

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「先進的統合センシング技術」
研究課題「安全・安心のためのアニマルウォッチセ
ンサの開発」

研究終了報告書

研究期間 平成18年10月～平成24年 3月

研究代表者：伊藤 寿浩
((独)産業技術総合研究所 集積マイ
クロシステム研究センター・副研究セン
ター長)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究では、動物の病態変化解析と、デジタル出力型 MEMS センサ、カスタム LSI などの新たな超低消費電力無線センサ端末用要素デバイスの開発とを行い、平均消費電力が $1\ \mu\text{W}$ 以下となる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)を実現した。また、この端末を用いて、三万羽鶏舎における鳥インフルエンザ発生の早期摘発システムとしても応用可能な、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システムの開発を行った。

感染鶏の病態変化解析では、本研究で鶏実験用に開発したプロトタイプ無線センサ端末等を用いた実験システムを構築し、これを用いることにより、病原性が異なる3株の高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏の病態変化(体温変動、発熱、死亡時間)を明らかにすることができた。また、成鶏は雛に比べて、ウイルスの増殖が遅く、力価も低い、高熱と強いサイトカイン応答を示し、死亡時間が雛の1.5倍長くなることも解った。さらに、ウイルスが鶏へ伝播する機構を調べたところ、病原性の高いウイルスほど伝播力が強く、短時間に大量のウイルスが放出されていることも明らかになった。そして、これらの感染実験データを利用して、農場(鶏舎)の監視プログラムの開発を行った。また、無線センサ端末を用いた実験により、アジアで流行が続いているH5N1ウイルスの病原性の分子基盤が解明され、ウイルスの遺伝子合成が増強されることによって、病原性の高いウイルスが誕生する機構が明らかになった。さらに、鳥インフルエンザウイルスがカモから鶏に馴化するのに必要なNPの2つのアミノ酸残基が世界に先駆けて同定することができた。

これらの病態変化解析データをもとに、超低消費電力無線センサ端末用要素デバイスとして、圧電デジタル加速度(活動量)センサ、バイメタルデジタル温度センサ、表皮効果を低減した高効率 UHF 帯微小ループアンテナ、センサからの信号処理と 300MHz 帯の無線通信機能を有するカスタム LSI、発振回路高速起動用カスタム IC(従来比 1/5 以下の時間で起動を実現)、振動発電システム(2Hz, 0.1G の加速度により 1V 以上の起電圧を実現)、小型・低消費電力血流量センサプローブ等の開発を行った。特に、2つのセンサに関しては、感染変化解析データより病変判別基準を定め、必要な仕様を決定し、それらに基づき、高調波共振現象を利用して鶏の低加速度の動きを検出可能な圧電加速度センサと、実装方法を容易にした in-plane 型バイメタル温度センサを実現した。また、カスタム LSI は上記の病変判別に必要なデータを低消費電力で取得するため、そのデータが入力されたときのみ送信動作を行うイベントドリブン機能を有し、更にそのイベントは鶏の健康状態に応じて自動的に変更するため効率良くデータの取得が可能である。このような動作を低消費電力で実現するため、LSI には演算回路を組み込まず、組み合わせ論理回路で動作するように設計し、低コストである CMOS $0.18\ \mu\text{m}$ のデジタルプロセスで作製した。さらに、センサの入力回路として 15nW 程度で動作する超低消費電力コンパレータを組み込み、端末のスタンバイ時の平均消費電力が $1\ \mu\text{W}$ 以下となるように設計した。これにより、加速度 4 段階の測定は検出回路込みで消費電力 100nW で実現できる。これらの要素を、重量 1.03g(+電池重量 0.6g)、平均消費電力 $1\ \mu\text{W}$ 程度のイベントドリブン方式翼帯型無線センサ端末(基板サイズ: 8mm × 24mm × 1.6mm)を実現した。また、血流量センサプローブ(プローブ重量 2.8g)を組み込んだ無線センサ端末では、6分間隔間欠動作モードで 120 時間連続動作を実現し、鶏実験に適用して日内変動データ等を取得することができた。

開発した無線センサ端末を用いたアニマルウォッチセンサネットを実現するため、送信データ最適化による低消費電力化を行った鳥インフルエンザ早期病変判別方法や、翼章型端末を用いたプロトタイプ鶏健康モニタリングシステムを開発した。このシステムを用いて、実験鶏舎において夏季の暑熱ストレスをモニタリングする実証実験を実施し、例えば、ミスト散布と大型送風機を稼働させた鶏舎においては、暑熱ストレスによる生産性の低下が防止できることがわかった。また、受信機を高性能化することで、通信における端末の負担を軽減するというコンセプトの無線センサ端末用通信システムの開発を行った。具体的には、体温などの送信データ以外の、通信だけに必要な電文情報量を低減することや、端末の送信周波数が同一の場合に生じる電文の衝突を防ぐ多チャンネル化などの機能を有する受信機を開発した。加えて、この受信機で得られたデータを取

り込み、上記の早期病変判別手法用い、感染実験で得られた病態変化解析データベースの参照が可能な養鶏場監視システムを開発した。そして、2011年10月より、実験鶏舎においてこのシステムの実証実験を実施する。

(2) 顕著な成果

1. 「H5N1 ウイルスの極めて高い鶏病原性はウイルス遺伝子合成の増強に起因している。」(論文)

概要:

H5N1 ウイルスの極めて高い鶏病原性はポリメラーゼ系蛋白質であるPB2とNPによる遺伝子合成の増強に起因しており、このうちNPでは105番目と109番目のアミノ酸が遺伝子合成の増強と、カモウイルスの鶏への馴化に関係する主要なアミノ酸であることが明らかになった(Journal of Virology 2011a, 2011b)。

2. 時系列周波数スペクトルデータを用いた多チャンネル同時受信機(特許)

概要: 従来の波高弁別法とは異なり、メモリ内に保存した時系列周波数スペクトルデータから、予め定めた固定電文構造である条件を満たす電文を検出する。検出時に使用する情報量が増加するため高感度化が望めるとともに、ソフトウェア的に検出していることから、多チャンネル化が容易となる。(特願 2010-230526、「信号受信機」)

3. イベントドリブン方式翼帯型無線センサ端末(試作品)

概要: 鶏の健康管理を目的とした、メンテナンスフリー(2年間)で体温と活動量をモニタリング可能な、重量1.03g(+電池重量0.6g)、平均消費電力 $1\mu\text{W}$ 以下のイベントドリブン方式翼帯型無線センサ端末(メイン基板サイズ: 8mm × 24mm × 1.6mm)を試作した。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

本研究では、動物の病態変化解析と、新たな超低消費電力デジタル型 MEMS センサおよび薄型マイクロシステム実装技術の開発とにより、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)を開発する。そして、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を実現することにより、食の安全安心を直接的・間接的に確保するといった方向から、安全・安心な社会の構築に貢献することを目指す。特に、鳥インフルエンザ対策に有効なデバイス・システムを開発することにより、鶏卵・鶏肉の安全の確保と人への感染防止等の人類の健康確保に資することを目的とする。

具体的には、装着された鶏の体温異常変化と行動パターンの異常変化とを検知して、鳥インフルエンザ感染の可能性を検知するメンテナンスフリーの無線センサ端末を開発する。そのため、まず、鶏に装着して無線で体温、加速度等が測定可能なプロトタイプセンサ端末と観察カメラシステムとを用いてウイルス感染実験を実施する。これにより、鳥インフルエンザウイルス感染鶏の病態変化とセンサ出力との関係のデータベース化・解析を行って、新規に開発する超低消費電力センサの仕様を明らかにする。開発するセンサ端末は、超低消費電力を特徴とするデジタル型 MEMS 温度・加速度センサ、信号処理などを行う超低消費電力カスタム IC、無線通信システムオンチップ、ハイブリッドフィルムアンテナ、インピーダンス整合回路、充電用フィルムコンデンサから構成され、研究期間終了時には、サイズ 6 mm × 30 mm × 0.1 mm 以下、重量 1g 以下、消費電力 1 μ W 程度のフレキシブルフィルム(絆創膏型)端末を実現する。鶏舎監視システムでは、端末が 0.3~1%程度の鶏に装着され、端末への電力送信と端末からの信号受信を行う中継機アンテナが半径 10 m 毎に設置される。そして最終的には、端末の低消費電力化と電力受信効率の向上で、中継機からの供給電力のみで動作するシステムを実現する。

また、抗インフルエンザ薬開発やワクチンの開発等における動物実験に応用するため、感染実験用プロトタイプ端末の発展形として、プロトタイプ端末に脈拍・血流速センサ等を追加し、小型化・低消費電力化を行った上位センサ端末も開発する。研究期間終了時に実現されるこの上位端末の主な目標仕様は、重さ 3g 以下、連続動作時間 80 時間である。

このような無線センサ端末を実現するためには、従来のアナログ式の温度センサや加速度センサに替え、検出すべき(範囲の)物理量が入力されたときのみスイッチが入るような新たなコンセプトのデジタル型の(待機電力ゼロの)超低消費電力化センサの開発が不可欠である。また、従来の端末が送受信を行う通信方法ではなく、電波充電で供給できる限られた電力で、効率的な通信を行うセミアクティブ型の超消費電力通信手法の確立も必要である。さらに、構成デバイスをフィルム基板上に集積化するために、新たな薄型マイクロシステム実装技術、すなわちフィルム積層・転写技術、フィルムチップハンドリング技術、ウェハレベル MEMS-CSP(チップサイズパッケージ)技術、低温フリップチップボンディング技術など従来の半導体実装とは異なる実装技術を確立する。

具体的な、研究終了時の当初目標は以下の通りである。

- ・センサ: 温度センサ、加速度センサについて信号検出回路及び無線通信回路と組み合わせて動作確認を行い、目標とした消費電力 100 nW 以下、温度測定精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、加速度4段階を実現する。血流速センサについては、低消費電力化のために短時間での間欠動作で連続動作と同等の測定精度が得られるセンサイインターフェース回路を開発することにより、連続動作時の消費電力 1 mW 以下を実現する。
- ・動物実験用端末: 連続動作時間80時間、重量 3 g 以下の、血流速センサ、加速度センサ、温度センサを搭載した動物実験用(病変データ取得用)無線端末を完成させる。
- ・鶏ウォッチセンサ端末・ネットワークシステム: 距離 10m で受信電力 1 μ W 程度のレクテナを備え、開発した温度センサおよび加速度センサと最適化設計されたカスタムICを搭載したメンテナンスフリーフレキシブル端末(サイズ: 6 mm × 30 mm × 0.1 mm 以下、重量 1 g 以下、消費電力 1 μ W 程度)を実現する。また、三万羽鶏舎(実鶏舎)に対応可能な鶏ウォッチセンサネットワークシステムを完成させるべく、県の養鶏試験所において、数百羽の健康鶏にセンサ端末を装着し、装着したすべての鶏の健康状態を動物衛生研究所でモニタできるネットワークシステムを構築して、有効性の

検証を行う。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

ウイルス感染実験による病態変化解析については、無線センサ端末およびアニマルウォッチセンサネットの開発を進める中で必要性が明らかとなった、“鶏舎内におけるウイルス伝播機構の解析”と“成鶏の病態変化の解析”を新たに追加実施した。また、学術上意義の高い新たな展開として、“病態変化と関係するウイルスアミノ酸の同定”および“脳高増殖ウイルスの作出とその分子基盤解析”の2つのテーマを追加した。

無線センサ端末の開発(アニマルウォッチセンサ)については、電波充電(レクテナ開発)と薄型マイクロシステム実装技術の開発に関して計画を修正した。レクテナの開発については、遠距離電力伝送時の電波法認可の問題や、電力収集効率改善に伴うレクテナ(端末サイズ)の大型化の問題などから、レクテナの代わりに振動発電装置で電力を確保するとともに、微弱無線規格での高効率アンテナの開発を行うことにより無線センサ端末の低消費電力化を実現して、メンテナンスフリー化の目標の達成を目指すこととした。従って、当初計画で予定していた、レクテナおよびハイブリッドフィルムアンテナの開発は途中で中止し、322MHz 以下の微弱無線規格に対する高効率小型アンテナの研究開発を行ってきた。また、薄型マイクロシステム実装技術に関しては、研究開発を進める過程で、端末のフレキシブル性を確保する手段として、チップの小型化および分散配置によっても実質上可能であり、すべての端末構成要素をフレキシブル化することの優先順位は高くないとの結論に至った。そのため、フィルム積層、フレキシブルコンデンサ、フィルム電池、薄型チップ実装等の研究開発については、これを行わないこととし、コンデンサに関しては、小型の超高容量のチップセラミックスコンデンサの開発を追加項目として実施した。

アニマルウォッチセンサネットの開発および実証実験に関しては、鶏舎監視システム(中継機を含む)の開発の過程で、“通信電文の衝突回避技術の開発”、“ID 管理を必要としない鶏の位置検出技術の開発”および“体温・加速度(活動量)による早期病変判定”のテーマを新たに追加実施した。また、実証実験を検討するなかで、鶏の体温と気温などの飼育環境との関係を調査することで夏季の暑熱による生産性の低下を未然に防止する飼育管理システムの開発の検討も新たに追加した。さらに、アニマルウォッチセンサネットの適用拡大による早期実用化を目指して、子牛の呼吸病感染早期発見システムの開発および血流センサ端末の牛の発情検出システムの適用検討を新たに追加した。

§ 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 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
須賀 唯知	東京大学	教授	H18.10～H24.3
伊藤 寿浩	東京大学	助教授	H18.10～H19.7
小林 郁太郎	東京大学	教授	H18.10～H24.3
佐久間 一郎	東京大学	教授	H18.10～H24.3
横井 浩史	東京大学	准教授	H18.10～H20.5
横井 浩史	電気通信大学	教授	H20.6～H24.3
重藤 暁津	東京大学	助手	H18.10～H19.8
増田 誉	東京大学	産学官連携研究員(非常勤)	H18.10～H24.3
梅田 智広	東京大学	産学官連携研究員(特任助教)	H18.10～H24.3
神保 泰彦	東京大学	教授	H19.4～H24.3
中村 健三	セイコーエプソン株式会社	副主幹	H19.4～H24.3
山田 英明	セイコーエプソン株式会社	主事	H19.4～H24.3
中村 公亮	太陽誘電株式会社	研究員	H19.7～H24.3
岡田 浩尚	東京大学	産学官連携研究員	H19.4～H20.2
山下 崇博	東京大学	技術補佐員, D	H19.10～H23.3
一木 正聡	東京大学	准教授	H20.3～H24.3
和田 洋平	東京大学	M2	H20.4～H21.3
竹田 皓平	東京大学	M2	H20.4～H21.3
藤井 俊行	東京大学	M2	H20.4～H21.3

② 研究項目

- ・温度センサ用高信頼性接点技術
- ・小型の超高容量のコンデンサを用いた電池長寿命化技術の開発
- ・動物用実装技術
- ・生体インタフェース型センサ
- ・無電力加速度センサ・振動発電素子の開発
- ・322kHz 以下の微弱無線規格に対する高効率小型アンテナの開発
- ・カスタム IC 設計・試作
- ・ネットワークシステム(中継機)開発
- ・通信電文の衝突回避技術の開発
- ・ID 管理を必要としない鶏の位置検出技術の開発
- ・鶏ウォッチセンサネット構築と有効性検証
- ・発電デバイスの開発
- ・映像を利用したアニマルウォッチシステム開発
- ・鶏のデジタルアニマルビヘイビア

(2)「感染実験」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
塚本 健司	動物衛生研究所	上席研究員	H18.10～H24.3
鈴木 耕太郎	動物衛生研究所	特別研究員	H18.10～H24.3
多田 達哉	動物衛生研究所	特別研究員	H20.4～H24.3
真瀬 昌司	動物衛生研究所	主任研究員	H20.4～H21.3
穴戸 牧子	動物衛生研究所	派遣職員	H20.4～H24.3
桜井 優	動物衛生研究所	派遣職員	H21.4～H23.3
野原 幸子	動物衛生研究所	研究補助	H20.4～H22.3
新井 鐘蔵	動物衛生研究所	上席研究員	H23.5～H24.3
宮本 亨	動物衛生研究所	上席研究員	H23.5～H24.3

② 研究項目

- ・感染実験システム構築
- ・感染鶏における病態変化の解析
- ・鶏舎内におけるウイルス伝播機構の解析
- ・成鶏の病態変化の解析
- ・病態変化と関係するウイルス側遺伝子の同定
- ・病態変化と関係するウイルスアミノ酸の同定
- ・脳高増殖ウイルスの作出とその分子基盤解析

(3)「光 MEMS バイタルセンサ」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
澤田 廉士	九州大学	教授	H18.10～H24.3
澤江 義則	九州大学	準教授	H18.10～H21.3
宗 知紀	九州大学	助教	H21.4～H24.3
清水 祐子	九州大学	研究補助員	H18.10～H23.9
瀬戸 涼	九州大学	M1－M2	H18.10～H21.3
野上大史	九州大学	M2－D3	H20.4～H22.3
明瀬 憲由	九州大学	D1－D3	H20.4～H22.3
岩崎 渉	九州大学	M1－D1	H20.4～H24.3
井口宗久	九州大学	M1－M2	H20.4～22.3
松岡史生	九州大学	M1－M2	H21.3～H23.3
伊藤宏記	九州大学	M2	H22.4～H24.3
堤可奈子	九州大学	M2	H22.4～H24.3
中村匡輝	九州大学	M1	H23.10～H24.3
五反田剛志	九州大学	M1	H23.10～H24.3
彭 瑤	九州大学	M1	H23.10～H24.3
小山郁子	九州大学	研究補助員	H23.10～H24.3

② 研究項目

- ・超低消費電力・光 MEMS バイタルセンサの開発

(4)「ネットワーク MEMS」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
伊藤 寿浩	(独)産業技術総合研究所	研究グループ長	H19.7～H23.3
池原 毅	(独)産業技術総合研究所	主任研究員	H18.10～H23.3
一木 正聡	(独)産業技術総合研究所	主任研究員	H18.10～H20.2

小林 健	(独)産業技術総合研究所	主任研究員	H18.10～H23.3
張 毅	(独)産業技術総合研究所	研究員	H18.10～H23.3
宮澤 伸一	(独)産業技術総合研究所	非常勤職員	H19.4～H19.10
余 静	(独)産業技術総合研究所	契約職員	H19.7～H20.3
岡田 浩尚	(独)産業技術総合研究所	研究員	H20.3～H23.3
田中 久美子	(独)産業技術総合研究所	契約職員	H20.4～H22.3
田中 雅子	セイコーエプソン(株)	部長	H19.4～H19.11
押尾 政宏	セイコーエプソン(株)	主任	H19.4～H20.1
野上 大史	(独)産業技術総合研究所	特別研究員	H23.4～H24.3

② 研究項目

- ・温度センサの開発
- ・加速度センサの開発
- ・MEMS センサ共通実装プロセス開発
- ・体温・加速度(活動量)による早期病変判別基準の設定
- ・アニマルウォッチセンサの牛の健康モニタリングに対する有効性の検証

(5)「実証実験」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
須藤 正巳	茨城県畜産センター 養鶏研究室	室長	H21.4～H24.3
戸田 尚美	茨城県畜産センター 養鶏研究室	主任	H23.4～H24.3
森田 幹夫	茨城県畜産センター 養鶏研究室	臨時職員	H22.4～H24.3
小川 慎吾	茨城県畜産センター 養鶏研究室	臨時職員	H20.4～H24.3
大窪 敬子	茨城県畜産センター 養鶏研究室	主任	H21.4～H23.3
前田 育子	茨城県畜産センター 養鶏研究室	室長	H20.4～H22.3
今井 太郎	茨城県畜産センター 養鶏研究室	主任研究員	H20.4～H21.3
埴和 靖俊	茨城県畜産センター 養鶏研究室	主任	H20.4～H21.3

② 研究項目

- ・養鶏現場におけるアニマルウォッチセンシングシステムの構築

§ 4 研究実施内容及び成果

4. 1 アニマルウォッチセンシングシステムの開発(東京大学 システムインテグレーショングループ)

(1)研究実施内容及び成果

本研究グループでは、超低消費電力無線センサ端末用要素デバイスとして、センサとの信号処理と 300MHz 帯の無線通信機能を備えたカスタムLSIや高効率小型アンテナ、端末の通信時の消費電力を低減する高機能受信機などの開発を行った。

カスタム LSI の開発では、1.55 V の小型ボタン電池で動作し、体温、加速度を常時モニタリングするスタンバイ時の消費電力が $0.5 \mu\text{W}$ 以下となるように設計を行った。無線センサ端末の動作フローを図1に示す。体温、加速度は常にモニタリングしており、データの取り込みや送信動作は、必要なデータの入力が検出されたときのみに行われる(イベントドリブン動作)ため、タイマー動作のように不要なデータを取り込むことはなく、端末の低消費電力化が可能となる。本端末では2つの動作モードがあり、これはバイモルフ温度センサにより決定される。バイモルフ温度センサは鶏の体温が 30°C 以下となる場合(死亡)、 42°C 以上となる場合(発熱)を検出し、 $30 \sim 42^\circ\text{C}$ 以内であれば通常体温、それ以外であれば異常体温と判断する。通常体温の場合は、鶏のある閾値以上の加速度を伴う動きの回数をカウントし、そのカウント値がある閾値以上になったとき送信イベントを発生する。カウントする理由は、上記のある閾値以上の加速度検出時毎に送信すると送信回数が増加して消費電力が増加するためであり、また加速度閾値を増加した場合には、取得したい動作が検出できないためである。送信イベントが発生すると、サーミスタを用いた体温測定がおこなわれ、その体温データのみを電文で送信する。鶏の加速度(活動量)のデータは、電文の受信頻度で分かるため、端末の送信時の消費電力を低減するために、加速度のデータは電文には含有しない。一方、異常体温時には、鶏が元気喪失し、通常体温時のように加速度によるイベントが発生されない可能性がある。その場合でも、例えばウイルス株の毒性を感染実験データと比較して判断するためには体温データ履歴が必要になるため、タイマー動作により送信イベントを発生させ、通常体温時と同様に体温データのみを送信する。

