

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月3日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12908

研究課題名（和文）平面と立体とを可逆変化する構造に基づいた腹腔鏡手術用臓器圧排器具の創製

研究課題名（英文）Development of surgical spacer of Laparoscopic surgery based on reversible structure between plane and solid shapes

研究代表者

角江 崇 (Kakue, Takashi)

千葉大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：40634580

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、術野を狭めることなく、かつ容易に臓器を圧排できる、腹腔鏡手術用の臓器圧排器具を新規に提案、試作した。提案する臓器圧排器具は、平面と立体とを可逆変化する構造に基づいて設計、開発した。素材としてポリエチレンナフタレート樹脂とポリエステル樹脂を用い、厚さが0.100mm、0.125mm、0.188mmの3種類でそれぞれ試作した。圧力差を利用した新たな強度評価試験手法を考案して評価した結果、試作した臓器圧排器具は、臓器圧排に十分な性能を有していることが示された。また、素材の種類による強度の差異は小さく、素材の厚さが臓器圧排器具の性能に与える影響の方が大きい知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

腹腔鏡手術は開腹手術と比較して、手術創を微小にでき、出血や痛みを少なくできる低侵襲性の点において有利である。しかし腹腔鏡手術においては、治療部位に関係のない臓器を押しつける圧排操作が難しいという課題がある。本研究はこの課題に対する一つの解決策を示した。平面と立体とを可逆的に変化する構造を採用し、今までにない特長を有した臓器圧排器具を創成した点に学術的意義がある。本研究課題で提案した臓器圧排器具が将来的に実用化されれば、患者への負担がより少ない腹腔鏡手術の長所をさらに活かした術式の確立へと貢献できるため、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：We proposed an organ-exclusion device which can exclude internal organs and ensure field views and working views for surgery. The proposed device is based on the reversible structure between plane and solid shapes. We designed and made some prototypes of the proposed organ-exclusion device using two materials of polyethylene naphthalate and polyester with three thickness of 0.100 mm, 0.125 mm, and 0.188 mm. We proposed a strength evaluation system based on measurement the pressure difference, and demonstrated that the proposed organ-exclusion device had sufficient strength to exclude organs. Moreover, we confirmed that the strength of the device depends on the thickness rather than type of materials.

研究分野：光工学

キーワード：生体医工学 臓器圧排 ペーパークラフト

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

腹腔鏡手術は、腹部に数 mm～1cm 程度の小さな穴を開け、その穴から筒状の内視鏡（腹腔鏡）や手術用の器具類を挿入して、腹腔内の組織に対して治療を行う方式である。開腹手術と比較して、手術創を微小にでき、出血や痛みを少なくできる低侵襲性の点において有利である。すでに実用化されている一方で、腹腔鏡手術においては課題も多く残されている。その中で申請者が注目したのは、治療部位に関係のない臓器を押しつける圧排操作が難しいという点である。これまでに開発されてきた臓器圧排器具の共通点は、形状が棒状であり、圧排したい臓器との接地面積が小さいために固定が難しく、固定できたとしても手術中は常に圧排臓器を押さえ続けなければならない点である。

2. 研究の目的

本研究課題では、術野や治療に必要な空間を狭めることなく、かつ容易に臓器を圧排できる、腹腔鏡手術用の臓器圧排器具を提案、創製する。申請者は臓器を圧排するという見方から視点を変え、体内に治療用の作業スペースを作り、そのスペースを維持するための器具（臓器圧排器具）を開発することを目指した。

3. 研究の方法

図 1 に示す、平面と立体を可逆的に変化する構造[引用文献①]を利用した。この構造は、力を加えない状態においては図 1(a) のように平面形状を保つ。この状態から、構造の両端点に、構造の外側方向（端点を引っ張る方向）に力を加えることで、図 1(b) のように立体形状へと瞬時に変化する。立体形状は、構造に対して力を加えている間は保持されるが、力を加えなくすると再度平面状態へと戻る。一連の構造変化は可逆的であり、外部から加える力の有無によって形状を変化させることができる。本研究ではこの性質に着目し、研究目的に掲げた性能を有する臓器圧排器具を提案、創製した。

