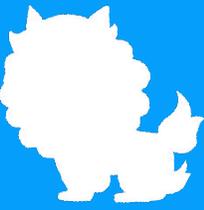




# オープンソースを活用した 5G ネットワークの構築

# Agenda

- 5Gを取り巻く状況
- 沖縄オープンラボラトリ5GPJの活動について
- オープンソースによるPoC検証環境と内容
- 実機RANを用いた検証構成とユースケース
- オープンソースベースの実機RAN検証



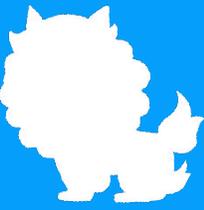
# 5Gを取り巻く状況

# 5Gを取り巻く現状

- パブリック5G
  - 各携帯キャリアは5Gサービスを大きく展開しており、設備投資も活発に行われている
  - MVNO事業者も5Gサービスを展開するなど、広がりを見せている
- ローカル5G
  - 各所で実証実験がスタート、様々な検証がスタートしている。



ただし、全体的にユースケース不足の声も聞かれ、幻滅期に入り始めている



# 沖縄オープンラボラトリ 5GPJの活動について

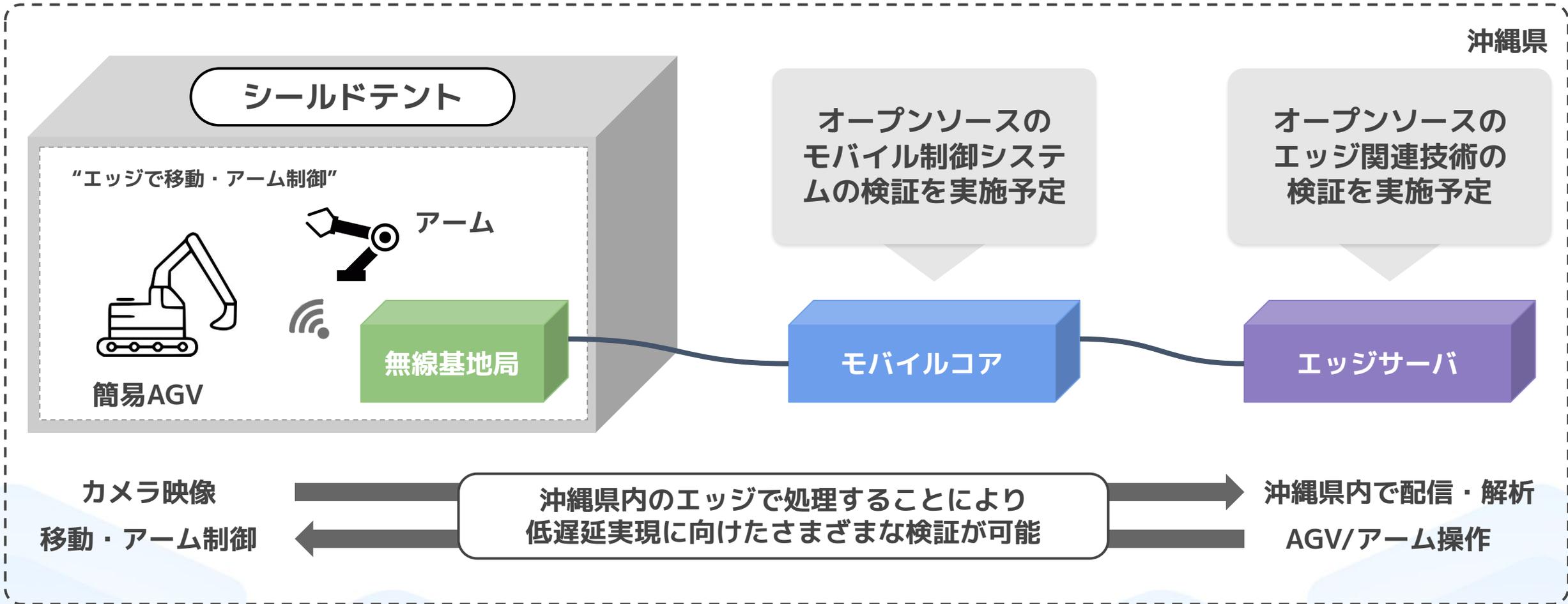
# 2021年度の取り組み方針

- 各ベンダーからSA構成の機器がリリースされ、各キャリアにて導入検討・検証が進んでいる状態
- 近年では様々な無線制御 (RAN) やモバイルコア (5GC) に関するOSSが様々なコミュニティベースで開発されている
  - RAN
    - OpenAirInterface, UERANSIM
  - 5GC
    - Free5GC, **Open5GS**, OpenAirInterfaceCN, Magma



昨年度行っていたモバイルコアのスライスの検証に加えて、モバイルインフラ・オペレーション・トラフィックの可視化など周辺技術についても調査・検証を実施

# 2021年度の5Gプロジェクト構想



# 2021年度の5Gプロジェクト実施内容

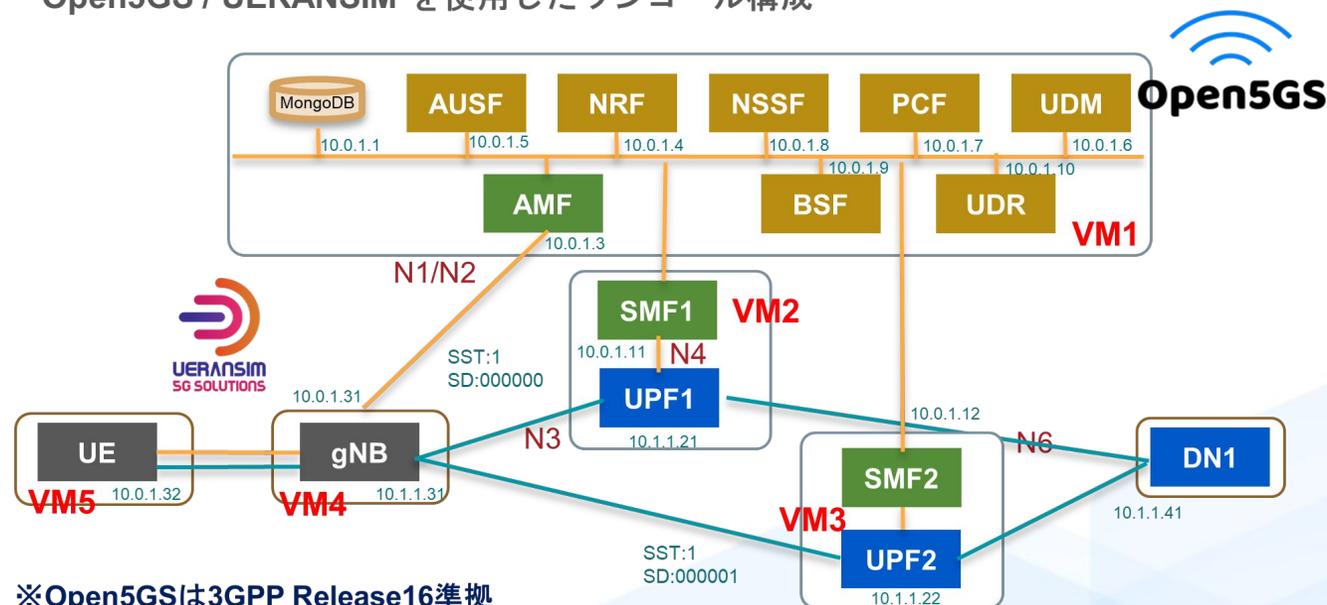
サブプロジェクト	実施概要
OSS RAN/5GC / トランスポート連携	OSS RAN/5GC に関する検証 (Free5GC, Open5GSなど) ※特にOpen5GSのスライスの実用性などを検証
ネットワークマネジメント (オペレーション) 検証	NF毎の起動・停止イベントや検知
ネットワークマネジメント (可視化/セキュリティ) 検証	性能監視とセキュリティの側面からトラフィック可視化
ユースケース	5Gを用いたPoC環境でのユースケース検討
実機RAN (実機RANのセットアップなど)	5G RAN 機器 (RU,CU,DU) を通して5G UEデバイスOSSを利用した 5GC(Free5GC,open5GS)との接続を確立する

# OSS 5GS (RAN/5GC) SubPJ

## 5GC環境構築

- 5GCにOpen5GSを使用。C-Plane/U-Plane Functionを分離、さらにSMF/UPFを動作させたNetwork Sliceを2環境構築
- UE/gNBにUERANSIMを使用して環境構築

Open5GS / UERANSIM を使用したワンコール構成



※Open5GSは3GPP Release16準拠

@OkinawaOpenLab

# OSS 5GS (RAN/5GC) SubPJ

## 検証内容

- WebUIにてSubscriberを登録し、UERANSIMよりワンコール実施
- UEから指定したNSSAIに基づき、Network Slicing動作を確認
- ワンコールの通信パケットキャプチャを取得し、5G-trace-visualizerにてコールフローを可視化

Open5GS WebUIにてSubscriberを登録

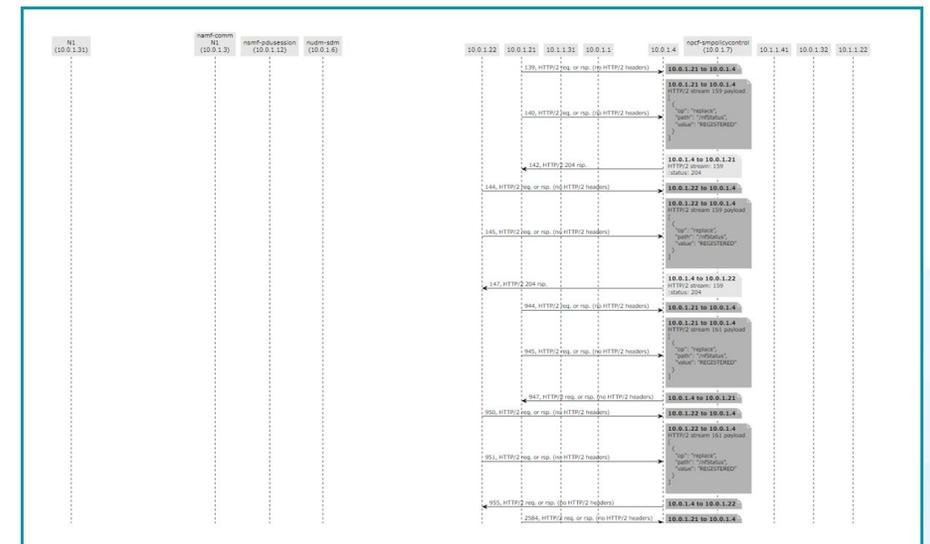
The screenshot shows the Open5GS WebUI interface. A modal window displays the configuration for a subscriber with ID 901700000000001. The configuration includes IMSI, MCC, MNC, and various network parameters. Two S-NSSAI entries are listed, both for the 'internet' DNN/APN with UE IPv4 and IPv6 addresses.

