



海底ケーブルシステムの技術の進展

大谷 朋広

株式会社KDDI研究所

- はじめに
- 海底ケーブル回顧
 - TPC-1～TPC-5、Japan US
- システムからネットワークへ
 - 運用技術: Self healing ring
 - 保守技術: C-OTDR
- 今後の方向性
 - Unity
 - ネットワークからシステムへ
 - 高信頼化

まず、はじめに……

- 今日の話は(G)MPLSではありません(多分……)。
- 海底ケーブルシステムは(個人的には)、
 - 特定の専門技術
 - 超長距離、超高信頼、超ポリティカル
- ただし、ないと今の国際通信は致命的、衛星だと
 - 遅延が……(電話しづらい)
 - (TCP)スループットが……。
- 技術的には、海に沈めることができれば、毎回グリーンフィールド
 - 最新の伝送技術を適用してきた。

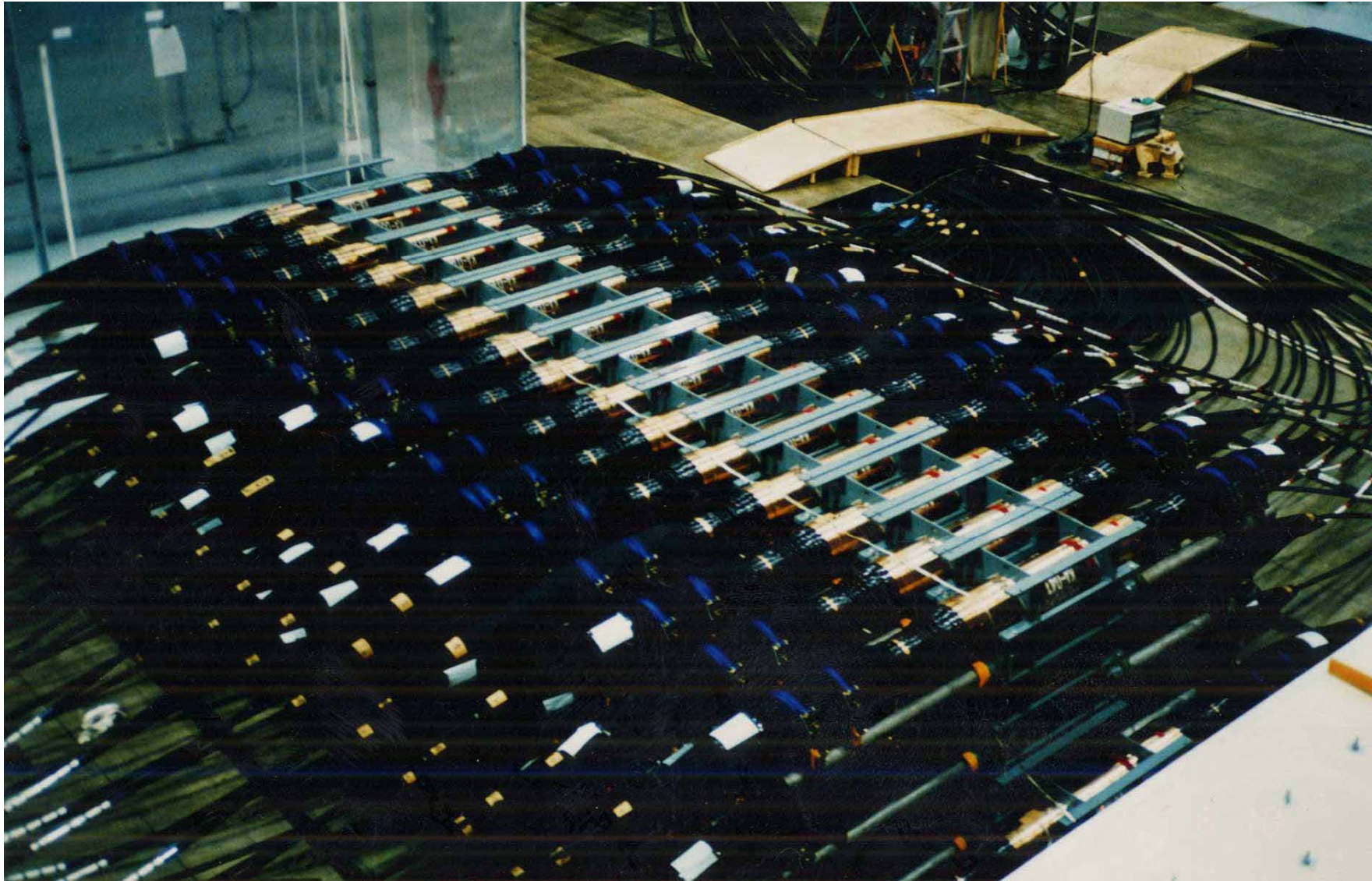
■ 伝送技術

- 真空管アンプからトランジスタアンプ、更には光アンプへ
- 究極の伝送技術

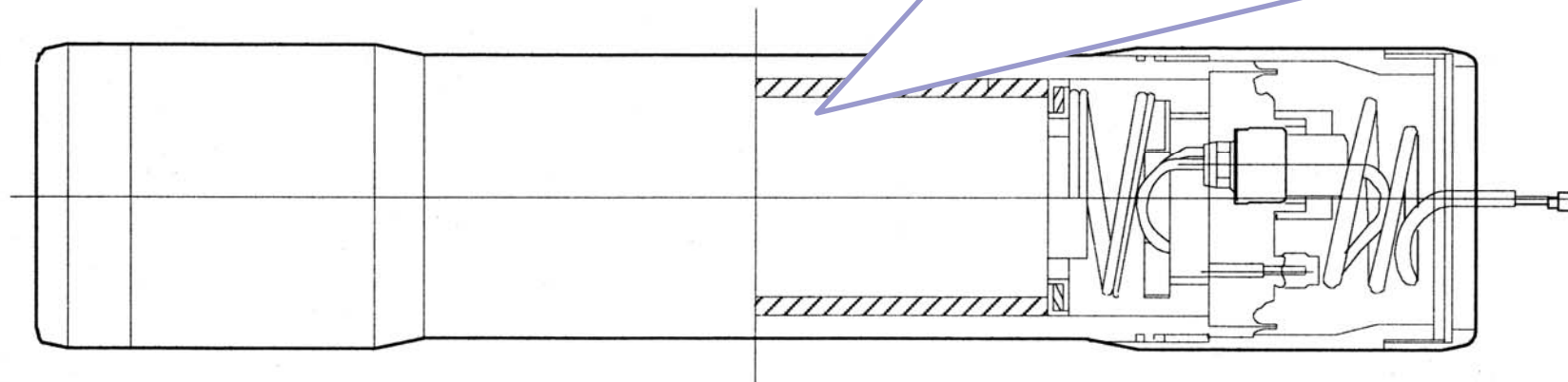
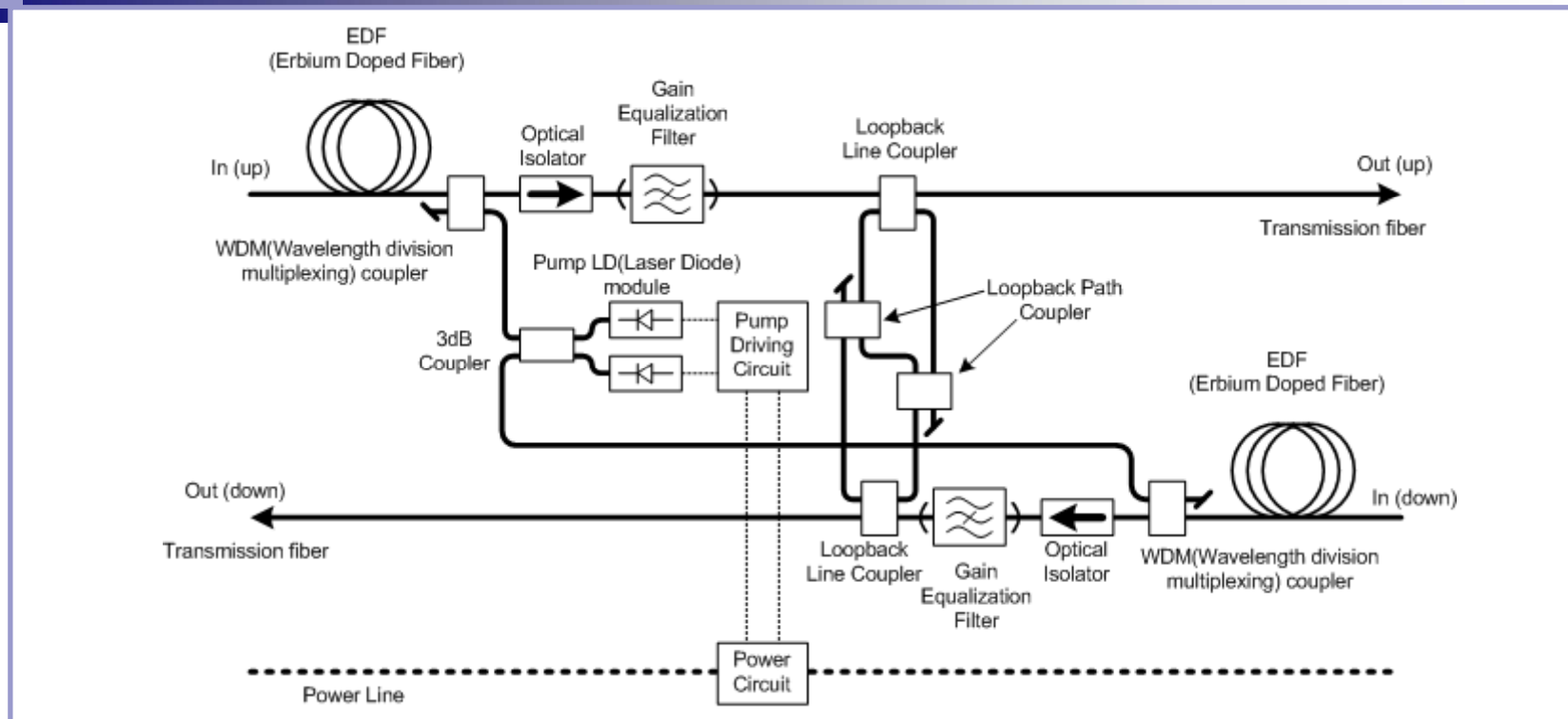
■ ネットワーク技術

- 海底ケーブルは基本的にポイントーポイント
- 当初は衛星とのバックアップを組み合わせ
- TPC-5から大容量化したため、衛星でバックアップできなくなり、ネットワーク化 (TPC-5CN: Cable network)
 - 海底特有のADMの開発: Network Protection Equipment (NPE)
 - 海底特有のプロテクション規格: G.841 annex A
- ニーズの多様化
 - 再びポイントーポイントの方向性
 - ケーブルシステムの組み合わせ

