

スマートインソール “FEELSOLE” の通信データ同期技術

松岡大貴^{*1}

Communication Data Synchronization Technology for “FEELSOLE” Smart Insoles

Daiki Matsuoka^{*1}

1. はじめに

スマートウォッチをはじめ、各スポーツ分野において運動を定量化するデバイスが数多く市場リリースされている。豊田合成ではゴルファーのスイング時の重心及び足圧を可視化するスマートインソール “FEELSOLE”^{1), 2)} (図-1) を開発し、販売を始めた。本稿では “FEELSOLE” のシステムで中核となる通信データの同期技術の紹介のほか、工夫のポイントにも触れる。



図-1 スマートインソール “FEELSOLE” 外観

2. 製品概要

2-1. “FEELSOLE” のシステム構成

“FEELSOLE” はゴルフシューズの中に敷き、スマートフォン（以下スマホ）と組み合わせて使用する（図-2）。スマホはスイングの動画撮影をし、“FEELSOLE” は足の荷重情報を足圧として無線でスマホに送る。スマホは送られてきた足圧から重心位置を計算する。動画を撮影後、スマホは動画と足圧のデータを同期し、スイングのポジションを特定する。これらの連携したシステムによりゴルフスイング時の足圧や重心位置等をポ

ジションごとに取得し、スマホに可視化する（図-3）。

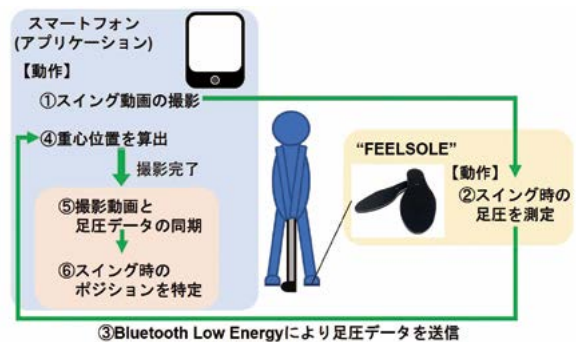


図-2 “FEELSOLE” のシステム構成



図-3 “FEELSOLE” の画面

具体的には、ゴルファーは以下の情報を参照することができる。

- 1) 足圧と重心位置
- 2) 左右バランス比や前後バランス比
- 3) 左右前後のバランス比の時系列グラフ（足圧・重心も時系列で表示可）

*1 電子技術部 電子開発室

- 4) スイングを7つのポジションに判別
(アドレス, ハーフウェイバック,
トップオブスイング, ハーフウェイダウン,
インパクト, フォロースルー,
フィニッシュ)

2-2. 構成要素

“FEELSOLE” を構成する部品は主に①豊田合成が開発した e-Rubber 技術を用いた e-Rubber センサ³⁾ (以下 eR センサ) (4カ所), ②フラットケーブル, ③薄型バッテリー付 ECU 回路基板 (以下 ECU), ④インソール筐体の4つからなる (図-4)。

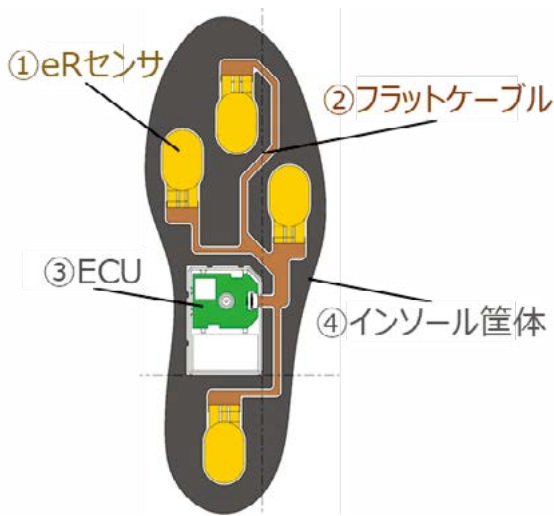


図-4 “FEELSOLE” の構成

eR センサに力を加えるとセンサの厚みが増加し、eR センサの静電容量値も変化する (図-5)。この静電容量値の変化を ECU で取得し、荷重値へ変換することで eR センサへかかる足圧を算出する。4つの eR センサはそれぞれ足の「つま先」と「内側 (母趾球)」、「外側 (小趾球)」、「かかと」の4か所に配置し、両足合わせ計8か所の足圧を測定できる。

