

# 国際通信における 光海底ケーブルシステムの技術

MPLS JAPAN 2008

(於 東京大学構内 弥生講堂)

2008年10月28日

及川 康志

E-mail: [oikawa.yasushi@jp.fujitsu.com](mailto:oikawa.yasushi@jp.fujitsu.com)

富士通株式会社

# はじめに

- 国際通信を担う技術のいろいろ
- 光海底ケーブルシステムとは？
- 光海底ケーブルシステムの構成と技術
- 安定した通信を支える高信頼度の中継器
- 増え続ける回線需要への対応
- まとめ

# 国際通信における技術のいろいろ

## 光海底ケーブル

- ・高品質で大容量
- ・現在では国際通信の99%以上が海底ケーブルを利用しているといわれている

光増幅

↑ TPC-5  
↑ China-US  
↑ JAPAN-US  
...

光再生

↑ TPC-3  
↑ TPC-4

衛星

同軸

↑ TPC-1  
↑ TPC-2

短波

海底ケーブル(電信)

## 衛星通信

- ・通信容量はおよそ1Gbps
- ・伝送遅延が大きい
- ・システム寿命は10年~15年

1850

1900

1950

2000

(年,西暦)

## 光海底ケーブルシステムとは？

### ■ 光ファイバを伝送媒体としたケーブルを海底地形に沿って敷設し、陸上の地点間を結び通信を行うシステム

- 大容量通信
- 長距離伝送
- 伝送遅延が少ない
- システムの寿命は25年
- 漏話もなく秘匿性が高い

### ■ 一方・・・

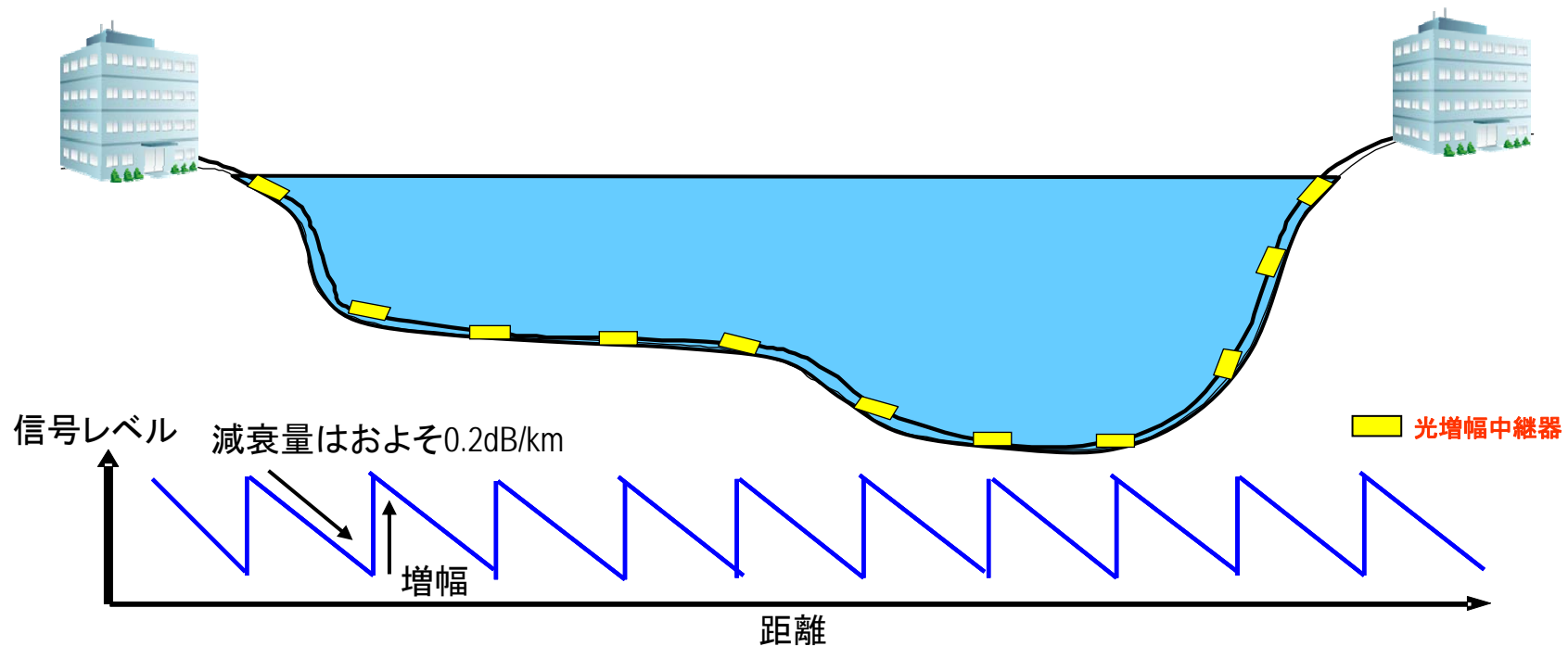
- 新規建設や障害発生時の修理に時間がかかる
- さまざまな種類の通信が一本のケーブルに集約されているため、障害発生時の社会的影響が大きい

