

# 深部の肝腫瘍を局所的に切除可能な 手術器具に関する研究

A study on surgical instruments that enables local  
extirpation of a deep-lying liver tumor

電気電子情報通信工学専攻 福島 直浩

Naohiro FUKUSHIMA

## 1. 緒言

現在日本人の死亡原因の第 1 位は悪性新生物（がん）である。その割合平成 28 年の統計調査では 28.5[%]。この順位は日本で 30 年以上変わっておらず、1 位を維持している。また、がん患者の数も年々増加しており、その数は男女とも 1985 年と比べると 2010 年の約 2.5 倍となっている。また、がんの部位別割合は 1 位から肺がん、胃がん、大腸がん、膵臓がん、肝臓がんの順になっている。各臓器の中でも肝臓がんは血管がとても豊富であり、手術をする際にかなりの時間を要する。

肝細胞がんを切除するにあたっては現状では、図 1.1 に示すとおり、露天堀のように表層から腫瘍に至る組織を広範囲に切り取る方式が用いられている。しかし、この方法ではがん細胞ではない正常な肝細胞も大量に切除してしまう。

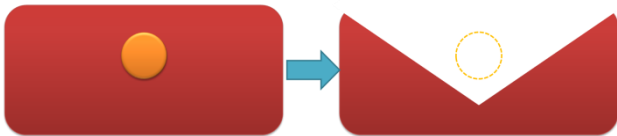


図 1.1 現状の肝臓がん切除

そこで、本研究ではがん組織とその周辺組織のみを局所的に摘出可能な手術器具の実現を目的とした。本装置は次の特徴を有する。

- 切除する正常な肝細胞を最小限に抑える
- 十分な止血能力を有する
- 手術時間の短縮を可能とする

## 2. 提案する肝臓がん切除システム

本研究では、切除するがん組織は直径 20[mm]のものを想定し、安全マージンを含めがんを含めて直径 40[mm]の肝組織の切除を目的とする。これに対し、回転しながら切除刃を送り出し、腫瘍とその周囲のみを局所的に摘出する新しい手術器具を提案する。図 2.1 提案装置のスケッチを示す。この手術器具は切開のための物理メスが

2 本、凝固のための電気メスが 2 本、計 4 本のブレードが搭載されている。電気メスブレードには、生理食塩水滴下するイリゲーション、血液等を吸引するドレーンの機能を有する。4 本のブレードを回転させ、切り進めていく。また、肝臓と装置がズレないようにするためにかえしのついたアンカーを搭載し、装置と肝臓を固定する。

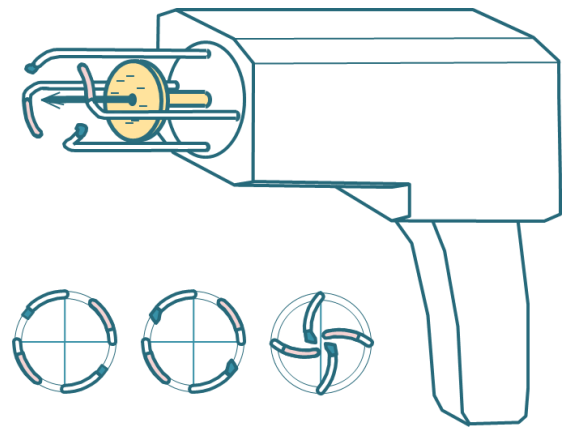


図 2.1 提案装置のスケッチ

提案する肝臓がん切除の工程は、肝臓にスリットを入れ、装置をアンカーで固定し、4 本のブレードで切り進み最後に底面を切除し対象組織を完全に切除する。工程図を図 2.2 に示す。

