

【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

自己紹介

角 一樹



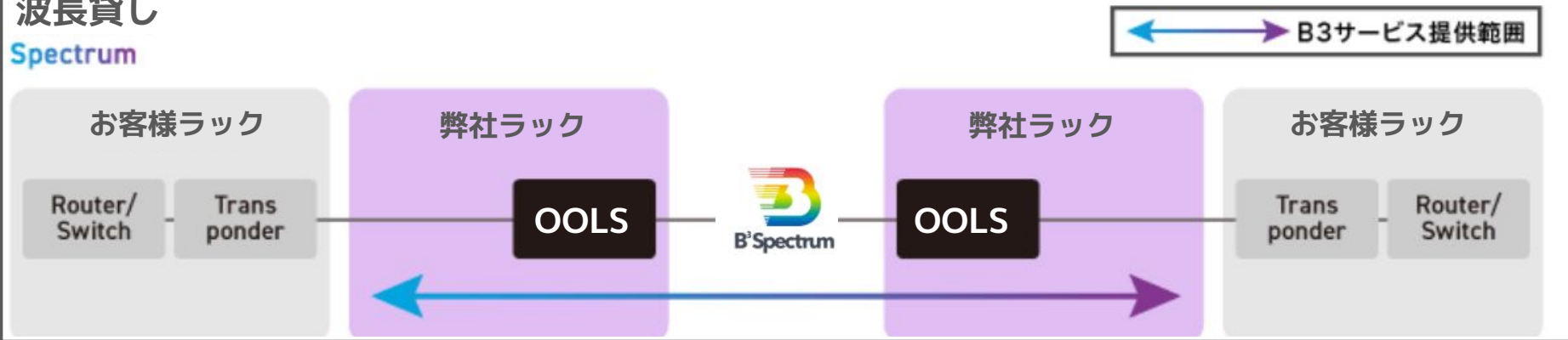
中村 海音



我々の構成(一部サービス抜粋)

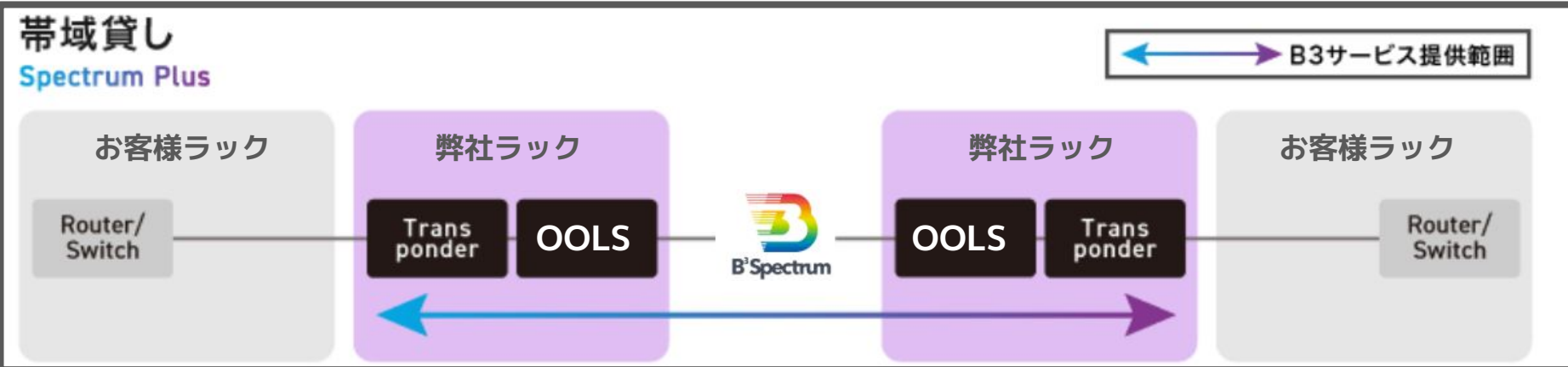
波長貸し

Spectrum

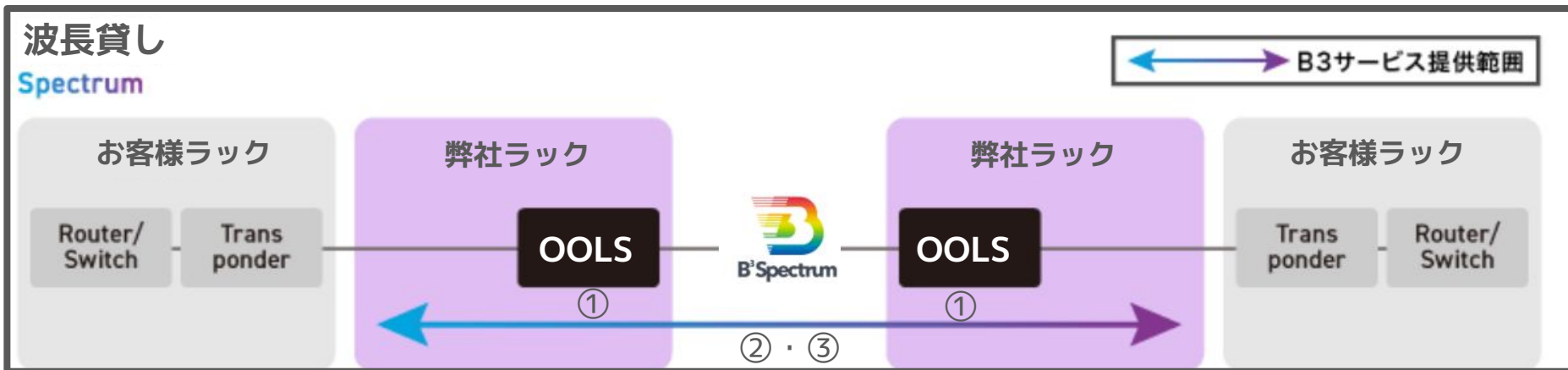


帯域貸し

Spectrum Plus



故障の種類と対応方法



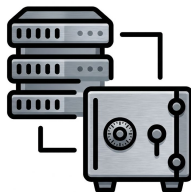
種類	状態	対応方法
①装置故障	継続断	機器交換
②ファイバー継続断	継続断	被疑箇所特定し修繕
③ファイバーレベル低下	断発生後復旧(瞬断※1)	調査

