



国立大学法人

九州工業大学



NICT 受託研究 Beyond 5G 国際共同研究型プログラム

低遅延・自律性を実現する フローティングサイバーフィジカルシステム と広域連携の研究開発

鶴 正人 (九州工業大学)

2023年1月20日

(本研究の一部は国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究 (05501) による成果を含む)



研究開発全体の要旨



◆ 全体目標

- 低遅延と自律性のためのフローティングサイバーフィジカルシステム (F-CPS / Floating Cyber Physical System)
 - ユーザに最も近い通信・計算能力を有するデバイスエッジを活用
 - クラウドネイティブ技術をデバイスエッジを含む様々なレベルで活用
 - F-CPS の広域連携を実現するため、階層的なエッジネットワークとプログラマブルネットワークを構築

◆ 研究開発技術 (九州工業大学 + KDDI 総合研究所)

- MEC・デバイスエッジ連携によるフローティングコンポーネント技術
- F-CPS基盤に向けたBeyondコンテナ実行基盤技術

◆ 実証実験

- ユースケースに基づいた国内での実証実験 (基礎評価)
- 日米テストベッドを活用した広域連携実証実験



◆ Floating Content

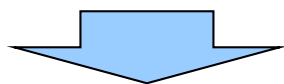
- 車両、路側機、スマホなどのデバイス間の無線アドホック通信によって、特定の狭い地域の一時的な**情報を自律的に共有**。Gossiping通信の一種。DTNやD2Dの枠組み。
 - J.Ott, E.Hyytia, P.Lassila, et al., Floating content: Information sharing in urban areas, Proc. IEEE Percom 2011.
 - R.Hagihara, Y.Yamasaki, H.Ohsaki, On delivery control for floating contents sharing with epidemic broadcasting, Proc. IEEE CCNC 2017.

◆ MEC (Multi-access Edge Computing)

- (データだけでなく)**処理をユーザに近い場所に分散配置し、効率・遅延性能・安全性を向上**。IoT/CPS実現のための4G/5Gの枠組み。

◆ VCC (Vehicular Cloud Computing)

- 車がデータストレージと計算機能を持ってサービスを提供。ITS系。



◆ F-CPS (Floating Cyber-Physical System)



