

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650296

研究課題名(和文) 広く見え、指のような触覚をもつ内視鏡の開発

研究課題名(英文) Development of new endoscopy with wide field of view and sense of touch

研究代表者

植木 賢 (Ueki, Masaru)

鳥取大学・医学部附属病院・教授

研究者番号：60542256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：がんの見逃しを防ぐために、広く見える魚眼レンズユニットと、腸に穴があくことを防ぐ触覚センサーをつけた安全な次世代内視鏡を開発した。牛の大腸に挿入できる程度のサイズの魚眼レンズユニットを試作した。また、透視変換を利用した方法を画像処理法として提案してその有用性を明らかにした。さらに、触覚センサーの開発では、感圧エラストマーを使った触覚センサーを試作し、内視鏡スコープに作用する垂直方向の荷重が検出できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In order to prevent overlooking of cancer in endoscopy, the fish-eye lens unit and the touch-sensitive sensor were developed. The fish-eye lens unit that has the size that can be inserted into the colon of cattle was fabricated. To correct images captured by the fisheye lens unit, the image processing method using the perspective transformation has been proposed. Its usefulness was revealed in experiments using a colon model. By attaching the touch-sensitive sensor to the endoscope tip, a load in the vertical direction acting on the scope tip could be detected.

研究分野：消化器内科

キーワード：内視鏡 圧力センサー 広視野レンズ

### 1. 研究開始当初の背景

日本国内における大腸がんによる死亡数は、国立がん研究センターの調査によると、平成23年の1年間では4万5,744人(男性24,862人、女性20,882人)であった。このがんによる死者数を部位別にみると、男性では大腸が第3位であったが、女性では第1位となっており、今後さらに増えることが予想されている。平成32年までには、男女を合わせた大腸がん疾患数は肺がんや胃がんを抜いて第1位になるといわれている。今後、大腸がんの早期発見、治療は、我が国で最も緊急に対処しなくてはならない重要なテーマである。

大腸がんは早く見つければ、内視鏡治療や外科手術で簡単に治せるが、いったん、肝臓や肺などに転移してしまうと、そこから治療を開始しても間に合わず、命を落とすことが多い。抗がん剤も、わずかな患者にしか効かない。このような状態になることを避けるため、大腸がんは内視鏡で早く見つけて取り除くことが最も重要である。

大腸がんを早い段階で見つけるには、大腸内視鏡による検査が有効である。しかし、大腸内視鏡はスコープを手元で押しているのに、中央の曲がっている部分が大きくなるため、先端が逆に戻ろうとして思い通りに操作することが難しく、患者に痛みや苦しみを与えることがある。さらに現在の大腸内視鏡の視野では、大腸内壁のヒダ裏側にあるがんを見逃すことがある等の問題がある。

大腸への内視鏡の挿入には医師にとって熟練が必要であり、腸が伸びて痛みが強くなり、さらに穴があく危険性がある。腸に穴があくと便が漏れ出て汚染され、患者が命を落とすという重大な医療事故につながる。また、大腸はヒダが深く裏側のがんを見逃すという欠点がある。これらを解決するため、触覚センサーを搭載した広い範囲を観察できる内視鏡を作製し、痛みや見逃しのない安全な検査を実現する。

### 2. 研究の目的

本研究では、がんの見逃しを防ぐ広く見える魚眼レンズユニットと、腸に穴があくことを防ぐ触覚センサーをつけた安全な次世代内視鏡を開発する。この目的のため、以下のことを実施した。

- (1) 医-工学部が連携して作製した魚眼レンズユニットを小型化して内視鏡に搭載する。
- (2) 魚眼レンズユニットの前方視野と側方・後方視野の画像をデジタル処理し合成する。
- (3) 内視鏡先端にドーナツ型触覚センサーをつけ、プタ大腸が破れる際の閾値を明らかにし、触覚センサーの感度を調整する。

### 3. 研究の方法

- (1) 試作モデル(ハードウェア)の作製

広く見える内視鏡：2つのレンズ系(画像センサーと複数枚のレンズ)と反射鏡を組み合わせた魚眼レンズユニットを試作する。従来の試作品に比較して小型化したものを、内視鏡メーカーや内視鏡部品メーカーのアドバイスを得ながら進める。反射鏡、小型レンズ、CCDを組み合わせて広い視野をもつ魚眼レンズユニットを作製する。

指のような触覚をもつ内視鏡：内視鏡先端で指のような触覚を実現するため、内視鏡スコープ先端に搭載できる触覚センサーを試作する。内視鏡スコープ先端の円周方向に対して少なくとも4方向からの圧力が検出できるような構成とし、腸に穴があくとされる  $3\text{kg}/\text{cm}^2$  の圧力が検出可能かどうかを検討する。

### (2) デジタル画像合成方法の検討(ソフトウェア)

広く見える内視鏡：内視鏡スコープ先端に搭載する魚眼レンズユニットから得られる前方画像と手前の魚眼レンズから得られる反射鏡の画像を合成して、画像のひずみをデジタル処理により補正する。

