目　次

ページ

1　適用範囲 1

2　引用規格 1

3　用語及び定義 1

4　標準環境条件 3

5　図記号 3

6　分類 3

7　測定装置 3

8　試験および測定方法 3

8.1　平均送信光入出力パワー、レーン（チャンネル）間差 3

8.1.1　目的 3

8.1.2　定義と試験及び測定方法 4

8.2　送信光波形マスクマージン 4

8.2.1　目的 4

8.2.2　 ITU-T G.695, ITU-T G.959.1における試験及び測定方法 4

8.2.3　 IEE802.3, CWDM4 MSA, CLR4 Alliance, 4-Wavelength WDM MSAにおける試験及び測定方法 6

8.2.3.1　 光送信アイマスク 6

8.2.3.2　 アイダイアグラム 7

8.2.3.3　 TP1アイマスク 8

8.3　最大スペクトル偏位 9

8.3.1　目的 9

8.3.2　定義と試験及び測定方法 9

8.4　最大スキュー変動 10

8.4.1　目的 10

8.4.2　定義と規定 10

8.4.3　スキュー制限 11

8.4.4　スキューとスキュー変動 13

8.5　光変調振幅基準の受信感度 13

8.5.1　目的 13

8.5.2　測定及びテストセットアップ 13

8.6　光変調振幅基準のストレスド受信感度 14

8.6.1　目的 14

8.6.2　ストレスド受信機適合テスト・ブロック図 15

8.6.2.1　 J2ジッタとJ9ジッタ 16

8.6.3　ストレスド受信機適合テストにおける信号特性と校正 17

8.6.4　ストレスド受信機適合テスト信号の検証 19

8.6.5　ストレスド受信機適合テストにおける正弦ジッタ 19

8.6.6　波長多重（WDM）適合性テストにおけるストレスド受信機適合テスト手順 20

8.7　光パスペナルティ 21

8.7.1　目的 21

8.7.2　測定手法と注意事項 22

8.7.3　“ブラックボックス”手法 22

8.7.4　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評価方法Aの構成 23

8.7.4.1　光送信信号アイダイアグラムのマスク測定 24

8.7.5　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評価方法Bの基準光バンドパスフィルターと基準受信機の特性 25

8.7.5.1　受信感度 27

8.7.5.2　消光比ペナルティ 27

8.7.5.3　アイマスクペナルティ 27

8.8　最小等価感度 28

8.8.1　目的 28

8.8.2　定義と試験及び測定方法 28

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 5954-7：0000

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 7: 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。

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 5953-1 総則

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 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

**NRZ 10G Ratio small**

ITU-T G959.1にて定義されるNRZ（Non-return-to-zero）の変調方式を持つ10 Gbit/sの光送信信号に適用される光アイマスク規定の一つ。

3.2

**NRZ 25G Ratio**

ITU-T G959.1にて定義されるNRZ（Non-return-to-zero）の変調方式を持つ25 Gbit/sの光送信信号に適用される光アイマスク規定の一つ。

3.3

**リード・ソロモン符号前方誤り修正（RS-FEC: Reed-Solomon Forward Error Correction）**

符号理論における誤り訂正符号の一種。これはデータ中の複数のビットを一つのシンボルとして扱い、各々のシンボル単位で誤りの検出と訂正を行う。これにより、通信過程でデータの一部に欠損が発生した場合でも、元の正しいデータに復元できる。

3.4

**スクランブルアイドル信号（Scrambled idle）**

待機状態において、データが適度に散らばるよう、0と1がランダムに出現する信号。

3.5

**スキュー（相対遅延）**

複数のレーン（チャンネル）信号間に生じる相対的な遅延時間。

3.6

**符号間干渉（ISI: Inter-Symbol Interference）**

隣り合う符号同士が干渉して波形が歪む現象。結果として、前後の符号がノイズとして影響し、通信の信頼性が低下する。

3.7

**DDJ（Data dependent jitter）**

データ依存性ジッタ（DDJ: Data dependent jitter）は、デターミニスティック・ジッタ（DJ: Deterministic jitter）における波形のデータ・パターンとの相関性を示す成分の Peak-to-Peak振幅。

3.8

**DJ（Deterministic jitter）**

確定的な動作を示しているすべてのタイミング・エラーの Peak-to-Peak振幅。

3.9

**微分群遅延（DGD: Differential Group Delay）**

偏波モード分散（PMD: Polarization Mode Dispersion）の影響により、光ファイバ内を伝わる速度が異なる二つの偏波成分に分離した信号となる。この二つの偏波成分が離れた量が微分群遅延（DGD）。伝送速度が高速になるにつれ、複雑な歪みを発生させ、通信品質の低下をもたらす。

3.10

**OTSi（Optical tributary signal）**

光ネットワークの物理層内で伝送するために用いられる光信号。

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試験及び測定方法では，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性能標準テンプレートで制定された特性項目のうち、に関する試験及び測定方法を規定する。

