



2-1テストベッド事例紹介 (1)



**超並列型ダイナミックMAC及び
ダイナミックセキュアネットワーク技術検証実験**

2022年9月27日

慶應義塾大学 理工学研究科 山中研究室

岡本 聡

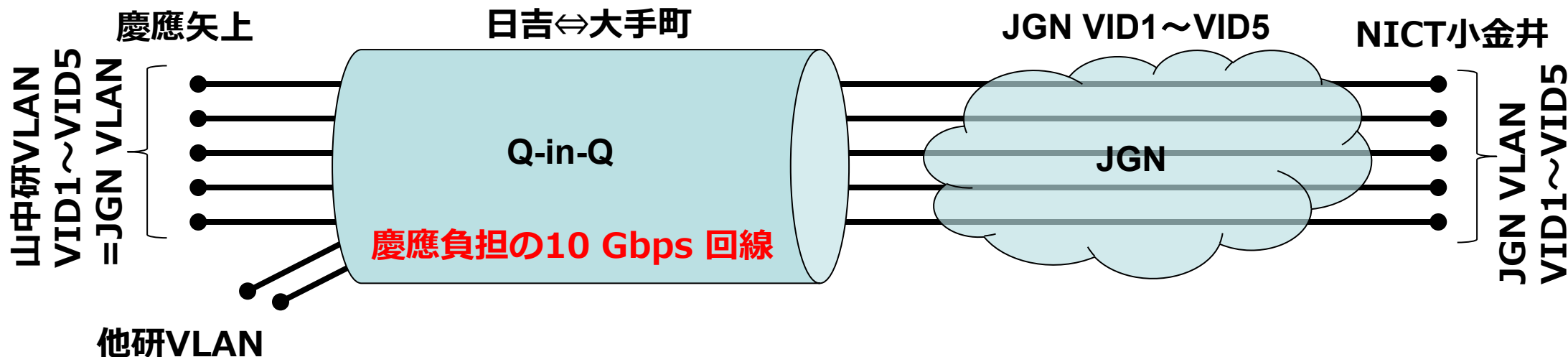
okamoto@ieee.org



- **本講演は、**
 - ・ 2020-2021年度に実施したTB-0285/JGN-A20003（超並列型ダイナミックMAC技術の研究）、
 - ・ 2022年度から実施しているTB-A22001（超低遅延ジッタパケット転送網の研究開発）の技術検証実験を紹介します。

- **各研究計画は、**
 - ・ NICT委託研究204「超並列型光ネットワーク基盤技術の研究開発」（三菱電機、産総研、KDDI総合研、香川大、慶應大、2018-2021年度）、
 - ・ NICT委託研究02501「エマージング技術に対応したダイナミックセキュアネットワーク技術の研究開発」（アラクサラネットワークス、慶應大、KDDI総合研2021年度～）に基づいたものであり、本公演はこれらの成果を含みます。

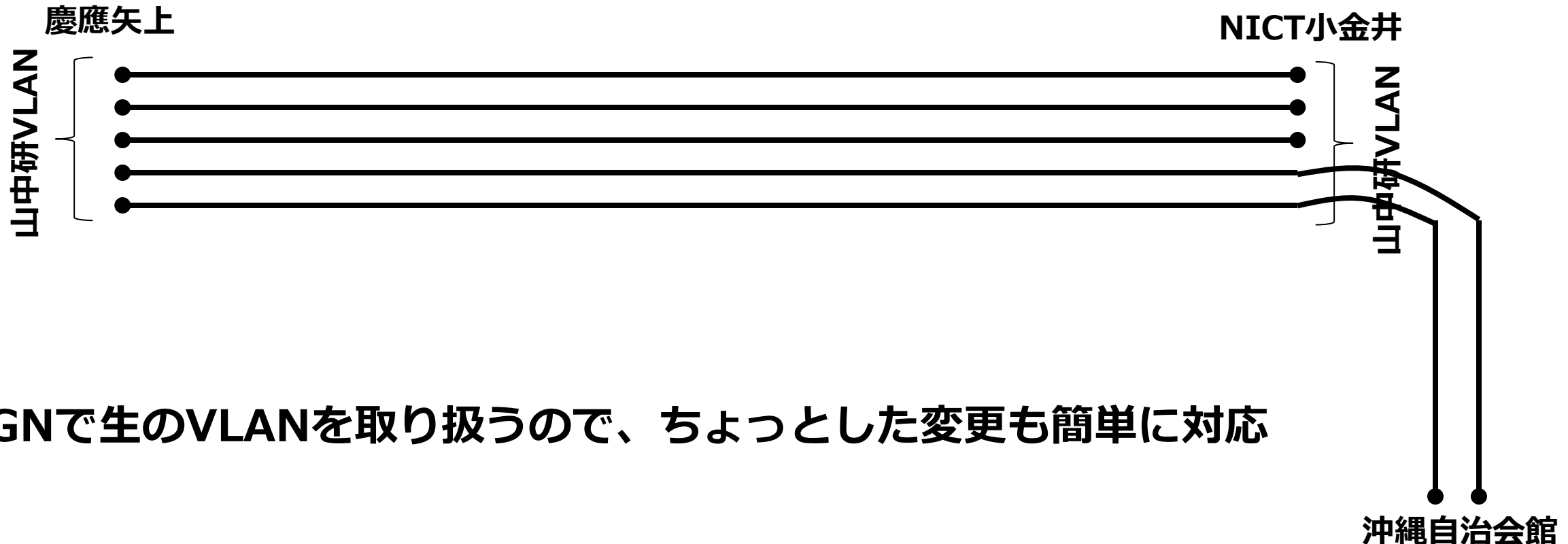
- 2012年くらいに、5本のVLANを慶應矢上（山中研）とNICT小金井（けいはんな実験室）の間にJGN-Xで設定



