

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760200

研究課題名(和文)トルクセンサ内蔵小型無段変速機の開発と評価

研究課題名(英文)Development of compact continuously variable transmissions with torque sensor

研究代表者

山田 浩也 (Yamada, Hiroya)

東京工業大学・グローバルエッジ研究院・テニユア・トラック助教

研究者番号：20550536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：次世代ロボットの開発において、小出力のモータを効率的に使用する無段変速機は、ロボットの性能と安全性向上に極めて有効である。そこで本研究では、クランク式無段変速機をベースとした「星型クランク式無段変速機」を改良し、1)トルク計測機能付き無段変速機の開発、2)無限回転可能な改良機の開発、3)直交2軸型無段変速機の開発の3点を行った。これにより、負荷に応じて自動的に減速比を調整可能な、ロボット用無段変速機が実現可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Continuously variable transmissions (CVT) are efficient device to improve the performance and safety of the next-generation robots that will be used for service near human. Thus, I have focused on "Radial-Crank type Continuously Variable Transmission (RC-CVT)" in this study, and developed 3 types of mechanism. One is an intelligent CVT which sense load and change gear ratio automatically. Another one is the RC-CVT which can rotate infinitely. The other is the RC-CVT which can drive two orthogonal joint with 3 motors. These results showed the feasibility of the CVTs for robot joints.

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：ロボティクス 無段変速機

1. 研究開始当初の背景

近い将来の少子高齢化に伴う労働力不足と介護の需要増などの問題の対策の1つとして、組立作業補助ロボットや家事ロボットなど人のごく近くで活動する次世代ロボットの導入が挙げられている。しかし、安全性・サイズ・コストなどのハードルのため、次世代ロボットの実用化はまだ道半ばである。そこで、安全・小型・安価な低出力モータの出力を無駄なく利用する工夫が重要になってくる。その工夫の1つとして、無段変速機の活用がある。

一般的にロボットで広く使われる電気モータは、高速ではあるがトルクが小さい。そのため通常は減速機を用いて速度を落としてトルクを増幅する。一般的に、ロボットを設計する際には、想定される最大トルクを満たすように減速比を大きく設計する。しかしその結果、(1)ロボットの動作がかなり低速になる、(2)出力側から見たモータの慣性モーメントが増大し、何かを巻き込んだりしても急には止まらず危険となる、という問題が生じる。

一方、動物の筋肉の収縮力と収縮速度の関係は双曲線で表されることが知られており、同じ出力の電気モータに比べ、高速な運動と高負荷な運動が両立している。仮に、ロボットの関節にも筋肉のような動作特性を与えられれば、モータの出力を上げることなく運動能力と安全性を改善できると考えられる。これを可能にするのが、無段変速機である。モータに無段変速機を組み合わせ、モータが常に最大出力を発揮できるように減速比を調整すれば、その動作領域は筋肉と同様、双曲線に囲まれた範囲となり、高速な運動と高負荷な運動が可能となる。しかし、ロボットに適した小型無段変速機はこれまで存在していなかった。

2. 研究の目的

そこで本申請では、(1)モータの限られた出力を効率的に活用できる、トルク計測機能を有する多関節ロボット用の小型無段変速機を開発すること、及び(2)それを搭載したマニピュレータと歩行ロボットの開発と動作試験によって上記小型無段変速機の有用性を実証すること、の2点を目的とした研究を行う。

3. 研究の方法

本研究では、申請者が星形クランク式無段変速機 (Radial crank-type continuously variable transmission, RC-CVT) と呼ぶ無段変速機を開発を行った。RC-CVTは、図1(a)のように、クランクにリニアガイドを介して取り付けられたハンドルを、2本のボールネジで構成したパラレルリンク機構で駆動する装置である。この装置は、ボールネジの位置を制御することで、ハンドルの位置を平面上の任意の位置に移動できる。図1(b)のよ

うに、クランクを回すようにハンドルを動かせば、クランクを回転させることができる。このとき、ハンドルがクランク軸に近ければクランクの回転は速くなり、遠ければゆっくりとなる。ハンドルとクランク軸との距離は図1(c)のように変えることができるので、この装置は無段変速機として機能する。これは、(1)従来のクランク式無段変速機の欠点である可動範囲の制限を解決し、(2)摩擦ロスが少なく高効率で実用性の高いボールネジを使用でき、(3)ボールネジの推力からトルクを推定できるのでトルク計測機能を実現しやすい、という3つの構造的な利点を持つ。特に(3)はトルクに応じて自動で最適な減速比を選択するインテリジェントな装置を構成しやすいという重要な意味を持つ。

本研究では、筆者が2009年に考案したRC-CVTの有用性を増すべく、以下の3種類のRC-CVTの開発を行った。

4. 研究成果

(1) トルク計測機能付きRC-CVTの開発

従来のRC-CVTは、減速比の調整は自由に行えるものの、負荷を測定する手段がなかったため、負荷に応じた減速比の自動調整はできなかった。そこで、RC-CVTの動力源がボールネジであり、その負荷をシンプルなバネ系で計測できることに注目し、RC-CVTにトルク計測機能を追加した。図2のように、ボールネジの負荷をバネと磁気式エンコーダーで計測し、力学計算によりトルクに換算することで、トルクの計測、および負荷に応じた減速比の調整を実現した。

また、開発したRC-CVTを4足歩行ロボットに組み込んだ(図3)。この試作機は、負荷測定用のバネの弾性のため、歩行時に姿勢が計画から外れるという問題があるものの、歩行には成功した。更なる改良には、力制御が必要になると考えている。

