

【JANOG57】

全反射減衰量と区間損失を用いた 光ファイバ瞬断箇所の推定手法とその現実

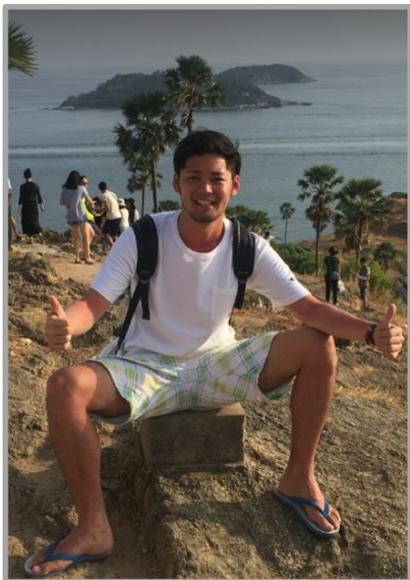
ビー・ビー・バックボーン株式会社



自己紹介

1.氏名 角 一樹(Kazuki Sumi)

2.職歴



2009年04月～



SoftBank

担当業務
モバイル基地局向け
伝送・保守運用

2014年10月～



光ファイバーサービス
保守運用・構築

2024年04月～



Spectrumサービス
保守運用・構築

自己紹介

1.氏名 中村 海音(Nakamura Kaine)

2.職歴



2022年04月～



担当業務
Spectrumサービス
企画・構築

2023年04月～



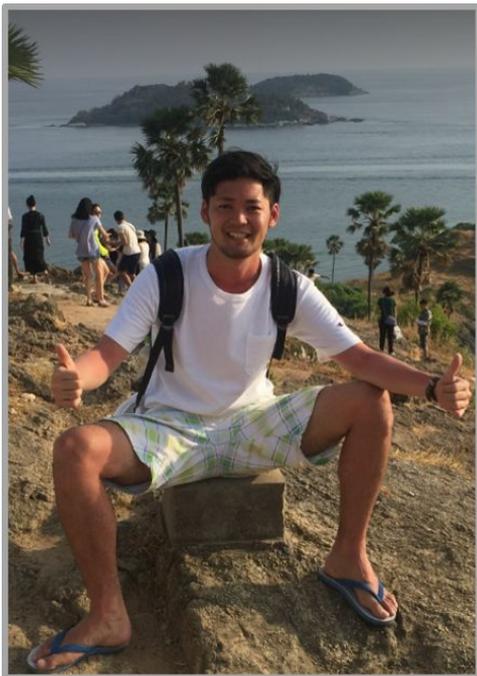
Spectrumサービス
設計・構築

2024年08月～



Spectrumサービス
保守運用・構築

角 一樹



中村 海音



我々の構成(一部サービス抜粋)

波長貸し

Spectrum

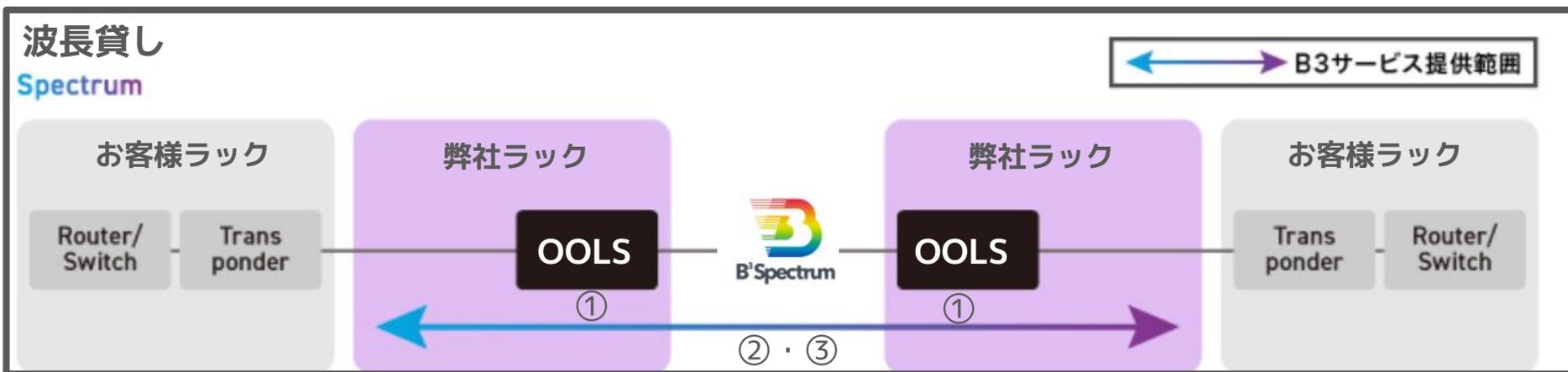


帯域貸し

Spectrum Plus



故障の種類と対応方法



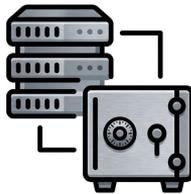
種類	状態	対応方法
①装置故障	継続断	機器交換
②ファイバー継続断	継続断	被疑箇所特定し修繕
③ファイバーレベル低下	断発生後復旧(瞬断※1)	調査

※1 瞬断の定義：レベル低下によるお客様装置へ影響（断）し、その後復旧する事



レベル低下によるファイバーの被疑箇所特定はどうされていますか？

OTDR全区間導入



- ・全区間にOTDRカード等を導入すれば解決可能
- ・全網展開だと数億円規模

OTDR以外のアプローチ方法を検討

アラーム発生時の基本的な流れ

[アラーム発生]



監視システムで
警報を確認

①アラーム継続有無確認



アラームが継続
しているか、
一時的なものか
を確認

②PM情報から 被疑区間特定



機器のPM
データを分析し、
伝送路区間の
問題を特定

③対象のファイバ事業者等へ 作業、故障有無確認



特定した区間の
事業者へ連絡し、
作業や故障の有無
を確認

既存機器の各種モニタ値を活用



全反射減衰量

既存の仕組を最大限に活かして
故障対応能力を向上させる方法を追究

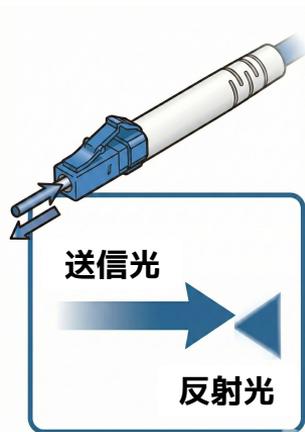
全反射減衰量とは？

全反射減衰量(dB)：プラスの値


$$= -10 \log_{10} \left(\frac{\text{反射光パワー}}{\text{送信光パワー}} \right)$$

反射がどれだけ少ないかを表す数値

全反射減衰量とは



反射率

-40dB
(例)

dB計算で符号反転

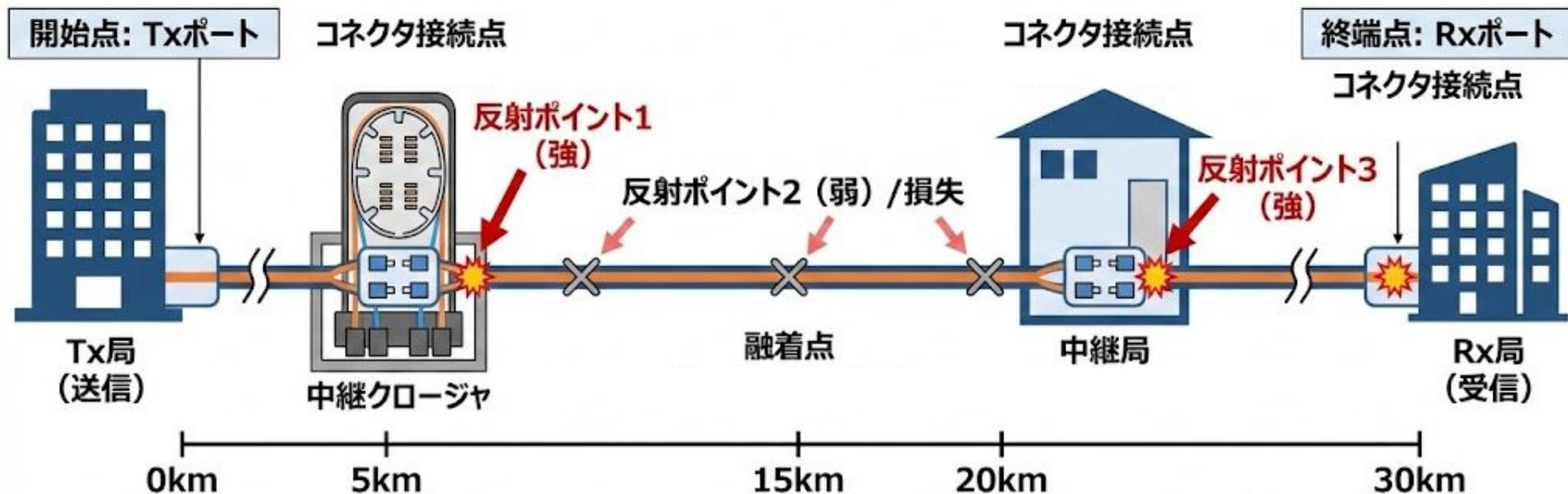


全反射減衰量

+40dB
(例)

反射率は小さい方が良いが
全反射減衰量は大きい方が良い

局間伝送路はコネクタと融着の連続



**DC間では様々な接続点がある為
瞬断が起きた際の原因箇所がわかりにくい**

全反射減衰量の変動と被疑箇所推定

光伝送路における「故障点推定」プロセス

1. 機器モニタ値を確認



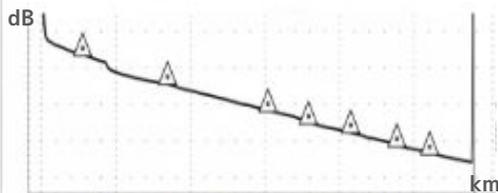
機器のPM値を確認

2. 正常区間の反射光割合を計算

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

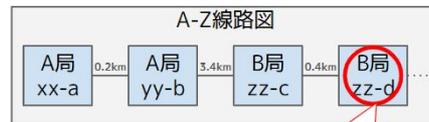
式を用いて
正常区間の反射光割合を算出

3. 故障点までの距離を突合



開通時OTDRデータから距離を推定

4. 線路図で故障点を確認



故障被疑：
B局第2接続点付近

被疑接続点を推定

STEP1 : 機器モ二夕値を確認

【全反射減衰量】

35dB(通常時)→36.8dB(異常時)
= 1.8dB(変化)

【区間損失】

20dB(通常時)→22.7dB(異常時)
= 2.7dB(変化)

変動量を確認

STEP2 : 正常区間の反射光割合を計算

全反射減衰量の変動量(x)

1.8 dB

区間損失の変動量(y)

