

機関番号：3 2 6 5 7

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：2 1 7 0 0 5 1 2

研究課題名(和文) ホームヘルスケアのための容量型心電図・呼吸モニタの開発研究

研究課題名(英文) Research and Development of Capacitive Cardiopulmonary Monitor for Home-healthcare Applications

研究代表者

植野 彰規 (UENO AKINORI)

東京電機大学・工学部・准教授

研究者番号：2 0 3 1 8 1 5 8

研究成果の概要(和文):

毎日の就寝時での使用を想定した、『ホームヘルスケアを支援するベッド型無拘束心電・呼吸モニタ』の開発研究の一環として、以下を実施した：(a)就寝時計測におけるバンドパスフィルタの通過帯域が検出信号の品質に与える影響の検討，(b)減衰した低周波成分を復元する逆フィルタの開発と復元信号から推定した心電 QT 間隔の精度検証，(c)商用電源ノイズとその高調波の混入を抑制する実時間システムの開発，(d)ベッドシート下に設置した3つの電極から2種類の心電信号と2種類の呼吸運動を同時に検出する回路構成の考案，(e)前述の電極を用いて離着床状態と体位情報を検出する新センシング回路の製作

研究成果の概要(英文):

As part of a research and development of bed-type non-intrusive cardiopulmonary monitor for home-healthcare applications in daily use, we conducted the followings: (a) examination of effects of frequency pass band of band-pass filter on signal quality during overnight measurement, (b) development of digital inverse filter which recovers low frequency components damped by analog high pass filter, and accuracy validation of QT interval which was estimated from the recovered ECG signal, (c) development of a real-time system to reduce power-line noise and its harmonics in measured signal, (d) invention of framework to measure two ECG signals and two breathing activities simultaneously using three electrodes placed under a bed-sheet, (e) fabrication of novel sensing circuits to detect absence/existing and lying body postures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：検査・診断システム

1. 研究開始当初の背景

高齢化社会の到来や医療費削減の観点から、在宅下で各種生体現象を長期に渡りモニ

タリングする重要性が、各国でうたわれている。また、心電図や呼吸のような生体現象を日常的に計測することは、慢性疾患患者の健

健康管理にも有用である。更に、実生活の中で継続的に健康状態をモニタリングすることができれば、投薬に対する治療効果の評価や体調悪化の早期発見を期待できる。

心電図は約 30 年にわたり心疾患の診断に用いられてきた経緯があり、在宅での長期モニタリングが最も期待されている生体現象の一つである。呼吸も生命維持に欠かせないバイタルサインである。特に国内では睡眠時無呼吸症候群 (SAS: Sleep Apnea Syndrome) の潜在患者数が 300 万人にのぼるとの報告もあることから、早期発見のためにも家庭での簡易スクリーニングが期待される。しかしながら、病院内で使用されている心電計や呼吸モニタは拘束性が高く、長期モニタリングには適さない。したがって、気軽に無理なく計測を続けられる、専用システムの開発が必要である。

他方、研究代表者の植野は容量性結合の原理を応用し、2003 年に市販の布を介して心電を計測できること世界に先駆けて報告した^{[B-14],[A-8]}。また 2005 年には、導電性布の上に肌を着て寝るだけで、背部から心電を計測できること報告した^{[B-10],[B-8],[A-5]}。さらに 2007 年には、電極形状と配置を工夫することで仰・側臥位、腹臥位のいずれの体位でもセンシング可能な心電計を提案し、寝間着とシーツを介した就寝時予備実験の結果を報告している^[A-2]。加えて 2008 年には、周波数分離フィルタを用いることで、容量結合した電極から心電と呼吸運動の同時計測が可能であることを見出し、乳児 10 例の実験結果を報告した^[B-1]。

本研究は、前述したこれまでの成果を更に発展させ、中高年者を対象とした『ホームヘルスケア用の心電・呼吸無拘束モニタ』を開発することを目的とする。更に得られた心電図の QT 間隔を推定することを第二の目標とする。

[A-2] 植野ほか:「ホームヘルスケアのための寝具組込型非接触心電図モニタの基礎的検討」, 電気学会論文誌 C, Vol.127, No.10, pp.1792-1799, 2007.

[A-5] A. Ueno, et al.: "Capacitive sensing of electrocardiographic potential through cloth from the dorsal surface of the body in a supine position: a preliminary study," IEEE Trans. Biomed. Eng., Vol.54, No.4, pp.759-766, 2007.

