

「先進的統合センシング技術」

平成 18 年度採択研究代表者

伊藤 寿浩

(東京大学大学院工学系研究科 助教授)

「安全・安心のためのアニマルウォッチセンサの開発」

1. 研究実施の概要

本研究では、動物の病態変化解析をもとに、健康状態をモニタする無線センサ端末と、動物集団の健康管理を行うアニマルウォッチセンサネットを開発する。特に、パンデミック対策として、鳥インフルエンザ発生の早期発見システムへの応用に主眼をおいた小型・軽量・フレキシブル・メンテナンスフリーなセンサ端末を、超低消費電力 MEMS センサとフィルムシステム実装技術により実現することで、人への感染防止等、人類の健康確保と食の安全・安心の確保に資することをねらいとしている。

平成 18 年度は、光 MEMS 型マイクロ血流量センサなどを用いて感染鶏実験と病態変化解析を開始するとともに、無線センサ端末の概略設計を行った。また端末を構成する要素デバイスである超消費電力加速度センサ・温度センサのプロトタイプデバイスの設計とそれらの実装技術に関する基礎研究およびデバイス性能評価装置の開発を行った。

平成 19 年度は、平成 21 年度前期末のプロトタイプシステム実現に向けて、鳥インフルエンザ感染鶏の病態解明を進めるとともに、病態変化モデル（デジタルアニマルビヘイビア）の構築を行って、それをもとにセンサデバイスおよび無線センサ端末の最適化設計を行う。また、センサデバイスの製造技術および実装技術を開発するとともに、センサイインターフェース回路を開発する。

2. 研究実施内容

本年度は、無線センサ端末の最適設計に不可欠な感染動物実験を開始するとともに、端末の全体設計と、端末を構成する要素デバイスの原理確認、基本設計および製作プロセスの検討を行った。

A) アニマルウォッチセンシングシステムの開発

動物の健康状態をモニタする無線センサ端末(アニマルウォッチセンサ)と、この端末を用いて動物集団の健康管理を行うアニマルウォッチセンサネットワークシステムを実現するため、以下の研究を行った。

・センサデバイス用常温真空封止実装技術の検討: 本研究で開発するデジタル加速度センサ・温

度センサのためのウェハレベル真空封止実装技術を実現するため、常温封止接合における封止性能シミュレーション手法の開発と封止接合実験用試料および封止性能評価手法の開発を行った。

- ・温度センサ用マイクロ接点評価システム開発: デジタルバイメタル温度センサ用高信頼性接点材料探索および封止環境最適化実験のため、原子間力顕微鏡を利用した環境制御可能な接点評価システムを開発し、Au や Pt などの湿度と凝着力との関係を調べた。

- ・生体適合性実装材料の検討: CaP ベースの有機／無機複合材料を検討し、繊維状リン酸 8 カルシウム (OCP) ファイバーへのナノセルロース繊維の添加がメンブラン化調整に有効であることが分かった。

- ・プロトタイプ端末概略設計: 端末仕様を決定するとともに、圧電加速度センサ用インターフェース回路および電源・クロック制御用カスタム IC に関して基本設計を行った。

- ・鶏のデジタルアニマルビヘイビア構築環境開発: 無線センサ端末による感染動物実験のデータ解析手法を検討するとともに、実験鶏のカメラによるトラッキングを可能にする観察システムを導入した。

B) 鳥インフルエンザ感染動物における病態変化の解析

無線で感染鶏の体温・活動量(加速度)をモニタできるシステムを構築し、実際にセンサ端末を装着した鶏(4週齢)に3種類の鳥インフルエンザウイルス(H5 亜型)を経鼻感染させ、その後の体温と運動量の変化、病変形成、死亡までの時間を調べ、これらの変化とウイルス増殖との関係を調べた。

3種類のウイルス、①2004年に山口県下で鳥インフルエンザが発生した際に分離された超強毒のウイルス(H5N1、山口株)、②2003年に中国から輸入したアヒル肉から分離された強毒のウイルス(H5N1、横浜株)、③2005年に茨城県下で鳥インフルエンザが発生した際に分離された弱毒のウイルス(H5N2、茨城株)を用いて実験を行った結果、超強毒の山口株に感染した場合は、感染後24時間経過した頃から、活動量が低下しはじめ、明確な体温上昇や肉眼病変を伴わず、短時間(平均32時間)で鶏は死亡することが分かった。一方、強毒の横浜株に感染した場合は、30時間後から体温上昇がはじまるとともに活動量も低下し始め、体温は48時間後にピークに達し(約2.5度の上昇)、72時間後から顔面の浮腫、チアノーゼ、脚部内出血などが観察され、約90時間後に死亡した。また、弱毒の茨城株に関しては、明確な体温・活動量変化は認められず、鶏は生存した。ウイルス増殖に関しては、山口株が最も急速に増殖し、ウイルス量が高かった。横浜株の増殖は中程度で、茨城株はわずかであった。