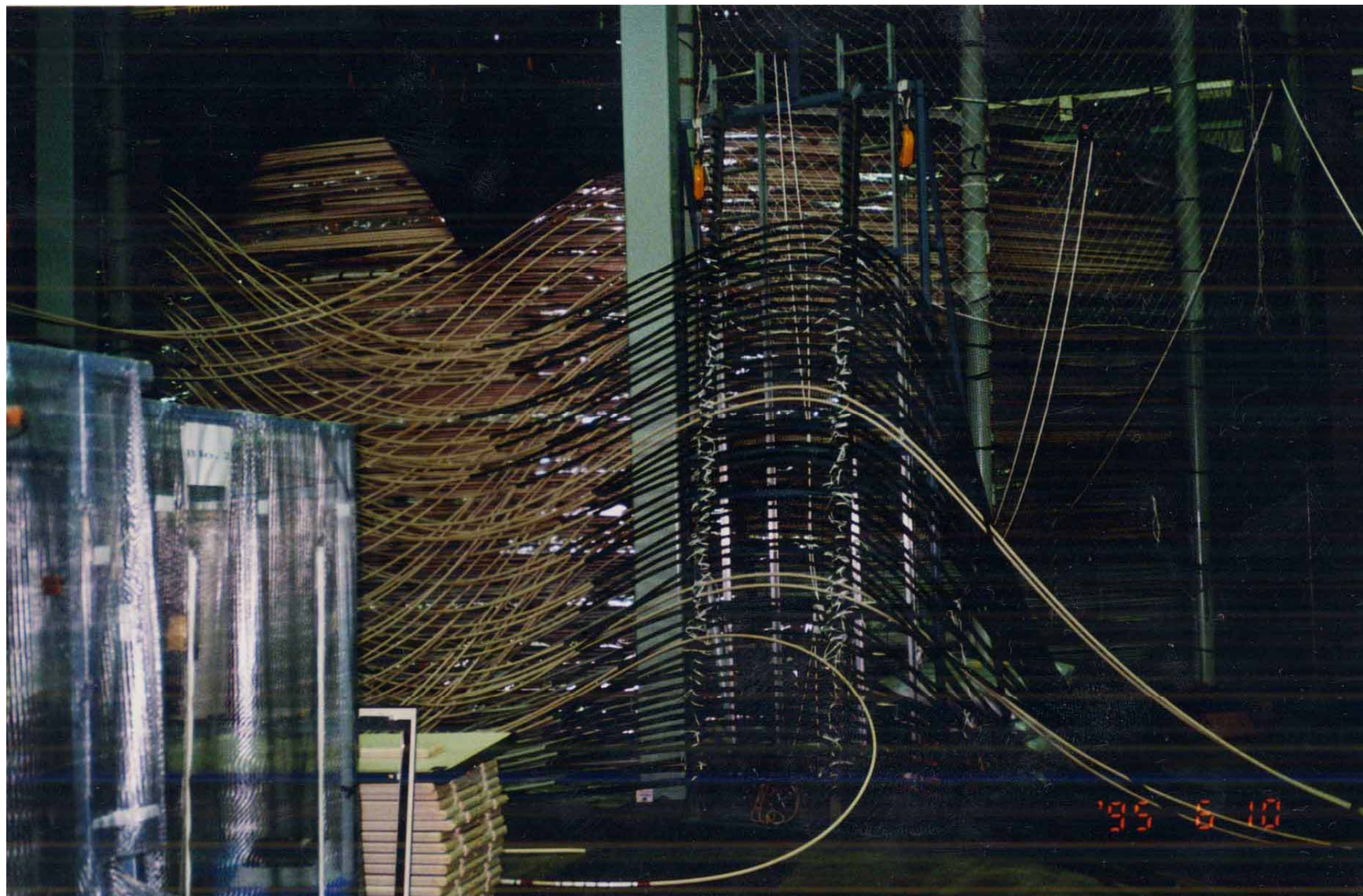
中継器の写真



中継器

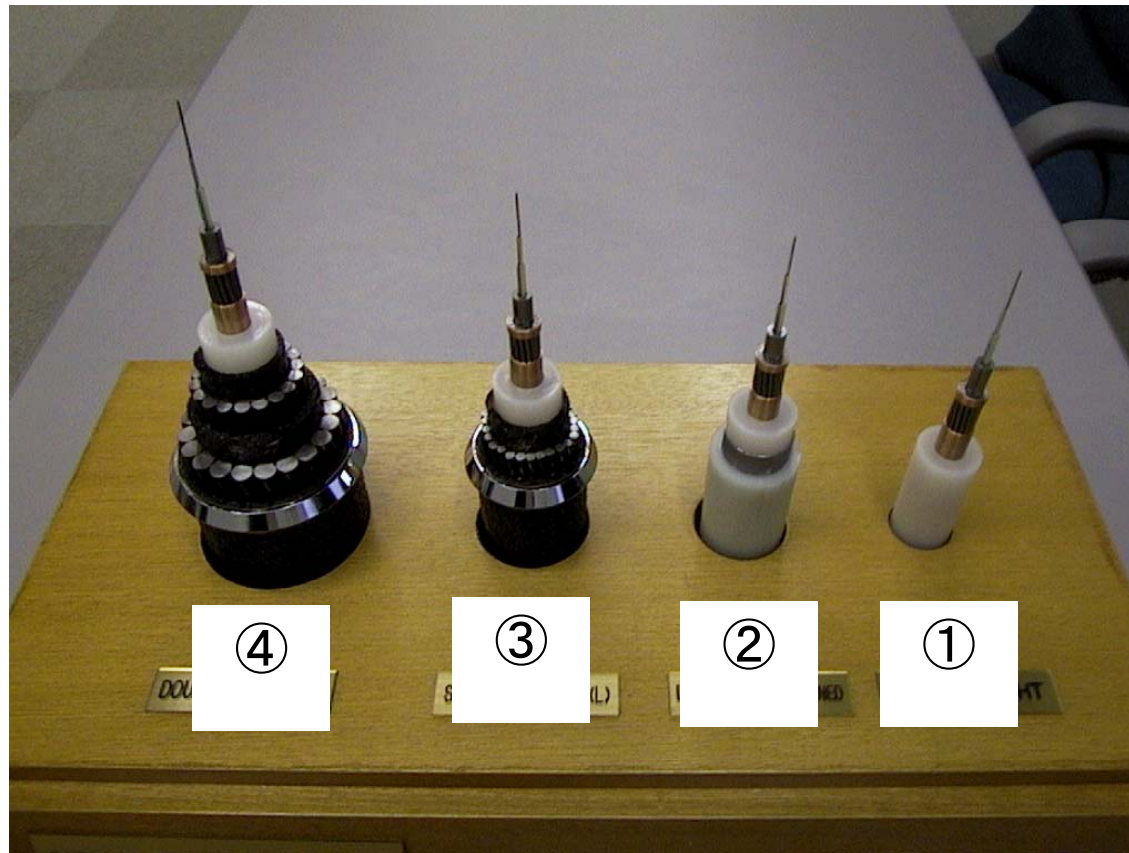


ケーブルの写真



ケーブルの種類

番号	ケーブル種別	用途
①	無外装ケーブル	深海部(水深 ~8,500 m)
②	強化ジャケットケーブル	深海部、海底地形の悪い箇所
③	一重外装ケーブル	沿岸・浅海部、埋設部、漁労等による外傷・
