

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007-2008

課題番号：19300181

研究課題名（和文） 腹腔内組立式ハンド

研究課題名（英文） Assemblable hand for laparoscopic surgery

研究代表者

小俣 透（OMATA TORU）

東京工業大学 大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号 10262312

研究成果の概要：腹腔内で大型の臓器や組織を操作可能にする組立式ハンドを開発した。開発目標として、単機能ながら有用でシンプルなハンドと、術者の手の様々な操作を実現する高機能なハンドの二つを設定した。単機能ハンドとして、単一のトロカールだけを用いて容易に組立可能な3指3自由度ハンドを開発した。高機能ハンドとして、3指5自由度ハンドを開発し、さらに組立の容易さと多自由度高機能化を追求した3指9自由度ハンドを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2008年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
年度			
年度			
年度			
総計	11,700,000	3,510,000	15,210,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：医用ロボット、ロボットハンド

## 1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡下手術では腹部に直径5~10mm程度の穴を数箇所開け、細長い腹腔鏡および手術機器を挿入し手術を行う。患者の負担が小さいが、術者は高度な技能、体力、集中力が求められる。細長い棒状の手術機器を多自由度化して操作性を向上する研究は内外で多数行われているが、大型の臓器や組織を扱う方法は未だ開発されていない。

棒状の器具だけでは腹腔鏡下手術が困難である場合に、腹壁に手首が入る7~8cm程度の切開を施して手首を挿入し、術者の手によって補助しながら手術を行うハンドアシスト法(HALS)が選択されることがある。

HALSは開腹手術と比べれば低侵襲であるが、完全な腹腔鏡下手術と比べると侵襲が大きい。

我々は小さな切開孔から入らない機器を腹腔内で組み立てることを提案し、T型形状をした組立式タバコ縫合器を開発した。この組立式の概念を応用して、手の代替となるハンドを実現できれば、低侵襲に大型の臓器や組織を操作可能になることが期待できる。

## 2. 研究の目的

そこで本研究の目的は、腹腔内で術者の手のような形状した組立式ハンドを開発するこ

とである。ハンドの組立方法および手元側から動力を伝達する方法には様々な方法が考えられ、その組み合わせも多数考えられる。安全確実で容易な組立方法、および低損失な動力伝達方法を明らかにし、臨床医師の協力のもとに有用なハンドを開発する。

### 3. 研究の方法

トロカールの直径を 12mm とする。技術的な課題は、本体のパイプをこの径以下にしなければならないだけでなく、この中に手元側から指側に多自由度の指を駆動するための動力伝達機構、および指を結合するための機構を組み込まなければならないことである。動力伝達にはロッド、ワイヤ、歯車、水圧、およびそれらの組み合わせの様々な方法が考えられる。組立にも様々な方法が考えられる。また、それらの組み合わせは多数存在する。そこでいくつかの候補を選び試作し、安全確実で容易な組立方法、および低損失な動力伝達方法を明らかにする。同時に腹腔鏡下手術に有用なハンドの指の本数、配置、関節数を明らかにする。

このような組立式ハンドにはつぎの 2 通りの方向性がある。

(I) 高機能ハンド：人の手のように多くの自由度を持つ高機能なハンドである。

(II) 単機能ハンド：作業目的に合わせて自由度を減らし、機能を限定したハンドである。これを多種類開発し、可能などころから HALS に置き換えていく。これにより早い実用化が期待できる。

例えば圧排と呼ばれる作業では、広い面で臓器を押しつけてそこに空間を確保する。本研究ではこの圧排作業に特化した単機能ハンドを開発する。図 1 の従来の腹腔鏡下手術用リトラクタでは指先関節にあたる屈曲自由度がないため、臓器を押しつぶしてしまう。トロカールを通過できる直径で、広い面積と屈曲自由度と高剛性を全て同時に満たすことは不可能である。しかし組立式であればこれらの要求を満たすことが期待できる。

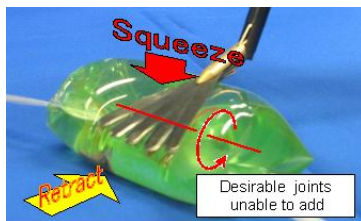


図 1 腹腔鏡下手術用リトラクタ

### 4. 研究成果

高機能ハンドとして、3指5自由度ハンドを開発し、それを抜本的に改良した3指9自

由度ハンドを開発した。単機能ハンドとして、単一のトロカールを用いて組立可能な3指3自由度ハンドを開発し、同様なコンセプトの水圧駆動によるハンドを開発した。

#### 4. 1 3指5自由度ハンド

高機能を目指したハンドとして3指5自由度ハンドを開発した[論文①]。このハンドは図2に示すように人の手の主要3指（親指、人差し指、中指）に対応する3本の指を持っている。これらを使って(a)柔軟で大きな物を把持、(b)広い面積を持ち上げ、(3)狭い隙間を押し広げ等の動作が可能である。

