

## 遠隔超音波診断で活用するプローブ把持部の開発

### Development of probe grasping part for use in remote ultrasound diagnosis

○石井裕貴\*, 佐藤和奏\*, 南斉俊佑\*, 星崎みどり\*, 渡邊博之\*, 長縄明大\*

○ Yuki Ishii\*, Wakana Sato\*, Shunsuke Nansai\*, Midori Hoshizaki\*,  
Hiroyuki Watanabe\*, Akihiro Naganawa\*

\*秋田大学

\*Akita University

キーワード： 超音波検査 (ultrasound diagnosis), 超音波プローブ (ultrasound probe), 遠隔診療 (telemedicine), 把持機構 (grasping part), 機械的安全機構 (mechanical safety device)

連絡先： 〒 010-8502 秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院理工学研究科  
長縄 明大, Tel.: (018)-889-2726 E-mail: naganawa@gipc.akita-u.ac.jp

#### 1. 緒言

秋田県は、全国より先んじた超高齢社会（令和3年7月時点で65歳以上の割合は38.5%、全国29.1%）になっており、産業や雇用などの地域経済にも深刻な影響を与えている。また、医療においても、医療従事者の働き方改革への対応が迫られる中、人口減に伴う医師不足も課題となっており、新型コロナウイルスの流行はこの課題を顕在化させた<sup>1)</sup>。さらに、地方では、医師が都市部に集中しているため、過疎地における医師不足は深刻化しており、加えて循環器疾患や呼吸器疾患など高齢者に多い病気を診察・治療する専門医がいない地域も多くある<sup>2)</sup>。なお、秋田県では、心疾患で亡くなる方が約13%で、死因別死亡割合の第2位と高くなっている<sup>3)</sup>。

一方、AIやロボット、IoTなどの技術の進展により、各分野でDXが推進されている。中で

も、患者の病状に関する医学的判断が必要とされる場合に行われる「オンライン診療」は、院内感染リスクの低減、予約により、通院時間や待ち時間をゼロにできるなどのメリットに加え、専門医がいる都市部と専門医がいない過疎地をリアルタイムにつなぎ、最新の医療機器を活用した診断も始まっている。

著者らは、遠隔超音波検査装置を活用したオンライン診療において、患者の心エコーを試行するために設置するロボットを、ロボット技術に精通していない医師でも、簡便かつ自身が行う検査と同様の操作性でロボットを操り、効率的な検査を行うことができるロボットシステムを開発することを目指している。

本研究では、ロボットのエンドエフェクターに当たる超音波プローブの把持部および機械的安全装置について検討する。超音波プローブの把持部は、患者と触れ合う部分になるため、超音波プローブの確実な把持に加え、高い安全性を

有していることが求められる。このため、センサ等を利用した制御技術による電気的安全装置が不具合で作動しないことや、患者へのプローブ押し力が大きくなっても気づかず、診断を継続してしまうことなどを想定する必要がある。このため、これまで開発されてきたロボットにはない機能として、機械的な要素のみで構成した安全装置を搭載した超音波プローブの把持部を設計した。

## 2. システム構成

Fig. 1 に著者らが検討しているシステム全体の構成を示す。本システムは、医師側システム、患者側システム、遠隔操作を可能にする制御システムの3つの要素から構成されており、本研究では、患者側システムについて検討する。

患者側システムの構成要素は、ロボットアーム、超音波プローブ、センサやカメラ、コンピュータ等である。実際の検査においては、ロボットのエンドエフェクタ部にプローブを取り付け、患者にプローブを接触させて検査が行われるため、医師の指示に従ってロボットアームを動かすことに加え、高い安全性が求められる。

## 3. プローブ把持部の設計

### 3.1 把持部について

超音波プローブの把持部は、ロボットアームのエンドエフェクタ部に取り付けられるが、把持部の設計においては以下の機能を有していることが条件となる。

- 1) 超音波プローブを確実な把持していること
- 2) 機械的な安全装置を有していること

一般的に物体の把持形式は、指先把持と包み込み把持の2種に大別される。それぞれに利点があるが、包み込み把持は、把持対象との接触面積を大きくすることができ、安定して把持することが可能であるため、本研究では包み込み