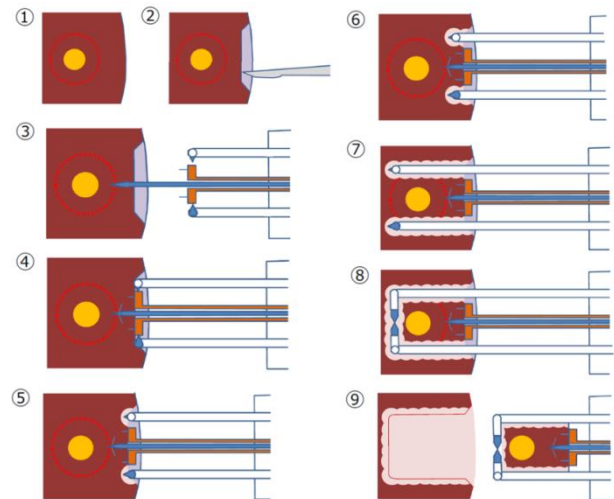


図 2.2 提案する肝臓がん切除工程

### 3. 試作装置

提案装置を設計するために必要な技術検討用実験のために据え置き型試験装置の設計と製作を行った。また、据え置き型試験装置の機能をガンタイプまとめた、ハンディタイプ試験装置を2つ製作した。1号機は性能実験のために、2号機は生体ブタ肝臓摘出実験のために製作した。

#### 3.1 据え置き型試験装置

図 3.1 に据え置き型試験装置の外観を示す。提案する手術器具は肝臓の深部にある対象部位のみを切り取ることを目的とする。これまでに無い切除方法を探求するものであり、備えるべき性能や使用条件など未知な点が多い。そこで基本技術の確立を目的に各技術要素の実験的検証を可能とする試験装置を開発した。

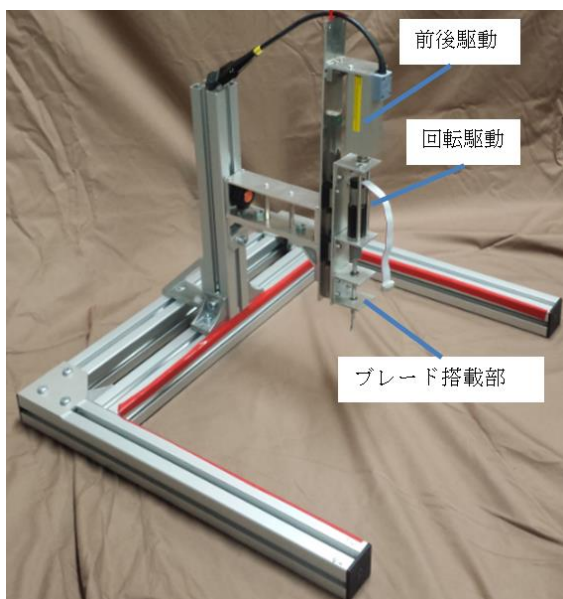


図 3.1 据え置き型試験装置

切り進むための電動シリンダ、円弧状に回転しながら切開するための DC モータ、電気メスや物理メスを搭載するためのブレード搭載部で構成されている。

#### 3.2 ハンディタイプ試験装置 1号機

実際の手術で使用する手術器具を目標に開発しているため、手術器具の使用感を医師から聞き、開発を進める必要がある。そこで、生体ブタでの模擬手術を行う前に食用ブタ肝臓を持ち手機能実験を行うことを目的とした試作装置 1号機の開発に取り組んだ。

