

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【端末システム試作事業】

過酷なフィールドでの利活用を想定した
防水・防塵・小型 USB ドングル端末の試作

成果報告書

令和5年3月

シャープ株式会社

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的.....	1
1.2	実証の概要	2
2.	実証環境の構築.....	5
2.1	対象周波数帯	5
2.2	試験装置及び試験環境.....	6
2.3	端末システムの機能・性能・要件	8
2.4	免許及び各種認可	16
2.5	その他.....	39
3.	ローカル5G活用モデルに即した端末システムを用いたローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)	40
3.1	実証概要	40
3.2	実証環境	40
3.3	実証事項	43
3.3.1	実証の目的・目標.....	43
3.3.2	評価・検証項目	44
3.3.3	評価・検証方法.....	44
3.3.4	実証結果及び考察.....	56
4.	ローカル 5G 活用モデルに即した端末システムの検討(課題実証)	73
4.1	実証概要	73
4.1.1	背景となる課題.....	73
4.1.2	試作する端末システム.....	77
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性.....	80
4.1.4	実証目標.....	81
4.2	実証環境	87
4.3	実施事項	99
4.3.1	端末システムの試作及び検証.....	99
4.3.2	端末システムの実装性に関する検証.....	129
4.3.3	端末システムの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討	168
4.3.4	端末システムの実装・普及展開	178

5.	普及啓発活動の実施	196
5.1	映像制作	196
5.2	端末システム発表会の実施.....	197
5.3	その他普及啓発活動	199
6.	実施体制	200
6.1	実施体制の全体像	200
6.2	実施体制内の役割	200
6.3	実施体制に係る要件への対応.....	201
7.	スケジュール	204
8.	参考資料 1.....	205
9.	参考資料 2	246
10.	参考資料 3	306

1. 実証概要

1.1 背景・目的

ローカル 5G は令和元年 12 月に制度化、翌令和 2 年 12 月には追加の周波数帯が割り当てられ、地域や産業の個別のニーズに対応し自らの建物内や敷地内に柔軟にネットワークを構築できるシステムになっている。これまで、地域の企業や自治体等で様々な実証試験が行われ、既に本格的に運用されている場所も少なくない。

ローカル 5G で使用されている周波数は、制度化当初から割り当てられているミリ波帯(28GHz 帯)だけでなく、追加で割り当てられた Sub6 帯(4.6GHz 帯)になっている。ネットワーク方式は全国キャリアの 5G と同じくアンカーバンドを使用する NSA(Non-Standalone)方式と、SA(Standalone)方式とが使用可能であるが、5G NR だけで運用可能であることによるコストメリットと、相対的に周波数が低くエリアの面的な構築が容易であるという敷設面のメリットから Sub6 帯の SA 方式が注目されている。

ただし、Sub6 帯、すなわち 4.6GHz 帯はセルラー通信で使用される周波数としては比較的高い周波数であり、より低い周波数と比較して直進性が高く、建物の影や障害物の裏側に回り込まない性質を持っている。

本実証を主管するシャープ株式会社(以下、シャープ)は、総務省主管で実施された令和 2 年度「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」、令和 3 年度「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」(以下、総務省開発実証)において、技術実証および課題実証を実施するコンソーシアムメンバーとして参画しただけでなく、いくつかの実証テーマに対してローカル 5G 端末ベンダーとして協力してきた他、独自の実証試験や事業所内でローカル 5G の実験試験局免許を取得しフィールドテストを行ってきた。このような検証活動を行う中で、Sub6 帯の SA 方式はエリア展開が容易である一方で、端末が障害物や人体の遮蔽、建築物の影に隠れた場合には通信速度が低下し、最悪の場合、通信が途切れることがあることを体験してきた。特に屋外の開けた土地で通信を行う場合には、周囲に電波を反射する壁や建物等がないためマルチパスによって通信が保たれず、電波の遮蔽により通信品質が急激に劣化しやすいことが分かっている。

また、ローカル 5G では全国キャリア 5G と比較して高い通信品質が要求される産業用途で使用されることが想定されるが、多くのユーザが高い電波伝搬の知見を持っているとは言えず、基地局のアンテナ装置から見通し外となる場所に端末を設置してしまったり、端末のアンテナ付近に金属を含む機器を隣り合わせに配置してしまったりすることによって、エリア設計者の意図とは異なる使用方法による通信品質の劣化も見られる。

後述する 4.1.1 で令和 3 年度の総務省開発実証として行われた実証を一例として示しているが、屋外での設置場所や機材の制限上やむを得ず端末と基地局のアンテナ装置との間に障害物があるような設置状況になってしまい良好な通信環境が確保できず通信速度が想定より低くなってしまいうことがあった。また、別の例として、非防水仕様の端末を移動体の中に搭載する場合、移動体

が移動することによって基地局のアンテナ装置と端末とが見通し環境ではなくなってしまうことにより、通信環境が悪化してしまうという事例が見られた。

他の開発実証においては防水仕様の端末を使用する例もあったが、既存の屋外向けローカル 5G 端末は、大型になってしまい取り回しが難しかったり、設置に必要な場所が取れなかったりする課題があった。

本実証では、このような課題を鑑み Sub6 帯の SA 方式において、ユーザがローカル 5G 端末を使用して通信を行う際に障害物等による電波の遮蔽を避け、電波環境の良い、もしくは劣化しにくい環境に容易に設置できるような端末システムを試作し、その端末システムの性能検証を行った。試作した端末システムは、設置の柔軟性を考慮し防水・防塵対応であることはもちろんのこと、過酷な使用環境を想定した MIL 規格に準拠したアンテナ内蔵型小型端末システムとした。さらには、端末システムの横展開性を考慮し、端末システムと基地局の接続性を担保し、小型端末であっても良好なアンテナ特性が得られることを確認する試験を実施した。

1.2 実証の概要

本実証で試作した端末システムは屋外に設置できるよう防水仕様に対応し、また、建設現場や工場等の粉塵の多いところでも使用できるよう防塵仕様にも対応している。端末のサイズは、設置の容易さ、取り回しの良さを考慮し、サイズは 42×87×34 mm、重さは約 102g をターゲットとして試作を行った(図 1-1)。さらには、設置のための取り付け治具を用意し様々な場所に容易に設置できるよう考慮している。端末システムは専用 USB ケーブル(長さ:約 2m)で所定の OS を搭載した PC もしくは機器と接続して使用する。試作した端末システムの防水仕様は端末本体に USB ケーブルを接続した状態で確保される。また、USB ケーブルの機器側は非防水仕様になっているため、PC 等の接続する機器を屋外で使用する場合には別途ハウジングケース等の防水対策を施す必要がある。本実証で試作した端末システムは屋外での利用に限定されるものではなく、PC 等の機器と接続して多様な用途に使用可能なものであることから、オフィス内や屋内商業施設内等での利用も可能である。試作した端末システムの詳細仕様は 2.3 に示す。

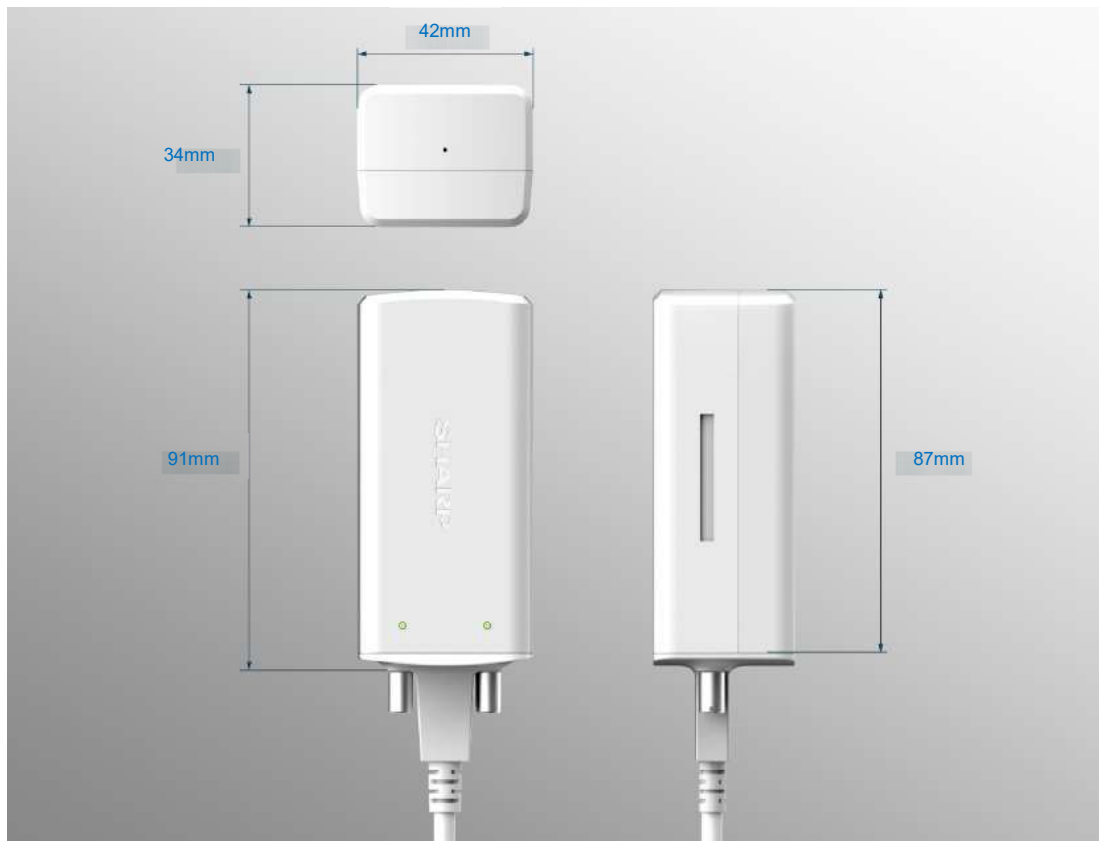


図 1-1 本実証で試作した端末システム

本実証の技術実証では、国立研究開発法人情報通信研究機構(以降、NICT)が用意するテストベッドにおいて設置されたローカル 5G 基地局と、試作したローカル 5G 端末を接続し、ローカル 5G 端末の伝送性能および受信電力の評価、結果の分析を行った。

また、課題実証では、シャープ免許人の実験試験局エリアに設置されたローカル 5G 基地局と、試作したローカル 5G 端末を接続し、ローカル 5G 端末の伝送性能および受信電力の評価、結果の分析や、実際の使用を想定した様々な検証を実施し問題ないことを確認した。

本実証の課題実証では、端末システムの試作及び検証として以下の4項目を実施した。

- ① 工事設計認証取得のための送信特性の評価
- ② 防水・防塵規格、MIL規格対応試験の実施
- ③ 安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価
- ④ 基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価

さらに、端末システムの実装性に関する検証として以下の4項目を実施した。

- ① 3GPP規格に準拠した基地局との相互接続性を確認するため、GCF認証を取得した試験システムによるコンFORMANCE試験の実施
- ② 無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較
- ③ 令和3年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較
- ④ 実験試験局エリアでの連続送受信評価

これらを通じて端末システムの課題を抽出し、その解決策を検討すると共に、今後の実装計画に関しても検討を進めた。

2. 実証環境の構築

以下に端末システムの試作及び試作した端末システムを用いた実証を実施した実証環境および実証条件を示す。

技術実証の実証環境としては主として端末システムの伝送性能を検証するテストベッドが使用された。また、技術実証を実施するための事前無線性能検証のための環境、ならびに課題実証のための無線性能検証環境として、シャープ幕張事業所にてローカル 5G 実験試験局免許を取得した検証エリアを利用した。有線性能・アンテナ性能検証環境としては、シャープ幕張事業所に設置した有線コンフォーマンス試験環境および電波暗室、シールドルームを利用した。技術実証の実証環境、課題実証の実証環境の詳細は、それぞれ 3.2、4.2 に示す。

2.1 対象周波数帯

本実証で検証を実施した周波数を表 2-1 に示す。本実証では、2019 年 12 月に制度化され、2020 年 12 月に制度改正され割り当てられたローカル 5G 周波数帯域のうち、4.6GHz 帯の周波数を用いて技術実証および課題実証を実施した。

技術実証を実施するテストベッド環境では、4.6GHz 帯と 28GHz 帯の基地局が設置されているが、本実証では 4.6GHz 帯の基地局を使用し、ネットワーク方式は SA 方式にて検証を行った。技術実証の実証環境詳細については 3 章に示す。

表 2-1 対象周波数帯

環境	周波数
テストベッド環境	4.6-4.9GHz 帯（中心周波数：4.84998GHz） / SA 方式
シャープ幕張事業所 実証環境	4.6-4.9GHz 帯（中心周波数：4.84986GHz） / SA 方式

また、本実証の課題実証で使用するシャープ幕張事業所に設置した検証エリアでは、制度化されたローカル 5G に割り当てられた周波数帯域のうち 4.6GHz の周波数を用いて、実証を実施した。課題実証の実証環境の詳細は 4 章に示す。

2.2 試験装置及び試験環境

本実証で試作した端末システムはシャープが企画立案、仕様策定を行った。本実証で試作した端末は 1.1 および 4.1.1 に記載した昨年度までのローカル 5G 開発実証の課題を鑑み、後述する表 2-2 のように仕様を策定した。仕様はシャープで決定されてそれに基づき生産を行った他、認証として工事設計認証、IP67 対応の確認、MIL 規格準拠の試験、GCF 準拠の試験を実施した。

シャープはこれまで全国キャリアの 5G サービス開始に合わせいち早く 5G 端末を提供し、これまでスマートフォン型、データ端末型(モバイルルーター型)、据え置き端末型等の 5G 端末を国内で 5G サービスが開始されてから継続的に提供している。

また、ローカル 5G 対応端末についてはローカル 5G ネットワーク検証・ソリューション検証用の試作機(検証機)として、データ端末型(モバイルルーター型)とスマートフォン型の提供を開始している。以下にシャープの会社情報が記載されたウェブサイトの URL、およびローカル 5G 端末のプレスリリースの URL を示す。

シャープ株式会社 会社概要

<https://corporate.jp.sharp/info/outline/>

ローカル 5G 対応ルーターを開発 | ニュースリリース : シャープ

<https://corporate.jp.sharp/news/200817-a.html>

本実証で行われる技術実証と課題実証における電波伝搬試験および検証試験、分析・考察は全てシャープにより実施された。

技術実証、課題実証ではそれぞれ以下のような試験装置を使用して実施した。試験装置および試験環境の詳細は、技術実証については 3.2、課題実証については 4.2 にそれぞれ示す。

[実証環境]

本実証で使用する実証環境は、技術実証では 3.2 で後述するように神奈川県横須賀市にある横須賀リサーチパーク内に開設されるテストベッドと、技術実証の事前検証および試作した端末システムの性能評価環境としてシャープ幕張事業所に設置されたシールドルームや、同事業所の実験環境に設置されたアンリツの基地局シミュレータが使用された。課題実証では、4.2 で後述するようにシャープ幕張事業所内に開設された実験試験局エリアやシールドルームに設置されたローカル 5G ネットワーク装置、コンフォーマンスシステム、アンテナ特性試験システムが使用された。

[技術実証]

- ✓ ネットワーク評価装置：アンリツ株式会社 MT1000A
- ✓ 伝搬測定ツール：株式会社メリテック Sigma-LA, PA
- ✓ 基地局シミュレータ：アンリツ株式会社 MT8000A

[課題実証]

- ✓ ローカル 5G ネットワーク装置：シャープ株式会社 開発中装置
- ✓ コンフォーマンス試験システム：アンリツ株式会社 ME7873NR
- ✓ アンテナ特性試験システム：アンリツ株式会社 MT8000A、ブルーテスト社 RTS60、
キーサイトテクノロジー社 E4445A
- ✓ 電波伝搬シミュレーション：Ranplan Wireless 社 Ranplan Professional

2.3 端末システムの機能・性能・要件

本実証で試作したローカル 5G 端末は、Windows、macOS、Linux(Ubuntu、Raspberry Pi 等)の OS を搭載するパーソナルコンピュータ(PC)もしくは前記 OS を搭載した機器と USB ケーブルで接続してローカル 5G 通信が可能になる USB ドングルタイプの端末になる。

ローカル 5G 通信で使用する際の利便性を上げるため、端末を多種多様な機器と接続可能にするよう広く一般的に採用されている USB の接続インターフェイスを用い、また、対応 OS も一般的な業務用 PC で広く用いられている Windows または macOS、さらには産業用に転用されることが多い Linux(Ubuntu、Raspberry Pi 等)にも対応しているため、接続可能な機器は一般的な PC の他、前記 OS を搭載した機器、例えば無人搬送車(Automated guided vehicle : AGV)やヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display : HMD)等での利用も可能である。

産業用途や移動体への取り付けも考慮し、これまで 5G もしくはローカル 5G 対応データ端末としては市場に存在しない小型(42×87×34 mm)かつ軽量(102g)を目指し、建設現場や工場等の雨や埃等にさらされるような屋外環境での利用を想定し防水・防塵性に配慮した設計となっている。動作温度および動作湿度も前述の屋外環境での使用を考慮し、それぞれ-10℃～+55℃、5%～95%とした。さらには過酷な環境での使用を考慮し、防水(浸漬)、防水(雨滴)、防塵、耐振動、耐日射、防湿、高温保管、高温動作、低温動作、低温保管、温度耐久、低圧保管、低圧動作、氷結等の米国国防総省が定めた米軍採用規格(MIL 規格)の代表的な 14 項目に対応した。MIL 規格とは、正式名称 United States Military Standard と言われる規格で、米軍が調達する様々な物資に関する規格を細かく定めたものである。本実証で試作した端末システムに適用した MIL-STD-810 は、その中でも一般的な機材に適用される規格で、主に環境耐久性の仕様が定められた高品質、高信頼性を達成するための規格になっている。詳細は下記 URL で公開されており、スマートフォンやノート PC だけでなく、ハードディスクや腕時計、服にまで適用されている。

Defense Standardization Program (DSP)

<https://www.dsp.dla.mil/>

また、産業用途ではカメラ映像のリアルタイム伝送のようなアップリンク高速データ通信対応への要望の声が高いことを考慮し、本実証で試作したローカル 5G 端末では 2×2 アップリンク MIMO に対応している。

表 2-2 に本実証で試作したローカル 5G 端末の詳細諸元を示す。

表 2-2 ローカル 5G 端末の機器諸元

項目	諸元 ※1
ローカル 5G 対応周波数 バンド	n79
チップセット	Qualcomm SDX55
サイズ	約 42 × 87 × 34 mm (USB ケーブルなし時)
重さ	約 102g (USB ケーブルなし時)
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
チャンネル帯域幅	100MHz
空中線電力 (最大送信出力)	200mW
アンテナの指向性	無指向性アンテナ
MIMO 対応	下り 4×4 / 上り 2×2
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
アンテナの本数	4 本 (送信は同時に 2 アンテナから発射)
準同期対応	対応
動作保証温度	-10°C~+55°C
動作保証湿度	5%~95%
防水対応	IPX7 (専用 USB ケーブル使用時)
防塵対応	IP6X (専用 USB ケーブル使用時)
MIL 規格	MIL-STD-810H 準拠(14 項目)
付属品	専用 USB ケーブル(約 2m)
対応 OS	Microsoft Windows 10, macOS 10.15, Linux (Ubuntu14.04, Linux 3.13 and later, Raspberry Pi)

※1 商用化時には変更になる場合があります。

以下に本実証で試作した端末の外観図を示す。端末の筐体色は直射日光による温度上昇を考慮し白とした。また、USB インターフェイス部、SIM 差し込みスロットを筐体側面に設け、専用 USB ケーブルで封止することで、防水性および防塵性を確保する構造になっている。専用 USB ケーブルは 2 本のネジで固定できるようになっており、容易に外れないように設計されている。

また、低廉な端末となるよう表示部(ディスプレイ部)や外付けアンテナ等のない構成になっている。



図 2-1 端末システムの外観

図 2-2 から図 2-7 に本実証で試作した端末システムの 3D CAD 図面の上面、側面、正面、背面、下面、USB ケーブルのコネクタ部を示す。

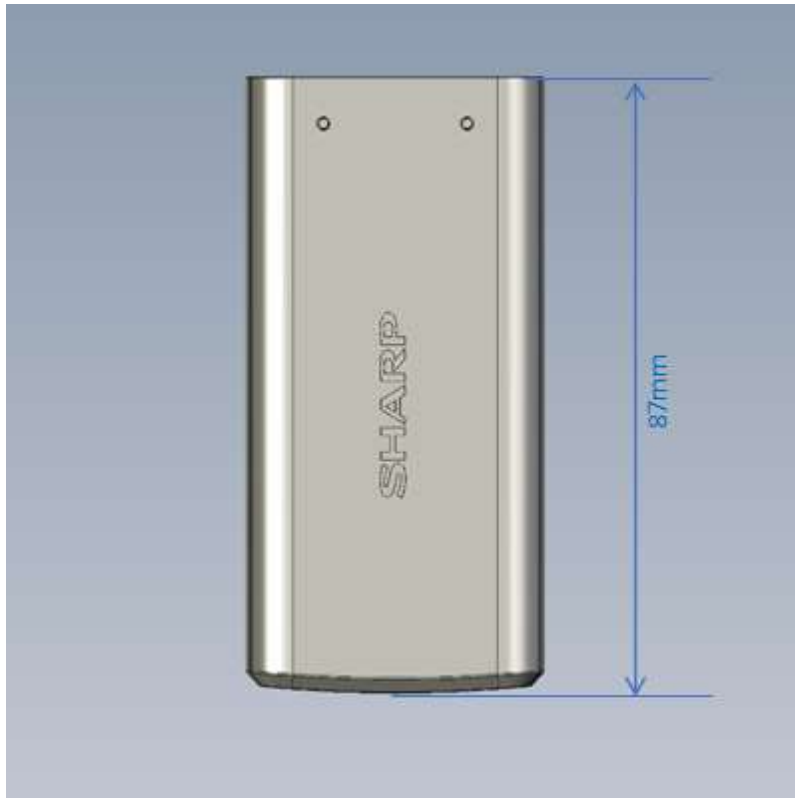


図 2-2 端末の上面

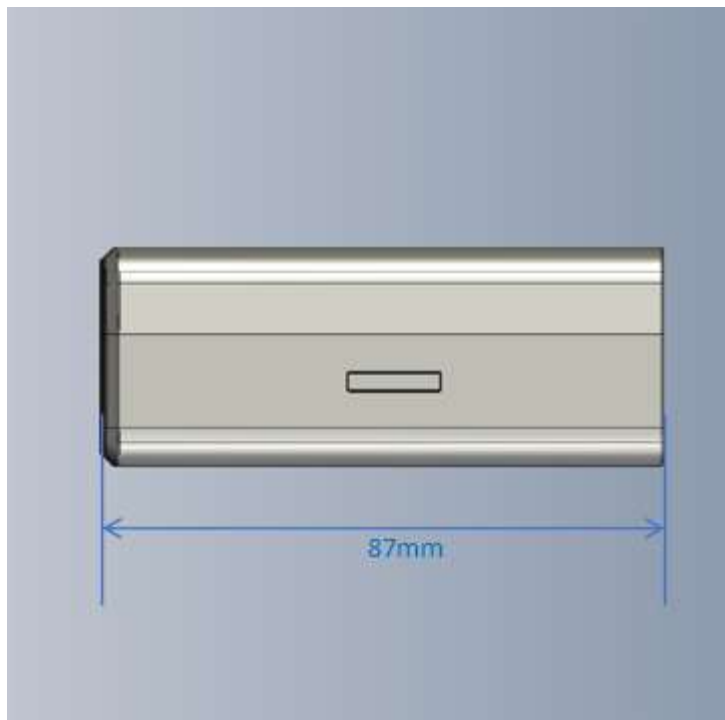


図 2-3 端末の側面

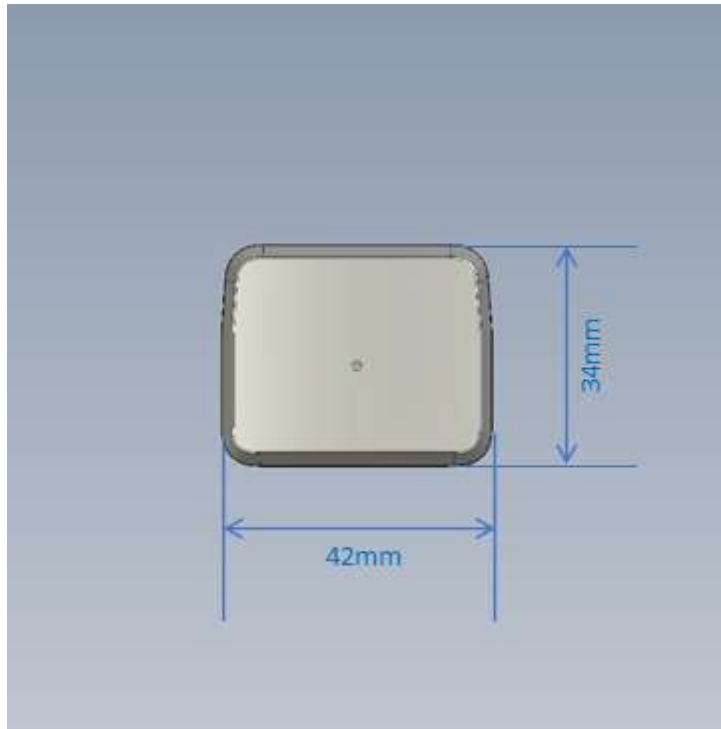


図 2-4 端末の正面

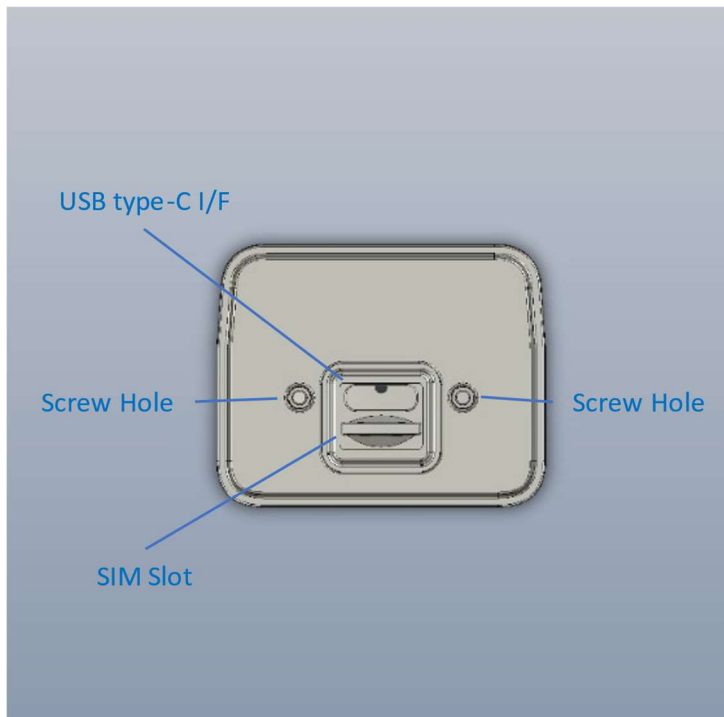


図 2-5 端末の背面

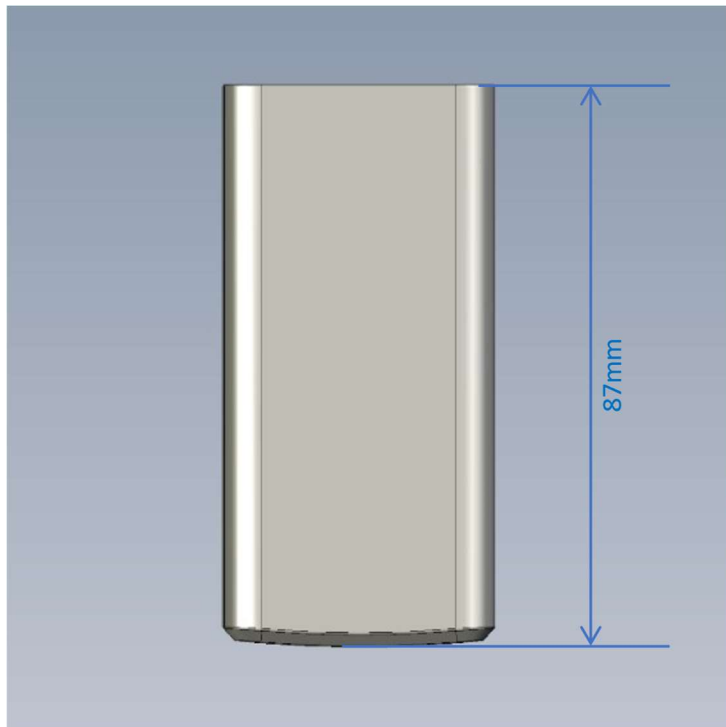


図 2-6 端末の下面

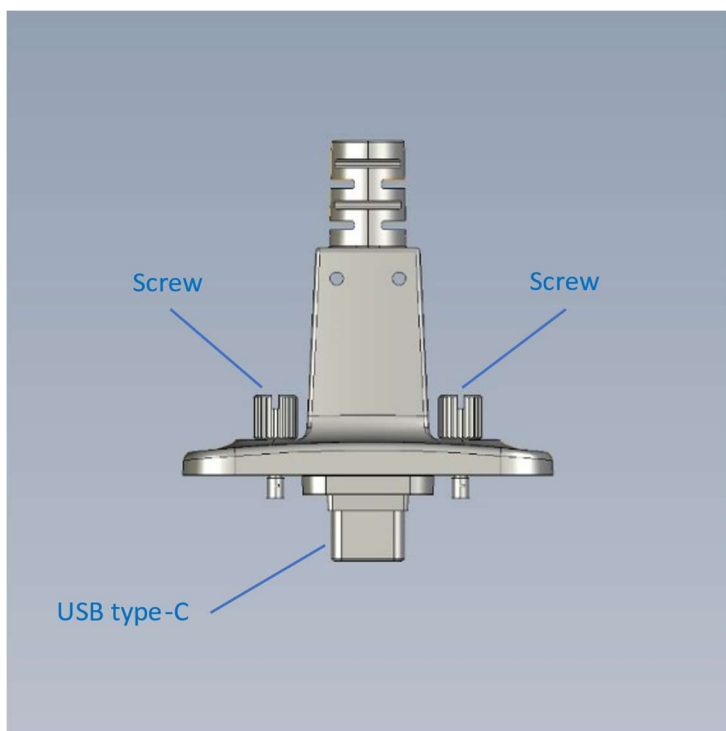


図 2-7 USB ケーブルのコネクタ部

以下に端末の取り付け治具の外観図を示す。取り付け治具は壁等にネジ止めできるようになっている他、ネジ止めできない金属部等への設置時には両面粘着シートで固定できるような設計になっている。また、フックに引っかけて吊るせるように穴を設けてあり、様々な設置方法を想定した取り付け治具になっている。



図 2-8 取り付け治具の外観

図 2-9 および図 2-10 に本実証で試作した取り付け治具の 3D CAD 図面の正面、側面を示す。

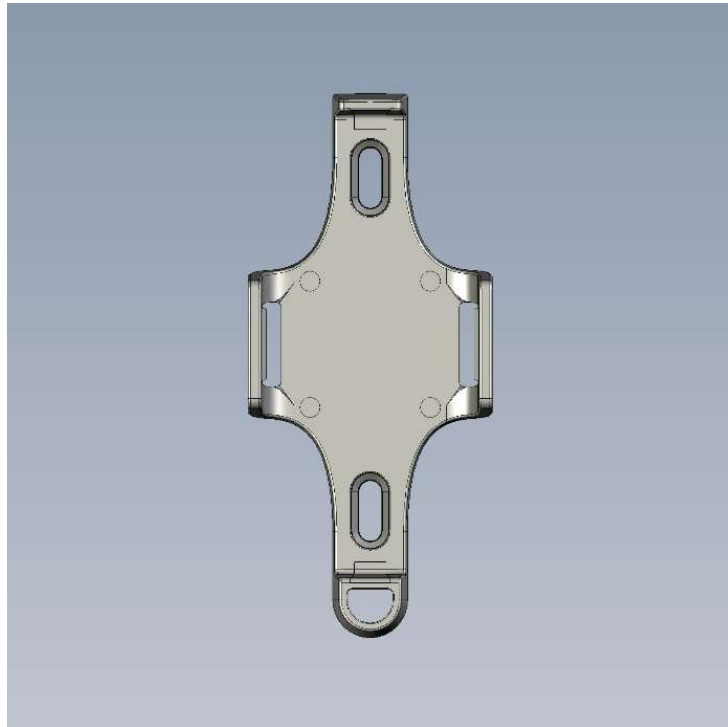


図 2-9 取り付け治具の正面

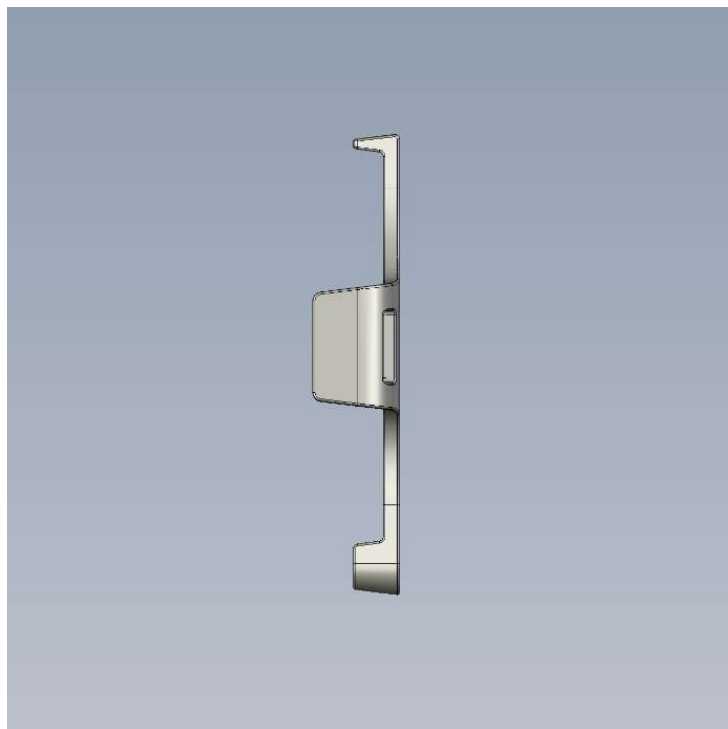


図 2-10 取り付け治具の側面

本実証のローカル 5G 端末試作は、主管するシャープによって生産工程や免許取得日程の遅れや設計ミスによって実証スケジュールに遅れが生じないように注意して実証が進められた。また、部品の供給不足や生産の遅延による実証日程の遅延を考慮し、工事設計認証や実験試験局免許の取得に先行して電波伝搬試験や有線性能検証ができるようにシャープ幕張事業所内に電波暗室やシールドルームを準備して実証を進めた。さらに生産日程を考慮し、工事設計認証の取得日程に先行して別途登録点検を行いテストベッドやシャープ幕張事業所内の検証エリアでの実験試験局免許の取得し実証を実施した。

2.4 免許及び各種認可

本実証で試作した端末システムはシャープ幕張事業所に設置された実験試験局エリアならびにテストベッドとなる YRP に設置された NICT 免許人の試験エリアで実験試験局免許を取得した。免許の内容は以下の通りである。

- ✓ 対象周波数 (NICT 免許人試験エリア) : 4849.98MHz (帯域幅 : 99.9MHz)
- ✓ 対象周波数 (シャープ免許人試験エリア) : 4849.86MHz (帯域幅 : 99.7MHz)
- ✓ ネットワーク方式 : Standalone

また、テストベッド環境は神奈川県横須賀リサーチパーク (YRP) 内に NICT が設置した NICT 免許人の基地局装置と接続して種々の検証を行ったが、本実証で試作されたローカル 5G 端末システムの工事設計認証の取得日程より、実証試験の日程が先行したため登録点検を実施し実験試験局免許を取得した後、テストベッドが設置される YRP を移動範囲として追加することで異免許人間通信として試験を実施した。

以下、表 2-3 に本実証で試作した端末システムの YRP テストベッドにおける実験試験局免許 (陸上移動局相当) の諸元を示す。

表 2-3 テストベッドで運用するローカル 5G 実験試験局(陸上移動局相当)の想定諸元

項目	諸元
局種	実験試験局 (陸上移動局相当)
周波数	4849.98MHz
占有周波数帯幅	99.9MHz
電波の形式	D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W
通信方式	TDD
多重化方式/ 多元接続方式	OFDMA または SC-FDMA
変調方式	Pi/2BPSK、QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
空中線電力	200mW (23dBm)
移動範囲	神奈川県横須賀市光の丘3番4号 YRP センター2 番館 およびその周辺
アンテナの種類	単一アンテナ
アンテナ指向特性	無指向性
送信アンテナ本数	2本
アンテナ偏波面	垂直

以下に無線設備系統図を示す。本実証で試作した端末システムは送信アンテナが 2 本搭載されており、2 本のアンテナから同時に送信した場合の空中線電力は 200mW(23dBm)になる。

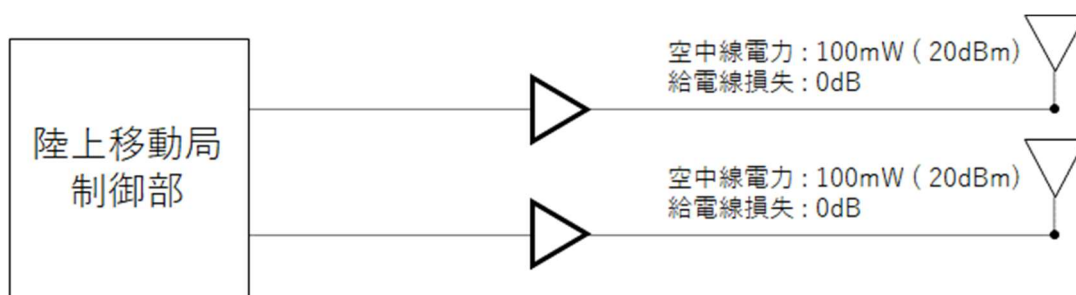


図 2-11 端末システムの無線設備系統図

また、以下表 2-4 に課題実証の実施環境であるシャープ幕張事業所に設置されているローカル 5G 実験試験局免許の諸元を示す。この実験試験局免許に関しては既に基地局側免許は取得済みであるため、本実証で試作したローカル 5G 端末の登録点検を実施し移動局側免許を取得(端末の追加登録)し、実証を行った。

表 2-4 課題実証で使用するローカル 5G 実験試験局(基地局相当)の諸元

項目	諸元
局種	実験試験局 (基地局相当)
局数	1
免許の番号	関実第 48438 号
周波数	4849.86MHz
占有周波数帯幅	99.7MHz
電波の形式	D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W
通信方式	TDD
多重化方式/ 多元接続方式	OFDMA または SC-FDMA
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
空中線電力	1W (30dBm) (4ポート合計)
常置場所	千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2 シャープ幕張ビル
移動範囲	千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2 シャープ幕張ビル内
アンテナの種類	単一アンテナ
アンテナ最大利得	5dBi
アンテナ指向特性	無指向性
送信アンテナ本数	4本
アンテナ偏波面	垂直

以下表 2-5 に上記課題実証の実証環境であるシャープ幕張事業所に設置されているローカル 5G 実験試験局にて、試作したローカル 5G 端末を登録した諸元を示す。

表 2-5 課題実証で使用するローカル 5G 実験試験局(陸上移動局相当)の想定諸元

項目	諸元
局種	実験試験局 (陸上移動局相当)
局数	6
免許の番号	関実第 50092～関実第 50097 号
周波数	4849.86MHz
占有周波数帯幅	99.7MHz
電波の形式	D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W
通信方式	TDD
多重化方式/ 多元接続方式	OFDMA または SC-FDMA
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
空中線電力	200mW (23dBm)
常置場所	千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2 シャープ幕張ビル
移動範囲	千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2 シャープ幕張ビル内
アンテナの種類	単一アンテナ
アンテナ指向特性	無指向性
送信アンテナ本数	2本
アンテナ偏波面	垂直

無線設備系統は図 2-11 に示した構成と同じであり、2本のアンテナから同時に送信した場合の空中線電力は 200mW (23dBm) になっている。

本実証では、技術実証および課題実証を実施するための免許取得にあたり、試作したローカル 5G 端末にて登録点検を実施し実験試験局免許を取得した。

YRP に設置されているテストベッドは NICT 免許人となるため、異免許人間通信の免許申請に関しても免許人の NICT と情報交換を密に行い申請を行った。テストベッドの詳細情報は 3 章に示す。

課題実証はシャープ幕張事業所で取得済みの実験試験局免許に試作したローカル 5G 端末を追加することにより進めた。本免許はシャープが免許人となっている。

以下図 2-12 に免許申請に関わるスケジュールを示した。11 月から関東総合通信局への事前相談を開始し、工事設計認証の取得を待たずに実験試験局免許が取得できるように登録点検を実施し実験試験局免許が取得できるように進めた。



図 2-12 免許申請日程

本実証における技術実証で取得した実験試験局免許に関しては、一般的な実験試験局免許と異なり免許人が NICT である YRP で試験が実施された。このため、通常とは異なる異免許人間通信という制度を利用する必要があった。申請も通常の実験試験局免許とは異なり免許までの日数が長くかかることが予想されたため、早期から関東総合通信局に相談を開始し異免許人間通信の申請手順や免許にかかる期間について綿密にやり取りを行って免許申請を実施した。免許となった日には以下の通りである。

- シャープ幕張事業所実験試験局免許 2023 年 1 月 10 日免許
- YRP NICT 免許人エリア 異免許人間通信 2023 年 1 月 24 日免許

以下に登録点検の結果を示す。

点検は登録検査等事業者等規則第 2 条第 2 項に規定する業務実施方法書に基づき、無線局の無線設備等の点検として行われた。

なお、点検前の予備免許は「無線局予備免許通知書 関通陸一第 22-0075567 号」として認定を受け、点検結果を受けて「関実第 500092 号～関実第 500097 号」として 6 台の端末について免許状の交付となった。

図 2-13 は本実証で試作した端末システムの登録点検を実施した際の測定系である。制御 PC に USB ケーブルで接続した USB ドングル端末の送信アンテナポートを同軸ケーブルで測定器と接続して各測定項目の測定を行った。測定器としてはキーサイトテクノロジー社のシグナル・アナライザ N9030B を使用した。また、測定器への入力信号レベルの調整のため、キーサイトテクノロジー社のステップアッテネータ(減衰器)を利用した。



図 2-13 登録点検の測定系

表 2-6 にキーサイトテクノロジー社の N9030B の諸元一覧、図 2-14 に外観を示す。また、測定周波数精度を上げるため外部発信器としてエディックシステムズ社のルビジウム基準信号発生器 YP-1079B を使用した。ルビジウム基準信号発生器の諸元一覧と、外観図をそれぞれ表 2-7、図 2-15 に示す。

試作した端末システムを有線ケーブルで接続するにあたり、図 2-16 に示したように端末のアンテナ接続部分を有線ケーブルで接続できるように加工し SMA コネクタを接続した。登録点検においては送信信号の測定を実施するが、本実証で試作した端末システムは送信アンテナが 2 つあるため、それぞれのポート(1 または 2)に関して測定を実施した。また、測定時には受信アンテナとなるポートには 50 Ω 終端を接続して登録点検を実施した。

表 2-6 キーサイト N9030B の諸元

項目	諸元
周波数	2 Hz ~ 50GHz
表示平均雑音レベル	-174 dBm
最大解析帯域幅	510 MHz
最大リアルタイム帯域幅	510 MHz
位相雑音	-136 dBc/Hz
外形寸法	約 426 (W) x 556 (D) x 177 (H) mm
重量	22 kg

N9030B PXA シグナル・アナライザ | Keysight

<https://www.keysight.com/jp/ja/product/N9030B/pxa-signal-analyzer-multi-touch-2-hz-50-ghz.html>

以下に登録点検における各測定項目の測定方法を示す。

- 周波数：端末システムから中心周波数設定 4849.98MHz または 4849.86MHz の連続波(CW : continuous wave)を送信し、測定器にて信号の周波数精度を測定する。
- 空中線電力：端末システムから中心周波数設定 4849.98MHz または 4849.86MHz、システム帯域幅 99.9MHz または 99.7MHz の変調波を最大送信電力で送信し、測定器にて帯域幅の信号の空中線電力を測定する。
- 占有周波数帯域幅：端末システムから中心周波数設定 4849.98MHz または 4849.86MHz、システム帯域幅 99.9 または 99.7MHz の変調波を最大送信電力で送信し、測定器にて電力の99%を占める帯域幅を測定する。
- 帯域外領域、スプリアス領域の不要発射強度:端末システムから中心周波数設定 4849.98MHz または 4849.86MHz、システム帯域幅 99.9MHz または 99.7MHz の変調波を最大送信電力で送信し、測定器にて所定の帯域の輻射レベルを測定する。

なお、試作した端末システムは2つの送信アンテナから同時に送信する能力があるため、アンテナの送信信号出力であるポート1およびポート2のそれぞれに対して測定を実施した。



図 2-14 キーサイトテクノロジーN9030B の外観

表 2-7 ルビジウム基準信号発生器の諸元

項目	諸元
出力周波数	10MHz
出力レベル	0 dBm
動作温度	0°C ~ +40°C
出力	10MHz BNC
外形寸法	約 300 (W) x 200 (D) x 87 (H) mm
重量	約 3.7 kg

基準信号発生器 YP-1079B

<http://www.edic-systems.co.jp/image/YP-1079B.pdf>



図 2-15 ルビジウム基準信号発生器の外観

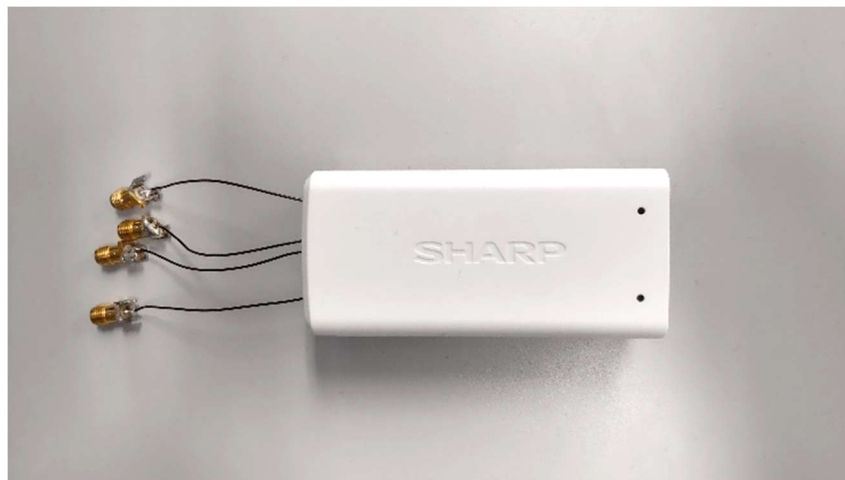


図 2-16 端末システムの有線接続状態

以下の表 2-8 から表 2-13 に登録点検を行った 6 台の端末システムの測定結果を示す。測定の結果、6 台とも全ての項目に合格となった。

ローカル 5G の実験試験局免許を取得するにあたり、工事設計認証を取得し簡易な免許手続きとして免許を取得する方法と、予備免許を取得後、登録点検を実施し免許を取得する方法がある。4.3.1 に示した工事設計認証と異なり、登録点検では測定項目が限定されている一方で免許を取得する全ての機器、すなわち本実証では 6 台の端末の測定を実施し全ての項目に合格している必要がある。以下表 2-8 から表 2-13 に 6 台それぞれの登録点検結果のまとめを示す。

表 2-8 端末システムの登録点検結果(PL5SH-UD0001)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0001 4849.98 (MHz)	
			ポート 1	ポート 2
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000
	測定周波数 (MHz)		4849.980034	4849.980027
	偏差 (Hz)		34	27
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000
	指定電力の合算値 (W)		0.2000	
	測定電力 (W)		0.1091	0.0944
	測定電力の合算値 (W)		0.2035	
	偏差 (%)		1.7%	
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%	
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.3	97.4
	許容値		99.9MHz 以下	
帯域外 領域・ スプリアス 領域の 不要	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え 1MHz 未満	測定値 (dBm)	-46.8	-44.0
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz	
	離調周波数 1MHz 以上 5MHz 未満	測定値 (dBm)	-25.7	-24.2
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz 以下	
	離調周波数 5MHz 以上 100MHz 未満	測定値 (dBm)	-30.6	-28.3
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz 以下	
	離調周波数 100MHz 以上 105MHz 未満	測定値 (dBm)	-29.5	-27.5
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz 以下	
	離調周 9kHz 以上 150kHz 未満	測定値 (dBm)	-90.1	-88.0
		許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz 以下	

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0001 4849.98 (MHz)	
		ポート 1	ポート 2	ポート 1	ポート 2
発射の強度	波数 105MHz以上 のもの	150kHz 以上 30MHz 未満	測定値 (dBm)	-71.9	-76.2
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz 以下	
		30MHz 以上 1,000MHz 未満 (773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-74.9	-70.0
			許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下	
		773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)	-65.3	-64.4
			許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下	
		1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)	-37.2	-32.0
			許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下	
		1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)	-64.4	-60.7
			許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下	
		1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)	-70.5	-68.3
			許容値 (dBm)	-41dBm/300kHz	
		12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)	-51.9	-51.6
			許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下	

表 2-9 端末システムの登録点検結果(PL5SH-UD0002)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0002 4849.98 (MHz)		
			ポート 1	ポート 2	
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000	
	測定周波数 (MHz)		4849.962636	4849.961354	
	偏差 (Hz)		-17364	-18646	
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998	
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000	
	指定電力の合算値 (W)		0.2000		
	測定電力 (W)		0.0984	0.0873	
	測定電力の合算値 (W)		0.1857		
	偏差 (%)		-7.2%		
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%		
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.3	97.3	
	許容値		99.9MHz 以下		
帯域外領域・ スプリアス 領域の不要 発射の強度	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え1MHz未満	測定値 (dBm)	-46.9	-45.1	
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz		
	離調周波数 1MHz以上5MHz未満	測定値 (dBm)	-23.6	-24.6	
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 5MHz以上100MHz未満	測定値 (dBm)	-31.0	-30.3	
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 100MHz以上105MHz未満	測定値 (dBm)	-31.5	-28.7	
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 105MHz 以上	9kHz以上 150kHz未満	測定値 (dBm)	-82.9	-78.2
			許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz以下	
		150kHz以上 30MHz未満	測定値 (dBm)	-81.8	-72.4
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz以下	
	30MHz以上 1,000MHz未満 (773MHz~ 803MHz、860MHz ~890MHz、 945MHz~960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-74.8	-72.8	
		許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz以下		

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0002 4849.98 (MHz)	
				ポート 1	ポート 2
の も の	773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)		-66.2	-65.4
		許容値 (dBm)		-50dBm/1MHz 以下	
	1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)		-36.5	-32.7
		許容値 (dBm)		-30dBm/1MHz 以下	
	1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)		-64.5	-55.7
		許容値 (dBm)		-50dBm/1MHz 以下	
	1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)		-70.4	-71.7
		許容値 (dBm)		-41dBm/300kHz	
	12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)		-51.3	-52.5
		許容値 (dBm)		-30dBm/1MHz 以下	

表 2-10 端末システムの登録点検結果 (PL5SH-UD0003)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0003 4849.98 (MHz)		
			ポート 1	ポート 2	
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000	
	測定周波数 (MHz)		4849.952207	4849.946171	
	偏差 (Hz)		-27793	-33829	
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998	
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000	
	指定電力の合算値 (W)		0.2000		
	測定電力 (W)		0.0982	0.0927	
	測定電力の合算値 (W)		0.1909		
	偏差 (%)		-4.6%		
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%		
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.3	97.3	
	許容値		99.9MHz 以下		
帯域外領域・ スプリアス 領域の不要 発射の強度	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え 1MHz 未満	測定値 (dBm)	-49.6	-48.3	
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz		
	離調周波数 1MHz 以上 5MHz 未満	測定値 (dBm)	-28.1	-27.2	
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz 以下		
	離調周波数 5MHz 以上 100MHz 未満	測定値 (dBm)	-32.8	-30.8	
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz 以下		
	離調周波数 100MHz 以上 105MHz 未満	測定値 (dBm)	-29.7	-30.7	
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz 以下		
	離調周波数 105MHz 以上	9kHz 以上 150kHz 未満	測定値 (dBm)	-76.5	-93.0
			許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz 以下	
		150kHz 以上 30MHz 未満	測定値 (dBm)	-71.8	-85.3
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz 以下	
	30MHz 以上 1,000MHz 未満 (773MHz ~ 803MHz、860MHz ~ 890MHz、945MHz ~ 960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-75.5	-76.2	
		許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下		

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0003 4849.98 (MHz)	
				ポート 1	ポート 2
の も の	773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)	-65.8	-66.2	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)	-34.5	-34.3	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		
	1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)	-64.7	-64.4	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)	-70.5	-70.7	
		許容値 (dBm)	-41dBm/300kHz		
	12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)	-52.9	-52.7	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		

表 2-11 端末システムの登録点検結果(PL5SH-UD0004)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0004 4849.98 (MHz)		
			ポート 1	ポート 2	
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000	
	測定周波数 (MHz)		4849.953757	4849.950391	
	偏差 (Hz)		-26243	-29609	
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998	
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000	
	指定電力の合算値 (W)		0.2000		
	測定電力 (W)		0.0991	0.0986	
	測定電力の合算値 (W)		0.1977		
	偏差 (%)		-1.2%		
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%		
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.2	97.3	
	許容値		99.9MHz 以下		
帯域外領域・ スプリアス 領域の不要 発射の強度	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え1MHz未満	測定値 (dBm)	-45.7	-49.5	
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz		
	離調周波数 1MHz以上5MHz未満	測定値 (dBm)	-26.0	-29.6	
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 5MHz以上100MHz未満	測定値 (dBm)	-30.3	-31.2	
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 100MHz以上105MHz未満	測定値 (dBm)	-31.4	-29.7	
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 105MHz以上	9kHz以上 150kHz未満	測定値 (dBm)	-95.0	-74.1
			許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz以下	
		150kHz以上 30MHz未満	測定値 (dBm)	-86.8	-70.6
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz以下	
	30MHz以上 1,000MHz未満 (773MHz~ 803MHz、860MHz ~890MHz、 945MHz~960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-75.2	-68.4	
		許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz以下		

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0004 4849.98 (MHz)	
				ポート 1	ポート 2
の も の	773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)		-65.5	-65.8
		許容値 (dBm)		-50dBm/1MHz 以下	
	1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)		-38.1	-33.6
		許容値 (dBm)		-30dBm/1MHz 以下	
	1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)		-63.9	-61.8
		許容値 (dBm)		-50dBm/1MHz 以下	
	1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)		-72.1	-72.1
		許容値 (dBm)		-41dBm/300kHz	
	12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)		-52.6	-53.0
		許容値 (dBm)		-30dBm/1MHz 以下	

表 2-12 端末システムの登録点検結果(PL5SH-UD0005)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0005 4849.98 (MHz)		
			ポート 1	ポート 2	
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000	
	測定周波数 (MHz)		4849.963522	4849.955038	
	偏差 (Hz)		-16478	-24962	
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998	
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000	
	指定電力の合算値 (W)		0.2000		
	測定電力 (W)		0.0991	0.0989	
	測定電力の合算値 (W)		0.1980		
	偏差 (%)		-1.0%		
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%		
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.4	97.5	
	許容値		99.9MHz 以下		
帯域外領域・ スプリアス 領域の 不要発射の 強度	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え1MHz未満	測定値 (dBm)	-46.6	-43.8	
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz		
	離調周波数 1MHz以上5MHz未満	測定値 (dBm)	-25.3	-24.1	
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 5MHz以上100MHz未満	測定値 (dBm)	-31.6	-28.6	
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 100MHz以上105MHz未満	測定値 (dBm)	-31.9	-29.7	
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 105MHz以上	9kHz以上 150kHz未満	測定値 (dBm)	-96.2	-90.7
			許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz以下	
		150kHz以上 30MHz未満	測定値 (dBm)	-62.5	-64.3
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz以下	
	30MHz以上 1,000MHz未満 (773MHz~ 803MHz、860MHz ~890MHz、 945MHz~960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-73.7	-76.0	
		許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz以下		

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0005 4849.98 (MHz)	
				ポート 1	ポート 2
の も の	773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)	-64.9	-65.7	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)	-37.0	-33.3	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		
	1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)	-65.0	-64.7	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)	-72.0	-71.1	
		許容値 (dBm)	-41dBm/300kHz		
	12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)	-52.6	-52.2	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		

表 2-13 端末システムの登録点検結果(PL5SH-UD0006)

測定項目		装置の区別	製造番号： PL5SH-UD0006 4849.98 (MHz)		
			ポート 1	ポート 2	
周波数	指定周波数 (MHz)		4849.980000	4849.980000	
	測定周波数 (MHz)		4849.965037	4849.958965	
	偏差 (Hz)		-14963	-21035	
	許容偏差 (Hz)		±484998	±484998	
空中線電力	指定電力 (W)		0.1000	0.1000	
	指定電力の合算値 (W)		0.2000		
	測定電力 (W)		0.1002	0.0995	
	測定電力の合算値 (W)		0.1997		
	偏差 (%)		-0.2%		
	許容偏差 (%)		-79% ~ +100%		
占有周波数 帯幅	測定値 (MHz)		97.3	97.2	
	許容値		99.9MHz 以下		
帯域外領域・ スプリアス 領域の不要 発射の強度	離調周波数送信周波数帯域の端（不要発射の強度の測定帯域の端）を超え1MHz未満	測定値 (dBm)	-48.6	-49.9	
		許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz		
	離調周波数 1MHz以上5MHz未満	測定値 (dBm)	-27.6	-29.0	
		許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 5MHz以上100MHz未満	測定値 (dBm)	-31.7	-32.1	
		許容値 (dBm)	-11.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 100MHz以上105MHz未満	測定値 (dBm)	-32.1	-31.7	
		許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz以下		
	離調周波数 105MHz以上	9kHz以上 150kHz未満	測定値 (dBm)	-93.9	-92.0
			許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz以下	
		150kHz以上 30MHz未満	測定値 (dBm)	-75.6	-70.8
			許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz以下	
	30MHz以上 1,000MHz未満 (773MHz~ 803MHz、860MHz ~890MHz、 945MHz~960MHz を除く)	測定値 (dBm)	-75.2	-74.3	
		許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz以下		

測定項目		装置の区別		製造番号： PL5SH-UD0006 4849.98 (MHz)	
		ポート 1	ポート 2	ポート 1	ポート 2
の も の	773MHz～ 803MHz、860MHz ～890MHz、 945MHz～960MHz	測定値 (dBm)	-65.3	-66.3	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,000MHz 以上 12.75GHz 未満 (1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 1,884.5MHz～ 1,915.7MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz を除 く)	測定値 (dBm)	-38.4	-35.3	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		
	1,475.9MHz～ 1,510.9MHz、 1,805MHz～ 1,880MHz、 2,010MHz～ 2,025MHz、 2,110MHz～ 2,170MHz	測定値 (dBm)	-65.1	-64.3	
		許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下		
	1,884.5MHz 以上 1,915.7MHz 以下	測定値 (dBm)	-71.2	-72.0	
		許容値 (dBm)	-41dBm/300kHz		
	12.75GHz 以上 24.50GHz 未満	測定値 (dBm)	-51.9	-52.2	
		許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下		

各項目における測定結果の代表例として登録点検を実施した6台のうち製造番号 PL5SH-UD0001 の測定時の測定画面を巻末の参考資料 2 に示す。

2.5 その他

本実証で試作した端末システムは、横展開性を考慮し国際標準規格である 3GPP Release 15 に準拠した端末とし、4.3.2 で後述する課題実証としてコンFORMANCE試験を実施した。コンFORMANCE試験を実施することにより、3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を確認した。

本実証の技術実証で接続するテストベッドで使用される基地局、コア設備等に関しては NICT が準備した。一方、課題実証でシャープ幕張事業所に設置されている基地局、コア設備等に関してはシャープが開発中のものであり、「ローカル 5G 導入に関するガイドライン」に留意し、サプライチェーンリスク対策を含むサーバーセキュリティ対策を実施している。「セキュリティ・バイ・デザイン」の考えで開発を行い、脆弱性を含まない安全設計、サイバーセキュリティに関するソフトウェアレビュー、セキュリティに関する脆弱性の評価により安全の確保を行っている。

本実証で導入するシステム・機器については、「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針及び調達手続きに関する申合せ」等に留意し、十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。「付随資料③ サプライチェーンリスク対策に係る資料」に本実証で調達を予定しているサプライチェーンリスクに関連する機器の採用理由、製造企業、販売企業、技術提供企業を記載した。

なお、本ローカル 5G 基地局システムは令和 3 年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証「高速道路上空の土木建設現場における、安全管理の DX 化に求められる超高精細映像転送システムの実現」にて使用された基地局システムと同一仕様のシステムとなっており、実績のあるシステムを使用し実証を進めた。

また、端末システムのセキュリティ対策として、セキュリティ設計担当部署によって端末システムの Web UI からの情報漏洩や不正アクセス、Wi-Fi の盗聴や遮断、ルーター機能の脆弱性等の確認を実施するセキュリティチェックシートに基づいたセキュリティの確認を実施している。

3. ローカル5G活用モデルに即した端末システムを用いたローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

本実証の技術実証は NICT が用意するテストベッドで実施され、シャープが本実証で試作したローカル5G 端末システムとの接続を行い 3.3 に詳細を示す以下の事項の測定を実施した。また、測定実施後、取得したデータの分析を実施し無線通信の技術基準の観点から必要な課題を明らかにした。

- ① 環境要因を極力排除したラボ環境にて、試作した端末システムの伝送性能（アップリンク、ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等）を確認。
- ② テストベッド環境にて、試作した端末システムをローカル5G 基地局に接続し、カバーエリア内 20 以上の測定点において、伝送性能を測定。
- ③ ②と同一の測定点において受信電力を測定する。試作した端末システムに受信電力を測定。
- ④ ①～③の結果を整理し、無線通信の技術基準の観点から必要な課題を分析・考察。

本実証では、YRP に設置されたテストベッドにて、試作した端末システムを用いた伝送性能を測定すると共に、エリア内のポイントにおいての受信電力を測定し、端末システムの実環境での基礎的な送受信性能の評価を実施した。

3.2 実証環境

本実証の技術実証における実証環境を以下に示す。

技術実証は、NICT が神奈川県横須賀市光の丘 3 番 4 号 YRP センター2 番館に用意するテストベッドで実施した。

本実証に使用する端末システムの仕様は表 2-2 に示した通りであり、設置されている 4.6GHz 帯と 28GHz 帯の基地局のうち、本実証では端末システムが対応する 4.6GHz 帯を使って実証を行った。

本実証では試作した端末システムと接続してログを取得するためのログ取得 PC を用意し、端末システムのログをリアルタイムで確認、処理を行えるような構成とした。また、取得したログのデータ処理の煩雑さを軽減し、データ処理のミスが起こらないように株式会社メリテック（以下、メリテック）の電波測定ツールを導入して実証を実施した。

また、設置したサーバーと端末システムと USB ケーブルで接続された制御 PC 間の往復遅延時間の評価を実施した。測定方法は、Windows PC に標準でインストールされているコマンドプロンプトから ping コマンドを使用し、往復遅延時間の最小、最大、平均値、中央値を測定した。

また、テストベッド環境での実証に先立ちシャープ幕張事業所に設置されたアンリツの基地局シミュレータを使用し、試作した端末システムの有線性能の評価を実施した。基地局シミュレータと有線接続した環境で評価を実施することにより、無線通信環境のような外的要因による性能の変動を排除し、端末システムそのものの性能評価が実施可能になった。

以下に YRP に設置されたテストベッドの実験試験局エリアの情報を示す。

アンテナ装置の設置場所は YRP センター 1 番館屋上に設置され、アンテナ高は約 107m となっている。アンテナ装置に使用されるアンテナは図 3-1 にエリアを示す通り指向性アンテナが使われている。また、屋上にアンテナ装置が設置され屋外にエリアが形成されている。

NICT 免許人の基地局の諸元を以下の表 3-1 に示す。

表 3-1 NICT 免許人の基地局装置諸元

項目	諸元
局種	実験試験局 (基地局相当)
局数	1
免許の番号	関実第 49277 号
周波数	4849.98MHz
占有周波数帯幅	99.9MHz
通信方式	TDD
多重化方式/ 多元接続方式	OFDMA または SC-FDMA
変調方式	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
空中線電力	0.309W (24.9dBm) (4 ポート合計)
アンテナ最大利得	14.3dBi
アンテナ指向特性	指向性
送信アンテナ本数	4 本

図 3-1 にテストベッドの無線エリアイメージ図を示す。基地局装置のアンテナ部は YRP センター1 番館の屋上に設置(図 3-2)され、東側方向に電波を放射するような向きで設置されている。YRP センターの生活支援棟付近、および生活支援棟と YRP センター2 番館の間の庭が通信エリア(図中の黄色で示した①の部分)となっている。



図 3-1 テストベッドの無線エリアイメージ (①のエリア)



図 3-2 アンテナ装置の設置状態

3.3 実証事項

3.3.1 実証の目的・目標

テストベッドでは試作した端末システムと基地局との接続性の確認を行い、試作した端末システムが異常なく基地局と接続を行えるかの検証を実施する。さらには、接続した基地局のネットワークに設置されたサーバーに対し、アップリンクもしくはダウンリンクのスループット特性、遅延特性の評価を実施し、端末システムの基本性能に問題がないかを確認した。

具体的な目標値としては、試作した端末システムのユースケースの一つであるアップリンクでの 8K 映像伝送を想定し、伝搬損がある程度(例えばアンテナ利得、人体損を含め 74dB)以下のエリアにおいてアップリンクのスループットが理論値の 6 割以上の値で無線通信できることを目標とした。例えば、3GPP に準拠する同期フレーム構成においてのアップリンクスループットは 130Mbps 程度(SISO, 256QAM)と計算され、その 6 割である 78Mbps を目標とした。ただし、この理論値は基地局のパラメータ設定により変わるため今後設置される機器の情報を反映し具体的な数値目標を設定するものとした。

また、ローカル 5G 端末システムの通信エリアの広さもしくは切れにくさの一つの指標になる受信電力についても評価を行い、SA 方式のような単一周波数での運用にも十分耐え得る性能があるかの確認を行った。特に本実証で試作した端末システムは超高精細映像等の高速データ通信を想定した防水・防塵・小型端末であるため、アップリンク通信速度の安定性の評価も重要な評価項目として実証を実施した。

具体的には前述と同様にアップリンクの 8K 映像伝送を想定し、アップリンクのスループットが平均 80Mbps で 10 分程度安定して送信できることを目標とした。ただし、実効的なスループットが目標とする 80Mbps より十分高い環境で、なおかつ室温が 25℃以下である環境で試験は実施するものとした。

以上のような測定を実施、結果の分析を行い、無線通信の技術基準の観点から必要な課題を明らかにした。

3.3.2 評価・検証項目

テストベッドで測定・試験を実施した項目を以下に示す。

- ① 環境要因を極力排除したラボ環境にて、試作した端末システムの伝送性能（アップリンク、ダウンリンク別の伝送スループット、伝送遅延等）を確認。
- ② テストベッド環境にて、試作した端末システムをローカル 5G 基地局に接続し、カバーエリア内 20 以上の測定点において、伝送性能を測定。
- ③ ②と同一の測定点において受信電力を測定する。試作した端末システムに受信電力を測定。
- ④ ①～③の結果を整理し、無線通信の技術基準の観点から必要な課題を分析・考察。

以上のような項目の測定・試験を行いつつ、端末システムの動作ログを取得することによって得られた結果を端末動作の観点から分析した。

3.3.3 評価・検証方法

テストベッドでの実証を行う準備として 3.3.2 の①に示したように試作した端末システムの伝送性能の事前確認を実施した。事前確認は、端末システムと基地局シミュレータとを同軸ケーブルで接続し有線性能の評価を実施した。

