

令和元年5月27日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12957

研究課題名(和文) 超高齢化社会の医療人材不足を克服する次世代医療用ウェアラブルセンサーの新規開発

研究課題名(英文) a new wearable multi-lead electrocardiogram measuring system for super-ageing society

研究代表者

内田 広夫 (UCHIDA, HIROO)

名古屋大学・医学系研究科・教授

研究者番号：40275699

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：印刷技術やフレキシブルエレクトロニクス技術を用いたウェア型のバイタルセンサの研究開発を行った。衣類上に静電植毛技術を用いて銀メッキを施した繊維を垂直に起立した状態で植毛することができた。これにより低コストで、長期間使用可能な洗濯できるものが完成した。コンプレッションウェアの胸部に18個の電極を形成し、また右肩、左肩、左脇腹に不関電極用の3つの電極を、右脇腹にアース用電極を形成した。この心電図測定ウェアを用いて、安静時に心電図測定が十分に行えた。1000Pa - 2000Paの圧力で皮膚と接着しているウェアでは心電図測定の際に大きなモーションアーチファクトは確認されなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウェア型のバイタルセンサの研究開発を行った。印刷技術と静電植毛技術を用いることで一括で多数のドライ電極を衣類上に織物のように作製する技術を開発し、多極心電図測定ウェアを作製することができた。このウェアは低コストで、長期間使用可能で、洗濯にも耐えられるものとなった。このような身体に貼るものではない電極を用いる場合、安定した皮膚との接触状態を保てるかが問題となるが、コンプレッションウェアと組み合わせることで、少しの体動でもブレがない心電図測定が可能となった。

研究成果の概要(英文)：To develop a wearable multi-lead electrocardiogram (ECG) measuring system, we fabricated the electrode and wiring by using electrostatic flocking technology on a textile. By using this technology, it was possible to fabricate many electrodes and wiring, simultaneously. The fabricated wiring and electrodes had stretchability and wash resistance properties. To use dry electrodes, it is important to reduce the influence of motion artifacts (MAs). we conducted experiments with a human body to determine the relationship between the contact pressure and the MAs. under the pressures of 1000 Pa, 2000Pa and 4000Pa, the ECG signals under rest and deep breathing conditions were able to be measured without MAs. Finally, we fabricated the wearable ECG measuring system and succeeded in measuring 18-lead ECG signals. The measured ECG waveform is in good agreement with the ECG waveform measured by a commercial system.

研究分野：小児外科

キーワード：ウェアラブルセンサ 心電図 プリンテッドエレクトロニクス 静電植毛 モーションアーチファクト

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

心電図測定は電極を患者の体表面に電極を貼るだけの簡便・非侵襲な測定方法であり、健康診断においても広く行われている診断方法である。最も一般的な12誘導心電図の測定の場合、四肢に4個、左胸部に6個の電極を装着する。しかし、12誘導心電図では右側誘導と背部誘導が観察しにくく、心疾患の見落としが問題となっている。

### 2. 研究の目的

そこで、現在、体に貼り付ける電極を増やすことで、多角的に心臓疾患を診断する体表面心電分布図(BSPM)が注目を集めている。体表面心電分布図は100-200個程度の電極を体の胸部、腹部、脇腹、背中などに装着し、心電波形を取得する技術であり、さらにCTやMRIの画像と組み合わせることで、心臓の興奮状態を多角的にかつ詳細に観察することが可能となると報告されている。しかし既存の多極心電測定装置には、高コスト、湿式電極、有線という3つの課題がある。特に湿式電極の場合、装着感が悪い、長時間測定が難しい、電極部が使い捨てのため高コスト、などの多くの問題があり普及していないのが現状である。そこで我々は印刷技術と静電植毛技術を用いてゲルフリーなドライ電極・配線をテキスタイル上に直接形成した心電ウェアの作製を行った。印刷技術により安価に大量生産可能な点、ドライ電極のため衛生的で洗濯可能である点、UWB無線通信モジュールと組み合わせることで拘束感なく多数の心電信を送信可能な点が特徴である。このECG測定ウェアは患者が装着し、拘束感なくリラックスした状態で多極の心電信を測定することを可能にする。

### 3. 研究の方法

図1(a)に印刷技術と静電植毛技術を用いたECG測定ウェアの作製プロセスを示す。衣類上に衣類用接着剤の印刷を行った後、静電植毛技術を用いて銀メッキ繊維を植毛する。静電植毛技術は繊維(ポリエステル)を帯電させ、電気力線に沿って生地中に植毛する技術である。銀メッキ繊維の長さは $500\mu\text{m}$ 、径 $17\text{--}18\mu\text{m}$ である。結果として繊維が衣類に対して垂直に起立した状態で形成できる図1(b)。その後、 $100^\circ\text{C}$ で30分間乾燥し、最後に配線部分を絶縁フィルムでカバーする。図1(c)に静電植毛技術を用いて形成した配線部と電極部を示す。フィルムが貼り付けられている箇所が配線部、むき出しになっている箇所が電極部となる。このように静電植毛技術を用いることで、ドライ電極と配線を衣類上に一括で作製することができるため、心電図測定ウェアの作製にかかるコストを低減できる。

