

プログラム名：重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム

PM名： 山海嘉之

プロジェクト名：サイバニックインタフェース・デバイスのためのアナログ系とデジタル系の半導体デバイスの開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成28年度

研究開発課題名：

サイバニックインタフェース・デバイスのためのアナログ系とデジタル系の

半導体デバイスの開発

研究開発機関名：

ローム株式会社

研究開発責任者

錦織 義久

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

実現すれば産業や社会のあり方に大きな変革をもたらす革新的な科学技術イノベーションの創出を目指す当該 ImPACT では、プログラム期間中から成果の一部の社会実装を通して経済的・社会的・公共的価値の創造に結び付けるべく基礎と実際を相互にフィードバックさせて検証・改善・進化ループを構成し、得られた研究開発成果を速やかに国民へ還元するため社会実装や国際規格等への準拠を進めながら、革新的サイバニックシステムの研究開発を推進することをプログラム全体の目的としている。

アナログ生体信号をデジタル値に変換し、信号処理を行った後ワイヤレス通信にて本体に伝送する超小型モジュール開発の第 1 ステップとして、既存の LSI (AD 変換 LSI (以下 AD 変換は ADC と略)、信号処理および全体を制御するためのマイコン及び DSP、ワイヤレス伝送の為の Bluetooth Low Energy LSI (以下 Bluetooth Low Energy は BLE と略) とこれらのシステムへの電力をワイヤレスで供給するための Qi 方式受電 LSI) と受電コイルを用いた検証システムを 2016 年 6 月末に完成させた。

この検証システムは下記の通りマザーボード 及び 子基板から成る。

- ・マザーボード：アナログ入力（差動 2CH、差動 6CH）及び子基板ソケット x4
CD サイズ
- ・アナログ+ADC 子基板：アナログフロントエンド（BPF、PGA）と ADC
(AD7091R-8/AD7173-8BCPZ) 搭載 SD カードサイズ
- ・マイコン+DSP 子基板：DSP (ADSP-BF592) マイコン (ML620Q504H) 搭載
SD カードサイズ
- ・BLE 子基板：BLE (ML7105) 及びアンテナ 搭載
SD カードサイズ
- ・無接点給電子基板：Qi 方式受電 LSI (BD5701GWL) 搭載
SD カードサイズ
- ・無接点給電受電コイル：ロームリファレンスタイプ

注) イノベーションとは、「新結合」「新しい切り口」「革新技術」等によって「社会的に意義のある新たな価値」を創造し、新しい製品やサービスを生み出すことで産業変革・社会変革をもたらすことであり、革新の担い手として成し遂げる決意を持った企業家（起業家）・事業推進者（PM や連携機関）がリスクをおかして新しい技術や取り組みなどを経済サイクルに組み込む行為と密接に関わっている。

本システムでは、24ビットADCからの2チャンネルのデータ（1kHzサブリング）を組み込み用マイコン上で簡易的な圧縮を行い、BLEにて伝送するシステムの基本開発を行った。2016年3月末時点で実現性を確認したが、その時点での残存課題は下記の2点であった。

1. BLE伝送におけるパケットロスの課題

伝送時におけるパケットロスは、事前実験において受信側がスマートフォン(BLE搭載)の場合、25%程度のロスあり。送信側のリングバッファの制御、送信間隔等の問題の可能性高く原因の追及必要。

2. DSP用PROMの追加

当初、PCとDSPを専用開発ツールで接続して使用することを想定していたが、可搬性を考えDSP用のPROMの搭載が必要と判断。今後、マイコン+DSP子基板を修正して搭載必要。

上記二つの残存課題は、2016年6月末時点で下記の通り解決した。

1. DSP用ソフトとマイコンソフトの処理見直しとチューニングによりパケットロス率を改善。(約25%から約0.2%へ)
2. マイコン+DSP子基板を改造し、PROM搭載を完了。

更に、ADC前段のアナログフロントエンド（以下AFEと略）のノイズレベルも要望を満たす事を確認。また、これらのシステムをQi方式の無接点給電にて動作させることが可能である事も確認した。

本プロジェクトの最終の目標は指先サイズのモジュール開発であるが、CDサイズのシステムから一足飛びでは難易度が高い事と、実際に使用可能なモジュールを早く提供することを目的として、2017年3月末時点では、第1.5ステップとしてSDカードサイズの基盤に全ての既存LSIと無接点給電のアンテナを実装するモジュールを完成させることを目指し開発を進める事とした。基本機能は、第1ステップで開発したシステムを踏襲するが、圧縮性能は受信側で生体信号の波形の再現を可能とするのに十分な情報量の伝送をめざす。

2017年3月末のプロジェクト終了時点で明らかにすべき技術課題は、以下の点である。

検討課題1： 無接点給電の受電側アンテナ部の検討(全体モジュールサイズとの兼ね合い等)