※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

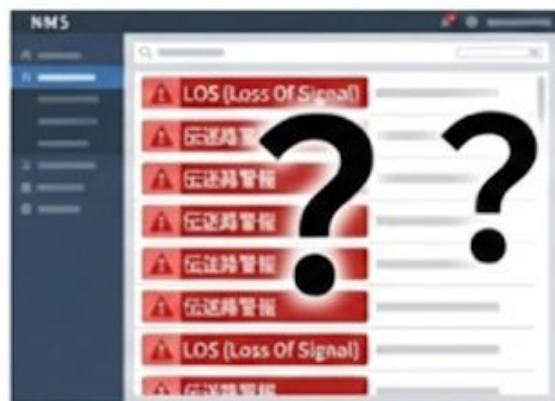
③対象のファイバ事業者等へ 作業、故障有無確認



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

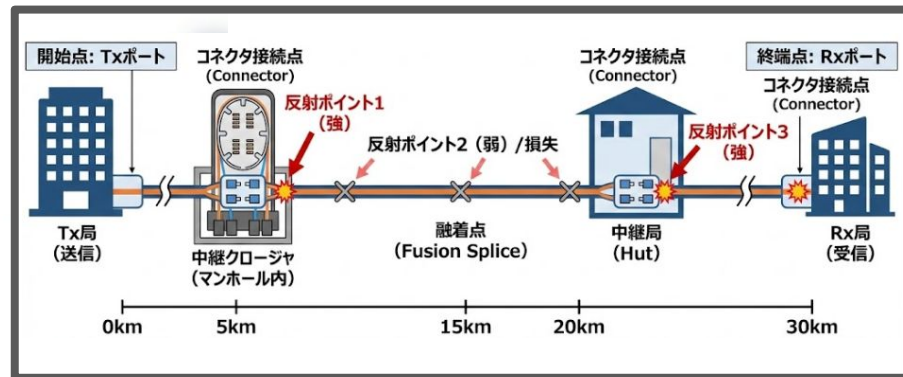
具体的にどの位置で起こったかはわからない

アラーム/PM結果



光レベル等が下がったという
状態を示しているだけ

物理的な原因



具体的な故障箇所は隠れている

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**

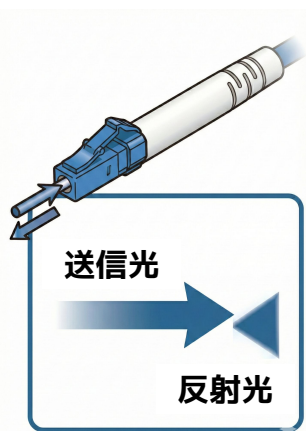
全反射減衰量とは？

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

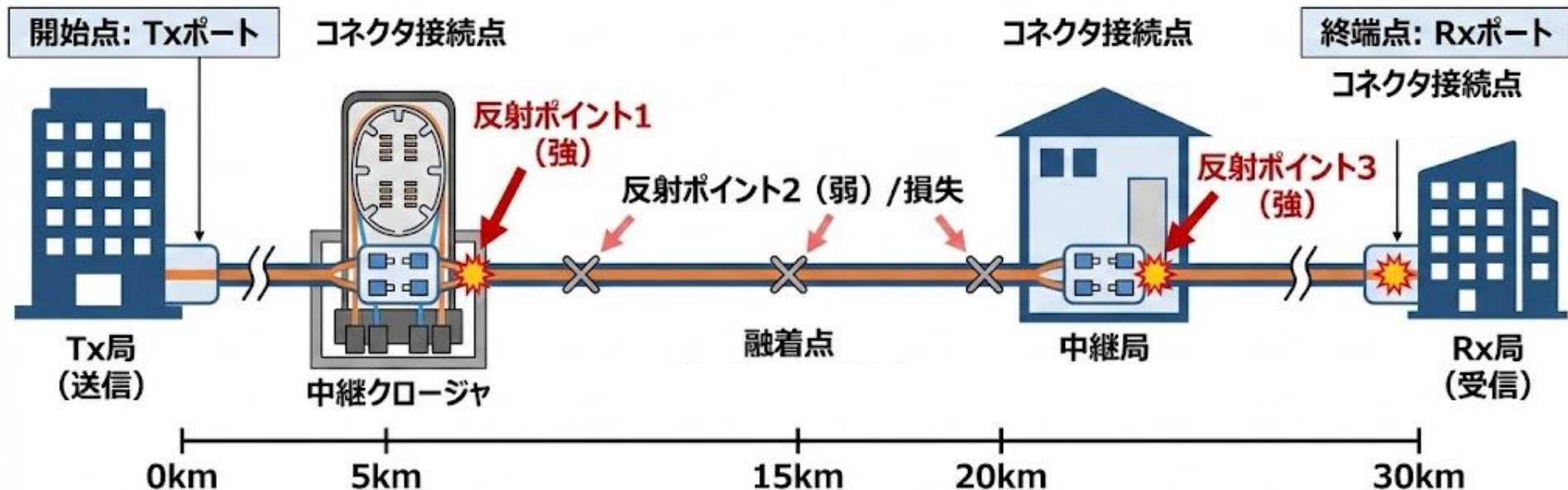


全反射減衰量

+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



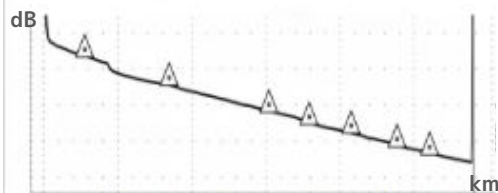
機器のPM値を確認

2. 正常区間の反射光割合を計算

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

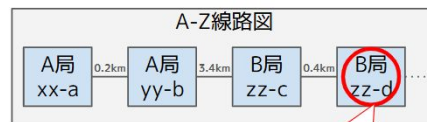
式を用いて
正常区間の反射光割合を算出

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」

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

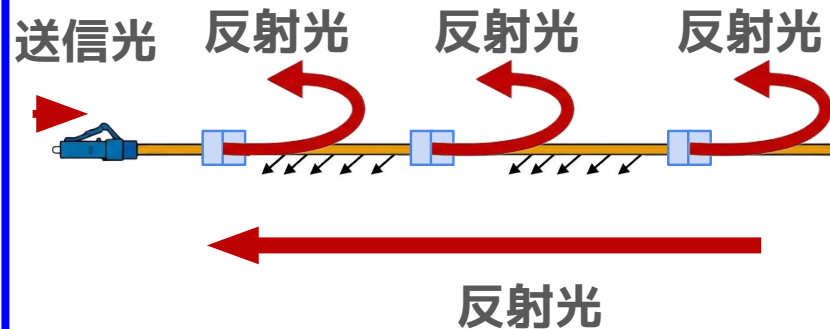
x=全反射減衰量の変動量(1.8 dB)

y=区間損失の変動量(2.7dB)

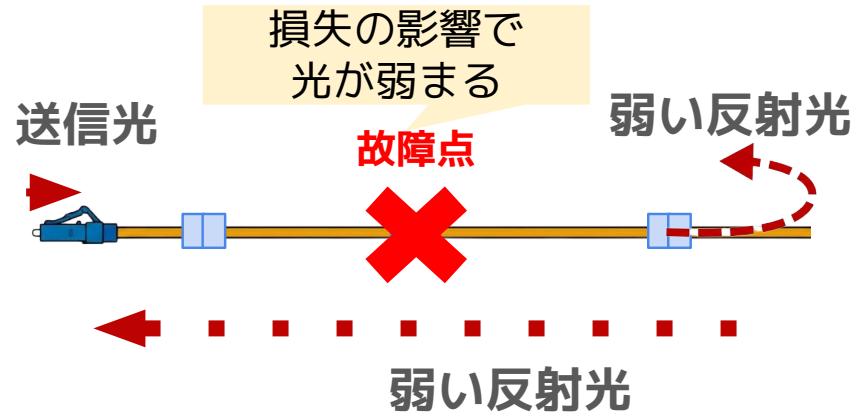
計算結果≒0.523(52.3%)

