

ウェアラブルセンサの試作とエレメカ設計環境を使った構造検討

Prototype wearable sensor and structural study using electro-mechanical design environment.

長谷川 清久[†] 山本 愛優美^{††} 谷口 英俊^{†††}
[†]株式会社図研
^{††}Nexstar
^{†††}図研テック株式会社

1. はじめに

もしも「心」が可視化^{(1),(2)}されたら、社会はどう変わるのでしょうか。2020年、2021年、人と人との関わりは大きく変化しました。全ての人々がマスクをつけている日常、リアルに会えないコミュニケーションが増え、感じたこと思ったことが素直に伝えられないことも多いのではないのでしょうか？こんなとき、脈拍、血圧、呼吸、体温などのバイタルデータをセンシングし、何らかの方法で相手に伝えることができたならば、人類の未来は変わるかもしれません。さまざまなウェアラブルセンサの開発を検討するうえで、基本システムを小型化することは重要です。なお、どんな機能を搭載してどのように身につけるのかという検討をするには、電気回路設計を扱うエレクトロニクス設計環境、および筐体設計を扱うメカニカル設計環境（以下：エレメカ設計環境）が必要不可欠なツール（CR-8000 Design Force⁽³⁾）となります。

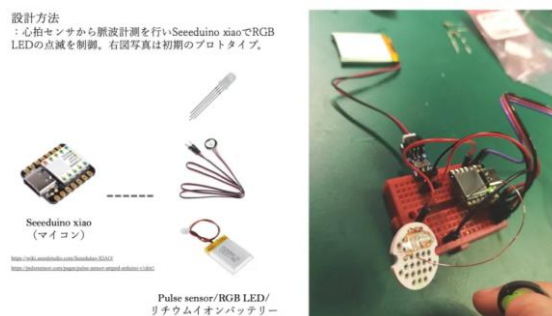
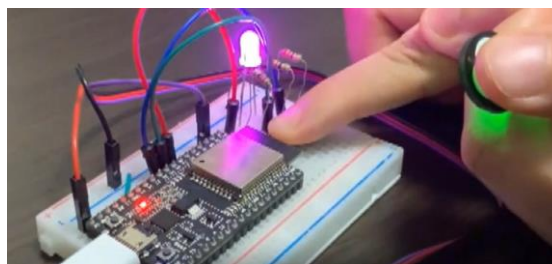


図2 必要な部品と機能確認用の試作

2. バイタルデータの取得と可視化

バイタルデータは個人を理解するための重要な情報であるにも関わらず、現在その活用は限定的なものに止まっています。そこで、まずは身近な「心拍」からドキドキをセンシングして可視化するデバイスを試作することにしました。このウェアラブルセンサをファッション性も考慮してイヤリング型のデバイス（図1）とし、耳にパルスセンサを密着させることで脈波を読み取り、ドキドキに連動した血管の拡大収縮に対応してLEDがピカピカと光る仕組みを考えました。必要な部品を調達して機能確認用の試作をしたものが、図2でマイコンはArduino開発環境で動作するものを採用しました。

2.1 筐体サイズの目標値

イヤリング型のデバイスということで、あまり大きかったり重かったりすると身につけてもらえません。形状も重要なので球形状と仮定し、ガチャガチャのカプセルのようなもので大きさの目標値をφ30mmと決めました。このサイズの中に、Arduinoマイコン、LED×3色、電池を収納し、外付けの脈波センサと接続する必要があります。φ40mmのケースには物理的に収まるのですが、φ30mmのケースに入れるには、まだ多くの課題をクリアする必要がありそうな状況でした（図3.1~3.2）。



図1 イヤリング型デバイス（e-lamp.）装着イメージ

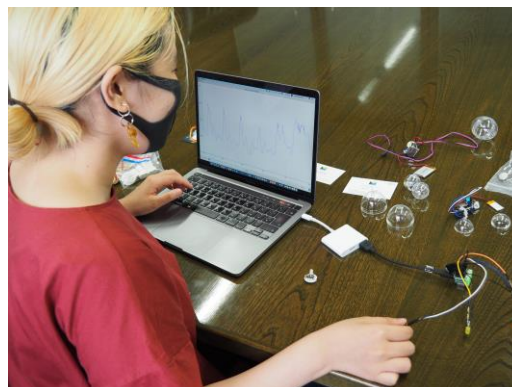


図3.1 試作品をφ30mmのケースに入れたいが…



図 3.2 試作品をφ40mmのケースに入れてみた

2.2 汎用プラットフォーム「Leafony」の活用を検討

当初の試作品は、Arduino マイコンとして小型の Seed XIAO、40mAhのリチウムポリマー電池を使っていましたが、充電回路が準備されていないこと、φ30mmのケースに収まらないのが課題でした。そこで一旦課題を整理するために原点に立ち返り、コイン型の一次電池で動作させることとし、超小型・低消費電力である汎用プラットフォーム「Leafony^{(4),(5)}」が活用できないか検討することにしました。



