

特別賞

自律分散ネットワークの  
安定化制御技術の研究開発

～スマホ de リレーが切り拓くネットワーク新時代～

<sup>1</sup>国立大学法人東北大学 <sup>2</sup>株式会社 NTT ドコモ

<sup>3</sup>株式会社構造計画研究所

西山 大樹<sup>1</sup> 岡部 裕<sup>2</sup>  
西浦 升人<sup>3</sup> 大内 夏子<sup>3</sup> 大和田 文子<sup>3</sup>

# 1. 序 論

自律分散ネットワークとは、携帯電話網のように通信制御を集中管理する通信基地局を必要としないネットワークである。主としてモバイル通信端末のみで自由自在にネットワークを構築することを目指すもので、スマートフォンの爆発的な普及に伴って近年脚光を浴びている新時代のネットワークである。携帯電話網が重大な機能不全に陥った2011年3月の東日本大震災以降は、大規模災害時においても利用可能な通信ネットワークの1つとしても注目されている。しかしながら、既存の自律分散ネットワーク技術のほとんどは、特定の通信環境下での利用を想定して設計されており、時間的・空間的に通信環境が変動する一般的な通信環境ではその性能が著しく不安定化するため、実用化・社会展開には結びついていないのが現状である。これに対し、著者等は、異なるネットワーク制御技術を高度に連携動作させることにより、変動する通信環境に自律的に適応し、ネットワークの不安定化を回避・軽減することが可能な分散型ネットワーク制御技術を確立することに成功した。本論文では、自律分散ネットワークの安定化を可能にする制御技術について述べる。また、その制御技術をスマートフォンに実装したプロトタイプ「スマホ de リレー」を用いた大規模実証実験の結果等について報告する。さらに、人をターゲットとしたスマホ de リレーの国際標準化活動ならびに商用展開に加え、ドローンや自動車等の移動体への技術導入をも視野に入れた今後の展望について述べる。

# 2. 研究開発の経緯と目的

第一著者を中心とする東北大学の研究グループでは、十年以上前から自律分散ネットワー

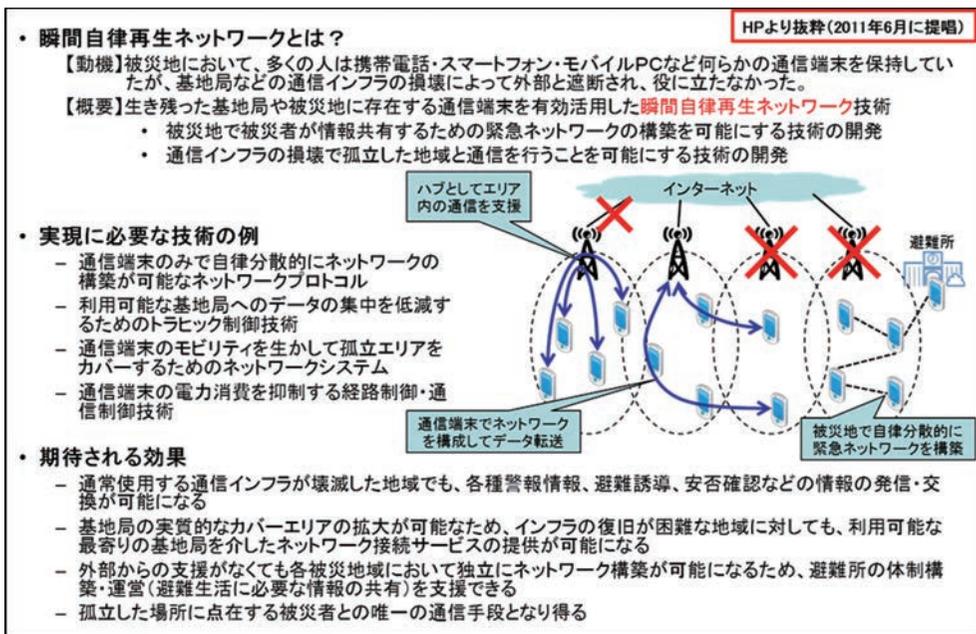
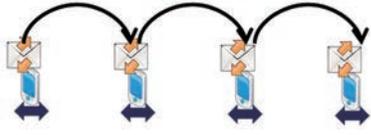


図1 瞬間自律再生ネットワークの概念

表1 MANET と DTN の比較

	MANET	DTN
転送方法	 経路をつくって、そこにメッセージを流す	 バケツリレーのようにメッセージを渡す
利点	メッセージがすぐに到着する	端末の接続(位置)関係が激しく変化する環境でも利用できる
欠点	端末の接続(位置)関係がほぼ一定の環境でないと利用できない	メッセージ到達までに時間がかかる

ク技術に関する基礎研究を実施してきた。そして、2011年6月に図1に示す瞬間自律再生ネットワークの実現を目標に掲げて以降は、協力企業と連携体制を構築し、実用化に向けた技術開発を推進している。この背景には、東日本大震災発生当時、被災地にいた多くの人が携帯電話・スマートフォン・モバイルPCなど何らかのモバイル端末を保持していたにも関わらず、基地局などの通信インフラの損壊によって外部と遮断され、情報伝達などに全く役に立たなかったことが挙げられる。瞬間自律再生ネットワークは、生き残った基地局や被災地に存在する通信端末を有効活用することに主眼を置いたもので、被災地で被災者が情報共有するための応急ネットワーク構築のための技術、通信インフラの損壊で孤立した地域と通信を行うことを可能にする技術などを主な対象としている。そして、その中核に位置づけられるのが、自律分散ネットワーク技術である。