# 光海底ケーブルシステムとは？

有中継システム

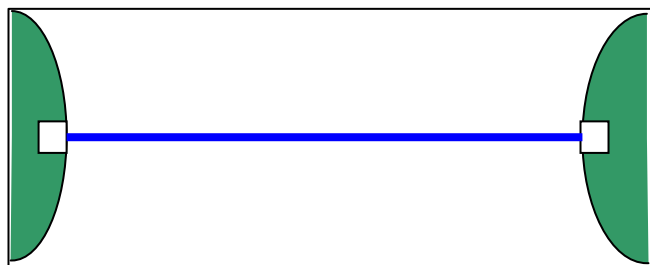
海底区間で光増幅を繰り返し長距離伝送する方式

- 伝送路で減衰した光を最適な間隔で光増幅
- 伝送距離は数百km～1万km超
- 設計・敷設・試験にも長期間を要する

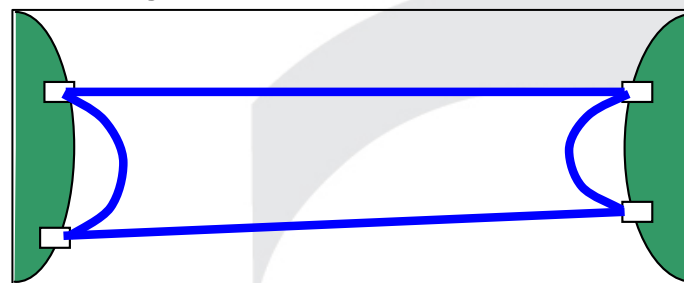


# 海底ケーブルのネットワークポロジ

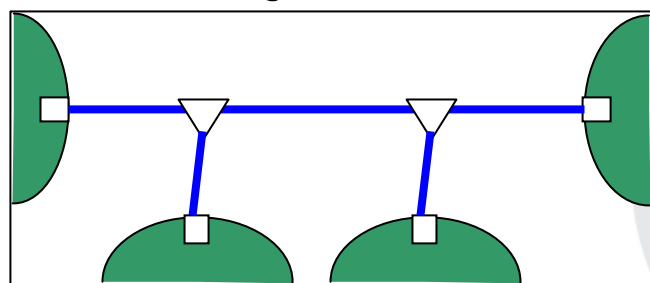
## Point to Point



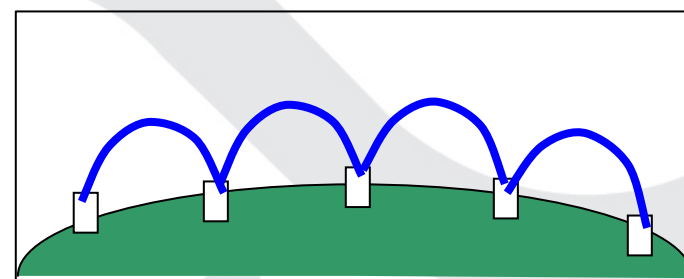
## Ring



## Branching



## Festoon

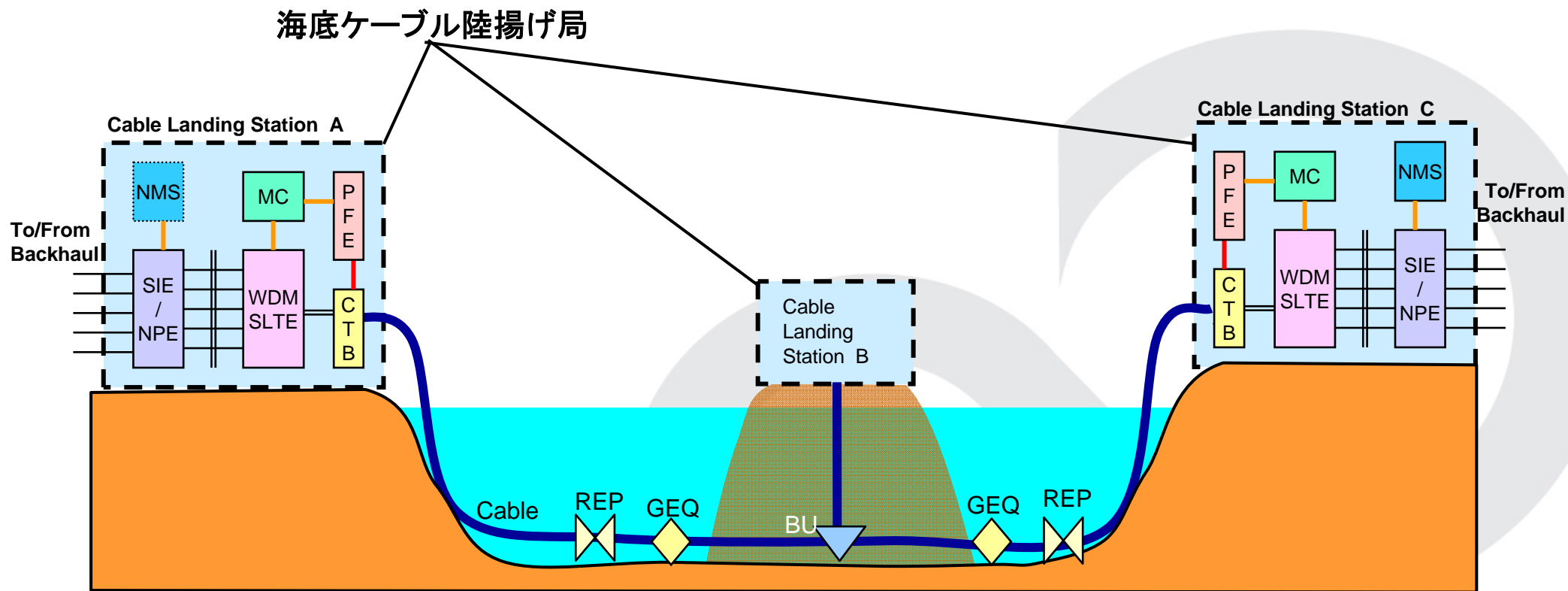


障害に強いネットワークを形成するため、これらの形態をもつ個別のケーブルシステムを複数組み合わせ、メッシュネットワークを構成している

# 国際通信における 光海底ケーブルシステムの技術

- 国際通信を担う技術のいろいろ
- 光海底ケーブルシステムとは？
- **光海底ケーブルシステムの構成と技術**
- 安定した通信を支える高信頼度の中継器
- 増え続ける回線需要への対応
- まとめ

# 光海底ケーブルシステムの構成



## 陸揚げ局

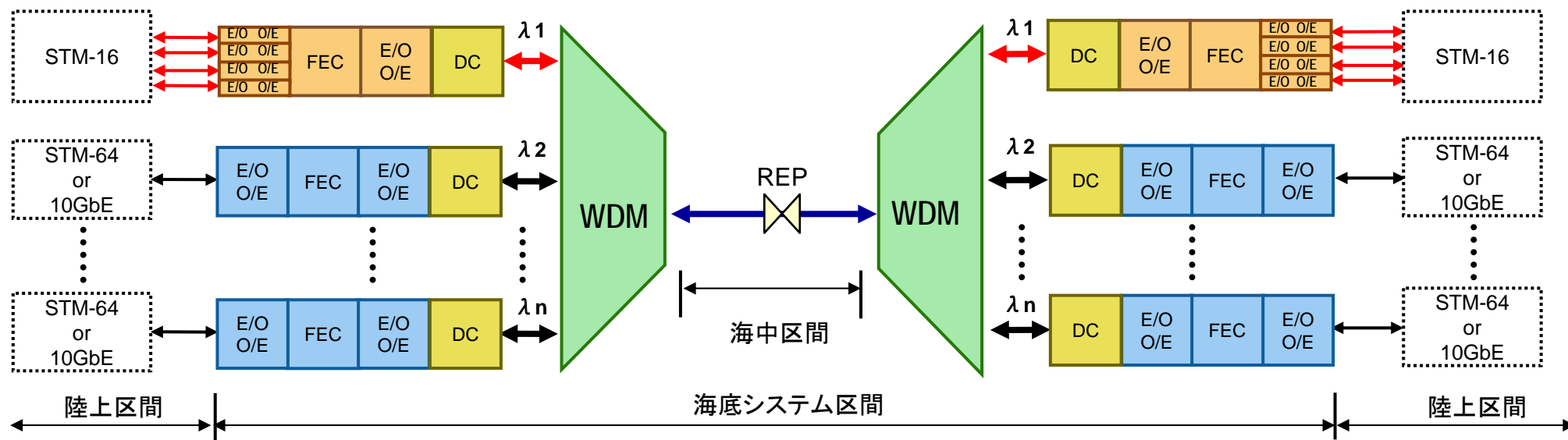
SLTE : 光海底伝送装置  
 PFE : 給電装置  
 MC : 海底システム監視装置  
 CTB : ケーブル終端箱  
 NPE: ネットワーク切替装置  
 SIE: SDH接続装置  
 NMS: ネットワーク監視装置

## 海中機器

Cable: 光海底ケーブル  
 REP : 光増幅中継器  
 GEQ : 利得等化器  
 BU : ケーブル分岐装置



# Submarine Line Terminal Equipment (SLTE, 光海底伝送装置)



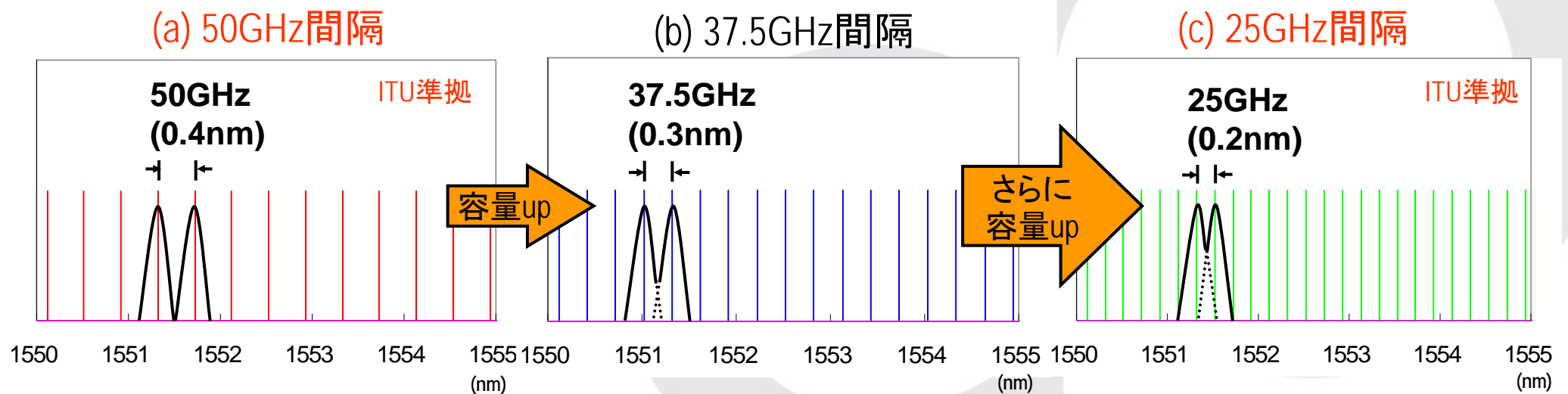
E/O: 電気光変換(変調含む)    DC: 分散補償部  
 O/E: 光電気変換(復調含む)    WDM: 波長多重分離部  
 FEC: エラー訂正符号処理部

- 波長多重技術により伝送容量は10Gbps x 100波以上
- 両端局の陸上側インターフェース間を透過的に伝送
- SDH/SONETのOHの終端処理は行わず、B1エラーなどのモニタのみ
- N+1 (N=16)の予備波長を利用したプロテクションも適用可能  
(切り替え時間は50ms以内)

# 超長距離、大容量伝送を実現する技術

## ■ 波長多重の高密度化

- 中継器の利得帯域幅は1.53-1.57 $\mu\text{m}$ 帯の30~34nm程度
- 帯域幅を最大限に利用するため波長間隔を狭くする



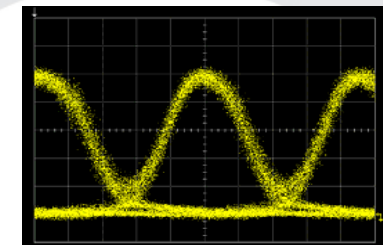
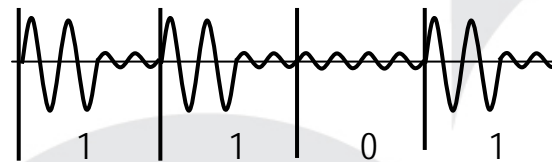
最大の伝送可能波長数は伝送距離,利得帯域,OSNR,Q値,分散補償,保守方針などに依存する

# 超長距離、大容量伝送を実現する技術

## ■ 変調方式の最適化

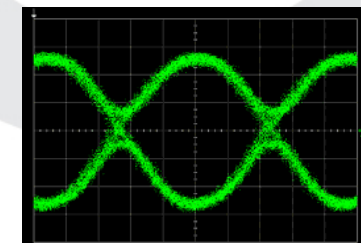
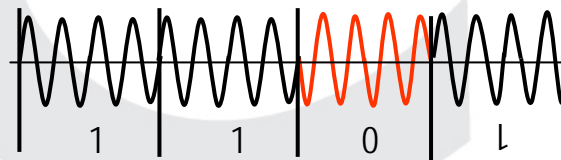
### ● RZ-OOK (Return to Zero On-Off Keying)