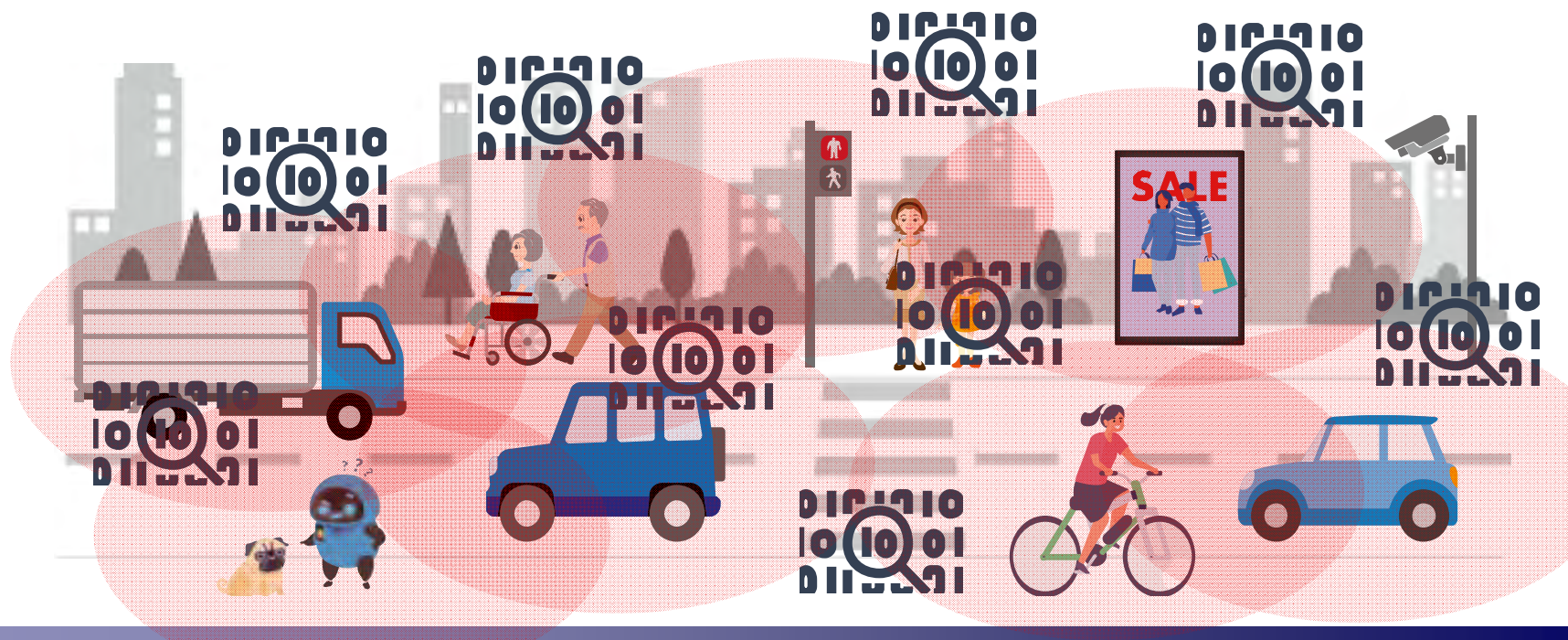
Floating Cyber-Physical System



- ◆ 地域・時間に依存する情報とそれら进行处理する機能が特定の地域に滞留し, IoT/CPSの**低遅延・自律性・安全性**を実現

時空間データ収集・処理を実現しデータの地産地消を促進

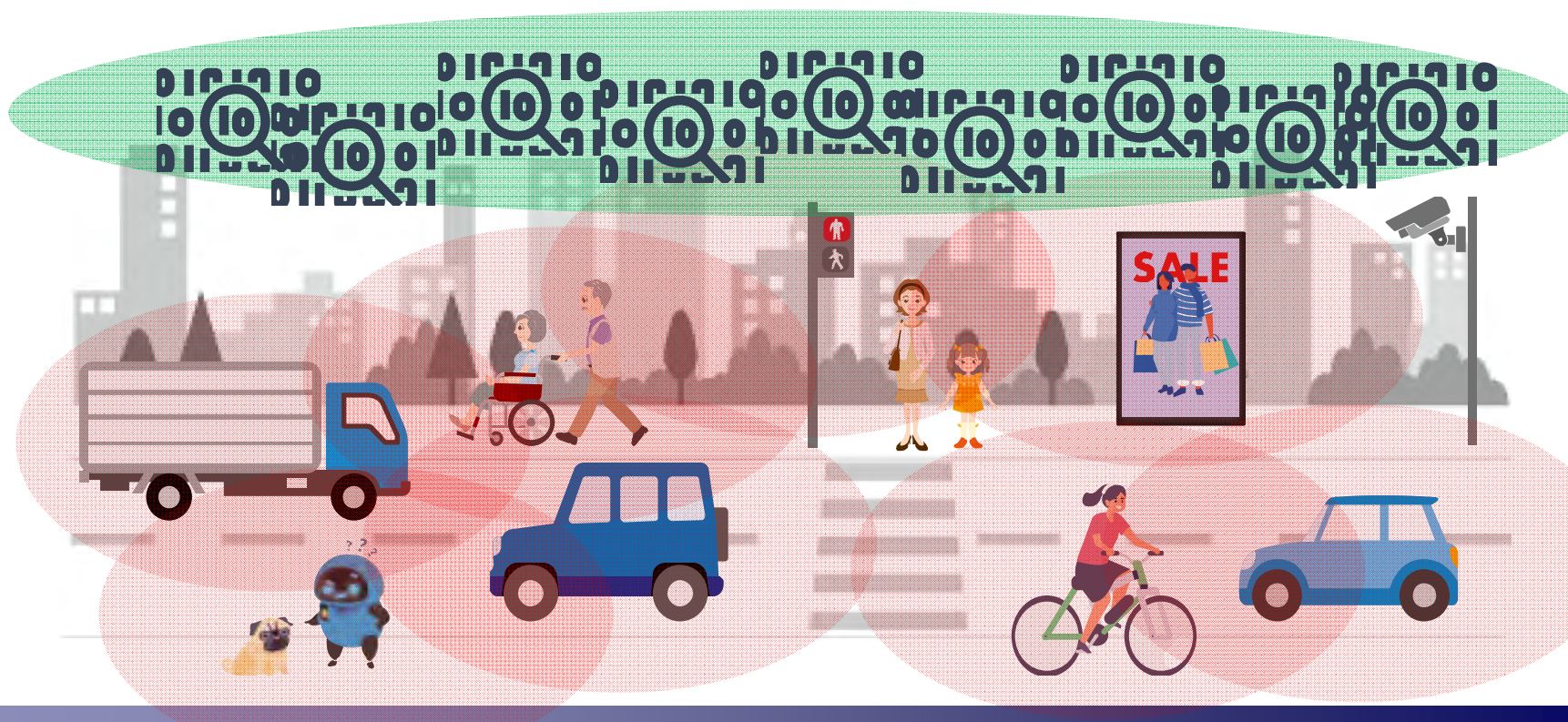
1. 物理空間の様々なセンサが様々なデータを生成





Floating Cyber-Physical System

2. 地域内のサービスやユーザ間でその地域・その時間に依存する情報(時空間情報)を共有するために、様々なデバイスの連携でデータを滞留

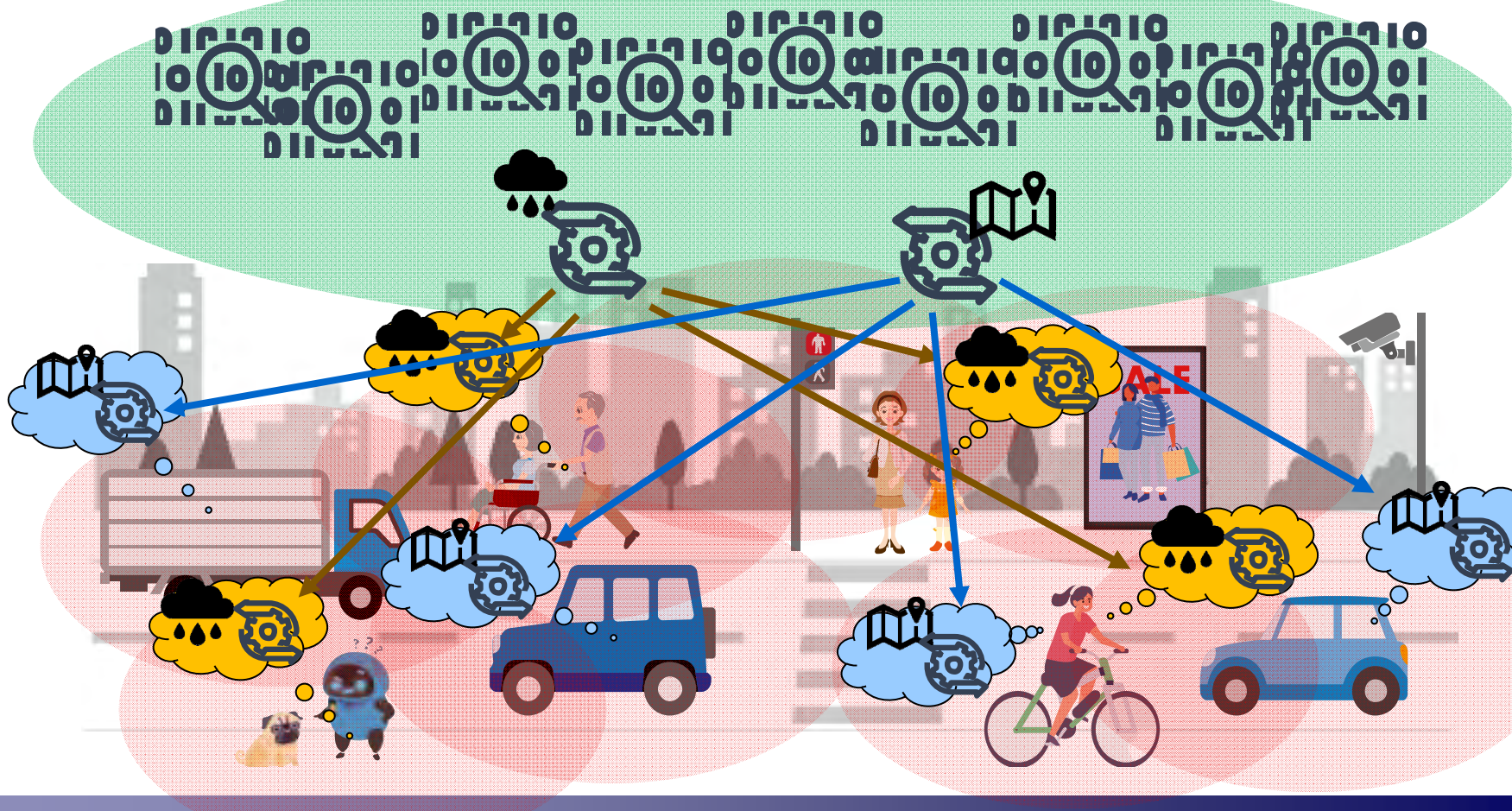




Floating Cyber-Physical System



3. 時空間情報を処理するための地域・時間依存のマイクロ処理・In-network処理機能も移動・滞留させ、地域・時間に適したサービスを効率的・安全に提供





F-CPSアーキテクチャ

サイバー空間では
地域ごとにF-CSPが生成され
必要に応じて連携する

フローティングサイバーフィジカルシステム(F-CPS)



