JANOG56 野良BoF

IP over DWDMについて考えるBoF

商用導入編

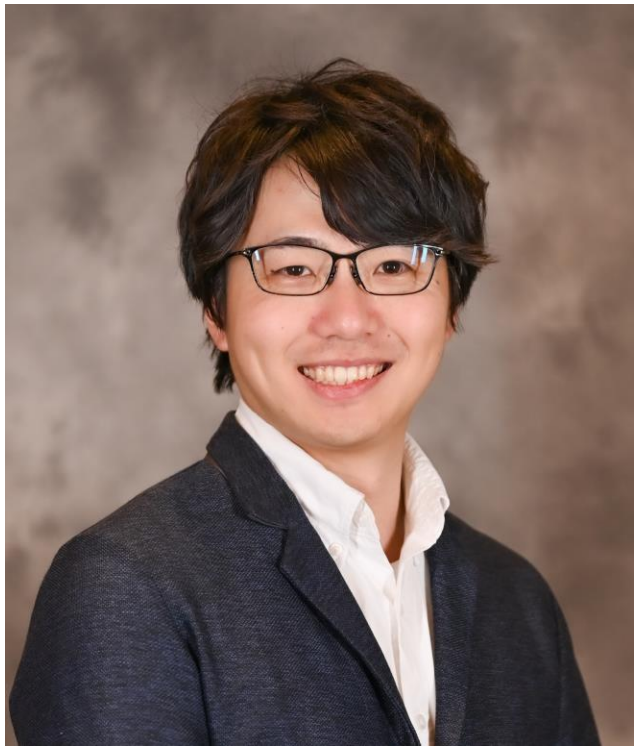
2025年7月28日

株式会社インターネットイニシアティブ
基盤エンジニアリング本部 ネットワーク技術部 企画開発課
菅原 淳

© Internet Initiative Japan Inc.

菅原 淳（Jun Sugahara）

- 略歴
  - **2014-2018 IIJに新卒入社**
    - バックボーン運用
    - **大阪**でバックボーン運用のDR展開を担当
  - **2019-2022 JPNAPへ出向**
    - IXPサービスの運営・設計・構築・運用
    - アジア初の**400GbE IXサービス**開始などを担当
  - **2022-2025 IIJ ネットワーク技術部企画開発課長**
    - IIJバックボーン企画・設計・運用
- 役割
  - 新機種・技術の情報収集・検証
    - **新しいルータや伝送装置の検証**
    - **検証したものの商用NW導入判断**
  - バックボーンネットワーク
    - フロー可視化
    - バックボーン品質計測



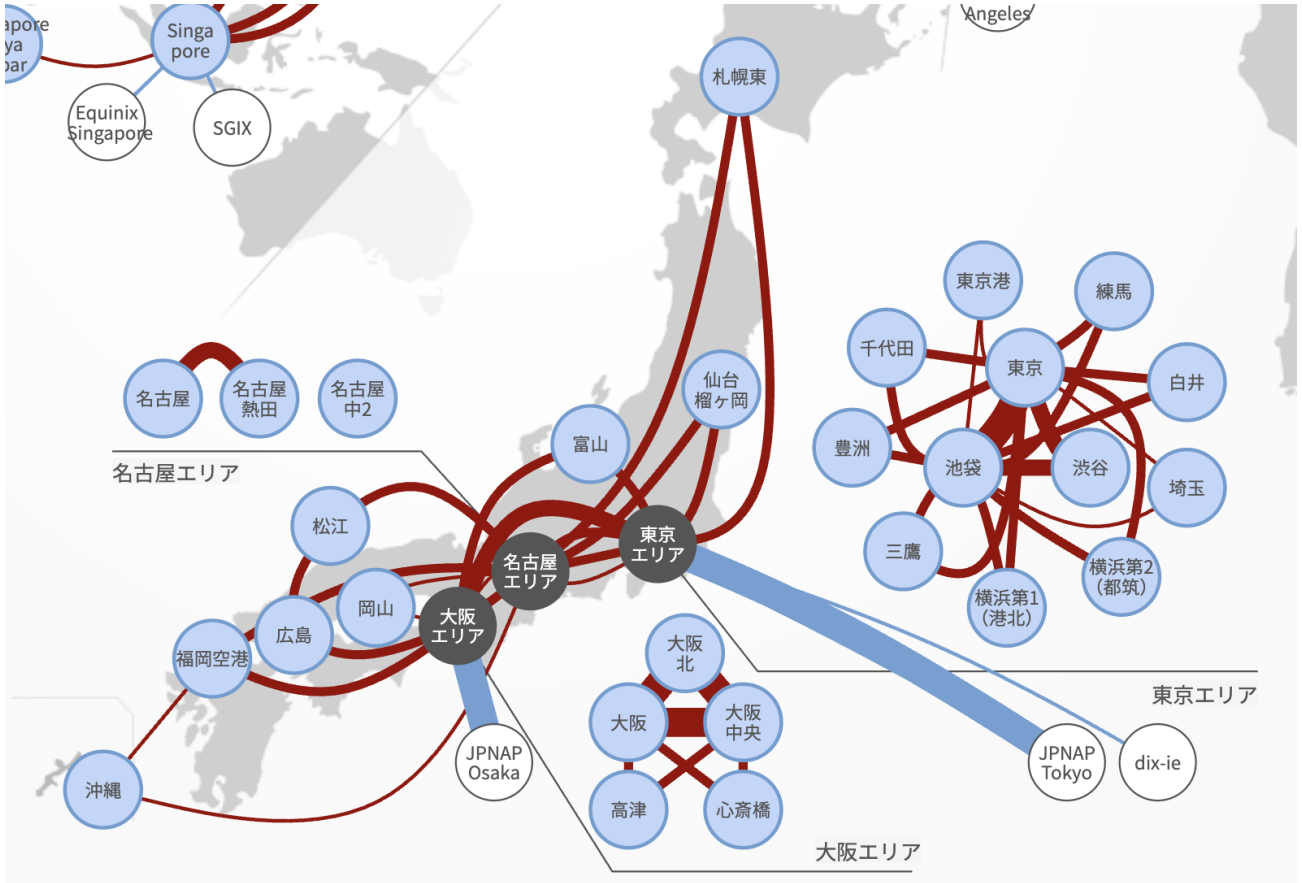
目次

- IIJバックボーンとWDM
- 従来のWDMの課題とIP over DWDMへの期待
- IP over DWDMの商用NW導入
- 導入してみてわかった課題
- 将来の展望

