

## センサネットワークによる地震被災者救援システムの研究 ~Study on rescue system for earthquake disaster with sensor network~

原山 恭輔† 矢内 言典‡ 井上 雅裕‡  
Kyousuke Harayama Kotofumi Yanai Masahiro Inoue

### 1. はじめに

日本では、近い将来大地震による震災に見舞われる可能性が高くなっている。東南海地震の例を挙げると、2030年までにマグニチュード8以上の地震が80%以上の確率で発生すると予測されている。また、過去の震災発生後の倒壊物からの脱出者の状況を見ると、警察や消防隊に救助されている人は脱出した人の内、わずか2割にしか過ぎない[1]。さらに、倒壊した建物に埋まってしまった人は72時間以内に救助できないと、その人の生存確率は5%ほどになってしまう[2]。

そこで、本研究では地震によって倒壊した建物に埋まってしまった人を、センサネットワークを用いることによって救助支援するシステムを検討する。

### 2. システムの要求と設計

#### 2.1. 機能要件

- (1) 被災者が生存している間に助け出す。
- (2) 被災者を救助するまでシステムが機能し続けること。
- (3) 突然の災害にも対応できるシステムであること。
- (4) 雨・土砂・壁・木材等の妨害要素に阻まれても動作できるシステムであること。

#### 2.2. 検討課題

- (1) 屋内に配置した人感センサとルータノード間の通信手段
- (2) 倒壊した建物内から屋外へのセンシング情報の通信手段
- (3) センサ情報からの状況判断アルゴリズム

#### 2.3. システム設計案

本研究の全体像を平常時と非常時に分けて取り上げる。まず、平常時の構造として、建物に人感センサ(センサノード)を設置し、それらがネットワークを組んで配置されているものを考える。センサノードは常に範囲内にいる人感センサ情報をルータノードに蓄積させる。ルータノードはセンサノードから送られてきた情報を履歴として管理する。センサノード及びルータノードは通常時、AC電源の供給を受けて動作させる。非常時である地震発生後、救助隊はルータノードに蓄えられている履歴情報を引き出し、どの家屋に人が埋まっているか予測を立て、救助を行う。なお、ルータノードはバッテリー駆動に切り替えることで動作を継続させる。

このような流れで、本システムでは被災地における救助支援システムを実現させることを目的とする。システム構成図を図1に示す。

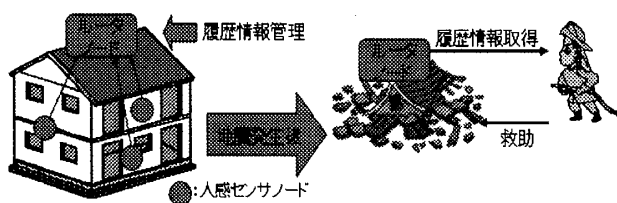


図1. システム構成図

### 2.4. 通信方式検討

次にセンサ間での無線通信を行う際に用いる方式を検討する。

本研究での機能要件を考慮した結果、特定小電力無線とIEEE802.15.4(ZigBee)を用いることが適していると推測する。双方の特徴をまとめた結果を以下の表1に示す[3]。

表1. 無線通信方式の特徴・比較

方式名	特定小電力無線	IEEE802.15.4 (ZigBee)
伝送速度	2.4~4.8Kbps	250Kbps
周波数	429MHz	2.4GHz
伝送距離	30m~300m	10m~75m
消費電力	<50mW	<60mW
貫通性能	優	劣
接続ノード	約254(製品依存)	Max65535
間欠動作	○	◎
起動時間	秒単位	ms単位
トポロジー	スター	スター、メッシュ、ツリー
変調方式	2値FSK	DS-SS