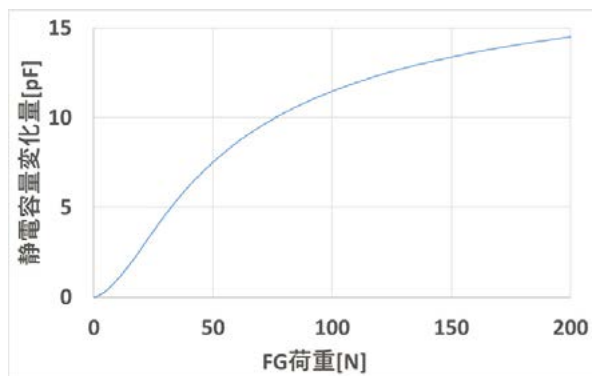


図-5 荷重に対する eR センサの静電容量変化 (459mm²あたり)

算出した8つの足圧情報は ECU に搭載された Bluetooth Low Energy (以下 BLE) により無線でスマホへ送信する。

3. 技術紹介

“FEELSOLE” のシステムにおける技術を次に述べる。

3-1. ECU の小型化

“FEELSOLE” はインソール内部に ECU を内蔵した一体構成となる。そのため、使用者に違和感を感じさせず、かつ過度の応力を回避できる場所へ ECU 本体を配置しなければならない。足底面の足圧分布⁴⁾ やアーチ高率 (土踏まずの変形を表す指標)⁵⁾ といった理学療法情報から ECU の配置場所や厚み等の構成を検討した。その結果、土踏まずに配置し、サイズが 35 × 35 × 10mm 以下にて成立することがわかった。プリント基板は6層基板を選択し、配線密度を高くしている (図-6)。これはサイズ制約以外の下記要件を満たすためである。

- 1) 配線制約
- 2) 電子部品の配置
- 3) 電磁ノイズの影響等の電気的な要件

電子部品は、許容可能な電圧・電力定格品の中から最小サイズを選択し、ECU の小型化を実現した。

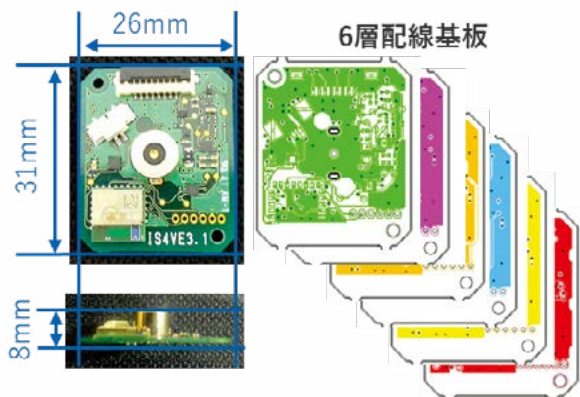


図-6 “FEELSOLE” の ECU 回路基板 (6層)

3-2. 通信距離, 動作持続時間

ECU は足の土踏まずの下に配置されるため、ECU の上に足の裏が覆う格好になる。ECU からの電波は人体にあたると、その一部は反射されるが、人体に吸収されてしまう⁶⁾。そのため電波が弱くなり、通信可能な距離が短くなってしまう。そこで電波出力の高い BLE を搭載したマイコンを採用することで通信距離を保つ。しかし、背反として消費電力が増え、動作持続時間の低下につ

ながる。そこでマイコンのスリープ機能により不要な BLE 通信を抑制して動作時間を最大化している。スリープ機能は、一定時間足の振動が検出されない場合に有効化する。足の振動センシングは、ECU 内の加速度センサと eR センサの両方でいき、ECU はスイング時の足圧計算とは別の処理で足振動を検知している。こうして、目標の動作時間 5 時間（ゴルフコースを回るのにかかる時間）以上を達成している。

3-3. 左右及び撮影動画との同期

“FEELSOLE” は片足で 4 つの eR センサがあり、両足分の計 8 つである。これらの足圧データを撮影動画と同期させるため、ECU はセンサにかかる足圧を 20ms 以内でサンプリングし BLE で送信する。しかし、“FEELSOLE” のシステム構成では 20ms 周期で足圧データを取得できても、スマホが 20ms 周期でデータ受信できるとは限らない（同期が保証されない）。理由は以下の 2 つになる。

- 1) BLE 通信の仕様（通信時間の最小間隔に制限がある）
- 2) スマホアプリ側の負荷状況や電波干渉等の通信環境による処理遅延

そのため、スマホ側でデータ欠損や測定時間のずれが生じ、スイング画像と重心データが同期しないまま表示される問題があった。そこで ECU とスマホアプリの通信処理を工夫することでこの問題を解決した。

3-3-1. データ欠損対策

ECU では送信データをスマホ（スマホアプリ）へ送信後、スマホアプリからの受信完了の応答を待つ。これによりスマホアプリとの通信が保たれる。しかし、スマホアプリからの受信完了通知が遅れると遅れた分のデータ欠損が発生してしまう。そこで、ECU は撮影開始から足圧データを内部で記録し、遅れた分のデータを次のデータ送信時に再送する。これによりデータの欠損を防ぐことができる（図-7）。図-7 の例では、足圧データ③と⑤が遅延するが、次のデータ送信時に再送して、欠損防止している。