設計の基本コンセプトとして、この LSI には消費電力の増加となる演算回路を組み込まず、組み合わせ論理回路を用いることとした。但し、端末の送信周波数やセンサの信号処理に必要な参照電圧値などの設定は、部品実装後に設定する必要があるため、これらについては One Time Programmable ROM (OTP)を用いて、実装後に設定できるようにした。演算を行うことがなくなったため、信号処理においては高周波クロックを使用する必要がなくなり、低消費電力で動作可能な低周波クロックを用いることにした。通常の Micro Controller Unit (MCU)ではスリープ動作時などの低周波クロックとして 32kHz の水晶振動子を用いてクロック信号を生成しているが、本 LSI では、クロックの精度や信号処理速度を必要としないため、水晶振動子ではなく、低周

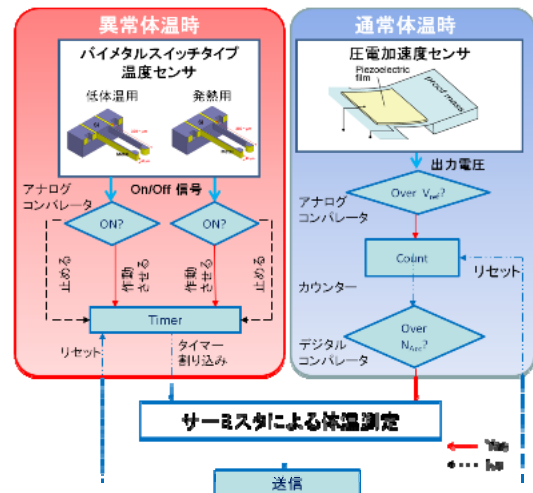


図 1 無線端末の動作フロー

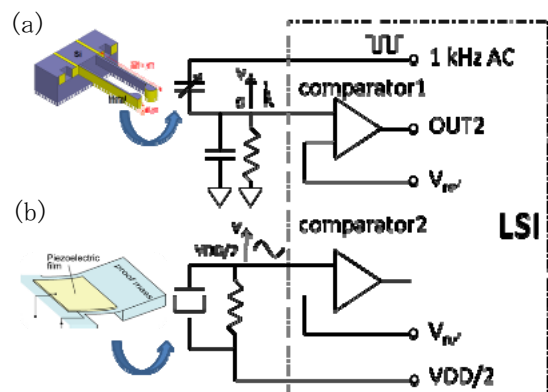


図 2 (a)温度センサ、(b)加速度センサと LSI のインターフェイス回路

波 RC 発振回路により 1kHz のクロック信号を生成することとした。その消費電力は、計算値で 130nA 程度である。

センサからの入力信号を常時モニタリングする信号入力回路については、本 LSI では低消費電力化のため、増幅は行わずに直接 1bitA/D 変換、或いは積分型 10bitA/D 変換を行うこととした。デジタル出力MEMSセンサは、そもそもその信号処理を 1bitA/D で行うことを前提としている。1bitA/D 変換の候補回路は CMOS インバータとコンパレータである。CMOS インバータの静的消費電力は CMOS トランジスタのオフリーク電流であり、ほぼ無視できる消費電力であるが、出力が反転する閾値電圧が固定であり、かつその電圧値は電源電圧($V_{dd}=1.55V$)の半分(775mV)程度である。また、センサからの入力電圧が閾値電圧付近のときには貫通電流が流れるため、瞬時に電圧値が High から Low レベルに変化する信号でない場合には大きな電力が消費される。一方、コンパレータの消費電力は CMOS インバータと比較すると大きくなるが、出力が反転する閾値電圧値は自由に設定できる利点を持つ。

圧電加速度センサの出力特性はバラつく可能性があるため、すべての端末における加速度の感度を一定にするために、そのバラつきを吸収する必要がある。そのため、参照電圧を設定することで、閾値を自由に設定できるコンパレータを加速度センサの入力回路に採用した。コンパレータは、電源電圧と GND の半分の電圧値が入力信号の電圧値となるときの最速で動作するため、図2(b)のような回路により、印加する加速度が0の場合の加速度センサ出力を $V_{dd}/2(V)$ とした。コンパレータの消費電力はほぼバイアス電流で決定されるため、この値を 10nA として設計した。この際、超低消費電力であるため安定性、耐ノイズ性を確認する必要があったが、実際に TEG チップを作製し、テスト端末により鶏に装着しても誤動作しないことが確認した。コンパレータのバイアス電流も含めた消費電流は 20nA であり、加速度の4段階検出を行う場合でも消費電流値は 50nA (バイアス電流:10nA、コンパレータ:10nA × 4) 程度となる。

加速度センサ用コンパレータの参照電圧発生回路では、加速度センサの出力が鶏の低加速度(0.05G)では数 mV 程度であることや、コンパレータのオフセット電圧を考慮する必要があるため、1mV の分解能で多段階に設定可能な機能が必要となる。図3はそれを実現する 0.76~0.792mV までの分解能 1mV 程度で 32 段階の参照電圧が設定可能な回路である。上下に電流値を制御するトランジスタがあり、その間に2つのカスコード接続されたトランジスタが抵抗値を変えて 31 個並列に接続された構造である。通常はすべて直列に接続し、抵抗分割回路を構成するが、今回はアナログ・ミックスプロセスを使用していないため、純抵抗ではなく、トランジスタを抵抗要素として使用している。この場合、設計ではトランジスタの基板バイアス効果を考慮する必要があるが、すべてのトランジスタが、互いに影響を及ぼすため独立して1つのトランジスタの抵抗値を決めることができない。そのため今回のような32段階の電圧値が必要な場合にはカスコード接続構造では設計がほぼ不可能である。そこで図3のような構造を考案し、並列に接続されたそれぞれのカスコード接続トランジスタを独立して設計可能な構造とした。この参照電圧発生回路の消費電流は計算値で 13nA 程度である。

バイメタル温度センサでは温度の変化を2つのカンチレバー間のキャパシタンスの変化として捉える。本研究では、42℃と 38℃が検出できれば良いとしたため、2つのカンチレバーによりそれらの温度を検出する。この場合も A/D 変換の分解能は 1bit で良いため、その回路候補は CMOS インバータとコンパレータになる。カンチレバーには、図 2(a)のように 1kHz のクロック信号をセンサに入力し、キャパシタンスの増加によりカンチレバーを通過した信号が入力されるため、 $V_{dd}/2V$ 以上の入力電圧にすることが容易であり、更にその電圧波形はパルス波形を微分した波形と

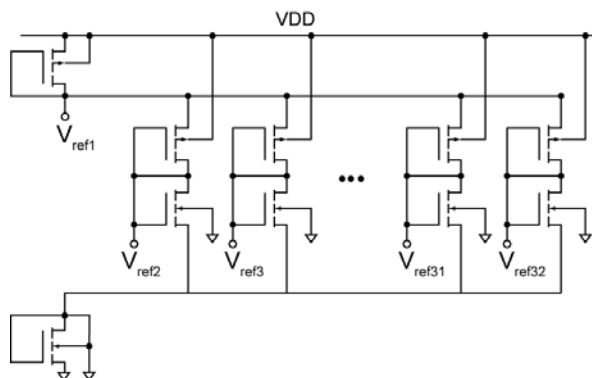


図3 加速度センサ用コンパレータの参照電圧に使用する、分解能 1mV、32 段階の on-chip 基準電圧発生回路

なるために貫通電流は無視できる程度となる。加えて、センサのバラつきも図2(a)の抵抗用途で用いたトランジスタにより調整が可能となるため、温度センサ用の入力回路には消費電流の小さいCMOSインバータを採用した。

サーミスタの入力回路には 10bit の積分型 A/D 変換回路を採用した(図4)。上記の動作フローで説明したようにサーミスタは送信時毎に測定を行うため、この回路でも低消費電力化が必要であり、閾値の調整も必要である。そのため、加速度センサのコンパレータと同様のコンパレータと、1kHz のクロック信号によるカウンタを用いた。但し、参照電圧は 1mV の分解能を必要とせず、広電圧範囲での調整が必要なため、Vdd から 0.1V を 16 分割した参照電圧発生回路を別に設け、それを使用する。シミュレーションでの温度測定精度は 0.2℃程度であり、10 分に 1 度の送信頻度での平均消費電流は計算値で 13nA 程度となる。

鶏ウォッチセンサネットで使用する端末では、1つの圧電加速度センサ、2つのバイメタルセンサ、サーミスタで計 4 つのコンパレータと(10nA × 4 = 40nA)、1 つのコンパレータ用バイアス電流(10nA)、32 分割参照電圧回路(13nA)、16 分割参照電圧回路(16nA)を使用する。加えて 1kHz クロック(134nA)とロジック部のオフリーク電流(22nA)がスタンバイ時の消費電流となり、足し合わせると 235nA となり、1.55V の電源では消費電力は 0.364 μW となる。

本システムの無線通信では、通信における端末側の負担を低減して消費電力を削減し、その分受信機を高機能化して通信の品質を保つことを基本コンセプトとした。そのため、通信は、端末からの単方向通信であり、変調方式は周波数偏移変調(Frequency shift keying: FSK)とし、スペクトラム拡散などは行わない。FSK は位相同期回路(Phase Locked Loop: PLL)で直接周波数を偏移させる PLL 方式である。送信周波数は、例えば 2.4GHz などではボーレートを高くすることができるが、空間でのエネルギー減衰量が大きく、遠距離の通信を行うには放射電力を大きくする必要がある。一方で、例えば 300MHz 帯では、上記と逆の特性となる。本端末では、鶏の体温データしか送信しないため、高速なボーレートは必要ない。そのため、送信周波数帯を 310~320MHz とした。この帯域を、200kHz 毎に区切り、50 の送信チャンネルを設定可能にした。データレートは 1~100kbps まで変更可能であるが、受信機の仕様により 12.5kbps で動作させる。PLL は 40MHz の基準クロックを用い、その消費電流は計算値で 1mA 程度である。RF パワーアンプには H ブリッジ型 D 級パワーアンプを用い、高効率な出力段となっている。

図5は設計した LSI のレイアウト図である。サイズは 2.43mm 角であり、低コスト化のため、0.18 μm CMOS ロジックプロセスにより作製した。

本 LSI は、端末の小型化、メンテナンスフリー化を実現するための要となるものである。特にセンサからの入力回路に用いているコンパレータと参照電圧発生回路により、感度調整が必要な MEMS センサを容易に使用可能とし、MEMS センサ開発側の負担を LSI により低減している。また、それらを数十 nA の消費電流で動作させることを可能にしたことで、体温と加速度の常時モニタリ

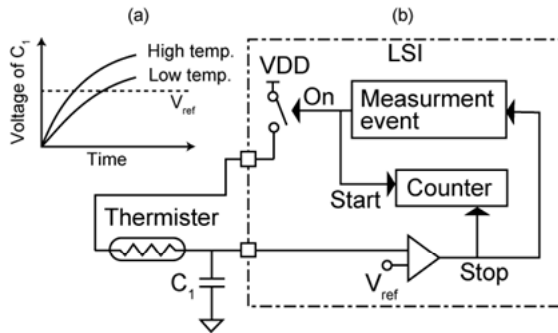


図 4 サーミスタの入力インターフェース回路

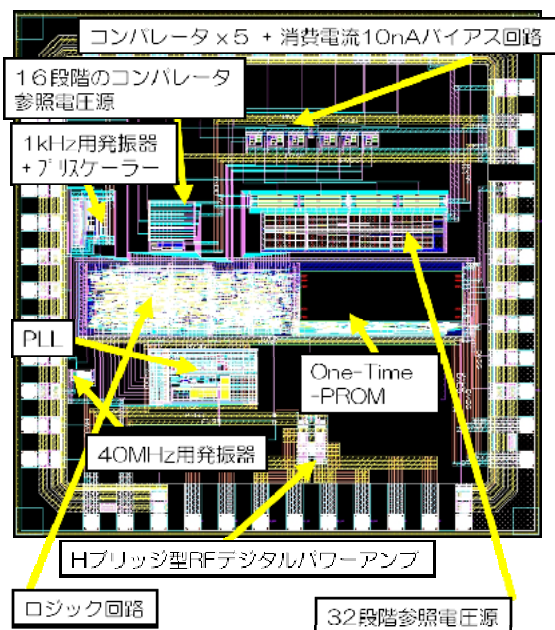


図 5 設計した LSI のレイアウト図

グを可能にした。

低消費電力を謳う MCU や RF-IC は様々な企業で開発されているが、本 LSI は目的に特化しているものではなく、汎用性を有しているため、その分消費電力が高い。一方で、本 LSI は鶏の健康モニタリング用として開発しているが、体温、加速度(活動量)のモニタリングによる健康管理は多くの生体にとって有用なものであるため、無線センサ端末による健康モニタリング用の LSI としては広く活用できる可能性がある。

本研究で使用する受信機では、仮に 3 万羽鶏舎の 5% の鶏に端末を装着する場合、1500 個の端末を同時に受信できる機能を必要とするため、同時多元接続技術が必要とする。本研究での通信のコンセプトは、前述したように端末に負担をかけないことであるため、信号処理量の少ない周波数分割多元接続法(Frequency Division Multiple Access: FDMA)がその手法として望ましい。

本受信機では、広帯域の電波情報を時系列でメモリに取り込み、その中から予め定めた電文であるはずの条件を満たす情報を抽出する。図6はリアルタイム・スペクトラムアナライザで測定した (a)時系列の電波情報と、(b), (c)図中のある2点の時間でのスペクトルを示している。図6(c)の時系列データ中心付近にある信号は FSK された電波の電界強度を示しており、図の上から下に向かう(現在に近い)ほど電界強度が高い。実際に図6(a)では信号が認識できるが、図6(b)では信号が認識できない。しかしながら、時系列データである図6(c)をみると信号を認識できる。このように、時系列データを用いることにより受信感度の増加ができる可能性があることがわかる。また、従来では電波情報を保存しないため、電文のヘッダー情報からクロック同期や、フレーム同期などを行い、万全の検出状態を整える必要があるが、本受信方式では電波情報がメモリに保存されているため、電文の詳細な解析が可能になる。そのため、ヘッダー情報は電文の先頭を示す固定 2bit(1・0 or 0・1)で十分な可能性がある。加えて、図6(c)のように広帯域で電波情報を取り込み、高速デジタル演算により多チャンネルで同時に電文の検出が可能になる。

図7は試作した受信機の回路図と写真である。90° 位相を偏移した信号をそれぞれ A/D 変換し、FFT を行う。FFT と電文抽出を行うデジタル演算は FPGA を用いている。FFT により得られた時系

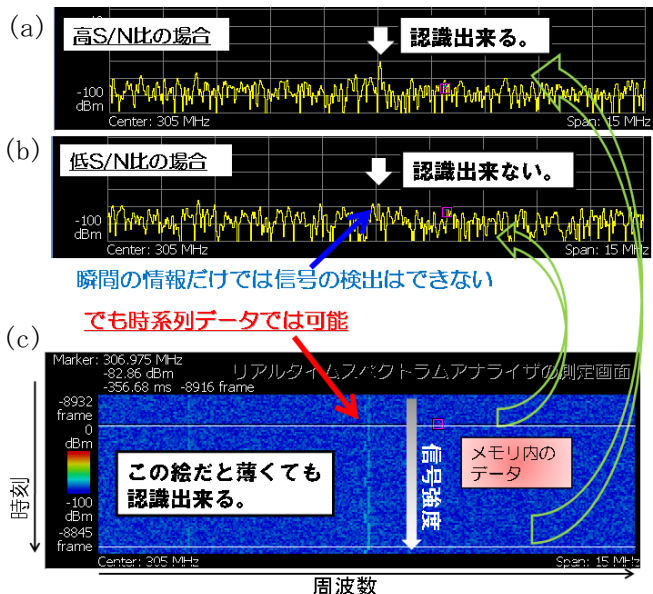


図6 リアルタイム・スペクトラムアナライザで受信した信号(305MHz)例

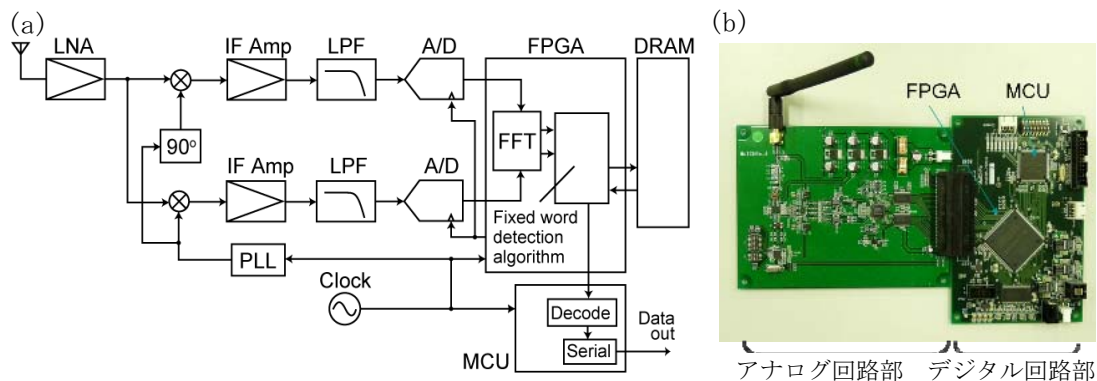


図7 試作した受信機の(a)回路図、(b)写真

列周波数スペクトルデータからの電文の抽出は、予め定めた電文の条件を満たすかどうかを判定することで行う。実際に図6(c)で S/N 比が低い信号が認識できる理由のひとつは、信号の規則性が予めわかっているためである。本受信システムは、310～320MHz を200kHz 毎に区切ってチャンネルを定め、変調を FSK、ボーレートを 12.5kbps、電文の先頭 2bit は 01 とし、電文は連続して送信しないと定めた。FSK であるため、仮にチャンネル1 を310.0～310.2MHz とすると、デジタル信号が 0 では 310.0MHz、1 の場合には 310.1MHz の電波を送信する。これらの条件から電文の先頭 2bit を満たす条件を、波高弁別法のようにある閾値との比較ではなく、異なる2つの周波数、時間でのスペクトル強度を比較する手法で行う。

試作した受信機では、RF 信号発生機により2bit の固定文を用いた電文を、受信機と直接接続して送信した結果、-105dBm 程度の信号強度まで受信できることがわかった。

本受信機は、端末の送信時の低消費電力化を行う上で極めて重要なものである。これまでの受信機では、1つの受信チャンネル(周波数)を選択し、そのチャンネルの電文の復調を波高弁別法により行っている。この手法では1つのチャンネルにつき1つの復調回路を必要とすることになり、FDMA により多数のチャンネルを同時に受信する必要がある場合には、回路規模が膨大になる。また、波高弁別法では閾値を基準として復調を行っており、S/N 比が低い場合には当然復調が難しくなるが、このような低 S/N 比でも受信を行うことが可能な高感度受信が実現できれば端末の放射電力を低減し、端末の低消費電力化に役立つ。加えて、現状では信頼性の高い受信を行うために、電文には受信に必要な同期を行うためのヘッダー情報がある。本研究では送信データは鶏の体温の 10bit だけであり、その場合には電文のヘッダー情報の割合が高くなり、通信のエネルギー効率が悪くなる。このような課題に対し、時系列周波数スペクトルデータから電文を抽出するという手法は世界にも例がない。(特願 2010-230526)

高効率小型アンテナの開発では、鶏に食いちぎられることの無いように端末内に収めることが前提であるため、他の部品との実装を考慮した設計を行う必要がある。アンテナ形状は、無線センサ端末への実装を考慮し、LSI や MEMS センサを効率良く実装可能であり、更に生体に装着する場合には、生体での減衰が低いと考えられる磁界型アンテナのループアンテナを採用した。端末の形状は翼帯型であるため、端末の装着時には端末の一部で 180 度程度曲げられている構造が存在する。ループアンテナの性質としては、ループが一部 180° 程度曲がると、その部分では電流が流れる方向が逆方向になる部分が存在し、その部分での放射される電力が打ち消しあうことになる。そのため、端末には曲がらない構造を持つ、リジッド-フレキシ構造を採用し、リジッド基板の周囲にループアンテナを形成することとした。一般的に高周波信号を信号線に流す場合には表皮効果が生じ、300MHz の信号を流す場合には表皮厚さは $3.8\mu\text{m}$ 程度になる。そこで、本アンテナでは、高周波機器で使用される Litz 線のように、多層プリント基板を用いて並列にループアンテナを構成し、表皮効果を低減する手法を考案し、 $8\text{mm} \times 18\text{mm} \times 1.6\text{mm}$ の6層基板を用いて試作を行った。その結果、0dBm の入力で 150m 程度送信できることがわかり、無線センサ端末に実装した。300MHz 帯のアンテナでここまで小さくしたアンテナに関する研究は世界的にもほとんどない。

