

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

○山邊 友一郎*¹ 谷 明勲*²

キーワード：センサネットワーク 地震被災情報 Arduino XBee

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源に近接する東北地方太平洋沿岸部を中心として、津波による甚大な被害が生じた。また、震源から離れた東京都市部では、地震の影響による停電や線路・架線の点検作業を原因とする公共交通機関の運行停止によって大量の帰宅難民が発生し、避難所で夜を明かしたり、数時間をかけて徒歩での帰宅を余儀なくされるなど、日常生活に大きな影響を受けたことが記憶に新しい。

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)}。勿論、新聞、テレビを中心とする各種報道機関が報じるニュースなどにより、被災地の情報を得ることは可能であるが、あくまでも点としての情報であり、被災地全体を面として情報を収集する体制はとられていない。また、気象庁が発表する地震速報などにより、各地域の震度情報などは得られるが、その揺れにより各地域にどのような被害が発生したかまでは知ることができない。

本稿では、地震発生直後の各地域の被災情報を緊急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の構想を提案することを目的とする。背景として、上述したような、地震直後の情報収集の困難さがあると共に、近年の情報通信技術（ICT）の発展がある。建築分野でも、無線センサネットワークを活用する研究が計画・構造・環境の各分野で積極的に行われている。さらに最近では、無線センサネットワークを安価かつ容易に導入可能な環境が整いつつあり、一般家庭でもセンサノードを設置して、各種モニタリングを実施することが現実味を帯びてきている。筆者らは、既報でユビキタスな建築構造ヘルスマニタリングを実施する構想を提案し³⁾、種々の基礎的検討を進めてきた。また、筆者らも所属する日本建築学会・情報システム技術委員会・スマート建築モニタリング小委員会でも、建築の各分野について活発な研究活動を実施しており、本稿ではその延長線上として、より簡便かつロー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想を述べると共に、実用化に向けて検討すべき課題を整理する。

2. 要素技術

無線センサネットワークを簡便かつローコストに実現するために、本稿では Arduino⁴⁾と XBee⁵⁾を利用することを想定する。両者に加えて任意のセンサを接続することにより、センサネットワークのノードを1万円程度以下の低コストで製作可能となる見込みである。

2.1 Arduino

Arduino は、オープンソースのマイクロコントローラシステムである。このマイクロコントローラボードは、Arduino プログラミング言語と、Arduino 開発環境（Processing をベースとしている）によって比較的容易にプログラミングを行うことができる。また、適切なプログラムを実行することにより、様々なセンサから入力を受け取ることで周辺環境を認識し、ライト、モータなどのアクチュエータを制御することによって環境に影響を与えることが可能である。

2.2 XBee

Arduino に無線通信機能を付加するために XBee を用いる。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⁶⁾。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、本稿ではシリーズ2の製品をシステムに適用することを想定する。

図1に Arduino と XBee を用いて組み立てたセンサノード（ルータ）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。実際には、これに電源を供給するためのケーブルと計測を行うための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。

