

# 瞬発的な動作を実現する 燃焼駆動型人工筋肉アクチュエータ

2024年12月6日 新技術説明会



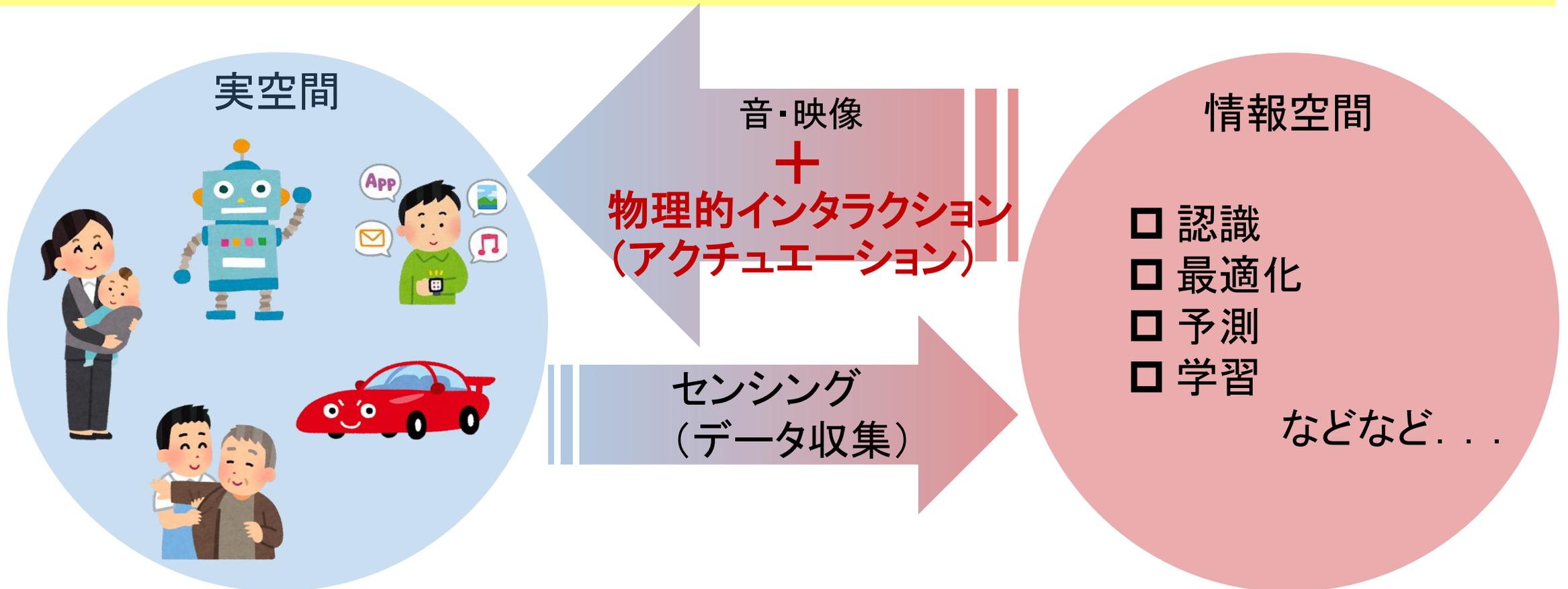
Actuation Design Lab

中央大学工学部精密機械工学科  
駆動デザイン研究室

准教授 奥井 学

# 研究背景

情報空間と実空間をつなぐインターフェースは音と映像がほとんど、物理インタラクションは少ない。  
ヒトとの物理的インタラクションを伴うシステムの社会実装には**アクチュエーション技術の進歩が不可欠**。



# 従来のアクチュエーション技術の課題

ソフトロボット技術が注目されているが、ヒトと同程度のスケールの発生力(>数十N)、変位(>20%)、応答(>>数十Hz)を満たすソフトアクチュエータは実現していない。



ソフトロボットとヒトの協働イメージ  
(画像はChat GPTにより生成)

表：代表的なソフトアクチュエータの分類

分類(駆動原理)	力	変位	応答
形状記憶合金(熱)	△ (~数 N)	△ (~10 %)	× (~数 Hz)
誘電エラストマ(電気)	× (~1N)	△ (~10 %)	◎ (~1 kHz)
高分子ゲル(光, 熱)	△ (~数 N)	× (~数 %)	× (~数 Hz)
空気圧人工筋肉	◎ (~500 N)	◎ (~30 %)	△ (~10 Hz)
インタラクションに適した性能(ヒトと同程度スケール)	>数十 N	>20 %	>数十 Hz

