

ローカル 5G の社会実装加速化に向けた 共創プロジェクトの実証レポート

第1．0版

2025.2.25

ローカル 5 G 共創プロジェクト参加企業一同

注意事項

1. 本文書の著作権は合意締結証明発行日 2024 年 2 月 20 日における「ローカル 5 G 機器の相互接続・パラメータカスタマイズに関する共同実験協定書」を締結した企業が所有します。
2. 本文章のいかなる部分も、合意締結証明発行日 2024 年 2 月 20 日における「ローカル 5 G 機器の相互接続・パラメータカスタマイズに関する共同実験協定書」を締結した企業の許諾なしで、いかなる形・方法によっても、出版、翻訳、他のウェブサイトへの転載等を行うことはできません。

目次

1. はじめに	1
2. ローカル 5G 共創 PJ について	2
2.1. テーマ 1 概要（ローカル 5 G 機器間の相互接続）	4
2.2. テーマ 2 概要（ローカル 5G 機器のパラメータの最適化）	5
2.3. テーマ 3 概要（ローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化）	6
3. テーマ 1 実証（ローカル 5 G 機器間の相互接続）	7
3.1. 相互接続試験	7
3.1.1. 試験構成	7
3.1.2. 試験機器一覧	9
3.1.3. 設定項目	11
3.1.4. 試験項目	12
3.1.5. 試験手順	12
3.1.6. 試験結果と考察	13
3.1.7. 相互接続において遵守すべき留意点と具体的な接続不可事例	16
3.2. スループット試験	24
3.2.1. 試験構成	24
3.2.2. 試験機器一覧	24
3.2.3. 試験項目	24
3.2.4. 試験手順	25
3.2.5. 試験結果と考察	26
3.3. 4K 動画伝送遅延試験結果	44
3.3.1. 試験構成	44
3.3.2. 試験機器一覧	45
3.3.3. 試験項目	45
3.3.4. 試験手順	45
3.3.5. 試験結果と考察	46
4. テーマ 3 実証（ローカル 5 G 利用環境のセキュリティ対策強化）	47
4.1. セキュリティ試験	47
4.1.1. 試験構成	47
4.1.2. 試験機器一覧	47
4.1.3. 試験項目	48
4.1.4. セキュリティ脅威シナリオ	49
4.1.5. 試験結果と考察	50

4.1.6.	TMMNS 接続において遵守すべき留意点.....	51
5.	おわりに	52
6.	参考文献	52

1. はじめに

2023 年 11 月、東日本電信電話株式会社を発起人とし、国内外の通信機器ベンダーなど 18 社が参加する「ローカル 5G 共創プロジェクト（以下 L5G 共創 PJ）」が始動した。本プロジェクトではローカル 5G のさらなる低廉化と利便性向上による普及・拡大を目的に、ローカル 5G 機器の相互接続実証やユースケース実証を進めており、2025 年 2 月時点で、300 を超える組合せでの共同実証を完了している。

ローカル 5G システムを構成するベンダー機器は市中に様々存在し、それぞれ機能や性能、価格が異なる。ユーザにローカル 5G システムを提供する際には、ユーザ要件に応じて異なるベンダーのローカル 5G 機器を組み合わせることで、ユーザ要件に最適な提案となる可能性がある。一方、異なるベンダーのローカル 5G 機器を用いてローカル 5G システムを構成する場合、機器間の設定パラメータのチューニングや動作確認試験など、システム構築に伴うインテグレーションコストが同一ベンダーの機器構成に比べて嵩む場合が多く、結果として同一ベンダーの機器で構成されることが一般的となっている。しかし、同一ベンダーのローカル 5G 機器構成の場合、ユースケースによっては、過剰な機能や性能となる場合もあり、ローカル 5G システムのさらなる低廉化に向けては、異なるベンダーによる相互接続時のインテグレーションコストを抑制し、ユースケースに応じた機器選択の幅を広げていくアプローチが有効と考えている。

本レポートでは、相互接続が成功したベンダーの組合せや相互接続時の留意点を示すとともに、組合せによるスループットや遅延といった性能、市中のセキュリティソリューションの動作結果を公開する。システム構築時のインテグレーションを補助するデータとなっていると考えており、本レポートを活用することで、ベンダーの機器構成のシステムインテグレーションコスト抑制に繋がることを期待する。

また、本レポートは第 1.0 版であり、実証結果や得られた知見などは今後も公開していく方針である。本レポートが、ローカル 5G の社会実装の加速に寄与し、産業 DX の促進・地域課題の解決に繋がることを期待する。

2. ローカル 5G 共創 PJ について

本プロジェクトは3つのテーマに沿って、東日本電信電話株式会社のラボに検証機器を持ち込み、各社共同で実証を進めている。本章では各テーマの概要について説明する。また、2025年2月現在、参加企業は表 2-1 に示す 26 社であり、各企業の持ち込みローカル 5G 機器類は図 2-1 の通りである。

表 2-1 プロジェクト参画企業一覧

項番	プロジェクト参加企業名
1	エアースパン・ジャパン(株)
2	アンリツ(株)
3	Askey Computer Corporation
4	Compal Electronics
5	CTOne Inc.
6	ディーリンク・ジャパン(株)
7	(株)FLARE SYSTEMS
8	日本ヒューレット・パッカード合同会社
9	HTC Corporation
10	ハイテクインター(株)
11	工業技術研究院
12	京セラ(株)
13	日本ライトン(株)
14	LITE-ON Technology Corporation
15	日本電気(株)
16	NEC マグナスコミュニケーションズ(株)
17	東日本電信電話(株)
18	ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社
19	NTT テクノクロス(株)
20	パナソニックコネクタ(株)
21	ペガトロニクス・ジャパン(株)
22	Quanta Cloud Technology Incorporated
23	REIGN Technology Corporation
24	Saviah Technologies
25	住友電気工業(株)
26	トレンドマイクロ(株)

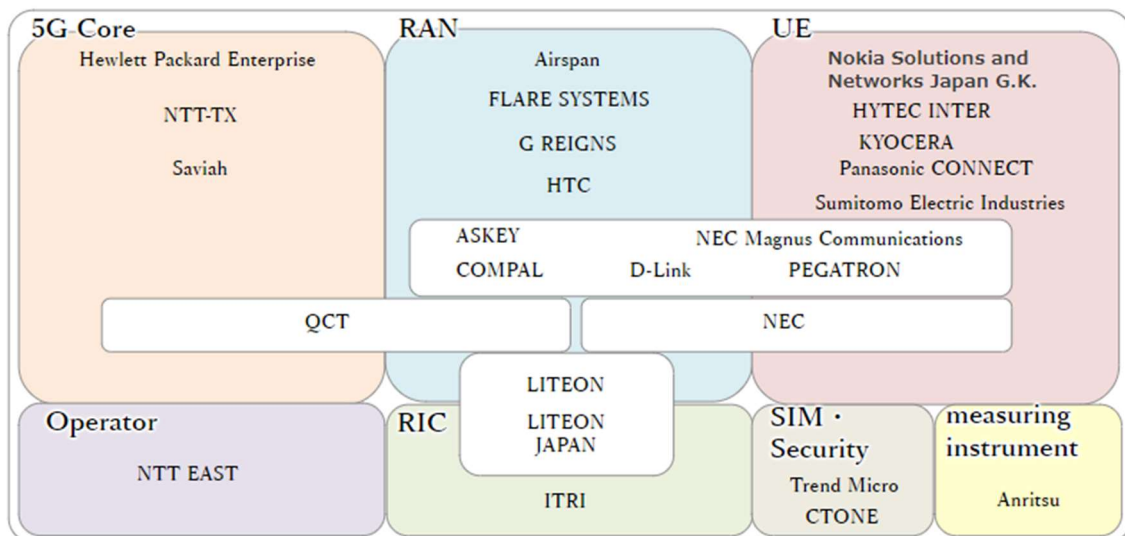


図 2-1 参加企業持ち込みローカル 5G 機器類

2.1. テーマ 1 概要（ローカル 5 G 機器間の相互接続）

テーマ 1 では、異なるベンダーのローカル 5G 機器間の相互接続実証に取り組む。

ローカル 5G のシステム（端末の認証やネットワーク制御等を担う 5G コアと、電波等の無線制御を行う基地局（RAN）に用いられる機器）を異なるベンダーのローカル 5G 機器で構築する場合、ローカル 5G 機器間の設定パラメータのチューニングや動作確認試験など、システム構築に伴うインテグレーションコストが同一ベンダーのローカル 5G 機器構成に比べて嵩む場合が多く、結果として同一ベンダーのローカル 5G 機器で構成されることが一般的となっている。

しかし、同一ベンダーのローカル 5G 機器構成の場合、ユースケースによっては、過剰な機能や性能となる場合もあり、ローカル 5G システムのさらなる低廉化に向けては、複数ベンダーによる相互接続時のインテグレーションコストを抑制し、ユースケースに応じたローカル 5G 機器選択の幅を広げていくアプローチが有効と考えている。

そのためテーマ 1 では、接続成功パターンでの通信性能や、高精細映像伝送等のユースケースで通信品質を評価する。加えて、接続不可となった場合の事例をとりまとめ、相互接続時の留意点を明らかにする。

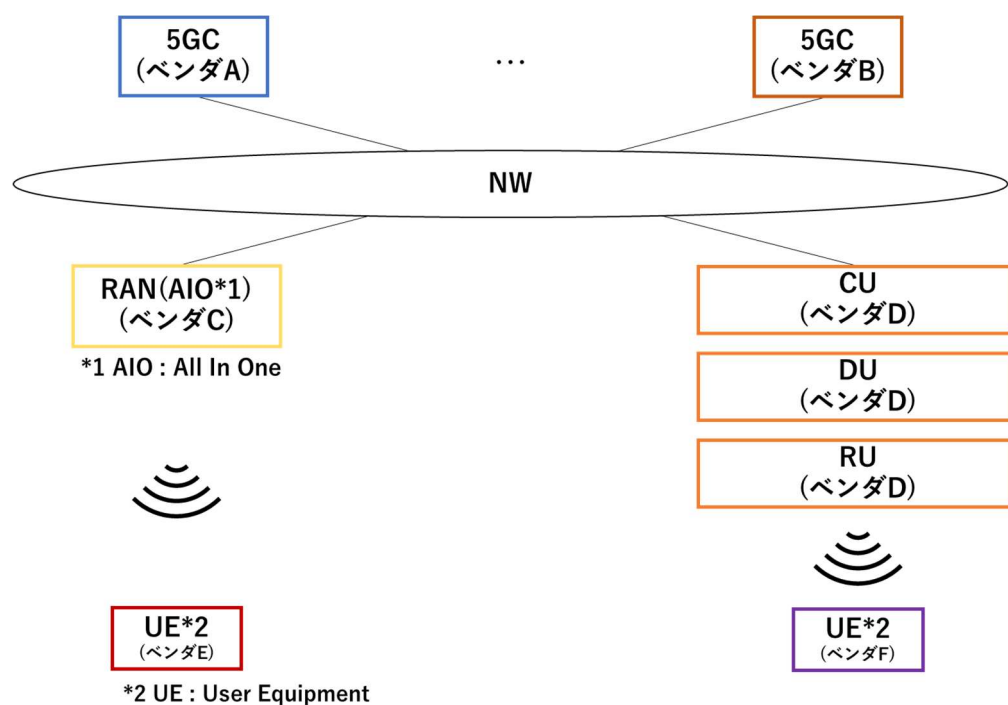


図 2-2 テーマ 1 の概要

2.2. テーマ2 概要（ローカル 5G 機器のパラメータの最適化）

テーマ2では、ユースケースに応じたローカル 5G 機器のパラメータの最適化実証に取り組む。

工場や物流倉庫等の広域なエリアでは、さまざまな通信要件の端末が混在して設置されるケースが多くあり、多様なユースケースへの対応が求められている。例えば、お客さま環境において、設置ローカル 5G 機器の移動等のレイアウト変更を行った際に、各端末の通信要件を実現するためには、端末の接続先基地局を変更(ハンドオーバー)する際に必要なパラメータ等を都度調整する必要がある。そのため、お客さまによる煩雑なオペレーションを不要とする、自律的・自動的なローカル 5G 機器パラメータ制御の実現が期待されている。

そこでテーマ2では、ユースケースの拡充と、ユースケースに応じた高品質なローカル 5G 環境の提供によるユーザビリティ向上を目的として、高精細なリアルタイム映像通信や、ロボット操作等の途切れては困る重要な通信等、さまざまな通信要件が混在する環境下において、優先制御や帯域制御といったサービス品質を制御する技術に対応した値やハンドオーバーパラメータ等のローカル 5G 機器パラメータの最適値の明確化をめざす。

加えて、O-RAN ALLIANCE が規定する RAN Intelligent Controller(以下、RIC)の活用を視野に、工場や物流倉庫におけるレイアウト変更等で環境が変わった場合においても、自律的・自動的にパラメータ制御が行われることで、高品質なローカル 5G 通信を継続的に提供する仕組みの実現をめざす。

本取組の実証結果については次回レポートで報告することとし、本レポートには記載しない。

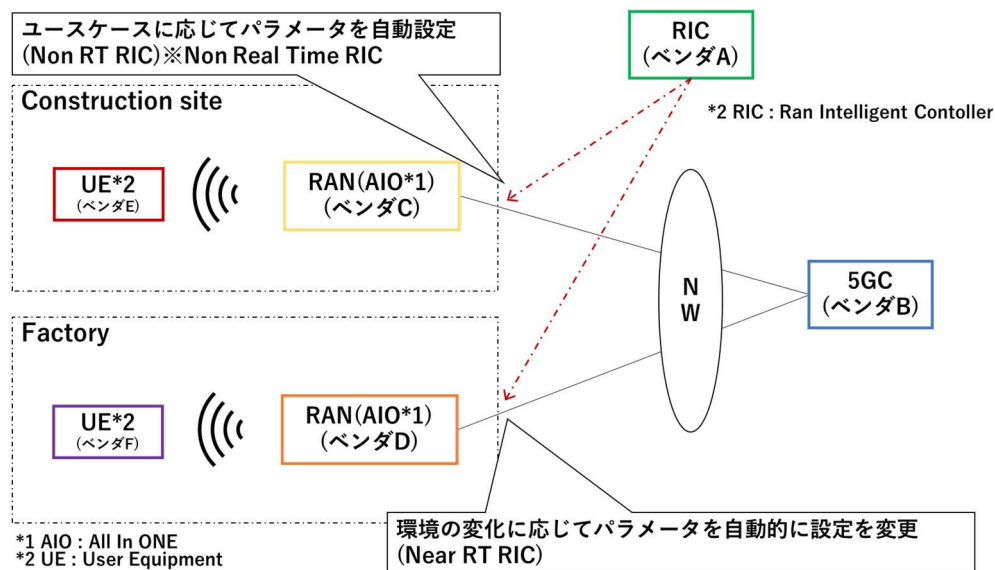


図 2-3 テーマ2 の概要

2.3. テーマ 3 概要（ローカル 5G 利用環境のセキュリティ対策強化）

テーマ 3 では、ローカル 5G 利用環境のセキュリティ対策強化に取り組む。なお、本テーマはプロジェクト立ち上げ以降にプロジェクトメンバー間の議論を踏まえ立ち上げた新テーマである。

ローカル 5G では厳密な加入者管理や SIM による強固な鍵管理などセキュリティ強化が期待できる一方で、IoT デバイス等従来のセキュリティ対策として一般的なエージェント型のエンドポイントセキュリティを適用できない端末が多く存在する。

また、工場や医療現場に代表される環境では、古いデバイスの継続利用が必要で、OS や関連ソフトウェアのバージョンアップが難しく、脆弱性を含んだままデバイスを運用せざるを得ないケースもある。

完全閉域やデバイスの持ち込みや持ち出しを全く許さないネットワークであれば、そのような端末やデバイスの利用であっても問題を起こさなかったが、IoT 化やスマート化により外部ネットワークと接続する機会が増えることで、十分なセキュリティ対策ができていない端末やデバイスが脅威にさらされることが懸念される。

そのためテーマ 3 では、市中のセキュリティソリューションとしてトレンドマイクロ社および CTOne 社が提供する TMMNS ソリューションを活用したセキュリティ SIM カードとネットワークセキュリティ機能の連携により、異なるローカル 5G 機器利用環境でのセキュリティ対策強化をめざす。

