

～新幹線より早く西九州を横断～ 超高速・大容量光伝送を200k伝送してみた

2023/07/06 JANOG52長崎



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



株式会社長崎ケーブルメディア
技術部ネットワークグループ
吉田 大介

吉田 大介(よしだ だいすけ)

所属:長崎ケーブルメディア 技術部ネットワークグループ

ふだんやってること

技術部門の中間管理職

ネットワークに関することの上から下まで全部。
(下はお客様宅ルーターから上はBGPルーターまで)

JANOG歴

JANOG41 広島 初参加

JANOG44 神戸 2回目

登壇は今回がはじめてです



※最近はなぜか漁船に乗って、軍艦っぽい無人島行ったり海にブイ浮かべたりして、遊んで仕事してます。

会社名：株式会社長崎ケーブルメディア

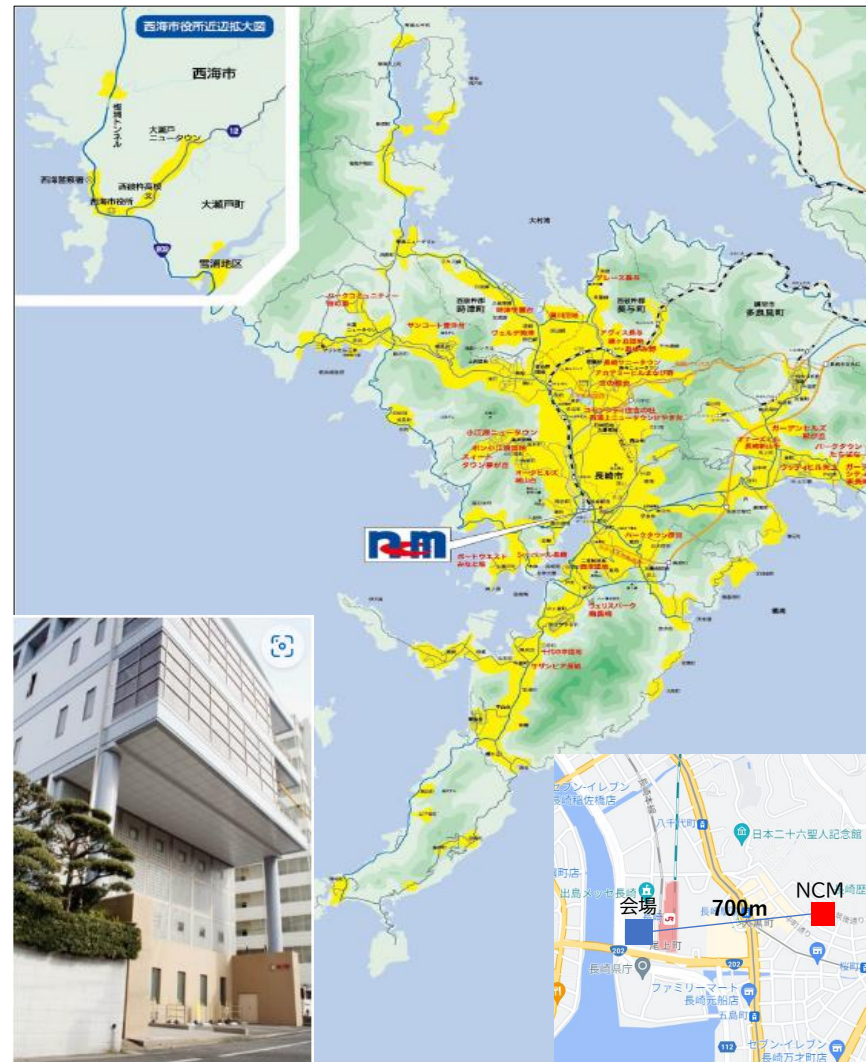
自営の光ファイバーで、CATV・ISP・広域NWサービスを、
回線からネットワークまでワンストップで提供している
CATV系地域ISPです。

所在地：長崎県長崎市

サービスエリア:長崎市、長与町、時津町、西海市の一部

サービス内容:TV,NET,TEL,mobile,business

AS番号は10000



本社はJANOG会場から700mくらいです。

自己紹介

自己紹介：遠藤 敏秋

■ 神奈川県川崎市に在住

川崎にかかわるおはなし・・・

- ・ 日本一の長寿の町(2023年5月現在)

→ 川崎市麻生区、男女とも

- ・ 藤子・F・不二雄ミュージアム

→ ドラえもんに関する展示しています。

- ・ 東京湾アクアライン(川崎??)

→ 神奈川(川崎)～千葉(木更津)を結ぶ海底、海上道路

海ほたる：360°を海に囲まれた人工島のパーキングエリア



引用：海ほたる(<https://www.umihotaru.com>)