(2) 無限回転可能な高出力型RC-CVTの開発

従来のRC-CVTは、出力軸と駆動系基部の干渉のため、無限回転ができなかった。そこで、出力軸を片持ち構造とし、駆動系基部を箱型にして中央に空間を設け、クランクが無

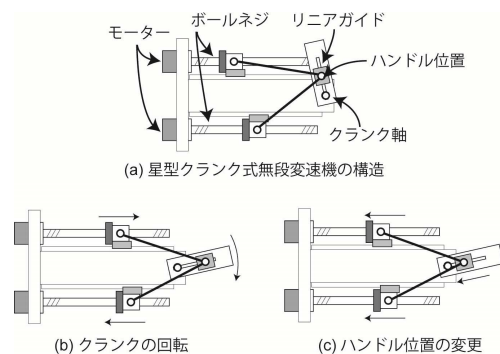


図1. RC-CVTの原理

限回転できるように構造を改良した(図4)。片持ちの出力軸は、クロスローラベアリングで保持し、強度を確保した。これにより、RC-CVTの応用範囲を一般的な回転駆動系と同様に扱えるようになった。さらに、このRC-CVTを用いて2自由度マニピュレータを開発した(図5)。広くなった可動範囲を生かして、第2軸を平行リンク機構で駆動する構造とすることで、出力側の慣性モーメントを小さくする工夫も施した。高速かつ強力なマニピュレータとして応用できると考えている。

(3) 3つのボールネジで駆動される2自由度型RC-CVTの開発

従来のRC-CVTは、1つの出力軸を2つのボールネジで駆動していたため、マニピュレータの手首関節のような、複数の回転軸が近接する機構に応用する事が難しかった。そこで、3つのボールネジで直交する2関節を同時に駆動できる2自由度型RC-CVTを開発した(図6)。従来は2つだったボールネジを3つにすることで、クランクを3次的に駆動することが可能となり、直交2関節を駆動できるようになった。試作機により、関節の駆動と減速比の変化を実現できることを確認した。ただし、機構が複雑化したことにより機構のガタが大きくなり、低減速比ではバックラッシュが大きくなるという問題も確認された。この点が解決できれば、比較的小型のロボット手首機構に応用できると考えている。

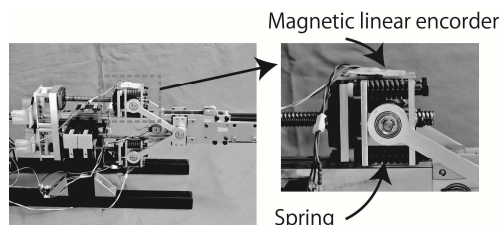


図2. トルク計測装置

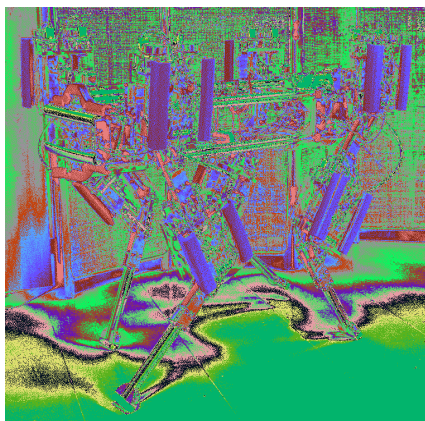


図3. トルク計測機能を追加した4足歩行ロボット

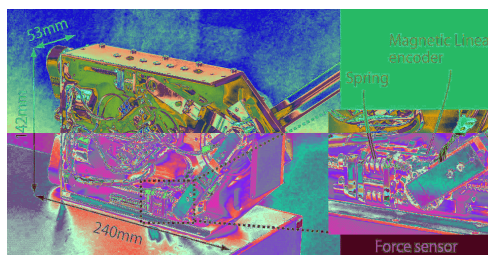


図4. 無限回転可能なRC-CVT



図5. 無限回転型RC-CVTを応用した2自由度マニピュレータ

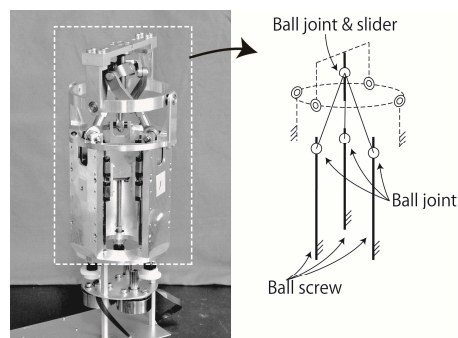


図6. 3つのボールねじで駆動される2自由度型RC-CVT

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

- ① H. Yamada, "A Radial Crank-type Continuously Variable Transmission Driven by Two Ball Screws," The Proceeding of 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automations, pp.1982-1987 (査読あり)

[学会発表] (計 2件)

- ① H. Yamada, "A Radial Crank-type Continuously Variable Transmission Driven by Two Ball Screws", 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automations, Saint Paul, USA, 5/16/2012.
- ② 山田浩也, トルク計測機能を持つ星型クランク式無段変速機の開発と4足歩行ロボットへの応用, ロボティクス・メカトロ

ニクス講演会'12, 2A2-V05, 5/28/2012,

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 浩也 (YAMADA, Hiroya)
東京工業大学・グローバルエッジ研究院・
テニユア・トラック助教
研究者番号：20550536

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：