

束にする。②と③は③の車輪部が回転するように回転拘束をする。

次に実際のキャスタは①部が地面に対して運動するが、今回のシミュレーションでは地面が動くように設定した。また、地面が動く速度は 150[mm/s]とした。

シミュレーションの様子を図 2.13 に示す。なお、図 2.13 は左側よりキャスタ回転軸の傾斜角が 30[deg], 26.5[deg], 20[deg], 15[deg], 10[deg], 5[deg], 0[deg]である

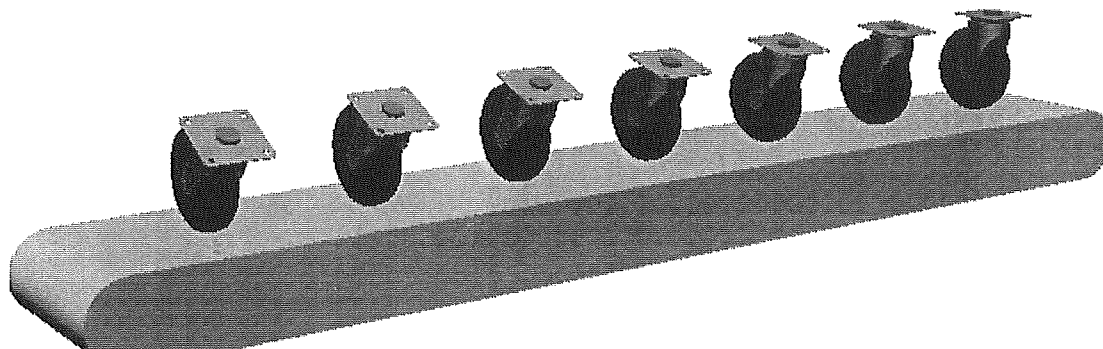


図 2.13 シミュレーション風景

以上の条件下でシミュレーションを行ったところ、次の表が得られた。

表 2.7 シミュレーション結果

回転軸傾斜角度 [deg]	最大切れ角 [deg]
0	90
5	18.5
10	11.3
15	9.7
20	7.7
26.5	0.008
30	0

この表をグラフ化すると次の図のようになる。

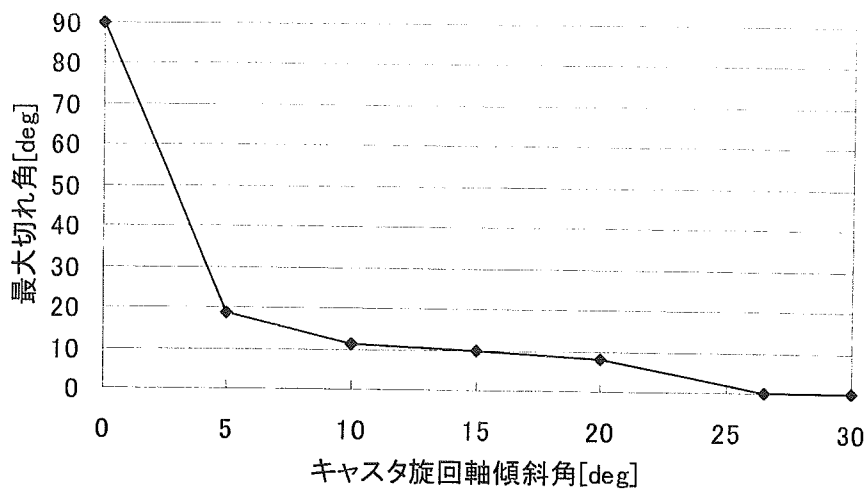


図 2.14 回転軸傾斜角度と最大切れ角の関係

これらの図と表から、ある程度旋回可能なキャスト回転軸の傾斜角度があることが確認できた。図 2.14 より条件式傾斜キャストを簡易移動支援デバイスに実装する際、通常使用時は $5[\text{deg}] < \theta < 10[\text{deg}]$ の間の角度に傾けておけばある程度の旋回性を確保できるはずである。

次に式 2.2 を用いてキャスト回転軸傾斜角度が $5[\text{deg}] < \theta < 10[\text{deg}]$ の時、つまり前輪最大切れ角が $11.3 [\text{deg}] < \theta < 18.5 [\text{deg}]$ の時の最小旋回半径を求めると次の結果が得られた。(表 2.8)

表 2.8 ある切れ角での最小旋回半径

最大切れ角 [deg]	最小旋回半径 [m]
11.3	2.6
18.5	1.6

よって $5[\text{deg}] < \theta < 10[\text{deg}]$ のとき旋回半径 R_c は

$$1.6[\text{m}] < R_c < 2.6[\text{m}]$$

である。

2.2.3 前輪系設計案の比較とまとめ

表 2.9 に各前輪系の設計候補の特徴を示す。

表 2.9 前輪系設計案の特徴比較

前輪の設計案	キャスト	ステアリング	ステアリング + 第 3 輪	条件式傾斜キャスト
自転の有利さ	◎	×	◎	◎
段差乗り越しの有利さ	×	○	◎	◎
制御の簡易さ	◎	○	×	×

このように各方式には一長一短がある。これら 4 つの中で条件式傾斜キャストが従来の大半の移動福祉機器に採用されているキャストを使用しているという観点から操作感が似ており、使用者に対して違和感を与えないという点で優れていると考える。また、先に示したとおり、ある程度の傾斜角度であれば、多少、操舵可能なので広く活用できるものとする。しかし、この方式では自転に関する負荷は従来のものと変わりはない。自転に対する有利さという観点から見た場合、ステアリング+第 3 輪方式のほうが有利である。しかしながら、これら 2 方式は制御という点で不利である。今後、さらに深くこの 2 方式について検討をしていく必要があるものとする。

3. まとめ

本研究では歩行支援装置の開発の中でも、段差乗り越え装置及び操舵装置に関して検討を行った。今後はさらに詳細事項に関しても検討していき、シミュレーションを繰り返した上で試作機を製作していく。

以上

Ⅱ－２ 歩行支援機における駆動・制動に関する研究

（分担）研究者 川上 幸男 芝浦工業大学教授

研究要旨

現在、歩行訓練用の支援機器は多数あるが、その多くは路面の状況や利用者の状態に対応しておらず、利用に制限がある。それらの制限がない歩行支援機の開発が重要となっている。そこで、歩行支援機に動力を搭載することにより、段差などの障害を乗り越える機能や歩行状況、路面状況、利用者の障害度に対応可能な機能を持つインテリジェントな歩行支援機の実用化を目指し、支援機の動力サポートと制動の両方を行うことが可能な駆動・制動デバイスを提案し、開発を進めている。本デバイスは電気粘性流体（Electrorheological Fluid：ERF）クラッチと電動モータを組み合わせた構造となっており、両者をコンピュータ制御することにより駆動と制動の両方の機能を実現しようとするものである。本研究では、設計試作した駆動・制動デバイスの利点を最大限引き出すためにその特性試験を実施し、その性能に関して評価検討を行った。そして、得られた結果より歩行支援機に搭載するデバイスとして十分な性能を引き出すための制御アルゴリズムの指針を得ることができた。

1. 研究目的

利用範囲の広いインテリジェントな歩行支援機の実現を ER デバイスの搭載により目指している。ER デバイスを用いることにより、ER 流体の電場による粘性変化、即応性の良さ、降伏応力以上の力は伝達されないという優れた特徴を利用し、安全性の向上や滑らかな始動といった効果を期待することができる。

