

東日本大震災におけるNTTドコモの研究開発技術による復旧対応について

NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル編集事務局

1. まえがき

2011年3月11日、三陸沖を震源とする国内観測史上最大のM9.0におよぶ地震が発生しました。この地震と津波により、ドコモの基地局においては、地震・津波による直接被害、光ファイバなどの伝送路断、長時間停電によるバッテリーの枯渇などの影響のため、3月12日の時点で東北管内の4,900局がサービス中断を余儀なくされました。この結果、岩手、宮城、福島を中心に、広いエリアで携帯電話が使えない状況となりました。

ドコモグループの災害復旧体制は、全国から約4,000人、衛星移動基地局車10台、移動基地局車21台、移動電源車30台の陣容で復旧に当たり、4月26日の時点にはほぼ震災前のエリア同様にまで回復（図1）を果たすことができました。

今回の震災では、被害が未曾有の規模だったた

め、復旧にあたっては、従来の工程では回復不能な状況も多数発生しました。そこで、サービスエリアの回復のために、研究開発・技術検討に携わる各関連部門（以下、R&D関連部門）においても数多くの技術検討・検証・運用にあたっての後方支援が行われました。

本稿では、ドコモのR&D関連部門がこの大震災において、どのように復旧の検討を行い対策に活かしてきたか、また今後の災害対策への取組みについてどのように臨んでいくのか、その概要を報告します。

2. 今震災における復旧対策

今回の震災により東北管内で4,900局におよんだサービス中断の主な復旧方法としては、①光・応急光による設備復旧、②大ゾーン化による設備復旧、③マイクロ伝送路および衛星回線による設備

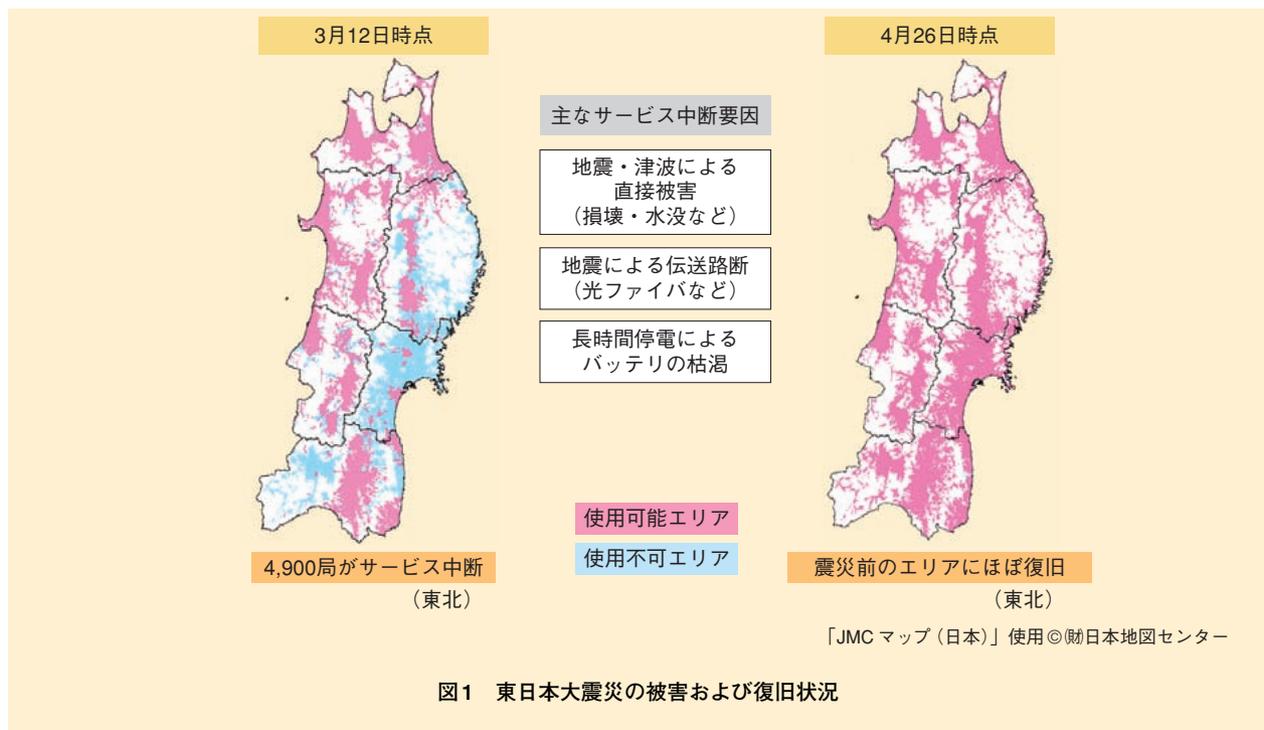


図1 東日本大震災の被害および復旧状況

復旧の3つとなります。

被災ダメージが比較的軽いエリアでは、応急光回線の敷設や既設光回線との接続、被災した光集約局に代わり臨時光集約局をドコモで設置するなど、光・応急光による設備復旧を実施しました(図2)。また被災ダメージが大きいエリアでは、その状況に応じて、1基地局で複数基地局分のエリアをカバーできる大ゾーン方式(図3)と、非常用のマイクロエントランス設備の配備(図4)、あるいは即時性・機動性に優れた衛星エントランス回線を有効活用する方式(図5)で設備復旧を実施しました。

2.1 R&D 関連部門のエリア復旧支援活動

(1) 福島第一原発エリア

福島第一原子力発電所周辺は、原発事故の早急な対応のためにもエリア復旧が必要となっていま

した。しかし放射能汚染に伴う半径20km圏内立入り制限によりエリア内への立入り工事が困難であったため、通常とは異なる対策が必要でした。

当初、原発から40kmの基地局から、あるいはJビレッジにある移動基地局(20km)から高利得アンテナで対応することが検討されましたが、シミュレーションの結果、難しいということが判明しました。検討の結果、鉄塔の上から第一原発が視認できる基地局(原発から25km)で対策を行うこととなりました(図6)。