評価は、3GPP TS38.521 に定められた評価方法に従って評価を実施し、評価装置としてはラジオコミュニケーションテストステーション：アンリツ社の MT8000A とラジオコミュニケーションアナライザ：アンリツ社の MT8821C を使用し確認を実施した。アンリツ社の MT8000A の諸元一覧および外観図をそれぞれ表 3-2、図 3-3 に示した。また、アンリツ社の MT8821C の諸元一覧と外観図をそれぞれ表 3-3、図 3-4 に示した。事前評価は図 3-5 に示したように同軸ケーブルにより直接端末システムと評価装置とを接続し有線性能の評価を実施した。事前検証は、ローカル 5G の周波数バンドとなる n79 の他、本実証で試作した端末システムで対応しているその他のバンドについても実施したが、本報告書ではローカル 5G の周波数である n79 にフォーカスして報告を行う。

表 3-2 アンリツ MT8000A の仕様一覧

項目	諸元
周波数	0.4 GHz ~ 6 GHz
出力レベル	-110 ~ -10 dBm (Main1, 2) -110 ~ 0 dBm (Aux1, 2)
分解能	0.1 dB
確度	± 0.7dB (typ.)
信号純度	非高調波スプリアス ≤ -40dBc
外形寸法	426(W) x 578(D) x 265(H) mm
重量	≤ 50 kg



図 3-3 アンリツ MT8000A の外観

表 3-3 アンリツ MT8821C の諸元一覧

項目	諸元
周波数	30 MHz ~ 3.8 GHz
出力レベル	-140 ~ -10 dBm (TX1) -140 ~ -16 dBm (TX2, 3, 4)
分解能	0.1 dB
レベル確度	$\geq -120\text{dBm}$
信号純度	非高調波スプリアス $\leq -30\text{dBc}$
外形寸法	426 (W) x 578 (D) x 221.5 (H) mm
重量	≤ 40 kg



図 3-4 アンリツ MT8821C の外観

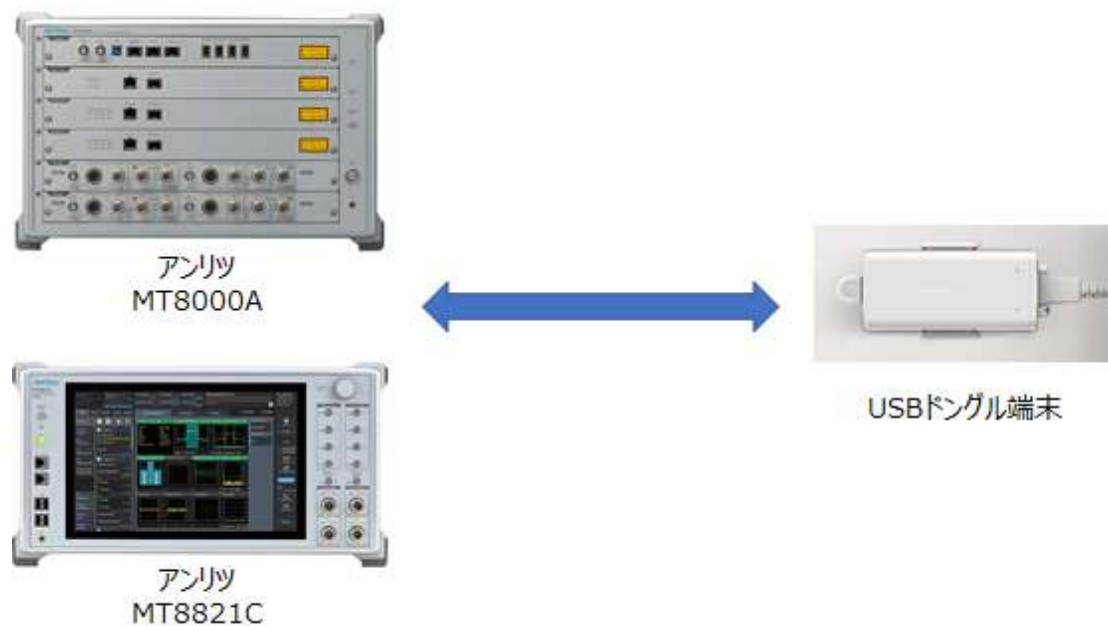


図 3-5 事前性能評価系

MT8000A はアンリツ社から提供されている 5G NR 対応のラジオコミュニケーションテストステーションであり、開発する端末と接続して様々な無線性能テストを行うことができる疑似基地局装置である。オプション構成により 5G NR のミリ波と Sub6 の両方に対応し、同軸ケーブルで端末と接続した場合には安定した有線性能の試験を実施できる。また、OTA チャンバに接続して試験を実施する場合には端末のアンテナ性能の試験を実施できる。

ラジオ コミュニケーション テストステーション MT8000A

<https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/mt8000a>

MT8821C はアンリツ社から提供されているラジオコミュニケーションアナライザであり、MT8000A と組み合わせて端末の種々の評価を行う測定装置である。LTE/LTE-Advanced、Cat-M1/NB-IoT、W-CDMA/HSPA、GSM/EGPRS、TD-SCDMA/HSPA に対応しており 5G NSA のアンカーバンドとしての疑似基地局装置として使用できる。

ラジオ コミュニケーション アナライザ MT8821C

<https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/mt8821c>

本実証で試作した端末システムはローカル 5G に対応した周波数バンドである n79 の他、全国キャリア向けの周波数バンドにも対応しており、全国キャリアでサービスされている 5G NSA および LTE の試験も実施している。

事前検証後、本実証の技術実証試験として NICT が用意したテストベッド環境にて実施した。本環境において、試作した端末システムの接続確認、受信電力、アップリンク/ダウンリンクそれぞれのスループット、伝送遅延の測定を行った。カバーエリアにおける複数のポイントでの受信性能を試作した端末システムにて測定すると共に同ポイントにおいて、アップリンク/ダウンリンクそれぞれのスループットを測定した。

図 3-6 は、技術実証における試験系概略図である。テストベッド環境における基地局と測定対象となる端末システムを接続し、ログ取得 PC にて受信電力、アップリンク/ダウンリンクスループット等の評価項目の測定を行った。

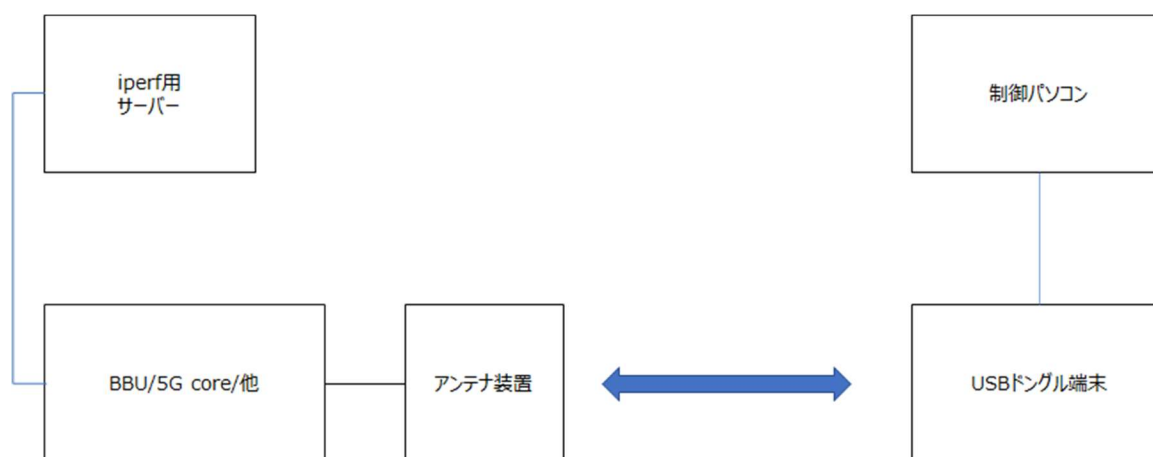


図 3-6 実証の試験系概略図

NICT 免許人の基地局装置としては、富士通製 PW320-DU および PW331-48L4A-SRU が使用された。基地局装置の詳細諸元は表 3-1 に示した通りである。

iperf 用サーバー、および制御パソコンとしては Dynabook 社製の Windows PC を使用した。諸元を以下の表 3-4 に示す。また、図 3-7 に iperf サーバー、および制御パソコンの外観図を示す。

表 3-4 サーバー/制御パソコンの諸元

項目	諸元
装置ベンダー	Dynabook 株式会社
CPU	インテル Core i7-1260P プロセッサー
OS	Windows 11 Pro 64 ビット
メモリ	16GB(8GB×2)
ディスプレイサイズ	15.6 型ワイド Ultra HD
無線 LAN	Wi-Fi 6(IEEE802.11ax) (2.4Gbps)+IEEE802.11ac/a/b/g/n
Bluetooth	Bluetooth (Ver5.2)
外形寸法	約 361.0mm(幅)×約 19.9mm(高さ)×約 244.0mm(奥行)
重量	約 1.90kg

Dynabook CZ シリーズ

<https://dynabook.com/direct/note-pc/cz-series.html>



図 3-7 サーバー/制御パソコンの外観図

受信電力、アップリンク/ダウンリンクスループット等の評価項目の測定にあたっては、メリテックの電波測定ツールSigma-LA等を使用して評価を行い、同社のSigma-PAを使って解析を行った。図 3-8 にメリテックの電波測定ツールを使用した際の接続イメージを示す。ツールは試作したローカル 5G 端末を接続する制御パソコンにインストールして使用し、ローカル 5G 端末から出力されるログを解析して各測定結果を表示することができる。

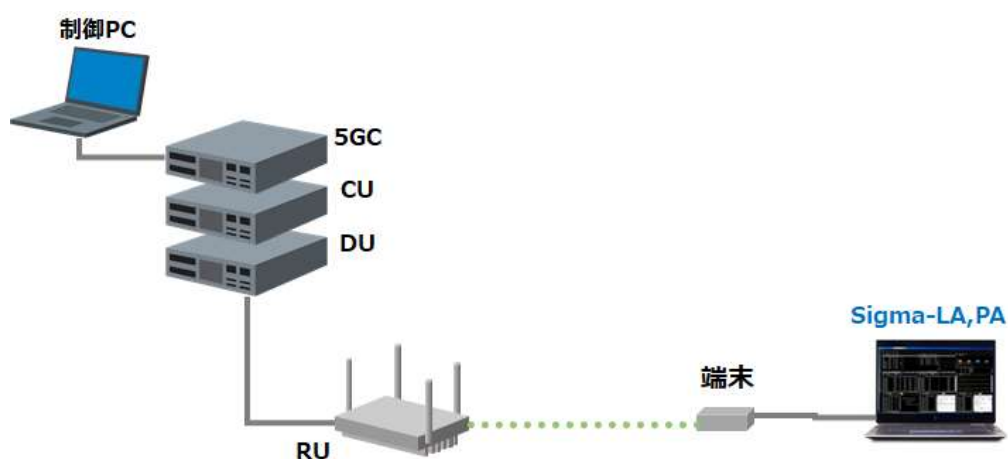


図 3-8 メリテック電波測定ツール使用時の接続イメージ

Meritech | Your efficiency, Our passion

<https://meritech.co.jp/products.php>

また、Sigma-LA の測定時の画面表示の一例を図 3-9 に示す。図のように基地局装置とデータ通信を行いながらリアルタイムに端末システムのログ情報を表示することが可能になっている。その他、基地局と端末システム間でやり取りしているプロトコルメッセージもリアルタイムで確認できるようになっており、ローカル 5G のような様々な基地局装置との接続性試験を必要とする場合に非常に有用である。

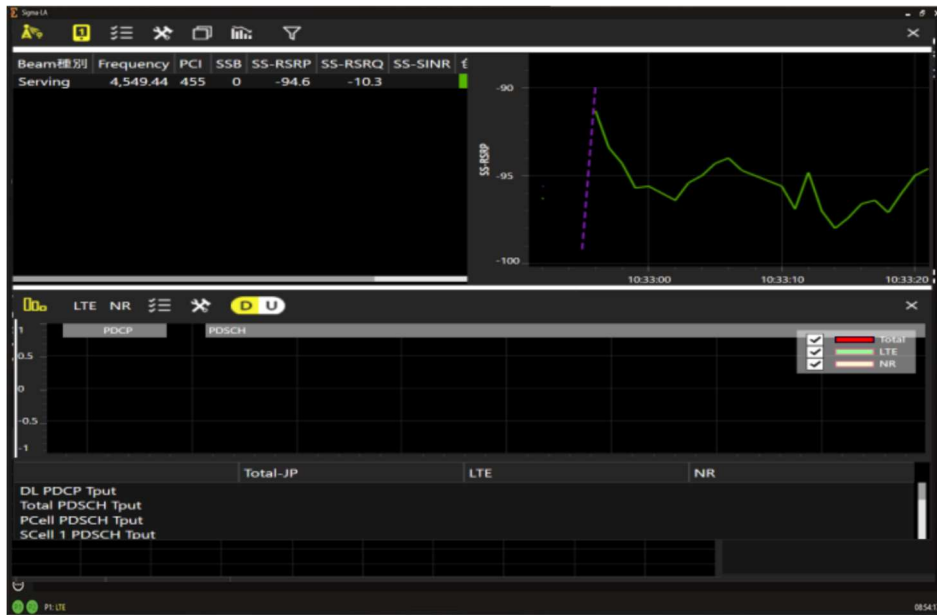


図 3-9 メリテック Sigma-LA の測定画面の一例

伝送遅延の評価は表 3-4 に示した制御パソコンから基地局の直近に設置されたサーバーもしくはルーター等に ping コマンド(パケットサイズ 32byte)によって表示される RTT(Round-Trip Time : 往復時間)によって評価を実施した。加えてより正確な伝送遅延の評価を実施するため、事前検証としてアンリツのネットワークテスタ MT1000A を使用して測定を実施した。アンリツ MT1000A の仕様一覧と外観をそれぞれ表 3-5、図 3-10 に示す。アンリツのネットワークテスタでは遅延時間の時系列変動や PC の処理時間を排除した正確な遅延測定を行うことができ ping での測定より高度な測定機能を有している。

MT1000A で遅延測定を実施する際にはアップリンク測定時には 50Mbps のデータ、ダウンリンク測定時には 100Mbps のデータを送受信しながら測定を行う。アップリンク、ダウンリンクそれぞれの遅延時間を測定することが可能であり、ping コマンドを使用した往復遅延とことなりアップリンク、ダウンリンクの分離が可能になり課題となっている部分を明確にすることができる。

ネットワークマスタ プロ (Ethernet/CPRI/OTDR テスタ) MT1000A

<https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/mt1000a>

表 3-5 MT1000A の仕様一覧

項目	諸元
測定範囲	2.7 Gbps 以下
基準クロック入力	BITS, SETS, 2MHz Clock, 10MHz Clock, ITU-T G.703 準拠
サービスインターフェイス	USB A×2, USB Mini-B, AUX
リモート制御	イーサネット, GPIB
温度範囲	0 ~ +50°C
外形寸法	約 257.6(W) x 82(D) x 163(H) mm
重量	2.7 kg



図 3-10 アンリツ MT1000A の外観

ただし、MT1000A では以下の図 3-11 に示したようにローカル 5G 基地局の 5G コア側のネットワークと、端末システムとをループするように物理的に LAN ケーブルで接続する必要があり、例えば、5G コアの設置場所と無線エリアとが離れている場合には長い距離を LAN ケーブルで接続する必要がある。テストベッドにおいては無線エリアが屋外になっており、前述した物理的配線の問題から無線環境でのアンリツ MT1000A を使った遅延測定の実施はできなかった。後述する課題実証におけるシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G エリアでは、屋内環境に基地局装置が設置されており、無線エリアも同環境に設置されていることからアンリツの MT1000A および ping コマンドを用いた 2 つの遅延時間の評価を実施し、MT1000A の評価結果と ping による評価結果の比較を実施した。

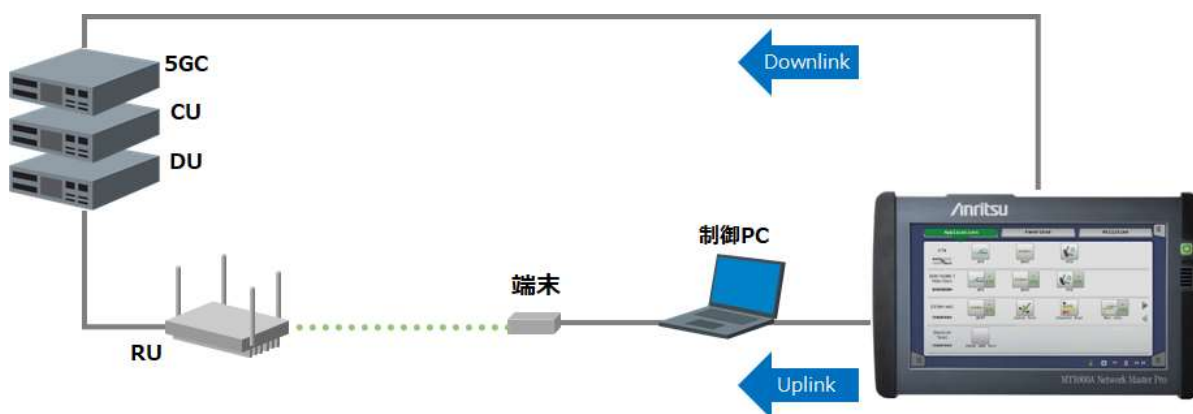


図 3-11 アンリツ MT1000A 測定系

伝送性能(アップリンク、ダウンリンク伝送スループット、伝送遅延)の測定方法としては、ローカル 5G 端末を所定の高さに設置し、アンテナ装置に対して正対させた形で測定実施する。測定時間は各地点で 1 分間とし、ローカル 5G 測定端末を 10 波長程度左右に動かしながら測定を実施した。

無線エリアでの測定は図 3-12 に示したような測定用治具を用いた。測定時に人体の影響が少なくなるように治具の先端に USB ドングル端末を取り付け、アンテナ装置と正対させるように測定者の前方に掲げるようにして測定を実施した。また、端末システムを固定するための治具の一部が電波を遮蔽しないように治具の固定部およびポール部が端末システムの後方に来るように持って測定を行った。



図 3-12 測定用治具

本実証で試作した端末システムの n79 対応アンテナは端末筐体の上筐体部に配置されており、端末システムを図 3-13 に示すように治具の先端部に固定することによりアンテナの送受信性能の劣化を最小限に抑えた状態で測定を実施することができる。



図 3-13 端末システムの固定方法

3.3.4 実証結果及び考察

(1) 事前検証の検証結果と考察

以下にテストベッドにおける無線伝送試験の事前検証として実施したシャープ幕張事業所内に設置した基地局シミュレータと端末システムとを同軸ケーブルで接続した有線性能の試験条件と評価結果を示す。

試験条件は表 3-6 のような条件で実施した。

事前検証の評価は図 3-5 に示したように基地局シミュレータと接続して実施した。電波の揺らぎや干渉のない有線接続環境にて実施し、受信電力として良好な環境であると想定される SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) が -52dBm となるように設定し、変調方式は最もスループットが高くなるアップリンクで 256QAM、ダウンリンクで 256QAM に設定した。また、空間多重方式である MIMO は本実証で試作した端末システムが対応するアップリンク 2×2 、ダウンリンク 4×4 に設定した。

表 3-6 事前試験の実施条件

項目	条件
接続状態	有線ケーブルにて接続
受信電力 (SS-RSRP) [dBm]	-52dBm
送信電力 [dBm]	-12dBm
使用リソースブロック (RB) 数 (アップリンク/ダウンリンク)	273 / 273
TDD コンフィグ	同期
変調方式 (アップリンク/ダウンリンク)	256QAM / 256QAM
MIMO (アップリンク/ダウンリンク)	2×2 / 4×4

評価結果を以下に示す。

評価は通信を開始して動作が安定した後、1分間通信を行った際の平均値を示している。

表 3-7 事前試験の評価結果

項目	結果
アップリンクスループット [Mbps]	256Mbps
ダウンリンクスループット [Mbps]	1514Mbps

評価結果の蓋然性の確認として表 3-6 に示した実施条件における理論的なスループット値との比較を行った。理論的なスループット値を表 3-8 に示す。スループットの理論値は表 3-6 に示した条件においてエラーなしでデータ通信を行った場合に得られる物理層の最高のスループットを示している。理論値と表 3-7 の評価結果を比較すると、理論値の 95%以上のスループットが確認でき問題ないことが確認できた。また、シャープで開発中の他の機種と比較しても同等の速度が出るということが確認でき問題ないと考えられる。

表 3-8 スループットの理論値

項目	理論値
アップリンクスループット [Mbps]	264Mbps
ダウンリンクスループット [Mbps]	1514.36Mbps

なお、理論値はアンリツ MT8000A により算出された値を使用しており、動作条件は MCS=27(256QAM)、UL/DL RB=273(full)となっている。

また、以下に事前検証として実施した遅延測定結果を示す。

測定は図 3-11 に示した測定系で実施し、ローカル 5G 基地局装置としてはシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G 基地局を使用した。また、測定では電波の揺らぎや干渉のない有線接続環境にて実施した。

表 3-9 事前検証の遅延測定結果

項目	測定値 [msec]
最小値	23
最大値	72
平均値	50

上記より、シャープ幕張事業所に設置された基地局装置を使用した場合の遅延時間は平均 50m 秒となり、ばらつきの範囲(最大値-最小値)も 49m 秒となり、シャープで提供中の他のローカル 5G 対応端末と同程度の特性が得られていることがわかり、遅延特性としては問題ないことが確認できた。遅延時間に関しては端末システム以外に基地局装置側の性能も含まれるため、本検証での往復遅延時間の絶対値に関しては問題としていない。

最後に、事前検証としてシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G 基地局を使用して異なる TDD コンフィグにおけるアップリンクスループットの動作検証を行った。TDD パターンは図 4-16 に示した同期、準同期 TDD1、準同期 TDD2、準同期 TDD3 を使用して確認を行った。以下の表 3-10 に検証結果を示す。評価は iperf により 1 分間のアプリケーション層のアップリンクスループットを測定し、その中央値を示している。

表 3-10 TDD パターン動作検証結果

TDD パターン	アップリンクスループット [Mbps]
同期	101.5
準同期 TDD1	189.5
準同期 TDD2	245.5
準同期 TDD3	270.0

確認の結果、全ての TDD パターンで問題なく動作していることが確認できた。スループットの絶対値に関しては、ローカル 5G 基地局装置が開発中であるため必ずしも理論上の最大スループットに近い値ではないが、他の機種と同レベルの性能が確認でき端末試作上は問題ないと考える。

次に、テストベッドにおける無線伝送試験の事前検証として実施したテストベッドに設置された基地局装置と端末システムとを同軸ケーブルで接続した有線性能の試験条件と評価結果を示す。

テストベッドにおける試験環境の様子を図 3-14 に、テストベッドにおけるローカル 5G システムとの有線接続の接続図を図 3-15 示す。スループットおよび往復遅延の測定には基地局側に設置した制御 PC に対して iperf もしくは ping コマンドを使用しデータ通信を行い性能の測定を行った。また、試験条件は表 3-11 のような条件で実施した。

受信電力は同軸ケーブルと共に設置したステップアッテネータを利用して良好な環境であると想定される SS-RSRP が -70dBm から 10dB ステップで -110dBm に設定し、変調方式は基地局の制御により決定された。また、空間多重方式である MIMO は本実証で試作した端末システムが対応するアップリンク 2×2 MIMO もしくは SISO、ダウンリンク 4×4 MIMO に設定された。



図 3-14 テストベッドの事前検証試験環境

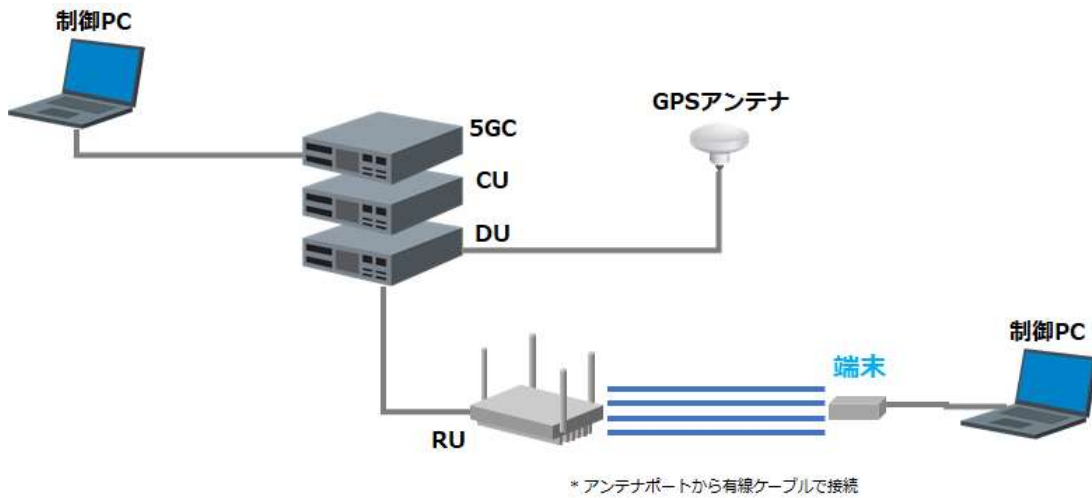


図 3-15 テストベッド事前検証における接続方法

表 3-11 事前試験の実施条件

項目	条件
接続状態	有線ケーブルにて接続
受信電力(SS-RSRP) [dBm]	-70dBm から-110dBm (10dB ステップ)
送信電力 [dBm]	基地局の制御に従う
使用リソースブロック(RB)数 (アップリンク/ダウンリンク)	273 / 273
変調方式 (アップリンク/ダウンリンク)	基地局の制御に従う
MIMO (アップリンク/ダウンリンク)	2×2 or SISO / 4×4 (基地局の制御に従う)

テストベッドにおける無線伝送試験の事前検証として実施したスループット評価結果を以下に示す。

表 3-12 事前試験のスループット評価結果

条件 (SS-RSRP [dBm])	結果 (1 分間測定の中央値)	
	Uplink スループット [Mbps]	Downlink スループット [Mbps]
-70	51.0	675.0
-80	76.2	669.0
-90	172.0	487.0
-100	70.6	332.5
-110	50.6	304.5

SS-RSRP を-70dBm から 10dB ステップで-110dBm に設定し、1 分間のスループット測定を行いそれぞれの SS-RSRP における中央値を評価した結果、最高のスループットとしてはアップリンク 172.0Mbps、ダウンリンク 675.0Mbps となった。システム帯域幅が 99.9MHz、変調方式を 64QAM まで使用している場合には、理論上、アップリンクスループット(2×2 MIMO)で約 200Mbps 程度、ダウンリンクスループット(4×4 MIMO)で 1.3Gbps 程度の速度が想定され、理論値より低いスループットに制限された基地局システムとしての試験となっている。実際のネットワークの場合には制御情報等のオーバーヘッドや使用していないシンボルがあるため理論値より低くなるが、特にダウンリンクスループットに関しては理論値の半分程度の速度になっており、基地局の設定パラメータにより何らかの速度制限が設けられていると想定される。また、アップリンクスループットに関しては基地局からの制御により端末がアップリンク 2×2 MIMO で動作する電力(SS-RSRP)として、-90dBm 付近のみになっており、こちらも限定された条件での試験となった。図 3-16、図 3-17 にテストベッドにおけるダウンリンクスループット、アップリンクスループットの事前検証評価結果のグラフを示す。

また、当初の想定では YRP に設置されたテストベッドにて、アップリンクでの 8K 映像伝送を想定したアップリンクスループットの試験を実施する予定であったが、テストベッドに設置されたローカル 5G システムが同期 TDD で動作しており、事前検証として行った最も安定した有線接続環境でも最高 172.0Mbps であったため、テストベッドでの高速アップリンクスループット試験および 8K 映像伝送を想定した平均 80Mbps で 10 分間の安定性試験は限定されたポイントのみで実施することとし、詳細な試験は 4.3.2 に示す課題実証の中で実施し、シャープ幕張事業所に設置された実験試験局エリア内で実施した。

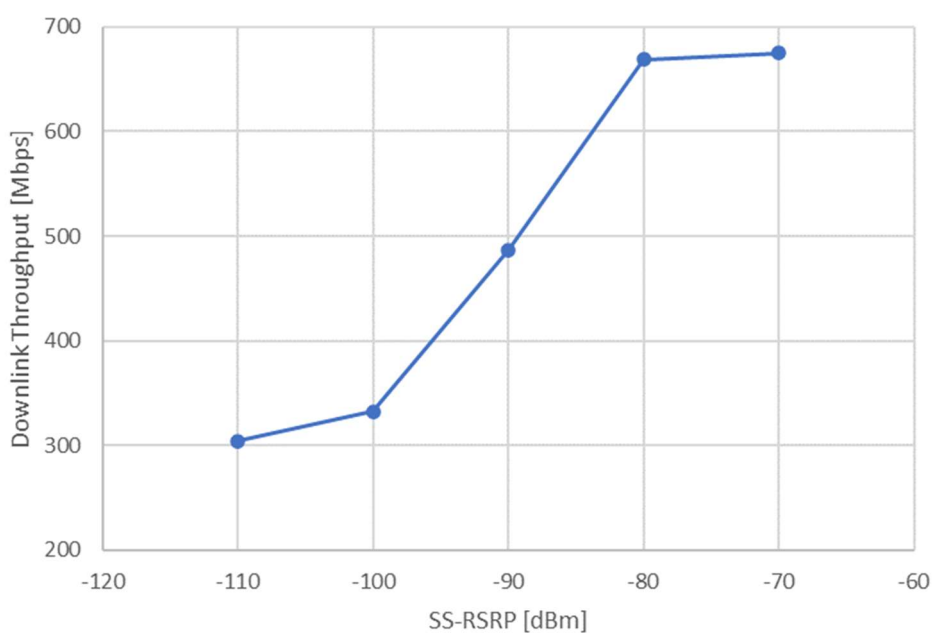


図 3-16 テストベッド事前測定の下リンクスループット評価結果

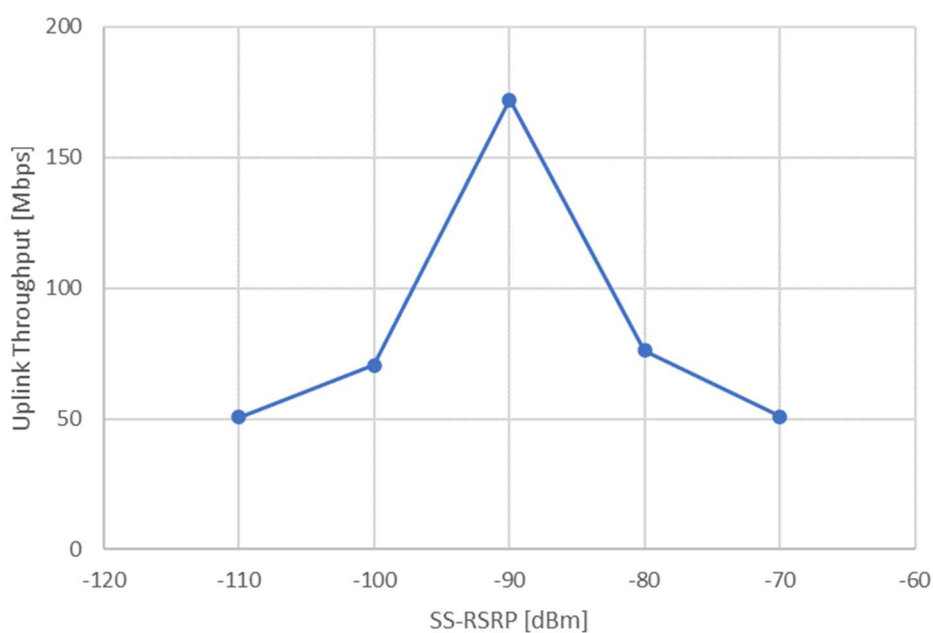


図 3-17 テストベッド事前測定のアップリンクスループット評価結果

YRP のテストベッドにおいて他社端末の測定実績としてアップリンクスループットが 157Mbps、ダウンリンクスループットが 659Mbps 程度であることから、試作した端末システムの最高スループット性能としては問題ないことが確認できた。

また、以下にテストベッドにおける無線伝送試験の事前検証として実施した往復遅延特性評価結果を示す。

表 3-13 事前試験の往復遅延特性評価結果

条件 (SS-RSRP [dBm])	結果 (1 分間測定の中央値) [msec]
-70	31.0
-80	29.0
-90	32.0
-100	29.5
-110	29.5

1 分間の測定を行いその中央値を評価した結果、いずれの SS-RSRP でもおおよそ 30msec 前後で安定した往復遅延特性が確認できた。

(2) テストベッドにおける検証結果と考察

3.3.2の②および③で示した伝送性能であるアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の評価結果を示す。評価は図 3-18 に示した 20 ポイントの評価ポイントで取得した。いずれの評価項目も 1 分間の時間変動を観測した。また、これらの時間変動値を解析し一定時間の最小値、最大値、平均値、中央値をまとめた。

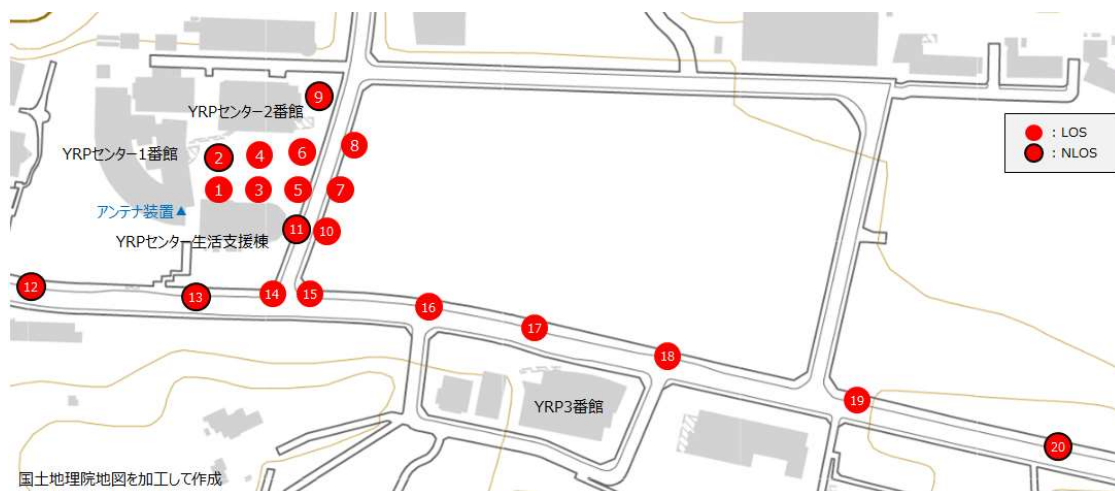


図 3-18 テストベッドの測定ポイント（赤丸が測定ポイント）

評価ポイントは、工事現場等の反射物の少ない開けた土地を想定して見通し(LOS)となるポイントを多く選択した。アンテナ設置位置に最も近く見通し環境であるポイント①から、見通し外環境ではあるが最も距離が遠くになり通信できる限界となると予想されるポイント⑳まで合計 20 ポイントを設定した。本環境ではアンテナ設置位置が高く、丘の上に建つ建物から見下ろすような方向に電波を放射しており通信距離が長くとれることが期待できる。②、⑨、⑪、⑫、⑬、⑳のポイントは YRP の建物や壁、地形の影響があり見通し外となるポイントを選択し測定を行った(図 3-18 の黒枠のあるポイント)。他の建物や壁等の反射による電波も期待できるため比較検証のポイントとして測定を実施した。各ポイントでの時間変動を示すグラフは巻末の参考資料 1 に示す。

以下に各ポイントで測定した伝送性能と受信電力の測定結果を考察する。

各ポイントのアップリンクスループット、ダウンリンクスループット、受信電力、伝送遅延の最小値、最大値、平均値、中央値をそれぞれ表 3-14、表 3-15、表 3-16、表 3-17 に示す。

図 3-19 に YRP の試験エリアで実施した伝搬特性評価結果として、全ポイントの SS-RSRP とアップリンクスループットの相関関係を示した。SS-RSRP でおおよそ-90dBm 以上のポイントでアップリンクスループットが 50Mbps 以上を達成していることがわかる。ただし、YRP に設置された基地局装置と有線接続して実施した事前評価結果からもわかる通り、アップリンクスループット性能が SS-RSRP の良い環境でも十分に出ないことがわかっており、屋外の試験環境においても同様に十分に受信電界強度が高いポイントにおいてもスループットが上がらなかった。この問題を解決するためには端末システム側の動作解析だけでなく、基地局装置側のパラメータ設定や動作解析が必要となる。

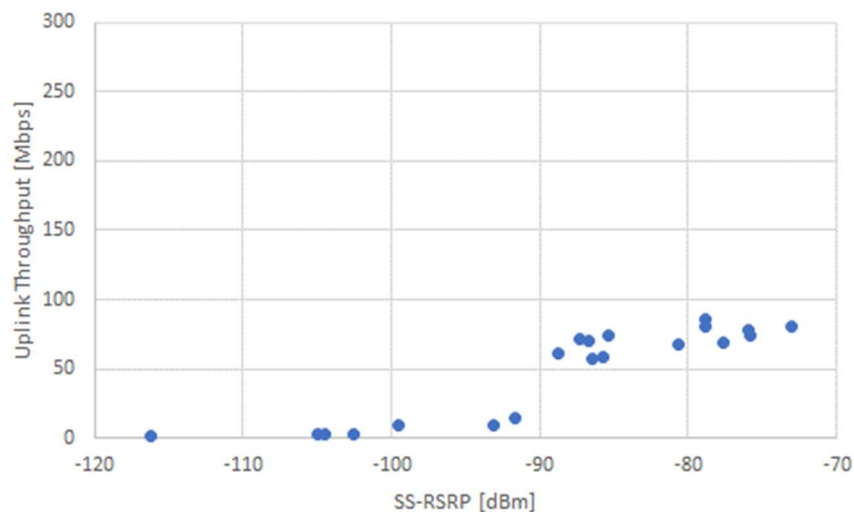


図 3-19 SS-RSRP とアップリンクスループットの相関関係

図 3-20 に YRP の試験エリアで実施した伝搬特性評価結果として、全ポイントの SS-RSRP とダウンリンクスループットの相関関係を示した。ダウンリンクスループットでは SS-RSRP でおおよそ-90dBm 以上のポイントでダウンリンクスループットが 150Mbps 以上、-85dBm 以上のポイントで 200Mbps 以上を達成していることがわかる。

ポイント①から⑩の LOS 環境では 200Mbps 以上の速度ができることが確認できた。一方で LOS 環境でも距離の遠い⑨、⑩は 100Mbps を下回るダウンリンクスループットになっている。ポイント②は LOS 環境で近距離ではあるが、基地局アンテナの指向性の低いところになっているためダウンリンクスループットは低くなっている。

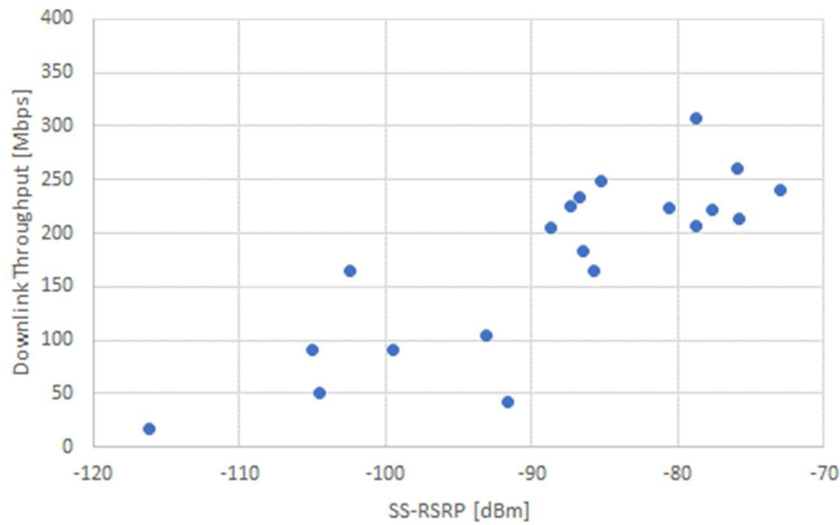


図 3-20 SS-RSRP とダウンリンクスループットの相関関係

受信電力値としては、基地局アンテナの正面となる③、⑤、⑦付近が最も高く、目標とした伝搬損 74dB(SS-RSRP で-90.1dBm)以上となっているポイントでアップリンク速度 80Mbps の達成に関しては、基地局からの制御で常にアップリンク 2×2 MIMO にならないためか達成できたのはポイント⑤、⑩、⑮のみであった。図 3-21 に各測定ポイントでの SS-RSRP の評価結果を示す。ポイントに示した丸の中の数値は SS-RSRP を 1 分間測定して抽出された中央値であり、丸の色は赤系が SS-RSRP の高いポイント、緑系が低いポイントでグラデーションになっている。

ポイント⑱から⑲の地点ではアンテナ装置からの距離が遠く、SS-RSRP が非常に低くなっているものの無線通信が途切れることなくデータ通信を行っていた。これはアンテナ装置が建物の屋上に設置され、さらに建物の建つ地形も丘の上になっていることが要因と考える。また、前述したように見通し環境になっていることから通常より広く通信エリアが確保できているものと想定される。一方で、②、⑨、⑬のポイントは距離が近いが、NLOS となる環境では反射波もあまりないためか、スループットが急激に低下してしまうことが判明した。

本実証におけるテストベッドに設置されたローカル 5G 基地局装置は同期運用であったが、例えば準同期 TDD1 で運用することを想定すると、変調方式を 64QAM まで使用した場合、理論上はアップリンクスループット(2×2 MIMO)で約 380Mbps 程度、ダウンリンクスループット(4×4 MIMO)で 900Mbps 程度の速度が想定され、アップリンクのスループットは倍近い速度が実現できる。実運用上はそれよりはやや低くなるが、ローカル 5G で高い要望となっているアップリンクの高速通信の実現に向けて、準同期 TDD1 運用を使い本実証で試作した端末システムを利用すれば、8K 映像伝送を想定した 80Mbps 以上の通信速度が多くポイントで実現できると考えられる。



図 3-21 テストベッドの測定ポイントでの SS-RSRP

往復遅延は測定ポイントによらず中央値は安定しており、30m 秒前後となった。この結果は事前検証の結果とほぼ変わらなかった。

また、当初の想定では YRP に設置されたテストベッドにて、アップリンクでの 8K 映像伝送を想定したアップリンクスループットの試験を実施する予定であったが、テストベッドに設置されたローカル 5G システムがアップリンク準同期で動作していないことがわかり、事前検証として行った SS-RSRP を -70dBm から -110dBm まで 10dB ステップで変更して行った検証では、SS-RSRP が -90dBm ときのみアップリンク 2×2 MIMO になり、唯一このポイントでのみターゲットを上回る 172Mbps であったため、テストベッドでの高速アップリンクスループット試験および 8K 映像伝送を想定した平均 80Mbps で 10 分間の安定性試験はポイント 10 の 1 ポイントのみで実施した。10 分間のアップリンクスループットの時間変動グラフを図 3-22 に示す。ポイント 10 は見通し環境であり、非常に安定したスループット性能であることが確認できた。同様の試験はシャープの幕張事業所内に設置した実験試験局エリアにてアップリンク通信速度を設定して試験を実施しており、詳細は 4.3.2 に示す。

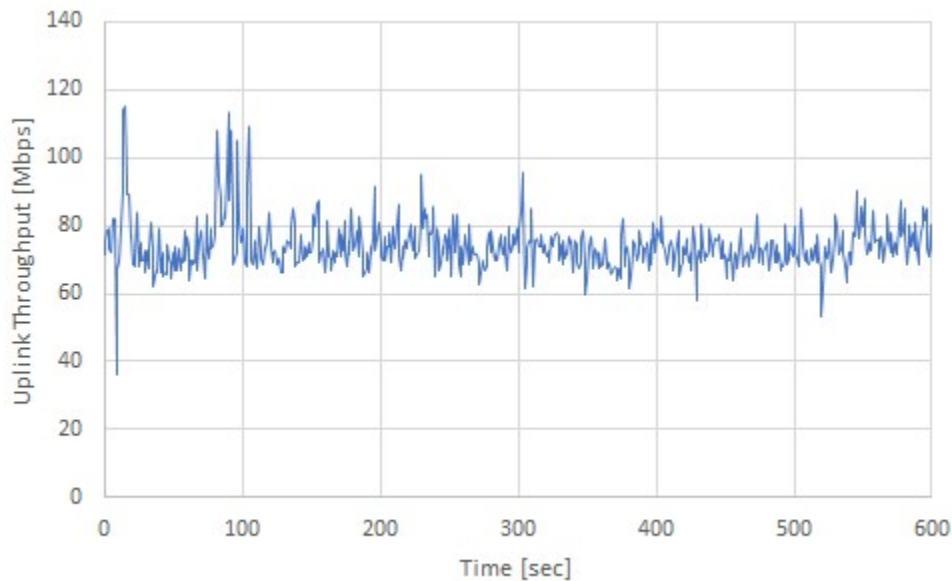


図 3-22 ポイント 10 における 10 分間のアップリンクスループット変動

今回のテストベッドにおける電波伝搬特性の評価では、基地局アンテナの設置位置や地形によっては従来の算出式と比較して実際のカバーエリアが広がることがわかった。ローカル 5G においてはユーザが自己土地でシステムを運用することを前提としているが、近接したエリアで複数のシステムが運用される場合、境界付近では電波干渉により通信品質が劣化することが想定される。ローカル 5G 特有の準同期 TDD と従来の同期 TDD が混在して運用されている場合には特に注意する必要がある、今後導入が検討されている端末の送信電力を上げられる HPUE や、ローカル 5G の Sub6 帯としては唯一屋外で使用可能な 4.8~4.9GHz 帯の隣接帯域である 4.9GHz~5.0GHz 帯の移動体通信システムへの割り当てを行う際には、既に免許を取得し運用を開始しているシステムへの影響を含め、例えば準同期運用時は HPUE の送信電力を制限する等、ローカル 5G の運用方法を含め十分な検証が必要であると考えられる。

HPUE の導入は端末の送信電力を上げることによって、その分のアップリンクの到達距離、もしくは同地点での SINR(Signal-to-Noise Ratio)の改善が見込める。特に小型端末のように設計上の制限からアンテナ利得が十分高くない端末システムのアップリンクの性能を補うもので、広大な土地にローカル 5G の通信エリアを構築する上では有効な技術と言える。一方で、端末の送信電力を上げる場合には、消費電力の増加にともなう給電容量の課題や放熱設計の見直し、送信電力を上げるための回路設計やデバイスの再検討、電波防護基準の準拠等の課題も多い。

表 3-14 各測定ポイントでのアップリンクスループット測定結果

ポイント	アップリンクスループット [Mbps]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	52.2	68.0	62.1	61.7
2	2.1	5.1	3.2	3.2
3	58.0	108.7	79.8	78.6
4	46.1	108.4	72.5	71.3
5	61.5	117.6	82.3	80.6
6	63.9	98.9	76.0	73.8
7	61.7	93.1	74.1	74.3
8	56.0	88.6	71.3	70.7
9	1.4	3.9	2.6	2.6
10	70.8	97.1	80.6	80.3
11	45.6	62.1	57.2	57.2
12	0.4	1.4	0.9	0.9
13	8.8	49.2	15.8	14.1
14	60.4	85.0	69.4	68.8
15	50.4	131.9	87.8	85.5
16	57.6	88.9	69.5	68.1
17	11.9	68.5	53.3	59.2
18	4.0	29.5	10.7	9.7
19	5.3	22.6	11.0	9.9
20	1.3	4.3	2.4	2.3

表 3-15 各ポイントでのダウンリンクスループット測定結果

ポイント	ダウンリンクスループット [Mbps]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	161.5	254.6	204.2	204.2
2	112.6	190.1	162.6	164.6
3	177.6	370.7	261.3	261.1
4	180.8	272.0	224.4	225.4
5	120.9	308.3	232.5	240.6
6	157.8	353.4	244.0	248.9
7	171.6	351.2	224.5	213.6
8	169.2	334.1	238.7	234.2
9	59.0	125.5	91.3	91.8
10	151.5	346.2	213.3	207.4
11	155.3	239.4	186.1	182.6
12	1.4	26.2	16.4	17.8
13	26.8	54.2	42.7	42.2
14	185.6	265.7	222.3	221.9
15	135.5	456.1	305.1	307.0
16	110.0	345.6	236.1	223.6
17	113.8	235.9	167.2	164.4
18	83.0	191.6	107.1	105.0
19	37.8	126.4	89.5	91.7
20	23.9	91.2	50.8	50.8

表 3-16 各ポイントでの受信電力

ポイント	受信電力(SS-RSRP) [dBm/100MHz]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	-91.0	-85.9	-88.6	-88.7
2	-104.8	-100.1	-102.5	-102.5
3	-79.3	-73.8	-76.0	-75.9
4	-89.9	-82.2	-87.4	-87.3
5	-74.8	-69.9	-72.8	-73.0
6	-88.9	-81.6	-85.2	-85.3
7	-78.4	-73.4	-75.8	-75.8
8	-96.3	-83.5	-87.1	-86.7
9	-108.8	-100.9	-104.9	-105.0
10	-82.9	-76.7	-79.1	-78.8
11	-88.3	-83.8	-86.5	-86.5
12	-117.9	-113.3	-116.2	-116.2
13	-98.8	-90.3	-91.9	-91.6
14	-79.3	-75.8	-77.6	-77.6
15	-81.6	-75.8	-78.9	-78.8
16	-86.8	-78.8	-81.1	-80.6
17	-92.7	-82.8	-86.3	-85.7
18	-97.8	-86.7	-93.1	-93.1
19	-107.6	-93.8	-99.5	-99.5
20	-111.5	-101.4	-104.8	-104.5

表 3-17 各ポイントでの往復遅延時間

ポイント	往復遅延時間 [ms]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	16.0	192.0	33.8	31.0
2	14.0	45.0	26.5	26.0
3	17.0	52.0	31.8	33.0
4	17.0	51.0	31.1	31.0
5	16.0	51.0	29.9	31.0
6	16.0	56.0	31.3	32.5
7	16.0	50.0	30.7	30.5
8	17.0	53.0	32.2	31.0
9	15.0	54.0	26.6	25.0
10	16.0	55.0	30.6	30.5
11	16.0	41.0	29.1	29.5
12	15.0	139.0	33.0	28.0
13	15.0	66.0	42.1	26.0
14	16.0	192.0	33.8	31.0
15	18.0	68.0	37.0	36.5
16	16.0	199.0	38.3	35.0
17	16.0	208.0	37.4	31.0
18	17.0	211.0	33.3	29.0
19	14.0	189.0	31.1	30.0
20	15.0	49.0	25.7	24.0

4. ローカル 5G 活用モデルに即した端末システムの検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

ローカル 5G では、地域のニーズや産業分野毎の個別のニーズに応じて通信網の構成や、セキュリティ、端末の性能等目的に特化した無線通信システムを柔軟に設置できる。令和元年 12 月に制度化された後、各企業や団体等で独自の実証実験が行われた他、令和 2 年度、令和 3 年度総務省開発実証が実施された。

シャープは令和 2 年度、令和 3 年度総務省開発実証に技術実証および課題実証を実施するコンソーシアムメンバーとして参画しただけでなく、いくつかの実証テーマに対してローカル 5G 端末ベンダーとして協力をしてきた。

本実証で試作した端末システムは上記、令和 2 年度、令和 3 年度の総務省開発実証や独自の実証試験を実施した際の端末に対する課題を鑑み、新たに仕様を策定し試作した端末システムになっている。

例えばシャープが参画した令和 3 年度総務用開発実証「高速道路上空の土木建設現場における、安全管理の DX 化に求められる超高精細映像転送システムの実現」では、高速道路上空の土木建設現場に端末を設置した。この実証では建設現場にローカル 5G エリアを構築し、建設現場で作業する人物および建設車両を AI によって抽出するために現場に設置した 8K カメラからの映像をリアルタイムで伝送を行った。8K カメラと共に建設現場を俯瞰する位置に設置された端末は、8K 映像伝送システムの一部の機材と一緒に防水性を確保できるようハウジングケースに収納し、高速道路への機材の落下や作業員の安全性の確保の観点から単管パイプで作成した柵の内側に設置された。以下に当該開発実証の成果報告書のリンクを示す。

[高速道路上空の土木建設現場における、安全管理の DX 化に求められる超高精細映像転送システムの実現 成果報告書](#)

端末システムの設置方法として示されている報告書内の図 2.2-21 を引用し、図 4-1 として以下に示す。

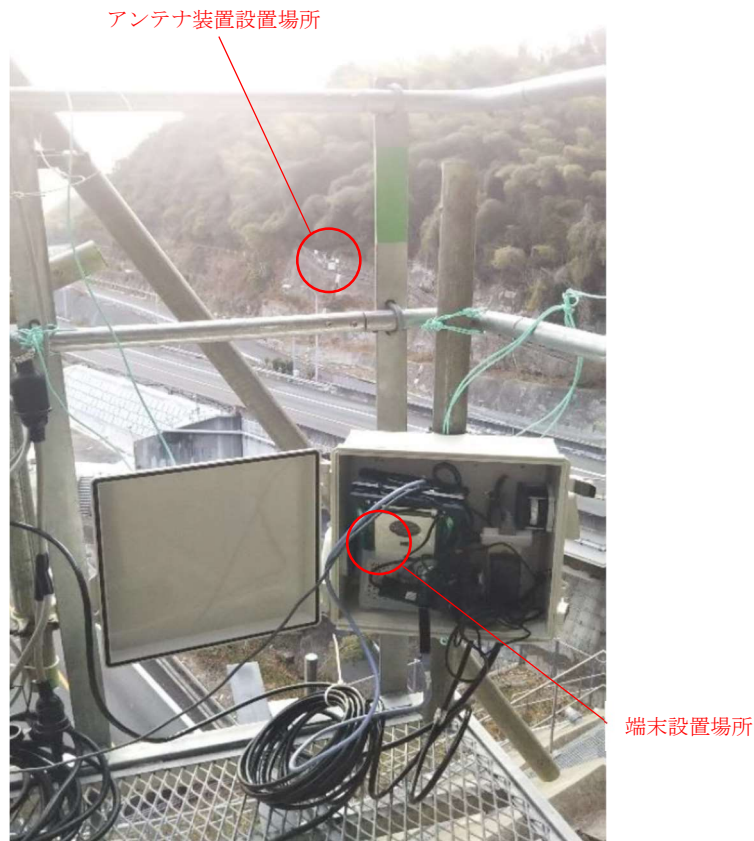


図 4-1 令和 3 年度総務省開発実証における
端末設置方法の一例

図 4-1 は端末の設置方法の一例であるが、このように端末を設置した場合、ハウジングケースとローカル 5G 基地局のアンテナ装置との間に設置用の単管パイプがあり、電波伝搬環境が大きく劣化してしまっていると想定される。また、同様に他の機器も防水性を確保するため同一のハウジングケースに小型 PC 等の他の機材と一緒に設置しているため端末のアンテナ付近に障害物となる機器があり、端末の送受信性能が大きく劣化してしまうことが想定される。

令和 3 年度に実施されたこの開発実証においては作業員の安全性の確保や、高速道路上への機材の落下を防ぐ観点からやむを得ずこのような設置方法になっているが、今後の改善すべき課題と考えられていた。

以下図 4-2 に課題の整理のために 이슈ーツリーを示す。 이슈ーツリーでは昨年度の総務省開発実証で出た課題「ローカル 5G 端末の無線通信性能が期待通りにでない」ことを元に 이슈ー全体の可視化を行った。抽象的な問題であった事象が具体化され課題解決すべき事象が明確になっている。

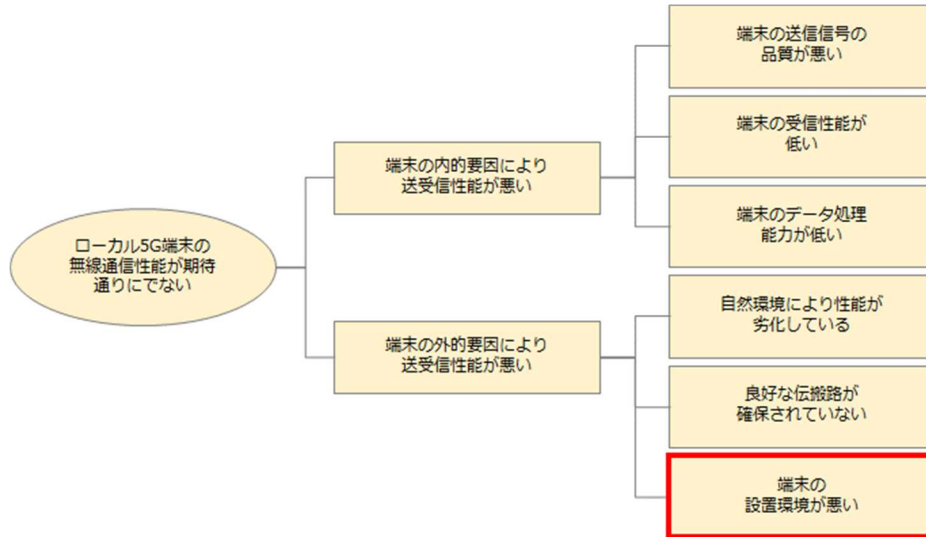


図 4-2 ローカル 5G 端末の伝送性能に関する 이슈ーツリー

イシューツリーに示した上半分は「端末の内的要因により送受信性能が悪い」というイシューであるが、これは端末設計時に 3GPP 仕様で定義された端末性能を満たすことはもちろんであるが、より良い無線通信性能を目指した場合には端末サイズやコストとのトレードオフとなることにも注意が必要である。一方、下半分は「端末の外的要因により送受信性能が悪い」というイシューであるが、伝搬路に関する課題となる「自然環境により性能が劣化している」という課題と「良好な伝搬路が確保されていない」という 2 つの課題の他に、「端末の設置環境が悪い」という課題に整理される。端末の性能を確保しやすい環境に置く、もしくは置くことが可能な端末が必要になる。

本実証で試作した端末システムは図 4-2 のイシューツリーに示した課題である「端末の設置環境が悪い」(赤枠部)の改善を行うことに着目し、端末の性能を確保しやすい環境に容易に設置可能な端末システムを目指し試作を行った。

このような端末の設置上の制約から電波伝搬環境が悪くなってしまう事例は他の実証試験でも見られた。例えば、工事現場や工場での重機を遠隔から監視・操作したりする場合には、重機に取り付けられた監視カメラやセンサー等の情報をローカル 5G ネットワークにより伝送するが、防水性、防塵性の確保や設置の難易度を考慮して端末や機器等は屋根のある運転席の中に置かれることが多い。このような場合にも、重機のボディ(金属フレーム)により伝搬環境が悪かったり、重機が動くことによって端末と基地局の位置関係が伝搬環境面で好ましくない位置関係になってしまうことがある。

上記のようなローカル 5G の端末の設置方法や設置場所による電波伝搬環境の悪化は、伝搬特性の揺らぎや周囲の物による電波の反射特性の変化、人や車等の往来による電波の一時的な減衰等により最悪の場合には基地局と端末との接続が失われてしまうことが考えられる。特に、基地局と 5G NR 単独で接続されている SA 方式では 5G NR の接続が失われると再接続までに時間を要し、その間は全くデータ通信ができなくなることから所望のソリューションの実現ができなくなってしまうことが考えられる。

以上のように、様々なユースケースが考えられているローカル 5G では端末の設置環境も通常の 5G とは異なり、より柔軟な設置ができ、さらには防水性や防塵性といった過酷な環境で使えるような性能が求められている。

4.1.2 試作する端末システム

本実証では 4.1.1 で示した課題を鑑み、建設現場・工事現場・工場等でより良い通信環境で安定した高速通信に活用できるよう、防水・防塵対応かつ設置および取り回しが容易なアンテナ内蔵型の小型 USB ドングル端末システムの試作を行った。

4.1.1 で示した課題を解決する方法の一つとして、端末システムのアンテナ部のみを屋外の電波環境の良い場所に設置する方法が考えられるが、端末からアンテナ部までの距離を長くするためには無線通信信号の周波数帯である 4.6GHz 帯の減衰を最小限にするような配線が必要になる。一般的には同軸ケーブルを使っでの配線が用いられるが、ローカル 5G システムの 4×4 MIMO 通信に対応するには 4 本の同軸ケーブルが必要になり、設置が煩雑になることが予想される。また、同軸ケーブルを端末と接続するためのコネクタを設ける必要があり、端末サイズも大きくなり、コストも上がってしまうことが予想される。

上記のような観点から、本実証では以下に記載するような、設置の自由度が上がる USB ケーブルで PC と接続して使用できるアンテナ内蔵型端末システムを試作した。

また、建設現場・工事現場・工場等では風雨に晒される場所で端末システムを使用したり、粉塵や埃の多い場所で使用したりすることが想定され、小型で取り回しが容易であることはもちろん堅牢で過酷な環境で使用することができる端末が期待されていることを反映し、本実証で試作した端末システムの仕様を決定し、試作を行い、性能の検証および課題解決の検証を実施した。

(1) ユースケース及び端末システム

本実証で試作した端末システムは 4.1.1 で示したような課題を考慮し仕様を策定している。本実証で試作した端末システムは防塵・防水対応であり、さらに USB ケーブルで接続して使用するため、従来は他の機器と一緒に防水ハウジングケースに収納する必要があったが、図 4-3 に示したイラストのようにケースから外に出して使用することができる。

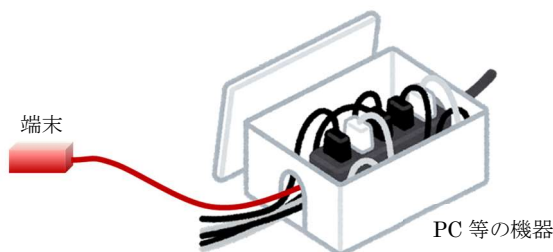


図 4-3 課題を解決した
端末システム設置方法の一例

また、長さ 2m の USB ケーブルを使用していることから端末の設置に自由度があり、電波伝搬環

境の良い場所に容易に設置することが可能になる。このように従来は、防水ハウジングケースに他の機器と一緒に入れてしまうことによって、端末のアンテナ性能を劣化させたり、他の機器や設置治具が電波の遮蔽になったりして伝搬ロスが大きくなってしまっていたユースケースにおいても、防水・防塵・小型な USB ドングル端末を使用することによって良好なローカル 5G 通信を行うことができる。

本実証では上記のようなユースケースを想定し、従来のような設置方法と比較し良好な設置場所に設置したときの改善効果を検証する試験を実施した。詳細は 4.3.2 に記載する。

また、以下のような場合においても本実証で試作した端末システムが適用できるよう考慮している。図 4-4 のイラストは簡略化された端末の設置方法の一例であるが、従来は重機の運転席のような雨や埃等を避けられる場所に端末を設置せざるを得なかったものが、本実証で試作した端末システムを使用することにより重機のボディに隠れることなく、基地局のアンテナから見通しになるような位置に容易に設置することが可能になる。



図 4-4 重機に試作した端末を
搭載する例

本実証で試作した端末システムは USB ドングルタイプであるため、PC 以外にも所定の OS を搭載した機器と接続したソリューションとして活用することも可能である。例えば、以下の図 4-5 に示したように所定の OS を搭載する AGV や HMD 等にも適用可能である。ローカル 5G のようなアップリンクでの高速データ通信が可能な通信手段と、AGV もしくは HMD とを組み合わせることにより超高精細映像を端末側からエッジサーバーに伝送し、映像を AI 解析して端末側にフィードバックするようなソリューションも実現可能になる。AGV や HMD のローカル 5G 通信機器として本実証で試作した端末システムを使う場合、移動した際に障害物の影や人体の影になりにくい箇所へ端末システムを取り付けることが可能になり、より良好な通信を安定して行うことが可能になる。



図 4-5 端末システムの別のユースケース
(左)AGV の例、(右)HMD の例

(2) 試作する端末システムの必然性・必要性

これまで総務省開発実証および企業での独自の実証等で屋外でのユースケースを想定した実証が数多く実施されてきた。シャープでも令和 3 年度の総務省開発実証や独自実証を行う中で屋外でのユースケースを想定した実証を実施したが、使用したローカル 5G 対応データ通信端末が非防水仕様になっており、防水のハウジングケースを使って防水対応を行った。他の開発実証においても既存の防水・防塵に対応したローカル 5G 端末は、大型の屋外据え置き型端末(ODU: Outdoor Unit)になってしまい、取り回しが難しかったり、設置に必要な場所が取れなかったりする課題があった。4.1.1 に課題を示したように、本実証で試作した端末システムがターゲットとする建設現場や工事現場、工場等での設置の柔軟性を考慮すると、防水・防塵対応であることはもちろんのこと、小型であることは大きなメリットであり、期待されている仕様の端末システムであると言える。本実証で試作した端末システムは表 2-2 に示した諸元のように、防水・防塵に対応し、なおかつ、小型になるよう設計を行い、さらには豊富な種類の OS に対応している。このことから、図 4-2 に示した「端末の設置環境が悪い」という課題を解決することができる、すなわち端末の設置場所を柔軟に決めることができる端末システムを実現することができる。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 技術的新規性

4.1.2 に本実証で試作した端末システムの概要を示したが、課題解決の改善点から技術的な新規性は以下のようなになる。

- ① USB ドングルタイプの端末で、かつ、防水・防塵対応
- ② 小型・防水・防塵ではあるが、安定的な伝送性能を有する
- ③ 様々な OS に対応する

特に、②を達成するためには、端末が連続送受信動作をするときに発する熱の処理を考慮する必要がある。一般的に端末の体積が大きいほうが放熱性能は向上するが、本実証で試作した端末システムは小型であることを一つの目標にしており、さらに防水・防塵対応ということから端末内部にファンなどを搭載して放熱を促すことができないため、端末のサイズと放熱のトレードオフを考慮した高度な端末設計が必要になった。

本実証ではアップリンクスループット 80Mbps での連続動作を端末性能目標の一つとしているが、従来の小型端末では連続動作を行うと発熱により動作が停止してしまったり、通信速度が低下してしまったりするという課題があった。また、連続動作ができる端末の場合にはサイズが大きく、取り回しが悪くなりユーザの希望する場所に設置することが難しいことがあった。

シャープではこれまでローカル 5G 対応端末を検証機として提供してきたが(以下 URL 参照)、この端末は非防水端末であり、サイズが約 157×84×16mm、重さが約 270mm と小型ではなかった。

ローカル 5G 対応ルーターを開発 | ニュースリリース : シャープ

<https://corporate.jp.sharp/news/200817-a.html>

本実証ではローカル 5G の課題解決や新たなニーズに対応するため上記のようなこれまでになかった端末システムを試作し検証を実施した。

(2) 過年度実証事業との関連性

4.1.1 に昨年度の開発実証で明らかになった背景となる課題を示した。本実証で試作した端末システムは汎用的に使用可能な端末システムではあるが、令和3年度の開発実証での課題を解決するには、以下のような性能を確保する必要がある。

- ① 屋外に設置できるような防水性の確保
- ② 建設現場・工事現場・工場のような粉塵の多い環境に耐え得る防塵性の確保
- ③ 設置の柔軟性と、接続機器の多様性
- ④ 超高精細映像伝送の連続送信動作に対応する安定的な伝送性能の確保

以上の4点を令和3年度の課題を解決するための改善点とし、令和4年度の開発実証を実施した。

4.1.4 実証目標

(1) 技術目標

以下に、本実証で試作した端末システムの技術目標を示す。

a. 令和4年度実証の目標

以下に、本年度に実証で試作した端末システムの仕様目標を示す。

- ① 防水性能：IPX7※2を達成
- ② 防塵性能：IP6X※2を達成
- ③ MIL規格 MIL-STD-810H 14項目の合格
- ④ 端末サイズ：42×87×34mm以下を達成
- ⑤ 端末重量：約102g以下を達成
- ⑥ 室温においてアップリンク平均80Mbps連続動作を実現

※2 防水性能のIPX7とは、常温の水道水(静水)の水深1mのところに機器を沈め、約30分間放置して取り出したときに、機器の機能が動作することを意味する。防塵性能のIP6Xとは、保護度合いをさし、直径75 μ m以下の塵埃が入った装置に商品を8時間入れてかくはんさせ、取り出したときに内部の塵埃が侵入しない機能を有することを意味する。

