

# 医療ビッグデータ連携ヘルスケアに向けた 使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術の開発(152106004)

Development of disposable and energy-autonomous biosensor integrated circuits  
for big-data-associated healthcare

## 研究代表者

新津 葵一 名古屋大学

Kiichi Niitsu Nagoya University

研究期間 平成 27 年度～平成 29 年度

## 概要

本研究開発においては、使い捨てが可能なほどの低コストかつバイオ発電等の環境発電から電力自立動作が可能なほどの低消費電力動作を可能とするバイオセンサ集積回路を実現し、医療ビッグデータ連携ヘルスケアの実現に資することに成功した。使い捨て可能(集積回路コスト：100 円以下)かつ 1 cm 角皮膚貼り付け乳酸発電パッチで電力自立動作可能(消費電力：53 $\mu$ W)なアンテナ外付け継続乳酸・温度モニタリング向けバイオセンサ集積回路を 65nm CMOS プロセスを用いて実現した。さらに、使い捨て可能(集積回路コスト：120 円)かつ 0.6 mm 角血糖発電素子で電力自立動作可能(消費電流：560pA)なアンテナ内蔵継続血糖モニタリング向けバイオセンサ集積回路を 65nm CMOS プロセスを用いて実現した。

## 1. まえがき

本研究開発の目的は、近年急速に注目を集めている医療ビッグデータと連携したヘルスケアの実現に資する使い捨てが可能で電力供給不要(電力自立)のバイオセンサ集積回路を実現することである。使い捨てでの利用を可能とするための低コスト化技術(低価格化技術)、ならびに電力自立を可能とするための低消費電力化技術を開発する。これを実現するために、バイオ発電素子で人体を通じて得られた発電量でも動作可能なほどの新規の回路技術を開発する。

近年の半導体産業はモバイル機器や IoT 端末においてデジタル回路の低消費電力動作に適したプロセス開発が活発に行われている。故に、最先端集積回路プロセスにおけるトランジスタは、デジタル回路に適した形で特性が最適化されている。このトランジスタ技術をバイオセンサ集積回路へと活用していくことで性能向上を図る。

具体的には、各要素回路をすべてデジタル回路で構成することで低電源電圧動作を実現して、従来は必須であった昇圧回路を最小限に抑えることで、従来に比べての回路面積の低減(低コスト化)を実現する。さらに、スタンバイ動作時のリーク電流を徹底的に抑制する技術を開発し、低消費電力化を実現する。

研究開発を通じて、知的財産権の取得に取り組み、社会実装等の研究開発成果の展開を目指すことも目的とする。

## 2. 研究開発内容及び成果

本研究開発は、フェーズ I(平成 27 年度)とフェーズ II(平成 28-29 年度)からなるが、最終年度となる平成 29 年度においては当該年度末日時点において、継続提案時に掲げた到達すべき目標である、「電源電圧 0.19V、消費電流 5mA(当初提案からより高いレベルに挑戦)で動作する送信器回路技術」の実現を達成し、「電源電圧 0.15V、消費電流 560pA で動作する送信器回路技術」の実現に成功した。電源電圧 0.15V は、近距離無線送信器としては世界最低電源電圧である。560pA についても、大面積を必要とする外付け受動素子や基板バイアス技術等を使用できないサブ mm<sup>2</sup>の送信器としては世界最小消費電力を達成した。

65nm CMOS プロセス(相補型金属酸化膜半導体大規模集積回路：Complementary Metal Oxide Semiconductor)

での計算機シミュレーションと実デバイス動作により実証した。送信器回路技術とともに、受信器回路技術の開発にも成功した。費用対効果を考慮し、製造は外部業者に委託し、設計についてはすべての構成回路において研究代表者において遂行した。さらに、送信器内において電源電圧と温度を高精度に独立してモニタリング出来る回路技術の開発に成功した。図 1 に本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術を用いた医療ビッグデータ連携ヘルスケアの社会実装イメージ図を示す。

本研究開発成果は、医療ビッグデータと連携したヘルスケアに向けたものである。医療ビッグデータと呼ばれるような大量の生体データを取得し、それをクラウド上において解析することでより確度の高い医療・ヘルスケアが実現可能となる。

このような医療ビッグデータ連携ヘルスケアにおいて最も重要な要素技術の一つが、医療ビッグデータを収集するバイオセンサ端末特にそれを構成するバイオセンサ集積回路である。本研究開発においては、サイバーセキュリティに対する対応を鑑みて、バイオセンサ集積回路からスマートウォッチ等のウェアラブル機器への近接無線通信機能を有することを目標に研究開発を行った。ウェアラブル機器へと生体データを送信したうえで、クラウドへの送信はよりセキュアな通信を用いて行うことを想定している。



図 1：本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術を用いた医療ビッグデータ連携ヘルスケアの社会実装イメージ図

