

TTC標準
Standard

JT-G977.1

光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムのため
の垂直互換DWDMアプリケーション

Transverse compatible DWDM applications for
repeated optical fibre submarine cable systems

第1版

2021年8月26日制定

一般社団法人

情報通信技術委員会

THE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY COMMITTEE



本書は、一般社団法人情報通信技術委員会が著作権を保有しています。
内容の一部又は全部を一般社団法人情報通信技術委員会の許諾を得ることなく複製、転載、改変、転用及びネットワーク上での送信、配布を行うことを禁止します。

目次

<参考>.....	5
<G.977.1 (2020/10) 和訳>.....	6
1. スコープ.....	7
2. 参考文献.....	7
3. 用語及び定義.....	8
3.1 他で定義されている用語.....	8
4. 略語及び頭字語.....	10
5. 慣例.....	11
6. 光インタフェースの分類.....	12
6.1 アプリケーション.....	12
6.2 参照構成.....	12
6.3 光分岐結合.....	12
7. 光増幅中継スパンにおける部分的垂直互換性.....	12
8. パラメータ.....	13
8.1 スパン損失.....	13
8.2 ファイバ種.....	13
8.3 波長範囲.....	13
8.4 最大波長分散.....	13
9. システムの特徴と性能.....	14
9.1 光負荷仕様.....	14
9.1.1 チャンネルグリッドの間隔.....	14
9.1.2 チャンネルあたりの平均パワー.....	14
9.1.3 利得偏差及びチルトの傾き.....	14
9.1.4 光信号対雑音比.....	15
9.1.5 信号対雑音比.....	15
9.1.7 線形信号対雑音比.....	16
9.1.8 非線形信号対雑音比.....	16
9.1.9 導波型音響波ブリルアン散乱 (GAWBS) 信号対雑音比.....	16
9.1.10 モデムの信号対雑音比.....	16
9.1.11 その他の信号対雑音比劣化.....	17
9.1.12 一般化光信号対雑音比.....	17
9.1.13 信号対雑音比.....	17
9.2 システムの仕様.....	17
9.2.1 スパン長.....	17
9.2.2 スパン損失.....	17
9.2.3 累積波長分散.....	17
9.2.4 信号帯域.....	18
9.2.5 偏波モード分散.....	18
9.2.6 偏波依存損失.....	18
9.2.7 中継器数.....	18
9.3 光海底中継器仕様.....	18

9.3.1	総出力電力.....	18
9.3.2	中継器雑音指数.....	18
9.3.3	帯域内監視チャンネル.....	18
9.3.4	帯域内監視チャンネル帯域.....	19
9.4	分岐ユニット仕様.....	19
9.4.1	分岐ユニット数.....	19
9.4.2	分岐ユニット損失.....	19
9.4.3	分岐ユニット設置位置.....	19
9.5	等化器仕様.....	19
9.5.1	利得等化器数.....	19
9.5.2	利得等化器損失.....	20
9.5.3	利得等化器設置間隔.....	20
9.5.4	利得傾斜等化器数.....	20
9.6	光ファイバ仕様.....	20
9.6.1	実効断面積.....	20
9.6.2	波長分散.....	20
9.6.3	損失.....	20
9.6.4	分散スロープ.....	20
9.6.5	非線形係数.....	20
9.7	修復ガイダンス.....	20
9.7.1	深海.....	21
9.7.2	深海での修復.....	21
9.7.3	浅海.....	21
9.7.4	浅海での修復.....	21
9.7.5	修復のためのOSNR割り当て.....	21
10.	光学的安全性に関する考慮事項.....	21
付属書A	光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムのための垂直互換性のある DWDMアプリケーションの仕様.....	22
A.1	はじめに.....	22
A.2	主要なSNR性能パラメータ.....	22
A.3	主要な設計仕様.....	23
A.4	主な測定仕様.....	25
A.5	試運転仕様.....	26

<参考>

1. 国際勧告との関係

本標準は、ITU-T勧告G.977.1 (2020/10)に準拠したものである。

2. 上記国際勧告等との相違

2.1 追加項目

なし

2.2 削除項目

なし

2.3 変更項目

なし

2.4 章立ての相違

なし

2.5 その他

なし

3. 改版の履歴

版 数	発 行 日	改 版 内 容
第1版	2021年8月26日	制定

4. 工業所有権

本標準に関わる「工業所有権等の実施の権利に係る確認書」の提出状況は、TTCホームページでご覧になれます。

5. その他

なし

6. 標準作成部門

光ファイバ伝送専門委員会

光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムのための垂直互換 DWDM アプリケーション

概要

本標準 JT-G977.1 は、波長分散管理されていない光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムにおける高密度波長分割多重 (DWDM) アプリケーションのための物理層仕様を規定する。光増幅器を用いたポイントツーポイント、多チャンネルシステムを対象とした、光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムにおける垂直互換 DWDM アプリケーションが記述されている。主な目的は、複数のベンダがこの勧告に準拠した海底ファイバリンク用の DWDM 伝送装置を設計できるようにすることである。

キーワード

垂直互換、DWDM、光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステム

1. スコープ

この標準は、ポイントツーポイント光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムにおける高密度波長分割多重(DWDM)アプリケーションのための物理層仕様を提供する。目標は、垂直互換性のあるアプリケーションを実現することである。

主な目的は、複数のベンダがこの標準に準拠した海底ファイバリンク用端末装置を提供できるようにすることである。

この標準は物理層アプリケーションのための一般的な参照モデルを含む。仕様は、最大減衰、ファイバタイプ、波長範囲、最大波長分散、最小局所波長分散係数、最大群遅延時間差、実効断面積などのパラメータを考慮している。

本標準は、波長分散管理を行わない光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムに焦点を当てている。

本標準は、光チャンネル内で伝送される光トリビュタリ信号がデジタルであることを前提としている。

この標準は、多重リンクの部分的な垂直互換光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムをカバーする。ここで、全て的水中プラントでは、全てのファイバペアは、単一ベンダによって提供されるが、リンクの両端の端末装置は、異なるベンダによって提供されることがある。全ての異なる種類の水中機器が終端機器とは異なるベンダによって提供される完全垂直互換システムは、この標準によってカバーされない。

2. 参考文献

以下のITU-T勧告およびその他の参考文献は、本標準内で参照され、本標準を構成する規定を含んでいる。本標準の発行時は、記載の版数が最新である。すべての勧告および他の参考文献は改訂されることがある。したがって、本標準の読者には、以下の勧告および他の参考文献の最新版を適用すべきか確認することを勧める。現時点で有効なITU-T勧告のリストは定期的に発行されている。本標準に記載の文献の参照は、独立した文献として、その勧告の状態を示すものではない。

- [ITU-T G.650.2] 勧告ITU-T G.650.2 (2015)、単一モードファイバ・ケーブルの統計的並びに非線形特性の定義と試験方法
- [JT-G652] TTC標準 JT-G652、シングルモード光ファイバ及びケーブルの諸特性
- [ITU-T G.653] 勧告ITU-T G.653 (2010)、分散シフト単一モード光ファイバケーブルの特性
- [JT-G654] TTC標準 JT-G654、カットオフシフトシングルモード光ファイバケーブルの諸特性
- [ITU-T G.655] 勧告ITU-T G.655 (2009)、非零分散シフト単一モード光ファイバケーブルの特性
- [ITU-T G.656] 勧告ITU-T G.656 (2010)、広帯域光伝送用非零分散ファイバケーブルの特性
- [ITU-T G.661] 勧告ITU-T G.661 (2007)、光増幅器とサブシステムに関する定義と試験法
- [ITU-T G.662] 勧告ITU-T G.662 (2005)、光増幅器とサブシステムの一般的特性
- [JT-G959.1] TTC標準 JT-G959.1、光伝送網の物理インタフェース
- [ITU-T G.971] 勧告ITU-T G.971 (2016)、光ファイバ海底ケーブルシステムの一般的特性
- [ITU-T G.972] 勧告ITU-T G.972 (2020)、光ファイバ海底ケーブルシステムに関する定義
- [ITU-T G.976] 勧告ITU-T G.976 (2014)、光ファイバ海底ケーブルシステムの試験法
- [ITU-T G.977] 勧告ITU-T G.977 (2015)、光増幅中継海底ケーブルシステムの特性
- [ITU-T G.978] 勧告ITU-T G.978 (2010)、光ファイバ海底ケーブルの特性
- [ITU-T G.979] 勧告ITU-T G.979 (2016)、光海底ケーブルシステムの監視システム
- [ITU-T G.Sup.41] 勧告ITU-T G.Sup.41 (2018)、光ファイバ海底ケーブルシステムの設計ガイドライン