瞬断時の損失による反射光への影響

通常時



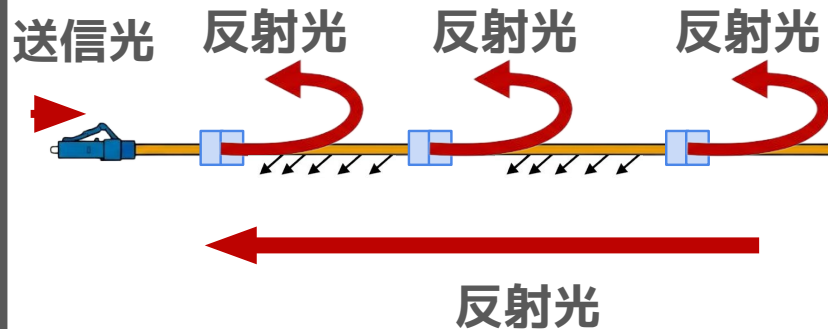
瞬断時



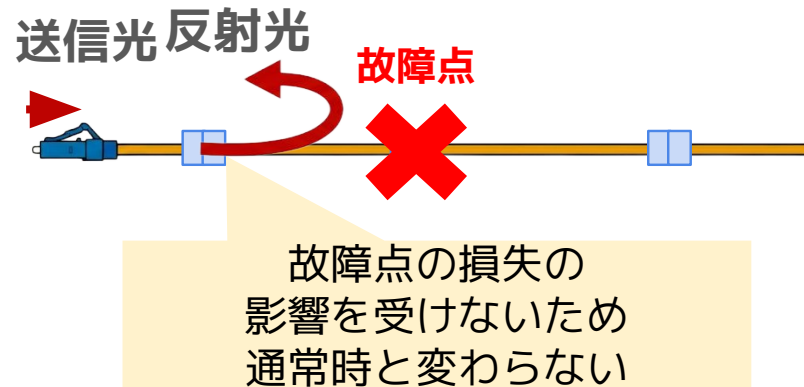
瞬断時は故障点以降の反射光が減る

瞬断時の損失による反射光への影響

通常時

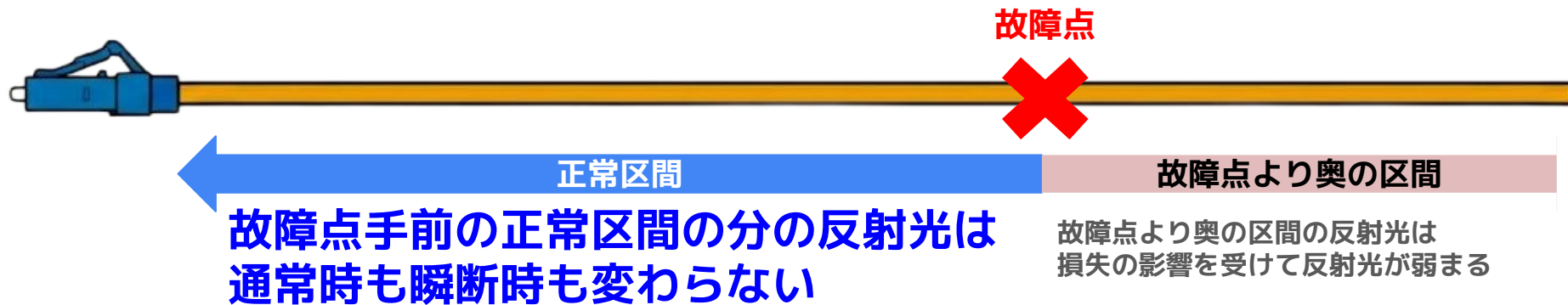


瞬断時



故障点より手前の反射光は変わらない

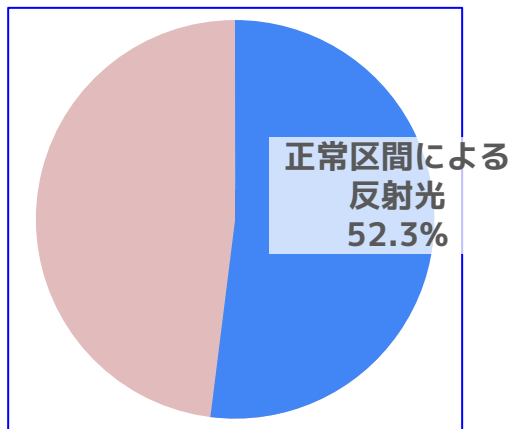
STEP2 : 正常区間の反射光割合の意味



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%



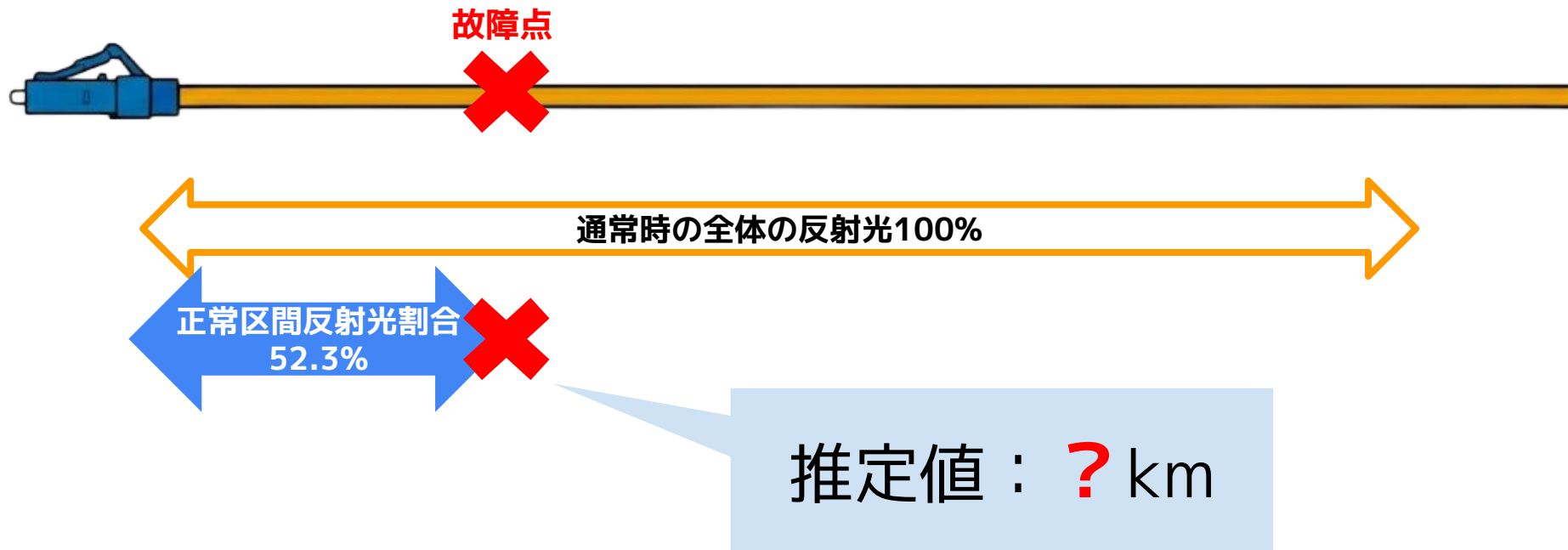
専用の数式で「正常区間の反射光割合を計算」

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

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



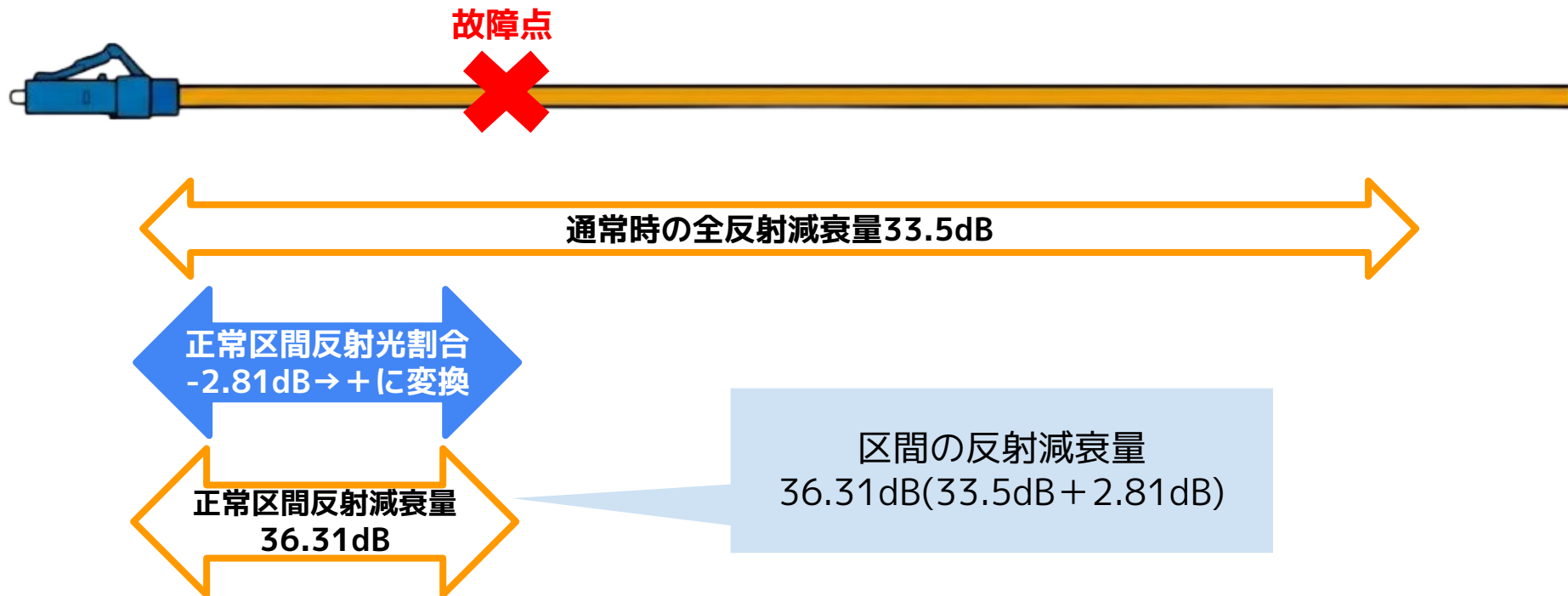
構築時のOTDRデータから反射光割合が一致する距離を確認

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**

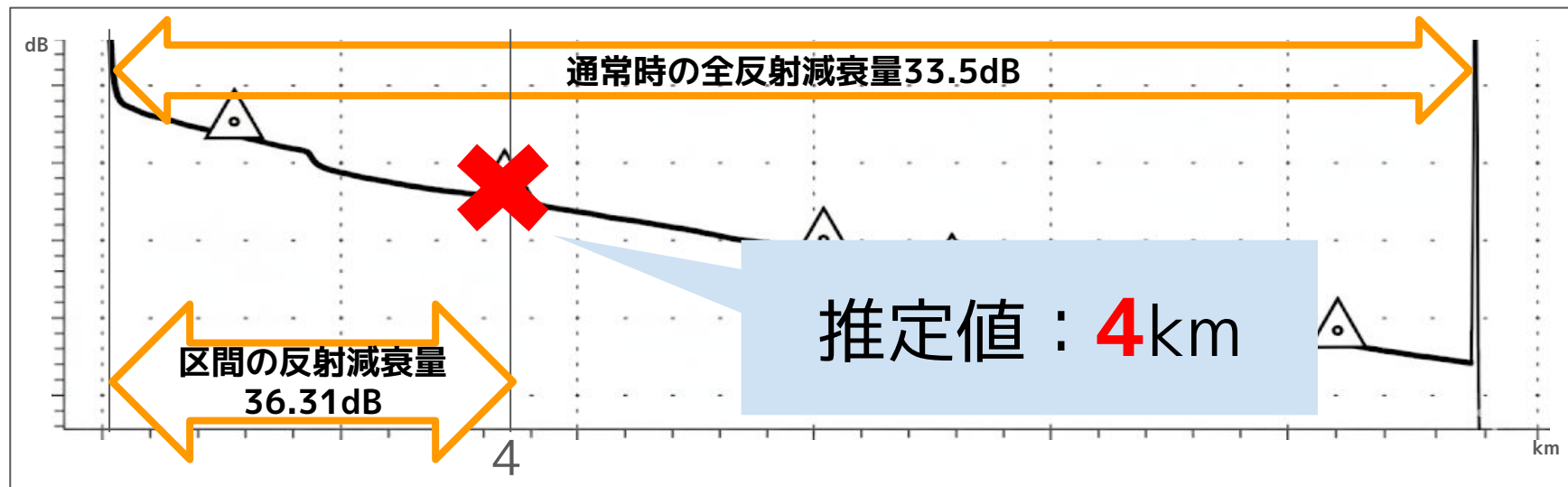
STEP3：故障点までの距離を突合して算出



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

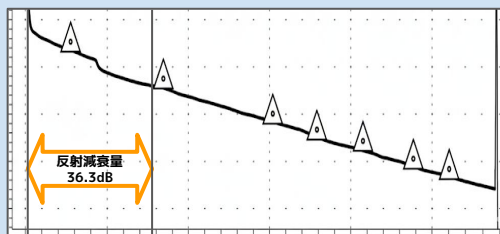
故障点



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

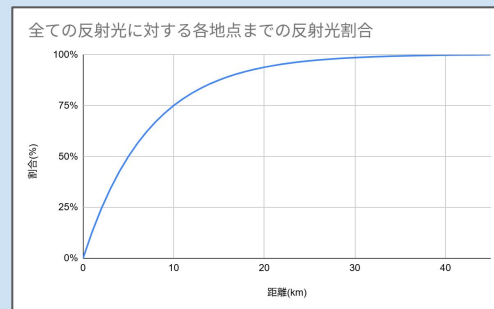
OTDR測定器やアプリケーションにて起点を基準とした各地点までのORLを取得。

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

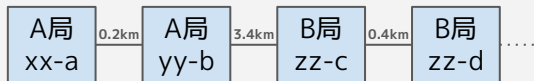
STEP4：線路図で故障点を確認

故障点被疑距離

4 km

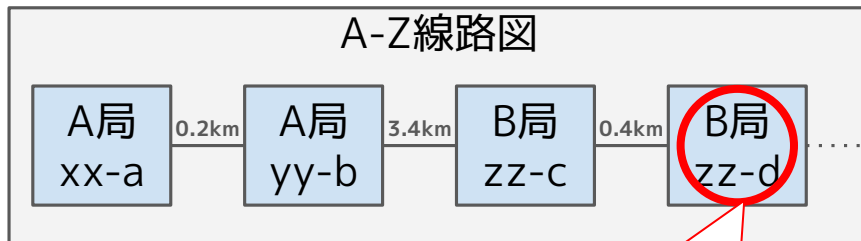
線路図データ

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

概要

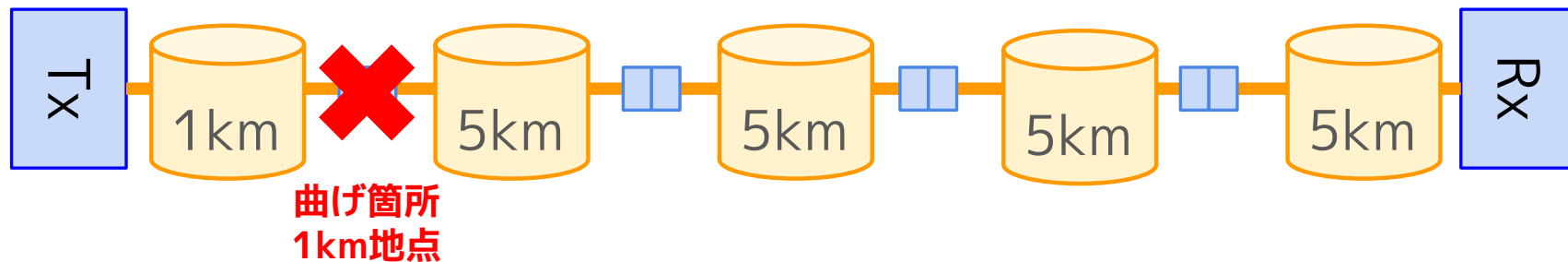
- ・ 接続点の反射を良好にした21kmのファイバーを使用
- ・ 1km地点で曲げを発生
- ・ 推定した距離と実際の距離を比較

