

# 被災地における緊急用コミュニケーションシステムの構築

與那嶺諭宏<sup>†1</sup> 王家宏<sup>†2</sup> 児玉英一郎<sup>†2</sup> 高田豊雄<sup>†2</sup>

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、岩手県を含む広域にわたり電力設備や通信設備が機能しなくなった。被災地では、既存の通信インフラを用いたコミュニケーションが行えず、情報の入手が困難であった。しかし、被災地にいる人々が所持していた無線通信機能を有する通信端末は機能しており、アドホックネットワークの構築は可能であった。このことから本研究では、無線による端末間通信を行うアドホックネットワークを用いた緊急用コミュニケーションシステムモデルを提案する。本システムを利用することにより、通信インフラの復旧までの間、人々のコミュニケーションのサポートが可能である。

## Construction of An Emergency Communication System Used in Disaster-Hit Area

YONAMINE YUHIRO<sup>†1</sup> JIAHONG WANG<sup>†2</sup>  
EIICHIRO KODAMA<sup>†2</sup> TOYOO TAKATA<sup>†2</sup>

On March 11, 2011, Tōhoku earthquake and tsunami occurred, which caused extensive and severe damages to the power supply system and communication supporting system in north-eastern Japan, including the Iwate. Due to the damage, communication based on the existing communication infrastructure became impossible, and it became hard for people to obtain information. It is found that, however, most people at the disaster-hit area held wireless mobile terminals, and the ad hoc network could be constructed to support obtaining information. In this paper we propose an approach to constructing a wireless ad hoc network based communication supporting system, which can be used for the emergency use at a disaster-hit area until the communication infrastructure becomes restored.

### 1. はじめに

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、岩手県を含む広域にわたり電力設備や通信設備が機能しなくなった。被災地では、既存の通信インフラを用いたコミュニケーションが行えず、情報の入手が困難であった。しかし、被災地にいる人々は、情報が入手困難な環境下でも、生活物資の情報、交通網の被災状況、家族や知人の安否情報など様々な情報を必要としていた。これらの情報は、手紙や、情報を蓄積した情報端末を利用し、人手により届けられていた。この様に大きな被害を受けた被災地では、普段では当たり前であった迅速な情報の共有が行えず、情報格差などが問題となった。このことから、被災地において人々のコミュニケーションをサポートし、情報の共有化を図ることが重要である。

被災地においては、多くのユーザが、無線通信機能を有しバッテリー残量がまだ残っている通信端末を所持した状態で避難所へ避難していた。ユーザの通信端末の無線通信機能は機能しており、アドホックネットワークの構築は可能であった。このアドホックネットワークを用いれば、コミュニケーション支援が可能となる。しかし、被災地ではバッテリーの充電が困難なため、ユーザの操作による端末のス

リープが多発し、アドホックネットワークの構築、維持が困難である。

そこで本研究は、頻繁に端末のスリープが発生しても、アドホックネットワークが構築、維持可能な、被災地における緊急用コミュニケーションシステムモデルの提案を行う。また、本提案システムのシミュレーションによる評価についても報告する。

### 2. 関連研究

関連研究[1]では、東日本大震災に関する調査報告が行われている。東日本大震災での通信インフラでは、通信ビルや中継基地局の損壊、伝送ケーブルの破断といった物理的被害に加え、燃料切れやバッテリー切れによる非常用電源の停止によって、震災発生からの約2日後では、多くの通信設備が停止した。最も停電の解消速度が遅かった宮城県の停電戸数と被害の大きかった岩手、宮城、福島県の3県の停電戸数の合計と固定通信（NTT）の停止回線数やその原因の推移を図1に示す。これら被災地でやり取りされた情報は、主に安否確認や避難状況であるが、復旧が進むに従って、食料や衣料品、ガソリンなどの物資の購入先といった生活情報、社会基盤の復旧状況へと変化していった。また、これら被災地で必要とされる情報は、携帯性に優れ、複数の電力供給方法を持つ携帯機器によって、入手されていた。

<sup>†1</sup> 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科  
Iwate Prefectural University, Graduate School of Software and Information Science

<sup>†2</sup> 岩手県立大学 ソフトウェア情報学部  
Iwate Prefectural University, Faculty of Software and Information Science

