

1. はじめに

近年, 災害現場における救助や家庭環境での家事支援といった, 人間の作業を代替するロボットに関する研究が行われている。ヒューマノイドは脚による段差の移動や双腕による作業を行い, モバイルマニピュレータは室内での車輪を用いた高速な移動や荷物運搬を行うように, ロボットは動作環境に適した身体構成を持つが, 人間のように広範囲に渡る環境で作業を達成するためにはハードウェアが環境に適した形に変化する必要がある。これまで著者はロボットが多様な環境に適応する能力を拡張するために必要なハードウェア要素について研究を行っており, 特に状況に応じて形態を変化させるようなロボットの開発に取り組んでいる。

学士論文では筋骨格腱駆動ヒューマノイドの頭部に可動眼球を搭載し, 高速な視点の変更動作と認識範囲の制御による効率的な環境認識システムを構築した。このシステムにより, 視界中の必要な領域のみで認識を行うことで, 車両の周囲の効率的な安全確認と発進動作を達成した [1]。修士論文では車輪や駆動方式の変更が可能な関節を備え, 状況に応じて形態を変化させるようなロボットに関する研究を進めている。車輪を持つロボットについて, 筋骨格腱駆動の双腕はハードウェア的に柔軟な構造を持つため環境接触を伴うタスクに向き, 倒立二輪の下肢は車輪による移動能力と制御的な安定性を備えるため, 二つを組み合わせることで作業能力と移動能力を活用することが可能なロボットを構成した [2]。駆動方式を変えることのできる関節について, 動作中に関節の減速比を変えタスクに適した関節速度・トルクを発揮することを目的として, 減速比可変で関節のロックも可能な関節を構成した。また, 開発した関節を腰に備えた三輪車型のロボットを構成し, 物体の運搬タスクや三輪車型から倒立二輪型への遷移動作などを達成している [3]。

博士過程の研究計画では, 修士まで行ってきた研究を発展させ, より多自由度なハードウェアにおける形態可変や, 環境やタスクに対してアクチュエータ・センサ配置を最適化するようなシステムの構築を目指す。そのために, 共通の通信系を持つ身体構成要素の開発, 身体構造可変な統合ハードウェア構造の生成, 環境とタスクに対して最適な身体形態の探索と実現の3つの要素に分割して研究を進める予定である。

2. 研究概要・研究計画

2.1 学士論文: 可動眼球を用いた認識制御と車両操作

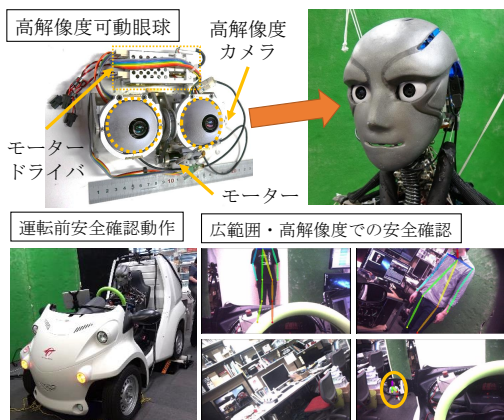


Fig. 1: 可動眼球を用いた認識制御と運転操作。

2.1.1 高解像度な可動眼球視覚モジュールの構成

生物が持つ可動する眼球には, 高速に視野範囲を変更できる, 動く物体を追従しつつ視野範囲を絞った効率的な認識を行えるといった利点が存在すると考え, 両眼に 4K カメラを備え共通の tilt 自由度と独立の pan 自由度を持つ視覚モジュールを構成した。眼球の自由度を環境認識行動に重要なものに絞り, 小型で高解像度なカメラを用いることで, ヒューマノイドの頭部に収まるサイズの可動眼球を構成し, 眼球の自由度を用いた高速な視点の変更動作を実現した。

2.1.2 認識範囲の制御と車両操作への応用

タスクに応じて画像処理を行う範囲を動的に変更することで効率的に環境認識を行える視覚システムの構成法について検証した。また, 環境認識動作の応用例として運転操作を行い, 高解像度なカメラを用いたサイドミラーに映る小さな人物に対する注視動作により, 人間と同様の視覚を利用したりアルタイムな車両周囲の安全確認動作を実現した。

