

# オープンソースハードウェアとセンサーネットワークによる除雪支援システムの研究開発 (132302005)

## Development of a Snow Removal Support System using Open Source Hardware and Sensor Network

### 研究代表者

齋藤 寛 会津大学

Hiroshi Saito The University of Aizu

### 研究分担者

小平 行秀<sup>†</sup>

Yukihide Kohira<sup>†</sup>

<sup>†</sup>会津大学

<sup>†</sup>The University of Aizu

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

## 概要

オープンソースハードウェアとして知られているマイコン基板 Arduino に近距離無線システム ZigBee と積雪計測用のセンサーをとりつけ、センサーネットワークを構築する。次に、各センサーノードから採取された積雪データとグラフアルゴリズムを用いて、最適な除雪経路を計算するソフトウェアを開発する。また、計算された最適除雪経路を積雪データとともにインターネットに公開する web ページを開発する。

### 1. まえがき

冬になると日本海側を中心に積雪があり、雪による災害（交通事故、雪崩、交通・流通の麻痺）が後を絶たない。除雪も頻繁に行われるが、莫大な費用が掛かり、自治体の財政を圧迫する。そのため、安価で効率的な除雪支援システムの開発が重要である。本研究開発課題では、オープンソースハードウェアを用いてセンサーネットワークを構築し、定期的にリアルタイムでセンシングされた積雪データを基に最適な除雪経路を計算し、積雪データとともにインターネットに公開する除雪支援システムを開発する。

### 2. 研究開発内容及び成果

#### 2.1 研究内容

除雪支援システムを実現するために、①オープンソースハードウェアを用いたセンサーネットワークの構築、②最適な除雪経路を計算するソフトウェアの開発、③積雪や最適な除雪経路を表示する Web ページの開発、④除雪支援システム用の基板開発、⑤実証実験を行った。

#### 2.2 研究成果

①オープンソースハードウェアを用いたセンサーネットワークの構築

オープンソースハードウェアである Arduino Fio、無線規格 ZigBee を実装した Digi International の XBee モジュール、超音波距離センサー、温度センサー、リチウムイオンポリマー電池、ソーラーパネルよりセンサーノードを構築した（図 1）。なお、センサーノードは 3 種類準備した。1 つはデータを集約するコーディネータ、積雪を計測するエンドデバイス、エンドデバイスで計測した積雪データをコーディネータにルーティングするルーターである。エンドデバイスは、積雪が平坦となる場所、歩道、車道の積雪量を計測する 3 種類を準備した。センサーネットワークの構築後、バッテリーライフ、受信率（通信距離）、センサーのセンシング精度を評価した。バッテリーライフに関しては、1 回のフル充電で、平成 27 年の 1 月上旬から 2 月上旬の約 1 か月強の期間、41 個のセンサーノード



図 1 構築したセンサーノード

のうち 29 個のノードが稼働していることを確認した。受信率に関しては、平成 27 年 1 月 13 日から 1 月 27 日の約 2 週間の測定で、41 個のセンサーノードのうち約 8 割となる 33 個のセンサーノードの受信率が 90%以上であることを確認した。センサーのセンシング精度に関しては、ある時刻での積雪量としては誤差があるが、ある時刻間の積雪量の差は安定し、実際の積雪量の差に対してほぼ等しい結果が得られた。

②最適な除雪経路を計算するソフトウェアの開発

道路の幅、長さ、エンドデバイスにてセンシングした積雪データ、除雪対象の積雪量、および優先道路の指定、除雪車の速度、除雪車のブラウザの高さや幅といった入力データを基に、除雪車毎の最適な除雪経路を計算するソフトウェアを Java 言語と開発環境 Eclipse を用いて開発した。また、除雪車の単位時間当たりの除雪量を実際に計測するために、GPS シールドを含んだ Arduino を除雪車にとりつけ、除雪パターンや除雪時間のログを取得し解析するプログラムを開発した。

③積雪や最適な除雪経路を表示する web ページの開発

まず、センサーノード（コーディネータ、ルーター、エンドデバイス）の位置を Google Map 上に描画し、選択したエンドデバイスがセンシングした積雪データと気温データをグラフ表示する Web ページを作成した。この Web ページから、利用者はエンドデバイスの番号とその位置関

係を視覚的に認識することができ、積雪量と気温との関係、気温とセンサーの測定精度の関係を考察することができる。次に、②で開発した最適な除雪経路を計算するソフトウェアの計算結果（除雪車毎の最適な除雪経路）を表示する Web ページを開発した。図 2 は、最適な除雪経路を表示する Web ページを表す。Web ページは平成 26 年冬から段階的に公開しており、平成 27 年 3 月の時点で、400 件以上のアクセスがある。

