

さらに、Tab.3.1 には駆動・制動デバイスを構成する部品の仕様を示す。

Tab.3.1 駆動・制動デバイスの仕様

	製造会社	型番	備考
モータ	マクソンモーター	EC40 118894	Φ40mm ブラシレス 120[W]
ギアヘッド	マクソンモーター	GP42C203121	φ42mm, プラネタリギア ヘッド 3-15Nm
ドライバ	マクソンモーター	4-Q-EC サーボ アンプ DES 50/5	
エンコーダ	武藤工業株式会社	MH-360	タイヤの回転数を測定するため
面圧ハイトルクタイ ミングプーリ	ミスミ(三ツ星)		モータの駆動力をERクラッチに 伝達するため
ハイトルクタイミン グベルト	ミスミ(三ツ星)		モータの駆動力をERクラッチに 伝達するため
粒子系クラッチ	ER テック		
液晶系クラッチ	ER テック		

ER クラッチの構造の概略は、Fig.3.3 に示すとおりであり、左右の軸は同軸になっていない構造になっている。ER 流体が、封入されている電極間の間隔は 0.5mm である。

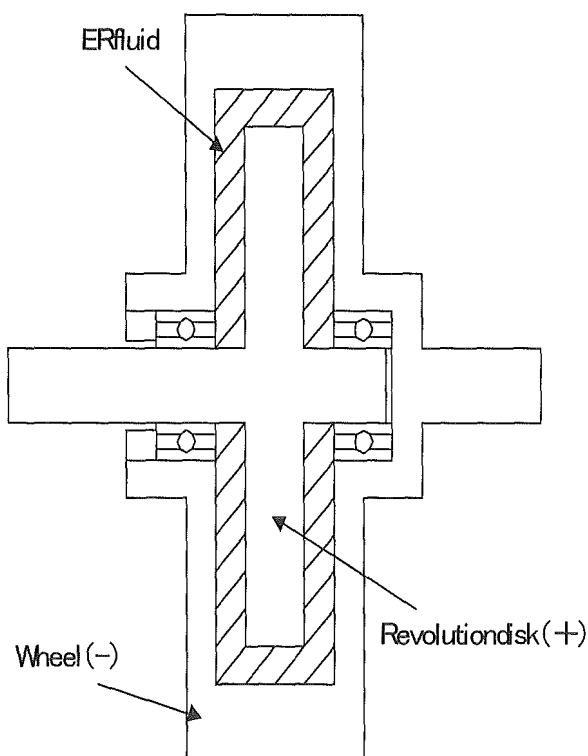


Fig.3.3 ER クラッチの構造の概略

3.2 駆動・制動デバイスの駆動方法

駆動方法としては、ギヤドモータを駆動し、それによって発生した動力をベルトにより ER クラッチに伝達する。ER 流体に加える電圧を制御することにより、適切な回転数でタイヤに動力を伝達する。駆動・制動デバイスの駆動方法を Fig.3.4 に示す。駆動力は、オレンジの線で示すように伝達される。

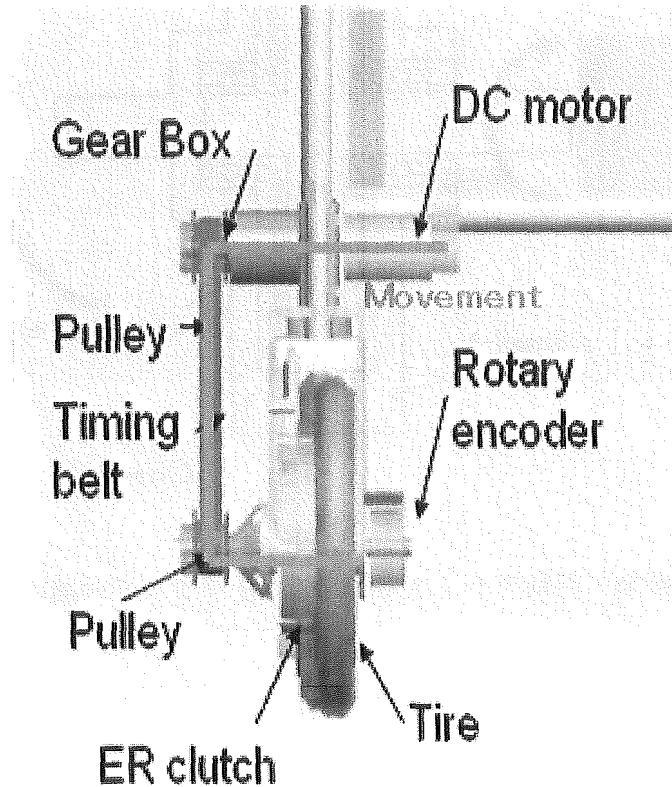


Fig.3.4 駆動・制動デバイスの駆動方法

駆動・制動デバイスが駆動している時の ER クラッチ内部の駆動力の伝達を Fig.3.5 に示す。

モータからの駆動力は、クラッチ内部の回転円盤に伝達され、円盤の周りに満たされている ER 流体に電圧を印加し、制御することによって、ホイールに駆動力が伝達される。この時、電圧は回転円盤を正極、ホイールは負極として印加する。

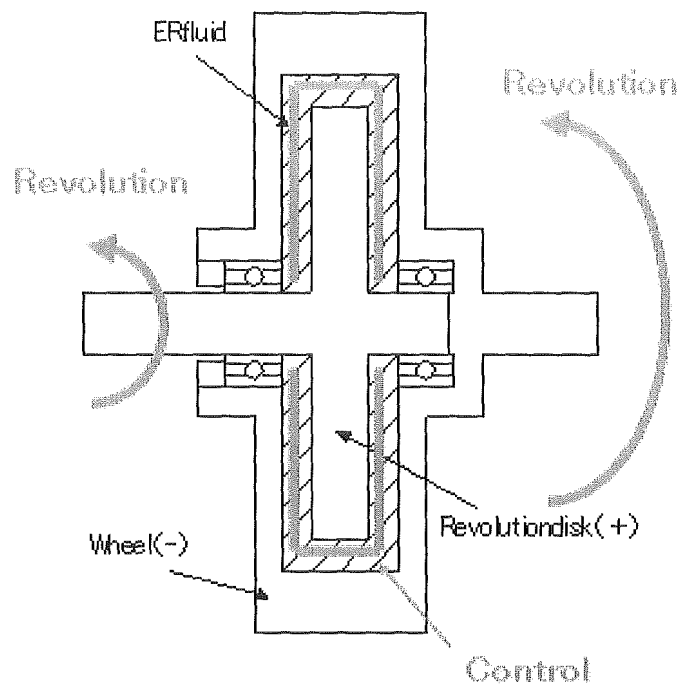


Fig.3.5 駆動・制動デバイス駆動時の ER クラッチ内部の駆動力の伝達

3.3 駆動・制動デバイスの制動方法

制動方法としては、ギヤドモータを停止させ、ER クラッチとホイールとが一体化になった受動部より延びている円盤軸を固定する。さらに、ER クラッチに内蔵された円盤は、その周りを覆っている ER 流体に高電圧を掛けることにより、タイヤと直結しているホイールが固定される。その結果、歩行支援装置に制動力を与える。駆動・制動デバイスの制動方法を Fig.3.6 に示す。