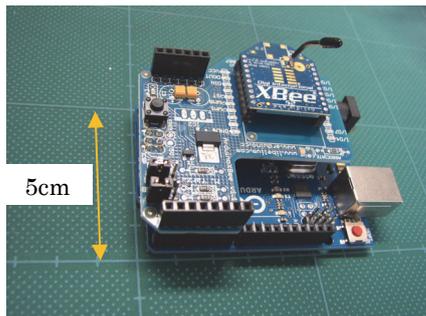


図1 センサノード（ルータ）

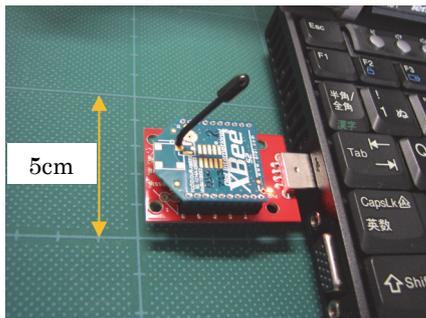


図2 基地局無線モジュール

2.3 センサ

本稿で提案するシステムでは、3軸の計測が可能な加速度センサを用いて地震情報をモニタリングすることを想定する。加速度センサは、その感度、精度などの違いにより様々な製品が入手可能であるが、本システムでは1,000円程度で入手可能なセンサを導入する予定である。1つには、センサノードの普及のため、できるだけコストを抑えたいことがあり、また、Arduinoで利用可能なA/D変換の分解能による制限があるため、高性能な加速度センサを導入しても、その性能を最大限に活用できない恐れがあるためである。

さらに、詳細は後述するが、簡便な手法で建物の被災情報を把握するため、角度センサ、距離センサなどの利用も視野に入れる。

3. 計測・送信する地震被災情報

本稿で提案するシステムでは、1軒の戸建て住宅につき1つのセンサノードを設置することを想定する。各センサノードは3軸加速度センサを有し、地震発生時の最大加速度を記録して基地局に送信する。また、センサノードの設置位置は1階床レベルとし、各住宅の敷地での程度の揺れが観測されたかを観測し、情報を送信する(図3参照)。本システムでは、加速度を精度良く計測することは難しいと思われるが、ある程度の誤差が生じることを認識した上で加速度情報を利用することで、敷地での揺れに関する1次的な情報を迅速に入手可能になることを期待する。また、得られた加速度波形から計測震度の目安を算出すること

も検討する予定である。

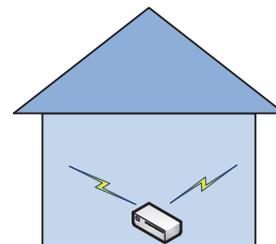


図3 センサノード設置イメージ

また、建物の被災情報を入手するために、現段階ではイメージに留まるが、角度センサや距離センサを用いて建物の被災情報を計測することも可能であると考えられる。図4にイメージ図を示すが、建物外壁あるいは柱などに角度センサを設置し、地震後の建物の残留変形角を計測したり、床レベルに距離センサを設置することで天井との距離を計測し、建物の残留変形による距離の変化を計測することにより、被災情報を観測することが期待できる。但し、各種センサを追加し、センサノードを高機能化することは本システムのコストアップにつながり、センサノードの普及の観点からはマイナスに作用するため、コストと性能のバランスを十分に検討する必要がある。

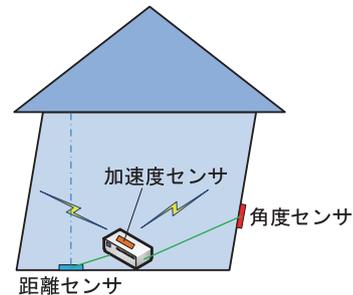


図4 各種センサ設置イメージ

4. 個人レベルでの地震被災情報収集システム

最も単純なセンサネットワークとして、基地局無線モジュールを接続したコンピュータ(以下、サーバと呼ぶ)1台とセンサノード1機を配置したシステムを構築する(図5参照)。加速度センサを有するセンサノードは地震発生時に加速度を計測し、サーバに情報を発信する。サーバは受信した情報をもとに解析を行い、最大加速度及び、可能であれば計測震度に関する情報を住宅所有者にメールで送信する機能を、あらかじめプログラムされているものとする。また、角度センサ、距離センサなどにより建物の被災情報を観測可能であれば、同様にメールで情報を送信する。本システムにより、住宅所有者は留守にしていたとしても、外出先で自宅が存在する場所で発生した地震の揺れの強さに関する情報をピンポイントで入手することが可能と

