

遠心力で収縮する電気駆動型の 人工筋肉アクチュエータの開発

近畿大学 工学部 機械工学科
講師 八瀬 快人

2026年2月26日

研究背景

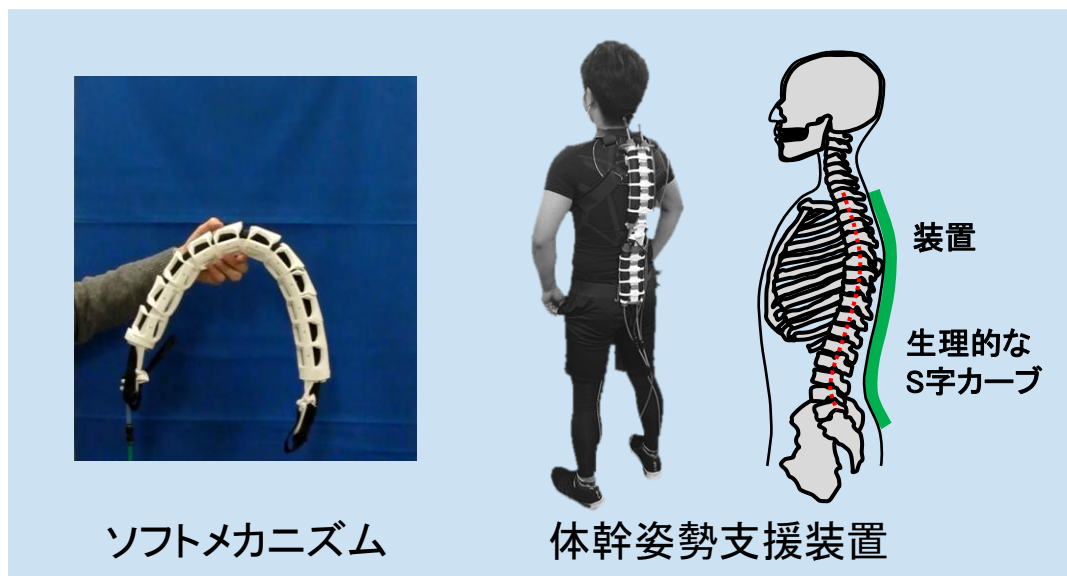
動作支援ロボットにおいて
軽量で柔軟な空気圧ソフトアクチュエータが注目されている

