

レイヤ1 光伝送の不思議。
光ファイバの中では、いろいろなことが
起こっています。

JANOG49

2022年1月28日

NTTエレクトロニクス株式会社

映像コンポーネント事業本部

遠藤敏秋

YOUR VALUE PARTNER

YOUR KEY DEVICE

レイヤ1 光伝送の不思議。
光ファイバの中では、いろんなことが起こっています。



光ネットワークで使用する光ケーブルって何を使う??

光信号ってどうなっているの??

WDMってよく聞くけどいまいちピンとこない??

などなど、光の非線形特性を含めレイヤ1の伝送について
皆さんと情報を共有したいと思います。

①前半 光伝送の基礎

- 光ファイバの話
- dBmとdBの話
- 波長分散の話
- 波長多重伝送の話

②後半 光ファイバ伝送のいろいろな事

- 四光波混合
- 誘導ブリュアン散乱
- NTTダークのフィルタ

はじめに自己紹介

■神奈川県川崎市に在住

川崎といえば・・・

川崎フロンターレ(Jリーグ)、川崎ブレイブサンダース(Bリーグ)の
ホームタウン

2020年度の天皇杯ではフロンターレ、ブレイブサンダースともに優勝。
Jリーグでは直近の5年間で4度優勝

■所属:NTTエレクトロニクス株式会社(横浜)に勤務。

入社から通信系の装置開発を担当

現在は主にメディアコンバータの開発、SEを担当。

入社当時は300ボートの
モデム通信装置

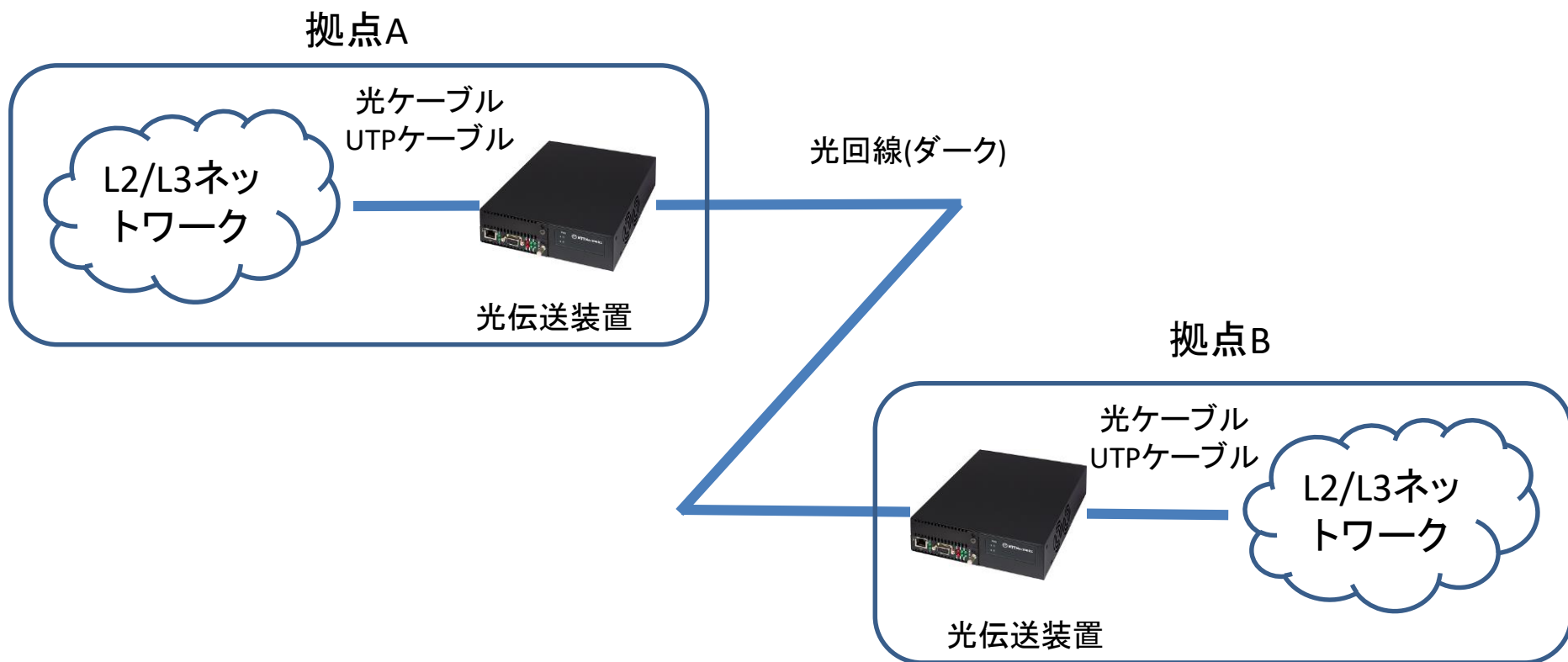
当時は10G/100Gな
んて想像もしていな
い・・・

伝送装置のスペックから

- ✓ 光ケーブルの種類
- ✓ dBm(デー・ビー・エム)とdB(デー・ビー)
- ✓ 波長分散
- ✓ 波長多重伝送

を説明します。

一般的な光ネットワーク構成



光インタフェースを持ったネットワーク機器と光伝送装置を光ケーブルでつなぎ、光回線(ダーク)を通して拠点間を伝送。

一般的な光ネットワーク構成

使用する光ケーブル種別

- 回線側で使用する光ケーブル
- ローカル側(ユーザ側)で使用する光ケーブル

光ケーブルのコネクタ (SC/LCなど)

- 回線側で使用する光ケーブルコネクタ
- ローカル側(ユーザ)側で使用する光ケーブルコネクタ

接続する機器と使用する光ケーブルでコネクタを合わせる

伝送装置のスペックから

✓ 光ケーブルの種類

✓ dBm(デー・ビー・エム)とdB(デー・ビー)

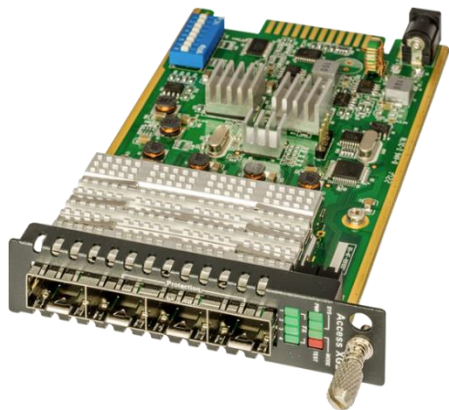
✓ 波長分散

✓ 波長多重伝送

を説明します。

弊社伝送装置のスペック(例)

10GbE対応メディアコンバータ
プラスレピータAccessXG2カード



10GBase-ZR対応SFP+



光仕様

- 光送信パワー : 0dBm~+4dBm ➡ レーザの出力パワー範囲
- 光受信パワー : -7dBm~-23dBm ➡ 受信機の入力パワー範囲
- 許容損失 : 23dB ➡ 保証している送受信レベル差
- 伝送距離 : 70km ➡ SMF伝送時におこる分散耐力値
- CWDM対応 : 1470~1610nmの8波CWDM伝送に対応
➡ 使用する波長帯(光ケーブル種別)

光伝送の基礎: 光ケーブル

代表的な光ケーブル	内容
マルチモードファイバ (MMF)	コストが安く短距離の接続に使用されている。一般的にMMFは 850nmの波長 で使用する。 ローカル側の接続やフロア間の接続用として使用
シングルモードファイバ (SMF)	一般的に 1310nmから1610nmの波長 で広帯域な特性を持っている。1310nm帯でゼロ分散、1500nm帯で減衰が最も小さい。 回線側、ローカル側で使用
分散シフトファイバ (DSF)	1550nm帯をゼロ分散波長 としたシングルモードファイバ。 回線側で使用



シングルモードファイバ



マルチモードファイバ

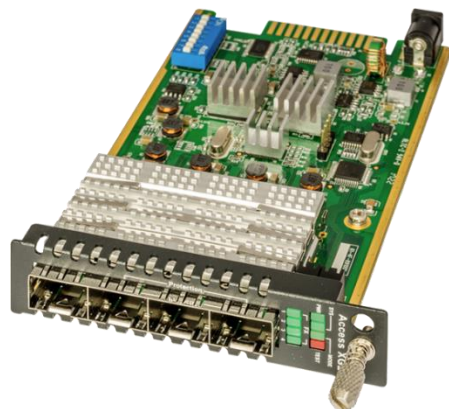
伝送装置のスペックから

- ✓ 光ケーブルの種類
- ✓ dBm(デー・ビー・エム)とdB(デー・ビー)
- ✓ 波長分散
- ✓ 波長多重伝送

を説明します。

弊社伝送装置のスペック(例)

