406 歩行支援機用ER流体クラッチ機構の開発

Development of ER Clutch mechanism for walking support machine

○学 佐藤 克司 (芝浦工大院) 正 川上 幸男 (芝浦工大)
正 岡村 宏 (芝浦工大)

Katsushi SATO, Graduate School of Engineering Shibaura Institute of Technology,

307, Fukasaku, Minuma-ku, Saitama-shi, Saitama-ken

Yukio KAWAKAMI, Faculty of Systems Engineering Shibaura Institute of Technology

Hiroshi OKAMURA, Faculty of Systems Engineering Shibaura Institute of Technology

We are developing a new walking support machine for old people and handicapped people, because they expect to move easily by themselves. The machine is equipped with two ER devices which compose a electrorheological fluid clutch (ER clutch) and a motor, and able to work with smooth power assistance or safety breaking.

In this paper, we refer a developing concept in the new walking support system, and explain a mechanism and design of the ER devices. In addition, we also report some experimental results, because we have examined on characteristics of the ER devices.

Key words: ER Clutch, Walking support machine, Torque transmission

A1. はじめに

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。特に高齢化と共に問題となる筋力の低下は、運動機会の減少につながり、その為、更に筋力が低下する。よって、早期における筋力維持・回復は、要介護者とならない重要な予防策といえる。中でも寝たきりにさせない予防策として歩行補助車による歩行訓練が注目されている。

現在、歩行補助に関する機器は多種に渡って商品化されており、利用者も増加してきている。しかし、これらの商品は段差等の進行の妨げがある場所での利用は負担が大きく、必然的に行動範囲も限られてくる。その為、自立歩行が可能である人々に支持部を提供するに留まっている。

筆者らのグループは自立を望む要介護者やその予備群を対象とした移動サポートツールとして、路面の歩行状況や利用者の障害度に対応可能なインテリジェントな歩行支援機の開発・構築を進めている。この歩行支援機の駆動部には動力アシスト及びブレーキ制御を行う為に、DC サーボモータとER流体を用いたクラッチで構成されたトルク伝達デバイスを搭載している。本報告では、今回製作した実験検討用試作機の構成並びに動力伝達部であるERクラッチの特性確認結果について述べるものとする。

A2. 歩行支援機の設計コンセプト

現行の歩行補助車は路面上の障害を乗り越える際、使用者側が力を加える必要がある。しかし足腰の筋力が衰え始めている人々にとっては大きな負担となっており、利用に際して制限が生まれている。これらの人々に歩行する機会を与えることは筋力維持・回復につながり、それをサポートする歩行支援機の実用化が望まれる。本研究では安全性、利便性を考慮し、次に示す設計コンセプトを設定した。

対象者： リハビリにて歩行機能の回復が見込まれる人
歩行支援： センサ類による安全性を図ると共に、
登板・ガタ路でも負担無く使用可能とする。

A3. ER流体について

エレクトロレオロジー流体 (ER流体) とは、外部から電圧を印加することで粘性が変化することができる流体である。このER流体は分散系と均一系の2つに大別される。分散系ER流体とは液体中に分極しやすい微粒子を多数分散した系である。この流体は電圧を加えると電極間において粒子がクラスターを形成する。一方、均一系ER流体として一般的なのは液晶である。棒状の分子に電圧を印加すると一定方向に廃校したドメイン構造をとる。これにより粘度が変化する。これらER流体は即応性に優れ、また降伏応力以上の力は伝達されない。その為、ERデバイスを含むシステムは印加電圧の制御方法によっては緩やかな始動が期待できると共に、モータ直結型のシステムと比較して安全性が増すことが期待される。

A4. 検討用試作機について

評価・検討用として試作機を製作した。構成要素は制御ボード、モータ及びERクラッチのみで、PC上のプログラムよりモータ及びERクラッチを操作し、速度とトルクの制御を行う。本報告ではそれらの構成とシステムのフローについて述べる。

A5. ERクラッチ単体試験

歩行支援機にERデバイスを搭載するにあたり、検討用試作機に搭載したERクラッチを用いて分散系・均一系それぞれのER流体について特性確認を行った。今回は、クラッチの片側を固定した状態でのクラッチの伝達トルク、応答速度、PWM駆動時に得られるトルクについて比較を行った。結果より、同じ電場下において得られるトルクは均一系の方が大きい。しかし、均一系では発熱によると思われるER効果の減少が見られ安定性に問題が見られた。また、応答性についても粒子系の方が優れており、十分なトルクが得られれば粒子系の方が制御しやすい流体であると言える。