3. 用語及び定義

3.1 他で定義されている用語

この標準は他で定義された以下の用語を使用する。

3.1.1 次の用語は、[ITU-T G.650.2]で定義されている。

- 偏波モード分散(PMD)

3.1.2 次の用語は、[b-ITU-T G.696.1]で定義されている。

- クライアントクラス

3.1.3 次の用語は、[b-ITU-T G.709]で定義されている。

- 光トランスポート階層(OTH)

3.1.4 次の用語は、[b-ITU-T G.780]で定義されている。

- 同期デジタルハイアラキー(SDH)

3.1.5 次の用語は、[ITU-T G.972]で定義されている。

- 高密度波長分割多重(DWDM)
- 高密度波長分割多重システム(DWDMS)
- 波長分割多重(WDM)
- 光分岐結合(OCJ)
- 相互運用可能なケーブル部分
- 終端部
- ケーブル終端装置(CTE)
- 電気コマンド応答(ECR)
- 監視装置(ME)
- メンテナンスコントローラ(MC)
- 給電装置(PFE)
- 陸上中継装置

3.1.6 次の用語は、[ITU-T G.959.1]で定義されている。

- 多重チャネル受信メインパスインタフェース参照点(MPI-R_M)
- 多重チャネル発信元メインパスインタフェース参照点(MPI-S_M)

3.1.7 次の用語は、[b-ITU-T G.Sup.40]で定義されている。

- 分散補償シングルモードファイバ(DCF)

3.1.8 次の用語は、[ITU-T G.977]で定義されている。

- デジタル回線部(DLS)
- 海底電気光学インタフェース(SEOI)
- 回線光チャネル(LOC)
- 光海底中継器(OSR)
- 分岐ユニット(BU)
- 利得等化器
- 傾斜等化器

3.1.9 次の用語は、[ITU-T G.661]で定義されている。

- 雑音指数
- 増幅された自然放出光(ASE)
- 総出力(TOP)

- 光信号対雑音比 (OSN)

3.1.10 次の用語は、[ITU-T G.671] で定義されている。

- 偏波依存損失 (PDL)

3.1.11 次の用語は、[ITU-T G.979] で定義されている。

- 監視装置

- 監視チャンネル

3.2.1 次の用語は、本標準で定義する。

- 一般化光信号対雑音比 (GOSNR)

4. 略語及び頭字語

本標準では、以下の略語と頭字語を使用する。

A _{eff}	Effective area	実効断面積
AWGN	Additive White Gaussian Noise	加算性白色ガウス雑音
BU	Branching Unit	分岐ユニット
CLS	Coastal Landing Station	陸揚げ局
CSF	Cut-off Shifted single-mode Fibre	カットオフシフトシングルモードファイバ
CTE	Cable Terminating Equipment	ケーブル終端装置
DCF	Dispersion Compensating single-mode Fibre	分散補償シングルモードファイバ
DGD	Differential Group Delay	群遅延時間差
DLS	Digital Line Section	デジタル回線部
DSF	Dispersion Shifted single-mode Fibre	分散シフトシングルモードファイバ
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	高密度波長分割多重
DWDMs	Dense Wavelength Division Multiplexing System	高密度波長分割多重システム
ECR	Electrical Command Response	電気コマンド応答
FWM	Four-Wave Mixing	四光波混合
GAWB	Guided Acousto-optic Wave Brillouin Scattering	導波型音響波ブリルアン散乱
GONSR	Generalised Optical Signal to Noise Ratio	一般化光信号対雑音比
IPI	Interoperable Path Interface	相互接続参照点
LEF	Large Effective area single-mode Fibre	拡大実効断面積シングルモードファイバ
LOC	Line Optical Channel	ライン光チャネル
MC	Maintenance Controller	メンテナンス制御装置
ME	Monitoring Equipment	監視装置
MPI	Main Path Interface	メインパスインタフェース
MUX	Multiplexer	多重装置
NDF	Negative Dispersion single-mode Fibre	負分散シングルモードファイバ
NLI	Nonlinear Interference	非線形干渉
NRZ	Non-Return to Zero	非ゼロ復帰符号方式
NZDSF	Non-Zero Dispersion Shifted single-mode Fibre	非ゼロ分散シフトシングルモードファイバ
OA	Optical Amplifier	光増幅器
OCJ	Optical Coupling Junction	光分岐結合部
OSR	Optical Submarine Repeater	光海底中継器
OTH	Optical Transport Hierarchy	光トランスポート階層
PDF	Positive Dispersion single-mode Fibre	正分散シングルモードファイバ
PDL	Polarisation Dependent Loss	偏波依存損失
PFE	Power Feeding Equipment	給電装置
PMD	Polarisation Mode Dispersion	偏波モード分散
PoP	Point of Presence	存在点
ROADM	Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer	再構成可能光挿入/分岐装置

RZ	Return to Zero	ゼロ復帰符号方式
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同期デジタルハイアラーキ
SEOI	Submarine Electro Optic Interface	海底電気光学インタフェース
SoP	State of Polarisation	偏光状態
TTE	Terminal Transmission Equipment	終端伝送装置
TVSP	Time Varying System Penalties	時間変動システムペナルティ
WDMS	Wavelength Division Multiplexing System	波長分割多重システム
WNZDF	Wideband Non-Zero Dispersion single-mode Fibre	広帯域非ゼロ分散シングルモードファイバ
WSS	Wavelength Selective Switch	波長選択スイッチ

5. 慣例

本節は意図的に空白とする。

6. 光インターフェースの分類

6.1 アプリケーション

本標準は、ポイントツーポイントの光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムにおける、垂直互換性のあるDWDMアプリケーションに対応している。

6.2 参照構成

ポイントツーポイント光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムのDWDMアプリケーションに適用可能な関連参照点を図6-1に示す。

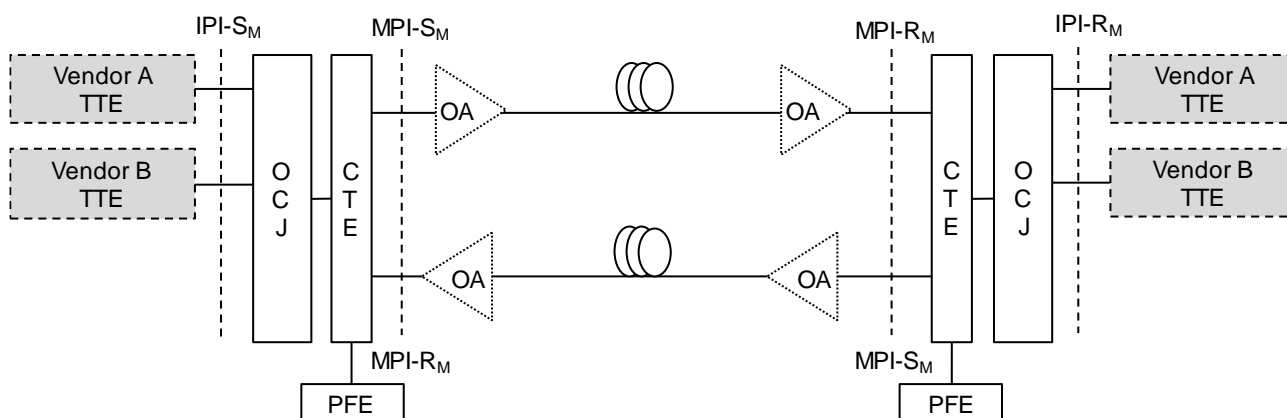


図6-1 DWDMシステムの参照構成

図6-1の参照点MPI-S_MおよびMPI-R_Mは、[ITU-T G.959.1]と同じ名称を使用して、次のように定義される。

- MPI-S_Mは、光ネットワークエレメント伝送インターフェースの出力光コネクタ直後の(多チャンネル)参照点である。
- MPI-R_Mは、光ネットワークエレメント伝送インターフェースの入力光コネクタ直前の(多チャンネル)参照点である。

