

# 光海底ケーブルにおける 光ファイバー伝送技術動向

高橋 英憲

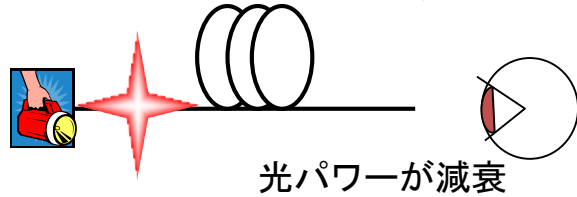
(株)KDDI総合研究所

光トランスポートネットワークグループ

※KDDI(株) グローバルネットワーク・オペレーションセンター

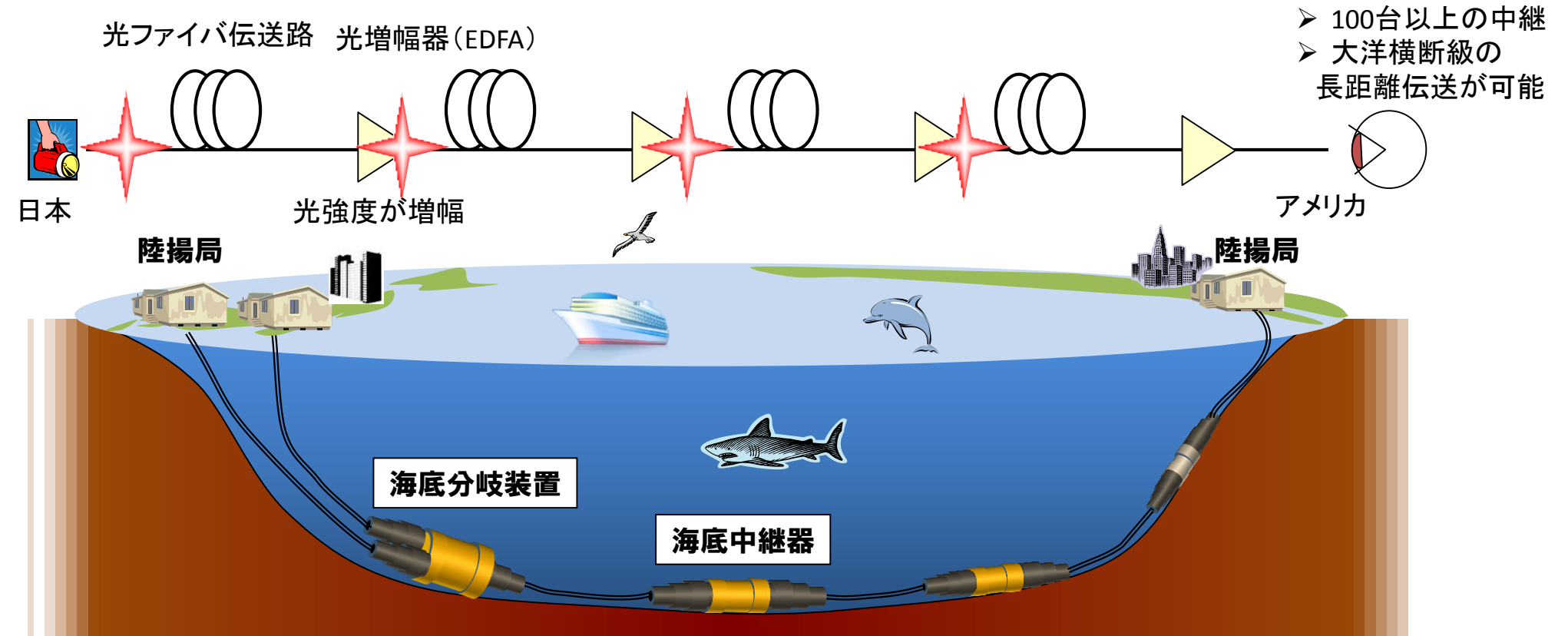
海底ケーブルグループ兼務

## ◆無中継伝送：島嶼(とうしょ)部など

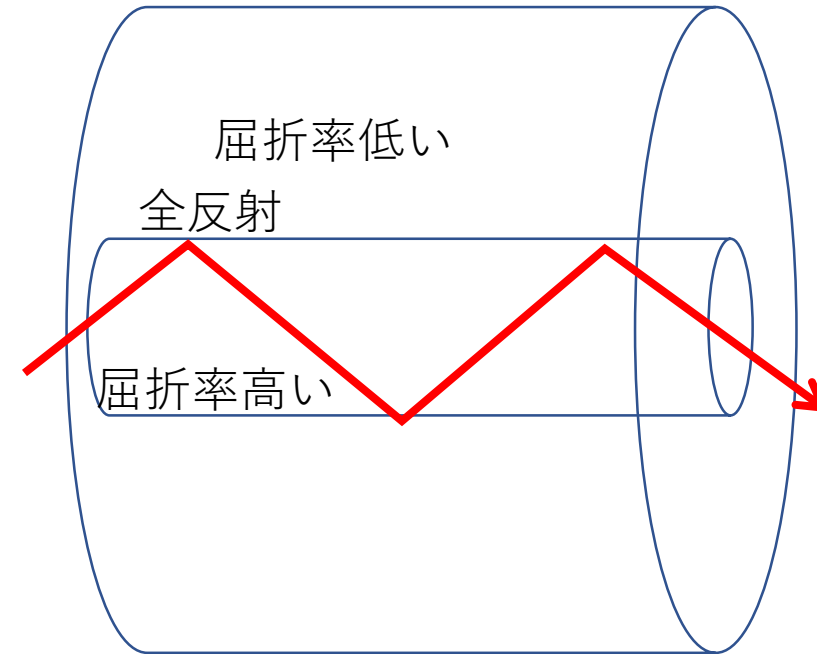
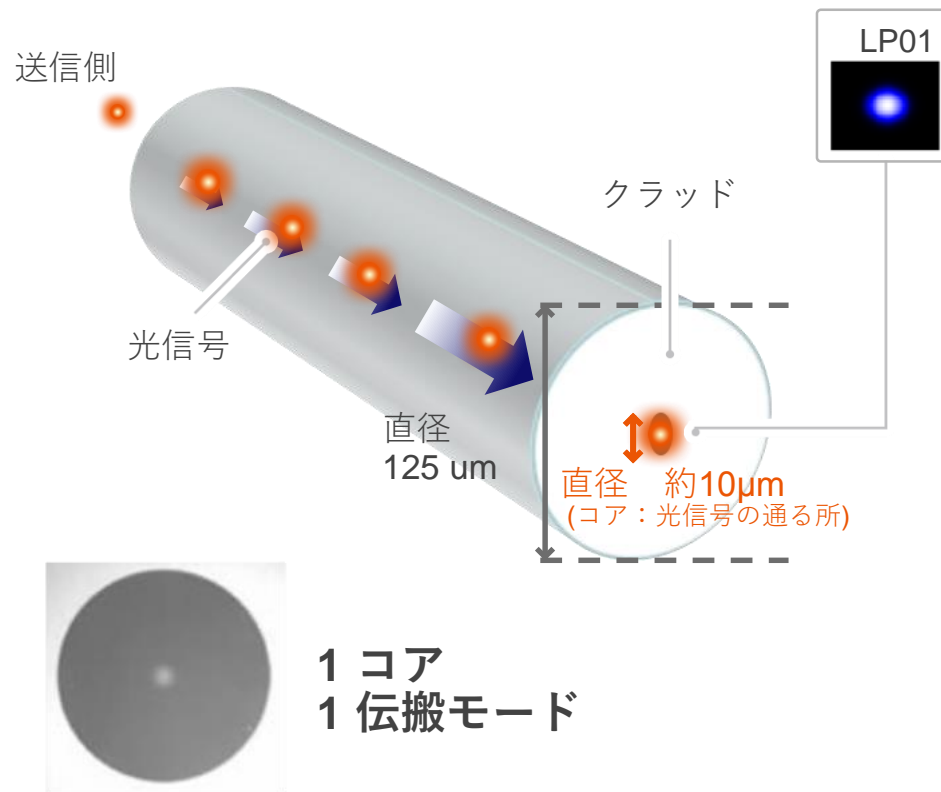