- 従来の変調方式、光のOn-Offで1,0を伝送
- 送受信機の構成が簡素



### ● RZ-DPSK (Return to Zero Differential Phase Shift Keying)

- 光の位相を偏移させて1,0を伝送
- RZ-OOKに比べて2-3dB程度の受信感度向上
- 送受信機の構成が複雑



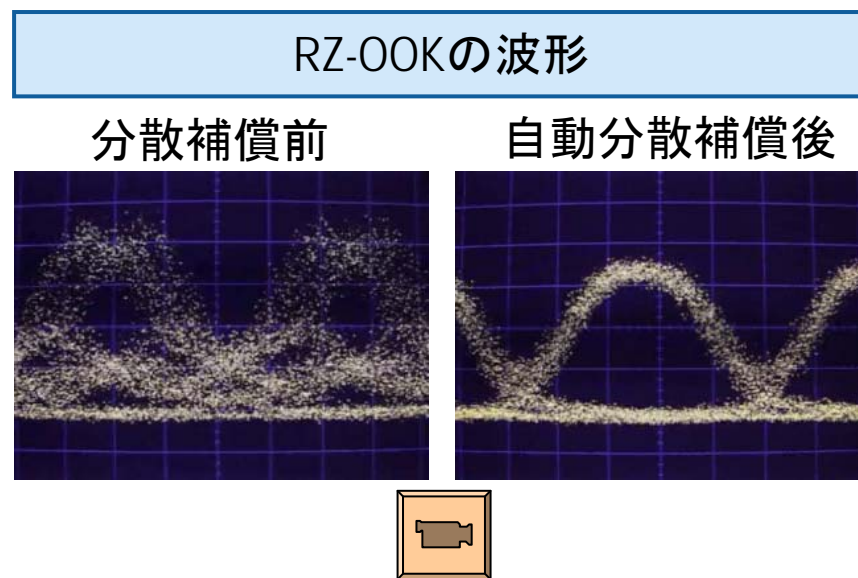
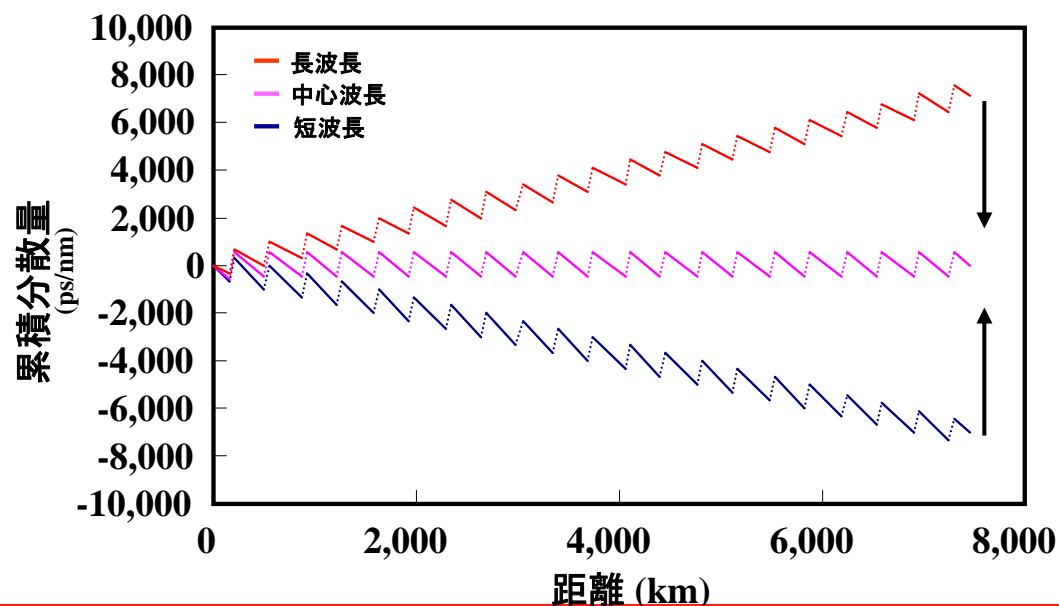
(復調後の波形)

これらの変調方式を伝送路に合わせて組み合わせ、システムごとに最適設計

# 超長距離、大容量伝送を実現する技術

## ■ 分散補償技術

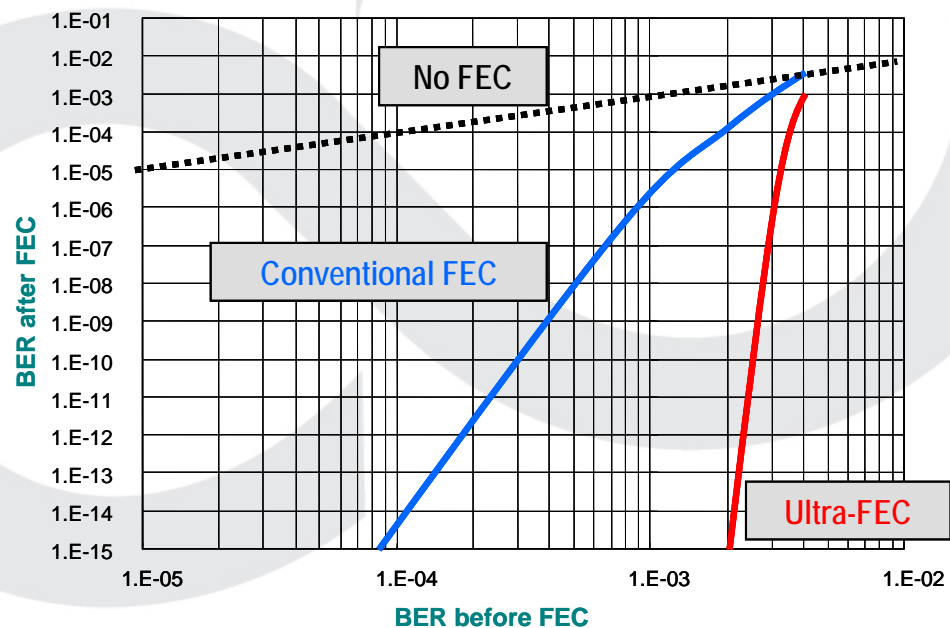
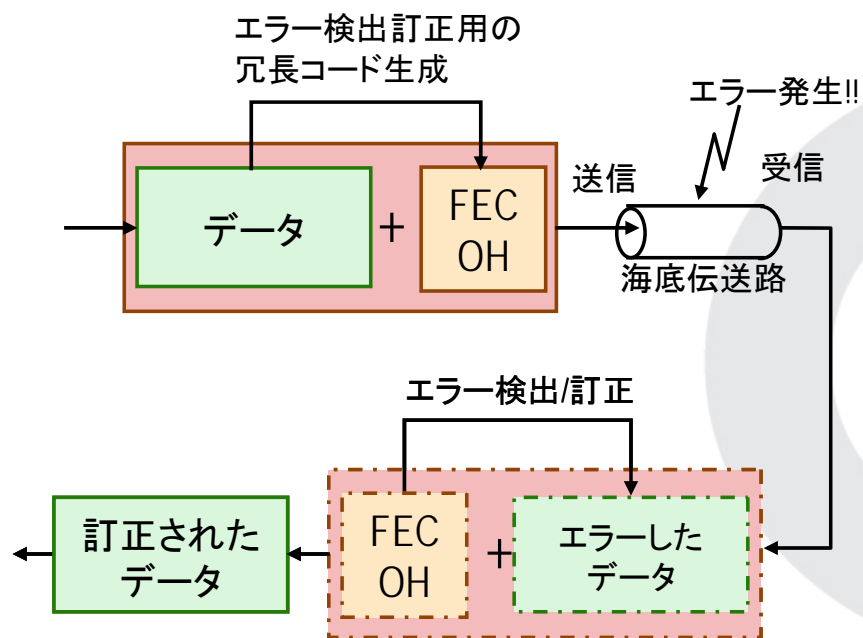
- 波長分散とは、波長によってファイバ中の伝播速度が異なる特性であり、このため伝送後の波形が歪む
- 伝送路中に挿入した分散補償用ファイバで数百kmごとに繰り返し補償
- 伝送路で補償しきれない残留分を端局装置で補償
- 可変分散補償技術で、BER (Bit Error Rate)が最小になるように自動調整