図6-1の参照点IPI-S_MおよびIPI-R_Mは、次のように定義される。

- IPI-S_Mは、光分岐結合直前の(多チャンネル)相互接続可能な参照点である。
- IPI-R_Mは、光分岐結合直後の(多チャンネル)相互接続可能な参照点である。

6.3 光分岐結合

光分岐結合(OCJ)は、受動的または能動的な光インターフェースとして存在し得る任意の光結合を指す。垂直的互換性は、送信局では光分岐結合の前に、受信局ではその後において、確保される。光分岐結合は、あらゆる海底ケーブル監視・制御機器の接続インターフェースとしても機能する。

7. 光増幅中継スパンにおける部分的垂直互換性

この標準がカバーするアプリケーションは、多スパンブラックボックス多重リンク垂直互換システムである。以下のように定義される。

このシステムは「多重リンク部分的垂直互換」と定義されており、水中プラントはすべてのファイバペアに対して1つのベンダから提供され、リンクの両端にある端末装置は別のベンダから提供される。各シングルリンクの両端は、同じ製造元の機器によって終端されている。光増幅中継多重リンク部分的垂直互換システムを図7-1に示す。

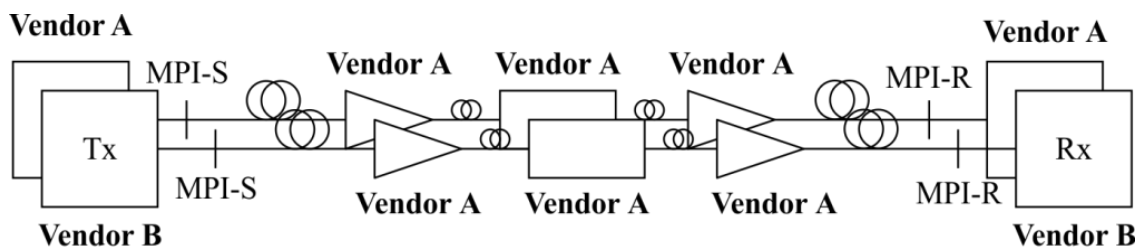


図7-1 光増幅中継多重リンク部分的垂直互換システム

光増幅中継多重リンク部分的垂直互換システムのシステムインタフェースおよび境界の仕様は、[ITU-T G.971]にも記載されている。

8. パラメータ

8.1 スパン損失

MPI-S_MからMPI-R_Mまでのスパン損失は、動作波長領域に対して規定される。動作波長領域には、ファイバ損失に加えて、スプライス、コネクタ、光減衰器、その他の受動または能動光デバイス (使用する場合) によって発生する損失が含まれる。これらの損失はすべてのスパンで平均される。

各G.652、G.653、G.654、G.655、およびG.656ファイバの損失係数は、対応するITU-T勧告で規定される。海底伝送システムは、この範囲外の損失値を含む場合があることに留意されたい。

8.2 ファイバ種

海底システムでは、光パスを構築するためにいくつかの種類的光ファイバを使用することができる。これらは [ITU-T G.652]、[ITU-T G.653]、[ITU-T G.654]、[ITU-T G.655]、[ITU-T G.656] で定義されている。次のファイバ種は、光増幅中継DLSの垂直互換性のために考慮されている。

・[ITU-T G.652] および [ITU-T G.654] に準拠した正分散シングルモードファイバ (PDF)

システムの仕様によっては、さまざまな種類のファイバを組み合わせ、PoPからPoPへの接続を確実に行うことができる。ただし、各DLSにはPDFのみが含まれているものとする。ファイバ種の詳細については、[ITU-T G.978]を参照されたい。

8.3 波長範囲

動作波長範囲は、[b-ITU-T G.Sup.41]で定義されるように、1つ以上の波長帯域から構成される。

8.4 最大波長分散

このパラメータは、動作波長領域における、MPI-S_MからMPI-R_Mへの光パスで生じる波長分散の最大値を定義する。許容可能なシステム動作を保証するために、光パスの波長分散 (これはps/nmで表される。) を記述しなければならない。波長分散は、各ファイバの波長分散係数 (ps/nm·km) とその長さ (km) の積として計算できる。海底システムの場合、光パスは、異なる波長分散係数を有するいくつかの種類的光ファイバから構成され得ることに留意されたい。

各G.652、G.653、G.654、G.655、およびG.656ファイバの波長分散係数は、対応するITU-T勧告で規定されている。

波長分散の影響の詳細については、[b-ITU-T G.Suppl.39]を参照されたい。

9. システムの特徴と性能

9.1 光負荷仕様

システムのエンドツーエンド仕様は、送信 (Tx) 端で無偏波DWDMチャネルパワープロファイルを事前付与することにより導出される。光パワー負荷は、切り出された増幅自然放出 (ASE) またはトラフィック搬送チャンネルの中に存在する。ケーブルシステムの仕様は、パワー偏差などの影響がみえられる可能性のある受信 (Rx) 端スペクトルから導出される。したがって、各仕様は、チャンネルの周波数に関する送信および受信チャンネル測定を参照している。参照チャンネルの中心周波数は、通常THzで与えられる。周波数は、ITU-T 50GHz周波数グリッドに必ずしも整合しなくてもよいが、任意の周波数グリッドで供給されてもよい。ライン仕様のガイダンスは、1つまたはすべての付与チャンネルの主要パラメータ表A.1に示されている。図9-1に、送信サイトの付与設定の例を示す。

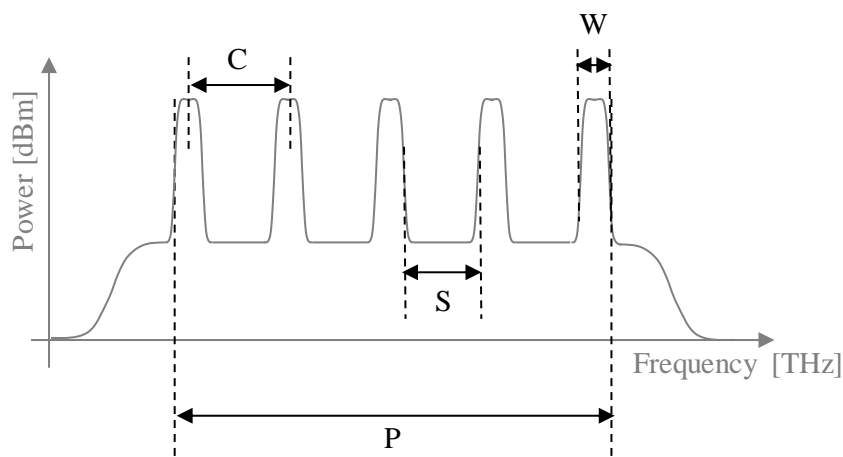


図9-1 送信スペクトル例

Cはチャンネルグリッド間隔、Sはエッジ間チャンネル間隔、Wはチャンネル幅、Pは通過帯域

9.1.1 チャンネルグリッドの間隔

海底ケーブルシステムに付与されるチャンネルの中心周波数間隔Cは、チャンネルグリッド間隔である。GHz単位の周波数間隔は、ITU-Tの周波数グリッドと必ずしも一致しない場合がある。

9.1.2 チャンネルあたりの平均パワー

参照チャンネルのパワーは、一般にdBmで与えられる。参照チャンネルパワーは [ITU-T G.692] で定義される。Txにおけるチャンネル当たりのパワーは、平坦出力の要件として、スペクトル内の全てのチャンネルで一定であるべきである。チャンネル当たりのパワー P は、中継器TOPおよびスペクトル内のチャンネル数 N を使用して計算することができる。

$$P [\text{dBm}] = \text{TOP}[\text{dBm}] - 10 \log_{10}(N)$$

9.1.3 利得偏差及びチルトの傾き

利得偏差は、チャンネルの送信パワーに対する参照チャンネルの受信パワーの最大dB差を定義する。正の利得偏差は、トラフィック搬送チャンネルが増幅されていることを必要とし、負の利得偏差は、トラフィック搬送チャンネルがプリエンファシスされていることを必要とする。図9-2に、チャンネルを付与した送受信スペクトルの例を示す。両方の場合のチャンネル当たりのパワーもプロットされ、RxとTxのチャンネルパワーの差が利得偏差である。通常、最悪の正および/または負の利得偏差が仕様化される。