McKibben型空気圧ゴム人工筋

空気を供給することで長手方向に収縮，大部分がゴム材料と繊維で構成されており柔軟かつ軽量



McKibben型人工筋



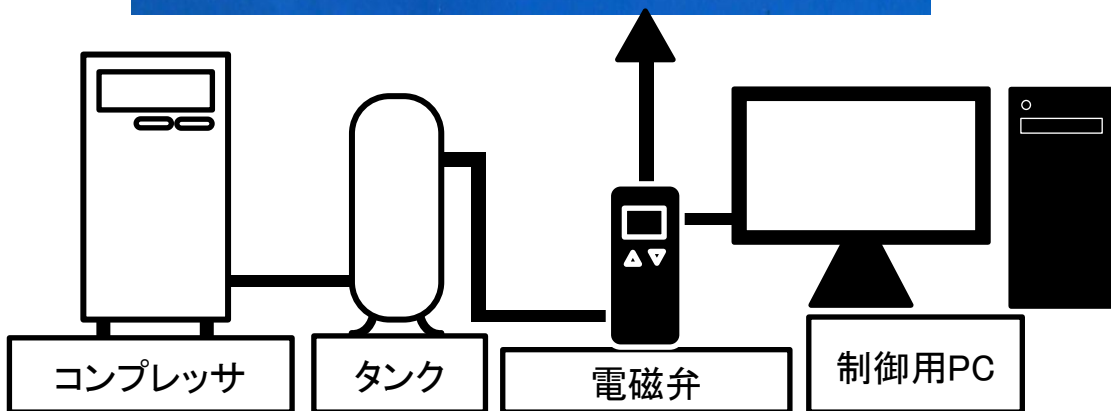
ばねのような環境適応性と
高い人間親和性



動作支援装置への
応用が盛ん

課題

駆動システムが大型，高重量
連続駆動には適していない



- 装置の大型，高重量化
- 使用環境の制限
- 導入コスト増

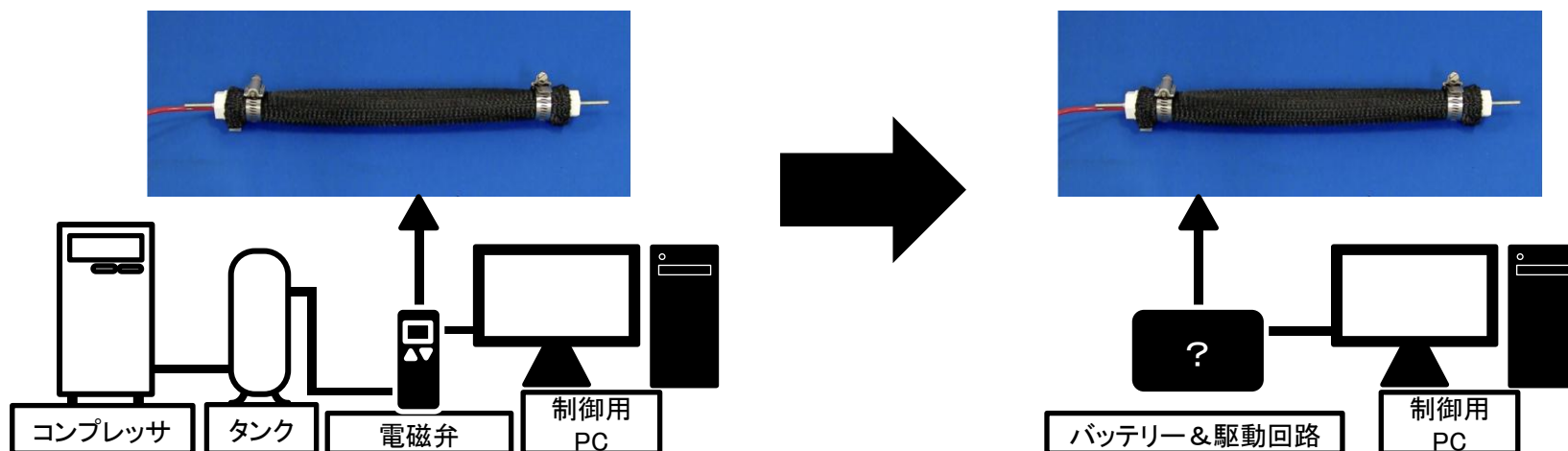
動作支援装置普及への障壁

研究目的

動作支援装置の利用拡大を目指した
小型システムで駆動する人工筋の開発