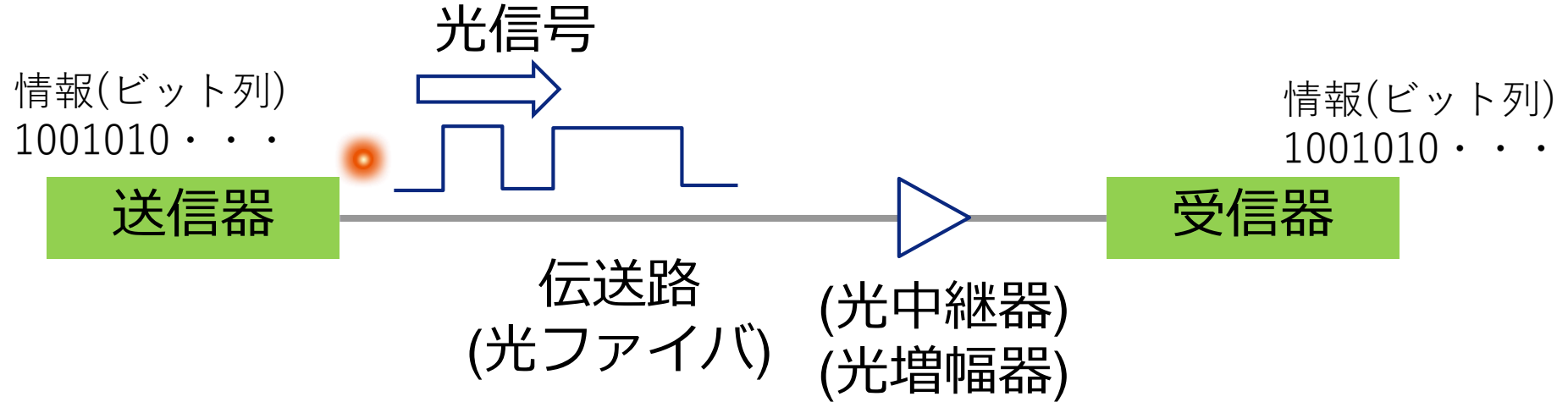
(※遠隔励起による増幅、ラマン増幅による数100km級への延伸もある [1]  
<https://www.suboptic.org/wp-content/uploads/2014/10/We2.19.pdf>)