本研究では、ER デバイスの実用化を目指し、その利点を最大限引き出すために実用性のある ER クラッチの開発を行っている。また、それに伴い必要となる ER クラッチについての特性調査及び検討を行う。

2. ER クラッチについて

ER クラッチとは、ER 流体を用いた動力伝達機構の一種である。ER 流体とは、前述した優れた特徴を持ち、分散系と均一系の2つに大別される。分散系は、分極し

やすい微粒子を絶縁油に分散させた流体で、電場印加時にビンガム流動を示す。一方、均一系は、電場をかけることにより分子・ドメインが配向し異方性を示す物質からなる流体で、電場印加時にニュートン流動に近い流動挙動を示す。ER 効果の発現機構は Fig.1 のように電場印加時に微粒子やドメインなどが電極間に架橋を形成し、流体の粘性が増加することにより起こる。

実験に際しては Fig.2 に示す(株)ER テック製の既存の ER クラッチを使用した。クラッチ構造はディスク型が採用されており、ディスクは1枚で、内輪径 100[mm]、電極間間隔 0.5[mm]である。

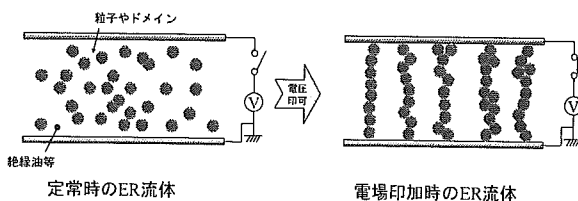


Fig.1 ER 効果発現機構

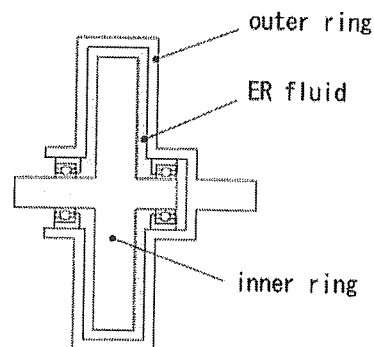


Fig.2 クラッチの構造

3. ER クラッチ単体試験

3.1 静特性実験装置について

静特性実験装置の構成を Fig.3 に示す。本実験ではクラッチの片方を固定し、回転数、トルクを電圧毎に測定した。これにより、ER クラッチのせん断応力がわかる。

3.2 トルク特性試験

クラッチに電圧を印加し、モータを定速で回転させ、トルクの伝達力を測定した。結果を Fig.4 に示す。

トルクの伝達力は均一系の方が高いという結果が得られた。しかし、均一系にて試験の経過と共に ER 効果が低下し再現性が失われる現象が見られた。その再現性実験を行ったところ、均一系において連続使用による発熱が原因と思われる ER 効果の減少が確認できた。このことより、ER クラッチにおけるトルク伝達の安定性は分散系のほうが優れていると考えられる。また、応答性確認実験においても分散系が優れていることが確認された。以上のことから分散系のほうが歩行支援機に適していると考え、以下の実験は分散系にて行なった。

4. ER クラッチ負荷試験

4.1 動特性実験装置について

静特性実験装置の固定台をモータに組み替えて実験を行った。本実験では、Fig.5 のモータ①を入力、モータ②を擬似的にタイヤ側とし検討を行った。

4.2 回転数 - トルク特性試験

タイヤ側モータが発揮するトルクで負荷を設定し、20秒後から ER クラッチの印加電圧を徐々に増加させていった。この時の実験データの一例として、Fig.6 に示す。

各実験データから①、②、③の3点のデータを読み取った。尚、①は、無電圧時における ER 流体の粘性のみの回転数（タイヤ側）、②は、入力回転数をほぼ 100% 伝達される時（※以下、連結時とする）の回転数（タイヤ側）、③は、連結時の印加電圧である。この実験をモータ①のトルクを変えて行った結果を負荷トルクと ER クラッチが伝達される回転数の関係として Fig.7 に示す。

この結果より、ER クラッチの電圧印加前と印加後の伝達する回転数と負荷トルクの関係が示された。このことより、伝達される回転数と負荷トルクは線形の関係はないといえる。また、電圧印加後については実験を行った範囲では、線形域だが負荷トルクが大きくなった場合に非線形になることが予想される。

4.3 負荷と有効印加電圧

4.2 の実験結果を用いて、連結時の印加電圧と抵抗の関係を図 8 に示す。

式は、次のように線形近似できると考えられる。

$$F = 0.0024V \quad (F: \text{負荷}, V: \text{印加電圧}) \dots (1)$$

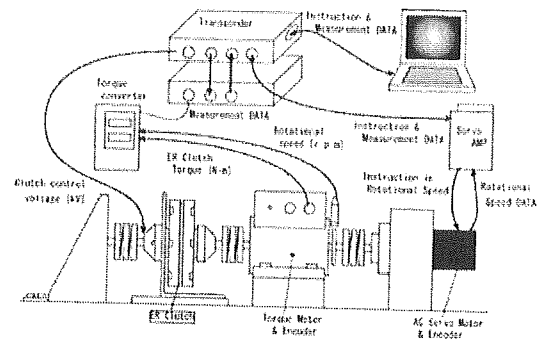
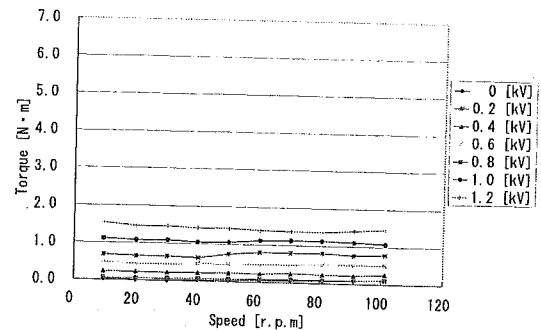
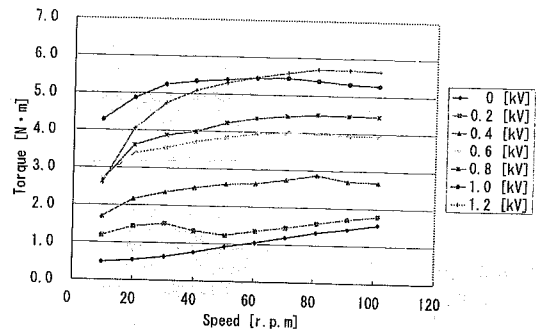


Fig.3 静特性実験装置



(a) 分散系 ER 流体



(b) 均一系 ER 流体

Fig.4 回転数 - 伝達トルク

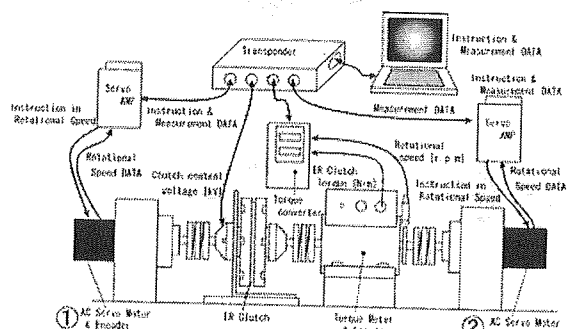


Fig.5 動特性実験装置

この式について、負荷を設定し、関係式(1)から必要な印加電圧を求め確認を行った所、連結後の回転数が Fig.8 とほぼ一致したことより、関係式(1)から求めた印加電圧の値で ER クラッチが連結することが確認できた。

