

# Keyhole Brain Surgery ロボット・システムのための ディスポーザブルロボット鉗子の開発

九州大学 大学院工学研究院  
機械工学部門

教授 荒田 純平

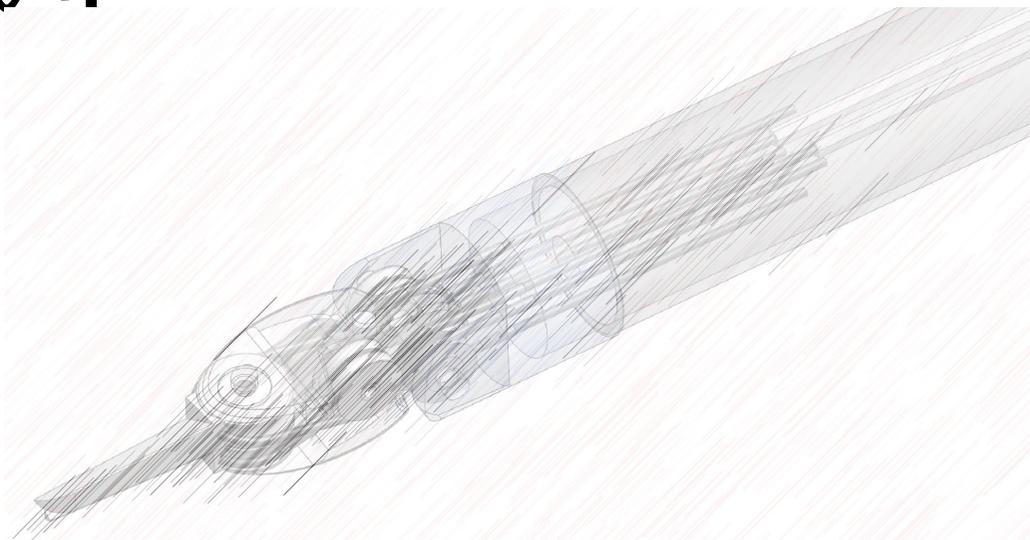
2024年8月29日

# 目的

最近、脳神経外科領域で特に注目されるアプローチとして、「Keyhole Surgery」がある。この手術では、患者頭部の一部のみを切開し、脳腫瘍摘出などの処置を行うものであるが、現在の手術器具では極めて高い技能を要する。現在の手術ロボットはサイズが大きすぎるため使用できない。このような手術ロボットが実現できれば、腫瘍摘出率を向上し、ひいては生存率を向上できると期待される。

# 従来技術の事例

現在最も広く用いられる手術ロボットda Vinciの先端手術器具として知られるEndowristは高い動作性（4自由度）を有しているが、内部にはワイヤ、プーリ、またその保持機構など多くの部品点数により構成されており、小型化が難しい。



# 従来技術とその問題点

滅菌消毒：オートクレーブ滅菌2気圧，121℃

体内にモータ配置できず遠隔配置

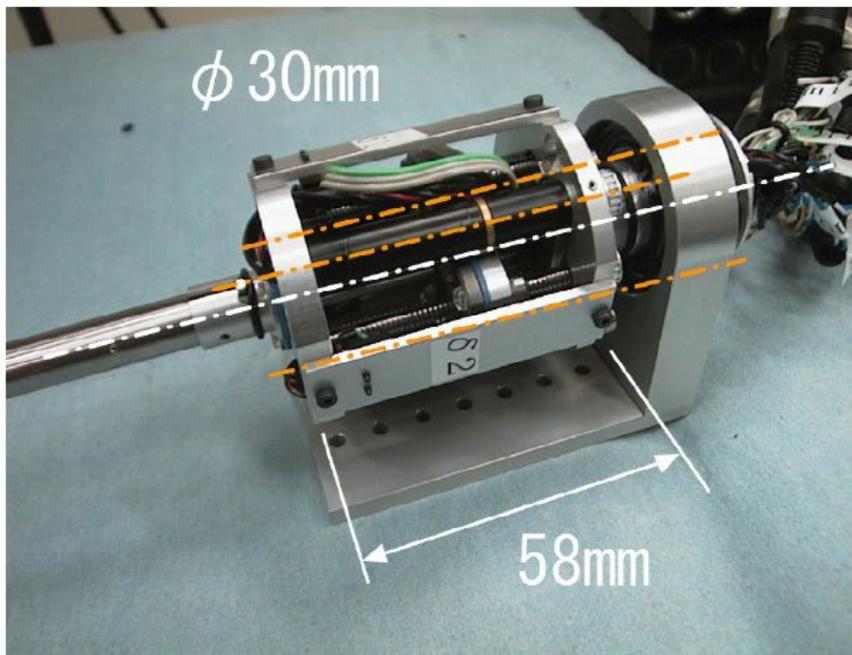
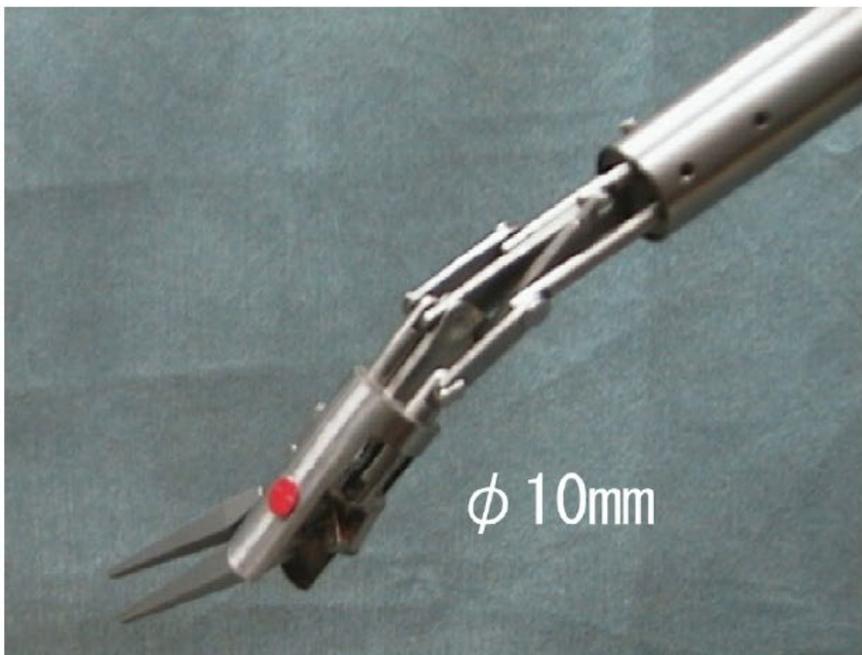
生体適合性：ステンレス，チタンが主流，潤滑出来ず，磁力は嫌われやすい

