

**大規模災害時に被災地の通信能力を緊急増強する技術の研究開発**  
**(被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発)**  
 Research and development of "Movable ICT-Units" for emergency transportation into  
 disaster-affected areas and multi-unit connection

**研究代表者**

高原 厚 日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所  
 Atsushi Takahara NTT Network Innovation Laboratories

**研究分担者**

坂野 寿和† 久保田 寛和† 小向 哲郎† 瀬林 克啓† 小田部 悟士† 熊谷 智明† 清水 芳孝† 後藤 和人†  
 岡田 敦† 金 順暎† 藤井 竜也† 仲地 孝之† 中沢 正隆†† 廣岡 俊彦†† 吉田 真人†† 葛西 恵介††  
 加藤 寧†† 西山 大樹†† ファドウルラ ズバイル†† 安達 文幸†† 木下 哲男†† 北形 元†† 笹井 一人†† 高橋  
 秀幸†† 笠原 裕道††† 岸本 幸典††† 小柳 優††† 河原田 淳††† 高橋 知道††† 栗原 茂樹††††  
 金沢 誠†††† 小平 荘治†††† 江口 孝二†††† 太田 直†††† 清水 康玄†††† 峠坂 浩行††††  
 八尋 秀治†††† 蜂谷 彰悟†††† 瀬戸 克典††††  
 Toshikazu Sakano† Hirokazu Kubota† Tetsuro Komukai† Katsuhiko Sebayashi†  
 Satoshi Kotabe† Tomoaki Kumagai† Yoshitaka Shimizu† Kazuto Goto† Atsushi Okada†  
 Kim Sunyong†† Tatsuya Fujii† Takayuki Nakachi† Masataka Nakazawa††  
 Toshihiko Hirooka†† Masato Yoshida†† Keisuke Kasai†† Nei Kato†† Hiroki Nishiyama†† Zubair  
 Fadlullah†† Fumiyuki Adachi†† Tetsuo Kinoshita†† Gen Kitagata††  
 Kazuto Sasai†† Hideyuki Takahashi†† Hiromichi Kasahara††† Yukinori Kishimoto†††  
 Masaru Koyanagi††† Jun Kawarada††† Tomomichi Takahashi††† Shigeki Kurihara†††† Makoto  
 Kanazawa†††† Shoji Kohira†††† Kouji Eguchi†††† Sunao Ohta††††  
 Yasuharu Shimizu†††† Hiroyuki Togesaka†††† Syuji Yahiro†††† Shogo Hachiya†††† Katsunori Seto††††  
 †日本電信電話株式会社 未来ねっと研究所 ††国立大学法人東北大学  
 †††エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社 ††††富士通株式会社  
 ††††NTT Network Innovation Laboratories ††††Tohoku University  
 †††††NTT Communications Corporation †††††Fujitsu Limited

**研究期間** 平成 24 年度～平成 25 年度

**概要**

本研究開発では、災害に強い通信インフラの実現に向けて、災害時に各種の運搬手段を活用し、被災地へ迅速に持ち運び、複数台を相互に連携させることで緊急にその地域一帯の情報通信機能を広域に復旧させることや、通信事業者の通信設備のみならず、政府関連機関の重要設備、電力・ガス等の社会インフラの運用に係る重要設備等、被災地や首都圏の機能を維持するために欠かすことができない中枢拠点の情報通信機能を復旧・維持することが可能な移動式 ICT ユニットの構築技術を確認した。

**1. まえがき**

東日本大震災では、通信インフラ設備が広域にわたって機能を停止するとともに、大規模な通信の輻輳状態が発生し、通信規制が行われたため、安否確認、人命救助活動、災害復旧活動等のための通信の確保に支障が生じた。そこで本研究開発では、このような東日本大震災での経験を踏まえ、同震災と同等あるいはそれを超える広域大災害が発生した場合においても、被災地等の通信能力を緊急に増強し、通信を確保するために必要となる技術について、基本的検討や実証実験等を行った。

大規模災害時等においては、情報通信設備の損壊等による情報通信の機能損失や大規模な輻輳状態が発生するが、設備の復旧には長時間を要する場合もある。このような問題を解決するため、本研究開発では、災害時に利用可能なあらゆる運搬手段を活用し、情報通信機能を実装したユニットを被災地へ迅速に持ち運び、複数台を相互に連携させることで緊急にその地域一帯の情報通信機能を広域に復旧させることや、被災地や首都圏の機能を維持するために欠かすことができない中枢拠点の情報通信機能を復旧・維