自律分散ネットワークとは、スマートフォンに代表されるモバイル通信端末のみを用いて通信ネットワークを構築することを目指す技術である。自律分散ネットワークの基礎研究の歴史は長く、モバイルアドホックネットワーク(MANET)や遅延許容ネットワーク(DTN)が代表例として広く知られている。表1にMANETとDTNの特徴をまとめる。MANETは、宛先までの経路を構築した上でメール転送を行う方式であり、短時間で確実に送ることができるが、端末の接続関係がほぼ一定で安定した環境でしか利用できない。これに対しDTNは、メールの複製をネットワーク内に拡散させ、端末の移動そのものを利用して宛先までメールを転送する方式である。端末の接続関係が激しく変化する状況でも利用可能であるが、メールが到達するまでに長い時間がかかるほか、複製によってネットワーク上に流通するデータ量が増大してしまう欠点もある。

モバイル通信端末のみによって形成される自律分散ネットワークでは、端末のモビリティ特性や空間密度が通信性能に直接的な影響を与えるため、端末間をつなぐ無線リンク品質が安定しない、ネットワークのトポロジーが安定しない、通信経路が安定しないなどの理由から、安定した通信を実現することが極めて困難である。これは、自律分散ネットワークそのものがネットワークを集中管理する制御機能を有しないという特徴そのものに由来する根本的な課題でもある。

本研究開発では、この課題の克服を目指し、自律分散ネットワークの安定化を実現するための技術の確立を目的としている。着目したのは、表1でも明らかなように、MANETと

DTN の間に存在する相補関係である。つまり、従来研究がネットワークに参加する全ての端末が同じ制御方式で動作することを前提としていたのとは対照に、同一ネットワーク内に異なる制御方式で動作する端末が混在することを許容する手法を採用した点に、独創性と斬新さがある。MANET と DTN の高度融合とも言えるこの技術により、各端末は局所情報に基づく自律分散制御を行いつつも、ネットワーク全体の安定性を強化することに成功した [1-3]。

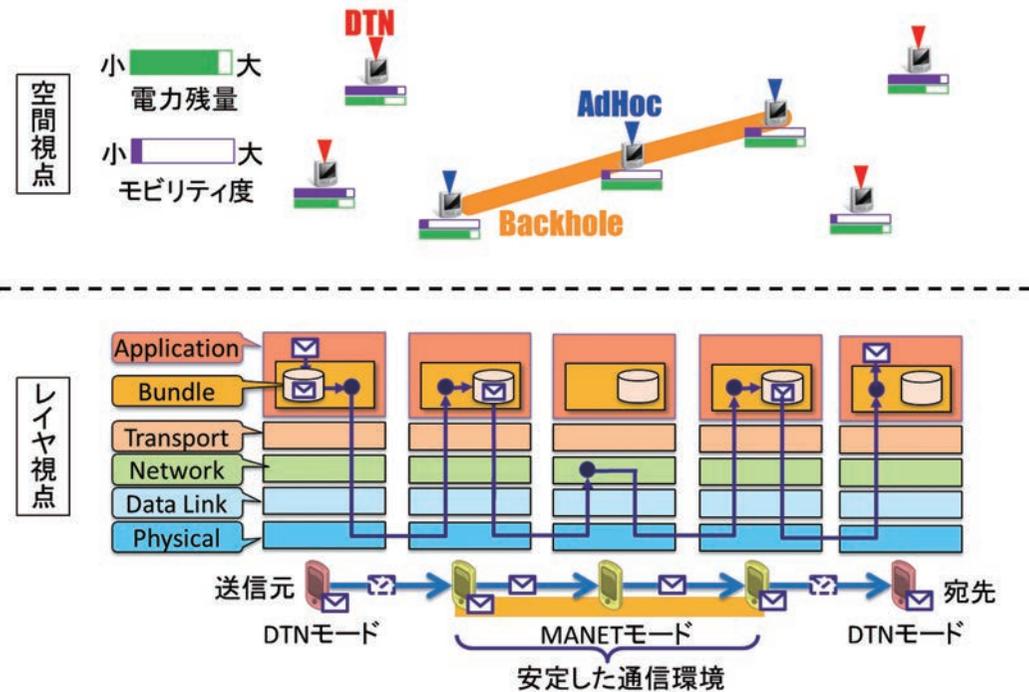


図2 MANET と DTN の混在環境における通信の例

### 3. 提案技術概要

MANET と DTN の混在を可能にする提案技術の概要を図2に示す。各端末は後述するモード選択アルゴリズムに従い、通信環境の変化に合わせて MANET モードまたは DTN モードを選択する。MANET モードを選択した端末は通信経路の構築処理に参加するため、モビリティ度が低く、かつ十分な電力残量を有している必要がある。一方、その条件を満たさない端末は、通信経路構築処理に参加すると経路の不安定化を招く恐れがあるため、DTN モードを選択し、MANET による通信経路構築処理には参加しない。このようなモード選択処理を各端末が実施することにより、図2の上部に示すように MANET モードと DTN モードそれぞれを選択する端末が同一空間内に存在することになる。ここで、図2の下部は混在環境における通信の様子をレイヤ視点で示しているが、図から明らかな通り、MANET モードの端末群によって構築された通信経路が、DTN モードの端末が送信したメールの転送を