2.7 dB

専用の数式で「正常区間の反射光割合を計算」

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

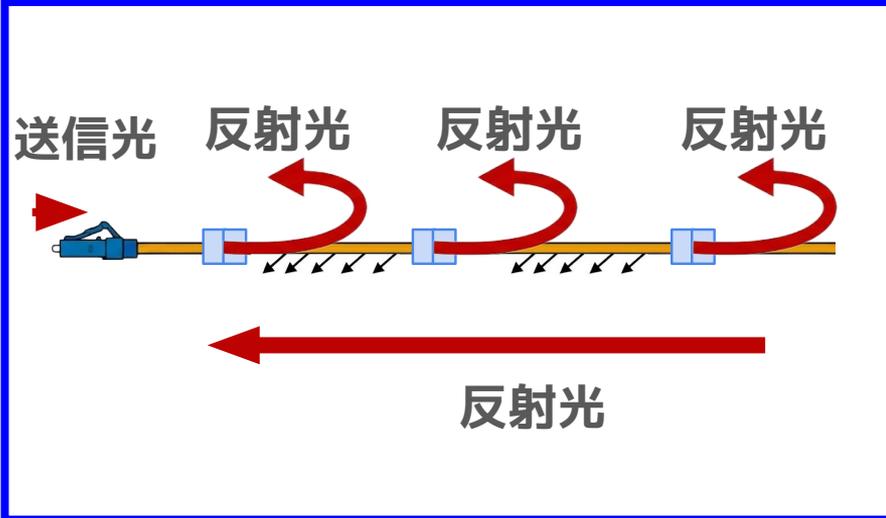
x=全反射減衰量の変動量(1.8 dB)

y=区間損失の変動量(2.7dB)

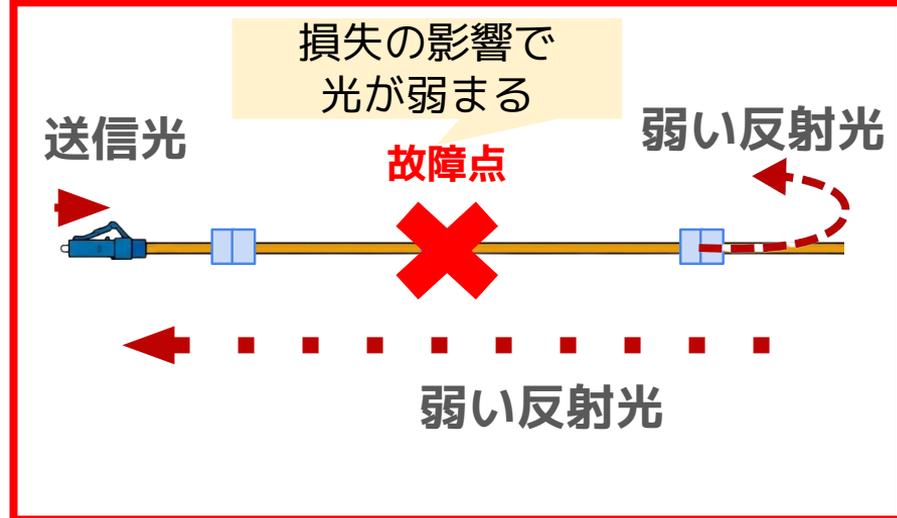
計算結果≒0.523(52.3%)

瞬断時の損失による反射光への影響

通常時



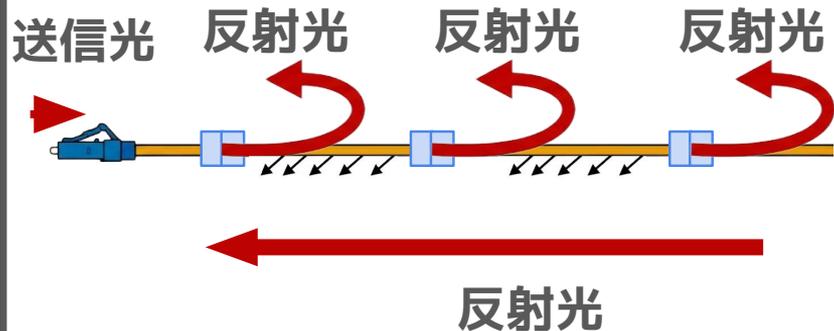
瞬断時



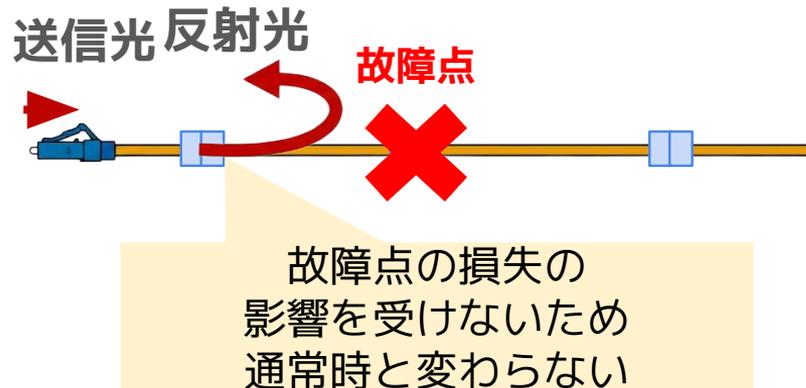
瞬断時は故障点以降の反射光が減る

瞬断時の損失による反射光への影響

通常時

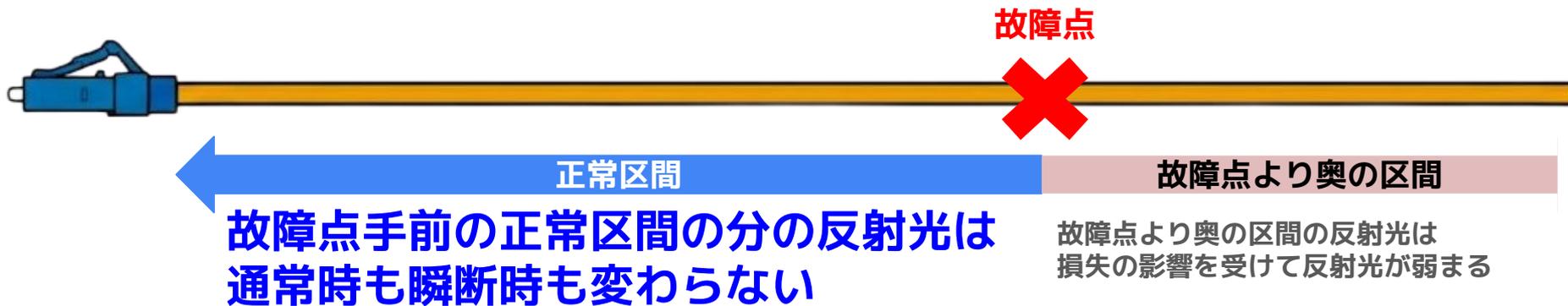


瞬断時



故障点より手前の反射光は変わらない

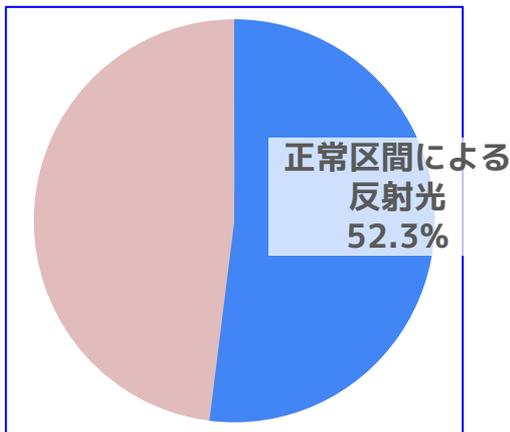
STEP2 : 正常区間の反射光割合の意味



STEP2 : 正常区間の反射光割合の意味



この区間の反射光が通常時における
全ての反射光に対して何%を占めるか
→52.3%



専用の数式で「正常区間の反射光割合を計算」

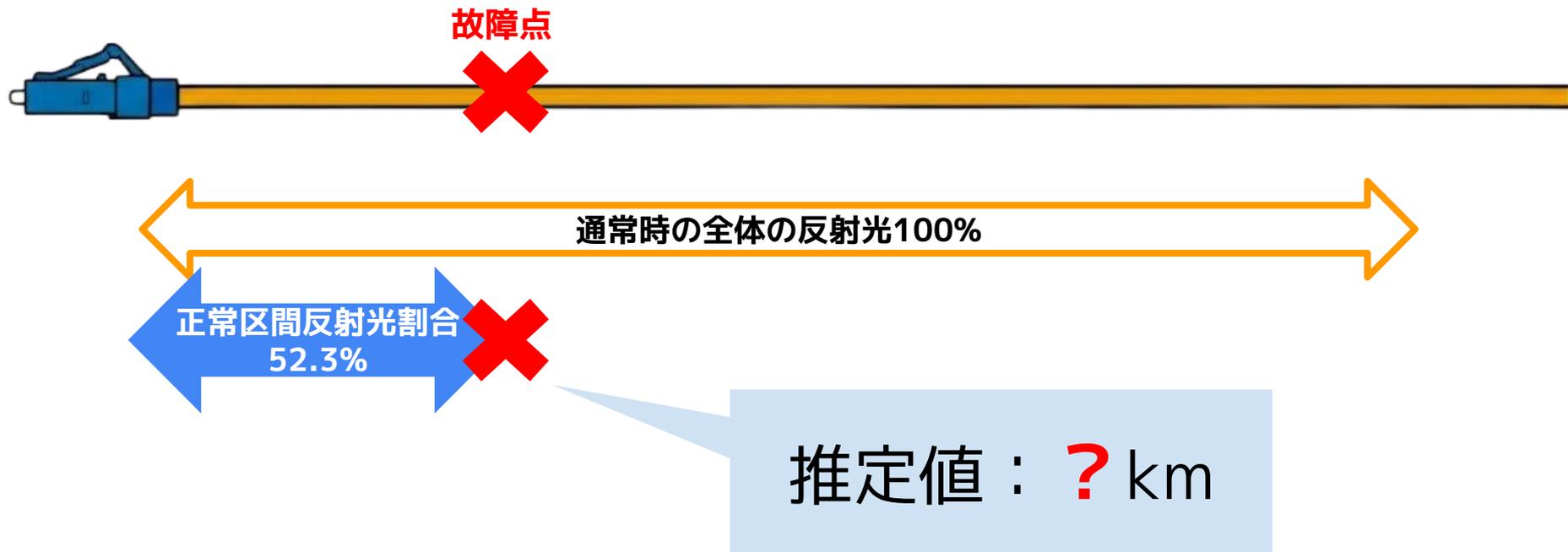
$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

x=全反射減衰量の変動量(1.8 dB)

y=区間損失の変動量(2.7dB)

計算結果≒0.523(52.3%)