5. 結論

実験結果から安定性、応答性の良い分散系 ER 流体が、歩行支援機には適していると考えられる。しかし、分散系 ER クラッチは伝達力が小さいので、それを増加させるための設計が必要である。また、負荷と印加電圧の関係について確認した。

本研究で使用した ER クラッチは歩行支援機にて回転数制御を考えており、回転数と印加電圧の関係を今後検討する必要がある。

6. 健康危険情報

特にありません。

7. 研究発表

総括研究報告書にまとめて記載する。

8. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

総括研究報告書にまとめて記載する。

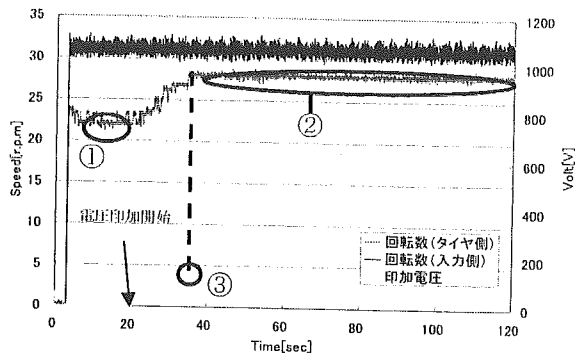


Fig.6 入力 30[rpm]-負荷 0.22[Nm]のデータ

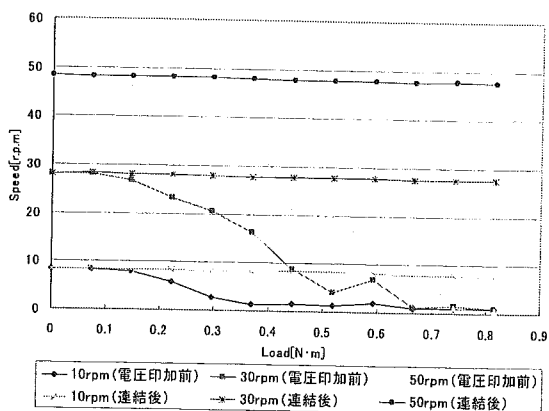


Fig.7 負荷と伝達される回転数の関係

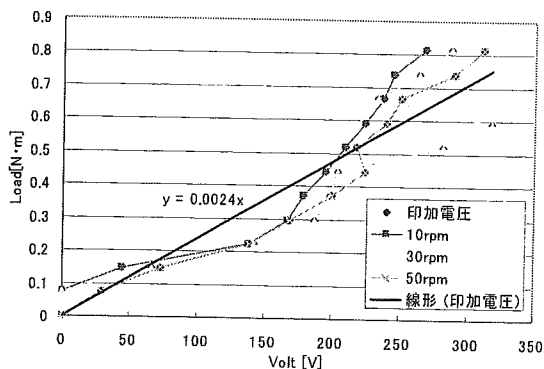


Fig.8 負荷と印加電圧の関係

II - 2 歩行支援機における駆動・制動に関する研究

目 次

第1章 はじめに	第5章 ER クラッチの負荷試験
1.1 研究背景	5.1 実験目的
1.2 研究目的	5.2 実験装置
1.3 研究概要	5.3 動特性実験
	5.3.1 実験目的
第2章 歩行支援機の概要	5.3.2 実験方法
2.1 歩行支援機の基本コンセプト	5.3.3 実験結果
2.2 性能評価用試作機について	5.3.4 負荷トルクと伝達回転数
	5.4 負荷と負荷印加電圧
第3章 ER デバイスについて	5.5 印加電圧と過渡回転数
3.1 ER (Electro-Rheological) 流体について	
3.1.1 ER 流体の種類	第6章 おわりに
3.1.2 分散系 ER 流体について	6.1 まとめ
3.1.3 均一系 ER 流体について	6.1.1 分散系 ER 流体と均一系 ER 流体の ER クラッチについて
3.1.4 実験で使用した ER 流体について	6.1.2 歩行支援機用としての ER クラッチについて
3.1.5 ビンガム流動とニュートン流動について	
3.2 ER クラッチについて	6.2 今後の展望
第4章 ER クラッチの単体試験 (静特性実験)	A 付録
4.1 実験目的	A.1 トルク特性試験
4.2 実験装置	A.2 ER 効果の再現性実験
4.3 トルク特性試験	A.3 応答速度特性
4.3.1 実験目的	A.4 動特性実験
4.3.2 実験方法	
4.3.3 実験結果	
4.4 ER 効果の再現性実験	
4.4.1 実験目的	
4.4.2 実験方法	
4.4.3 実験結果	
4.5 応答速度特性試験	
4.5.1 実験目的	
4.5.2 実験方法	
4.5.3 実験結果	

第1章 はじめに

1.1 研究背景

高齢化による要介護者が増加する一方で、少子化により介護力も不足することが予測され、高齢者の自立に寄与する福祉機器の研究開発がすすんでいる。高齢者が自立するためには、老化によって衰えていく体力を早期に維持・回復させ、寝たきりにさせないことが必要かつ重要である。一度寝たきりになってしまうと運動の機会が減り、体力の低下を更に加速させ、よりいっそう寝たきりになってしまうという悪循環に陥ってしまうのである。よって、早期に体力の維持・回復は要介護者とならないで自立するための予防策といえる。そこで、寝たきりを防ぐ方法のひとつとして、支援機器を利用した手軽な歩行訓練が挙げられる。現在、歩行訓練用の支援機器は多数あるが、その多くは段差などの障害に適応しておらず、使用の負荷が大きく使用者や行動範囲が限られている。そのため、それらの制限を失くす歩行支援機の開発が重要となってくる。

そこで、歩行支援機に動力を搭載することにより、段差等の障害乗越え機能や歩行状況、路面状況、利用者の障害度に対応可能な機能を持つインテリジェントな歩行支援機の開発・構築をプロジェクトチームにより進めている。

1.2 研究目的

使用者が使用しやすく、様々な使用環境に対応可能なインテリジェントな歩行支援機の実現を ER デバイスの搭載により目指している。ER デバイスを用いることにより、ER 流体の電圧による粘性変化の即応性の良さ、降伏応力以上の力は伝達されないという優れた特徴を生かし、動力によるアシスト機能や暴走時の被害を最小に抑えるといった安全性の向上、滑らかな制動による使い心地の向上といった効果を期待することができる。本研究では、従来の歩行支援機の問題点や持ち合わせていない機能である段差などの障害に対する動力アシストや走行時の安定性、停止時の安全性、滑らかな機動性という機能を ER デバイスによる実現を目指し、歩行支援機に搭載する実用性のある ER クラッチの開発を行っている。また、それに伴い必要となる分散系・均一系それぞれの ER クラッチについての特性調査及び検討を行う。

1.3 研究概要

本研究では、前述のような背景により、実際には以下のことに関して、実験、調査、検討を行った。

- (1) ER 流体及び ER クラッチについて、理解を深める。
- (2) ER クラッチが持っている基本特性を調査する。
- (3) (2)で得られた特性により、歩行支援機に適した ER 流体を選定する。
- (4) ER デバイスを制御するために必要となる特性を調査する。
- (5) (4)で得られた特性を元に歩行支援機に搭載した際の制御方法について検討する。

以上より、ER デバイスの制御の指針となるようなデータが導き出せると考える。

第2章 歩行支援機の概要

2.1 歩行支援機の基本コンセプト

前年度までに得られた現存する歩行補助車における操作性及び被験者の歩行パターンの検討結果を基に、本研究における歩行支援機の対象者並びに動力アシストの基本コンセプトを次のように設定している。

○対象ユーザー

- A) 自分の足で歩くことが可能である人.
- B) 現行の補助車では行動範囲が限られる人.
- C) 脚力に障害が出始めているが、リハビリによる回復が見込まれる人.

