

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16317

研究課題名(和文) 容量結合式浴槽内組込電極による完全無意識型心電・呼吸計測システムの先駆的開発研究

研究課題名(英文) Development of a Fully Non-Conscious Cardiopulmonary Monitoring System using Capacitive Coupling Electrodes Placed Outside the Bathtub Wall

研究代表者

山越 康弘 (yamakoshi, yasuhiro)

北海道大学・情報科学研究科・学術研究員

研究者番号：70743300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、家庭内事故が急増している浴室に着目し、浴槽壁内部に完全に埋め込まれ、入浴者には外見上全く見えないセンサ(電極)で、心電図・呼吸情報を検出する完全無意識型システム開発を目指した開発研究である。平成28年度は、当初研究計画書に記載した次の項目について研究開発を実施した。入浴者の心電図・呼吸情報検出方法の検討、実用プロトタイプ試作開発と性能評価。これらの実施内容から研究成果として、容量結合方式による完全無意識型浴槽心電図・呼吸計測システムの開発を行い、そのシステムの妥当性に関する研究成果を国際学会および国際論文誌に公表した。

研究成果の概要(英文)：Monitoring of health conditions during bathing is important for prevention of such accidents as sudden malfunction of cardio- or cerebrovascular system and drowning. ECG and/or respiration monitoring in the bathtub was therefore proposed using bathtub-installed electrodes, indicating its medical availability. Such a system would provoke a feeling of strangeness and discomfort for a subject to see electrodes. To avoid such visible electrodes, capacitive coupling electrodes fixed outside the bathtub wall was newly devised, allowing cardiopulmonary monitoring in a fully non-conscious manner.

研究分野：生体計測分野

キーワード：生体情報計測 容量結合電極 浴槽

## 1. 研究開始当初の背景

近年、我が国は超高齢化社会を迎え、それに伴い家庭内での事故が非常に増加してきている。事故の発生環境としては、各種生活スペースや階段等の移動スペース、トイレ等、様々な場所があるが、その中でも特に浴室は、事故が非常に多く発生する場所として知られている。また、入浴中の事故において、死亡者の死亡原因が不明の際には、入浴中の事故死ではなく、病死と診断されてしまうことも多いと考えられており、これらも含めると入浴中死亡者数は年間 14,000 人にもものぼり、交通事故死 (平成 28 年度: 3,904 人) よりも多いと報告されている。入浴中の事故としては、浴槽内における入浴行為の際に温熱・水圧等の負荷を受け、循環器系疾患が誘発され、意識をなくし溺水してしまい事故につながる場合が考えられる。また、これまで入浴事故を検知する機器として、近赤外線や超音波やカメラを利用した手法が報告されているが、これはあくまでも入浴者が動いているかどうかの判断であり、精度が十分とは言えない。また、カメラに対する不快感やプライバシーの侵害への懸念など、実用化には問題を抱えている。

## 2. 研究の目的

これまで筆者らは、家庭用調度 (ベッド・トイレ・浴槽) にセンサを内蔵することにより、センサ装着や機器操作を一切必要としない「無意識生体計測法」の開発を進めてきた。この技術は、普段の暮らしで自動的に生体情報が得られるが、センサがあることへの違和感や緊張感を完全に取除けたとは言いがたかった。そこで、本課題は、家庭内事故が急増している浴室に着目し、浴槽壁内部に完全に埋め込まれ、入浴者には外見上全く見えないセンサ (容量結合型電極) で、心電図・呼吸情報を検出する全く完全無意識型システム開発を目指した開発研究を実施した。

## 3. 研究の方法

### 1. 家庭内設備の材料を介した生体電気信号検出技術の基礎的開発

浴槽壁や家庭内の設備で現在頻繁に用いられている材料 (Fiber Reinforced Plastics; FRP 材、など) を介して、容量結合によって生体の電気信号を得る新たな技術を開発。

### 2. 上記技術を用いた入浴者の心電図や呼吸情報検出方法の検討

浴槽壁の内部へのセンサの内蔵方法 (最適な電極の大きさや設置位置、ノイズ対策方法) を検討し、入浴者の心電図や呼吸情報を検出するシステムの具現化と精度評価。

### 3. 浴槽内無意識心電・呼吸計測システムのプ

## ロトタイプ完成

浴室スペースに内蔵可能な計測システムのプロトタイプを完成させ、信号検出精度や有効性を実証。

## 4. 研究成果

図 1 は今回試作を行った容量結合型電極を用いた浴槽内無意識心電・呼吸計測システムのプロトタイプの概要である。今回の電極の配置については、従来の心電図における双極誘導 (第 II 誘導) を模擬し、被験者の右肩甲骨、右足付近の浴槽壁に設置 (図 1-a 参照) した。また、それぞれの電極構造については、浴槽壁 (FRP 材: Fiber Reinforced Plastics) を容量結合型電極における絶縁物とし、その裏に導電性金属を塗布し、電極面 ( $\phi 100$  mm) を形成した。また、電極直下にはバッファアンプを設け、最適なアクティブ電極とし、また、外部からのノイズ対策のための浴室壁内面におけるシールド構造を導入し、安定した信号検出を実現 (図 1-b 参照) した。なお、検出した信号は計測用アンプを介して 0.05~30Hz のフィルタによりノイズのカットを行い、1000 倍に信号を増幅した後 (図 2 参照)、16bit の A/D 変換を介し解析用 PC に送られる。その後、解析・記録用 PC を用いて心電図 RR 間隔の呼吸性変動を検出する。

