

災害時 DTN 通信でのハンドシェイク型 マルチホップメッセージの転送方式

山下諒馬[†] 高見一正[†]

広域災害では，設備障害，電力不足のため携帯電話等の公共性の高い通信は，いつものようには利用できなくなり，被災地域内の安否確認に支障をきたすことが予想される．被災者が携帯端末を保持していることを想定し，それらの端末と救助者の携帯端末及び避難所サーバが DTN(Delay/Disruption Tolerant Network)を構築し，安否情報を集約するための被災者と情報運搬者の各端末間及び，情報運搬者と避難所の端末とサーバ間の各プロトコルを明確化した．また，ネットワークシミュレータに提案プロトコルを実装して，新宿をモデルとした被災地域に被災者をランダムに分布させたモデルを構築した．Epidemic Routing と比較し，安否情報の避難所までの到達率とデータ集約過程を評価し，そして，既存方式と提案手法の電池の消費量を比較した．

Using DTN a message transmission mode of handshake and multi-hop in time of Disaster

RYOMA YAMASHITA[†] KAZUMASA TAKAMI[†]

1. はじめに

近年，世界各国で地震や異常気象などの天災が多発しており，大都市直下型地震の懸念もされている．その様な災害時では，電気・水道・ガスの他にも，交通インフラなどが正常に機能しなくなる．通信インフラもそのひとつであり，東日本大震災では，被災地の基地局が震災の影響を受け，機能しなくなった[1][2][3]．

また，安否を確認しようと東北の知り合いに電話をする人が日本中で現れたため，電話網の輻輳などもあり，被災地との連絡を取ることがとても困難であった．東日本大震災の場合，各携帯会社の基地局は完全復旧までに約 1 ヶ月を要した．しかし，障害物で隔離され動けない被災者を救助するためには 72 時間以内が必須とされている．

一方，通信の中断や切断が多発したり，大きな伝送遅延が生じたりする劣悪な通信環境でも，データ転送を実現する通信方式として，DTN(Delay/Disruption Tolerant Network)が研究されている[4]-[11]．DTN は，ノード間のマルチホップ無線通信によるメッセージの転送とノード自体の移動性によるメッセージの運搬を併用することで，ネットワークが分裂した場合でも中継するノードがメッセージを保持し，再接続したところでメッセージを送信することができ，災害時の通信基盤としての研究もすでに開始されている[12]-[18]．関連研究については，第 2 章で述べる．DTN の問題点として，DTN はノードの移動性を利用するが，移動先を考慮しないため，メッセージを保持したノードが宛先の近くに行くのか不明である．そのため，メッセージが宛先に到達する保証を与えておらず，また，到達しても遅延

時間が大きくなることがあるため，緊急性，重要性の高い安否情報を扱うためには新たな利用技術が望まれている．

本稿では，災害で携帯電話会社の基地局が倒壊してから完全復旧するまでの期間を前提とし，情報運搬者を新たに定義して，被災者と情報運搬者の端末及び避難所のサーバが DTN を構成して，安否情報を避難所に集約する方式を提案する．第 2 章では，関連研究について述べ，第 3 章では，本稿で提案する災害時での安否情報集約方式について概説し，安否情報を収集するための被災者と情報運搬者の各端末間及び情報運搬者端末と避難所サーバ間の各プロトコルを示す．また，第 4 章では，検討する各機能や問題を上げる．そして，第 5 章ではネットワークシミュレータを利用した評価方法と条件を示す．最後に第 6 章で，まとめと今後の課題を述べる．

2. 関連研究

この章では，DTN に関する研究を述べる．文献[12]では，DTN を用いた情報の収集・共有方式を提案しているが，これは救護者が被害情報を収集するための研究であり，被災者が送信したメッセージを収集する方法としては言及されていない．また，文献[13]では，MONAC と DTN を用いた Twitter への投稿方法を提案しているが，被災地内での携帯電話通信が可能である地域を前提としており，ネットワーク基盤が復旧するまでは適用できない．文献[14]では，メッセージフェリーという情報を運ぶ方式を提案しているが，決められたルートのみをフェリーは進む方式であり，通信範囲が限られてしまい，被災地域のエリアカバー率を高めるためには工夫が必要である．