検証構成



ラボ検証①：1km地点ケーブル曲げによる確認

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

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

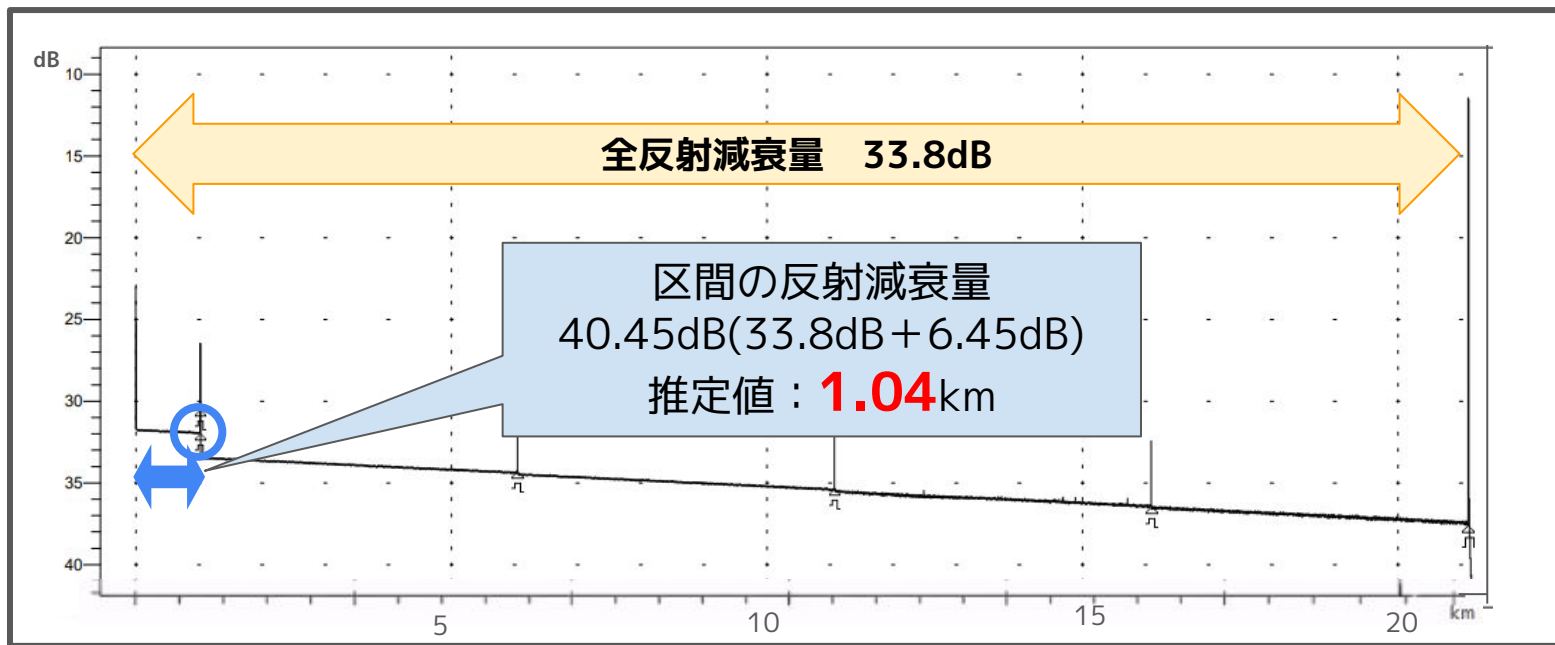
x=全反射減衰量の変動量

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



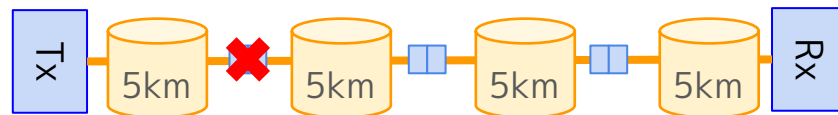
推定値とほぼ一緒の結果

ラボ検証②：5km地点ケーブル曲げによる確認

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

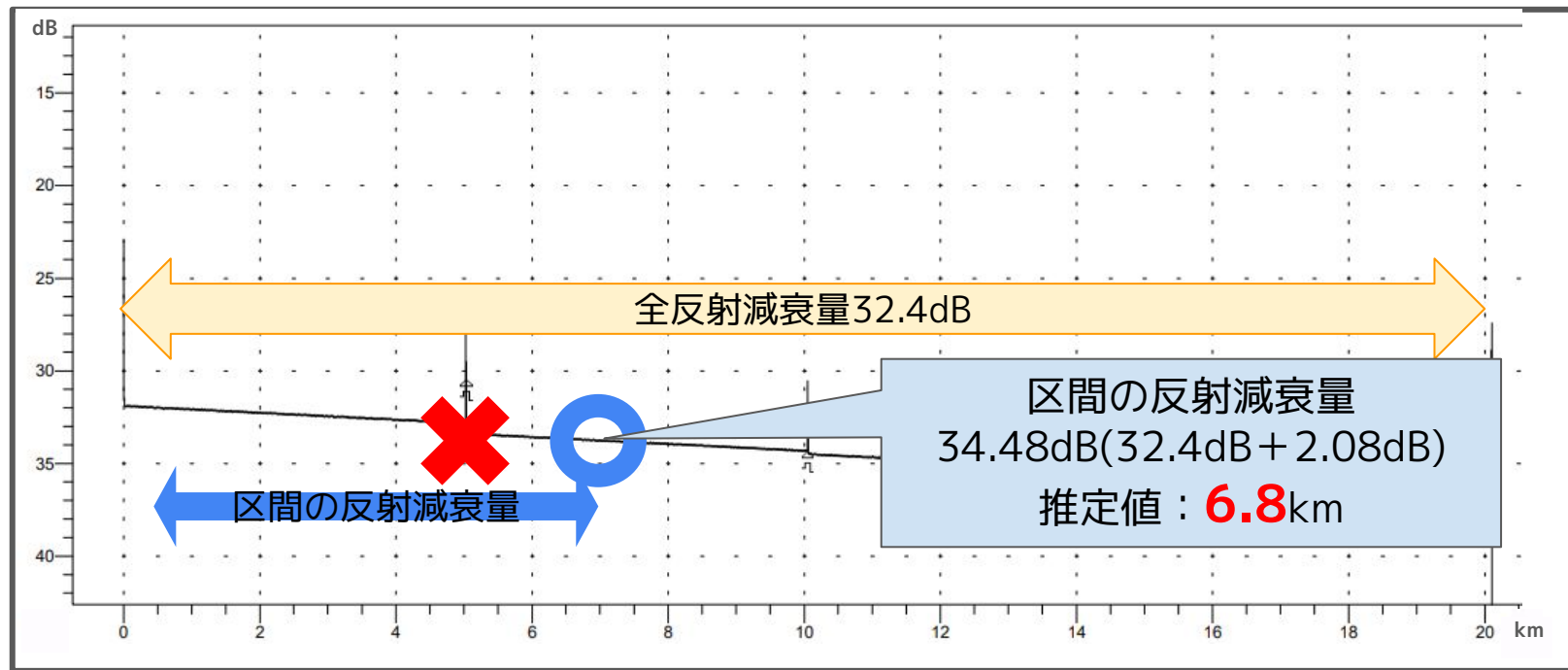
$$1 - \frac{1 - 10^{-x/10}}{1 - 10^{-y/5}}$$

