

## 地震時におけるスマートホームを利用した アドホックネットワーク

松崎 頼人<sup>†1</sup> 榎原 博之<sup>†1</sup>

本論文では、センシングにより家庭環境を快適にするスマートホームシステムのホームサーバを利用して、地震災害時における被災状況の確認や被災者の救助支援に応用するシステムを提案する。本システムは、緊急地震速報を感知するとホームサーバが必要に応じて近隣のホームサーバと通信を開始し、アドホックネットワークを構築する。各ホームサーバ同士は通信により情報を共有し合うことで、地震発生後に在宅情報などから生き埋めなどの被災者を特定して、救助要請 MAP を作成する。救助要請 MAP は付近のホームサーバからモバイル端末により取得できるため、救助隊や地域の住民が利用することにより救助活動を効率的に行うことが可能となる。本提案を実現するためには、公園や工場などホームサーバが導入できない場所による通信の切断の問題を考慮しなければならない。そこで、そのような場所にホームサーバ同士の通信を補助するための中継機を設置することを提案する。性能評価として、無線 LAN の通信について実測実験を行い、それを基にシステムをモデル化してシミュレーション実験を行う。その結果、本提案を実現するために必要なスマートホームの普及率を示すことができ、中継機の設定によりシステムの有効性が格段に上昇することが分かった。

### Ad-hoc Networks Using Smart Homes in an Earthquake Disaster

RAITO MATSUZAKI<sup>†1</sup> and HIROYUKI EBARA<sup>†1</sup>

In this paper, we propose a system for damage check and rescue support of the victims in an earthquake disaster, using home servers of smart homes that realize a comfortable home environment by sensing. This system is starting communication with a home server and neighboring home servers, and set up ad-hoc networks, when it detects the Earthquake Early Warning. By sharing information with each other through communication, each home server identifies victims(buried etc.) by information (such as being at home) after the earthquake, and makes a Rescue Request MAP. As we can get the Rescue Request MAP by mobile devices from the neighboring home servers, this system

can efficiently help rescue operations by rescuers and local residents. To achieve this proposal, we must consider unconnected communication, because the home server can't be put in park area, factory area, and so on. Therefore, we propose to set repeaters to aid communication between home servers. In order to evaluate performance, we measure actual experiments for wireless LAN communication, and perform simulations with modeling systems based on actual experiment results. As a result, we showed the penetration of smart home that needed to achieve this proposal, and found that setting repeaters significantly increases the effectiveness of this system.

### 1. はじめに

日本は自然災害の多い国であり、被災対策として様々な分野で研究が進められている。特に地震においては 1995 年の阪神・淡路大震災、先日の東日本大震災などでの甚大な被害を受けて、その対策は非常に重要なものになっている。地震被害が問題となるのは、停電やインフラ機能の損傷によって通信機能を利用できなくなることであり、これは交通機関への被害に止まらず、セキュリティ会社および各種公共機関の救助活動を遅延させる原因となる。中でも救助活動の遅延は、過去の被災から救出者の生存率が 3 日を過ぎると急激に低下するため<sup>1)</sup>、地震災害時には致命的である。

このような問題から、地震被災後における通信機能の維持または通信障害からの迅速な回復をどのようにして行うかが重要であり、無線通信分野での研究<sup>2)</sup>が進められている。その 1 つにアドホックネットワークの研究<sup>3)4)</sup>があり、インフラの整備を行う必要もなく低コストで実現が可能のため、地震など災害時におけるネットワークとしての利用が考えられている。また、無線センサネットワークと呼ばれる技術の研究・開発も注目されている。

家庭内のネットワークにおいては、スマートホームが注目されている。これは、家庭内に存在する家電製品や防犯システムなどを一律に制御するシステムで、周囲の環境情報を収集するためのセンサが複数配置されている。ユーザの各家庭には、家電製品・防犯システムおよび各種センサを制御するためのサーバが設置され、外部ネットワークに接続されているので、ユーザの在宅の有無に関わらず制御が可能である。防犯システムについてはセキュリティ会社および各種公共機関との連携により、緊急時にも素早い対応を可能とする。