持することが可能となる移動式 ICT ユニット (Movable and Deployable ICT Resource Unit: MDRU) の構築技術を確認した。また、国内外への情報発信や国際標準化等への取り組みも積極的に行った。

以下に本研究開発の内容と成果を課題ごとにまとめるとともに、今後の展開に向けた取り組みなどを紹介する。

**2. 研究開発内容及び成果**

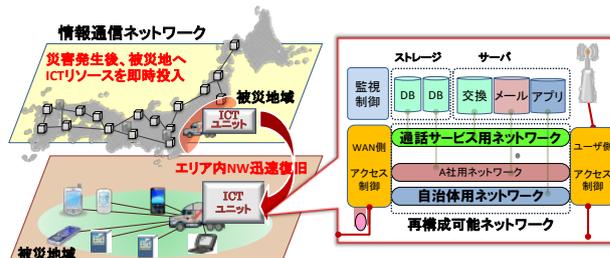


図1 移動式 ICT ユニットのコンセプト

## 課題ア) 迅速な運用開始を可能とする移動式 ICT ユニットの設計・構築技術

### 研究開発内容

新たなトラヒックモデルを踏まえ、平時の利活用の在り方を含めて移動式 ICT ユニットの求められる各種要件、同設備を設計・構築するための技術や運用面の仕様等を総合的に整理したガイドラインを作成する。

また、移動式 ICT ユニットの、被災状況や情報通信需要に応じて複数の規模(数千人規模から数万人規模の収容数)や設備構成を柔軟に選択可能であることを実証する。更に、東日本大震災と同等程度の大規模災害を想定した状況下において、同設備をコンテナ運搬車等の災害時の利用が想定される様々な運搬手段によって輸送した場合に、同設備が輸送時の振動等に十分耐えられ、発災後 2 日以内に被災地へ同設備を搬入、設置した上でサービス提供が可能であることを実証する。

### 研究開発成果

#### ア-1 ICT ユニットネットワークアーキテクチャ技術

本研究課題では、移動式 ICT ユニットおよび、移動式 ICT ユニットネットワークの設計・構築、運用、移行など、被災地に展開してサービス提供に供するまでの要件を整理し、それを満たすためのアーキテクチャを明らかにすることを目的に研究開発を推進した。

#### ア-1-1 ICT ユニットネットワーク設計・構築プロセス技術

先行研究開発で、情報通信機能を実装したリソースユニットを試作したが、大型であり、運搬には必ずしも向かないことから、既存物流インフラを幅広く活用でき、かつサーバ等の機器を搭載したまま運搬することが可能なように新たな仕様を検討し、中型の移動式 ICT ユニットの試作・構築した。ついで本移動式 ICT ユニットにおいて、コンテナ輸送時や積み込み・荷下ろし時に生じる振動が ICT 装置等の機能維持性能に与える影響を明らかにするため、サーバラック内に実装置を搭載した状態でトラックによる輸送を行い、ICT 装置等に生じる振動加速度について計測を行うとともに、搭載装置の機能障害発生有無を確認した。その結果、機器実装状態での移動式 ICT ユニット輸送において、安全性が確保されていることを実験的に確認した。また、移動式 ICT ユニットと公共機関との連携を視野に、移動式 ICT ユニットに、公共機関が被災地で利用することを想定した通信網模擬装置を 2 台接続し、一方の通信網模擬装置から他方の通信網模擬装置へ移動式 ICT ユニットネットワークを介して信号伝送を行い、問題なく信号疎通が行われることを確認した。さらにそれまでの移動式 ICT ユニットのプロトタイプ開発の経験を踏まえ、より移動性を高めた車載型の移動式 ICT ユニットの開発し、その有効性を実験的に確認するとともに、移動式 ICT ユニットに関して得られた各種要件・アーキテクチャ・運用プロセスなどの知見を整理し、一部を技術文書として ITU-T へ提出した。



図2 車載型移動式 ICT ユニット (ICT カー)

## ア-1-2 ICT ユニットネットワーク運用・評価プロセス技術

### (1) ICT ユニットの評価指標の定義

ICT ユニットに要求される機能、性能、拡張性等を明らかにし、設計する ICT ユニットが果たすべき要件を充たしているかを評価するため、以下を実施した。

- ・各種関連情報の調査を行い、ICT ユニットの要件として移動性、Resilient 性、柔軟性、広域性、拡張性、運用性、即時性、平時利用性の各観点を抽出し、特に即時性、移動性、拡張性に着目して評価指標を定義した。
- ・東日本大震災等の災害事例の被災状況や復旧過程に基づき評価条件(評価モデル)を策定し、ICT ユニットの適用した場合のケーススタディを実施することで、ICT ユニットの有効性を検証した。
- ・評価指標の定義に向けて、移動性の向上、複数 ICT ユニットのネットワーク化、平常時の ICT ユニットの有効利用等の関連情報を調査した。