MEMS 共通実装プロセスの開発では、封止実装については、封止評価デバイスの開発では、封止されたキャビティ空間の圧力を0.1Pa まで測定可能なウエハレベルとチップレベルの封止評価デバイスの開発を行った。封止接合に関しては、Fe ナノ密着層による表面活性化接合を Si ウエハ同士の接合に適用する過程を検討し、接合界面に Fe-Si 結合が形成されることで、強固な結合強度が実現できていることが明らかになった。この界面を用いれば、Si を中間層として、これを Fe ナノ密着層と共に用い、適用範囲を広げることが出来た。とくに、従来困難とされてきたイオン結合性の同種及び異種材料の常温接合が可能であることを示すことが出来た。

温度センサ用高信頼性接点技術の開発では、MEMS デバイスにおいて微小可動部が隣接す

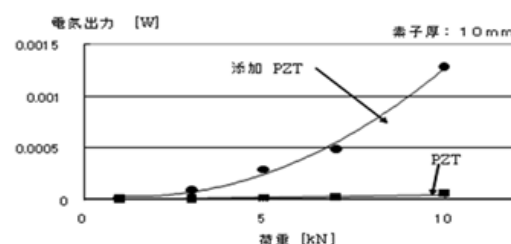


図8 材質制御の効果（添加物）

る構造体に固着するスティクション問題を解決するため、導電性を備えた低表面エネルギー膜を形成するチオフェノール、及びナフタレンチオールをスイッチ型温度センサのスティクション防止膜として選定し、それらを成膜した試料を用いて付着力や接触抵抗の定量評価を行ったところ、一般的なスイッチ電極材料である金薄膜と同程度の接触抵抗(約 $1\ \Omega$)でありながら、付着力は 6~7 割程度低くなることが明らかとなった。また、それら膜は防汚性も備えており、汚染物が吸着しやすい金薄膜と比較して 7~8 割程度低い約 $4\ \mu\text{N}$ の接触力で安定的な導通が得られることを確認した。さらに、膜の実デバイスへの適用を想定し、アレニウスモデルに基づく温度加速試験として約 3 年の実使用時間に相当する 140°C で 100 時間保持した成膜試料を用いて付着力や接触抵抗を定量評価したところ、スティクション防止性や防汚性に大きな劣化は見られないことを確認した。

発電デバイスの開発では、発電特性を評価するための計測系を静加引力試験、振動実験台を用いた振動実験用に整備した。これらを用いて、標準的な圧電素子による特性評価実験を行い、その発電特性を明らかにした。その中で、ペロブスカイト B サイトへのドナー添加による組成制御は出力を向上させることを確認した。添加組成として、約 10 種類の添加物と、複合化及び構造特性を評価した。その結果、Nb、La などの元素添加が出力を向上させることを明らかにした。添加組成や振動特性との相関についても明らかにした。(図8) 基礎的な特性評価はほぼ予定通り行い、システム構築に向けて構造設計を行いつつある。研究計画に沿った展開を進めている。

本研究の成果として、出力電力が、応力速度に比例することと添加物効果及びその組み合わせに適否のあることが挙げられる。一方、システム化の検討においては、構造最適化を行うための計算ツールを整備し、特性出力の最適化のための検討を行なった。また、受動素子内蔵基板の研究では、その付着特性を評価すると共に、剥離プロセスにおける特性要因を明らかにした。さらに、実装技術への適用のために中間層を用いた接合技術によるその技術基盤を確立した。

動物用実装技術に関する研究では、動物への装着、埋入を長期可能とする高い生体親和性、かつフレキシブル性、防水性、引張強度など材料物性に優れた高機能性膜の開発を行った。生体親和性の高いアルギン酸とセロウロン酸複合膜を Ca イオンによる架橋により作製することで、セロウロン酸溶液の含有量が多い程、体積膨張率が抑えられることおよび弾性率が增加することが分かった。また、HAp繊維との複合化による製膜も成功した。しかし、いずれも動物飼育環境下での長期安定な物性は維持できなかった。強度改善には膜の積層化など工夫する必要があると考えられた。そこで、膜の開発目標を変更し、長期使用に耐えうる装着性に優れた電極シートの開発を行った。また、長期使用に耐えうる電極の開発として、耐動物環境に相応しい生体適合性、力学的強度を有する優れた専用電極シートを開発した。作成したシートは、基剤に PE、接着剤に医療用アクリル酸塩、ハイドロゲルには Aqua-Tac を用いた。生体適合性評価においては、ISO10993-1 テストを実施し、接着剤、ハイドロゲルともに毒性、皮膚刺激性、感作性はクリアした。

生体インターフェース型センサに関する研究では、長期データの計測により、データには体動に伴うエラー値が多く含まれることが分かった。そこで、RR 間隔から得られる瞬時心拍数に着目し、下記のような 1 拍 1 拍間の差異を活用したフィルターを考え、エラー値除去によるデータの信頼性向上について検討した。また、計測条件の絞り込みを行った。データの信頼性向上としては、フィルターによるエラー値除去により解析精度が向上した。オリジナル電極の活用により、安定かつ正確に長期データの計測・蓄積が行えるようになった。また、計測条件の絞り込み・決定に関しては、健常鶏の連続データ計測の結果、日内変化の特徴は外部環境の変化、特に明期および暗期による影響が大きいことが分かった。ストレスが及ぼす平均心拍数、自律神経活動値など鶏生体情報への影響を調べるには、より安定、正確な計測が可能な安静・休息時、特に 22-2 時の時間帯が好ましいと考えられた。

映像を利用したアニマルウォッチシステムの開発では、鳥インフルエンザなどの感染などにより生じる運動状態の変化を画像処理により検出することで、無拘束無侵襲で動物の感染状態を推定するシステムの構築を目指した。

2009 年度までは、感染鶏と健康鶏の運動状態を識別するための画像解析システムと組込型の識別アルゴリズムを作成し、その性能検証を行った。概要を図9に示す。まず行動解析のためにパーティクルフィルタによる画像中の複数移動物体の追跡アルゴリズムを開発した。さらに鶏の運動状態を識別するアルゴリズムを開発し、生活リズムの変化の検出試験を行った。その結果、ケージ内に健康

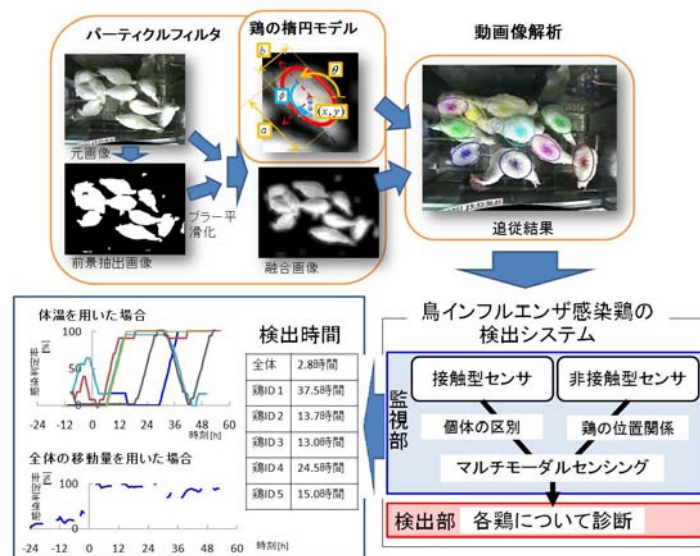


図9 映像を利用したアニマルウォッチシステムの概要

鶏とは明らかに異なる運動を行う個体をウイルス接種から 2.8 時間で判別することに成功した。さらに、37.5 時間以内に全ての鶏の感染状態を個別に判別できることが分かった。以上の成果を元に 2010 年度からは、判別率の向上のために複数鶏の追跡アルゴリズムの改良を行うと共に、Web-Cam などの安価な機材を用いた専用の画像解析システムを構築してシステム全体の小型化と低価格化を図った。まず適応的背景推定法の導入により照明変化に頑健な画像処理を実現した。さらに EM-アルゴリズムによるクラスタリングを組み込むことで、追跡対象同士が接触したときでも両者を混同せずに頑健に追跡できるアルゴリズムを実現した。これは追跡対象を楕円モデルで近似し、さらに形状を確率的に表すので見た目の形状変化にも柔軟に対応できる。また追跡対象同士の重なりを確率分布の混合モデルで表現することにより面積で 3 割程度の重なりにも対処できる。人為的に構築した誤追跡の起きやすい環境下で検証実験を行ったところ、クラスタリングにより誤追跡率が 86% 軽減することを確認した。また、追跡対象が 3 つまでの場合は正しく追跡できるフレーム数は全体の 99% 以上であり、7 つの場合でも全ての対象を同時に、かつ正しく追跡できるフレーム数は全体の 66% 以上であった。さらに Web-Cam で専用システムを構築し、旧式のノート PC の演算プロセッサ (Intel Pentium M 1.30GHz) でも 15fps で実時間処理が行えることを確認した。

(2) 研究成果の今後期待される効果

カスタム LSI に関しては、今回は鶏の健康管理に特化した仕様で開発を進めてきたが、体温と活動量は、鶏に限らず、牛や豚などの畜産動物はもとより、野生動物や人間も含めた生体の健康状態の基本的な指標であり、その方面への展開が期待できる。少なくとも現状の性能であれば、他の畜産動物への応用は MEMS センサの応用する動物への感度調整を行うことにより、スムーズに進むものと考えており、実際に牛への応用は現在進行中である。一方で、野生動物や人間への応用に関していえば、場合によっては更なる低消費電力化と、端末の装着方法や、コストを改善するための小型化、実装方法において更なる研究が必要となる。小型化に関しては、今回は、2.43mm 角サイズとなったが、そのサイズを決めているのはパッド数であり、回路部分は全体面積の半分程度である。今回は最初の試作であったために、テスト用端子など本質的には不要なパッドを用意したが、次回試作時にはパッド数を減らすことが可能になる。これにより、1mm 角程度の LSI の作製し、更に MEMS との 3 次元実装を行うことで、低コスト化、小型化が可能となり、応用範囲が広がると考えている。

開発した受信機には、センサネットワークに必要な多チャンネル化と、通信時の端末の低消費電力化を可能とする技術が組み込まれており、他のセンサネットワークへの応用が期待できる。現状

の受信機では、FPGA など汎用性のある部品を使用しており、数十センチメートルほどの基板の大きさとなっているが、ワンチップ化することにより、サイズは劇的に低減できるとともに、コスト低減も可能となる。その場合には、小型の中継器としてセンサと同じように多数を分散配置し、例えば野生動物の健康モニタリングなど、広範囲の無線通信を必要とする場合に用いられることが期待できる。

映像を利用したアニマルウォッチシステムの開発では、実環境での導入における経済性と簡便性とを兼ね備えたシステムの構築が可能になった。Web-Cam は市場価格で 5,000 円程度であり、また近年はネットブックと呼ばれる廉価な PC が 30,000 円程度で調達できることから、本成果は飼養羽数が少なく規模が小さい施設でも導入が容易な安価なシステムを実現する。大規模感染を水際で阻止するためにはほとんど全戸に検出システムを導入する必要があるので、本成果で実現す

発電デバイスの開発では、発電素子及び受動素子基板技術に関して、組成や構造、出力特性機構に関して新たな知見を得た。いずれも技術開発の必要性の高い分野であり、実用化へ向けた有用な知見となる技術基盤として利用することが可能である。

4. 2 鳥インフルエンザ感染動物における病態変化の解析 (動物衛生研究所 「感染実験」グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

本研究グループでは、感染鶏における病態変化の解析、鶏舎内におけるウイルス伝播機構の解析、成鶏の病態変化の解析、病態変化と関係するウイルス側遺伝子の同定、病態変化と関係するウイルスアミノ酸の同定、脳高増殖ウイルスの作出とその分子基盤解析について研究を行った。

感染鶏における病態変化の解析に関し、背景と目的を下記に述べる。鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性はウイルス株によって大きく異なり、致死率の高い高病原性ウイルスと、致死率の低い低病原性ウイルスに分けられている。高病原性ウイルスはHAの開裂部位に塩基性アミノ酸の集積があるが、この病原マーカーを持つウイルスは全身の細胞で増殖できる高い致死率をもたらすことが解っている。ところが、高病原性ウイルスの中においても、病原性に明らかな違いがあり、迅急性に鶏を死亡させるものから、感染後4日以上かけて鶏を死亡させるものがある。それらの病原性の違いに関してはほとんど解明されておらず、高病原性の機構解明が求められている。特に、アジアで流行が続いているH5N1ウイルスは著しく高い鶏病原性を有するが、ウイルス学的、免疫学的な解析はほとんどされておらず、鶏を迅急性に死亡させる機構は解明されていない。本課題では、鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏の体温の推移を、無線小型体温センサを用いて詳細に調べ、感染鶏を摘発するシステムを構築するための基礎データを取得することを目的とする。また、病原性が異なる3株のウイルスに鶏に感染した鶏の病態変化の比較から、病原性の違いが何に起因するのかを明らかにする。

高病原性ウイルスとしては、2004 年に高病原性鳥インフルエンザが山口県で発生した際に鶏から分離された高病原性ウイルス CkYM7 株(H5N1)(Mase ら Virology 2005a)、2007 年宮崎県の養鶏場で高病原性鳥インフルエンザが発生した際に分離された高病原性ウイルス CKMZ11 株(H5N1)及び 2003 年中国から輸入されたアヒル肉から分離された高病原性ウイルス DKYK10 株(Mase ら Virology 2005b)(H5N1)を用いた。ウイルスは無線体温センサを装着した4週齢のSPF鶏に経鼻接種し、体温の変動をコンピューターに記録し、後日グラフ化し、発熱と死亡時間を求めると共に、症状・病変を観察、記録した。また、ウイルスを接種した鶏を経時的に解剖し、臓器ウイルス量、サイトカイン遺伝子発現量、ウイルス抗原の体内分布及びアポトーシスの検出を行い、発熱、症状・病変との関係を調べた。

病原性が異なる3株の高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏の体温の推移を追跡したところ、CkYM7 株を接種した鶏では驚くべきことに発熱がみられず、鶏は迅急性に死亡した(約 34 時間)。一方、CKMZ11 株に感染した鶏は中程度の発熱を示し、接種後約 50 時間で、また DkYK10 株に感染した鶏は高熱を伴って、接種後約 90 時間でそれぞれ死亡した(Suzuki K. et al. Journal of Virology 2009)。また、CkYM7 に感染した鶏では、マクロファージ細胞と血管内皮細胞に多くのウイルス抗原が検出され、マクロファージ細胞に強いアポトーシスが観察された。これらの

細胞は発熱およびサイトカインの産生に重要な役割を果たす細胞であるが、ウイルスの顕著な増殖によって、それらの機能が失われ、発熱の停止や感染後期におけるサイトカイン遺伝子の急激な発現低下が見られたことから、ウイルス感染が自然免疫機構の破壊をもたらし、そのことが顕著なウイルス増殖を許した可能性が考えられる(Suzuki K. et al., Journal of Virology 2009)。

この成果は鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏の体温変動のデータは、プロジェクト内に提供され、感染鶏の摘発プログラムの開発に利用されている。類似研究との比較については、H5N1ウイルスに感染した鶏の発熱、死亡時間、サイトカイン遺伝子の発現停止などの自然免疫機構の破壊とウイルスの増殖性の関係を明らかにした報告はこれまでなく、ウイルス学で最も権威がある専門誌に発表された。

鶏舎内におけるウイルス伝播機構の解析に関し、背景と目的を下記に述べる。鳥インフルエンザウイルスの鶏伝搬機構はこれまでほとんど調べられてこなかった。このため、伝播し易いウイルスの特徴は明らかにされていない。そればかりか、病原性の高いウイルスは鶏を短時間で死亡させるため、排泄量は少なく、伝播しにくい。病原性の低いウイルスは、感染鶏から長時間排泄され続けるため伝播しやすいと信じられている。しかし、この根拠が十分に検証されている訳ではない。また、高病原性鳥インフルエンザの発生をセンサネットワークによって摘発する監視プログラムを開発するためには、鶏舎内でウイルスが伝播する様子を実験的に再現し、伝搬の基礎データを得る必要がある。本課題では、病原性の異なる3株の鳥インフルエンザウイルスの伝播力を比較することによって、鶏伝播性を規定するウイルス側の要因を明らかにし、説得力のある感染摘発システムの開発に必要な情報を提供することを目的とした。

実験には、ウイルス株当たり5羽の接種鶏、5羽の同居おとり鶏、網で隔てた別室に8羽の別居おとり鶏を置き、全ての鶏に無線体温センサを装着した。ウイルスには、鶏が感染すれば必ず死亡することが解っている、3株の高病原性ウイルスを用い、鶏の死亡から感染の成立を判定することとした。鶏の死亡時刻は体温が30度以下に低下した時点とした。また、高病原性ウイルスを接種した鶏の口腔スワブおよびクロアカスワブを経時的に採取し、ウイルス感染価を求め、ウイルスの排泄曲線を求めた。

結果は、予想に反して、病原性の高いウイルスがより早く伝播し、伝播力はウイルスの病原性あるいは排泄量と相関することがわかった。また、伝播力が高いウイルスは感染必要量を排泄するまでの時間が早く達し、大量のウイルスを排泄していた(Suzuki K. et al. Journal of General Virology 2010)。

これらのデータは、感染鶏の摘発プログラムの開発に利用されている。類似研究との比較をすると、鳥インフルエンザウイルスの鶏伝播性を調べた報告はほとんどなく、統一した見解は必ずしも得られていない。今回我々が行った実験が最も信頼度が高いもので、鶏伝播力がウイルスの病原性あるいはウイルスの排泄量と相関することが初めて明らかにされた。

成鶏の病態変化の解析に関し、背景と目的を下記に述べる。鶏舎には雛も飼育されているが、多くは成鶏であり、成鶏はセンサネットワークで監視すべき主要な対象であるが、鳥インフルエンザウイルスの病原性試験には雛を用いることが一般的であることから、成鶏の病態変化は雛とは異なることが予想されるものの、成鶏の病態変化に関する情報は世界的にほとんど得られていない。そこで、センサネットワークに必要な基礎データの取得を目的に、高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した成鶏の病態変化の解析を追加項目として実施した。

本課題では、病原性が異なる3株の高病原性ウイルスを成鶏に感染させ、体温変動、死亡時間、病態変化、ウイルス増殖、サイトカイン応答を調べ、4週齢の雛のものと比較し、加齢抵抗性の有無を調べた。

その結果、成鶏の症状、病変の程度はウイルスの株によって異なり、CkYM7では雛も成鶏も病変、症状を示さなかったが、CkMZ11では雛よりも成鶏の病変が強く、DkYK10では雛の病変が成鶏よりも重度であった。これは一見矛盾するように見えるが、CkMZ11で認められた雛の軽度の病変は、ウイルスの毒性が強いために、病変が形成される以前に雛が死亡したことによると考えることができる。したがって、基本的には雛に比べ成鶏の病変は軽度になっていると結論付けること

ができる。また、全ての株において、成鶏の死亡時間は雛よりも 1.5 倍ほど長く、体内におけるウイルスの増殖は3株とも雛に比べて成鶏では遅く、低い傾向があった。また、発熱の程度は雛に比べ成鶏では高熱化する傾向があり、サイトカイン応答もゆっくりと上昇し、最終的には強い反応が見られた(投稿中)。

本研究で得られた、鳥インフルエンザウイルスに感染した成鶏の体温変動データは、農場監視プログラムの開発に利用されている。類似研究との比較をすると、成鶏が高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した際の病態変化、体内におけるウイルスの増殖はほとんど調べられていない。また、成鶏のサイトカイン応答の報告はない。

病態変化と関係するウイルス側遺伝子の同定に関し、背景と目的を下記に述べる。鳥インフルエンザウイルスの病原性の分子基盤が解明されれば、多大な労力をかけて鶏感染実験を行う必要はなくなり、分離株のゲノム解析から病原性の推定が可能になり、波及効果は大きい。しかし、これまでに得られたデータはわずかで、病原性の分子基盤の解明は緒に就いたばかりであり、一層の研究強化が求められている。我々は、(18)感染鶏における病態変化の解析において、2株のH5N1 ウイルスの病原性を比較したところ、従来型の高病原性ウイルスの範疇に分類されるアヒル由来のDkYK10株と比べ、鶏から分離されたCkYM7株の鶏病原性は著しく高いことが明らかにされている。両ウイルス株のアミノ酸相同性は98%と高いにも拘わらず、病原性において大きな違いがあることから、これらのウイルスは病原性の分子基盤の解析に最適な材料と考えられる。本課題では、1996年以降、アジアを中心に流行が続く高病原性ウイルスの鶏病原性を規定するウイルス遺伝子の同定を目的とした。

従来型の高病原性株であるDkYK10株と、鶏病原性が著しく高いCkYM7株の遺伝子をプラスミドに単離し、それらをセットにして、また種々の組み合わせで培養細胞(293T)に導入することによって、リバースジェネティクス法により種々のリアソータントウイルスを作出した。それらの鶏病原性を比較することによって、高い病原性を規定するウイルス遺伝子を同定した。また、同定された遺伝子によるポリメラーゼ活性増強効果をミニゲノム系を用いて調べた。