STEP3 : 故障点までの距離を突合して算出



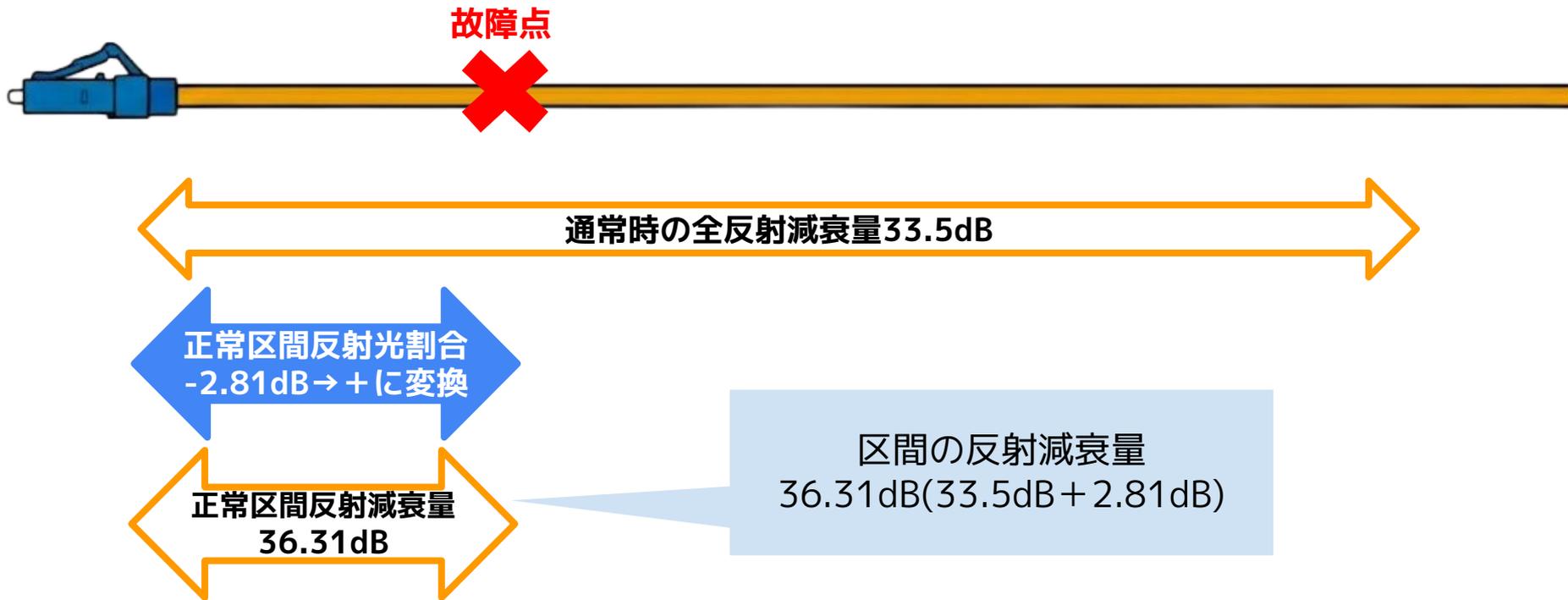
構築時のOTDRデータから反射光割合が一致する距離を確認

STEP3 : 故障点までの距離を突合して算出

$$10\log_{10}(0.523) = -2.81\text{dB}$$

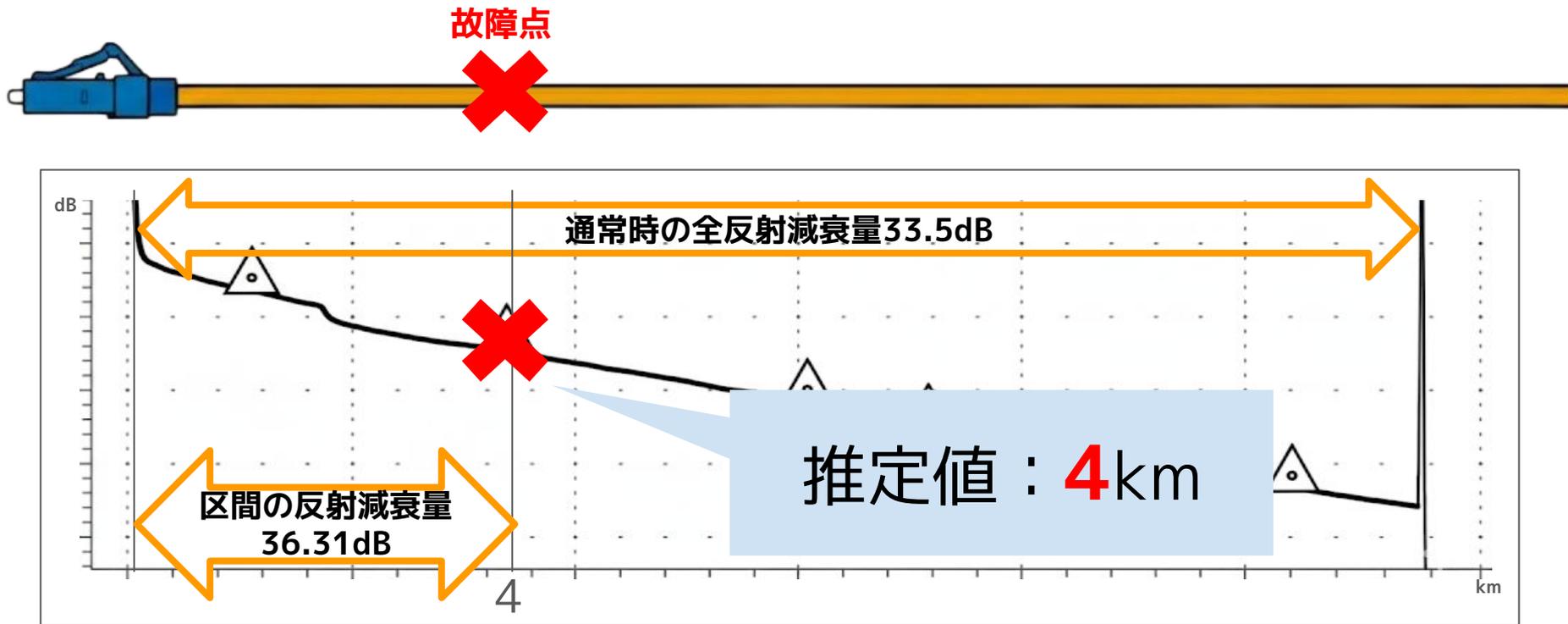
**OTDRデータと合わせるため
%からdBに変換**

STEP3 : 故障点までの距離を突合して算出



正常区間の反射減衰量を計算

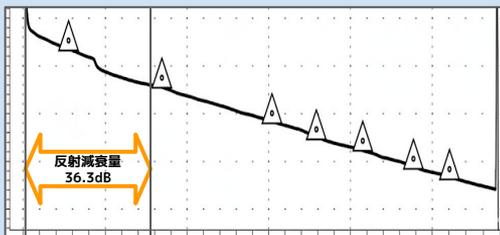
STEP3 : 故障点までの距離を突合して算出



開通時のOTDRデータから反射光割合が一致する距離を確認

Tips : STEP3の短縮用グラフ事前作成

①OTDR測定器やアプリでのデータ取得



OTDRデータ

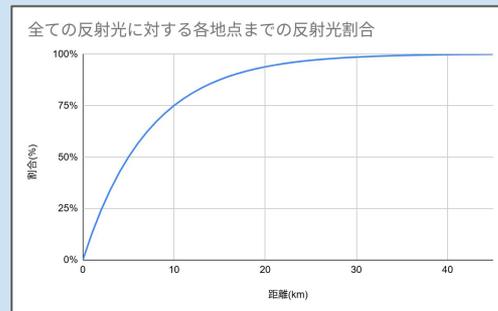
OTDR測定器やアプリケーションにて起点を基準とした各地点までのORLを取得。

②データの蓄積

距離(km)	各地点までの反射減衰量(dB)
0.0245	48.7
0.0453	46.3
0.0629	45.9
(中略)	
9.28	35.0
9.3158	35.0
13.2015	34.8
13.9713	34.7

測定した距離ごとのORLを表形式で記録。全反射減衰量に対しての%も計算式から算出。

③データのグラフ化



蓄積したデータから反射光割合と距離の対応グラフを作成。

計測とグラフ化のプロセスにより迅速な被疑距離推定が可能

STEP4 : 線路図で故障点を確認

故障点被疑距離

4 km

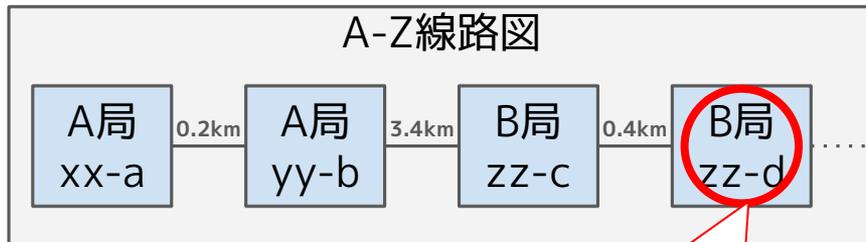
線路図データ

A-Z線路図



距離が近い接続点を確認

A-Z線路図



故障被疑：
B局第2接続点付近

被疑接続点を推定

ラボ検証

ラボ検証①：1km地点ケーブル曲げによる確認 **B³!** BB Backbone

概要

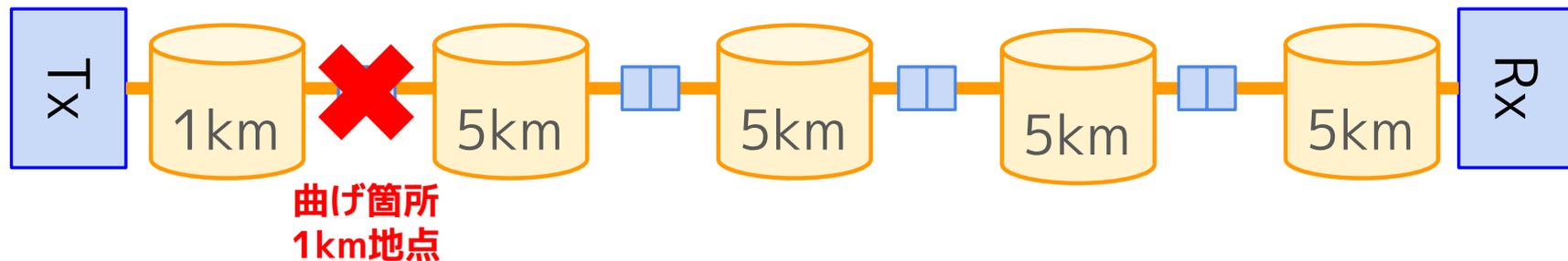
- ・ 接続点の反射を良好にした21kmのファイバーを使用
- ・ 1km地点で曲げを発生
- ・ 推定した距離と実際の距離を比較

