

標準類制定状況

光ファイバ伝送専門委員会

光ファイバシステムSWGリーダー
 國松 和宏 (富士通株式会社)



1. はじめに

光ファイバ伝送専門委員会では、ITU-T SG15 WP2の光伝送網の物理層に関する6つの課題（陸上伝送システム、光部品、ファイバ、海底光システム、ケーブルと屋外設備、保守運用）に関する標準化について検討を推進しています。ダウンストリーム活動の一環として、2003年10月の制定以来、ITU-Tにおける光ファイバシステム開発のガイドラインとして利用されているITU-T、G.Sup.39 (Optical system design and engineering considerations)をTTC技術レポートTR-GSup.39 (第3版)として2017年2月10日に改定しました。これによりH26年度より3ヵ年計画でのTR-GSup.39は完成をみました。本稿では、第3版で改定された箇所について概説します。

2. TTC技術レポート：TR-GSup.39 (3版)「光伝送システムの開発と技術的考察」

2.1 概要

今回、第3版に改定したTR-GSup.39は、ITU-T G.Sup.39 (02/2016)に準拠しており、G.Sup.39 (09/2012)からの変更箇所も含まれています。TR-GSup.39では、ITU-T G.957、ITU-T G.691、ITU-T G.959.1勧告などの光学インタフェースの開発に用いられる背景と方法論を概説しています。ITU-T

SG15の複数の勧告に含まれている関連要素を統合して記述することによって、ITU-T SG15 Question 6の勧告に準拠して開発されているシステムインタフェースと、ITU-T SG15 Question 5、7で規定される光ファイバおよび部品の仕様がより良い相関関係となることを目的としています。このため、TR-GSup.39は、ITU-T規格を参照し光伝送システムの開発を行おうとする技術者にとって、関連技術の概要と関係性を容易に把握するための、いわば入門書的な存在として位置づけられます。

2.2 範囲

イントラオフィス、オフィス間、長距離陸上ネットワーク、旧同期デジタルハイアラキー (PDH)、同期デジタルハイアラキー (SDH)、光伝送網 (OTN)を支える非増幅もしくは増幅された単一チャネル、多重デジタル光システムの開発と工学問題等について幅広い範囲を対象としています。

2.3 TR制改定計画と平成28年度の実績

平成26年度から28年度の3ヵ年計画で14の章を優先度付けし、段階的にTTC技術レポートとして制定し、第3版にて全章制定が完了しました。表1に内容と制改定の実績を示します。

表1 TR-GSup.39の内容と制改定実績

内容	制定年度
1～4章 概要	平成26年度 (第1版)
5章 波長帯域の定義	平成26年度 (第1版)
6章 システム要素のパラメータ	平成26年度 (第1版)
7章 伝送路符号化の考察	
7.1章 様々な伝送路符号化スキームの概観	平成26年度 (第1版)
7.2章～7.10章 個別変調方式の詳細	平成27年度 (第2版)
7.3.3章 非直交信号の生成受信方法	平成28年度 (第3版)
7.8章 ナイキスト波長分割多重	平成28年度 (第3版)
7.9.2章 ゼロ復帰偏波多重二相位相偏移変調	平成28年度 (第3版)
7.11章 システム劣化の検討	平成27年度 (第2版)
7.12章 多次元変調フォーマット	平成28年度 (第3版)

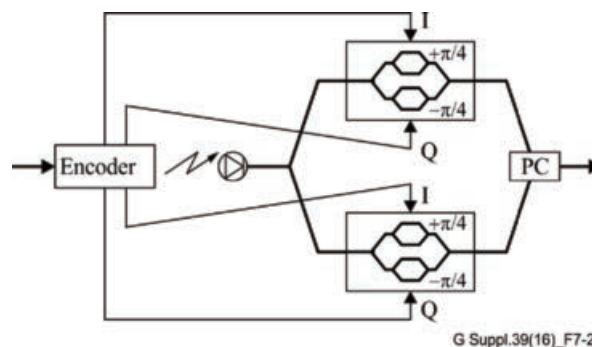
内容	制定年度
8章 光ネットワークポロジー	平成27年度 (第2版)
9章 最悪値システム設計	平成27年度 (第2版)
10章 統計的システム設計	平成26年度 (第1版)
11章 前方誤り訂正 (FEC)	平成28年度 (第3版)
12章 物理層の垂直および水平互換	平成26年度 (第1版)
13章 光スイッチネットワークの設計に関する考察	平成28年度 (第3版)
14章 安全な光パワーのためのベストプラクティス	平成28年度 (第3版)
付録 I 波長分散によるパルス広がり	平成27年度 (第2版)

