

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：32653

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K08977

研究課題名(和文) 三次元画像計測を用いた心臓機械現象の非接触計測とその臨床応用

研究課題名(英文) Non-contact measurement of cardiac mechanical phenomena using three-dimensional image measurement and its clinical application

研究代表者

志賀 剛 (Shiga, Tsuyoshi)

東京女子医科大学・医学部・客員教授

研究者番号：00277211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：心臓の動きを直接身体に接することなく見ることができる非接触心拍計測システムを開発した。本システムは、ヒトの胸に対してレーザー光を投影することで、胸の形を三次元情報として取得し、心臓拍動に伴う微小な形状変化を高感度で計測することができた。次に心疾患患者177名を対象に本システムを用いて計測を行った。その結果、心機能が正常な患者と悪い患者では、計測から得られた画像より心臓の動き方が異なることを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回開発した非接触心拍計測システムは、患者の身体に接することなく心臓の動きを可視化できる方法である。従来心臓の動きをみるためには超音波や造影カテーテル、MRIといった特効な装置を必要し、誰もが簡単に繰り返し検査できるものではなかった。本システムを用いて臨床現場で心臓の収縮拡張様式を簡便に観察することができれば、病態の詳細な把握のみならず、治療評価にもつながり新たな情報として循環器医療に変化をもたらす可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We developed a non-contact heartbeat measurement system that can see the movement of the heart without directly touching the body. This system obtains the three-dimensional information about the shape of the human chest by projecting a laser light onto chest, and can measure minute changes in chest shape associated with heartbeat at a high sensitivity. Next, non-contact heartbeat measurement using this system was performed on 177 patients with cardiovascular diseases in clinical study. As a result, we confirmed that the patient's heart movement was different in the images obtained from this system between patients with normal cardiac function and patients with impaired cardiac function.

研究分野：循環器内科学

キーワード：心臓 機械現象 非接触 計測システム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来、心臓拍動に関する時系列解析は心電図を中心とした心臓の電気現象のみを対象として行われ、心臓の機械現象(収縮・拡張様式)を情報として扱うことは、臨床的に不可能であった。とくに不全心や虚血心での Excitation-Contraction Coupling (EC カップリング) が障害された心臓の収縮拡張様式については、実態が十分に明らかになっていない。

(2) 研究代表者らがこれまでに検討してきた三次元画像計測を応用した胸壁・腹壁の形状変化計測による非接触呼吸計測方法(科研費:若手(B)23700576、若手(B) 20700504、基盤(C) 20590906)を改良することで、呼吸のみならず心拍の非接触計測が可能となることの着想を得た。¹⁻⁶⁾

(3) これまでの非侵襲・非接触心拍計測に関する先行研究として、マイクロ波、サーモグラフィ、カラーカメラなどを用いた方法が提案されているが、心臓の機械現象を解明するのに十分な性能を有しているとは言い難い。

(4) 胸壁にパターン光を投影し、ハイスピード CMOS カメラで撮影することで、パターンの分布を画像解析して三次元形状復元が可能となり、胸壁の形状の変位速度波形を算出できる。さらに 0.4~5Hz の周波数成分を抽出することで、心臓拍動に伴う胸壁の微小な変動のみを抽出すること(心拍と呼吸を分離抽出可能)が可能となる。⁷⁾

2. 研究の目的

(1) 医療機関で実用可能な非接触心拍計測システムの構築を行う。

(2) 心疾患患者を対象に基礎心疾患(心機能)における収縮・拡張様式の分析と心臓の機械現象のパターンおよび心電計を用いた計測による心臓の電気現象との関連性についての基礎的検討を行う。

3. 研究の方法

(1) システム設計においては、医療の現場での実用化に向けて、光学系(焦点合わせ、三次元計測精度、投影の安全性)、装置構成(設置性、可搬性、使用感)、解析方法(信号処理方法、解析時間、解析結果の出力)に関して最適な設計を行う。さらにより簡便な位置調整が可能となるようにセンサ部の小型化を行い、フレキシブルアームを導入することで位置調整機能を改善することで、患者を対象とした計測に耐えうるシステムとする。また、信号処理アルゴリズムの改良や GPU コンピューティング技術を導入することで、処理速度を上げる。

(2) 東京女子医科大学循環器内科に通院または入院中の心疾患患者を対象に前向き観察研究(画像検査による探索的研究)を行う。選択基準は同意取得時において年齢が 20 歳以上の患者、本研究への参加にあたり十分な説明を受けた後、十分な理解の上、患者本人(代諾者が必要な場合は代諾者)の自由意志による文書同意が得られた患者とする。除外基準は安静臥位が困難な患者、補助人工心臓植込み患者、大動脈内バルーンパンピング、経皮的心肺補助装置、人工呼吸器装着患者、その他、研究責任者が研究対象者として不適当と判断した患者とする。各研究対象者は同意後、検査日の 1 日のみ参加とし、研究対象者に対し、三次元画像計測を行う。