$$\doteq 61.93\% \Rightarrow -2.08\text{dB}$$

x=全反射減衰量の変動量

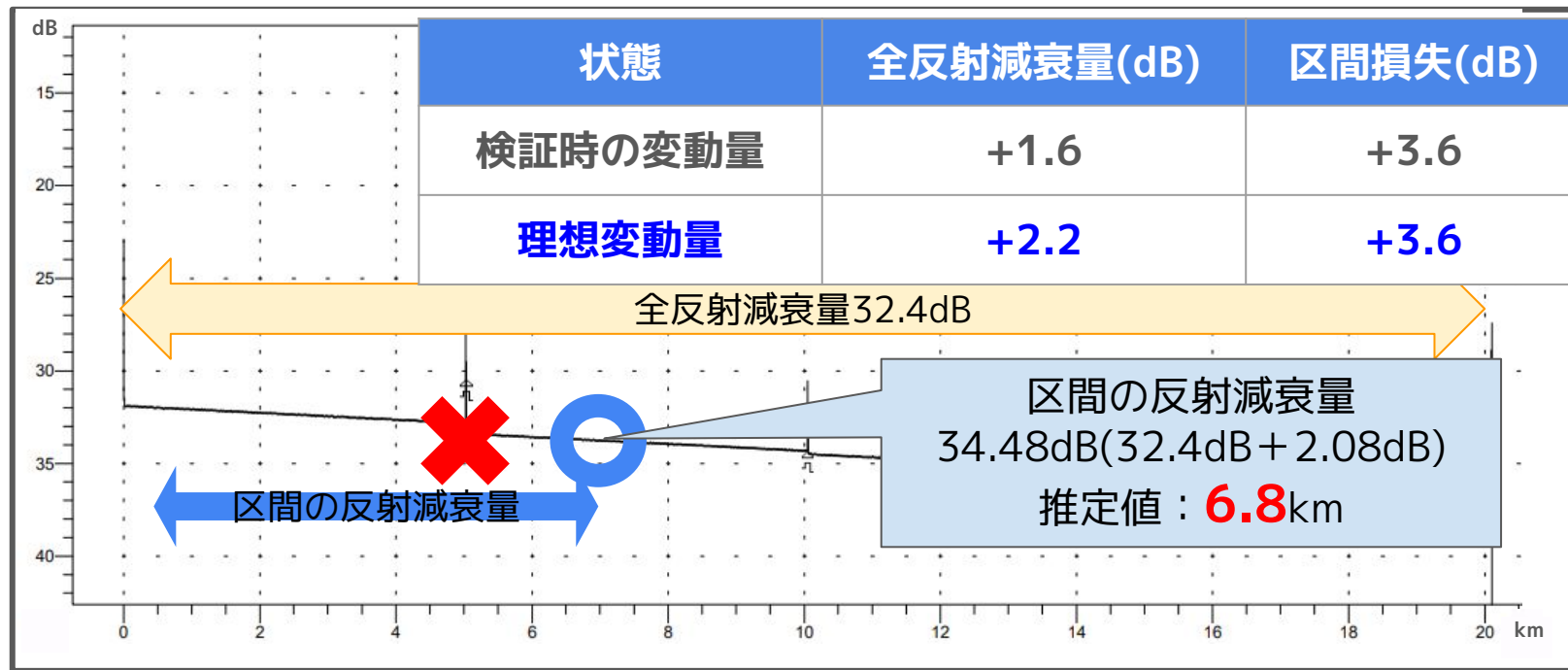
y=区間損失の変動量

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



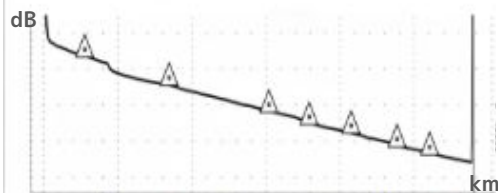
機器のPM値を確認

2. 正常区間の反射光割合を計算

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

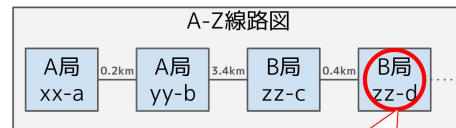
式を用いて
正常区間の反射光割合を算出

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

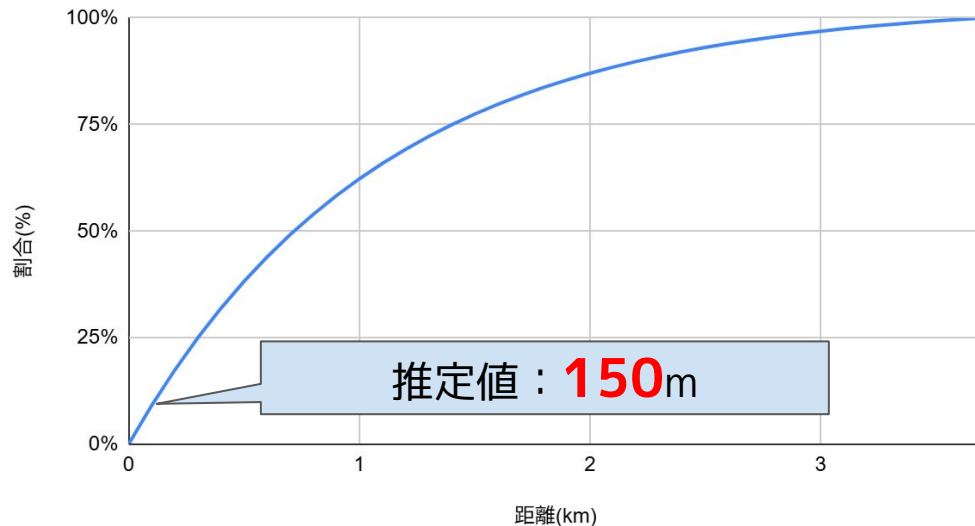
10.93%

(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



Tx



Rx

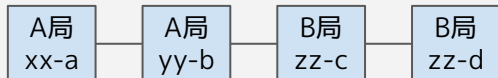
STEP4：線路図で故障点を確認

故障点被疑距離

150 m

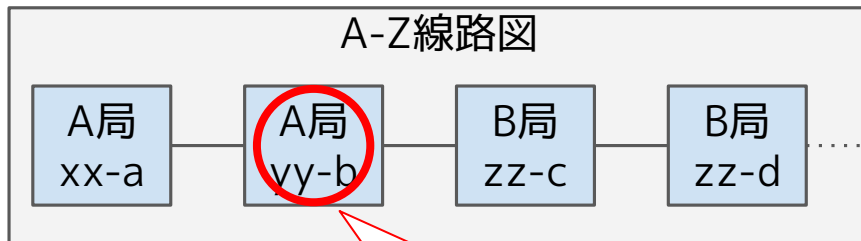
線路図データ

A-Z線路図



距離が近い接続点を確認

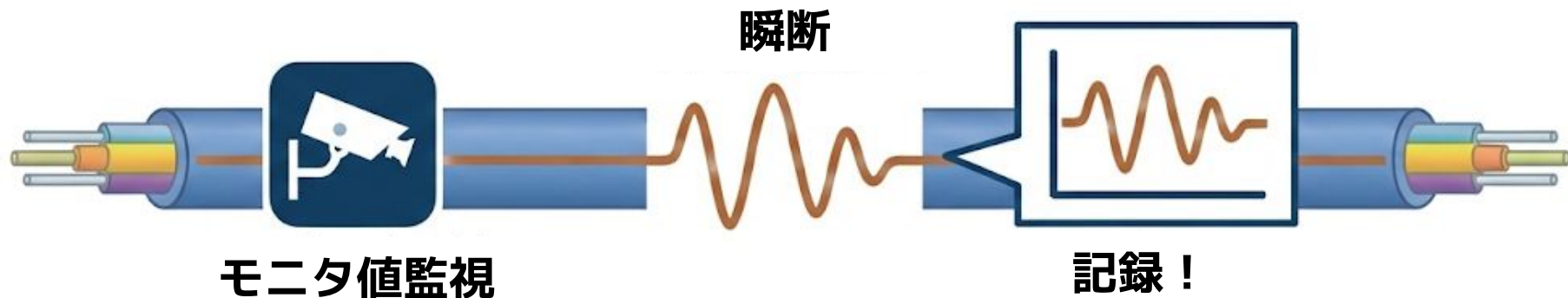
A-Z線路図



故障被疑：
起点建物内

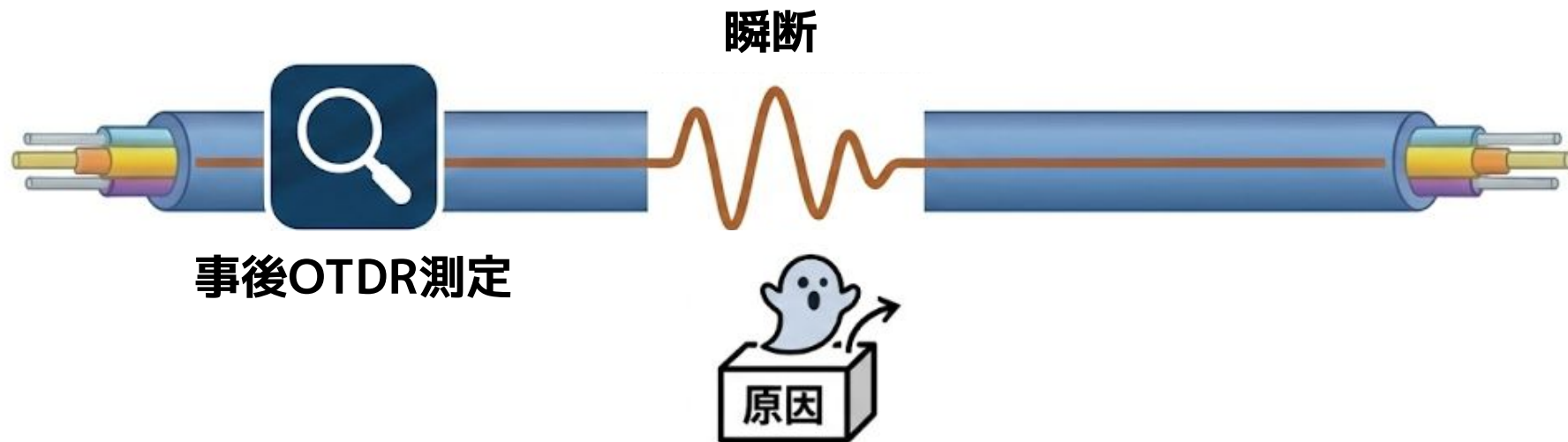