種々のリアソータントウイルスの鶏病原性を比較した結果、CkYM7株の著しい高い鶏病原性はNPとPB2に起因することが明らかになった(Tada T. et al., Journal of Virology 2011.2)。また、これらの遺伝子はポリメラーゼ活性増強効果を有していたことから、CkYM7株の著しく高い鶏病原性はウイルスの遺伝子合成能の高さに起因するものと考えられる。

この成果により、体温センサを用いて、リアソータントウイルスに感染した鶏の平均死亡時間を正確に測定できたことが、鶏病原性の比較を可能にした。類似研究との比較をすると、鶏病原性と関係するウイルス遺伝子としてはNS1、PB2、NPの報告があり、アヒル病原性と関係するものとしては、PAとPB1の報告がある。

病態変化と関係するウイルスアミノ酸の同定に関し、背景と目的を下記に述べる。病態変化と関係するウイルス側遺伝子の同定において、NPが鶏病原性に関係することが明らかにされた。DkYK10株とCkYM7株のNPには7個のアミノ酸の相違があるが、CkYM7株の高い鶏病原性を規定する最も重要なアミノ酸を同定することを目的とした。

NPにある7個のアミノ酸の内、1アミノ酸だけをCkYM7株のものと置換した、DkYK10株の組換えNP遺伝子を7種類作出し、それらのNP遺伝子を持ったDkYK10株をリバースジェネティクス法を用いて作成した。得られた組換えウイルスを、無線体温センサを装着した鶏にそれぞれ経鼻接種し、鶏の平均死亡時間を求めた。また、同定されるNPの主要なアミノ酸が鶏体内におけるウイルスの増殖を増強するかを鶏感染実験で調べた。さらに、そのアミノ酸がカモから鶏への種間伝播に関係するかを知るために、見つかったアミノ酸について、遺伝子バンクに登録されているNP遺伝子の由来(鶏またはカモ)を調べた。

各リアソータントウイルスを接種した鶏の平均死亡時間を比較した結果、NP遺伝子の105番目のバリンが、鶏病原性の増強に関係することが明らかになった。NPの105番目にバリンを持つウイルスは親株(DkYK10)よりも、高い鶏増殖性と高いポリメラーゼ活性を有していた。また、分子疫学解析から、NPの105番目のバリンがカモウイルスの鶏への馴化に関係することも示唆された。こ

これらの結果から、CkYM7株の高い病原性の一部は、NPの105番目のバリンによる遺伝子合成の増強に起因することが明らかになった。

この成果により、体温センサを用いることによって、リアソータントウイルスに感染した鶏の平均死亡時間を正確に測定できたことが、鶏病原性の解析が可能になった。類似研究との比較をすると、同定されたNPのアミノ酸は鶏病原性に関係する最初のアミノ酸であり、鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性を推定する際に有用と思われる。本成果は、ウイルス学で最も権威のある専門誌(Tada T. et al., Journal of Virology 2011.2)に発表された。

脳高増殖ウイルスの作出とその分子基盤解析に関し、背景と目的を下記に述べる。カモ由来のウイルスが鶏で感染を繰り返す間に変異して、鶏病原性を高める機構が分子レベルで解明されれば、本病の効果的な対策とつながる。またこの成果は、鳥ウイルスが哺乳類に馴化する際の分子機構の解明の参考にもなる。本課題の目的は、カモ由来のDkYK10を鶏で継代して得た病原性増強株の分子基盤を解明することである。

DkYK10株を鶏で5代継代して、B5株を作出し、継代によって変異したアミノ酸を同定する。また、B5株と親株(DkYK10株)について、鶏病原性、ポリメラーゼ活性、遺伝子合成能を比較する。さらに、DkYK10株を鶏腎細胞、鶏胚の肺、鶏胚の脳で継代し、変異アミノ酸の出現頻度をSNP解析によって調べ、変異の誕生機構を解明する。

DkYK10を鶏で5代継代して得たB5株は親株よりも鶏体内でよく増殖し、強い病変と細胞壊死を起こす、病原性の高いウイルスに変異していた。ゲノム解析の結果、変異ウイルスではNP遺伝子の109番目がイソロイシンからバリンに変異していた。このバリンがウイルスの増殖、遺伝子の転写(Transcription)を増強しており、その変異は脳細胞でウイルスが増殖する過程で誕生することが明らかになった。(Tada T. et al., Journal of Virology 2011.10)

この成果により、体温センサを用いて、リアソータントウイルスに感染した鶏の平均死亡時間を正確に測定できたことが、鶏病原性の比較を可能にした。類似研究との比較をすると、同定されたNPのアミノ酸は鶏病原性に関係する2つ目のアミノ酸であり、鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性を推定する際に有用と思われる。また、脳細胞で継代することによってNPのアミノ酸が出現する機構を明らかにしたことは、鳥ウイルスの哺乳類への馴化を考える際の参考になると思われる。本成果は、ウイルス学で最も権威のある専門誌(Tada T. et al., Journal of Virology 2011.10)に発表された。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究から、アジアで感染が続いているH5N1ウイルスの著しく高い鶏病原性は、NPおよびPB2による鶏細胞における高い遺伝子合成能に起因することが明らかとなった。特にNPではBody domainにあるアミノ酸残基は、高い遺伝子合成能とカモウイルスの鶏への馴化に重要な役割を果たしており、ゲノム情報に基づく野外ウイルスの病原性推定を可能にするであろう。また、この成果は鳥ウイルスの哺乳類馴化機構の解明の参考になると共に、遺伝子合成に関係する部位は新薬開発の標的となりうる。しかし、本成果は鶏馴化機構のほんの一部に過ぎず、全体像を知るには多くのウイルス株について鶏馴化機構を解明する必要がある、研究の継続が望まれる。

4. 3 超低消費電力・光MEMSバイタルセンサの開発(九州大学 光MEMSバイタルグループ)

(1)研究実施内容及び成果

感染実験用プロトタイプ端末の発展形として、鶏に装着可能な小型・低消費電力の血流量センサを実現するため、その小型化、低消費電力化、低コスト化に関わる要素デバイス、デバイス構造、製造プロセス開発を行った。特に、低消費電力レーザダイオード、フォトダイオードの導入を行うとともに、高性能化・小型化・低コスト化を行うため、光学素子をウェハレベルパッケージする技術の開発した。また、継続中であるが、プラスチックのマイクロ成型技術（ナノインプリント技術）によりMEMS光学系部分の更なる低コスト化を狙ったパッケージの開発を実施した。

開発したワイヤレス血流量センサの全重量はバッテリー(9g)を入れて26g、ヒト用の MEMS センサと比べて60%軽量化(従来開発 MEMS センサと比べて40%の重量、市販品と比べると約 100 分の1)を実現した(図10)。鶏に直接装着するプローブの部分の重量は 2.8g で目標重量の3gは達成したが、センサの総重量では達成できていない。しかし、

血流量のモニタリングは鶏感染実験においては十分に目的を達成できることが期待される6分間隔の間欠動作で 120 時間を達成し、連続時間目標の 80 時間以上と同等の目標を達成できた。更に、立ち上げ時間の短縮化、演算データの削減化により 2 倍の 240 時間(10 日)以上を実現した。また、光 MEMS と SiP(System In Package)との融合を世界で初めて試作し、さらに更に超小型の血流量センサプローブ(これまでの MEMS 血流量センサプローブに対して体積比で6分の1)が実現できることを実証した。

また、この改良した MEMS 血流量センサを温度センサ、加速度センサと同時に鶏に装着し、健康な鶏では周期的な血流量の日内変動が得られることを確認している(図11)

このことは、開発した血流量センサを装着しても日内変動が乱れないことから、鶏には装着によって鶏に少なくとも強いストレスを与えていないことを意味する。しかし、インフルエンザ感染だけでなく、アイソレータや実験用ボックスなどによって閉ざされただけでも、この規則的な日内変動に大幅な乱れが発生し、これまでの通常の鶏舎における実験結果と異なり、活動量と血流量が必ずしも同じ増減傾向を示さないことがあることが明らかにした(図12)。

環境温度は外気温と同じ状況にしておき照明だけを昼と夜を逆転させた実験によると、明暗に応じて血流量に高低を示すことが明らかにした(図13)。鶏を圧迫感の少ない大きな部屋に入れ、環境温度は外気温と同じ状況にしておき照明を昼と夜を逆転させた実験によると、明暗に対応して周

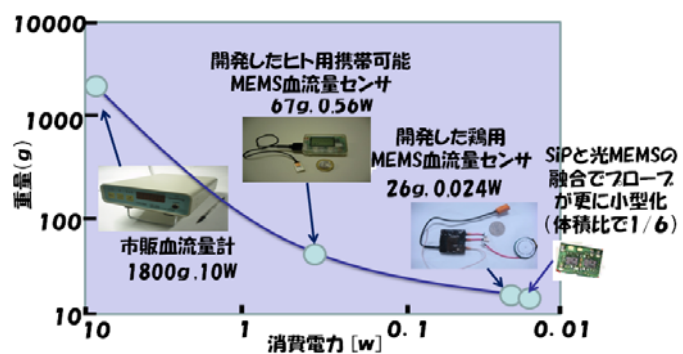


図10 開発した鶏装着可能な血流量センサの消費電力とサイズの従来計測装置との比較。

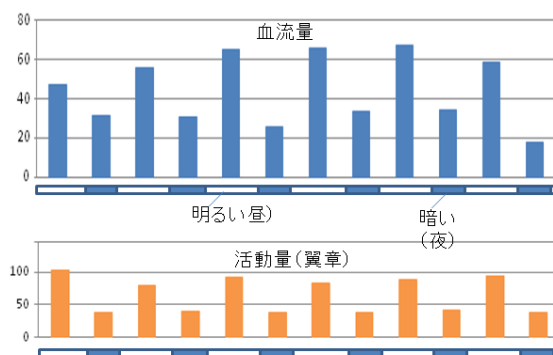


図11 規則的な日内血流量変動がみられる通常の鶏舎内鶏。通常の鶏舎では血流量と活動量は

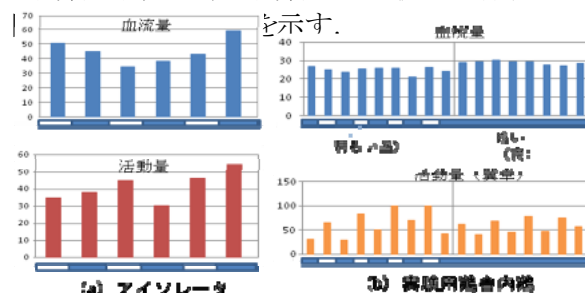


図12 不規則な日内血流量変動がみられる感染実験用アイソレータ内鶏(a) と実験用鶏舎内鶏(b)。感染実験で使用するアイソレータや実験用の狭い鶏舎では血流量と活動量が同じ傾向の日内変動を示さない場合がある。

期的な血流量の高低がみられる。さらにアイソレータに閉じ込めた鶏に対する血流量の日内変動を乱す要因を明確化するために照明、気温は通常の日内変動の下、圧迫感のみ与えた時の血流量変化を実験による求めた。その結果を図14に示す。その結果、圧迫のみでは血流量の日内変動の乱れを引き起こすことがないことが分かった。

(2) 研究成果の今後期待される成果

今後引き続き、照明(明るさ)の血流量の日内変動に及ぼす影響を追究していくが、これまでに実験では、照明が日内変動の乱れにも影響している結果が得られているが、今後は更に詳細な実験を行い、血流量の日内変動がインフルエンザ感染のみでなく照明の影響に大きく影響することを立証していく。この日内変動を乱す詳細な原因については来年度も引き続き追究していく計画である。また、血流量センサの応用展開として、牛の発情センシング、ペンギンの遊泳時における血流量測定を行った。運動時における人間も含めた動物における活動量のパラメータとして、1心拍あたりの血流量が重要な心臓負荷を意味し、血流量センサ以外の方法で検出することが容易でないことが明らかになった。この1心拍あたりの血流量を心臓への負荷を表

す重要なパラメータとして動物に与える負荷を定量化していく。また、この概念は遊泳時におけるペンギンの負荷は陸上と

比べどの程度変化するのか学術的な立場からも追究すると同時に牛の発情時における血流量の波形に及ぼす影響を追究するための道具としてこの開発した超小型の血流量センサを使用すると同時に、生産的なおいしい肉の飼育など農工業に役立てることが期待される。

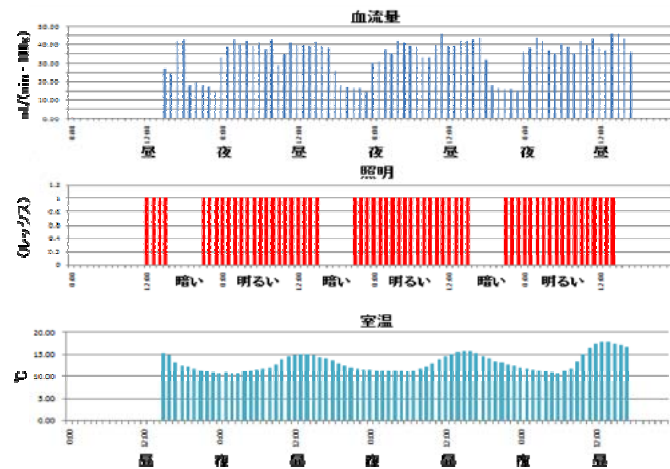


図13 外気温ならびに照明と血流量との関係

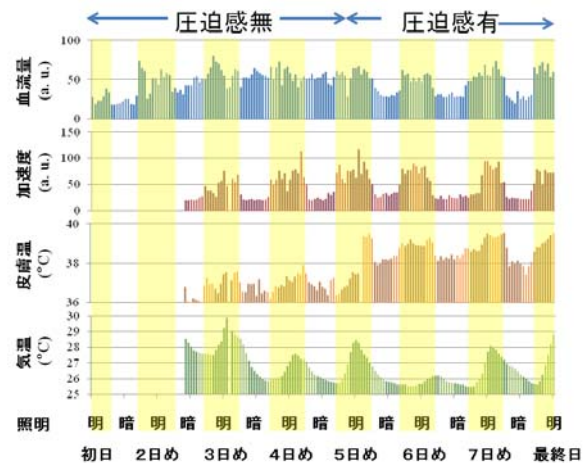


図14 圧迫感の有無による血流量の日内変動。明暗は照明の On Off に対応している。

4. 4 ネットワークMEMSデバイスの開発(産業技術総合研究所 ネットワークMEMSグループ)

(1) 研究実施内容及び成果

本研究グループでは、まず感染実験を元にした病変判別手法を開発するとともに、その判断手法に必要なデータを取得できるMEMSセンサ仕様を決定し、温度センサと加速度センサの開発を行った。更に、システムインテグレーショングループとともに開発したセンサや LSI を用いて、翼帯型無線センサ端末を開発した。加えて、鶏舎内での鳥インフルエンザ拡大シミュレーションを行い鶏舎センサネットの有効性を検証した。

鳥インフルエンザ早期発見システムでの使用を想定した、超低消費電力無線センサ端末を用いた病変判別方法の開発を行った。また、端末に搭載するセンサに必要な仕様を決定するとともに、この判別手法による鶏舎内感染拡大シミュレーションの開発を行い、このシステムの有効性と、必要な鶏舎内のセンサ濃度(センサ取り付け鶏数/全鶏数)を検討した。このシステムでは無線センサ

端末の連続稼働時間を少なくとも2年以上にする必要があり、端末の平均消費電力を $1\mu\text{W}$ 以下にすることを狙っている。無線センサ端末の平均消費電力は、端末のスタンバイとアクティブ状態の電力をある単位時間で平均したものであるが、ここではアクティブ状態分の平均消費電力を 100nW 以下で鶏の病変判別を可能とする方法を開発することを目的とした。

まず、端末の送信可能頻度を見積もった。このとき、端末のアクティブ状態とは送信動作以外は無視できる消費電力であり、また送信時には PLL とパワーアンプ以外には消費電力は無視できると仮定する。送信動作では、PLL の起動時間を 1ms (後述の PLL 設計値を使用)、ボーレートを 10kbps 、送信するデータ量を 26bit (後述する受信機を使用するため、電文検出用ビット: 2bit 、体温: 10bit 、加速度: 10bit 、誤り検出用ビット: 4bit)、PLL 起動時の電流を 1mA (後述の PLL 設計値を使用)、送信時の電流を 15mA 、電源電圧を 1.55V と仮定する。このとき、約 100nW 程度の消費電力となる送信頻度は 10 分に 1 回であり、これが上記仮定上の最高送信頻度であることがわかる。

鳥インフルエンザ感染実験で取得した、20 秒の間欠した加速度、体温データを用いて、病変判別基準を設定する。病変判別は、鳥インフルエンザ罹患による (1) 元気消失(活動量の低下)、(2) 発熱(42°C 以上)、そして (3) 死亡による体温低下(30°C 以下)の 3 項目の内、1 つでも該当する場合を異常と判別することにした。ここでは、活動量を 1 時間での閾値 TH_A を超える加速度個数 N_t と定義する。つまり 1 時間毎に N_t を送信することになる。上記では 10 分以上とあるが、ここでは余裕をみて 1 時間とした。鶏の活動量には日内変動があり、夜は睡眠により活動量が低下する。睡眠と病変を判別するため、元気消失の基準は、24 時間前の活動量と現在の活動量の比 R_t が閾値 TH_R を超え、且つ活動量が閾値 TH_N 以下となる条件を満たすこととした。実際には鶏の活動にもランダム性があるため、活動量の比 R_t は 22 から 26 時間前との比の内の最小値を用いる。この基準と感染実験で取得したデータを用いて、(3)の基準よりどの程度早く検出できるかをシミュレーションにより算出した。シミュレーションでは、 $\text{TH}_A=0.05\text{G}$ 、 $\text{TH}_N=10$ 、 $\text{TH}_R=5$ とした。

図 15 は上述した 3 種類のインフルエンザウイルスに対してシミュレーションを行った結果である。図の A_x 、 A_y 、 A_z はどの軸の加速度データを用いた結果であるかを示している。CkYM7 では主に基準 (1)、CkMZ11 では基準 (1) か (2)、DkYK10 では主に (2) の基準で基準 (3) の死亡判定より平均で 6 時間程度早く異常が検出できることがわかる。また、加速度に関してはどの軸を用いてもほぼ同じ検出時間であるため、本目的には、1 軸の加速度センサで良く、その検出感度は 0.05G 以上である必要があることがわかった。

バイモルフ温度センサの開発では、 0.2°C の測定精度を有する、超低消費電力温度センサの開発を行った。コスト低減や大量生産への要求から、温度センサの作製は通常の MEMS 微細加工技術、パッケージング技術を用いる必要がある。本開発では構造のシンプルさと MEMS 微細加工技術におけるメリットからバイモルフアレイ温度センサを開発し

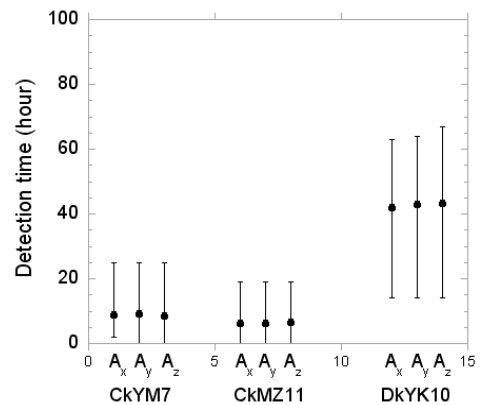


図 15 病変判別シミュレーション結果



図 16 トリプルビームバイモルフの概略図

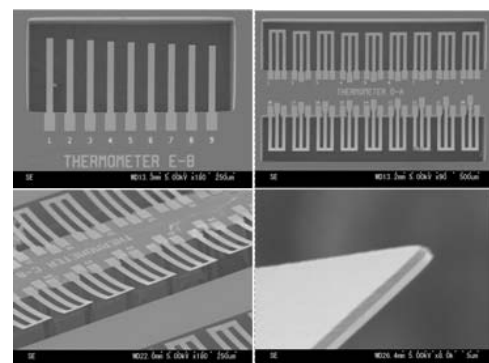


図 17 バイモルフアレイの SEM 写真

た。このバイモルフ構造は受動的に温度変化を検知することができるため、消費電力がほとんどゼロである。

図 16 は本研究で開発したトリプルビームタイプのバイモルフである。温度上昇に伴いバイモルフは上に反り、対向する電極パッドに接触することで ON 状態となる。このようなトリプルビーム構造は 0.1°C 以下の温度精度と、MEMS 技術によって容易に作製可能であるというメリットがある。外側のビームによって 0.5°C の温度精度が実現され、さらに中央のビームによって 0.1°C の温度精度が達成される。これらのビームの長さをそれぞれ必要な温度精度に応じて有限要素法で決定した。

バイモルフの上部、下部層はそれぞれモリブデン(500nm)、金(500nm)である。図17は試作した温度センサである。実際にはトリプルビームのバイモルフの他に、比較用としてシングルビームのバイモルフも試作した。この温度センサの特性をコンフ