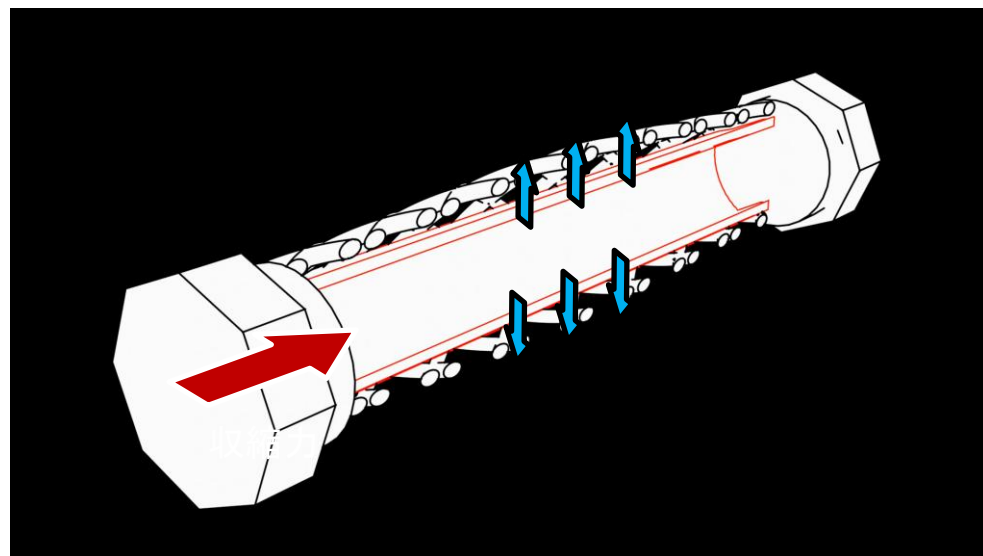
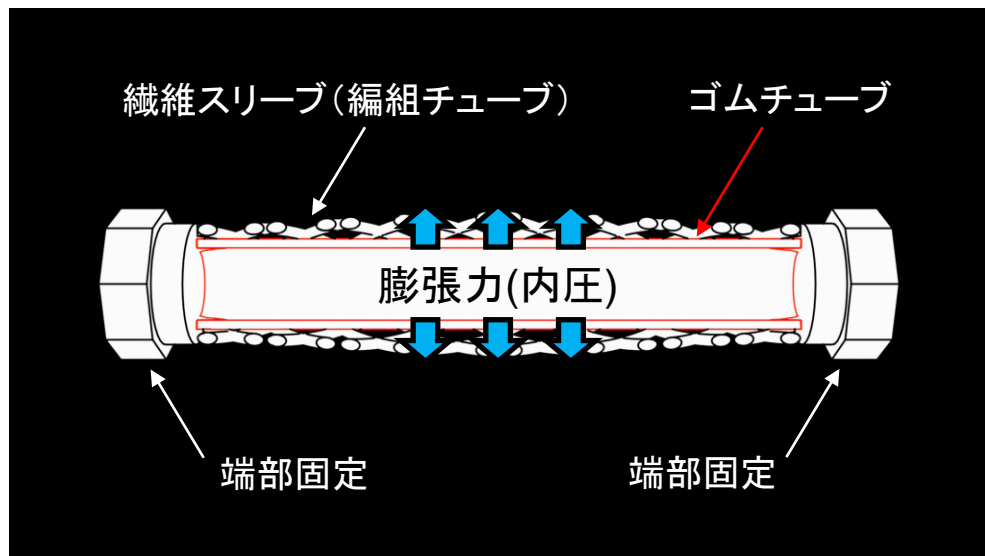
目標

ばね特性を有する電磁駆動型の
人工筋肉アクチュエータの提案

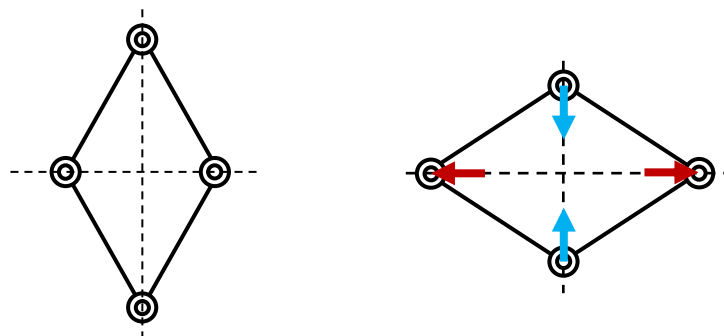


McKibben型空気圧ゴム人工筋

構成部材: ゴムチューブと繊維スリーブ, 端部固定部品



パンタグラフ機構



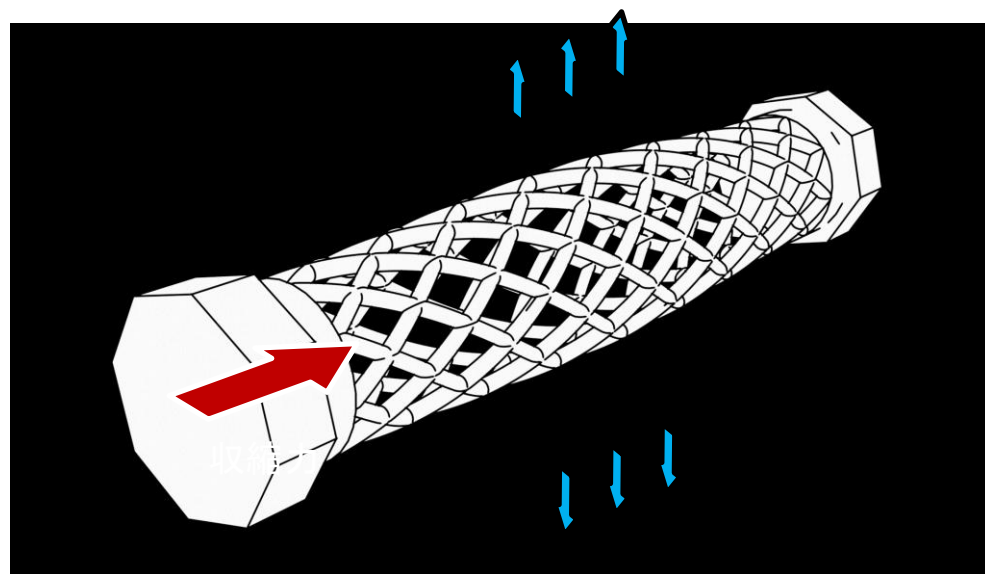
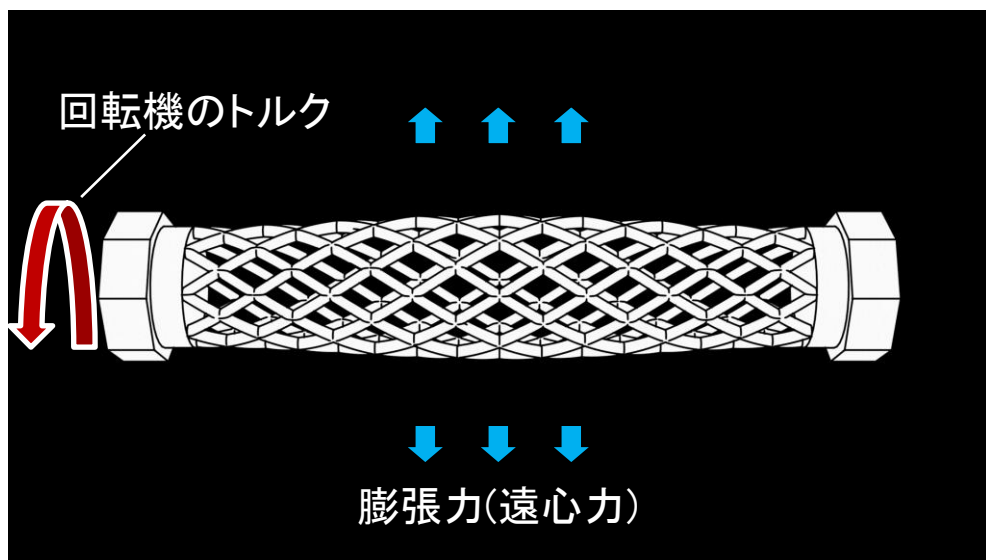
スリーブは柔軟なパンタグラフ機構で倍力機構

