

就寝時心電取得のための無意識生体電位計測システムの提案

武内良典^{†1} 劉 載勳^{†1} 山中達哉^{†1}
Arif Ullah Khan^{†1} 関根正樹^{†2} 今井正治^{†1}

高齢化社会における成人病などの慢性疾患の検査を行うために、心電などの生体情報を長時間継続して計測する事が求められている。この要請を満たすためには、患者に対して低侵襲で無意識の状態で行える必要がある。しかしながら、例えば心電計測においても一般には専用の装置の利用と多数のゲル電極を体表に貼付する必要がある。計測前の準備が必要で、日常的に継続して計測するには煩雑なものであった。本報告では、パジャマ、シーツ、ベッド等に計測のための仕組みを導入し、電極貼付のような特殊な準備なしに就寝時に計測を行う生体電位計測システムを提案する。

Proposal of an Unconscious Bioelectric Potential Measurement System for Bedtime ECG Acquisition

YOSHINORI TAKEUCHI^{†1} JAEHOON YU^{†1}
TATSUYA YAMANAKA^{†1} ARIF ULLAH KHAN^{†1}
MASAKI SEKINE^{†2} MASAHARU IMAI^{†1}

In order to measure chronic diseases like adult-onset diseases in aging society, vital signs such as electrocardiograph (ECG) are requested to be measured long time in daily life. This requirement should be achieved by some low invasion and unconscious measurement methods for patients. For example, for ECG measurement, it requires specific instruments and many gel electrodes, and it is cumbersome for daily measurements. This manuscript proposes an unconscious bioelectric potential measurement system which introduces some instruments to nightclothes, sheets, and beds, and enables bedtime ECG acquisition without special preparations like attaching gel electrodes.

1. はじめに

電子システム技術の進展により、日常的に人のバイタルサインを計測するデバイスが実現可能となってきた。リストバンド型で心拍数、体温等が計測できるデバイスも出現してきている。これらの機器の多くはヘルスケア機器として利用されており、日常的な生活を送りながら得られるデータを使って体調を確認したり、運動を行うときに参考指標として利用されることが多い。医療的な場面では、バイタルサインは病院で専用の機械を使って測定することが一般的である。しかし、病院で専用の測定器を利用することで、測定時点での値を正確に測定することはできるが、日常生活を送っているときの値を測定しているわけではない。日常的なデータを取得することができれば、患者の一層の病状を知ることができるため、これまででも日常的なバイタルサインの取得が要望されてきたが、バイタルサインを計測することは実現することは難しい状況であった。しかしながら、近年の電子システム技術の進歩は、日常的なバイタルサインの計測を可能にし始めており、インターネットとの接続を含め、バイタルサインは今後期待されているビッグデータ時代のデータのひとつとして期待されてい

る[1]。しかしながら、現在はまだ様々なデータを取得できるわけではなく心拍数、体温などを計測できるデバイスが広く出回りはじめたところである。山田らの Silmee [2]、NTT データ・東レの hitoe など心電計測ができるデバイスも発表されている。

一般に、これらバイタルサインを計測するためには、計測のための煩雑な設定を必要とすることが多く、計測される人間も計測を意識して行うことが多い。特に、心電計測においてはゲル電極のような電極を体表に貼付する必要があり、計測のための準備が必要で、毎日、継続して計測するには煩雑なものであった。

本稿では、戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)の「循環器疾患患者を対象とした在宅ヘルスケア・システム」を実現するために進めている心電計測手法について紹介する。循環器疾患である心疾患、脳卒中はガンに次ぐ日本人死因の原因であり、高齢社会を迎えた現在において、この患者数の増加が国民の健康寿命の低下や医療介護費を膨らませており、我が国の深刻な課題となってきた。これらの発症患者は図 1 に示すように、急性期、回復期を経て半数近くは自宅で療養、リハビリを行う。しかしながら、循環器疾患は再発率が高い疾患であり再発すると重篤に至

