

# 光ファイバ、dB、減衰と測定の概要

## 内容

[Introduction](#)

[前提条件](#)

[Requirements](#)

[使用するコンポーネント](#)

[表記法](#)

[デシベルとは](#)

[10 を底とする対数のルール](#)

[dB](#)

[1 mW を基準とするデシベル \( dBm \)](#)

[1 W を基準とするデシベル数 \( dBW \)](#)

[パワーおよび電圧の利得](#)

[光ファイバの構造](#)

[ファイバのタイプ](#)

[波長](#)

[光パワー](#)

[挿入損失について](#)

[パワー バジエットの計算](#)

[関連情報](#)

## 概要

この文書は、光テクノロジーに関するいくつかの公式や重要な情報を簡潔にまとめたものです。このドキュメントでは、デシベル ( dB )、デシベル/ミリワット ( dBm )、減衰、および測定に焦点を合わせ、光ファイバの概要について説明します。

## 前提条件

### 要件

このドキュメントに特有の要件はありません。

### 使用するコンポーネント

このドキュメントの内容は、特定のソフトウェアやハードウェアのバージョンに限定されるものではありません。

このドキュメントの情報は、特定のラボ環境にあるデバイスに基づいて作成されました。このドキュメントで使用するすべてのデバイスは、初期 ( デフォルト ) 設定の状態から起動しています

。対象のネットワークが実稼働中である場合には、どのようなコマンドについても、その潜在的な影響について確実に理解しておく必要があります。

## 表記法

ドキュメント表記の詳細は、[『シスコテクニカルティップスの表記法』](#)を参照してください。

## デシベルとは

デシベル ( dB ) は信号強度の相対的な差異を表すための単位です。デシベルは、次に示すように、2 つの信号のパワー比の対数 ( 底 = 10 ) として表されます。

$$\text{dB} = 10 \times \text{Log}_{10} ( P1/P2 )$$

ここで、 $\text{Log}_{10}$  は 10 を底とする対数です。P1 および P2 は比較するパワーです。

注： $\text{Log}_{10}$  は、e を底とするNeparian対数 ( LnまたはLN ) とは異なります。

信号の振幅も dB で表すことができます。パワーは、信号振幅の 2 乗に比例します。したがって、dB は次のように表すことができます。

$$\text{dB} = 20 \times \text{Log}_{10} ( V1/V2 )$$

ここで、V1 および V2 は比較する振幅です。

$$1 \text{ ベル ( 現在は使用されない単位 )} = \text{Log}_{10} ( P1/P2 )$$

$$1 \text{ デシベル ( dB )} = 1 \text{ ベル} / 10 = 10 * \text{Log}_{10} ( P1/P2 )$$

$$\text{dBr} = \text{dB ( relative )} = \text{dB} = 10 * \text{Log}_{10} ( P1/P2 )$$

## 10 を底とする対数のルール

- $\text{Log}_{10} ( A \times B ) = \text{Log}_{10} ( A ) + \text{Log}_{10} ( B )$
- $\text{Log}_{10} ( A/B ) = \text{Log}_{10} ( A ) - \text{Log}_{10} ( B )$
- $\text{Log}_{10} ( 1/A ) = - \text{Log}_{10} ( A )$
- $\text{Log}_{10} ( 0,01 ) = - \text{Log}_{10} ( 100 ) = -2$
- $\text{Log}_{10} ( 0,1 ) = - \text{Log}_{10} ( 10 ) = -1$
- $\text{Log}_{10} ( 1 ) = 0$
- $\text{Log}_{10} ( 2 ) = 0,3$
- $\text{Log}_{10} ( 4 ) = 0,6$
- $\text{Log}_{10} ( 10 ) = 1$
- $\text{Log}_{10} ( 20 ) = 1,3$   $\text{Log}_{10} ( 2 \times 10 ) = \text{Log}_{10} ( 2 ) + \text{Log}_{10} ( 10 ) = 1 + 0,3$
- $\text{Log}_{10} ( 100 ) = 2$
- $\text{Log}_{10} ( 1000 ) = 3$
- $\text{Log}_{10} ( 10000 ) = 4$