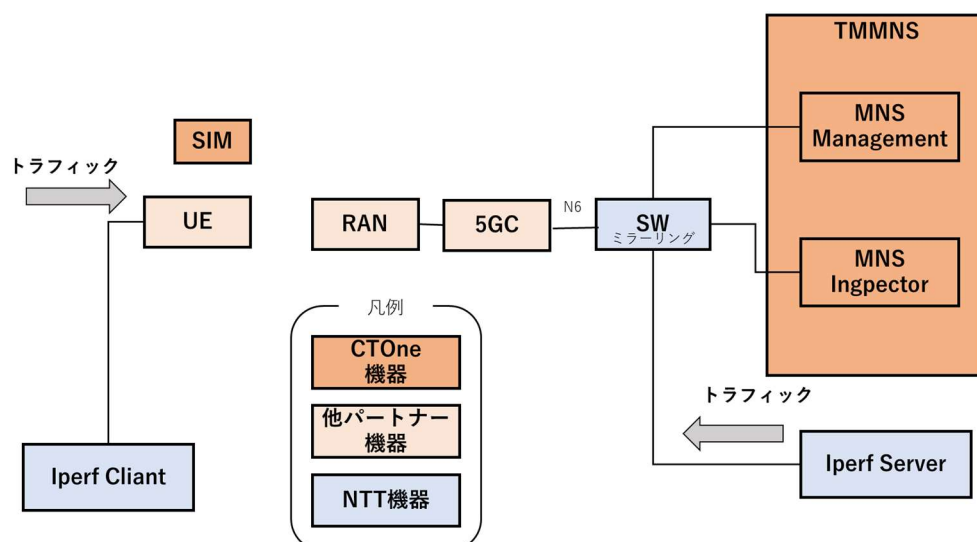


図 2-4 テーマ 3 の概要

3. テーマ 1 実証（ローカル 5 G 機器間の相互接続）

テーマ 1 実証では、異なるベンダーのローカル 5G 機器間の相互接続実証を行う。具体的な実証内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 テーマ 1 実証内容

項番	実証内容
3.1 相互接続試験	- 相互接続可、不可の評価 - 相互接続不可となった組合せの事例を通して、相互接続における知見をまとめる
3.2 スループット試験	相互接続成功となった組合せでの通信品質の評価
3.3 4K 動画伝送遅延試験	具体的なユースケースでの通信品質として、4K 映像伝送時の遅延特性の評価

3.1. 相互接続試験

3.1.1. 試験構成

本試験構成を図 3-1 および図 3-2 に示す。RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備する。

UE 接続完了後のデータ通信は、UE 本体もしくは、UE 配下に接続した Client PC と、N6 設置の N6 Server の間で行う。

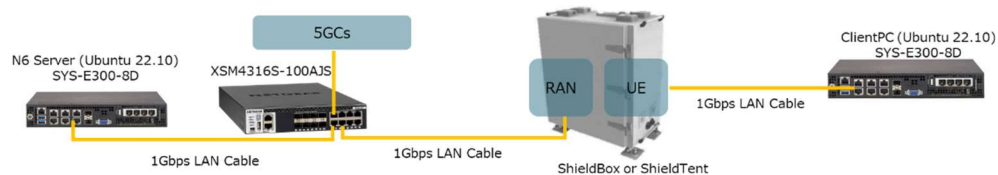


図 3-1 相互接続試験構成

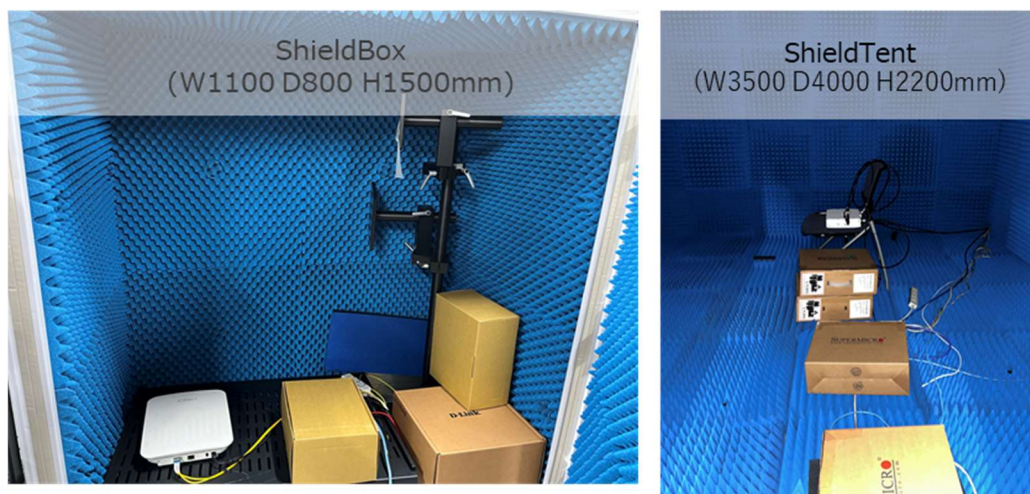


図 3-2 シールドボックスおよびシールドテント

環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。使用するシールドボックスとシールドテントのサイズと効果電界を表 3-2 に示す。

表 3-2 シールドボックス、シールドテント仕様

品名	サイズ(W×D×H) 【mm】
シールドボックス	1,100×800×1,500
シールドテント	3,500×4,000×2,200

3.1.2. 試験機器一覧

本試験で使用したローカル 5G 機器品名および型番を表 3-3 に、ローカル 5G 機器仕様を表 3-4 にそれぞれ示す。

表 3-3 相互接続試験で使用したローカル 5G 機器品名および型番

メーカー	略称	区分	品名/型番
日本ヒューレット・パッカード合同会社	HPE	5GC	HPE Aruba Networking Private 5G Core
NTT テクノクロス(株)	NTT-TX	5GC	-
Quanta Cloud Technology Incorporated	QCT	5GC	OmniCore
Saviah Technologies	Saviah	5GC	-
エアースパン・ジャパン(株)	Airspan	RAN	Airspeed 1900
Askey Computer Corporation	Askey	RAN	NR xCell 80156C
Compal Electronics	Compal	RAN	Integrated Small Cell "Cedar"
(株)FLARE SYSTEMS	FLARE SYSTEMS	RAN	-
HTC Corporation	HTC	RAN	HPFG-0-0101
REIGN Technology Corporation	G REIGNS		
LITE-ON Technology Corporation	LITE-ON	RAN	FlexFi 5G Small cell ORAN-RU/FF-RFI079I04
日本電気(株)	NEC	RAN	RV1200
NEC マグナスコミュニケーションズ(株)	NEC Magnus	RAN	FB2000SS
ペガトロン・ジャパン(株)	Pegatron	RAN	5G ORAN Station/PG5200, Indoor RU 4T4R
Quanta Cloud Technology Incorporated	QCT	RAN	OmniRAN
Askey Computer Corporation	Askey	UE	NUQ3000M
Compal Electronics	Compal	UE	RAKU/91ZX533007A
ディーリンク・ジャパン(株)	D-Link	UE	DWP-1010W
ハイテックインター(株)	HYTECINTER	UE	HW5G-3100-SSD
日本電気(株)	NEC	UE	VersaPro/VJV50G-B
NEC マグナスコミュニケーションズ(株)	NEC Magnus	UE	FG900CS
ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社	Nokia	UE	Industrial 5G Fieldrouter FRRO501c
パナソニック コネクト(株)	PCO	UE	XC-WN930J-01
ペガトロン・ジャパン(株)	Pegatron	UE	Raptor V2/MG54AX
京セラ(株)	KYOCERA	UE	K5G-C-100A
住友電気工業(株)	SEI	UE	産業用 5G 端末/IGW5111

表 3-4 相互接続試験で使用したローカル 5G 機器仕様

略称	区分	3GPP Rel Ver	搭載 CPU/SoC,モデム	レイヤ (UL×DL)	最大 QAM UL	最大 QAM DL
HPE	5GC	Release16	非公開	-	-	-
NTT-TX	5GC	Release16	Intel based CPU	-	-	-
QCT	5GC	Release15	Intel based CPU	-	-	-
Saviah	5GC	Release16	非公開	-	-	-
Airspan	RAN	Release15	非公開	非公開	非公開	非公開
Askey	RAN	Release15	FSM10056	2×2	256	256
Compal	RAN	Release16	NXP LX2160A NXP LA1238	2×4	256	256
FLARE SYSTEMS	RAN	Release17	非公開	2×4	256	256
HTC G REIGNS	RAN	Release15	Intel based CPU	2×4	64	64
LITE-ON	RAN	Release15	NXP LX2160	2×4	64	256
NEC	RAN	Release15	非公開	非公開	非公開	非公開
NEC Magnus	RAN	非公開	Intel Icelake + FPGA	2×4	256	256
Pegatron	RAN	Release15	Intel Icelake + FPGA(BBU) Intel Arria 10 FPGA(RU)	2×4	非公開	非公開
QCT	RAN	Release15	Intel based CPU	2×4	64	256
Askey	UE	Release16	Snapdragon X65 5G Modem-RF System	2×4	256	256
Compal	UE	Release15	Snapdragon X55 5G Modem-RF System	2×4	256	256
D-Link	UE	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
HYTECINTE R	UE	Release16	Snapdragon X55 5G Modem-RF System	2×4	256	256
NEC	UE	非公開	非公開	非公開	非公開	非公開
NEC Magnus	UE	非公開	Snapdragon X55 5G Modem-RF System	2×4	256	256
Nokia	UE	Release15	Qualcomm IPQ6010 Quectel RM505Q-AE with SDX55	非公開	非公開	非公開
PCO	UE	Release15	非公開	1×4	64	256
Pegatron	UE	Release16	Snapdragon X62 RM520N-GL	非公開	非公開	非公開
KYOCERA	UE	Release15	Snapdragon X55 5G Modem-RF System	2×4	256	256
SEI	UE	Release16	Snapdragon X65 5G Modem-RF System	2×4	256	256

3.1.3. 設定項目

相互接続試験における、各ローカル 5G 機器（ノード）に必要な設定項目を表 3-5 に示す。本プロジェクトでは、各ローカル 5G 機器に統一された設定値を設定し、条件を揃えた上で試験を実施した。

表 3-5 設定項目一覧

設定項目	ノード毎設定項目	設定値様式	5GC	RAN (AIO)	RAN (CU)	RAN (DU)	RAN (RU)	UE
IP Address	5GC N2 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N3 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N4 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	5GC N6 IP address	-	○	-	-	-	-	-
	RAN CU IP address	-	-	○	○	-	-	-
	RAN DU IP address	-	-	○	-	○	-	-
	RAN RU IP address	-	-	○	-	-	○	-
	5GC Management IP address	-	○	-	-	-	-	-
	RAN Management IP address	-	-	○	○	○	○	-
	UE Management IP address	-	-	-	-	-	-	○
VLAN	N2 VLAN	-	○	○	○	-	-	-
	N3 VLAN	-	○	○	-	○	-	-
RAN SW Mode	-	-	-	○	-	-	-	-
UE Pool IP Address	-	-	○	-	-	-	-	-
PLMN	-	数字 6 桁	○	○	○	-	-	-
TAC/TAI	-	数字 6 桁	○	○	-	○	-	-
SST	-	数字 2 桁	○	○	-	○	-	--
SD	-	数字 1 桁~4 桁	○	○	-	○	-	-
DNN	-	任意の文字列	○	○	○	-	-	○
5QI	-	数字 1~3 桁	○	○	○	-	-	-
gNB-ID-Length	-	任意の数字	○	○	○	-	-	-
gNB-ID	-	16 進数 6 桁	○	○	-	○	-	-

3.1.4. 試験項目

本試験の試験項目を表 3-6 に示す。

表 3-6 相互接続試験項目

項番	試験項目	試験目的	試験合格基準
1	Registration・PDU プロシージャ確認	平時における UE の接続動作確認を行う。	5GC, RAN 起動後に UE を起動する。 Registration の完了および PDU Session が確立できること。
2	1Call test	平時における UE のデータ通信確認を行う。	PDU Session 確立後、N6 設置のサーバ に ping が可能であること。
3	RF Power OFF/ON	RAN の停止を想定し、RAN 起動後に UE が接続完了しデータ通信が可能であるこ との確認を行う。	PDU Session 確立後、RAN を停波す る。RAN を再び開波した時に UE が PDU Session を確立できること。
4	UE Power OFF/ON	ユーザによる UE の電源 OFF/ON 操作を 想定し、UE 起動後に接続完了およびデー タ通信が可能であることの確認を行う。	PDU Session 確立後、UE の電源を OFF にする。再び UE の電源を ON にした時 に UE が PDU Session を確立できるこ と。
5	Airplane mode OFF/ON	ユーザによる UE の機内モード ON/OFF 操作を想定し、機内モード解除後に UE が接続完了しデータ通信が可能であるこ との確認を行う。	PDU Session 確立後、UE の機内モード を有効にする。機内モードを解除した時 に UE が PDU Session を確立できるこ と。

3.1.5. 試験手順

本試験では、下記 1～5 に示す 3GPP 規約[1][2]の信号に基づいて相互接続性およびデータ通信が可能であるか確認する。いずれの信号もパケットキャプチャを用いて確認する。

1. Registration・PDU プロシージャ確認
2. UE 接続後のデータ通信可否確認
3. RAN 停止起動後の 5GC と UE の接続可否およびプロシージャ確認
4. UE 停止起動後の接続可否およびプロシージャ確認
5. UE 機内モード解除後の接続可否およびプロシージャ確認

試験の中で接続不可、もしくは 3GPP 規約外の信号が確認された際は、各社連携し原因解析および改善に取り組み、試験期間内に原因の特定に至らなかった場合は今後再試験を実施予定である。なお、本ステータスとなったローカル 5G 機器の組み合わせ毎の原因解析情報は本レポートでは非開示とする。

3.1.6. 試験結果と考察

本試験で相互接続可能と確認できた組合せを表 3-7 に示す。「OK」表記の UE が全試験項目で合格した UE となる。住友電工(SEI)製 UE については、本プロジェクトに途中参加したため、一部組合せにおいては試験未実施となっている。

表 3-7 相互接続試験結果

5 GC	RAN	UE										
		Askey	Compal	D-Link	HYTECINTE R	NEC	NEC Magnus	Nokia	PCO	Pegatron	KYOCERA	SEI
HPE	Askey	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	LITE-ON	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	Askey	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	LITE-ON	OK	OK	*1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	NEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
NTT-TX	NEC Magnus	*1	OK	OK	*1	OK	OK	OK	OK	*1	OK	-
NTT-TX	Airspan	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
Saviah	Pegatron	*1	OK	*1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
HPE	Compal	*1	OK	OK	OK	OK	OK	*1	OK	OK	OK	-
Saviah	Aiaspan	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-
Saviah	HTC G REIGNS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
HPE	NEC Magnus	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Saviah	FLARESysteMS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
HPE	HTC G REIGNS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NTT-TX	FLARESysteMS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
HPE	Pegatron	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
QCT	FLARESysteMS	OK	OK	*1	OK	*1	OK	*1	OK	OK	OK	OK
QCT	Airspan	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Saviah	NEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
QCT	Askey	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

NTT-TX	HTC G REIGNS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
QCT	NEC Magnus	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NTT-TX	Pegatron	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
QCT	NEC	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Saviah	QCT	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

*1 表 3-8 に示す接続不可事象のいずれかの理由で接続不可もしくは再試験予定の組合せ。組合せ毎の原因解析情報は本レポートでは非開示とする。

図 3-3 に 2025 年 2 月現在完了した全 265 組み合わせの結果を示す。接続可能の組み合わせは 254 件、割合にして 95.8%が相互接続試験合格となった。

接続不可となった組み合わせ 11 件の内訳を表 3-8 に示す。内 5 件は原因を特定し問題解決しており、内 6 件については現在も原因調査中である。

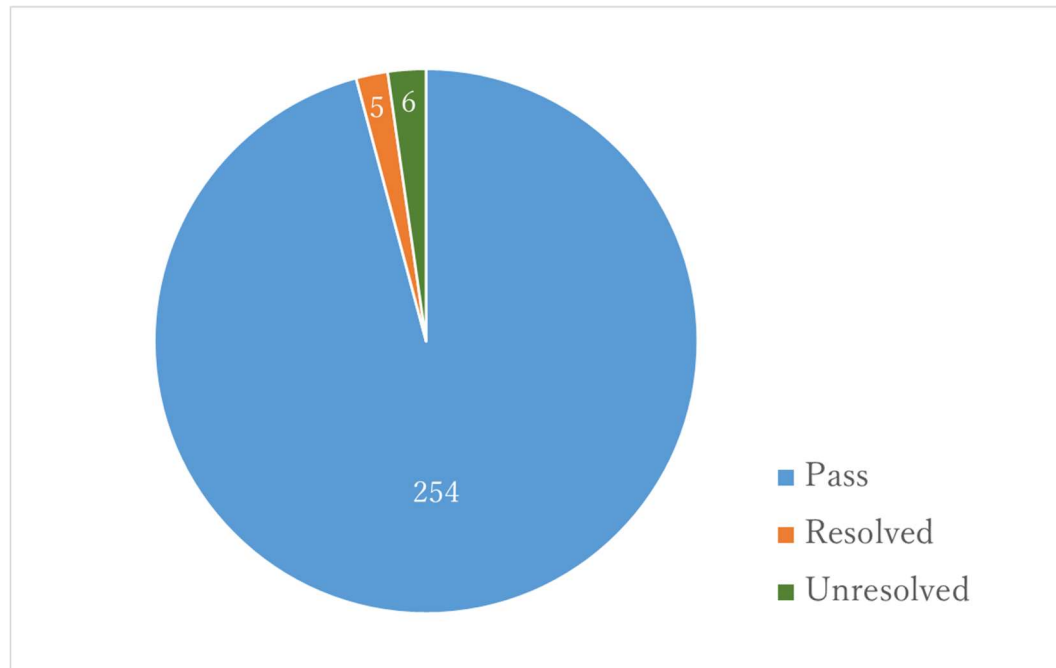


図 3-3 相互接続試験結果

表 3-8 相互接続試験不可事象

対応状況	発生件数 (11 件)	事象
解決済み	5 件	Registration プロシージャが完了しない事象
未解決	1 件	PDU セッション確立に失敗する事象
	2 件	PDU セッション確立後にデータ通信 NG となる事象
	1 件	再接続後に PDU セッションの解放と接続を繰り返す事象
	1 件	RAN の停波→開波後に PDU セッションが確立できない事象。ただし、UE の再起動等で接続可能
	1 件	UE 再起動後の Registration に失敗する事象

