

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

対象モデル*: AQ6380/AQ6370シリーズ/AQ6360 (AQ6373系を除く)

1. 光アンプ測定の概要

通信トラフィックの増大に伴い、基幹系光伝送ネットワークでは、光信号を電気信号に変換することなく直接増幅できるEDFA（エルビウムドープファイバーアンプ）などの光増幅器（光アンプ）の重要性が高まっています。

光アンプの評価は、利得 (GAIN)と雑音指数 (NOISE FIGURE)により行われます。

これらの特性は、光スペクトラムアナライザ（以下、OSA）で光アンプへの入力光と光アンプからの出力光の光スペクトルを測定することにより求めることができます。

測定は簡単です。光アンプへの入力光をトレースA、光アンプの出力光をトレースBでそれぞれ測定し、EDFA-NF解析機能を実行するだけです。

図1に、光増幅器測定の基本構成を示します。

(OSAの前に偏波スクランブラを追加すれば、OSAの偏波依存性の影響を軽減できます)

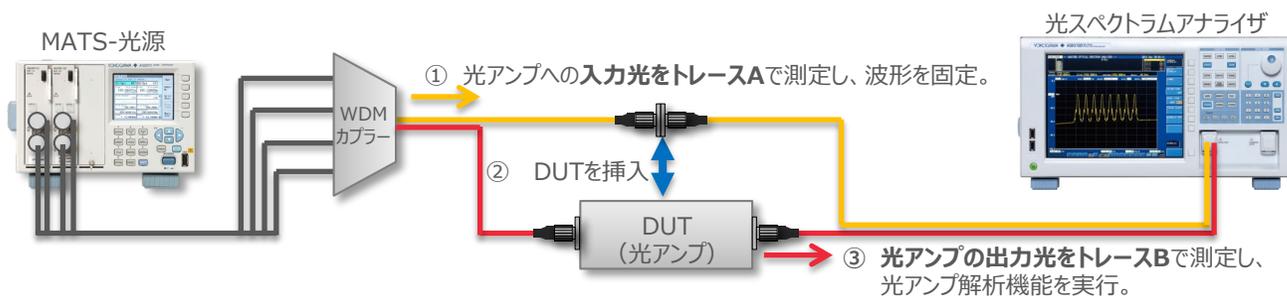


図1 光アンプ測定の基本構成

2. EDFA-NF解析機能

対象モデルには、光アンプの入出力光スペクトルから光アンプの利得 (Gain) および雑音指数 (NF: Noise Figure) を自動計算する光アンプ解析機能 (EDFA-NF) が標準搭載されています。本機能では光アンプにより増幅された光源の自然放出光 (SSE) を排除した正確な利得と雑音指数を求めることができます。