ォーカル顕微鏡を用いて in-situ で評価した。図18は温度を 25°C から 38°C 、 41°C 、 44°C にそれぞれ上げたときのバイモルフ先端の変位である。トリプルビームの温度センサはシングルビームの温度センサよりも大きな変位を示した。例えば温度を 41°C から 44°C に上昇させた場合、トリプルビームの変位は $2\ \mu\text{m}$ であったが、シングルビームの変位はわずか $0.5\ \mu\text{m}$ であった。温度に対して増加率が大きい方が当然感度が高い。たとえば、 41°C から 44°C の温度を測定するためには、変位が 100nm ずつ異なるトリプルビームのバイモルフを 20 本並べれば良い。以上の結果から、トリプルビームのバイモルフの方が、シングルビームのバイモルフに比べて感度が高く、MEMS 微細加工技術も容易であることが示された。

上述のような平坦なカンチレバーは構造体の応力に起因する反りが発生し、パッケージングが困難であるという問題点があった。そこで、実際の応用を考慮すると三次元構造のカンチレバーとする必要があると考えた。図19は三次元構造カンチレバーの模式図である。三次元構造カンチレバーはシリコンと、ニッケル、金からなっている。このカンチレバーは容量検出と ON/OFF 検出の双方で温度測定が可能

である。ニッケル薄膜の無電解メッキはこのような三次元構造のカンチレバーの側壁に形成用として、低コスト、コンフォーマル成膜の容易さ、優れた機械的特性と様々な観点から有利である。加えてニッケルは他の機能性薄膜のシード材料としても用いられる。

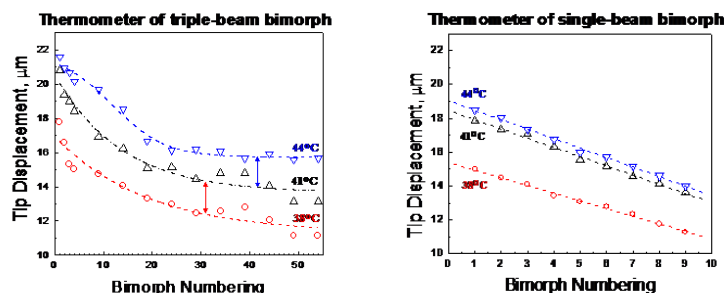


図 18 バイモルフ先端の変位 (a) シングルビーム、(b) トリプルビーム

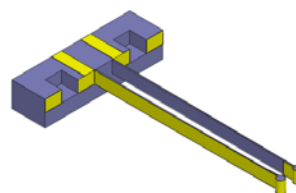


図 19 3次元構造カンチレバーの模式図

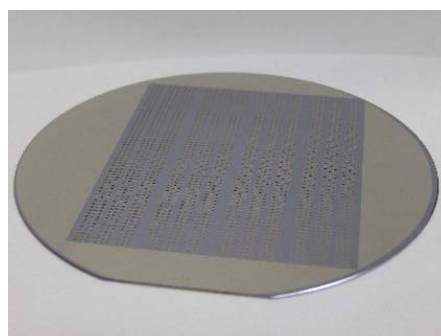


図 20 ニッケル-リン合金のウェットエッチング後の写真

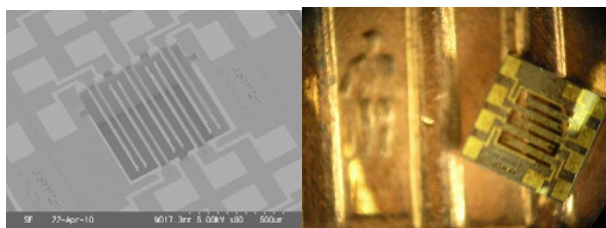


図 21 作製した 3 次元構造カンチレバーアレイ

しかしながら、無電解メッキで形成したニッケル薄膜は平面上の場合さえパターニングが困難である。三次元構造カンチレバーを実現するうえでのキーププロセスは(1)トポロジーの高い基板上への電氣的配線、(2)三次元構造カンチレバーのリリースである。400 nm の金をスパッタした Si/Au バイモルフ、及び 1.5 μm のニッケルーリン合金を無電解メッキで形成した Si/Ni バイモルフを用いて、三次元構造カンチレバーを試作した。

この無電解メッキで形成した 1.5 μm のニッケルーリン合金をパターニングするために、二段階のウェットエッチング法を開発した。この方法を用いて、無電解メッキで形成したニッケルーリン合金エッチングのウエハレベルプロセスが実現された(図20)。

図21は実際に試作した三次元構造カンチレバーである。対になった三次元構造カンチレバーは本質的にはバイモルフベースの容量性温度センサであり、試作したカンチレバーをヒーターつきのプローブステーションにセットして LCR メーターで特性を評価した。図22は温度変化に対する容量の変化である。試作したデバイスの容量は、設計値と良い一致を示した。(特願 2009-067117)

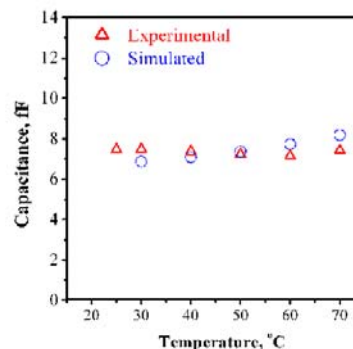


図 2 2 測定値と設計値における温度と容量変化の関数の比較

加速度センサでは、圧電効果を利用し鶏の主な動作周波数帯である 5-15Hz で、0.05G を検知できるように加速度センサの開発を行うことを目的とした。

これまでに確立してきた PZT 薄膜を用いた圧電 MEMS プロセス技術を用いて、図 23のような圧電加速度センサを試作した。図24(a)に実際に試作したセンサの全体像を示す。試作した加速度センサの共振周波数は図24(b)のように 24Hz であった。鶏の動作周波数に近い 10Hz 以下での評価を行った。すると 4, 6, 8, 12Hz と、共振周波数の約数に相当する周波数で加振した場合に、加振周波数より高い周波数の圧電出力が発生した。FFT アナライザにより出力波形を分析したところ、その周波数は 24Hz と共振周波数に一致していた(図25)。図26は 4~14Hz、2.0 m/s^2 の加速度で圧電加速度センサを加振した場合の圧電出力のプロットである。上述のアナログコンパレータの閾値を 50mV とすると、今回試作した加速度センサは 4, 6, 8, 12Hz の振動を選択的に検出できることになる。今回の圧電加速度センサからわずかに設計を変更して共振周波数を 25, 27Hz としたものを並列に接続すると、2~13.5Hz という鶏の動作周波数をほぼ網羅することが可能である。

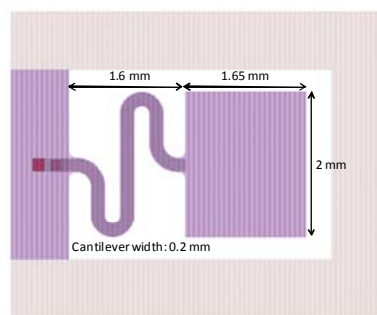


図 2 3 圧電加速度センサの構造

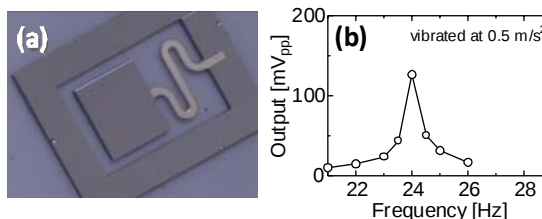


図24 (a)試作したセンサと(b)周波数特性

この圧電加速度センサを今回開発したカスタム LSI と接続して、圧電加速度センサからの出力電圧によるカスタム LSI のコンパレータの動作を評価した。図27は 0.05 m/s^2 の共振周波数で圧電加速度センサを加振した際の LSI の出力である。閾値電圧を超えた場合にカスタム LSI のコンパレータが High 状態になり、圧電加速度センサの出力電圧によってカスタム LSI のコンパレータを動作させることができた。このコンパレータの閾値電圧は、LSI のレジスタを書き換えることで調整可能である。図28は閾値電圧を変えた場合にコンパレータを動作させるのに必要な加速度である。加振周波数が 5.5Hz、11Hz いずれの場合でも、閾値電圧が 1mV の場合は 0.1 m/s^2 以上でコンパレータが動作し、閾値電圧が 5mV の場合は 0.4 m/s^2 以上でコンパレータが動作した。

このように待機電力ゼロである圧電加速度センサとコンパレータを内蔵したカスタム LSI の組み合わせにより、鶏の動作周波数帯である 5～15Hz で 1m/s^2 以下の範囲の微小な加速度の差を検出可能であることが実証できた。(特願 2011-112952)

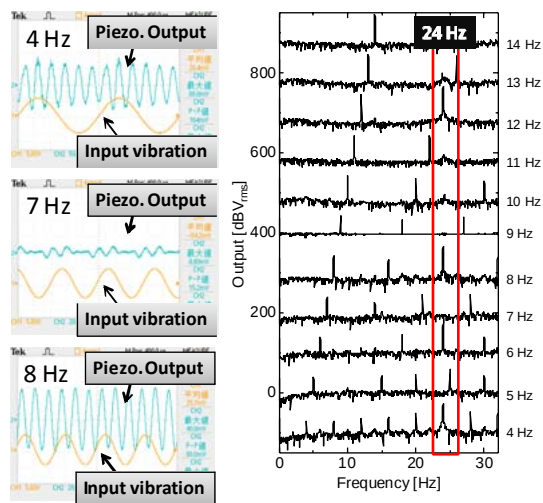


図25 4-14 Hz で加振した圧電加速度センサの出力波形と周波数特性

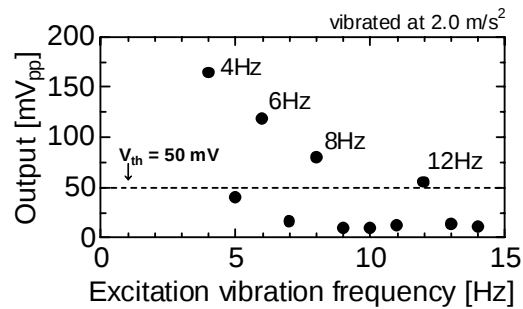


図26 4-14Hz、 2.0 m/s^2 の加速度で圧電加速度センサを加振した場合の圧電出力のプロット

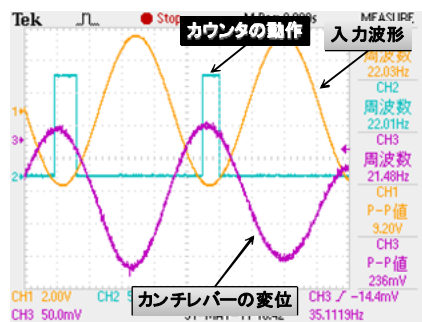


図27 圧電加速度センサの出力電圧によるコンパレータの動作

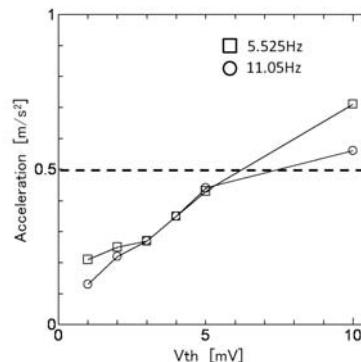


図 2 8 閾値電圧とコンパレータの動作に必要な加速度

無線センサ端末の開発では、現在鶏のID表示として用いられている実績を持つ翼帯と同様の構造とすることで、鶏に対して負担とならず、また養鶏業者の方々にとってもできるだけ抵抗感なく使用できるような構造にした。図29は、無線センサ端末の最終イメージであり、8mm×18mm×1.6mmのメイン基板にセンサ、カスタムLSIなどを実装し、フレキシブルケーブルを通して8mm×8mm×0.5mmの電池基板に接続する構造となっている。電源にはボタン電池のSR726W(電圧:1.55V、電池容量:30mAh、重さ0.6g、直径φ7.9mm、高さ:0.35mm)を使用する。装着時には、フレキシブルケーブル部を曲げ、メイン基板と電池基板で、鶏の腕にある薄皮部を挟み込み(翼帯と取り付け部は同じである)、図のようにホチキスの針のようなもので端末を固定することにした。

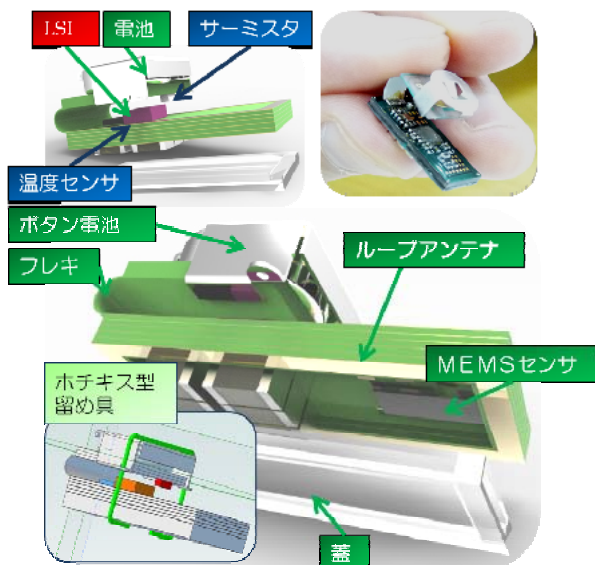


図29 翼帯型無線センサ端末のイメージ

メイン基板の周辺部には、開発した表皮効果を低減する多層ループアンテナが存在し、その内部はキャビティー構造となっている。このキャビティー構造の中には、実装する部品の中で比較的尺寸の大きい送信電力補助用キャパシタやMEMS圧電加速度センサを実装し、メイン基板の厚みを低減する。その際、加速度センサには可動部分があるため、それを保護するための蓋をメイン基板に取り付ける構造とした。薄皮を挟み込む面には体温測定のためのMEMS温度センサとサーミスタを実装した。最後に防水処理として、電池を挿入した状態でシリコンを端末全体に塗布し、鶏に装着する。

試作した翼帯型端末は、重さは電池、蓋なしの状態で1.06gである。この端末を鶏に装着したところ、装着された鶏が端末を特に気にする様子はなく、同じゲージ内にいる他の鶏も装着されている端末に興味を示すことは確認できなかったため、安定して装着された状態を保つことがわかった。

鶏舎内感染拡大シミュレーションの開発では、感染伝播モデルの代表的な数理モデルであるSIRモデルが鶏舎のゲージ内で鶏を飼育する場合には適用できないため、モンテカルロ法を用いて鶏舎内の伝播を調べることにした。本手法では鶏の体内のウイルス量を指標とし、感染実験結果をもとに接触感染確率や、空気伝播感染確率を算出し、シミュレーションを行った。その結果、現状の鶏舎での見回りによる異常検出条件を100羽の鶏の死亡の発見とし、センサ濃度を5%程度、センサによる検出の条件を隣接する3個のセンサが異常を示した場合としたとき、2日程度早く異常を検出することが分かった。

(2)研究成果の今後期待される効果

温度センサの開発に関しては、これまでほとんど行われていなかったMEMS構造の側壁の側壁へのメッキと、無電解Niメッキのパターニング手法を新たに開発しており、この手法を用いた新たなデバイスの開発が期待できる。

今回開発した加速度センサは、低周波領域に固有振動数を持たせる必要があり、その場合には有機材料を用いる方法もあるが、サイズが大きくなる可能性と、組み立ての問題が生じる。一方、シリコンで作製する場合には、小型で作製でき、そのプロセスは大量生産に向いていると同時に、圧電材料には気を配る必要があるが、基本的には高温に曝しても良い素材であるため、実装が行いやすく、煩雑な組み立て作業もない。しかしながら、シリコンは脆性材料であるため、今回のように低周波領域に固有振動数を持たせる場合には、梁を柔らかくするために厚みを低減しなければならず、壊れやすくなる問題が生じる。この問題はパッケージなどで振幅を制限することにより解決し

た。現在生体の健康管理への関心が高まっている中で、本研究成果が、シリコンを用いた低周波領域での加速度センサの開発の一助になることが期待される。

端末の開発に関しては、翼帯と同レベルサイズの小型端末を開発したことで、現状用いられている、例えば牛の耳標など、翼帯以上の大きさを持つパッシブ端末であればそれをアクティブ化することが可能になる。また、これほど小型で、用途を明確にした端末は世界でも例はなく、関連分野に与え得る影響は大きいことが期待される。

4.5 養鶏現場におけるアニマルウォッチセンシングシステムの開発(茨城県畜産センター 実証実験グループ)

(1)研究実施内容及び成果

アニマルウォッチセンサの実証試験として、鶏舎で鶏にセンサを装着し、その耐久性や稼働性を調査する。また、このセンサを活用し、鶏の体温と気温などの飼育環境との関係を調査することで夏季の暑熱による生産性低下を未然に防止する飼育管理対策を検討した。実施方法としては、採卵鶏舎(ケージ飼い)および肉用鶏舎(平飼い)において、アニマルウォッチセンサを実際に鶏に装着し、耐久性や稼働性を調査するとともに、気温などの飼育環境と生産性の関係を調査する。

平成20年度は、採卵鶏舎(ケージ飼育)で飼育の採卵鶏(ボリスブラウン)および肉用鶏舎(平飼い)で飼育の地鶏(奥久慈しゃも)を用いて、装着部位・装着方法の検討、センサの稼働性の調査を行った。さらに、採卵鶏を用いて体温の日内変化の調査を行った。

その結果、鶏の個体識別に用いられる翼帯や翼章の装着部位である上腕部に翼章を活用してセンサ端末を装着し、この装着部位・装着方法で、センサ端末が脱落することなく、的確に体温・加速度の測定が可能であることが分かった。

平成21年度は、平成20年度に引き続きセンサの耐久性、稼働性を調査するとともに、センサを活用した暑熱ストレスを低減させる飼育管理対策を検討した。

具体的には、一般的な飼育管理を行った「通常環境鶏舎」と暑熱ストレスを低減させるため細霧(ミスト)システムと大型送風機を稼働させた「暑熱負荷低減鶏舎」、逆に鶏舎窓を常時閉め切り暑熱ストレスを増加させた「暑熱負荷増加鶏舎」の飼育管理環境が異なる3鶏舎においてそれぞれの鶏舎内・外気温と採卵鶏及び肉用鶏の体温を測定し、暑熱ストレスが産卵率、体重、飼料消費量などの鶏の生産性に及ぼす影響について調査した。

その結果、採卵鶏の最高体温は17時前後、最低体温は20時30分前後に示された。肉用鶏は最高体温のピークが不明確であり、最低体温は21時30分前後に示された。暑熱ストレスの生産性に及ぼす影響は、肉用鶏に比べ採卵鶏で顕著に現れ、「暑熱負荷増加鶏舎」の採卵鶏で飼料消費量が減少し体重増加が少なく産卵率も低下し生産性が著しく低下した。

一方、「暑熱負荷低減鶏舎」では、鶏舎内気温が外気温より最大で3.7℃、通常鶏舎内温度より1.5℃低い結果となり、細霧(ミスト)システムにより鶏の飼育環境が改善されることが示された。生産性の項目についても「暑熱負荷低減鶏舎」では、他の鶏舎に比較して1羽当たりの平均飼料消費量が減少せず、1個当たりの平均卵重が重くなるなど、良好な結果であった。

こうしたことから、細霧(ミスト)システムにより鶏の飼育環境が改善され、暑熱ストレスに起因する生産性の低下が防止できた。

平成22、23年度は、給与飼料からのアプローチとして暑熱ストレスを低減させる効果があるとされるビタミンCと重曹を給与しその効果を調査した。

その結果、ビタミンCと重曹の効果は明確ではなかったもののミストと送風機を稼働させた鶏舎では、通常鶏舎(対照区)に対して飼料摂取量、産卵率、飼料要求率とも良好な結果であり、暑熱ストレスによる生産性の低下が抑制された。

(2)研究成果の今後期待される効果

本システムの開発により、養鶏現場において、体温や運動量をモニタすることで鳥インフルエンザ等の家畜疾病を早期に発見することが可能となり、家畜疾病拡大を防止できる。また、本システムのデータ(鶏の体温と鶏舎内気温など)を日常の飼育管理に活用させることで、暑熱被害による

生産性低下の未然防止対策への応用や、近年注目されている動物福祉の観点からも、鶏にとって快適な飼育環境での管理が可能となる。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 3件、国際(欧文)誌 29件)