自己紹介

■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

現在はメディアコンバータ、映像コーデックを
中心にソリューション担当



横浜オフィスビル

長崎は100年の一度の変革期を迎えています。

100年に1度の変革期と称される長崎市ではいま、長崎駅周辺および市街地中心部で大規模な変化が

新長崎駅



長崎スタジアムシティ



新駅ビル

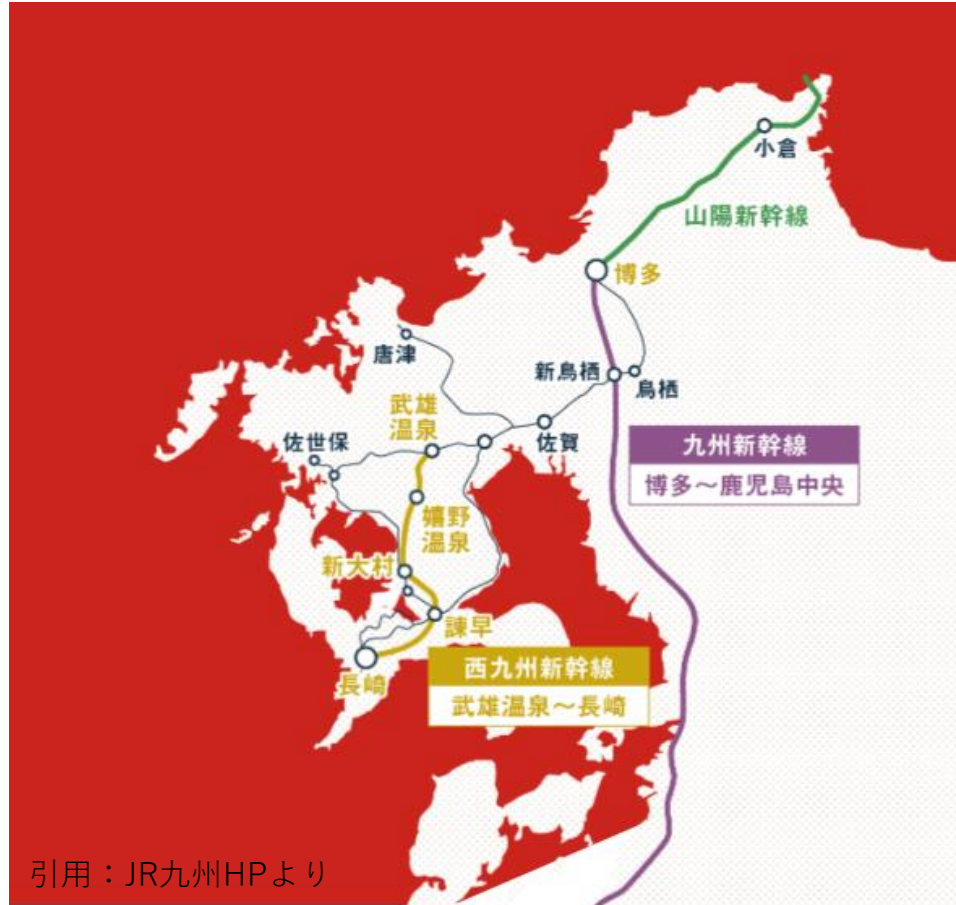


出島メッセ長崎



そんななかついに長崎に新幹線が！！

2022年9月23日 西九州新幹線の長崎ー武雄間が部分開業！！
しかし残念ながら、武雄ー鳥栖区間はまだ繋がっていません

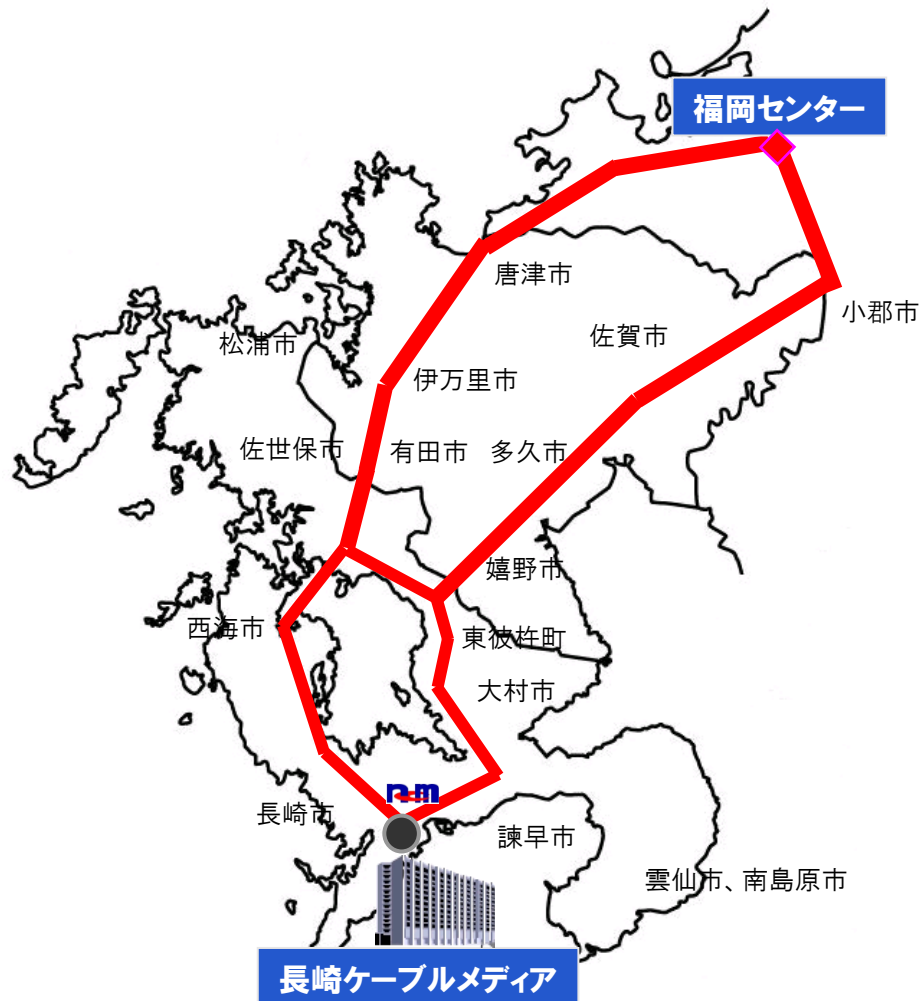


引用：JR九州HPより



しかし15年前にすでに繋がっていたものがあります。

NCM西九州広域光ファイバー網



遡ること15年前
自社敷設及び一部近隣CATV局、他社DF
の光ケーブルを利用

長崎ー佐賀ー福岡間の広域光ファイバー網を構築
現在も維持管理しています。

※サービス貸りや波長借りではなく、電柱上の光ファイバ線持ってます。

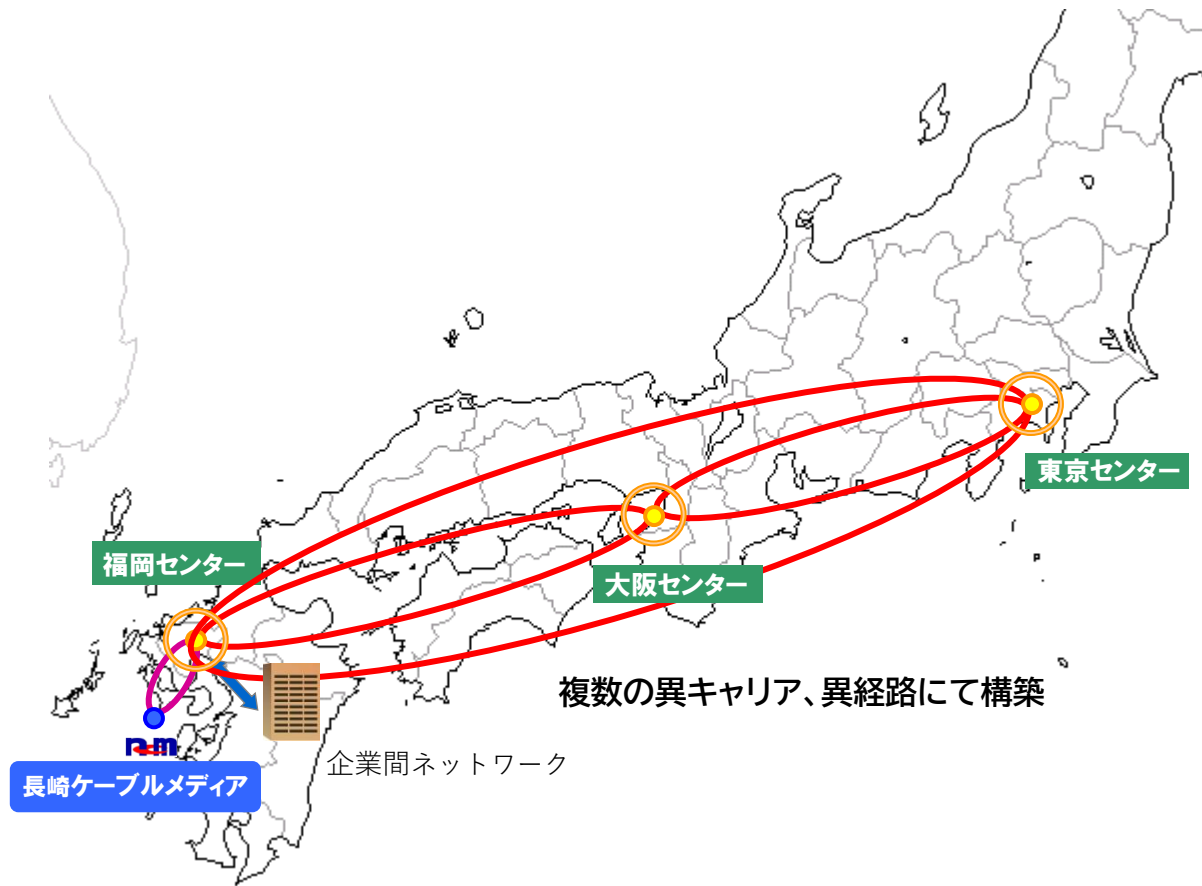
これらの光ファイバーは

- ・映像用伝送ネットワーク
- ・通信用ネットワーク
- ・CATV局同士の接続

などに利活用しています。

その総距離400km超の光ファイバ網

キャリア線を活用して、東京・大阪拠点を構築



福岡から大阪、東京まではキャリア線を活用し、西九州広域光ファイバー網と組み合わせて、様々なことをやっています。

- IX,トランジット接続
- 映像伝送業務
- 閉域クラウド接続
- 企業・行政・大学ネットワーク

今回はそんな西九州広域網のお話です。

西九州広域光ファイバー網のうち
通信ネットワーク用途に利用している分は、
15年前より広域MPLS網を構築して運用
この15年で段階的に帯域を増強

1G化→1G複数多重



10G化→10G複数多重



そろそろ100G多重化にしたい！



第1ルート

- ・総距離:180km
- ・中継局:2か所
- ・ファイバ:ほぼ自社光ファイバー+電力系ダークファイバー

特徴

- ・自社光ファイバー+電力系ダークファイバーのためかなり品質は良い
- ・局間も概ね70km以内
- ・98%自社光ファイバーなので芯線にかなり余裕あり

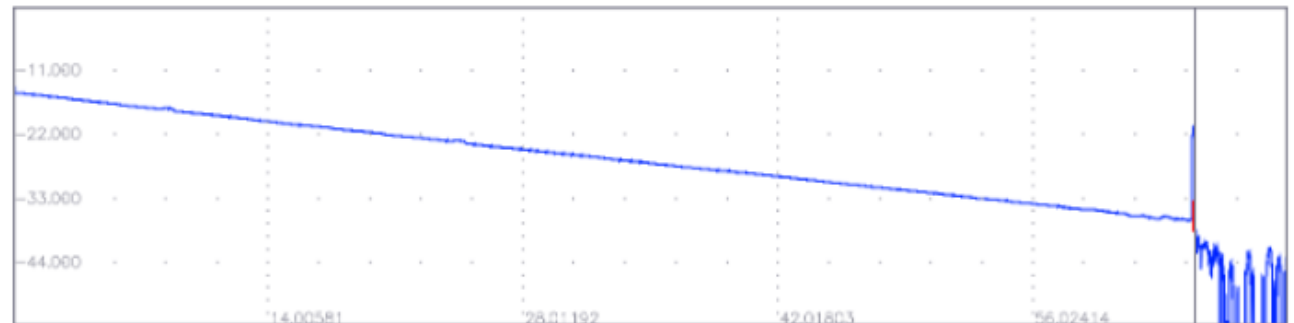
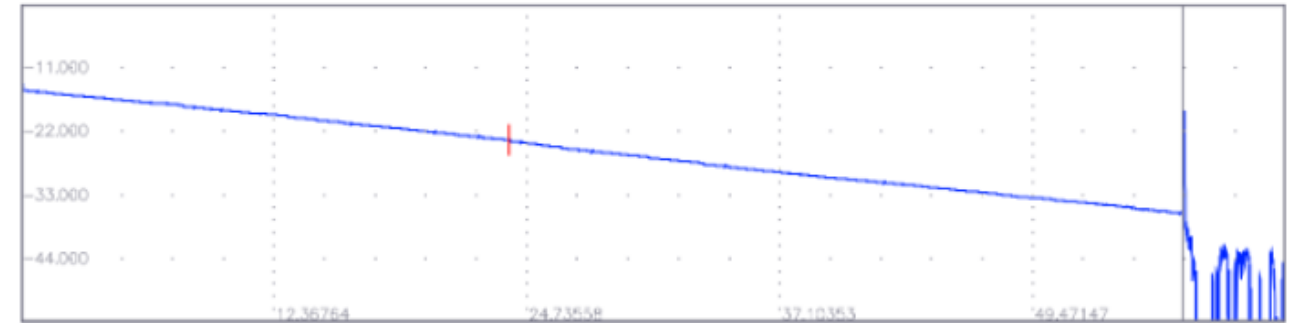
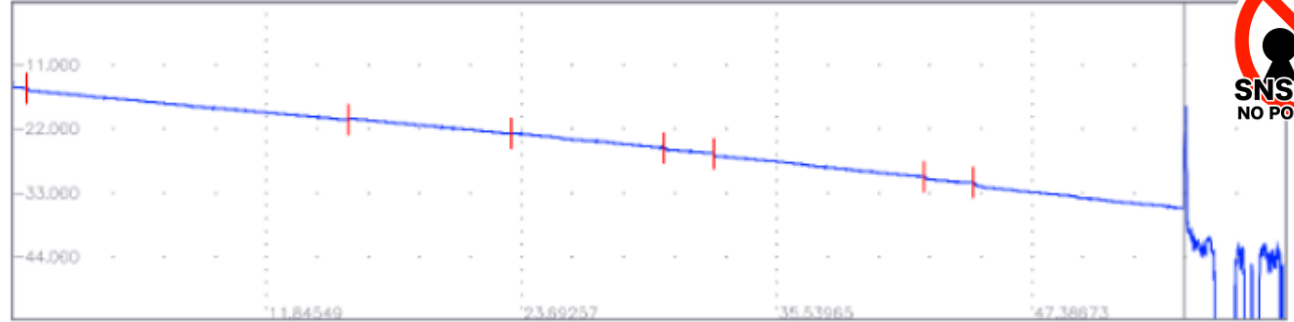