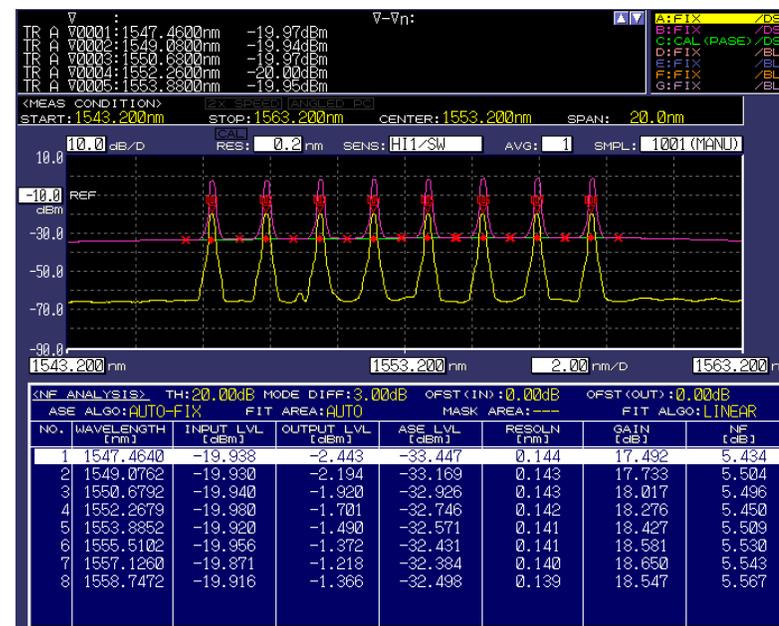


図2 EDFA-NF解析機能による解析例

- 入力された光信号のチャンネルごとに、光アンプの利得とNFを計算。DWDM信号に対応
- 波長、利得、NFなどの解析結果は、チャンネルごとに一覧表やグラフに表示
- チャンネル検出やASEレベル検出などの解析パラメータの設定が可能

* 特記なき場合は、全バージョン共通。AQ6373系は対応していません。

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

3. 光アンプ測定の事前準備

光アンプの特性を正確に測定するためには、測定を行う前に光スペアナの校正と外部損失などによる光パワー値のオフセットの補正を行う必要があります。

■ 光アライメントと波長校正 [SYSTEM]

- [SYSTEM]の<OPTICAL ALIGNMENT>を実行すると、内蔵校正用光源を使用して、光軸調整と波長校正の両方が実行されます。
- 実行前に、シングルモードファイバを使用して校正用光源の出力と光入力ポートを接続する必要があります。
- 内蔵光源が搭載されていないモデルの場合は、外部のDFB-LDなど出力が安定した単一波長光源を使用して校正します。
- 詳細は、ユーザーマニュアルを参照ください。(AQ6370Dの場合、3.6章)

■ 分解能校正 [SYSTEM]

- 分解能校正機能は、外部光源を使用して、光スペアナの分解能帯域幅を等価雑音帯域幅(図3)に校正します。JIS規格では、光増幅器の測定に等価雑音帯域幅が指定されています。
- 通常、光スペクトラムアナライザのフィルタ形状は長方形ではないため、FWHM(半値全幅)にて定義された分解能帯域幅(図4)と等価雑音帯域はわずかに異なります。
- 特に波長分解能が0.05 nm以下の場合などでは差が顕著に出る場合があります。
- 外部光源には、出力パワー -20 dBm 以上、レベル安定度 0.1 dBp-p 以下、出力線幅 5 MHz 以下の安定化シングルモードレーザー光源をご使用ください。
- 詳細は、ユーザーマニュアルを参照ください。(AQ6370Dの場合、3.8章)

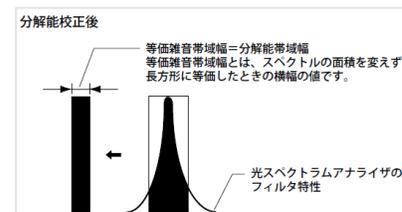


図3 等価雑音帯域幅

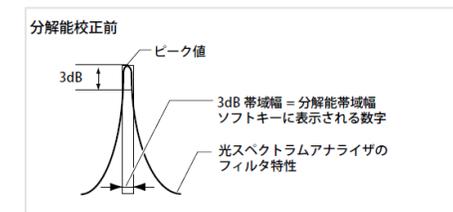


図4 分解能帯域幅(FWHM)

■ 光パワーの絶対値校正

- 光スペアナの絶対パワー測定値は、測定前に光パワーメータにより校正する必要があります。
- 測定光源には、DFB-LD など出力が安定した単一波長光源を使用します。
- パワー補正係数 (PCF) は、下記の式で求められます。

$$PCF (dB) = P_OPM (dBm) - P_OSA (dBm)$$

P-OPM : 光パワーメータの光パワー値(dBm)、

P-OSA : 光スペアナの光スペクトルピークパワー表示(dBm)

- 光スペアナの測定値を補正するには、[SYSTEM]の<LEVEL SHIFT>にPCF値を入力します。

■ 光パワーの補正 (オフセット)