電気的安全性：内部臓器と接触のため配慮重要，電気メスからバースト波受信

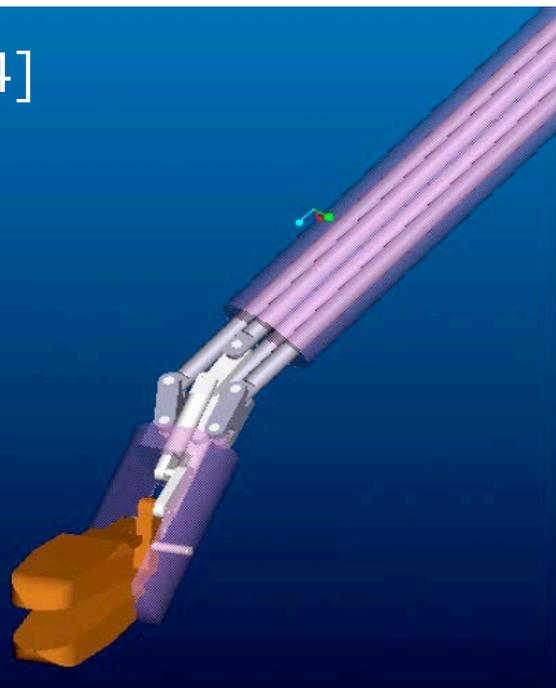
小型・多自由度：細径，屈曲半径小

高出力：組織は軟らかいが，例えば縫合等には針の保持に大きな把持力を要する場合がある

# 過去研究で探索された技術課題



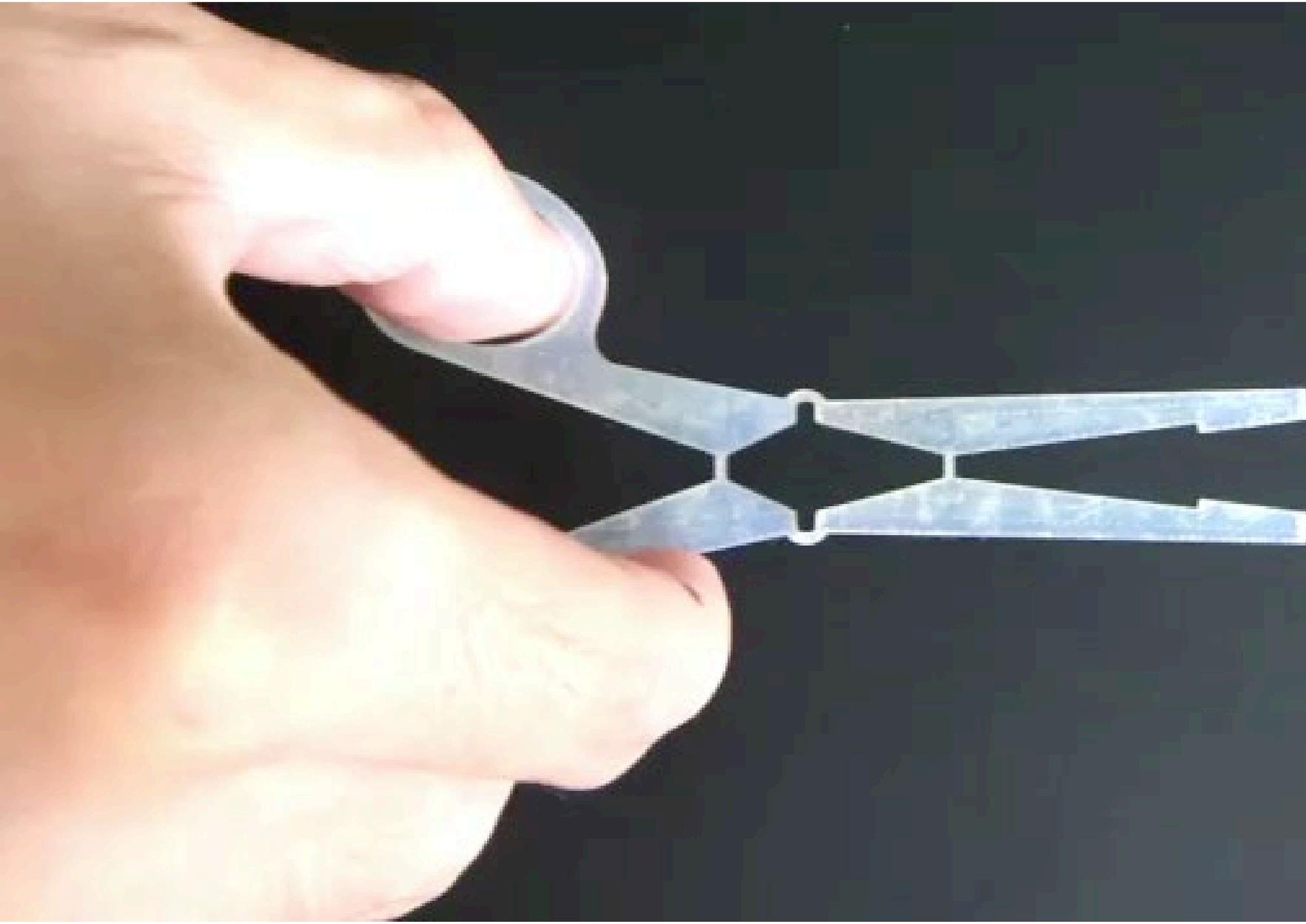
[Arata2004]



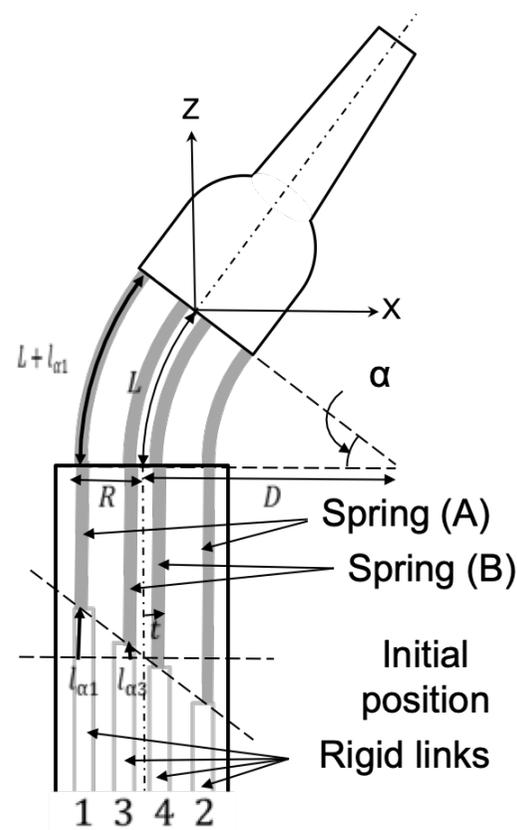
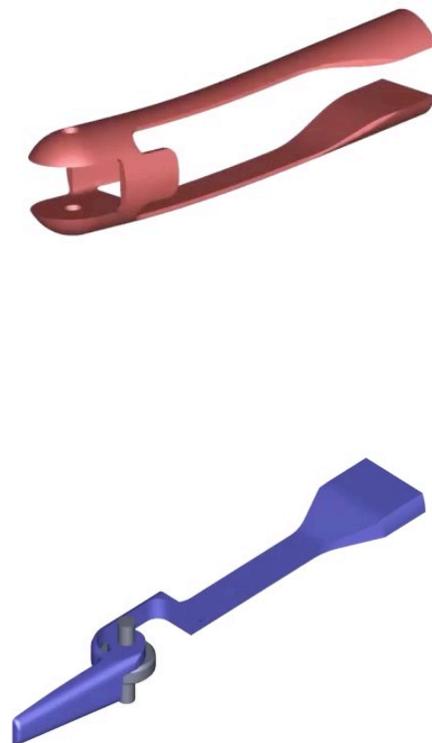
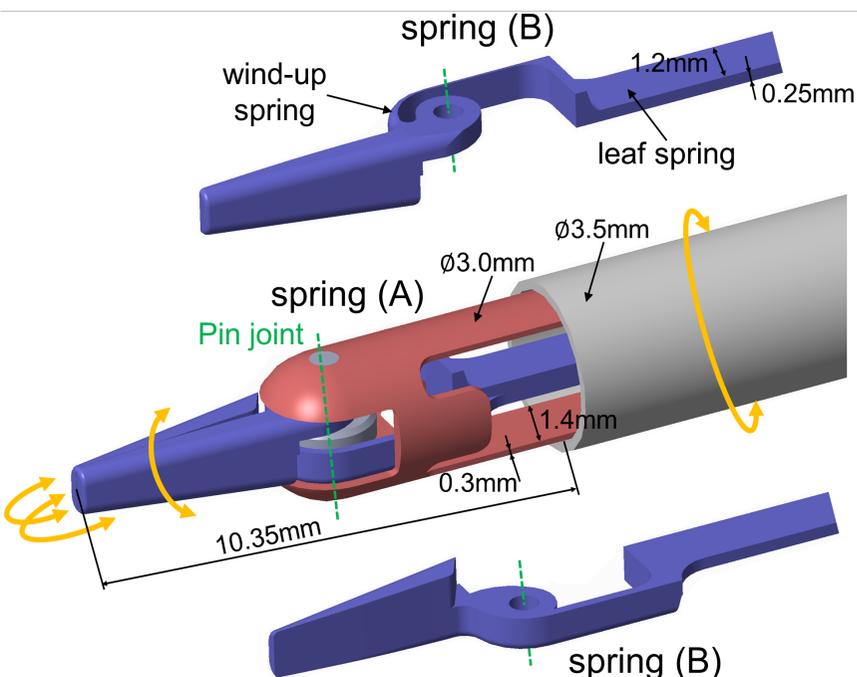
発表者が学生時代に開発したリンク機構式のロボット鉗子は、関節構造の摺動部分に繰り返し使用によりユルミが生じ、機械的ガタが増大する問題があった。