○歩行支援コンセプト

- i) 利用者の脚力を最大限、引き出すものとし利用者の意志に合った歩行モードが利用可能.
- ii) 方向転換半径はゼロとし、取り回し易くする.
- iii) 緩やかな動作開始、安全な制動.
- iv) 歩行速度は最速 4km/h.
- v) 段差乗り越しは 50mm 以下.
- vi) 登坂能力は 10° 以下.
- vii) 重量は 15kg 以下.
- viii) 安全装置の多重化.

但し、これらについては、利用者の運動能力や生活環境により個々に設定を変更した上で導入していくこととする。

2.2 性能評価用試作機について

歩行支援機の性能評価用として、作製してある試作機が Fig.2.1 である。この試作機のシステム構成は Fig.2.3 に示すように PC からの入力信号により、制御信号が制御盤に送られ、Fig.2.1 の丸印部分に搭載されている ER デバイスに送られる。

ER デバイスの構造は、Fig.2.2 に示すように、モータと ER クラッチがベルトにより連結され、運転時の情報を得る為にエンコーダがモータとタイヤに取り付けられている。この ER デバイスが左右の後輪に装着されている。

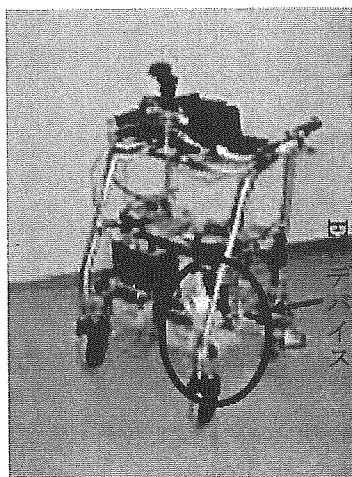


Fig.2.1 試作機

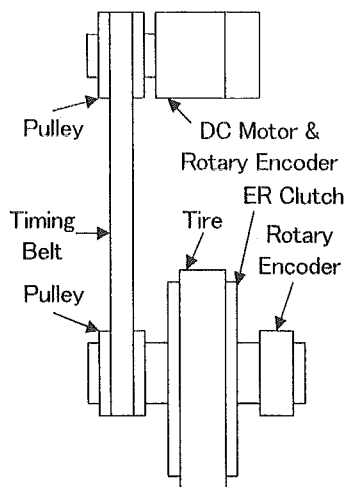


Fig.2.2 ER デバイスの構造

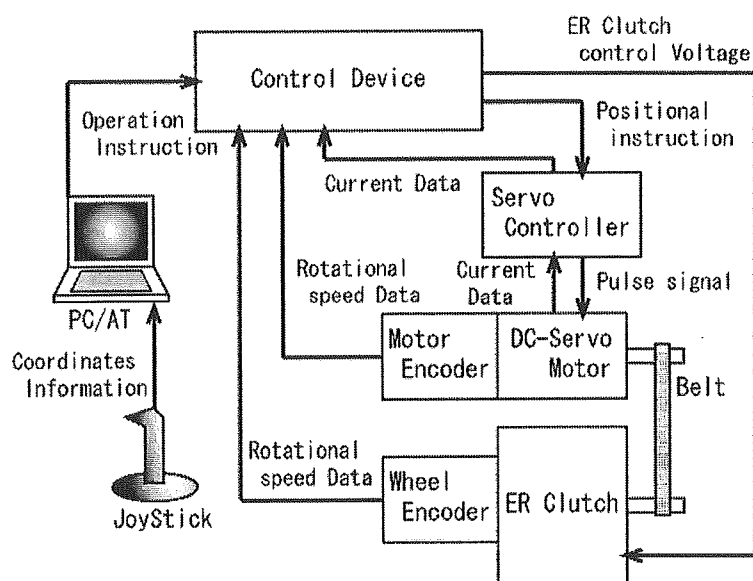


Fig.2.3 システム構成

制御盤には(株)テクノ社製のオープンモーションコントローラ『SPX-8000』を使用している。このボードは制御軸を9軸有しており、それぞれについて指令及びデータの送受信が可能である。今回はモータ制御及びERクラッチの制御に左右各2軸ずつ割り当てている。また、モータのトルク(電流より算出)及び回転数、タイヤの回転数をモニタリングしている。

モータは maxon 社製 DC ブラシレスモータ(EC-40)を選定し、併せてギヤヘッド、サーボアンプ及びエンコーダも同社のものを使用している。これらの主な基本特性を下表に示す。またタイヤサイズはφ200[mm]であることから使用条件4[km/h](106[r.p.m])での出力トルクは30[N・m]となる。前年度までの設計値にてモータトルクは5[N・m]と算出されており、設定した条件に対し、十分な力が得られるものと考えられる。

第3章 ER デバイスについて

3.1 ER (Electro-Rheological) 流体について

3.1.1 ER 流体の種類

ER 流体とは、電場の印加によって粘性が大きく変化し、その変化が瞬間的かつ可逆的である流体のことである。電場を印加し、粘性が変化した状態のことを ER 効果という。ER 効果の発現メカニズムについては、明確に究明されていないが各系統において有力な説を後ほど説明する。

この流体は、流体の構成の違いから分散系と均一系の二つに大きく大別される。また、この二つの系統の中にも Fig.3.1 に示すように流体を構成する物質の違いや状態により細かく細分化される。

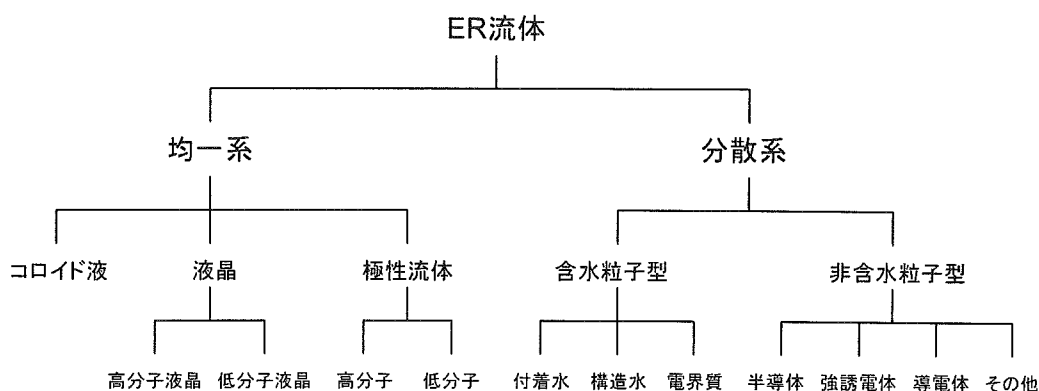


Fig3.1 ER 流体分類表

3.1.2 分散系 ER 流体について

分散系の ER 流体は、液体中に分極しやすい微粒子（シリカや澱粉，イオン交換樹脂など）を絶縁油に分散させた流体である。

この流体は、電場を印加した際にビンガム流動を示す流体である。また、ER 効果の発現メカニズムは、電場を印加することにより微粒子表面で正負の分極電荷が発生し、クーロン力により微粒子間で架橋を形成し、その結合力によって粘性が増加するという説が有力である。