図 2 に本研究で提案する臓器圧排器具の概略を示す。臓器圧排器具によって作り出した作業スペースに手術器具を通せるように、中空円筒形を有した構造を採用した。この構造の場合、図 1 のような端点が存在しないため、円筒の半径方向から構造の内側向きに力を加えることで、形状を平面から立体へと変化させられる。この性質は、体内での立体形状保持にも利用できる。体内では、臓器圧排器具に対して、圧排したい臓器からの力が働くため、いったん立体形状に展開できれば、鉗子などの手術器具により力を加え続ける必要がなくなる。したがって、平面形状で体内に挿入した臓器圧排器具を、鉗子などの手術器具によって立体形状へと変化させさえすればよい。平面形状の臓器圧排器具は、さらに筒状に丸めるなどして小型化することにより、ポートを介して体内へと挿入できる見込みである。臓器圧排器具の素材として、術野が遮られないように、比較的透明度の高いものを採用した。

4. 研究成果

(1) 試作した臓器圧排器具

3. 研究の方法で述べたように、立体形状時に中空円筒形を成す構造を基に臓器圧排器具を設計、試作した。実際には、円柱を十六角柱で近似し、十六角柱の上面と下面に穴が開いている構造を利用した。加えて、術野をより確保できるように、新たに中空円錐台形の構造も試作した。こちらは二十四角柱を基にして設計した。本研究課題では腹腔鏡手術のうち、腹腔内を生理食塩水の灌流で満たしながら術式を行う、水中腹腔鏡手術[引用文献②]を対象にした臓器圧排器具を設計、試作した。図 3(a) および (b) は、試作した臓器圧排器具の概観であり、前者が中空円筒

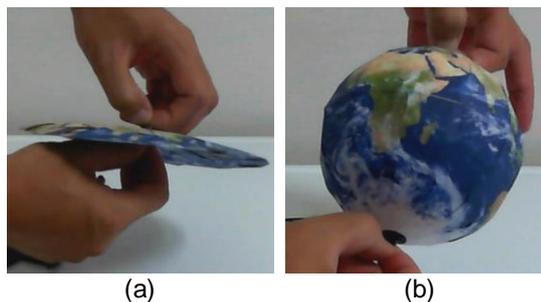


図 1 平面と立体を可逆的に変化する構造の一例。
(a) 平面形状、(b) 立体形状。

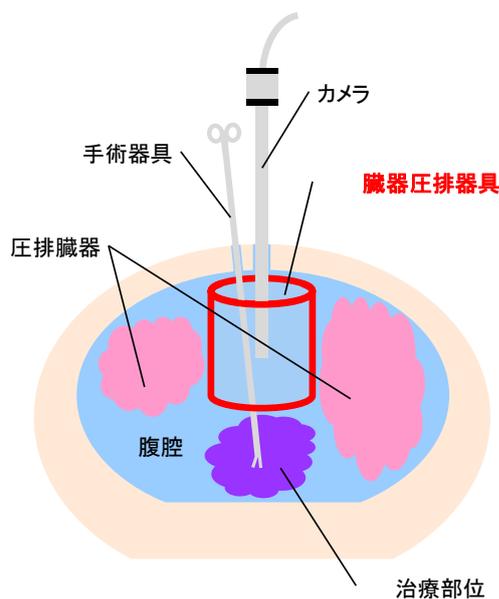


図 2 提案する臓器圧排器具の概略。

形、後者が中空円錐台形のものである。素材として今回は、ポリエチレンナフタレート樹脂とポリエステル樹脂を利用し、図3に示したものはポリエチレンナフタレート製の一例である。いずれもコストや入手の容易性の観点から採用した。図中では、立体形状を保持するためにゴム製のバンドを巻きつけて撮影した。

(2) 強度評価実験

試作した臓器圧排器具が臓器を圧排する性能を有しているかを検証するために強度評価実験を実施した。発表論文①において実施した強度評価方法では中空円錐台形のものに対して適用できないため、形状に依存しない新たな手法を考案した。図4に、新たに考案した強度評価実験手法を示す。図4に示すように、臓器圧排器具を真空パックの中に封入し、チューブを介して真空脱泡装置と接続し、内部を減圧する。すなわち、臓器圧排器具を封入した真空パック内を減圧する。減圧の度合いに応じて大気側からの力が増大するため、真空脱泡装置内の圧力と臓器圧排器具の形状との関係調べることによって、臓器圧排器具の強度を評価できると見込んだ。今回は、大気圧に対する気圧差と臓器圧排器具の体積との相関を取ることで、強度評価を行った。このとき、真空パックを水に浸し、容器内の水位変化から臓器圧排器具の体積を見積もった。図5に強度評価実験の結果を示す。図5の結果は、図3に示したように、ゴム製のバンドを巻きつけて立体形状を保持した状態で得られたものである。参考文献[引用文献③]で示された値に基づいて得られた目標気圧差（中空円筒形では5.2hPa、中空円錐台形では3.3hPa）を満たせるかどうかを検証した。測定はそれぞれ3回ずつ行い、その平均値を示した。図5(a)および(b)は中空円筒形の、(c)および(d)は中空円錐台形の臓器圧排器具に対する結果である。(a)および(c)がポリエチレンナフタレート樹脂、(b)および(d)はポリエステル樹脂で作製した場合である。目標気圧差は点線で示し、臓器圧排に十分な強度と考えられる体積の目標値を一点鎖線で示した。図5より、今回試作した臓器圧排器具はいずれも、臓器圧排に十分な強度を有していることが示された。傾向として、今回選定した二つの素材においては、素材間の差異は小さく、それよりも素材の厚さの方が、強度に与える影響が大きい知見が得られた。