検証構成



ラボ検証①：1km地点ケーブル曲げによる確認 **B³!**

検証構成



ロジックで推定した距離と
検証でどれだけずれるかを確認

検証結果：推定値と実態との比較

検証結果		
状態	全反射減衰量(dB)	区間損失(dB)
通常時	33.8	6.1
曲げ時	39.7	13.1
変動量	+5.9	+7.0

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}} \doteq 22.62\%$$

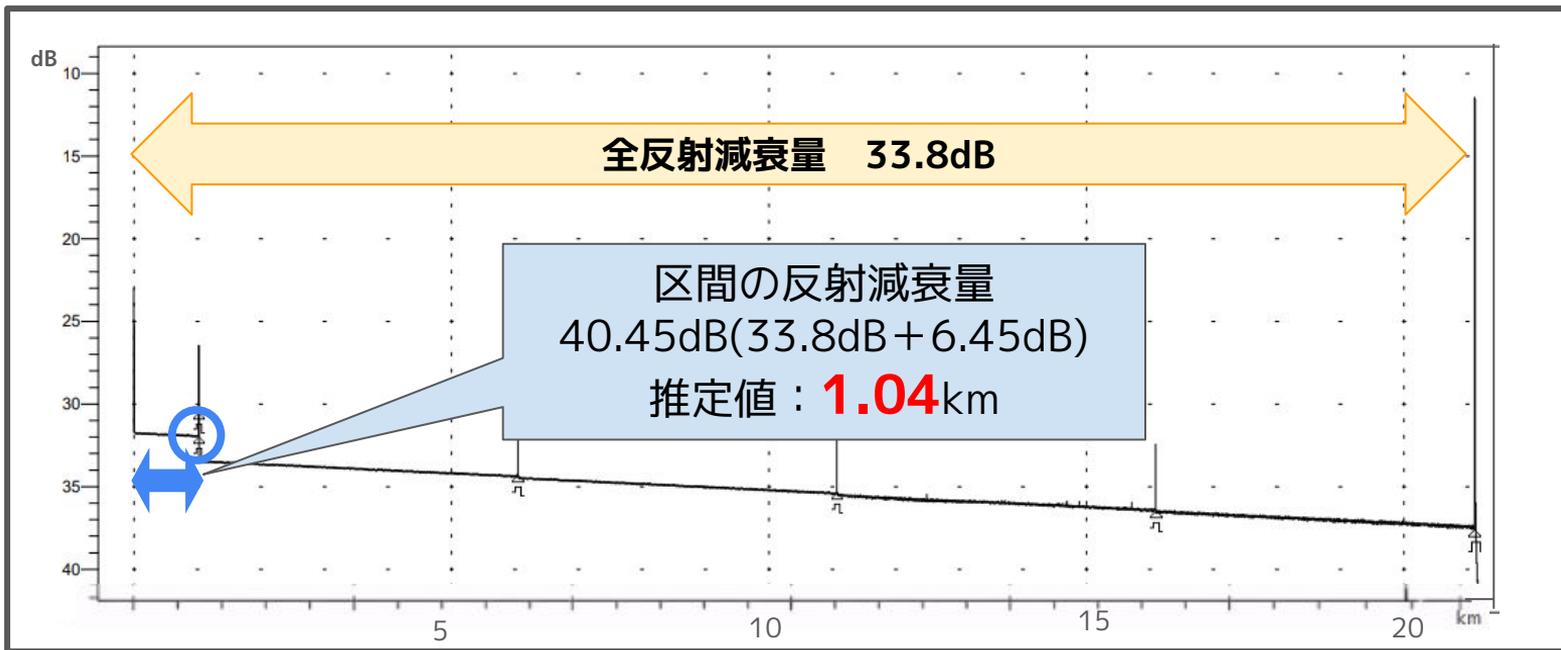
x=全反射減衰量の変動量

y=区間損失の変動量

$$10\log_{10}(0.2262) = -6.45\text{dB}$$

**OTDRデータと合わせるため
%からdBに変換**

検証結果：推定値と実態との比較



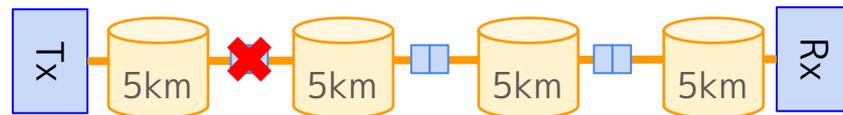
推定値とほぼ一緒の結果

ラボ検証②：5km地点ケーブル曲げによる確認 **B³!** BB Backbone

概要

- ・ 接続点の反射を良好にした20kmのファイバーを使用
- ・ 5km地点で曲げを発生
- ・ 推定した距離と実際の距離を比較

検証構成と曲げ箇所



検証結果②：推定値と実態との比較

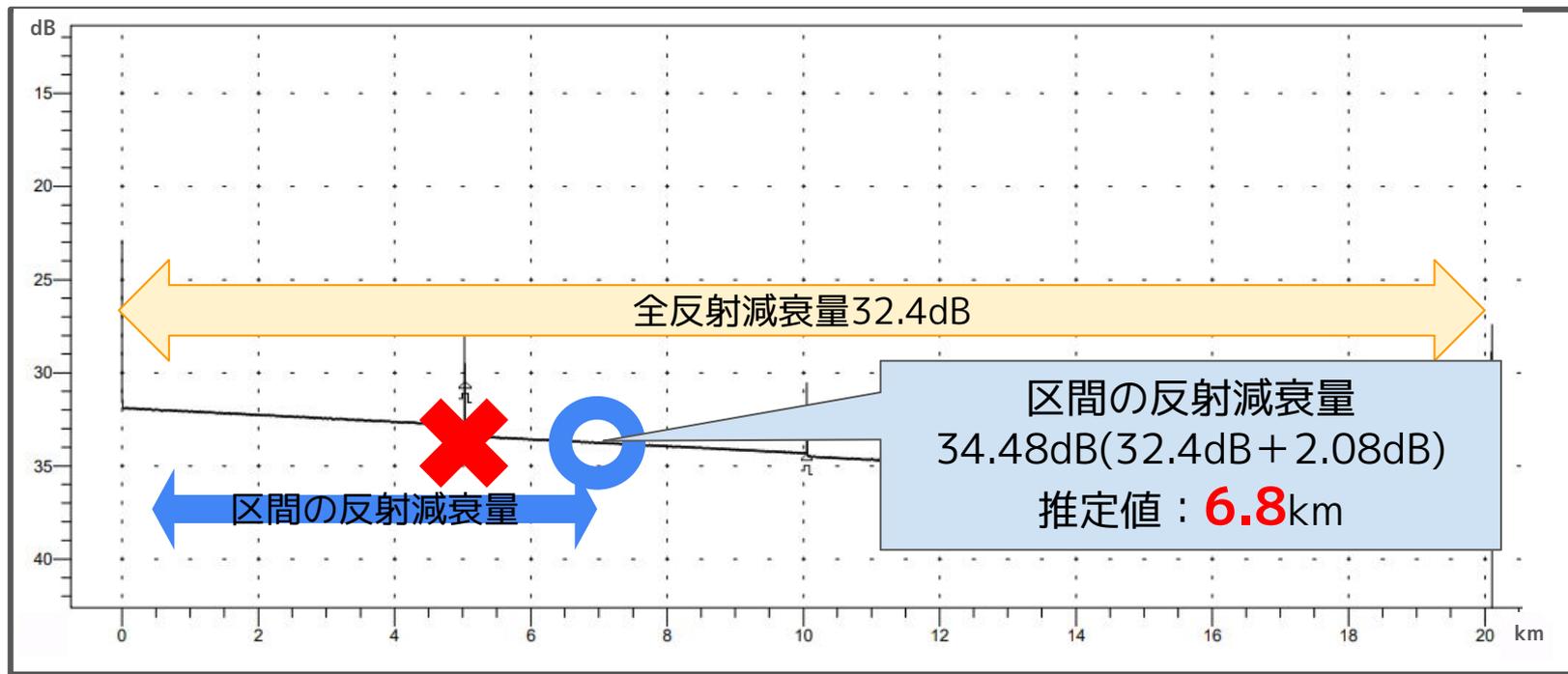
検証結果		
状態	全反射減衰量(dB)	区間損失(dB)
通常時	32.4	5.3
曲げ時	34.0	8.9
変動量	+1.6	+3.6

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}} \doteq 61.93\% \Rightarrow -2.08\text{dB}$$