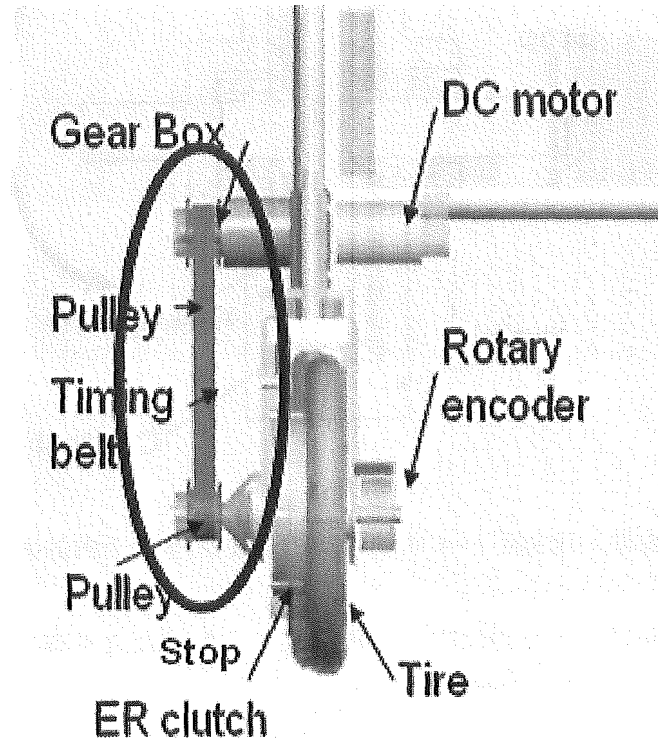


Fig.3.6 駆動・制動デバイスの制動方法

駆動・制動デバイスが制動している時の ER クラッチ内部の制動力の伝達を Fig.3.7 に示す。

制動の時は、回転円盤を動かない状態にしておき、円盤の周りに満たされている ER 流体に電圧を印加し、制御することによって、ホイールからの動力に抵抗を与え、ホイールを制動させる。この時も駆動時と同様に、電圧は回転円盤を正極、ホイールは負極として印加する。

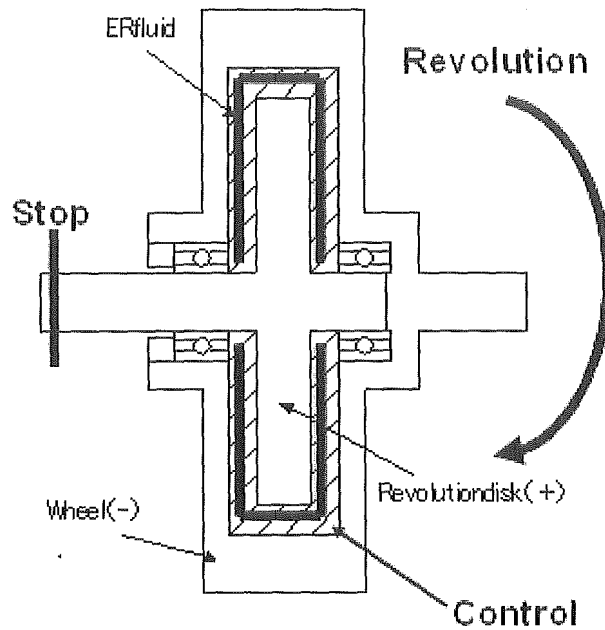


Fig.3.7 駆動・制動デバイス制動時の ER クラッチ内部の制動力の伝達

なお、ER クラッチのブレーキ力は以下の理論式から計算により導出することができる。
ディスク部のブレーキ力 T_D [g · cm]

$$T_D = \left(\frac{1}{2}\right)\pi b r^4$$

シリンダー部のブレーキ力 T_s [g · cm]

$$T_s = 2\pi b L r^3$$

全トルク T_{DS} [g · cm]

$$T_{DS} = T_D \times 2 + T_s$$

上式において、 r : 半径[cm], L : シリンダー長[cm], b : 係数

3.4 ER クラッチに用いる ER 流体

ER 流体とは、電場の印加によりその粘性が著しく増大し、電場を取り去ると元の粘性に戻る流体である。そして ER 流体が示すこの効果を ER 効果とよぶ。ER 効果とは、電場によって粘度や弾性率を可逆的に変化させることをいう。たいていの電気粘性流体は、電圧をかけると粘度が増加する特性を示す。ER 流体は、粒子系と均一系に大別される。

粒子系は、Fig.3.8 に示すように分極しやすい物質の微粒子を絶縁性の液体中に多数分散させた系であり、電圧の印加により分極した粒子が電界方向に粒子のブリッジを形成し、このブリッジ間の引力が流体の粘性を増大させる。また、特性としては、ビンガム流体に見られるビンガム流動を現し、電場の強さのほぼ二乗に比例し、剪断速度が増加しても剪断応力は一定である。電圧に対する応答速度は 1[msec] である。流体の成分は、スルホン化ポリスチレン系樹脂、フッ素オイルである。

ビンガム流体とは、非ニュートン流体に属する。応力に臨界値があり、臨界値以下では固体、以上では流体の様に振舞う。この臨界値を降伏点と呼ぶ。バターや石鹸、泥状流動体などがある。大地震の時に見られる地盤の液状化は典型的な例である。

均一系は、Fig.3.9 に示すように流体を構成する分子やドメインが電界により配向するため流体の粘性を増大させる。特性としては、ニュートン流体に見られるニュートン流動を現し、電場の強さは降伏点の位置に影響する。そして、剪断速度が増加すると剪断応力が増加する。電圧に対する応答速度は 10[msec] である。流体の成分は、側鎖型液晶ポリシロキサン、変性シリコン油である。

ニュートン流体とは、応力と歪み速度が比例する。流体の粘性に基づく剪断応力 τ と速度勾配 du/dy (u : 流速、 y : 座標) との間には、 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ の関係が成り立つ比例定数 μ を流体の粘度と呼ぶ。 du/dy が変化しても μ が一定である流体である。

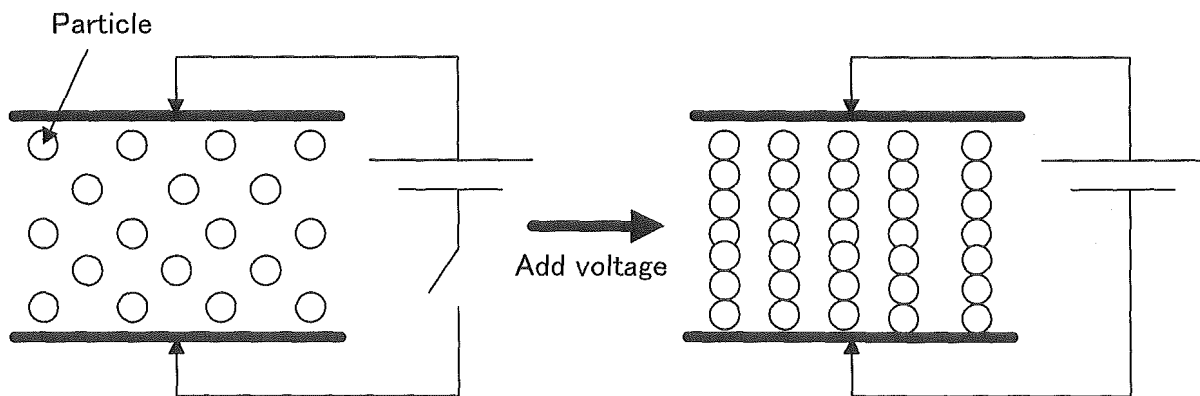


Fig.3.8 粒子系 ER 流体

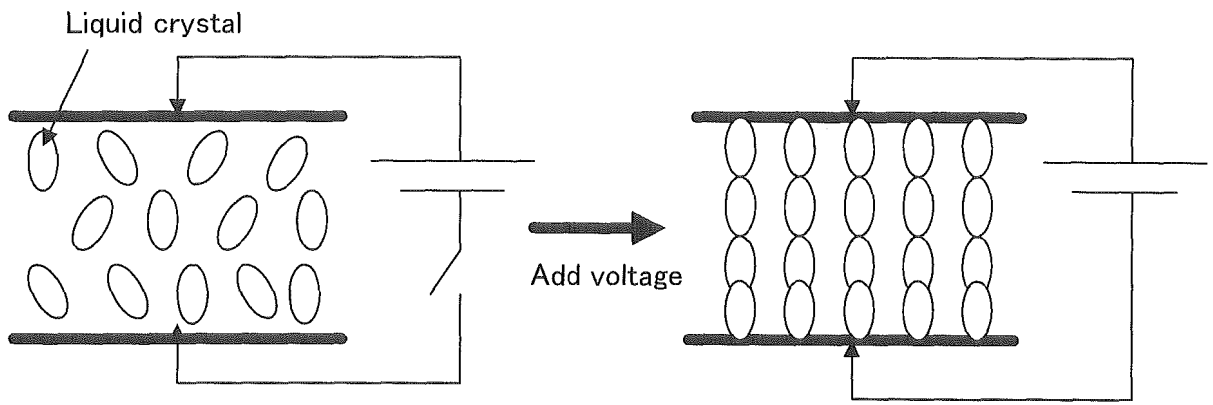


Fig.3.9 均一系 ER 流体

第4章 駆動・制動デバイスの受動装置の特性実験

4.1.実験目的

駆動・制動デバイスの受動装置は ER クラッチである。ER クラッチを制御する時に必要な、ER クラッチの静特性、動特性を調べるために特性試験を行う。

4.2 実験内容

ER クラッチに一定電圧を掛け、一定速度で回転させたときのモータからの伝達トルク特性を測定する。

4.3 駆動・制動デバイスの受動装置の特性試験装置のシステム構成

駆動・制動デバイスの受動装置は ER クラッチである。ER クラッチを制御する時に必要な、ER クラッチの静特性、動特性を調べるために特性試験を行った。ER クラッチの特性試験に用いる実験装置のシステム構成は Fig.4.1 に示すとおりであり、各構成要素の仕様については Tab.4.1 に示す。

