

# 大規模災害においても通信を確保する耐災害ネットワーク管理制御技術の研究開発

Research and development of management and control technology for disaster-proof networks guaranteeing communications even during large-scale disasters

## 研究代表者

森田 逸郎 株式会社 KDDI 研究所

Itsuro Morita KDDI R&D Laboratories Inc.

## 研究分担者

中沢 正隆<sup>†</sup> 廣岡 俊彦<sup>†</sup> 吉田 真人<sup>†</sup> 葛西 恵介<sup>†</sup> 釣谷 剛宏<sup>††</sup> 吉兼 昇<sup>††</sup> 高橋 英憲<sup>††</sup> 劉 雷<sup>††</sup> 崔 賢瑛<sup>††</sup> 角田 聖也<sup>††</sup> 田中 寛<sup>†††</sup> 井上 純之<sup>†††</sup> 入内嶋 洋一<sup>†††</sup> 今成 浩巳<sup>†††</sup> 後藤 弘<sup>†††</sup> 浪岡 智朗<sup>†††</sup> 林 通秋<sup>††</sup> 宮澤 雅典<sup>††</sup> 角野 真一<sup>††</sup> 檜原 俊太郎<sup>††</sup> 田中 淳裕<sup>††††</sup> 桐葉 佳明<sup>††††</sup> 柳生 俊彦<sup>††††</sup> 藤田 範人<sup>††††</sup> カンニャウオン プンパディット<sup>††††</sup> 小林 礼明<sup>††††</sup> 岡部 稔哉<sup>††††</sup> 山垣 則夫<sup>††††</sup> 植田 啓文<sup>††††</sup> 向後 卓磨<sup>††††</sup> 山崎 康弘<sup>†††</sup> 宮本 善則<sup>††††</sup> 小倉 一峰<sup>††††</sup> 木下 峻一<sup>††††</sup> 松岡 盛登<sup>†††††</sup> 馬場崎 忠利<sup>†††††</sup> 野崎 洋介<sup>†††††</sup> 小林 隆一<sup>†††††</sup> 宮坂 明宏<sup>†††††</sup> 矢島 寛也<sup>†††††</sup> 矢野 雅文<sup>†</sup> 中島 康治<sup>†</sup> 佐藤 茂雄<sup>†</sup> 早川 吉弘<sup>†</sup> 小川 雅嗣<sup>††††</sup> 松田 雄馬<sup>††††</sup> 上村 淳平<sup>††††</sup> 曾根 秀昭<sup>†</sup> 後藤 英昭<sup>††††</sup>

Masayuki Nakajima<sup>†</sup> Toshihiko Hirooka<sup>†</sup> Masahito Yoshida<sup>†</sup> Keisuke Kasai<sup>†</sup> Takehiro Tsuritani<sup>††</sup> Noboru Yoshikane<sup>††</sup> Hidenori Takahashi<sup>††</sup> Lei Liu<sup>††</sup> Hyeon Yeong Choi<sup>††</sup> Seiya Sumita<sup>††</sup> Hiroshi Tanaka<sup>†††</sup> Noriyuki Inoue<sup>†††</sup> Yoichi Iriuchijima<sup>†††</sup> Hiromi Imanari<sup>†††</sup> Hiroshi Goto<sup>†††</sup> Namioka Tomoaki<sup>†††</sup> Michiaki Hayashi<sup>††</sup> Masanorhi Miyazawa<sup>††</sup> Shinichi Kadono<sup>††</sup> Shuntaro Kashihara<sup>††</sup> Atsuhiko Tanaka<sup>††††</sup> Yoshiaki Kiriha<sup>††††</sup> Toshihiko Yagyu<sup>†††</sup> Norihito Fujita<sup>††††</sup> Kannhavong Bounpadith<sup>††††</sup> Reimei Kobayashi<sup>††††</sup> Toshiya Okabe<sup>††††</sup> Norio Yamagaki<sup>††††</sup> Hirofumi Ueda<sup>††††</sup> Takuma Kogo<sup>††††</sup> Yasuhiro Yamazaki<sup>††††</sup> Yoshinori Miyamaoto<sup>††††</sup> Kazumine Ogura<sup>††††</sup> Kinoshita Shunichi<sup>††††</sup> Morito Matsuoka<sup>†††††</sup> Tadatashi Babasaki<sup>†††††</sup> Yosuke Nozaki<sup>†††††</sup> Hiroshi Kobayashi<sup>†††††</sup> Akihiro Miyasaka<sup>†††††</sup> Hiroya Yajima<sup>†††††</sup> Masafumi Yano<sup>†</sup> Yasuharu Nakajima<sup>†</sup> Shigeo Sato<sup>†</sup> Yoshihiro Hayakawa<sup>†</sup> Masashi Ogawa<sup>††††</sup> Yuma Matsuda<sup>††††</sup> Junpei Uemura<sup>††††</sup> Hideaki Sone<sup>†</sup> Hideaki Goto<sup>†</sup>

<sup>†</sup>国立大学法人 東北大学 <sup>††</sup>株式会社 KDDI 研究所 <sup>†††</sup>KDDI 株式会社 <sup>††††</sup>日本電気株式会社 <sup>†††††</sup>日本電信電話株式会社

<sup>†</sup>Tohoku University <sup>††</sup>KDDI R&D Laboratories <sup>†††</sup>KDDI Corporation <sup>††††</sup>NEC Corporation <sup>†††††</sup>Nippon Telegraph and Telephone Corporation

研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度

## 概要

東日本大震災を受けて、光ケーブルの断線、通信設備の電源喪失、輻輳などにより重要情報の発信・収集が困難となった。また、これにより、インフラの運用管理自体が影響を受け、被害状況の把握自体が困難になり、障害に対する応急・復旧活動に大きな支障が生じた。