仮想 データや処理の地域性や時間を考慮することで、効率良く、必要な人に必要な機能を提供可能な仮想空間を提供

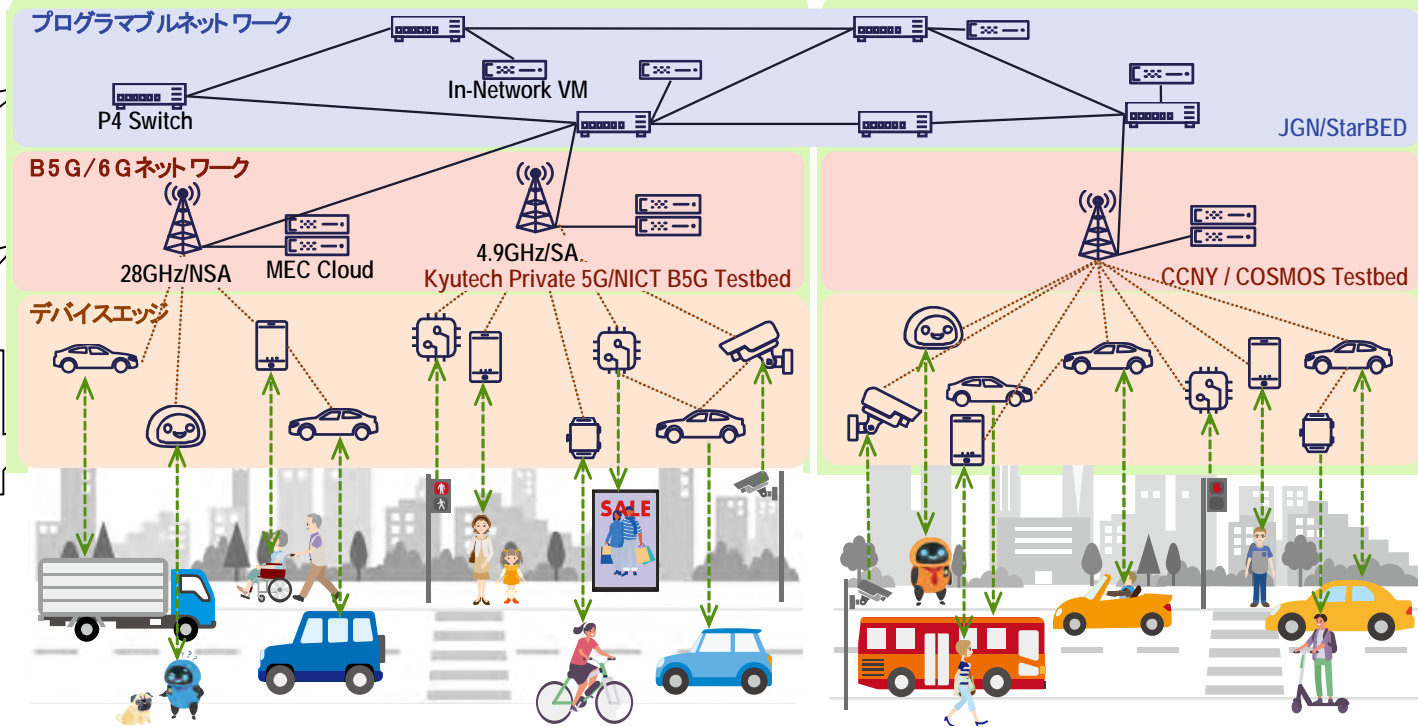
リアル

多種多様な計算機リソースを使い、自律性を持ったF-CPSを構築

複数のF-CPSを跨いだ
広域なデータ流通を実現

デバイスエッジ同士を
B5G/6Gネットワークや
V2Xネットワーク等で接続

デバイスエッジ: 地域内に
存在するデバイスを計算・
ストレージリソースとして活用





研究開発項目・体制



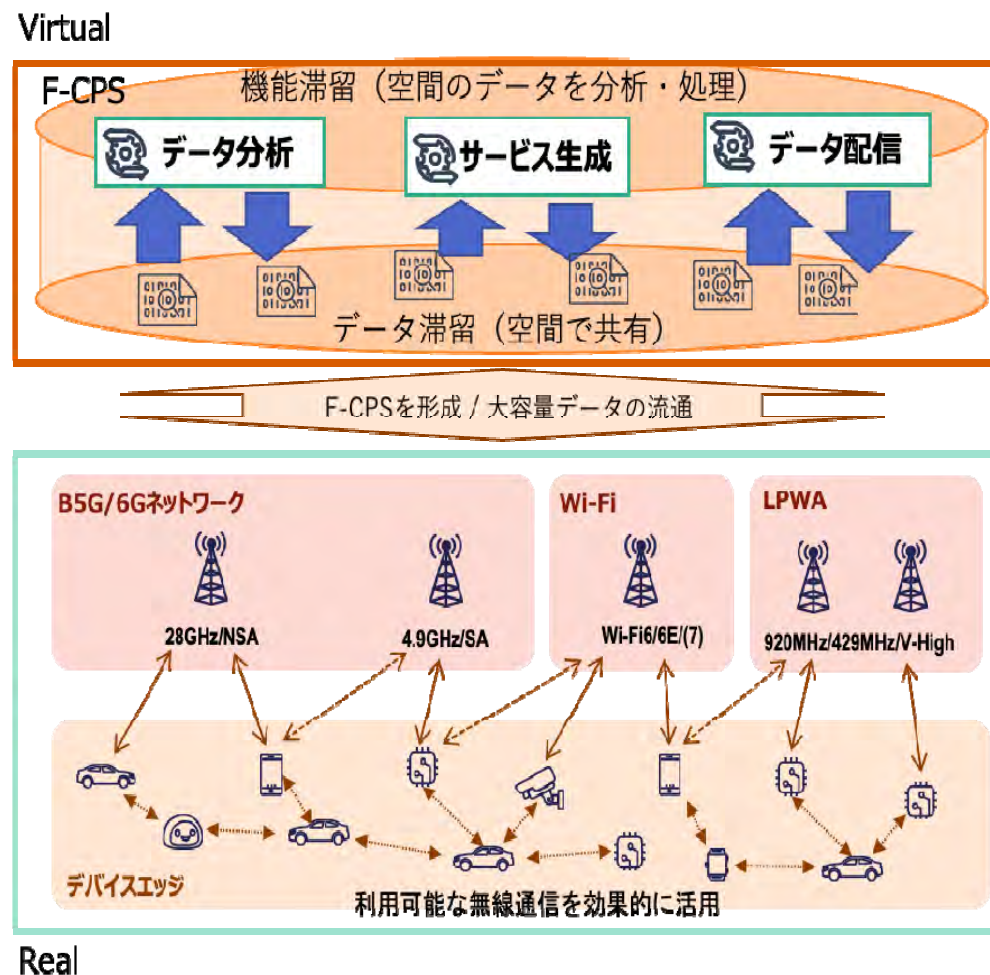
1. MEC・デバイスエッジ連携によるフローティングコンポーネント技術
 - a. 車両・デバイスエッジを用いたフローティングコンポーネント技術(九州工業大学)
 - b. 効率的かつ高信頼なF-CPS運用を実現するMEC連携技術(九州工業大学、KDDI総合研究所)
 - c. 広域のF-CPS間連携技術(九州工業大学)
2. フローティングサイバーフィジカルシステム基盤に向けたBeyondコンテナ実行基盤技術
 - a. 軽量性と高可搬性を備えたコンテナ技術(KDDI総合研究所)
 - b. Beyondコンテナのためのセキュリティ監視技術(九州工業大学)
 - c. 滞留機能の分散処理に対応するミドルウェア技術(KDDI総合研究所)
 - d. 機能滞留に対応する機能スケジューリング基盤技術(KDDI総合研究所)
3. フローティングサイバーフィジカルシステム統合実証実験
 - a. F-CPS基盤の開発とユースケースに基づいた実証実験(KDDI総合研究所、九州工業大学)
 - b. ポリシーの異なるF-CPS間の広域連携実証実験(九州工業大学、KDDI総合研究所)