3.1.7. 相互接続において遵守すべき留意点と具体的な接続不可事例

本試験で使用したローカル 5G 機器は 3GPP 規約に則り開発されており、規格外の信号のやり取り等は確認されていない。一方で、95.8%の割合で接続成功したものの、一部の組合せにおいては始め接続不可だったが、切り分けすることで接続可能となったケースもある。それらの切り分けを通し、相互接続において遵守すべき留意点を表 3-9 の通りまとめた。加えて、本項で具体的な接続不可事例を紹介する。

表 3-9 相互接続において遵守すべき留意点

対象ローカル 5G 機器			遵守すべき留意点
5 GC	RAN	UE	
-	✓	✓	RAN において UE が送信する、UE Capability information パケットの許容可能なサイズが異なるため、UE の送信パケットサイズに対して RAN が処理可能であるか確認すること。
✓	✓	✓	ローカル 5G 機器が送受信する非対応の信号内メッセージによる不整合を避けるため、5GC,RAN,UE がサポートする 3GPP リリースのバージョンに留意すること。
✓	✓	-	UE によっては VoIP の APN 情報を保持しているものがあり、5GC で APN を許容するように設定すること。
✓	-	✓	構築時には VLAN の設定の要否を確認し、適切な VLAN 設定を実施すること。 (N2 及び N3 のセグメント設定)
✓	✓	-	DNN の 5QI 値については 5GC と RAN が互いにサポートする値にすること。

・事例 1：UE Capability Information 信号を RAN ノードが破棄することによる接続不可事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在したが、試験中に取得した N2 パケットキャプチャと RAN ログ解析により原因を特定し、RAN のソフトウェア改修により問題動作の解決に至った。

図 3-4 は動作発生時に取得したパケットキャプチャの抜粋である。

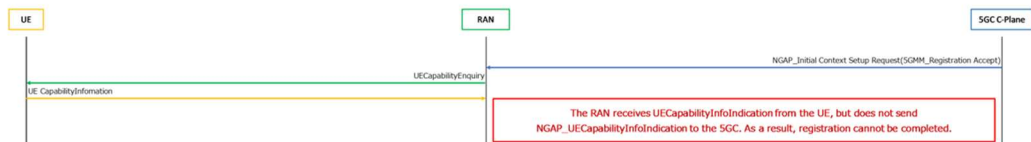


図 3-4 事例 1 概要

3GPP 規約では、RAN が 5GC からの 5GMM_Registration Accept を受信すると NGAP_UECapabilityinfoindication を 5GC 宛てに返却するが、RAN は信号を返却していなかった。

当該動作発生中の RAN システムログの解析により、UE から受信した UE CapabilityInfomation の処理に失敗しこれを破棄していたことが判明した。

UE CapabilityInfomation には UE のサポートする技術情報やプロトコル情報、セキュリティやその他ネットワーク機能の情報が含まれているが、問題動作が発生した UE はこれらの情報が多くパケットのサイズが大きくなり、RAN で処理できなくなっていたことが判明した。

そのため、本プロジェクトでは RAN の内部処理の不具合によるものと位置づけ、ローカル 5G 機器の組み合わせにより発生した問題動作ではないと判断した。RAN ベンダーによるソフトウェア改修が行われ、問題動作の解消を確認した。以降は同事象、類似事象の発生は確認されていない。

・事例 2：サポートする 3GPP Release バージョンの相違による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在した。問題動作発生時に取得したローカル 5G 機器間の信号のやり取りを図 3-5 に示す。

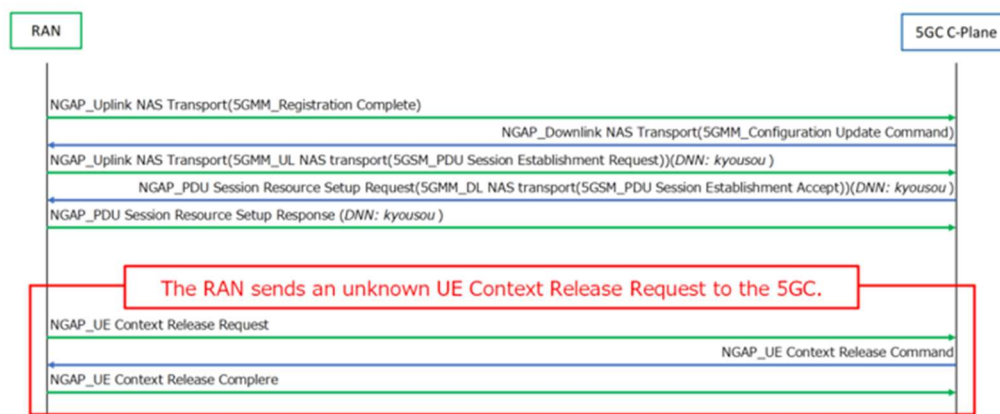


図 3-5 事例 2 概要

PDU セッションが確立した直後に、RAN 側から 5GC 宛てに不明な NGAP_UE Context Release Request が送信されていた。UE からの NGAP_PDU Session Establishment Request 信号の解析と、RAN のシステムログの解析から、問題動作が発生していた UE からの信号には 3GPP Release16[3]のメッセージが含まれており、加えて使用している RAN が 3GPP Release16 に未対応であることが判明した。

RAN ベンダーによるソフトウェア改修により、信号内の Release16 のメッセージ処理をスキップするようにしたところ、問題動作が解決した。以降は類似事象を含め、問題動作は確認されていない。

・事例 3：音声系 APN の接続拒否による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在した。問題動作発生時のパケット解析により原因の特定と問題の解決に至った。問題動作発生時のパケットの抜粋を図 3-6 に示す。

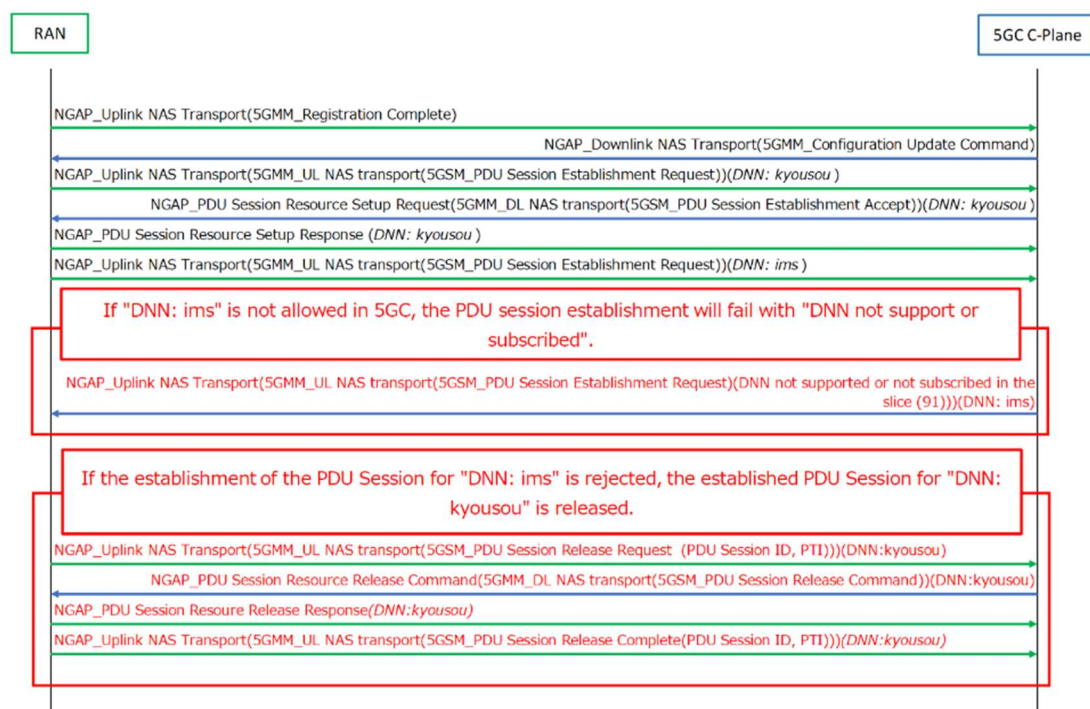


図 3-6 事例 3 概要

本プロジェクトでは“kyouyou”という DNN を用いて接続試験を実施しているが、これに加えて“ims”という DNN でも PDU セッションを確立しようとする UE が存在した。

5GC には“ims”という DNN の設定がされていなかったため、ims の PDU セッション確立要求に対して 5GC は PDU Session Release Command を送信し接続確立を拒否した。その後、ims 用の PDU セッション確立が失敗すると、成功したデータ用の PDU セッションの接続も切断してしまう UE があった。

3GPP 規約では IMS_VoPS を 5GC がサポートしている状態で内部に ims の DNN を持つ UE が PDU セッションを確立することで発生する。

5GMM_Registration_Accept 信号例[4]を図 3-7 に示す。

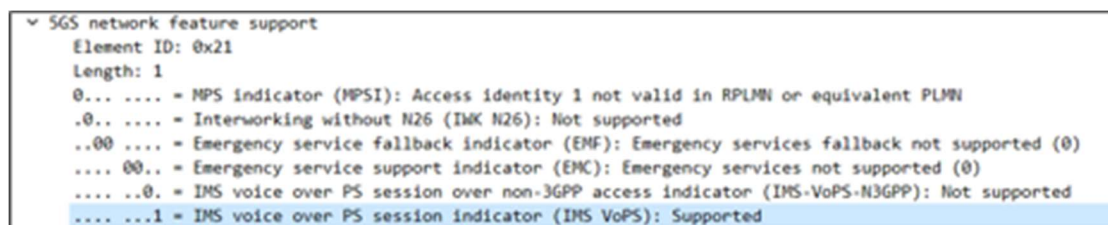


図 3-7 IMS_VoPS をサポートする 5GC の NGAP_Registration Accept 信号例

ここで IMS VoPS のビットが立つと、内部に ims をもつ UE は kyousou と ims の DNN で PDU セッション確立を要求する。ビットを立てなければ、UE は ims でのセッション確立を行わない。

ims DNN による接続確立の失敗は、5GC 設定で ims DNN の許容設定もしくは、5GC が IMS_VoPS をサポートしないことで回避可能である。

・事例4：ローカル 5G ネットワーク設定誤りによる接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせにおいて全ての UE が在圏できない、もしくは在圏できたとしても即切断してしまう問題が発生したが、試験中に取得した N2, N3 のパケットキャプチャと RAN のネットワークモニタリングにより原因を特定し、ネットワークスイッチの設定変更を行うことで阻害要因を解決できた。

問題発生時に取得したパケットキャプチャの抜粋を図 3-8 に示す。Registration 完了直後に、5GC から PDU Session Establishment Reject が返却されていることを確認した。

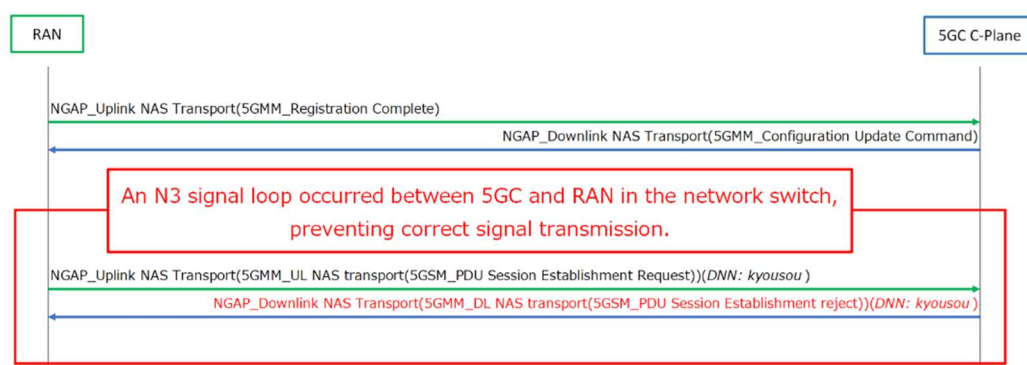


図 3-8 事例 4 概要

パケットキャプチャの情報を元に 5GC, RAN のシステムログやパケットモニタリングでパケットの流れを確認したところ、5GC の N3 ポートから送信されたパケットが RAN の N2 ポートに到達している等、パケットが正しいポートに到達していないことが判明した。

問題発生した 5GC と RAN は動作環境においてネットワークスイッチに VLAN 設定必須となっており、VLAN の設定は実施していたものの設定ミスによりパケットの混線が発生していた。

動作要件に VLAN が含まれているローカル 5G 機器の導入においては、ネットワーク図を各社と意識合わせしながら作成し、設定ミスが発生しないように試験環境を検討・構築する必要がある。

・事例 5：5GC と RAN がサポートする 5QI の相違による接続失敗事例

特定の 5GC と RAN の組み合わせで在圏できない UE が存在したが、試験中に取得した N2 パケットキャプチャと RAN 仕様との突合により問題発生原因を特定し解決した。動作発生時に取得したパケットキャプチャの抜粋を図 3-9 に示す。

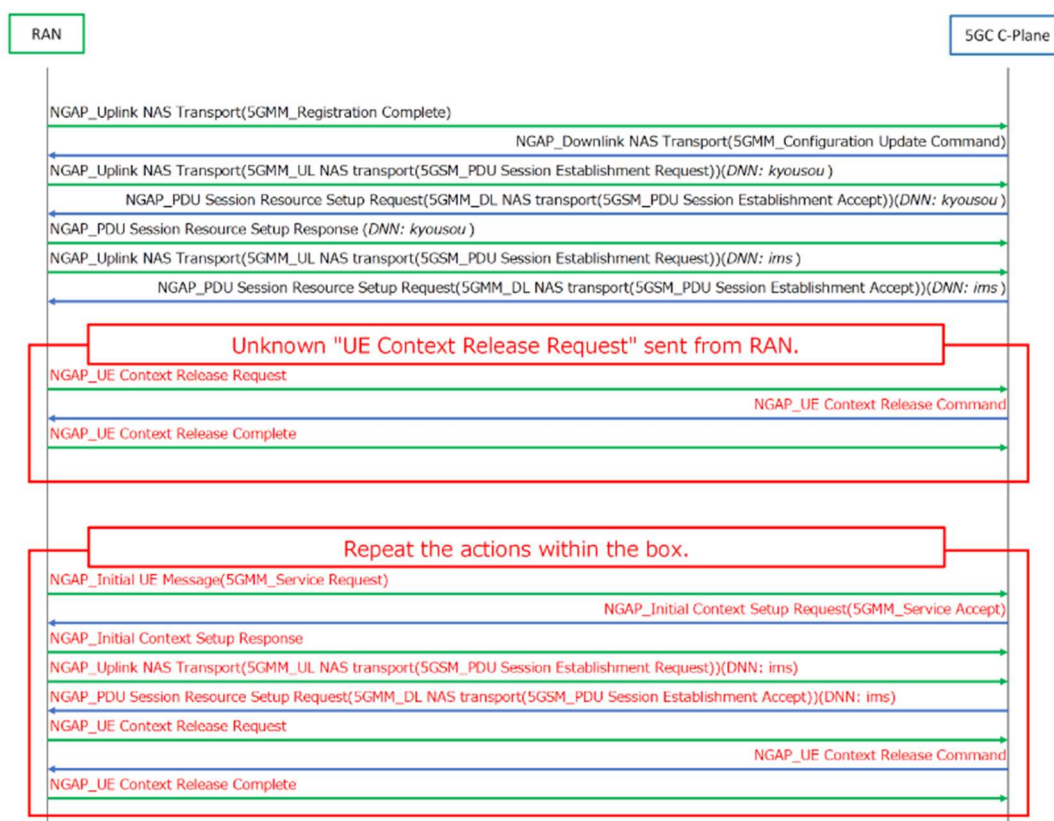


図 3-9 事例 5 概要

ims DNN の PDU セッションを確立する際に、RAN が不明な UE Context Release Command を 5GC 宛てに送信していた。解析の結果、ims DNN に対する 5GC の NGAP_PDU Session Establishment Accept 信号内の 5QI パラメータが「4」であり、このパラメータは RAN では許容していないパラメータであることが判明した。

