

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料

〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間	2021～2025
課題番号	21H05055
研究課題名	人型ロボットの身体内保存力学的エネルギー活用による高効率運搬・スポーツ動作の実現
研究代表者氏名（ローマ字）	高西 淳夫 (TAKANISHI Atsuo)
所属研究機関・部局・職	早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号	50179462

研究の概要：

本研究は、既存の人型ロボットのエネルギー効率が低いという問題を解決するため、人間の身体構造および運動を参考に、力学的エネルギーの3形態変換を伴う消費エネルギー最小運動生成法を確立し、脱力・弾性の発揮が可能な高出力関節機構および動力伝達機構、これらを統合した等身大の人型ロボットを開発する。提案手法をロボット実機で評価するとともに、提案手法を人間に適用する効果を検証する。

研究分野：情報学、知能ロボティクス

キーワード：ロボティクス、ヒューマノイド、関節弾性、脱力、スポーツ科学

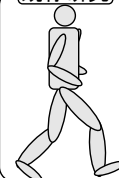
1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎え労働人口の減少が危惧されるなか、ロボットの活用が始まっている。実用化が近く人型ロボットの課題として、現状極めて低いエネルギー効率があげられる。各関節を個別のアクチュエータで駆動するこれまでの方法では、人型ロボットの運動能力を向上させるための全身の高出力化はロボットの大型・高重量化を招き、ロボット自身の重い体を動かすために莫大なエネルギーを消費してしまう。また、運動生成においても、必要なエネルギーは逐次的にすべて電気エネルギーにより賄う能動駆動が一般的なため、例えば重心高さが低くなった場合はその分の位置エネルギーを無駄にしている。一方、人型ロボットの目標としての人間は非常に高効率に運動する。その理由として、手足は肩や股関節などの付け根から先端に向かって軽くなり、腱の弾性力を活用しつつ、能動・受動的な出力を効果的に行っている。

2. 研究の目的

本研究では、運動時消費エネルギーの低減を目指した、人型ロボットの身体各部エネルギー活用運動生成法および人間規範能動・弾性・脱力共存構造を明らかにし、実際のロボットを用いて知見を検証するとともに、『スポーツフォームの違いによるエネルギー効率への影響検証』と『人型ロボット実用化のニーズが高い運搬作業時の高エネルギー効率化』の実現を目的とする。これまでの人型ロボット研究では発揮力やスピード、バランス能力など運動能力の向上を目指した研究が多く行われているが、実用にはエネルギー効率の向上が必須である。これにはロボット構造と運動制御の両面からのアプローチが必要であり、本研究ではそれらの併用による相乗効果を目指す。消費エネルギー低減効果と同じ枠組みで検証することで、各アプローチおよび両アプローチを用いた場合の効果を比較することができる。これにより、単に消費エネルギー低減を実現するだけでなく、ロボット構造・運動制御のそれぞれの寄与度を明らかにし、消費エネルギーを考慮した人型ロボットの設計法・運用法の基盤形成が可能となる。また提案する新たな人型ロボットの効果、波及性をさらに検証するため、ロボットでの知見を人間に応用するとともに、上記提案手法を用いてエネルギー効率を向上させた運搬作業を実現する。

既存研究



ロボットの関節構造は関節内のアクチュエータによる能動駆動が前提であり、身体のポテンシャル・運動エネルギーを使わず弾性エネルギーも蓄積できない
⇒エネルギーの再利用が出来ず無駄になる

本研究



人間の構造・運動を参考に、
・能動、脱力、弾性駆動が可能な関節機構
・アクチュエータの遠隔配置による身体重量配分最適化
・身体に保存された力学的エネルギーを活用する運動
⇒人間に匹敵する高エネルギー効率の実現
⇒スポーツへの応用、運搬作業

3. 研究の方法

上記の目標達成に向け、(A) 力学的エネルギーの3形態変換を伴う消費エネルギー最小運動生成法の確立、(B) 弾性の発揮・脱力が可能な高出力関節メカニズムの開発、(C) 動力伝達機構を用いた人間規範軽量四肢構造の開発、(D) スポーツフォームの違いによるエネルギー効率への影響検証、(E) エネルギー効率の高い運搬作業の実現の5点を研究の重点課題とする。

4. これまでの成果

2年の研究にて、概ね計画通りの研究成果を得ることができ、予見していなかった新たな展開も複数進めることが出来た。すでに掲載された業績以外にも論文執筆・投稿を進めている。

(A) 低エネルギー消費運動生成法については、計画通り、運動生成法の開発とシミュレーションによる検証などを進めた。ロボットの身体各部のエネルギーを算出し、ロボットの新たに投入する電気エネルギーを最小化することで、動作目標に対して消費エネルギーを抑えた運動を生成できることを確認した。また、身体各部エネルギー式をこれまでに開発していた運動量制御法に加えることで、ロボット全体の安定性も考慮しながら低エネルギー消費運動を生成できることを確認した(図2)。