研究開発項目1

◆ MEC・デバイスエッジ連携

- 車両・デバイスエッジ上で時空間データや機能の滞留を実現するコンポーネント技術
- 高効率・高信頼なF-CPS運用を実現するMEC・デバイスエッジ連携技術

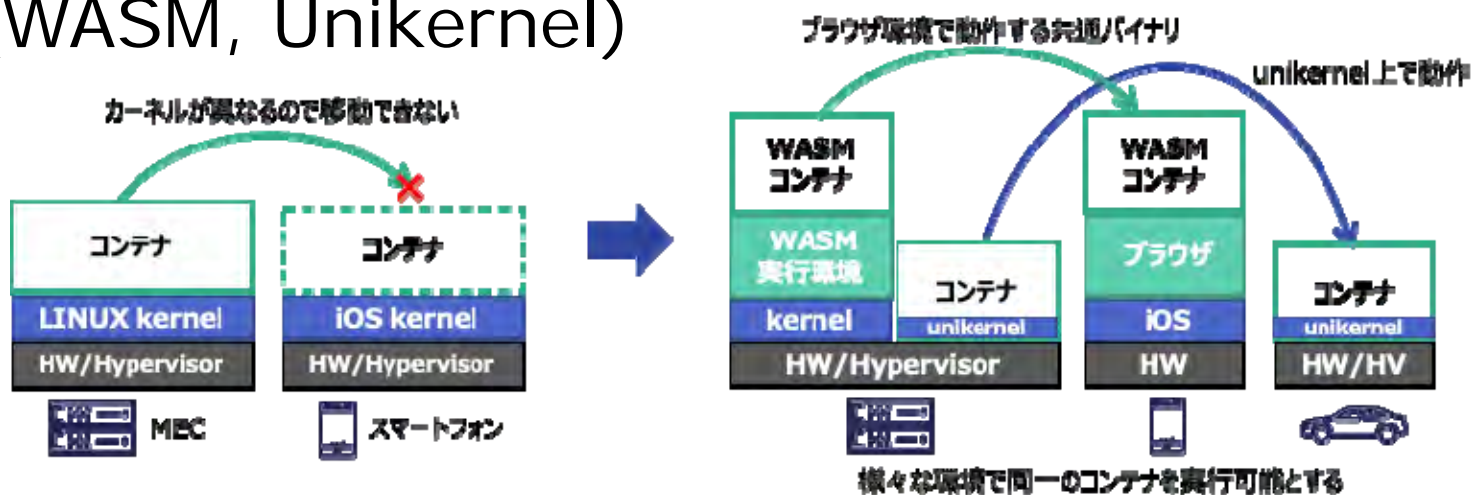




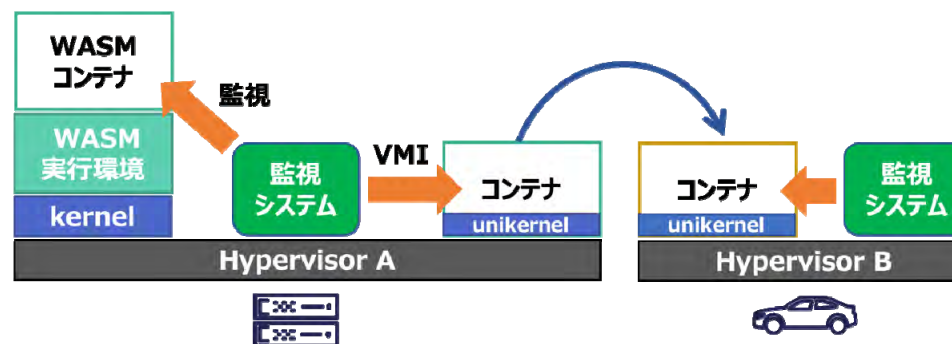
研究開発項目2

◆ Beyondコンテナ実行基盤

- 様々なデバイス上で機能の分散協調動作を可能とする、高可搬・軽量・安全なBeyondコンテナ実行基盤技術 (WASM, Unikernel)