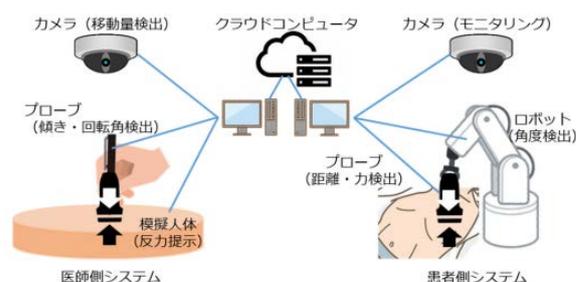


Fig. 1 システム構成 system configuration

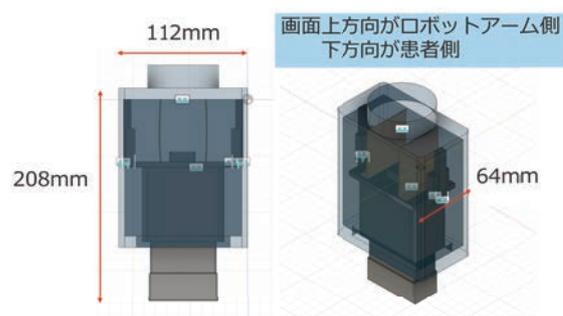


Fig. 2 プローブの把持部 probe grasping part

把持を採用する<sup>4)</sup>。なお、本研究では、プローブを患者に接触させて力を加える際、ある閾値までは加えている力をそのまま伝達することができ、この閾値を超えた場合に加えている力を解放できるように設計する。

### 3.2 把持部の設計

Fig. 2 に超音波プローブの把持部を示す。構成要素は、把持部本体、板バネ、可動テーブル、リニアガイド、超音波プローブ保持部となっており、把持部本体においては、前述した通りに、包み込み把持を行うため、超音波プローブを差し込むことができ、また、閾値を超えた力が加わった際、プローブを引っ込めて力を解放するため、保持部本体の内部にレールガイド（長さ75 mm）を配置する。なお、把持部本体の大きさは、縦208 mm、横112 mm、奥行き64 mmとし、加える力の閾値については、板ばねの弾性特性を利用して実現する。

### 3.3 機械的安全装置

患者側システムでは、患者とプローブ把持部が接触するため、患者にとって安全性は確実に担保されなければならない<sup>5)</sup>。このため、センサ等を使用した制御技術による安全を電気的安全装置とし、電気的な要素は一切なく、機械的な要素のみで構築された安全装置を機械的安全装置と定義する。

これまでの研究では、電気的安全装置のみを搭載するロボットが多かったが、本研究では、超音波プローブ把持部に機械的安全装置を組み込むことで2重の安全性を確保する。その結果、電気的安全装置が何らかの原因で作動しない場合や、遠隔操縦の際、患者への押し力が過大に大きくなっても、それに気づかず診断を継続することを防止できるため有用であると考えられる。

### 3.4 機械的安全装置のコンセプト

機械的安全装置は、以下の点を踏まえて設計する。

- 1) 閾値の押し力まではプローブを患者に押し当て、診断を続けることができる装置
- 2) 閾値を超える力を加えた場合、プローブの押し力を解放することができる装置

そこで、押し力の閾値を決めるため、医師にプローブを把持してもらい、電子天秤を用いて押し力の簡易計測を行った。その結果、プローブの操作によって押し力は300 gf から780 gfであったため、閾値は800 gfとした。

Fig. 3 にプローブ把持部の動作を示す。プローブ把持部は、押し力の閾値までは通常の検査ができるようにするが、閾値を超えた場合には、把持部本体に組み込む板ばねが変形してプローブを引っ込ませ、押し力を解放する。再び診断する際には、板ばねの復元力によって通常の状態に戻るようにする。

### 3.5 板ばねの設計

本研究では、プローブ把持部内に2つの板ばねを挿入し、押し力の調整を行う機械的安全装置を設計する。このため、Fig. 4に示すように、板ばねを長柱に見立て、両端固定の座屈をモデルに考える。板ばねに使用する素材は、ステンレス系ばね材 SUS304 とすると、ヤング率は  $E = 199 \text{ GPa}$  となる。なお、ばね長は  $L = 75 \text{ mm}$ 、断面は  $b = 0.2 \text{ mm}$ 、 $h = 8 \text{ mm}$  とする。これらのパラメータより断面積は、 $A = 1.6 \text{ mm}^2$ 、最小断面二次モーメントは  $I = 0.0053 \text{ mm}^4$  となる。これらの値を使用して計算を行う。