<sup>†1</sup> 関西大学  
Kansai University

本論文では、地震時にスマートホームにおける各ホームサーバを用いてアドホックネットワークを構築し、このネットワークを用いて救助要請 MAP を作成するスマートホームネットワークを提案する。スマートホームネットワークでは、停電などで有線ネットワークが使用できなくなった場合、各家庭のホームサーバはバッテリー駆動のノードとして周囲ノードと無線通信によりアドホックネットワークを構築することでシステムを維持することができる。また、各ホームサーバは相互に各種センサ情報などを共有することで、災害発生を感知するなど様々な動作を行う。まず、地震時に緊急地震速報を用いれば、数秒程度前に地震発生を感知することで、ホームサーバが自動で災害対策などを行うことができる。これにより、ユーザは地震の安全確保のみに集中できるため、防災として大きな効果が期待できる。次に、地震発生後にホームサーバは共有情報を基にして救助要請 MAP を作成する。救助要請 MAP では、救助を求めている人が存在する確率の高い場所に救助要請を表示する。モバイル端末などでホームサーバにアクセスすることで、救助を必要としている場所を特定でき、効率よく救助作業を行うことができる。

しかし、本提案を実現するためにはいくつか考慮しなければならないことがある。1つは、公園や国道などの公共機関が所有する場所、工場やショッピングモールなどの民間企業が所有する場所によるホームサーバ間通信の切断であり、これによりネットワークの範囲を十分に確保できなくなる可能性がある。そこで、このような場所に中継機の設置することを提案し、通信が切断しないようにする。もう1つは、ネットワークの範囲が地域内のみとなり、外部から孤立することである。こちらは、救助要請 MAP を作成する点においては問題は発生しないが、先の東日本大震災などにおいて被災地域の安否確認時や、被災地域住民が外部へ情報を求める場合などに対応することができなくなる。そのため、設置する中継機の中からいくつかをインターネットなどの外部ネットワークへアクセスできるようにすることで、ネットワークが孤立化することを防ぎ、外部との通信手段を確保できるようにする。

性能評価として、実機を3台利用した実測実験、そのデータを基にシステムをモデル化してシミュレーション実験を行う。実測実験では、無線 LAN の通信について通信範囲や通信速度を調べる。シミュレーション実験では、導入した家庭がどの程度あればよいかを示す普及率特性、救助要請 MAP の情報共有特性からシステムの有効性を示す。また、中継機の導入の有無による性能の変化についても評価する。

## 2. スマートホームネットワークの構築

### 2.1 スマートホームネットワークの目的

提案するシステムは、平常時にはセンサが周囲の環境情報を収集することで家庭内に存在する家電製品、人の出入り、防犯システムなどを一律に制御するスマートホームとして、災害時にはホームサーバが周囲のホームサーバと無線通信によるアドホックネットワークを形成するノードとして動作する。特に地震時においては、緊急地震速報により数秒程度前に地震を感知し、ドアや窓の開放、火元やガスの元栓の処理などの災害対策をあらかじめ行う。これにより、火事や生き埋めなどの二次災害を防止することにつなげることができ、ユーザは自身の安全確保にのみ集中するだけで良くなる。

スマートホームネットワークは、都市部に構築することを仮定したネットワークである。この理由は大きくわけて2つある。1つは、都市部ではスマートホームの導入が地方に比べて早いと考えられる点である。もう1つは、地方ではスマートホームネットワークの性能を十分に発揮できるだけのホームサーバ密度を得られない点である。これは、地方が都市部に比べて人口密度が低い上に、過疎化が進んでいることも原因として挙げられる。高いスマートホーム普及率が必要となるため、地方での無線によるスマートホームネットワークの構築は公共機関が中継機を設置するなどの補助をしなければ難しい。