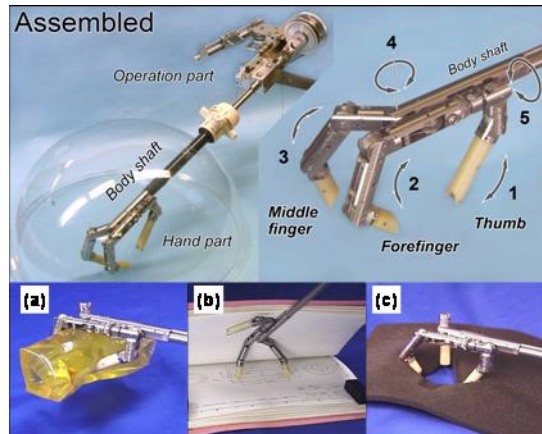


図 2 3指5自由度ハンド

このハンドの組立手順を図3に示す。(1)人差し指と親指からなる側指部をトロカールから挿入し、(2)別のトロカールから入れた取付器でこれを側面より把持し腹腔内へ引き込む。(3)トロカールより操作部本体と一体化した中指を挿入し、(4)側指部を側面に取り付ける。取り付けは取付器先端に埋め込まれているねじで行われる。この時中指の側面にある歯車と側指部の歯車がかみ合う。(5)補助具をはずすし、歯車で動力を伝達して変形させると(6)ハンドとなる。

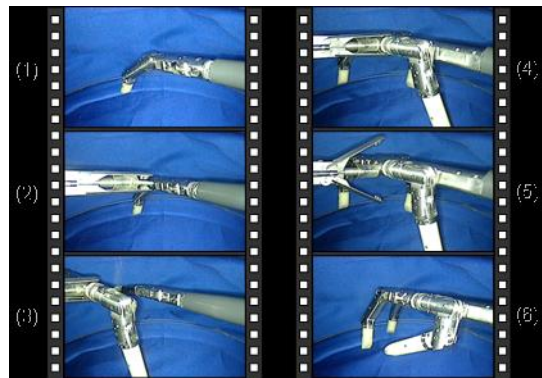


図 3 組立方法

この方式は組立にやや手間がかかるが、結

合部の接触面積が大きくなり、多自由度の動力伝達に有利である。動力伝達には、手元から本体部までは同心円状のシャフトの回転とワイヤにより伝達する。中指の関節はワイヤにより駆動される。本体部から指部へは歯車を噛み合わせて伝達する。人差し指、親指の関節はさらにワイヤ等を用いて駆動される。In Vivo 実験では組立時間は200秒程度であった[発表⑤⑦]。また図4のように大型臓器(豚脾臓)の把持に成功した。

一方、つぎの問題点が明らかになった。

1. ハンド組立操作が容易とは言い難い。腹腔内で部品を落下させる危険もある。
2. 手首関節がないため向きによっては操作がしにくい。

そこで、これらを抜本的に改善した新たなハンドを開発することにした。

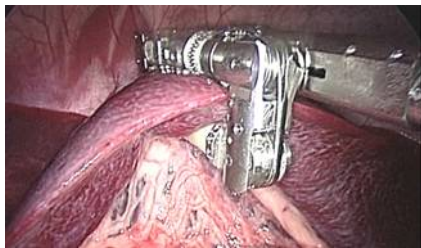


図4 In Vivo 実験：豚脾臓の把持

#### 4. 2 3指9自由度ハンド

組立の容易さと多自由度高機能化をさらに追求し9自由度を実現する方式を考案した。開発したハンドは、中指部、左指部、右指部の3要素から構成され、各シャフトの断面は中心角120度の扇形をしている。各指はそれぞれ各シャフト先端に取付けられている。左指部と右指部はそれぞれ対称構造である。中指部には9自由度を駆動する操作部を配置した。