BLEと無接点給電の干渉の検証。

検討課題2： モジュール消費電力/発熱の検討

検討課題3： 小型化と高密度実装のための設計

ADC、マイコン、BLE、無接点給電回路に加え周辺部品を効率良く配置する事が必要。

検討課題4： AD変換前のAFEの低ノイズ化。

小型化による影響を排除できるか検証。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

(a) システムの設計・開発

- ・ SD カードサイズの基板を設計、AFE、ADC、マイコン、BLE-LSI、無接点給電用 LSI 子基板の設計を完了し、試作を 4 セット完了。

主なスペック：項目 2-2 成果(a)を参照

- ・ 圧縮機能と BLE 伝送時のパケットロスの改善。

(b) 試作基板の動作確認

- ・ SD カードサイズのシステムの動作を検証。
- ・ SD カードサイズの受電アンテナで動作することを確認。
- ・ 改善した圧縮機能により符号化したデータを BLE で伝送し、受信側 PC 上で復号して表示した際に、波形が正常に再現されている事を確認。また、受信側 PC 上でパケットロスの発生頻度を確認。

(c) 以下の課題に対し、検討を実施し設計に反映

(課 1) SD カードサイズの無接点給電の受電コイルで動作可能か検証。

(課 2) モジュール消費電力は無接点給電で対応可能なレベルで、モジュール表面温度は 40°C 以下の実現が必要。

(課 3) SD カードサイズのモジュールを実現するためには、サイズの大きなコネクタ類の実装方法を考案。

(課 4) 高密度実装における ADC 前段の AFE のノイズレベル低減。

2-2 成果

(a) システムの設計・開発

本体の SD カードサイズの基板に、AFE+ADC-LSI、マイコン、BLE、WPC の各機能を搭載し、Firmware 書込み・検査・デバッグ等の各種インタフェースは、フレキシブル基板で周辺に配置した構造。設定・検査が終了した時点で、フレキシブル基板を切り離し、本体機能を最小面積化した。無接点給電は、シールドケースでカバーした実装面と反対側に受電コイルを貼りつけ、2 段構造としている。

特徴は下記の通り。

- ・ 無線方式 Bluetooth4.1 に準拠した BLE-LSI を搭載し、低消費電力でデータ送信を行う。
- ・ 給電方式は、電磁誘導方式の無接点給電。
- ・ 2ch の差動入力端子を搭載し、筋電信号を取り込む。
- ・ AFE に不要周波数帯を除去するフィルタ、さらにプログラマブルアンプ搭載で、入力(振幅)レベルにより利得制御が可能。
- ・ 入力信号を高精度な 24 ビット ADC で処理する。
- ・ 温度センサーを内蔵し、電源部の温度を監視。事前に設定した上限温度を超えた場合、電源オフとなる安全設計。

マイコンソフトでは、圧縮機能の改善について、処理負荷・圧縮率・エラー時復帰処理の容易さのバランスを検討した結果として差分 PCM 方式を実装。改善前は最大値と最小値のみを簡易圧縮で伝送していたが、全サンプル値を圧縮率の高い差分 PCM 圧縮で伝送する方式に改善。

また、BLE 伝送時のパケットロス対策として、マイコンソフト上の ADC-LSI 制御とパケット送信制御のイベント処理及び割り込み禁止処理を最適化。

(b) 試作基板の動作確認

- ・ 差動生体電位センサーを装着し、無接点給電にて給電することで正常に動作することを確認。
- ・ 伝送後に波形が再現出来ているかについて、AD 変換直前の信号をオシロスコープでモニターした波形と受信側 PC 上で表示した波形とを比較して、同等であることを確認。
- ・ BLE 伝送時のパケットロスは、ほぼ発生しなくなったことを確認。

※ただし、他の Bluetooth 機器や Wi-Fi 機器等との電波干渉がある場合には、パケットロス発生の可能性あり。

(c) 以下の課題に対し、検討を実施し設計に反映

(課 1) SD カードサイズの無接点給電の受電アンテナをフェライト上に配置することで、受電動作を確認。また、モジュール基板にはシールドケースを装着しており、フェライトシートを挟んで受電コイルを装着することで、受電性能を向上させると共に回路部への無接点給電の影響も無くした。更に BLE の通信は問題無く動作しており、無接点給電の干渉が無いことを確認。

(課 2) モジュールの消費電力は、(課 1)で述べた SD カードサイズの受電コイルで動作確認。又、モジュール表面上の温度は 40°C 以下を確認。

(課 3) SD カードサイズのモジュール基板をフレキシブル基板挟み込みの構造とし、SD カードサイズの基板から延長させたフレキシブル基板上にサイズの大きなコネクタを実装することで、SD カードサイズの基板に必要な LSI、部品を実装するスペースを確保。モジュール上のマイコン内 Flash ROM へのプログラムの書き込みとモジュールの動作確認が終了した時点で切離し、モジュールのみで動作させる方式を採用。

(課 4) AFE については回路定数および測定方法を再検討する。

2-3 新たな課題など

1. 今後さらなる高密度化を行うにあたり、現状のリジッドフレキシブル基板、部品内蔵基板等を含めた基板の再検討、および外部接続方法の検討必要。
2. 無接点給電の受電コイルを小型化する必要がある、かつ現状に近い給電能力を実現する必要あり。
3. モジュールのセキュリティ対策 及び機能安全に対する検証。
4. 新 ADC-LSI と “マイコンと BLE の一体 LSI” への既存ソフトウェアの移植と動作検証。

3. アウトリーチ活動報告
無し