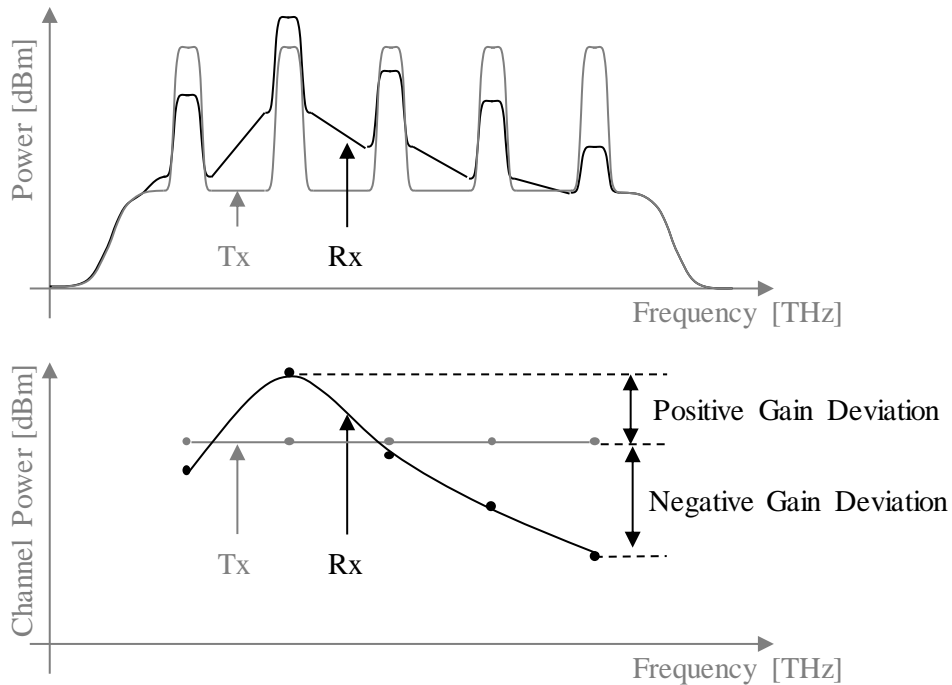


図9-2 (上) 送信 (Tx) および受信 (Rx) スペクトルの例
 (下) 各点がTxとRxの積分チャンネルパワーを表す利得偏差の尺度

複数の正および負の利得偏差が発生する場合、スペクトルのチルトの傾きに注意すると便利ことがある。図9-3は、システム内のエンドツーエンドが存在する場合に表される利得偏差の例である。

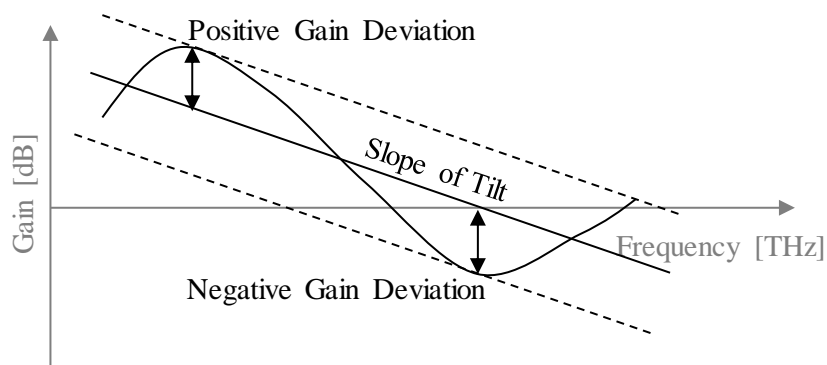


図9-3 チルトの傾きを示す利得偏差スペクトルの例

9.1.4 光信号対雑音比

[ITU-T G.sup.39] および [ITU-T G.Sup.41] において定義される光信号対雑音比 (OSNR) は、雑音パワーに対する全信号パワーの比である。OSNRの測定は、[ITU-T G.697]の指針に従い、計算に使用する信号帯域幅 Wを記載する必要がある。OSNRは、IPI-SMとIPI-RM間で仕様化される。

9.1.5 信号対雑音比

信号と雑音の両方が同じ光帯域幅で参照される信号対雑音比 (SNR) をOSNRとして定義する。ASEチャンネルの測定では、次のように定義される。

$$SNR_{ASE} = \frac{B_o}{C} OSNR_{ASE}$$

ここで、 B_o は光帯域幅 (通常は1550 nmで12.5GHzまたは0.1 nm) であり、 C はGHz単位のキャリア間隔である。同様に、非線形干渉 (NLI)、モデムの実装、モデム回線の実装など、その他の雑音劣化は、GHz単位で信号ボーレートまたは同等の帯域幅 B_e にスケールリングすることにより、SNRまたはOSNRとして表すことができる。

$$SNR = \frac{B_o}{B_e} OSNR.$$

9.1.6 一般化された信号垂下

一般化された信号垂下のモデルは、全電力が一定の制約下において複数のソースからガウス雑音(またはガウス雑音としてモデル化された信号歪み)が流合する際の振る舞いを説明することを目的としている。独立して評価された異なる加法性白色ガウス雑音 (AWGN) 源からの雑音を単に合計するのではなく、自己回帰過程を通して相互に誘起される雑音の垂下項と同様に、全体的に引き起こされる信号の減衰 (または垂下) についても考慮する。各雑音源が総電力に対して信号垂下を発生するものとしてモデル化される場合、結合された雑音源による全体の信号垂下は、個々の信号垂下の積となる。

信号垂下は、全電力(各チャンネル毎の)と信号電力 [b-Bononi] との比として定義される。

SNRに対する信号電力減衰の影響は、逆垂下の積則 [b-Antona] によって表すことができる。

$$1 + \frac{1}{SNR} = \left(1 + \frac{1}{SNR_1}\right) \left(1 + \frac{1}{SNR_2}\right) \cdots \left(1 + \frac{1}{SNR_N}\right)$$

ここで SNR_1 から SNR_N は、各減衰要素からの寄与度となる。SNR項は、チャンネル毎に関連するノイズ帯域幅で表現される。例えば、

- 一定電力の光増幅器 (EDFA) を従属接続する際の SNR を導出するチャンネル間隔
- GAWBS、非線形ノイズ、ASE、クロストークなどを集約するためのチャンネル帯域幅等

9.1.7 線形信号対雑音比

線形信号対雑音比 (SNR_{ASE}) は、相互運用可能なケーブル部分の合計線形雑音寄与を記述する。ここで説明する線形劣化は増幅自然放出 (ASE) によるものである。

SNR_{ASE} への信号減衰 (または垂下) (9.1.6) の影響は、逆垂下の積則 [b-Antona] によって表すことができる。

$$1 + \frac{1}{SNR_{ASE}} = \prod_{n=1}^N \left(1 + \frac{1}{SNR_n}\right)$$

ここで、 SNR_n は、システム中の各光増幅器 (EDFA) における増幅自然放出 (ASE) 成分を表す。

9.1.8 非線形信号対雑音比

非線形信号対雑音比 (SNR_{NLI}) は、Kerr非線形による光ファイバ中の非線形干渉 (NLI) からの全雑音寄与を記述する。非線形劣化には、自己位相変調 (SPM) および相互位相変調 (XPM) が含まれるが、これらに限定されない。

9.1.9 導波型音響波ブリルアン散乱 (GAWBS) 信号対雑音比

導波型音響波ブリルアン散乱信号対雑音比 SNR_{GAWBS} は、音響モード発振周波数により決定される周波数シフトを伴う伝搬方向における散乱光の音響モードからの寄与である。[b- Bolshtyansky]

9.1.10 モデムの信号対雑音比

SNR_{MODEM} は、使用する特定のモデム技術により生じる全雑音である。 SNR_{MODEM} は、実際の伝送時と同一の装置接続構成を使用しSEOIにおいて直結した状態で決定される値である。

