

センサネットワークを用いた地震被災情報収集システム —無線通信能力に関する基礎実験—

○山邊友一郎*¹ 稲留 達也*²
谷 明勲*³

キーワード：センサネットワーク 地震被災情報 無線通信

1. はじめに

地震などの大規模災害の発生直後には、被災地域の情報を迅速に収集して災害対策に活用することが求められる。しかし、地震の揺れを原因とする停電や通信網の断線、通信施設の被害などにより通信手段が途絶してしまい、必要な情報収集が不可能となる状況が生じてきた^{1),2)}。そこで筆者らは、地震発生直後の各地域の被災情報を緊急的かつ迅速に収集する簡易なセンサネットワークを用いた情報収集システムを提案した³⁾。既報では、オープンソースハードウェア (OSHW) として Arduino⁴⁾ を使い、無線通信モジュールとしての XBee⁵⁾ 及び数種のセンサを用いてセンサノードを作成し、簡便かつ低コストなセンサネットワークを構築して、地震被災情報を提供するシステムの構築を述べると共に、実用化に向けて検討すべき課題を整理した。これらの課題の解決に向けて筆者らは、提案システムの実現に向けて、OSHW を用いたデータ収集・通信に関する基礎的検討などを実施している^{6),7)}。本稿では、XBee を用いたセンサノードの無線通信性能に関して基礎的実験を行った結果を報告する。

2. 要素技術

2.1 Arduino

Arduino は、OSHW の一種であり、比較的容易にプログラミングが可能である。適切なプログラミングを行うことにより、入力として各種センサを接続して周辺環境を認識し、出力としてライトやモータなどのアクチュエータを制御することができる。

2.2 XBee

XBee は、省電力に優れた ZigBee 規格の無線機器の中でも、非常に使いやすく豊富な機能を持つ無線モジュールである。また、無線機器として日本国内で利用する認可を得ており、個人が容易に導入可能な機器である⁸⁾。尚、通信能力の違いによりいくつかの製品系列が利用可能であるが、本稿では通信能力の高いシリーズ 2 のモジュールを採用する。

2.3 センサノード

図 1 に Arduino と XBee を用いて組み立てたセンサノードを示す。最下層が Arduino の基盤で、中間層は

Arduino と XBee を接続するシールドであり、最上層 (右上のホームベース型) が XBee である。これに電源供給を行い、センサを接続することにより、センサノードとして機能する。次に、図 2 に基地局無線モジュールを示す。上部が XBee の基盤であり、下部は XBee をコンピュータの USB ポートに接続するアダプタである。基地局無線モジュールを接続することにより、コンピュータはセンサノードと通信可能となり、各種センシング情報を収集することができる。

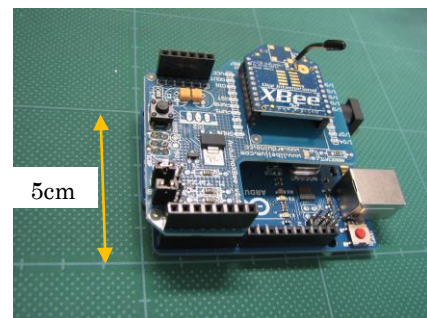


図1 センサノード

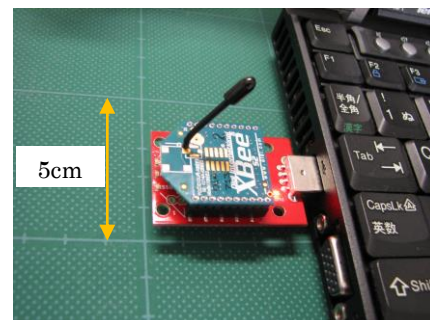


図2 基地局無線モジュール

2.4 センサ

本稿では、3軸加速度センサを用いて計測を行い、得られた情報を無線通信で伝達するシステムを構築した。尚、本稿は無線通信の成否を対象として実験、考察を行うため、使用するセンサの精度は結果に影響がないことに留意されたい。

3. 地震被災情報収集システム

3.1 センサノードの設置

本章では、地震被災情報収集システム³⁾の概要を説明する。図4に住宅にセンサノードを設置するイメージを示す。3軸加速度センサを接続することで、揺れの強さや震度などの地震に関する情報を計測する。また、角速度センサや距離センサにより、地震時の層間変位や残留変形を計測することにより、建物の被災情報を収集する。

