

平成 22 年 5 月 28 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2008～2009
 課題番号： 20760158
 研究課題名(和文) 低トルク高速駆動と高トルク低速駆動を両立するロボット用アクチュエータの動作検証
 研究課題名(英文) Examination of Actuators for Robots That Provide Low-Torque in Quick-Motion and High-Torque in Slow-Motion.
 研究代表者
 福岡 泰宏 (FUKUOKA YASUHIRO)
 茨城大学・工学部・准教授
 研究者番号： 40418679

研究成果の概要(和文)：低トルク高速駆動、および高トルク低速駆動を使い分け可能な人工筋肉型アクチュエータシステムの実現を目指した。はじめに、提案した人工筋肉型アクチュエータシステムを製作して動作検証試験を行い、剛性とトルクの良好なデータを獲得することができた。そして、本システムを4脚ロボットに用いて、低トルクでの低速歩行、高トルクでの高速歩行を滑らかに実現させ、本実験によりロボットへの有効性も示した。

研究成果の概要(英文)：Our aim is to realize an artificial musculo-actuation system that provides low torque in quick motion and high torque in slow motion according to its state. To begin with, we built the proposed actuation system and did its performance test, and eventually acquired fine data between the torque and the stiffness. From this, we applied the system to a quadruped robot and achieved smoothly the ability to walk slowly with low torque and swiftly with high torque. Thus, we demonstrated the efficiency of our system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

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：メカトロニクス，アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

現在、ロボットのアクチュエータとして最も汎用的に用いられている電気モータは、一般に目的の運動を達成するのに適切なトルク・速度で駆動できるように減速機構によって減速比を定めて用いられる。しかし、ヒューマノイドのように複雑な運動を行うロボ

ットは、求められるトルク・速度領域が運動に応じて大きく変化するため、自動車のトランスミッションのように要求されるトルク・速度に応じてハイギア⇄ローギアと駆動システムを切り替えられるべきであると考えられる。しかし、ヒューマノイドのようなロボットに有用なトランスミッションは申請者

の知る限りでは存在しない。この問題に対応するため、本研究では、低トルク高速駆動、および高トルク低速駆動を使い分け可能なアクチュエータシステムを提案・製作し、簡易的なロボットに適用してその有効性を検証する。

2. 研究の目的

まず、起立状態で足をほぼ伸ばしたまま足元の物を拾い上げるヒューマノイドの腰まわりの動作を想定する。もし、対象物を持ち上げるのに十分なトルクで高効率に駆動するために高減速比の減速機を適用した場合、対象物を持ち上げる時には適切である。しかし、対象物に手が到達するまでは、人間は重力を利用して前屈するなど大きなトルクも必要なく、慎重さよりもすばやい動作が要求されると考えられるが、高減速比の設定仕様では、関節のセルフロックにより重力を利用した受動的な前屈は行えず、その分余計なトルクを出力する必要があるだけでなく、駆動速度の制限により低速でのかがみ運動を行わなければならない。

これらの問題を歩行ロボットの動歩行運動に例えると、「遊脚期」と「支持脚期」で駆動システムを切り替えることができれば、ロボットは運動全体を通して効率的で、かつエネルギー消費も少なく動作可能であると考えられる。すなわち、「遊脚期」では低トルクでも高速移動可能でセルフロックのない柔軟さを持ち、「支持脚期」では低速可動でも高トルクであるシステムが要求されることになる。

そこで、申請者は一般的な低減速比電気モータと導電性高分子アクチュエータを組み合わせた新しいアクチュエータシステムを提案する。本アクチュエータシステムは「低トルク高速駆動部」、および「高トルク低速駆動部」により構成される。低トルク高速駆動部は汎用的な減速機付電気モータであり、高速でセルフロックのない駆動ができるように 1/30 など低減速比なものを用いる。一方の高トルク低速駆動部は短冊状の導電性高分子アクチュエータ（以下 CPA）を駆動軸回りに巻いて電解液で満たされたギアヘッド型ケースに密閉した構造とする。両駆動部間は駆動軸、および筐体どうしをネジなどで固定して一体化する。一般に、CPA は動作速度は遅いが低電位で電気モータの数倍の高出力駆動が可能であるので、本アクチュエータシステムの高トルク低速駆動部として用いる。以上のアクチュエータシステムの作成と動作確認をし、その後、実用として、本システムを4脚ロボットに適用して、高トルク低速駆動と低トルク高速駆動が歩行中に有効に働くかどうかを実験により検証する。