今後は歩行支援機での実用化に向け、滑らかなパワー支援と安全な制動が得られるように制御方法の検討とERデバイスの設計・開発をしていくこととする。

1. はじめに

日本社会は高齢化が進んでおり、平成17年版の高齢社会白書では高齢者人口は2020年まで増加が予測されている。また出生率の低下による総人口の減少から高齢化率が上昇することも予測されており、今後は高齢者自身が高齢社会の担い手の一端として活躍していくことが要求される社会へと移り変わりつつある。その為、介護保険制度も要介護状態の軽減・悪化防止に効果的な予防重視型のシステムへの見直しが図られている。

こうした社会の流れの中で、福祉機器についても行政・民間にて様々な検討が進められてきている。中でも足腰の衰えを補う為に利用される歩行補助車は様々な機能を備えたものが商品化されており、利用者数も増加してきている。しかしこれらの商品は平坦路においては問題が無いものの段差や勾配等の障害路において利用者側が支持する必要がある、逆に負担を強いる形になっている。その為、自立歩行が可能である人々に支持部を Fig.1.1: Walk Auxiliary Car 提供するに留まっている。

筆者らのグループは自立を望む要介護者やその予備軍を対象とした移動サポートツールとして、路面状況や利用者の障害度に応じて対応可能なインテリジェントな歩行支援機の開発・構築を進めている。この歩行支援機の駆動部には動力アシスト及び制動を行う為に、DCサーボモータとER流体を用いたクラッチで構成されたトルク伝達デバイスを搭載している。本報告では、今回製作した実験検討用試作機の構成、並びに動力伝達部であるERクラッチの特性確認結果について述べるものとする。

2. 歩行支援機的设计コンセプト

2.1: 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た。

○対象ユーザー

- 自分の足で歩くことが可能である人。
- 現行の補助車では行動範囲が限られる人。
- やや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

- 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。
- 方向転換半径はゼロとし、取り回し易くする。
- 緩やかな動作開始、安全な制動。
- 歩行速度は最速4km/h。
- 段差乗り越しは50mm以下。
- 登坂能力は10°以下。
- 重量は15kg以下。
- 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: 歩行支援機によるアシスト方法

設定したコンセプトを実現するにあたり、制御内容として以下のように検討課題を取り決めた。

- ①利用者の姿勢及び進行方向を知る為の荷重センサを取り付ける。
- ②ERクラッチの実用性・安全性の確認。
- ③障害物に対するセンシングを行う。
- ④制御ブレーキの他に機械ブレーキを取付ける。

これらの項目については、商品化に向けて、実験による優位性及びコスト面を考慮し取捨選択するものとする。

2.3: 動力伝達部 (ERクラッチ)

ER流体は電圧を印加することで粘性が変化するという特性を持ち、即応性に優れている。また、降伏応力以上の力は伝達されない。従って、これを利用したERクラッチはモータ直結型のシステムと比較し、ER印加電圧の制御の仕方によって緩やかな始動が期待できると共に、仮に制御に異常を来した場合に動力からの伝達はクラッチにより切られることとなり、暴走の恐れが軽減されるものと考えられる。そこで本研究では、ERクラッチの実用化に向け、滑らかなパワー支援と安全な制動が得られるよう制御方法について検討を行う。また、ER効果を最大限引き出せるようなERデバイスについても検討を進めるものとする。

3. 製作した歩行支援機の概要

3.1: 検討用試作機について

今後の検討を進める上で性能評価用として試作機を製作した (Fig. 3.1)。制御板からの駆動プログラムによる自走とジョイスティック操作の二通りの駆動を選ぶことができる。

システム構成は Fig. 3.2 に示す通りである。駆動プログラム、またはジョイスティックの入力信号がパソコンから制御板に送られる。制御板から移動距離がサーボアンプを介してモータへ送られる。モータとERクラッチはベルトにて連結されており、ERクラッチの印加電圧を変えることで速度制御を行う。また、モータ及びタイヤに取り付けられたエンコーダ情報が制御板を

Fig.3.1: Test model

通しパソコンへ返される。尚、エンコーダ以外のセンサ類は取り付けしていないが、それらについては今後、実験を進めていく中で必要に応じ付加していくものとする。

Fig.3.2: The system configuration

3.2: 制御ボード

制御ボードには(株)テクノ社製のオープンモーションコントローラ『SPX-8000』(Fig. 3.3)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。

Fig.3.3:SPX-8000

3.3: モータ

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φ 200[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。

Table.3.1:Spec in power part

Motor(EC 40)	
Rotational speed / Torque	9.9 [r.p.m/mN・m]
Torque constant	19.1 [mN・m/A]
Rotational speed constant	500 [r.p.m/V]
Gear (GP 42 C)	
Reduction ratio	53 : 1

3.4 : ER クラッチ

ERクラッチは試作検討ということで、既存の(株)ERテック製の物を使用した(Fig. 3.4参照)。クラッチ構造にはFig. 3.5に示すようにディスク型を採用している。クラッチは内輪径100[mm]、電極間間隔0.5[mm]、タイヤサイズはφ 200[mm]となっている。尚、使用する流体は分散系及び均一系を用意しており、それぞれについて比較検討を行うものとする。