第1ルート of 線路品質調査 OTDR当ててみた (波形の一部を紹介)

100GBase-ZR4 仕様波長 1310nmで測定

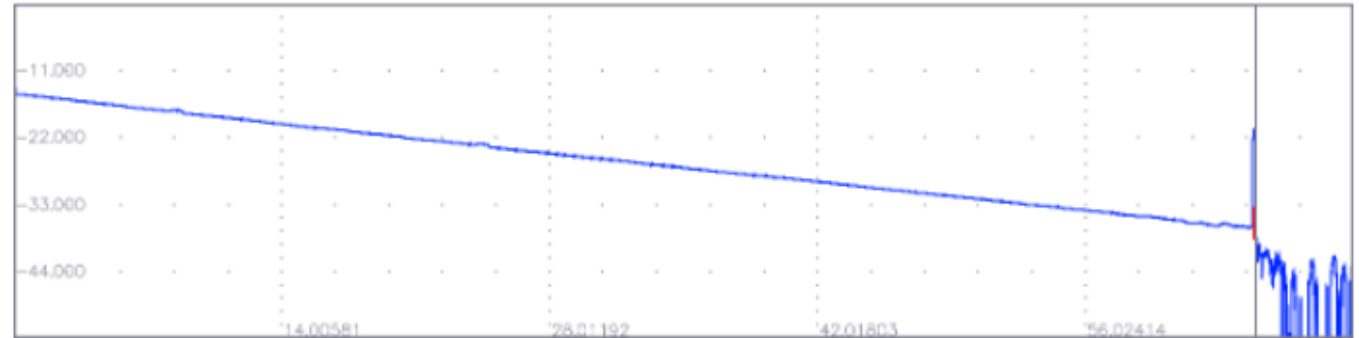
長崎ー第1中継点
自社光ファイバー

当日スライドのみ

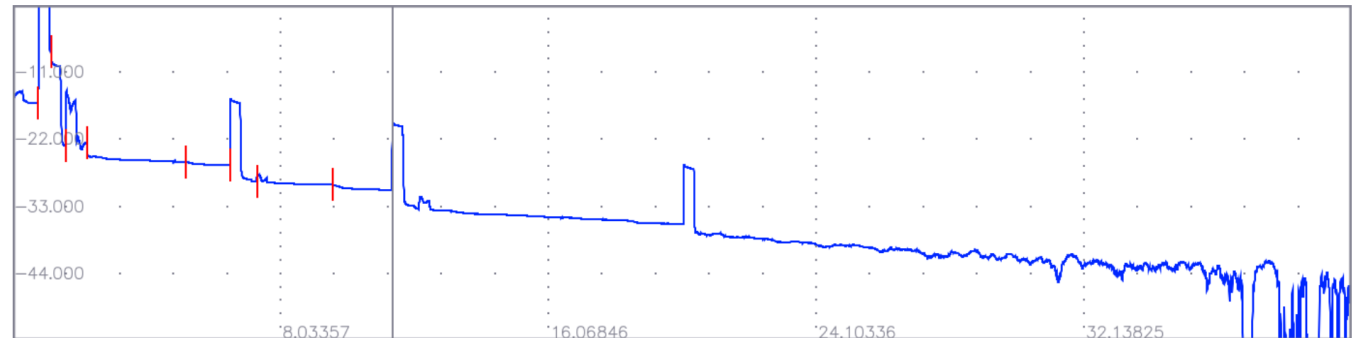


別件で借りている某ダークファイバーと波形比較

自社敷設のファイバーの波形
(65km程度)



某ダークファイバーの波形
(40km程度)





長崎

第1中継点

第2中継点

福岡

当日スライドのみ



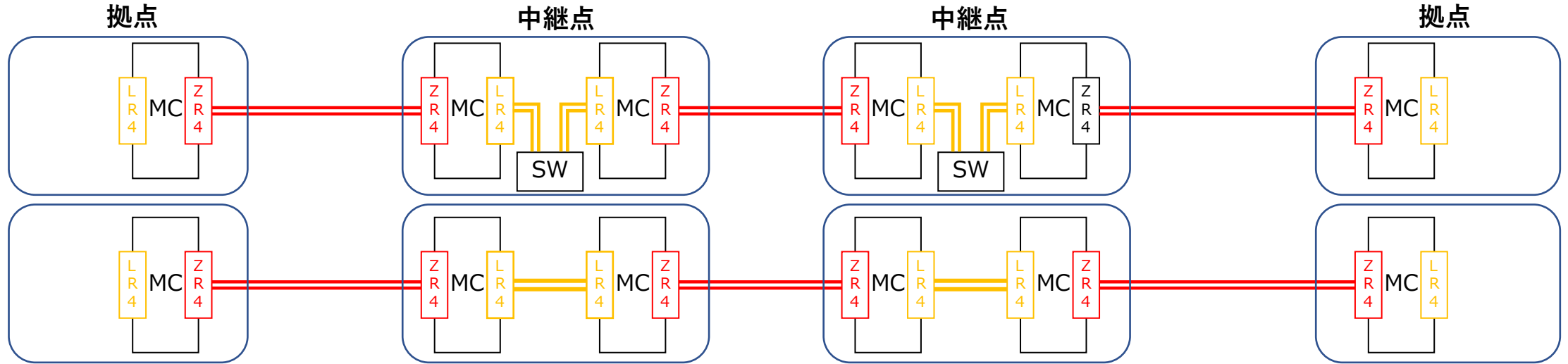
100GBase-ZR4
TX/RXで2芯利用 WDM不可
距離：80km以下
許容損失：28dB以下
ORL:26dB以上

反射減衰量 (ORL: Optical Return Loss)

20dB(悪い) ----- 50dB (良い)

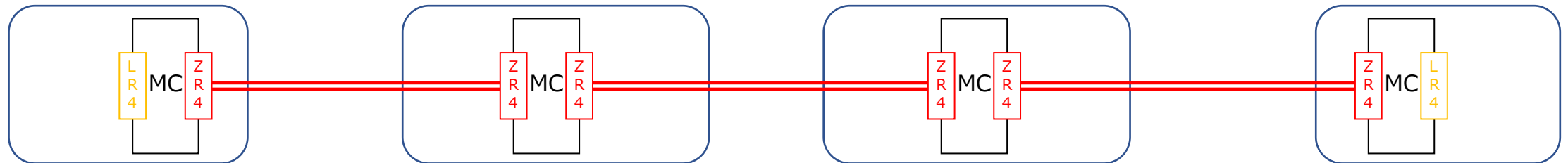
100G-ZR4を使用し、増幅なしの3R多段中継を検討

第1ルートのポイント



↑ ぱっと想像するのはこっちですが、↑

↓ 私がやりたいのはこっち ↓



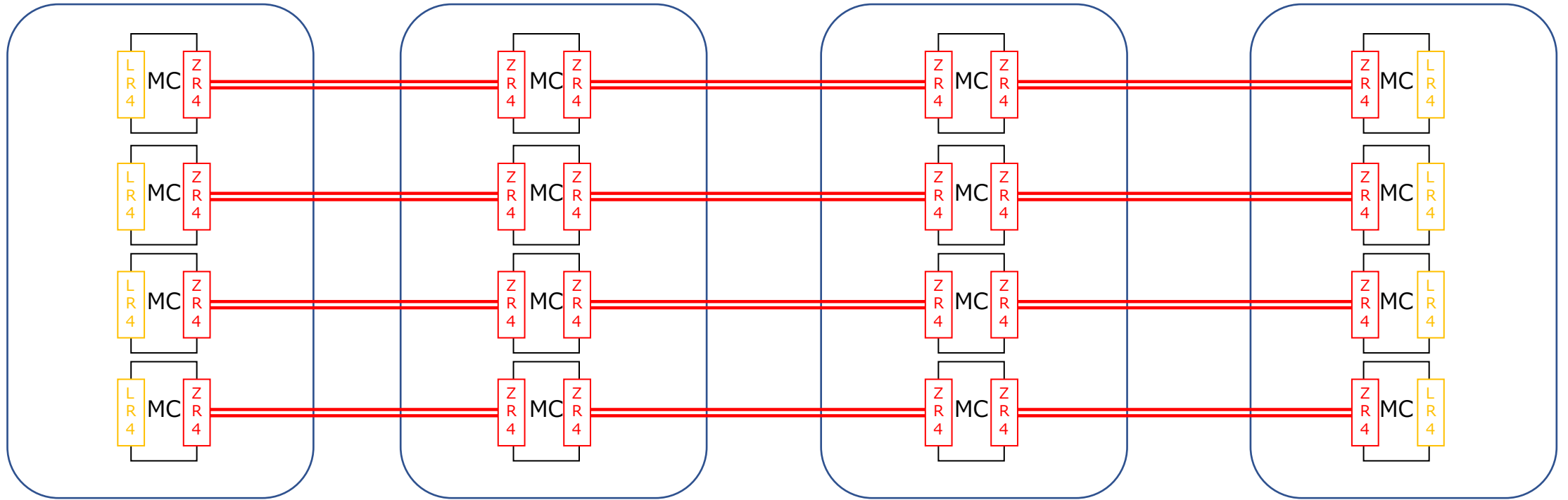
NELさんにつぶらな瞳でできるか聞いてみた ➡ 理論上はいける！実績ないけど！



というわけで、2芯使っちゃう&WDMできないので影がうすい100G-ZR4に活躍してもらいましょう！



ZR4ってWDM使えないけど増強するときどうするの？



**増やせばいいんです
だいじょうぶ！光ファイバーならある！！**

WDM(°ε°)イラナイ!!
芯線コストは(°ε°)キニナイ!!
MCコストは安い!!

