

## 体温発電を用いるバッテリーレス容量結合型心電図計測システム

研究代表者

和泉慎太郎 神戸大学 准教授

共同研究者

川口博 神戸大学 教授

吉本雅彦 神戸大学 名誉教授



### 1. 研究の背景と達成目標

少子高齢化が進む社会の中で、健康寿命の延伸が社会課題となっている。本研究では要介護原因や死因の上位を占める心疾患の早期発見、スクリーニングに有用な心電図に着目し、体温による温度差発電で動作可能な心電図計測システムの開発を行う。日常生活下における生体信号の常時計測においては、バッテリー容量の制限と、皮膚表面への電極の直接接触が問題となっており、特に心電図計については実用的なレベルで日常生活下において計測することが難しかった。これらの課題に対して、人体での体温発電に適したフレキシブルな熱（温度差）発電素子を開発することで熱電変換効率を向上し、同時にフレキシブルかつ低消費電力な容量結合型心電図計測技術を開発することで、バッテリーレス動作可能な心電図常時計測システムを実現する。

性能目標として、モジュール両端の温度差が $1^{\circ}\text{C}$ の条件下で手首に装着して  $100\ \mu\text{W}$  の発電が可能な  $50\text{mm}$  角の熱電変換素子、および、 $100\ \mu\text{W}$  の電力制限の中で連続動作が可能な電源・計測・信号処理・無線通信回路を集積した容量結合型心電図計測システムを実現する。研究期間内にプロトタイプを開発し、人を対象とした実測結果から提案技術の有効性を示す。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

- 心電図計測における低消費電力化とノイズ低減手法の開発

皮膚へのダメージが少ない乾燥型や非接触型の電極を使用可能な容量結合型心電図計が実用化されることで、日常生活下における長期間の心電図計測が可能となり、心疾患の早期検出に貢献できる。

- 体温発電に適したフレキシブル熱電発電デバイスの開発

体温と外気温の温度差による発電量で生体計測デバイスのバッテリーレス動作が可能になることで、バッテリー交換や充電のわずらわしさを解決でき、健康者や病気予備軍への常時生体計測デバイス普及に貢献できる。

### 3. 研究成果

#### ①容量結合型心電図計測手法の開発

心電図計測における低消費電力化とノイズ低減手法を開発した。ハムノイズや体動ノイズをデジタル処理で抽出、アナログ回路側へフィードバックする機構を考案し、実際に回路上で動作を確認した(図 1)。

#### ②フレキシブル体温発電素子の開発

体温発電に適したフレキシブル熱電発電デバイスを開発した。実際に  $50\text{mm}$  角サイズのデバイスを試作(図 2 左)し、素子両端に温度差  $1^{\circ}\text{C}$  を与えた条件下での  $100\ \mu\text{W}$  発電を確認した。

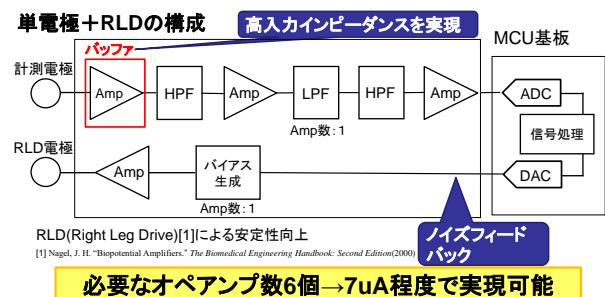


図 1 提案回路構成

### ③電源回路及びシステム LSI の設計開発

信号処理部とマイコンを集積した LSI を CMOS 40nm プロセスで試作し動作を確認した。

### ④計測・信号処理回路の設計

SNR の低い信号から心拍成分を抽出するアルゴリズムを開発し、専用回路として実装した。

### ⑤プロトタイプシステム開発による実証試験

プロトタイプによる実験を完了し、心電図の計測動作を確認した(図 2 右)。



図 2 試作デバイス (左) と心電図実測評価の様子 (右)

## 4. 今後の展開

本研究によって得られた成果を活用し、バッテリーレス生体計測デバイスの開発と実用化を進めている。本研究では要素技術である心電図計測手法とフレキシブル熱電発電デバイスの開発に注力したが、現在はその応用として高齢者や心疾患を有する患者の実測とデータ集積に向けた準備を進めている。また、異なる応用として、医療従事者や大規模プラント作業員の安全確保、体調管理をアプリケーションとしたリストバンド型デバイスへの発展を検討している。フレキシブルな熱電発電デバイスは生体計測以外の分野でも発電効率向上の観点から注目されており、据え置き型・設置型の計測システムへの展開も考えられる。

## 5. 発表実績

- [1] S. Yoshida, S. Izumi, Y. Nishikawa, K. Watanabe, K. Sasai, Y. Yano, H. Kawaguchi, and M. Yoshimoto, “A Heartbeat Interval Error Compensation Method Using Multiple Linear Regression for Photoplethysmography Sensors,” Proc. of IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), pp. 1-4, (2019).
- [2] 吉田 聖也、和泉 慎太郎、矢野 祐二、川口 博、吉本雅彦、“AR モデルを用いた心拍変動解析のための低消費電力アーキテクチャの検討” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-19-13、2019 年 9 月
- [3] K. Watanabe, S. Izumi, Y. Yano, H. Kawaguchi, and M. Yoshimoto, “Heartbeat Interval Error Compensation Method for Low Sampling Rates Photoplethysmography Sensors,” IEICE Transactions on Communications, vol. E103-B, no.6, pp.645-652, (2020).
- [4] 藤井 将裕、和泉 慎太郎、矢野 裕二、川口 博、吉本 雅彦、“体温発電を用いた心電図計測のための低消費電力回路の検討” 電子情報通信学会総合大会、B-19-8、2020 年 3 月
- [5] 渡辺 大輔、矢野 祐二、和泉 慎太郎、川口 博、吉本 雅彦、“ウェアラブル生体情報センサのための学習推論アーキテクチャの検討” 電子情報通信学会総合大会、B-19-24、2020 年 3 月
- [6] Shintomi, S. Izumi, Y. Yano, M. Yoshimoto, and H. Kawaguchi, “Effectiveness of the heartbeat interval error and compensation method on heart rate variability analysis,” Healthcare Technology Letters, 9, 9-15 (2022).