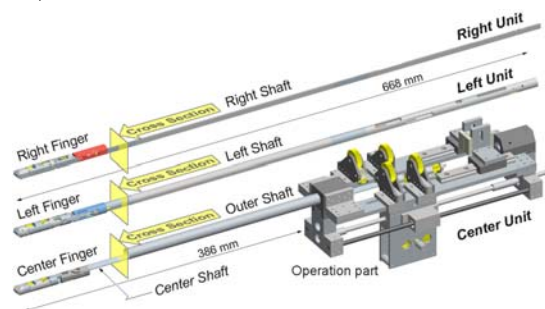


図5 3指9自由度ハンドの各部

組立方式：図6に組立方法を示す。組立には腹壁に設置された対向する2箇所の特ロカールを使用する。組立後は1つの特ロカールを使用する。図中にある特ロカール断面図は中指部挿入方向より見たものである。

Step1:特ロカール1より中指部を挿入する。  
Step2:中指部の指部分が特ロカールを通過

した後、特ロカールにすき間を設けるため、中指部を下に押し下げる。特ロカール2より右指部を挿入し、特ロカール1のすき間に右指部のシャフトを挿入し、通過させる。右指部の末端を操作部に固定する。

Step3:同様に、左指部を特ロカール2より挿入し、特ロカール1を通過させる。

Step4:左指部を操作部に固定した後、ハンドとして使用が可能となる。

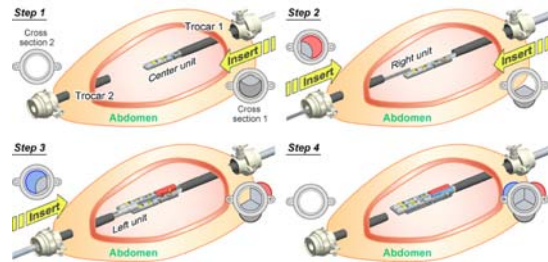


図6 対向特ロカール組立方式

ハンドの分解はこの逆順で行う。3指5自由度ハンドとは異なり、腹腔内でねじ先端とねじ穴を合わせる動作やねじを締める動作は必要ない。この新しい組立方法では、腹腔内では対向する特ロカールに差し込むだけであり、組立は腹腔外で行われる。組立が容易になったばかりでなく、腹腔内に部品を落下させる危険性もなくなった。

図7に3指9自由度ハンドのモデルを示す。ハンドは左指、中指、右指から成り、左指と右指は対称構造である。3指5自由度ハンドよりも一回り小さいサイズとした。C1, C2 関節には、両関節が同じ角度、同じ速度、同じ向きに動作する連動機構を採用した。L1, L2 関節, R1, R2 関節も同様である。上記連動関節と L3, R3 は各々±90度の動作領域を持つ。その他の関節 C3, L4, R4 は90度の動作領域である。また、中指はS1に示す直動自由度を持ち、ハンド前方に5cm、後方に3cm動作可能である。このハンドは手首は持たないが、つぎに示すようにR2, C2, L2の3関節が手首と等価な動きをする。

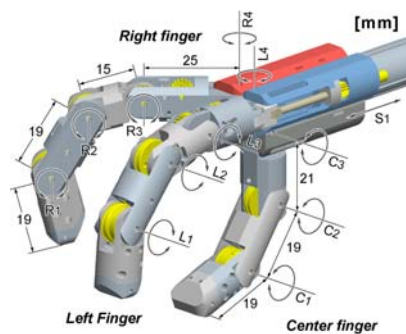


図7 ハンドのモデル



図8に開発した3指9自由度ハンドを示す。このハンドは図9に示すような様々な操作形態をとることができる。(a), (b)は把持操作である。各指の根元にある関節をそれぞれ駆動することで、前方から下方向位置での把持操作が可能であり、手首関節に相当する動作が実現できる。(c), (d)は圧排操作であり、把持操作と任意の角度での圧排形態がとれる。(e)は3指で掴む動作、(f)はすくい挙げのような動作である。



図8 3指9自由度ハンド

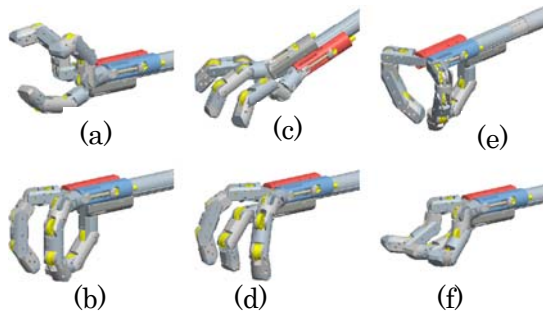


図9 3指9自由度ハンドの形態

#### 4. 3 単一トロカール組立単機能3指3自由度ハンド

単機能ハンドとして圧排を目的とした3指3自由度ハンドを開発した(図10)[発表⑥]。高機能ハンドと比較して少自由度で構成するため、その動力伝達が容易になる。単一のトロカールだけを用いてより容易に組立が行える単一トロカール組立方式を提案した。図11にそれを示す。