1. R. Seto, Y. Sawae, E. Higurashi, T. Itoh, K. Suzuki, K. Tsukamoto, T. Ikehara, R. Maeda, T. Masuda, and T. Fujitsu, and R. Sawada, Micro Optical Blood Flow Sensor Based on System in Package (SiP) Technology that Fuses Optical MEMS and Integrated Circuit to Detect Avian Influenza, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 38, 256-259, 2008
2. H. Okada, T. Itoh, T. Suga, "The influence of surface profiles on leakage in room temperature seal-bonding", *Sensors and Actuators A*, vol.144, pp.124-129, 2008.5
3. Takeshi Kobayashi, Ryutaro Maeda, and Toshihiro Itoh, A fatigue test method for Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by using MEMS-based self-sensitive piezoelectric microcantilevers, *J. Micromech. Microeng.* 18 (2008) 115007
4. H. Okada, T. Itoh, T. Suga, "Wafer level sealing characterization method using Si micro cantilevers", *Sensors and Actuators A*, 147, pp.359-364, 2008.10
5. H. Okada, T.Kobayashi, T. Masuda, T. Itoh, "Ultra-Low Power Event-Driven Wireless Sensor Node Using Piezoelectric Accelerometer for Health Monitoring", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 48, No. 7, 070222, 2009.6
6. H.Okada, T. Itoh, T. Suga, "Pressure Dependence of Resonant Characteristics of Lateral Comb Drive Resonators in the Free-Molecule Regime", *Appl. Phys. Express* vol. 2, No. 9, 096501, 2009. 8
7. 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 須賀唯知, "常温封止接合における Au スパッタ薄膜表面形状の影響", *エレクトロニクス実装学会誌* Vol. 12, No. 6, pp. 526-533, 2009. 9
8. 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 須賀唯知, "SCREAM 法を用いた真空封止評価専用デバイスの開発", *エレクトロニクス実装学会誌* Vol. 12, No. 6, pp. 534-541, 2009. 9
9. Takeshi Kobayashi, Ryutaro Maeda, and Toshihiro Itoh, Low speed piezoelectric optical microscanner actuated by piezoelectric microcantilevers using LaNiO₃ buffered Pb(Zr, Ti)O₃ thin film, *Smart Mater. Struct.* 18 (2009) 065008
10. Koutaro Suzuki, Hironao Okada, Toshihiro Itoh, Tatsuya tada, Masaji Mase, Kikuyasu Nakamura, Masanori Kubo and Kenji Tsukamot, Association of Increased Pathogenicity of Asian H5N1 Highly Pathogenic Avian Influenza Viruses in Chickens with Highly Efficient Viral Replication Accompanied with Early Destruction of Cytokine Responses, *Journal of Virology* 83, 15, 7475-7486, 2009
11. 上嶋健嗣, 藤井俊行, 加藤龍, 瀧田正寿, 横井浩史, "硬膜外電位計測によるラットの運動状態推定の基礎研究", *日本ロボット学会誌*, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会特集号, 2009
12. T. Yamashita(東大), T. Itoh, and T. Suga, "Investigation of anti-stiction coating using π -conjugated hydrophobic self-assembled monolayer for ohmic contact MEMS switch," *Dig. Tech. Papers 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '09)*, pp.794-797, Denver, CO, USA, June 21-25, 2009
13. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, M. Akiyama, R. Maeda, and T. Itoh, "A digital output piezoelectric accelerometer using CMOS-compatible AlN thin film," *Dig. Tech. Papers 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '09)*, pp.1166-1169, Denver, CO, USA, June 21-25, 2009
14. W. Iwasaki(九大), H. Nogami, E. Higurashi, and R. Sawada, "Miniaturization of a laser doppler blood flow sensor by system-in-package technology: Fusion of an optical

- microelectromechanical systems chip and integrated circuits,” IEEJ Trans. Electrical Electronic Eng., Vol.5, pp.137–142, 2010.2
15. H. Okada(産総研), K. Suzuki, K. Tsukamoto, and T. Itoh, “Avian influenza surveillance system in poultry farms using wireless sensor network,” Proc. Design Test Integration and Packag. of MEMS/MOEMS (DTIP 2010), pp.253–258, Seville, Spain, May 5–7, 2010
 16. K. Suzuki(動衛研), H. Okada, T. Itoh, T. Tada, and K. Tsukamoto, “Phenotypes influencing the transmissibility of highly pathogenic avian influenza viruses in chickens,” J. Gen. Virol., Vol.91, pp.2302–2306, 2010.9
 17. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, R. Maeda, and T. Itoh, “A digital output accelerometer using MEMS-based piezoelectric accelerometer connected to parallel CMOS circuit,” Proc. Eurosensors XXIV, Linz, Austria, Sep. 5–8, 2010
 18. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, R. Maeda, and T. Itoh, “A digital output piezoelectric accelerometer using a Pb(Zr, Ti)O₃ thin film array electrically connected in series,” Smart Mater. Struct. Vol.19, 105030, 2010.10
 19. H. Okada(産総研), K. Suzuki, T. Tada, K. Tsukamoto, and T. Itoh, “Simulation study on the wireless sensor-based monitoring system for rapid identification of avian influenza outbreaks at chicken farms,” Proc. IEEE Sensors 2010, pp.660–663, Waikoloa, HI, USA, Nov. 1–4, 2010
 20. T. Tada(動衛研), K. Suzuki, Y. Sakurai, M. Kubo, H. Okada, T. Itoh, and K. Tsukamoto, “NP body domain and PB2 contribute to increased virulence of H5N1 highly pathogenic avian Influenza viruses in chickens,” J. Virol., Vol.85, pp.1834–1846, 2011.2
 21. Y. Zhang(産総研), H. Okada, T. Kobayashi, and T. Itoh, “Novel MEMS digital temperature sensor for wireless avian-influenza monitoring system in poultry farm,” Proc. Design Test Integration and Packag. of MEMS/MOEMS (DTIP 2011), pp.222–226, Grenoble, France, May 11–13, 2011
 22. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Room temperature SiO₂ wafer bonding by adhesion layer method,” Proc. IEEE 61st Electronic Components and Technol. Conf. (ECTC), pp.2165–2170, Lake Buena Vista, FL, USA, May 31–June 3, 2011
 23. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, R. Maeda, T. Itoh, “A digital output accelerometer using MEMS-based piezoelectric accelerometers and arrayed CMOS inverters with satellite capacitors”, Smart Mater. Struct., Vol.20, 065017, 2011.6
 24. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, V. Z. Gand, R. Maeda, T. Masuda, and T. Itoh “Piezoelectric switch to activate event-driven wireless sensor node by several Hz of vibration,” Dig. Tech. Papers 16th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '11), pp.1014–1017, Beijing, China, June 5–9, 2011
 25. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Si nanoadhesion layer for enhanced SiO₂-SiN wafer bonding,” Scripta Materialia, Vol.65, pp.320–322, 2011.8
 26. Y. Zhang(産総研), A. Toda, J. Lu, H. Okada, T. Kobayashi, and T. Itoh, “Wafer-scale MEMS technology of new vertically laminated cantilevers,” Proc. Eurosensors XXV, Athens, Greece, Sep. 4–7, 2011
 27. H. Okada, T. Masuda, and T. Itoh, “Development of Miniaturized 300-MHz Frequency Band Antenna with H-Bridge Power Amplifier for Wireless Sensor Node”, Proceedings of Eurosensors XXV, Sep. 4–7, 2011
 28. T. Tada(動衛研), K. Suzuki, Y. Sakurai, M. Kubo, H. Okada, T. Itoh, and K. Tsukamoto, “Emergence of avian influenza viruses with enhanced transcription activity by a single amino acid substitution in the nucleoprotein during replication in chicken brains,” J. Virol., Vol.85, pp.10354–10363, 2011.10
 29. H. Okada, T. Masuda, and T. Itoh, “Development of Custom CMOS LSI for Ultra-Low Power Wireless Sensor Node in Health Monitoring Systems”, Proceedings of IEEE Sensors

2011, 2011.10

30. K. Iimura(東大), T. Hosono, M. Ichiki, T. Itoh and T. Suga “A Release Property of High-Permittivity Thin Film Manufactured with Nano-Transfer Method”, Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, Vol. 4, No. 1, pp. 36-39, 2011
31. Toshifumi Hosono(東大), Keita Iimura, Masaaki Ichiki, Toshihiro Itoh and Tadatomo Suga, ”An Electrode Structure for Ferroelectric Thin Films and Its Application to the Nanotransfer Method”, Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, Vol. 4, No. 1, pp. 40-43, 2011
32. K. Tsukamoto (動衛研). “Highly Pathogenic Avian Influenza in Japan: Outbreaks, Control Measures, and Roles of Wild Birds” , Journal of Disarster Research Vol. 7 pp. 324-331, 2012.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. Y. Zhang, T. Ikehara, J. Lu, T. Kobayashi, M. Ichiki, T. Itoh, R. Maeda, Novel MEMS-based Thermometer with Low Power-Consumption for Health-Monitoring Network Application, Proceedings of Device and Process Technologies for Microelectronics, MEMS, Photonics, and Nanotechnology IV, 6800-, pp.68001V1-10, 2008/01
2. T. Itoh, T. Kobayashi, H. Okada, T. Masuda, T. Suga, “A Digital Output Piezoelectric Accelerometer for Ultra-low Power Wireless Sensor Node”, Book of Abstracts, IEEE Sensors 2008, (Lecce, Italy, October 26-29, 2008), pp. 273-274
3. Y. Zhang, J. Lu, T. Itoh, R. Maeda., MEMS-Based Event-Driven on/off Thermometer for Digital Sensing with Ultra-Low Power, Digest of 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2009), in press
4. Y. Zhang, J. Lu, H. Okada, T. Itoh, R. Maeda, Battery-free and high-sensitivity 3-D MEMS-based thermometer for digital sensing, Proceedings of The 26th Symposium on Sensors, Micromachines & Applied Systems, 2009, in press
5. Y. Zhang, H. Okada, T. Itoh, R. Maeda, MEMS-based Low-Power-Consumption Thermometer Technology for Application in Animal-Health Monitoring System, Proceedings of Eco Design 2009, in press
6. H. Okada, K. Suzuki, T. masuda, K. Tsukamoto, T. Itoh, Development of ultra-low power wireless sensor nodes for health monitoring system in chicken houses, Proceedings of Eco Design 2009, in press
7. T. Kobayashi, H. Okada, T. Masuda, T. Itoh, “A Digital Output Piezoelectric Accelerometer Using Patterned Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Films Electrically Connected in Series”, Technical digest of MEMS 2009, 22th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (Sorrento, Italy, Jan. 25-29, 2009), pp. 801-804 (2009)
8. T. Kobayashi, H. Okada, M. Akiyama, T. Itoh, “A Digital Output Piezoelectric Accelerometer Using CMOS-compatible AlN Thin Film”, Technical digest of Transducers 2009, 15th IEEE International Conference on Solid-state Sensors, Actuators and Microsystems (Denver, Colorado, USA, June. 21-25, 2009), pp. 1166-1169 (2009)
9. 塚本健司、鈴木耕太郎、高病原性鳥インフルエンザに関する最近の研究成果、日本獣医師会誌、2009(総説)
10. Y. Zhang(産総研), J. Lu, H. Okada, T. Itoh, and R. Maeda, “Battery-free and high-sensitivity 3-D MEMS-based thermometer for digital sensing,” Proc. 26th Symp. Sensors, Micromachines and Applied Syst.
11. Y. Zhang(産総研), H. Okada, T. Itoh, and R. Maeda, “MEMS-based low-power-consumption thermometer technology for application in animal-health monitoring system, Proc. EcoDesign 2009
12. H. Okada(産総研), K. Suzuki, T. masuda, K. Tsukamoto, and T. Itoh, “Development of

- ultra-low power wireless sensor nodes for health monitoring system in chicken houses,”
Proc. EcoDesign 2009
13. Y. Zhang(産総研), J. Lu, T. Itoh, and R. Maeda, “MEMS-Based Event-Driven on/off
Thermometer for Digital Sensing with Ultra-Low Power, Dig. 22nd Int. Microprocesses and
Nanotechnol. Conf. (MNC 2009)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 6 件、国際会議 8 件)

1. R. Sawada(九大), Optical MEMS and its new evolution, The fourth International Symposium on Mechatronics and its Applications (IEEE ISMA'07) (Sharjah, UAE, March 26-29, 2007) Abstract pp.34, CD-. (Keynote speaker)
2. R. Sawada(九大), MEMS Packaging and its New Evolution, International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology (IMPACT) conference. (Taipei International Convention Center (TICC), Taiwan on October 1-3, 2007) (invited speaker)
3. Toshihiro Itoh(産総研), MEMS monitoring animals, Minapim Seminar 2008, Manaus(Brasil), 2008.9.11-13.
4. T. Kobayashi(産総研), T. Itoh, M. Ichiki, J. Tsaur, R. Sawada, S. Oyama, and R. Maeda, “Development of Multifunctional Piezoelectric MEMS Devices Using Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Films”, International Symposium on Integrated Ferroelectrics and Functionalities (ISIF2) 2009 (Colorado Springs, Colorado, USA, Sep. 27-39, 2009)
5. 伊藤寿浩(産総研)、安全・安心のためのアニマルウォッチセンサの開発、2009 年度精密工学会秋期大会学術講演大会, 神戸 神戸大学, 2009.9.12
6. 小林(産総研)、岡田、増田、秋山、前田、伊藤、圧電 MEMS のセンサネットワークへの応用、第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム、横浜、2009 年 12 月 7-9 日
7. 伊藤寿浩(産総研)、“安全・安心のためのアニマルウォッチセンサの開発,” 精密工学会 2009 年度秋季大会, 神戸, 2009 年 9 月
8. 澤田廉士(九大)、“MEMS 動向,” 化学工学会第 41 回秋季大会, 2009 年 9 月
9. T. Kobayashi(産総研), T. Itoh, M. Ichiki, J. Tsaur, R. Sawada, S. Oyama, and R. Maeda, “Development of multifunctional piezoelectric MEMS devices using Pb(Zr,Ti)O₃ thin films”, 21st Int. Symp. Integrated Ferroelectrics and Functionalities (ISIF2 2009), Colorado Springs, CO, USA, Sep. 27-39, 2009
10. T. Itoh(産総研)、“Nanotechnology for ultra low power wireless sensor node”, Second International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2009), Vung Tau, Vietnam, Nov. 12-14, 2009
11. 小林健(産総研), 岡田浩尚, 増田 誉, 秋山守人, 前田龍太郎, 伊藤寿浩, “圧電 MEMS のセンサネットワークへの応用,” 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, 神奈川, 2009 年 12 月
12. K. Tsukamoto(動衛研)、“Characterization of pathogenicity of highly pathogenic avian influenza viruses in chickens,” Int. Influenza Symp. Korea, Jan. 27-30, 2010
13. 一木正聡(東大), 才脇直樹, 原史朗, 鈴木章夫, 伊藤寿浩, 薩本弥生, “ウェアラブルシステムによる人間状態計測技術 - 安心安全快適性評価手法の現状と課題 -, ” 第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 神奈川, 2010 年 3 月
14. R. Sawada(九大)、“Successful optical MEMS and their application,” 17th Int. Display Workshops (IDW 201), Fukuoka, Japan, Dec. 1-3, 2010

② 口頭発表 (国内会議 65 件、国際会議 39 件)

1. M. Ichiki (産総研), Ferroelectric films prepared on the polymer substrate by transferred method, Thin films 2006, Singapore, 15 Dec. 2006

2. 増田 誉(東京大学, 太陽誘電), 無線センサ用低消費電力センサとその信号処理, 平成 19 年電気学会全国大会, 富山, 2007 年 3 月 15 日
3. 山下崇博(東大), 原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究, 東京, 2007 年 3 月 22 日
4. T.Ikehara(産総研), R. Maeda, and T. Fujitsu, MICRO OPTICAL BLOOD FLOW SENSOR BASED ON SYSTEM IN PACKAGE (SIP) TECHNOLOGY THAT FUSES OPTICAL MEMS AND INTEGRATED CIRCUIT TO DETECT AVIAN INFLUENZA, ICMAT2007 (1-6 July 2007, Singapore Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre), Abstracts MA-1-OR1, pp. 17
5. R. Seto(九大), R. Sawada, Y. Sawae, E. Higurashi, T. Itoh, T. Masuda, K. Suzuki, K. Tsukamoto, T. Ikehara, R. Maeda, and T. Fujitsu, MICRO OPTICAL BLOOD FLOW SENSOR BASED ON SYSTEM IN PACKAGE (SIP) TECHNOLOGY THAT FUSES OPTICAL MEMS AND INTEGRATED CIRCUIT TO DETECT AVIAN INFLUENZA, ICMAT2007 (1-6 July 2007, Singapore Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre), Abstracts MA-1-OR1, pp. 17
6. H. Okada(東大), T. Itoh, T. Suga, “The influence of the surface profile on leakage in room temperature seal-bonding”, the 14th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers’07), Lyon, 2007.6.12
7. 岡田浩尚(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, 「常温封止接合における表面形状のリークに及ぼす影響」, 第 21 回エレクトロニクス実装学会講演大会, 東京 早稲田大学, 2007.3
8. 柚下泰伸(産総研), 伊藤寿浩, 小林健, 圧電加速度センサアレイの開発, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演会 (明治大学, 3 月 2008)
9. 山下崇博(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, 原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究(第 2 報)-チップレスカンチレバーによる表面間力測定-, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演会 (明治大学, 3 月 2008)
10. 和田洋平, 増田 誉(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, MEMS デバイスの接合部における履歴減衰の最小化に関する研究, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演会 (明治大学, 3 月 2008)
11. 竹田皓平, 増田 誉(東大), 須賀唯知, 伊藤寿浩, ユビキタス機器向け小型アンテナにおける電磁波相殺現象の抑制による放射効率の改善, 第 22 回エレクトロニクス実装学会講演大会 (東京大学, 3 月 2008)
12. 岡田浩尚(東大), 鈴木耕太郎, 塚本健司, 須賀唯知, 伊藤寿浩, 「鶏舎内における鳥インフルエンザ感染シミュレーション」, 2008 年度精密工学会春季大会学術講演大会, 東京 明治大学, 2008.3
13. 一木(東大), 前田, 伊藤, 古江, 高橋 ナノインプリント技術を用いた誘電体の転写技術 強誘電体応用会議, 京都, 2008 年 5 月 29 日
14. M. Ichiki, H. Furue, M. Takahashi and R. Maeda, “Transfer Method Using High-dielectric Film onto the Polymer Substrate”, ICEP2008, Tokyo, 11th June 2008.
15. 関根, 北原, 一木(東大), 藤本 構造物振動を利用した発電手法に関する研究(ピエゾ素子の発電特性) 日本機械学会年次大会, 横浜国立大学 2008 年 8 月 6 日
16. Yoshinori Kimura, Atsushi Onoe, Eiji Higurashi, and Renshi Sawada(九大), Low-power Consumption Integrated Laser Doppler Blood Flowmeter with a Built-in Silicon Microlens, IEEE Optical MEMS and nanophotonics 2008, (Freiburg, Aug.10-14), M2.2pp.13-14.
17. 岩崎 渉(九大), 瀬戸 涼, 木村義則, 尾上篤, 日暮栄治, 澤田 廉士, MEMS マイクロ血流量センサとその飲酒センシングならびに鶏インフルエンザ感染予防への適用, 精密工学会精密工学会秋季大会学術講演会(2008 年 10 月 17 日~19 日, 東北大学川内北キャンパス), K39, アブストラクト pp83.
18. 瀬戸 涼(九大), 松岡史生, 岩崎 渉, 伊藤寿浩, 日暮栄治, 澤田 廉士, 鳥インフルエン

- ザ感染予防のための MEMS 血流量センサの開発、2009 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、(中央大学、2009 年 3 月 11-13 日)、F21, pp.405-406.
19. 和田(東大)、増田、伊藤、須賀 ポリシラザンを用いた SiO₂ ウエハ接合法の開発 第 25 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム 2008 年 10 月 23 日
 20. 竹田、増田(東大)、伊藤、須賀 差動電流による放射電磁波相殺に対処したユビキタス機器向け小型アンテナの開発 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、沖縄、2008 年 10 月 23 日
 21. 山下(東大)、伊藤、須賀 オーミックコンタクト型 MEMS スイッチのスティクション防止膜に関する検討第 25 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、沖縄、2008 年 10 月 22 日-24 日
 22. 矢野、関根、北原、一木(東大)、藤本 構造物振動を利用した発電手法に関する研究(ピエゾ素子の発電耐久試験) 日本機械学会山梨講演会、山梨大学 2008 年 10 月 25 日
 23. 岡田浩尚(産総研)、小林健、増田誉、須賀唯知、伊藤寿浩、“低消費電力無線端末のためのデジタル出力圧電加速度センサー”, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, 東京, 2008.12.11
 24. 伊藤寿浩(産総研)、張毅、小林健、増田誉、“超低消費電力無線センサノードの開発”、エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム、東京、2008.12.11
 25. Toshiyuki Fujii(東大), Hiroshi Yokoi, Tatsuya Tada, Kotaro Suzuki, Kenji Tsukamoto, The poultry tracking system with a camera using particle filters, 2008 International Conference on Robotics and Biomimetics.
 26. Takeshi Uejima, Toshiyuki Fujii, Masatoshi Takita, Hiroshi Yokoi(東大), “Motion Classification by Epidural Potential Measurement of Rat for Low-Invasive Brain-Machine Interface”, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008), pp.2019-2023, 2008.
 27. 上嶋健嗣、藤井俊行、瀧田正寿、横井浩史(東大)、“硬膜外電位計測による運動意図推定技術の研究”, 第 2 回生理研 Motor Control 研究会, 2008.
 28. 山下(東大)、伊藤、須賀 原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究(第 3 報) スティクション防止膜の低荷重領域における接触抵抗測定、2009 年度精密工学会春季大会、東京、2009 年 3 月 11 日
 29. 竹田、増田(東大)、伊藤、須賀 生体用無線センサ端末のための磁性体を用いた小型平面アンテナの開発 精密工学会、中央大学、2009 年 3 月 11-13 日
 30. 松岡史生(九大)、岩崎渉、伊藤寿浩、日暮栄治、澤田廉士、鳥インフルエンザ感染予防のための MEMS 血流量センサの開発、2009 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集、(中央大学、2009 年 3 月 11 日-13 日)、F21, pp.405-406
 31. 岡田浩尚(産総研)、小林健、増田誉、須賀唯知、伊藤寿浩、「低消費電力無線端末のための圧電薄膜を用いたデジタル出力加速度センサーの開発」, 2009 年度精密工学会春季大会, 東京 中央大学, 2009.3
 32. 瀬戸涼(九大)、松岡史生、岩崎渉、伊藤寿浩、日暮栄治、澤田廉士、鳥インフルエンザ感染予防のための MEMS 血流量センサの開発、2009 年度精密工学会春季大会学術講演会、(中央大学、2009 年 3 月 11-13 日)
 33. 関根、矢野、北原、一木(東大)、藤本 構造物振動を利用した発電手法に関する研究(多層ピエゾ素子を用いた振動発電) 日本機械学会関東支部大会、茨城大学 2009 年 3 月
 34. 牧野、一木(東大)、須賀、前田、伊藤 ナノトランスファー法を用いた PZT キャパシタの剥離・転写技術、エレクトロニクス実装学会、横浜、2009 年 3 月 13 日
 35. 竹田、増田(東大)、伊藤、須賀 生体用無線センサ端末のための小型アンテナの放射効率増加に関する検討 エレクトロニクス実装学会、関東学院大学、2009 年 3 月 11-13 日