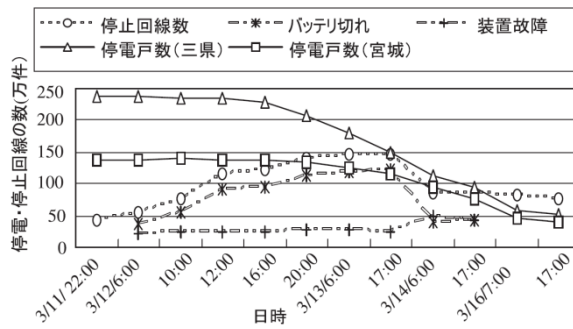


図 1 停電・停止回線数の推移

Figure 1 Transition of power failure and communication facility failure.

既存の通信インフラが使えない状況におけるコミュニケーションシステムに関する研究としては、専用端末の開発[2]、すれちがい通信[3]が知られている。関連研究[2]では、乾電池で動作する専用端末の開発を行い、開発した端末を各住宅に事前設置した上で、アドホックネットワークによるコミュニケーションをサポートしている。この関連研究の問題点は2つあり、第1の問題点は、ネットワークの構築において頻発する通信端末のスリープを考慮していない常時接続型のネットワークを用いるため、常に複数の端末が必要となり、バッテリー切れによるネットワークの分離が発生しやすいことである。第2の問題点は、常時接続型のネットワークを維持するために定期的に周囲の端末を探索し、ルート端末へ情報を収集するため、バッテリー切れに拍車がかかることである。

すれちがい通信を用いる関連研究[3]では、大規模災害時に多くの避難者が携帯電話を持ち歩いていることに着目し、すれちがい通信を行う DTN (Delay Tolerant Networks) の感染型ルーティングプロトコルによって情報の共有を行うことで、リアルタイム災害時避難誘導を行っている。この関連研究の問題点は2つあり、第1の問題点は、バッテリー温存の目的で頻繁に行われる通信端末のスリープを考慮していないため、スリープ中の端末とすれちがった際に情報の交換がされない可能性があることである。第2の問題点は、感染型ルーティングプロトコルを用いていたことによる消費リソースの増加である。

以上述べたようにこれまでのほとんどの研究では、バッテリー駆動の特徴や端末のスリープの頻発などを考慮していないため、ネットワークを長く維持できず、コミュニケーションのサポートが困難である。

### 3. 被災地用コミュニケーションシステム

本研究で想定した利用環境は大きな地震や津波等が発生した後の避難所である。避難者がバッテリー駆動の携帯電話やタブレット PC、ノートパソコンなどの無線通信機能を有

する通信端末を所持した上で避難所へ避難しているとする。避難者たちは既存の通信システムが回復するまで、それら通信端末によるアドホックネットワークを構築することでコミュニケーションを行う。

しかし、被災地でコミュニケーションを行うためには、2つの重要な課題がある。第1の課題として被災地では、地震や津波等の被害で電力設備が停止しているため、通信端末のバッテリーの充電が困難である。そのため、限られたバッテリーを用いて避難者のコミュニケーション要求を満たす必要がある。第2の課題として被災地の環境では、避難者が通信端末のバッテリーをより長く持たせるために端末を頻繁にスリープさせることによって、アドホックネットワークの構築、維持が困難となる。そのため、これら端末のスリープをスケジューリングすることで解決する必要がある。そこで本研究は、この2つの課題を解決する、緊急用コミュニケーションシステムの構築を目指す。

#### 3.1 システムモデル

提案するコミュニケーション支援システムは、被災地に配置されている管理センター、留守番端末、通常端末の3種類の端末から構成される。またこれらの端末は、後述する定期的な通信モデルによる通信を行う。その他、提案するシステムでは、後述する留守番端末ネットワークによる通信端末のネットワークへの復帰を行う。

1. 管理センター
  - 被災地の全てを管理する
  - 外部ネットワークとのゲートウェイの役割を担う
  - 留守番ネットワークの初期構築を行う
  - 通信スケジュールをアナウンスする
2. 留守番端末
  - 留守番ネットワークとして設定された端末
  - 決められた時刻に手動により起動される
3. 通常端末
  - 管理センターと留守番端末以外の端末