## これまでの取り組み①

力と変位に優れる空気圧人工筋肉に着目

- センサを用いない**フィードフォワード制御**で制御性を改善
- 「筋骨格」+「位置制御を利用しない**強化学習**」で**動的な動作生成**

➔ **駆動原理に由来する応答の限界があり、より挑戦的な方法に取り組む必要がある**



人工筋肉と磁気粘性流体を用いたアシスト装置



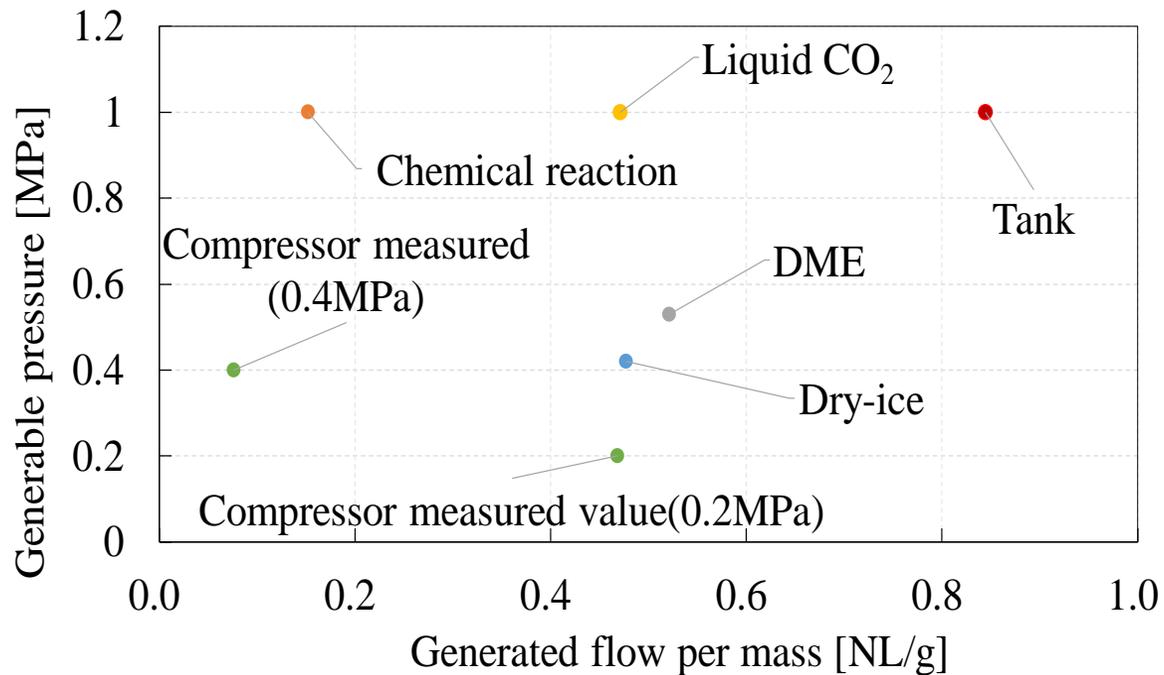
強化学習による筋骨格打楽器演奏ロボットの動作

## これまでの取り組み②

力と変位に優れる空気圧人工筋肉に着目

- 空気圧駆動の欠点である**モバイル性の定量的評価**
- 新しい**圧縮気体生成手法の提案**

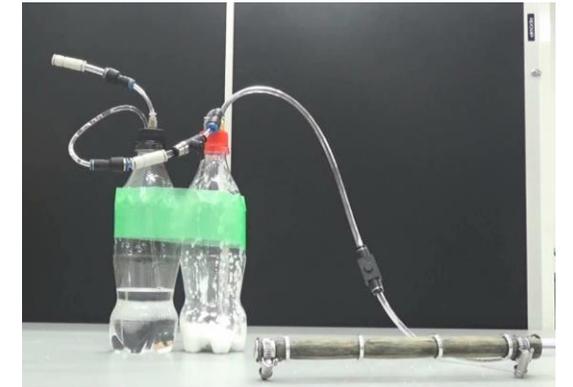
➔大流量と高圧の両立が難しく、既存手法にとらわれない新しい方法が望まれる



圧縮気体生成手法の携帯性の定量比較



物質の相変化

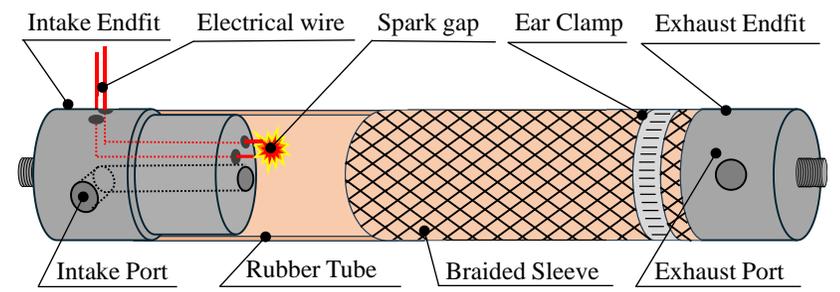


新たな圧縮気体生成方法の開発

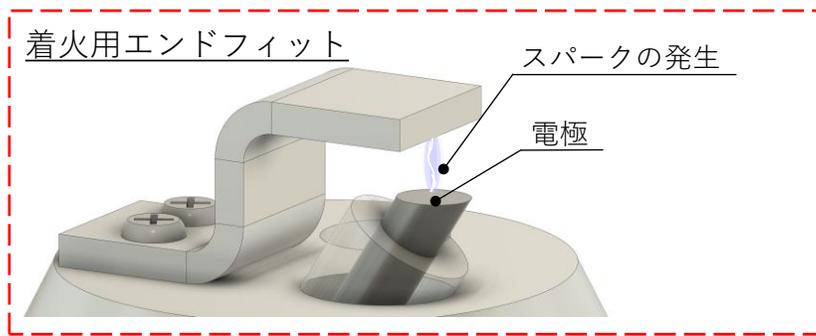
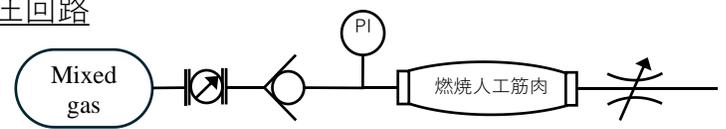
# 今回の提案：DME燃焼駆動人工筋肉