4.1.1に示した過年度実証では建設現場でのローカル 5G 活用に関する実証を行ったが、その中で端末システムは防水性を確保するためハウジングケースに入れて設置された。この実証では端末システム以外にも防水性を確保するため他の機器、例えば小型 PC や電源タップ、電源ケーブル類と一緒にケースに入れており、さらに安全性の確保の観点から単管パイプでできた柵の内側に取り付けられた。このためこれらの周辺機器や単管パイプにより電波が遮蔽され良好な伝搬環境を得ることができなかった。

本実証では 4.1 で示した課題および技術的な改善点から試作した端末システムの技術目標を上記のように設定し、端末システム単独で防水・防塵対応となり設置が容易な小型、かつ建設現場のような端末が煩雑に扱われる可能性のある環境においても良好な性能を発揮できるような端末システムを試作した。

本実証で試作した端末システムは屋外に設置して使用することを想定し、さらには建設現場や工事現場のような粉塵の多い環境での使用も想定していることから、①防水 (IPX7)・②防塵 (IP6X) 性に配慮した設計とした。上記で示したように IPX7 とは、常温の水道水の水深 1m のところに機器を沈め、約 30 分間放置して取り出したときに、機器の機能が動作することを意味しており、例えば建設現場や工事現場のような屋外で強い風雨にさらされたり、誤って水没させたりしてしまっても問題ないことを示す。また、IP6X は直径 75 μ m 以下の塵埃が入った装置に商品を 8 時間入れてかくはんさせ、取り出したときに内部の塵埃が侵入しない機能を有することを意味し、例えば工事現場の砂や、建設現場の細かい金属片等が端末内に侵入しないように配慮されていることを示す。

さらには、高温度、低温度、高湿度、低湿度等の環境要因に加え、連続的な振動が加わるような過酷な環境での利用や、ずさんな取り扱いを行っても故障しないように、防水 (浸漬)、防水 (雨滴)、防塵、耐振動、耐日射、防湿、高温保管、高温動作、低温動作、低温保管、温度耐久、低圧保管、低圧動作、氷結等の③米国国防総省が定めた米軍採用規格 (MIL 規格) の代表的な 14 項目 (表 4-1) に対応し、例えば工事現場の重機の振動や、建設現場の作業者が誤ってぶつけてしまった際にも故障しないよう配慮を行った。

また、ユーザ、特に過酷な環境で作業を行う作業員の作業効率を考慮し、なるべく軽く、小さい端末となるように、また、現場で端末の外的要因により端末性能の劣化が起こらないような端末システムの設置容易性にも配慮した④端末サイズ (42×87×34 mm)、⑤端末重量 (102g) をターゲットとした。

動作性能の目標としては建設現場や工事現場での高精細監視カメラや、AI を利用した高精細映像解析ソリューション等に長時間利用できるよう高速無線通信時の安定動作を考慮し、放熱性能と端末システムのデータ処理性能の目標となる⑥を設定した。具体的な目標値としては 8K 映像の平均的な伝送レートとなる 80Mbps とした。

表 4-1 信頼性試験項目と条件

テスト項目	条件
落下試験	高さ:1.22m, 試験位置:26 種, 床:金属
短距離落下試験	高さ:10cm, 500 方向, 落下面:帯電防止ゴム
低温動作	温度:-10°C, 時間:48 時間
高温動作	温度:50°C, 時間:48 時間
振動動作	方向:上/下/右/左, 周波数:30-100Hz
温度湿度サイクル	温度:-30/65°C, 湿度:90%, 1 サイクル 4 時間, 7 サイクル
熱衝撃	温度:75/-30°C, 48 サイクル
高温多湿	温度:55°C, 湿度:90%, 時間:96 時間
高温保管	温度:70°C, 時間:96 時間
低温保管	温度:-30°C, 時間:96 時間
塩水噴霧	5%塩水, 2 サイクル, 時間:48 時間
汗	PH8.8 アルカリ水,
薬剤耐性	温度:55°C, 湿度:95%, 時間:12 時間
クロスハッチ	1mm×1mm
摩耗	素材:綿, 力: 200gf/cm ²
RCA 摩耗	負荷:175g
紫外線	8 時間 ON/4 時間 OFF, 8 サイクル
SIM カード	500 回, 40-60 回/分
USB コネクタ	2000 回抜き差し
静電気	温度:15-35°C, 湿度:30-60%
コネクタひっぱり	方向:上/下/右/左, 負荷:5kgf/50N
防塵	IP6X

テスト項目	条件
防水	IPX7
自由落下	箱/カラーボックス/梱包箱

b. 実装時（実現したい姿）の目標

以下に、本年度の実証で試作した端末システムの実装時、すなわち令和 5 年度以降の技術目標を示す。

- ① ユーザ要求に合わせた品質信頼性仕様の策定（令和 6 年）
- ② ユーザ要求の見極めとモデルチェンジ実施判断（令和 8 年）

上記のように実装時の技術目標を定義する。4.3.4 (2) に示したように、本実証完了後の令和 5 年度に本実証で試作した端末システムを利用した試験を実施し、顧客ニーズ反映と安全・品質基準見直しを実施する計画である。この試験を通し顧客（ユーザ）の要望仕様や品質信頼性への要求条件を見極め、品質信頼性仕様の策定を行う。本実証で試作した端末システムはシャープがこれまで提供してきた 5G 端末の仕様を参考にして決定した品質信頼性仕様にて試作を実施した。しかしながら、ローカル 5G ではユーザ毎に使用シーンや耐用年数の要望が異なることが予想される。令和 5 年度以降の活動に向けて本実証で試作した端末システムをユーザに利用してもらう検証を進める上では十分な仕様にはなっているが、商用化に向けては現在の仕様が過剰になっているか、不足している部分があるか等の検証を進め、仕様の変更によるコストへの影響や耐用年数の見直しを進めることによってより多様なユーザへの提供の検討を進めていく。

また、本実証で試作した端末システムは表 2-2 に示した仕様に記載のように 3GPP Release 15 対応であることから、5G の 3 つの特徴である「高速大容量」、「多数同時接続」、「高信頼・低遅延」のうちの「高速大容量」のみに対応している。一方で産業用用途では機械の制御や自動運転等の用途に対して「高信頼・低遅延」の要望の声が高いため、本端末システムに関しても令和 7 年度にユーザの要求を把握し、モデルチェンジ検討を実施する計画である。モデルチェンジを行う場合には翌令和 8 年度にアップデートされた端末システムの供給を行う計画である。

ローカル 5G 市場の予測では 2024 年から 2025 年以降に市場が拡大していく予想となっている（以下 URL 参照）。これはローカル 5G 関連機器の低廉化が進む時期であるということと、前述した Release 16、17 に対応したシステムや端末が導入される時期であるという理由からである。シャープでは 4.3.3 にも記載した通り、市場が拡大し端末販売数の増加が見込めるようになる時期に向けて本実証で試作した端末システムの貸し出しや共同検証を進める計画である。

ローカル 5G、導入本格化は 2024 年以降か（ABI リサーチ報告書） - WirelessWire News
<https://wirelesswire.jp/2023/01/83960/>

「ローカル 5G」普及は 2025 年以降か、カギは「中小企業の参入」 - ケータイ Watch
<https://k-tai.watch.impress.co.jp/docs/news/1471014.html>

シャープでは令和 5 年度に関しては多くのユーザがまだ PoC レベルの検証を進めるだろうと予想している。本実証で試作した端末システムは様々な PoC にも適用できるように汎用性の高い仕様となっていることを生かし、今後、様々な共同検証に利用していくことを考えている。

(2) 実装目標

以下に、本実証で試作した端末システムの実装目標を示す。

a. 令和4年度実証の目標

- ① 工事設計認証の取得
- ② コンフォーマンス試験合格
- ③ 対応 OS : Microsoft Windows 10, macOS 10.15, Ubuntu14.04, Linux 3.13 and later, Raspberry Pi
- ④ ユースケースの提案およびターゲット市場の決定

実装目標の①および②は、ユーザが選定した多種多様の基地局装置が設置され、ユーザが運用する周波数を決定し、ユーザが免許を取得するというローカル 5G 特有の事情を鑑みた目標設定となっている。第1にローカル 5G の運用開始時に免許取得手続きが容易となるように①工事設計認証の取得を行う。これにより実験試験局免許の場合には手続きが短縮可能になり、また、商用免許(包括免許)の場合には工事設計認証情報と一部補足データを提出することにより免許取得が可能になる。

第2に 3GPP 規格に準拠した②コンフォーマンス試験の実施することにより特定ベンダーのローカル 5G 基地局装置に限定されない様々なベンダーの基地局装置との接続性を担保できるようにすることを目標とした。これによりユーザが 3GPP に準拠した基地局装置を準備することで端末システムとの接続時に出る問題を最小限に抑えることができる。

第3の実装目標としては、建設現場や工事現場で使用される様々な産業用 PC や機器、例えばヘッドマウントディスプレイや自動搬送車(AGV)、超小型産業用 PC 等との接続も可能となるよう③種々の OS への対応を実装目標とした。

最後に第4の実装目標として、本実証で試作した端末システムのユースケースの提案およびターゲット市場の決定を目標とした。試作した端末システムは建設現場や工事現場で行った過年度実証の課題を改善すべく試作した端末システムであるが、汎用性の高い防水・防塵対応の小型端末システムになっており、これを生かしたいいくつかのユースケースの提案と、建設現場や工事現場も含めあらためてターゲット市場の検討および決定を行った。

b. 実装時（実現したい姿）の目標

以下に、本年度の実証で試作した端末システムの実装時、すなわち令和 5 年度以降の実装目標を示す。

- ① 生産数の決定、生産計画の策定（令和 5 年度）
- ② 販売台数を令和 5 年から令和 9 年までそれぞれ年間 50 台、200 台、1,200 台、2,800 台、5,200 台とする

上記のように実装時の実装目標を定義する。後述する表 4-56 に示した通り、本実証完了後の令和 5 年度に本実証で試作した端末システムのプロダクション数の決定および生産計画の策定を行う。令和 5 年度は本実証で試作した端末システムを試作機としてユーザへ貸し出しもしくは販売を行い、令和 6 年度以降に製品として提供を開始する。販売目標としては、令和 5 年度に試作機を 50 台、以降は年間 200 台、1,200 台、2,800 台、5,200 台とした。販売計画台数の見積もりとしては調査機関によりまとめられた市場予測レポートや独自の端末販売台数予測を基に今後 5 年間のローカル 5G の全端末販売台数を見積もり、そのうち約 20%を小型・防水端末が必要とされる割合とした。さらにそのうちの約 20%のシェアを令和 9 年までに獲得できた場合の端末台数を販売計画台数としている。

4.2 実証環境

本実証の課題実証における実証環境を以下に示す。

課題実証は、2.4 に示したようにシャープが免許人となりシャープ幕張事業所(図 4-6)内に開設した実験試験局免許エリア (SHARP Local 5G Trial Field) (図 4-7) で実施した。

シャープでは 2021 年 2 月にローカル 5G の実験試験局の免許を取得し、ローカル 5G を活用した新たなソリューションの共創の場として「SHARP Local 5G Trial Field」を、シャープ幕張事業所 (千葉県千葉市) 内に開設しており、超高精細 8K 映像の伝送や、モバイルエッジコンピューティングによる遠隔支援などのデモ環境を常設、ローカル 5G システム導入を検討する企業のシステムとの接続検証などにも活用している。

ニュースリリース : 「SHARP Local 5G Trial Field」を幕張および広島事業所内に開設
<https://corporate.jp.sharp/news/210203-a.html>



図 4-6 シャープ幕張事業所



図 4-7 SHARP Local 5G Trial Fieldの様子

図 4-8 は、シャープ幕張事業所に設置された実験試験局エリアのカバーエリアを示す。本実証エリアでは、ローカル 5G 基地局の 5G コア装置(5GC)、およびセントラルユニット(Central Unit : CU)、ディストリビューテッドユニット(Distributed Unit : DU)を含むベースバンドユニット(Baseband Unit : BBU)、アンテナユニット(Remote Radio Unit : RRU)をエリア内に設置している。ここで、図 4-8 に記載の緑色で示したカバーエリアはローカル 5G のアンテナ装置から送信された信号の電力が-84.6dBm より高いエリアを示している。また、黄色で示したエリアは調整対象区域であるアンテナ装置から送信された信号の電力が-91.0dBm 以上となるエリアを示している。

エリアの算出方法は、電波法関係審査基準(平成 13 年総務省訓令第 67 号)が規定するエリア算出法に基づいて算出した。エリア算出においては、RRU のアンテナパターン、および各アンテナから送信される信号の送信電力を考慮している。本実証試験では 100MHz のシステムの帯域幅を使用するため、カバーエリア算出時の受信電力を-84.6dBm、調整対象区域の受信電力を-91.0dBm としている。



図 4-8 シャープ幕張事業所に設置の試験カバーエリア

図 4-9 に、本実証の試験を実施したローカル 5G システムのネットワーク構成の概要図を示す。本システムは、CU/DU を内蔵したローカル 5G ベースバンドユニット (BBU)、アンテナユニット (RRU)、ローカル 5G コアネットワーク装置 (5GC)、それぞれの機器を接続する L3 Switch から構成される。また、ローカル 5G システムの設定変更や動作状態を確認するための制御 PC、本実証で試作した端末システムである USB ドングルと、それを動作させるための PC とを組み合わせることで実証を行った。

コア装置はオンプレミス型になっており、必要に応じてインターネットに接続した検証も行うことができる。

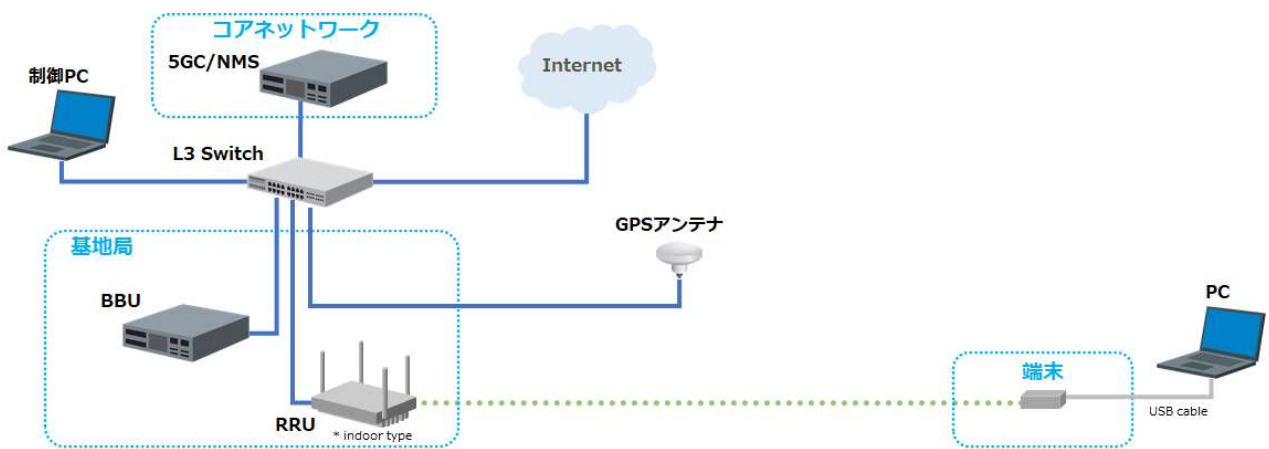


図 4-9 シャープ幕張事業所のネットワーク構成

図 4-10 にローカル 5G システムの設置状態を示す。また、使用した機材の一覧を表 4-2 に示す。



図 4-10 ローカル 5G システムの設置状態

表 4-2 使用機材一覧

項目	メーカー名	型式
5GC	シャープ	試作機
BBU	シャープ	試作機
RRU	シャープ	試作機
L3 Switch	ufiSpace	S9500
制御 PC	Dell	Latitude E5250
PC	Dynabook	CZ シリーズ (W6CZHU7RBL) Windows 11 Pro

ローカル 5G システムの 5G コア装置は 5G コアサーバーにて構成される。1 台のコアサーバーをシャープ幕張事業所内に設置したサーバーラックに設置した。仕様概要を表 4-3、外観図を図 4-11 に示す。

表 4-3 5GC 仕様概要

項目	型式
製造ベンダー	シャープ(試作機)
対応仕様	3GPP Release 15
NF (Network Function)	AMF/SMF/AUSF/UDM/UPF
インターフェイス	N1, N2, N3, N4, N6
接続ユーザ数	最大 10,000
接続 BBU 数	最大 64
スループット	最大 6Gbps
優先制御	5GQI 2, 9 に対応
外形寸法	約 254(W) x 226(D) x 43(H) mm
重量	約 3.4kg

コア装置にはシャープが開発中であるローカル 5G システムのソフトウェアが実装されている。



図 4-11 5G コア装置の外観

BBU (CU/DU) サーバーは、ローカル 5G システムの制御機能を担う CU と DU により構成されるサーバーである。5GC と同様に BBU サーバーはシャープ幕張事業所内に設置したサーバーラックに設置した。仕様概要を表 4-4、外観図を図 4-12 に示す。

表 4-4 BBU の仕様概要

項目	型式
製造ベンダー	シャープ(試作機)
台数	1 台
同期方式	同期/準同期
周波数帯	Sub6 帯
対応仕様	3GPP Release 15
SA/NSA	5G SA (Standalone)
チャンネル帯域幅	100MHz (DL/UL)
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2
TDD 設定	同期対応 (DDDSUDDDD) 準同期対応 (DDDSUUDSUU) 準同期 2 対応 (DDSUUUDSUU) 準同期 3 対応 (DSUUUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
変調方式	AMC(最大 256QAM)
遅延	10ms 以下
接続ユーザ数	384 / 1BBU (128 / RU)
優先制御	5GQI 2, 9 に対応
外形寸法	約 446(W) x 711(D) x 87(H) mm
重量	約 30kg



図 4-12 BBU の外観

RRU は、ローカル 5G システムの無線機部分を構成する装置である。RRU は設置治具を用いてシャープ幕張事業所内に設置したアンテナ設置用ポールに設置した。仕様概要を表 4-5、外観図を図 4-13 に示す。

表 4-5 RRU の仕様概要

項目	型式
製造ベンダー	シャープ(試作機)
対応仕様	3GPP Release 15
ネットワーク方式	5G SA (Standalone)
対応バンド	N79 (4.8-4.9GHz)
使用周波数	4.84986GHz
帯域幅	100MHz
MIMO 対応	下り 4x4 / 上り 2x2 (8T8R)
変調方式	下り 256QAM / 上り 256QAM
最大空中線電力	24dBm/port
最大 EIRP	35dBm
TDD 設定	同期対応 (DDDSUDDDD) 準同期対応 (DDDSUUDSUU) D:Downlink slot, U:Uplink slot, S:Special slot
接続ユーザ数	128
フロントホール	O-RAN 標準規格(option 7.2)
時刻同期方法	PTP (IEEE1588v2)
外形寸法	約 245(W) x 85(D) x 265(H) mm
重量	約 4kg

図 4-13 に示した RRU は 4 本の外部アンテナ(図示せず)を取り付けて使用する。RRU はポールを使用し高さ約 2m に設置した。

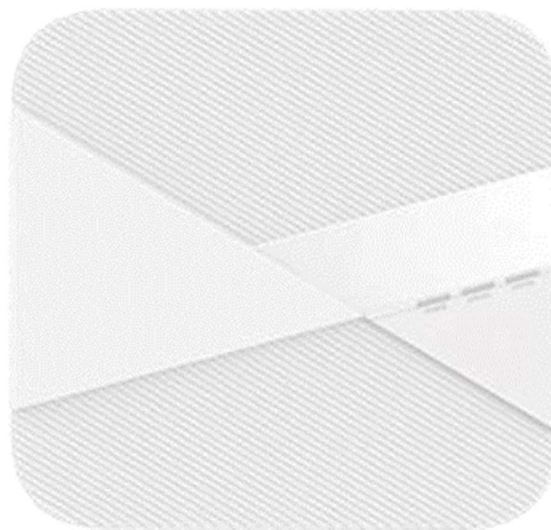


図 4-13 RRU の外観
(別途外付けアンテナを取り付けて使用する)

L3 Switch は各機器同士を接続する機能の他、GPS 受信機を内蔵し受信した GPS 信号を利用して PTP サーバーとして機能する。5GC と同様に L3 Switch はシャープ幕張事業所内に設置したサーバーラックに設置した。仕様概要を表 4-6 に外観図を図 4-14 に示す。

表 4-6 L3 Switch の仕様概要

項目	型式
製造ベンダー	ufiSpace
プロセッサ	Intel Broadwell-DE D1519 4 Cores @1.5GHz
メモリ	2 x 8GB DDR4 SO-DIMM with ECC
ストレージ	1 x 128GB M.2 SSD
インターフェイス	2x100GE QSFP28 ports / 8x25GE SFP28 ports / 20x10GE SFP+ ports / 1xRJ45+Micro USB port / 1x1000 Base-T Ethernet port / 1xUSB2.0 Type-A port
時刻同期方法	GNSS 受信機内蔵 PTP (IEEE1588v2:Default, G. 8265.1, G. 8275.1, G. 8275.2, T-TC, T-BC/OC, T-GM) ITU-T Synchronous Ethernet (SyncE)
外形寸法	440(W) x 302(D) x 43.5(H) mm
重量	6.6kg
最大消費電力	400W



図 4-14 L3 Switch の外観

本実証で試作した端末システムは、横展開性を考慮し国際標準規格である 3GPP Release 15 に準拠した端末とし、4.3.2 で後述するように課題実証としてコンFORMANCE試験を実施した。コンFORMANCE試験は、GCF で認証された試験システムを使用して実施した。GCF は Global Certification Forum の略であり、GCF で認証された試験システムで試験し合格することは、3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を保証することになる※3。ローカル 5G においては日本国内で法制度化された通信システムではあるが、3GPP 規格に基づき策定されたものであり、今後も多様な基地局ベンダーが装置を提供することが予想され、横展開性を考慮し相互接続性の確認を実施した。

※3 シャープ幕張事業所では GCF で認証された試験システムを設置しコンFORMANCE試験が実施されるが、シャープは認証機関ではないため本コンFORMANCE試験に合格することが GCF 認証を取得したと言えるものでなく、GCF 認証相当の試験を行い合格したというものになる。

また、図 4-15 は、本実証で使用するローカル 5G の実証環境エリアを示した図である。本実証では、先に示した令和 3 年度の開発実証で課題となった端末の設置方法等に関する検証を行うためシャープ幕張事業所に設置するローカル 5G 実験試験局エリアで実証を行った。

本実証エリアは、表 2-5 に示したような諸元で既に実験試験局免許を取得済みのエリアであるため、本実証で試作した端末システムを追加で実験試験局免許登録し実証を行った。

展示スペースエリアの大きさは、約 18m×23m のエリアとなっており、図 4-15 の■で示した地点にアンテナ装置 (RRU) を 1 局設置して試験を実施した。エリアは屋内環境になっており、四方を壁で囲われた環境になっている。

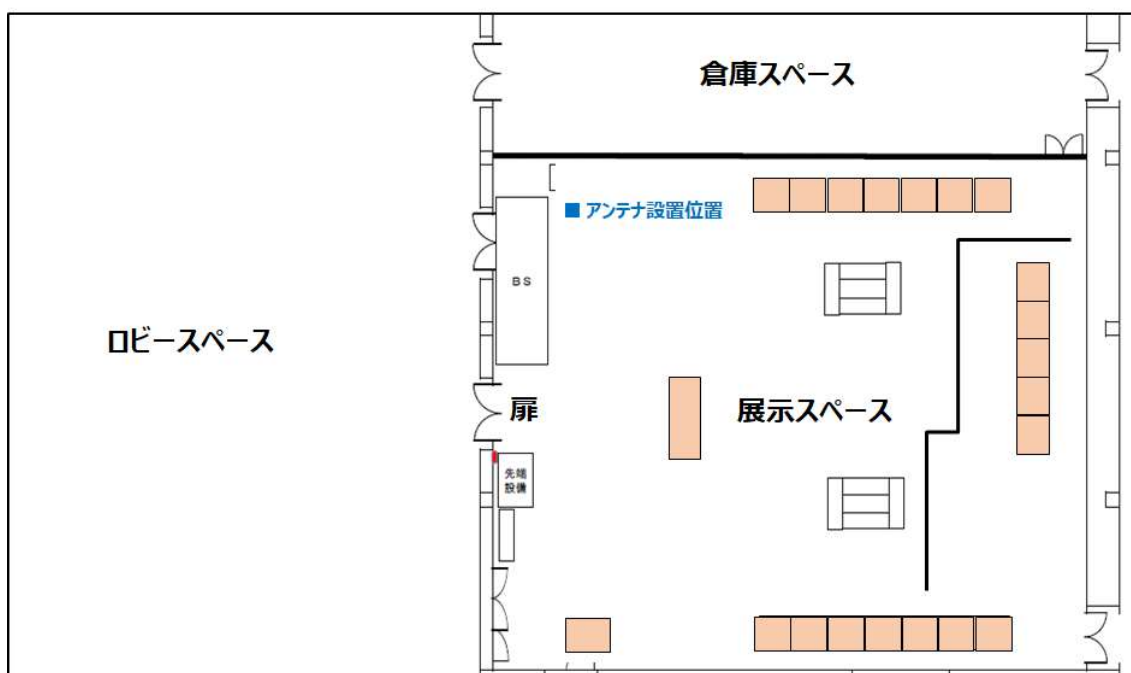


図 4-15 実証環境

図 4-16 は、本課題実証で使用するシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G システムが対応する TDD パターンを示している。法制度化されている同期パターン、準同期パターンの他に、令和 3 年度の開発実証での課題検証された準同期 TDD パターン(準同期 TDD2、準同期 TDD3)に対応している。準同期 TDD3 に関しては 4 つの TDD パターンの中で上りスロットが最も多く、上りリンクでの大容量伝送が要求されるソリューションに向けたローカル 5G システムで使用されると想定される。例えば超高精細映像のアップリンク伝送や、監視カメラからのリアルタイム映像伝送等で用いられることが想定されている。課題実証では、このようなシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G システムを用いた電波伝搬特性の評価に加え、本環境を反映した伝搬シミュレーションを実施し、実測値と理論値の比較評価を行った。

スロット番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
同期TDD	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
準同期TDD 1	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U	D	D	D	S	U	U	D	S	U	U
準同期TDD 2	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	D	S	U	U	U	D	S	U	U
準同期TDD 3	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U	D	S	U	U	U	U	D	S	U	U

既存

追加例

※D:下りスロット、U:上りスロット、S: DからUへの切替期間を含む特別スロット

図 4-16 TDD パターン

4.3 実施事項

4.3.1 端末システムの試作及び検証

1) 試作内容

本実証で試作した端末システムの諸元は表 2-2 に示した。これらの諸元への適合確認、技術実証、課題実証を以下に示した日程で実施した。

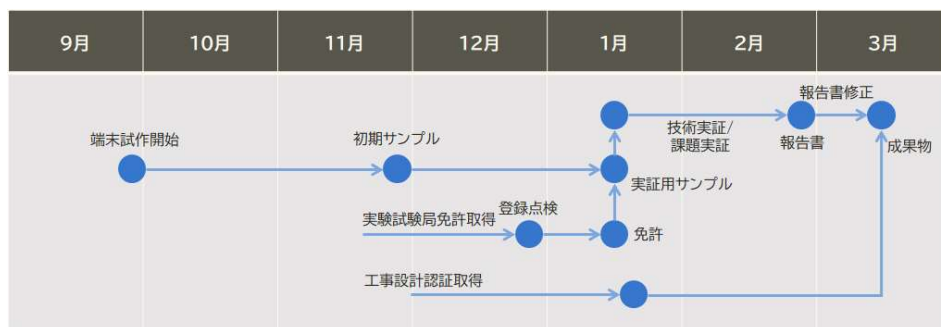


図 4-17 試作の日程

採択決定後、再委託先を含めた契約を完了し、その後試作が開始された。当初は初期サンプルを使用して性能の確認を実施した。この際は工事設計認証の取得が完了しておらず免許の取得が完了しないため、シャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G 実験試験局エリアでの実証は行えず、同事業所内の電波暗室内もしくはシールドルーム内での検証を行った。

試作した端末システムの構成の概略構成図を図 4-18 に示す。

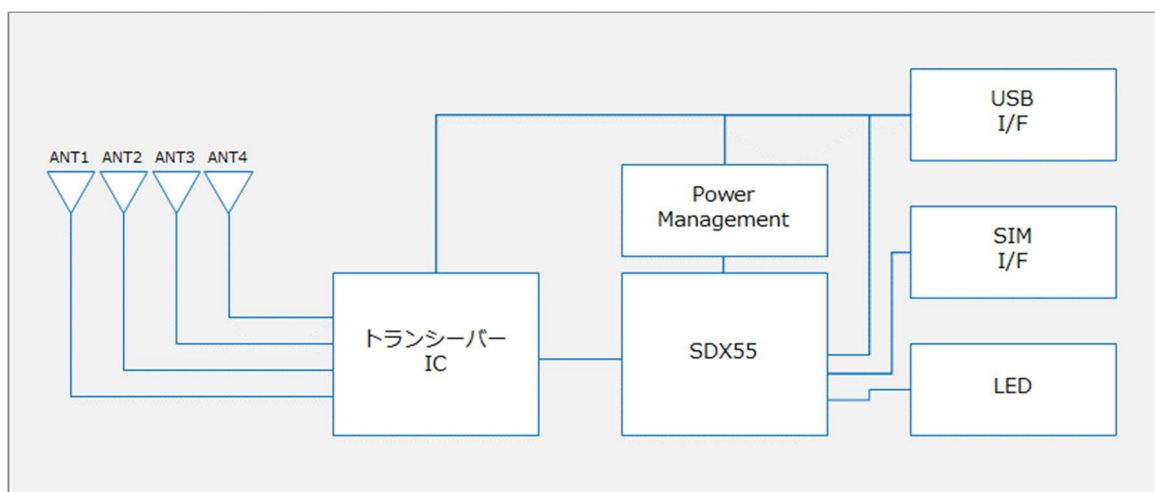


図 4-18 端末システムの構成図

本実証で試作した端末システムは、ローカル 5G Sub6 SA 方式に対応しており、Sub6 帯のアンテナを 4 本搭載する。このうち、2 本のアンテナが送受信アンテナになっており、ダウンリンク (受信)4×4 MIMO、アップリンク (送信)2×2MIMO に対応している。また、インターフェイスとして USB Type-C を搭載しており、USB ケーブルを使用して PC もしくは所定の OS を搭載した機器と接続して使用する。

2) 検証項目

本実証では以下の項目に関して評価・検証を行った。

- ① 工事設計認証取得のための送信特性の評価
- ② 防水・防塵規格、MIL 規格対応試験の実施
- ③ 安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価
- ④ 基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価

上記した①では、試作した端末システムと評価装置とを有線接続、すなわち端末システムのアンテナ部と評価装置との間を同軸ケーブルで接続し、Sub6 帯の信号を無線でなく有線で伝送することによって安定した環境で性能評価を実施した。評価項目としては、送信電力、送信周波数、占有帯域幅、隣接チャネル漏洩電力等を測定した。また、環境変化による性能変動を確認するため、高温および低温状態(55℃、-10℃)での性能試験、同じく高湿での試験として 95%の湿度での試験を実施した。

工事設計認証は、一般的な 5G 端末と同様に 5G Sub6 の証明規則第 2 条第 1 項第 11 号の 30 だけでなく、W-CDMA の証明規則第 2 条第 1 項第 11 号の 3、HSDPA の証明規則第 2 条第 1 項第 11 号の 7、SC-FDMA の証明規則第 2 条第 1 項第 11 号の 19、TDSC-FDMA の証明規則第 2 条第 1 項第 11 号の 21、TD-OFDMA の証明規則第 2 条第 1 項第 54 号等を取得した。

次に②では国際的な標準化団体である IEC(International Electrotechnical Commission)が定めた保護規格である IEC60529 2.2:2013 に基づき防水・防塵対応試験を実施した。さらに表 4-1 に示した信頼性試験の合否判定試験を実施した。IEC 規格である防水・防塵対応や、米国国防総省の調達基準である MIL Standard の項目のうち 14 項目に対して試験を行い、本実証で試作した端末システムの対応状況を確認する。以下の表 4-7 に MIL 試験の信頼性試験の実施目的を示す。

表 4-7 信頼性試験実施方法と条件

テスト項目	実施方法と条件
落下試験	立った高さや走る高さから落下させても、機能の異常が発生しないことや、防水性が損なわれないことを確認する。
短距離落下試験	低所からの落下を繰り返しても、瞬時停電やバッテリー接点部からの電源断が発生しない、防水性が損なわれないことを確認する。
低温動作	低温環境下で動作確認を行い、基本機能が動作することを確認する。
高温動作	高温環境下で動作確認を行い、基本機能が動作することを確認する。
振動動作	車のシートやダッシュボードなどに置いた場合に振動が加わっても異常がないことを確認する。
温度湿度サイクル	温度の上げ下げによって機能に異常がないことを確認する。
熱衝撃	温度を短時間で急激に変化させ、はんだクラック等により機能に異常が発生しないことを確認する。
高温多湿	高湿度環境下に保管後、動作確認を行い、機能が動作することを確認する。
高温保管	高温環境下に保管後、動作確認を行い、機能が動作することを確認する。
低温保管	低温環境下に保管後、動作確認を行い、機能動作を確認する。
塩水噴霧	塩霧にさらされても機能に異常がないことを確認する。
汗	接触面が汗で侵食されていないか確認する。

テスト項目	実施方法と条件
薬剤耐性	化学物質で侵食されていないか確認する。
クロスハッチ	賽の目上に切り込みをいれ塗装など、剥がれがないことを確認する。
摩耗	表面をこすったときに塗装の剥がれやロゴの消失がないことを確認する。
RCA 摩耗	接点面積の小さい摩耗試験により塗装の剥がれや内部樹脂の色が見えないことを確認する。
紫外線	紫外線の照射により変色、変形、酸化等がないことを確認する。
SIM カード	SIM カードをなんども出し入れしたときにスロットの破損や、電氣的に機能が異常ないことを確認する。
USB コネクタ	USB ケーブルをなんども抜き差ししたときにコネクタの破損や、電氣的に機能が異常ないことを確認する。
静電気	静電気による破壊がないことを確認する。
コネクタひっぱり	コネクタにケーブルを取り付けひっぱったときに破損がないことを確認する。
防塵	IP6X 基準を満たしていることを確認する。 (IP6X : 直径 75 μ m 以下の塵埃が入った装置に商品を 8 時間入れてかくはんさせ、取り出したときに内部の塵埃が侵入しない機能)
防水	IPX7 基準を満たしていることを確認する。 (IPX7 : 常温の水道水(静水)の水深 1m のところに機器を沈め、約 30 分間放置して取り出したときに、機器の機能が動作する機能)
自由落下	梱包箱を落とした時に内部の端末の機能に異常がないことを確認する。

次に③では電波暗室および反響チャンバにおいてアンテナ性能試験を実施した。アンテナ性能の試験は①と異なり無線環境での試験を行う必要があるが、作業や周囲の環境の影響を受けないように電波暗室および反響チャンバの中で試験を実施する。検証項目としては、アップリンクの試験として全球面放射電力(TRP : Total Radiated Power)と、ダウンリンクの試験として全球面放射電力(TIS : Total Isotropic Sensitivity)の評価を実施した。アンテナ性能の無線環境での評価は、端末を実際に使用する状況と同じ無線状態で評価できることから端末の性能としては非常に重要であると考えられており、本実証でも詳細に検証を行った。また、電波暗室内において端末システムをXYZの三軸方向に回転しながらの無線性能評価も実施し、これにより実際の電波がどの方向から到来しても問題がないことを確認することができた。

アンテナ性能の目標としては、小型設計を目指し通常の5G端末よりアンテナ設計面での制約が大きいことから、一般的なスマートフォン等の目標より若干低く設定し、TRP:14.0dBm / TIS:-80.5dBm (帯域幅100MHz時)とした。

次に④では基地局シミュレータと無線接続した状態での評価を実施した。評価は③と同じく端末システムを基準アンテナの設置された反響チャンバ内に設置し、基準アンテナと接続された評価装置と無線接続して実施した。検証項目は、ダウンリンクのスループットになるが、本実証の端末システムはダウンリンクが4×4 MIMOに対応していることから、その状況でのスループット特性を評価した。すなわち、端末システムとしての最大スループット性能を評価し、これがシステム上の理論的な最大スループットと比較して問題ないかの確認を実施した。

スループットの目標としては国際基準として定められている3GPP 38.521に定められた通り理論値の95%以上となることを目標とする。表4-8に端末システムの試作について検証を行う項目をまとめた表を示す。

また、本実証でのアップリンクスループットの目標としている80Mbpsで動作した場合の端末の表面温度の上昇に関する試験を実施した。連続動作させたときに端末表面温度が、安全上の上限である60℃を上回らないことを目標とした。

表 4-8 端末システムの試作検証まとめ

検証項目	検証目的	検証内容
工事設計認証取得のための送信特性の評価	基地局シミュレータと有線接続し評価を実施することにより、外部要因を排除した端末本来の電波特性を評価する。また、環境が変化した場合にも法で認められた基準内の電波で動作することを確認する。	5G NR Sub6、LTE、3Gに関して、送信電力、送信周波数、占有帯域幅、隣接チャネル漏洩電力等 (評価環境条件としては高温および低温状態(55℃、-10℃)での性能試験、同じく高温での試験として95%の湿度)
防水・防塵規格、MIL規格対応試験の実施	試作した端末システムが実際にIP67への対応、およびMIL-STD-810Hへの対応が問題ないかを確認するための試験を実施する。	表 4-1 に記載の項目に関してそれぞれの試験を実施。
安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価	基地局シミュレータと無線接続し評価を実施する。電波の反射等による評価結果の変動や周囲環境の影響を受けないように電波暗室内で実施する。これにより端末のアンテナの特定方向におけるアンテナ利得や、全球面のアンテナ特性を考慮した送信電力や受信感度を評価できる。	アップリンクの試験として全球面放射電力(TRP: Total Radiated Power)と、ダウンリンクの試験として全球面放射電力(TIS: Total Isotropic Sensitivity)。端末システムのXYZ方向アンテナ性能評価。
基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価	基地局シミュレータと無線接続し評価を実施することにより、外部要因を排除した端末本来の伝送性能・放熱性能を評価する。	ダウンリンクスループット、放熱性能評価(UL/DL同時送受信)

3) 検証方法

以下に2)で示した評価・検証項目の①から④についてそれぞれの検証方法を示す。

① 工事設計認証取得のための送信特性の評価

図 4-19、図 4-20 に示したように、端末システムと基地局シミュレータとを同軸ケーブルで接続し有線性能の評価、および工事設計認証取得のための送信特性の評価を実施した。

評価は、3GPP TS38.521 に定められた評価方法に従って評価を実施した。評価装置としては、基地局シミュレータとしてアンリツ株式会社(以下、アンリツ)のMT8000A、信号発生器としてアンリツ社のMG3690C、シグナル・スペクトラム・アナライザとしてローデ・シュワルツ社のFSV3000を使用し、温度特性評価、湿度特性評価は別途恒温槽、もしくは環境試験器と呼ばれる温度環境や湿度環境を所望の条件に設定することができる装置に入れ評価を実施した。

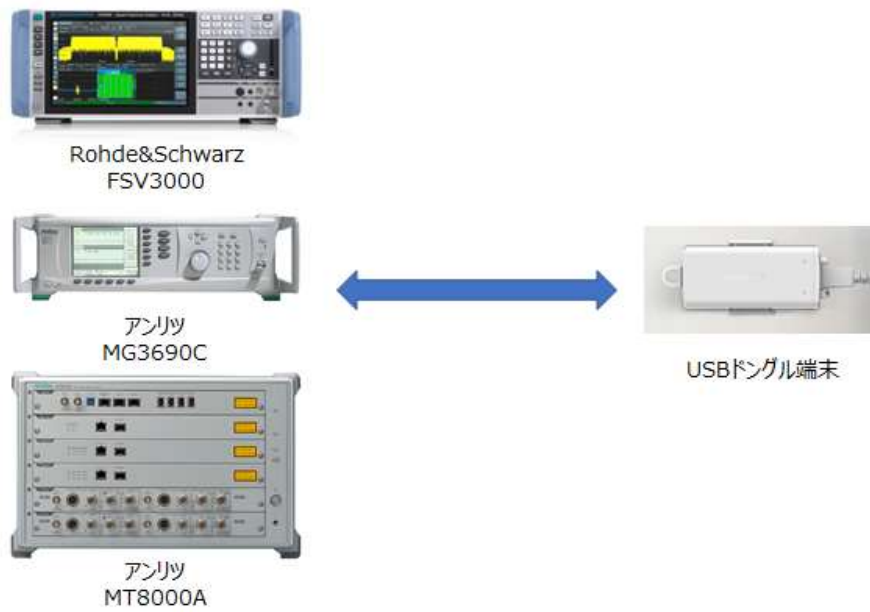


図 4-19 工事設計認証性能評価系



図 4-20 測定系の様子

② 防水・防塵規格、MIL 規格対応試験の実施

防水・防塵対応試験は IEC 60529 Edition 2.2: 2013 の IP67 試験に基づき試験を実施した。IPX7 と IP6X の試験条件をそれぞれ表 4-9、表 4-10 に示す。

表 4-9 IPX7 の試験条件

項目	条件
動作状態	停止状態 (USB ケーブルあり)
試験方法	DUT を 30 分以上水深 1.0m のテスト内に沈める。
試験深さ	1.0m
試験時間	30 分

表 4-10 IP6X の試験条件

項目	条件
動作状態	停止状態 (USB ケーブルあり)
試験方法	試験槽の容積 1 立方メートルあたり 2kg のタルカムパウダーを使用し、IP6X 試験中は-2kPa まで減圧した試験槽に DUT を 8 時間以上入れる。
試験圧力	-2kPa
試験時間	8 時間

また、信頼性試験は以下に示したリンクに詳細が開示されている MIL standard に従い試験を実施した。

ATEC Standardization

<https://www.atec.army.mil/standardization.html>

③ 安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価

端末システムの無線性能の評価方法としては、無線通信環境が周囲の環境の影響を受けないように反響チャンバを使用して実施した。図 4-21、図 4-22 に本実証の評価系と使用した反響チャンバの内部の設置の様子を示した。反響チャンバはアンリツの基地局シミュレータ MT8000A の入出力部の信号を内部に放射できるように外部と内部を繋ぐ同軸ケーブル用のコネクタが具備されており、反響チャンバ内部には評価の基準となるアンテナが設置されている。本実証で試作した端末システムは、USB ドングルタイプの端末であり PC と接続して動作するため反響チャンバ内部に PC と接続した状態で設置した。その際、PC からの雑音によって端末システムの性能を劣化させてしまう可能性があるため、それを防止する簡易シールドボックスを別途用意しその中に PC を入れ不要な雑音による端末システムの性能劣化を防いでいる。端末は図 4-22 の反響チャンバ内部写真に写っている回転台上に設置され回転して性能を評価できるようになっている。

評価条件は、3GPP TS38. 521 に従って評価を実施した。

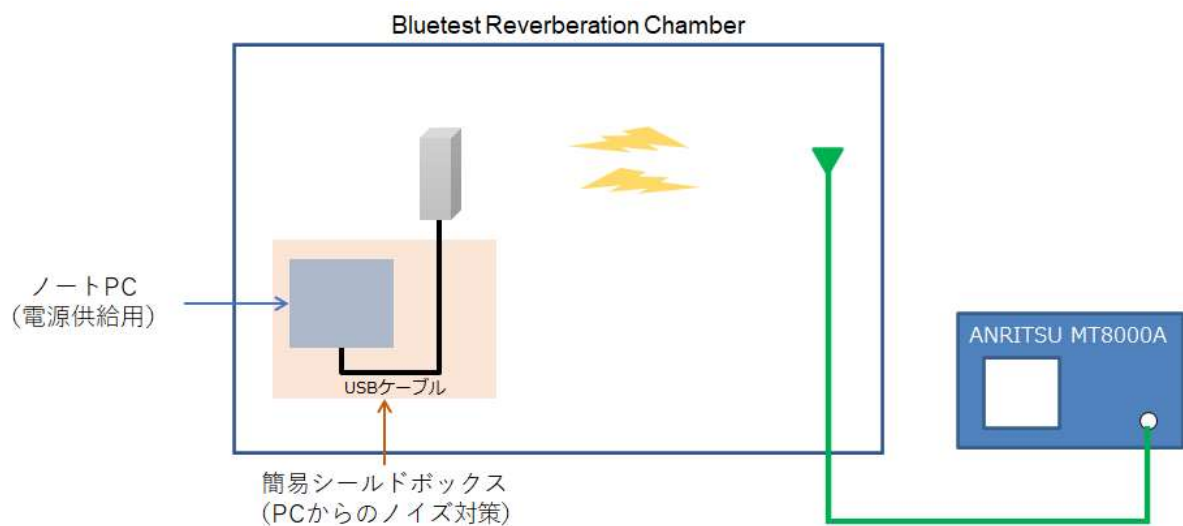


図 4-21 無線性能評価系



図 4-22 反響チャンバ内の設置の様子

反響チャンバは図 4-23 に示した BLUETEST 社の反響チャンバ RTS60 を使用した。反響チャンバ内には固定された基準となるアンテナが装備されており、これにより再現性のある安定した反射環境を作り出すことができる。

BLUETEST RTS60 <https://www.bluetest.se/files/RTS60_BTD-10-019_Rev_G.pdf>



図 4-23 反響チャンバの外観

また、アンテナの放射指向性パターンの測定は図 4-24 に示したような電波暗室で実施した。電波暗室内の回転台上に DUT である端末システムを設置し、基準アンテナとなる受信アンテナを使用して通信することによって反射波のない環境で電波の強度を測定する。DUT を特定の角度に設置しながら電波強度を測定することでアンテナの放射パターンを測定することができる。



図 4-24 アンテナ放射指向性パターン測定系

④ 基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価

端末システムのスループット性能の評価として、シャープ幕張事業所に設置した基地局シミュレータと無線接続しスループット性能評価を実施した。図 4-21 に示したように反響チャンバ内の基準アンテナに接続されたアンリツ MT8000A と、反響チャンバ内に設置した試作した端末システムとを無線接続して評価を実施した。

また、端末システムの高熱試験として基地局シミュレータ(キーサイトテクノロジー社 E7515B)と無線接続した環境で、アップリンクのスループットを 80Mbps で動作させたときの端末システムの表面温度の状況を観察した。図 4-25 に端末システムの高熱性能を評価した評価系を示す。

E7515B UXM 5G ワイヤレス・テスト・プラットフォーム | Keysight

<https://www.keysight.com/jp/ja/product/E7515B/uxm-5g-wireless-test-platform.html>

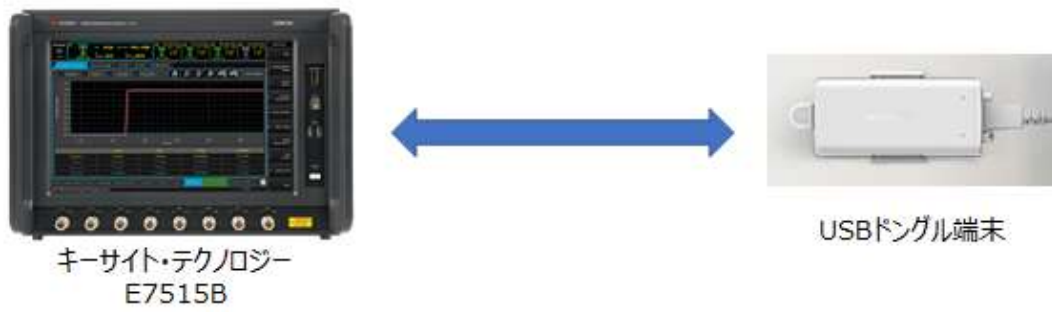


図 4-25 放熱性能評価系



4) 検証結果および考察

端末システムの試作の検証をするにあたり、最初に端末システムの仕様に関しユーザとなる企業にご協力をいただきヒアリングを行った。ヒアリングは、表 2-2 に示した本実証で試作した端末システムの諸元、および表 4-1 に示した信頼性試験仕様、4.3.1 の 4)④に示した連続送受信性能が、ユーザ観点から見て十分な仕様となっているか否かに関してコメントをいただいた。

表 2-2 に示した端末仕様に関しては概ね良好な反応をいただいた。特に建設現場や工事現場のような屋外で使える小型の端末というのは、これまで市場になく使ってみたいという意見をいただいた。一方で、実使用に向けては建設現場のような環境に固定的に設置するだけでなく、車内や屋内で使う際に短い USB ケーブルも必要になるだろうとの声もあった。また、提供価格に関しては現在市場にある十万円から数十万円より低い価格が望まれているとの声があり、実装に向けては課題も確認できた。

本検証結果では主に端末システムの仕様面である検討項目の検証結果を示し、実装の課題となった USB ケーブルや提供価格に関する課題は 4.3.4 に示す。

以下に 2) で示した評価・検証項目の①から③についてそれぞれ検証結果および考察を示す。

① 工事設計認証取得のための送信特性の評価

端末システムの基本性能評価となる工事設計認証取得のための評価は、送信電力の評価や周波数の評価、隣接チャンネル漏洩電力の評価など端末システムが 3GPP に定められた性能に準拠しているかの確認を行うためだけでなく、日本の電波法に違反していないことを示す重要な試験である。

さらには、端末システムの性能が基準仕様に対し余裕がない場合には商用の大量生産時には性能のばらつきによって電波法違反となる端末システムが出てしまう可能性がある。このような端末は出荷時の検査によって不良として排除されるが、端末の不良数が増えると端末システムの生産コストが上がることになり端末単価が高くなることが想定される。以上のような観点からも端末システムの基礎的な無線性能が仕様に対して十分余裕があるかの確認を実施した。

以下に工事設計認証取得のための送信特性評価の結果を示す。評価はローカル 5G の Sub6 帯である n79 全帯域にわたって評価を実施するが、結果の一例として中心周波数 4850.01MHz の結果を示す。

各項目の測定は 3GPP Standard TS38.521-1 に従い高温 (HT/55℃)、低温 (LT/-10℃)、高湿 (HH/95%) の条件でも行った。

最初に周波数許容偏差の許容範囲と評価結果を示す。

周波数許容偏差の仕様は以下の範囲となる。

表 4-11 周波数偏差の許容範囲

項目	許容範囲
周波数許容偏差	$\leq \pm (0.1 \times f_c \times 10^{-6} + 15) \text{ Hz}$ $f_c : \text{中心周波数}$

以下に周波数偏差評価結果を示す。

表 4-12 周波数偏差の測定結果（送信 1）

条件	偏差の結果
通常状態	1.9 Hz
HT	4.3 Hz
LT	-3.9 Hz
HH	-5.2 Hz

表 4-13 周波数偏差の測定結果（送信 2）

条件	偏差の結果
通常状態	-7.3 Hz
HT	-6.6 Hz
LT	-4.4 Hz
HH	5.5 Hz

本実証で試作した端末システムは送信系が 2 系統あることから、それぞれの送信系に対して試験を実施している。上記の結果から周波数偏差に関しては全く問題ないことがわかる。

次に送信電力測定の許容範囲と評価結果を示す。
送信電力の仕様は以下の範囲となる。

表 4-14 送信電力の許容範囲

項目	許容範囲
送信電力 / EIRP	$\leq 200 \text{ mW (23 dBm)}$ / $\leq 26 \text{ dBm}$
送信電力偏差	+100 % ~ -79 %

以下に送信電力の評価結果を示す。

表 4-15 送信電力の評価結果 (送信 1)

項目	結果
送信電力	19.6 dBm (91.201 mW)

表 4-16 送信電力の評価結果 (送信 2)

項目	結果
送信電力	18.61 dBm (72.611 mW)

表 4-17 送信電力の評価結果 (合計)

項目	結果
送信電力	22.14 dBm (163.812 mW)

本実証で試作した端末システムは送信系が 2 系統あることから、それぞれの送信系に対して試験を実施し、合計電力にて判定を行っている。上記の結果から送信電力の評価結果は許容誤差範囲に入っており全く問題ないことがわかる。

次に占有帯域幅の許容範囲と評価結果を示す。
占有帯域幅の仕様は以下の範囲となる。

表 4-18 占有帯域幅の許容範囲

項目	許容範囲
占有帯域幅	≤100MHz（帯域幅 100MHz 時）

以下に占有帯域幅の評価結果を示す。

表 4-19 占有帯域幅の評価結果

項目	結果
占有帯域幅（送信 1）	97.46 MHz
占有帯域幅（送信 2）	97.28 MHz

本実証で試作した端末システムは送信系が 2 系統あることから、それぞれの送信系に対して試験を実施している。上記の結果から占有帯域幅の評価結果は全く問題ないことがわかる。ローカル 5G の場合には、中心周波数の設定によりシステム帯域幅が 99.9MHz や 99.7MHz になるため、端末の実験試験局免許を取得するにあたり端末の占有帯域幅の実力値を示す必要があるが、上記したように送信 1、2 どちらも 99.7MHz を下回り問題ないことがわかった。

次に隣接チャンネル漏洩電力の許容範囲と評価結果を示す。
隣接チャンネル漏洩電力の仕様は以下の範囲となる。

表 4-20 隣接チャンネル漏洩電力の許容範囲

項目	許容範囲
隣接チャンネル漏洩電力	±50.845～149.155MHz ≤-29.2dBc/98.31MHz または±100MHz ≤-50dBc/98.31MHz

以下に隣接チャンネル漏洩電力の評価結果を示す。

表 4-21 隣接チャンネル漏洩電力の評価結果（送信 1）

項目	結果
Cf -100MHz	-43.14 dBc/98.31MHz
Cf +100MHz	-41.47 dBc/98.31MHz

表 4-22 隣接チャンネル漏洩電力の評価結果（送信 2）

項目	結果
Cf -100MHz	-44.42 dBc/98.31MHz
Cf +100MHz	-42.95 dBc/98.31MHz

上記の結果から隣接チャンネル漏洩電力の評価結果は全く問題ないことがわかる。

次に帯域外不要発射強度の許容範囲と評価結果を示す。

帯域外不要発射強度の仕様は以下の範囲となる。

表 4-23 帯域外不要発射強度の許容範囲

項目	許容範囲
帯域外不要発射強度	$\begin{aligned} \Delta f < 1\text{MHz} &\leq -22.2\text{dBm}/30\text{kHz} \\ 1\text{MHz} \leq \Delta f < 5\text{MHz} &\leq -8.2\text{dBm}/\text{MHz} \\ 5\text{MHz} \leq \Delta f < 100\text{MHz} &\leq -11.2\text{dBm}/\text{MHz} \\ 100\text{MHz} \leq \Delta f < 105\text{MHz} &\leq -23.2\text{dBm}/\text{MHz} \end{aligned}$

以下に帯域外不要発射強度の評価結果を示す。

表 4-24 帯域外不要発射強度の評価結果 (送信 1)

項目	結果
-155.0 ~ -150.0 MHz	-46.17 dBm/1MHz
-150.0 ~ -55.0 MHz	-35.49 dBm/1MHz
-55.0 ~ -51.0 MHz	-35.10 dBm/1MHz
-51.0 ~ -50 MHz	-34.06 dBm/30kHz
+50.0 ~ +51.0 MHz	-34.06 dBm/30kHz
+51.0 ~ +55.0 MHz	-37.11 dBm/1MHz
+55.0 ~ +150 MHz	-37.43 dBm/1MHz
+150.0 ~ +155.0 MHz	-42.49 dBm/1MHz

表 4-25 帯域外不要発射強度の評価結果 (送信 2)

項目	結果
-155.0 ~ -150.0 MHz	-44.18 dBm/1MHz
-150.0 ~ -55.0 MHz	-34.41 dBm/1MHz
-55.0 ~ -51.0 MHz	-36.25 dBm/1MHz
-51.0 ~ -50 MHz	-31.91 dBm/30kHz
+50.0 ~ +51.0 MHz	-32.07 dBm/30kHz
+51.0 ~ +55.0 MHz	-34.46 dBm/1MHz
+55.0 ~ +150 MHz	-37.27 dBm/1MHz
+150.0 ~ +155.0 MHz	-43.47 dBm/1MHz

表 4-26 帯域外不要発射強度の評価結果（合計）

項目	結果
-155.0 ～ -150.0 MHz	-42.05 dBm/1MHz
-150.0 ～ -55.0 MHz	-31.91 dBm/1MHz
-55.0 ～ -51.0 MHz	-32.63 dBm/1MHz
-51.0 ～ -50 MHz	-29.84 dBm/30kHz
+50.0 ～ +51.0 MHz	-29.94 dBm/30kHz
+51.0 ～ +55.0 MHz	-32.58 dBm/1MHz
+55.0 ～ +150 MHz	-34.34 dBm/1MHz
+150.0 ～ +155.0 MHz	-39.94 dBm/1MHz

本実証で試作した端末システムは送信系が 2 系統あることから、帯域外不要発射強度も同様にそれぞれの送信系に対して試験を実施している。上記の結果から帯域外不要発射強度の評価結果は全く問題ないことがわかる。

その他、副次的に放射される電波強度、リーク電力強度、相互変調特性等の試験を実施し、いずれの試験結果も問題ないことを確認した。

上記は評価結果の一例ではあり、代表して中心周波数 4850.1MHz の場合の評価結果を示した。

上記した全ての測定結果により表 4-27 に示す工事設計認証番号で認証を受けることができた。

表 4-27 工事設計認証番号

工事設計認証番号	020-220265
----------	------------

② 防水・防塵規格、MIL 規格対応試験の実施

以下に IEC 規格に従い試験を実施した防水・防塵規格確認結果、および MIL 規格に従い試験を実施した信頼性試験結果を示す。

表 4-28 に IP67 の防水・防塵試験結果を示す。IPX7、IP6X 両方に問題ないことが確認でき、IP67 対応であることがわかった。

表 4-28 防水・防塵試験合否状況

テスト項目	合否
IPX7 試験	合格
IP6X 試験	合格

次に表 4-29 に MIL 規格に従って実施した信頼性試験結果を示す。全ての項目に対して合格していることが確認でき、本実証の目標の一つである防水・防塵対応および MIL 規格への対応ができていたことが確認できた。

表 4-29 信頼性試験合否状況

テスト項目	合否
落下試験	合格
短距離落下試験	合格
低温動作	合格
高温動作	合格
振動動作	合格
温度湿度サイクル	合格
熱衝撃	合格
高温多湿	合格
高温保管	合格
低温保管	合格
塩水噴霧	合格
汗	合格
薬剤耐性	合格

テスト項目	合否
クロスハッチ	合格
摩耗	合格
RCA 摩耗	合格
紫外線	合格
SIM カード	合格
USB コネクタ	合格
静電気	合格
コネクタひっぱり	合格
防塵	合格
防水	合格
自由落下	合格

③ 安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価

以下にアンテナ性能評価の評価結果を示す。

アップリンクの試験として全球面放射電力(TRP : Total Radiated Power)と、ダウンリンクの試験として全球面放射電力(TIS : Total Isotropic Sensitivity)の評価結果を示す。

TRP および TIS 試験は OTA 性能評価と呼ばれ、アンテナ性能と無線回路部の性能の総合的な評価試験であり、実際にユーザが端末を利用する状態での無線性能を評価する評価指標である。

以下に TRP および TIS の評価結果を示す。

表 4-30 TRP/TIS 評価結果

項目	結果	目標
TRP	16.2dBm	14.0dBm
TIS	-84.9dBm	-80.5dBm

TRP、TIS の試験結果はそれぞれ 16.2dBm、-84.9dBm となり、目標としていた 14.0dBm、-80.5dBm より良い結果になった。

上記結果は、全国キャリア向けにシャープが提供しているスマートフォンやモバイルルーター端末と比較すると約 2dB 程度性能が劣るが、設計時に目標としていた性能はクリアできており端末サイズとのトレードオフを考慮すると性能としては問題ないと言える。

次にアンテナの放射指向性パターンの評価結果を示す。結果は端末システムの方角を以下に示したような座標軸方向に配置した場合の結果を示す。

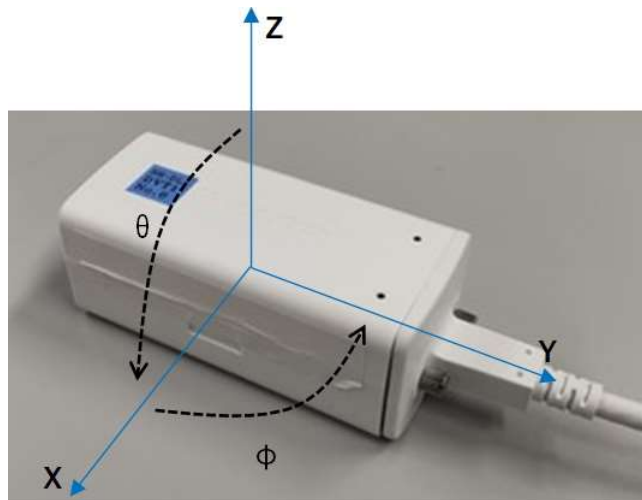


図 4-26 端末システムの指向性パターン評価軸

試作した端末システムはアップリンク 2×2 MIMO に対応しており送信アンテナを 2 つ装備している。最初に第 1 の送信アンテナについての放射指向性パターン評価結果を示す。

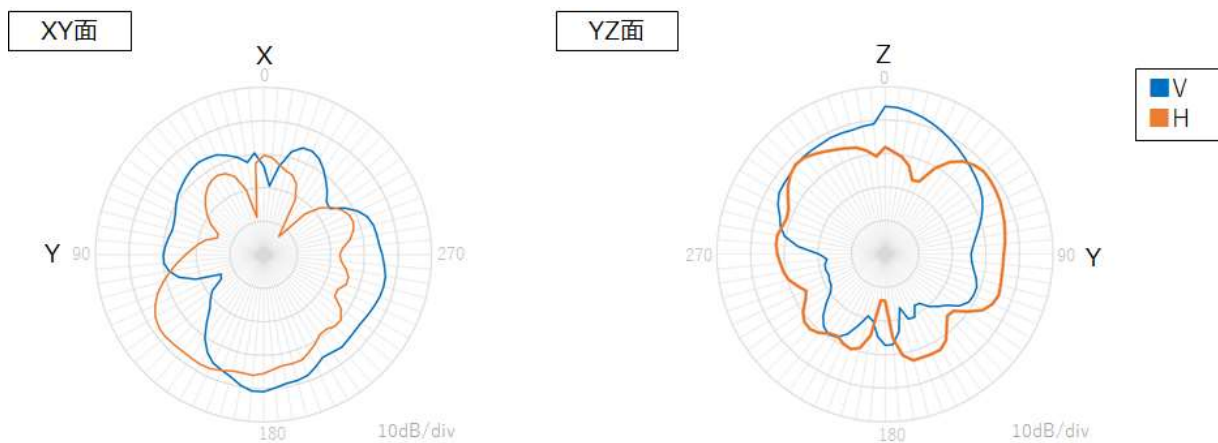


図 4-27 第 1 送信アンテナの放射指向性パターン

評価結果は XY 平面と YZ 平面を示しており、それぞれ V 偏波および H 偏波についての結果を示している。ローカル 5G の Sub6 の送信アンテナは筐体上面に配置されていることから、例えば YZ 平面の 180 度方向などに放射の弱い部分が見られるが、アンテナ位置と内部の基板や部品により放射が遮られることによる劣化部分を除いては問題なく特性が確保できていることがわかる。

次に第 2 の送信アンテナについての放射指向性パターン評価結果を示す。

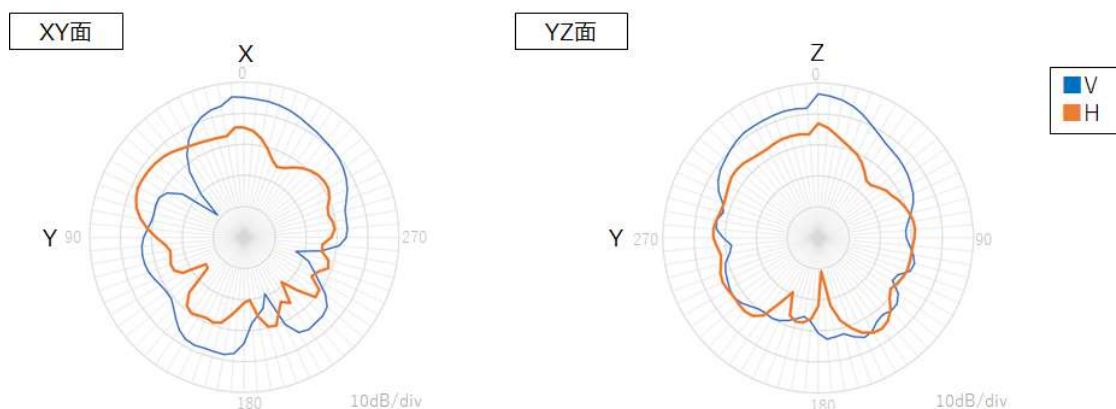


図 4-28 第 2 送信アンテナの放射指向性パターン

第 2 アンテナについても第 1 アンテナとほぼ同じ特性が確保できている。放射パターンも第 1 アンテナと対称となる形になり、どちらのアンテナも同じように問題ない放射指向性パターンが得られた。

上記のように本実証で試作した端末システムを構成するアンテナの基本特性の評価として TRP/TIS 特性評価、アンテナ放射指向性パターンの評価を実施した。評価の結果から、アンテナの基本特性としては当初の目標を上回り、基本特性として問題ないことが確認できた。

④ 基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価

アンテナ性能および無線回路部の性能指標のもう一つの指標として所定の受信電力時のスループット性能を評価した。表 4-31 に試作したローカル 5G 端末システムと、シャープ幕張事業所に設置した基地局シミュレータと無線接続しスループット性能評価した結果を示す。結果は、SS-RSRP が-54dBm から-58dBm となるように 1dB ステップ設定して評価を行った。表 4-31 にスループット測定結果と、理論値との比較を示す。理論値は無線接続を行ったアンリツ MT8000A により計算された理論値を示している。

表 4-31 スループット評価結果

測定受信レベル (SS-RSRP) [dBm]	ダウンリンクスループット	
	測定値 [Mbps]	理論値率 [%]
-54	453.50	99.99
-55	453.57	100.00
-56	435.57	100.00
-57	435.57	100.00
-58	453.52	99.99

以下に SS-RSRP に対するダウンリンクスループットの評価結果を図 4-29 に示す。横軸を SS-RSRP、縦軸をダウンリンクスループットの実測値として結果をプロットした。

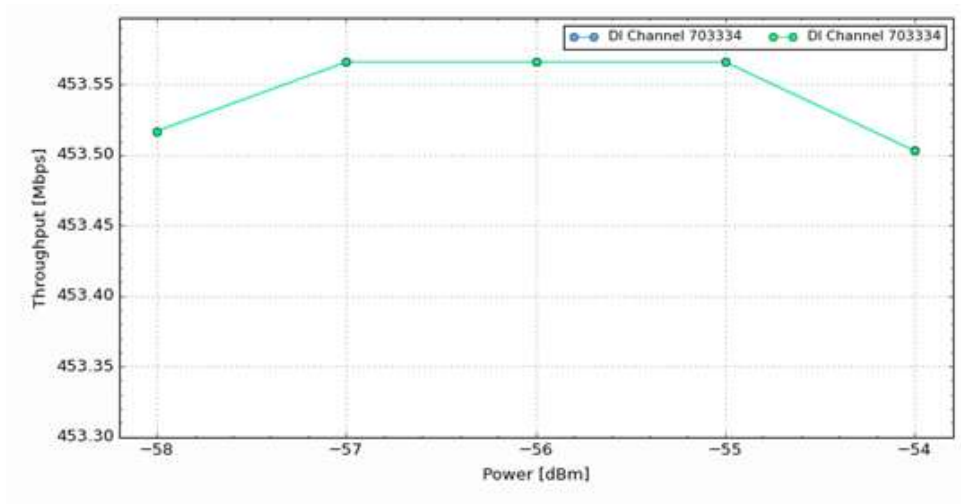


図 4-29 ダウンリンクスループットの評価結果

次に理論的に計算されるダウンリンクスループットに対して実際のスループットの比率を示したものを図 4-30 に示す。横軸を SS-RSRP、縦軸を相対ダウンリンクスループットとして結果をプロットした。SS-RSRP が-58dBm から-54dBm の全領域に置いてほぼ 100%となっており、目標としていた 95%をクリアし、アンテナ性能および無線回路の性能として問題ないことを示している。すなわち、所定の受信電力においてほぼ理論的なスループットが出ていることがわかる。