# 超長距離、大容量伝送を実現する技術

## ■ FEC (Forward Error Correction)技術

- エラー検出訂正用コードをデータと一緒に送信
- 受信側でエラー検出訂正コードからエラーしている箇所を特定して、エラー訂正
- 符号化利得は8dB以上

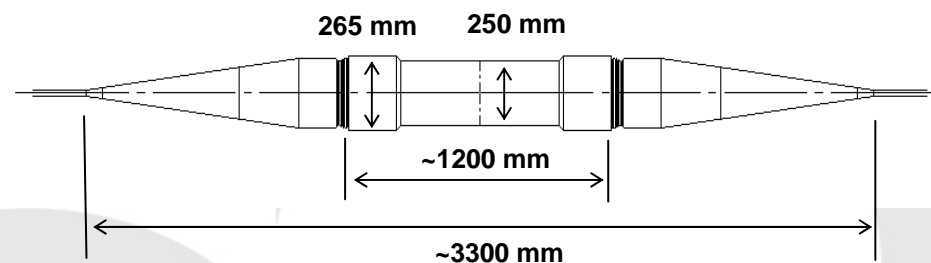
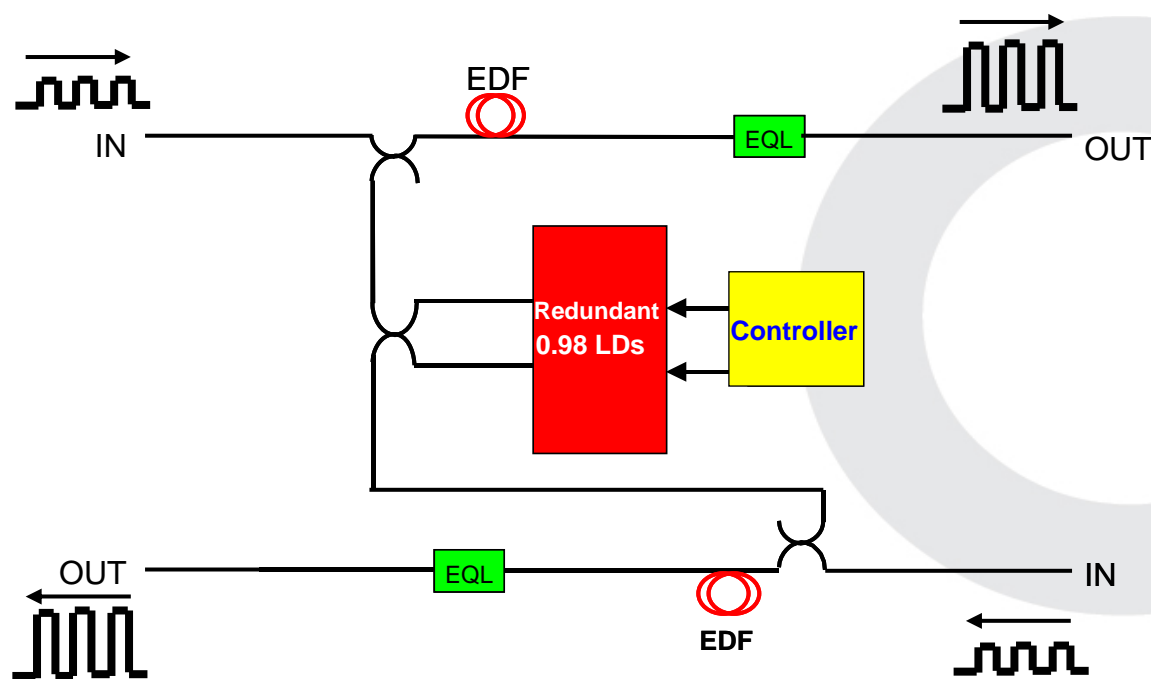


# 国際通信における 光海底ケーブルシステムの技術

- 国際通信を担う技術のいろいろ
- 光海底ケーブルシステムとは？
- 光海底ケーブルシステムの構成と技術
- **安定した通信を支える高信頼度の中継器**
- 増え続ける回線需要を実現する技術
- まとめ

# 光増幅中継器 (Repeater、REP)

- 水深8000mの海底で25年間耐えうる高耐圧性、高気密性、高サージ耐力  
筐体は円筒構造のベリリウム銅合金
- 励起LDの冗長化による高信頼度
- 中継器モニタ機能



Weight including Coupling: 300kg (2 f.p.)



# 安定した通信を支える高信頼性

■ 海中区間の故障修理は25年で3回以下であることが要求される

太平洋横断などの長距離システムの例)

- システム寿命: 25年
- 中継器台数: 約150台

\*fit: 故障率の単位、1fit = 1E-9 [回 / 時間]

要求される中継器1台あたりの故障率: 91.3 fit以下 (MTBF: 約1250年)

計算式:  $25\text{年間の故障 } 3\text{回} \div 150\text{台} \div 24\text{時間} \div 365\text{日} \div 25\text{年} \div 1\text{E-}9$  (ケーブル他は除く)



- 部品レベルでの徹底した品質管理
- 信頼性を確保するスクリーニング試験
- 製造技術・作業機械の品質管理
- 部品から完成体までのトレーサビリティ管理
- 励起LDなどの冗長化



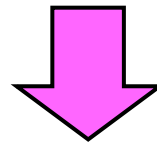
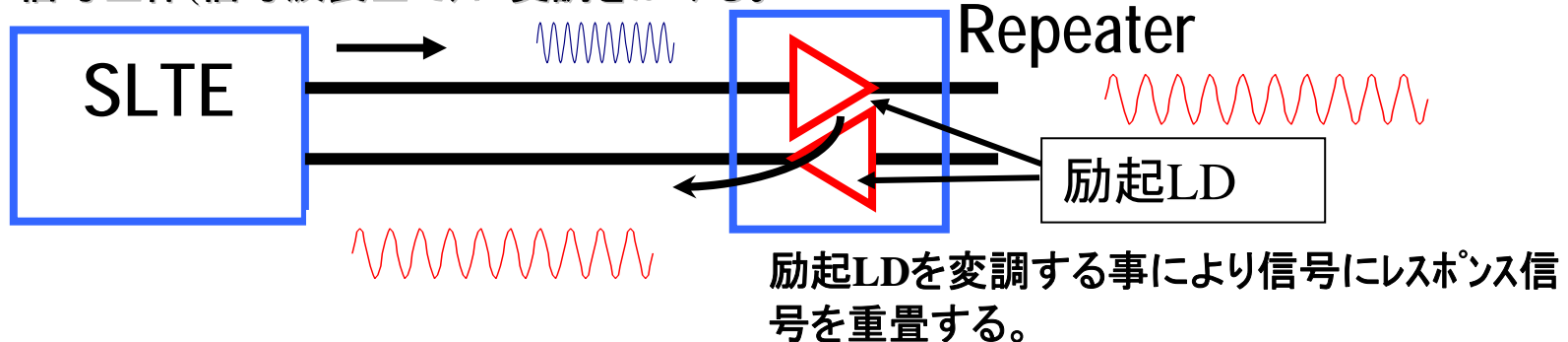
# 国際通信における 光海底ケーブルシステムの技術