## ◆光増幅器による中継伝送：東京~大阪など都市間、太平洋横断(~1万km)

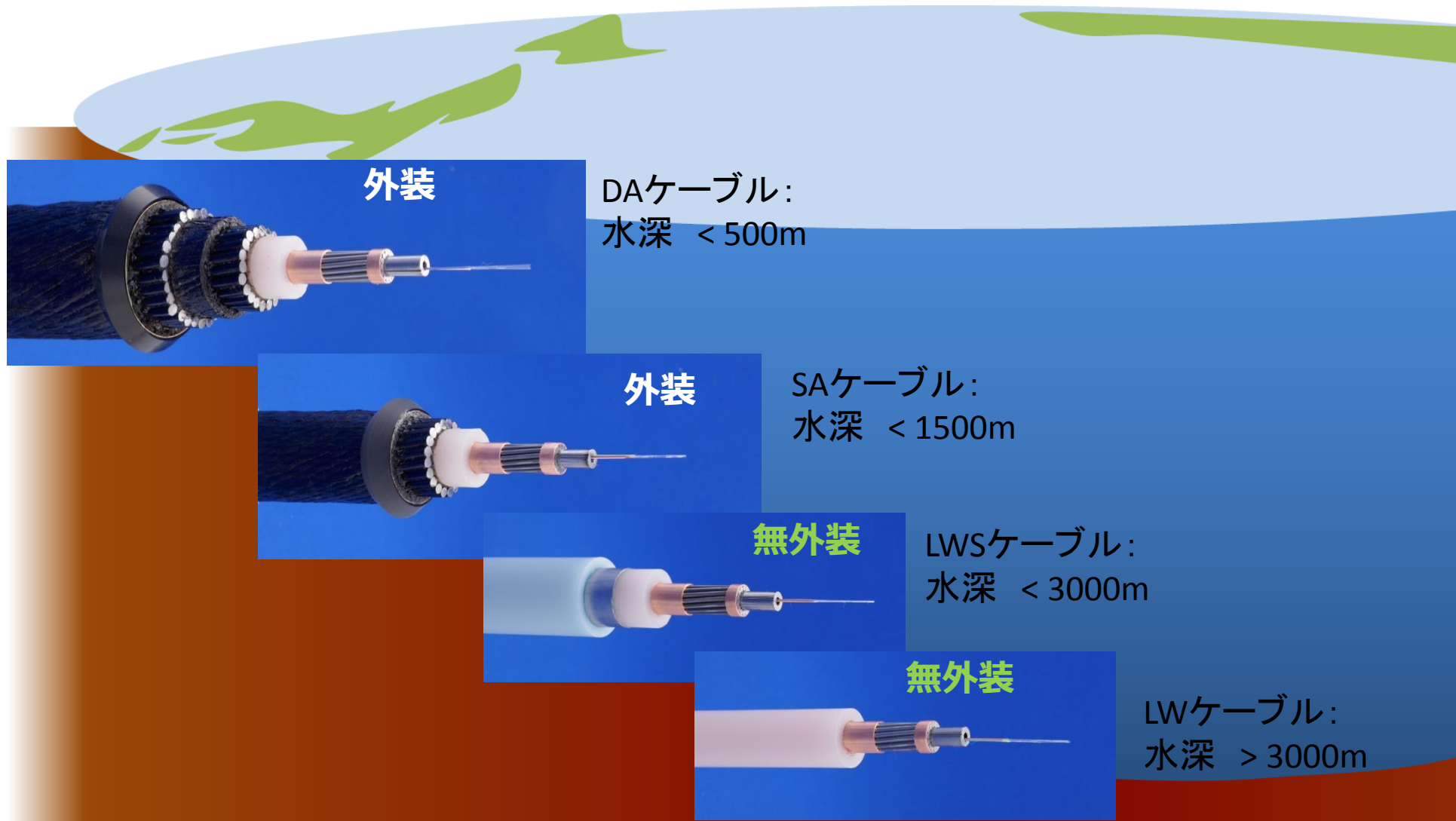


## 単一コア・シングルモードファイバ(SMF)





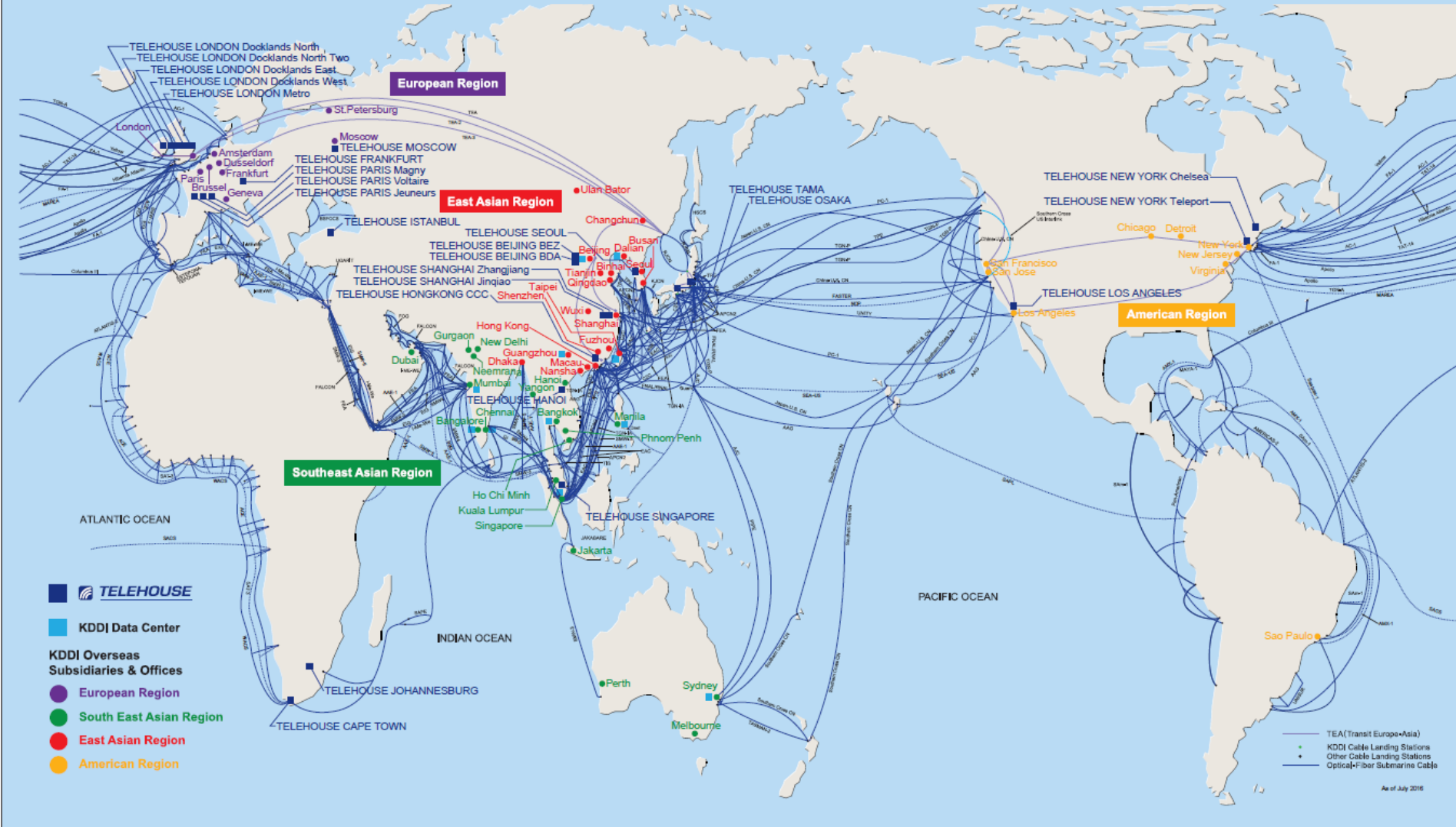
- ビット：0か1か、情報の最小単位
  - 複数のビットを送ると、複雑な情報を表現できる
- 伝送容量(伝送速度)： 1秒に何ビット伝送できるか
  - 伝送容量の単位：[bit/s] や [bps] (ビット/秒)
  - 例：ノートPCのLANケーブル：1G(ギガ)bps など
  - 1T(テラ)bpsは、1Gbpsの1000倍