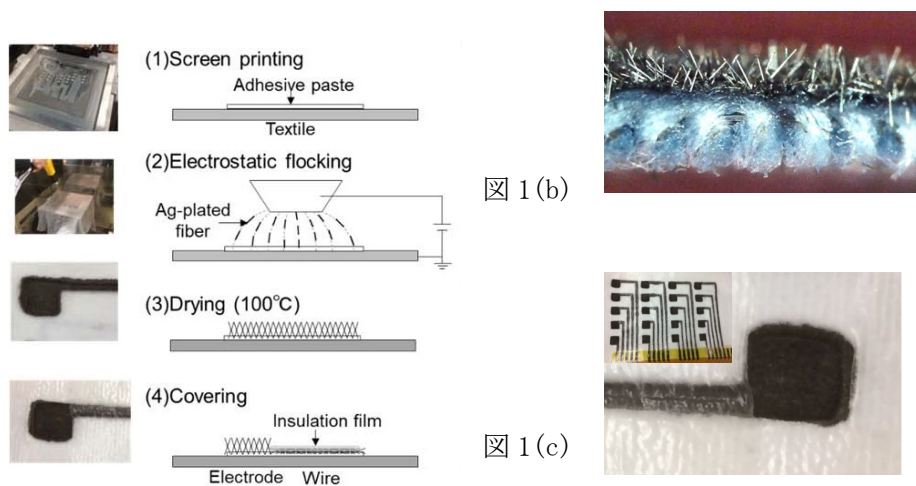


図1(a)

## 4. 研究成果

### (1) 多極 ECG 測定システム

図 2 に作製した ECG 測定ウェアを示す。皮膚と電極の密着を良好にするために、生地としてコンプレッションウェアを用いた。コンプレッションウェアの胸部に 18 個の電極を形成し、また右肩、左肩、左脇腹に不関電極用の 3 つの電極を、右脇腹にアース用電極を形成した。胸部電極のサイズは 10mm, 四肢電極のサイズは 50mm である。各電極から得られた電気信号はポリイミド基板を通して送信モジュールに入力される。送信モジュール内には電池、増幅回路、UWB 無線回路が内蔵されており、無線通信で受信モジュールに心電波形が送信される。UWB はデータレートに優れており、数百の心電波形を送信するのに十分なデータレートである。反対に伝送距離は 10m 以下と長くないが、病院の特定の位置で測定を行うという測定環境においては十分な距離であると考えられる。

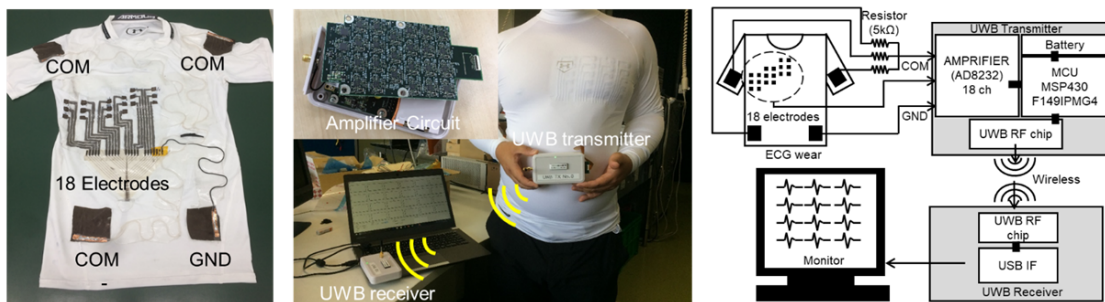
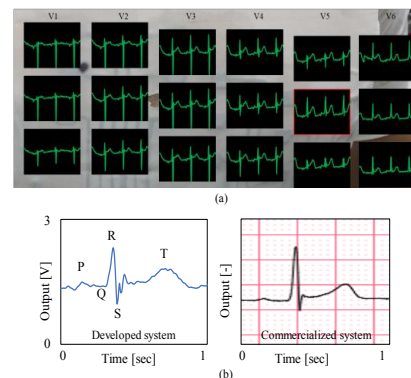