④	二重外装ケーブル	切断の可能性の高い箇所



船の写真

- KDDI Ocean Link



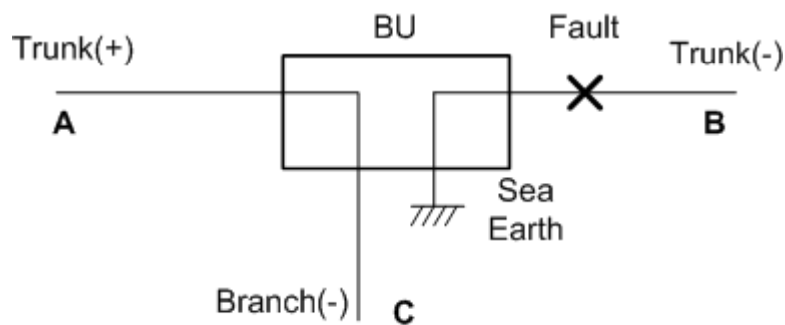
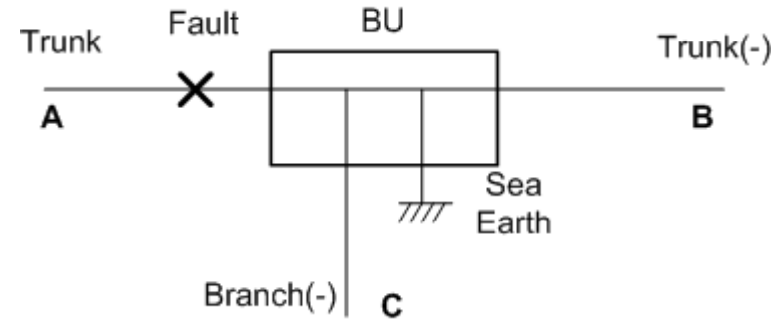
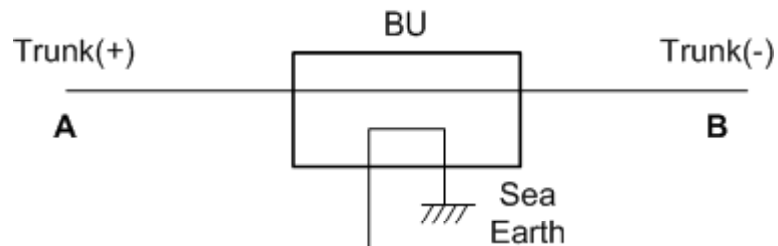
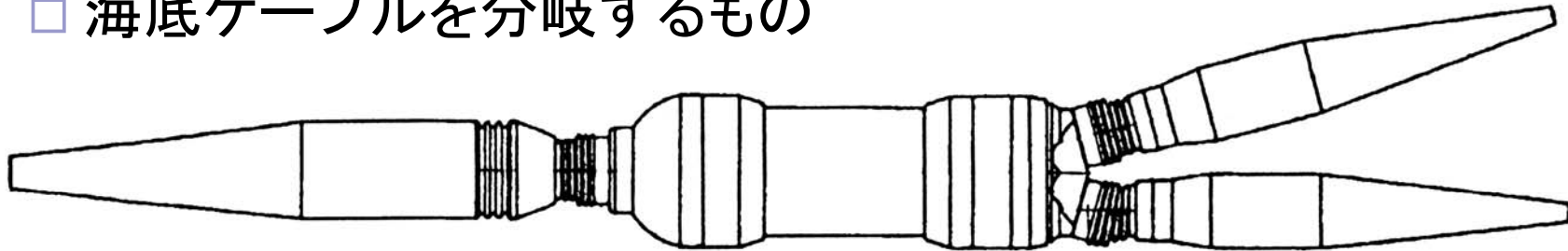
- KDDI Pacific Link



