

申請者	学科名	人間情報工学科	職名	准教授	氏名	井上貴浩
調査研究課題	ヒト上肢筋構造を模倣した粘弾性材料のねじり駆動機構と制御手法の提案					
調査研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	井上貴浩	スポーツシステム工 准教授	ロボティクス 制御工学		
	分担者	該当者なし				
調査研究実績の概要	<p>ロボット革命と言われている昨今，産業用途のみならず生活住環境へのロボットの導入が徐々に進んでいる．生活支援や介助支援を目的としたロボット，ならびにリハビリテーションロボット<sup>[1][2]</sup>などが近年特に増加傾向にある．今後ロボットが人と接する機会が増え，両者の協調作業に加えて物理的に接触するインタラクションが多くなると予想される．このとき，ロボットに必要なのは手先のコンプライアンス<sup>[3]</sup>や柔らかい関節剛性<sup>[4][5]</sup>であり，それらを実現するための駆動機構<sup>[6][7]</sup>や制御手法が不可欠となる．そのようなことから本研究では，ロボット関節に可変コンプライアンス（柔らかさ）を付与できる拮抗駆動システムを開発し，位置制御による動作検証を行うことで本システムの有効性を明らかにした．</p> <p>関連研究では，糸<sup>[8]</sup>や紐をロボットフィンガの各関節に通しモータで振りを加えることで生じる縮みを利用し指全体を屈曲させている<sup>[9][10][11]</sup>．ここでは，指先による引張力が最大で 5N 程度となっている一方で，指先が物体に接触する前の位置制御に関しては示されていない．Gaponov ら<sup>[12]</sup>は，高強度繊維を編みこんだ糸（ベクトラン）を用いて振りにより生じる縮み量をモデル化し，重量物の持ち上げ位置や速度のセンサレス制御に成功している．これらはモデル化誤差が比較的小さく収縮力による可搬性能も良好であるが，100 回転程度の振りを加えてはじめて 10% 程度の縮み量に到達できる．そのようなことから，繊維素材の振りによる収縮力を応用したこれらの研究は搬送作業などに適している一方，力制御や位置制御タスクを必要とするロボット関節の駆動メカニズムには適さないと考えられる．また，Popov ら<sup>[13][14]</sup>は装着型外骨格ロボットの肘関節の屈曲動作に同様の振りアクチュエータを採用し，カセンサを使わずに肘関節の回転角度とモータトルクから持ち上げ動作の筋発揮力を推定している．これらの試みはパワーアシストや運動支援，ならびにリハビリテーション用途を指向しており，協調作業のような人との対面的なインタラクションを目的とした研究ではない．</p>					

<p>調査研究実績 の概要</p>	<p>そのようなことから研究では第 1 報として、ロボットの関節に可変のコンプライアンス特性を付与するために、工業用機械製品の 3 次元トルク伝動機構に利用されるポリウレタン丸ベルトを関節に拮抗的に配置した単関節駆動機構を提案し動作検証を行った。本機構では、直径 3mm の小径丸ベルトを振ることによって生じる縮み方向への引張力(収縮力)を利用してロボットの関節を回転させる点が特徴となる。また、提案するベルト振りアクチュエータの機構に起因する増速機能と減速機能を明らかにした。続けて、ベルトの振りによって生じる収縮力の力学特性を明らかにするとともに振り剛性と静的収縮力モデルを導出し、収縮力制御が可能であることを示した。加えて、丸ベルトの振り量の制御とリンク関節の角度制御が比例制御によって容易に実現できることを明らかにした。</p> <p>[1] H. Yua, S. Huanga, G. Chena, and N. Thakora: "Control design of a novel compliant actuator for rehabilitation robots," <i>Mechatronics</i>, Vol.23, No.8, 1072--1083, 2013.</p> <p>[2] L. Jiang, Y. Li, D. Deng: "Adaptive control of twisted string system for arm rehabilitation robot," <i>Int. Conf. Information Science, Electronics and Electrical Engineering</i>, pp.1855--1859, 2014.</p> <p>[3] S. Rahman: "A novel variable impedance compact compliant series elastic actuator for human-friendly soft robotics applications," <i>IEEE Int. Symp. Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)</i>, pp.19--24, 2012.</p> <p>[4] Y. Kim, J. Lee, and J. Park: "Compliant Joint Actuator With Dual Spiral Springs," <i>IEEE/ASME Trans. Mechatronics</i>, Vol.18, No.6, pp.1839--1844, 2013.</p> <p>[5] H. Yu, S. Huang, G. Chen, and S. Toh: "Design and analysis of a novel compact compliant actuator with variable impedance," <i>IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics</i> pp.1188 --1193, 2012.</p> <p>[6] T. Patterson and H. Lipkin: "Structure of Robot Compliance," <i>Trans. of the ASME Journal of Mechanical Design</i>, Vol.115, No.3, pp.576--580, 1993.</p> <p>[7] R. Ham, T. Sugar, B. Vanderborght, and K. Hollander: "Compliant actuator designs," <i>IEEE Robotics &amp; Automation Magazine</i>, Vol.16, No.3, pp.81--94, 2009.</p> <p>[8] Y. Uozumi, K. Yu, N. Yoshimura, and K. Ohnishi: "Motion control of tendon-driven rotary actuator using Twist Drive system," <i>IEEE Int. Workshop Advanced Motion Control</i>, pp.470--475, 2014.</p> <p>[9] Y. Shin, H. Lee, and K. Kim: "A Robot Finger Design Using a Dual-Mode Twisting Mechanism to Achieve High-Speed Motion and Large Grasping Force," <i>IEEE Trans. Robotics</i>, Vol.28, No.6, pp.1398--1405, 2012.</p> <p>[10] G. Palli, C. Natale, C. May, C. Melchiorri, and T. Wurtz: "Modeling and Control of the Twisted String Actuation System," <i>IEEE/ASME Trans. Mechatronics</i>, Vol.18, No.2, 664--673, 2012.</p> <p>[11] G. Palli, G. Borghesan, and C. Melchiorri: "Modeling, Identification, and Control of Tendon-Based Actuation Systems," <i>IEEE Trans. Robotics</i>, Vol.28, No.2, pp.277--290, 2012.</p> <p>[12] I. Gaponov, D. Popov, and J. Ryu: "Twisted String Actuation Systems: A Study of the Mathematical Model and a Comparison of Twisted Strings," <i>IEEE/ASME Trans. Mechatronics</i>, Vol.19, No.4, pp.1331--1342, 2014.</p> <p>[13] D. Popov, I. Gaponov, and J. Ryu: "A Preliminary Study on a Twisted Strings-based Elbow Exoskeleton," <i>IEEE World Haptics Conference</i>, pp.479--484, 2013.</p> <p>[14] D. Popov, I. Gaponov, and J. Ryu: "Towards variable stiffness control of antagonistic twisted string actuators," <i>IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems</i>, pp.2789--2794, 2014.</p>
<p>成果資料目録</p>	<p>投稿&amp;査読中論文を 1 編添付しております。</p> <p>[1] <u>Takahiro Inoue</u>, Ryuichi Miyata, Shinichi Hirai, "Twin-twisted Elastic Round-belt Actuator for Robotic Joint Activated by Antagonistic Contraction Forces", <i>IEEE/ASME, AIM</i>, July, 2016, Banff, Canada</p>