

伊藤 寿浩

(独) 産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門・グループ長

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。平成 20 年度は、特に、センサネットワークシステムの設計に不可欠な感染動物実験・病態解明を進めるとともに、無線センサ端末を構成する要素デバイスの試作・評価を進め、プロトタイプ端末・ネットワークシステムを試作することを目的とした。

感染動物実験・病態解明においては、鶏伝播力の要因解明を行い、鶏伝播力がウイルスの排泄期間の長さではなく、ウイルス排泄量の多さと相関し、伝播速度はウイルス排泄量が感染必要量に達するまでの時間の短さと関係することが初めて明らかになった。また、高熱を伴って鶏を殺す株と発熱以前に迅急性に鶏を殺す株について人工ウイルスが作出され、それらの鶏病原性が親株と同じであることが確認できた。

無線センサ端末を構成する要素デバイスに関しては、プリント基板上に 315MHz 帯λ/20 小型アンテナを実現し、30 m 超(見通し有)の通信可能距離を有する微弱無線規格に準拠したプロトタイプ端末を試作した。そして、その端末を鶏に装着し、実験鶏舎において 100 台端末レベルのネットワークシステムを試作した。また、LD 内蔵・DSP 除外血流センサの設計試作を行い、小型化・低消費電力化を実現するとともに、超低消費電力温度センサ・加速度センサの基本動作を確認し、それらの実装技術として、接点材料最適化・常温封止接合構造開発を行った。

平成 21 年度は、プロトタイプシステム実現に向けて、実験用アニマルウォッチシステムの高性能化に向けた感染動物実験・病態解明を進めるとともに、無線センサ端末を構成する要素デバイスを完成させ、プロトタイプ端末とそれを用いた実験ネットワークシステムを実現する。

2. 研究実施内容(文中にある参照番号は 4.(1)に対応する)

本年度は、センサネットワークシステムの設計に不可欠な感染動物実験・病態解明を進めるとともに、無線センサ端末を構成する要素デバイスの試作・評価を進め、プロトタイ

ブ端末・ネットワークシステムの試作を行った。

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。

・315MHz帯小型アンテナの開発: 315MHz帯の微弱無線規格に準拠した $\lambda/20$ の小型アンテナの最適化設計を行って、プリント基板上に試作を行った。その結果、目標の通信可能距離 10m(見通し有)に対して34m(見通し有)を達成した。また、さらなる小型化のため、フェライト材料の波長短縮効果による小型化の検討を行い、上記の $\lambda/20$ のアンテナを $\lambda/29$ 程度まで小型化出来る可能性を見出せた。さらに、フェライト基板にアンテナを形成するための加工技術として深溝形成技術、導体埋め込み印刷技術、低誘電率材料を用いた接合技術などの基本製造技術を開発した。

・無線端末用専用回路の開発: 無線センサ端末の電池の長寿命化の障害となる水晶振動子の起動時間を $1/10$ 程度まで短縮できる新しい高速起動回路を考案・設計し、シミュレーション上でその有効性を確認した。この回路が無線センサ端末に搭載された場合、全消費電力は65%まで小さく出来ると推定される。

・長期装着および埋入可能な高機能性膜の開発: アルギン酸にナノセルロースを加えた複合メンブランを開発した。弾性率約1.8GPaのメンブランが作製でき、力学的特性の改善に成功した。

・プロトタイプセンサ端末の開発: 体温、加速度データに加え、鶏心電データの連続終夜測定を実施した。それらのデータを解析することにより、明け方にかけて交感神経が緊張するなど明暗による影響を明らかにし、自律神経系評価が行えることを確認した。

・運動状態追跡システム: 動物追跡システムをケージ内の鶏に適用し、追跡実験を行った結果、80%程度を追従し、その重心移動を追跡することが確認された。また、体温の時間変化を用いた健康鶏の判別においては、ウイルスの投与から12時間以内の判別率が70%以上で可能であることが確かめられた。

・発電素子の開発: バルク体を対象として、実験により発電出力の向上に資する材料特性要因の抽出を行った。また、繰り返し使用時の耐久試験を行い、100万回程度の使用に際しては発電特性の劣化などは観測されないことを確認した。