この対策実施に際し、研究開発センターの無線アクセス開発部と先進技術研究所では、使用するアンテナの選定と作業方法の検討を実施しました。考えられる6種のアンテナでの効果を計算した結果、候補として高性能アンテナ(45度ビーム基地局アンテナ)、パラボラアンテナ、八木アンテナのひとつの計3種が有力となりました(図7)。原発を

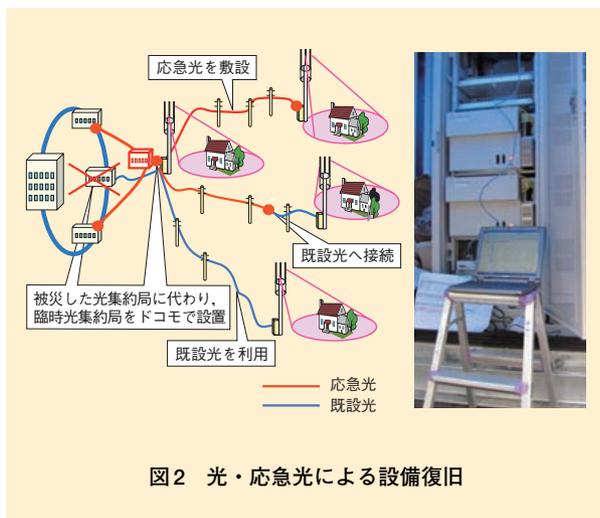


図2 光・応急光による設備復旧

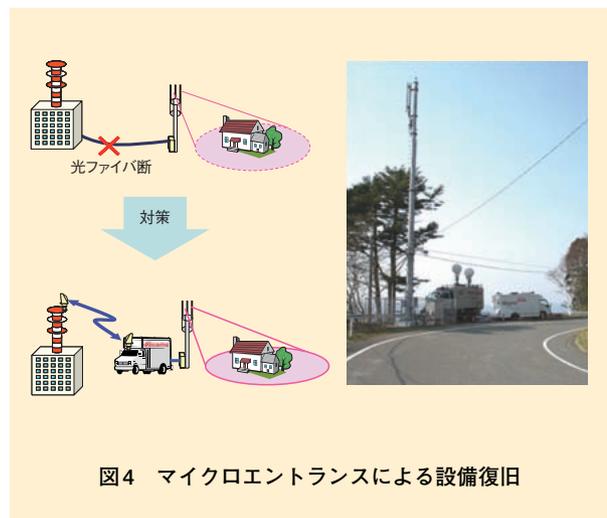


図4 マイクロエントランスによる設備復旧

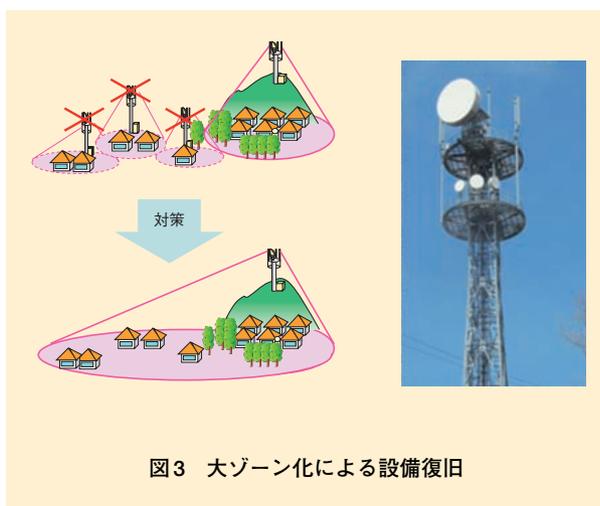


図3 大ゾーン化による設備復旧

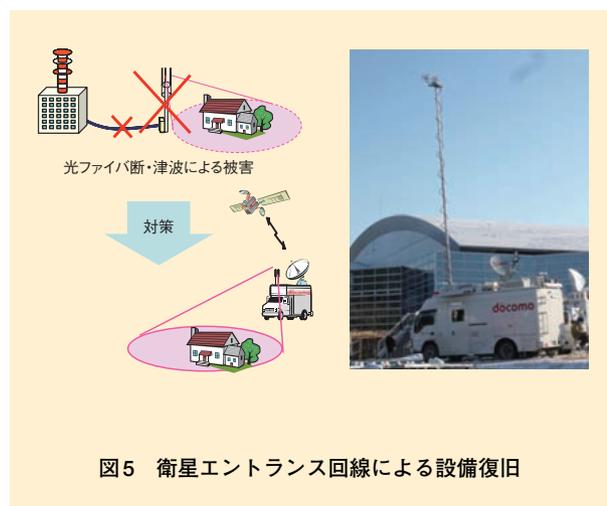


図5 衛星エントランス回線による設備復旧

ねらうのに、あまり高利得のものを選ぶと国道6号線のエリア復旧がおろそかになること、また現地の作業は可能な限り短時間で安全に行うことも要求されることから、中でも軽量で取付けが容易な高性能アンテナ（45度ビーム基地局アンテナ）を選定しました。また取付け工事方法としては滑車を用いた引上げとしました。

4月13日に実施した作業は、午前10時ごろの余震で一時中断されましたが、午後には無事開局にこぎつけました（写真1）。これと並行して実施した移動基地局車によるエリア復旧と、エリア内立入り工事による伝送路切替えて復旧した局とあわせて、原発20km圏内のエリア復旧を達成しました（図8）。