# 発想の起点:コンプライアント機構

[Howell2001]

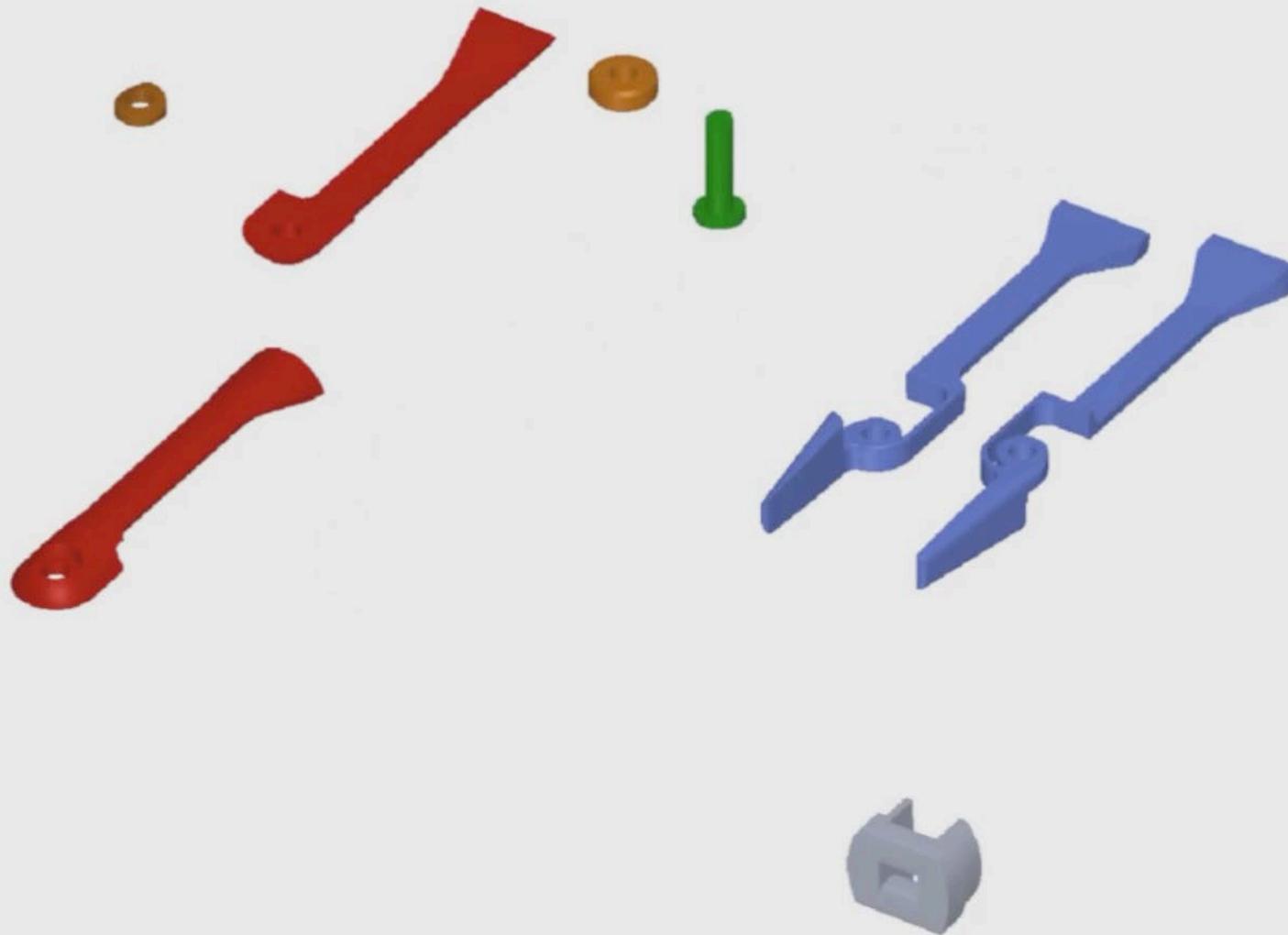


# 発表者の先行研究



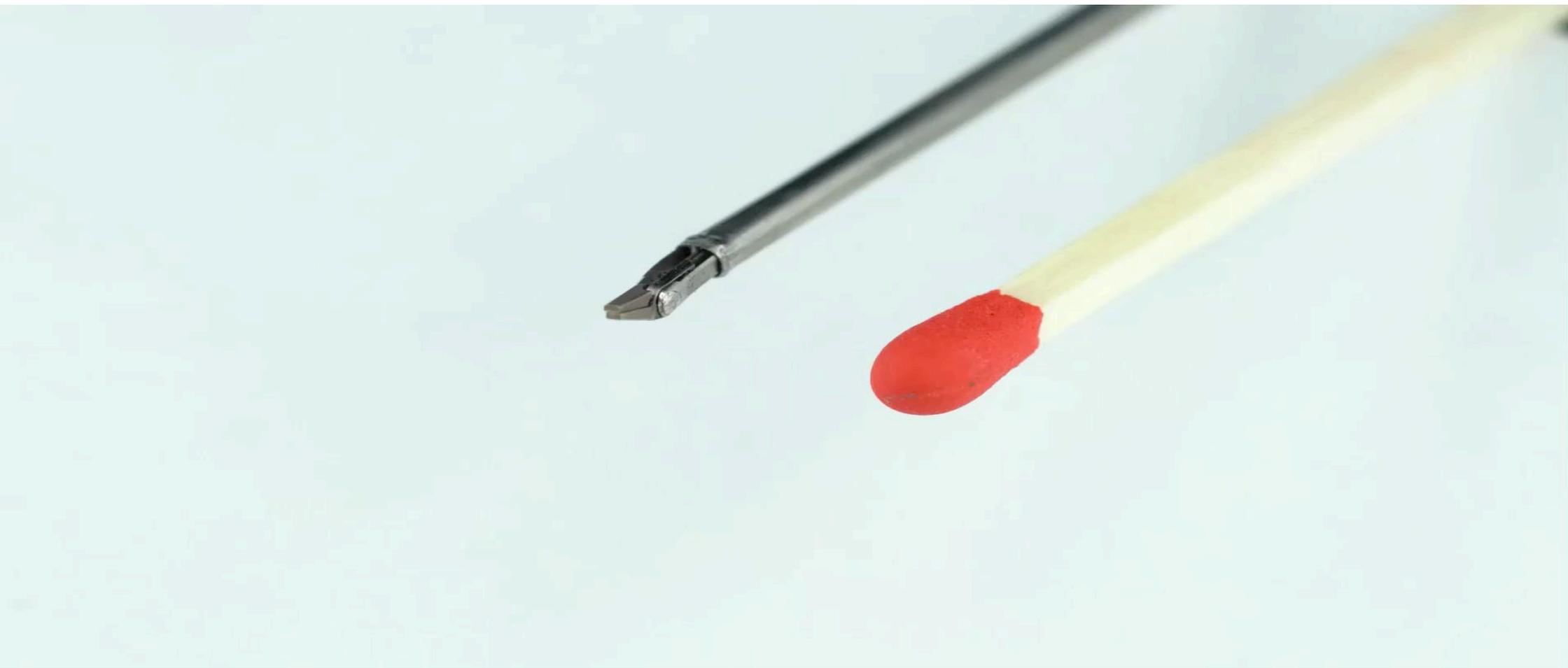
フレームの大変形により動力を伝達・変換する仕組みを導入し、小部品点数で多自由度（4自由度，Endowristと同じ）を実現するロボット鉗子を開発した。