SST:1 SD:000000 (Default S-NSSAI)						
DNN/APN	Type	SQV/QCI	ARP	Capability	Vulnerability	MBR DL/UL
internet	IPv4	9	8	Disabled	Disabled	1 Gbps / 1 Gbps
		UE IPv4 10.45.0.2		UE IPv6		GBR DL/UL

SST:1 SD:000001 (Default S-NSSAI)						
DNN/APN	Type	SQV/QCI	ARP	Capability	Vulnerability	MBR DL/UL
internet	IPv4	9	8	Disabled	Disabled	1 Gbps / 1 Gbps
		UE IPv4 10.45.0.3		UE IPv6		GBR DL/UL

5G-trace-visualizerにてCallflowを可視化

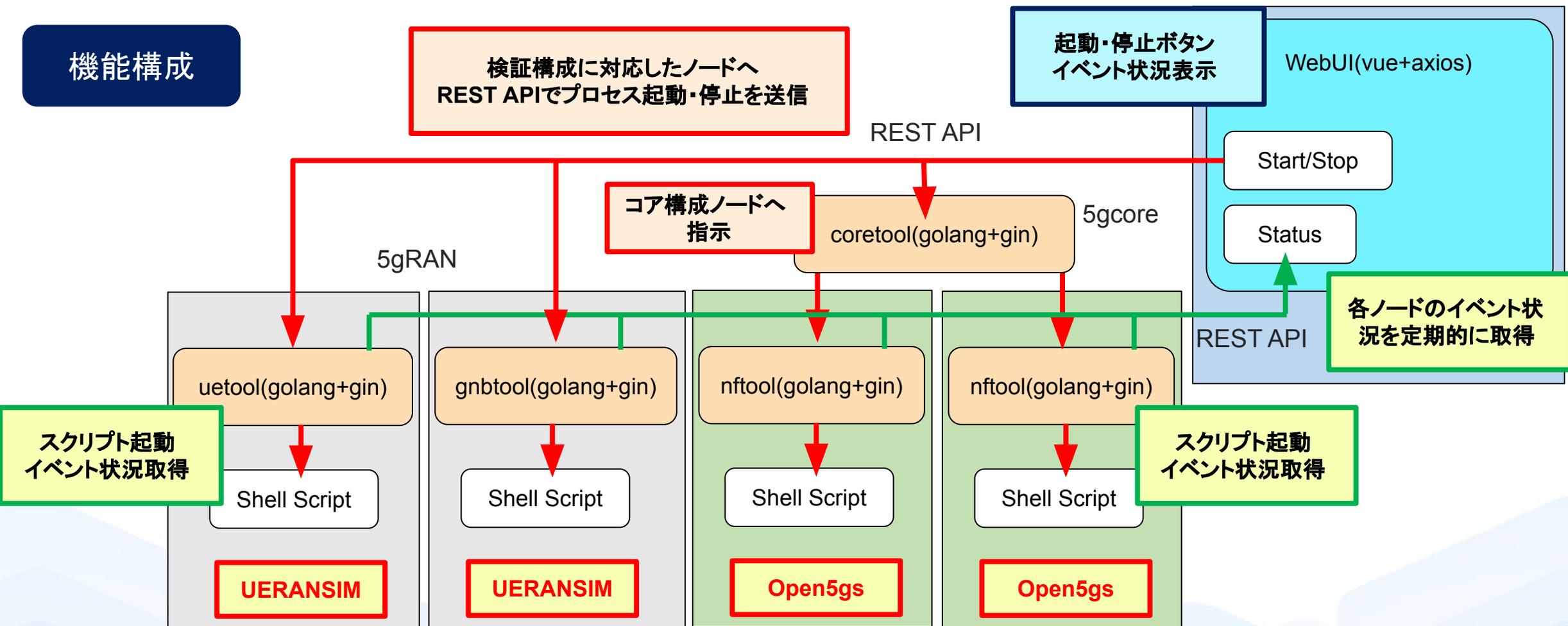


# ネットワーク管理 (オペレーション) 検証

- 目的
  - OSSを利用した5Gネットワークの管理のために各機能の起動停止やイベント検知・トラフィック可視化を可能とするツールの作成・環境の構築・検証を実施する
- 実施内容
  - NFの起動・停止用ツールの作成
  - 5Gネットワークのイベント検知ツールの作成
  - 5Gネットワークのトラフィック可視化環境の構築

# ネットワーク管理 (オペレーション) 検証

## 機能構成



# ネットワーク管理 (オペレーション) 検証

WebUI画面

[OOL 5GPJ] 5GS Operation Panel

[Test Scenarios]

Open5gs+UERANSIM

プロセス起動停止ボタン

各ノードのプロセス起動状況

スライス設定状況

NF構成図上でのプロセス起動状況

トラフィック送信停止ボタン

送受信帯域表示

遅延表示

受信メッセージ表示

割当IPアドレス表示

5G Core [Started] Start Stop / 5G gNB [Started] Start Stop

5G UE1 (1-000000) [Started] Start Stop / Traffic [Started] Start Stop

5G UE2 (1-000001) [Started] Start Stop / Traffic [Started] Start Stop

CoreNode1 AMF NRF AUSF PCF UDM UDR NSSF BSF CoreNode2 SMF CoreNode3 SMF

CoreNode4 UPF CoreNode5 UPF

AMF 1-000000 1-000001

SMF1 1-000000 / UPF1 RX 474.9 Mbps / TX 2.1 Mbps

SMF2 1-000001 / UPF2 RX 13.2 Mbps / TX 165.5 Kbps

gNB gNB 1-000000 1-000001

UE1 UE 1-000000 Registration Accept PDU Session Establishment Accept 10.5.0.2 Delay 4.622 ms

UE2 UE 1-000001 Registration Accept PDU Session Establishment Accept 10.5.1.2 Delay 62.509 ms

# ネットワークマネージメント (可視化/セキュリティ) 検証

- 目的

- 5GC環境の構築を支援すると共に、継続的に安定かつ安全な運用を実現する為に、性能監視とセキュリティの側面から可視化を行う

- 実施内容

- 5G通信のパケットをFree5GC環境からキャプチャし分析
  - 遅延、再送、使用率、エラー等各種KPIから5GC内動作の性能管理と監視
  - イベントトリガーによるアラートの通知およびレポート
  - E2Eのコールトレースによる5GCの正常運用の確認、又はチューニングの支援
  - 脅威インテリジェンスを活用したセキュリティインシデントの検知と分析

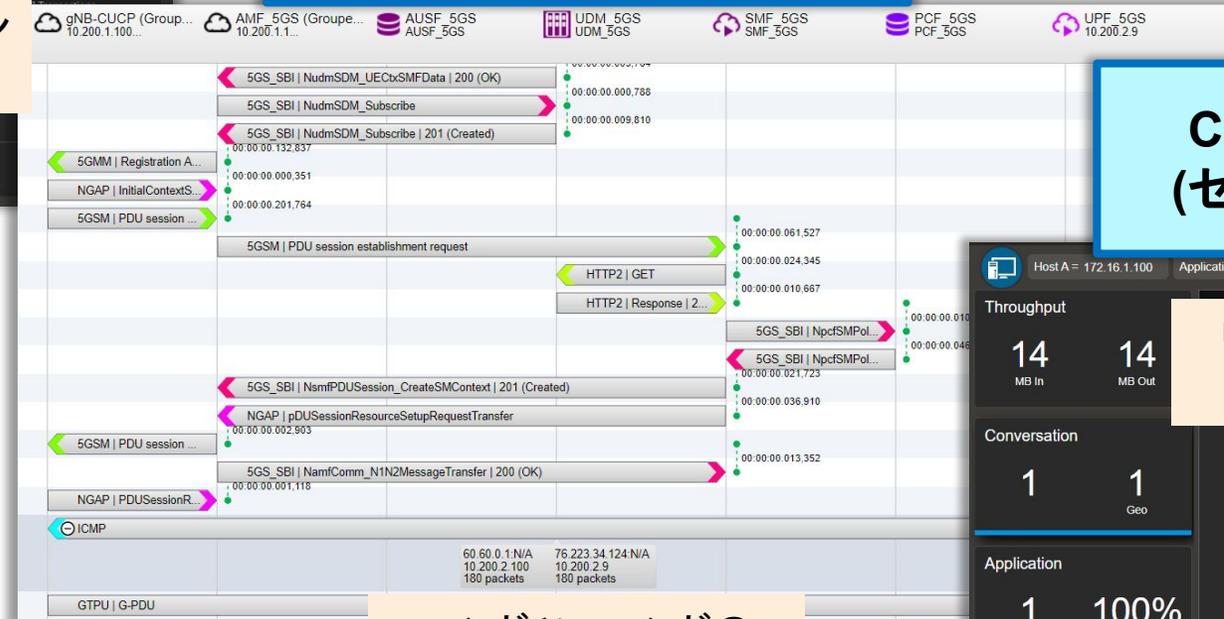
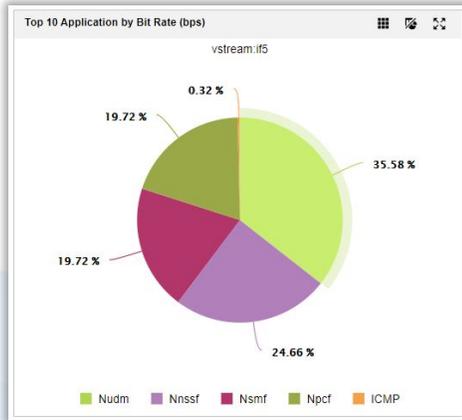
# ネットワークマネジメント (可視化/セキュリティ) 検証

nGeniusONE  
(KPI・性能管理)

Session Analyser  
(セッション可視化)

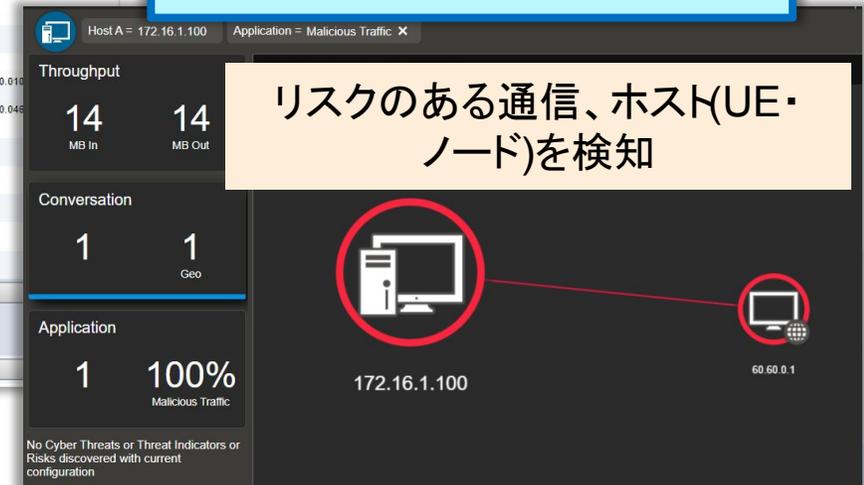
5G通信のパフォーマンスを管理

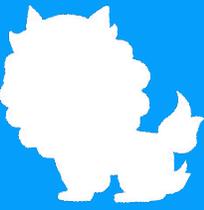
Cyber Investigation  
(セキュリティ脅威検知)