10GbE対応メディアコンバータ
プラスレピータAccessXG2カード



10GBase-ZR対応SFP+



光仕様

光送信パワー	: 0dBm~+4dBm	➡ レーザの出力パワー範囲
光受信パワー	: -7dBm~-23dBm	➡ 受信機の入力パワー範囲
許容損失	: 23dB	➡ 保証している送受信レベル差
伝送距離	: 70km	➡ SMF伝送時におこる分散耐力値
CWDM対応	: 1470~1610nmの8波CWDM伝送に対応	➡ 使用する波長帯(光ケーブル種別)

光のレベルでdBmとdBの表記があるどう違う??

dBm : (読み方 デー・ビー・エム)

光信号の強度を表す単位。1mW = 0dBm

dB : (読み方 デー・ビー または デシベル)

ある値からの相対値(比)を表す単位

dBmとdBでは表す意味が異なる

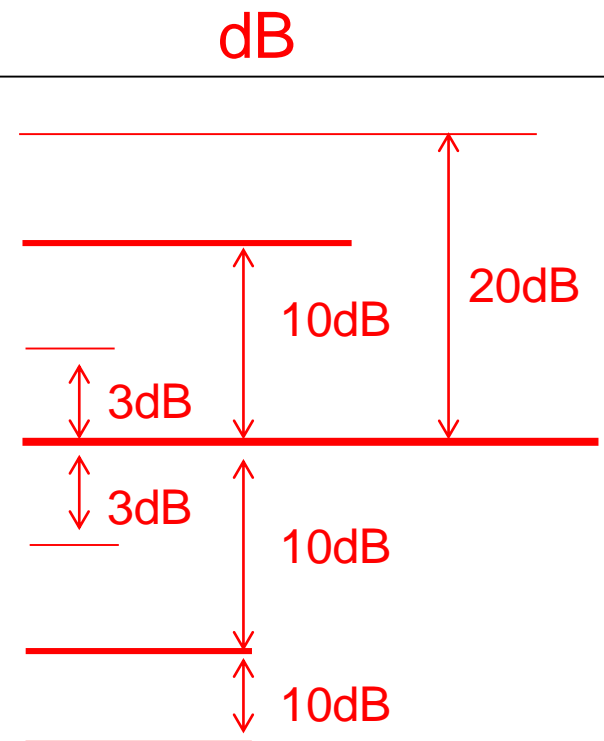
→10dBmと10dBは同じ意味ではない

光伝送の基礎：dBm(デー・ビー・エム)

dBm : (読み方 デー・ビー・エム)

光信号の強度を表す単位。**1mW = 0dBm**

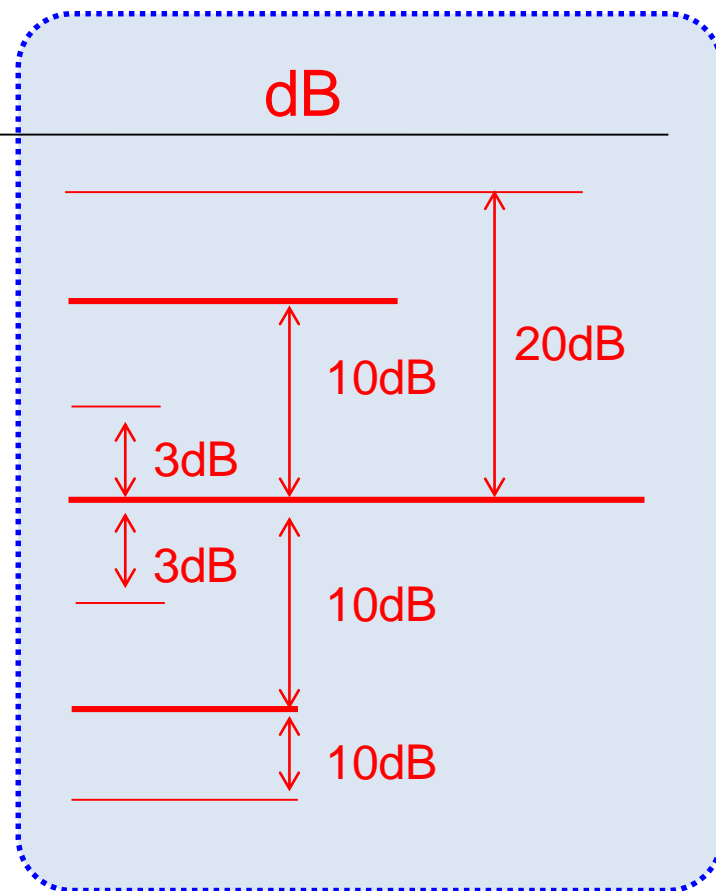
Watt	dBm
100mW	20dBm
10mW	10dBm
2mW	3dBm
1mW	0dBm
0.5mW	-3dBm
0.1mW	-10dBm
0.01mW	-20dBm



光伝送の基礎：dB（デー・ビー）

dB : (読み方 デー・ビー)
ある値からの相対値(比)を表す単位

Watt	dBm
100mW	20dBm
10mW	10dBm
2mW	3dBm
1mW	0dBm
0.5mW	-3dBm
0.1mW	-10dBm
0.01mW	-20dBm



光伝送の基礎: dB (デー・ビー)

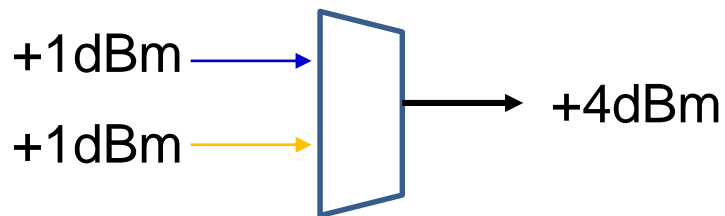
$\text{dB} = 10 \log(P2/P1)$ で計算できる

**ざっくり2倍の信号は3dB増加し、
半分の信号は3dB減る**

光信号の比 (倍)	相対比 (dB)
4	6
2	3
1	0
1/2	-3
1/4	-6

光伝送の基礎：dBmとdB(覚えておくと便利)

※ざっくり2倍の信号は3dB 増加し、半分の信号は3dB減る

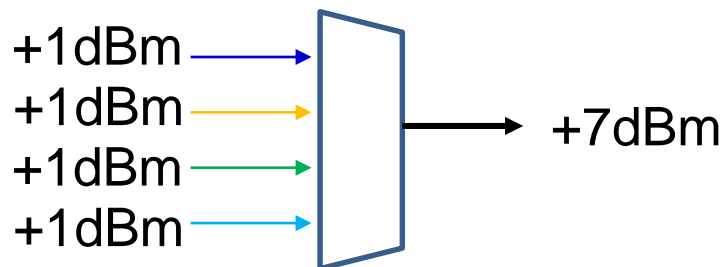


同じ光レベルが2波多重(WDM)すると光出力パワーの合計は2倍になるので...

+1dBm → 3dBアップ → +1dBm + 3dB = +4dBm

光伝送の基礎：dBmとdB(覚えておくと便利)