†1 大阪大学

Osaka University

†2 大阪電気通信大学

Osaka Electro-Communication University

るケースが多い。在宅での生活を行う患者は、かかりつけ医による自宅での投薬・リハビリ運動・バイタル計測等のケア・プランを実行、定期健診時に院内でのバイタル計測と問診、在宅でのバイタル計測の記録に基づいて、診断と指導が行われる。しかしながら、急性期を過ぎると、在宅でのバイタル計測を継続的に行うことを怠ってしまうことも多く、日常生活を行いながら、無意識の内に計測を行えることが望ましい。また、心電を用いて確認を行いたい不整脈は、データは長時間の計測が不可欠であり、長時間の

め、日常的な心電データを取得したいという要求も高まっており、山田らの Silmee [2]、NTT データ・東レの hitoe なども提案されている。これらは、日常生活を送りながら、またはスポーツを行いながら、心電を測定することが可能となっている。Silmee は電極として専用のゲルシートを電極としている。hitoe はナノファイバ生地に高導電性樹脂をコーティング加工した機能素材「hitoe」を電極として用いている。ベッド上での心電計測システムとしては、非接触電極を用いた心電計測システムが各種提案されている [5][6][7][8]。

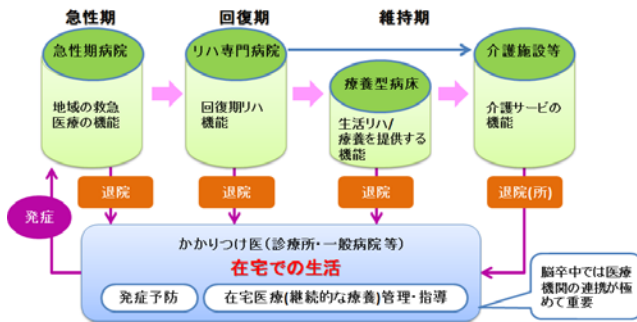


図 1 循環器疾患の段階と治療プロセス
 Figure 1 Cardiovascular disease step and medical treatment process.

計測も行えることが望ましい。

本報告では、長時間の心電計測ということ目標から就寝時の心電計測を検討し、パジャマ、シーツ、ベッド等に計測のための仕組みを導入し、電極貼付のような特殊な準備なしに就寝時に計測を行う生体電位計測システムを提案する。

本稿の構成は以下のとおりである。まず、第 2 節で心電計測法と関連研究について説明する。次に、第 3 節で無意識心電計測に要求についてまとめる。第 4 節では提案する無意識生体電位計測システムとその試作システムについて述べる。第 5 節では電極、電極位置などの影響について、実験を行う、そして、第 6 節でまとめる。

2. 心電計測と関連研究

心電は、人にとって基本的なバイタルサインのひとつであり、20 世紀初頭より各種計測方法が提案されてきた [3][4]。心電計測は通常、ベッドの上に横たわった安静状態で、12 極の電極を使用する 12 誘導心電図が広く用いられている。3)、4) このような計測は、病院のような本格的な装置が設置されているような場所でなければ、測定することが難しい。現在、電極数が 3、4 点の家庭用の心電計測装置も入手が可能になっている。ゲルタイプの電極と金属の電極を使用しているものが多い。基本的なバイタルサインであるた

3. 無意識心電計測への要求

本節では、無意識心電計測への要求について説明する。本システムの目的は、無意識、無拘束での長時間の心電計測である。また、長時間の計測結果から不整脈の検出を行う。長時間の計測が必要であることから、睡眠中にデータを取得することを検討した。無意識・無拘束での長時間心電計測を就寝中に行うためには、以下の要求がある。

- ・無意識
 - ・睡眠前に計測装置装着の作業が必要ない
 - ・起床後に計測装置をはずす作業が必要ない
 - ・睡眠中に計測装置の装着感がない
- ・無拘束
 - ・睡眠中に計測装置の装着感がない
 - ・睡眠の動きを拘束されない
- ・長時間
 - ・本項目は、睡眠中に行うことで、(8 時間以上の) 長時間にわたる計測が可能