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 試験および測定方法

8.1 平均送信光入出力パワー、レーン（チャンネル）間差

8.1.1 目的

複数の光入出力レーン（チャンネル）を持つアプリケーションにおける各レーン（チャンネル）間の平均送信光入出力パワーの差を測定する。

**注記** 平均送信光入出力パワー、レーン（チャンネル）間差は，ITU-T G.959.1, 7.2.4.4 Maximum channel power differenceに基づいている。

8.1.2 定義と試験及び測定方法

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出力レーンの光出力パワーの平均値の最大値と最小値の差、および光入力レーンの光入力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

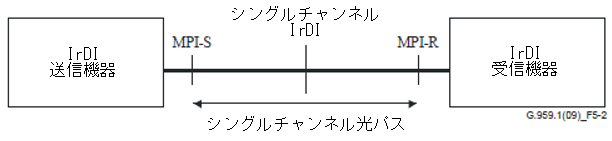
8.2.1 目的

単心波長多重並列伝送用光送受信モジュールにおける送信光波形マスクマージンは、**8.2.2**に示す**ITU-T G.695**, **ITU-T G.959.1**において定義されるアプリケーションと、**8.2.3**に示す**IEE Std 802.3**, **CWDM4 MSA**, **CLR4 Alliance**, **4-Wavelength WDM MSA**において定義されるアプリケーションの大きく2つに分類される。この2つの分類に従い送信光波形マスクマージンの試験及び測定を行う。

注記 送信光波形マスクマージンは，ITU-T G.959.1, 7.2.2.14 Eye mask for NRZ optical transmit signals, IEEE Std 802.3-2018, 87.8.9 Transmitter optical waveform (transmit eye), IEEE Std 802.3-2018, 86.8.4.6.1 Optical transmitter eye mask, IEEE Std 802.3-2018, 86.8.3.2 Eye diagrams, IEEE Std 802.3-2018, 86A.5.3.6 Eye mask for TP1a and TP4, IEEE Std 802.3-2018, 88.8.8 Transmitter optical waveform (transmit eye), 100G CWDM4 MSA, 3.8 TRANSMITTER OPTICAL WAVEFORM (TRANSMIT EYE), 100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.13 Transmitter Optical Waveform (Transmit Eye), 100G 4WDM-10 MSA, 3.8 Transmitter optical waveform (transmit eye)に基づいている。

8.2.2 ITU-T G.695, ITU-T G.959.1における試験及び測定方法

**ITU-T G.695**, **ITU-T G.959.1**において、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では、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、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、**8.7.4.1**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。



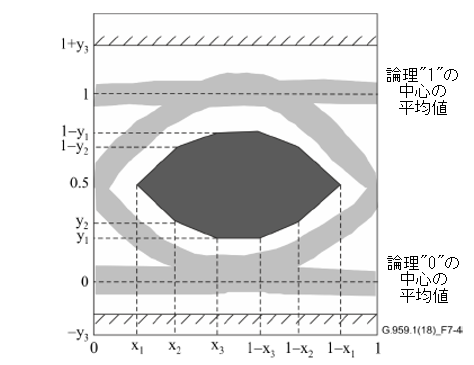
IrDI :　物理層ドメイン間インターフェース（Physical layer inter-domain interface）

MPI-S: 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 (single-channel Source Main Path Interface reference point)

MPI-R: シングルチャンネルレシーブメインパスインターフェース基準ポイント (single-channel Receive Main Path Interface reference point)

|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Figure 5-2 |

**図1- シングルチャンネルにおける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 |

|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Figure 7-4 |

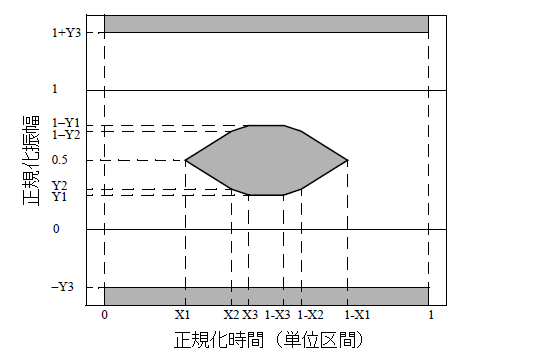
**図2- NRZ 10G Ratio smallおよびNRZ 25G Ratioアイダイアグラムのマクス規定**

**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。 | |

8.2.3 IEE802.3, CWDM4 MSA, CLR4 Alliance, 4-Wavelength WDM MSAにおける試験及び測定方法

要求される光送信パルス波形特性は、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（一部のアプリケーションでは、適用されるシステム構成におけるリード・ソロモン符号前方誤り修正（RS-FEC: Reed-Solomon Forward Error Correction）の有無により**図3**とは異なるマスク形状を持つ）。各アプリケーションのインターフェースの伝送速度（40 Gbit/sあるいは100 Gbit/s）に応じて、**表2**に示される7.5 GHzあるいは19.34GHzのフィルタ公称基準周波数*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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、もしくは各アプリケーションにおける有効な信号のうち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、**8.2.3.1**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} |

|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 86-4 |

**図3- 光送信アイマスク規定**

8.2.3.1 光送信アイマスク

アイは**式(1)**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。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (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、詳細な要求は**8.2.3.2**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**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**附属書A**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。

