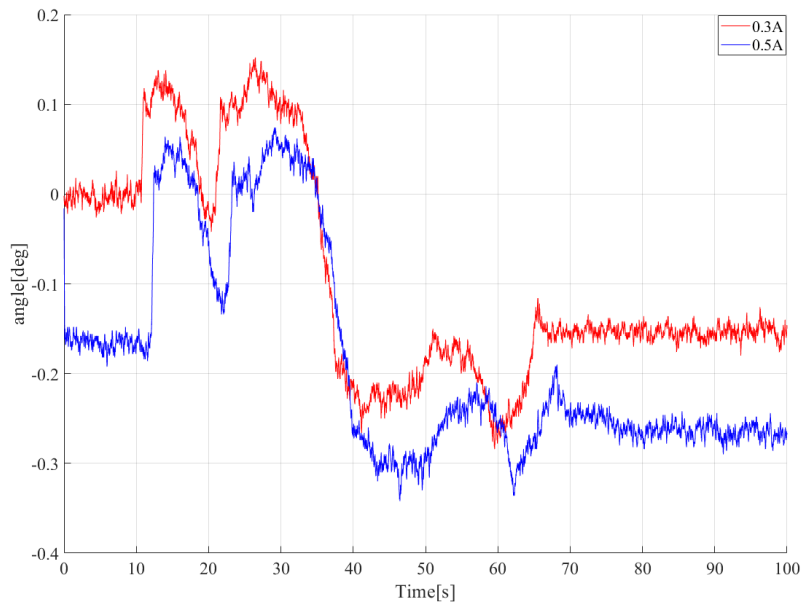


Fig4.22 In the second time, a current of 0.3 A, 0.5 A is applied to the electromagnetic brake, and the relationship between time and torsion angle

実験Ⅲに DIGITAL FUNCTION GENERATOR でステップアップの信号を出力する時、 T_2 を求める。

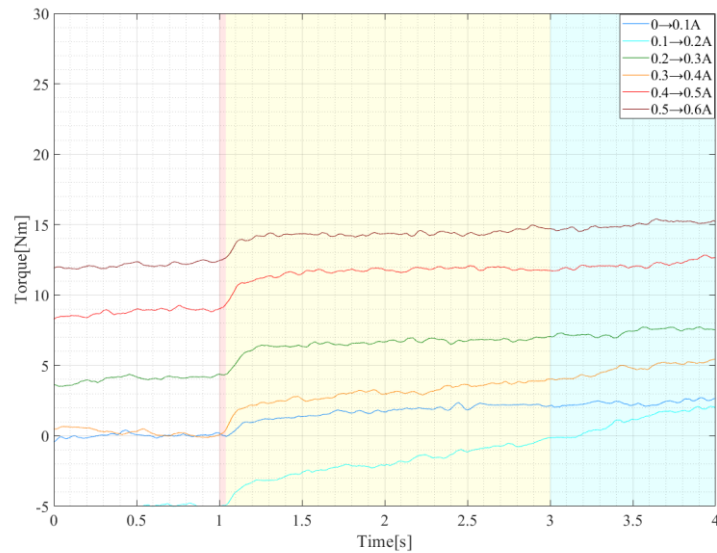


Fig4.23 The electromagnetic brake ranges from 0 A to 0.1 A, 0.1 A to 0.2 A, 0.2 A to 0.3 A, 0.3 A to 0.4 A, 0.4 A to 0.5 A, 0.5 A to 0.6 A, and time