災害時におけるネットワークの形成において、各ホームサーバ間の距離は無線 LAN 機能の無線通信範囲内であることが望ましい。これは、システムがカバーする地域で十分な動作を行えるような普及を達成することだけでなく、ホームサーバを置くことのできない場所によるネットワーク形成の障害に対する通信範囲の問題を解決しなければならないためである。例えば、公園・道路などの公共機関、工場・ショッピングセンターなどの民間企業がそれぞれ管理する場所には、ホームサーバを設置することはできない。これらの問題を解決するために、本提案では各家庭にホームサーバが一定以上普及していることを想定して、公共機関や民間企業が管理する場所には通信を中継するための中継機を導入する。また、中継機のいくつかは外部ネットワークへアクセスできるようにすることで、ネットワークが孤立してしまわないようにする。

本論文では、特に大地震時におけるスマートホーム都市型ネットワークの活用に焦点をあてている。これは交通機関が遮断され、公共機関やセキュリティ会社からの救援が期待できない状況を想定しているためである。実際に阪神・淡路大震災においても、多くの家屋倒壊による生き埋め被害者が、地域の一般人に救助されている。しかし、生き埋め被害者の位置

を特定するための情報は、伝聞と被害者自身の助けを呼ぶ声であったことから、救助活動は非常に難航した。その上、被害者の死亡率は時間が経過することによって激増するため、迅速な救助を行う必要がある。そこで、スマートホームネットワークを用いて救助要請 MAP を作成することにより、各地域での災害時の地域の相互支援活動を助け、迅速かつ円滑な救助活動に貢献することを目指す。

## 2.2 スマートホームネットワークの構成

### 2.2.1 システムモデル

スマートホームネットワークは、各家庭のホームサーバを P2P 方式で相互接続することで構成される。基本的には中央サーバを必要とせず、それによる許容ユーザ数の限界が無いため、災害耐性や拡張性が高く安価に構築することができる。

スマートホームネットワークでは、各隣接ノードが物理的に近距離であるという点において、従来の P2P ネットワークとは異なっている。各ホームサーバは、スマートホームネットワーク参加時に入力する地域情報によって、近隣のホームサーバとお互い認識する。無線 LAN で相互通信が可能な範囲および一定距離のホームサーバを隣接ノードとして位置づけることで、有線の P2P ネットワークとは別に無線によるアドホックネットワークを構築し、災害時通信などに利用する。また、災害時のネットワーク形成において公共機関・民間企業の協力は必要不可欠である。スマートホームを導入できない公共機関・民間企業の管理する場所には、ホームサーバ間の通信の中継するために中継機を設置する。さらに、サービスに応じて地域の自治体、緊急地震速報および各種公共機関と接続することも想定する。本提案においては、全てのホームサーバが高度利用者向けの緊急地震速報と接続する。

### 2.2.2 ノード構成

スマートホームネットワークは、様々なノードによってシステムが構成されている。本システムを構築するための構成要素を列挙する。

- ホームサーバ
- モバイル端末
- 中継機
- 緊急地震速報

地震災害時において大きな問題となるのは、停電により電力の供給が止まることである。従来のスマートホームにおいては、独立に動作するための電力供給機能は備わっていない。そのため、スマートホームネットワークでは新しくバッテリー機能を導入する。バッテリーは、ホームサーバ、各種センサ、ネットワーク HUB および無線 LAN を 3 日程度連続で動作さ

せるだけの容量を持つことが望ましい。

### 2.2.3 救助要請 MAP

本提案では、スマートホームネットワークを用いて救助要請者の有無を推定し、救助要請 MAP を作成する。本システムで作成される救助要請 MAP は、モバイル端末などを用いて表示することができる。救助要請 MAP の作成には、次に述べる MAP 作成情報を用いる。

### 2.2.4 MAP 作成情報

災害時において、緊急モードに移行したホームサーバは救助要請 MAP の作成を開始する。救助要請 MAP の作成の際に用いられる通信方式は、ピュア型 P2P である。情報発信源から一定距離を越えた場所にデータ保護以外の目的で各種情報が送信された場合やパケットの有効期限を示す TTL (Time To Live) が切れた場合にその情報を削除することで、救助要請 MAP は地域に応じた MAP となる。ホームサーバは定期的に隣接ノードとのコネクションを確認することで、通信ネットワークからの離脱情報を得る。また、スマートホームから取得したセンサ情報が火災などにより異常値を示した場合、隣接ノードへ情報を送信する。このとき、送信される情報は異常値の情報、離脱情報もしくは被害者による救助要請であり、各ホームサーバが予測した救助要請情報は含まない。

