

補助事業番号 2022M-262

補助事業名 2022年度 自転車等機械振興補助事業

補助事業者名 2022年度安全で安価な「飲む体温計」および受信システムの開発補助事業補助事業

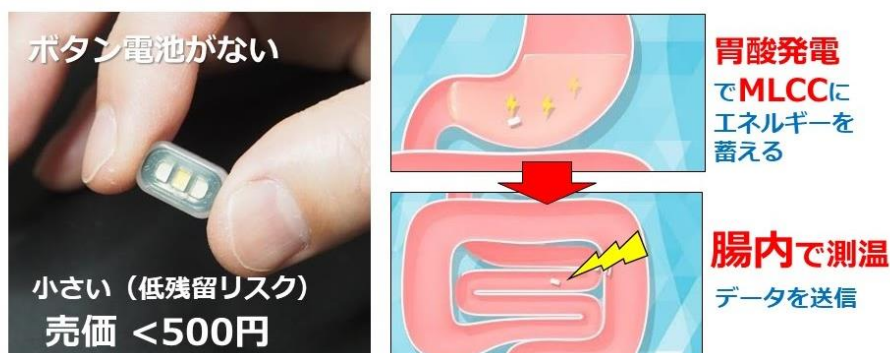
1 研究の概要

本研究では、未来のヘルスケアデバイスの一つとして、胃酸電池で充電する安全・安価な「飲む体温計」および体内外通信システムを開発する。申請者が開発した「飲み込み型センサ用に開発したカスタム集積回路」と「一括大量生産が可能なデバイス設計」「胃酸充電型電源」を武器とし、競合の「飲む体温計」では実現できない圧倒的な安全性と低コスト化を達成する。そして、生体情報の基盤の一つである「深部体温」およびそのリズム(概日リズム)を、誰もが簡単かつ正確に連続計測できる世界を創り、人々の健康増進に貢献する。

2 研究の目的と背景

深部体温およびそのリズム(概日リズム)を、日常生活において『簡単かつ正確』に計測できるデバイスがあれば、熱中症の予防、睡眠障害の診断、女性の排卵周期把握や更年期障害のケア、感染症の早期発見など、様々な場面で役に立つ。しかし、これを達成することは難しい。集中治療室などの医療現場では、直腸温や膀胱温によって深部体温をモニタリングするが、我々一般人が行うことは現実的ではない。そこで欧米では「飲む体温計」の開発が進んでおり、使用されている。しかし、既存品はボタン電池を搭載していることから、有害で環境負荷が大きい。サイズも大きいため消化管内での滞留・閉塞のリスクが高い。また、価格も高価(6,000~12,000円)であるために、広くは普及していない。さらに、本邦にて承認を取得した製品はない。

そこで、本事業では、未来のヘルスケアデバイスの一つとして、胃酸電池でセラミックコンデンサ(MLCC)を充電する安全・安価な「飲む体温計」および通信システムを開発する(図1)。具体的な事業内容は、社会実装を目指し、①この「飲む体温計」の生産技術を開発する、②飲み込んだ



安価、安全、低環境負荷、保存性良、煩わしさなし。

図1. 胃酸で充電する「飲む体温計」

センサからのデータを信頼性よく受信でき、かつ容易に携帯できる受信システムを開発する、③試作品を用いた動物適用実験を通じて、本コンセプトを実証する、④薬機法に即した安全性試験などを通じて、臨床試験に適用可能なセンサシステムを完成させることである。

本デバイスは、ボタン電池を持たないため、それよりも数桁小さいエネルギーしか蓄電できない。そうであってもニーズに応えた測温を行えるように、超低消費電力で動作するカスタム集積回路を開発した。また、大量生産に適したデバイス構造を開発している。これらの申請者の独自技術とアイデアによって、圧倒的な安全性とコスト競争力を持つ「飲む体温計」を創造する。そして、生体情報の基盤の一つである「深部体温」および概日リズムを、誰もが簡単かつ正確に計測できる世界を創る。このデータの解析によって高度な疾患把握や体調管理を実現し、遠隔医療や予防・未病医療、個別化医療での活用を通じて、人々の健康増進に貢献する。