- ジメチルエーテルをスパークで着火，燃焼による圧力上昇で人工筋肉駆動！
- ジメチルエーテルは燃焼しても水と二酸化炭素しか発生しないクリーン燃料。

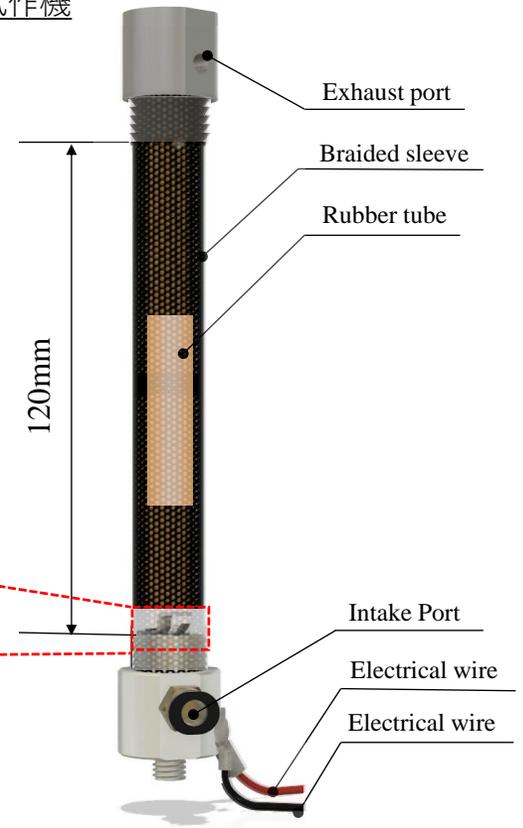
基本構造



空気圧回路



試作機

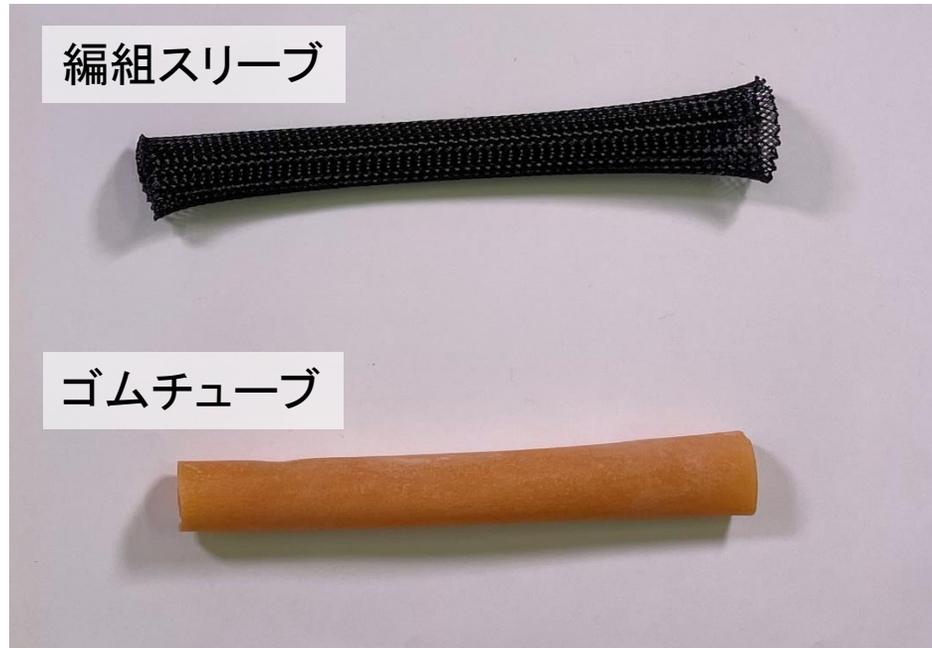


燃焼駆動人工筋肉の構造と動作原理

動作のようす

## 補足：マッキベン型人工筋肉(Mchibben type artificial muscle)

- ゴムチューブの外側を編組スリーブで覆った構造をもち、流体圧を加えると収縮する。
- 空気圧ゴム人工筋肉とも呼ばれ1960年ごろの発明から現在に至るまで関連研究が多く実施されている。
- 安価，軽量，やわらかい動作が可能といった特徴がある。



スリーブとゴムチューブ

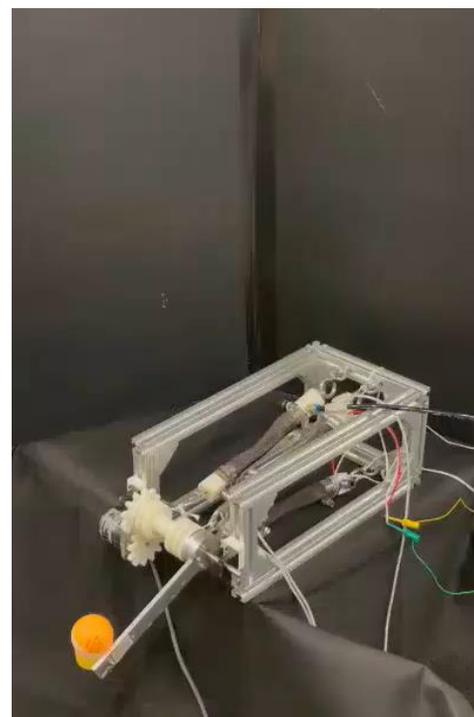


代表的な市販品であるFesto社のラバーマッスルの動作

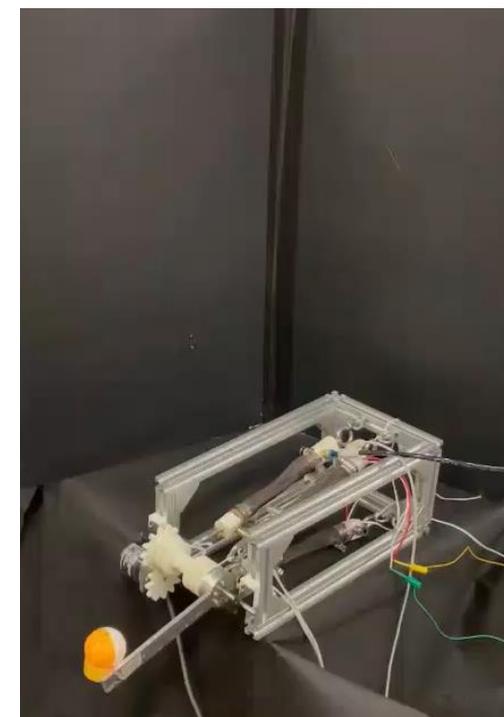
# 新技術の特徴・従来技術との比較

一言でいうと「柔らかくて強くて軽くて速い」これまでにない特性のアクチュエータ

- **早い応答**: 従来の10倍以上の応答速度
- **高出力**: 素早い動作が可能のため重量 [g] に対する出力 [W] では他アクチュエータを圧倒.
- **携帯性**: 一回の駆動におよそ5 mgのDME消費. 軽量容器内で液体で安定保存でき, 1缶(一般的なエアダスターの容器, 233g)で約45,000回駆動できる.
- **汎用性**: 通常のマッキベン型人工筋肉としても利用可能.