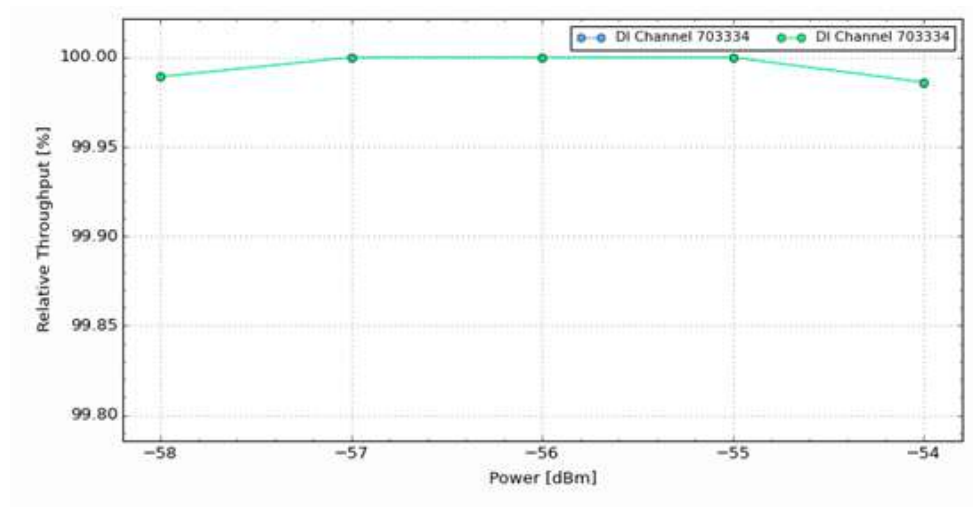


図 4-30 相対ダウンリンクスループットの評価結果

外的要因を排除するため反響チャンバ内で無線接続した状態でのスループット性能評価を実施した。すなわち周辺環境の変化による電波環境の変動やマルチパスの変化等とは切り離れた端末システム本来のスループット性能の評価を行うことができる。これを行うことによって、実際の無線通信環境で端末システムの検証を行った際に端末システムの性能劣化原因の切り分けが容易になった。

本実証の背景にも記載したが、例えば障害物や建物等の影になってスループットが想定より低くなってしまっている場合には、端末システムの動作ログから受信信号レベルを確認することによって、想定されるスループットの推測ができるので、スループットが低下している原因として受信信号レベルが考えられるのか、それとも他の原因と想定されるのか判断を行うための材料とすることができる。

また、端末システムの放熱試験として基地局シミュレータと無線接続し、アップリンクのスループットと 80Mbps で動作させ端末システムの表面温度の状況を観察した結果を以下に示す。端末システムとしてはアップリンク送信の他に、端末の温度を上昇させる動作としてダウンリンクも同時に実行させている。以下に詳細な実施条件を示す。

表 4-32 放熱試験条件

スループット条件	アップリンク 80Mbps / ダウンリンク 1.1Gbps
MIMO	アップリンク 2×2 / ダウンリンク 4×4
バンド	n79 SA
送信電力	21 dBm (16QAM, MPR=3dB)
環境温度	35℃
観察時間	90 分

上記のような条件で放熱試験を実施し、温度変動が安定した時点での表面温度により判定を行った。温度は本体の各部に取り付けられた熱電対によりモニタリングを実施した。結果は以下のようになった。以下の図 4-31、図 4-32、図 4-33 にそれぞれ端末の上面、側面、下面をサーモグラフィカメラで観測した結果を示した。また、表 4-33 には熱電対で観測された温度をまとめている。観察時間として 90 分間の連続運転後に表面温度を確認することによって、連続運転による温度上昇が安定したところで表面温度を確認できる他、前提とする 8K 映像伝送としても十分な時間安定した動作をできたことが保証できる。

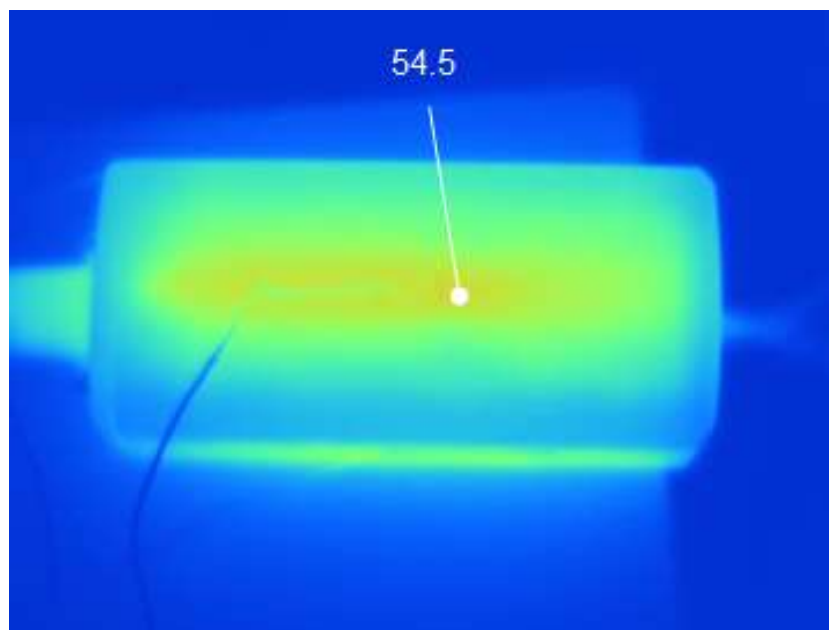


図 4-31 温度観測結果（上面）

上面は端末の中央部が最も温度が高くなっている。これは内部の放熱フィンの構成によるものと想定され、放熱フィンと筐体樹脂とが最も近い場所が中央部であり、その部分から内部の熱が外部に伝わっていることがわかる。

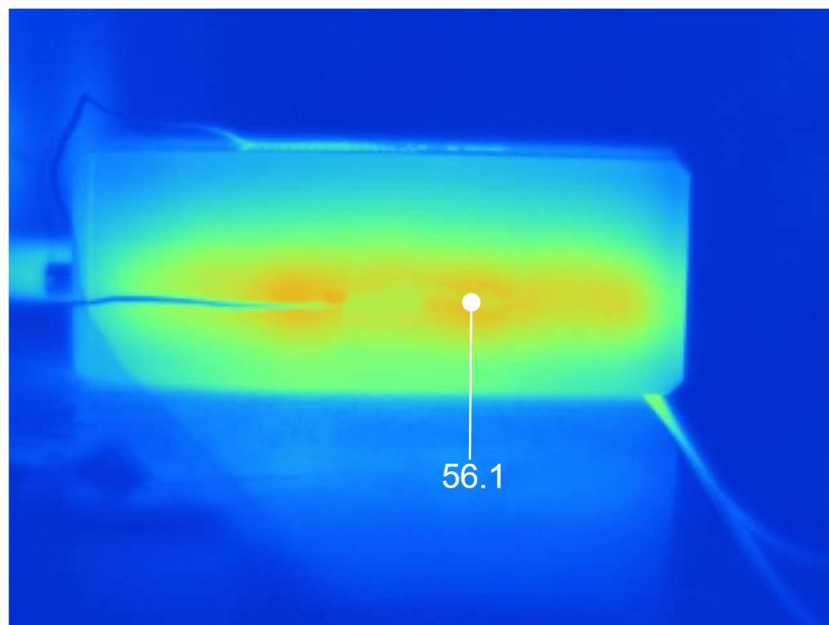


図 4-32 温度観測結果（側面）

側面部も中央が最も高くなっている。本実証で試作した端末システムはドンダルの筐体内部に一枚の回路基板を内蔵しており上面と並行に温度が高くなっている高さの部分に基板が固定されていることから基板の熱が筐体に伝わって温度が上昇していることがわかる。

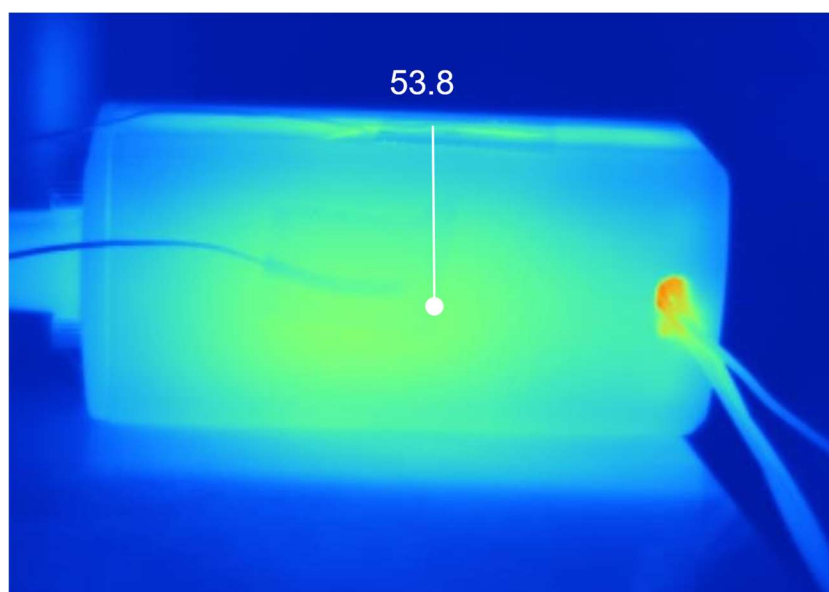


図 4-33 温度観測結果（下面）

下面部は上面と側面と比較して温度上昇がみられないが、これは内部の構造によるもので内部の上側には放熱フィンがあることから上面側に熱が拡散し、内部基板の下側は空洞になっていることから下面側には熱が伝わりにくくなっていることがわかる。

表 4-33 温度観測結果まとめ

部位	測定結果 (目標 60°C以下)
上面	54.5 °C
側面	56.1 °C
下面	53.8 °C

以上のような結果から、本実証の目標となっていたアップリンク 80Mbps 送信時の本体温度が 60°C以下に抑えられていることがわかり、本実証での目標は達成できたと言える。

4.3.2 端末システムの実装性に関する検証

本検証では、端末システムの実装を想定した検証および検証方法を示す。前述したように本実証で試作した端末システムは多様なユースケースに適用可能な汎用的な端末システムであることから、本検証でも特定の基地局との通信だけでなく、様々な基地局と接続して使用することを想定した試験を実施した。

シャープでは過年度の開発実証への端末提供だけでなく、ユーザが独自に実施している実証試験への端末提供を行ってきた。全国キャリアの 5G と異なり、ローカル 5G ではユーザが導入する基地局装置および端末を選定することが多く、端末を導入したが上手く接続できないというトラブルが多く発生していた。また、ローカル 5G システムを独自に開発しているユーザの中には独自プロトコルを使って作られている基地局もあり、3GPP 準拠のプロトコルに対応した端末は接続できず、特定の端末のみ接続できる仕様になっているという課題もあった。

導入後のトラブルとして多く相談を受けた内容としては、実際に設置してみたものの想定したような通信速度が得られていないことや、エリアが限定されてしまっているという内容だった。通信速度が上がらない、もしくはエリアが限定されている原因としては、基地局側のアンテナの設置方法や設置位置にも原因はあったが、端末の設置に関して電波伝搬環境面であまり良くない設置方法になっていることが少なくなかった。例えば、基地局装置のアンテナと端末のアンテナの間に障害物があり NLOS 環境となってしまう場合や、端末のアンテナ部周辺に他の機器を置いてしまっているような場合がみられた。ローカル 5G で使用する周波数はミリ波帯と Sub6 帯であり、エリア展開の容易さから多くのユーザが Sub6 帯対応の装置を導入しているのが実情であるが、Sub6 帯の場合は SA 方式であることがほとんどで、アンカーバンドと組み合わせて使われている全国キャリアの NSA と比較すると、前述のような環境に端末が設置された場合には速度低下やエリアの制限が顕著に見られることになる。

また、導入後のもう一つトラブルとして連続高速通信が上手くできないという相談が多くあった。これまで行われてきたユーザの実証試験は PoC 的な位置付けの試験が多く、ローカル 5G の限界性能の見極めや、理論的な通信速度を想定した実験内容が多かった。特に、ローカル 5G での準同期 TDD 運用という新しい TDD フレームフォーマットを利用したアップリンクの連続高速通信を利用したソリューションへの適用が試される内容が多く、従来の一般的なユーザがブラウジングや動画鑑賞、ファイルのアップロード・ダウンロードに使用することを想定している全国キャリア向け 5G 端末では対応できない利用環境で試験されることによるトラブルの相談が多かった。

本検証では、上記したようなユーザからのこれまでのフィードバックや、過年度の実証での課題を考慮し以下のような検証項目を設定した。

1) 検証項目

本実証では以下の項目に関して評価・検証を行った。

前述した過年度の基地局装置との接続問題や、今後ユーザが選定するローカル 5G 装置の多様化を鑑み、様々な基地局と接続して確実に使用することができるようにすることを保証するための試験として①を実施した。

また、試作した端末システムがユーザの実使用環境で問題ない性能となっていることを確認するための試験として②を実施した。端末システムを試作する場合には、再現性の高い試験を実施するために特定の試験条件および試験環境下で試験を実施し、問題ないことを確認するが、実際に運用されている基地局装置と接続したフィールドテストによる性能確認も必要であり、例えば想定していない特殊な電波環境下や、特定の条件や順番である動作を実行したときの不具合などを見つけるために実際の無線通信環境下での試験を実施しておくことによってユーザ導入後のトラブルを少なくすることができる。さらに、本実証の一つの課題として挙げた環境での実証として端末システムと基地局のアンテナ装置との間に遮蔽物がある場合と、そうでない場合との性能差分を確認することにより、本実証で試作した端末システムをユーザが利用することにより享受することができるメリットを確認する試験として③を実施した。

最後に④として、ユーザがローカル 5G のメリットの一つとして考えられているアップリンクの高速通信に関し、連続送受信の性能評価を実施した。

- ① 3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を確認するため、GCF 認証を取得した試験システムによるコンFORMANCE試験の実施
- ② 無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較
- ③ 令和 3 年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較
- ④ 実験試験局エリアでの連続送受信評価

上記①で実施したコンFORMANCE試験は、端末システムが 3GPP 規格に適合していることを確認する試験である。コンFORMANCE試験に合格しておくことで 3GPP に準拠した基地局であれば接続の互換性が保てるということで全国キャリア向けだけでなく、海外キャリア向けの 5G 端末で試験の合格が要求されている仕様である。独自プロトコルを使用した 5G/ローカル 5G では他のベンダーの装置に接続できない問題が発生する。このような問題を防ぐため 3GPP 準拠のコンFORMANCE試験に合格しておくことは非常に重要である。

ローカル 5G では、システムを導入する企業や自治体が事前に相互接続試験を実施せずに基地局装置や端末を選定するためユーザによって基地局装置が異なり上記のような機器間の互換性を確保することは特に重要である。全国キャリア向け端末であれば当然の要求仕様となるが、ローカル 5G においても 3GPP 規格に準拠したコンFORMANCE試験に合格した端末を利用することで、同じく 3GPP 準拠の基地局装置との接続を保証することができる。

コンFORMANCE試験は一般的な全国キャリア向けスマートフォン等で実施されている項目と同等の項目を実施し、全ての項目にパスすることを目標とした。

②はシャープ幕張事業所に設置したローカル 5G 実験試験局エリアでの無線伝送試験である。本

環境で無線性能試験を実施することにより、4.3.1 に示した有線性能試験や安定した無線環境で実施するアンテナ性能試験に加え、実際の使用環境での検証を行うことができる。さらに、電波伝搬シミュレーションと比較することにより、想定される性能との比較を実施し端末システムの基本となる無線性能の評価を実施した。

電波伝搬シミュレーションでは実験試験局エリアのシミュレーション結果と、試作した端末システムで実際に測定した受信電力の比較検証を行うとともに、シミュレーションとの差異が大きい場合においてはその原因の考察を行い、ローカル 5G エリアの効果的な展開方法の検証を行った。

一般的に端末システムは 3GPP 端末仕様に準拠、もしくはそれ以上の受信性能となっている。無線性能の試験項目である OTA 試験や、実際のユーザの使用を想定したフィールド試験も必ず実施される。ローカル 5G 対応端末としても同様にこれらの試験を実施する必要がある。電波伝搬シミュレーションとの比較はユーザが実際に使用する環境に近いエリアでの受信性能と、シミュレーションから導かれた理論的な値との比較を行うことによって無線性能に問題ないことを確認した。

また、上記実際に測定したポイントにて遅延時間の測定も実施した。遅延測定にはコマンドプロンプトの ping コマンドによる測定に加え、アンリツのネットワークテスタ MT1000A を導入し、遅延時間の時系列変動や PC の処理時間等を排除した正確な遅延測定を行えるよう評価環境を準備し、評価を実施した。

次に③では、令和 3 年度の実証で課題となった状況を再現しての検証を行った。令和 3 年度の実証では防水ハウジングケースに他の機器と入れたことにより端末システムのアンテナ部分の周囲に障害物があり電波環境が悪くなり、また、防水ハウジングケースを単管パイプに設置したことにより見通し環境が確保できなかったことを鑑み、同じような環境をシャープ幕張事業所に再現し検証を行った。ハウジングケース内部に置いた場合と、外に出して設置した場合との受信電力の改善度の比較を行い、本実証で試作した端末システムが設置自由度の高い端末であることによるメリットを確認する。

防水ハウジングケースと単管パイプを想定した金属パイプを用いた検証では、試作した端末システムを利用した場合の通信性能、具体的には SS-RSRP の改善度を評価し、過年度の実証で確認できなかった単管パイプでの遮蔽がどの程度端末性能に影響していたのか検証を行った。

さらに④では③と同様にシャープ幕張事業所に設置されたローカル 5G 実験試験局エリアにおいて、超高精細映像伝送を想定した連続送受信の検証を実施した。

具体的には 8K 映像伝送を想定し、アップリンクのスループットが平均 80Mbps で長時間(例えば 40 分間程度)安定して送信できることを目標とした。ただし、室温が 25℃以下である環境で試験は実施するものとした。本実証で試作した端末システムはアップリンクの連続送信時の放熱性能が良好になるように内部の放熱機構や、内部の空間の設計を工夫している。本検証では、それらの設計が効果的であったかを確認した。

表 4-34 に端末システムの実装について検証を行う項目をまとめた表を示す。

表 4-34 端末システムの実装性検証まとめ

検証項目	検証目的	検証内容
GCF 認証を取得した試験システムによるパフォーマンス試験の実施	企業や自治体によって基地局装置が異なる場合でも 3GPP 規格に準拠した基地局装置であれば接続を保証する。	3GPP 規格に準拠した 5G SA Sub6 の RF 試験、プロトコル試験の実施。
無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較	シミュレーション結果と、端末システムの電波伝搬測定結果を比較することにより、端末性能の理論値と実力値との差分を明らかにする。	シャープ幕張事業所に設置したローカル 5G 実験試験局エリアでの電波伝搬シミュレーションの実施と、試作した端末システムと同環境での電波伝搬測定を実施し、それらの結果の比較検証を行う。
令和 3 年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較	単管パイプでの遮蔽がどの程度端末性能に影響するか検証を行う。	防水ハウジングケースに入れた端末システムとさらに金属パイプを障害物として用いた場合の電波伝搬特性と、端末システムをハウジングケースから出して障害物に遮られない環境に設置した場合の電波伝搬特性の比較検証を行う。
実験試験局エリアでの連続送受信評価	室温 (25℃) において安定して 40 分間以上連続動作することを確認し、連続動作による温度上昇により動作が停止しないことを確認する。	8K 映像伝送を想定し、アップリンクのスループットが平均 80Mbps となる環境で長時間 (例えば 40 分間程度) 送信試験を行う。

また、令和 5 年度以降の実装目標達成に向けユーザに今後のローカル 5G 導入計画や、導入予定分野、台数等のヒアリングを実施し、実装計画の確実性に関して検証を行った。本実証で試作した端末システムは、4.1.4 (2) に示した実装計画を策定しているが、令和 5 年度以降の販売計画として年間 50 台、200 台、1,200 台、2,800 台、5,200 台としている。ヒアリングではユーザの考えている導入計画を確認し、今後の端末提供計画に関し検証を行った。

2) 検証方法

以下に 1) で示した評価・検証項目の①から④についてそれぞれの検証方法を示す。

① 3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を確認するため、GCF 認証を取得した試験システムによるコンFORMANCE試験の実施

本実証で試作した端末システムが 3GPP 規格に適合していることを確認するため、図 4-34 に示したアンリツ製の New Radio RF コンFORMANCE試験システム ME7873NR にて RF コンFORMANCE試験を実施した。ME7873NR は GCF(Global Certification Forum)で認証された試験システムであり、5G デバイスの無線特性試験に関する 3GPP TS38.521 および TS38.533 で規定された試験を実施することができる。

New Radio RF Conformance Test System ME7873NR | アンリツグループ

<https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/me7873nr>

RF コンFORMANCE試験の検証は試作した端末システムと ME7873NR を有線接続し実施した。本検証では、ローカル 5G で使用される n79 の SA 方式を含め LTE/5G の検証を実施したが、本報告では n79 にフォーカスして報告を行う。



図 4-34 RF コンFORMANCE試験システム

以下、表 4-35 にコンFORMANCE試験で実施するシナリオ(テストケース)の各項目についての試験内容の概要をまとめたものを示す。以下に示したものはローカル 5G 端末システムの動作確認にフォーカスしたものであり、Sub6 SA n79 で動作することを前提としたテストケースを選択している。全国キャリア向けもしくはオープンマーケット(MVNO)向けの端末システムではこれに加え、LTE(4G)や Sub6 NSA の動作確認も実施する必要があるが本実証で試作した端末システムもローカル 5G 以外のバンドにも対応しているため、これらのテストケースに関しても確認を実施した。ただし、本実証においては対象外であるため記載は省略している。

本コンFORMANCE試験はローカル 5G 基地局と接続して通信するときの様々なシチュエーションを想定した場合の動作として、ローカル 5G 端末システムが正しく動作するか、または正確な応答をするかを試験するためのものである。端末ベンダーとしては、これに準拠することを確認することでネットワークオペレータに対し動作を保証することができ、また、ネットワークオペレータとしては端末システムを導入する際の受け入れ検査や品質保証の一つとして必要となるものである。

表 4-35 コンFORMANCEシステムの試験内容

3GPP 規格	テストケース	試験内容
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_1	4Rx 条件下で PDSCH Mapping Type A でのパフォーマンスを、様々なチャネルモデルの MCS、および MIMO レイヤーで検証し、スループット値を検証 (2x4 MIMO)
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_2	4Rx 条件下で PDSCH Mapping Type A でのパフォーマンスを、様々なチャネルモデルの MCS、および MIMO レイヤーで検証し、スループット値を検証 (4x4 MIMO)
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_4	4Rx 条件下で PDSCH Mapping Type A でのパフォーマンスを、様々なチャネルモデルの MCS、および MIMO レイヤーで検証し、enhanced receiver type 1 を利用した場合のスループット値を検証 (4x4 MIMO)
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 2_1	4Rx 条件下で PDSCH Mapping Type A および CSI-RS でのパフォーマンスを、スループット値を検証 (2x4 MIMO)
TS38. 521-4	5. 5. 1	4Rx および特定の SNR 条件下で、PDCCH の復調性能を検証 (1Tx)
TS38. 521-4	5. 3. 3. 2. 1	4Rx および特定の SNR 条件下で、PDCCH の復調性能を検証 (2Tx)
TS38. 521-4	5. 3. 3. 2. 2	UE が搭載機能によって示される最大データレートに対応する受信パケットを持続的に正しく処理することを確認

3GPP 規格	テストケース	試験内容
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 1. 1	4Rx および AWGN 条件下で、CQI Reporting の特性を確認
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 2. 1	4Rx および Fading 条件下で、CQI Reporting の特性を確認
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 2. 2	4Rx および Fading 条件下で、CQI レポート、スループットおよび BLER を確認
TS38. 521-4	6. 3. 3. 2. 1	4Rx 条件下で Precoding Matrix Indicator (PMI) のレポート精度を確認 (4Tx)
TS38. 521-4	6. 3. 3. 2. 2	4Rx 条件下で Precoding Matrix Indicator (PMI) のレポート精度を確認 (8Tx)
TS38. 521-4	6. 4. 3. 2_1	報告された Rank Indicator の精度を確認
TS38. 533	6. 1. 1. 1	Cell 間の Cell re-selection の動作を確認
TS38. 533	6. 3. 1. 1	既知の Cell への Handover 動作を確認
TS38. 533	6. 3. 1. 2	既知ではない Cell への Handover 動作を確認

3GPP 規格	テストケース	試験内容
TS38. 533	6. 3. 2. 2. 1	contention base での RACH 動作を確認
TS38. 533	6. 3. 2. 2. 2	non-contention base での RACH 動作を確認
TS38. 533	6. 4. 1. 1	送信タイミングの精度を確認
TS38. 533	6. 4. 3. 1	タイミング調整の精度を確認
TS38. 533	6. 5. 1. 1	SSB-based での Out-of-sync 動作を確認 (non-DRX)
TS38. 533	6. 5. 1. 2	SSB-based での in-sync 動作を確認 (non-DRX)
TS38. 533	6. 5. 1. 3	SSB-based での Out-of-sync 動作を確認 (DRX)
TS38. 533	6. 5. 1. 4	SSB-based での in-sync 動作を確認 (DRX)
TS38. 533	6. 6. 1. 1	基地局への Measurement report (Event)動作 の確認 (Intra-Frequency, non-DRX)

3GPP 規格	テストケース	試験内容
TS38. 533	6. 6. 1. 2	基地局への Measurement report (Event)動作の確認 (Inter-Frequency, DRX)
TS38. 533	6. 6. 2. 1	基地局への Measurement report (Event)動作の確認 (Inter-Frequency, non-DRX)
TS38. 533	6. 6. 2. 2	基地局への Measurement report (Event)動作の確認 (Inter-Frequency, DRX)
TS38. 533	6. 6. 2. 5	SSB タイムインデックス検出による基地局への Measurement report (Event)動作の確認 (Inter-Frequency, non-DRX)
TS38. 533	6. 6. 2. 6	SSB タイムインデックス検出による基地局への Measurement report (Event)動作の確認 (Inter-Frequency, DRX)
TS38. 533	6. 7. 1. 1. 1	Intra-Frequency での SS-RSRP 測定の確認(絶対値)
TS38. 533	6. 7. 1. 1. 2	Intra-Frequency での SS-RSRP 測定の確認(相対値)
TS38. 533	6. 7. 1. 2. 1	Inter-Frequency での SS-RSRP 測定の確認(絶対値)
TS38. 533	6. 7. 1. 2. 2	Inter-Frequency での SS-RSRP 測定の確認(相対値)

3GPP 規格	テストケース	試験内容
TS38. 533	6. 7. 2. 1	Intra-Frequency での SS-RSRQ 測定の確認(絶対値)
TS38. 533	6. 7. 2. 2. 1	Inter-Frequency での SS-RSRQ 測定の確認(絶対値)
TS38. 533	6. 7. 2. 2. 2	Inter-Frequency での SS-RSRQ 測定の確認(相対値)
TS38. 533	6. 7. 3. 1	Intra-Frequency での SS-SINR 測定の確認
TS38. 533	6. 7. 4. 1. 1	SSB-based での L1-RSRP 測定の確認 (絶対値)
TS38. 533	6. 7. 4. 1. 2	SSB-based での L1-RSRP 測定の確認 (相対値)
TS38. 533	6. 7. 4. 2. 1	CSI-based での L1-RSRP 測定の確認 (絶対値)
TS38. 533	6. 7. 4. 2. 2	CSI-based での L1-RSRP 測定の確認 (相対値)

② 無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較

無線伝送試験は前述したシャープ幕張事業所内に設置されたローカル 5G 実験試験局エリアで実施した。本実証で試作したローカル 5G 端末をログ取得 PC に USB で接続し、ログ取得 PC から iperf を実行することでアップリンクおよびダウンリンクのスループットの評価を実施した。なお、サーバー PC は図 4-35 に示すようにローカル 5G システムに直接接続し、インターネットに出ないクローズドな環境で測定を実施した。TDD パターンは図 4-16 に示す準同期 TDD3 で実施した。

測定方法としては、ローカル 5G 端末を地上から所定の高さに設置し、RRU に対して正対させた形で測定実施した。測定時間は各地点で 1 分間とし、ローカル 5G 測定端末を 10 波長程度左右に動かしながら測定を実施した。測定ポイントとしては、図 4-36 に示す 28 ポイントで実施した。並行して同ポイントで、受信電力(SS-RSRP)、伝送遅延の評価も実施した。測定手順を以下に示す。

- i. 測定するローカル 5G 端末とログ取得 PC と USB ケーブルで接続し、ログを取得可能な状態にする。
- ii. 基地局と端末システムとの接続が完了後、ログ取得 PC から iperf を実行し、アップリンクのデータ通信を開始する。同時に、測定する端末システムを左右に 10 波長程度動かし続ける。
- iii. 測定する端末システムのログを取得開始し、1 分間の測定を実施する。
- iv. ログの取得を停止し、iperf を停止する。
- v. ダウンリンクスループット、伝送遅延についても同様に測定を実施する。



図 4-35 無線伝送試験系

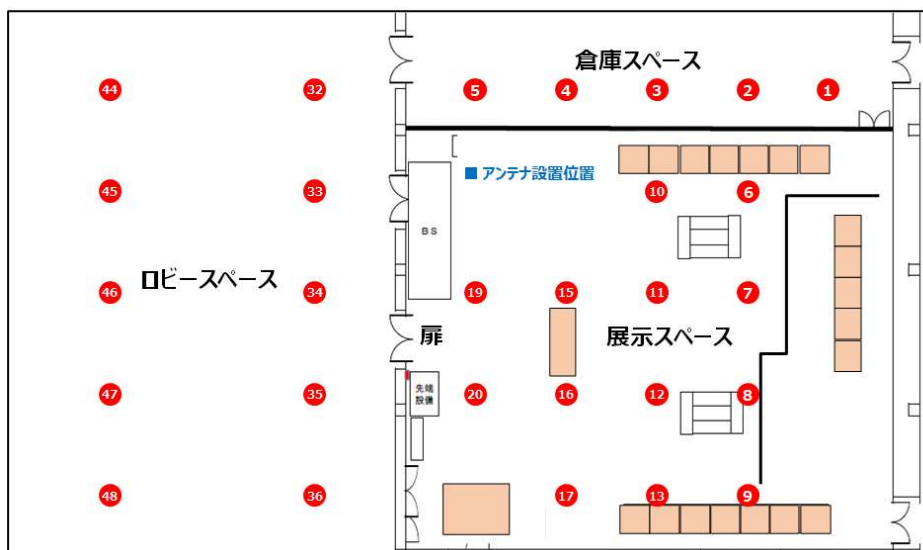


図 4-36 無線伝送試験測定ポイント

また、各測定ポイントでの受信電力について、事前に電波伝搬シミュレータを用いたシミュレーションを実施した。シミュレータはRanplan Wireless社の電波伝搬シミュレータ Ranplan Professionalを使用した。

Ranplan Professionalは以下のような特徴がある。

- 屋内外双方向に対応した無線伝搬予測やキャパシティシミュレーション
- 使い勝手のよい3Dモデリング機能
- 7000以上がプレ登録されている無線機データベース
- 最適化されたアルゴリズムによる高計算速度

シミュレーションの結果と各測定ポイントでの測定値を比較することで、試作したローカル5G端末の性能を評価した。

図 4-37に示すようなシャープ幕張事業所に設置するローカル5G実験試験局エリアを模したモデルを作成し、レイトレース法を適応することでシミュレーションを実施した。

エリアは、天井高約4m、縦約18m、横約23mの展示スペースに加え、縦約5m、横約23mの倉庫スペース、さらに天井高10m、縦23m、横19.5mのロビースペースから構成される。

ローカル5G基地局装置のアンテナ装置を図 4-36に示した位置に設置した。

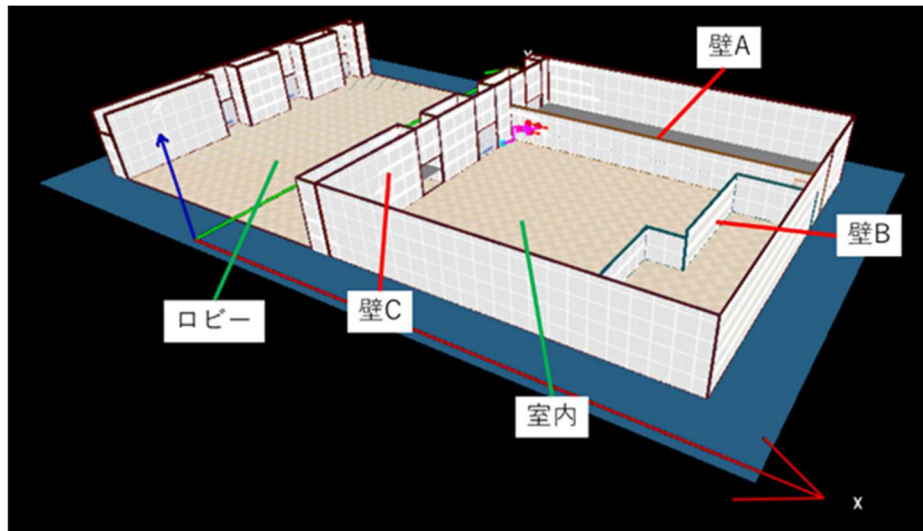


図 4-37 シャープ幕張事業所のシミュレーションモデル

電波伝シミュレーションにおけるパラメータを表 4-36 に示す。

表 4-36 シミュレーションパラメータ

パラメータ	値
送信電力 [dBm]	24
最大アンテナ利得 [dBi]	5
アンテナ高 [m]	2.0
測定地点高 [m]	1.5
透過回数 [回]	5
反射回数 [回]	5
回折回数 [回]	2

また、部屋に存在するそれぞれの壁のパラメータを表 4-37 に示す。壁 A、壁 B、壁 C はそれぞれモルタル、金属と樹脂、金属とコンクリートで形成される壁であり、壁 A および壁 B は壁の上と天井の間が空間であることから表 4-37 にあるようなパラメータに設定した。

表 4-37 シミュレーションモデルにおける壁のパラメータ

パラメータ	壁 A	壁 B	壁 C
透過 [dB]	12.21	3.53	27.4
反射 [dB]	13.65	7.53	7.5
回折 [dB]	47	44	44
高さ [m]	2.5	2.0	4.5

③ 令和 3 年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較

本実証で試作した端末システムは、4.1.1 に示したように設置の制限により電波伝搬環境の悪いところに設置せざるを得ない課題に対して、より設置の自由度を上げることができる端末システムを実現することを目指している。

本検証では、4.1.1 に一例として示した防水ハウジングケースに他の機器と一緒に入れた場合の電波伝搬特性と、ハウジングケースの外に設置した場合との改善量を評価すべく、以下のような評価を行った。また、令和 3 年度で課題となった環境を再現するため防水ハウジングケースに設置用ポールを想定した短い金属ポールを固定し検証を実施した。測定ポイントとしては、図 4-36 に示すポイントからポイント 17 とポイント 34 を選定して実施した。ポイントの選定は、上述した②の検証で測定した SS-RSRP の結果から、十分受信電力が高いポイントと低いポイントを選定している。

評価は図 4-38 に示したような典型的な屋外設置に使用する防水ハウジングケースを使用した。ケースに本実証で試作したローカル 5G 端末と小型 PC を入れた場合と、端末のみ外に出した状態とで比較した。この際、取り付け単管パイプを想定した金属ポールに設置し、ローカル 5G 基地局のアンテナと、端末との間に金属ポールが入るように配置した。本検証は、反射波が多く存在すると想定される屋内環境で実施したため、反射波を遮蔽するようにハウジングケースの左右と後方に電波吸収体を設置し前方からの電波の影響を評価できるような環境で検証を行った。



図 4-38 ハウジングケースの一例

日東工業株式会社 [OPK-A] キー付耐候プラボックス(屋根付)

<https://ntec.nito.co.jp/content/ppreview.html?proid=6383>

本検証では、アップリンクおよびダウンリンクのデータ伝送試験を行った。令和3年度の課題となった実証では超高精細映像のアップリンク映像伝送を行った実証であるため、本検証でも超高精細映像伝送を想定したデータ通信環境で検証を実施した。

④ 実験試験局エリアでの連続送受信評価

本実証で試作した端末システムは、4.1.1に示したように超高精細映像伝送のようなアップリンクの高速データ通信に対応するように仕様を策定している。

本検証では、アップリンクおよびダウンリンクの連続データ通信に対する安定性の評価を行った。安定性の評価は、②と同じシャープ幕張事業所に設置された実験試験局エリアにて実施した。試作した端末システムに接続したPCから所定のデータ通信速度となるようにデータ伝送を行い、長時間の連続動作が行えるかどうかの評価を実施した。評価指標には、連続データ通信時間の他、端末の表面温度の評価を行った。なお、シャープ幕張事業所の実験試験局エリアは屋内の環境になっており、事業所内の空調システムにより温度管理されているため、評価は室温での実施となっている。

本検証でも③と同様に、令和3年度の課題となった実証を想定し超高精細映像伝送を想定したデータ通信環境で検証を実施した。

また、実装計画の確実性を高めるためユーザからのヒアリングを実施した。シャープではこれまでスマートフォンタイプやモバイルルータータイプのローカル5G端末だけでなく、ローカル5G基地局装置の開発を行ってきており、様々なユーザと情報交換や接続検証を実施してきた。これらで得られたユーザからの情報を考察し実装計画の検証を行った。

3) 検証結果及び考察

以下に 2) で示した評価・検証項目の①から④についてそれぞれ検証結果及び考察を示す。

① 3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を確認するため、GCF 認証を取得した試験システムによるコンFORMANCE試験の実施

アンリツ製の New Radio RF コンFORMANCE試験システム ME7873NR にて実施するコンFORMANCE試験の各結果を表 4-38 に示す。表 4-38 は、本試験で実施した各コンFORMANCE試験が記載された 3GPP 仕様、テストケース、および試験結果を示している。3GPP 仕様には 2 系統の受信系(2Rx)を持つ端末と、4 系統の受信系(4Rx)を持つ端末とを対象とした仕様があるが、本実証で試作した端末システムは 4Rx 対応であるため、4Rx を対象とした試験を実施する。4Rx を対象とした試験内容は、基本的な部分は 2Rx と同様の内容となっており、4Rx を対象とした試験に合格することで 2Rx でも問題なく動作すると考える。

試験は、ローカル 5G で使用される n79 の SA 方式の試験を実施した。不合格の項目が発生した場合には端末ログの解析、不具合の修正を行い、不合格の項目がなくなるまで試験を繰り返し実施し全ての項目で合格することを確認した。

TS38. 521-4 は、5G NR の Performance 試験であり、主にスループットや CQI Reporting 等の特性についての評価結果となる。TS38. 533 は、5G NR の RRM(Radio Resource Management)試験であり、ハンドオーバー等のモビリティ試験や隣接セルの受信レベル測定試験等の複数セルが存在する環境下での試験となっている。

表 4-38 コンFORMANCE試験の結果

3GPP 規格	テストケース	試験結果
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_1	合格
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_2	合格
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 1_4	合格
TS38. 521-4	5. 2. 3. 2. 2_1	合格
TS38. 521-4	5. 5. 1	合格
TS38. 521-4	5. 3. 3. 2. 1	合格
TS38. 521-4	5. 3. 3. 2. 2	合格
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 1. 1	合格

3GPP 規格	テストケース	試験結果
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 2. 1	合格
TS38. 521-4	6. 2. 3. 2. 2. 2	合格
TS38. 521-4	6. 3. 3. 2. 1	合格
TS38. 521-4	6. 3. 3. 2. 2	合格
TS38. 521-4	6. 4. 3. 2_1	合格
TS38. 533	6. 1. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 3. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 3. 1. 2	合格
TS38. 533	6. 3. 2. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 3. 2. 2. 2	合格
TS38. 533	6. 4. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 4. 3. 1	合格
TS38. 533	6. 5. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 5. 1. 2	合格
TS38. 533	6. 5. 1. 3	合格
TS38. 533	6. 5. 1. 4	合格
TS38. 533	6. 6. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 6. 1. 2	合格
TS38. 533	6. 6. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 6. 2. 2	合格
TS38. 533	6. 6. 2. 5	合格
TS38. 533	6. 6. 2. 6	合格

3GPP 規格	テストケース	試験結果
TS38. 533	6. 7. 1. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 1. 1. 2	合格
TS38. 533	6. 7. 1. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 1. 2. 2	合格
TS38. 533	6. 7. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 2. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 2. 2. 2	合格
TS38. 533	6. 7. 3. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 4. 1. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 4. 1. 2	合格
TS38. 533	6. 7. 4. 2. 1	合格
TS38. 533	6. 7. 4. 2. 2	合格

② 無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較

シャープ幕張事業所内に設置されたローカル 5G 実験試験局エリアで実施した無線伝送試験の結果を以下に示す。無線伝送試験は図 4-36 に示したポイントで実施し、それぞれのポイントでアップリンク伝送スループット、ダウンリンク伝送スループット、伝送遅延、受信電力の評価を行った。いずれの評価項目も 1 分間の測定を行っている。

これらのポイントの時間変動値を解析し一定時間のアップリンクスループット、ダウンリンクスループット、受信電力、往復遅延のそれぞれの最小値、最大値、平均値、中央値をまとめた表を表 4-39、表 4-40、表 4-41、表 4-42 に示す。また、各ポイントでの時間変動を示すグラフは巻末の参考資料 3 に示す。

以下に各ポイントで測定した伝送性能と受信電力の測定結果を考察する。

図 4-46 にヒートマップでも示した通り、展示スペース内の測定ポイント(⑥~⑬、⑮~⑰、⑲、⑳)では SS-RSRP でおおよそ-82dBm 以上のエリアとなっており、展示スペース内の各ポイントでアップリンクスループットが 270Mbps 以上を達成していることがわかる。ダウンリンクスループットも同様に展示スペース内でダウンリンクスループットが平均 360Mbps 程度を達成できている。展示スペース内は全てのポイントで見通し環境となっており、SS-RSRP が十分高い環境では本実証で試作した端末システムで非常に良好な通信ができていることが確認できた。

ポイント①から⑤は倉庫スペースの測定ポイントであるが、このスペースはアンテナ装置が設置された展示スペースと高さ 2m 程度の壁で仕切られている。壁の上部は空いており天井と壁の間は何もない空間になっている。測定ポイント①から⑤は見通し外の環境となっており、SS-RSRP も展示スペース内と比較して 5dB 程度低くなっている。本実証で試作した端末システムの倉庫スペースでの伝送性能は展示スペース内と遜色ない性能となっており、反射等によって見通し外の環境でも伝搬環境の良い環境であれば問題ないことが確認できた。

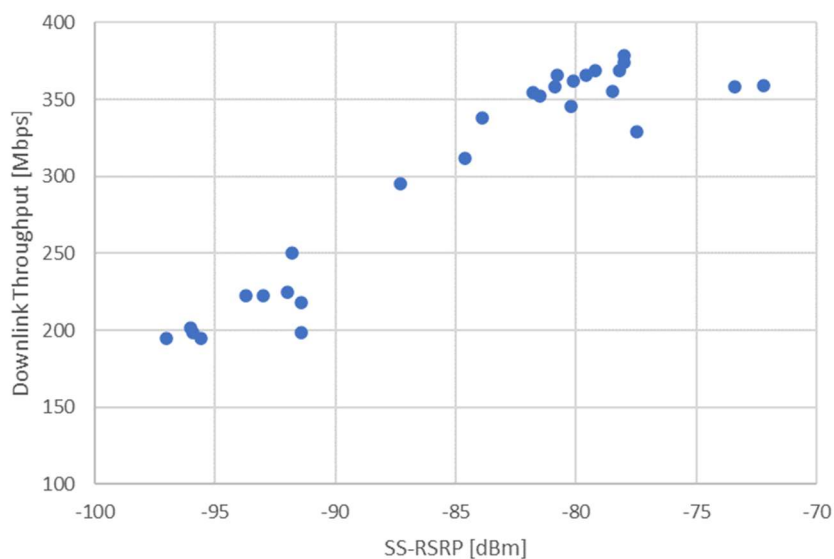


図 4-39 SS-RSRP とダウンリンクスループットの相関関係

図 4-39 にシャープ幕張事業所で実施した伝搬特性評価結果として、全ポイントの SS-RSRP とダウンリンクスループットの相関関係を示した。最も SS-RSRP が低い-97dBm から-80dBm 程度まではダウンリンクスループットと SS-RSRP が比例関係になっており、受信電力が上がる、すなわち伝搬損が少なくなるにつれてスループットが上がるのがわかる。-80dBm 付近からは本実証で使用したローカル 5G システムの最大付近の 360Mbps になり、非常に良好な性能がでていることがわかる。本実証で試作した端末システムの受信性能として問題ないことが確認できた。

図 4-40 に同じく全ポイントの SS-RSRP とアップリンクスループットの相関関係を示した。最も SS-RSRP が低い-97dBm から-93dBm 付近にかけてアップリンクスループットが急速に上限まで改善し、それ以上の SS-RSRP では一定となっている。これは基地局から端末システムに要求している送信電力に依存すると考えられ、SS-RSRP が-93dBm 以上で基地局でのアップリンクの受信電力が十分な電力になっていると想定される。本検証ではこのような結果となったが、端末からのアップリンク送信電力をどう設定するかは基地局の運用や、セル全体の通信速度、エリアの広さにも関係するパラメータとなることに留意する必要がある。

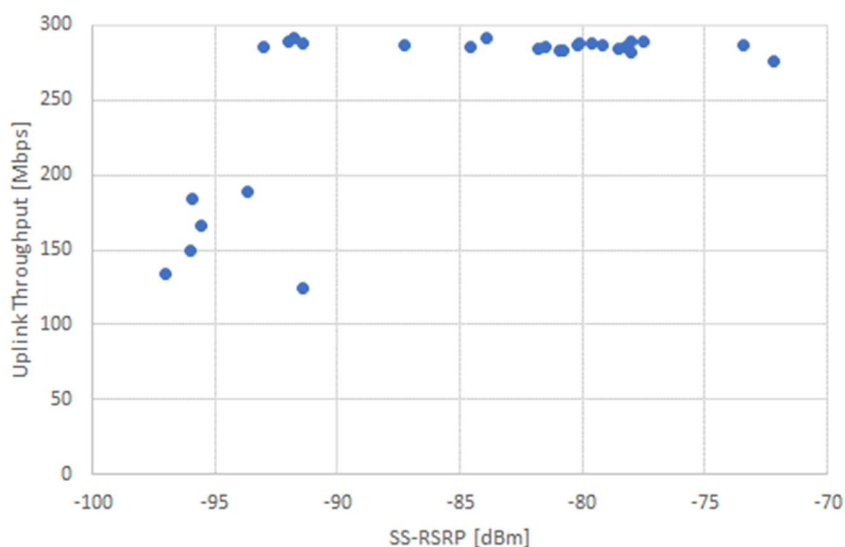


図 4-40 SS-RSRP とアップリンクスループットの相関関係

ポイント 32 から 36、44 から 48 は展示ルームの外のロビースペースとなっており、展示スペースとは鉄製の扉と壁で仕切られている。展示スペースとロビースペースの受信電力を比較すると約 20dB 程度の差が見られ展示スペースとロビースペースの間の壁で約 20dB 程度の挿入損失があることが推測できる。ロビースペースの SS-RSRP は-91dBm から-97dBm となり、SS-RSRP の高い展示スペースと比較すると、伝送性能を示すアップリンク/ダウンリンクのスループットもそれと連動して相対的に低くなっている。ただし、アップリンクスループットに関しては図 4-40 に示した通り比較的低い SS-RSRP でも最大スループットが出るような基地局設定となっていることからロビースペースでも通信速度が速いポイントが観測された。

3.3 で実施予定であった伝送性能試験と同様に目標とした伝搬損 74dB 以下となっているポイント、すなわち受信電力(SS-RSRP)で-85dBm 以上のエリアを見ると、-85dBm 以上となっているのは展示エリアと倉庫エリアであることがわかる。このエリアではアップリンク速度(中央値)が無線環境での上限に近い 280Mbps 以上を達成できており、目標である 80Mbps を達成できた。

以下に本検証において各ポイントで測定したアップリンクスループットおよびダウンリンクスループットをヒートマップとして示す。各ポイントの値は測定結果の中央値を示しており、単位は Mbps である。

134		124	286	284	291	286	287
			倉庫スペース				
166		289			281	287	
149		189	286	276	288	286	
	ロビースペース		展示スペース				
184		285	289	284	287	283	
288		291		286	283	285	

図 4-41 実測したアップリンクスループット(中央値)のヒートマップ [Mbps]



図 4-42 実測したダウンリンクスループット(中央値)のヒートマップ [Mbps]

前述したように展示スペース、および倉庫スペースでは良好な受信環境、すなわち伝搬損が少ないことからアップリンク、ダウンリンク共に良好なスループット特性が得られていることがわかる。

以下に、各測定ポイントでのアップリンクスループット、ダウンリンクスループット、受信電力(SS-RSRP)、往復遅延の詳細データまとめをそれぞれ表 4-39、表 4-40、表 4-41、表 4-42 に示す。

表 4-39 各測定ポイントでのアップリンクスループット測定結果

ポイント	アップリンクスループット [Mbps]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	270.0	297.4	286.7	286.6
2	249.6	298.0	284.1	285.6
3	272.4	307.6	290.0	291.4
4	254.0	299.1	282.5	283.6
5	257.0	296.9	284.6	285.7
6	260.0	297.8	286.9	287.2
7	210.1	298.8	283.2	286.2
8	246.6	295.6	279.4	283.1
9	259.2	297.1	283.0	284.9
10	251.8	298.7	278.0	281.1
11	256.8	299.3	286.3	288.4
12	254.6	299.6	286.3	287.1
13	254.2	296.6	282.3	283.4
14	227.7	291.7	275.1	276.3
15	242.7	299.4	283.1	283.5
16	248.5	298.9	284.7	286.2
17	263.0	311.0	286.3	286.0
18	261.1	318.8	287.9	288.6
19	111.8	136.1	124.2	123.8
20	273.6	296.9	287.2	288.6
21	97.9	287.9	187.8	189.2
22	257.9	293.7	284.6	284.9
23	270.8	298.0	288.6	290.9
24	104.9	152.5	131.3	134.0
25	84.7	248.1	164.7	165.8

表 4-40 各ポイントでのダウンリンクスループット測定結果

ポイント	ダウンリンクスループット [Mbps]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	113.6	306.9	292.9	295.4
2	294.0	329.4	311.9	311.5
3	325.5	360.3	338.8	338.3
4	333.0	372.1	354.6	354.8
5	329.9	391.8	369.0	369.0
6	330.6	382.8	361.5	361.8
7	332.7	401.6	366.9	368.9
8	346.0	388.9	366.1	365.8
9	319.5	381.0	353.1	352.0
10	265.7	399.2	375.7	378.8
11	352.8	395.4	373.8	374.3
12	300.8	383.3	364.1	365.6
13	334.4	380.8	358.3	358.0
15	326.8	392.7	360.4	358.9
16	331.0	384.2	355.6	355.1
17	258.2	365.8	344.6	345.6
19	339.6	382.6	359.1	358.1
20	311.7	341.6	329.4	329.0
32	205.8	236.5	218.3	218.2
33	207.1	234.3	223.5	224.9
34	208.8	231.4	222.0	222.7
35	208.8	231.4	222.0	222.7
36	237.0	258.8	249.6	250.0
44	172.7	215.9	194.8	195.1
45	188.7	206.4	194.9	194.5
46	179.6	224.0	201.5	201.4
47	188.7	207.9	198.7	198.8
48	188.7	207.9	198.7	198.8

表 4-41 各ポイントでの受信電力

ポイント	受信電力(SS-RSRP) [dBm/100MHz]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	-90.2	-80.0	-87.0	-87.3
2	-91.4	-82.2	-84.8	-84.6
3	-90.8	-78.0	-83.7	-83.9
4	-90.0	-79.5	-82.2	-81.8
5	-80.8	-75.5	-78.2	-78.2
6	-82.9	-73.4	-79.6	-80.1
7	-83.6	-72.3	-78.9	-79.2
8	-83.9	-76.9	-80.6	-80.8
9	-84.8	-73.4	-81.2	-81.5
10	-80.9	-69.8	-77.3	-78.0
11	-80.9	-69.8	-77.3	-78.0
12	-81.7	-69.6	-79.0	-79.6
13	-85.1	-74.2	-80.7	-80.9
15	-78.5	-67.0	-71.9	-72.2
16	-81.6	-74.4	-78.4	-78.5
17	-82.9	-76.6	-80.0	-80.2
19	-77.7	-66.5	-73.2	-73.4
20	-80.4	-68.2	-76.7	-77.5
32	-94.9	-85.0	-91.2	-91.4
33	-95.7	-86.5	-92.0	-92.0
34	-95.8	-89.1	-93.3	-93.7
35	-96.6	-90.3	-93.2	-93.0
36	-99.4	-84.6	-91.8	-91.8
44	-99.3	-91.3	-96.8	-97.0
45	-97.8	-91.5	-95.6	-95.6
46	-97.9	-89.7	-95.9	-96.0
47	-98.3	-87.6	-95.5	-95.9
48	-94.6	-88.9	-91.5	-91.4

表 4-42 各ポイントでの往復遅延時間

ポイント	往復遅延時間 [ms]			
	最小値	最大値	平均値	中央値
1	21.0	72.0	48.4	48.0
2	19.0	71.0	46.5	46.0
3	22.0	71.0	46.8	46.5
4	27.0	78.0	52.9	53.5
5	24.0	75.0	48.6	48.0
6	28.0	75.0	50.6	50.5
7	22.0	74.0	46.4	46.0
8	26.0	75.0	52.1	50.0
9	28.0	75.0	49.0	48.0
10	25.0	74.0	47.8	47.0
11	23.0	70.0	43.2	41.0
12	22.0	75.0	47.8	46.5
13	21.0	71.0	44.1	42.5
15	23.0	74.0	47.0	47.0
16	25.0	72.0	45.8	45.5
17	24.0	72.0	46.1	45.0
19	23.0	74.0	46.5	45.0
20	22.0	71.0	43.8	42.5
32	29.0	76.0	52.2	51.0
33	26.0	78.0	49.4	50.0
34	26.0	77.0	50.7	50.0
35	26.0	77.0	51.6	54.0
36	24.0	74.0	49.6	49.0
44	28.0	77.0	50.5	50.0
45	25.0	77.0	49.8	50.0
46	27.0	76.0	53.5	55.0
47	26.0	73.0	49.3	50.0
48	23.0	75.0	46.7	44.5

以下にアンリツ MT1000A による遅延の測定結果を示す。

測定は、図 3-11 に示した測定系で実施した。測定はダウンリンク方向の測定と、アップリンク方向の測定をそれぞれ実施した。ダウンリンク遅延評価結果を表 4-43、アップリンク遅延評価結果を表 4-44 に示す。測定ポイントは図 4-36 に示したポイントから、LOS 環境である展示スペース内のポイントとして⑥と⑰を選定し、NLOS 環境であるロビースペース内のポイントとして 33 と 48 を選定した。

ダウンリンク遅延評価結果では、平均約 13m 秒の結果となり、測定ポイントの位置、すなわち受信レベルに依存しないことが確認できた。

表 4-43 ダウンリンク遅延評価結果

ポイント	ダウンリンク遅延時間 [msec]		
	最小値	最大値	平均値
6	6.7	27.9	12.6
17	6.6	32.8	12.8
33	7.5	25.5	13.0
48	7.5	87.5	13.6

アップリンク遅延評価結果では、平均約 43m 秒の結果となり、ダウンリンクと同様に受信レベルに依存しないことが確認できた。

表 4-44 アップリンク遅延評価結果

ポイント	アップリンク遅延時間 [msec]		
	最小値	最大値	平均値
6	2.0	462.3	50.0
17	3.1	507.9	43.1
33	2.0	392.3	49.6
48	2.0	386.4	42.6

ダウンリンク遅延と比較してアップリンク遅延の時間が長いのは、アップリンク送信では端末からデータを送信する際に、端末からデータ送信に必要なデータ送信タイミング等の割り当て要求を送り、基地局からデータを送信するタイミング等のスケジューリングが行われ、そのタイミングに合わせて端末がデータ送るため時間がかかっていると考えられる。

ただし、この制御部分は基地局の性能に依存する部分が多く、端末としては基地局の制御に従ってデータ送信を行うため、本検証の結果が端末システムの性能が悪いということを示してはいないことに注意が必要である。

表 4-45 往復遅延評価結果

ポイント	平均往復遅延時間 [msec]
6	62.5
17	55.8
33	62.6
48	42.6

表 4-45 に前述したダウンリンク遅延評価結果とアップリンク遅延評価結果の平均値を合計した平均往復遅延時間を示した。

測定場所による依存性はなく、平均 56msec になった。表 4-42 に示した ping で測定した往復遅延時間と同程度の時間となり、2 種類の測定方法で実施した往復遅延時間の評価結果に問題ないことが確認できた。

遅延時間評価結果から、本実証で試作した端末システムとしても問題ないことが確認できた。

次に、シャープ幕張事業所に設置した実験試験局エリアの電波伝搬シミュレーションの結果を図 4-43 に示す。シミュレーション結果はシミュレーションにより得られた SS-RSRP のエリア分布を平面図として示している。SS-RSRP は 1 リソースエレメント当たりの SSS (Secondary Synchronization Signal) の受信電力を示している。SSS は一定の周期で送信されておりデータ通信量に依存しないため、基地局からの電波の受信レベルを評価するパラメータとして SS-RSRP を使用した。

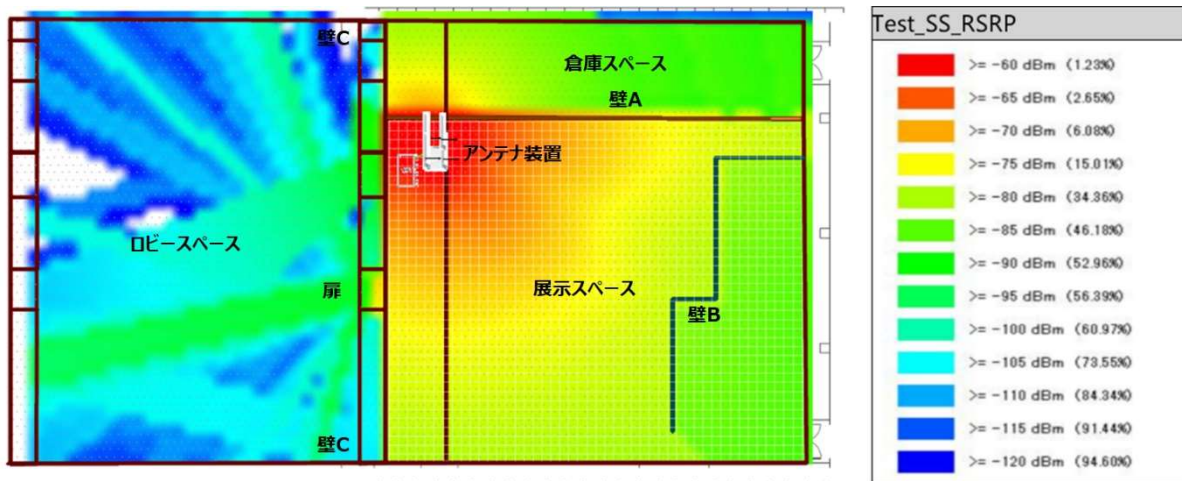


図 4-43 SS-RSRP のシミュレーション結果

シミュレーション結果から障害物のない展示スペースでは良好な受信環境となっていることがわかる。また、倉庫スペースにおいても壁の材質が電波を遮蔽しにくく、壁の高さが天井まで達していないため、電波が天井に反射して倉庫スペースに到達することから電界強度がそれほど落ちていないと想定される。

一方で、ロビースペースはコンクリートおよび鉄の扉に遮られていることから近距離においてもかなりの伝搬損があることがわかる。ただし、中央の扉が解放されているため、その部分から電波がロビースペースに向かって放射されており、ロビースペースにおいても扉付近では電界強度が高いことがわかる。

シミュレーションによるエリア全体の SS-RSRP の分布図率を図 4-44 に示す。エリア全体では、ロビースペースの最も電界強度が低い地点では-120dBm 以下となっており、端末と基地局とが接続しにくいレベルまで伝搬強度が下がることが想定される。

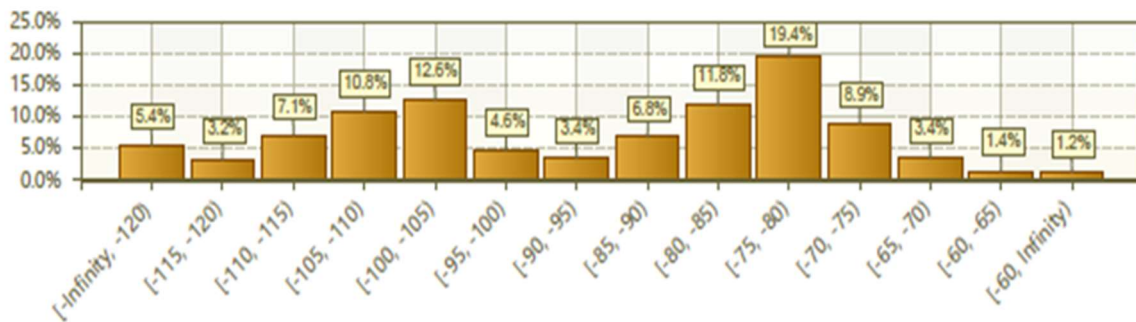


図 4-44 エリア全体の SS-RSRP 分布

一方で、展示スペースではほとんどのエリアにおいて-90dBm 以上となっており、展示スペース内では非常に良好な伝搬特性が得られることがわかる。

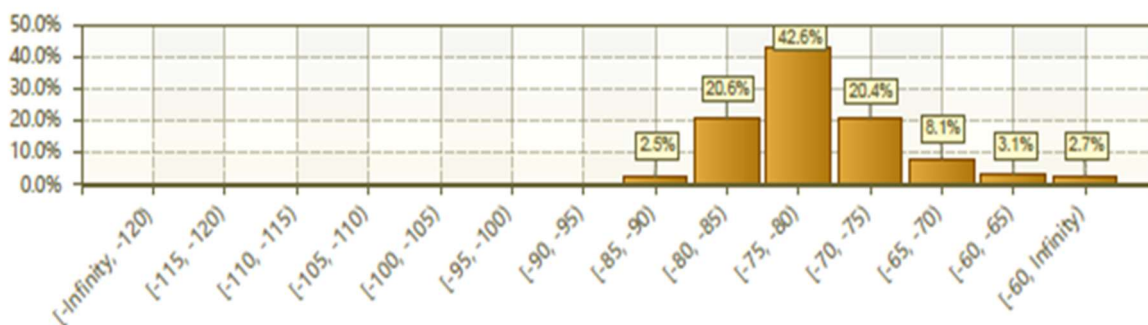


図 4-45 展示スペースの SS-RSRP 分布

次に、前述したシャープ幕張事業所内に設置されたローカル 5G 実験試験局エリア内で実際に試作した端末システムを使用して測定した SS-RSRP の中央値をフロア図の測定ポイントにプロットしたフロアのヒートマップを図 4-46 に示す。

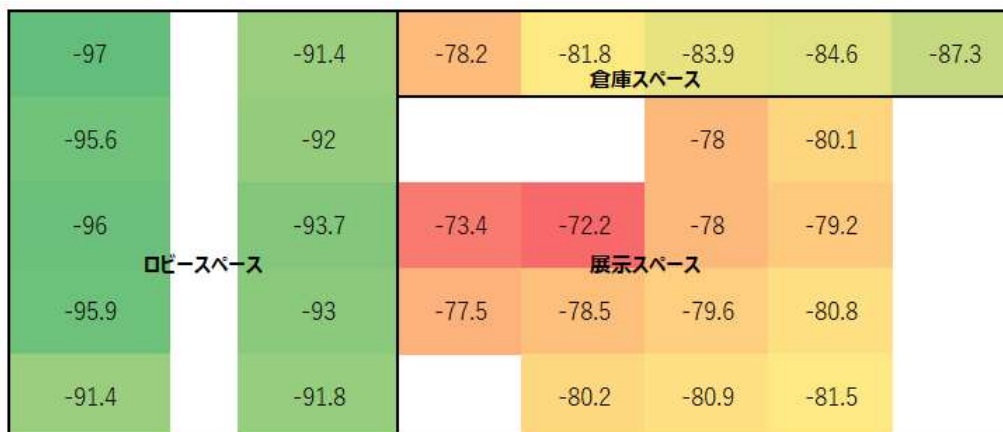


図 4-46 実測した SS-RSRP(中央値)のヒートマップ

図 4-43 に示したシミュレーション結果と比較すると、展示スペースおよび倉庫スペースは近い値が得られており、本実証で試作した端末システムが想定通りの実環境特性になっていることがわかる。一方で、ロビースペースに関してはシミュレーション結果より実測値が約 20dBm 程度良い結果になっている。これは、シミュレーションで設定した展示スペースとロビースペースの間の壁の損失値が実際より高かったためと考えられる。シミュレーションでは金属の扉とコンクリートの壁であることから、27.4dB の透過損を設定したが実際には天井裏等にコンクリートでない部分がありそこから電波が到来している可能性が高い。シミュレーションの精度を高める上では壁の透過損の精緻化が必要ではあるが、本実証では試作した端末システムが実環境においても問題ない特性であることを確認することが目的であるため精緻化は対象外とする。

以上のような結果から、本実証で試作した端末システムの実際の無線環境での性能評価に加え、シミュレーションによる理論的な値を比較することにより端末システムが有線接続評価で検証された性能だけでなく、実際の環境でも問題ない性能であることを確認できた。

③ 令和3年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較

図 4-36 に示した測定ポイントから 2 点のポイントを選定して評価を実施した。測定は図 4-47 に示すように端末システムを実際の使用状態を想定した他の機器(本検証では小型 PC と電源ケーブル)と共にハウジングケース内に設置した場合と、比較対象として端末システムをハウジングケースの外に設置した場合との比較を行った。

(※4 写真では過年度実証の使用をイメージして小型 PC に USB ドングルが接続されているが、実際の測定には別途用意した制御 PC を使用している。)



図 4-47 ハウジングケース内に端末システムを設置した状態 ※4

端末システムをハウジングケース内に設置後、図 4-48 のように各ポイントに設置し評価を実施した。ハウジングケース背面側には単管パイプを想定した金属パイプを取り付けハウジングケース内部に設置した端末システムとローカル 5G システムのアンテナ装置との間にパイプが来るように配置した。これによりパイプがアンテナ装置からの直達波を遮るような位置関係になっている。また、ハウジングケースの側面および背面側に電波吸収体を設置し、反射波によって側面および背面から到来する電波を減衰させ、直達波の影響が評価できるような環境で実施した。