図 3-10 は問題発生の原因となった PDU Session Establishment Accept 信号[4]内の 5QI パラメータである。なお、当プロジェクトでは ims DNN の PDU セッション確立時に問題動作が発生したが、当該 DNN に限定して発生する動作ではない。

```
QoS flow description 1 - 5QI - GBR uplink - GBR downlink - MBR uplink - MBR downlink
..00 0001 = Qos flow identifier: 1
001. .... = Operation code: Create new QoS flow description (1)
.1.. .... = E bit: 1
..00 0101 = Number of parameters: 5
Parameter 1
  Parameter identifier: 5QI (1)
  Length: 1
  5QI: 4
```

図 3-10 5QI=4 の時の PDU Session Establishment Accept 信号例

5GC 側で ims DNN の 5QI パラメータを RAN が許容している値に変更したところ、問題動作が解決し、以降の発生は確認されていない。相互接続試験や、商用利用時における 5GC と RAN の組み合わせにおいては、5QI のサポート情報を確認のうえ、適切な設定が必要である。

3.2. スループット試験

3.2.1. 試験構成

本試験構成を図 3-11 に示す。RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備する。相互接続試験時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスとシールドテントの情報は表 3-2 に示す情報と同様のため、本項では割愛する。

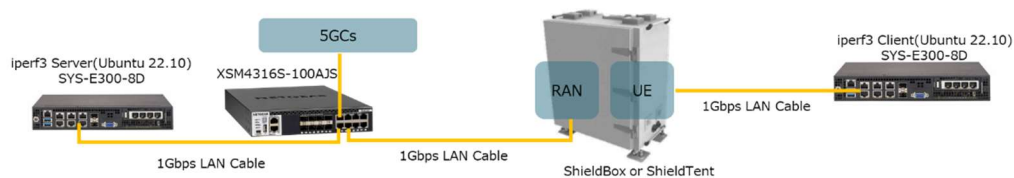


図 3-11 スループット試験構成

3.2.2. 試験機器一覧

本試験の試験機器品名および試験機器仕様は表 3-3 に示す情報と同様のため本項では割愛する。

3.2.3. 試験項目

スループット測定的项目を表 3-10 へ示す。

相互接続可能な組み合わせにおける伝送スループットについて、同期(TDD)及び準同期(TDD1)における UDP と TCP それぞれの UL/DL のスループットを測定する。

また、RAN の動作設定を準同期(TDD1)とした際のスループットが、設定に準じた速度であることを確認する。

試験で使用するツールは iperf3 を採用した。

表 3-10 スループット試験項目

項番	同期(TDD)/準同期(TDD1)	プロトコル	信号方向
1	同期(TDD)	UDP	UL
2			DL
3		TCP	UL
4			DL
5	準同期(TDD1)	UDP	UL
6			DL
7		TCP	UL
8			DL

3.2.4. 試験手順

実行する iperf3 コマンドのオプションパラメータは各ローカル 5G 機器に有利不利が発生しないよう、プロジェクト参画各社と合意の上決定した。実行コマンドおよびオプションパラメータは以下に記載する。下り方向のスループット試験は、ローカル 5G 機器に対してルーティング設定は実施せず、iperf3 の Reverse Mode を使用して試験を実施する。

なお、各社スループット公称値の 7 割を目安として十分な性能が確認できない場合は、試験期間内で原因分析のうえで再試験を行っている。原因特定に至らないケースは、本レポートの考察には含めないものとする。

・ 同期(TDD) UDP

UP Link: iperf3 -u -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -b 75M -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -u -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -b 75M -P 10 -O 10 -t 60 -R

・ 準同期(TDD1) UDP

UP Link: iperf3 -u -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -b 49M -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -u -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -b 49M -P 10 -O 10 -t 60 -R

・ 同期(TDD) / 準同期(TDD1) TCP

UP Link: iperf3 -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -P 10 -O 10 -t 60

Down Link: iperf3 -c *iperf3Server Addr* -l 1300 -P 10 -O 10 -t 60 -R

3.2.5. 試験結果と考察

3.2.5.1. 目標値から見た試験結果

試験結果として得たスループットが各 RAN 機器のスループット公称値に対して何割となるかを示す分布図を図 3-12 に示す。

各 RAN 機器の公称値における試験環境はベンダー毎に異なることから、公称値通りとならないことは想定された結果であるが、公表値 $100\% \pm 30\%$ に全体の 8 割が分布したことから、異なるベンダーのローカル 5G 機器の性能を評価する試験環境としては妥当な環境と捉えている。

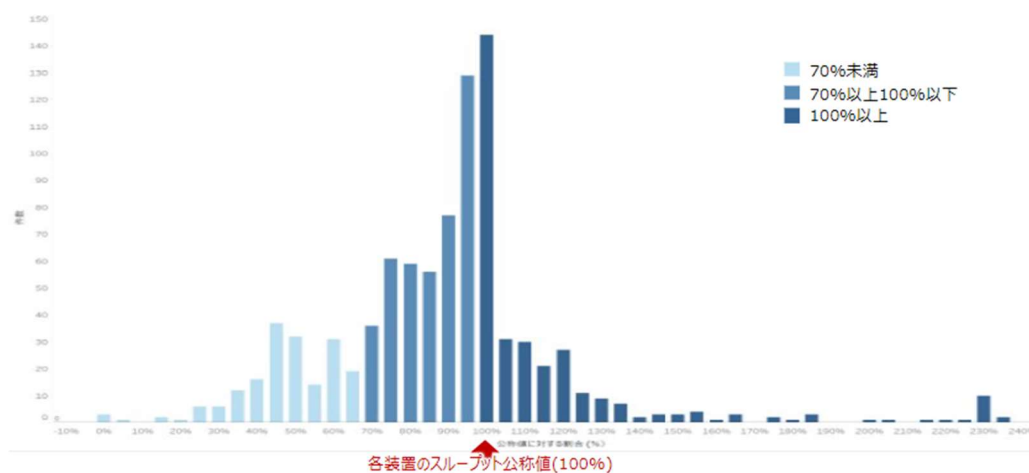


図 3-12 公称値達成率とパターン件数

3.2.5.2. RAN,UE の性能から見た試験結果

RANがサポートするQAMとRAN搭載アンテナ数の仕様により性能特性が異なるため、表 3-11 に示す通り RAN の QAM と搭載アンテナ数でグループ分けを行い、それぞれ結果を考察する。なお、RAN の QAM と搭載アンテナは表 3-4 の内容に基づく。各グループの試験結果を図 3-13～図 3-32 に示す。

表 3-11 RAN の UL アンテナ数(QAM)×DL アンテナ数(QAM)で分けたグループ

グループ番号	RAN 仕様
1	1(64)×2(256)
2	2(256)×2(256)
3	2(64)×4(64)
4	2(64)×4(256)
5	2(256)×4(256)

・グループ1 UL アンテナ数1(64QAM)×DL アンテナ数2(256QAM)

UL：UE の UL アンテナ数(1～2)に関わらずスループット速度はほぼ同じ結果となった。

これは RAN の UL アンテナ数が 1 であるため、UE の UL アンテナ数が変動してもスループット値に影響を与えないからと考えられる。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の 7 割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

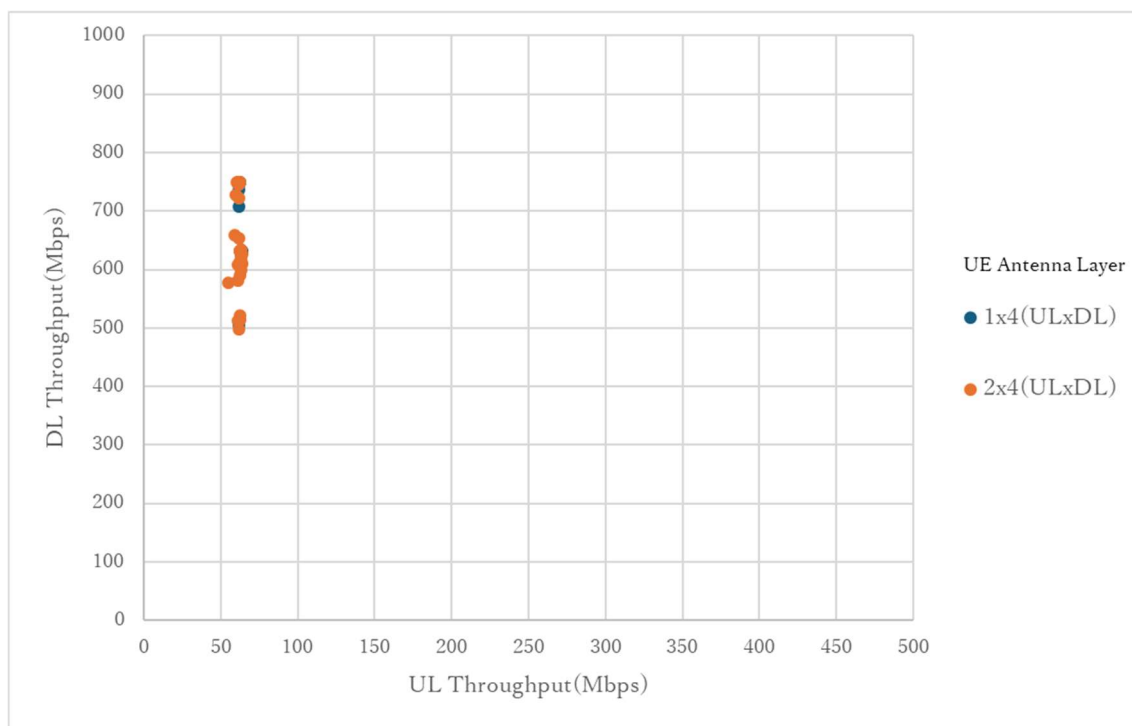


図 3-13 同期 UDP スループット試験結果(グループ 1)

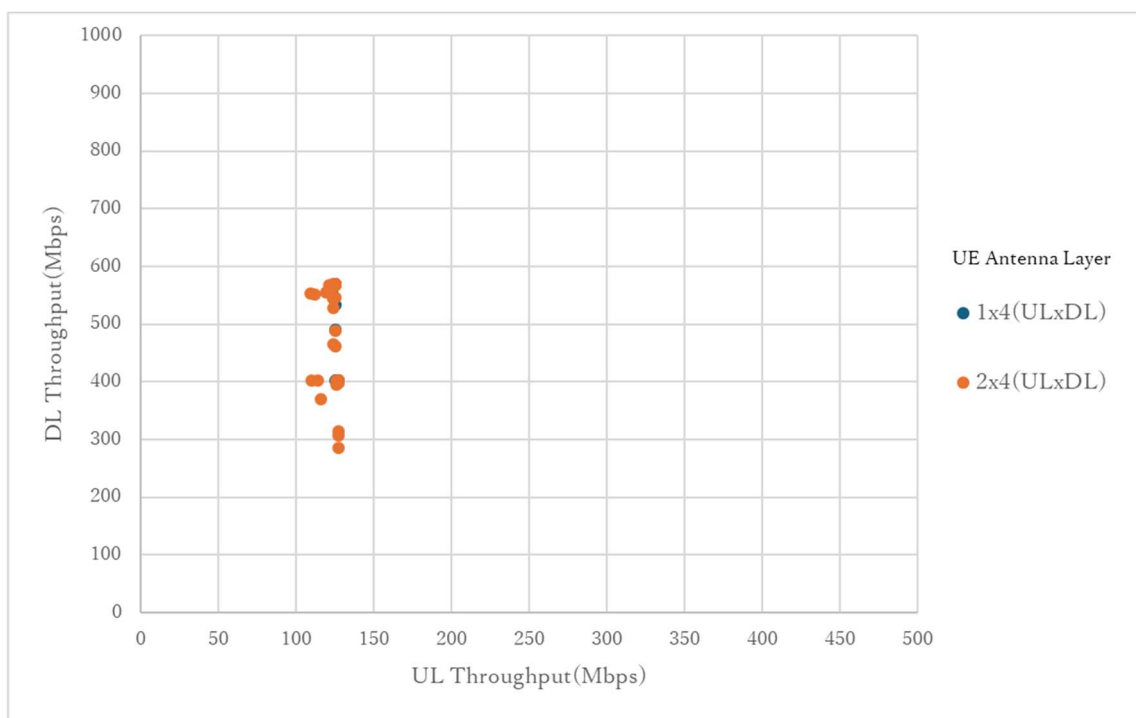


図 3-14 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 1)

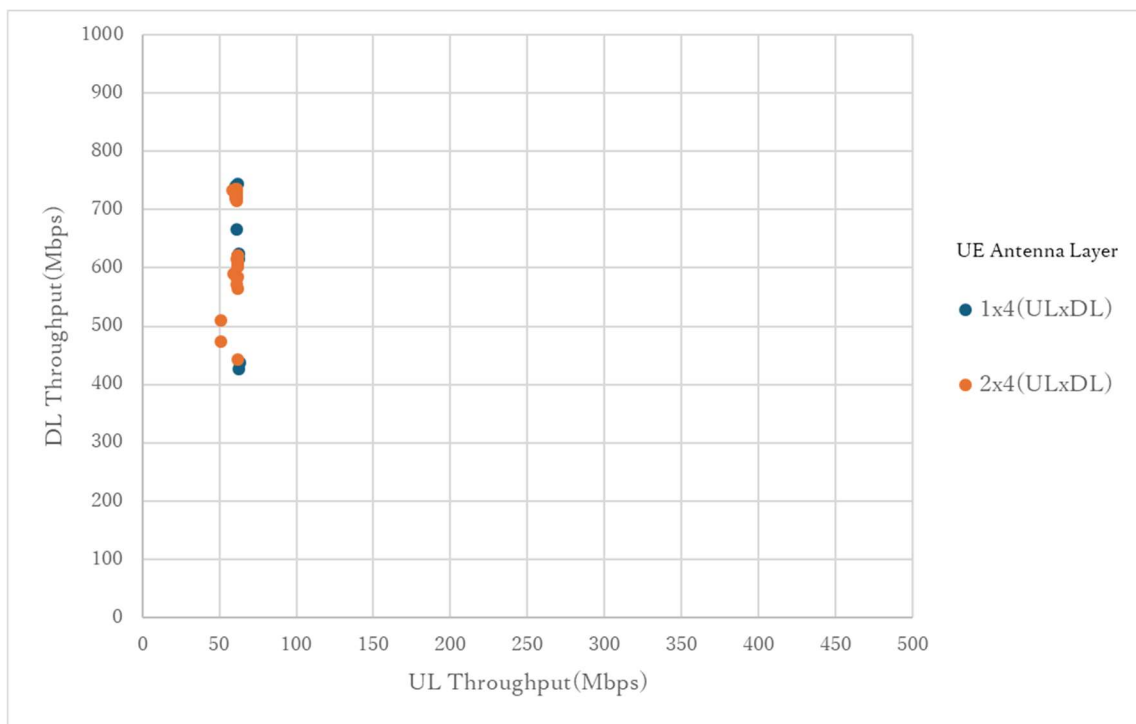


図 3-15 同期 TCP スループット試験結果(グループ 1)

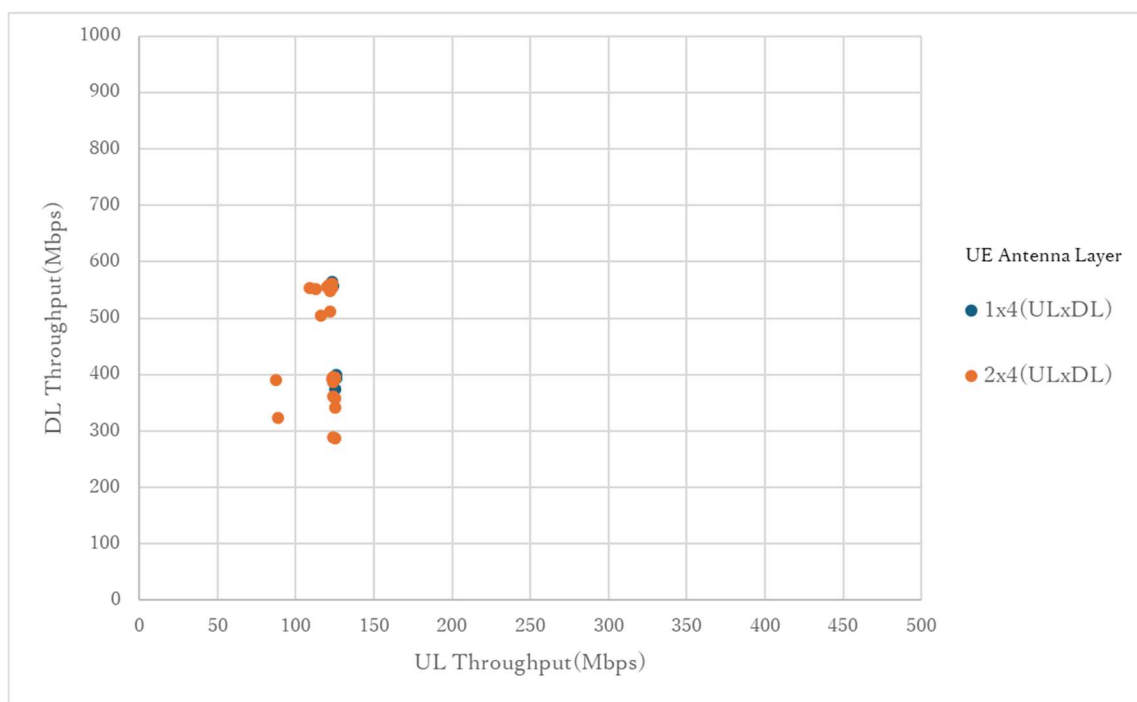


図 3-16 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 1)

