

ヘルスケアの様々な用途に対応したウェアラブルセンサ

Wearable Sensors Corresponding to Various Applications in Healthcare Field

宮本 浩二 橋本 和則 鈴木 琢治
 ■MIYAMOTO Koji ■HASHIMOTO Kazunori ■SUZUKI Takuji

東芝は、“予防”，“診断・治療”，“予後・介護”，及び“健康増進”の各分野で、ウェアラブルセンサを重要なキーデバイスとして位置づけている。

今回、ウェアラブルセンサとしてリストバンド型活動量計、及び胸部貼付け型生体センサSilmee™ Bar type (以下、Silmeeと略記)を開発した。リストバンド型活動量計は、腕に装着して活動量と生活リズムを計測できる。Silmeeは、胸部に貼り付け、心電位や、脈波、体動、皮膚温など複数の生体情報を同時に計測でき、当社は、取得した情報を用いて自律神経バランスの変化や睡眠の深さとリズムを解析できるアプリケーションも開発している。これらのウェアラブルセンサを利用することで、個人や特殊作業従事者の健康管理、在宅ケア、見守りなど様々なソリューションを提供できる。

Toshiba has positioned wearable sensors, which are a component of the so-called Internet of Things (IoT), as key devices in a broad range of healthcare fields including preventive medicine, diagnosis and treatment, prognosis and nursing care, and health promotion.

As part of this approach, we have developed two new wearable sensors: a wristband activity monitor that measures the amount of activity and life rhythms of the wearer by means of a built-in acceleration sensor, and the “Silmee™ Bar type” (hereafter abbreviated as Silmee) biosensor, which is attached to the chest and simultaneously measures multiple biological data including cardiac potential, pulse wave, body movement, and body temperature, making it possible to analyze changes in autonomic nerve balance and sleep depth and rhythm using newly developed applications for computers and smartphones. These wearable sensors are expected to be applied to a variety of solutions including healthcare systems for personal users and personnel engaged in specified work fields, home medical care services, and life monitoring systems.

1 まえがき

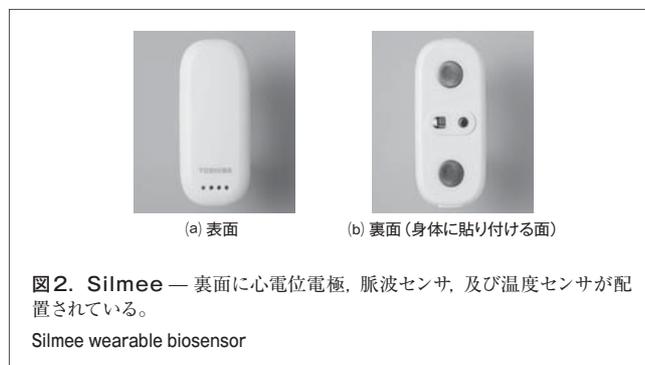
IoT (Internet of Things) の発展とともに、複数のセンサから得たデータを統合的に処理することで単一のセンサからは得られない高度な認識機能を実現するセンサフュージョンデバイスが注目されてきている。

身につけて持ち歩くことができるウェアラブルセンサは、センサフュージョンデバイスの一つであり、人の生活や、行い、体験などのライフログを記録できる。そのため、健康管理や、予防、増進などヘルスケア分野での応用が可能なキーデバイスとして位置づけられてきている。

ここでは、東芝が開発した、スマートフォンと連携して活動量、睡眠、及び食事を管理できるリストバンド型活動量計(図1)と、心電位や、脈波、体動、皮膚温などの複数の生体情報を同時にセンシングし、そのデータを無線でスマートフォンやタブレットなどに転送できる胸部貼付け型インテリジェント生体センサSilmee™ Bar type (以下、Silmeeと略記)(図2)について述べる。

2 リストバンド型活動量計

リストバンド型活動量計は、加速度センサで測定した情報を



分析し、歩数や、移動距離、消費カロリーなどの“活動量”と睡眠時間や睡眠サイクルなどの“睡眠”を推定している。また、

この活動量計は、独自開発したアルゴリズムにより、活動状態と睡眠状態を自動的に判定し、手動で入眠時と起床時を切り替えることなく24時間の測定を可能にしているとともに、独自の信号処理技術により動作時の消費電力を最小限に抑え、2週間の連続使用を可能にしている。更に測定機能以外にも、個人のライフスタイルに合わせて設定したイベント、例えば朝食の時刻や運動開始時刻などのライフログを、リストバンドのタップ機能による簡単な操作だけで記録できる。また、バイブレーション機能も備えているので、ユーザー自身が設定した歩数などの目標達成時やアラームなどの時刻にリストバンドを振動させて通知できる。