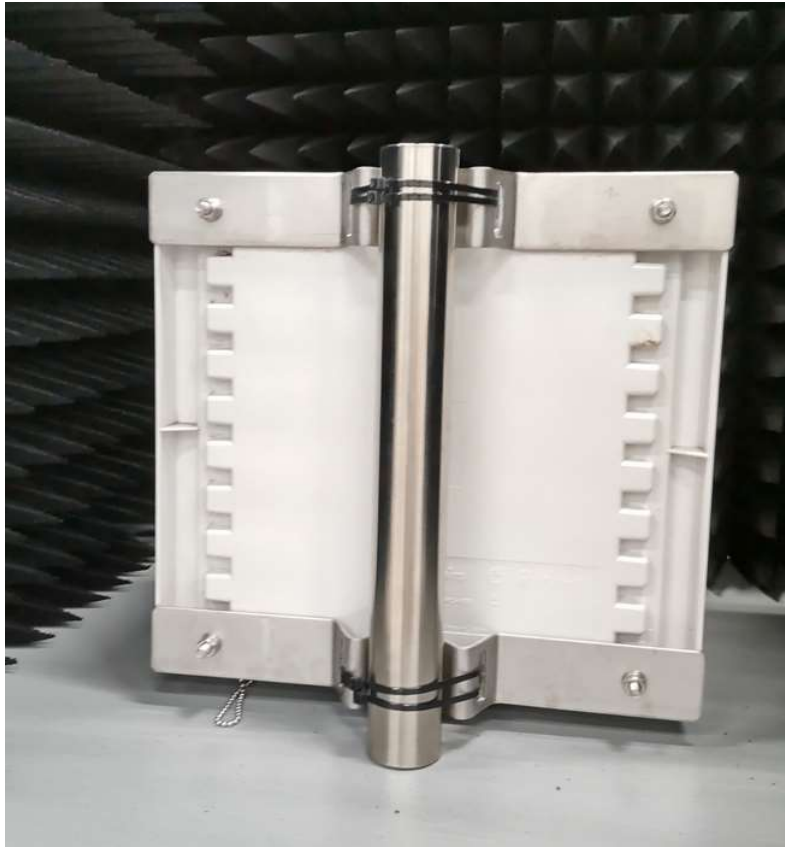


図 4-48 ハウジングケース背面側

屋外の建設現場や工事現場では電波を反射する建物や地形がない場合があり、過年度の実証でも直達波のみが受信できるような環境において、図 4-47 に模したような設置状況により受信環境が悪くなってしまったという背景を考慮した検証を行った。

ハウジングケースの外に設置する場合には図 4-49 に示したように端末と基地局アンテナ間に障害物となる物がないように設置した。



図 4-49 ハウジングケース外に端末システムを設置した状態

表 4-46 にハウジングケース内に他の機器と一緒に設置し金属パイプの影響がある環境での電波伝搬測定結果と、ハウジングケース外に出して電波伝搬測定を実施した SS-RSRP の測定結果を示す。測定ポイントは受信電力が十分高いポイントとしてポイント 17 を、受信電力が低いポイントとして 34 を選択した。結果は 1 分間の測定の中央値を示しており、ハウジングケース内に設置した場合には、ハウジングケース外に設置した場合より 3.5~5.1dB 低くなっていることがわかる。すなわち本試験環境においてはハウジングケースや金属ポールの影響で 3.5~5.1dB の劣化が起こっていると言える。

表 4-41 の測定結果と本検証でのハウジングケース外での測定結果が少しことなるのは、周囲に電波吸収体を設置したのと、測定を行った実験環境に置かれていた機器やパーティションの状況が異なるためである。

表 4-46 ハウジングケース内外の SS-RSRP 調査結果

測定地点	SS-RSRP [dBm]		差 [dB]
	ハウジングケース外	ハウジングケース内	
17	-80.2	-83.7	3.5
34	-97.7	-102.8	5.1

次に表 4-47 にハウジングケース内に他の機器と一緒に設置し金属パイプの影響がある環境での電波伝搬測定結果と、ハウジングケース外に出して電波伝搬測定を実施したダウンリンクスループットの測定結果を示す。結果は 1 分間の測定の中央値を示しており、ポイント 17 においては、ハウジングケース内に設置した場合には、ハウジングケース外に設置した場合より 38Mbps 低くなっていることがわかる。図 4-39 の SS-RSRP とダウンリンクスループットの関係からわかるように SS-RSRP が -80dBm 付近では、SS-RSRP が下がるとダウンリンクスループットも下がることがわかっており、本検証でも同じ結果となった。また、ポイント 34 についてもハウジングケース内に設置した場合には、ハウジングケース外に設置した場合より 81.5Mbps 低くなっていることがわかり、ハウジングケースに入れることによって図 4-39 で示した最も SS-RSRP が低いポイントよりさらに低い SS-RSRP になることによってダウンリンクスループットが大幅に低下することがわかる。

すなわち、本実証で試作した端末システムを利用することにより、従来のハウジングケースに他の機器と同梱した場合や、金属パイプによって NLOS 環境に置かざるを得ない場合と比較して大きく伝搬環境を改善できることが確認できた。

表 4-47 ハウジングケース内外のダウンリンクスループット調査結果

測定地点	ダウンリンクスループット [Mbps]		差 [dB]
	ハウジングケース外	ハウジングケース内	
17	297	259	38
34	255.5	174	81.5

次に表 4-48 にハウジングケース内に他の機器と一緒に設置し金属パイプの影響がある環境での電波伝搬測定結果と、ハウジングケース外に出して電波伝搬測定を実施したアップリンクスループットの測定結果を示す。結果は1分間の測定の中央値を示しており、ポイント17においては、ハウジングケース内に設置した場合には、ハウジングケース外に設置した場合とほぼ同じスループットになっていることがわかる。図 4-40 の SS-RSRP とアップリンクスループットの関係からわかるように SS-RSRP が-80dBm 付近では、SS-RSRP が下がってもアップリンクスループットは変わらないことがわかっており、本検証でも同じ結果となった。また、ポイント34についてはハウジングケース内に設置した場合には、ハウジングケース外に設置した場合より 48.7Mbps 低くなっていることがわかり、ハウジングケースに入れることによって図 4-40 で示した最も SS-RSRP が低いポイントよりさらに低い SS-RSRP になることによってアップリンクスループットが大幅に低下することがわかる。

ダウンリンクスループット検証結果と同様に、本実証で試作した端末システムを利用することにより、従来のハウジングケースに他の機器と同梱した場合や、金属パイプによって NLOS 環境に置かざるを得ない場合と比較して大きく伝搬環境を改善できることが確認できた。

表 4-48 ハウジングケース内外のアップリンクスループット調査結果

測定地点	アップリンクスループット [Mbps]		差 [dB]
	ハウジングケース外	ハウジングケース内	
17	286	288	-2
34	63	14.3	48.7

上記のような検証結果から令和3年度の課題となっていた設置状況が、本実証で試作した端末システムにより解消されることがわかった。本検証は屋内環境で実施したが、屋外の反射波が少ない環境を再現するため電波吸収体を利用して側面や背面からの電波を遮蔽した。ただし、屋内環境の場合には天井等の反射もあるため、屋外環境と比較するとハウジングケース内とハウジングケース外の差があまり出なかった可能性もある。実際の利用環境にもよるが、屋外の反射が少ない環境での利用では、本実証で試作した端末システムの設置の自由度の高さがより有効になると考えられる。

④ 実験試験局エリアでの連続送受信評価

表 4-49 に連続送信評価結果を示す。設定したターゲットスループット毎に 40 分間のアップリンクデータ送信を行い端末システムの表面温度をまとめた。周辺温度は屋内の環境温度である室温(約 23℃)になっている。端末システムは連続高速データ通信等の影響により温度が上昇すると、安全のため通信を切断するように設計されている。一般的に端末の放熱性能は端末の体積とのトレードオフとなるため、本実証で試作したローカル 5G 端末のような小型端末では放熱性能が課題となり、本実証で試作した端末システムに関しても本検証で確認を行った。

評価は図 4-36 に示した測定ポイントから選定して評価を実施した。

表 4-49 連続送信評価結果(1)

ターゲット アップリンクスループット [Mbps]	連続動作時間 [min]	表面温度[℃]
待機時	40	25
40	40	35
80	40	37
120	40	39
160	40	41
200	40	42
240	40	42
280	40	42

本検証では超高精細映像のデータ伝送を想定し、設定したターゲットスループットでの表面温度の上昇の評価を実施した。測定の結果、アップリンクのデータ通信速度を上げていっても端末温度は最高 42℃程度の上昇にとどまっていることがわかった。4.3.1 の④の検証ではアップリンクに加え、ダウンリンクも同時にデータ通信を行ったことで端末表面温度が 50℃以上まで上昇することを確認できたが、本検証ではアップリンクのみで検証を行い、アップリンクデータ伝送はシステム上の最高速度に近い 280Mbps までであればそれほど大きな温度上昇は起こらないことが確認できた。

次に、長時間連続動作の安定性の確認のためアップリンクデータ通信速度 80Mbps にて連続動作試験を実施した。検証は、上述の試験と同様に実験試験局エリアで行っている。検証の結果、開始時に表面温度 23℃であったものが、16 時間後には 36℃になっていることが確認できた。また、連続動作試験中は安定した動作をしておりおおよそ 80Mbps のデータ通信速度で通信できており、非常に安定した送信動作を連続して行うことができることを確認できた。

表 4-50 連続送信評価結果(2)

時間 [hour]	表面温度[℃]
0	23
16	36

最後にユーザからのヒアリングを行い試作したローカル 5G 端末システムの実装目標に関して検証を行った。シャープではこれまでローカル 5G 対応のスマートフォンとモバイルルータータイプの端末を検証機として提供してきた。また、開発中のローカル 5G 基地局装置を利用して過年度の総務省課題実証や、独自の実証試験を実施してきた。来年度に向けてもいくつか実証試験を行いたいというユーザからの相談があり、それに向けて検討を進めているところである。

現在のローカル 5G の市場は 4.1.4 にも記載した通りまだ本格導入前の段階と言える。市場が拡大するにはローカル 5G 基地局装置の価格が十分に低いとは言えず、一部の大きな企業や、研究機関等が先行して導入を始めた段階になっている。ユーザとのヒアリングを通じて得ている来年度に向けての導入計画に関してもまだ本格導入という段階ではなく、ローカル 5G システムを試験的に導入して性能検証を始めたいというユーザが多い。

来年度に導入を検討しているユーザの利用用途としては、有線通信の代替としての導入や、無線 LAN 設備の機能拡張として導入を検討しているユーザが多いというのが現状である。本実証で試作した端末システムは建設現場や工事現場、工場等をターゲットとしているが、ユーザからのヒアリング状況では、来年度は導入コストや運用コストを考慮するとまだ本格導入を行うユーザは少ないと想定している。

一方、自身で独占でき、所望の場所に設置できるプライベートネットワークであるローカル 5G には非常に関心が集まっており、ユーザからの問い合わせや検証端末の導入相談、接続検証の相談も多くなってきている。全国キャリアの 5G 展開の優先度の低い地方の建設現場や、私有地の建物の中など、今後ローカル 5G システムのコストが下がれば導入したいと考えているユーザも少なくないと想定される。さらには、現在のローカル 5G システムの仕様である 3GPP Release 15 から Release 16 や 17 にアップデートしていくことで、無線 LAN に対する優位性として通信速度のみであった Release 15 から、産業用途への適用が期待される多数同時接続や超低遅延といった特長のある Release 16/17 になる時期に向け導入ユーザが増えていくことを想定している。

シャープではこのような現状を踏まえに 4.3.4 に示す実装計画を策定し、本実証で試作した端末システムの商用化を進める。特に、3GPP の Release 16 および 17 の仕様を反映したローカル 5G 基地局装置が導入されると想定される令和 7 年ころから端末システムとしても本格的に販売拡大を進める計画である。

4.3.3 端末システムの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

(1) 端末システムの課題仮説

本実証では、過年度実証にて課題となっていた以下の項目を解決すべく新たな端末システムを設計、試作を実施し、様々な試験および検証を実施した。以下は実施計画を立てた際に課題と考えられていた項目である。

計画立案時の課題 1：端末の堅牢性（過酷な環境で使える端末がなかった）

計画立案時の課題 2：設置の自由度（設置の自由度が低かった）

計画立案時の課題 3：アップリンク伝送性能（アップリンク速度が十分ではなかった）

上記計画立案時の課題 1 に関しては、防水・防塵対応だけでなく、MIL 規格に準拠した試験に合格することを目標とし、本実証の中での検証の結果も問題なく合格していることを確認できた。詳細な試験項目は表 4-1 に示すがいずれの項目に対しても対応できていることが確認できている。

計画立案時の課題 2 に関しては、屋外での設置や様々な機材と一緒に設置する際に電波品質の良いところに設置しにくいという課題に対し、小型で設置が容易な端末を試作することを目標とした。本実証では送受信アンテナが内蔵されているローカル 5G 対応端末であっても小型化を実現し、専用の設置用治具を用意し、また、設置の自由度が上がるよう一般的なコンシューマ向け USB ケーブルより比較的長い(2m)専用の USB ケーブルを用意した。

計画立案時の課題 3 に関しては、ローカル 5G 特有のニーズとして注目したアップリンク速度の向上を目指し、アップリンク 2×2 MIMO に対応した端末システムを実現した。2×2 MIMO を実現するためには、小型な端末に 2 つの送信アンテナを実装する他、送信系の回路として、例えばパワーアンプや送信系のフィルターを実装する必要がある。すなわち、小型化と送信性能の高性能化はトレードオフの関係になっており、この 2 つの項目をバランス良く設計することによって、大きくサイズを拡大することなく、適切な送信性能を実現する必要があった。

本実証では建設現場や工場での端末活用を想定した上で、上述したような課題が発生することを鑑み、これらの課題を解決するため、防水・防塵対応かつ設置及び取り回しが容易な小型の USB ドングルタイプのローカル 5G 端末システムを試作し、以下のような性能評価を行い試作した端末システムの詳細な検証を実施した。検証の詳細は 4.3.1 に示した通りである。

- ① 工事設計認証取得のための送信特性の評価
- ② 防水・防塵規格、MIL 規格対応試験の実施
- ③ 安定した接続性確保のためのアンテナ性能評価
- ④ 基地局シミュレータと無線接続した状態でのスループット性能評価

また、4.3.2 に詳細を示しているが、端末システムの実装性に関する検証の検討事項として以下の検討を実施した。

- ① 3GPP 規格に準拠した基地局との相互接続性を確認するため、GCF 認証を取得した試験システムによるパフォーマンス試験の実施
- ② 無線性能検証のための無線伝送試験とシミュレーション比較
- ③ 令和3年度の課題を想定したハウジングケース内外特性比較
- ④ 実験試験局エリアでの連続送受信評価

上記した性能面での4つの評価、実装面での4つの評価を実施することにより本実証で試作した端末システムが過年度実証で課題となっていた端末の堅牢性、設置の自由度、アップリンク伝送性能の課題を解決することができた。以上のような結果から、実施計画を立てた際に課題と考えられていた項目に関しては解決することができ、本年度の実証の目標としていた項目に関しては十分達成できたと言える。来年度以降は商用化に向け本実証で試作した端末システムをベースに共同検証や、ユーザからのヒアリングを進める計画である。

一方で、本実証の検証として実施した4.3.1、4.3.2に記載の検証を通じて今後の多様なユースケースへの適用や、機能拡張に向けたさらなる改善・検討項目として以下のような点を挙げることができる。

技術的な課題としては以下の点が挙げられる。

- A) 想定以上の通信速度で運用した場合には発熱により端末が通信を停止してしまう。
- B) 一般的なスマートフォンと比較しアンテナ性能が少し劣る。

また、実装面の課題としては以下の点が挙げられた。

- C) 専用のUSBケーブルでないと防水・防塵対応にならない。
- D) 動作させるために所定OSを搭載した機器が必要になる。
- E) 量産化の課題（数、時期、仕様等）。

上記課題は本実証の計画立案時には想定していない課題であったが、4.3.1、4.3.2に記載した検証を通じ新たに見つかった課題である。ここに記載した課題は必ずしも現時点で解決が必要な課題ではないが、今後のローカル5Gシステムの性能改善や周辺機器やソリューション面での性能改善が進んだ際にローカル5G端末システムとしての課題改善を要求される項目と考えている。下記の表4-51に新たな課題を整理し、今後の課題の解決必要性を示した。解決の必要度としては最も高い”High”から、中間の”Middle”、必要度の低い”Low”で示した。

表 4-51 新たな課題の整理

新たな課題	現時点での課題解決必要性	将来の課題解決必要性
A) 想定以上の通信速度で運用した場合には発熱により端末が通信を停止してしまう。	Middle	High : より高速なネットワークやソリューションが必要になる際には改善対応が必要
B) 一般的なスマートフォンと比較しアンテナ性能が少し劣る。	Low	Middle: 端末のアンテナ要素技術のさらなる改善が必要
C) 専用の USB ケーブルでない と防水・防塵対応にならない。	Middle	Middle: ニーズにより対応可能
D) 動作させるために所定 OS を搭載した機器が必要になる。	Middle	Middle : 対応検討中
E) 量産化の課題 (数、時期、仕様等)。	High	High : ニーズ、市場の見極めを続ける

次節で上記したさらなる改善・検討項目について詳細を記載し、その対応方針について記載する。特に現時点で課題解決の必要性が高いと考える E) 量産化の課題に関しては今後の実装計画にも係わる課題であるため詳細は 4.3.4 にも記載する。

(2) 端末システムの課題に対する解決策の検討方法

前節に示したように本実証を通じて挙げられたさらなる改善・検討項目は以下の5点である。

- A) 想定以上の通信速度で運用した場合には発熱により端末が通信を停止してしまう。
- B) 一般的なスマートフォンと比較するとアンテナ性能が少し劣る。
- C) 専用のUSBケーブルでないと防水・防塵対応にならない。
- D) 所定OSを搭載した機器と接続しないと動作しない。
- E) 量産化の課題（数、時期、仕様等）。

まず、A)に関しては、本実証の目標としては3.3.1に示したようにアップリンクの8K映像伝送を想定し、アップリンクのスループットが平均80Mbpsで10分程度安定して送信できることを目標としていた。この目標に関しては4.3.1の4)④に示したようにアップリンク80Mbps/ダウンリンク1.1Gbpsで90分間の連続送受信動作を実現することができた。現状ではシステム帯域幅が100MHzのSub6帯のローカル5Gで複数の端末が共有してアップリンクを使用することを考慮すると十分な速度と連続通信時間と言える。しかしながら、例えば、より低遅延での伝送を行うためエンコード/デコードの時間を短くできるように映像データの圧縮率を下げる、すなわちより高レートでの伝送が必要とされるケースや、複数のカメラを用いた高精細映像のマルチチャンネル伝送を行う場合、固定無線アクセスシステム(FWA)のように基地局と端末を1対1で固定網のような通信に使用する場合など、より高度な用途によってはこれ以上の伝送速度の要望や継続時間の要望があり、その場合には端末温度の上昇が課題になることがわかっている。一般的にユーザが持って使用する可能性がある端末は表面温度が60℃以下になるように設計されている。本実証で試作した端末システムでは、表面温度が60℃を超えるとユーザの安全を考慮し通信を停止し温度が十分に下がるまで通信が再開できないような設計となっている。周囲の環境温度によっては本実証で検証したスループットでも本体温度が60℃を超える可能性もあり、実際の使用状況と合わせた検証が今後必要になる。

次にB)に関しては、本実証で試作した端末システムのアンテナの性能に関するものであるが、本実証で試作した端末システムのアンテナ性能の評価結果は4.3.1の4)③に示したが、例えばシャープから全国キャリア向けに発売されている平均的なアンテナ性能と比較すると、約2dB程度性能が劣っている。本実証においては当初から目標としている端末システムのアンテナ性能仕様に沿った設計となっており、想定通りの性能が得られてはいるものの、例えばコストやサイズを度外視して通信エリアをより広くしたいという要求が場合には後述するような検討が必要になる。

次に C)に関しては、表 2-2 に示した通り本実証で試作した端末システムでは端末本体にある SIM カードインターフェイスと USB インターフェイスを USB ケーブルで封止することにより防水・防塵対応になることから、構造的に USB ケーブルを専用設計にする必要があった。反面一般的な USB ケーブルを使用したい場合には防水・防塵対応ができないという課題があった。本実証では端末システムの設置の自由度を上げるため端末システムと接続して使用する USB ケーブルを 2m の長さとし試作を行った。結果としては、4.3.2 の 3) ③に示したようにハウジングケースの外で遮蔽物がない環境に設置できた場合と、ハウジングケースの中で他の機器や設置用パイプにより遮蔽されてしまった場合とで約 3.5~5dB の差が見られたが、例えばよりコンパクトなシステムとして超小型の PC と組み合わせて使用したいユーザは短く防水機能を有したままにできる USB ケーブルが必要になる。

次に D)に関しても C)と同様に表 2-2 に示した通り、所定の OS が搭載された機器が USB ドングルを駆動するという構造的な観点から PC 等の機器が必要となるのは当然の構成となるが、一方、イーサネット接続で動作させたい場合には構成が冗長となり、そのような場合には機器を削減したいという要望があった。本実証で試作した端末システムは防水・防塵対応の小型 USB ドングル端末ではあるが、既に他社から提供している非防水のローカル 5G 端末と比較しても小型であり、単純に小型のローカル 5G 端末に有線 LAN 接続をして所定の用途に使いたいユーザにとっては PC 等を必要としない USB ケーブル接続以外の接続で利用できる端末が必要とされている。

次に E)に関しては、詳細は 4.3.4 で後述するが商品化に向けた課題となる。本実証で試作した端末はマスマスプロダクションとしての製品を前提に設計、試作を進めたものであり、今後商用化を進めるにあたっては生産数が課題になる。通常、端末の商用生産を行う場合には工場の生産ラインを専用に準備して生産をするため、その固定費的な部分はある程度の数を生産し台数で分割して回収することによって 1 台当たりの価格を抑えることができる。通常的大量生産を前提とした電子機器では少なくとも一度に 1,000 台程度の量産を行うことによって、工場の生産ラインの費用や人員コストを抑えているが、ローカル 5G の市場は現状ではまだ小さく端末出荷台数も見込めないため、今後の実装展開には工夫が必要である。本実証で試作した端末システムの今後の実装計画は 4.3.4 に示す。また、本実証では試作ということもあり特定のユーザからの品質仕様や安全仕様がない状態で進めているため、ユーザからの要望により品質試験や安全基準試験を追加実施する必要がある。

以下に上記改善・検討項目 5 点の解決策と今後の対応方針に関して示す。

まず A) に示したような発熱の問題に関しては、一般的には端末の体積、すなわち端末サイズや重さとトレードオフの関係となることを考慮する必要がある。本実証で試作した端末システムはローカル 5G エリア内に設置して運用することを想定しているが、ユーザが手に持って使用することもあるため本体の表面温度が 60℃ を超えないように設計されている。例えば、想定以上の外気温度や直射日光下で高速・長時間の運転をした場合には表面温度が 60℃ に到達することが考えられるが、この場合、安全性の観点から通信を停止し本体温度が下がるまで通信しないように設計されている。本実証では室温でアップリンク 80Mbps の通信速度で動作させても上記した表面温度に達しないことを確認したが、ユーザの利用用途によってはこれ以上の通信速度や、例えば炎天下に設置され運用する場合など、より放熱性能に優れた端末が必要とされることもある。このような場合には端末システムの筐体構造や、内部の放熱用フィンの設計、それに伴いアンテナの設計を見直す必要もありほぼ新規設計のような変更になるため現実的な解決方法ではない。設計を見直す方法の他に、運用環境を工夫して放熱効率を改善する方法もある。例えば、端末の外部に熱伝導性能の高い金属製の放熱フィンを取り付け、放熱を促進するように放熱フィンに向けファンで送風することにより端末の温度上昇をゆるやかにすることができる。ただし、このような外部に放熱フィンを取り付ける場合には、取り付け場所によってはアンテナ性能を劣化させる可能性があるため実施には注意が必要になる。

次に B) に示したアンテナ性能に関しても上述の A) と同様に端末サイズとのトレードオフの関係にある。本実証で試作した端末システムは Sub6 のダウンリンク 4×4 MIMO、アップリンク 2×2 MIMO に対応しており、受信アンテナ 4 本、送信アンテナ 2 本を搭載している。このうち受信アンテナ 2 本と送信アンテナ 2 本は共用設計となっていることから、Sub6 用のアンテナは合計 4 本搭載していることになる。アンテナ性能としては、アンテナ利得、等方性、アンテナ間アイソレーション性能が重要であるが、これらを改善するには筐体のサイズを大きくする必要がある。一方で筐体サイズを大きくすると、設置時の取り回しが悪くなり、端末の材料費が上がることによる単価のアップになるので、特定のユーザが決まっておりコスト負担を容認できるのであれば、ユーザの要望を反映した方針を立てて設計変更を行うことが望ましい。

次に C) に示した専用 USB ケーブルの課題であるが、こちらはユーザの使用条件やソリューションによって要望する長さが異なり、新たに作成する場合にはコストがかかることになるが、別途対応は可能である。また、防水・防塵対応が不要である場合には一般的に販売されている USB ケーブルも使用可能であるため用途によってはユーザで用意した USB ケーブルを利用することもできる。

次に D)に示した所定の OS を搭載した機器が必要となる課題であるが、これは USB ドングルタイプの端末としては必須となる構成であるため解決するのが難しい問題である。ただし、ローカル 5G 端末への要求として小さなモデム端末が使いたいという要望はあるため、本実証で試作した端末システムを USB ケーブルで接続しないで OS を搭載していない機器でも使用する機能を新たに検討した。

以下に検討の結果を示す。OS を搭載した機器を使わずに端末システムが単体で動作するようなモードを作ることによって、有線 LAN アダプターを介してイーサネットケーブルで機器を接続して使用することが可能になっている。図 4-50 に本実証で試作した端末システムと機器とを有線 LAN ケーブルで接続する場合の接続図を示す。

端末システムの動作モードを変更するには一旦パソコンに USB ケーブルを用いて端末システムを接続して、端末システムの Web UI から動作モードを変更する必要がある。変更後は、電源を OFF にしても単独で動作するモードで動作する状態が保たれる。また、元のモードに戻したい場合には下記の構成で接続したパソコンから USB ドングル端末のウェブ UI にアクセスし設定を変更する。

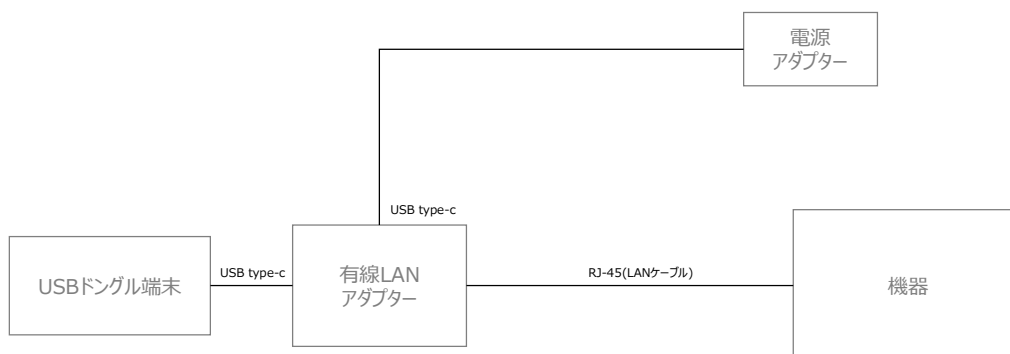


図 4-50 有線 LAN ケーブルを用いた接続方法

本実証の検証で使用した有線 LAN アダプターは以下のものを使用した。本実証ではこの有線 LAN アダプターのみで検証を行っており、他の有線 LAN アダプターでの動作も保証するものではない。

ゴッパ合同会社 有線 LAN アダプターGP-CR45H (<https://www.goppa.jp/gp-cr45h.html>)の仕様を表 4-52 に示す。

表 4-52 GP-CR45H 仕様

項目	仕様
型番	GP-CR45H
対応機種/OS	Windows、macOS、Chrome OS、iPadOS
インターフェイス	USB Type-C (オス×1 / 充電専用メス×1)、RJ-45
対応規格	USB 3.2 Gen 1 / 1000BASE-T / 100BASE-TX / 10BASE-T
LAN 仕様	10 / 100 / 1000Mbps 自動検出
USB Power Delivery	最大 20V/3A (60W)
電源	バスパワー時 5V / 0.9A (PC より給電) セルフパワー時 5V / 3A~20V / 3A
動作温度	0~+40℃
外形寸法	41×41×15mm (ケーブル除く)
USB ケーブル長	約 14cm
質量	23g

また、GP-CR45H の商品イメージを図 4-51 に示す。



図 4-51 GP-CR45H 商品イメージ

通常、端末システムは機器から USB ケーブルを通じて給電されるが、本構成では給電する機器がないため、別途有線 LAN アダプター経由で電源アダプターから給電する必要がある。電源アダプターからは USB Type-C ケーブルでの給電となる。有線 LAN アダプターを使用した接続の制限として、伝送速度が最大 1Gbps になること、また、専用の USB ケーブルでないことから防水・防塵対応でなくなるという制限がある。

有線 LAN ケーブルで接続する機器としては、無線 LAN ルーターや、監視カメラ、OA 機器等が挙げられる。例えば、無線 LAN ルーターの WAN 側を本接続で示したような構成にすることで従来は有線でインターネットに接続していた環境を、そのままローカル 5G の環境に移行することが可能になる。

最後に E) の量産化の課題に関しては、今後導入を検討するユーザとの条件すり合わせや、共同検証を通じて決定していくことになる。本実証では今後の継続的な検証に向け最終的な試作機として 40 台の端末システムを用意する。これらの 40 台をシャープ幕張事業所で取得した実験試験局免許エリアに追加していく他、導入を希望するユーザへの貸し出しおよび試作機の販売、もしくはユーザが既に取得している免許エリアで登録を行い、そこでの共同検証を通じて端末システムの性能評価やソリューション検証を進め、さらには安全基準や信頼性基準を決定していき導入検証を進める。ただし、前述したように商用化（量産化）にはある程度まとまった数が必要であることから、次年度以降は、複数のユーザとの検証を進める等して共通の要求仕様を決め、商用化を進める計画である。

以上のように本実証の 4.3.1、4.3.2 に記載の検証を通じて見つかった課題とその解決策の検討方法を示したが、以下にそれぞれの対応によるコストへの影響を示す。

表 4-53 解決策のコストへの影響

課題	コストへの影響
A	端末設計の見直しとなる場合にはコストへの影響は大きい。一方、運用で対応する場合にはコストへの影響は少ない。
B	端末設計の見直しとなる場合にはコストへの影響は大きい。
C	USB ケーブルを新規に作成する必要がある場合にはコストへの影響が大きい。
D	非防水での運用であればコストへの影響は少ない。一方、防水対応が必要な場合には防水仕様の有線 LAN アダプターを新規に作成する必要がありコストへの影響が大きい。
E	コストへの影響を小さくするためにユーザとの条件すり合わせや共同検証が必要。

4.3.4 端末システムの実装・普及展開

以下に本実証で試作した端末システムの実装・普及展開およびそれを実現するための計画を示す。

(1) 実装・普及展開シナリオ

4.1.1 に課題を示したように本実証では建設現場や工事現場、工場等において設置時の制約や環境により所望の通信性能を得られないという課題を鑑み試作を行った。より良い通信環境で安定した高速通信を行うためには、取り回しが容易な小型の端末が必要であることに加え、建設現場や工事現場、工場のような過酷な環境でも耐え得る耐環境性能を持つ端末システムが必要と考え、本実証を実施した。以下では、本実証で試作した端末システムの実装・普及に向け想定される技術的な課題、および外部要因的な課題を考慮した実装・普及シナリオを示す。

1) 技術的な課題を踏まえた実装・普及展開シナリオ

4.3.2 の検証項目④でも実施したようにローカル 5G では、ユーザが基地局装置を選定し設置することから、端末システムの実装・普及に向けた技術的な課題として、ローカル 5G ネットワークへの接続性の確保を考慮する必要がある。ローカル 5G システムはユーザの目的に沿って独自の観点で選定されるものであることから、非常に多様な基地局装置が設置され、端末システムも事前に接続検証を行ったことのないローカル 5G システムとの接続を保証する必要がある。

一般的に全国キャリアのセルラーシステムでは、全国キャリアで採用する基地局装置およびネットワークとの接続性および伝搬性能の確認等の相互接続性試験 (IOT : Inter-Operability Testing) を実施し相互接続性が確認された上で端末が提供されている。

本実証で試作した端末システムは USB ドングルタイプの端末システムであり、PC と接続して様々なアプリケーションが利用可能という特徴から非常に汎用性の高い端末システムであり、特定の基地局装置だけに接続するように設計されているものではない。このような事情を考慮し本実証では 4.3.2 で示すような汎用性の高いことを検証する性能評価を実施し、問題ないことを確認した。

さらに、本実証終了後は、ユーザが端末システムを導入するのに先行して事前に接続検証を行えるようシャープとユーザとで共同で検証を行える機会を設ける計画である。接続検証には、シャープの開発中のローカル 5G システムが設置してある SHARP Local 5G Trial Field を使用する他、本実証で試作した端末システムを貸し出し、ユーザの導入済みローカル 5G システムとの接続検証を実施する。その後、課題や改善点がある場合にはフィードバックを行い、USB ドングル端末システムだけでなく開発中のローカル 5G システムを含めた拡張の検討を進めていく計画である。SHARP Local 5G Trial Field では今後もローカル 5G システムの展開を検討している企業と検証やデモンストレーションを行えるような場所として提供することによって、導入前の事前検証の機会を提供し端末システムの性能検証だけでなく、ローカル 5G 基地局装置を含めたシステムとして検証し、ユーザのローカル 5G システムの導入意欲を喚起することに活用していく計画である。

試作した端末システムは建設現場や工事現場、工場等をターゲットとしているが、このようなローカル 5G の活用分野においては従来の 5G とは全く異なった端末の利用方法が想定されている。例えば、建設現場での安全管理や業務の効率化に超高精細監視カメラの映像伝送に利用されたり、工場での作業員の教育や業務改善のために XR を利用した低遅延の映像伝送に利用されたりしている。このようなこれまでにないソリューションを導入するためには、導入に先んじて事前の技術検証や、ユーザビリティの検証が非常に有効になる。シャープでは建設現場や工事現場、工場等への端末システムの導入に向け SHARP Local 5G Trial Field を活用し事前の検証で効果を確認できる場を提供し、より多くのユーザに端末システムの導入が進むような実装計画を立てている。また、今後、建設現場や工事現場、工場等のソリューションの特長として期待されている超低遅延の仕様に対応した 3GPP Release 16 や Release 17 のローカル 5G システムが導入される予定ではあるが、この超低遅延特性はローカル 5G の基地局およびエッジサーバーと、端末システムの一体となった遅延確認や特性担保が必要となり、事前検証においてもローカル 5G 基地局装置を含めた検証が重要になる。今後、SHARP で開発中のローカル 5G 基地局装置も Release 16 以降に対応を進める予定であり、SHARP Local 5G Trial Field で端末システムと合わせた相互接続性試験や遅延性能の確認を行えるようにする計画である。

2) 外部要因的な課題を踏まえた実装・普及展開シナリオ

次に、ローカル 5G 端末を導入する上での障害となるローカル 5G が免許を必要とする無線システムであるという点に配慮する必要がある。ローカル 5G の端末を導入しようとする場合、無線 LAN システムのように試用することができないため、導入後に想定したような性能や機能が得られない可能性がある。シャープでは、前述したように開発中のローカル 5G 基地局を設置した SHARP Local 5G Trial Field で実験試験局免許を取得してローカル 5G 基地局装置の商用化や端末の開発に向け様々な検証を無線環境で実施できる場を用意している。シャープ単独のソリューション検証以外にも、今後ローカル 5G システムの導入を検討しているユーザや、システムインテグレータ (SIer : System Integrator、以下、SIer) としてローカル 5G システムの展開を検討している企業とソリューション検証やデモンストレーションを行える場になっている。シャープではこの環境を利用することで端末を導入しようとするユーザが事前に性能検証やソリューションを確認できるようにし、端末の普及を促進していく計画である。

前述したようにローカル 5G 市場の予測では 2024 年から 2025 年以降に市場が拡大していく予想となっている。ローカル 5G 関連機器の低廉化が進む時期であるということと、Release 16、17 に対応したシステムや端末が導入される時期であるという背景からそのような時期に市場拡大が予想されている。将来に向けてシャープではこれらの事情を念頭に置いて以下のように段階的に実装・普及展開を進める計画である。

本実証で試作した端末システムは端末の生産コストを抑え端末単価を下げるため大量生産を前提とした設計になっている。多くの 5G 端末もそうであるようにある程度の生産数を前提として生産ラインや部品、人員の準備を行う。4.3.3 の課題⑤にも記載したが本実証で試作した端末システムを安価で提供していくためには生産数を増やすことが重要である。すなわちより多くのユーザへの訴求、ユーザからのヒアリングだけでなく、多くのユーザへの提供方法(取引流通)が必要になってくる。ローカル 5G 市場の拡大が予想される 2024 年から 2025 年以降向け、シャープでも端末システムの提供数を増やしてだけでなく、ニーズが高いと予想される Release 16/17 対応に向けたモデルチェンジ対応の検討を進める。また、生産数を増やすための取り組みとしてユーザへの直接販売だけでなく、シャープがこれまでの端末提供で実績のない法人ユーザを新規に開拓するために SIer 経由での提供も行っていく計画である。

3) ローカル 5G システムとしての実装・普及展開シナリオ

4.3.3 に示したように本実証を通じて新たにわかった課題の中でも⑤量産化の課題（数、時期、仕様等）については令和 5 年度にユーザへの訴求を行うとともに、ユーザ企業・団体から安全性、品質に関する要求仕様等のすり合わせを行い、端末必要数の予測や生産計画の策定を行う。

令和 6 年度には端末システムの商用化を行い本格的にユーザへの提供を開始していくが、端末システムの提供方法としては、端末単体の提供だけでなく相互接続性を確保したローカル 5G 基地局装置と組み合わせて提供を行っていく計画である。

シャープでは、本実証で試作した端末システム以外にも、ローカル 5G 基地局の検証用端末として、ローカル 5G 対応ルーターやローカル 5G 対応スマートフォンの試作機を提供している。さらには、シャープでは前述したようにローカル 5G 基地局も開発中であり、端末ベンダーとしての役割だけでなく、基地局ベンダーとしても機器の提供やソリューションの開発を行っていく計画である。提供はシャープからの提供と、それ以外に SIer を通じての提供を考えている。令和 7 年以降も同様にシャープもしくは SIer を通じて提供を行っていくが、シャープがローカル 5G 基地局装置とローカル 5G 端末のどちらも提供することによって、ローカル 5G の課題の一つとなる相互接続性の保証を解決することが可能になる。また、令和 7 年には端末システムを 3GPP の新規リリースに合わせてモデルチェンジすることを計画しているが、同時にローカル 5G 基地局もアップデートして提供することにより性能面で確認された機器の提供が可能になる。

試作した端末システムがターゲットとする建設現場や工事現場、工場等の活用分野はローカル 5G 端末の市場としては比較的大きいと見込まれてはいるが、それでも全国キャリアの 5G 市場と比較すると今後数年間はかなり小さな市場規模と想定している。ローカル 5G 向けの端末システムのコストを下げるために、全国キャリアや MVNO が展開する 5G システムで使用できる端末との共通開発によるコストダウンや、全国キャリア 5G とローカル 5G とのスムーズな切り替えに対応した端末の開発を検討し、ユーザニーズを取り込んだ様々なタイプの端末システムを活用した多角的な展開を検討している。

以下に前述した 3 つの実装・普及展開シナリオをまとめた表を以下に示す。

表 4-54 実装・普及展開シナリオまとめ

項目	令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
外部環境	実証実験 フェーズ	通信品質の 安定化	ローカル 5G 市場拡大 (Rel.16 対応産業用デバ イスの導入、 端末価格の低廉化、 All-in-One 小型基地局の 普及)		Rel.17 の 本格導入	
実装・普及展 開 シナリオ	開発実証を 実施	<ul style="list-style-type: none"> ・共同接続 検証 ・不具合・ 改善点の フィード バック ・顧客要求 反映 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソリュー ションの継 続検討 ・低遅延や 多接続に関 する検証 ・開発中の ローカル 5G システ ムと共に提 供開始 	モデルチェ ンジ検討	(モデル チェンジ)	産業用デバ イス 本格導入

(2) 実装計画

本実証で試作した端末システムの実装計画を以下に示す。本実証では端末システムの外形寸法や重さ、無線性能等を決定し試作を行った。さらには、防水・防塵対応の堅牢性の性能確保のため MIL 規格に準拠した試験を実施し合格することを確認した。端末システムの安全・品質基準はユーザーズに合わせて今後見直す必要があるが、本実証では一般的に想定される仕様を暫定的に定義し試作を進めた。

安全・品質基準は最終的にはユーザからの要求をフィードバックして決めることになるため、実証終了後の来年度以降にすり合わせを実施していく計画になっている。また、令和6年度以降に商用化を行い、その後、5Gの超低遅延に対応した 3GPP Release16 もしくは 17 に対応したチップセットを搭載したモデルへのモデルチェンジの検討を実施していく計画である。

詳細を以下に説明する。

1) 実装計画の作成方法

本実証では実装計画の精緻化を行うにあたりローカル 5G の端末市場の市場規模を見積もった。見積もりに際して各種調査機関の市場予測レポートや、さらに日本国内の 5G サービス開始当初から対応端末提供してきたシャープが持つ販売データや市場調査結果データを参考にするとともに、シャープが受けた他社からのローカル 5G 端末に関する問い合わせ状況および昨年度に SHARP Local 5G Trial Field やオンラインで打ち合わせを行ったユーザ/SIer からのヒアリングを考慮し令和 5 年度から令和 9 年度までの市場規模を算出した。

シャープではローカル 5G 端末の全体の市場規模を以下のように予測している。ローカル 5G 端末としては小型のデータ端末を含め、屋内据え置き型の端末(IDU:Inoor Unit)や屋外据え置き型端末(ODU:Outdoor Unit)、スマートフォン、モバイルルーター等の全てのタイプの端末を含めている。

令和 5 年度	約 24 億円
令和 6 年度	約 27 億円
令和 7 年度	約 32 億円
令和 8 年度	約 45 億円
令和 9 年度	約 62 億円

一般的に見られる市場予測では令和 5 年あたりから市場が急速に立ち上がる予想が多いが、シャープの独自予測ではローカル 5G 基地局設備の低廉化が進み、5G の 3 つの特長の中でも超低遅延に対応した安価な端末が普及する令和 8 年度以降に市場が拡大すると想定している。

表 4-56 に現在想定している端末システムの実装計画を示す。実装計画では端末システムの単価を 54,000 円と設定し、売上計画台数と乗算することで売上金額の算出を行っている。単価の設定は、端末を構成する部品のコスト、営業およびサポート費用を代表的な変動費とし、商用時の生産コスト、取扱説明書や商品パッケージ等の開発コストを代表的な固定費と想定し、1 回のモデルチェンジコストを含めて表 4-56 に示した実装計画を実行できた場合に差損が出ないように設定した単価である。

前述した今後 5 年間のローカル 5G の市場規模のうち約 20%を本実証で試作した端末システムを含む小型・防水端末が必要とされる割合とした。ローカル 5G の場合には、例えば監視カメラ端末や、ウェアラブル端末等の特定の用途に特化した端末、工場用ゲートウェイ、通常の全国キャリア 5G 端末と同じようなスマートフォン端末や、モバイルデータ端末など、その用途により大小様々な端末システムが想定されるが、その中で約 20%程度が小型端末になると見積もった。見積もりはローカル 5G が導入される事業分野毎に行っている。例えば、表 4-55 に示したように製造分野は全体に占める割合を 18%程度、電力分野は全体に占める割合を 16%程度と想定し、さらにそれぞれの 7%、4%が小型端末の占める割合と予測した。各分野の小型端末率を合計し約 20%と見積もっている。この表では小型端末は防水・防塵対応した小型端末を意味している。

表 4-55 分野別小型端末率

分野	占有率	小型端末率
製造	18%	7%
電力	16%	4%
公共安全	13%	8%
健康	12%	1%
交通	12%	2%
エンターテインメント	10%	1%
自動車	8%	0%
金融	5%	0%
小売り	5%	0%
農業	1%	0%
合計	100%	23% (約 20%)

さらに本実証で試作した端末システムおよびその後のモデルチェンジ端末で、そのうちの約 20% のシェアを令和 9 年までに最終的に獲得できた場合の端末台数を売上計画台数としている。ただし、端末システムの単価に関しては生涯生産台数や為替レート、令和 5 年度に予定している安全・品質基準の見直しによる開発費用の増加等にも影響されるため暫定的な単価設定としている。また、コスト計画に関しては販売もしくは貸し出した端末システムとユーザの設置する基地局との接続性の確認や、ユーザからの問い合わせサポート対応、端末システムの不具合対応のための費用として令和 5 年度に 100 万円、その後は年間 200 万円程度を見込み、令和 8 年度にはモデルチェンジ費用として追加で 5,000 万円程度を見込んでいる。

実装計画としては、本年度の実証完了後、商用化に向けて安全・品質基準の見直しを行い、その後商用を計画している。ただし、ユーザーニーズを調査し商用の要望状況や、市場の拡大状況によって商用生産の前倒しの検討も行う予定である。

令和7年度以降には、端末で使用しているチップセットのライフサイクルを考慮し、モデルチェンジの検討も必要になる。本実証で試作した端末システムは表 2-2 に示したように 3GPP の Release 15 に対応している。これは 5G のユースケースとして定められている 3 つの要件、eMBB(enhanced Mobile Broadband)、URLLC(Ultra-Reliable and Low Latency Communications)、mMTC(massive Machine Type Communication)のうちの eMBB に相当する高速大容量通信の仕様が反映されているもので、今後のリリースで対応予定となっている URLLC、mMTC には非対応になっている。すなわち、自動運転や機械の遠隔操作等の超低遅延環境での使用を想定しているユーザーには不十分な端末仕様となっており、ユーザーニーズを把握して Release 16/17 等に対応した新規チップセットを搭載した端末システムへのモデルチェンジを検討していく。既にチップセットベンダーからは 3GPP Release 16 に対応したチップセットが発表され市場に導入されつつあるが、新規チップセットの性能およびコストを見極めて導入を検討する必要がある。

以上のように本実証で試作した端末システムの実装計画を作成した。実装計画にはシャープ独自のローカル 5G 端末の市場規模調査の他、過年度の課題実証の継続状況、実証期間中に実施したユーザーからのローカル 5G 基地局および端末システムの導入時期に関するヒアリング等を考慮し実装計画を立案した。

2) 実装計画の要約

以下表 4-56 に実証計画を示す。計画は前述したようにシャープがこれまでの 5G 端末開発における市場調査結果と、蓄積した販売データをもとに独自の市場予測を行ったものである。実装計画では、ローカル 5G 端末市場予想全体から、本実証で試作した端末システムのような小型・防水・防塵対応した端末のシェア比率と、本実証で試作した端末を商用化した場合のシェア比率を予想し売上計画を算出した。

売上計画としては、表 4-55 に示したように製造系、中でも建築系と工場系が多いと予測している。これはシャープがこれまでに実施したヒアリングからユーザーの業種や、また、ヒアリングした SIer のお客様の業種等と、過年度の総務省課題実証テーマから予想したものである。

■実装計画要約シート

表 4-56 実装計画要約シート

端 02 代表機関名		シャープ株式会社				分野	建設・工場
実証件名	過酷なフィールドでの利活用を想定した防水・防塵・小型 USB ドングル端末の試作						
実施体制	シャープ(株)						
<pre> graph TD User[ユーザー 未定 (免許人)] -- 端末購入 --> Provider[端末提供者 シャープ(株)通信事業本部 (代表機関)] User -- システム購入 --> Ops[NW設置・保守・運用 未定 またはシャープ(株)通信事業本部] Provider -- 端末購入 --> Ops </pre>							
		令和 4 年度 (2022)	令和 5 年度 (2023)	令和 6 年度 (2024)	令和 7 年度 (2025)	令和 8 年度 (2026)	令和 9 年度 (2027)
実装計画	USB ドングル端末	開発実証	顧客要求反映	商用・横展開1			
			共同検証		モデルチェンジ検討	商用・横展開2	
収支計画 (千円)	(1)ユーザから得る対価	0	2,680	12,400	72,000	153,000	283,000
	(2)補助金・交付金	0	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	0	2,680	12,400	72,000	153,000	283,000
	(4)検証費	0	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	(5)モデルチェンジ費	0	0	0	50,000	0	0
	(6)支出((4)+(5))	0	1,000	2,000	52,000	2,000	2,000
	(7)収支((3)-(6))	0	1,680	10,400	20,000	151,000	281,000
<p>収入、支出の算定根拠</p> <p>シャープがこれまでの 5G 端末での実績や市場予測から算出した販売計画と、生産・販売経費およびモデルチェンジ費用の支出を考慮し単価を設定した。</p>							
実装を確実にするための取り組み		どのようにして(手段、取り組み方法、アウトカム)				いつまでに	
	提供コスト低減	次期モデルチェンジ時の設計共通化等				令和 7 年度	
	端末機能・ソリューション追加開発	顧客要望により対応検討				令和 5 年度以降	
	顧客開拓	導入希望者との共同検証を実施				令和 5 年度	
	運用面の改善	顧客からのフィードバックにより安全・信頼性基準の見直し				令和 5 年度	

	ルールメイキングへの貢献	共同検証等によりルール変更の必要性が確認できた場合に対応	随時
<p>計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) 本実証で試作した端末システムでの収支が計画を下回る見込みとなる場合には、一部仕様の変更や、全国 5G 端末との共通化設計等を行い、ユーザにより導入しやすい端末にすることを検討する。</p>			

a. 実施体制

本実証においては端末システムの仕様策定、および技術実証におけるフィールドテストはシャープ株式会社通信事業本部が主管となって行われた。次年度以降には、顧客要求の反映や共同検証を実施し、その後商用化を計画しているが、これもシャープの同本部が主管となり実施していく計画である。シャープではこれまでもローカル 5G 対応端末としてモバイルデータ端末型、およびスマートフォン型の試験機の提供を行ってきており、販売窓口やサポート体制は既存のものを継続して利用可能になっている。また、ローカル 5G ではユーザが選定した様々なローカル 5G 基地局が利用されることが多く、単純な端末販売窓口としてだけでなく、基地局と端末の接続プロトコルの解析や、今後想定されるローカル 5G と全国キャリア間の接続切り替えやハンドオーバー時の動作検証等のサポートも行うことができる体制をシャープで構築することができている。

また、端末単体で提供していくとともに、シャープでは本実証で試作した端末システムと、独自に開発中のローカル 5G 基地局との接続性を担保したトータルなシステムとしてユーザに提供していくことを計画しているが、それ以外にも SIer に端末システムを提供し、SIer からユーザにローカル 5G ネットワークシステムとして提供していく体制も考慮している。SIer としては、例えば通信事業者、通信インフラベンダー・メーカー等の既に通信ネットワークや通信インフラの提供を行っている企業等、シャープがこれまでスマートフォンやモバイルデータ端末の提供先として関連のなかったユーザとの繋がりがある企業とパートナーシップを組むことによって、より幅広いユーザへ本実証で試作した端末システムを提供できるような体制で取り組んでいくことを想定している。

b. 実装計画（実施事項）

本年度（令和4年度）の実証完了以降、令和5年度にユーザへの訴求を行う。ユーザの使用環境、使用条件等のフィードバックをもとに安全基準や品質基準の見直しを行い、必要に応じて仕様へ反映していく。

ユーザへの訴求には5章で示す普及啓発活動の他、端末システムを試用したいユーザに対しての貸し出しや、早期に試作機の購入を希望するユーザへの販売による訴求も想定している。訴求期間におけるユーザからの使用環境や使用条件のヒアリング結果を元に安全基準や品質基準の見直しを行う。例えば、現状の信頼性試験項目は表4-1に示したような一般的なスマートフォン等と同じ試験項目になっているが、ユーザの使用環境等を考慮し見直す必要がある。端末システムのコストを考慮すると、令和5年度までは少量の提供となるため商用製品のような商品パッケージや詳細な取扱説明書はなく、販売窓口等も限定した試験機的な販売による提供を想定し、市場が本格的に拡大すると予想されている令和6年度以降に商用提供を計画している。

ユーザへの訴求およびヒアリングの機会を積極的に増やしていくため、シャープ幕張事業所に設置した実験試験局エリア（SHARP Local 5G Trial Field）を活用する予定である。シャープではローカル5G基地局システムの開発も行っており、本エリアでは試作機を用いて実験試験局免許を取得し、ユーザが持ちこんだ様々なアプリケーション・ソリューション検証や、シャープの簡単なデモンストレーションが行えるようになっている。本実証では最終的に商用レベルに近い試作機を40台試作し、令和5年度以降はこの試作機でも実験試験局免許を取得しユーザとの共同検証に利用していく計画を立てている。

その他、ユーザが自ら設置した実験試験局エリアでの検証のために本実証で試作した端末システムを貸し出す計画もあり、シャープが開発中のローカル5G基地局装置だけでなく、他社のローカル5G基地局との接続確認や、伝搬特性の確認、ソリューションへの応用検討を進める予定である。

既に本実証期間中に試作した端末に関して問い合わせを受けており、令和5年度以降に接続検証や、商用化に向けたヒアリング等を実施していく。

a. 実施体制に記載したようにシャープでは端末システムの動作状況を解析するための体制を整えており、ユーザとの共同検証を実施してユーザのソリューションの不具合解析や、改善をサポートすることができる。

令和 6 年度には商用化を計画しており、令和 5 年度に得たユーザからのフィードバックを反映した仕様や、サポート窓口、商品パッケージ、詳細な取扱説明書を整えた状態での商品提供を開始する計画である。

令和 7 年度には商品提供と並行して端末システムで使用しているチップセットの置き換え検討を実施する。前述したように本年度に試作した端末システムで使用しているチップセットは 3GPP Release 15 対応であるため、その後継規格である 3GPP Release 16 または 17 に対応したチップセットへの置き換えを検討していく。検討はユーザニーズ、モデルチェンジに要するコスト、チップセットの性能向上、さらには現行モデルの在庫や部品在庫等の多岐にわたる要件を考慮する必要があり、新型モデルの企画立案から商品化まではおおよそ 1 年程度かかる見込みである。

令和 8 年、9 年以降はモデルチェンジした端末システムを販売していくか、もしくは本実証で試作した端末システムを商用化したものを継続して提供していくかのどちらかとなる。一般的には端末システムで採用されているチップセットにも商品寿命があるため部品調達が困難になることから、数年程度でモデルチェンジの必要性がある。本実証で試作した端末システムはチップセットの商品寿命も考慮しており、一般的な端末システムよりは長期にわたり提供できる計画である。一方で現在、Release 16 に対応したチップセットが市場に導入されつつあり、ユーザの用途によってはモデルチェンジが早期に必要とされる可能性もある。シャープでは既に本実証で試作した端末システムの搭載チップセットを Release 16 に対応したものにモデルチェンジする検討を開始している。一般的にはチップセットのモデルチェンジを行う場合にはチップセットそのもののみを交換するだけでなく、周辺の回路構成等も変更になるため端末内部の基板の設計変更が必要になる。シャープでは本実証で試作した端末システムが Release 16 対応の内部基板に変更になっても、例えば Release16 対応の同形状の内部基板を設計して内部基板のみ変更する等の方法により本実証の資産が継続して使用できるような方法を検討中である。

c. 収支計画

ア) 収支計画

実装計画では端末システムの単価を 54,000 円と設定した。これはあくまでも今後 5 年間の収益が計画通りに進んだ場合の価格設定であるため、来年度に予定しているユーザからのフィードバック等を反映して変更していく可能性がある。単価は実装計画を実行できた場合に差損が出ないように設定した価格であるが、シャープによるこれまでのユーザからのヒアリング状況では、端末価格としては全国キャリア向け 5G 端末と同程度の価格を希望しているユーザが多く、5G 端末でも特にミドルからローエンド向け端末、具体的には 7~8 万円以下での調達を想定しているユーザが多いことがわかっていることから、本実証で試作した端末システムもそれに合うような価格設定となるよう考慮した。端末価格には、端末の部材費の他、端末を販売・サポートをするための人件費が含まれている。計画している販売・サポートに係る人件費は年間 2 人を予定し、さらにモデルチェンジを行う令和 7 年のみ 5 人を想定している。収支計画において計画した収入進んだ場合には、収支で人件費と支出を賄えるように端末単価を設定している。一方で実装計画が予定通りに進まず、例えば想定の半分程度の生産数となった場合、上記した人件費等の費用を回収するためには端末価格を 10 万円程度まで上げて提供せざるを得ない状況も考えられる。シャープでは今後のユーザからのヒアリング状況や、ローカル 5G 全体の市場状況を注視し、端末システムの提供価格については柔軟に見直して対応していく。

表 4-56 に示した(1)ユーザから得る対価は、売上計画台数と単価を乗算することで価格を算出している。端末販売台数は令和 5 年から年間 50 台、200 台、1,200 台、2,800 台、5,200 台と計画しており、それに端末単価 5,4000 円を乗算している。また、現状では(2)補助金・交付金に関しては決定しているものはないが、来年度に向けては検討中のものもあるため、随時計画に反映していく見込みである。よって、(3)収入は(1)の価格と同じ額になっている。(4)検証費としては令和 5 年度以降継続的にユーザと接続検証やソリューション検証を行っていくことを計画しているため、令和 5 年度は 100 万円、それ以降は件数が増えることを想定し 200 万円とした。検証費用は 1 件当たり 25 万円程度を見込んでおり、令和 5 年度は 4 件、それ以降は年間 8 件程度を想定している。ただし、検証規模にもよるためシステム台数や端末台数によって計画を見直す必要がある。また、令和 8 年度にはモデルチェンジ費用として追加で 5,000 万円程度を見込んでいる。前述した 3GPP Release 16 または Release 17 に対応したチップセットへの変更を実施した場合の費用を見込んでいる。(7)収支は令和 5 年度から令和 9 年度に向け順調に増える計画になっているが、実際には収支から端末を構成する部品のコスト、営業およびサポート費、生産コスト、取扱説明書や商品パッケージ等の開発コスト等が含まれている。これ以外に不具合が出てしまった場合の修理費用や、市場不良となってしまった場合の回収費用等は予測できない大きな費用となるため、商品化に向けては本年度の実証で実施した試験に加え、より厳しい商用化事前試験を実施することになる。また、4.3.3(2)に示した課題においてユーザの希望によりコストアップが想定される仕様変更があった場合には端末価格に関しても見直す必要がある。

イ) ユーザにおける必要リソース (モデルケース)

実装計画では今後の端末システムの提供単価を 54,000 円と設定している。単価の設定は、端末を構成する部品のコスト、営業およびサポート費用を代表的な変動費とし、商用時の生産コスト、取扱説明書や商品パッケージ等の開発コストを代表的な固定費と想定し、1 回のモデルチェンジコストを含めて表 4-56 に示した実装計画を実行できた場合に差損が出ないように設定した単価である。

売り切りでの提供を想定しているためランニングコストは不要になっているが、ユーザによっては導入後の運用サポートや、故障時の即時交換対応サポートを求める場合もあるため売買契約の内容によってはランニングコストの設定を行う必要がある。商用化を行う令和 6 年度以降のサポート内容に関してはユーザからのヒアリングを基にサポートなしの場合も含め価格設定を行う計画である。

現状想定している単価は 54,000 円であるが、あくまでも今後 5 年間の収益が計画通りに進んだ場合の価格設定であるため、来年度に予定しているユーザからのフィードバック等を反映して変更していく可能性がある。例えば、現在の想定より生産数が少なくなる場合には、生産に係る固定費を回収するため提供価格を上げる必要があり、生産数が多くなる場合には固定費の回収が早期に見込めるため提供価格を下げられる可能性がある。また、調達部品価格の高騰や、為替レートの変動も考慮する必要がある。

表 4-57 ユーザにおける必要リソース

項目	イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G 端末システム (1 台あたり)	5 万 4 千円	不要

一方で他の端末システムと部品の共通化や開発コストの削減を行っていくことにより、時期モデルでの提供価格を下げられるよう検討を進める。シャープでは本実証で試作した端末システム以外にも全国キャリア向けの 5G スマートフォンや、モバイルデータ端末等多くの 5G 端末を提供していく計画であり、これらの端末と部品の共通化やサポート体制の共通化を進めることによりコスト削減の検討を進める。

上記したように現段階での端末価格としては 54,000 円と設定しているが、4.1.4(1)に記載したように令和 5 年度のローカル 5G の普及状況としてはまだ PoC を実施したいユーザが多いと想定される。令和 5 年度の端末システムに対するニーズを考慮すると、やはり同様に PoC を実施したいユーザからは 1 台から 2 台程度の端末要求が多いと想定され、そのような場合にその時点でシャープが大量に生産し在庫が多く残ってしまうことは後々のユーザへの端末提供価格に影響があることが想定される。シャープでは今後もユーザからのヒアリングやローカル 5G 市場の動向を考慮して端末の提供方法を検討していくが、令和 5 年度のニーズがそれほど見込めない場合には例えば令和 5 年度、令和 6 年度の端末提供価格を高く設定し、ローカル 5G 市場が拡大していく令和 7 年度以降には端末提供数の増加にあわせて端末価格を下げるという提供方法も考えられる。

d. 実装を確実にするための取り組み

現在のローカル 5G の課題の一つは市場が小さい、すなわち端末システムの利用数が少ないことがあげられる。一般的に端末を提供する場合には、開発や生産にかかる固定費は生産計画台数で分割して単価に上乘せすることが多い。つまり、生産数が少ない端末の場合には 1 台あたりの価格が高くなってしまうことになる。また、生産数が少ない端末では工場で生産するための生産ラインの準備や生産のための人員の手配が難しくなるという面もある。一方でローカル 5G 市場の成長が鈍いのは、安価な基地局装置や安価な端末が少ないことが一つの要因であると考えられ、今後ローカル 5G 市場の成長を加速させるためには、基地局装置の価格とともに端末の価格を抑えつつも、その数量が多く市場で扱われるように好循環になっている市場にしていくことが重要だと思われる。このような市場が小さい状況での端末提供方法として、シャープはこれまで量産基準として端末を生産し、パッケージやサポート体制を整えた上で提供する方法ではなく、価格が上がらないように正式なパッケージや詳細な取扱説明書、提供窓口やサポート窓口を限定した検証機(試作機)としていくつかのローカル 5G 対応の端末を提供してきた。本実証で試作した端末システムに関しても、当初は貸し出しや検証機(試作機)として提供を行い、需要が伸びる令和 8 年度以降を本格的な商用のターゲットとすることでコストを上げることなく端末システムの提供を行っていくことができると考えている。

ア) 提供コスト低減

端末システムの提供コスト低減のためには、上述したように生産数を多くすることが一つの重要な点だと考える。ローカル 5G ではユーザの使用形態が個々で異なることが想定され、ある用途に特化したような高機能な端末が必要とされているが、一方そのような場合には端末価格が高価であることが多く、共同検証やユーザからのフィードバックを考慮して仕様を見直していき、ある程度汎用的に使える安価な端末を提供していくことも非常に重要と考えている。

端末システムの価格を抑える手段としては、全国 5G 端末との共通設計化や、部品の共通化が一つの手段であるが、それだけではなくモデルチェンジ時に筐体や部品、付属アクセサリ等を継続して使うことで開発コストを低減する方法もある。

本実証で試作した端末システムでは、次のモデルチェンジ以降も継続して筐体を使うことができないか検討中であり、今後ユーザのフィードバックを受けて可能性を検討していく。

イ) 端末機能・ソリューション追加開発

本実証では端末システムの試作を行ったが、令和 5 年度にはユーザとの共同検証を予定しており、その中でユーザの要望にあわせたソリューションの検証も行っていく計画である。

端末機能追加開発としては、4.3.3 (2) でも追加検討した有線 LAN ケーブルを用いた接続方法を示したが、USB ドングルを所定の OS を搭載した機器と接続して使用するソリューションだけでなく、有線 LAN ケーブルで接続して使用するようなソリューションに関してもユーザ要求に従い検証を進める計画である。

ソリューション追加開発としては、ユーザからの要望に従い開発を行う計画である。本実証で試作した端末システムは建設現場や工事現場、工場等をターゲットとしており屋外や埃の多い場所での利用を想定している。例えば、工場の AVG の高度化を検討しているユーザが試作した端末システムを AGV に接続してローカル 5G ネットワーク下で制御を行いたいという要望があった場合には、AGV に搭載されている OS の確認を行い、場合によっては新たなドライバの作成が必要になる可能性がある。また、建設現場の監視を行うネットワークカメラのような場合にも同様にネットワークカメラに合わせたドライバや、受信側の再生環境、ユーザの要求に合わせたリアルタイム性の設計が必要になる。SHARP では AGV や映像伝送ソリューションの提供事業部もあるため、本実証を主管したシャープ株式会社通信事業本部と協力しユーザのニーズに合わせてソリューションの追加開発も行っていくことが可能である。

ウ) 顧客開拓

本実証終了後の令和 5 年度にユーザへの訴求およびヒアリングの機会を積極的に増やしていくため、シャープ幕張事業所に設置した実験試験局エリア (SHARP Local 5G Trial Field) を活用する予定である。SHARP Local 5G Trial Field ではこれまで数十のユーザ/SIer およびパートナーとなる企業および団体に向けデモンストレーションや、ヒアリングを行ってきた実績がある。この他、これまで行ってきた実証試験の検証も行っており、次年度以降も継続して実験試験局免許を取得し様々な検証を行っていく計画である。シャープではローカル 5G 基地局システムの開発も行っており、本エリアでは試作機を用いて実験試験局免許を取得し、ユーザが持ち込んだ様々なアプリケーション・ソリューション検証や、シャープの簡単なデモンストレーションが行えるようになっている。ローカル 5G 基地局装置はまだ導入コストが高く、ユーザが事前確認なしに導入するには障壁があるが、このエリアを用いて事前検証することで予めローカル 5G のメリットやデメリットを知ることができる場として提供を継続していく。本実証では最終的に商用レベルに近い試作機を 40 台試作し、令和 5 年度以降はこの試作機でも実験試験局免許を取得しユーザとの共同検証に利用してしていく計画を立てている。

また、本実証で試作した端末システムのユーザが独自に設置したローカル 5G エリアで使用したい希望がある場合には、試作機を貸し出し独自のソリューションや性能検証を行えるよう計画している。

エ) 運用面の改善

前述したように、令和 5 年度にはユーザとの共同検証を予定しており、その中でユーザの要望にあわせた品質面の仕様や、安全性の仕様を見直していく計画である。ローカル 5G の場合はユーザによってローカル 5G エリアを構築する環境条件が様々であり、また使用するアプリケーションの条件や機器構成の制限を反映させて商用化に向けた端末仕様の確定を進める。

オ) ルールメイキングへの貢献

令和5年度にはユーザとの共同検証を計画しているが、この中で新たに見つかった改善点や、ユーザからの要求仕様、特に安全性、信頼性面で新たに試験が必要となる項目に関しては商用時にフィードバックしていく。

また、ローカル5Gの端末面の制度的な課題が発見された場合には積極的に制度変更提案を行っていく予定である。ローカル5Gの現行制度では、自己土地では他者が勝手に電波を利用することができないという免許制度面のメリットがある一方で、従来の免許が不要なWi-FiやsXGPと比較するとユーザにとっては免許申請手続きや最低限の電波に関する知識が必要となり一つの導入障壁となっている。端末システムの免許取得に関しても、全国キャリア向け端末の一般的なn79の認証は帯域幅が100MHzとなっているため、ローカル5Gのシステム帯域幅の規定である99.9MHz(もしくはそれ以下)で免許を取得するためには端末ベンダーから端末の占有帯域幅特性の情報を提供してもらう必要があるという煩雑なやり取りが発生する。

端末ベンダーであるシャープは今後ユーザがローカル5Gを導入するにあたりその利便性を向上させるような端末の認証取得方法がないかの検討をする必要があると考えている。

また、本年度の開発実証ではドローンを利用した開発実証が多く行われた。これまで5Gでは電波の上空利用ができなかったが、LTEに加えて5Gも利用できるよう検討が進められた。(下記URL参照)

新世代モバイル通信システム委員会報告(案)に対する意見募集 - 総務省

https://www.soumu.go.jp/main_content/000845015.pdf

5Gでの上空利用の制度が整うのと共にシャープでもそれに適した電波制度に合う端末提供や、ドローンへの搭載が可能になるような端末の検討を進める必要があると考えている。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など)

表4-56に本実証終了後の収支計画を示しているが、ユーザからの希望生産数が少なかったり変更要求仕様が大きなハードウェアを伴う場合には量産にかかる費用が大きくなり、端末の単価を上げざるを得なくなったり、量産を諦める必要がある可能性がある。