浅い海域ほどケーブルが切断される要因が多い

# 世界の光海底ケーブルネットワーク

## KDDI Global Network Map



# 太平洋横断ケーブル“FASTER”(2016年)

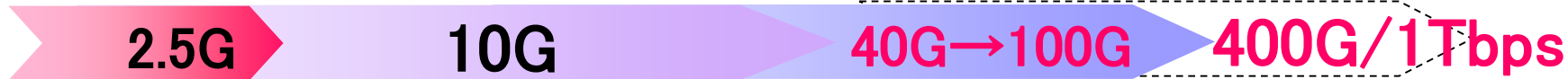
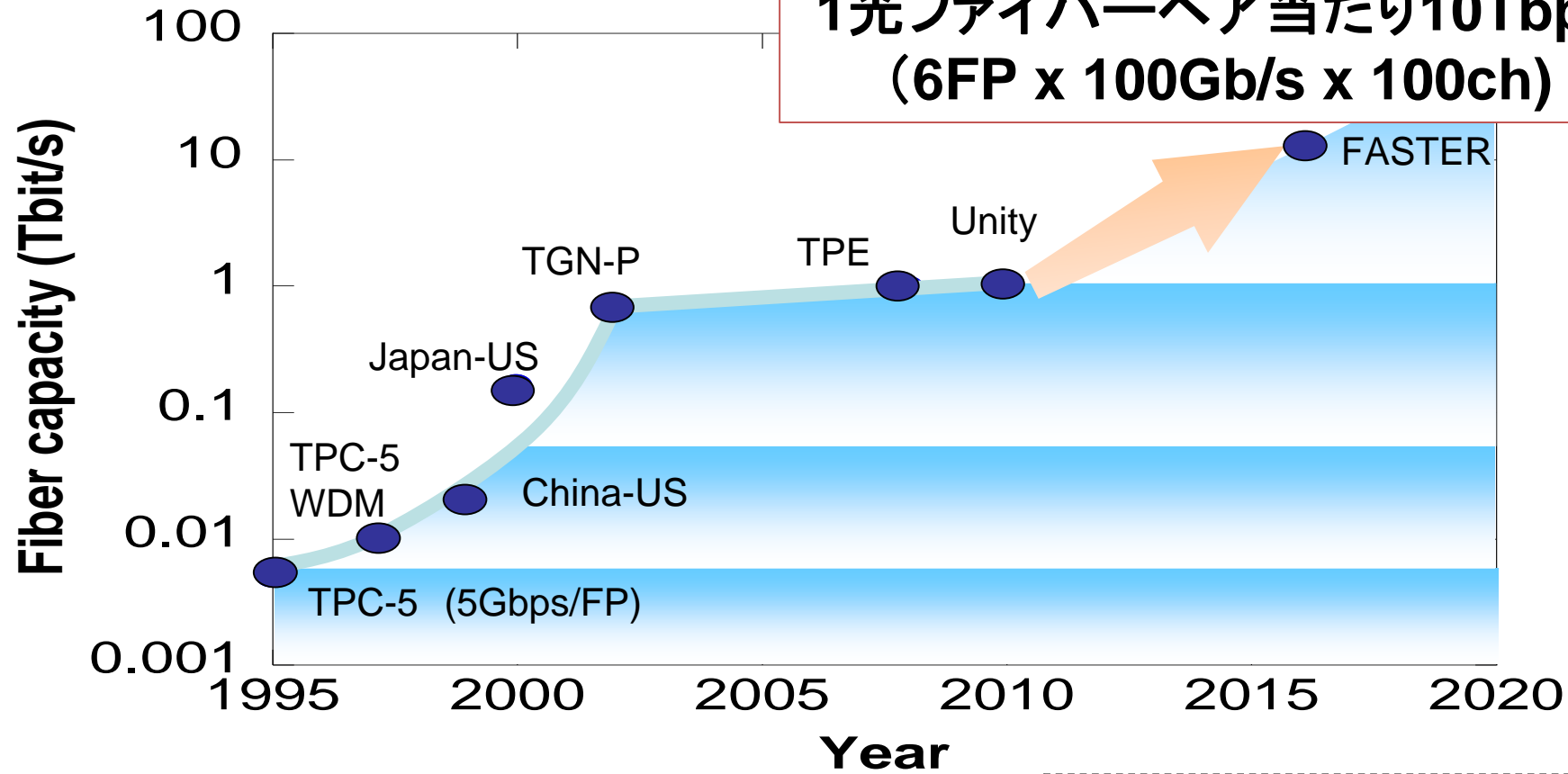


- |             |   |
|-------------|---|
| 1) ネットワーク構成 | 日本～米国   |
| 2) 運用開始時期   | 2016年   |
| 3) 初期設計容量   | 60Tbps  |
| 4) 総延長      | 約9,000km  |
| 5) 共同出資者    | KDDI (日本)、China Mobile International (中国)<br>China Telecom Global (中国)、Google (米国)<br>SingTel (シンガポール)、Global Transit (マレーシア) |
| 6) システム供給者  | NEC (日本)  |

# 太平洋横断光海底ケーブル ファイバ当たり容量変遷 (設計容量)

■ TPC-5(EDFA中継)から

**FASTER(総容量60Tbps)**  
1光ファイバーペアあたり10Tbps  
(6FP x 100Gb/s x 100ch)



約20年で1光ファイバーペアあたり2000倍の容量に

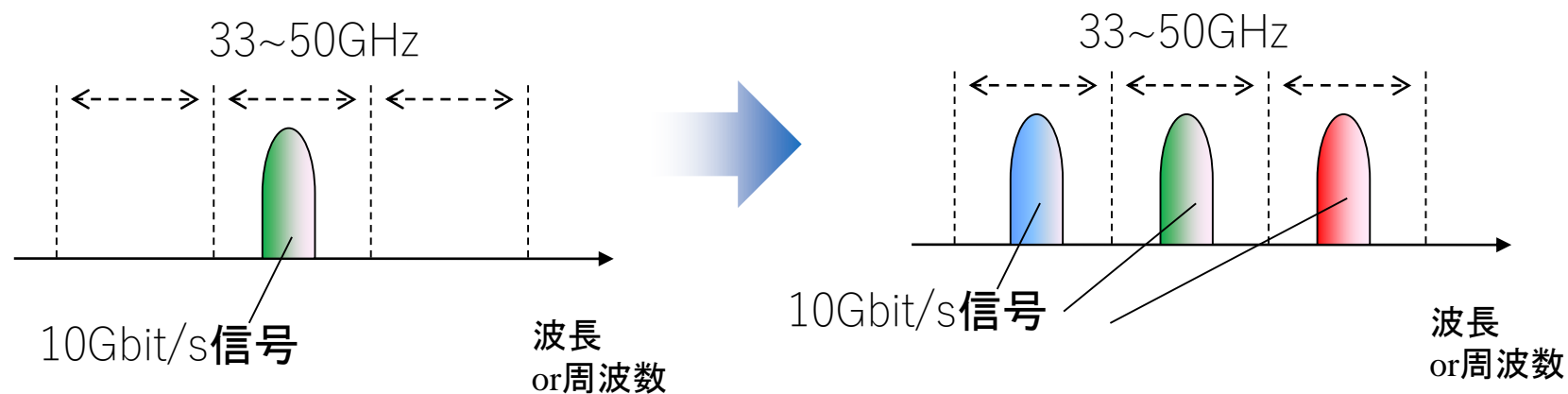
※WDM: Wavelength Division Multiplexing (波長分割多重)