### (2) 定量化評価に向けた評価条件の検討

ICT ユニットに対して具体的な評価を実施するために、以下を実施した。

- ・東日本大震災の事例を中心に災害状況の調査と類型整理を行い、支援対象の業務種別、ユーザ設備の被災状況、通信ネットワークの被災状況、道路等輸送手段の状況等について、評価条件(評価モデル)を策定した。
- ・上記で策定した評価条件(評価モデル)について、ICT ユニットが適応可能かどうかのケーススタディを実施し、机上における有効性を確認した。

### (3) ICT ユニットの評価

今回の ICT ユニットの主な特徴であるサービス復旧時間の短縮に関連する「即時性」、陸路や空路での搬送を考慮した「移動性」、複数の ICT ユニット間を接続しサービス提供の拡大を行う「拡張性」について、机上及び会津大学や東北大学に構築した実際の環境を用いた実機による評価を行い、ICT ユニットが有効に適用可能であることを確認した。

- ・即時性の評価  
発災後に ICT ユニットの適用判断を行い、被災地へ運搬・設置し、2 日以内にサービス提供が可能であることを、机上における評価と会津大学に構築した実際の環境を用いた実機における評価を組み合わせ評価した。
- ・移動性の評価  
今回開発した車載型の移動式 ICT ユニット、モジュール化した ICT ユニットについて、各種手段で被災地へ迅速に運搬可能であることを、コンテナ型の ICT ユニットとの比較も行い確認し、また NTT 横須賀研究開発センタと会津大学での実際の運搬も利用して確認を実施した。
- ・拡張性の評価  
複数の ICT ユニットの連携することで、広域かつ迅速に復旧が可能であることを、会津大学や東北大学の実証フィールドを用いて確認した。

### (4) ICT ユニット適用ガイドラインの拡充

ICT ユニットの利用に関する、平時の活用、災害発生時の運搬・設置、サービス提供という各フェーズについて、ICT ユニットの災害復旧に適用する運用プロセスを整理、最適化し、各フェーズにおける要件や課題を明確化してドキュメント化することで、ICT ユニット適用ガイドラインを策定した。

具体的には、平成 23 年度補正予算で策定した「リソースユニット利用ガイドライン(第二編 適用編)」に対して

以下の観点で拡充を行い、総合的な ICT ユニット適用ガイドラインとして整理した。

- ・複数の ICT ユニットの連携や ICT ユニットの車載型化・モジュール化といった新規開発機能について、災害時に適用するための運用プロセスを検討し、整理・最適化を行った。
- ・仙台・会津等の実フィールド環境においてガイドラインを適用し、実際の検証準備や検証作業とガイドラインに示す運用プロセスの整合性を検証することで、ガイドラインの運用プロセスの有効性を検証すると共に、実運用に則したガイドラインへのフィードバックを行った。

## ア-2 移動式 ICT ユニット構成技術

本研究課題では、被災状況によらず迅速に移動式 ICT ユニートを搬送・配置し、ネットワークを構築するために必要となる要素技術の研究開発を進めた。

### ア-2-1 レジリエントネットワーク技術

#### ア-2-1 (1) フォトニックネットワーク技術

本研究課題では、広域ネットワークと複数の移動式 ICT ユニットからなるネットワークのレジリエント化を、デジタルコヒーレント方式を前提としたフォトニックネットワークの観点から検討を行った。移動式 ICT ユニートを複数台、被災地域に分散配置し、これらを、利用可能な地下光ファイバケーブルなどを利用して相互接続して、高速広帯域なネットワークを迅速に構築することを想定して、ROADM (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer) ノードを介した移動式 ICT ユニットと広域ネットワークとの光ネットワーク方式を提案するとともに、実際に 3 台の 100 Gbps デジタルコヒーレント光送受信機を、2 台を移動式 ICT ユニット内、1 台を通信ビル内に設置と想定して実験を行い、接続先を光スイッチで切り替えても問題なく光リンクが迅速に確立することを確認し、提案する光ネットワーク方式の検証を行った。さらにネットワークのレジリエント化を可能とするフォトニックネットワークの構築のために、必ずしも電力事情が良くない被災地に設置された移動式 ICT ユニット内に実装した 100 Gbps デジタルコヒーレント光送受信機に、被災地外の通信ビル等の外部から信号用の光と局発光を外部から供給する方式を検討し、その検討を基に 100 Gbps デジタルコヒーレント光送受信機に外部からレーザー光が供給できる機能を追加し、遠隔地からのレーザー光供給実験を通して動作に問題がないことを確認するとともに、外部レーザー光への要求条件を明らかにした。