- JGNのVLAN IDをそのまま使えるように、キャンパス内のVLANを割当
- 慶應矢上からJGNを使うVLANは同一のQ-in-Qに収容



- 沖縄までJGNを使って延伸して仮想OLTマイグレーション実験 (2015)
 - 日吉-大手町 Q-in-Q-in-Q

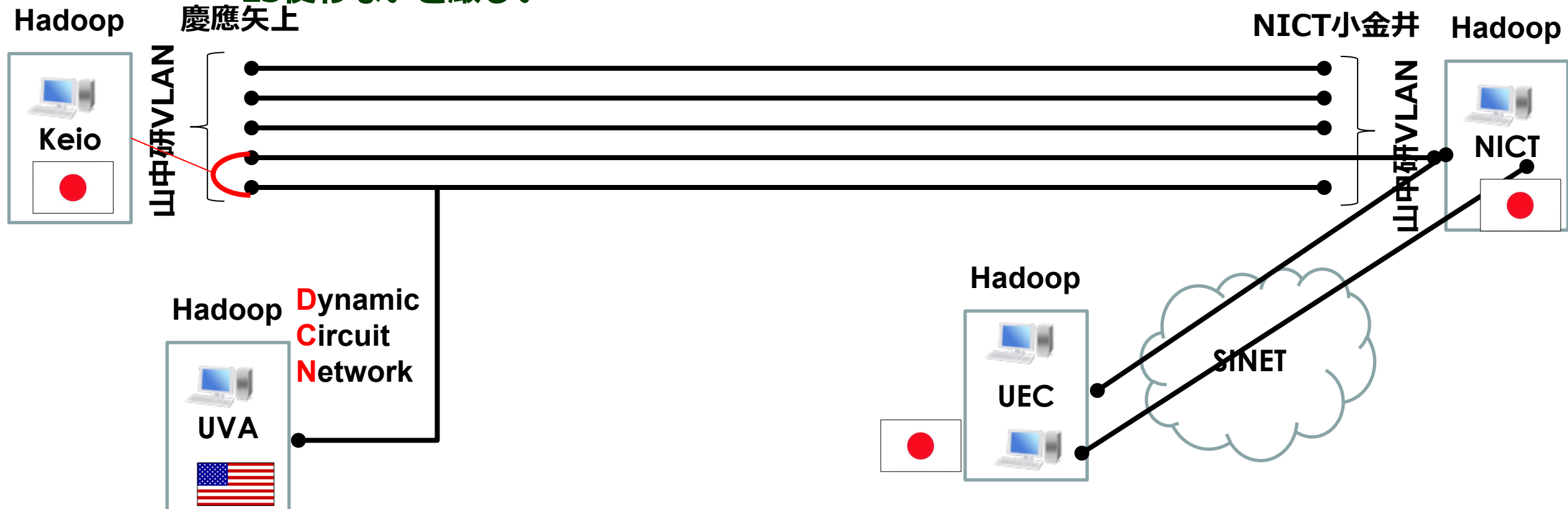


☆ JGNで生のVLANを取り扱うので、ちょっとした変更も簡単に対応



使い方の例(2)

- 電通大、バージニア大へ延伸して 広域Hadoop実験をする (2015-2016)
 - L2の折り返しは per VLAN FDBが必要と学ぶ
 - L3使わないと厳しい





時代はJGNとSINETの融合

慶應の10 Gbps ⇒ SINET 100 Gbps

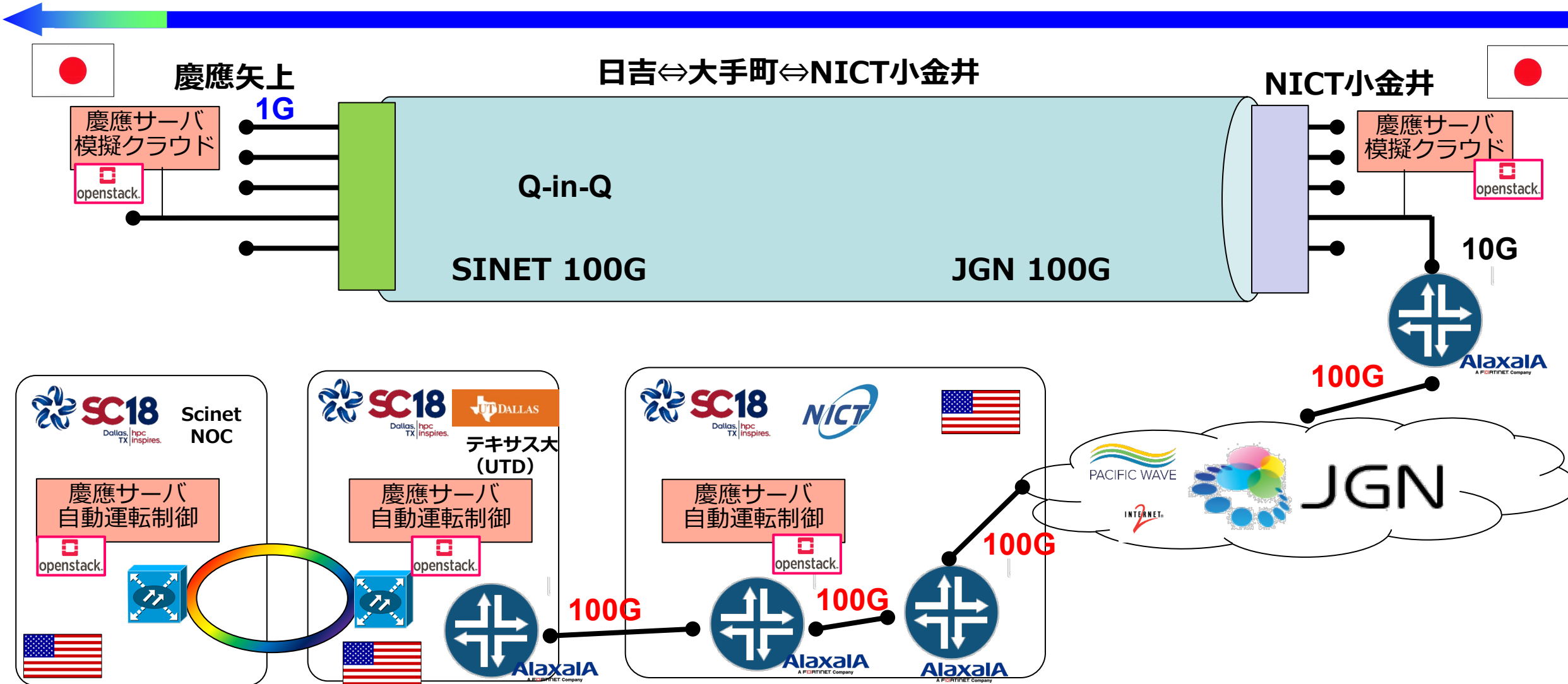
- SINET ⇒ JGN が共通のVLANを使うので、Q-in-QのアウトターしかJGNには見えない