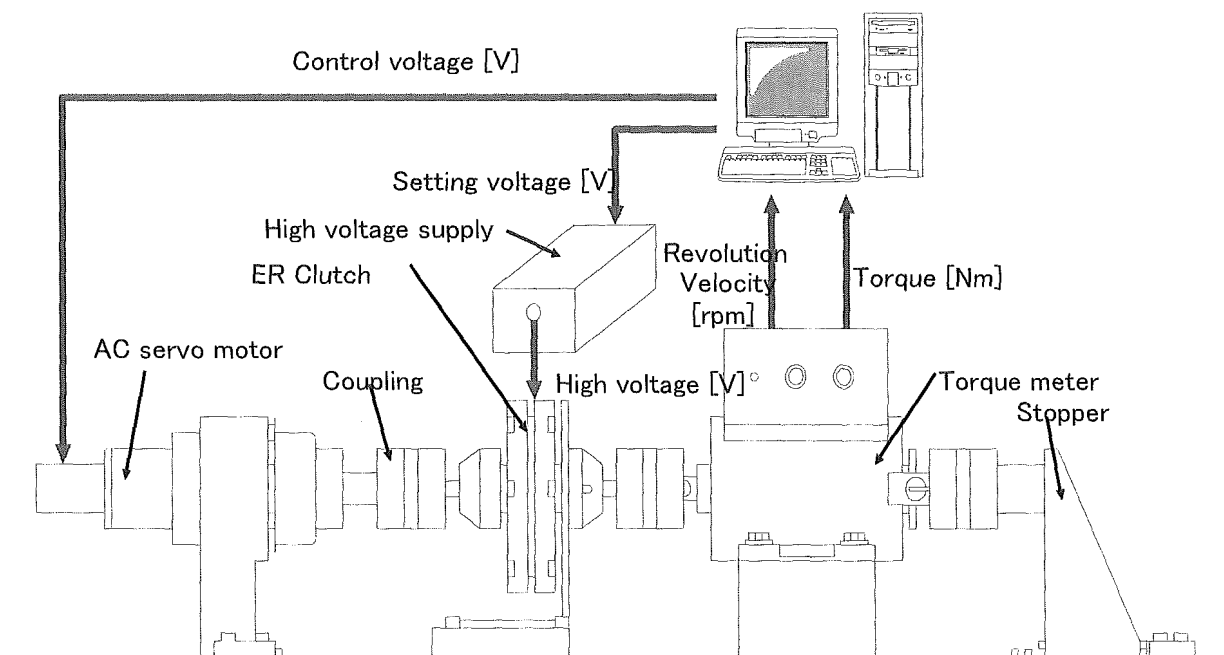


Fig.4.1 ER クラッチの特性試験のシステム構成

Tab.4.1 ER クラッチの特性試験装置の仕様

	製造会社	型番	備考
ACサーボモータ	オリエンタルモーター	DX220AD-9	位置決め機能内蔵タイプ
トルクメータ	小野測器	SS200	伝達トルクの測定
高圧電源	松定プレジジョン	HOPP-3P	ERクラッチに高電圧を供給する

4.4 ER クラッチの静特性実験結果

ER クラッチに印加する電圧をパラメータにとり、定常となる回転速度と伝達トルクの関係で整理を行った。Fig.4.2 に粒子系 ER クラッチの実験結果を、Fig.4.3 には均一系 ER クラッチの実験結果を示す。

粒子系 ER クラッチは、回転速度が増加しても、伝達トルクはほぼ一定である。一方、均一系 ER クラッチは、回転速度が増加すると伝達トルクも増加する傾向にある。また、印加電圧が 0[V] と 100[V] の時は、粒子系、均一系のどちらのクラッチでもトルク伝達は 0 に近いことがわかる。