図 4 Leafony プラットフォーム

Leafony は 1 円玉ほどの超小型デバイスです。Arduino 互換の CPU、各種センサ、通信デバイス、コイン電池などをリーフと呼ばれる約 20mm 角のプリント基板に搭載し、異方性導電ゴムを使ったコネクタで上下接続してシステム化するものです。この中から必要なリーフを選択し、3色の LED リーフを試作することでイヤリング型ウェアラブルセンサができそうです。

2.3 「Leafony」を使った基本動作の確認

マイコンを Seed XIAO から Atmel AVR (ATmega328P) に変更するのですが、双方とも Arduino 環境で動作するため、プログラムはそのまま使えるはずですが。CR2032 電池リーフ、29 pin ユニバーサル基板リーフを使って 3 色の LED と抵抗とセンサをはんだ付けし、プログラムを動かしてみました。図 5 は基本動作確認をした 0 次試作のシステムで、赤丸印が反射型脈波センサです。反射型脈波センサは、緑色の光を生体に向けて照射し、フォトダイオードを用いて生体内で反射した光を計測します。心臓の脈動に伴って変化する血流量を時系列にセンシングすることで脈波を電気信号として計測します。図 6 は Arduino のスケッチ (プログラム) とセンシングした脈波波形です。

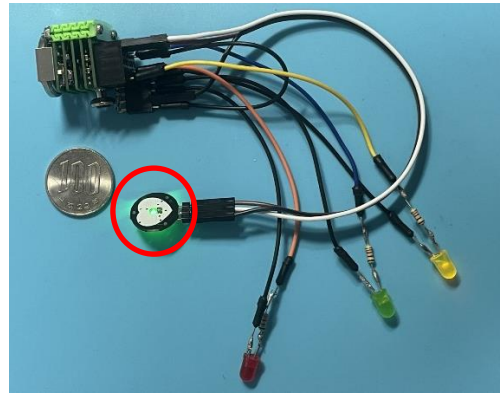


図 5 Leafony を使った 0 次試作 (基本動作確認)

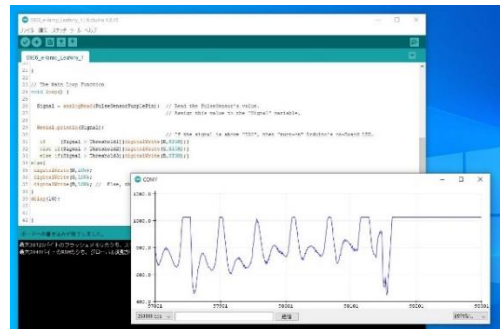


図 6 Leafony スケッチとセンシングした脈波波形

3. エレメカ設計環境を使った構造検討

まずは必要最低限のシステム構成を検討して、φ30mmのケースに入れてみることにしました。使うリーフは、AVR マイコンリーフ、CR2032 電池リーフ、手作りする 3 色 LED リーフ(試作前なので主要部品のみ配置)、そしてプログラムを書き込み、脈波形をモニタリングする時だけに使用する USB リーフです。これを CAD でデータ化し、ケースとの干渉チェックをしたものが図 7 です。赤丸印部がケースと干渉し、φ30mmのケースには微妙に入らないことが明確になりました。

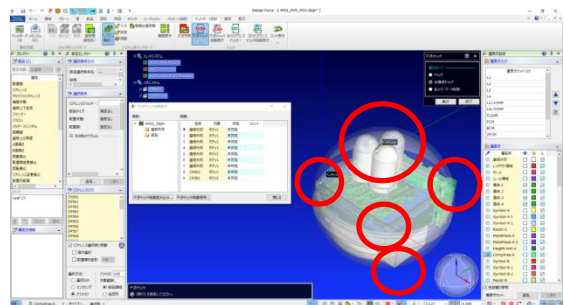


図 7 CAD でケースとプリント基板の干渉をチェック

3.1 干渉部分を回避する対策の検討

ここでエレメカ設計環境を使ってさらに構造検討をしました。豊富な経験があれば、いわゆるエンジニアの勘で現物合わせをすることも可能ですが、試作を何度も繰り返すこととなり、費用と時間がかかります。CAD 上での検討は操作の慣れさえあれば、試作費用をかける