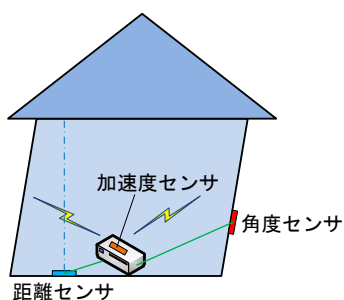


図3 センサノード及びセンサ

3.2 小規模地震被災情報収集システム

センサノードにより計測した地震被災情報の収集、活用には色々な方法が考えられる。簡便な活用方法としては、サーバを経由して情報を建物所有者や自治体の災害対応部局に伝達することが想定できる（図4参照）。敷地で発生した地震の揺れの強さや建物の被災情報を得ることで、迅速かつ適切な対応が可能になる。

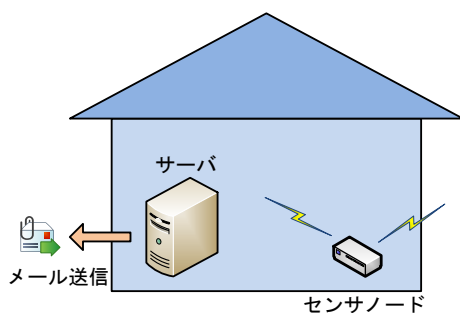


図4 小規模地震被災情報収集システム

3.3 大規模地震被災情報収集システム

3.2節で示したシステムが機能するためには、建物周辺の情報インフラが健全である必要があるが、近年の大規模地震の被災例を見ると、停電、断線などにより情報インフラが機能しなくなる例が多い。このような場合に、XBeeのアドホックネットワーク構築機能を用いて、既存の情報インフラに依存しない情報伝達手段を構築することも、本システムの目的の一つである。そこで、建物間はセンサノードがアドホックな通信ネットワークを構築することで情報を伝達し、高い耐災害性能を備える基幹サーバ（一定の

広さの地域に1つずつ配置することは想定）への情報伝達経路を確保するシステムの構成を図5に示す。

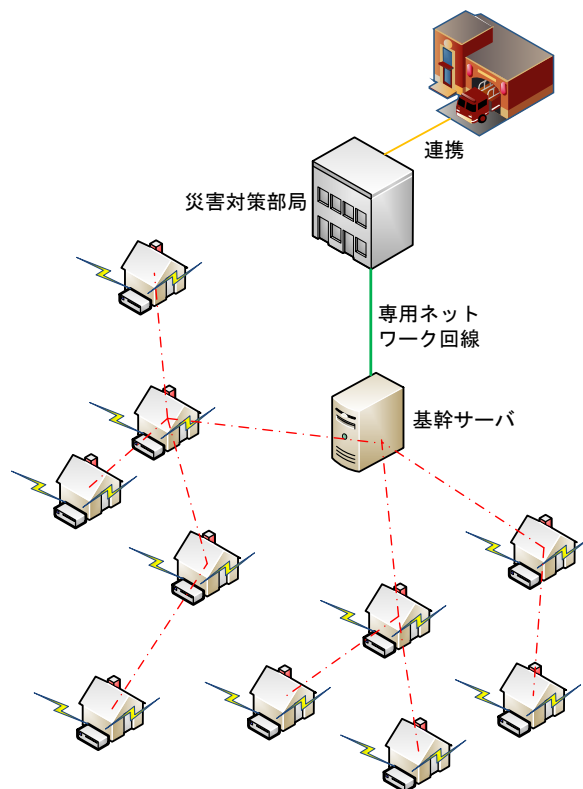


図5 大規模地震被災情報収集システム

3.4 研究課題の整理

本節では、3.2節、3.3節で示した情報収集システムを実現するために解決すべき研究課題を整理する。

センサ：

種類、精度、設置位置、サンプリング間隔

センサノード：

電源供給方法、耐久性、メンテナンス性、センサノード間の通信距離、遮蔽物の影響、通信の正確性、コスト

基幹サーバ：

設置位置、カバーエリア、コスト、情報の活用法

4. XBeeを用いた通信実験

本章では、3.4節で挙げた課題の中から、センサノード間の距離、遮蔽物が通信の正確性に及ぼす影響を検証した基礎的実験の結果について述べる。

4.1 屋外での通信実験

図6に実験の概要を示す。見通しの良い公園でセンサノードを固定し、受信装置を持った観測者がセンサノードから徐々に離れていながら、通信データの正確性を検証した。通信データは、通し番号付きの3軸の加速度データであり、スペースを含めて28文字分の情報量である。また、データ送信間隔は33, 34, 35, 36, 100msecの5種類とし