最小座屈荷重に関しては、8.0 N の押し力でばねにたわみを発生させるため  $F_{(cr)} < 7.0 \text{ N}$  を条件にする。オイラーの公式より、座屈荷重は、

$$F = \frac{n\pi^2 EI}{L} = \frac{4\pi^2 * 199000 * 0.0053}{75} = 7.45 \text{ N} \quad (1)$$

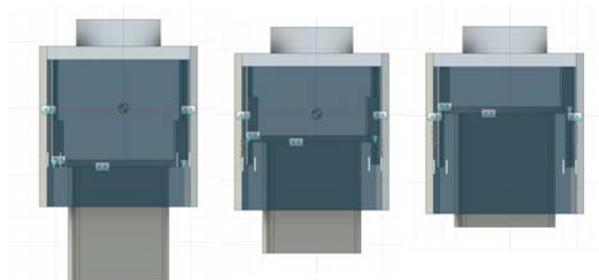


Fig. 3 把持部の動き movement of grasping part

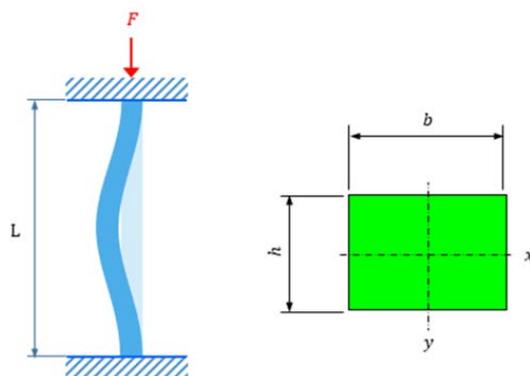


Fig. 4 両端固定座屈モデル double-ended fixed buckling model

座屈応力は,

$$\sigma = \frac{F_{(cr)}}{A} = \frac{7.45}{1.6} = 4.66 \text{ N/mm}^2 \quad (2)$$

回転半径は,

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0.0053}{1.6}} = 0.06 \text{ mm} \quad (3)$$

相当細長比は,

$$\lambda = \frac{L}{k} = \frac{75}{0.06} = 1299.04 \quad (4)$$

設計結果を Table 1 にまとめる. 最小座屈荷重は条件を満たしており, また  $\lambda > 100$  より, オイラーの公式は成立しており, 座屈応力は降伏応力を超えず破断しないことがわかる<sup>6)</sup>.

## 4. 結言

本研究では, 患者側システムにおいてロボットに搭載するプローブ把持部に必要となる機能や仕様について検討を行い, 機械的安全装置の設計や, 押し力の閾値に基づく板ばねの設計等を行った. 今後は, 実際に製作してその性能を実験的に検証することである.

本研究の一部は, JSPS 科研費 23K06844 の助成によるものである. 関係者に謝意を表す.

## 参考文献

- 1) 秋田県健康福祉部健康づくり推進課: 令和3年人口動態統計(確定数)秋田県の概況(2021)
- 2) 岩橋彰: 秋田県の医師不足について, あきた経済, 13/18(2019)
- 3) 厚生労働省, 令和3年(2021)人口動態統計(確定数)の概況 結果の概要(2022)

Table 1 計算結果 Calculation Results

最小座屈荷重 $F$	7.45 N
座屈応力 $\sigma$	4.66 N/mm <sup>2</sup>
回転半径 $k$	0.06 mm
相当細長比 $\lambda$	1299.04

- 4) Kenjiro Tadakuma: Principle and Embodiment of Embracing Gripper Mechanism, Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 35, No. 1, 36/39(2019)
- 5) Eugene Kim, Yoji Yamada and Shogo Okamoto: Safety of Human-Robot Collaborative Operation Systems, Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 37, No. 10, 923/927(2019)
- 6) 日本機械学会: JSME シリーズ 材料力学, 124, 丸善出版(2007)