x=全反射減衰量の変動量

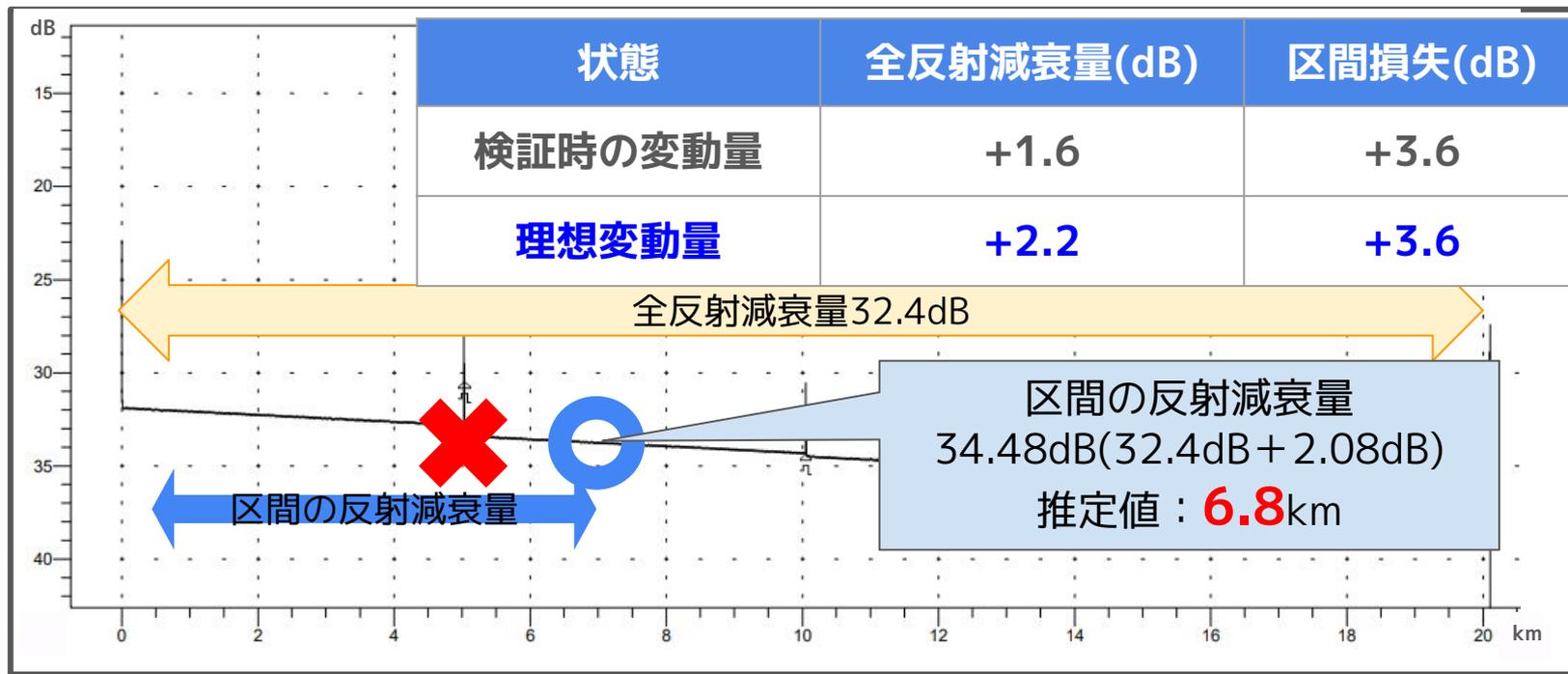
y=区間損失の変動量

検証結果②：推定値と実態との比較



**%にして10%程度
距離にして1.8km程度の差が生じた**

検証結果②：推定値と実態との比較



**%にして10%程度
距離にして1.8km程度の差が生じた**

商用環境での発生と見解

光伝送路における「故障点特定」プロセス

1. 機器モニタ値を確認



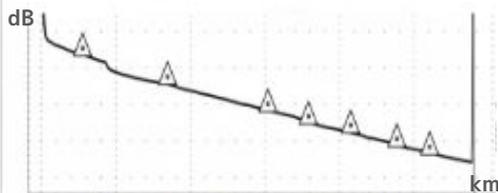
機器のPM値を確認

2. 正常区間の反射光割合を計算

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

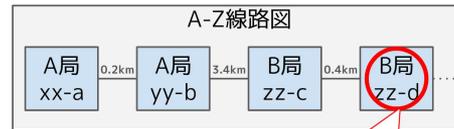
式を用いて
正常区間の反射光割合を算出

3. 故障点までの距離を突合せ



開通時OTDRデータから距離を推定

4. 線路図で故障点を確認



故障被疑：
B局第2接続点

被疑接続点を推定

STEP1 : 実データと変動データ

通常時データ



総距離 : 3.7km



区間損失 : 4dB



全反射減衰量 : 37.8dB

測定された変動データ



区間損失変動 :
+5.2dB(増加)



全反射減衰量変動 :
+7.2dB(増加)

全反射減衰量と区間損失が変動

STEP2 : 正常区間の反射光割合を計算

全反射減衰量の変動量(x)

5.2 dB

区間損失の変動量(y)

7.2 dB

専用の数式で「正常区間の反射光割合を計算」

$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

x=全反射減衰量の変動量(5.2dB)

y=区間損失の変動量(7.2dB)

計算結果≒0.1093(10.93%)

STEP3 : 故障点までの距離を突合せて算出

算出された手前区間の反射光割合

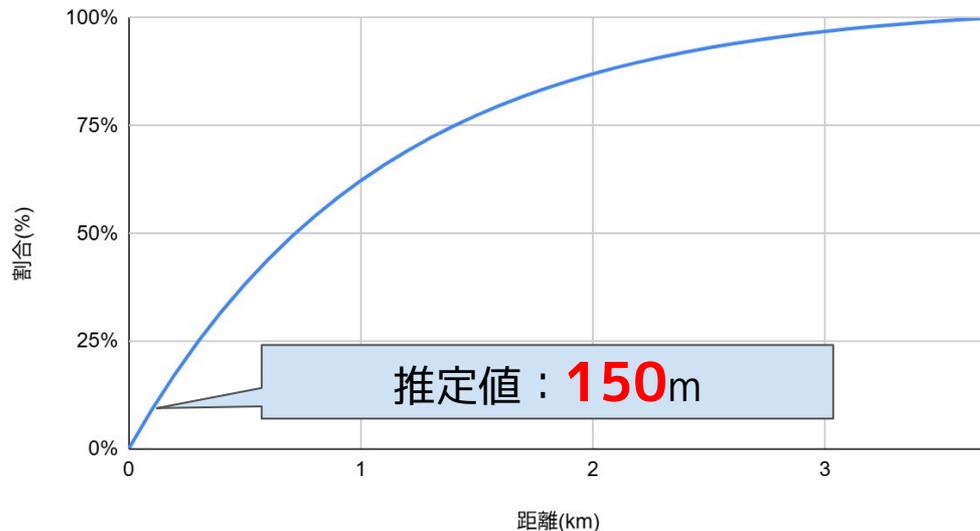
10.93%

(通常時全区間の反射光に対する、
故障点より手前の区間からの反射光の割合)