なり、さらに建物の被災情報を得ることで、住宅所有者の安心・安全につながる事が期待できる。また逆に、建物が大きな揺れに襲われ、被災度が深刻であるとの情報を得ることができれば、救急、消防に通報することが可能となり、早期の救助活動開始に資することとなる。その他、1章で述べた帰宅難民に関しても、自宅が安全であることが事前にわかっているならば、無理に帰宅することはせず、職場や避難所で待機する人を増やすことができ、帰宅者数を減らすことにより、混雑の度合いを低減することが可能となると考える。

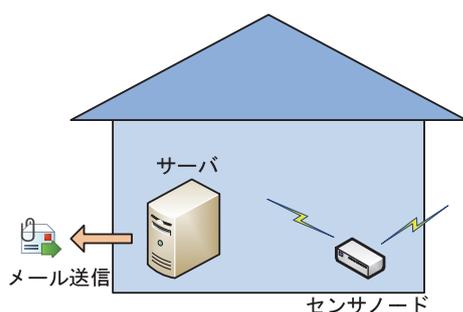


図5 個人レベルでの地震被災情報収集システム

本システムを運用する際に検討すべき課題としては以下の点がある。

- ① センサノードに配置するセンサの計測精度
- ② サンプリング間隔の精度
- ③ センサノードの設置位置
- ④ センサノードへの電源供給方法
- ⑤ センサノードの耐久性、メンテナンス
- ⑥ センサノードとサーバ間の情報送受信の正確性
- ⑦ センサノードとサーバ間の距離、遮蔽物の影響
- ⑧ サーバが受信した情報をもとに、どの程度の精度で揺れの強さや計測震度に関する情報を提供可能か

また、本システムでは、サーバは24時間連続稼働を前提としているため、利用者にとってはハードルが高い可能性がある。さらに、地震時に電力が遮断される可能性もあり、その場合サーバは機能せず、情報の外部への発信が不可能となる恐れがある。

5. 自治体レベルでの地震被災情報収集システム

4章で述べたシステムを発展させ、停電時の課題を解決するため、本章では自治体レベルでの地震被災情報収集システムを提案する。本システムでは、1軒の住宅に1つのセンサノードを配置することは同じであるが、耐災害性能を向上させたサーバ（以下、基幹サーバと呼ぶ）を一定の広さの地域に1つ配置し、複数のセンサノードと通信させ

る仕組みを想定する。基幹サーバは耐震性に優れ、停電時にも動作可能なバッテリー機能を持ち、自治体の災害対策部局と災害時にも通信可能な強靱な専用ネットワーク回線を持つものとする。また、各センサノードはXBeeの持つアドホックなネットワーク構築機能を利用し、自律的にネットワークを形成することにより、基幹サーバまでの経路を確保する（図6参照）。