# 先行研究のロボット機構の構造



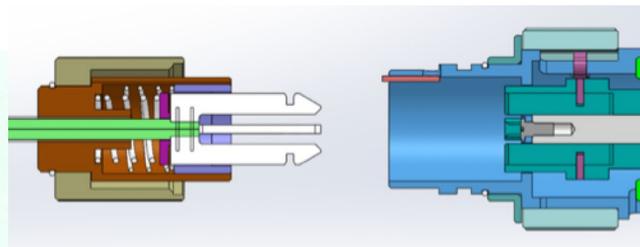
Main Components

# 先行研究で開発した試作機



直径 2 mm, 先端4自由度の超細ロボット鉗子

# 先行研究で開発した試作機



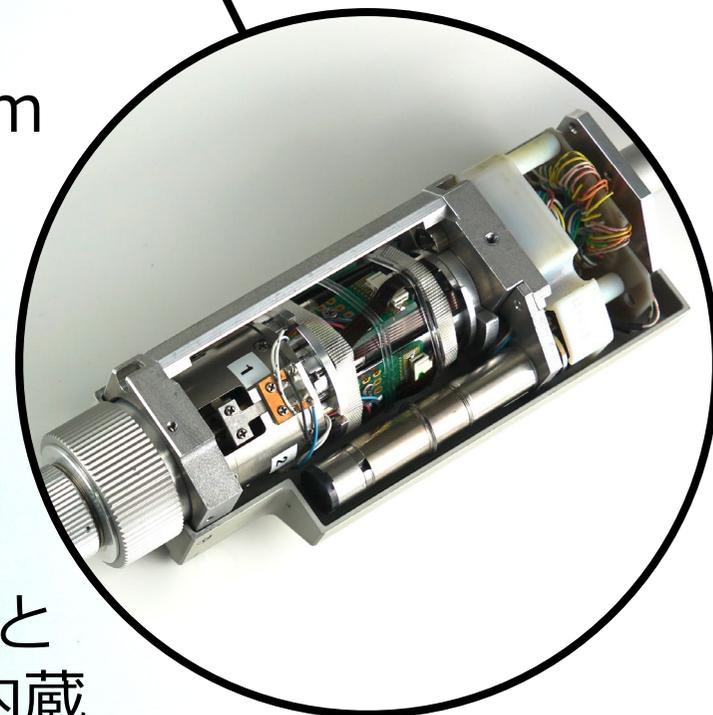
滅菌消毒に対応した  
着脱機構

このツールユニットを  
ロボットアームに装着  
して使用

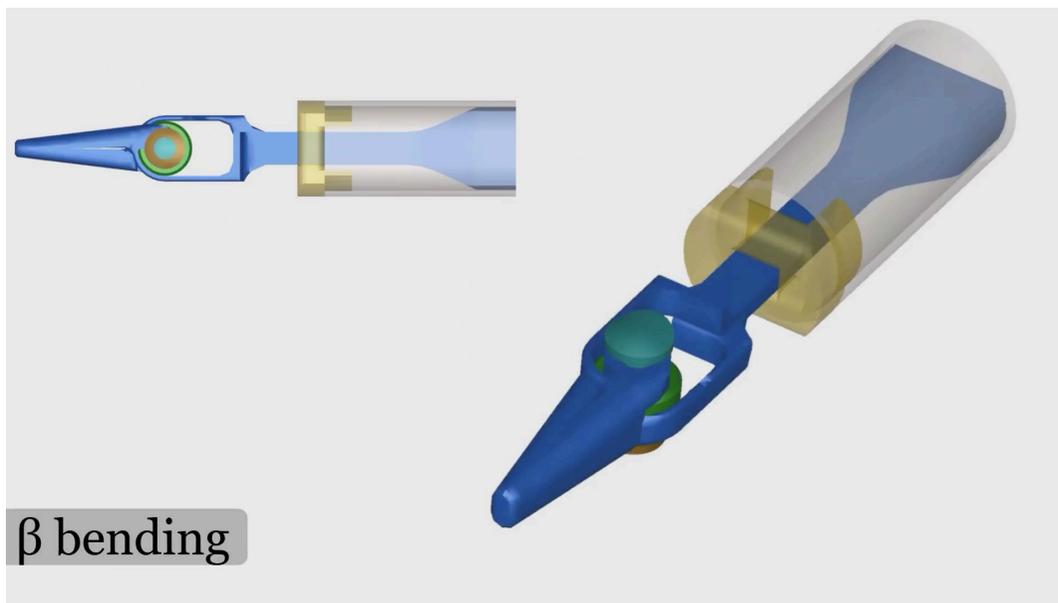
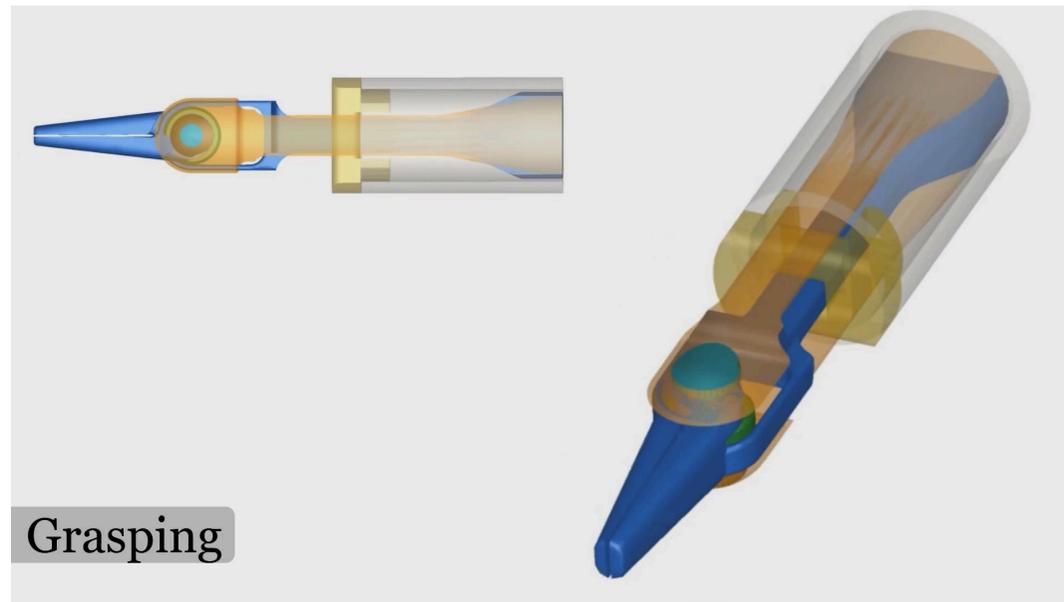
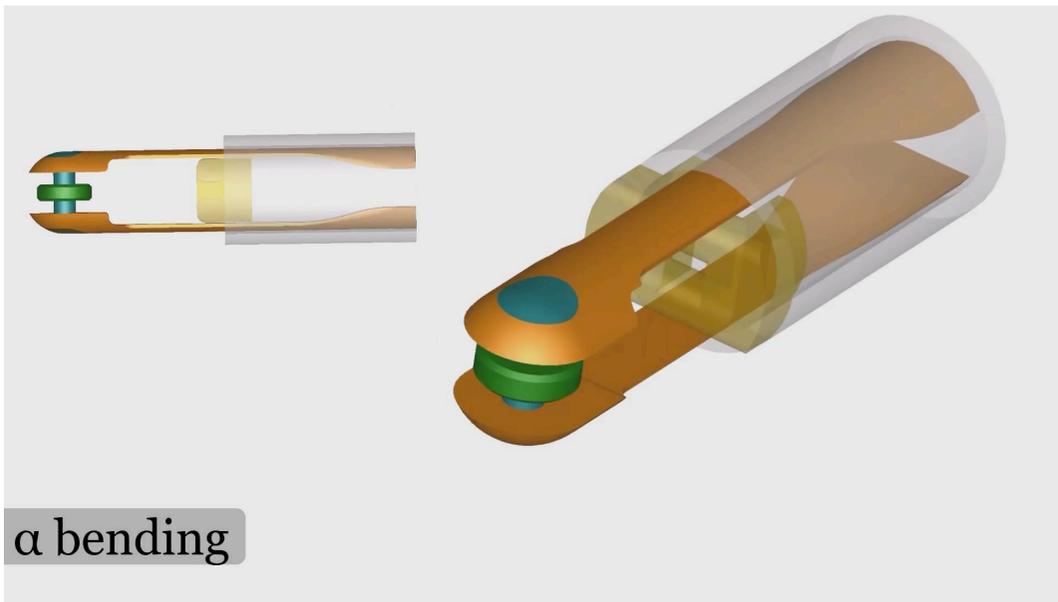
370 mm

35 mm

4つのリニアモータと  
1つの回転モータを内蔵

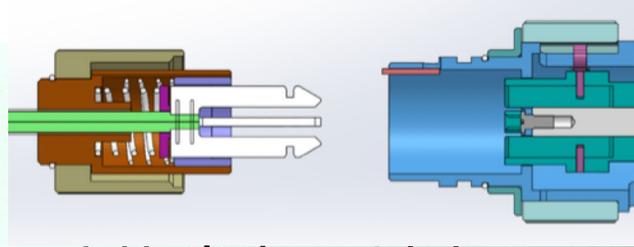