救助要請の予測はホームサーバがそれぞれ共有した情報を基に行う。ホームサーバはそれぞれが作成した救助要請 MAP をモバイル端末に送信する。モバイル端末は地域ごとの情報を統合する。救助要請は、信頼性の高さによって数段階にクラス分けされる。救助要請を予測する際に必要な情報について以下に示す。

#### ● 救助要請情報

実際に被害にあっている人または付近にいる人が、スマートホームネットワークを用いて送信する直接救助要請情報である。これは予測を含まないもっとも優先度の高い情報である。人が直接入力するため、特に信頼性がある情報でもある。

#### ● 在宅情報

人感センサなどによって得られる人の存在を確認する情報であり、スマートホームでは在宅情報を管理することができる。この情報はプライバシー情報であり、緊急時のみ他のホームサーバと情報共有することができるようになる。緊急地震速報によって地震発生を直前に知ることができた場合は、その段階から在宅情報を取り扱うことが可能になるため、救助要請 MAP の信頼性を向上させることができる。

#### ● センサ情報

スマートホームに備わっている傾きセンサや火災センサなどの各種センサ情報のこと

である。各種センサにおいて異常値を観測した際に、近隣のホームサーバへ情報を送信する。異常値の観測されたホームサーバは、在宅情報から人の存在が確認された場合には救助要請が必要であると予測する。

#### ● 離脱情報

ホームサーバが、近隣ホームサーバとのアドホックネットワークから離脱したという情報である。ホームサーバは常時電源 ON 状態でネットワークに接続されているため、ネットワークからの離脱は何らかの機能に異常があると考えられる。よって、ホームサーバの離脱情報が確認されると、離脱したホームサーバが送信していた在宅情報を基に救助が必要であるか判断する。つまり、ホームサーバの離脱直前に人の存在が確認されていた場合、救助要請が必要であると判断する。

### 2.3 災害時での動作・機能

災害時における、スマートホームネットワークの動作・機能、特に地震が発生した場合における動作例について説明する。

まず、本システムには日常モードと緊急モードの2つのモードがあり、これを利用することでプライバシー情報を保護することが可能である。日常モードでは、ホームサーバはプライバシー情報を外部へ配信することはできないので、それを必要としない範囲のサービスを行う。各種センサなどにより異常事態と判断された場合は、緊急モードに移行する。緊急モードでは、在宅情報などのプライバシー情報も配信する。緊急モードへ移行した時、ホームサーバを介してモバイル端末などに送信され、ユーザは必要に応じて手で日常モードに戻すこともできる。また、在宅情報などのプライバシー情報は、ホームサーバ内でブラックボックス化されており、救助要請 MAP などのサービスにアップロードされない限り、他のユーザが確認することはできない。

次に、地震を感知した場合の動作について述べる。ホームサーバは、高度利用者向け緊急地震速報を受信することで地震を感知する。ユーザの在宅時における緊急地震速報を受信した場合の動作について述べる (図 1)。

- (1) 初回の緊急地震速報を受信すると、ホームサーバが窓の開放、火元やガスの元栓の処理などのプライバシー情報が守られる範囲内で災害対策を自動で行う。周囲のホームサーバと接続の確認をする。
- (2) 一般向けの緊急地震速報を受信すると、緊急モードへ移行してドアの開放もしくはロックの解除などのプライバシー情報を含む災害対策を行う。また人感センサから得られる在宅情報を、隣接するホームサーバやあらかじめ決定されている遠隔地のホー