4. 研究成果

(1) 非接触心拍計測システムの構築

提案方法におけるシステムの構成を図 1 に示す。システムのセンサ部は、ステレオカメラ(Intel Real Sense D435)とドットマトリクスパターンプロジェクターで構成される。ドットマトリクスパターンプロジェクターは、近赤外レーザー光源と透過型回折格子を組み合わせで構成される。透過型回折格子では、2本の光ファイバが短冊状に配置されたシートが、光ファイ

バの方向が直交するように固定されている。レーザービームが回折格子に入射されると、ドットマトリクスパターンが放射される。

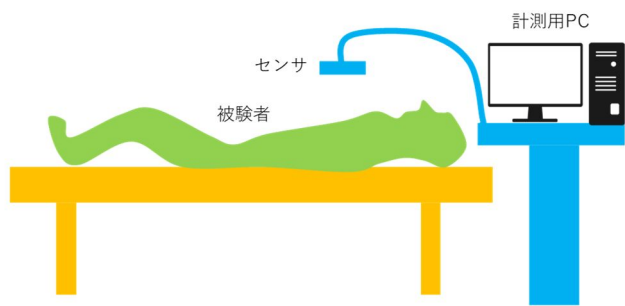


図 1a. システムの構成

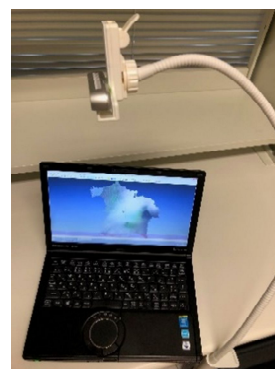


図 1b. センサ部および計測用 PC



図 2. 胸腹部の近赤外画像

被験者の胸部と腹部に投影されたドットマトリクスパターンは、D435 の赤外線 (IR) カメラで撮像される。図 2 は、体表面に投影されたドットマトリクスパターンの近赤外画像である。このパターンには、パッシブステレオによる 3 次元再構成の精度を向上させる効果がある。また、同時に、アクティブステレオによる心拍による微小な動きの検出に役立つ。

胸部に投影されたドットマトリクスパターンの IR 画像から、ドット光に対応する高輝度領域が抽出される。動画処理により、マトリクスパターンを構成する各ドットについて、フレーム間の重心座標の移動画素量が計算される。周波数フィルタリングは、移動ピクセル量の時系列データに適用され、心拍に対応する周波数成分が抽出される。

体表面形状の変化は、被験者が安静状態にあるときの呼吸運動、心拍、体動によって発生する。ドットの移動ピクセル量としての外観の原因には、体表面の形状変化に加えて、動画の電子ノイズとレーザーのスペckルノイズも含まれる。この波形には、呼吸運動や心拍などの生体信号が含まれることから、0.4 Hz 未満の周波数帯域を通過する Low Pass Filter (LPF) 処理を実行することにより、呼吸成分波形を抽出する。また、0.4~5 Hz の周波数帯域を通過する Band Pass Filter (BPF) 処理を実行することにより、心拍成分の波形を抽出する。

(2) 三次元画像計測を用いた心臓機械現象の非接触計測とその臨床応用に関する基礎的検討(臨床研究)

表. 患者背景

	n=177
男性	166 (94%)
年齢	65 ± 16
基礎心疾患	
虚血性心疾患	39 (22%)
弁膜症	52 (29%)
心筋症	29 (16%)
他	57 (32%)
左室駆出率	42 ± 14%

東京女子医科大学倫理委員会の承認 (承認番号 4893) を得て、本研究について文書で同意を得た心疾患患者 177 名を対象に本システムを用いて計測を行った。(表)

本対象患者について解析用ワークステーションを用いて解析した結果の 1 例を図 3 および図 4 に示す。図 3 は再構築された胸部の三次元形状を示し、図 4 は図 3 の十字で示された部分で検出された生体信号を示す。

被験者には測定開始から約 15 秒間呼吸を停止してもらった。LPF 処理により抽出された波形では、測定開始時に約 15 秒間平坦な波形が示され、その後呼吸に伴う大きな変動が観測された。BPF 処理により抽出された波形では、周期的な振動波形が得られた。