# 大容量化：波長分割多重(WDM)伝送

## ■ 多チャンネルを同時に伝送

### ■ チャンネル数を増加

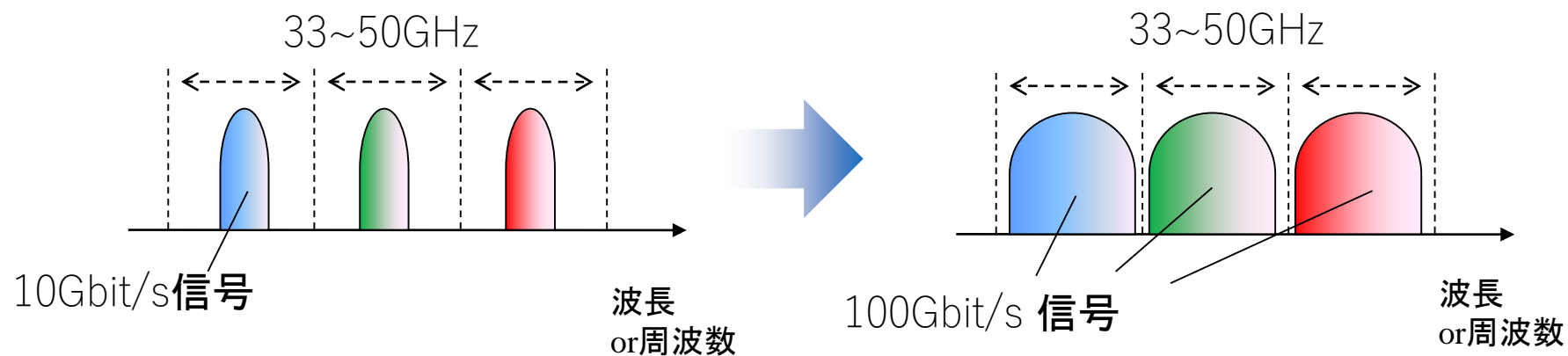


波長チャンネル数倍に伝送容量が増加

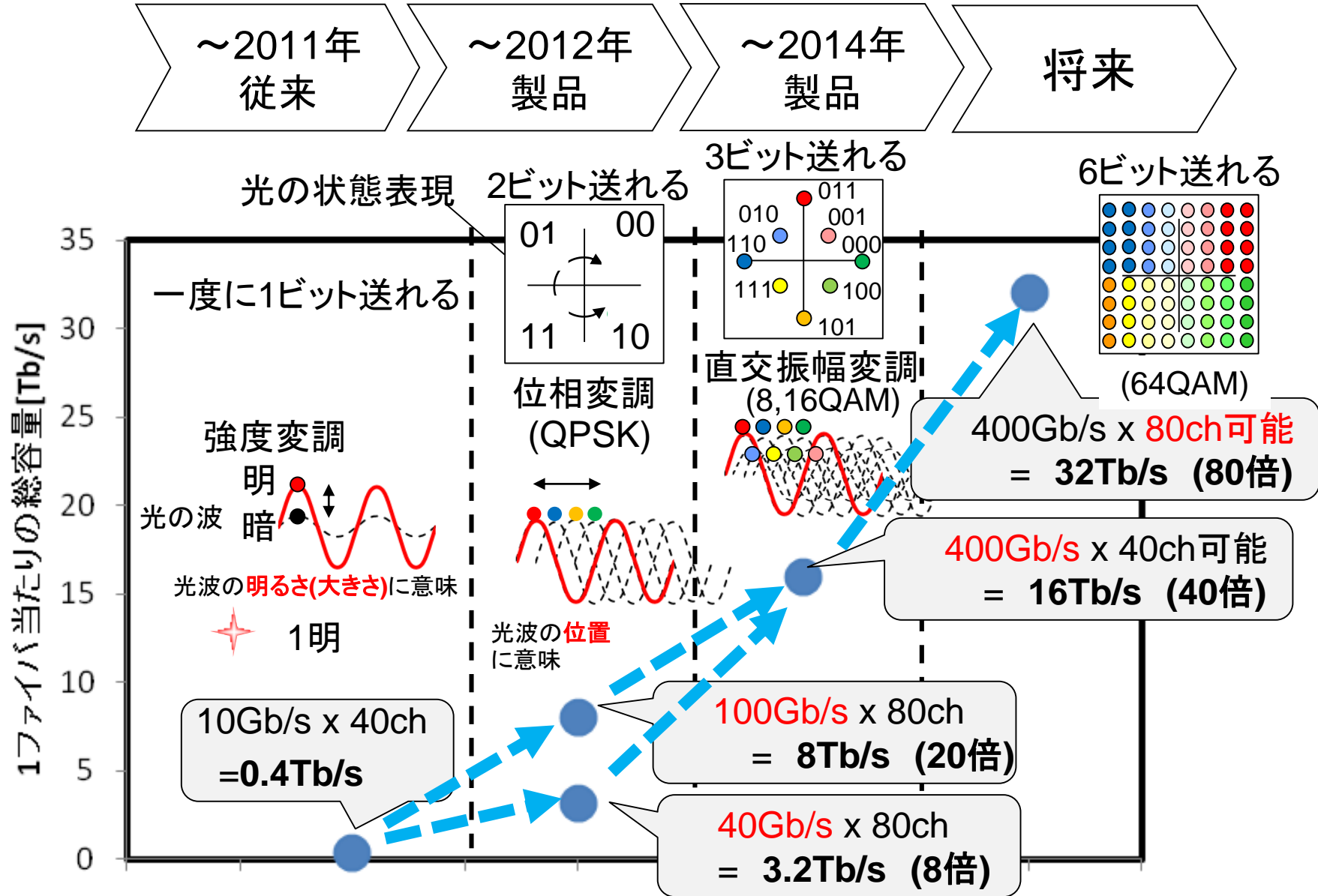
# 大容量化：波長分割多重(WDM)伝送

## ■ 多チャンネルを同時に伝送

### ■ チャンネル間隔（グリッド）あたりの伝送容量の変化

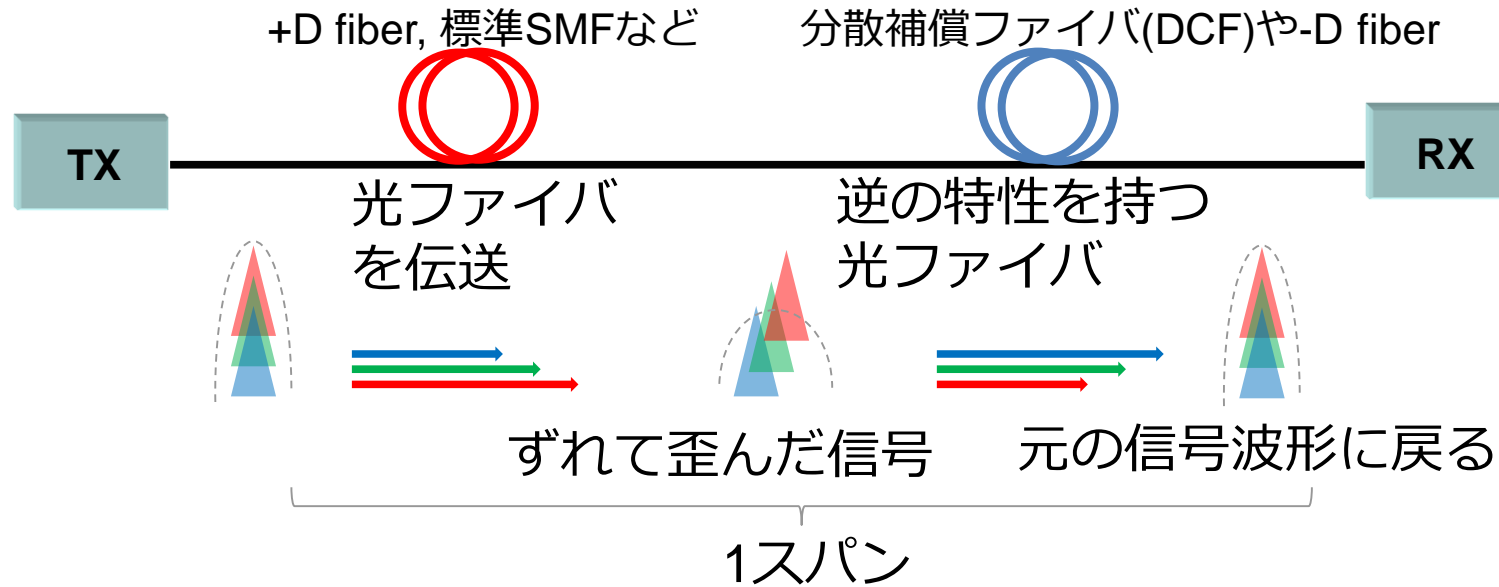