・グループ 2 UL アンテナ数 2(256 QAM)×DL アンテナ数 2(256 QAM)

UL：UL アンテナ数 1 と 2 の UE のスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 ではおよそ 2 倍の速度となっている。これは RAN の UL アンテナ数が 2 であるために、UE の UL で使用するアンテナ本数によって違いが生じていると考えられる。また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の 7 割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)では D L 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

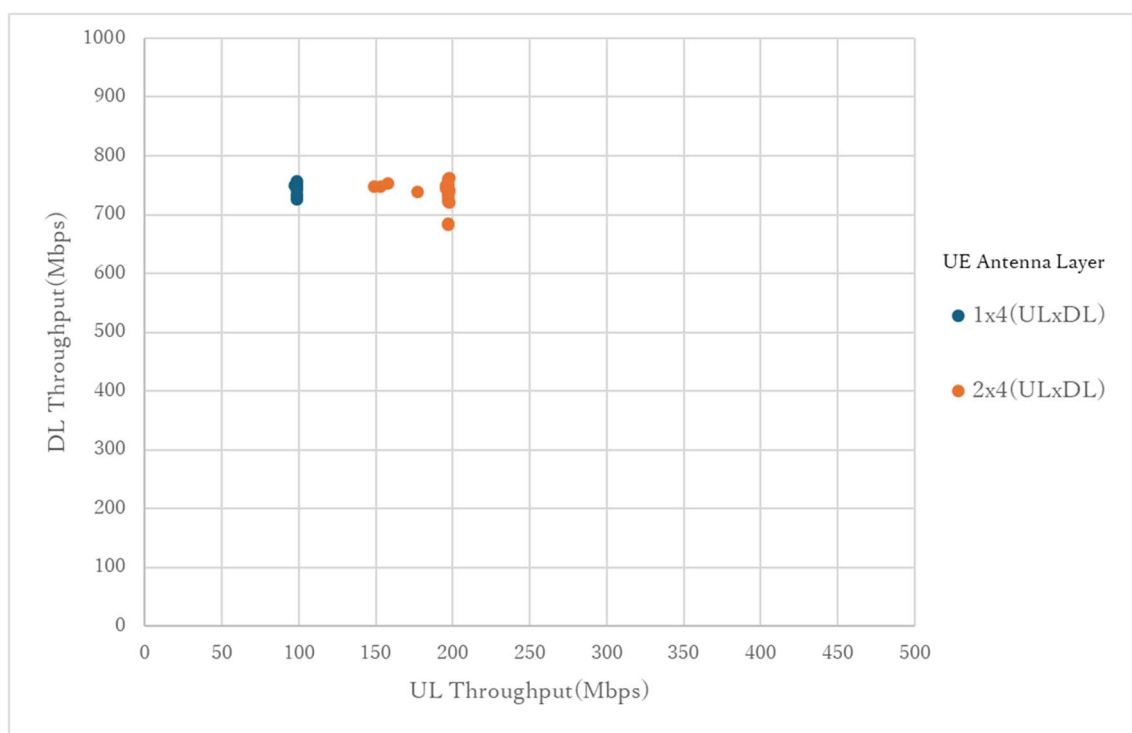


図 3-17 同期 UDP スループット試験結果(グループ 2)

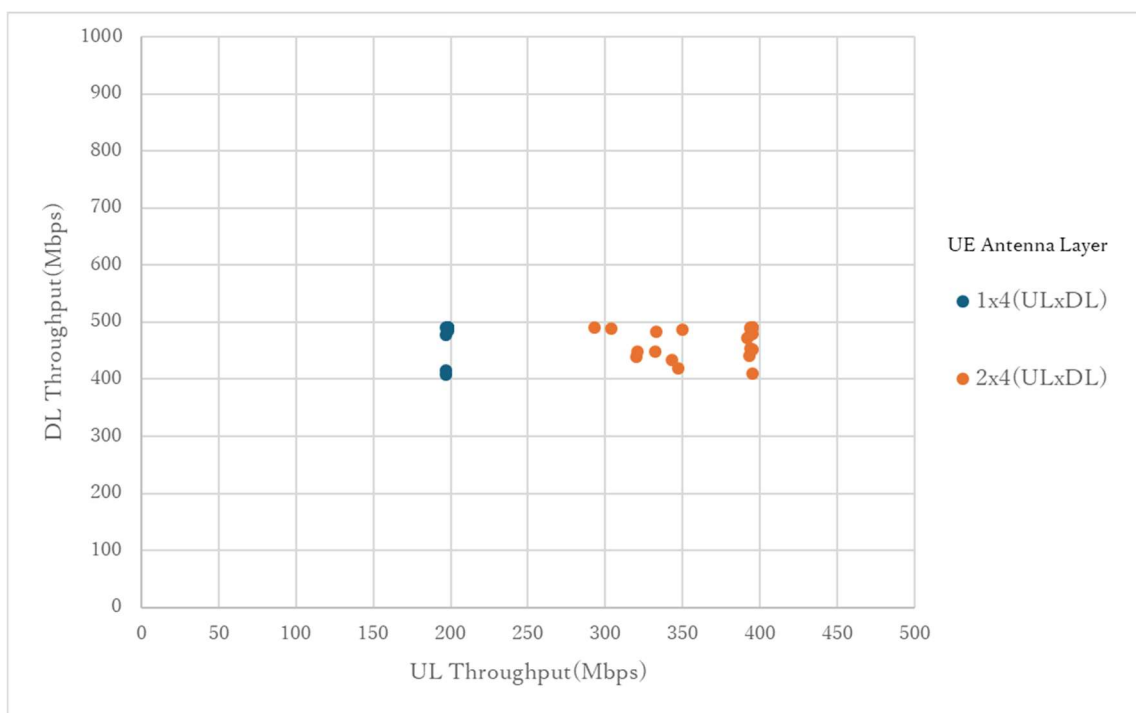


図 3-18 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 2)

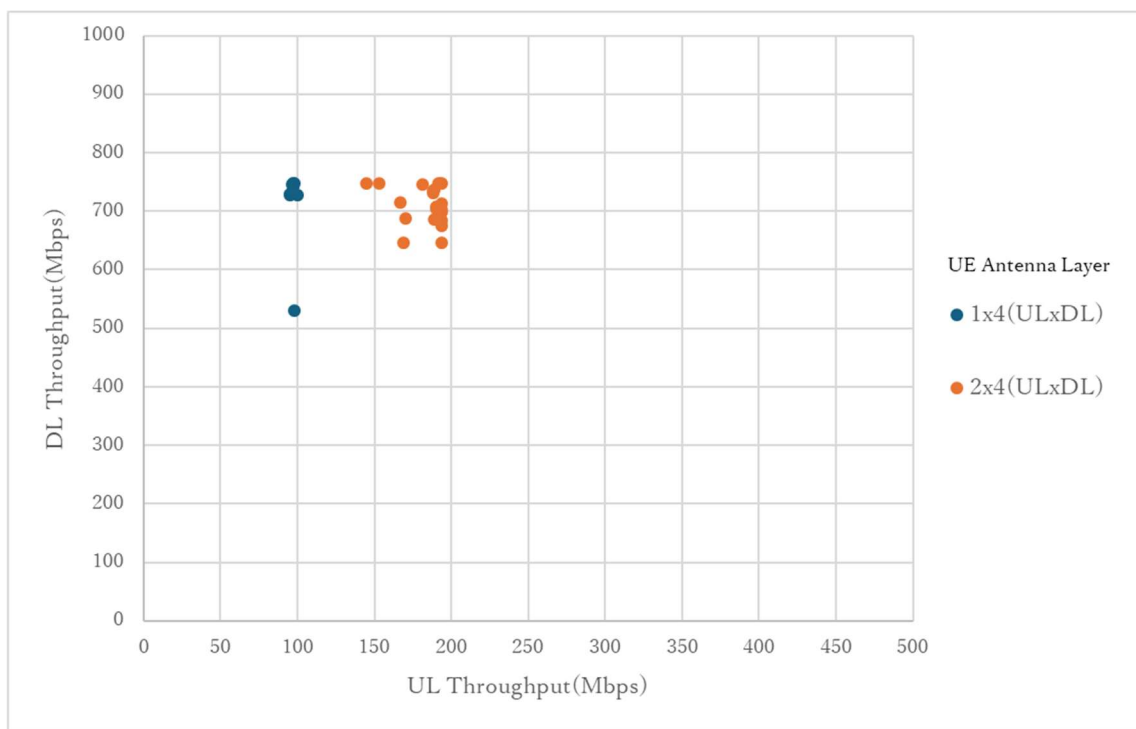


図 3-19 同期 TCP スループット試験結果(グループ 2)

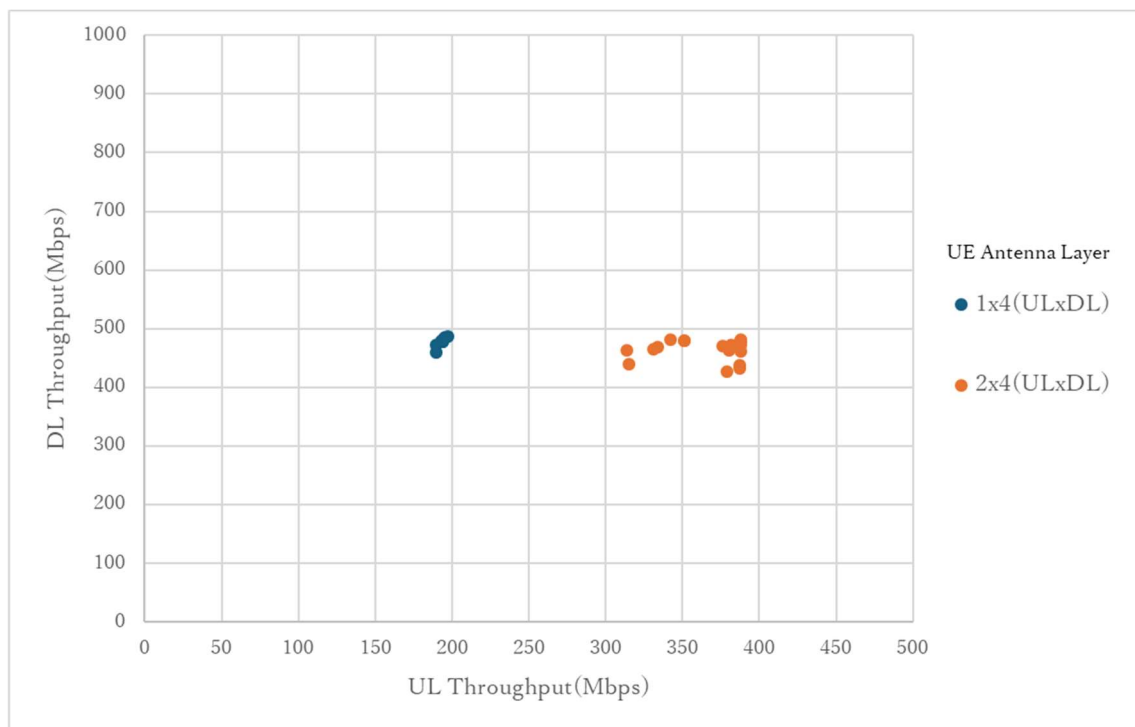


図 3-20 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 2)

・グループ 3 UL アンテナ数 2(64 QAM)×DL アンテナ数 4(64 QAM)

UL：UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：スループット速度はほぼ同じ結果であり、スループット最良値の 7 割の範囲でまとまっている。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

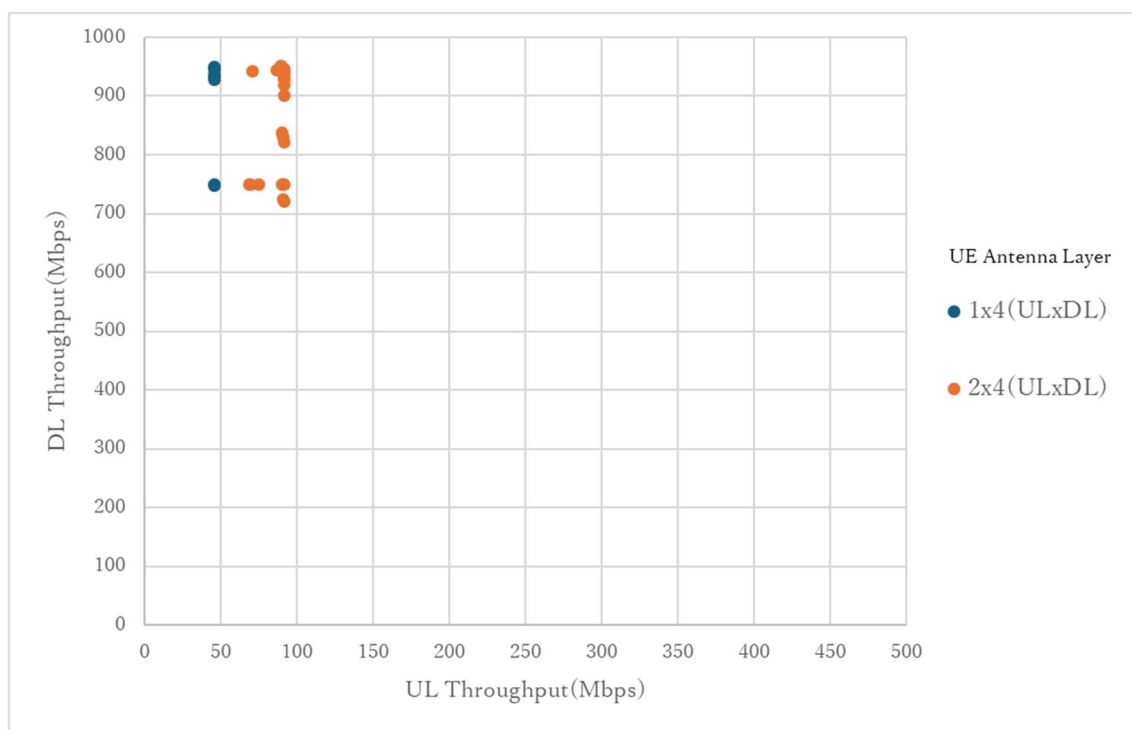


図 3-21 同期 UDP スループット試験結果(グループ 3)

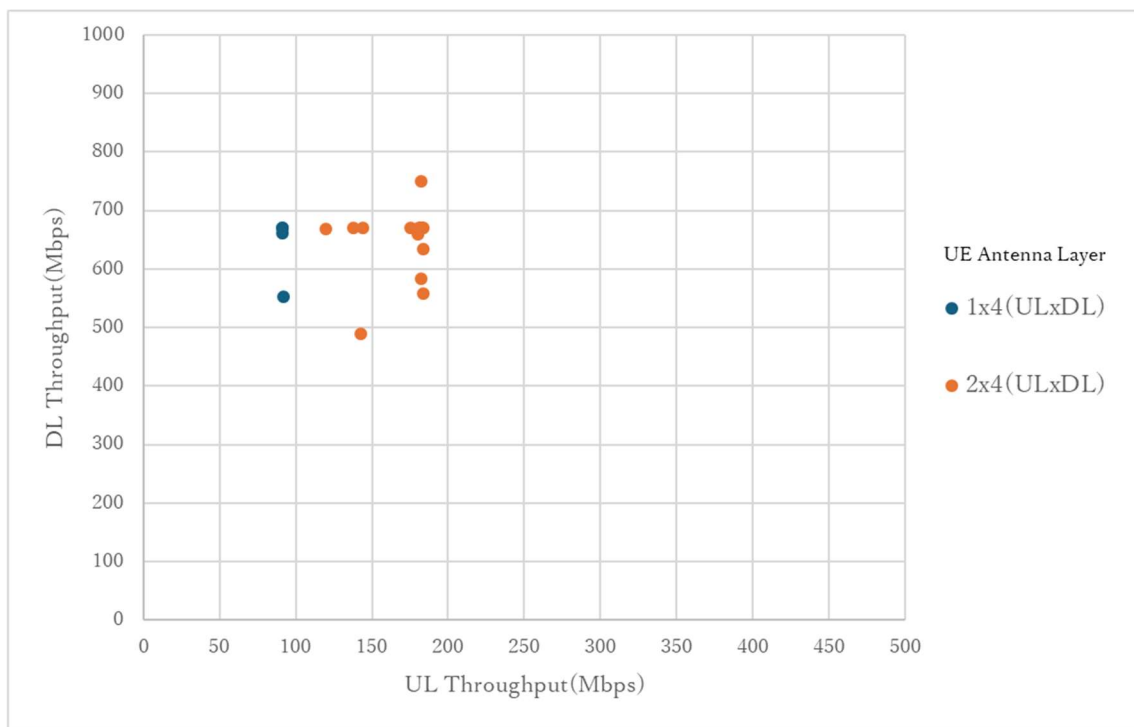


図 3-22 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 3)