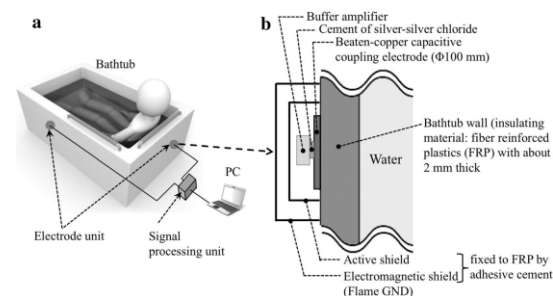


図 1 容量結合型電極を用いた浴槽内無意識心電・呼吸計測システムの概要

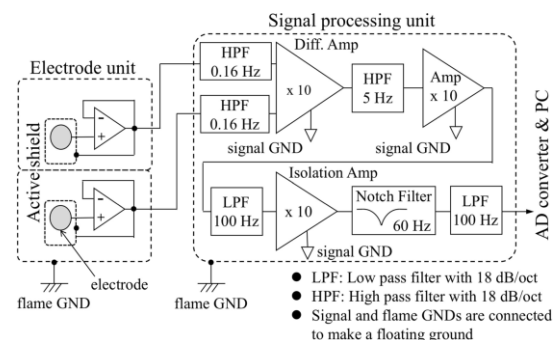


図 2 本システムの信号処理回路ブロック図

今回、健常成人男性 10 名を対象とし、浴槽に設置した容量結合方式による浴槽内心電図と導電結合型電極による体表面心電図、呼吸バンドによる呼吸との同時計測実験を行なった。なお、本研究は倫理審査委員会の承認を得ると共に、実際の計測の際には対象者自身からのインフォームドコンセントを

得た後に実施した。

その結果、本システムの容量結合方式で得られた心電図と、従来型の導電結合型電極で得られた心電図のR波が同期しており、入浴中における容量結合方式を用いた心電計測が可能であることが確認(図3参照)された。

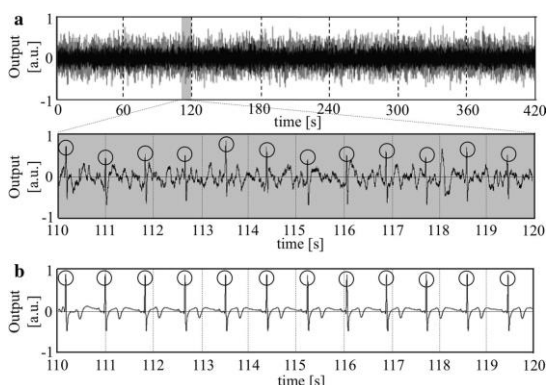


図3 容量結合方式で得られた心電図(a)と導電結合型電極で得られた心電図(b)の記録例

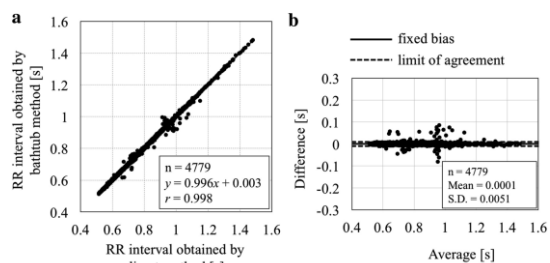


図4 被験者10名におけるRR間隔の精度評価結果:(a)容量結合方式と直接法の散布図、(b)Bland-Altman法による解析結果

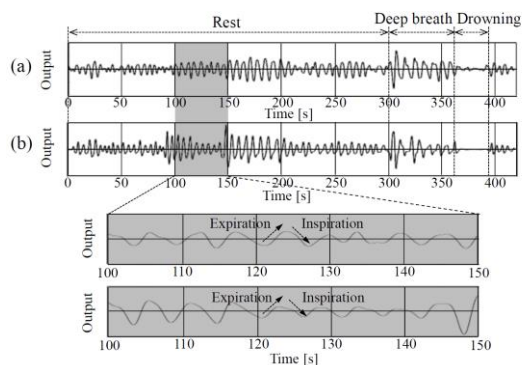


図5 RR間隔の時系列データ結果例:容量結合方式(a)と直接法(b)