以上の要求から、就寝時の心電計測を検討し、パジャマ、シーツ、ベッド等に計測のための仕組みを導入し、電極貼付のような特殊な準備なしに就寝時に計測を行う心電計測を行うシステムを提案した。

4. 提案する生体電位計測システム

本節では提案する生体電位計測システムについて説明する。

4.1 全体構成

図 2 に提案する生体電位計測システムを示す。生体電位の信号は 3 極の電極で測定を行う。就寝中に、できるだけ測定する者に対して負担をかけないように、また意識せずに測定できるように、電極はパジャマに貼付する。電極をパジャマに貼付することで、患者は就寝前にパジャマを着るだけで、計測のための準備を完了することができる。電極で取得した信号は、信号増幅された後、AD 変換装置へ送られ、AD 変換後 PC 上に保存される。心電の信号は数

mV と小さいため、低ノイズアンプを初段に用いて増幅、その後サンプリングを行い PC に保存する。PC に保存されたデータを用いて長時間計測により可能となる不整脈検出処理を行う。また、測定したデータをクラウドサーバ上にアップロードすることで、医師、介護サービスにデータを提供することが可能とする。

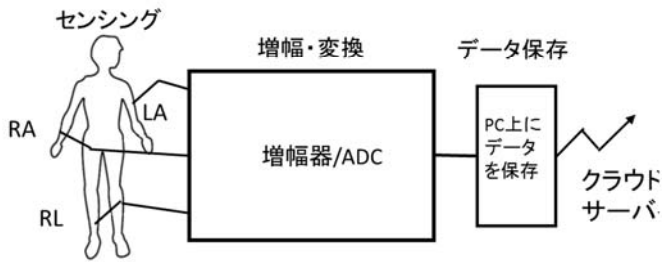


図 2 提案する生体電位計測システム

Figure 2 Proposed bioelectric potential measurement system

4.2 試作システム

4.2.1 電極

通常、心電計測用の電極としてゲル電極が利用されるが、本システムでは電極として導電性繊維の採用を検討した。導電性繊維とは、銀を蒸着した糸で布を編む事ことで、電気信号を伝えることができる繊維である。導電性素材として銀を使用することで、人体に対する悪影響もない。試作システムでは、導電性繊維をパジャマに縫うことで電極として使用する検討を行った。ゲル電極は導電性と粘着性を実現する素材でできた電極であるが、衣服に装着し、繰り返し利用することが難しい。また、患者はゲル電極を意識して体表に貼り付けることになる。また、測定後ゲル電極をはがす必要性もでてくる。導電性繊維性の繊維を電極として問題なく利用することができれば、一部が導電性を持つ通常のパジャマとして実現できるため、電極の装着の煩雑さは発生しないことになる。導電性繊維を電極として貼付した試作パジャマを図 3 に示す。

4.2.2 信号処理ブロック

信号処理ブロックは、電極でピックアップした信号を、増幅、AD 変換、PC 取り込みを行う部分である。本試作では、有線システムと無線システムの 2 種類のシステムを構築した。まず、パジャマに縫製された電極でピックアップした信号を信号処理ブロックへ接続する必要がある。電線を電極に直接接続する方法も考えられるが、いわゆる配線が体を取り巻く状況は無意識計測としては望ましくないため、パジャマ、シーツ上に導電性繊維を利用した伝送路を構築した。パジャマ上の電極から引き出した信号をシーツ上の接点でうけ、ベッド上に設置された信号処理ブロックへ引き出すことも検討した。本信号処理ブロックを超小