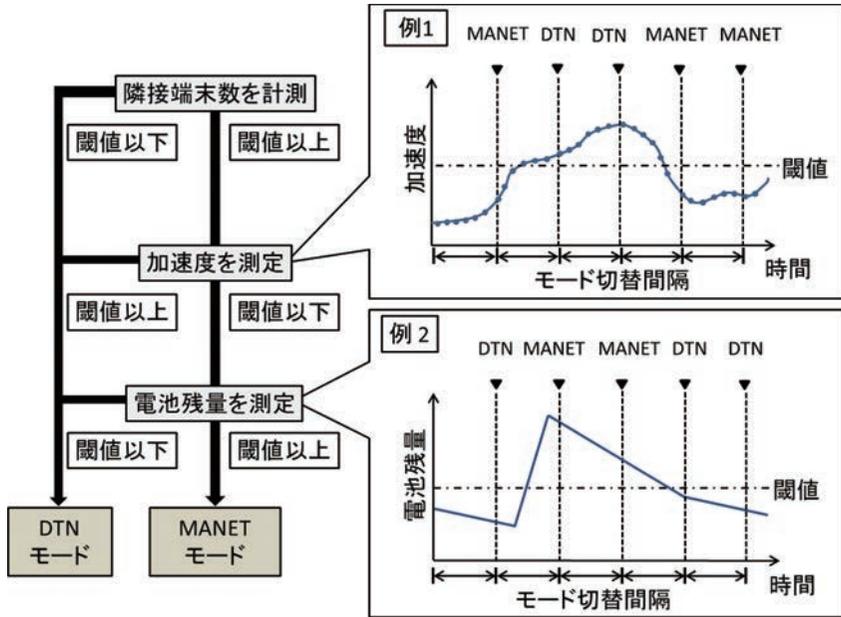


図3 モード選択アルゴリズム

支援するバックホールとして機能する。もちろん MANET モードの端末も自由にメールの送受信が可能である。

次に、モード選択のアルゴリズムについて少し詳しく説明する。MANET モードと DTN モードの混在を許容する提案技術では、各端末が2つのモードをどういった基準で使い分けられるかという問題が存在する。図3にモード選択アルゴリズムを示すが、その特徴は、周囲の端末の有無、端末のモビリティ（移動か静止）、電池残量の3つの主要パラメータに基づく判断基準にある[4-6]。

周辺端末の有無は、無線 LAN 等でも実装されている近隣探索機能によって容易に実現可能である。周辺に存在している端末が極端に少ない場合は、MANET の経路構築によるメール転送の効率化の効果が低く、むしろ経路構築処理のオーバーヘッドの増大が懸念されることから、直ちに DTN モードを選択する。

端末のモビリティの検出には、GPS(Global Positioning System) モジュールを用いる方法と三軸加速度センサを用いる方法が考えられる。GPS モジュールは消費電力が大きく、屋内や地下等では利用できないことなどを考慮し、本研究開発では三軸加速度センサを用いるものとする。なお、三軸加速度センサはスマートフォン等に標準搭載されている。三軸加速度センサから得られる値は瞬間的な変動幅が大きいことから、移動平均などの統計的な処理を施した値を用い、閾値との大小比較による判定を行う。モビリティ度が閾値よりも高い場合は経路構築処理に参加することは不適切であることから、直ちに DTN モードを選択する。

電力残量については、時間的な変化は非常に緩やかであることから、定期的に取得する瞬時値と閾値との直接の大小比較による判定を行う。電力残量が閾値よりも低い場合は経路構築処理に参加することは不適切であることから、DTN モードを選択する。

## 4. 実証実験

提案技術をスマートフォンに実装したプロトタイプ「スマホ de リレー」を開発し、市街地にて実施した実証実験の結果について報告する。また、端末の過密環境下における動作検証の結果についても述べる。

### 4.1 プロトタイプ「スマホ de リレー」の開発

図4に示す通り、プロトタイプは防災用スマートフォンアプリケーションとしての将来展開を視野に開発した[7-10]。ハードウェアを改造することは避け、スマートフォン同士の直接通信には標準搭載されているWiFiを利用する。また、災害時に起こり得る完全な孤立状態にも対応するため、配送遅延に強いメールサービスを想定し、スマートフォンで録音した音声や撮影した画像等のファイルの添付を可能とした。図5は実験用アプリケーションの画面の一例である。周辺端末の有無、モビリティ度、バッテリー残量などの重要パラメータの確認画面が準備されているほか、動作中の通信モード等はアイコンとして常に上部に表示される。