Relationship between Torque

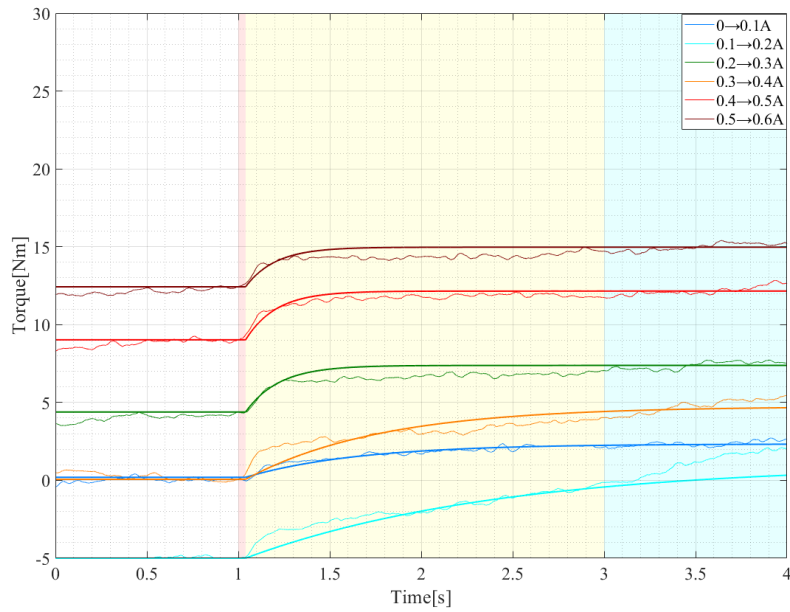


Fig4.24 When there is a reference line and the electromagnetic brake ranges from 0 A to 0.1 A, 0.1 A to 0.2 A, 0.2 A to 0.3 A, 0.3 A to 0.4 A, 0.4 A to 0.5 A, 0.5 A to 0.6 A, and time Relationship between Torque

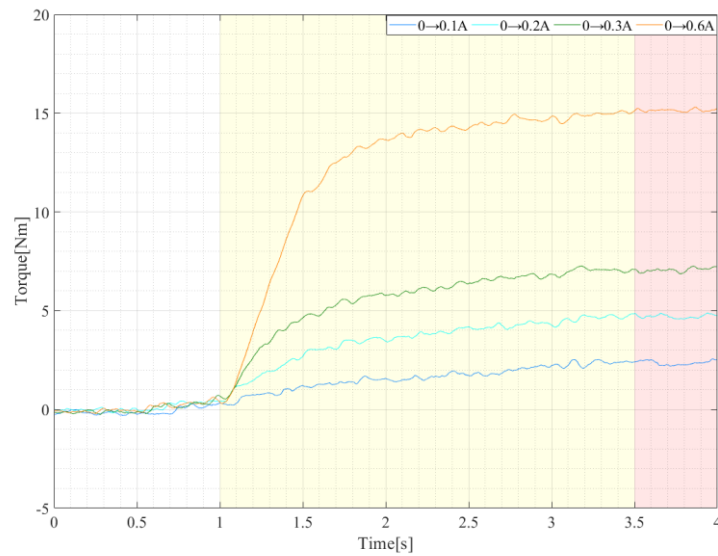


Fig4.25 When the electromagnetic brake sticks tightly to 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.6 A, the relationship between time and torque

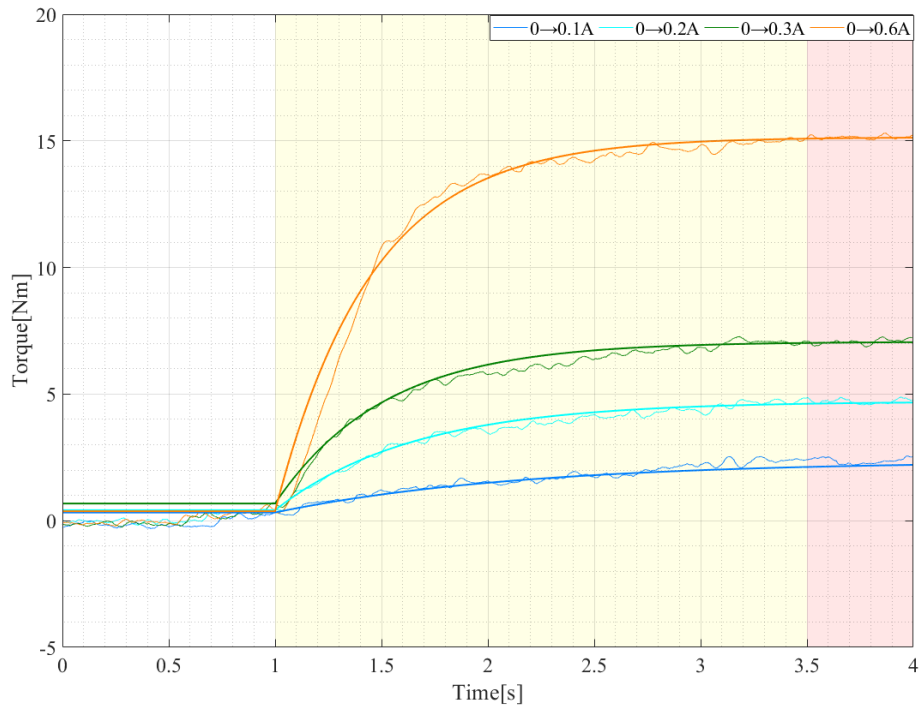


Fig4.26 When there is a reference line and the electromagnetic brake sticks tightly to 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.6 A, the relationship between time and torque

