

任意の形状に変形し保持可能な ロボットの可変剛性リンク

九州工業大学 大学院生命体工学研究科
生体機能応用工学専攻
准教授 高嶋 一登



2023年12月5日

研究背景

近年、ロボット技術が工場だけでなく、
介護・福祉などさまざまな分野に適用

人と接触する
ので柔軟性が
必要

正確性向上,
大出力

変形するので,
正確な作業が
難しい

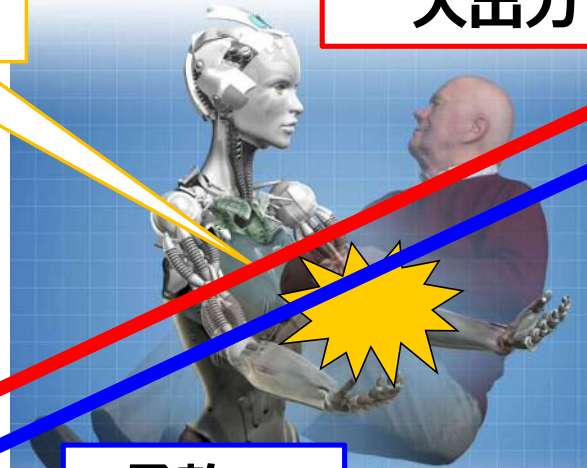
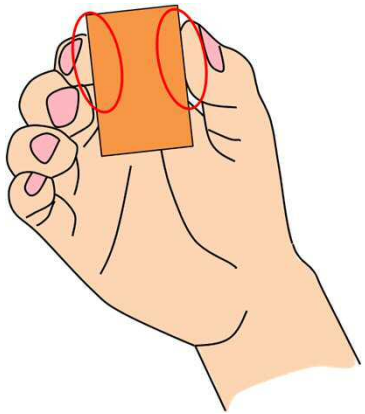
従来の金属製の
産業用ロボット

リンク部に着目

柔軟,
自由度増

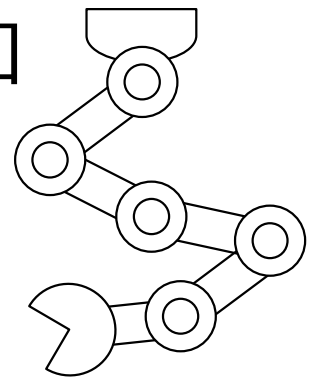
用途に応じて、形状・剛性など
の異なるロボット開発が必要

ソフトロボット



従来技術とその問題点

- 従来は様々な状況で使用するためには、使用状況に応じたリンクの交換が必要で、手間や複数種のリンクを準備するための費用の問題
- 従来技術だと、複雑な形状に変形させるためには、関節やアクチュエータの追加が必要で、構成が複雑になる問題

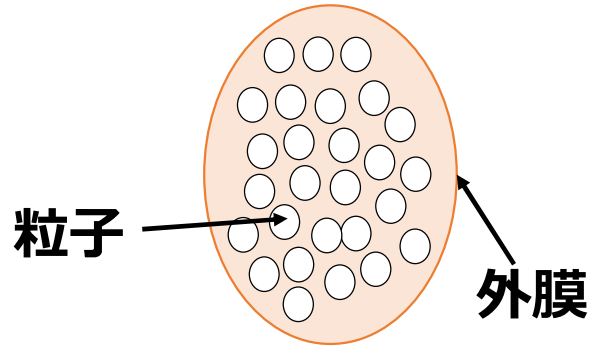


新技術の概要

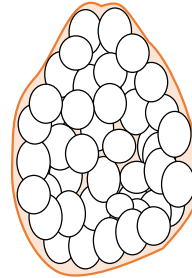
- 温度によって材料の柔軟性が変化し、形状記憶特性を有する**形状記憶材料**と**ジャミング転移現象**を組み合わせ、**温度、圧力変化により剛性、形状を変更可能なリンク**を開発
- **リンクとしてだけでなく、対象物を引っ掛けたり、表面に固定するなどしての搬送も可能**

ジャミング転移現象

流体的状態



固体的状態



負圧

正圧

剛性を大きく変更できる機構

従来

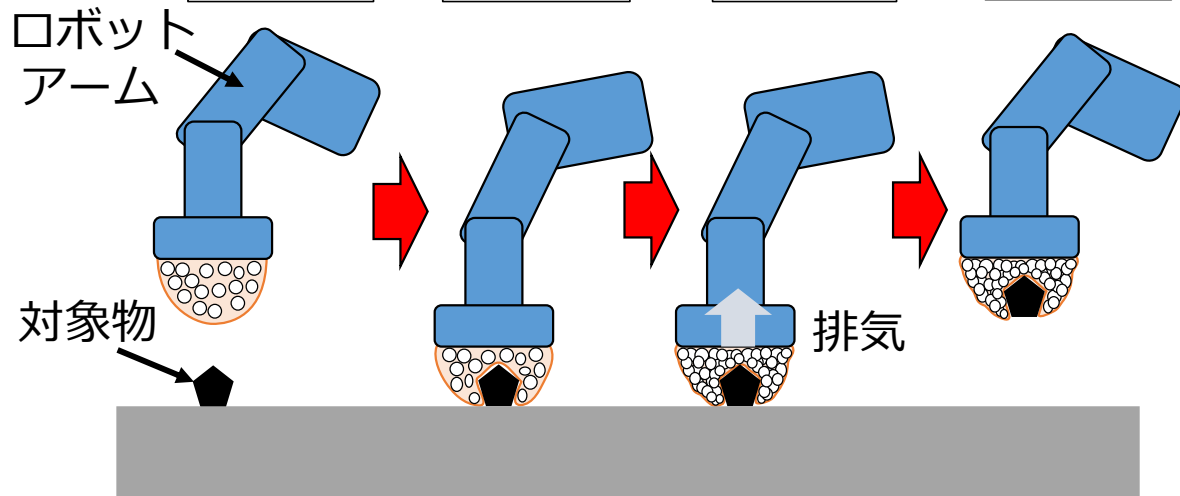
- グリッパとしての応用は多いが、リンクへは応用されていない
- 形状回復できない

流体的

流体的

固体的

固体的



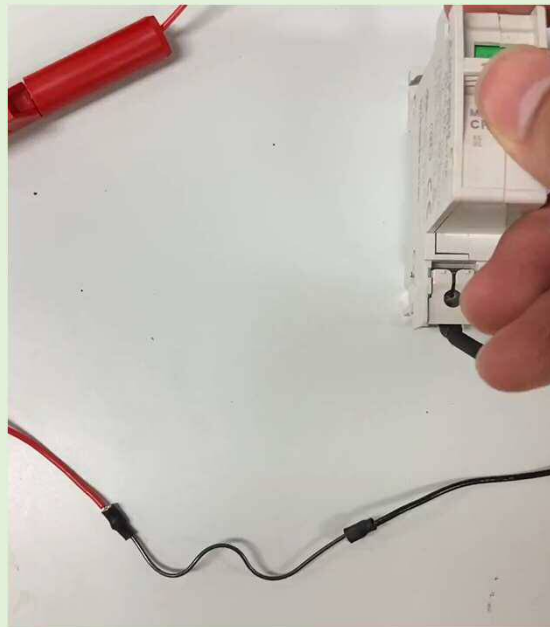
- ジャミング転移現象 + 形状記憶材料
- リンクへ応用

- 形状記憶合金 (SMA)
- 形状記憶ポリマー (SMP)

形状記憶合金 (SMA)

