

# 光海底ケーブルシステム用端局装置 T640SW LTE

佐藤 吉朗・中田 樹宏

## 要 旨

世界的なIPデータトラフィックの増大によって、光海底ケーブルシステムに対する大容量化、長距離化の要望が年々高まっています。

本稿では、総伝送容量1.32Tbps（伝送速度10Gbps×132波）、伝送距離9,000km以上の超大容量/超長距離伝送を可能とする光海底ケーブルシステム用端局装置T640SW LTEの特徴及び構成について紹介します。

## キーワード

●光海底ケーブルシステム ●端局装置 ●高密度波長分割多重 ●大容量 ●長距離

## 1. まえがき

近年、インターネットの普及とともに、音声・映像などの大容量コンテンツを扱うサービスが急速に拡大しています。このようなIPデータトラフィックの増大を背景として、バックボーンネットワークである光海底ケーブルシステムにおいても年々、回線需要が高まっています。

NECでは、このような市場ニーズに対応するために、超大容量/超長距離伝送を可能とする光海底ケーブルシステム用端局装置「T640SW LTE」を開発しましたので紹介します。

## 2. T640SW LTEの概要

T640SW LTEは、総伝送容量1.32Tbps（伝送速度10Gbps×132波）、伝送距離9,000km以上の超大容量/超長距離伝送を可能とする光海底ケーブルシステム用端局装置です。本端局装置は、陸上ネットワークからのトリビュタリ光信号に対して誤り訂正符号のコーディング、長距離伝送に適した変調符号への波長変換及び波長分散補償、波長多重を行う送信部と、それらと逆の処理を行う受信部より構成されています。また、非常に高い回線信頼度が要求される場合には、予備波長による冗長構成を適用することが可能です。

## 3. T640SW LTEの特徴

T640SW LTEは、超大容量/超長距離伝送を実現するために

さまざまな技術を適用しています。以下に、主な適用技術について紹介します。

### 3.1 超大容量/超長距離伝送技術

#### (1) 高密度波長多重化技術

光海底ケーブルシステムの場合、ケーブル内に収容できる光ファイバ数が最大16本に限定されるため、大容量化を図る上では高密度波長多重化技術が非常に重要となります。NECでは、波長間隔25GHz（0.2nm）の高密度波長多重化技術（Dense Wavelength Division Multiplexing：DWDM）を開発し、光増幅帯域28nmに10Gbps光信号を132波長まで多重することが可能です。この技術により、光海底ケーブルシステム用端局装置では世界最高レベルの高密度波長多重伝送を実現しています。また、高密度波長多重に適した高い波長安定性を保つために、高精度の波長ロッカーによる波長安定化制御を行っています。

#### (2) 光信号変調技術

光通信システムの光変調符号形式としては、一般的にNRZ変調方式が使用されています。一方、伝送距離の長距離化を図る上では、OSNR耐力に優れた変調符号の適用が効果的であり、光海底ケーブルシステムではNRZ変調方式とともにRZ変調方式が広く使用されてきました。NECでは、これらの変調方式に加えて、RZ-DPSK変調方式を新たに実用化し、長距離伝送における伝送品質向上を図っています。RZ-DPSK変調方式のOSNR耐力は、RZ変調方式に対して更