# 先行研究で開発した試作機



ばね部と剛体部を厚み  
で切り分け，有限要素  
法を用いて設計を最適  
化

# 先行研究で開発した試作機



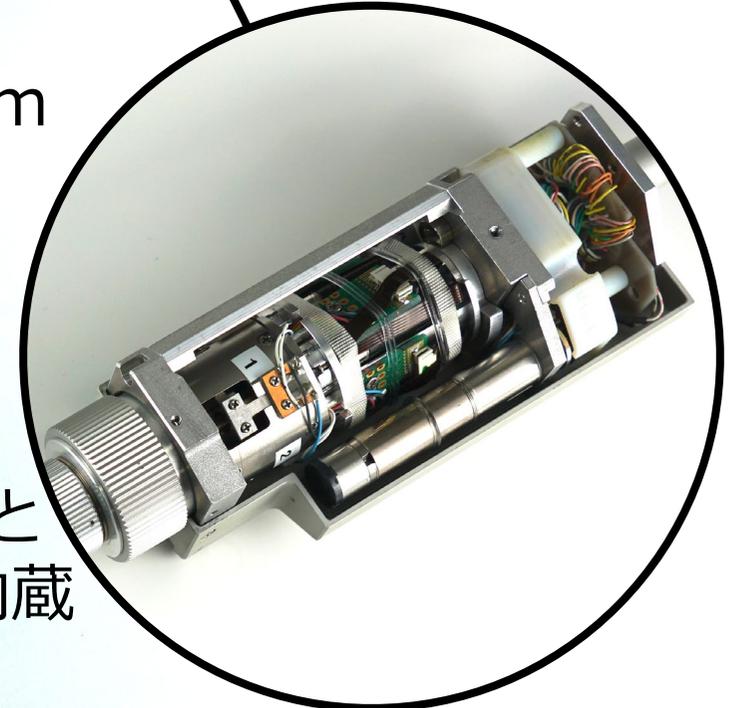
滅菌消毒に対応した  
着脱機構

このツールユニットを  
ロボットアームに装着  
して使用

370 mm

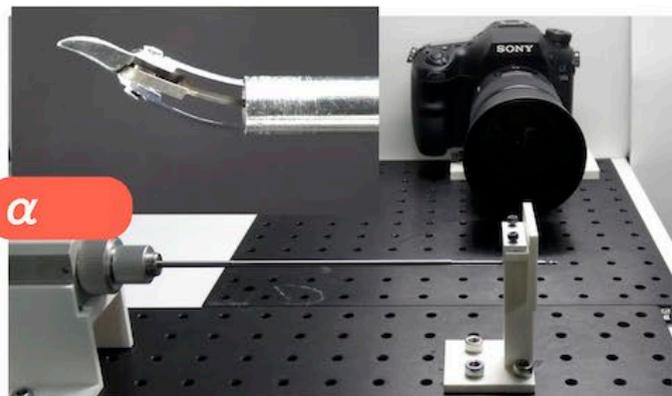
35 mm

4つのリニアモータと  
1つの回転モータを内蔵



本装置をロボットアームへ装着した事例研究はこちら : Murilo M. Marinho et. al., A Unified Framework for the Teleoperation of Surgical Robots in Constrained Workspaces, Proc. ICRA 2019, pp.2721-2727, 2019.