図 3.2 にハンディタイプ試験装置の 3D モデルを、図 3.3 にハンディタイプ試験装置 1号機の外観を示す。

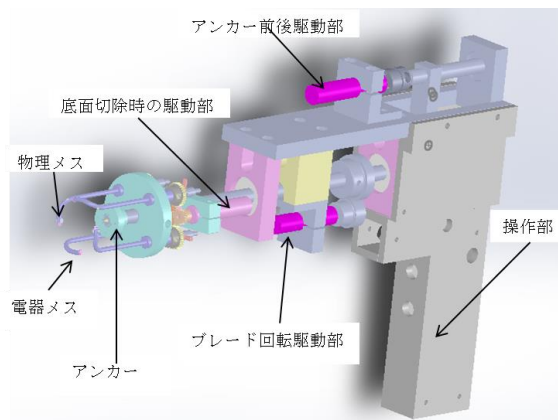


図 3.2 ハンディタイプ試験装置 3D モデル



図 3.3 ハンディタイプ試験装置 1号機

ハンディタイプ試験装置は、肝臓と装置がズレないように固定するためのアンカー機構 (図 3.4) を有しそのアンカーを前後駆動させることで肝臓深部に切込んでいく。装置の最後尾を押すことでスパイクを出し、回転させることで固定できる。円弧状に切開と凝固をするためにブレードを回転駆動させる。ブタ肝臓を円筒状に切開した後に目標組織を切除するため底面切除駆動を行う (図 3.5)。装置の先端には、肝臓を凝固用に電気メスのブレード2本、切開用に物理メスのブレード2本の計4本のブレードを搭載。電気メスのブレードはイリゲーションとドレイン用に別々の流路を有している。

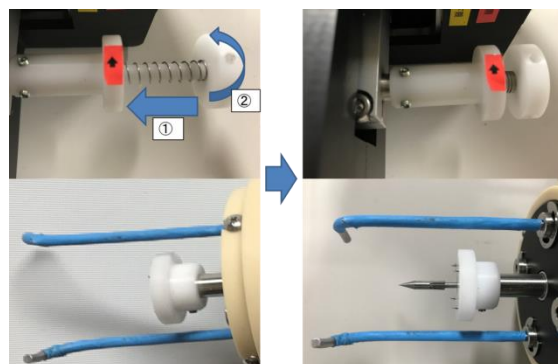


図 3.4 アンカー機構

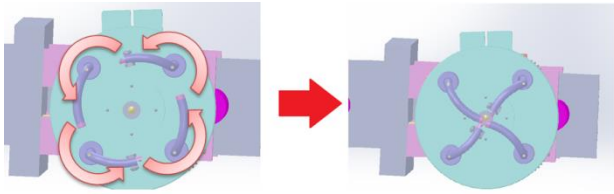


図 3.5 底面切除駆動

### 3.3 ハンディタイプ試験装置 2号機

図 3.6 にハンディタイプ試験装置 2号機の外観を示す。図 3.2 で示した機構の構成は同じである。1号機との違いは、フレームを軽量化したこと、全体カバーを取付け、左手で支えることを可能にし、血液などが駆動部に付着することを防ぐ。また、どれだけアンカーの前後駆動をしたか術者が管理するため、ボタンを 1 秒だけ押すと 1[mm]駆動するモードを実装し、押した回数から切込み量を把握することができる。