個別のVLANを、延伸するのが困難に！！！！

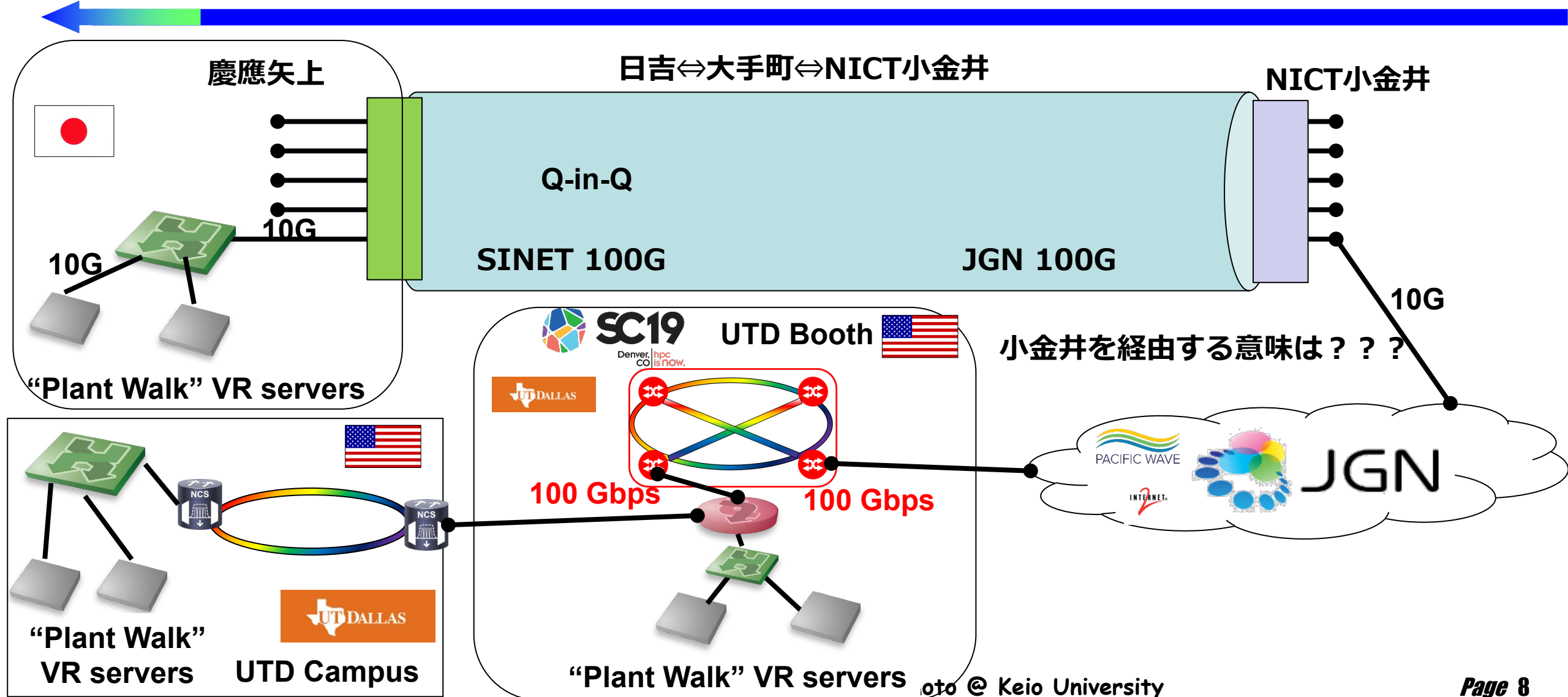


自動運転ネットワーク OpenStackのマイグレーション





SC19@Denver 分散型VRシステム over 日米接続線



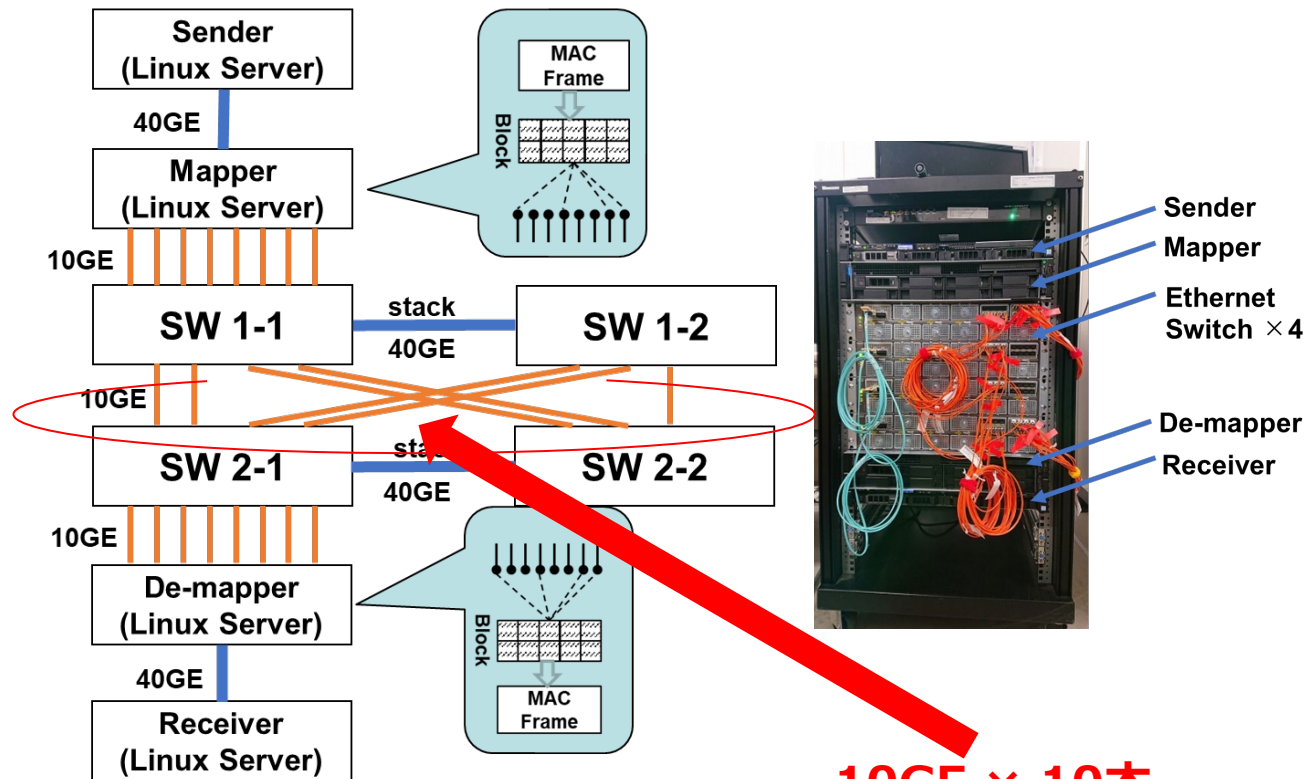
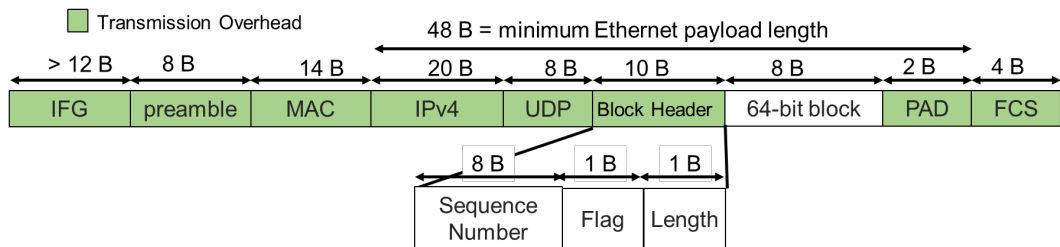
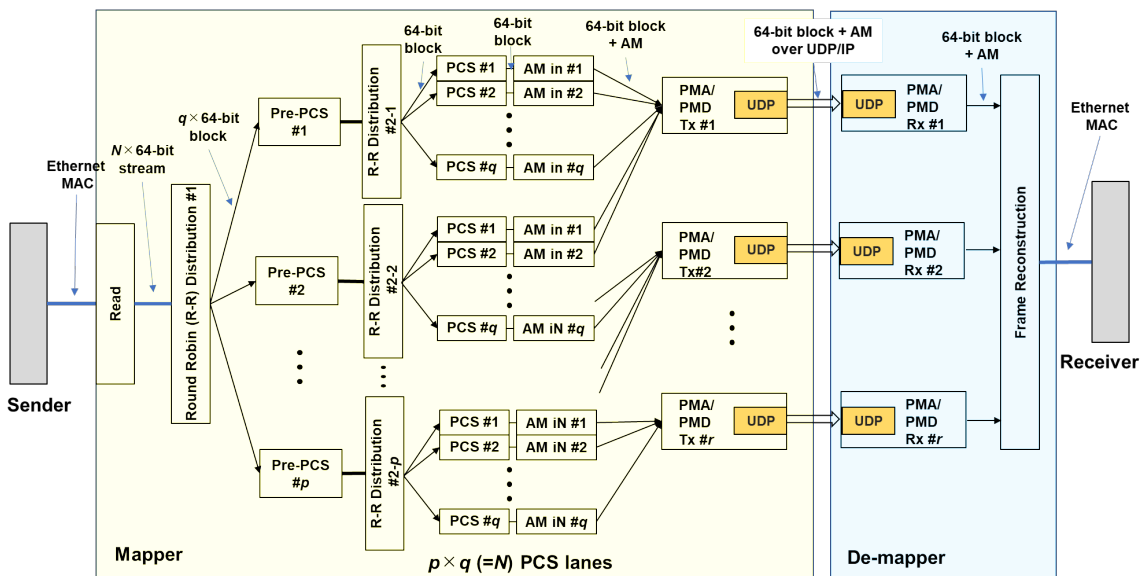