#### ア-2-1 (2) ICT ユニット間の無線接続技術

ICT ユニット間を相互に網目状に接続可能なメッシュ接続型 FWA 装置 (メッシュ FWA 装置) と、ICT ユニット間の大容量伝送が可能なポイント・ツー・ポイント (P-P: Point-to-Point) 接続型 FWA 装置 (P-P FWA 装置) を適切に組み合わせて使用することにより、ICT ユニット間を迅速に無線接続し、かつ ICT ユニット間毎に異なるトラフィック需要に合わせて高効率な無線ネットワークを構築する手法を確立した。本手法では、事前に必要な設定が施されたメッシュ FWA 装置を全ての ICT ユニットに予め 1 台ずつ設置しておき、最初にメッシュ FWA 装置を使用して ICT ユニット間を自律分散制御でメッシュ状に無線接続することにより、ICT ユニット間の迅速な無線接続を実現する。伝送容量が不足している無線リンクが存在する場合に、伝送容量の大きい P-P FWA 装置を適切に併用することにより、必要最小限の装置数で ICT ユニット間毎に異なるトラフィック需要に合わせた高効率な無線ネットワークを構築する。なお、メッシュ FWA 装置によ

り構築した無線メッシュネットワークに対して、2 つの ICT ユニット間を直接接続する一対の P-P FWA 装置を単純に追加する形で併用した場合には、当該 ICT ユニット間を結ぶ経路として、最初に構築した無線メッシュネットワーク上での経路に加え、P-P FWA 装置で直接接続される経路が新たに追加されることとなり、通信障害を引き起こすループ経路が発生する。そのため、本手法では、P-P FWA 装置で直接接続した 2 つの ICT ユニットのそれぞれが互いに異なる無線メッシュネットワークに属するように元のネットワークを分割し、分割された 2 つのネットワークを一対の P-P FWA 装置で接続するネットワーク構成とすることにより、最初に構築した無線メッシュネットワーク上での経路を除去し、ループ経路を解消する。

また、市販の 25GHz 帯 P-P FWA 装置および 5GHz 帯メッシュ FWA 装置が備えている優先制御機能 (QoS 機能) を使用した場合の音声通話の同時通話可能数に対する効果を実験により評価した。その結果、これらの装置で優先制御機能を用いて他のトラフィックよりも音声トラフィックを高い優先度で伝送した場合、優先制御機能を用いない場合と比べて同時通話可能数を増加させることが可能なことを明らかにした。

#### ア-2-1 (3) 多地点分散ストレージに基づく適応型ロバスト伝送技術

本課題では、震災による「ストレージの破損」や「ネットワークノードの故障」が発生する状況下で、画像/映像などのアプリケーションデータをロバストに伝送する技術の確立へ向けて研究開発を実施した。平成 23 年度補正予算にて実施したストレージデータ階層的蓄積伝送技術を基盤として、新たにロバスト化へ向けた検討を行うとともに、複数の ICT ユニットへ展開した場合の最適化とシステム化を行なった。具体的に以下の課題について検討を進め、成果を達成した。

##### 1) 疎グラフ符号に基づくロバスト伝送技術

震災時の限られた環境 (低い通信帯域、低い電力供給量) で、データの復元が可能な疎グラフ符号に基づく誤り訂正方式の検討を行った。

##### 2) 複数の ICT ユニットへ展開した場合の最適化とシステム化

画像が持つ階層的特性を利用した成分の分離保存と、上記 1) で検討した疎グラフ符号を用いて、画像成分の重要度に応じた保護耐性の制御を行うことで、欠落したデータの復元確率を高めることに成功した。実際に制作したシステムを用い、実証実験を行った結果、「50 パーセントのストレージが破損した場合にも、オリジナルの画像データを完全に復号できる」ことを確認し、年次目標を達成した。

## ア-2-2 移動式ユニット構成技術

本課題では、小型な可搬型 ICT ユニートを実現するために、ICT ユニートの構成要素の小型化を実現した。先行研究開発テーマである「大規模災害時における通信ネットワークに適用可能なリソースユニット構築・再構成技術の研究開発」で開発したローカル GW 装置、基幹 GW 装置、GW マネージャ及び DHCP、DNS を 1 台に集約させた。また、サーバリソースについても集約させることで物理サーバを削減し小型化を実現した。

