

厚生労働科学研究委託費（医療機器開発推進研究事業）
委託業務成果報告

腹腔鏡下超音波検査を簡単操作に変える手首運動を再現した
遠隔回転中心を有する多自由度自在電動アーム

一次試作機の開発

担当責任者 橋爪誠 九州大学先端医療イノベーションセンター・教授

光石衛 東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻・教授

池田哲夫 九州大学病院先端医工学診療部・准教授

赤星朋比古 九州大学 大学院医学研究院先端医療学部門・准教授

荒田純平 九州大学大学院工学研究院機械工学部門・准教授

中橋 龍 九州大学先端医療イノベーションセンター・助教

当該業務項目では、先に記した研究目的に基づき、試作機を製作、動物による評価を実施することで、機械的要求を明確に設定することを主たる目的とする。項目実施にあたり、<A> 先端機構、 駆動部・操作インターフェイス、<C> ナビゲーション機能の各項目について研究開発を実施した。それぞれの研究成果によって、目的は達成され、よって計画通りに研究開発を進捗することが出来た。

A. 研究目的

当該業務項目では、先に記した研究目的に基づき、試作機を製作、動物による評価を実施することで、機械的要求を明確に設定することを主たる目的とする。項目実施にあたり、<A> 先端機構、 駆動部・操作インターフェイス、<C> ナビゲーション機能の各項目について研究開発を実施したので、それぞれ以下に記す。

B. 研究方法

開発した一次試作機は、駆動部、操作ハンドルなどを一体化したハンドヘルド型のロボット装置と、制御用ユニットを内包する外部装置、ナビゲーションシステムから構成される（図1）。ロボット装置は先端に小型超音波プローブを搭載しており、回転

中心をプローブ接触面中心とする3自由度動作を可能としている。図1に示す通り、3自由度動作はプローブに対してピッチ、ヨー、ロール回転の3つであり、一次試作機のために製作した操作用グリップに搭載するボタンによってそれぞれ独立して操作可能である。なお、操作インターフェイスに関する検討は次項の開発小項目にて実施している。

ピッチ回転とロール回転は、先端機構内部に搭載されたリンク機構によって、内部動力リンクの装置長手方向の移動を変換することで得ることが出来る。また、ロール回転については、長手方向の軸全体を操作グリップ部根元付近から回転することで実現している。装置の長手方向寸法に420mm、

