

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年3月31日現在

機関番号：13903
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760225
 研究課題名（和文）柔軟なばねを複合的に用いたパラレルメカニズムによる関節レス力覚提示装置
 研究課題名（英文）Joint-less haptic device based on integrated flexible spring structure

 研究代表者
 荒田 純平 (ARATA JUMPEI)
 名古屋工業大学・工学研究科・助教
 研究者番号：40377586

研究成果の概要（和文）：

本課題では、超音波浮揚という現象に着目し、(1) 超音波振動を制御することで、表面摩擦を変化させる手法について提案、有用性を明らかにした。さらに、(2) 表面摩擦変化を応用した関節レス力覚提示装置について試作し、その有効性を明らかにした。これらのことから、研究目標を達成した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we investigated (1) the control method of surface friction based on ultrasonic levitator, and (2) the method was applied to the haptic device within a joint-less structure based on compliant mechanism. The prototype showed the effectiveness of the proposed method, thus the research project was successfully achieved as it has been planned.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間機械システム

1. 研究開始当初の背景

力覚提示装置は、設計・生産など工業用途のみならず、先端手術機器、リハビリテーション、視覚障害者への補助などへの応用に関する研究も盛んに行われるなど、活用が進みつつある。しかしながら、力覚提示装置における、大きな反力、瞬間的な衝撃力、また精度の高い力などを提示するための技術的な課題は高く、これらを実現する装置は一般的に高価であるため、広く普及するに至ってはいない。一方で、最近の電化製品等の一般家庭における装置の高度化は急速に進んでいる。これらはより複雑な機能のために高度な

インターフェイスを必要とするに至っており、よって、力覚提示装置がもたらす操作の直感性または娯楽性は、これら一般家庭の電化製品等との融合によって大きなインパクトになり得ると考えられる。



図1 ビデオ操作インターフェイスの例では、小型レバー操作により多くのTVチャンネルなどを選択、再生・巻き戻し・早送りなど瞬時に可能（課題申請書より）

2. 研究の目的

力覚提示の代表的な手法として、インピーダンスタイプとアドミッタンスタイプがある。インピーダンスタイプは、装置の滑らかな動作性を高め、これに比較的高容量で低減速比のモータ等動力源で力覚を提示する。アドミッタンスタイプは、操作力として操作部力センサ出力を逐次モニタリングし、操作力に応じた移動量をモータ等動力源で与え、力覚を提示する。よって従来の力覚提示装置では、高容量の動力源、または力センサとその制御システム等が必要なため一般的に高価であり、例えば、一般家庭への普及等においては大きな障壁となっているのが現状である。よって本課題では、この問題解決する新たな手法に基づく力覚提示装置を開発する。

3. 研究の方法

本課題では、新たな力覚提示装置開発のため、以下の2点とその統合に注力し、研究開発を実施した。

(1) 圧電アクチュエータによるすべり変化型受動力覚提示手法

本課題では、新たな手法として、圧電アクチュエータによるすべり変化型受動力覚提示手法を開発する。具体的には、圧電アクチュエータ振動面に物体を設置し、振動を励起することでスキューズ効果が起こり、表面の摩擦抵抗が大きく変化することは知られている。そこで、ばねの平行構造内にこの効果を応用したすべり（摩擦抵抗）の変化をばねの抵抗力へ変換する機構を開発する（図1）。圧電アクチュエータはモータ等と比較して安価に大量生産可能であるため、上記一体成型可能な機構との組み合わせにより、コスト面で従来の力覚提示装置と比較して大きな利点となる。

(2) ばねを複合的に用いた平行メカニズムによる関節レス機構

次に、(1)で提案する手法について柔軟なばねを平行構造に応用した関節レス機構を提案する。本機構は、従来のベアリング等の機械要素を用いない代わりとして柔軟なばねを応用するものであり、よって構造を単純化し、かつ安価に製造できる可能性を有している。本課題では、上記(1)で提案する手法を実装可能な構造試作機を開発し、力覚提示装置としての実装を行う。また、実装を行う際にはユーザを対象とし広く装置デモンストレーションを行うため、CGによる視覚効果を含めた実装を施す。