圧縮空気印加駆動

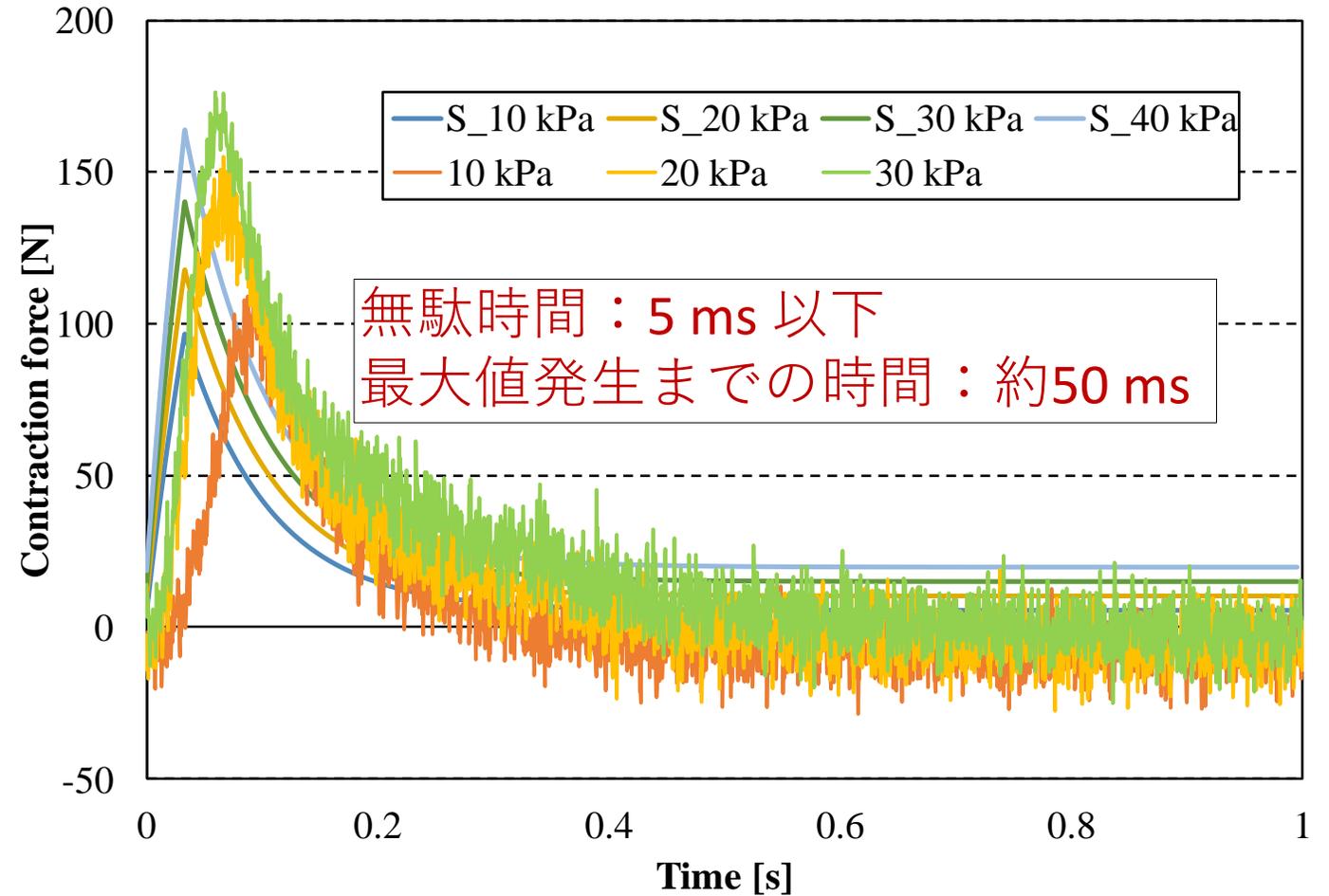


DME燃焼駆動(提案)

# 応答特性～等尺性収縮力～



燃焼の様子

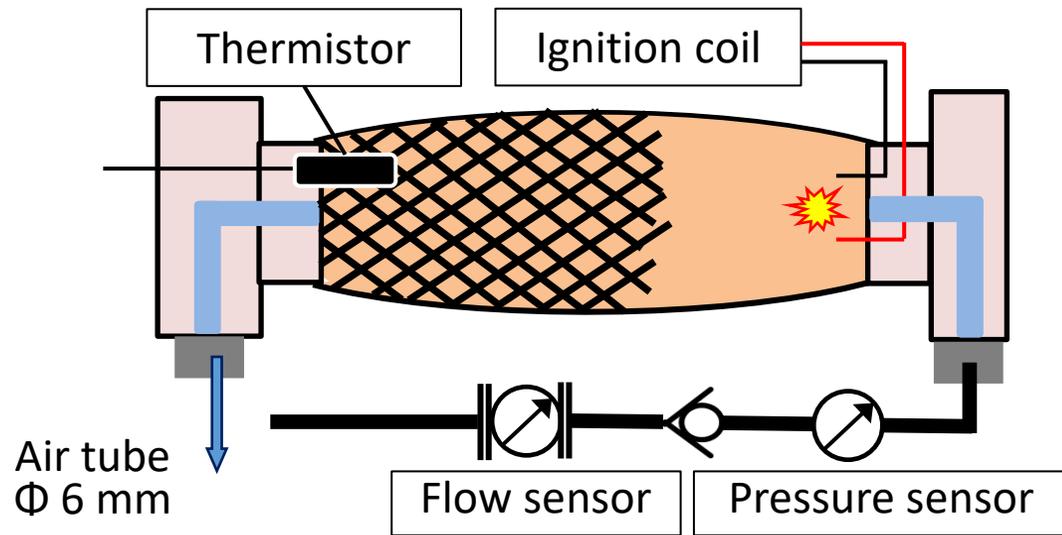


力応答実験の理論値と測定値

# 燃焼駆動人工筋肉の繰り返し駆動手法

空圧回路の工夫で、排気バルブ無しで繰り返し駆動が可能

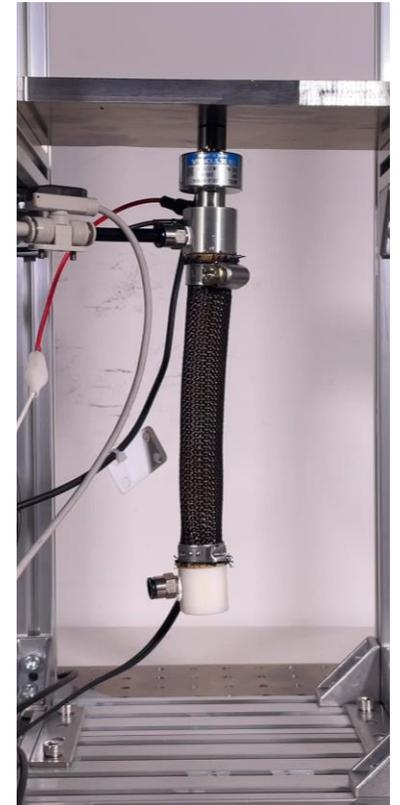
- ① DMEと空気の混合気体を準備
- ② 排気口を塞がずに混合気体を流し続ける
- ③ 周波数を変えて火花を発生(1, 5, 10 Hz)