そのため、限られたネットワーク資源を使った重要なトラフィック伝送の維持や早期復旧を可能とする技術、被災地に臨時設置される IP ネットワークの輻輳を回避しながらつながる通信を継続する技術を確立した。

## 1. まえがき

本研究は、東日本大震災の発生を踏まえ、災害時の情報伝達の基盤となる情報通信ネットワークの耐災害性強化を目指して、必要となる技術の研究開発・実証実験等を行った。

具体的には、東日本大震災においては、通信ネットワークにおける多様な通信需要の爆発的な発生や、通信設備や拠点等の障害により、通信処理、情報処理・蓄積を担うリソースが大幅に不足し、大規模災害時の膨大かつ多様な通信需要を満たすことが困難となる。このような問題を解決するため、通信処理、情報処理・蓄積のリソースを柔軟かつ簡易な機能や規模で迅速に接続し、被災した通信ネットワークと連動して機能回復等を実現する技術を確立し、情報通信ネットワークに適用することを目標とした。

課題ア) 震災時を想定した有限ネットワーク資源適応的活用技術に関する研究開発

光ケーブルの切断や劣化、局舎停電など伝送ネットワークの不通時においても限りあるリソースを最大限活用し早期につながるネットワークを実現するため、1) 障害箇所の早期発見を実現する災害対応型リモート光ファイバ監視システムの開発、2) 局舎が停電しても省電力運転により長期運転可能な光中継装置の開発、3) 災害時を想定した異ベンダ装置接続制御技術の開発 (NICT との共同開発)、4) 伝送路の品質の劣化に対しても適応的に容量を可変しつながる光ネットワークを実現する制御技術を開発した。

課題イ) 震災時を想定した障害推定とレストレーションプラン解析・算定技術の研究開発  
 震災下における通信事業者の運用監視の維持と復旧プロセスの迅速化の実現に向けて、1) 事業者間で保持する障害情報や災害情報などを共有できる災害時事業者間インターフェースの TeleManagement Forum における国際標準化と、2) 自網から発生する断片的な警報情報やその他の災害情報を元に通信設備被害状況を推定する障害推定技術の開発、3) 通信サービス救済効果を最大化するレストレーションプランに関するアルゴリズムを開発した。

課題ウ) 輻輳を回避し通信を確保する切断耐性ネットワークの研究開発

ネットワークの中断や切断が断続的に発生する不安定なネットワークにおいてもデータ転送を可能とし、緊急性が高い情報を確実に利用者へ届ける緊急時コミュニケーション基盤を確立すべく、1) 災害時における通信確保技術、2) 自己参照型の負荷分散制御技術、および、緊急時トラフィック認証技術を開発した。

## 2. 研究開発内容及び成果

### 2-1 課題ア) 震災時を想定した有限ネットワーク資源適応的活用技術に関する研究開発

2011年に発生した東日本大震災では、光ケーブルの断線や光中継局の電源喪失等により長時間にわたって光伝送路が不通となったため、多くの通信トラフィックを被災地域以外の光伝送路へ迂回させる必要が生じた。このように震災時に生じる伝送帯域の激減に対しても、つながるネットワークを実現するため、本研究開発では以下の技術課題を定義し、光伝送路の災害に対して、限られたネットワーク資源を使ってトラフィックの接続性を維持すると共に、通信トラフィックの輻輳を回避しながら通信の接続性を継続可能にする技術の開発を行った。

図1は、課題アの各技術課題の概要を示した図である。各技術課題の詳細については、下記の1~3にて説明する。

- 1: 容量可変光中継伝送方式に関する研究開発 (東北大学)
- 2: 容量可変光ネットワーク制御方式に関する研究開発 (株式会社 KDDI 研究所)
- 3: 災害適応型の高効率な通信設備運用技術の研究開発 (KDDI 株式会社)

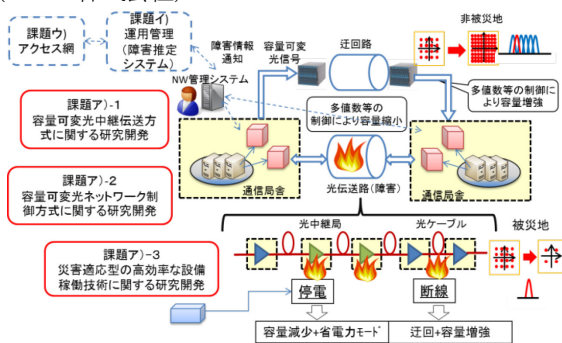


図1 課題アの各技術課題概要

#### ① 課題ア-1 容量可変光中継伝送方式に関する研究開発

成果概要:

大規模災害時における通信トラフィック量の急激な変化や伝送路品質の急激な劣化に迅速に対応するために、伝送容量を機動的に切り替え可能な多値度可変光伝送技術を開発した。

新たに実現した。本技術の概要と今回開発した多値度可変コヒーレント QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 光伝送装置の外観を図2に示す。ネットワーク監視システムからの制御信号に基づいて変調多値度を4, 16, 64 値の間で増減させることにより、伝送容量を最大10~60 Gbit/sの範囲で瞬時(1秒以内)に切り替えることに初めて成功した。

成果展開:

本技術は光ネットワークの耐災害性向上に有効な技術として通信キャリア・ベンダからも高い関心が寄せられている。今後は伝送装置メーカーと協力しながら装置の改良を重ね、小型化・耐環境性能の向上、集積回路への実装等、実用性の向上を図る。最終的に伝送レートの向上(5 Gsymbol/s → 10 Gsymbol/s)、ダイナミックな適応変調技術の向上(4 値~256 値)等の開発を継続しプロトタイプを作成する。