9.1.11 その他の信号対雑音比劣化

SNR_iは他のすべてのモデムと回線の劣化である。モデムと回線劣化の相互作用には、分散ペナルティ、レーザ線幅相互作用、およびPDLが含まれるが、これらに限定されない。

9.1.12 一般化光信号対雑音比

一般化光信号対雑音比 (GOSNR) は、線形雑音とファイバ非線形性による全雑音寄与を定義する。つまり

$$\frac{1}{GOSNR} = \frac{1}{OSNR_{ASE}} + \frac{1}{OSNR_{NLI}} + \frac{1}{OSNR_{GAWBS}}$$

ここで $OSNR_{NLI}$ はファイバの非線形性による光信号対雑音比であり、 $OSNR_{GAWBS}$ は、GAWBSによる光信号対雑音比である。GOSNR測定は、すべてのトランスポンダ歪みと実装雑音を適切に除去する必要がある、もしあれば記述する必要がある。GOSNRは、GSNRとして表すこともできる。

$$\frac{1}{GSNR} = \frac{1}{SNR_{ASE}} + \frac{1}{SNR_{NLI}} + \frac{1}{SNR_{GAWBS}}$$

信号垂下 (9.1.6) を説明するために、一般化された垂下式を使用することができる。[b-Bononi]

$$1 + \frac{1}{GSNR} = \left(1 + \frac{1}{SNR_{ASE}}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{SNR_{NLI}}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{SNR_{GAWBS}}\right)$$

コヒーレントモデムによる測定を単純化するために、G(O)SNRを両偏波QPSKと16QAM変調フォーマットに限定した。

[b-Hartling]

9.1.13 信号対雑音比

分散非補償海底ケーブルシステムの全SNR (線形単位で) は、全雑音寄与の重ね合わせとして表現できる[b-Hartling]。

$$\frac{1}{SNR_{TOT}} = \frac{1}{GSNR} + \frac{1}{SNR_{MODEM}} + \frac{1}{SNR_i}$$

GSNRとSNR_iの合計量は、外部SNR_{EXT}と知られている。

$$\frac{1}{SNR_{EXT}} = \frac{1}{GSNR} + \frac{1}{SNR_i}$$

9.2 システムの仕様

垂直互換のあるポイントツーポイントシステムでは、システム仕様は、IPI-SMとIPI-RMの間で、陸上セグメントと海上セグメントに対して独立して提供される。

9.2.1 スパン長

海底ケーブルシステムに付与されるチャンネルの中心周波数間隔Cは、チャンネルグリッド間隔である。GHz単位の周波数間隔は、ITU-Tの周波数グリッドと必ずしも一致しない場合がある。

9.2.2 スパン損失

スパン損失は基準チャンネル周波数におけるスパン当たりの平均損失で、dB単位で表される。

9.2.3 累積波長分散

一般に、累積波長分散は信号帯域内の最小チャンネル周波数で規定され、ps/nm単位で表される。累積波長分散は、陸上及び海底セグメントを含む。

9.2.4 信号帯域

信号帯域は、トラフィック搬送チャネルを割り当てる周波数帯域として定義される。一般に、信号帯域は受信スペクトルに基づいて規定される。信号帯域Pは、トラフィック搬送チャネルが存在する状態の周波数領域における受信スペクトルにおいて、最低周波数チャネル(Start)と最高周波数チャネル(Stop)の半値幅境界を用いて定義される(図9-1参照)。

9.2.5 偏波モード分散

ファイバコアにおける微小な非円性は、直交偏光信号間の複屈折差をもたらす。偏波モード分散は、DLSの全スパンにおける平均として表すことができ、 $ps/\sqrt{("km")}$ 単位で表される [ITU-T G.Sup.41]。

9.2.6 偏波依存損失

偏波依存損失は、[ITU-T G.971]において、全偏光状態(SoP)における挿入損失の平均変動量として定義される。DLSの全スパンにおける偏波依存損失はdB単位で表される。

9.2.7 中継器数

DLSの中継器総数は、陸上セグメントと海底セグメント間で分離する必要がある。

9.3 光海底中継器仕様

OSRの定義は [ITU-T G.977]に示されている。仕様はDLSごとに規定される。仕様には、中継器総数、総出力電力、雑音指数、およびケーブル監視用のチャネル周波数とチャネル帯域幅に関する情報が含まれている必要がある。

9.3.1 総出力電力

各OSRは、dBm単位の総出力電力規格を有する。すべてのOSRが同一構成である場合、海底部分のOSRに対して、平均総出力電力が規定される。

9.3.2 中継器雑音指数

OSRの雑音指数はdB単位で表され、OSR出力における信号対雑音比の減少量として規定される [ITU-T G.661]。OSR雑音指数はチャンネル周波数およびOSR利得とともに規定される場合がある。すべてのOSRが同一構成である場合、海底部分のOSRに対して、帯域全体の平均雑音指数が規定される。

9.3.3 帯域内監視チャネル

帯域内監視チャネルは中心周波数をTHz単位で規定し、[ITU-T G.977]および[ITU-T G.976]に示されているように、故障位置解析に使用される。

9.3.4 帯域内監視チャンネル帯域

各帯域内監視チャンネルは図9-4に示すように配置され、GHz単位で表されるスペクトル幅が割り当てられる。スペクトル幅は、帯域内監視チャンネルの帯域を規定する。

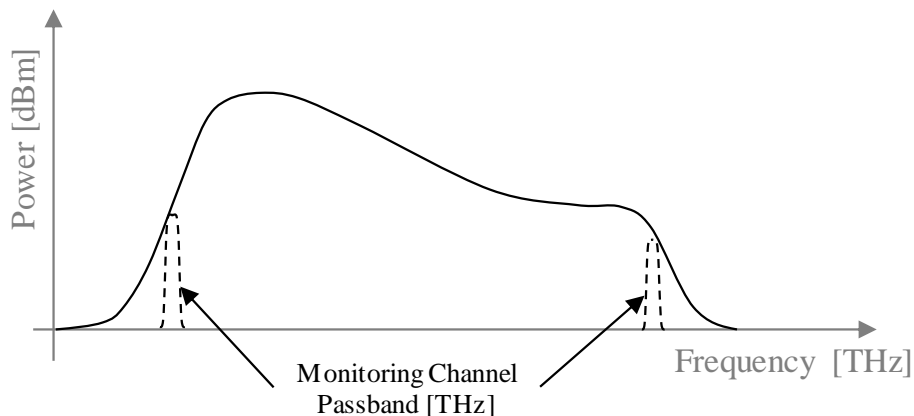


図9-4 帯域内監視チャンネル帯域の例

9.4 分岐ユニット仕様

BUおよびROADM-BUの定義は[ITU-T G.977]に規定されている。分岐ユニット数、損失および設置位置は DLSの重要なパラメータとなる。

9.4.1 分岐ユニット数

分岐ユニットは、[ITU-T G.Sup.41]で説明されているアド・ドロップ機能を提供する。分岐ユニットの総数は、海底ケーブルシステムにおける陸揚げ局の間で計数される。

9.4.2 分岐ユニット損失

各分岐ユニットはdB単位で表される挿入損失を有する。分岐ユニット損失はスパン損失とは独立に規定される。

9.4.3 分岐ユニット設置位置

分岐ユニットは、海底ケーブルシステムの特定のスパンに設置される。設置場所は公称仕様であり、敷設中に変更されることがある。

9.5 等化器仕様

等化器は、システムの利得形状あるいは傾斜を制御する目的で利用される。利得等化器または傾斜等化器の台数は、設置間隔を共に規定される。

9.5.1 利得等化器数

受動型および能動型の利得等化器の総数は、海底ケーブルシステムにおける光利得特性の変化傾向を調整するために使用される。

9.5.2 利得等化器損失

各利得等化器はdB単位で表される挿入損失を有する。利得等化器損失はスパン損失とは別に規定される。

9.5.3 利得等化器設置間隔

一般に、利得等化器は海底ケーブルシステムにおいて等間隔に設置される。設置位置は設置間隔によって規定される。利得等化器設置間隔は公称仕様であり、変更される可能性がある。