被災地に配置されている管理センターの端末、留守番端末、通常端末は、表 1 に示す3つの状態を持ち、表 2 に示すイベントによって次の状態へと遷移する。これら端末の状態遷移図を図 2 に示す。

まず初期状態として通常全ての端末は、端末スリープ状態にある。この端末スリープ状態では、復帰要求の受信機能以外の通信機能をオフにし必要最低限の機能だけを残して消費電力を抑えた状態である。これらスリープ中の端末は、留守番端末から送信される復帰要求やユーザ操作によるスリープ状態の解除などによって、次の状態である端末通信可能状態へと遷移する。この端末通信可能状態では、通信機能を含む全ての機能が使用可能である。これら端末通信可能状態にある端末の内、後述する留守番ネットワークの構築において、留守番端末として指定された端末は、次の留守番メッセージ提示状態へと推移する。この留守番

メッセージ提示状態は、端末の所有者へ留守番に関するメッセージを提示することで、端末の所有者に対し留守番端末であることを通知する状態である。留守番端末であることを確認した端末は、再び端末通信可能状態へと遷移する。その他、端末通信可能状態では、定期的な通信モデルにおける通信可能な時間帯が終了することによるタイムアウトやユーザ操作による端末のスリープ操作によって、端末は再び端末スリープ状態へと遷移する。

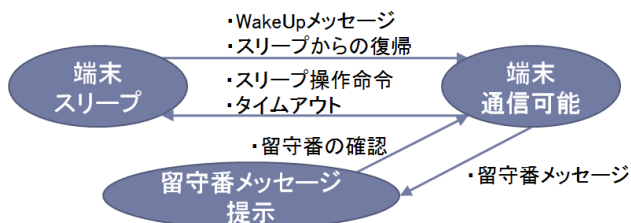


図 2 端末の状態推移  
Figure 2 State transition of a terminal.

表 1 端末の状態

Table 1 State of a terminal.

端末の状態	説明
端末スリープ	端末復帰要求の受信機能などの必要最低限の機能だけを残し、消費電力を抑えた状態である。
端末通信可能	各ユーザが自由に通信可能な状態である。
留守番メッセージ提示	ユーザに留守番に関するメッセージを画面に提示することで、留守番端末であることを通知する状態である。

表 2 イベントリスト

Table 2 Event list.

イベント	説明
WakeUpメッセージ	留守番端末から送信される復帰要求メッセージを受信した。
スリープからの復帰	ユーザによって、端末スリープ状態を解除する操作命令が行われた。
留守番メッセージ	留守番端末であることを示すメッセージを受信した。
留守番の確認	端末の所有者が留守番端末に関する情報を確認した。
スリープ操作命令	ユーザによって、端末をスリープ状態にする操作命令が行われた。
タイムアウト	定期的な通信モデルによる通信可能な時間帯が終了した。

### 3.2 定期的な通信モデル

限られたバッテリー残量で可能な限り長くユーザのコミュニケーションを支援するためには、常に通信を行うより、定期的なアドホックネットワークを形成して通信を行う方が、全避難者の利益になる。また、完全接続型のアドホックネットワークを構築、維持するためには、全ての端末を一度ネットワークへ復帰させ、スリープすることなく通信の中継を行わなければならない。このために定期的な通信モデルでは、ユーザのコミュニケーション方式を定義する。まず定期的な通信モデルでは、図 3 の様な予め決められた通信スケジュールに従って定期的に通信を行う。これによって、端末のスリープ時間が増加し、バッテリーの消費が抑えられ、ユーザのコミュニケーションを長くサポートすることができる。

その他、このような通信を行う上で必要となる通信スケジュールの設定や周知は、管理センターが責任をもって行うものとする。また、定期的な通信における全ての端末は、各通信時間帯の開始時に一度ネットワークへ復帰し、一定時間経過後、端末をスリープすることが可能になる。この通信時間帯の開始から一定時間の間は、後述する切断点の検出や留守番ネットワークの構築を行うため、端末のスリープを行わないものとする。

定期的な通信に必要な通信スケジュールは、被災地の被害状況などの環境によって、適切なものが異なると考えられる。このことから、管理センターは、表 3 の様な通信スケジュールの決定を適切に行わなければ、ユーザのコミュニケーションをサポートすることが困難となる。

