

触覚情報提示手法について

—ERアクチュエーターの応用—

関根俊彰*

Study on Tactile Information presentation Method

—Application of ER Actuator—

SEKINE Toshiaki*

抄録

ロボットなどを操作する場合に操作者に力の感覚（力覚）を伝達することが重要である。ここでは、基礎的な実験として、人間に力覚を安全に伝達する力覚提示装置を考え、人間の運動を拘束することによって力覚を伝達する方式の装置開発を行い、その特性を検討した。この装置には ER アクチュエーターを応用した。実験では、ER アクチュエーターで拘束の程度を変えることにより、仮想的な拘束面の生成や、各種力覚情報の提示を行い、その可能性を検討した。その結果、拘束面や各種力覚情報の提示はある程度可能であることが明らかとなった。

キーワード：触覚，力覚，ER流体，アクチュエーター，ブレーキ

1 はじめに

現在、宇宙空間や海洋などの遠隔地における作業、原子力プラントなどの人間が立ち入りたくない危険な環境における作業、あるいは水道管の点検などの人間が入り込むことができないような狭い空間における作業を、人間に代わって遂行するロボットの実現が求められている¹⁾。

この場合、操作者はロボットから離れざるを得ない環境が多く、ロボットの遠隔操作が必要となる。遠隔操作の主な方法として、視覚情報をもとにして人間が作業ロボットを直接操作する方法だけでなく、対象とするロボットと作業環境を計算機の中に仮想的に構築し、ロボットの作業をグラフィックでディスプレイに表示し、人間はそのモデルを操作することによってその動作を実環境のロボットに送りロボットを操作する、一種のバー

チャルリアリティ(VR)を用いた研究も盛んに行われてきている²⁾。

この遠隔操作で、作業効率を高めるには、人間とロボットとのインターフェイスとして、作業を行っているロボットに干渉している力を、ロボットを操作している人間にあたかも自分がその場で作業を行っているかのように自然な感覚で提示できることが必要である。

また、高齢社会の到来で、リハビリロボットの開発ニーズが高まっている。訓練を希望する患者数の増加、リハビリ専門医、療法士の不足の問題もあり、リハビリロボットを用いた訓練の質的効果の向上、効率的な訓練の実現が期待されている³⁾。このリハビリロボットにおいては、訓練者に力を安全に提示することが重要な要素となる。

これらを実現するために、基礎的な実験として、人間に力の感覚（力覚）を安全に伝達する力覚提示装置を考え、人間の運動を拘束することによ

* 生産技術部

て力覚を伝達する方式の装置開発を行い、その特性を検討した。

2 力覚提示

2.1 手法

従来、力覚を提示する代表的な方法にマスタースレーブマニピュレータを用いる方法があり、これは能動的に力を発生するアクチュエーターによって力覚を提示する、いわばアクティブな力覚提示手法といえる。この利点は、力覚の直感性にあり、人間が直接作業するときの作業形態の感覚に近く、大きな力を提示できる。しかし、この方法では装置に問題が生じると人間に対して危害が及ぶ可能性が否定できない。

そこで、人間に優しく安全性が高い、パッシブな力覚提示手法を用いることにした。原理としては、初めに計算機上で仮想空間をモデル化し、人間は仮想空間の中に想定されたハンドルを操作する。その運動によって生じた変位、速度などをセンサーで計測し、もし仮想物体と干渉したと判断された場合は、運動を拘束することで、拘束感を力覚として人間に提示するのである。

2.2 ER アクチュエーターの応用

運動を拘束するものとして、図1に示すER流体クラッチを応用した。ER流体クラッチとは入出力軸の間にER流体を充填し、印加される電圧を変え、ER流体の微粒子相互の固着状態を制御して、伝達トルクを可変としたクラッチであり、印可する電圧の強さに応じてER流体の固着の強さが瞬時に変化する性質を持つために伝達トルクを様々な大きさに瞬時に変化させることができる。一般的なクラッチと比較し、応答が早い、ヒステリシスが無い、粘性変化が大きいといった特徴がある。力覚提示装置に利用するため、出力軸があらかじめ固定されたブレーキタイプのものを利用する。これにより、入力軸を人間が動かしたときに印可電圧の大きさに応じて、様々な大きさの拘束感を提示する。このように、ER流体クラッチは自ら力を発生しないので、アクチュエーターにトラブルが生じた場合でも、人間に対して安