被疑接続点を推定

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**

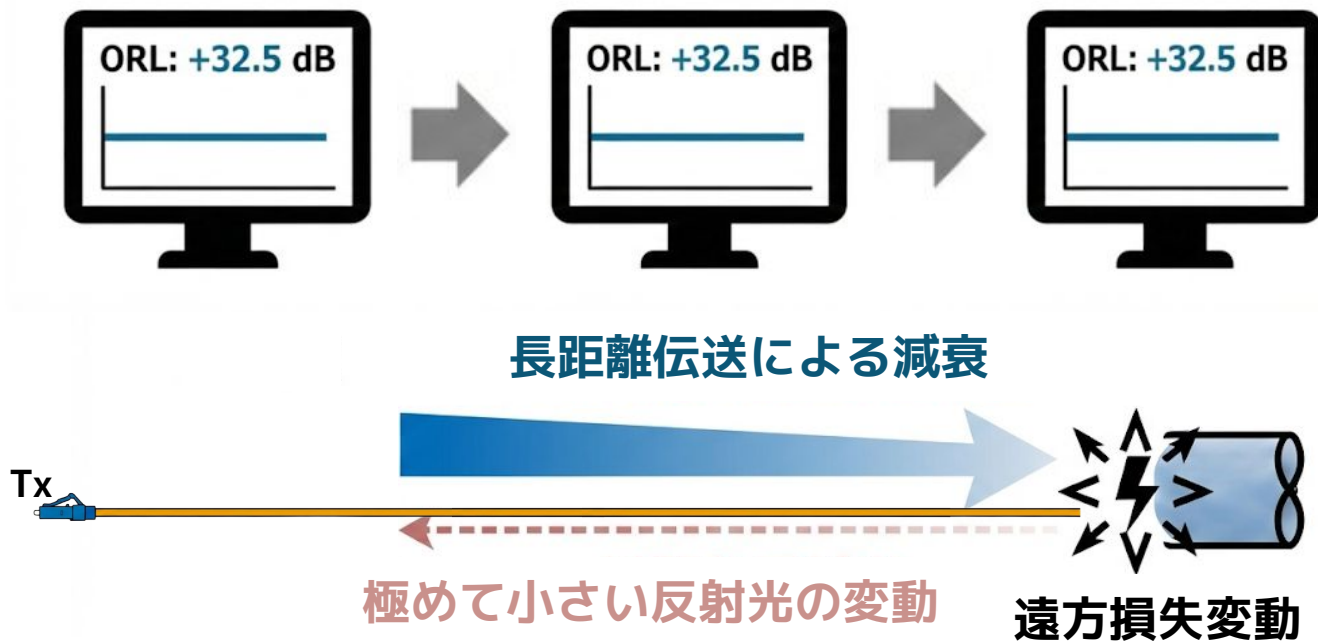
実際の精度について

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**

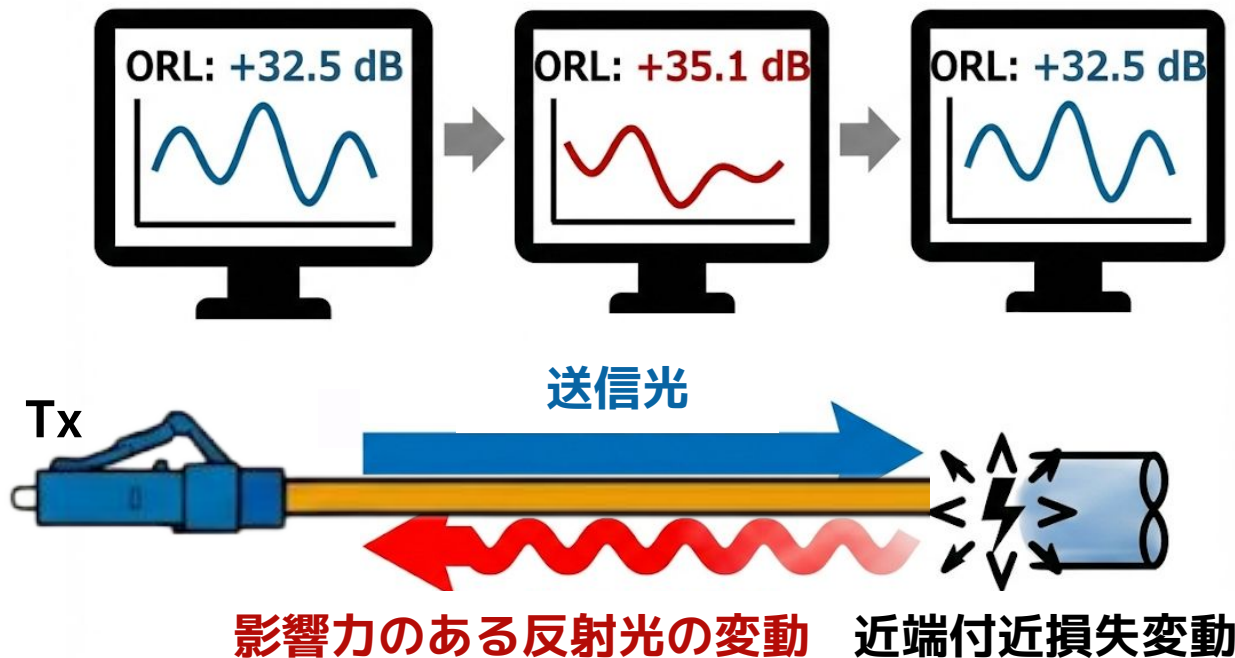
故障箇所による全反射減衰量への影響

【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**

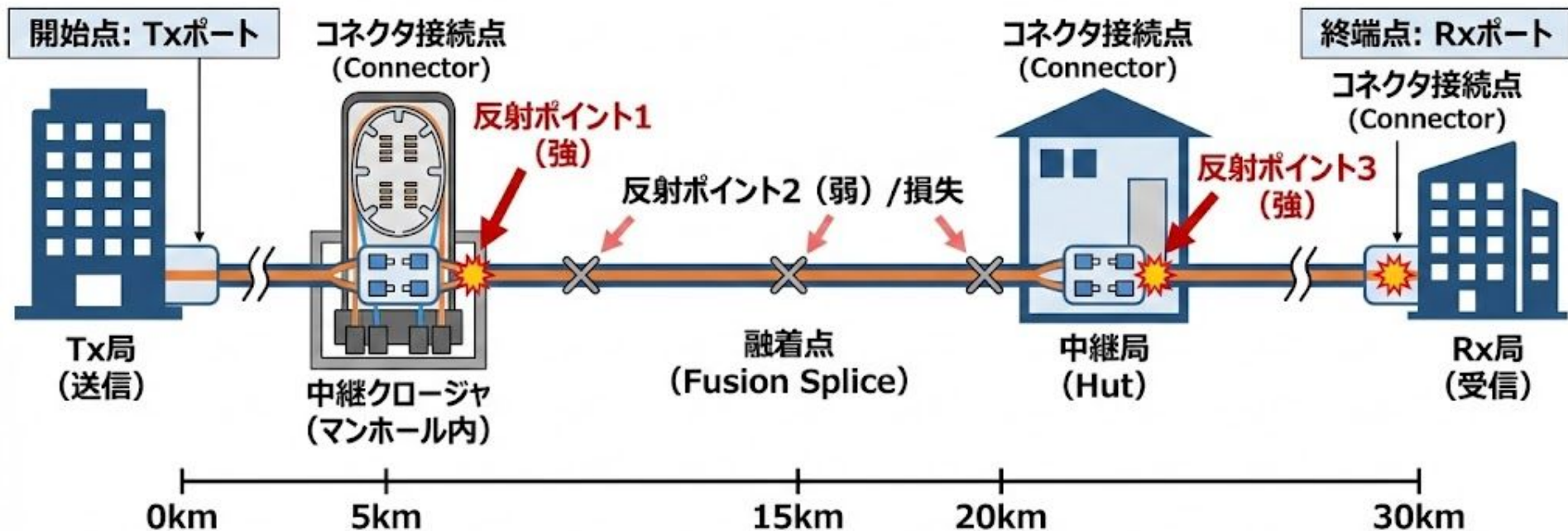


反射光割合による故障箇所の絞り込み

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

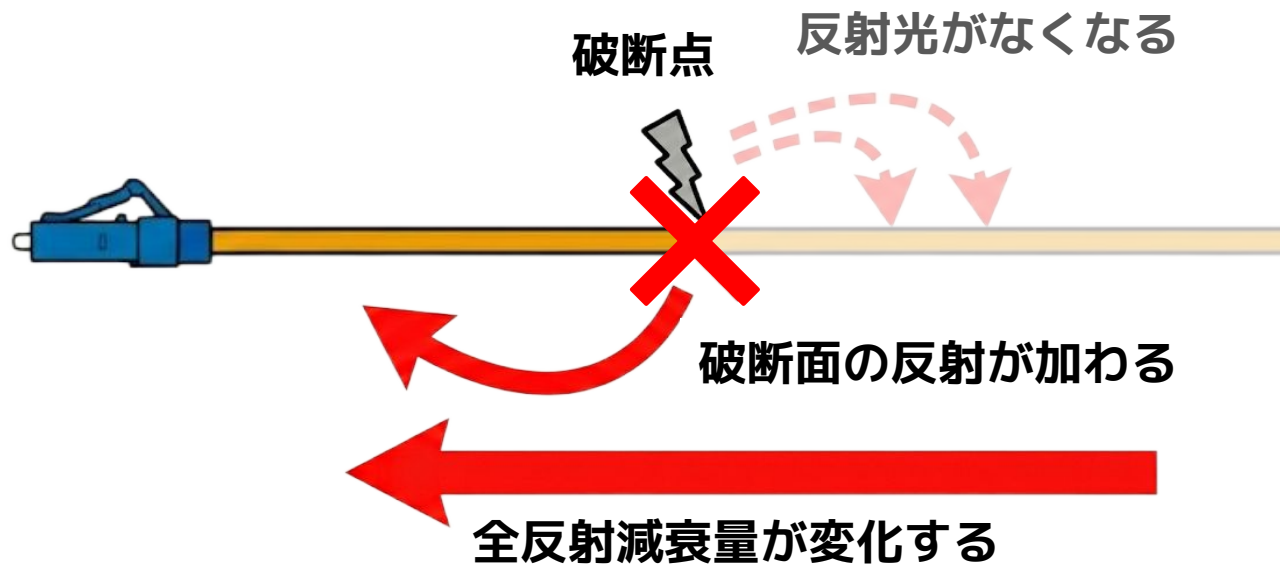


初動対応の優先順位付けが可能

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

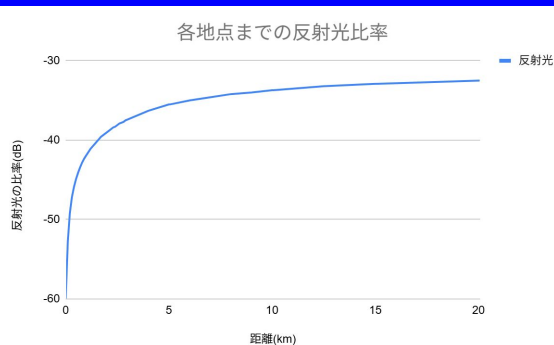
破断時



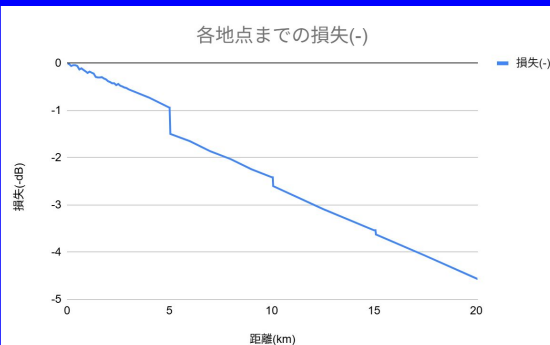
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

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

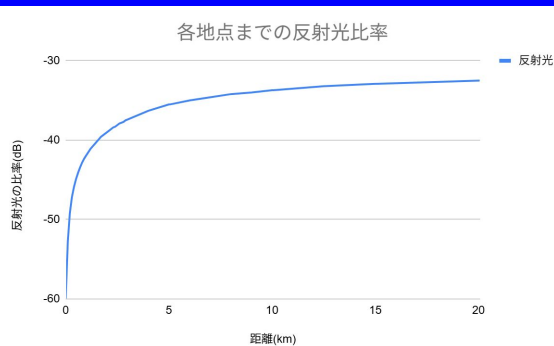
③出力： 各地点における破断時の反射光比率

?