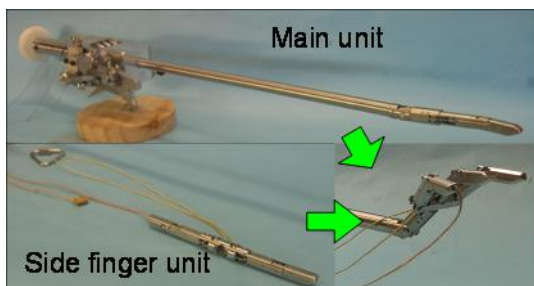


図10 単機能3指3自由度ハンド

組立手順はつぎの通りである。(1)側指部をトロカールより挿入する。(2)取り付けら

れた紐を強く引くと、トロカール出口に強く押し付けられ、側指部がトロカールに垂直に固定される。(3)中指を持つ本体をトロカールより挿入し、側指部にあけられた穴に貫通させる。(4)指と手首を屈曲させるとハンドとなる。

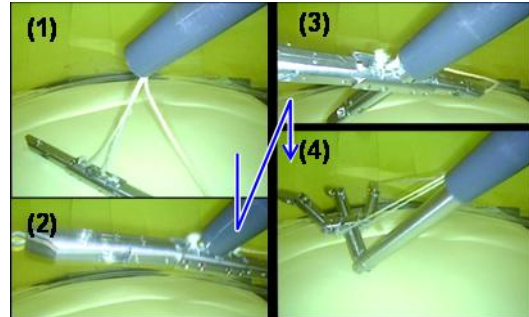


図11 単一トロカール組立方式

この組立方式に適した動力伝達として、図12のようにラックギアとピニオンギアを用いた方式を考案した。中指を側指部に差し込んだ後、本体部内のラックギアを前進させると、ラックギアは側指部に組み込まれたピニオンギアを駆動する。ギアは図中手前側と奥側に2枚ある。手前側のラックギアの動作により、同じ面にあるピニオンギアが回され、プーリとワイヤにより指先関節(S3R)を屈曲させる。ピニオンギアは左右両側にあり、またラックギアを駆動しているワイヤは更に指先へと伸びて、ラックギアを動かすと同時に中指の指先関節(S3C)を屈曲させる。よって3本の指先関節は同時に動く。またもう一枚のラックギアにより同様に左右両側のピニオンギアを動かし、指付根関節(S2R)を駆動する。

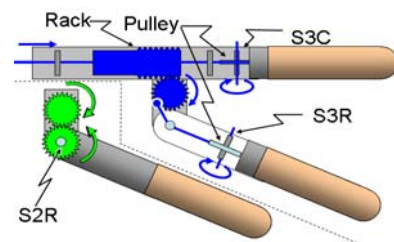


図12 動力伝達方式

In vivo 実験では、75秒で組立ができ、32秒で分解することができた。単一トロカール組立の容易さを確認することができた。図13のように広く薄い豚肝臓を挙上することもできた

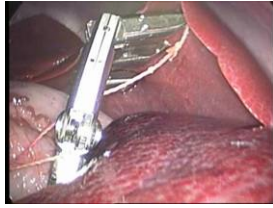


図 1 3 豚肝臓の挙上

#### 4. 4 水圧駆動ハンドの開発

動力伝達に水圧駆動方式を採用した同様の形式の3指3自由度ハンドを開発した(図14)[発表④].

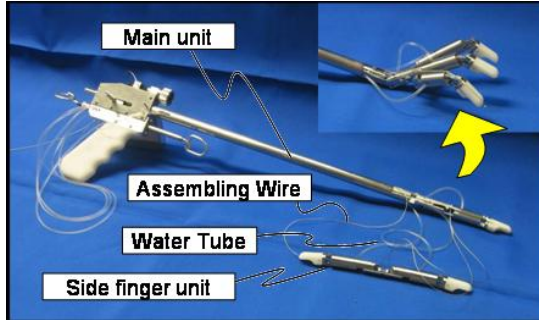


図 1 4 水圧駆動3指3自由度ハンド

この水圧駆動方式では、指先への駆動力伝達に水圧チューブを用いる。本体内では機構を介さないため簡単な構造であり、特に手首部の通過が容易である。伝達効率も良く、単一トロカール組立と併用すると動力伝達系を分離結合しなくても良いという利点がある。指先屈曲関節は図15のように水圧を用いたシリンダークランク機構で駆動される。水圧源は操作部で一つとなっているため、3本の指先の接触圧が均一になることも水圧駆動の利点である。In vivo 実験では図16のように臓器を圧排し、空間を確保することができた。