B) 鳥インフルエンザ感染動物における病態変化の解析

H20年度は鶏伝播力の要因解明と人工ウイルスの作出に取り組んだ。鶏伝播力を調べる世界の標準法は、接種鶏および同居鶏を1日2回観察して、症状、死亡率、平均死亡日数などを比較する方法である。しかし、この方法ではウイルス株間の伝播力の違いを正確に評価することは難しく、伝播力を決める要因は十分に明らかにされていなかった。そこで鶏伝播力を規定する要因を解明する目的で、接種鶏、同居おとり鶏、別居おとり鶏の3群にセンサを装着し、鳥インフルエンザウイルスを接種鶏に投与し、接種鶏から同居おとり鶏への同居伝播と、網で隔てた別室で飼育された別居おとり鶏への空気伝播の様子について、鶏死亡時間を調べた。ウイルスは高病原性のH5N1ウイルス3株を用いた。また、ウイルス接種鶏の口腔スワブおよびクロアカスワブ中のウイルス量を経時的に測定し、伝播力と

の関係を調べた。その結果、高病原性鳥インフルエンザウイルスの鶏伝播力は、これまで伝播力は感染後の生存期間（ウイルスの排泄期間）の長さには比例することが定説とされていたが、我々の実験ではウイルス排泄量の多さと相関することが明らかになった。また、伝播速度はウイルス排泄量が感染必要量に達するまでの時間が短いほど、早いことが明らかになった。これらの成績は、鶏舎内で感染が広まる様子を摘発するソフトウェア開発に必須の情報となった。

超強毒ウイルスの鶏病原性の遺伝子基盤が明らかになれば、ウイルスの病原性や伝播力を、感染実験を行わなくても、ゲノム解析からある程度推定することが可能になる。本研究では、鳥インフルエンザウイルスの8本の遺伝子分節を、任意に組み合わせることによって、種々のキメラウイルスを人工的に作出する方法（RG法）を採用した。超強毒のCkYM7（H5N1）とやや毒性が低いDkYK10(H5N1)の各遺伝子分節をそれぞれプラスミドに単離し、8種類の遺伝子分節をセットにして培養細胞にトランスフェクトしたところ、親株と同じ遺伝子分節を持ったRG株（RG-CkYM7及びRG-DkYK10）を作出することができた。これらのRG株の鶏病原性は親株と同じで、単離した各遺伝子分節がウイルス病原性の分子基盤の解析に利用できることが確認された。

C)超低消費電力・光 MEMS バイタルセンサの開発

平成18年度、平成19年度、大項目計画（低消費電力血流速度センサ原理確認・構造設計）、平成20年度（低消費電力血流速度センサの試作・評価）に基づき、LD内蔵、DSP除外センサ設計試作を行い、市販の測定装置と比べ重量で2桁小型化、また消費電力を3桁低減化することができた（図1(a)）。その結果、鶏に長時間装着が可能（コイン型電池使用で15分の間欠測定で約6日間測定可能）となり終夜の血流量変化を測定した（図1(b)）。MEMSセンサ部の構造もウエハーレベルパッケージングを可能にすることができ、低コスト化への道も開くことができた。

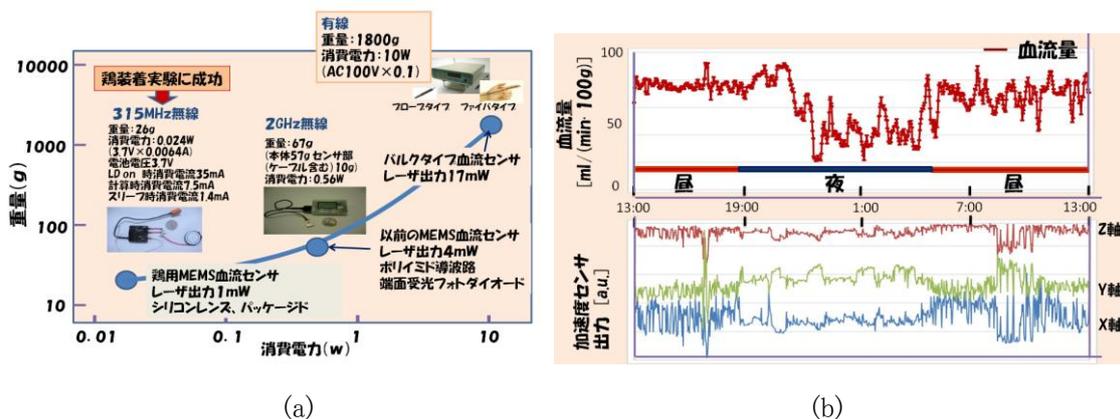


図1 血流量センサの研究実施結果 (a)市販の測定装置と比べ重量で2桁小型化、また消費電力を3桁低減化を実現。(b) 終夜センサを鶏に装着して測定した血流量信号と加速度信号