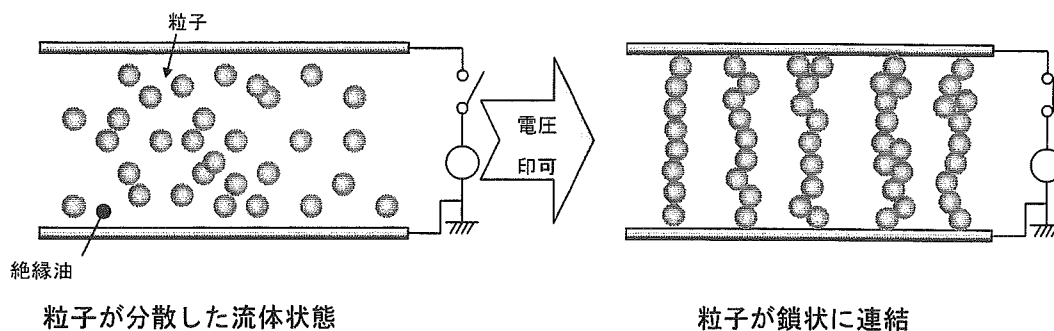


Fig3.2 ER 効果発現機構（分散系）

3.1.3 均一系 ER 流体について

均一系の ER 流体は、液晶ポリシロキサンなどの液晶物質によって構成される流体である。

この流体は、電場を印加した際にニュートン流動に近い流動挙動を示す流体である。また、ER 効果の発現メカニズムは、電場を印加することにより流体を構成している液晶分子やドメイン（分子の集合体）が配向するために粘性が増加するという説が有力である。

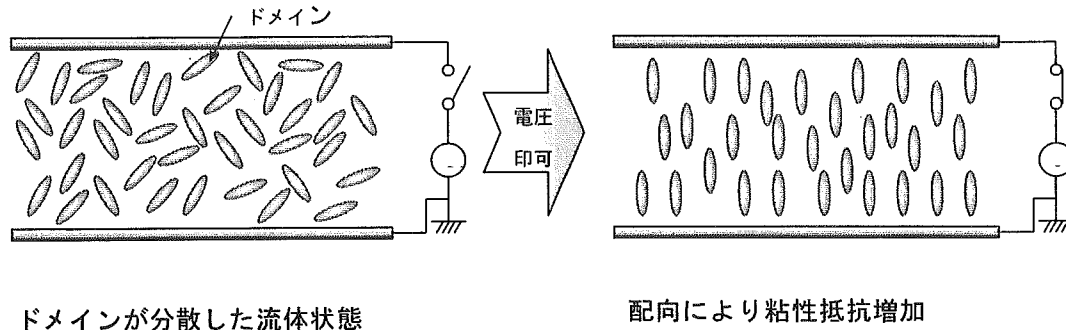


Fig3.3 ER 効果発現機構（均一系）

3.1.4 実験で使用した ER 流体について

実験では、ER 流体は(株)ER テックで販売している分散系 ER 流体と均一系 ER 流体の 2 種類を使用した。分散系 ER 流体は、ポリアミドエラストマー粒子をシリコン油に分散させた流体。均一系 ER 流体は、液晶ポリシロキサンをベースとする流体である。これらの ER 流体の電圧 - 剪断応力特性は Fig3.4 に示す。

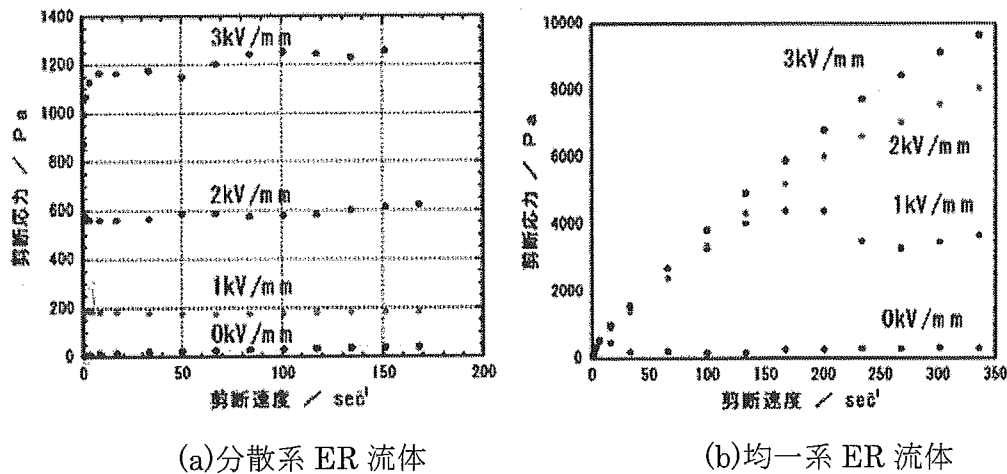


Fig.3.4 電圧 - 剪断応力特性

3.1.5 ビンガム流動とニュートン流動について

ビンガム流動とは、剪断応力と剪断速度との関係を示す流動曲線が降伏応力までは流動せず、降伏応力以上の応力を与えると剪断応力と剪断速度が比例するような流動のことである。数式で表すと次のようになる。

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} + f \quad (3.1)$$

(τ : 剪断応力, $\partial u/\partial y$: 剪断速度, μ : 粘性率, f : 降伏応力)

ニュートン流動とは、剪断応力と剪断速度との関係を示す流動曲線が原点を通る直線で表せる、すなわち降伏応力を持たない流動である。数式で表すと次のようになる。

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (3.2)$$

(τ : 剪断応力, $\partial u/\partial y$: 剪断速度, μ : 粘性率)

3.2 ER クラッチについて

ER クラッチとは、ER 流体を用いた動力伝達機構の一種である。その構造は、Fig.3.5 のように内輪を外輪が覆い被さり、その間に ER 流体が封入されている。また、内輪と外輪の構造には、ディスク型とシリンダ型の2種類ある。

実験に際しては、(株)ER テック製の既存の ER クラッチを使用した。クラッチ構造は、ディスク型が採用されている。ディスクは1枚で、内輪径 100[mm]、電極間隔 0.5[mm] である。

ディスク型クラッチが発揮する力の理論式は、以下の通りである。

$$T_D = \int 2\pi r \cdot F r dr = \frac{1}{2} \pi b r^4 \quad (3.3)$$

F : 剪断応力, r : 半径, a, b : 係数, γ : 剪断速度

$F = a\gamma = br$ (ニュートン流動として)

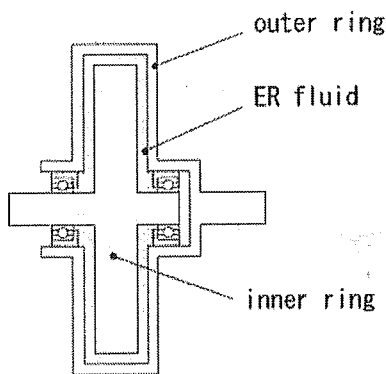


Fig.3.5 クラッチ構造

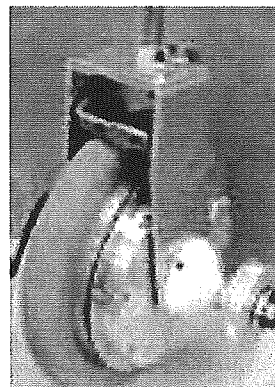


Fig.3.6 試作機用 ER クラッチの外観

第4章 ERクラッチの単体試験（静特性実験）

4.1 実験目的

歩行機支援機に適しているER流体が分散系ER流体と均一系ER流体のどちらであるかを検討するために各流体のERクラッチの特性を調査する。

4.2 実験装置

静特性実験装置の構成を Fig.4.1 に示す。本実験装置では、ERクラッチの片方を固定し、反対側からモータにより一定回転させ、ERクラッチに一定電圧を印加させた時の回転数、伝達トルクを測定する。

