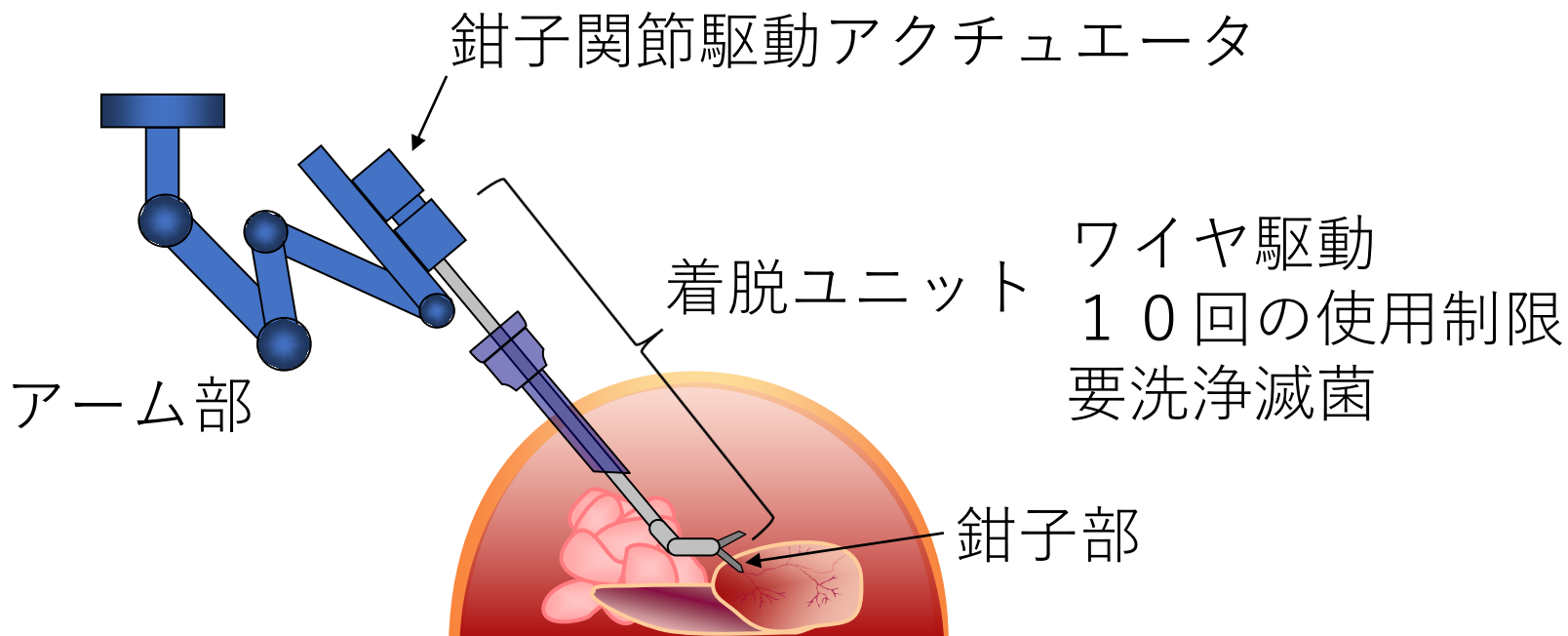


# 弦振動によるワイヤ駆動手術 ロボットの力センシング

東京工業大学 工学院 機械系  
教授 小俣 透

2023年12月14日

# 手術ロボットの基本構造

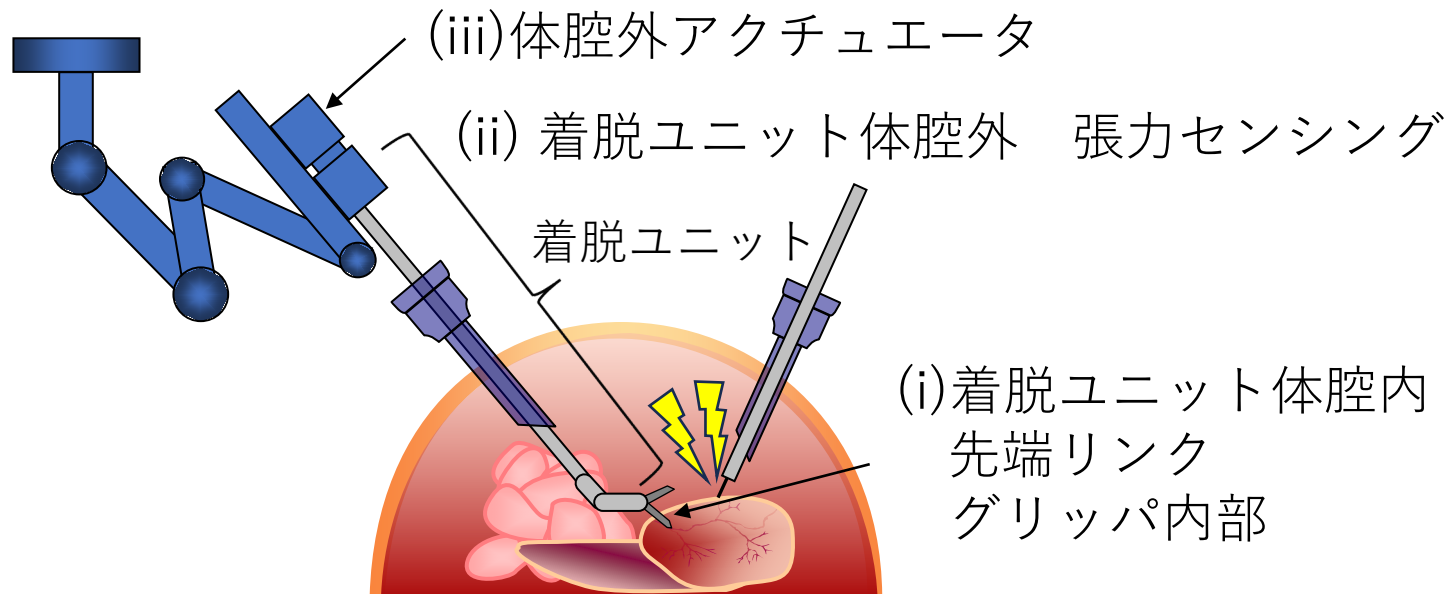


## 知りたい力

接触力, グリップ力, 微小な力, 過大な力

# 手術ロボットのカセンシングはなぜ難しいのか

どこで測る

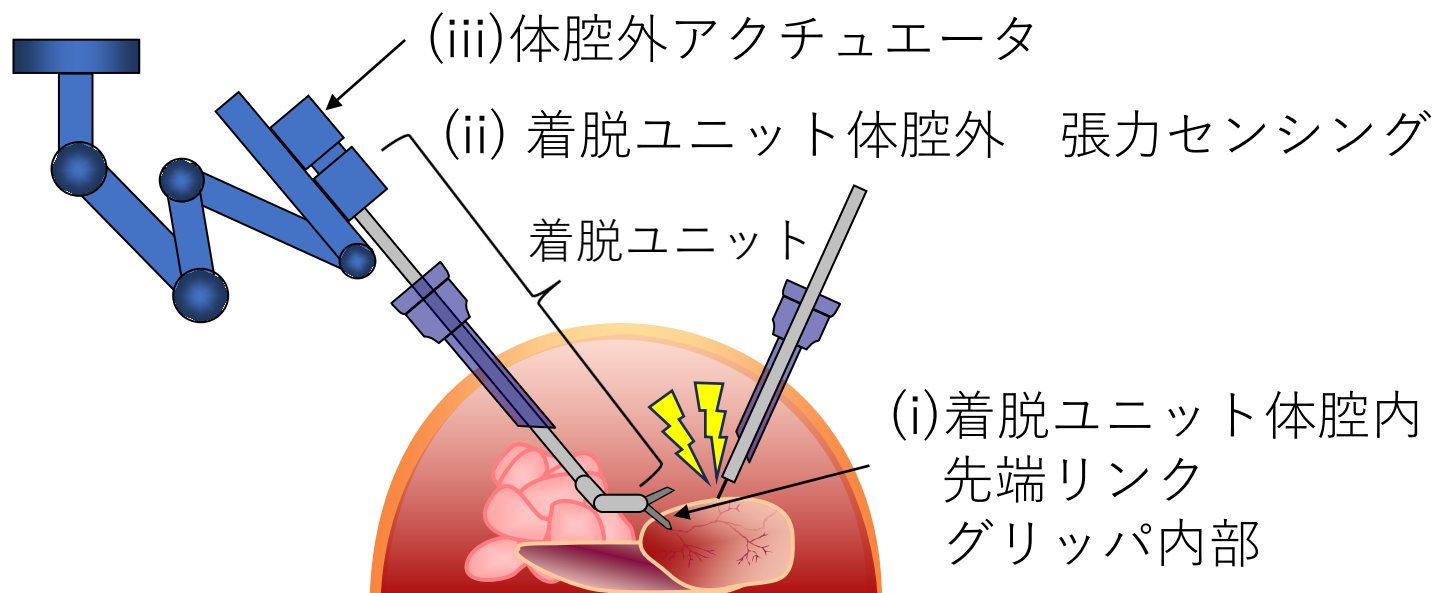


