目　次

ページ

1　適用範囲 x

2　引用規格 x

3　用語及び定義 x

4　標準環境条件 x

5　図記号 x

6　分類 x

7　測定装置 x

8　単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールの試験および測定方法 x

8.1　平均送信光出力パワー、レーン（チャンネル）間差 (ITU-T G.959.1, 7.2.4.4) x

8.2　送信光波形マスクマージン x

8.2.1　NRZ 10G Ratio small (C4S1-2D1, C4L1-2D1),

NRZ 25G Ratio (C4S1 9D1F, 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F) (ITU-T G.959.1, 7.2.2.14) x

8.2.2　40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 87.8.9) x

8.2.2.1　光送信アイマスク (IEEE 802.3-2018, 86.8.4.6.1) x

8.2.2.2　アイダイアグラム (IEEE 802.3-2018, 86.8.3.2) x

8.2.2.2.1　アイマスク許容ヒット数の例 (IEEE 802.3-2018, 86.8.3.2.1) x

8.2.2.3　TP1アイマスク (IEEE 802.3-2018, 86A.5.3.6) x

8.2.3　100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 88.8.8) x

8.2.4　100G CWDM4 (100G CWDM4 MSA, 3.8) x

8.2.5　100G-CLR4 (100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.13) x

8.2.6　100G 4WDM-10 (100G 4WDM-10 MSA, 3.8) x

8.3　最大スペクトル可動域 Maximum spectral excursion (ITU-T.959.1, 7.2.2.5) x

8.4　最大スキュー変動 Maximum Skew Variation x

8.4.1　40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 87.3.2) x

8.4.1.1　スキュー制限 (IEEE 802.3-2018, 80.5抜粋) x

8.4.1.2　スキューとスキュー変動 (IEEE 802.3-2018, 87.8.2) x

8.4.2　100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 88.3.2) x

8.4.3　100G CWDM4 (100G CWDM4 MSA, 3.2) x

8.4.4　100G-CLR4 (100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.2) x

8.4.5　100G 4WDM-10 (100G 4WDM-10 MSA, 3.2) x

8.5　光変調振幅基準の受信感度 x

8.5.1　40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 87.8.10) x

8.5.2　100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 88.8.9) x

8.5.3　100G CWDM4 (100G CWDM4 MSA, 3.9) x

8.5.4　100G-CLR4 (100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.14) x

8.5.5　100G 4WDM-10 (100G 4WDM-10 MSA, 3.9) x

8.6　光変調振幅基準のストレスド受信感度 x

8.6.1　40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 87.8.11) x

8.6.1.1　ストレスド受信機適合テスト・ブロック図 (IEEE 802.3-2018, 87.8.11.1) x

8.6.1.1.1　ジッタ (IEEE 802.3-2018, 86.8.3.3) x

8.6.1.1.1.1　J2ジッタ (IEEE 802.3-2018, 86.8.3.3.1) x

8.6.1.1.1.2　J9ジッタ (IEEE 802.3-2018, 86.8.3.3.2) x

8.6.1.2　ストレスド受信機適合テストにおける信号特性と校正 (IEEE 802.3-2018, 87.8.11.2) x

8.6.1.3　ストレスド受信機適合テスト信号の検証 (IEEE 802.3-2018, 87.8.11.3) x

8.6.1.4　ストレスド受信機適合テストにおける正弦ジッタ (IEEE 802.3-2018, 87.8.11.4) x

8.6.1.5　波長多重（WDM）適合性試験におけるストレスド受信機適合テスト手順 (IEEE 802.3-2018, 87.8.11.5) x

8.6.2　100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4 (IEEE 802.3-2018, 88.8.10) x

8.6.3　100G CWDM4 (100G CWDM4 MSA, 3.10) x

8.6.4　100G-CLR4 (100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.15) x

8.6.5　100G 4WDM-10 (100G 4WDM-10 MSA, 3.10) x

8.7　平均送信光入力パワー、レーン（チャンネル）間差 (ITU-T G.959.1, 7.2.4.4) x

8.8　光パスペナルティ x

8.8.1　C4S1-2D1, C4L1-2D1, C4S1 9D1F (ITU-T G.695, 7.4.4) x

8.8.1.1　“ブラックボックス”手法 (ITU-T G.695, 5の抜粋) x

8.8.1.2　マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）におけるシングルチャネル特性の

評価のための方法Aの構成 (ITU-T G.959, Annex A) x

8.8.1.2.1　基準構成 x

8.8.1.2.1　光送信信号のアイダイアグラムのマスクの測定 (ITU-T G.957, Annex B, B.1) x

8.8.1.2.1.1　測定系セットアップ x

8.8.2.2 マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）のシングルチャネル特性を評価するための方法Bの基準光バンドパスフィルターと基準受信機の特性 (ITU-T G.959, Annex B) x

8.8.2.2.1　基準構成 x

8.8.2.2.2　基準光バンドパスフィルタ x

8.8.2.2.3　光フィルタパラメータ x

8.8.2.2.3　基準受信機 x

8.8.2.2.1　受信感度 (ITU-T G.691, Annex A, A.4) x

8.8.2.2.1.1　消光比ペナルティ (ITU-T G.691, Annex A, A.2) x

8.8.2.2.1.2　アイマスクペナルティ (ITU-T G.691, Annex A, A.3) x

8.8.3　4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F (ITU-T G.959.1, 7.2.4.5) x

8.9　最小等価感度 Minimum equivalent sensitivity x

8.9.1　C4S1-2D1, C4L1-2D1, C4S1 9D1F (ITU-T G.695, 7.4.7) x

8.9.2　4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F (ITU-T G.959.1, 7.2.4.6) x

9　各アプリケーションの特性表 x

まえがき

この規格は，産業標準化法第16条において準用する同法第12条第1項の規定に基づき，一般財団法人光産業技術振興協会（OITDA）及び一般財団法人日本規格協会（JSA）から，産業標準原案を添えて日本産業規格を改正すべきとの申出があり，日本産業標準調査会の審議を経て，経済産業大臣が制定した日本産業規格である。

この規格は，著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が，特許権，出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣及び日本産業標準調査会は，このような特許権，出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について，責任はもたない。

JIS C 5954の規格群には，次に示す部編成がある。

JIS C 5954-1 第1部：総則

JIS C 5954-2 第2部：ATM-PON用光トランシーバ

JIS C 5954-3 第3部：単心直列伝送リンク用光送・受信モジュール

JIS C 5954-4 第4部：GPON用光トランシーバ

JIS C 5954-5 第5部：光トランシーバの光レセプタクル部の機械的外乱（ウィグル）による光出力変動

JIS C 5954-6 第6部：複心並列伝送リンク用光送・受信モジュール

JIS C 5954-7 第7部：単心波長多重並列伝送用光送受信モジュール

日本産業規格（案） JIS

C 5954-X：0000

光伝送用能動部品－試験及び測定方法－  
第7部：単心波長多重並列伝送用光送受信モジュール

Fiber optic active components and devices-  
Test and measurement procedures-Part 5: Optical transmitting and/or receiving modules for single fiber wavelength division multiplexing

1. 適用範囲

この規格は，JIS C 5953-1に基づき，チャンネル（レーン）当たり10 Gbit/s～25 Gbit/sの並列（パラレル）なデジタル信号を，単芯の光ファイバ（単芯形）を介して，波長多重で伝送し，2R（波形再生及び波形整形）又は3R（波形再生，波形整形及び同期信号再生）機能をもち，デジタル変調方式として二値振幅変調［ASK（Amplitude Shift Keying），IM（Intensity Modulation）又はOOK（On-Off Keying）ともいう。］方式の単心並列伝送用光送・受信モジュールの試験および測定方法を規定する。

注記1 ここでいう単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールとは，発光素子と電子回路及び光ファイバとの接続部からなる送信部，並びに受光素子と電子回路及び光ファイバとの接続部からなる受信部とを1個のモジュールとして構成する送受信モジュール（光トランシーバ）である。

注記2 ここでいう単心波長多重とは，単心の光ファイバに複数の波長を多重して伝送する形態であり，並列伝送方式の一つである。この形体のモジュールは，単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールである。

他の並列伝送方式には，伝送元の送信部から伝送先の受信部へ2心以上の光ファイバによって伝送する形態があり，これを複心形の多重形とする。この形体のモジュールは，複心並列伝送リンク用光送・受信モジュールである。

2 引用規格

次に掲げる規格は，この規格に引用されることによって，この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格は，その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS C 5954-3　光伝送用能動部品－試験及び測定方法－第3部：単心直列伝送リンク用光送・受信モジュール

JIS C 5954-6　光伝送用能動部品－試験及び測定方法－第6部：複心並列伝送リンク用光送・受信モジュール

JIS C 5954-7 光伝送用能動部品－試験及び測定方法－第7部：単心波長多重並列伝送用光送受信モジュール

JIS C 5955-3 光伝送用能動部品－性能標準テンプレート－単心波長多重並列伝送用光送受信モジュール

JIS C 61280-2-2　光ファイバ通信サブシステム試験方法－光アイパターン，光波形及び消光比測定

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は，次によるほか，JIS C 5954-3による。

3.1

= 検討中 =

4 標準環境条件

特に規定がない場合，測定及び試験時の標準環境条件は，表1による。特別な環境条件が必要な場合には，個別性能規格で規定する。なお，温度及び湿度の変動は，一連の測定中では最小限に維持する。

**表1**－**測定及び試験時の標準環境条件**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 温度  ℃ | 相対湿度  % | 気圧  kPa |
| 18～28 | 25～75 | 86～106 |
| 注記 この表は，JIS C 5954-1:2008の光伝送用能動部品－試験及び測定方法－第1部：総則に基づいている。 | | |

5 図記号

図記号は，JIS C 0617（規格群）による。

6 分類

単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールのの試験及び測定方法には，JIS C 5955-3で規定する単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールのの性能標準テンプレートで制定された試験方法を規定する。

7 測定装置

この規格で用いる測定装置は，JIS C 5954-3の箇条6による。

8 単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールの試験および測定方法

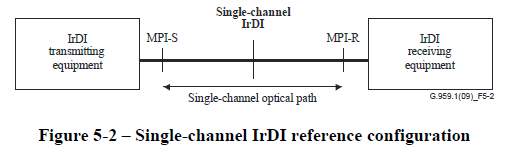
8.1 平均送信光出力パワー、レーン（チャンネル）間差

試験および測定対象となる各アプリケーションにおいて、その光出力レーン（チャンネル）数に関わらず、JIS C 5954-3に規定する送信光出力の測定方法に基づいて測定された特定の光学分解能帯域幅内で同時に存在する光出力レーンの光パワーの平均値の最大値と最小値の差として定義される。