た。通信性能については、1,000回のデータ送信を1単位として、データ送受信が正確に行われた割合を百分率で示した値を通信成功率と定義する。図7に、横軸にセンサノードと受信装置との距離をとり、縦軸に通信成功率、データ送信間隔をパラメータとして実験を行った結果を示す。実験結果より、通信可能な距離の上限は100mであった。データ送信間隔については、35msec以下では通信が不安定であったが、36msec以上では、ほぼ100%の通信成功率となった。成功率に関しては、ある距離を境に急激に低下する傾向があった。

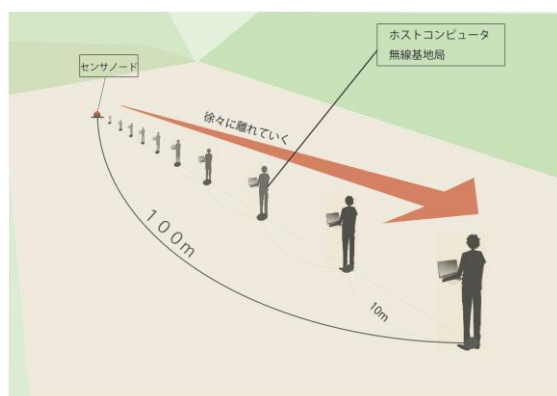


図6 実験概要 (屋外)

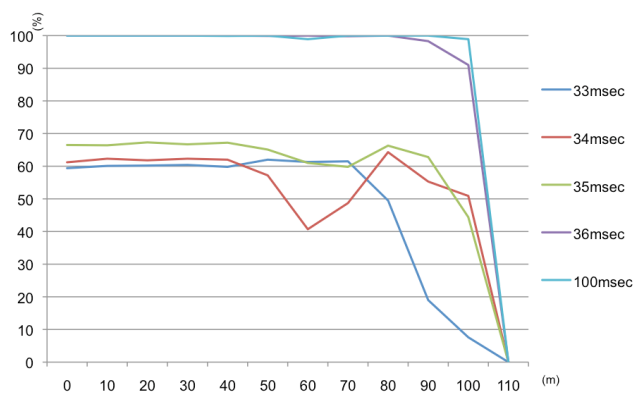


図7 実験結果 (屋外)

4.2 住宅地での通信実験

図8に実験の概要を示す。実験場所は大阪府下の住宅地であり、低層住宅が通信成功率に及ぼす影響を検証する。L字型の道路の一边にセンサノードを配置し(角から20m)、角を曲がった位置から徐々に離れていながら、通信実験を行った。データ量は4.1節と共通で、データ送信間隔は40, 100msecの2種類で実験を行ったが、紙面の制約があるため100msecで行った実験結果を図9に示す。図中、100msecでデータ送信を行った時の通信成功率を色の分布(色が濃いほど成功率が高い)で示す。結果より、角からの距離が離れるに従って通信成功率が徐々に低下する傾向があった。



図8 実験概要 (住宅地)

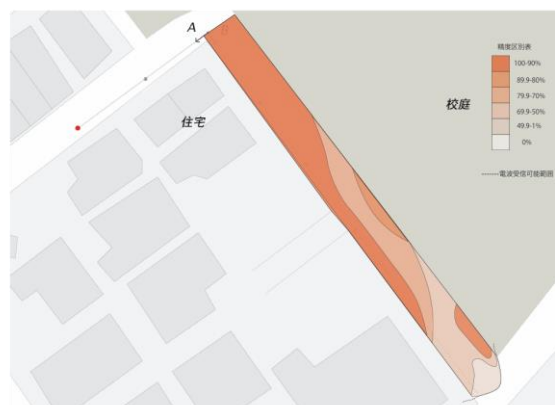


図9 実験結果 (住宅地)

4.3 住宅内外の通信実験

図10に実験の概要を示す。木造軸組工法2階建て住宅の屋内中心付近にセンサノードを設置し、住宅外部への通信能力を検証する。敷地周辺は住宅が建て込んでいる地域である。データ量、データ送信間隔は4.2節と共通であり、100msecで行った結果のみを図11に示す。結果より、通信成功率が90%以上となる範囲は非常に少なく、木造住宅であっても建物の壁越しにデータをやり取りすることの難しさを示す結果であった。