# 先行研究で開発した試作機



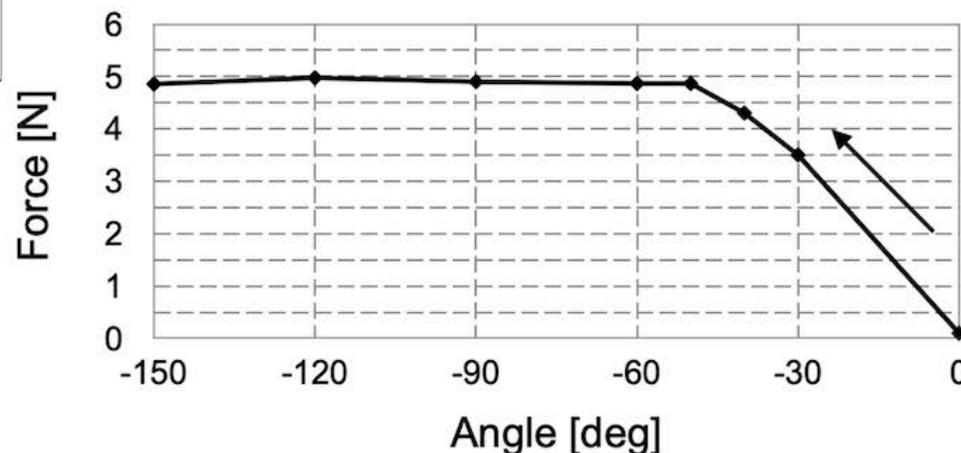
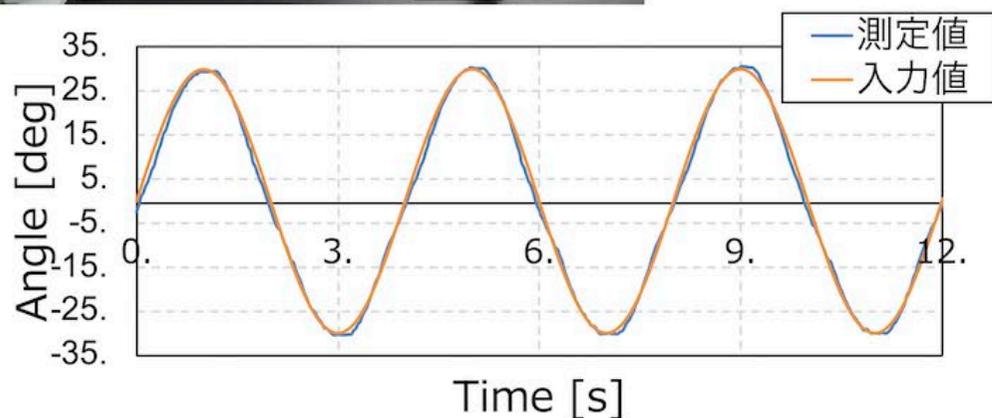
## 位置精度評価

画像解析による  
制度評価より繰  
り返し位置決め  
0.03°を確認



## 把持力評価

圧力センサによ  
る把持試験によ  
り最大5Nの把持  
力を確認



## 探索された追加的課題

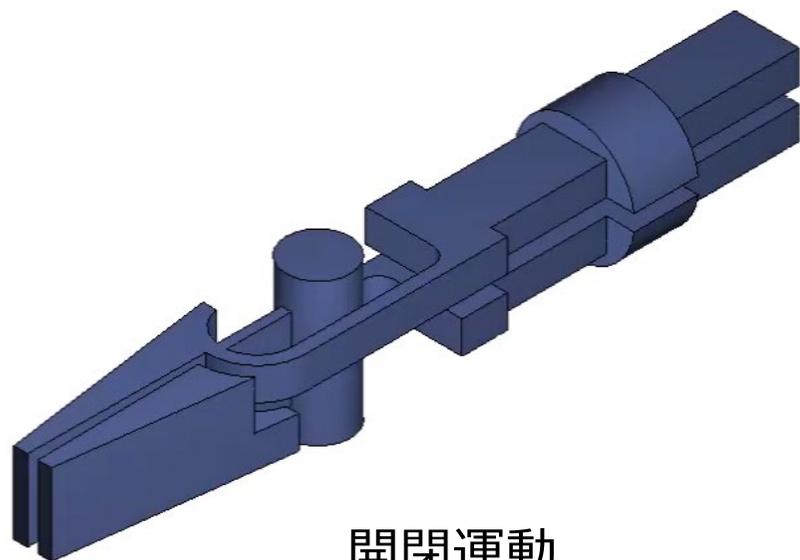
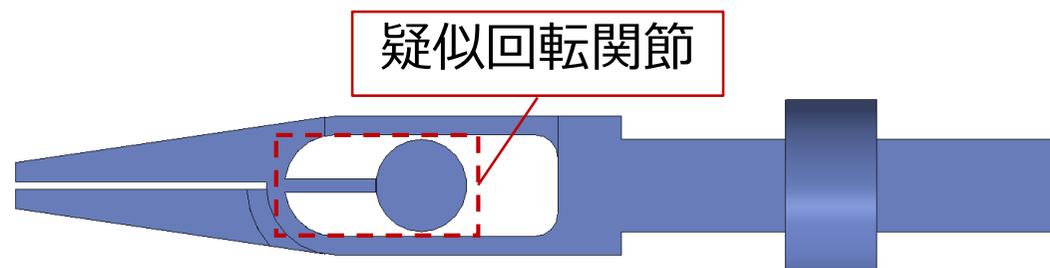
- 8000回の屈曲動作により破断
- 製作コストに従来技術と比べ優位性がない
- ばね同士の接触により金属粉が発生する可能性

# 先行研究からさらに発展した設計へ

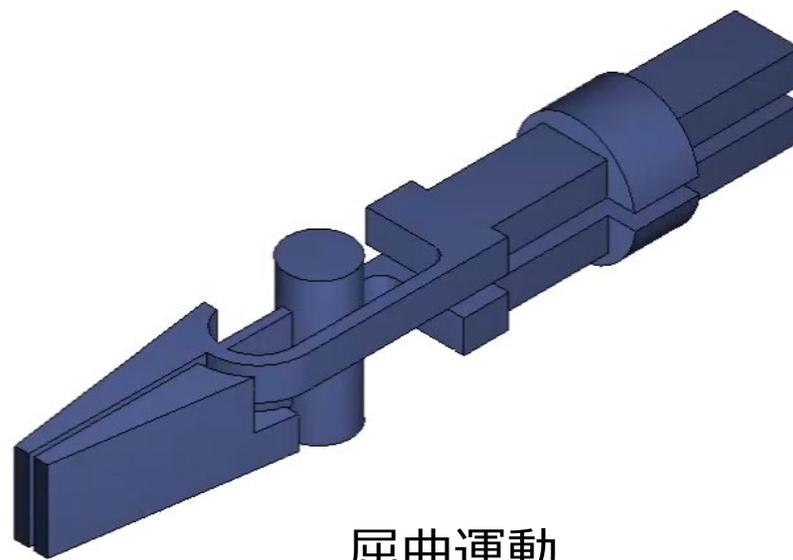
	先行研究	新提案機構
部品点数	6 (ばねA, ばねB×2, ピン, ガイド, 筒)	2 (本体, 筒)
自由度	4 (屈曲2, 把持1, 回転1)	3 (屈曲1, 把持1, 回転1)
材質	Ni-Ti	高分子材料 <u>ディスプレイザブル化が可能</u>
加工方法	ワイヤ放電加工	3Dプリント