セキュリティ監視→

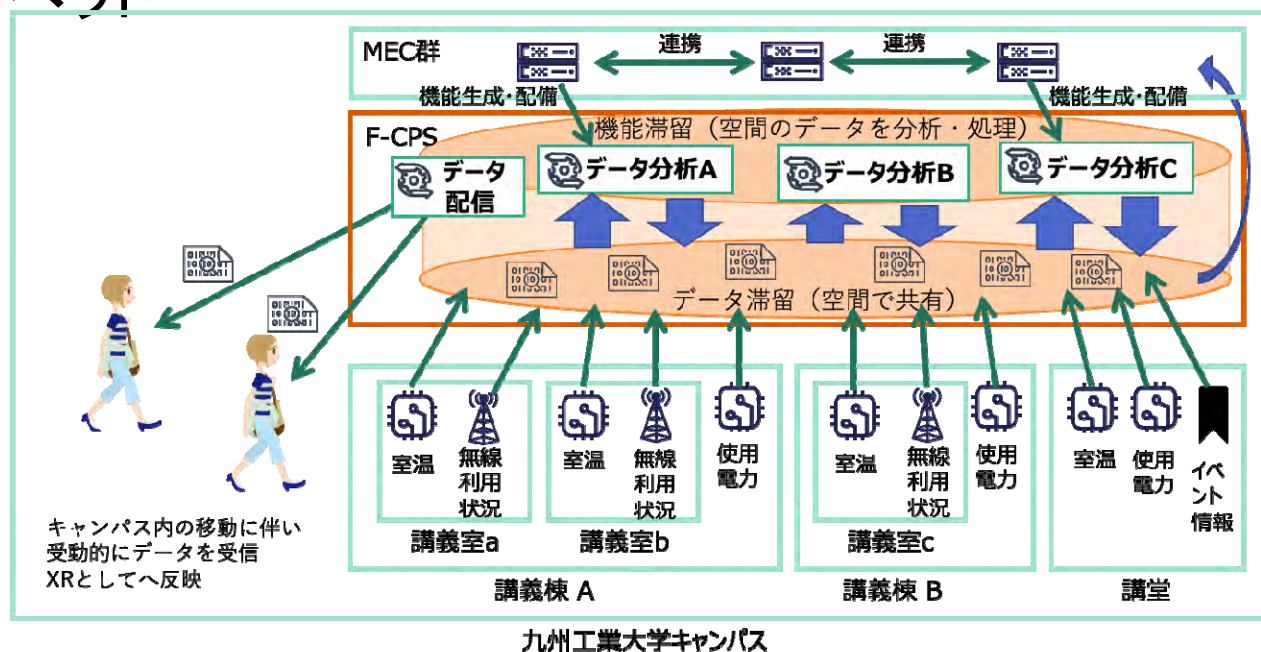




研究開発項目3

◆ F-CPS統合実証実験

- F-CPS を用いるユースケースに基づく実証実験
 - 九工大に設置されたNICT Beyond 5Gモバイル共用テストベッド



- 日米横断テストベッドを活用する広域連携実証実験

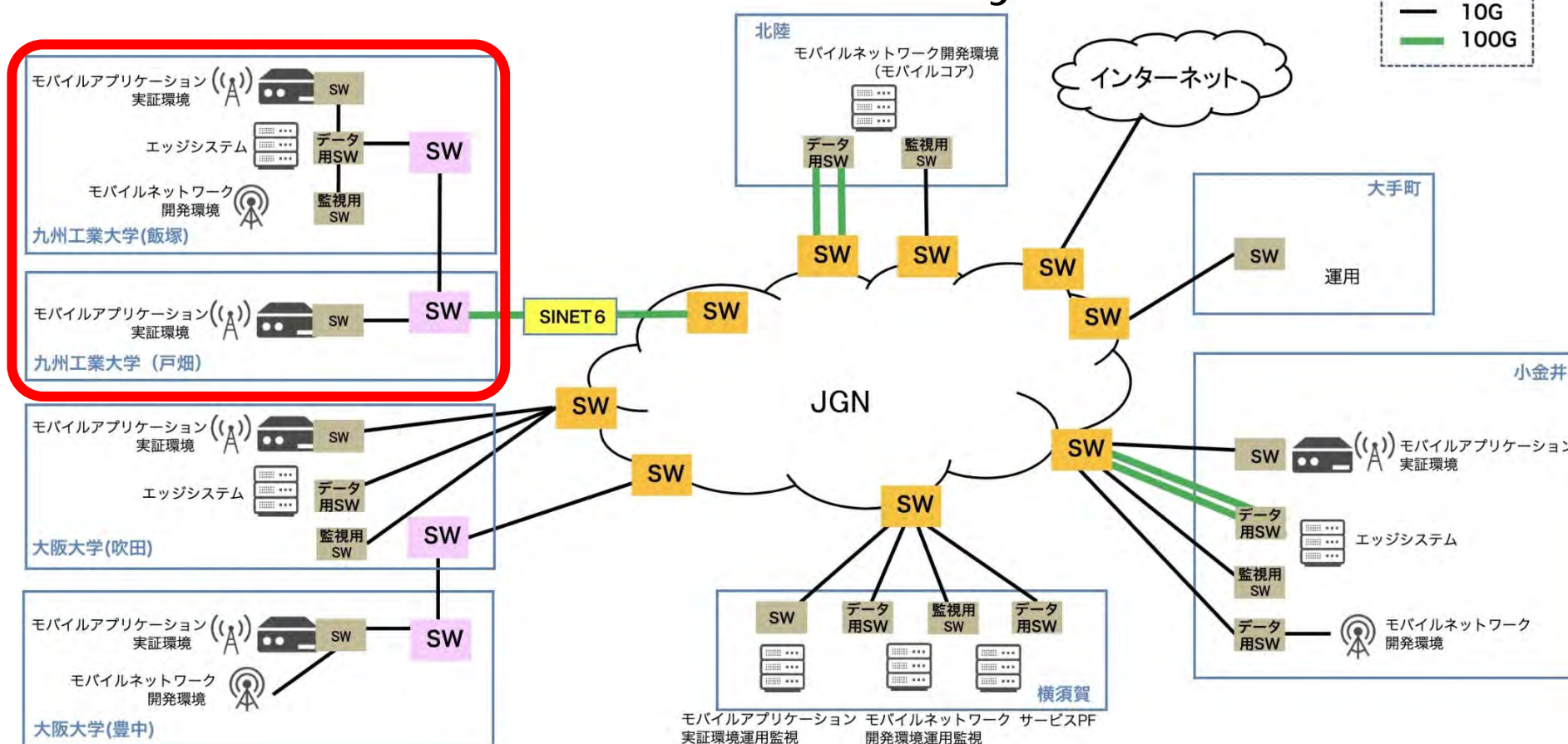


NICT B5Gモバイルテストベッド



◆ 大阪大学, 九州工業大学, NICT小金井の3サイト

- 研究開発成果を取り込み, L5G→Beyond 5G へ循環進化

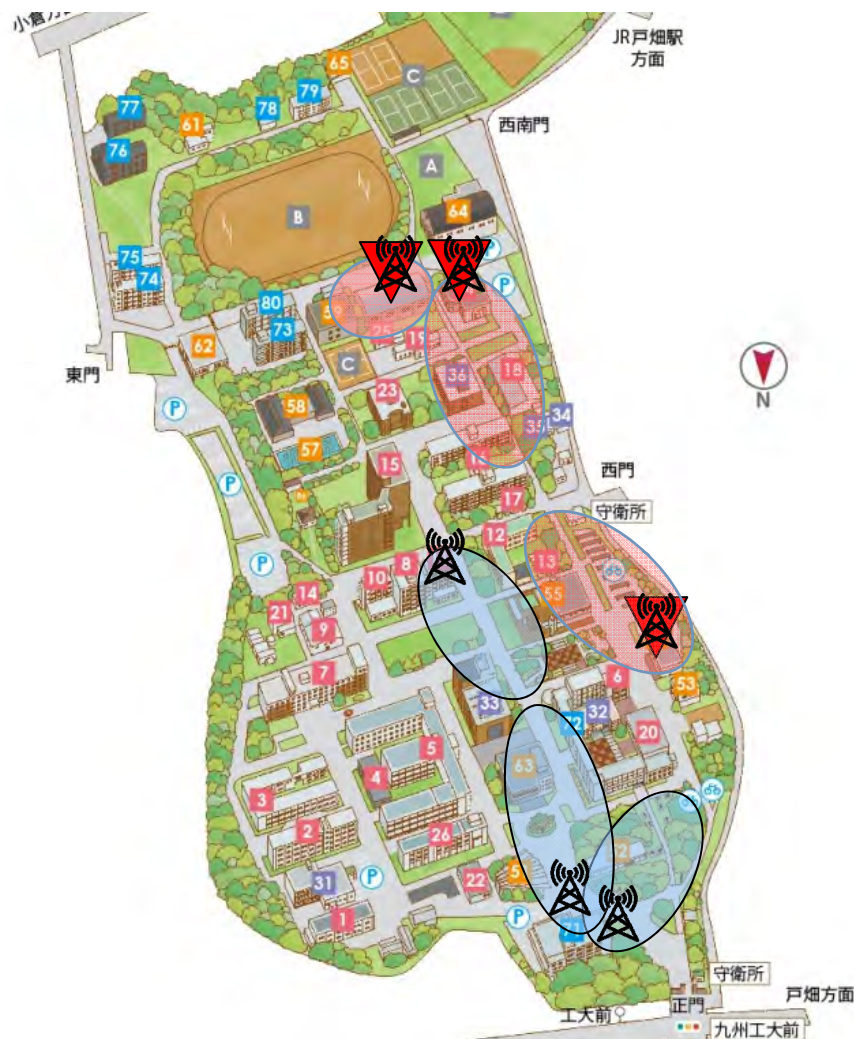


※詳細は <https://testbed.nict.go.jp/b5gm/>

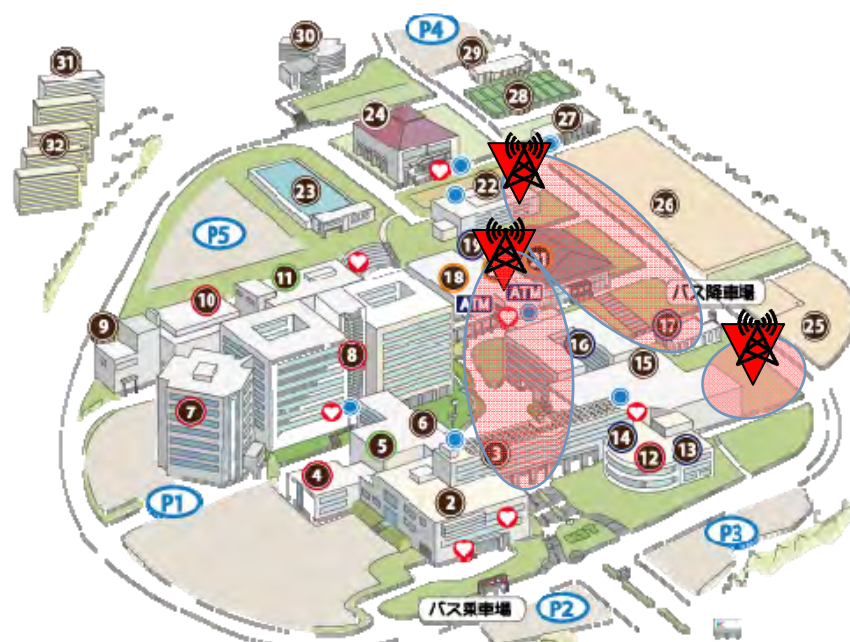


各キャンパスとモバイルテストベッド

【戸畑キャンパス】



【飯塚キャンパス】



九工大 & QTnet
ローカル5Gエリア
・ 28GHz帯
・ NSA



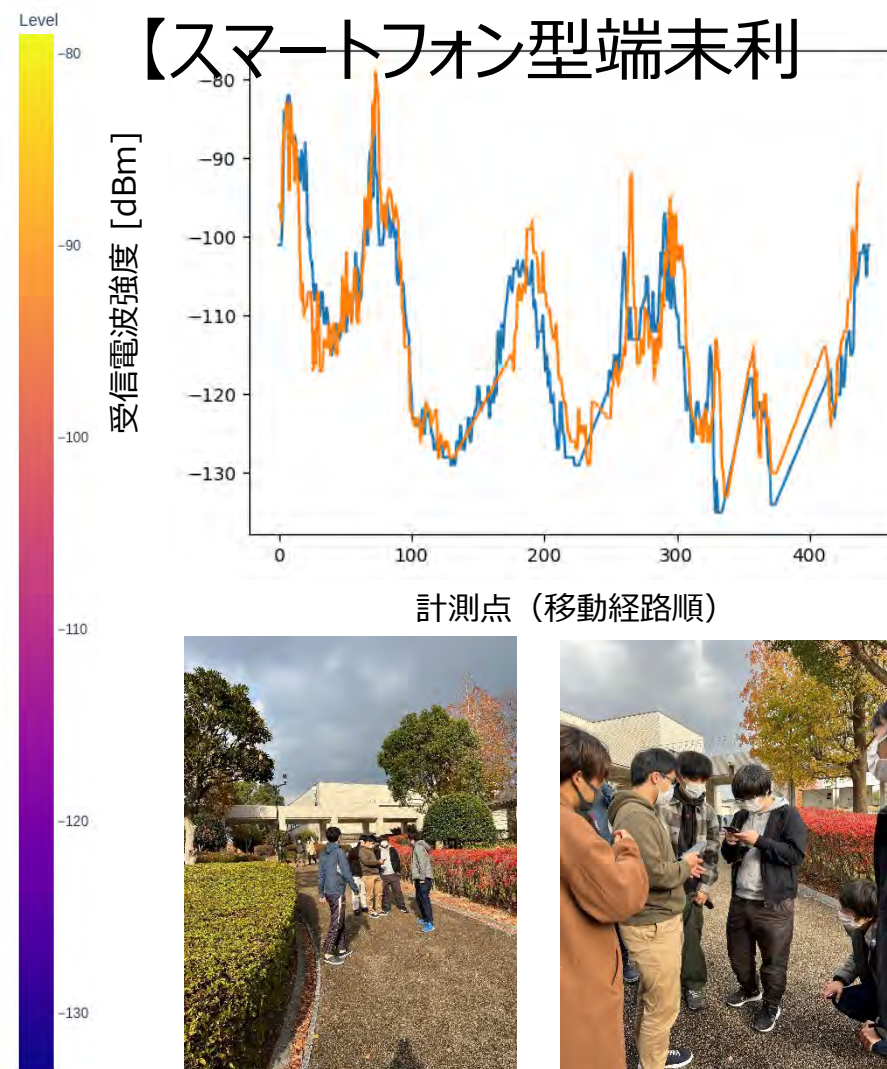
NICT
B5Gエリア
・ Sub6帯
・ SA