8.2 送信光波形マスクマージン

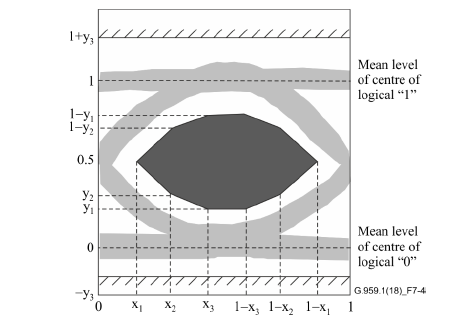
8.2.1 NRZ 10G Ratio small (C4S1-2D1, C4L1-2D1), NRZ 25G Ratio (C4S1 9D1F, 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F)

アイマスクとしてNRZ 10G Ratio smallおよびNRZ 25G Ratioを要求される各アプリケーション（C4S1-2D1, C4L1-2D1 C4S1 9D1F, 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F）では、非ゼロ復帰（NRZ: Non-return-to-zero）の光送信信号について、立ち上がり時間、立ち下がり時間、パルスオーバーシュート、パルスアンダーシュート、リンギングなどの一般的な送信機パルス形状特性が図1に示すシングルチャンネルソースメインパスインターフェース基準ポイント（MPI-S: Single channel Source Main Path Interface reference point）での送信機アイダイアグラムのマスク形状,で規定される。これらはすべて、受信機の感度の過度の劣化を防ぐために制御する必要があり、送信信号を評価するためには、アイ開口部だけでなく、オーバーシュートおよびアンダーシュートの制限も考慮することが重要である。許容されるヒット率を持つNRZ 10G Ratio smallおよびNRZ 25G Ratioにおけるアイマスクの場合、図2に示したハッチング領域の内側と外側のサンプルの許容比率（ヒット率）を満たす必要がある。テスト構成は、5.8.1.2.1で示され、テストに用いられる光基準受信機は、光検出器、ローパスフィルター、オシロスコープの機能要素の任意の組み合わせとこれらの要素の相互接続の合計周波数応答として、表2に規定される適切な伝達関数を備えた4次のベッセルトムソン応答特性を持つものとする。



Physical layer inter-domain interface (IrDI)

**図1- シングルチャンネルの物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）の構成**



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 項目 | 性能標準基準値 | |
| NRZ 10G Ratio small | NRZ 25G Ratio |
| x1 | 0.25 | 0.25 |
| x2 | 0.4 | 0.4 |
| x3 | 0.45 | 0.45 |
| y1 | 0.25 | 0.25 |
| y2 | 0.28 | 0.28 |
| y3 | 0.4 | 0.4 |
| Max hit ratio | 5 x 10-5 | 5 x 10-5 |

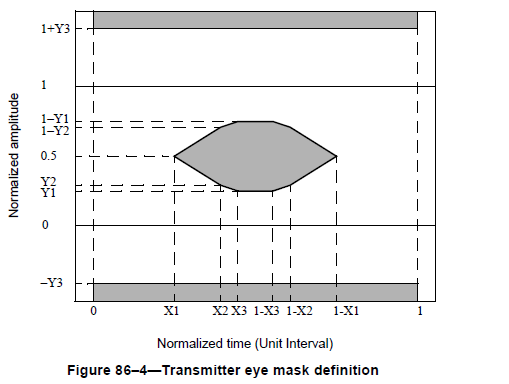
**図2- NRZ 10G Ratio smallおよびNRZ 25G Ratioアイダイアグラムのマクス規定**

**表2- 光基準受信機の減衰耐力値**

|  |  |
| --- | --- |
| *f / fr* | Δa |
| 0.001 to 1  1 to 2 (注1) | ±0.85  ±0.85 to ±4.0 |
| 注1: Δaの中間値は、対数周波数スケールで線形補完すること。 | |

8.2.2 40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4

40GBASE-LR4,および40GBASE-ER4において要求される光送信パルス波形特性は、表xxに示す各アプリケーションで規定される送信特定を満足した上で、図3に示されるアイダイヤグラムのマスク形状によって規定される。表2に示される7.5 GHzのフィルタの公称基準周波数*fr*を用い、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、あるいは有効な40GBASE-Rの何れかのテストパターンにおいて各ポート（レーン）の送信光波形は、5.2.2.1に規定された方法にて仕様を満足する必要がある。



|  |  |
| --- | --- |
| 項目 | 性能標準基準値 |
| 光送信アイマスク規定 | {0.25, 0.4, 0.45, 0.25, 0.28, 0.4} |

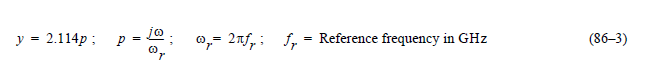
**図3- 光送信アイマスク規定**

8.2.2.1 光送信アイマスク

アイは式1と式2で与えられる伝達関数を持つ4次のベッセル-トムソン応答特性を持つ受信機を用いて、各アプリケーション毎に規定された図2あるいは図5に示すアイダイヤグラムのマスクに対して測定される。

式1

ここで、



4次のベッセル-トムソン応答特性を持つ受信機は、適合する光受信機が持つべきノイズフィルタを意図したものではないが、送信機特性を評価するにあたり、均一な測定条件を提供することを目的としている。この理想的な4次のベッセル-トムソン応答特性によって、基準受信機のフィルタ応答特性の変動を補うことが期待できる。

0と1の正規化レベルは、それぞれ論理値における0と1に相当する。 これらは、アイの中心から0.2UIの幅の下半分と上半分として定義される。

詳細な要求は8.2.2.2で与えられる。

送信機は、該当する規定あるいは別途規定がない場合には一つの送信光波形あたりのヒット率 5×10-5に対して、これら上限よりも低いヒット率を達成する必要がある。ヒットとは、各アプリケーションにおけるアイマスク規定の図3あるいは図7に示された灰色の領域内にあるサンプルのことを指し、サンプル数は、0 UIから1 UIまでのサンプルの合計数となる。ヒット率に関する例を8.2.2.2.1に示す。

光学アイパターン測定手順の詳細は、JIS C 61280-2-2を参照のこと。

8.2.2.2 アイダイアグラム

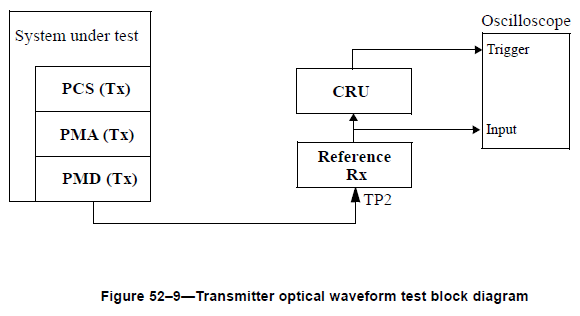
アイダイアグラムは、電気信号と光信号を評価するために適用される。送信光波形マスクマージンを測定する際における電気入力波形アイの規定は8.2.2.3で、送信光波形のアイ測定は各アプリケーション（8.2.2, 8.2.3,または8.2.4）で定義される。

信号パターンには、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーションの信号のうちのいずれかを使用し、クロストーク源としてすべての共伝搬および逆伝搬レーンがアクティブな状況下においてテストを実施する。テスト中の入力レーンには、出力されている信号とは非同期の入力信号を用いること。

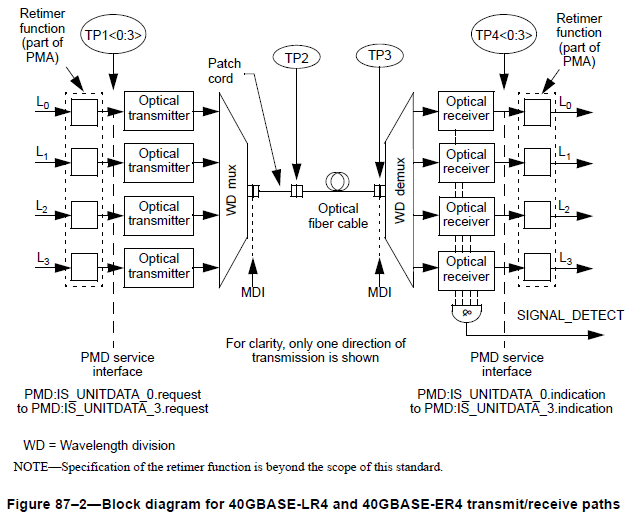
アイダイアグラム単位区間スケール上の0と1の正規化された時間は、アイの交点、すなわちアイパターンの平均値として測定される。図4に示すように、クロックリカバリユニット（CRU）は、マスク測定のために用いるオシロスコープのトリガーとして使用され、高周波のコーナー帯域幅は4 MHz、傾きは–20 dB / decadeとする。 CRUによって許容可能な低周波ジッタとワンダに対して追随できる様になる。

尚、図4中のTP2とは、図5に示す送信・受信パスのブロック図におけるテストポイントの一つである。

一方で、実際の機器の特性にこれらの補正が必要であるかについては、別途考慮する必要がある。



**図4- 送信光波形テストブロック図**



**図5- 送信・受信パスのブロック図**

8.2.2.2.1 アイマスク許容ヒット数の例

オシロスコープを用いた測定におけるアイマスクのヒット数とヒット率の関係の計算例を以下に示す。

オシロスコープが1波形においてモニタ画面当たり1350サンプルを記録し、タイムベース（アイダイアグラム2つ分の2UI）が画面全体で10に分割されたうちの1分割にあたる0.2 UIに設定され、継続して測定される200波形の場合に、式3から平均6.75ヒット未満のアイダイアグラムを持つ信号は、ヒット率5×10–5の規定を満足する。

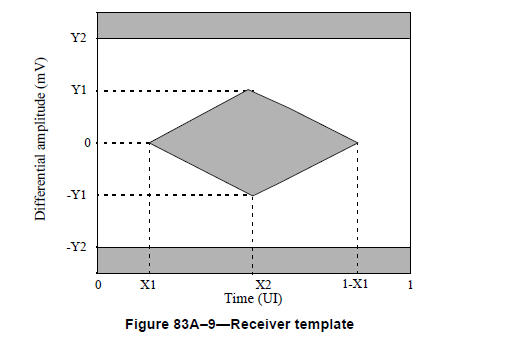
式3

同様に、継続して測定される1000波形の場合には、平均33.75ヒット未満がヒット率5×10–5に適合する。ヒット率による測定ではより正確な結果が得られると予想され、200波形で6ヒットを1回読み取った場合と比較しても、アイマスクのヒットする確率としては等しいものとなり、測定した波形の数による合格または不合格に対する有意な差はない。

また、アイマスクへのヒットの有無による規定ではなく、ヒット率による規定は、アイダイアグラムの合否にあたり、信号とオシロスコープのノイズによるヒットによる誤判定を避けるために採用されている。