## dB

次の表に、パワー比と、その対数から計算される dB ( デシベル ) との関係を示します。

電力比	dB = 10 x Log <sub>10</sub> ( パワー比 )
AxB	x dB = 10 x Log <sub>10</sub> (A) + 10 x Log <sub>10</sub> (B)
A/B	x dB = 10 x Log <sub>10</sub> (A) - 10 x Log <sub>10</sub> (B)
1/A	x dB = + 10 x Log <sub>10</sub> (1/A) = - 10 x Log <sub>10</sub> (A)
0,01	- 20 dB = - 10 x Log <sub>10</sub> (100)
0、 1	- 10 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (1)
1	0 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (1)
2	3 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (2)
4	6 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (4)
10	10 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (10)
20	13 dB = 10 x (Log <sub>10</sub> (10) + Log <sub>10</sub> (2))
100	20 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (100)
1,000	30 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (1000)
10000	40 dB = 10 x Log <sub>10</sub> (10000)

## 1 mW を基準とするデシベル ( dBm )

dBm = dB milliwatt = 10 x Log<sub>10</sub> (Power in mW / 1 mW)

電源	比	dBm = 10 X Log <sub>10</sub> ( mW 単位で表した電力/1 mW )
1 mW	1 mW/1 mW=1	0 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (1)
2 mW	2 mW/1 mW=2	3 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (2)
4 mW	4 mW/1 mW=4	6 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (4)
10 mW	10 mW/1 mW=10	10 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (10)
0,1 W	100 mW/1 mW=100	20 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (100)
1 W	1000 mW/1mW=1000	30 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (1000)
10 W	10000 mW/1 mW=10000	40 dBm = 10 x Log <sub>10</sub> (10000)

## 1 W を基準とするデシベル数 ( dBW )

dBW = dB W = 10 X Log<sub>10</sub> ( W 単位で表した電力/1 W )

電源	比	$\text{dBm} = 10 \times \text{Log}_{10} (\text{mW 単位で表した電力}/1 \text{ mW})$
1 W	$1 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1$	0 dBW = $10 \times \text{Log}_{10} (1)$
2 W	$2 \text{ W} / 1 \text{ W} = 2$	3 dBW = $10 \times \text{Log}_{10} (2)$
4 W	$4 \text{ W} / 1 \text{ W} = 4$	6 dBW = $10 \times \text{Log}_{10} (4)$
10 W	$10 \text{ W} / 1 \text{ W} = 10$	10 dBW = $10 \times \text{Log}_{10} (10)$
100 mW	$0,1 \text{ W} / 1 \text{ W} = 0,1$	-10 dBW = $-10 \times \text{Log}_{10} (10)$
10 mW	$0.01 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1/100$	-20 dBW = $-10 \times \text{Log}_{10} (100)$
1 mW	$0.001 \text{ W} / 1 \text{ W} = 1/1000$	-30 dBW = $-10 \times \text{Log}_{10} (1000)$

## パワーおよび電圧の利得

パワーの利得と電圧の利得の比較表を次に示します。

dB	電力比	電圧比	dB	電力比	電圧比
0	1,00	1,00	10	10,00	3,16
1	1,26	1,12	11	12,59	3,55
2	1,58	1,26	12	15,85	3,98
3	2,00	1,41	13	19,95	4,47
4	2,51	1,58	14	25,12	5,01
5	3,16	1,78	15	31,62	5,62
6	3,98	2,00	16	39,81	6,31
7	5,01	2,24	17	50,12	7,08
8	6,31	2,51	18	63,10	7,94
9 ミリ秒	7,94	2,82	19	79,43	8,91
10	10,00	3,16	20	100,00	10,00

この情報から、減衰および利得を求める公式が定義できます。

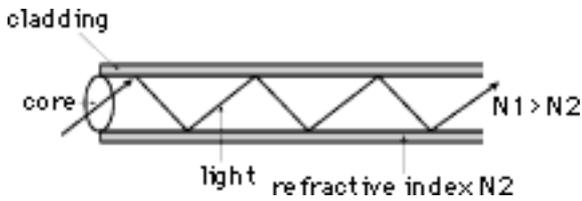
$$\text{減衰 ( dB )} = 10 \times \text{Log}_{10}(\text{P in}/\text{P out}) = 20 \times \text{Log}_{10}(\text{V in}/\text{V out})$$

$$\text{利得 ( dB )} = 10 \times \text{Log}_{10}(\text{P out}/\text{P in}) = 20 \times \text{Log}_{10}(\text{V out}/\text{V in})$$