2.1 ハードウェア

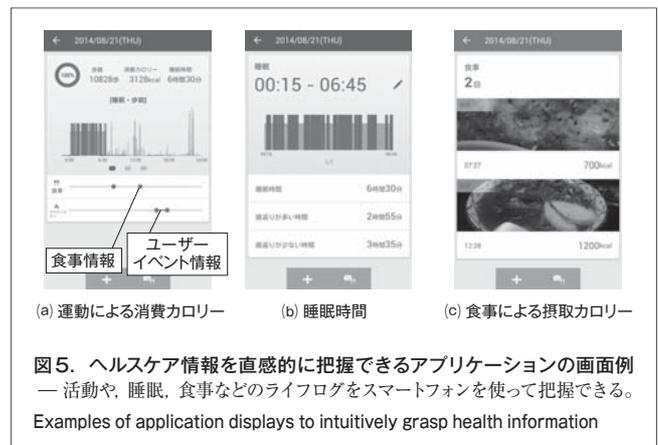
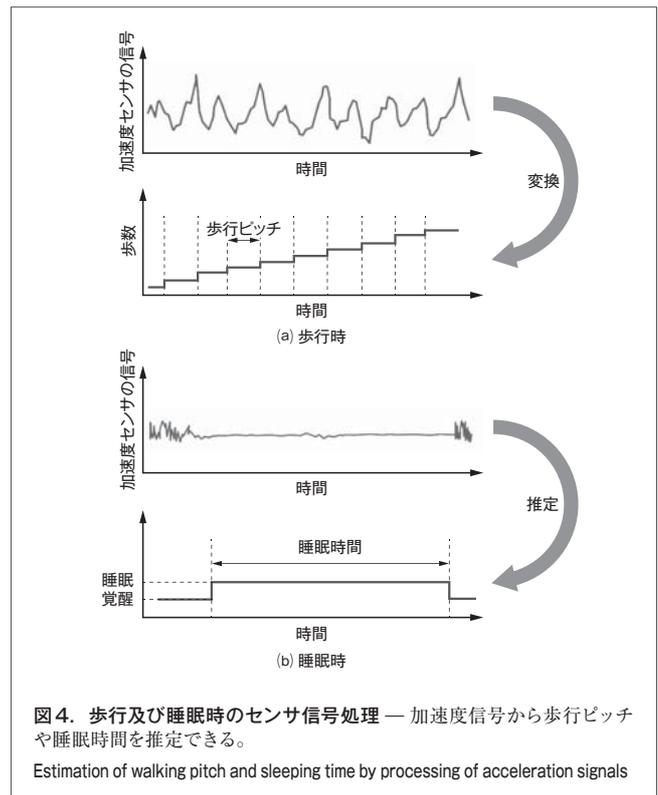
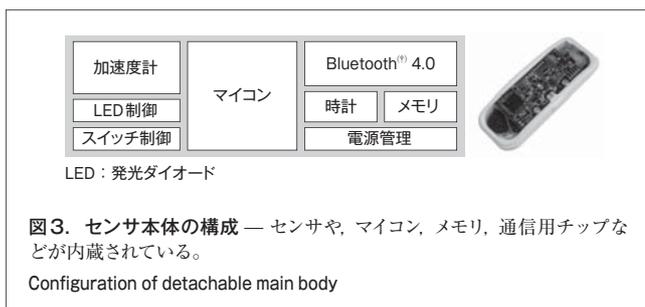
本体寸法は16(幅)×41(奥行き)×12(最厚部)mmで、重さは約7g(バンド含めると約27g)である。本体内部には、加速度センサや、アナログ信号をデジタル信号に変換して演算処理するマイコン、データストレージ用のフラッシュメモリ、通信用のBluetooth^(®)チップなどを内蔵している(図3)。

2.2 活動量・睡眠解析

リストバンド型活動量計は、加速度センサと信号処理により歩行又は走行による加速度のインパクトを抽出し、歩行や走行のピッチを算出する(図4(a))。また、身長などの体格データと加速度パターンなどを併用して身体活動によりユーザーが消費したエネルギーを推定している。

