

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名:社会の安全・安心に貢献するユビキタス集積化マイクロセンサの開発
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):
研究代表者
石田 誠(豊橋技術科学大学工学部 教授)
主たる共同研究者
3. 研究実施概要

本研究は、社会の安全・安心に貢献するユビキタスセンサネットワークにおけるセンサ・マイクロノードの実現を目的として、要素技術となるRF回路集積型スマートセンサ形成プロセスの確立、自立発電システムの開発、ならびに、マイクロセンサノードの応用に関する実証実験を行った。最終的に、マルチモーダルセンサデバイス技術の開発、ならびにユビキタスセンサ・マイクロノードの形成と実証評価を実施した。

プロジェクト開始前半の3年間において、大きく二つの要素技術が確立された。その一つは「無線発電機構の集積回路化」であり、もう一つの要素技術は「RF 集積回路・MEMS 統合技術の確立」である。これらの要素技術を各種のスマートセンサと組み合わせることで、1チップ上に複数種のセンサ信号の無線信号送信とネットワーク・ノードとなるセンサチップ全体を駆動する電力の無線供給化による自立発電システムを実現することが可能となる。プロジェクト後半には、複数種のセンサを一つのチップ上に形成するマルチモーダルセンサ技術の開発、ならびに無線機能を一体化したワイヤレス・スマートマイクロセンサの開発を行った。以下に、実施内容を項目別に示す。

実施項目1. 無線発電システムのための基盤技術開発: 無線供給電力を用いた自立発電システムの開発に向けて、プロジェクト前半に開発された無線回路技術とスマートセンサをマイクロチップ上に統合化し、完全無線動作が可能なワンチップのマイクロセンサ・ノードを実現した。温度センサ、RF 送信器、オンチップアンテナを一体化したワイヤレス・スマート温度センサ・ノードの性能評価を行う上で、ネットワークセンシングにおいて重要なセンサ信号の放射特性や信号雑音比等の性能とセンサ使用環境の関係も明らかにした。また、プロジェクト期間の知見を総合し、情報の素早い検知・処理・通信機能を自律的に実行するセンサネットワークに必要とされるデバイスについて、その有効性も評価した。

実施項目2. RF対応集積回路・MEMS統合プロセス技術の確立:

これまで、本センサチップの製作は2インチ基板を用いた10ミクロン・ゲートルールのプロセスを用いてきたことに対し、IC製作用として4インチウェハを用いた1ミクロン・ゲートルールのCMOS技術を確立した。これにより、センサと一体化する回路の微細化・高機能化によって、300MHz帯での無線通信機能を集積化することが可能となった。さらに、MEMS加工装置を含め、全てのデバイス製造装置を4インチ対応へと移行し、RF-CMOSとMEMSデバイスの統合化が可能となり、本プロジェクトにおいてそのプロセス技術を確立することができ、研究に最も有効な手段を得ることができた。

実施項目3. マイクロセンサのマルチモーダル化技術の開発:シリコン技術の機能集積化の特徴を活かした、複数のセンサを有機的に組み合わせ・融合化された信号統合処理を行うマルチモーダルセンシング技術について、マイクロセンサノードに一体化する技術を開発した。最終年度までには、センサシステムの小型化・安全性の向上を行い、無線での長期的な計測が可能なマルチモーダルセンサを実現した。また同時に、神経電位計測プローブと投薬チューブデバイスの集積化や、化学・光の複合イメージングなどの多次元センシングにおける素子製作技術、ならびに信号処理技術の開発に目処を立てた。

実施項目4. マイクロセンサ・ノードの応用評価に関する実験: 本プロジェクトで実現するマイクロセンサ・ノードの新しい応用分野開拓を目指し、埋め込みを中心としたマイクロノード応用における実証評価を実施した。プロジェクト期間には、これまでに製作してきた各種センサチップデバイスを用いた各種(網膜、ラット中枢・末梢用

等)の評価実験が遂行された。これらは、豊橋技術科学大学と産業技術総合研究所、理化学研究所・中京大学等のグループと共同で実施されたもので、最終年度までに応用評価の実験と並行したチップ無線化集積回路設計に必要なデータの取得を行った。更にマイクロセンサ・ノードの無線化回路チップ混載化に向けた各種生体計測センサの CMOS 集積化技術、ワンチップ化を検討・評価しその目処を立てた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

