

開発項目「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ状態モニタリング用センサシステム開発／道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発」 平成26年度～平成28年度のうち平成26年度分中間年報

委託先名 技術研究組合NMEMS技術研究機構

1. 研究開発の内容及び成果等

本研究開発では、従来の点検技術を補完し、無線センサネットワークを活用して道路インフラの状態を常時・継続的・網羅的に把握することを可能とし、さらには、容易にアクセスできない場所のモニタリングや災害等の突発事象への対応も可能な道路インフラモニタリングシステム（RIMS:Road Infrastructure Monitoring System）を開発している。具体的には、高速道路の橋梁、道路付帯物、法面等を対象にして、環境エネルギーを利用した自立電源を有し、各フィールドのモニタリングに適した新規の小型、安価、高性能、高耐久性の無線センサ端末を開発する。無線通信センサネットワークや高耐久性のパッケージングに関しては共通化を図り、効率的な開発を行うとともに、各フィールドのセンシングシステムを統合して道路インフラのトータルな維持管理が可能な道路インフラモニタリングシステムを構築する。平成26年度は以下の内容を実施し、当初の目標を達成した。

(1)道路インフラ状態モニタリング用センサ端末及びモニタリングシステムの研究開発

(1-1) 橋梁センシングシステムの開発

(1-1-1) スーパーアコースティックセンサによる橋梁センシングシステムの開発

MEMS スーパーアコースティックセンサデバイスの開発に関しては、片持ち梁でピエゾ抵抗を根元に形成した場合が最も感度が良く、0.1Hz から 1MHz まで計測可能であること及び両持ち梁構造では 10MHz まで検出可能であることを明らかにした。また、小型センサ端末の開発として、複数 AE センサを搭載し、無線によるデータ伝送が可能な片手サイズの小型1次試作機を開発するとともに、橋梁構造部材の疲労試験により、AE センサの適正配置を確認し、疲労き裂の発生を AE 検出波形に基づき検知可能なことを確認した。センサネットワークシステムの構築と実証実験に関しては、920MHz 帯無線デバイスによる屋外環境データ伝送の基礎実験を行うとともに、共用状態の実橋梁において AE 計測を実施し、現地課題抽出と基礎データを取得した。橋梁構造の健全性定量評価手法の開発に関しては、損傷や劣化に有効な弾性波パラメータを整理し、外乱の影響が小さい損傷パラメータを提案するとともに疑似損傷供試体を作製した。また、既往の弾性波トモグラフィ法の課題抽出を行い、新たな AE トモグラフィ法のアルゴリズムを構築し、構築した AE トモグラフィ法の数値シミュレーション検証を実施した。

(1-1-2)フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発

極薄ひずみセンサアレイの開発に関しては、理論計算により長さ 5mm、厚さ 10 μ m 以下の極薄長大ひずみセンサとすることで、50 μ m と現実的な接着層厚さでも、ひずみ伝達感度が 0.8 以上となることが分かった。また、このような極薄長大ひずみセンサをフレキシブル回路基板上に実装可能な、極薄シリコン転写、配線プロセスを開発した。配線付きフレキシブルシート、センサ実装、封止プロセスの開発に関しては、ポリシロキサン分散アクリル樹脂を UV カット層として水蒸気バリア用 PET フィルム上に形成したものを選定し、ロール to ロールプロセスにて形成可能であることを実証した。システム化と実証試験に関して

は、有限要素法により、厚さ 200 μm の粘接着シートを介しても、センサに 100 μs の感度があれば亀裂発生を検知できることを明らかにした。また、箔ひずみセンサアレイを有する疑似フレキシブル面パターンセンサシート (6cm x 2.5cm) を試作し、鋼材溶接体に粘接着シートで貼り付け、亀裂発生時のひずみ分布を測定する実験系を構築した。

(1-2)道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発

MEMS センサデバイスの開発においては、MEMS センサデバイスの構造解析より MEMS センサデバイスとパッケージの接合面積を現状の 1/3 に縮小する事で Z 軸温度特性を約 1/20 に改善する見通しが得られた。また、本構造解析の結果により検証用 MEMS センサデバイスの設計および試作まで完了した。さらに、検出回路の温度特性詳細調査と対策検証を実施し、X,Y 軸安定性 0.1deg 以下の見通しを得た。傾斜マルチセンサ端末の開発においては、検討した想定システムから無線通信要求仕様を抽出し、無線モジュールの無線通信開発仕様を決定した。

(1-3)法面変位センシングシステムの開発

法面用多機能型センサ端末の開発に関しては、スリープ制御時の所要消費電力 7 mWh を踏まえ、太陽電池とリチウムイオンキャパシタを用いた自立電源の構成案を選定するとともにセンサ端末のスリープ制御による省電力化方式案を選定した。また、端末の複数センサ共有に関し、電波変位計測による地表モニタリングと、傾斜計 (横河電機との共同研究) による地中モニタリングを組み合わせた法面モニタリングシステム案を選定して、5 \times 7 \times 10cm のサイズを満足できるセンサ端末の基本設計を完了した。センサネットワークシステムの構築と実証実験に関しては、高性能な部品を用いない安価なセンサ端末でも動作可能な経路制御方式(RPL)と同様の方式を選定するとともに、受信機の最適配置を支援する精度解析シミュレータを作成した。また、電波環境に依存して発生するバイアス誤差を補償する信号処理を本シミュレータへ実装した。さらに、920MHz 帯電波伝搬特性データを三菱電機構内実験にて収集し、初期評価にて受信信号の位相ばらつき特性 (標準偏差) を確認した。この特性を精度解析シミュレータに入力したシミュレーションを実施し、4mm の変位を検知可能なセンサ端末・子受信機配置を確認した。以上により、センサネットワークシステムの基本設計を完了した。