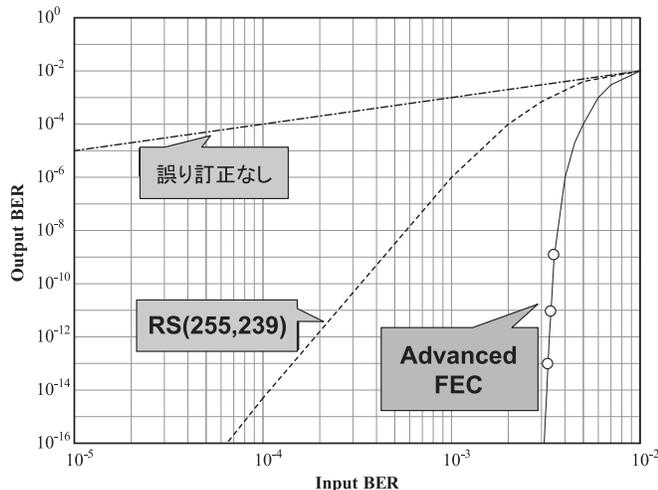


図1 Advanced-FECの符号誤り訂正能力

に理論上3dB改善することが可能であり、数千kmを超える超長距離伝送において優れた性能を発揮することが可能です。

### (3) 符号誤り訂正技術

NECは、光海底ケーブルシステムでの長距離化、大容量化に伴う信号品質劣化を改善するために、ITU-T G.975.1に準拠した高利得符号誤り訂正機能LSI (Advanced-FEC)を開発し、トランスポンダ部に搭載しています。図1にAdvanced-FECの符号誤り訂正能力を示します。Advanced-FECはBCH連接符号を適用しており、 $3.3 \times 10^{-3}$ の符号誤り率 (Bit Error Rate : BER) を $1 \times 10^{-12}$ 以下のエラーフリー信号に訂正することができ、約8.5dBの誤り訂正利得を得ることができます。

### 3.2 可変波長分散補償機能

光信号は光ファイバを伝搬する際に波長分散による波形歪みを受け、伝送後の信号品質劣化を引き起こします。この波長分散による波形歪みは光ファイバの距離が長いほど顕著となるため、長距離/大容量伝送を行う光海底ケーブルシステムでは、累積した波長分散を海底伝送路中や端局装置内で補償することが必要になります。本端局装置は、可変波長分散補償機能を有しており、海底伝送路の波長分散特性に合わせて波長ごとに分散補償量を最適に調整することが可能です。

### 3.3 プリエンファシス機能

光海底ケーブルシステムの光海底中継器は、信号帯域内で平坦な利得特性を持つように非常に高い精度で製造管理されています。しかし、数千kmを超える長距離システムでは、利得偏差の累積により、各波長の信号品質に偏差が生じます。この信号品質の偏差を補償し均一化する手段として、本端局装置では送信側で光信号のレベルを調整するためにプリエンファシス機能を有しており、海底伝送路の波長依存性に合わせて波長ごとに光送信パワーを最適調整することが可能です。

### 3.4 OADM (Optical Add/Drop Multiplexing) 機能

ネットワーク構成の柔軟化への対応として、光海底ケーブルシステムへのOADM方式適用のニーズが高まっています。

本端局装置は、OADM方式で必要とされる波長管理機能を有しており、合分波機能を持った海底分岐装置と組み合わせることによって、波長単位で分岐・挿入が可能なOADMネットワークを構築することができます。

### 3.5 N:1波長冗長機能

本端局装置は、要求される回線信頼度に応じて、予備波長による冗長を構成することが可能です。この機能はN台 (N:最大32) の現用系トランスポンダと1台の予備系トランスポンダによりN:1の波長冗長を構成するものであり、現用系トランスポンダ (現用波長) に障害が発生した場合は、自動的に予備系トランスポンダ (予備波長) へ切り替えを行います。障害が復旧した場合は、自動的に現用系トランスポンダ (現用波長) へ切り戻しを行います。

## 4. T640SW LTEの構成

T640SW LTEは、3つの機能部より構成されます。1つ目の機能部は、10Gbps光信号を送信・受信するトランスポンダ部、2つ目は10Gbps光信号を波長間隔25GHzで多重分離する光波長多重分離部、3つ目は現用系トランスポンダの障害時に予備系トランスポンダへ切り替えを行うN:1冗長切替部です。要求される波長数、伝送距離、波長冗長の要否などのシステム条件に合わせて、最適な装置構成を柔軟に構築することが可