[A-8] 植野ほか:「布を介した電極からの容量性結合に基づく心電図導出」, 電気学会論文誌 C, Vol.124, No.9, pp.1664-1671, 2004.

[B-1] A. Ueno, et al.: "Unconstrained Monitoring of ECG and Respiratory Variation in Infants with Underwear during Sleep Using a Bed-Sheet Electrode Unit,"

Proc. 30th Annual Internat. Conf. IEEE EMBS, pp.2329-2332, 2008-8.

[B-8] A. Ueno, et al.: "A system for detecting electrocardiographic potential through underwear worn by an infant from its dorsal surface," Proc. World Congress on Med. Physics and Biomed. Eng. 2006, Vol.14, pp.497-500, 2006-8.

[B-10] A. Ueno, et al.: "Detection of ECG with fabric from dorsal surface -An application of capacitive electrode," Proc. The Joint Meeting of Internat. Workshop on E-health & 2nd Internat. Conf. on Ubiquitous Healthcare, pp.107-108, 2005-11.

[B-14] Y. Furusawa, A. Ueno, et al.: Low invasive measurement of electrocardiogram for newborns and infants, Proc. IEEE EMBS Asian-Pacific Conf. Biomed. Eng. (2 pages, CD-ROM), 2003.

2. 研究の目的

毎日の就寝時での使用を想定した、ホームヘルスケアを支援するための容量型的心電・呼吸モニタリングシステムの開発研究として、具体的には以下の項目について研究を行うことを目的とする。

- (1) ホームヘルスケア用の容量型心電・呼吸モニタの開発と評価: 図 1 のようなマルチバンド型高入力インピーダンス心電・呼吸計を開発する。バンドパスフィルタの帯域を所望の検出信号の種類に応じて複数個用意する。プロトタイプでは、(a)狭帯域心電用 (5 ~ 40Hz), (b)T 波を含む心電用 (0.3 ~ 100Hz), (c)R 波用 (30 ~ 80Hz), (d)呼吸性変動用 (0.1 ~ 5Hz) とする。

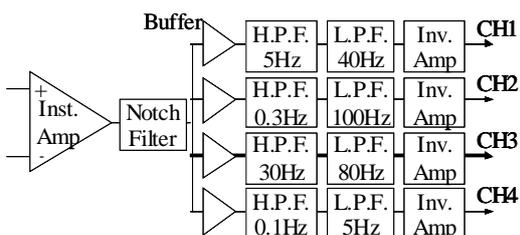


図 1 マルチバンド型高入力インピーダンス心電・呼吸計

- (2) 心電および呼吸運動の時間パラメータの抽出と評価: カットオフ周波数の異なる多段アナログフィルタ (順フィルタ) とデジタル逆フィルタソフトウェア (コーナー周波数は高域側のアナログフィルタと同じに設計) の組み合わせにより、心電図の T 波を含む低周波成分を復元する。復元後、心電図の各種時間パラメータを参照心電図のパラメータ値と比較し、その精度を評価する。また、

抽出した時間パラメータからどのような疾病のスクリーニングが可能であるかを検討する。

- (3) 環境ノイズ除去回路の適応制御とその評価：Driven Right Leg 回路（ハムノイズを低減するアナログ回路）の帰還利得を可変とし、利得をデジタルポテンシオメータにより、適応的に制御する。利得は、交流ハムノイズのパワー値（または実効値）が小さくなるよう制御する。ノイズ量はマイクロコンピュータにて実時間で算出させるため、デジアナ混載システムとなる。