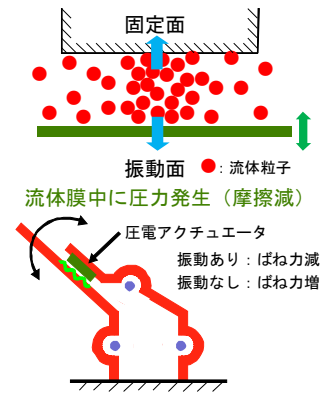


図2 圧電アクチュエータによるスキューズ効果による摩擦力変化(上)をもとにばねとの組み合わせで力覚提示へ発展させる(下)(課題申請書より)

上記(1)(2)について、概要を図2に示す。(1)で提案する手法は、直動動作における摩擦力を変化させる手法であるため、(2)では、力覚提示装置としての動作方向を直動方向へ変換する必要がある。

4. 研究成果

本課題の研究成果として、それぞれの項目について、以下に示す。

(1) 圧電アクチュエータによるすべり変化型受動力覚提示手法

提案する手法について評価検討するため、図3に示す実験システムを構築し、評価を行った。実験システムは、直動アクチュエータにより圧電アクチュエータに接するプレートをせん断方向へスライドさせる機能を有しており、このときの圧電アクチュエータのプレートへの押しつけ力はダイヤル操作により可変であり、スライドするときの摩擦力は力センサにより測定可能である。本装置を用いて、圧電アクチュエータへ入力を与えた際の摩擦力の変化を観測した。

実験結果の例を図4に示す。ここでは、押しつけ力を12Nと固定し、圧電アクチュエータへ入力した周波数と電圧(振幅)を変化させた場合の摩擦力との関係を示す。実験結果より、入力数は数が低い(20kHz付近)では、多少のばらつきは生ずるものの、ほぼ超音波浮揚によって、1~3Nの摩擦力変化を生ずることが明らかになった。一方で、摩擦力を微細に制御することは表面摩擦等の影響から困難であることが明らかになった。

しかしながら、本手法は入力電圧が数V程度でも効果を生ずることが明らかになっており、従来の電磁ブレーキ等と比較してもサイズ、重量、消費電力の点で大きな優位性を有することが明らかになった。

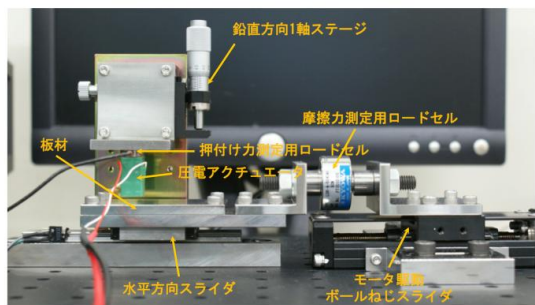


図3 圧電アクチュエータによるすべり変化型受動力覚提示手法評価装置

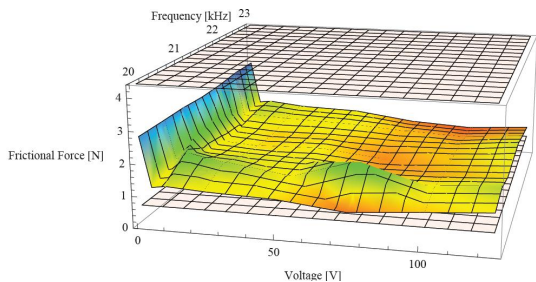


図4 圧電アクチュエータによるすべり変化型受動力覚提示手法評価の例 (押しつけ力1.2Nの場合)