- 現在の高速Ethernet (100GE/400GE) ~ 同一ファイバ内でWDMの並列
 - マルチレーン転送 (Short Reach ではリボンファイバーはある)
- Tbps超のEthernetに向けた空間多重伝送 (マルチコアファイバ、マルチファイバ) の新しい使い方 ~ 長距離でマルチコア、マルチファイバに分かれた400~1,000レーンの並列転送のMACを作りたい
 - × LAG (フレーム単位) ○ マルチレーン転送 (64B66Bブロック単位)
 - 長距離 ~ レーン間スキューを 100 μ s 級(100GBASE-Rの理論値)級から 5 ms (1,000 km相当)へ拡大したい (メモリコストは度外視)
 - レーンが切れても動き続ける (縮退運用)
- PCサーバで、マルチレーン転送のエミュレータを作る
 - 64B66BしたブロックをUDP/IPでカプセルリング (8 Byte→80 Byte超)
 - Ethernetスイッチで、空間的なマルチレーン転送エミュレータを作成



K. Sugiura, M. Murakami, Y. Uematsu, S. Okamoto, and N. Yamanaka, "Hierarchical round-robin mapper emulator for evaluating massively parallel Ethernet physical layer developing," IEICE Communications Express, Vol. 10, No.5, 248-253, May 2021.

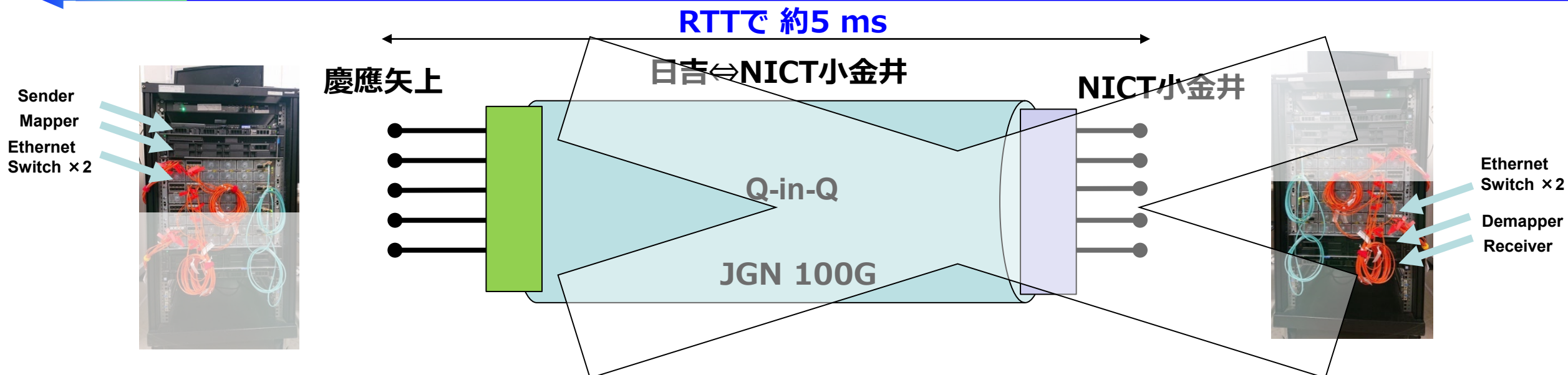
□ Rust を使ってプログラムを作成



10GE x 10本



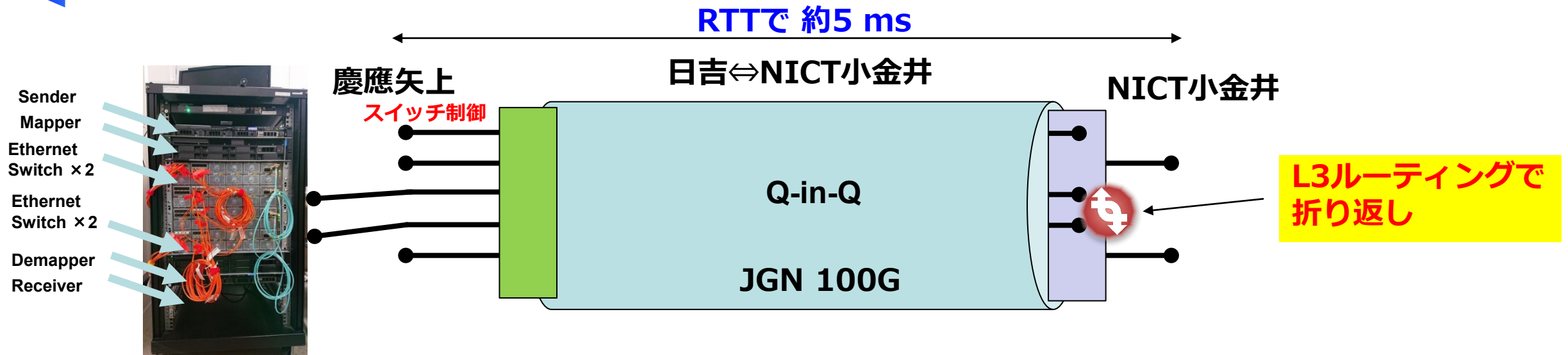
JGNを使ったネットワーク実験



- ❑ COVID-19 で、機材を持っていけない
- ❑ VLAN が最大でも5本しか使えない
- ❑ VLAN 5本が使える通信容量が実験室の制限で合計 1 Gbpsしかない
 - 実験室変えても最大10 Gbps