変復調方式の進展による大容量化  
⇒デジタルコヒーレント伝送方式

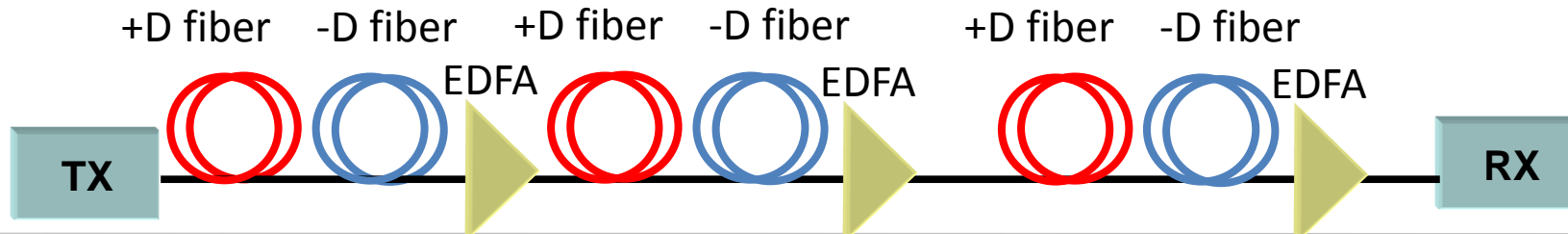


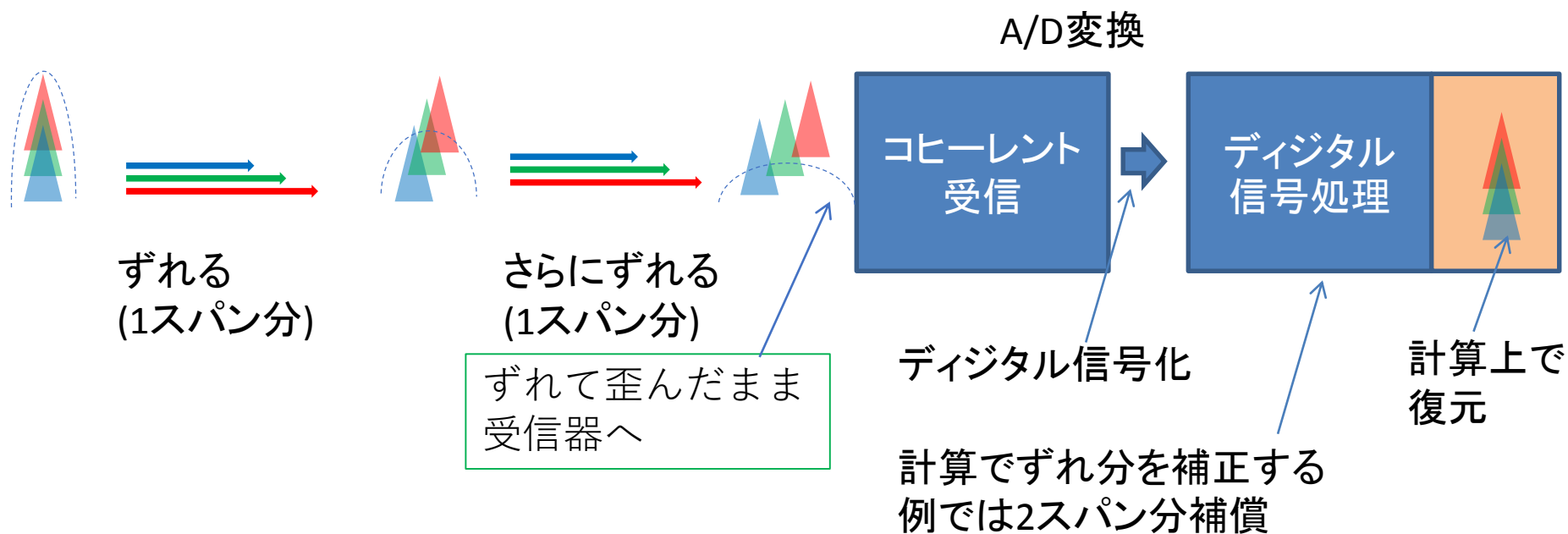
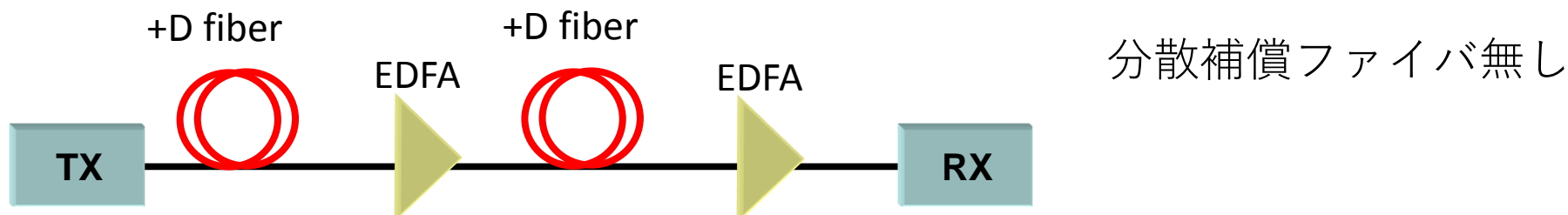
# 従来の分散補償

波長が長い光と、波長が短い光で時間差が生じ、ずれた信号  
(歪んだ信号) になる



Unityなど、歪む/戻るを100回以上繰り返して太平洋横断する  
⇒ 分散マネージドファイバ (DMF) と呼ばれる