※国際ケーブル・シップ株式会社のホームページより参照させていただきました。

■ Branching unit: BU

□ 海底ケーブルを分岐するもの



給電のやり方が重要。

- ・ どこかが切れても給電し続けることが可能
- ・ シーアース

Trans-pacific cable (TPC) その1

- TPC: 太平洋<-> TAT: 大西洋
- 先駆者の方々への畏怖の念
 - TPC-1: 1964
 - (確か)真空管の増幅器、同軸ケーブル
 - アナログ伝送: 138回線
 - TPC-2: 1974
 - トランジスタ増幅器、同軸ケーブル
 - ビットレート: 845回線

Trans-pacific cable (TPC) その2

■ 光技術の台頭

□ TPC-3: 1989

- 世界初で $1.3\mu\text{m}$ の半導体レーザ、光ファイバ(single mode fiber : SMF)を導入
- 光ファイバの海底ケーブル化技術
- 半導体レーザの信頼性
- 280Mbit/s

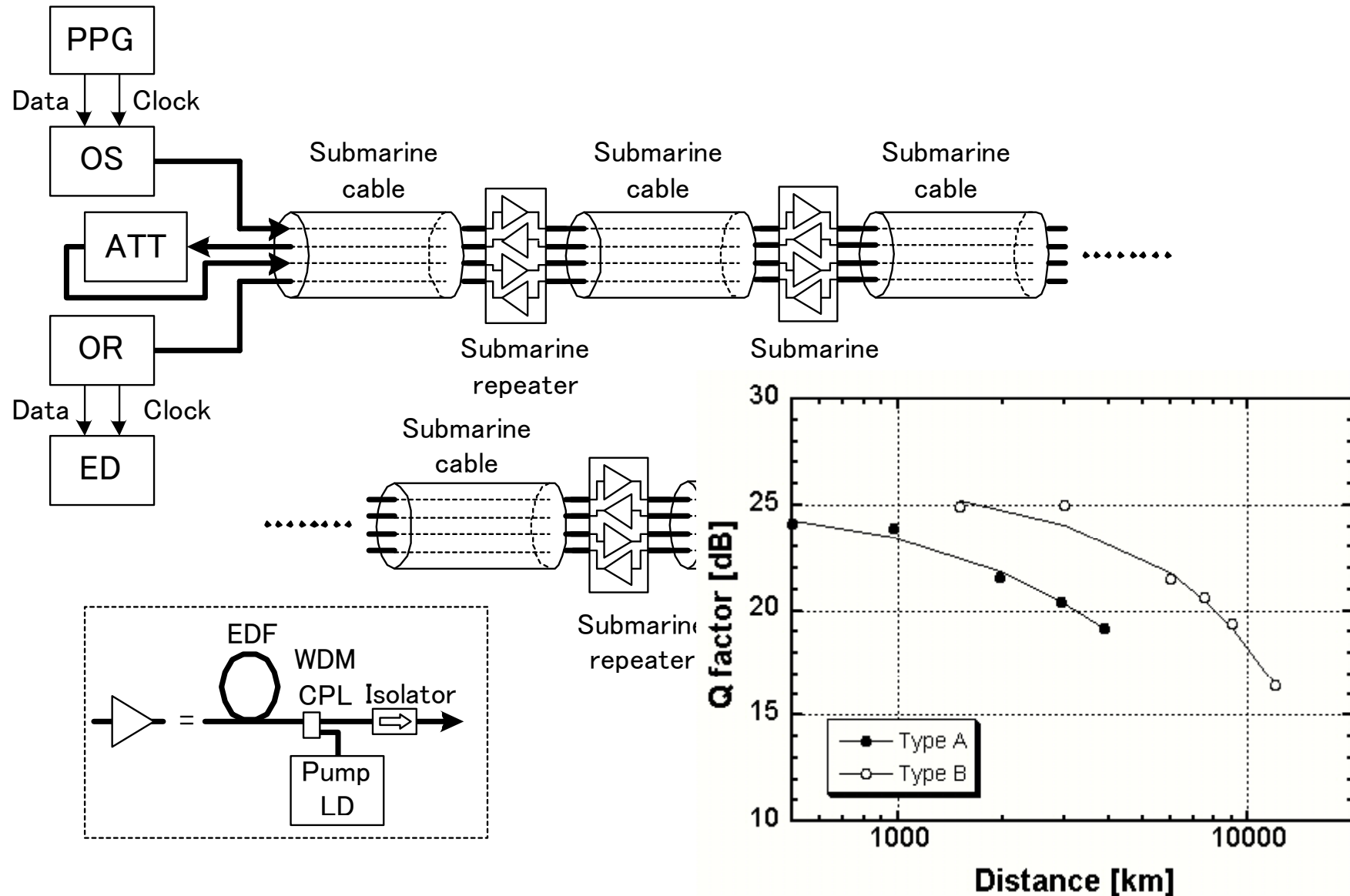
□ TPC-4: 1992

- 世界初の $1.55\mu\text{m}$ 帯 DFB(distributed feedback laser)半導体レーザ
- 中継距離の延伸
- 560Mbit/s