8.2.3.2 アイダイアグラム

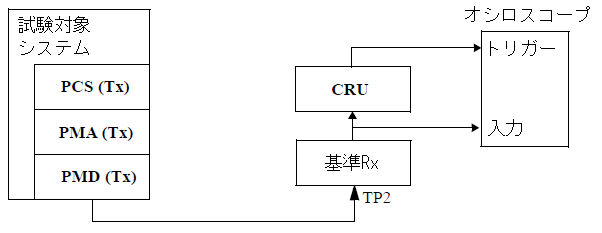
アイダイアグラムは、電気信号と光信号を評価するために適用される。各アプリケーションにより定義される送信光波形マスクマージンを測定する際の電気入力波形アイの規定は**8.2.3.3**に、送信光波形のアイ測定は**8.2.3**に、それぞれ定義される。

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、一部アプリケーションにおいてはRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションにおける有効な信号のうちの何れかを使用し、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：Clock Recovery Unit）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、そのアプリケーションにおけるインターフェースの伝送速度（40 Gbit/sもしくは100 Gbit/s）に応じて、高周波のコーナー帯域幅は4 MHzあるいは10MHzとし、傾きは–20 dB / decadeとする。 このクロックリカバリユニット（CRU）を用いること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。

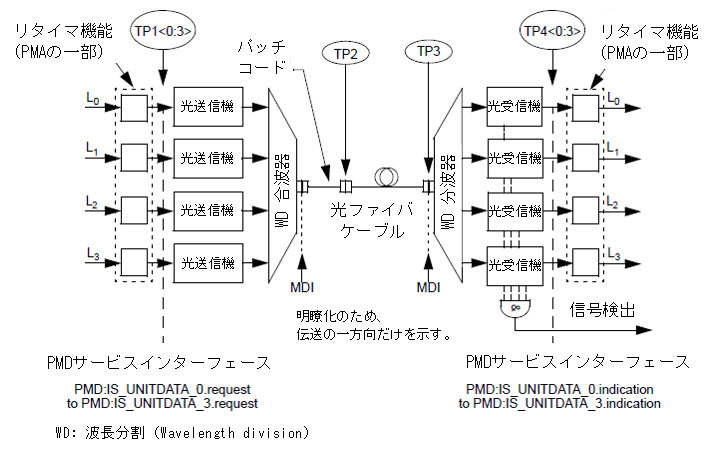
尚、**図4**中のTP2とは、**図5**に示す送信・受信パスのブロック図におけるテストポイントの一つである。

一方で、実際の機器の特性において、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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION FIVE, Figure 58-6 |

**図4- 送信光波形テストブロック図**

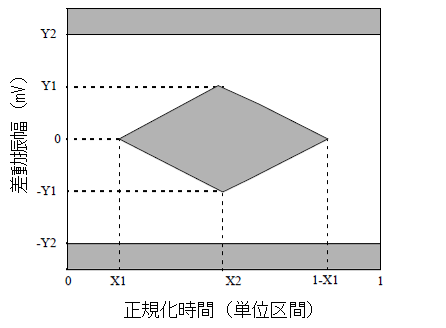


|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 87-2 |

**図5- 送信・受信パスのブロック図**

8.2.3.3 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）の受信機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、**8.2.3.2**に記載した通りである。



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |

|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 83A-9 |

**図6- TP1アイマクス規定**

8.3 最大スペクトル偏位

8.3.1 目的

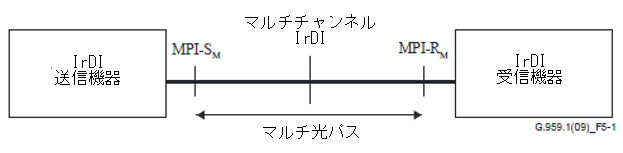
単心波長多重並列伝送では、各アプリケーションにおいて、それぞれのチャネルの公称中心周波数に対するスペクトル偏位の最大値が規定されており、このスペクトル偏位量の試験及び測定に適用される。

**注記** 最大スペクトル偏位は，ITU-T.959.1, 7.2.2.5 Maximum spectral excursionに基づいている。

8.3.2 定義と試験及び測定方法

各チャネルの公称中心周波数と、**図7**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、この関係を**図8**に図示する。

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。



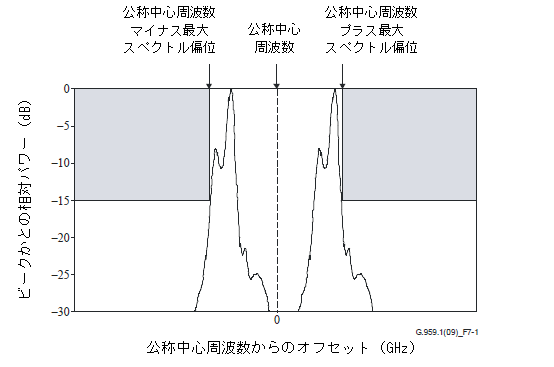
IrDI :物理層ドメイン間インターフェース（Physical layer inter-domain interface）