## (i) 着脱ユニット体腔内 (先端リンク, グリッパ内部)

**厳しい要求**：過酷な環境（体内の液体，電磁ノイズや熱）で使用，洗浄・滅菌が可能である，小型で堅牢，10回使用できる耐久性，10回しか使わない経済性

⇒ **実用化は難しい**

# 手術ロボットのカセンシングはなぜ難しいのか



## (ii) 着脱ユニット体腔外

サイズと環境は緩和，しかし、10回使用できる耐久性、  
10回しか使わない経済性は体腔内の場合と同様

## (iii) 体腔外アクチュエータ

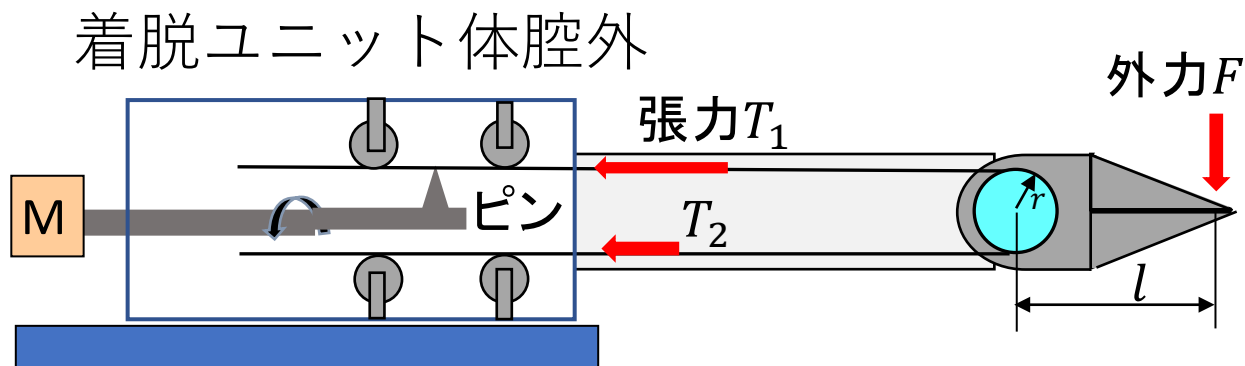
空気圧アクチュエータが唯一の実用化例  
力の作用点から遠い⇒摩擦の影響

# 本研究の方針

---