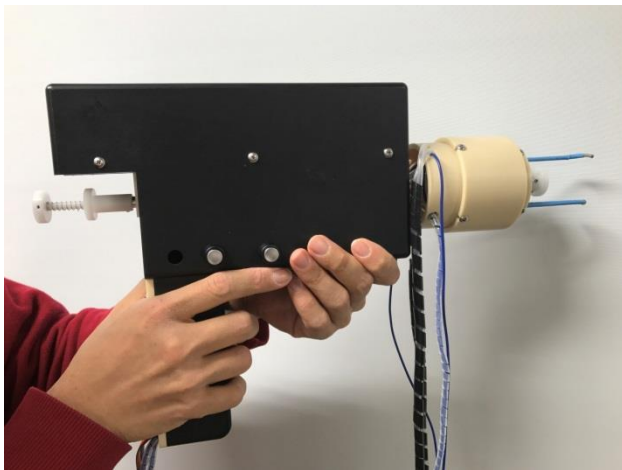


図 3.6 ハンディタイプ試験装置 2号機

## 4. 試作装置による実験

3.で示した試作装置を用いた実験をそれぞれ行った。

### 4.1 温度特性測定実験

ブレードの温度をリアルタイムで観測できれば深部の不可視状況を推察するための材料にできると考えた。温度が上昇しすぎるとブレードに肝組織が付着してしまい、凝固能力が低下する。温度を監視することで凝固能力を十分に発揮させることを目的とする。そのため、電気メス使用時の温度特性を測定する試験を行う。据え置き型試験装置の下にブタ肝臓を設置し、電気メスのブレードを用いて凝固した際の温度を測定する。ブレードに K 型熱電対を貼り、その値を測定した。

結果を図 4.1 に示す。凝固時間で一樣に温度増加は見られ、イリゲーション開始直後には温度低下も確認することができた。また、据え置き型試験装置にはアンカー機構が無く、実験中に装置と肝臓がずれることがあった。このことからアンカー機構の必要性も確認された。

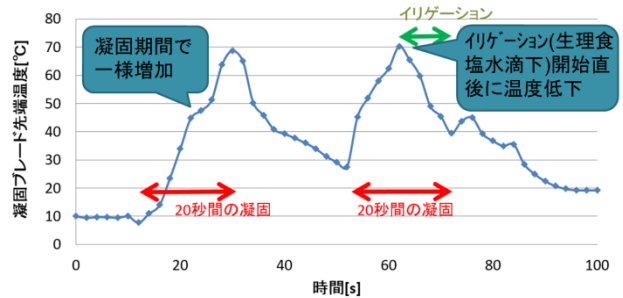


図 4.1 温度特性測定結果

### 4.2 ハンディタイプ試験装置 1号機性能実験

ハンディタイプ試験装置 1号機を用いてブタ肝臓の部分的切除が可能かの実験を行い、機能の検証を行った。今回は食用のブタ肝臓を用いた。装置先端をブタ肝臓に押し当て、物理メスによる切開と電気メスによる凝固を行いながら繰り返し回転させ、円弧状に切り進む。目的組織の底面まで進んだらブレードのみを回転させ、底面切除を行う。実験風景を図 4.2 に示す。



図 4.2 ハンディタイプ試験装置 1号機性能実験

結果として、ハンディタイプ試験装置 1号機によるブタ肝臓の部分的切除は十分な凝固を行った上で成功した(図 4.3)。また、アンカーによる肝臓と装置のずれの抑制も確認することができた。

しかし、立ち会った医師から新たな課題を2つ提示された。1つ目が重く、使いづらいという点。1400[g]もある装置を片手のみで支えるため、持つ右手に大きな負荷がかかった。2つ目は切り進んだ深さが分かりづらいという点。切り進んだ量はブレードがどれだけブタ肝臓に入り込んでいるかで判断するしかなく、課題として挙げられた。

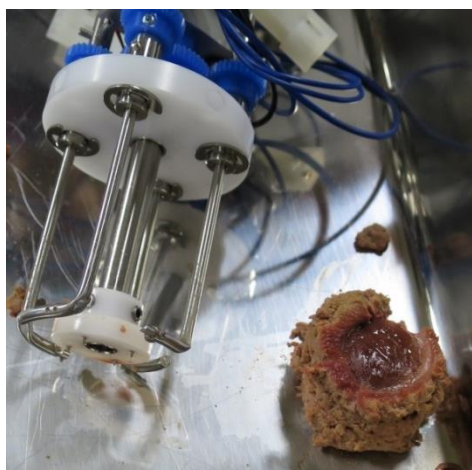


図 4.3 ハンディタイプ試験装置 1 号機性能実験結果

### 4.3 生体ブタ肝切除実験

4.2 で挙げた課題を改善したハンディタイプ試験装置 2 号機を用いて生体ブタでの肝臓部分的切除実験を行った。今までの実験は食用ブタ肝臓を用いて実験を行っていた。そのため、出血はほとんど無く実験を進めていた。しかし、生体の場合血流があるため出血が多くあることが予想される。ハンディタイプ試験装置 2 号機の凝固能力、生体との違いを検証することを目的とする。