Fig4.23 により、 τ_f は 3.5 秒から 4 秒までの値の平均値であり、 τ_0 は立ち上がる前の値[0 秒から 1 秒までの値の平均値]の平均値である。(4.1),(4.2)という式により、以下の T_2 を求める。

$$\tau_e = 0.632(\tau_f - \tau_0) \quad (4.1)$$

$$T_2 = f(\tau_e) \quad (4.2)$$

実験Ⅲに DIGITAL FUNCTION GENERATOR でステップダウンの信号を出力する時、 T_2 を求める。

電流値	T_2
0~0.1A	95ms
0~0.2A	77ms
0~0.3A	72ms
0~0.6A	60ms

Fig4.27 電流値 0A から 0.1A まで、0A から 0.2A まで、0A から 0.3A まで、0A から 0.6A までを一つずつ流して、以上の(4.1),(4.2)という公式により、計算した T_2 実験Ⅲに DIGITAL FUNCTION GENERATOR でステップダウンの信号を出力する時、 t_e を求める。

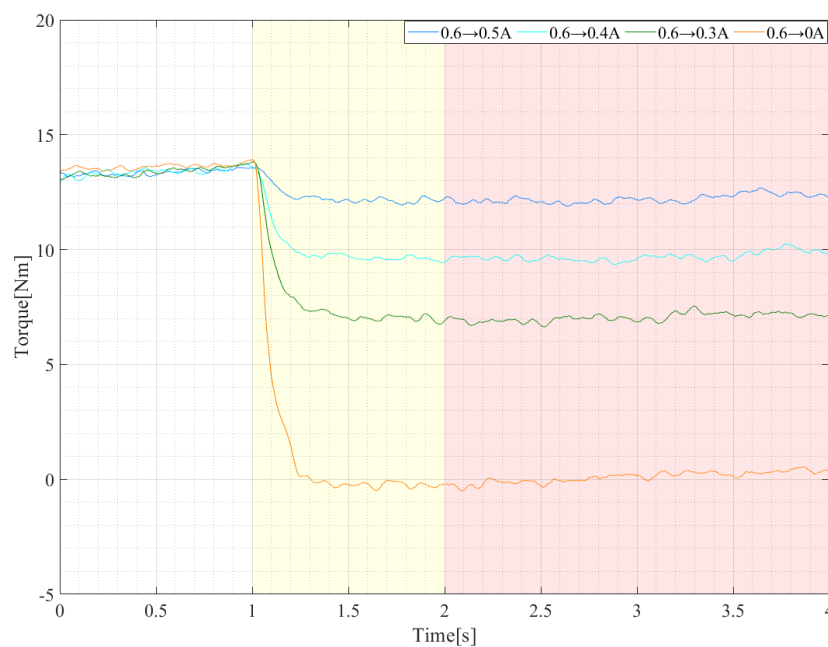


Fig4.28 Relationship between time and torque when 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.6 A relaxes the electromagnetic brake