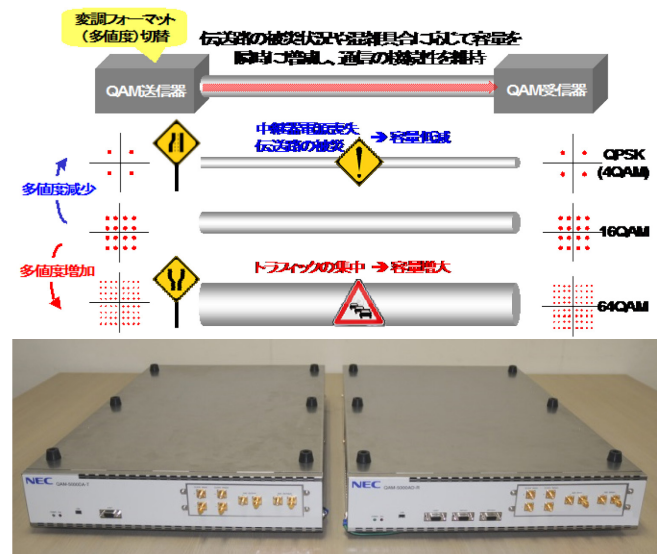


図2 容量可変伝送技術と今回開発した多値度可変コヒーレント QAM 光伝送装置 (左: 送信器、右: 受信器)

#### ② 課題ア-2 容量可変光ネットワーク制御方式に関する研究開発

成果概要:

課題ア-1において開発した容量可変デジタルコヒーレント光伝送装置を、信号光の品質情報(符号誤り率)を基にして、適応的に多値度を制御する容量可変制御システムを開発した。図3に、適応的に多値度を制御する容量可変制御システムの動作を示す。本システムは、光伝送装置から収集した品質情報を基にして、信号光の変調多値度を適切に制御する。トラフィックが集中し伝送容量が不足する場合には、適応的に信号光の変調多値度を QPSK → 16 QAM → 64 QAM (10 Gb/s ~ 60 Gb/s) の範囲で最適な値に制御する。一方、伝送路が被災して大容量伝送が不可能に陥った場合には、上述の変調多値度の範囲で伝送容量を縮小することで、接続性を確保可能とする。

次に、光伝送路の中継局舎が停電になった際もデータ転送が持続可能な災害対応型中継器について紹介する。図4に示すような、系統電源喪失時に、光信号の品質に影響なく予備電源に切り替え可能で、かつ自律的に光中継器の利得値を制御可能な災害対応型光中継器を開発した。光中継器が予備電源動作時に、利得値を下げることで消費電力を

低減可能とし、72時間以上の動作を可能とした。

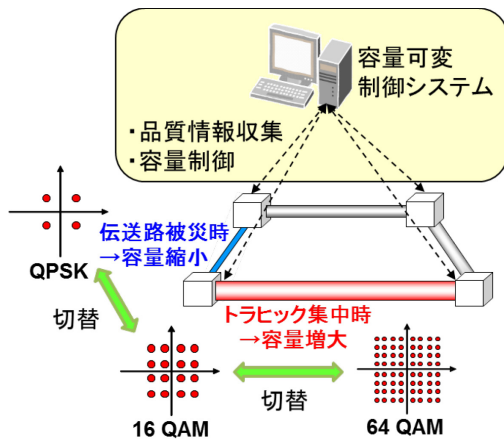


図3 容量可変制御システムの動作

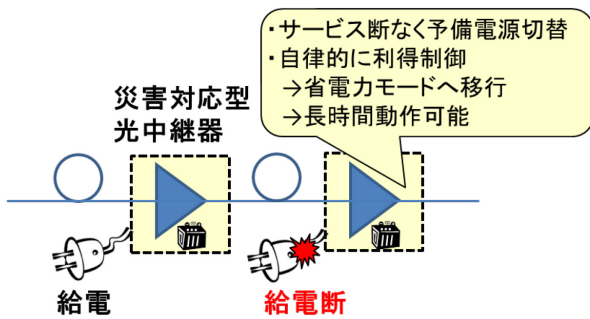


図4 災害対応型光中継器の動作

さらに、光伝送路の迅速な障害回復を目的として、災害対応型リモート線路監視システムを開発した。図5に示すように、本システムでは、ネットワークを管理するための専用ネットワークが障害により不通に陥ったとしても、ワイヤレスネットワーク等の別のネットワークを経由して障害状況を通知可能である。

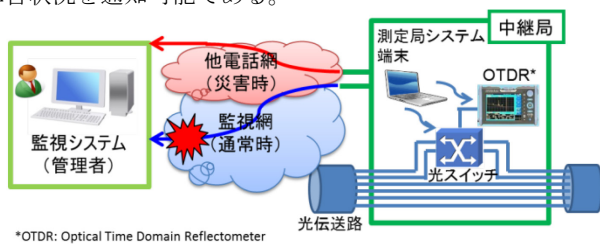


図5 災害対応型リモート線路監視システムの動作

成果展開：

本研究開発の成果である、光ファイバを監視しているOTDRベースの災害対応型リモート線路監視システムを光基幹網の監視システムとして実用化を図る。

③課題ア-3 災害適応型の高効率な通信設備運用技術の研究開発

成果概要：

従来は、震災時の電源確保のため、工事用の発電機を仮設したが、燃料の調達と補給が課題であった。本研究成果は、図6に示すように従来の停電に対し稼働時間が2倍以上となり、災害発生時の停電であっても長時間稼働を実現