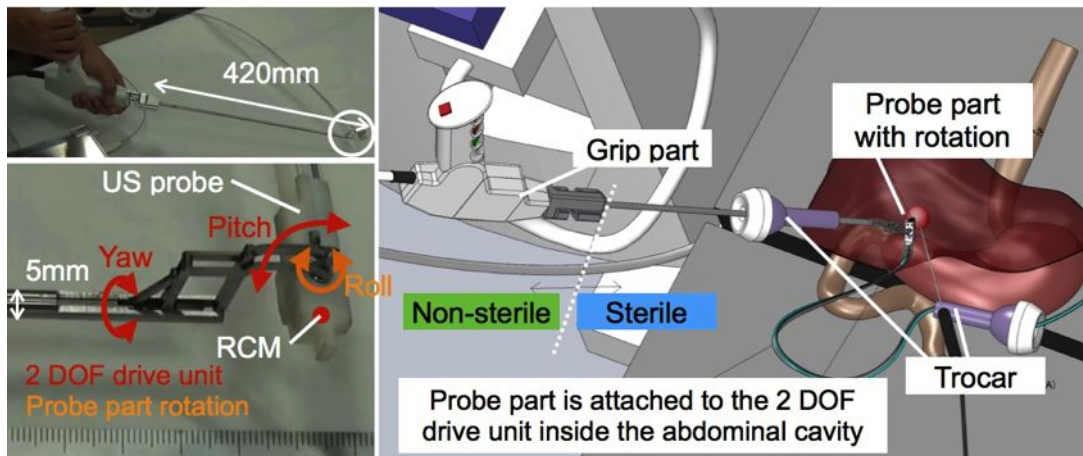


図1 一次試作機概要

直径は5mmであり、容易に体腔へ挿入し、動作可能である。一次試作機では、動作域をピッチ回転とヨー回転につき $\pm 45^\circ$ とし、ロール回転につき $\pm 180^\circ$ と設定した。動作域に関する評価検討については、次事業項目である評価を参照されたい。図1に示す通り、ロール回転を行うためのユニットは超音波プローブに装着された状態で、装置本体とは異なるポートより挿入され、体腔内で装置本体と機械的に固定（ワンタッチ型のピンジョイント）することにより、動作を行うことが可能となる。当該機構の実装によって、装置の小型化を可能とした。装置本体に設けられたピッチ回転を行うためのパラレルメカニズムは折りたたんだ状態で高さ7.5mmであり、よって12mmのトロッカー内部を通して体腔へ挿入可能である。

ピッチ、ヨー回転の2自由度は、操作グリップ内にDCサーボモータ（RE8+MR+GP8A、スイスマクソン社製）を搭載し、動作を行っている。ロール回転の動力は、外部ユニットに内蔵したDCサーボモータからフレキシブルシャフトを介

して伝達されている。なお、グリップ部については操作者のつかいやさを考慮し、また評価結果から迅速に研究開発へ反映するため、3Dプリンタを用いて実装した（Eden 350V、米国Objet Geometries社製）。6つのボタンはそれぞれ、ピッチ、ロール、ヨー回転を正負方向へ動作するため用いられる。よって、現試作機での操作は各軸に対する独立的操作のみであり、その動作速度は外部ユニットに搭載されたボリュームによって変更可能である。一次試作機の総重量は370gであり、先端機構部およびロール回転ユニット、超音波プローブは取り外して滅菌消毒可能である。

一次試作機は、超音波プローブとしてUST-533（実施機関である九州大学先端医療イノベーションセンターの共同研究機関である日立アロカ社製、直径9mm、長さ15mm）を用いた。なお、本課題のために特化した超音波プローブを現在開発中であり、来年度には完成の予定であり、次期試作機への実装を予定している。

操作インターフェイス

操作インターフェイスを設計・評価するにあたり、内視鏡超音波先端の駆動範囲と操作者の手元の動作範囲を測定するシステムを開発した。開発したシステムを図2に示す。現在の超音波内視鏡プローブの駆動範囲と医師が理想とする駆動範囲を測定した結果、ロー回転とヨー回転の駆動範囲を電動アームにより拡張することが体内での超音波内視鏡の操作を理想に近づけることがわかった。開発したシステムを使用することで、電動アーム操作時の手元の動作やブレを評価可能であるため、来年度は上記試作機の操作インターフェイスを評価し、ボタンの位置や配置、自由度の割り当てを最適化する予定である。

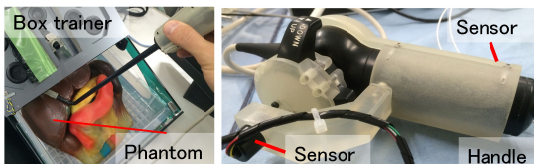


図2 駆動範囲測定システム

ナビゲーション機能

ナビゲーション機能においては要求仕様を検討し、超音波画像および位置計測装置を用いた画像再構成ソフトウェアの開発を進捗した。

チーム内の医師による検討の結果、血管網と腫瘍の位置関係を直観的に把握することが重要であり、従来のエコー鉗子においては血管の短軸像しか観察できない場合があった。また、開発している自在アームにおいてもリアルタイム画像のみでは過去の情報を記憶し医師自身が再構築像を想像する必要がある。そこで、開発するナビゲーション

機能を対象周辺で3D画像を構築するものとし、半自動で腫瘍・血管をセグメンテーションすることにより、腫瘍と血管の位置関係を三次元的に可視化するものとした。一方、内視鏡画像への重畳表示については、過剰な情報とならないように呈示方法をさらに吟味する必要がある。

C. 結果

これら小項目による研究成果により、一次試作機を製作し、よって、本項目として掲げた平成26年度開発目標を達成した。