2.2 修士論文: 環境適応可能な脚車輪ロボットの構成法

2.2.1 環境接触行動に適した筋骨格型倒立二輪ロボット

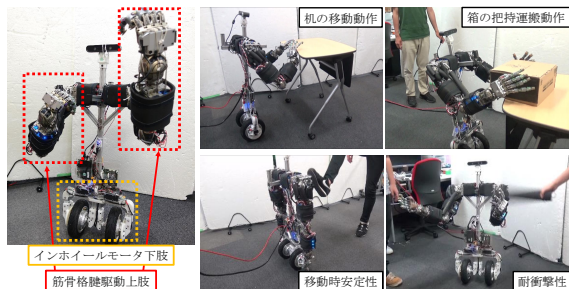


Fig. 2: 環境接触行動に適した筋骨格型倒立二輪ロボット。

筋骨格腱駆動ロボットは, ハードウェア的に柔軟な筋によって駆動される多自由度のリンク構造を持ち, 関節の力制御が可能のため, 環境との接触を伴う行動生成に向く。また, モバイルマニピュレータは移動性能に優れ日常生活における家事タスクに関する研究が広く行われており, 中でも倒立二輪型の足回りを採用し, 小さなフットプリントと高い移動性能を持つものも存在する。そこで, 筋骨格腱駆動型の上肢構造と, 倒立二輪型の下肢構造を組み合わせることで, 実環境で接触を伴う動作を行う能力と多様な環境下での移動性能を併せ持つロボットを構成した。上肢構造は筋骨格腱駆動構造によるハードウェア的な柔軟性を持ち, 非線形弾性要素と拮抗腱駆動構造による関節トルク・剛性可変制御が可能のため, 環境接触行動時の厳密な接触条件の計画が不要である。加えて, 関節の自由度よりも多い冗長な自由度を持つため, 動作中に筋が破損した場合でも作業を継続することができる。これらの特徴を活用し, 環境接触動作として機の移動動作や, 箱の把持運搬動作, 壁への衝突時の衝撃緩和・転倒回避動作を実現した。下肢構造は移動性能に加えて倒立二輪構造による姿勢安定性能を併せ持ち, 並進・回転移動動作や, 蹴り飛ばし時の転倒回避動作を達成した。本ロボットは環境接触能力と冗長な自由度, 移動能力を併せ持つことで, 動作中に転倒しても故障しにくく動作を継続することが可能であり, 環境中で繰り返し動作を行い, 成功と失敗を繰り返して動作を学習していくロボットに関する研究が行えるようになる。加えて, 筋骨格腱駆動ロボットの複雑な身体構造を制御するために筋長, 筋張力, 関節角度の対応を学習する研究において, 上肢は (1) 筋を駆動するアクチュエータモジュールと (2) 関節角度

検知可能な関節モジュール、（3）汎用フレームの三種を組み合わせて用意に構造を改変できる構造を持つため、特定の身体形状での学習結果を他の身体形状にも適用して容易に実験することが可能である。

2.2.2 可変減速関節ロック機構による関節機能の改変

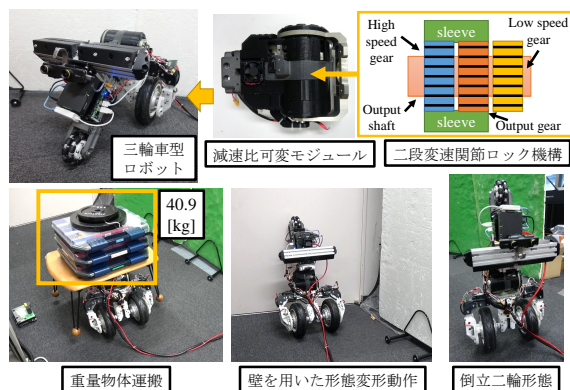


Fig. 3: 可変減速関節ロック機構による関節機能の改変。

ロボットの関節は、重量やサイズの観点から必要なトルクと関節速度に最適化したモータと減速機構を有する。しかし、作業中に必要なトルクや速度に対して性能が不足した場合、ロボットの故障やタスクの失敗の原因となる。タスク中に十分なトルクと関節速度を発揮するために、減速比の二段階変速機能と関節のロック機能を併せ持つ一自由度の変速機構を搭載した関節モジュールを開発した。本モジュールは減速比を変えることで、負荷に耐えることのできる大トルクな関節と、環境接触時になじむことのできるバックドライバブルな関節の二つの機能を切り替えることができる。更に、関節のロック機構を用いて電源を入れることなく自由度を固定することで、タスク中の大負荷に耐えることのできる高剛性な関節に変化し、非動作時のロボットを自立させてスペースを節約することも可能になる。開発した関節モジュールの評価のため、腰に関節モジュールを備え、倒立二輪での動作も可能な三輪車型ロボットを構成し、関節の駆動状態変更を活用した 40.9kg の荷物の運搬と、壁を用いた三輪車形態と倒立二輪形態の間で双方向の動作形態の遷移を達成した。