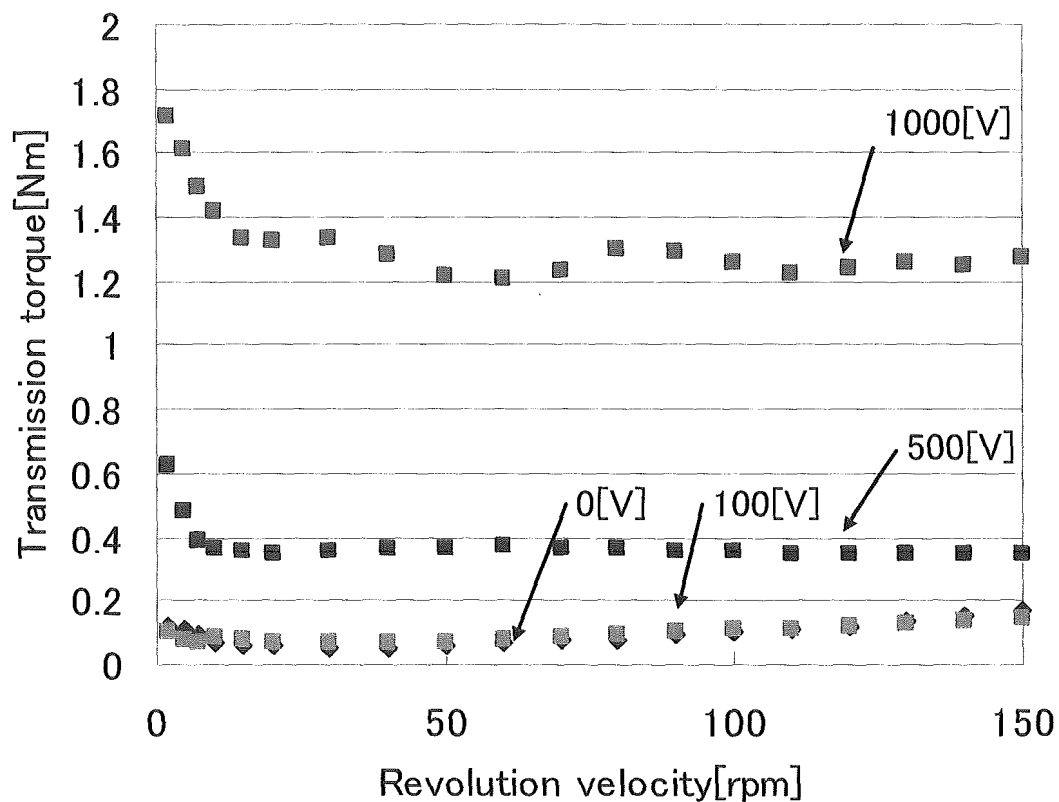


Fig.4.2 粒子系 ER クラッチにおける伝達トルク特性

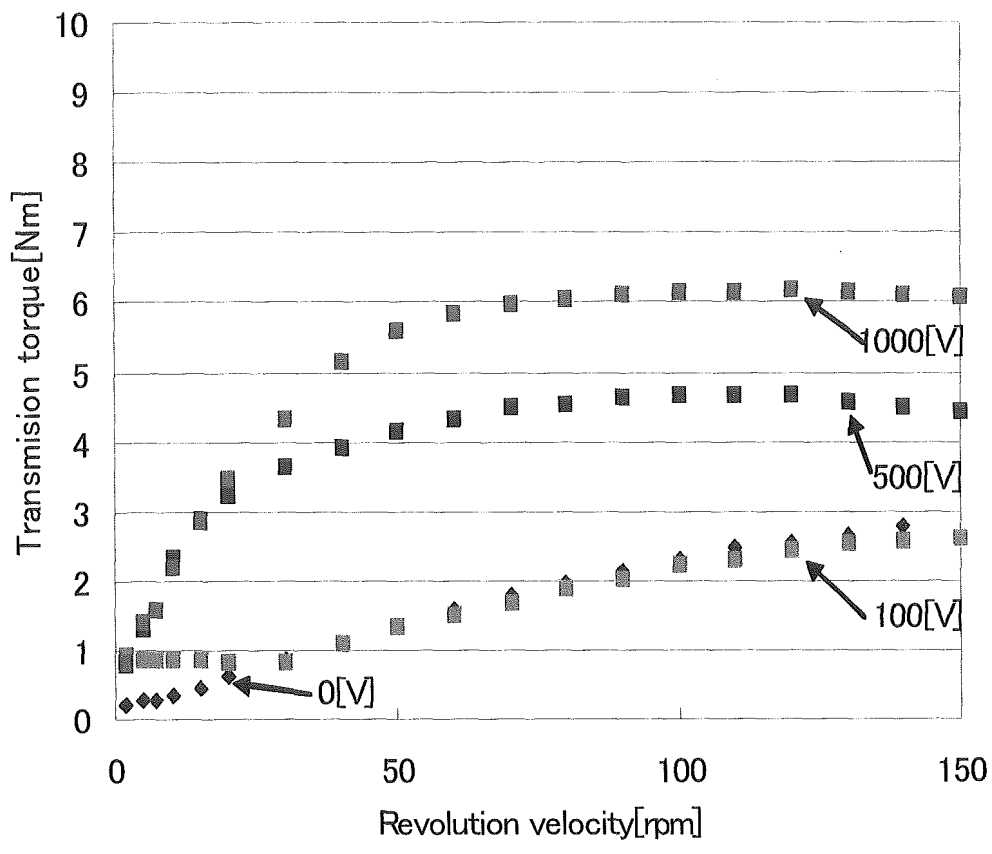


Fig.4.3 均一系 ER クラッチにおける伝達トルク特性

4.5 ER クラッチの動特性実験結果

ER クラッチを一定速度で回転させている状態で、ER クラッチへの印加電圧をステップ状に変化させたときの伝達トルク特性を測定した。特性試験は、試験開始から1秒後にモータの回転速度を100[rpm]にし、5秒後にER クラッチに電圧を供給するように設定した。粒子系ER クラッチはFig.4.4, Fig.4.5に示すように、100[V]の電圧を印加した場合には、伝達トルクの伝達ほとんど見られないが、1000[V]を加えることで、モータのトルクの伝達が行われた。

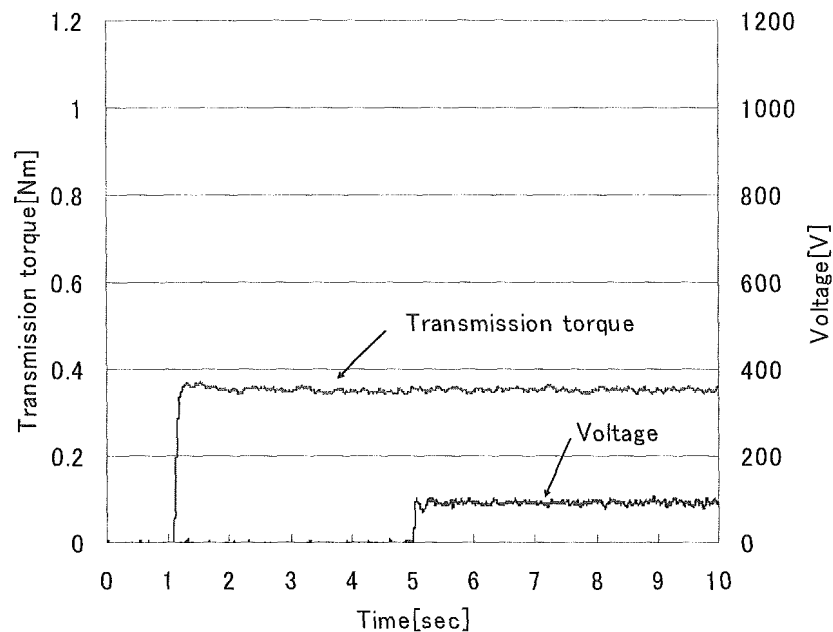


Fig.4.4 粒子系 ER クラッチの動特性実験結果 (印加電圧：100V)

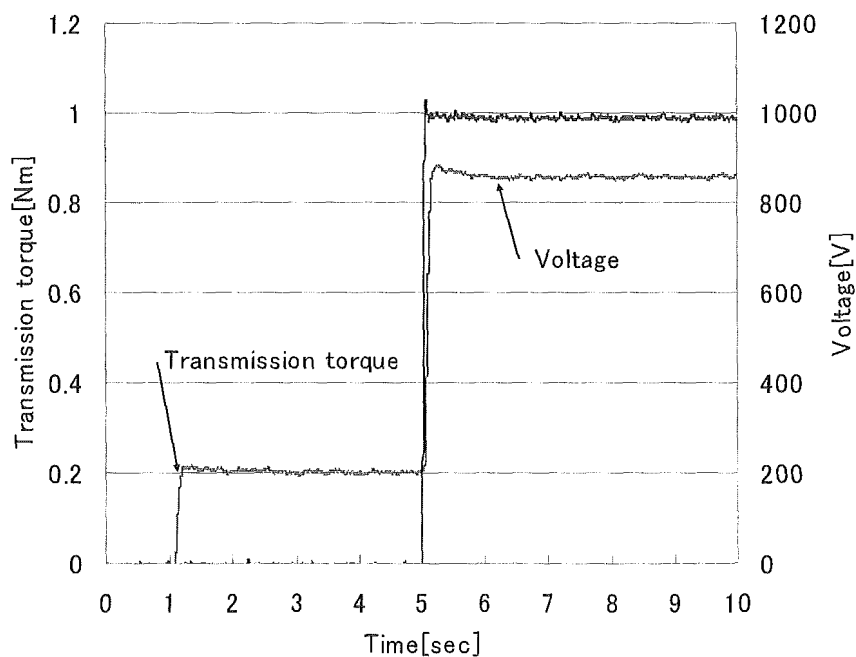


Fig.4.5 粒子系 ER クラッチの動特性実験結果 (印加電圧：1000V)

均一系 ER クラッチは Fig.4.6, Fig.4.7 に示すように、電圧は供給されなくても流体の粘性により、モータからの入力に対し、2.5[Nm]程度のトルクが出力される。こちらも粒子系と同じように、100[V]の電圧では、伝達トルクに変化はほとんど見られないが、1000[V]加えることでトルクの伝達が行われる。