SMAの利点

1. 形状回復力が高い (SMPの100倍程度)
2. 熱伝導率が高い (SMPの80倍程度)
3. 直接通電加熱が可能



低温側の
マルテンサイト相

弾性率 : 28-41 GPa

加熱すると硬くなる

高温の母相である
オーステナイト相

弾性率 : 75-83 GPa

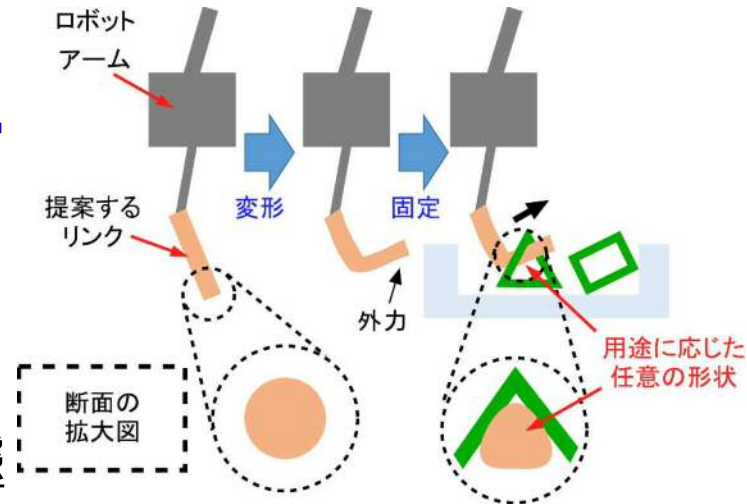
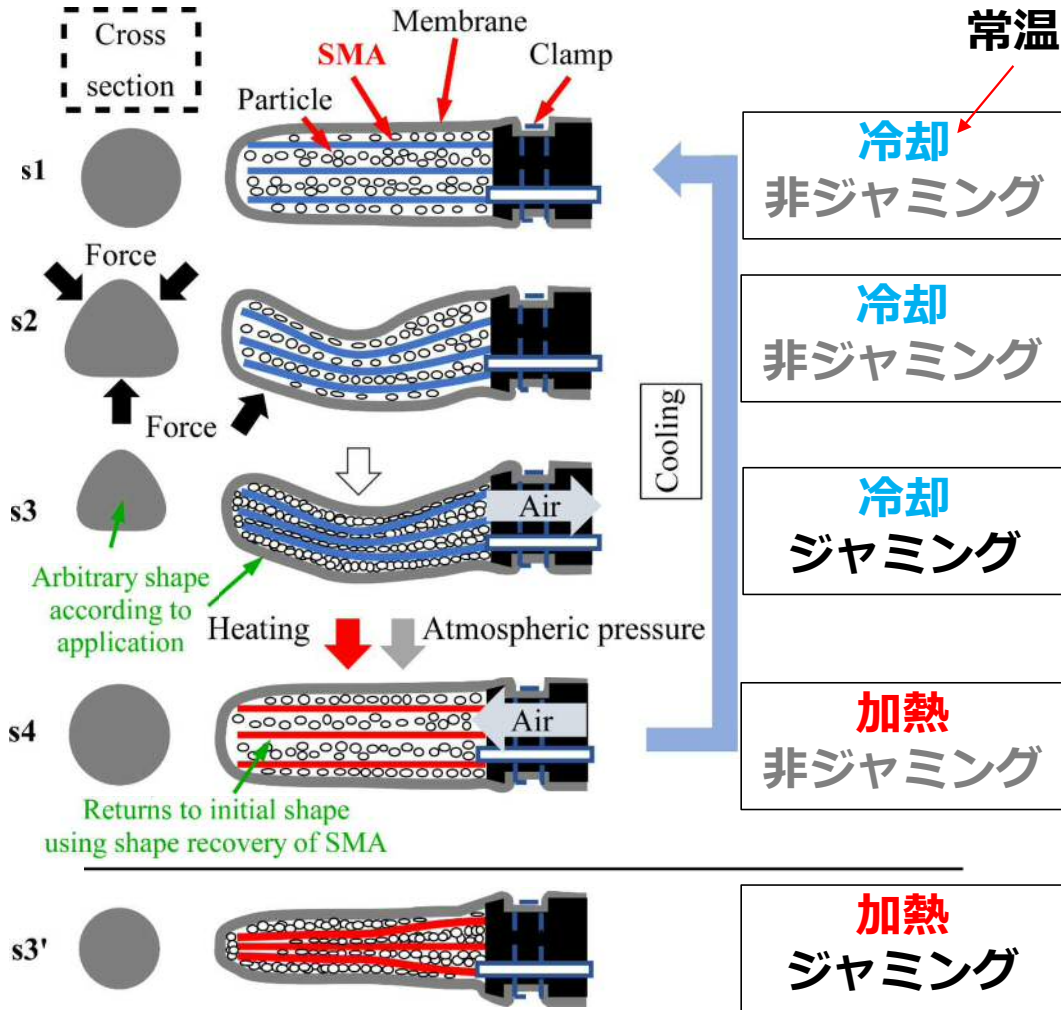


加熱



任意形状に保持でき、初期形状に復元できる材料

リンクのコンセプト



(1) 初期状態

(2) 変形状態

外力によって任意形状に変形可能

(3) 形状固定状態

エネルギー供給なしで任意形状に固定可能

**中心線だけでなく
断面形状も**

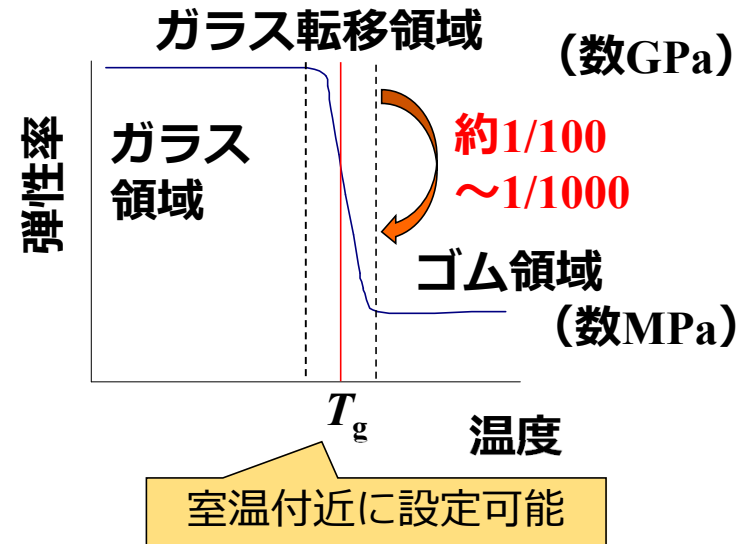
(4) 回復状態

SMAの特性により初期形状に復元

剛性の異なる4状態 (s3' > s3 > s4 > s1, s2) に変更可能

形状記憶ポリマー (SMP)

- ・ ガラス転移温度 (T_g) 以上に加熱すると元の形状に回復 (**形状回復性**)
- ・ T_g 以上で柔らかく大変形させることができ、そのまま T_g 以下にするとその任意の形状を保持し硬く変形しにくくできる (**形状固定性**)