型に実装することができれば、パジャマに内蔵してしまうことも可能である。試作システムではディスクリート部品

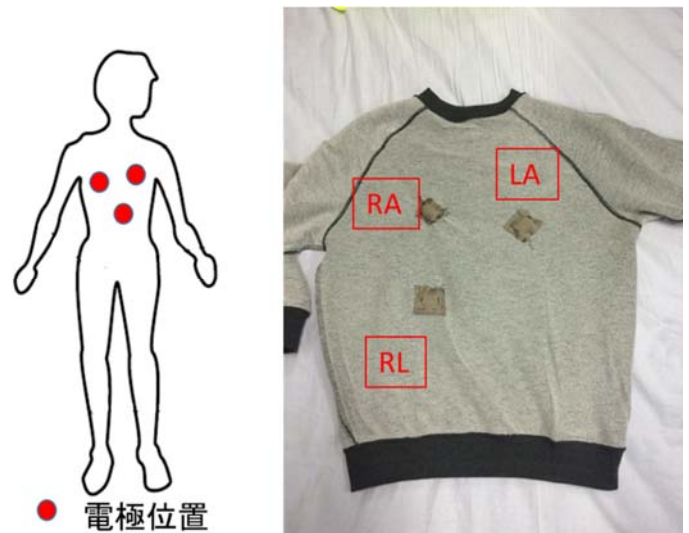


図 3 導電性繊維を電極としたパジャマの例
 Figure 3 Example of nightclothes with conductive textile electrodes

を使って作成したため、上のような試行を行った。

心電の信号は数 mV と小さいため、低ノイズアンプを用いて約 1000-2000 倍に増幅、その後商用電源のノイズを削減、および心電の信号の性質から、1-30Hz のバンドパスフィルタを用いて帯域制限を行った。本信号処理ブロックを、図 4 に示す。試作した信号増幅回路ブロックでは、低ノイズアンプとして TI 社の INA118[9]を用いている。その後、有線システムとして、NI 社の LabVIEW を用いて、512Hz のサンプルレート、10bit の精度でサンプリングを行い、測定データを PC に取り込む環境を構築した。また、無線システムとして、PIC マイコンを使用して、512Hz のサンプルレート、12bit の精度でサンプリングを行い、その後 Bluetooth を使って、測定データを PC に転送するシステムの構築を行った。有線システム、無線システムの相違は、有線システムでは電池を用いないため駆動時間に制約がないこと、無線システムでは信号線の引き回しが簡単になるなどの利点がある。

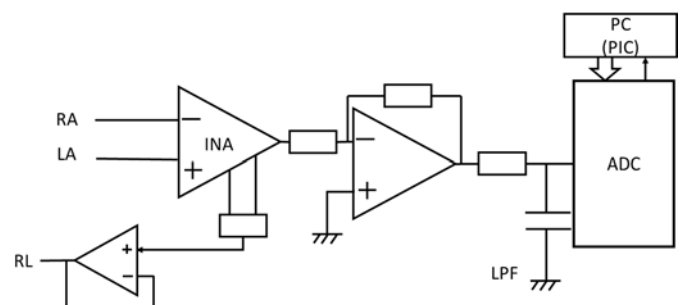


図 4 信号処理ブロックの原理図
 Figure 4 Signal processing block

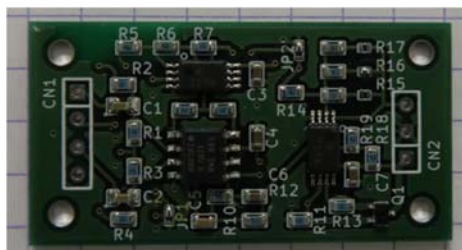


図 5 試作した信号増幅ブロック基板
Figure 5 Signal processing block board

試作した信号処理ブロック基板を図 5 に示す

4.2.3 電極位置

提案システムでは、パジャマ上に導電繊維性の電極を貼付することで実現するため、電極の位置に制約がある。3 電極で行う場合、計測は四肢誘導で行われるため、基本的な心電計測のための電極位置は、右手首、左手首、右足である。しかしながら、電極位置を手首と右足にすると、信号処理ブロックへの配線は、パジャマの上着、ズボンからの 2 系統の配線となり、単にパジャマを着るだけでは回路を構成することができない。パジャマを着てから、パジャマ上下間の分かれている配線を接続することも考えられるが、無意識計測としては手間がかかってしまうため望ましくない。また、引き回す配線が長くなってしまいうこともノイズ混入の原因となるため望ましくない。そこで、右足に基準としてとる電極位置を背中に移動し、電極をパジャマの上着だけに限定できるように検討した。生体電位の計測のためには、電極の位置は必ずしも基本位置である必要はないことがわかったため、各種の位置について、実験を行い、試作システムの電極位置を決定した。