D) ネットワーク MEMS デバイスの開発

- ・超低消費電力温度センサの開発: バイメタルを構成する金属薄膜の残留応力制御および実装の問題を解決するとともにセンサの高感度化を図るべく、Si およびNi層から構成される新たなバイモルフ構造の考案・設計と、それを実現するための 3D-MEMS プロセスの開発を行った。特に、新構造を実現するために不可欠な 1 μm 程度の低応力Ni膜を、Siカンチレバー側壁上に無電解めっきプロセスで形成することに成功し、基本製造プロセスを確立した。
- ・超低消費電力加速度センサの開発: 前年度までに確立した作製プロセスにより、加速度センサとしての性能評価用チップを大量に作製し、振動に対する電圧、電荷出力の評価を行った³⁾。PZT 薄膜一本あたりの電圧、電荷出力は計算値の 10~20%程度であったが、加速度に比例した出力が得られた。さらに、直列接続による出力電圧の自己昇圧を実証した。また、ワイヤレスモジュールとの混載基板を作成し、圧電加速度センサからの出力を無線で送信可能なことを実証した。
- ・MEMSセンサ共通実装プロセス: MEMSセンサ(本研究ではデジタル型加速度センサ・温度センサなど)をウェハレベルで封止実装するためのキャビティ内部圧力評価ツールの開発を行う²⁾とともに、封止接合部の平坦度の許容範囲を広げるためのインプリント技術を用いた封止構造の設計、試作を行った。
- ・感染鶏における病態変化解析: 感染実験で取得したデータを用い、体温、活動量(加速度)センサを装着した鶏の異常を検知するための基準の検討を行った。感染による体温上昇を伴わないインフルエンザウイルスに対しては活動量(加速度)データが早期検知に有効であり、死亡後体温低下の検知より数時間から数十時間早く、誤報なく異常を検知できることを示した。また感染伝播実験結果を基にした鶏舎内感染拡大シミュレーションを開発した。そのシミュレーションにより農林水産省の高病原性鳥インフルエンザに関する特定家畜伝染病防疫指針にある、直ちに病性鑑定を実施する基準(3 日間で家禽群の死亡率が 10%以上)よりも早い段階でその判定が可能であることを示し、センサネットワーク技術を用いたインフルエンザ早期発見システムの有効性を確認できた。
- ・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試作: ケージ飼い鶏舎におけるアニマルウォッチセンサの稼働状況、耐久性及びその有効性を調査するための 100 端末レベルの鶏舎システムを試作した。

E) 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確立

採卵鶏舎(ケージ飼い)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、無線センサ端末の装着部位・装着方法の検討、端末の稼働性の調査を行うとともに、採卵鶏を用いて鶏体温の日内変化の調査を行った。特に、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。



図2 無線センサ端末の装着加工



図3 鶏への装着例

3. 研究実施体制

(1) 「ネットワーク MEMS」グループ

① 研究分担グループ長: 伊藤 寿浩((独) 産業技術総合研究所 グループ長)

② 研究項目

- ・新たな超低消費電力温度センサの考案・設計, 3D-MEMS 製造プロセス開発
- ・超低消費電力加速度センサの構造・製造プロセスの最適化
- ・MEMS センサ共通実装プロセス開発
- ・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

(2) 「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: 須賀 唯知(東京大学大学院 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(MEMS センサ実装技術, 薄型システムインパッケージ技術, 動物適合性実装技術)の開発
- ・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(鶏ウォッチセンサネット)
- ・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

(3) 「感染実験」グループ(動物衛生研究所)

① 研究分担グループ長: 塚本 健司(動物衛生研究所 上席研究員)

② 研究項目

- ・鶏伝播力の要因解明
- ・人工ウイルスの作出とその病原性の確認

(4) 「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(九州大学大学院 教授)

② 研究項目

- ・LD 内蔵、DSP 除外センサ設計試作

- ・鶏に長時間装着可能な小型化と低消費電力化の実現

(5)「実証実験」グループ

①研究分担グループ長:前田 育子(茨城県畜産センター 室長)

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. 研究成果の発表等

(1) 論文発表 (原著論文)

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. Hironao Okada, Toshihiro Itoh, Tadatomo Suga, Wafer level sealing characterization method using Si micro cantilevers, Sens. and Actuat. A147(2008), pp. 359-364
3. Takeshi Kobayashi, Hironao Okada, Takashi Masuda, Ryutaro Maeda, and Toshihiro Itoh, A digital output piezoelectric accelerometer using Pb(Zr,Ti)O₃ thin films array electrically connected in series, to be published in J. Micromech. Microeng.

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 3 件 (CREST 研究期間累積件数 : 3 件)