また，DTN の既存のルーティング方式として，Epidemic Routing と Spray and Wait を上げる．Epidemic Routing とは，

[†] 創価大学工学研究科情報システム工学専攻
Graduate School of Engineering, Soka University

全感染型のルーティング方式であり、到達率が高くなることが期待されるが、ネットワークの輻輳がデメリットとしてあげられる。また、Spray and Wait は、複製数を制限するものであり、輻輳を抑えることが可能であるが、抑えただけ到達率が低くなる可能性があり、更に災害時などでは、適当な複製数を指定することは困難であると考えられる。また、Spray and Wait は 2 ホップで宛先に届ける方式であり、Two Hop Forwarding に分類される。表 1 に特徴を示す。

表 1 既存ルーティングの特徴

Table 1 Characteristic of the existing routing

ルーティングプロトコル	到達率	ネットワークの輻輳度
Epidemic	○	×
Spray and Wait	×	○

3. ハンドシェイク型マルチホップメッセージ転送プロトコル

ハンドシェイク型マルチホップメッセージ転送プロトコルの詳しい内容については、文献[22][23]を参照

3.1 想定する環境

本稿では、災害の影響で携帯電話が使用不可であることを想定している。また、全ての被災者が携帯端末を所有しており、避難所には無線アクセスポイントを具備したサーバが設置済みあることを前提とする。

避難所に退避していない、または退避できない被災者の安否情報を集約するため、図1のように救助隊などを情報運搬者として定義する。被災者の安否情報の集約は被災者と情報運搬者の携帯端末、被災地域内に複数設置されている避難所のサーバをノードとしたDTNを構成して行う。DTNの代表的なルーティング方法であるEpidemic Routingは、到達率をあげるために、すれ違った全ての端末にメッセージを複製する方式であり、フラッディングメッセージがネットワーク内に激増し、端末のリソースと電力の消耗が大きいと想定される。しかし、災害時では携帯端末の処理負荷と電池消耗を抑止して、安否情報という重要なメッセージを避難所に確実に届けるための工夫が必要となる。

これらを解決するために、被災者端末は自身の安否情報のみを情報運搬者端末に送信することとし、被災者端末にまで拡散する無駄なメッセージの処理を減らし、電池の消費を少しでも節約できる方式とした。また、大規模災害では被災者が多く、運搬する安否情報が膨大になり、情報運搬者端末の容量を超えてしまう可能性があるため、情報運搬者は避難所に到着し、サーバに転送すると保持していた安否情報は破棄することとする。安否情報には、携帯端末で取得した GPS 情報を付加して、被災者の位置を特定できるようにした。さらに、避難所サーバから災害情報を被災者宛に送信することを考えている。しかし、本稿では、図 1 の被災者と情報運搬者の端末間プロトコルとその情報運

