

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 23 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21246063

研究課題名（和文） 大規模災害時の避難所における情報通信環境革新に関する研究

研究課題名（英文） Research on advanced communication environment for shelters in large-scale disasters

研究代表者

間瀬 憲一（MASE KENICHI）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90313501

研究成果の概要（和文）：「避難所通信システム」は、避難所間を無線メッシュネットワークや無線マルチホップネットワーク等で結び、インターネットに接続することにより避難所間及び避難所と被災地外との間でメッセージ交換が可能となるシステムである。2011年3月11日の東日本大震災発生に伴い、宮城県東松島市に、無線マルチホップネットワークを構築し、本システムにより実際にサービス提供を行った。本稿では、サービス構想とシステム開発、東松島でのネットワーク構築とサービス提供をまとめた。

研究成果の概要（英文）：This research sheds light on communication needs of evacuees in shelters during post-disaster period and advocates that it is essential to develop a completely new communication service for those in shelters to maintain communication channels with those outside shelters as well as with those in other shelters. We then present assumptions and requirements in developing such service and show a service and system concept, termed “Shelter Communication System (SCS)”. SCS is composed of a computer (termed Shelter Server) connected to the Internet and a set of personal computers (termed shelter PCs), one in each shelter, also connected to the Internet via an appropriate Internet access connection such as High Speed Packet Access (HSPA). Shelter Server and Shelter PCs cooperatively provide a message communication service for those in shelters and those outside shelters. A multi-hop wireless network was built and SCS service was provided for a shelter using a developed SCS prototype in Higashi-Matsushima City on the occasion of disaster recovery after March 11 Great East Japan Earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	24,600,000	7,380,000	31,980,000
2010年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2011年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
総計	36,400,000	10,920,000	47,320,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：情報通信工学、情報システム、衛星利用ネットワーク、減災

ネットワークマネジメント、無線マルチホップネットワーク、指向性アンテナ、避難所

1. 研究開始当初の背景

(1) 大規模災害が起きると、情報通信にも大混乱が生ずる。災害直後には被災地の内外

で電話がほとんど利用できなくなる場合もある。また、大規模災害では多くの被災者が家を失い一時的に避難所生活を強いられる

場合が多い。避難所では食料、毛布、照明などに劣らず、被災者が家族や職場と連絡を取りたいなどのニーズも大きい。現状では、大規模災害直後、及び復旧段階において提供可能な情報通信サービスのメニュー・能力は極めて限られる。

(2) 大規模災害に備えた多くの研究開発、復旧支援体制面の整備などがあるが、利用が必須となる避難所の情報通信環境革新を正面から取り上げた研究開発例は見当たらない。

2. 研究の目的

(1) 本研究では大規模災害時の避難所での情報通信ニーズに着目し、被災者に必要最低限の情報通信サービスを提供するための革新的なシステム提案を行い、システム構築のための基盤技術を確立する。

(2) 本研究では衛星回線でも実現性のある10~100Mbps程度の仮設回線を前提として、1000箇所を超える避難所、10万人を超える避難者に対しても、最低限の通信需要を満足させられる避難所通信システム実現のための基盤技術を確立し、実利用に耐えるシステムの開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 避難所通信システム(SCS)の主要構成要素として、インターネットに接続する避難所サーバを導入する。避難所サーバは国やネットワーク事業者による運営を想定しており、常設の設備とし、全国に原則1台でよいが、負荷分散と信頼性の観点から分散化される場合もある。避難所には、原則1台のパソコン(以下、避難所PC)を用意する。

(2) 車やヘリコプターを利用して、衛星通信設備など通信機材一式を中核となる避難所に配備し、インターネットに接続する仮設ネットワークを構築する。他の避難所もアドホックネットワークで中核避難所に接続され、インターネットへの接続が可能になる。