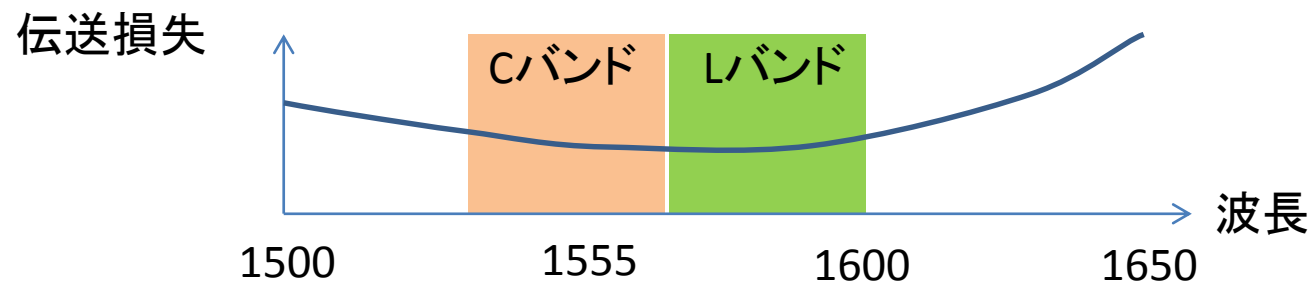


分散補償ファイバ(DCF, -D fiber)が不要に

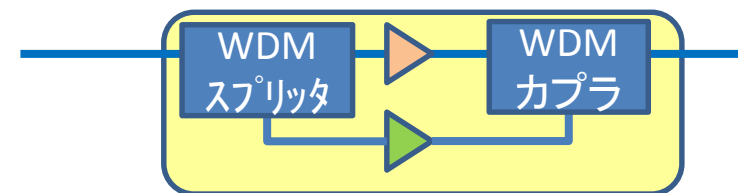
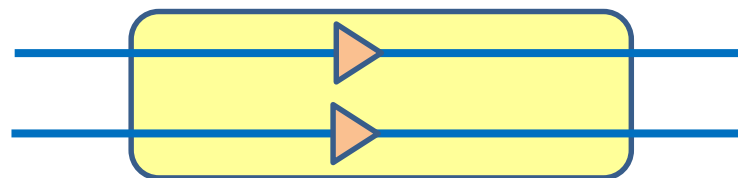


- 従来：2種類のファイバを敷設⇒修理も2種類のファイバを考慮  
：送受信器内にチャンネルごとに分散補償ファイバが必要  
⇒FASTER：いずれも不要に
- 非線形光学効果により生じる信号劣化を低減（WDMの高密度化）