搬者端末と避難所サーバ間のプロトコルについて検討する。

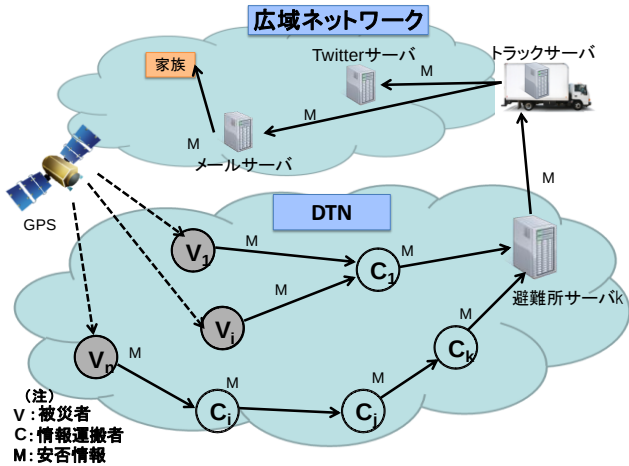


図 1 概要図

Figure 1 Outline figure

3.2 安否情報集約プロトコル

安否情報を確実に集約するために、ハンドシェイク方式とし、情報運搬者端末が T 秒周期に送信する探索メッセージ (SM), その探索メッセージに被災者端末が返信する安否情報を含めた応答メッセージ (RM), 及びその応答メッセージに返信する確認メッセージ (CM) を定義した。さらに、情報運搬者端末が集約した全ての安否情報を避難所サーバに転送するための安否情報メッセージ (VM) を定義した。また、各メッセージには送信者が情報運搬者端末とそれ以外かを識別するために、メッセージ内に送信端末種別として、carrierId を設定した。carrierId=1 は情報運搬者端末, carrierId=0 は被災者端末又は避難所サーバを示す。また、各メッセージには各端末が保持しているユニークな nodeId を設定する。carrierId=0 のメッセージの被災者端末又は避難所サーバの識別は nodeId により区別する。避難所サーバの nodeId は情報運搬者が活動を開始する時に端末に設定する。nodeId は各端末に付与されている MAC アドレスを使用すること想定している。また、被災者がどの情報運搬者へメッセージを送ったかを判断するためにも使用する。各メッセージ構成を以下に示す。

- 探索メッセージ：
 $S_M \{nodeId, carrierId(1), sendtime, stime, buf \dots \}$
- 応答メッセージ：
 $R_M \{nodeId, carrierId(0), sendtime, sourceAddress, destinationAddress, gps, Address, \dots \}$
- 確認メッセージ：
 $C_M \{nodeId, carrierId(0/1), sendtime, \dots \}$
- 安否情報メッセージ：
 $V_M \{nodeId, carrierId(1), sendtime, info, \dots \}$

sendtime には、メッセージを送った時間が設定される。

sourceAddress は被災者端末の IP アドレスが入り、destinationAddress には被災者が送りたい最終的な宛先の IP アドレスが入る。また、gps には緯度経度情報が入る。Address は避難所サーバからの応答メッセージのみ設定され、緯度経度情報から住所情報に変換した情報を設定する。また、安否情報メッセージの info には集約した被災者の安否情報が格納される。

各メッセージ間の関係をシーケンス図として、図 2 に示す。メッセージシーケンスは情報運搬者と被災者の各端末間の転送ブロック CV と情報運搬者端末と避難所サーバ間の転送ブロック CS から構成される。2 つの転送ブロック CV と CS は独立しており、必ずしも連続して動作する必要はなく、情報運搬者からの探索メッセージに対する応答メッセージを分析して逐次実行される。

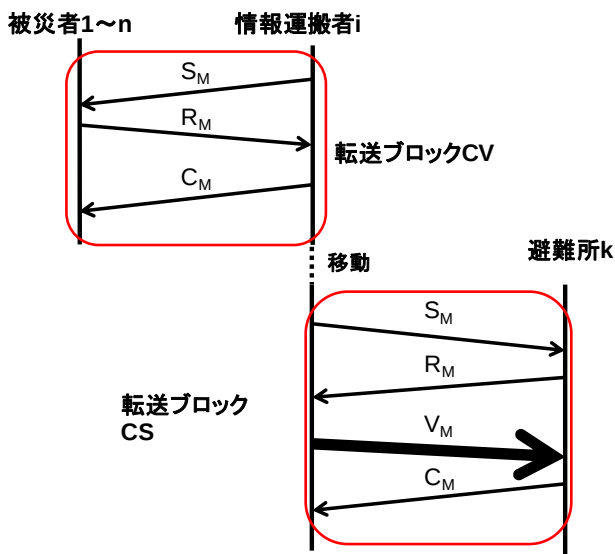


図 2 シーケンス図

Figure 2 Sequence diagram

3.3 端末間プロトコル処理

情報運搬者と被災者、情報運搬者と避難所の各端末間のプロトコル処理ロジックを示す。

1) 情報運搬者端末—被災者端末間

提案方式は無駄なメッセージの送信を抑えるため、1 人の情報運搬者に制限して応答メッセージを送る方式である。以下に各方式の処理ロジックを示す。

Step.1 情報運搬者端末は探索メッセージを T 秒周期で送信。

Step.2 被災者端末はそれを受け、情報運搬者端末へ応答メッセージを返信。

Step.3 被災者端末からの応答メッセージを受信した情報運搬者端末は確認メッセージを返信。

Step.4

4-1 確認メッセージを受信した被災者端末は、Step5 へ。

4-2 確認メッセージの受信が確認できない場合は、Step1 へ。

Step.5 引き続き情報運搬者から受信した探索メッセージに

は応答メッセージを送信しない。

情報運搬者端末—被災者間のシーケンスは、図 2 に示したシーケンス図の左上部分になる。

2) 情報運搬者端末—避難所端末間

情報運搬者端末が集約した安否情報をサーバに転送するプロトコル処理を以下に示す。情報運搬者端末の容量制限により、安否情報が受信できなくなると、避難所サーバに情報運搬者が近接するとその端末は安否情報を直ちにサーバに転送して、確認メッセージ受信後に安否情報を廃棄する処理を組み込んでいる。