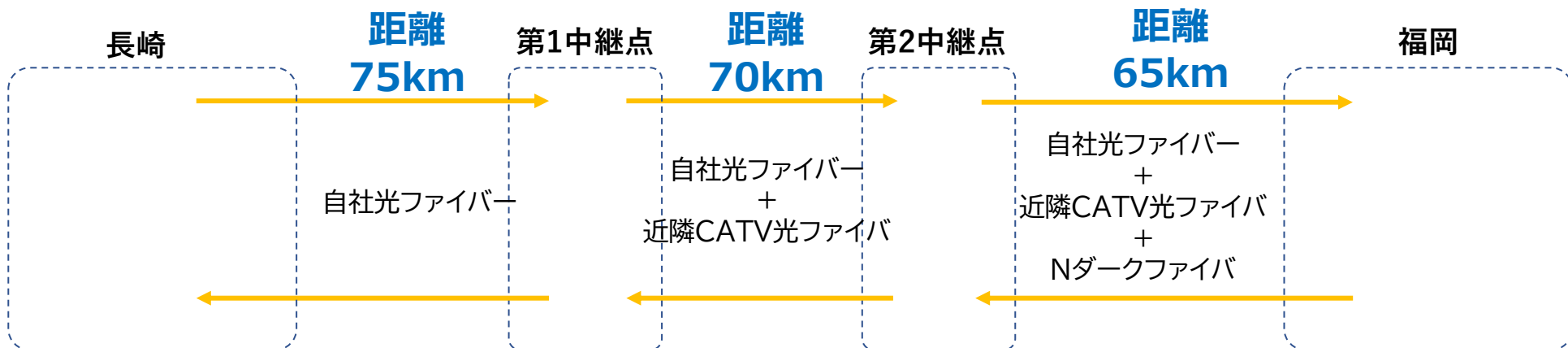


第2ルート

- ・総距離: 210km
- ・中継局: 2か所
- ・ファイバ: 自社光ファイバー + 近隣CATV光ファイバ + Nダークファイバー

特徴

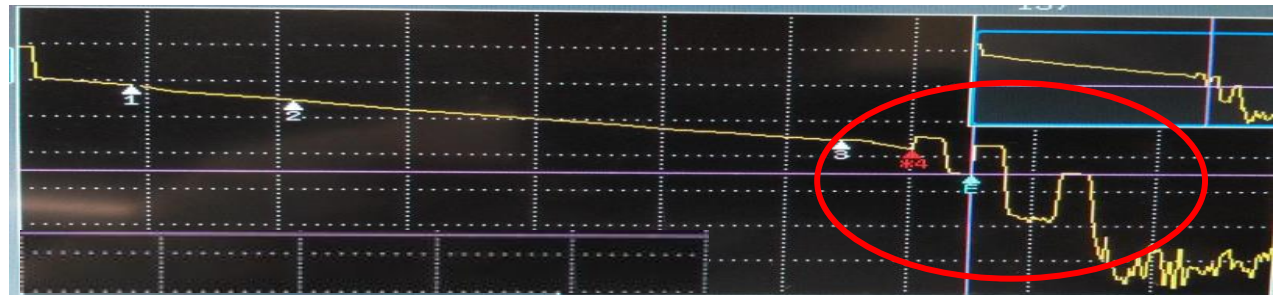
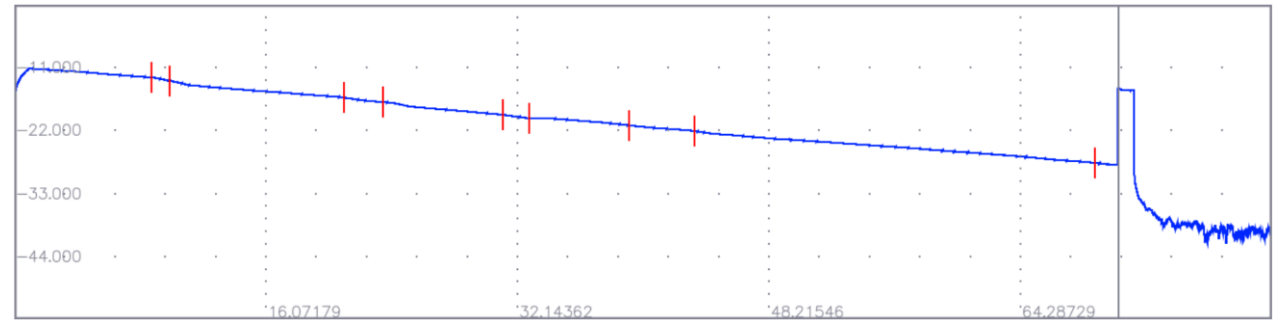
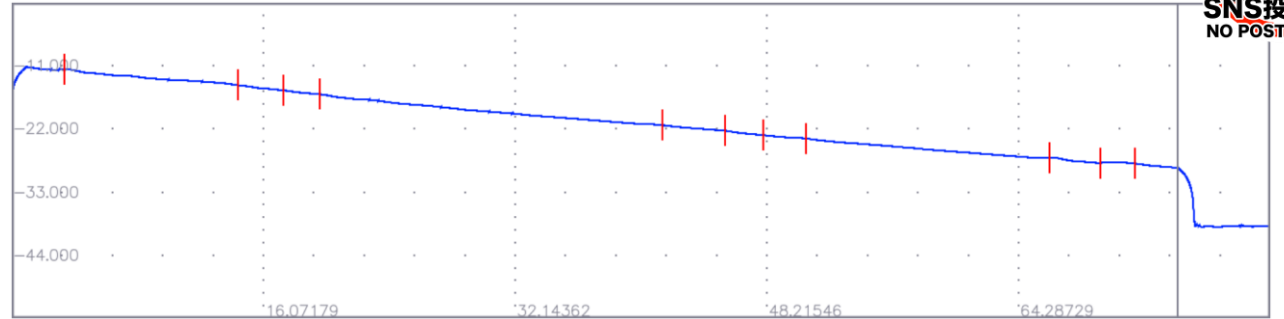
- ・一部Nダークファイバーが入っている区間の品質が……
- ・局間は概ね70km以内
- ・一部お借りしてる区間があるので芯線に余裕がない



第2ルート of 線路品質調査 OTDR当ててみた(波形の一部を紹介)

CFP2-ACO 仕様波長 1550nmで測定

長崎ー第1中継点
自社光ファイバー



当日スライドのみ



長崎

第1中継点

第2中継点

福岡

当日スライドのみ

- 長崎—第1中継点間は75kmある(ZR波長1300帯では損失ぎりぎり)
- 福岡—第2中継点間で一部区間損失に問題あり
- 芯線に余裕がないので、拡張性を考えるとWDMなど必要



100GBase-ZR4
距離：80km以下
許容損失：28dB以下
ORL:26dB以上

WhiteBox + CFP2-ACO + 光増幅器(EDFA)で伝送検討

遠藤さんへバトンタッチ

ところで3R、1Rってなに？

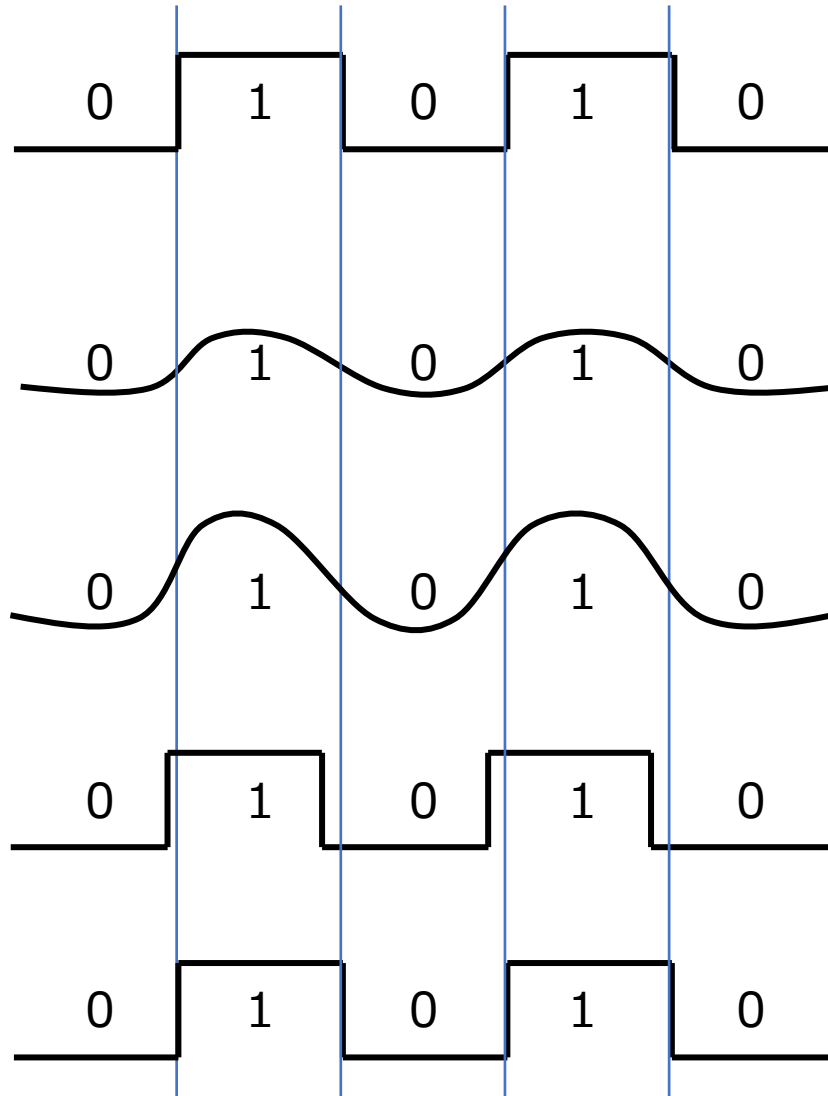
信号を伝送する場合、伝送の過程で信号が劣化します。
その劣化した信号波形をきれいにしたりする機能の頭文字を
とって3Rと呼びます。