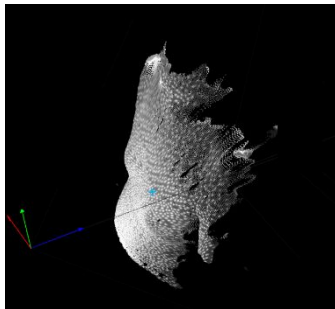


図 3 胸腹部の近赤外画像

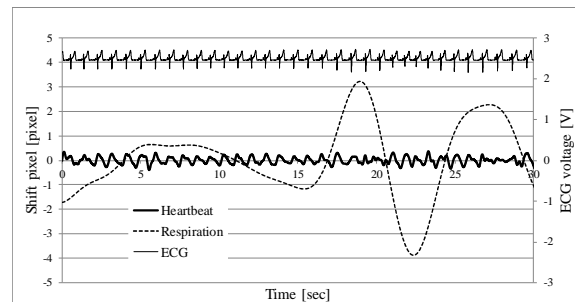


図 4. 三次元形状復元された胸腹部

本研究では振動波形が心拍によるものであることを確認するために、心電図 (ECG) による同時測定を実施された。ECG は、LOGICAL PRODUCT 製のコンパクトなワイヤレス ECG ロガーである。提案手法で抽出した振動波形のピーク間隔と ECG 波形のピーク間隔を比較した結果、その差は 0.04 秒以下であった。呼吸している間、振動波形の振幅の変動は息を止めている間よりも大きかったが、振動の間隔は ECG 波形のピーク間隔と一致した。よって、ECG による心臓の電気現象との関連性において、本法により心弾動波形が計測できていることが確かめられた。

図5は、心弾動にともなう胸腹部の体表面形状変化を点群アニメーションとして視覚化を試みた結果について示している。三次元点群情報として、心弾動の可視化が実現した。図6は、図5を断面図的にとらえ、心弾動による体表の変形について示したものである。

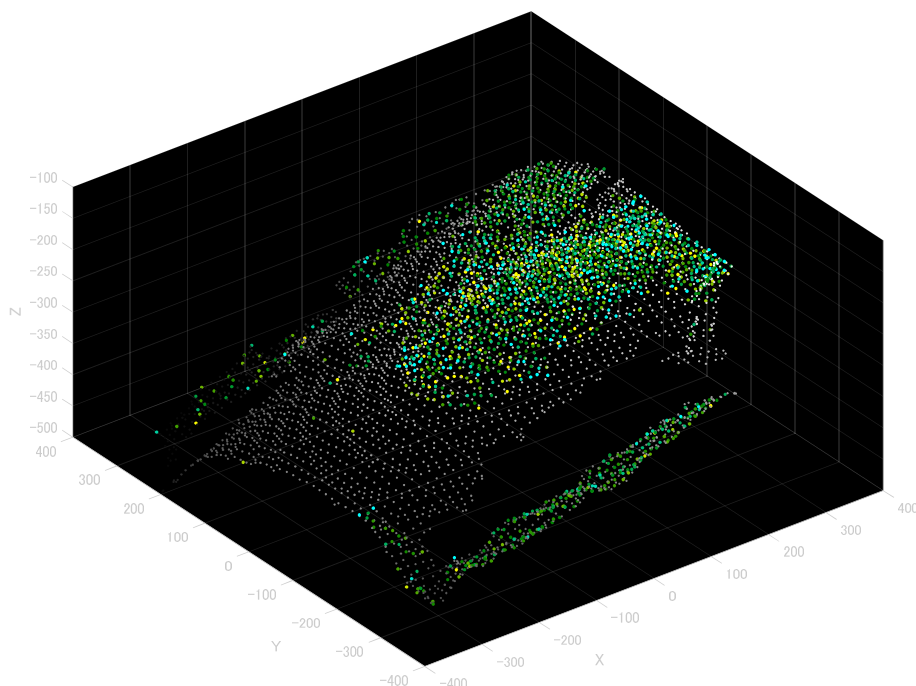


図5. 三次元点群アニメーション化による心弾動に伴う胸腹部形状変化の可視化

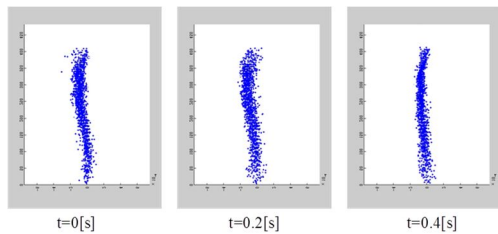


図 6. 胸腹部表面形状の変化の可視化（断面方向）

この点群アニメーションによる可視化された画像について検討したところ、心機能が正常である被験者については、1回の心臓拍動で、収縮（黄色）と拡張（青色）が視覚的にも明瞭に区別できた。<https://drive.google.com/open?id=1ihsbTjHWvnAxAwLcYmQe4LfaCVRNkgv4>

一方、低心機能である被験者については、この周期的な動きが小さくなり、収縮と拡張の振幅も小さくなった。<https://drive.google.com/open?id=18csLYIMrb3WGdIGS4lVwAnVb4dKef9lf>

