

ERATO「前中センシング融合」プロジェクト 追跡評価報告書

総合所見

本プロジェクトの目標は、絆創膏形状の超小型・超低消費電力人体装着型デバイスを用いた、人体活動管理システムの基盤技術を創出するものであった。その目標に向け、高集積化・低消費電力化を進めたセンサデバイスや、センサが取得した信号を安全に処理・伝達できる情報ネットワークを開発し、デバイスの電源管理から利用者を解放できるよう電力供給や低消費電力化に関する研究を行った。また、センサから得られたデータを解析して生体の状況を把握する手法の確立を目指した。最終的には、これら技術を統合して、絆創膏型の生体モニタリングデバイスの試作および有用性の検証を行った。

プロジェクトの成果として、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ ）微細加工技術の確立、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）バッチプロセスによる振動型発電素子の実現、超低消費電力のアナログおよびデジタル集積回路設計技術開発などによりこれまでの自立型センサの課題を解決し、絆創膏型センサシステムのプロトタイプを世界に先駆けて実現した。

プロジェクト終了後も、研究期間中に注力したPZT薄膜MEMS技術およびマイクロエナジーハーベスタに重点を置き研究開発を進めた。また神戸大学と連携して緊張等のメンタル負荷と関連する心拍等の測定を貼り付け型センサのフィージビリティ調査として実施した。船舶の操船者および港湾管理者に実装して心拍と3次元動作の関係を調査して有用な関連性を見出し、本センサがフィージブルであることを示した。

研究成果は、プロジェクト期間中から追跡調査時点までに、論文誌179報また国内外招待講演62件で発表され、質、量ともに評価できる。また、特許は39件出願され、うち現在国内特許17件、海外特許2件が権利化されている点も高く評価できる。これらは、本研究が国際的に高い水準にあるという証左となる。更に2013年にはベンチャー企業「アフォードセンス社」を設立し、本プロジェクトの研究成果である、絆創膏型センサの「見守り」「健康管理」「トレーニング・リハビリサポート」等への市場開拓を進めている。市場の立ち上がりはまだ少し時間がかかると考えるが、IoT市場とともにかならずや花開くものとする。

本プロジェクトの研究成果は、現在のIoT機器の基盤技術をほぼすべて網羅していること、および市場開拓へ貢献したことは高く評価できる。今後は現在競合となりつつあるスマートウォッチのような簡易計測機器市場のみならず、医療やヘルスケア関連の研究グループと共に新規な利用法や新たな医療応用センサシステムへも展開すべきであり、この新たな展開にも本プロジェクトで構築した基盤技術群が威力を発揮すると考える。また、本プロジェクト終了後、前中が中心的な役割を果たし、兵庫県立大学内に2014年「MEMSデバイス開発支援センター」および2016年「先端医工学研究センター」が設立されたことも本プロジェクトの波及効果として付記する。

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本プロジェクトでは、日常生活を妨げず、装着感を感じさせずに身体活動情報を計測する各種センサを新規に開発すると共に、処理回路技術、無線ネットワーク技術等のシステム化を進め、超小型絆創膏型センサとして実用化を目指した。プロジェクト終了時点での主な成果として、①「センサ開発」として、PZT 技術をベースとした 3 軸加速度センサ、pn 接合をベースとした光センサ、温度センサ等、および絆創膏型センサ実現に必要と考えられる 11 種のセンサの開発、②「システム化技術」としてアナログ、デジタル、RF（高周波、Radio Frequency）を一体化した集積回路の実現により超低消費電力システムの実現、③「新規実装技術」として、絆創膏を想定した柔軟で伸縮する基板へのチップ柔軟実装技術の開発、④「自立電源の開発」として、バッチ処理によるマイクロエナジーハーベスタの開発、⑤最終的に上記技術を統合し、ボタン型および絆創膏型センサのプロトタイプの開発、があげられる。

プロジェクト終了後には上記の研究成果を発展させ、1)「PZT 薄膜に関する研究」、2)「エナジーハーベスタ」等の素子研究、そして 3)「神戸大学との実証実験」を実施している。

1)では、PZT スパッタ成膜で新たに見出した最適温度（550℃）により厚膜 PZT バイモルフ素子を開発し、大きな変位の発生に成功した。また 3 次元構造 PZT 素子の構成を考案し、横方向（X 軸方向）の変位を新たに実現している。2)では、電磁誘導型と静電誘導型のエナジーハーベスタの理論研究と改良を進め、電磁誘導型として「磁石アレイ」「蛇行コイル」を検討し、最適発電条件（43 倍向上）等の探索を実施している。静電誘導型では、性能低下を招くプルイン現象抑制を目的としたスパッタリング NdFeB/Ta 積層磁石での、非接触型のギャップ生成機構等を検討している。しかしながら現時点では理論計算の段階であり、いずれも実用的な出力を得るデバイス開発には至っていない。3)では貼り付け型センサのメンタル負荷計測の実証実験として、神戸大学と共同で船舶の操船者、および港湾管理者にセンサを実装し心拍と 3 次元動作の関係を調査し、有用な関連性を見出し、本センサがフィージブルであることを示した。