する技術を確立した。

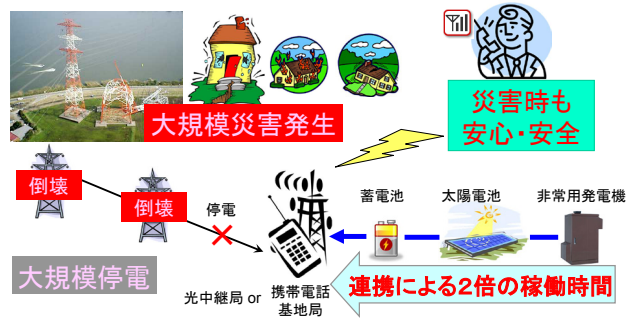


図6 大規模停電発生時の成果の活用

図7の構成で、太陽電池を増減させ、発電機には30リットルの燃料を入れ枯渇しシステムが停止するまでの時間を計測した。

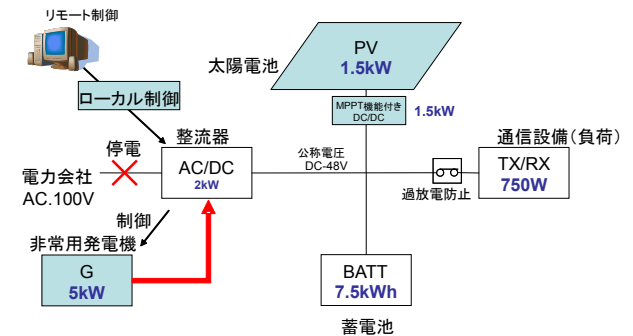


図7 実験システム構成

従来技術(発電機未制御+太陽電池なし)では、約3.9時間の稼働時間であったが、本研究の技術では、最大約1.15時間の稼働(発電機制御+太陽電池1.2枚)となった。太陽電池の枚数を変えると3枚は、約7.8時間。6枚は、約8.4時間。9枚は、10.7時間。1.2枚は、約1.15時間であり従来の2倍以上の性能が得られた。

成果展開：

現在、災害に備え蓄電池の容量を増強しているが、本研究成果である通信設備の稼働時間を延長させる高効率電源制御技術についても、基地局や通信局舎における災害対策として実用化を進める。特に台風等により商用電源の喪失が予測される基地局で試験導入を進める。

2-2 課題イ) 震災時を想定した障害推定とレステーションプラン解析・算定技術の研究開発

大規模災害時にネットワークの早期復旧を可能とするため、断片的な障害情報からネットワークの障害状況を推定する技術を開発するとともに、それに基づくレステーションプランを自動作成する方式を開発した。また、障害状況の推定精度を高めるため、災害時の情報交換に限定して事業者間で共有する通信管理インタフェースを規定する標準化活動を行った。具体的には、自網から得られた障害情報に加えて、事業者間で相互に協力し、断片的な障害情報や災害情報などを事業者間のシステムを通じて授受できる災害時事業者間インタフェースの実現と、上記障害情報や自網から発生する断片的な警報情報を元に、震災時の通信設備被害状況を自動的に推定する障害推定技術の実現、また、早期にインフラの復旧、並びにサービス救済効果を最大化する障害復旧プラン自動算定の実現を目指した。



成果概要：

- ・国際標準化に関する成果

事業者の運用管理システムのインタフェースを標準化する TMForum において、災害時の事業者間連携インタフェースを提案済み。他の通信事業者における、事業者間連携インタフェース(eBonding, EtherOAM)の流用方法に関する技術的課題などを調査し、同既存インタフェース活用(流用)の可能性の検討に着手した。また、TMForum Management World 会議において、災害時の事業者間 I/F デモ実施を提案し、議論の結果、共有インタフェースを使った事業者間デモ実施に向けて13年1月会合で審議した。当社が提案した震災時のキャリア間情報共有インターフェースに関して議論を進めた結果、まず Requirement Document を作成することで合意され、初稿ドラフトの作成に着手した。TMForum に提出した寄書の一部、ならびに、作成に着手した Requirement Document の表紙を図 8, 9 に示す。

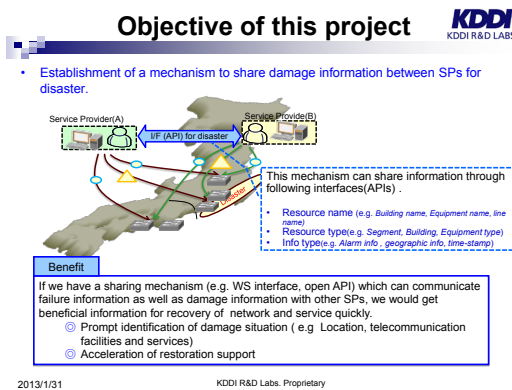


図 8 TMForum 提出寄書の一部

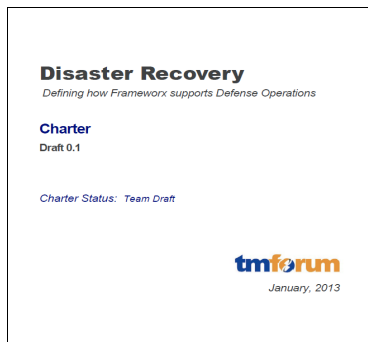


図 9 TMForum における Disaster recovery に関する要求条件文書

- ・研究開発に関する成果

災害時障害推定技術については、断片的な警報情報を元に、設備被害状況を推定するアルゴリズムを確立すると共に、多量の情報をリアルタイムに分析するシステム基盤を開発し、東南海地震を想定したデモ環境において、基本的な推定動作が行われることを確認した。災害時障害推定システムのアーキテクチャ、ならびに、同システムにおける動作画面(例)を図 10, 11 に示す。