Fig.3.4:ER Clutch

Fig.3.5: section of clutch

3.5: 自走試験

製作した試作機より得られるデータの一例を下図に示す。

Fig.3.6: Exaxmple of the data

例ではモータ回転数28[r.p.m]にてタイヤを一回転させた往復運動を行っている。今後は同様の実験にてERクラッチの電圧を変化させ、実際の牽引力について検討を進めていく。また、現時点において屋内でのタイヤの摩擦力不足やゼロ点からの段差乗り越え能力が無いなどの問題点も出ており、それらも含め改善方法についても検討していく。

4. ER クラッチ 単体実験

ER流体には、分散系、均一系と二種類があり、それぞれ電場を印加した際の粘性挙動が異なっている。今回、歩行支援機にERクラッチを搭載するにあたり、それぞれの流体の基本特性の確認を行った。尚、実験は装置の都合により、印加電圧は1.5[kVmax]で行った。

4.1: 実験装置

実験装置の構成をFig. 4.1に示す。本実験ではクラッチ出力側(タイヤ側)を固定した状態で回転を加え、その際の回転数及びトルクを印加電圧毎に測定した。

Fig.4.1: Experimental device

4.2: ER トルク特性

ERクラッチに一定電圧をかけ、モータを一定速度で回転させた際の伝達トルクを測定した結果をFig. 4.2に示す。

(a): Dispersed ER fluid

(b): Homogeneous ER fluid

Fig.4.2: Rotational speed - Torque

既知の如く伝達トルクは粒子系と比較し均一系の方が高い結果が得られた。但し、均一系では時間の経過と共にER効果が低下し再現性も失われる現象が見られた。

そこでそれぞれの流体についてER効果の経時変化の確認を行った。方法として印加電圧を一定(1.0[kV])とし、モータより10秒間、回転数をステップ入力し、同条件にて3回測定する。これを10[r.p.m.]刻みで変化させる実験を繰り返し行った。結果をFig. 4.3に示す。

(a): Dispersed ER fluid

(b): Homogeneous ER fluid

Fig.4.3: Change of ER fluid's characteristics

実験の結果、分散系は得られるトルクに再現性が見られるのに対し、均一系では8周目(実働約30分)までの間、ER効果の減少が確認された。均一系では長時間の使用による発熱と温度特性の影響が報告されており、本実験にて確認されたER効果の減少も温度によるものと考えられる。これらのことから均一系は高い粘性を得ることができるが、経時変化を持つ為、使用に当たっては安定状態にならしておく必要がある。

4.3 : 応答速度特性

モータを回転(100[r.p.m.])させておき、一定時間経過後にERクラッチへ電圧を印加した際のそれぞれの立上り時間、遅れ時間について確認を行った。粒子系の応答速度はほぼ一定である。一方、均一系は低電圧時における応答性が悪いことが解る。本実験では印加電圧より得られるトルクの最終値は流体によって異なるが、クラッチ力は内輪ディスク枚数にて調整可能であり、同トルクの機器と比較しても同様の結果が得られることが予想される。従って、これまでの実験より安定性、応答性において粒子系が優れていることが確認できる。

Fig.4.4: Rise Time

Fig.4.5: Delay Time

4.4 : PWM 駆動

ER流体の長寿命化には一般的にPWM駆動がよいとされている。そこで今回はDuty比を変えることで、平均0.6, 0.8, 1.0[kV]を作りだし、ER効果は損なわれないかの確認を行った。

結果、分散系では、Duty比による大きな変化は見られない。一方、均一系では減少が観られた。但し、これは前述の如く均一系は連続運転と共にER効果が損なわれた為と考えられる。

(a): Dispersed ER fluid

(b): Homogeneous ER fluid

Fig.4.6: PWM drive Torque

4.5 : ER クラッチの設計について

これまでの検討より応答性、安定性において粒子系の方が優れていることが導けた。しかし均一系と比較し得られるトルクが小さいことから、歩行支援機への搭載にあたっては、十分なトルクを得るための設計が必要である。今後は絶縁処理等の安全性も併せて考慮し、実装を考慮した設計を行う。

5. おわりに

今回は検討用試作機を製作すると共に、その伝達デバイスとなるERクラッチの特性について確認を行った。今後は実験を重ねER効果を最大限引き出せるような制御方法について検討を進めていく。また、歩行支援機に適したデバイスの設計を進めており、改めて報告の機会を持ちたいと考えている。

参考文献

- [1]井上, 笠 : エレクトロレオロジー(ER)流体, 未来材料 Vol. 2-8(2002), P27 ~ 34