2.3 博士過程の研究計画

博士過程では、環境やタスクに対して最適な形態に変化したり、アクチュエータ・センサ配置を最適化することが可能なロボットシステムの構築のために、以下の 3 つの実現を目指す。

- 共通の通信系と接続部を持つ身体構成要素の開発
- 身体構造可変な統合ハードウェア構造の生成
- 環境とタスクに対して最適な身体形態の探索と実現

2.3.1 身体脱着構造可変ロボットの構成法と適応構成最適化

身体構造を自動生成したり可変させる目的で構成の自由度を向上させるためには、機械的・電氣的に構造の改変が容易な身体構成要素が必要であるため、センサとアクチュエータによらず共通の通信系や接続部を採用することが望ましい。ここで述べている身体構成要素としては、身体を駆動する関節・リンクや、視覚や触覚などのセンサ、推力を発生させるための車輪やプロペラ、構成要素を脱着するためのハンドなどを想定しており、全体の重量や防水性能といったスペックに応じて適応が可能な環境がより広くなると考えている。また、それらの要素を組み合わせる構造的な環境・タスクに適応できる統合的なハードウェアを構成するために、環境を仮定したシミュレータを用いてセンサおよびアクチュエータの配置や種類を

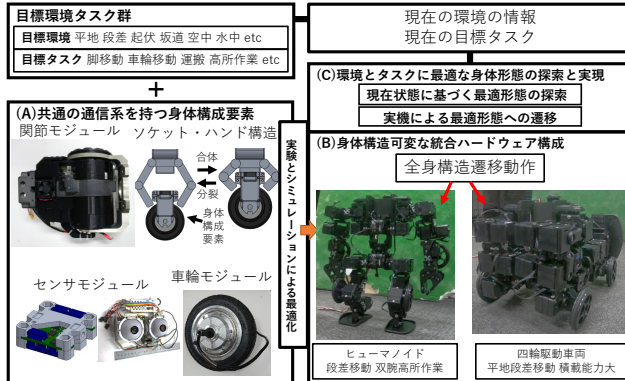


Fig. 4: 身体脱着構造可変ロボットの構成法と適応構成最適化。

最適化するための手法の構築が必要である。この際、構成に用いた検証手法や実機実験の結果の中で、仮定した環境やタスクに依存しない一般性を見出すことで、一般的な身体構成の最適化指標の策定を目指す。さらに、タスクを行っている最中に適切な身体構成を選択して形態遷移を達成するためには、タスクの達成時間や移動時の安定性といった最適化指標に基づく最適な形態の探索や、実機による多様な環境での形態遷移が必要となる。大規模な姿勢遷移や構造改変を達成するためには、転倒回避のための指示領域の遷移計画や、関節負荷の低減のための発揮トルクの最適化を行う必要があると考えられる。これらの全体のシステムの実現に向けて、小さなサイズでの試作を目的として、市販のシリアルサーボやリンク部品と、自作のセンサ基板を組み合わせた多自由度な脚車輪形態可変ロボットの構成に取り組んでいる。自作センサ基板について、市販のリンク接続部品と同様のサイズを持ち、シリアルサーボと同様の通信系を備えるため、設計の自由度が高く様々な構成の試作が可能になると考えている。

3. おわりに

著者はロボットが多様な環境に適応する能力を拡張するために必要なハードウェア要素について研究を行っており、今後の修正研究では多自由度な脚車輪ロボットによるセンサ情報を考慮した形態遷移動作に取り組む予定である。さらに、規格化されたハードウェア要素を活用した身体構成の最適化手法に関して新しく取り組み始める予定であり、多様な環境・タスク群に対して適した形態に変化できるロボットシステムの構築に向けて研究を進めることを検討している。

参考文献

- [1] Makabe, T., *et al.*, “Development of Movable Binocular High-Resolution Eye-Camera Unit for Humanoid and the Evaluation of Looking Around Fixation Control and Object Recognition”, Proceedings of the 2018 IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2018), pp. 840–845. IEEE, 2018.
- [2] K. Kawaharazuka, T. M., *et al.*, “TWIMP: Two-Wheel Inverted Musculoskeletal Pendulum as a Learning Control Platform in the Real World with Environmental Physical Contact”, Proceedings of the 2018 IEEE-RAS 18th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2018), pp. 784–790. IEEE, 2018.
- [3] Makabe, T., *et al.*, “Development of Joint Module with Two-speed Gear Transmission and Joint Lock Mechanism during Driving for Task Adaptable Robot (in press)”, 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2019). IEEE, 2019.