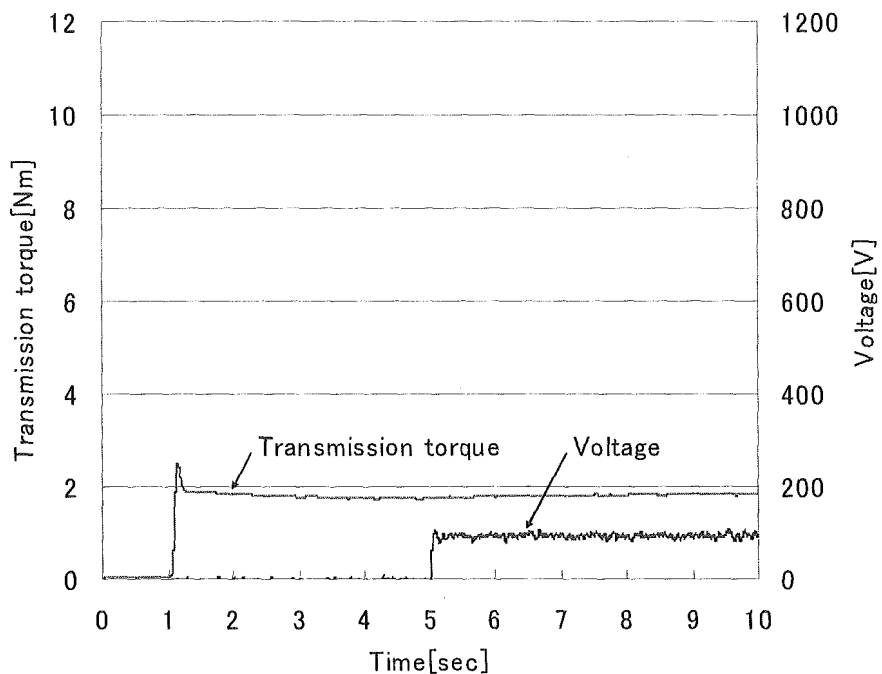


Fig.4.6 均一系 ER クラッチの動特性実験結果 (印加電圧 : 100V)

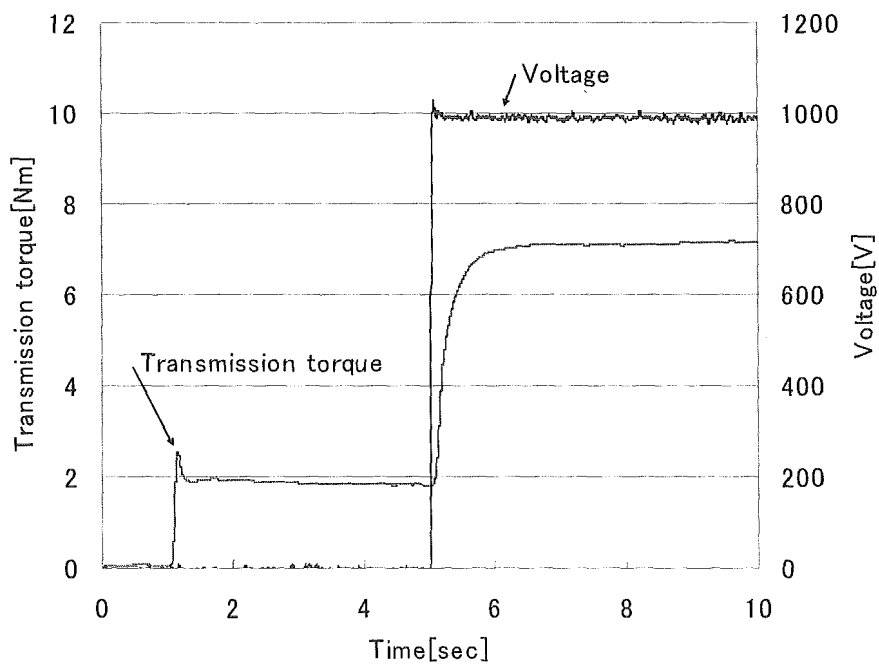


Fig.4.7 均一系 ER クラッチの動特性実験結果 (印加電圧 : 1000V)

粒子系 ER クラッチ, 均一系 ER クラッチの印加電圧が 1000[V]の時のグラフを比較すると, トルク伝達は均一系のほうがよく, 応答性は粒子系のほうがいいという結果が得られた. このことにより, 伝達トルクと応答性のどちらを優先にして駆動・制動デバイスを構築するかを検討していく必要がある.

4.6 粒子系 ER クラッチの PWM 制御について

4.6.1 粒子系 ER クラッチ特性試験結果 (パルス信号)

PWM 制御を行う上で必要なパルス信号の電圧を掛け、一定速度で回転させたときのモータからの伝達トルク特性を測定した。クラッチへの印加電圧は、静特性試験結果を考慮して 500[V] と設定した。

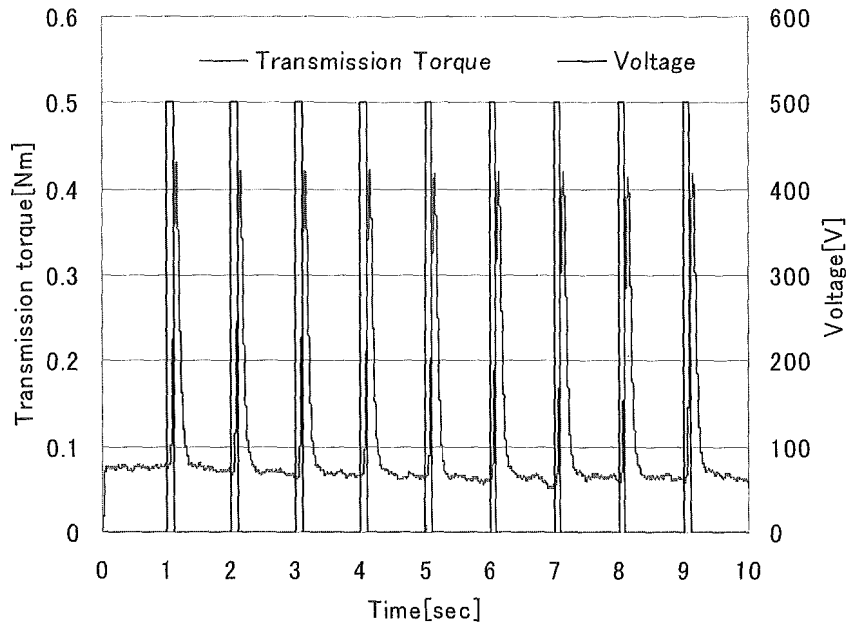


Fig.4.8 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
(回転速度 : 10 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 10%)

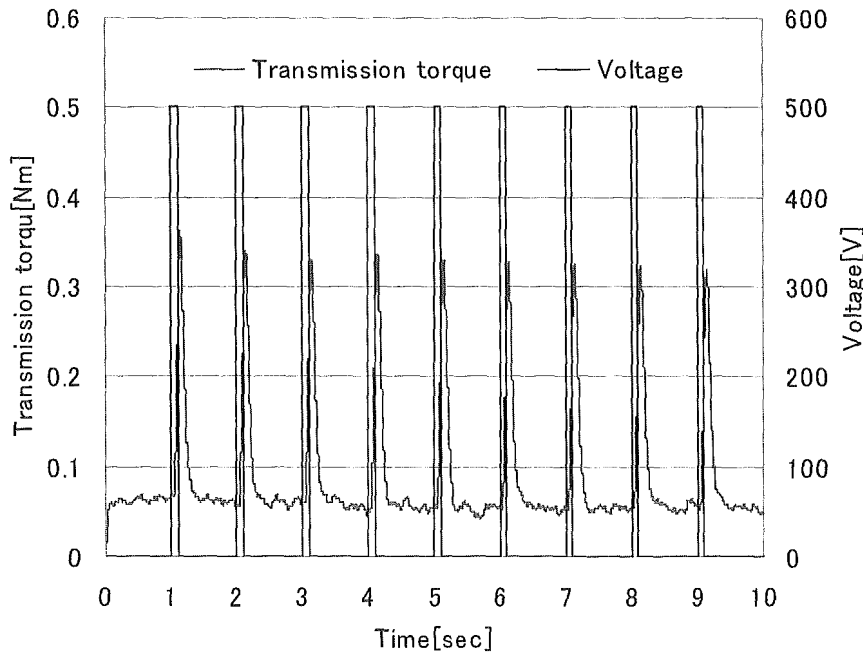


Fig.4.9 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
(回転速度 : 50 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 10%)