8.2.2.3 TP1アイマスク

図5で指定されるTP1におけるアイマスクは、図6に示されるパラメーターX1、X2、Y1、およびY2によって定義される。光送信アイマスクとは異なり、垂直方向の寸法は信号に比例するのではなく固定されている。アイは、12 GHzの電気的-3 dB帯域幅（ベッセル-トムソン応答など）のレシーバーを使用して測定されるものとする。さらなる要件については、8.2.2.2に記載する。



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 項目 | 性能標準基準値 | 単位 |
| 最小トータル入力ジッタトレランス | 0.62 | UI |
| 最小デターミニスティック入力ジッタトレランス | 0.42 | UI |
| 受信アイマスク規定 X1 | 0.31 | UI |
| 受信アイマスク規定 X2 | 0.5 | UI |
| 受信アイマスク規定 Y1 | 42.5 | mV |
| 受信アイマスク規定 Y2 | 425 | mV |

**図6- TP1アイマクス規定**

8.2.3 100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4

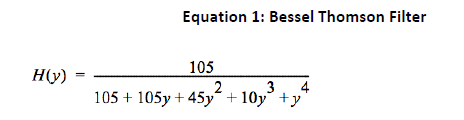
100GBASE-LR4,および100GBASE-ER4において要求される光送信パルス波形特性は、表xxに示す各アプリケーションで規定される送信特性を満足した上で、図3に示すアイダイヤグラムのマスク形状により規定する。31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、あるいは有効な100GBASE-Rの何れかのテストパターンを持つ各レーン（チャンネル）の送信光波形は、クロックリカバリユニット（CRU）の高周波コーナー帯域幅が10MHzであることを除いて、8.2.2.1に規定された方法に従って、要求された仕様を満足するものとする。また、フィルタの公称基準周波数frの19.34GHzとフィルタの公差は表2で規定する。

8.2.4 100G CWDM4

5.2.3に同じ。参照のこと。

8.2.5 100G-CLR4

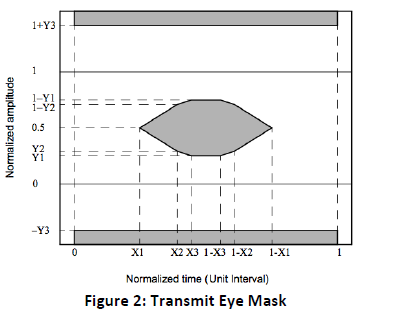
100G-CLR4において要求される光送信パルス波形特性は、適用されるシステム構成でのFECの有無によって図7で示されるアイダイヤグラムのマスク形状により規定される。31段疑似ランダム信号（PRBS31）あるいはRS-FECスクランブルアイドル信号（RS-FEC scrambled idle pattern）の何れかのテストパターンを持つ各レーン（チャンネル）の送信光波形は、式2で与えられる伝達関数を持つ4次のベッセル-トムソン応答特性を有する受信機を使って、表xxにおいて規定される送信特性を満足しなければならない。

式2

ここで



図4に示すように、クロックリカバリユニット（CRU）は、マスク測定のために用いるオシロスコープのトリガーとして使用され、高周波のコーナー帯域幅は10MHz、傾きは–20 dB / decadeとする。これにより許容可能な低周波ジッタとワンダに対して追随できるようになる。また、フィルタの公称基準周波数*fr*の19.34GHzにおけるフィルタ耐力の公差は表2に規定する。4次のベッセル-トムソン応答特性を持つ受信機は、適合する光受信機が持つべきノイズフィルタを意図したものではないが、送信機特性を評価するにあたり、均一な測定条件を提供することを目的としている。この理想的な4次のベッセル-トムソン応答特性によって、基準受信機のフィルタ応答特性の変動を補うことが期待できる。



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 項目 | | 性能標準基準値 |
| 光送信アイマスク規定  {X1, X2, X3, Y1, Y2, Y3} | FEC無 | {0.25, 0.42, 0.46, 0.28, 0.3, 0.4} |
| FEC有 | {0.31, 0.4, 0.45, 0.34, 0.38, 0.4} |

**図7- 光送信アイマスク規定**

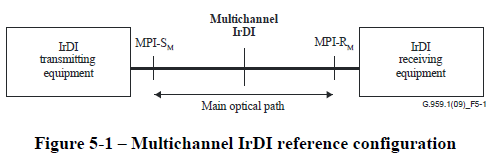
8.2.6 100G 4WDM-10

8.2.3に同じ。参照のこと。

8.3 最大スペクトル可動域 Maximum spectral excursion

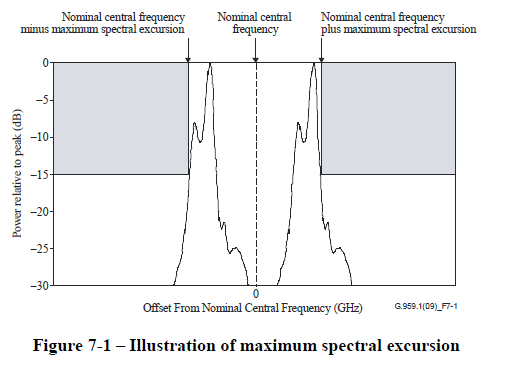
各チャネルの公称中心周波数と、図8に示すマルチチャンネルソースメインパスインタフェース基準ポイント（MPI-SM: Multichannel Source Main Path Interface reference point）で測定された公称中心周波数から最も離れた送信機スペクトルの–15 dBポイントの間の最大許容差で定義される。これを図9に示す。

注– 送信スペクトルの–15 dBポイントの測定は、0.01 nmの公称分解能帯域幅にて実施される必要がある。



Physical layer inter-domain interface (IrDI)

**図8- マルチチャンネルの物理層におけるドメイン間インターフェースの構成**



**図9- 最大スペクトル可動域の図**

8.4 最大スキュー変動 Maximum Skew Variation

8.4.1 40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4

物理符号化副層（PCS: Physical Coding Sublayer）がレーンの情報を再構成できるように、レーン間のスキュー（相対遅延）を制限値内に保ち、特定のPCSレーンが常に同じ物理レーンを通過するように、スキュー変動を制限する必要がある。スキューおよびスキュー変動は8.4.1.1で規定され、図10および図11に示すSP1～SP6のスキューポイントで指定される。

SP2でのスキューを測定できるように物理媒体依存副層（PMD: Physical Medium Dependent sublayer）のサービスインターフェースが物理的に構成される場合、SP2でのスキューは43 nsに制限され、そのスキュー変動は400 psに制限される。

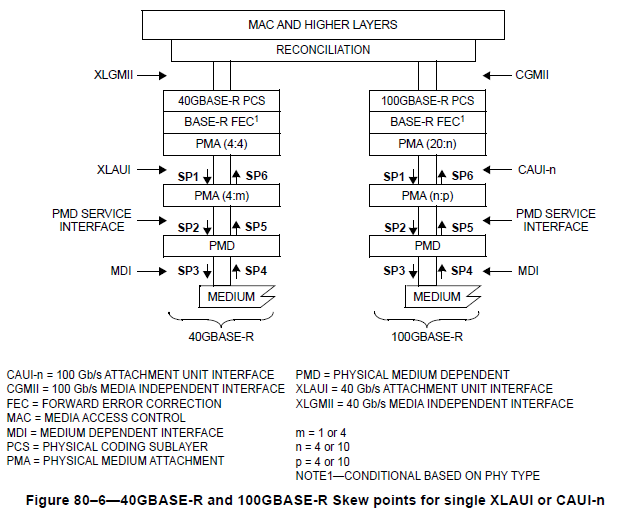
SP3（送信機MDI）のスキューは54 ns未満で、そのスキュー変動は600 ps未満でなければならない。

SP4（受信機MDI）のスキューは134 ns未満で、そのスキュー変動は3.4 ns未満でなければならない。

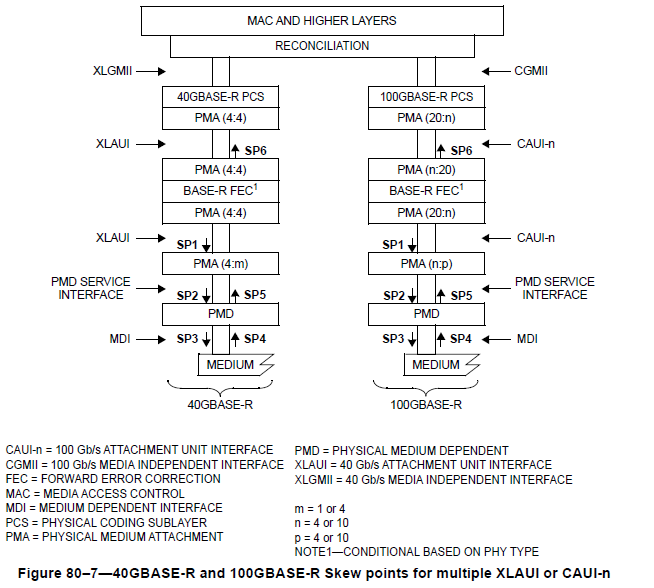
- MDI（MDIMedium Dependent Interface）: 媒体依存インターフェース

SP5のスキューを測定できるようにPMDのサービスインターフェースが物理的に構成されている場合、SP5のスキューは145 ns未満で、そのスキュー変動は3.6 ns未満でなければならない。

スキューおよびスキュー変動の詳細については、8.4.1.1に示す。また、スキューおよびスキュー変動の測定については、8.4.1.2に規定する。



**図10- 40GBASE-Rおよび100GBASE-RシングルXLAUI or CAUI-nにおけるスキュー規定点**



**図11- 40GBASE-Rおよび100GBASE-RマルチXLAUI or CAUI-nにおけるスキュー規定点**

8.4.1.1 スキュー制限

40GBASE-Rまたは100GBASE-Rリンクの送信構成部と受信構成部の両方でレーン間にスキュー（または相対遅延）が発生する可能性がある。スキューは、各PCSのレーンアライメントマーカー同期ビットの1から0への遷移において、最初のPCSレーンと最後のPCSレーンの間に生じる時間の差として定義される。PCSにおけるデスキュー機能は、受信機で観測された全てのレーン間のスキューを補正する。レーン間の送信情報を受信PCSで再構成できるように、レーン間のスキューは表3に示す制限値内に保つ必要がある。

スキュー変動は、リンクが動作している時間全体に亘るPCSレーンと他のPCSレーン間のスキューの変化として定義される。また、電気的、熱的、あるいは環境的特性の影響により、スキュー変動が発生する可能性がある。リンクが立ち上がった時点から、各PCSレーンが常に隣接する副層（Sublayer）のペアの間で常に同じレーンを通過することを保証するためにスキュー変動は制限される。

図10および図11に示すように、物理的に構成されるインターフェースでの最大スキューおよび最大スキュー変動のうち、PMDにおけるスキューポイントとしては、送信方向のSP2およびSP3と、受信方向のSP4およびSP5がある。