## 光ファイバの構造

光ファイバは、情報を伝達する媒体の一種です。光ファイバはシリカ系ガラス製で、中心部（コア）はクラッドにより覆われています。ファイバの中心部分（コア）の屈折率は、 $N_1$  で表します。コアのまわりを覆っているクラッドの屈折率はそれよりも低く、 $N_2$  で表します。ファイバに光が入ると、クラッドは光をファイバコアに閉じ込め、光がコアとクラッドの境界面で反射を繰り返しながら、ファイバの中を進んでいきます。

図 1 – 光ファイバの構造



## ファイバのタイプ

現在、最も広く製造販売されているのは、シングルモード (SM) ファイバとマルチモード (MM) ファイバです。図 2 に、これら両方のファイバタイプを示します。

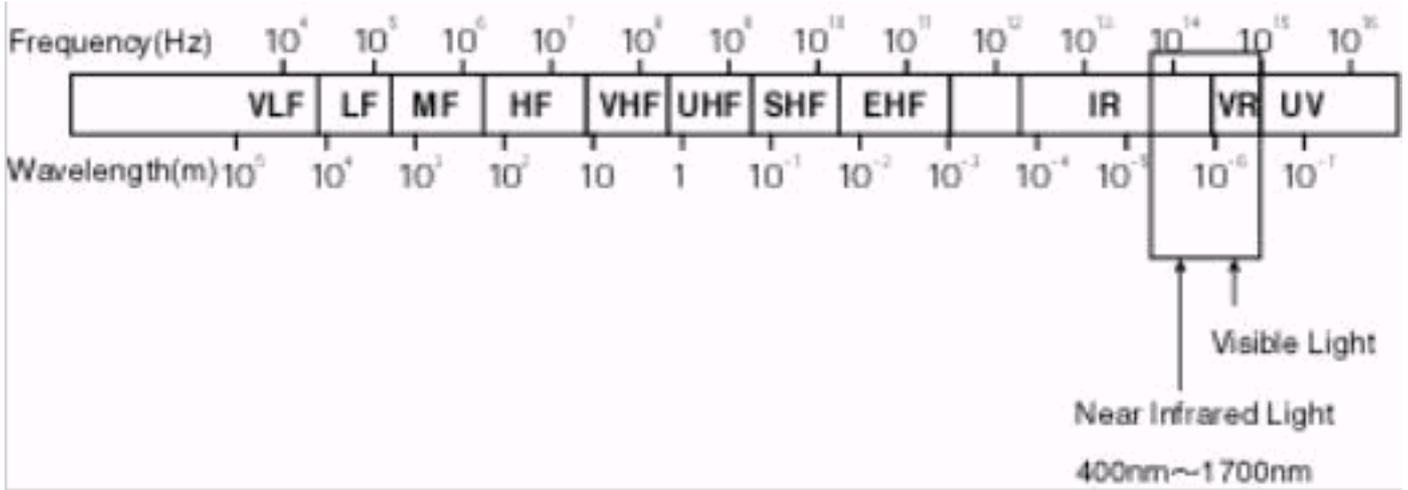
図 2 - SM ファイバと MM ファイバ

fiber type	MM	SM
	<p>Diagram of a multimode fiber showing a core diameter of 62.5 or 50 <math>\mu\text{m}</math> and a cladding diameter of 125 <math>\mu\text{m}</math>.</p>	<p>Diagram of a single-mode fiber showing a core diameter of 9 or 10 <math>\mu\text{m}</math> and a cladding diameter of 125 <math>\mu\text{m}</math>.</p>
fiber size	50/125 $\mu\text{m}$ 62.5/125 $\mu\text{m}$ 100/140 $\mu\text{m}$	9/125 $\mu\text{m}$ 10/125 $\mu\text{m}$
type	Multimode Step-index fiber (SI)  Multimode Graded-index fiber (GI) 	
Application	Short Distance LAN	Long Distance Telecoms, CATV, Broadcast, Data communication

## 波長

少量の光をファイバに入射します。電磁スペクトル (図 3 を参照) が可視波長 (400 nm ~ 700 nm) のものと、近赤外波長 (700 nm ~ 1700 nm) のものとに分かれます。