(3) 仮設通信回線の効率利用を達成するため、リアルタイム転送を必要としないメッセージ通信に特化する(図1)。利用者は専用用紙に通信用/安否登録用のメッセージを手書きする。手書きメッセージは画像データとして送受信される。また、他の避難所、避難所外部からのメッセージを避難所PCによってプリントされた紙で受け取る。紙媒体というローテクであるが、これにより情報弱者にも対応できる。一方、災害地域の外部の人は日頃利用しているインターネット、携帯メールを活用してメッセージ送受信を行う。実利用に耐えるシステムの開発と実証実験を行う。実際に大規模災害が生じた場合、開発したシステムの試行運用を試みる。

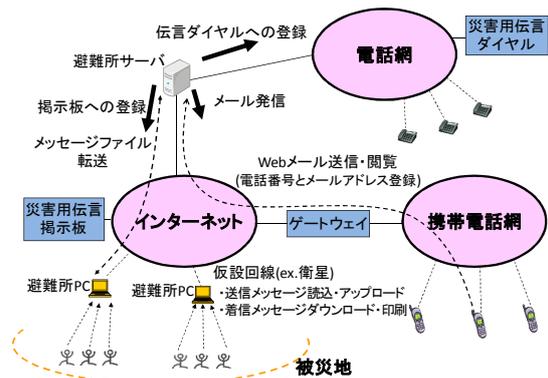


図1 避難所通信システムと関連システムの概要

4. 研究成果

(1) 避難所通信システムのサービス構想を確立した。

① 避難所の利用者は一定様式用の紙(図2)にメッセージを手書きする。集められた記入済みのメッセージ用紙は束ねられ、スキャナにより避難所PCに読み込まれる。

② 避難所PCは読み込んだメッセージ用紙をひとつのファイル(メッセージファイル)にまとめ避難所サーバにアップロードする。

③ 避難所サーバが受け取る避難所の受信者へのメッセージは宛先避難所ごとに仕分けされ、各避難所PCによってダウンロードされる。各メッセージはプリンタで印刷され受信者に配布される。

④ 被災地外の利用者はSCSのホームページにアクセスして、利用者登録、避難所の利用者とのメッセージの送受信を行う。避難所からのメッセージの閲覧アドレスが電子メールで受信者のPCや携帯電話に送られる。

図2 メッセージ用紙のフォーマット

(2) 避難所通信システムのサービス構想を実現するための基本的なメカニズムを確立した。

① メッセージ送信者と受信者の識別子(ID)として電話番号を利用する。電子メールアドレスなどの情報を送信者が指定する必要はない。これらの電話番号はメッセージ用紙の所定の位置に手書きされ、光学的文字読み取り装置(OCR)によって数字認識される。

② メッセージ用紙に手書きされるメッセージ本文に対してはOCRを用いず、それらは単にイメージデータとして扱われる。これは自由記述される手書き文字の認識誤りの問題を避けるためである。

③ 避難所サーバはメッセージ用紙の宛先電話番号に対応する電子メールアドレスが未登録の場合、その宛先に自動電話をかけ、SCS ホームページへの登録依頼を行う。

④ 電子メールアドレスが登録されていればメッセージの閲覧アドレスを電子メールで届ける。

(3) SCS の機能設計とプログラム開発・実装、動作検証を行った。以下に機能をまとめる。

① 避難所 PC には自動用紙供給装置(ADF)、スキャナ、プリンタが装備されている。記入済みのメッセージ用紙は束ねられ ADF にセットされ、1 枚ずつスキャンされて電子データに変換され避難所 PC に入力され、符号化される。避難所 PC は最後のメッセージ用紙が読み込まれて一定時間経過後、あるいは新たに読み込んだメッセージ用紙数、メッセージ情報量などがあらかじめ定められた閾値に達すると、入力されたメッセージを集約・圧縮し、ひとつのファイル(メッセージファイル)を作成し、避難所サーバにアップロードする。このとき及び定期的に避難所サーバに保存されているこの避難所の受信者宛ての到着メッセージをダウンロードする。避難所 PC はダウンロードしたメッセージファイルを個々のメッセージに分離し、それぞれを用紙に印刷する。