ケーブルに障害が発生したら・・・

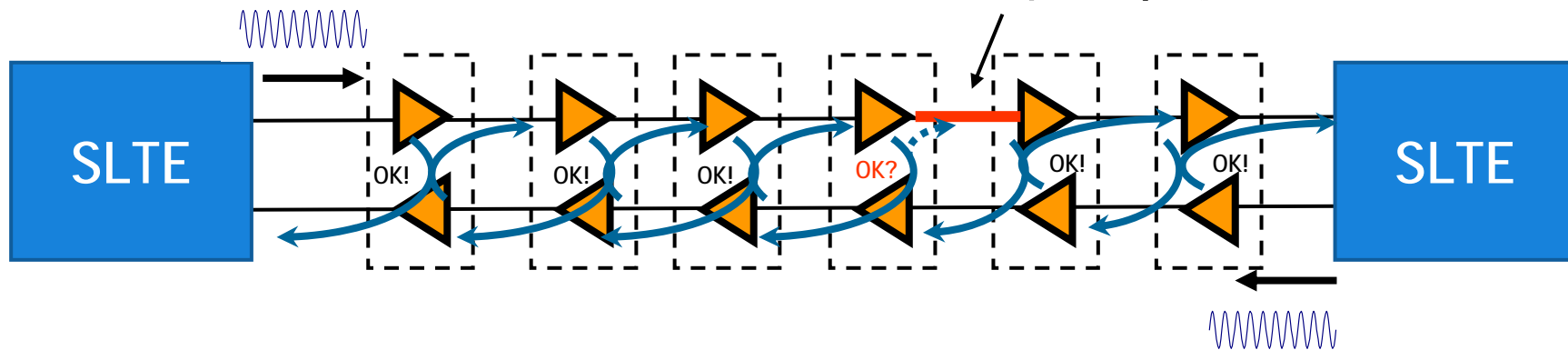
# どこで障害がおきたかを探る技術

## ■まずは中継器モニタ機能で、障害区間を評定

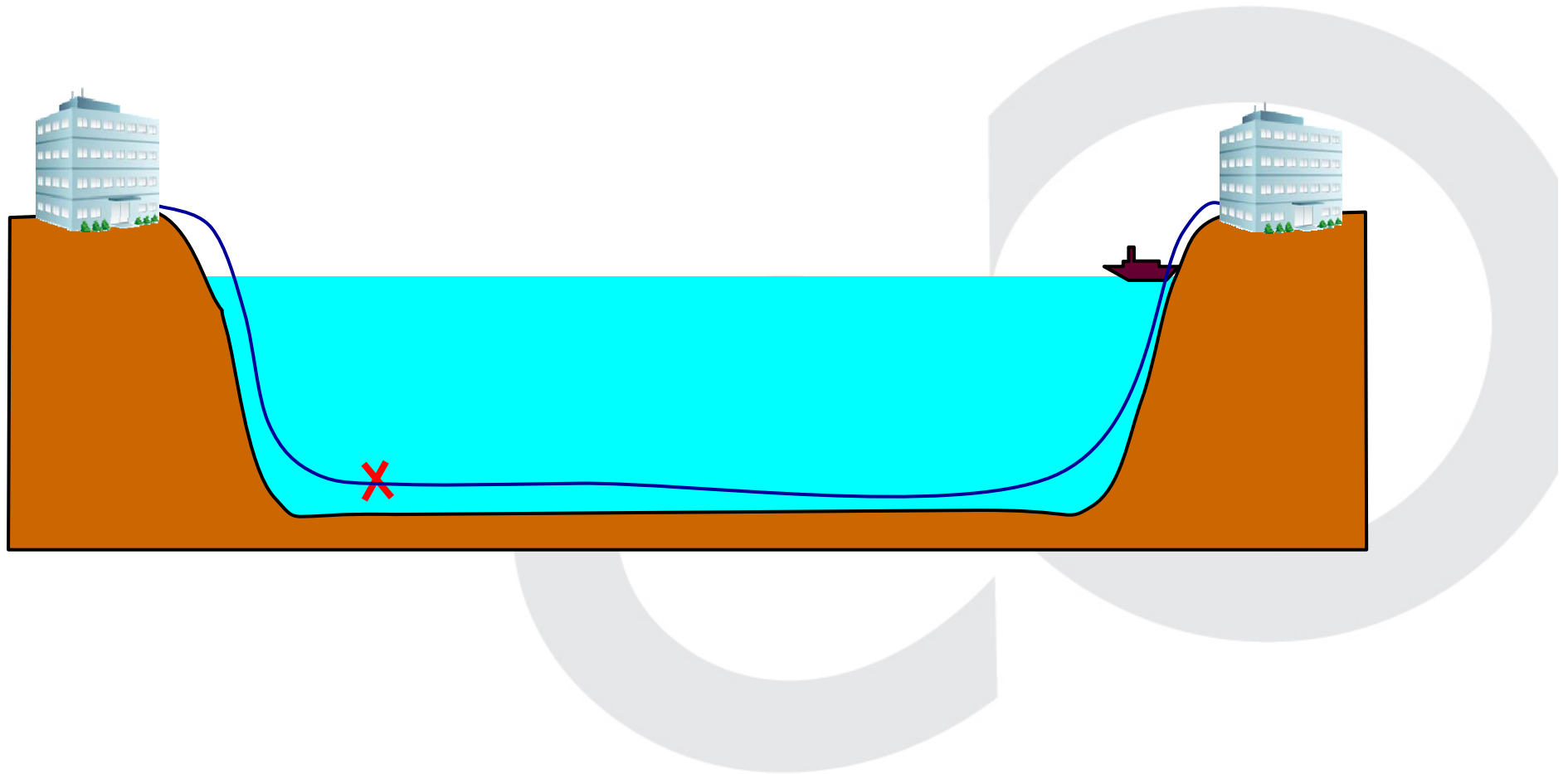
信号全体(信号波長全て)に変調をかける。



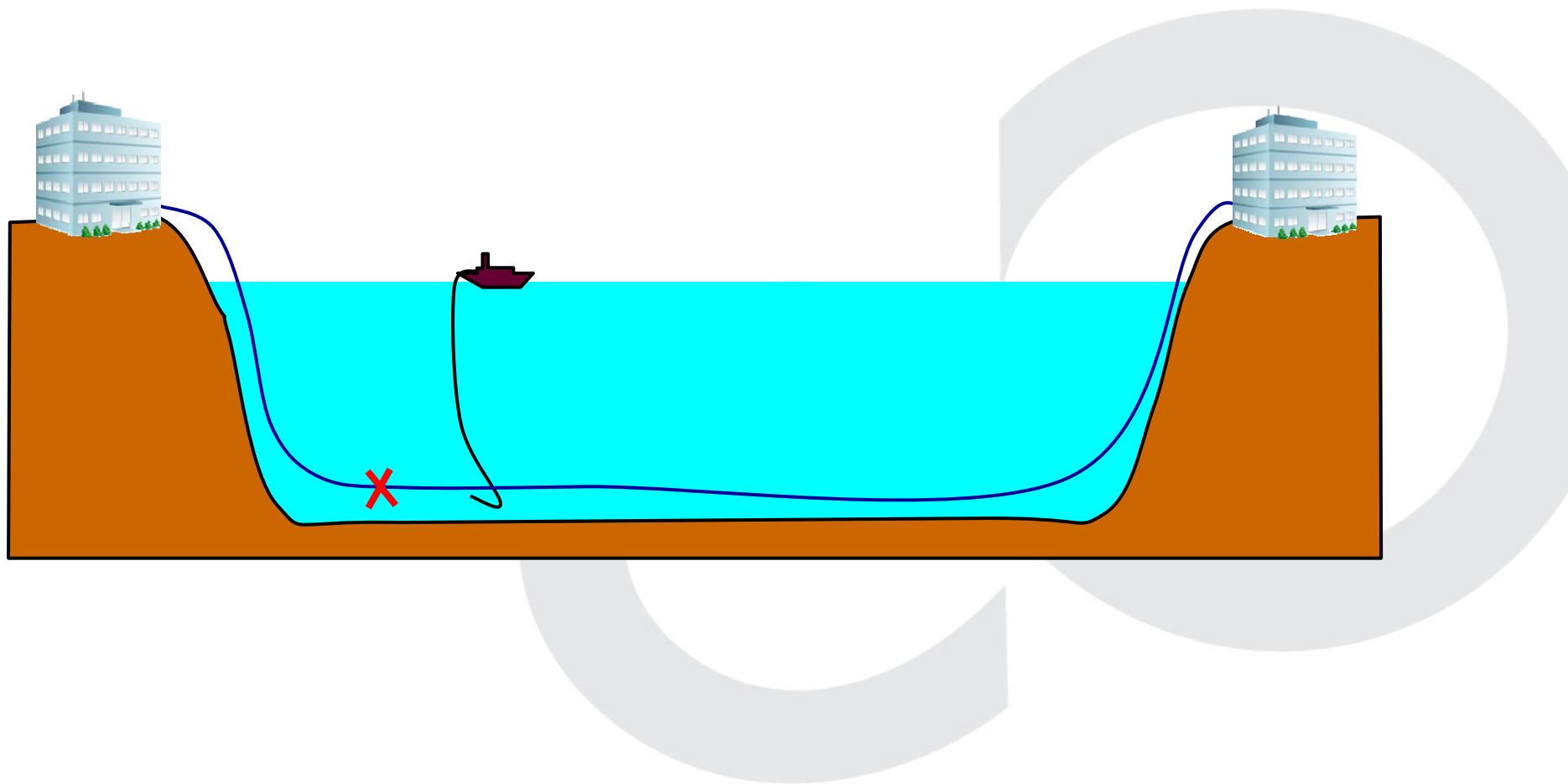
この区間に問題が！！



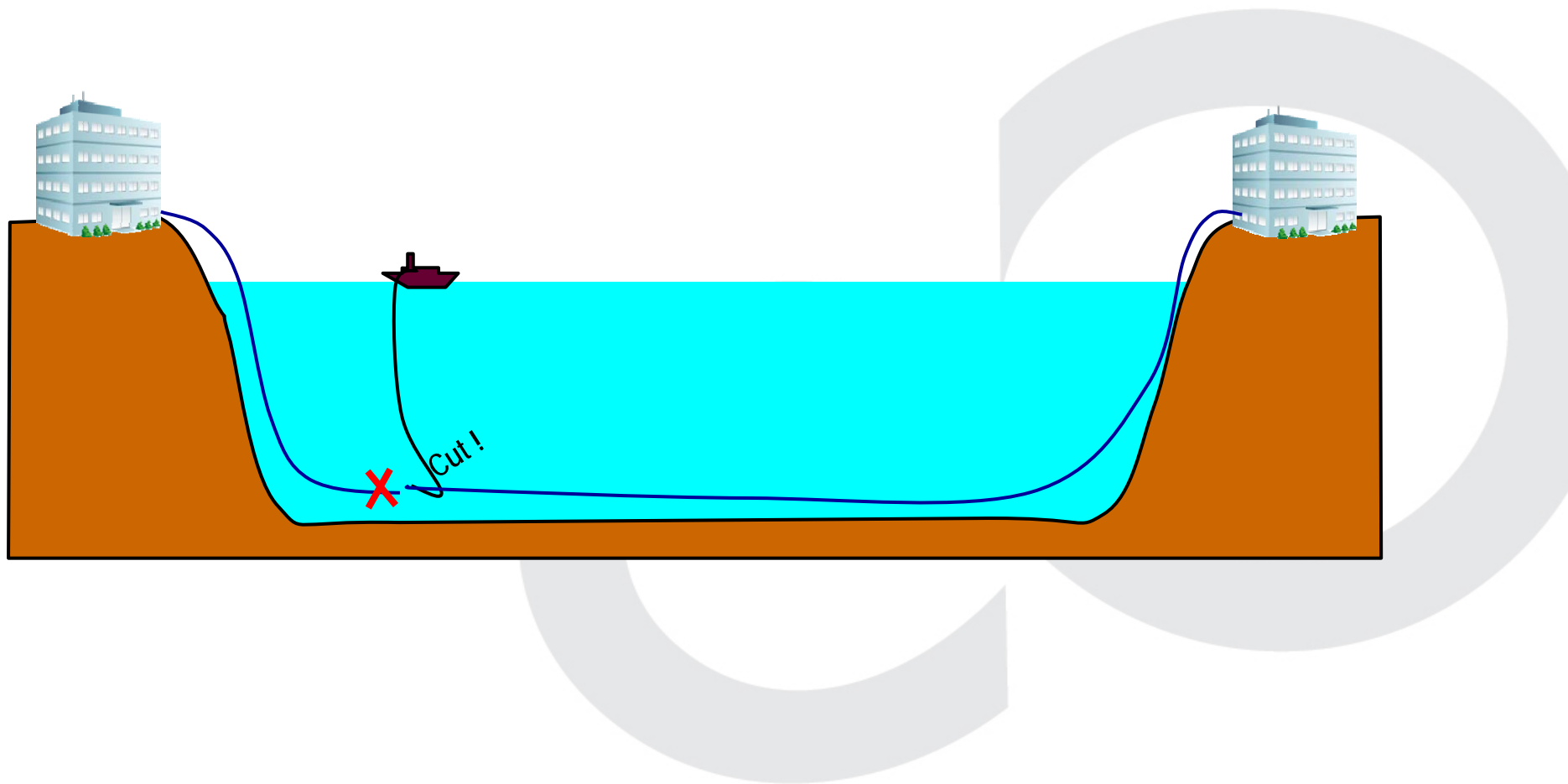
# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