PMDにおける送信方向の各スキューポイントは次の箇所で定義される。

— PMDの入力におけるPMDサービスインターフェイス上のSP2

— PMDの出力におけるMDIでのSP3

PMDにおける受信方向の各スキューポイントは次の箇所で定義される。

— PMDの入力におけるMDIでのSP4

— PMDの出力におけるPMDサービスインターフェイス上のSP5

スキューの許容制限を表3に示し、スキュー変動の許容制限を表4に示す。

**表3- 光基準レシーバーの減衰量許容値**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| スキュー  ポイント | 最大スキュー  (ns) 1 | 40GBASE-R PCS レーンにおける最大スキュー  (UI) 2 | 100GBASE-R PCS レーンにおける最大スキュー  (UI) 3 | 備考4 |
| SP2 | 43 | ≈ 433 | ≈ 222 | 5.4.1, 5.4.2  参照のこと |
| SP3 | 54 | ≈ 557 | ≈ 278 |
| SP4 | 134 | ≈ 1382 | ≈ 691 |
| SP5 | 145 | ≈ 1495 | ≈ 748 |

1. 各スキューポイントにおけるスキュー制限には、PCBトレースに伴う1 nsの許容値が含まれます。
2. 記号” ≈ ”は、1 UIが10.3125 GBdのPCSレーンシグナリングレートで96.969697 psに相当し、40GBASE-Rの

UIの最大スキューのおおよその値を示す。

1. 記号” ≈ ”は、1 UIが5.15625 GBdのPCSレーンシグナリングレートで193.939394 psに相当し、100GBASE-Rの

UIの最大スキューのおおよその値を示す。

1. この表と関連するサブレイヤー条項のスキュー要件の間に矛盾がある場合、サブレイヤー条項が優先される。

**表4- 光基準レシーバーの減衰量許容値**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| スキュー  ポイント | 最大スキュー変動 (ns) | 40GBASE-R PCS レーンにおける最大スキュー変動  (UI) 1 | 100GBASE-R PCS レーンにおける最大スキュー変動  (UI) 2 | 備考3 |
| SP2 | 0.4 | ≈ 4 | ≈ 10 | 5.4.1, 5.4.2  参照のこと |
| SP3 | 0.6 | ≈ 6 | ≈ 15 |
| SP4 | 3.4 | ≈ 35 | ≈ 88 |
| SP5 | 3.6 | ≈ 37 | ≈ 93 |

1. 記号” ≈ ”は、1 UIが10.3125 GBdのPCSレーンシグナリングレートで96.969697 psに相当し、40GBASE-Rの

UIの最大スキューのおおよその値を示す。

1. 記号” ≈ ”は、1 UIが5.15625 GBdのPCSレーンシグナリングレートで193.939394 psに相当し、100GBASE-Rの

UIの最大スキューのおおよその値を示す。

1. この表と関連するサブレイヤー条項のスキュー要件の間に矛盾がある場合、サブレイヤー条項が優先される。

8.4.1.2 スキューとスキュー変動

スキューおよびスキュー変動は5.4.1.1で定義されており、リンクが動作している間、8.4.1で指定された制限内に保つ必要がある。スキューおよびスキュー変動の測定は、光分波器（OD）で光レーン（チャンネル）を分離し、8.2.2.2で指定されている高周波数コーナー帯域幅と–20 dB / decadeの傾きを持つクロックおよびデータリカバリユニット（CRU）を使用して、各レーンのデータを取得する。次に、各レーンのアライメントマーカー同期ビットの1から0への遷移の到着時間を比較する。これにより、スキュー測定において、信号に重畳している高周波ジッタ成分を取り除くことができる。

8.4.2 100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4

8.4.1に同じ。参照のこと。

8.4.3 100G CWDM4

8.4.2に同じ。参照のこと。

8.4.4 100G-CLR4

8.4.2に同じ。参照のこと。

8.4.5 100G 4WDM-10

8.4.2に同じ。参照のこと。

8.5 光変調振幅基準の受信感度

8.5.1 40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4

理想的な入力信号に対して定義されている受信感度は参考であり、準拠する必要はない。 実際の測定において、入力されるテスト信号には、符号間干渉（ISI: Inter-Symbol Interference）、立ち上がり/立ち下がり時間、ジッタ、および相対強度雑音（RIN: Relative Intensity Noise）などの無視できる程度ではあるが劣化が発生するため、これに代わる受信機の受信特性に対して基準となる要求は、最大ストレスド受信感度として規定される。

8.5.2 100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4

5.5.1に同じ。参照のこと。

8.5.3 100G CWDM4

各受信レーンの公称感度は、図12に示すテストセットアップを使用して光変調振幅（OMA: Optical Modulation Amplitude）で測定される。感度は、垂直方向のアイクロージャーを含む著しい基準送信機の障害に対して校正されなければならない。アイの中心で測定されるか、またはアイのオフセンターにおけるサンプリングに対して校正される。測定に用いられる基準送信波長は表xxに示すアプリケーションに要求される範囲に適合していなければならない。

また、以下の基本要件を満たす変調器によって変調されたCWレーザを持つ基準送信機を用いて測定すること。

a）立ち上がり/立ち下がり時間は、20％から80％で12ps未満とする。

b）出力光アイは対称的で、5.2.3における送信光波形テストに合格するものとする。

c）アイの中央部20％（0.2UI）の領域で、8.6.1.2で定義される最悪条件における

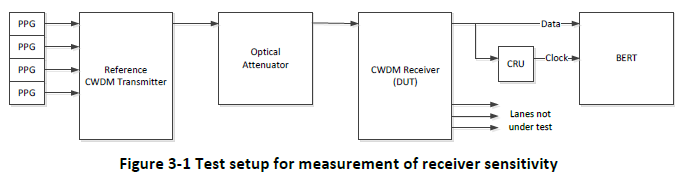
垂直アイクロージャーペナルティ（VECP:）は0.5 dB未満とする。

d）トータルジッタはピーク-ピーク間で0.2 UI未満とする。

e）RINは、-138 dB / Hz未満とする。

アイの中心は、測定されたBERが1 x 10 -3以上となるアイ内側の左右のサンプリング点の中間における時間として定義される。

感度測定に使用されるクロックリカバリユニット（CRU）は、10 MHz以下のコーナー周波数と20 dB / decadeの傾きを持つものとする。クロックリカバリユニットをBER測定用のクロックとして使用する場合、クロックにデータからの低周波成分を通すことになり、これにより低周波ジッタの影響を受信感度測定から除去することができる。



**図12- 受信感度測定のためのテストセットアップ**

8.5.4 100G-CLR4

8.5.2に同じ。参照のこと。

8.5.5 100G 4WDM-10

8.5.3に同じ。参照のこと。

8.6 光変調振幅基準のストレスド受信感度

8.6.1 40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4

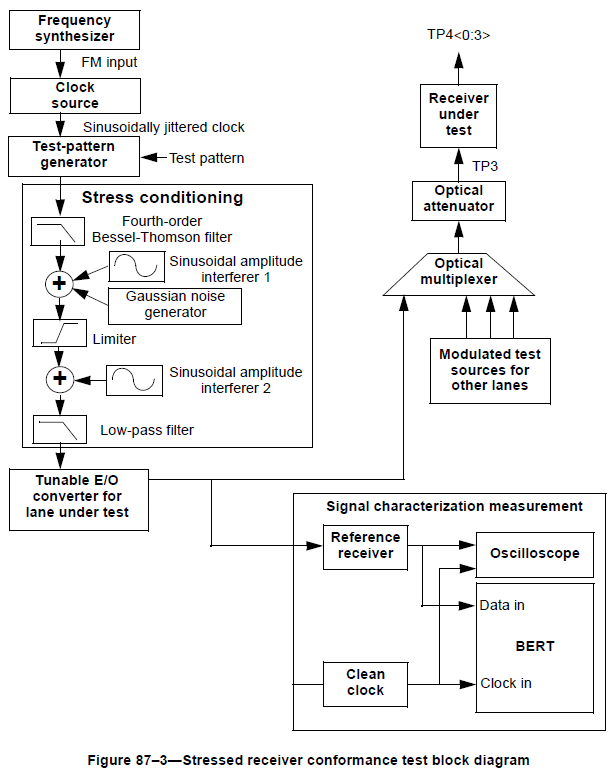
8.6.1.2で説明しているように図5に示すTP3における適合テスト信号を使用して8.6.1.1および8.6.1.2の方法を用いて測定する。その際、ストレスを受けた受信機の感度は表xxに示すように各アプリケーションで光変調振幅基準のストレスド受信感度として規定される値の制限内でなければならない。BERの規定は、テスト中のレーンのみで満たす必要がある。

また、レーン毎のストレスド受信感度は、クロストークの影響を加味するため、4つのレーン全てで送信部が動作し、テストされていない受信レーンが動作している状態で定義され、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーションの信号が、PMDの送信部から送信されることでテストされる。

送信される信号は、受信信号と非同期とする。

8.6.1.1 ストレスド受信機適合テスト・ブロック図

受信機適合テストのブロック図を図13に示す。受信機の適合テストに使用する信号パターンには、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、あるいはスクランブルアイドル信号（Scrambled idle）を用いる。光テスト信号は、8.6.1.2で定義されたストレスド受信機評価方手法に従って調整（ストレスを印加）され、8.6.1.4に規定された正弦波ジッターが重畳される。受信機のテストに用いられる信号に規定された特性を与え、それを使って検証するには、適切なテストセットアップが必要である。



**図13- ストレスド受信機適合テスト・ブロック図**

図13におけるローパスフィルタは、符号間干渉（ISI）による垂直アイクロージャーペナルティ（VECP）を生成するために使用される。ローパスフィルタは、E/Oコンバータと組み合わせるとこで、正弦波の項が追加される前に、適切なレベルの初期垂直アイクロージャとなる周波数応答を持つ必要がある。

正弦波振幅干渉源1は、DDJ（Data dependent jitter）で発生する可能性のある瞬間的なビット収縮を再現することを目的としたジッタを発生する。このタイプのジッタは、単純な位相変調により発生させることはできない。正弦波振幅干渉源2は更なるアイクロージャを引き起こすが、リミッタからの有限のエッジ・レートと共に、いくらかのジッタも同時に発生させる。正弦波ジッタクロックは、他の形態のジッターを模擬しており、テスト中の受信機がこうした低周波ジッタに対して追従できるかどうかも確認する必要がある。正弦波振幅干渉源は100 MHz〜2 GHzの任意の周波数に設定できるが、正弦波干渉、正弦波ジッタ、シグナリングレート、およびパターンの繰り返し率との間で高調波が発生しないように注意する必要がある。ガウシアンノイズ発生器、正弦波干渉源の振幅、およびローパスフィルターは、垂直アイクロージャペナルティ（VECP）、ストレスドアイJ2ジッタ、およびストレスドアイJ9ジッタの仕様が同時に満たされるように調整する。