9.5.4 利得傾斜等化器数

利得傾斜等化器の総数は、スペクトルの傾斜を調整し、チャンネル全体にわたって均一な出力特性を維持するために使用される。

9.6 光ファイバ仕様

光ファイバの仕様は[ITU-T G.978]を参照。

9.6.1 実効断面積

海底ケーブルシステムに使用されている単一モード光ファイバの実効断面積は μm^2 単位で表され、試験法は[ITU-T G.650.2]に記載されている。複数種類の光ファイバが存在する場合は、各光ファイバの実効断面積を記載する。

9.6.2 波長分散

波長分散は、光信号のスペクトル成分が異なる速度で伝搬することに起因する、群速度の波長依存性である [ITUT G.Sup.41]。海底ケーブルシステムで使用される光ファイバの波長分散は ps/nm/km 単位で表される。波長分散は、基準チャンネル周波数で規定される。複数種類の光ファイバが存在する場合は、各光ファイバの波長分散を記載する。

9.6.3 損失

光ファイバ損失は、基準チャンネル周波数において dB/km 単位で表される。複数種類の光ファイバが存在する場合は、各光ファイバの損失を記述する。

9.6.4 分散スロープ

分散スロープは波長分散の波長微分で、 $\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 単位で表される。複数種類の光ファイバが存在する場合は、各光ファイバの分散スロープを記述する。

9.6.5 非線形係数

光ファイバの非線形性は信号伝送チャンネルの特性劣化を引き起こす。光ファイバ中のカー効果は、 m^2/W 単位で表される非線形屈折率 n_2 を用いて記述される。 W^{-1} 単位で表される非線形係数 γ は、 m^2 単位で表される実効断面積 A_{eff} を用いて、 $\gamma = n_2/A_{\text{eff}}$ で記述される。複数種類の光ファイバが存在する場合は、各光ファイバの非線形係数を記述する。注：非線形係数 γ の測定方法は [b-IEC-TR 62285]を参照。

9.7 修復ガイダンス

推奨される修理ガイダンスは [ITU-T G.Sup.41]を参照。

9.7.1 深海

深海は[ITU-T G.972]で定義される。

9.7.2 深海での修復

深海修復に推奨される修復マージンは、海底ケーブルのライフタイムにおいて1000kmごとに1回である [ITU-T G.Sup.41]。

9.7.3 浅海

浅海は[ITU-T G.972]で定義される。

9.7.4 浅海での修復

浅海修復に推奨される修復マージンは、海底ケーブルのライフタイムにおいて最低5回、かつ15kmごとに1回である [ITU-T G.Sup.41]。

9.7.5 修復のためのOSNR割り当て

深海及び浅海での修復を伴う全OSNR劣化はdB/0.1nmまたはdB/12.5GHz単位で規定される。

10. 光学的安全性に関する考慮事項

本標準は光ファイバ基盤について記述しており、当該光ファイバ基盤上で動作する光伝送システムの特性は規定していないが、このような光伝送システムでは比較的高い光パワーレベルで運用される。光学的安全性に関する考慮事項については、[b-ITU-T G.664]、[b-IEC 60825-1] 及び [b-IEC 60825-2]参照。

**付属書A 光増幅中継光ファイバ海底ケーブルシステムのための垂直互換性のある
DWDMアプリケーションの仕様**

(この付属書は、この勧告の不可欠な部分を形成する。)

A.1 はじめに

この付属書は、垂直互換性のある海底ケーブルシステムの特長評価のための光学的仕様と技術的説明を概説する。本付属書に記載されている情報は、ガイドを目的としている。

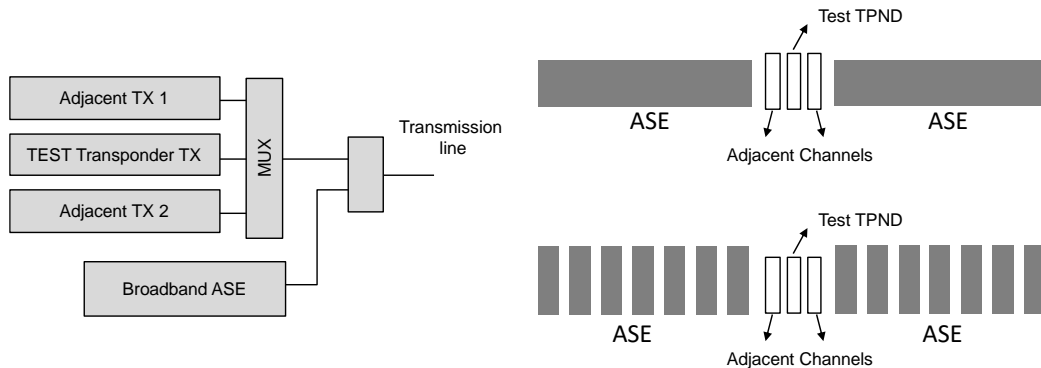
A.2 主要なSNR性能パラメータ

相互運用可能なケーブル部分の主要な測定パラメータはGSMRである。海底ケーブルのGSMRは、次の3つの条件を満たす必要がある。

- 1-伝送線路は、良好にモデル化され、ガウス雑音モデルに整合され得る。
- 2-使用されるコヒーレント光トランスポンダは、 SNR_{TOT} から Q^2 へ、その逆にも変換される。
- 3- 光トランスポンダは次の仕様に適合する。
 - 変調方式:両偏波 QPSK または両偏波 16 QAM
 - 隣接するチャンネルのキャリア間隔: $\sim 1.15x$ ボーレート
 - スペクトル成形:0.1以下のロールオフを持つルートレイズドコサイン
 - 非線形補正:無効

測定は、スペクトルの使用可能な帯域幅にわたって行わなければならない。一般に、増幅雑音指数、散乱効果、利得形状、非線形性などの周波数依存性のために、光信号は、それらが伝搬するにつれて、周波数依存性をもって変動する。周波数とこの関係は、海底中継器のパワー制限の性質およびスペクトルホールバーニング (SHB) の周波数依存性のために、異なる入力パワープロファイルによっても著しく変化する。したがって、 SNR_{ASE} 、 SNR_{EXT} 、および SNR_{TOT} は常に光スペクトル全体で変化するため、トラフィック伝送チャンネルの条件を表すために入力パワープロファイルを慎重に選択する必要がある。

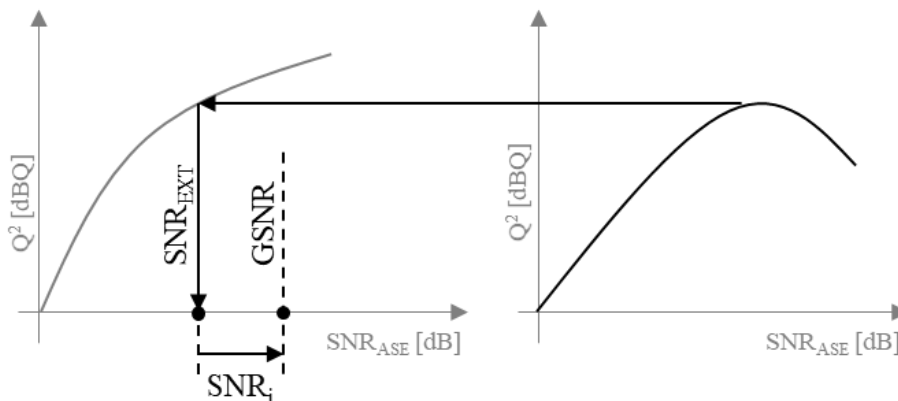
SNR_{EXT} 測定を行うために、試験スペクトル全体に試験トランスポンダを取り込むことは実用的ではないかもしれない。光スペクトルの残りの部分については、少なくとも3つの試験トランスポンダとASEをパワーホルダーとして使用することが推奨される。ASEパワーホルダーは、連続的であってもよいし、チャンネル化されていてもよい。チャンネル化されたASEの利点は、 SNR_{ASE} の測定にも使用できることである。図A.2.1に SNR_{EXT} 測定の測定構成を示す。