事前実験例

◆ 移動時の受信信号強度計測 (@ 戸畑/飯塚キャンパス)

【スマートフォン型端末利用】





広域連携実験

◆ 日米横断テストベッドを活用する広域連携実験

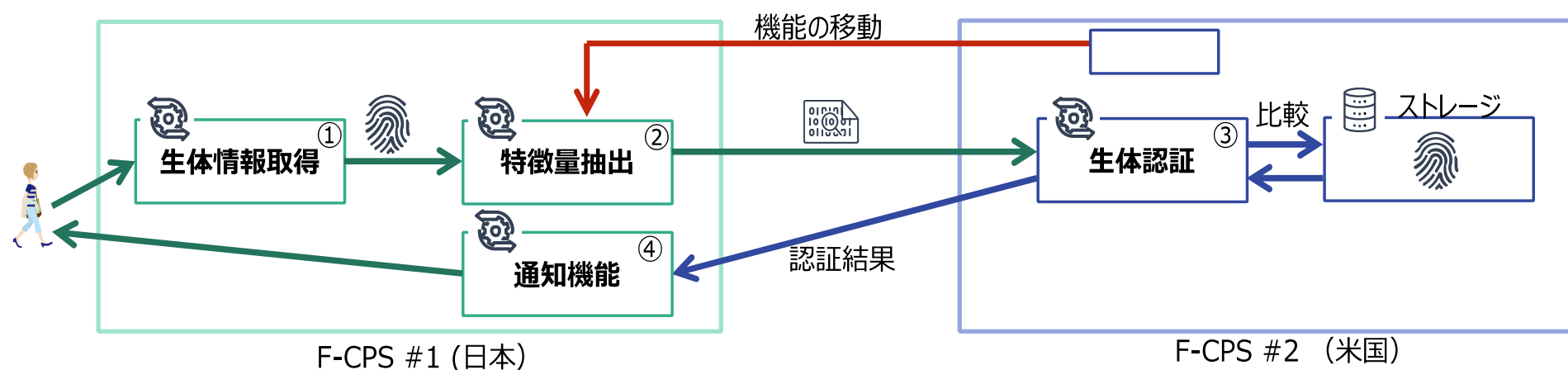
■ 九工大、StarBED、CCNY¹⁾、COSMOS²⁾

1. The City College of The City University of New York
2. Cloud enhanced Open Software-defined Mobile wireless testbed for city-Scale deployment

■ SD-WAN: OpenFlow(RISE)からP4テストベッドへ

■ ポリシーの異なるF-CPS間の広域連携実証実験

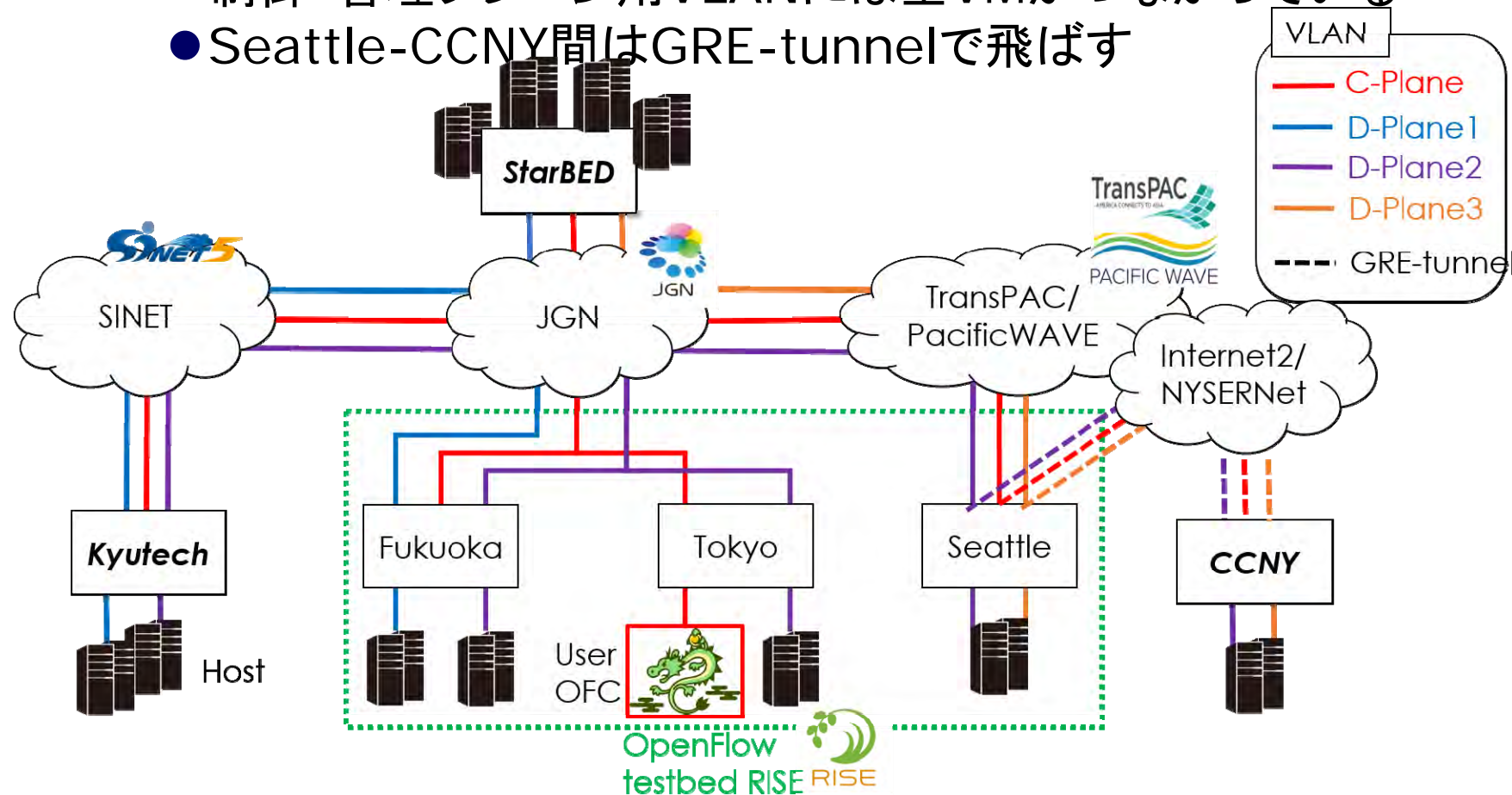
- F-CPS間で共有・移動するのはデータだけでなく処理も





日米横断テストベッド

- ◆ 前プロジェクト(2018-2021)で構築・利用
 - RISE/JGNを利用したOpenFlowネットワーク
 - 制御・管理プレーン用VLANには全VMがつながっている
 - Seattle-CCNY間はGRE-tunnelで飛ばす