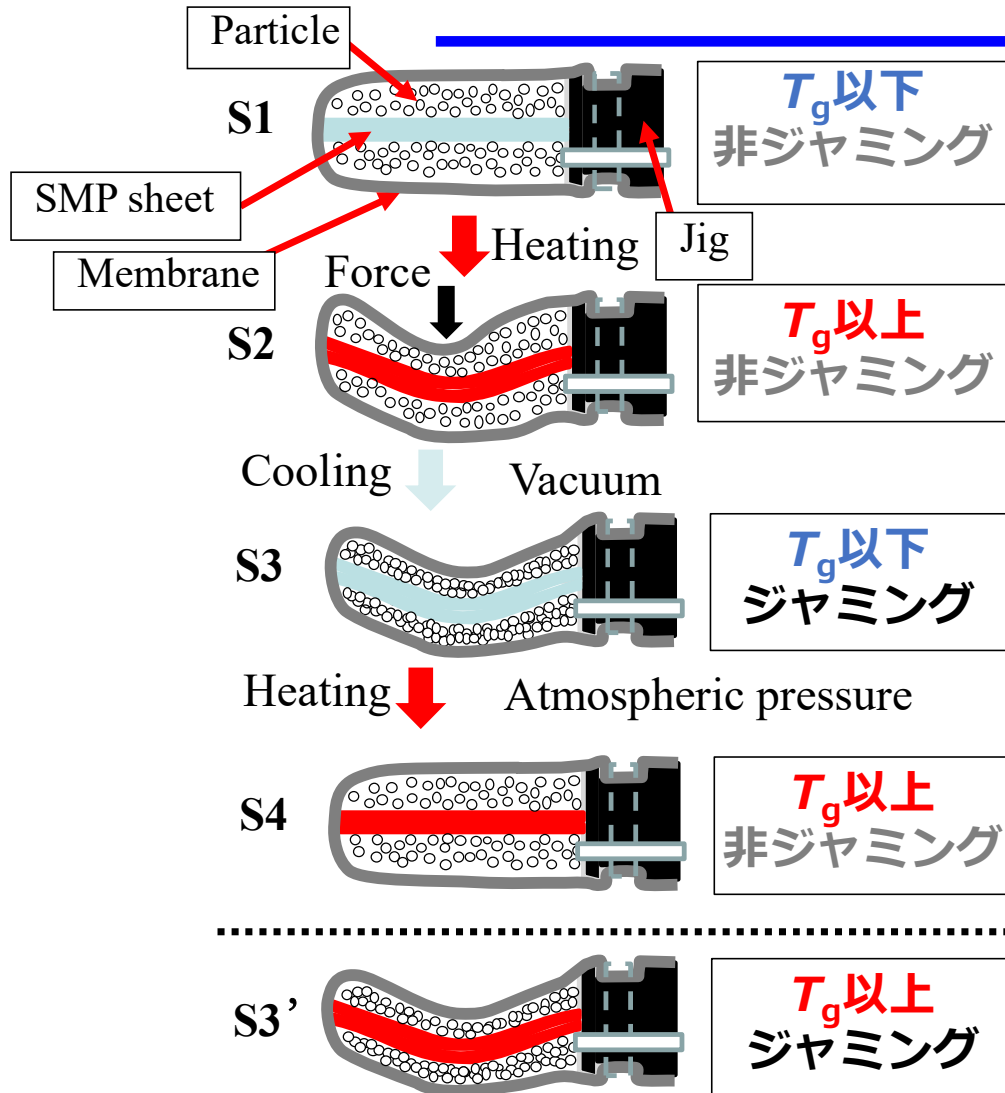


形状記憶合金に比べて、

- ・ 形状回復力は小さいものの (1/10)
- ・ 形状回復ひずみが極めて大きい (数100%)
- ・ 軽い (1/10)
- ・ 低温で硬く、加熱すると軟らかい
- ・ 複雑形状に加工しやすい



SMPリンクのコンセプト



(1) 初期状態

- ・ 低温で硬く, 加熱すると柔らかい
⇒ 加熱・冷却のタイミングが異なる
- ・ 形状回復ひずみが極めて大きい
(数100%)

(2) 変形状態

- ・ 複雑形状に加工しやすい

外力によって任意形状に変形可能

(3) 形状固定状態

エネルギー供給なしで任意形状に固定可能

(4) 回復状態

SMPの形状回復性により初期形状に復元

剛性の異なる4状態 ($S3 > S3' > S1 > S2, S4$)
に変更可能

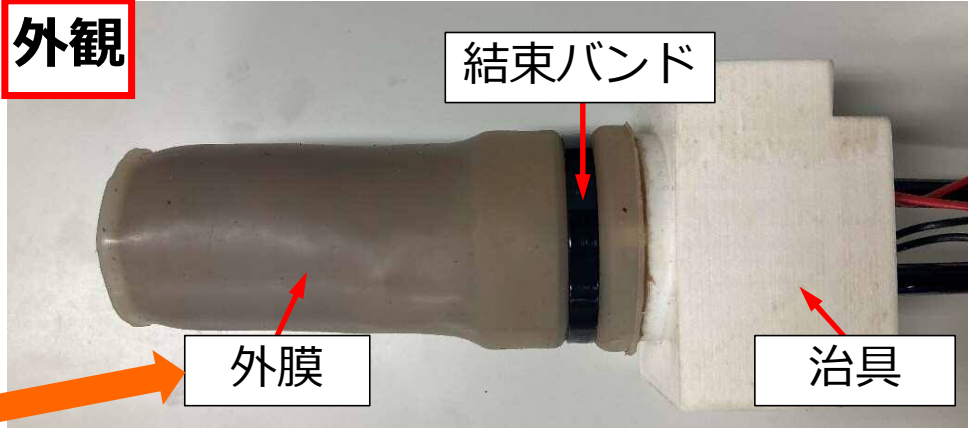
可変剛性リンクについて



粗挽きコーヒー粉



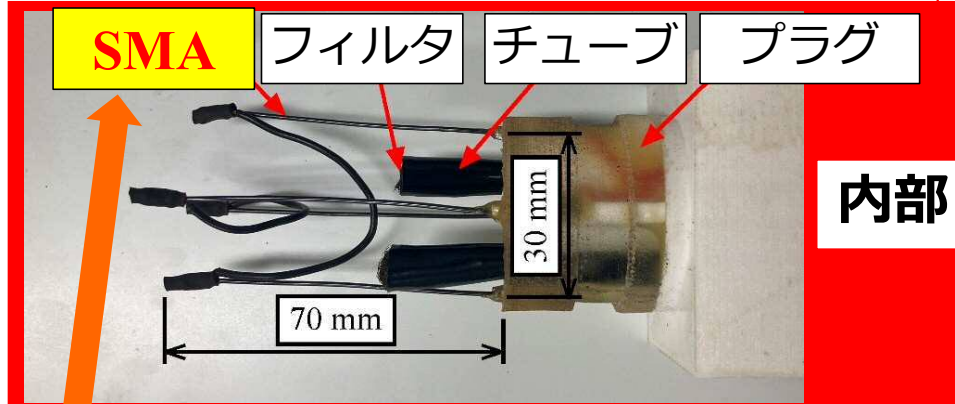
外観



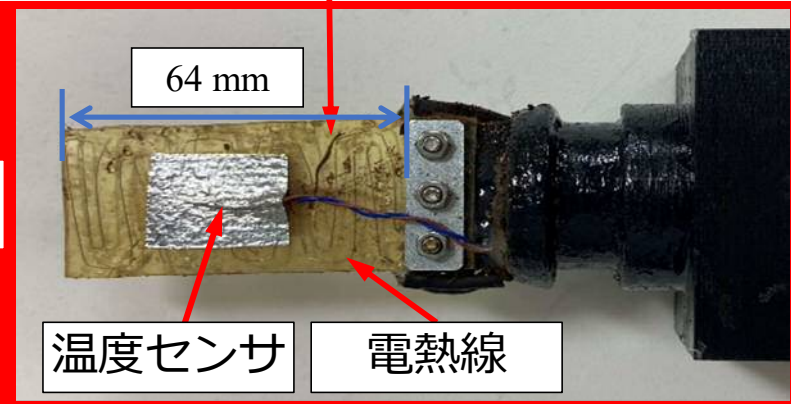
74 mm × 31 mm × 1.5mm, $T_g=45^\circ\text{C}$