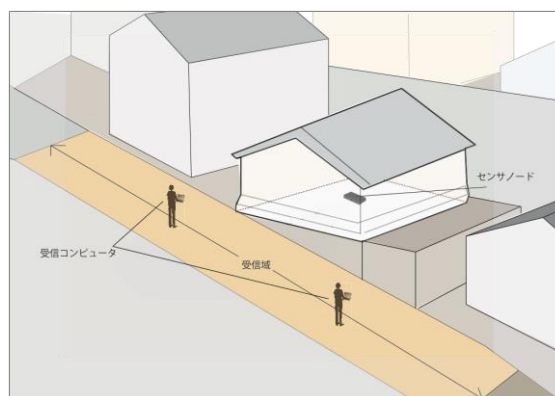


図10 実験概要 (住宅内外)

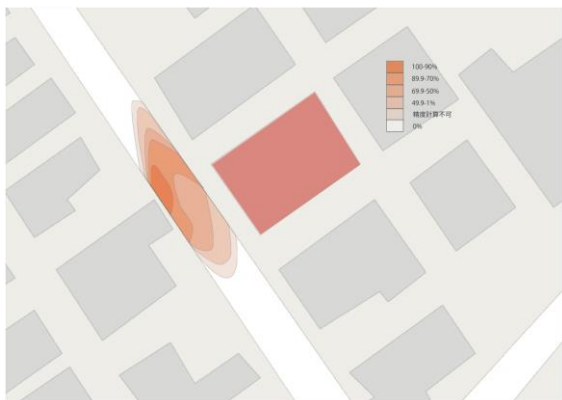


図11 実験結果（住宅内外）

4.4 建物内部での通信実験



図12 実験場所（建物内部の廊下）



図13 実験結果（建物内部）

大学の研究棟内部で通信実験を行った。図12に実験を行った建物の廊下の写真を示す。間仕切りはスチール製で、所々にガラス窓がはめられている。室内の小型振動台上にセンサノードを設置し、振動台を揺らして得られる加速度を送信データとする（但しデータ量は28文字で共通である）。データ送信間隔は4.2節、4.3節と共通であり、

100msecで行った結果のみを図13に示す。オレンジ色の濃淡が通信成功率の高低と対応する。また、灰色の場所は立入ができず、実験ができなかった場所を示す。距離が離れるほど通信成功率が低下する傾向は他の実験と共通であった。この実験の特徴的な結果としては、直線状の廊下では70%以上の通信成功率があったとしても、直角に曲がると（間仕切りのないオープンスペース）通信成功率が0%になる現象が観測されたことである。

5. まとめ

本稿では、地震発生直後に地震の揺れの強さ、建物の被災の程度に関する情報を収集するシステムを提案し、実現に向けての研究課題を整理した。また、センサノード間の無線通信能力を検証する実験を行った結果を報告し、考察を加えた。今後は、本稿で行った無線通信に関する実験をさらに進めると共に、残された他の課題についても検証を行う予定である。

【謝辞】

本研究の一部はJSPS 科研費 23510201, 25420581 の助成を受けたものです。

【参考文献】

- 1) 谷明勲, 山邊友一郎: 阪神・淡路大震災との被害と復旧状況の違い, 2012年度日本建築学会大会(東海)情報システム部門研究協議会資料, pp.15-22, 2012.9
- 2) 瀧澤重志: 発災直後の情報通信システムの稼働状況, 2012年度日本建築学会大会(東海)情報システム部門研究協議会資料, pp.23-30, 2012.9
- 3) 山邊友一郎, 谷明勲: 簡易なセンサネットワークを用いた地震被災情報収集システム構想, 第35回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告), pp.335-338, 2012.12
- 4) <http://arduino.cc/en/> (参照: 2014.10.1)
- 5) <http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/index.html> (参照: 2014.10.1)
- 6) 谷明勲, 佐々木宏仁, 山邊友一郎: センサネットワークを用いた地震情報収集システムに関する研究, 一OSHWを用いたデータ収集・通信に関する基礎的検討一, 第36回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告), pp.253-256, 2013.12
- 7) Yuichiro Yamabe, Hiroto Sasaki, Tatsuya Inatome, and Akinori Tani: Fundamental Test of Seismic Information and Building Damage Data Gathering System using OSHW with Wireless Sensor Network, Proc. of the 2014 ICCCB, pp.1158-1165, 2014.6

- *1 神戸大学大学院工学研究科 准教授 博士(工学)
 *2 元神戸大学工学部 学部長
 *3 神戸大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)