図A.2.1 SNR_{EXT} およびまたはGSMRを測定するために使用されるチャンネル配置

図A.2.2は、異なるSNR寄与の図である。左の図は試験トランスポンダのバックツーバック性能 (試験TPND) を表し、右の図は伝搬された性能曲線を表す。合計 SNR_{TOT} は、条件2を想定したQからの変換であり、モデムの設計により2つの量の間の変換が可能になる。たとえば、QPSKモデムは次の関係を満たす。 $Q = \sqrt{EC \cdot SNR_{TOT}}$ [ITU-T G.Sup. 41] また16-QAMは次の条件を満たす。

$$Q = \sqrt{2} \operatorname{erfc}^{-1} \left[\frac{3}{4} \operatorname{erfc}(\sqrt{2 \cdot EC \cdot SNR_{TOT}/5}) \right]$$



図A.2.2 Q²、SNR_{EXT}、およびGSNRの測定

SNR_i測定の標準化技術はまだ検討中である。現在の方法は、一般的には、SNR_iを推定するために、シミュレーションや実験室ベースの測定を使用する。GSNRは、9.1.12節に記述されているように、SNR_{EXT}とSNR_iの逆数の差によって求められる。

$$\frac{1}{GSNR} = \frac{1}{SNR_{EXT}} - \frac{1}{SNR_i}$$

A.3 主要な設計仕様

システムの試運転時に直接測定できない、設計段階で考慮される可能性のある多くの光学仕様がある。ファイバの実効断面積、ファイバ損失、リピータの雑音指数、リピータごとの利得プロファイルなどは、エンドツーエンドのシステムコミッションングによって直接測定することはできないが、OSNRやGSNRなどの測定可能なパラメータに寄与するいくつかのパラメータのそれぞれ1つとなる。したがって、全体的な光学性能に寄与する主要なパラメータを記述する光学パラメータのセットは、システム設計フェーズ中に指定され、合意される必要がある。このパラメータの集合はしばしば要求され、主要なパラメータテーブルの形で提供される。これらのパラメータの特に重要な使用法は、少なくとも、TTEプロバイダがシステム容量をモデル化して推定するために必要な主要値を提供することである。ケーブルの試運転に先立ってモデル化を推定するために提案された主要パラメータテーブルを表A.3.1に示す。

全てのパラメータについての仮定及び関連情報が提供されるべきである。例えば、8.3に定義されているように、複数の波長帯域を利用するケーブルシステムは、波長依存性がある場合には、その旨を記述すべきである。陸上又は陸上のセグメントを含むケーブルシステムは、勧告 [ITU-T G.696.1] 及び [ITU-T G.Sup.39] に基づいてパラメータを記述すること。

表A.3.1. 主要パラメータテーブル

DLS	サイトAからサイトB
ファイバペア番号	Z
1 試運転パラメータ	
1.1 SNR _{ASE} [dB] (合意された等化条件の下で)	
1.2 GSNR [dB] (合意された等化条件の下で)	
1.3 傾き [dB/THz] (合意された等化条件の下で)	

1.4 最大利得偏差 [dB] (合意された等化条件の下で)	
2 システム仕様	
2.1 システムの距離 [km]	
2.2 公称スパン距離 [km]	
2.3 スパンロス [dB]	
2.4 累積波長分散 [ps/nm]	
2.5 平均PMD [ps/ $\sqrt{\text{km}}$]	
2.6 平均PDL [dB]	
2.7 リピータの数	
3 リピータ仕様	
3.1 リピータTOP [dBm]	
3.2 リピータの雑音指数 [dB]	
3.3 リピータの利得 [dB]	
3.4 データ 通過帯域[GHz]	
4 光ファイバ仕様	
4.1実効断面積 [μm^2]	
4.2波長分散@1550 nm [ps/nm/km]	
4.3損失 (ケーブル接続) [dB/km]	
4.4分散スロープ@1550 nm [ps/nm ² /km]	
4.5非線形係数 [W^{-1}]	
5 修理および経年変化の前提条件 (BOLからEOL)	
5.1 修理および経年変化の合計SNR _{ASE} ペナルティ [dB]	
最終システム設計の詳細	
分岐ユニット損失 [dB]	
等化器挿入損失 [dB]	
傾斜等化損失 [dB]	

各パラメータの説明は次のとおりである。

1. 試運転パラメータでは、検証する設計パラメータを定義する。

1.1行目:[ITU-T G.Sup.41] および9.1.7で定義されたチャネルの平均SNR_{ASE}。前述のSNR_{ASE}は、スペクトラム予等化されているため、Power Budget Table [ITU-T G.977] のLine Aとは異なる場合がある。

1.2行目:セクション9.1.12で説明されているチャネルの平均GSNR。

1.3行目:傾きは、スペクトルのTHzあたりの傾きの量で定義したものである(dB/THz)。傾きの例を9.1.3に示す。

1.4行目:利得偏差は、送信機に対する受信機でのチャネルの電力の最大差をdB単位で定義する。

2. エンドツーエンドの伝搬特性を定義するシステム仕様;
 - 2.1行目:システムの距離は、相互運用可能なケーブル部分の端から端までの合計伝搬長である。
 - 2.2行目:公称スパン距離 (Nominal Span Length) は、スパンの距離 (km単位)。個々のスパン長が要求される場合がある。
 - 2.3行目:公称スパン損失は、基準チャンネル周波数でのdB単位のスパン当たりの全損失である。スパンごとの損失が要求される場合がある。
 - 2.4行目:[b-ITU-T G.Sup.39] で定義されるps/nmでの累積波長分散は、基準チャンネル周波数で引用される。
 - 2.5行目:平均PMDは、DLSの全スパンにわたる偏波モード分散で $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ で表される [ITU-T G.Sup.41]。
 - 2.6行目:平均PDLは、DLSの全スパンにわたる偏波依存損失の平均値をdB [ITU-T G.Sup.41] 単位で表したものである。
 - 2.7行目:DLSのリピータの総数。

3. リピータ仕様には、 [ITU-T G.977] に示すOSR特性が含まれる。
 - 3.1行目:リピータの平均総出力パワー (dBm)。
 - 3.2行目:リピータの平均雑音指数 (dB)。
 - 3.3行目:リピータの平均光利得 (dB)。
 - 3.4行目:データ透過帯域は、トラフィック搬送チャンネルをサポートする動作波長範囲 [ITU-T G.671] を定義する。透過帯域は、典型的には、THzにおける受信スペクトルにわたって測定される。透過帯域は、最低周波数チャンネル(Start)と最高周波数チャンネル(Stop)の半値幅境界で、チャンネルあたりの指定パワー (図9-1参照) で定義される。

4. スパンの光ファイバ仕様は、製造元のパラメータである。
 - 4.1行目:すべてのスパンの実効断面積の平均値 [ITU-T G.650.2] である。異なる光ファイバタイプが存在する場合は、各タイプの実効断面積を記載する必要がある。
 - 4.2行目:参照波長における波長分散は、光ファイバタイプごとにps/nm/kmで記載する必要がある。
 - 4.3行目:基準波長での損失は、光ファイバタイプごとにdB/km単位で記載する必要がある。
 - 4.4行目:分散スロープは、ライン4.2の波長分散の波長に対する変化率または導関数である。
 - 4.5行目:非線形係数は、各光ファイバタイプの基準周波数で W^{-1} の単位で記載する必要がある。

5. [ITU-T G.977] および [ITU-T G.Sup.41] の修理ガイダンスは、システムの修理マージンによって異なる場合がある。これらの規格を記載すること。
 - 5.1行目システムの存続期間に割り当てられた合計 SNR_{ASE} ペナルティ。

A.4 主な測定仕様

システムの最終的な試運転では、 SNR_{ASE} 、 SNR_{EXT} 、 GSNR などのパラメータの周波数依存性に関して、事前に定義されているよりもはるかに詳細な情報が明らかになる。このように、TTEベンダがシステムの潜在的な容量をモデル化するために必要なこの詳細情報に価値がある。さらに、より詳細な情報は、システムの継続的な監視に関連し、経年変化、故障、または修理の結果としてのシステム変化の識別のために、システム保守に関する情報に基づいた決定を可能にする。主要設計仕様表で指定されている情報以外の追加の推奨情報は、システムのモデル化と継続的なシステム監視の目

