

2026 年 10 月 22 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

**複雑な電子回路を排し「伸びたら縮む」
筋骨格ロボット用反射モジュールを開発
—膝蓋腱反射の再現と機構で実現する二足歩行に成功—**

【発表のポイント】

- 人の反射^(注1)に着想を得た筋骨格ロボット^(注2)用の新しいモジュールを開発しました。
- 本反射モジュールは複雑な電子センサーや電子回路に頼らず、機構^(注3)の働きのみで「伸びたら縮む」動きを生み出します。
- 膝の皿の下を叩くと脚が跳ね上がる膝蓋腱反射を筋骨格ロボットで再現し、さらに二足歩行にも成功しました。
- 本成果は、計算負荷や消費電力を抑えた、新しい筋骨格ロボットの設計指針となることが期待されます。

【概要】

膝の皿の下を叩くと無意識に脚が跳ね上がる動きに代表される「反射」は、歩行や姿勢維持といった運動生成を支える神経系の重要な仕組みです。

東北大学大学院工学研究科の古関駿介大学院生（学振特別研究員（PD））、林部充宏教授、大脇大准教授らの研究グループは、この反射に着想を得て、人工筋肉が一定以上に伸ばされると自動的に縮む反射モジュールを開発しました。このモジュールは複雑な電子センサーを介さず、機構だけで動きます。提案モジュールを筋骨格ロボットに実装することで、代表的な反射である膝蓋腱反射の再現、さらに二足歩行も実現できることを示しました。これらの結果は、反射が筋骨格ロボットの運動生成の基盤になりうることを示しています。また、反射に必要な計測や計算を機構に担わせることで、複雑な電子センサーや電子的な処理を最小限に抑えられ、計算の負担や消費電力の少ないロボットの設計指針となります。

本研究成果は、2026 年 10 月 22 日（日本時間）に科学誌 Advanced Intelligent Systems に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

人に匹敵する動きを生み出せる知的なロボットを実現するためには、人の運動の仕組みを理解し、ロボットで再現することが必須です。本研究では、人の神経系がもつ機能の一つである反射に注目しました。

コンピュータ上で人の運動を再現する筋骨格シミュレーションの研究では、筋肉が一定以上に伸ばされると縮む「筋長フィードバック」という反射によって、人らしい歩行を生み出せることが知られています（図 1）。この仕組みを実際のロボットで実現するには、人工筋肉の長さを計測する必要があります。しかし、筋骨格ロボットでよく使われるマッキベン型人工筋肉^{（注 4）}では、長さの計測に複雑な電子センサーが求められます。こうしたセンサーの作製や組み込みの難しさが壁となり、筋長フィードバックの実世界での実現は難しく、筋骨格ロボット制御に有効であるかは確かめられていませんでした。

今回の取り組み

そこで本研究では発想を転換し、電子センサーや電子回路を使わず、機構そのものに長さを測る役割を持たせました。人の筋肉の仕組みにならい、2 本の人工筋肉を並べ、一方は力を出す筋繊維として、もう一方は一緒に引き伸ばされることで長さを感じとる筋紡錘^{（注 5）}にあたるセンサー役として働く、反射モジュールを開発しました（図 1）。筋紡錘に送る空気圧を変えることで、反射が起きる長さ（しきい値）の調整や、反射のオン・オフの切り替えが可能です。

このモジュールを組み込んだロボットでは、人と同じように膝の皿の下を叩くと脚が跳ね上がる膝蓋腱反射を再現できました（図 2）。さらに、片脚に 4 つのモジュールを搭載した二足歩行ロボットを開発しました。足裏のセンサーの情報に応じて筋紡錘の空気圧をオン・オフするだけのシンプルな制御と組み合わせたところ、トレッドミル上で歩行させることに成功しました（図 3、関連動画）。

今後の展開

本研究は、筋肉が一定以上伸びたら縮ませるというシンプルなルールを機構で実現し、筋骨格ロボットで膝蓋腱反射の再現と二足歩行ができることを示しました。このように反射に必要な計測や計算を機構に担わせることで、複雑な電子センサーが不要となり、計算の負担や消費電力の少ないロボットの設計につながります。今後は、必要最小限の電子制御を組み合わせた設計などを進め、より多くの筋肉をもつ筋骨格ロボットへの発展を目指します。