- (ii) の着脱ユニット体腔外で張力センシングを採用
- 電気素子を使わない、または使い捨てにして洗浄滅菌可能とする。

# ワイヤの弦振動による力センシング



原理図

**方法**：ワイヤ $i$ を弦振動させ、振動周波数 $f_i$ からワイヤ張力 $T_i$ を求める

$$f_i = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T_i}{\rho}}$$

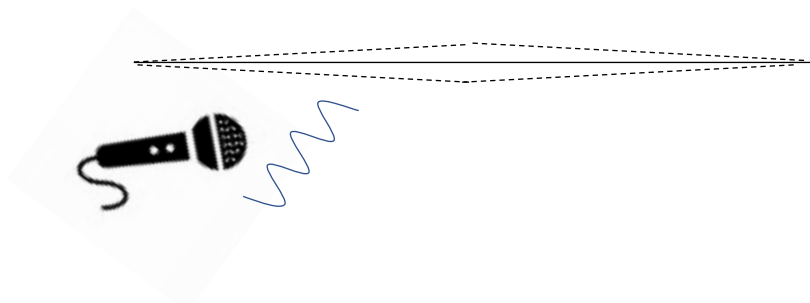
$f_i$ : 周波数     $L$ : 弦の長さ  
 $T_i$ : 張力     $\rho$ : 線密度