全体としては、高度なセンサ及びデバイス開発を推進し、学術的にも価値が高い研究成果を多数得ることができ、研究目標をほぼ達成することができた。本プロジェクトの最終目標として目指してきたのは、ユビキタスセンサ・ネットワークに接続可能な、完全無線の「ユビキタスセンサ・マイクロノード」の実現であった。その成果として、無線電源回路機能の集積化技術及びオンチップアンテナ技術の構築を実現することができ、その中から発現した応用開発は現在実用化に向けた取り組みが進められている。このように集積化マイクロセンサについて、基盤技術を深めると同時に、適用領域に関しても検討を進めていることは高く評価できる。

特に研究開始当時に本プロジェクトに関わる各種デバイスプロセス設備の導入が可能となり、格段に研究を推進することができた。また、セイコーインスツル(株)、理化学研究所、産業技術総合研究所等の企業及び研究機関の協力を得ることができ、それらの構成されるチームにおいて、それぞれのシーズを最大限に活用し、マイクロセンサノード素子の開発と評価、マイクロセンサのマルチモーダル化技術の開発、マイクロセンサノードの応用評価に関する実験を行い、特にワイヤレス・スマート温度センサノード、pH・電気伝導度・温度センサを一体化したマルチモーダルセンサ、刺入型マイクロチューブの薬液投与特性評価、神経薬液ブロック実証において顕著な成果を得た点は高く評価できる。これらの成果の一部は、現在実用化を目指した企業との共同研究に発展し新たな技術の創成を目指していく。

学術的には国内外の大学、研究所との協同研究、新たな異分野融合研究所設立(豊橋技術科学大学)の中核成果となった。エネルギーハーベストによるバッテリーなしの理想的マイクロチップ技術、オンチップアンテナ技術はその代表的な例である。世界でまだ実現されていないこの技術は未来の理想的スマートマイクロチップの可能性を持った大切なシーズであり、将来の発展が期待される。また、参画した研究者は、本プロジェクトで行った研究開発テーマを基に学術論文・国際会議・招待講演での発表を行った。海外ジャーナルへの投稿も多く(原著論文は、国内誌 2 件、国際(欧文)誌 46 件)非常に優れた成果が得られている。その中からさらに荣誉ある賞を受賞するなど、素晴らしい成果をあげることができた。例えば英国物理学会(IOP)の Editor が、新規性、重要性、将来の研究への潜在的ポテンシャルなどの観点をもとに選抜する“IOP Select”や、国際コンファレンスにおける OUTSTANDING PAPER AWARD (Transducers 2009) に選抜されるなど、国内外の学会等で合計 12 件の受賞を生み出した点は、学術面における研究成果としては、卓越しているといえる。研究グループ内若手研究者らは新たな研究機関及び各専門分野に進み、研究テーマの新たな展開を模索しながら、今後本プロジェクトで得た成果を発展的に取り組む活動を開始している。

特許も重要な内容に関して、国内 16 件、海外に 4 件出願されており、優れた成果が出ているといえる。

4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

研究成果を基に、豊橋技術科学大学内に新たな研究所(EIIRIS)が設立される等、社会へのインパクトは非常に大きく、重要な成果が得られたと考えられる。今後は、更なる性能向上と、農業や畜産分野以外にも広く活用されるべく、EIIRISを活かして継続して、この研究分野を発展させていくことが望まれる。またそれに伴い、同研究所の活動を通じて、今後は更に充実した人材育成が期待される。

4-3. 総合的評価

CRESTのプロジェクトとして、大きな成果が達成されたと考えられる。プロジェクト期間で得られた研究成果は、今後の当該分野の研究、産業界に多大な貢献をもたらすと考えられる。現在は、国際特許も出願して、実用化に向けて研究所でできる最大限の努力をしていることは評価できる。今後の製品化には、日本企業の協力を得ることが不可欠である。今後は新たに設立された研究所を軸に、より多くの企業と連携して、競争力を高めていけるような体制づくりが望まれる。