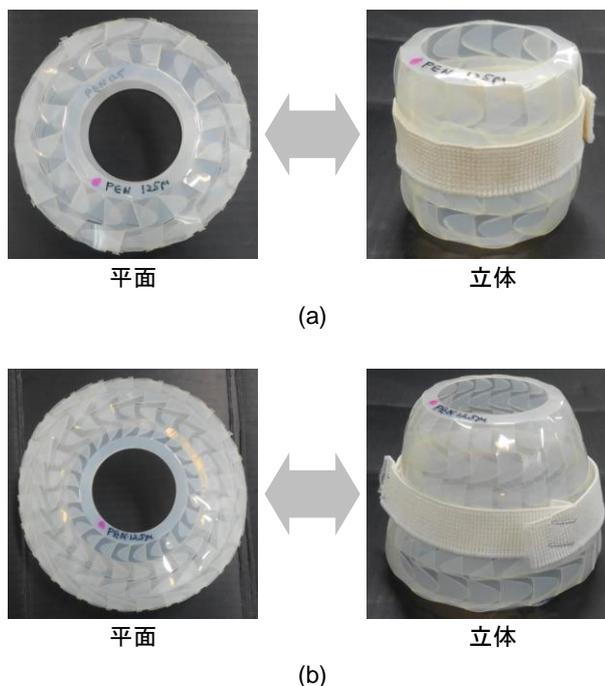


図3 試作した臓器圧排器具の一例。
(a) 中空円筒形、(b) 中空円錐台形。

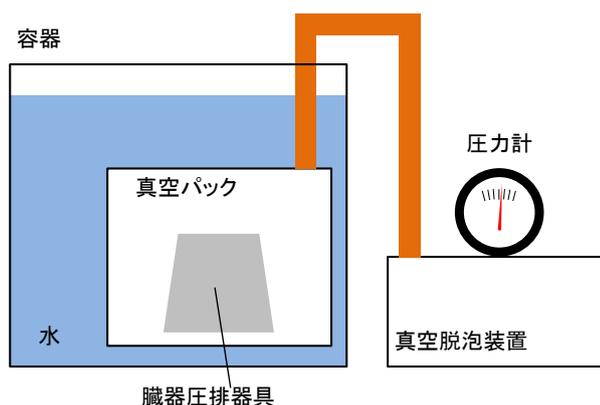


図4 考案した強度評価試験装置のイメージ図。

<引用文献>

- ① H. Nakayama, A. Shiraki, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, Variable structure changing two-dimensional plane to three-dimensional solid and its applications, Proc. CC3DMR, 2015, pp. 358-359.
- ② T. Igarashi, Y. Shimomura, T. Yamaguchi, H. Kawahira, H. Makino, W. W. Yu, Y. Naya, Water-filled laparoendoscopic surgery (WAFLES): Feasibility study in porcine model. J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. Vol.22, 2012, 70-75.
- ③ B. K. Poulouse, M. F. Kutka, M. Mendoza-Sagaon, A. C. Barnes, C. Yang, R. H. Taylor, M. A. Talamini, Human vs. robotic organ retraction during laparoscopic Nissen fundoplication, Surg. Endosc, Vol.13, 1999, 461-465.