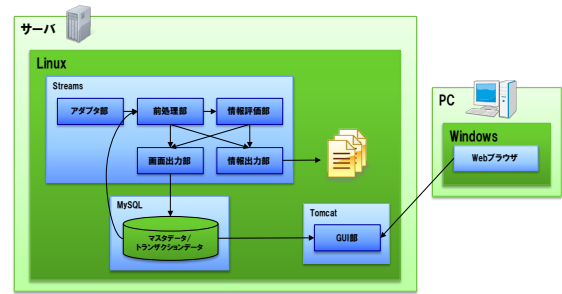


図 10 災害時障害推定システムのアーキテクチャ

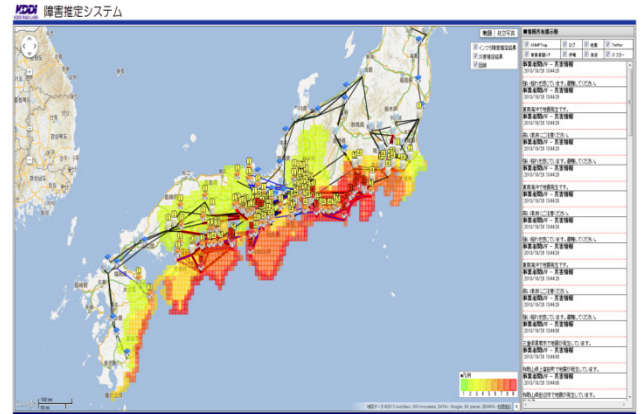


図 11 災害時障害推定システムの動作画面

災害時復旧支援技術については、通信サービス救済効果を最大化するインフラ復旧工程策定アルゴリズムを確立すると共に、復旧手順支援システム開発が完了し、東南海地震を想定したデモ環境において、基本的な復旧プロセス導出動作が行われることを確認した。災害時復旧支援システムのアーキテクチャ、ならびに、同システムにおける動作画面(例)を図 12, 13, 14 に示す。

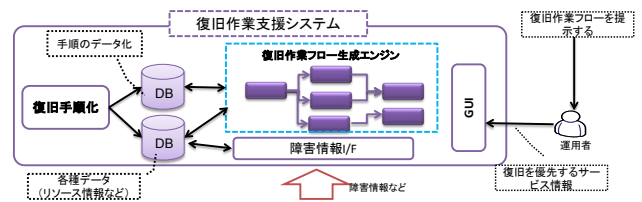


図 12 災害時復旧支援システムのアーキテクチャ



図 13 災害時復旧支援システムの動作画面(1/2)

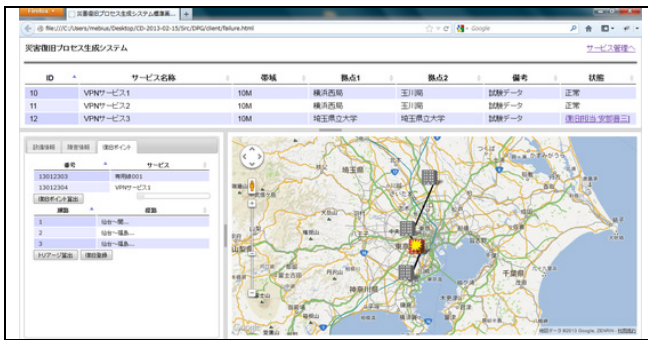


図 14 災害時復旧支援システムの動作画面(2/2)

成果展開：

障害対応業務フローを自動生成し、分析する技術について、KDDIの運用管理システムあるいはネットワーク建設に関するシステムにおいて適合性を見極めるべく、実装ユーザと連携して、障害業務フローへの整合性検証に着手した。また、運用業務展開に向け、ユーザとの共同検証、フィールド評価を通じて有効性を実証し、本技術を運用管理システムとして実用化する。

### 2-3 課題ウ) 輻輳を回避し通信を確保する切断耐性ネットワークの研究開発

東日本大震災の発生により、光ケーブルの断線、通信設備の電源喪失、輻輳が引き起こされ、社会インフラの弱さが露呈した。地震や停電に起因する光伝送路やケーブル、通信設備の損壊や輻輳により、住民が必要とする重要な情報（津波警報、緊急避難警報など）の発信が困難となっただけでなく、被災地への通信が途絶えるなど、情報の収集にも支障をきたし被害の拡大を招いた。さらに、通信事業者のインフラを監視・制御している運用管理網自体が影響を受け、被害状況の把握自体が困難になり、設備障害に対する応急・復旧活動に大きな支障が生じることとなった。東日本大震災を受け、災害が起こっても重要サービスを継続可能とする、高可用性インフラ構築に対する課題が再認識された。そこで、災害時に通信事業者網の可用性がない、または限られている状況においても、切断耐性ネットワーク技術を用いて臨時のネットワークを構成する技術の研究開発した。

#### ① ウ) -1 災害時における通信確保技術の研究開発 成果概要：

DTN アクセスポイントは被災者の集まる避難所や病院などに設置されるだけでなく、公営バスや運搬車両などの移動物にも設置することができる。このような移動物に一旦転送データを蓄積する形で切断耐性ネットワークのデータ転送を行うことにより、エンドツーエンドの接続がなくても臨時のネットワークのエリアを広げることができる。また、切断耐性ネットワーク技術によってアドホックに接続された DTN アクセスポイントの中で通信事業者回線の接続が生き残っている場合は、その通信事業者回線に接続する DTN アクセスポイントを自動的に検出し、通信事業者回線との接続を共有することができる。

