

# 人間計測応用製品の試作支援ツールの開発

中島 康博, 栗野 晃希, 前田 大輔, 橋場 参生

## Prototyping Support Tools for Products Applied Human Measuring

Yasuhiro NAKAJIMA, Koki KUWANO, Daisuke MAEDA, Mitsuo HASHIBA

### 抄 録

近年のワイヤレス通信やセンサ技術の発達により、心拍や筋活動などの生体情報を計測解析する人間計測応用製品の市場が急拡大している。しかし、これら製品の開発には多大なコストがかかり、システム設計やソフトウェア開発の技術獲得にも時間を要する。そのため、中小企業が市場参入を判断するための機能試作にも取り組めないことも多い。そこで本研究では、人間計測応用製品の開発初期段階において機能試作機を低コストで開発するための支援方法について検討し、生体計測用ソフトウェアライブラリで構成される試作支援ツールを開発した。本ツールと市販の無線機能付きマイコンボードを用いてワイヤレス生体センサ製品開発の技術支援を行った。

**キーワード：**ウェアラブル機器, 生体計測, 人間工学, リハビリテーション

### Abstract

The recent development of wireless communication and sensor technology, the market for human measurement application products that measure analysis of biological information, such as heart rate and muscle activity, is rapidly expanding. However, the development of these products have a high initial cost, it also takes time to acquire know-how of the system design and software development. In this study, a support method for developing the function prototype of human measurement application product development in the early stage at low cost was investigated, and prototyping support tools consist of biometric software library has been developed. Three case studies of wireless biosensor product development using the tools and commercially available wireless microcomputer boards were carried out.

**KEY-WORDS :** Wearable devices, Biometrics, Ergonomics, Rehabilitation

## 1. はじめに

ウェアラブル生体情報計測デバイスの商品化が活況を呈している。この10年でiPhoneやAndroidといったスマートフォンが爆発的に普及し、Bluetooth等のワイヤレス通信技術が発達したことで、超小型のワイヤレス生体センサへの道が開けた。これにより、モバイルヘルスケアの世界市場はこの数年で爆発的に拡大しており、2011年に150億ドルだったものが2016年までに380億ドルを超えると予想される。これは年率約20%の成長に相当する<sup>1)</sup>。ヘルスケア用ウェアラブル端末も、「出荷台数は2011年の250万台に対し、2016年には9,760

万台まで増加する」と予想される<sup>2)</sup>。

日本でもこの動きに追随し、企業や大学等がウェアラブルセンサの開発に取り組みは始めている。しかし、これらの開発には無線通信や電子回路設計、生体計測のノウハウなど多くの技術、知識が必要である。製品アイデアがあってもこれら技術を持たない中小企業がウェアラブルセンサを用いた人間計測応用製品を一から開発しようとする、知識の獲得や技術習得に多大な時間とコストがかかる。また、これらの製品は開発に基板設計や製造などの多大なコストがかかり、そのため資金に余裕のない企業では開発初期段階においてアイデア検証のための機能試作すら取り組むことができない場合も多い。

事業名：経常研究

課題名：人間計測応用製品の試作支援ツールの開発

そこで本研究では、人間計測応用製品の新規開発をめざす中小企業等に対し、開発初期段階において機能試作機を低コストで開発するための試作支援方法について検討した。市販されている無線通信ボードなどの資源を活用し、ハードウェアや生体情報計測処理の専門知識がなくとも開発を進められる試作支援ツール（生体計測用ソフトウェアライブラリ）を開発し、技術支援等に応用したケーススタディを実施した。

## 2. 試作支援ツールの開発

### 2.1 ワイヤレスセンサのデータ計測処理過程

ワイヤレスセンサのデータ計測処理過程を図1に示す。センサユニットは、センサ本体アナログフロントエンド(AFE)を経由して、マイクロプロセッサ(MPU)に接続される。AFEはセンサのアナログ信号増幅やノイズフィルタ、信号の歪み補正、アナログ/デジタル変換(A/D変換)などを行う信号調整回路である。近年では、センサ本体がAFEと一体化し、一つのICパッケージとなったセンサICが増えている。AFEで処理されたセンサ信号はA/D変換回路またはデジタル通信回路を通してMPUに取り込まれる。