また 2013 年 11 月には本センサの事業化を目的としてベンチャー企業（アフォードセンズ社）を設立し積極的な実用化活動を行っている。

本プロジェクトは、現在喧伝される IoT 社会実現の世界的な先駆けとなり社会を牽引しているものの一つと考えられ、またその研究成果も高く評価できる。

2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

(1) 研究成果の科学技術の進歩への貢献

1990 年代に自立型センサとして「スマートダスト」が米国より提案され、今でいう IoT 社会がすぐにでも実現されそうな雰囲気であった。しかしながら、人体装着を含むあらゆる環境に配置しネットワークを組むには、センサの超小型化技術、処理回路技術・無線技術（お

もに低消費電力化)、また駆動エネルギー技術、などの大きなイノベーションが求められるが、諸課題の解決が遅々として進まず、実用化の高い障壁となっていた。

本プロジェクトでは、これまでの自立型センサの課題を PZT 薄膜やエレクトレット発電膜等のプロセス技術に、先見性とオリジナリティを發揮したブレイクスルーにより、センサの小型化、薄型化を達成した。科学技術的な側面については、PZT 微細加工技術の確立、MEMS バッチプロセスによる振動型発電素子の実現、超低消費電力のアナログおよびデジタル集積回路設計などが挙げられる。その結果として、消費電力 $10\mu\text{W}$ でのシステム駆動の実現可能性を示した。これらは現在の IoT 機器開発の端緒となる大きな成果であり高く評価できる。

研究成果は、種々の学術論文誌などで期間中 131 報、終了後 48 報の論文、国内招待講演 42 件および国際招待講演 20 件で数多く発表・講演され、質、量ともに評価できる。また、期間中 36 件、終了後 3 件の知的財産権出願がなされ、現在国内特許 17 件、海外特許 2 件が権利化されている点も高く評価でき、本研究が国際的に高い水準にあるという証左となる。加えて、学術成果のみならず、その成果を実用化するためにベンチャー企業「アフォードセンス社」を 2013 年に設立し、小型で可搬性に優れ、多様な計測項目を有する多機能なセンサデバイス Vitalgram の商品化に成功している。なお同様なセンサシステムが世界で多数商品化されるなかでも、機能とサイズにおいて現在も世界トップレベルであり、本プロジェクトにて独自にこれらデバイス素子の開発及びシステム化を実現したことは他に例を見ない、特筆すべき点である。

(2) 研究成果の社会・経済への貢献

プロジェクト終了後も、研究期間中に開発した絆創膏型センサの各種センサ、アクチュエータ、絆創膏となる柔軟基板、柔軟・伸縮に耐える金属電極等の研究開発を継続し、実用化に向けた改良を続けている。更に本プロジェクトの中心的な成果である知的財産権(国内特許 19 件、海外特許 2 件、審査中 20 件)を基盤として設立した「アフォードセンス社」を通じ、絆創膏型センサによる、心拍の揺らぎ解析や緊張度、疲労度、睡眠の質、てんかん発作の予知、無呼吸症候群発見、熱中症予知、生活リズム計測、居眠り検知、不整脈や心不全の予知、活動量計測など、「見守り」「健康管理」「トレーニング・リハビリサポート」等の市場開拓を積極的に進めている。性能、サイズ、および価格はいずれもアフォードセンス社が優位であるが、市場が発展途上という点や、大手企業や資金力のあるスタートアップ企業との競合が多く、現時点で市場拡大に時間がかかっている。更には、最近のスマートウォッチの実用化も進み、体脂肪、活動量、心拍、歩数、睡眠検測、体組成、体水分率、基礎代謝、蛋白質率、筋肉量、消費カロリー等を簡易計測でき、収集データをスマートフォンで容易に管理出来るスマートウォッチが市販されている。本プロジェクトの研究成果が大きく花開くにはこのような簡易計測の市場のみならず、医療用データなど厳密なデータ計測が求められる市場の開拓や医療やヘルスケア関連の研究グループと共に、新規な利用法や新たな

デバイスシステムへも展開すべきではないかと考える。またスマートウォッチは頻繁な電池交換あるいは充電の必要があり、本プロジェクトで目指した自立発電の実装がキーとも考える。いずれにせよプロジェクト終了から6年がたち、研究メンバーの苦勞がそろそろ花開く時期であると考え。

(3) その他の特記すべき波及効果

本プロジェクトは、社会的・経済的に発展しているウェアラブル計測機器の先駆けで、かつその潮流創出に貢献したプロジェクトであると共に、実際に生体用の貼り付けセンサ（絆創膏型センサ）を商品化し、社会的・経済的な波及効果をもたらしている。また、本プロジェクトがきっかけとなり、2014年度に兵庫県立大学内に「MEMS デバイス開発支援センター」が発足した。このセンターは、学内のみならず学外の一般企業等、他機関のMEMS開発を支援するもので、本プロジェクトで導入された設備を含め、得られた技術やノウハウを提供し「産官学連携による科学技術イノベーション創出」に寄与しようというものである。さらに同大学では2016年に「先端医工学研究センター」が発足した。先端的な医工連携を推進し、研究開発の深化、多様化、効率化を進めるとしている。前中はセンター設立に中心的な役割をはたした。

またプロジェクト終了後、グループリーダーを務めた5名中2名が教授あるいは准教授に昇格しており、人材育成にも貢献した。

3. その他

医療応用においては、デバイスシステムの安全性や装着性（柔軟性）が極めて重要で、利用範囲を広げることから、既存のPDMS (Polydimethylsiloxane) などの高分子材料だけでなく、医療用材料やバイオマテリアル（生体適合性材料）を積極的に活用したMEMSデバイスを開発し、安全性や装着性を向上しながら、新たな用途に応える生体応用システムを検討するのも一案である。