繰り返し駆動のための空圧回路

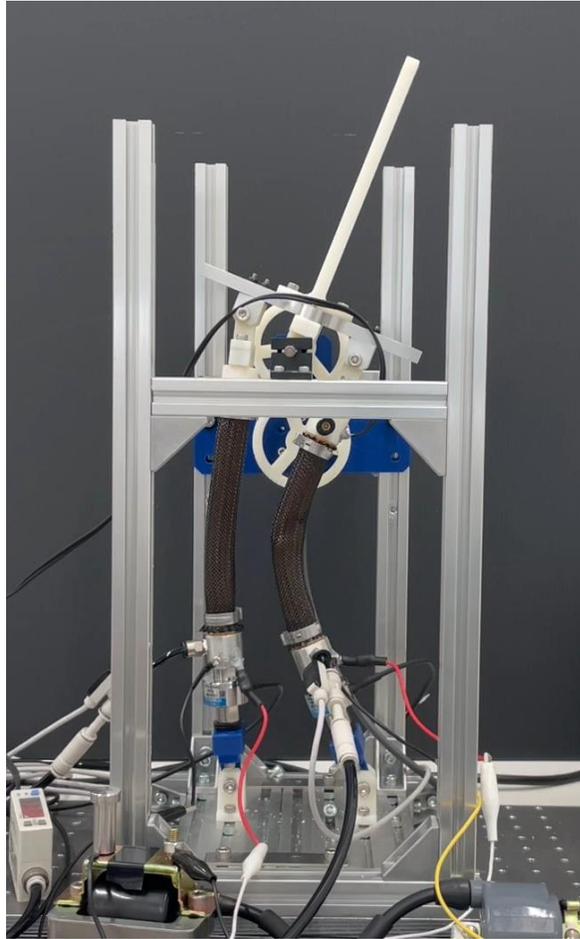


繰り返し駆動の様子(1Hz)

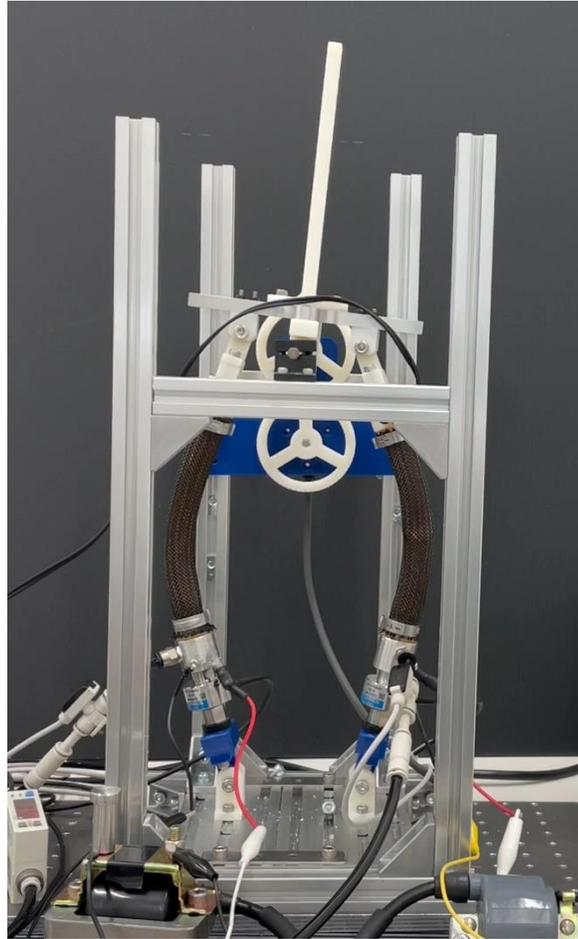


繰り返し駆動の様子(10Hz)