スリーブの径方向への一様な膨張力により収縮動作を得る

提案手法

繊維スリーブを高速回転，遠心力によって径方向へ膨張

構成部材：回転機，繊維スリーブ，端部固定部品
└─ 電磁モータ，テスラタービンなど

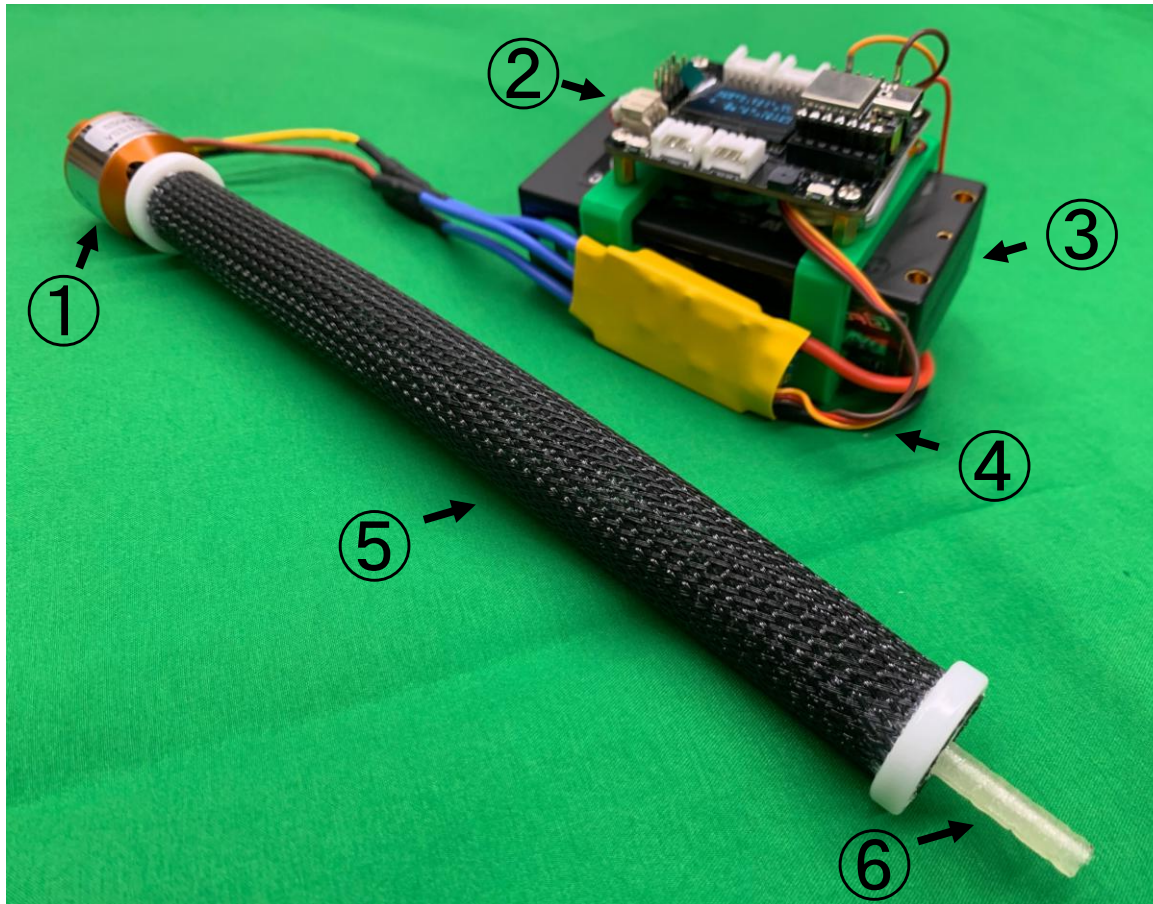


- ・構造がシンプル，軽量
- ・モータのトルクを関節的に伝達
- ・回転数は外力の負荷変動に影響されにくい

提案手法

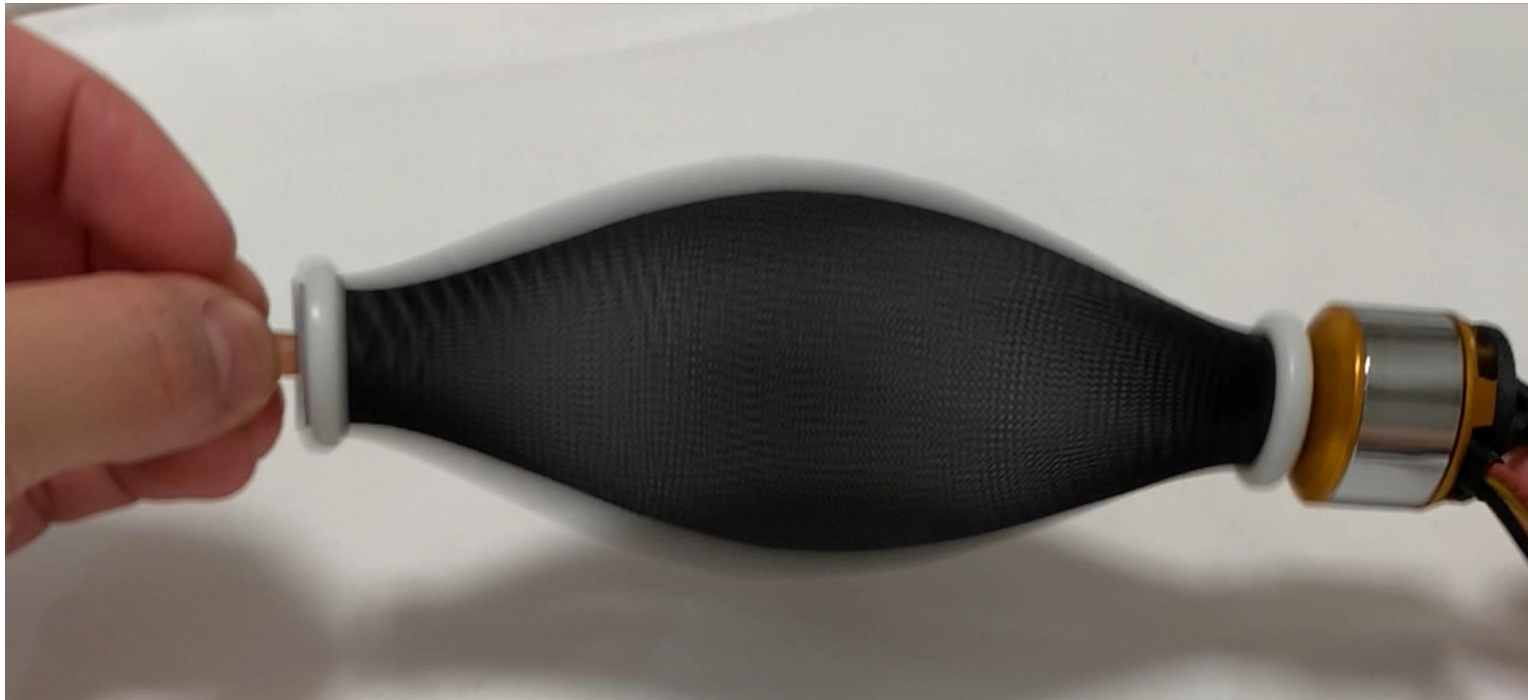
構成要素

- ① BLDCモータ
- ② Seeduino Xiao
- ③ Lipo バッテリー
- ④ モータドライバ
- ⑤ 編組チューブ
- ⑥ シャフト



駆動システムの小型化(手のひらサイズ)を達成

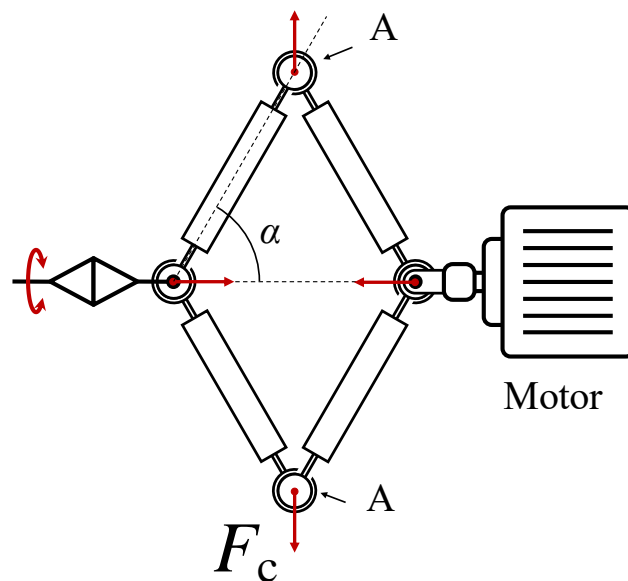
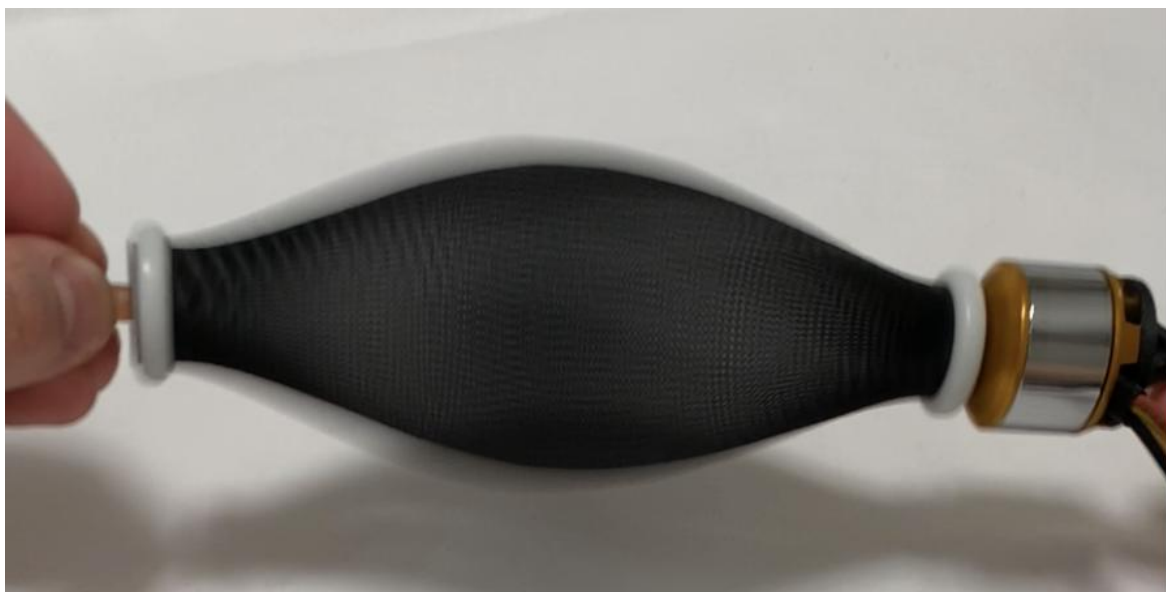
提案手法



- ・回転時にスリーブは収縮
- ・収縮状態から伸長させることが可能(ばね要素)

提案手法

編組チューブをパンタグラフ構造としたモデル化



遠心力 F_c

$$F_c = mr\omega^2$$

※ 繊維の総質量がAの回転関節に集中しているものと仮定

m : 編組チューブの質量[kg] r : 回転半径[m]

ω : パンタグラフ機構の回転速度[rad/s]

設計モデルの検討

収縮力 F_e

$$F_e = \frac{1}{\tan \alpha} F_c$$

α : 繊維交差角度 [rad]