ことなく進められるのが大きなメリットで、DXの時代にマッチした製造業のDX⁽⁶⁾:デジタルモックアップ技術です。図8.1~8.3に、各種構造検討した例とその検討結果を示します。

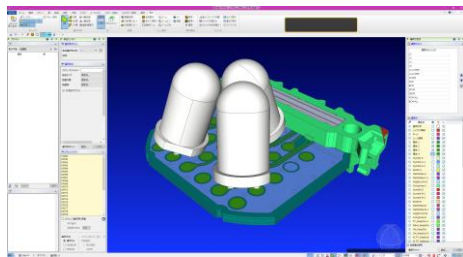


図 8.1 LED を中央に傾けて配置した例

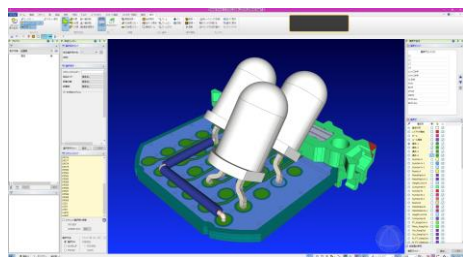


図 8.2 LED をコネクタ方向に傾けて配置した例

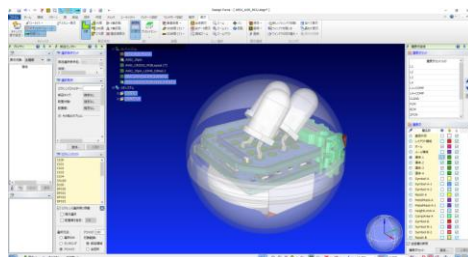


図 8.3 センサシステム全体をケースに入れた例

3.2 構造検討の結果を参考に1次試作

エレメカ設計環境を使った構造検討で、ある程度方向性がみえてきたので、1次試作をしてみることにしました。本来であれば干渉ないようにプリント基板などを再設計して試作を繰り返すのですが、何よりもスピード感が重要な分野です。CADで明確になった干渉する部分を確認し、一部手加工で削って試作しました(図9.1~9.2)。なお、プリント基板を削る際にはCADデータを確認しながら、ショートや断線がないように配慮して進めたことを付け加えておきます。

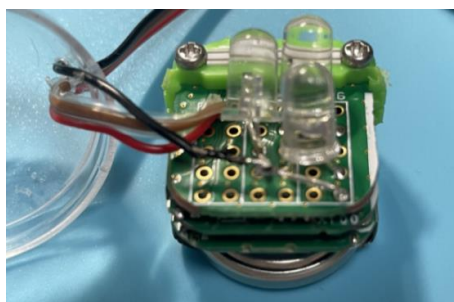


図 9.1 ケースと干渉するプリント基板を削った試作品



図 9.2 φ30mm のケースに入って動作した試作品

4. FPM-Trinity⁽⁷⁾での設計検討と試作

前項では汎用プラットフォームである「Leafony」を活用して試作をした結果を示しましたが、並行して株式会社FUJIが開発した電子モジュール製造用のエレクトロニクス3Dプリンター「FPM-Trinity」でも、設計および試作を行いました。こちらは電子回路と筐体を同時に製造できるため、ケースという概念がなくφ25mmという目標よりもさらに小さなサイズで試作を実現することができました。この設計検討および試作の詳細は、別の機会に発表させて頂く予定です。

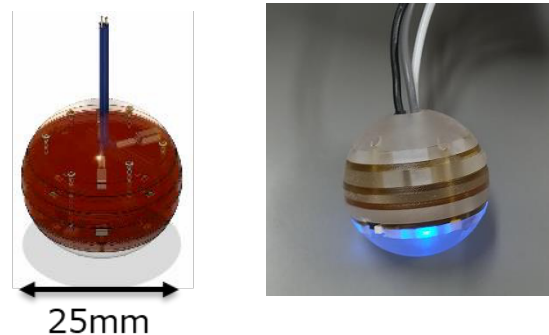


図 10 φ25mm を実現した FPM-Trinity での試作

5. 現状の課題

図9.2のように実際に動作するウェアラブルセンサを実現し、図1のように身につける体験ができる試作品ができましたが、まだ多くの課題があります。例えば現状はCR2032コイン型リチウム一次電池を使用しているため、動作時間が限られ、繰り返し使う事ができません。これを解決するためには、リチウムポリマー電池など充電できる電池の採用が必須であり、現状の回路に対して電圧変換回路や充電回路が追加になります。また、より機能性を高めるためには、Bluetoothなどの通信機能を搭載し、スマートフォンと連携するなど機能アップも検討する必要があります。またこの先は量産のプロダクトを考え、要求仕様に対して実現するサイズや機能、コストなども考慮してより正確な構造検討、および詳細なプリント基板設計⁽⁸⁾を進める必要があります。