現在、視覚的判断のみならず、客観的な定量評価が可能になるよう情報処理およびその指標の確立を目標に検討を進めている。

<引用文献>

Aoki H, Ichimura S, Fujiwara T, Kiyooka S, Koshij K. Calculation of Systemic Aerobic Capacity without Contact Using Pattern Light Projection. Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2009; 312-316

青木広宙，越地耕二．パターン光投影を用いた非接触肺機能検査に関する検討．電気学会論文誌 2010; 130-C:813-821

Aoki H, Koshiji K, Sakaguchi M, Fujimoto H. Noncontact Respiration Measurement under Pedaling Motion Using Slit-light Array Pattern Projection. Proceedings of 16th Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision 2010; 04-508

Aoki H, Sakaguchi M, Fujimoto H, Tsuzuki K, Nakamura H. Noncontact Respiration Measurement under Pedaling Motion with Upright Bicycle Ergometer Using Dot-matrix Pattern Light Projection. Proceedings of 2010 IEEE Region 10 Conference 2010; 1761-1765

青木広宙，市村志朗，藤原豊樹，清岡智，越地耕二，続敬之，仲村秀俊，藤本英雄．パターン光投影による非接触呼吸計測を用いた換気性作業閾値算定の提案．電気学会論文誌 2011; 131-C:152-159

Aoki H, Furukawa R, Aoyama M, Hiura S, Sagawa R, Kawasaki H. Extraction and Visualization of Cardiac Beat by Grid-Based Active Stereo. Advances in Depth Images Analysis and Applications, Lecture Notes in Computer Science 2013; 7854:146-157

青木広宙，古川 亮，佐川立昌，川崎 洋，鈴木 敦，志賀 剛．グリッド能動ステレオによる三次元形状復元を用いた心拍と呼吸の分離抽出と心拍の可視化に関する検討．精密工学会誌 2014; 80:1109-1114

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Aoki Hirooki, Suzuki Atsushi, Shiga Tsuyoshi	4. 巻 68/1
2. 論文標題 Study on Non-contact Heart Beat Measurement Method by Using Depth Sensor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2018	6. 最初と最後の頁 341 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1007/978-981-10-9035-6_62	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aoki Hirooki, Shiga Tsuyoshi, Suzuki Atsushi, Takeuchi Koichi	4. 巻 none
2. 論文標題 Attempt to Visualize Cardiac Motion on Body Surface Using Active Stereoscopic Depth Camera	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 9th International Conference on Biomedical Engineering and Technology	6. 最初と最後の頁 89 ~ 94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1145/3326172.3326226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 青木広宙, 鈴木敦, 志賀剛
2. 発表標題 ハイブリッドステレオ法による非接触心拍計測
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木 広宙, 志賀 剛, 鈴木 敦
2. 発表標題 ハイブリッドステレオ法による非接触心拍計測
3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirooki Aoki, Atsushi Suzuki, Tsuyoshi Shiga
2. 発表標題 Study on Non-contact Heart Beat Measurement Method by Using Depth Sensor
3. 学会等名 2018 World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirooki Aoki, Tsuyoshi Shiga, Atsushi Suzuki, Koichi Takeuchi
2. 発表標題 Non-contact Heartbeat Measurement by Hybrid Method of Passive Stereo and Active Stereo
3. 学会等名 2019 IEEE 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hirooki Aoki, Tsuyoshi Shiga, Atsushi Suzuki
2. 発表標題 Attempt to Visualize Cardiac Motion on Body Surface using Active Stereoscopic Depth Camera
3. 学会等名 9th International Conference on Biomedical Engineering and Technology (ICBET 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木広由, 鈴木敦, 志賀剛, 仲村秀俊
2. 発表標題 Depthセンサを用いた非接触生体信号計測に関する検討
3. 学会等名 電気学会 知覚情報 / 次世代産業システム合同研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hirooki Aoki
2. 発表標題 Depth Sensor Applications: Haptic User Interface and Non-contact Biosignal Measurement
3. 学会等名 2018 International Conference for Leading and Young Computer Scientists (IC-LYCS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木広宙
2. 発表標題 三次元画像センサによる心臓機械現象モニタリングシステム
3. 学会等名 動的画像処理実利用化ワークショップ2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 青木広宙	4. 発行年 2020年
2. 出版社 情報技術協会	5. 総ページ数 550
3. 書名 生体情報センシングと人の状態推定への応用	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	鈴木 敦 (Suzuki Atsudhi) (00625626)	東京女子医科大学・医学部・講師 (32653)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	青木 広宙 (Aoki Hirooki) (60380193)	公立千歳科学技術大学・理工学部・准教授 (20106)	
研究 協力者	竹内 幸一 (Takeuchi Koichi)		
研究 協力者	澤田 恵美 (Sawada Emi)		