Trans-pacific cable (TPC) その3

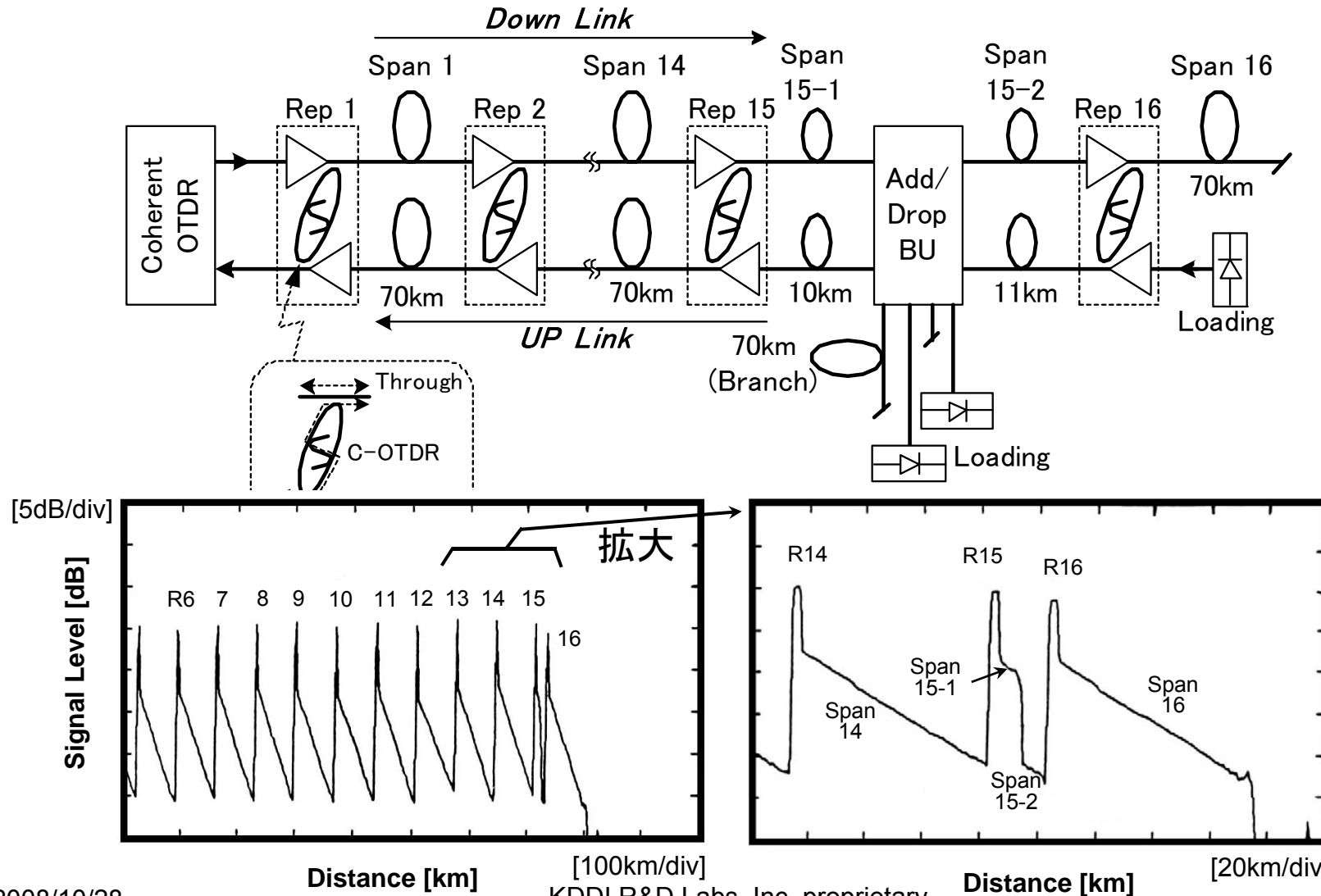
- コヒーレント vs. 光アンプ(論争?!?!)
 - 再生中継距離を延伸するためのコヒーレント技術の開発
 - 光増幅の検討
 - 半導体アンプ、光ファイバアンプ(Erbium doped fiber amplifier: EDFA)
- 光増幅器の開発が本格化
 - TPC-5CN: 1996～
 - 世界初の光アンプ、無再生中継の大洋海底横断システム
 - 5Gbit/s (STM-16 x2: SDH対応:[新同期対応])
 - FEC(Forward error correction)の導入
 - NPEによるネットワーク化

商用システムを用いた伝送特性検証



線路保守

- C-OTDR: Coherent optical time domain reflectometry

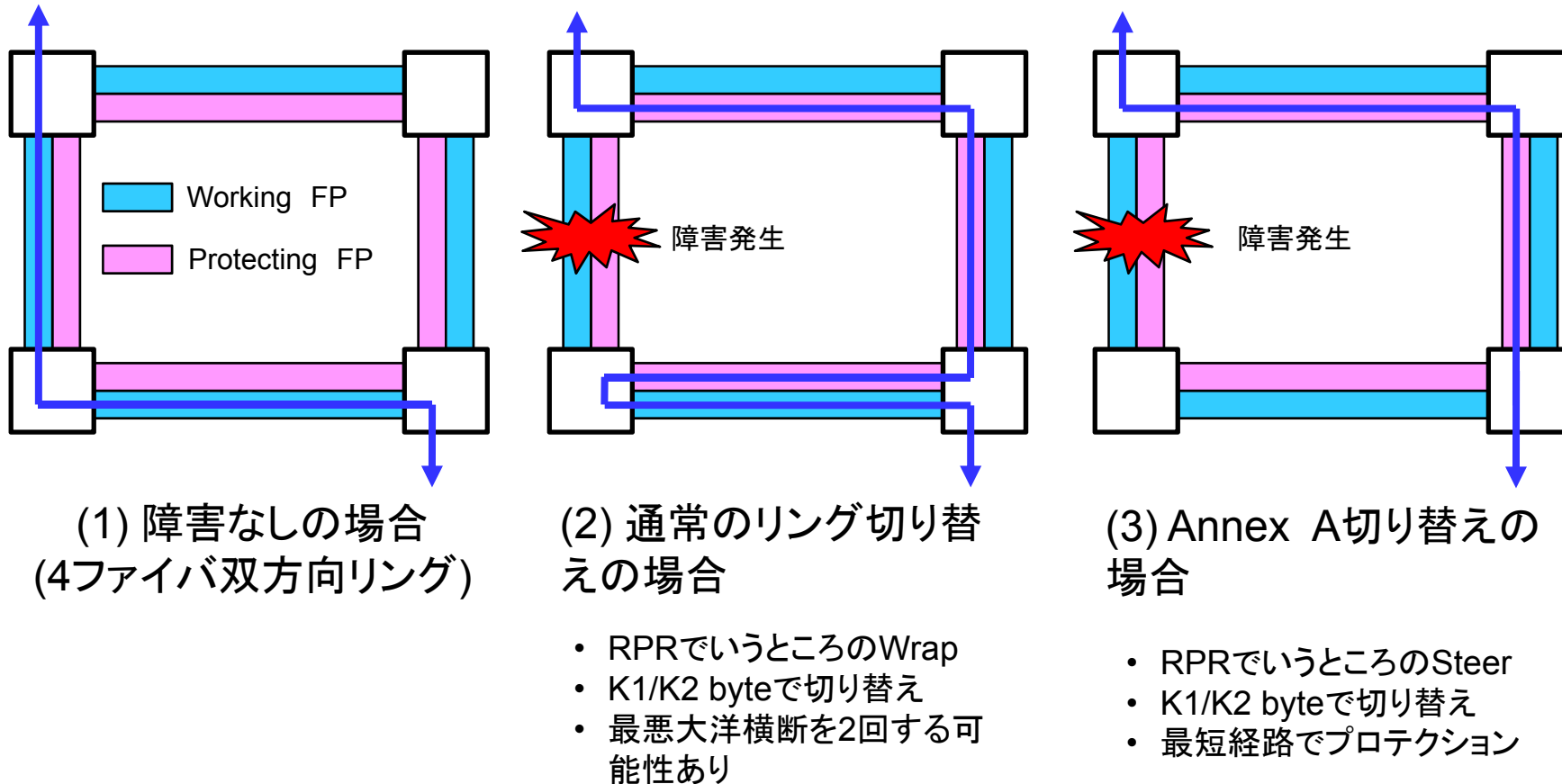


■ WDM技術の台頭

- Wavelength division multiplexingによる技術革新
- OS-Wの開発プロジェクト
 - SMW-3
 - 2.5G x8 (→10Gx8)
 - China-US Cable Network
 - 2.5Gx8、12,000km!?!?: 検証が大変でした。
- OS-W100Gの開発プロジェクト
 - Japan-US, TAT-14, EAC
 - 10Gx16
 - 係わったのは、この辺くらいまで
- その後の話は及川さんにバトンタッチ