シャープではこのような場合も考え別の端末システムを同じように使えるように検討を行う計画である。ただしこの場合にはユーザにより安価で導入できるように、例えば本実証で試作した端末システムの一部仕様の変更や、全国5G端末との共通化設計等を行い、ユーザにより導入しやすい端末にする必要があると考える。

5. 普及啓発活動の実施

ローカル 5G の普及啓発活動にあたり以下のような活動を実施した。

5.1 映像制作

本実証で試作したローカル 5G 端末に関する動画制作に関しては本実証の作業の様子や、本実証で試作した端末システムを用いた活用例の一例を示す動画を作成した。また、実証映像等の素材として上記動画を制作した際に撮影した映像の提供を行った。

本実証で撮影されたコンテンツは表 5-1 に記載のシーンを撮影し、編集した。

表 5-1 映像制作における撮影シーン

シーン	内容
実証場所	シャープ幕張事業所内の実験試験局エリアの様子
端末評価	端末システムの性能評価をする様子
端末システム	端末システムの詳細
AR グラス活用例	Dynabook 社の AR グラス(インテリジェントビューア AR100)とモバイルエッジコンピューティングデバイス DE100 とを組み合わせた活用例
PC と USB ドングル	USB ドングルを PC と接続して動作させる様子
実証作業	シャープ幕張事業所内の実験試験局エリアにて作業をする様子
端末無線評価	端末システムの無線性能を評価する様子

5.2 端末システム発表会の実施

本実証で試作したローカル 5G 端末システムの導入に関心のある企業や、地方公共団体、関係省庁等に対する周知啓発として、試作した端末システムの発表会を実施した。表 5-2 に総務省および各総合通信局、三菱総合研究所、有識者向けに実施した端末システム発表会の内容を示す。端末システムの導入に関心がある企業に向けては別途個別に開催をしており、実証完了後にも要望に応じて開催予定である。

端末システム発表会の実施は、本実証で試作した端末システムの実験試験局免許を取得したシャープ幕張事業所に開設したローカル 5G 実験試験局エリア (SHARP Local 5G Trial Field) にて実施し、本実証の取り組み紹介及び試作した端末システムを用いたスループット性能のデモンストレーションや、AR グラスを使用した遠隔指導のデモンストレーションを行った。

表 5-2 端末システム発表会について

項目	内容
開催日時	2023 年 3 月 8 日 13:00~14:30
開催場所	シャープ幕張事業所 2F 商品展示ルーム およびオンライン
参加企業・団体	<ul style="list-style-type: none"> ・総務省 ・関東総合通信局 ・東北総合通信局 ・東海総合通信局 ・北陸総合通信局 ・近畿総合通信局 ・九州総合通信局 ・三菱総合研究所 ・その他、関係企業・団体等 ・シャープ株式会社 (主催)
内容	<ul style="list-style-type: none"> ・実証試験の取り組み紹介 <ul style="list-style-type: none"> －端末システムの紹介 －実証内容の紹介 ・試作した端末システムを使用したデモンストレーション <ul style="list-style-type: none"> －スループット性能 －降雨環境再現 －AR グラスを使った遠隔指導 ・質疑応答 ・総評

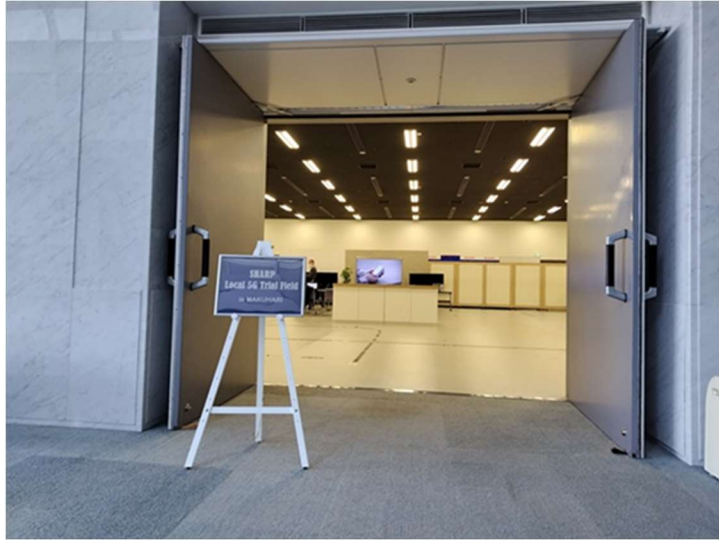


図 5-1 端末システム発表会会場



図 5-2 AR グラスを使用した遠隔指導デモの様子

5.3 その他普及啓発活動

その他普及啓発活動としては、本開発実証開始前にシャープからプレスリリースを行った。以下にプレスリリースのリンクを示す。

『過酷なフィールドでの利活用を想定した防水・防塵・小型 USB ドングル端末の試作』の提案が採択 | ニュースリリース：シャープ

<https://corporate.jp.sharp/news/220914-a.html>

また、啓発活動の一環として株式会社リックテレコムから出版されている「テレコミュニケーション 2022 10月号」に本実証で試作した端末システムについて言及している文章が掲載された。以下にウェブ記事として掲載されているリンクを示す。

ローカル 5G 市場変革の鍵 「価格低下が絶対条件」(ページ 3) | BUSINESS NETWORK

<https://businessnetwork.jp/article/11149/3/>

また、本実証の端末システムを用いて実験試験局免許を取得しているが、免許取得にあたり関東総合通信局からプレスリリースが発表されている。以下にプレスリリースのリンクを示す。

総務省 | 関東総合通信局 | 課題解決型ローカル 5G 用無線局の免許を 2 者に付与 - 遠隔作業指導等を容易にする小型カメラ・過酷な環境で使用する USB ドングル端末試作 -

<https://www.soumu.go.jp/soutsu/kanto/press/2023/0110r1.html>

この他、シャープが参加するコンソーシアムや上記プレスリリースを見てシャープにお問い合わせをしてきた団体や企業に対しては個別に説明会を行っている。既に興味を持っている企業もあるため次年度以降も継続して接続検証や、独自の実証試験を行っていく計画である。

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本実証はシャープが端末システム試作者代表機関となり、技術実証および課題実証の全てを実施した。端末システムの生産、各認証の取得および性能試験の実施にあたり関係会社の協力のもと本実証を進めた。関係会社を含む詳細な実施体制は非公開とする。

6.2 実施体制内の役割

本実証での端末システムの試作に当たってはシャープが端末システム試作者代表機関となり、技術実証および課題実証の全てを実施した。シャープにて以下の役割を設置し端末システムの実証が円滑に進むよう組織を形成し本実証を実施した。

- ✓ 実施責任者(プロジェクトマネージャ)
- ✓ 技術実証担当者
- ✓ 会計処理担当者
- ✓ 業務実施責任者、および業務実施副責任者
- ✓ 情報セキュリティ責任者、副責任者
- ✓ 情報保全監督責任者、副責任者

実施責任者は、プロジェクト(事業)の進捗管理、事業の統括を行い、株式会社三菱総合研究所(以下、三菱総合研究所)ならびに総務省の求めに応じて事業の内容の説明等を行った。

技術実証担当者は、三菱総合研究所とローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討に関する連絡を行い、三菱総合研究所ならびに総務省の求めに応じて当該検討の内容の説明等を行った。

会計処理担当者は、実施体制内の各法人・団体への経理処理提出の指示・取りまとめを行い、事務局宛の期限内の提出や正確な提出を行った。

その他、技術実証および課題実証の実施における実施責任者ならびに副責任者の設置、実証内で取り扱う機密情報に関する管理・責任を持つ情報セキュリティ責任者ならびに副責任者、機密情報の安全な管理等に責任を持つ情報保全管理責任者ならびに副責任者を設置した。

6.3 実施体制に係る要件への対応

本実証の実施体制は、「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」[端末システム試作事業]公募要領の「別紙2 実施体制に係る要件」に記載の要件を全て満たし、本実証を実施した。

I. 個人情報及びその他機微と認められる情報に関する秘密保持等

本実証を実施するにあたり、個人情報およびその他機微と認められる情報がある場合には、取り扱いに十分注意し、法律等を遵守した。

本実証においては基本的に個人情報の取り扱いはない予定ではあるが、実証の中で個人情報を取得することがあれば、取り扱いに十分注意し実証を進めた。

II. 情報セキュリティ対策

本実証を実施するにあたり、情報セキュリティを確保するための体制を整備した。

また、情報セキュリティ対策の履行が不十分である可能性がある場合には協議を行い、合意した対応を実施した。その他、情報の保全に十分注意し、管理・取り扱い・保存等を決められた体制のもと実行した。

本実証で取り扱う情報や文書はシャープ社内のネットワーク(イントラネット)上のサーバーで管理し、サーバーにアクセスするユーザはパスワードで管理した。また、再委託先との情報・データのやり取りに関しても十分にセキュリティに注意し実証を進めた。

本実証を主管するシャープでは図6-1に示したような情報セキュリティ対策の実施体制を構築している。「ビジネスリスクマネジメント規程」にて、重大なリスク事案(インシデント)が発生した場合の対応ルールを定めており、緊急事態発生時の迅速かつ適切な行動により、自社のみならず、社会に対する損失の最小化と被害の拡大防止を図るとともに、ステークホルダーに対して迅速かつ適切な情報開示を行う。

また、本実証においては重大なリスク案件が発生した場合、上記した社内プロセスだけでなく、プロジェクトリーダーから株式会社三菱総合研究所に報告を行うこととした。

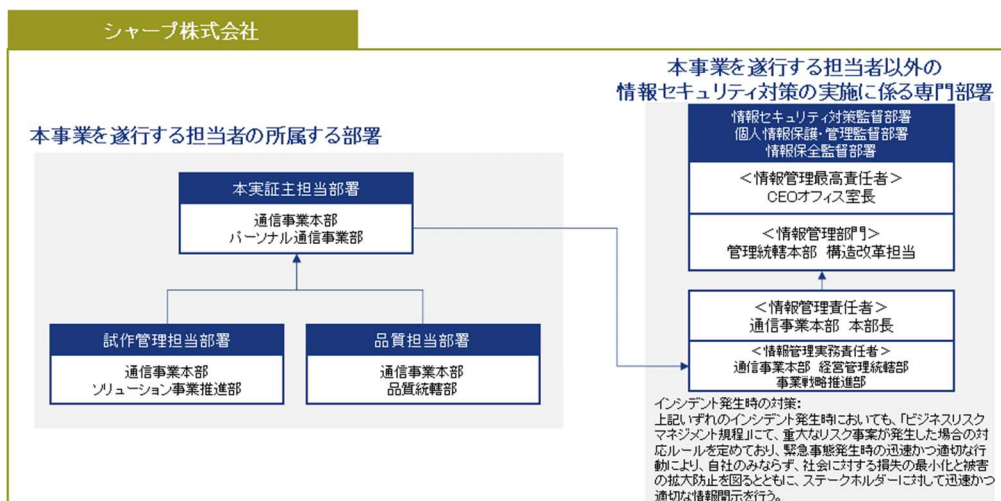


図 6-1 本実証の情報セキュリティ対策の実施体制

III. 業務等の実施体制

本実証を実施するにあたり、適格な業務従事者を従事させ本実証を遂行するとともに、適切な経理処理、適切な再委託等の履行を行った。

IV. サプライチェーンリスク対策

本実証を実施するにあたり、サプライチェーンリスクの低減を考慮し、具体的な管理手順や品質保証体制を証明する書類を提出した。また、本実証で使用する機器等についても当該機器等の詳細が確認できる書面を提出した。

また、本実証を主管するシャープでは全社的に図 6-2 に示したような品質保証体制が構成されている。責任者である社長の下、本社機能部門と各事業本部の中に品質保証部門が組織されている。

図 6-3 に本実証を主管するシャープ通信事業本部の品質関連部門を示す。本通信事業本部では、通信技術を核とした機器の企画、設計開発、製造及びアフターサービス拠点として品質・環境理念を実現するため、「品質・環境方針」を定めて事業活動に取り組んでいる。

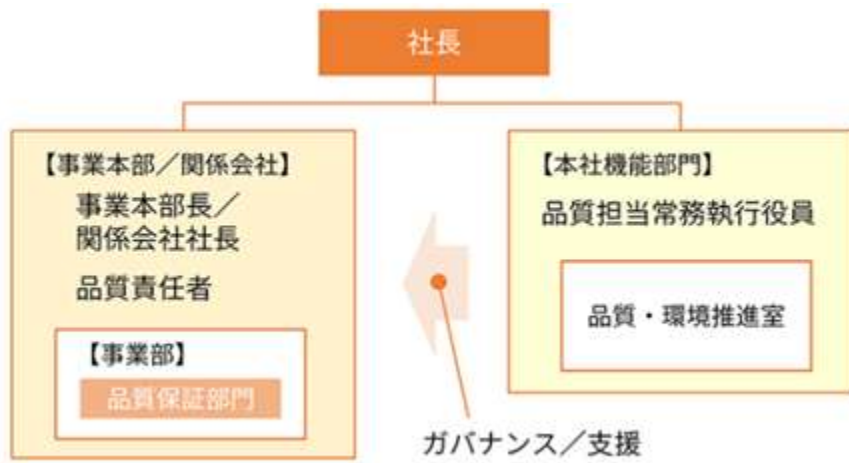


図 6-2 シャープの品質保証体制

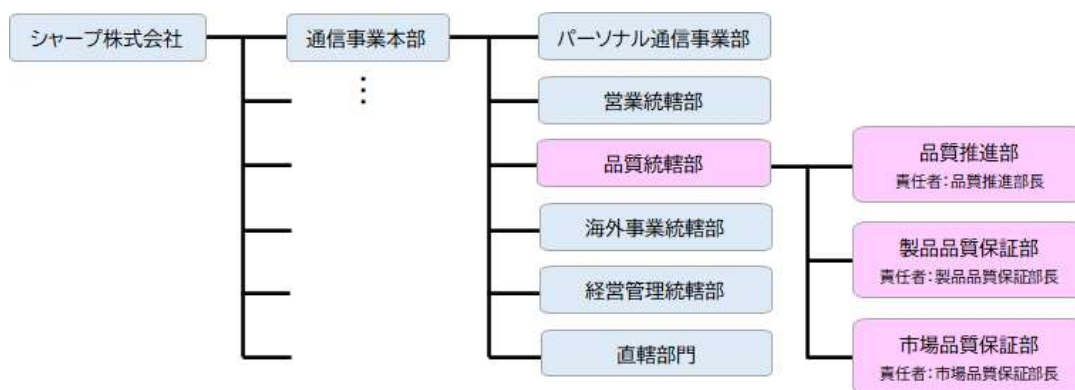


図 6-3 本実証を主管する事業部の品質保証体制

V. 再委託等に関する事項

本実証を実施するにあたり、再委託先に業務を行わせる前に申請し、了承を得た。また、再委託先においても情報セキュリティ、個人情報保護に注意し、本実証を実施した。

7. スケジュール

以下に、本実証の全体スケジュールを示す。再委託先との契約や、半導体不足の影響、新型コロナウイルスによる工場稼働率の低下等によりスケジュールに影響があることが予想されるため、関係者および再委託先と情報を共有連携しながら開発検証を進めた。

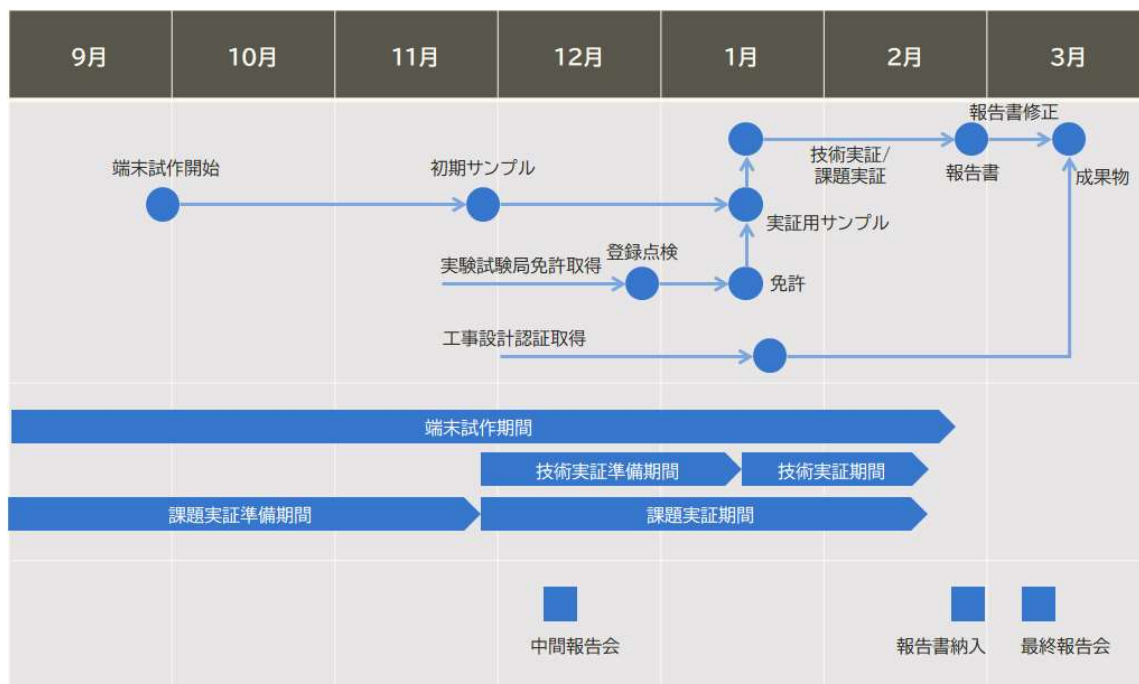


図 7-1 開発実証スケジュール

端末試作開始から免許申請完了までは無線環境での試験が行えないため、シャープ幕張事業所に設置された電波暗室もしくはシールドルーム内での検証を実施した。

免許取得後、技術実証および課題実証を本格的に開始し、2月には報告書納入、その後細かい修正等を加え、3月に納入と最終報告会を実施した。

免許申請から運用までには時間がかかることが想定されたため、採択決定前から実証を行う場所を管轄する関東総合通信局と情報交換を行い、迅速に手続きが進むように実験試験局免許の取得を行った。

8. 参考資料 1

以下に YRP に設置されたローカル 5G テストベッドで実施した無線伝送試験の結果の各ポイントでの時間変動グラフを示す。無線伝送試験は図 3-18 に示したポイントで実施し、それぞれのポイントでアップリンク伝送スループット、ダウンリンク伝送スループット、伝送遅延、受信電力の評価を行った。いずれの評価項目も 1 分間の測定を行っている。スループットは端末システムのログとして記録される物理層のスループット、受信電力は SS-RSRP、遅延時間は ping コマンドを使用した往復遅延時間を示している。