COSMOS



- ◆ 実証実験プラットフォーム (Upper Manhattan)
 - 先端無線通信、スマートシティ、MEC、光通信技術等

<https://cosmos-lab.org/>



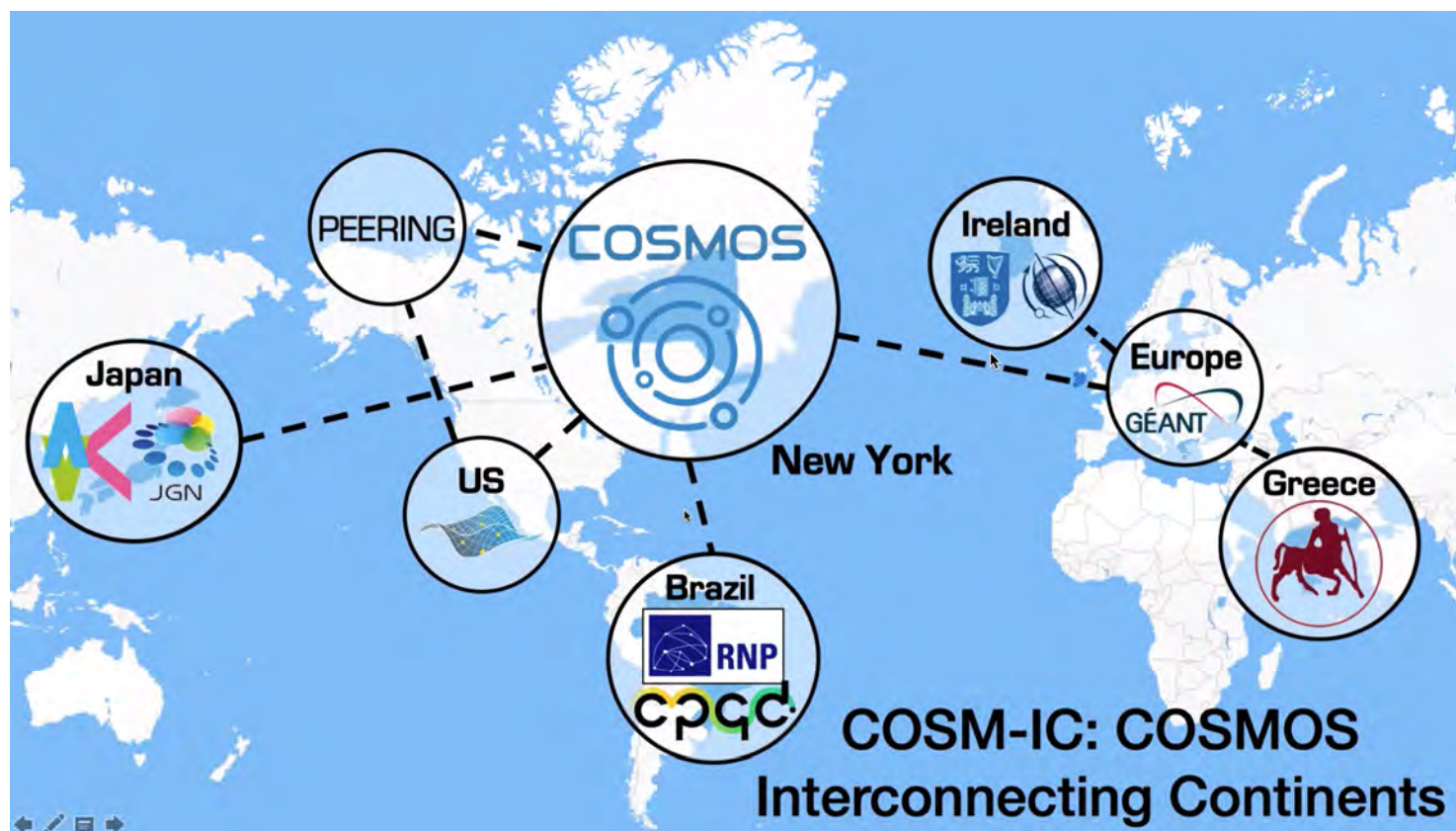
COSM-IC



<https://cosmos-lab.org/cosmos-interconnecting-continents-cosm-ic/>

◆ 九工大はCOSM-ICプロジェクトの日本側連携組織

- SeattleのRISE/JGNノードとRutgers大のCOSMOSノード間を、PacificWaveとInternet2上のVLAN変換で、接続済。
- 九工大--Rutgers大間: 182ms RTT, 900超Mbps スループット

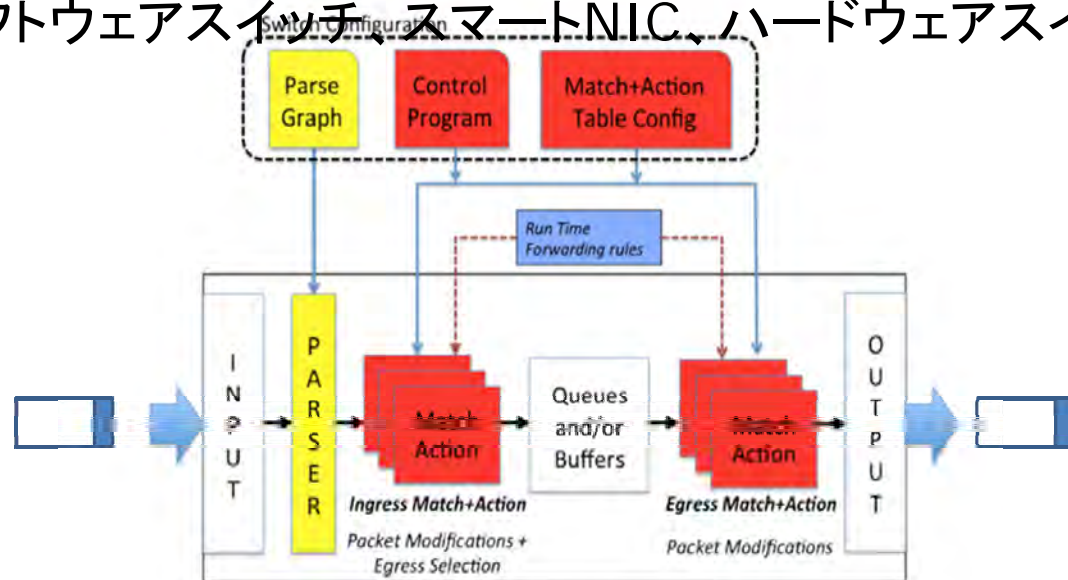




P4 (Programming Protocol-independent Packet Processors)

◆ プログラム可能データプレーンを実現する枠組み

- P4言語; PISA (Protocol Independent Switch Architecture)
- ソフトウェアスイッチ、スマートNIC、ハードウェアスイッチ(P4ASIC)



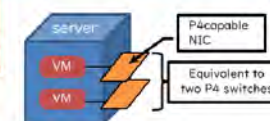
◆ RISE (OpenFlow) から P4 テストベッドへ

Time division multiple tenants

- Edgecore Wedge 100BF-32X
- Switch LSI: Barefoot Tofino
- CPU: Pentium D-1517
- Switching 3.2Tbps
- Packet buffer 22MB