図 3 - 電磁スペクトル



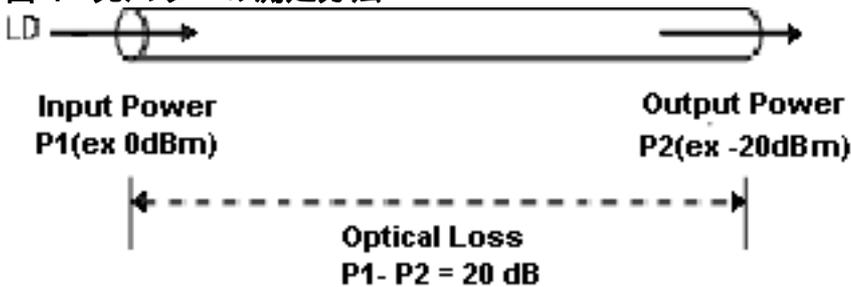
光ファイバによる通信では、伝送損失が少なくなる特別な4種類の波長が使用されます。次の表に、それらの波長を示します。

Windows	波長	損失
第1波長	850 nm	3 dB/km
第2波長	1310 nm	0.4 dB/km
第3波長	1550 nm (Cバンド)	0.2 dB/km
4 <sup>th</sup> wavelength	1625nm (L band)	0.2 dB/km

## 光パワー

光の損失を測定するには、dBm と dB の2つの単位を使用します。dBm は、mW を基準とした実際のパワーレベルを表します。dB (デシベル) は、パワー間の差異を表します。

図4 - 光パワーの測定方法



光入力パワーが P1 ( dBm )、光出力パワーが P2 ( dBm )、パワー損失は P1 - P2 dB です。入力と出力の間でどれくらいの電力が損失したかを確認するには、次のパワー換算表の dB 値を参照してください。

dB	入力パワーに対する出力パワーのパーセンテージ	失われたパワーのパーセンテージ	備考
1	79%	21%	-
2	63 %	37%	-
3	50 %	50 %	入力

			パワーの 1/2
4	40%	60%	-
5	32 %	68%	-
6	25 %	75%	入力 パワーの 1/4
7	20 %	80%	1/5 the power
8	16 %	84 %	入力 パワーの 1/6
9 ミリ 秒	12 %	88 %	入力 パワーの 1/8
10	10%	90%	入力 パワーの 1/10
11	8%	92%	入力 パワーの 1/12
12	6.3%	93.7 %	入力 パワーの 1/16
13	5%	95%	入力 パワーの 1/20
14	4%	96%	入力 パワーの 1/25
15	3.2 %	96.8 %	入力 パワーの 1/30

たとえば、ファイバへの直接入射光 ( LD ) の光入力が 0 dBm で、出力パワーが -15 dBm であった場合、ファイバの光損失は次のように計算されます。

Input	Output	Optical Loss
0dBm	(-15dBm)	=15dB

パワー変換の表では、光損失の 15 dB は損失した光パワーの 96.8 % に相当します。つまり、ファイバを伝送される光は、入力光パワーの 3.2 % に過ぎないことがわかります。

## 挿入損失について

光ファイバを相互接続すると、必ず損失が発生します。コネクタやスプライスによる挿入損失とは、そのデバイスをシステムに挿入したときのパワーの差です。たとえば、ある長さのファイバを用意して光を入射し、そこを通った光パワーを測定します。読み取り値 ( P1 ) を書き留めます。ここで、ファイバを半分に切断して終端し、再度、パワーを測定します。読み取り値 ( P2 ) を書き留めます。最初の測定値 ( P1 ) と 2 番目の測定値 ( P2 ) との差異が、挿入損失になります。つまり、ラインにコネクタを挿入したときの光パワーの損失が、挿入損失です。これは、次のように求めます。

$$IL ( dB ) = 10 \text{ Log}_{10} ( P2 / P1 )$$

You must understand these two important things about insertion loss:

