

# 高速光接続技術

被災地に移動式ICTユニットを設置し、ユニット周辺で被災者どうしの通信を確立するなど、局所的に情報通信サービスを開始した後、次に被災地で要望されるのは被災地外との通信と考えられます。NTT未来ねっと研究所では、被災を免れた地下光ファイバケーブルの両端にデジタルコヒーレント方式の100 Gbit/s光送受信機をつなぎ、移動式ICTユニットと被災地外の広域・基幹ネットワークとの接続を確立することを提案しています。

こむかい てつろう さかの としかず ※

小向 哲郎 / 坂野 寿和

NTT未来ねっと研究所

## 移動式ICTユニットの課題

移動式ICTユニット<sup>\*1</sup>は、被災地に運搬され、設置されることにより、ユニットの周辺において、短期間で各種ICTサービスの利用環境を提供することが可能になります。ユニットを中心に半径数100 mの範囲でWi-Fiをベースにした無線アクセスネットワークが構築され、このエリアの中で被災者や自治体の職員が連絡を取り合うことが可能になります。さらに、移動式ICTユニットはデータセンタの機能を持っており自治体・病院・警察・消防などが独立にユニットが提供する情報通信サービスを利用することもできます。しかし、これらのサービスはICTユニットの周辺に閉じたものとなっており、例えば、被災地外との通信は別途手段を用意する必要があります。

被災地外の広域・基幹ネットワークとの接続は、衛星通信もしくは光通信がその手段として挙げられますが、それぞれメリット・デメリットがあり、状況によって使い分けることになると考えられます。

衛星通信の場合、被災地の被害状況

によらず、容易に通信が確立できると考えられますが、チャンネル当りの伝送容量が限られ、例えば被災地外との通話は通話数が制限されます。

一方、光通信の場合、被災地の被害状況が甚だしい場合、既存の設備が使えない状況が十分考えられます。ただ、東日本大震災のような大規模災害の場合でも、地下の光ファイバケーブルは多くが使える状況であったことから、既存の通信設備が使えない場合に、地下に残っている光ファイバケーブルを見つけ出して使うことができれば、光通信による接続が可能になると考えられます。

NTT未来ねっと研究所では、このような考えのもと、検討を行い、被害が著しい状況でも光通信により被災地外の広域・基幹ネットワークと接続する方法を提案しており、本稿では、その概要と基本的な確認実験の結果を紹介します。

## 移動式ICTユニットにおける光接続の課題

移動式ICTユニットと被災地外の広域・基幹ネットワークとの光接続（光インターコネクション）の実現にあたってはいくつかの課題が考えられます。

まず、被災地で地下の光ファイバケーブルを引き出して使う場合、光ファイバのタイプや長さがすぐには分からない可能性があります。被災地では速やかに光接続を確立できることが重要ですが、通常の光送受信機ではファイバケーブルの波長分散などを踏まえた調整が必要になります。また被災地の復旧が進むにつれ、音声通話よりもむしろ画像や動画など大容量の情報やり取りがメインになる可能性があるため、大容量伝送に容易に対応できる必要があります。さらに被災地ではさまざまな事情で光ファイバケーブルを頻繁に切り替える可能性があるため、速やかに光伝送路の切替に対応できる必要があります。

次に、広域ネットワークと接続した場合、例えば遠方の被災地外のデータセンタと移動式ICTユニットとを電気信号に変換することなく光信号だけで接続させることも可能ですが、伝送距離が非常に長くなるため、通常の伝送方式では高精度に波長分散補償をする

\*1 移動式ICTユニット：ICTサービス提供に必要なリソースを搭載した可搬型のユニットおよび同ユニットを用いたサービス展開方式のこと。MDRU (Movable and Deployable ICT Resource Unit) という呼称が使われることもあります。

