

## 開発項目

「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト／超高効率データ抽出機能を有する学習型スマートセンシングシステムの研究開発」

平成28年度～平成30年度のうち平成28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. 委託研究の内容及び成果等

生産効率の向上のために、工場等の設備の稼働状況や生産品質を把握するIoTシステムが必須である。このようなIoTシステムの普及を目指して本事業では、学習機能を備えたエッジ情報処理によるクラウドへのデータ送信量の削減、動的センシング制御可能なセンサ端末による測定条件の自動最適化、センサ端末の無給電・無線化による設置負担の軽減を特長とする、学習型スマートセンシングシステムの基盤開発を行い、環境発電で収集可能な有価情報量を従来の100倍にできることを実証する。

平成28年度は、以下の内容を実施し、当初の目標を達成した。

#### 研究開発項目①学習型スマートセンシングシステムの開発

##### (1)超高効率データ収集・抽出を行う学習型スマートコンセントレータの開発

学習型スマートセンシングの原理検証、および、学習型スマートセンシングシステムを構成する要素技術となるコンセントレータ、センサ、環境発電を組み合わせ、システム全体の実験が可能となる開発環境の構築を実施した。

学習型スマートセンシングの原理検証を行うため、実験室系および稼働中の工場における振動、電流、音波等のデータ収集を行った。収集したデータを基に、各センサデータの相関から有価情報として稼働状態を抽出するアルゴリズムについてシミュレーション検証を行い、有価情報を抽出可能であることを確認した。さらに、抽出した結果に基づき、センサ端末の消費電力と収集可能な情報について計算した結果、学習結果に基づく信号処理パラメータの変更により、センサ端末の消費電力を増加させることなく、10倍の頻度でデータ収集が可能となる見通しを得た。以上より、学習型スマートセンシングの原理検証を完了した。さらに、原理検証結果に基づき、スマートセンシングフロントエンド回路の初期仕様を検討と、概念設計および機能検証試作を行った。

学習型スマートセンシングシステムを実現する中核技術として、学習型スマートコンセントレータの開発を行った。スマートコンセントレータの機能要件の抽出を行い、30種のアプリケーションの構築を実施、これらシナリオを基にスマートコンセントレータのシステム仕様設計を完了した。また、上記システム仕様設計を基に、センサ端末へのパラメータ設定やコンセントレータへのアプリケーション動的配置の機能を備えるコンセントレータプラットフォームを構築し、センサ端末から情報を集約して学習型センシングシステムを実現する為のフレームワークの作成を完了した。以上により、学習型スマートセンシングシステムを構成する要素技術となるコンセントレータ、センサ、環境発電を組み合わせ、システム全体の実験が可能となる開発環境を構築した。

## (2)産業設備の状態監視アルゴリズムの検証

一般的に生産設備の保守管理は、日常点検、月次点検、分解点検などが実施されていることがわかった。その内、受変電設備の保守管理は、日常点検と、電気事業法の保安規定に基づく定期(月次・年次)点検、落雷時などの臨時点検が実施されていることが確認できた。

弊社建物設備の管理会社にヒアリングした結果、一日2回程度の巡視点検が行われ、ポンプなどの回転機器は、聴診棒などによる聴音やケース温度などの触診、漏洩有無や汚れ等の目視点検、現場計器の指示値確認記録、異常過熱時などのおい(嗅覚)といった五感による確認が主体であることがわかった。また受変電設備でも、設備の劣化状態(ケーブルひび割れや放電痕有無)や油入機器からの漏油の有無、現場計器の指示値確認記録など、目視による確認が大半であった。その他には、銅帯接続部や配線、端子部の異常過熱を判断するために焦げたにおいがしないか(嗅覚)、異常振動や放電に伴う異音がないか(聴覚)といった設備停止せずに実施可能な五感を活用した項目と内容が主体であることが確認できた。

国内受変電設備(自家用電気工作物)に係る事故例を調査した結果(H25年度電気事故(関東地域：n=163件))、およそ33%が自然劣化、23%が氷雪による事故であり、この結果から、設備の経時変化の把握が保守管理にとって重要であることが確認できた。

以上の調査・検討等を踏まえ、日常の巡視点検項目のセンシングシステム化を目的に、弊社実験室設備の冷凍機と受変電設備について、各種測定を実施した。その結果、状態監視センシングシステム実現のためのセンサおよび仕様を抽出した。