物理サーバの削減は、平成 24 年度本予算の「被災地への緊急運搬及び複数接続運用が可能な移動式 ICT ユニットに関する研究開発」にて、方式の検討を行い、サーバ仮想化技術を適応することで実現した。仮想ネットワークと仮想サーバの一元管理を実現可能とするリソース制御ミ

ドルの導入、及び利用者向けのマネージャを開発し、事前にネットワーク、ストレージといったリソースプールやテンプレートを登録しておくことで、ICTユニット内のリソースを容易に再構築可能とし、災害時に於いて専門の技術者の確保が不可能な環境下においても、ICTユニットの運用を可能とする技術を確認した。ICTユニットの運用開始後、仮想マシンの増加によってリソースが枯渇し、新たな仮想マシン作成が不可になる懸念があるが、1台の物理サーバを増設することで、複数の仮想マシンが提供可能となり、従来の仮想マシンを使用しない構成と比較し、コストや手間も少なく最小限の増設で済むため拡張性にも優れている。また、性能劣化についても懸念されるが、SR-IOV\*を使用する事で、パフォーマンスの向上を図った。

これらにより、「大規模災害時における通信ネットワークに適用可能なリソースユニット構築・再構成技術の研究開発」のシステムと比較して、機能や性能を維持しつつシステムのリソース管理を強化した上で、体積で43%、重量で42%に削減することができ、研究目標である「既存システムの1/2以下の体積の実現」を達成した。

\*SR-IOV・・・Single Root I/O Virtualizationの略であり、PCIデバイス側で仮想化をサポートする規格

### ア-2-3 ネットワーク接続高度化技術

#### ア-2-3 (1) ICT ユニットネットワーク光接続高度化技術

平成24年度に開発した100 Gbit/s デジタルコヒーレント光トランスポンダにおいて、ファームウェアの改造により光パワー断に伴うシステムの保護時間を従来の50 msから10 msへ短縮し、回線切替に伴う信号回復時間の高速化を実現した。本装置を用いてICTユニット間光接続の高度化を図り、3台のICTユニットをWDMで結ぶリング型光ネットワークを構成し、約20 msでのICTユニット間の相互接続切替を実現した。さらに、送受信レーザ光を被災地外からファイバを介して供給するセルフホモダイン型の簡便な構成による100 Gbit/s伝送を行い、災害時の限られたリソースや設備環境下での超高速伝送が実現可能であることを示した。また、コア径62.5 μmのグレーデッドインデックスファイバを用いて100 Gbit/s デジタルコヒーレント信号の伝送実験を行い、20 ms以下の高速な伝送路推定ならびに歪み補償により32 kmの伝送を実現した。これにより安価なマルチモードファイバにおいても100 Gbit/sの高速信号が伝送でき、被災地に残された既設ファイバの有効活用という観点から、本伝送技術が災害時における情報通信手段の迅速な復旧に有効であることを明らかにした。

#### ア-2-3 (2) 無線アクセスネットワーク高度化技術

ICTユニット群周辺に無線アクセスネットワークを迅速に構築する無線技術に関して、「無線アクセスネットワーク構成制御」および「無線リソース割当制御」の2項目について研究開発を行った。無線アクセスネットワーク構成制御では、対象地域のユーザ端末のトラフィック要求量に応じて収容ユーザ端末を決定する技術およびICTユニット数を決定する無線アクセスネットワーク構成制御技術を確認した。無線リソース割当制御では、利用可能なチャネルを集中制御によりグループ分けし、各チャネルグループを対象地域に割り当て、対象地域の各自営無線基地局がお互いに与える干渉を最小化しつつ同一チャネルを再利用する集中/分散ハイブリッド無線リソース割当制御技術を確認した。

#### 課題イ) 複数接続運用による情報通信処理機能の柔軟な拡張を可能とする構成最適化技術

## 研究開発内容

東日本大震災と同等程度の大規模災害時の状況や情報通信需要を模擬した実証環境下において、複数の移動式ICTユニットが相互に接続されてから10分以内に連携し、処理能力等の損失が5%以下で情報通信処理機能を柔軟に拡張可能であることを実証する。複数台を接続運用する場合、少なくとも2経路以上の冗長化構成を取るなどの信頼性対策が可能となることを実証する。