MPUはセンサのデータを一定時間ごとにサンプリングし、デジタルフィルタリングや生体信号処理などの演算処理を行い、接続された無線通信回路を制御してデータを送信する。センサユニットでは、バッテリー節約の観点から複雑で時間のかかる演算や高頻度の通信を避けることが多い。

センサユニットから発せられたデータは、PCやスマートフォンなどの端末で受信される。端末は、センサユニットよりはるかに強力なプロセッサや大容量のバッテリー、保存用のメモリを搭載しており、開発者の用途に合わせた複雑なフィルタリングや解析表示処理を行うほか、センサユニットへの指令も行う。

これらのハードウェアやデータ処理ソフトウェアのうち、センサ開発者が初期に注力すべきは、計測用のセンサそのものと有用なデータを抽出する処理ソフトウェアであり、図1の太字で示すところのMPUの信号処理部分、PC携帯端末の信号処理・解析部分にあたる。それ以外の部分は機能試作の段階では重要ではなく、これらを設計開発に含めると初期開

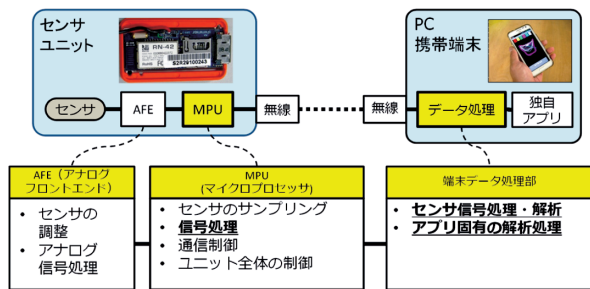


図1 一般的なワイヤレスセンサのデータ処理過程

発コストが膨大になるため、避けるべきである。そこで、本研究においては、これらの開発をできる限り迅速、低コストで行うために、市販の無線通信機能付きマイコンボードを活用した試作支援ツール（生体計測用ソフトウェアライブラリ）を開発することとした。

### 2.2 試作支援ツールの開発

筋電や心電など生体信号のデータ処理を理解するには、少なくとも複素数やフーリエ変換、ラプラス変換、制御工学といった理系大学レベルの数学知識が必要である。これをソフトウェアに実装するには、これらの難解な数式を解きプログラム化する必要があるため困難な作業となり、生体計測センサ開発を阻む要因となる。

そこで、これら人間計測応用製品の開発を補助するため、試作支援ツールとして、生体計測及びデータ処理のためのソフトウェアライブラリを開発した（図2）。本ツールは周波数フィルタ（パワースハイパス、ローパス、バンドストップ（ノッチ）、バンドパス）や移動平均など、生体計測処理で汎用的に使われるデータ処理を行うプログラムモジュールで構成される。これらを活用することで、ソフトウェア開発が著しく容易になる。これらのデータ処理、特にフィルタリングは難解な部分が多いため、基礎理論と生体情報処理への応用について解説ガイドブック『人間を測るためのワイヤレ