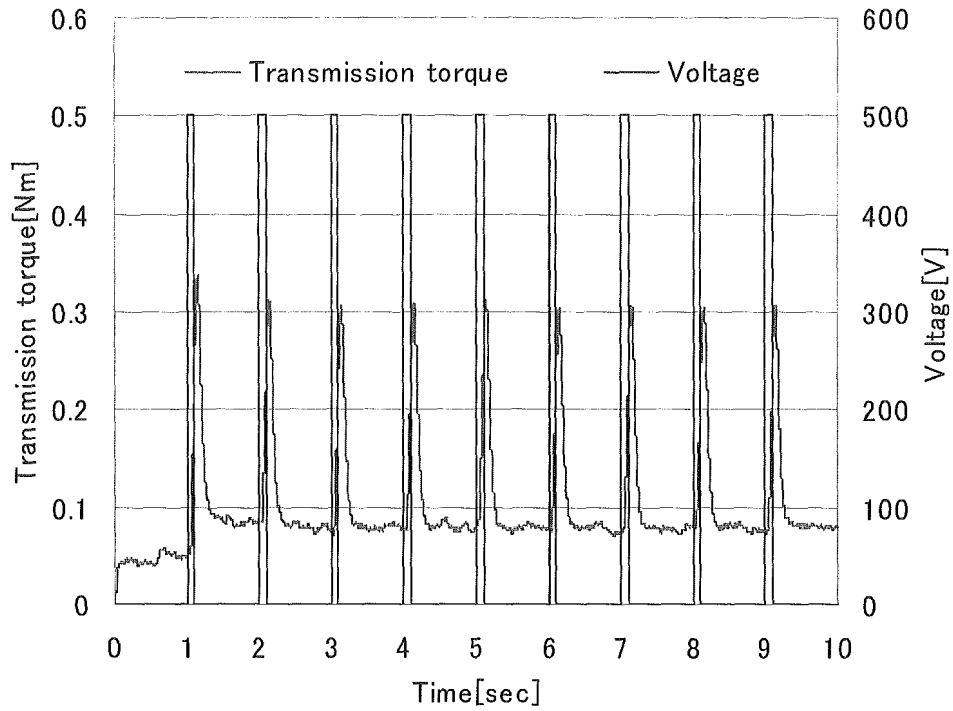


Fig.4.10 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 100 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 10%)

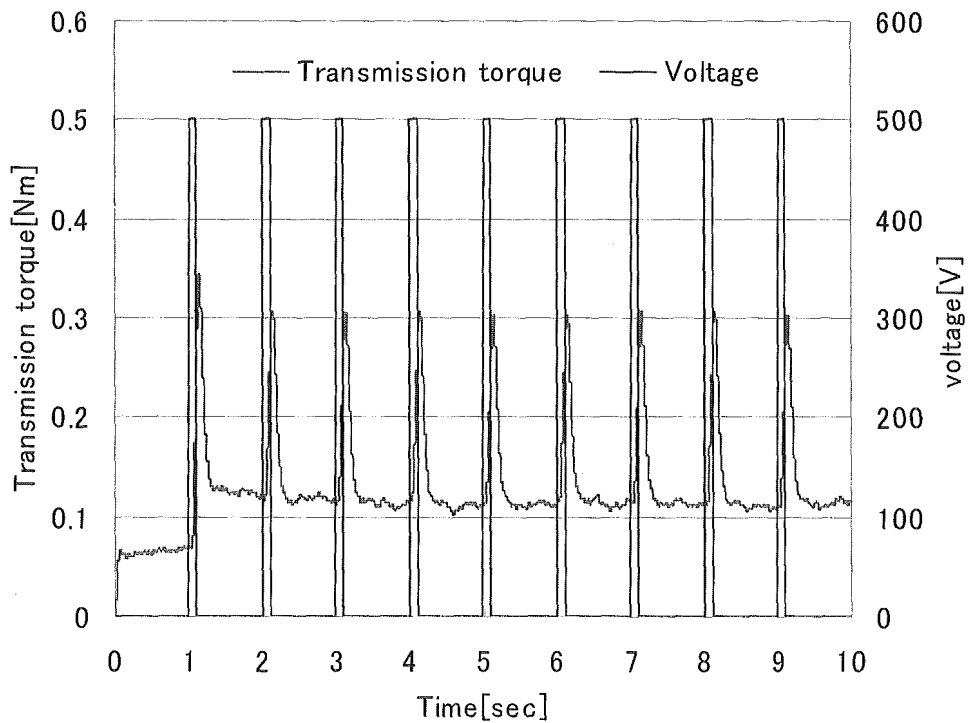


Fig.4.11 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 150 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 10%)

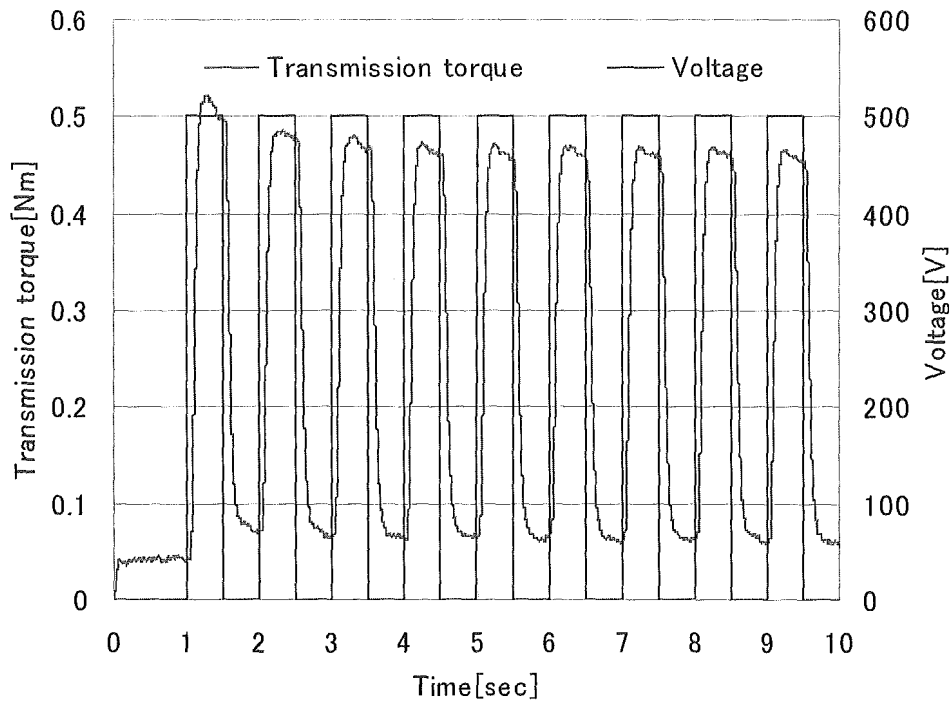


Fig.4.12 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 10 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 50%)

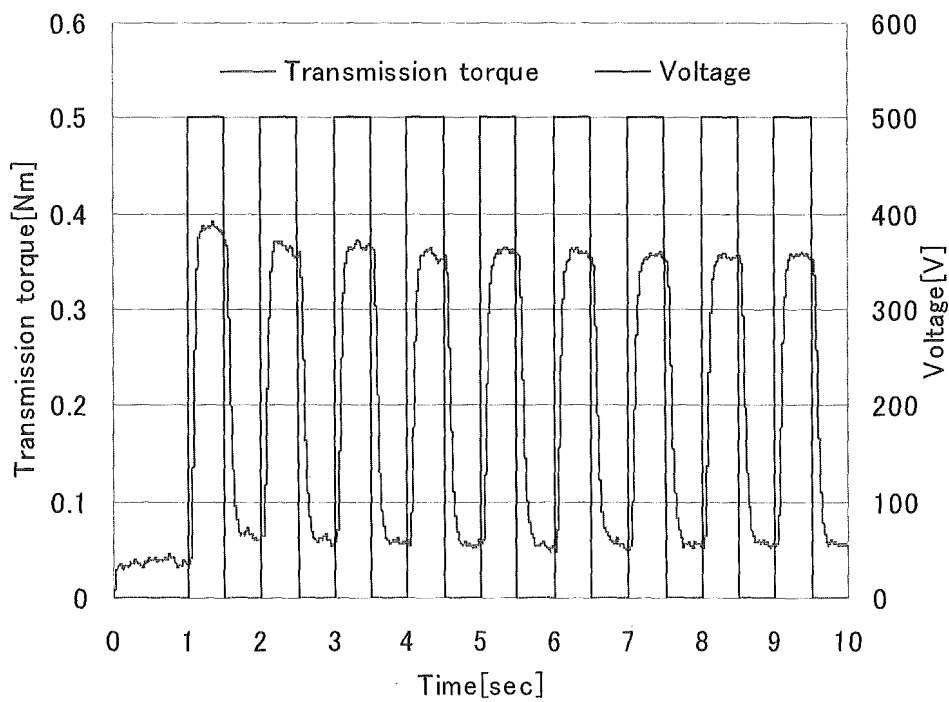


Fig.4.13 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 50 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 50%)