- EDFA解析では、EDFAの入力パワーと出力パワーを正しく求める必要があります。したがって、光源とEDFA入力間やEDFA出力と光スペアナ間に、光コネクタ、光スプリッタ、光スイッチなどが挿入されている場合、それらの損失分を補正する必要があります。
- 光パワーメータを使用して絶対パワーを校正した後、絶対パワーの読み取り値にエラーを引き起こす余分な損失がないか確認してください。
- EDFAの入カパスと出カパス、両方の追加損失を求め、Parameter setting - Interpolation settingのOFFSET(IN)とOFFSET(OUT)にそれぞれの補正值を入力します。

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

4. EDFA-NF解析パラメータの設定ヒント (1/2)

EDFA解析機能には、お客様の解析ニーズに対応するため、様々な解析パラメータのセレクションが準備されています。本セクションでは、主な解析パラメータの解説とよく使われる設定をご紹介します。なお、各パラメータのタイトルは、本体の解析パラメータに合わせて記載しています。

A. 補間設定 / Interpolation setting

ASE計算アルゴリズム / ASE Algorithm (ASE ALGO)

- ASEパワー検出の計算アルゴリズムを選択します。また、内挿法に使用されるASEデータの範囲を定義します。
- 一般的に「AUTO-FIX」設定がよく使用されます。

<input type="radio"/>	AUTO-FIX	FIT ALGO: LINEAR (固定) FIT AREA: 自動 (点) - シングルチャネル: $\lambda \pm$ 規定値 (nm) - マルチチャネル: $\lambda \pm$ 最長チャネルスペーシング/2 MASK AREA: 不使用
<input type="radio"/>	AUTO-CTR	FIT ALGO: LINEAR (固定) FIT AREA: チャネル間 (点) - シングルチャネル: $\lambda \pm$ 規定値 (nm) - マルチチャネル: $\lambda \pm$ チャネルスペーシング/2 MASK AREA: 不使用
<input type="radio"/>	MANUAL-CTR	FIT ALGO: 選択可能 FIT AREA: チャネル間 (範囲 または 点) - シングルチャネル: $\lambda \pm$ 規定値 (nm) - マルチチャネル: $\lambda \pm$ チャネルスペーシング/2 MASK AREA: **.** nm (FIT ALGOがLINEAR場合は不使用)
<input type="radio"/>	MANUAL-FIX	FIT ALGO: 選択可能 FIT AREA: **.** nm (範囲 または 点) MASK AREA: **.** nm (FIT ALGOがLINEAR場合は不使用)

B. 補間設定 / Interpolation setting

フィッティングアルゴリズム / Fitting Algorithm (FITTING ALGO)

- ASEスペクトルに最適なフィッティングアルゴリズムを下記から選択します。
LINEAR、GAUSS、LORENZ、3RD POLY、4TH POLY、5TH POLY
- JIS規格準拠の「LINEAR」設定をお勧めします。
- ASE計算アルゴリズムを「AUTO-FIX」または「AUTO-FIX」に設定すると、自動的に「LINEAR」となります。

<input type="radio"/>	LINEAR	JIS規格に準拠 このモードでは、チャネルの左右にある2つのポイントのみを補間に使用します。
-----------------------	--------	--

C. NF計算設定 / NF calculation setting

分解能帯域幅 / Resolution Bandwidth (RES BW)

- EDFA分析機能の分解能帯域幅 (RB) の定義を選択します。
- JIS規格準拠の分解能校正機能とCAL DATA設定の併用をお勧めします

<input type="radio"/>	CAL DATA	分解能校正機能を使用時 JIS規格に準拠 分解能校正機能により保存された等価雑音帯域幅を使用します。 RB=等価雑音帯域幅 特に波長分解能が0.05nm以下の場合にオススメです。
<input type="radio"/>	CAL DATA	分解能校正機能を使用時 内部メモリに保存されている工場で校正された分解能帯域幅 (FWHM)を使用します。 RB = 工場で校正したFWHM値 特に波長分解能が0.05nm以下の場合にオススメです。
<input type="radio"/>	MEASURED	TRACE Bの光スペクトルデータからFWHMを求め、RBに設定します。 RB=実際の光スペクトルのFWHM値 (従来の方法)