(2)新規衛星回線のエントランス回線適用

伝送路断により携帯電話が使えなくなった箇所のうち、早期の伝送路復旧が難しい箇所を救済するため、新規衛星回線を急ぎょエントランスに利用する対策が行われました。早期に基地局を開設するため、R&D関連部門では、技術検討・検証・運用にあたっての後方支援を実施しました。研究開発センターではR&Dセンタ屋上に衛星子局を設置し、技術検証および各種機器設定データ、スループットの

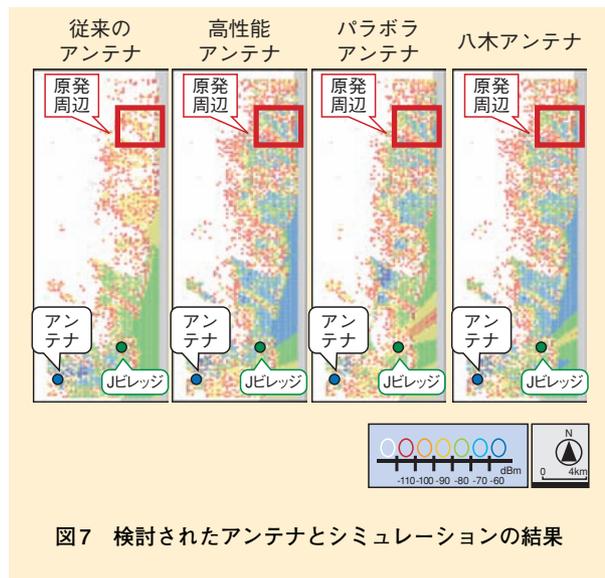


図7 検討されたアンテナとシミュレーションの結果



写真1 アンテナ設置作業状況



図6 アンテナ設置位置の検討

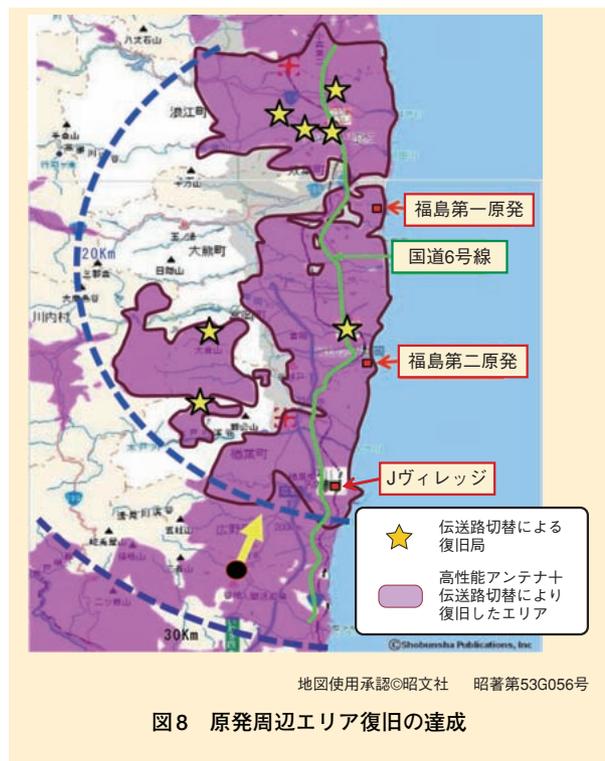


図8 原発周辺エリア復旧の達成

確認を行いました(図9)。導入までのスピードとコストを勘案してサービス構成を検討, 導入課題を整理し, 方針決定から2週間という短期間で迅速なサービスを開始しました。

衛星回線をエントランス回線に適用した場合の構成を図10に示します。伝送路はIP伝送路を使用しました。また, 設置が容易でIP伝送路に対応し, デジタルディバイド解消を目的として開発していた