SMP

SMA

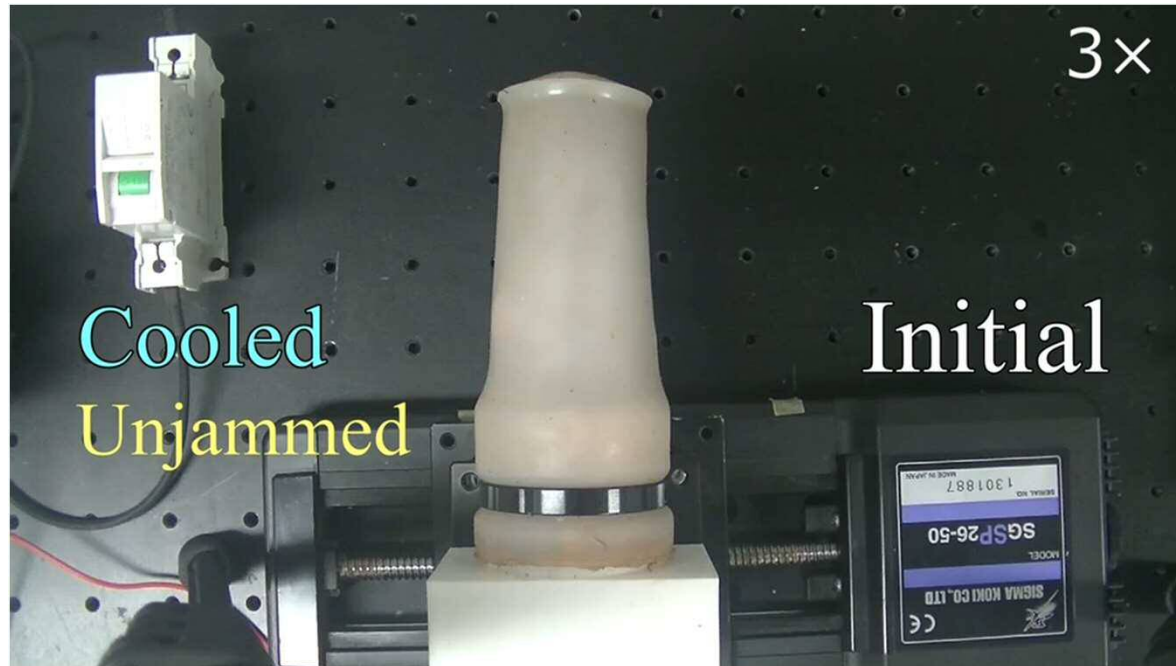


外径: 1.0 mm, $A_s=60^\circ\text{C}$
 A_s : マルテンサイトから
オーステナイトにかわり
始める温度

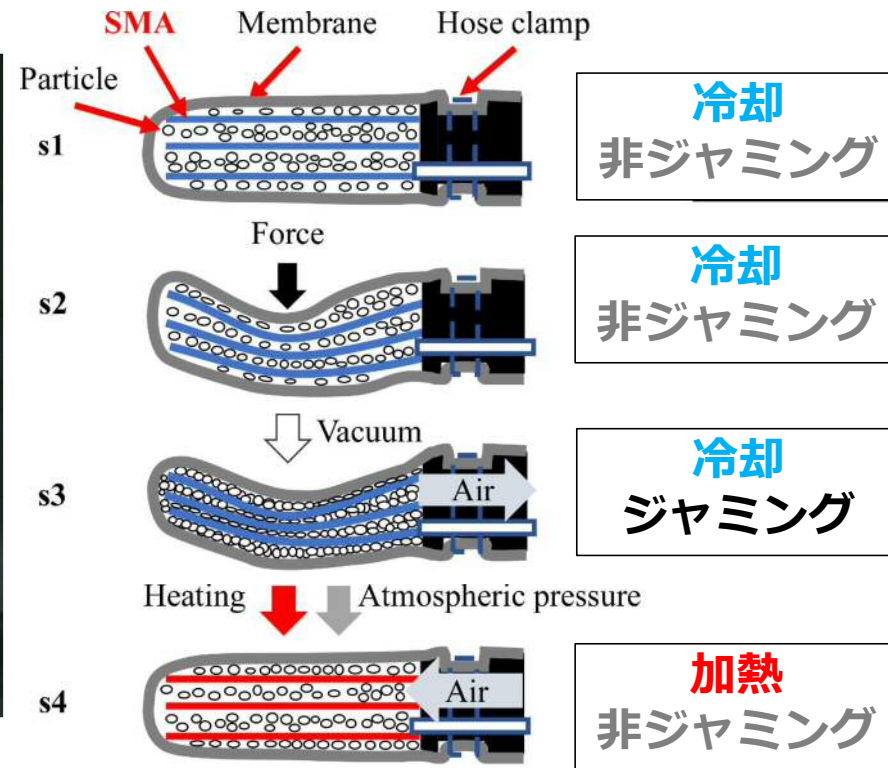


(K. Takashima et al., J. Robotics Mechatron., vol.34, no.2, 2022)

一連の動作の評価



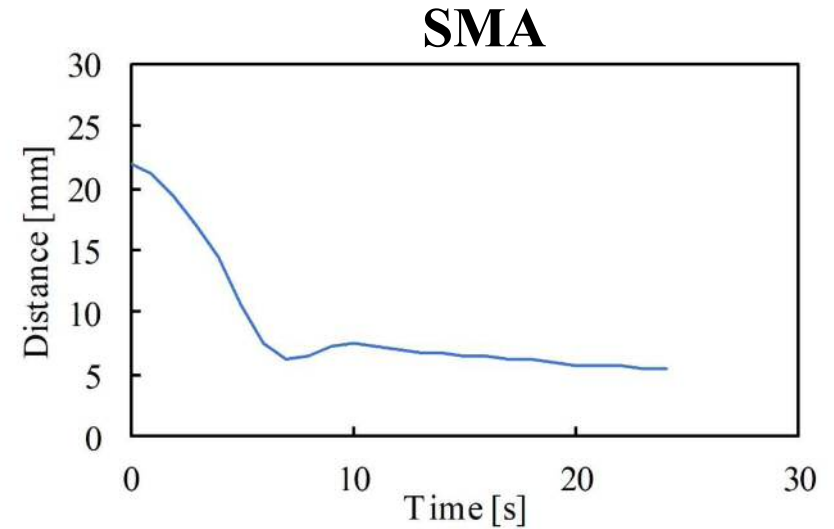
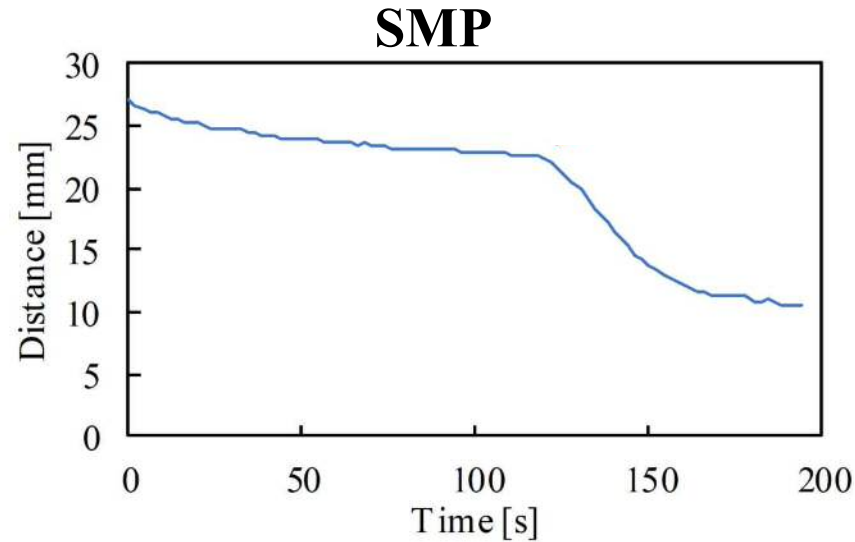
(SMAを使用)