- **The specified insertion loss is for identical fibers.** データ送信側のコアの直径 ( または NA ) がデータを受信するファイバの NA よりも大きい場合は、損失が大きくなります。  $L_{dia} = 10 \text{ Log}_{10} ( \frac{d_{iar}}{d_{iat}} )^2$   $L_{NA} = 10 \text{ Log}_{10} ( \frac{NAr}{NAt} )^2$  定義 :  $L_{dia}$  = 損失直径  $d_{iar}$  = 受信側の直径  $d_{iat}$  = 送信側の直径  $L_{NA}$  = 光ファイバの損失フレネル反射により、さらに損失が発生する可能性があります。フレネル反射は、2 つのファイバが離れていて、屈折率の不連続な部分が存在しているときに発生します。2 つのガラスファイバの間に空気のギャップがある場合、フレネル反射は 0.32 dB です。
- **損失はラウンチによって左右されます。** 挿入損失はラウンチに左右され、結合されている 2 つのファイバの状態によって影響されます。ラウンチが短い場合は、クラッドとコアの両方で伝送される光エネルギーによって、光ファイバがオーバーフィールド状態になります。距離が長くなるにつれて余分なエネルギーが失われていき、最後には equilibrium mode distribution ( EMD; 平衡モード分散 ) という状態になります。ラウンチが長い場合、ファイバは EMD に到達しています。余分なエネルギーはすでに失われており、コネクタの地点までは伝達されません。ファイバの相互接続部を光が通過すると、余分なクラッドモードによってファイバが再びオーバーフィールド状態になります。このモードの光はすぐに減衰します。受信側が短い場合はこの状態になります。短い受信側ファイバの出力パワーを測定すると、余分なエネルギーが測定されます。ただし、余分なエネルギーは、遠くまでは伝達されません。この測定値は正しい値とはいえません。逆に、受信側ファイバが EMD に到達するほど長い場合は、挿入損失の測定値は高くなりますが、実際の状態を反映した値になります。EMD ( ラウンチと受信側がともに長い状態 ) は、簡単にシミュレートできます。それには、マンドレルにファイバを 5 回巻きつけます。これによって、クラッドモードが取り除かれます。

## パワー バジレットの計算

リンクのパワー バジレットを大まかに計算できます。これには、ファイバ間の接続損失を 0.75 dB とし、ファイバの長さに比例してファイバ損失が発生するものとします。

100 m の間にパッチ パネルが 3 つあり、3.5 dB/km の損失特性を持つ 62.5/125 ファイバの場合

の総損失は、次に示すように 2.6 dB になります。

ファイバ : 3.5 dB/km = 100 mの場合0.35 dB

Patch Panel 1 = 0.75 dB

パッチパネル 2 = 0.75 dB

パッチパネル 3 = 0.75 dB

合計 = 2.6 dB

実際の測定値は、これより低くなるのが普通です。たとえば、AMP の SC コネクタの平均挿入損失は 0.3 dB です。この場合のリンク損失は 1.4 dB だけです。10 Mbps のイーサネットであっても、155Mbps の ATM であっても、損失は同じです。

ファイバシステムの認証では、Optical time-domain reflectometry ( OTDR; 光時間領域反射測定 ) 計測器がよく使われます。OTDR 計測器は、ファイバに光を入射し、戻ってきた光を検出して、結果をグラフィックに表示します。OTDR 計測器は、光の戻ってくる時間を測定して、事象への隔たりを割り出します。表示されたグラフを確認することで、単位長さ当たりの損失を調べたり、スプライスやコネクタの接続状態を評価したり、不具合が起きている地点を特定したりできます。OTDR 計測器は特定の地点にズームインして、リンクの一部をクローズアップできます。

リンクの認証や評価は、パワーメータと信号光源があれば実施できる場合が多いものですが、OTDR 計測器を使用すれば、リンク全体の状態の的確な把握と診断が可能になります。ただし、OTDR 計測器での表示を理解するには、多くのトレーニングとある程度のスキルが必要です。

## [関連情報](#)

- [光製品に関するサポート ページ](#)
- [テクニカル サポートとドキュメント – Cisco Systems](#)

## 翻訳について

シスコは世界中のユーザにそれぞれの言語でサポート コンテンツを提供するために、機械と人による翻訳を組み合わせて、本ドキュメントを翻訳しています。ただし、最高度の機械翻訳であっても、専門家による翻訳のような正確性は確保されません。シスコは、これら翻訳の正確性について法的責任を負いません。原典である英語版（リンクからアクセス可能）もあわせて参照することを推奨します。