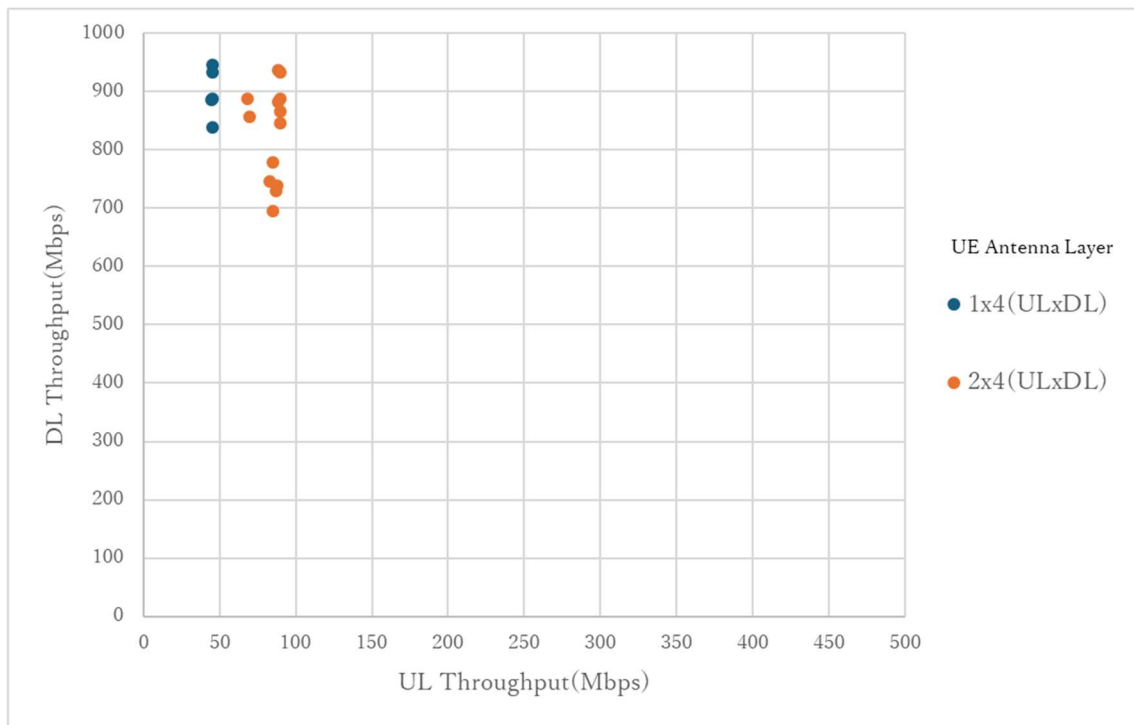


図 3-23 同期 TCP スループット試験結果(グループ 3)

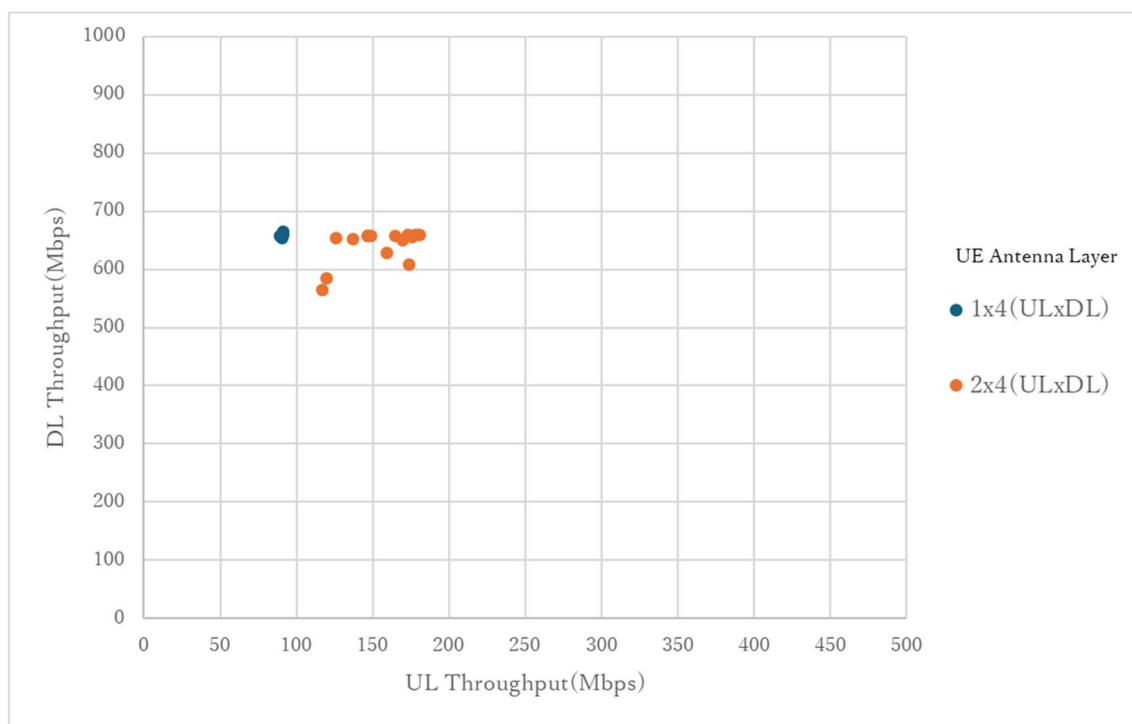


図 3-24 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 3)

・グループ 4 UL アンテナ数 2(64 QAM)×DL アンテナ数 4(256 QAM)

UL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

DL スループットは同期(TDD) /準同期(TDD1)および UDP/TCP の違いに関わらず 350Mbps 以上の速度が出た。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた

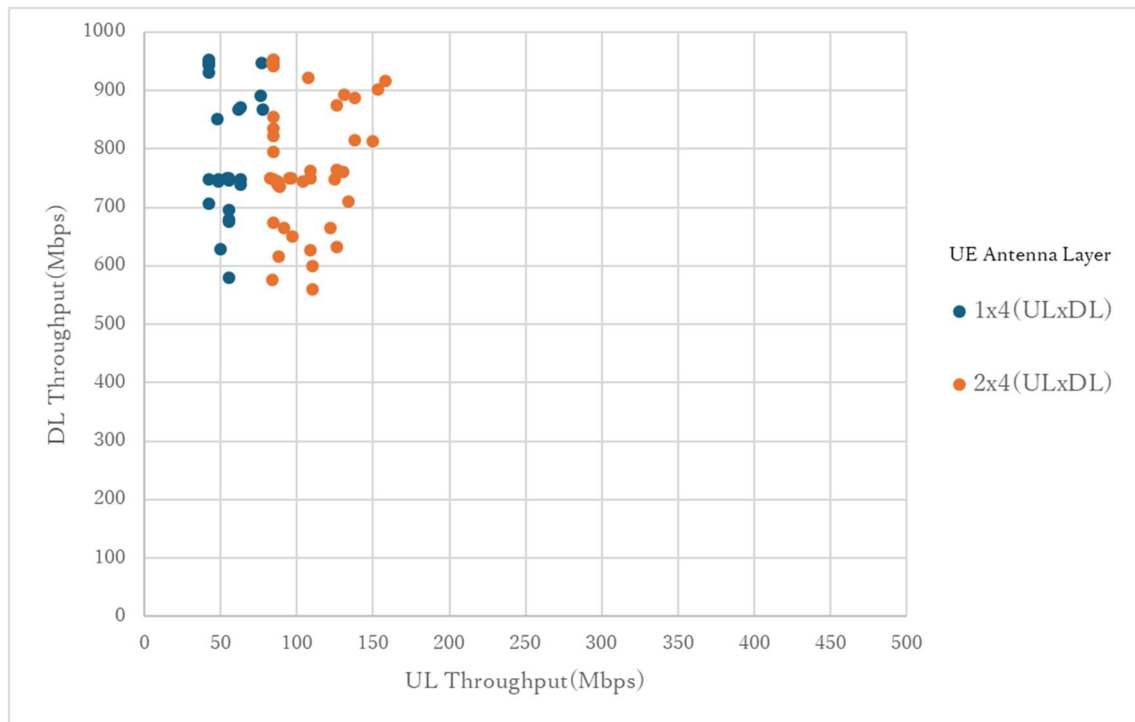


図 3-25 同期 UDP スループット試験結果(グループ 4)

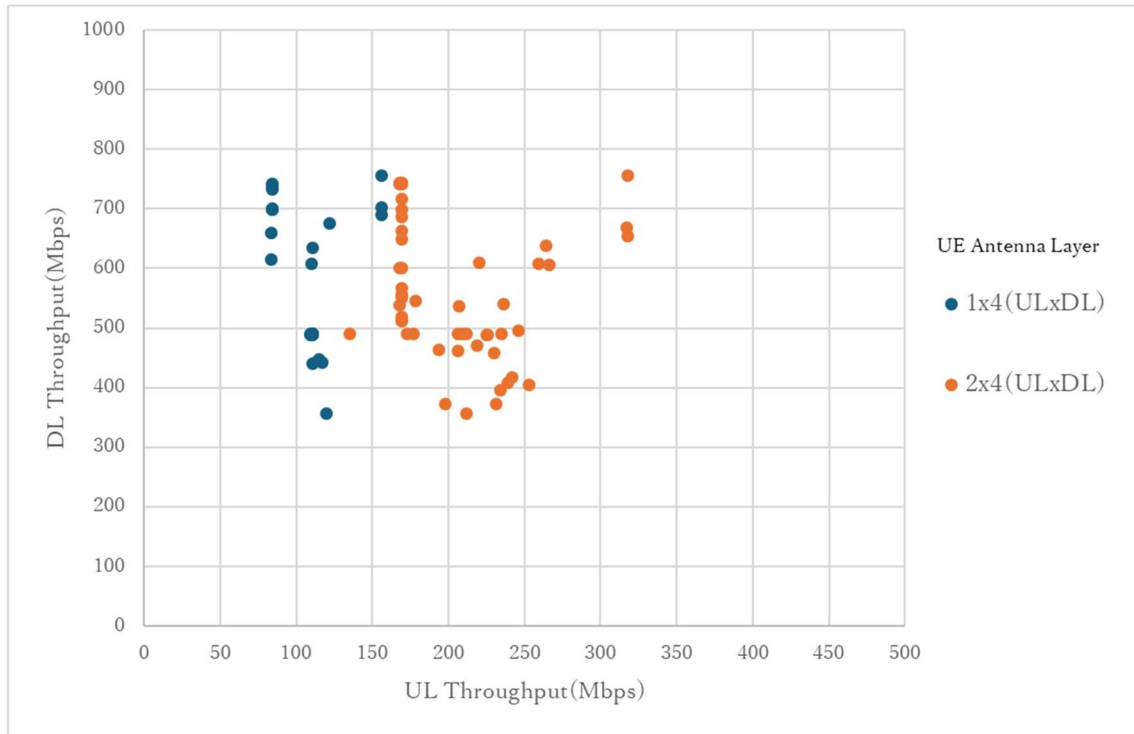


図 3-26 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 4)

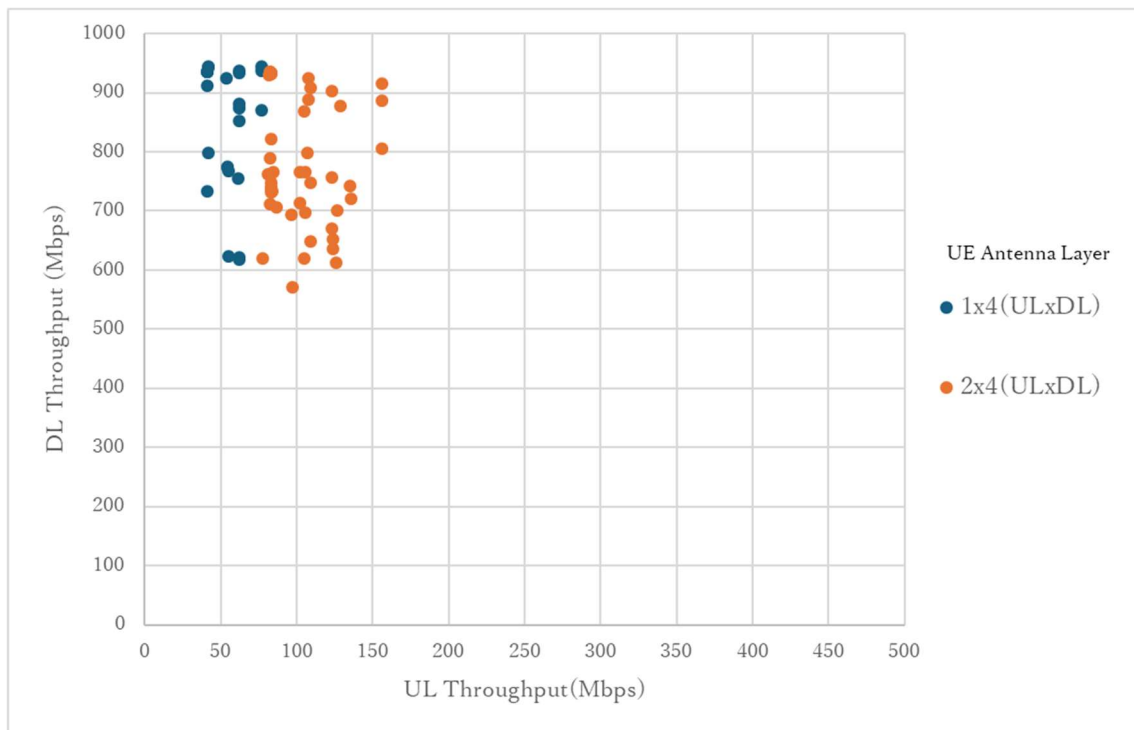


図 3-27 同期 TCP スループット試験結果(グループ 4)

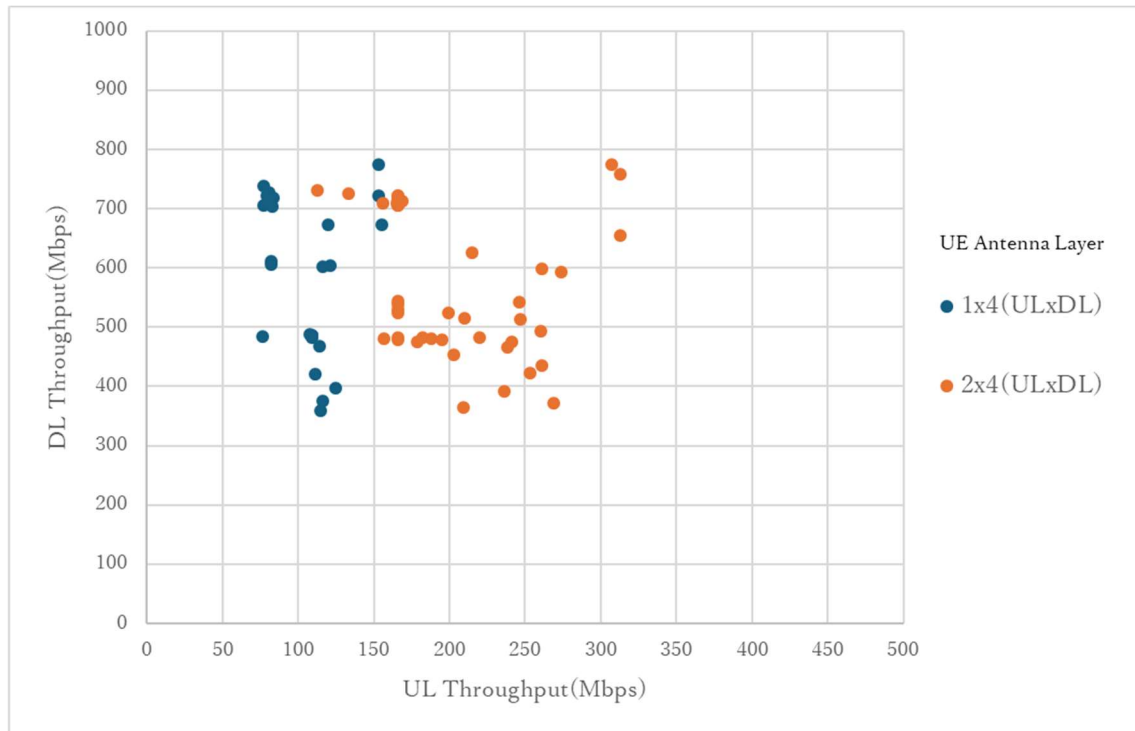


図 3-28 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 4)