5. 試作システムにおける生体電位計測

開発のアプローチとして、電極による影響、信号取得箇所による影響、マットレス弾力の影響などを比較検討したので、本節ではその結果を示す。

5.1 電極素材の影響

初めに電極素材の違いによる信号の違いを確認する。通常、心電の電極素材としてはゲル電極が使われるため、ゲル電極、非接触電極のカーボンゴム、そして提案する導電性繊維による電極を用いたときの結果を図 6 に示す。図の横軸は時間変化を表しており、縦軸はサンプリングした値を表示している。(a)のゲル電極は、心電用の医療用電極であり、1cm 角程度の大きさである。心電用の電極のため、比較のための基準電極として考えてよい。(b)非接触電極のカーボンゴム電極は、直径 12cm 程度の大きさの電極で薄

いシャツ一枚の上から計測したときのデータである。非接触電極のカーボンゴム電極も、ゲル電極同様のデータが得られているが、パジャマでも厚手の素材をはさんだ場合には、心電データを観測することができなかった。(c)の提案する導電繊維電極は、5cm 角程度の大きさである。心電波形としては、他の電極同様の結果が得られていると考えられる。導電性繊維だけでは密着度が不足するため、中にスポンジのような素材を入れることで、皮膚との密着性を高めている。本データはパジャマに貼付し、上向きで寝ているときのデータである。試作した導電性繊維を使った電極の写真を図 7 に示す。

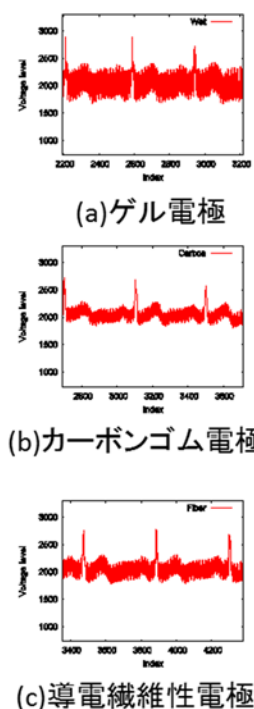


図 6 電極の影響
Figure 6 Affect of electrodes



図 7 導電繊維を使った電極
Figure 7 Conductive textile electrodes

5.2 電極位置の影響

次に、電極の位置による影響を確かめた。図 8 に示すように、電極の位置を両手首、背中 1、背中 2、両肩、腰

に設定し、そのときの心電計測データを確かめた。筋肉の多い部分に電極を設置すると、人の動きによって筋肉から発生する筋電の信号が生体電位データに混入してしまうことがわかった。実験結果から、いずれの部位でも心電波形が得られることがわかった。電極の位置が異なると、心臓から発生する電圧を取得するベクトルが変わるため、電極位置により、波形が変わっていることがわかる。筋電からの影響が少ない、背中1に示す位置を使用することとした。