ネットワーク化(1)

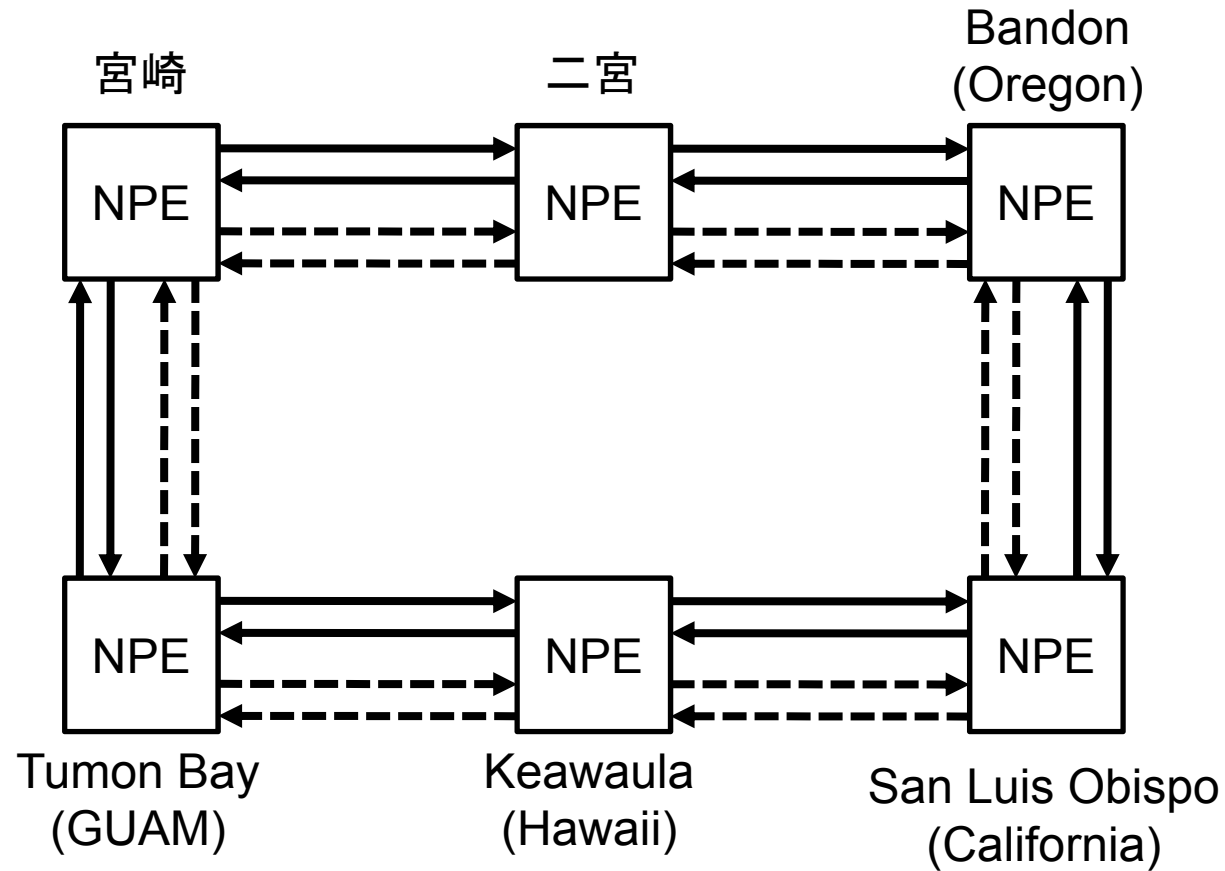
■ ITU-T G.841 annex A



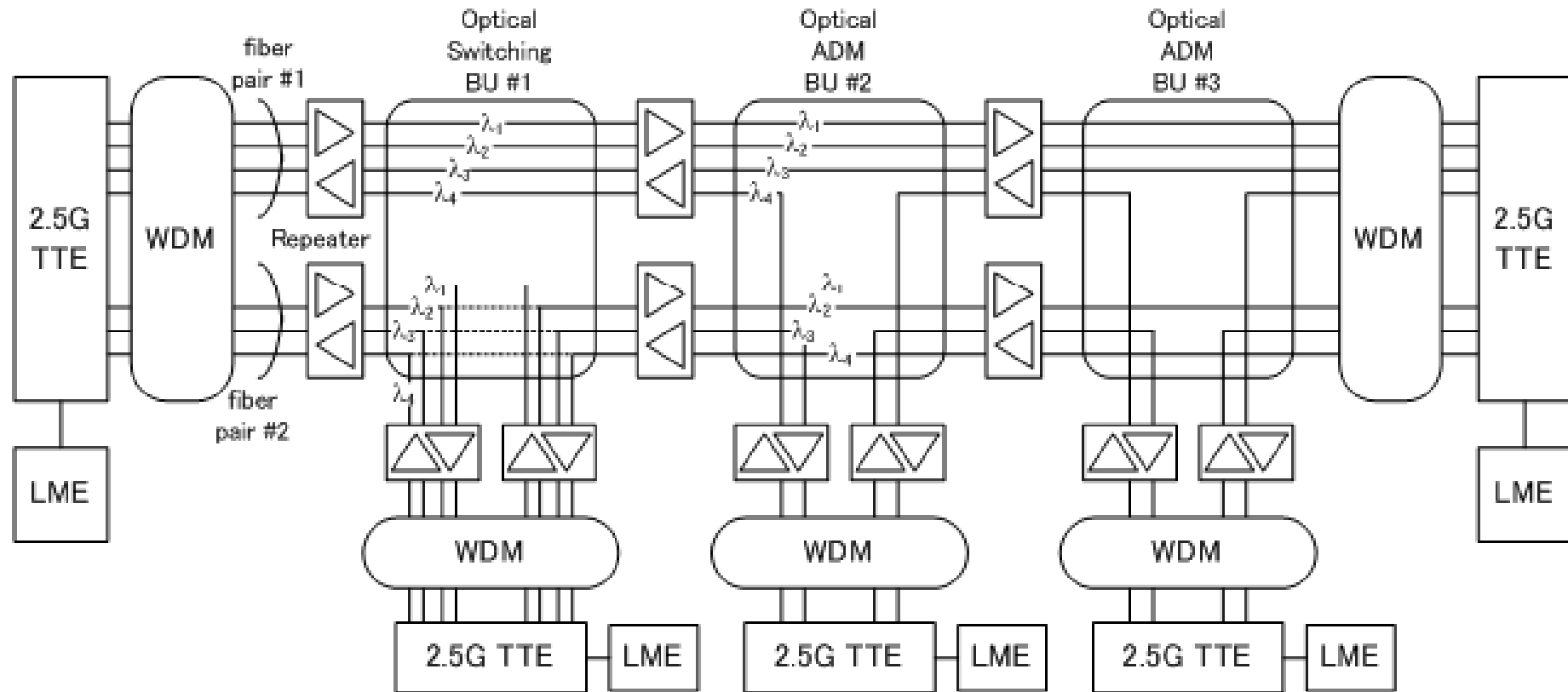
ネットワーク化(2)