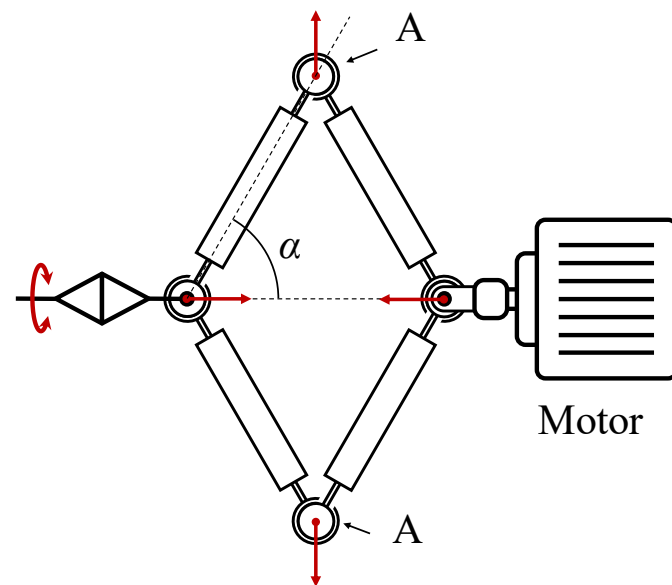
回転半径 r

$$r = \frac{D_{\text{out}}}{2}$$

収縮力モデル

$$F_e = -C_1 dL + C_2 \quad C_1, C_2 \text{は定数}$$

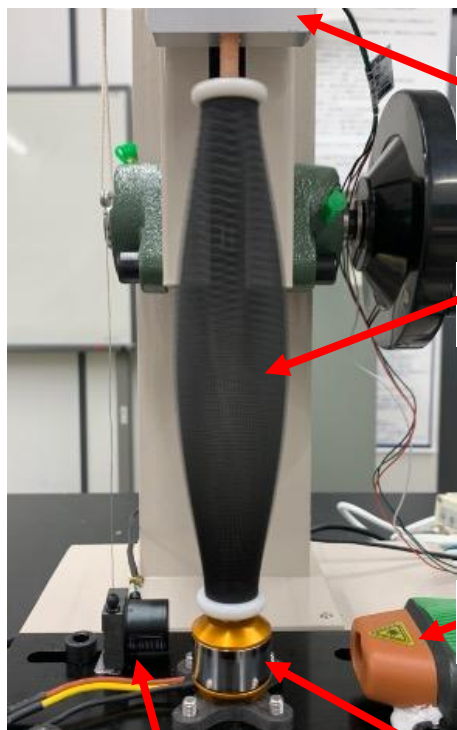
モデルは一次の線形式であり変位と
収縮力は線形関係にある



出力評価

収縮力とモデルの計算値を比較

条件: 質量4.5g, 角速度 ① 1.41×10^3 [rad/s]
② 1.11×10^3 [rad/s]