的で、システムの試運転時に収集されるべきである。試験されるチャンネルの数は、サプライヤと事業者の間で合意されるべきである。収集すべき情報の例を表A.4.1に示すが、この表の項目は事業者とサプライヤの間で合意されるべきである。

表A.4.1 主な測定仕様テーブル

DLS	サイトAからサイトB
ファイバペア番号	Z
	計測済み
測定されたパフォーマンスパラメータと主な入力 (フラットTx)	
チャンネル数	添付資料として提供される。 すべての測定条件および計算を含む。
チャンネルあたりのTxパワー [dBm] と周波数	
チャンネルあたりのRxパワー [dBm] と周波数	
SNR _{ASE} [dB] 対周波数	
利得 [dB] 対周波数	
測定されたパフォーマンスパラメータと主な入力 (等化)	
チャンネル数	添付資料として提供される。 すべての測定条件および計算を含む。
チャンネルあたりのTxパワー [dBm] と周波数	
チャンネルあたりのRxパワー [dBm] と周波数	
SNR _{ASE} [dB] 対周波数	
GOSNR [dB] 対周波数	

例えば、様々な構成の波長選択スイッチ (WSS)、ROADMによって導入されるガードバンドなどの特定のシステム特性に基づいて、追加情報を収集することが望まれる場合がある。これらはケースバイケースで対処されるべきである。また、累積波長分散 (CD)、PMD、PDL、時間変動システムペナルティ (TVSP) など、現在のモデムで測定できる特定のシステム特性もある。これらの特性の一部は、計算するデータの統計的な分布を必要とするため、ソークテストが必要になる。これらの要素を特徴付けるために、第三者の試験測定ツールを使用することもできる。

A.5 試運転仕様

試運転仕様は、SNR_{ASE}とGOSNRの観点から試運転時の目標値を定義する。相互運用可能なケーブルバジェットは、海底部分の実現可能なGOSNRを達成するためのペナルティを考慮した名目上の設計から始まる。SNR_{ASE}およびGOSNRは、チャンネル間隔 C の範囲で定義されるだろう。

$$SNR_{ASE} = \frac{B_o}{C} OSNR_{ASE}$$

ここで、B_oは光帯域幅 (通常は1550nmで12.5GHzまたは0.1nm) であり、CはGHz単位のキャリア間隔である。同様に、GOSNRはGOSNRにスケーリングできる。

表A.5.1 相互運用可能なケーブルバジェットテーブル

		SNR _{ASE} dB	GSNR dB
1	海底部分の設計性能		
2.1	導波型音響波ブリルアン散乱 (GAWBS)による劣化		
2.2	ROADM (海底部分) による劣化		
2.3	陸上への拡張及び/又は無中継分岐による劣化		
2.4	一般化された信号垂下の劣化		
3	公称 (システム) の性能		
4	製造マージン		
5	フラット条件でのシステムの性能		
6	予等化マージン		
7	BOL平均システム性能 (合意された等化条件の下で)		
8	BOL最悪ケースのマージン		
9	経年変化と修理ペナルティ		
10	EOL平均システム性能 (合意された等化条件の下で)		
11	EOL最悪ケースのマージン		

各パラメータの説明は次のとおり

1行目:海底部分の設計SNR_{ASE}及びGSNR (9.1.11項参照) を、帯域全体で平均化したもの。

2.1行目:9.1.9に記述されているGAWBSによるGSNRの劣化。

2.2行目:海底部分のROADMからのSNR_{ASE}劣化。

2.3行目:陸上への延長部及び/又は無中継分岐部から生じる劣化。これは、海底部分だけでなく、DLSに対して定義された場合のGSNRを説明する。

2.4行目: 固定光出力のEDFAからのノイズ蓄積によるSNR_{ASE}の信号垂下の劣化。GSNRの信号垂下の劣化は、一般化された垂下式で定義される。9.1.6を参照。

3行目:システムの3行目の公称SNR_{ASE}及びGSNRは、一般化された垂下式を使用して1行目から2.4行目を引いたものである。(9.1.12)

$$1 + \frac{1}{GSNR} = \left(1 + \frac{1}{SNR_{ASE}}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{SNR_{NLI}}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{SNR_{GAWBS}}\right)$$

4行目:製造マージンは、製造プロセス、海上操業および環境条件による通常の製品の変化に割り当てられる。

5行目:これは、Beginning-Of-Life (BOL) のフラットな入力条件下でのシステム平均SNR_{ASE}である。5行目のSNR_{ASE}は、3行目から4行目を引いたものである。

6行目:合意された等化方式を使用してパフォーマンスを等化するために予等化を使用することによるSNR_{ASE}ペナルティを表す。

7行目:イコライゼーションが適用された後の平均SNR_{ASE}を表す。7行目のSNR_{ASE}は、5行目から6行目を減算して計算される。これは、BOLでの平均等化性能のための試運転制限を表す。7行目のGSNRは、7行目のSNR_{ASE}、3行目のGSNR、を使用して一般化された信号垂下式で計算される。

8行目:これは、帯域全体のパフォーマンスのスペクトル変動に対する許容値である。この値は、イコライゼーション後のバンド全体の最悪のケースのSNR_{ASE}とGSNRに対応する。

9行目:相互運用可能なケーブル部分の修理と経年変化による SNR_{ASE} ペナルティを表す。

10行目:End-Of-Life (EOL) 条件の下でイコライゼーションが適用された後の平均 SNR_{ASE} を表す。10行目の SNR_{ASE} は、7行目から9行目を引いたものである。10行目 $GSNR$ は、10行目 SNR_{ASE} 、7行目 $GSNR$ を使用した一般化された信号垂下式で計算される。

11行目:これは、帯域全体のパフォーマンスのスペクトル変動に対する許容値である。この値は、EOL条件での等化後のバンド全体での最悪のケースの SNR_{ASE} および $GSNR$ に対応する。

参考文献

- [b-ITU-T G.664] 勧告ITU-T G.664 (2012) 、光安全手順および光伝送システムの要件
- [b-ITU-T G.696.1] 勧告ITU-T G.696.1 (2010)、縦断的に相互互換のあるイントラドメインDWDMアプリケーション
- [b-ITU-T G.709] 勧告ITU-T G.709/Y.1331 (2020)、光伝送網のインタフェース
- [b-ITU-T G.780] 勧告ITU-T G.780/Y.1351 (2010)、同期デジタル階層 (SDH) ネットワークの用語と定義
- [b-ITU-T G.973] 勧告ITU-T G.973 (2016)、中継光ファイバ海底ケーブルシステムの特徴
- [b-ITU-T G.Sup.39] ITU-T G.Sup39 (2016)、光伝送システムの開発と技術的考察
- [b-ITU-T G.Sup.40] ITU-T G.Sup40 (2018)、光ファイバケーブルガイドライン
- [b-ITU-T G.Sup.41] ITU-T G.Sup41 (2018)、光ファイバ海底ケーブルシステム的设计ガイドライン
- [b-IEC 60825-1] IEC 60825-1 (2014)、レーザ製品の安全-パート1:装置の分類と要件
- [b-IEC 60825-2] IEC 60825-2 (2004)、レーザ製品の安全性-パート2:光ファイバ通信システム(OFC)の安全性
- [b- Hartling] E.R. Hartling et al., “*Subsea Open Cables: A Practical Perspective on the Guidelines and Gotchas*”, Sub Optic 2019, Apr 8th, Sub Optic Association Working Group.
- [b-Bolshtyansky] Bolshtyansky, M.A. et.al (2018), “*Impact of Spontaneous Guided Acoustic-Wave Brillouin Scattering on Long-haul Transmission*”, Optical Fiber Communications Conference, M4B.3, 2018.
- [b-Bononi] Bononi, A., Antona, J.C., Carbo Meseguer, A., Serena, P., “*A model for the generalized droop formula*,” in Proc. European Conf. on Optical Commun. (ECOC), Dublin, Ireland, W.1.D.5., 2019.
- [b-IEC-TR62285] IEC TR 62285 (2005)、非線形係数測定法のための応用ガイド
- [b-Antona] Antona, J.C., Carbo Meseguer, A., Letellier, V., “*Transmission Systems with Constant Output Power Amplifiers at Low SNR Values: A Generalized Droop Model*”, in Proc OFC, San-Diego, M1J.6, 2019.