・グループ 5 UL アンテナ数 2(256 QAM)×DL アンテナ数 4(256 QAM)

UL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

UE の UL アンテナ数 1 と 2 でスループット最良値を比較すると UL アンテナ数 1 に比べて UL アンテナ数 2 はおよそ 2 倍の速度となっている。

また、準同期(TDD1)では UL 通信の割合が同期(TDD)より多くなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

DL：測定対象の RAN/UE 数が多いため、測定結果が発散している。

DL スループットは同期(TDD) /準同期(TDD1)および UDP/TCP の違いに関わらず 500Mbps 以上の速度が出た。

また、準同期(TDD1)では DL 通信の割合が同期(TDD)より少なくなるため、TCP/UDP 共に方式によるスループット特性の違いが確認できた。

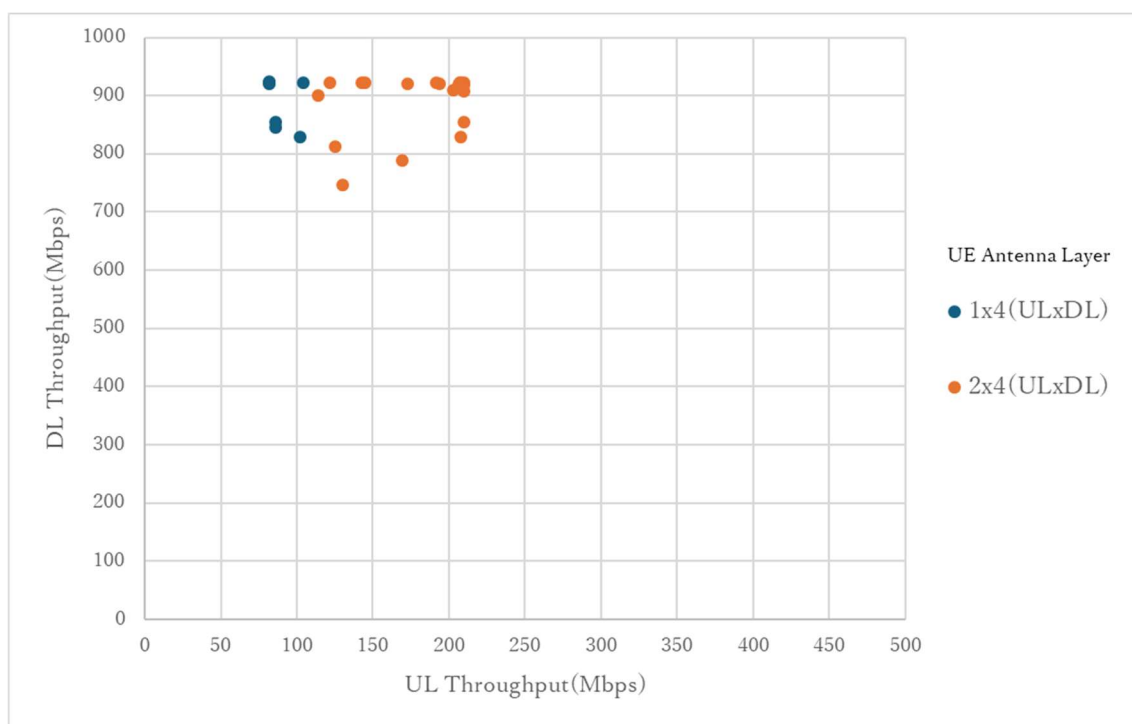


図 3-29 同期 UDP スループット試験結果(グループ 5)

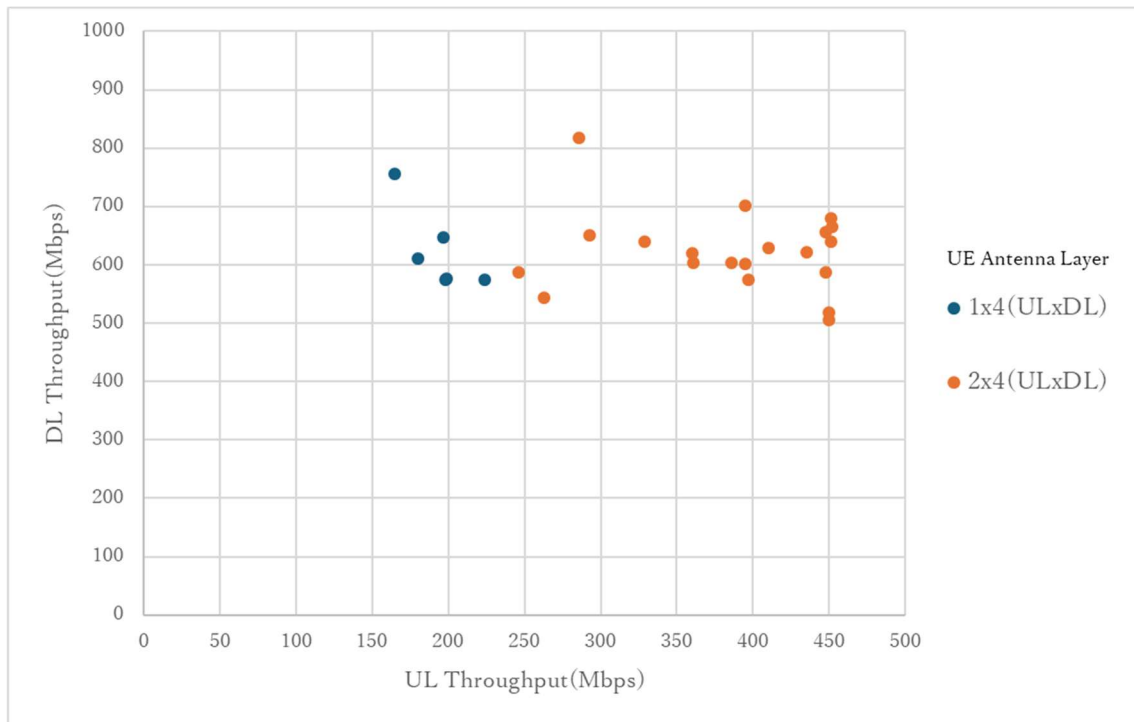


図 3-30 準同期 UDP スループット試験結果(グループ 5)

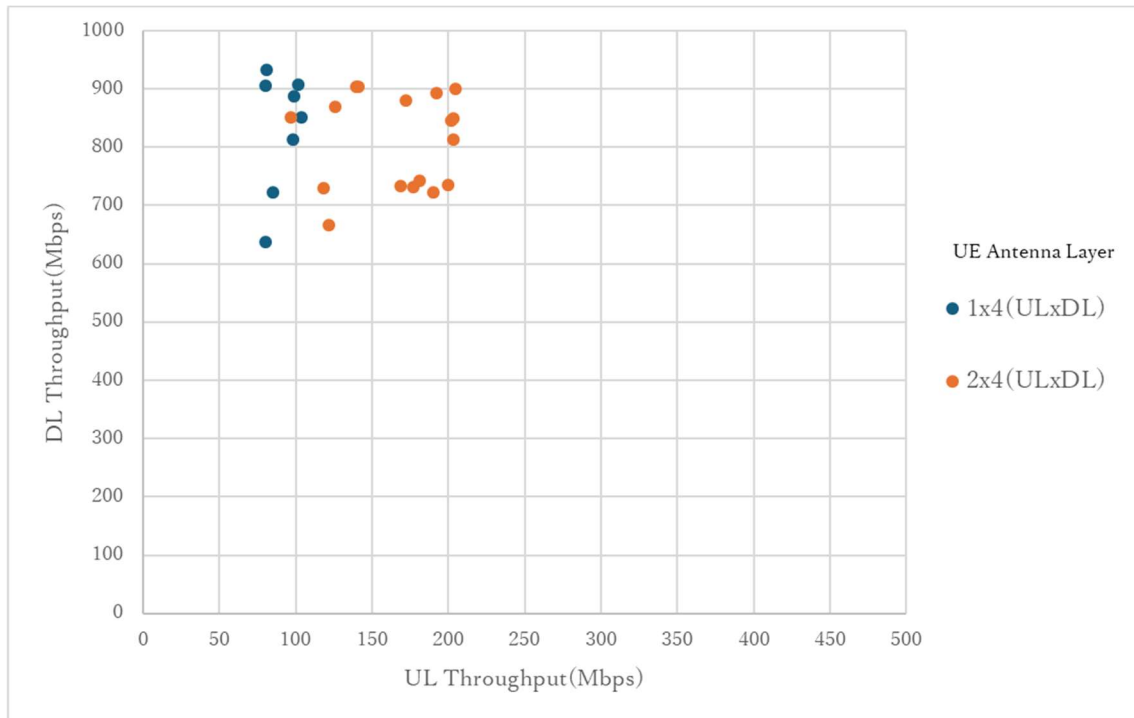


図 3-31 同期 TCP スループット試験結果(グループ 5)

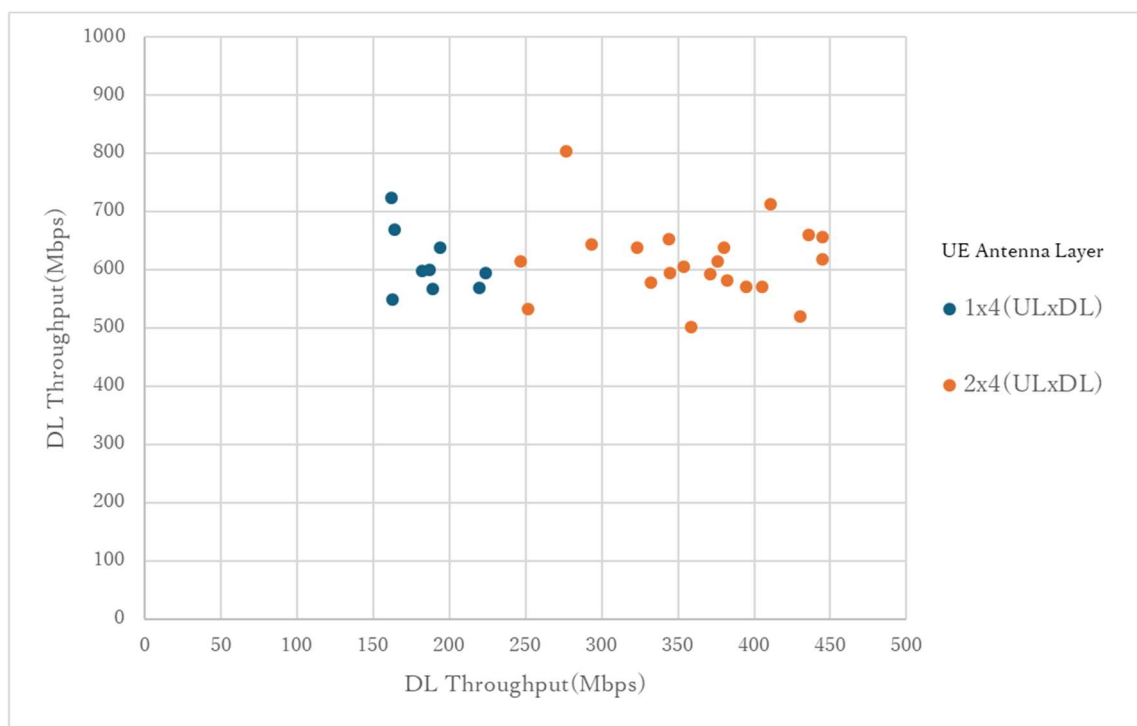


図 3-32 準同期 TCP スループット試験結果(グループ 5)

RAN, UE が搭載するアンテナレイヤ数とサポートする QAM の組み合わせ(表 3-11)毎のスループット試験結果の最良値を表 3-12 と表 3-13 に示す。

表 3-12 グループ(UL64QAM RAN)試験結果最良値一覧

グループ番号	UE アンテナレイヤ数	同期 (TDD)				準同期 (TDD1)			
		UDP		TCP		UDP		TCP	
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
グループ 1	1×4	63.7	749	63.1	744	127	569	126	565
	2×4	63.7	749	62.7	736	127	569	125	560
グループ 3	1×4	62.9	952	62.4	945	122	742	125	738
	2×4	138	952	136	937	266	750	274	731
グループ 4	1×4	77.2	947	77.3	945	156	755	155	774
	2×4	161	952	156	933	318	802	313	837

※単位: Mbps

※n×m、**n**:上りのアンテナレイヤ数、**m**:下りのアンテナレイヤ数

表 3-13 グループ(UL256QAM RAN)試験結果最良値一覧

グループ番号	UE アンテナレイヤ数	同期 (TDD)				準同期 (TDD1)			
		UDP		TCP		UDP		TCP	
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
グループ 2	1×4	98.8	757	99.8	747	198	490	197	486
	2×4	198	762	194	748	395	491	479	482
グループ 5	1×4	105	922	104	907	226	647	224	638
	2×4	210	922	205	901	452	702	445	713

※単位: Mbps

※n×m、**n**:上りのアンテナレイヤ数、**m**:下りのアンテナレイヤ数

3.3. 4K 動画伝送遅延試験結果

3.3.1. 試験構成

試験で使用した環境を図 3-33 に示す。

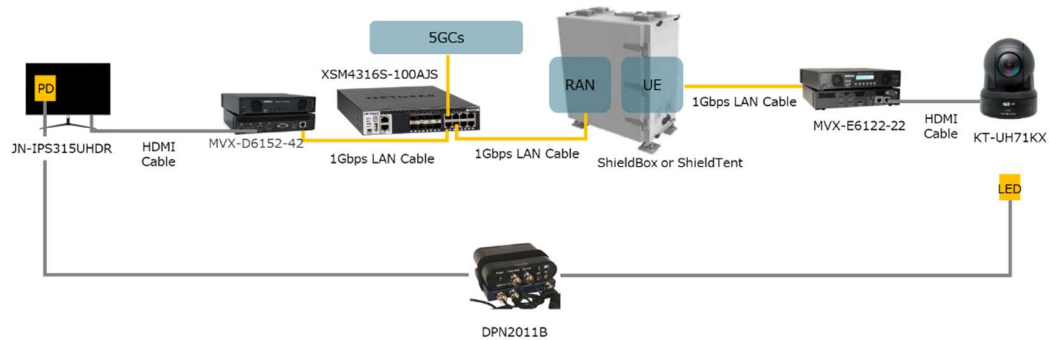


図 3-33 4K 動画伝送遅延試験構成

RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備し、UE 配下に動画エンコーダと 4K カメラを、N6 にデコーダと 4K モニタを接続する。

光パス遅延測定器(LED 部)を 4K カメラ前に配置し、光パス遅延測定器(PD 部)を 4 K モニタに貼り付け、4 K カメラが撮影した映像とモニタに移った映像の時間差分を遅延として測定する。

相互接続試験時、スループット試験時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスとシールドテントの情報は表 3-2 に示す情報と同様のため、本項では割愛する。

3.3.2. 試験機器一覧

本試験で使用したローカル 5G 機器品名および仕様については、表 3-3 に示す情報と同様のため、本項では割愛する。ローカル 5G 機器以外の試験機器一覧を表 3-14 に示す。

表 3-14 4K 動画伝送試験機器一覧

品名	型番
4K カメラ	KT-UH71KTN
エンコーダ	MVX-E6122-22
デコーダ	MVX-D6152-4
光パス遅延測定器	PicoScope 2205AMSO

3.3.3. 試験項目

本試験の試験項目を表 3-15 に示す。

表 3-15 4K 動画伝送遅延試験項目

No	試験項目	試験合格基準
1	遅延時間	L5G ネットワーク区間のネットワーク遅延が 50msec 以下であることを確認する。
2	ブロックノイズ	ブロックノイズが出力されていないことを確認する。

3.3.4. 試験手順

Web カメラ、動画エンコーダ、デコーダをローカル 5G 試験環境に接続し、4K 60fps の動画を 15Mbps/sec で伝送する。目視にてモニタ画面上に撮影した動画がノイズなく伝送できることを確認するとともに、光パス遅延測定器を使用し、ローカル 5G ネットワーク内のネットワーク遅延時間を測定する。

ネットワーク遅延時間は光パス測定器で計測した遅延時間から動画エンコーダとデコーダを直結したときの遅延時間を差し引いたものとする。

なお、ネットワーク遅延時間は 50ms を目安として著しく遅延が大きい場合や画面ノイズが消えない場合は、試験期間内で原因分析のうえ再試験を行っている。原因特定に至らないケースは特定に至らないケース含めないものとする。

3.3.5. 試験結果と考察

試験を実施した全 224 の組み合わせの内 9 割が 200ms 以下のネットワーク遅延時間で 4K 動画を伝送できており、相互接続による 4K 動画伝送が問題なく可能であることを証明できた。