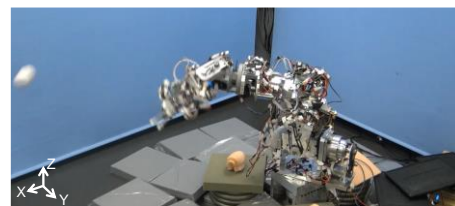


図2 腰ひねりからのエネルギー伝播を活用した投球動作

(B) 脱力も可能な関節機構開発については計画通り、脱力も可能な関節機構を開発し、その性能を検証した。従来の機構では、クラッチ機構や高トルクを伝達可能なツースクラッチを用いてアクチュエータからの動力を遮断し脱力を実現するものが多いが、高トルク発揮と両立するには強度を維持するため高重量になっていた。そこで、機械的接続を引き抜く方式とした。関節軸から伸びたビームをリンクフレームとソレノイドの先端についたベアリングで挟むことで固定し、アクチュエータから関節軸へ、関節軸からリンクフレームへと動力伝達を可能にしている。

(C) 動力伝達機構・人間規範軽量四肢構造として、動力伝達機構を開発し、これを搭載した人型ロボット脚部を開発した。関節を跨ぎアクチュエータ動力を伝達するリンク機構と、跨いだ関節の回転と連動してアクチュエータ自身を回転させることで跨いだ関節の回転の影響を相殺するリンク機構を組み合わせている。これにより、開発した脚機構を用いた検証実験では、足首部を駆動するアクチュエータを大腿部に搭載し、膝関節を跨いで足首を駆動すること、膝関節を回転させた場合にも足首部は影響されず回転しない非干渉駆動が可能となった。さらに、ロボットの抜本的な軽量化を検討する中で、ロボットの主要部品の一つである歯車そのものを高機能樹脂製にすることで軽量化を行った。高機能樹脂である超高分子量ポリエチレンの低摩擦特性を持つものを用いることで、動力伝達時に歯車同士の歯面に生じる摩擦を低減し、これだけで約3%のエネルギー消費低減を確認した。さらに、検討していた動力伝達機構を応用することで、長い伸縮が可能で回転運動を伝達するロボットアーム機構を開発した。

(D) スポーツフォームの違いによるエネルギー効率への影響検証については、跳躍運動や投球運動を対象に人体運動計測実験を進め、ロボット開発に用いるための運動データを収集した。従来の運動計測では明確なデータが得られていなかった機構(例えば、肩甲骨と上腕骨で構成される関節の回旋運動における筋出力と弾性・慣性力の併用や腰部のひねり動作の投球パフォーマンスへの貢献度、跳躍動作における足関節まわりの筋腱複合体の筋出力とアキレス腱の弾性の相互作用の最適コントロール方略)の測定も進めており、得られた知見のロボットへの導入を検討している。また、これらのデータを元に、開発したエネルギー最適運動生成手法を人間の身体パラメータに適用する検討を進めた。さらに、当初の計画からの発展形として、今後の人体運動計測や、ロボットに合わせた高エネルギー効率運動生成法を人間に活用したスポーツフォーム提案の効果検証実験を多くの被験者を集め効果的に進めるために、日本科学未来館の研究エリアに研究代表者と分担者が核となる研究実験拠点「身体能力開発・拡張プロジェクト」を確立し、共同研究活動を加速させている。

5. 今後の計画

2年間の研究で、ロボットの運動生成法およびロボット関節構造・四肢構造を開発することができ、研究の根幹となる要素は確認することができた。今後は、これまでに得られた成果の発表をさらに進めていくとともに、当初の計画通り、新たな人間型ロボットを製作しこれを用いて提案手法・構造のさらなる有効性検証・人間型ロボットの運動能力向上の実証を行うとともに、提案手法を運搬作業に応用して実用化への貢献の可能性をより詳細に検証する。さらに、ロボットの低エネルギー消費運動生成法を人間のスポーツフォーム提案に応用することで、人間個々人に合わせたトレーニング効率化について検証を進める。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- “人間の特徵に着目した投球ヒューマノイドロボットの開発(第3報:投球時の脱力動作を模擬する軽量肘部機構およびボールに回転を加える投球が可能な指部機構の開発),” 中澤由理, 宮澤啓吾, 峯下弘毅, 大谷拓也, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫, 日本ロボット学会誌, 査読有, 2023, 採択済。
- “Energy Efficiency Improvement of a Robotic Finger With Ultra High Molecular Weight Polyethylene Gear,” Takuya Otani, Hiroki Mineshita, Keigo Miyazawa, Yuri Nakazawa, Hideyuki Kasuga, Ryuki Kawai, and Atsuo Takanishi, IEEE access, 査読有, vol. 10, pp. 100033-100040, 2022.

7. ホームページ等

<http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/index.htm>
contact@takanishi.mech.waseda.ac.jp