生産設備に多い回転機器の必要センサは、圧電式加速度ピックアップ、計測用マイクロホン、赤外線アレー、クランプ式電流計、可視カメラ、においセンサを選定した。

受変電設備の必要センサは、可視カメラ、赤外線アレー、漏洩電磁波センサ、温湿度センサ、においセンサを選定した。

## (3)低消費電力・高信頼性長距離無線センサ端末の開発

学習型スマートセンシングシステムを実現するには、エッジ側(端末～コンセントレータ間)で効率的に有価情報を抽出する仕組みが必要である。そのためには、先ず、複数のセンサとコンセントレータからの動的センシング制御を可能にするマイコンを搭載するマルチスマートセンサが必要である。そして、センサデータと制御信号を高い信頼性で送受信し、かつ多数端末の後付け設置を想定した自立電源駆動可能な低消費電力無線マルチスマートセンサ端末が必要となる。

平成28年度は、既存センサを複数(各4種)搭載した2種類のマルチスマートセンサ(28.5mm×18.5mm)の開発を実施した。デジタル出力版(加速度/電流/気圧/温湿度)とアナログ混載出力版(アナログ：加速度/電流、デジタル：加速度/温湿度)であり、Wi-SUN無線モジュールと端末制御用マイコン(32ビット)から構成される無線マルチスマートセンサ端末(70.0mm×32.0mm)を試作した。

無線通信の開発においては、試作した無線マルチスマートセンサ端末にマルチホップ通信を搭載し、通信を含むセンサネットワークの検証環境が整ったので、動作確認を行った。

併せて、学習型スマートコンセントレータ(LSC)開発用にUSB接続の無線通信モジュールを提供した。

次に、無線通信の低消費電力動作に向けて、まずは、最新Wi-SUNモジュールのネットワーク層を開発し、低消費電力なマルチホップ通信の移植を行った。マルチホップ通信を実装した状態でも、受信時消費電流が30mAから25mAへ約20%、スリープ時の消費電流が9 $\mu$ Aから4 $\mu$ Aへ約55%削減した事を実測にて確認した。この低消費電力な特定小電力無線モジュールをベースに次年度はメッシュネットワークを開発する。

一方、メッシュネットワーク通信技術そのものに関しては、ネットワーク仕様の基本部分の検討を完了し、アルゴリズムを実証するためのソフトウェア開発を行い、メッシュネットワーク通信の評価環境の構築を完了した。具体的には、メッシュネットワークの評価を行う為の、最大100台の通信実験環境を立ち上げた。それをマルチホップネットワークで動作させ、正しく機能する事を確認した。次年度、引き続き、その動作と有効性の確認を進めていく。

## 研究開発項目②産業分野を対象としたスマートセンサの開発

### (1)設備の異常を検出する省電力ガスセンサの開発

工場やプラントにおいて設備の異常の予兆となる対象ガスとして、5つのシーン(燃料ガスの漏洩、火災初期の発生ガス、薬品などの漏洩、発熱による発生ガス、油入変圧器の診断ガス)を想定し、文献調査を実施により抽出したガス26種から、対象ガスの一次絞り込みとして9種類を選定した。選定した対象ガスに対し、複数の触媒を用いたガスセンサを試作し、各ガスに対する感度特性を評価した。

- a) 燃料ガスの漏洩：一般的な燃料ガスであるCH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、ブタン(LP成分)を一次選定  
ガスセンサの駆動温度など駆動条件を変えたマルチドライブ方式による検討を実施した。ガスセンサの駆動温度を変えることで、異なる温度域でCH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、ブタンの感度が発現し、選択検知の可能性を得た。
  - b) 火災初期の発生ガス：火災発生前のくすぶり時に発生するCOを一次選定  
マルチドライブ方式による検討を実施した。ガスセンサの駆動条件を変えることで、COの感度が発現し、選択検知の可能性を得た。
  - c) 薬品などの漏洩：揮発性有機化合物(VOC)として、アルコール類からエタノール、ケトン類からアセトンを選定  
マルチドライブ方式では、ガス感度は得られたものの選択性が得られなかったため、多孔質触媒層の変更により、選択検知の可能性を得た。
  - d) 油入変圧器の診断ガス：油入変圧器の診断ガスとして、電気共同研究 第65巻 第1号記載の、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、エタン、エチレン、アセチレンを選定  
多孔質触媒層2種について、マルチドライブ方式による検討を実施した。各ガスの感度は得られたものの、CH<sub>4</sub>とエタンの選択性、アセチレンとエチレンの選択性が得られなかったため、選択性付与の更なる検討を進める。
  - e) 発熱による発生ガス：プラスチック加熱時の発生ガスとしてブタン(LP成分)、エチレン、エタンを選定
- a)とd)の結果から、各ガスの感度は得られたものの、ブタンとエタンの選択性が得られなかったため、選択性付与の更なる検討を進める。