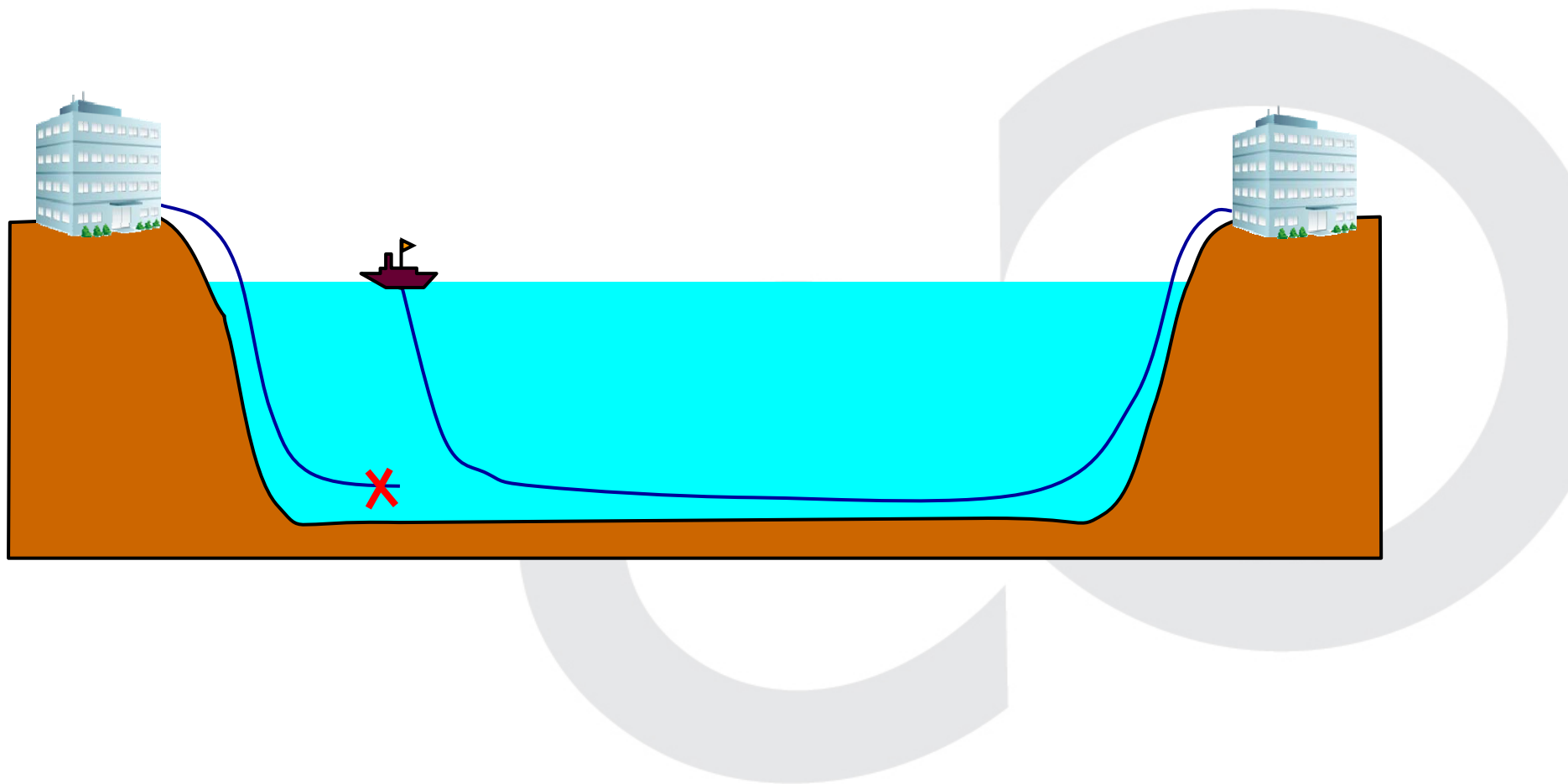
# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



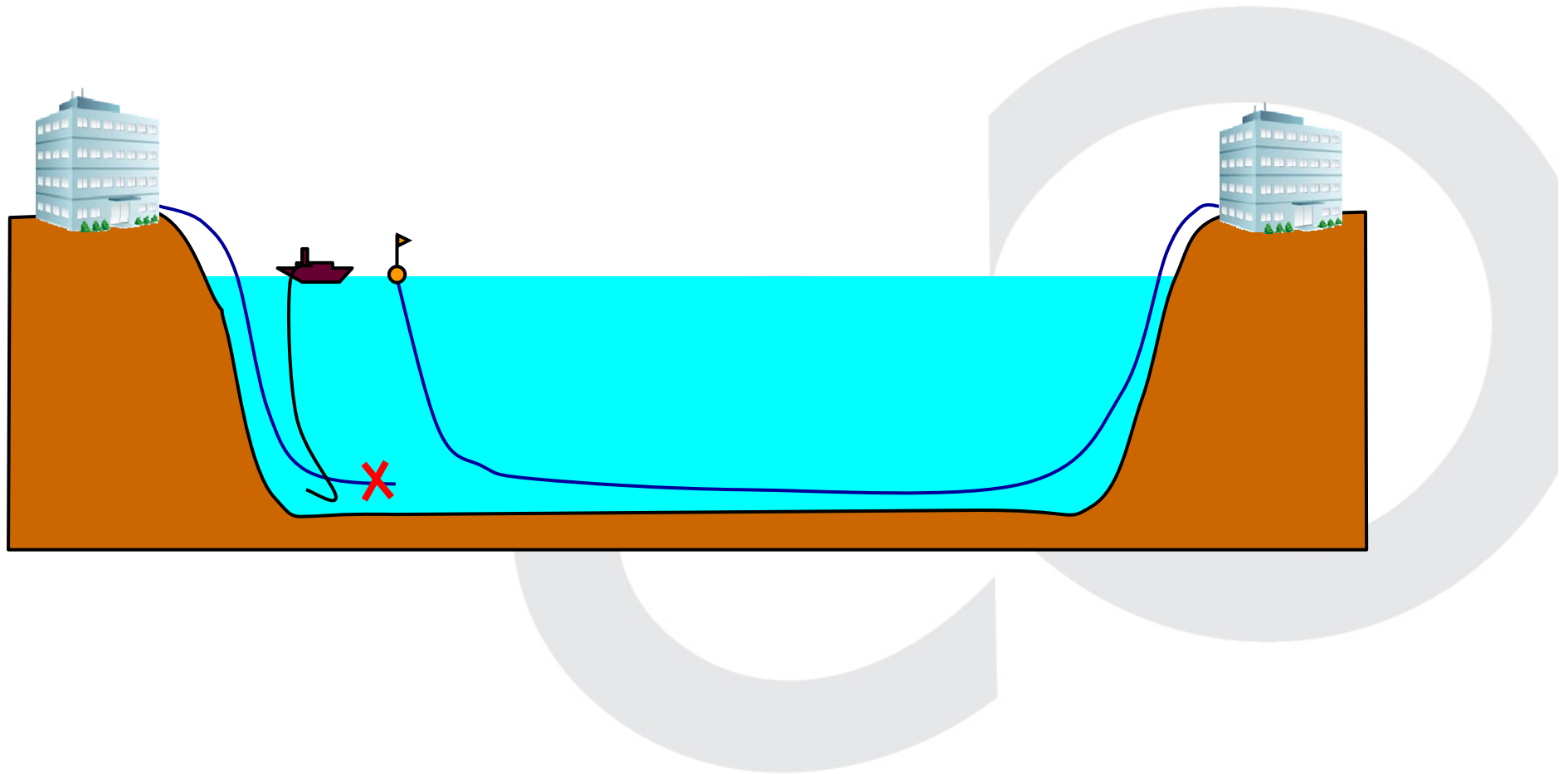
# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