図9 衛星エントランス検証状況

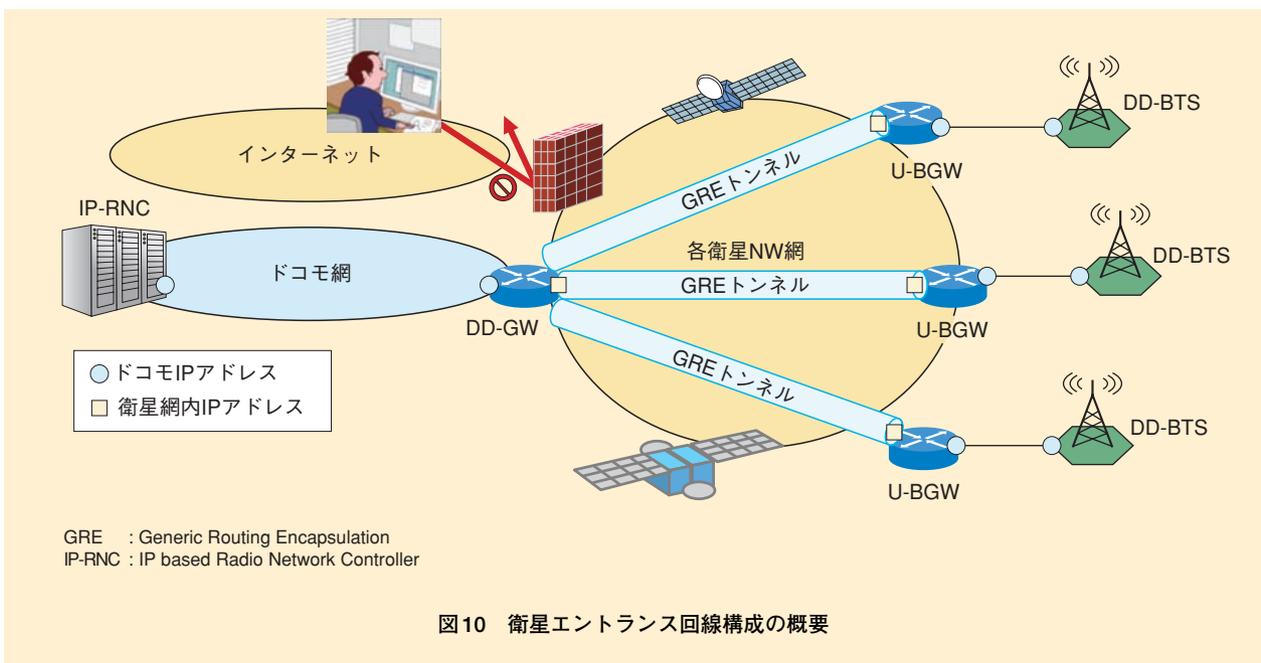


図10 衛星エントランス回線構成の概要

DD-BTS (Digital Divide Base Transceiver Station) を使用しました。島嶼部のエリア化で得たATM衛星回線を用いたエリア化のノウハウと実機検証から、伝送路の遅延やゆらぎに対するパラメータを決定し、初のIP衛星回線でのエリア復旧を実現しました。

サービス構成では、ネットワークのセキュリティを確保するべく新規のネットワーク構成を設計構築しました。また狭帯域伝送路でのサービス品質を確保すべく、上りQoS用U-BGW (User Border GateWay router) と下りQoS用特殊DD-GW (Digital Divide bridging GateWay router) を設置しました。また商用導入後、現地より音途切れの申告を受けた際には、解析により原因が許容可能な値を超える遅延揺らぎであると特定し、遅延揺らぎ対策を行った結果、遅延揺らぎの最大値は許容範囲内になり、音切れを解消させることに成功しました。

(3)復旧エリアマップ

東日本大震災の発生を受け、ドコモは3月20日に「復旧エリアマップ」を公開しました。ユーザーにとって重要な「どこで携帯電話が使えるのか」という情報を、パソコンや携帯電話、スマートフォンなどから地図の形で確認できるサービスです(図11)。

携帯電話が使える場所と使えない場所を地図上で明確にするため、エリアを示す色を変更し、使える場所は目立つピンクにしました。カタログなどでは色分けしているFOMAとFOMAプラスのエリアはまとめて同じ色とし、使えるか、使えないかを一瞬で判断できるよう視認性の向上に配慮しました。

特に今回は、地図上で「使用可能」としておきながら、実際には使えないというケースが起こってはいけないため、移動基地局車を設置したところでは避難所のすみずみまで使えるかどうか、周辺でエリアになっているところも含めて点検し、問題ないことを確認してから情報を反映しています。

本サービスは、震災発生より1週間後の3月18日に開催されたドコモ災害対策本部会議でサービス実行が決定し、実質2日ほどで開発されました。社内システムとして、実測値やシミュレーションのデータを保有しており、それらをエリア情報のインフラとして社内で情報共有できるようにして



図11 復旧エリアマップの一例

います。全国の支社からそうしたデータが更新されることにより、普段から比較的正確なデータが揃っていたこともあり、早期に「復旧エリアマップ」が提供できたのだといえるでしょう。

2.2 検討された復旧支援策

(1)モバイルWi-Fi[®]*1 ルータを用いたワイドスターIIとスマートフォンの接続

衛星とダイレクトに通信するため、耐災害性が高いワイドスターII回線を活用したソリューションを検討しました。スマートフォンやタブレット端末とワイドスターII回線をWi-Fiルータで繋ぐことで、基地局の損壊などによりFOMAの電波が届かない避難所でも、インターネット接続をご利用いただける通信手段として有効と言えます(図12)。

ワイドスターIIは、赤道上の2基の衛星で中継することで日本全土をカバーしており、災害や天候の影響を受けにくい安定したサービス品質を特長としています。

災害時の情報入手ルートの一つとして、限られた通信路を効率的に活用できることが見込まれます。

*1 Wi-Fi[®]: Wi-Fi Allianceの登録商標。

(2) 衛星回線を利用した映像伝送ソリューション

耐災害性が高いワイドスターII回線を利用し、協業ベンダの映像伝送装置を用いて、FOMAネットワークに障害が発生しているエリアにおいても、映像（動画）による状況把握（上り衛星回線時はH.264:50kbps程度の映像伝送）を可能とする映像伝送ソリューションを検討しました（図13）。

震災時の現場と拠点間でのリアルタイム映像中継を可能とし、相手先とライブ映像を交えて通話できるほか、複数拠点と同時接続し、映像を介在させた情報共有に活用することが見込まれます。



図12 モバイルWi-Fiルータを用いたワイドスターIIとスマートフォンの接続構成

(3) 衛星回線SIP通話サービス

災害時・非常時の通信確保に有効なワイドスターII回線と、携行性に優れた無線LAN対応FOMAを組み合わせることで、FOMA端末1台で①無線LAN環境下でのIP内線通話、②FOMA回線通話、③衛星回線通話、④衛星データ通信の4つの通信形態が実現できるソリューションを検討しました（図14）。