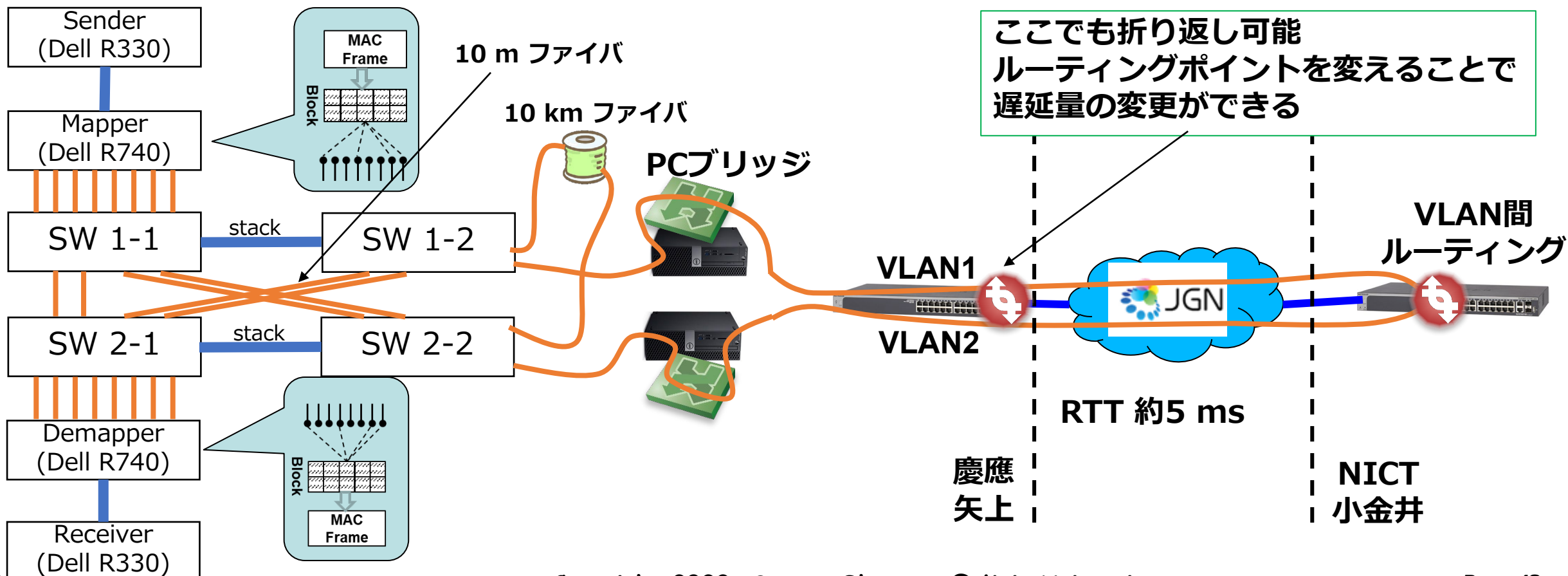


JGNを使ったネットワーク実験



- JGN経由で片道 5 ms の遅延線を作成
 - 最大 1 Gbpsのリンクを作成可能 → エミュレータ性能上幸いにも(?)十分
- 実験室内10 mファイバ、10 kmファイバ、5 ms遅延線でスイッチ間接続
 - スイッチ間は、L2リンクに見せたい

JGNを使ったL2遅延線の構築(1) 物理構成

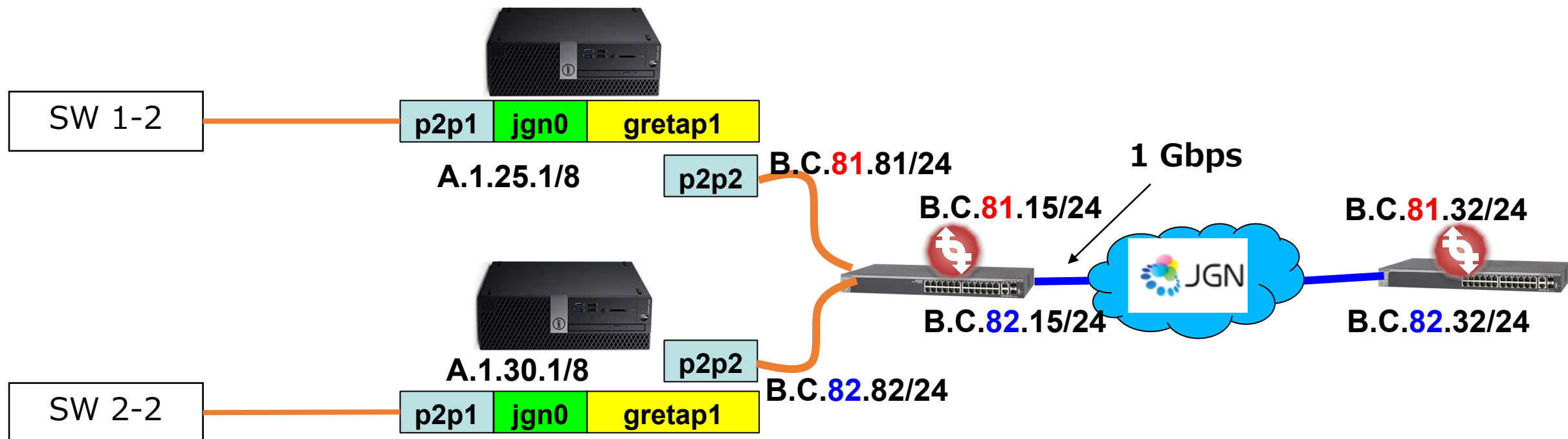




JGNを使ったL2遅延線の構築(2)

論理構成

- gretap (Ethernet over GRE)を使って、L2トンネルを構築 (VXLANでも良い)
- PCでのルーティングGWを切り替えることで、実験室内折り返しとNICT 小金井折り返しをダイナミックに切り替え可能

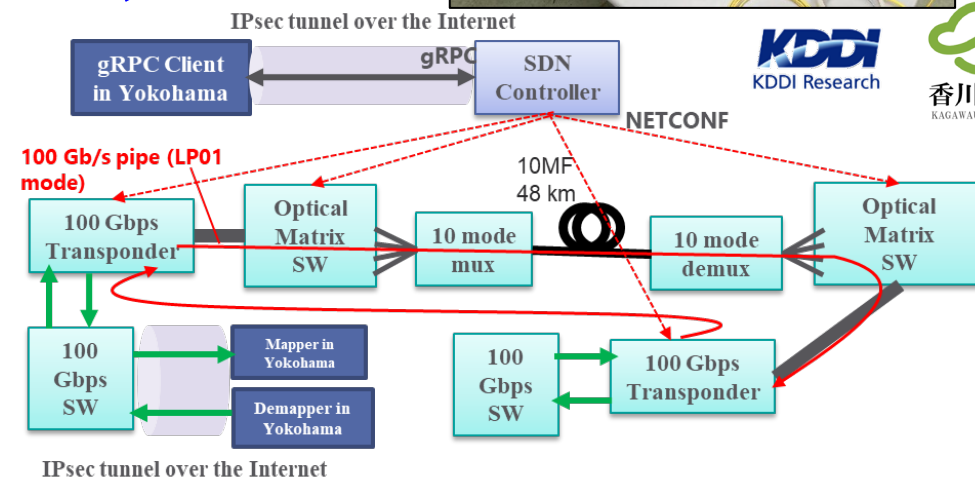
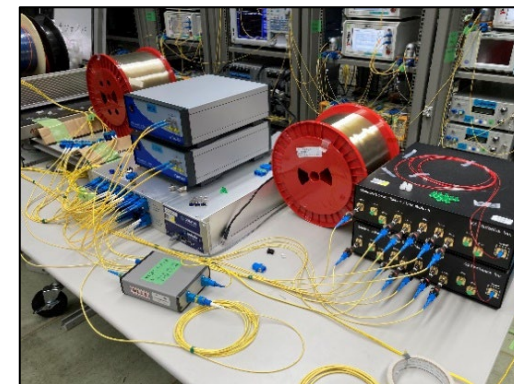
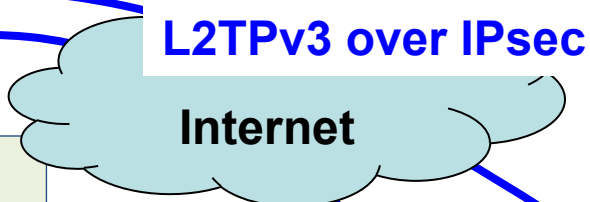




