

A5-7 振動モータとMR 流体を用いた リニアアクチュエータの開発

福井大学 工学部 知能システム工学科 進化ロボット研究室
永田壮大 (指導教員：前田 陽一郎，高橋泰岳)

1. 緒言

近年，ヒューマノイドロボットやペットロボットなど，動物の姿を模倣したロボットの研究や開発が盛んに進められている．ロボットの関節部にはギアを持つ電動アクチュエータが多く使用されている．人間共生環境下で活動するロボットは故障などではできる限り少なくする必要があり，その一要因としてアクチュエータの故障が挙げられる．しかし，予期せぬ衝突や衝撃によりギアは破損しやすい．

一方でより柔軟な衝撃に強い人工筋肉やアクチュエータの主なものとして，高分子ゲルアクチュエータ [1] や空気圧アクチュエータ [2] などが挙げられる．高分子ゲルアクチュエータは軽量性や柔軟性，成型性に優れるがコスト面や応答性能の面で発生力が見劣りし，水などの溶剤が必要となる．空気圧アクチュエータはエネルギーの蓄積が容易であり，高速動作が得られる．また微妙な力の制御に優れ，柔軟なので安全性が高いが，空気圧の高応答での制御が難しく，高精度・高応答の位置や速度，弾性の制御が容易ではないという欠点がある．

本研究では，駆動部に機能性流体を用いたアクチュエータに注目をした．機能性流体は外部から電場や磁場などを与えることでその粘性を瞬時に変化することができ，流体なので衝撃に対して破損する可能性が少なくと考えられる．この性質を利用することで衝撃に強く，制御が容易なアクチュエータの開発が期待できる．機能性流体を用いたアクチュエータには，主にクラッチ構造に基づいた回転型のものが多い．坂口らは ER 流体 (Electro Rheological Fluid) を用いた両方向回転 ER アクチュエータの開発 [3] を行い，武居らは MR 流体 (Magneto Rheological Fluid) を用いた回転型の MR 流体アクチュエータの開発 [4] を行った．武居らによると MR 流体は ER 流体に比べて数十倍の降伏応力を示すことから，少量でも出力を抑えることができ，小型化や高出力化が期待できる．同時に出力軸から見た慣性も小さいため，人間が接しても安全性が高いと言える．

そこで振動モータの直動運動を MR 流体を用いて直動運動に制御するリニアアクチュエータの開発を提案する．駆動部に MR 流体を用いることで従来のアクチュエータに比べ衝撃に強く，人間共生環境下で活動するインタラクションロボットに応用できる安全なアクチュエータとして期待できる．

2. MR 流体リニアアクチュエータ

2.1 振動モータ

使用する振動モータの振幅は前後約 1.5mm，1 分間に約 2 万回の往復振動を行う．振動モータの構造の概

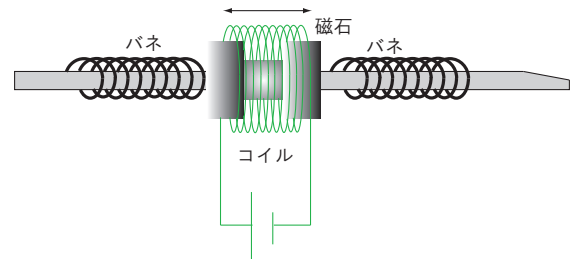


図 1: 振動モータ構造

略図を図 1 に示す．振動モータは周囲にコイルを巻きつけられた磁石とその両端のバネで構成されている．コイルに電圧をかけることで磁界が発生し，内部の磁石は磁界の向きにそって移動を行う．バネの固有振動数に合わせて，コイルに流す電流の向きを切り替えることで持続的な振動運動を行わせる．

2.2 MR 流体リニアアクチュエータ

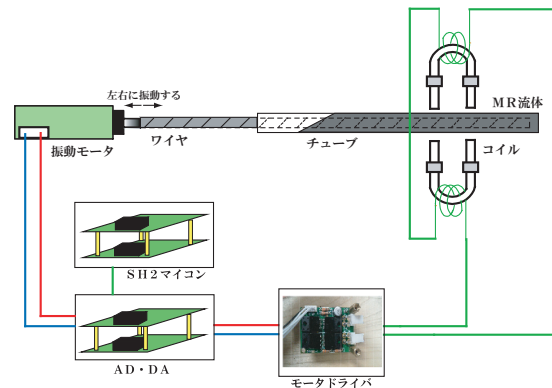


図 2: 模式図

MR 流体は機能性流体の一種であり，磁場を印加することでその粘性を高める性質を持つ．提案するアクチュエータの概略図を図 2 で示す．振動モータにワイヤを固定し，MR 流体を充填したチューブでできた駆動体に挿入する．振動モータからの直動振動運動に応じて，駆動体内部の MR 流体の粘度を変化させることで一方方向への運動へ変換する．振動モータで振動されたワイヤがある方向に移動する時に MR 流体の粘度を上げ，駆動体にワイヤの運動を伝達する．ワイヤが逆の方向に移動する際は MR 流体の粘度を下げ，駆動体にワイヤの運動を伝達しない．これを繰り返す行こ