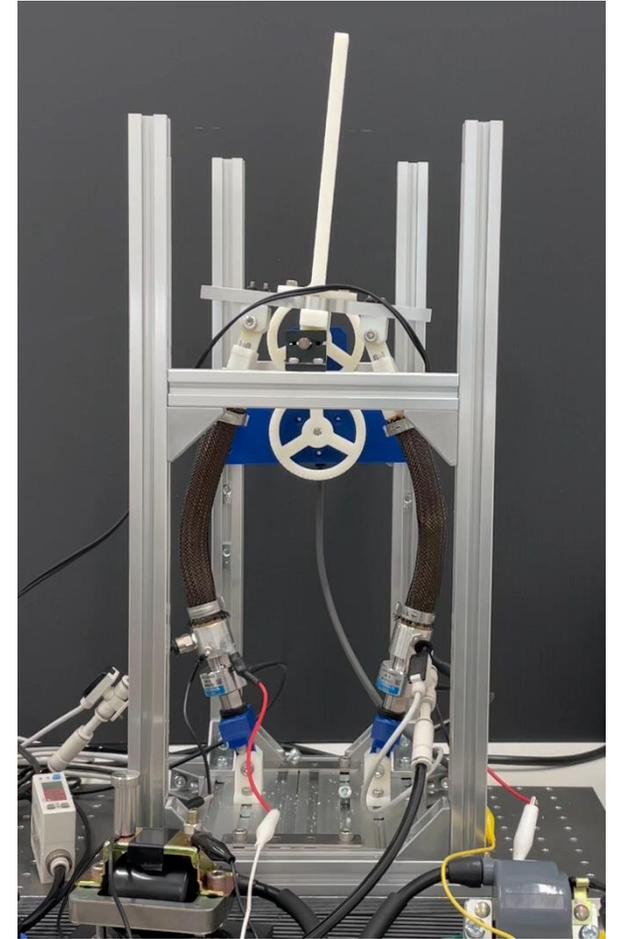
# ロボットアームの繰り返し駆動実験



(a) 1 Hz



(b) 5 Hz

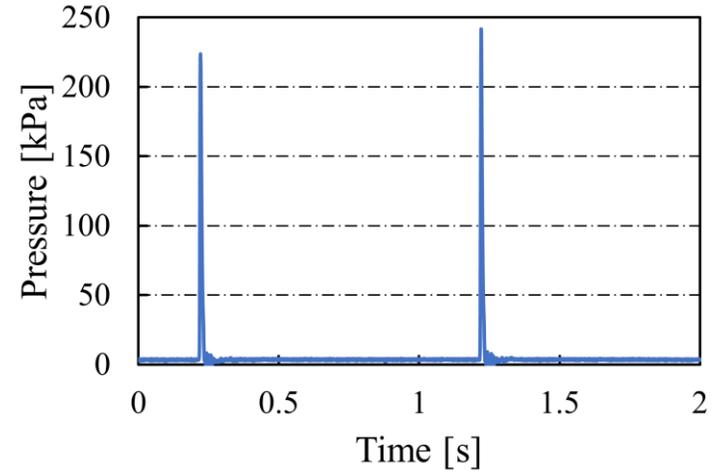


(c) 10 Hz

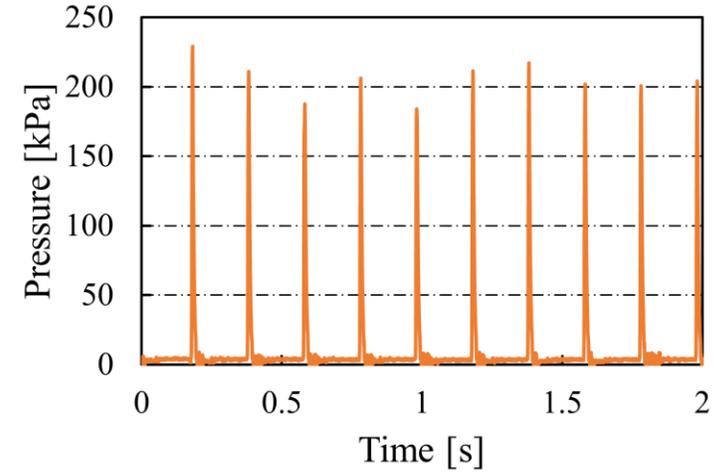
筋骨格アームの繰り返し駆動

# 繰り返し駆動での内圧

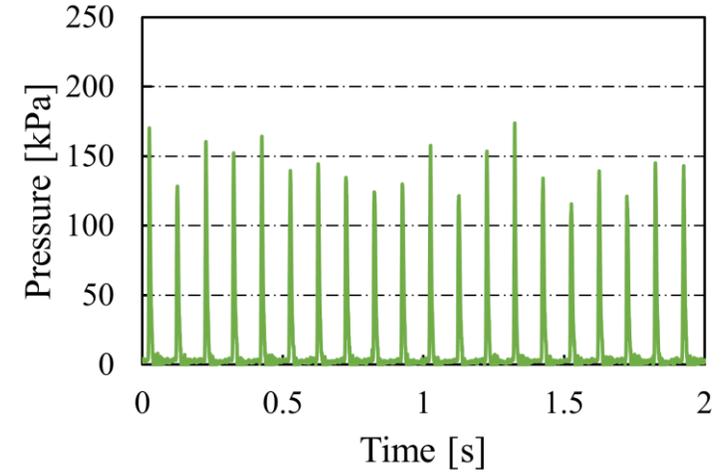
繰り返し駆動においても十分な圧力上昇を確認できる



(a) 1Hz



(b) 5Hz

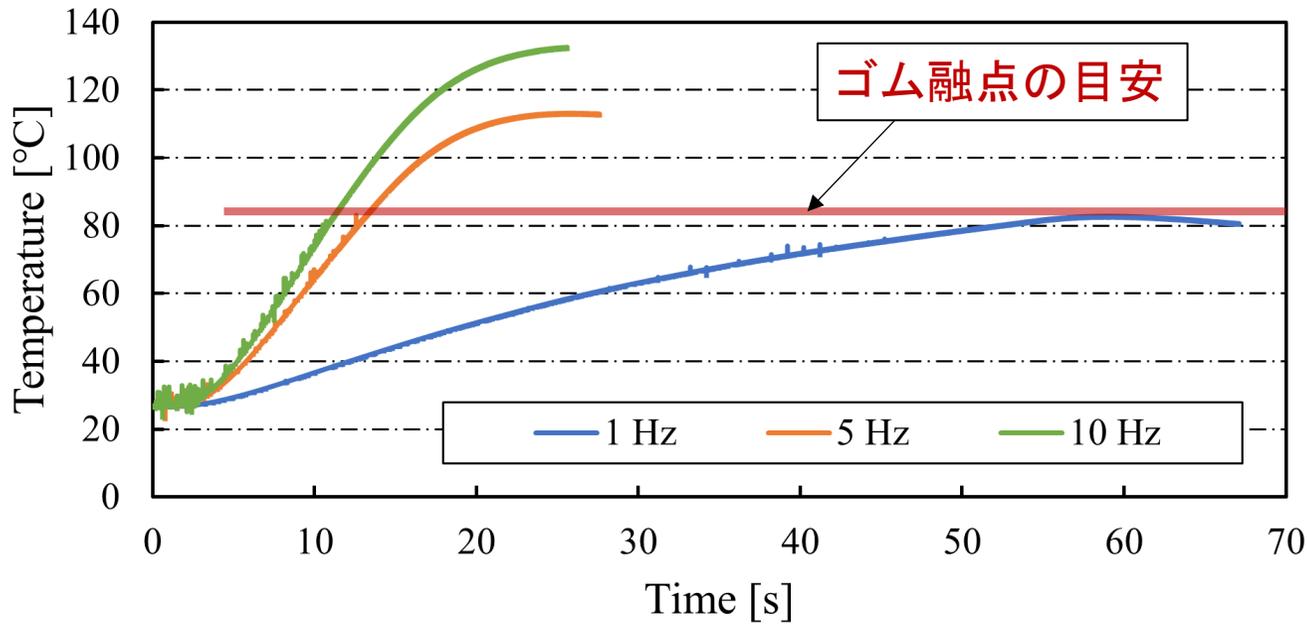


(c) 10 Hz

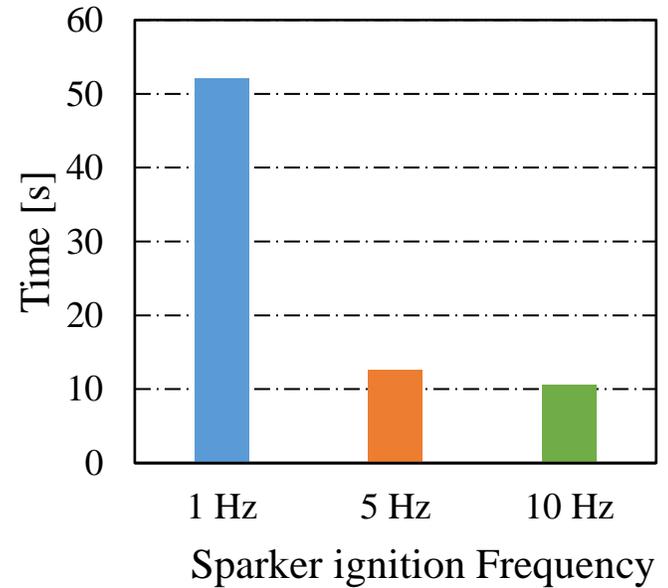
各駆動周波数における内圧応答

# 繰り返し駆動中の温度

- 1 Hz程度ではゴムの融点以下での安定した繰り返し駆動が可能。
- 5, 10 Hzでは急激な温度上昇があり, 断続的な駆動は難しいが短時間の駆動は可能。  
➡現在は天然ゴムを使用. シリコンゴムの適用で本問題は解決できると想定。