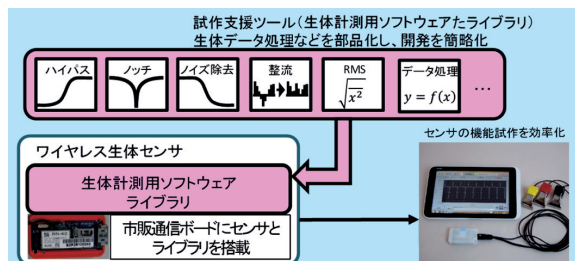


図2 本試作支援ツール（生体計測用ソフトウェアライブラリ）の構成

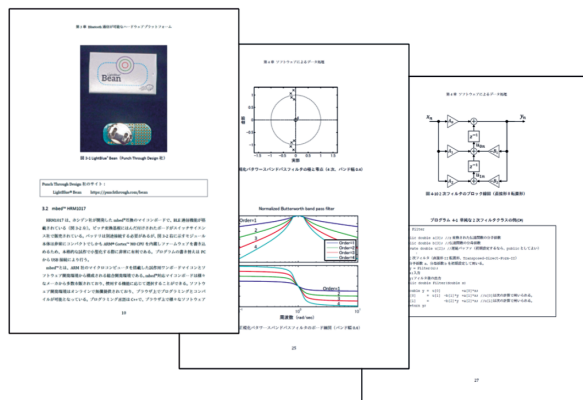


図3 本ツールの解説ガイドブック『人間を測るためのワイヤレスセンサ開発』<sup>3)</sup>

センサ開発』(図3)を作成した<sup>3)</sup>。本ガイドブックにはデジタルバタワースフィルタに関する基礎と計算, ソフトウェアへの実装の詳細について記述し, 使用者への理解の助けとなるような構成としている。このほか, 各種センサの解説や次章に示すセンサ開発の応用事例も掲載しているので参照して頂きたい。ソフトウェアライブラリと解説ガイドブックはともにGitHub社のソースコード公開サービスで公開中である(4章参照)。

### 3. ケーススタディ

本試作支援ツールの効果を確認するため, 本ツールと市販ハードウェアを用いて生体計測機器の試作開発の技術支援並びに共同研究を実施した。その結果, 試作期間が従来よりも大幅に短縮され, 試作コストも低減した。以下に支援事例を3例示す。

#### 3.1 動物用ワイヤレス心電計測システム

まず, 本ツールを応用した事例として, 図4に示す動物用心電計測システムの開発事例を紹介する<sup>4)</sup>。本開発においては, 乳牛に心電計の電極を素早く配置し簡潔に心電位を計測するために, 小型軽量で無線計測できる心電計を開発する必要があった。そこで本開発では, 本研究を応用し, 既存の無線通信機能付きマイコンボードを活用し, システム全体の開発を行った。本ツールを技術支援先企業に提供しこれらのシステム開発を進めた結果, 従来の開発期間が3~4ヶ月程度だったところ, およそ1ヶ月程度で開発を終了できた。

本システムのハードウェアには, 図5に示すShimmer3(Shimmer社, アイルランド)を用いた。Shimmer3にはBluetooth通信デバイス及びマイクロプロセッサ, リチウムイオンバッテリーが搭載され, 加えて外部接続用にアナログ信号入力やI2Cなどのデジタル信号ポートを備えている。本開発ではShimmer3のアナログポートに高精度高インピーダンス心電アンプを接続し, 心電位を計測している。

ソフトウェアについては, 生体計測用ソフトウェアライブラリを用いて心電計測処理システムのプログラムを開発した。心電ユニット内にバタワース型ローパス, ハイパスフィルタを備え, 端末上に双方向バタワース型ローパス, ハイパスフィルタ, ノッチフィルタ等を用いて, 心電解析アプリケーションを開発した。データの計測解析フローを図6に示す。心電ユニットから送信されたデータは, 受信後に表示部と保存解析部の2系統に分配される。表示部は使用者にリアルタイムでわかりやすく心電位を表示するため, ノイズを除去しクリアな信号を表示する。保存データについては, できる限り生データに近い状態でデータ保存する。保存されたデータは, フィルタ後の位相差をなくすため双方向フィルタ(ゼロ位相フィルタ)を用いて解析を行う。フィルタをかけた後のデー

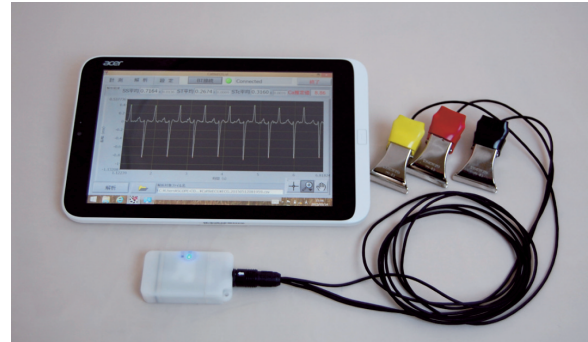


図4 動物用ワイヤレス心電計測システム



図5 Bluetooth センサモジュール Shimmer3 (Shimmer社, アイルランド)