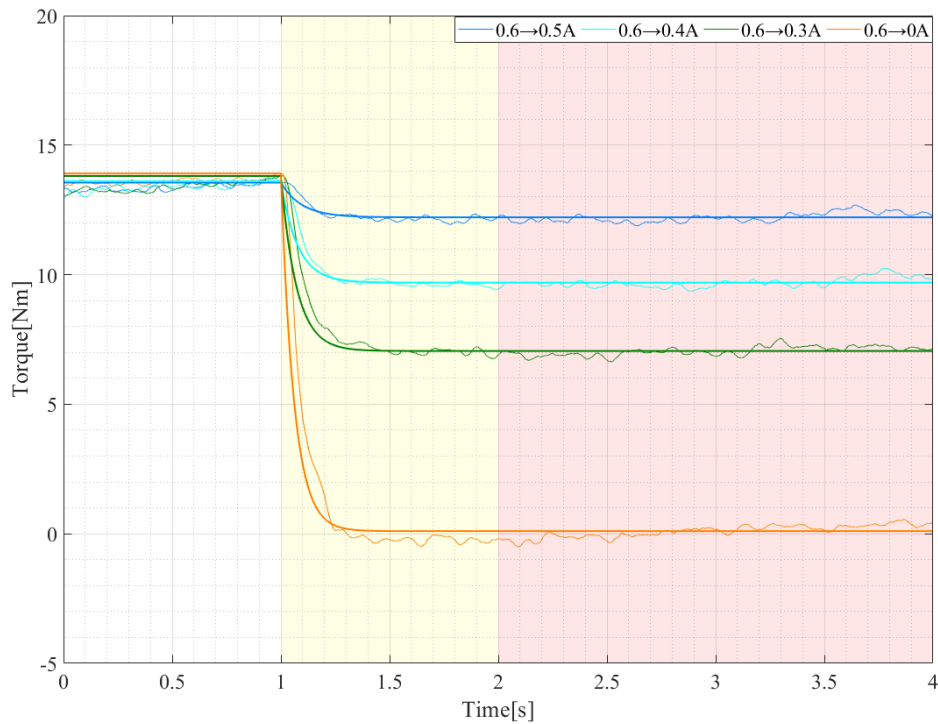


Fig4.29 When there is a standard line and 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.6 A of the electromagnetic brake relax, the relationship between time and torque

$$\hat{t}_{e=\tau_0} + 0.632 \times (\hat{t}_f - \hat{t}_0) \quad (4.3)$$

$$\hat{T}_2 = f(\hat{t}_e) \quad (4.4)$$

電流値	\hat{T}_2
0.6~0.5A	60ms
0.6~0.4A	74ms
0.6~0.3A	76ms
0.6~0A	53ms

Fig4.30 電流値 0.6A から 0.5A まで、0.6A から 0.4A まで、0.6A から 0.3A まで、0.6A から 0A までを一つずつ流して、 $\hat{t}_e = \tau_0 + 0.632 \times (\tau_f - \tau_0)$ という公式により、計算した \hat{t}_e の値

公式(4.3),(4.4)により、 \hat{T}_2 を計算できる。

第5章

結論

5.1 まとめ

現在、日本では少子高齢化の影響から生産年齢人口の割合が減少し、老年人口の割合が増加している。このことから、生産年齢人口が減少し、産業全体の衰退が危惧されるとともに、高齢者福祉に関係した従事者の需要増に対応できない心配がある。そこで今後の日本では、医療や介護の分野において人と協調して働くロボットの活躍が期待されている。人とロボットの協調作業例として、ロボットによる人の抱き上げ作業がある。このようなロボットには、高負荷に耐えられ、人に不安感を与えないようにできるだけ人間に近い感触を再現できることや、人や外部環境と接触した際にも安全に駆動できることが必要とされる。そのため、ロボットアームの駆動方法や制御方法について様々な手法が提案されてきた。しかし、安全性を高めた上で、高負荷に対応したシステムは従来研究では行われていなかった。そこで、本研究では高負荷に対応できるように、弾性要素としてゴムメタル製のトーションバーを用い、モータを付加した直列弾性駆動システムを構築し、その機構に対してインピーダンス制御を適用することを提案した。そして、研究室での先行研究として、提案手法が従来手法と比較して、応答性が改善されることや、システムが外部環境と接触した際の安定性解析を行い、提案手法が有効であることを確認した。しかし、高減速アクチュエータの許容速度及び、低減速アクチュエータが発揮できる最大トルクを考慮した安定性については検証されていない。そこで、本研究は電磁ブレーキを用いて、前もってアームをロックして、モータから伝えた動力を弾性要素に伝えて、弾性要素であるトーションバーのねじりを利用したエネルギー蓄積による改善手法を提案した。提案手法についての制御を実現する為に、電磁ブレーキの特性

を調べた。実験の結果の分析から見れば、電磁ブレーキのロータが制止した状態で制動トルクが最大摩擦に達し、その後滑り摩擦トルクまで、瞬間的に激減する現象が現れる。従って、本実験装置では電磁ブレーキ制動力を与えるには 0.3A が妥当であった。後制御の実験は同じグループの福井廉さんがシミュレーションでしたけど、実験装置を利用して、実際の制御する実験をまだ検証してない。

5.2 今後の課題

本研究では実際の装置を使って、四つの実験をして、電磁ブレーキの特性を調べた。電磁ブレーキのロータが制止した状態で制動トルクが最大摩擦に達し、その直後滑り摩擦トルクまで、瞬間的に激減する現象が現れる。つまり、スティックスリップの現象を出ている。スティックスリップの現象を削除しないと、制御には難しくなるので、今後の課題はまずスティックスリップの現象を削除する。そして、実験結果から、電磁ブレーキの時定数と電流の関係は非線形になり、電流で制御はできない。電流で電磁ブレーキの摩擦トルクを制御するには、時定数と電流の線形関係のモデルを作らないと、制御はできない。だから、時定数と電流の線形関係のモデルを作るのも今後の課題にする。今の実験結果から、本実験装置では電磁ブレーキ制動力を与えるには 0.3A が妥当であった。しかし、実際の制御実験は本実験装置をもってまだ検証してないので、今後の課題でも位置制御モータを装着して、電磁ブレーキ制動力を 0.3A に与える時、実際の制御様子を観察し、提案手法の評価を検証する。