# 疑似回転関節による摩擦無し動作

疑似回転関節によりピンを代替し、  
先行研究と同様に湾曲ばねによる  
運動の変換を行う



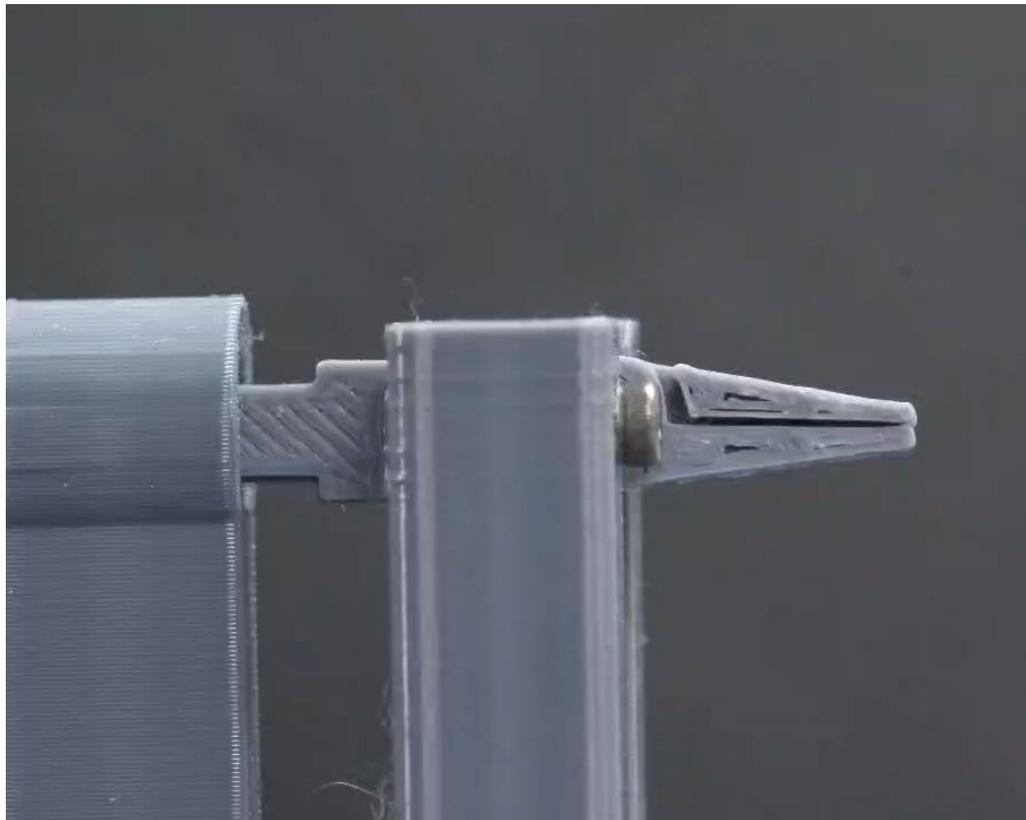
開閉運動



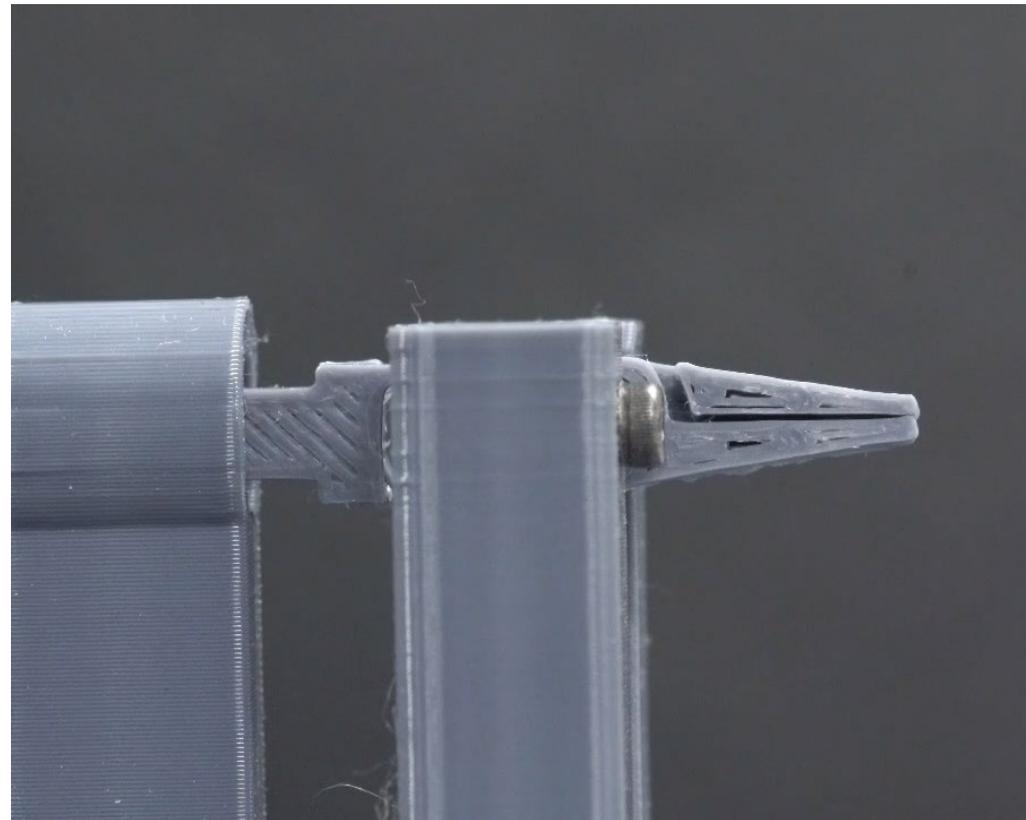
屈曲運動

疑似回転関節により、弾性体間の接触が生じない  
生体適合性を向上

# PLA樹脂による試作機動作



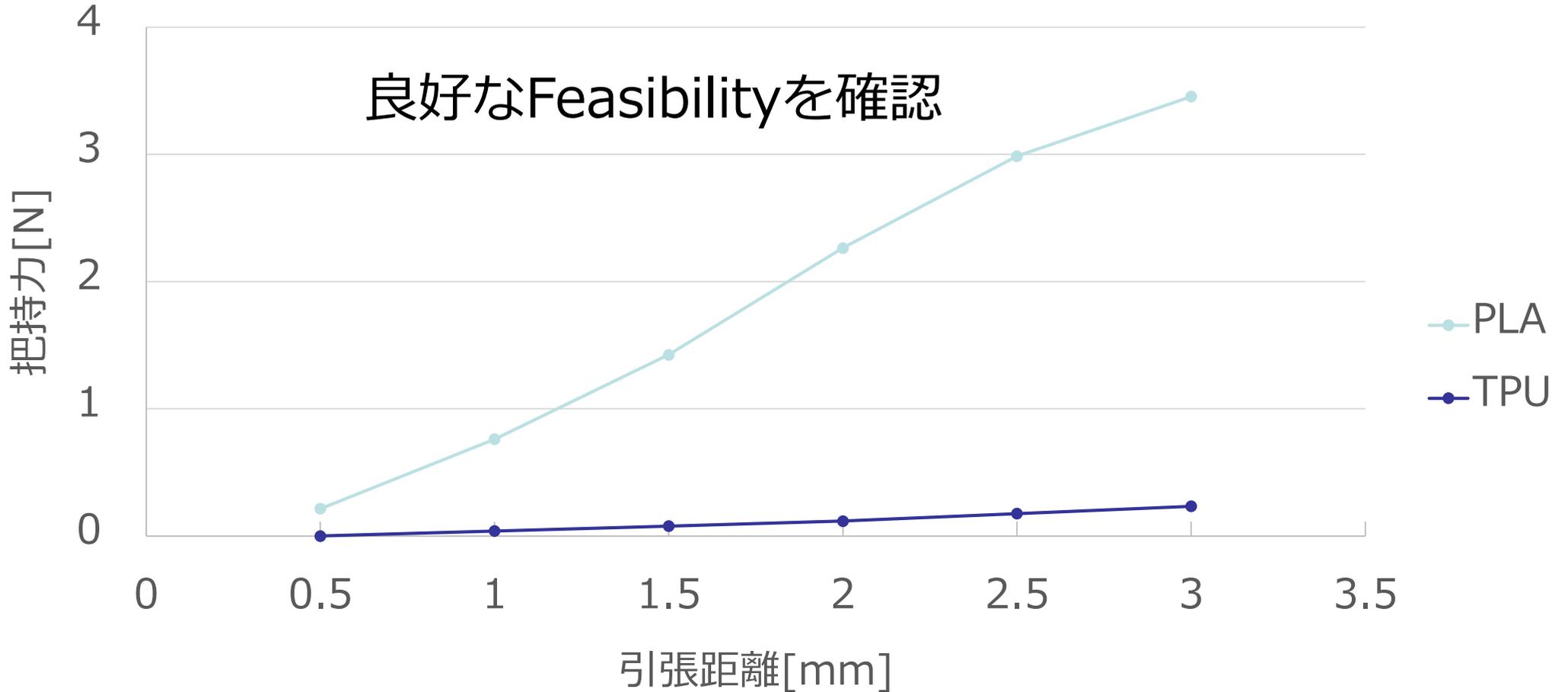
開閉動作



屈曲動作

60°の開閉と45°の屈曲を確認

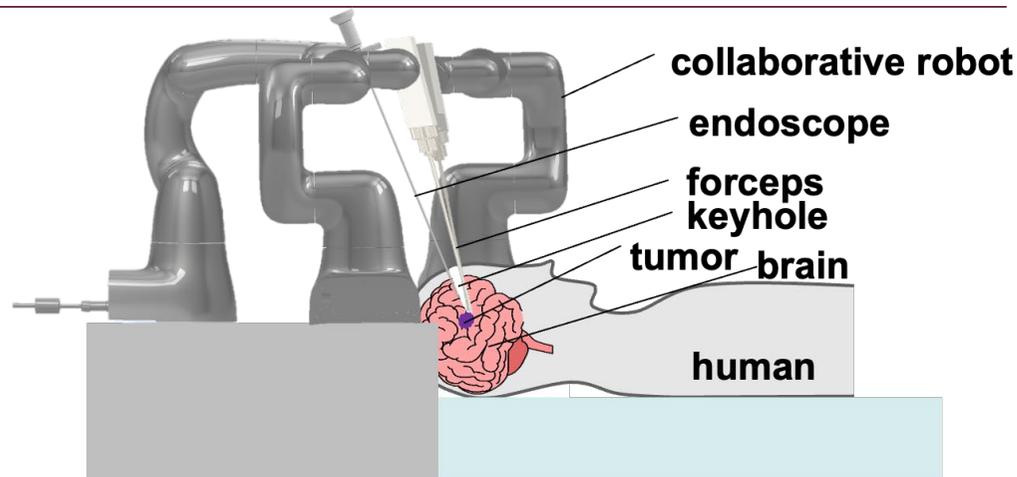
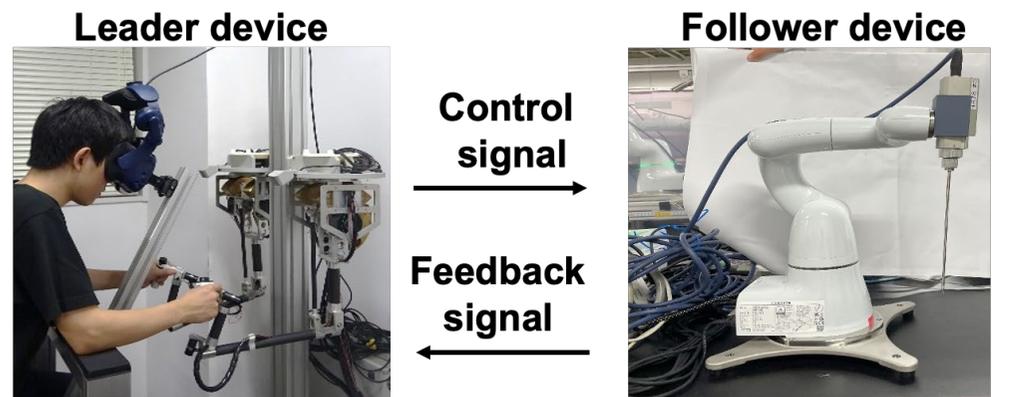
# 把持力に関する評価



## 把持力評価

TPU(弾性率9.4[MPa])とPLA(弾性率3500[MPa])

# 手術ロボットへの仮実装を進捗中



脳神経外科手術  
ロボット・シス  
テムとして試験  
実装し、その有  
効性を検証する  
ための研究開発  
を併走して実施  
している。

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- ロボット鉗子に樹脂材によるコンプライアント機構を導入することが大きな新規性
- 世界初のディスプレイザブルロボット鉗子が実現できる（施設での滅菌消毒不要、手術ロボットの低価格化）。
- 将来的な小型化が期待される（現在技術ではリーチできない手術領域でのロボット活用）

# 実用化に向けた課題

- 現在、機構が動作しうることは明らかにしたが、その最適化を進捗中である。
- 今後、解析と試作機による評価を進め、より小型なロボット鉗子を実現する。
- 実用化に向けて、手術ロボット全体を含める包括的な研究開発へのステップアップが必要
- 発表者は遠隔ロボットの開発等を別途行っており、関連技術の応用に興味のある企業を探索中