2本のワイヤの計測結果から、さらに外力，グリップ力を計算

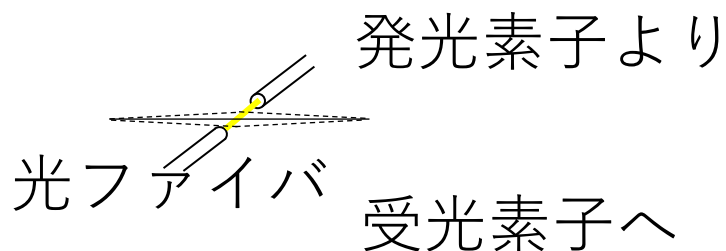
$$F = \frac{r}{l} (T_1 - T_2)$$

# 弦振動の周波数計測方法

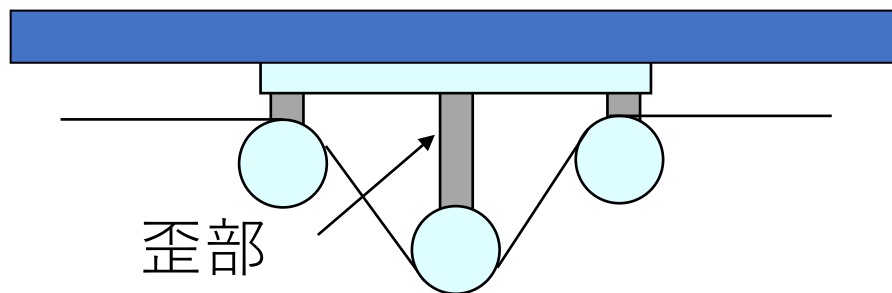
## (1) マイクによる音声計測



## (2) 光による計測



# 典型的な張力センシング方法との比較



3 プーリ張力センサ

歪計測には電気をしないFBGセンサが有望  
しかし、歪部が柔で精巧、貼り付け作業を伴う

$n$  × 使用する鉗子類の数だけ張力センサが必要 (通常  $n = 6$ )  
一つ一つの張力センサに歪ゲージを貼付  
⇒ コスト的に見合わない



# 本方式の利点

---

- **歪部がない、歪センサを貼付する必要がない。**
- 安価な部材で構成できる。
- 電気素子を使わない、または使い捨てにできる。
- 衝撃（衝突、落下）に強く堅牢である。

# 従来技術とその問題点

1. 既に実用化されているものには、空気圧アクチュエータの圧力計測による方法があるが、
  - ・力の作用点から遠い
  - ・電磁アクチュエータには適用できない等の問題があり、広く利用されるまでには至っていない。
2. 歪センサを用いる方式は実用化に至っていない。

## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、歪部を廃止することに成功した。
- 従来の実用化例は空気圧アクチュエータの圧力計測による方法の一例に限られていた。
- 本技術の適用により、歪部および貼付する歪センサが必要なくなるので、コストが削減されることが期待される。

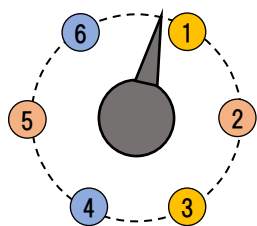
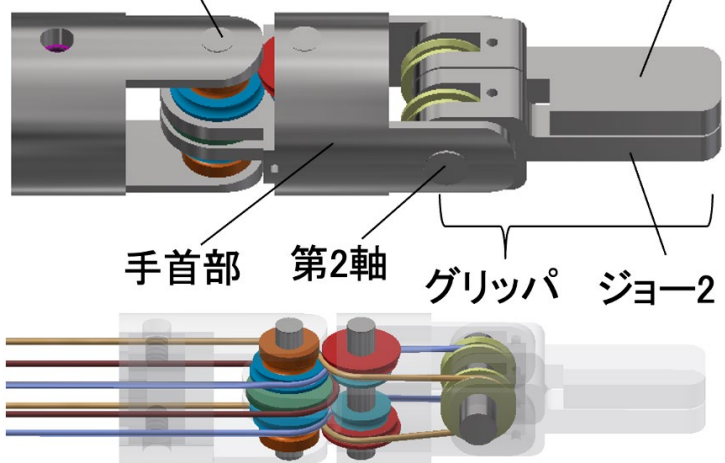
# 3自由度屈曲鉗子への適用