M. Murakami, et al. "Experiment of Nationwide Multi-Route Skew Cancelling for Dynamic Mapping of MAC Signals over SDM/WDM Network Testbed," OECC/PSC2022, DOI: 10.23919/OECC/PSC53152.2022.9850050

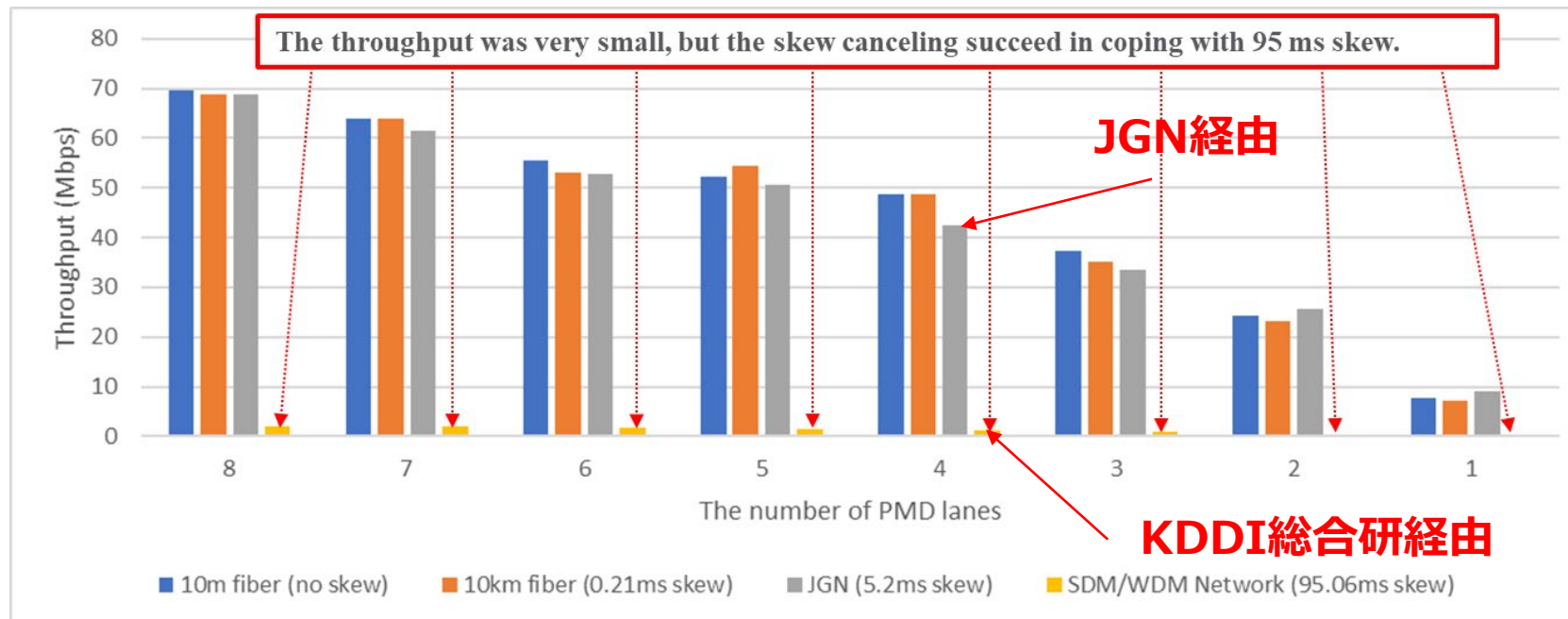
Internet経由で、KDDI総合研ふじみ野に設置したSDM伝送系と接続

- gretap を使ったトンネルで、慶應矢上から折り返し ~RTT 90 ms、パケロス有
- traceroute すると KDDI大手町からふじみ野が遠い



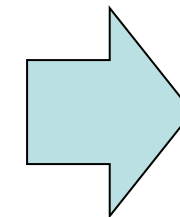


- 当然性能は出ないが、スキュー吸収機能の動作は実証できた
 - 1,500Bフレームは約200個のブロックに分割
 - 1個のパケットロス→フレーム全部捨てる
- 今どきのJGNのL2は、10G転送してもパケットロス無！！
 - 頑張っ、ふじみ野までJGN引いてもらえば良かったかな



超低遅延ジッタパケット転送網の研究開発

- B5G 時代に向けて“ダイナミックセキュアネットワーク”を作りたい
- Beyond 5G 時代のネットワーク基盤 ⇒ 高効率化・高信頼化 が重要
 - サイバー攻撃防御に対するネットワーク側での自律的な監視・保護能力提供によるサポート (In-network security)
 - 高度スキルエンジニア不足への対応 ⇒ センタ集約型かつ大規模網をカバー
- ダイナミックセキュアネットワーク技術の確立が必要
 - ネットワーク情報をNOCに効率よくリアルタイムに収集
 - デジタルツインを構築し、自律的に異常検知や分析を実行
 ⇒ 高信頼な大規模ネットワーク監視・制御の実現