エンドツーエンドのセッショントレース

リスクのある通信、ホスト(UE・ノード)を検知





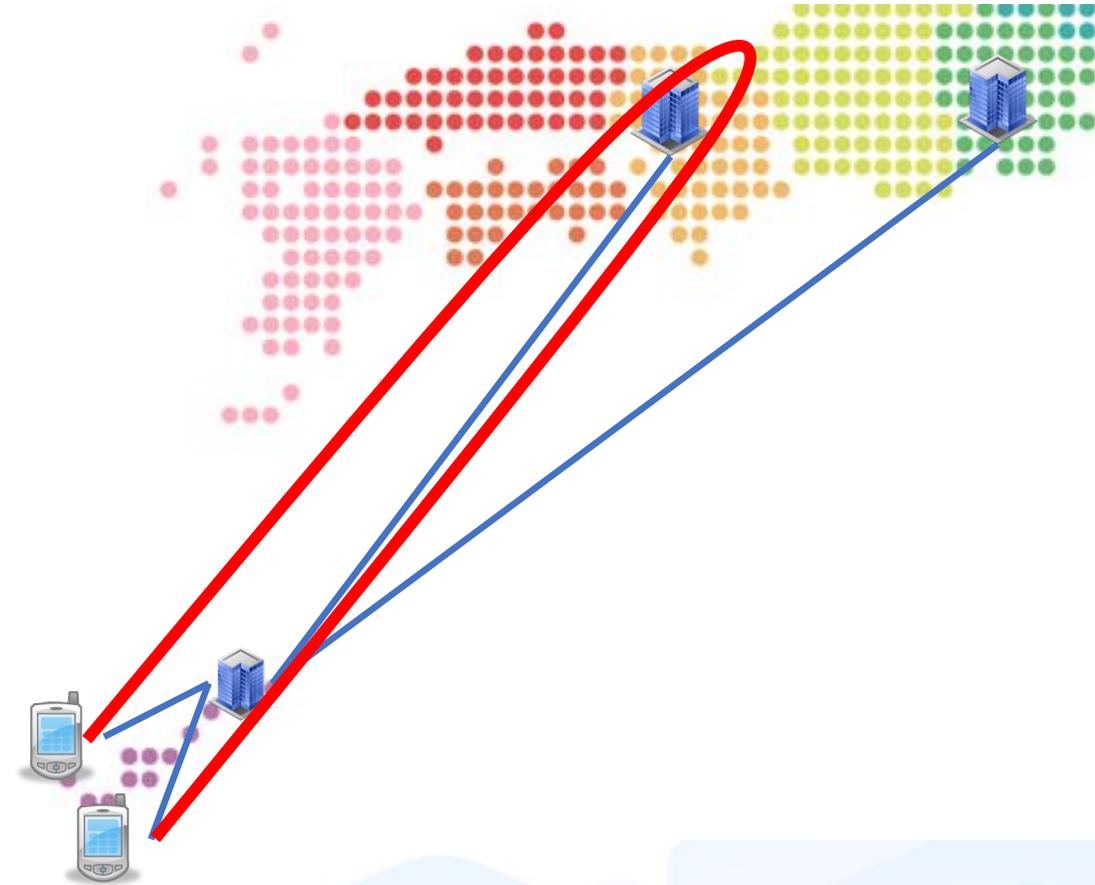
# オープンソースによる5G PJ PoC PoC環境の構成と検証内容



# 沖縄のモバイル構成の現状

## 諸説ありますが.....

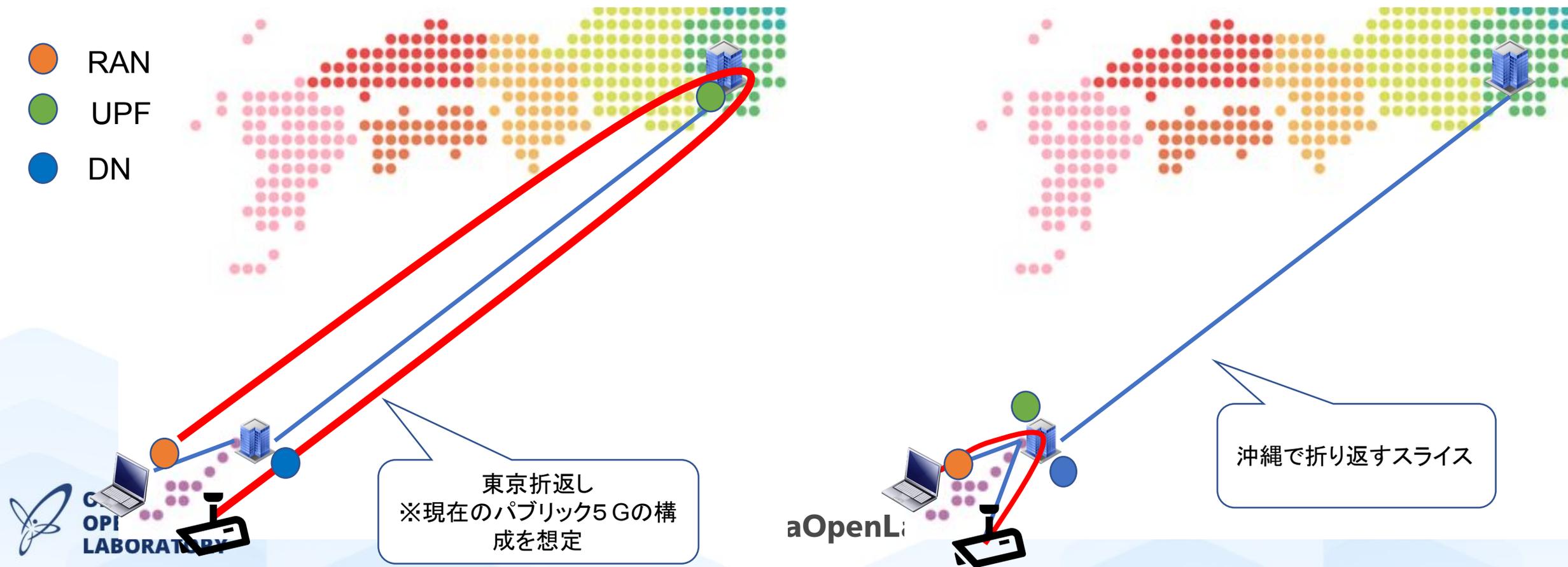
- 現状のモバイル構成
  - 端末内のアプリの機能で端末間の通信を行う場合、インターネットに出て、対象の端末に通信を行っている
  - モバイルの仕組みとして基本的に端末同士で通信を行うような設計になっていない