ポイント 1

以下にポイント 1 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

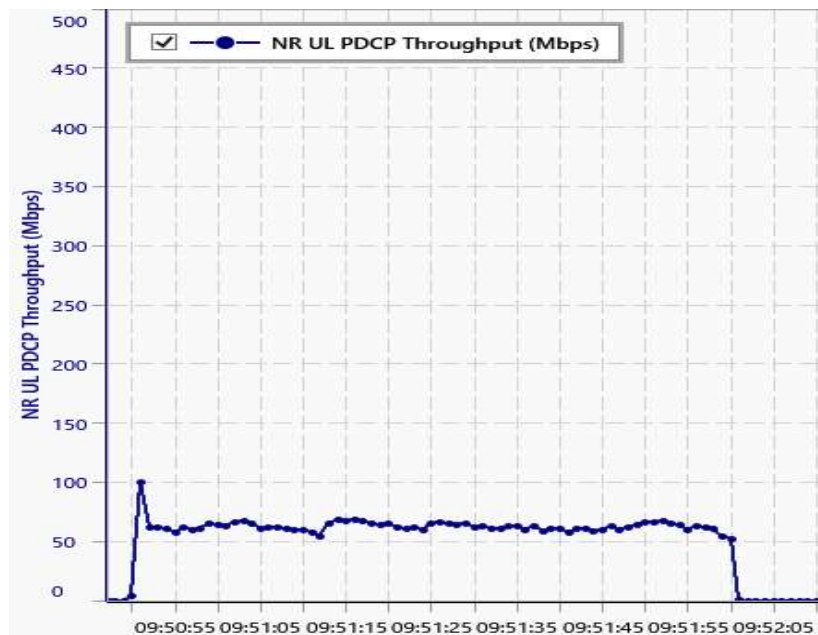


図 8-1 ポイント 1 のアップリンクスループット時間変動

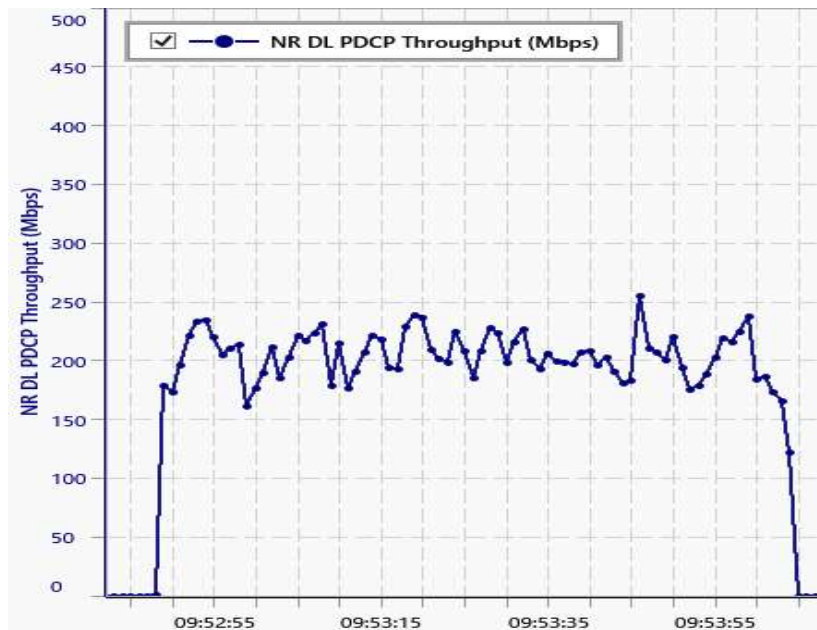


図 8-2 ポイント 1 のダウンリンクスループット時間変動

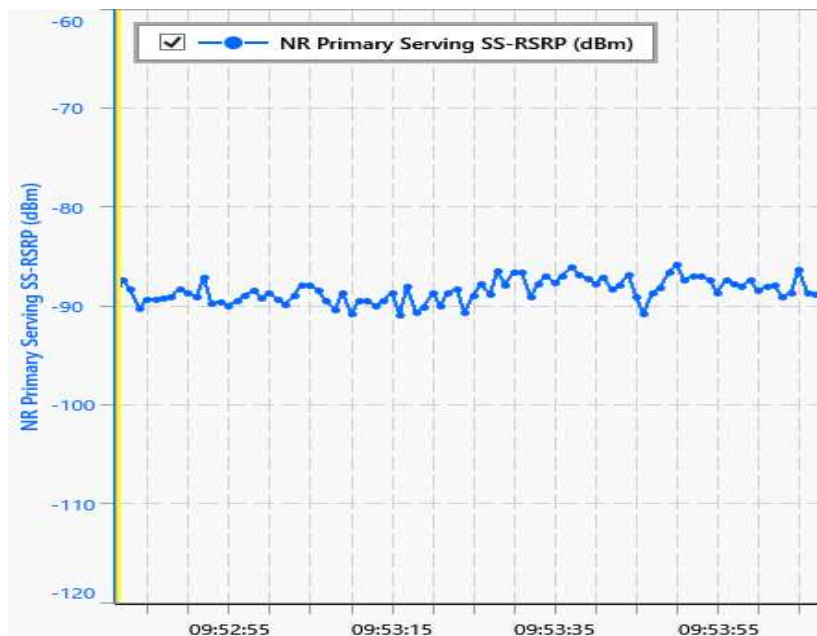


図 8-3 ポイント 1 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

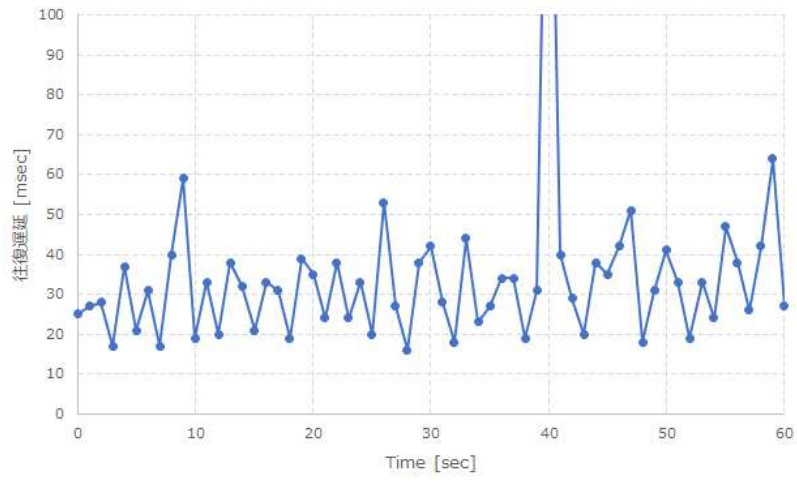


図 8-4 ポイント 1 の伝送遅延の時間変動

ポイント 2

以下にポイント 2 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

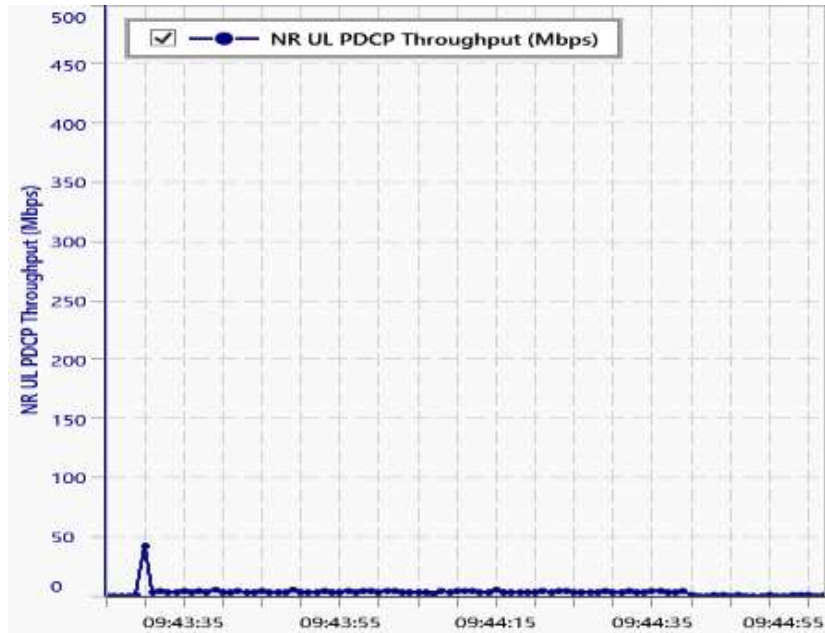


図 8-5 ポイント 2 のアップリンクスループット時間変動

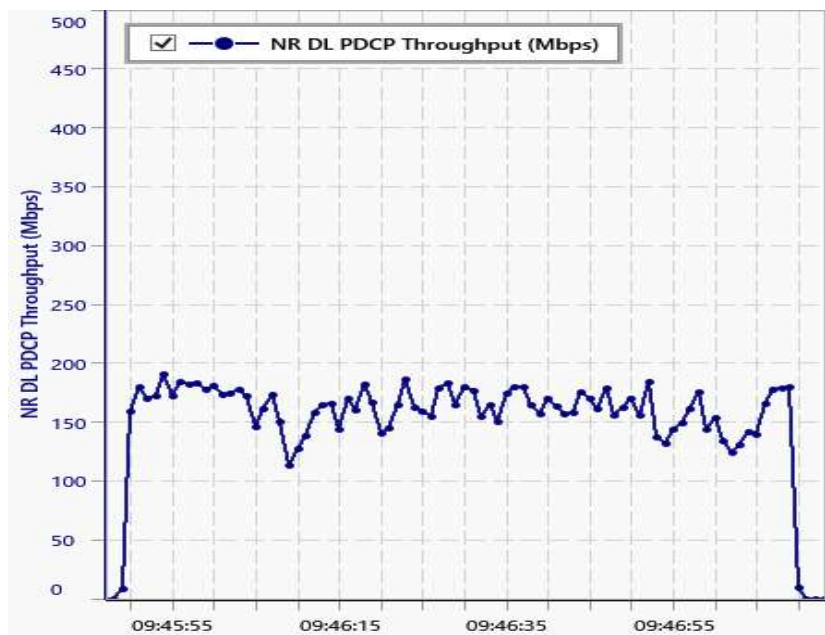


図 8-6 ポイント 2 のダウンリンクスループット時間変動

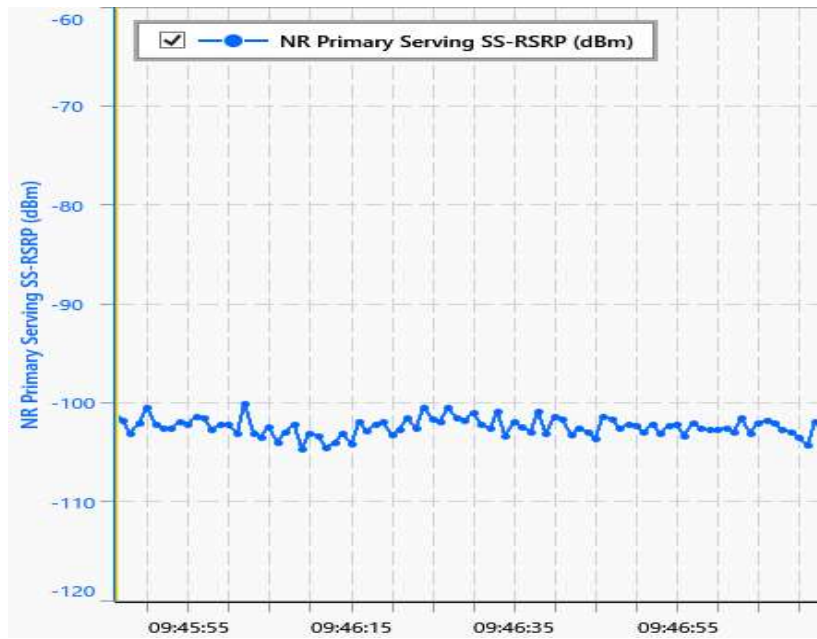


図 8-7 ポイント 2 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

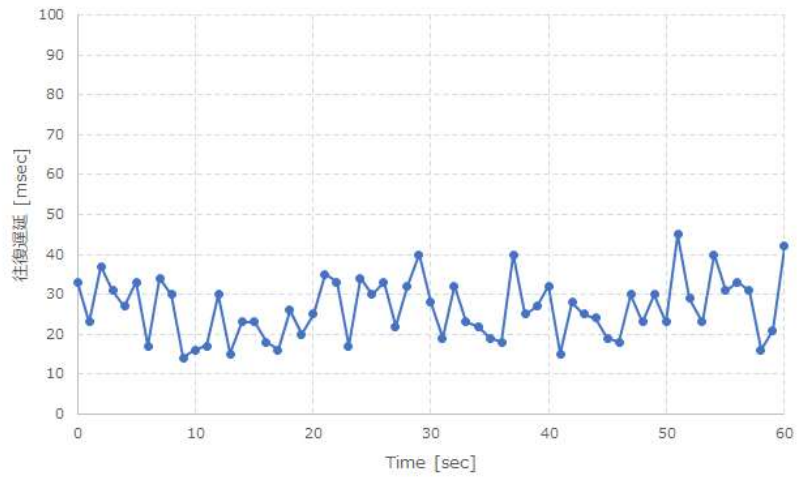


図 8-8 ポイント 2 の伝送遅延の時間変動

ポイント 3

以下にポイント 3 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

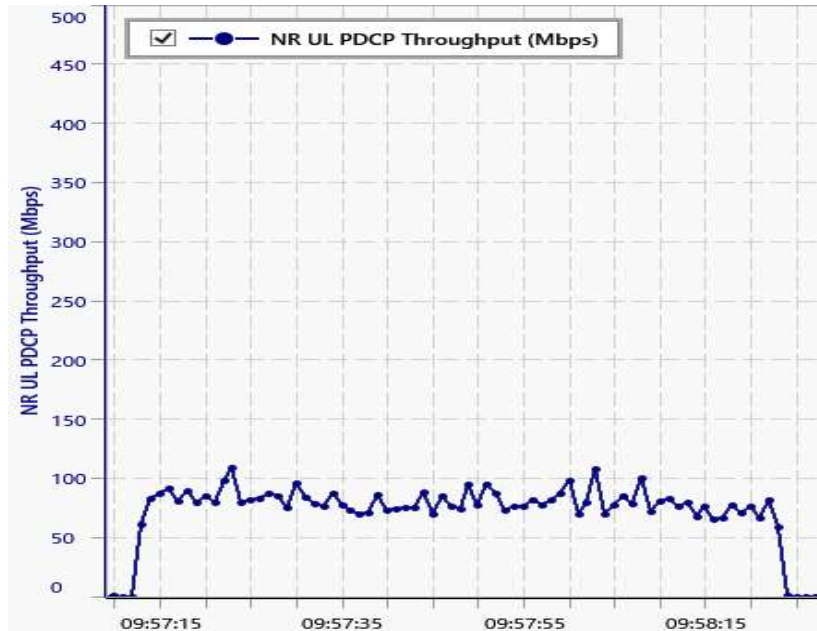


図 8-9 ポイント 3 のアップリンクスループット時間変動

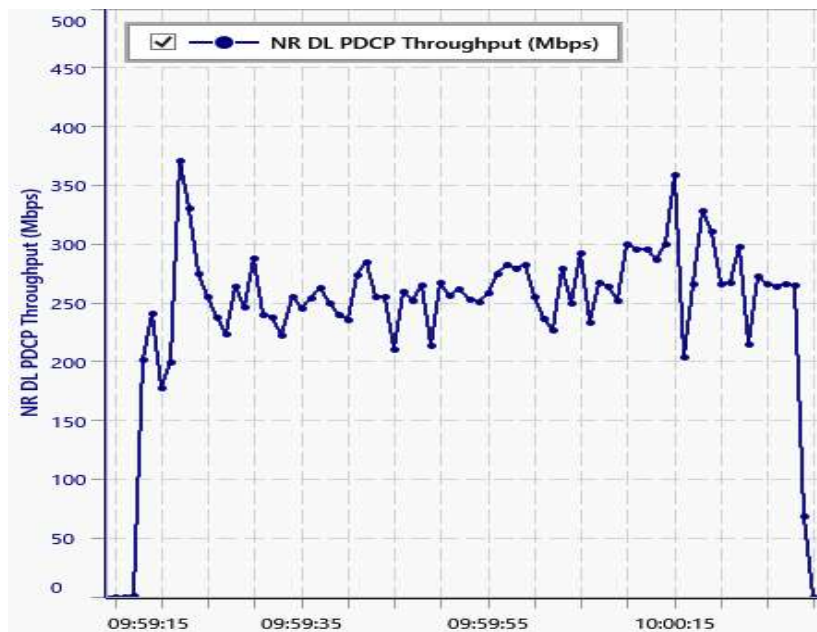


図 8-10 ポイント 3 のダウンリンクスループット時間変動

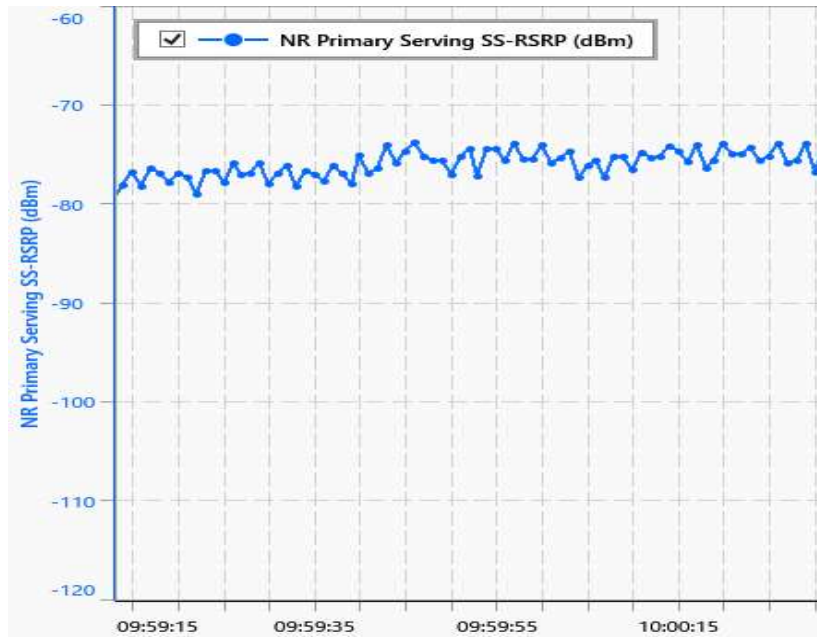


図 8-11 ポイント 3 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

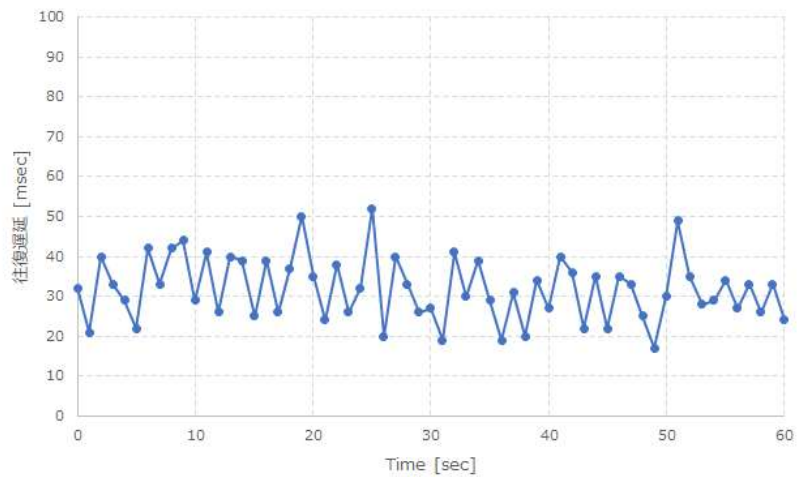


図 8-12 ポイント 3 の伝送遅延の時間変動

ポイント 4

以下にポイント 4 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

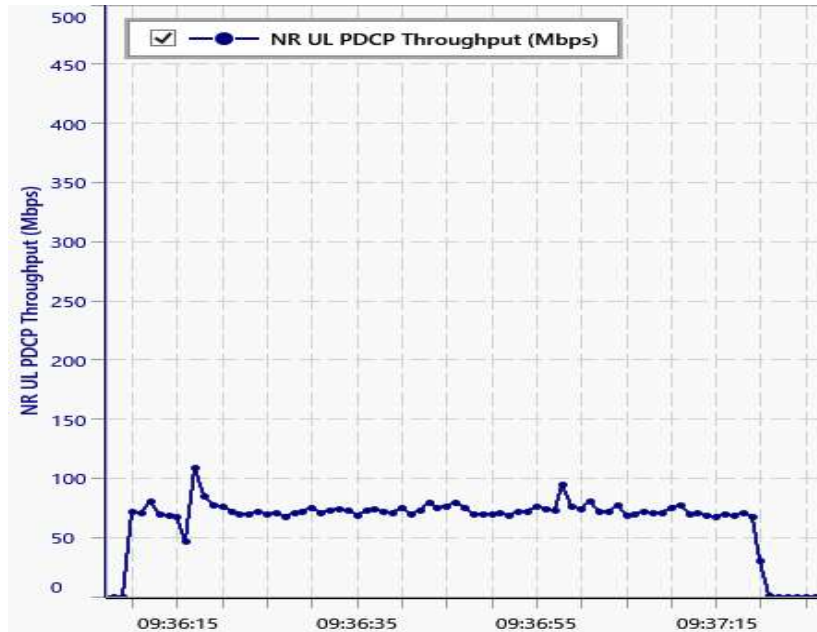


図 8-13 ポイント 4 のアップリンクスループット時間変動

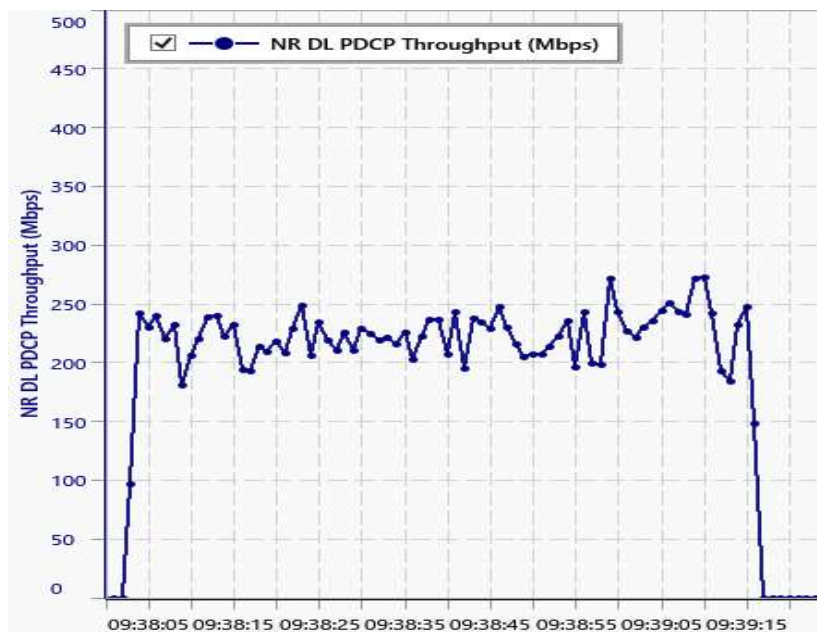


図 8-14 ポイント 4 のダウンリンクスループット時間変動

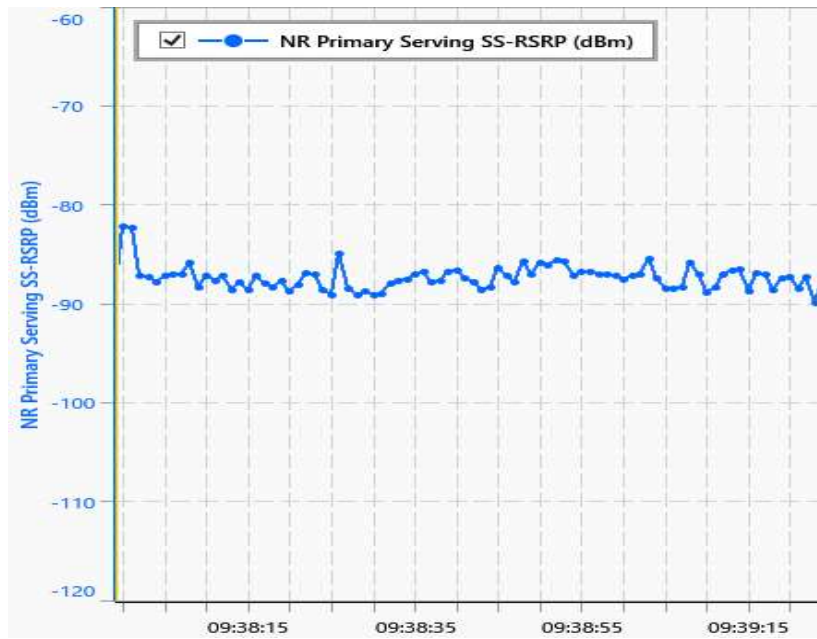


図 8-15 ポイント 4 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

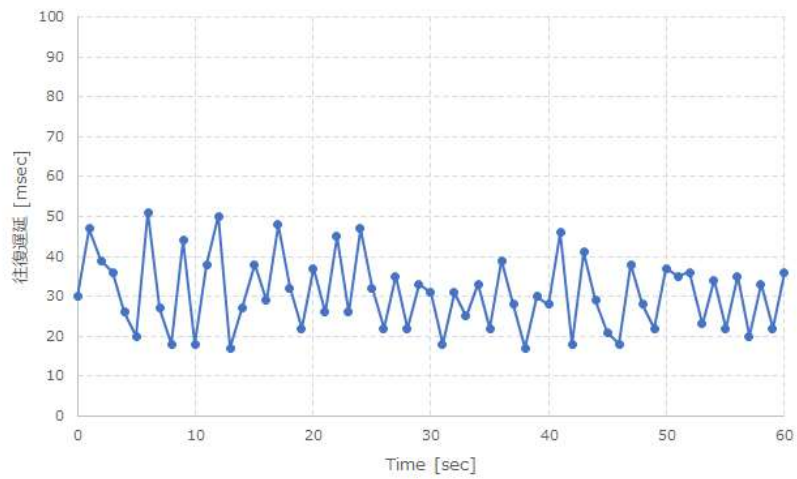


図 8-16 ポイント 4 の伝送遅延の時間変動

ポイント 5

以下にポイント 5 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

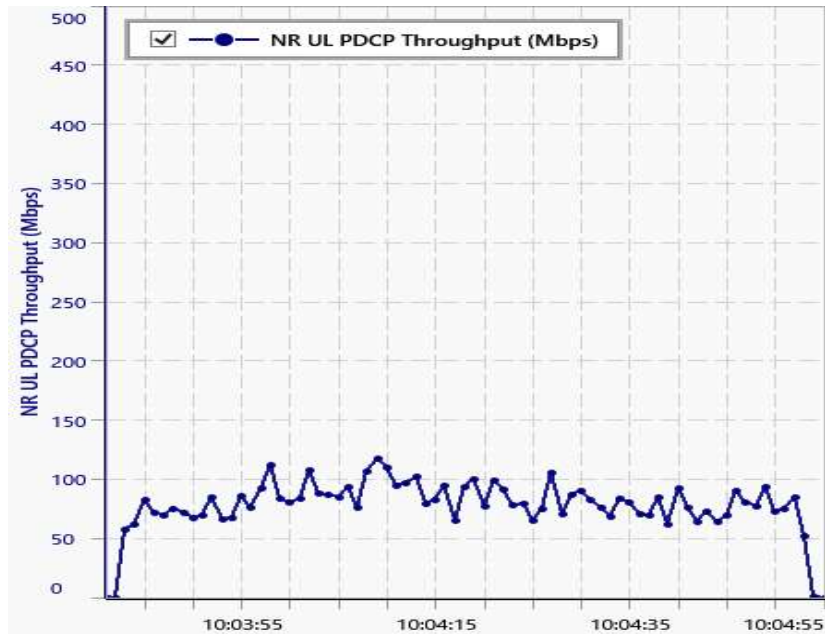


図 8-17 ポイント 5 のアップリンクスループット時間変動

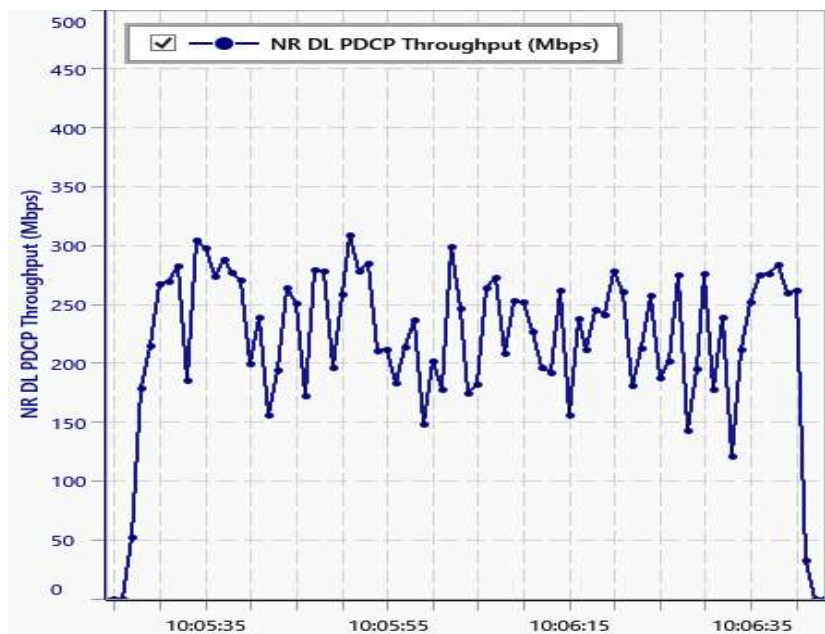


図 8-18 ポイント 5 のダウンリンクスループット時間変動

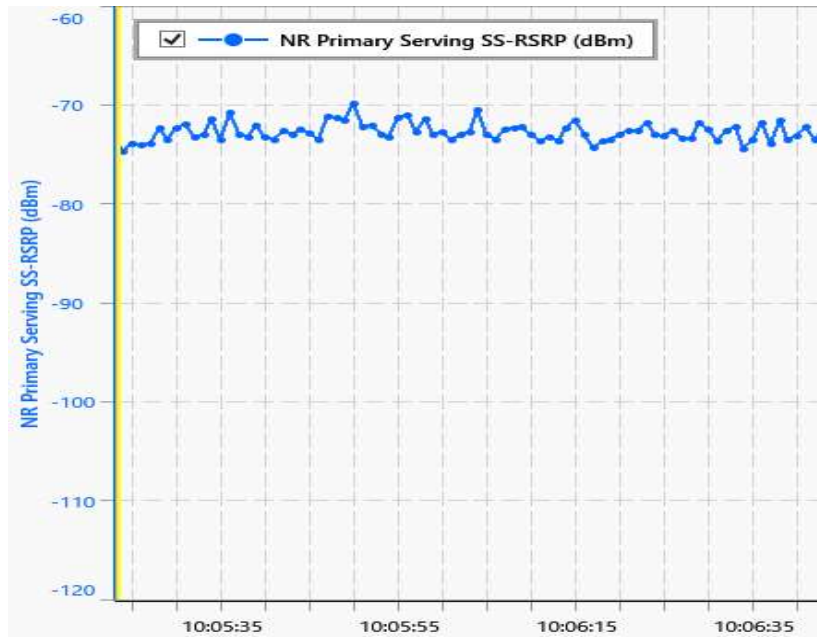


図 8-19 ポイント 5 の受信電力 (SS-RSRP) の時間変動

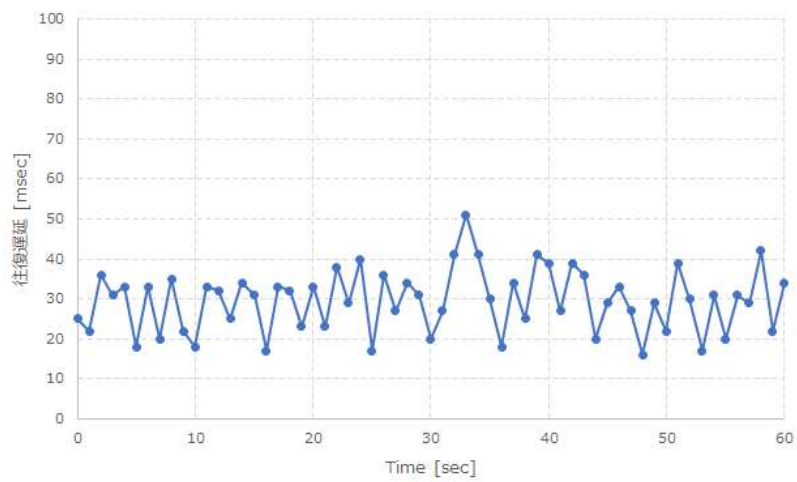


図 8-20 ポイント 5 の伝送遅延の時間変動

ポイント 6

以下にポイント 6 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

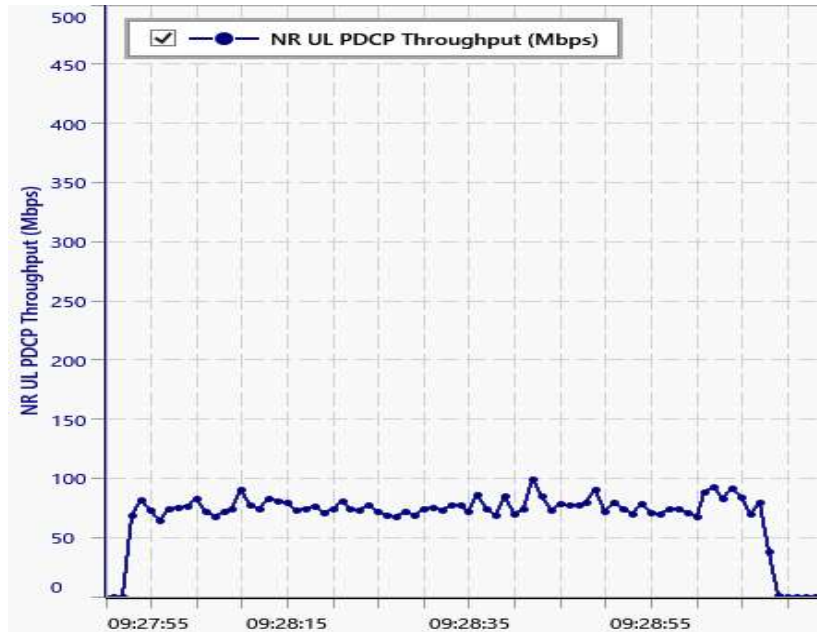


図 8-21 ポイント 6 のアップリンクスループット時間変動

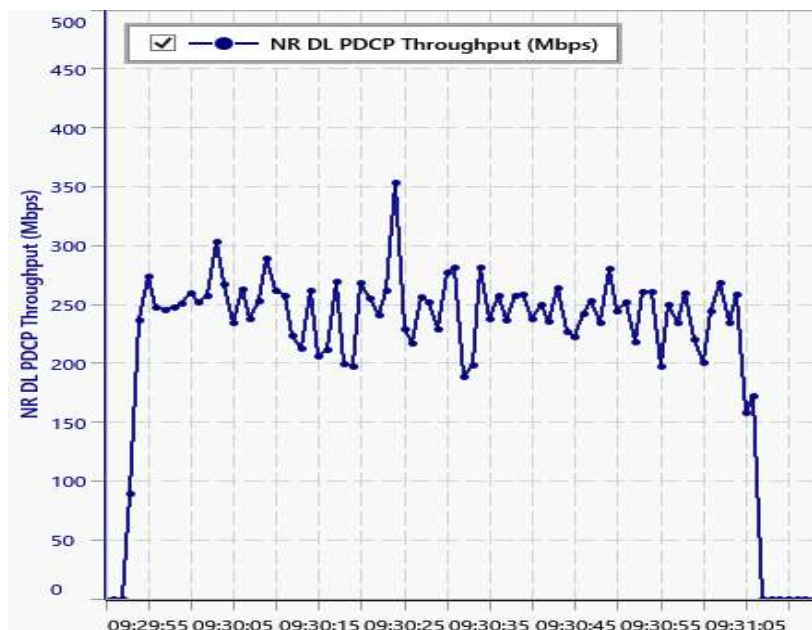


図 8-22 ポイント 6 のダウンリンクスループット時間変動

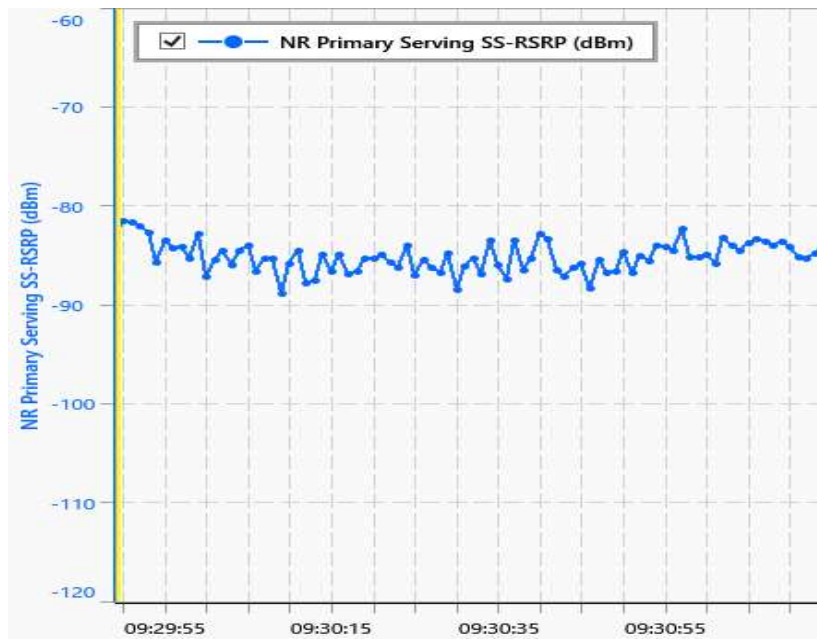


図 8-23 ポイント 6 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

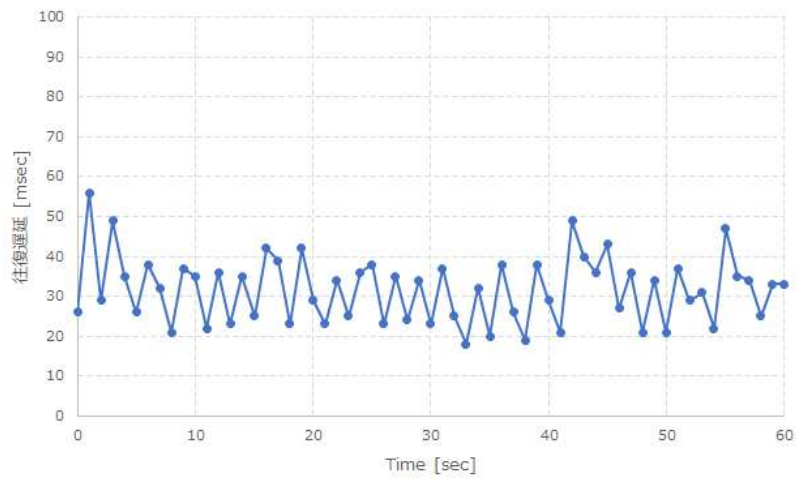


図 8-24 ポイント 6 の伝送遅延の時間変動

ポイント7

以下にポイント7のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

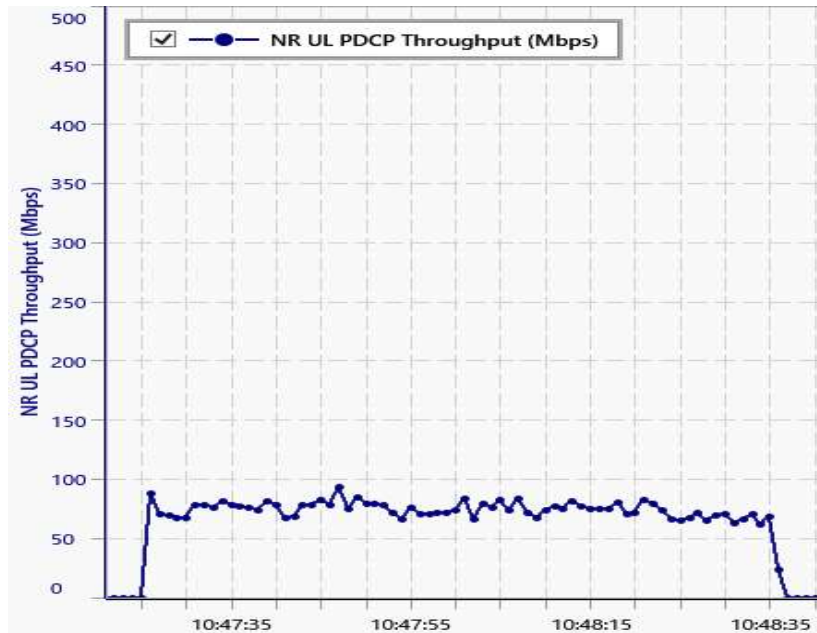


図 8-25 ポイント7のアップリンクスループット時間変動

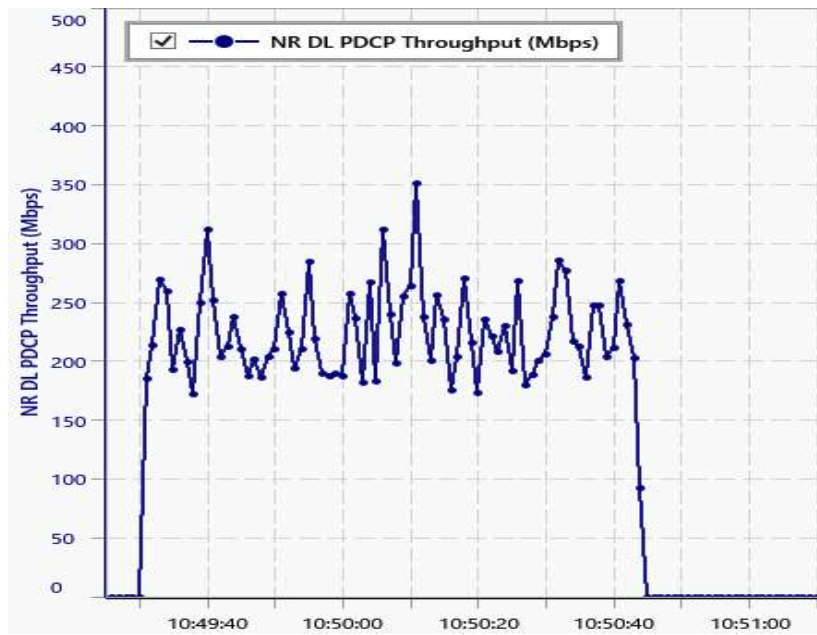


図 8-26 ポイント7のダウンリンクスループット時間変動

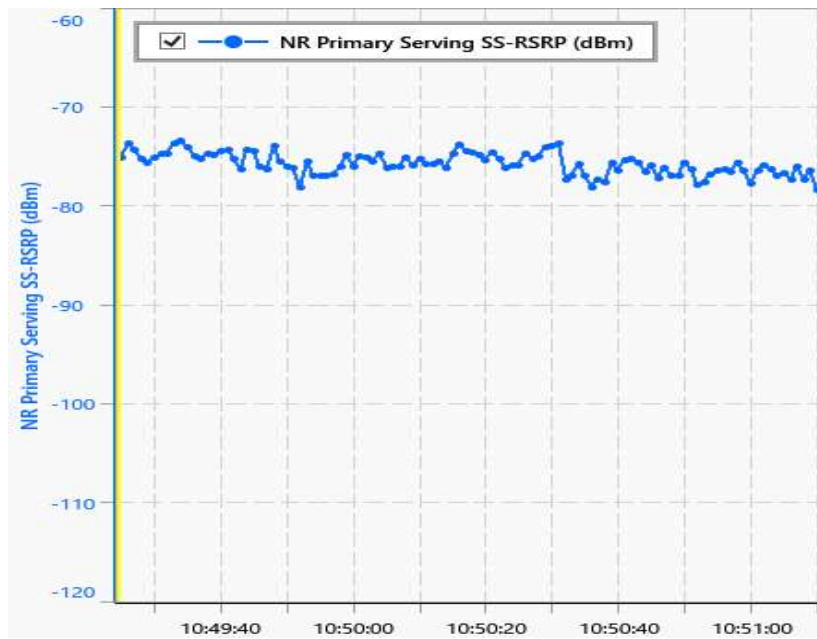


図 8-27 ポイント 7 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

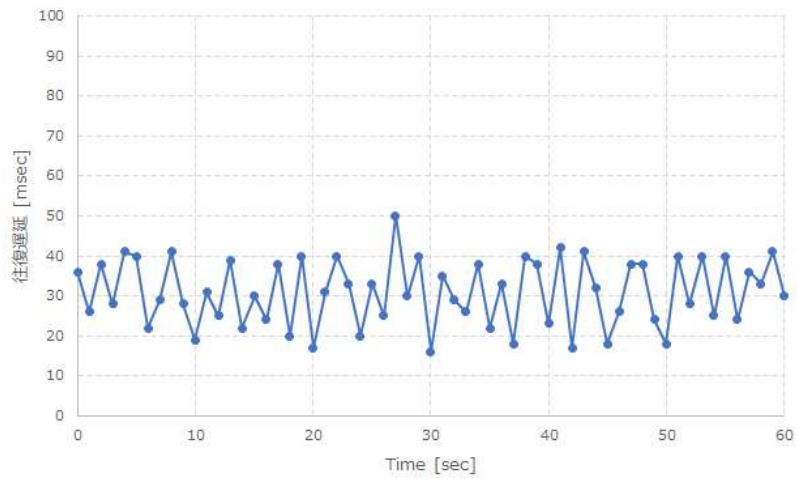


図 8-28 ポイント 7 の伝送遅延の時間変動

ポイント 8

以下にポイント 8 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

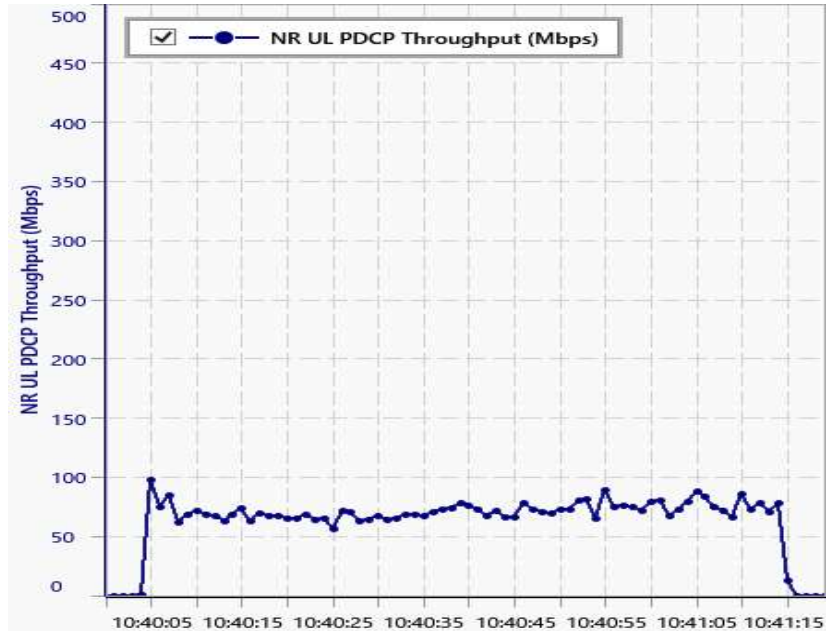


図 8-29 ポイント 8 のアップリンクスループット時間変動

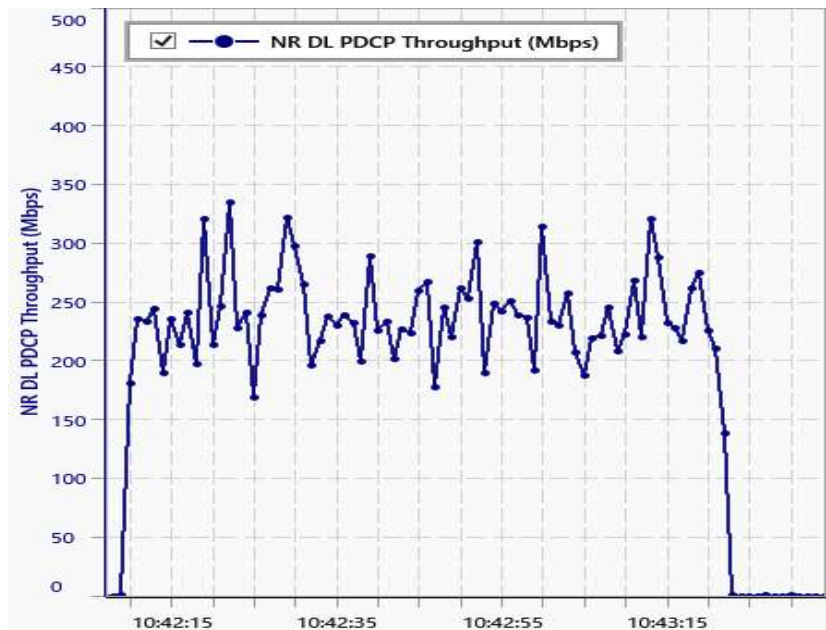


図 8-30 ポイント 8 のダウンリンクスループット時間変動

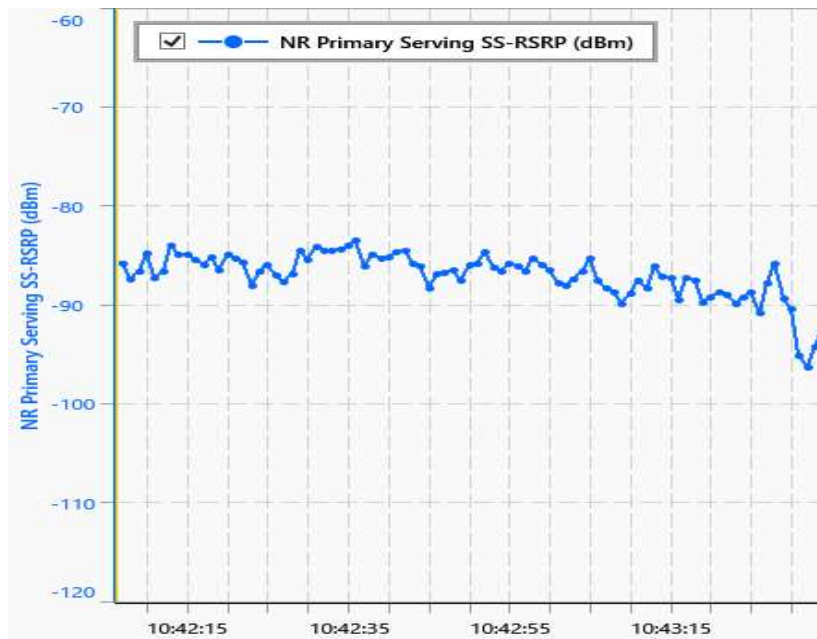


図 8-31 ポイント 8 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

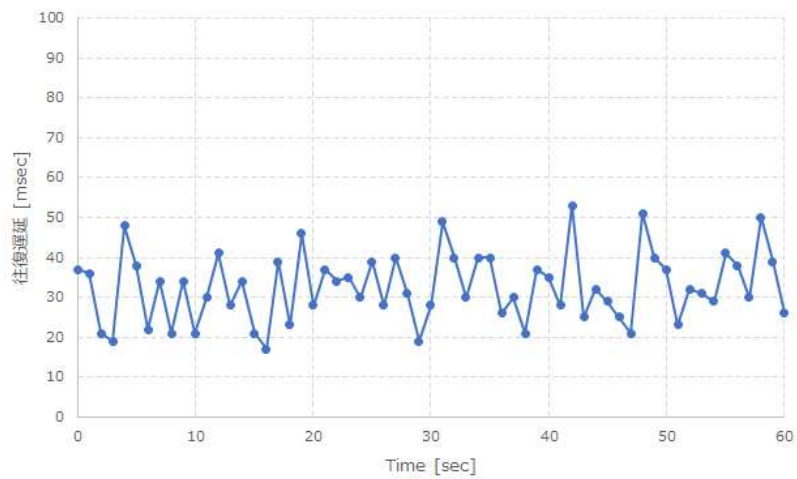


図 8-32 ポイント 8 の伝送遅延の時間変動

ポイント 9

以下にポイント 9 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

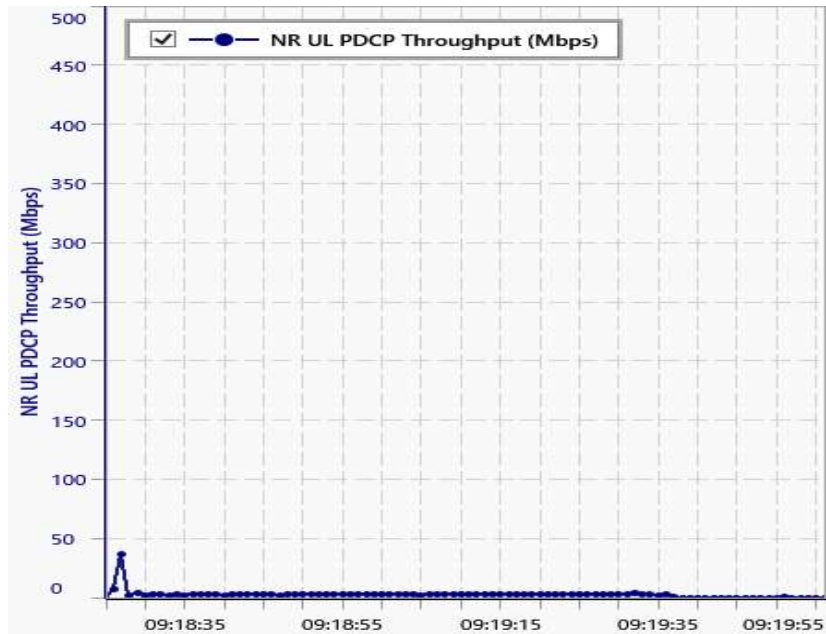


図 8-33 ポイント 9 のアップリンクスループット時間変動

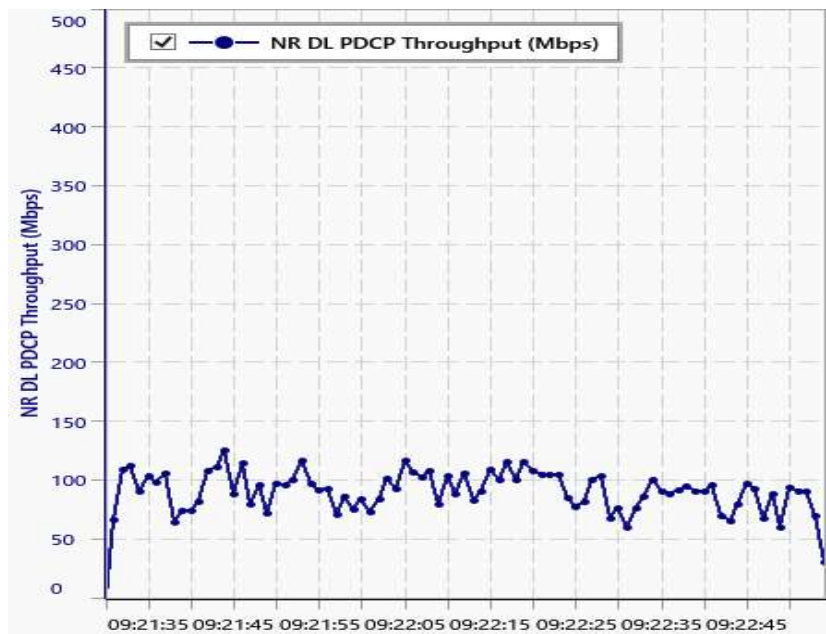


図 8-34 ポイント 9 のダウンリンクスループット時間変動

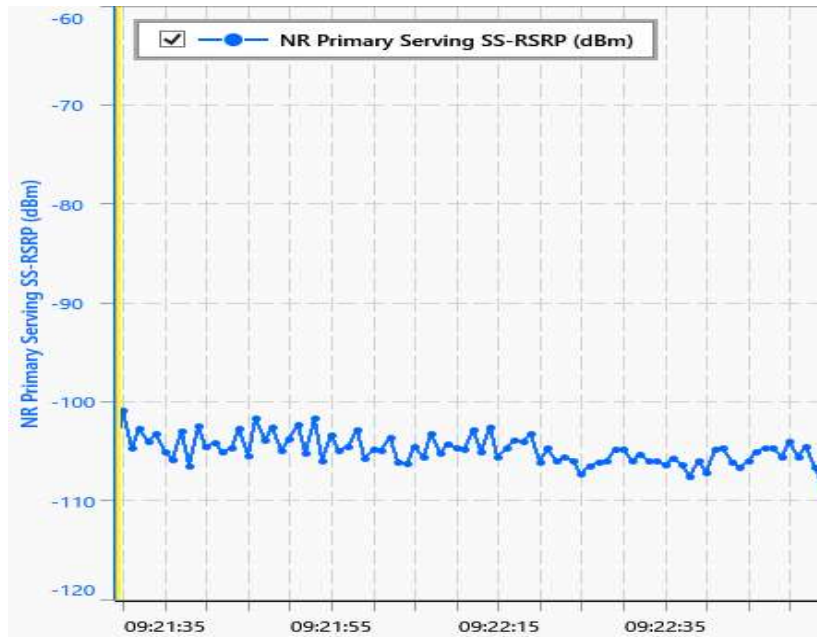


図 8-35 ポイント 9 の受信電力 (SS-RSRP) の時間変動

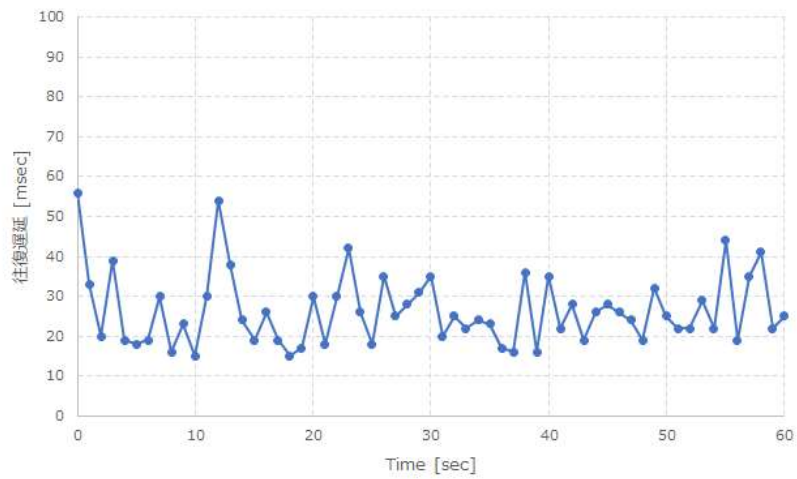


図 8-36 ポイント 9 の伝送遅延の時間変動

ポイント 10

以下にポイント 10 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

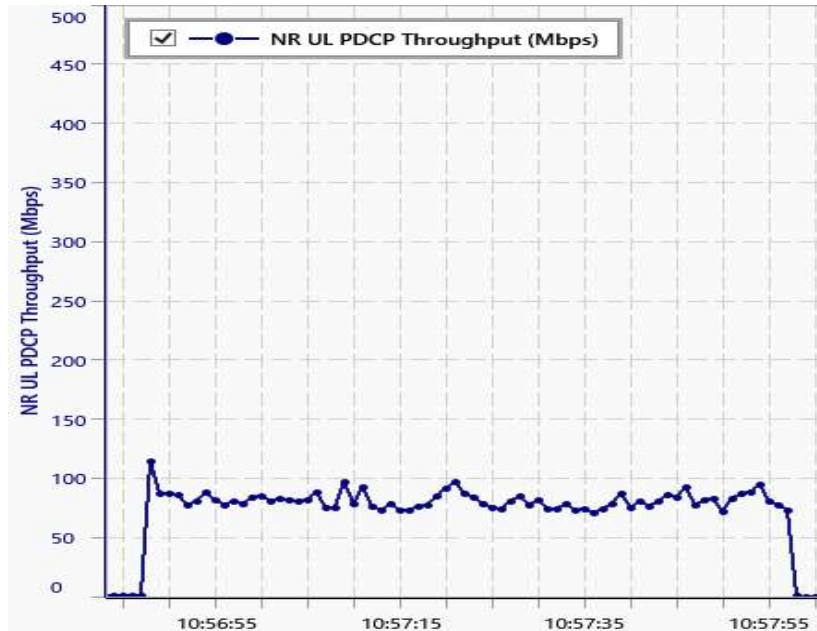


図 8-37 ポイント 10 のアップリンクスループット時間変動

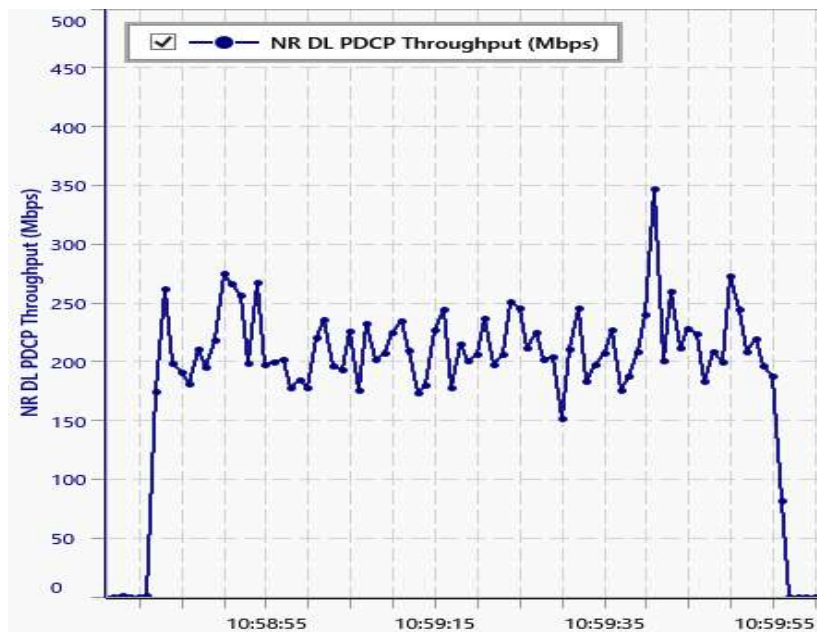


図 8-38 ポイント 10 のダウンリンクスループット時間変動

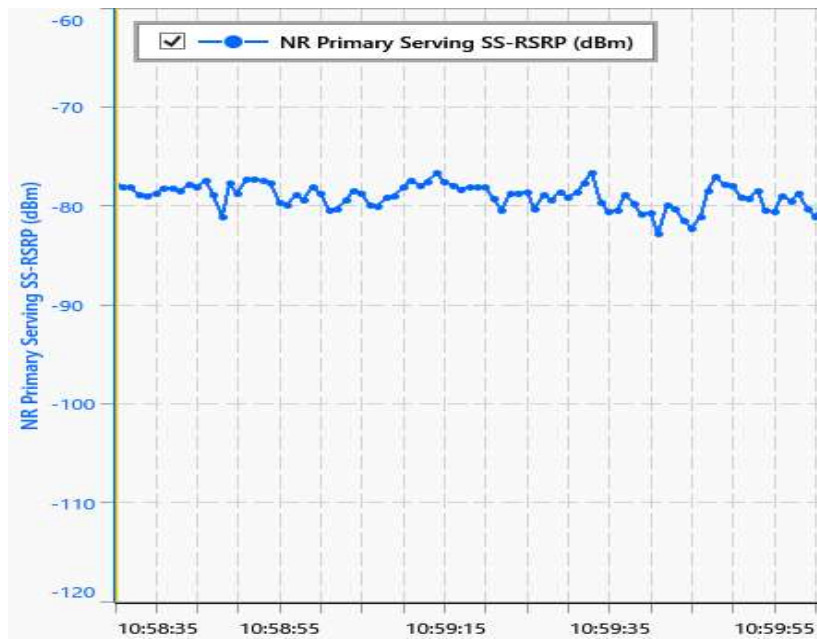


図 8-39 ポイント 10 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

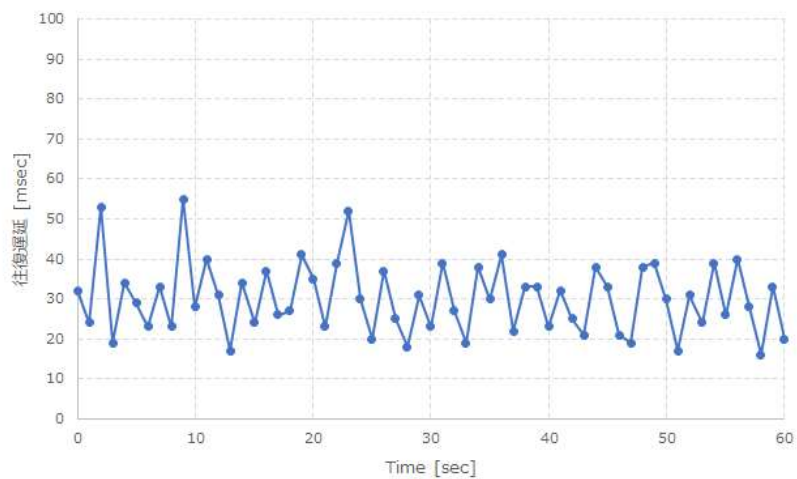


図 8-40 ポイント 10 の伝送遅延の時間変動

ポイント 11

以下にポイント 11 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

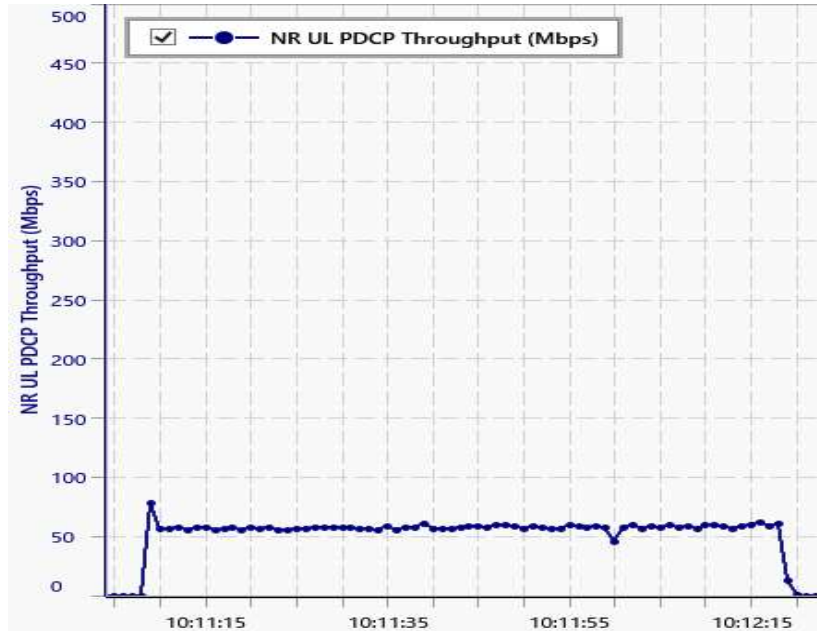


図 8-41 ポイント 11 のアップリンクスループット時間変動

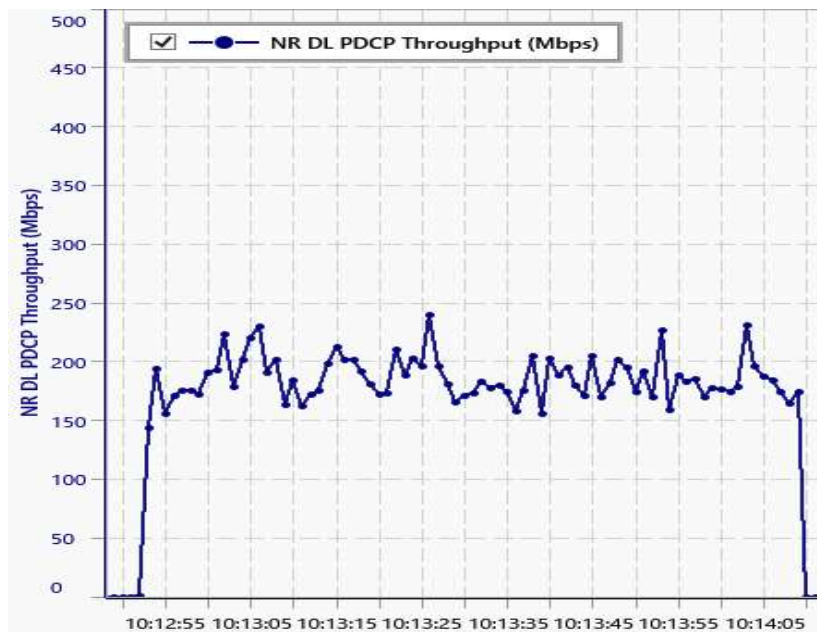


図 8-42 ポイント 11 のダウンリンクスループット時間変動

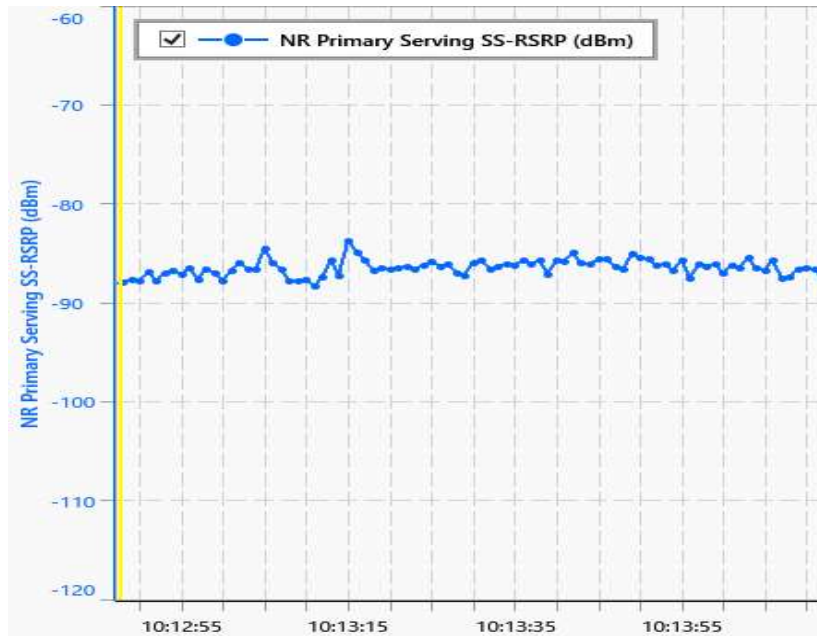


図 8-43 ポイント 11 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

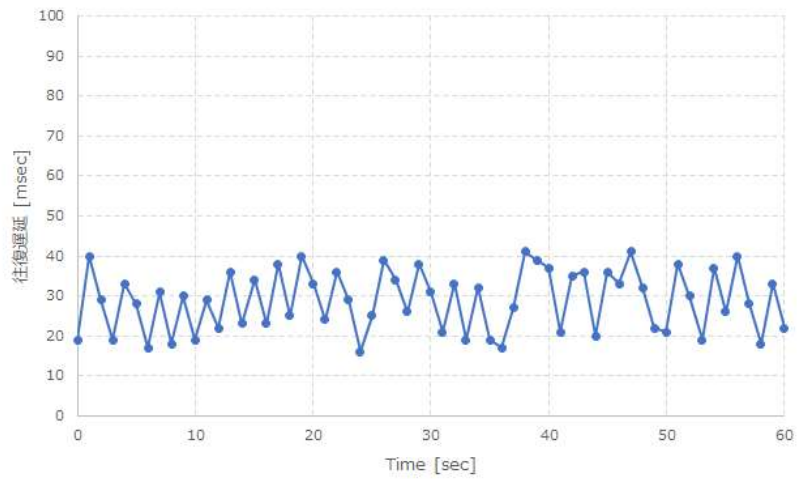


図 8-44 ポイント 11 の伝送遅延の時間変動

ポイント 12

以下にポイント 12 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

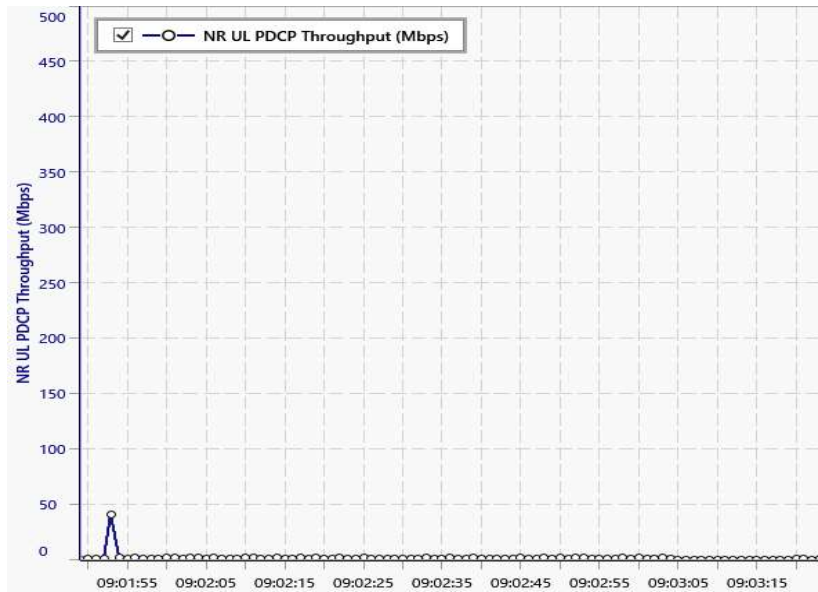


図 8-45 ポイント 12 のアップリンクスループット時間変動

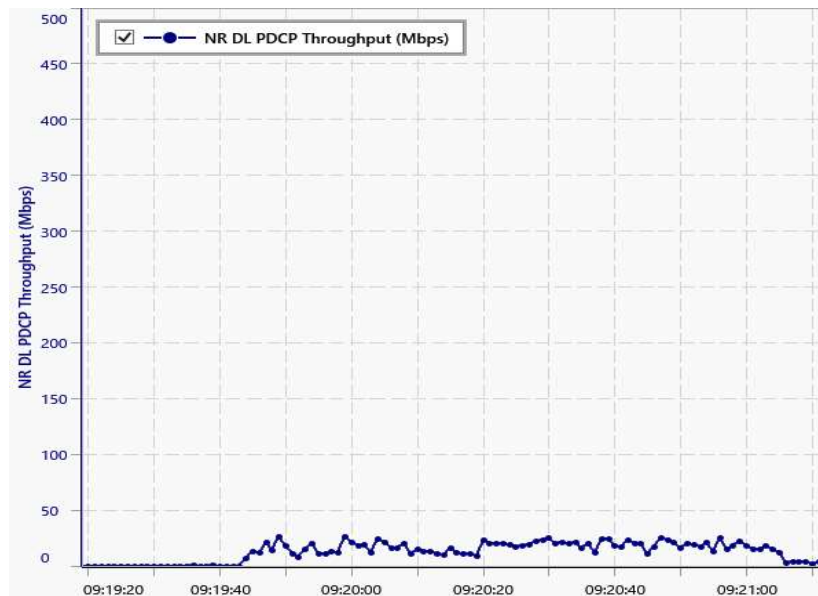


図 8-46 ポイント 12 のダウンリンクスループット時間変動

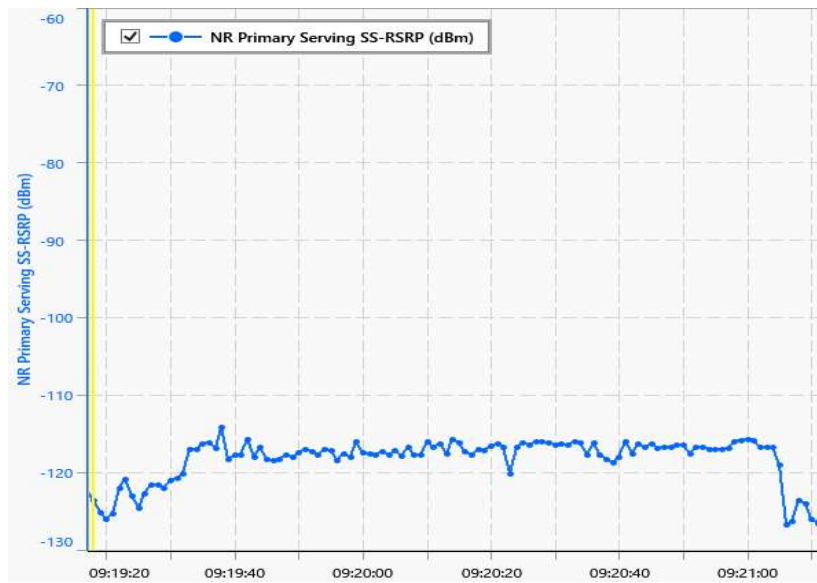


図 8-47 ポイント 12 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

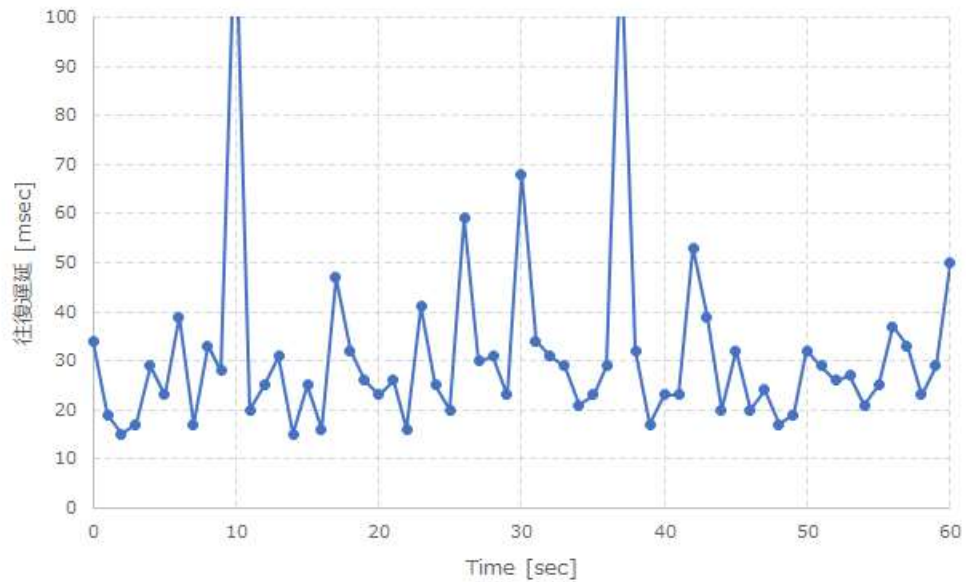


図 8-48 ポイント 12 の伝送遅延の時間変動

ポイント 13

以下にポイント 13 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

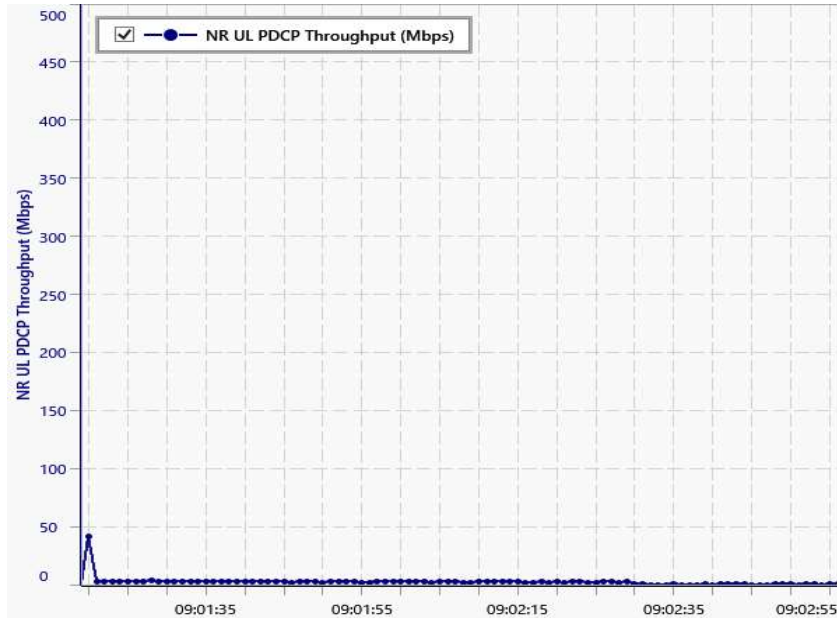


図 8-49 ポイント 13 のアップリンクスループット時間変動

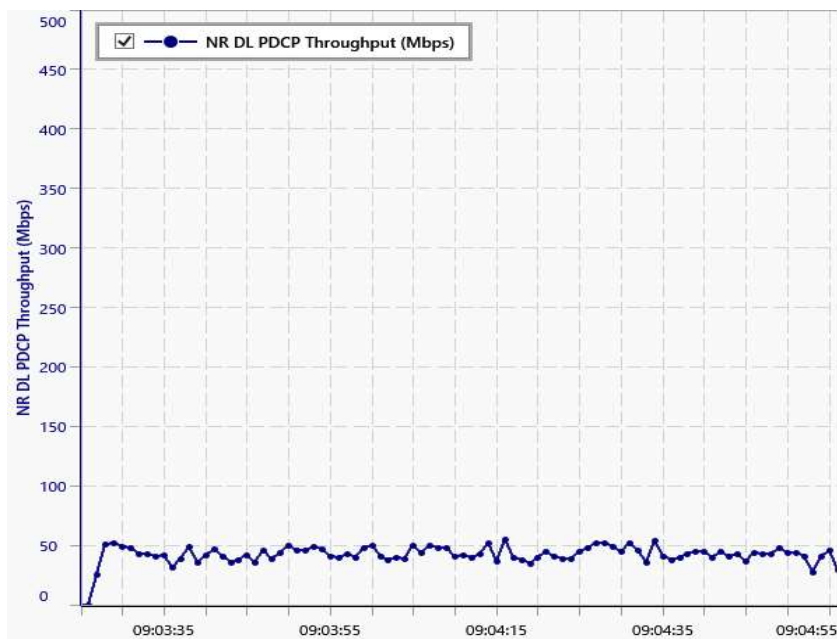


図 8-50 ポイント 13 のダウンリンクスループット時間変動

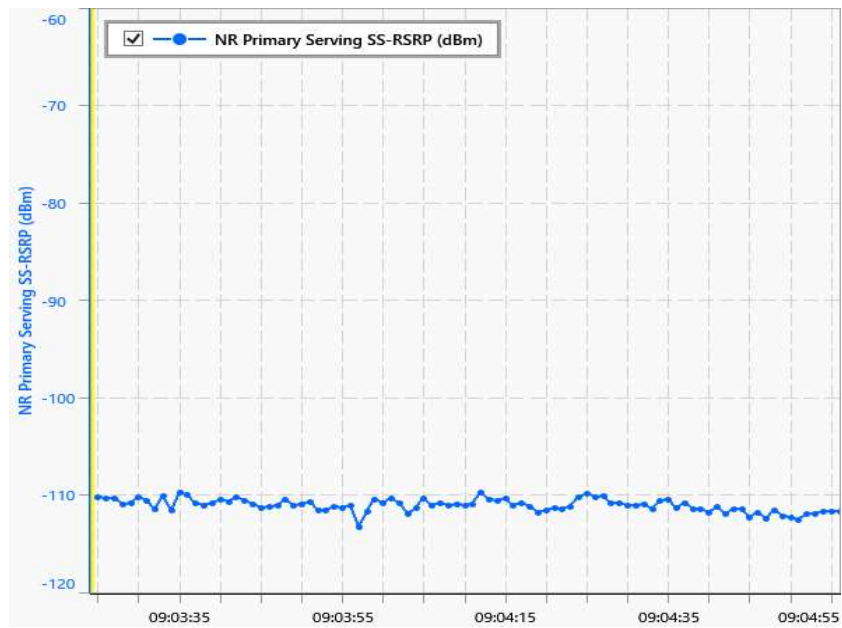


図 8-51 ポイント 13 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

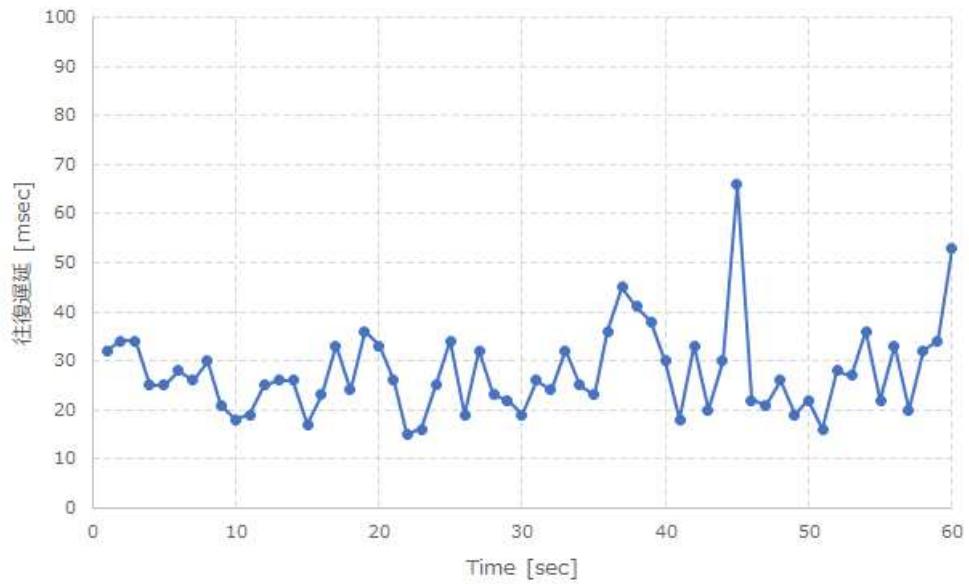


図 8-52 ポイント 13 の伝送遅延の時間変動

ポイント 14

以下にポイント 14 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

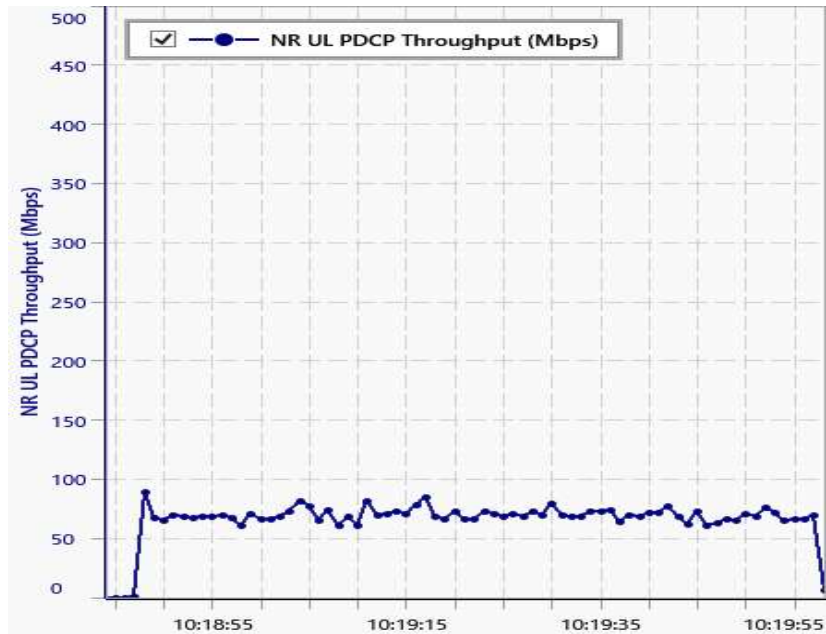


図 8-53 ポイント 14 のアップリンクスループット時間変動

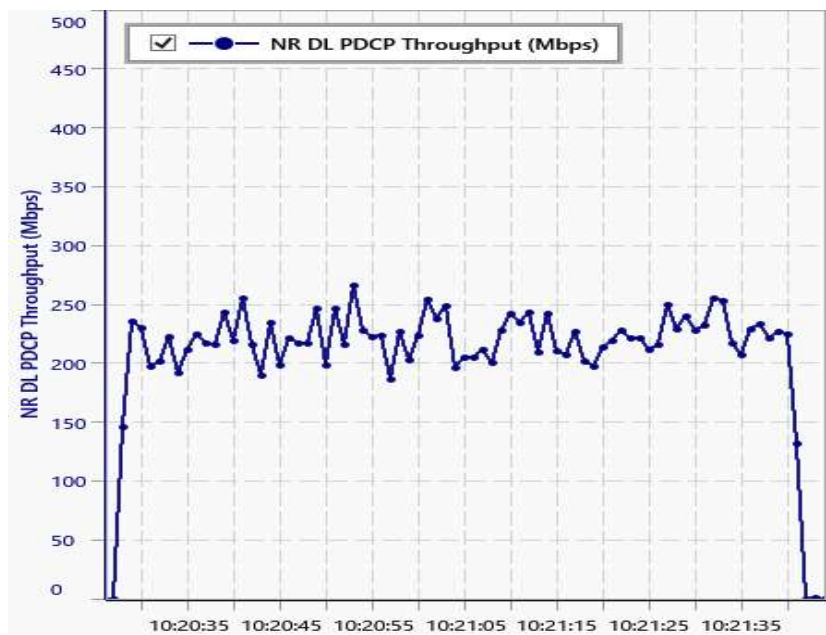


図 8-54 ポイント 14 のダウンリンクスループット時間変動

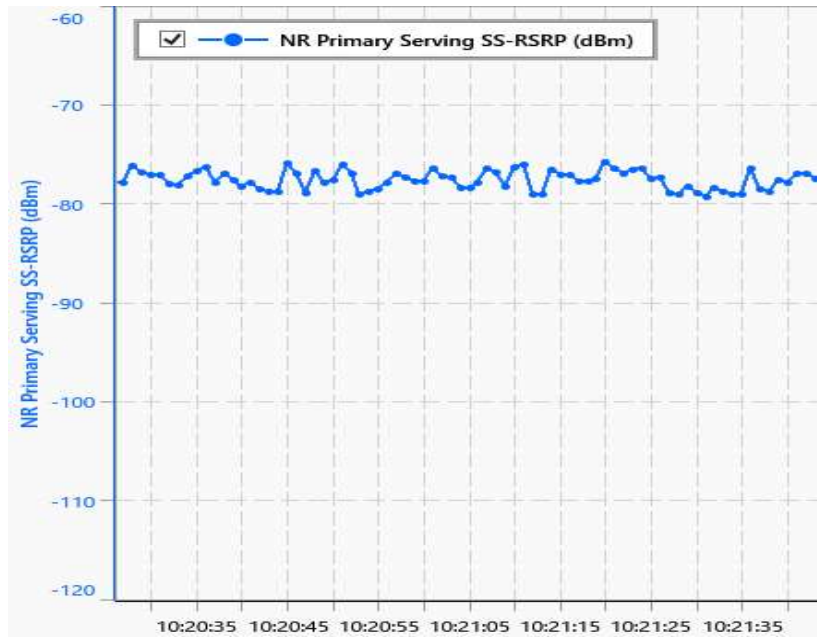


図 8-55 ポイント 14 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

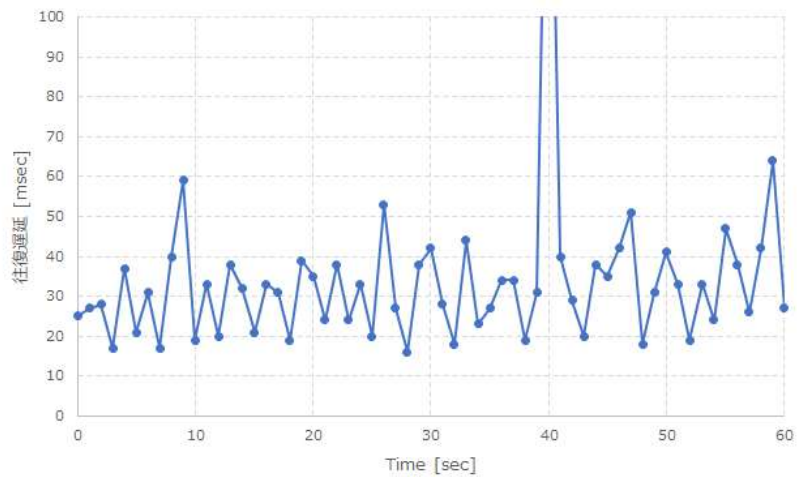


図 8-56 ポイント 14 の伝送遅延の時間変動

ポイント 15

以下にポイント 15 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

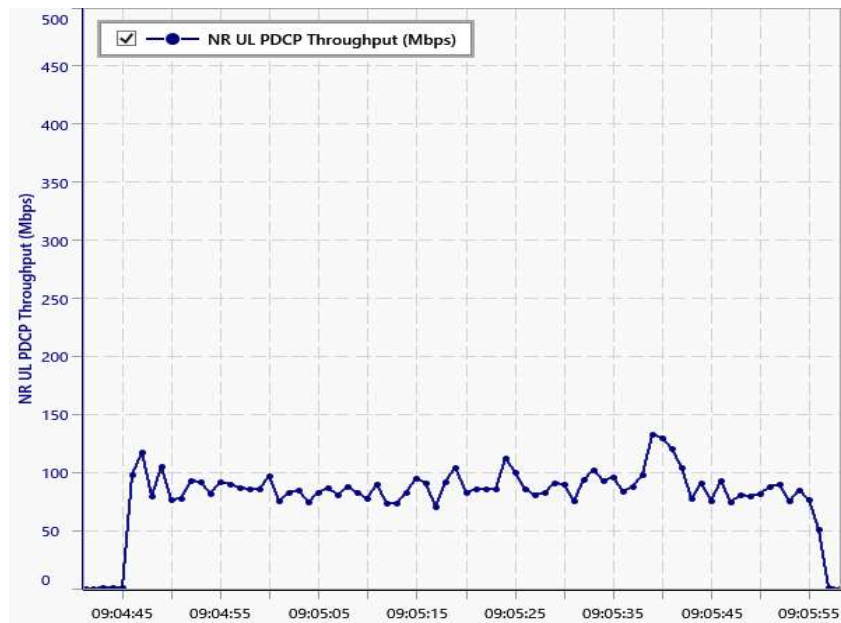


図 8-57 ポイント 15 のアップリンクスループット時間変動

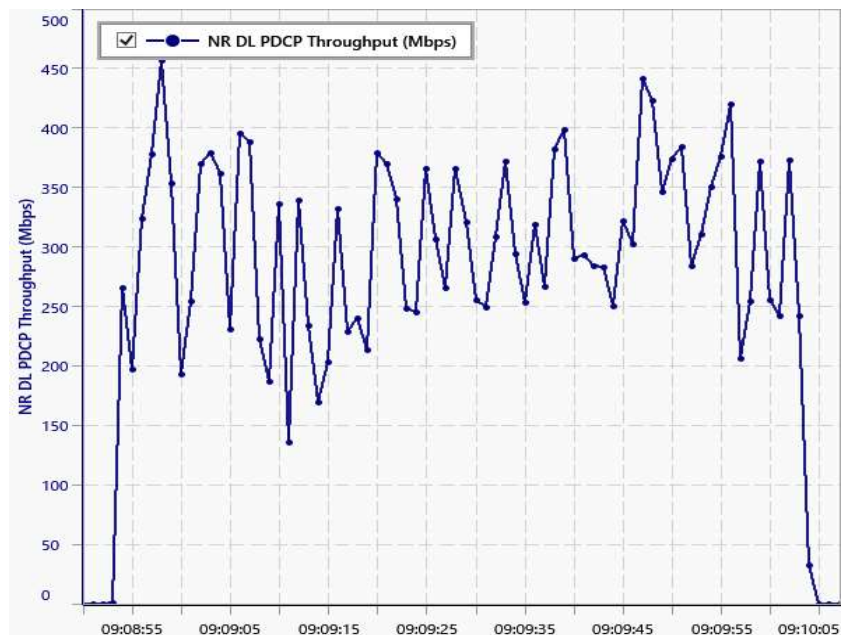


図 8-58 ポイント 15 のダウンリンクスループット時間変動

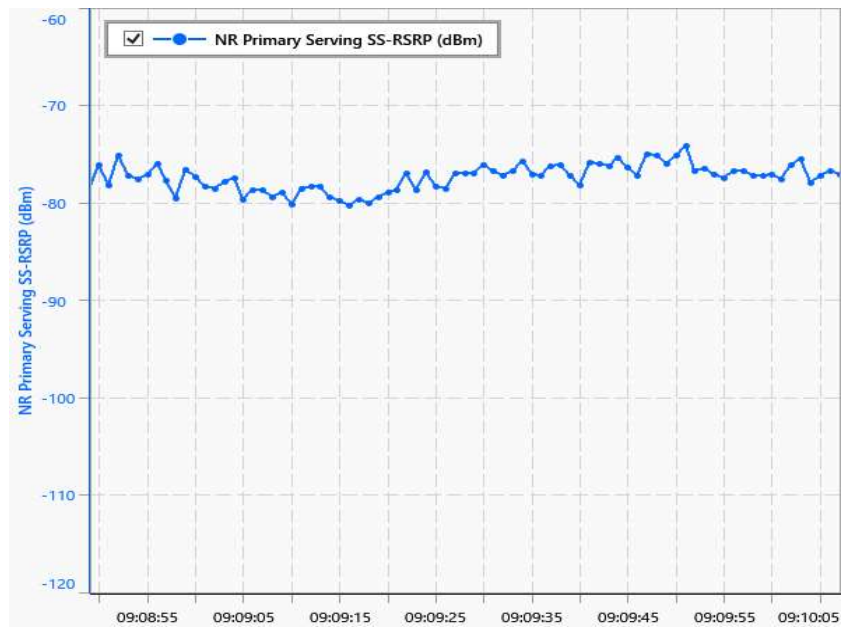


図 8-59 ポイント 15 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

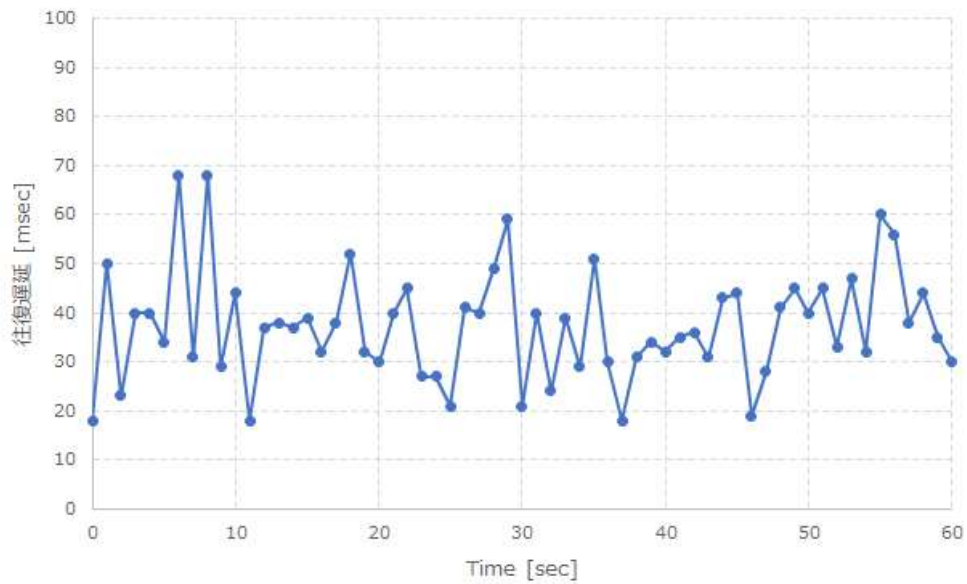


図 8-60 ポイント 15 の伝送遅延の時間変動

ポイント 16

以下にポイント 16 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

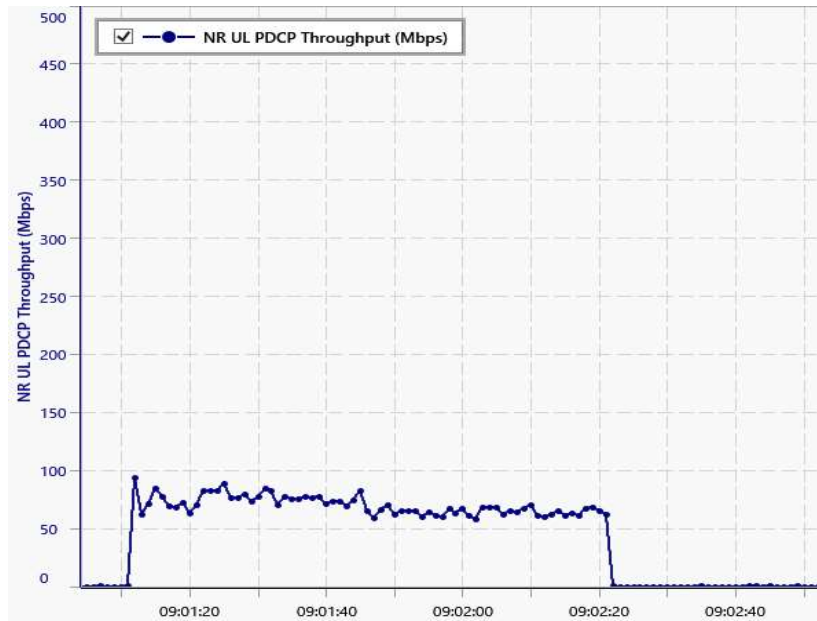


図 8-62 ポイント 16 のアップリンクスループット時間変動

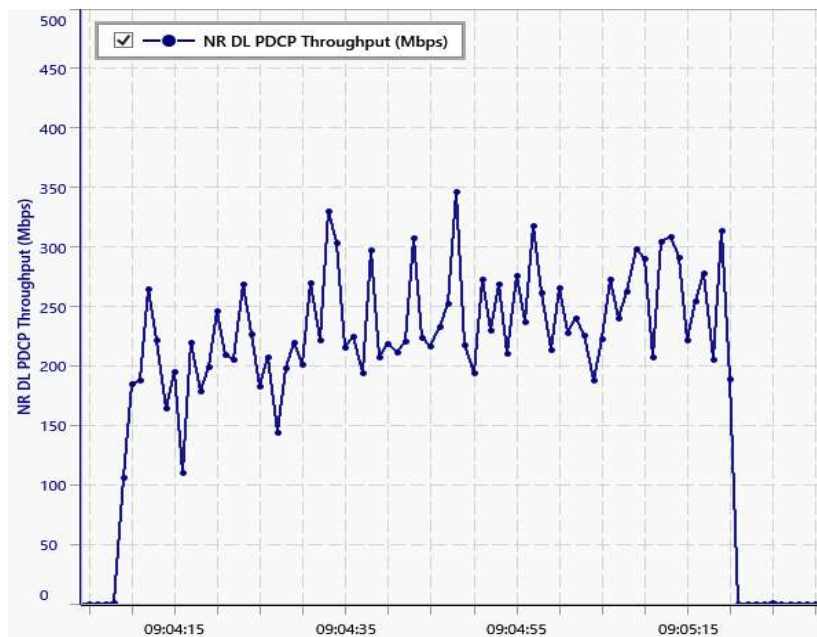


図 8-61 ポイント 16 のダウンリンクスループット時間変動

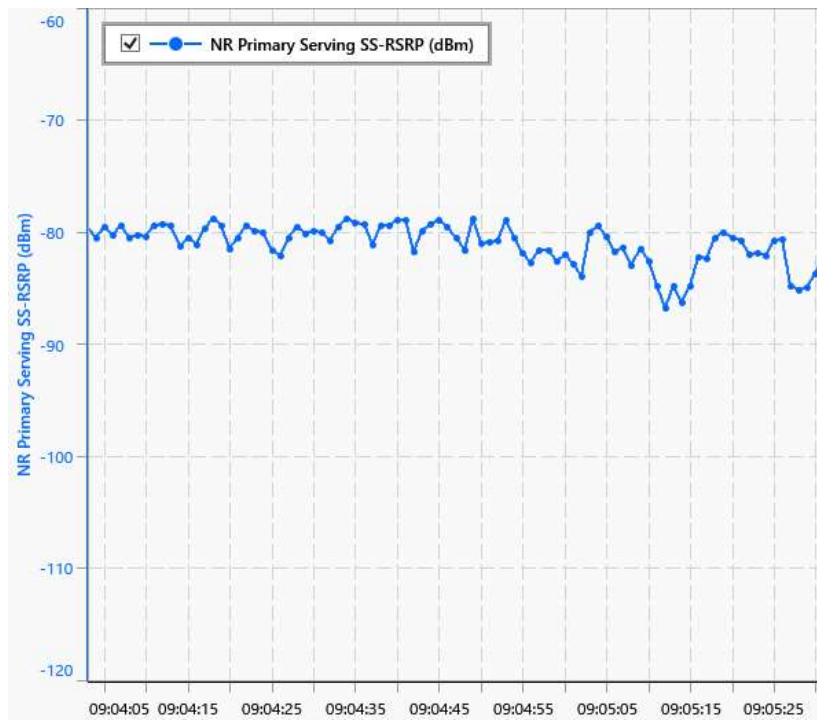


図 8-63 ポイント 16 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

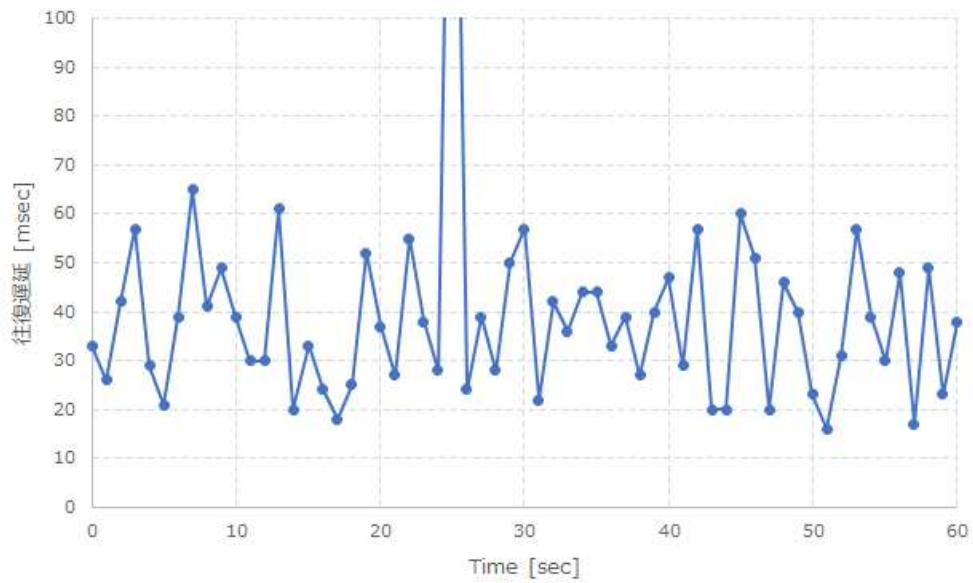


図 8-64 ポイント 16 の伝送遅延の時間変動

ポイント 17

以下にポイント 17 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

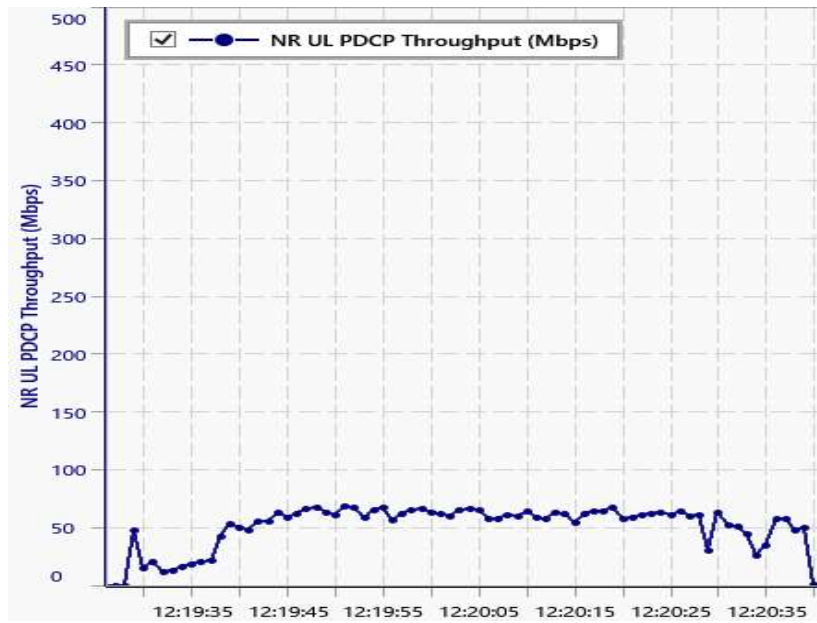


図 8-65 ポイント 17 のアップリンクスループット時間変動

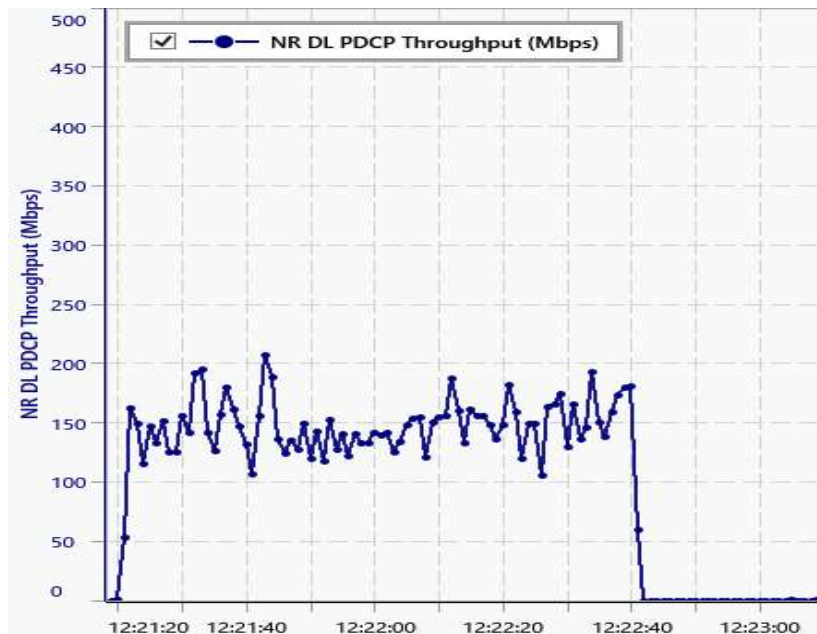


図 8-66 ポイント 17 のダウンリンクスループット時間変動

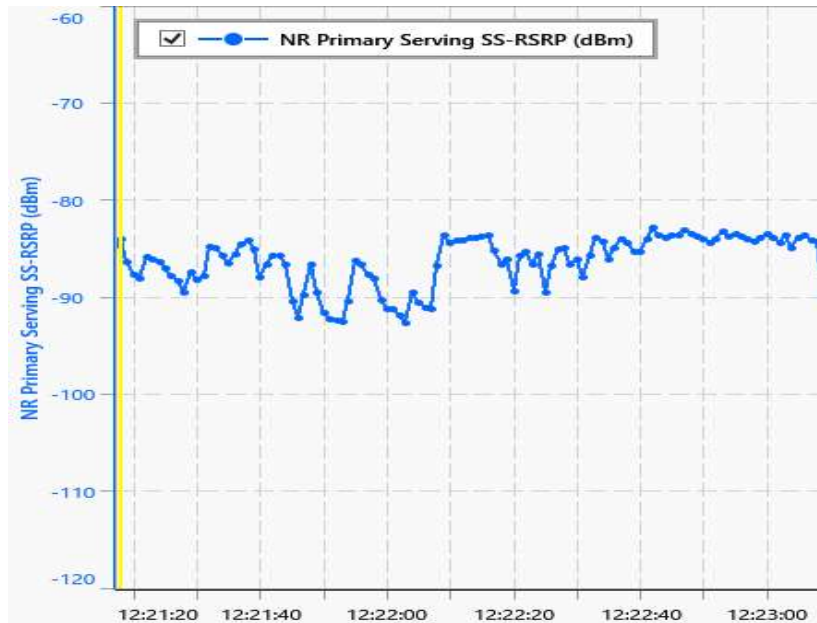


図 8-67 ポイント 17 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

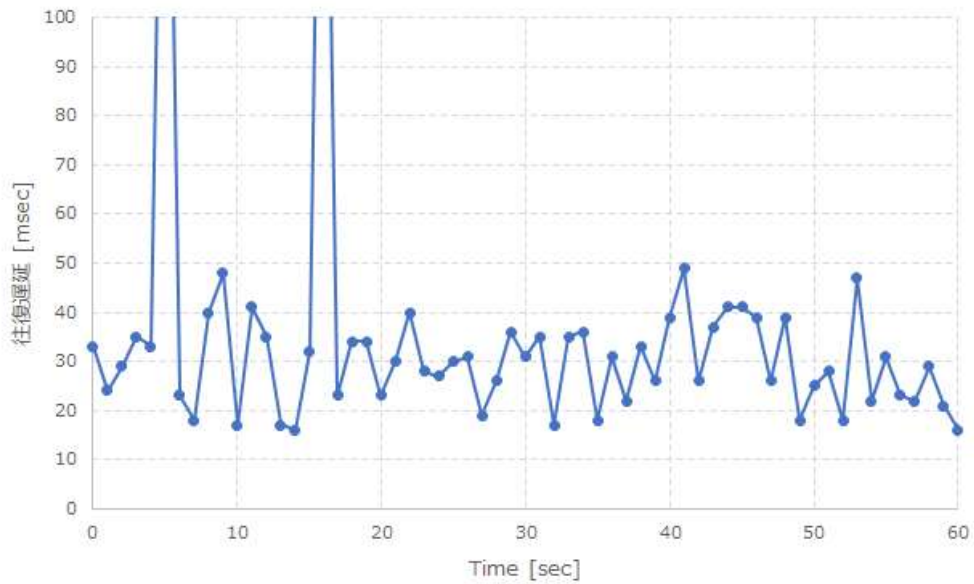


図 8-68 ポイント 17 の伝送遅延の時間変動

ポイント 18

以下にポイント 18 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

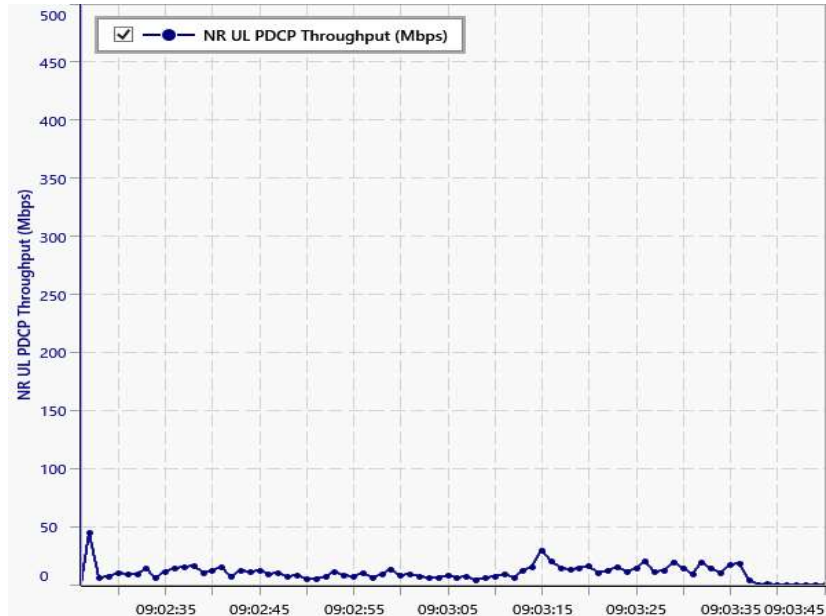


図 8-69 ポイント 18 のアップリンクスループット時間変動

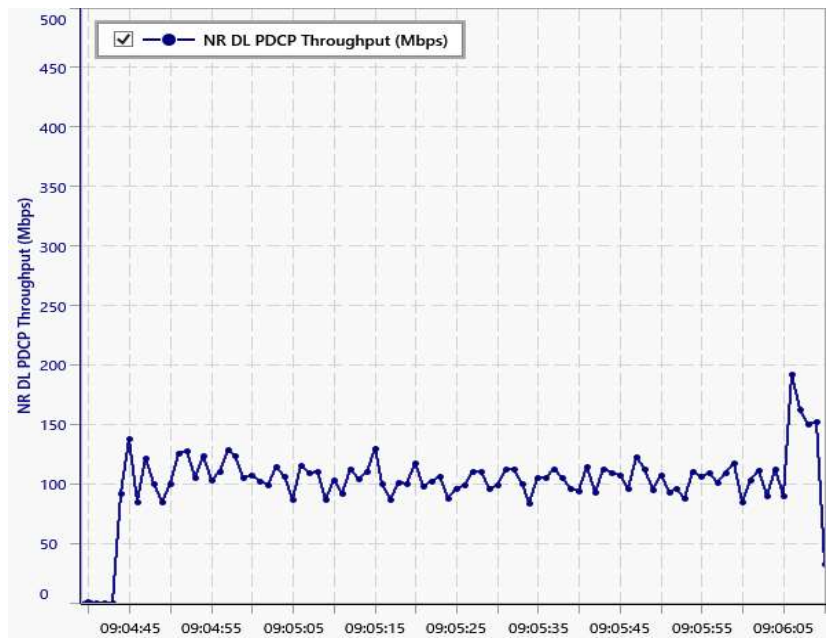


図 8-70 ポイント 18 のダウンリンクスループット時間変動

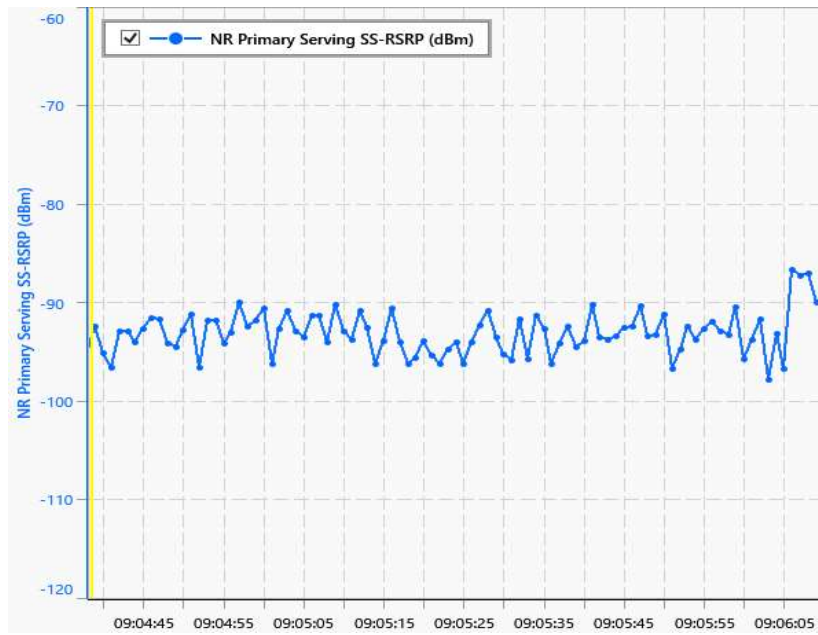


図 8-71 ポイント 18 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

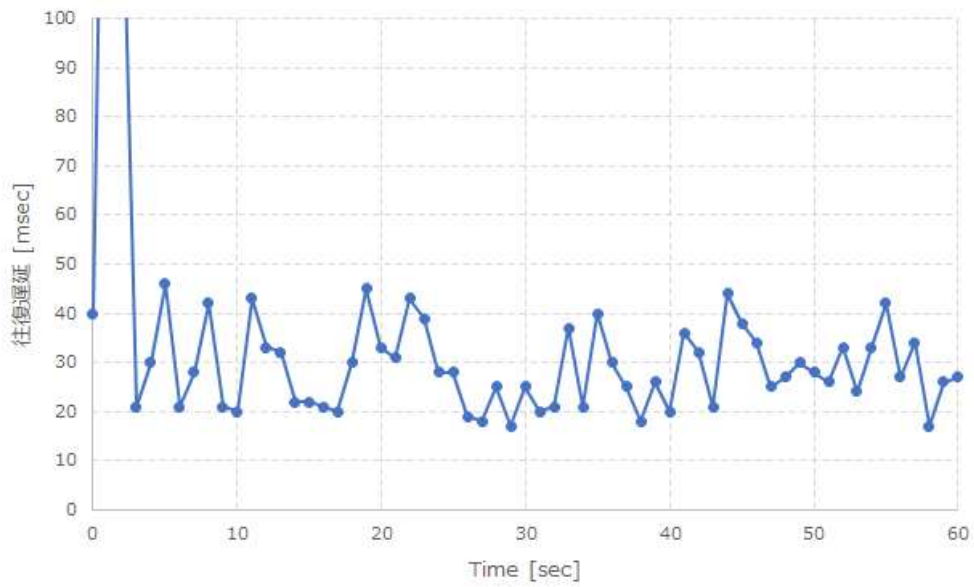


図 8-72 ポイント 18 の伝送遅延の時間変動

ポイント 19

以下にポイント 19 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

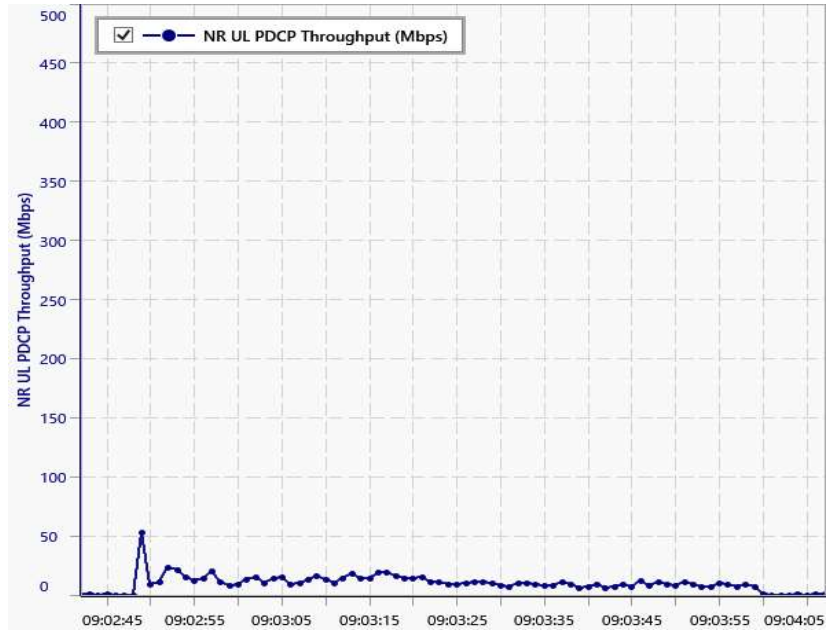


図 8-73 ポイント 19 のアップリンクスループット時間変動

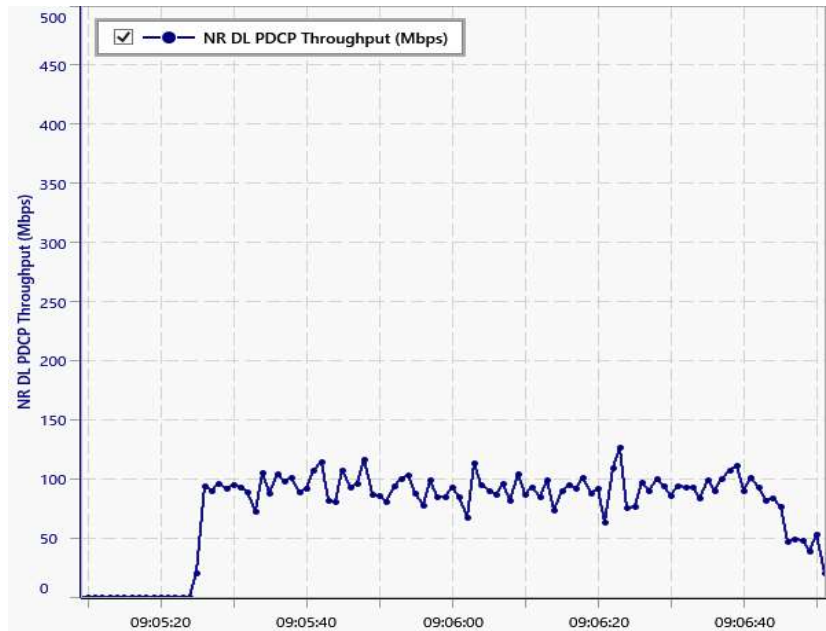


図 8-74 ポイント 19 のダウンリンクスループット時間変動

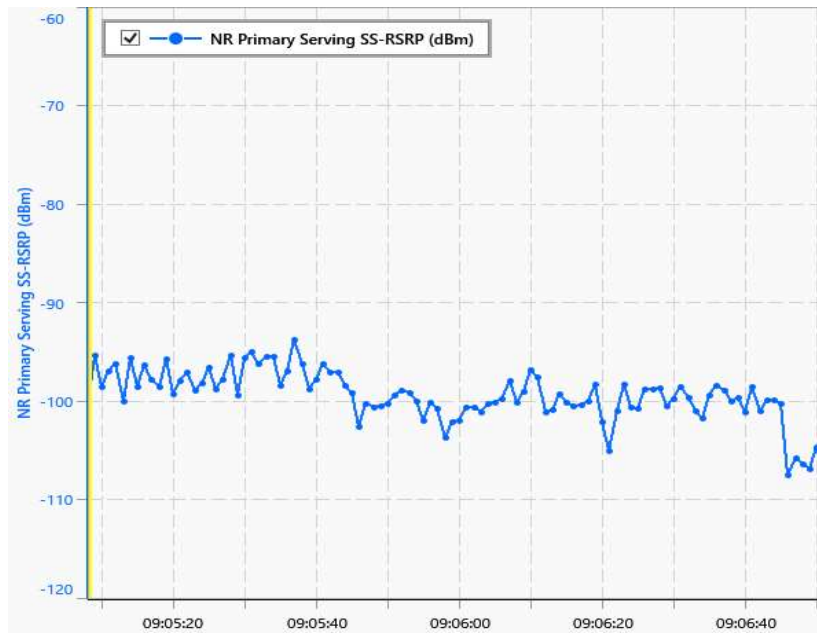


図 8-75 ポイント 19 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

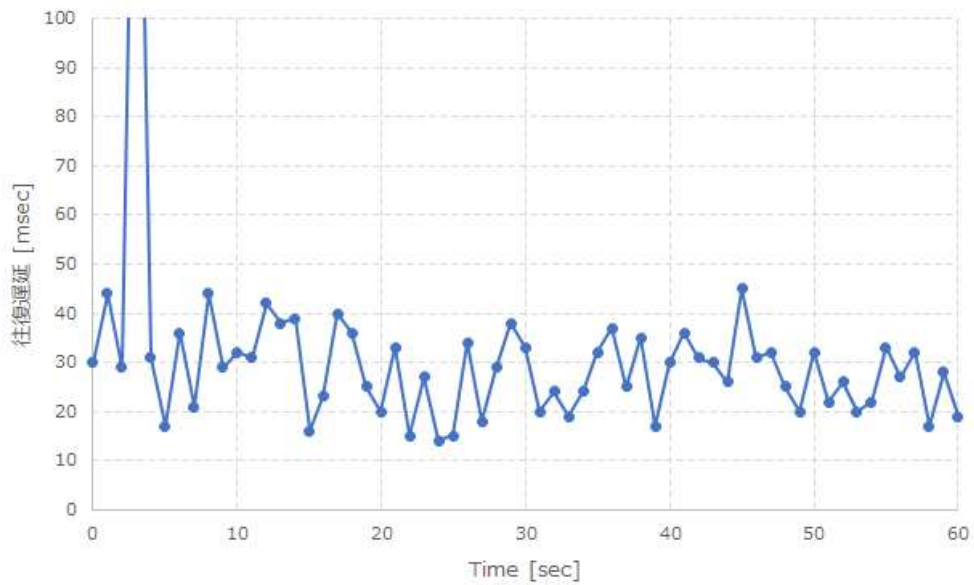


図 8-76 ポイント 19 の伝送遅延の時間変動

ポイント 20

以下にポイント 20 のアップリンク、ダウンリンクそれぞれの伝送スループット、伝送遅延、受信電力の時間変動グラフを示す。

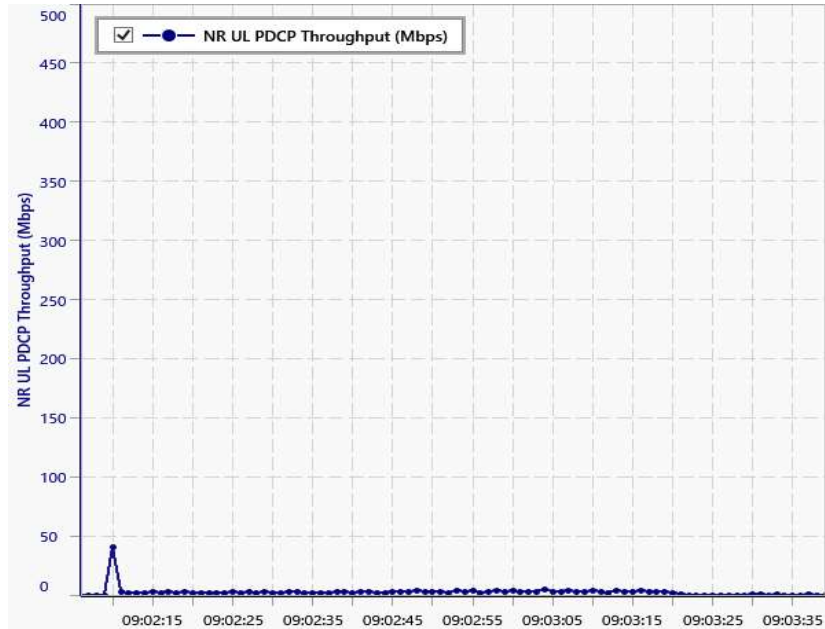


図 8-77 ポイント 20 のアップリンクスループット時間変動

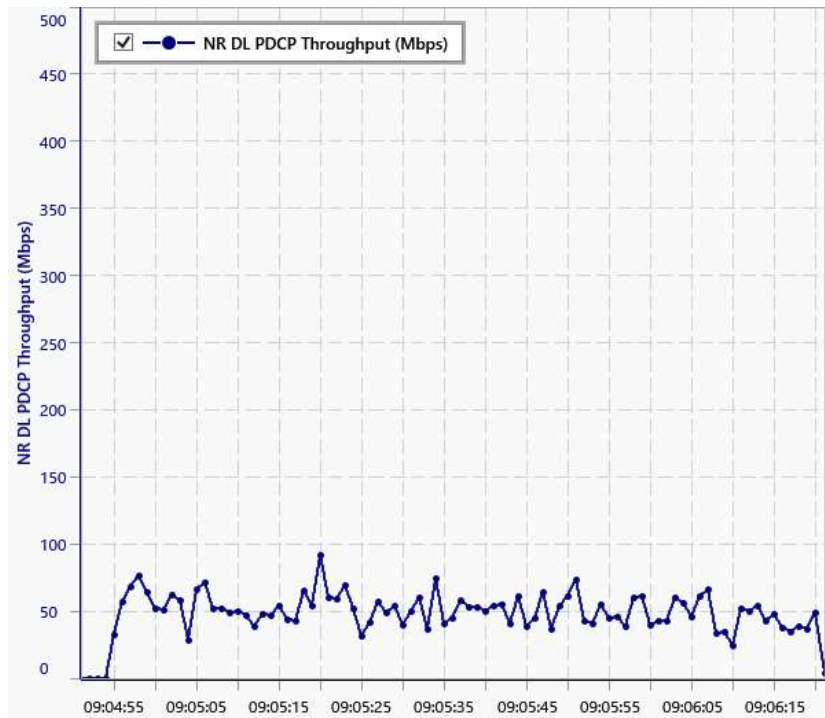


図 8-78 ポイント 20 のダウンリンクスループット時間変動

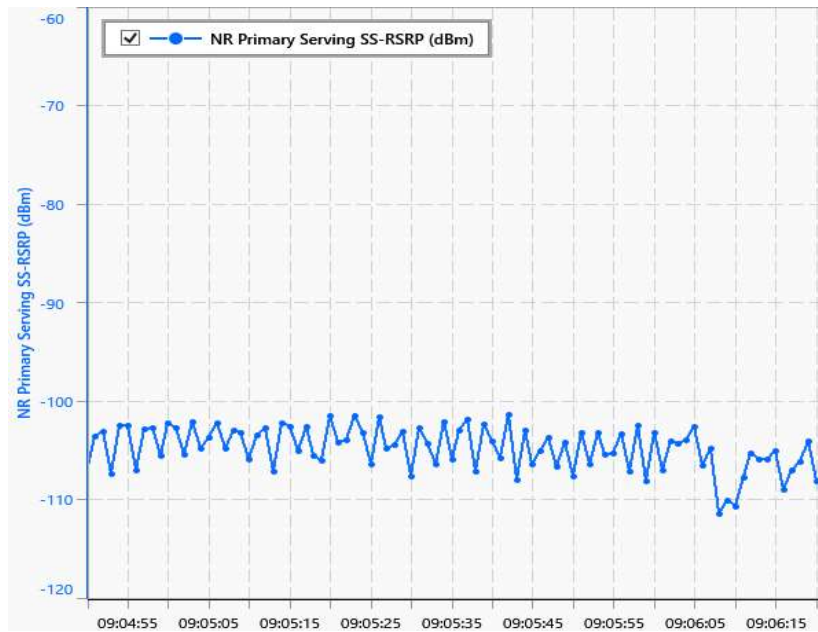


図 8-79 ポイント 20 の受信電力(SS-RSRP)の時間変動

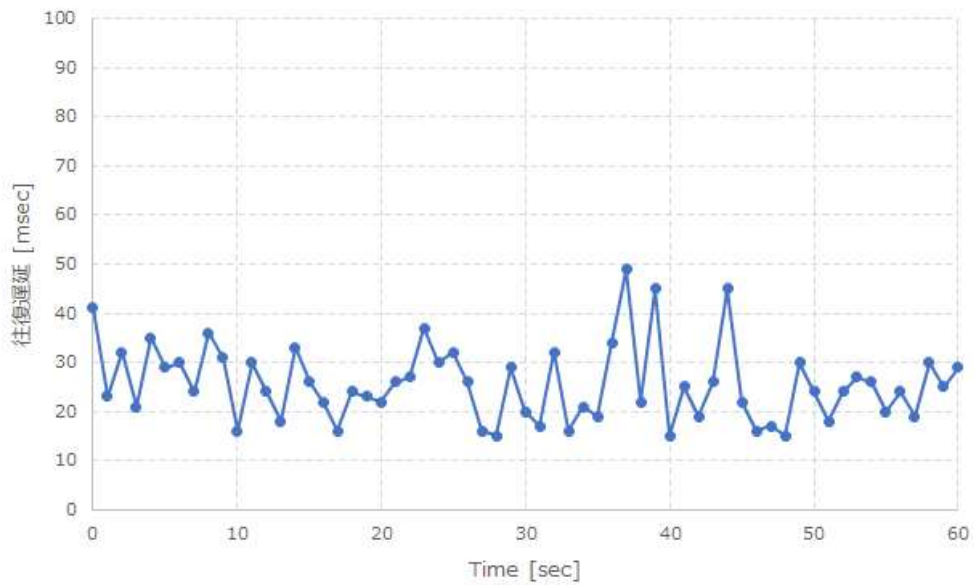


図 8-80 ポイント 20 の伝送遅延の時間変動

9. 参考資料 2

以下に測定結果の代表例として登録点検を実施した 6 台のうち製造番号 PL5SH-UD0001 の評価時の測定画面を以下に示す。(他の 5 台についても同様の測定を実施しているが、6 台全て合格となっており、同等の測定結果となっているため記載は省略する。)

- 周波数偏差

ポート 1

許容偏差に入っており問題ない。

表 9-1 ポート 1 の周波数偏差測定結果

項目	結果
中心周波数 設定値(MHz)	4849.980000
中心周波数 測定値(MHz)	4849.980034
偏差(Hz)	34
許容偏差(Hz)	±484998

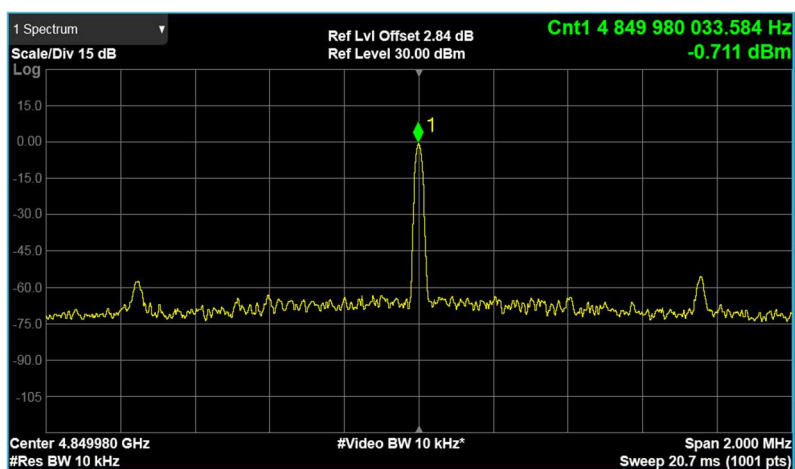


図 9-1 ポート 1 の周波数偏差の測定画面

ポート 2

許容偏差に入っており問題ない。