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

4. EDFA-NF解析パラメータの設定ヒント (2/2)

D. その他の設定 / Other setting

信号パワー / SIGNAL POWER

- 光信号パワーの求め方を選択します。
- 一般的にEDFA測定では連続波(CW)のレーザー光が使用されるため、「PEAK」設定が使用されます。

○	PEAK	信号パワーは、スペクトルピークパワーとして定義されます。 CWレーザー光源など、信号のスペクトル幅が光スベアナの波長分解能よりも小さい場合を選択します。
	INTEGRAL	信号パワーは、中心波長±INTEGRAL RANGE (GHz) の積分パワーとして定義されます。 変調されたレーザー光源など、信号のスペクトル幅が光スベアナの波長分解能よりも大きい場合を選択します。

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

5. EDFA-NF解析アルゴリズムの詳細 (1/4)

EDFA解析機能の解析アルゴリズムをJIS規格と比較して示します。

YOKOGAWAの光スペアナは、光スペアナから測定結果から直接得られる光パワー(W)、光波長(m)、波長分解能(m)を用いた計算式としています。

JISでは、光パワー(dBm)、光周波数(Hz)、周波数分解能(Hz)を用いた計算式となっていますが、いずれの計算でも同じ結果が得られます。

測定条件および解析結果 (例)

YOKOGAWA			
λ	1550.00	nm	信号波長
RB	0.10	nm	光スペアナの波長分解能 (等価雑音帯域幅)
c	299792458	m/s	真空中の光速
h	6.6261E-34	Js	プランク定数

JIS C6122-10-4:2012			
λ	1550.00	nm	信号波長
$\Delta\lambda_{BW}$	0.10	nm	光スペアナの波長分解能 (等価雑音帯域幅)
c	299792458	m/s	真空中の光速
h	6.6261E-34	Js	プランク定数
ν	1.93E+14	Hz	信号周波数 $\nu = C/\lambda$
B_0	1.25E+10	Hz	光スペアナの周波数分解能 (等価雑音帯域幅) $B_0 = c[(\lambda - \Delta\lambda_{BW}/2)^{-1} - (\lambda + \Delta\lambda_{BW}/2)^{-1}]$

サンプルデータ

L_{IN}'	1.00E-04	W	光スペアナの測定値 $L' = 10^{\frac{P-30}{10}}$ (JIS側の各dBmデータをリニア値に変換している)
L_{OUT}'	3.16E-02	W	
L_{ASE}'	1.26E-06	W	
L_{SSE}'	1.00E-10	W	
Gain	25.00	dB	$G = 10\log(L_{OUT_SIG} / L_{IN})$
NF	3.85	dB	$NF = 10\log(\frac{1}{hc^2} \times \frac{\lambda^3}{RB} \times \frac{L_{ASE_AMP}}{G'})$

サンプルデータ

P_{IN_OSA}	-10.00	dBm	光スペアナの測定値
P_{OUT_OSA}	+15.00	dBm	
P_{ASE_OSA}	-29.00	dBm	
P_{SSE_OSA}	-70.00	dBm	
Gain	25.00	dB	$G = P_{OUT_SIG} - P_{IN}$
NF	3.85	dB	$NF = P_{ASE_AMP} - G - 10\log[h\nu B_0]$