## 研究開発成果

### イ-1 通信ネットワーク機能再構成技術

本課題では、ICTユニットの単独運用及び、複数のICTユニットが保有しているネットワークリソース、サーバリソースを連携して運用可能とする技術を開発した。

被災地におけるICTユニットの運用を想定すると以下の様になると考えられる。

- (1) 複数のICTユニットが独立して役所や避難所に設置され運用を開始(単独運用)
- (2) ICTユニット間の広域ネットワークが接続され、ICTユニット間連携が開始(複数運用)
- (3) 被災地の電源状況に応じて特定のICTユニットの運用を停止(減設)
- (4) 電源状況の復旧により運用を停止していたICTユニットの運用を再開(増設)

この様に、被災地における運用は通常の固定化されたネットワークとは異なり、頻繁にネットワーク構成が変更されることが想定される。頻繁に変更されるネットワークに対応するために、複数のICTユニットに搭載されているGW装置の統合管理を可能とするGWマネージャの開発を行った。GWマネージャの機能は以下の通りである。

#### (1) 活性監視

ネットワーク内に存在するICTユニットに対して定期的に活性監視を行うことで、GWマネージャが自動で対象のGW装置が搭載されているICTユニットのネットワークへの参加、ネットワークから離脱を識別可能とする。

#### (2) 同期機能

ICTユニットの増設や電源からの復旧などにより、運用途中から追加されたICTユニットに対して、ネットワーク情報を転送し、既存のICTユニットとの連携を可能とする。

#### (3) サーバリソースの最適配置

複数のICTユニット上のサーバリソースの一元管理を行い、ICTユニット間のネットワークが切断された場合でも単独で運用可能とするため、利用者の近くのサーバリソースの払い出しを可能とする。

#### (4) サーバリソース使用状況確認

仮想サーバで使用しているリソース使用状況を表示し、作成可能な仮想サーバ数の確認を可能とする。

これらの機能を開発することで、以下の研究目標を達成した。

- ・複数ICTユニットの相互接続が可能となつてから10分以内に連携する手段の確立
- ・複数ICTユニット間連携時において、「ICTユニット障害発生時の連携解除」及び「ICTユニット障害復旧における再連携」の手段の確立

### イ-2 サービスネットワーク機能再構成技術

#### (1) 音声通信などリアルタイムコミュニケーションの拡張性に関する検討

複数IP-PBXの連携においては通信状態に応じて、移動式ICTユニットの接続と切断が動的に発生し、その都度

IP-PBX間でユーザデータの同期が必要になるが、検討の結果、複数同期管理方式が最も妥当であり、次いで実現の確実性という観点から個別管理方式となることを明らかにした。さらに各移動式 ICT ユニット内の IP-PBX で保持するユーザデータの同期を取るためのネットワークポロジとしてはメッシュ構成が良いこと、移動した端末に対し帰属先 IP-PBX の IP アドレスを通知する方法としては DNS の適用が優れていることを明らかにした。また、性能測定用の検証環境を構築し、処理能力等の損失が 5% 以下でおさまることを確認した。移動式 ICT ユニット 1 台で処理できる同時通話数の最大数は 100 通話であるが、移動式 ICT ユニットの複数台連携動作させて、複数のユニットを跨る通話を行った場合も 1 台あたり 100 同時通話を処理可能かどうかの検証を行い、同時通話処理に関わる性能劣化が 5% 以下であることを確認した。さらに、移動式 ICT ユニットの接続を行ってから 10 分以内に連携が完了し、サービスを再開できることも確認した。具体的には 5,000 ユーザ端末情報を登録した IP-PBX 用サーバ 6 台を同時に接続し、10 分以内にサーバ同士が自律的にユーザ情報の同期処理を行い、異なるサーバに収容されたユーザ端末間で通話が行えることを確認した。なお、同様にサーバ 6 台を用い、登録可能ユーザ端末数を 30,000 端末まで拡大できることも確認した。