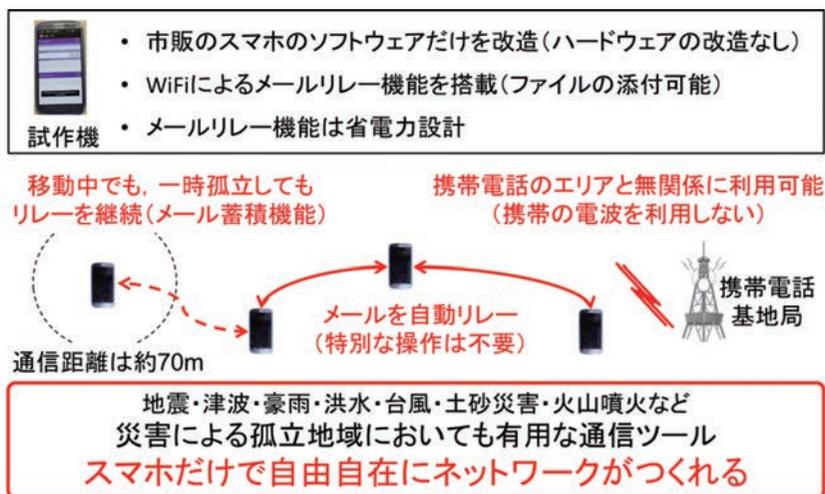


図4 プロトタイプ「スマホ de リレー」の設計コンセプト

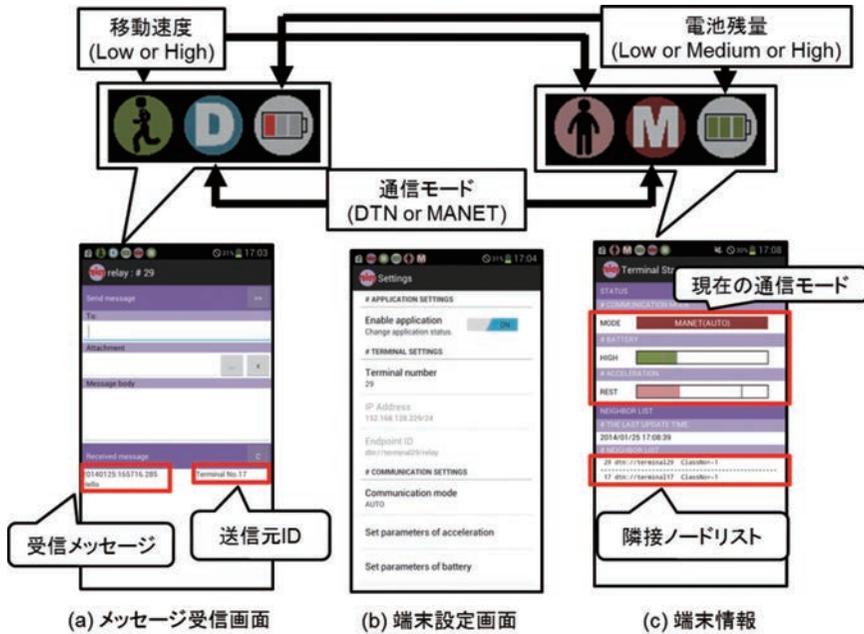


図5 スマホ de リレーが搭載する実験用アプリケーション

#### 4.2 市街地での実証実験

2013年2月に宮城県仙台市において、プロトタイプ27台を用いた大規模実証実験を実施した。大規模災害発生直後を想定し、仙台市広域避難場所に指定されている西公園とJR仙台駅前の間に、プロトタイプを保持したユーザを配置し、被災した人々が自宅や避難所に向かって移動する様子を模擬しながら、安否情報・避難情報を想定したメールの送受信を行った。その結果、図6に示す通り約2.5kmにわたるメールリレーに成功した[11-13]。また、実験の過程において、三軸加速度センサ情報に基づいたモードの自動切替機能のほか、MANETモード選択端末間、DTNモード選択端末間、ならびにMANETモード選択端末とDTNモード選択端末の間のメール転送機能の正常動作を確認した。



図6 市街地での実証実験の様子

#### 4.3 過密環境下における動作検証

MANETに代表される経路構築型の自律分散ネットワークでは、経路構築に参加する端末台数が増加するにつれて制御オーバーヘッドが増加する問題が指摘されている。そこで、開発したプロトタイプについて過密環境下での動作を検証した。障害物が存在しない部屋の机の上にプロトタイプ端末を整列させ、全端末をMANETモードで動作させ、端末台数を5台

から25台までの範囲で変化させた。評価指標には、1つのデータの送受信が完了するまでの所要時間を示す「通信遅延」と、同じデータ送信を10回繰り返した時の成功率を示す「データ到着率」の2つを用いた。データのサイズは10kB、50kB、100kBとした。

実験結果を図7に示す。端末台数が20台以上になると通信性能の低下が確認された。また、性能低下の度合いはデータサイズが大きいほど顕著であり、25台の実験では100kBのデータ送受信は成功しなかった。一方、20台未満の環境下では目立った性能低下は確認されず、本研究開発で想定している環境下では問題なく動作することが確認された。なお、プロトタイプソフトウェア実装の改良により、一部性能のさらなる向上が可能であることも明らかとなった。

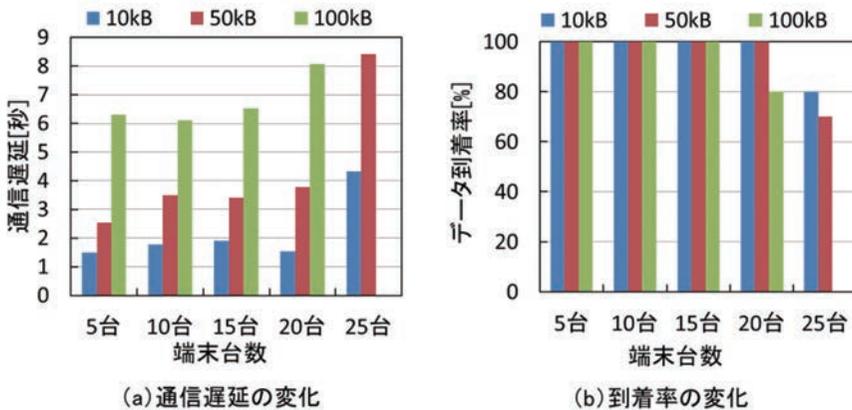


図7 端末密集環境下における動作検証結果

## 5. 他の通信システムとの接続実験

モバイル通信端末のみで構成される自律分散ネットワークは、非常に離れた地点間でのデータ転送には不向きである。しかし、この問題は他の通信システムとの相互接続を可能にすることで容易に解決できる。実際にプロトタイプと他の通信システムとの接続を可能にするゲートウェイ装置を開発し、耐災害通信システムとして研究開発が進められているICTカーならびに小型無人飛行機中継システムのそれぞれとの接続実験を実施した。

### 5.1 ICTカーとの接続

ICTカーは日本電信電話株式会社(以下「NTT」)が東北大学等と共同で研究開発を行っている耐災害通信システムの1つである[14]。ICTカーとの接続実験は2014年1月に実施した。実験の概要を図8に示す。実験は、東北大学青葉山キャンパス(宮城県仙台市)を大規模災害によって通信ネットワーク機能が完全に失われた地域と見立てて行った。避難所を想定した場所にICTカーを配置し、ICTカーのWiFiエリア化機能を用いて一部の限られたエリアにWiFiアクセスネットワークを構築した。その後、WiFiエリア化されていない非常に広い範囲にスマホ de リレーのプロトタイプ7台を往来させ、ICTカーに向けてメールの送信を行った。結果、WiFiエリア化されていない地点を移動中のプロトタイプから送信された