能です。

4.1 主要機能ブロックと主要諸元

図2にT640 SW LTEの主要機能ブロック、表に主要諸元を示します。以下に、トランスポンダ部、光波長多重分離部、N:1冗長切替部についてそれぞれ説明します。

(1) トランスポンダ部

送信側においてトリビュタリ側から入力されたSTM-64/OC-192もしくは10GbE光信号を光/電気変換し、FECフ

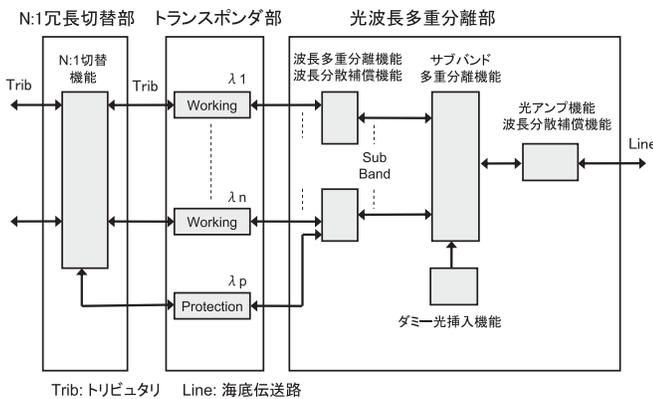


図2 T640SW LTEの主要機能ブロック

表 T640SW LTEの主要諸元

項目	仕様
海底伝送路側インタフェース	
最大波長数	132波
波長間隔	25GHz/33.3GHz/50GHz/100GHz
波長範囲	1,538~1,566nm
波長安定度	≤ ±0.02nm
伝送速度	10.7092Gbps 11.0957Gbps(10GbE)
符号形式	RZ-DPSK/RZ/NRZ
トリビュタリ側インタフェース	
	STM-64/OC-192 (ITU-T G.691) 10GbE (IEEE802.3ae) STM-16/OC-48 (ITU-T G.957)
電源電圧	DC-48V
使用環境条件	温度: +5~+40°C 湿度: 5%~85%

レームに収容して誤り訂正符号化処理をします。更に、この信号を電気/光変換で波長多重伝送に適した光信号に変換し、光波長多重分離部へ出力します。光信号の変調方式はNRZ、RZ、RZ-DPSKより、システムごとに最適なものを選択します。受信側では、上記の逆のプロセスにより海底伝送路からの光信号を処理して、トリビュタリ信号として出力します。本トランスポンダ部には、プリエンファシス機能と可変波長分散補償機能を備えており、伝送後の信号品質が最適になるように調整することが可能です。また、トリビュタリ信号として、4本のSTM-16/OC-48光信号を非同期多重/分離することができる2.488Gbps×4多重トランスポンダもメニュー化しています。

(2) 光波長多重分離部

光波長多重分離部は、波長多重分離機能、サブバンド多重分離機能、ダミー光挿入機能、光増幅機能、波長分散補償機能の各機能ブロックより構成されています。波長多重分離機能はトランスポンダと接続され各信号波長を最小25GHz波長間隔での多重もしくは分離します。サブバンド多重分離機能は、波長多重分離機能と接続してサブバンド単位の多重分離を行います。ダミー光挿入機能は、運用開始初期のようにトランスポンダ数が少ない状態においても海底伝送路中の光信号のレベルを一定に保持するために、トランスポンダの光信号に代わってダミー光信号を挿入します。光増幅機能は、光波長多重信号を増幅して海底伝送路へ出力し、海底伝送路からの減衰した光波長多重信号を増幅する機能を提供します。波長分散補償機能は、海底伝送路の累積波長分散を波長多重信号に対して全波長一括もしくはサブバンド単位で補償します。

(3) N:1冗長切替部

冗長切替部は、基本的に光スイッチの組合せにより構成され、現用系トランスポンダと予備系トランスポンダの切り替えを行います。1台の予備系トランスポンダで最大32台の現用系トランスポンダをサポートすることが可能です。現用系トランスポンダに障害が発生した場合は、自動的に予備系トランスポンダへ切り替えを行います。障害が復旧した場合は、自動的に現用系トランスポンダへ切り戻しを行います。切替モードには上記の自動切替モードのほか、強制切替モード、手動切替モードも選択することが可能です。