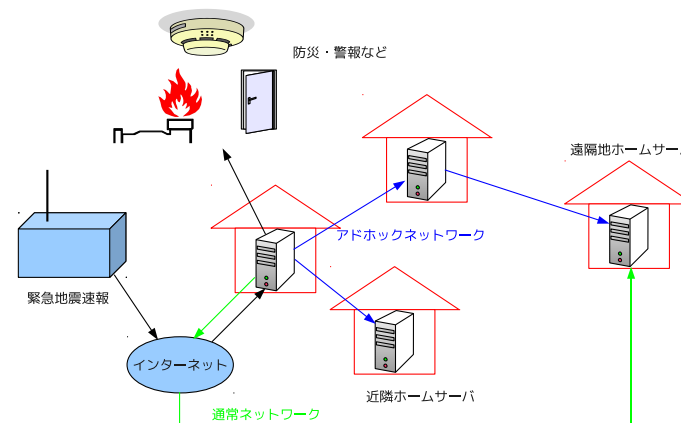


図 1 緊急地震速報を受信した場合

Fig. 1 A case of receiving the Earthquake Early Warning.

ムサーバへ送信して情報の共有を行う。遠隔地のホームサーバへは、インターネットを介する通信またはアドホックネットワークのマルチホップ通信によって情報を共有する。

- (3) 地震が発生すると、隣接するホームサーバに在宅情報や各種センサ情報を送信する。ホームサーバは共有した情報を基に救助要請 MAP の作成を始める。MAP の作成中も隣接するホームサーバとの接続確認を定期的に行う。
- (4) 救助要請に該当する情報を観測、もしくは他のホームサーバから受信した場合、隣接ノードへ転送する。その際、一度転送したデータと同様のデータを受信した場合は転送を行わない。
- (5) 停電などで有線ネットワークが使えない場合は、アドホックネットワークを構築して周囲のホームサーバと接続を確認する。アドホックネットワークを利用して在宅情報や各種センサ情報を送受信し、救助要請 MAP の作成を続ける。
- (6) 救助要請 MAP はモバイル端末の無線 LAN 機能またはインターネットを介して取得する。ただし、インターネットを介する場合は冗長な通信となるだけでなく、災害時においてインターネットは非常に混雑するため、通信する情報量を最小限にする必要がある。

表 1 実機モデル部品一覧  
Table 1 Parts list of actual equipment model.

ホームサーバ	OpenBlockS600	ぶらっとホーム
無線 LAN 機能	無線 LAN USB アダプタ:CG-WLUSBNM	corega
バッテリー	無停電電源装置 UPS:APC RS 1200, ES 550	APC



図 2 実機モデル  
Fig. 2 Actual equipment model.

表 2 バッテリ持続時間  
Table 2 Battery operating time.

バッテリー	通信持続時間
APC RS 1200	約 12 時間
APC ES 550	約 1 時間

### 3. 性能評価

スマートホームネットワークは、地域内の情報を共有することによって災害時の地域の相互支援活動を助けることを目的としている。しかし、ホームサーバを無線によりネットワーク化するという特性のため、一定以上のユーザがスマートホームネットワークに参加しなければ十分に性能を発揮しない可能性がある。本研究では、構築した通信環境を利用して無線 LAN 通信における実測実験を行う。また、実測結果を基に実際に本システムを導入した場合、どの程度の普及率が必要であるかシミュレーションを行う。通信シミュレーションについて、各評価の目的と構成方法を述べ、結果を考察する。実測実験については、紙面の都合上結果は割愛させていただく。

#### 3.1 実測実験について

本実験での実機モデルを、表 1 および図 2 に示す。また、各バッテリーについて実機モデルを接続した状態で、停電状況下で通信し続けた場合の持続時間を表 2 に示す。表 2 より、停電時において最大半日間はホームサーバの動作が可能である。

#### 3.2 シミュレーション実験

本研究におけるシミュレーションは、一般家庭にスマートホームがどの程度普及すれば、



図 3 シミュレーションエリア  
Fig. 3 Map of simulation area.

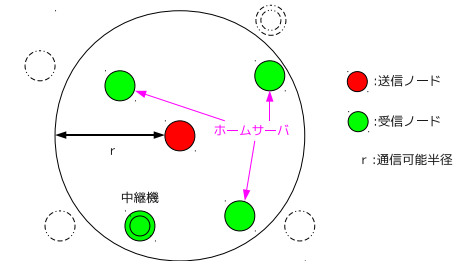


図 4 通信範囲の判定  
Fig. 4 Determination of communication range.