※ざっくり2倍の信号は3dB 増加し、半分の信号は3dB減る



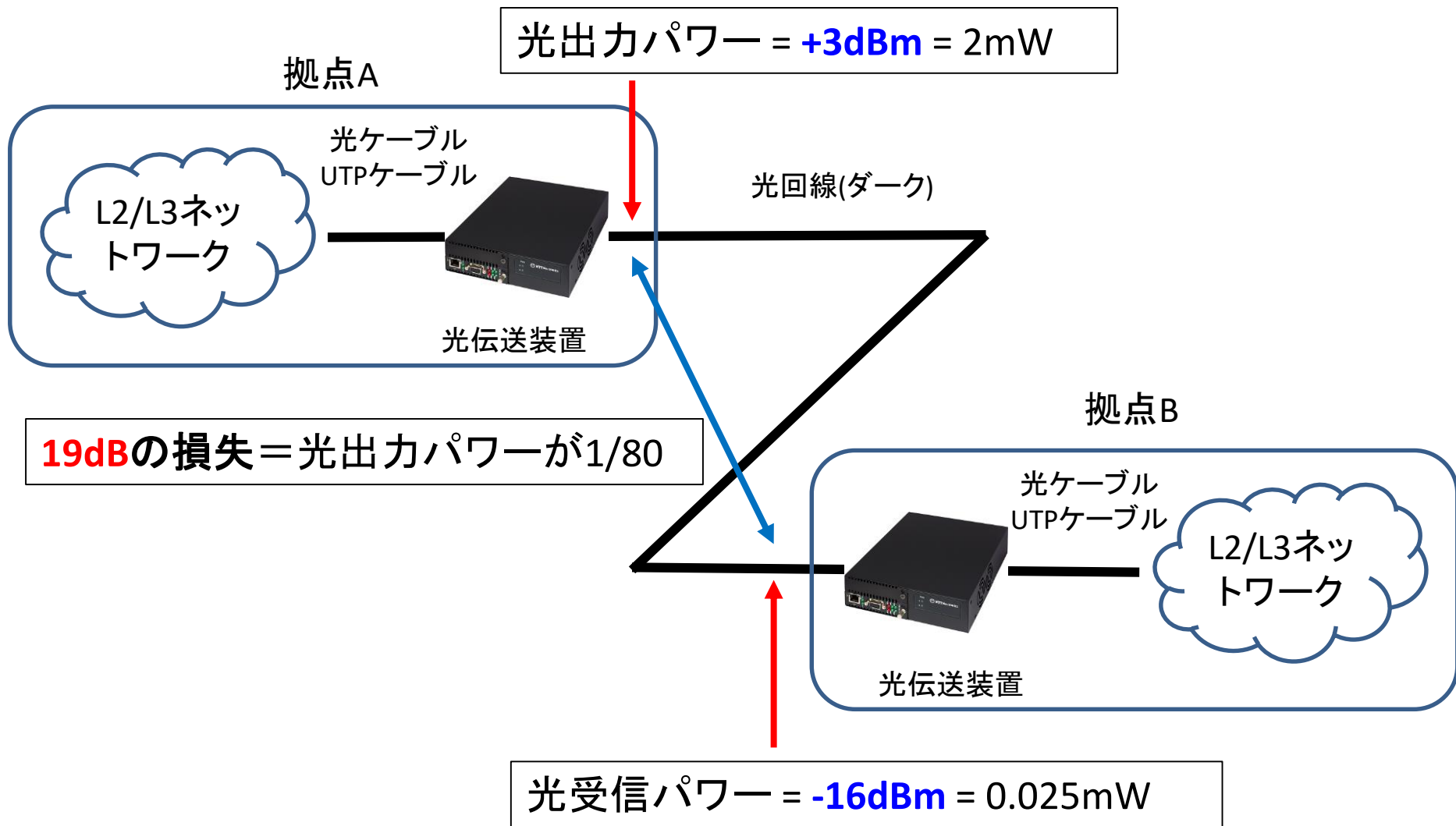
同じ光レベルが4波多重(WDM)すると光出力パワーの合計は

1波 → 2波 (2倍)

2波 → 4波 (2倍) になるので

+1dBm → **3dB +3dBアップ** → +1dBm + 6dB = +7dBm

光伝送の基礎：dBmとdB(まとめ)



伝送装置のスペックから

✓ 光ケーブルの種類

✓ dBm(デー・ビー・エム)とdB(デー・ビー)

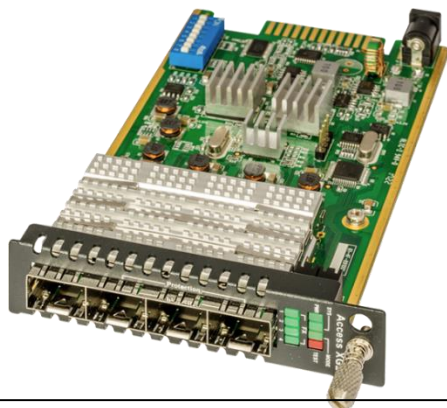
✓ 波長分散

✓ 波長多重伝送

を説明します。

弊社伝送装置のスペック(例)

10GbE対応メディアコンバータ
プラスレピータAccessXG2カード



10GBase-ZR対応SFP+



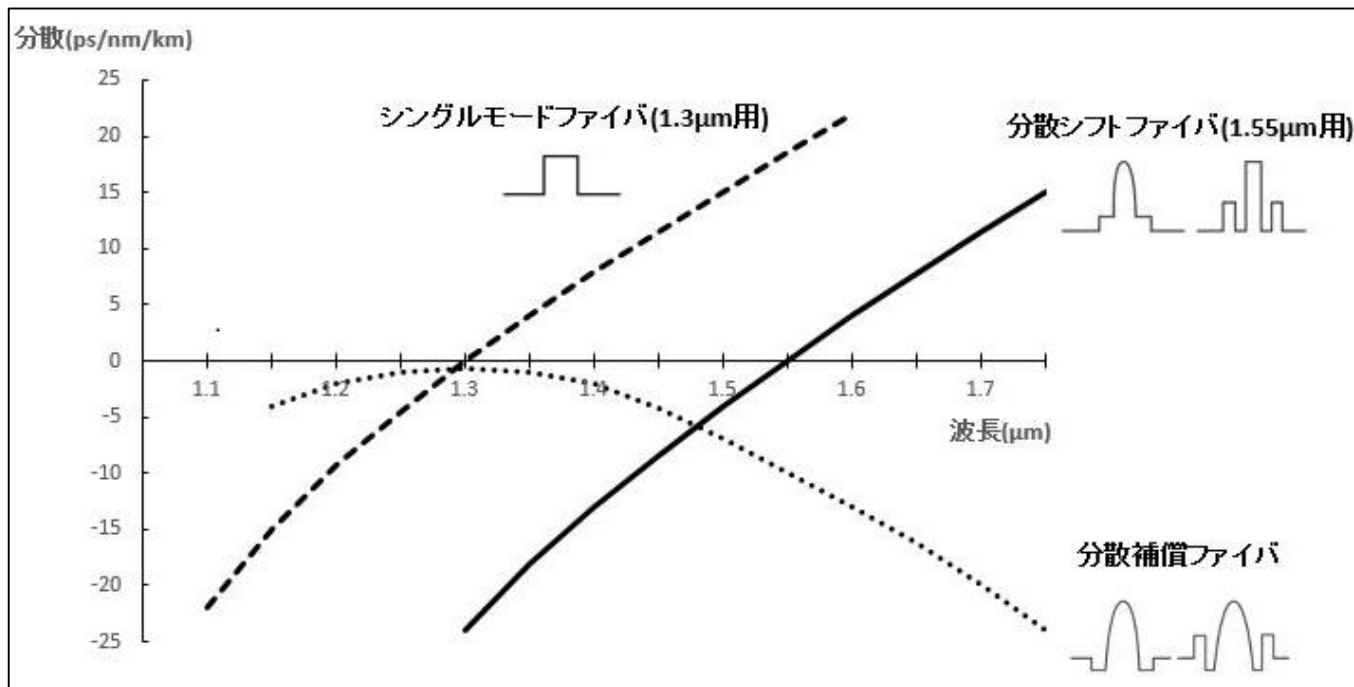
光仕様

光送信パワー	: 0dBm~+4dBm	➡ レーザの出力パワー範囲
光受信パワー	: -7dBm~-23dBm	➡ 受信機の入力パワー範囲
許容損失	: 23dB	➡ 保証している送受信レベル差
伝送距離	: 70km	➡ SMF伝送時におこる分散耐力値
CWDM対応	: 1470~1610nmの8波CWDM伝送に対応	➡ 使用する波長帯(光ケーブル種別)