これらの結果から、ウイルスの急速且つ顕著な増殖が、短時間に鶏が死亡に至った原因と考えられた。また、体温上昇は、感染経過が比較的長く、肉眼病変等に伴った場合に出現した。このことから、鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏における病態変化は、ウイルスの増殖力と密接に関係していると考えられる。

C)超低消費電力・光 MEMS バイタルセンサの開発

光 MEMS 技術を用いた無線マイクロ血流量センサのプロトタイプ（電気回路を除いたセンサ本体のサイズ:数 mm 角以下）を実際に鶏に装着してフィールド実験を行った。当初、血流量速度や心拍数が測定可能ではあったものの、ノイズの影響で値の信頼性は必ずしも高くなかったが、ノイズ除去のために行っている信号データの平均化処理に、鶏の心拍が人間よりも4、5 倍高いことを考慮した改善を施すことにより、正確な血流量、呼吸数、心拍数も測定が可能となった。しかし、時折の激しい体動に伴って装着部（測定部）と身体とに大きなギャップ（隙間）が生ずることにより、大きなノイズが発生することもあったため、血流量センサに集積化可能な装着圧モニタリングセンサの検討を行った。

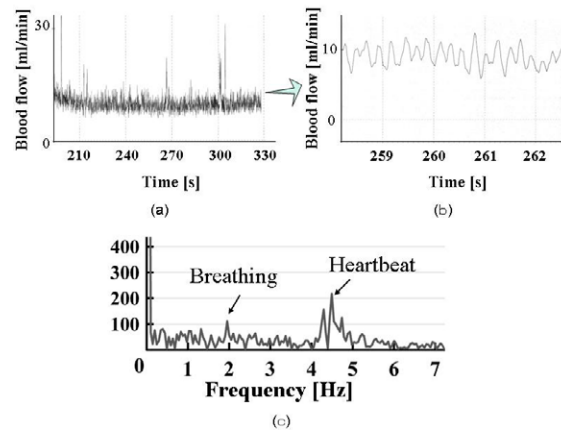


図1 得られた血流量信号とその信号をフーリエ変換して得られた心拍数と呼吸数

D)ネットワーク MEMS デバイスの開発

超低消費電力を実現するための加速度センサ、温度センサの設計および発電デバイス材料の予備実験を行った。加速度センサについては、圧電型加速度センサの設計、すなわち、まず鶏から発生する加速度のデータから、加速度センサの測定レンジを決定し、次に理論計算、有限要素法構造計算によって、要求測定レンジを満たす加速度センサの形状及び製造プロセスを決定した。温度センサについては、まず、薄膜のバimetall材料として適した金属を選定した。次に、鶏の体温でスイッチング可能な構造の検討を、有限要素法構造計算等を利用して行い、単純なカンチレバー型と3本カンチレバー型の2種類について、フォトマスクと製造プロセスを設計した。同時に、カンチレバーの温度変位特性を測定する装置を開発した。発電デバイスについては、PZT系及び非鉛系の圧電材料探索調査及び圧電発電の基本性能に関する予備実験を行った。発電性能を評価するために特性評価装置の試作設計・開発を行い、発電特性を計測することに成功した。

3. 研究実施体制

(1)「システムインテグレーション」グループ

①研究分担グループ長:伊藤 寿浩(東京大学大学院 助教授)

②研究項目

- ・フレキシブルマイクロシステム実装技術
- ・ハイブリッドフィルムアンテナの開発
- ・無線センサ端末設計, センサネットワーク設計・構築

- ・生体インターフェース型センサの検討
- ・鶏のデジタルアニマルビヘイビア構築

(2)「感染実験」グループ

- ①研究分担グループ長:塚本 健司((独)農業・食品産業技術総合研究機構 上席研究員)
- ②研究項目
 - ・感染実験システムの構築
 - ・感染鶏における病態変化の解析

(3)「光 MEMS バイタルセンサ」グループ

- ①研究分担グループ長:澤田 廉士(九州大学 教授)
- ②研究項目
 - ・光 MEMS 技術を用いたマイクロ血流量センサの試作と最適装着位置の確定

(4)「ネットワーク MEMS」グループ

- ①研究分担グループ長:池原 毅((独)産業技術総合研究所 研究員)
- ②研究項目
 - ・超低消費電力温度センサの研究開発
 - ・超低消費電力加速度センサの研究開発
 - ・発電素子の研究開発