(2) ばねを複合的に用いたパラレルメカニズムによる関節レス機構

先に述べた手法を応用したパラレルメカニズムによる関節レス機構について、開発を行った。提案する機構は、可動部に仮想の関節として取り扱うことが可能な円弧型ばね関節を応用している。円弧型ばね関節は、屈曲時に構造全体を拡張方向に変形させながら駆動するため、弾性変形域内において広い範囲で動作可能であることを明らかにしている。図5に円弧型ばね関節の概要と屈曲試験をしたときの結果を示す。従来より用いられる板ばねと比較しても同一材料でより広範囲に駆動することが明らかである。

本課題では、この円弧型ばねをパラレル構造に応用し、(1)で得られた手法を力覚提示装置へと応用した。開発した機構を図6に示す。開発した機構は、円弧型ばねをパラレル構造へ応用した機構であり、機構中央部の平行な対辺の一边中間部に圧電アクチュエータを、その対辺にプレートを固定し、初期取り付け位置により押しつけ力を与えた。機構が動作する際には、この対辺の長手方向へスライドする必要があるため、圧電アクチュエータに振動を励起しない場合(入力電圧0)では、摩擦力が大きく生ずるため抵抗力を、圧電アクチュエータに振動を励起する場合には、摩擦力が大きく軽減されるため、なめらかに機構が動作を行うことが可能となる。本機構は、一自由度のみを有しており、その位置は赤外線反射型の距離計測センサ

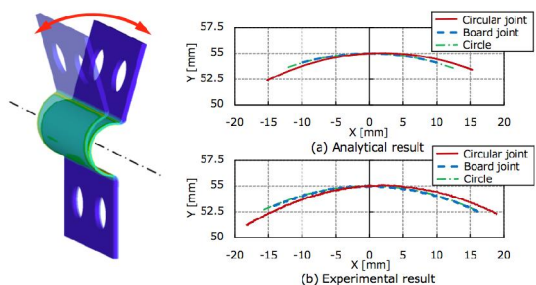


図5 円弧型ばね関節の優位性を示す広動作域(上:FEM解析結果,下図:実機による評価,ともに板ばねとの比較)

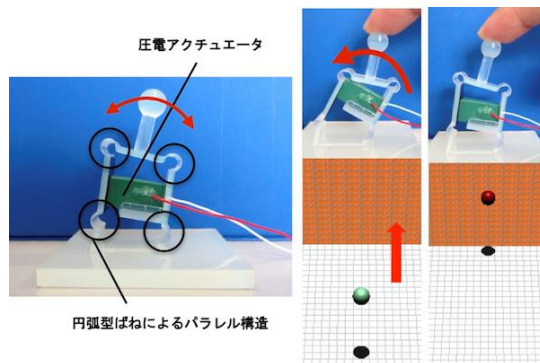


図6 開発した力覚提示装置プロトタイプ(左)と視覚インターフェイスの操作例(右)

によって観測可能である。なお本試作機は、光硬化性樹脂により製作した。

開発した装置について、機械的な特性評価を行うため、図7に示す実験装置構成によって、評価実験を行った。本実験では、ロードセルを先端に装着した位置決め機構によって装置を横方向へ動作させ、このとき圧電アクチュエータの出力をON、OFFと切り替えた場合の出力を測定した。実験結果より、圧電アクチュエータの振動励起によって、装置剛性が変化することが明らかになった。圧電アクチュエータをONとした場合の剛性は0.17N/mmであり、OFFとした場合には装置内の摩擦力が高まるため、剛性は向上し、0.28N/mmとなった。図7下部に動作途中から圧電アクチュエータをONからOFFへ切り替えた場合の反力を示す。この結果に見られるように、圧電アクチュエータを常時ONとして系の摩擦を常に低減した状態と比較して、圧電アクチュエータをOFFとした瞬時より、反力を最大1.4N程度出力可能であることが明らかとなった。最大・最小剛性の相対差分量、および最大出力については、今後の機構の最適化、および材質の変更によってさらに向上することが予想される。