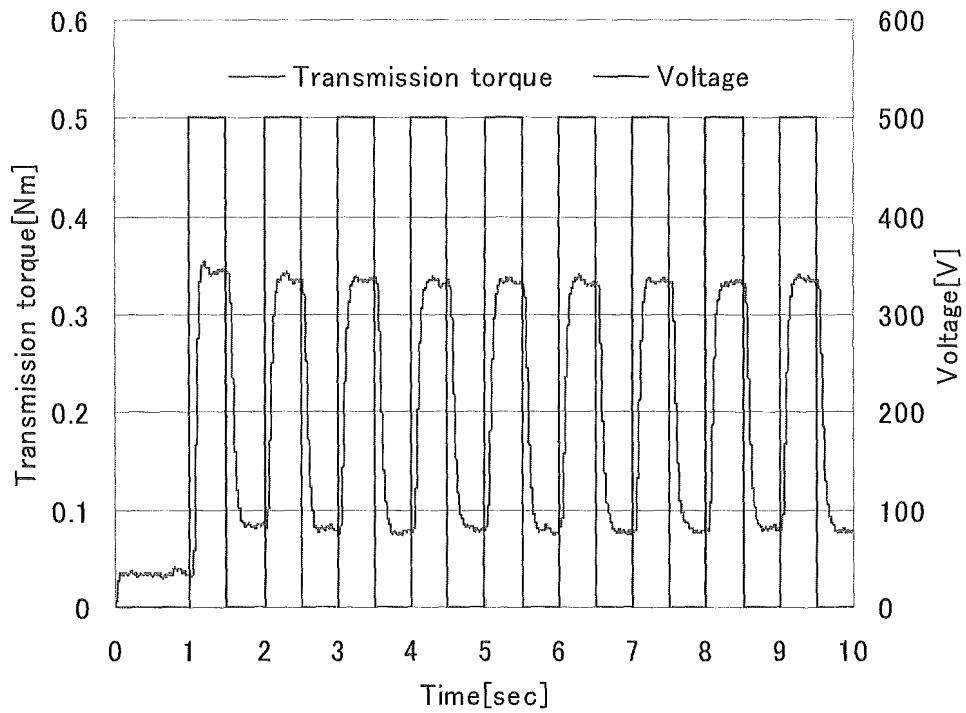


Fig.4.14 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 100 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 50%)

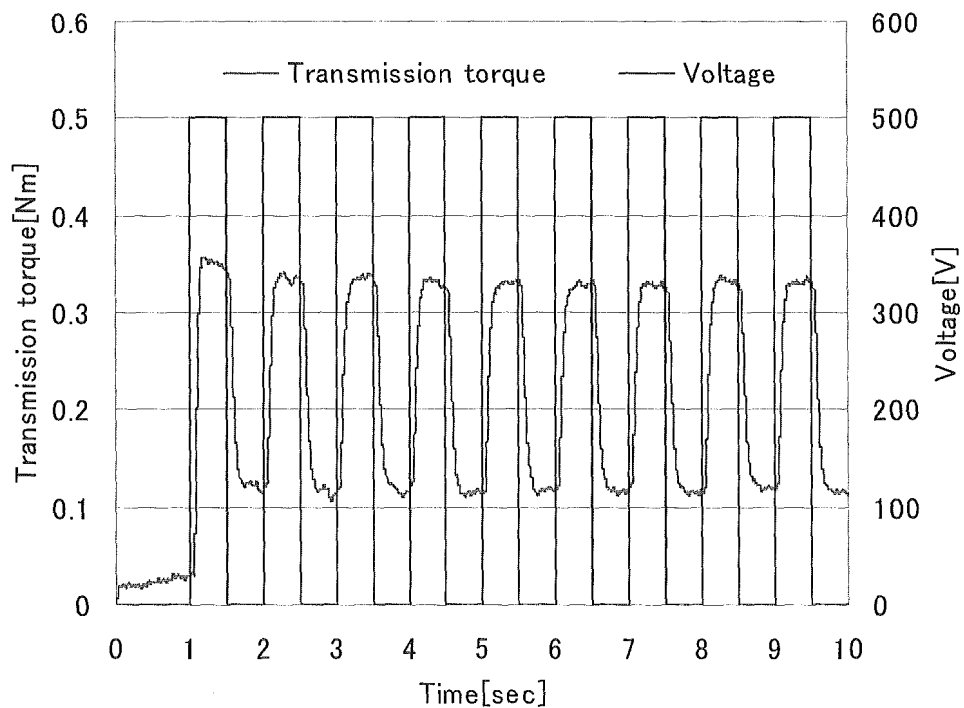


Fig.4.15 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 150 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 50%)

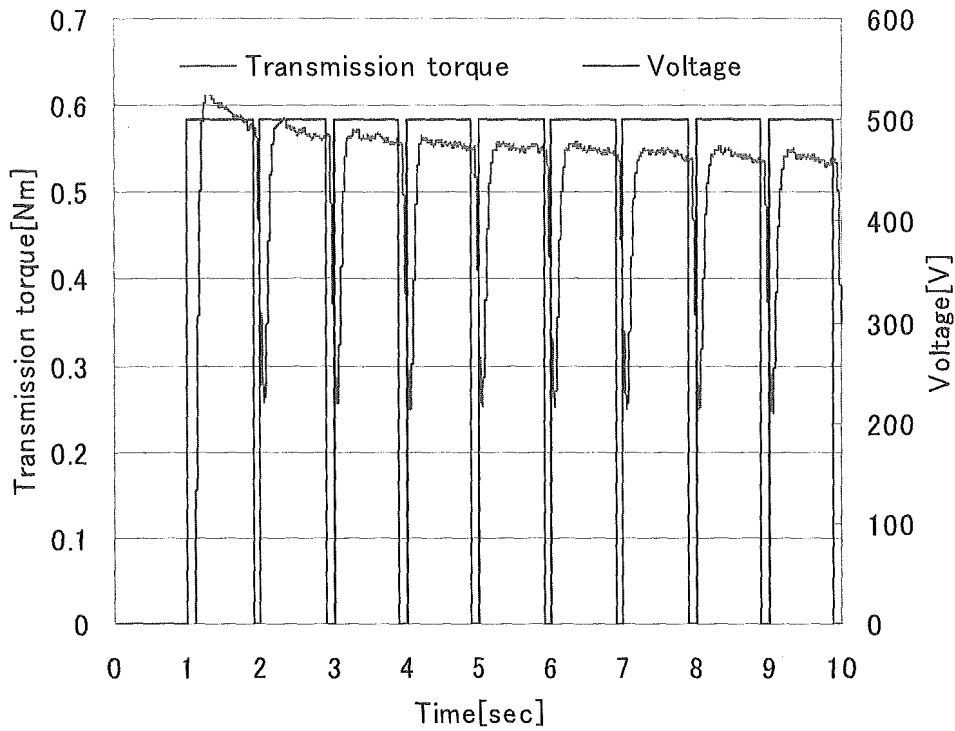


Fig.4.16 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 10 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 90%)