※ 現、国際電気通信基礎技術研究所

ことが望ましく、そのための作業が必要となります。

このような課題を克服するためにNTT未来ねっと研究所では、最近進歩が著しいデジタルコヒーレント方式を適用した光送受信機を移動式ICTユニットに実装することを提案しています<sup>(1)</sup>。デジタルコヒーレント方式の光送受信機の大きな特長として伝送媒体として接続した光ファイバの波長分散を自動で電氣的に補償することにより光信号の波形等化を行います<sup>(2)</sup>。このため、素性の分からない光ファイバケーブルでも光信号が通過さえすれば直ちに光接続が可能になると期待されるとともに、タイプや長さが異なる光伝送路に切り替えても瞬時に光接続が回復すると考えられます。そこで私たちは移動式ICTユニット向けのデジタルコヒーレント光送受信機を実際に試作し、任意の特性の光伝送路に接続しても直ちに光接続が確立することが可能なことを確認しました。具体的には、特性の異なる光伝送路を光スイッチで切り替えてもすぐに100 Gbit/sの光接続が回復することを実験で確認しました。

### 光接続回復実験

試作した移動式ICTユニット向けデジタルコヒーレント光送受信機の構成概略図を図1に示します。試作機は、現在一般化しつつある100 Gbit/s偏波多重QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)<sup>\*2</sup>送受信機をベースにしており<sup>(2)</sup>、分散補償量は4万 ps/nmとなっています。またクライアント側に10チャンネルの10ギガビットイーサネット(10GbE)の入出力インタフェースを装備しており、SFP+ (Small Form-factor Pluggable+) モジュール<sup>\*3</sup>が搭載可能となっています。10GbEク