1000 台規模の DTN アクセスポイント間で切断耐性ネットワークを構成するためには、DTN アクセスポイント間でどのようなトポロジが構成されているのかを認識し、そのトポロジに基づいた経路制御を行う必要がある。また、大規模なネットワークでは、単なる 1 対 1 のデータ通信だけではなく、1 対 N でデータの同報配信を行う必要がある。特に災害時には、自治体から避難者に対して避難情報

などの災害情報を配信する必要があるため、同報配信は効率的な通信手段として重要な機能であるといえる。これらの機能を実現することにより、リンクの切断が多発しエンドツーエンドの経路が失われる劣質な無線通信環境であっても、最大 10 万台の利用者端末が接続された最大 1000 台規模の DTN アクセスポイントで構成される切断耐性ネットワーク技術を実現した。

また、災害時、発電所の停止などにより停電が広域で発生した場合、通信ビル及び無線基地局では蓄電池と非常用発電機によってバックアップされているが、ユーザの通信端末（携帯電話、スマートフォンなど）は蓄電池に頼っているため、停電が長期間続くと利用できなくなる。したがって、災害時の通信確保を実現するためには、災害時においてもユーザにエネルギー供給を実現するバックアップ電源技術を研究した。



図 15 成果の全体イメージ

成果展開：

災害時には、通信事業者網への接続ができなくなり孤立してしまった利用者端末が、1 自治体（市町村程度の規模）あたり最大 10 万台存在することが想定される。今回研究開発した技術により、無線 LAN で収容できるアクセスポイントを多くの被災者が集まる学校・医療機関・役所などに設置し、これらの利用者端末がつながる臨時ネットワークを構築することが可能である。本研究開発の成果は臨時ネットワークを構築する消防・防災システムでの製品化と自治体などへの提案している。

#### ② ウ) -2 自己参照型の負荷分散制御技術の研究開発 成果概要：

激甚災害直後など、各端末の接続状況やシステム全体の配置が分からない状態に陥る事がある。そのため、自己と近隣ノードのローカルな情報だけで動作しつつも、システム全体としてアクセスポイントの配置を調和する自己参照型制御の研究を行った。

DTN アクセスポイントは移動可能であるため、被災状況に即した DTN アクセスポイントの好適な配置が重要となる。DTN アクセスポイントの好適な配置を計算し、その位置に DTN アクセスポイントを移動させれば、より多くの通信を可能とすることが可能となる。自己参照型制御



を応用することでノードの分散配置に適用できる負荷分散制御技術を確立した。

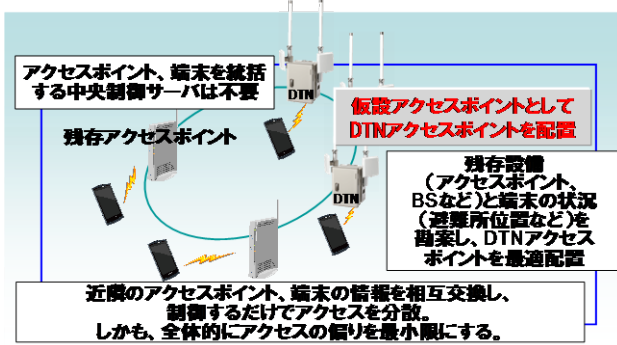


図 16 負荷分散制御技術のしくみ

成果展開：

DTN アクセスポイントは可搬型であるため、通信事業者回線へつながりにくくなる大規模イベント時（花火大会・お祭りなど）に臨時的無線 LAN アクセスポイントとしても使用出来る。イベントなどでの混雑時に負荷分散制御技術を使って DTN アクセスポイントを効率よく配置し、平常時においても利用者が公衆網アクセスとして有益に活用できると考える。また、大規模イベントなどへの活用について大槌町、女川町の被災地に試験導入し大規模イベントなどで活用する。

② ウ) -3 緊急時トラフィック認証技術の研究開発成果概要：

DTN アクセスポイントは災害時には被災場所に一時的に設置することが想定されるために通常の利用者認証のシステムを利用することができない。この場合には警察や消防といった重要利用者の通信と一般利用者の通信を区別することができないという問題がある。この問題に対応するために、激甚災害などで静的に参照している利用者認証サーバへのアクセスが出来なくなった場合でも利用者を認定したり、状況に応じて優先度やフィルタリングを動的に変更したりするような状況適応型の利用者認証技術を実現した。

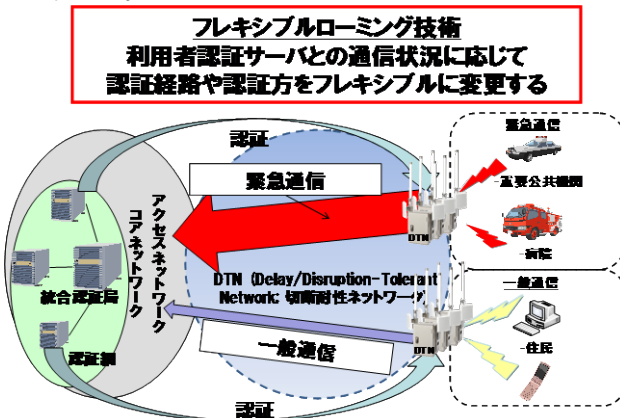


図 17 状況適応型の利用者認証技術

成果展開：

DTN アクセスポイントは、平常時は学校・図書館・公営住宅・公営バスなどに設置され、通信事業者回線（3G, WiMAX, 光ファイバなど）を通じて公衆網への通信を提供する公衆無線 LAN アクセスポイントとして活用することを想定している。平常時の認証機能はもとより、災害時