さらにそのうちの 8 割は 50ms 以下のネットワーク遅延時間を記録しており、10ms~40ms の範囲で分布していることが傾向として得られた。

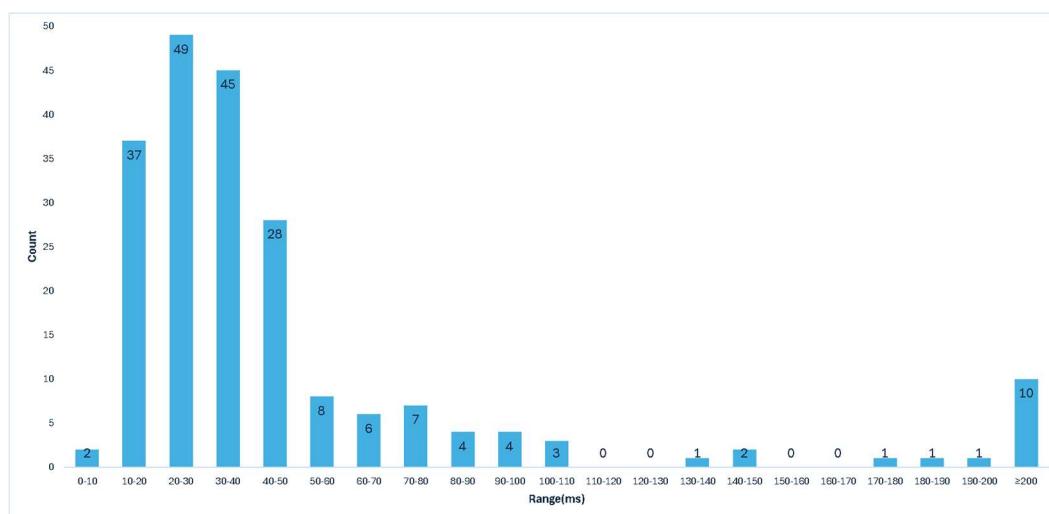


図 3-34 遅延時間と件数

この試験から以下の知見が得られた。

1. 各ローカル 5G 機器の 3GPP Release バージョンのサポートによる試験結果への影響は確認されなかった。
2. 試験中のネットワーク状況により、4K 動画のパケットのフラグメントが確認された。そのため、5GC が UE に通知する MTU サイズを試験環境のネットワークに合わせて調整することで問題の解決に至った。

4. テーマ3 実証（ローカル5G利用環境のセキュリティ対策強化）

4.1. セキュリティ試験

4.1.1. 試験構成

本試験の試験構成を図 4-1 に示す。本試験では市中のセキュリティソリューションとしてトレンドマイクロ社およびCTOne 社が提供する Trend Micro Mobile Network Security (以下: TMMNS)を使用する。

TMMNS の仕様から、RAN 機器の違いによる動作差分は発生しない前提に置き、5GCと UE の組合せによる接続試験を実施する。UE には TMMNS との連携のため専用のセキュリティ機能を具備する SIM カードを搭載する。

RAN と UE はシールドボックスもしくはシールドテント内に配備する。テーマ1 接続試験時と同様に、環境差分による試験結果影響を抑えるため、UE の RSRP 値が約-70dBm となるように RAN の出力値や UE の設置場所を調整した。シールドボックスとシールドテントは表 3-2 に示す情報と同様のため本項では割愛する

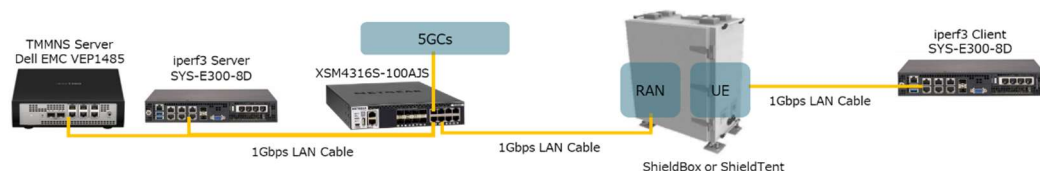


図 4-1 セキュリティ試験構成

4.1.2. 試験機器一覧

本試験の試験機器品名および試験機器仕様については、表 3-3 に示す情報と同様のため本項では割愛する。

4.1.3. 試験項目

本試験項目を表 4-1 に示す。TMMNS の基本動作試験とセキュリティ脅威シナリオ試験を実施する。デバイスがウイルス等に感染した場合や、SIM が悪意を持って差し替えられた場合などのセキュリティ脅威を想定し、それらセキュリティ脅威に対する検知機能や隔離機能の動作を確認する。

表 4-1 セキュリティ試験項目

No	試験	試験観点
1	基本動作確認試験	UE 表示可否確認 UE 在圏後、TMMNS にその UE の IMEI と SIM カードの IMSI が表示されることを確認する。
2		UE 制御可否確認 TMMNS サーバから UE に対して切断信号を手動送信し、UE が強制切断することを確認する。
3		UE 情報更新間隔確認 UE から TMMNS サーバに対して情報更新信号が送信されていること及び、その送信間隔を確認する。
4		トラフィック量表示確認 TMMNS サーバの管理画面に試験対象 UE の通信トラフィック量が表示されることを確認する。
5	セキュリティ脅威シナリオ試験	不正アクセス防御 試験シナリオを実施することで、不正アクセスを検知し試験対象 UE が TMMNS により強制切断することを確認する。
6		SIM スワップ防御 試験シナリオを実施することで、SIM スワップを検知し試験対象 UE が TMMNS により強制切断することを確認する。

4.1.4. セキュリティ脅威シナリオ

4.1.4.1. 不正アクセス防御テストシナリオ

セキュリティ脅威シナリオ試験の内、不正アクセス防御テストシナリオを図 4-2 に示す。本テストシナリオで、ローカル 5G ネットワークにおける不正アクセス発生時の防御動作を確認する。具体的なシナリオは以下の通り。

- ① nmap(ポートスキャンツール)を使用して、不正アクセスを想定した疑似通信を UE から N6 設置の PC 宛てに送信する。
- ② TMMNS サーバは不正なアクセスを検知し、切断信号を UE に送信する。
- ③ UE は強制切断され、以降のデータ通信は不可となる。

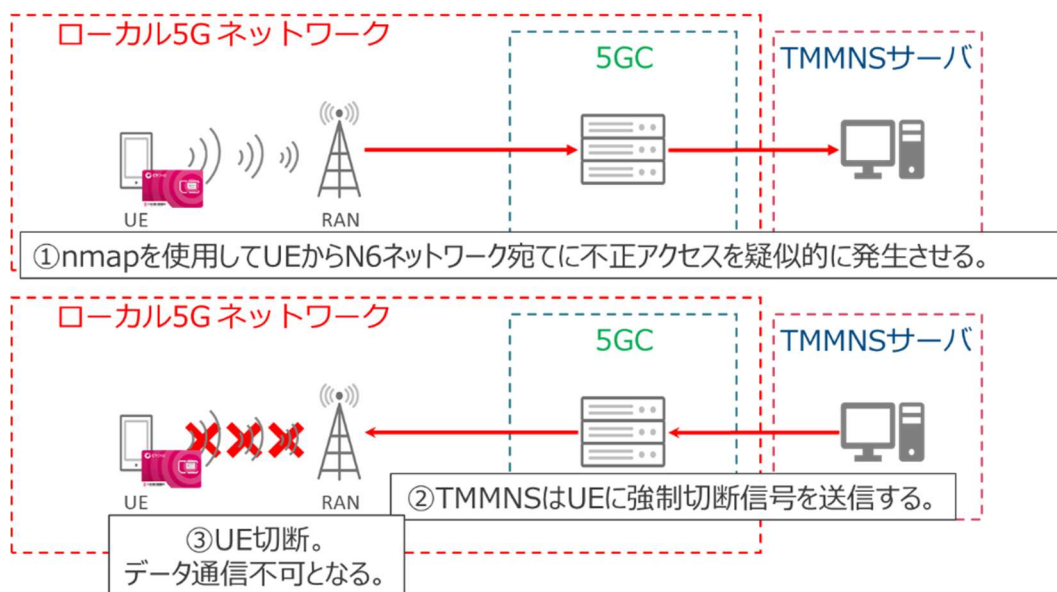


図 4-2 不正アクセス防御テストシナリオ

4.1.4.2. SIM スワップ防御テストシナリオ

セキュリティ脅威シナリオ試験の内、SIM スワップ防御テストシナリオを図 4-3 に示す。本テストシナリオで、ローカル 5G における SIM スワップ発生時の防御動作を確認する。具体的なシナリオは以下の通り。

- ① UE(A)に挿入されている SIM カードを UE(B)に挿入する。
- ② TMMNS サーバは SIM スワップを検知し、切断信号を UE(B)に送信する。
- ③ UE(B)は強制切断され、以降のデータ通信は不可となる。

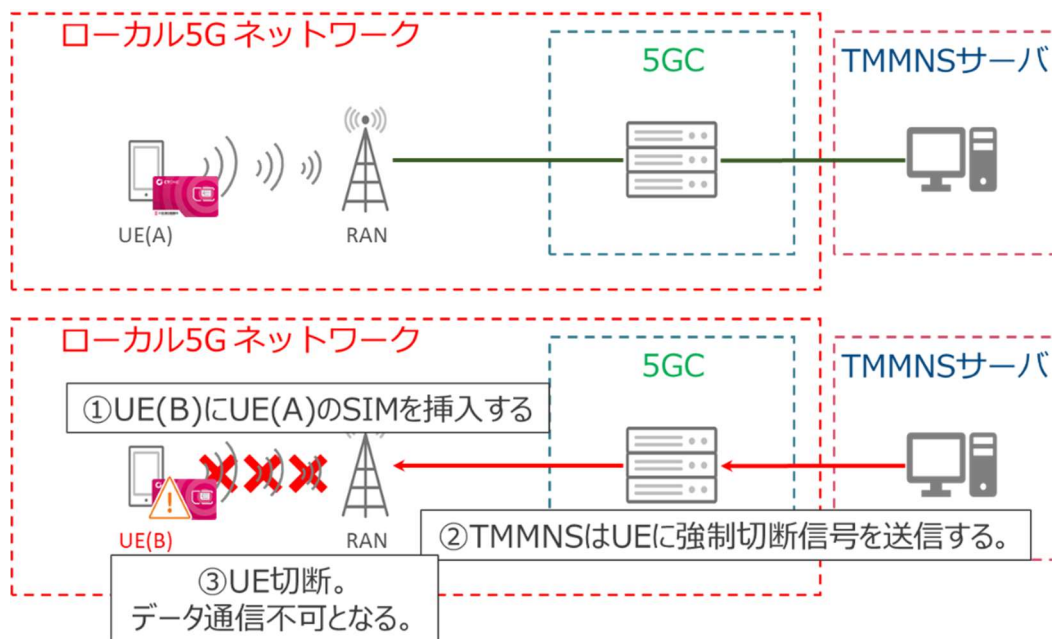


図 4-3 SIM スワップ防御テストシナリオ

4.1.5. 試験結果と考察

2025 年 2 月現在完了した全 44 組み合わせの結果を表 4-2 に示す。図 4-4 の通り 40 組合せ、割合にして約 9 割で TMMNS は正常動作したが、表 4-3 の通り特定の 1 機種種の UE のみ TMMNS 管理画面に UE 情報が表示されず試験 NG となった。解析の結果 UE 側にて TMMNS との連携に必要な機能がソフトウェアレベルで無効化されていることが原因であった。現在当該 UE では動作改善を検討中である。

表 4-2 セキュリティ試験結果

5 GC	基本動作確認試験	セキュリティ脅威シナリオ試験
HPE	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
NTT テクノ ロス	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
Saviah	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)
QCT	pass(10) Retest Required(1)	pass(10) Retest Required(1)

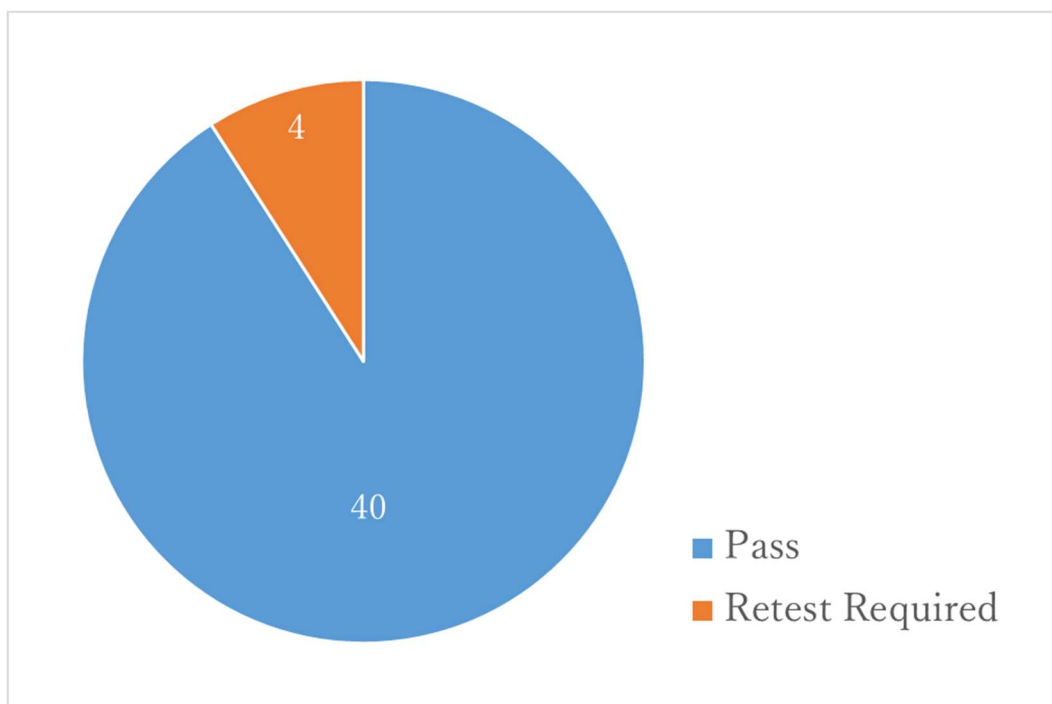


図 4-4 セキュリティ試験結果

表 4-3 セキュリティ試験実施不可事象

対応状況	発生件数 (4 件)	事象
未解決	4 件	特定の UE が TMMNS 管理画面に表示できない事象

4.1.6. TMMNS 接続において遵守すべき留意点

接続不可事例を通して得られた TMMNS 接続における順守すべき留意点を表 4-4 に示す

表 4-4 TMMNS 接続において順守すべき留意点

対象機器			遵守すべき留意点
TMMNS	5GC	UE	
✓	-	✓	TMMNS との連携のため、専用のセキュリティ機能(アプレット)を具備する SIM カードを UE に搭載する必要がある。TMMNS 接続時は SIM カードのアプレットに対応する UE を使用すること。

5. おわりに

本プロジェクトでは3つのテーマに沿って各社共同で実証を進めており、本レポートではテーマ1としてローカル5G 機器間の相互接続実証、テーマ3としてローカル5G 利用環境のセキュリティ対策強化実証の成果をそれぞれ公開した。

テーマ1ではベンダー間の垣根を越えて市中製品の相互接続が成功した組合せや相互接続時の留意点、組合せによるスループットや4K映像伝送時の遅延といった性能を公開した。これにより、「相互接続ができない」「パフォーマンスが出ない」といった市場のネガティブなイメージを払拭されることを期待する。

テーマ3では市中セキュリティソリューションを活用し、異なるローカル5G 機器利用環境においても、セキュリティSIMカードとネットワークセキュリティ機能の連携によりセキュリティ対策強化が可能である実証結果を公開した。

本レポートを活用することで、異なるベンダー機器構成のインテグレーションコストが抑制され、ユースケースに応じた機器選択の幅が広がることを期待する。一方、異なるベンダー機器構成では、ユースケースに応じた機器間のパラメータチューニングもインテグレーションコストが高くなる要因の一つである。そのためテーマ2としてローカル5G 機器のパラメータの最適化に現在取り組んでおり、取り組み成果は次回レポートで公開する計画である。

本プロジェクトでは新たな組合せによる実証結果や得られた知見などは、今後もレポートとしてまとめ公開するとともに、国内だけでなく海外へ広く発信していく。本プロジェクトでの成果や、参加企業との共創を通じて、ローカル5Gの社会実装の加速、産業DXの促進・社会課題の解決をめざしていく。

最後に、本レポートを読まれた方からご意見やご感想をいただければ幸いである。

6. 参考文献

- [1] 3GPP TS23.501 : “System architecture for the 5G System (5GS)”
- [2] 3GPP TS23.502 : “Procedures for the 5G System (5GS)”
- [3] 3GPP TS38.331 : “NR;Radio Resource Control(RRC) Protocol specification”
- [4] 3GPP TS24.501 : “Non-Access-Stratum (NAS) protocol for 5G System (5GS)”