Re-Amp(信号を増幅する)

Re-Shape(信号の波形をきれいにする)

Re-Timing(タイミングをとりなす)

ところで3R、1Rってなに？



送信側信号波形



受信側信号波形(波形もレベルも劣化)

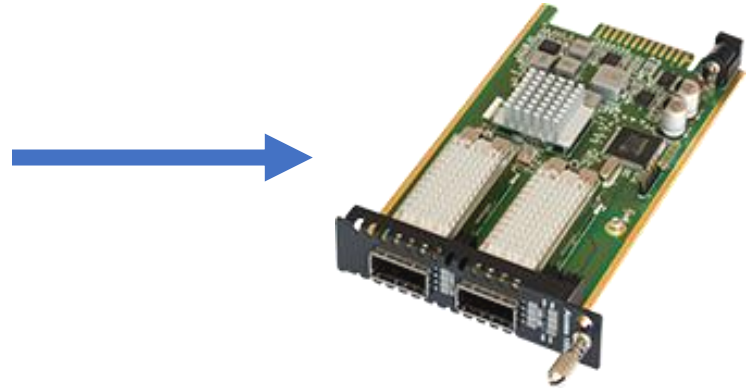
Re-Amp(信号を増幅する)

Re-Shape(信号の波形をきれいにしする)

Re-Timing(タイミングをとり直す)

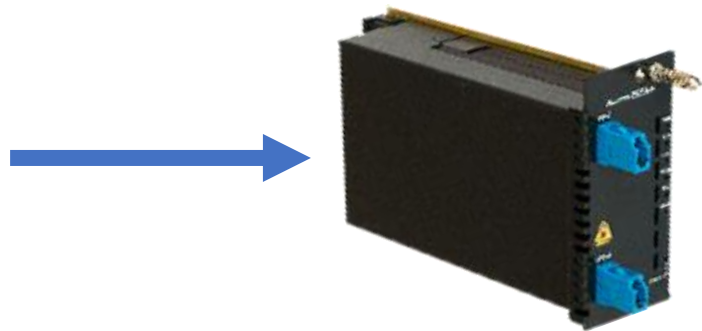
3Rと1Rの違い

それぞれの機器を通すと3Rと1Rのどっちになる？



100Gメディアコン

3R中継 ※NEL:100Gメディアコンの場合
Re-Amp(信号を増幅する)
Re-Shape(信号の波形をきれいにする)
Re-Timing(タイミングをとり直す)

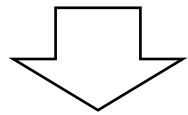


光増幅器(EDFA)

1R中継
Re-Amp(信号を増幅する)