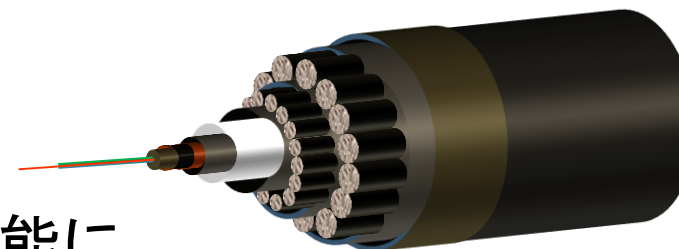
- 従来の光海底ケーブルはCバンドのみ利用（容量2倍）



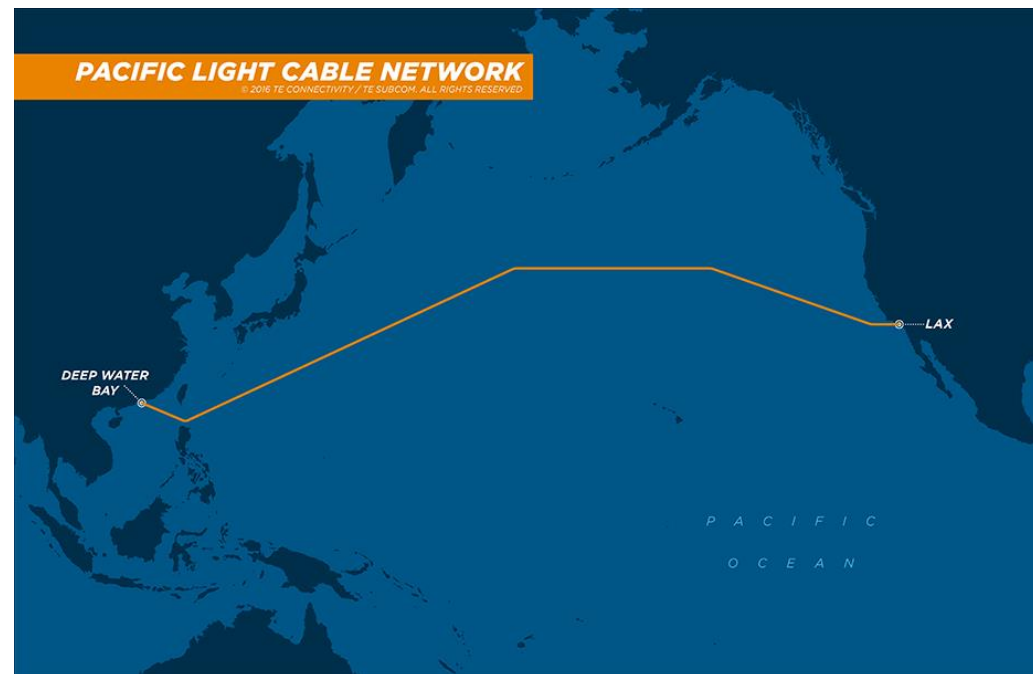
- 同一の伝送容量を得る場合



- 中継器内のEDFA数は変わらない
- ケーブル内ファイバ数を半分に
  - より細かいケーブルで大容量化が可能に
  - 低コスト化に寄与



- 香港～米国西海岸の12800km（[1]：設計容量記載無）
- ケーブル設計容量：Open cable（ケーブルのみ先に建設,送受信器未定）
  - 120Tbps（2016年10月発表 by Google [2]）
  - 144Tbps（2018年2月発表 by PLDC [3]） [4]
- 出資：
  - Google
  - Facebook
  - PLDC
- 運用開始：2019年(予定)



出展[1]：<http://www.te.com/usa-en/about-te/news-center/subcom-facebook-google-pldc-co-build-plcn-101216.html>

出展[2]：<https://cloudplatform-jp.googleblog.com/2016/10/la-120-tbps.html>

出展[3]：<http://asia.blog.terrapinn.com/submarine-networks/2018/02/06/pacific-light-cable-network-update-pldc/>

出展[4]：<http://pldcglobal.com/>



- 出展 : V. Kamalov et al, "FASTER Open Submarine Cable," ECOC2017, Th2E5 (2017)
- FASTERの当初設計容量はQPSKであり、8QAMを採用することで周波数利用効率を向上( $\Rightarrow 4\text{bit/s/Hz}$ へ)

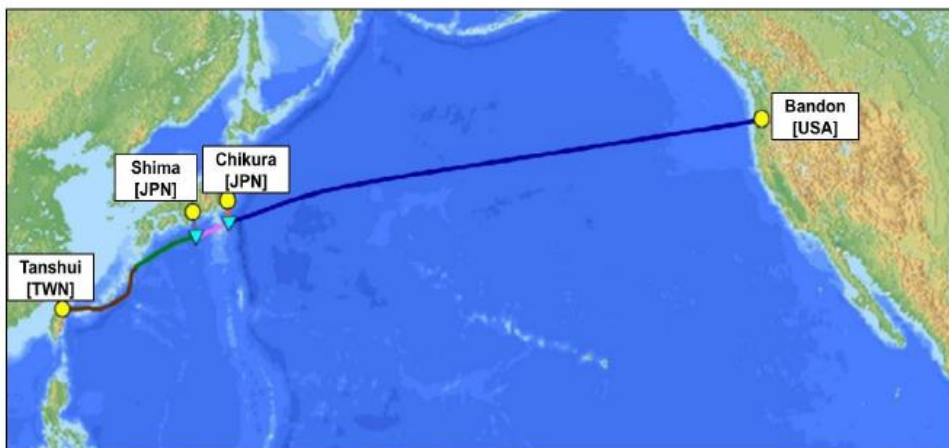


Fig. 1: FASTER Submarine Network

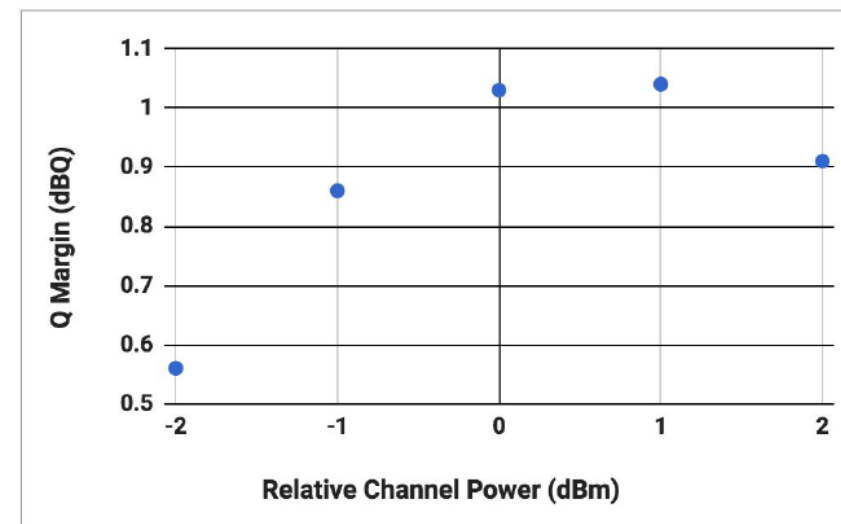


Fig. 2: Q-margin vs pre-emphasis for central channel

(抜粋) In addition, it represents the highest spectral efficiency of 8QAM live-traffic in a Trans-Pacific system, with a record spectral efficiency of  $4.0\text{ b/s/Hz}$ .

**KDDI**

**KDDI Research**