避難所や災害現場等での内線連絡を可能にするとともに、衛星回線を使った公衆回線との連絡も可能とするため、緊急時の連絡網の確保が容易にできることが見込まれます。

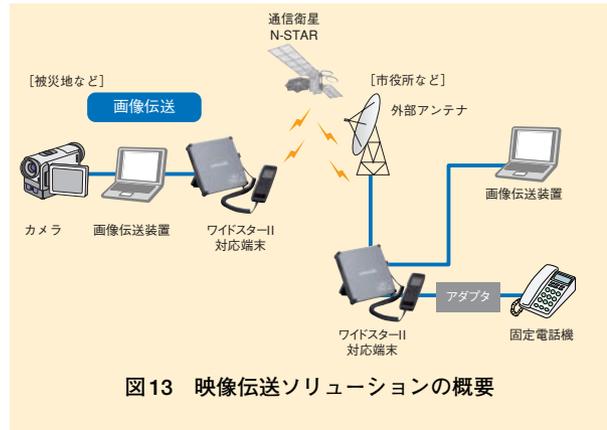


図13 映像伝送ソリューションの概要

(4) 一斉同報通信サービス

FOMAやワイドスターII回線から、音声通話やメール、FAXなど、その時々に応じて最適な手段を選んで、拠点側とのスピーディなコミュニケーションを可能にしてくれるサービスを検討しました。

震災現場で必要とされるコミュニケーション手段（音声、メール、FAX、電話会議）を柔軟に提供できるため、震災発生後の初期段階から復興段階まで広範囲での活用が見込まれます。音声同報は通常の電話と同じ全二重通話でスムーズに行え、メールやFAXは、電話を掛ける感覚で簡単に一斉同報を行えます。また、親局から同報グループに所属している子局（最大200名）を一斉に呼び出し、応答したメンバー間での電話会議も可能です。



図14 衛星回線SIP通話サービスの概要

3. 新たな災害対策

ドコモでは今回の大震災から学んだ教訓を活かし、損壊した複数の基地局分の広いサービスエリア

をカバーできるようにするため、半径約7km、360°の範囲に電波を送ることができる大ゾーン方式の基地局（図15）を、日本全国で合計約100カ所設置していきます。また、各都道府県庁や市

町村役場などの重要エリアにおける通信を確保するため、基地局の自家発電エンジンによる無停電化、もしくはバッテリーの24時間化を推進していきます（図16）。

一方、R&D関連部門としては、今後の災害に対して事前に備えることを想定した、新たな災害対策を進めています。ここでは、早期の市場投入を目指す短期的な対策、将来を見据えてより高度な技術を開発する長期的な対策の2点に整理して解説します。

3.1 短期的な対策

(1)音声ファイル型メッセージサービス

本サービスは、災害発生により回線交換ネットワークが輻輳規制状態になった時に、比較的つながりやすいパケット交換ネットワークを利用した片方向・非同期の音声通信サービスです。大規模災害などの緊急事態の発生期間のみ運用する予定です（図17）。

本サービスでは、音声メッセージは、発信側の端末内で録音され、音声ファイルとなります。この音声ファイルは、ネットワーク上のセンタを介して発信者から着信者に届けられ、着信側の端末で再生されます。よって、着信者側が輻輳規制状態や圏外、電池切れなどの一時的な不通状態であっても、発信者の都合のよいタイミングで音声メッセージの送信が可能です。