本研究の機能要件から、周波数、伝送距離、消費電力に着目する必要がある。IEEE802.15.4(ZigBee)は接続可能ノード数が65535と非常に多いことと、アクティブ遷移(起動時間)が高速という点で省エネルギー性に特に優れている。しかし、2.4GHz帯の周波数は水や建材の影響を受け、吸収されてしまうという欠点を持っており、倒壊した建物内から屋外の救助隊への通信での使用には適していないと考えられる。IEEE802.15.4(ZigBee)は屋内で特に力を発揮すると推測する。屋外では屋内の場合とは要求条件が異なり、伝送距離、貫通性能がかなり重要な項目である。この点を考慮すると、特定小電力無線が適していると考えられる。本システムでは、双方の長所を活かすことで、システム構築を行うことを目的とする。

### 3. 実験

#### 3.1. 実験概要

本研究の実験ではIEEE802.15.4(ZigBee)と特定小電力無線の遮蔽物による影響を実験、検証した。電波遮蔽箱を用いた実験の概要図を以下の図2に示す。

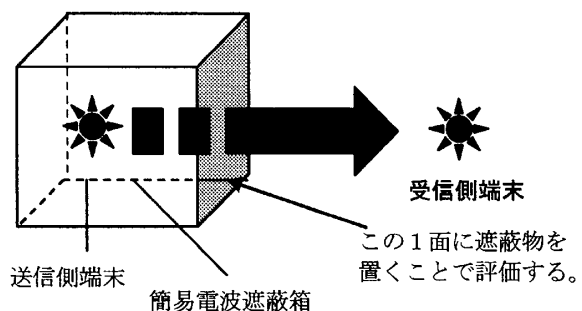


図2. 簡易電波遮蔽箱を用いた実験の概略図

簡易電波遮蔽箱は、電磁波シールド壁紙MAC2000を5面に貼り付けたダンボール箱とした。MAC2000は

† 芝浦工業大学 電気電子情報工学専攻  
‡ 芝浦工業大学 電子情報システム学科

IEEE802.15.4(ZigBee)に対してほぼ完全に遮断し、特定小電力無線に対しても26dB程度(90%以上)の減衰が確認できた。この簡易電波遮蔽箱を使用し、MAC2000の貼られていない1面に遮蔽物(コンクリート、木材等)を置き、厚みを変えて評価を行うことができる。

### 3.2. IEEE802.15.4(ZigBee)での遮蔽物通信実験

IEEE802.15.4(ZigBee)で実験を行う場合は、送信側端末と受信側端末の距離を5mで固定して行う。その際における電波の減衰及びPERの変化で測定を行う。

結果は以下の図3の通りである。

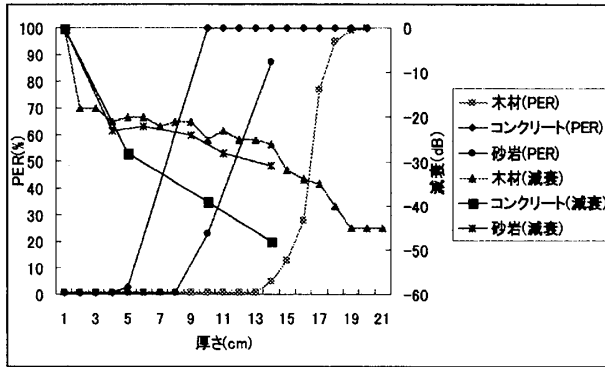


図3. IEEE802.15.4(ZigBee)での遮蔽物通信実験の結果

図3の通り、どの建材を用いても最終的には通信不可能となってしまいます。それぞれの建材の厚さを考えれば、屋内での通信に使用する場合には特に問題とはならないが、様々な遮蔽物に阻まれてしまう災害地を想定するとIEEE802.15.4(ZigBee)は不向きである。

### 3.3. 特定小電力無線での遮蔽物通信実験

特定小電力無線で実験を行う場合は、送信端末を簡易電波遮蔽箱に入れ、受信端末に向けてPN9(擬似ノイズ)送信する。この時、受信端末は一秒間隔でBER(ビットエラーレート)を測定している。受信端末を送信端末から徐々に距離を取りながら離し、BERの表示が0%でなくなる所を最長距離として測定する。なお、今回のBER測定では1秒間に1000回の送信を行っている。IEEE802.15.4(ZigBee)での実験と同様、MAC2000の貼られていない1面に遮蔽物を置き、厚さを変え、測定する。