に DTN アクセスポイントを開放した場合も、緊急性の高い通信を優先して接続することができる。学校など公共施設において本成果が活用されるよう、提案活動を進めている。

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

（課題ア - 1）適応的多値度可変光伝送技術は、光ネットワークの耐災害性向上に有効な技術として、通信キャリア・ベンダから高い関心が寄せられている。多値度可変 QAM 送受信回路の製品化、実用化に向けては、新たに開発する項目が多岐にわたるため、伝送装置メーカーと協力してその製品化を目指している。特に伝送速度の高速化、多値度可変範囲の拡大、集積回路への実装を踏まえた実用性の向上に取り組んでいく。具体的には、10 Gsymbol/s の伝送レートで多値度としては 4 値～256 値のようなダイナミックな適応変調技術を開発する予定である。さらには小型化、耐環境性能の向上も行う。また、既に実用化されている 100G デジタルコヒーレント変復調デバイスにも本技術が利用出来るように検討を行う。

（課題ア - 2）本研究開発の成果である、光ファイバを監視している OTDR ベースの災害対応型リモート線路監視システムについて、光基幹網の監視システムとして実用化の推進を行うとともに、アクセス線路への適用検討を行った。基幹網に関しては、既存の基本機能部（リモート監視部）の試験導入に併せて、主な開発部分である耐災害機能部（監視網不通への対応）の導入・試験実施の提案を行った。平成 25 年度はまずは基本機能部の試験実施のみを行うこととなったため、引き続き耐災害機能部の提案・導入推進を行って行く。また、アクセス線路への適用検討については、事業部と利用形態や制御シーケンスなど導入シナリオについて検討を行った。センタ局と電柱や宅内までの線路（架空線等）の正常性確認を人手をかけずに実施できるシステムとして技術的な適用可能性を確認した。導入には光スイッチの小型化や低コスト化等が必要であり、利用ハードウェアの市場動向を鑑み検討を進める。

（課題ア - 3）本研究成果の効果を得るため、台風被害により停電の発生率が多い沖縄県においてサービス中の通信基地局を対象としたフィールド実証を計画したが、早期の対応を優先し発電機の燃料貯蔵量を倍増する方法で稼働時間の延長を達成していた。社会への取り組みとして、研究成果技術を展開するための情報交換を 6 回開催した。中でも、東南海地震への備えとしてテレビ局からの関心は高かった。海外への取り組みも推進し、海外携帯事業への参入に本成果を盛り込んだ提案や、電源事情の悪い国への導入提案事業にも積極的に働きかけている。成果技術への関心は高く今後も国内外への技術の展開を推進する。

（課題イ）災害時における通信事業者の運用管理システムを通じた被害状況把握のための要素技術である、災害時復旧支援技術に関して、運用業務フロー分析を通常運用時において活用することの可能性について、利用者との協力をしたトライアルに着手した。今後、トライアルの結果に基づき、運用業務フローの蓄積を通常運用時から稼働させるための課題を抽出するなど、実用化に向けた検討を進める。

（課題ウ）  
・国際標準化について  
本研究開発の成果は、広く普及している Wi-Fi 等の無線 LAN を活用しながら、無線 LAN アクセスポイントに DTN 機能を付加することで災害時に臨時的ネットワークを構成

する技術である。この目標として、大震災が発生した際に各避難所無線 LAN アクセスポイントを収容することができるよう、最大 10 万程度の利用者が接続された最大 1000 ノードの規模を想定している。これらの技術は単に今回開発した DTN アクセスポイントで実現するだけでなく、平常時には別のソリューションで様々な使われ方をしている機器の非常時用のモードとして広く多くの製品やシステムで採用されることで、非常時に有効な臨時ネットワークとして活用されるべきである。

そこで、本研究開発においては、ITU-T の Focus Group on Disaster Relief Systems、Network Resilience and Recovery (以下、FG-DR&NRR) の場を積極的に活用する。FG-DR&NRR は東日本大震災を契機とした災害救援、ネットワーク回復の標準化検討や ITU-T および他団体における関連の既存標準文書、既存活動の特定、ITU-T における今後の活動の特定等を議論する場である。この会合において、災害時に信頼性の向上、障害復旧を行うネットワーク等が議論されており、2013 年 2 月に Applying Delay Tolerant Networking (DTN) Technology for large-scale disasters として 1 件の発表を行った。また、2013 年 11 月の ITU Telecom World 2013 の会合において、SSF2: Resilient ICT for Disaster Relief でも 1 件の発表を行った。今後も上記の活動について継続的に注視し、災害時に必要となるネットワークとして継続的に発表していく予定である。

#### ・製品化について

本研究は、災害時等の通信事業者網を介した情報通信の可用性は限られた場合においても、DTN 技術を活用しながら、最大 1000 ノードの規模で臨時ネットワークを構築することを目的としている。これを実現するには、無線 LAN アクセスポイント・認証サーバ等を含むシステムとして構築する必要がある。

災害時においては、通信事業者網への接続ができなくなり孤立してしまった利用者端末が、1 自治体(市町村程度の規模)あたり最大 10 万台存在することが想定される。今回研究開発した技術により、無線 LAN で収容できるアクセスポイントを多くの被災者が集まる学校・医療機関・役所などに設置し、これらの利用者端末がつながる臨時ネットワークを構築することが可能である。本研究開発の成果を市町村同報系防災行政無線システム等に搭載し、市町村などの公共サービス提供者に提案していく予定である。2014 年 2 月には自治体への導入に向けた調査実験を実施する予定である。