図8 ICTカーとの接続実験の概要

メールが、ほかのプロトタイプならびにWiFiアクセスネットワークを経由し、最終的にICTカーまで到達したことを確認した。さらに、スマホdeリレーをICTカーと連携させることにより、カバーエリアをICTカー単独の場合と比較して約2.7倍に拡大できることを確認した。この実験の成功により、スマホdeリレーは、ほかの通信システムでは対応困難なエリアをカバーする補完システムとしても有効であることが示された[15-16]。

## 5.2 小型無人飛行機中継システムとの接続

小型無人飛行機中継システムは、独立行政法人情報通信研究機構（以下「NICT」）が保有する耐災害通信システムの1つである[17]。小型無人飛行機中継システムとの接続実験は2013年7月に実施した。実験の概要を図9に示す。実験では、東北大学青葉山キャンパスを災害による孤立地域と見立て、地上では孤立集落や避難所周辺での利用を想定してスマホdeリレーのプロトタイプを展開する一方、上空を旋回する小型無人飛行機による中継システムと接続することで、外部地域と見立てた東北大学片平キャンパス（宮城県仙台市、青葉山キャンパスから約3kmの距離）までメールを送信することを試みた。結果、青葉山キャンパスのユーザから送信されたメールが、複数のプロトタイプでリレーされ、さらには小型無人飛行機も経由することにより、最終的に片平キャンパスまで数秒で到達したことが確認された。また、メールに添付するデータのサイズを変化させて同様の実験を繰り返し行った結果、図10に示す通り、500kB以上になると通信遅延が急激に上昇することが確認された。なお、実験では最大で1MBのデータの転送まで成功している[18, 19]。

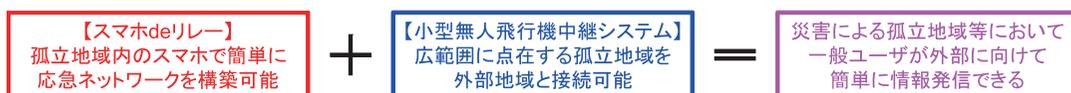


図9 小型無人飛行機中継システムとの接続実験の概要

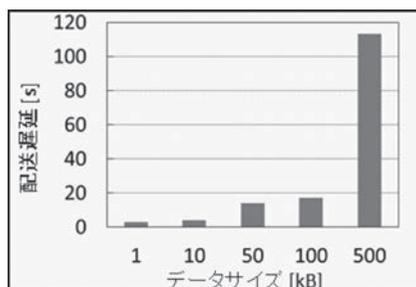


図10 配送遅延の実測結果

### 5.3 国際標準化ならびに商用化に向けた取り組み

モバイル通信端末のみで自由自在にネットワークを構築することを可能にする自律分散ネットワークは、災害対応はもちろん、通信インフラが未整備の発展途上国においてICTサービスを容易に展開することを可能にする技術として注目を集めている。スマホdeリレーのコンセプトは、国連下部組織の国際電気通信連合電気通信標準化部門 (ITU-T) のフォーカスグループに寄与文書として入力しており [20-22]、その最終報告書にも反映されるなど [23, 24]、次世代のネットワークシステムの一つとして一定の支持を得ている。さらに、機動力に優れた小型無人飛行機中継システムとの接続実験の成果は、アジア・太平洋電気通信共同体の無線グループ (AWG) に寄与文書として入力しており [25]、小型無人飛行機を通信インフラとして利用する先進的な取り組みとして世界から非常に熱い注目を集めている。

一方、自律分散ネットワーク技術をスマートフォンに実装したプロトタイプであるスマホdeリレーそのものについては、研究開発フェーズが概ね終了し、商用開発のフェーズに移



図11 スマホ de リレーの実用化ビジョン

行している。図11はスマホ de リレーの実用展開例を示しているが、ネットワークに接続するあらゆるアプリケーションを下支えする通信アプリケーションになる可能性を秘めていることから、今後はアプリケーション開発を先行させつつ、事業化に向けた取り組みを加速する計画である。

## 6. 今後の研究開発の展望

本研究開発で実現を目指している自律分散ネットワークを安定化させる制御技術は、スマートフォン以外の通信デバイスにも搭載が可能である。つまり、人をつなぐネットワークをターゲットにした場合に最適な通信デバイスがスマートフォンであり、それに合わせて開発したプロトタイプがスマホ de リレーである。逆に言えば、対象を人以外にも拡大することで、新たなイノベーションにつながる事が期待される。車、航空機、船舶、ロボットなど、あらゆる移動体が対象として考えられる。以下では、スマホ de リレーを移動体搭載用通信機として使用することによって試験的に実施した課題発見型の研究開発の状況について述べる。

### 6.1 ドローン用通信ネットワーク技術としての利用

ドローンの産業利用は今後数年の間に爆発的に進展すると予測されているが、複数のドローンが同時に同じ空域を飛行する場合に必要なドローン同士の連携協調の実現に必要な不可欠な通信ネットワーク技術については、未だに十分な検討がなされておらず、今後の議論の進展が望まれている。そこで、ドローンへの自律分散ネットワーク技術の適用について検討するため、基礎データ取得を目的とした実験を2014年2月に実施した。図12に実験の概要を示す。定点ホバリングするマルチコプターBと約700mの距離の往來を繰り返すマルチコプターAの2台のドローンを中継器として利用することにより、直接通信が不可能な距離にある地上の2地点(安全地域と孤立地域)の間でメールを送受信することに成功した[26, 27]。