3. 研究の方法

本研究期間内において、平成 20 年度には、本研究で提案する高トルク低速駆動部の内部機構の動作検証試験、および CPA 形状と発生トルク・収縮速度の関係性の考察を行い、それに基づき設計、および製作を行う。平成 21 年度には、本アクチュエータシステムの製作が完了した後に本システムを4脚歩行ロボットに用い、本アクチュエータシステムの有効性を検証する。

(1) 平成 20 年度計画

はじめに、高トルク低速駆動部において、駆動軸の滑らかな回転が行えることの確認、および目標発生トルク・収縮速度と短冊状 CPA の形状（長さ、幅、厚さ）の関係性を調べるため、電解液槽において高トルク低速度駆動部の内部機構の動作試験を行う。一般に CPA は 5V 以下の低電圧での高出力駆動が可能であり、対電極と CPA の間に電位差を生じさせることで、電解液中のイオンを吸収、もしくは放出して伸縮する。

動作試験完了後は高トルク低速駆動部を製作するために設計を行う。これにより完成した高トルク低速駆動部を低トルク高速駆動部（市販の電気モータ）に取り付ければ本申請書で提案するアクチュエータシステムの完成となる。

(2) 平成 21 年度計画

本アクチュエータシステムが製作された後は、4 足歩行・走行ロボットにアクチュエータシステムを適用し、実用的に本システムが動作可能であることを検証する。

動物の歩行・走行においては筋肉や腱の弾性を有効に活用する必要があり、速度が上がるに連れて弾性が高まると考えられている。そのため、脚移動は弾性変化に大きく依存していると推測される。特に、足首の腱に相当する部分にその特性は強く現れると考えられ、低速歩行時は足首は柔らかく、かつ素早く前方に振り出され、一方で、走行時は足首を硬くして着地時の衝撃に十分耐えうるトルクを発生させる必要がある代わりに、跳ねる為に可動はほとんど行われず、すなわち、歩行時に低トルク高速駆動、走行時に高トルク低速駆動できることが、4 脚ロボットに歩行と走行を両立して行わせるのに不可欠な条件となる。よって、低トルク高速駆動、および高トルク低速駆動の切り替えが可能な本アクチュエータシステムを4足歩行・走行ロボットの足首部に腱の代わりとして適用し、本アクチュエータシステムが歩行、走行のようなアプリケーションにおいても適切に稼働するかどうかを検証することとする。

4. 研究成果

(1) アクチュエータシステム動作実験

本研究では、短冊状の導電性高分子（ポリマー）アクチュエータ（以下 CPA）を用いて、足の第一関節へ使用し、CPA のばね定数（弾性）を調節することで、歩行時また走行時においてそれぞれに適切なスティフネス（トルク）を得ることを目的としたギアヘッド型人工筋の開発を行った。システムの設計図を図 1 に示す。このシステムはギアヘッド型人工筋部とモータ部によって構成され、人工筋部とモータ部の駆動軸どうし、ケースどうしが固定されている。そのため、モータ部の駆動

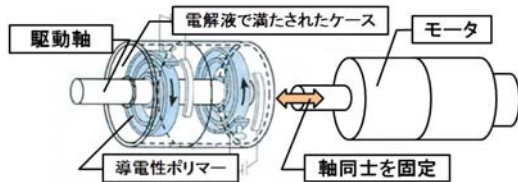


図 1

軸が回転すると人工筋部の駆動軸も一緒に回転するようになっている。また、人工筋部のケースは電解液で満たしてある。人工筋部には 2 枚の CPA を使用している。2 枚の CPA はそれぞれ、互いに逆巻きになるように駆動軸に巻きつけ固定されている。そして、CPA のもう一端をケース内壁に固定している。このような構造にすることで動作体積を縮小し、電解液で満たされたケース内で駆動させることで、電解液中という CPA の動作条件を満たすことができる。電圧を加えていない状態では駆動軸が自由に軽く、モータのみで回転できる状態になっている。これは関節が柔らかい状態、つまりトルクが小さい状態となっている。また、CPA に電圧を加え収縮させることで高分子が軸を締め付け固くし、駆動軸の回転を制限することで、関節が固い、すなわちトルクが大きい状態にできる。