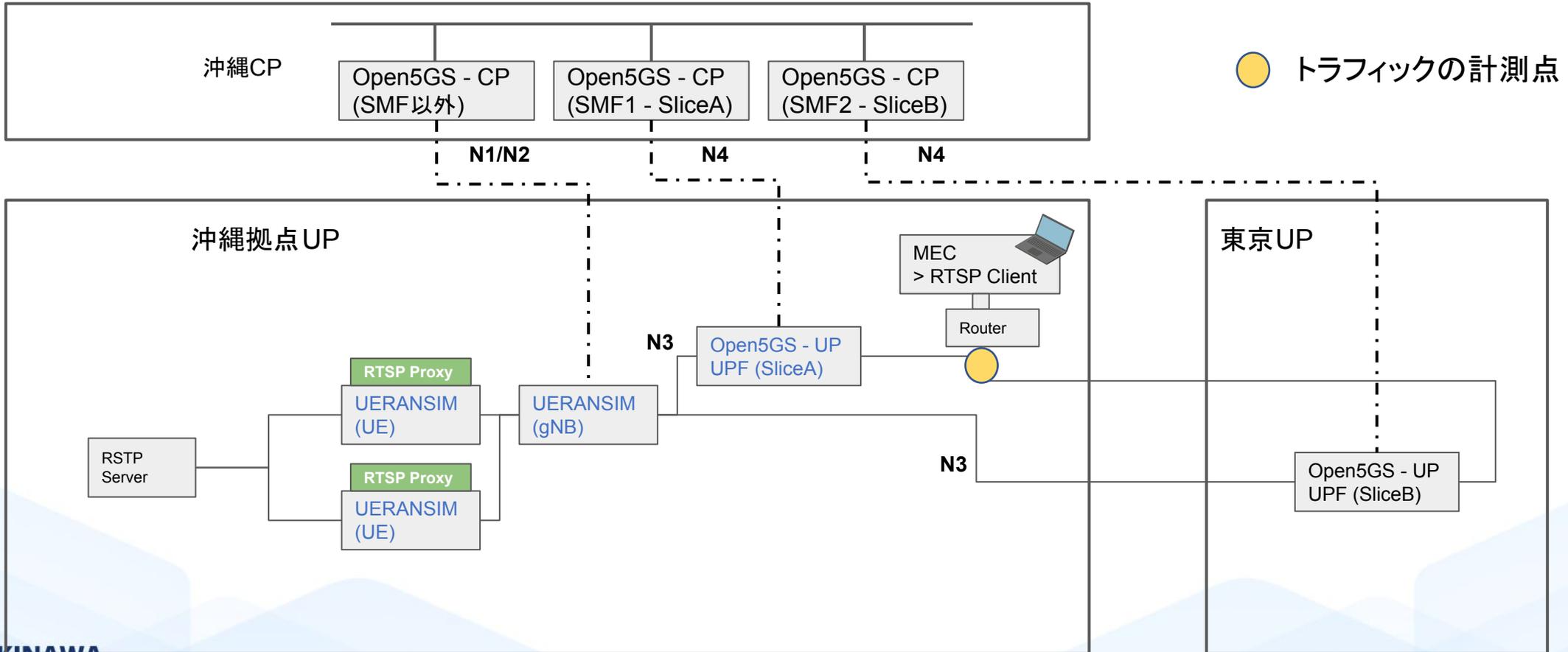
# 2021年度 5GPJ PoC

スライスによってアクセスできるUPFを変えることができることを利用してスライスごとのトラフィックの遅延について計測、動画再生など影響がないかを確認

- RAN
- UPF
- DN

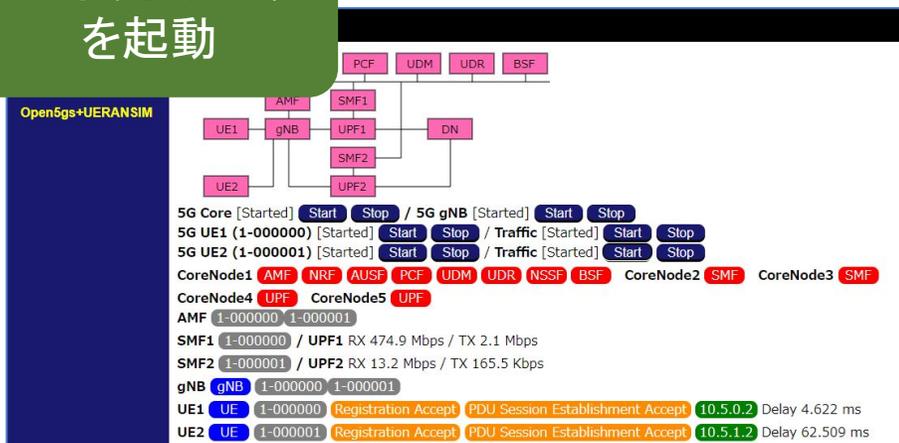


# PoCの構成図



# 通信品質の測定

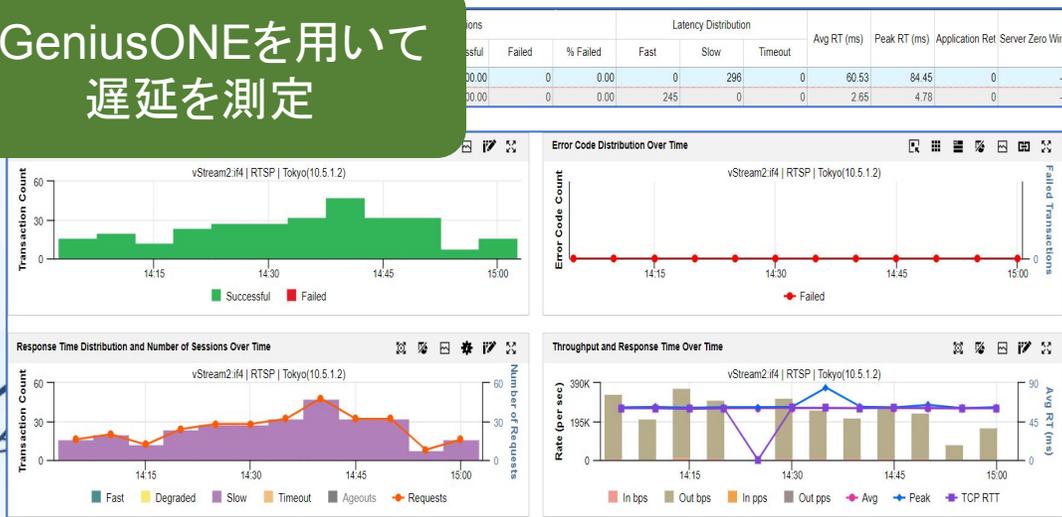
5Gネットワーク  
を起動



各スライスごとに動  
画を再生  
動画再生への影響  
を確認



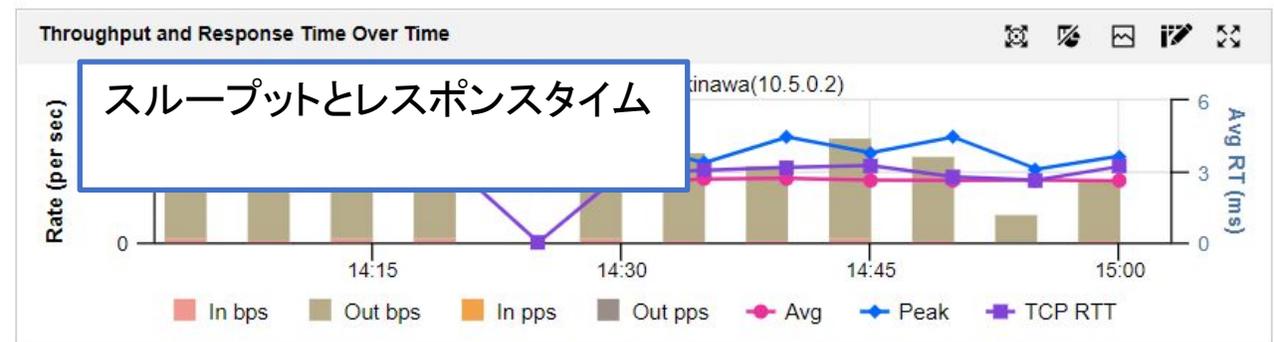
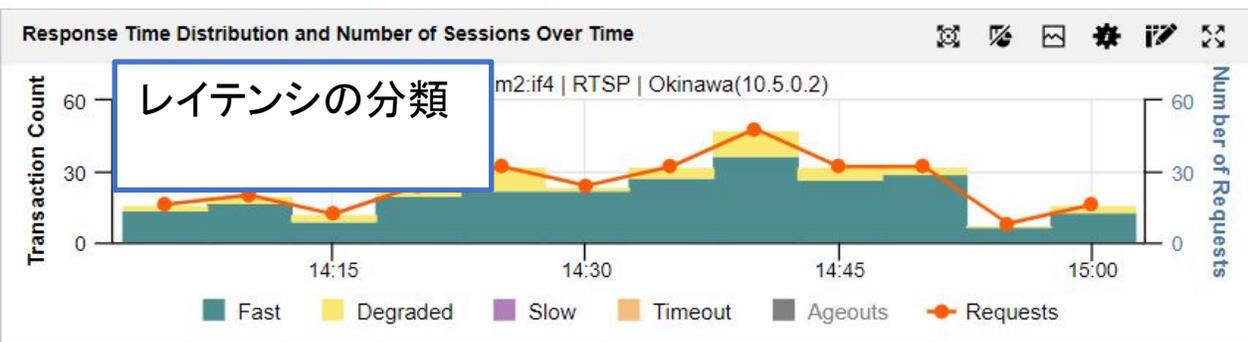
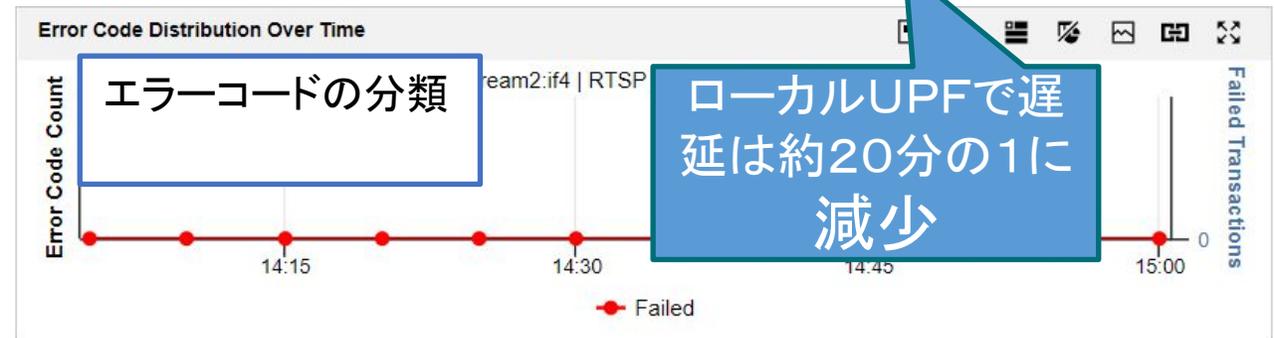
nGeniusONEを用いて  
遅延を測定



# 通信品質の測定

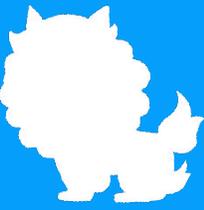
- 東京折返しと沖縄折返しの通信品質の比較

		ME Name	Application	Server Name	Transactions					Latency Distribution			Avg RT (ms)	Peak RT (ms)	Application Ret	Server Zero Wir
					Total	Successful	% Successful	Failed	% Failed	Fast	Slow	Timeout				
1	<input type="checkbox"/>	vStream2.if4	RTSP	Tokyo(10.5.1.2)	296	296	100.00	0	0.00	0	296	0	60.53	84.45	0	-
2	<input checked="" type="checkbox"/>	vStream2.if4	RTSP	Okinawa(10.5.0.2)	296	296	100.00	0	0.00	245	0	0	2.65	4.78	0	-



# 検証結果と今後の活動

- オープンソースをフル活用して5Gネットワークを構築し、経路の違うスライスの設定は完了
- 測定結果
  - 遅延: 東京周り60.53ms 沖縄折返し2.53ms
  - 実際には見た目として動画ではあまり影響は見られなかった
  - 数値的には下記のようなコンテンツで5Gを利用する際には、考慮が必要
    - Eスポーツ・ロボットアーム・AGVなどでは操作に影響が出そう
- 今後の活動: 実機RANの接続にチャレンジ予定



# 実機RANを用いた検証 構成とユースケース

# 2022年度の取り組み方針

- 現時点で、無線制御 (RAN) やモバイルコア (5GC) に関するOSSが、コミュニティベースで開発されている
  - また、RAN区間においては、複数のベンダから製品が発表されている。
- 昨年度までのPJ環境においては、RAN区間はシミュレータでの検証が主で、ユースケースが限定される
  - 2021年度は、シミュレータで映像伝達で検証
- 昨年度において、無線区間に関する環境整備
  - 2021年度に、シールドテントを設置し、検証可能な環境を構築



**シールドテント内での、実機 RANを利用した、5G通信を検証  
トラフィックの可視化など周辺技術についても調査・検証を実施**

# 2022年度の5Gプロジェクト構想

沖縄県

複数ベンダのRAN製品の  
検証を実施予定

製品毎の差異、セキュ  
リティ環境の検証

新バージョンの5Gコ  
アの検証を実施予定

シールドテント



簡易AGV



アーム

専用端末



# 実機RAN Sub-PJ

- ・ Open Air InterfaceのOSSベース  
ローカル5G(Sub6,SA)の環境構築
- ・ 基地局無線部：アイダックス製
- ・ 基地局,5GC: OAIアプリ
- ・ 端末(Cots-UE): 5Gモジュール
- ・ アナログデバイスと協賛