全であるといえる。

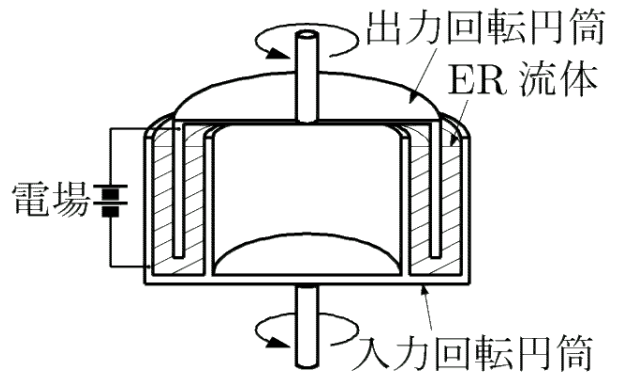
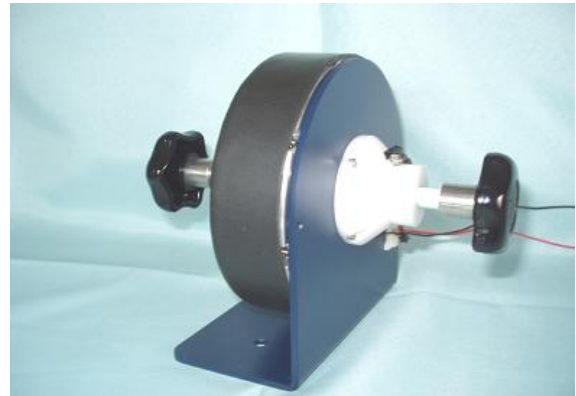


図1 ER流体クラッチ

2.3 1軸能動運動・力覚提示装置

1自由度における力覚提示を実現するためのシステムとして、図2に示す1軸能動運動・力覚提示装置を作製することとした。この構造では、ハンドルまたはレバーを操作部として、その支点をER流体ブレーキ回転軸に取り付け、この操作部を通じて、拘束感を提示するものである。製作した1軸能動運動・力覚提示装置の本体外観図を図3に示す。