繰り返し駆動中の人工筋肉温度の時間変化

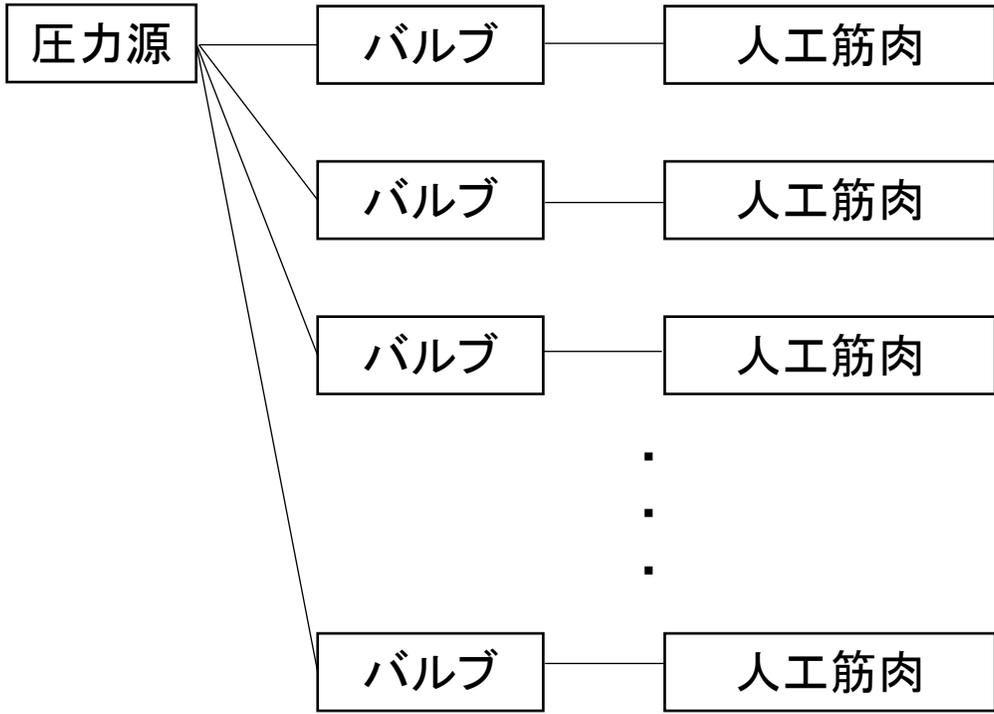


ゴムの融点である80°Cに到達する時間

# 繰り返し駆動回路によるバルブ削減

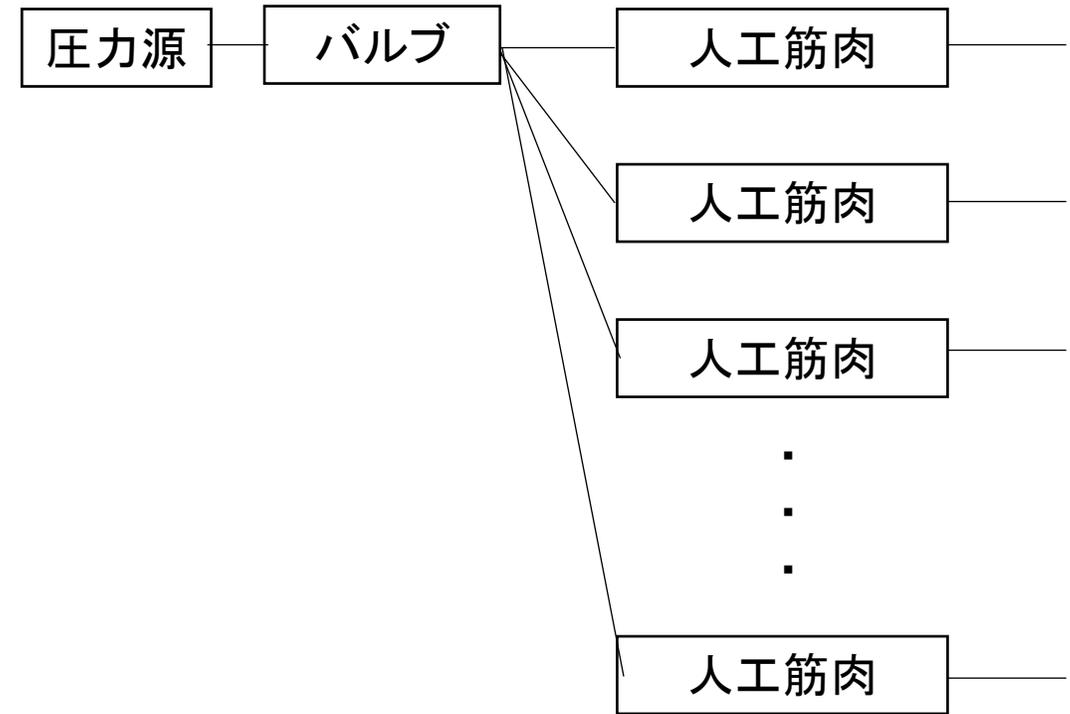
流体駆動アクチュエータを集積化する際の「バルブ問題」を解決できる可能性

従来手法(主に三方弁や電空比例弁のバルブを想定)



人工筋肉の数だけバルブ(電磁弁)が必要

提案手法(スパークで駆動を制御)