Step.1 情報運搬者端末は探索メッセージを T 秒周期で送信。

Step.2 避難所端末はそれを受信すると、応答メッセージを返信。

Step.3 運搬者端末は応答メッセージの nodeId から避難所を判断

Step.4 運搬者端末は安否情報メッセージに複製して送信。

Step.5 避難所サーバは carrierId を確認して、情報運搬者端末と被災者端末を判断して、確認メッセージを送信。

Step.6 確認メッセージを受け取った情報運搬者端末は安否情報を破棄して、Step1 へ。

情報運搬者端末—避難所端末間のシーケンスは、図 2 に示したシーケンス図の右下部分になる。

4. 提案

4.1 電池消費量

災害時での停電を考慮し、被災者の携帯電話が送るメッセージ量を少なくするプロトコルを提案したが、具体的な電池の消費量を評価していない。そのため、被災者の携帯端末の電池の消費量を評価する。

文献[21]の電力消費モデルを用い、被災者の送信時の電力消費量を検証する。

本稿の提案プロトコルは、被災者のメッセージ送信を 1 通しか送らないため、電力消費量は Epidemic Routing と比較し、大幅に削減できると考えられる。

4.2 情報運搬者同士の通信

情報運搬者が 1 人で運ぶ手法ではエリアをカバーするために多くの情報運搬者が必要となる。そこで、マルチホップでの通信を組み込むことを検討する。情報運搬者同士の通信方法を定義し、マルチホップで避難所まで安否情報を送信することで、情報運搬者の数を減らしより効率よく安否情報を収集できるのではないかと考えられる。シミュレーションでは、情報運搬者の数を減らし、情報運搬者の必要となる人数密度の抑制や避難所サーバまでの到達時間の縮小などをを目指す。前述したように、メッセージ収集の効率化を考え、情報運搬者同士の通信を検討する。

情報運搬者は S_M を発しながらメッセージの収集を行っているため、他の情報運搬者が近くにいると判断できる。

その S_M には、被災者が複製を送信済みの情報運搬者を判断するための `carrierID` を持たせており、その他に最後に避難所と通信した時間や、その端末のバッファの空き容量も付加させる。その避難所との通信をした時間から情報運搬者が集めたメッセージをどちらが渡し、どちらが受け取るのかを判断する。避難所との通信をした最後の時間で判断することにより、時間が前である方が避難所から遠いと考えられ、最終的には最も避難所に近い情報運搬者に渡し、避難所へと渡ると考えられる。しかし、この場合、避難所に近い情報運搬者に多くの複製が集まるため、 S_M に付加させた受信側のバッファ容量を考慮して、送信側は送るかを判断することとする。以下に S_M を示す。

探索メッセージ：

$S_M \{ \text{nodeId}, \text{carrierId}(1), \text{sendtime}, \text{stime}, \text{buf} \dots \}$