(2)道路インフラ状態モニタリング用センサシステム共通基盤技術の研究開発

(2-1)無線通信ネットワーク共通プラットフォームの開発

多種多様なセンサに対応するための通信仕様の開発に関しては、データフォーマットや受信モジュールを遠隔変更できる仕組みを実装し、多種多様なセンサ対応が可能であることを確認した。また、受信モジュールを独立させ、変更可能にするための実装が完了した。さらに、4社とのデータフォーマット、通信仕様を整理し、インターフェース試作を完了した。データセンターへの共通プラットフォームの構築に関しては、システムをデータセンターに構築し、共通的なプラットフォームの実装が完了した。また、仮想サーバにて小規模な構成で構築しているため、今後の処理リソースを効率的に拡張可能となった。

(2-2)高耐久性パッケージング技術の開発

高効率アンテナ内蔵 LTCC 基板及び透光性セラミック基板の開発に関しては、LTCC 基板を使った無指向性アンテナを設計し、放射パターンシミュレーションにより、180 度指向性の可能性を確認した。また、評価用 LTCC、透光性アルミナ基板を試作し、キャビテ

イ構造でかつ、段付き構造の場合、ある条件下でクラック発生があることがわかった。高気密封止接合技術に関しては、260℃以下で封止接合するためのプロセス実験を実施し、複数の封止材料での封止パッケージのリーク速度を評価した。また、レーザー照射による封止接合プロセス実験を行った結果、低熱膨張率ガラスの方が低融点ガラスと比べて、良好であることが分かった。シートフィルム実装材料及びプロセス開発に関しては、耐環境性バリア機能を高めるために、無機・有機耐候性層、PET層、接着剤層、銅配線層、PEN層からなる複数層シートフィルムのプロセス設計を行い、実装試作・評価した。構造物への取付・接合開発に関しては、コンクリート、橋梁及びLTCCセラミックに適合した芯材無の薄膜化した粘接着シートを開発試作した。また、耐環境評価実験接着強度を評価し、初期引張強度>目標値 0.6(N/mm²[MPa])を確認した。パッケージング評価用モジュールと耐久性加速試験法の開発に関しては、6軸振動センサ、送受信無線回路、太陽電池・リチウム蓄電の自立電源を内蔵する評価用モジュールを製作した。また、気密検査装置を導入し、セラミックパッケージの気密性(リーク速度)を実験し、評価手法をまとめた。さらに、耐久性加速試験として、塩水噴霧及び耐候性加速試験、PCT加速試験を実施するとともに、リモートでの加速試験評価用システムを完成させた。

(3)道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの実証及び評価研究

センサネットワークシステムの構築に関しては、関連学会、展示会、セミナー等で市場・技術動向を調査するとともに毎月開催する研究会において、橋梁、道路付帯物、法面を対象とした個別フィールドのモニタリングシステムに必要なセンサの仕様について検討し、センサ端末開発にフィードバックした。実証実験に関しては、毎月開催する研究会での検討及び高速道路会社の現場調査を行う等して、各フィールドに適した実証場所の候補を20箇所選定した。また、開発したモニタリングシステムを将来的に自治体に展開するため、地方自治体が管理する橋梁のリスク実態の調査として、アンケート調査票を407橋梁(関東地区262橋、北陸地区77橋、北海道68橋)分発送し、回収された183橋梁のデータを分析した。

2. 成果

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014/9/26	2nd International Smart Infrastructure Symposium (CSIC, Cambridge Centre for Smart Infrastructure and Construction)	MEMS Sensor Systems for Infrastructure Monitoring	Isao Shimoyama
2014/10/21	第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	道路インフラモニタリングの取り組み概要	下山 勲
2014/10/21	第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	社会インフラモニタリングに求められるシステムインテグレーション	風間 博之
2014/11/10	一般社団法人 電子情報技術産業協会「ソーシャル・ソリューションセンシング技術分科会」	NEDO 委託事業「道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発」の概要について紹介	下山 勲
2014/12/9	日経テクノロジーオンライン、米 tSensors Summit Inc. 「Trillion Sensors Summit Tokyo 2014」	Road Infrastructure Monitoring System	下山 勲
2015/1/18	MEMS2015 (The 28th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems)	MEASUREMENT OF SURFACE ACOUSTIC WAVES PROPAGATION USING A PIEZORESISTIVE CANTILEVER ARRAY	Nguyen Minh-Dung, Pham Quang-Khang, Nguyen Thanh-Vinh, Kiyoshi Matsumoto and Isao Shimoyama

(2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2015年2月26日	特願2015-036009	無線センサ端末	一般財団法人マイクロマシンセンター 日本碍子株式会社

(3) 受賞実績

なし

3. その他特記事項

(1) 成果普及の努力（プレス発表等）

- ・日経エレクトロニクス（2014年12月8日号）の特集記事「現実解へ動くインフラ電装化」に掲載（2014年11月6日取材）
- ・東京大学プレス発表「東京大学 IRT 研究機構が新たな弾性表面波計測デバイスを実現」（2015年1月19日プレス発表）。日経 Tech-on（2015年1月21日）及び日刊工業新聞（2015年01月30日）に掲載

(2) その他

- ・RIMS の HP 開設 (<http://rims.la.coocan.jp/>)
- ・ブログ (<http://www.nanomicro.biz/mems/cat23755847/index.html>) にて広報 10 件実施

契約管理番号	14100960-0
--------	------------