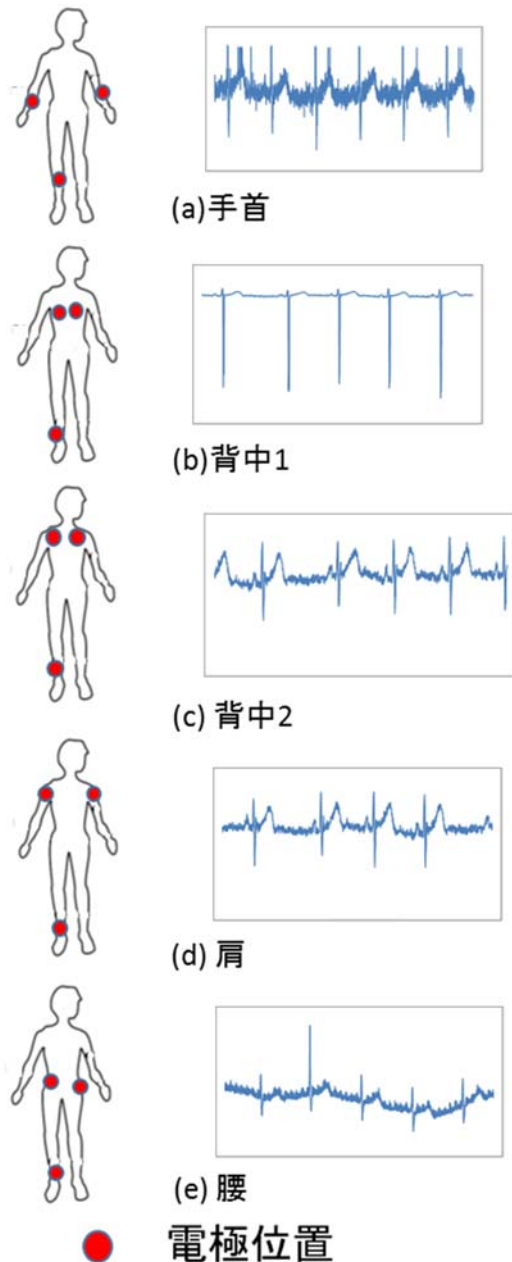


図 8 電極位置の影響
Figure 8 Affect of electrode's position

5.3 マットレスの弾力の影響

本試作システムではパジャマに貼付した電極でピック

アップした生体電位信号は、シーツ上に配置した配線に伝えられる。また、導電繊維電極は皮膚との密着性を高めるために、人の体重が効率よく作成した電極に加わる必要性がある。人とベッドの上にマットレスを敷いて就寝するため、マットレスの硬さについての影響の実験を行った。マットレスの硬さ、厚さの影響について、表 1 にまとめる。

表 1 マットレスの硬さ、厚さの違い

Table 1 Specification of used mattresses

	硬さ	厚さ (cm)
A	硬質	9
B	低反発	8
C	低反発	5

表 1 のマットレスを使用した場合の結果を、図 9 に示す。マットレスが硬いほうが、電極の密着度が高いため、信号の減衰が少ないと考えられる。しかしながら、いずれのマットレスを利用しても、信号取得としては、問題がないように思われる。

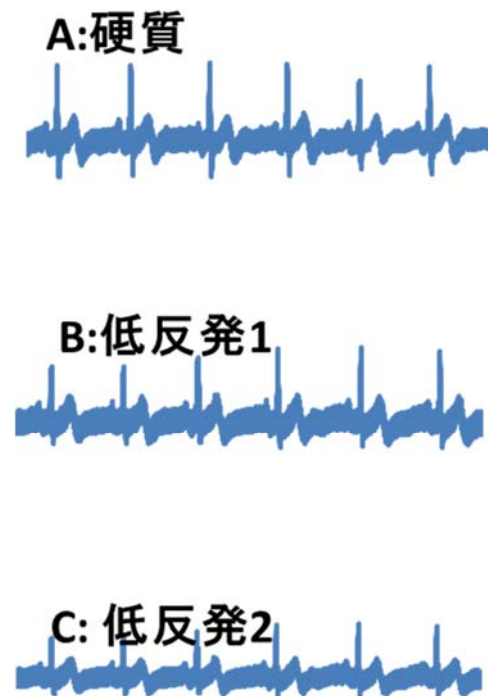


図 9 反発力の影響
Figure 9 Affect of mattress

最後に、試作システムを使用した実際の測定の様子を図

10に示す。この例では、パジャマに貼付した導電繊維性電極から、シーツの導電性繊維へ信号を伝達し、シーツ上の導電性繊維から、信号処理ブロックまでシールドした電線で接続された状態で計測している。計測されたデータはBluetoothでPCへと転送され、保存される。