MPI-SM: マルチ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 (Multichannel Source Main Path Interface)

MPI-RM: マルチチャンネルレシーブメインパスインターフェース基準ポイント (Multichannel Receive Main Path Interface reference point)

|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Figure 5-1 |

**図7- 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**



|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Figure 7-1 |

**図8- 最大スペクトル偏位の図**

8.4 最大スキュー変動

8.4.1 目的

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）を一定の制限値内に保ち、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。

**注記** 最大スキュー変動は，IEEE Std 802.3-2018, 87.3.2 Skew constraints, IEEE Std 802.3-2018, 80.5 Skew constraints, IEEE Std 802.3-2018, 87.8.2 Skew and Skew Variation, IEEE Std 802.3-2018, 88.3.2 Skew constraints, 100G CWDM4 MSA, 3.2 SKEW AND SKEW VARIATION, 100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.2 Skew and Skew Variation, 100G 4WDM-10 MSA, 3.2 Skew and Skew Variationに基づいている。

8.4.2 定義と規定

スキューおよびスキュー変動は**8.4.3**で規定され、**図9**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、そのスキュー変動は400 psに、それぞれ制限される。

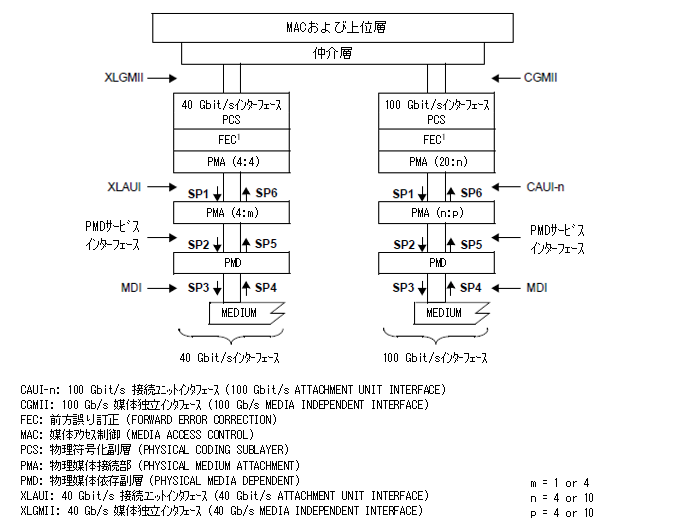
SP3（送信機MDI）のスキューは54 ns未満で、そのスキュー変動は600 ps未満でなければならない。

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

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、**8.4.3**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、**8.4.4**に規定する。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 80–7 |

**図9- 40 Gbit/sおよび100 Gbit/sインターフェースにおけるシングルXLAUI or CAUI-nのキュー規定点**

8.4.3 スキュー制限

40 Gbit/sおよび100 Gbit/sインターフェース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が制限されている。

**図9**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- スキューにおける光基準受信機の減衰量許容値**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| スキュー  ポイント | 最大スキュー  (ns) 1 | 40 Gbit/sインターフェース PCS レーンにおける最大スキュー  (UI) 2 | 100 Gbit/sインターフェース　PCS レーンにおける最大スキュー  (UI) 3 | 備考4 |
| SP2 | 43 | ≈ 433 | ≈ 222 | 8.4.2  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の許容値が含まれる。
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、40 Gbit/sインターフェースにおけるUIの最大スキューのおおよその値を示す。
3. 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、100 Gbit/sインターフェースにおけるUIの最大スキューのおおよその値を示す。
4. 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、副層条項が優先される。

**表4- スキュー変動における光基準受信機の減衰量許容値**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| スキュー  ポイント | 最大スキュー変動 (ns) | 40 Gbit/sインターフェースPCS レーンにおける最大スキュー変動  (UI) 1 | 100 Gbit/sインターフェース 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 | 8.4.2  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、40 Gbit/sインターフェースにおけるUIの最大スキューのおおよその値を示す。
2. 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、100 Gbit/sインターフェースにおけるUIの最大スキューのおおよその値を示す。
3. 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、副層条項が優先される。

8.4.4 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**8.4.3**で定義されており、リンクが動作している間、**8.4.2**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: Optical Demultiplexer）で光レーン（チャンネル）を分離し、**8.2.3.2**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。

8.5 光変調振幅基準の受信感度

8.5.1 目的

理想的な入力信号に対して定義される受信感度は参考値であり、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）などの影響により、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に、最大ストレスド受信感度がある。

しかしながら100 Gbit/sインターフェースを持つ一部アプリケーションにおいては、**8.5.2**以降に示すような定義を以って明確に公称感度が規定されており、この公称感度の試験及び測定に適用される。