36. 岡田浩尚(産総研)、小林健、増田誉、須賀唯知、伊藤寿浩「直列接続圧電薄膜アレイを用いたデジタル出力加速度センサー」, 第 23 回エレクトロニクス実装学会講演大会, 横浜 関東学院大学, 2009.3
37. R.Seto (九大), F.Matsuoka, T.Soh, T.Itoh, H.Okada, T.Masuda, T.Umeda, I.Maeda, K.Tsukamoto, K.Suzuki, Y.Kimura, A.Onoe, E.Higurashi, R.Maeda, W.Iwasaki, , R.Sawada, A MICRO OPTICAL BLOOD FLOW SENSOR AND ITS APPLICATION TO DETECTION OF AVIAN INFLUENZA, Transducer 09, (Denver, 21-25, June, presented in 25th), Th2F.007, pp. 2326-2329(2009)
38. 岡田浩尚(産総研), 鈴木耕太郎, 塚本健司, 伊藤寿浩,「無線センサーネットワークを用いた鳥インフルエンザ早期発見システムの開発」, 2009 年度精密工学会秋期大会学術講演大会, 神戸 神戸大学, 2009.9.12
39. 堤可奈子, 野上大史(九大), 松岡史生, 野上大史, 岩崎渉, 伊藤寿浩, 日暮栄治, 澤田廉士, MEMS 血流量センサとその鳥インフルエンザ感染予防への応用(MEMS laser Doppler blood flow sensor and its application for preventing bird flu pandemic), 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (神戸大学, 2009 年 9 月 10-12 日), F70, pp.443-444
40. 張(産総研)、MEMS-Based Event-Driven on/off Thermometer for Digital Sensing with Ultra-Low Power, 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2009), Sapporo, November 16-19, 2009, Japan
41. T. Kobayashi (産 総 研), Y. Yushita, T. Masuda, H. Okada, and T. Itoh, “Self-amplification Type Piezoelectric Accelerometer Using PZT Thin Films Connected In Series”, Proceeding of Eurosensors XXII, Eurosensors XXII (Dresden, Germany, Sept. 7-10, 2008), pp. 1569-1572 (2008)
42. 小林(産総研)、岡田、増田、伊藤、PZT 圧電薄膜アレイを用いた圧電加速度センサにおける出力電圧の自己昇圧、第56回応用物理学関係連合講演会、筑波大学、2009 年 3 月 29 日-4 月 1 日
43. 小林(産総研)、黒田、前田、伊藤 MEMS ベース圧電マイクロカンチレバーの非線形振動 第 26 回強誘電体応用会議、京都、2009 年 5 月 27-30 日
44. T. Fujii, H. Yokoi(電通大), T. Tada, K. Suzuki, and K. Tsukamoto, “Development of avian flu infected poultry detection system using multi-modal sensing,” Int. Workshop Robotics for Young Researchers, Boston, MA, USA, Mar. 4-5, 2009
45. S. Makino, M. Ichiki(東大), R. Maeda and T. Suga, “The nano-transfer technology of the PZT capacitor for the application of embedded substrate,” Int. Conf. Electronics Packaging 2009 (ICEP 2009), Kyoto, Japan, Apr. 14-16, 2009
46. 小林健(産総研), 黒田雅治, 前田龍太郎, 伊藤寿浩, “MEMS ベース圧電マイクロカンチレバーの非線形振動,” 第 26 回強誘電体応用会議, 京都, 2009 年 5 月
47. 一木正聡(東大), 牧野翔, 高橋正春, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 須賀唯知, “ナノトランスファー法を用いた誘電体膜の剥離・転写特性とその応用,” 第 26 回強誘電体応用会議, 京都, 2009 年 5 月
48. M. Ichiki(東大), S. Makino, T. Suga and R. Maeda, “Nanotransfer method for the ferroelectric films onto the polymer substrate,” 2009 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint Conf. Micromechatronics for Information and Precision Equipment (MIPE 2009), Ibaraki, Japan, June 17-20, 2009
49. R. Seto (九大), F. Matsuoka, T. Soh, T. Itoh, H. Okada, T. Masuda, T. Umeda, I. Maeda, K. Tsukamoto, K. Suzuki, Y. Kimura, A. Onoe, E. Higurashi, R. Maeda, W. Iwasaki, and R. Sawada, “A micro optical blood flow sensor and its application to detection of avian influenza,” 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '09), Denver, CO, USA, June 21-25, 2009
50. T. Yamashita(東大), T. Itoh, T. Suga, “Investigation of anti-stiction coating using

- π -conjugated hydrophobic self-assembled monolayer for ohmic contact MEMS switch,” 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '09), Denver, CO, USA, June 21-25, 2009
51. 砂川隆英, 武者芳朗, 池谷昌道, 水谷一裕, 梅田智広(東大), “低出力レーザー照射時の自律神経機能への影響,” 第 21 回日本運動器リハビリテーション学会, 東京, 2009 年 7 月
 52. K. Kita, T. Uejima, T. Fujii, M. Takita, and H. Yokoi(電通大), “Estimation of rat locomotion process through multirecording of epidural potentials”, XXXVI International Congress of Physiological Sciences, Kyoto, Japan, July 27-Aug. 1, 2009
 53. 山下崇博(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, “原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究(第 4 報),” 精密工学会 2009 年度秋季大会, 神戸, 2009 年 9 月
 54. 岡田浩尚(産総研), 鈴木耕太郎, 塚本健司, 伊藤寿浩, “無線センサーネットワークを用いた鳥インフルエンザ早期発見システムの開発,” 精密工学会 2009 年度秋季大会, 神戸, 2009 年 9 月
 55. 堤可奈子(九大), 野上大史, 松岡史生, 野上大史, 岩崎渉, 伊藤寿浩, 日暮栄治, 澤田廉士, “MEMS 血流量センサとその鳥インフルエンザ感染予防への応用,” 精密工学会 2009 年度秋季大会, 神戸, 2009 年 9 月
 56. 梅田智広(東大), 須賀唯知, 鈴木耕太郎, 塚本健司, 伊藤寿浩, “小型心電計を活用した鳥自律神経活動評価に関する検討(第 1 報),” 精密工学会 2009 年度秋季大会, 神戸, 2009 年 9 月
 57. 一木正聡(東大), 須賀唯知, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, “ナノトランスファー法による誘電体薄膜の剥離・転写技術とその特性,” 日本セラミックス協会 2009 年年会, 千葉, 2009 年 9 月
 58. Y. Zhang(産総研), J. Lu, T. Itoh, and R. Maeda, “MEMS-based event-driven on/off thermometer for digital sensing with ultra-low power,” 22nd Int. Microprocesses and Nanotechnol. Conf. (MNC 2009), Sapporo, Japan, Nov. 16-19, 2009
 59. Y. Zhang(産総研), H. Okada, T. Itoh, and R. Maeda, “MEMS-based low-power consumption thermometer technology for application in animal-health monitoring system,” 6th Int. Symp. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2009), Sapporo, Japan, Dec. 7-9, 2009
 60. H. Okada(産総研), K. Suzuki, T. Masuda, K. Tsukamoto, and T. Itoh, “Development of ultra-low power wireless sensor nodes for health monitoring system in chicken houses,” 6th Int. Symp. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2009), Sapporo, Japan, Dec. 7-9, 2009
 61. T. Hosono(東大), K. Iimura, K. Kuroki, M. Ichiki, and T. Suga, “Preparation and release property of BaTiO₃ dielectric films,” 2nd Int. IEEE Workshop Low Temperature Bonding for 3D Integration, Tokyo, Japan, Jan. 19-20, 2010
 62. 梅田智広(東大), “自律神経センシング, ユビキタス・センサネットワークシンポジウム, 東京, 2010 年 1 月
 63. 堤可奈子(九大), 松岡史生, 野上大史, 岩崎渉, 伊藤寿浩, 日暮栄治, 澤田廉士, “鳥インフルエンザ感染鶏の病態解析のための MEMS 血流量センサの応用,” 平成 21 年度日本生体医工学会九州支部学術講演会, 福岡, 2010 年 3 月
 64. 岩崎渉(九大), 野上大史, 伊藤宏記, 日暮栄治, 澤田廉士, “SiP と光 MEMS の融合による血流量センサの小型化,” 第 24 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2010 年 3 月
 65. 細野智史(東大), 飯村慶太, 一木正聡, 伊藤寿浩, 須賀唯知, “強誘電体薄膜の電極構造とナノトランスファー法への応用,” 第 24 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2010 年 3 月

66. 飯村慶太(東大), 細野智史, 一木正聡, 伊藤寿浩, 須賀唯知, “ナノトランスファー法を用いた強誘電体膜の剥離特性,” 第 24 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2010 年 3 月
67. 岡田浩尚(産総研), 小林健, 増田誉, 伊藤寿浩, “圧電加速度センサを用いた超低消費電力イベントドリブン型無線センサ端末の開発,” 第 24 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2010 年 3 月
68. 山下崇博(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, “原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究(第 5 報),” 精密工学会 2010 年度春季大会, 埼玉, 2010 年 3 月
69. 松岡史生(九大), 堤可奈子, 宗知紀, 野上大史, 岩崎渉, 木村義則, 尾上篤, 伊藤寿浩, 日暮栄治, 澤田廉士, “鳥インフルエンザ感染鶏の病態解析のための MEMS 血流量センサの開発,” 精密工学会 2010 年度春季大会, 埼玉, 2010 年 3 月
70. T. Yamashita(東大), T. Itoh, and T. Suga, “Hydrophobic self-assembled monolayer with electrical conductivity for MEMS switches,” 4th MOST-JST Workshop on Advanced Interconnect Technology and Ecodesign, Shanghai, China, Mar. 19, 2010
71. T. Hosono(東大), K. Imura, M. Ichiki, T. Itoh, and T. Suga, “Electrode structure for ferroelectric thin films and application to the nanotransfer method,” Int. Conf. Electronics Packaging 2010 (ICEP 2010), Sapporo, Japan, May 12-14, 2010
72. K. Imura(東大), T. Hosono, M. Ichiki, T. Itoh, and T. Suga, “A release property of high-permittivity thin film manufactured with nano-transfer method,” Int. Conf. Electronics Packaging 2010 (ICEP 2010), Sapporo, Japan, May 12-14, 2010
73. 小林健(産総研), 岡田浩尚, 増田誉, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, “圧電 MEMS 加速度センサと CMOS インバータを用いたデジタル出力加速度センサ,” 第 27 回強誘電体応用会議, 京都, 2010 年 5 月
74. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Room-temperature Si-SiN water bonding by nano-adhesion layer method,” IEEE 60th Electronic Components and Technol. Conf. (ECTC 2010), Las Vegas, NV, USA, June 1-4, 2010
75. Y. Zhang(産総研), T. Kobayashi, H. Okada, T. Ikehara, T. Itoh, and R. Maeda, “MEMS-based event-driven on/off thermometer for animal-health monitoring application,” 日本機械学会茨城講演会, 茨城, 2010 年 8 月
76. M. Ichiki(東大), K. Imura, T. Hosono, K. Kuroki, F. Tomioka, T. Suga, R. Maeda, and T. Itoh, “Preparation of ferroelectric capacitor films onto the releasable substrate and its application to nano-transfer method,” IEEE-CPMT Symp. Japan 2010, Tokyo, Japan, Aug. 24-26, 2010
77. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Room-Temperature Si-Si and Si-SiN water bonding,” IEEE-CPMT Symp. Japan 2010, Tokyo, Japan, Aug. 24-26, 2010
78. H. Itou(九大), W. Iwasaki, H. Nogami, E. Higurashi, and R. Sawada, “Measurement of heart rate variability with MEMS blood flow sensor,” The 1st Japan-China-Korea Joint Seminar on MEMS/NEMS, Sapporo, Japan, Aug. 30-31, 2010
79. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, R. Maeda, and T. Itoh, “A digital output accelerometer using MEMS-based piezoelectric accelerometer connected to parallel CMOS circuit,” Eurosensors XXIV, Linz, Austria, Sep. 5-8, 2010
80. 矢野聡, 一木正聡(東大), 北原時雄, 藤本滋, “構造物振動を利用した発電手法に関する研究(圧電素子の振動耐久性),” 日本機械学会 2010 年度年次大会, 愛知, 2010 年 9 月
81. 黒木啓介(東大), 寺坂英矩, 一木正聡, 須賀唯知, 鈴木章夫, “高入カインピーダンス回路の製作と容量結合型センシング,” 第 20 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム(MES2010), 滋賀, 2010 年 9 月
82. 富岡史明(東大), 細野智史, 飯村慶太, 一木正聡, 須賀唯知, 伊藤寿浩, “強誘電体

- の剥離プロセス特性と応用,” エコデザイン 2010 ジャパンシンポジウム, 東京, 2010 年 12 月
83. 一木正聡(東大), 寺坂英矩, 黒木啓介, 須賀唯知, 鈴木章夫, 伊藤寿浩, “高入カインピーダンス回路の製作と非接触センシング技術への応用,” エコデザイン 2010 ジャパンシンポジウム, 東京, 2010 年 12 月
 84. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Low-temperature water bonding using surface activation,” 2nd Advanced Welding and Joining Technol. Conf., Harbin, China, Jan. 14-16, 2011
 85. 富岡史明(東大), 一木正聡, 須賀唯知, 伊藤寿浩, 飯村慶太, 細野智史, “薄膜キャパシタ構造体の付着特性とナノトランスファー法への応用,” 第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 神奈川, 2011 年 3 月
 86. 山下崇博(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, “自己組織化単分子膜による MEMS スイッチのスティクション防止に関する研究,” 第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 神奈川, 2011 年 3 月
 87. 矢野聡, 藤本滋, 一木正聡(東大), 北原時雄, “構造物振動を利用した発電手法に関する研究 (Nb 添加のピエゾ素子の発電特性),” 第 60 回理論応用力学講演会, 東京, 2011 年 3 月
 88. 矢野聡, 一木正聡(東大), 藤本滋, 北原時雄, “構造物振動を利用した発電手法に関する研究 (複数の種類の添加剤を含む圧電素子の発電特性),” 日本機械学会関東支部第 17 期総会講演会, 神奈川, 2011 年 3 月
 89. F. Tomioka(東大), K. Imura, T. Hosono, M. Ichiki, and T. Suga, “A peeling property of thin film capacitor structure,” Int. Conf. Electronics Packaging 2011 (ICEP 2011), Nara, Japan, Apr 13-15, 2011
 90. Y. Zhang(産総研), H. Okada, T. Kobayashi, and T. Itoh, “Novel MEMS digital temperature sensor for wireless avian-influenza monitoring system in poultry farm,” Symp. Design Test Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP 2011), Aix-en-Provence, France, May 11-13, 2011
 91. 小林健(産総研), 岡田浩尚, Z. Gang, 増田誉, 前田龍太郎, 伊藤寿浩, “イベントドリブン式ワイヤレスセンサ端末起動のための圧電 MEMS スイッチ,” 第 28 回強誘電体応用会議, 京都, 2011 年 5 月
 92. R. Kondou(東大), and T. Suga, “Room temperature SiO₂ water bonding by adhesion layer method, IEEE 61th Electronic Components and Technol. Conf. (ECTC 2011), Lake Buena Vista, FL, USA, May 31-June 3, 2011
 93. 野上大史(産総研), 小林健, 岡田浩尚, V. Z. Gang, 増田誉, 前田龍太郎, 伊藤寿浩, “低周波数振動領域で使用可能なワイヤレスセンサ端末のための圧電 MEMS スイッチ”, 第19回茨城講演会, 茨城, 茨城大学, 2011 年 8 月 26 日
 94. D. Nan(電通大), S. Morishita, and H. Yokoi, “A tracking method of multiple moving objects for animal watch sensor systems – Measures for random mobility and the problem with connection and separation –,” SICE 2011 Annual Conference, Tokyo, Japan, Sep. 13-18, 2011
 95. Y. Zhang(産総研), A. Toda, J. Lu, H. Okada, T. Kobayashi, and T. Itoh, “Wafer-scale MEMS technology of new vertically laminated cantilevers,” Eurosensors XXV 2011, Athens, Greece, Sep. 4-7, 2011
 96. 飯村慶太(東大), 一木正聡, 藤本 滋, 伊藤寿浩, 須賀唯知, “圧電体を用いた振動発電デバイスの構造設計と素形材に関する研究”, 第26回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2012 年 3 月
 97. 尾崎紀之(東大), 細野智史, 一木正聡, 須賀唯知, 伊藤寿浩, “剥離性基板上における鉛フリー誘電体薄膜の成膜技術”, 第26回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2012 年 3 月
 98. 末重良宝(東大), 飯村慶太, 一木正聡, 須賀唯知, 伊藤寿浩, “誘電性薄膜の高品質化とウェアレバブル成膜への応用”, 第26回エレクトロニクス実装学会春季講演大会,

東京, 2012 年 3 月

99. 小峰えりか, 富岡史明, 一木正聡, 須賀唯知, 伊藤寿浩, “PZT 薄膜の剥離性基板上への作製と特性”, 第26回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 東京, 2012 年 3 月
100. H. Okada(産総研), H. Nogami, T. Masuda, T. Itoh, “Development of low power technologies for health monitoring system using wireless sensor nodes”, dMEMS 2012, Besancon, France, Apr. 2-3, 2012
101. Erika Komine(東大), Fumiaki Tomioka, Masaaki Ichiki, Tadatomo Suga, Toshihiro Itoh, “Preparation and Characterization of PZT Thin Films on Releasable Substrate”, ICEP-IAAC, Tokyo, April 17 - 20, 2012
102. Kazutaka Sueshige(東大), Keita Iimura, Masaaki Ichiki, Tadatomo Suga, Toshihiro Itoh, “Homogenizing Piezoelectric Film and Application to Wafer Level Film Preparation”, ICEP-IAAC Tokyo, April 17 - 20, 2012
103. Motoyuki Ozaki(東大), Toshifumi Hosono, Masaaki Ichiki, Tadatomo Suga, Toshihiro Itoh, “Fabrication of Lead-free Dielectric Thin Film on Releasable Substrate”, ICEP-IAAC Tokyo, April 17 - 20, 2012
104. H. Nogami(AIST), T. Kobayashi, H. Okada, Z. Gang, T. Masuda, R. Maeda, T. Itoh, Piezoelectric MEMS switch to activate event-driven wireless sensor nodes, DTIP 2012, France, 25-27 Apr. 2012

③ ポスター発表 (国内会議 12 件、国際会議 23 件)

1. M. Ichiki(産総研), High dielectric films prepared by the nanotransfer method, polytronic 2007, Tokyo, 16 Jan.(2007).
2. Takahiro Yamashita(東大), Investigation of Anti-Stiction Coating for MEMS Switch Using Atomic Force Microscope, The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers'07 & Eurosensors XXI), Lyon(France), June 10-14(2007)
3. R. Seto(九大), R. Sawada, E. Higurashi, T. Itoh, T. Masuda, K. Suzuki, K. Tsukamoto, T. Ikehara, R. Maeda, T. Masuda and T. Fujitsu, “Development and Use of a Micro Optical Blood Flow Sensor based on System in Package (SiP) Technology that Fuses Optical MEMS and Integrated Circuit to Detect Avian Influenza”, Digest of Technical papers, Transducers'07 & Eurosensors XXI, The 14th International conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems.(Lyon. France, June 10-14, 2007), pp. 1995-1998.
4. 鈴木耕太郎(動衛研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 真瀬昌司, 塚本健司, H5N1 高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性と体温変動, 第 55 回日本ウイルス学会学術集会、札幌コンベンションセンター, 10 月 2007 年
5. 張(産総研), Novel MEMS-based Thermometer with Low Power-Consumption for Health-Monitoring Network Application, Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology Symposium, Canberra, December 4-7, 2007, Australia
6. 鈴木耕太郎(動衛研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 真瀬昌司, 塚本健司, 高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した鶏の生体反応の解析, 第 145 回日本獣医学会学術集会, 麻布大学 3 月 2008 年
7. 鈴木耕太郎(動衛研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 多田達哉, 真瀬昌司, 塚本健司 H5N1 高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏伝播 第 56 回日本ウイルス学会学術集会、岡山コンベンションセンター 10 月 2008 年
8. Kiyoshi Itao, Guillaume Lopez, Michiko Kinjo, Tomohiro Umeda(東大), Human Recorder System Development for Sensing the Autonomic Nervous System, IEEE2008, Lecce, Italia, 2008
9. T. Itoh(産総研), T. Kobayashi, H. Okada, T. Masuda, T. Suga, “A Digital Output Piezoelectric Accelerometer for Ultra-low Power Wireless Sensor Node”, Book of Abstracts, IEEE Sensors 2008, (Lecce. Italy, October 26-29, 2008), pp. 273-274