光伝送の基礎: 波長分散

波長分散

伝送する光信号には若干の光波長の幅がありその中に含まれる違う波長成分により伝搬速度が違うため光パルスの幅が時間的に広がる現象。



波長分散スロープ

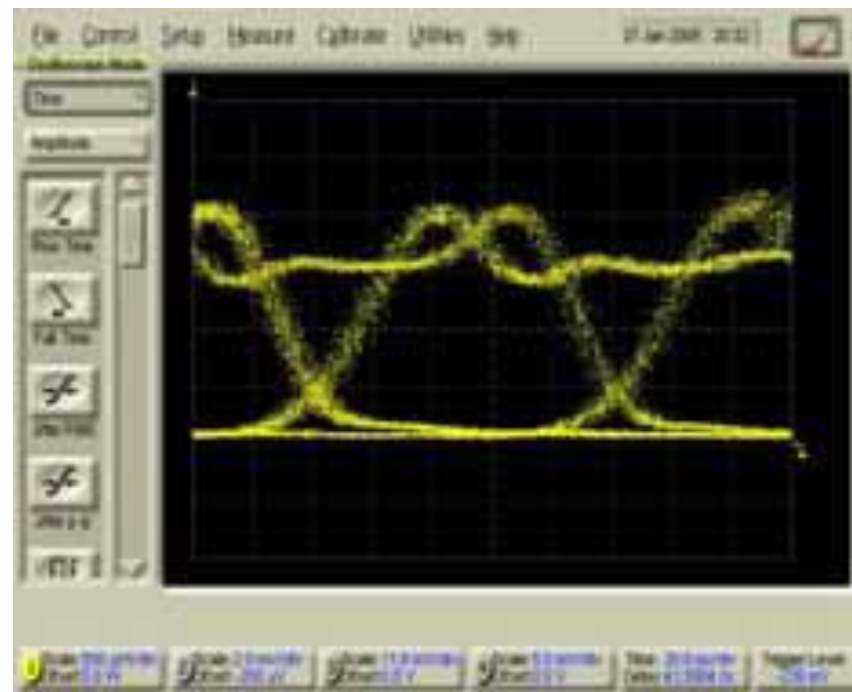
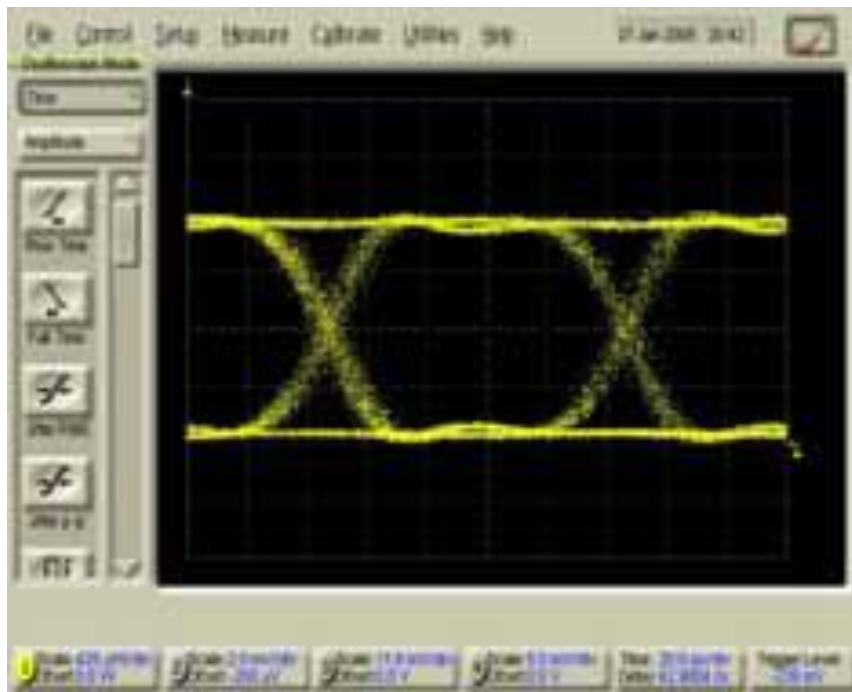
(引用: 波長分散と分散補償ファイバのしくみとは | ファイバーラボ株式会社)

光伝送において、同じ損失値であってもBack to Backで接続した場合と長距離伝送をした場合では最小受光感度が悪くなってしまいます。

長距離の光ファイバを使用して伝送すると光信号の波形に歪みが生じ、伝送に影響が発生します。

1550nmの信号を伝送

分散の影響でクロスポイントが
下がり波形劣化が進む

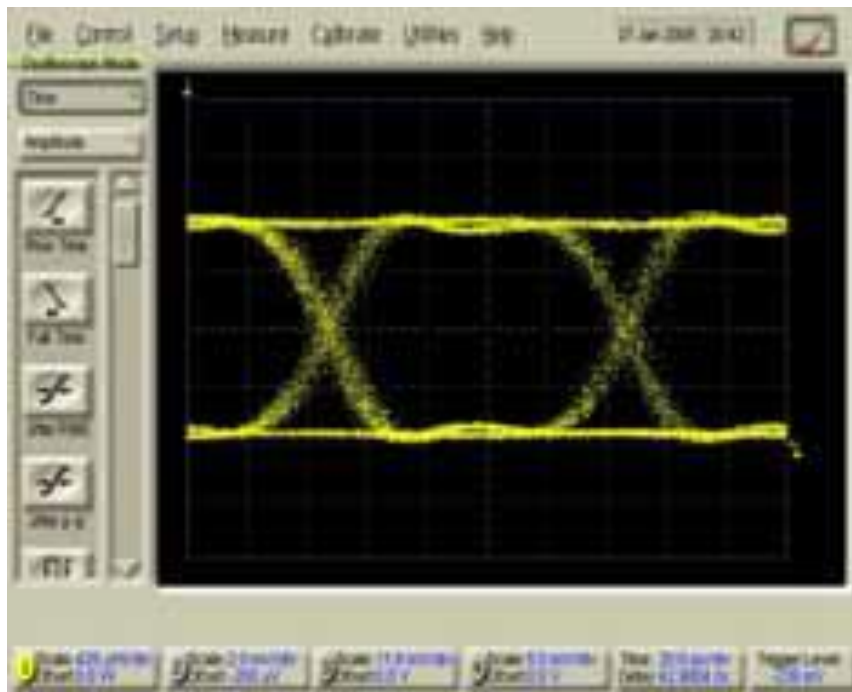


Back to Back



SMF20km伝送時
波長分散量400ps/nm

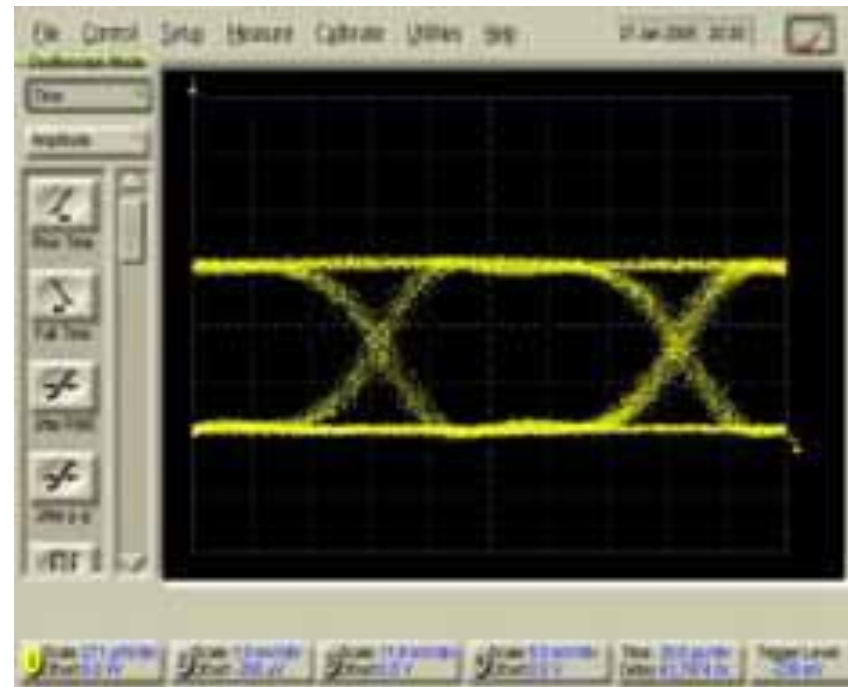
1550nmの信号を伝送



Back to Back

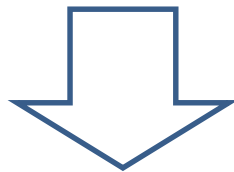


DSFを使用すると長距離伝送をしても分散はほぼ変わらない



DSF25km伝送時
(波長分散量ほぼ0)

波長分散の影響を考えると1550nm帯を使用した光伝送では分散シフトファイバ(DSF)を使った方が光信号の影響は少ない



ただし・・・

- 一般的にDF(ダークファイバ)はSMFが多数
- 分散シフトファイバ(DSF)の使用は注意が必要
(特に波長多重：WDMの伝送では要注意)

光伝送の基礎：波長分散

SMFで長距離を伝送する場合はどうする？

分散耐力(どれくらいの距離を伝送できる)は使用する光トランシーバでおおむね決まる。1kmあたり20ps/nm。

70km伝送：分散耐力1400ps/nm

80km伝送：分散耐力1600ps/nm

例えば70km用光トランシーバであれば70km分の分散耐力があり、それを超える分は分散補償ファイバ(DCF)を使って波長分散を補償して伝送する。

※分散補償ファイバ(DCF:Dispersion Compensating Fiber)
SMFの逆分散の特性を持った光ファイバ

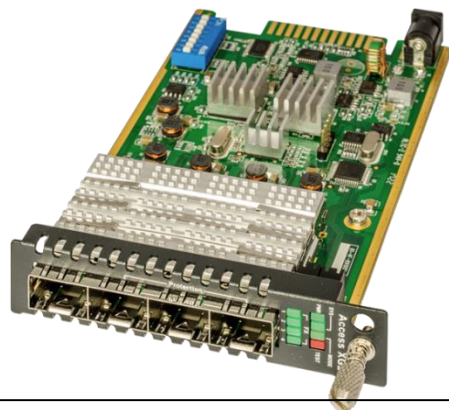
伝送装置のスペックから

- ✓ 光ケーブルの種類
- ✓ dBm(デー・ビー・エム)とdB(デー・ビー)
- ✓ 波長分散
- ✓ 波長多重伝送

を説明します。

弊社伝送装置のスペック(例)