**注記** 光変調振幅基準の受信感度は，IEEE Std 802.3-2018, 87.8.10 Receiver sensitivity, IEEE Std 802.3-2018, 88.8.9 Receiver sensitivity, 100G CWDM4 MSA, 3.9 RECEIVER SENSITIVITY, 100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.14 Receiver Sensitivity, 100G 4WDM-10 MSA, 3.9 Receiver sensitivityに基づいている。

8.5.2 測定及びテストセットアップ

各受信レーンの公称感度は、**図10**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、**8.2.3**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、**8.6.3**で定義される最悪条件における

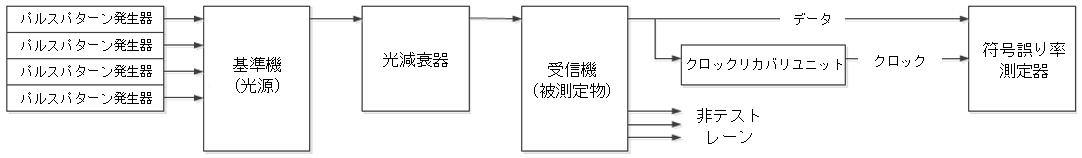
垂直方向のアイクロージャーペナルティ（VECP: Vertical Eye Closure Penalty）は0.5 dB未満とする。

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、測定されたビットエラーレート（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（CRU）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重畳することになり、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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，CWDM4 MSA Technical Specifications Rev 1.1, Figure 3-1から引用している。 |

**図10- 受信感度測定のためのテストセットアップ**

8.6 光変調振幅基準のストレスド受信感度

8.6.1 目的

**8.6.3**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**8.6.2**および**8.6.3**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。なお、符号誤り率（BER: Bit Error Rate）の規定は、テスト中のレーンのみで満たす必要がある。

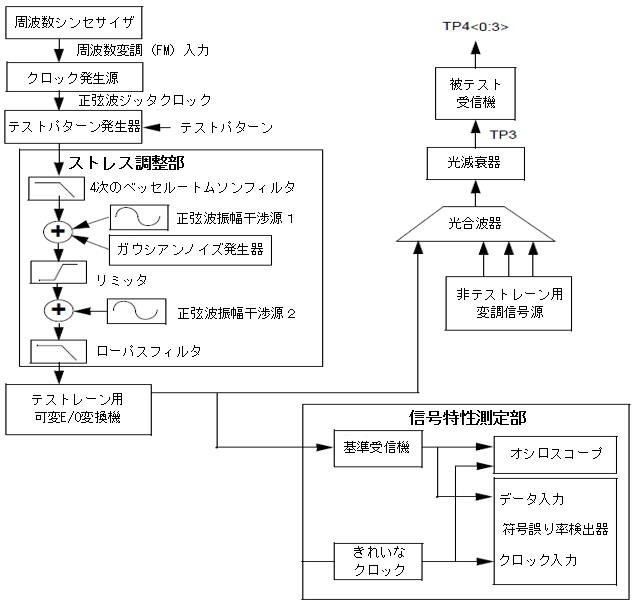
また、レーン毎のストレスド受信感度は、クロストークの影響を加味するため、4つのレーン全てで送信部が動作し、且つテストされていない受信レーンが動作している状態で定義され、31段疑似ランダム信号（PRBS31）、スクランブルアイドル信号（Scrambled idle、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションにおける有効な信号が、PMDの送信部から送信されることで試験される。

送信される信号は、受信信号と非同期とする。

**注記** 光変調振幅基準の受信感度は，IEEE Std 802.3-2018, 87.8.11 Stressed receiver sensitivity, IEEE Std 802.3-2018, 86.8.3.3 Jitter, IEEE Std 802.3-2018, 88.8.10 Stressed receiver sensitivity, 100G CWDM4 MSA, 3.10 STRESSED RECEIVER SENSITIVITY, 100G-CLR4 Alliance Rev. 1.5.2, 7.15 Stressed Receiver Sensitivity, 100G 4WDM-10 MSA, 3.10 Stressed receiver sensitivityに基づいている。

8.6.2 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11**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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）を用いる。光テスト信号は、**8.6.3**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、**8.6.5**に規定される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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 87-3 |

**図11- ストレスド受信機適合テスト・ブロック図**

**図11**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なエッジ・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。

また、本テストに用いる光ファイバ配線（チャネル）特性については、各アプリケーションにより規定される特性を有するものとする。

a）印加される正弦波ジッタは、**表5**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（アプリケーションによりJ9に代わって**JIS C 5954-6**で記載するJ4ジッタにて規定）、および垂直アイクロージャペナルティ（VECP）は、各アプリケーションにおいて規定される。

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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションの有効な信号のうちの何れかを使用する。

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、**表2**で指定された帯域幅を持つ必要がある。

なお、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J9ジッタ(一部アプリケーションににおいてJ4ジッタ)、およびストレスド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。

ストレスド受信機適合テスト信号の検証については、**8.6.4**で説明する。

8.6.2.1 J2ジッタとJ9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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションにおける有効な信号のうちの何れかを使用し、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。なお、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。