6. まとめ

今回はバイタルデータをセンシングするためのイヤリング型ウェアラブルセンサの構造検討、および試作をす

るために、エレメカ設計環境の活用方法に関して検討を行いました。大型のシステムと違い、1mm というサイズが大きな意味を持ち、試作をするためには汎用のケースに入れるなどの対応が必須のため、CAD を使ったサイズ検討が重要であり、とても大きな効果を得られることが分かりました。エレメカ設計を実現するうえで、まだCAD の機能や操作性も洗練されているとは言えないので、今後もさらなる CAD 機能要求の把握と改善に努め、よりよい設計環境を構築できるよう改善を進めていきます。

謝辞

本研究の成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業の結果得られたものです。

イヤリング型デバイス (e-lamp.) の開発成果の一部は、慶應義塾大学「山岸学生プロジェクト支援制度」の助成の結果得られたものです。

参考文献：

- (1) TOKIMEKI for the world.
<https://tokimeki.studio.site/>
- (2) ココロを、光で、可視化する。e-lamp.
<https://e-lamp-official.studio.site/>
- (3) 「CR-8000 Design Force」株式会社図研が開発しているシステムレベル マルチボード設計環境
http://www.zuken.co.jp/products/detail/design_force.php
- (4) 「Leafony」プラットフォーム
<https://trillion-node.org/>
 - [1] 阿川謙一, 森時彦, 二宮良次, 滝澤稔, 桜井貴康, “IoT エッジプラットフォーム” トリリオンノード・エンジン” におけるゴムコネクタ接続構造のピン数拡張,” マイクロエレクトロニクスシンポジウム (MES), pp. 99-102, Sep. 2020.
 - [2] K. Agawa, T. Mori, R. Ninomiya, M. Takizawa, and T. Sakurai, “Novel connector mechanism using anisotropic conductive rubber for Trillion-Node Engine as an IoT edge platform,” IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC), pp. 514-519, June 2021.
 - [3] K. Agawa, T. Mori, R. Ninomiya, M. Takizawa, and T. Sakurai, “MCU and motor driver leaf modules of coin-sized PCBs in an open-innovation IoT/CPS platform,” International

Conference on Electronics Packaging (ICEP), pp. 31-32, May. 2021.

- (5) 「Leafony 解説本」
著者：高本孝頼，編集：長谷川清久，Sep. 2021.
https://shop.leafony.com/collections/products/products/leafony_book
- (6) 「製造業の DX」
長谷川清久：“製造業の DX：モノづくり現場でデータ利活用を促進するための EDA ツールの高度化と活用環境”，エレクトロニクス実装技術，Vol. 37，No. 7，pp. 22-31，Jul. 2021.
- (7) 「FPM-Trinity」
株式会社 F U J I が開発した電子モジュール製造用のエレクトロニクス 3D プリンター
<https://www.fuji.co.jp/about/fpm-trinity/>
「FPM-Trinity」の設計・製造データ出力フローに対応した「図研 CR-8000 Design Force」
https://www.zuken.co.jp/info/detail/fuji_fpm-trinity.php
 - [1] 長谷川清久：“システム設計 (MBSE/MBD) を見据えたモジュール化設計の検討とアディティブ・マニファクチャリング技術の活用”，エレクトロニクス実装技術，Vol. 36，No. 7，pp. 32-41，Jul. 2020.
 - [2] 長谷川清久，松澤浩彦，谷口英俊：“PoC のための Additive Manufacturing 技術と FPM-Trinity 向け設計環境構築”，第 35 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会，Mar. 2021.
 - [3] 長谷川清久，松澤浩彦，谷口英俊：“電子機器が作れる複合 3D プリンター” 向け設計環境”，第 30 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム，Sep. 2021.
- (8) 「トコトンやさしい半導体パッケージと高密度実装の本」
日刊工業新聞社 高木清，大久保利一，山内仁，長谷川清久，May. 2020.

連絡先：

〒224-8585
神奈川県横浜市都筑区荏田東 2-25-1
株式会社図研 技術本部 EL 開発部
EL3 セクション AI グループ
長谷川 清久
Tel : 045-942-1711 Fax : 045-942-1713
E-mail : kiyohisa.hasegawa@jp.zuken.com