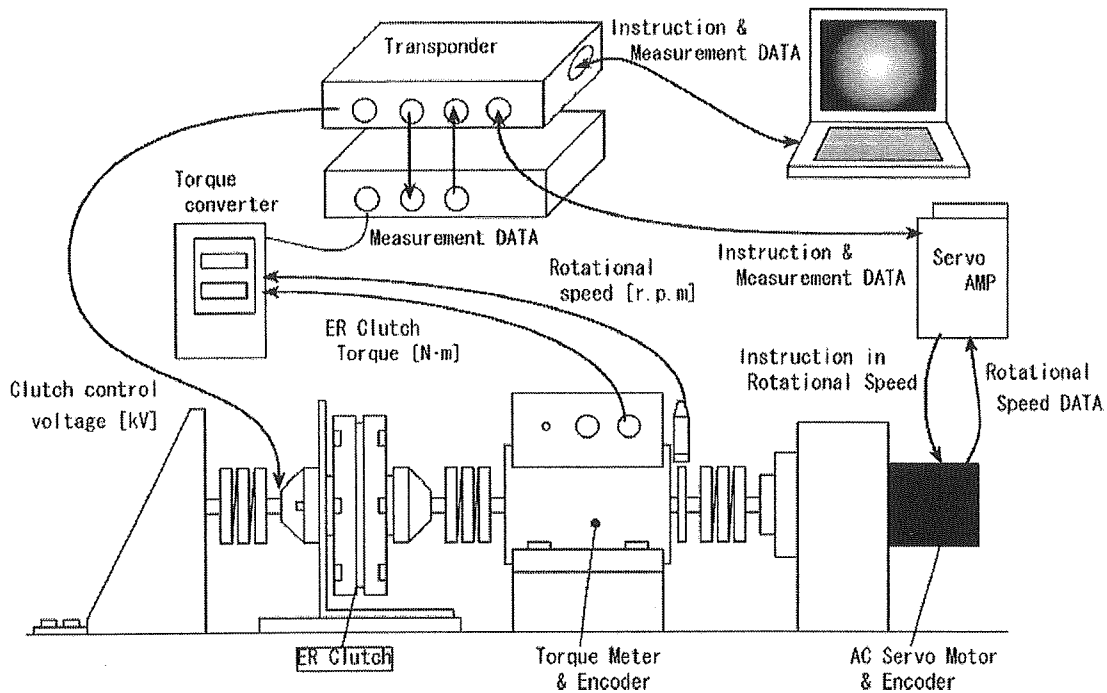


Fig.4.1 静特性実験装置

Tab.4.1 実験装置

	製造会社	型番
ERクラッチ(分散系)	ER テック	
ERクラッチ(均一系)	ER テック	
AC サーボモータ	オリエンタルモーター	DX220AD-9
トルクメータ	小野測器	SS200
トルクコンバータ	小野測器	TS2700
高圧電源	松定プレシジョン	HOPP-3P

4.3 トルク特性試験

4.3.1 実験目的

流体の違いによる ER クラッチの伝達トルクの特性を調査する。

4.3.2 実験方法

ER クラッチに設定した電圧を印加しておき、その後モータを用いて設定した回転数で一定の回転を加える。その際の ER クラッチが伝達するトルクを計測した。なお、印加電圧は 0.2[kV]刻みで 0.2[V]~1.2[kV]、モータの回転数は 10[rpm]刻みで 10[rpm]~100[rpm]の 60 通りに設定し、それぞれ計測した。

4.3.3 実験結果

実施した実験項目を Tab.4.2 に示す。

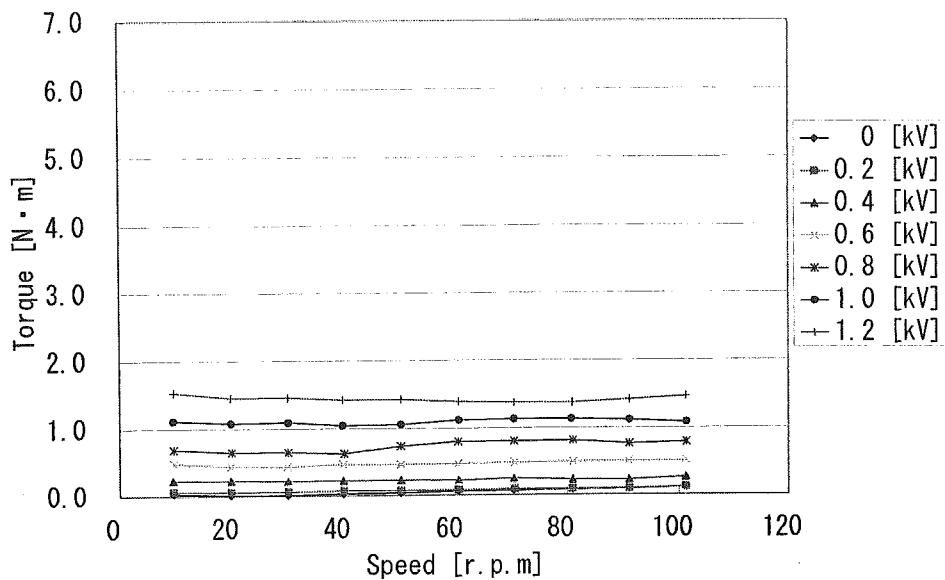
Tab.4.2 分散系 ER 流体の実験項目 (その1)

印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ	印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	Z	ページ
0.2	10	Fig.A.1.1	A-1	0.8	10	Fig.A.1.31	A-5
0.2	20	Fig.A.1.2	A-1	0.8	20	Fig.A.1.32	A-5
0.2	30	Fig.A.1.3	A-1	0.8	30	Fig.A.1.33	A-5
0.2	40	Fig.A.1.4	A-1	0.8	40	Fig.A.1.34	A-5
0.2	50	Fig.A.1.5	A-1	0.8	50	Fig.A.1.35	A-5
0.2	60	Fig.A.1.6	A-1	0.8	60	Fig.A.1.36	A-5
0.2	70	Fig.A.1.7	A-2	0.8	70	Fig.A.1.37	A-5
0.2	80	Fig.A.1.8	A-2	0.8	80	Fig.A.1.38	A-5
0.2	90	Fig.A.1.9	A-2	0.8	90	Fig.A.1.39	A-6
0.2	100	Fig.A.1.10	A-2	0.8	100	Fig.A.1.40	A-6
0.4	10	Fig.A.1.11	A-2	1	10	Fig.A.1.41	A-6
0.4	20	Fig.A.1.12	A-2	1	20	Fig.A.1.42	A-6
0.4	30	Fig.A.1.13	A-2	1	30	Fig.A.1.43	A-6
0.4	40	Fig.A.1.14	A-2	1	40	Fig.A.1.44	A-6
0.4	50	Fig.A.1.15	A-3	1	50	Fig.A.1.45	A-6
0.4	60	Fig.A.1.16	A-3	1	60	Fig.A.1.46	A-6
0.4	70	Fig.A.1.17	A-3	1	70	Fig.A.1.47	A-7
0.4	80	Fig.A.1.18	A-3	1	80	Fig.A.1.48	A-7
0.4	90	Fig.A.1.19	A-3	1	90	Fig.A.1.49	A-7
0.4	100	Fig.A.1.20	A-3	1	100	Fig.A.1.50	A-7
0.6	10	Fig.A.1.21	A-3	1.2	10	Fig.A.1.51	A-7
0.6	20	Fig.A.1.22	A-3	1.2	20	Fig.A.1.52	A-7
0.6	30	Fig.A.1.23	A-4	1.2	30	Fig.A.1.53	A-7
0.6	40	Fig.A.1.24	A-4	1.2	40	Fig.A.1.54	A-7
0.6	50	Fig.A.1.25	A-4	1.2	50	Fig.A.1.55	A-8
0.6	60	Fig.A.1.26	A-4	1.2	60	Fig.A.1.56	A-8
0.6	70	Fig.A.1.27	A-4	1.2	70	Fig.A.1.57	A-8
0.6	80	Fig.A.1.28	A-4	1.2	80	Fig.A.1.58	A-8
0.6	90	Fig.A.1.29	A-4	1.2	90	Fig.A.1.59	A-8
0.6	100	Fig.A.1.30	A-4	1.2	100	Fig.A.1.60	A-8