図 2

### (2) 安静時心電波

図 3(a) に胸部 18 誘導の心電波形を示す。この 18 誘導は、12 誘導心電図と同等の ML 誘導における V1-V6 の 6 誘導と、その各 1 肋間上の 6 誘導、1 肋間下の 6 誘導の計 18 誘導である。まず、18 誘導分の心電波形が問題なく取得できていることが確認できる。また実験結果より V1-V6 において移行帯 (R-S 波の高さが同じになる箇所) が V3-V4 間にある。一般的に移行帯は V3-V4 間にあるため、本実験結果は妥当であると言える。図 3(b) に V5 位置における既製品を用いた心電信号と、本センシングウェアを用いた心電信号の結果を示す。やや、ノイズ成分が大きいものの、PQRST 波の形状が一致しており、既製品と同等の波形形状が測定できていることが確認される。しかし、図 3(a) の結果より、心電信号の基線のゆらぎが確認される。これは人間の呼吸や動きに由来するモーションアーティファクトと呼ばれる変動である。生地としてコンプレッションウェアを用いているが、その着圧は場所に依存しており、特にみぞおち部や胸部は体形の凹凸が激しいため、着圧が安定しない。そのため、胸部では着圧が十分ではない場所があり、結果としてモーションアーティファクトが心電信号に現れたと考えられる。 図 3



### (3) 通常状態での心電波形；モーションアーチファクト (MA) 評価

人体を用いた心電測定実験を行った。図 4 に実験系を示す。圧力センサと静電植毛電極を一体化したセンサを、穴をあけた布製コルセットに固定する。布製コルセットの背面に固定したボルトを回すことで、皮膚-電極間の接触圧力を調整する構造となっている。起毛電

極を皮膚に押し付け、その際の接触圧力と 12 誘導心電図における II 誘導(RA-LL 間)の心電図測定を行う。接触圧力は 200Pa, 500Pa, 1000Pa, 2000Pa, 4000Pa であり、電極のサイズは 10mm である。被験者は立位で普段通り呼吸を行う条件で測定を行った。測定結果を図 5 に示す。200Pa-500Pa の接触圧力においては MA が確認されるが、高い圧力条件である 1000Pa-2000Pa の圧力条件では大きな MA は確認されなかった。

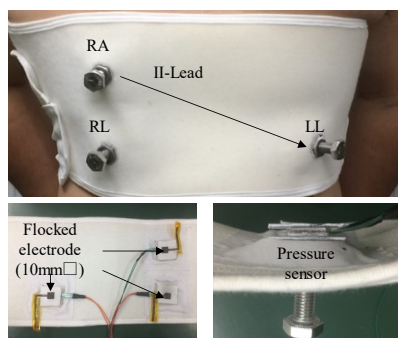


図 4

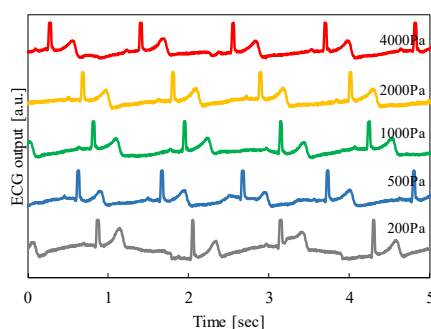


図 5

#### (4) まとめ

静電植毛技術を用いて心電図測定ウェアの開発を行った。銀メッキ繊維を静電植毛することで、電極や配線を一括して形成することが可能となった。このウェアは低コスト化が期待でき、長期間使用可能で、選択することもできるものとなった。また心電測定も可能となったが、モーションアーチファクトが問題となった。そのため、静電植毛電極・皮膚感の接触圧力を 2000Pa 程度とすることでモーションアーチファクトがなくなることがはっきりした。今後はこの結果をもとにさらなる改良をすすめ、より安定した心電図測定が可能な心電図測定ウェアの開発を行う。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 2018 年 第 35 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム 静電植毛電極を用いた心電図測定における接触圧力とモーションアーチファクトの関係  
竹下 俊弘、吉田 学、大内 篤、小林 健、檜 顕成、内田 広夫
- ② 2017 年 第 34 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム 銀メッキ繊維起毛電極を用いたテキスタイル型多極心電図 竹下俊弘、吉田学、大内篤、小林健、檜顕成、内田広夫

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：城田 千代栄

ローマ字氏名：(Shirota Ciyoe)

所属研究機関名：名古屋大学

部局名：医学部附属病院  
職名：講師  
研究者番号（8桁）：20378194

研究分担者氏名：田井中 貴久  
ローマ字氏名：(Tainaka Takahisa)  
所属研究機関名：名古屋大学  
部局名：医学部附属病院  
職名：病院講師  
研究者番号（8桁）：30378195

研究分担者氏名：植村 聖  
ローマ字氏名：(Uemura Sei)  
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名：エレクトロニクス・製造領域  
職名：研究チーム長  
研究者番号（8桁）：50392593

研究分担者氏名：吉田 学  
ローマ字氏名：(Yoshida Manabu)  
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名：エレクトロニクス・製造領域  
職名：研究チーム長  
研究者番号（8桁）：60358330

研究分担者氏名：檜 顕成  
ローマ字氏名：(Hinoki Akinari)  
所属研究機関名：名古屋大学  
部局名：医学系研究科  
職名：招へい教員  
研究者番号（8桁）：90383257

研究分担者氏名：延島 大樹  
ローマ字氏名：(Nobeshima Taiki)  
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名：エレクトロニクス・製造領域  
職名：研究員  
研究者番号（8桁）：20750110

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。