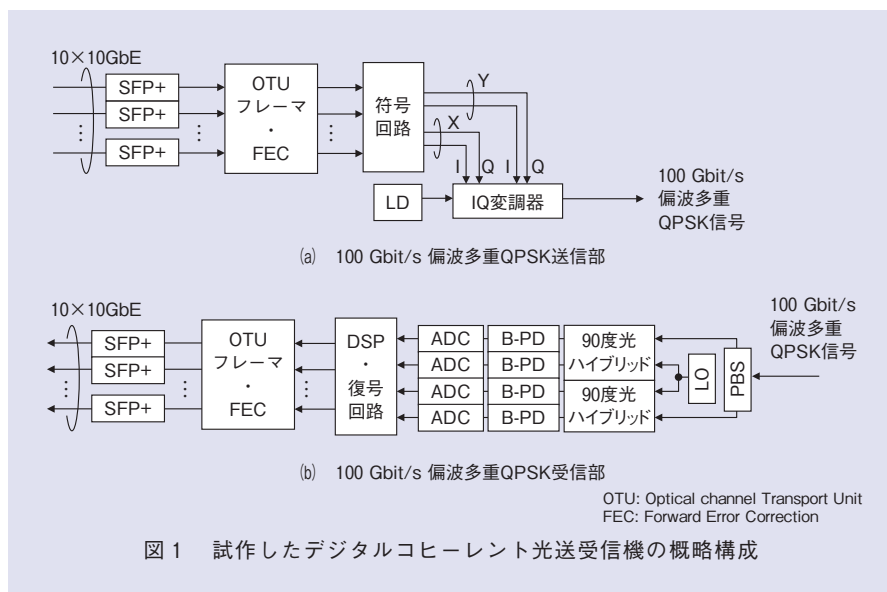


図1 試作したデジタルコヒーレント光送受信機の概略構成

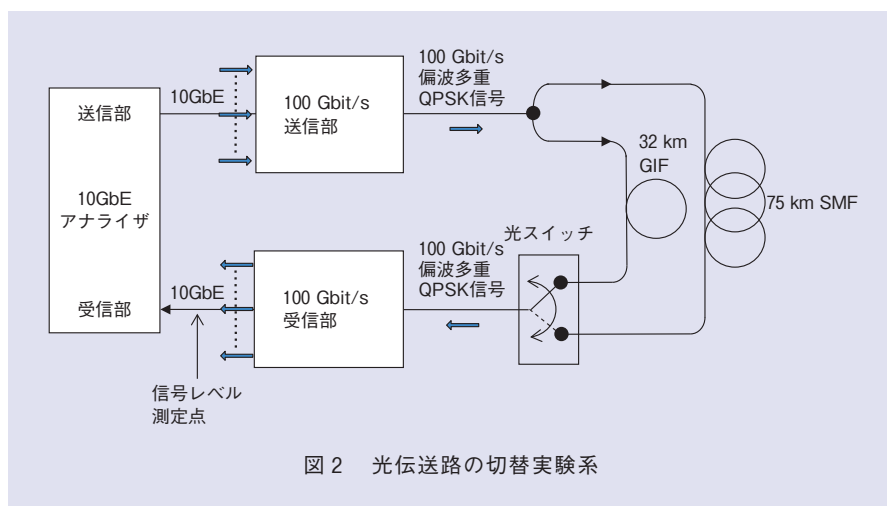


図2 光伝送路の切替実験系

ライアント光信号をデジタルコヒーレント光送信部において、OTN (Optical Transport Network) 信号<sup>\*4</sup>に収容し、符号回路を経て、X偏波、Y偏波ごとのIQ変調器による半導体レーザ (LD) 光の多値変調によって100 Gbit/s偏波多重QPSK信号に変換した後、光ファイバ伝送路に入射します。伝送されてきた100 Gbit/s信号は、デジタルコヒーレント光受信部にて、偏波ビームスプリッタ (PBS) にて偏波分離され、それぞれの偏波成分の光が90度光ハイブリッドにより局発光 (LO) と合

波され、バランス型フォトダイオード (B-PD)、ADコンバータ (ADC) を経て、デジタル信号処理による復調、適応等化並びに前方誤り訂正 (FEC) 処理の後、再び10GbEクライアント光信号に変換されます。

光伝送路 (光ファイバ) を切り替えたときに光接続がどれだけの時間で回復するか測定する実験系を図2に示し

\*2 QPSK: 搬送波の4つの位相に4値を対応させ、1回の変調 (シンボル) で2bitを伝送する多値変調方式。  
 \*3 SFP+モジュール: 10GbE接続のための光送受信モジュール (光トランシーバ)。  
 \*4 OTN信号: ITU-Tで規格化された光伝達網で使われる信号。OTUフレイマによりイーサネット信号がOTN信号に収容されます。

ます。高速光スイッチによって光ファイバを瞬時に切り替えることができます。10GbEアナライザからの10GbE信号をデジタルコヒーレント100 Gbit/s送信部で100 Gbit/s信号に変換後、光ファイバに入射し、伝送されてきた信号をデジタルコヒーレント100 Gbit/s受信部で受信して再び10GbE信号に変換し、10GbEアナライザで測定します。本アナライザは、10GbE信号を正しく受信できたバイト数を1msの分解能でカウン

トするもので、等価的なビットレートを求めることができます。

実際の実験例として、伝送路として32 kmのGIファイバ（GIF: Graded Index Fiber）と75 kmの1.3 $\mu$ m零分散単一モードファイバ（SMF: Single Mode Fiber）を切り替えた実験の結果を紹介します。図3および図4は、10GbE信号のレベルの時間変動を示しており、光スイッチによる切替により27 msの間、信号レベルがダウンしますが、すぐにレベルが復旧すること

を示しています。図5および図6は10 GbE信号のトラフィックの時間変動を示しており、30 msの間、信号が途絶えますが、すぐに復旧することが分かります。

このようにデジタルコヒーレント送受信機は、特に事前にファイバパラメータの測定などは必要なく、接続すれば直ちに光信号を疎通させることができ、いわばプラグアンドプレイ機能を持つといえます。またGIファイバでも30 kmくらいまでなら100 Gbit/s伝送が可能であり、デジタルコヒーレント送受信機は波長分散のみならずモード分散\*5もある程度補償できることが分かりました。このようにデジタルコヒーレント方式の光送受信機を移動式ICTユニットに実装すれば、大規模災害時に被災地と被災地外のネットワークを容易にかつ高速で結ぶことが原理的には可能になります。