また、キャリブレーションの可視性を向上させるために、信号パスのすべての要素（ケーブル、DCブロック、E/Oコンバータなど）は、対象のスペクトル全体にわたって、広く滑らかな周波数応答性と線形位相応答性を備えている必要があり、ベースラインワンダ、オーバーシュート、アンダーシュートも最小限に抑える必要がある。

ストレスド受信機適合テスト信号の検証については、8.6.1.3で説明する。

8.6.1.1.1 ジッタ

J2ジッタとJ9ジッタは、31段の疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーション（40GBASE-Rあるいは100GBASE-R）の信号のうちのいずれかを使用し、すべての共伝搬および逆伝搬レーンがクロストークソースとしてアクティブな状況下であることが要求される。尚、テスト中の入力レーンには、出力されている信号とは非同期の入力信号を用いること。

8.6.1.1.1.1 J2ジッタ

J2ジッタは、ジッタ分布のうち10-2以下の分布を除く時間間隔として定義され、ジッタヒストグラムの0.5パーセンタイルから99.5パーセンタイルまでの時間間隔に相当する。これは、オシロスコープを用いて測定するか、BER対判定時間をプロットして測定する場合には、J2はBERが2.5×10–3となる2つのポイント間の時間間隔となる。オシロスコープのヒストグラムには、少なくとも10 000ヒット以上である必要があり、信号振幅の約1％を超えている必要がある。テストパターンは、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーション（40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4, 100GBASE-LR4あるいは100GBASE-ER4）の信号のうちのいずれかを使用する。

8.6.1.1.1.2 J9ジッタ

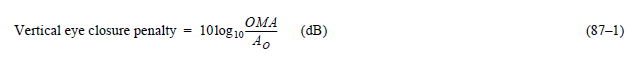
J9ジッタは、ジッタ分布のうち10-9以下の分布を除く時間間隔として定義され、BER対判定時間をプロットして測定する場合には、BERが2.5×10–10となる2点間の時間間隔である。テストパターンは、、31段の疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、のうちのいずれかを使用する。

8.6.1.2 ストレスド受信機適合テストにおける信号特性と校正

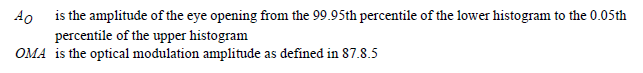
適合テスト信号は、テスト中のレーンのPMD受信機が図5に示すTP3でワーストケースに近い波形でBERの要件を満たしていることを検証するために使用される。

適合テスト信号の主なパラメータは、垂直アイクロージャペナルティ（VECP）、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタである。 VECPは、アイの時間中心で測定される（アイダイアグラムの単位間隔スケールで0と1の中間）。ストレスドアイJ2ジッタは8.6.1.1.1.1で定義されており、ストレスドアイJ9ジッタは8.6.1.1.1.2で定義される。これらの構成要素の値は、ACカップリングで取得できる平均光パワーで測定されたヒストグラムの結果によって定義される。

垂直方向のアイクロージャペナルティは、式4で与えられる。

式4

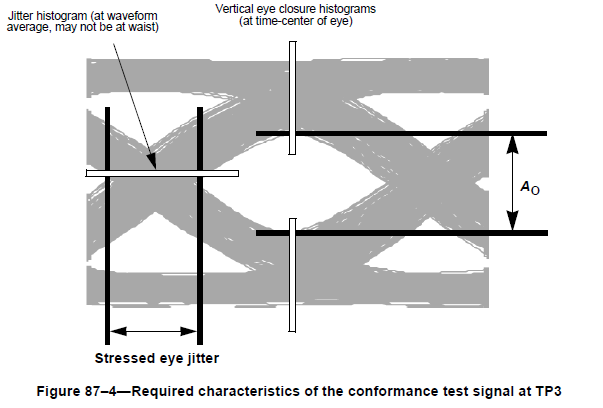
ここで、

 JIS C 5954-3

ストレスド受信機適合テストのセットアップ例は図13に示されている。ただし、VECPおよびジッタ成分の適切なレベルと周波数を変調または生成するためのどんな手法も許容される。

最終的な振幅ヒストグラムの外側の勾配ができるだけ急になるように、残る低確率なノイズとジッタを最小限に抑える必要がある。

次に、図13に示すストレスド受信機適合テストセットアップを使用する場合の適合信号であるストレスドアイの生成および校正するための手順を説明する。



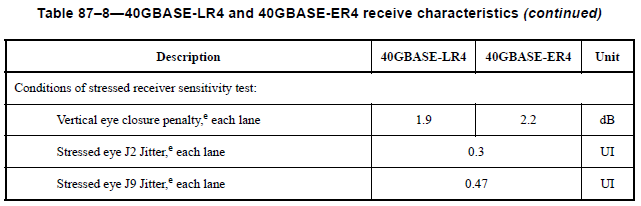
**図14- TP3における適合テスト信号の要求特性**

1）テストパターン発生器の信号速度を設定して、各アプリケーションにおいて規定される要件を満たす。

2）正弦波干渉源と正弦波ジッターをオフにして、E/Oコンバータの消光比を各アプリケーションにおいて規定されているほぼ最小値に​​設定する。

3）ストレスド受信機適合信号の垂直アイクロージャペナルティ、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタの必要な値は、表5において規定される。

**表5- ストレスド受信感度テスト条件**



e）垂直アイクロージャーペナルティ、ストレスドアイJ2ジッタ、およびストレスドアイJ9ジッタは、ストレスド受信感度を測定するためのテスト条件であり、受信機の特性ではない。

正弦波干渉源と正弦波ジッターがオフになっている場合、ローパスフィルターに適切な帯域幅を選択することで、VECPのdB値の3分の2を超える値に設定する必要があり、残りのVECPは、正弦波干渉2または正弦波ジッターで設定する必要がある。

正弦波振幅干渉源は100 MHz〜2 GHzの任意の周波数に設定できるが、正弦波干渉、正弦波ジッタ、シグナリングレート、およびパターンの繰り返し率との間で高調波が発生しないように注意する必要がある。

また、印加される正弦波ジッタは、表6で指定されている。適合信号を校正するとき、正弦波ジッタ周波数は、表6で定義され、図15で示されているように、4 MHzからループ帯域幅（LB）の10倍以内である必要がある。

VECP、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタの値が各アプリケーションの要件を満たし、4 MHzを超える正弦波ジッターが表6で指定されるまで、正弦波干渉源とガウシアンノイズ発生器の調整を繰り返し行う。結果として生じるストレスドアイ適合信号には、少なくとも0.05 UIのパルス幅の収縮が必要である。

図14は、調整可能なE/Oコンバータに適用されているストレス状態下にある信号を示している。ただし、8.6.1.5で説明されているように、テスト中のレーンの光変調振幅（OMA）および波長要件を満たす任意の光源を使用できる。同様に、他のレーンに変調信号を供給する場合にも、8.6.1.5で説明されるOMAおよび波長の要件を満たす任意の調整可能または固定の光源を使用できる。

各受信レーンは、順次適合テストされ、テスト対象のレーンの光源は、各アプリケーションで指定されている光変調振幅基準のストレスド受信感度でテスト対象の受信機への入力において信号を供給するように調整され、8.6.1.5で記述されているように他のレーンのテスト光源は必要なOMAと波長に設定される。

8.6.1.3 ストレスド受信機適合テスト信号の検証

ストレスﾄﾞ受信機適合テスト信号は、基準周波数*fr*が7.5 GHzの理想的な4次のベッセルトムソン応答を持つ光基準受信機を使用して検証できる。 表2のフィルタを使用すると、このキャリブレーションが大幅に劣化する可能性がある。8.6.1.1の図13のクロック発生源からのクロック出力は、正弦波ジッタで変調される。オシロスコープを使用して、正弦波ジッタ成分含む最終的なストレスドアイJ2ジッタとストレスドアイJ9ジッタを校正するには、ソースクロックに同期する別のクロック発生源（図13のクリーンクロック）が必要である。

ただし、ジッタ発生源では変調されない。

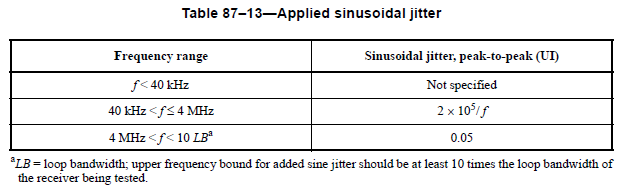
測定システムにおける過度のノイズ/ジッタは、テスト中の受信機に完全にストレスを与えない入力信号をもたらすため、テスト信号の特性評価には注意が必要である（測定システムからの外乱ノイズ/ジッタの影響で見掛け上で十分なストレス入力信号になっているだけで、同じ外乱ノイズ/ジッタ下にある受信機から見た場合に十分なストレスを持つ入力信号になっていない場合がある）。ストレスが不足している信号を使用して受信機耐力テストを実行すると、準拠していない受信機が市場に供給されてしまう可能性がある。

基準O/Eコンバータ、フィルタ、ビットエラー試験器（BERT: Bit Error Rate Tester）によって発生するノイズ/ジッタを最小限に抑え、ノイズを補正するように注意する必要がある。 BERスキャン測定とテスト機器の詳細は、ここでの議論の範囲を超えているが、測定者がテスト機器の特性を完全に理解し、適切なガードバンドを適用して、ストレスド受信機適合入力信号が8.6.1.2および8.6.1.4で規定されるストレスと正弦波ジッターを確実に満たすようにすることが求められる。

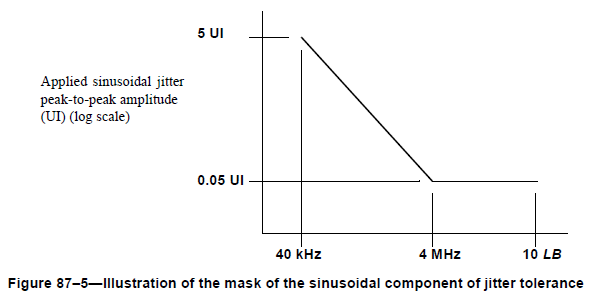
8.6.1.4 ストレスド受信機適合テストにおける正弦ジッタ

正弦波ジッタは、受信機のジッタ耐力をテストするために使用されます。適用される正弦波ジッタの振幅は、表6で指定されている周波数に依存し、図15に示される。

**表6- 印加正弦波ジッタ**



a）LB =ループ帯域幅。追加のサインジッタの上限周波数は、テストする受信機のループ帯域幅の少なくとも10倍にする必要がある。



**図15- ジッタトレランスの正弦波成分のマスク**

8.6.1.5 波長多重（WDM）適合性試験におけるストレスド受信機適合テスト手順

5図5に示すTP3適合テスト信号を必要とする受信機テストは、レーン毎に実施される。レーン毎に、ストレスを受けた受信機の感度は、4つのレーンすべてで送信部が動作し、テストされていない受信レーンも動作している状態において定義される。テストパターンは、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーション（40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4, 100GBASE-LR4あるいは100GBASE-ER4）の信号がテスト中のPMDの送信部から送信され、送信される信号は、受信信号と非同期であること。また、全てのテストソースは、有効な各アプリケーション（40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4, 100GBASE-LR4あるいは100GBASE-ER4）の信号を使用して同時に変調される。テスト対象の送受信モジュールの送信部は、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な各アプリケーション（40GBASE-LR4, 40GBASE-ER4, 100GBASE-LR4あるいは100GBASE-ER4）の信号を用いて動作しているものとする。