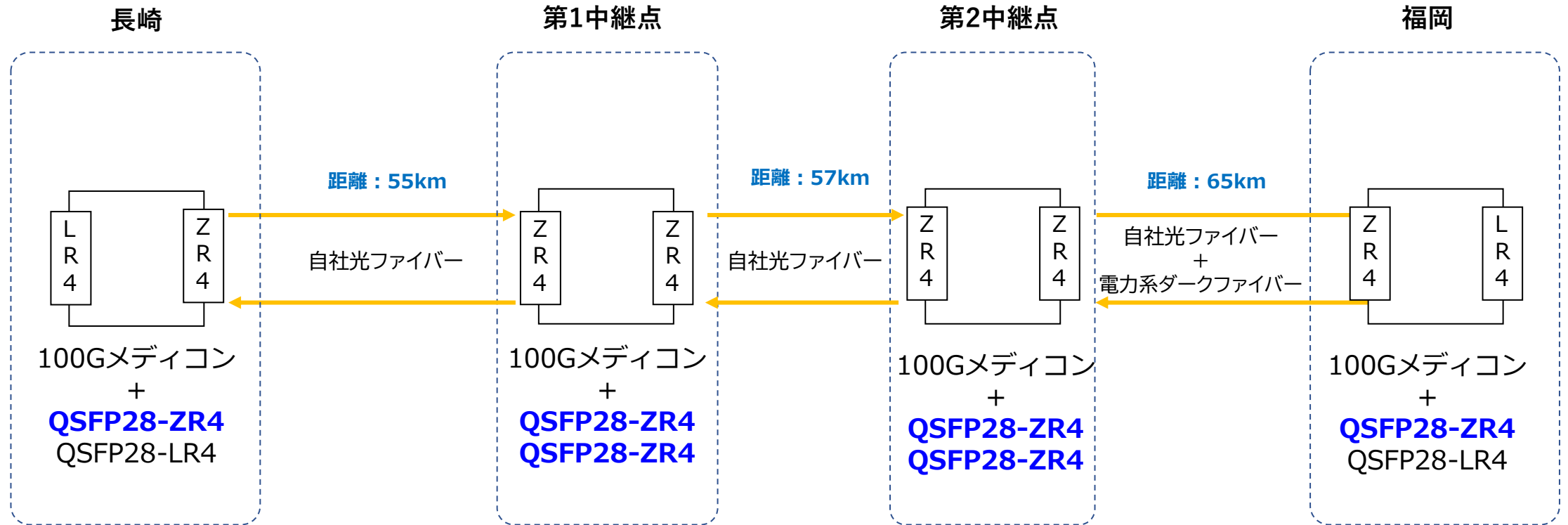
第1ルートは

- ・芯線はいっぱいある
- ・各拠点のスペンは70km程度
- ・線路損失はおおむね20~22dB以内
- ・チャンネルを追加する場合は芯線を追加して対応



次の拠点までZR4で行けそう。
100Gメディコンを使って3R中継のシンプルな構成
中継拠点はZR4-ZR4で伝送

第1ルートは



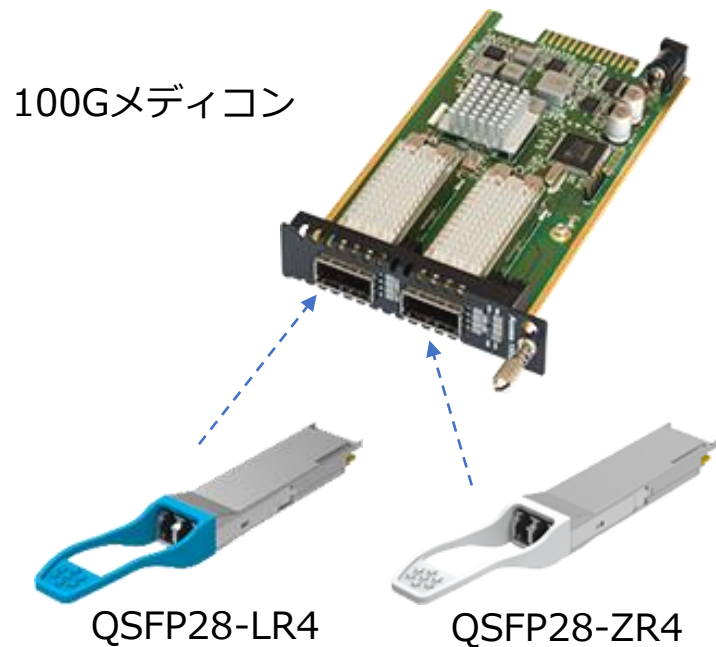
100Gメディコンを使って3R中継のシンプルな構成

第1ルートは

両拠点の構成



シャーシ



100Gメディアコン

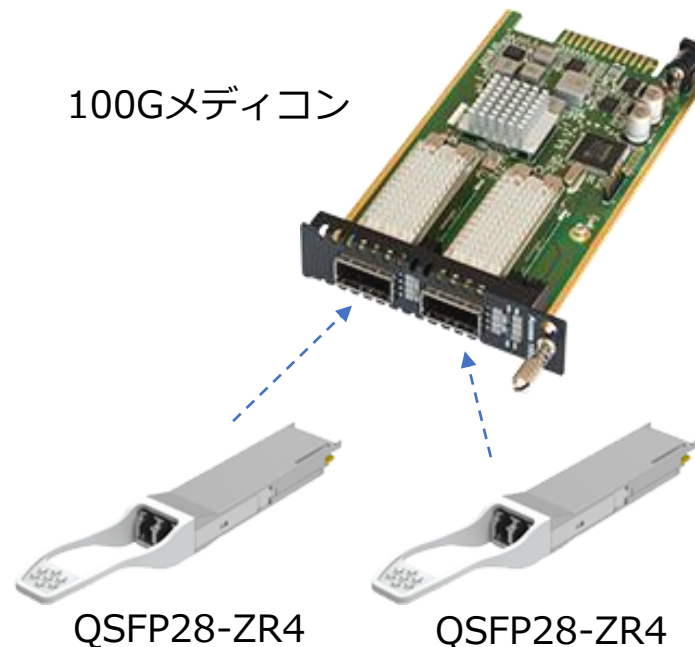
QSFP28-LR4

QSFP28-ZR4

中継拠点の構成



シャーシ



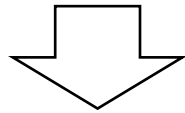
100Gメディアコン

QSFP28-ZR4

QSFP28-ZR4

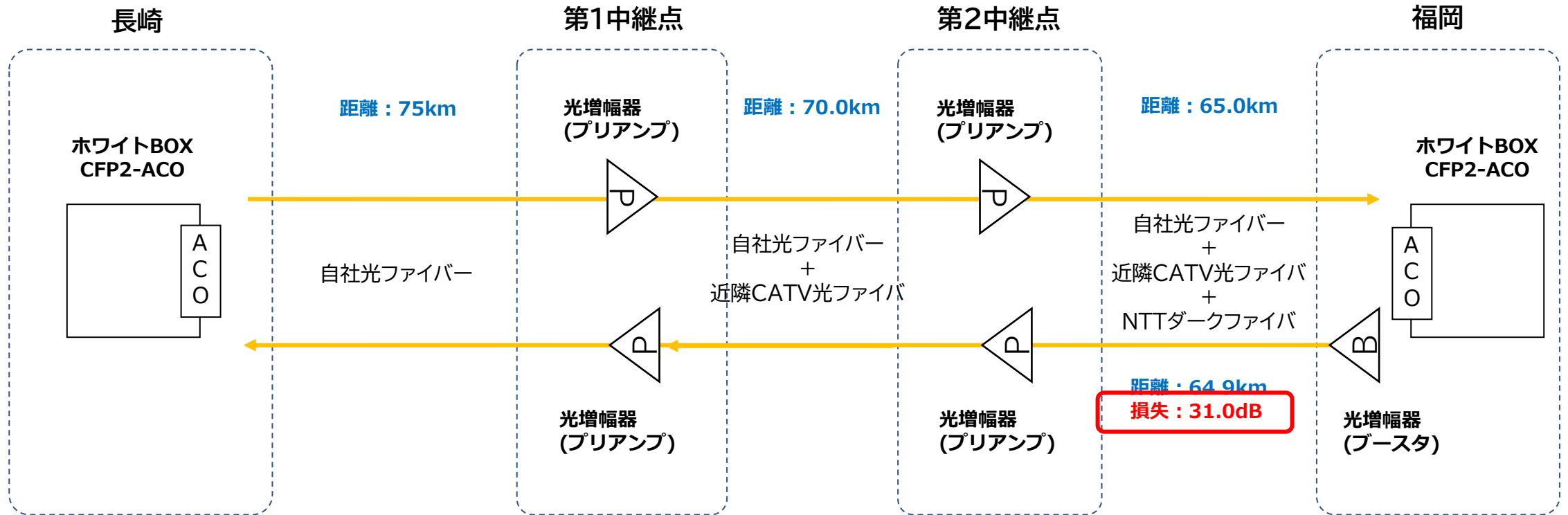
第2ルートは

- ・芯線はあまり余裕ないけど将来的にWDMも検討したい
- ・各拠点のスペンは70km程度
- ・線路損失は大きいところで30dB超えるかも



一部拠点間でZR4では無理、さらにZR4ではWDMもできない
CFP2-ACO + 光増幅器(EDFA)の構成
中継局は光増幅器(EDFA)のみ、1R中継で伝送する
OSNRは大丈夫？

第2ルートは



WhiteBox + CFP2-ACO + 光増幅器(EDFA)で伝送
損失の大きいところはブースタ + プリアンプで対応

第2ルートは

両拠点の構成

WhiteBoxスイッチ

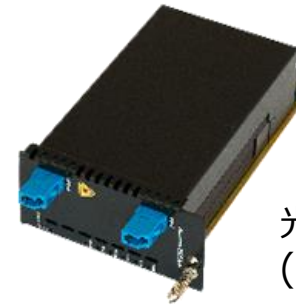


CFP2-ACO

QSFP28-LR4

中継拠点の構成

シャーシ



光増幅器
(ブースタまたはプリアンプ)

第2ルートは

WhiteBox + CFP2-ACO + EDFAで伝送
中継拠点はEDFAのみで1R中継

→ 1R中継だとOSNRの検討が必要

今回の構成の場合、机上値でOSNRは23dB以上は確保できそう

→ CFP2-ACO(DP-QPSK)なら12~14.5dB以上はほしいのでOK

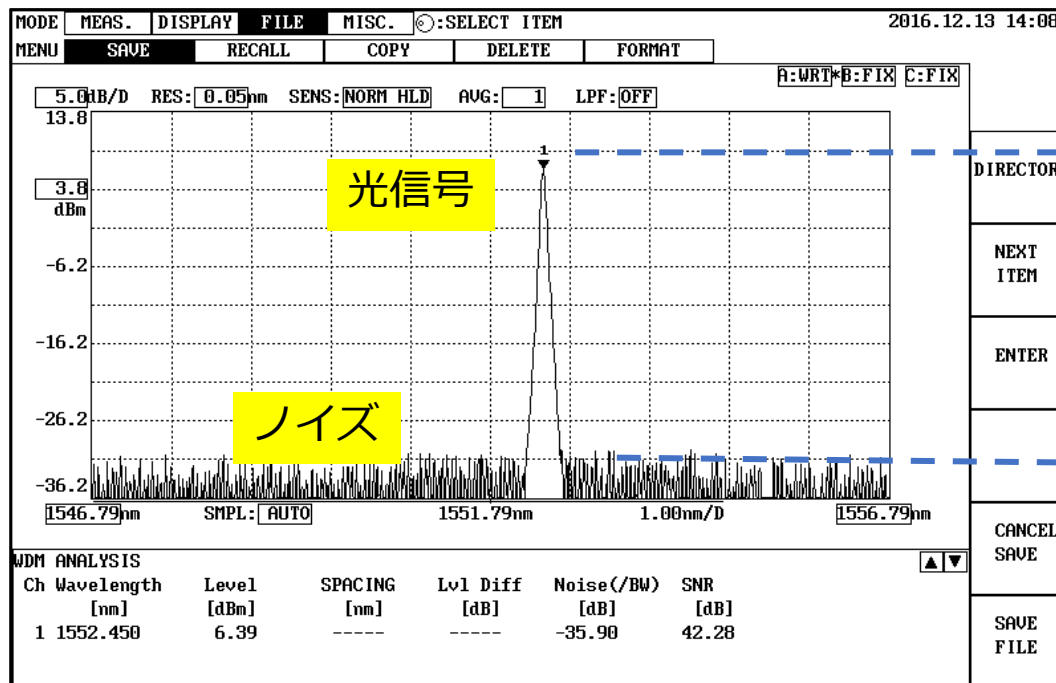


OSNRのおはなし

OSNRとは？

光信号と雑音(ノイズ)の比(Optical Signal to Noise Ratio)

OSNRが良いという事は信号レベルがノイズと比べて大きい
(光伝送的にはよい条件)



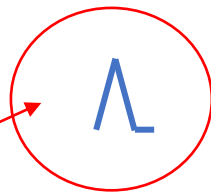
この差が大きいほどOSNRはよい

OSNRのおはなし

EDFAで中継する場合、EDFAは光は信号だけではなく、ノイズも一緒に増幅。さらにEDFA固有の雑音も加わりOSNRは悪くなる

多段で1R中継する場合は最終的にOSNRがどれくらいになるか検討が必要

EDFAに入力する光信号が小さいとOSNRは悪くなる



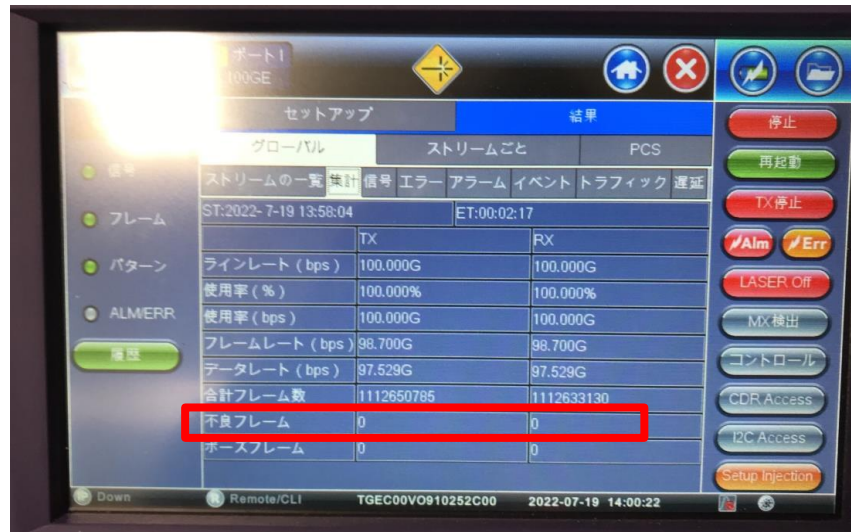
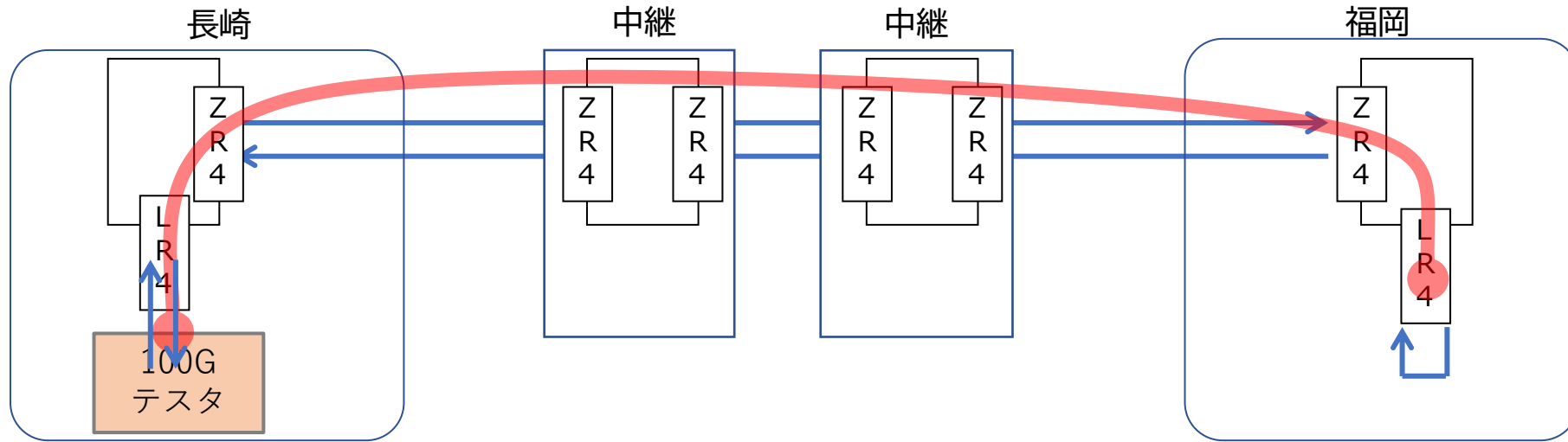
光増幅器