② 避難所サーバにはすべての利用者のユーザアカウント、及びメッセージホルダーが保持される。ユーザアカウントは電話番号、アドレス情報(避難所 ID 及び電子メールアドレス)、氏名情報からなる。ユーザアカウントの事前登録は不要であり、利用者からの通信要求時に、自動で作成・維持される。メッセージホルダーは共通メッセージホルダーと各避難所に対応する避難所メッセージホルダーからなる。

③ 避難所サーバは各避難所 PC からメッセージファイルを受け取ると各メッセージに分解する。各メッセージの送信者と受信者のユーザアカウントが存在するかどうかをチェックし、もしもなければユーザアカウントを新たに作成する。この時点では送信者のユーザアカウントの電子メールアドレスは非設定、受信者のユーザアカウントの電子メールアドレス、避難所 ID は非設定としておく。

④ メッセージ送信の場合は、メッセージ内に受信者の電話番号が記入されている。もし、受信者のユーザアカウントが存在しており、対応する電子メールアドレスがあれば、避難所サーバはメッセージ閲覧アドレスを電子メールとして送信する。受信者は閲覧アドレ

スにアクセスし、メッセージを閲覧する(図3)。避難所 ID があれば、メッセージを該当の避難所メッセージホルダーに保存する。もし、これらの情報が非設定の場合は、メッセージを共通メッセージホルダーに保存する。その後、受信者のユーザアカウントが更新され該当の情報(受信者の電子メールアドレスまたは避難所 ID)が設定された時点で、メッセージ閲覧アドレスの電子メール送信または共通メッセージホルダーから該当避難所メッセージホルダーへのメッセージ移動を行う。



図3 避難所外利用者による避難所からのメッセージ閲覧画面

⑤ SCS ホームページには送信者の電話番号と電子メールアドレス(インターネットまたは携帯)入力欄、受信者の電話番号入力欄、及びメッセージ入力欄がある(図4)。利用者がこれらの情報を入力すると、避難所サーバは送信者電話番号をもとに、対応するユーザアカウントの有無をチェックし、もしなければ送信者のユーザアカウントを新たに作成する。次に、避難所サーバは受信者電話番号をもとに対応するユーザアカウントの有無をチェックし、もしなければ受信者のユーザアカウントを新たに作成する。受信者のユーザアカウントがあり、避難所 ID が設定されていれば、受信したメッセージを該当する避難所のメッセージホルダーに蓄積する。



図4 避難所外からのSCS ホームページアクセス画面(利用登録、メッセージ送信)

⑥ 避難所サーバは避難所 PC からアクセスがあると、その避難所のメッセージホルダーをチェックし、保存されたメッセージがあればそれらをひとつのファイル(メッセージファイル)にまとめてその避難所 PC に送る。

⑦ 自動電話呼び出しによる登録要請機能メッセージ用紙の受信者電話番号のユーザアカウントにおいて電子メールアドレスと避難所 ID のいずれも未設定の場合、避難所サーバがメッセージ用紙の受信者電話番号

に自動電話をかけ、SCS ホームページアクセスによるユーザアカウント登録を要請する録音メッセージを伝える。

(5) マルチホップネットワークを構築し、動作検証を行った。

① ノード配置と経路

新潟市が洪水時の避難場所として指定している新潟大学周辺の施設（内野小学校、笠木小学校、新通小学校、坂井東小学校）と新潟大学屋上にノードを設置し、テストベッドを構築した。通信経路については各施設間の見通しを確認し決定した。新潟大学構内においては、一ヶ所の建物屋上から他の全ての施設を見通せる場所がなかったため、大学内の物質生産棟、情報理工棟の2つの建物屋上にノードを設置することとした(図5)。



図5 避難所テストベッド

② ノード及び周辺機器構成

各機器の緒元を表1に示す。通信距離を延長するため、無線LAN用指向性平面アンテナを使用する。ノード装置は新潟大学五十嵐キャンパス構内に構築されている既存テストベッドと同様のものを使用した(図6)。物質生産棟(新潟大学)、笠木小学校、内野中学校に設置される3方向中継避難所のノードではPCIを変換アダプタでminiPCIに変換し、無線LANインタフェースを3つ接続可能とした。