<基地局無線部：iRU4700>

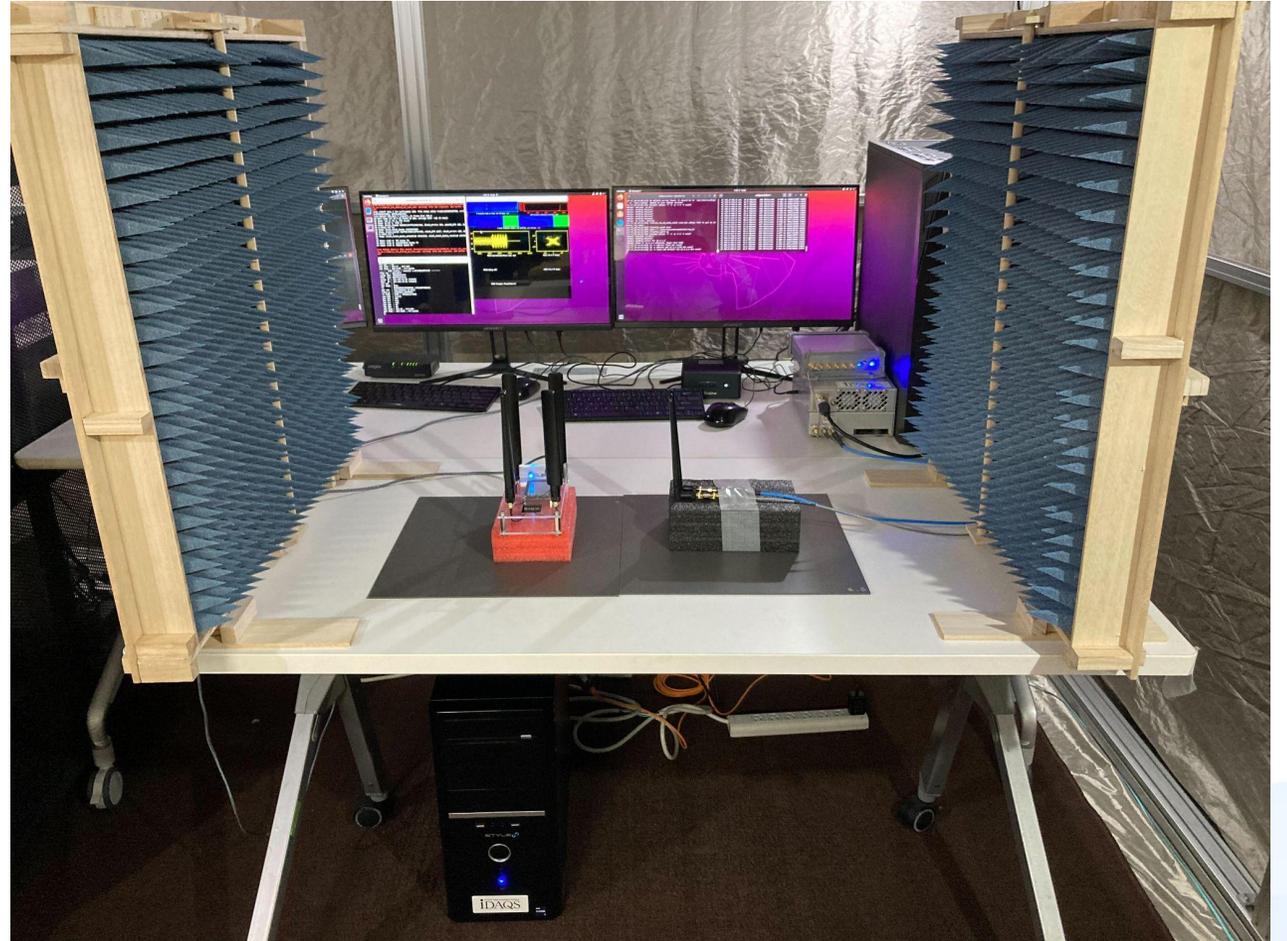
# 実機RAN Sub-PJ

- ・ 勢理客のシールドテント内に設置
- ・ 電波吸収体、電波吸収シートで反射の影響を低減した。
- ・ DL: 200Mbpsで疎通を確認。
- ・ 課題：起動時安定性の改善

PA/LNA追加し長距離化

PA : Power Amplifier (TX[送信機]の増幅器)

LNA : Low Noise Amplifier (Rx[受信機]の増幅器)





# OSS 5GS SubPJ

- 目的

- OSSを利用した5GSの実用性評価に向けて、各OSSの実装状況について調査・検証を行う

- 実施内容

- オープンソース5GC(free5GC/Open5GS/OAI-CN)の5G SA実装状況の調査・検証
- オープンソース5GCのIPv6実装状況の調査・検証

# OSS 5GS SubPJ

- 検証目的：オープンソース5GCのIPv6実装状況の調査・検証

- 検証内容

- ・ Open5GSにて5G SA環境を構築
- ・ C-Plane(SBI)通信のIPv6化
- ・ N1/N2、N4通信のIPv6化

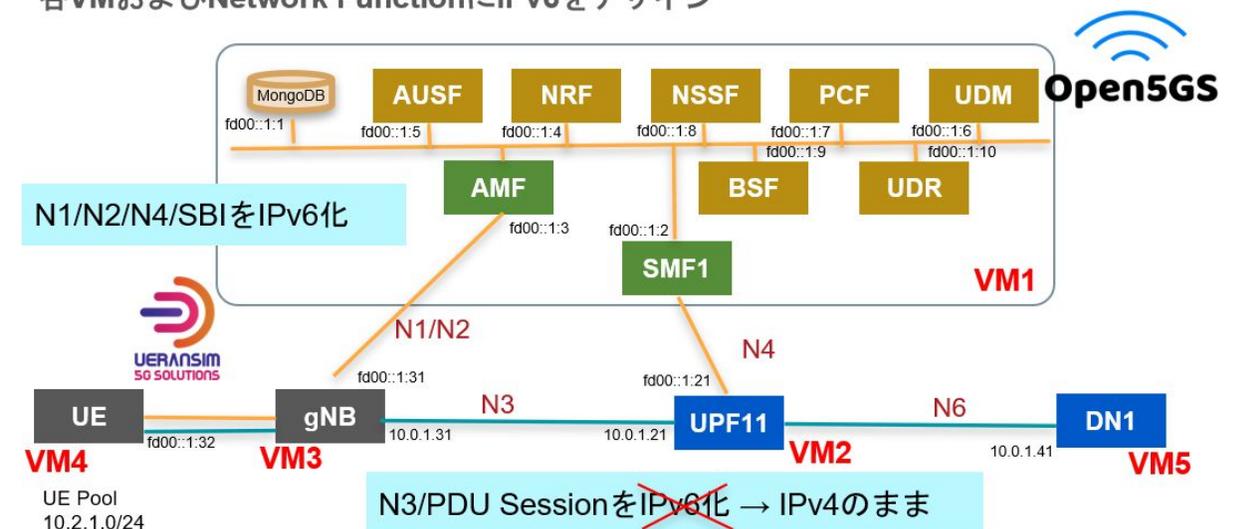
- 継続検証項目

- ・ N3(GTP)通信のIPv6化
- ・ IPv6のPDU Session確立

- 検証まとめ

C-Plane通信をIPv6にて疎通確認できた。ただし、RAN Simulator(UERANSIM)の制約により、U-Plane通信のIPv6疎通には至らなかった。RAN SimulatorのIPv6対応を待って再度検証予定。

各VMおよびNetwork FunctionにIPv6をアサイン



# OSS 5GS SubPJ

- 検証目的：オープンソース5GC(OAI-CN)の実装状況の調査・検証

- 検証内容

- ・ OAI-CNにて5GSA環境を構築(1VM)
- ・ 各NetworkFunctionはコンテナ起動
- ・ RAN Simulatorを用いてワンコール実施

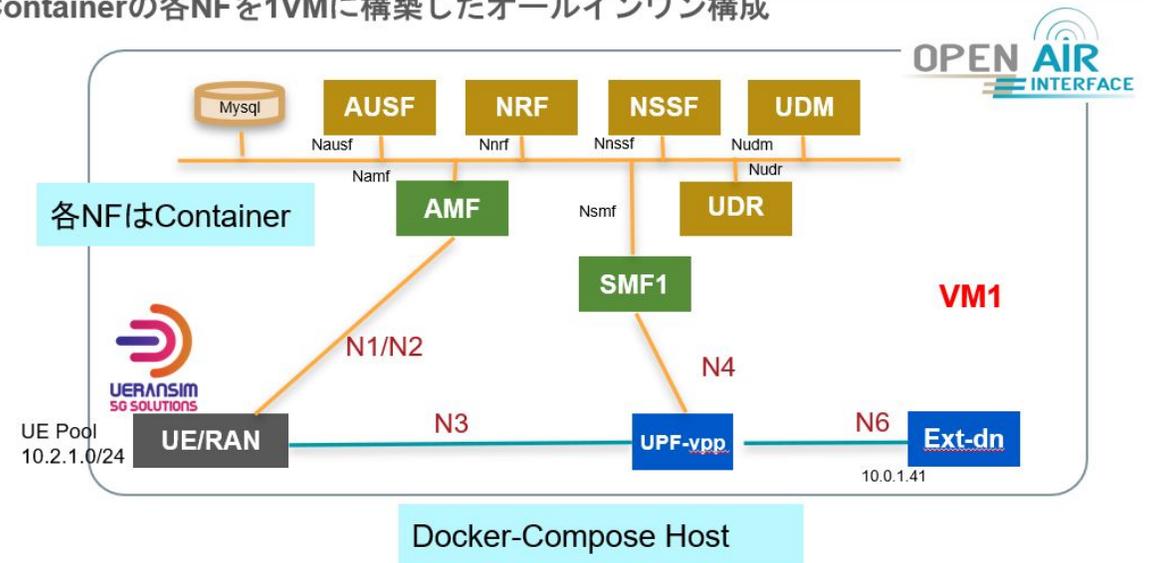
- 継続検証項目

- ・ NetworkSlicing構成の動作確認
- ・ 複数サーバ環境での動作確認

- 検証まとめ

VM環境にてOSS版OAI-CNを構築しワンコールの動作を確認できた。今後は複数サーバにてNetwork Slicing環境を構築して検証予定。

Containerの各NFを1VMに構築したオールインワン構成





# ネットワーク管理 可視化 SubPJ

## ●目的

- 性能監視とセキュリティの両面から、5Gモバイルネットワークの安定かつ安全な運用を実現

## ●実施内容

- オープンソース5GCと実機RAN製品を組み合わせたトラフィック・制御信号の可視化。
- ユースケースに合わせたKPI(遅延・エラーなど)を取得、イベント検知・レポートニング。
- ユーザー/IOTトラフィック分析によるセキュリティリスク調査。
- IoCシグネチャマッチング (NETSCOUTのインテリジェンスフィード)による脅威の可視化。

# ネットワーク管理 可視化 SubPJ

## ● 検証内容

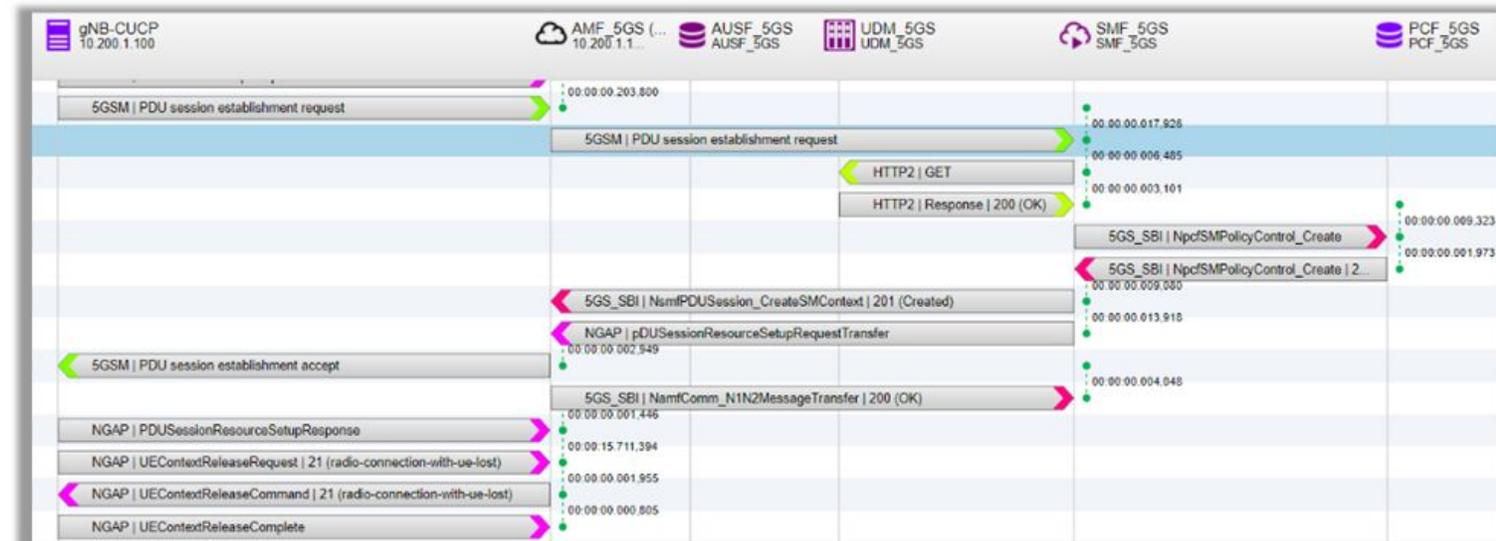
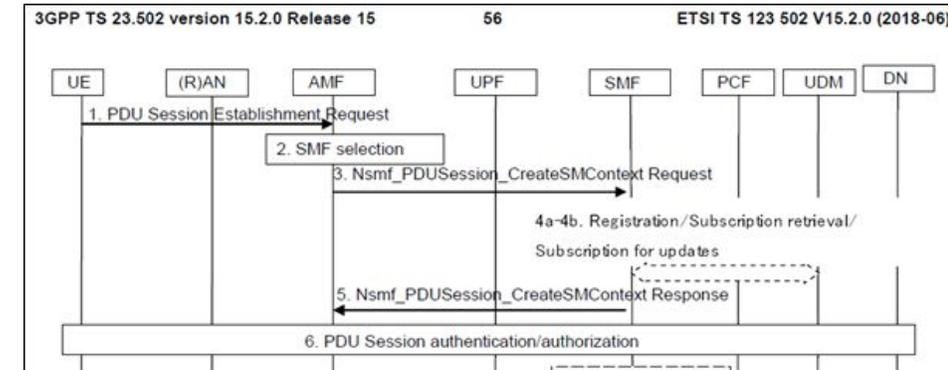
○ Free5GC及びRANシミュレータにてコールテストを実施し、トラフィックを取得・可視化