また発信者は、音声メッセージの発信先を電話番号にて指定することができ、さらに端末内の音声ガイドンスに沿って、音声メッセージの録音やセンタへの自

動送信ができます。日ごろ音声電話の利用が中心のユーザーにとっても、利用しやすくなるようユーザインタフェースを工夫しています。



図15 大ゾーン方式の基地局設置

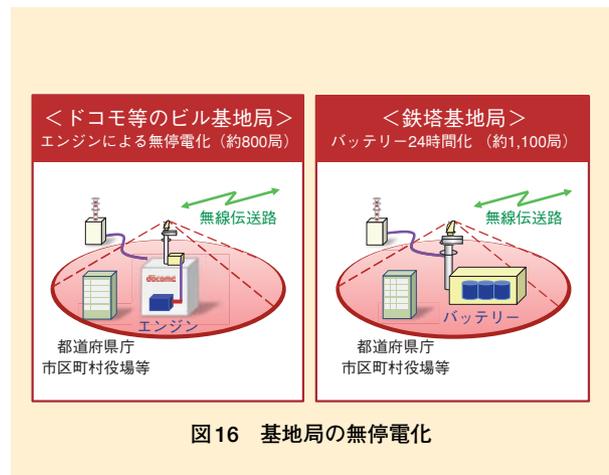


図16 基地局の無停電化

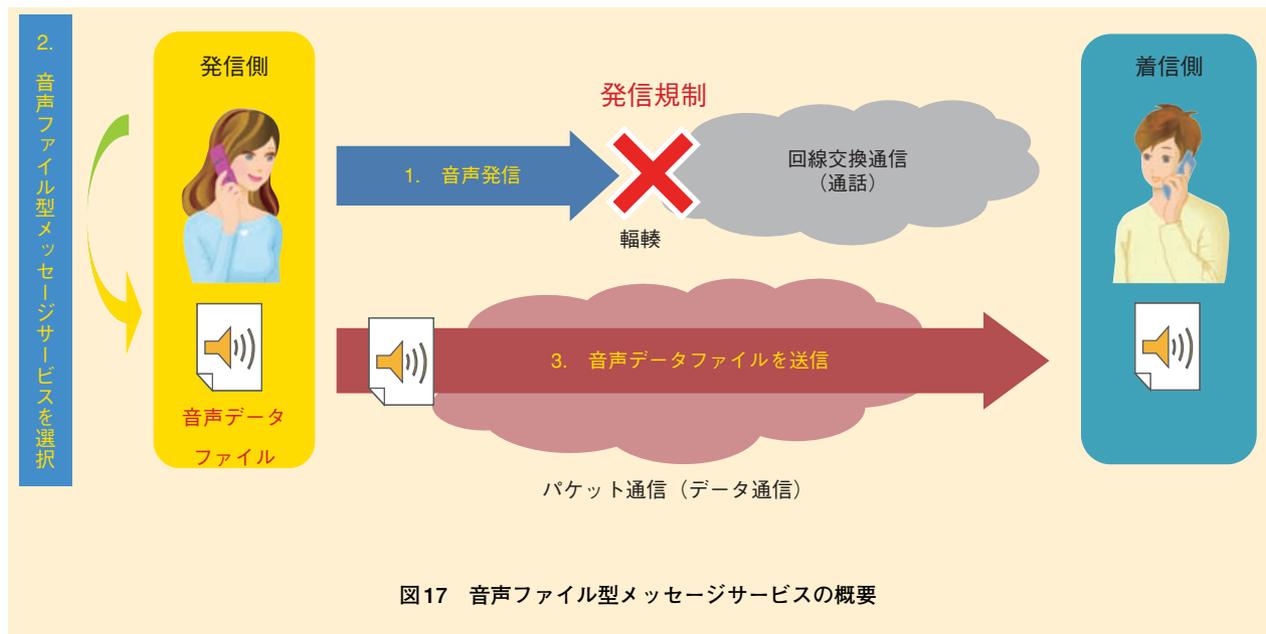


図17 音声ファイル型メッセージサービスの概要

発信側のサービスを利用するためのスマートフォン向けアプリケーションを2011年度内に配布し、サービスを提供開始する予定です。

(2)災害情報配信基盤の構築

各種SNS上でのユーザ投稿内容から、ユーザが今、注目している災害関連のweb記事や投稿文、投稿写真を抽出し、それらを分かりやすくまとめて提供する災害情報配信基盤の構築を検討します(図18)。

本基盤では、SNS投稿内容を災害関連ワード等でフィルタリングし、投稿件数や伝搬等を測定することで利用者が関心の高い記事やユーザ投稿を選定します。また、投稿内容の信憑性を推定し、信憑性の高いユーザ投稿のみを掲載することも検討しています。

3.2 長期的な対策

(1)次世代グリーン基地局

短期対策でも行った災害時の基地局電力確保は重要であるため、長期的にも検討を行います。さまざまな場所に設置される基地局は、許される重量体積が限られるため、どこでも既存の鉛蓄電池の増設や自家発電エンジンの設置ができるわけではありません。そこでより小型のリチウムイオン電池を用い、太陽光、風力、燃料電池、夜間電力

など多様化した電力源から集めた電力を蓄えて使うことで、停電時も電力を確保できる災害に強い基地局の研究開発を進めます。環境に優しい発電機器を用いるエコ発電を活用し、商用電力も直流変換し、電池の入出力と統一的に扱うグリーン電力制御技術を用い、発電量変動と負荷変動に柔軟に対応できる基地局の構築を目指します(図19)。このエコ発電とピーク電力の削減により、環境に優しい基地局も実現していきます。

2011年度中に開発・システム評価を行い、2012年度には一部商用局への導入を行う予定です。さらに、スマートグリッドでグリーン基地局の再生可能エネルギー利用を最大化し、例えば東京が晴れ、北陸が雨の場合、もし東京の余剰電力があれば北陸地方に送る、といったこともできないか検討を進めます。

(2)ネットワーク仮想化

大規模な災害が発生すると、被災した設備が利用できなくなるだけでなく、緊急通信、避難誘導の連絡、安否確認など、平常時とは異なる通信が多く発生し、ネットワークに輻輳が起こります。災害直後にはこのような通信の品質を最大限に維持することが課題となります。ネットワーク仮想化技術は、ネットワーク資源を臨機応変に多様な通信に割り当てることを可能にする技術です。例