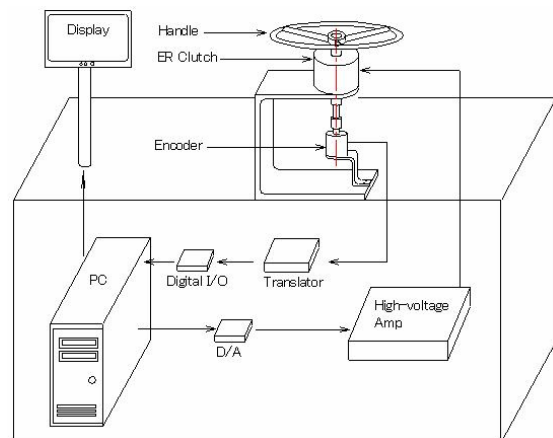


図2 1軸能動運動・力覚提示装置



図3 本体外観図

なお、使用したER流体ブレーキは最大ブレーキ力 4Nmであり、電圧を印加するとビンガム流動を示す粒子分散系ER流体⁴⁾を充填している。

この装置は主に ER 流体ブレーキとエンコーダーとからなる機構部分と、それを制御し、必要なデータを計測する制御・計測部とからなる。人間への拘束感覚提示は操作部に運動を与えた際に、ER 流体ブレーキに印可する電圧を制御することによって行う。操作部の位置は、フレキシブルカップリングを介して ER 流体ブレーキと同軸に取り付けられたエンコーダーにより検出する。このエンコーダーには 12bit アブソリュート型の高分解能ロータリーエンコーダを使用する。エンコーダのパルス出力はデジタルボードでカウントし、計算機によって角度情報、及び角速度情報を得ている。また、計算機では、拘束感覚を提示したい場合に、ER 流体ブレーキに与えるべき適切な電圧印可指令を計算し、TTL 信号として DA ボードより出力され、高圧電源変換機によって指令電圧に比例した高圧電源に変換される。この高圧電圧が ER 流体ブレーキに印可されることにより、回転軸が固着され、操作部に力覚が提示される。なお、高圧電源変換機は最大出力 3kV×5mA、応答速度 5msec 以下のものを用いた。

3 力覚提示実験

3.1 ER流体ブレーキ特性

装置に組み込んだER流体ブレーキの特性を把握するため、実験により特性評価を行った。その結果を図4に示す。これは、一定の電圧をER流体ブレーキに印可して、拘束トルクをデジタルフォースゲージを用いて測定したものである。電圧に対して拘束トルクがほぼ単調増加の特性を持っていることが分かる。

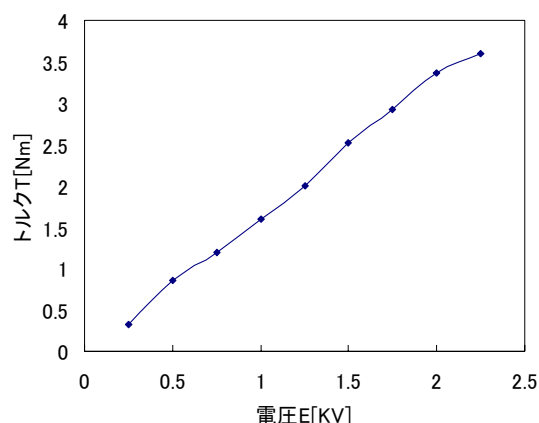


図4 ER流体ブレーキの特性

3.2 力覚提示

本装置の基本的な特性および力覚提示を確認するために、仮想壁の提示実験を行った。装置の回転軸に操作レバー (図 5) を取り付け、これを操作部とした。仮想壁が存在する位置に操作部が到達したときに、ER 流体ブレーキに電圧を印可して人間の運動を拘束する場合について実験を行った。



図5 操作レバー取り付け状態

まず、回転開始点 ($\theta = 0^\circ$) を任意の位置に設定し、 $\theta = 90^\circ$ に仮想壁を提示するものとした。具体的には $\theta < 90^\circ$ では操作部は全くフリーな状態であり、 $\theta \geq 90^\circ$ かつ θ 方向の角速度がプラス方向、つまり壁へ向かう方向の時に on-off 制御で ER 流体ブレーキに 2KV の電圧を印可する。逆に壁から離れる方向の場合はフリーとする。操作者は $\theta = 0^\circ$ から操作部を回転させていった場合、 $\theta = 90^\circ$ でその運動を拘束されることにより、そこに壁があるかのような感覚を得られるものである。図 6 はある被験者が上記の操作を行った場合の経過時間と操作部の位置をプロットしたものである。回転開始からほぼ 4 秒で、 $\theta = 90^\circ$ にある仮想壁に達し、そこで動きが拘束されていることが分かる。被験者からは、何かものにぶつかったような感覚であったとの感想が聞かれた。