左右の屈曲

第1軸

ジョー1

上下の屈曲と  
グリッパ開閉



6本のワイヤ

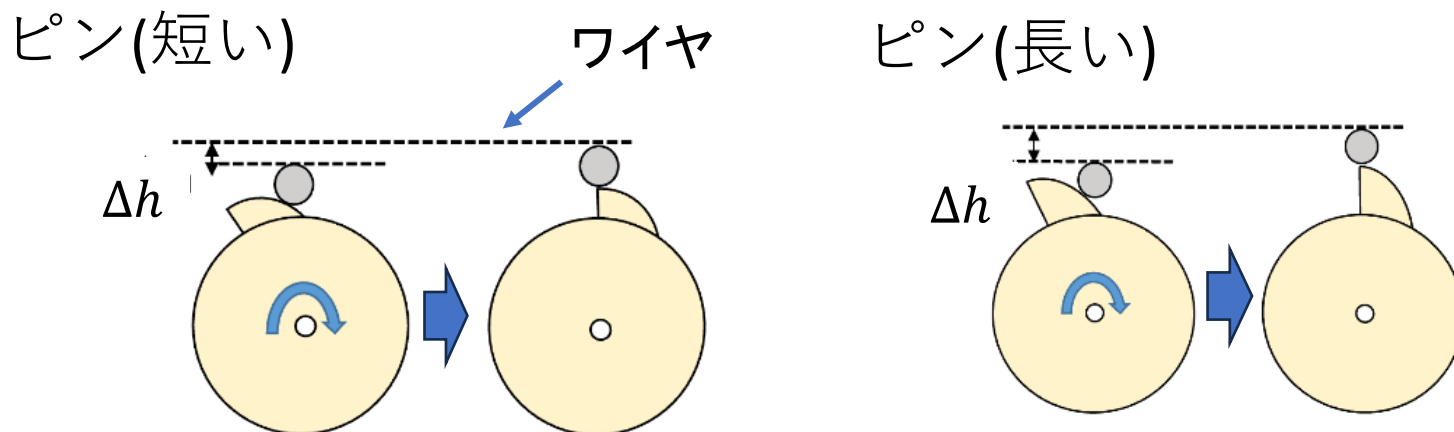


# ピンの適正サイズ

サイズの影響  $\Delta h$  : ワイヤの持ち上げ量

短い( $\Delta h$ が小さい) → 振動が小さい  
計測が不安定

長い( $\Delta h$ が大きい) → 大きな摩擦力が発生  
ワイヤを弾きづらい

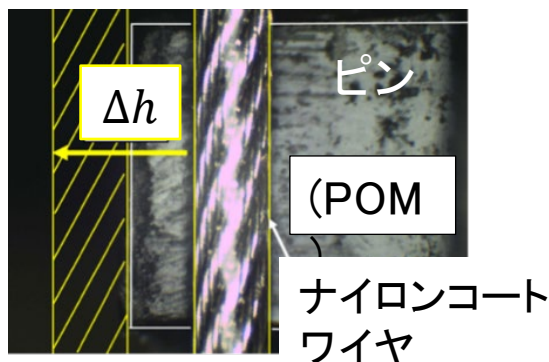


(出典：日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 2P2-B20)

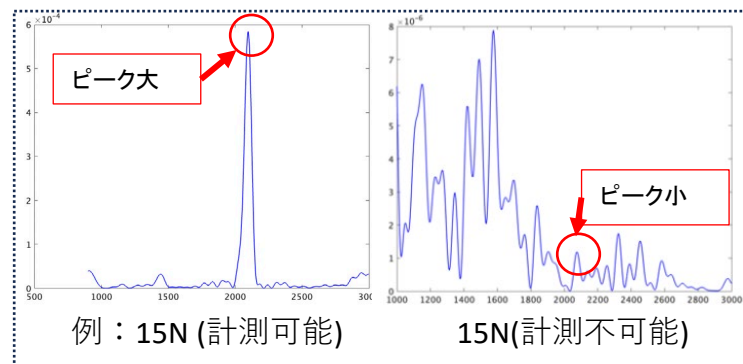
# 適正サイズを求める実験



1軸の試験装置  
 $L = 40\text{mm}$



ワイヤの持ち上げ量 $\Delta h$



周波数解析例  
(マイクを使用した場合)

5 ~ 25 Nの張力において異なる長さのピンを用いた振動周波数計測を行い、振動計測可能なピンの持ち上げ量( $\Delta h$ )の範囲を調べた。マイクを使用した場合、