一方、得られたRR間隔の変動波形、呼吸バンドで得られた呼吸波形の比較結果(図5参照)から、呼吸の動きに追従してRR間隔が変動していることが確認され、呼吸停止を行なった場合にはRR間隔の変動が無くなっていることから、呼吸計測への有効性も示唆された。

以上の結果から研究成果として、(1)容量結合型電極を用いた浴槽内無意識心電・呼吸計測システムのプロトタイプを開発した。(2)システムの妥当性に関する研究成果を

国際論文誌<sup>(2)</sup>および国内・国際学会<sup>(4,6,10)</sup>に公表した。

以上、本研究課題から得られた成果・学術的知見を基盤とし、これからも目的とする無意識生体計測法を継続的に研究開発していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2件)

[1]T. Yamakoshi, J. Lee, K. Matsumura, Y. Yamakoshi, P. Rolfe, D. Kiyohara, K. Yamakoshi, Integrating Sphere Finger Photoplethysmography: Preliminary Investigation Towards Practical Non-Invasive Measurement of Blood Constituents, PLOS ONE, 10(12), e0143506, 2015(12)

DOI: 10.1371/journal.pone.0143506

[2]K. Motoi, Y. Yamakoshi, T. Yamakoshi, H. Sakai, N. Tanaka, K. Yamakoshi : Measurement of electrocardiograms in a bath through tap water utilizing capacitive coupling electrodes placed outside the bathtub wall, BioMed Eng OnLine, 16(10), 1-13, 2017(1)

DOI: 10.1186/s12938-016-0304-9

[学会発表] (計 8件)

[3]山越康弘, 松村健太, 山越健弘, 田中直登, 李知炯, ピーター・ロルフ, 清水孝一, 山越憲一, 非侵襲血中成分計測を目指した積分球型高感度光電容積脈波検出法の検討, 第54回日本生体医工学会大会生体医工学論文集, (53)1, P2-4-27-C, 2015(5)

[4]本井幸介, 山越康弘, 容量結合による見えない電極を用いた完全無意識型浴槽心電図・呼吸計測システムの開発, 第54回日本生体医工学会大会生体医工学論文集, (53)1, P1-4-7-F, 2015(5)

[5]Y. Yamakoshi, K. Matsumura, T. Yamakoshi, J. Lee, K. Motoi, P. Rolfe, K. Shimizu, K. Yamakoshi, An Integrating Sphere-Type Finger-Photoplethysmography with Higher Accuracy and Sensitivity towards Practical Non-Invasive Measurement of Blood Constituents, In: Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2015, P134, Paper ID: 24353413, 2015(8).

[6]K. Motoi, Y. Yamakoshi, K. Matsumura, T. Yamakoshi, N. Tanaka, K. Ken-ichi, Development of a Fully Non-Conscious Cardiopulmonary Monitoring System Using ,Outside the Bathtub Wall, In: Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology

Society , 2015, P116, Paper ID: 21263335, 2015(8)

[7]李知炯, 松村健太, 山越健弘, 柿本真徳, 山越康弘, 山越憲一, 動的アドミタンスシミュレータを用いた胸部電氣的アドミタンス式心拍出量計測装置の校正法の提案, 第55回日本生体医工学会大会生体医工学論文集, (54)181, 2016(4)

[8]Y. Yamakoshi, K. Matsumura, T. Yamakoshi, J. Lee, P. Rolfe, K. Motoi, M. Shibata, Y. Kato, K. Shimizu, K. Yamakoshi, A Novel Multichannel Laser Photoplethysmogram for the Detection of Side-Scattered Light in a Wavelength with Blood Glucose Absorption, In: Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society , FrCT1.2, 2016(8)

[9]J. Lee, T. Osaki, K. Matsumura, P. Rolfe, Y. Yamakoshi, M. Shibata, K. Motoi, T. Yamakoshi, Comparison of the b/a Ratio of Acceleration Photoplethysmogram Derived from Green and Near-infrared Light for Estimation of Finger Vascular Elasticity, In: Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society , FrCT14.14, 2016(8)

[10]K. Motoi, Y. Takatsuka, H. Sakai, Y. Ehara, M. Matsumoto, Y. Yamakoshi, T. Yamakoshi, N. Tanaka, K. Shiba, K. Yamakoshi, Pilot Examination of Health Condition Analysis in Patients with Spinal Cord Injury Using a Non-Conscious Pulse and Respiration Monitoring System in Bed, In: Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society , FrCT18.3, 2016(8)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

山越 康弘 (YAMAKOSHI YASUHIRO)

北海道大学・情報科学研究科・学術研究員

研究者番号：(70743300)

### (2)研究協力者

本井 幸介 (MOTOI KOSUKE)

静岡理科大学・理工学部・講師

研究者番号：(80422640)