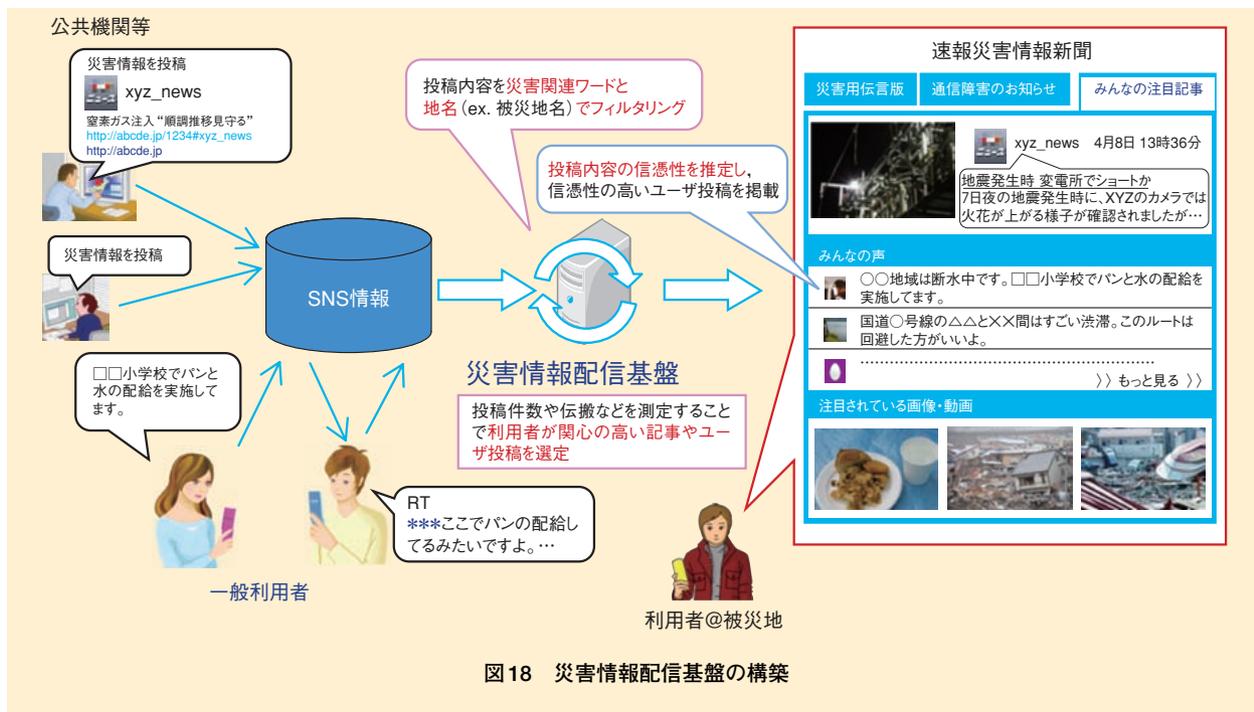


図18 災害情報配信基盤の構築

例えば、災害時には、安否確認に必要な基本通信に資源を優先的に割り付け、その通信を最大限維持することを可能にします（図20）。

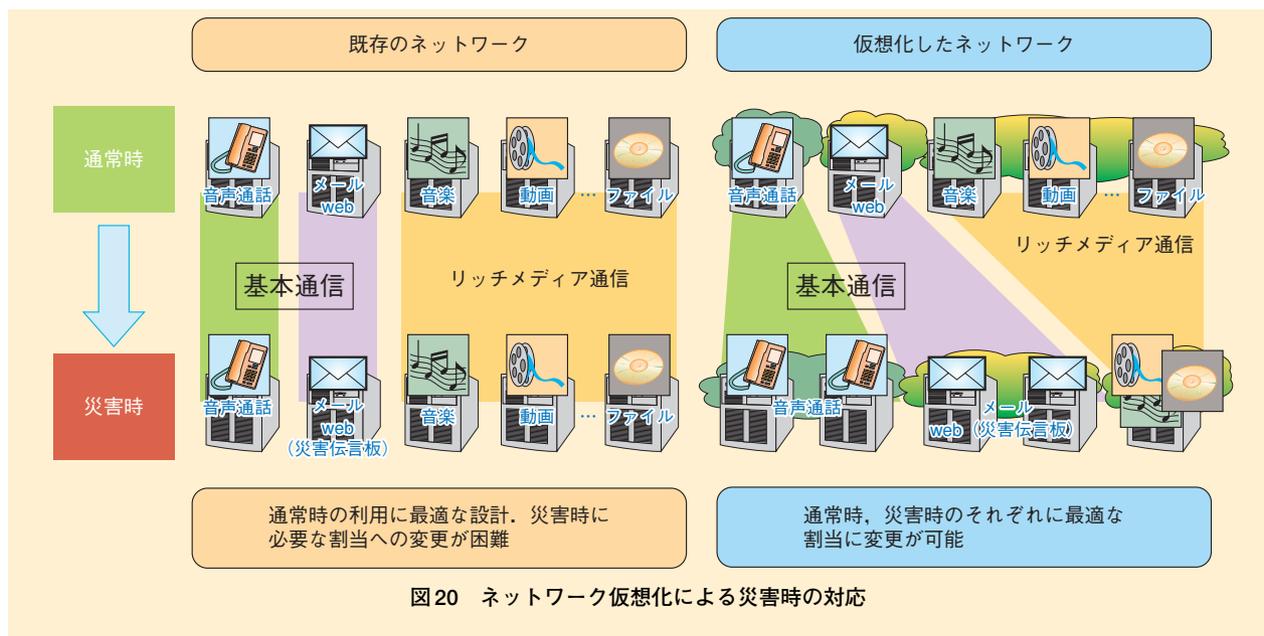
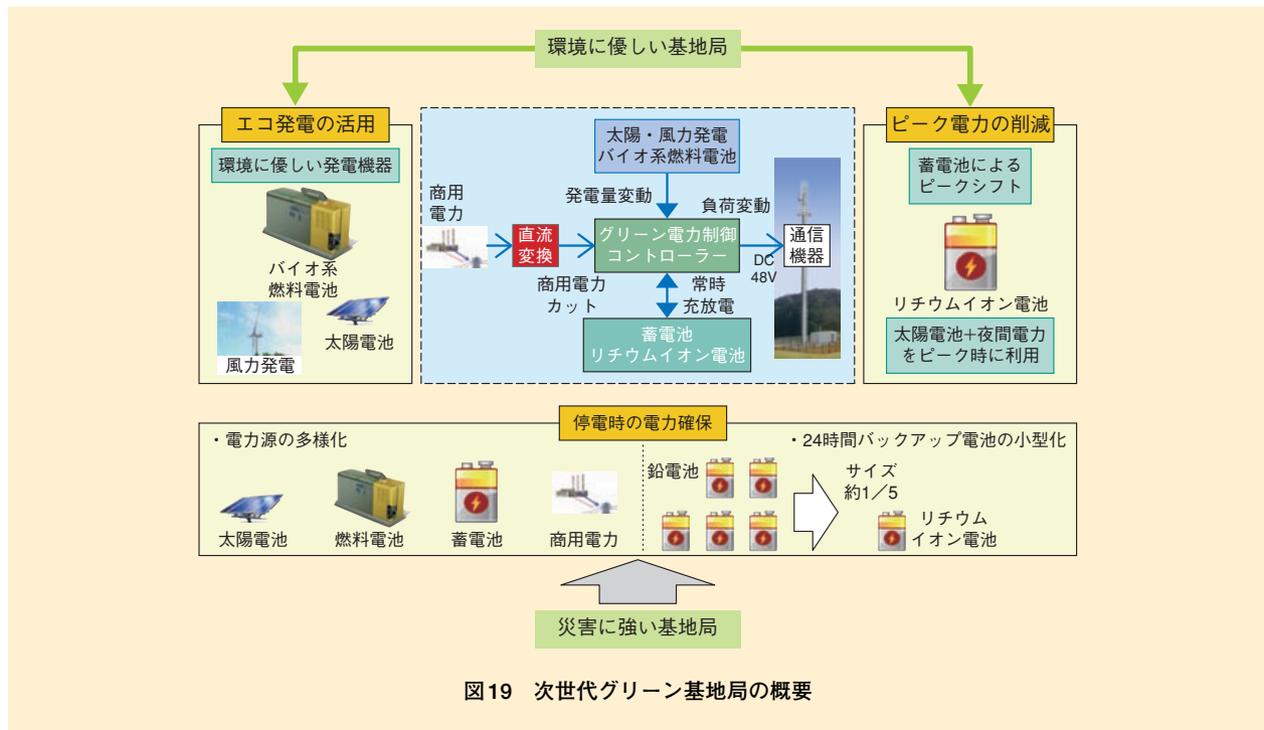
近年、仮想化技術のクラウドコンピューティングへの応用が進んでいますが、高い性能と品質が求められる通信ネットワークに応用するには、さらなる技術革新が必要です。ドコモでは、通信ネットワークへの応用に必要となるリアルタイム性、高可用性を満たす仮想化基盤技術の確立を目指し