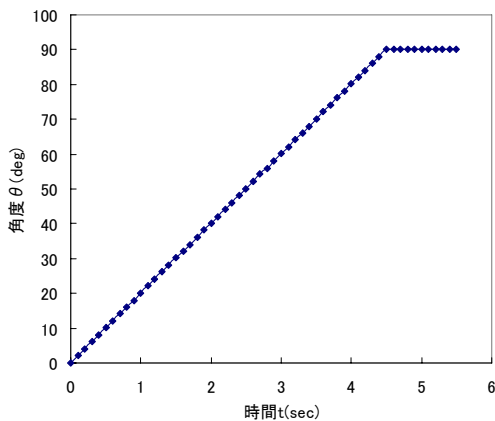


図 6 操作部の位置と経過時間

また、計算機上では、図 7 に示すプログラム操作画面が表示されており、仮想壁に干渉したことが、視覚的にも分かるようになっている。

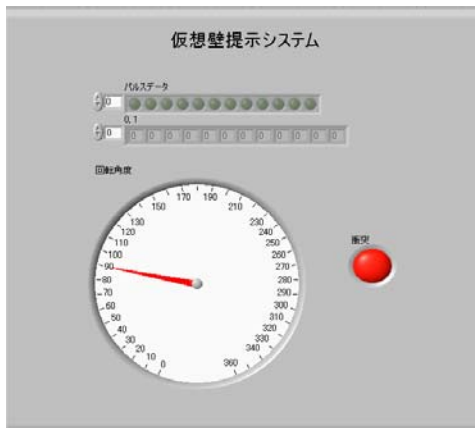


図 7 操作画面

次に、装置の回転軸に操作ハンドル(図 3)を取り付け、ER 流体ブレーキに様々な波形の電圧を印可し、ハンドルを回転させる実験を行った。具体的には正弦波、方形波、矩形波、三角波などであり、周期や振幅を変化させ、各波形にノイズの追加も行った。実験後の被験者に一連の操作を通じて感じた感覚を表現してもらったところ、次のような結果が得られ、色々な力の感覚が味わえたとの意見が聞かれた。

- ・ざらざら
- ・がたがた
- ・でこぼこ
- ・ざあーざあー
- ・きゅきゅ

これは、ER 流体ブレーキの応答性が良いために、力を通じて感じ取る微妙な違いも表現されていると考えられる。

3.2 考察

実験の結果、操作部が壁に干渉すると力覚を生じ、壁の提示が行われていることが分かった。印可電圧によって拘束トルクが異なるため、大きな力で回転させた場合や印可電圧が小さかった場合などでは、仮想壁のラインを超えた位置に、操作部が達することもあった。つまり、このような壁の提示では操作者や場面に適合した印可電圧を選択する必要がある。また、ER 流体ブレーキの応答性の良さが力覚提示には非常に有効であることが分かった。つまり、印可電圧の制御を工夫することにより様々な力覚情報の提示の可能性が認められた。

4 まとめ

本報では、ロボットなどの操作性向上に関して、力覚という視点に注目した。人間に対して安全に力覚を提示することを目的に、パッシブ型の力覚提示の実現方法として、ER 流体アクチュエーターを用いる手法を提案し、基礎的実験として 1 自由度における力覚提示方法を示した。

そして、力覚提示の基礎的検討を行うために、仮想壁の提示実験を行い、その結果、拘束面の提示は可能であることが明らかとなった。また、力覚提示

に ER 流体ブレーキの利用が非常に有効であることが分かり、様々な力覚情報の提示の可能性も認められた。

今後の課題としては、

- ・多次元での力覚提示
- ・印可電圧制御方法の検討
- ・パッシブ型とアクティブ型の融合
- ・機構の小型化
- ・操作部の変更

等が挙げられる。

参考文献

- 1) 舘暲：テレロボティクスの世界，日本ロボット学会誌，111(6)，(1993)770
- 2) 神徳徹雄，横井一仁，谷江和雄，藤川昭雄：拘束力を発生する仮想環境を用いた遠隔制御システムとその評価，第8回日本ロボット学会学術講演予稿集，(1990)718
- 3) 坂口正道，古荘純次，元田英一：ER アクチュエータを用いたリハビリテーション訓練システムの開発に関する基礎研究，日本ロボット学会誌，19(5)，(2001)612
- 4) 小山清人：電気粘性（ER）流体の開発，シーエムシー出版，(1999)