3. 研究の方法

研究代表者の植野と3名の大学院生の協力のもと、図2の体制により3テーマを同時並行で進めた。

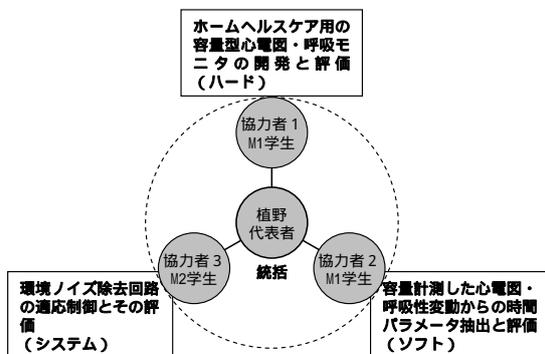


図2 研究体制

- ・ 協力者1（H21年度修士1年）：主にハードウェア開発を担当した。また、製作したハードウェアを用いて、就寝時実験を実施し、その評価を行った。
- ・ 協力者2（H21年度修士1年）：主にソフトウェア開発を担当した。また、就寝時実験にて記録した心電図に開発ソフトウェアを適用し、抽出した時間パラメータの評価を行った。
- ・ 協力者3（H21年度修士2年）：主に適応型ノイズ除去システムの開発を行った。
- ・ 協力者4（H21年度修士1年）：心電計測用のシート下電極について見守りセンシングへの応用可能性を検討するため、当初の計画とは別に、ベッドへの離着床やベッド上の体位を検出する、センシング回路の製作と評価を行った。

- (1) フェーズ1 (H21.4~H21.9): H21.3までの準備状況を踏まえ、4グループで以下の内容を分担し、同時並行で研究を進め

た。

- 1-1) マルチバンド型心電・呼吸計（一号機）による青年就寝時実験と解析（植野+協力者1）
- 2-1) 逆フィルタソフトウェアを用いたT波潜時の推定（植野+協力者2）
- 3-1) ノイズ除去回路の適応制御における基礎特性の評価（植野+協力者3）
- 4-1) 離着床・体位判別用のセンシング回路（一号機）の製作（植野+協力者4）

- (2) フェーズ2 (H21.10~H22.9): フェーズ1の結果を踏まえ、4グループ（H22.4より2グループ）で以下を同時並行で実施した。

- 1-2) マルチバンド型心電・呼吸計（二号機）による高齢者就寝時実験と解析（植野+協力者1）
- 2-2) 心電図時間パラメータを用いた疾病の予測可能性の検討（植野+協力者2）
- 3-2) ノイズ振幅平衡化回路の製作と評価（植野+協力者3）
- 4-2) 離着床・体位判別センシング回路のマルチチャンネル化と評価（植野+協力者4）

- (3) フェーズ3 (H22.10~H23.3): フェーズ2の結果を踏まえ、2グループで以下の計画を同時並行で実施した。

- 1-3) マルチバンド型心電・呼吸計に関する研究成果のまとめ（植野+協力者1）
- 2-3) 心電時間パラメータの推定と疾病予測に関する研究成果のまとめ（植野+協力者2）

4. 研究成果

- (1) ホームヘルスケア用の容量型心電・呼吸モニタの開発と評価: 図1と同様のマルチバンド型高入力インピーダンス心電を製作し、12名の成人被験者（21~75歳）を対象に就寝時計測実験を実施した。解析の結果、以下の知見が得られた。
- a) 5-40Hzの帯域の場合：心電のR波検出率は平均で92%であった。また、光電脈波から求めた心拍数よりも精度良く心拍数を検出できることを確認した。
 - b) 0.3-100Hzの帯域の場合：R波検出率は70%程度であったが、T波が含まれるためQ-T間隔の検出に有効である可能性が示唆された。75歳の被験者においては、心室性期外収縮と見られる特徴的な波形が検出された。
 - c) 30-80Hzの帯域の場合：被験者によ

っては R 波を検出できないことが判明した。低域側の遮断周波数を 20Hz まで下げる必要があることが判明した。

- d) 0.1-5Hz の帯域の場合：今回採用したシステム構成では、感度良く呼吸運動を検出できないことが判明した。また、呼吸運動検出には文献 B-1 (背景に記載) の構成の方が適していることが確認された。そこで、B-1 の方法を更に改良し、心電計測用電極から胸部と腹部の呼吸運動を独立に計測する手法を考案し特許を出願した(特願 2011 - 073940)。
- (2) 心電および呼吸運動の時間パラメータの抽出と評価：実験および解析により以下の知見を得た。
- a) 心電の時間パラメータについて：アナログ HPF の逆利得特性を有する逆フィルタをソフトウェアで構成し、A/D 変換後の信号に適用すると、心電の T 波を復元できることを確認した。復元波形から算出した Q-T 間隔は、第 1 誘導から算出した Q-T 間隔と高い相関を有することを確認した。
- b) 呼吸運動の時間パラメータについて：1 次製作した回路において呼吸運動を感度良く検出できなかったことから、時間パラメータを解析するまでには至らなかった。ただし、特許出願した方式において、無呼吸状態を目視で判別できることを予備実験において確認した。
- (3) 環境ノイズ除去回路の適応制御とその評価：Driven Right Leg 回路を容量計測に適用した場合、理論上、帰還利得がにおいて S/N が最も良くなることが判明した。理論上、適応制御に適していないこと、また利得の大幅な増加は安全性の観点から好ましくないことから、当初の計画を変更することとした。代替案として、商用電源ノイズとその高調波の振幅を、差動入力端において平衡化する手法を新たに考案し、実時間動作する系を構築した。評価実験の結果、心電計測のみならず脳波の計測においても S/N 向上に有効であることを確認した。
- (4) 心電計測用電極を用いた離着床・体位センサの開発：一号機を製作し、基本動作を確認した。解析の結果、離着床の判別や、体位(仰臥位・腹臥位あるいは側臥位)の判別を行える可能性が示唆された。ただし、心電計と併用した場合に、干渉