とで一方向への直動運動を行う。

2.3 制御方法

提案するアクチュエータを実現する為には、MR 流体の粘度変化は振動モータの振動に合わせて行う必要がある。制御パラメータ作成の手順を以下に示す。

1. 振動モータからの出力波形を A/D コンバータで読み取る
2. 読み取った出力波形を SH2 マイコンへ送り、制御パラメータとなる PWM 信号を作成する
3. 作成した PWM 信号をモータドライバを介して、コイルに電圧を印加し磁場の発生させる

振動モータの振動と印加する磁場の発生には時間差が生じる為、PWM 信号のデューティ比と位相を制御する必要がある。モータ信号からの位相の時間の遅れを t_l 、印加する時間の長さを t_h とする。図 3 は一部の制御パラメータである。また振動モータの出力波形の 1 周期は約 3ms である。

3. 駆動実験

本実験では、提案手法の有効性を確かめるため駆動実験を行った。

3.1 計測方法

基準点を決め、そこからの駆動でどれだけの距離を移動できたかを測定する。基準点の位置と制御パラメータを変化させながら行う。今回は振動源（振動モータの先端）から 100mm、200mm を基準点とし実験を行う。

3.2 結果

表 1: 100mm の距離に駆動体を配置した場合の駆動体の移動距離

	t_l (ms)	(左方向移動/右方向移動 (mm))			
t_h (ms)		0.38	0.57	0.76	0.95
	0.95	3/3	4/4	5/5	5/5
	1.14	4/4	5/5	6/6	5/5
	1.33	6/6	7/7	6/6	7/7
	1.52	8/8	10/10	10/10	6/6
	1.71	10/10	8/8	11/11	3/3
	1.9	8/8	6/6	8/8	5/5
	2.09	6/6	5/5	5/5	3/3

表 2: 200mm の距離に駆動体を配置した場合の駆動体の移動距離

	t_l (ms)	(左方向移動/右方向移動 (mm))			
t_h (ms)		0.38	0.57	0.76	0.95
	0.95	0/0	0/1	1/2	0/1
	1.14	0/0	0/1	1/3	0/1
	1.33	0/0	0/1	1/4	0/1
	1.52	0/0	1/2	1/4	1/1
	1.71	0/0	1/2	2/3	1/1
	1.9	0/0	0/2	0/1	0/0
	2.09	0/0	0/1	0/0	0/0

基準点を 100mm に置いた場合 $t_l=0.76$ ms, $t_h=1.71$ ms の時駆動体が最大 11mm の移動を計測した。基準点を 200mm に置いた場合 $t_l=0.76$ ms, $t_h=1.33$ ms, 1.52ms の時駆動体が最大 4mm の移動を計測した。

3.3 考察

実験ではワイヤの運動を MR 流体を介して駆動体に伝達しているが、MR 流体の充填率が十分でなく、保持力の低下に繋がったことが原因だと考えられる。現在は伝達力が弱い、印加する磁場を強くしたり、MR 流体を一様に充填した状態を保つようにアクチュエータの改善をしていく必要がある。

4. 結言

本研究では、振動モータと MR 流体を用いたリニアアクチュエータの動作手法を提案し、検証するための装置を開発し、実験を行った。実験により、チューブ内に注入した MR 流体は部分的に磁場を与えることで粘性を上げることに成功した。また、SH2 マイコンと A/D コンバータを用いて振動モータの往復運動の情報から、MR 流体の粘度変化の制御を行い、駆動体が制御通りの動作を行うことを確認した。これらの事から、提案した手法は有効であることが分かった。

今後の課題として水平方向への移動距離はまだ十分とは言えない為もっと延伸できるようにすること、十分な力を発生可能にしていくことが挙げられる。その為には MR 流体による十分な保持力を得るようになることが必要となる。今回の実験では駆動体（MR 流体）の部分部分にしか磁場を与えてないので、もっと全体的に磁場を印加することができるアクチュエータの開発も必要となると考えられる。

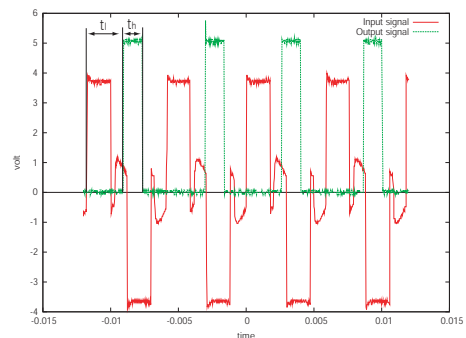


図 3: 振動モータのコイルおよび駆動体外部に設置した電磁コイルへの電圧の印加パターンと制御パラメータ

参考文献

- [1] 安積欣志, “高分子ゲルアクチュエータ (ブレイクスルーを生み出す次世代アクチュエータ, 先端技術フォーラム),” 年次大会講演資料集, Vol. 2005, No. 8, pp. 181-182 (2005)
- [2] 則次俊郎, “空気圧アクチュエータ,” 日本ロボット学会誌 Vol. 15, No. 3, pp. 335-359 (1997)
- [3] 古荘純次, 坂口正道, “両方向回転形 ER アクチュエータのモデリングと運動制御,” 日本機械学会論文集中集. C 編 Vol. 66, No. 645, pp. 1551-1558 (2000)
- [4] 武居直行, 古荘純次, 坂口正道, 清田友隆, “MR 流体アクチュエータの開発とその制御実験,” 日本機械学会論文集中集. C 編, Vol. 67, No. 663, pp. 3525-3532 (2001)