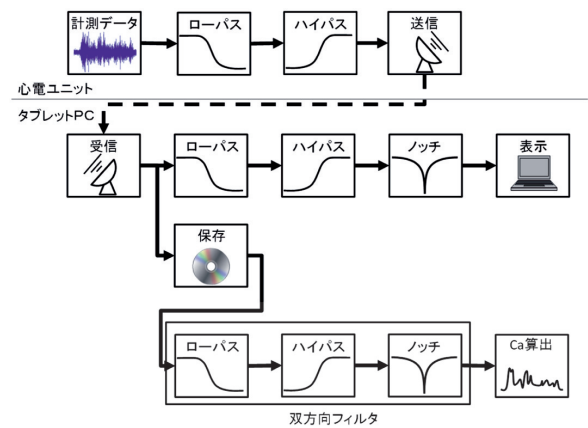


図6 動物用ワイヤレス心電計測システムのデータ処理過程

タは, 異常心電図, 体動による検出エラーなどを実施した後, 心電波形を詳細に解析して血中Ca濃度の解析を行っている。

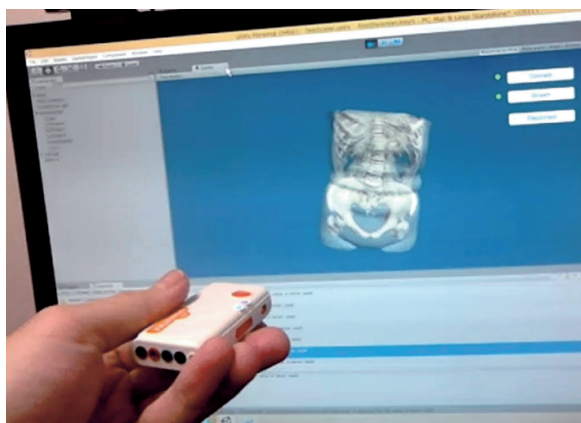


図7 医療用3次元CTビューアの実操作シーン



図8 呼吸流量計測システム

### 3.2 医療用画像立体視ビューア

次に、医療機関及び3次元モデリング会社と共同で試作開発した医療用画像の立体視ビューア開発の技術支援事例を紹介する。本開発においては、3次元の医療データ情報を従来のような平面上に3D表示されたものではなく、立体視で表示し、直観的に観察、表示操作を行いたいという要望があった。そこで、本技術支援においては、CT画像やスキャンした体型データをOculus Rift等のヘッドマウントディスプレイを用いて立体視し、医療診断や手術検討を容易にするシステムを開発した。

そのシステムの一部として、Shimmer3ワイヤレスセンサユニットを用いてCT立体視ビューアの実操作インタフェースを試作開発した(図7)。Shimmer3には3軸加速度、ジャイロ(角速度)、地磁気センサ(これらを合わせて「9軸モーションセンサ」と呼ばれる)も標準搭載されており、これらの信号に積分・補正処理などの演算処理を施すことでモーションセンサの3次元姿勢が得られる<sup>5)</sup>。本開発では、3次元姿勢演算後のデータにソフトウェアライブラリからフィルタリング処理を施して細かい揺れなどのノイズを除去した後、センサ姿勢を3次元CT画像と連動させている。手元のセンサユニットとCT画像の3次元姿勢をリアルタイムに一致させることで、使用者は自身の注視したい角度に合わせて直観的にセンサを回転し、3次元CT画像が立体視できる。

本試作については開発期間が4週間、ハードウェアはShimmer3のみ(5万円)と非常に低コストで迅速な開発を進めることができた。

### 3.3 呼吸流量計測システム

最後に、ウェアラブル呼吸流量計測システムの開発事例を紹介する(図8, 9)。本事例は、呼吸器系疾患患者等に呼吸リハビリテーションを施し日常生活の改善を促すための呼吸状態モニタ用ウェアラブル機器に適用するもので、その基本となる呼吸流量センサを開発した。

この開発においては、Bluetooth Low Energy (BLE)