**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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションにおける有効な信号のうちの何れかを使用する。

**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、一部アプリケーションではRS-FEC scrambled idle）のうちの何れかを使用する。

8.6.3 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（アプリケーションによりJ9に代わってJ4ジッタにて規定）である。 垂直アイクロージャペナルティ（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ジッタとストレスドアイJ9ジッタは**8.6.2.1**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。

垂直アイクロージャペナルティ（VECP）は、**式(2)**で与えられる。

|  |  |
| --- | --- |
| (dB) | (2) |

ここで、

AO: 下側のヒストグラムの99.95パーセンタイルから上側のヒストグラムの0.05パーセン

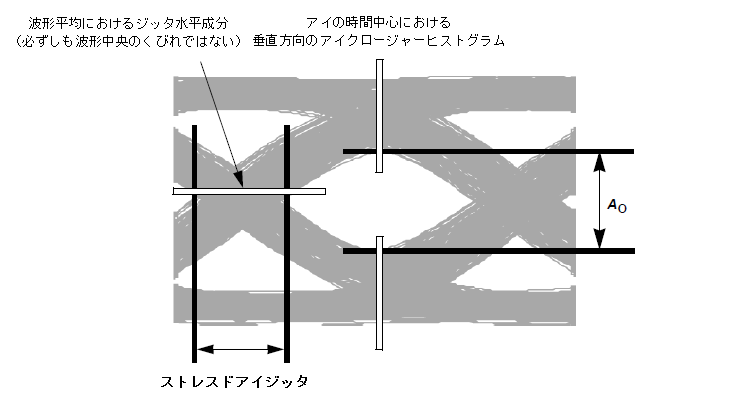
タイルまでの開眼の振幅

OMA: **JIS C 5954-3**で定義されている光変調振幅

ストレスド受信機適合テストのセットアップ例は**図11**に示されている。ただし、垂直アイクロージャペナルティ（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11**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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 87-4 |

**図12- 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（VECP）、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタ（一部アプリケーションでは、J9に代わってJ4ジッタにて規定）の必要な値は、各アプリケーションにおいて規定される。

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、垂直アイクロージャペナルティ（VECP）のdB値の3分の2を超える値に設定する必要があり、残りの垂直アイクロージャペナルティ（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5**で指定されている。適合信号を校正する際、正弦波ジッタ周波数は、**表5**で定義され、**図15**で示すように、各アプリケーションにおけるインターフェースの伝送速度（40 Gbit/sもしくは100 Gbit/s）に応じて、4 MHzあるいは10MHzから、それぞれループ帯域幅（LB）の10倍以内である必要がある。

垂直アイクロージャーペナルティ（VECP）、ストレスドアイJ2ジッタ、ストレスドアイJ9ジッタ（一部アプリケーションでは、J9に代わってJ4ジッタにて規定）の値が各アプリケーションの要件を満たし、4 MHzあるいは10MHzを超える正弦波ジッターが**表5**で指定される値になるまで、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12**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、**8.6.6**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、**8.6.6**で説明される光変調振幅（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、順次適合テストが実施され、テスト対象となるレーンの光源は、テスト対象の受信機への入力において、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となる信号を供給するように調整され、**8.6.6**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光変調振幅（OMA）と波長に設定される。

8.6.4 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ため、留意すること。**図11**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**8.6.3**および**8.6.5**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。

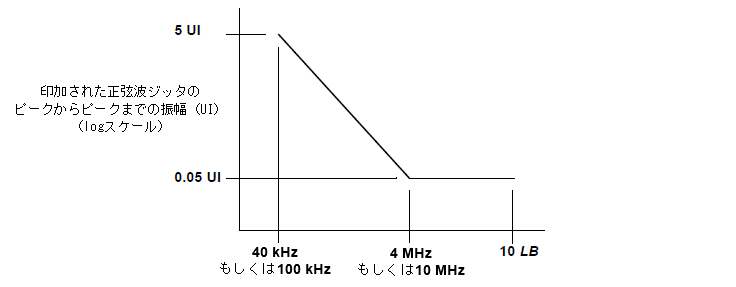
8.6.5 ストレスド受信機適合テストにおける正弦ジッタ

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る。適用される正弦波ジッタの振幅は、**表5**で指定されている周波数に依存し、**図13**に示される。

**表5- 印加正弦波ジッタ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 周波数帯域 | | 正弦波ジッター幅(UI) |
| 40 Gbit/sアプリケーション | 100 Gbit/sアプリケーション |
| *f* < 40 kHz | *f* < 100 kHz | - |
| 40 kHz < *f* ≤ 4 MHz | 100 kHz < *f* ≤ 10 MHz | 5×105/*f* |
| 4 MHz < *f* ≤ 10*LB* 1 | 10 MHz < *f* ≤ 10*LB* 1 | 0.05 |

1. 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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，IEEEの許可を得て次を基に記載している。  IEEE Std 802.3-2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX, Figure 87-5 |