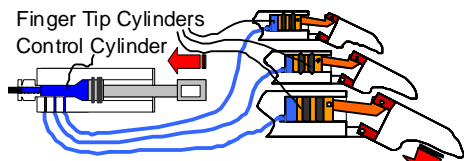


図 1 5 指先屈曲関節の水圧駆動機構

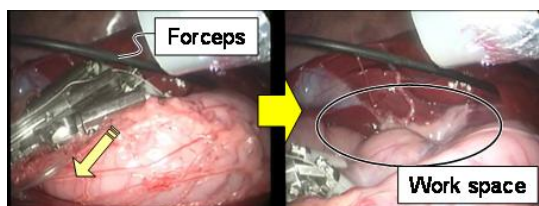


図 1 6 In vivo 実験

#### 4. 5 結論

腹腔内で大型の臓器や組織を操作可能にする手の形状をした組立式ハンドを開発した。その開発目標として、単機能ながら有用でシンプルなハンドと、術者の手の様々な操作を代替する高機能なハンドの二つを設定した。単機能ハンドとして、単一のトロカールだけを用いて容易に組立可能な3指3自由度ハンドを開発した。高機能ハンドとして、3指5自由度ハンドを開発し、さらに容易な組立と、多自由度高機能化を追求した3指9自由度ハンドを開発することができた。

このように本研究課題により安全確実に容易な組立方式と効率的な動力伝達方式を確立することができた。今後の課題は組立式ハンドにセンシング機能を付加し、感覚を有するハンドにすることである。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①大嶋律也, 高山俊男, 小俣透, 大谷俊樹, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 腹腔内組立式3指5自由度ハンド, 日本ロボット学会誌, 26巻, 453-461, 2008, 査読有

〔学会発表〕(計10件)

①高山俊男, 大崎幹生, 宮本寛之, 小俣透, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 単一トロカール組立式腹腔内圧排ハンドの開発, 第17回日本コンピュータ外科学会大会, 2008年11月11日, 東京

②小俣透, 高山俊男, 東京工業大学大学院小俣研究室のRT-高把持力ロボットハンド技術と腹腔内組立式ハンド技術, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月11日, 神戸

③小俣透, 高山俊男, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 腹腔内組立式手術機器の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月11日, 神戸

④宮本寛之, 小俣透, 高山俊男, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 腹腔内組立式水圧駆動ハンドの開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008年9月9日, 神戸

⑤大嶋律也, 高山俊男, 小俣透, 大谷俊樹, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 腹腔内組立式3指5自由度ハンド(第2報)指駆動機構の改良とIn Vivo 実験による評価, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 長野

⑥大崎幹生, 小俣透, 高山俊男, 大谷俊樹, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 単一トロカール組立による腹腔内組立式圧排ハンド, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2008年6月6日, 長野

⑦ R.Oshima, T.Takayama, T.Omata, T.Ohya, K.Kojima, Kozo T.and N.Tanaka, Assemblable Three Fingred Five-DOF

Hand for Laparoscopic Surgery, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008年5月23日, Pasadena, USA

⑧大谷俊樹, 小嶋一幸, 榎本雅之, 田中直文, 高山俊男, 小俣透, 腹腔内組み立て式ハンドの開発, 日本内視鏡外科学会総会, 2007年11月19日, 仙台

⑨高山俊男, 小俣透, 有馬直也, 大谷俊樹, 小嶋一幸, 田中直文, 腹腔内組立式水圧駆動圧排ハンドの開発, 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007年9月13日, 千葉工業大学

⑩大嶋律也, 高山俊男, 小俣透, 大谷俊樹, 赤松秀樹, 小嶋一幸, 高瀬浩造, 田中直文, 腹腔内組立式3指5自由度ハンド, 日本機械学会, ロボティクスメカトロニクス講演会, 2007年6月11日, 秋田

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

研究室ホームページ

<http://www.olab.pms.titech.ac.jp>

東京工業大学イノベーション研究推進体ホームページ

[http://www.rso.titech.ac.jp/innovative/ino\\_02\\_01.html](http://www.rso.titech.ac.jp/innovative/ino_02_01.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小俣 透 (OMATA TORU)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：10262312

### (2) 研究分担者

高山 俊男 (TAKAYAMA TOSHIO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号：80376954

### (3) 連携研究者

田中 直文 (TANAKA NAOFUMI)

東京医科歯科大学・医学部附属病院・講師

研究者番号：90280982

小嶋 一幸 (KOJIMA KAZUYUKI)

東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・講師

研究者番号：60133243