平成28年度 (第3版) 改定の対象項目の概要を以下に示します。

【7章. 伝送符号化の考察】

- ・ 7.3.3章では、非直交信号においてもシンボル間干渉を除去することができる信号生成受信技術を解説し、理論的に直交信号と比較しても性能劣化を発生させず、より狭いキャリア帯域幅を選択でき、周波数利用効率の改善が可能になることを示している。
- ・ 7.8章では、伝送距離を犠牲にすることなく周波数利用効率を改善するサブキャリア多重技術の一つとして、ナイキスト波長多重分割 (WDM) 技術を解説。ナイキストWDMの実現方法として、図の送受信機にデジタル/アナログ変換機 (DAC) を用いて、電気領域でナイキスト整形を行う方法と、図1のように波長選択スイッチなどの一般的な光フィルタを用いてスペクトル整形を行う方法を紹介。
- ・ 7.9.2章は、偏波分割多重二相位相偏移変調 (PDM-BPSK) の生成方法として、ゼロ復帰偏波多重二相位相偏移変調を紹介。
- ・ 7.12章では、より高い雑音耐力を実現できる多次元変調フォーマットとして、偏波スイッチQPSK (PS-QPSK)、6値偏波偏位QPSK (6PolSK-QPSK)、3次元シンプレックス (3D-Simplex) について解説。図1に示す多次元変調フォーマットの送信機構成図にて偏波多重IQ変調器を用いて信号を生成し、受信側ではコヒーレント受信機にて処理して送信情報を取り出すことを解説。その際のコンスタレーション点の解説も行い、一例として表2および図2にPS-QPSKの場合を本稿に記載する。

尚、2016年2月に改訂された最新版のITU-T G.Sup39では、上述したナイキストWDM技術、並びに多次元変調フォーマットに関する記載が新たに盛り込まれている。

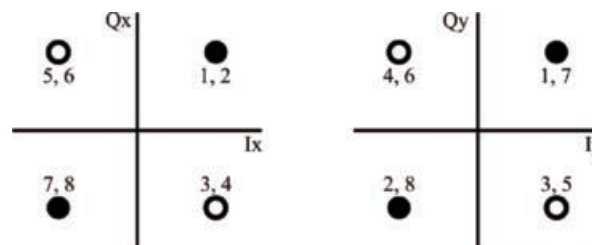


G Suppl.39(16)_F7-29

図1 多次元変調フォーマットのための送信機構成図

表2 PS-QPSKのコンスタレーション点配置の組み合わせ

Point number	Ix	Qx	Iy	Qy
1	1	1	1	1
2	1	1	-1	-1
3	1	-1	1	-1
4	1	-1	-1	1
5	-1	1	1	-1
6	-1	1	-1	1
7	-1	-1	1	1
8	-1	-1	-1	-1



G Suppl.39(16)_F7-30

図2 x, y偏波上のPS-QPSKのコンスタレーション表示、図中の数字は表2にあるpoint numberに対応

【11章. 前方誤り訂正 (FEC)】

- ・ 長距離大容量伝送システムの性能向上させるために重要な手段であるFECについて解説。光伝送システムでのFEC方式はITU-Tで勧告されており、SDHシ

表3 標準FECの性能

Application	帯域内 FEC BCH (4359,4320)	帯域外 FEC RS (255,239)
	SDH	OTN
BER _{out} = BER _{ref} = 10 ⁻¹² に対するBER _{in}	2.9 × 10 ⁻⁶	1.8 × 10 ⁻⁴
dB表示の符号化利得 (BER _{ref} = 10 ⁻¹²)	3.8	5.9
dB表示での総符号化利得 (BER _{ref} = 10 ⁻¹²)	3.8	5.6
符号化率	1	239/255