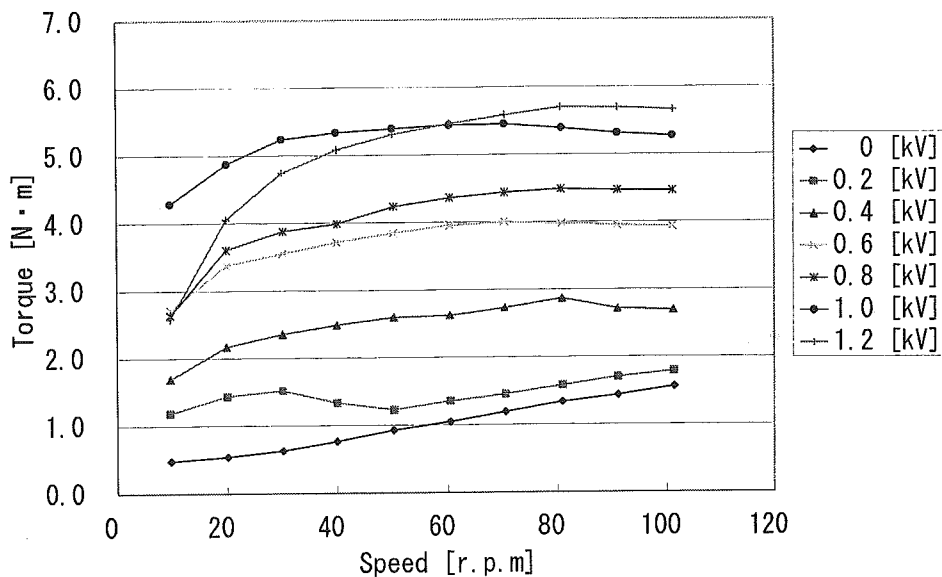
Tab.4.2 均一系 ER 流体の実験項目 (その2)

印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ	印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ
0.2	10	Fig.A.1.61	A-8	0.8	10	Fig.A.1.91	A-12
0.2	20	Fig.A.1.62	A-8	0.8	20	Fig.A.1.92	A-12
0.2	30	Fig.A.1.63	A-9	0.8	30	Fig.A.1.93	A-12
0.2	40	Fig.A.1.64	A-9	0.8	40	Fig.A.1.94	A-12
0.2	50	Fig.A.1.65	A-9	0.8	50	Fig.A.1.95	A-13
0.2	60	Fig.A.1.66	A-9	0.8	60	Fig.A.1.96	A-13
0.2	70	Fig.A.1.67	A-9	0.8	70	Fig.A.1.97	A-13
0.2	80	Fig.A.1.68	A-9	0.8	80	Fig.A.1.98	A-13
0.2	90	Fig.A.1.69	A-9	0.8	90	Fig.A.1.99	A-13
0.2	100	Fig.A.1.70	A-9	0.8	100	Fig.A.1.100	A-13
0.4	10	Fig.A.1.71	A-10	1	10	Fig.A.1.101	A-13
0.4	20	Fig.A.1.72	A-10	1	20	Fig.A.1.102	A-13
0.4	30	Fig.A.1.73	A-10	1	30	Fig.A.1.103	A-14
0.4	40	Fig.A.1.74	A-10	1	40	Fig.A.1.104	A-14
0.4	50	Fig.A.1.75	A-10	1	50	Fig.A.1.105	A-14
0.4	60	Fig.A.1.76	A-10	1	60	Fig.A.1.106	A-14
0.4	70	Fig.A.1.77	A-10	1	70	Fig.A.1.107	A-14
0.4	80	Fig.A.1.78	A-10	1	80	Fig.A.1.108	A-14
0.4	90	Fig.A.1.79	A-11	1	90	Fig.A.1.109	A-14
0.4	100	Fig.A.1.80	A-11	1	100	Fig.A.1.110	A-14
0.6	10	Fig.A.1.81	A-11	1.2	10	Fig.A.1.111	A-15
0.6	20	Fig.A.1.82	A-11	1.2	20	Fig.A.1.112	A-15
0.6	30	Fig.A.1.83	A-11	1.2	30	Fig.A.1.113	A-15
0.6	40	Fig.A.1.84	A-11	1.2	40	Fig.A.1.114	A-15
0.6	50	Fig.A.1.85	A-11	1.2	50	Fig.A.1.115	A-15
0.6	60	Fig.A.1.86	A-11	1.2	60	Fig.A.1.116	A-15
0.6	70	Fig.A.1.87	A-12	1.2	70	Fig.A.1.117	A-15
0.6	80	Fig.A.1.88	A-12	1.2	80	Fig.A.1.118	A-15
0.6	90	Fig.A.1.89	A-12	1.2	90	Fig.A.1.119	A-16
0.6	100	Fig.A.1.90	A-12	1.2	100	Fig.A.1.120	A-16

Tab4.2 にて示した実験において、入力回転数と ER クラッチが伝達するトルクの関係について、まとめた結果を Fig.4.2 に示す。



(a): 分散系 ER 流体



(b): 均一系 ER 流体

Fig.4.2 回転数 - 伝達トルク

トルクの伝達力は均一系 ER 流体の方が高いという結果が得られた。しかし、均一系 ER 流体にて試験の経過と共に ER 効果が低下し再現性が失われる現象が見られた。

4.4 ER 効果の再現性実験

4.4.1 実験目的

トルク特性試験にて見られた ER 効果が低下し再現性が失われる現象を確認し、各 ER クラッチの安定性を検討する。

4.4.2 実験方法

ER クラッチの印加電圧を 1.0[kV]で固定し、モータにより一定回転を 10 秒間ほど加える。回転数を 10[rpm]刻みで 10[rpm]～100[rpm]までの 10 通りを 1 周とし、ER 効果の再現性の喪失を確認できるまで連続して行った。

4.4.3 実験結果

実施した実験項目を Tab.4.3 に示す。

Tab.4.3 分散系 ER 流体の実験項目 (その1)