【通常時】累積反射光割合グラフとの照合

全ての反射光に対する各地点までの反射光割合



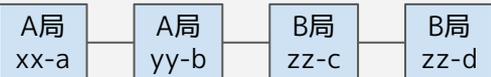
STEP4 : 線路図で故障点を確認

故障点被疑距離

150 m

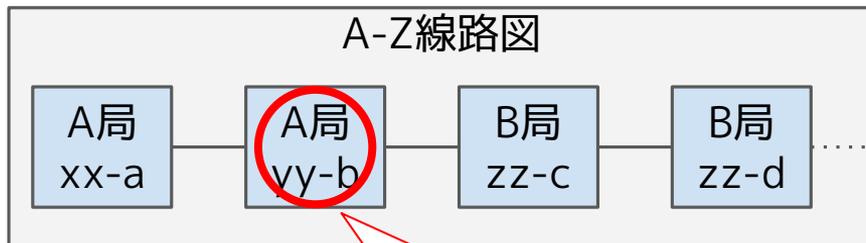
線路図データ

A-Z線路図



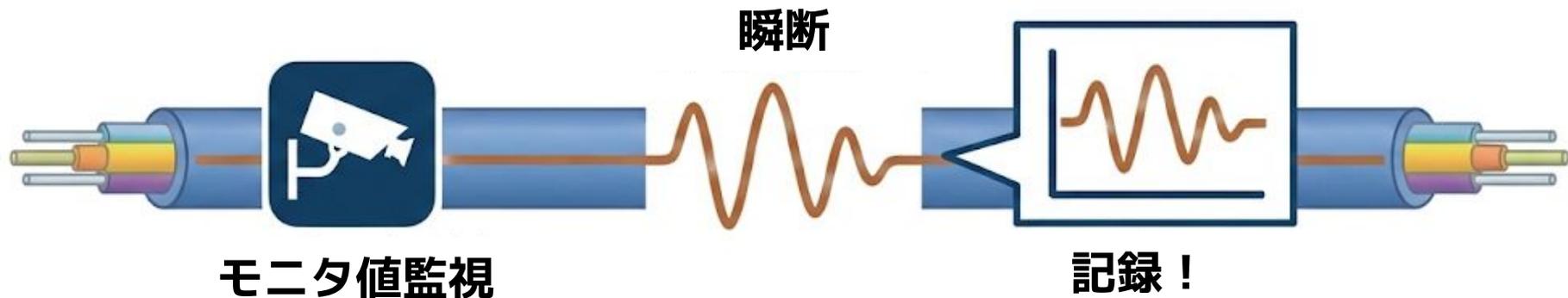
距離が近い接続点を確認

A-Z線路図



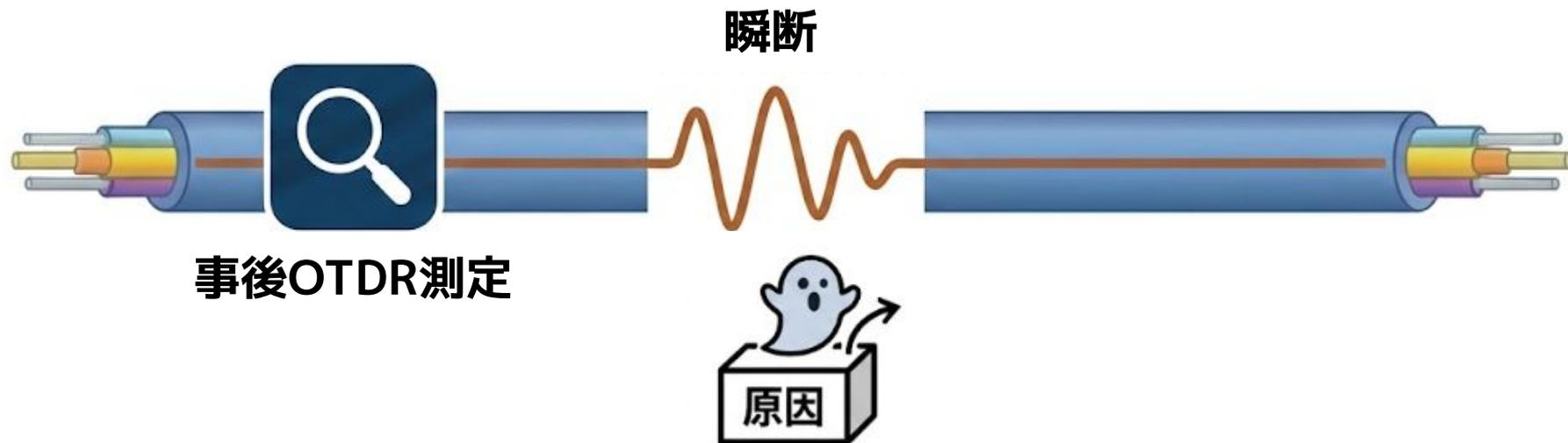
被疑接続点を推定

モニタ値確認での利点



**「その瞬間」を記録したデータを解析するため
被疑箇所の絞り込みが可能である**

事後OTDR測定での欠点



**事象収束後のため、
原因箇所の特定は困難**

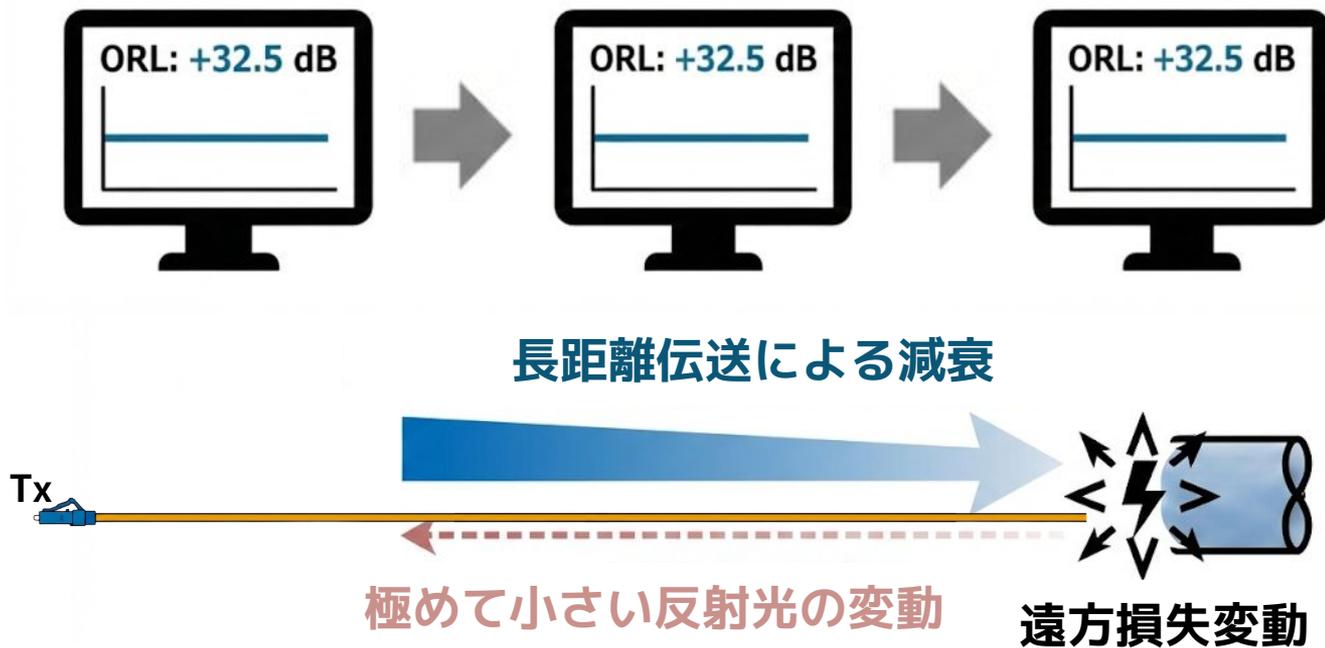
実際の精度について

区間損失増加量 (dB)	全反射減衰増加量 (dB)	正常区間 反射光割合
3.2	1.7	57.98%
3.2	2.2	48.45%
3.7	1.7	60.40%

**0.5dBの測定誤差があった場合
10%近く正常区間反射光割合は変動**

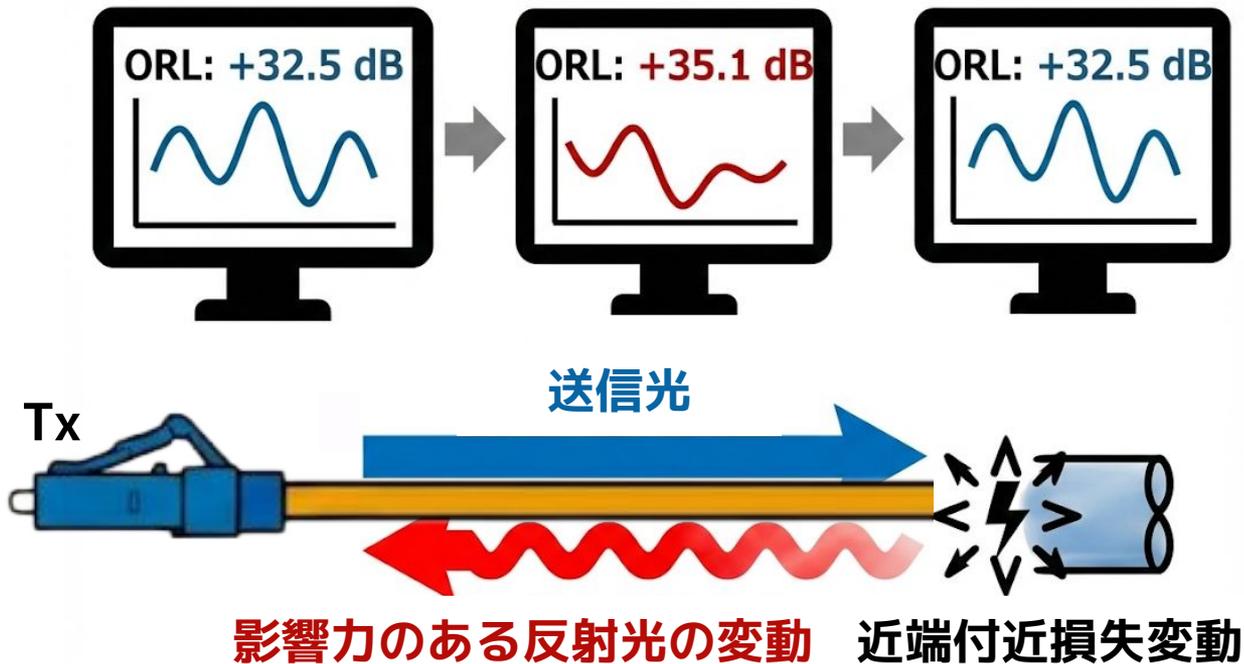
故障箇所による全反射減衰量への影響

【遠方(数十km先)】
 区間損失変動の影響：**全反射減衰量が変動しない**



故障箇所による全反射減衰量への影響

【近端付近(Txポート近く)】
 区間損失変動の影響：**全反射減衰量が露骨に変動**

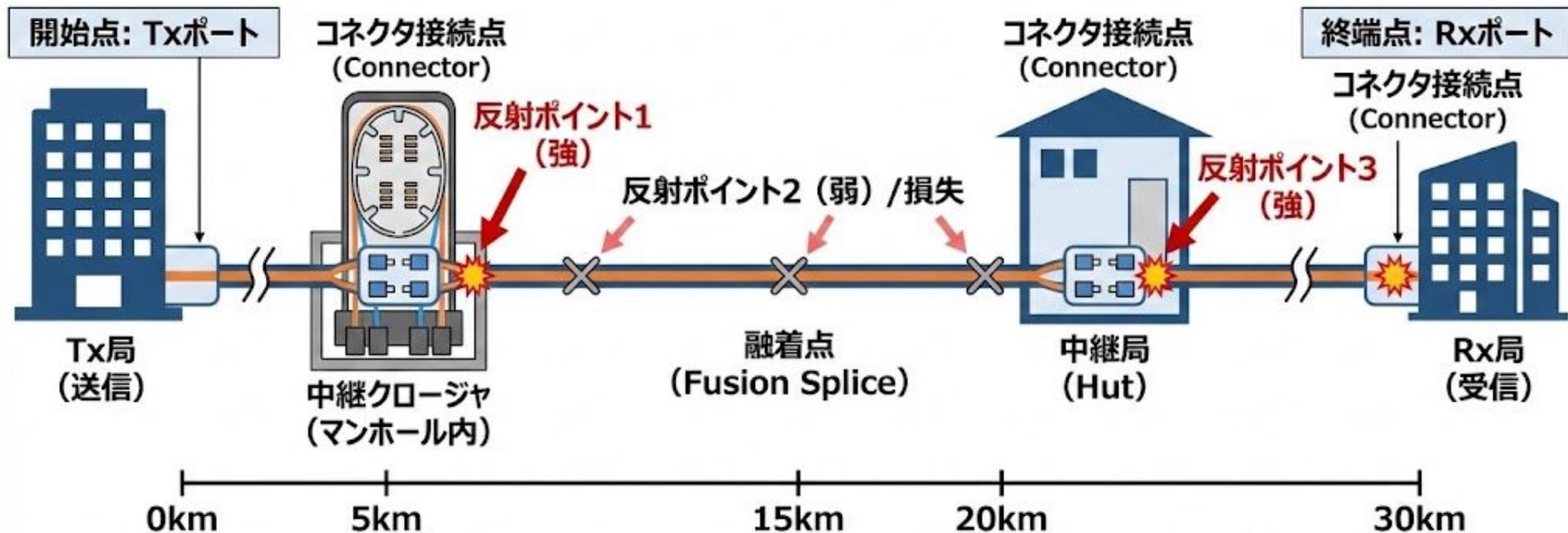


反射光割合による故障箇所の絞り込み

正常区間の 反射光割合	推定エリア	修繕優先度・判断
20%以下	近端（手前）	近端最優先調査 （DC内・近傍の可能性大）
80%以上	中間/遠端	近端の優先度を 下げて調査

故障発生箇所が近端か否かの情報は得やすい

局間伝送路はコネクタと融着の連続

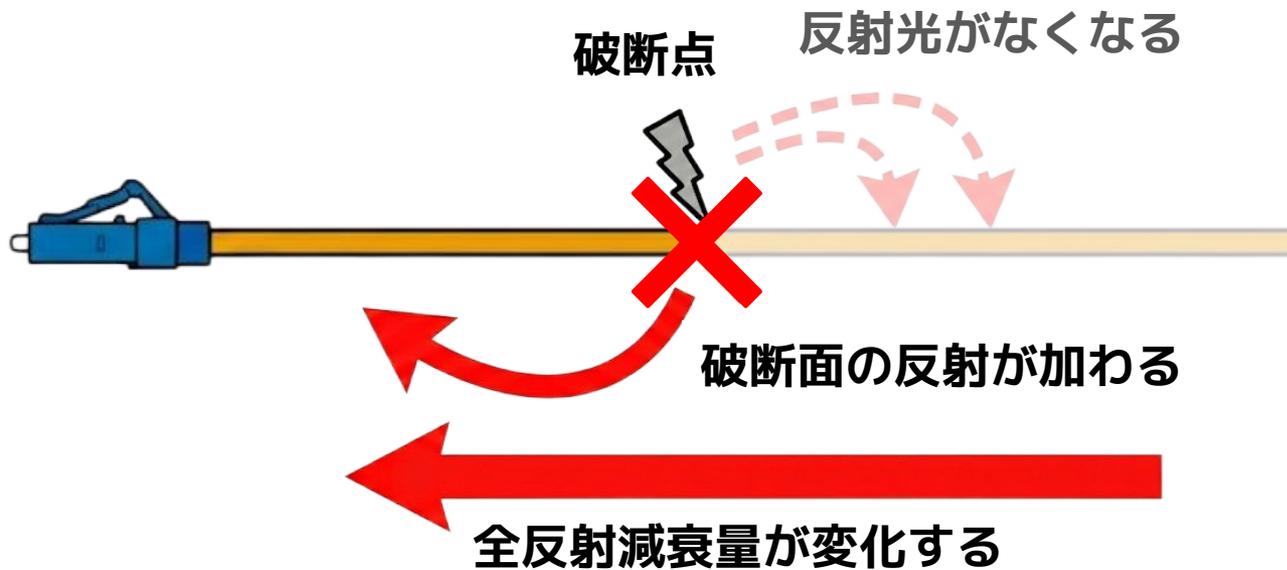


初動対応の優先順位付けが可能

**曲げだけでなく
破断時の全反射減衰量にも着目**

破断損失による全反射減衰量の変化

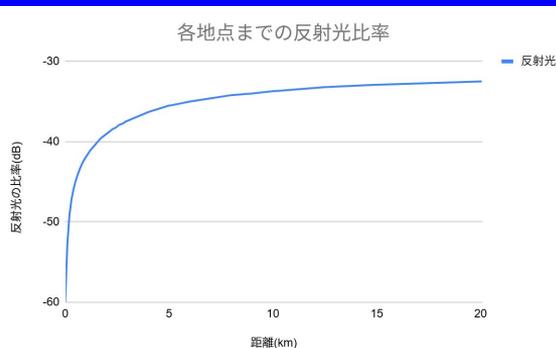
破断時



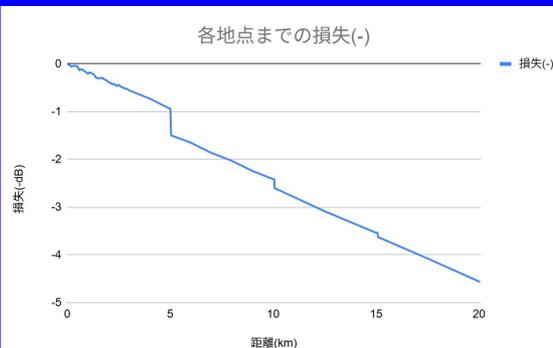
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