■ TPC5CN

□ 6ノード構成



WDMネットワーク

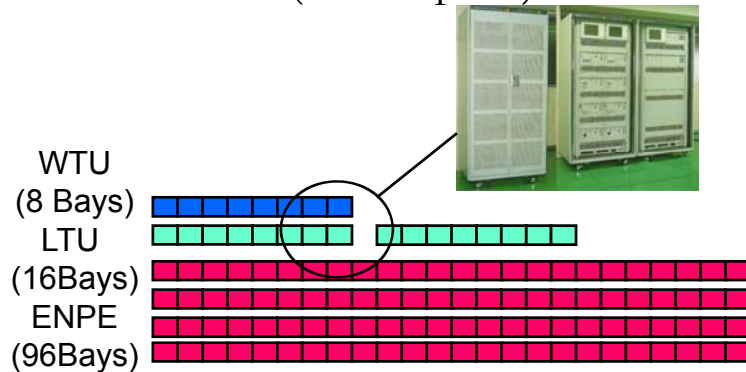


- SME-3の構成
- 全光(All-optical)ネットワークの先駆け

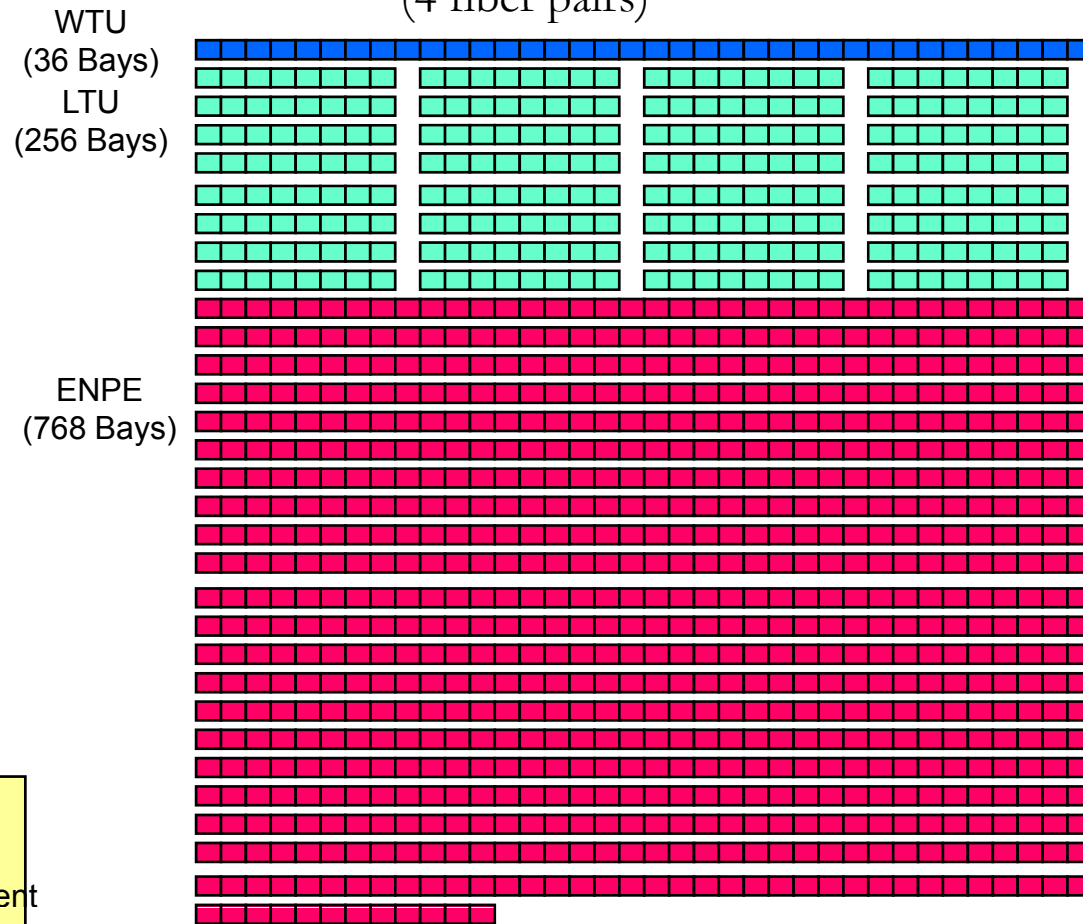
TTE: Transmission terminating equipment
LME: Line monitoring equipment
WDM: Wavelength multiplexer/demultiplexer

電気 vs. 光

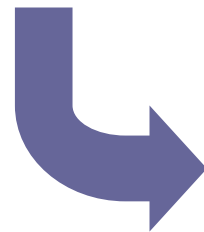
160Gbit/s SDH Rings
(4 fiber pairs)



1.28Tbit/s SDH Rings
(4 fiber pairs)