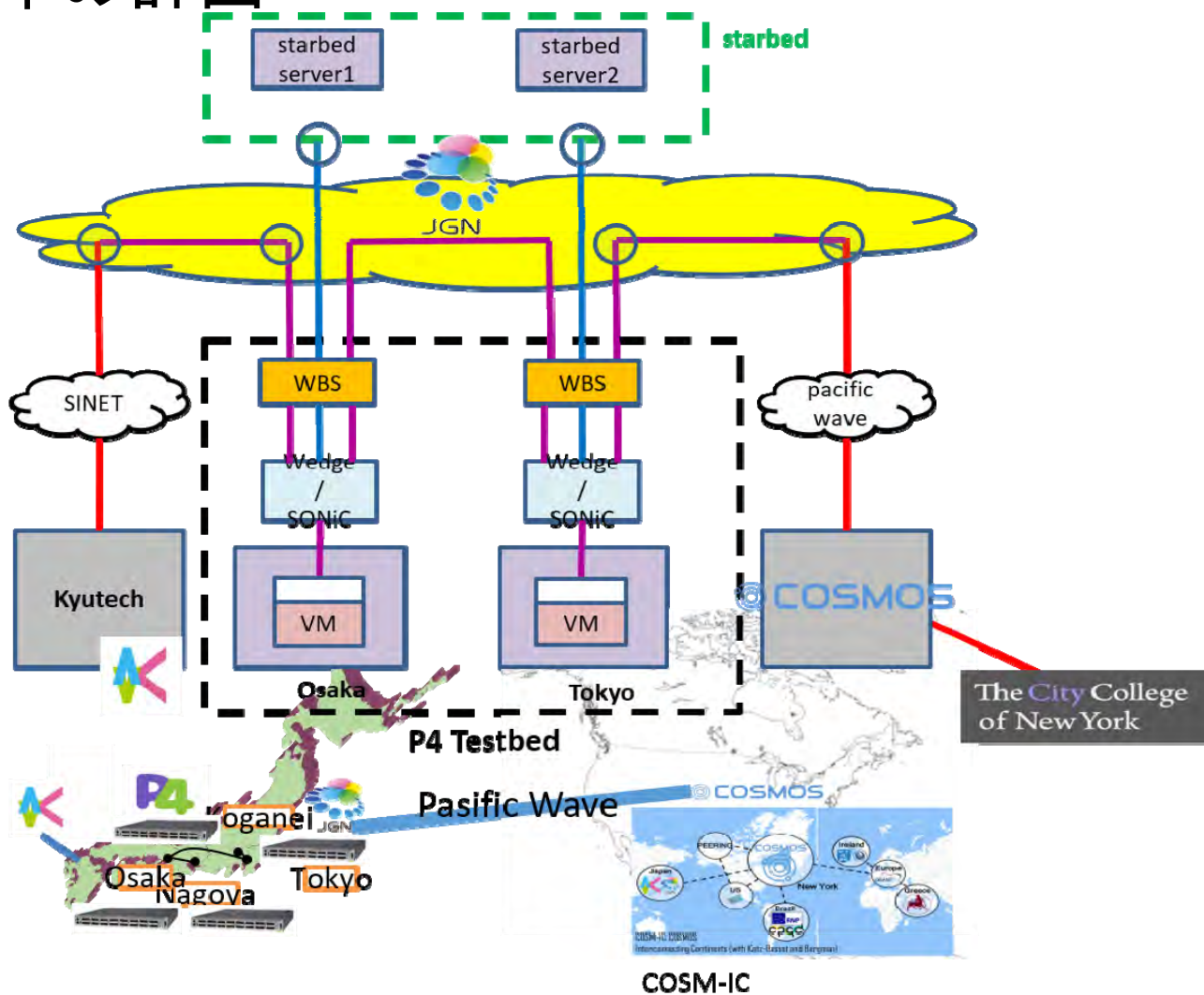
Space division multiple tenants





RISEからP4テストベッドへ

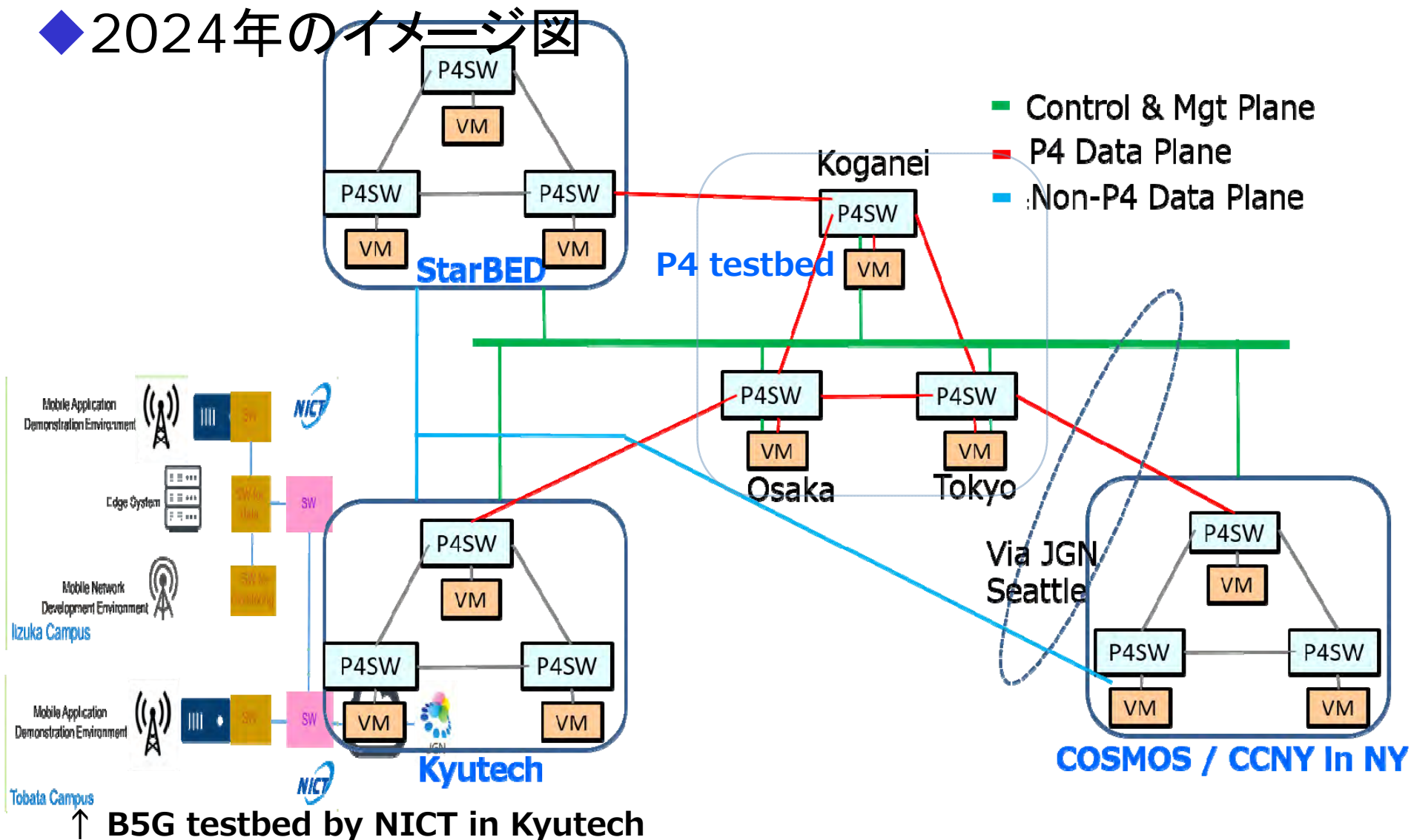
◆ 2023年の計画





RISEからP4テストベッドへ(続)

◆ 2024年のイメージ図





まとめと課題

- ◆ F-CPS (Floating Cyber-Physical Sys.)
 - Floating+MEC → データと処理のローカル化・一時化 (低遅延・自律・安全)
 - 無線アドホック通信技術、In-network処理技術、Beyondコンテナ実行基盤技術など
 - NICT B5Gテストベッドを用いた統合実証実験 → 循環進化
 - 多様なユースケース; ローカルの定義・範囲
 - 自律性と管理性・最適性のトレードオフ
- ◆ F-CPS間連携
 - F-CPS間でデータも処理も共有・移動
 - 日米テストベッド(九工大/CCNY/COSMOS) → 循環進化
 - OpenFlowからP4テストベッドへ
 - ローカルとグローバル2つの別テストベッドの接続・連携
 - 国際連携実験の各種ハードル(NW接続以外にも)