破断時の送信光に対する反射光比率 = (その地点までの通常時反射光の比率)
+ (破断面の反射) にその地点までの損失の2倍の損失を適用したもの)

①入力1：各地点までの反射光比率



②入力2：各地点までの損失



計算・合成

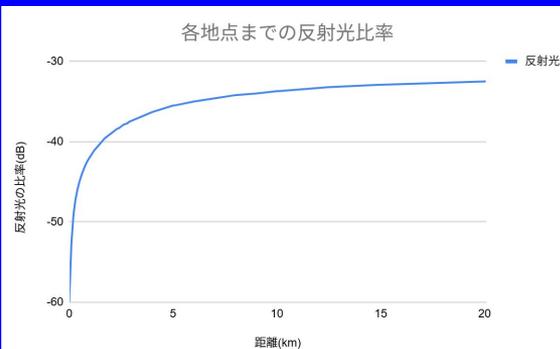
③出力： 各地点における破断時の反射光比率

?

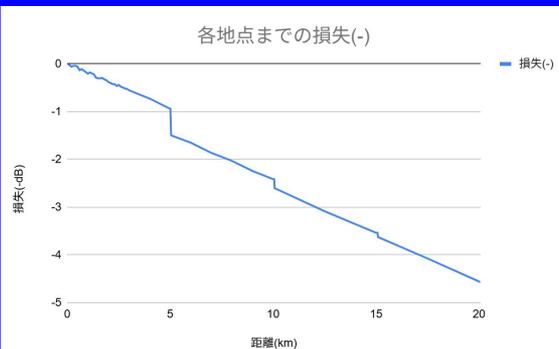
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

破断時の送信光に対する反射光比率 = (その地点までの通常時反射光の比率)
+ (-14dBの反射にその地点までの損失の2倍の損失を適用したもの)

①入力1：各地点までの反射光比率

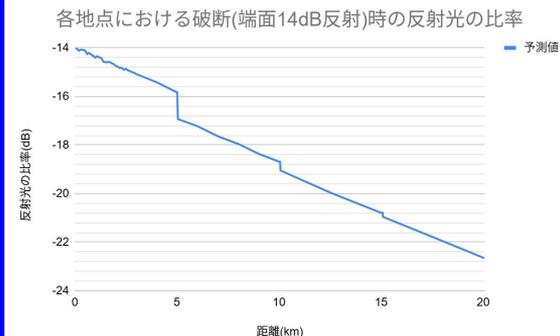


②入力2：各地点までの損失



計算・合成

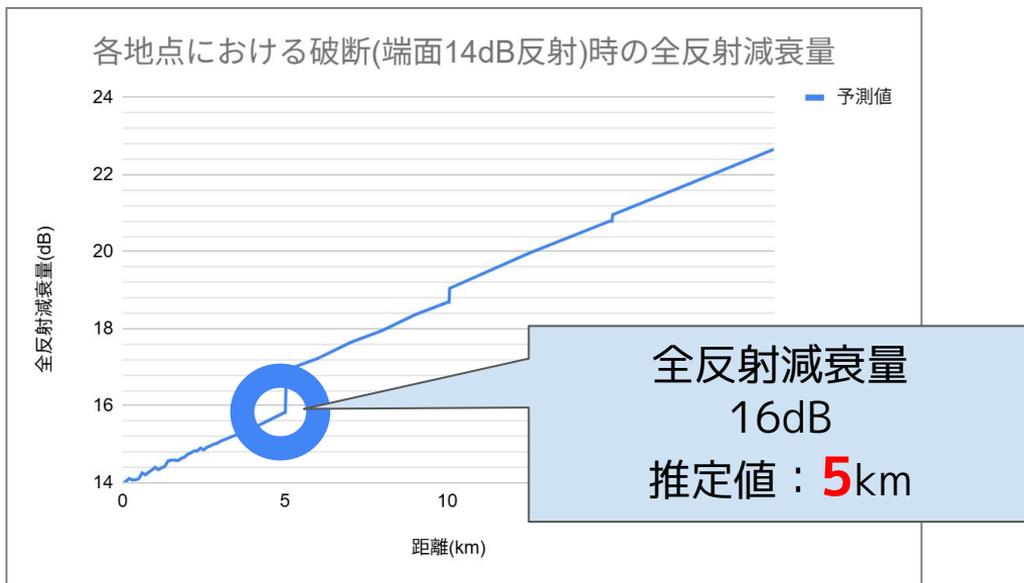
③出力：各地点における破断時の反射光比率



- ファイバーに大きな反射点がなければ十数kmは②の損失の推移と類似
- 区間損失の大きくなる遠方では、
-14dBの反射光も減衰し、その影響は低下する

破断箇所推定

全反射減衰量バージョンのグラフにて、
 破断時の機器の全反射減衰量モニタ値から距離を推定する
 例：全反射減衰量のモニタ値が-16dB→5km地点被疑



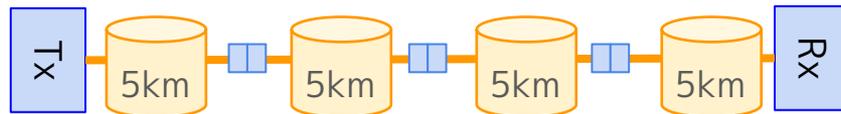
ラボ検証

【検証結果】 ケーブル破断時の実測値

概要

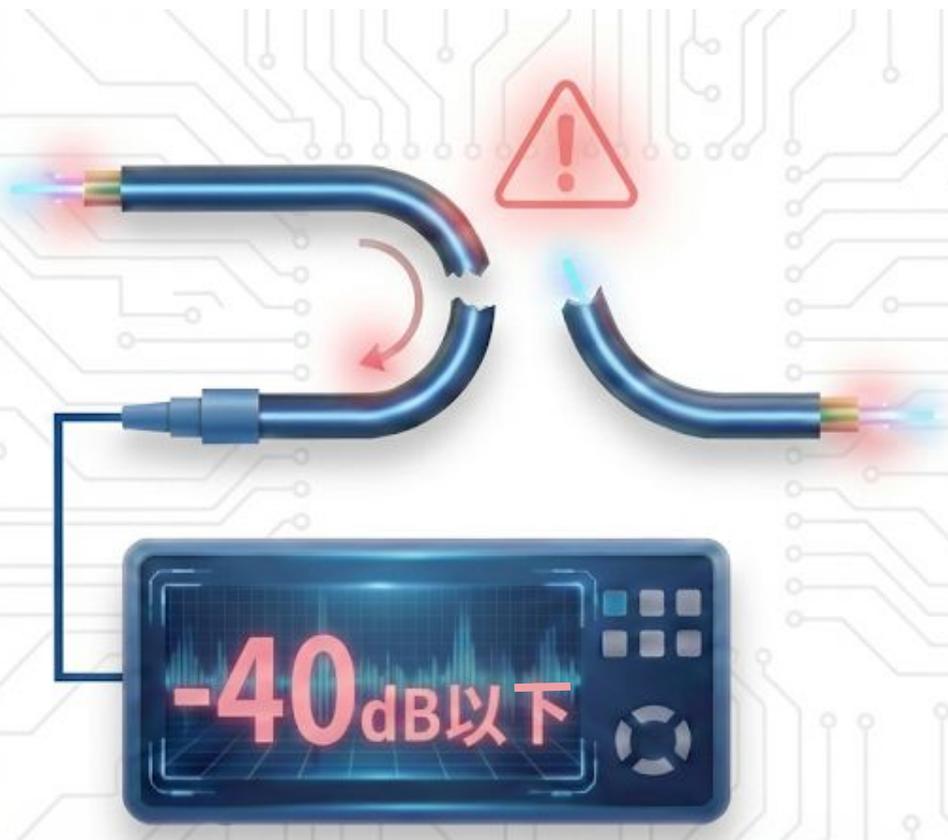
- ・ 接続点の反射を良好にした20kmのファイバーを使用
- ・ 各地点で破断ケーブルを接続
- ・ 推定した距離と実際の距離を比較

検証構成



検証する式
 破断時の反射光
 = (その地点までの通常時反射光比率)
 + (-14dBの反射に区間損失の2倍の損失を適用したもの)

ケーブル破断時の反射



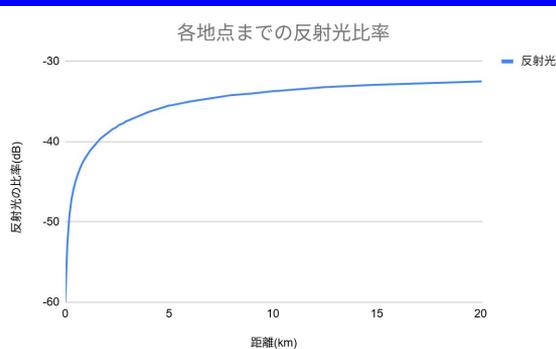
検証結果

- ・ 切断により発生した遠端における反射率は、想定値「-14dB」とは異なり、「-40dB以下」を計測した。
(断面がクラッシュして、崩れる)

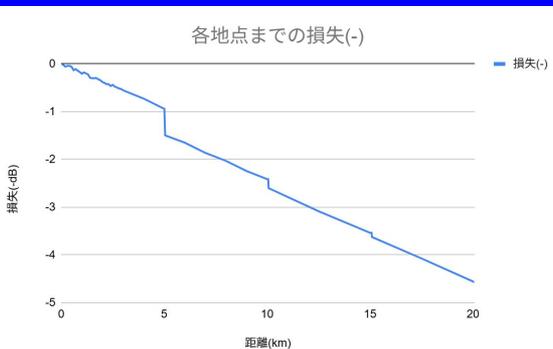
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

破断時の送信光に対する反射光比率 = (その地点までの通常時反射光の比率)
+ (-40dBの反射にその地点までの損失の2倍の損失を適用したもの)