3 研究内容

(1)「飲む体温計」の開発

<https://sites.google.com/site/shinyayoshidaresearch01/jka%E8%A3%9C%E5%8A%A9%E4%BA%8B%E6%A5%AD>

本センサシステムの研究室レベルでの開発は、概ね完了している。ここから社会実装に到達するには、量産技術の開発、いわゆる「死の谷」を超える必要がある。特に医療機器ハードウェアにおけるこの谷の幅が極めて大きい。申請者は本事業によってこれを突破することに挑戦する。

胃酸発電で充電する「飲む体温計」の実用化を目指し、センサシステムの製造法や部品、材料などを確定させ、非臨床試験などを通じてデザインフリーズを達成する。具体的には、「飲む体温計」の生産技術を開発した。特に、高い生産性で電子部品部を樹脂封止する技術や、胃酸電池電極材料を開発する。また、飲み込んだセンサからのデータを信頼性よく受信でき、かつ容易に携帯できる受信システムを開発する。以下に具体的な成果の例を記す。

①胃酸電池用ペースト電極の開発

上記の「飲む体温計」のための胃酸電池用ペーストの開発に取り組んだ。これまでは、切断したMg板を、負極として導電性接着剤を用いて貼り付けているが、機械による自動化は容易ではない。そこで、良好な導電性と発電性を持つMgペーストの開発を試みた。これを用いれば、デバイスの指定の箇所にニードルディスペンサを用いてペーストを塗布して、胃酸電池電極の実装できるようになる(図2)。

本事業では、Mgペーストは、市販の導電性カーボンペーストとMg粉末を、任意の割合で混合して作成した。次に、これらを負極、Pt板を正極として用いて、人工胃液に浸漬することで発電性能を評価した。その結果、従来の純Mg板電極に対して約50%の電力を得られた。また、Mgペースト電極の出力電圧は、約2時間にわたり1.5 V以上が確保されていた。デバイスへの充電には10分程度で完了することから、実用上、十分な発電継続時間を確保できたことが示された。最後に、

Mgペースト電極を実際の小型実装デバイスに塗布し、デバイスを試作した(図3)。そして、人工胃液に浸漬する動作試験を行うことで、本電極ペーストの有用性を実証した。

②受信システムの開発と特性評価

本事業では、回路基板や電子部品を最適化し、スマホサイズの受信器を試作した(図4(a))。これとループアンテナを接続することで、アンテナにて受信した信号をデジタル処理し、マイコンのメモリに保存される仕組みとなっている。通信信頼性を高めるために、誤り訂正符号技術も盛り込んだ。電源は、モバイルバッテリーをUSBケーブルで接続される。次に、この受信システムの測定距離の定量評価実験を行った。その結果、デバイスのコイルアンテナに対して受信アンテナが対向している場合、距離50cm以上の通信が可能であることを確認した。したがって、ユーザーの携帯した受信器には問題なく通信できると思われる。

さらに、イヌを用いた動物実験での実証を視野にいれ、イヌ用のウェアブル受信システムを試作した(図4(b))。これは、市販のイヌ用ジャケットに、導電性の繊維を縫い付けることでアンテナが搭載される。また、飲み込みセンサから発信される磁場変調信号を漏れなく受信するために、3軸方向に受信感度を持つようにアンテナをレイアウトした。