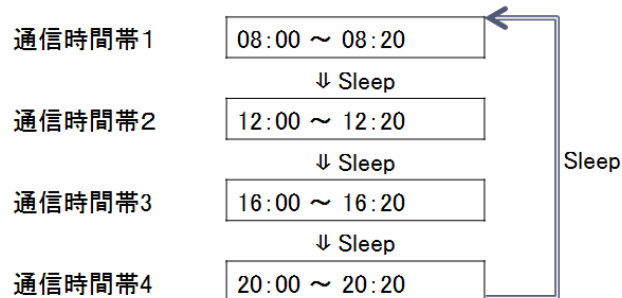


図 3 通信スケジュール例  
Figure 3 An example of communication schedule.

表 3 各種通信スケジュール

Table 3 Two types of communication schedules.

種別	利便性	管理コスト	所要時間
一定間隔の通信スケジュール	普通	普通	普通
アンケートに基づいた通信スケジュール	良い	高い	長い

### 3.3 留守番ネットワーク

被災地においてアドホックネットワークによるコミュニケーションを行うためには、全ての端末がルーティング機能を果たす必要がある。しかし、被災地では端末のスリープが頻発するため、如何にそれらの端末をネットワークへ復帰させるかが課題である。この様な被災地では、スリープ中の端末を全て機械的に復帰させることは困難である。

そこで本システムでは、留守番ネットワークという機械と人間を用いたネットワークによる端末の復帰を行うことで、この端末の復帰に関する問題を解決する。この留守番ネットワークとは、アドホックネットワークの構築・維持を目的とするアドホックネットワーク上に構築されたオーバーレイネットワークである。ネットワークを構成する端末は、スリープ中の通常端末を復帰させる責任を持った留守番端末のみとする。

これら留守番端末から、他の端末を復帰させることによって、それ以外の端末がスリープしていても留守番ネットワークによる復帰処理への影響がない。

#### 3.3.1 端末の復帰手順

留守番ネットワークでは、留守番端末を用いて他の端末をネットワークへ復帰させる。端末を所有するユーザによって、通信時間帯の開始時にネットワークへ復帰した留守番端末は、端末の復帰要求を他の端末へブロードキャストすることで、他の端末を復帰させる。これによって、スリープが頻繁に発生する環境下でも一定数以上の端末を復帰させることが可能となり、困難であったアドホックネットワークによるコミュニケーションを行うことが可能となる。具体的な端末の復帰手順は、Algorithm 1 に示す。

Algorithm 1 端末の復帰

1. 留守番端末のユーザは、時計などで通信可能時間帯の開始を把握し、自身の端末を手動でスリープから復帰させる。
2. 復帰完了後、留守番端末は他の端末へ復帰要求メッセージをブロードキャストで送信する。
3. 復帰要求を受信したスリープ中の端末は、スリープから復帰する。
4. 復帰要求メッセージの TTL 値が有効な場合は、復帰要求メッセージを中継する。

#### 3.3.2 留守番ネットワーク構築の方針

被災地において他の通信端末を復帰させる責任を一般ユーザに持たせることは、ユーザの負担が増加し行動の自由が制限されることになる。また、留守番端末の所持者は人間であり、人間はミスをするということが考えられる。もし留守番端末のユーザが自身の端末を復帰させるのを忘れた場合、一部の他のユーザの通信端末がアドホックネットワークに復帰できない、ネットワークが分離する2つの問題が生じる。そこで構築の方針1として、ネットワーク

が大規模になるほど留守番端末数が増加する留守番ネットワークでは、可能な限り負担を強いるユーザ数を抑えるために小規模なネットワークを構築するものとする。

アドホックネットワークでは、ネットワークの分離を発生させる通信端末や、通信相手への低コスト通信経路が存在しなくなることを発生させる通信端末のことを指す、“切断点”となる通信端末が存在する。それら切断点なる通信端末が意図的に WakeUp メッセージを無視する、または無責任に通信端末をスリープさせる行動をとれば、他の通信端末が復帰できなくなり、ネットワークが分断される可能性がある。そこで構築の方針2として、可能な限り多くの“切断点”なる通信端末の所持者に留守番という責任を与える。責任を負う立場にある人は、一般的に無責任なことをしないと考えられる。