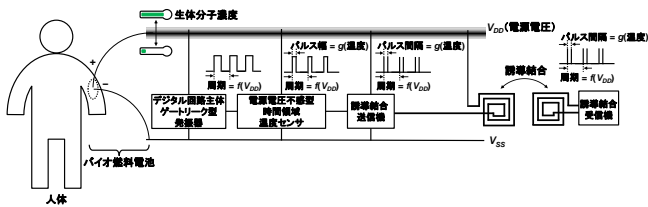


図 2: 本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術の一例となる回路実装例

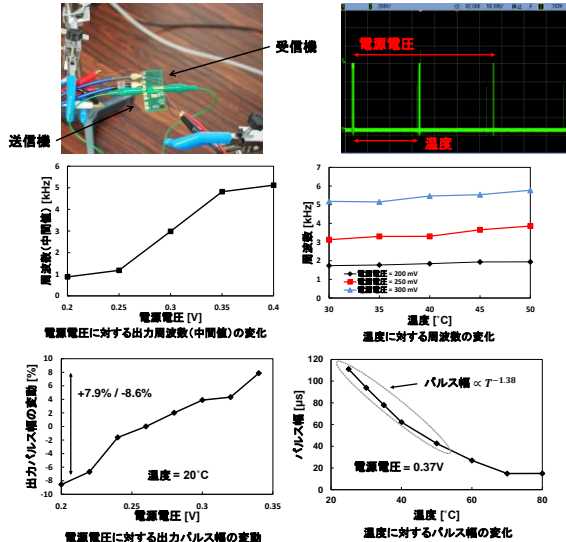


図 3: 本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術の一例となるプロトタイプ写真ならびに測定結果

図 2 に本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術の一例となる回路実装例を示す。低電源電圧動作を実現するために、デジタル回路ベースの回路ならびに誘導結合通信を採用している。

図 3 においては、本研究開発成果の使い捨て可能・電力自立バイオセンサ集積回路技術の一例となるプロトタイプ写真ならびに測定結果を示す。無線送信パルスの周期にバイオ濃度情報、無線送信パルスの感覚に温度情報をのせて、無線送信を行った。65nm CMOS プロセスで集積回路を試作して、実デバイス上において有効性を実証することに成功した。また、正確な温度モニタリングが行えることを確認できた。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果であるバイオセンサ集積回路設計技術をもとに、使い捨て可能かつ電力自立動作が可能な継続乳酸モニタリングならびに継続血糖モニタリングへの社会実装への道筋を描くことに成功した。この研究開発成果を活かして、社会実装への取り組みを加速していく考えである。

報道掲載リストに示すように、本研究開発成果は、IEEE の著名論文誌である IEEE Trans. on Biomedical Circuits and Systems において、2018 年 2 月の最も人気の記事として選出されるなど大きな注目を集めた。今後も継続して研究開発を進め、波及効果創出へと続けてゆきたい。

### 4. むすび

本研究開発を通じて、医療ビッグデータ連携ヘルスケアの実現に資するバイオセンサ集積回路技術の確立に成功し

た。本研究開発において御支援・御指導をいただいたすべての関係者に謝意を示し、本稿の結びとする。

### 【誌上発表リスト】

- [1] Atsuki Kobayashi, Kei Ikeda, Yudai Ogawa, Hiroyuki Kai, Matsuhiko Nishizawa, Kazuo Nakazato, and Kiichi Niitsu, "Design and Experimental Verification of 0.19 V 53  $\mu$ W 65 nm CMOS Integrated Supply-Sensing Sensor with a Supply-Insensitive Temperature Sensor and Inductive-Coupling Transmitter for a Self-Powered Bio-Sensing Using a Biofuel Cell," IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (TBioCAS), vol. 11, no. 6, pp. 1313-1323, Dec. 2017. (2017 年 12 月 1 日)
- [2] Kiichi Niitsu, Atsuki Kobayashi, Kenya Hayashi, Yuya Nishio, Kei Ikeda, Takashi Ando, Yudai Ogawa, Hiroyuki Kai, Matsuhiko Nishizawa, and Kazuo Nakazato, "A Self-Powered Supply-Sensing Biosensor Platform Using Bio Fuel Cell and Low-Voltage, Low-Cost CMOS Supply-Controlled Ring Oscillator with Inductive-Coupling Transmitter for Healthcare IoT," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (TCAS-I), vol. 65, no. 9, pp. 2784 - 2796, Sep. 2018. (2018 年 9 月 1 日)
- [3] Kenya Hayashi, Shigeki Arata, Shunya Murakami, Yuya Nishio, Atsuki Kobayashi, and Kiichi Niitsu, "A 6.1nA Fully-Integrated CMOS Supply-Modulated OOK Transmitter in 55nm DDC CMOS for Glass-Free, Self-Powered, and Fuel-Cell-Embedded Continuous Glucose Monitoring Contact Lens," accepted to IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs (TCAS-II). (掲載決定済みであり、オンライン発表年月日は 2018 年 7 月 27 日)

### 【申請特許リスト】

- [1] 新津 葵一、西尾 祐哉、林 賢哉、小林 敦希、集積回路用低周波数信号発生回路素子、日本、特願 2018-074251

### 【受賞リスト】

- [1] 新津 葵一、文部科学省 平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞、“低電力かつ低電圧な集積回路の設計と医療応用に関する研究”、平成 29 年 4 月 19 日
- [2] 新津 葵一、電子情報通信学会 末松安晴賞、“低電圧・低消費電力時間分解能型 CMOS 集積回路技術の開拓とその医療応用への展開”、2018 年 6 月 7 日
- [3] Atsuki Kobayashi, Kei Ikeda, Yudai Ogawa, Hiroyuki Kai, Matsuhiko Nishizawa, Kazuo Nakazato, and Kiichi Niitsu, IEEE BioCAS 2016 Best Paper Award, "An Energy-Autonomous Bio-Sensing System Using a Biofuel Cell and 0.19V 53 $\mu$ W 65nm-CMOS Integrated Supply-Sensing Sensor with a Supply-Insensitive Temperature Sensor and Inductive-Coupling Transmitter," 2016 年 10 月 18 日

### 【報道掲載リスト】

- [1] “The most popular article in IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems ”、IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems Popular Articles, 2018 年 3 月 1 日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://id-lab.jp>, <http://niitsulab.info>