**図13- ジッタトレランスの正弦波成分のマスク**

8.6.6 波長多重（WDM）適合性テストにおけるストレスド受信機適合テスト手順

**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）、または各アプリケーションにおいて有効な信号がテスト中の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、各アプリケーションにおいて有効な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、一部のアプリケーションではRS-FEC scrambled idle）、または各アプリケーションにおける有効な信号を用いて動作しているものとする。

調整可能なテスト光源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光源の光変調振幅（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各アプリケーションの最も高い光変調振幅（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、波長多重（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。代替の波長多重（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各アプリケーションの最も高い光変調振幅（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。

8.7 光パスペナルティ

8.7.1 目的

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、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あるが、曲線の形状変化は珍しくなく、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。

**注記** 光パスペナルティは，ITU-T G.695, 7.4.4 Maximum optical path penalty, ITU-T G.695, 5 Classification of optical interfaces, ITU-T G.959.1, Annex A Configuration for method A for assessment of single-channel characteristics in a multichannel IrDI, ITU-T G.957, Annex B Measurement of the mask of the eye diagram of the optical transmit signal, ITU-T G.959.1, Annex B Reference optical bandpass filter and reference receiver characteristics for method B, for assessment of single-channel characteristics in a multichannel IrDI, ITU-T G.691, Annex A Extinction ratio and eye mask penalties, ITU-T G.959.1, 7.2.4.5 Maximum optical path penaltyに基づいている。

8.7.2 測定手法と注意事項

“ブラックボックス”手法（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、**8.3.2**の**図7**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: Differential Group Delay）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、ITU-T G.691の付録Iに記述されている。

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において、シングルチャネルの基準ポイントで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にて用いられている。構成については、**8.7.4**に含まれる。

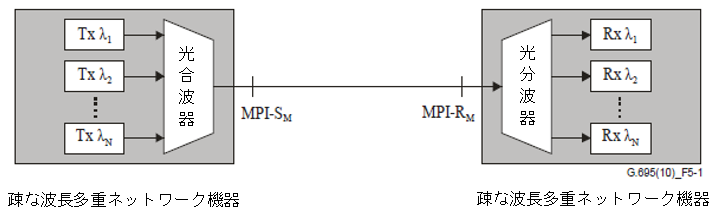
- 方法Bでは、基準受信機に入力される前に、基準光バンドパスフィルタを使用して個々の送信信号に分離される。 基準光バンドパスフィルタと基準受信機の特性は、**8.7.5**に含まれる。

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可能性がある。

8.7.3 “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再生（Re-amplification:増幅、Re-timing:タイミング再生、およびRe-shaping:波形整形）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: Optical Multiplexer）と送信機、または光分波器（OD: Optical Demultiplexer）と受信機が含まれる。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Figure 7-4 |

**図14- 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。

また、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こと。

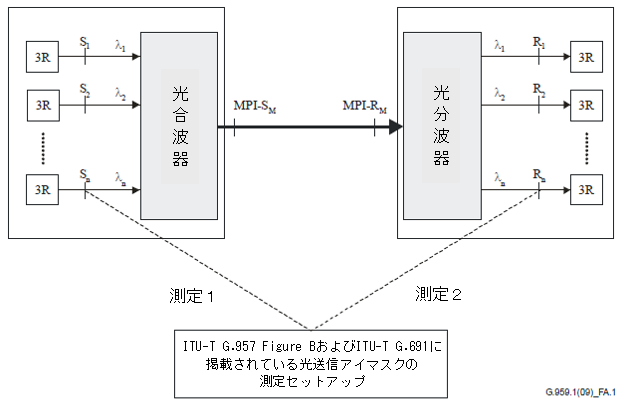
8.7.4 マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）におけるシングルチャネル特性 評価方法Aの構成

**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、**8.7.4.1**の**図16**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り行われる。

光パスペナルティについては、**図15**に示すように、2つの測定が行われる。最初のに、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（測定1）、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）。



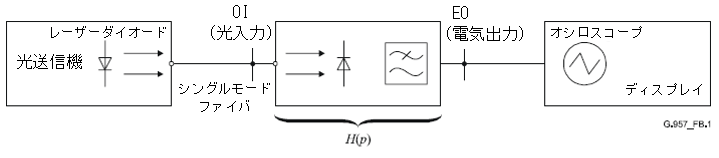
|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Annex A, Figure A.1 |

**図15- 方法Aの構成**

8.7.4.1 光送信信号アイダイアグラムのマスク測定

**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16**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（Optical Input）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（Electorical Output）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

|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy, Figure B.1/G.957 |

**図16- 光送信ダイアグラムの測定セットアップ**

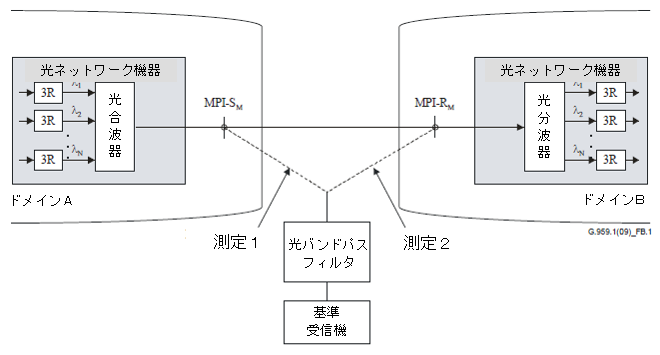
8.7.5 マルチチャネル物理層ドメイン間インターフェース（IrDI）におけるシングルチャネル特性評価方法Bの基準光バンドパスフィルターと基準受信機の特性