信号が心電記録に混入するため、装置の改良が必要であることが判明した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 9 件)

松本秀司、植野彰規、容量型ベッド組込心電計を用いたネットワーク対応見守りセンサの開発、第 20 回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集、p.60、2011-3-5。

AKINORI UENO, Capacitive sensing of bioelectric signals and their applications, 7th International Conference on Ubiquitous Healthcare, 2010-10-30, Jeju Grand Hotel(Jeju, Korea), <Invited Lecture>

小和田大輔、植野彰規、アナログ順フィルタとデジタル逆フィルタによる帯域拡張と容量型心電計測への応用、電気学会研究会資料(医用・生体工学研究会)、(東京), Vol. BME-10-152 ~ 156, pp.1-6, 2010-10-23。

三上慶久、山芳寛、植野彰規、商用電源ノイズと高調波の振幅平衡化に基づく生体電気計測における S/N 改善、生体医学シンポジウム 2010 予稿集(CD-ROM)、(札幌) #2-1-4, 2010-9-11。

鍋田啓介、植野彰規：「容量型電極を用いた体動検出回路の開発」、第 7 回生活支援工学系学会連合大会 講演予稿集、(高知), pp. 209-210, 2009-9-24。

SHINJI TAKAHASHI and AKINORI UENO, Non-obtrusive monitoring of narrow-band electrocardiogram with a capacitive electrode unit during sleep, WC 2009, IFMBE Proceedings 25/IV, pp. 812-815, (Munich, Germany), 2009-9-9。

YOSHIHISA MIKAMI, YOSHIHIRO YAMA and AKINORI UENO, Improvement of SNR by equilibrating power-line noise amplitude and its application to capacitive ECG measurement, WC 2009, IFMBE Proceedings 25/IV, pp. 1988-1991, (Munich, Germany), 2009-9-9。

DAISUKE KOWADA and AKINORI UENO, Bandwidth extension method for capacitive ECG sensing using a two-stage analog forward filter and a single-stage digital inverse filter, WC 2009, IFMBE Proceedings 25/IV, pp. 1996-1999, (Munich, Germany), 2009-9-9。

高橋 慎二, 植野彰規:「容量型マルチバンド心電計による就寝時無拘束モニタリング」, 第 48 回日本生体医工学会大会論文集 (CD-ROM), (東京), p.631, 2009-4-25.

〔図書〕(計 1 件)

AINORI UENO, T. Imai, D. Kowada and Y. Yama, "Capacitive sensing of narrow-band ECG and breathing activity of infants through sleepwear," Biomedical Engineering (Ed. Carlos Alexandre Barros de Mello), Chapter 21, pp.399-414, INTECH (Vukovar, Croatia), 2009-10. (ISBN: 978-953-307-013-1)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 生体信号測定装置、生体信号測定用ベッド、及び、生体信号測定方法
発明者: 植野彰規、高橋慎二
権利者: 学校法人 東京電機大学
種類: 特許
番号: 特願 2011 - 073940
出願年月日: 2011 年 3 月 30 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

http://www.uenolab.jp/uenolab_hp/teacher/list.html

テレビ出演

BS JAPAN 世の中進歩堂: #127 「センシング技術に注目!」, 2011 年 3 月 25 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植野 彰規 (UENO AKINORI)
東京電機大学・工学部・准教授
研究者番号: 20318158