⇒  $\Delta h = 815 \sim 1114\mu\text{m}$ のピンが計測に適していた。

# 耐久性試験

---

仕様：1秒間に10回のカフィードバック

弾く回数：

1本のワイヤ 1秒間に10回

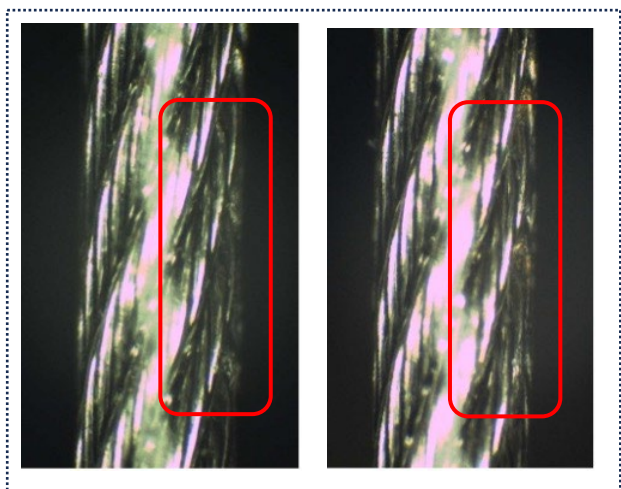
6本のワイヤ 1秒間に60回

1時間に216,000回

手術時間 4～5時間 約100万回

# 耐久性試験結果

## ワイヤ

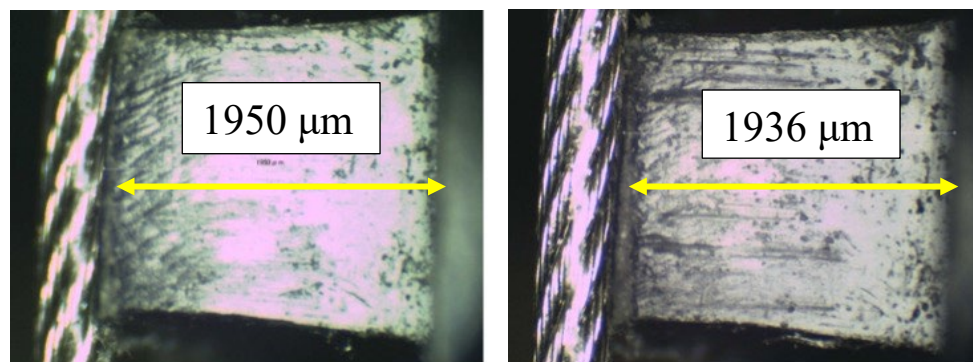


加振前

加振後

ナイロンコートにわずかな摩耗が見られたが、ステンレス線の露出はないことを確認

## ピン



加振前

加振後

1950 $\mu\text{m}$ から1936 $\mu\text{m}$ へ、約20 $\mu\text{m}$ の摩耗が見られた。

⇒ $\Delta h$ の許容変動範囲である300 $\mu\text{m}$ を満たし100万回以上の耐久性を確認



# 光センサを用いた場合

---

マイクと比較して高いS/N比  
低い $\Delta h$ で振動計測が可能

⇒

耐久性向上 光センサの使用が推奨される

## 想定される用途

- 歪部がないという本技術の特徴は、ワイヤ駆動手術ロボットの張力センシングにメリットが大きいと考えられる。
- また、達成された張力センシングに着目すると、狭所検査用のワイヤ駆動マニピュレータなどへ応用することも可能と思われる。

## 実用化に向けた課題

- 現在、摩耗については基本的には問題がないことを確認している。しかし、手術ロボットの使用環境は厳しいので、より厳格に実用化への問題点がないか調べる必要がある。
- 今後、実用化試験を行い、手術ロボットに適用する場合の条件設定を行っていく。

## 企業への期待

- 実用化については、材料技術や製造技術により克服できると考えている。
- 材料技術や製造技術を持つ企業との共同研究を希望。
- また、手術ロボット全体を開発するのではなく、張力センシング部だけを開発することも製品化として考えらえるので、本技術の導入が有効と思われる。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ワイヤ駆動マニピュレータ装置
- 出願番号 : 特願2018-176855
- 特許番号 : 特許7250303
- 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 小俣 透、日下部 雄樹

謝辞：本研究は科学研究費19K21940の支援を受けた。

# お問い合わせ先

国立大学法人 東京工業大学

研究・産学連携本部 知的財産部門

T E L 03 - 5734 - 2445

F A X 03 - 5734 - 2482

e-mail [sangaku@sangaku.titech.ac.jp](mailto:sangaku@sangaku.titech.ac.jp)