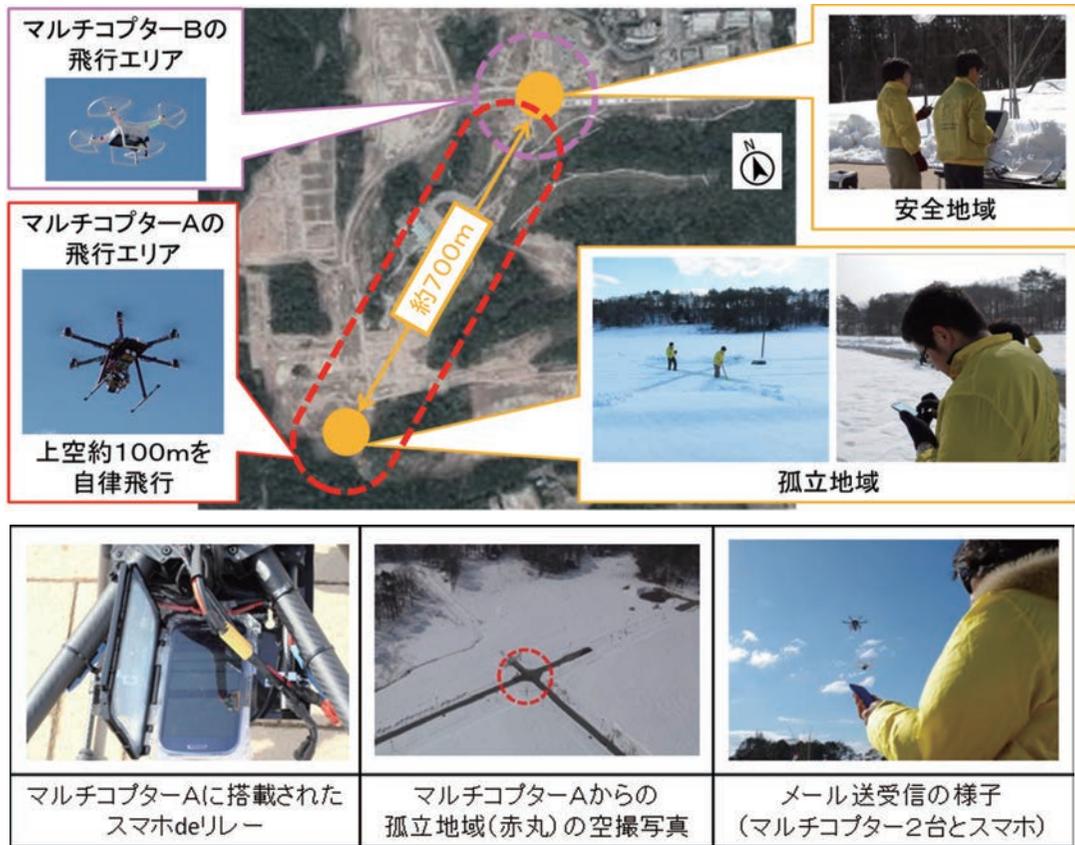


図12 ドローンを用いた実験の概要

## 6.2 歩車間通信ネットワーク技術としての利用

自動車の自動運転技術が脚光を浴びる中、車載レーダーなどでは検知不可能な死角からの飛び出し事故防止等を目的とした技術開発の一つとして、車載通信機と歩行者のスマートフォンを連携させる方法が検討されている。これを実現する手段として、自律分散ネットワーク技術を活用することを検討するために、基礎データ取得を目的とした実験を2014年12月に実施した。図13に実施した歩車間・車車間通信実験の概要を示す。歩行者と自動車の

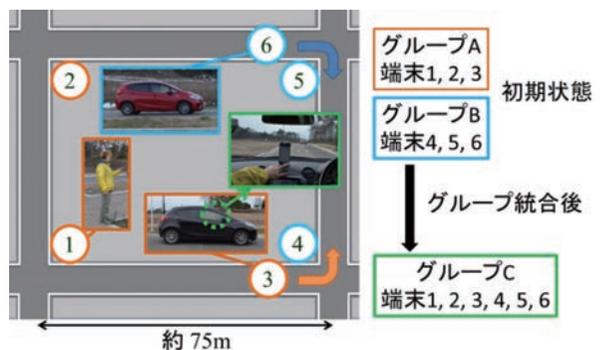


図13 歩車間通信の実験概要

移動に合わせて当初は独立していた2つのネットワークグループが統合され、各グループが保持していたデータが全体で共有されることが確認された。なお、この実験ではMANETの代わりにWiFi Directを採用した第2世代スマホ de リレーのプロトタイプを使用してお

り[28], 歩車間通信においてその有効性を確認できたことは, 今後の研究開発の展開を考える上で非常に意義が大きい。

## 7 結 論

本論文では, 自律分散ネットワークの安定化を可能にする制御技術について述べた。また, その制御技術をスマートフォンに実装したプロトタイプ「スマホ de リレー」を用いた実験結果等について報告し, 国際標準化や商用展開に向けた展望を述べた。一方, スマホ de リレーとして試作した DTN と MANET の組合せは, 図14に示す通り, 第一著者が実現を目指す自律分散ネットワークを具現化する方法の一例にしか過ぎない。今後, 対象を人以外のロボット, つまりドローンや自動車等の移動体へと拡張させ, 「いつでも, どこでも, 誰とでも, 簡単に自由につくれるネットワーク」をスローガンに, ネットワークが“つながる”時代からネットワークを“つくる”時代へと情報通信の歴史を塗り替えるイノベーションの実現に向け, 引き続き挑戦していく。