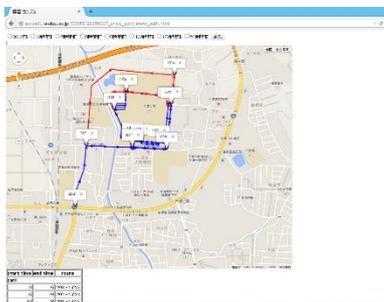


図 2 最適な除雪経路を表示する web ページ

#### ④除雪支援システム用の基板開発

①で使用しているセンサーノードは、Arduino Fio 基板のほかに、ソーラーパネルからの給電のための Lipo ライダー基板、これらを接続する USB ケーブルを用いているが、これらを 1 つにまとめたほうが基板代のコストが抑えられ、基板間の接続不良による給電のロスも抑えることが期待できるので基板開発を行った。基板は、Seeed Studio 社が販売している Seeeduino Stalker v2.3 をベースとした。基板開発後、部品のはんだ付け、AVR プロセッサへのブートローダーの書き込み、Arduino Fio で用いたプログラムの書き込みを行い、①で使用しているセンサーノードと同じ動作を確認した。

#### ⑤実証実験

実証実験では、会津大学内の道路と会津若松市の道路を積雪計測の対象とした。平成 25 年度の最初の実証実験では、1 個のコーディネータ、9 個のルーター、5 個のエンドデバイス（1 個は積雪が平坦となる場所向け、4 個は車道向け）からなるセンサーネットワークを構築した。ここで用いた XBee モジュールは、スリープモードに設定することができなかったため、バッテリーライフが 2、3 日だった。平成 25 年度の 2 回目の実証実験では、1 個のコーディネータ、19 個のルーター、9 個のエンドデバイス（1 個は積雪が平坦となる場所向け、1 個は歩道向け、7 個は車道向け）からなるセンサーネットワークを構築した。スリープモードに設定することができる XBee モジュールを用いたが、センサーノード間距離が長く、センサーノードがネットワークから外れてしまうことがあった。ネットワークに再接続するまでは、スリープモードに入らないため、バッテリーライフは約 8 日だった。また、使用した低価な距離センサーの精度が低いことも確認した。平成 26 年度は、センサーネットワークを 2 つ構築した。1 つは、データを集約するコーディネータ 1 個、積雪量を計測するエンドデバイス 20 個、エンドデバイスからコーディネータまで計測した積雪データをルーティングするルーター 21 個の合計 42 個からなる。もう 1 つは、遠隔地での積雪量を計測するためのセンサーネットワークで、3G シールドを搭載したコーディネータ 1 個、エンドデバイス 3 個の合計 4 個からなる。共にセンサーノード間距離を短くし、通信モジュールには外付けアンテナを用いた。また、積雪計測用の距離センサーや積雪量計算のプログラムを改善した。1 つ目のセンサーネットワークから、①で述べ

たバッテリーライフ、受信率、センサーの精度を得ることができた。図 3 は 1 つ目のセンサーネットワークにおける各センサーノードの位置と、あるノードの過去数時間の積雪量を表示する web ページを表す。2 つ目のセンサーネットワークから、3G シールドを用いた遠隔地での積雪計測を実現した。



図 3 各センサーノードの位置と積雪量を表示する web ページ

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

今後はまず、本研究開発課題で開発したセンサーネットワークの範囲を拡大し、市町村レベルで積雪を計測する取り組みが必要である。除雪支援システムに関しては、センサーネットワークの範囲拡大に伴う除雪経路の計算範囲の拡大、計算した除雪経路の最適性の評価、除雪支援システムの使い方に関する改善といった取り組みが必要である。こうした取り組みを基に実証実験を繰り返し行うことによって、最終的に自治体や除雪従事者は早期に除雪への準備や見通しが可能となり、一般の人々もまた早期に積雪に対する備えが出来るようになる。結果として、雪による災害を低減することが期待できる。

#### 4. むすび

本研究開発課題では、オープンソースハードウェアとセンサーネットワークによる除雪支援システムを開発した。開発した除雪支援システムを用いることで、リアルタイムに積雪量を確認することができ、また最適な除雪経路を得ることができる。今後は、開発した除雪支援システムを改善することで、実用化を目指す。

#### 【誌上发表リスト】

- [1]保坂隼也、森合洋介、中島正光、小平行秀、齋藤寛、” Arduino を用いた積雪量を計測するセンサーネットワークの構築”、電子情報通信学会知的環境とセンサーネットワーク研究会、vol. 114、no. 166、ASN2014-45、京都市（平成 26 年 7 月 31 日）
- [2]森合洋介、中島正光、保坂隼也、小平行秀、齋藤寛、” センサーネットワークによる積雪量の可視化”、電子情報通信学会総合大会、B-18-40、南草津市（平成 27 年 3 月 10 日）

#### 【報道掲載リスト】

- [1]” 最適な除雪経路計算支援システムを開発 会津大生ら”、福島民友新聞、平成 27 年 3 月 31 日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://scope01.u-aizu.ac.jp/SCOPE/>