一般に、加速度センサのサンプリング周波数を高くすると加速度の情報量が増え、活動の分析や誤検出の防止に有利となるが、消費電力では不利になる。この製品ではバッテリー容量を抑え小型・軽量化を実現するとともに、2週間以上の連続動作を達成するため日常生活を詳しく分析し、最適なサンプリング周波数を設定した。加えて、分析のための信号処理についても性能を維持しつつ簡略化することで演算時間を大幅に減らし、CPUが電力を消費するアクティブな時間を最小限に抑えている。

また、簡便に睡眠時間を記録するため、加速度信号のパターンから就寝時の体動の特徴を分析し、誤差±15分以内の高い精度で就寝・起床時間を推定することに成功した(図4(b))。これにより、常時装着しているだけで睡眠時間を記録することが可能になった。



記録されたデータはBluetooth^(®)でスマートフォンに転送され、専用アプリケーションでグラフなどに表示できる。このアプリケーションは“食事”を写真で簡単に記録することもできるため、活動量、睡眠、及び食事をトータルで管理できる。このアプリケーションの画面例を図5に示す。

3 胸部貼付け型生体センサ Silmee

Silmeeは、健康リスクの高い生活習慣病予備群や退院患者などの健康管理や、メンタルヘルスケア、介護見守りなど、主に病院での診療以外の医療介護従事者が関連するサービスでの利用を目的としたデバイスである。

胸部に貼り付けて心電位や、脈波、体動、皮膚温などの様々な生体情報を同時かつ連続的に計測する多機能ウェアラブル生体センサであり、計測したデータを基に心拍間隔や、脈波間隔、体動量、姿勢などを算出し、Bluetooth⁽⁴⁾を介してスマートフォンやタブレットに転送して結果を表示できる。また、主要なアプリケーションとして自律神経解析やこれを用いた睡眠の深さ、リズムを解析するソフトウェアも開発している。更に、制御や通信を行うためのインタフェース仕様“Silmee API (Application Programming Interface)”を構築し、これを提供することで様々なサービスベンダーと連携したオープンイノベーションでのヘルスケアサービスの展開を目指している。

3.1 ハードウェア

外形寸法は64(幅)×28(奥行き)×9.6(最厚部)mmで、重さは約14.6gであり、心電位及び脈波計測用のアナログ回路や、体動計測用の加速度センサ、皮膚温計測用の温度センサ、アナログ信号をデジタル信号に変換して演算処理するマイコン、データストレージ用のフラッシュメモリ、通信用のBluetooth⁽⁴⁾チップなどを内蔵している。また、身体に装着し日常生活下での利用を想定しているため、発汗などに対応するための日常生活防水に対応している。

アナログ回路は、擬似SoC (System on a Chip) 技術⁽¹⁾を用いた小型のモジュールを開発し、ディスクリート部品を利用しつつ小型実装を実現している。

電池には充電式二次電池を使用しており、データ蓄積モード(オフライン計測モード)でおよそ24時間の連続動作ができ、例えば入浴時に2時間の充電を行えば、それ以外の連続計測が可能になっている。

Silmeeは、心電位を計測するため基本的には胸部に装着する。動きの影響の少ない胸骨上に装着したイメージを図6に示す。

貼付けに導電性と粘着性を併せ持つゲル状のパッドを用いることで、センサを身体に固定しつつ心電位の計測を可能にしている。

心電位は、心臓の活動に伴い心筋が発生する微小な電位信号を体表から計測したもので、ほぼリアルタイムな心臓活動を計測できる。一方、脈波は、発光源のLED(発光ダイオード)と受光素子のフォトダイオードを隣接配置して皮膚に当て、皮膚へ照射した光が体内を経由して拡散反射した光をフォトダイ



図6. Silmeeの装着イメージ—心電位を計測するため、導電性ゲルパッドを介して胸部に装着する。
Scene of wearing Silmee

オードで受光することで計測している。血液中のヘモグロビンは、光を吸収する性質を持つため、計測信号は皮下の血液量に相関して変化する。脈波は、心臓が拍出した血液が末梢(まっしょう)の毛細血管に流れ着いた結果を示すものであり、Silmeeでは、緑色の光(波長540nm)を用いて皮下深さ1~2mmの毛細血管の血流変化を計測している。