というわけで実伝送路で構築して
データを伝送してみた

第1ルート 100G-ZR多段接続構成の結果

180km 100G伝送テスト → 良好 エラーフレームなし

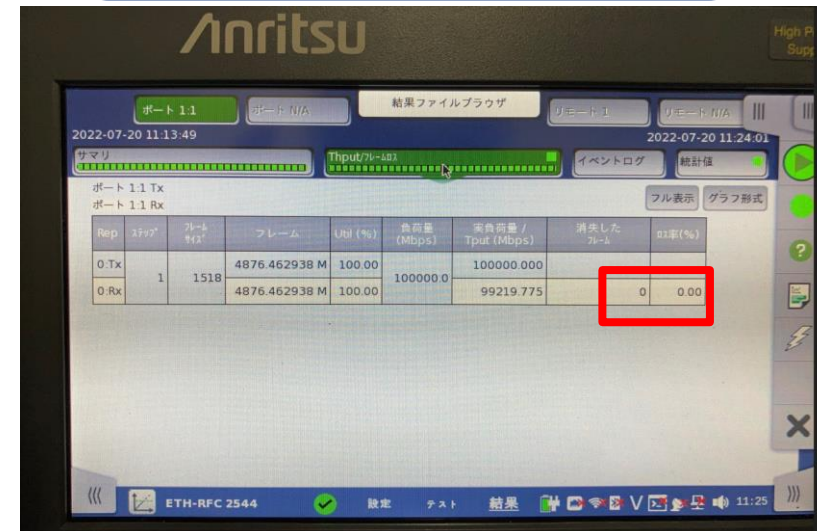
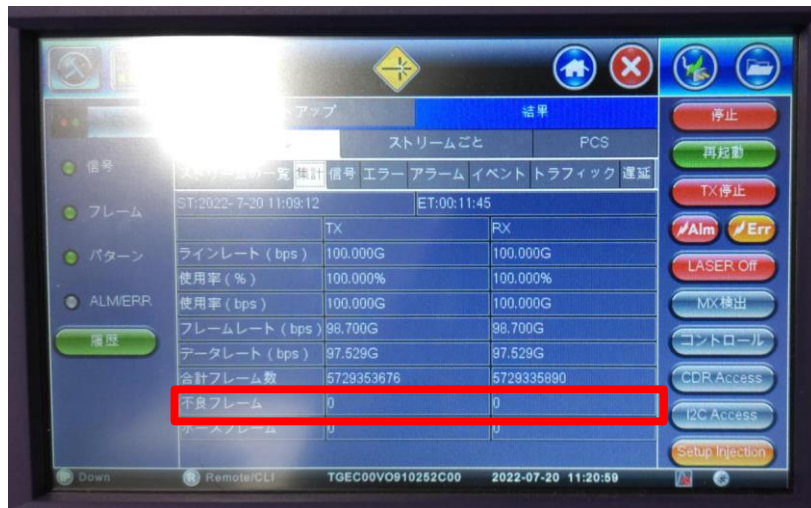
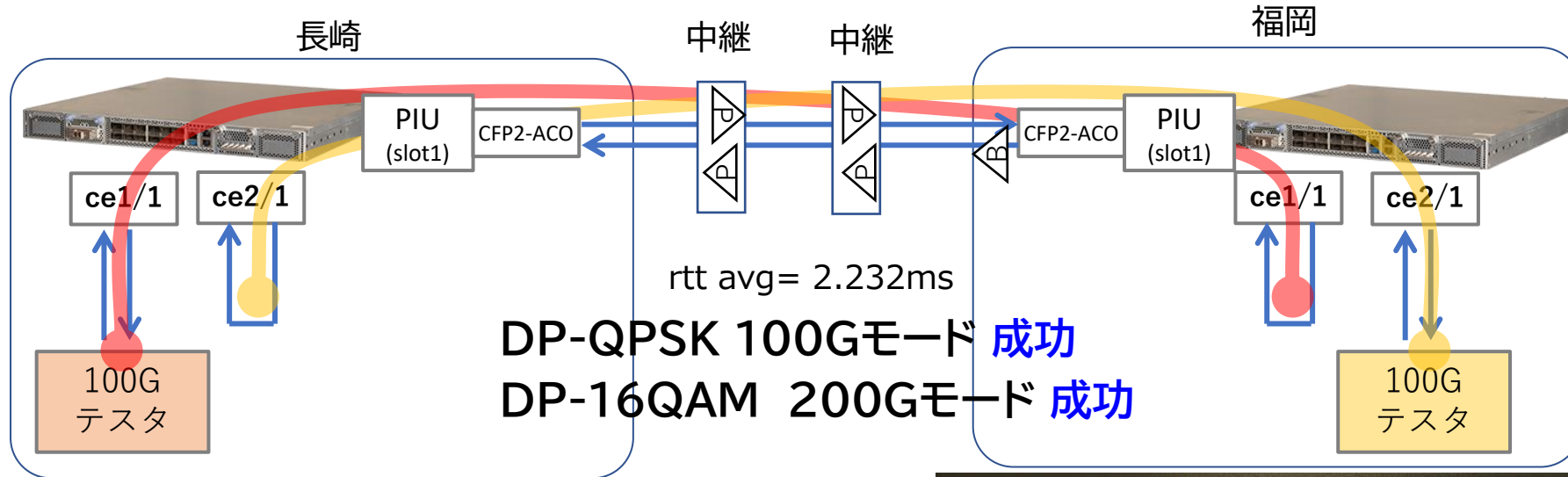


遅延の結果

フレーム到着時間	
現在	10ns
最小	3ns
最大	27ns
平均	5ns
フレーム遅延変動	
現在	3ns
ラウンドトリップ遅延(Unit auto scale on)	
現在	1.726ms
最小	1.726ms
最大	1.726ms
平均	1.726ms
Remote Oneway Delay Status	N/A

第2ルート CFP2-ACO+光増幅器(EDFA)の結果

210km 200G伝送テスト → 良好 エラーフレームなし



これらの伝送条件、機器選定を経て

- ・異機種、異経路による
 - 100Gメディコンによる3R多段伝送
 - WhiteBoxによる1R伝送
- ・最大210kmにおよぶ100G & 200G伝送