3-3-2. 同期ずれ対策アルゴリズム

スマホアプリではデータを受け取った時刻と撮影動画の時刻を合わせる処理を行うが、先述のとおり、データ通信は ECU とスマホ間で同期が保証されていない。よって、データ受信時刻をそのまま動画と合わせてしまうと、動画と足圧のデータにずれが生じてしまう。撮影開始時刻を起点にして、20ms 毎のデータ列とすれば解決しそうだ

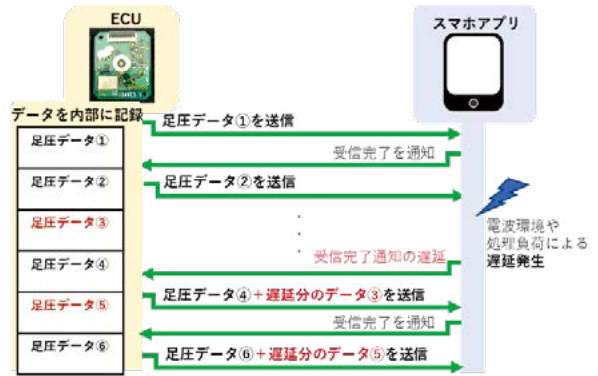


図-7 ECU の通信処理

が、開始時刻自体がずれている可能性があるため、問題は解消しない。そこで以下のようなアルゴリズムを開発し、ずれ問題を克服した。撮影の開始時刻から撮影完了までの測定回数は約 750 回（1 スイング 15 秒間として）に上る。その中で送信に要した時間が一番短いものは、システム固有の送信時間に最も近いとみなすことができる。そして、この値を基準の通信時間として、データの測定開始時刻を逆算する（図-8）。対策前では 30ms 以上の時間ずれが生じる場合があり、動画との同期に不自然さが残っていた。本アルゴリズムにより、ずれは 5ms 以下に抑えられ、使用者がずれを感じることはない。

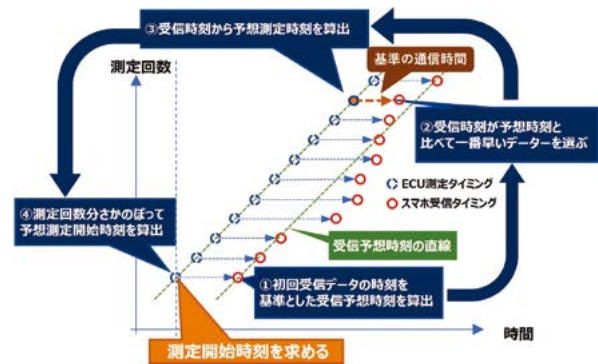


図-8 同期ずれ対策アルゴリズム

以上 2 つの処理技術により、撮影した動画と ECU からの足圧データを欠損なく同期させることができた。

4. おわりに

ゴルフレッスン用途が目的の “FEELSOLE” だが、得られるデータはゴルフに限らず、歩行時の足圧や重心位置も測定可能である。そのため、リハビリテーションやヘルスケア用途、また他のスポーツへの応用が見込まれる。今後は測定ポイントの増加や時間分解能を向上させ、ビッグデー

タビビジネスも視野に入れた開発を推進し、社会のニーズに応じていく。

本技術の開発にあたり、社内外の多くの関係者の皆様からのご支援とご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 一柳星文, 小森陽子: e-Rubber を用いたゴルフ向けスマートインソール“FEELSOLE”, 豊田合成技術報告, Vol. 63 (2021) p.74-75
- 2) スマートインソール FEELSOLE - LED, e-Rubber, SDGs 関連商品なら, 豊田合成ライフソリューション スペシャルサイト, <https://toyodagosei-led.jp/feelsole/>
- 3) 藤原武史, 竹内宏充, e-Rubber と“クルマ”, 豊田合成技術報告, Vol. 59 (2017) p27-32
- 4) 宮本雅史, 静止片脚起立時における足底面圧分布に関する研究, 日医大誌 第53巻 第4号 (1986) p42-51
- 5) 尾田敦, 鳴海陽子, 武田さおり, 長谷川至, footprint 評価の定量化と足アーチ高率との関係, 理学療法研究, 22号 (2005) p53-58
- 6) 松下大輔, BLE による建物内の人員行動計測技術の開発, https://www.jacic.or.jp/josei/pdf/2015_17.pdf

著 者



松岡大貴