`stime` は、最終避難所通信時間、`buf` は情報運搬者端末のバッファ容量となる。図3に簡単な概要図を示す。

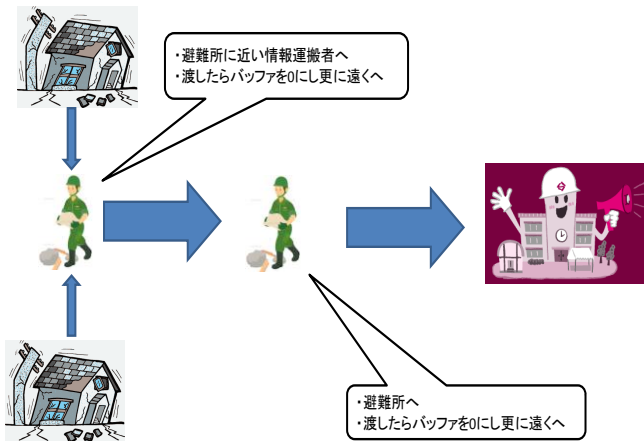


図3 情報運搬者同士の通信

Figure 3 Communication between information conveyers

4.3 避難所からの情報提供

災害時、被災者は一時的に隔離され、災害の情報が行き届かないことが考えられる。そこで、避難所サーバに災害情報を集約し、そこから情報運搬者を介し、被災者のもとへ災害情報を配信する方法を検討する。その際、問題となることが、複数の避難所の災害情報がバラバラであり、差異が生じてしまい、被災者を混乱させることが考えられる。そのため、災害情報の同期方法を考えることが重要である。また、被災者に災害情報を少しでも早く届けることを目標とし、災害情報の到達時間を優先した情報配信法を検討する。

避難所からの情報配信法として、新しい震災情報が来た際に、避難所から情報運搬者に震災情報を流す。その方法は、震災情報が避難所から送信された場合、情報運搬者端末が受け取り、情報運搬者端末は S_M と一緒に情報配信を行う。この時、電池の消費を考慮して、被災者は受け取るのみであり、他の被災者に送信しない。情報配信時にも、4.2 節で述べた情報運搬者同士のマルチホップ通信を適応

し、いち早く広がる様にする。

震災情報の更新については、震災情報に付加された更新時間を震災情報のヘッダに持たせ、持っているデータの時間と受け取ったデータの時間を比較し、新しいデータを上書きさせる。震災情報の時間は、避難所から送信された時間ではなく、震災情報が発表された時間にする。図4に概要図を示す。

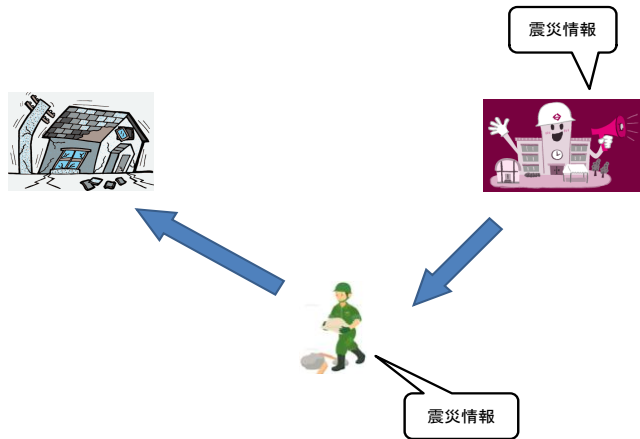


図4 震災情報の配布

Figure 4 Distribution of the disaster information

5. 評価

5.1 シミュレーション環境

評価方法は文献[22]でネットワークシミュレータ Scenargie を用いて得られたデータを用いて導く。シミュレーション条件を表2に示す。

表2 シミュレーション条件

Table 2 Simulation conditions

項目	条件	評価条件
シミュレーション環境		新宿駅近郊(約2.35km ²)
シミュレーション時間		1時間
無線通信方式		IEEE802.11
電波範囲		20m
被災者数[v]		1000人
被災者歩行速度		0m/s(停止)
被災者の位置		Random Building
情報運搬者数[c]		300人
情報運搬者の出発点		避難所をRandomに選択
情報運搬者の行動		避難所間をRandom waypoint
情報運搬者歩行速度		1.0~1.5m/s
情報運搬者の送信周期[T]		1s
避難所数		15箇所(実際の避難所)

シミュレーション環境として、実際の地形モデルを用いる。本稿では、東京都新宿区の新宿駅近郊の範囲でシミュレーションを行う。また、避難所の分布は、災害時に実際に避難所になりうる建物を想定し、15ヶ所を避難所として、設置した。図5にシミュレーション環境で用いた新宿駅近郊を示す。