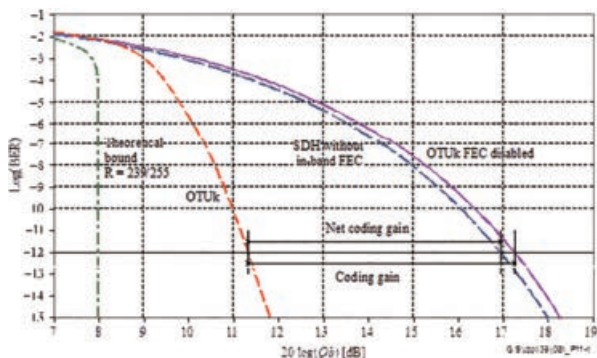


図3 ITU T G.709/Y.1331 FEC方式の性能見積もり

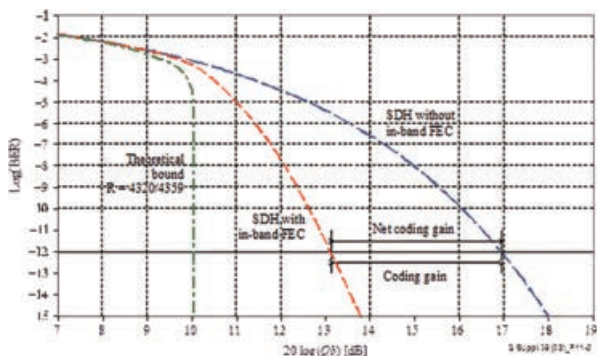


図4 ITU T G.707/Y.1322 FEC方式の性能見積もり

システム向けの「帯域内FEC」(ITU-T G.707)、オプティカルトランスポートネットワーク(OTNs)向けの「帯域外FEC」(ITU-T G.709)について解説する。これらのFECによる符号化利得と総符号化利得(NCG)の解説を行い、図3、図4、表3のように標準FECの性能を示している。

- ・FEC方式のうち、硬判定(HD)復号化の「HD-FEC」と、軟判定(SD)復号化の「SD-FEC」を解説。
- ・光伝送システムでの誤り発生源であるASE雑音、群

速度分散(GVD)、PMDに対して、OSNRや分散で制限されるシステムにはFECが有効であるが、PMDに対してはFECは効果的でなく、今後の課題であることを示している。非線形効果である自己位相変調(SPM)、誘導ブリルアン散乱(SBS)、変調不安定性(MI)、相互位相変調(XPM)、四光波混合(FWM)、誘導ラマン散乱(SRS)に対して、FECの有効性と今後の課題を示している。FECを使用した場合の光パラメータ緩和の施策を解説。

【13章 光スイッチネットワークの設計に関する考察】

- ・光スイッチネットワークの基本アーキテクチャは、ITU-T G.8080に示されていることを紹介。
- ・光スイッチネットワークでの3R終端を行う場合と行わない場合の二つのケースでの設計について考察。

【14章 安全な光パワーのためのベストプラクティス】

- ・保守のための検査、清掃、ファイバの終端処理、コネクタ接合やスプライス点での注意点、リボンファイバの取り扱い、テストコードの取り扱い、ファイバ曲げの注意や、安全のためのラベルやサイン、アラーム時の対応について解説。
- ・ラマン増幅システムでは、ハイパワーを取り扱うため、さらに追加となるガイドラインを示す。

2.4 参照する勧告

TR-GSup.39は以下のITU-T勧告を参照しており、光学インタフェースの開発に用いられる背景と方法論を幅広く概説しています。

[参照ITU-T勧告]

勧告内容	ITU-T勧告番号
光ファイバの試験方法	G.650.1、G.650.2、G.650.3
光ファイバ	G.652、G.653、G.654、G.655、G.656、G.657

勧告内容	ITU-T勧告番号
光増幅器、光部品	G.661、G.662、G.663、G.671
SDH、マルチチャネルシステムと光増幅器	G.691、G.692
イントラオフィスシステム	G.693
DWDM、CWDM波長グリッド	G.694.1、G.694.2
波長多重システム	G.695、G.697、G.698.1、G.698.2
SDH、OTNネットワーク	G.707、G.709、G.798
故障パフォーマンス	G.826、G.828、G.8201
光ネットワーク、同期多重	G.872、G.955、G.957、G.959.1、G.8080
誤り訂正	G.975、G.975.1
PONシステム	G.983.1
保守、試験	L.40、L.41

3. むすび

光ファイバ伝送専門委員会における平成28年度のダウンストリーム活動として改定したTTC技術レポートTR-GSup.39（第3版）の改定箇所の概要を説明しました。光通信技術の国際的な普及に伴い、物理層規格の国際標準基盤は概ね確立されつつありますが、効率的な保守・運用の実現、災害対応や途上国支援と言った側面では、依然として光通信先進国としての国際貢献が強く期待されております。無線技術との融合を含む多様な光通信システムの検討も活発化しつつあり、光ファイバ伝送専門委員会では国際標準化活動を通じた新規市場の創出に向け、今後も積極的なダウンストリーム及びアップストリーム活動を展開していく予定です。