IIJバックボーンとWDM

国内のIIJバックボーンの全体像

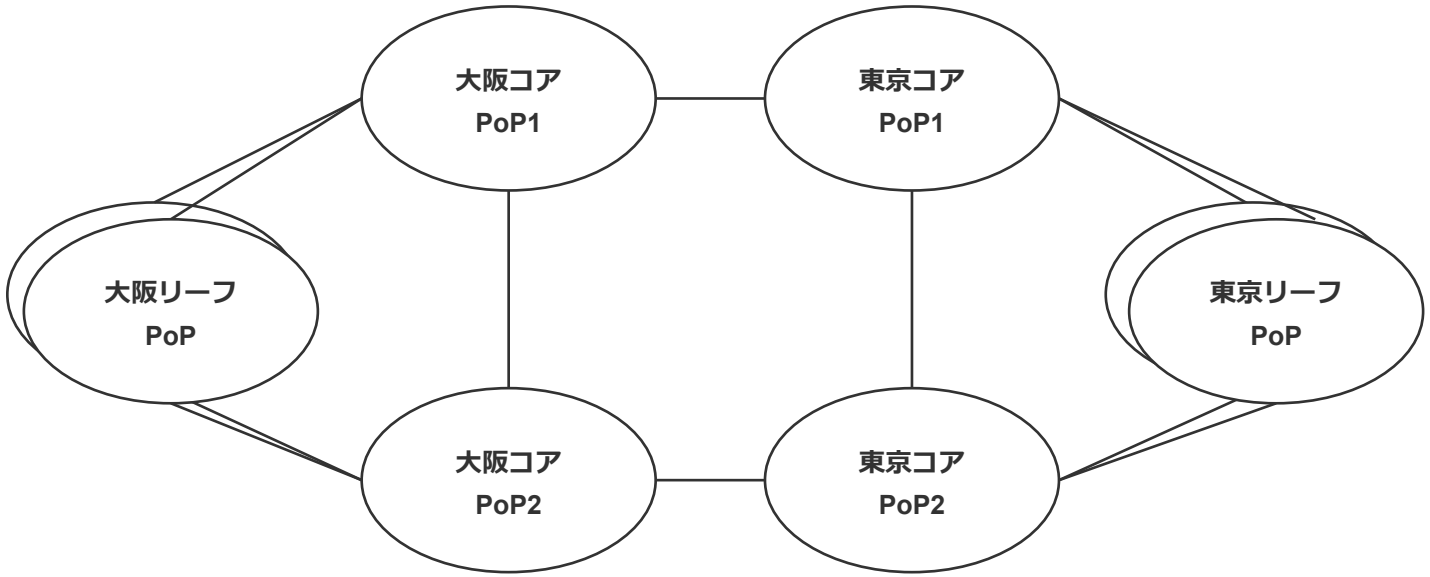
- 日本の主要都市を中心にPoPを展開
- 東京・名古屋・大阪では複数PoPを運用
- 拠点間はすべて物理的な回線で接続されておりその多くはキャリアから借りている専用線



引用元: https://www.iij.ad.jp/company/backbone/

IIJバックボーントポロジの変遷(2006年頃まで)

- 東京-大阪間をスクエア構成で接続
- 東西のリーフPOPはそれぞれ最寄りのコアPOPにV字構成で接続



Pros

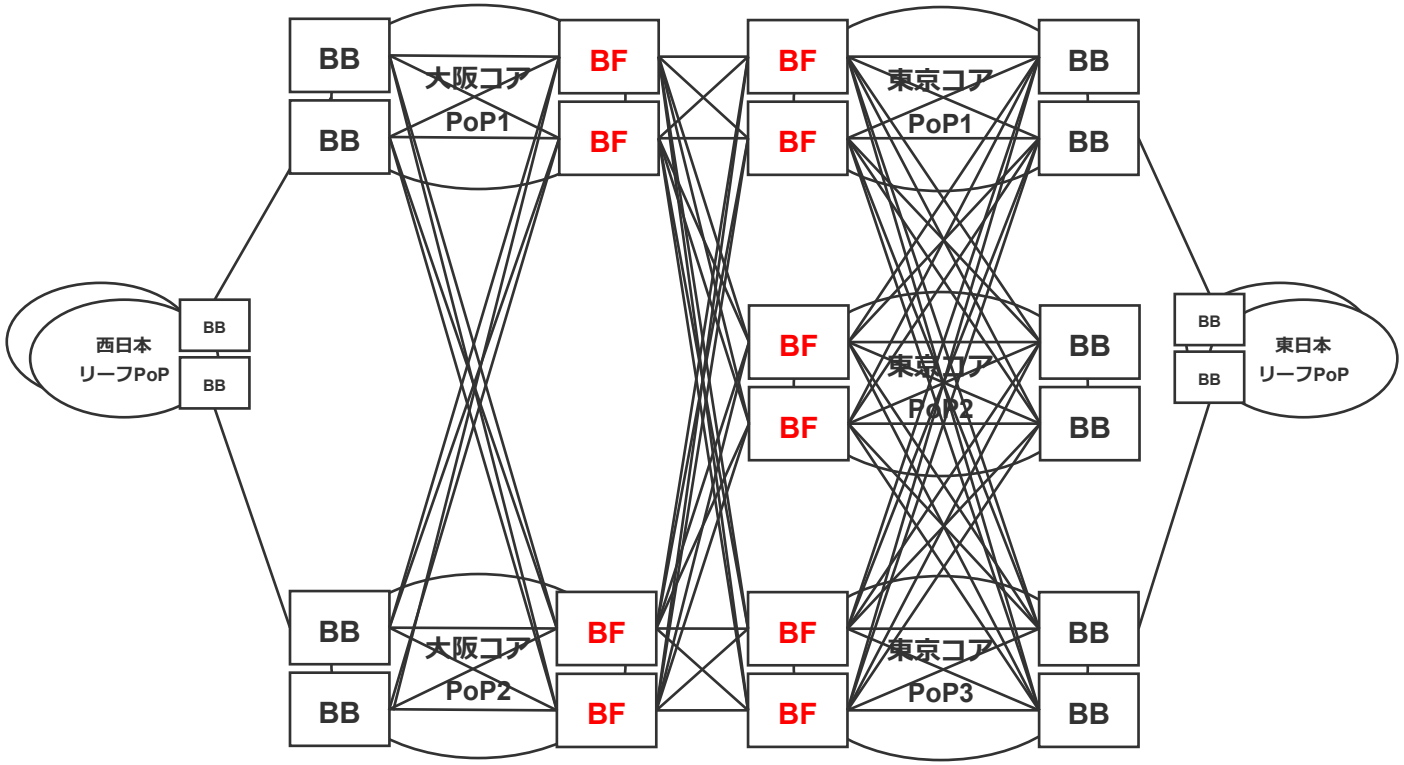
構成がシンプルで帯域管理や増強が容易

Cons

1箇所の障害やメンテナンスによるトラフィック迂回や冗長低下の影響が大きい

IIJバックボーントポロジの変遷(2006年頃～)

- バックボーンファブリックという東阪間、東京・大阪内のメッシュネットワークを構築



Pros

高い耐障害性

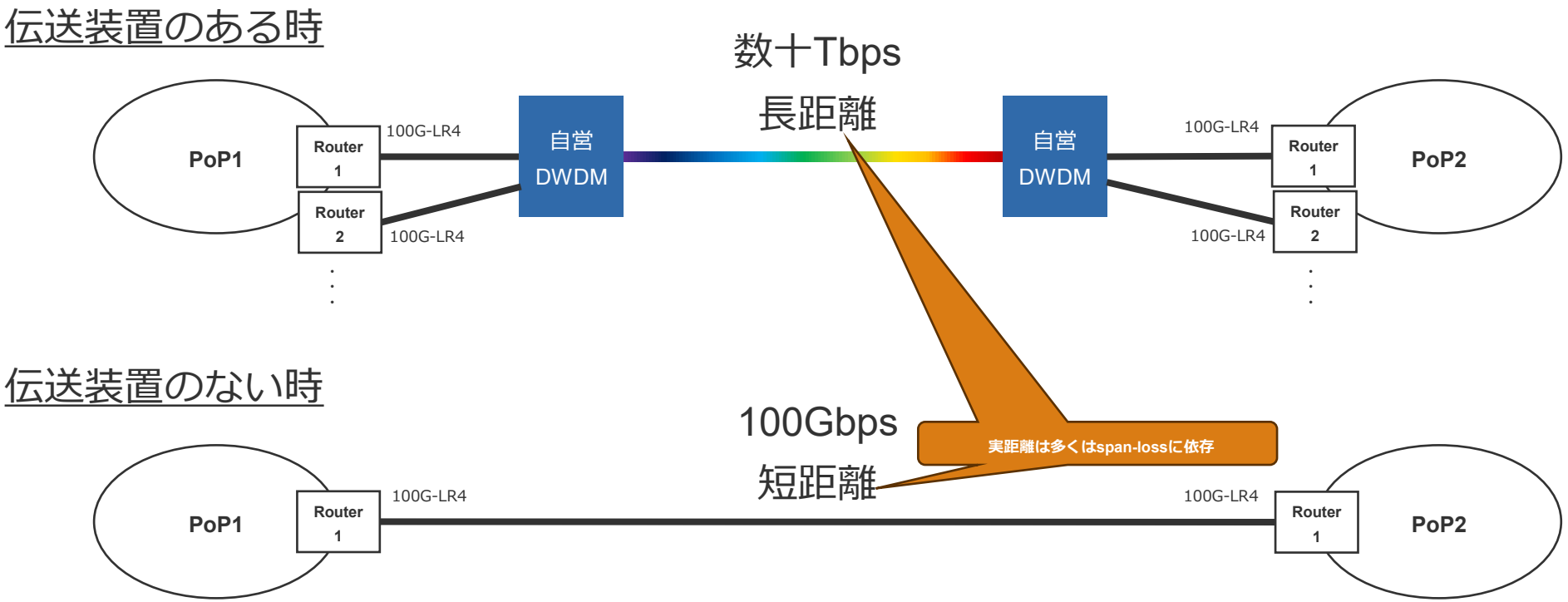
Cons

回線数の増加によるコスト増

伝送装置の機能

➢ 光信号を変換し、中継して「大容量通信」を「遠距離に届ける」

- 日常的に使用される10G-LRや100G-LRの規格上の最大距離は10km
- 光信号を変換し、波長多重技術・エラー訂正技術を用いて、1本のファイバーで複数のL2接続を構築することが可能

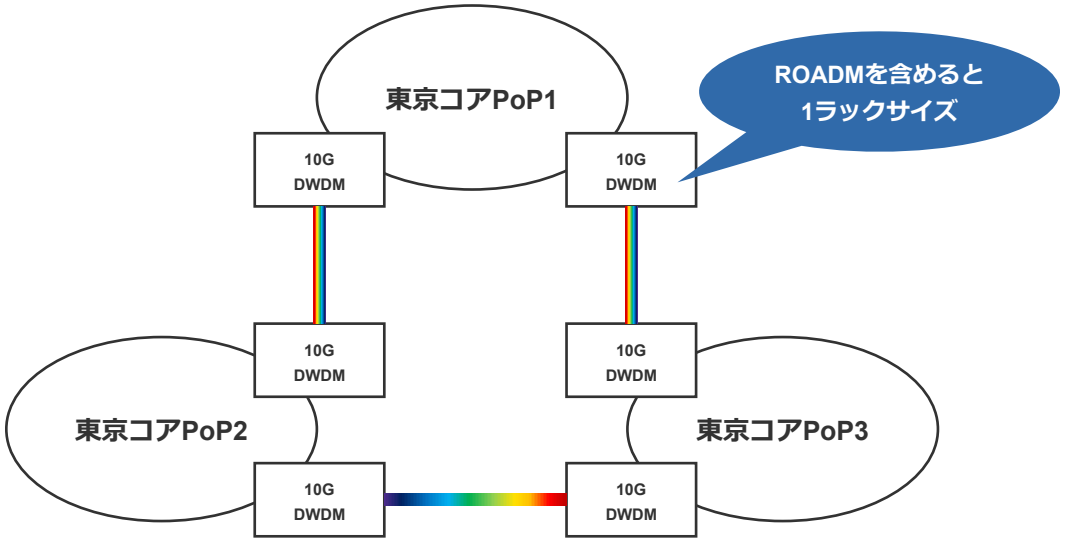


自営10G DWDMを構築(2006年頃～)

➢ 東京・大阪のコア拠点間で自営WDM網を構築

- 以下を将来的な予測も含めて比較検討
  - キャリア回線と比較してコストメリットが出せる区間
  - ILA(In-Line Amp)なしで構築が可能な区間(≒おおむね30km以内)

東京における10G DWDM網(抜粋)



DWDM網構築の基本的な考え方

キャリア回線で必要本数を調達した場合の回線単価

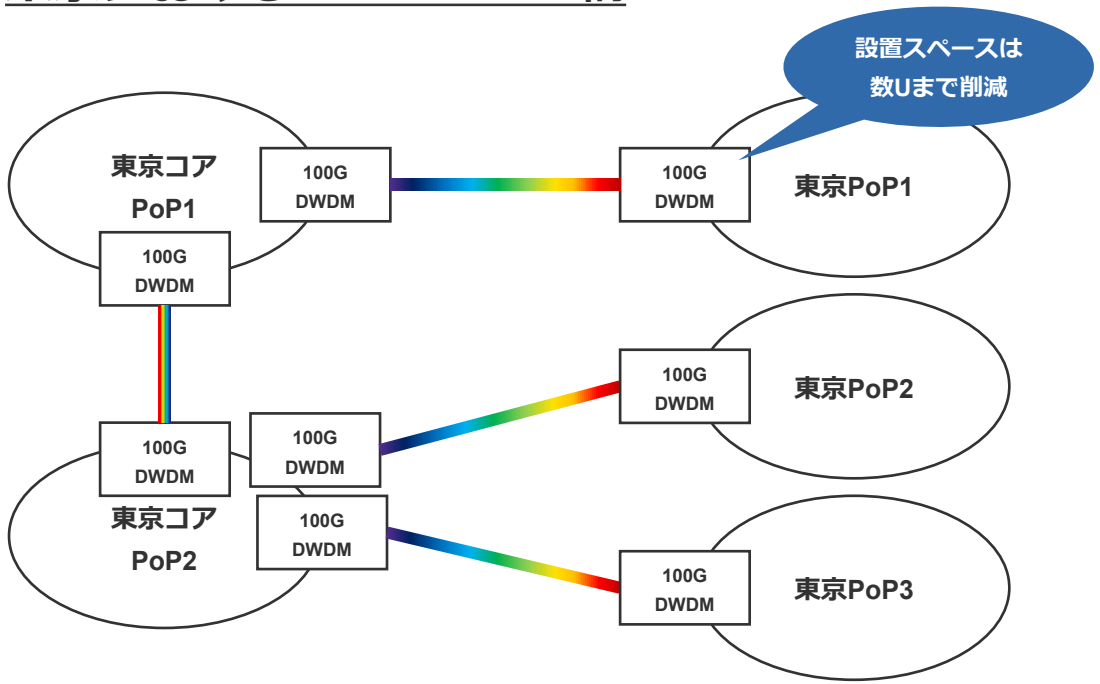
VS

自営WDMを構築した場合(装置+DF)の回線単価

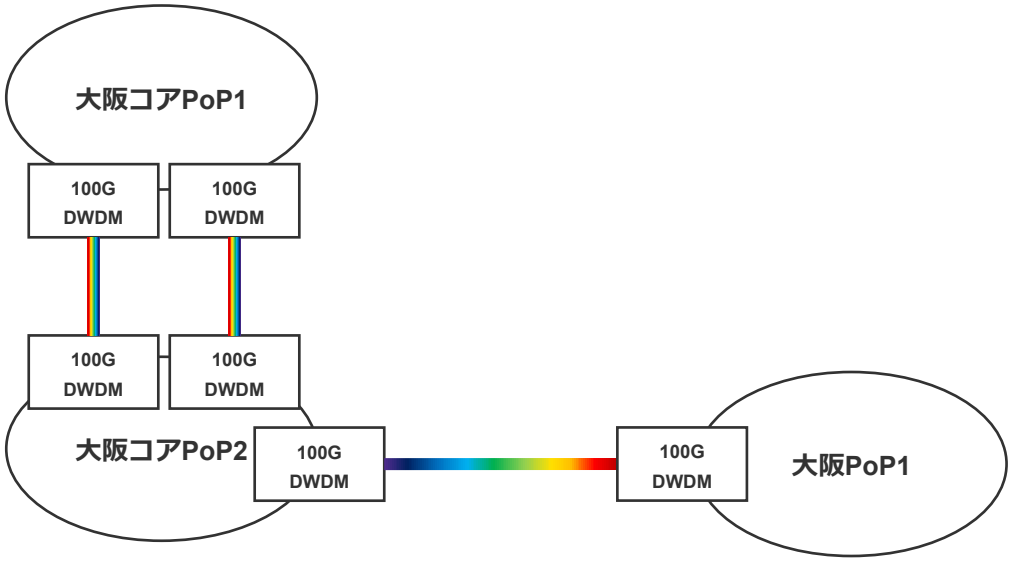
自営100G DWDMを構築(2020年頃～)

- 10G I/Fはその後2014年頃に構築した10G,100G I/Fを中心としたMPLS網へ巻取りし集約
- その後トラフィックが成長し単一区間で100G超のトラフィックとなるなど統計多重が効かないL2VPNやMPLSルータ間に対して100G DWDM巻取りを検討

東京における100G DWDM網



大阪における100G DWDM網



従来のWDMの課題とIP over DWDMへの期待

メリット

1. 長期的なコスト削減
   - 初期投資は大きいが専用線と比較して回線費用費を安く抑えることが可能
2. トラフィックの成長により必要帯域が増えると波長を追加し増強が可能
   - トランスポンダを段階的に増強していくことで増強が可能
3. キャリア専用線と比較して短納期で利用可能
   - 都度の現調、作業調整は社内で閉じる
4. **技術的好奇心を満たせる**

課題

1. 初期投資や増強投資が大きく負担が大きい(特にトランスポンダ)
   - 初期投資が大きく正確な需要予測に基づいた構築が必要
   - 増強単位が数百Gとなり小規模な需要での増強時は過剰投資となる可能性
   - ルータと比較して長納期で構築スケジュールに影響しがち
2. **運用・保守の体制**
   - 自社で設備の監視・障害対応・保守を行う必要がある
   - 普段のルータと異なる装置(OS)で専門知識を持つエンジニアの体制構築が必要
     - 実際10G DWDM時代はここがめちゃくちゃ大変でした
3. 伝送装置の設置スペースが必要
   - 以前よりは省スペースになったものの・・・

IP over DWDMへの期待

- **初期投資、増強投資を削減しつつタイムリーな増強**
  - 伝送区間としてはOLS(Optical Line System*1)のみの構築で実現可能
  - 必要な帯域のOptics(100～400GZR)を選択し必要な単位で増強が可能
  - Opticsはルータと同程度の納期

- **運用・保守の体制構築が伝送装置と比べて容易に**
  - 障害ポイントの削減
  - 触り慣れたルータによる状態の確認が可能

- **設置スペース、消費電力の低減**
  - OLSしか必要がないため設置スペースの低減が可能
  - 変調時の光電変換を減らし消費電力の低減
- **技術的好奇心を（ｒｙ**

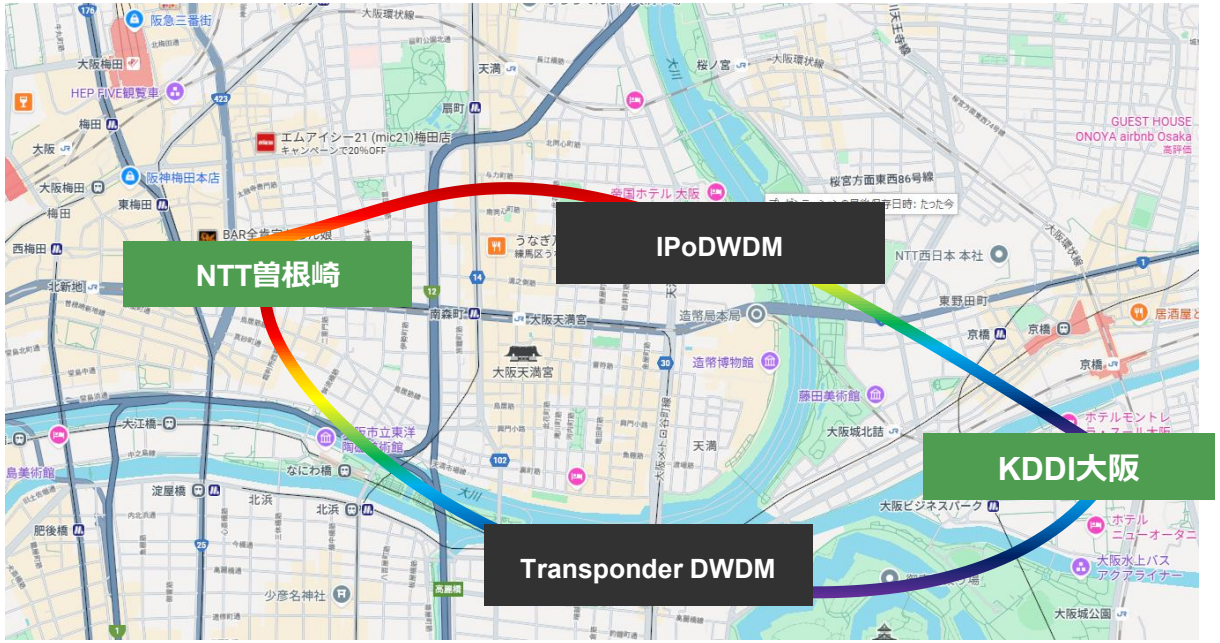
*1:光信号の増幅や分岐・多重化などを行う装置群

IP over DWDMの商用NW導入

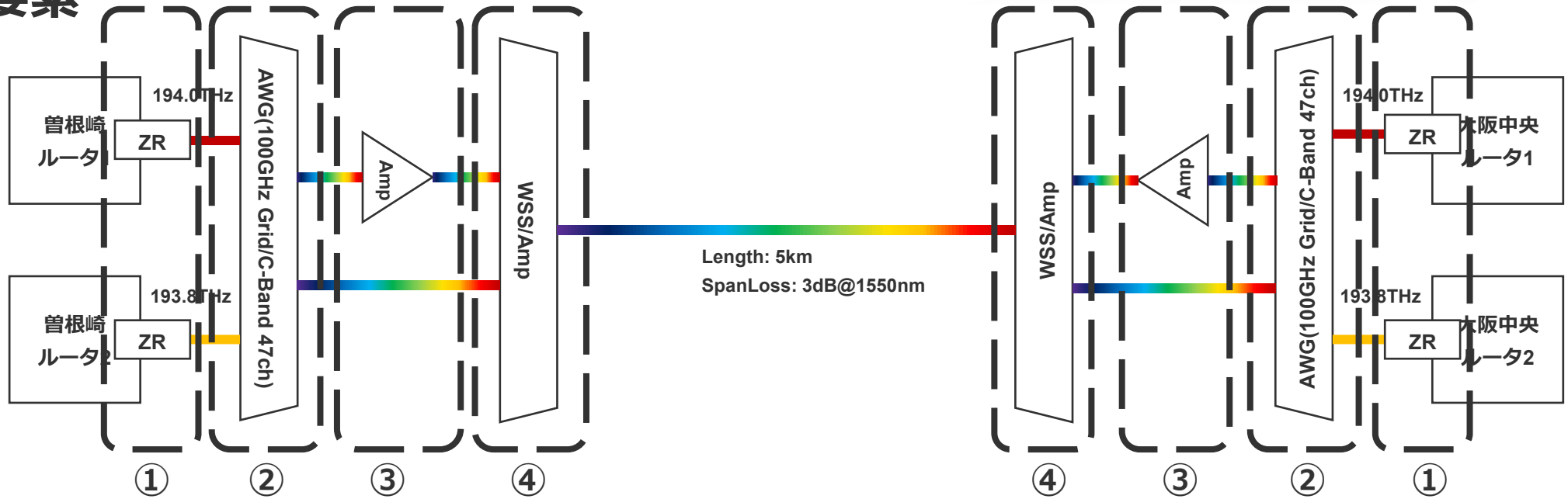
導入箇所の検討

- **フィールド検証により以下の要件で適用可能箇所を検討**
  - 距離30km以内
  - Span-loss 25dB以内

- **「NTT曽根崎-KDDI大阪中央」間が必要帯域的にも適しており導入先に決定**
  - ただし、冗長系は引き続き従来の100G DWDMを構築
    - 3rd ZR Opticsとルータの相性やNOSの不具合の可能性を考慮



構成要素



400GZR利用の場合最大18.8Tのキャパシティ(ただし後述の理由により実運用では9.4T)

各コンポーネント説明

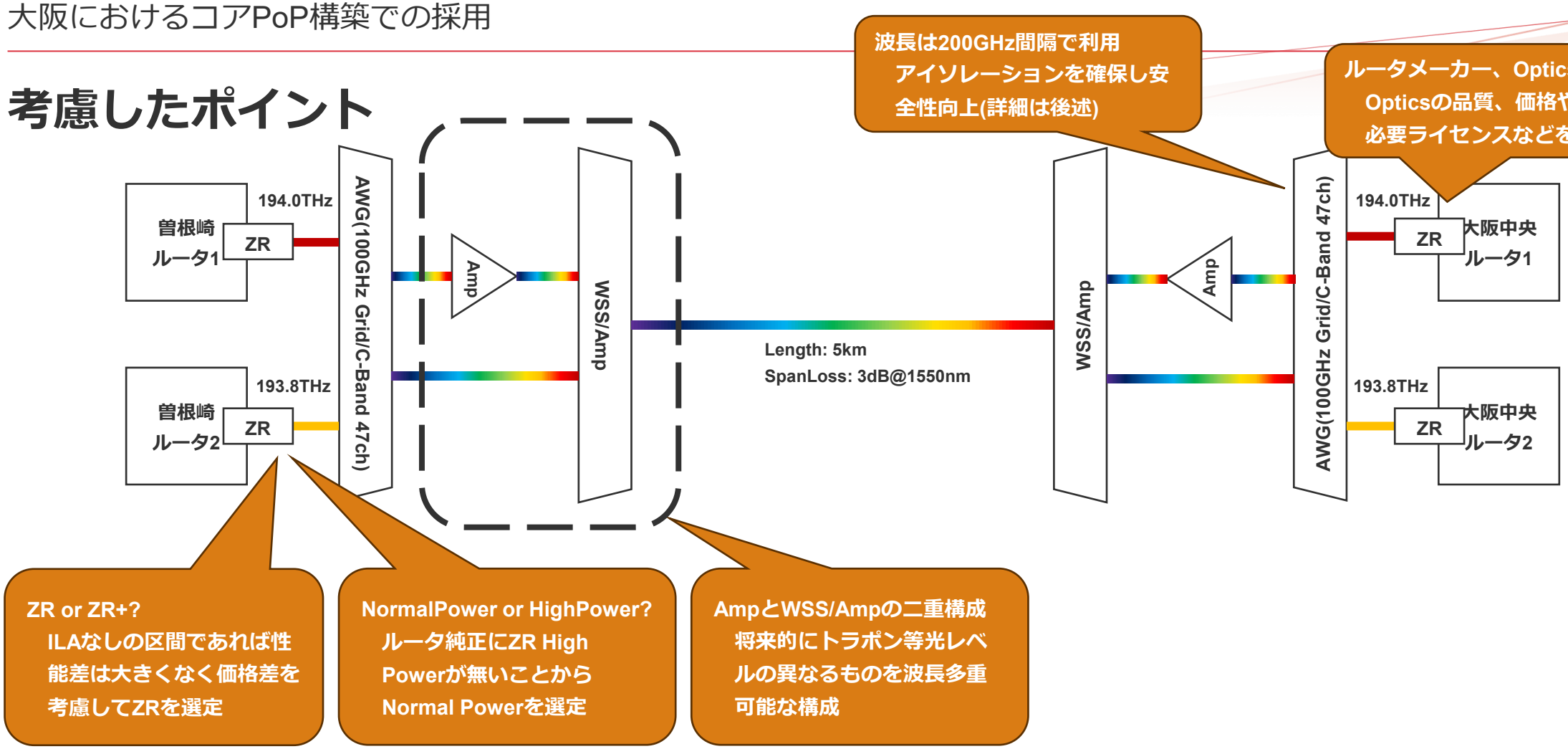
① **ZR: 400GZR Optics(QSFP-DD)**
- このOpticsがIP over DWDMの肝
- 可変波長で1波長400G

② **AWG**
- 複数の波長を合波・分波
- 不要な波長をフィルタする機能を持つ

③ **Amp**
- ZRの出した光をAdd方向にのみAmpしWSSの光レベルへ合わせる

④ **WSS/Amp**
- SpanLossを考慮しAmpをかけ対向PoPへ光を送出
- 将来的な方路切替やトラポン光の多重の拡張性を考慮

考慮したポイント



【その他考慮事項】

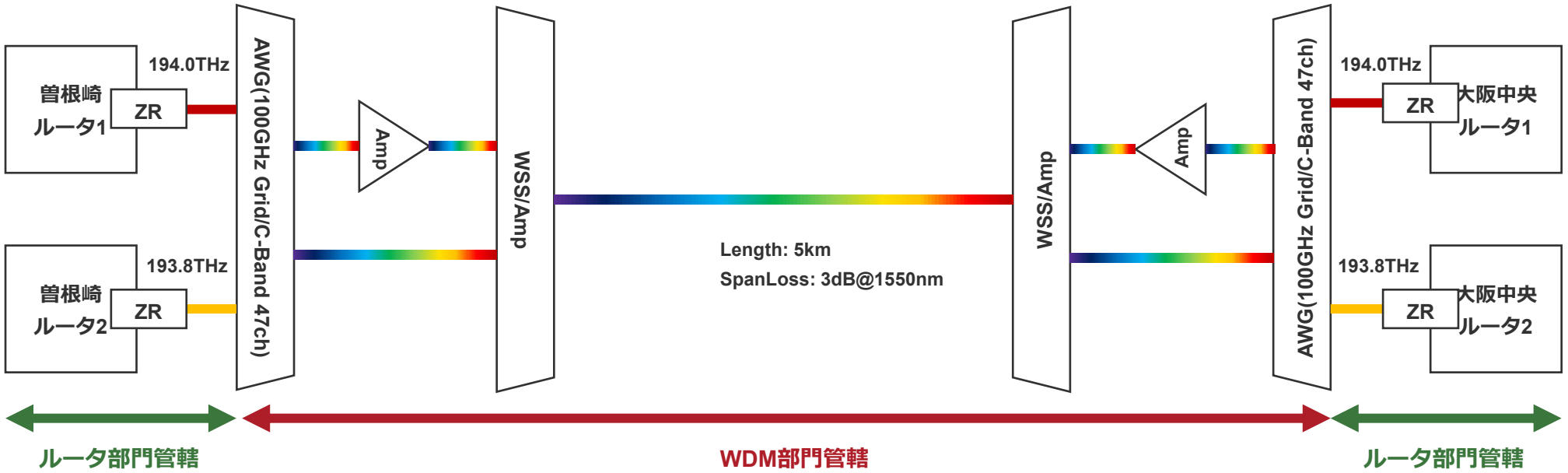
- **機種選定のポイント**
  - メーカーエンジニアとよくディスカッションしフィールドトライアル実施、構成を検討
  - Point-to-Point構成において別立てのコントローラ設置が不要なもの
  - Amp調整を気にしなくてよいAutoGain機能のあるもの

OLS監視

- **snmptrap、MGMTモジュールPing監視**
  - 従来の監視機構から変わらず

OLS、DCOの運用実装

- **運用手順の作成**
  - 開通手順
    - 波長設定前に接続しないよう厳重注意
  - 障害対応手順
    - 図解などで極力WDMの未経験者でもわかりやすく
- **運用の建付け**
  - ZRの信号品質はルータ側で品質を確認
    - OLS側では波長単位の光レベル程度しか確認することができない
      - ルータ側でFECエラーレート等で閾値アラートを設定



- **機器のコスト削減・納期短縮**
  - 同帯域のトラポン構成とIPoDWDM構成(400GZRx2波長)比で52%減
  - 従来伝送と比べてZR Opticsの納期は半分ほど(ただしOLS部分は長め)
- **構成がシンプルになりつつ拡張性は高まった**
  - 障害箇所の減少
    - ただし今後400GZR Opticsの故障率は注視
  - 最大47波*1多重可能で当面OLSのキャパシティ管理はしなくて良くなった
- **技術的好奇心が満たせた**
- **ラックスペース・消費電力の削減には至らず**
  - ラックスペース
    - IP over DWDMで選定した機器では必要なラックスペースは増えてしまった
      - AC電源モデルが存在しなかったことが主な原因
      - 機種選定次第では実現可能と思われる
  - 100Gあたりの消費電力(2拠点間合計)
    - トラポン構成：36W per 100G
    - IPoDWDM構成：107W per 100G
      - ただし2波長利用時
      - 8波長以上利用でトラポン構成と逆転

2025/5に商用NWで利用開始し安定運用中！

*1:後述の安全策のため実運用上は22波長

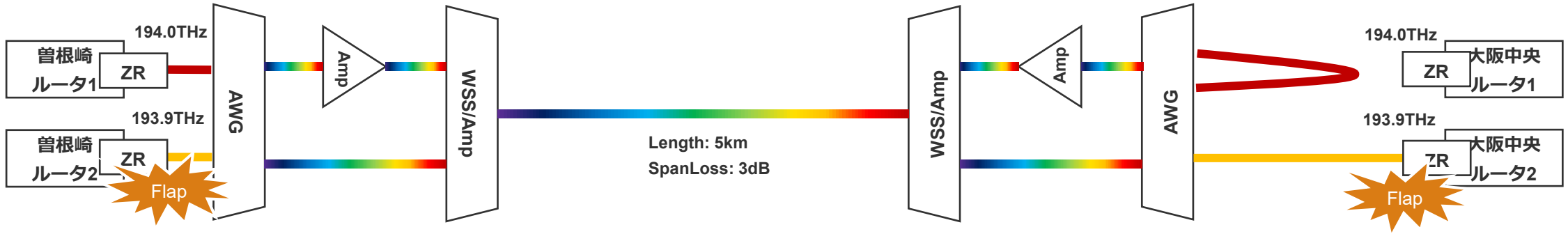
導入してみてわかった課題

- **WDM運用経験のないチームでも一定の知識が求められるようになった**
  - トラブルが発生すると切り分けは難しいことが予想される
  - ただし触り慣れたルータ中心のためWDM装置よりは容易か

- **各コンポーネントの保守先が分かれることによる影響**
  - ルーターメーカーはどの程度協力してもらえるか
  - 3rd OpticsだとそのOpticsメーカー？
  - ただし保守契約があるわけではないからベストエフォート

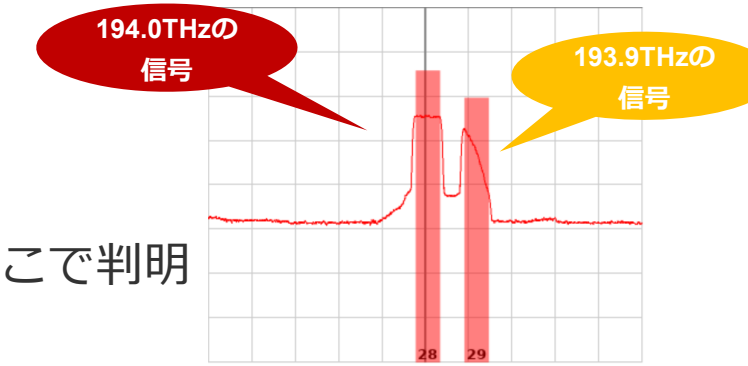
- **AWGの性能の課題**
  - 隣接アイソレーションに注意
  - 安全性の担保のため商用では波長多重数を半数に(次ページで説明)

- **構築時に194.0THz側の作業で193.9THz側のChでFlapする事象が発生**
  - LinkUpしない事象の切り分けのためループを実施していた



- **Flapの原因**
  - AWGが本来通すべき波長(194THz)に加えて隣接波長(193.9THz)を想定以上に通してしまうことが原因(隣接アイソレーションが低い)
  - 不具合切り分けのためAWGに向けてループしてしまったことでカットしきれていない隣接波長をAWGへ戻して再度MUXしてしまい隣接波長でFlap

- **教訓と対策**
  - そもそもAWGに向けてループしての切り分けはナンセンス
    - 両端拠点でそれぞれAWG手前で自拠点ZRに向けてループすべき
  - ルータ設定を1CH分間違えてしまった場合に影響が出てしまうことがここで判明
    - 隣接波長のアサインを禁止し商用環境では最大22波長までの利用とした
  - 波長自動設定のような波長を走査スキャンするようなOpticsに注意



検証環境での再現時のループポイントでのスペクトラム

今後の展望

➢ 直近では100GZR(QSFP28)に期待

- 400G未対応ルータはまだまだ多い
  - 既存機器を継続利用しつつ増強したい
  - ルーター側の対応が広がってOpticsの選択肢が増えれば

➢ 波長貸しサービスの利用

- IIJでは運用できない距離の拠点間での導入
- トラブルシュートはさらに難しくなる・・・？

➢ OpenROADM？IOWN？APN?

- 将来的に光パスコントロールの柔軟性が上がれば直接機器同士が光で繋がる世界が今以上に広がる可能性
  - ルーターでパケットを運ぶ時代に終りが来る？
  - 光伝送に関する知識・経験を積むための第一歩は踏めた

日本のインターネットは1992年、IIJとともにはじまりました。以来、IIJグループはネットワーク社会の基盤をつくり、技術力でその発展を支えてきました。インターネットの未来を想い、新たなイノベーションに挑戦し続けていく。それは、つねに先駆者としてインターネットの可能性を切り拓いてきたIIJの、これからも変わることのない姿勢です。IIJの真ん中のIはイニシアティブ――IIJはいつもはじまりであり、未来です。

本書には、株式会社インターネットイニシアティブに権利の帰属する秘密情報が含まれています。本書の著作権は、当社に帰属し、日本の著作権法及び国際条約により保護されており、著作権者の事前の書面による許諾がなければ、複製・翻案・公衆送信等できません。本書に掲載されている商品名、会社名等は各会社の商号、商標または登録商標です。文中では™、®マークは表示しておりません。本サービスの仕様、及び本書に記載されている事柄は、将来予告なしに変更することがあります。