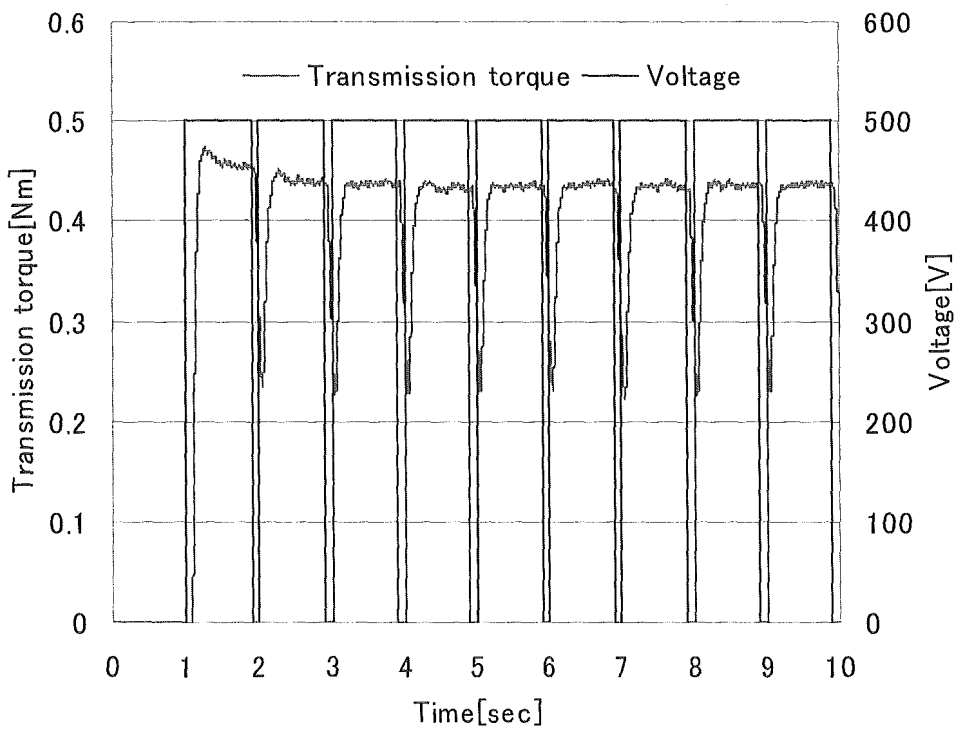


Fig.4.17 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 50 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 90%)

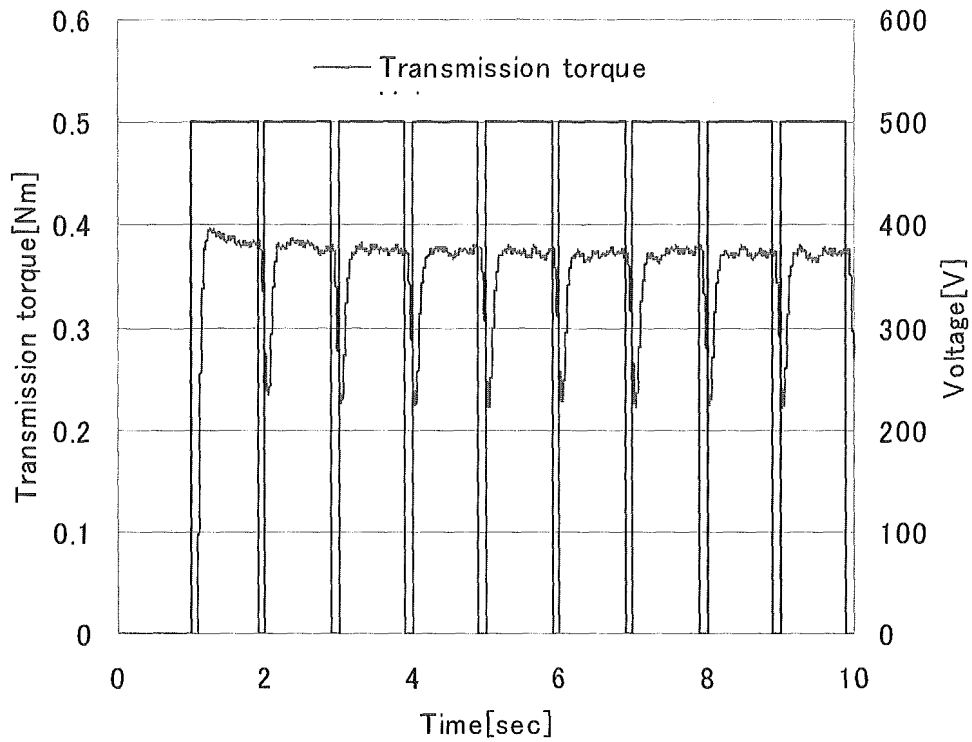


Fig.4.18 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 100 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 90%)

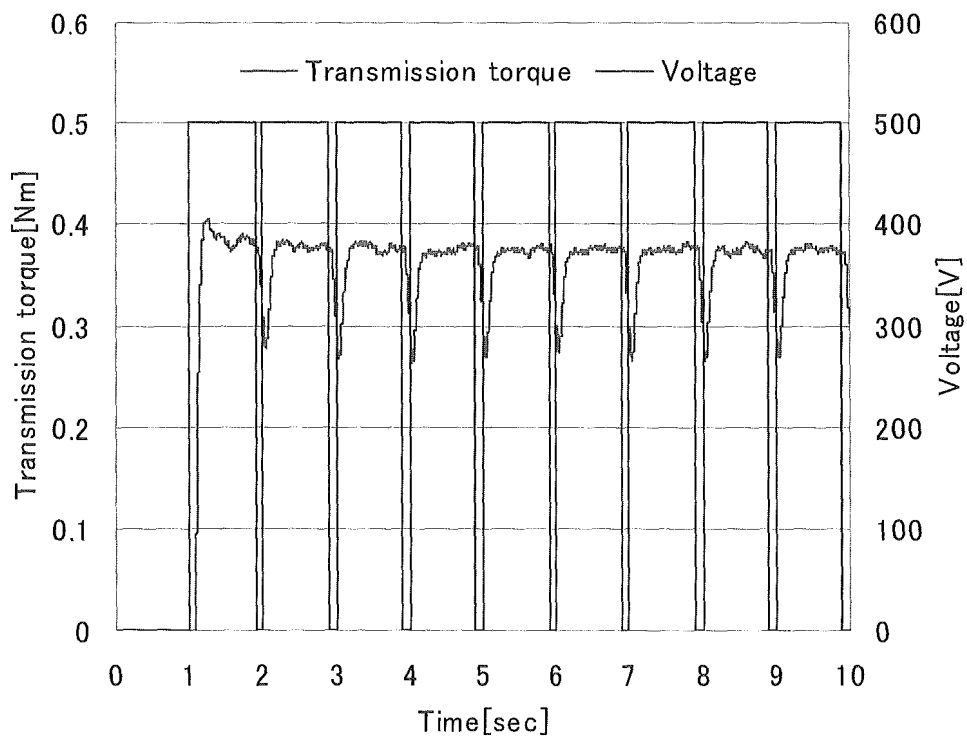


Fig.4.19 粒子系 ER クラッチの PWM 制御時の動特性実験結果
 (回転速度 : 150 rpm, 印加電圧 : 500V, 搬送波周波数 : 1Hz, Duty 比 : 90%)

Fig4.8-Fig4.19に見られるように、伝達トルクが電圧のパルス信号に追随してし、伝達トルクを一定に保つことはできなかった。これは、第3章で述べたように、粒子系 ER 流体の応答速度が速いため、1[Hz]の搬送波周波数では、伝達トルクが電圧のパルス信号に追随してしまうためであると考えられる。しかし、Duty 比が大きくなると、1[Hz]の搬送波周波数においても、Duty 比が小さい時に比べて、大きく追随することはなく、伝達トルクを一定に保つ方向に近づいている。ただし、歩行支援装置のブレーキとして用いるには、伝達トルクは一定でなければならないので、1[Hz]の搬送波周波数の電圧のパルス信号では、歩行支援装置の制御に使用することはできない。

さらに搬送波周波数を 5[Hz]に上げて特性試験を行った。Fig.4.20-Fig.4.23 に搬送波周波数 5[Hz]のとき、Fig.4.24-Fig.4.27 に搬送波周波数 10[Hz]のとき、Fig.4.28-Fig.4.31 に搬送波周波数 100[Hz]のときの伝達トルクを測定した実験結果を示す。また、パルス信号の Duty 比は、搬送波周波数 1[Hz]のときに伝達トルクを一定に保つことに最も近づいく 90%とした。印加電圧は、搬送波周波数 1[Hz]の時と同様に 500[V]を用いて行った。