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

5. EDFA-NF解析アルゴリズムの詳細 (2/4)

YOKOGAWA (W)			
測定項目	データ		説明
1 光パワー補正			
PCF			光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較) 不使用。測定開始前に光スベアナの補正機能でキャンセルする。 <LEVEL SHIFT> [SYSTEM]
OFFSET _{IN}		dB	EDFAの光入力経路の損失を補正する。 Interpolation setting > Parameter setting > OFFSET (IN)に 補正值 を入力する
OFFSET _{OUT}		dB	EDFAの光出力経路の損失を補正する。 Interpolation setting > Parameter setting > OFFSET (OUT)に 補正值 を入力する
2 入力信号パワー (L_{IN})			
L _{IN} '	1.00E-04	W	光スベアナのトレースAより取得 (EDFA入力)
PCF			不使用。測定開始前に光スベアナの補正機能でキャンセルする。
OFFSET _{IN} '	1.00		$OFFSET_{IN}' = 10^{\frac{OFFSET_{IN}}{10}}$
L _{IN}	1.00E-04	W	$L_{IN} = L_{IN}' \times OFFSET_{IN}'$
3 出力信号パワー (L_{OUT})			
L _{OUT} '	3.16E-02	W	光スベアナのトレースBより取得 (EDFA出力)
PCF			不使用。測定開始前に光スベアナの補正機能でキャンセルする。
OFFSET _{OUT} '	1.00		$OFFSET_{OUT}' = 10^{\frac{OFFSET_{OUT}}{10}}$
L _{OUT}	3.16E-02	W	$L_{OUT} = L_{OUT}' \times OFFSET_{OUT}'$

本資料 2ページ目
「光パワーの補正」
を参照ください。

JIS C6122-10-4:2012 (dBm)			
測定項目	データ		説明
1 光パワー補正			
PCF		dB	光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較) PCF = P _{PM} - P _{OSA}
			不使用。不確かさの一部として取り扱われている。
			不使用。不確かさの一部として取り扱われている。
2 入力信号パワー (P_{IN})			
P _{IN_OSA}	-10.00	dBm	光スベアナの測定値 (EDFA入力)
PCF	+0.00	dB	光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較)
			不使用。不確かさの一部として取り扱われている。
P _{IN}	-10.00	dBm	$P_{IN} = P_{IN_OSA} + PCF$
3 出力信号パワー (P_{OUT})			
P _{OUT_OSA}	+15.00	dBm	光スベアナの測定値 (EDFA出力)
PCF	+0.00	dB	光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較)
			不使用。不確かさの一部として取り扱われている。
P _{OUT}	+15.00	dBm	$P_{OUT} = P_{OUT_OSA} + PCF$

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

5. EDFA-NF解析アルゴリズムの詳細 (3/4)

YOKOGAWA (W)			
4	出力ASEパワー (L_{ASE})		
	L_{ASE}'	1.26E-06 W	光スベアナのトレースBより取得 (EDFA出力)
	PCF		不使用。測定開始前に光スベアナの補正機能でキャンセルする。
	$OFFSET_{OUT}'$	1.00	$OFFSET_{OUT}' = 10^{\frac{OFFSET_{OUT}}{10}}$
	L_{ASE}	1.26E-06 W	$L_{ASE} = L_{ASE}' \times OFFSET_{OUT}'$
	P_{ASE}	-29.00 dBm	$P_{ASE} = 10\log(L_{ASE} \times 1000)$
5	実効出力信号パワー (L_{OUT_SIG})		
	L_{OUT_SIG}	3.16E-02 W	$L_{OUT_SIG} = L_{OUT} - L_{ASE}$
6	ゲイン (G)		
	G'	316.22	$G' = L_{OUT_SIG} / L_{IN}$
	G	25.00 dB	解析結果 $G = 10\log(G')$
7	入力SSEパワー (L_{SSE}) SSE: 光源の自然放出光		
	L_{SSE}'	1.00E-10 W	光スベアナのトレースAより取得 (EDFA入力) 実際には、実効ASEパワーの計算プロセスに含まれる。
	PCF		不使用。測定開始前に光スベアナの補正機能でキャンセルする。
	$OFFSET_{IN}'$	1.00	$OFFSET_{IN}' = 10^{\frac{OFFSET_{IN}}{10}}$
	L_{SSE}	1.00E-10 W	$L_{SSE} = L_{SSE_OSA} \times OFFSET_{IN}'$

