

Title	複眼内視鏡を用いた多機能計測システムの開発
Author(s)	吉本, 佳世
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/34257
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

〔 題 名 〕 複眼内視鏡を用いた多機能計測システムの開発

学位申請者 吉本 佳世

背景 近年の内視鏡の発達により、内視鏡による診断・治療の幅が大きく広がっており、腹腔鏡手術やロボット手術、またEMR (Endoscopic Mucosal Resection)やESD (Endoscopic Submucosal Dissection)といった内視鏡のみで治療が完結する技術も普及してきている。内視鏡を用いた診断や治療は、低侵襲であり患者の回復が早い、肉眼では不可能な拡大観察が可能等の利点があるが、従来の内視鏡は単眼であり、視野を広げるために用いられている魚眼レンズの影響で撮影画像が歪むため観察部位までの距離や形状を正確に把握することができない。また、腫瘍の形状や硬さは治療方針を決定するための重要な情報の一つであるが間接的な操作であるため触覚を得ることが難しく、この点でも定量的な計測および記録ができる機能が望まれている。一方、機能性消化管障害に関連した消化管の運動機能評価にも関心が集まっている。機能性ディスぺプシアや過敏性腸症候群に代表される機能性消化管障害の患者は、内視鏡で診断可能な器質的な異常がないにもかかわらず、胃もたれや腹痛、便秘などの胃腸症状を有する。これらの障害の一因として、消化管運動の異常が挙げられる。従来提案されてきた消化管運動機能を測る方法は侵襲的もしくは間接的な手法であった。近年、MRIが消化管の運動機能の評価ツールとして導入され、蠕動収縮波の強度や速度は健常者と機能性消化管障害患者で異なること等が明らかになっている。しかし、MRIでとらえることができる消化管の運動は断面像であり、3次元的な消化管運動の評価法が望まれている。

本研究では観察部位の形状、硬さ、消化管運動の計測が可能なシステムの構築を目指し、複眼内視鏡を用いた多機能計測システムの開発を行った。

複眼内視鏡を用いた多機能計測システム 多機能計測を可能とするシステムとして、複眼光学系を用いた硬性内視鏡型のプロトタイプシステムを開発した。複眼光学系としては連立眼撮像モジュール (Thin Observation Module by Bound Optics : TOMBO) を用いた。TOMBOは、1つの撮像素子に対して複数のレンズが配置されており、一度の撮像で複数のレンズからの像が得られ、同期がとれた複数の情報 (視差情報、狭帯域信号など) を取得することが可能である。また、従来の内視鏡と比べ小口径レンズを並列配置しており、焦点距離が非常に短く単レンズでの接写撮影が実現可能であり、プローブ先端小型化・薄型化も望めるため、内視鏡の光学系としての利用に適している。

(1) システムの基礎評価 撮影された静止画像から、画像処理により視差情報を取得し、三角測量の原理に基づいて3次元位置を算出した。このシステムを用いて形状既知の対象物を用いて実験を行った結果、内視鏡の被写界深度内の距離であれば、 $\pm 1\text{mm}$ 以内の誤差で3次元計測が可能であった。また、イヌの大腸を対象とした撮影を行い、生体内での適応性について検討を行った。測定対象は、模擬腫瘍として高周波焼灼とフラッシュナイフにより直腸-結腸粘膜に施したマーキングとした。マーキング部位は、内視鏡による計測後、大腸を摘出し、撮影した画像から位置関係・大きさを計測した。摘出した状態において約 $4.1\text{ mm} \times 3.1\text{ mm}$ の大きさであった腫瘍に対し、開発した内視鏡を用いて生体内で計測した結果は、 $4.2 \pm 0.2\text{ mm} \times 2.9 \pm 0.3\text{ mm}$ と生体内においても安定した計測ができていることが確認できた。分泌液などの付着物の影響がみられることもあったが、送水機能などハードウェア的な改良により解決できると考える。内視鏡的切除の適応判断の基準となる腫瘍の大きさは cm オーダーであるため、開発したシステムから測定される値は臨床応用

への適応が可能であることが示された。

(2) シリコーンラバーを用いた硬さ推定 硬さの定量評価をめざし、複眼内視鏡先端に取り付けたシリコーンにより硬さ計測を行う触覚内視鏡システムを提案した。提案システムは、シリコーン、複眼内視鏡、回折格子で構成され、シリコーンを対象物と接触させたときのシリコーンの3次元変形を複眼光学系で計測し、対象物剛性を推定した。対象物及びシリコーンの近似モデルを導入し、対象物剛性とシリコーンの変形、内視鏡押し付け量の関係を定式化した。基礎実験として、表面にパターンを描画したシリコーンを用い、特性既知の均質な柔軟物体を対象物とした実験を行った結果、計測値から推定された対象物剛性は実際の剛性よりも低い値となったが、推定値と実際の値に線形関係がみられ、補正式を用いることで提案システムにより対象物硬さが取得可能であることが示唆された。