また、DTN アクセスポイントは可搬型であるため、通信事業者回線へつながりにくくなる大規模イベント時(花火大会・お祭りなど)に臨時の無線 LAN アクセスポイントとしても使用出来る。イベントなどでの混雑時に負分散制御技術を使って DTN アクセスポイントを効率よく配置し、平常時においても利用者が公衆網アクセスとして有益に活用できると考える。大規模イベントなどへの活用について、導入提案を進めている。例として、女川のフラメンコ祭りでの活用を挙げる。フラメンコ祭りの最中に撮影した写真を、DTN アクセスポイント間で、SNS のように簡単に共有することができた。今後、より過密環境、大規模イベントでの活用、導入提案を進める。

さらに端末のみを用いた端末間同報配信システムの製品化に向けた研究開発を進めており、これらのシステムの連携も検討を進めている。

・バックアップ電源技術については、据置型のバックアップ電源としての製品化は可能であると考えられる。しかし、

本研究の目的は災害時に被災地において使用可能なバックアップ電源を開発することが目的であるので、トラックへの実装方法の検討を行い、被災地への搬送が容易である可搬型バックアップ電源装置を実現することを目標に検討中である。燃料電池、蓄電池及び制御装置は小型化の実現によりトラックへの搭載は可能である見込みだが、移動時の振動や傾斜による故障や LPG ボンベの転倒などの事故への対策を検討することが必要である。また、太陽電池に関しては、バックアップ電源設置場所において容易に設置できる方法を検討することが必要である。また、燃料電池システムのコストがまた高いので、より一層のコスト低減が必要であると考えられる。

#### 4. むすび

情報通信ネットワークの耐災害性の強化を実現するため、「震災時を想定した有限ネットワーク資源適用的活用技術」、「障害推定とレストレーションプラン解析・算定技術」及び「輻輳を回避し通信を確保する切断耐性ネットワーク技術」を確立し性能検証を完了した。また、積極的に対外活動やデモンストレーションを通じて研究開発成果の普及活動を行い、当初計画目標を達成した。今後は災害時を想定した検証を重ね、本研究技術の早期実用化を目指す。

#### 【誌上発表リスト】

- [1] H.Y. Choi, L. Liu, T. Tsuritani, I. Morita, "Demonstration of BER-adaptive WSON Employing Flexible Transmitter/Receiver with an Extended OpenFlow-based Control Plane," IEEE PTL, VOL. 25, NO. 2, (2013 年 1 月 15 日) ;
- [2] Toshiaki WATANABE, Shunichi KINOSHITA, Junichi YAMATO, Hideaki GOTO, Hideaki SONE, "Flexible Access Control Framework Considering IdP-side's Authorization Policy in Roaming Environment," The 6th IEEE International Workshop on Middleware Architecture in the Internet, (2012 年 7 月 16 日) ;
- [3] Hiroya yajima, Akiko Takahashi, Tadatoshi Babasaki, "Operational method of DC power system including photovoltaic and solid oxide fuel cells," IEEE PEDS 2013 (2013 年 4 月 22 日~25 日) ;

#### 【申請特許リスト】

- [1] 吉兼昇、釣谷剛宏、光送受信機制御装置、申請国 日本、申請年月日 2012 年 8 月 22 日
- [2] 林 通秋、ネットワーク管理システムおよび方法、申請国 日本、申請年月日 2012 年 11 月 7 日
- [3] 藤田範人、ネットワーク、ネットワークノード、配信方法及びネットワークノード用プログラム、申請国 日本、申請年月日 2012 年 10 月 22 日、特願 2012-214172

#### 【国際標準提案リスト】

- [1] TeleManagement Forum、Disaster recovery project-Sharing mechanism between SPs for disaster、提案年月日：2012 年 7 月 18 日

#### 【参加国際標準会議リスト】

- [1] TMForum・TMForum's Management World 2012、ダブリン(アイルランド)、2012 年 5 月 21 日~24 日
- [2] TMForum・Management World Americas 2012、オーランド(米国)、2012 年 12 月 31 日~6 日
- [2] ITU Telecom World 2013、SSF2:Resilient ICT for Disaster Relief、提案年月日：2013 年 11 月 20 日

## 【報道掲載リスト】

### (1) 報道発表実績

- [1] “災害時に頼りになる！生残設備を最大限活用した“暫定光ネットワーク”を構築 ～製造ベンダが異なる装置のネットワークを統合制御管理～”、2013年3月19日
- [2] “災害に備えた au 基地局の長期停電対策について ～トライブリッド～基地局 100 局、基地局バッテリー24 時間化 2000 局の設置完了～”、2013年3月29日
- [3] “災害など通信インフラ途絶時に Wi-Fi 活用により臨時ネットワークを構築する技術を開発 ～緊急時のコミュニケーション手段を迅速に提供～”、2013年3月18日
- [4] “NEC、世界初、モバイル端末のみで大規模な情報配信ネットワークを構築する技術を開発～災害時や通信の混雑時でも確実な情報伝達を実現～”、2013年12月3日

### (2) 報道掲載実績

- [1] “Wi-Fi アクセスポイント臨時ネットワークを災害時構築”、電波新聞、2013年3月19日
- [2] “公衆無線 LAN を転用 NEC、東北大と技術 災害時の臨時通信網”、日刊工業新聞、2013年3月19日
- [3] “災害などインフラ途絶時に Wi-Fi 活用により臨時ネットワークを構築する技術を開発 ～緊急時のコミュニケーション手段を迅速に提供～”、月刊ビジネスコミュニケーション 2013 4月号、2013年3月27日
- [4] “回線不通でも動画など配信、NECが新技術。”、日本経済新聞、2013年12月4日
- [5] “NEC、通信革命の先導なるか—C&C時代本番迎える”、日経産業新聞、2013年12月4日