外科医師が、ハンディタイプ試験装置 2 号機を用いて生体ブタ肝臓の部分的切除を行う。図 4.4 に実験風景を示す。

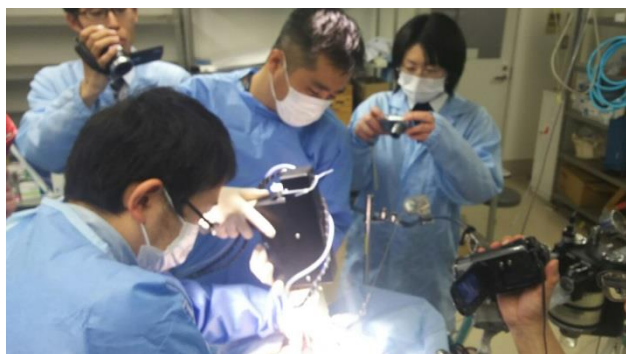


図 4.4 生体ブタ肝切除実験風景

結果として、生体ブタの肝臓部分的切除実験は切除に失敗した。失敗した要因として、出血が非常に多く凝固が上手く機能しなかったこと。凝固がしっかりなされていないところを物理メスで切開をしてしまったこと。凝固ブレードに組織が多く付着してしまったこと。生体ブタの肝臓が柔らかく、アンカーがしっかり機能しなかったため、肝臓と装置がずれてしまったこと。ドレーンの流路が詰まってしまい、吸引機能が上手く機能しなかったこと。が、実際に行った医師から挙げられた。

今後は、凝固機能、ドレーン機能、アンカー機能の強化と焦げ付き条件の測定、凝固と切開の順序の検討等が課題として挙げられる。

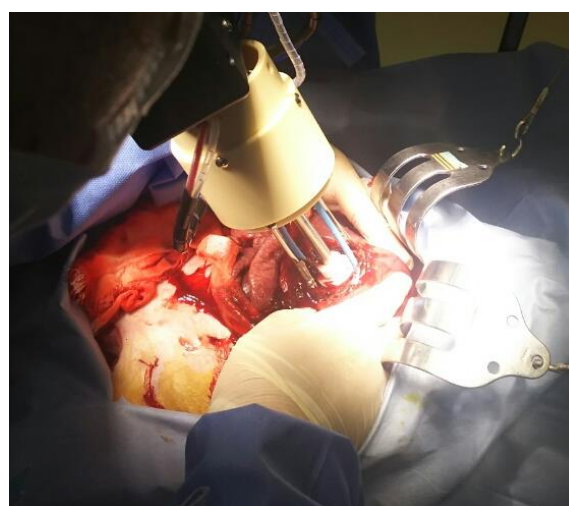


図 4.5 生体ブタ肝切除実験結果

## 5. 結言

目的組織とその周辺組織のみを切除する手術器具の実現を目指し装置の開発を行った。装置設計に必要な技術検討用実験のための据え置き型試験装置を製作し、実験を行い設計に必要なデータと条件を得ることができた。また、ハンディタイプ試験装置 1 号機を製作し、ハンディタイプ試験装置の機能テストをブタ肝臓で行った。結果としてブタ肝臓の部分的摘出実験は成功したが、課題が2つ出てきた。1つ目が重く、使いづらい。2つ目がどれだけ切り進んだかが分かりづらい。この2つの課題を解決したハンディタイプ試験装置 2 号機を製作した。フレームの軽量化と、全体カバーを付け持ちやすくした。切り進みはボタンの押した回数で距離を管理できるシステムを実装し、押した回数を覚えることで進んだ距離が分かる。生体ブタでの実験は失敗したが、次の課題を多く見つけることができた。