を実現しました。

このリンクは今年度より運用に込みこむ予定で現在エイジング試験中です。



あれ、これWhiteBox中継増幅しなかったら
どのくらい飛ぶんだろう。。。

机上設計
リンクバジェット45dB、
OSNRを考えると実線路だと距離160kmくらいいけそう

というわけで実線路でちょっと試してみた



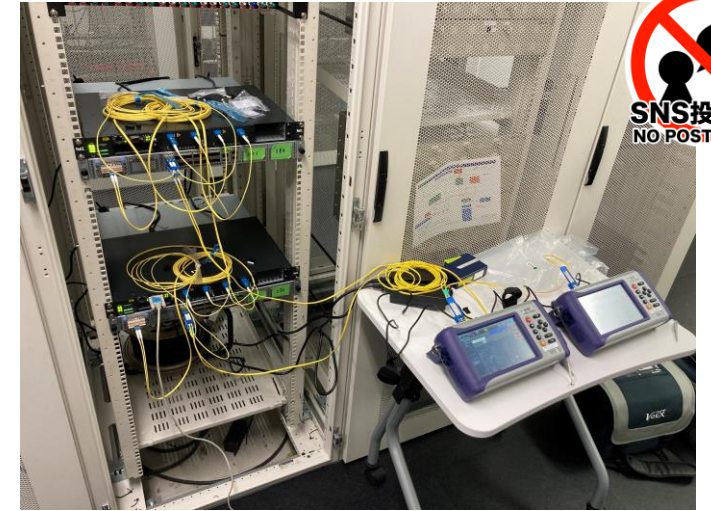
試験ルート

総距離: 145km

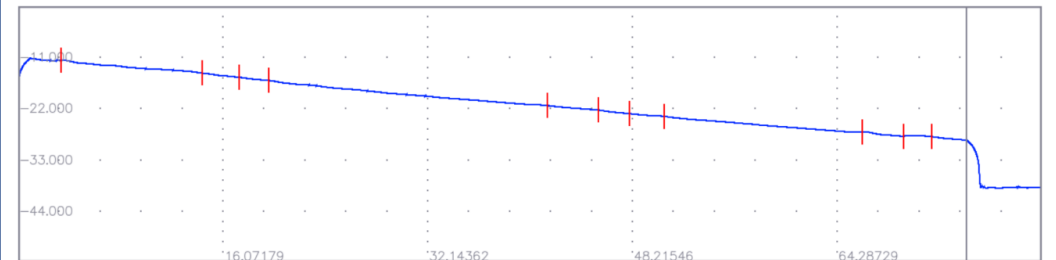
中継局: なし

ファイバ: 自社光ファイバー

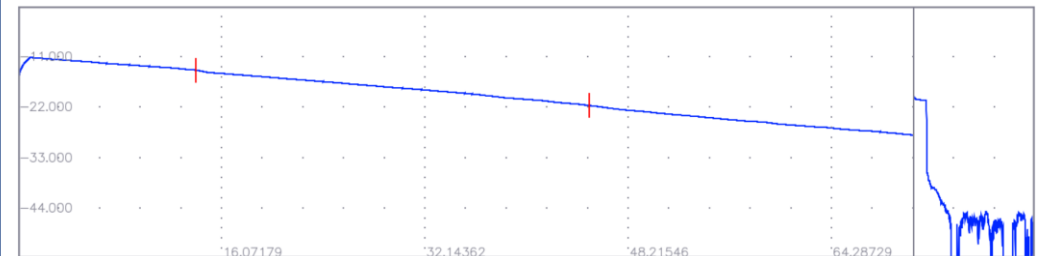
HE内でATT35dBで
事前接続試験実施



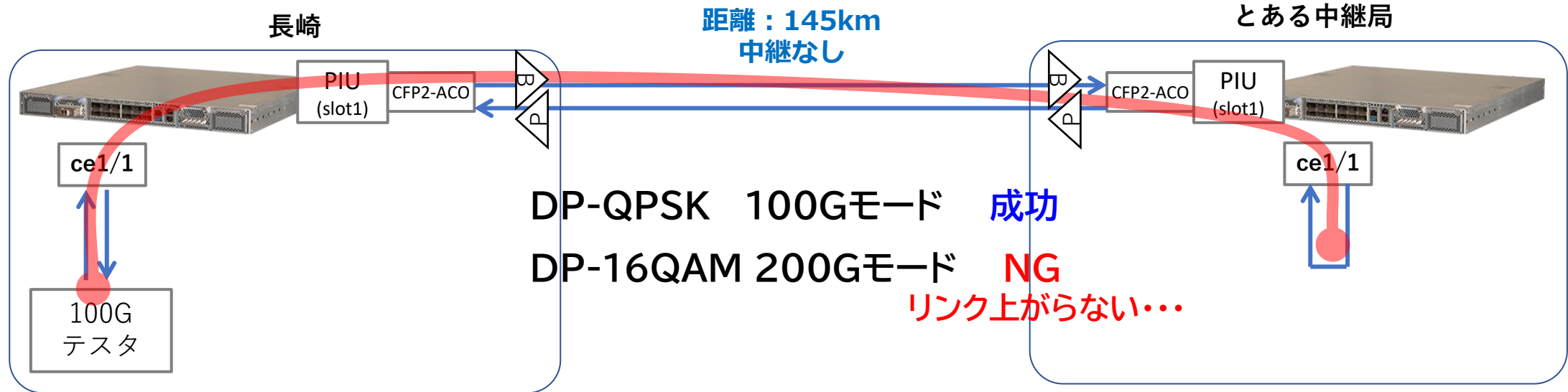
当日スライドのみ



+



145km 中継無し伝送テスト



項目	TX	RX
ラインレート (bps)	100,000G	100,000G
使用率 (%)	100,000%	100,000%
使用率 (bps)	100,000G	100,000G
フレームレート (bps)	98.684G	98.684G
データレート (bps)	95.921G	95.921G
合計フレーム数	4991057301	4991044856
不良フレーム	0	0
ボースフレーム	0	0

項目	現在	平均	最大
フレーム到着時間	6ns	5ns	5ns
フレーム遅延変動	3ns	3ns	30ns
ラウンドトリップ遅延	1.511ms	1.511ms	1.511ms

損失	規定値内
反射減衰量	OTDRの値上問題なし
波長分散	内部で補正するので問題なし
OSNR	机上設計上は問題なし

状態確認するとPRE FEC BERの値が悪い = FECで訂正しきれないようだ



実線路上のノイズがFEC補正の限界を超えている可能性あり？



で、色々試した結果。。

なぜかブースターの増幅率を下げるとリンクアップ...

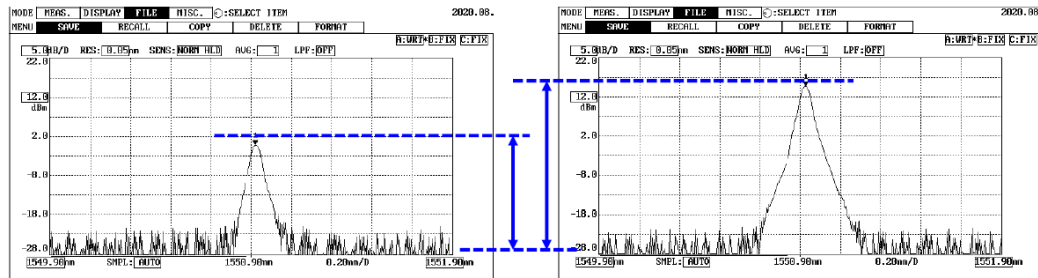


一般的な話

一般的にはプリアンプはノイズも一緒に増幅させるため、できるだけ高い信号レベルで入力したほうが良い

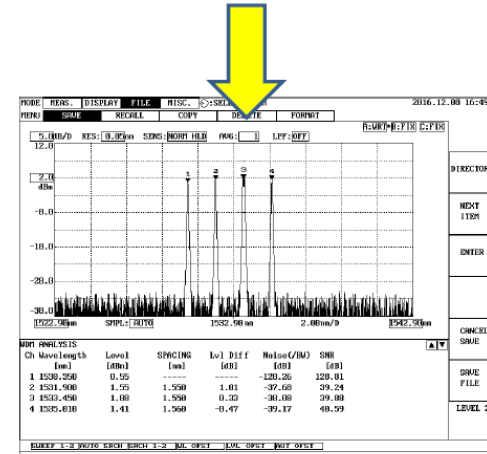
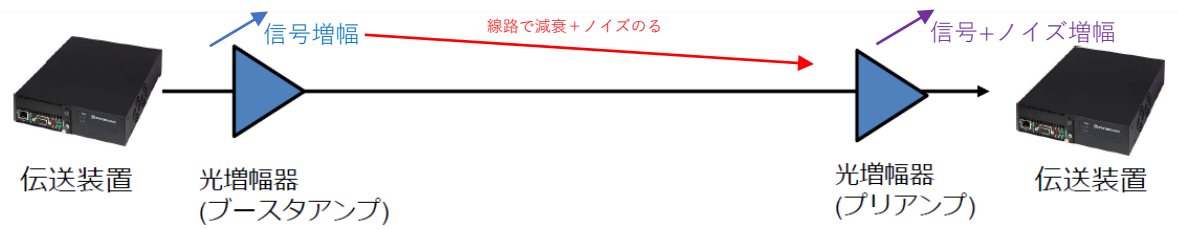
できるだけブースターアンプで線路にのせる前のレベルを増幅する
相対的にプリアンプでの増幅率が減る＝ノイズの増幅率も減る

光増幅器のイメージ

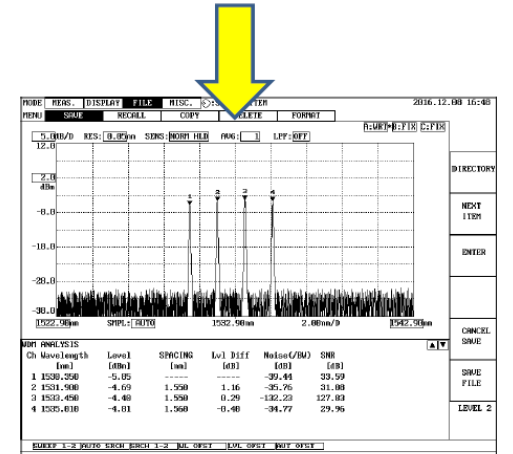


WDM伝光増幅器入力側
光信号レベル

WDM伝光増幅器出力側
光信号レベル



光スペクトラム表示例



光スペクトラム表示例

なのに今回は。。。。

ノイズが多い → ブースターの増幅率を上げ、プリアンプの増幅率を下げる → ノイズ減る

なら意味はわかるが、、、今回は

ノイズが多い → ブースターの増幅率を下げる → プリアンプの増幅率は変えず
= プリアンプに入る前の信号レベルは下がるので、必然的にOSNRは悪くなるはず

なのになぜか。。。

FECの値が改善して、リンクアップ



もしどなたか知見のある方ぜひ見解を聞かせください。

145km 中継無し伝送テスト



グローバル		ストリームごと		PCS			
ストリームの一覧	集計	信号	エラー	アラーム	イベント	トラフィック	遅延
ST:2023-6-13 11:19:21							ET:00:17:41
ラインレート (bps)	100.000G						
使用率 (%)	100.000%						
使用率 (bps)	100.000G						
フレームレート (bps)	98.684G						
データレート (bps)	95.921G						
合計フレーム数	8724360399						8724948107
不良フレーム	0						0
ボースフレーム	0						0

グローバル		ストリームごと		PCS			
ストリームの一覧	集計	信号	エラー	アラーム	イベント	トラフィック	遅延
ST:2023-6-13 11:13:50							ET:00:25:37
ラインレート (bps)	100.000G						
使用率 (%)	100.000%						
使用率 (bps)	100.000G						
フレームレート (bps)	98.684G						
データレート (bps)	95.921G						
合計フレーム数	12639603793						12639591493
不良フレーム	0						0
ボースフレーム	0						0

- ・WhiteBoxを使って長距離伝送(1R中継)していますか？
 - ・WhiteBoxを使ってWDM伝送していますか？
 - ・ZR4の多段接続で伝送していますか？
 - ・CFP2-ACOは2芯伝送 → 1芯伝送ってどうします？
 - ・200G/400Gの長距離伝送していますか？
-

じつは。。。

今回紹介した100Gリンクですが、
今回のJANOG会場用のネットワークの一部に実際に使っています。

ご清聴ありがとうございました。

200kmくらいの検証用実伝送路もってるので、なにか実験したい方はお声かけください。



HE内でのローカル実験の様子



次は400G試そっかなあ