安定した通信を維持することができるかを定量的に検討するため、実測実験により得られた結果を基に接続率特性についてシミュレーション実験を行う。

#### 3.2.1 シミュレーションの設定

シミュレーションモデルは、大阪市阿倍野区の一部をモデルとしており、ほぼ 1km 四方をシミュレーションエリアとしてシミュレーションを行う (図 3)。本シミュレーションでは実際に阿倍野区のマップ\*1を利用しており、ホームサーバの設置場所、通信距離などは約 1.3m 四方のピクセルを基準に判定している。このエリアの世帯数を区の面積と世帯数<sup>5)</sup>から計算\*2によって求めている。シミュレーションエリアの世帯数は、概算的に 8000 台\*3をエリア内に設置できるホームサーバの最大数として普及率を求める基準としている。

シミュレーションエリアには、公園や学校の周りなどのようなホームサーバを導入できないが中継機を設置できる場所、車道上や駐車場などのような中継機も設置できない場所がそれぞれ存在する。そのため各エリアを、ホームサーバを設置できる場所、中継機を設置できる場所、どちらも設置できない場所の 3 つに場合分けしている。中継機の設置について、公園や道路などのような公共機関が設置できる場合と、工場やショッピングセンターなどのような公共機関・民間企業がともに協力して設置できる場合を想定している。中継機は適切な台数分設置した状態を、設置率 100% としている。実測実験の結果を基に、中継機の無線 LAN 通信範囲は半径 50m、ホームサーバの無線 LAN 通信範囲は半径 25m とする。ホー

\*1 国土地理院 (<http://www.gsi.go.jp/>) より入手

\*2 ホームサーバ設置限界数 = 阿倍野区の世帯数 / 阿倍野区の面積

\*3 計算結果は約 7930 台

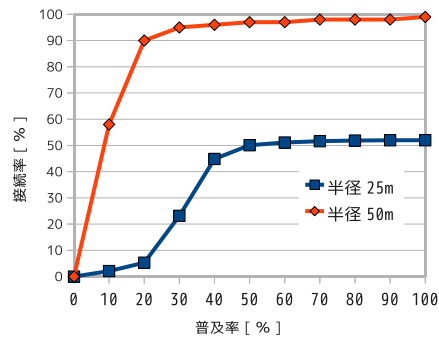


図 5 接続率特性 (中継機なし)

Fig. 5 Characteristics of Communication range (without a repeater).

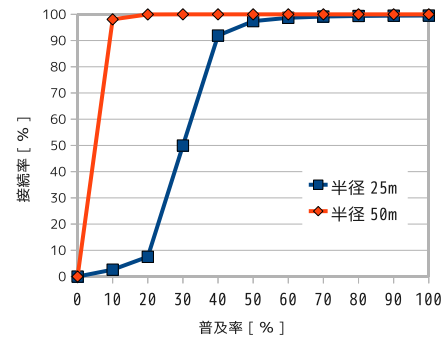


図 6 接続率特性 (中継機あり)

Fig. 6 Characteristics of Communication range (with repeaters).

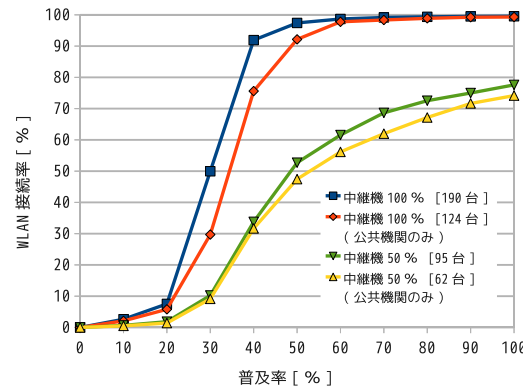


図 7 中継機による接続率特性

Fig. 7 Characteristics of Communication range by repeaters.