JIS C6122-10-4:2012 (dBm)			
4	出力ASEパワー (P_{ASE})		
	P_{ASE_OSA}	-29.00 dBm	光スベアナの測定値 (EDFA出力)
	PCF	+0.00 dB	光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較)
			不使用。不確かさの一部として取り扱われている。
	P_{ASE}	-29.00 dBm	$P_{ASE} = P_{ASE_OSA} + PCF$
5	実効出力信号パワー (P_{OUT_SIG})		
	P_{OUT_SIG}	+15.00 dBm	$P_{OUT_SIG} = 10\log_{10} [10^{\frac{P_{OUT}}{10}} - 10^{\frac{P_{ASE}}{10}}]$
6	ゲイン (G)		
	G'	316.22	不使用。 NF計算式(a)のため、(dB) をリア値に変換する。
	G (dB)	25.00 dB	解析結果 $G (dB) = P_{OUT_SIG} - P_{IN}$
7	入力SSEパワー (P_{SSE})		
	P_{SSE_OSA}	-70.00 dBm	光スベアナの測定値 (EDFA入力)
	PCF	+0.00 dB	光パワーの絶対値補正 (光パワーメータと比較)
	P_{SSE}	-70.00 dBm	$P_{SSE} = P_{SSE_OSA} + PCF$

OSA: 光アンプ(EDFA) 測定ガイド

5. EDFA-NF解析アルゴリズムの詳細 (4/4)

YOKOGAWA (W)			
8 実効ASEパワー (L_{ASE_AMP})			
L_{ASE_AMP}	1.23E-06 W		光源の影響を除去した補間 (ISS) 光スベアナのトレースCにて計算 計算には、カーブフィットと補間法を使用している。 $L_{ASE_AMP} = L_{ASE} - G' \times L_{SSE}$
9 雑音指数 (NF)			
NF	3.85 dB		Analysis result $NF(dB) = 10 \log \left(\frac{1}{hc^2} \times \frac{\lambda^3}{RB} \times \frac{L_{ASE_AMP}}{G'} \right)$ L_{ASE_AMP} (W), G' (linear), λ (m), RB (m), h (Js) Yokogawaの光スベアナは、 λ や RB などの波長データを使用してNFを計算。光パワーの単位はW。
NF ショット雑音あり	3.86 dB		ショット雑音あり (参考) $NF(dB) = 10 \log \left(\frac{1}{hc^2} \times \frac{\lambda^3}{RB} \times \frac{L_{ASE_AMP}}{G'} + \frac{1}{G'} \right)$ 過去に取得されたデータとの互換性維持のため提供している。

JIS C6122-10-4:2012 (dBm)			
8 実効ASEパワー (P_{ASE_AMP})			
P_{ASE_AMP}	-29.11 dBm		光源の影響を除去した補間 (ISS) $P_{ASE_AMP} = 10 \log \left[10^{\frac{P_{ASE}}{10}} - 10^{\frac{G+P_{SSE}}{10}} \right]$
L_{ASE_AMP}	1.23E-06 W		不使用。 NF計算式(a)のため、(dBm)を(W)に変換する $L_{ASE_AMP} = 10 \log \left[10^{\frac{P_{ASE_AMP}}{10}} \right]$
9 雑音指数 (NF)			
NF	3.85 dB		Analysis result $NF(dB) = P_{ASE_AMP} - G - 10 \log[h\nu B_0]$ P_{ASE_AMP} (dBm), G (dB), ν (Hz), B_0 (Hz), h (mJs) プランク定数は P_{ASE_AMP} (dBm)に合わせ (mJs) とした。
NF (a)	3.85 dB		NF計算式 (a) (参考) $NF(dB) = 10 \log \left(\frac{L_{ASE_AMP}}{h\nu B_0 G'} \right)$ L_{ASE_AMP} (W), G' (G のリニア値)を使用する。
NF (a) ショット雑音あり	3.86 dB		NF計算式 (a) ショット雑音あり (参考) $NF(dB) = 10 \log \left(\frac{L_{ASE_AMP}}{h\nu B_0 G'} + \frac{1}{G'} \right)$ 現在のIEC/JIS規格はショット雑音を記述していません。

改訂履歴

Rev #	改定内容
0	初版