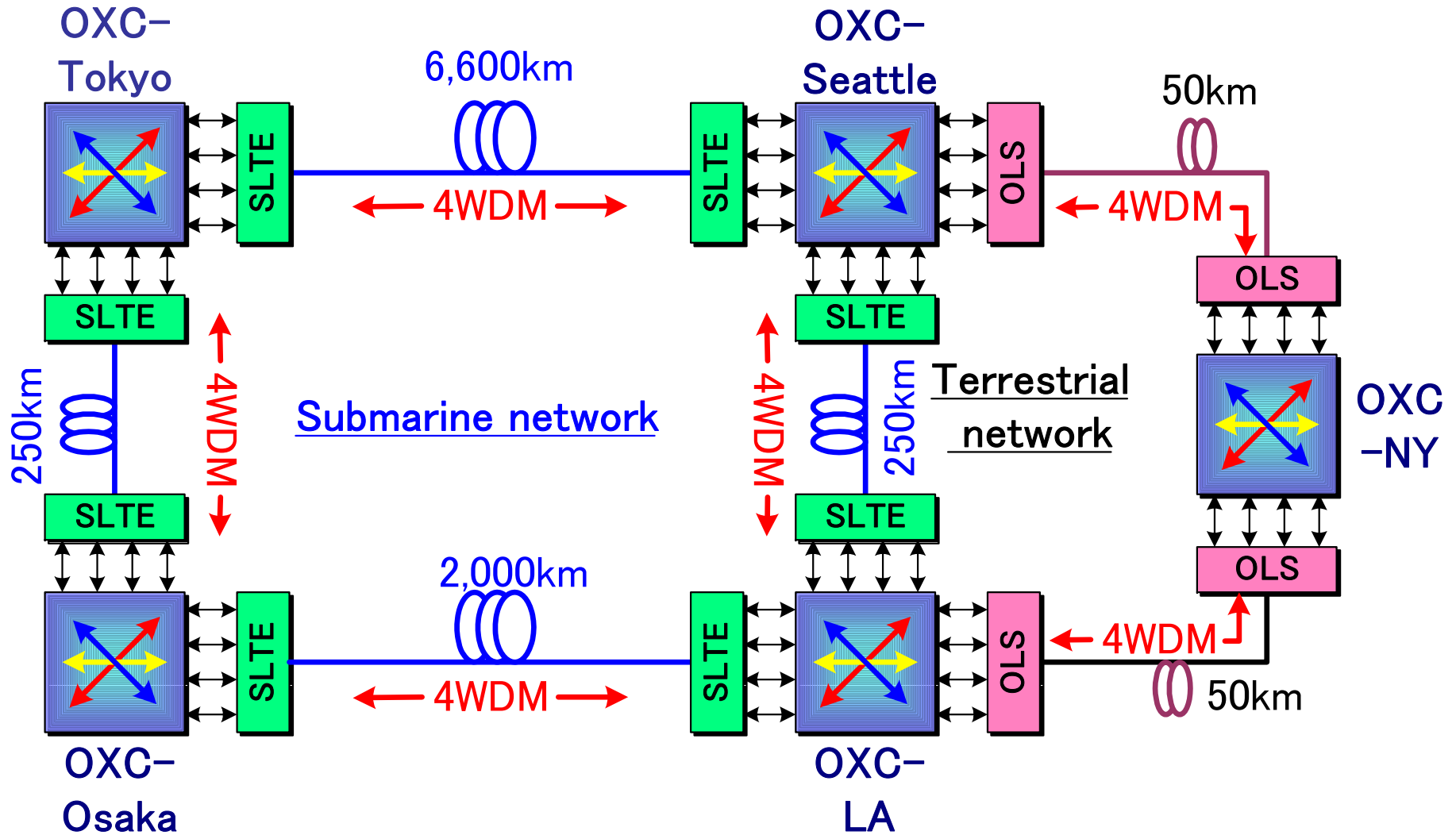


- 160G system requires 300m² floor area whereas 1.28T system 10 times larger area.



LTU: Line Terminal Unit
WTU: Wavelength Terminal Unit
ENPE: Electric Network Protection Equipment

テストベッド構成



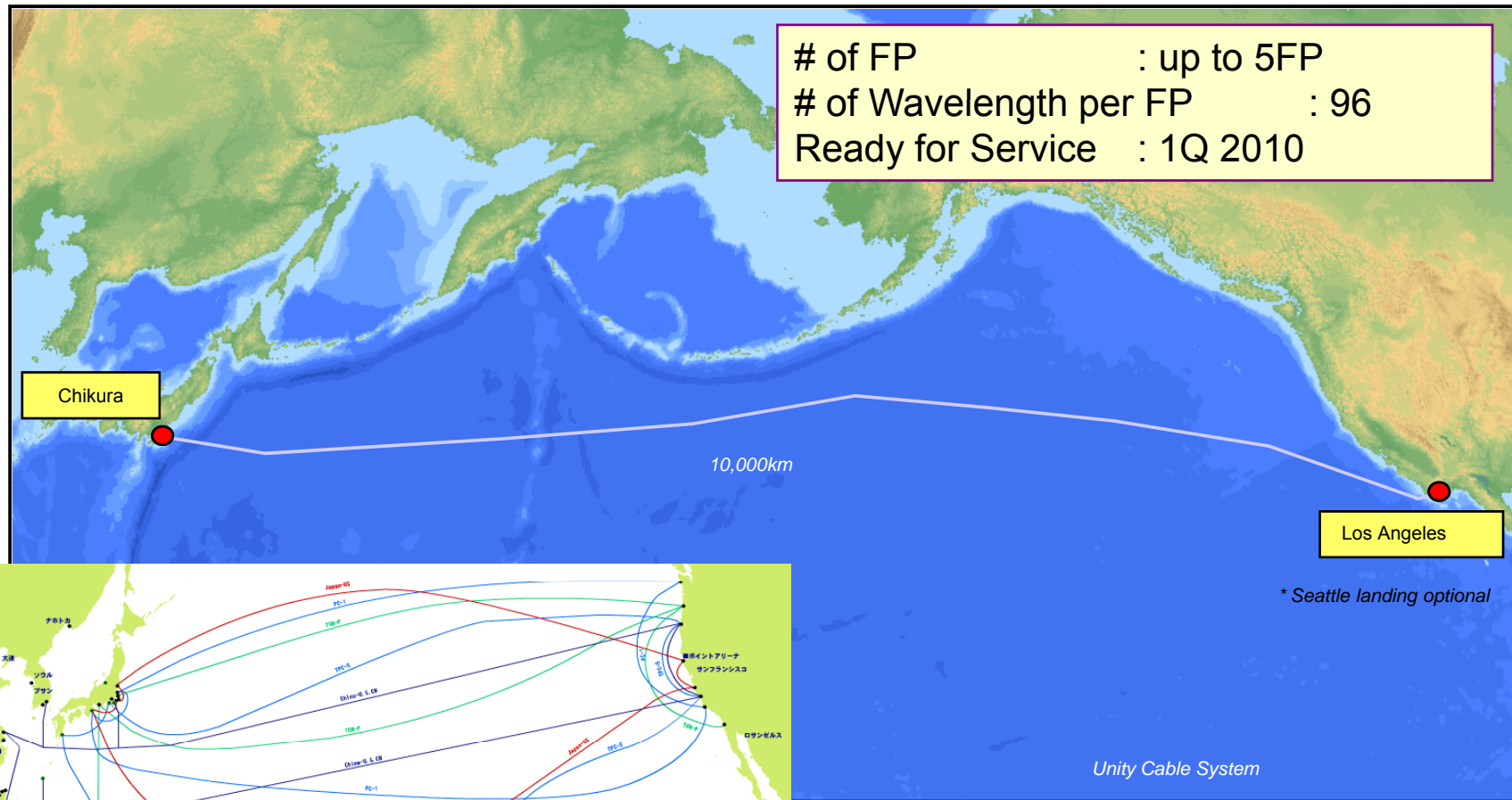
ところで、、、

- 光業界バブル
- 通信業界の再編
-

いろいろありました……

- とはいえ、大洋間・アジア域の大容量海底ケーブルが複数構築されました。

Unity



- 複数のトランスポート技術が利用可能
 - SONET/SDH
 - (T-)MPLS(-TP)
 - PBB-TE
 - OTN
 -
- コントロールプレーンによるインテリジェントな障害復旧
 - MPLS・GMPLS
 - 例えば、RFC4872: Protection and restoration
 - Dynamic recovery, preemption, shared protection, などなど
 - 後は、石井さんをお願いします。

まとめ

- 海底ケーブル技術の進展
 - 長年にわたるテクノロジーの粋の凝縮。
 - 噛めば噛むほど味がでる。
- (個人的には)今の様々な研究のベース
 - 伝送技術
 - 全光ネットワーク
 - OTN技術
 - コントロールプレーン
 - 運用管理システム
 - などなど



otani@kddilabs.jp