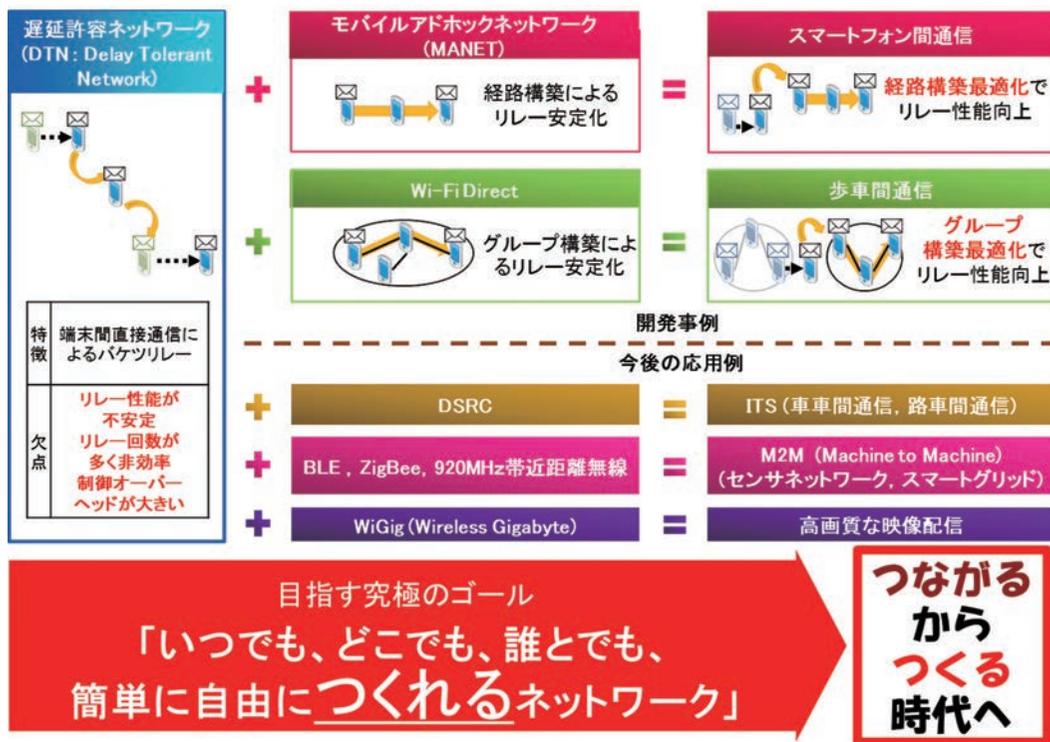


図14 研究開発全体の将来ビジョン

## 謝 辞

スマホ de リレーのプロトタイプを用いた市街地での実験ならびに小型無人飛行機中継システムとの接続実験は, 総務省受託研究事業の一環として実施した。ICT カーとの接続実

験は、NTT 未来ねっと研究所の協力の下で実施した。小型無人飛行機中継システムとの接続実験は、NICT 耐災害 ICT 研究センターの協力の下で実施した。

## 参考文献

- [1] Masaya Ito, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, "A Novel Routing Method for Improving Message Delivery Delay in Hybrid DTN-MANET Networks," IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) 2013, Dec. 2013, pp. 72-77.
- [2] Masaya Ito, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, "An Experimental Study on Routing Overhead of DTN/MANET Dual-Mode Smartphones," Proc. of 2013 Tohoku-Section Joint Convention of Institutes of Electrical and Information Engineers, vol. 2013, Aug. 2013.
- [3] 伊藤昌也, 西山大樹, 加藤寧, "DTN と MANET の性能比較のためのフィールド実験報告," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol. 2013年\_通信, no. 2, p. 116, 2013年3月。
- [4] Masaya Ito, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, "A Novel Communication Mode Selection Technology for DTN over MANET Architecture", IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) 2014, Feb. 2014, pp. 551-555.
- [5] Yuichi Kawamoto, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, "Toward Terminal-to-Terminal Communication Networks: A Hybrid MANET and DTN Approach (Invited Paper)," IEEE 18th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Sep. 2013, pp. 228-232.
- [6] 西村貴美, 熊谷謙, 西山大樹, 加藤寧, "動的無線ネットワークのためのルーティング選択アルゴリズム," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, vol. 2013年\_通信, no. 2, p. 140, 2013年3月。
- [7] Hiroki Nishiyama, Masaya Ito, and Nei Kato, "Relay-by-Smartphone: Realizing Multihop Device-to-Device Communications," IEEE Communications, vol. 52, no. 4, pp. 56-65, Apr. 2014.
- [8] 西山大樹, 高石大介, 加藤寧, "自律分散型通信システムとしての「スマホ de リレー」," 電子情報通信学会総合大会 (依頼講演), vol. 2014年\_情報・システム, no. 1, p. S-31, 2014年3月。
- [9] 西山大樹, 加藤寧, "[招待講演] スマホ de リレー: 自律分散型ネットワーク構築の新技术," 電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会, vol. 113, no. 400, pp. 85-90, 2014年1月。
- [10] 西山大樹, 加藤寧, "被災地のモバイル端末を利用した瞬間自律再生ネットワーク," 電子情報通信学会総合大会 (大会委員会企画), vol. 2013年\_エレクトロニクス, no. 2, pp. SSS-28~29, 2013年3月。
- [11] 東北大学プレスリリース (2013年2月14日付), 「携帯電話が圏外でもメッセージ送信が可能に(災害時でも有効な通信手段として期待)」, [online] [www.tohoku.ac.jp/japanese/2013/02/press20130214-01.html](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2013/02/press20130214-01.html), 2015年3月31日参照。
- [12] 東北大学プレスリリース (2013年2月21日付), 「スマートフォンのWiFiだけで市街地2.5kmのメッセージリレーに成功(実用化に大きく前進)」, [online] [www.tohoku.ac.jp/](http://www.tohoku.ac.jp/)