### 今後の展開

デジタルコヒーレント方式の光送受信機を移動式ICTユニットに適用すれば、移動式ICTユニットが設置された被災地と被災地外とを高速の光リンクで速やかに結ぶことが可能である見込みが得られましたが、大規模災害時には、地下の光ファイバケーブルを利用することを前提としています。このため、被災を免れた通信ビルまで通じている光ファイバケーブルを見つけることが必要であり、光ファイバケーブルの心線対照技術や光ファイバケーブルが断線していないかどうかの判定技術

\*5 モード分散：マルチモードファイバには複数の伝搬モードがあり、速度がそれぞれ異なるため、光信号が光ファイバ内部を伝搬していくうちにその幅が時間的に広がってしまう現象のこと。GIファイバはマルチモードファイバの一種ですが、モード分散が小さくなるようにコアの屈折率分布形状が工夫されています。

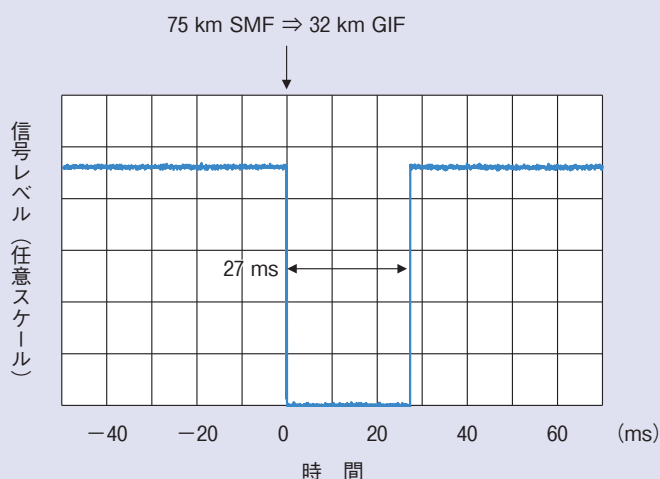


図3 10GbE信号のレベルの時間変動 (75 km SMF⇒32 km GIF)

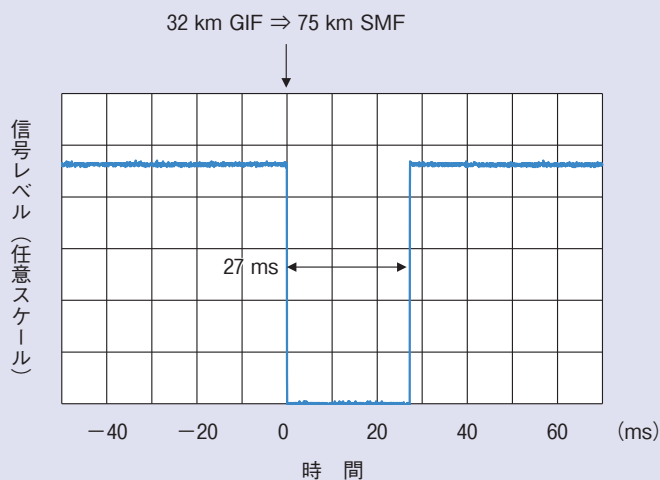


図4 10GbE信号のレベルの時間変動 (32 km GIF⇒75 km SMF)