## ● 検証結果

○ RANから5GCまでの各ノードのトラフィックをキャプチャし、シーケンスを取得、エンドtoエンド（E2E）でシーケンスを関連づけて表示させることに成功

## ● まとめ

E2Eでのシーケンスの正常性を確認、各ノードの期待する動作や挙動を正常シーケンスとの比較などにより確認し、必要に応じて指定の通信の packets を確認することができた。様々なテストケースでの検証に応用が可能



# ネットワーク管理 可視化 SubPJ

## ● 検証内容

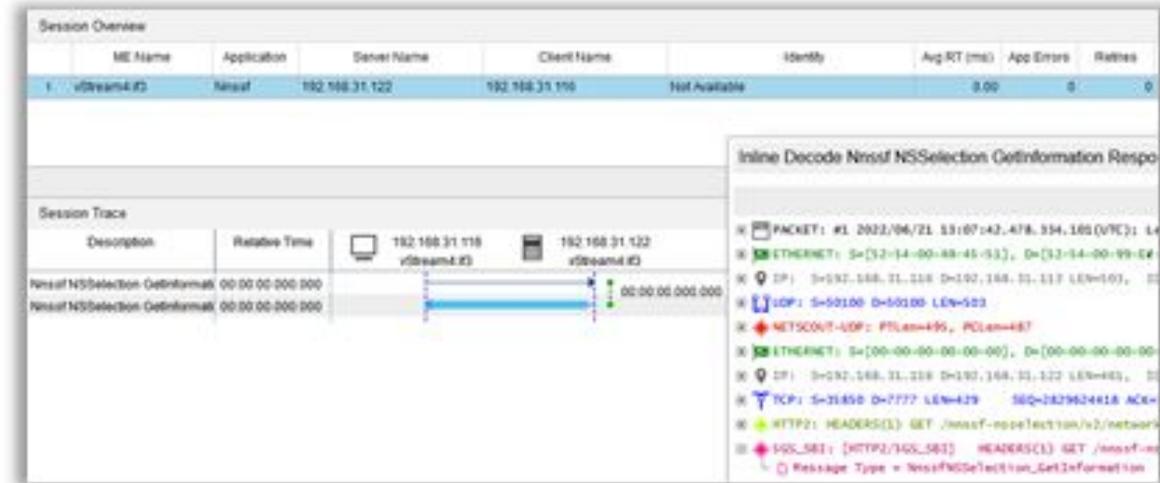
- Open5GS環境にてシミュレータを起動し、トラフィックを取得
- C-Plane(SBI)通信が流れる通信をリファレンスポイント毎に可視化
- N1/N2、N4それぞれの通信を可視化

## ● 検証結果

- 各NetworkFunction(NF)のSBI通信について、セッション情報を取得、可視化を実施した。
- メッセージタイプを取得し、エラーの有無やレスポンスタイム(遅延)等を測定した。
- 異常通信の有無、シーケンスの正常性の確認ができた。

## ● まとめ

Open5GS環境ではVM内で完結するNF間の通信(NausfやNnssfなど)について、GREなどでトンネリングしてトラフィックを取得し、N1/N2及びN4、SBIの各NFの通信は可視化が実現した。





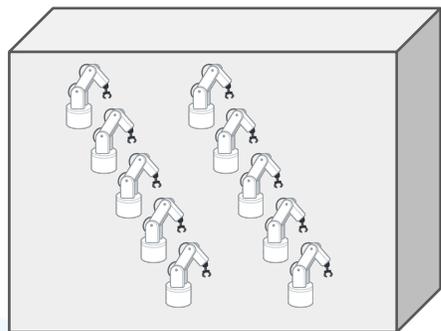
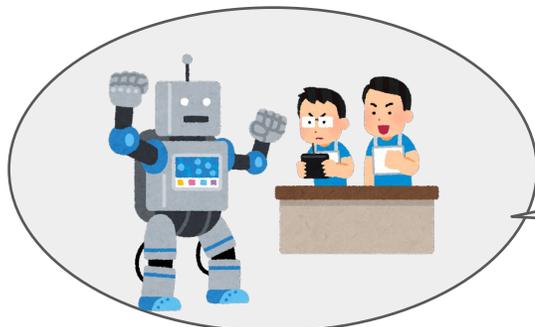
# ユースケース検証の検討と PoC検証結果

# ユースケースの目的とPoCの実施内容

「大容量」



「高信頼・低遅延」

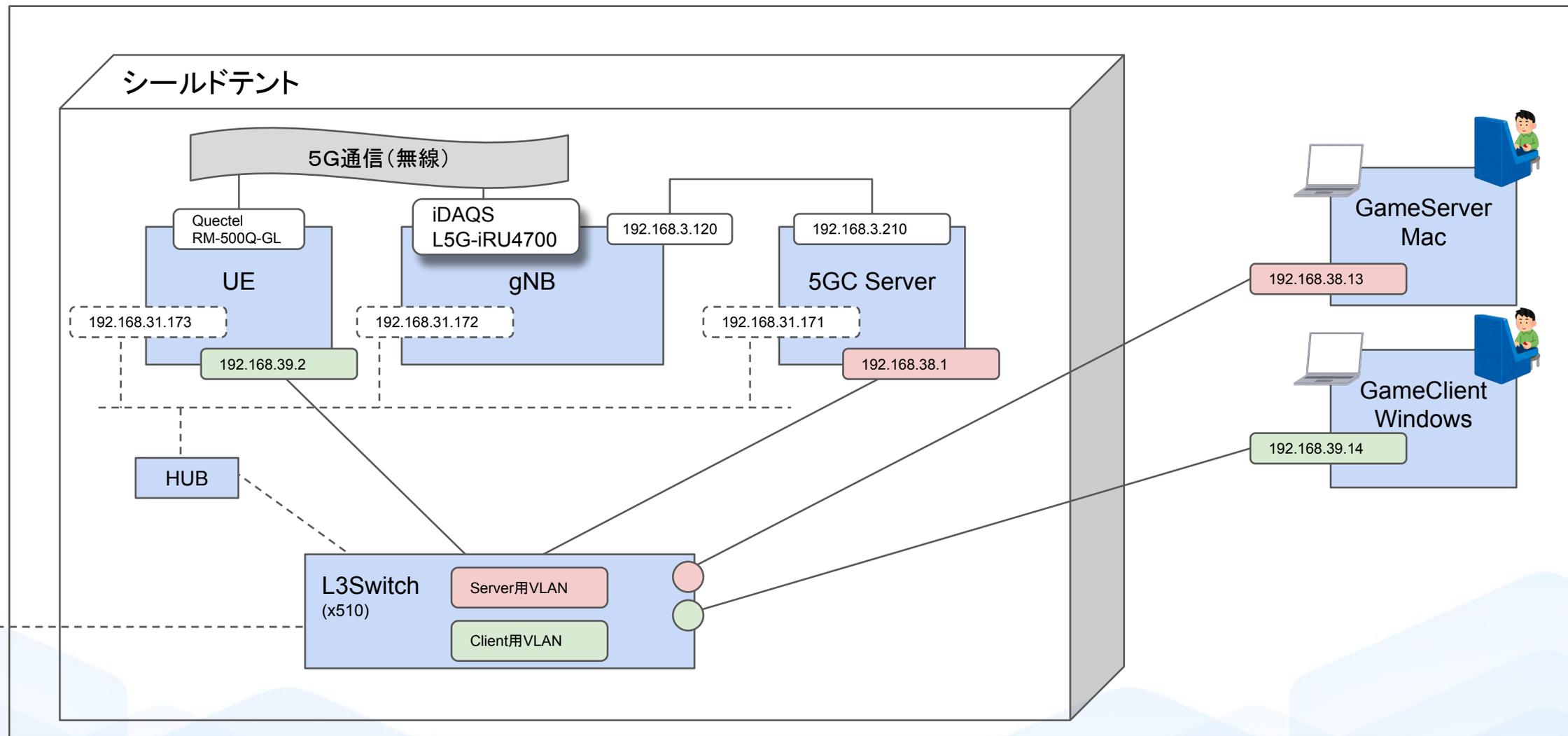


「多数同時接続」

「高信頼・低遅延」の利用シーンの操作系を模したゲーム通信

- 操作性を主体評価
  - 実際に操作を実施し、「LAN直結」「5G経由」での違いを確認
- 通信遅延の測定（Pingによるデータ取得）

# PoC構成図

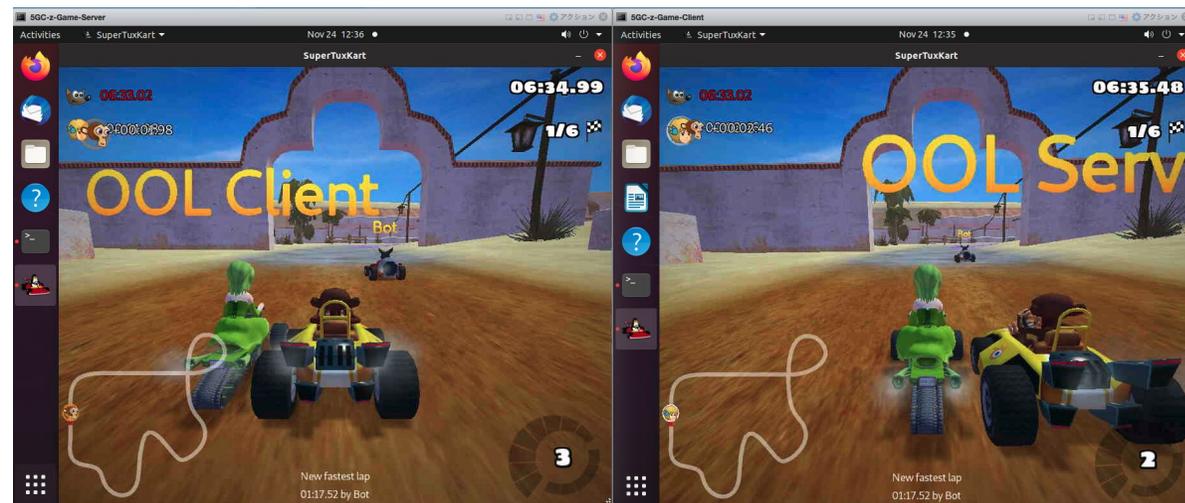


# PoC検証結果

- 実施したゲーム
  - 対戦レースゲーム「SuperTuxKart」
  - LAN直結と5G通信で主体的に比較
  - 5G通信は、並行的に性能測定の負荷を実施
  - 同時に、Pingによる遅延を測定