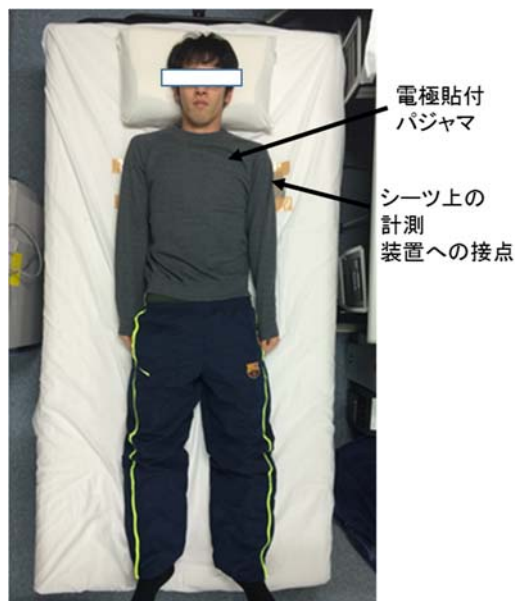


図 10 試作システムでの測定の様子
Figure 10 Measurement by a prototype system

6. おわりに

本稿では、就寝時にできるだけ無意識、無拘束で心電計測を行うための無意識生体電位計測システムの提案をおこなった。また、提案手法の実現可能性を確かめるための試作システムを作成し、電極の素材、電極の位置、マットレスなどを変えた場合の影響について実験を行い、紹介した。試作システムを用いた実験から、パジャマに導電性繊維を用いた電極を貼付することにより、生体電位計測が行えることを示した。今後は、定量的な解析を進めるとともに、心電信号をピックアップするための電極の形状、大きさ、位置の改良を進めていく予定である。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) の「循環器疾患患者を対象とした在宅ヘルスケア・システムの研究開発」による成果である。本研究を進めるにあたり、生体計測の方法について様々な助言を頂きました大阪電気通信大学田村俊世教授に感謝します。また、日頃、本研究の推進にご協力頂きました関西文化学術研究都市推進機構の塩山忠夫氏、阪本久男氏に感謝します。

参考文献

- 1) 中山 健夫編：医療ビッグデータがもたらす社会変革，日経 BP 社 (2014)
- 2) Yamada, Hiroshi, et al. : Heterogeneous system integration pseudo-SoC technology for Smart-health-care Intelligent Life Monitor Engine & Eco-system (Silmeec), Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2014 IEEE 64th. (2014).
- 3) 石原 謙編：臨床工学講座生体計測装置学，医歯薬出版株式会社 (2008)
- 4) 渡辺 重行編，山口 巖編：心電図の読み方パーフェクトマニュアル，羊土社，(2006)
- 5) Kim, Ko Keun, Yong Kyu Lim, and Kwang Suk Park.: The electrically noncontacting ECG measurement on the toilet seat using the capacitively-coupled insulated electrodes, Engineering in Medicine and Biology Society, 2004. IEMBS'04. 26th Annual International Conference of the IEEE. Vol. 1. (2004).
- 6) Ueno, A., Akabane, Y., Kato, T., Hoshino, H., Kataoka, S., & Ishiyama, Y.: Capacitive sensing of electrocardiographic potential through cloth from the dorsal surface of the body in a supine position: a preliminary study. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, 54(4), 759-766 (2007)
- 7) Sullivan, Thomas J., Stephen R. Deiss, and Gert Cauwenberghs. "A low-noise, non-contact EEG/ECG sensor." Biomedical Circuits and Systems Conference, 2007. BIOCAS 2007. IEEE. (2007).
- 8) Cheng, Jingyuan, Oliver Amft, and Paul Lukowicz. : Active capacitive sensing: Exploring a new wearable sensing modality for activity recognition." Pervasive Computing. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 319-336. (2010)
- 9) INA118 Data Sheet
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina118.pdf>
- 10) TI HealthTech Engineering components for life (2013)
<http://www.ti.com/lit/sg/slyb108h/slyb108h.pdf>