これら2つの方針によって、ネットワークの分離や人的ミスなどによる一部の端末が復帰できない問題を低減する。

#### 3.3.3 切断点の検出

本システムでは、切断点を多く用いた留守番ネットワークを構築するために切断点を検出する必要がある。本システムでは、探索パケットを用いた迂回路検出による検出方法を用いる[4]。

しかし、ネットワーク全体を探索することは、コストが非常に高く、バッテリーの消費を考慮すると被災地では適切ではない。そこで本提案システムでは、バッテリー消費の削減を主な目的とする切断点の検出を行う。検出の方針としては、通信が行われている通信経路に対してのみ切断点の検出を行うこととする。検出方法としては、Algorithm 2 に示す検出アルゴリズムに従い、切断点の検出を行う。検出された迂回路情報を受信した端末は、自身を経由しない通信経路の存在を認識することができ、自身の端末が切断点であるかを把握することが可能となる。

Algorithm 2 切断点の検出

1. 通信を行う端末は、通信相手を宛先とした探索パケットをブロードキャストで送信する。
2. ある端末が探索パケットを受信した場合：
  - Case 1. 通信経路外の端末が受信：
    - 端末 ID を探索補助情報として探索パケットに追加し、ブロードキャストで中継する。
  - Case 2. 通信経路上の端末が受信：
    - Case 1. 通信経路における探索元の端末へのホップ数が1ホップの場合：
      - 受信した探索パケットを破棄する。
      - この通信における探索を行っていないならば、ステップ1に戻り、新たに探索を開始する。
    - Case 2. 通信経路における探索元の端末へのホップ数が2ホップ以上の場合：
      - 探索要求元の端末へ迂回路情報を送信する。
3. 迂回路情報の中継した通信経路上の端末は、自身を切断点ではないと記録する

### 3.3.4 留守番ネットワークの構築

留守番ネットワークでは、ある端末をルートとし高さ（ルートからのホップ数）を限定したツリー構造のオーバーレイネットワークを定期的に構築する（図 4 参照）。一度のみの構築では、常に特定の端末を所持するユーザーに対し負担を強いることになるため、留守番ネットワークを構築し直す必要がある。しかし、頻繁に構築し直すことは、被災地や利用者にとって、再構築によるバッテリー消費の増加や留守番端末の把握が困難になるなどの問題が発生する。このことから本提案システムでは、通信スケジュールにおける各通信時間帯や、1 日の最初の通信時間帯などの開始時に構築を行うこととする。構築の手順は Algorithm 3 に示す。留守番ネットワークの初期構築では、管理センターをルートとしたネットワークを構築し、再構築を重ねるごとに最も切断点が多い留守番ネットワークへと変化する。

Algorithm 3 留守番ネットワークの構築

1. WakeUp メッセージやユーザ操作などによって可能な限り全ての端末をスリープから復帰させる。
2. 現在通信を行っているすべての端末は、その通信に対して切断点の検出を行い、その結果をルート端末へ通知する。
3. ルート端末の子ノード端末の中から、その子ノード端末を終端とするパス上に切断点の一番多いものを選び、次回の留守番ネットワーク候補のルート端末候補とする。
4. ルート端末候補から Hello メッセージをブロードキャストする。
5. ある端末が Hello メッセージを受信した場合：
  - Case 1. 親ノードが未定：  
Hello メッセージの送信元を親ノードにする。
  - Case 2. 既に親ノードが設定されている：  
送信元が切断点であれば、送信元を親ノードにする。
6. 親ノードが決定した端末は、新たに Hello メッセージを送信する。
7. 手順 5 から 6 を繰り返し、次回の留守番ネットワーク候補を構築する。
8. 末端留守番端末からルート端末候補へパスに沿って、そのパス上の切断点の状況をルート端末候補に報告する。
9. 既存の留守番ネットワークと切断点の数を比較し、多い方を次回の留守番ネットワークとして採用する。
10. 留守番ネットワークの次回候補における各留守番端末に対して、ルート端末候補から留守番メッセージを送信する。
11. 留守番端末と指定された端末は、ユーザに対し留守番端末であることを提示する。

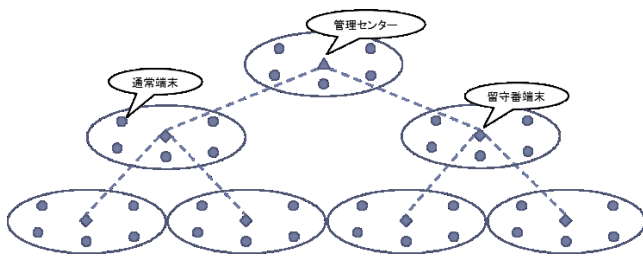


図 4 留守番ネットワークの例  
 Figure 4 Example of Caretaker-network.