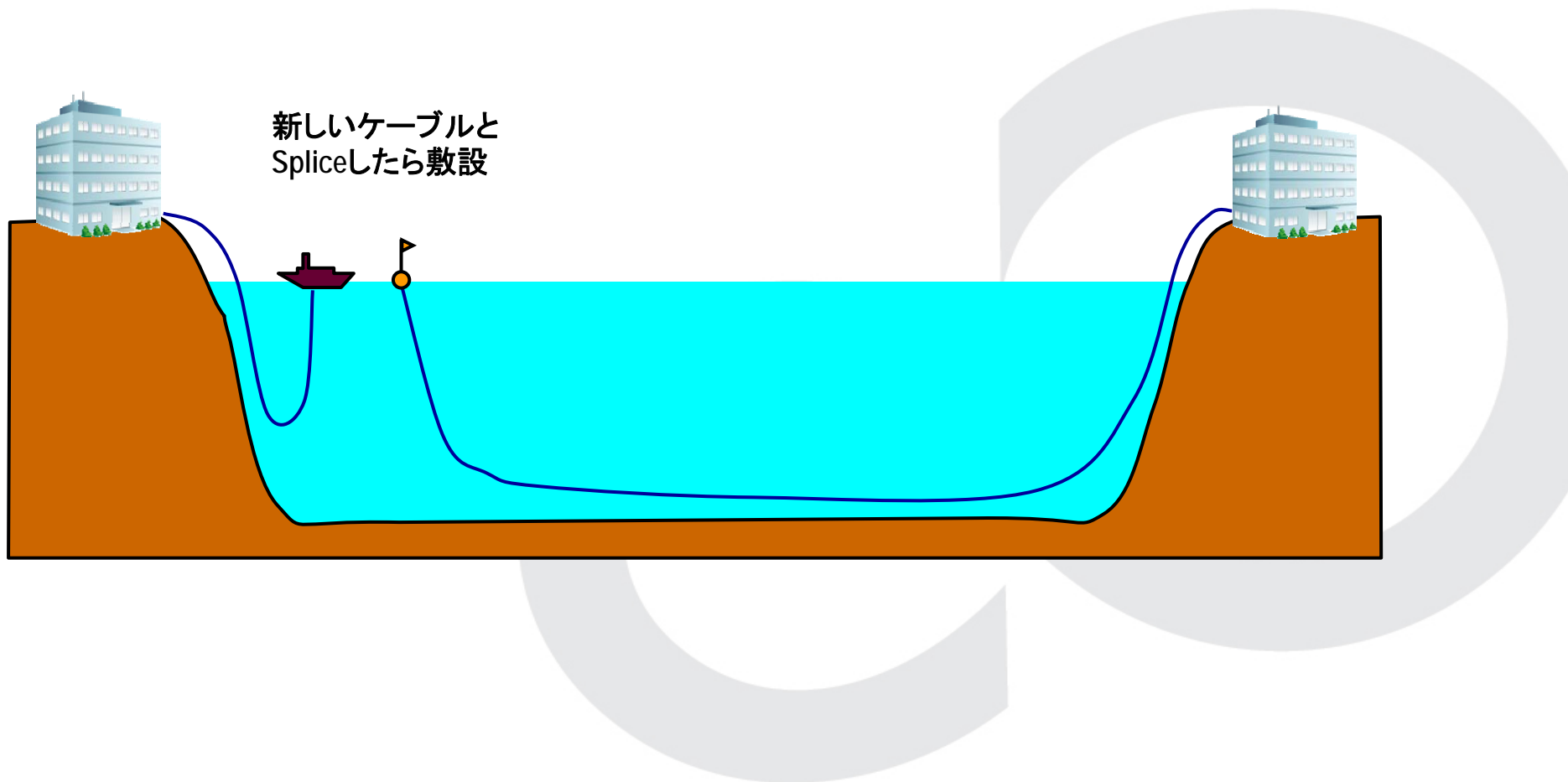
# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