## (2) ICT サービス機能の拡張性に関する検討

自治体へのヒアリングなどの結果、災害対策本部において適確な判断・指示につなげることに寄与できるサービスとして、災害発生現場のモニタ映像、災害対策室のホワイトボード画面の関係職員への配信、幹線道路や港湾施設等の定点監視などの映像コミュニケーションサービスへの要望があることが判明したので移動式 ICT ユニットにおいて、上記のサービスを実現するための要件整理を行うとともに、適用可能な市販アプリケーションソフトの有無と比較などを行った。また、被災地において、IC カード等の固有 ID に、避難者の顔写真と避難者情報（氏名、性別、住所等）が記載された証明書や登録カードの写真を紐づけて、遠隔地の災害対策本部等のサーバに転送し、避難者の安否確認や避難者支援に利用する、被災者データ収集システムを開発し、数百人規模の参加者が集まる学会の場を借りて、参加者を避難者に、会場を避難所に見立て、災害時に相当する大規模な実証実験を行うことにより、被災者データ収集システムの実運用での有効性の検証を行った。併せて、学会での実験を平時におけるユースケースと位置付け、イベント運用管理支援システムとしての有効性も検証することにした。実験の結果、システムの有用性を確認するとともに、運用方法についても大いに知見を得ることができた。



図3 実証実験の風景

## 課題ウ) 移動式 ICT ユニットの管理運用技術 研究開発内容

複数台を接続運用した移動式 ICT ユニットに関して、遠隔制御により全ての管理対象の設備状況やサービス状況を網羅的に把握し、適切にネットワーク管理者へ通知することで、管理運用の自動化、遠隔監視制御が実現されるとともに、必要最小限の人員構成により全体運用が可能となる管理運用技術を確立し、その有効性を実証する。

### 研究開発成果

#### ウ-1 移動式 ICT ユニット遠隔監視技術

複数の ICT ユニットの統合的に遠隔監視制御するための運用管理技術について検討し、その結果を基に実際に遠隔監視システムを試作し、フィールドに構築した評価環境における実証実験などを通じて、得られた運用管理技術の有効性を確認した。具体的には、(1) ICT ユニットのシステム全体構成や適用する環境条件、(2) ICT ユニットの運用管理における業務分析と実装要件、(3) 市中の監視制御手法および ICT ユニットへの適用性、(4) ICT ユニット特有の監視制御機構の実現性、などを検討し、その検討結果を基に、ICT ユニット監視マネージャ、統合監視マネージャ、保守用ビューアを開発して全体としての遠隔監視システムを実証実験などで評価し、効率的かつ容易に複数の ICT ユニットの統合監視が可能であることが確認でき、限られた人的リソースによって ICT ユニットの監視可能とする基本技術を確立することができた。具体的には、ICT ユニット単独運用の場合に人員は少なくとも 1 名必要であるが、3 台程度接続運用しても人員は増やす必要がなく 1 名のままでよい。

#### ウ-2 知識型移動式 ICT ユニット管理運用支援技術

ネットワーク機器やサーバ機器の運用に係わる管理者のノウハウを機器自身に知識として組み込んだ知識型移動式 ICT ユニット管理運用支援技術を開発し、シミュレーション、及び試作システムを用いた実験を通じ、その有効性を確認した。具体的には、以下の(1)~(3)の 3 項目について研究開発を推進した。

(1) ネットワーク/サーバ機器間の物理接続を推定・制御する W-AIR(Wiring-AIR)の開発

L2 スイッチの物理ポートに到着するパケットを計測し、VLAN 設定を含むネットワーク/サーバ機器間の接続状況を推定するネットワーク構成推定手法の詳細設計を行った。さらに、シミュレーション、および OpenFlow を用いたプロトタイプシステムの設計・実装を行った。その結果、あらかじめ L2 スイッチに VLAN 設定を行わずとも、L2 スイッチに機器を接続するだけでサブネット構成を推定し、自動的に L2 スイッチの各ポートに対するトランクポート/アクセスポート、およびそれぞれのポートに対する VLAN-ID を導出し、機器間を接続可能であることを示した。

(2) 移動式 ICT ユニット間の相互連携のための透過的な通信基盤を実現する AIR-Space のアーキテクチャの開発  
ネットワークの物理的構成に依存せず、複数の移動式 ICT ユニットに搭載される AIR 間を繋ぐ論理的通信基盤を自動構成する AIR-Space のアーキテクチャの詳細設計を行った。また、AIR-Space を具体的に構成する AdminAgent の設計とプロトタイプシステムの設計・実装を行い、障害の診断・対策に必要な情報が自 ICT ユニット内の M-AIR から得られない場合、接続された他の ICT ユニット内の M-AIR からも情報を収集可能となることを示した。