参考文献

- [1] 総務省統計局:「人口推計ー平成26年12月報ー」
- [2] 内閣府:「平成26年版高齢社会白書」
- [3] 介護労働安定センター:「介護労働実態調査」.
- [4] 厚生労働省:「雇用動向調査」
- [5] 向井利春, 平野慎也, 中島弘道, 境田右軌:「介護支援ロボット RIBA の安全対策と移乗作業の実現」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2010,1A1-E24(1)-1A1-E24(4) (2010)
- [6] 田中大資, 中村太郎:「人工筋肉マニピュレータの剛性制御」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A2-M02(1-4) (2009)
- [7] 斎藤創, 佐藤拓史:「先端質量の変動に対するフレキシブルロボットアームの振動制御」
- [8] 岡崎安直, 山本正樹, 小松真弓, 津坂優子, 足達勇治:「空気圧人工筋による人に対して安全な多自由度ロボットアーム技術の開発」, 日本ロボット学会誌, Vol.28, No.3, pp.302-310 (2010)
- [9] 西堀賢司, 天野良紀:「磁性流体アクチュエータを用いたロボットアームのトルク制御」, 日本機械学会東海支部第56期総会講演会講演論文集, No.073-1, pp.5-6 (2007)
- [10] 日本バイナリー株式会社, フォース制御ロボットアーム WAM Arm, 日本バイナリー株式会社ホームページ
<http://www.nihonbinary.co.jp/Products/Robot/WAMArm.html>
- [11] 菅野重樹, 岩田浩康, 菅岩泰亮:「人間共存ロボット TWENDY-ONE のデザイン」, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要 2008, No.08-4, 2A1-D23(1)-2A1-D23(2) (2008)

-
- [12] Rethink Robotics, baxter, Rethink Robotics 社 ホーム ページ
<http://www.rethinkrobotics.com/>
- [13] 富樫淳輝, 水戸部和久, 小野寺健斗, 富沢健児: 「低剛性の腱駆動による筋骨格ロボ
- [14] Michael Zinn, Bernard Roth, Oussama Khatib, J. Kenneth Salisbury: 「A New Actuation
- [15] Michael Zinn, Oussama Khatib, Bernard Roth, J. Kenneth Salisbury: 「A New Actuation Concept for Human-Friendly Robot Design Playing It Safe」, IEEE Robotics & Automation
- [16] 相根祥吾 「: アクチュエータを付加した直列弾性駆動システムのインピーダンス制御に関する研究」, 三重大学修士学位論文 (2014)
- [17] 西野和彰: 「多機能新合金”ゴムメタル”」, 日本機械学会誌, Vol.106, No.1020, p.899
- [18] 株式会社ニッセイ, GUMMETAL, 株式会社ニッセイホームページ <http://www.nissey-sabae.co.jp/wp/wp-content/uploads/gummetal.pdf>.

謝辞

本研究を遂行するにあたり、所属研究室であるシステム設計研究室 池浦良淳教授には、修士二年間、実力不足だった私が何度も質問に伺い、その都度丁寧なご説明、ご指導を親身になって行って頂いたことに深く感謝し、厚く御礼申し上げます。ご指導をいただいた所属研究室であるシステム設計研究室 早川聡一郎准教授に深く感謝し、厚く御礼申し上げます。研究についての問題点やこれまでしてこられた研究からの経験や実際に実験装置を作られてきた方の立場からのご意見やご指導をいただいた澤井秀樹技官、堤成可先生に深く感謝し、厚く御礼申し上げます。

また、大変お忙しい中本論文を査読して頂くと共に、多数のご教示を賜りました三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 加藤典彦教授に厚く御礼申し上げます。

研究の進め方や、SOLIDWORKS,MATLAB の使い方、研究室での生活について様々なアドバイスや指導をいただいた研究室の先輩方皆さんに深く感謝します。また、同じ研究グループとしてテーマは違うものの、様々な情報交換をした福井廉に深く感謝します。そしてこの研究室で研究内容は違う中で情報交換をしながら一緒に過ごした同期の近藤伸哉君、多氣淳史君、田中捷君、戸田雄也君、羽柴洋太君に深く感謝申し上げます。

最後となりましたが、常に惜しめない援助を送ってくれた父と母のお陰で充実した学生生活を送ることができました。ここに感謝の気持ちを述べることで謝辞の最後とさせていただきます。