10GbE対応メディアコンバータ
プラスレピータAccessXG2カード



10GBase-ZR対応SFP+

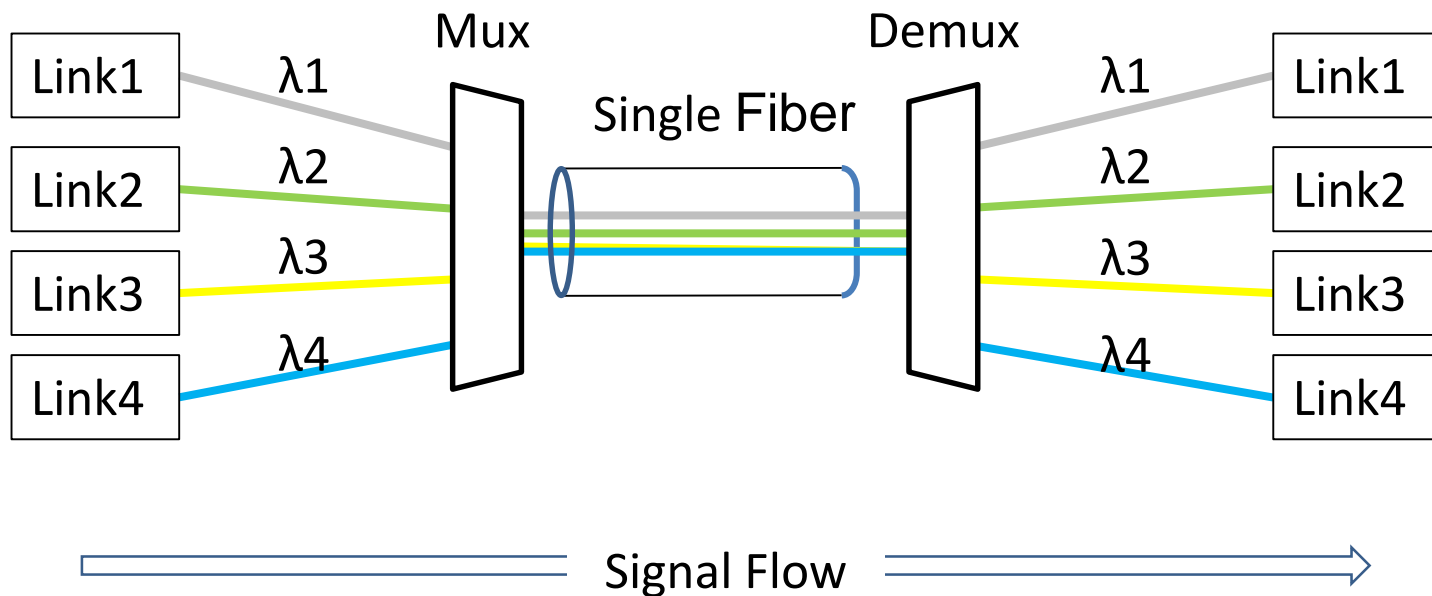


光仕様

光送信パワー	: 0dBm~+4dBm	➡ レーザの出力パワー範囲
光受信パワー	: -7dBm~-23dBm	➡ 受信機の入力パワー範囲
許容損失	: 23dB	➡ 保証している送受信レベル差
伝送距離	: 70km	➡ SMF伝送時におこる分散耐力値
CWDM対応	: 1470~1610nmの8波	CWDM伝送に対応

光伝送の基礎: 波長多重(WDM)

異なる波長を1本の光ファイバに多重すること
波長多重: (Wavelength Division Multiplexing、WDM)



1本の光ケーブルの中に複数の異なる波長を多重して伝送
※同じ波長は同じ光ケーブルに多重出来ない

波長多重(WDM):WDMの種類

WDMの種類

- ・WDMにはCWDMとDWDMがある

CWDM(Coarse Wavelength Division Multiplexing)

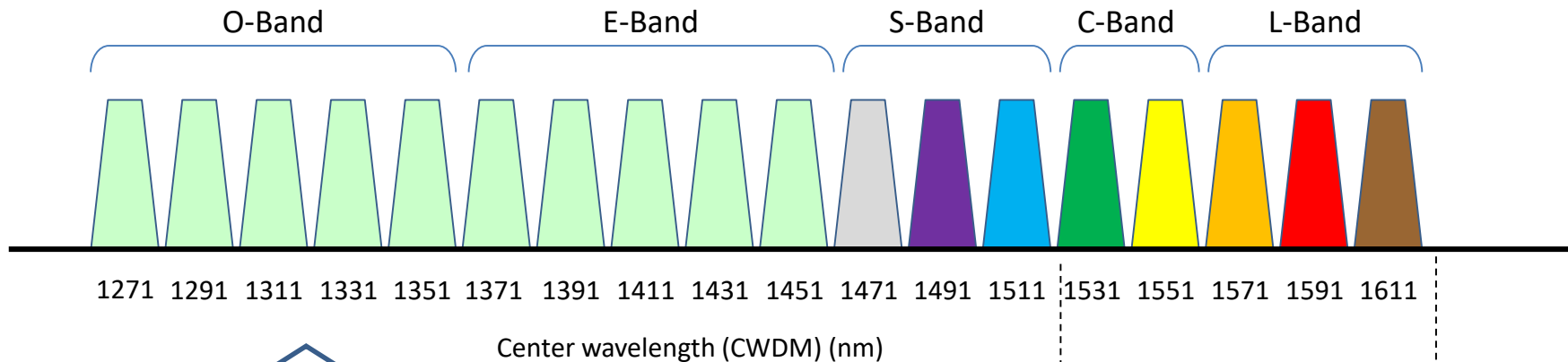
- そんなに高密度ではない
隣り合った波長間隔は20nm

DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)

- 高密度
隣り合った波長間隔は0.8nm(100GHz間隔の場合)

波長多重(WDM):光スペクトルイメージ

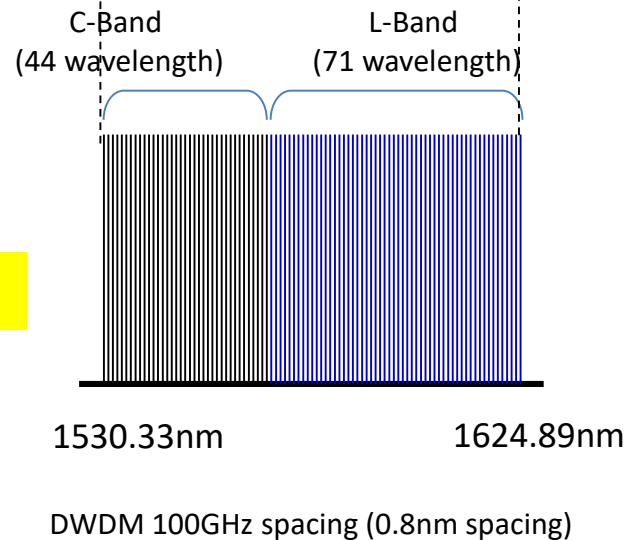
CWDM



それぞれの波長間隔20nm
そんなに高密度じゃない

それぞれの波長間隔は
0.8nm。高密度

DWDM



波長多重(WDM) : CWDM vs DWDM

	CWDM	DWDM
収容可能な波長数	少なめ (4波とか8波とか)	多め (16波とか40波とか)
波長間隔	20nm	0.8nm (100GHz間隔の場合)
波長のコントロール	多少ずれても許容	波長がずれないように コントロールされている
価格	低め	高め

・高収容したい場合はDWDM、コスト重視ならCWDMを使用

※光増幅器(EDFA)を併用する場合は波長に注意。
(対応波長帯はC-Band:1530~1565nm帯)

光ファイバの中では
いろんなことが起こっている。

WDM伝送時に注意！

✓ 四光波混合 (Four Wave Mixing)

光増幅器で光出力のあげすぎに注意！！

✓ 誘導ブリュアン散乱

フィルタありしか、ないんですけど！！！！

✓ NTTダークのフィルタの影響

光ファイバの中では
いろんなことが起きている。

WDM伝送時に注意！

✓ 四光波混合 (Four Wave Mixing)