調整可能なテストソースを使用して波長多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）適合性をテストする厳密な手法を次に示す。

a）テスト中のレーン以外のレーンのテストソースの光変調振幅（OMA）は、「任意の2つのレーン間の最大受光パワー（OMA）の差」のパラメータとして許容されているテスト中のレーンのテスト光源に比べて表xxに規定される各アプリケーションの最も高いOMAに設定する。

b）テスト中のレーン以外のレーンのテスト光源は、テスト中のレーンへのクロストークが波長範囲内で最悪となる波長に調整する。

c）テスト中のレーンのテスト光源は、波長範囲内でテスト中の受信機が最悪の感度となる波長波長に調整する。

この手法は、厳密な最悪条件下での測定を可能にする一方で、複数の調整可能なソースを使用するテスト設定が必要であるため、実際には煩雑な作業となる。

このため、WDM適合性をテストするためのより実用的な代替方法を以下に説明する。代替のWDM適合テストは、調整可能なソースの必要性を回避するが、テスト中の受信機に過度のストレスをもたらす可能性がある。

1）各レーンのテスト光源は、各レーンの規定範囲内の任意の波長にすることができる。

2）テスト中のレーン以外のレーンのテスト光源のOMAは、「任意の2つのレーン間の最大受光パワー（OMA）の差」のパラメータとして許容されているテスト中のレーンのテスト光源に比べて表xxに規定される各アプリケーションの最も高いOMAに設定する。これにテスト中のレーン内の挿入損失変動に対応する増分（注1）と、該当するレーンの分離変動に対応する増分（注2）を加える。

注1—テスト光源の波長がテスト中のレーンの波長範囲に亘って掃引されることによる挿入損失の変動に対する増加は、測定された受信機感度のdB変動に等しい。

注2-テストされていないレーンの各テスト光源おいて、それぞれの波長範囲に亘って掃引されることによるアイソレーションの変動に対する増加が適用される。これは、テスト中のレーンで測定された光クロストークのdB変動と同じである。

必要とされる増加量を決定する方法は幾つかあり、以下に2つの方法の例を示す。各レーンには1つの挿入損失変動値と3つの光クロストーク変動がある（テスト中の1レーンを除く他の3レーンからの光クロストーク）。

方法例1：受信信号強度の測定が各レーンで実施可能な場合には、全てのレーンで受信信号を同時に記録しながら、各レーンの波長範囲にわたって調整可能なレーザーをスキャンする。レーザーが特定のレーンの波長範囲を掃引すると、そのレーンで観測された信号のdB変動は挿入損失変動と等しくなり、他の各レーンで観測された信号のdB変動は、光学的クロストーク変動と同じである。

方法例2：ディスクリート光分波器とディスクリート受信機を使用する場合には、4つの分波器の出力すべての光パワーを同時に記録しながら、各チャネルの波長範囲にわたって波長可変レーザーをスキャンする。レーザーが特定のチャネルの波長範囲を掃引すると、そのレーンの出力で観測された光パワーのdB変動は、挿入損失変動と等しくなり、他の各レーン出力で観測された光パワーのdB変動は、光クロストーク変動と同じである。

8.6.2 100GBASE-LR4, 100GBASE-ER4

以下の例外を除いて、8.6.1で定義された方法を用いて測定を行う。ストレスを受けた受信機の感度は、各アプリケーションで規定されている受信特性を満足していなければならない。

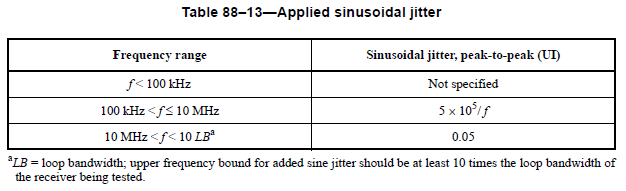
a）印加される正弦波ジッタは、表7で指定される。

b）適用するストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタ、および垂直アイクロージャペナルティ（VECP）は、表8で規定される。

c）テストパターンは、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）、または有効な100GBASE-Rの信号のうちのいずれかを使用する。

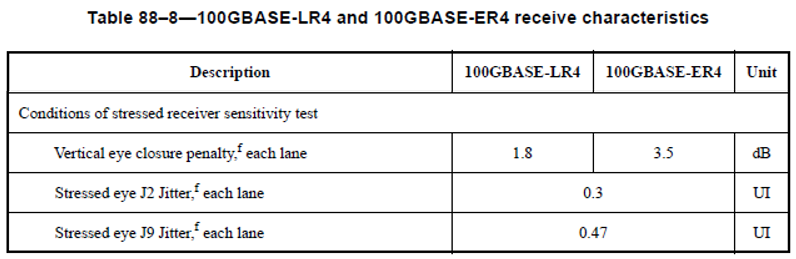
d）適合テスト信号を検証するために使用される基準受信機は、5.2.3で指定された帯域幅を持つ必要がある。

**表7- 印加正弦波ジッタ**



a）LB =ループ帯域幅。追加のサインジッタの上限周波数は、テストする受信機のループ帯域幅の少なくとも10倍にする必要がある。

**表8- ストレスド受信感度テスト条件**



f）垂直アイクロージャペナルティ、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタは、ストレスドレシーバーの感度を測定するためのテスト条件であり、受信機の特性ではない。

8.6.3 100G CWDM4

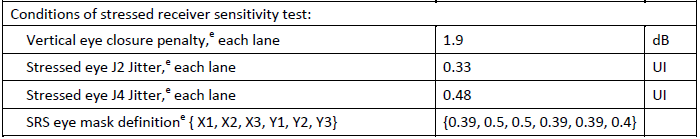
8.6.2が参照される。 CWDM4トランシーバーの場合、J9はJ4に置き換えられ、テストBERは1x10-12ではなく5x10-5であることに注意すること。 J4ジッタは、**JIS C 5954-6**, 5.3.4で定義される。

各レーンは、他のすべてのRxおよびTxチャネルをオンにして、31段疑似ランダム信号（PRBS31）を送受信して個別にテストされ、テスト対象のRxレーンとテスト対象外の他のRxレーンの最大OMA差は4.5 dBに設定する。

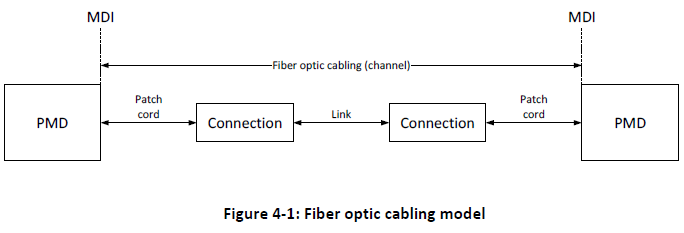
ガウシアンノイズ発生器、正弦波干渉源の振幅、およびローパスフィルターは、5.2.3の手法に従って（RINやランダムクロックジッタなどのランダムノイズの影響を最小限に抑える必要はない）、表9で規定されるVECP、ストレスドアイJ2ジッタ、およびストレスドアイJ4ジッタを同時に満足するように調整され、ストレスド受信感度アイマスクに合わせる。

光ファイバケーブルモデルを図16に示す。

**表9- ストレスド受信感度テスト条件**



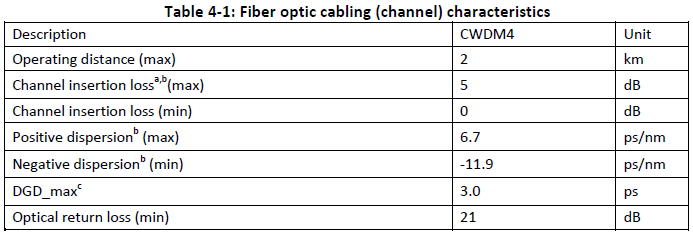
\*) 垂直アイクロージャペナルティ（VECP）、ストレスアイJ2ジッタ、ストレスアイJ4ジッタ、およびSRSアイマスクの規定は、ストレスド受信感度を測定するためのテスト条件であり、受信機の特性ではない。



**図16- 光ファイバ配線モデル**

チャネル挿入損失を表10に示す。減衰、分散、反射、偏波モード分散などのチャネルの光学特性が仕様を満たす限り、チャネルには追加のコネクタが含まれる場合がある。取り付けられたファイバケーブルの挿入損失測定は、試験コード基準法を用いてJIS X 5151およびIEC 61280-4-2に従って実施される。ここで定義される光ファイバ配線（チャネル）特性は、単一光ファイバ接続区間と同じである。また、チャネルという用語は、一般的なケーブル規格との一貫性を保つために使用されている。

**表10- 光ファイバ配線（チャネル）特性**



a）これらのチャネル損失値には、ケーブル、コネクタ、スプライスが含まれる。

b）波長範囲1264.5〜1337.5 nm。

c）微分群遅延（DGD）は、2つの主な偏光状態で送信された光信号のを受信した際の時間差である。 また、DGD\_maxは、システムが許容する必要がある最大群遅延差である。

8.6.4 100G-CLR4

以下の例外を除いて、5.6.1で定義された方法を用いて測定を行う。ストレスを受けた受信機の感度は、表xxに示すアプリケーション（100G-CLR4）で規定される受信特性を満足なければならない。

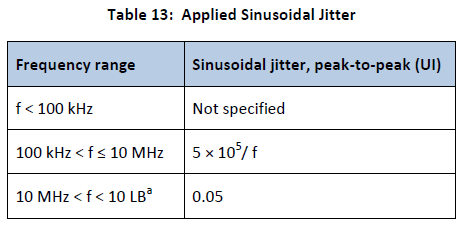
a）印加される正弦波ジッタは、表11で指定されています。

b）ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタ、および垂直アイクロージャーペナルティは、表12に規定の通りである。

c）テストパターンを表13に示す。

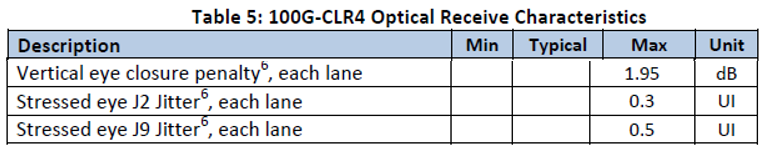
d）適合テスト信号を検証するために使用される基準受信機は、5.2.5で規定された帯域幅を持つ必要がある。