- 評価結果

- ゲームの稼働および操作主観としては、「LAN直結」「5G無線通信」で、違いは感じられなかった。
  - UDPによるわずかな通信により成立するゲームであることの影響もあり
- Ping測定結果：（一般的にゲームにストレスが出る遅延値：30~60msec以上）
  - LAN直結：平均 1.35msec（jitter 0.35sec）
  - 5G通信：平均 16msec（jitter 3msec）





# オープンソースベースの 実機RAN検証

# 2024年度の5Gプロジェクトの目標

- OSSベース実機RAN環境の技術検証
  - O-RAN Split 7.2対応の検証およびCU/DU分離に関する検証
  - OpenAirInterface環境のネットワーク管理(可視化・セキュリティ)検証
- Nephio検証およびMagma 5GC技術検証
- オンラインNW構成図の作成

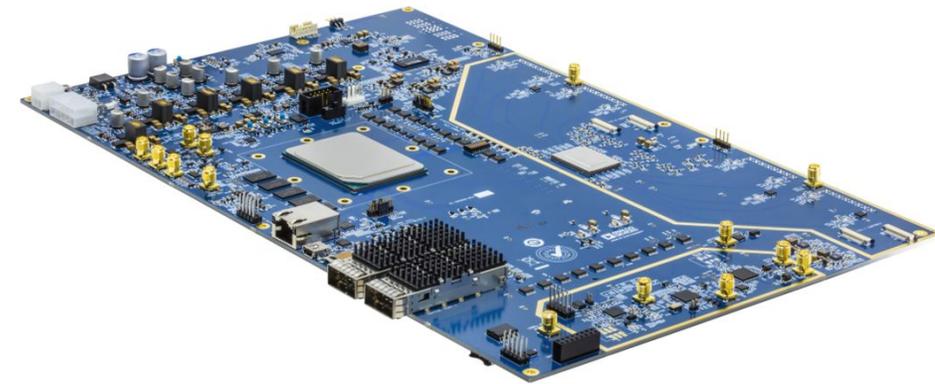
# 実機RAN検証 SubPJ

- 目的

- OSSを利用した5G RAN機器(RU,CU,DU)の活用に向けた機能実装に関する検証

- 実施内容

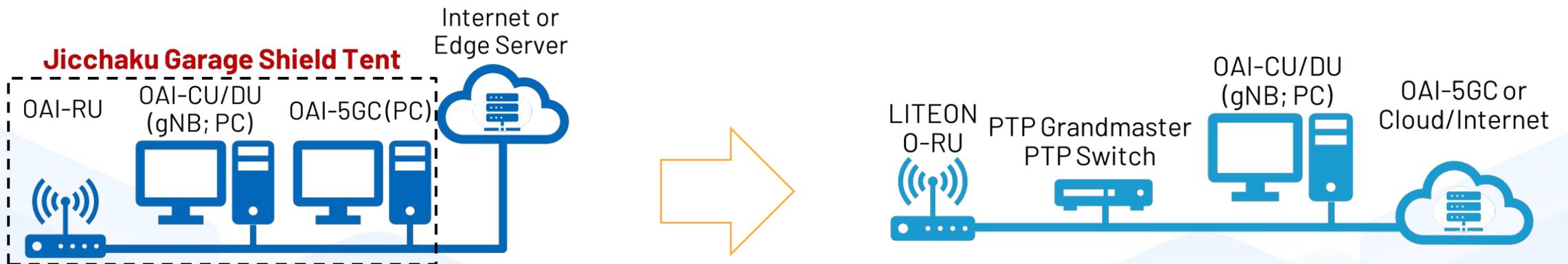
- O-RAN Split 7.2対応システムのOSS実装に関する検証
- CU/DUの分離に関する検証



# 実機RAN検証 SubPJ

O-RAN Split 7.2対応システムのOSS実装に関する検証

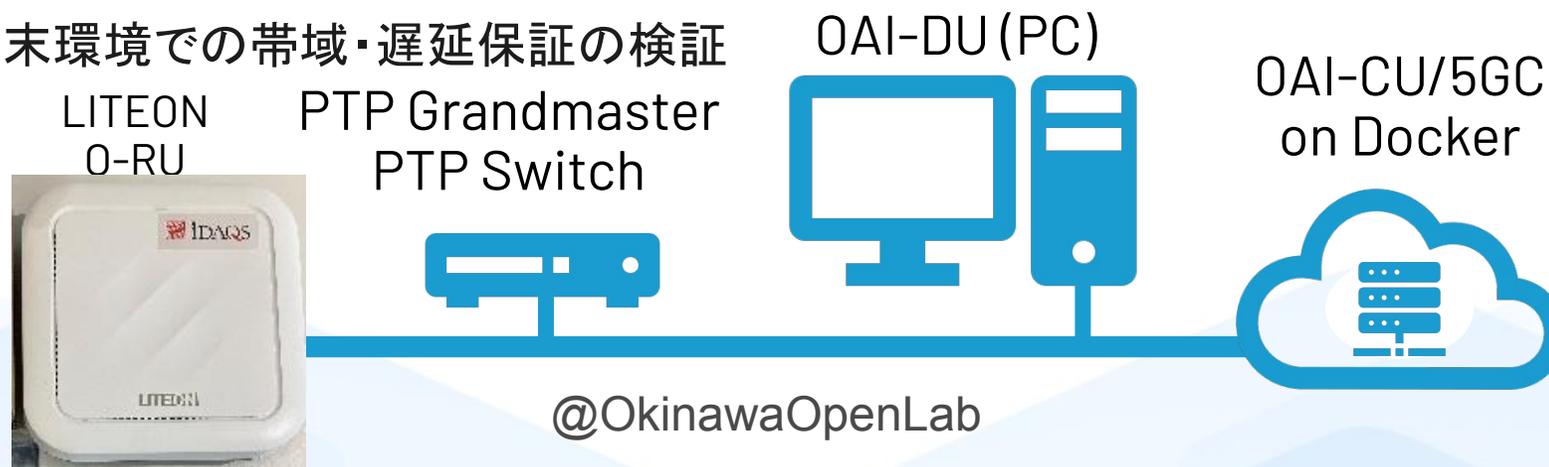
- OAIでは、O-RAN Front Haul Interface (FHI) Libraryを用いたO-RAN Split 7.2対応基地局ソフトウェアが2024/2/16にv2.1.0として正式リリース
  - OAIでは、Benetel/LITEON/VVDNの3ベンダー製RUに対応
- SubPJでは、LITEON社O-RUを使用した環境構築・検証を実施
  - O-RAN環境の動作、無線品質について調査・検証



# 実機RAN検証 SubPJ

O-RAN Split 7.2対応システムのOSS実装に関する検証  
CU/DUの分離に関する検証

- O-RAN Split 7.2対応環境でCU/DUを分離
  - DUは従来通り実機PCで実行、CUは5GCと同一環境上のContainerとして実行
  - 単一UEのDL速度およびPingに大きな影響はみられず
- 今後の展望
  - DU機能のContainer移行によるCU/DU部分のvRAN化
  - DU-DUハンドオーバー、RU-RUハンドオーバーなど移動する端末の検証
  - 多端末環境での帯域・遅延保証の検証



# ネットワーク管理(可視化・セキュリティ) SubPJ

- **目的**

- 5Gモバイルネットワークの性能監視により安定的な運用を実現

- **実施内容**

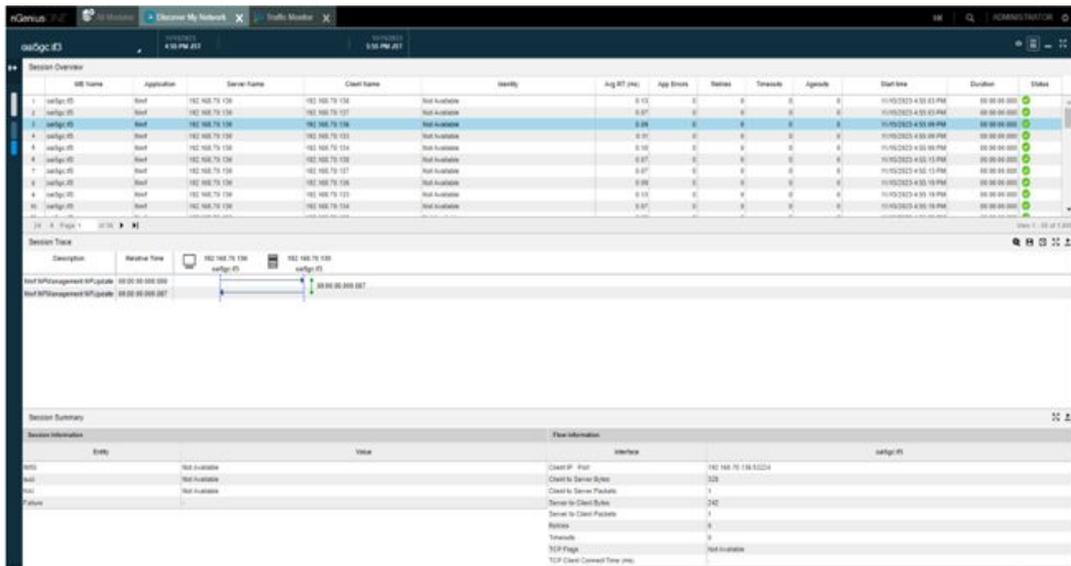
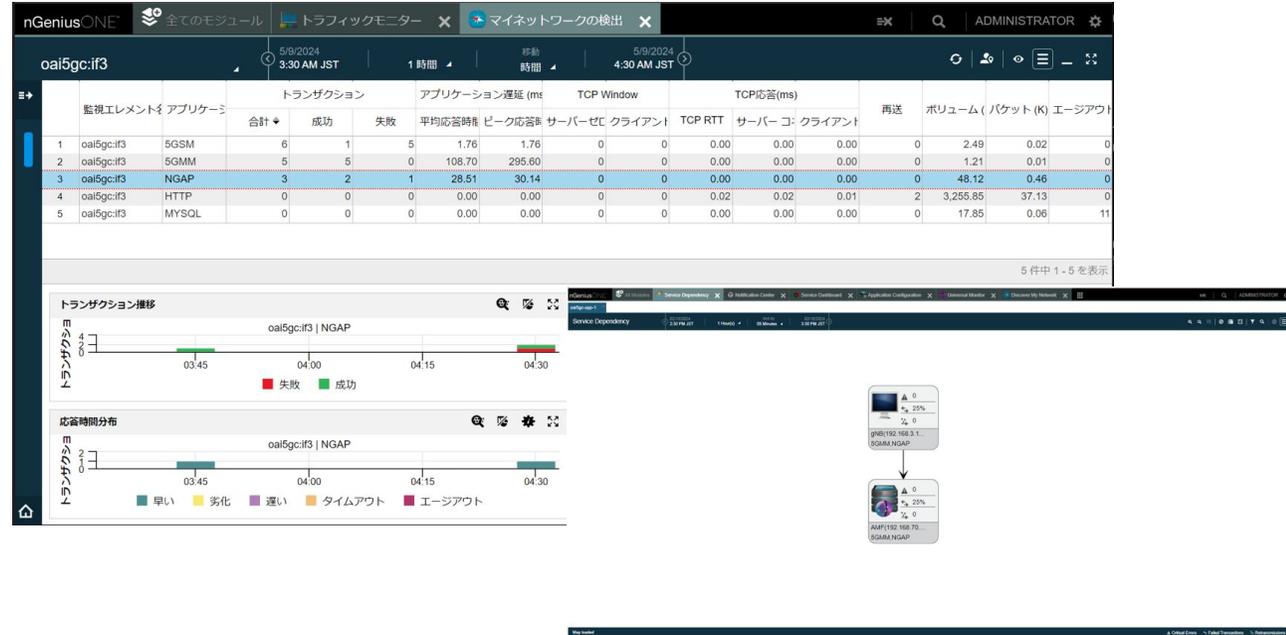
- オープンソース5GCと実機RAN製品を組み合わせたトラフィック・制御信号の可視化。
- ユースケースに合わせたKPI(遅延・エラーなど)を取得、イベント検知・レポートニング、信号の解析。