ロードセル

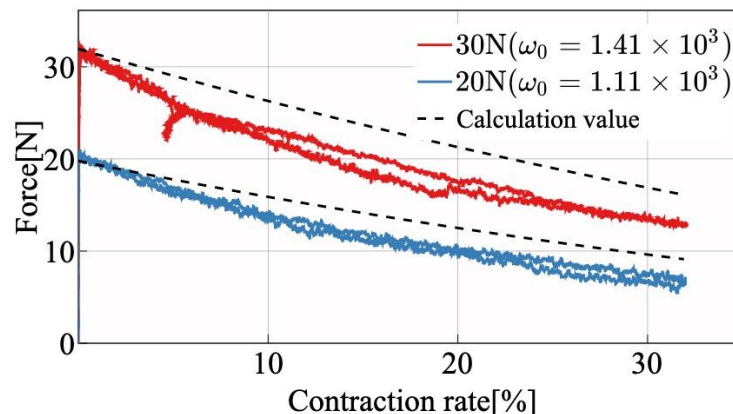
編組チューブ

タコメータ

リニアエンコーダ

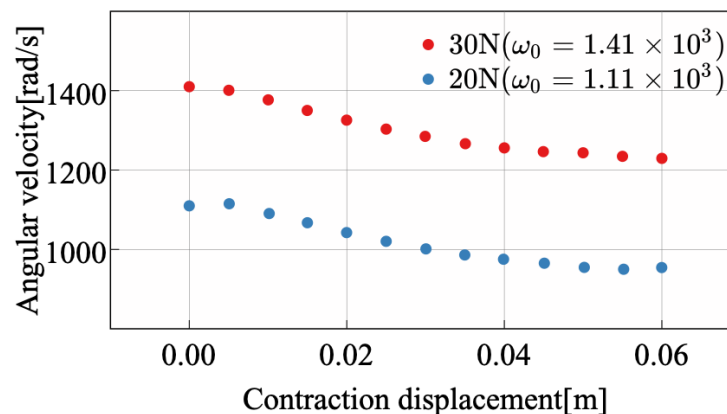
BLDCモータ

・収縮率—収縮率



30Nの収縮力, 48%の収縮率を確認
収縮力は収縮量に対して非線形に減少

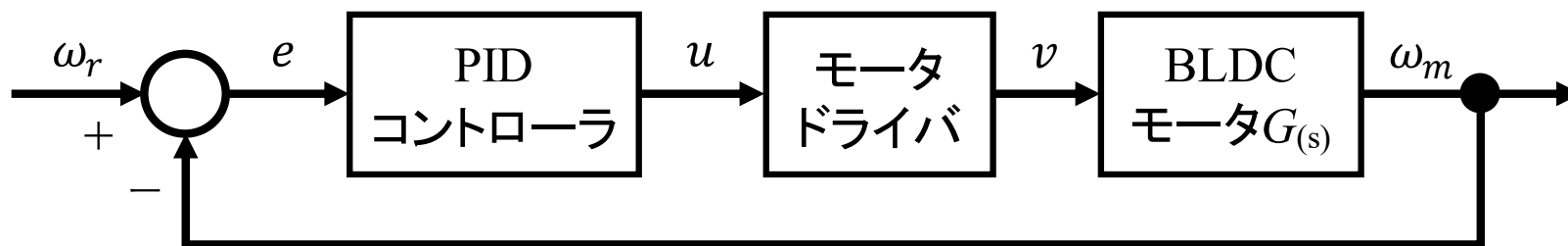
・角速度—収縮量



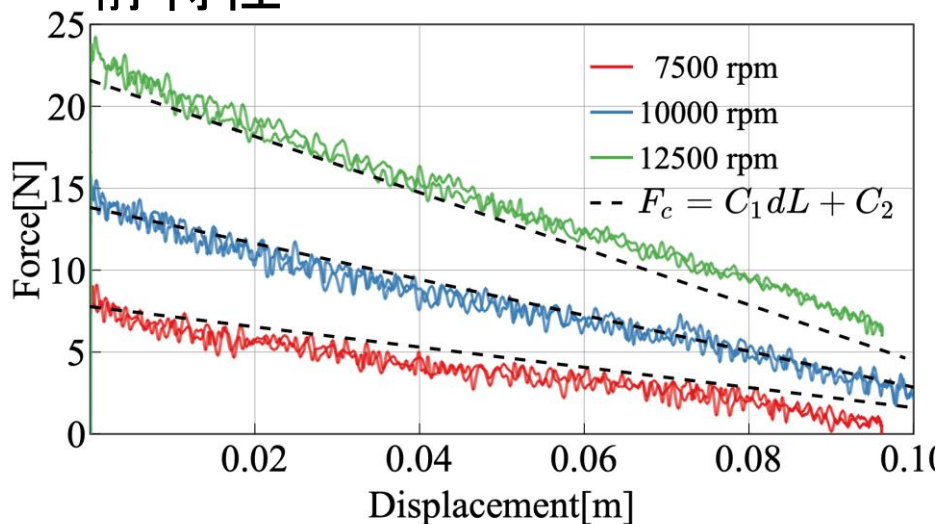
回転半径増加とともに負荷増加→回転数の減少

出力評価

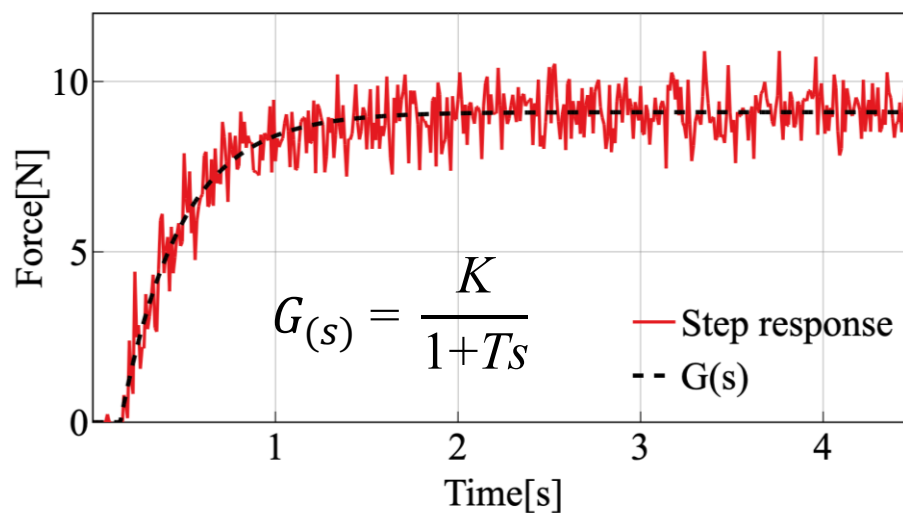
PID制御器を用いて収縮中の回転数を制御



静特性



動特性



変位に対しておよそ線形に収縮力が減少
収縮力の時定数 T は0.33 s程度

新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ 従来の人工筋は内圧で出力調節を行い，新技術ではモータの回転数で出力を調節可能.
- ・ 従来の空気圧人工筋における課題であった大型，高重量な駆動システムを小型化することに成功.
- ・ 従来は据置型用途に限定されていたが，本技術は高い携行性を持つ駆動システムによる自由な環境での動作支援に期待が持てる.

想定される用途

- ・ 本技術の特徴を活かすことで、ウェアラブル型動作支援装置への適用により、携帯性および使用性の向上が期待される。
また、省電力化やシステム簡素化といった付加的効果も見込まれる。
- ・ 小型・軽量化を達成した点では、リハビリ支援機器や作業支援ロボットなどへの展開も可能である。

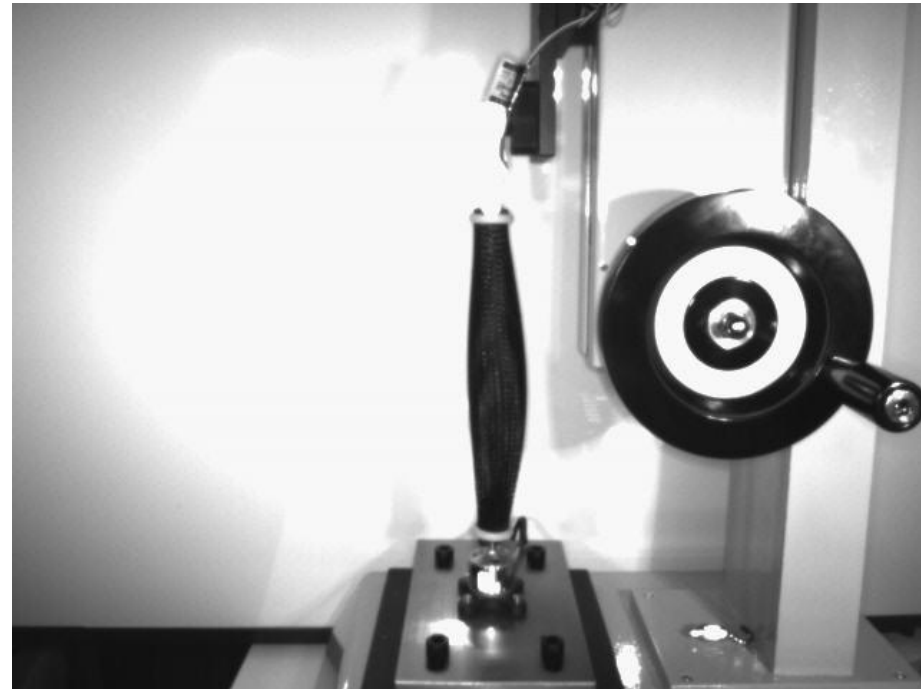
実用化に向けた課題

- ・ 現状の課題は収縮力の低さと振動(後述)。
- ・ 今後、使用する繊維の材質の変更など、収縮力の向上について検討し、装置に適用していく場合の条件設定を行っていく。

課題：ふれまわり振動



回転時の振動



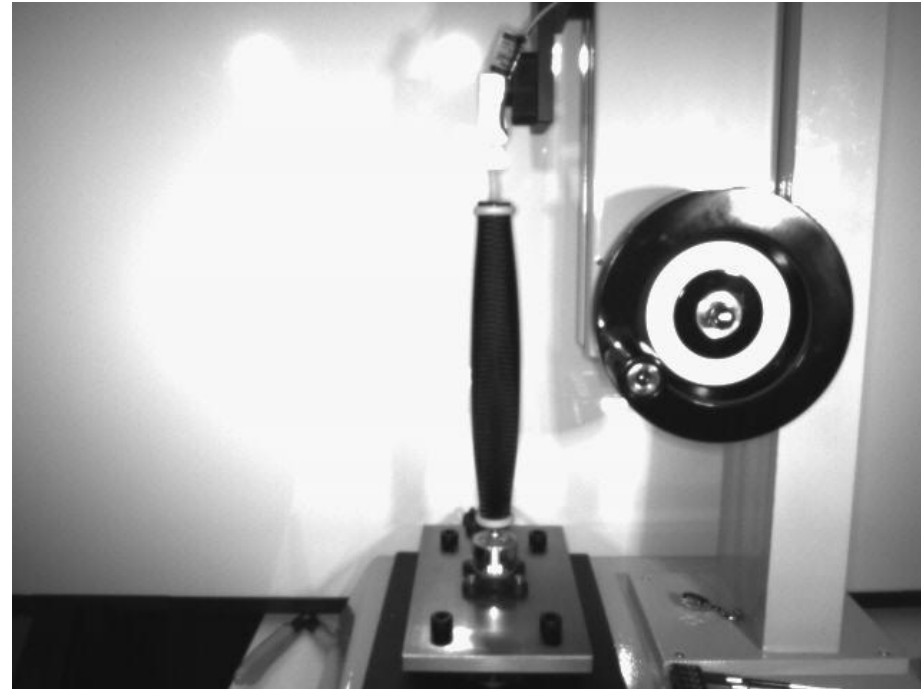
回転時の振動(120fps)