**表11- 印加正弦波ジッタ**



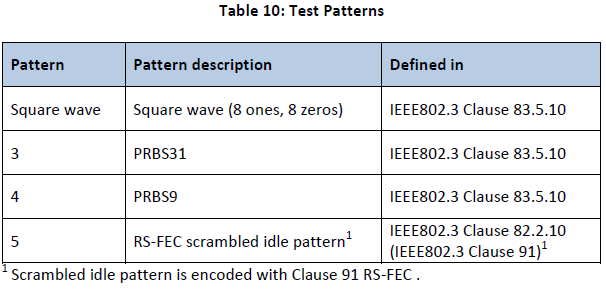
a）LB =ループ帯域幅。追加のサインジッタの上限周波数は、テストする受信機のループ帯域幅の少なくとも10倍にする必要がある。

**表12- ストレスド受信感度テスト条件**



6）垂直アイクロージャペナルティ、ストレスアイJ2ジッタ、ストレスアイJ9ジッタは、ストレスド受信感度を測定するためのテスト条件であり、受信機の特性ではない。最大送信機分散ペナルティ（TDP: Transmitter Dispersion Penalty）は3.3 dBを想定している。

**表13- テストパターン**

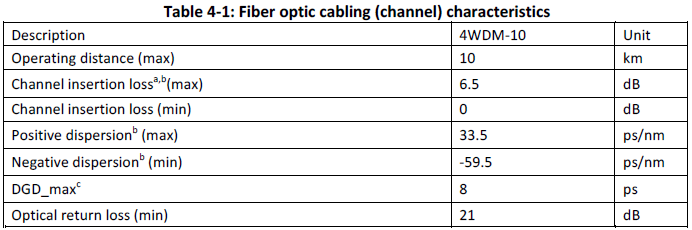


1）スクランブルされたアイドルパターンは、IEEE802.3 Clause 91に規定のリード・ソロモン符号前方誤り修正（RS-FEC: Reed-Solomon Forward Error Correction）でエンコードされる。

8.6.5 100G 4WDM-10

表14に示す光ファイバ配線（チャネル）特性を除き、8.6.3参照のこと。

**表14- 光ファイバ配線（チャネル）特性**



a) これらのチャネル損失値には、光ケーブル、コネクタ、スプライスが含まれ、MPIペナルティに最大0.2 dBが割り当てられる。

b) 波長範囲1264.5〜1337.5 nm。

c) 微分群遅延（DGD）は、2つの主な偏光状態で送信された光信号のを受信した際の時間差である。 また、DGD\_maxは、システムが許容する必要がある最大群遅延差である。

8.7 平均送信光入力パワー、レーン（チャンネル）間差

試験および測定対象となるアプリケーションにおいて、その光入力レーン（チャンネル）数に関わらず、JIS C 5954-3に規定する送信光出力の測定方法に基づいて測定された特定の光学分解能帯域幅内で同時に存在する光入力レーンの光パワーの平均値の最大値と最小値の差として定義される。

8.8 光パスペナルティ

8.8.1 C4S1-2D1, C4L1-2D1, C4S1 9D1F

光パスペナルティは、光路上での伝送中の信号波形の歪みに起因する受信機感度（または、“ブラックボックス”手法の場合は等価感度）の明らかな劣化として現れる。これは、システムのBER曲線がより高い入力電力レベルにシフトする現象として観測される。これは、正のパスペナルティに相当する。状況によっては、負のパスペナルティが発生することがあるが、極僅かである（負のパスペナルティは、最適でない光送信波形のアイが光路に依存する歪みによって部分的に改善されたことを示している）。理想的には、BER曲線は平行移動となって現れるべきですが、形状の変化は珍しくなく、BERフロアを発生させる可能性がある。パスペナルティは受信機の感度変化であるため、10-12のBERレベルを測定する必要がある。

“ブラックボックス”アプローチ（最小チャネル入力パワーが指定されている場合）では、最大光パスペナルティは、5.3の図8に示すMPI-RMにおける最小平均チャネル入力パワーと最小等価感度の差に等しい。

ここで定義されているアプリケーションでは、光パスペナルティは、短距離システムでは最大1.5 dB、長距離システムでは最大2.5 dBと規定されている。 これらの規定は、光クロストークにより増加するペナルティも考慮し、他の規格よりも高くなってる。

将来的には、送信機における信号の事前歪みに基づく分散補償技術を取り入れたシステムが導入されるかもしれない。 この場合、上記の意味での光パスペナルティは、歪みのない信号を持つ光路中のポイントでのみ定義できるはずである。 しかしながら、これらの点はメインパスのインターフェースと一致せず、そのため測定自体が不可能である場合さえあり得る。 この場合の光パスペナルティの定義は今後の検討課題である。

PMDによるランダム分散ペナルティの平均値は許容パスペナルティに含まれる。 この点において、送信機／受信機の組み合わせは、1 dBの最大感度劣化（2つの主偏光状態における光パワーの50％）、0.3ビット周期の実際の微分群遅延（DGD）に対する耐性を有することが要求される。 これは、理想的に設計された受信機の場合、0.1ビット周期のDGDに対して0.1〜0.2 dBのペナルティに相当する。 実運用中に遭遇する可能性のある実際のDGDは、ランダムに変化するファイバ/ケーブル特性によるもので、ここで取り扱うことはしない（これはITU-T G.691の付録Iで議論されている）。

尚、光増幅器による信号対雑音比（S/N比）の減少は、光パスペナルティとは見なされないことに注意のこと。

マルチチャネルインターフェイスの場合、このパラメータの確認には2つの代替方法がある。

- 方法Aは、検証のためにリンクの受信側でシングルチャネルの基準ポイントに測定できる場合に用いることができ、この方法の手順は、ITU-T G.957に記述されており、ITU-T G.691が用いられている。構成については、8.8.1.2に含まれる。

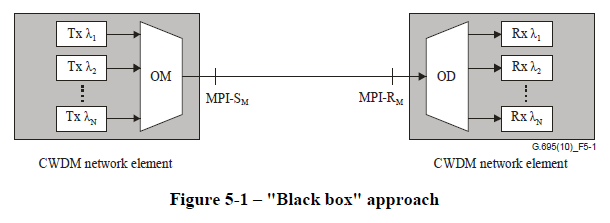
- 方法Bでは、基準受信機に入力される前に、基準光バンドパスフィルタを使用して個々の送信信号に分離される。 基準光バンドパスフィルタと基準受信機の特性は、8.8.2.2に含まれる。

注 - 基準受信機で観察される光パスペナルティは、設計・実装によっては、受信機器で実際に得られるものと正確に同じではないかもしれない。

8.8.1.1 “ブラックボックス”手法

“ブラックボックス”手法は、内部構成要素や“ブラックボックス”内の構成要素間の接続を制限または指定することを意図していない。ただし、ブラックボックスには機能的な要件があり、最も重要な要件は3R（Re-amplification:増幅、Re-timing:タイミング再生、およびRe-shaping:波形整形）再生を含めるという点である。このアプローチにより、マルチチャネルの基準ポイントでの横断的な互換性を可能にさせる。

図17は、“ブラックボックス”手法を用いる場合におけるマルチチャネル接続（MPI-SMおよびMPI-RM）のみの基準ポイントの一組を示している。ここで、単心波長多重並列ネットワーク構成には、光合波器（OM）と送信機、または光分波器（OD）と受信機が含まれる。



**図17- 単方向アプリケーションにおける「ブラックボックス」手法**

図17の基準ポイントは、次のように定義される。

– MPI-SMは、単心波長多重並列ネットワーク要素集合出力のマルチチャネル基準ポイント。

– MPI-RMは、単心波長多重並列ネットワーク要素集合入力のマルチチャネル基準ポイント。

マルチチャネル基準ポイントMPI-SMおよびMPI-RMは、“ブラックボックス”手法のシステムに適用される。

MPI-SMおよびMPI-RMは、光インターフェースの基準となる仕様を提供するために定義されていることに注意する。

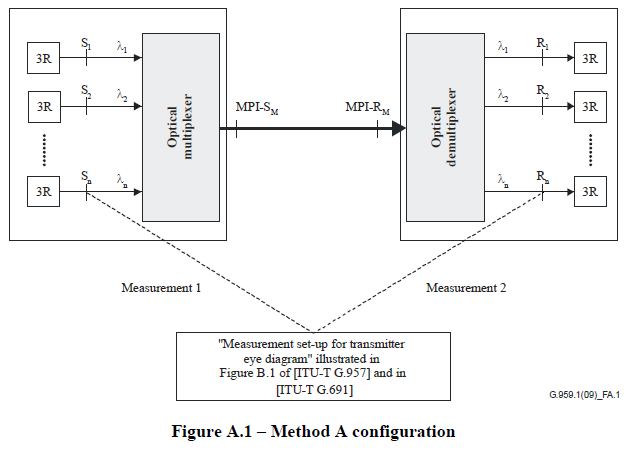
8.8.1.2 マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）におけるシングルチャネル特性の 評価のための方法Aの構成

8.8.1.2.1 基準構成

マルチチャネルの物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）の場合、シングルチャネルの基準ポイントを使用して、個々の送信信号にアクセスし、シングルチャネルの特性（消光比、アイマスク、光パスペナルティ）を評価することができる。

アイマスクの測定は、8.8.1.2.1の図19に示されている“送信機アイダイアグラムの測定セットアップ”に基準ポイントSxでシングルチャネル信号を送信することによって行われる。

光パスペナルティについては、図18に示すように、2つの測定が実行される。最初の（測定1）には、基準ポイントSxの信号を使用して基準BERを達成するために必要な光入力パワーを測定し、次に基準ポイントRxの信号を使用して同様に基準BERを達成するために必要な光入力パワーを測定する（測定2）。

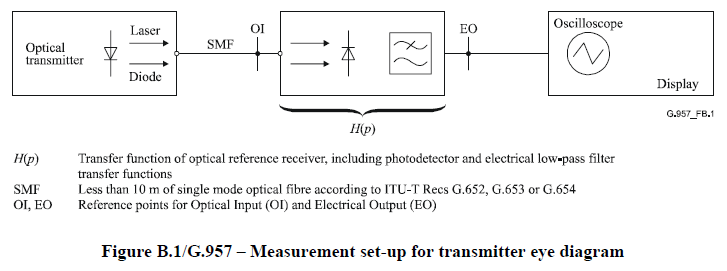


**図18- 方法Aの構成**

8.8.1.2.1 光送信信号のアイダイアグラムのマスクの測定

8.8.1.2.1.1 測定系セットアップ

光送信信号が受信機の性能に適していることを確認するために、送信光信号のアイダイアグラムには、図19に基づく測定系のセットアップが推奨されている。光減衰器は、基準点OIでのレベル調整に使用することができ、電気増幅器は、基準点EOでのレベル調整に使用することができる。図2のアイダイアグラムのマスクの値には、オシロスコープのノイズのサンプリングやローパスフィルターの製造偏差などの測定誤差が含まれる。