図 5 新宿駅近郊

Figure 5 The Shinjuku Station neighboring

5.2 電力消費モデル

本稿の電池消費モデルは、文献[21]の MANET 評価用のモデルを参考にし、以下の式を用いて計測する。また、情報運搬者の端末の電池消費は本稿では考えず、停電の影響を受ける被災者端末の電池消費を考える。提案手法では、被災者端末がメッセージを中継することはないため、被災者端末が送信した時の消費電力を計測する。文献[21]では、MANET の電力消費モデルが提案されており、ルーティングをコントロールするための電力もモデルには含まれている。しかし、本稿ではルーティングをコントロールするためのメッセージを被災者は送信しないため、考慮しないものとする。よって、被災者端末がメッセージを送信する時の消費電力は、

$$P_{send} = m_{send} \times size + b_{send}$$

となる。

式中の m_{send} は送信するメッセージ 1 バイトあたりの電力消費である。また、 b_{send} は、メッセージを送信する際の基本となる電力消費である。本稿で行うシミュレーションでの電力消費の定数を以下の表 2 に示す。

表 3 電力消費の定数

Table 3 The fixed number of the power consumption

m_{send}	1.89mW · s/byte
b_{send}	246mW · s

表 2 の定数は、文献[21]で実測された結果である。本稿では、シミュレーションから得られたデータを上の数式に当てはめる。

5.3 評価結果

上の式から導かれた電力量に、シミュレーションで得られた被災者 1 人が送信するメッセージの数を掛ける。

提案手法では、被災者は 1 人の情報運搬者にのみメッセージを複製しており、また、ハンドシェイクで情報運搬者が通信範囲にきた時のみメッセージを送信するため、メッセージ送信での消費電力は 1 メッセージ分のものになる。そのため、提案手法の被災者の電力消費量は、0.435Ws となる。

一方、Epidemic Routing では、被災者はバッテリーが無くなるまで、メッセージを送り続けることになる。本稿のシミュレーション条件では、3600 秒の間、1 秒毎に 100byte のメッセージを送信しており、被災者は 3600 個のメッセージを送っていることになる。これを式に当てはめると、Epidemic Routing の 1 時間の電力消費量は、1566Ws となる。iphone5s を例に上げると、iphone5s のバッテリー容量は、文献[24]から 5.73Wh = 20628Ws であるため、Epidemic Routing では、満タン時の約 7%を消費することになる。この値は、少なく見えるかもしれないが、災害時に充電が満タンである可能性は低く、その他の機能からも電力が奪われることから、消費量はできるだけ抑えるべきであることがわかる。

1 時間のシミュレーションで、提案手法は Epidemic Routing の電力消費量の約 0.03%に抑えることができた。また、図 6 に示す情報運搬者が受け取った被災者の送信メッセージ数の平均から計算しても、約 20Ws となり、約 2%に抑えている。Epidemic Routing は 1566Ws で送ったメッセージの内、20Ws のメッセージしか届いておらず、99%というほとんどの電力を無駄に消費していることになる。

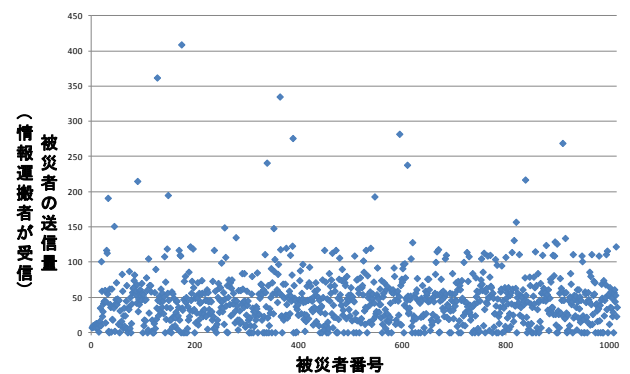


図 6 被災者の送信メッセージ量
(情報運搬者端末が受信した)

Figure 6 The number of victim send messages

情報運搬者同士の通信と避難所からの震災情報の配信については、今後行う。

6. まとめ

本稿では、以前に提案した手法の電池消費量について評価を文献[21]の電力消費モデルをもとに評価した。評価結果として、Epidemic Routing で生じる無駄な電力をなくし、Epidemic Routing の消費電力から約 99.7%の削減に成功した。