**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、**8.7.4.1**の**図16**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り行われる。

光パスペナルティの場合、**図20**に示す様に、2つの測定が行われる。最初に、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（測定1）、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（測定2）。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Annex B, Figure B.1 |

**図17- 方法Bの構成**

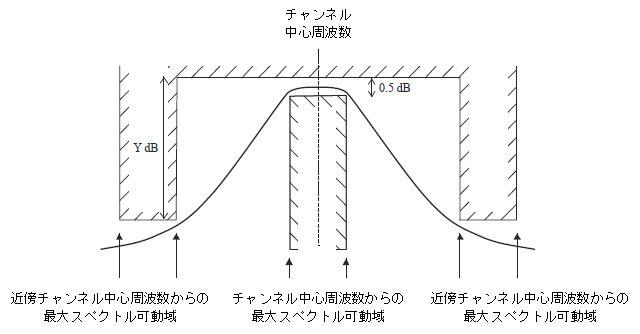
**基準光バンドパスフィルタ：**

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。最小限の要求は、**図18**に示される。

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。

**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18**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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces, Annex B, Figure B.2 |

**図18- 光バンドパスフィルタ周波数応答**

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。

**基準受信機**：

これは、**8.2.2**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、**8.2.2**の**表2**に示される。

この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、これら様々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。

**8.2.2**で定義されている様に、様々なチャネル毎の信号ビットレートには、様々な基準受信機特性が必要である。

8.7.5.1 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。

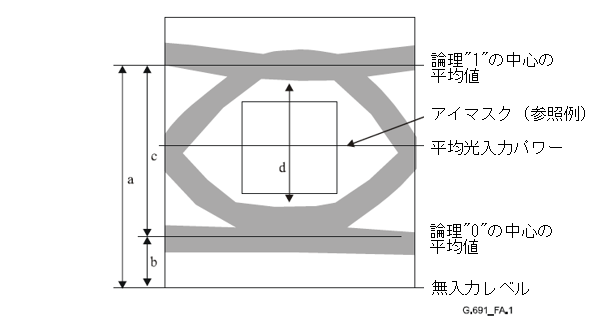
生成するのが難しい厳密な意味での最悪条件の信号を用いたテストに代えて、この換算による補正を適用しても良い。

8.7.5.2 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19**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ある。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。



|  |
| --- |
| 注記 この図は，ITU-Tの許可を得て次を基に記載している。  ITU-T G.691:2006，Transmission media characteristics – Characteristics of optical components and subsystems: Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers, Figure A.1/G.691 |

**図19- アイマスクペナルティと消光比ペナルティ**

8.7.5.3 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19**に示すアイの相対的な開口部d / cが1つはより小さい場合には、ペナルティの影響を受けることを意味する。ここで、アイマスクのペナルティ*PEM*は、次の**式(3)**ように書くことができる。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

これは、完全にアイが開いている信号と比較した場合、受信感度の損失に対応する。

BERは信号に対して非常に関数であるため、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、詳細に規定されておらず、アイマスクのペナルティは正確な意味での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 最小等価感度 Minimum equivalent sensitivity

8.8.1 目的

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。

**注記** 最小等価感度は，ITU-T G.695, 7.4.7 Minimum equivalent sensitivity, ITU-T G.959.1, 7.2.4.6 Minimum equivalent sensitivityに基づいている。

8.8.2 定義と試験及び測定方法

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において、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する状況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が存在する状況下で満足する必要はない。











また、経年劣化の影響は別途指定されておらず、最悪の場合となる製品寿命（EOL）における値が規定される。**附属書A**

**（参考**

**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(4)**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。

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

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。

参考文献 ITU-T G.691:2006，Transmission media characteristics – Characteristics of optical components and subsystems: Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifier

ITU-T G.695:2018，Transmission media and optical systems characteristics – Characteristics of optical systems: Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications

ITU-T G.957:2006，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy

ITU-T G.959.1:2018，Digital sections and digital line system – Digital line systems: Optical transport network physical layer interfaces

IEEE Std 802.3:2018，IEEE Standard for Ethernet, SECTION SIX

100G CWDM4 MSA Technical Specifications (2km Optical Specifications):2015，CWDM4 MSA Technical Specifications Rev 1.1

Specification for 100 Gb/s Coarse Wavelength Division Multiplex Optical Data Transmission:2015，100G-CLR4 Revision 1.5.2

100G 4WDM-10 MSA Technical Specifications:2017，10km Optical Specifications Release 1.0