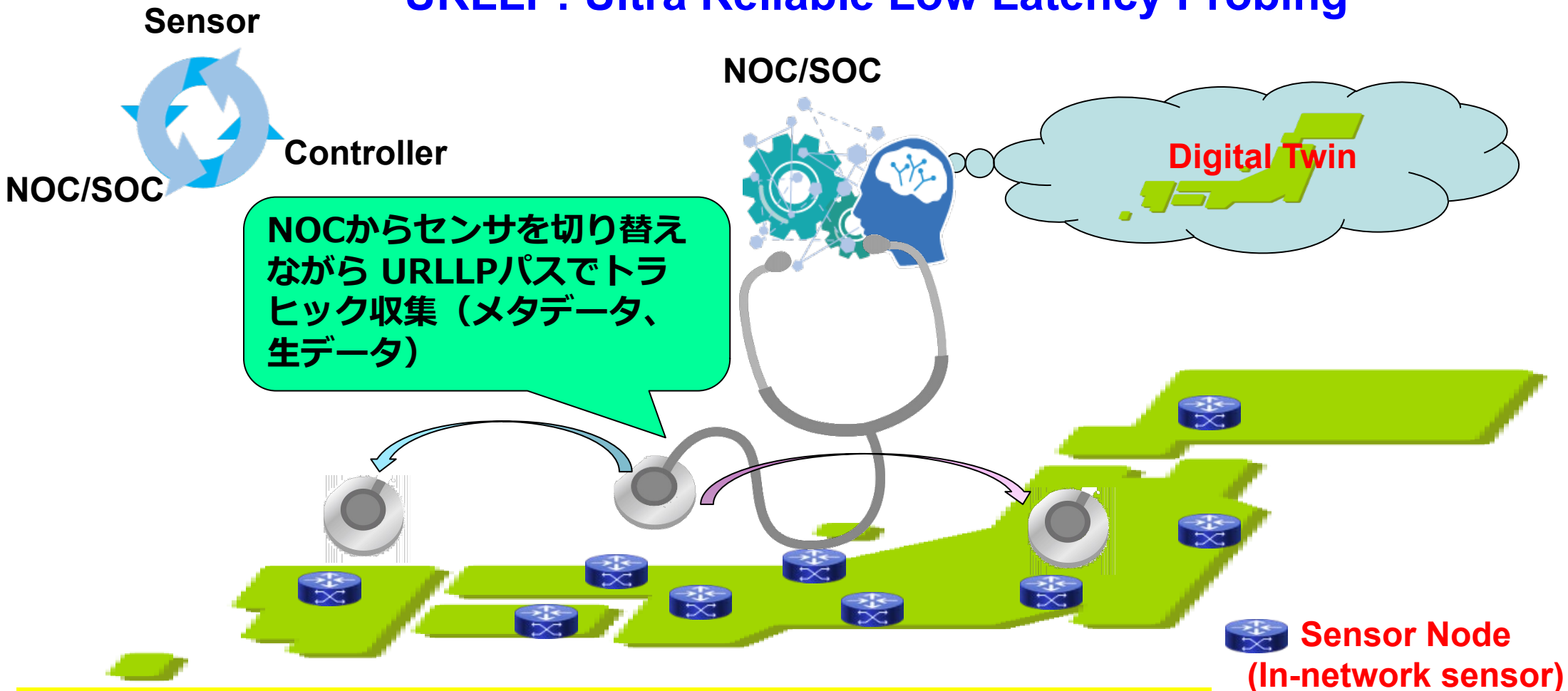
超低遅延ジッタ
パケットパス転送網
を作りたい

REINS network: Reconfigurable In-Network Security Sensor network



超低遅延ジッタ packets を使った ダイナミックセキュアネットワーク

URLLP: Ultra Reliable Low Latency Probing



広域URLLPパス = 光パス + 低遅延ジッタ packets 転送 (P4で作りたい)

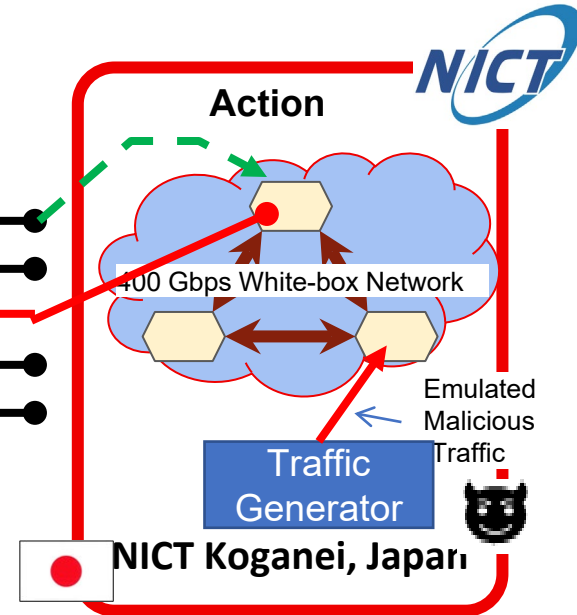
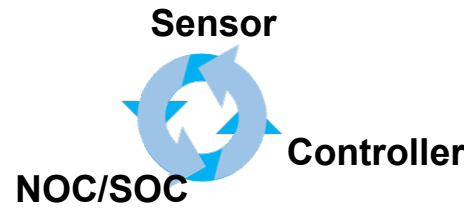
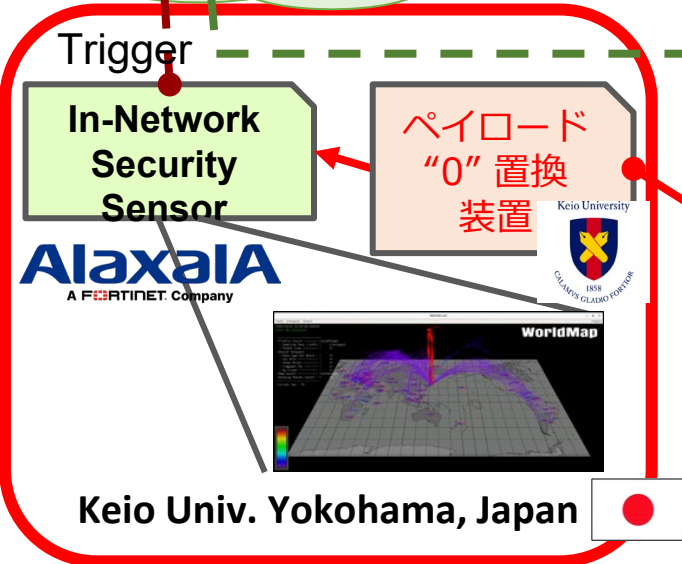
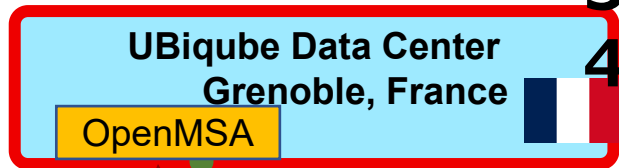


JGNを使った REINSコンセプト実証(1)

国際会議iPOP2022 (2022/6)

1. NICT小金井のTraffic Generator から模擬攻撃を慶應へ送出
2. センサが検知して、OpenMSAへTrigger送信
3. OpenMSAから小金井の送信を停止させる
4. 止まったら、しばらくして開ける → 1に戻る

UBiqube





岡本聡、村上正樹、植松芳彦、山中直明、“ダイナミックセキュアネットワークのためのパケットペイロード置換フィルタ装置の評価実験、” 2022電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-12-5、2022年9月

慶應大学内の実トラヒックへ適用中

項目	仕様
入出力IF	10 GE×4 (SFP+) 片方向回線4本を処理可能
FCS	再計算
L2/L3/L4 length	保持、チェックサム再計算
L2 MAC addr.	上位24 bit 匿名化可能
L3 IP addr. L4 port	保持
L3/L4 payload	arp/icmp/ip/gre, udp/tcp/sctp等を対象として payloadデータ“0”置換
L2 VLAN/MPLS	再帰的にL3/L4を探索して処理
L2 非VLAN/MPLS	L2 payloadデータ“0”置換