また本課題では、ユーザによる評価を実践するために、同じく図6右部に示す視覚インターフェイスと同期して圧電アクチュエータを駆動した。装置を動作させると同方向へ

視覚インターフェイスの球が動作し、壁に衝

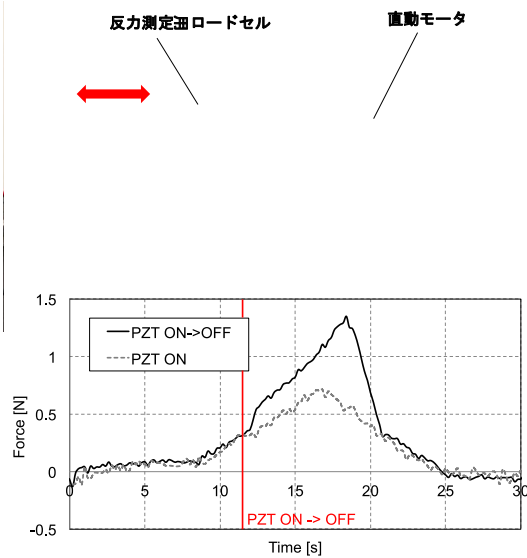


図7 評価実験構成(上)と評価実験構成において、動作途中から圧電アクチュエータをONからOFFへ切り替えた場合の反力(下)

突した際には、圧電アクチュエータをロックし、衝突した際の反力を提示した。基礎動作試験を行ったところ、装置は適切に仮想空間上で壁面に接した際の反力を提示することが可能であった。

これらのことから、本研究で得られた成果により、簡便な機構で、かつ大きな消費電力を必要とせずに、例えば、画面上のカーソルを操作・選択するレバーで非アクティブな項目を選択しようとした場合は視覚のみならず、触覚でその状況を示すなど、より「触覚リモコン」等への応用が可能であると考えられる。

なお、申請時に使用を検討したMIM(Metal Injection Molding)については、脆性が問題となり、柔軟なばねとして用いるには不十分であることが基礎的試験から明らかになったため、本課題では光造形装置を代替的に用いて試作を行っている。ただし、用いた樹脂は、ABS樹脂等で代替可能であり、より安価に装置を開発するため実質上問題となることはないと思定される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

(1) 小塚裕明, 荒田純平, 奥田憲司, 翁長明範, 大野元嗣, 佐野明人, 藤本英雄, コンプライアントメカニズムを用いた円弧ばね関節を有するばね-パラレルメカニズムによる精密位置決め装置の開発, 日本機械学会論文集中(C編), Vol.78(793), pp.3216-3227, 2012.

〔学会発表〕(計4件)

① Hiroaki Kozuka, Jumpei Arata, Kenji Okuda, Akinori Onaga, Motoshi Ohno, Akihi to Sano, Hideo Fujimoto, Compliant-Parallel Mechanism for High Precision Machine with a Wide Range of Working Area, Proc. of Int. Conference on Intelligent Robots And Systems (IROS), pp.2519-2524, Algarve, Portugal, Oct. 2012.

② Kozuka Hiroaki, Arata Jumpei, Okuda Kenji, Onaga Akinori, Ohno Motoshi, Sano Akihi to, Fujimoto Hideo, A Compliant-Parallel Mechanism with Bio-Inspired Compliant Joints for High Precision Assembly Robot, Proc. of the first CIRP Conference on BioManufacturing, pp.175-178, Tokyo, Japan, March. 2013.

③ 小塚裕明, 荒田純平, 奥田憲司, 翁長明範, 大野元嗣, 佐野明人, 藤本英雄, 特徴的なばね関節形状を有するコンプライアント-パラレルメカニズムの開発, 第30回日本ロボット学会学術講演会予稿集, AC3E2-5, 2012.

④ 宮城孝弘, 荒田純平, 藤本英雄, 弾性体を介在させた電磁ブレーキによる受動的な力覚提示装置の開発, 第16回バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.129-132, 2011.

〔図書〕

無し(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)
○取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒田純平 (ARATA JUMPEI)

名古屋工業大学・工学研究科・助教
研究者番号: 40377586

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し