H(ρ): 光検出器および電気ローパスフィルタの伝達関数を含む、光基準受信機の伝達関数

SMF: ITU-T G.652、 G653、およびG.654で規定される10 m以下の光ファイバ

OI, EO: 光入力（OI）および電気出力（EO）の基準ポイント

**図19- 光送信ダイアグラムの測定セットアップ**

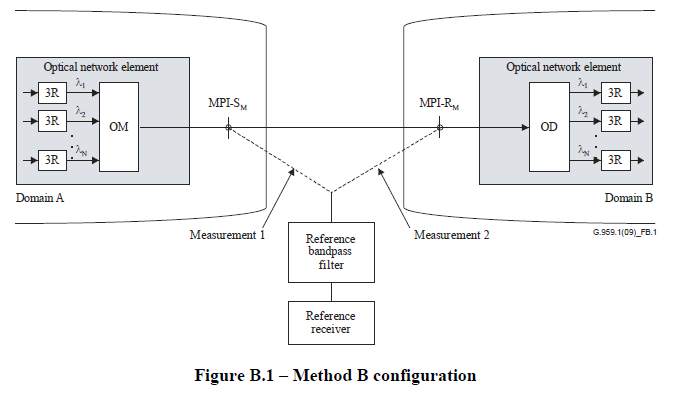
8.8.2.2 マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）のシングルチャネル特性を評価するための方法Bの基準光バンドパスフィルターと基準受信機の特性

5.8.2.2.1 基準構成

マルチチャネルの物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）の場合、基準光バンドパスフィルターを使用して、個々の送信信号を分離し、シングルチャネルの特性（消光比、アイマスク、光路ペナルティ）を評価できる。

アイマスクの測定は、8.8.1.2.1の図19に示されている構成に従って、基準ポイントMPI-SMで信号を基準光バンドパスフィルターに送信し、その出力を基準受信機で受信ることによって行われる。

光路ペナルティの場合、図20に示すように、2つの測定が実行される。最初の（測定1）には、基準ポイントMPI-SMの信号を使用して基準BERを達成するために必要な光入力パワーを測定し、次に基準ポイントMPI-RMの信号を使用して同様に基準BERを達成するために必要な光入力パワーを測定する



**図20- 方法Bの構成**

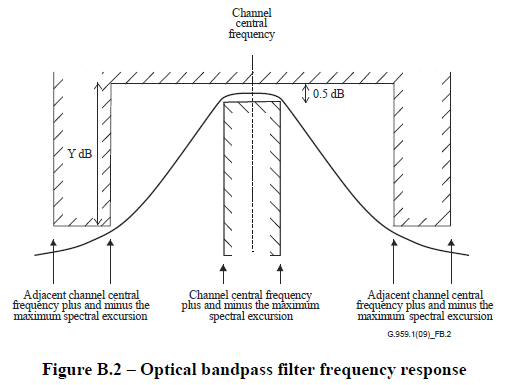
8.8.2.2.2 基準光バンドパスフィルタ

基準光バンドパスフィルタは、合成されたマルチチャネル信号から個々の光トリビュタリ信号を分離することを目的とする。被テスト信号に極僅かな歪みをもたらす一方で、隣接する信号からの干渉を最小限に抑えるための適切な特性が必要である。要求される最小のセットアップは、8.8.2.2.3に記載する。

ここでは、調整可能なフィルタや光分波器（OD）など、この機能を実現するために用いることができるいくつかの技術が存在する。

8.8.2.2.3 光フィルタパラメータ

基準光バンドパスフィルターの周波数応答に対する要件を図21に示す。 Yの値は、測定中のOTSi（Optical tributary signal）パワーと他の全ての信号のパワーの合計との比が20 dBを超えるように選択される。



**図21- 光バンドパスフィルタ周波応答**

フィルタの設計は、最大伝送速度の信号が振幅と位相リップルによる大きな歪みを受けないように選択する必要がある。

8.8.2.2.3 基準受信機

これは、8.2.1で概説されているような周波数応答を持つ受信機を指す。つまり、問題のビットレートの0.75倍のカットオフ周波数を持つ4次のベッセルトムソンフィルタで、このフィルタの許容値は、8.2.1の表2に示される。

基準受信機を使用して光パスペナルティ評価におけるBERを測定する場合、異なるアプリケーションの要件を満足し、これらさまざまなアプリケーションにおける設計・実装に対応するために、測定1の最低BERに対して識別レベルを調整し、測定2に対して再度最適化する必要がある。

また、一部のアプリケーションでシングルチャネルテストを実施するには、基準受信機の内部にプリアンプを含めることが必要となる場合がある。

8.2.1で定義されているように、さまざまなチャネル毎の信号ビットレートには、さまざまな基準受信機特性が必要である。

8.8.2.2.1 受信感度

消光比ペナルティとアイマスクペナルティは、dBの単位で加算される。例えば、消光比ペナルティが1.3 dBで、アイマスクペナルティが3 dBの場合、ワーストケースの信号は、理想的な送信機を使用する場合よりも4.3 dB低い感度を示す。

受信感度の定義により、最悪の条件下で測定する必要がある。これが実現できない場合には、テスト送信機の消光比と相対的なアイ開口から、最悪の条件下でない測定で得られる受信感度を基に補正分を換算ことができる。

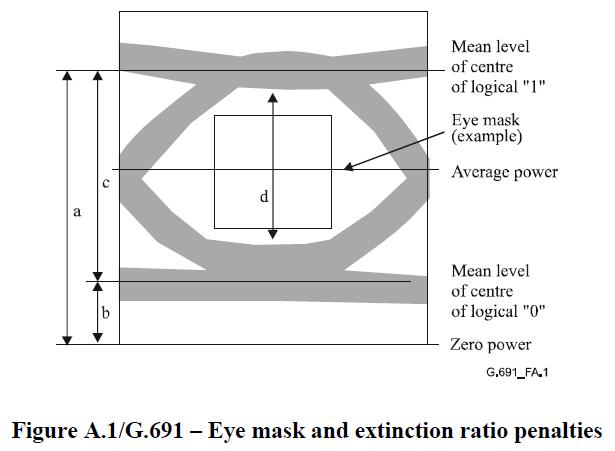
生成するのが難しい厳密な意味での最悪条件の信号を用いたテストに代えて、この換算による補正を適用しても良い。

8.8.2.2.1.1 消光比ペナルティ

消光比は、変調に利用できない僅かな光パワーをもたらす。これは、受信機の感度ペナルティに対応しており、正確なペナルティは、そのアプリケーションと選択した受信機の実装によって異なる。

図22は、アイマスクと消光比の不完全性から生じる可能性のあるペナルティを示している。図において、消光比は比率a / bであり、相対的なアイ開口は比率d / cである。

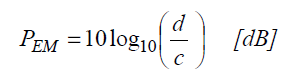
理想的には、消光比は無限であり、アイは完全に開いていて対称です。そして、光パワー全体を変調に使用でき、消光比およびアイマスクのペナルティは0 Dbとなる。



**図22- アイマスクペナルティと消光比ペナルティ**

8.8.2.2.1.2 アイマスクペナルティ

有限の消光比に加えて、立ち上がり時間と立ち下がり時間、オーバーシュートなどの過渡的な信号の不完全性により、アイの平均「0」および「1」レベルから近づいて開口が閉じられる場合がある。図22に示すアイの相対的な開口部d / cが1つは、ペナルティが発生することです。アイマスクのペナルティ*PEM*は、次のように書くことができます。

式5

これは、完全にアイが開いている信号と比較した受信感度の損失に対応する。

BERは信号の非常に急な関数であるため、1つの不完全な信号でBER全体を決定される。したがって、BERを決定するのはアイの最も内側のラインとなる。

アイマスク測定では簡単に視覚化できない（測定時間が限られているため）非常に稀に発生するアイのラインでさえ、BERに大きな影響を与える可能性がある。

現在のアイマスクは、アイ開口部の最大50％までのアイクロージャを許容する。このアイクロージャに関連する実際のシステムペナルティは、システムの実装によって異なる。所定の状況においては、アイマスクのペナルティは、受信機の決定ポイントでの相対的な（垂直方向の）アイ開口として適切に見積もることができる。

アイマスクのペナルティを評価するためには、アイマスクの測定フィルタとその測定手順が、使用されている受信機の特性に対応している必要がある。これに関しては、詳細に規定されていないため、アイマスクのペナルティは正確な受信機のペナルティではない。ただし、ほとんどの受信機の設計はアイマスク測定手順において指定されるフィルタと合理的に類似しているため、通常は非常に良好な対応が取れている。

8.8.3 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F

5.8.1に同じ。参照のこと。

8.9 最小等価感度 Minimum equivalent sensitivity

8.9.1 C4S1-2D1, C4L1-2D1, C4S1 9D1F

これは、MPI-RMの基準ポイントで1つのチャネルを除くすべてを除去する場合（理想的な無損失フィルタを使用）に、各アプリケーションで規定された最大BERを達成するためにMPI-RMの基準ポイントに配置される受信機に必要な最小感度である。送信機のアイマスク、消光比、MPI-SMの基準ポイントでの光リターンロス、コネクタ損失、送信側でのクロストーク、光増幅器のノイズ、および測定公差が最悪の状態にある送信機で、これを満足する必要がある。この感度は、分散、非線形性、光路からの反射またはクロストークの存在下において適合する必要はなく、これらの影響は、別途最大光パスペナルティとして割り当てられ、規定される。

注1- MPI-RMにおける最小平均チャネル入力パワーは、最小等価感度よりも最大光パスペナルティの分だけ高くなければならない。

注2- 受信機の感度は、適切なジッタの発生限界を超えた送信機ジッタの存在下で満たされる必要はない。

経年劣化の影響は別途指定されておらず、最悪の場合である製品寿命（EOL）における値が規定される。

8.9.2 4I1-9D1F, 4L1-9C1F, 4L1-9D1F

8.9.1に同じ。参照のこと。

9 各アプリケーションの特性表

= 検討中 =

各アプリケーションの送信・受信特性表（表xx）を付ける。

参考文献 JIS C XXXX-X:20XX　………………………………………………………………

IEC XXXXX-X:20XX，………………………………………………………………

ITU-T Recommendation X.XXX，…………………………………………………..

IEEE 802.3:2018，……………………………………………………………………..