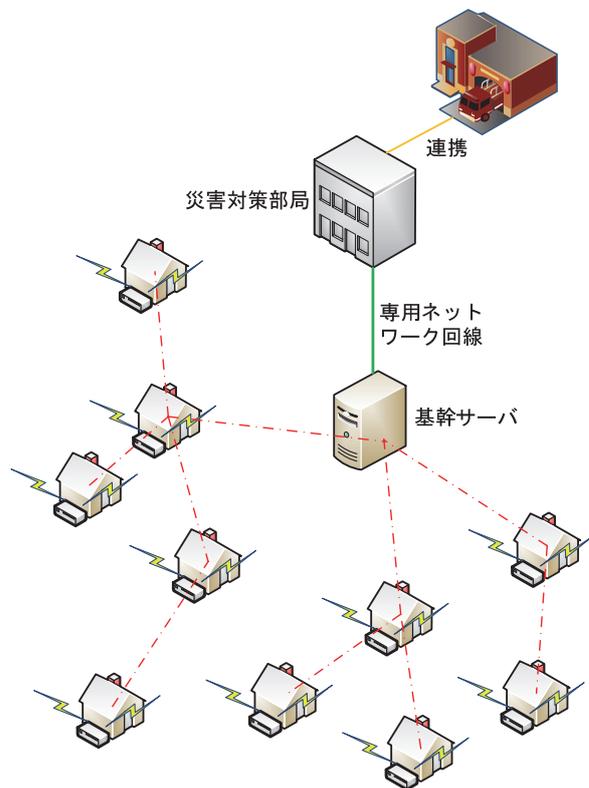


図6 自治体レベルでの地震被災情報収集システム

本システムを運用することにより、4章で指摘された課題を解決すると共に、自治体への情報提供も可能となる。これにより、自治体の災害担当部局では、管轄する地域での各住宅敷地を最小単位とした地震の揺れの強さ、被災情報を入手可能となり、消防、救急部局と情報を共有し、迅速かつ綿密な災害対策を講じることが可能となる。また、基幹サーバの運用次第では、4章で述べたシステムと同様、住宅所有者にメールで安心情報を配信可能である。本システムの運用にあたっては、4章で指摘した項目に加えて以下の点が検討課題としてあげられる。

- ① センサノード間の通信の可否（異なる敷地に存在するセンサノードが相互に通信することになるため、場合によっては屋外にセンサノードを設置するケースも考えられる。）
- ② アドホックネットワーク構築の正確性
- ③ センサノードから送信する情報の混信（地震発生時に

は、各センサノードは一斉に情報を送信し始めるため、アドホックなネットワークを構築していたとしても、情報の欠損などが生じる恐れがある。そのため、Arduino 内である程度の情報処理を行い送信する情報量を削減する仕組みが必要になると考える。)

- ④ 基幹サーバで受信する情報の正確性
- ⑤ 基幹サーバの設置位置 (通信可能なセンサノードの台数及び、対象エリアの面積)
- ⑥ 基幹サーバ設置、専用回線の敷設など自治体に生じる負担

6. 考察及びまとめ

本稿では、地震発生直後に迅速に地震の揺れの強さ、被災の程度に関する情報を収集することを目的として、Arduino と XBee を用いて簡易なセンサネットワークを製作し、情報収集システムを構築する構想を提案した。各住戸に 1 つセンサノードを設置することを想定したため、観測する情報の精度を高めるよりは、ローコストで製作し、広く普及させることを主眼に置いたため、詳細な加速度波形データを収集することは難しいと思われるが、緊急的に利用可能な一時情報として各住宅の被災情報を得ることは可能であると考ええる。

4 章で提案したシステムでは、住宅の所有者が遠隔地にいたとしても、自宅の揺れの強さや被災情報をピンポイントで得ることで、小さな揺れが観測された場合は住宅所有者に安心感を与えることができ、大きな揺れが観測された場合には迅速な救護要請を行うことが可能になる。また、5 章で提案したシステムを運用することにより、自治体は管轄する地域での、地震による揺れの分布や被災情報を住宅単位で収集することが可能となり、災害対策の初動体制を検討するための有益な情報となることが期待される。

3, 4 章では、提案したシステムを実現する際に考えられる検討課題をまとめており、今後それらを対象として研究を進展させる予定である。勿論、検討すべき課題はこの他にも多々存在することは予想されるが、それらも今後の検討課題としたい。

[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) 谷明勲, 山邊友一郎, 河村廣: センサ付き無線 IC タグ応用のユビキタス建築構造ヘルスマニタリング構想—加速度センサ実験に基づく応用システムの構築—, 日本建築学会総合論文誌, No.4, pp.111-116, 2006.2
- 4) <http://arduino.cc/en/> (参照: 2012.10.11)
- 5) [http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-](http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/index.html)

[embedded-solutions/zigbee-rf-modules/index.html](http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/index.html) (参照: 2012.10.11)

- 6) Robert Faludi 著, 小林茂 監訳, 水原文訳: XBee で作るワイヤレスセンサネットワーク, オライリー・ジャパン発行, 2011.12.8 (初版第 1 刷)

*1 神戸大学大学院工学研究科 准教授 博士(工学)

*2 神戸大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)