回転シャフトのミスアライメントが原因
端部固定部品の組み付け精度が課題

課題：ふれまわり振動



回転時の振動



回転時の振動(120fps)

機械工学ならではの工夫で

振動を大幅に軽減 → **最適な設計を模索中**

実用化に向けた課題

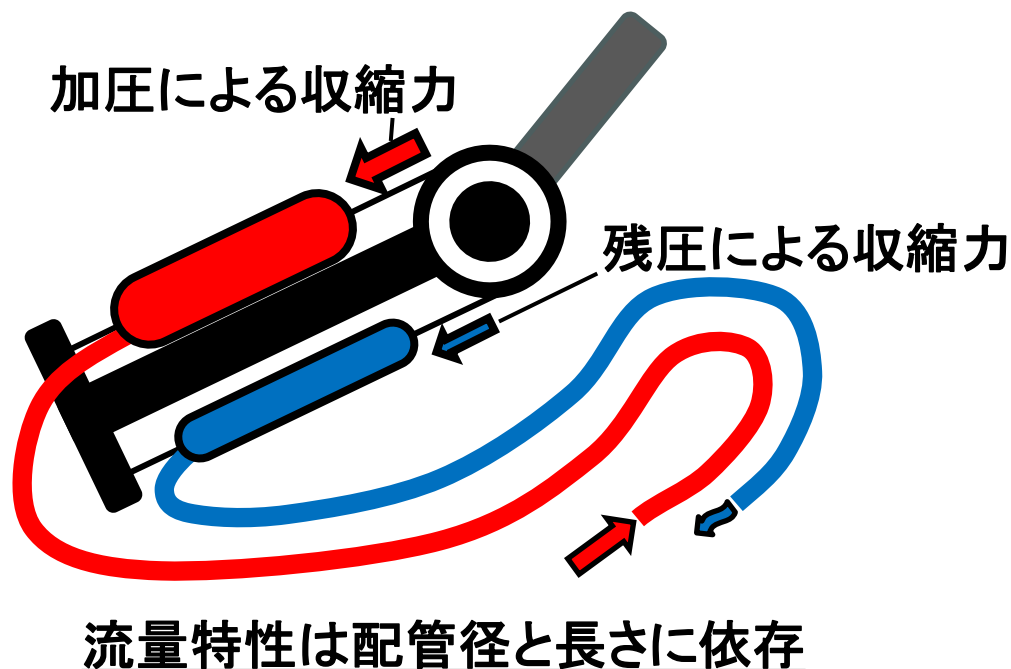
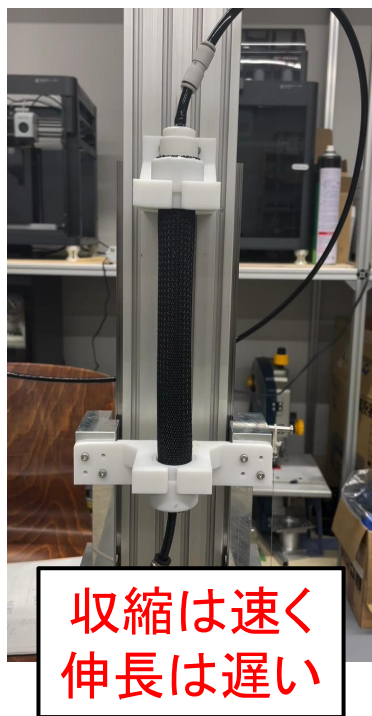
- ・ 実用化に向けて、人工筋の部品の組み付け精度を向上できるように技術を確立する必要あり。
- ・ 量産できる生産設備の検討も必要。

企業への期待

- ・ 振動については、シャフトの剛性、減衰特性の調節により克服できる。
- ・ 柔軟な空気圧 & 電磁アクチュエータによる動作支援装置の応用展開を考えている企業との共同研究を希望。
- ・ また、ヒューマノイドロボットを開発中の企業、ロボットのアクチュエータ分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