①入力1：各地点までの反射光比率

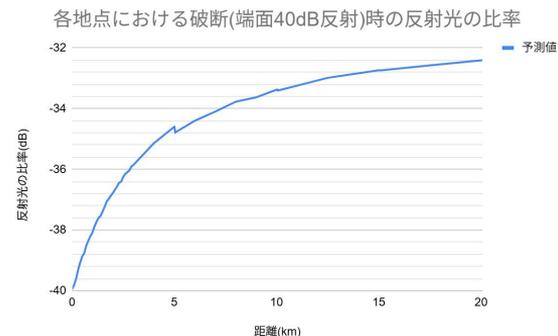


②入力2：各地点までの損失



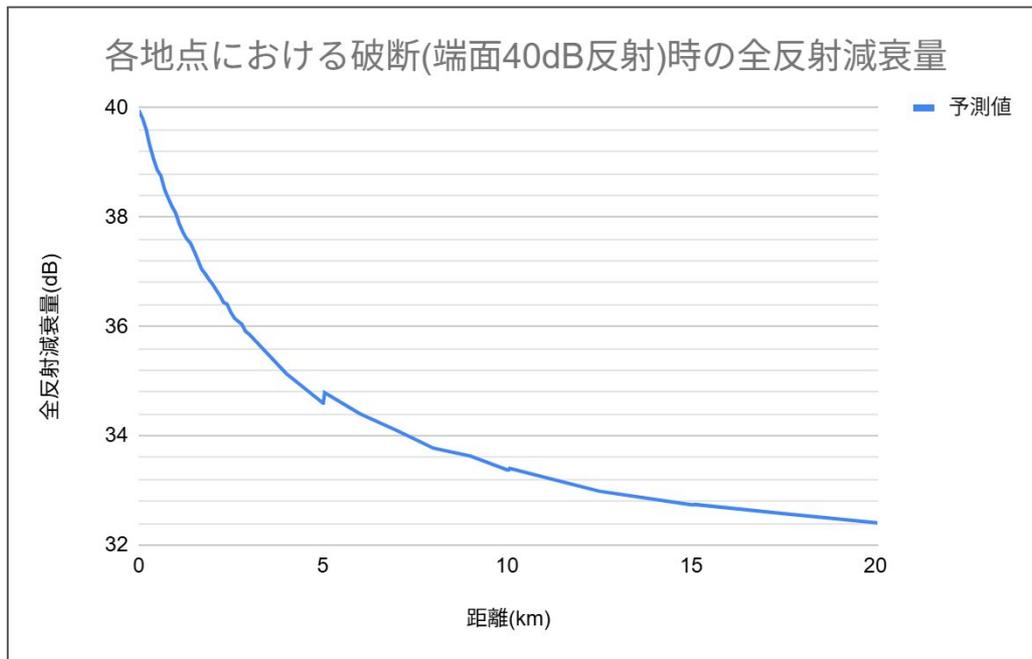
計算・合成

③出力：各地点における破断時の反射光比率



-40dBにて再計算

開通時の反射・損失情報からの導出プロセス



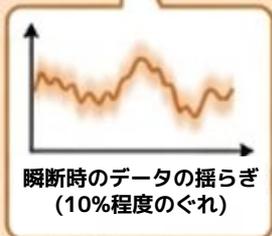
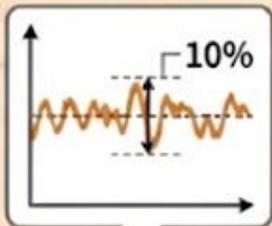
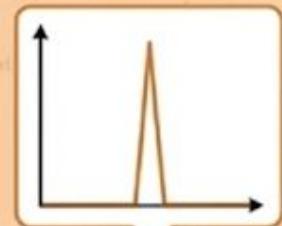
近端付近全反射減衰量が大きくなる

まとめ

1.理論と現実

理論

現実

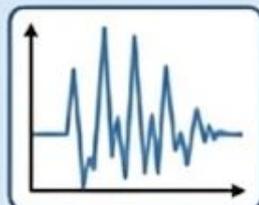


魔法のように
ピンポイント特定?

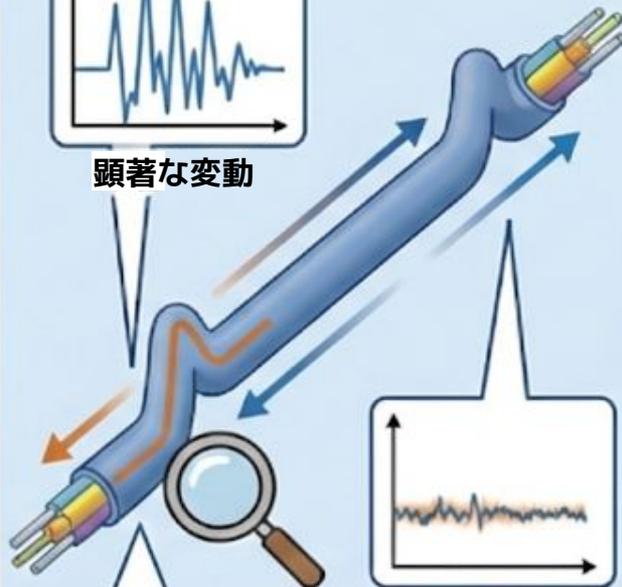
2.反射・損失特性の活用

近端

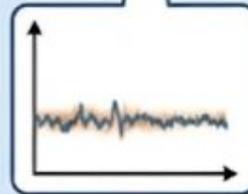
遠端



顕著な変動

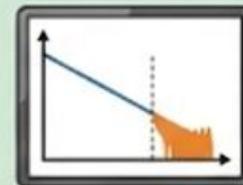


どのエリアで
何が起きているか
を掴む



変化が埋もれる

3.切分対応



OTDRデータ

突合



PMデータ変動値



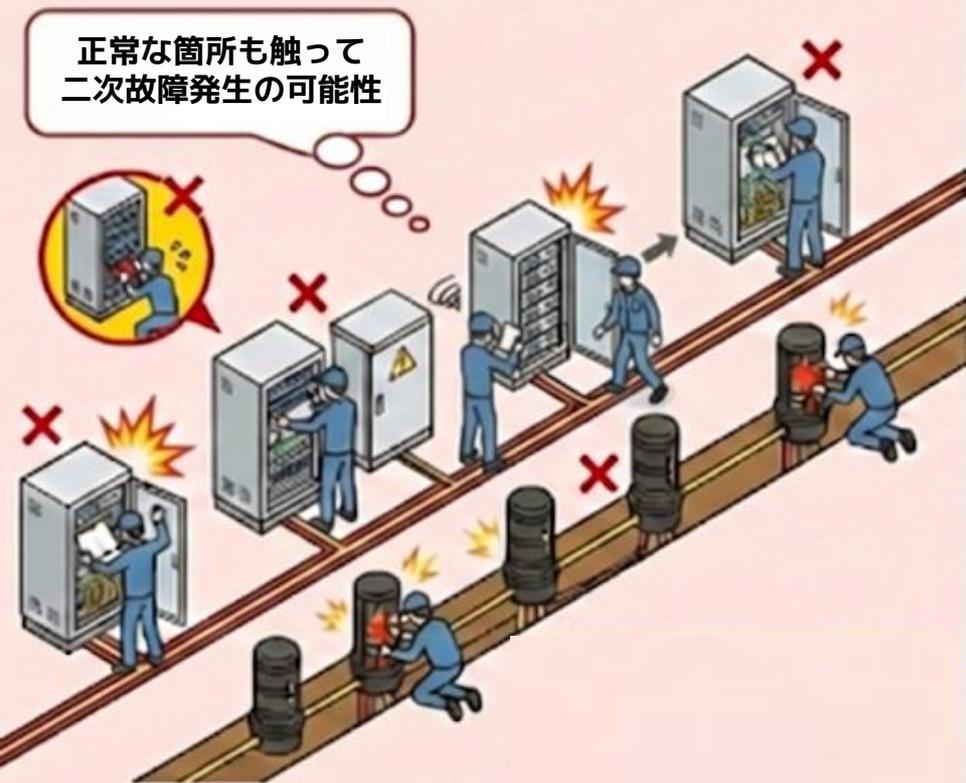
組合せ

優先度
付け

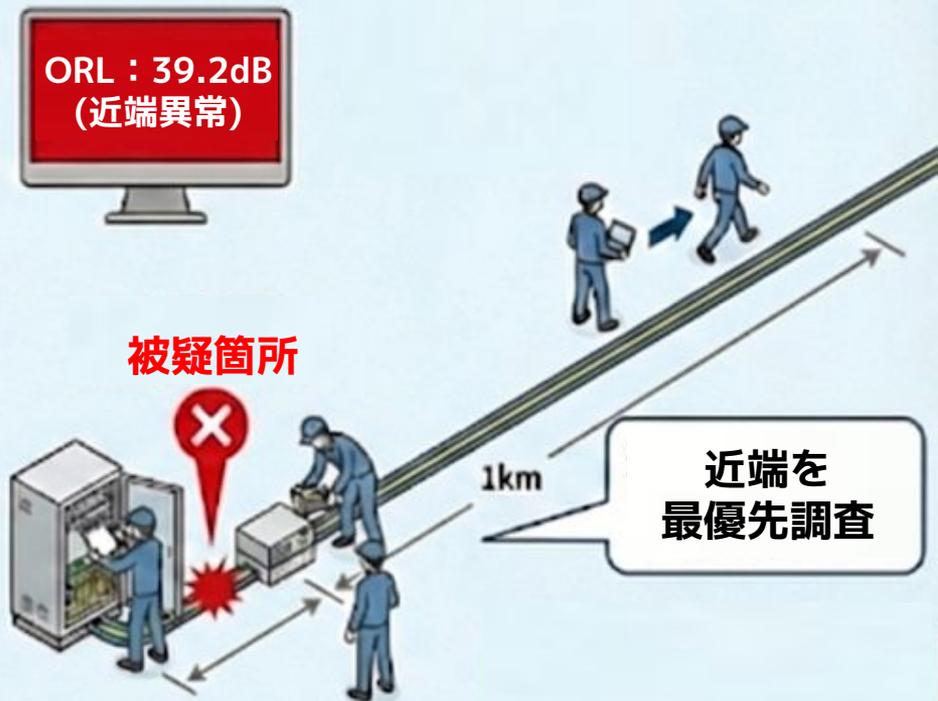


価値

【従来のアプローチ】



【本技術活用アプローチ】



結論：むやみにいじらず、必要な箇所に集中することが最善



Q1. 他社の取り組み状況

皆様はどのような
取り組みをされておりますか？



Q2. 「原因不明」 との向き合い方

「原因不明」と、
どこで折り合いをつけているか？



Q3. 推定ロジック の適用可能性

この推定ロジック、
皆様のネットワークでも
「使える」と思いますか？