提案したコンセプトを実証することができた

一連の動作の評価

形状回復時の先端変位の経時変化



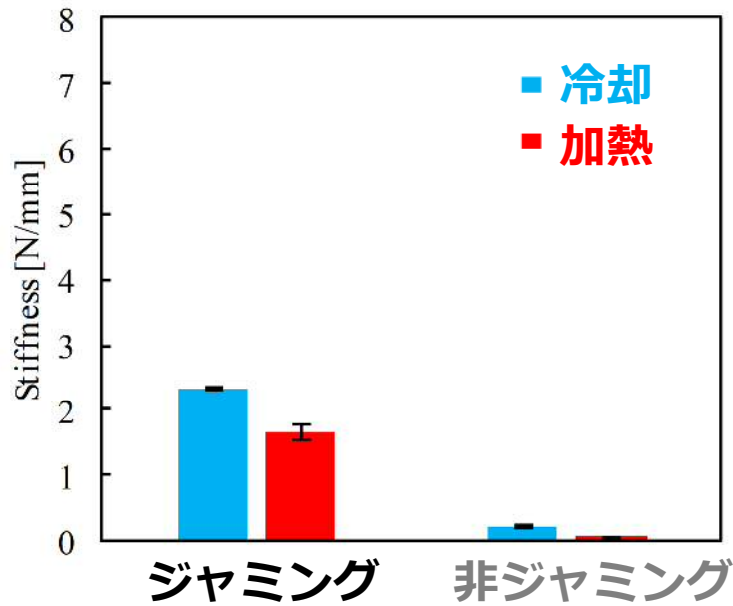
リンクの
最終形状



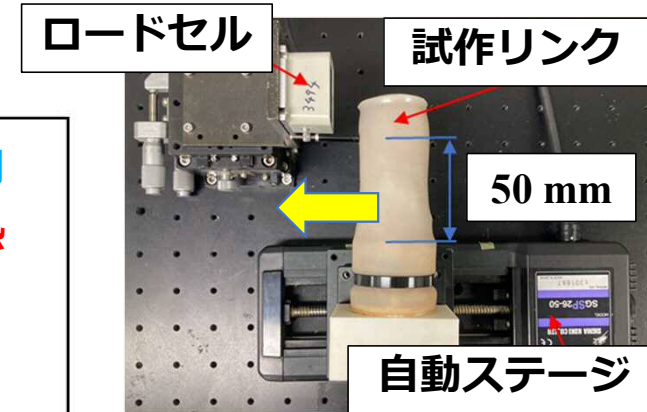
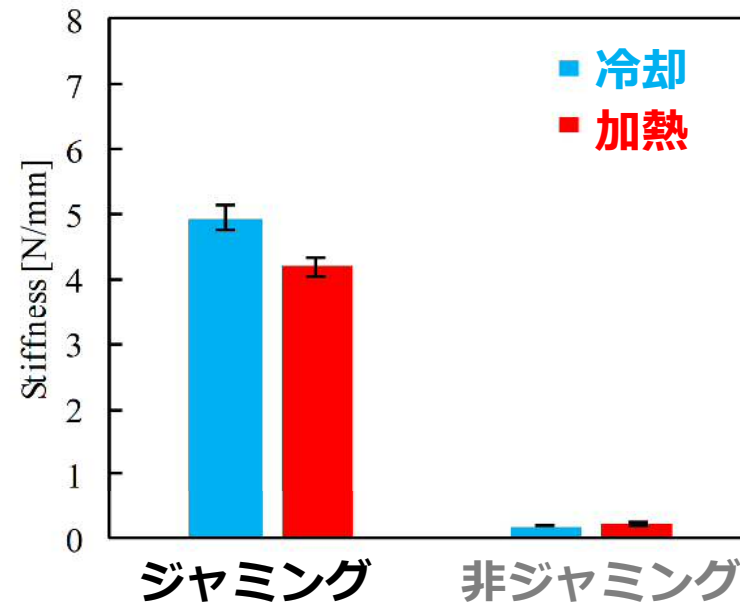
どちらも元の形状に回復

可変剛性性能の評価

SMP (シートを曲げる方向)