- japanese/2013/02/press20130221-06.html, 2015年3月31日参照。
- [13] 「“スマホ de リレー” 圏外でもメール送信可能で災害時に期待」, [online] [youtu.be/4\\_d7lJdZyT0](https://youtu.be/4_d7lJdZyT0), 2015年3月31日参照。
  - [14] NTT 持株会社ニュースリリース (2013年1月28日付), 「大規模災害時、通信の即時回復を可能とする「ICT カー」の開発について」, [online] [www.ntt.co.jp/news2014/1401/140128a.html](http://www.ntt.co.jp/news2014/1401/140128a.html), 2015年3月31日参照。
  - [15] 東北大学プレスリリース (2014年1月30日付), 「大規模災害時、避難所から離れたエリアでも通信が可能に(「スマホ de リレー」を「ICT カー」と接続することに成功)～平常時における公衆無線 LAN との接続も視野～」, [online] [www.tohoku.ac.jp/japanese/2014/01/press20140130-02.html](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2014/01/press20140130-02.html), 2015年3月31日参照。
  - [16] 西山大樹, 加藤寧, “災害時にも使える! Wi-Fi ネットワーク研究の最前線～スマホ de リレーと ICT カーが見せる新たな Wi-Fi 利用～,” J-LIS, 地方公共団体情報システム機構, vol. 1, no. 4, pp. 31-35, 2014年7月。
  - [17] NICT プレスリリース (2013年7月17日付), 「災害時に備えた、長距離“無線通信”の性能を実証」, [online] [www.nict.go.jp/press/2013/07/17-1.html](http://www.nict.go.jp/press/2013/07/17-1.html), 2015年3月31日参照。
  - [18] 東北大学プレスリリース (2013年8月27日付), 「災害による孤立地域からの情報発信を容易にする通信技術を実証(「スマホ de リレー」と小型無人飛行機中継システムの接続実験に成功)」, [online] [www.tohoku.ac.jp/japanese/2013/08/press20130827-01.html](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2013/08/press20130827-01.html), 2015年3月31日参照。
  - [19] 「スマホ de リレーと小型無人航空機の接続実験」, [online] [youtu.be/2VJbWL\\_rEsI](https://youtu.be/2VJbWL_rEsI), 2015年3月31日参照。
  - [20] Nei Kato and Hiroki Nishiyama, “Message Transmission without Cellular Coverage,” The 5th Meeting of ITU-T FG-DR&NRR, DR&NRR-I-105, May 2013.
  - [21] Hiroki Nishiyama and Nei Kato, “Message Relay by Mobile Terminals without Cellular Infrastructure,” The 6th Meeting of ITU-T FG-DR&NRR, DR&NRR-I-121, Aug. 2013.
  - [22] Hiroki Nishiyama and Nei Kato, “Updated Framework on DTN for DRNRR,” The 6th Meeting of ITU-T FG-DR&NRR, DR&NRR-I-122, Aug. 2013.
  - [23] “Promising technologies and use cases - Part I, II and III,” FG-DR&NRR Technical Reports, pp. 9-10, May 2014.
  - [24] “Promising technologies and use cases - Part IV and V,” FG-DR&NRR Technical Reports, pp.99-103, May 2014.
  - [25] “Propose Modification to Working Document Towards Preliminary Draft New Report of The Possible Radio Services and Applications Onboard Aircraft and Vessels,” The 16th Meeting of APT Wireless Group (AWG-16), AWG16/INP-54, Mar. 2014.
  - [26] 東北大学プレスリリース (2014年3月7日付), 「大規模災害発生直後からの迅速かつ広範な情報収集が可能 無人航空機による応急通信網構築の実現性を実証」, [online] [www.tohoku.ac.jp/japanese/2014/03/press20140307-01.html](http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2014/03/press20140307-01.html), 2015年3月31日参照。
  - [27] 「地上から小型無人航空機に向けた WiFi によるメール送信」, [online] [youtu.be/EAZy3g\\_wqLc](https://youtu.be/EAZy3g_wqLc), 2015年3月31日参照。
  - [28] Shoki Oiyama, Hiroki Nishiyama, and Nei Kato, “A Partially Centralized Message Control Scheme Using Star Topology in Delay and Disruption Tolerant Networks,” 2014 International

## 特 許

- 国内出願済み 2件
- 国際出願準備中 1件

## 主たる報道記録

- “圏外でも…震災教訓に進化する携帯電話”，仙台放送スーパーニュース，2014年3月3日。
- “通信車、複数スマホ接続 東北大、災害時の通信に”，日経産業新聞(11面)，2014年2月6日。
- “災害に強いスマホ構築 WiFiのみで伝言”，電気新聞(8面)，2014年1月21日。
- “孤立地域からの情報発信を容易にする通信技術を実証”，螢雪時代(旺文社)，2014年1月号，157頁，2013年12月14日。
- “圏外でもメール可能 東北大で開発進む スマホ間を転送 ”，茨城新聞(朝刊8面)，2013年9月12日。
- “通信圏外でもメール可能に 災害時備え東北大研究 スマホ機能活用 端末リレーで転送”，山陽新聞(朝刊9面)，2013年9月6日。
- “「圏外」でもメール可能 東北大開発進める 災害に備え海外も注目”，中国新聞(夕刊4面)，2013年9月6日。
- “東北大「圏外」でもメール可能 災害備え研究、海外注目”，宮崎日日新聞(朝刊8面)，2013年9月6日。
- “東北大「圏外」でメール送受信 防災用研究に途上国注目”，東京新聞(夕刊8面)，2013年9月5日。
- “数珠つながりの通信ネットワーク 東北大、NICT スマホ・衛星・無人機でつくる接続に成功”，電波タイムズ(1面)，2013年9月4日。
- “無人飛行機と複数スマホ通信 東北大など実験成功”，日経産業新聞(11面)，2013年8月29日。
- “スマホの無線 メールリレー”，読売新聞(38面)，2013年2月22日。
- “災害時圏外でも通信可”，河北新報(15面)，2013年2月19日。