表1 機器緒元

マザーボード	LS-571 miniPCI × 2 PCI × 3(3方向中継のノードはアダプタでminiPCIに変換) 有線LANIF × 2, COM Port × 5, USB × 8, etc
CPU	Intel Core2Duo T7500 2.2GHz FSB800MHz
メモリ	PQI JAPAN 1GB
CF	Transcend 8GB
SSD	Transcend 32GB
無線LANIF	Silex SX-10WG × 2(2方向中継ノード) × 3(3方向中継ノード) IEEE 802.11b/g準拠 miniPCIタイプ
その他	ファン, 温度センサ, プレーカ

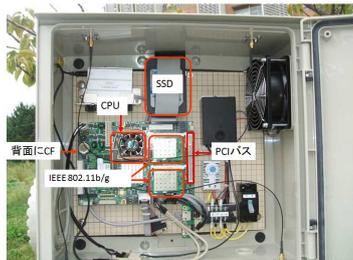


図6 設置ノード

③ リンク品質 (スループット)

テストベッド構築後に全てのリンク間で、3チャンネル(1ch, 6ch, 11ch)、IEEE802.11b/gの全てのレートを用いて通信品質の測定を行った。結果を見ると、多くのリンクにおいて高スループットを測定したのはレート11Mbpsと54Mbpsであった。おおよそリンク距離1kmを境に最適なレートが11Mbpsか54Mbpsに分かれる結果となった。また、チャンネルに関しては6chで良いスループットが測定される傾向にあった。リンクによってはチャンネルを変えるだけでスループットが倍以上も変化する結果も確認された。これより、無線通信におけるチャンネル割り当ての重要性が分かる。

(6) 東松島市に無線マルチホップネットワークを構築し、SCS サービスを提供した。

① 経緯

東日本大震災により、奥松島縄文村歴史資料館ではインターネット接続はもちろん携帯電話も利用困難な状況であった。直線距離で約7km離れた鳴瀬総合支所ではインターネット接続が利用可能であったため、そこから資料館まで無線マルチホップネットワークを構築することにより資料館内でのインターネット接続を可能とした(図7)。無線マルチホップネットワークは、鳴瀬総合支所(A地点)、野蒜築港資料室(B地点)、大高森展望台(C地点)、奥松島縄文村歴史資料館(D地点)の4ヶ所に設置されたノードから構成される。震災発生後から情報収集を開始し、3月下旬から本格的に現地調査や、ネットワーク設計を行い、5月中旬に東松島市から正式に支援要請書を受領した。その後、現地でのネットワーク設置工事等を実施し、5月末にサービスの提供開始となった。ネットワークの設置工事だけであれば、工事手順等の検討期間を含めても約2週間の日程で作業を終えた。



図7 東松島市内構築ネットワーク

② ノード配置と経路の決定

インターネットへのゲートウェイとなるA地点とSCSのサービス提供場所となるD地点を、事前調査によってまず初めに決定した。その後、この2ヶ所を結ぶ中継ノード設置場所としてB、C地点を決定した。各地点間の

見直し確認にはハロゲンランプや発煙筒を使い、望遠鏡により対向地点を目視することによって行った。B、C地点間の4.4kmでもハロゲンランプは目視可能であったが、発煙筒の光や煙は確認することは出来なかった。ノード設置場所が決定した後、現地に使用予定の指向性平面アンテナ、無線LAN利用の中継ノードを持ち込み、簡易的にリンク間の通信品質測定を行った。全てのリンク間での測定は難しかったため、新潟大学周辺テストベッドで利用実績のない直線距離のB、C地点間(4.4km)でのみ測定を実施した。結果より、通信が確立されることは確認できたが得られたスループットは極めて低く、SCSのサービス提供には不十分と考えられたため、新たに25GHz帯小電力データ通信装置を用いて再実験を行った。結果より、安定した高スループットが得られることが分かった。これらの現地調査結果から、B、C地点間のリンクでは25GHz帯小電力データ通信装置を用い、その他のリンクでは無線LANと指向性平面アンテナを用いて、4ノード3リンクの無線マルチホップネットワークを構築することとなった。