# ネットワーク管理(可視化・セキュリティ) SubPJ

- 検証内容: 5Gのシグナリング可視化

- 検証内容

Packet Capture Probe(vStream)を導入し、オープンソース5GCと実機RAN製品を組み合わせたトラフィック・制御信号の可視可。(遅延・エラー等)



- 遅延・エラー等の測定

5Gプロジェクトで検証しているOSSプラットフォームの制御信号を可視化。NGAPのエラー、遅延などのKPIやノード間の信号処理状況が取得できることを確認。

# ネットワーク管理(可視化・セキュリティ) SubPJ

- **検証内容: iDAQS製システムへdocker版vStreamの導入**

- 検証内容

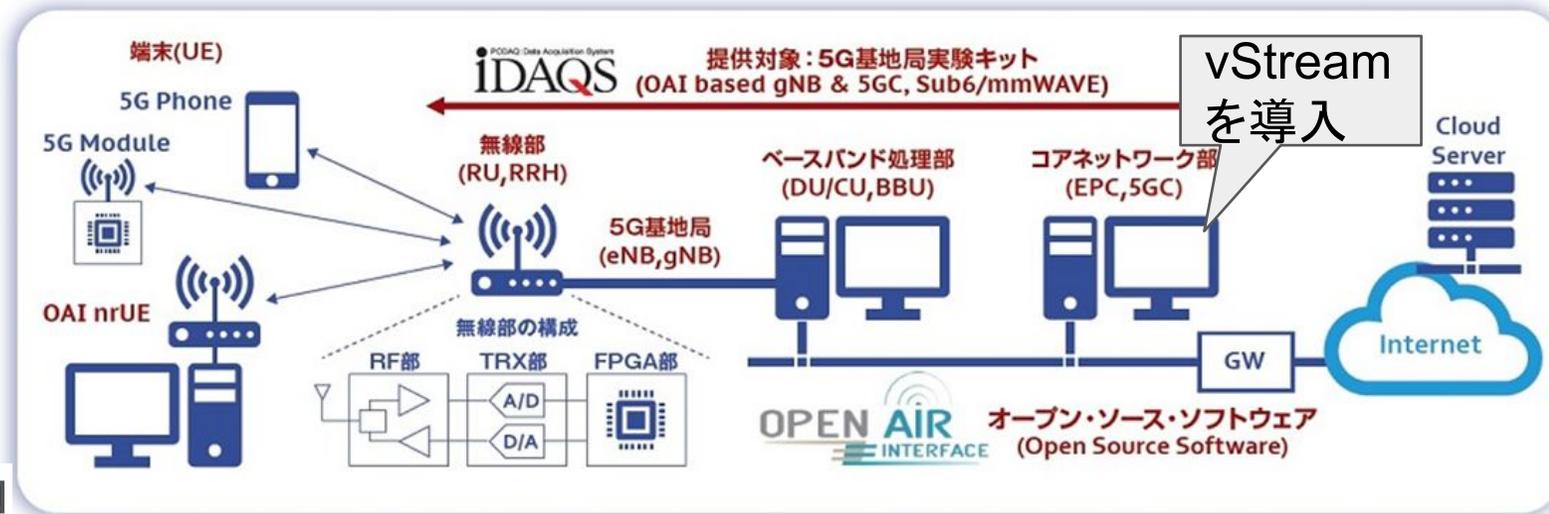
- Docker版のvStreamをiDAQS製OAI-5Gシステムに導入してトラフィックを分析

- 完了項目

- vStreamのインストール
- 実機RAN環境での5GCトラフィックの可視化

- 今後の検討

- 様々な5Gインターフェースからのパケットキャプチャを行い、多種多様なプロトコルの品質測定と有効利用を目指す





# OSS 5GC SubPJ

- **目的**

- OSSを利用した5GSの実用性評価に向けて、各OSSの実装状況について調査・検証を行う

- **実施内容**

- コンテナプラットフォーム構築自動化OSS(Nephio)の調査・検証
- オープンソース5GC(Magma)の5G実装状況の調査・検証

# OSS 5GC SubPJ (Nephioについて)



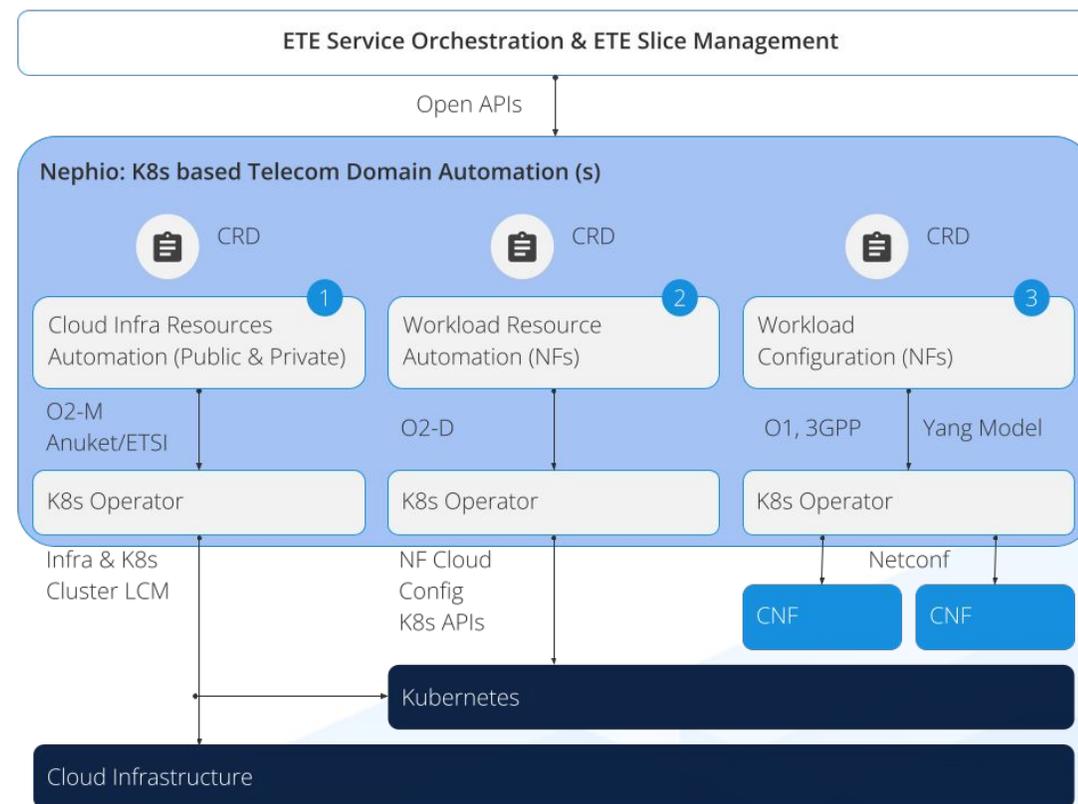
- **Nephioとは**

- クラウドとエッジのインフラストラクチャをセットアップし、ネットワーク機能の初期プロビジョニングと管理を自動化するソフトウェア

- **特徴**

- Linux FoundationとGoogle Cloudによって設立
- シンプルなKubernetesベースのクラウドネイティブintent自動化と共通の自動化テンプレートを提供
- 3GPP および O-RAN 標準に準拠
- マルチベンダーのクラウドインフラストラクチャとネットワーク機能の展開と管理を

簡素化



# OSS 5GC SubPJ (Nephio検証)



- ユースケース

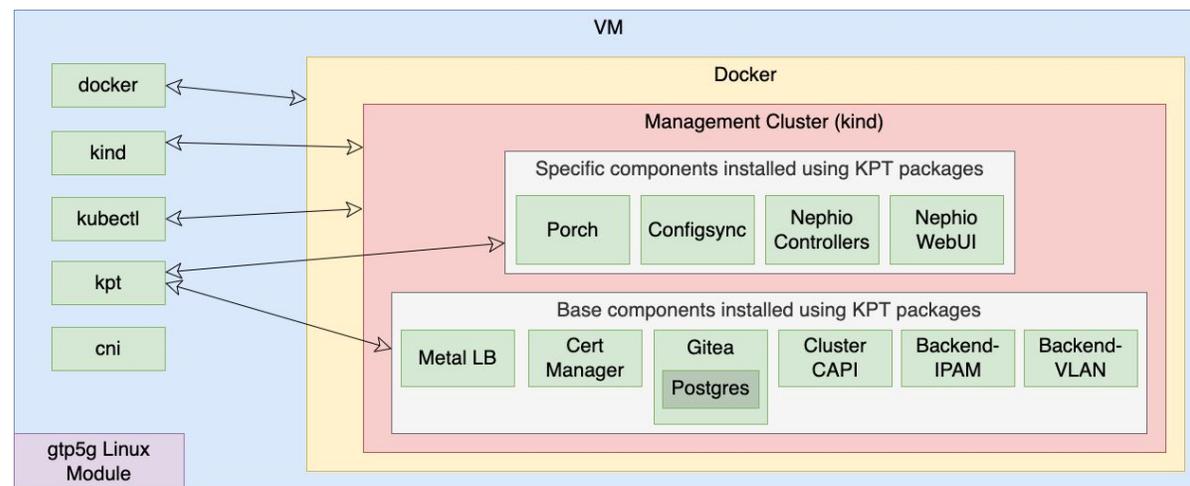
- Kubernetesデプロイ用オペレータとして、Free5GC(5GC)・OAI(RAN/5GC)が提供されている
- Helm chartでのデプロイも可能であるため、汎用性は高い

- 検証状況

- 1VMでのNephio環境構築完了
- Free5GCデプロイ完了

- 今後の予定

- Free5GC環境でのE2Eワンコール試験(UEシミュレータ)実施予定
- OAIデプロイ実施予定



Nephio  
architecture