実験結果は以下の図4に示す通りである。

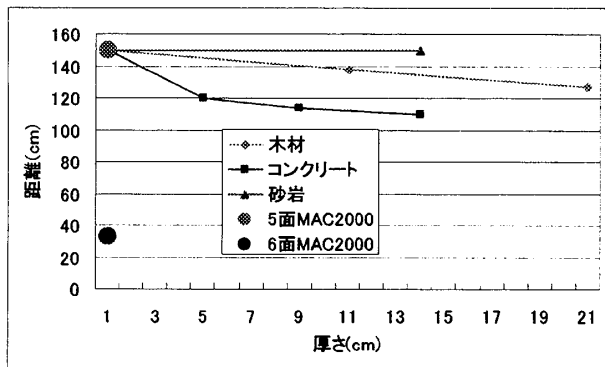


図4. 特定小電力無線による遮蔽物通信実験の結果

特定小電力無線の場合、距離により、遮蔽物の影響をどの程度受けたか検証している。何も遮蔽物のない場合において安定した通信の行える距離は150mであった。また、

簡易電波遮蔽箱の6面を塞いだ際の通信可能距離は33mであった。遮蔽物による影響を受けて得られた距離は、どれも33mを越えているので、グラフから得られる結果は、遮蔽物によるものであると考えることができる。グラフの結果から、非常時に遮蔽物に阻まれたとしてもそれを透過することは十分に期待できる。よって、特定小電力無線は非常時において倒壊した建物内にあるルータノードから屋外の救助隊が履歴情報を無線通信で取得する際において有力であると考えられる。

### 3.4. 人感センサによる情報の予測実験

本システムは家毎に設置された人感センサノードが人を検知(動作)した際に、ルータノードへZigBeeを用いて送信する。災害時、救助隊が各家のルータノードから履歴情報を外部から取得することで救済支援するものである。この一連の流れを模擬実験として行った結果を図5に示す。

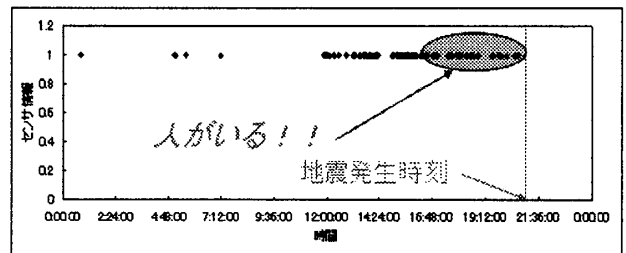


図5. 人感センサの感知分布

図5では24時間人感センサを動作させ、感知した時間をプロットしたものである。図中に表記してある縦線を地震発生時刻と見立てると、直前の情報を参照することで、人がいたか予測を立て、救助を支援することができる。

実験結果から推測すると、ルータノードに溜め込む履歴情報は人の事前行動(長期の外出・睡眠等)を予測することも含め、数日分あれば十分であると考えられる。

## 4. まとめ

実験結果より明らかとなったのは以下の点である。

- IEEE802.15.4(ZigBee)は屋内向けで、平常時に人感センサからルータノードに情報を集める際に有効である。
  - 特定小電力無線は建材等による遮蔽物の影響を受けにくいので、非常時、倒壊した建物内にあるルータノードから屋外の救助隊が履歴情報を取得する際において有力である。
  - ルータノードに数日分の履歴情報を蓄積することで、地震発生時刻から人の存在を予測することができ、救助支援に役立たせることができる。
- 今後の検討項目は以下の点である。
- 無線通信におけるセキュリティポリシーとシステム設計。

本研究では、震災が発生した時にセンサネットワークを用いることで、救助の支援を行うことのできるシステムを提案した。今後の検討項目を吟味し、地震の到来に備えたい。

## 参考文献

- [1]河田 恵昭, 自然災害科学 Vol.16 No.1(1997) p.8
- [2]阪神淡路大震災の経験に学ぶ 死者を減らすために <http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/daishinsai/1.html>
- [3]総務省, <http://www.soumu.go.jp/>