(3) 時系列形状データを用いた胃運動機能計測 消化管運動のうち胃の蠕動運動を対象とし、複眼内視鏡から得られる時系列形状データを用いて運動を計測する手法を提案した。蠕動運動により発生する収縮波は胃体から幽門に向かって伝播する。複眼内視鏡から得られた胃壁の3次元形状は、胃の元の形状と収縮波が混合したものとなっているため、運動部を評価するには収縮波を抽出する必要がある。収縮波は不連続な波であり、その伝播は約2.5 mm/s と遅いため、時系列で撮影したときに動かない部分が胃の元の形状、動く部分が収縮波形状とみなすことができる。ただし、複眼光学系から得られる3次元データは隠れやノイズの影響で欠損を含むため、収縮波の形状を完全に得られない可能性が考えられる。そこで、収縮波を1次元のガウス関数でモデル化し、前庭部形状は円柱でモデル化し、計測データをあてはめることで、波の高さ・位置を推定する。提案手法の有効性を検討するため、波を模擬したモデルを用いた実験を行った。高さ7.1 mm、進行速度3.2 mm/sの波を模擬し、計測を行った結果、撮影角度・表面テクスチャに依らず±1 mm程度の誤差で計測できることが確認できた。今回模擬した波のパラメータは、健常者の収縮波と類似したのとなっており、生体内でも同程度の精度で計測できると期待できる。

まとめ 本研究では観察部位の形状、硬さ、消化管運動の計測が可能なシステムの構築を目指し、複眼内視鏡を用いた多機能計測システムの開発を行った。多機能計測を可能とする複眼光学系を用いた内視鏡システムを開発し、生体内での腫瘍サイズ計測、硬さ計測、胃の蠕動運動機能評価手法の提案を行い、実験によりシステムの有用性を示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (吉 本 佳 世)	
	(職) 氏 名
論文審査 担当者	主 査 教 授 大 野 ゆ う 子
	副 査 教 授 松 浦 成 昭
	副 査 教 授 近 江 雅 人
	副 査 特任教授 山 田 憲 嗣

論文審査の結果の要旨

内視鏡の発達により、診断・治療の幅が大きく広がっており、腹腔鏡手術やロボット手術、また内視鏡治療も普及してきている。内視鏡を用いた診断や治療は、低侵襲であり患者の回復が早い、肉眼では不可能な拡大観察が可能などの利点があるが、従来の内視鏡は単眼であり、視野を広げるために用いられている魚眼レンズの影響で撮影画像が歪むため、観察部位までの距離や形状を正確に把握することができない。また、腫瘍の形状と共に硬さも治療方針を決定するための重要な情報の一つであるが、間接的な操作であるため触覚を得ることが難しい。これらの計測は摘出後にしか行えないのが現状であり、生体内で組織の大きさおよび硬さを定量的に計測・記録ができる装置が望まれている。一方、従来から検査対象となっている腫瘍や炎症など器質的な異常のみでなく、消化管の機能的な異常にも関心が集まっている。機能性ディスペプシアや過敏性腸症候群に代表される機能性消化管障害の患者は、内視鏡で診断可能な器質的な異常がないにもかかわらず、胃もたれや腹痛、便秘などの胃腸症状を有する。これらの障害の一因として、消化管運動の異常が挙げられる。従来提案されてきた消化管運動機能の計測方法は侵襲的もしくは間接的な手法であり、直接的に消化管運動を評価できる手法が望まれている。

本研究は、生体組織の形状、硬さ、運動機能の計測ができる内視鏡システムの開発を目的とし、1つの撮像素子上に小口径レンズを並列配置した連立眼撮像モジュール (Thin Observation Module by Bound Optics: TOMBO) を光学系として持つ複眼内視鏡を用いた多機能計測システムを開発したものである。

生体内における腫瘍サイズの簡便な計測の実現を目指し、パソコン上に表示された内視鏡画像に対し、計測点を指定することでリアルタイムに長さが計測できるシステムの構築を行っている。フラッシュナイフにより直腸-結腸粘膜に施したマーキングを模擬腫瘍とみなし、イヌ大腸を対象とした動物実験によりシステムの有効性を検討している。摘出後のサイズが4.1mm×3.1mmであったマーキングの大きさを生体内で計測した結果は4.2mm±0.2mm×2.9mm±0.3mmと測定箇所に対して内視鏡の距離・姿勢が変化しても安定した計測が行えており、このシステムが生体内の腫瘍サイズの定量的評価に有用であることを示している。

硬さの定量評価をめざし、複眼内視鏡先端に取り付けたシリコンにより硬さ計測を行う触覚内視鏡システムを提案している。対象物及びシリコンの近似モデルを用いて、対象物剛性とシリコンの変形、内視鏡押し付け量の関係が定式化されている。基礎実験として、表面にパターンを描画したシリコンを用い、特性既知の均質な柔軟物体を対象物とした実験を行った結果、計測値から推定された対象物剛性は実際の剛性の3分の1の値であったが、補正式を用いることで対象物硬さが取得可能であることを示し、提案システムの有効性を示している。

消化管の運動機能評価を行うために、複眼内視鏡から得られる胃壁の3次元形状から収縮波形状を抽出し、収縮波の高さと伝播速度を評価するシステムを提案している。システムの基礎的な評価として、健康者における蠕動収縮波のパラメータに近い伝播波を模擬した対象物による実験を行い、1mm以内の誤差で高さ及び伝播速度が計測可能であることを明らかにし、システムの有効性が示されている。

本研究は、内視鏡を用いて組織の形状、硬さ、運動機能の計測を行えるシステムの開発を行ったものである。生体内で定量的な情報を計測できるようになれば、診断の質と共に簡便性も向上すると期待され、患者・医療者両者の負担の低減につながる技術であると言える。科学的にも社会的にもインパクトがあり、今後の発展が期待される。

以上により、本論文は博士(保健学)の学位授与に値するものと考えられる。