### 4.2 波長増設

波長多重システムは、回線の需要に応じて、波長を適宜増設できることが重要となります。本端局装置の波長増設は、トランスポンダとサブバンド単位の波長多重分離機能を追加することによって行います。図3に波長増設の例を示します。初期構成時は、サブバンド1のトランスポンダと波長多重機能で波長増設を行い、サブバンド1の波長がすべて増設されると、新たなサブバンド（図の例ではサブバンド2～5）のトランスポンダと波長多重機能を追加して波長増設を行います。本構成は将来の40Gbpsトランスポンダによる増設などにおいても対応可能であり、柔軟な機能拡張性を有しています。

### 4.3 製品外観

写真にT640SW LTEの製品外観を示します。写真左はトランスポンダを収容したラック、写真中央は光波長多重分離部を収容したラック、写真右はN:1冗長切替部を収容したラックを示しています。1台のラックには、シェルフ3台と電源分配盤（局舎電源を各シェルフに分配する）1台を搭載することができます。また、小規模システムの場合には、トランスポンダを収容したシェルフ、光多重分離部を収容したシェルフ、N:1切替部を収容したシェルフを同一ラックに混在搭載するこ

トランスポンダ部 光波長多重分離部 N:1冗長切替部

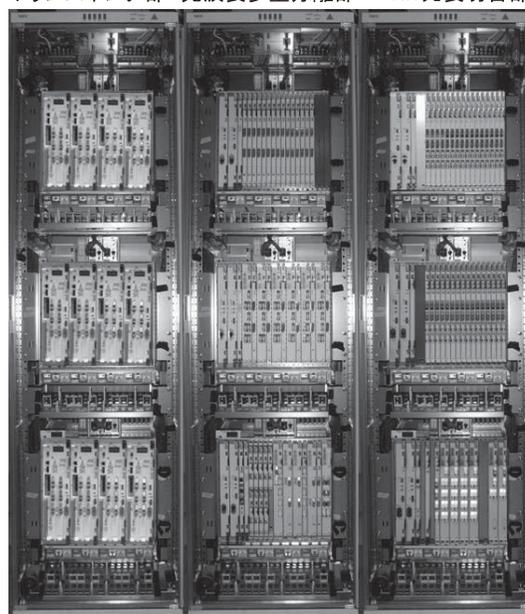


写真 T640SW LTEの製品外観

とも可能です。

## 5. むすび

ご紹介した光海底ケーブルシステム用端局装置T640SW LTEは、既に大規模な国際間ネットワークから比較的小規模な地域内ネットワークまでの多くの光海底ケーブルシステムに適用され運用に供されています。NECは、今後の更なる国際間回線需要に応えるために、大容量化技術、長距離化技術の開発を進めており、これら技術を適用した製品開発に取り組んでいきます。

### 執筆者プロフィール

佐藤 吉朗  
ブロードバンドネットワーク事業本部  
海洋システム事業部  
主任

中田 樹宏  
ブロードバンドネットワーク事業本部  
海洋システム事業部  
主任

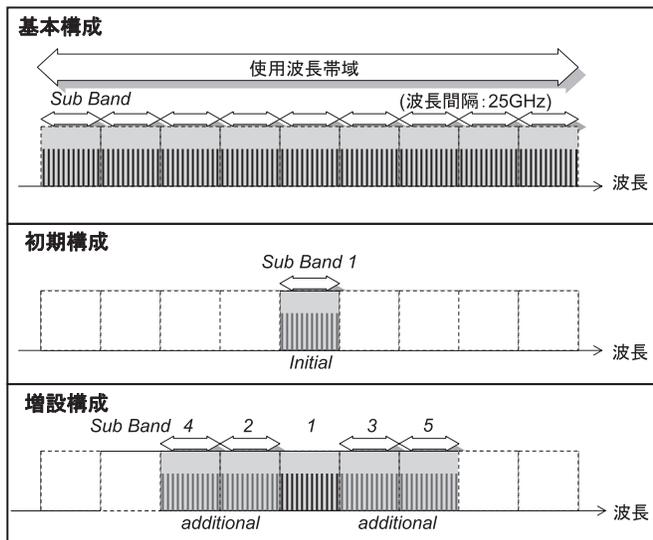


図3 波長増設の例