今後は、提案で述べた情報運搬者同士の通信と避難所からの情報配信を検討し、シミュレーション評価を行なっていく。

参考文献

- 1) 東日本大震災における情報通信の状況 平成 23 年版情報通信白書 p2-11.
- 2) 能島 暢呂: 東日本大震災におけるライフライン復旧概況(時系列編) 岐阜大学工学部社会基盤工学科 2011 年 4 月 3 日.
- 3) 総務省 東日本大震災関連情報.
<http://www.soumu.go.jp/shinsai/> (2013/5/15)
- 4) 高橋 正生, 森山 敦文: 劣通信環境を克服する DTN NICT.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2_archive/japanese/08-library/meeting_doc/data/ws-10/Takahashi&Moriyama.pdf (2013/5/15)
- 5) 鶴 正人: 有線無線融合 NW プラットホーム技術 NICT.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/japanese/data/pdf/SPARC/T6-201012_TBWG-07-07.pdf (2013/5/15)
- 6) 永田 晃, 山村 新也, 鶴 正人: 有線無線融合ネットワークのための DTN 技術 NICT. 新世代ネットワークワークショップ 2010, NwGN 研究会, 鹿児島県霧島市, 2010 年 8 月 16-17 日.
http://www.jgn.nict.go.jp/jgn2plus_archive/japanese/data/pdf/SPARC/T6-201008-DTN-NwGN.pdf (2013/5/15)
- 7) The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. TKK. 22 Jan 2009.
- 8) Delay-Tolerant Networking Architecture IETF RFC 4838 2007-04.
- 9) Bundle Protocol Specification IETF RFC 5050 2007-11.
- 10) Bundle Security Protocol Specification IETF RFC 6257 2011-05.
- 11) 鶴 正人, 内田 真人, 滝根 哲哉, 永田 晃, 松田 崇弘, 巳波 弘佳, 山村 新也: DTN 技術と現状の展望 解説論文 通信ソサイエティマガジン No.16 [春号] 2011 p.57-68.
- 12) 孫 為華, 木谷 友哉, 柴田 直樹, 安本 慶一: 被災地における DTN に基づいた情報収集・共有方式の提案: 情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理研究会報告, 02-26, 一般社団法人情報処理学会 (2009)
- 13) 小山 由, 水本 旭洋, 今津 真也, 安本 慶一: 大規模災害時の安否確認システムと広域無線網利用可能エリアへの DTN に基づいたメッセージ中継法, IPSJ SIG Technical Report Vol.2012-MBL-62, No.29, pp.1-7 (2012) .
- 14) 阿部 涼介, 中村 嘉隆, 白石 陽, 高橋 修: メッセージフェリーによる効率的な DTN ルーティング方式の提案と評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)シンポジウム, 7 月 (2012)
- 15) 守谷 博之, 横山 輝明: 蓄積転送型通信を用いた広域災害時通信テムの設計と実装実験 サイバー大学.
http://www.cyber-u.ac.jp/bulletin/0004/pdf/0004_05.pdf , (2013/5/15)
- 16) 中島 申詞: Delay Tolerant Network 環境におけるフラッディングメッセージ抑制のためのルーティング手法
- 17) 下忠 健一: Potential-based DTN Routing System の評価と改善 東京大学大学院 情報理工学系研究科電子情報学専攻 修士論文, <http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/bitstream/2261/35887/1/48086412.pdf> , (2013/05/16)
- 18) Ioannis Psaras, Lloyd Wood, Rahim Tafazolli: Delay-Disruption-Tolerant Networking State of the Art and Future Challenges, Preprint submitted to Elsevier November 5 (2009)
- 19) Scenargie Space-time engineering.
<http://www.spacetime-eng.com/jp/index.html> , (2013/5/15)
- 20) 人口密度-Wikipedia.
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%BA%E5%8F%A3%E5%AF%86%E5%BA%A6>(2013/4/30)
- 21) L. M. Feeney, An energy-consumption model for performance analysis of routing protocols for mobile ad hoc networks, ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications(MONET), vol.6, no.3, pp. 239.249, June 2001.
- 22) 山下諒馬, 高見一正: 災害によるネットワーク不接続時の Delay/Disruption Tolerant Network 接続を用いた安否情報送信法, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO)シンポジウム, 7 月 (2013)
- 23) 山下諒馬, 高見一正: 被災地内 DTN での安否情報収集のためのハンドシェイク型メッセージ転送プロトコルの実環境モデル評価, 情報処理学会全国大会, 3 月 (2014)
- 24) 「iPhone 5s」と「iPhone 5c」のバッテリー容量が明らかに - 両製品とも「iPhone 5」より増加,
<http://taisy0.com/2013/09/12/19608.html>