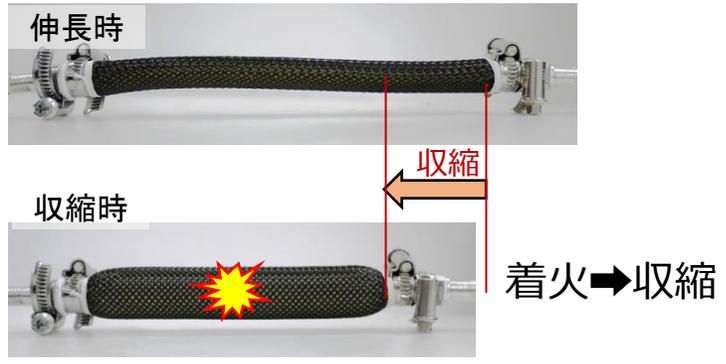
1つのバルブで多数の人工筋肉を駆動

# まとめ

- ジメチルエーテル (DME) の燃焼を利用した人工筋肉を提案 [特許第7560876号, 奥井学, 圓城竜斗, 中村太郎, “人工筋アクチュエータ及びその作動方法”]  
→ 空気圧人工筋肉の欠点である **応答性と携帯性を改善, 速さと発揮力の両立!**
- 「**燃焼人工筋肉の繰り返し駆動方法を確立**」 [特願2024-8101, 奥井学, 澤橋龍之介, 中村太郎, “人工筋アクチュエータ装置”]

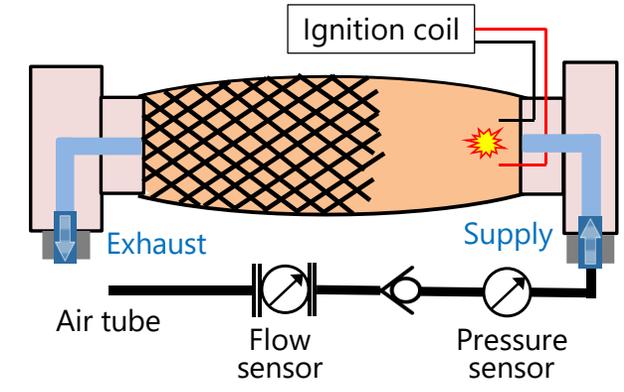
## 燃焼人工筋肉の駆動原理

空気圧人工筋肉にDMEと酸素を充填

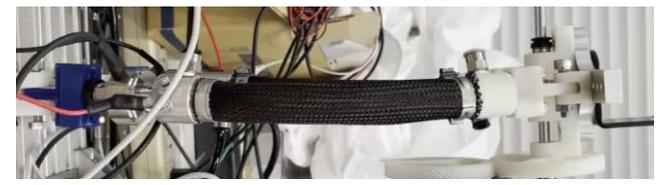
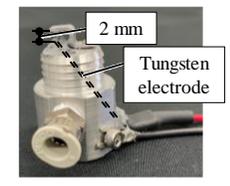


## 人工筋肉の繰り返し駆動

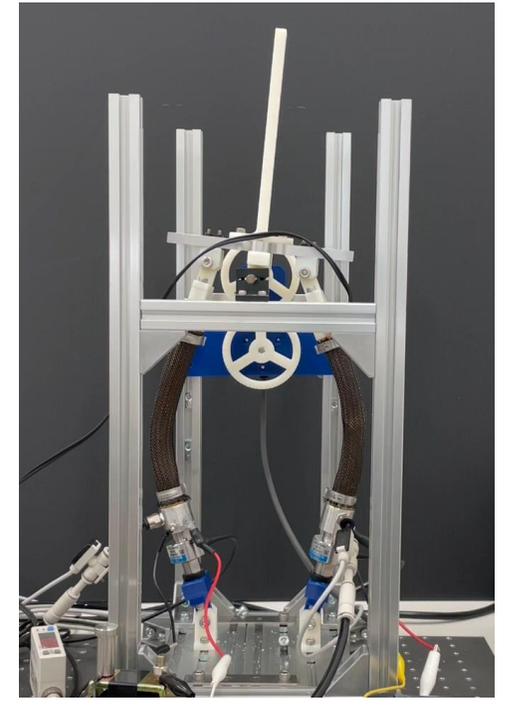
パッシブ要素のみで回路を構成.  
バルブ数の大幅削減が可能に (特許出願済)



## 試作機



人工筋肉の繰り返し駆動



10 Hzでのアームの駆動

# 今後の展開

---

## 想定される用途

- 瞬発力が必要な駆動システム全般. 超人スポーツにおける身体機能強化, 医療介護用ロボット, 協働ロボット, 社会インフラの劣化診断(打診), トレーニング装置, 力覚提示装置など.  
    ➡特に低慣性な動作特性による「安全に大きな力を利用できる」メリットが大きい.
- 上記以外に, 既存の流体駆動システムの携帯化の効果も期待.

## 実用化に向けた課題

- 混合気体の生成法検討.
- 人工筋肉材料の開発.

# 企業のみなさまへ

## □企業との共同研究における期待

### ■応用に関する共同研究

アシストやリハビリなどのウェアラブルシステム全般

提案手法の利点(高出力と安全性の両方が可能)を活用できる応用研究

### ■ゴム材料に関する研究

人工筋肉に適した材料の開発

### ■燃焼に関する研究

気体の混合, DMEに代わる気体の評価

## □お問い合わせ先

中央大学 研究支援室

e-mail [ksanren-grp@g.chuo-u.ac.jp](mailto:ksanren-grp@g.chuo-u.ac.jp)

## 本技術に関する知的財産

---

- 発明の名称 : 人工筋アクチュエータ及びその作動方法
- 特許番号 : 特許第7560876号
- 出願人 : 中央大学
- 発明者 : 奥井 学 , 圓城 竜斗 , 中村 太郎

- 
- 発明の名称 : 人工筋アクチュエータ装置
  - 出願番号 : 特願2024-008101
  - 出願人 : 中央大学
  - 発明者 : 奥井 学 , 澤橋龍之介 , 中村 太郎 ,

# 駆動デザイン研究室

駆動デザイン研究室はサイバー・フィジカルインタラクションの高度化を目指し、  
機械の駆動(Actuation)方法をデザイン(Design)する研究室です。

□2024年4月にスタートした新しい研究室

□メンバー: 学部生7名(6名進学予定)

□研究分野

- ウェアラブルシステム
- ソフトロボティクス
- 医療・福祉ロボット
- 新規アクチュエータ開発

研究室ホームページ



QRコードを読み込み, または  
「中央大学 奥井研究室」で検索

**Thank you for your attention**