# ケーブル障害地点が特定できたら・・・

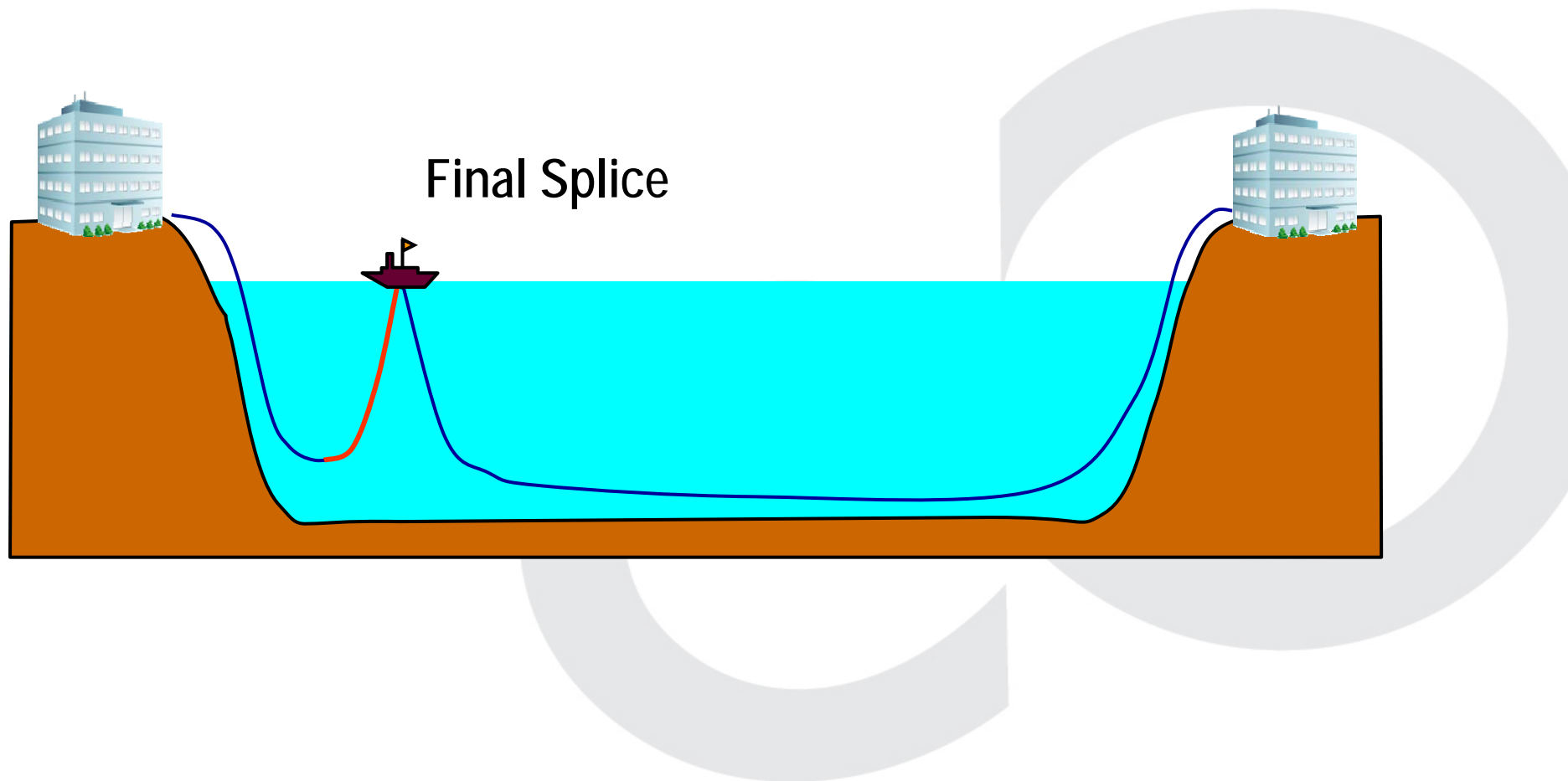


# ケーブル障害地点が特定できたら・・・

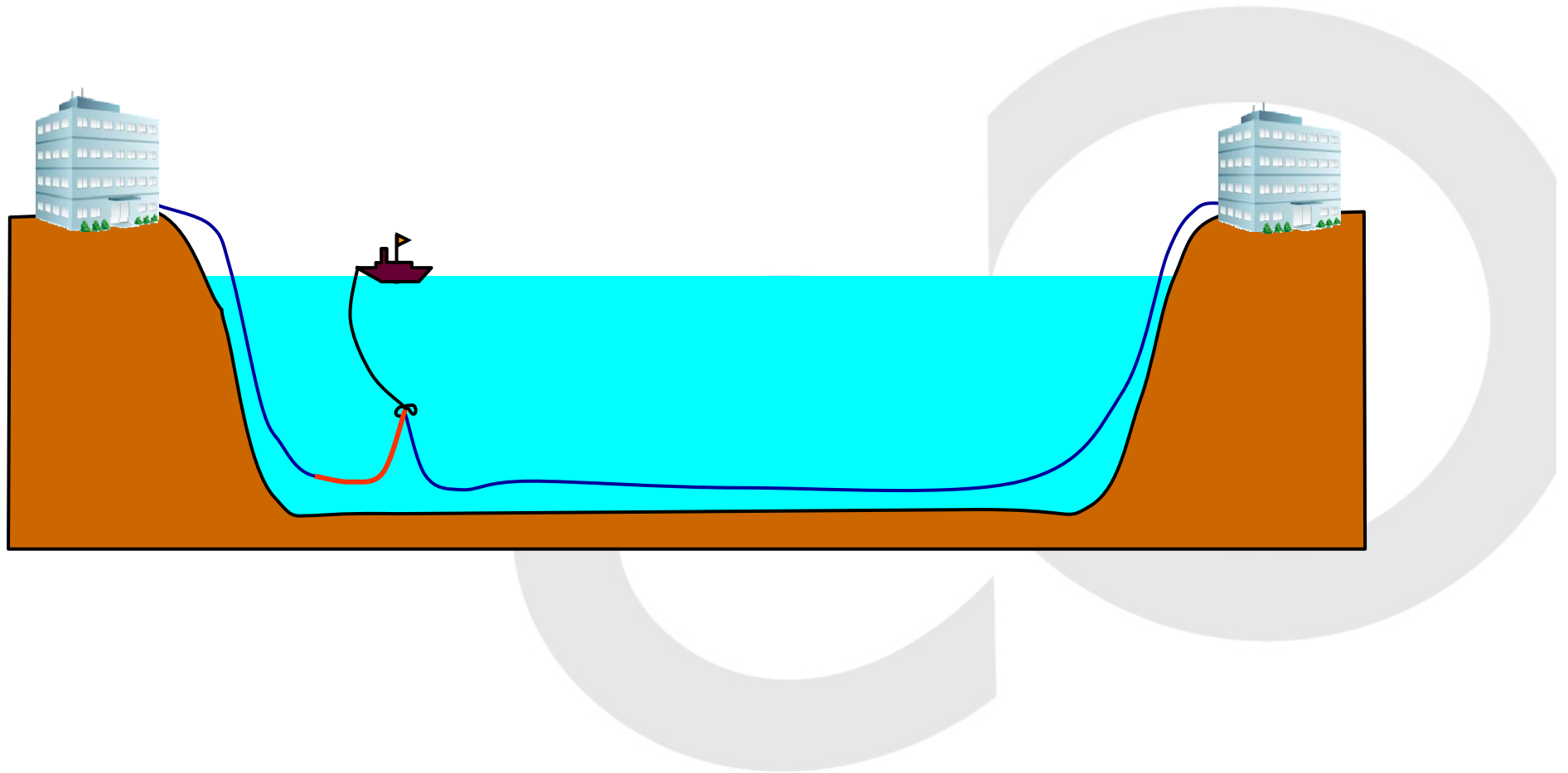




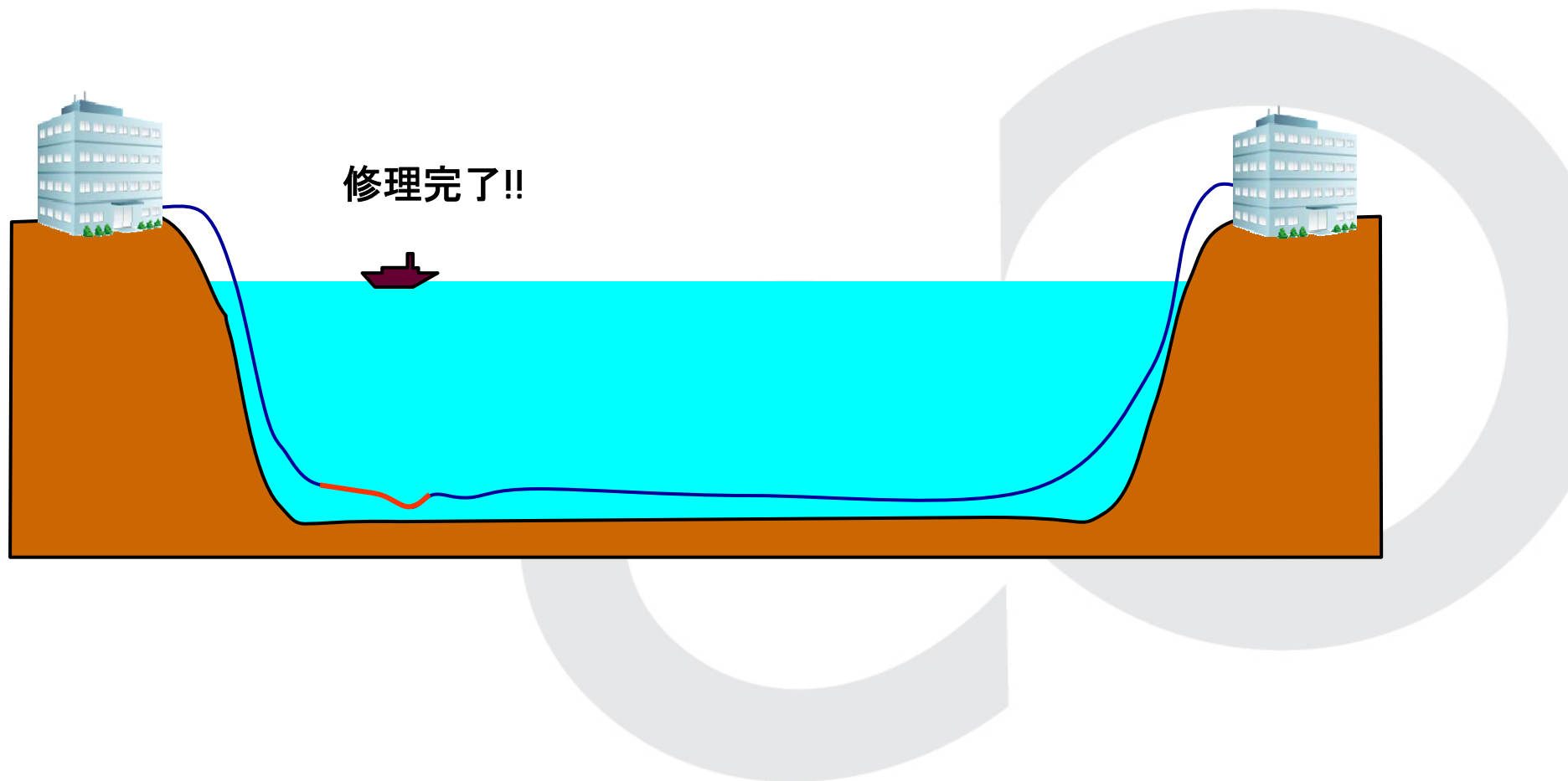
# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



# ケーブル障害地点が特定できたら・・・



# 国際通信における 光海底ケーブルシステムの技術

- 国際通信を担う技術のいろいろ
- 光海底ケーブルシステムとは？
- 光海底ケーブルシステムの構成と技術
- 安定した通信を支える高信頼度の中継器
- **増え続ける回線需要への対応**
- まとめ

# 増え続ける回線需要への対応

## ■ ケース1： 新規システム建設

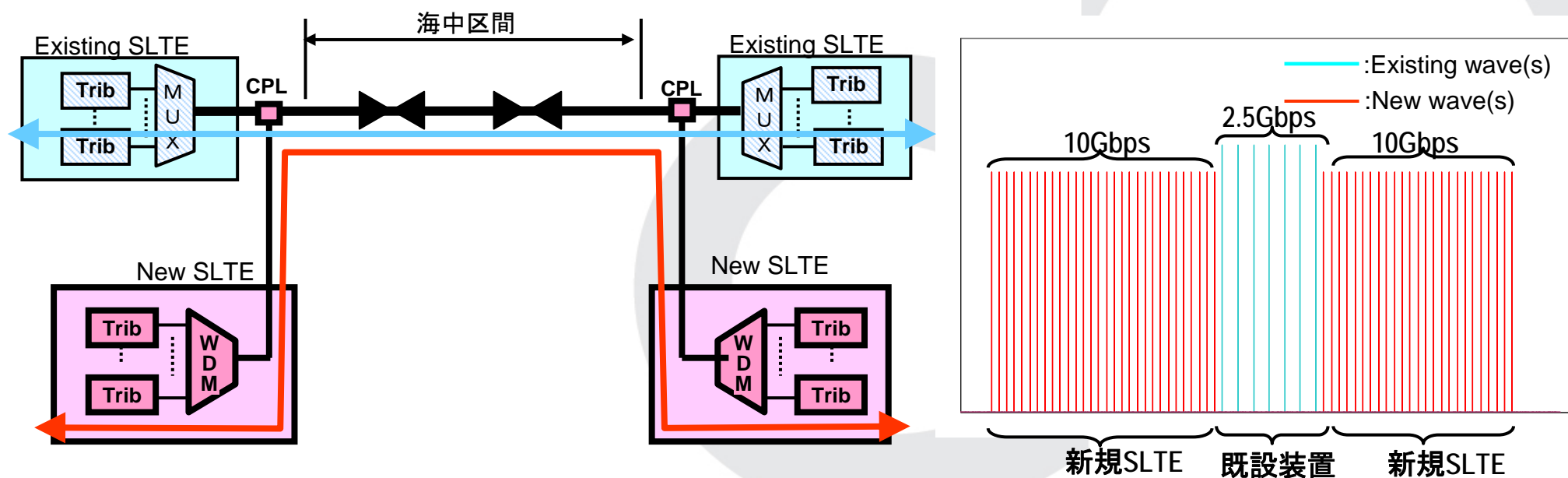
- システム全体を最新技術により最大容量に最適設計可能
- 容量増大に有利だが、システム完成まで時間が必要

## ■ ケース2： 波長増設、端局装置の増設やリプレース

- 海中機器、ファイバ伝送路は既設システムを利用し、端局装置のみ最新技術を適用したものを適用
- 短期間で容量増大が可能
- 既設伝送路の特性は変わらないので制約が多い

# 増え続ける回線需要への対応 端局装置のみの増設例

- 既設装置と海中機器の間に挿入したカプラを介して新規SLTEを接続
- 既設の端局装置の波長も利用可能
- オリジナルの設計容量を上回る増設が可能



## 増え続ける回線需要を満たす技術

### ■さらなる大容量化に向けての課題

- 10Gbpsレベルでの大容量化は限界に近づきつつある
- 高ビットレート化(40Gbps)
  - 波長分散、偏波モード分散(PMD)などの影響がより顕著に
  - 従来の変調方式のままでは、スペクトル幅が約4倍、所要OSNRも現状より6dB必要(10G On-Off Keyingとの比較)
  - そのためコヒーレント受信、位相変調、多値変調、偏波多重や多サブキャリア化などの技術の適用が必須
- 将来的には100Gbpsに?

## まとめ

- 約150年前から受け継がれた海底ケーブルの技術と最新の光技術の結晶
- 光海底ケーブルシステムは、通信における地球規模の太いパイプ
- システム完納後も増え続ける回線需要に対応するため、新しい技術を取りいれてシステムを刷新していく





THE POSSIBILITIES ARE INFINITE