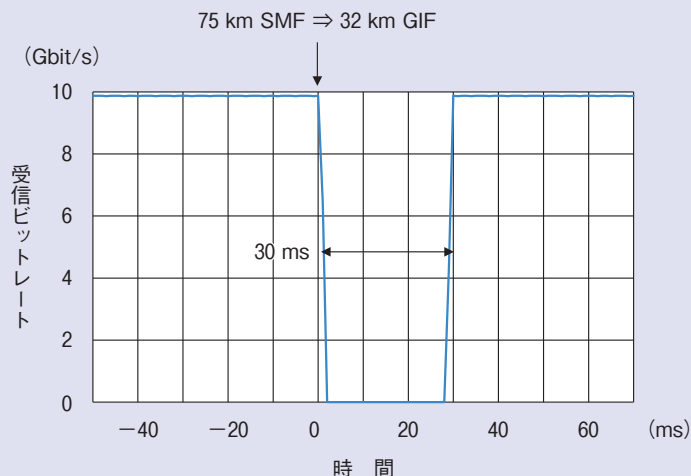


図5 10GbE信号のトラフィックの時間変動 (75 km SMF=>32 km GIF)

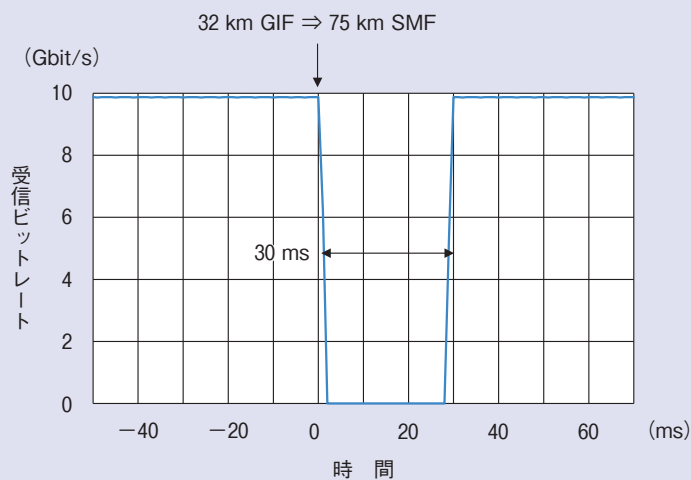


図6 10GbE信号のトラフィックの時間変動 (32 km GIF=>75 km SMF)

も必要になると考えられます。

また、対向となる光送受信機を通信ビル内にどのように準備しておくかも検討する必要があり、地下の光ファイバケーブル利用の取り決めなども含めてどのような体制を準備しておくのか議論が必要です。なお、大規模災害時には被災地が広範囲にわたるのが一般的ですが、そのような場合、移動式ICTユニットを複数台投入する必要があります。ユニット間の通信に固定無線アクセス (FWA: Fixed

Wireless Access) を使うことが考えられます。しかし、見通しが悪い環境では、地下の光ファイバケーブルを利用して光接続を行うことも選択肢になると考えられます。そのためにも光ファイバケーブルの判別技術や心線対照技術が必要になります。また都市部などには通信会社以外の団体や組織、例えば自治体が独自に敷設した光ファイバケーブルも多くあり、そのような光ファイバケーブルの活用も検討する必要があります。

■参考文献

- (1) T. Komukai, H. Kubota, T. Sakano, T. Hirooka, and M. Nakazawa: "Plug-and-Play optical Interconnection Using Digital Coherent Technology for Resilient Network Based on Movable and Deployable ICT Resource Unit," IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E97-B, No.7, pp.1334-1341, July 2014.
- (2) 宮本・佐野・吉田・坂野: "超大容量デジタルコヒーレント光伝送技術," NTT技術ジャーナル, Vol.23, No.3, pp.13-18, 2011.



(左から) 小向 哲郎/ 坂野 寿和

移動式ICTユニットと被災地外の広域・基幹ネットワークとの光通信による接続方式は、原理的な確認を行った段階ですが、今後、関連研究所の協力を仰ぎつつ、残された課題の解決を目指したいと考えています。

◆問い合わせ先

NTT未来ねっと研究所  
 フォトニックトランスポートネットワーク研究部  
 TEL 046-859-4393  
 FAX 046-859-5541  
 E-mail komukai.tetsuro@lab.ntt.co.jp