ムサーバの通信範囲については、半径 50m の場合もシミュレーションを行う。

### 3.2.2 シミュレーション結果

各特性のシミュレーションでの結果を示す。図 5、図 6 のグラフは接続率特性を示している。図 5 は中継機が全くない場合、図 6 は公共機関・民間企業により中継機を設置協力した場合である。図 5、図 6 より、ホームサーバの通信可能範囲が広いほど、スマートホームネットワークに参加しやすくなっている。半径 50m の場合は、中継機の有無に関わらず普及率の上昇に伴って接続率は 100% に到達する。特に中継機を設置した場合、図 6 から普及率が 20% で接続率は 100% になることが分かる。しかし半径 25m の場合は、中継機がない場合には 50% 程度までの接続しか実現できないが、中継機の設置によって普及率に伴い接続率は 100% に近づいていく。つまり、中継機を導入することで安定してエリアを網羅したネットワークを形成できることが分かる。

図 7 に中継機設置率における接続率特性を示す。ホームサーバ通信可能範囲は、半径 25m となっている。図 7 より、中継機の設置率が高いほど、普及率は 100% に近づくことが分かる。また、中継機設置率が半分になると大幅に接続率が悪化している。つまり、エリア内には中継機を十分に設置することで、高い接続率を得られることが分かる。

### 3.3 考察

シミュレーションの結果について考察する。接続率特性では、通信可能範囲が広がることで大幅に改善されることが分かった。本研究ではシミュレーションエリアに実際のマップを

利用したため、ホームサーバが配置できないエリアが存在し、中継機の導入を行わなければ十分な接続率を確保できないことが分かった。

現在の一般的な無線 LAN は、各家庭のホームサーバ間にある障害物も考慮すると 25m 程度である。通信可能範囲が半径 25m の場合、中継機がなければ普及率 100% において全ホームサーバの 50% 程度としか接続できないが、中継機がある場合は普及率 50% を越えればほぼ全ホームサーバとの接続が可能となる。

## 4. おわりに

本論文では、スマートホームにおけるホームサーバを利用した地震災害時緊急用ネットワークとして、スマートホームネットワークを提案した。各ホームサーバが隣接ホームサーバとアドホックネットワークを形成するために、実機 3 台を利用して無線 LAN 通信の実測実験を行った。また、スマートホームネットワークの有効性を評価するため、実測実験から得られた結果を基に各特性をシミュレーションにより検討した。実際の地図を利用したことで、ホームサーバを設置できない場所などを考慮したより正確なシミュレーションを行うことができ、ホームサーバが設置できない場所の通信問題は、中継機を導入することで解決できることが分かった。

## 参 考 文 献

- 1) 内閣府：阪神・淡路大震災教訓情報資料集，内閣府（オンライン），入手先  
<[http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin\\_awaji/data/detail/1-1-2.html](http://www.bousai.go.jp/1info/kyoukun/hanshin_awaji/data/detail/1-1-2.html)>  
（参照 2000-01-21）.
- 2) 大瀧 龍，重安哲也，浦上美佐子，松野浩嗣：自律的無線ネットワークを用いた被災  
情報提供システムー被災地域の地形を考慮した無線ノード置局アルゴリズムの提案，情  
報処理学会論文誌， Vol.52, No.1, pp.308-318 (2011).
- 3) 間瀬憲一：モバイル・アドホックネットワーク，日本オペレーションズ・リサーチ学  
会（シンポジウム）， Vol.47, No.1, pp.13-26 (2002).
- 4) 藤原孝洋，飯田 登，渡辺 尚：アドホックネットワークを併用する緊急通信無線網  
のアクセス方式，電子情報通信学会論文誌， Vol.86, No.11, pp.2345-2356 (2003).
- 5) 阿倍野区役所：大阪市 阿倍野区 区の統計，阿倍野区役所（オンライン），  
入手先(<<http://www.city.osaka.lg.jp/abeno/page/0000001145.html>>  
（参照 2011-01-24）.
- 6) 大阪大学：アンビエント革命 (2009). グローバル COE プログラム「アンビエント情  
報社会基盤創世拠点」発行，<http://openblocks.plathome.co.jp/products/600/> より  
入手.