③ ノード及び周辺機器構成

各機器の諸元を表2に示す。これらの機器は新潟大学キャンパス内及び(5)に述べたテストベッドで利用されていたものを撤去し、本プロジェクトのために再利用した。B地点とC地点については電源確保が出来なかったため、ソーラーパネルとバッテリーを利用し電力供給を可能とした。また、電源確保が可能なD地点でも、電源と機器の間でバッテリーを経由することによって、一時的に電源からの電力供給が停止しても、サービス提供は一定時間可能な設計とした。各地点のバッテリーには放充電コントローラを接続し、放電深度を50%に設定した。これにより約1,000回以上の放充電には対応できる。当初は各リンクに無線LANの利用を想定し、機器全体の消費電力と日照条件などを基にソーラーパネル数を、また、日照なしで3日間の運用を条件にバッテリー個数を設計した。25GHz帯小電力データ通信装置の利用に伴い1日当たりの稼働時間の制限が必要となり、夜間(17:15~8:45)は、電源タイマーによってノードを停止する運用とした。また、このように毎日1

表2 機器諸元

中継ノード	OpenBlockS266 (Plat' Home)
無線LANカード	IEEE 802.11a/b/g対応 (NEC)
指向性アンテナ	無線LAN用平面アンテナ(日本電業工作) 25GHz帯小電力データ通信装置(JRC)
ソーラーパネル	70W 太陽電池モジュール (SHARP)
	B地点: ×4 C地点: ×4
バッテリー	84W ディープサイクルバッテリー (DENRYO)
	B地点: ×4 C地点: ×4 D地点: ×2

回の停止・再起動を行うことにより、ノードのフリーズといった現地メンテナンスが必要となる問題も回避可能となる。A地点、D地点では電源が確保されているため、電源タイマーによる1日に1回の強制リブートのみを実施した。

④ ネットワーク構成

構築した無線ネットワークの構成図を図8に示す。今回のネットワークは複数経路のないシンプルな構成であったため、各ノードの経路はスタティックに設定されている。ルータでは各OBSへのルーティングとNW(B)へのルーティング設定に加え、ポートフォワーディングによりSCSに関わるパケット(http)はOBS4に接続された避難所PCに転送され、OBS管理用パケット(telnetやftp等)はOBS1に転送されるよう設定を行った。これにより、ネットワーク経由での各OBSの遠隔操作を可能にしている。

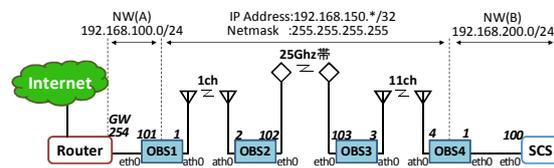


図8 東松島市内構築ネットワーク

⑤ 通信品質

ネットワーク構築後に各リンク、及びエンドツーエンドの通信品質の測定を行った。結果を図9に示す。結果より、エンドツーエンドで約5Mbpsの値が出ており、SCSサービスの円滑な提供が可能であることを実証できた。

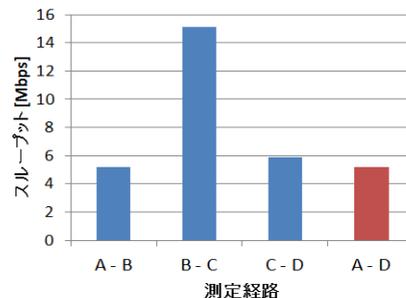


図9 スループット測定結果

⑥ 新潟大学に避難所サーバを設置し、新潟大学ホームページにSCSホームページをリンクすることにより、平成23年6月から24年2月までSCSサービスを提供した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ① 岡田啓、北原弘隆、間瀬憲一、無線メッシュネットワークにおけるノード単位送信レート選択手法、電子情報通信学会論文誌、査読有、vol. J94-B、no. 12、2011、pp. 1556-1565
- ② 梅木智光、岡田啓、間瀬憲一、気球を利