これらを同一デバイスに搭載したのは、その関係性から血圧変動など様々な循環器系の状態を推定できる可能性があるためである。

3.2 ソフトウェア

Silmeeの目指すシステムイメージを図7に示す。

Silmeeで計測される各生体情報は、センサ内の信号処理で必要な情報が抽出され、生データとともに無線あるいはUSB(Universal Serial Bus)通信で外部のスマートフォンや、タブレット、パソコン(PC)などの情報端末に転送できる。抽出される情報は、心電位と脈波の一拍ごとの波形の間隔(心拍間隔と脈波間隔)、加速度センサからの1分ごとの活動量、及び姿勢である。情報端末に転送された各データは、制御・通信ライブラリであるSilmee APIで、端末のアプリケーションソフトウェアに取り込むことができる。転送されたデータを端末内及びサーバやクラウドシステム上で解析することで、新たな情報を抽出することもできる。今回、Android⁽⁴⁾タブレット上で動作する心拍間隔あるいは脈波間隔と活動量を用いた自律神経・睡眠解析ライブラリを開発した。

3.3 自律神経・睡眠解析

国立保健医療科学院の調査によれば、国内の慢性不眠の有症率は20%であり、多数が睡眠に問題や不満を持っている⁽²⁾。睡眠障害は、生活習慣病と密接に関連し、またメンタルヘルスとの関連性も非常に強い。職業ドライバーの運転中の事故で、睡眠時無呼吸症候群など睡眠障害との関連を指摘する声もあり、睡眠を改善することが健康の改善だけでなく様々な社会問題の改善にもつながると考えられる。これに対して厚生労働省では睡眠指針をとりまとめ、睡眠に対する国民の意識を高める動きをとっている⁽³⁾。

睡眠の深さやリズムなどの質に関する情報を客観的に把握するのは、本人の自覚を得にくいことから難しく、また睡眠障

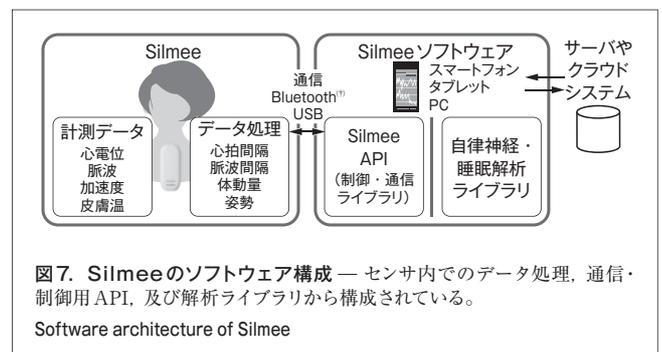
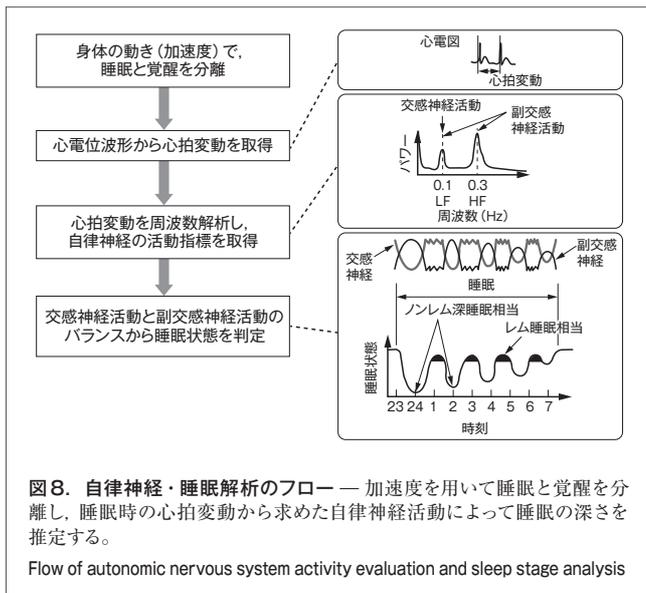


図7. Silmeeのソフトウェア構成—センサ内でのデータ処理、通信・制御用API、及び解析ライブラリから構成されている。
Software architecture of Silmee



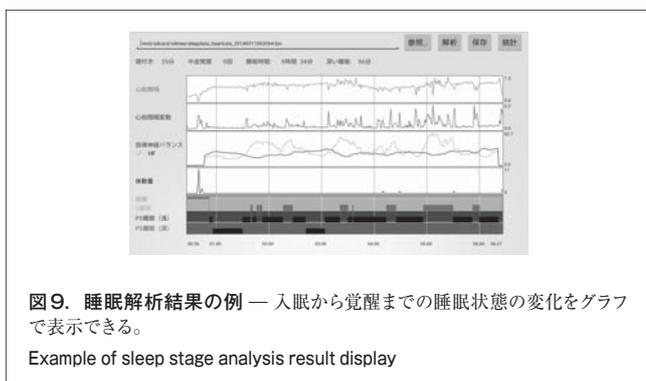
害の検査は、一般には睡眠ポリグラフと呼ばれる複数の生体情報を計測する大がかりな装置を使用するため入院検査が必要である。したがって、日常生活の睡眠状態（睡眠習慣）を手軽に把握することは非常に難しい。