光増幅器で光出力のあげすぎに注意！！

✓ 誘導ブリュアン散乱

フィルタありしか、ないんですけど！！！！

✓ NTTダークのフィルタの影響

FWM (Four Wave Mixing: 四光波混合)

光ファイバの非線形効果により発生する四光波混合光がクロストークになって伝送特性を劣化させる可能性がある。

分散シフトファイバ(DSF)を使用した場合、C-Band帯のDWDM伝送でFWMの影響を受ける。

四光波混合(FWM)

分散シフトファイバ(DSF)は1550nm帯で**ゼロ分散**

→ 1550nm帯を使用したWDM構成の場合、DSFを使用すると四光波混合(FWM)の影響がでる



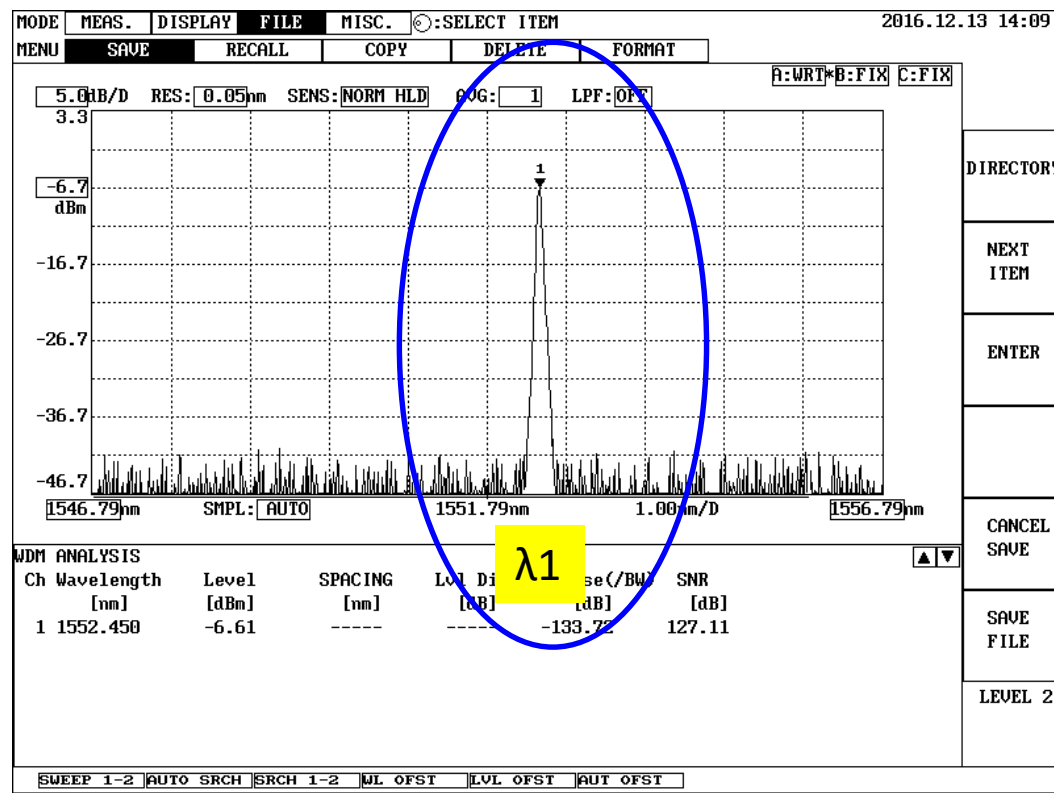
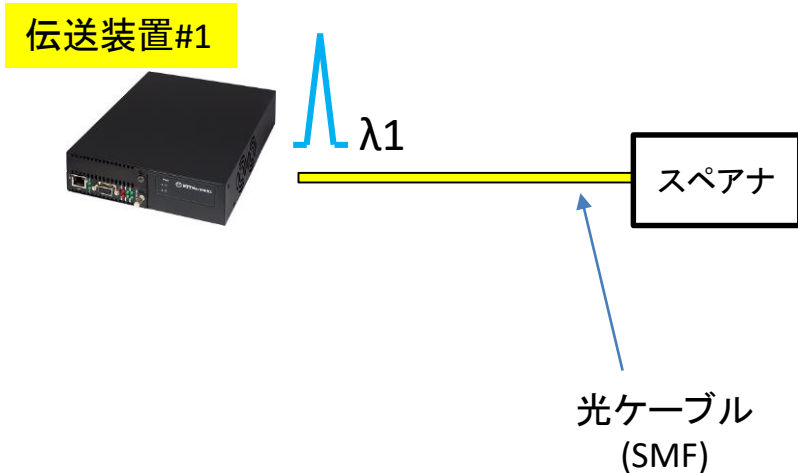
四光波混合の影響とは??

WDMを構成する波長帯で特性が変わる??

四光波混合(FWM)

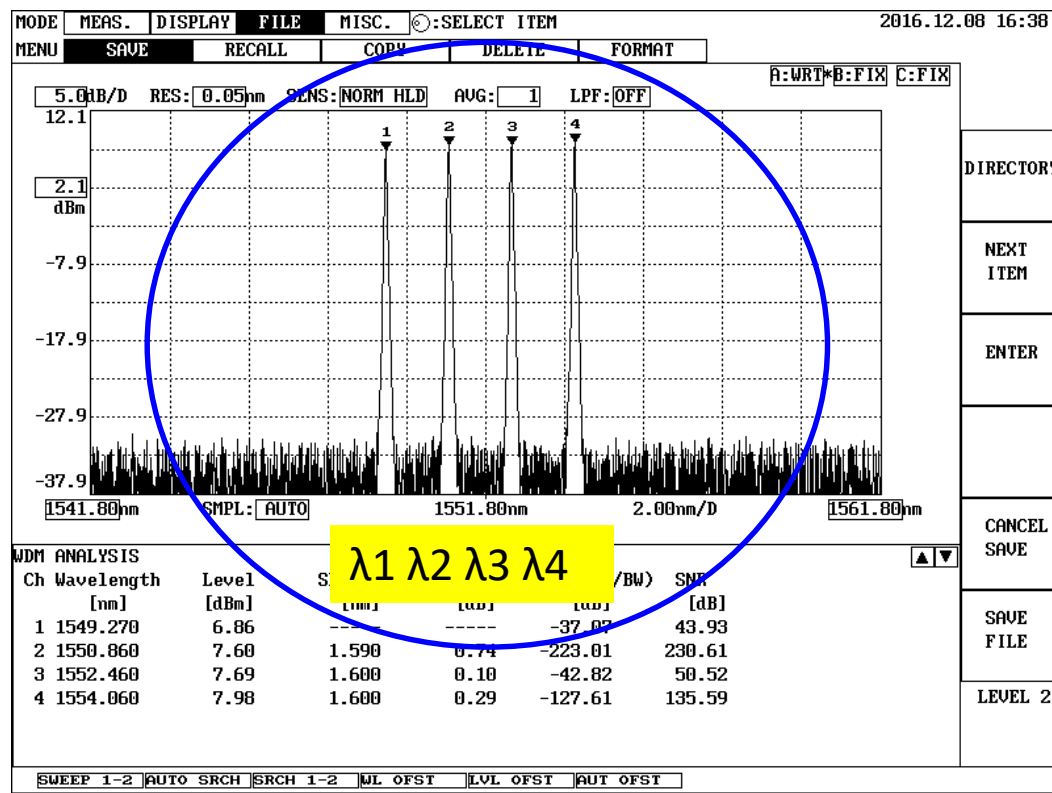
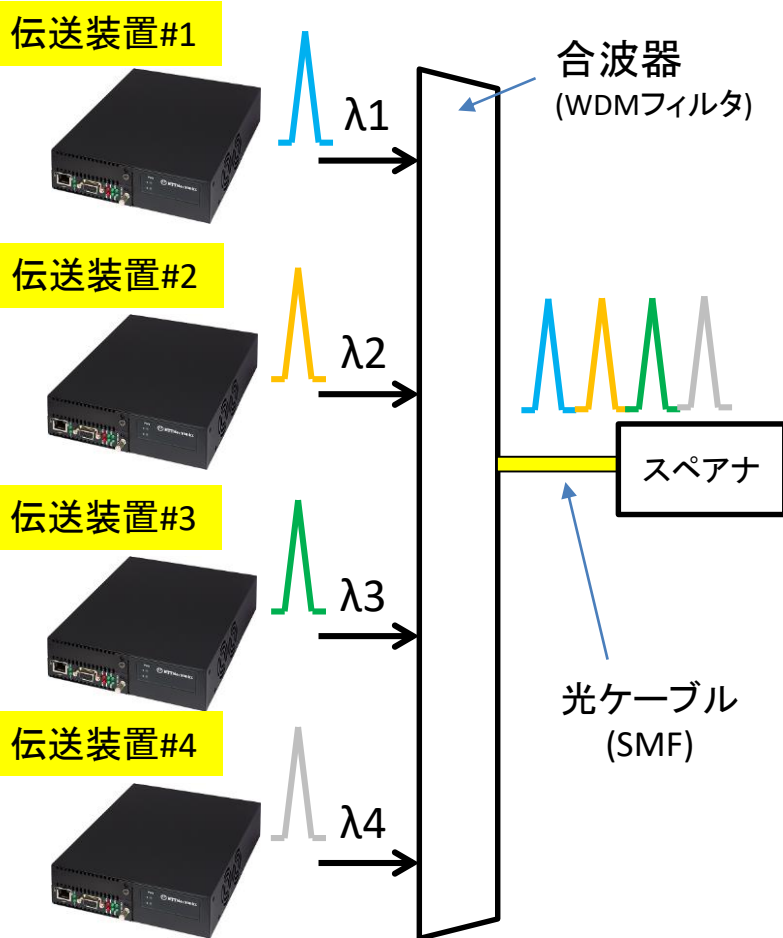
※弊社機器を使用した測定結果です