## 4. 性能評価

本システムにおける性能評価として、ネットワークシミュレータ ns2 を用い、以下の 3 つの評価を行う。

- 評価 1. 切断点検出の確認
- 評価 2. 切断点を考慮した留守番ネットワークの構築
- 評価 3. 定期的な通信モデルの有効性の評価

これらシミュレーションの共通する基本パラメータを表 4 に示す。評価 1 と評価 2 では、ランダムに生成した 1 つのネットワーク（図 5 参照）を用いる。

表 4 シミュレーションの設定

Table 4 Settings of the simulations.

エリアサイズ	1500m×1500m
端末数	49 台
管理センター	1 台
端末の通信範囲	250m
アプリケーション	CBR + TCP
探索パケットの TTL	3 ホップ

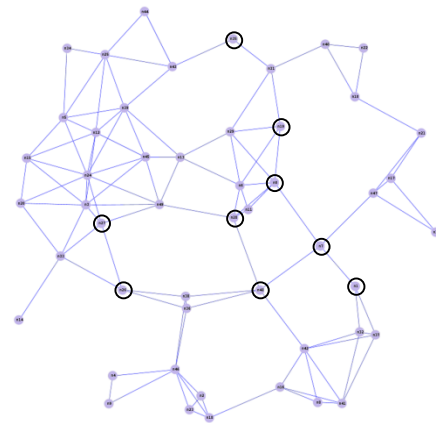


図 5 評価に用いたネットワークトポロジ  
 Figure 5 Network topology used in the experiments.

### 4.1 評価 1：切断点の検出の確認

評価 1 では、本提案の切断点検出方法によって、留守番ネットワークの構築に必要な切断点の検出を行えるのか確認する。評価に用いる通信の本数は、13 本とする。

評価の結果を図 5 に示す。○記号で囲まれた通信端末が検出した切断点である。しかし、端末が密集しているネットワーク部分の切断点は、トポロジ上の切断点でない物が存在する。これは、探索中における電波干渉によって、探索パケットや迂回路通知用パケットがロストすることが原因となり、迂回路を発見できないためである。

このことから、探索パケットの通過した経路を用いた分散型切断点検出方法は、通信経路におけるトポロジ上の切断点の検出が可能であるものの、本来切断点でない端末を“誤検出”する可能性があることも分かった。被災地での利用を考えると、どちらも切断点として同じ様に考慮しなければならないと考える。

#### 4.2 評価2：切断点を考慮した留守番ネットワークの構築

評価2では、切断点を考慮した留守番ネットワークの構築を行い、構築方針である小規模かつ切断点の多いネットワークを行えるのかを確認する。評価2で用いる切断点の情報は、評価1によって検出されたものである。

評価の結果を図6に示す。○記号で囲まれた通信端末（留守番端末）や□記号で囲まれた通信端末（留守番端末かつルート端末）が留守番ネットワークを形成する。この図6に示すように、少数の通信端末に他の通信端末をネットワークへ復帰させる責任を与えることにより、多数の通信端末が次の通信時間帯まで、安心してスリープでき、バッテリーの節約につながる。