### 4. 研究成果

#### (1) 広く見える内視鏡

胃や腸の内壁の観察に用いられる医療用内視鏡に搭載される光学デバイスの性能向上は、患者の負担軽減や病変の診断精度の向上にとってきわめて重要であり、近年、その光学デバイスの小型化と広視野化に対する社会的な要求はますます高まっている。前方視野を拡大する魚眼レンズと側方および後方視野を確保する反射鏡の組み合わせで内視鏡視野を全天周化する魚眼ユニットを試作し、それで取得した画像の画像処理方法の検討と、実機内視鏡に搭載できるレベルまで魚眼ユニットを小型化するための検討を行った。

#### 画像処理方法の検討

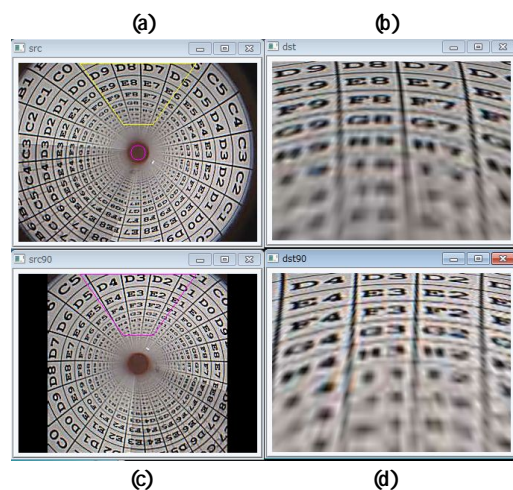


図1 魚眼レンズで撮影した画像の透視変換



図2 試作した小型魚眼ユニット

本研究では、腸管内腔に見立てた、格子状パターンを印刷した中空円筒内周面を、昨年度に試作した魚眼ユニットで撮影し、その画像の最適な処理方法を検討した。

図1(a)は、試作した魚眼ユニットで中空円筒内を撮影した前方視野の撮影結果を示す。このように、魚眼ユニットで撮影した円筒内周面の画像はひずみが大きく、この状態では医師による診断に向かない。本年度は、この画像を医師の診断に向く画像に変換するための画像処理方法として透視変換を利用し、その有用性を魚眼ユニットで撮影した画像に適用して検討した。

図1(b)は、図1(a)の状態における黄色の実線で示した画像処理領域内を透視変換した画像を示す。ここでは、画像処理領域に対して魚眼ユニットで取得した画像を相対的に移動させながら画像処理領域内を透視変換する方法を新たに提案した。

図1(c)は、図1(a)の画像を90度回転させた場合の画像である。

図1(d)は、図1(c)の状態において紫色の実線で示した画像処理領域内に対して透視変換して求めた画像である。このような方法を採用することにより、内視鏡装置の操作者は、魚眼ユニットによって取得された画像データを透視画像として観察できるため、内腔をあたかも平面に展開したかのように、体内の消化器官内の状態を観察することが可能である。また、魚眼ユニットによって取得された画像データに対応する画像を一度に透視変換せず、透視変換領域を画像に対して相対的に移動させながら透視画像を形成しているため、一回の透視変換における計算処理量を低減できる。その結果、透視画像の形成がより容易であり、画像処理のための装置を安価に提供できる利点がある。

#### 魚眼ユニットの小型化検討

図2は、新たに試作した魚眼ユニットモデルを示す。この試作モデルでは、前方と後方のそれぞれに焦点距離  $f2.1\text{mm}$  の広角レンズと小型 C-MOS のイメージセンサユニットを搭載したカメラモジュールを配置した。この魚眼ユニットモデルの大きさは、 $27\text{mm} \times$  約  $47\text{mm}$  であり、大幅に小型化できた。この試作モデルの大きさであれば、牛の大腸に挿入する方法で動物実験は十分可能である。今後、

消化器官への魚眼ユニットの挿入時に問題となる、魚眼ユニットの防水性の向上や、魚眼ユニットモデルの外形形状の最適化による内臓攻撃性低減などの検討を実施する予定である。