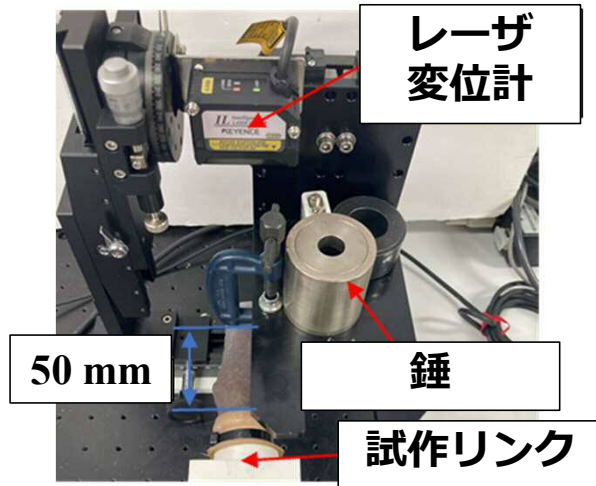
SMA



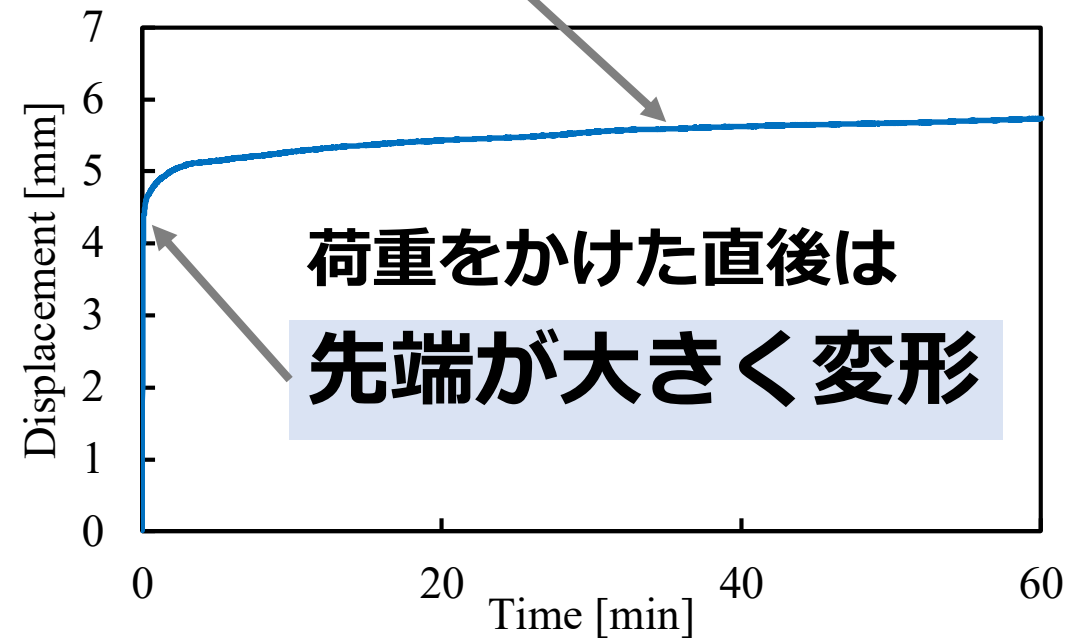
剛性を4状態に変更が可能

形状固定性能の評価

錘（2 kg）を載せ変位を測定



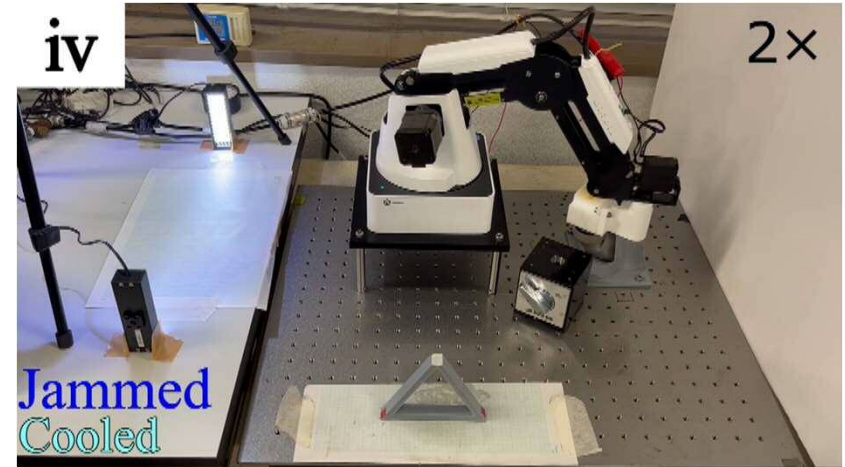
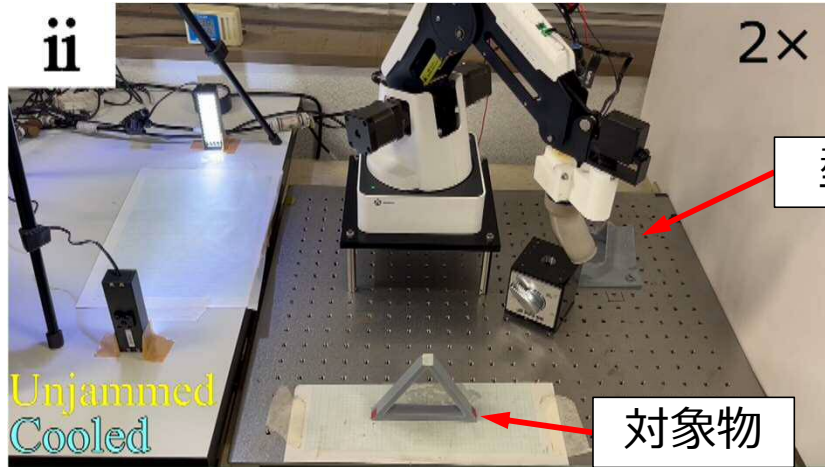
大きな変形なく固定可能



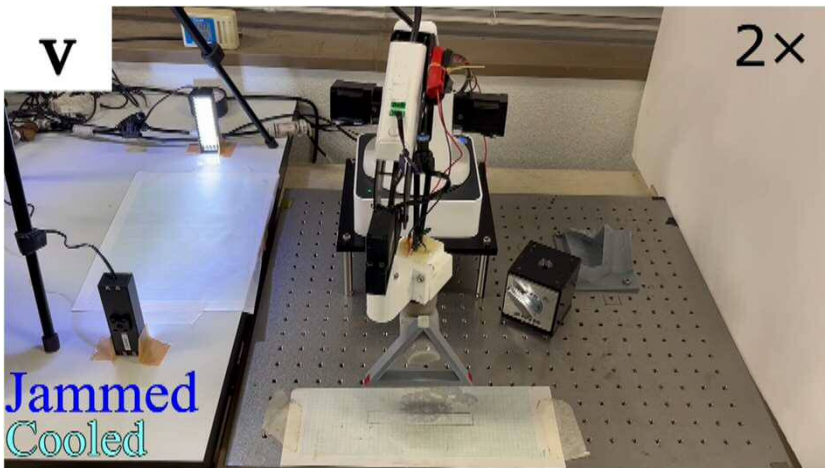
同じ形状に長時間固定
可能であることを確認

常温, ジャミング時
(SMAを使用)

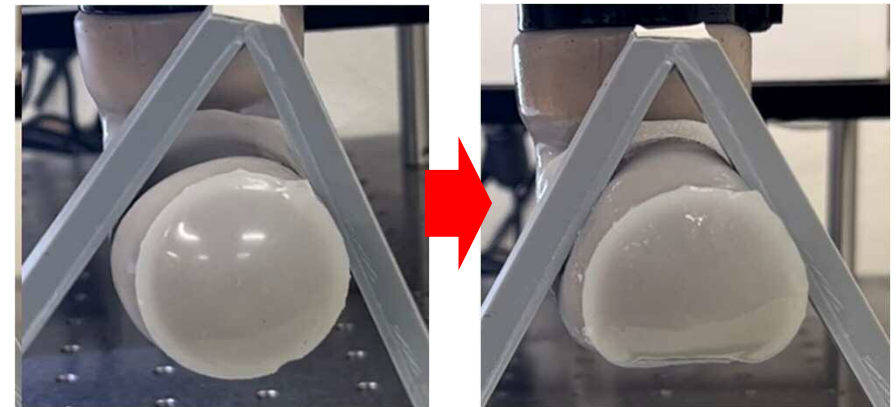
ロボットアームに搭載して評価



対象物を引っかけて搬送する動作
⇨ 形状を変更することで位置決め精度向上

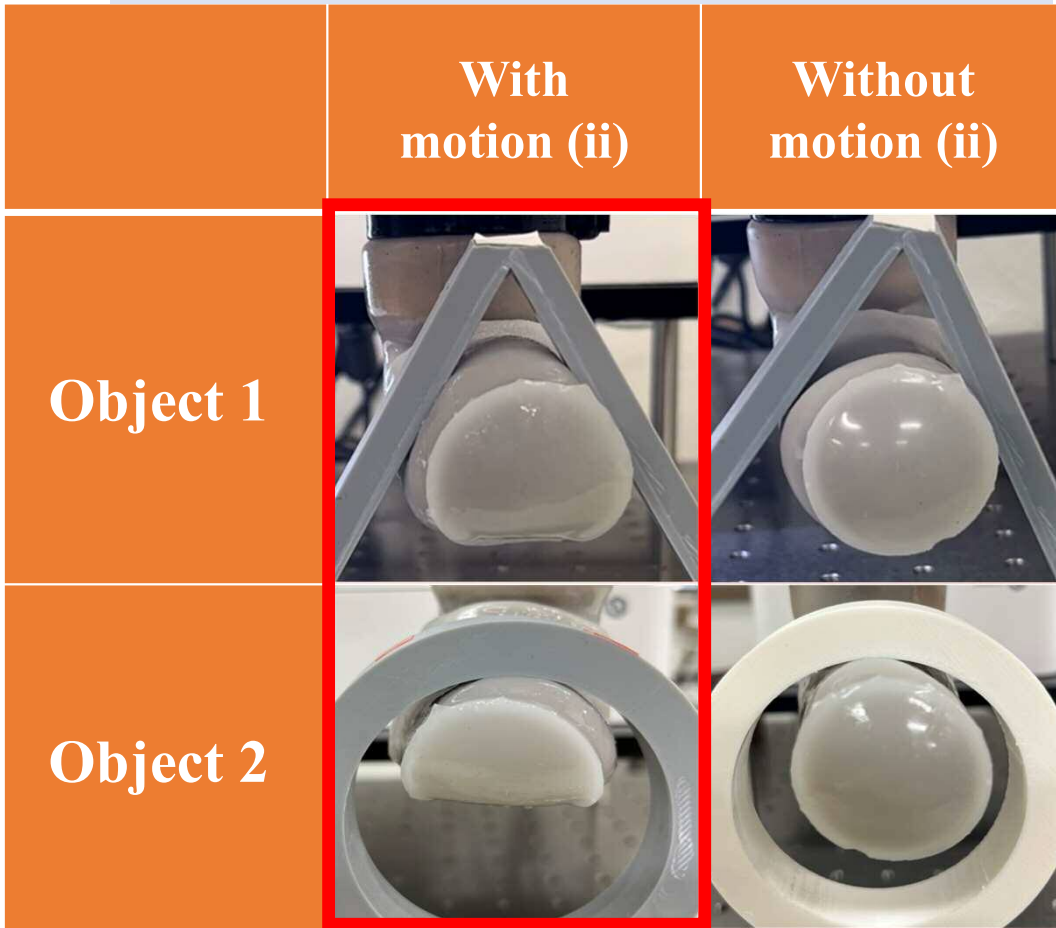


(SMAを使用)