なお、この留守番ネットワークは、スパニングツリーとなっており、高さを指定することで、ツリーの大きさを制御できる。

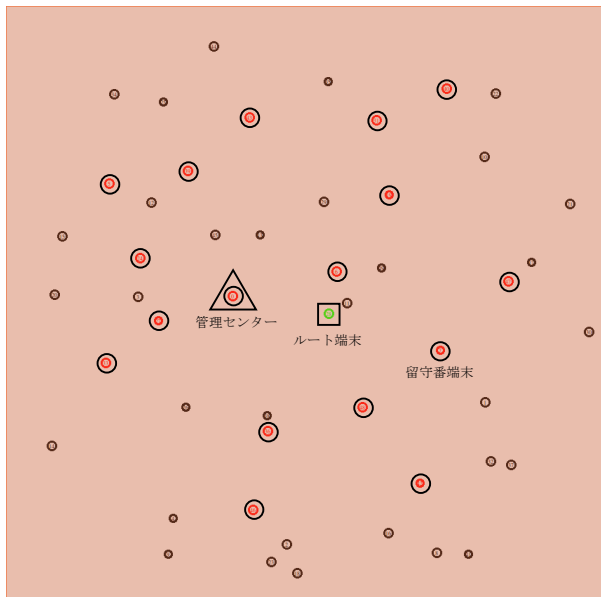


図6 構築された留守番ネットワーク  
Figure 6 Constructed caretaker-network.

#### 4.3 評価3：定期的な通信モデルの有効性

評価3では、定期的な通信モデルの有効性を下記の計算によって確認する。有効性の確認において、利用する記号を表5に示す。

本システムを用いない場合の通常消費電力を $E_{normal}$ とし、本システムを用いた場合の消費電力を $E_{sleep}$ とすると、1日の時間 $T$ は、状態遷移が即時的に行われるという条件のもと、次式で表せる。

$$T = T_{normal} + T_{sleep} \quad (1)$$

$$E_{normal} = e_{normal} \times T \quad (2)$$

$$E_{sleep} = (e_{normal} \times T_{normal}) + (e_{sleep} \times T_{sleep}) + (e_{start} \times n + e_{stop} \times n) \quad (3)$$

式(1), (2), (3)により、本システムを用いることによって、一部の通常消費電力は、より少ない消費電力の状態

となる。このことから、本システムによって削減可能な消費電力 $e$ は、式(4)となり、通常の通信システムとの消費電力の関係は、式(5)となる。

$$e = (e_{normal} - e_{sleep}) \times T_{sleep} - e_{start} \times n - e_{stop} \times n \quad (4)$$

$$E_{normal} = E_{sleep} + e \quad (5)$$

式(4)と式(5)により、 $e_{sleep}$ が $e_{normal}$ より十分に小さく、 $n$ も十分に小さい場合、スリープ状態の時間が長くなるほど、本システムは通常の通信方法よりも少ない消費電力で通信を行うことが可能である。

表5 評価に用いる記号の一覧表

Table 5 Symbols used in the evaluation.

通常状態の消費電力	$e_{normal}$
スリープ状態の消費電力	$e_{sleep}$
スリープからの復帰時の消費電力	$e_{start}$
スリープ時の消費電力	$e_{stop}$
通常状態の時間	$T_{normal}$
スリープ状態の時間	$T_{sleep}$
通信時間帯の数	$n$

## 5. おわりに

大きな地震や津波等が発生した場合、電力システムや通信システムが被害に遭い、避難地の人々はコミュニケーションが困難となる。本研究では、通信インフラが復旧するまでの間に、避難者の所持している無線通信端末によるアドホックネットワークを基にした、人々のコミュニケーションをサポートする緊急用コミュニケーションシステムのモデルを提案した。

本システムにおける定期的な通信モデルによって、被災地にいる人々のコミュニケーションを可能な限り長くサポートすることができる。また、留守番ネットワークによって、通信端末の自動起動や指定時刻に端末が起動しない人的ミスへの耐性を確保できる。

今後の課題としては、切断点検出の効率向上が挙げられる。また、適切な通信スケジュールの決定方法についても深く検討する必要があると考える。

## 参考文献

- 1) 樋地正浩：東日本大震災における情報通信技術の利用と課題，電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J95-D, No.5, pp.1070--1080 (2012).
- 2) 四柳靖彦，笛木正，都甲和幸，寺岡延和，黒須歩刀：減災 CS コミュニケーション端末の開発，アンリツテクニカル, No.87, pp.30--37 (2012).
- 3) 藤原明広，巳波弘佳：すれちがい通信を利用した災害時避難誘導法，電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J96-B, No.6, pp.580--588 (2013).
- 4) Xiaomei Liu, Li Xiao, Andrew Kreling: A Fully Distributed Method to Detect and Reduce Cut Vertices in Large-Scale Overlay Networks, IEEE Transactions on Computers, Vol.61, No.7, pp.969--985 (2012).