

論文内容要旨 (和文)

平成 17 年度入学 大学院博士後期課程 生体センシング機能工学専攻 生体計測科学 講座

学生番号 05522404

氏 名 高橋 義行



(英文の場合は、その和訳を () を付して併記すること。)

論文題目 内視鏡融合型 OCT の高性能化に関する研究

低コヒーレンス光を利用した生体組織などの 3 次元計測法である光コヒーレンストモグラフィ (Optical Coherence Tomography; OCT) は、空間分解能が数 μm ～数 $10\mu\text{m}$ と従来の X 線 CT などの断層画像測定技術に比べて一桁以上に高く、生体に対して無侵襲性であり、反射型なので不透明組織の測定が可能などの優れた特徴を持つ。さらに光ファイバーによる構築も可能であることから、内視鏡などとの融合も研究されている。一方、内視鏡検査は直接体内の組織観察が可能な優れた診断方法であるが、病理診断のためには組織採取を行う必要があり、これは合併症リスクや患者の苦痛を伴うものである。内視鏡観察下で OCT による診断が行えれば、こうしたリスクを回避しながら病理診断が可能になる。

このような背景から世界中で活発に内視鏡融合型 OCT が研究されているが、時間分解能、空間分解能、機能の点でまだ課題である。そこで、本研究の目的は、高時間分解能化、高空間分解能化、高機能化の点から内視鏡融合型 OCT の高性能化を図り、工学の進展に寄与することである。

論文の内容は次の通りである。

○高時間分解能化の検討: 汎用高速 OCT システムを目的に光ファイバー干渉計をベースにしたタイムドメイン OCT を構築して、高速深さ走査用圧電素子の動作特性を実験的に検討した。また全ファイバー型で毎秒 2000 ラインの高速深さ走査の OCT システムを実現した。さらなる高速化のためにスペクトル解析を用いたスペクトルドメイン OCT (SD OCT) を構築した。

○高空間分解能化の検討: SD OCT の光軸方向の高空間分解能化に、従来使用されているフーリエ変換ではなく、最大エントロピー法 (Maximum Entropy Method; MEM) によるスペクトル解析法を新たに導入して、その有効性や課題を実験的に明らかにした。

○高機能化の検討: 気管支などの狭い領域で内視鏡の機能を温存しつつ、OCT の広い視野を確保し、高い信頼性を得る目的から内視鏡の前方と側方の両視野を有する OCT 用光プローブを提案し、動作確認を行った。

○内視鏡融合型 OCT の高性能化の検討: 上述の要素技術を融合し、ファイバー光学系をベースとして、前方側方視野を有する OCT 用光プローブを用いた SD OCT を構築し、基本特性を測定した。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 20 年 2 月 22 日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 佐 藤 学

副査 石 井 修

副査 神 戸 士 郎



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 生体センシング機能工学専攻

氏 名 高 橋 義 行

2. 論文題目

内視鏡融合型OCTの高性能化に関する研究

3. 審査年月日

論文審査 平成 20 年 1 月 22 日 ～ 平成 20 年 2 月 8 日

論文公聴会 平成 20 年 2 月 8 日

場所 工学部7号館4F 電気電子E教室

最終試験 平成 20 年 2 月 8 日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果

(1) 学位論文審査 「合格」

(2) 最終試験 「合格」

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200 字程度)

別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別 紙

専 攻 名	生体センシング機能工学専攻	氏 名	高 橋 義 行
学位論文の審査結果の要旨			
本論文は、内視鏡融合型 OCT(optical coherence tomography)について高性能化を行った研究内容について述べており、全 7 章で構成されている。以下、各章について述べる。 第 1 章：研究の背景として現状の断層画像化法の比較、現状の問題点を述べ、研究目的として、機能化、高時間分解能化、高空間分解能化における課題を明確に示している。 第 2 章：内視鏡融合型 OCT について基礎的考察と、現状の内視鏡融合型 OCT についてレビューを行い、本研究の目的の妥当性を確認した。 第 3 章：円筒状圧電素子を用いた高速光軸スキャナーを用いて、2kHz-A-scan の深さ走査速度を有する全光ファイバー型 TD (time domain) OCT を構築した。横走査型光プローブを構築し、内視鏡の視野を温存しながら、その視野内の OCT 計測を行った。同システムでヒト指の OCT 計測を行い、ヒト皮膚の構造が観察できることを確認した。 第 4 章：広い内視鏡の視野に対応し、内視鏡の直径 2.8mm のフリーチャンネルに適合可能な光プローブとして、偏心光学系を用いた前方・側方視野型の光プローブの設計・構築を行った。光コネクタから光プローブヘッドまでの長さ 800mm、半径 1.1mm、光走査円周 6.9mm を確認した。前章で構築した高速 TD-OCT と接続し、2fps(frame/s)の測定速度を有する内視鏡融合型 OCT 計測システムを構築した。基本動作の確認を行い、ヒト指の前方・側方視野の同時計測を行い、それぞれの視野でヒト皮膚の構造が測定できることを確認した。 第 5 章：前章で試作した偏心型光プローブと新規に開発した光コネクタを融合して、内視鏡融合型高速 SD(spectral domain) OCT を構築した。実時間測定で 30fps を超える最大測定速度 40fps を可能とする OCT 計測システムを構築した。このシステムで <i>in vivo</i> ヒト指と <i>in vivo</i> ラットの耳介、<i>ex vivo</i> ラット気管支の OCT 計測を行い、それぞれ皮膚構造や粘膜組織構造が測定できることを確認した。 第 6 章：高空間分解能化に有効な数値処理の検討をバルク型 SD-OCT で行った。SD-OCT におけるスペクトル解析に従来の離散フーリエ変換ではなく、最大エントロピー法(MEM)を用いた数値処理を行い、光軸方向空間分解能の改善効果や直線性、安定性などを評価した。MEM 解析を行った結果、ミラーのような単純な構造であれば光軸方向分解能を最大 20 倍程度、生体組織としてたまねぎの場合、約 3 倍の光軸方向の空間分解能改善を確認した。 第 7 章：全体の総括と考察及び今後の展望について論じている。 本論文は、内視鏡融合型 OCT の高性能化に関して、多角的な点から実験的に検討を行った結果がまとめられている。各章から得られた知見は学術的に非常に有意義であると判断した。尚、本研究の成果に関して、欧文誌で 3 件が掲載済、1 件は投稿中、国際会議では 1 件、国内学会では 8 件が報告されている。以上より、本論文が学位論文として十分であると認め、合格と判定した。			
最終試験の結果の要旨			
学位論文公聴会における質疑応答、及び個別面接試問を通して、関連する知識、理解力、洞察力、問題解決能力など博士（工学）として必要とされる広範囲の能力、ならびに語学力を検査した結果、十分な能力を備えていると認められ、合格と判定した。			