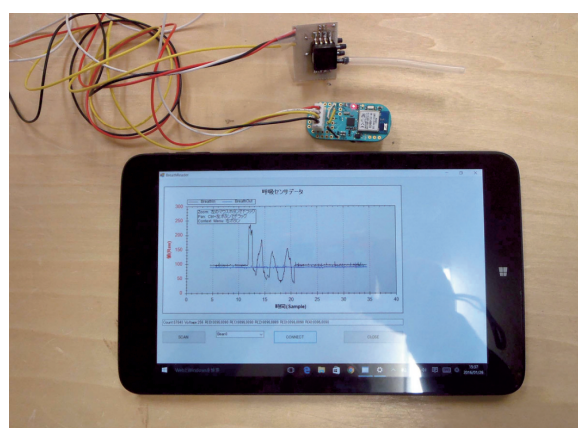


図9 呼吸流量計測システムの差圧計測部

無線通信ボードであるLightBlue Beanをハードウェアに用いた(図10)。LightBlue Beanは、BLE無線通信モジュール及びマイクロプロセッサのほか、3軸加速度センサと2032コイン電池のソケットを搭載した小型無線通信ボードである。ボード上にはあらかじめスルーホールが形成され、センサやコネクタの配置が考慮された形態となっている。マイクロプロセッサに書き込むファームウェアはArduino言語で記述する。このLightBlue Beanのアナログポートに呼吸流量センサのアナログ電圧信号を接続し、本研究で開発したソフトウェ

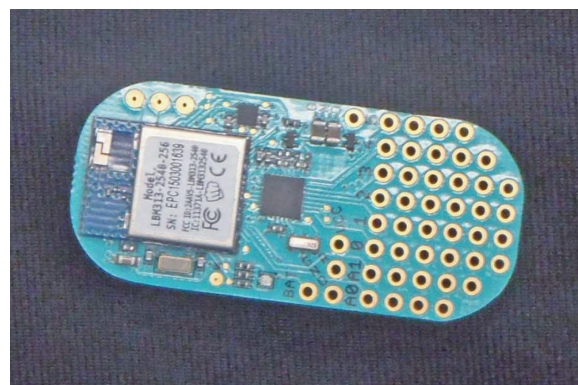


図10 BLE通信ボード LightBlue Bean (Punch Through Design社, アメリカ)

ライブラリによりフィルタリングと補正計算処理を行い、BLEによりデータ送信を行う。タブレットもしくはスマートフォンに受信されたデータは、さらに積分や補正処理などを行い、一回換気量の呼吸情報に変換される。

この共同研究は半年間と極めて短期間の開発が求められたが、本ツールの活用により計測処理部分の開発を1ヶ月以内で完了できた。

#### 4. おわりに

本研究では、人間計測応用製品の開発初期段階において機能試作機を低コストで開発するための支援方法について検討し、生体計測用ソフトウェアライブラリで構成される試作支援ツールを開発し、ツールの解説ガイドブック『人間を測るためのワイヤレスセンサ開発』<sup>3)</sup>を製作した。さらに、本ツールと市販の無線機能付きマイコンボードを用いて3件のワイヤレス生体センサ製品開発に適用し技術支援を実施した結果、試作期間とコストを大幅に低減することが確認できた。

ここで紹介した支援事例は、上記解説ガイドブックに掲載しており、GitHub (<https://github.com/nakajima-hro>) 並びにfacebookページ (<https://www.facebook.com/hro.human>) 上で閲覧できる。

今後は、本成果をさらに活用し、共同研究や技術支援への活用等の普及を図る。

#### 謝辞

本研究事例の一部は、ノーステック財団スタートアップ研究補助金、並びに戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)「地域ICT振興型研究開発」の研究助成によって行われました。記して感謝いたします。

#### 引用文献

- 1) Markets and Markets: Wireless Health Market: Global Trends, Opportunities, Competitive Landscape and Forecasts to 2016, Fast Market Research, 215PP, (2012)
- 2) Aditya Kaul・Clint Wheelock: Wearable Devices for Healthcare Markets, Tractica, 55PP, (2016)
- 3) 中島・栗野・前田・橋場:「人間を測るためのワイヤレスセンサ開発」, 北海道立総合研究機構 工業試験場, 41 PP, (2016)
- 4) 中島・栗野・前田: 携帯型乳牛血中カルシウム濃度計測システムの開発, 技術支援成果事例集 2015, 北海道立総合研究機構 工業試験場, p48, (2015)
- 5) S. O.H. Madgwick・A. J.L. Harrison・R. Vaidyanathan:

Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm, 2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp.1-7, (2011)