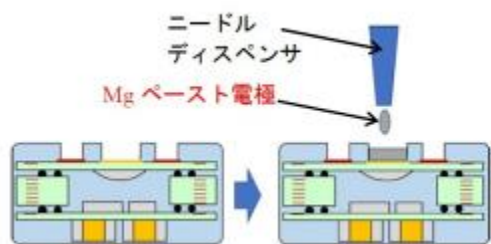


図2. Mg ペースト電極と実装イメージ



図3. 試作した Mg ペーストを実装したデバイスの写真

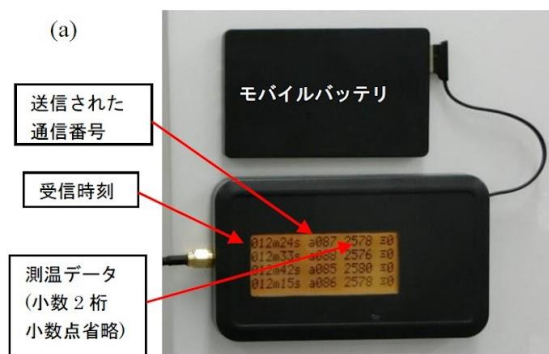


図3 (a) スマホサイズのポータブル受信器の試作品 (b) 導電性糸でループアンテナを形成したイヌ用ジャケット。

図4. (a) スマホサイズのポータブル受信器の試作品 (b) 導電性糸製ループアンテナが縫われたイヌ用ジャケット

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

研究開発している安全安価な「飲む体温計」が実用化されれば、迅速かつ簡便に深部体温とその時間推移を測定できるため、実社会で幅広く活用されることが期待される。例えば、医療現場や在宅医療での体温管理が容易になり、様々な疾病や不慮の事故の予防に役に立つ。また、パンデミック時には迅速なスクリーニングにも有用である。スポーツやフィットネス分野では、アスリートの健康管理や日常の体調管理に役立ち、過剰な運動や熱中症のリスクを減少させる。職場では、オフィスや産業現場での従業員の健康管理が強化される。以上のように、様々な場面で健康管理が強化され、社会全体の健康リスクを低減することが可能となる。今後、ヒト適用に向けて、デバイスやシステムの完成度を高めていく予定です。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回の研究の位置づけ

今回の研究は、実施者が10年近くにわたって基礎研究を続けてきた成果を、実用化に向けて発展させる位置づけとなる。ヒト適用に向けて、デバイスの製造技術を開発したり、受信システムの完成度を高めることができた。これにより、実用化に向けて本研究派大きく進展したと断言できる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

国内学会一般講演

[1] “胃酸発電で充電する「飲む体温計」のためのMgペースト電極の開発”，第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム，6P5-PS-9，2023年11月6日～11月9日，ポスター
小島 嘉将，宮口 裕，吉田 慎哉

招待講演

[1] “撮房型センサ用ハードウェアプラットフォームと『飲む体温計』thermopillの開発”，2022 センシング技術応用セミナー、オンライン、2022年6月14日(火)、吉田慎哉(招待講演者)

[2] 「飲み込み型デバイスと「飲む体温計」thermopill®の開発」，PwCオンラインセミナー(オンデマンド配信)，サイバー・フィジカル空間を繋ぐ次世代IoT無線技術の今と社会実装に向けた取り組み，2022年11月17日～ 2023年1月31日，吉田 慎哉(招待講演者)

[3] 「胃酸で充電する「飲む体温計」と応用展開」，有機機能材料のリソグラフィ加工コンソーシアム第47回定例会，2023年3月3日，京都，吉田慎哉(招待講演者)

[4] 「飲み込み型デバイスの研究開発とヘルスケアの未来」 「近未来への招待状～ナイスステップな研究者2022からのメッセージ～」第3回:2023年7月6日，吉田慎哉(招待講演者)

[5] 「飲んで健康状態を知るカプセル型生体内サイバネティックアバター」第41回日本ロボット学会学術講演会オープンフォーラム，2023年9月11～14日，吉田慎哉(招待講演者)

[6] 「安全・安価な「飲む体温計」の開発」，第6回 新方式精密計測による物理・工学的変革を目指す回路技術調査専門委員会 2024年3月11日，吉田慎哉(招待講演者)

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

「飲む体温計」のデバイスおよび受信システムの試作品、国内学会にて発表した際の予稿

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 芝浦工業大学工学部(シバウラコウギョウダイガクコウガクブ)

住 所: 〒135-8548

東京都江東区豊洲3-7-5 研究棟 04D32-a

担 当 者: 准教授(ジュンキョウジュ)

担 当 部 署: 工学部(コウガクブ)

E - m a i l: syoshida@shibaura-it.ac.jp

U R L: <https://sites.google.com/site/shinyayoshidaresearch01/>