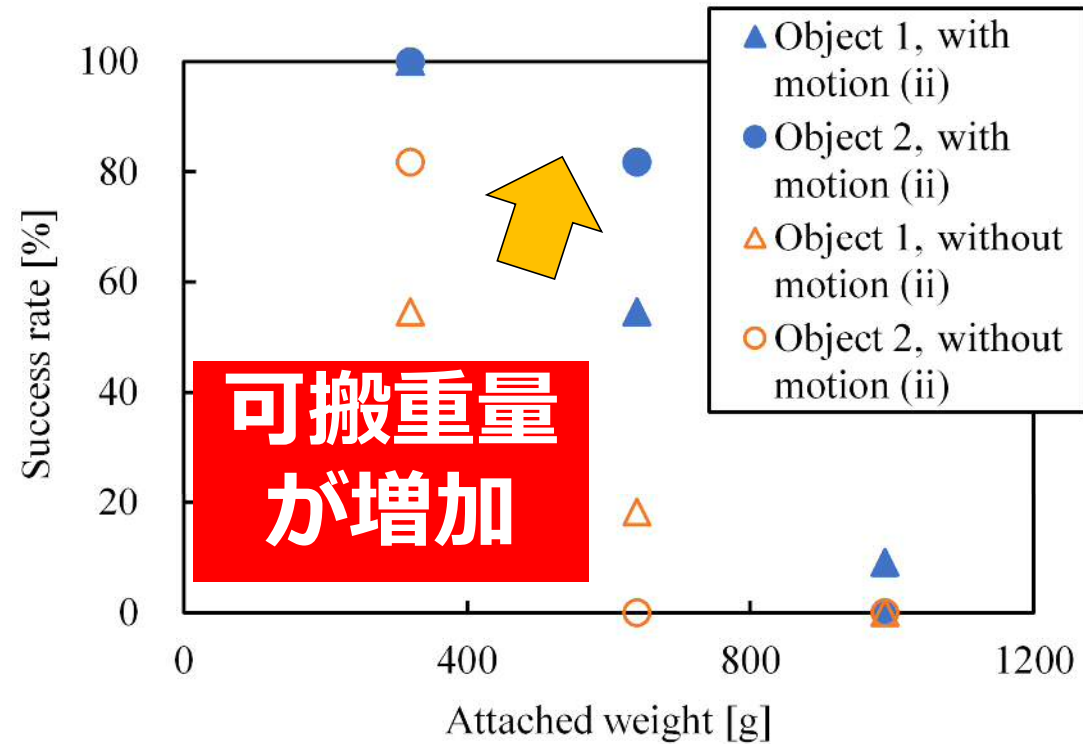
可搬重量の評価

形状を対象物に応じて変更



対象物の重量

	Weight (g)
Weight 1	320
Weight 2	640
Weight 3	990



(各11回試行)