伝送信号が1波の場合



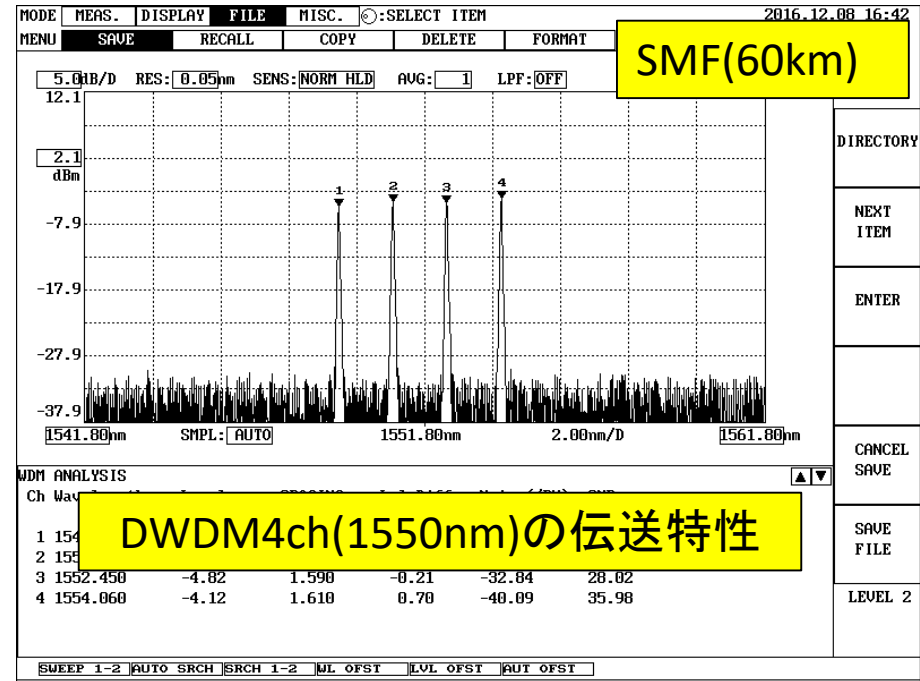
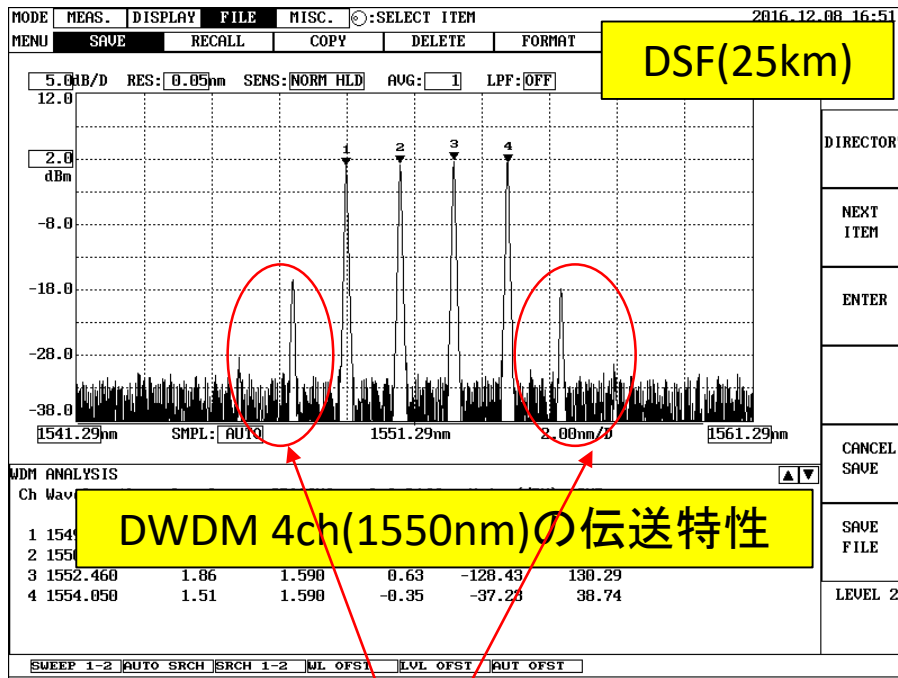
光ケーブルの中
光スペクトルは1つのみ

伝送信号が4波の場合(WDM)



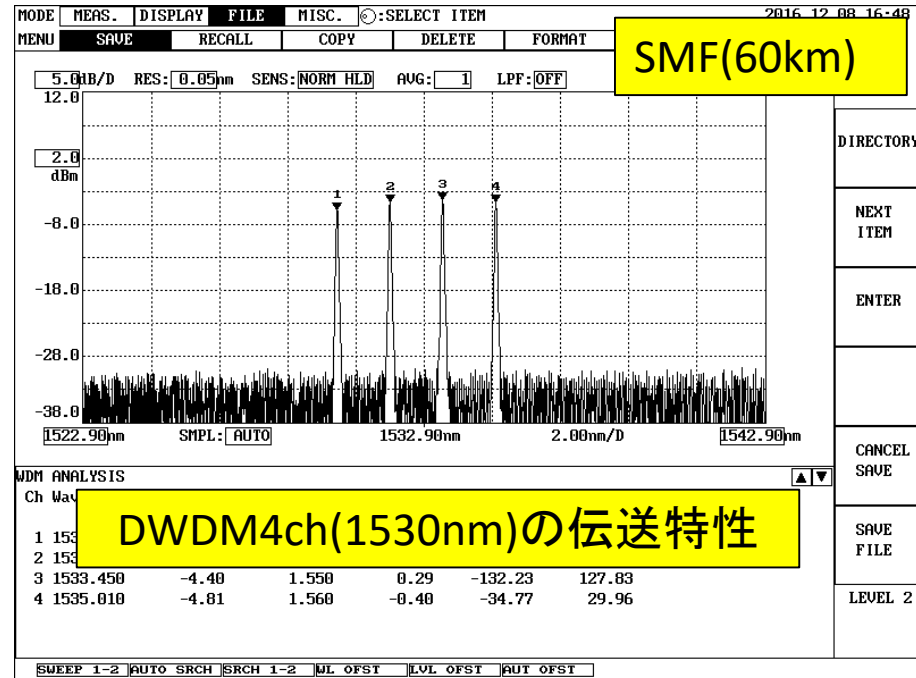
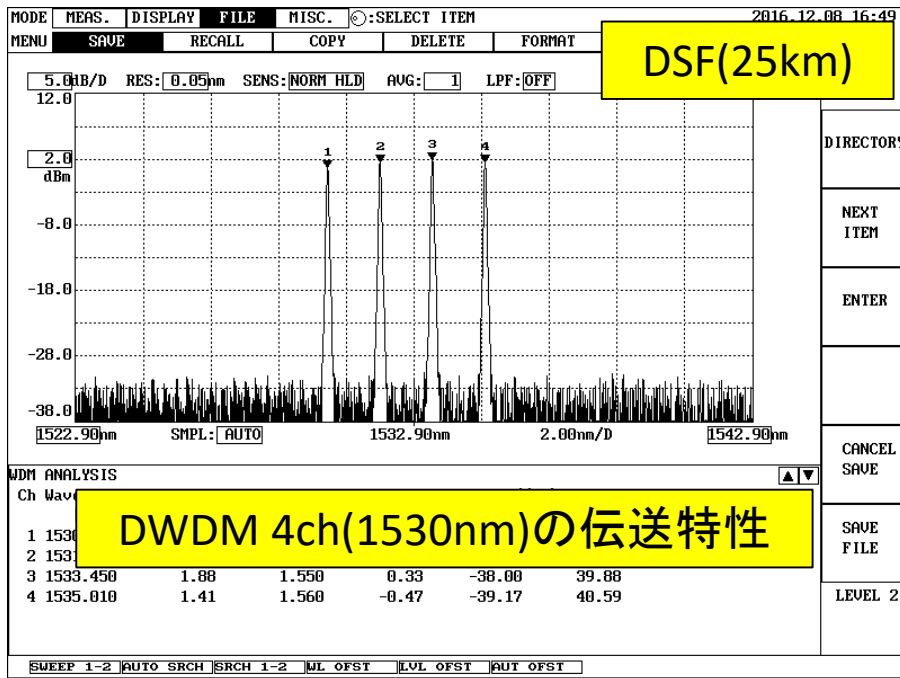
光ケーブルの中
光スペクトルは4つ見える