## (2)工場内の温度分布を非接触で計測する低消費電力な赤外線アレーセンサの開発

学習結果に応じて測定条件を調整可能な赤外線アレーセンサの実現に向けて、本年度は画素選択機能と温度分解能変更機能の開発を行った。画素素選択においては、縦方向の画素番号と横方向の画素番号の組み合わせを、任意に選択可能なアルゴリズムを実装した。温度分解能変更においては、各画素の温度値の平均回数を任意に設定可能なアルゴリズムを実装した。測定画素数と温度分解能を変更することによると平均消費電力の変化を評価することにより、消費電力低減の効果を確認した。さらに、IEEE MEMSへ参加し、赤外線センサの技術動向を調査した。

実証実験に向けた取り組みとしては、生産現場における非接触温度センサのユースケースを検討した。具体的には、用力設備の稼働状態の計測と、配管からの蒸気モレの検知のユースケース案を作成した。また、実証実験に向けた技術課題を把握するため、東京電力ホールディングスにて、候補となる設備の温度計測を実施した。さらに、赤外線アレーセンサの熱画像と可視カメラの画像を重ねて表示可能な、評価キットを作製した。

## 研究開発項目③産業分野における微小振動で連続的な高出力可能な自立電源の開発

工場やプラント動力の中心であるモータやポンプ、工作機械の振動周波数は回転数や歯車の組合せにより決まるため、全てを同一の振動発電の仕様にするのは難しい。したがって、実環境で加速度とピーク周波数を計測し、監視対象装置用の振動発電素子を設計する必要がある。実証環境の一つである東京電力ホールディングスの対象コンプレッサを測定した結果、目標加速度である0.15Gを得られる箇所が数カ所あり、またピーク周波数も25及び49Hzであることがわかった。これらの情報を基に振動発電素子の仕様を決定した。

また、振動発電の感度を維持しつつ、受け入れる振動周波数の帯域を中心周波数の20%程度に広げる新たな技術を開発するため、特許や文献調査を行い、シミュレーション解析、及び評価を行なった。その結果、振動発電素子は単振動で高いQ値であっても、インターポーザに双安定性機能を持たせることで広帯域化できることがわかった。また、そのための設計指針を得ることもできた。今後は振動発電素子と同じ寸法以下で、厚みが1~2mm程度を想定し、双安定性を発現させるのに最適な方法を検討し決定していく。

また、エレクトレットの形成手法については、ランプアニールによってエレクトレット形成効率をアップさせるための検証システムを設計し、H29年度から実験を開始できるようにエレクトレット形成システムの組立てを進めた。また、10月にエレクトレット帯電を一度失った試料を用いて、ランプアニールで加熱しながら135Vを印加し、エレクトレットに再帯電できることを確認した。封止後にランプアニールによるエレクトレット形成工法が有効であることを示した。

## 2. 成果

### (1) 研究発表・講演(口頭発表も含む)

発表年月日	発表先	発表タイトル	発表者
2016/9/14	MEMS センシング&ネットワークシステム展 2016	超高率データ抽出機能を有する学習型スマートセンシングシステムの研究開発	逆水 登志夫
2017/1/23	次世代センサ協議会	MMC25 年と IoT 時代を迎える MEMS イノベーション	青柳 桂一
2017/2/1	電気学会誌 2017 年 2 月号 特集記事 1	総論：「人と技術との融和」 心豊かな社会を目指して	今本 浩史
2017/2/27	先進実装・電子部品研究会 第 2 回公開研究会	IoT 社会に向けた MEMS センサとセンサシステムの取り組み	今本 浩史

### (2) 特許等

0 件

### (3) 受賞実績

0 件

### 3. その他特記事項

なし

契約管理番号	1 6 1 0 0 9 7 1 - 0
--------	---------------------