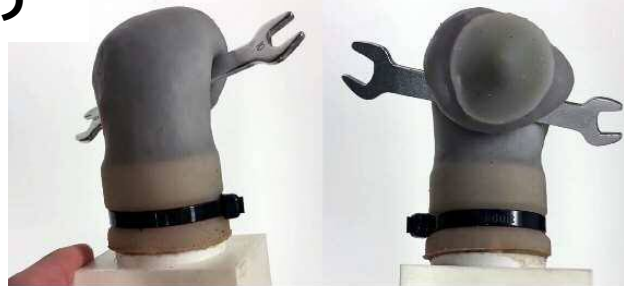
グリッパとしての評価

従来のジャミング
グリッパと同様に
さまざまな対象物
を把持可能

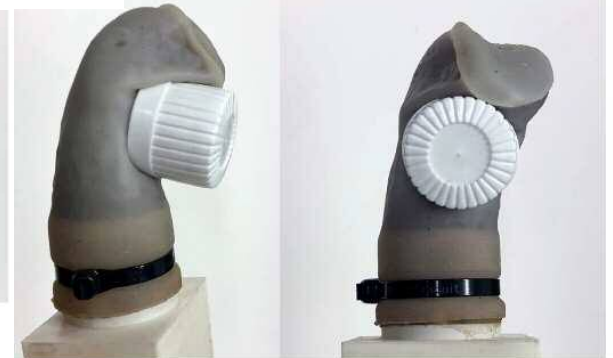


グリッパとして
応用可能

スパナ



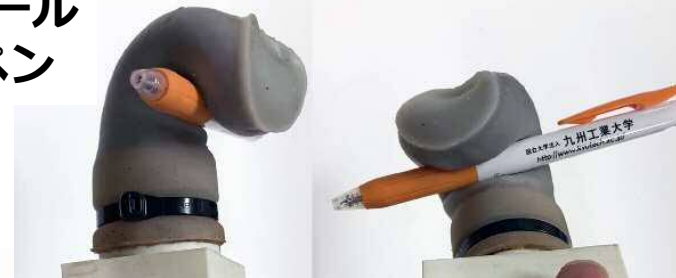
キャップ



ばね



ボール
ペン

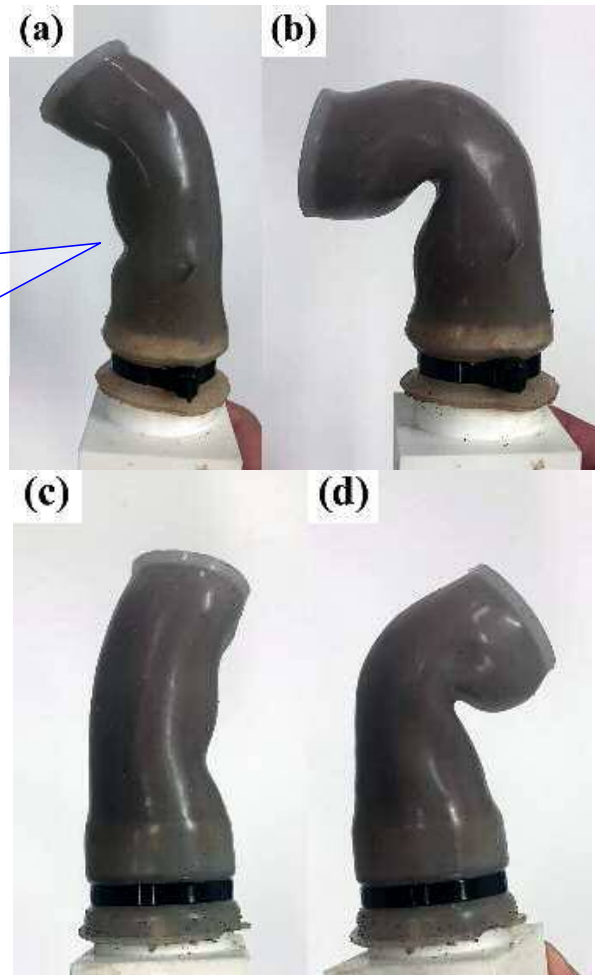


ペン



グリップパとしての評価

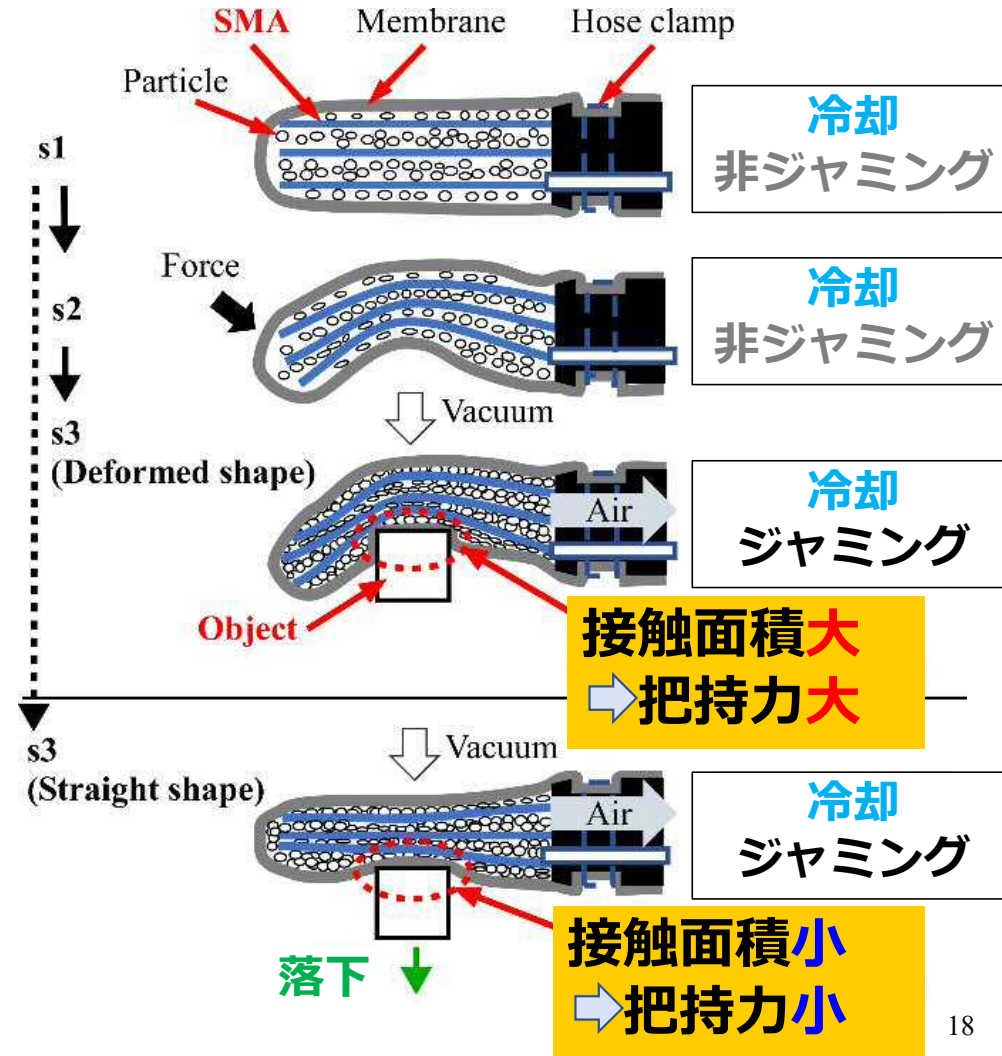
変形特性を利用
把持形状に合わせた形状へ



接触面積が増加

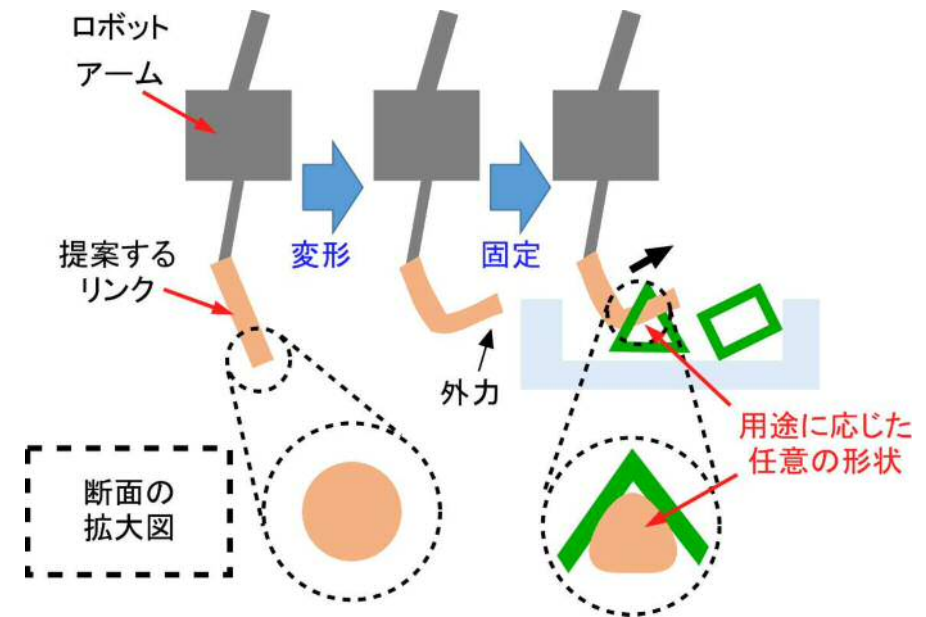


把持が容易に



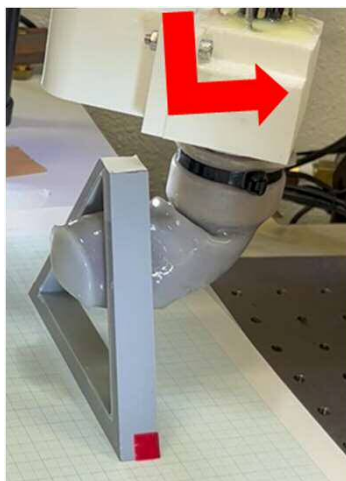
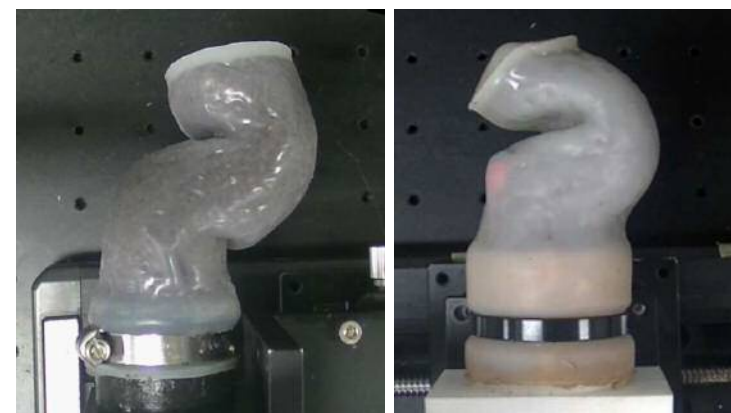
新技術は、従来はできなかった以下の機能を持つ

- 複雑な任意の中心線，断面形状に変形し，その形状を保持可能
- 変形後，初期形状に回復可能
- 剛性を4状態変更可能



想定される用途

- ロボットアームなどのリンク,
骨組み
- ロボットなどのハンド,
グリップ



様々な状況で
使用される場合

実用化に向けた課題

- 基本的なコンセプト・特性の評価，応用先の提案は行ったが，リンク構造や材料の最適化はできていない。
- 状態を
 - ① どのようにして正確に切り替えるか？
 - ② どのタイミングで切り替えるか？を明確にする必要性。
- 今後，応用先を決め，仕様を明確にしていく。

企業への期待

- 実際に応用して評価していただける各種ロボットメーカー
- 仕様に適した材料を提供していただけるメーカー

などとの共同研究を希望

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ロボット用構造体
- 出願番号 : 特願2021-009698
- 出願人 : 九州工業大学
- 発明者 : 高嶋 一登, 今澤 俊貴

お問い合わせ先

九州工業大学

先端研究・社会連携本部

産学イノベーションセンター 荻原 康幸

T E L 093-884-3499

e-mail chizai@jimu.kyutech.ac.jp