周回	印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ	周回	印加電圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ
1周目	1	10	Fig.A.2.1	A-17	5周目	1	10	Fig.A.2.41	A-22
	1	20	Fig.A.2.2	A-17		1	20	Fig.A.2.42	A-22
	1	30	Fig.A.2.3	A-17		1	30	Fig.A.2.43	A-22
	1	40	Fig.A.2.4	A-17		1	40	Fig.A.2.44	A-22
	1	50	Fig.A.2.5	A-17		1	50	Fig.A.2.45	A-22
	1	60	Fig.A.2.6	A-17		1	60	Fig.A.2.46	A-22
	1	70	Fig.A.2.7	A-18		1	70	Fig.A.2.47	A-23
	1	80	Fig.A.2.8	A-18		1	80	Fig.A.2.48	A-23
	1	90	Fig.A.2.9	A-18		1	90	Fig.A.2.49	A-23
	1	100	Fig.A.2.10	A-18		1	100	Fig.A.2.50	A-23
2周目	1	10	Fig.A.2.11	A-18	6周目	1	10	Fig.A.2.51	A-23
	1	20	Fig.A.2.12	A-18		1	20	Fig.A.2.52	A-23
	1	30	Fig.A.2.13	A-18		1	30	Fig.A.2.53	A-23
	1	40	Fig.A.2.14	A-18		1	40	Fig.A.2.54	A-23
	1	50	Fig.A.2.15	A-19		1	50	Fig.A.2.55	A-24
	1	60	Fig.A.2.16	A-19		1	60	Fig.A.2.56	A-24
	1	70	Fig.A.2.17	A-19		1	70	Fig.A.2.57	A-24
	1	80	Fig.A.2.18	A-19		1	80	Fig.A.2.58	A-24
	1	90	Fig.A.2.19	A-19		1	90	Fig.A.2.59	A-24
	1	100	Fig.A.2.20	A-19		1	100	Fig.A.2.60	A-24
3周目	1	10	Fig.A.2.21	A-19	7周目	1	10	Fig.A.2.61	A-24
	1	20	Fig.A.2.22	A-19		1	20	Fig.A.2.62	A-24
	1	30	Fig.A.2.23	A-20		1	30	Fig.A.2.63	A-25
	1	40	Fig.A.2.24	A-20		1	40	Fig.A.2.64	A-25
	1	50	Fig.A.2.25	A-20		1	50	Fig.A.2.65	A-25
	1	60	Fig.A.2.26	A-20		1	60	Fig.A.2.66	A-25
	1	70	Fig.A.2.27	A-20		1	70	Fig.A.2.67	A-25
	1	80	Fig.A.2.28	A-20		1	80	Fig.A.2.68	A-25
	1	90	Fig.A.2.29	A-20		1	90	Fig.A.2.69	A-25
	1	100	Fig.A.2.30	A-20		1	100	Fig.A.2.70	A-25
4周目	1	10	Fig.A.2.31	A-21	8周目	1	10	Fig.A.2.71	A-26
	1	20	Fig.A.2.32	A-21		1	20	Fig.A.2.72	A-26
	1	30	Fig.A.2.33	A-21		1	30	Fig.A.2.73	A-26
	1	40	Fig.A.2.34	A-21		1	40	Fig.A.2.74	A-26
	1	50	Fig.A.2.35	A-21		1	50	Fig.A.2.75	A-26
	1	60	Fig.A.2.36	A-21		1	60	Fig.A.2.76	A-26
	1	70	Fig.A.2.37	A-21		1	70	Fig.A.2.77	A-26
	1	80	Fig.A.2.38	A-21		1	80	Fig.A.2.78	A-26
	1	90	Fig.A.2.39	A-22		1	90	Fig.A.2.79	A-27
	1	100	Fig.A.2.40	A-22		1	100	Fig.A.2.80	A-27

Tab.4.3 均一系 ER 流体の実験項目 (その2)

周回	圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ	周回	圧 [kV]	回転数 [rpm]	図番	ページ
1周目	1	10	Fig.A.2.81	A-27	5周目	1	10	Fig.A.2.121	A-32
	1	20	Fig.A.2.82	A-27		1	20	Fig.A.2.122	A-32
	1	30	Fig.A.2.83	A-27		1	30	Fig.A.2.123	A-32
	1	40	Fig.A.2.84	A-27		1	40	Fig.A.2.124	A-32
	1	50	Fig.A.2.85	A-27		1	50	Fig.A.2.125	A-32
	1	60	Fig.A.2.86	A-27		1	60	Fig.A.2.126	A-32
	1	70	Fig.A.2.87	A-28		1	70	Fig.A.2.127	A-33
	1	80	Fig.A.2.88	A-28		1	80	Fig.A.2.128	A-33
	1	90	Fig.A.2.89	A-28		1	90	Fig.A.2.129	A-33
	1	100	Fig.A.2.90	A-28		1	100	Fig.A.2.130	A-33
2周目	1	10	Fig.A.2.91	A-28	6周目	1	10	Fig.A.2.131	A-33
	1	20	Fig.A.2.92	A-28		1	20	Fig.A.2.132	A-33
	1	30	Fig.A.2.93	A-28		1	30	Fig.A.2.133	A-33
	1	40	Fig.A.2.94	A-28		1	40	Fig.A.2.134	A-33
	1	50	Fig.A.2.95	A-29		1	50	Fig.A.2.135	A-34
	1	60	Fig.A.2.96	A-29		1	60	Fig.A.2.136	A-34
	1	70	Fig.A.2.97	A-29		1	70	Fig.A.2.137	A-34
	1	80	Fig.A.2.98	A-29		1	80	Fig.A.2.138	A-34
	1	90	Fig.A.2.99	A-29		1	90	Fig.A.2.139	A-34
	1	100	Fig.A.2.100	A-29		1	100	Fig.A.2.140	A-34
3周目	1	10	Fig.A.2.101	A-29	7周目	1	10	Fig.A.2.141	A-34
	1	20	Fig.A.2.102	A-29		1	20	Fig.A.2.142	A-34
	1	30	Fig.A.2.103	A-30		1	30	Fig.A.2.143	A-35
	1	40	Fig.A.2.104	A-30		1	40	Fig.A.2.144	A-35
	1	50	Fig.A.2.105	A-30		1	50	Fig.A.2.145	A-35
	1	60	Fig.A.2.106	A-30		1	60	Fig.A.2.146	A-35
	1	70	Fig.A.2.107	A-30		1	70	Fig.A.2.147	A-35
	1	80	Fig.A.2.108	A-30		1	80	Fig.A.2.148	A-35
	1	90	Fig.A.2.109	A-30		1	90	Fig.A.2.149	A-35
	1	100	Fig.A.2.110	A-30		1	100	Fig.A.2.150	A-35
4周目	1	10	Fig.A.2.111	A-31	8周目	1	10	Fig.A.2.151	A-36
	1	20	Fig.A.2.112	A-31		1	20	Fig.A.2.152	A-36
	1	30	Fig.A.2.113	A-31		1	30	Fig.A.2.153	A-36
	1	40	Fig.A.2.114	A-31		1	40	Fig.A.2.154	A-36
	1	50	Fig.A.2.115	A-31		1	50	Fig.A.2.155	A-36
	1	60	Fig.A.2.116	A-31		1	60	Fig.A.2.156	A-36
	1	70	Fig.A.2.117	A-31		1	70	Fig.A.2.157	A-36
	1	80	Fig.A.2.118	A-31		1	80	Fig.A.2.158	A-36
	1	90	Fig.A.2.119	A-32		1	90	Fig.A.2.159	A-37
	1	100	Fig.A.2.120	A-32		1	100	Fig.A.2.160	A-37