用したアドホック通信システム「スカイメッシュ」の通信路特性、電子情報通信学会論文誌、査読有、vol. J94-B、no. 2、2011、pp. 94-102

- ③ K. Mase、[招待論文]How to Deliver Your Message From/To Disaster Area、IEEE Communications Magazine、査読有、vol. 50、no. 1、2011、pp. 52-57
- ④ 間瀬憲一、岡田啓、東信博、山口匠、インターネットと連携した避難所利用者のためのメッセージ通信システム、電子情報通信学会論文誌、査読有、vol. J93-B、No. 10、2010、pp. 1356-1367
[学会発表] (計 53 件)
- ① 富樫知也、間瀬憲一、無線メッシュネットワークにおける半固定レート制御方式の実環境を用いた性能評価、電子情報通信学会技術研究報告、2012年3月12日、東京
- ② 間瀬憲一、大規模災害時のコミュニケーションオリティは想定外でよいのか?、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2011年9月15日、北海道
- ③ 間瀬憲一、東松島市におけるアドホックネットワーク構築と避難所通信サービスの提供、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2011年9月13日、北海道
- ④ 坂本貴彦、間瀬憲一、無線メッシュネットワークにおける並列ブロードキャストを用いたリンク品質測定に関する検討、電子情報通信学会技術研究報告、2011年5月20日、東京
- ⑤ T. Togashi、K. Mase、H. Okada、Experimental Evaluation of Rate Switch Control in Wireless Mesh Networks、IEEE Vehicular Technology Conference、2011年5月16日、Budapest、Hungary
- ⑥ 富樫知也、間瀬憲一、岡田啓、無線メッシュネットワークにおける半固定レート設定方式のテストベッドを用いた評価、電子情報通信学会技術研究報告、2011年3月8日、千葉
- ⑦ T. Sakamoto、K. Mase、A Distributed Link Quality Measurement Control Protocol for Wireless Mesh Networks、Wireless Personal Multimedia Communications、2010年10月13日、Brazil
- ⑧ 間瀬憲一、甚大災害における通信のセーフティネット、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2010年9月15日、大阪
- ⑨ 坂本貴彦、間瀬憲一、無線メッシュネットワークにおけるリンク品質測定時の並列ブロードキャスト方式の評価、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2010年9月15日、大阪
- ⑩ 富樫知也、間瀬憲一、岡田啓、無線メッ

シュネットワークにおける最適レート固定設定方式の検討、電子情報通信学会技術研究報告、2010年5月21日、東京

- ⑪ 坂本貴彦、間瀬憲一、無線メッシュネットワークにおけるリンク品質測定制御法に関する検討、電子情報通信学会技術研究報告、2010年5月21日、東京
- ⑫ K. Mase、H. Okada、N. Azuma、Development of an Emergency Communication System for Evacuees of Shelters、IEEE Wireless Communications and Networking Conference、2010年4月21日、Sydney
- ⑬ 川崎泰就、間瀬憲一、岡田啓、無線メッシュネットワークにおける半固定レート設定方式の実装と評価、電子情報通信学会 総合大会、2010年3月16日、仙台
- ⑭ H. Kitahara、H. Okada、K. Mase、Experimental Evaluation of a Novel Transmission Rate Assignment Scheme in Wireless Mesh Networks、The Fourth IEEE International Workshop on Personalized Networks、2010年1月9日、Las Vegas
- ⑮ 山口匠、間瀬憲一、東信博、誰でも利用可能な避難所通信システムの開発、電子情報通信学会 安全・安心な生活のための情報通信ネットワーク研究会、2009年9月18日、新潟
- ⑯ 間瀬憲一、衛星と無線メッシュネットワークを利用する避難所通信システム、電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会、2009年9月16日、新潟

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：避難所通信システム

発明者：間瀬憲一

権利者：同上

種類：特願

番号：特願 2008-265743

出願年月日：2009年10月14日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://www2.net.ie.niigata-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

間瀬 憲一 (MASE KENICHI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90313501

(2) 連携研究者

岡田 啓 (OKADA HIRAKU)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・准教授

研究者番号：50324463