(3) 移動式 ICT ユニットの想定した開発・実験用の模擬環境の構築

10 台の仮想サーバからなる開発・実験用の模擬環境を

構築し、検証実験を行った。その結果、複数の移動式 ICT ユニット間にまたがる障害が発生した場合にも、K-AIR と M-AIR が連携し、管理情報収集、障害診断、および対策案の導出を自律的に実行可能であることを示した。以上の結果から、複数台を接続運用した移動式 ICT ユニットに関して、管理対象機器の物理接続の推定、制御、および管理情報収集・障害診断・対策の自律的な実行が可能であることを確認し、当初の開発目標を達成した。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発の成果を社会実装するために更なる技術の洗練化を図るとともに、顧客からのカスタマイズ要望にも応えて社会実装の早期の実現化に努める。研究成果の社会実装にはユーザのニーズを正確に把握し、製品に反映させる必要があると考える。そのために社会実装に向けて、耐災害 ICT 協議会の地域防災モデルシステム検討 WG に継続して参画することで、耐災害に関する社会動向及びニーズの収集を行う。

本成果は、耐災害 ICT に関する ITU-T Focus Group のアウトプット文書になったが、今後 ITU-T の勧告文書になるように働きかけを継続するとともに、成果のグローバル展開に向けて海外での実証実験も実施する。特に日本と同じ災害リスクを抱えるアジア、東南アジア等の地域への研究開発成果の認知・普及を目指しており、具体的には、フィリピンのセブ島での実証実験を計画・準備中である。

フィリピンは毎年台風被害に見舞われ、特に昨年大きな被害が出たことから、移動式 ICT ユニットへの関心が非常に高まっており、今回、フィリピンの関係機関と連携して移動式 ICT ユニットの検証実験を特に昨年被害が大きかったセブ島で行うことになった。セブ島の San Remigio 市に移動式 ICT ユニットを持ち込み、ICT 環境の即時復旧と数か月の運用を実証実験として実施する。



図4 フィリピン実証実験の概要

なお、本研究で得られた成果は耐災害分野のみではなく、他の分野への展開も可能であると考えており、例えば SDN 分野における仮想ネットワーク向けソリューションビジネスへの応用なども期待される。この観点から新たな研究開発を模索していく予定である。

### 4. むすび

本研究開発では、東日本大震災での経験を踏まえ、大規模災害時に被災地に運搬し直ちに情報通信サービスの提供が可能な移動式 ICT ユニットの構築技術を確認した。本研究開発は、将来、大規模災害が起きた場合に被災地での情報通信サービスの迅速な復旧・再開に役立つものと期

待される。今後、幅広い社会実装に向けた取り組みを推進していくとともに、研究成果のグローバル展開も積極的に行っていく予定である。

#### 【査読付発表論文リスト】

- [1]Toshikazu Sakano, Zubair Md. Fadlullah, Tomoaki Kumagai, Atsushi Takahara, Thuan Ngo, Hiroki Nishiyama, Hiromichi Kasahara, Shigeki Kurihara, Masataka Nakazawa, Fumiyuki Adachi, Nei Kato, “Disaster Resilient Networking - A New Vision based on Movable and Deployable Resource Units (MDRUs)”, IEEE Network Magazine, Vol. 27, No. 4, pp40-46 (2013/8/1)
- [2]Thuan Ngo, Hiroki Nishiyama, Nei Kato, Toshikazu Sakano, Atsushi Takahara, “A Spectrum and Energy-Efficient Scheme for Improving the Utilization of MDRU-based Disaster Resilient Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol63, Issue5, pp2027-2037 (2014/6/1)
- [3]Tetsuro Komukai, Toshikazu Sakano, Hirokazu Kubota, Toshihiko Hirooka, Masataka Nakazawa, “Plug-and-play Optical Interconnection using Digital Coherent Technology for Resilient Network based on Movable and Deployable ICT Resource Unit”, IECE TRANS. COMMUN., Vol.E97-B, No.7, pp.1334-1341 (2014/7/1)

#### 【受賞リスト】

- [1]Toshikazu Sakano, ITU - MCMC Contest to Promote the Transformational Power of Broadband - “Connecting at the Roots”, 2013年11月18日
- [2]Katsuya Suto, Panu Avakul, Hiroki Nishiyama, Nei Kato, IEEE VTC 2013-Spring Conference's Best Satellite Networks and Positioning Track Paper, “An Efficient Data Transfer Method for Distributed Storage System over Satellite Networks”, 2013年6月5日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] “通信能力の緊急増強学会会場で実証実験 被災地で運用目指す”、福島民友新聞、2013年8月23日
- [2] “災害時に車載型電話局 通信素早く確保”、日経産業新聞、2013年12月12日
- [3] “南国市で新技術実証実験 災害時の情報通信確保”、高知新聞、2014年2月20日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.it.ecei.tohoku.ac.jp/innovation/03/index.html>