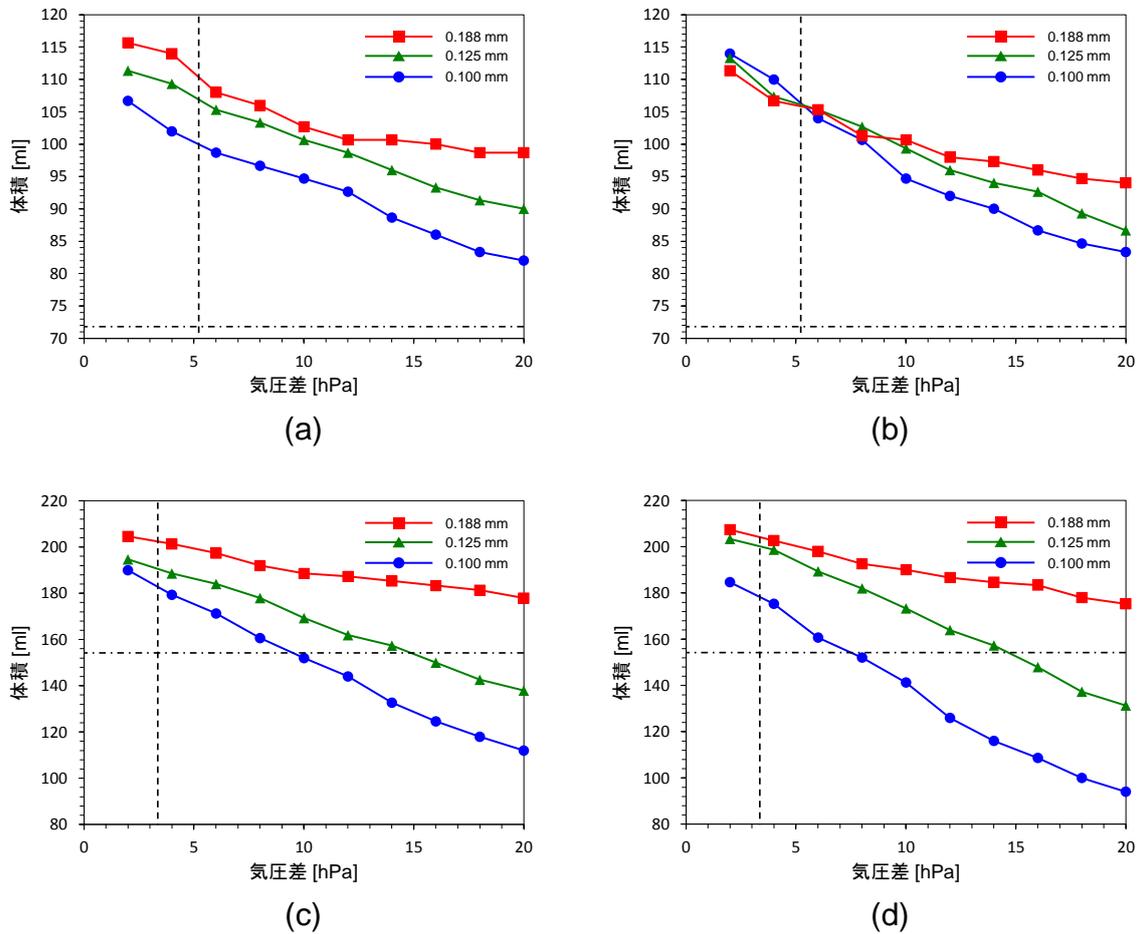


図5 強度評価試験結果.

- (a) 中空円筒形／ポリエチレンナフタレート樹脂, (b) 中空円筒形／ポリエステル樹脂,
(c) 中空円錐台形／ポリエチレンナフタレート樹脂, (d) 中空円錐台形／ポリエステル樹脂.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 佐野 麻理恵, 鈴木 啓介, 角江 崇, 石井 琢郎, 五十嵐 辰男, 土井 俊祐, 藤田 伸輔, 中山 弘敬, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 平面と立体を可逆的に変化する構造を利用した水中腹腔鏡手術用スペーサの試作, 生体医工学, 査読有, Vol. 54, No. 2, 2016, pp. 76-80.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 瀬尾 聡, 角江 崇, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 平面と立体を可逆的に変化する構造を利用した腹腔鏡手術用スペーサの耐久性評価, 第 19 回情報フォトニクス研究グループ研究会 (秋合宿), 2018, P11.
② 佐野 麻理恵, 角江 崇, 石井 琢郎, 五十嵐 辰男, 土井 俊祐, 藤田 伸輔, 中山 弘敬, 白木 厚司, 下馬場 朋禄, 伊藤 智義, 平面と立体を可逆的に変化する構造を利用した腹腔鏡手術用スペーサの試作, 第 17 回情報フォトニクス研究グループ研究会 (秋合宿), 2016, pp. 1-6. (招待講演)

[その他]

ホームページ等

<http://www.te.chiba-u.jp/~brains/t-kakue/>

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。