10. 鈴木耕太郎(動衛研)、岡田浩尚、伊藤寿浩、多田達哉、真瀬昌司、塚本健司、H5N1 高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏伝播効率 第147回日本獣医学会、栃木県総合文化センター 4月 2009年
11. 鈴木耕太郎(動衛研)、岡田浩尚、伊藤寿浩、久保正法、多田達哉、真瀬昌司、塚本健司、H5N1 高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した成鶏の病態変化、第 57 回日本ウイルス学会、10月 2009年
12. 多田達哉(動衛研)、鈴木耕太郎、桜井優、岡田浩尚、伊藤寿浩、塚本健司、NP の変異による高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性増強、第 57 回日本ウイルス学会、10月 2009年
13. 張(産総研)、Battery-free and high-sensitivity 3-D MEMS-based thermometer for digital sensing, The 26th Symposium on Sensors, Micromachines & Applied Systems, Tokyo, October 15-16, 2009, Japan
14. H. Okada(産総研), K. Suzuki, K. Tsukamoto, T. Itoh, "Wireless sensor system for detection of avian influenza outbreak farms at an early stage", IEEE Sensors 2009, Christchurch (New Zealand), 2009.10.27
15. 張(産総研)、MEMS-based Low-Power-Consumption Thermometer Technology for Application in Animal-Health Monitoring System, Eco Design 2009, Sapporo, December 7-9, Japan
16. H. Okada(産総研), K. Suzuki, T. masuda, K. Tsukamoto, T. Itoh, Development of ultra-low power wireless sensor nodes for health monitoring system in chicken houses, Eco Design 2009, Sapporo, December 7-9, Japan
17. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, T. Itoh, "A Digital Output Piezoelectric Accelerometer Using Patterned Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Films Electrically Connected in Series", 22th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (Sorrento, Italy, Jan. 25-29, 2009)
18. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, M. Akiyama, T. Itoh, "A Digital Output Piezoelectric Accelerometer Using CMOS-compatible AlN Thin Film", 15th IEEE International Conference on Solid-state Sensors, Actuators and Microsystems (Denver, Colorado, USA, June. 21-25, 2009)
19. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, M. Akiyama, and T. Itoh, "A digital output piezoelectric accelerometer using CMOS-compatible AlN thin film," 15th Int. Conf. Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '09), Denver, CO, USA, June 21-25, 2009
20. 多田達哉(動衛研)、鈴木耕太郎、桜井優、岡田浩尚、伊藤寿浩、塚本健司、"NP の変異による高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性増強," 第 57 回日本ウイルス学会、東京、2009年 10月
21. 鈴木耕太郎(動衛研)、岡田浩尚、伊藤寿浩、久保正法、多田達哉、真瀬昌司、塚本健司、"H5N1 高病原性鳥インフルエンザウイルスに感染した成鶏の病態変化," 第 57 回日本ウイルス学会、東京、2009年 10月
22. Y. Zhang(産総研), H. Okada, J. Lu, T. Itoh, R. Maeda, "Battery-free and high-sensitivity 3-D MEMS-based thermometer for digital sensing," The 26th Symp. Sensors, Micromachines and Applied Systems, Tokyo, Japan, Oct. 15-16, 2009
23. H. Okada(産総研), K. Suzuki, K. Tsukamoto, T. Itoh, "Wireless sensor system for detection of avian influenza outbreak farms at an early stage," IEEE Sensors 2009, Christchurch, New Zealand, Oct. 25-28, 2009
24. H. Okada(産総研), K. Suzuki, K. Tsukamoto, and T. Itoh, "Avian influenza surveillance system in poultry farms using wireless sensor network", DTIP2010, pp. 253-258, (Seville, Spain, May 5-7, 2010)
25. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, T. Masuda, H. Takagi, T. Ikehara, R. Maeda, and T.

- Itoh, "MEMS-based wireless sensor network for chicken health monitoring and clean room management," 6th Int. Nanotechnol. Conf. Communications and Cooperation (INC6), Grenoble, France, May 27, 2010
26. K. Tsutsumi(九大), M. Nakamura, T. Gotoh, E. Higurashi, T. Itoh, R. Maeda, and R. Sawada, "Application of MEMS blood flow sensor to diagnose the health of animals such as chickens and cows," The first Japan-China-Korea Joint Seminar 2010, Sapporo, Japan, Aug. 30-31, 2010
 27. M. Ichiki(東大), T. Hosono, K. Iimura, T. Itoh, and T. Suga, "Release of ferroelectric films and its application-nanotransfer method for the capacitor, Asia NANO 2010, Tokyo, Japan, Nov. 1-3, 2010
 28. H. Okada(産総研), K. Suzuki, T. Tada, K. Tsukamoto, and T. Itoh, "Simulation study on the wireless sensor-based monitoring system for rapid identification of avian influenza outbreaks at chicken farms," IEEE Sensors 2010, Waikoloa, HI, USA, Nov. 1-4, 2010
 29. 鈴木耕太郎(動衛研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 久保正法, 多田達哉, 塚本健司, "H7 亜型高病原性鳥インフルエンザウイルス感染鶏の病態変化と伝播力," 第 58 回日本ウイルス学会学術集会, 徳島, 2010 年 11 月
 30. 多田達哉(動衛研), 鈴木耕太郎, 桜井優, 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 塚本健司, "鳥インフルエンザウイルスの鶏病原性に関与する PB2 および NP 遺伝子," 第 58 回日本ウイルス学会学術集会, 徳島, 2010 年 11 月
 31. 張毅(産総研), 伊藤寿浩, 高木秀樹, 前田龍太郎, 戸田顯, 富澤保, "無電解めっきのニッケルメッキ合金膜の三次元パターンニング技術," 第 25 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会, 神奈川, 2011 年 3 月
 32. 鈴木耕太郎(動衛研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 久保正法, 多田達哉, 塚本健司, "H7 亜型高病原性鳥インフルエンザウイルス感染鶏の病態変化と伝播力," 第 151 回日本獣医学会学術集会, 東京, 2011 年 3 月
 33. T. Kobayashi(産総研), H. Okada, V. Z. Gand, R. Maeda, T. Masuda, and T. Itoh, "Piezoelectric switch to activate event-driven wireless sensor node by several Hz of vibration", 16th Int. Conf. Solid-state Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers '11), Beijing, China, June 5-9, 2011
 34. H. Okada, T. Masuda, and T. Itoh, "Development of Miniaturized 300-MHz Frequency Band Antenna with H-Bridge Power Amplifier for Wireless Sensor Node ", Proceedings of Eurosensors XXV, Athens, Greece, Sep. 4-7, 2011
 35. H. Okada, T. Masuda, and T. Itoh, "Development of Custom CMOS LSI for Ultra-Low Power Wireless Sensor Node in Health Monitoring Systems", Proceedings of IEEE Sensors 2011, Limerick, Ireland, Oct. 28-31, 2011

(4)知財出願

① 国内出願 (13 件)

1. 圧電体、北原、藤本、一木、伊藤、前田、2008 年 8 月 1 日、特願 2008-2159
2. 無線通信装置、増田、竹田、山田、中村、伊藤、2008 年 10 月 16 日、特願 2008-267302
3. MEMS の技術による温度センサ及びこれらの製造方法 , 張、岡田、小林、伊藤、前田、2009 年 3 月 18 日、特願 2009-067117
4. 無線活動量センサ端末およびセンサネットワークシステム、伊藤、増田、中村、岡田、2009 年 10 月 6 日、特願 2009-232153
5. 低消費電力無線センサ端末およびセンサネットワークシステム、伊藤、増田、中村、岡田、2009 年 10 月 6 日、特願 2009-232154
6. 加速度センサ、小林健、伊藤寿浩、岡田浩尚、前田龍太郎、張毅、増田誉、

2010 年 4 月 22 日, 特願 2010-098993

7. 誘電体構造体, 及びその製造方法, 一木正聡, 細野智史, 飯村慶太, 須賀唯知, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 2010 年 5 月 10 日, 特願 2010-108684
8. 信号伝達方法, 装置及びその電気回路, 一木正聡, 黒木啓介, 須賀唯知, 鈴木章夫, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 2010 年 9 月 8 日, 特願 2010-200735
9. 信号受信機, 増田 誉, 伊藤寿浩, 岡田浩尚, 2010 年 10 月 13 日, 特願 2010-230526
10. 半導体集積回路, 伊藤寿浩, 岡田浩尚, 増田 誉, 中村公亮, 2010 年 12 月 27 日, 特願 2010-290406
11. 加速度センサ, 小林健, 伊藤寿浩, 岡田浩尚, 前田龍太郎, 張毅, 増田 誉, 2010 年 4 月 22 日, 特願 2010-098993
12. 非接触信号伝送システム及び方法, 一木正聡, 黒木啓介, 須賀唯知, 鈴木章夫, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 2010 年 9 月 8 日, 特願 2010-200735
13. 加速度センサ, 振動子, 鳥インフルエンザ監視システム, 小林健, 岡田浩尚, 張毅, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 増田 誉, 2011 年 5 月 20 日, 特願 2011-112952

②海外出願 (0 件)

(5)受賞・報道等

① 受賞

1. Journal of Micromechanics and Microengineering 2008 Highlights に Takeshi Kobayashi, Ryutaro Maeda, and Toshihiro Itoh, A fatigue test method for Pb(Zr,Ti)O₃ thin films by using MEMS-based self-sensitive piezoelectric microcantilevers, J. Micromech. Microeng. 18 (2008) 115007
2. 第 47 回日本機械学会関東支部講演会 学生員卒業研究発表会「ベストプレゼンテーションアワード」矢野聡(2009 年 3 月)
3. 精密工学会 2010 年度春季大会, ベストプレゼンテーション賞, “原子間力顕微鏡を用いた MEMS スイッチにおけるスティクションに関する研究(第 5 報),” 山下崇博(東大), 伊藤寿浩, 須賀唯知, 2010 年 3 月
4. 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, 奨励賞, “圧電 MEMS のセンサネットワークへの応用,” 小林健(産総研), 岡田浩尚, 伊藤寿浩, 増田 誉, 秋山守人, 前田龍太郎, 2009 年 12 月

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 日経 IT-PLUS <http://it.nikkei.co.jp/> 10/6 掲載「無線センサーによる鶏の健康モニタリングシステムを開発」
2. 日本農業新聞 10/7 朝刊 「無線センサーによる鶏の健康モニタリングシステムを開発」
3. 茨城新聞 10/7 朝刊 「無線センサーによる鶏の健康モニタリングシステムを開発」
4. 化学工業日報 10/8 朝刊「無線センサーによる鶏の健康モニタリングシステムを開発」
5. 日経産業新聞 10/8 朝刊「先進的統合センシング技術研究の公開シンポジウム」
6. 日本農業新聞 10/8 朝刊「無線センサーで家畜健康診断を」
7. 日本経済新聞 10/8 朝刊「無線センサーによる鶏の健康モニタリングシステムを開発」
8. 日経産業新聞, 2009 年 10 月 9 日朝刊, 「小型センサーで鶏の健康監視」
9. 朝日新聞, 2009 年 11 月 2 日朝刊, 「鶏のインフル発熱 1 円玉サイズで監視」
10. 日経産業新聞, 2010 年 1 月 21 日朝刊, 「鶏の健康、センサーで管理」

③その他

1. 澤田廉士, “ワイヤレスセンサネットワーク技術の新展開,” センサとその応用, エレクトロニクス実装学会マイクロメカトロニクス実装技術委員会生産流通トレーサビリティと感性計測技術研究会, 2009 年 4 月 15 日, 産業技術総合研究所つくば東事業所第1会議室
2. 澤田廉士, MEMS とその応用, 九州バイオニクMEMS研究会講演会, 2009 年 4 月 28 日, JST イノベーションプラザ福岡
3. 南東吉, 森下壮一郎, 横井浩史, 精密工学会, 画像応用技術専門委員会主催「外観検査アルゴリズムコンテスト 2010」応募
4. 須藤正巳, “養鶏場におけるアニマルウオッチセンシングシステムの確立,” 茨城県試験研究機関研究活動発表会(ポスター発表), 2010 年7月7日, 産業技術総合研究所中央講堂
5. 日経エレクトロニクス, 鳥インフルエンザの早期発見に, ローパワーの近距離無線を, p. 81, 3-7 2011

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

- ・ 成果として出てきた特願 2010-230526 について、応用拡大に向け、NEDO「グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発」プロジェクトの中で実施中。(H23～26)

②社会還元的な展開活動

- ・ 得られた成果である小型・低消費電力の血流量センサについて、第 21 回マイクロマシン／MEMS展や、国際電子回路産業展 JPCA show2010 アカデミックプラザ、第 22 回マイクロマシン／MEMS展、国際電子回路産業展 JPCA show2011 アカデミックプラザという展示会に出展し、各回観客 1000 名程度を集めた。
- ・ 得られた成果である無線センサ端末を用いた鳥インフルエンザ警報システムについて nano tech 2012 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議で展示し、一般に情報提供を行う予定である。
- ・ 得られた成果である無線センサ端末を用いた鳥インフルエンザ警報システムや、鳥インフルエンザの病態解析について、中国(上海交通大学、中国科学院金属研究所(瀋陽))、ベトナム(IWNA2009)、ブラジル(Minapin 2008)、韓国(国際インフルエンザシンポ 2010)など、鳥インフルエンザ発生国を中心に啓蒙活動をおこなった。

§ 6 研究期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2009 年 10 月 7 日	公開シンポジウム「動物の健康とワイヤレスセンシング」	東京大学	61 名	プロジェクト中間時点での成果発表と、動物研究関連者 3 名の招待講演を行い、今後の方向性について幅広い議論を行う。
2010 年 6 月 2 日-4 日	国際電子回路産業展 JPCA show 2010 アカデミックプラザ	東京ビッグサイト	1000 人程度	クレスト血流量センサの展示

2010 年 7 月 28 日-7 月 30 日	第 21 回マイクロマシン ／MEMS展	東京ビッグ サイト	1000 人程 度	クレスト血流量センサの展示
2011 年 6 月 1 日-3 日	国際電子回路産業展 JPCA show 2011 アカデ ミックプラザ	東京ビッグ サイト	1000 人程 度	講演とクレスト血流量センサ の展示
2011 年 7 月 13 日-7 月 15 日	第 22 回マイクロマシン ／MEMS展	東京ビッグ サイト	1000 人程 度	クレスト血流量センサの展示

§ 7 結び

研究開発の進展とともに適宜課題の取捨選択を行ってきたが、当初の基本コンセプト・目標に沿った成果が得られており、東日本大震災前まではほぼ計画通り進捗していた。ただし、東日本大震災の影響、具体的にはサンプルの破損、クリーンルーム停止・ガス配管・実験廃液排出系破損（すべて復旧したのは7月初旬）および使用電力制限により、実証試験用の要素デバイスおよび端末の製作がおおよそ3～4か月程度遅れてしまった。しかしながら、端末は9月末には完成し、10月から11月の廃鶏時期までに2週間ほど実証実験を行うことができ、開発したシステムの基本動作を確認することができた。

無線センサ端末を使った感染実験においては、鳥インフルエンザ感染鶏のウイルス株による体温変化、伝播特性の違いなど世界ではじめて得られ、その成果はウイルス学分野で最も権威のある Journal of Virology で掲載されるなど学術的にも意義のある成果が出ている。鳥インフルエンザの分子基盤解明においても、無線センサ技術の活躍により、研究成果として記載されているような学術的にも社会的にも意義のある成果が得られている。

無線センサ端末技術の開発に関しては、開発した要素デバイスや低消費電力化技術を適宜適用しながら、実際に動物実験に供することができるものを開発してきたが、それにより動物実験が進展するとともに、センサ端末の進化にもうま結びつけられている。最終的には、追加支援により、独自のカスタム LSI も開発でき、実用に向けて最も重要な要素の一つである低コスト化見通しに関しても示すことできたのではないかと考えている。

要素デバイスに関しては、ほぼ当初目標を達成することができた。ただし、実装技術を中心とした端末への搭載技術については経験や道具立てが不十分だったこともあって相当に苦労を要した。デバイス開発として併行して、材料技術や接合技術、接点技術などの要素技術の開発を行ってきたが、要素デバイス製造への適用に向けた基盤技術として確立できただけでなく、圧電材料や自己組織化膜の特性などについて新たな知見や基礎的なメカニズムに関する科学的な成果を出すこともできた。

要素デバイスの中でも、特に低消費電力センサの開発については、無線センサ端末の長期連続動作のための省電力化に重点を置き、これまでに研究されてきた高精度、汎用性の高いセンサとは方向性を異とし、無線で送信するためのデジタル化、マイコンのイベント起動をも考慮した、必要最小限のデータを最低の消費電力で取得するという、本研究の目的に極限まで特化したものである。この省電力 MEMS センサのコンセプトは、本研究領域の戦略目標の中核を担うセンサネットワーク技術においては、実用化におけるキーとされている省電力化に大きな寄与をもたらすはずであり、その技術的インパクトは高い。実際に IEEE MEMS や Transducers などの MEMS 国際会議でも評価を受けている。更に、加速度センサの研究では、本プロジェクト予算で購入した高真空スパッタ装置の導入によりPZT 薄膜の圧電特性が大幅に改善され、デジタル圧電加速度センサの感度増大が実現された。また、PZT 薄膜だけでなく AlN 薄膜を用いたデジタル圧電加速度センサの開発に世界に先駆けて成功した。このデジタル圧電加速度センサを用いて MEMS の動物研究への応用という新たな分野を切り開いていくとともに、MEMS のスポーツ分野等への応用も検討してい

きたい。

本研究での早期病変判別方法の開発では、実際に取得したデータ(例えば加速度)を別の形(ある時間における活動量)に変換することにより、無線センサ端末で最も消費電力の大きい送信動作の大幅な低減を実現できた。このように、その送信データを目的に応じて最適化を行うことにより省電力化をおこなうことの有用性を示したことも、センサネットワーク技術分野へ大きな貢献が期待できる。

1戸当たりの飼養羽数が増加している養鶏産業において、鶏1羽単位ではなく、群全体としての健康管理を省力的に行えるシステムの開発が求められている。こうした背景のなか、本研究で開発したアニマルセンサシステムは、鶏群全体の体温、加速度を安定的かつ連続して測定することを可能とするものである。また、このシステムは、鶏(動物)にとって快適な環境で健康的に飼育管理することが、安全で安心した鶏卵(畜産物)を生産することにつながるという「動物福祉」の観点からも注目される。

さらに、養鶏業では夏季の暑熱ストレスによる生産性低下が課題となっているが、本研究の試験で、細霧(ミスト)システムと大型送風機を活用することで鶏舎内の気温が効果的に低下し、生産性の低下が防止される結果が得られ、夏季における鶏の飼養環境改善効果が示されるなど畜産分野での具体的な成果が創出されつつある。本研究で得られた成果を、養鶏農家に普及させることにより、生産性の向上および年間を通しての経営安定が期待できる。

今回農場鶏用に開発した無線センサ端末は、カスタム LSI の導入により、大量生産をすれば 100 ～200 円程度で製造できるものであるが、すぐに大規模な普及が進むことは想定できないため、他の動物や人への応用展開を含めて検討しなければいけない。取組は最終年度からとなったが、本研究では、一頭当たりの経済価値が高い畜産牛への導入から実現したいと考えている。

本チームでも、領域理念である“社会実装”を目指して、ニーズ側の動物衛生研究所および茨城県畜産センターと緊密な連携により研究開発を行ってきたが、いわゆる“基盤技術”と、実用技術あるいは製品との間のギャップを埋めるための様々な試みは、工学側・動物(農学)側双方のチームメンバーにとっても大変貴重であり、このような経験は今後のプロジェクトの展開等に様々な形で生きてくるものと確信している。

実用化に向けては、大量生産による低コスト化や行政との関係など、技術の完成だけでは克服できない課題もあるが、適切なデモンストレーションを行うことにより、解決を試みたいと考えている。また、アニマルウォッチセンサは、養鶏場応用にとどまらず、動物(生態)研究、畜産、飼育等様々な応用展開ができると考えており、そういった方向からの社会実装も試みたいと考えている。

本プログラムにより、例えば動物衛生研究所においては、工学分野と感染症分野の新しい共同研究の環境で、適切な予算と期間が確保され、ポスドク研究者を雇用できたことで、競争の激しい鳥インフルエンザの分野においても、世界に誇れる先端的な研究成果を報告できたことは貴重な経験であったと考えている。動物衛生研究所で活躍した二人のポスドクも一人は独立行政法人の任期付き研究員として、一人は国立大学の助教として就職することができ、若手人材育成の観点からも大変有効なプロジェクトである。

また、血流量センサは、本プロジェクト研究期間に着実に進化をとげた。実用・普及が目前に迫っているようなデバイスを本プロジェクトで開発できたことも大変よろこばしい限りである。



東京ビッグサイトで開催の MEMS 展で開発した血流量センサを東大と九大の共同出展。展示会では、開発した血流量センサへの質問が多く、大盛況でした。