# 企業への期待

- 滅菌消毒可能な樹脂材料のロボット導入が世界初の「ディスポーザブルロボット」を実現できる
- 樹脂可能，成型技術を持つ、企業との共同研究を希望する（ロボット技術は問わない）
- 機械関係技術の医療応用を検討する企業との共同研究

# 産学連携の経歴

- AMED 橋渡し研究シーズF（2022～2024）、医工連携事業化推進事業（2019～2022）、産学連携医療イノベーション創出プログラム（2016～2019）ほか
- JST A-STEP 若手育成タイプ（2013～2016）FSステージ（2009～2011、探索タイプ（2012～2013、2013～2014）ほか
- 2018年～ 九大発スタートアップ株式会社メグウェルを共同設立（取締役）、医療機器メーカー等と共同開発契約締結、リハビリロボット開発中

## 企業への貢献、PRポイント

- 手術ロボットは、機械技術が生命に関わる重要な役割を担うアプリケーション
- 医療ロボット市場は急成長している
- 本技術は小型ロボットとして医療ロボットに限らず広範な適用開発がある
- 本件移管する研究者は実用化研究に極めて前向きであり、製品開発の実績を有し、技術導入の協力を惜しまない

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : MANIPULATOR
- 出願番号 : 63537203 (米国仮出願)
- 出願人 : Kyushu University
- 発明者 : Jumpei Arata、Isao Tsuruta

# お問い合わせ先

九大OIP株式会社  
サイエンスドリブンチーム

T E L 092-400-0494

e-mail [transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp](mailto:transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp)