光ネットワークの
レジリエンシー向上に向けて

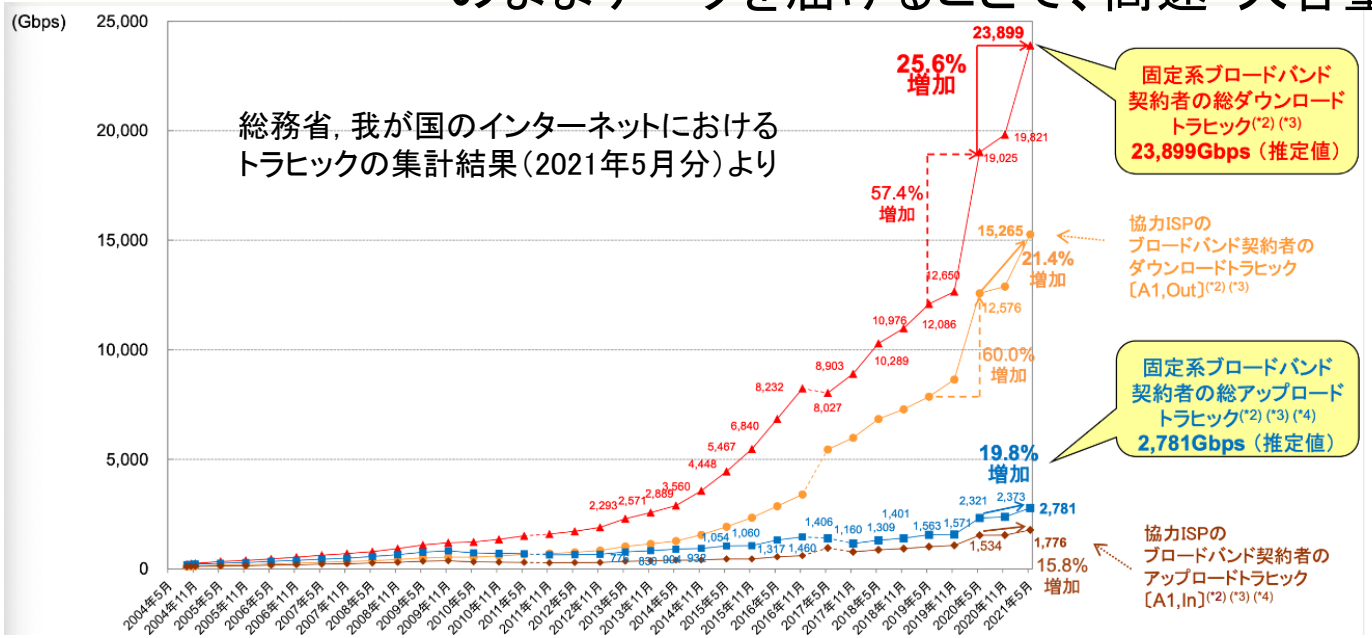
ロバスト光ネットワーク基盤研究室
淡路祥成

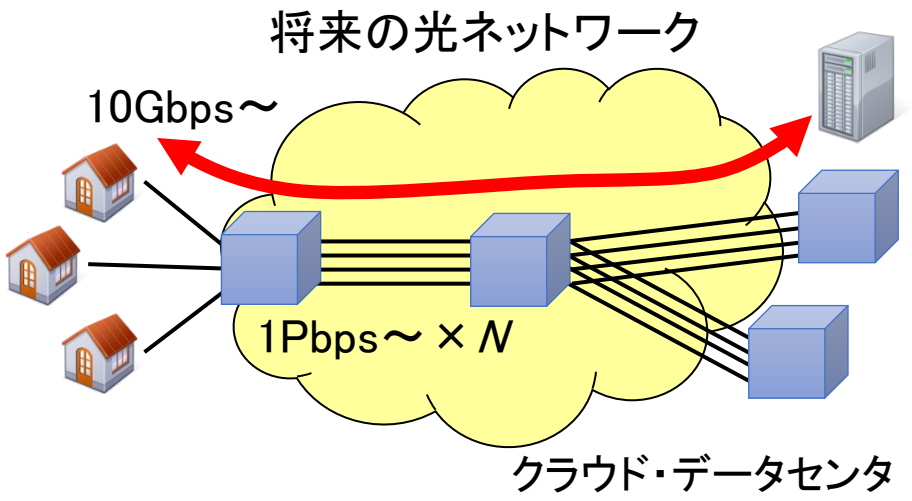
令和4年2月22日

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

通信トラヒックの増加と光ネットワーク

継続的な通信トラヒックの増加に対し、光/電気/光変換を行わずに光信号のままデータを届けることで、高速・大容量・低消費電力通信を実現





現在一般に普及している技術：携帯電話のバックボーン・FTTH（Fiber to the Home）

進化

最先端の光ネットワーク基盤技術

低遅延
B5G、自動運転、AR/MR etc.

大容量
超臨場感、超現実テレプレゼンス etc.

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

通信ネットワーク障害の影響

DNS（Domain Name Service）：インターネット上のドメイン名とIPアドレスを変換するサービス
AWS（Amazon Web Service）：アマゾンが提供する計算機クラウド

- 様々な機器がネットワーク（インターネットなど）に接続
  - オンラインゲーム、LINEやTwitterなどのSNS
  - 企業データセンタ・業務システム・市役所などの行政システム
- コロナ禍では、オンライン授業、リモートワーク、Zoom飲み会など、今まで以上にインターネット利用が一般的に
- 通信ネットワーク上の大規模な障害事例
  - 2021/7/23 世界規模のDNS障害
  - 2021/12/8 Nintendo Switch Onlineの障害（AWSの障害）
  - 2021/1/27 光ファイバ切断事故によりVerizon Fiosが米東海岸全域で停止
  - 2021/7/26 神奈川市内を通る国道8号での舗装板撤去時に中の光ケーブルなどを切断
  - 2022/1/16 トンガ沖海底火山により海底ケーブル切断
  - 2022/1/30　銃撃による光ケーブル切断でオークランド市数万人に影響
  - 他、動物にかじられて損傷なども
  - 多くのウェブサイトが繋がらない、繋がりにくい、メールが送信できない、届かないなどのトラブル発生
- 現代社会においてネットワークがインフラ化したことで、特にコア・メトロネットワークの障害は波及範囲が広く、社会活動に大きな影響を与えるようになってきている

⇨ ネットワークインフラの根幹である光ネットワークのレジリエンシー向上は重要な課題

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

光ネットワークのレジリエンシー向上に向けて

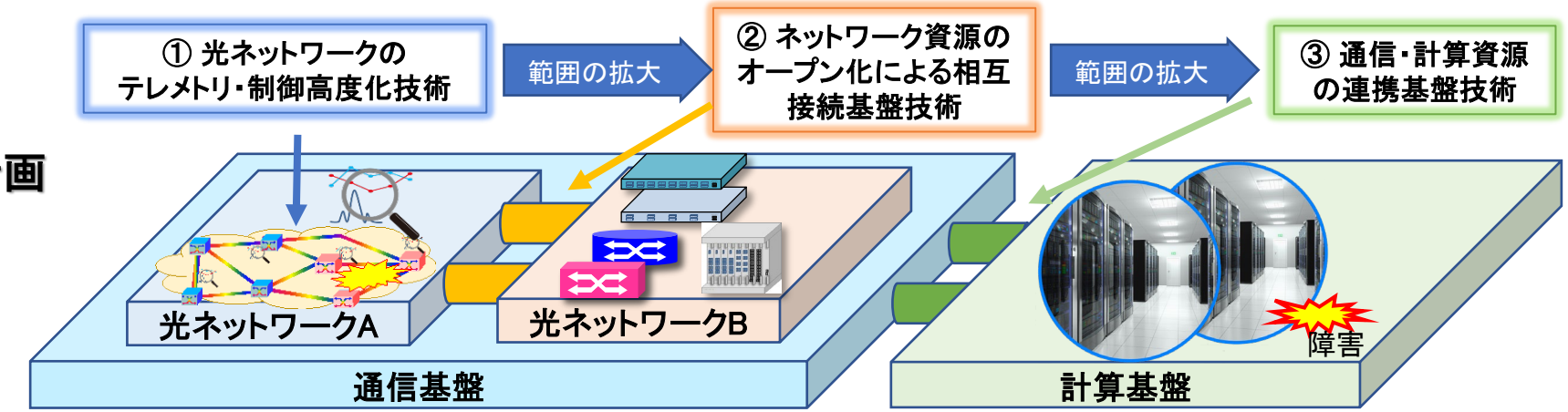
NICTにおける研究開発課題

① 光ネットワークのテレメトリ・制御高度化技術
- 潜在的な故障源などを検知・予測するテレメトリ技術
- 光ネットワークの性能低下を防止する適応制御・管理の基盤技術

② ネットワーク資源のオープン化による相互接続基盤技術
- 相互接続・統合利用が難しいネットワークにおけるネットワーク資源のオープン化基盤技術

③ 通信・計算資源の連携基盤技術
- 弾力的なクラウドエコシステムと迅速な障害復旧に寄与する基盤技術

第5期中長期計画（R3～R7年度）



レジリエンシーを強化した次世代の光ネットワークエコシステム実現に向けたオープンな取り組みと外部連携

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

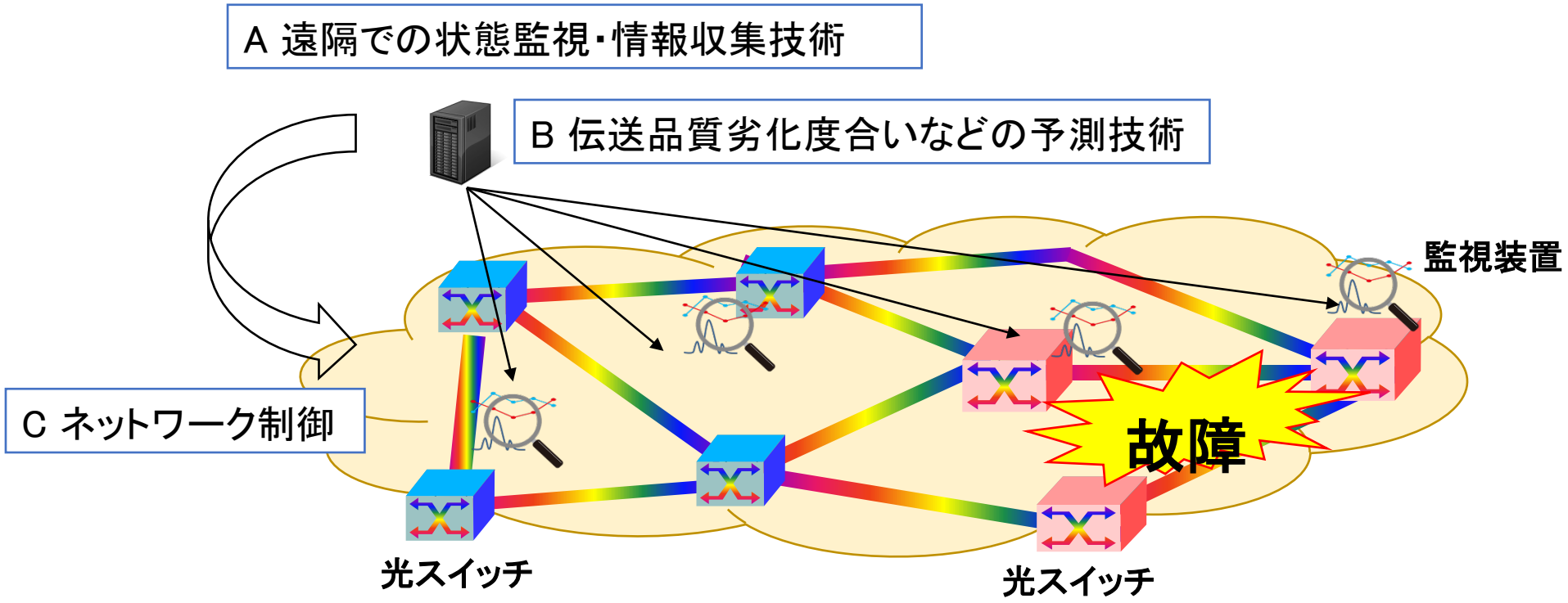
① 光ネットワークのテレメトリ・制御高度化技術

潜在的な故障によるネットワーク機能低下の緩和のために、

A）障害および予兆情報の遠隔検知・収集技術

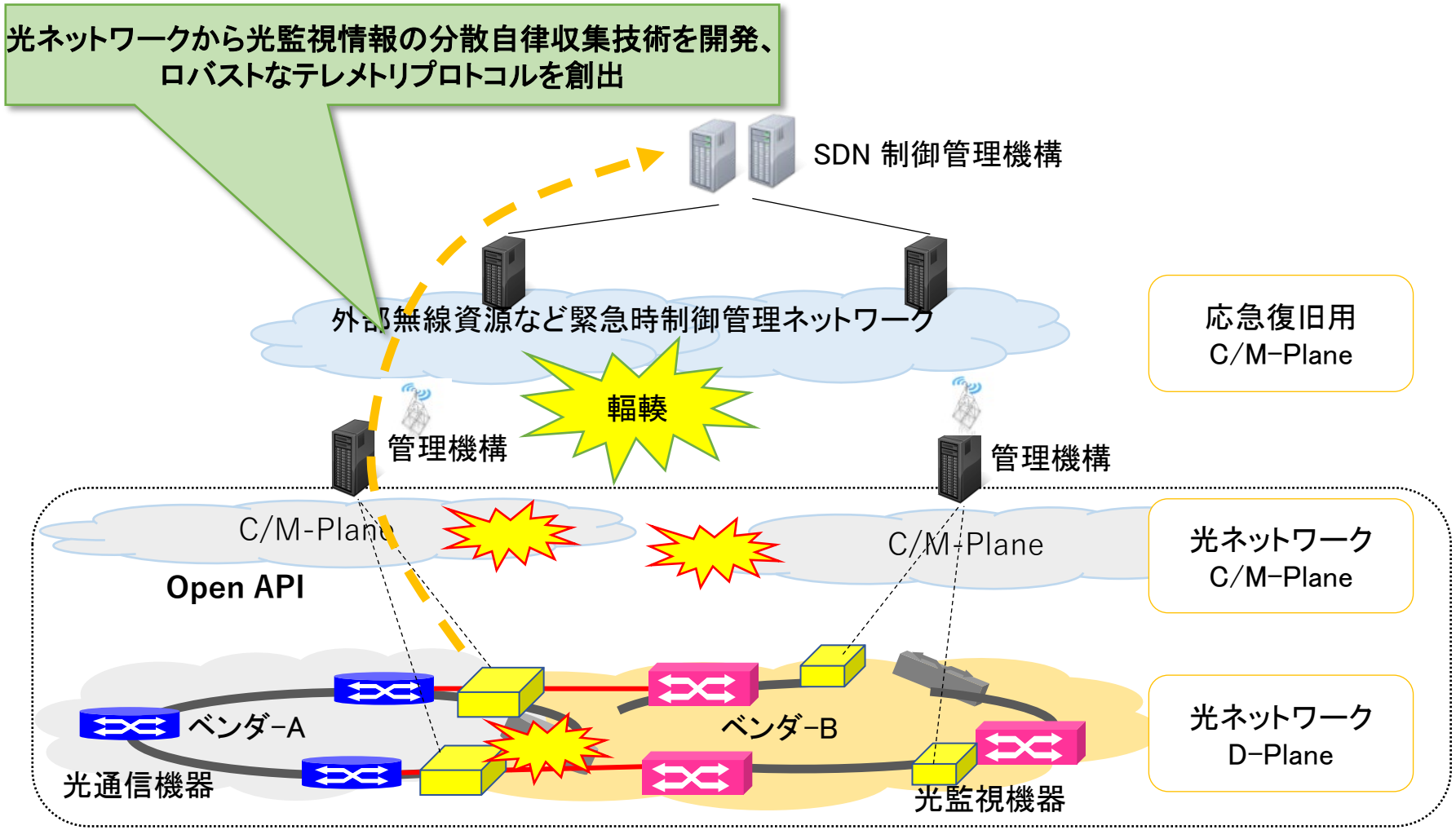
B）光ネットワーク品質劣化予測技術

C）光ネットワークパフォーマンス低下防止技術



© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

先行的な取り組み（第4期中期計画：平成28～令和2年度）



災害時における光ネットワーク情報を収集するニーズに対応するロバストなテレメトリプロトコルを開発

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

①-A 障害および予兆情報の遠隔検知・収集技術

背景

- 光ネットワークの柔軟で信頼性の高い運用のため、多地点での様々な光信号に関するパラメータ測定を正確な時刻情報と共に収集し、集約する伝送路モニタリング技術が重要
- 従来の手法では、遠隔で収集する物理パラメータの質・量共に限られており、効率的なモニタリングデータの収集方法も確立されていない

障害や予兆情報を担う物理パラメータを多地点にて、かつ正確な時刻情報と共に大量に測定し、効率的に遠隔から収集する障害・予兆情報検知システムの研究開発を実施

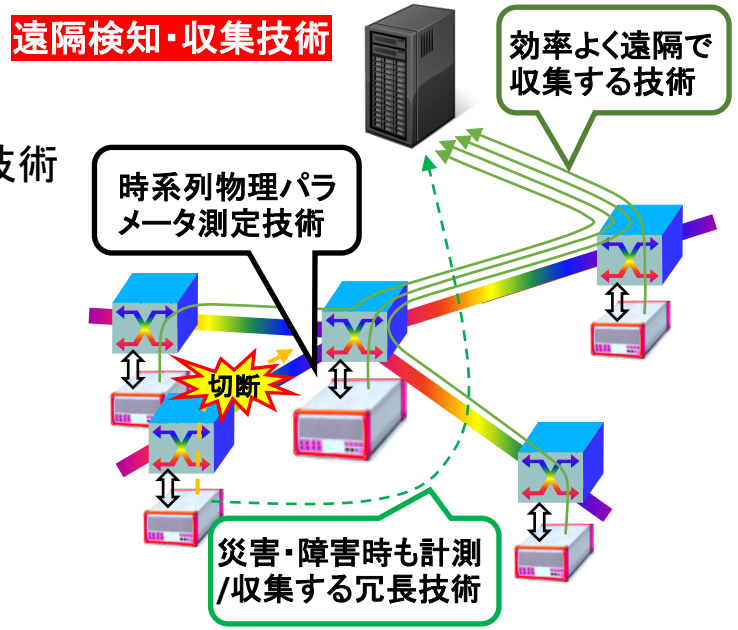
具体的な研究課題

・多地点における時系列物理パラメータを遠隔収集する技術
・途中経路に障害発生時でも障害情報を冗長手段で計測/収集する技術

光ネットワーク通信に関連する時系列物理パラメータを
状況に応じた通信手段で遠隔測定/収集する遠隔検知・収集技術

⇩

光ネットワークの耐障害性能を向上するためのデータセットを構築
⇒ AI/機械学習の活用へ



© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

①-B 光ネットワーク品質劣化予測技術

背景

- 光ネットワークの柔軟で信頼性の高い運用のためには、表面化した障害に対してリアクティブに対応し復旧するのみならず、隠れた障害を早期に検知し事前に対応することが重要
  - 将来的に表面化しうる複合障害の潜在的要因を排除

- 本研究では、近い将来起こりうる品質劣化を予測するための技術課題に着目

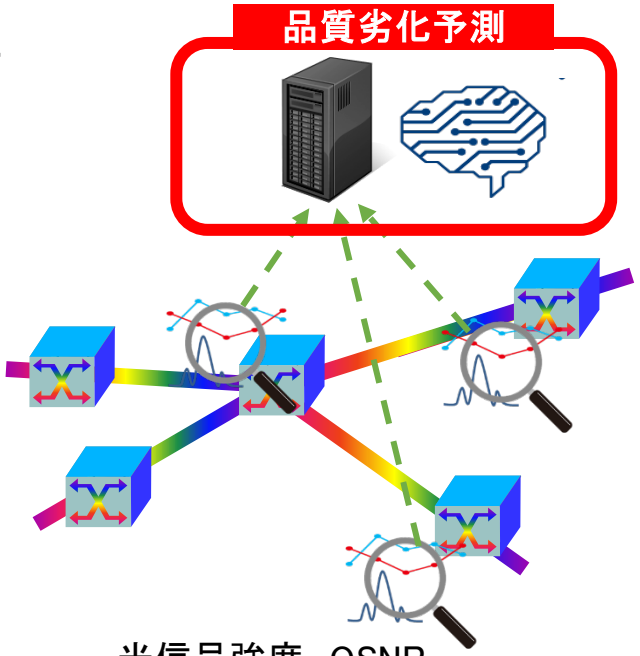
具体的な研究課題

- 短期的ビットエラーレート低下などの隠れた不具合・障害を検知するために必要な情報・特徴量抽出技術の開発
- 抽出した特徴量に基づく品質劣化予測技術の開発
- 予測結果に基づいたアラートシステムの開発

光ネットワーク特有の伝送品質劣化要因を
事前に検知し、障害範囲・度合いを予測

⇩

障害の芽を事前に摘み取る、また障害発生時の悪影響を
短期間・局所的なものに抑制



光信号強度、OSNR
などをモニタリング

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

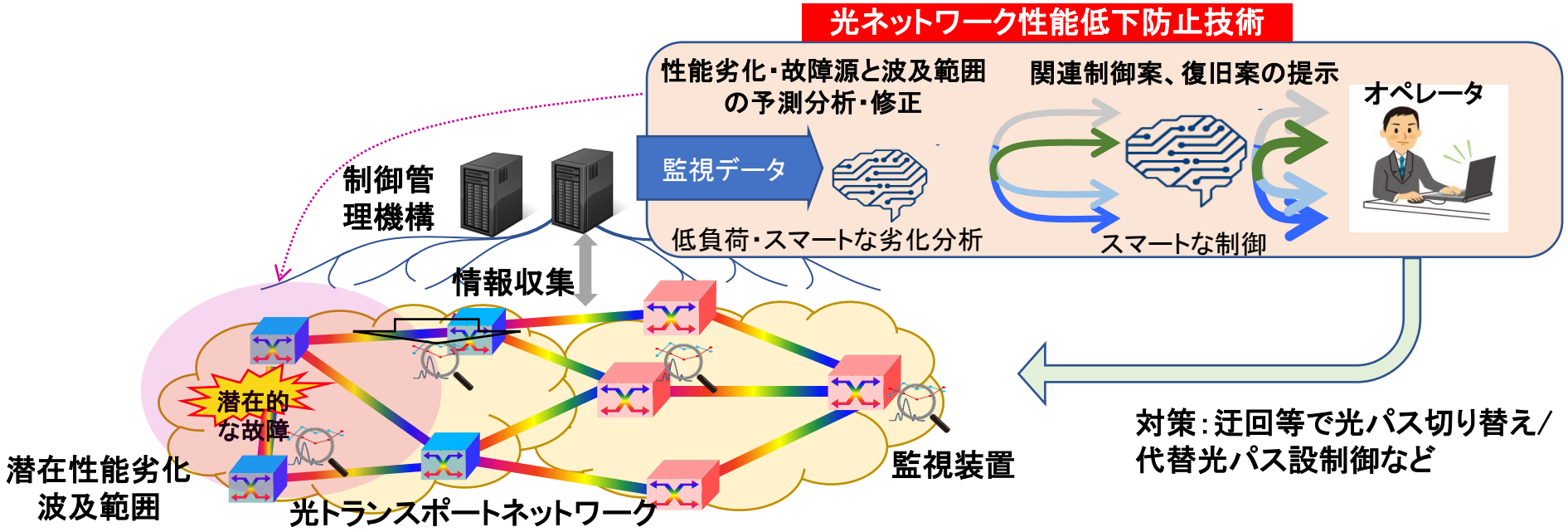
①-C ネットワークパフォーマンス低下防止技術

背景

光ネットワークの柔軟で信頼性の高い運用を実現するには、不確実・不十分な情報しか得られない環境下でも、潜在的な障害とその将来的な影響を推定・予測し、バックアップとなる光パスを設定するなどの対応策をとることが重要

具体的な研究課題

- 光ネットワーク性能低下防止の分析・対応フレームワーク開発
- 品質劣化分析に基づいた代替光パス設定制御技術
- 予測情報に基づく障害事前回避のための経路切り替え技術



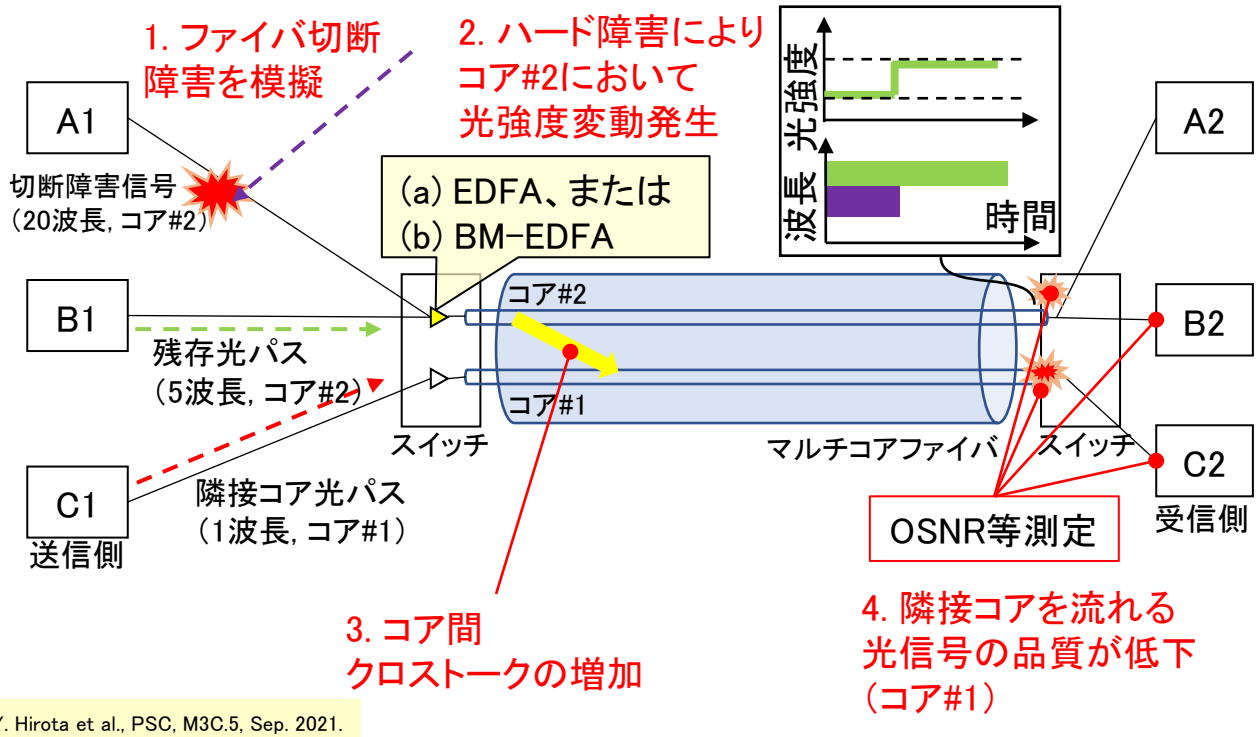
①A～Cの各技術の組み合わせにより、光ネットワークの物理層における耐障害性能向上制御を目指す

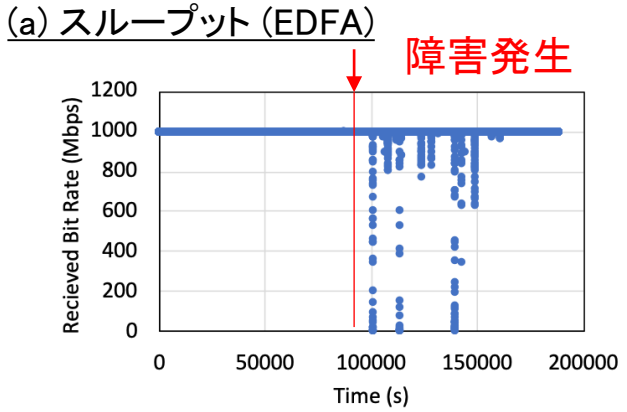
© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

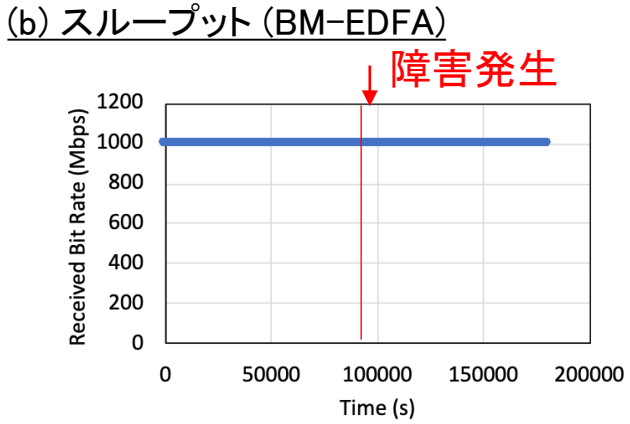
最新の成果 ①-A：カスケード障害

マルチコアファイバ光ネットワークにおける
バーストモード光増幅器を用いた連鎖的な性能劣化の抑制実験

- 光ネットワークにおける情報収集システム構築を進めるとともに、具体的な障害事例として、マルチコアファイバ光ネットワークにおけるファイバ断を起因としたカスケード障害について実験
  - カスケード障害：ある障害が別の種類または離れた場所で障害を引き起こすこと
- バーストモード光増幅器を用いたカスケード障害抑制効果







Y. Hirota et al., PSC, M3C.5, Sep. 2021.

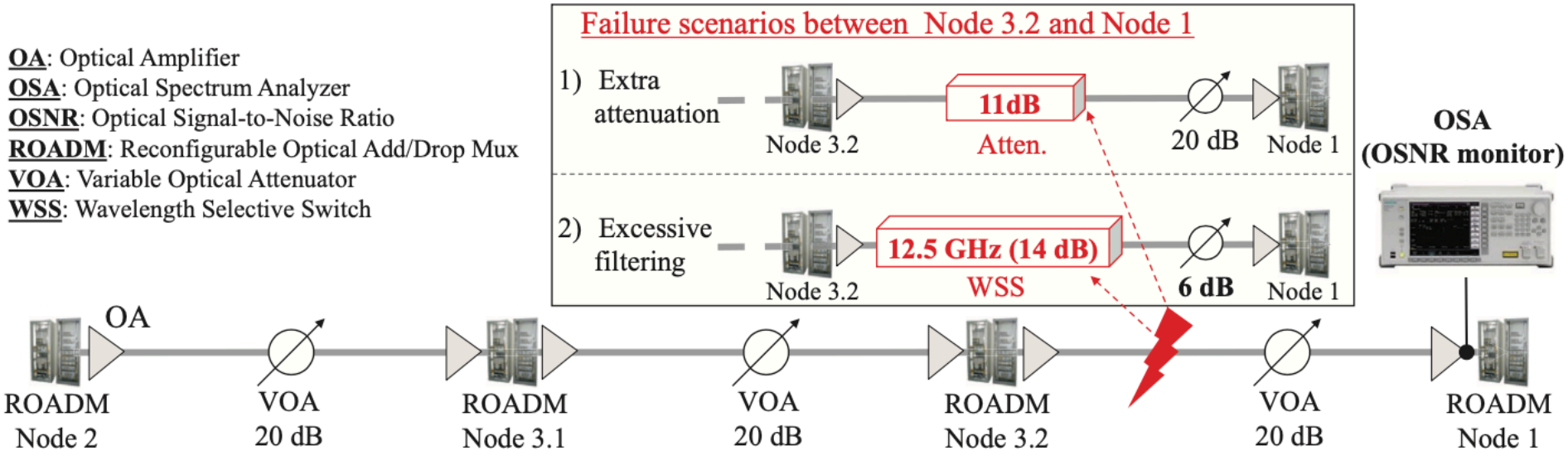
© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

最新の成果 ①-B：機械学習による障害同定

光ネットワークにおけるドメイン適応と転置学習を用いた障害検知・種類推定

UCDAVIS

- 機械学習における欠点：学習において大量のデータがないと有用な性能が得られない
  - *転移学習とドメイン適応により限られたデータで効率良く学習が進むことが期待される
- レジリエントICT研究センターにあるROADMシステムを用いて強度減少・狭窄フィルタの2種類の障害を実験し、障害の検知・種類同定（2種類）が可能であることを実証



*転移学習とドメイン適応：限られたデータで短時間学習することで光ネットワークの障害検知を実現

実験系の写真

F. Musumeci, V. G. Venkata, Y. Hirota, Y. Awaji, S. Xu, M. Shiraiwa, B. Mukherjee, M. Tornatore, "Transfer Learning across Different Lightpaths for Failure-Cause Identification in Optical Networks," ECOC, Mo2K-1, Dec. 2020.
F. Musumeci, V. Venkata, Y. Hirota, Y. Awaji, S. Xu, M. Shiraiwa, B. Mukherjee, and M. Tornatore, "Domain adaptation and transfer learning for failure detection and failure-cause identification in optical networks across different lightpaths [Invited]," IEEE/OSA JOCN, 14, A91-A100 (2022).

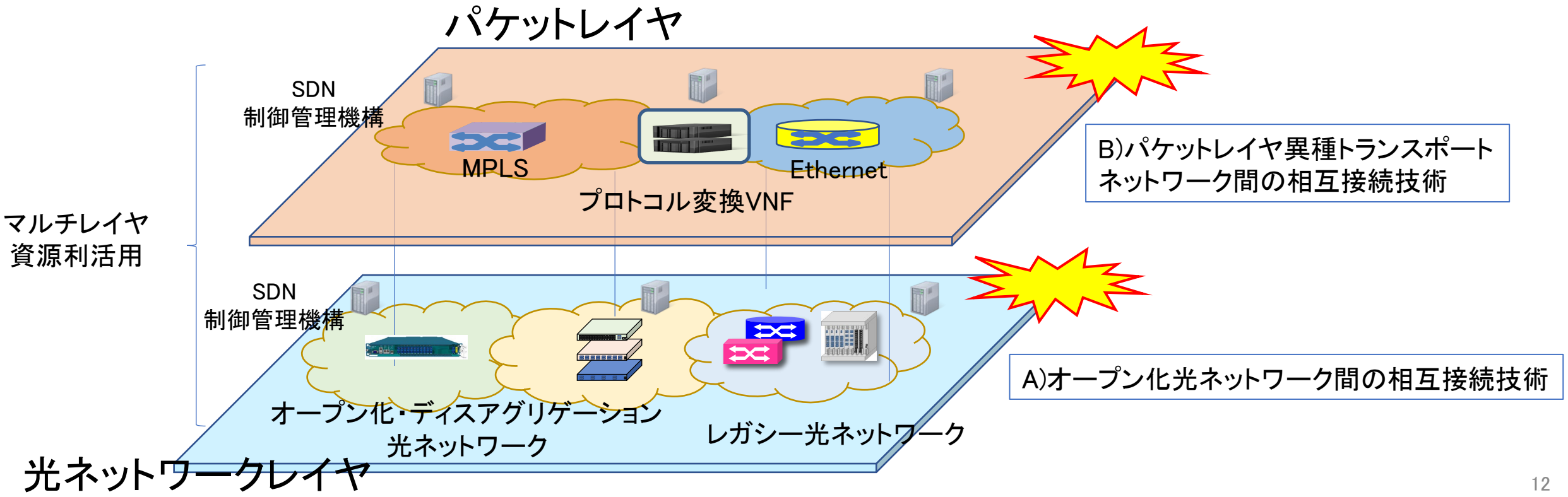
© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

② ネットワーク資源のオープン化による相互接続基盤技術

オープン化・ディスアグリゲーションに基づく異種ネットワーク間の
高度な相互接続・統合利用に向けて、

A）オープン化光ネットワーク間の相互接続技術

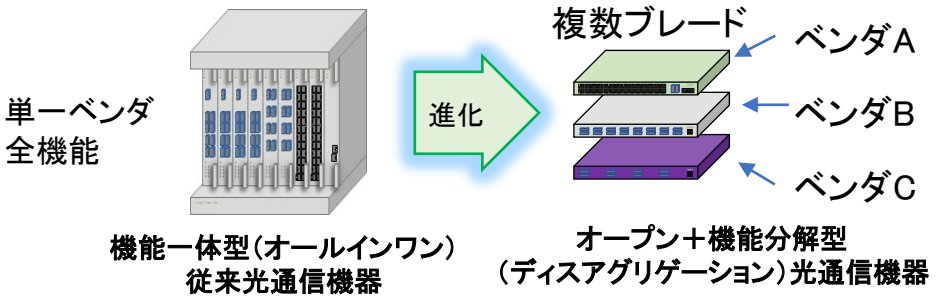
B）パケットレイヤ異種トランスポートネットワーク間の相互接続技術



© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

光ネットワークのオープン化・ディスアグリゲーションの潮流

オープン化・ディスアグリゲーションとメリット

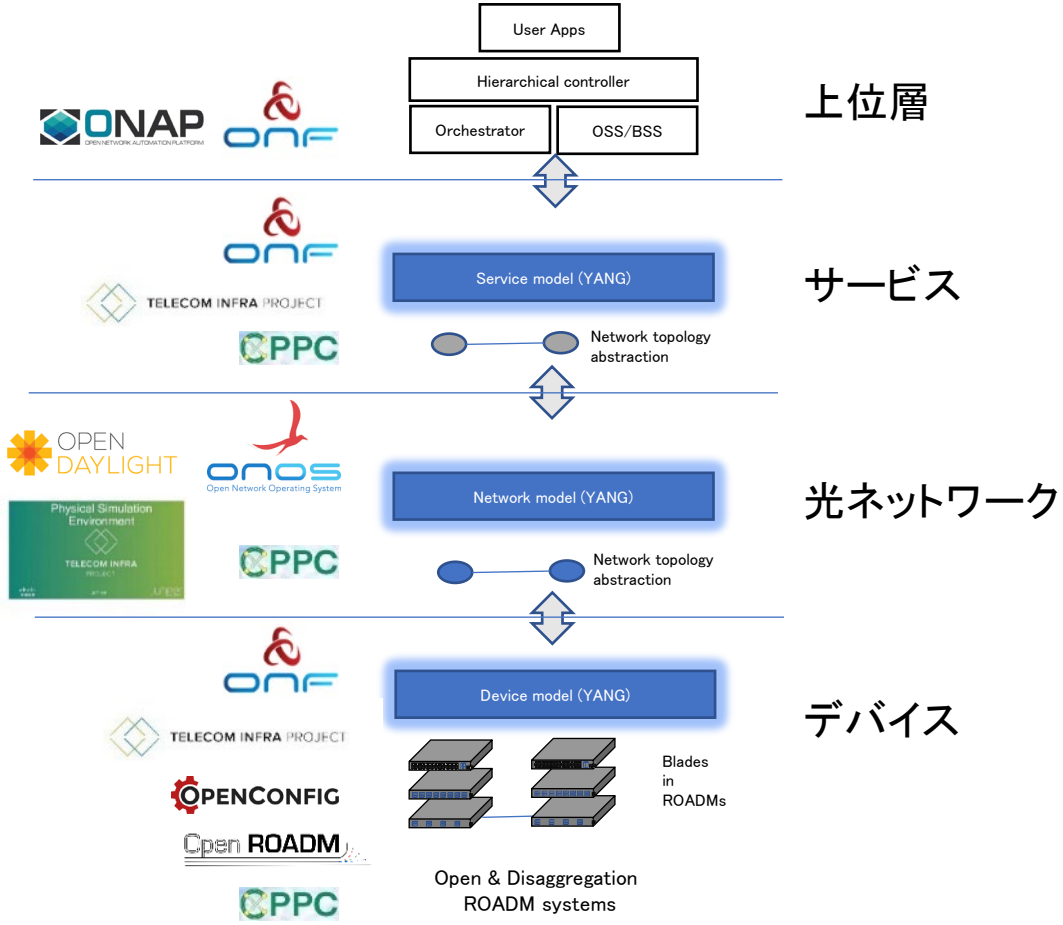


<u>オールインワン</u>
単一のベンダにて関連する機能を全て実装する既存の光通信機器

<u>ディスアグリゲーション</u>
複雑かつ大規模なオールインワン型光通信機器の機能を複数のブレードに分割し、異種ベンダによって製造されたブレードから構成される必要最小限の光通信機器群

- 初期投資低減
- 運用コスト低減
- 最新技術の早期導入
- システム性能向上
- イノベーション促進
- レジリエンシー向上

活発なオープン化非営利組織と研究活動（例）

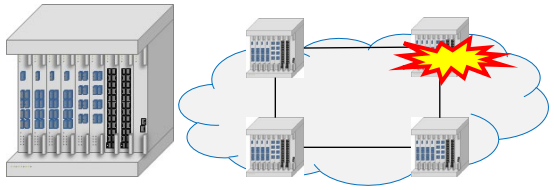


<u>国内先行機関</u>
富士通、NEC、NTT、KDDI、AIST、NICT

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

オープン化・ディスアグリゲーションによるレジリエンシー向上

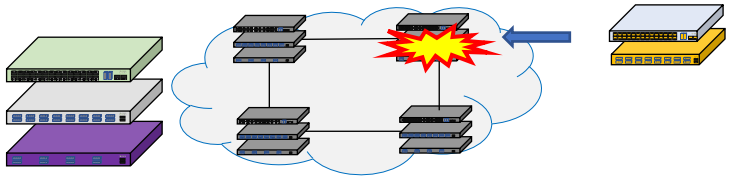
大規模障害



機能一体型（オールインワン） 光通信機器と
従来光ネットワーク（ベンダ依存）

復旧資源の不足問題を
効率的に改善

オープン化した異種ベンダの部
品を利用して失われた通信機能
を素早く再建



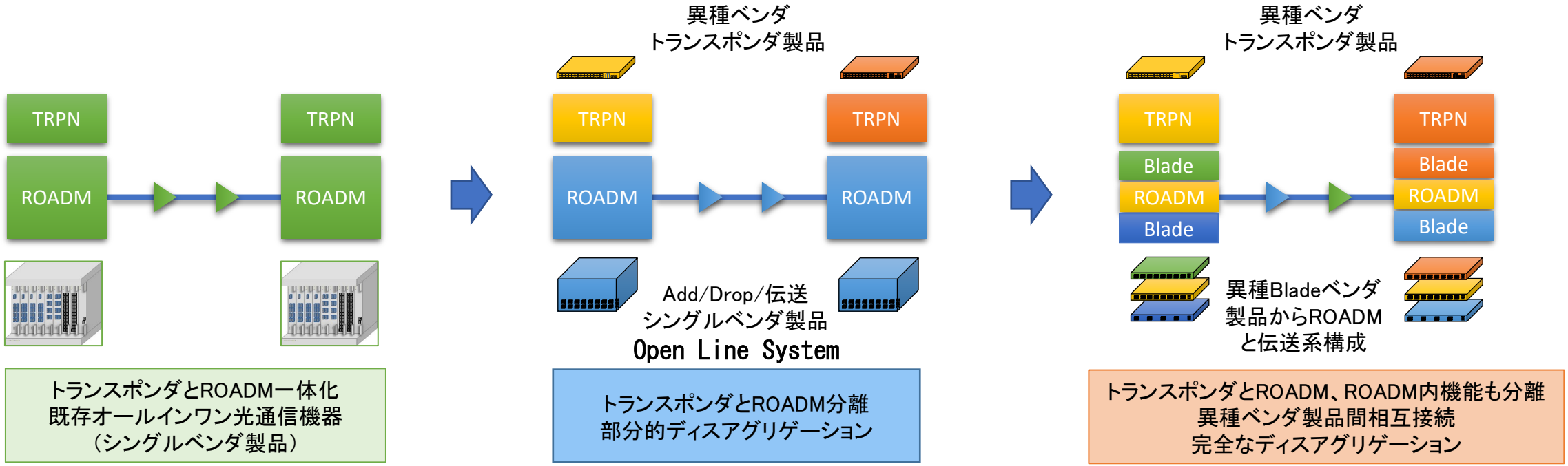
機能分解型（ディスアグリゲーション）通信機器と
オープン化光ネットワーク（異種ベンダ間相互接続）

- 大規模障害時における復旧資源の供給問題
  - 資源供給が特定ベンダに依存し、個社の供給能力によって制限される。

- 損壊した機能部分の機器を交換
- 異種ベンダ製品間の相互接続性が担保され、いずれのベンダ製品も利用可能
- 複数社における調達が可能

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

オープン化・ディスアグリゲーションにおけるマイグレーション



技術の進化

研究対象となるフェーズ

- 既存の光通信機器

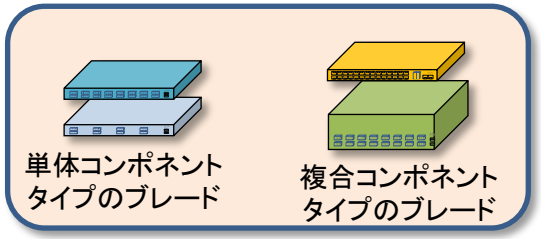
- ディスアグリゲーショントランスポンダ製品
- ROADMもWhiteBox製品による商用化開始
- 先行的に商用データセンタ間に実装

- 将来のターゲットとして研究が活性化
- テレコムと商用データセンタ間、キャンパスネットワークなどへの展開が期待される

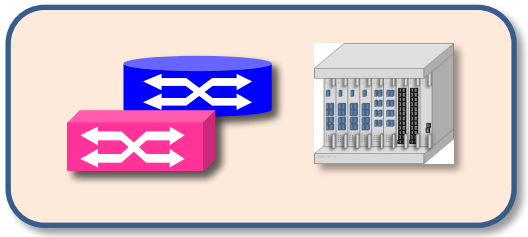
© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

課題②A-1:オープン化による光通信機器の多様性への対応

多種多様な光通信機器



オープン化・ディスアグリゲーション機器



既存の光通信機器

**チャレンジ：光ノードにおける多様なブレード機器に
どのように対応するのか？**

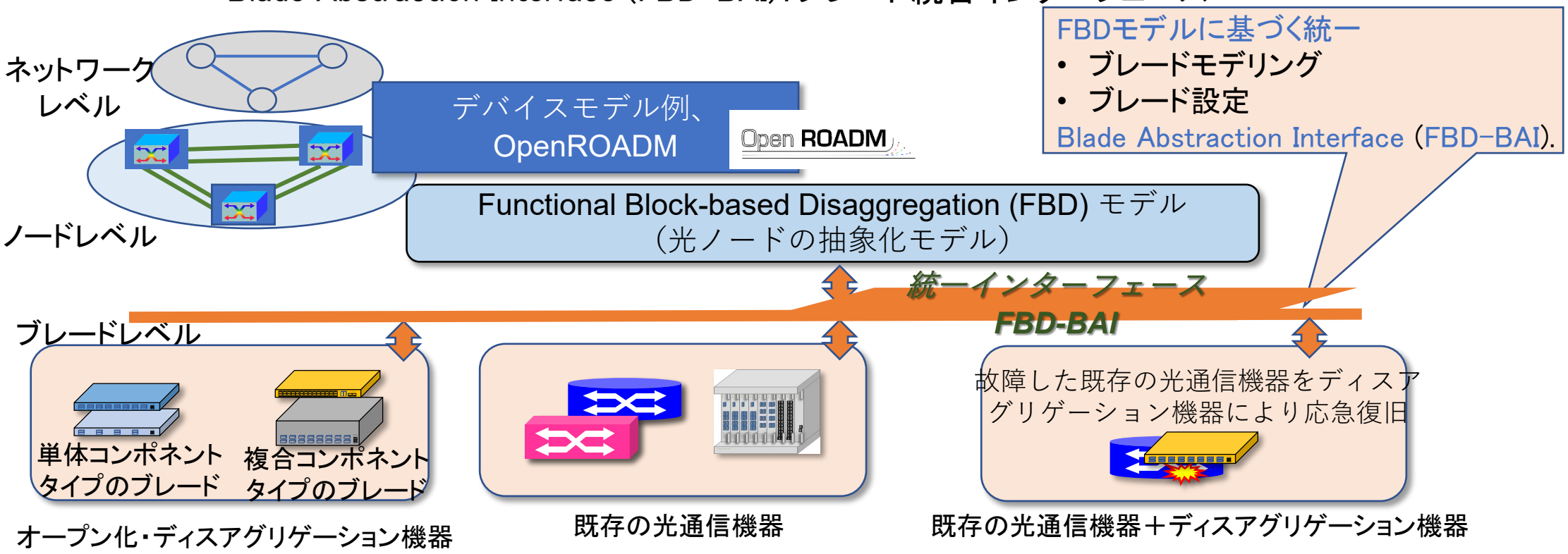
NICTにおける研究の特徴とアプローチ

- 機器製造の多様性を前提とした、オープン化・ディスアグリゲーション技術の研究開発
- 多様性を収容できる抽象化技術とそれに基づく統一的アーキテクチャ
- 異種ベンダ機器から構成されるオープン化・ディスアグリゲーションノードシステムの運用性と高可用性を確保する高度な制御管理の自動化技術を研究開発

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

最新の成果 ②A-1:オープン化光ノード統合制御

Blade Abstraction Interface (FBD-BAI):ブレード統合インターフェース



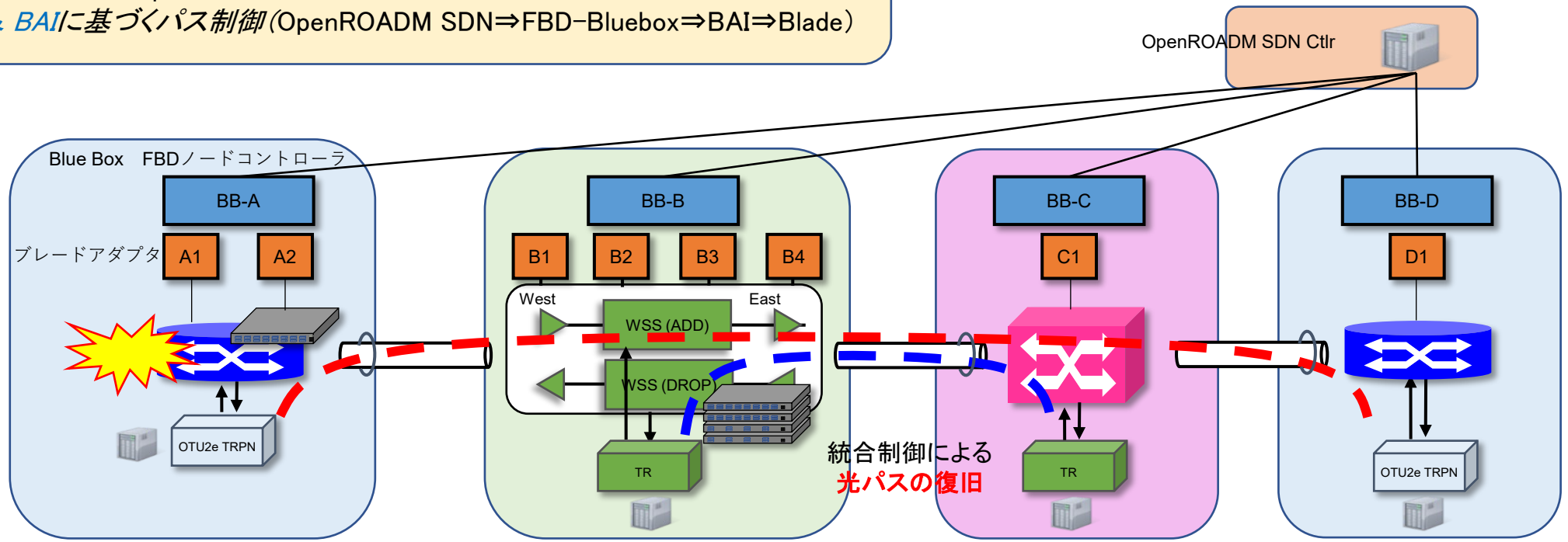
S. Xu, K. Ishii, N. Yoshikane, T. Tsuritani, Y. Awaji, and S. Namiki, "Blade abstraction interface for diverse blade integration and unified control of disaggregate/legacy ROADMs," in Proc. OFC 2021, San Francisco, F1C.2, Jun. 2021.

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

最新の成果②A-1：FBD-BAIに基づくブレード統合運用と異種光ネットワーク制御

シナリオ（大規模障害時における異種ブレード機器統合による暫定光ネットワーク構築と制御
Phase-I: FBD-BAIに基づくブレード情報の収集
Phase-II: FBDマッパに基づくOpenROADM デバイスモデル化
Phase-III: *FBD＆ BAIに基づくパス制御*（OpenROADM SDN⇒FBD-Bluebox⇒BAI⇒Blade）

FBD/BAIに基づく
ノードの多様性対応



ハイブリッドノード
ディスアグリゲーションブレードに基づく**既存の光通信機器の復旧**

ディスアグリゲーション機器

既存の光通信機器
（ベンダ-Y ROADM）

既存の光通信機器
（ベンダ-X ROADM）

実証実験
オープン化・ディスアグリゲーション光機器＋既存の光通信機器の多様性を統一的に対応できるアプローチを創出
平常時：統合運用範囲の拡大、**大規模障害時**：通信資源の利活用による早期復旧

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

課題②A-2：異種SIerの設立した光ネットワークの多様性に対応

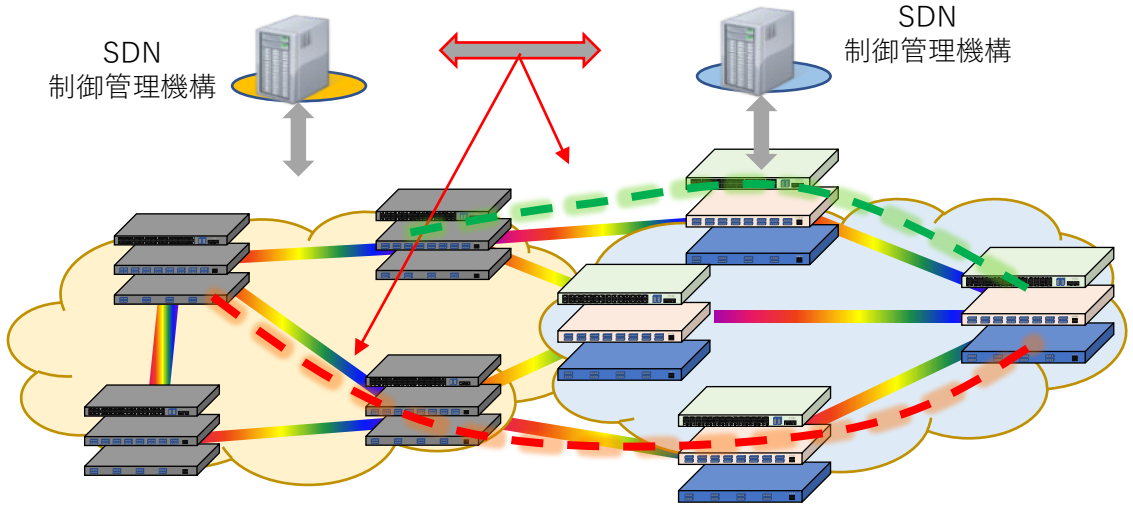
- 個別のSIerの独自開発による技術的差異を想定
  - 制御管理機構
  - 伝送性能
  - 光パス計算
  - パス設定
  - 障害時復旧手法
  - Etc.

チャレンジ：多様な光ネットワークにどのように対応？

NICTにおける研究の特徴とアプローチ

- 異種Sierによって構築されたネットワークの多様性を収容できる抽象化技術、そして多様性対応する統一的アプローチを研究開発
- オープン化・ディスアグリゲーション光ネットワークの運用性と高可用性を確保する高度な制御管理の自動化技術

異種SIerによる光ネットワークを跨るパス統合制御



SIer Aによるオープン化
光ネットワークモデル1
（例えば、OpenROADM）

SIer Bによるオープン化
光ネットワークモデル2
（例えば、OpenLineSystem）

異種SIerによる光ネットワーク間の相互接続制御管理

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

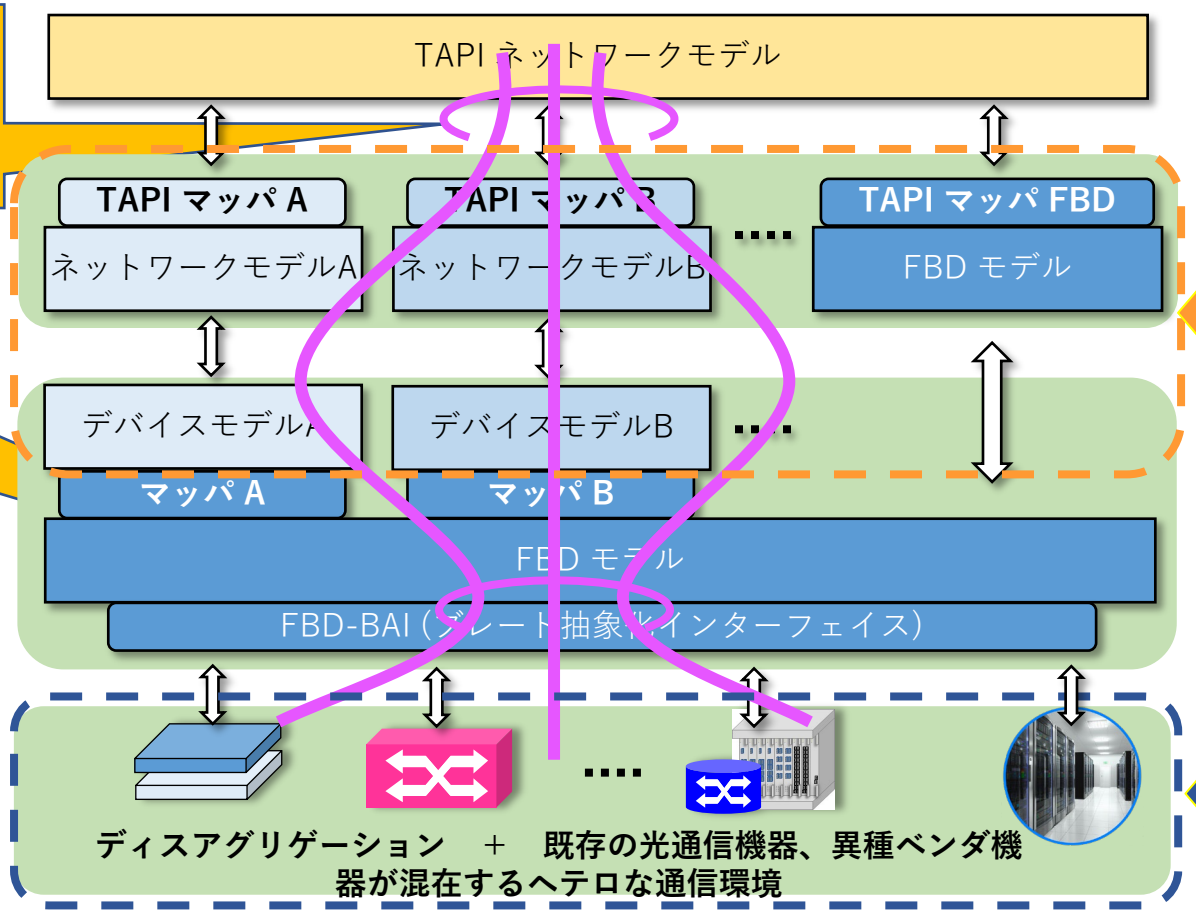
最新の成果 ②A-2：異種SIer光ネットワーク間相互接続制御管理アプローチ

ONF: Open Networking Foundation
TAPI: Transport API

FBD: Functional Block-based Disaggregation
BAI: Blade Abstraction Interface

異種SIer光ネットワークモデル多様性対応アプローチ
ONF TAPIモデル対応のTAPIマッパ（翻訳）

光通信機器の多様性対応のアプローチ
- ノードを抽象化するFBDモデル
- ブレード抽象化インターフェイスBAI



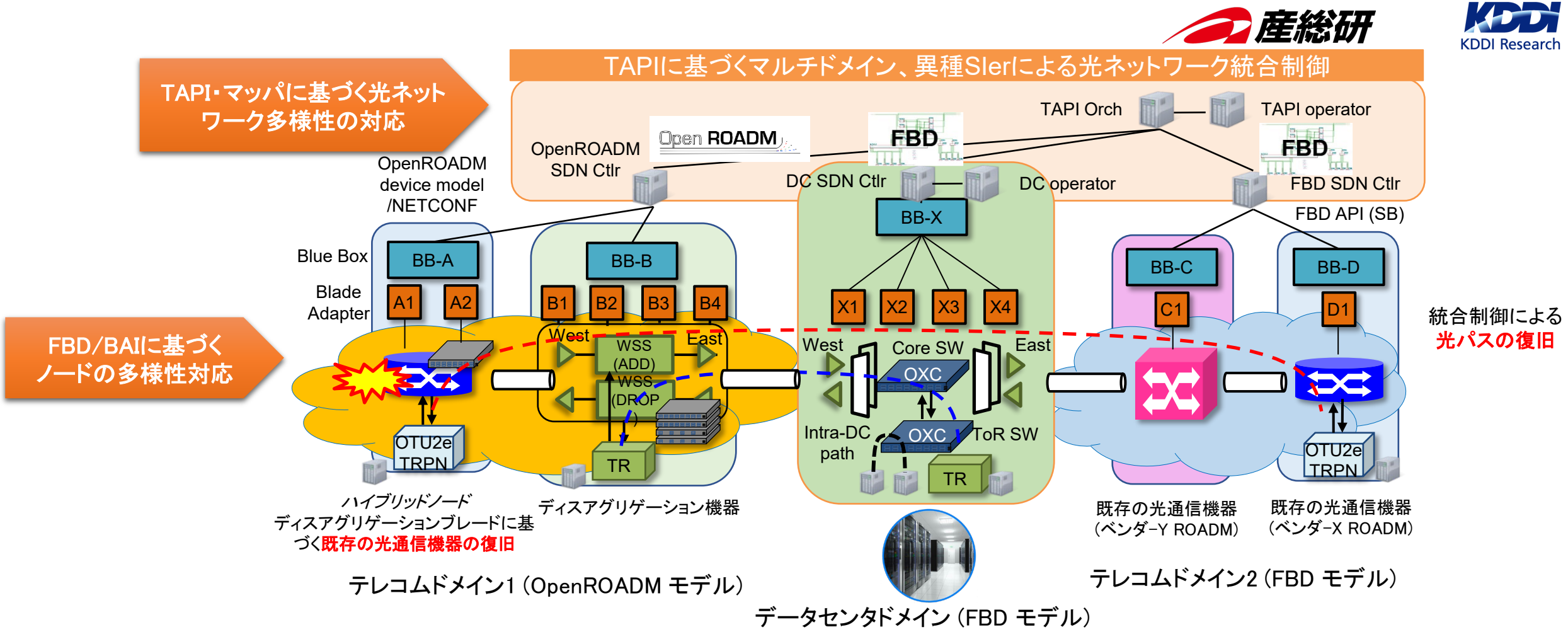
ネットワーク論理モデル・デバイスモデルの多様性

光通信機器ハードウェアの多様性

S. Xu, K. Ishii, N. Yoshikane, T. Tsuritani, Y. Awaji, and S. Namiki, “Integration and control of heterogeneous telecom and data center optical networks aided by FBD and TAPI for enhancing large-scale optical path services and network resiliency,” in Proc. ECOC2021, Bordeaux, France, Th2E.2, Sept. 2021.

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

最新の成果 ②A-2：TAPIとFBD-BAIに基づくヘテロな光通信環境における光ネットワーク資源統合



実証実験

テレコム・データセンタ、マルチドメインなどのヘテロな光通信環境に統一的に対応できるアプローチを創出

平常時：統合運用範囲の拡大、**大規模障害時**：通信資源の利活用による早期復旧

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

③通信・計算資源の連携基盤技術

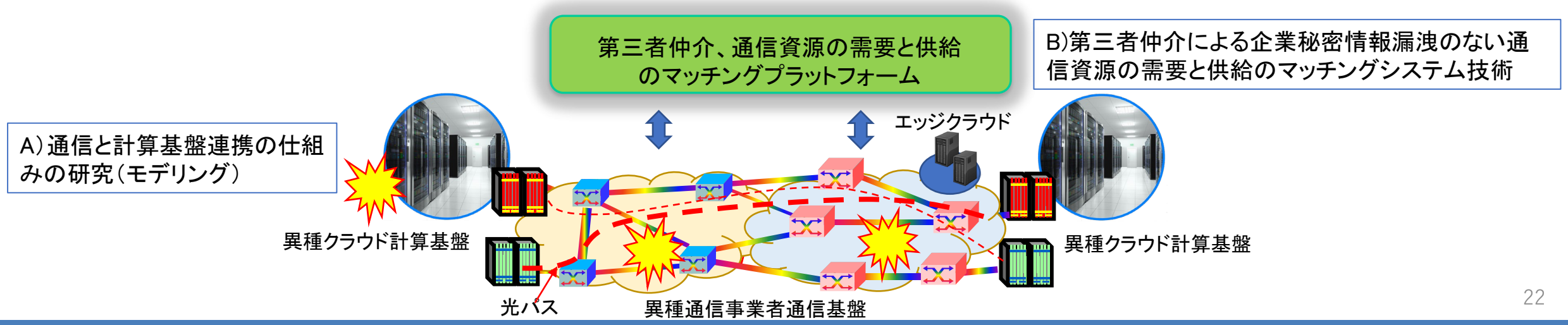
背景：

- 通信事業者とデータセンター事業者は相互の契約関係に基づきサービスを提供
- 大規模障害時にはそれぞれの資源の状況などが不明となり、復旧にも長期間を要する
- 通信基盤と計算基盤間の連携と緊急時の対応は将来の強靭なエコシステムにとっての不可欠

目的：通信・計算基盤を連携し、クラウドエコシステムにおける構成調整の弾力化と障害復旧の迅速化

課題：

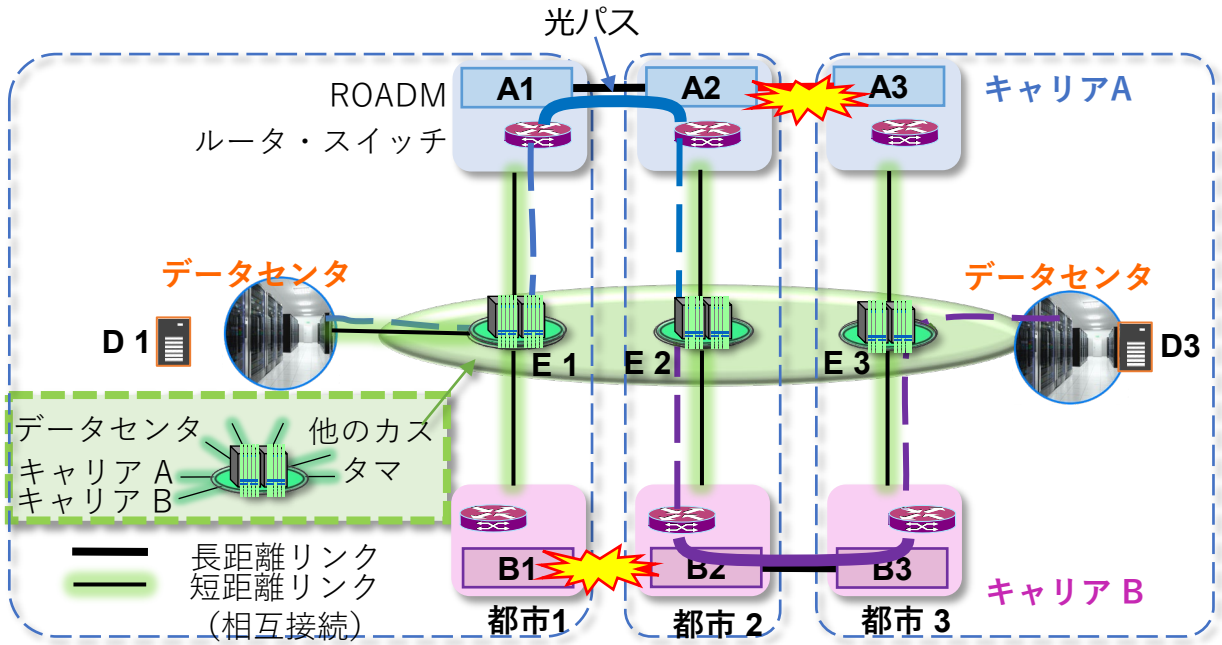
- A)通信と計算基盤連携の仕組みの研究（モデリング）
- B)第三者仲介による企業秘密情報漏洩のない通信資源の需要と供給のマッチングシステム技術



© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

課題③A：通信と計算基盤連携の仕組みの研究（モデリング）

通信・計算基盤連携例:
通信資源の融通と利活用



チャレンジ：異種事業者間、自社通信又は計算資源における詳細情報は企業秘密情報であるため、開示しない。どのように資源利活用を最適化？インセンティブは？

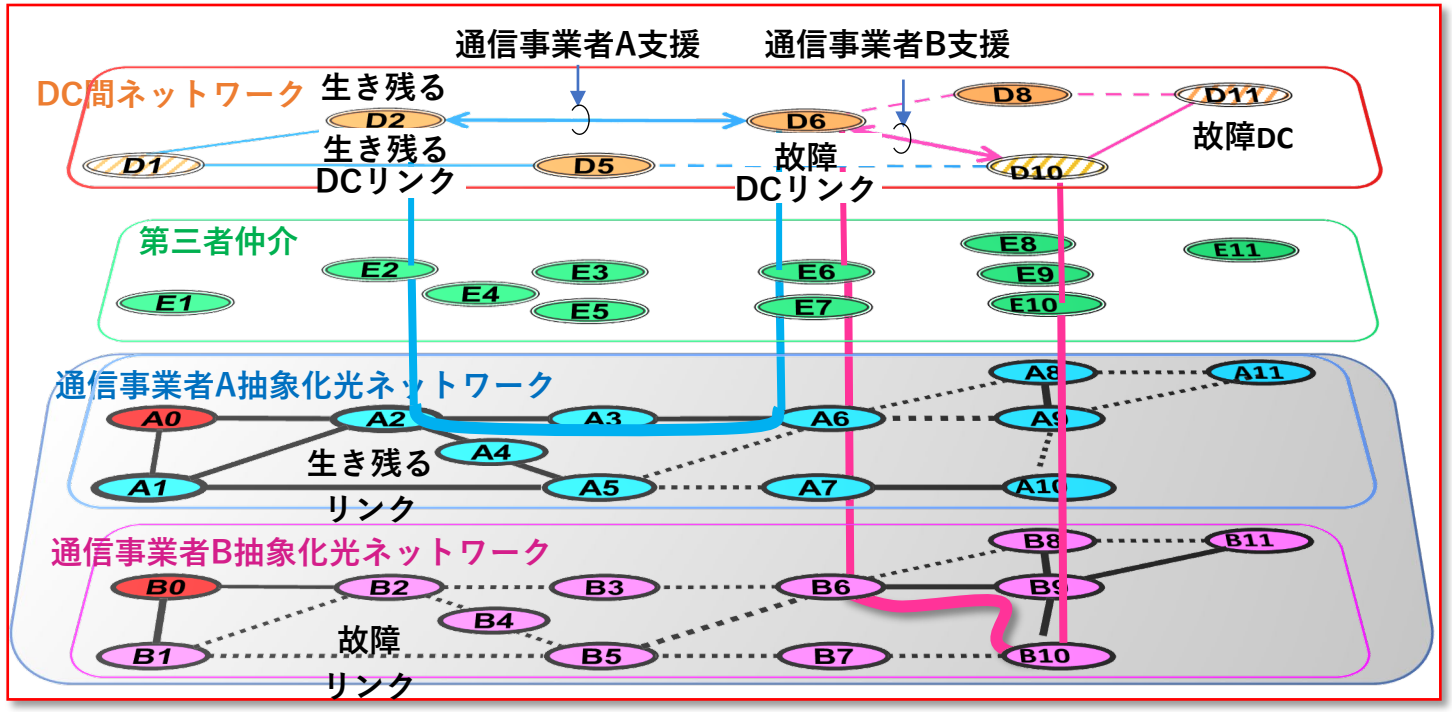
NICTにおける研究の特徴とアプローチ

- 大規模障害時などに、通信事業者とクラウド事業者が、情報の抽象化に基づいて秘密情報を相互に漏洩せずに連携を図ることで、資源利用における高効率化と高信頼性を追求
- 第三者仲介（Provider Neutral Exchange, PNE)に基づく通信・計算基盤間連携促進技術

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

最新の成果 ③A:第三者仲介連携での応急復旧モデリング

- 抽象化された通信サービス供給情報に基づいた通信・計算基盤間連携、秘密情報漏洩防止
- クラウド事業者が通信事業者の抽象化された通信サービス供給情報に合わせて、通信需要を最適化・調整し、クラウドサービスの復旧量を最大化
- 複数の通信事業者がクラウドの通信需要に合わせて、限定的な復旧によって通信需要を最大限に満たす復旧戦略を策定



クラウド、通信基盤、第三者仲介連携による応急復旧概念図

クラウド事業者側
通信需要最適化
＋
需要調整

- 秘密情報漏洩のないように需要と供給マッチング
- クラウド事業者と通信事業者それぞれにとって最適な復旧計画を策定

異なる通信事業者側
通信資源配分最適化
＋
資源配分調整

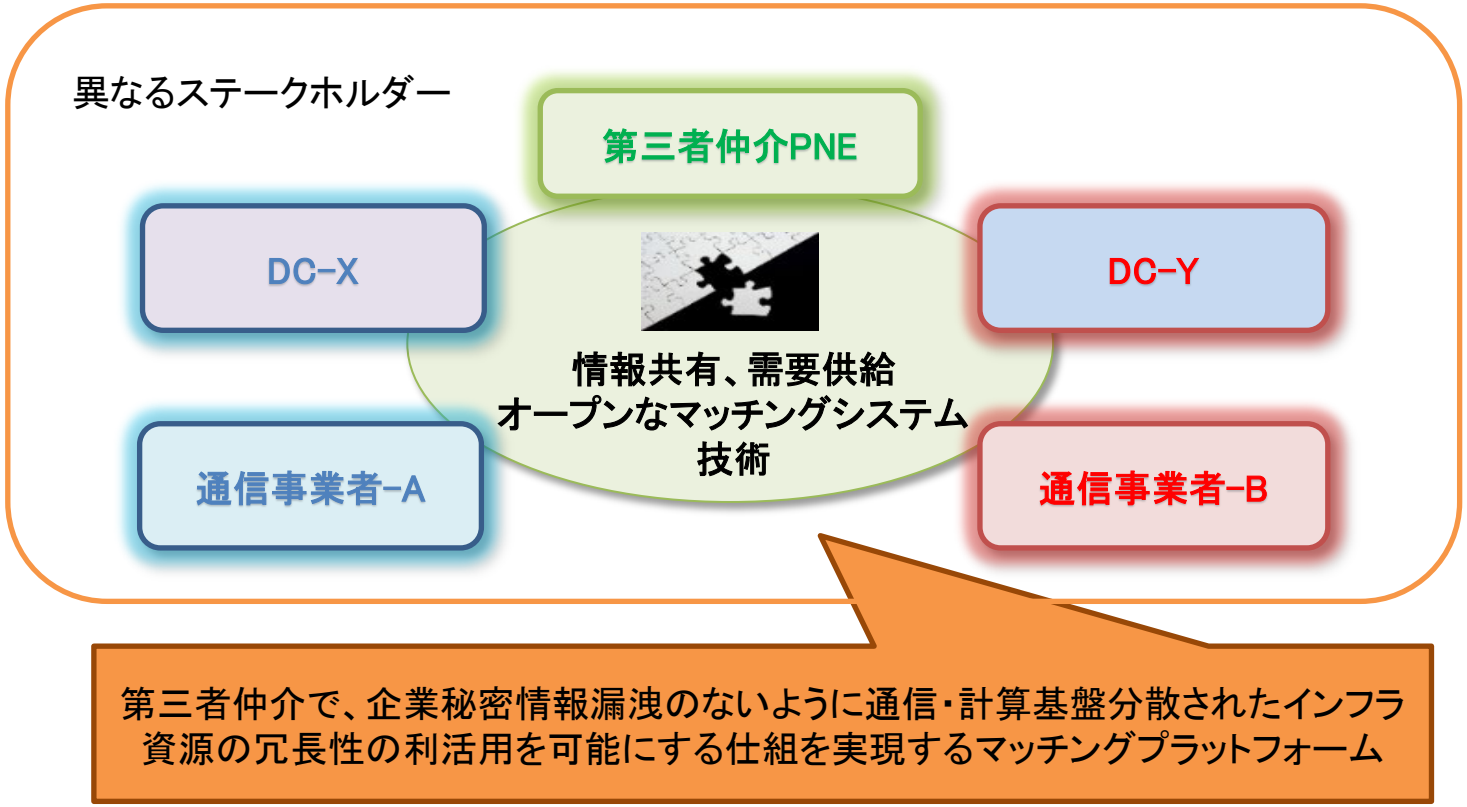
S. Sahoo, S. Xu, S. Ferdousi, Y. Hirota, M. Tornatore, Y. Awaji, and B. Mukherjee, "Datacenter-carrier cooperation over optical networks during disaster recovery," OFC2022.

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

課題③B：通信資源の需要と供給のマッチングシステム

複数の通信事業者の通信資源をクラウドなど計算基盤での情報サービスに利用する時の
効率性とレジリエンシー向上を通じて、社会ICT基盤エコシステムの価値を最大化

情報共有・需給マッチング通信と計算基盤連携復旧



© 2022 National Institute of Information and Communications Technology

おわりに

- 光ネットワークの将来像
  - 複雑・大規模化（5G～さらにその先へ）
  - オープン化・ディスアグリゲーション
  - インフラとしてのサービスレベル安定性
- レジリエンシー向上への要請が増大

- 複数のレイヤに跨がる視点での研究開発に注力
- 国内外の研究機関と広く連携を推進

© 2022 National Institute of Information and Communications Technology