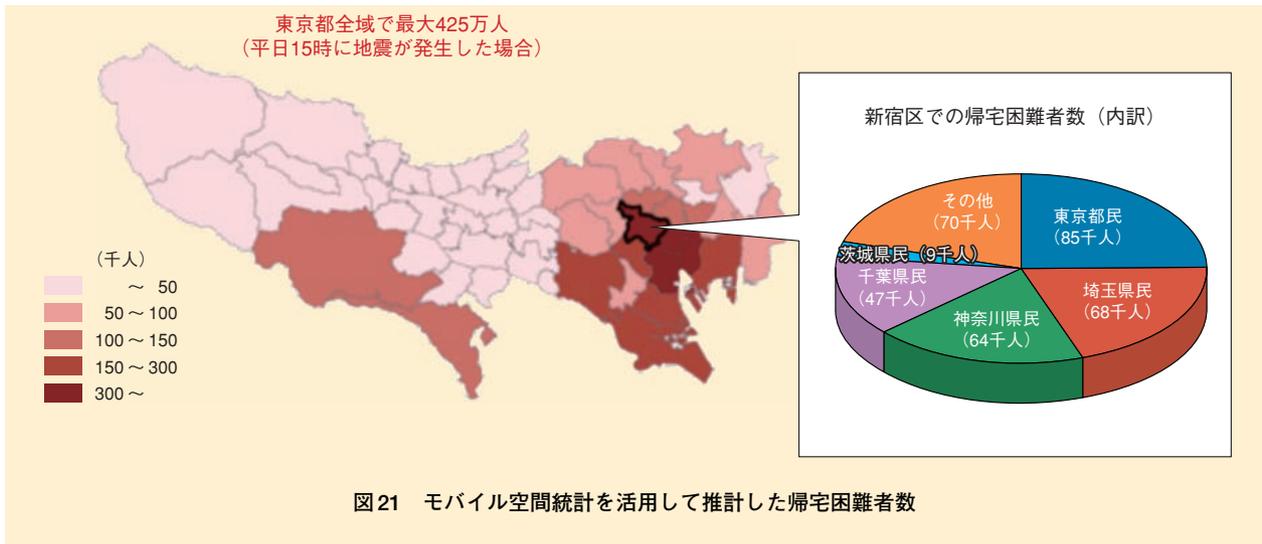
研究を進めています。

(3)モバイル空間統計

前述の携帯電話ネットワークの高度化を目指した2つの対策とは異なり、携帯電話ネットワークを活用する全く新しい取組みがモバイル空間統計です。

携帯電話ネットワークは、いつでもどこでも電話やメールなどを着信できるように、基地局のエ





リアごとに所在する携帯電話を周期的に把握しています。この情報を使って基地局エリアごとの携帯電話台数を数え、ドコモの携帯電話普及率を加味することで推計した人口の統計情報が、モバイル空間統計です。ドコモは携帯電話事業を通じた社会貢献の一環として、大学や公共機関とともにモバイル空間統計の公共分野への活用に向けた取組みを行っています。

たとえば、30年以内に70%の確率で発生すると予測されているマグニチュード7.3クラスの首都直下型地震を前提とした防災計画に必要とされる、以下のケーススタディを実施しました。

- ①各区市町村で発生する帰宅困難者数の推計 (図21)
- ②各区市町村を通過する徒歩帰宅者数の推計
- ③帰宅困難者となる住民数の推計

この共同研究を通じて、防災計画分野でのモバイル空間統計の有用性を以下の3点で確認しました。

- ・最新の人口統計にもとづき各区市町村で発生する帰宅困難者数を推計でき、帰宅困難者を支援するための施策の検討に活用可能
- ・区市町村を通過する徒歩帰宅者数を把握でき、

徒歩帰宅者を支援するための施策の検討に活用可能

- ・外出先で帰宅困難者となる住民の人数を算出でき、住民を支援するための施策の検討に活用可能

ドコモは、今後も社会の発展を支援できるよう、モバイル空間統計のさらなる活用に向けた取組みを進め、モバイルの特性を活かした豊かな社会の実現を目指してまいります。

4. あとがき

本稿では、ドコモのR&D関連部門が今回の大震災において、どのように復旧の検討を行い、具体的な対策に活かしてきたか、また今後の災害対策についてどのように検討を重ね、取り組んでいくのか、その概要を報告しました。

ドコモでは、新たな災害対策として「重要なエリアにおける通信の確保」「被災エリアへの迅速な対応」「災害時におけるユーザのさらなる利便性向上」を掲げ、安心安全を守るための通信ネットワークをどのような時でも提供するという使命のもと、これからも関連する研究開発に積極的に努めていきます。