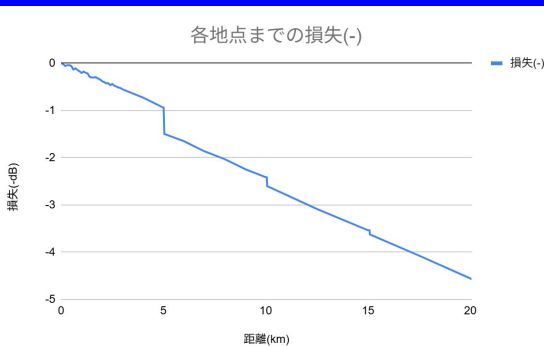
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

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

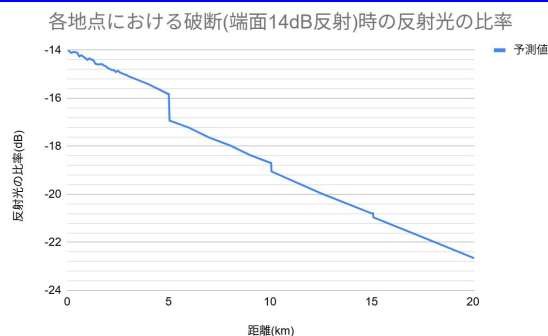


②入力2：各地点までの損失



計算・合成

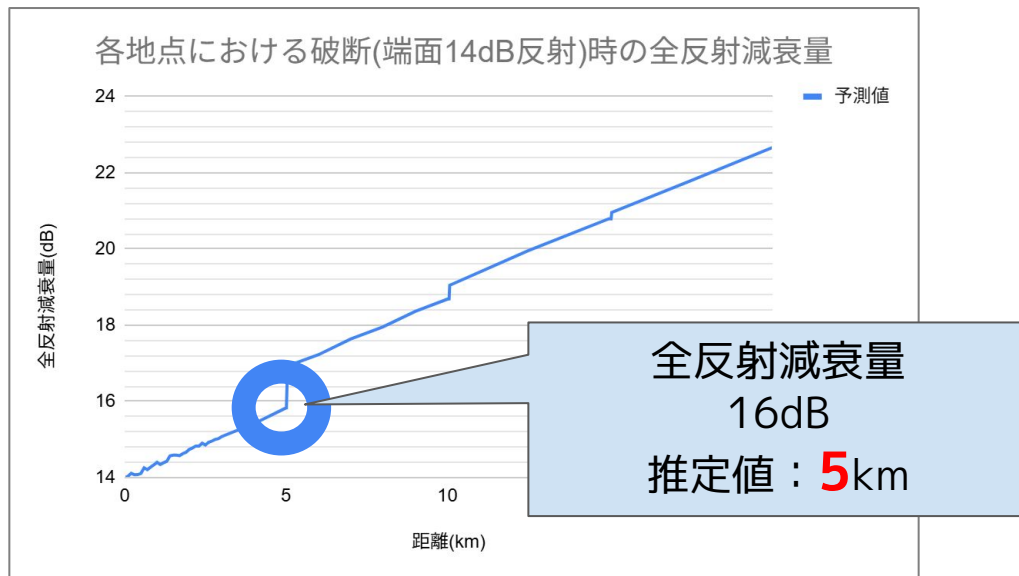
③出力：各地点における破断時の反射光比率



- 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



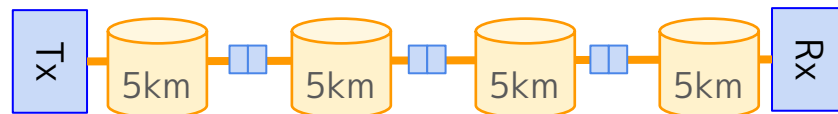
ラボ検証

【検証結果】 ケーブル破断時の実測値

概要

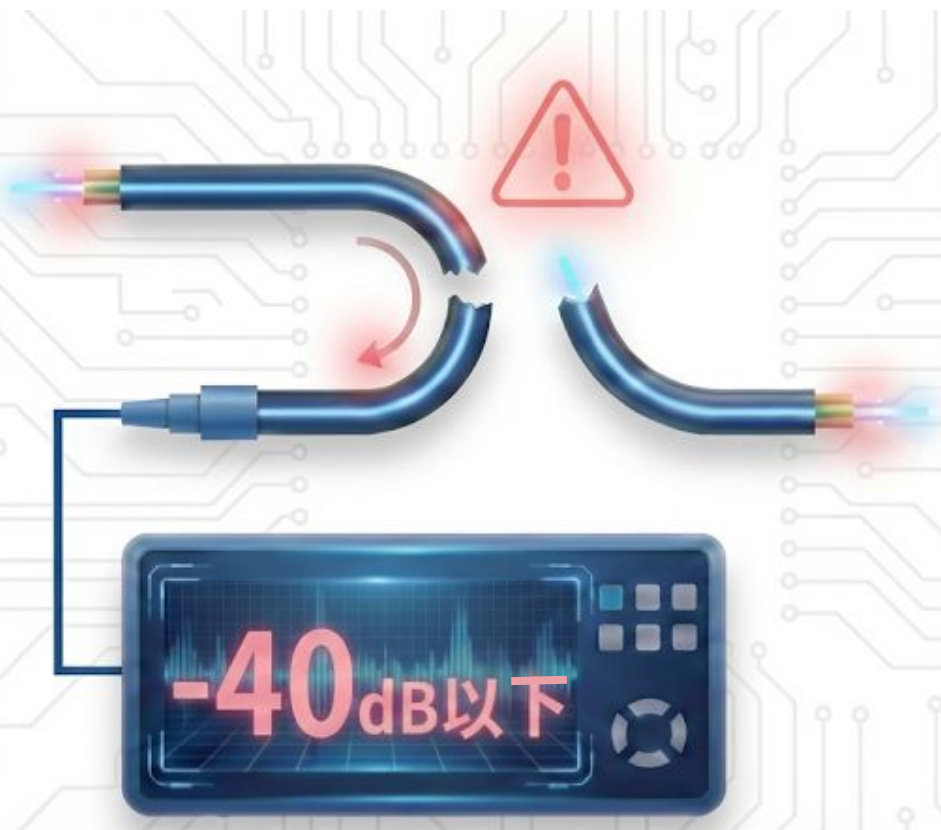
- ・ 接続点の反射を良好にした20kmのファイバーを使用
- ・ 各地点で破断ケーブルを接続
- ・ 推定した距離と実際の距離を比較

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



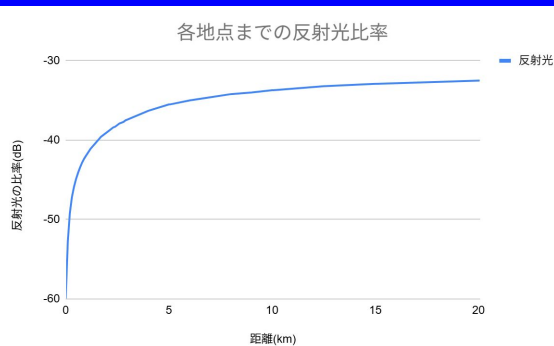
検証結果

- ・ 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)