1550nm帯を使用したDWDM伝送特性



1550nm帯の場合はDSFでFWMの影響により、
主信号にも影響⇒エラーが頻出

1530nm帯を使用したDWDM伝送特性



1530nm帯の場合はDSFでもFWMの影響はない

四光波混合(FWM)の影響を避けるためには・・・

■ DWDM伝送する場合はSMFを使用する

■ 分散シフトファイバ(DSF)が中継区間にある場合は
1530nmを使用する

光ファイバの中では いろんなことが起きている。

WDM伝送時に注意！

✓ 四光波混合 (Four Wave Mixing)

光増幅器で光出力のあげすぎに注意！！

✓ 誘導ブリュアン散乱

フィルタありしか、ないんですけど！！！！

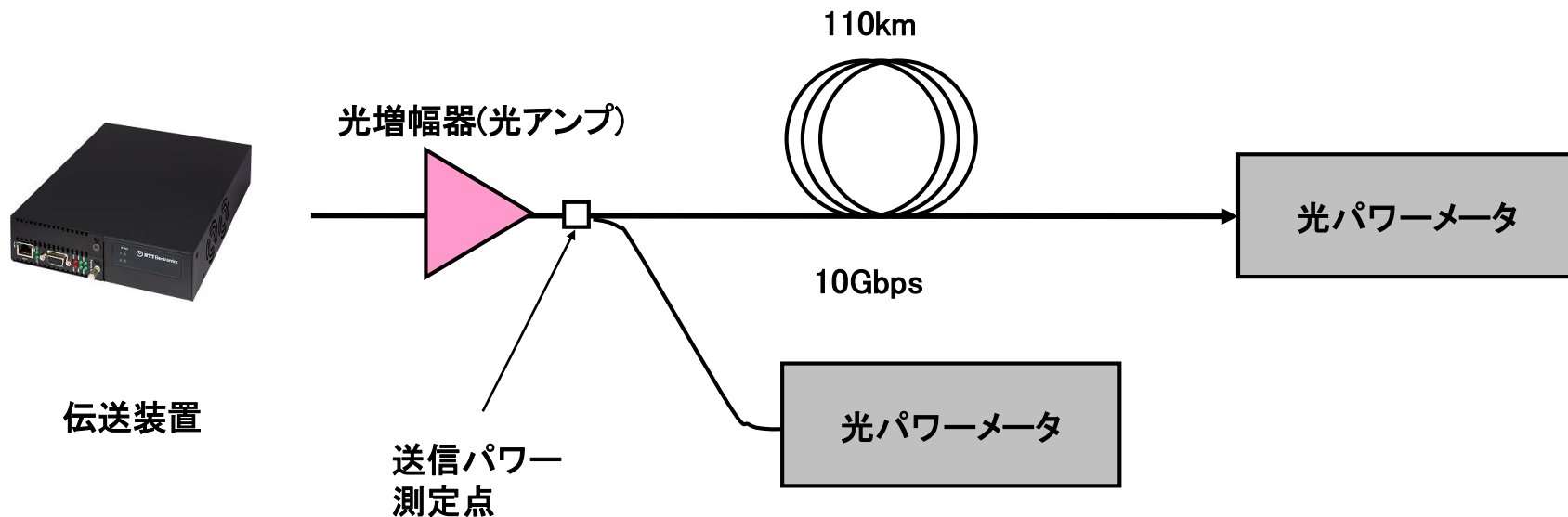
✓ NTTダークのフィルタの影響

誘導ブリュアン散乱

(Stimulated Brillouin Scattering: SBS)

誘導ブリュアン散乱とは、光増幅器を用いて光を増幅し光ファイバに入射しても、SBSが発生し光出力を得られない現象

弊社装置を使用した誘導ブリュアン散乱の測定



光アンプの出力レベルを+6dBm~+16dBmまで変化させ110km伝送後の光出力パワーを比較。
光ケーブルはシングルモードファイバを使用
(損失値:0.21dB、光分散値:19ps/nm/km)

- 誘導ブリュアン散乱の測定データ
- ご興味ある方は、ご連絡ください。

NTTエレクトロニクス株式会社

映像コンポーネント事業本部 商品開発部

遠藤 敏秋

TEL:050-9000-2904

<mailto:endo-toshiaki@ntt-el.com>

この測定結果からは、

光増幅器で、光出力パワーを上げれば、伝送損失をカバーできるわけではなく、SBSを考慮した設計が必要。

レーザの特性により、SBSが発生する光パワーは、異なってきます。

光ファイバの中では いろんなことが起きている。

WDM伝送時に注意！

✓ 四光波混合 (Four Wave Mixing)

光増幅器で光出力のあげすぎに注意！！

✓ 誘導ブリュアン散乱

フィルタありしか、ないんですけど！！！！

✓ NTTダークのフィルタの影響

NTT光ケーブルのフィルタ

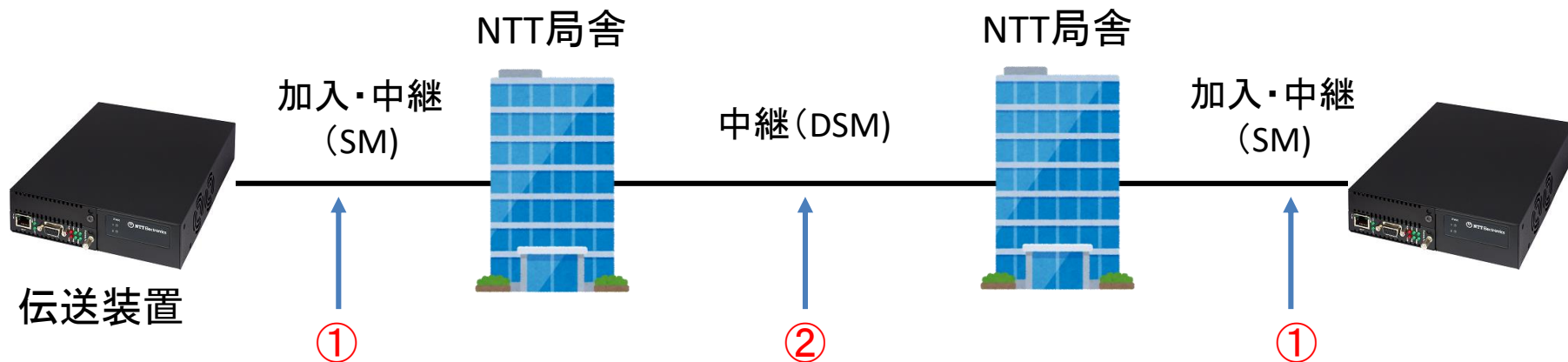
NTT光ケーブルフィルタの検証

NTT光ケーブルにおいて、

- ①加入・中継 (SM) …… 「1.55um以上を遮断するフィルタ」
- ②中継 (DSM) …… 「1.65um以上を遮断するフィルタ」

の2種類のフィルタがあります。フィルタなしの空きがない！！

フィルタがあっても、**通過する波長**を使用して伝送すれば通信が可能です。



NTT光ケーブルのフィルタ

- 「1.55um以上を遮断するフィルタ」の特性
- ご興味ある方は、ご連絡ください。


NTTエレクトロニクス株式会社

映像コンポーネント事業本部 商品開発部

遠藤 敏秋

TEL:050-9000-2904

<mailto:endo-toshiaki@ntt-el.com>



ありがとうございました。
光伝送に困っていたら、ご連絡ください。
知恵を出し合い、一緒に乗り越えましょう。

END