以上に基づき製作した実験装置において行った実験結果を図 2 に示す。図は CPA に加

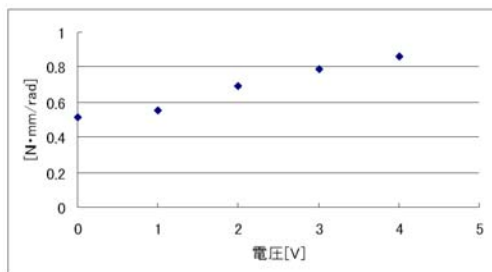


図 2

える電圧を増加させていった際の駆動軸回りの弾性、つまり関節の硬さ（トルク）の変化の様子を示しており、電圧を増加させていくに従い弾性も増加していることが分かる。なお、人間の筋肉の弾性は固定されたもので

はなく筋の活動レベルに応じて比例的に変化する可変性を備えており、本実験結果から、このギアヘッド型人工筋はその特性を満たしていると考えられる。

(2) アクチュエータシステムの 4 脚ロボットへの適用による実用動作実験

本研究では以上で述べた研究目的を達成



図 3

するため、4 足ロボットを作成した（図 3）。この 4 足ロボットの足首部分に（1）で製作したアクチュエータシステムを備え付けている。「研究の方法」で述べたように、まずは低速歩行時にアクチュエータシステムの CPA 駆動部の剛性を弱くし、本来足首に取り付けているモータによって、柔らかくかつ滑らかに前方に脚を振り出せることを確認した。しかしながら、アクチュエータシステムを取り付けることで足先が重くなり、腰関節周りの慣性モーメントが大きくなったため、安定した歩行を行うための腰関節のトルクを出力することが困難であった。よって、空中での歩行の脚振り動作は実現できなかったものの、実際に歩行させるまでは困難であった。この問題を解決するにはアクチュエータシステムの小型化、4 足ロボットの大型化が見込まれる。歩行の一方で、走行時にはアクチュエータシステムの CPA 駆動部の剛性を大きくし、足首関節を硬くすることをを行った。それにより足首部はモータにより駆動することはできなくなるが、走行では上下に跳ねるため、歩行のように足首を前に素早く曲げて振り出す必要はない。したがって、足首の合成が高く、すなわち同じ角度で高トルクであればよい。この状態が実現できることを 4 足ロボットによって確認した。しかしながら、歩行同様、足先の重量過多による腰関節周りの慣性モーメントの増加により、脚自体の前方への振り出しが困難になってしまったため、走行の実現は困難であった。しかしながら、その場でジャンプするような走行を模倣した動作は行えることが確認できた。以上から、歩行、走行ロボットのような一つのロボットの運動の中で低トルク高速駆動、高トルク低速駆動を高効率で切り替える必要があるようなアプリケーションにおいても本アクチュエータシステムが有効に働くであろう指針は示せた。今後は、アクチュエータシステ

ムの軽量化にとりくみ、4足ロボットにおいて実際の歩行・走行が実現できることを目指す。

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)

[学会発表] (計2件)

① 佐藤 和輝, 福岡 泰宏

「速度によって発生トルクが変わる筋メカニズムの4足ロボットへの適用」

平成21年度電気学会東京支部茨城支所研究発表会

平成21年11月28日

茨城県シビックセンター

② 福岡 泰宏, 佐藤 和樹

「4足哺乳類に出現する歩様の原始的メカニズムのロボットを用いた解明

-人工筋を用いた脚弾性調節の影響-

第30回バイオメカニズム学術講演会

平成21年11月14日

北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福岡 泰宏 (FUKUOKA YASUHIRO)

茨城大学・工学部・准教授

研究者番号：40418679