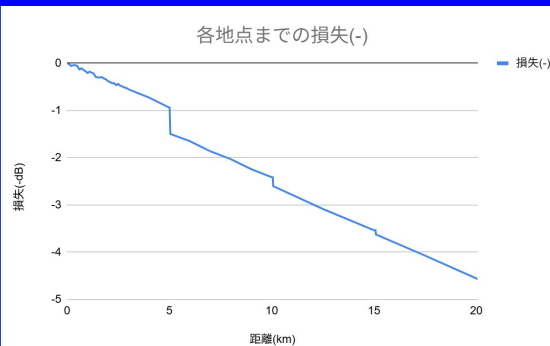
開通時の反射・損失情報からの導出プロセス

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

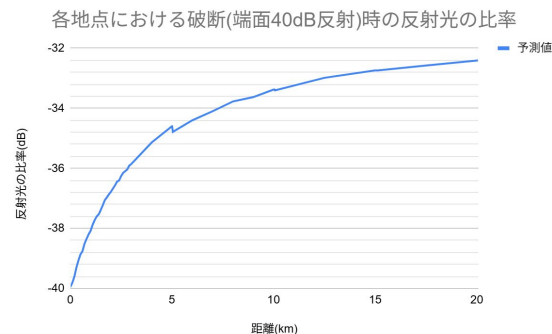


②入力2：各地点までの損失



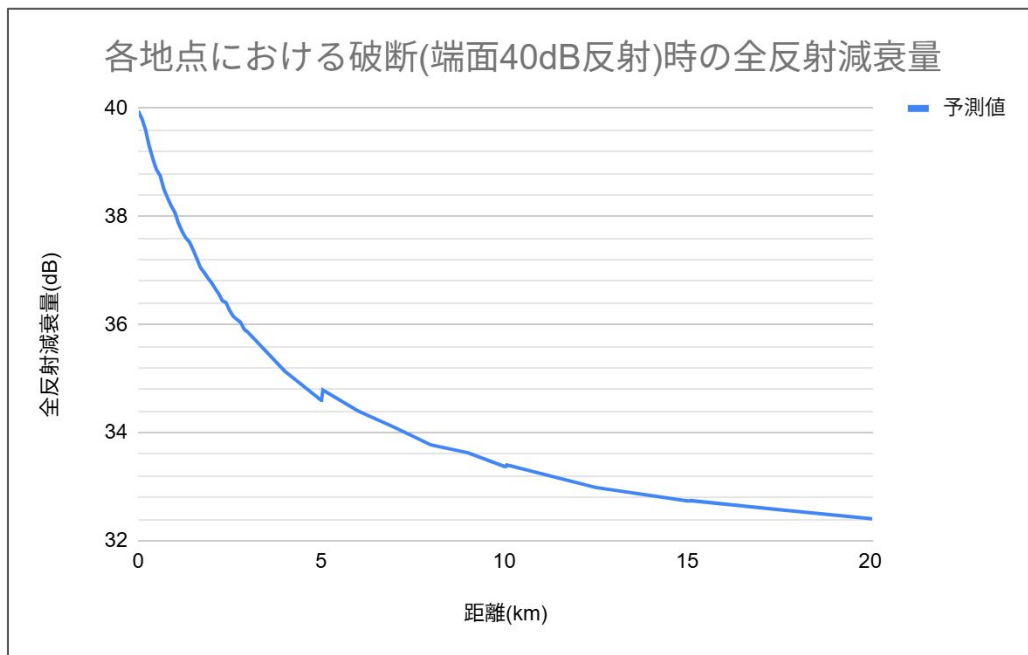
計算・合成

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



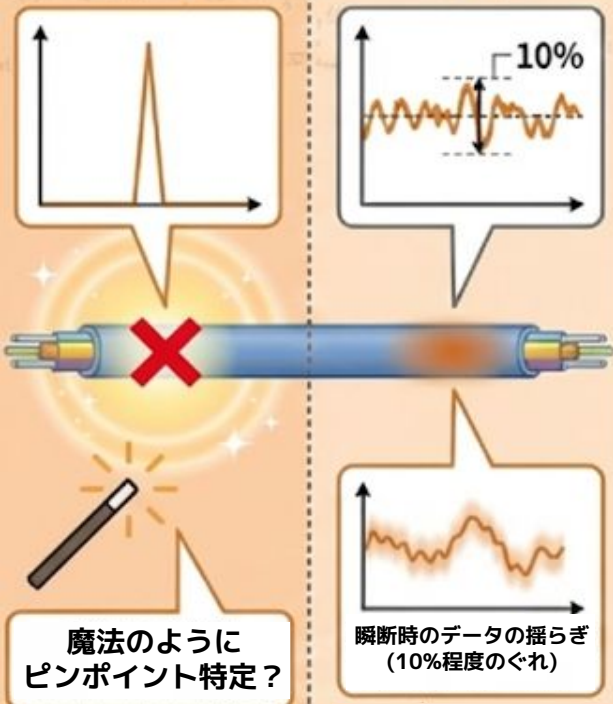
近端付近程全反射減衰量が大きくなる

まとめ

1.理論と現実

理論

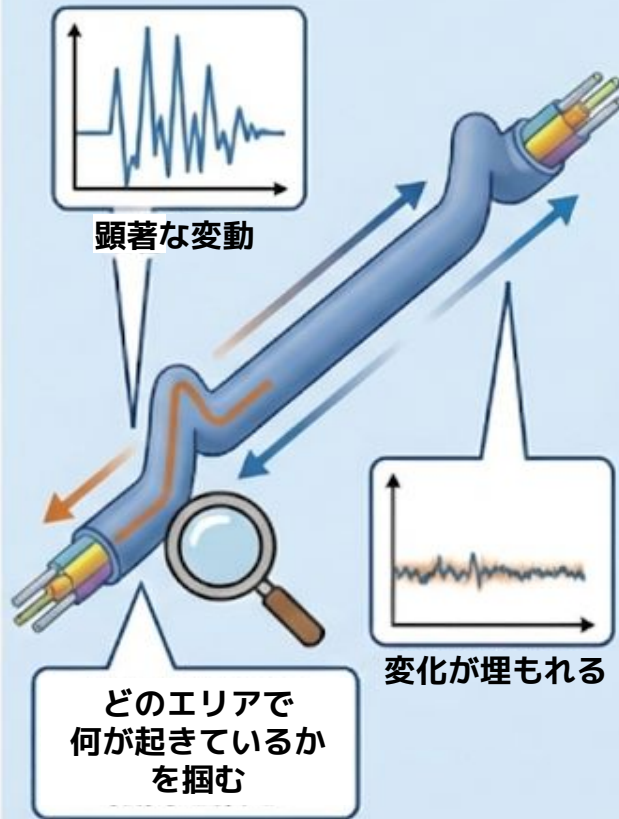
現実



2.反射・損失特性の活用

近端

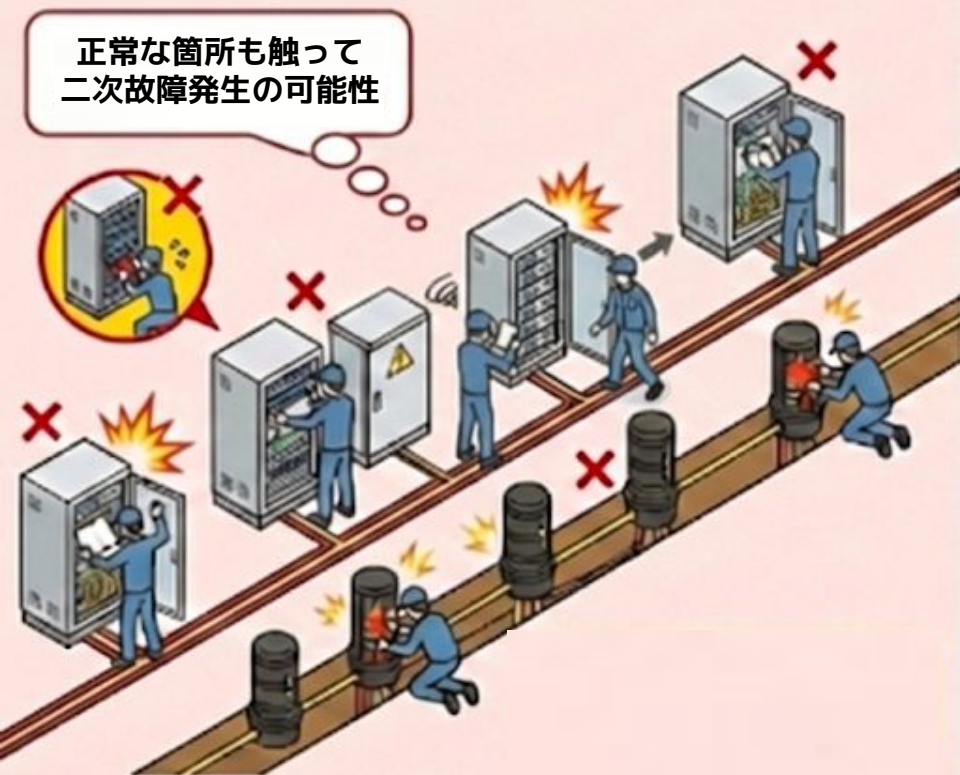
遠端



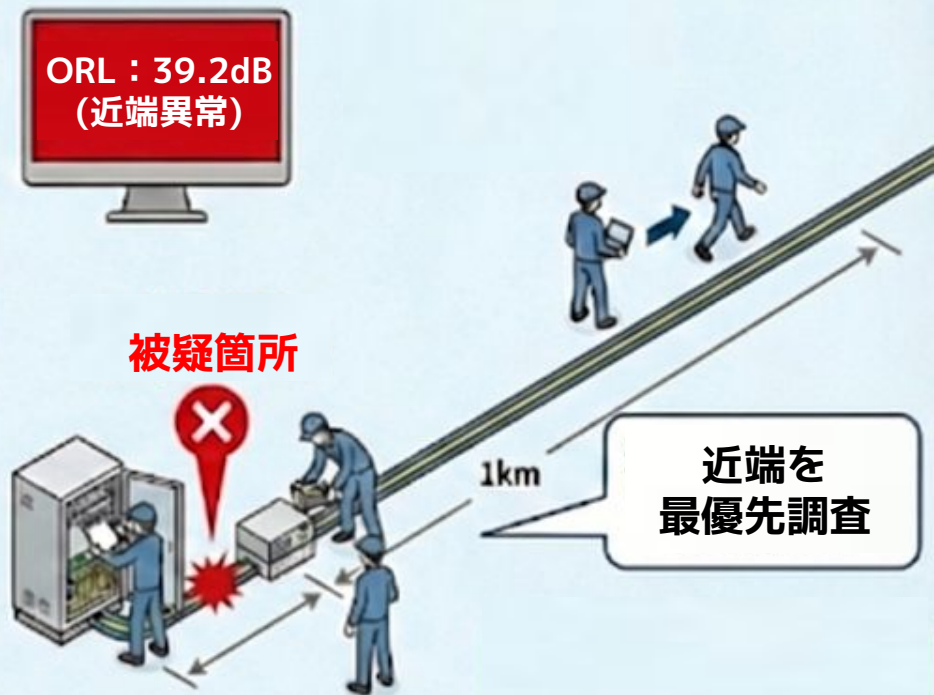
3.切分対応



【従来のアプローチ】



【本技術活用のアプローチ】



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？