← 19インチラックマウント →

- 高さ 2U
- 消費電力 16 W

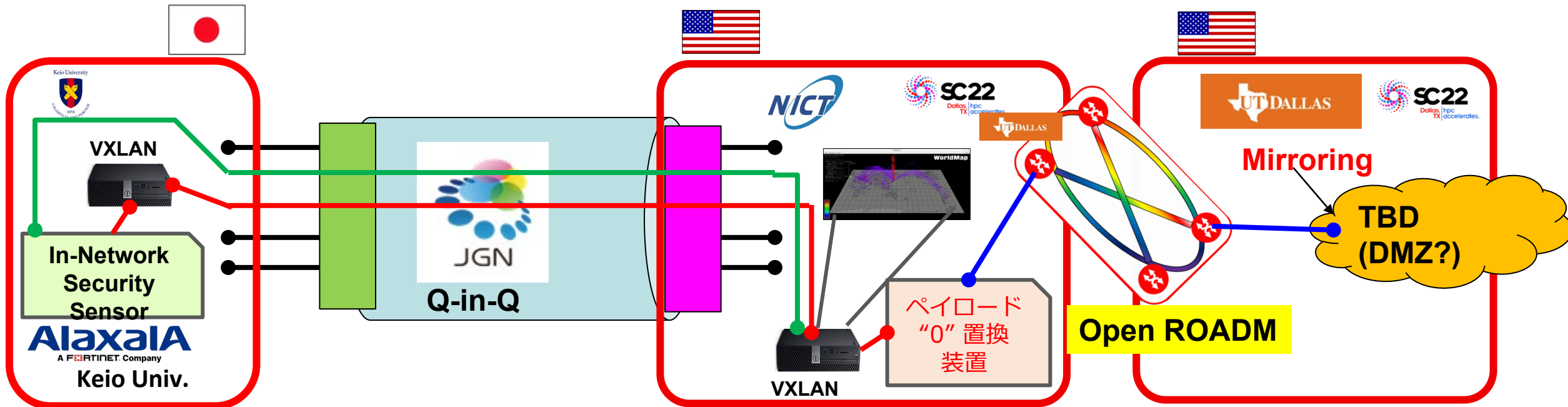
この実験での気付き

- JGNは、Traffic Generator からのトラフィックを転送してくれない
 - **Mirroring** したトラフィックも同じ
- 教科書の記述 ~ “FDBに登録の無い宛先のフレームは、入力以外の全ポートにブロードキャストする”
- 最近の(高級な)スイッチ “Preventing Unknown Unicast Forwarding”, “Blocking Unknown Unicast Flooding”
 - **学習されない (=応答の無い) Unknown な宛先はすぐに転送しなくなる**
- iPOP2022での対策
 - “JGNを使ったL2遅延線の構築” で使った gretap のトンネルに Traffic Generator からのフレームを収容し、JGN内は Known Unicast とする

JGNを使った REINSコンセプト実証(2)

国際会議SC22 (2022/11)

- 再構成可能な光パスを使った、URLLPパスのコンセプトを日米に跨って実証
- Q-in-Qされた VLAN を SC22の会場まで延伸、Q-in-Qをほどいて使う
 - 国際NOCの機材手配に感謝
- PCで10 Gbps転送できるVXLANトンネルを構築



山口暉、村上正樹、那須豊、栗本崇、岡本聡、山中直明、“ μ sオーダー でジッタを保证する キュー読み出し制御手法”
電子情報通信学会フォトニックネットワーク研究会、PN2022-20、2022年8月

- P4: Programming Protocol-independent Packet Processors
- 低遅延 & 低ジッタ ~ 優先度“最高”で転送、キューで待たせない
 - △ 同期型/TDM型：全てのスイッチで同じタイミングでゲートの開閉
 - ○ 非同期型：キューの制御を頑張るが、同じ“最高”が同着したらどうしよう
 - パケットに、何回待った・あと何ホップ みたいな情報持たせて頑張ろう
 - ユーザの出すパケットに、こんな情報付加できないからP4でいじってみよう
- 現在、Click Modular Router で付加情報に基づいたキュー制御を実装
 - ヘッダうまくいじれなくて、網入口でペイロードに付加情報を追記
 - P4勉強中
 - 研究室内にP4開発環境作成中（ソフトウェアスイッチ、ハードウェアスイッチ）
 - うまくいじれるようになったら、総合テストベットのP4実験環境で動かしたい

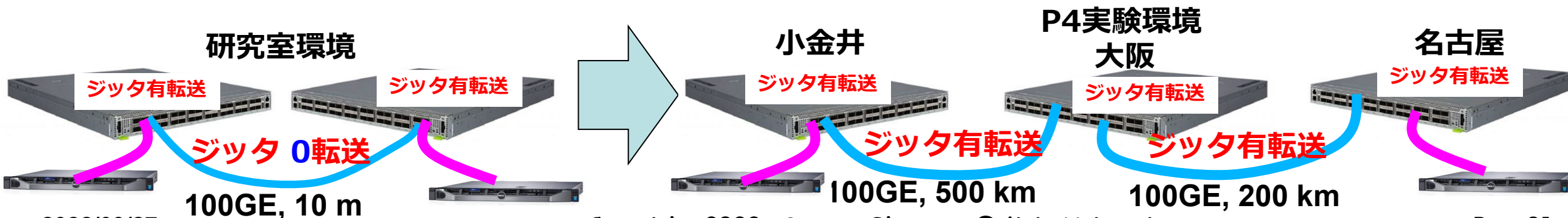
研究室内P4開発環境とP4実験環境への期待

研究室内P4開発環境

- ソフトウェアP4スイッチ: サーバ10台 (10GE)に BMv2
- ハードウェアP4スイッチ: WEDGE100BF-32QS (100GE) 2台をファイバ直結

総合テストベッドP4実験環境

- ハードウェアスイッチ WEDGE100BF-32X が、小金井、大手町、大阪、名古屋と広域に存在
- 対地間は、Whitebox SWとJGNで接続
 - 理想：広域に存在するWEDGE間を100 Gbps波長パスで直結
 - 期待：Whitebox SW間を400 Gbpsで高速接続し、10/25/100 Gbps波長直結したのと同程度の転送ジッタでパケット転送





- 5本のVLANを使った、JGN L2サービス利用実験を紹介
- 複数VLAN間のルーティングによる折り返し遅延線
 - 1本のL2に見せるために、gretap / vxlan を利用
 - VLAN over L2TPv3 でインターネット越でも適用可能
- Mirroring や Traffic Generator のトラフィック転送においても、gretap / vxlan は有効
 - PC上で 10 Gbpsはいけたが 100 Gbpsは？
 - SC22 では、国際間のvxlanトンネルでの L2 延伸にチャレンジ
- P4実験環境をこれから利用していく