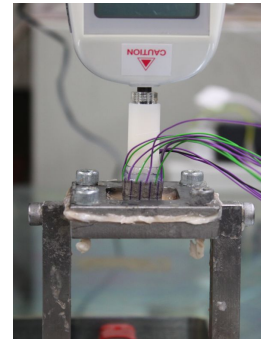
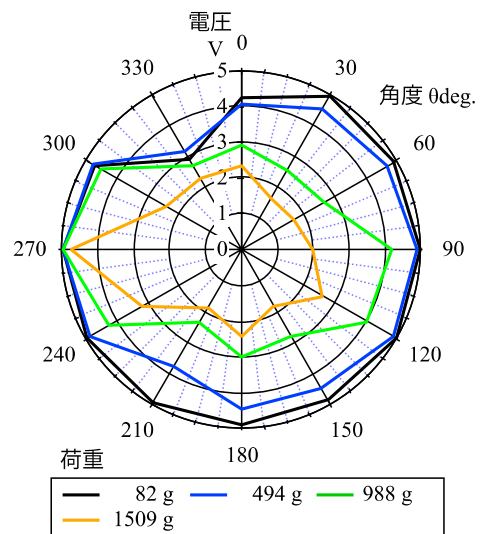
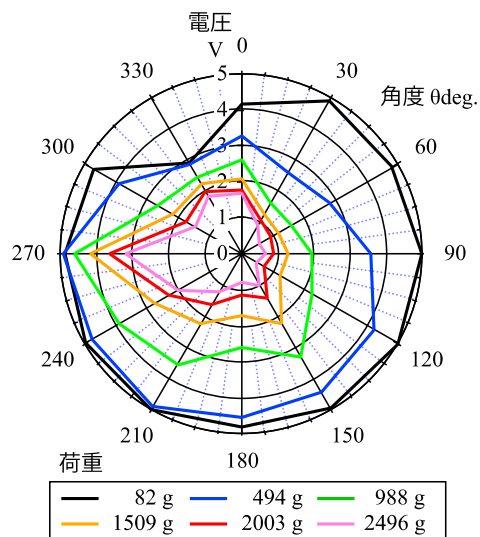


図3 豚大腸破断実験概略図



(a) 豚大腸切片、水平



(b) シリコン板、水平

図4 豚大腸切片破断実験結果

以上のように、内視鏡の先端部に搭載できる全天周光学デバイスの開発を目的として魚眼レンズを用いた内視鏡用全天周光学デバイスの小型化検討を実施した結果、複数の超小型 C-MOS イメージセンサを全天周光学デバイスに搭載することが内視鏡用全天周光学デバイスの小型化に効果的であった。

本研究を通じて、最先端の超小型 CCD デバイス技術を保有する内視鏡メーカーや内視鏡処置具を開発するメーカーとの共同で研究を進める体制を構築することができた。今後も、これらのメーカーとの共同研究体制を維持し、医療現場で用いられる内視鏡に搭載できるレベルまで小型化検討を進めていく。

## (2) 指のような触覚を持つ内視鏡

指のような触覚をもつ内視鏡を開発するための基礎として、内視鏡スコープ先端に搭載できる触覚センサーを試作した。触覚センサーは、第1電極と第2電極の間に設置された感圧エラストマー(厚さに応じて電気抵抗値が変化する特性を有するゴム状の工業用材料)の電気的な抵抗変化を測定して圧力の検出を行う。本研究では異方導電性メッシュを第2電極に用いる方法を採用する方法で試作と評価を行った。この異方導電性メッシュは、PET系(約0.05mm)と導電性糸を混織した厚み約0.1mmの布で、一方向のみに導電性を有する特徴がある。

試作した触覚センサーは内視鏡スコープ先端部へ装着して使用し、圧力感応部の先端部以外の部分を挟持するキャップフード型にして対応した。

この触覚センサーシステムを用いた非臨床試験(豚大腸切片を用いた実験)を実施し、圧力センサーの有効性を評価した。本実験では、図3に示すように、硬性棒に触覚センサーを装着し、豚大腸の切片に対して穿孔実験を実施した。

図4は、硬性棒を用いた穿孔実験の結果であり、穿孔および穿孔直前の圧力センサー円周方向の圧力分布の測定結果である。硬性棒で豚大腸切片の押圧力の増加に伴って圧力センサーの荷重値は増加し、圧力センサーに作用する垂直方向の荷重が検出できることがわかった。このような触覚センサーは腸穿孔の検出やナビゲーション用途に有効に作用していることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

Shigang Li, Spherical gradient operator, IEEJ Transaction on Electrical and Electric Engineering, 査読有, 8, 2013, S61-S65, 10.1002/tee.21919.

[学会発表](計4件)

Shigang Li, Hanchao Jia and Isao

Nakanishi, Computing optical flow from bio-inspired spherical retina, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), p. 547 ~ 552, 2014年8月5日, 中国天津市.

Hanchao Jia and Shigang Li, Estimating the structure of rooms from a single fisheye image, Workshop on Advanced in Computer Vision and Pattern Recognition(RACVPR) in Conjunction with ACP2013, 2013年11月5日, 沖縄.

植木賢, "広く見え, 指のような触覚をもつ内視鏡"の開発, 日本消化器内視鏡総会, 2013年10月11日, グランドプリンスホテル新高輪, 東京

Shigang Li, Hanchao Jia and Isao Nakanishi, Line detection by spherical gradient, International Conference on Image Analysis and Recognition, 2013年6月26日~2013年6月28日, Portugal.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

植木 賢 (UEKI, Masaru)  
鳥取大学・医学部附属病院・教授  
研究者番号: 60542256

### (2) 研究分担者

上原一剛 (UEHARA, Kazutake)  
鳥取大学・医学部附属病院・准教授  
研究者番号: 10324998

李 仕剛 (LI, Shigang)  
鳥取大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 50252630

八島一夫 (YASHIMA, Kazuo)  
鳥取大学・医学部附属病院・講師  
研究者番号: 80314590