

研究開発項目

1. 生体内 CA の構築

2023年度までの進捗状況

1. 概要

本研究開発項目では、生体内サイバネティック・アバター（生体内 CA）を実現するために必要となる小型 CA の主な機能にかかわる要素技術の研究開発を行います。また、応用課題として、分散遠隔操作による生体内 CA（分散 CA）および協調遠隔操作による生体内 CA（協調 CA）に対して、システム統合を念頭において、設計、試作、基礎実験を行います。これまで、生体内 CA に必要となる要素技術の研究開発を行ってきました。また、上記の応用課題に対して、システム統合に必要な要素技術を開発しました。

2. これまでの主な成果

分散 CA では、ヘリカル・リング型の例として、Shape Memory Polymer (SMP) 製ヘリカル構造体を用いた基本構成を示し、ジュール加熱により展開する機構を実証しました。また、ステント型の実装技術として、新規材料を被覆膜としてステントに固定する技術を開発しました（図1）。

協調 CA では、Endoscopic Submucosal Dissection/内視鏡的粘膜下層剥離術 (ESD) を想定し、内視鏡先端に固定した足場モジュールを協調動作させるシステムによって、剥離する組織の牽引動作が有効に作用することを確認しました（図2）。足場の固定方法としてはバルーン形状やらせん形状を試作し、固定力を評価しました。臓器モデルを用いた評価実験により、牽引動作の効果が医師によって確認されました。また、牽引動作による局所的なひずみの計測は、画像計測による方法を提案し、有効性を確認しました。

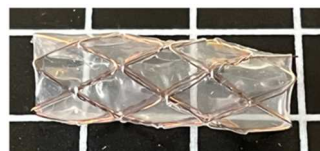


図1 ステント型の外観

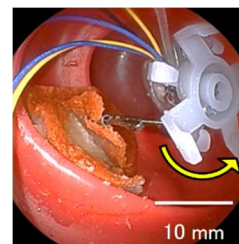


図2 牽引動作の様子

小型 CA に共通する技術として、バイオマテリアル技術、センシング技術、位置計測技術を開発しました。

バイオマテリアル技術として、小型 CA の表面の樹脂材料に表面グラフト共重合を実施することで、生体内 CA を固定するための表面修飾技術を開発し、小型 CA の体内固定技術として有効性を確認しました。また、新規光架橋性ゲルを作製し、フィブリン糊と同等以上の組織接着性を有することを示しました。

センシング技術として、超低待機電力 CMOS プロセスを用いて、消費電力 0.9 pW での温度・pH センシングを達成し、世界最高クラスの性能を達成しました。今後の低消費電力生体内センシングの発展に寄与すると期待できます。このセンサチップの pH 感度を測定するため、半導体集積回路上にシリコンナイトライド膜を保護膜として用いて pH を計測する技術を開発し、超純水と胃酸模擬溶液を判別することに成功しました。さらに、生体適合膜を搭載することにも成功しました。

また、CMOS プロセスを用いて、温度センシング・無線データ送信を達成しました。（図3）。これらは全てサブ平方 mm 角の回路面積に収め、小型集積化を達成しました。

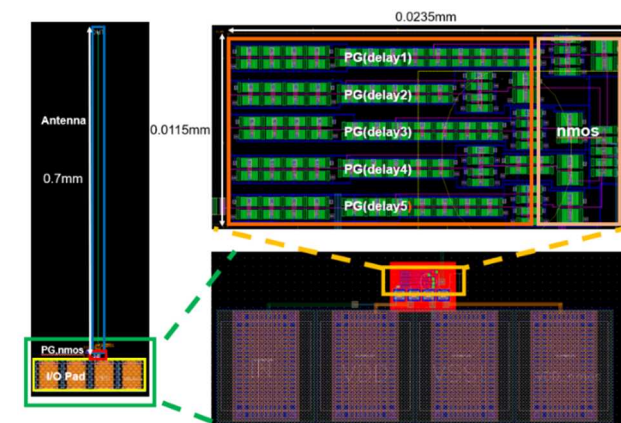


図3 温度センシング・無線データ送信デバイス

位置計測技術については、11.3 MHz 帯の受信磁界を位置測定に用いたシステムを構築し、送受信間距離 160 mm までの範囲で、位置推定の二乗平均平方根誤差 10 mm 以下を達成しました。また、複数の生体内 CA の同時位置計測に関して、信号到来時間 (TOA: Time of Arrival) 方式に信号分離技術を適用し、目標推定精度 1 cm での複数生体内 CA の同時位置推定方式を実現しました。

3. 今後の展開

生体内での健康モニタリング、診断技術の開発において、時空間的な制約が大きな課題です。ミリ・マイクロ・ナノスケールの小型 CA の構築に必要な要素技術が開発できました。システム統合に向けたチャレンジングな技術課題も含めて、今後もシステム統合を念頭において、要素技術の研究開発を継続し、設計、試作、基礎実験を行っていきます。