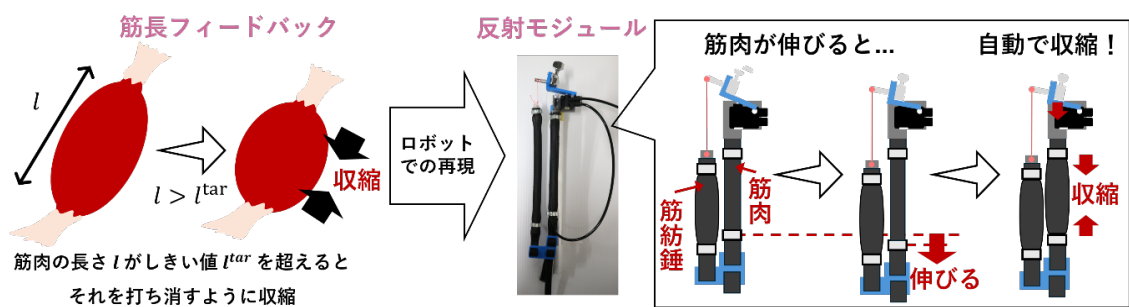


図 1. 提案した反射モジュール。(左) 筋長フィードバックの概念図。(右) 反射モジュールの写真と動作原理。

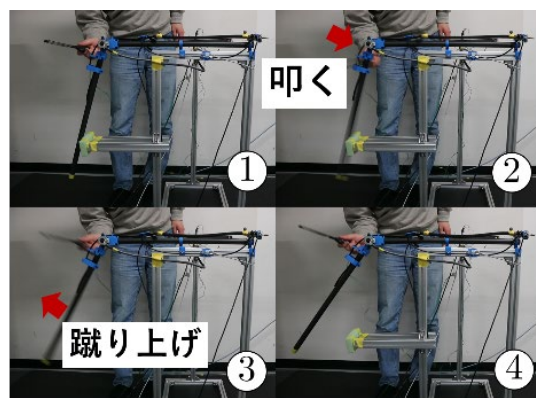
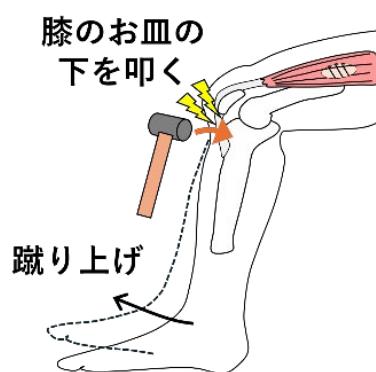


図 2. 膝蓋腱反射の再現。(左) 膝蓋腱反射の概念図。(右) ロボットでの再現。

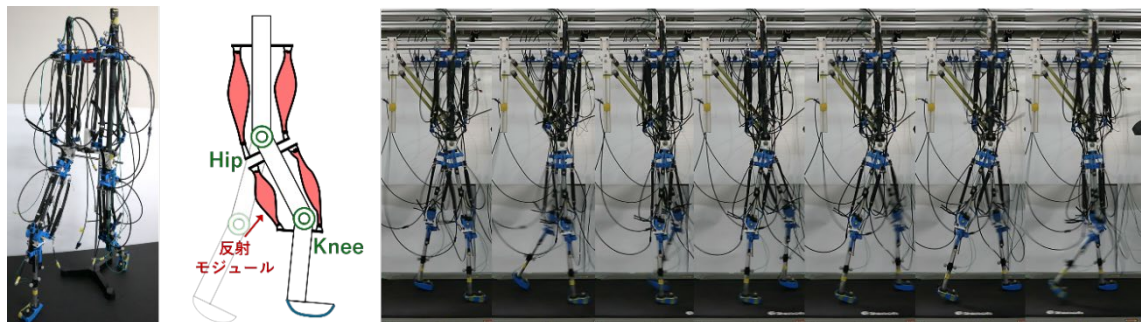


図 3. 二足筋骨格ロボットでの歩行の実現。(左) ロボットの写真。(中) ロボットの構造。(右) 歩行のスナップショット。

関連動画 : Purely Mechanical Muscle Length Feedback Enables Embodied Reflexive Control in Musculoskeletal Robot

<https://youtu.be/E6YRJMPpVpw>

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP24KJ0405 および JP23H00481、NSK メカトロニクス技術高度化財団の助成を受けたものです。また、本研究成果に関する論文は、「東北大学 2026 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業」の支援を受けました。

【用語説明】

- 注1. 反射：外からの刺激に対して、意識とは関係なく素早く起こる反応。本研究で扱うように、膝の皿の下を叩くと脚が無意識に跳ね上がる膝蓋腱（しつがいけん）反射が代表例。
- 注2. 筋骨格ロボット：人の筋肉や骨格に着想を得た、人工筋肉で駆動されるロボット。
- 注3. 機構：ここでは、電子的な制御を用いず、部品の組み合わせだけで動きを生み出す仕組みを指す。例えば、水洗トイレのタンクは、浮き玉の上下だけで、電気を使わずに給水を自動で止める。これも機構による動きの一例とみなせる。
- 注4. マッキベン型人工筋肉：空気を送り込むと縮む人工筋肉。
- 注5. 筋紡錘（きんぼうすい）：筋肉の中に筋線維と並んで存在し、筋肉がどれだけ伸びたかを感じとるセンサーの役割を持つ器官。

【論文情報】

タイトル：Purely Mechanical Muscle Length Feedback Enables Embodied Reflexive Control in Musculoskeletal Robots

著者：Shunsuke Koseki*, Mitsuhiro Hayashibe, Dai Owaki

*責任著者：東北大学大学院工学研究科 古関駿介 大学院生（学振特別研究員（PD））

掲載誌：Advanced Intelligent Systems

DOI：10.1002/aisy.70590

URL：https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aisy.70590

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学大学院工学研究科ロボティクス専攻

准教授 大脇 大

TEL: 022-795-4064 Email: owaki@tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院工学研究科 情報広報室

担当 沼澤 みどり

TEL: 022-795-5898 Email: eng-pr@grp.tohoku.ac.jp