当社は、以前に開発した腕時計型の生体センサで計測した脈波間隔と活動量を用いて自律神経解析と睡眠ステージ判定のアルゴリズムを開発した⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。今回は、このアルゴリズムを基に、Silmeeを胸部に装着して計測した心拍間隔、体動量、及び姿勢を用いて睡眠ステージを判定するアルゴリズムとAndroid⁽⁷⁾上で動作するアプリケーションソフトウェアを開発した。

基本アルゴリズムを図8に示す。

まず、加速度センサで得られる体動量と姿勢情報から睡眠と覚醒を判別する。次に、心電位波形のピーク波形であるR波の時間間隔を一拍ごとに測定して心拍変動を取得し、周波数解析を行うことで自律神経の活動指標であるLF (Low Frequency) 及びHF (High Frequency) 成分を取得する。この値から、浅いノンレム睡眠及び深いノンレム睡眠に相当するPS睡眠と、レム睡眠に相当するS睡眠のステージに分離できる。

睡眠解析結果をAndroid⁽⁷⁾アプリケーションで表示した画面の例を図9に示す。



面の例を図9に示す。

これを用いれば、例えば長距離バスの運転手が、前夜や仮眠時の自律神経バランスと睡眠ステージを測定して業務前のコンディションを把握し、疲労の度合いが大きい場合は運転手を交代するなどの対策を早め実施できるので、大事故を未然に防げる可能性がある。

4 あとがき

予防、診断・治療、予後・介護、及び健康増進の各分野で期待されているウェアラブルセンサとして、リストバンド型活動量計及び胸部貼付け型生体センサSilmeeを開発した。今後は、これらを利用して個人や特殊作業従事者の健康管理や、在宅ケア、見守りなど様々なソリューションを展開していく。

文献

- (1) 小野塚豊 他. 異種デバイスを高密度集積化できる擬似SOC技術. 東芝レビュー. 64, 2, 2009, p.52 - 55.
- (2) 土井由利子. 日本における睡眠障害の頻度と健康影響. 保健医療科学. 61, 1, 2012, p.3 - 10.
- (3) 健康づくりのための睡眠指針の改定に関する検討会. "健康づくりのための睡眠指針2014". 厚生労働省. <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-10904750-Kenkoukyoku-Gantaisakukenkoukouzoushinka/0000042751.pdf>, (参照2014-08-29).
- (4) 亀山研一 他. 快眠のための睡眠判定と睡眠モニタシステム. 東芝レビュー. 61, 10, 2006, p.41 - 44.
- (5) 鈴木琢治. 家庭で手軽に測れる腕時計型睡眠センサ. 東芝レビュー. 60, 4, 2005, p.60 - 61.
- (6) Suzuki, T. "Development of a sleep monitoring system with wearable vital sensor for home use". BIODEVICES 2009 - Proceedings of the 2nd International Conference on Biomedical Electronics and Devices. Porto, Portugal, 2009-01, Institute for Systems and Technologies of Information, Control & Communication. 2009, p.326 - 331.

- Bluetoothワードマーク及びロゴは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。
- Androidは、Google Inc.の商標又は登録商標。



宮本 浩二 MIYAMOTO Koji

ヘルスケア社 ウェルネス推進部 デジタルヘルス事業開発部長。半導体技術開発に携わり、ロジックLSI製品全般のデバイスプロセス及びプラットフォーム開発に従事。

Wellness Business Promotion Div.



橋本 和則 HASHIMOTO Kazunori

ヘルスケア社 ウェルネス推進部 デジタルヘルス事業開発部グループ長。通信用LSI及び画像処理用LSI開発に従事。

Wellness Business Promotion Div.



鈴木 琢治 SUZUKI Takuji

ヘルスケア社 ヘルスケア開発センター ウェアラブルセンシング担当参事。ウェアラブル生体センサ及び生体信号処理の研究開発・事業化に従事。日本生体医工学会、ヒューマンインタフェース学会、日本睡眠学会会員。

Healthcare Technology Center