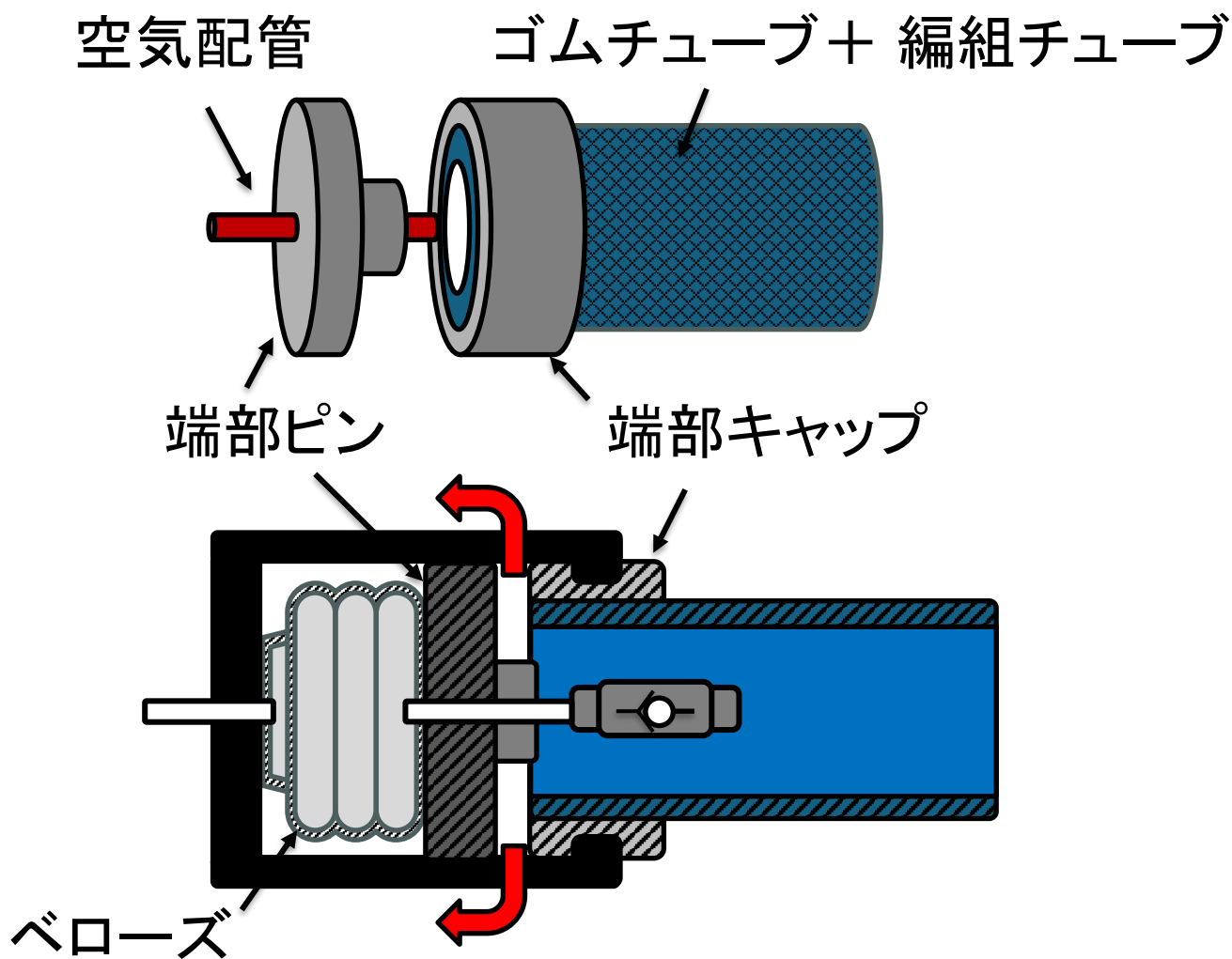
空気圧人工筋の 駆動速度改善

マッキベン人工筋は伸長力を発生させることはできない
→人工筋2本を拮抗配置して使用することが多い

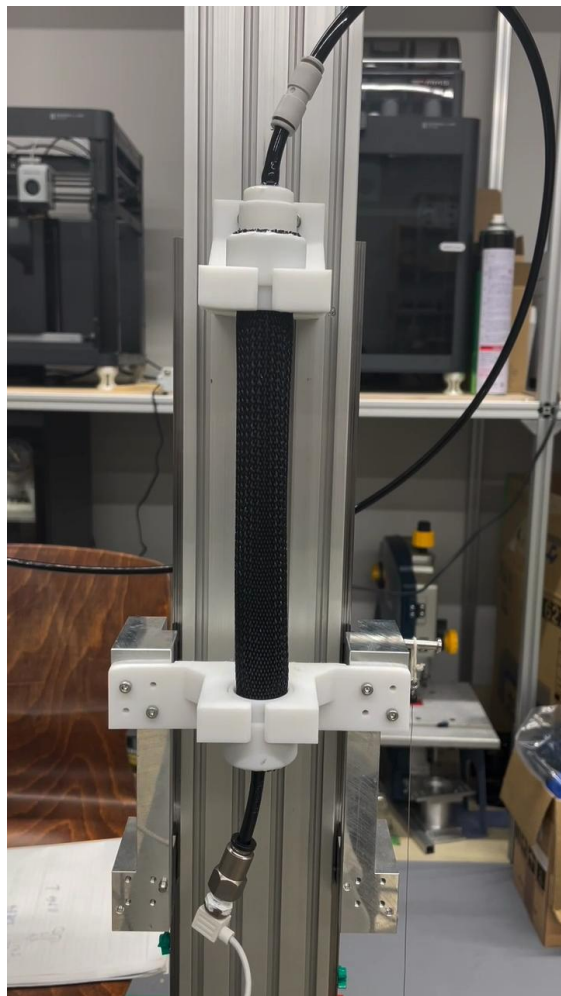


マッキベン人工筋への圧縮空気の充填, 放出速度は 充填 > 放出 の関係
放出時間が長い ⇨ 拮抗駆動では, 次の動作の妨げとなる

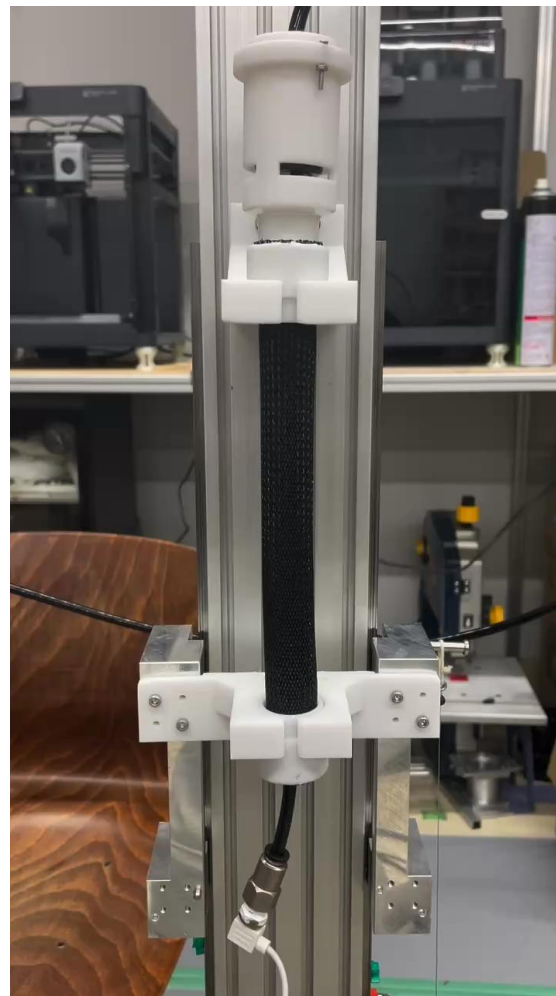
空気圧人工筋の 駆動速度改善



空気圧人工筋の 駆動速度改善



改善前



改善後

企業への貢献、PRポイント

- ・ 以上の技術は低コストで導入が可能。
- ・ アクチュエータサンプル品の提供など。
- ・ 本格導入にあたっての技術指導等。
空気圧ソフトアクチュエータなどを含む。

本技術に関する知的財産権

遠心式人工筋に関する特許

- 発明の名称 : 人工筋肉
- 出願番号 : 特願2023-207641
- 出願人 : 学校法人近畿大学
- 発明者 : 八瀬 快人

急速排気機構搭載型空気圧人工筋に関する特許

- 発明の名称 : 空気アクチュエータ
- 出願番号 : 特願2024-218846
- 出願人 : 学校法人近畿大学
- 発明者 : 池田 篤俊、八瀬 快人

お問い合わせ先

近畿大学

リエゾンセンター

TEL 06 — 4307 — 3099

e-mail klc@kindai.ac.jp