表 9-2 ポート 2 の周波数偏差測定結果

項目	結果
中心周波数 設定値 (MHz)	4849.980000
中心周波数 測定値 (MHz)	4849.980027
偏差 (Hz)	27
許容偏差 (Hz)	±484998

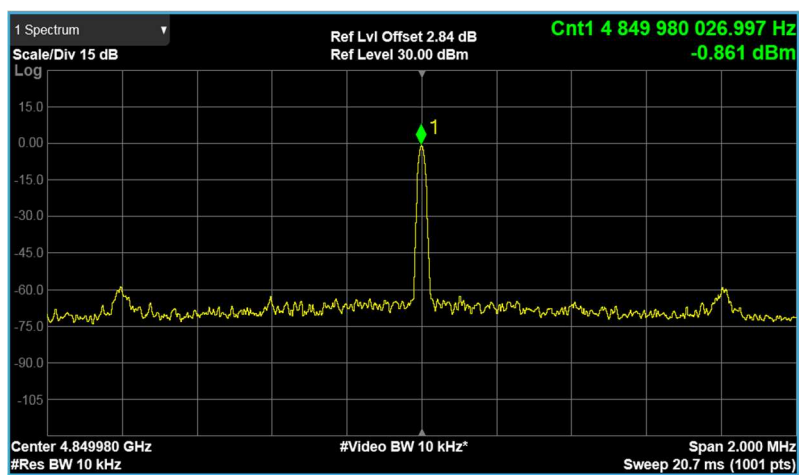


図 9-2 ポート 2 の周波数偏差の測定画面

- 空中線電力

ポート 1 とポート 2 の合計値が偏差の中に収まっており問題ない。

表 9-3 空中線電力の測定結果

項目	ポート 1	ポート 2	合計
指定値(W)	0.1000	0.1000	0.2000
測定値(W)	0.1091	0.0944	0.2035
測定値(dBm)	20.38	19.75	23.09
キャプチャ値(dBm)	6.44	5.81	-
測定系ロス(dB)	13.94	13.94	-
偏差(%)	-	-	1.7%
許容偏差(%)	-	-	-79% ~ +100%

ポート 1

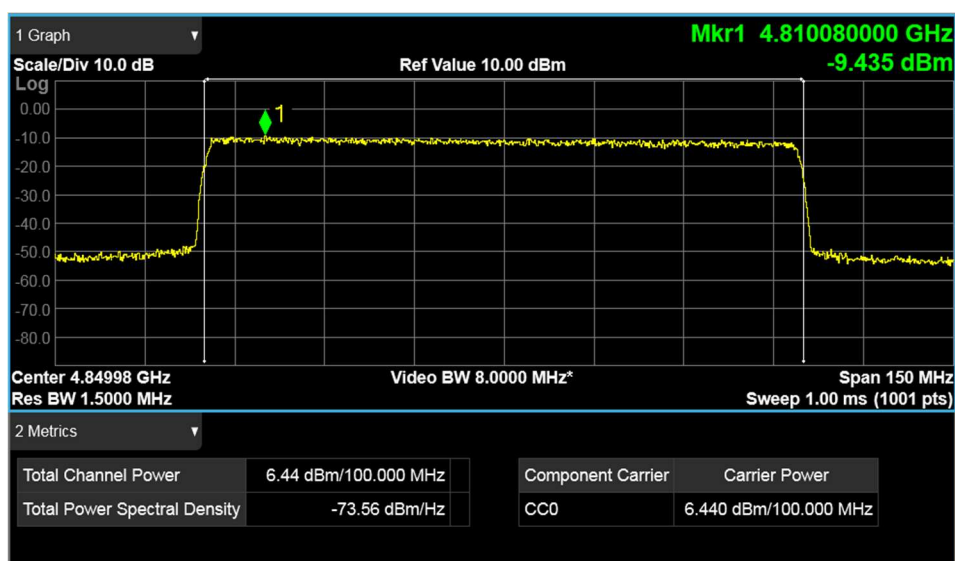


図 9-3 ポート 1 の空中線電力測定画面

ポート 2

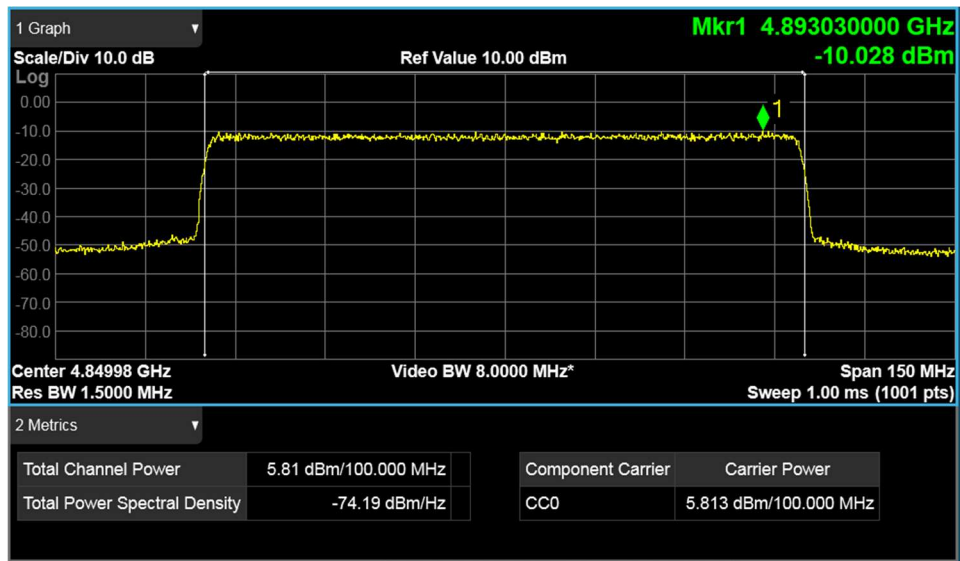


図 9-4 ポート 2 の空中線電力測定画面

- 占有周波数帯域幅

ポート 1

許容値以下になっており問題ない。

表 9-4 ポート 1 占有帯域幅の測定結果

項目	結果
占有周波数帯域幅 (MHz)	97.3
許容値 (MHz)	99MHz 以下

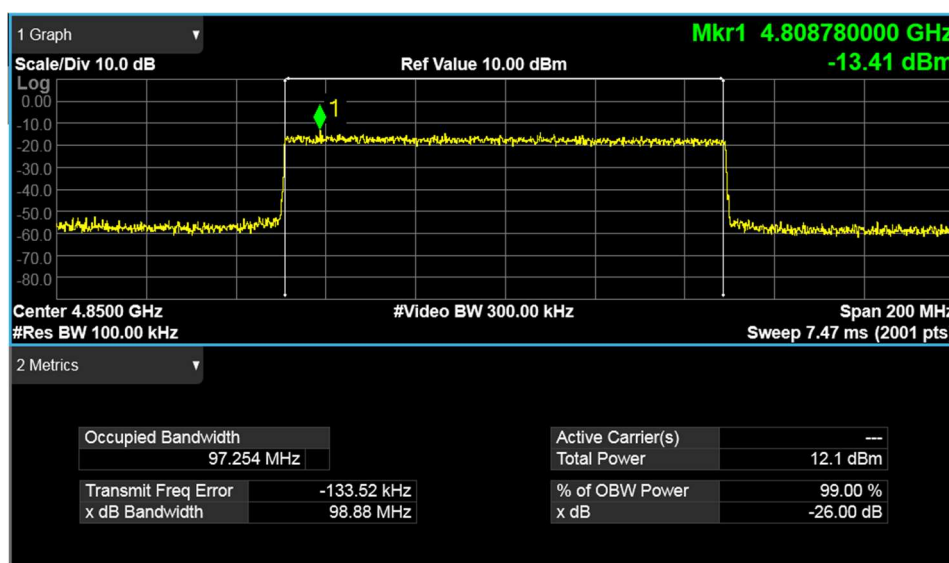


図 9-5 ポート 1 の占有帯域幅測定画面

ポート 2

許容値以下になっており問題ない。

表 9-5 ポート 2 占有帯域幅の測定結果

項目	結果
占有周波数帯幅 (MHz)	97.4
許容値 (MHz)	99MHz 以下

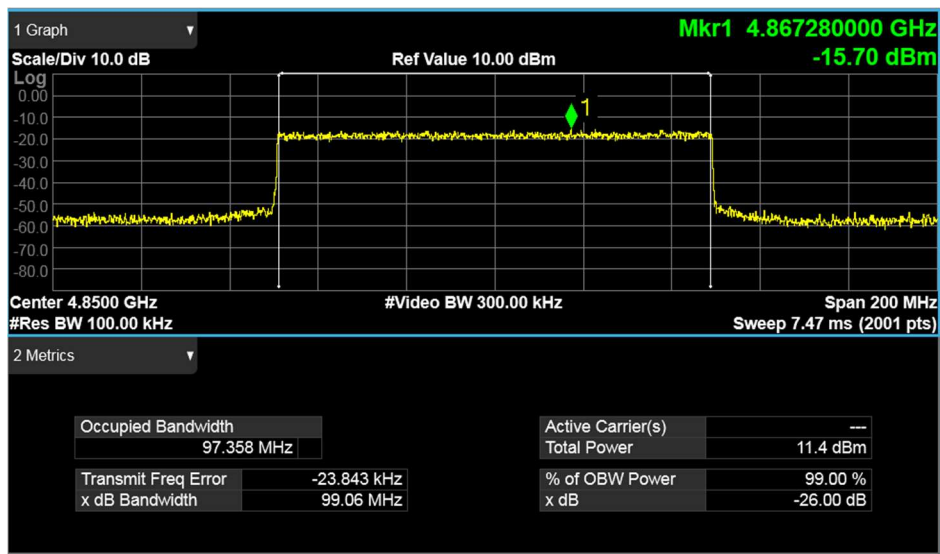


図 9-6 ポート 2 の占有帯域幅測定画面

- 帯域外領域不要発射強度

ポート 1

a. 100MHz-105MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-6 ポート 1 帯域外不要発射の測定結果(100MHz-105MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-29.5
キャプチャ値 (dBm)	-40.61
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-23.2dBm/1MHz 以下

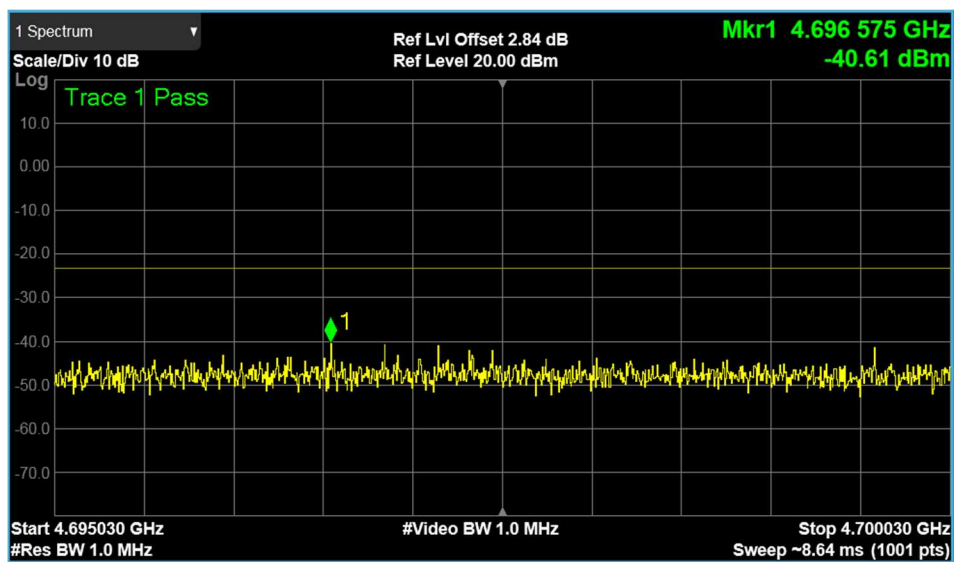


図 9-7 ポート 1 帯域外不要発射の測定画面(100MHz-105MHz)

b. 5MHz-100MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-7 ポート1 帯域外不要発射の測定結果(5MHz-100MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-30.6
キャプチャ値(dBm)	-41.67
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-11.2dBm/1MHz 以下

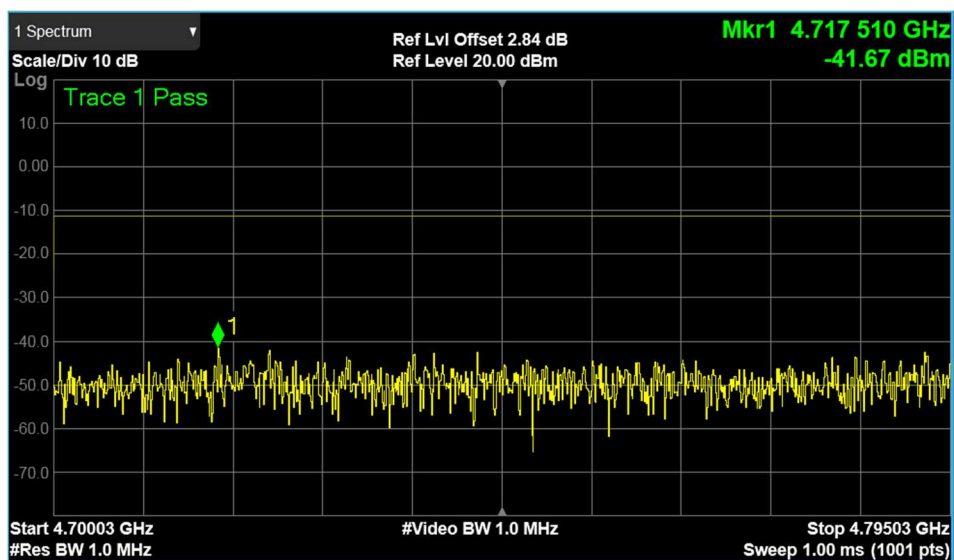


図 9-8 ポート1 帯域外不要発射の測定画面(5MHz-100MHz)

c. 1MHz-5MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-8 ポート1 帯域外不要発射の測定結果(1MHz-5MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-25.7
キャプチャ値 (dBm)	-36.82
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-8.2dBm/1MHz 以下

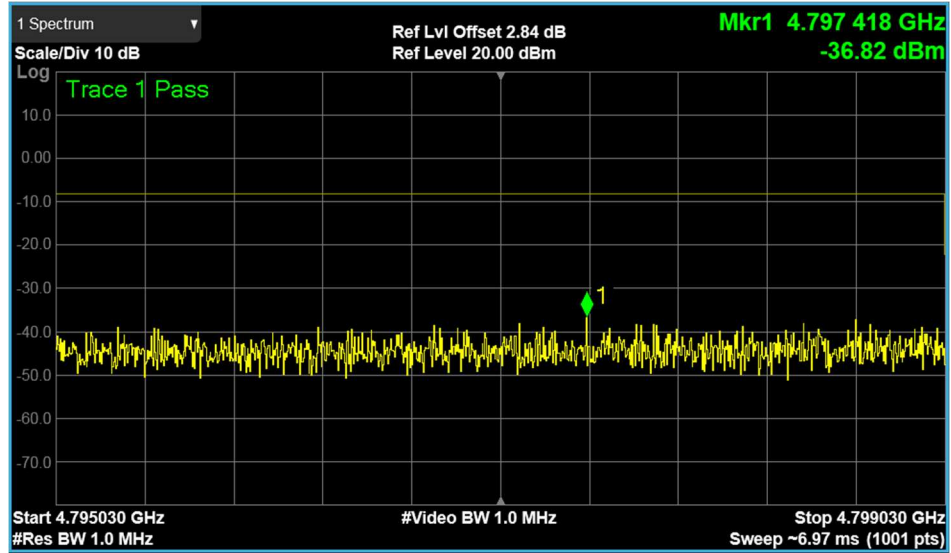


図 9-9 ポート1 帯域外不要発射の測定画面(1MHz-5MHz)

d. 1MHz 未満

許容値以下になっており問題ない。

表 9-9 ポート 1 帯域外不要発射の測定結果(1MHz 未満)

項目	結果
測定値 (dBm)	-46.8
キャプチャ値 (dBm)	-57.92
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz 以下

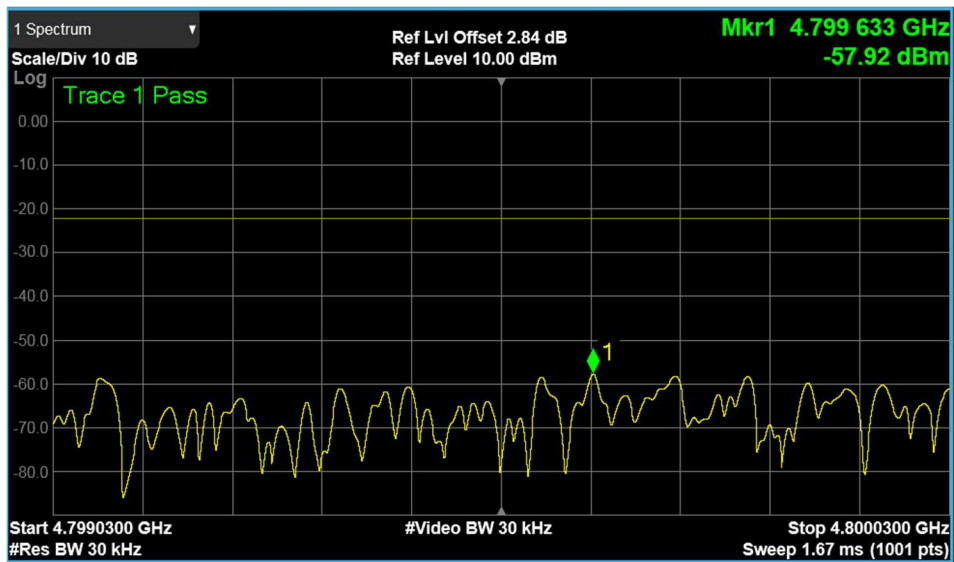


図 9-10 ポート 1 帯域外不要発射の測定画面(1MHz 未満)

ポート 2

a. 100MHz-105MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-10 ポート 2 帯域外不要発射の測定結果(100MHz-105MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-27.5
キャプチャ値(dBm)	-38.61
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-23.2dBm/1MHz 以下

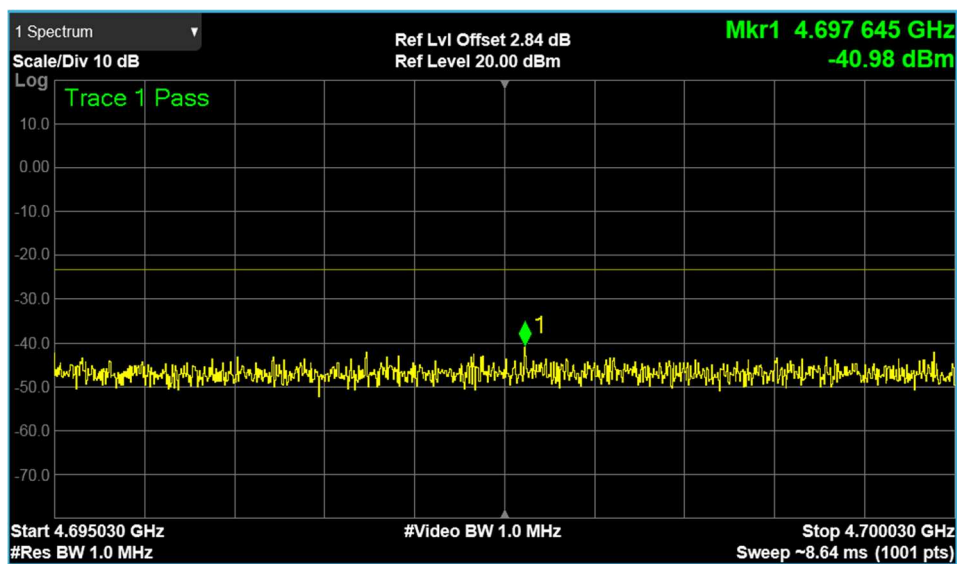


図 9-11 ポート 2 帯域外不要発射の測定画面(100MHz-105MHz)

b. 5MHz-100MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-11 ポート 2 帯域外不要発射の測定結果(5MHz-100MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-28.3
キャプチャ値(dBm)	-39.36
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-11.2dBm/1MHz 以下

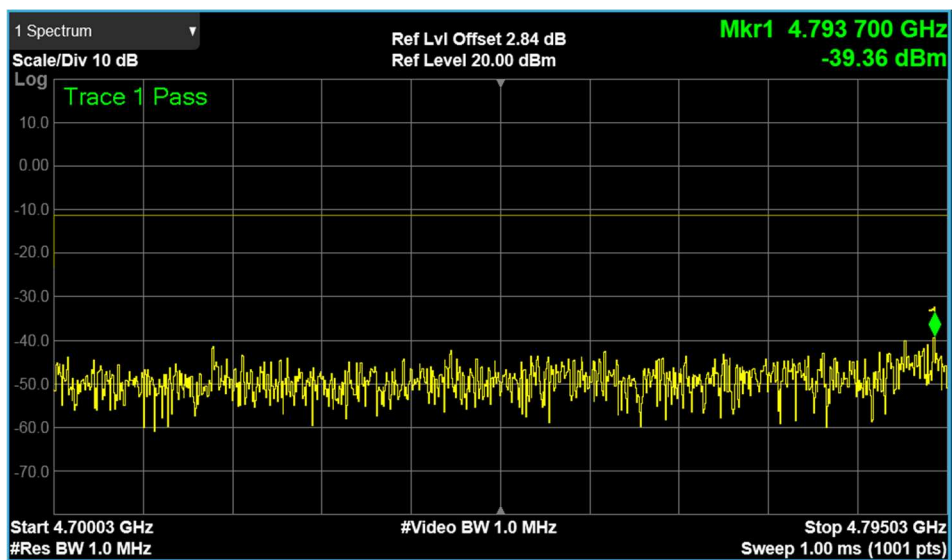


図 9-12 ポート 2 帯域外不要発射の測定画面(5MHz-100MHz)

c. 1MHz-5MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-12 ポート 2 帯域外不要発射の測定結果(1MHz-5Hz)

項目	結果
測定値(dBm)	-24.2
キャプチャ値(dBm)	-35.34
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-8.2dBm/1MHz 以下

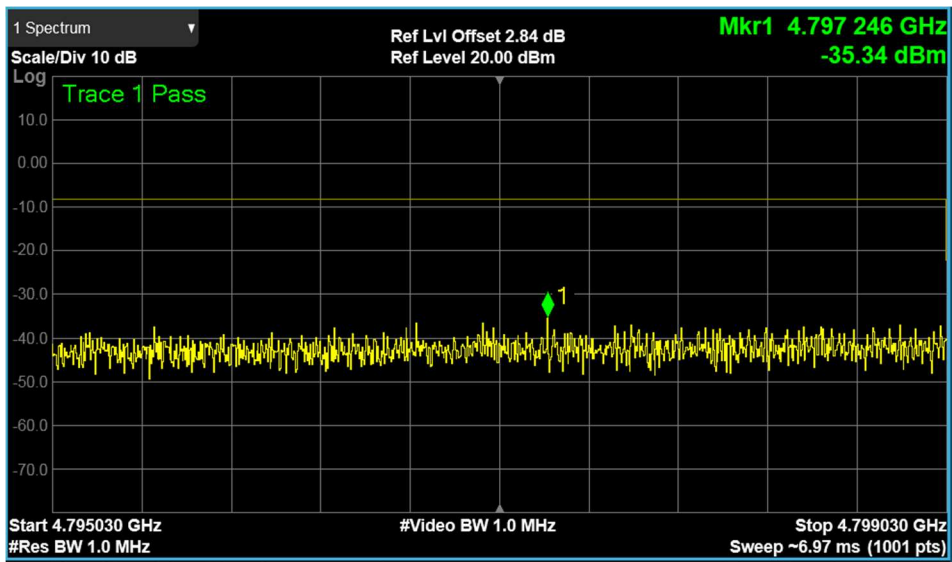


図 9-13 ポート 2 帯域外不要発射の測定画面(1MHz-5MHz)

d. 1MHz 未満

許容値以下になっており問題ない。

表 9-13 ポート 2 帯域外不要発射の測定結果(1MHz 未満)

項目	結果
測定値 (dBm)	-44.0
キャプチャ値 (dBm)	-55.06
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-22.2dBm/30kHz 以下

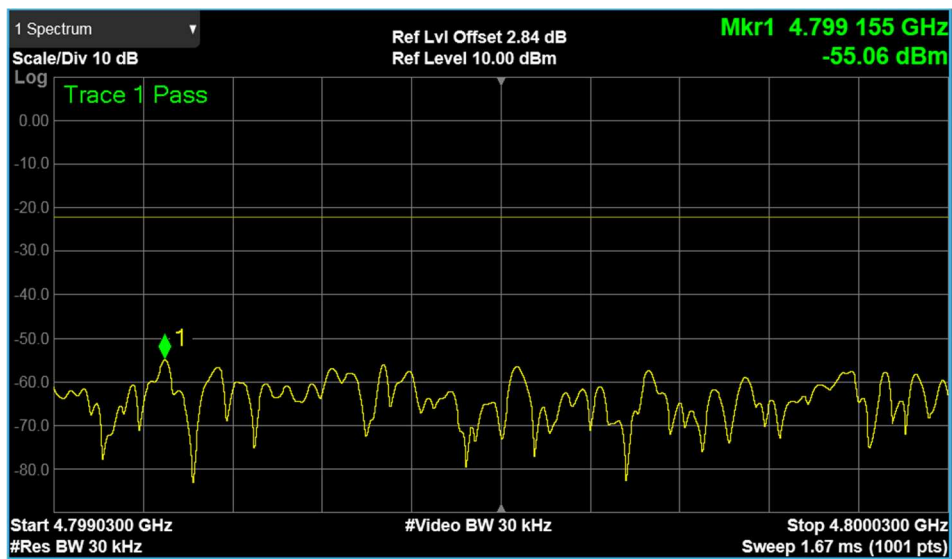


図 9-14 ポート 2 帯域外不要発射の測定画面(1MHz 未満)

- スプリアス領域不要発射

ポート 1

- 9kHz-150kHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-14 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(9kHz-150kHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-90.1
キャプチャ値 (dBm)	-101.21
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz 以下

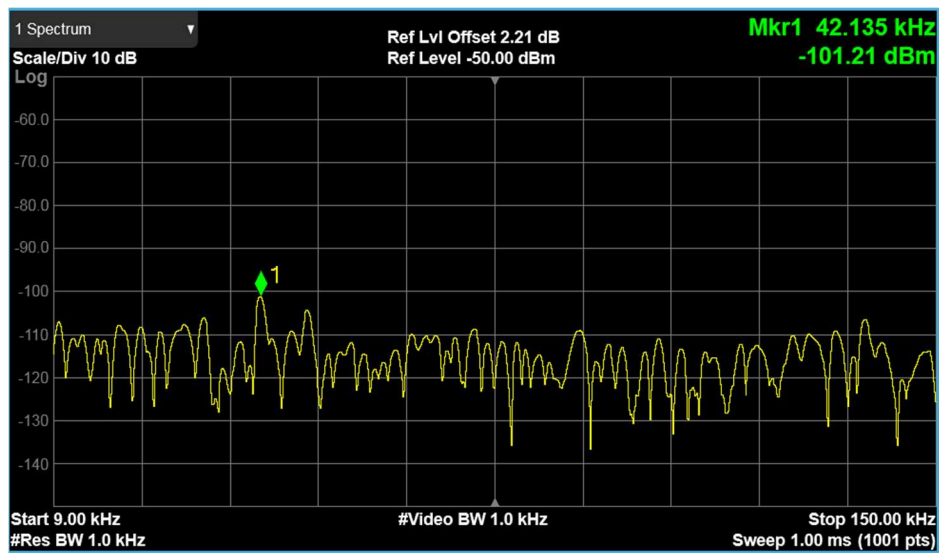


図 9-15 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(9kHz-150kHz)

b. 150kHz-30MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-15 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果 (150kHz-30MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-71.9
キャプチャ値 (dBm)	-82.97
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz 以下

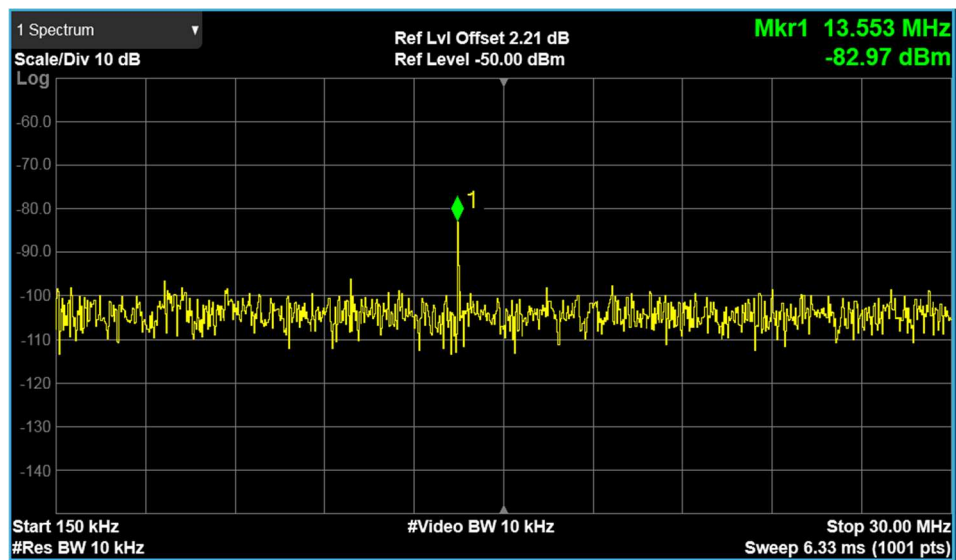


図 9-16 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面 (150kHz-30MHz)

c. 30MHz-773MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-16 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果 (30MHz-773MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-74.9
キャプチャ値 (dBm)	-85.96
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

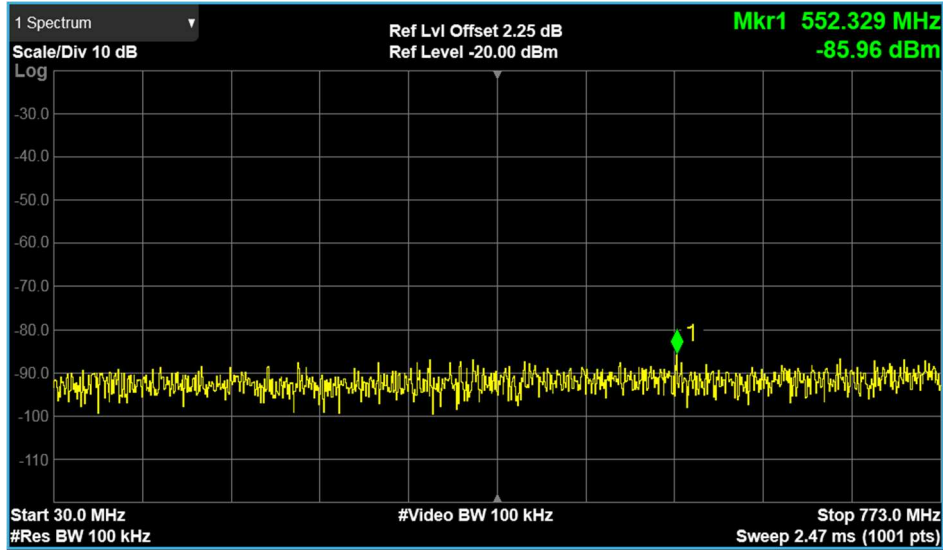


図 9-17 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面 (30MHz-773MHz)

d. 773MHz-803MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-17 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(773MHz-803MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.3
キャプチャ値 (dBm)	-76.85
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

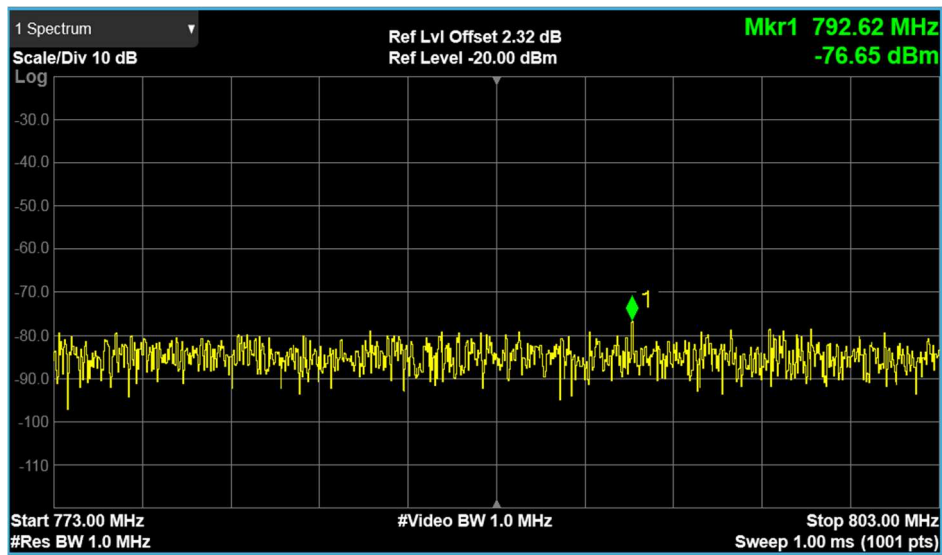


図 9-18 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(773MHz-803MHz)

e. 803MHz-860MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-18 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(803MHz-860MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-75.4
キャプチャ値 (dBm)	-86.50
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

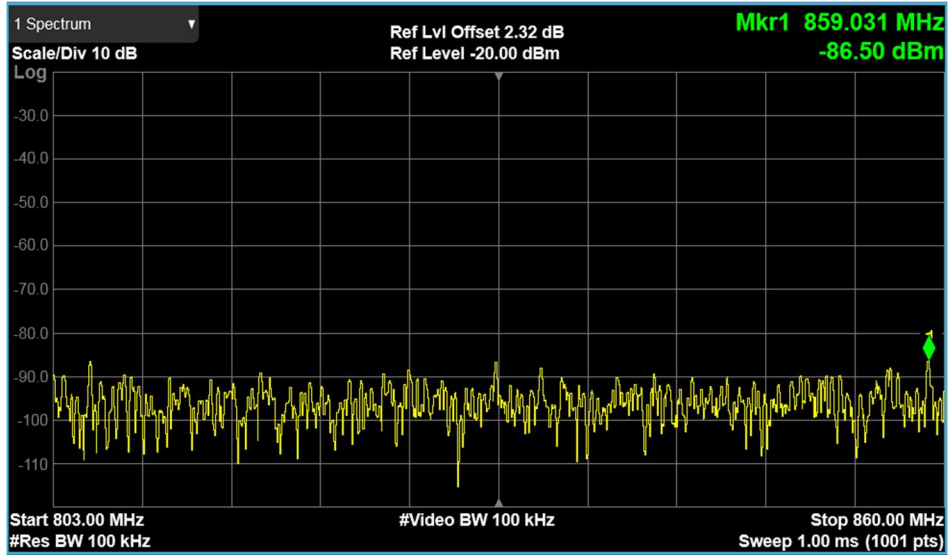


図 9-19 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(803MHz-860MHz)

f. 860MHz-890MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-19 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(860MHz-890MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.3
キャプチャ値 (dBm)	-76.38
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

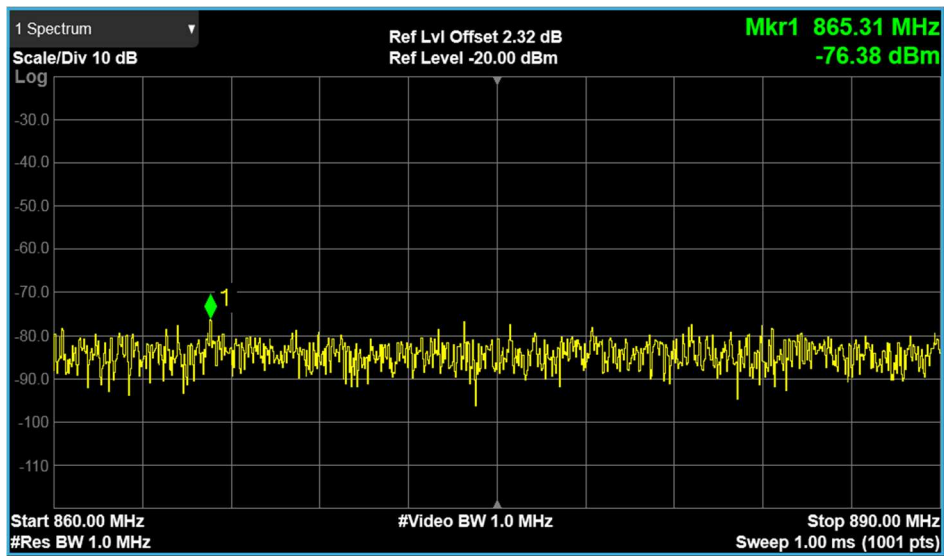


図 9-20 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(860MHz-890MHz)

g. 890MHz-945MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-20 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(890MHz-945MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-76.1
キャプチャ値 (dBm)	-87.16
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

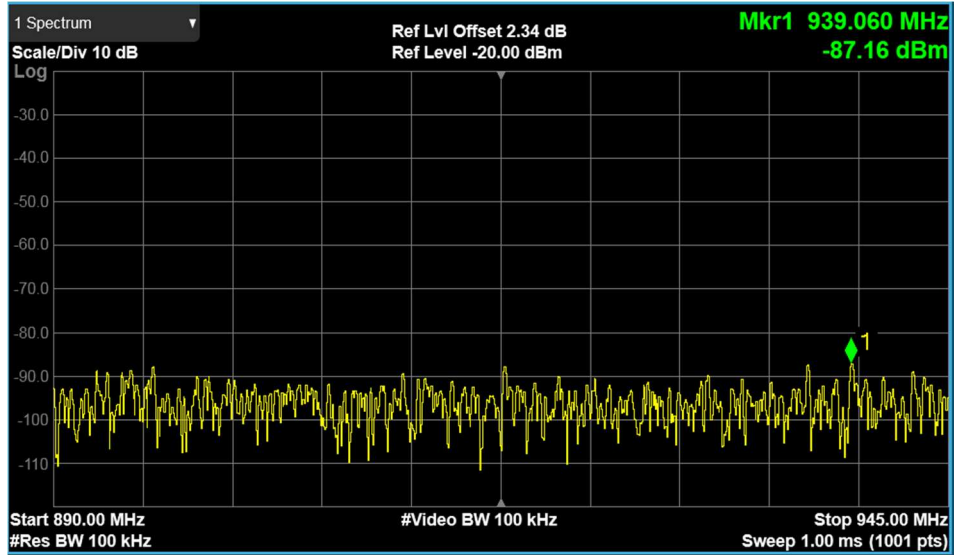


図 9-21 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(890MHz-945MHz)

h. 945MHz-960MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-21 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(945MHz-960MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-67.2
キャプチャ値 (dBm)	-78.30
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

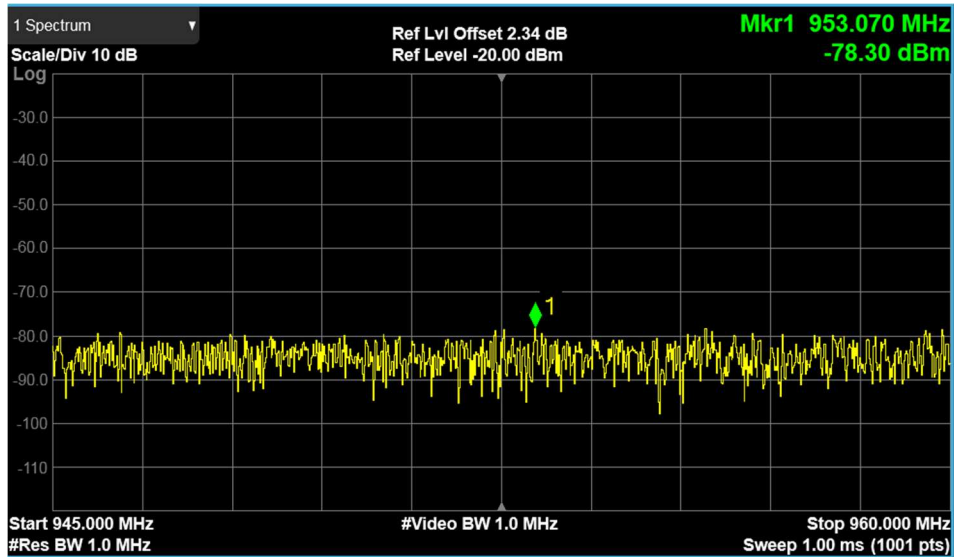


図 9-22 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(945MHz-960MHz)

i. 960MHz-1000MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-22 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(960MHz-1000MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-75.5
キャプチャ値(dBm)	-86.59
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-36dBm/100kHz 以下

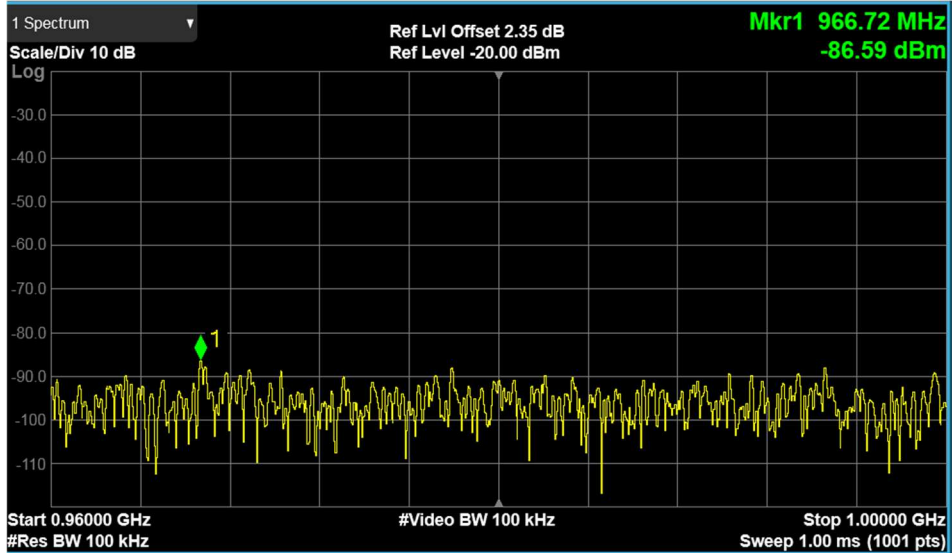


図 9-23 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(960MHz-1000MHz)

j. 1000MHz-1475.9MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-23 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1000MHz-1475.9MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-65.2
キャプチャ値(dBm)	-76.28
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-30dBm/1MHz 以下

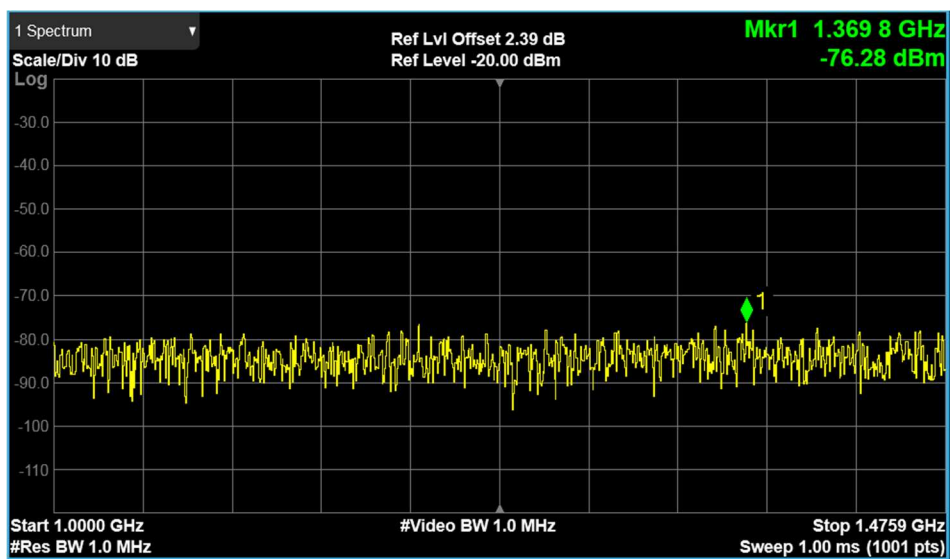


図 9-24 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1000MHz-1475.9MHz)

k. 1475.9MHz-1510.9MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-24 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1475.9MHz-1510.9MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-66.1
キャプチャ値(dBm)	-77.18
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-50dBm/1MHz 以下

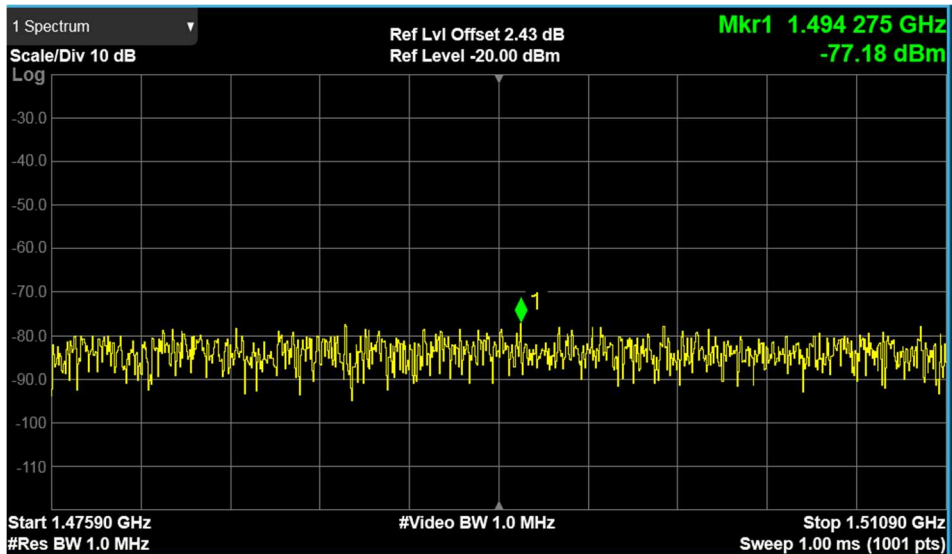


図 9-25 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1475.9MHz-1510.9MHz)

1. 1510.9MHz-1805MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-25 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1510.9MHz-1805MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-65.7
キャプチャ値(dBm)	-76.81
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-30dBm/1MHz 以下

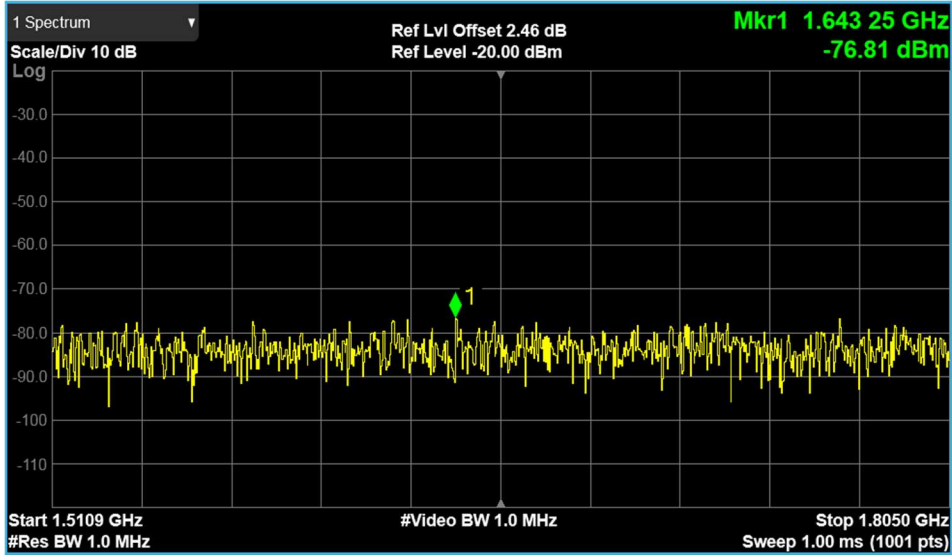


図 9-26 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1510.9MHz-1805MHz)

m. 1805MHz-1880MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-26 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1805MHz-1880MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-65.1
キャプチャ値(dBm)	-76.23
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-30dBm/1MHz 以下

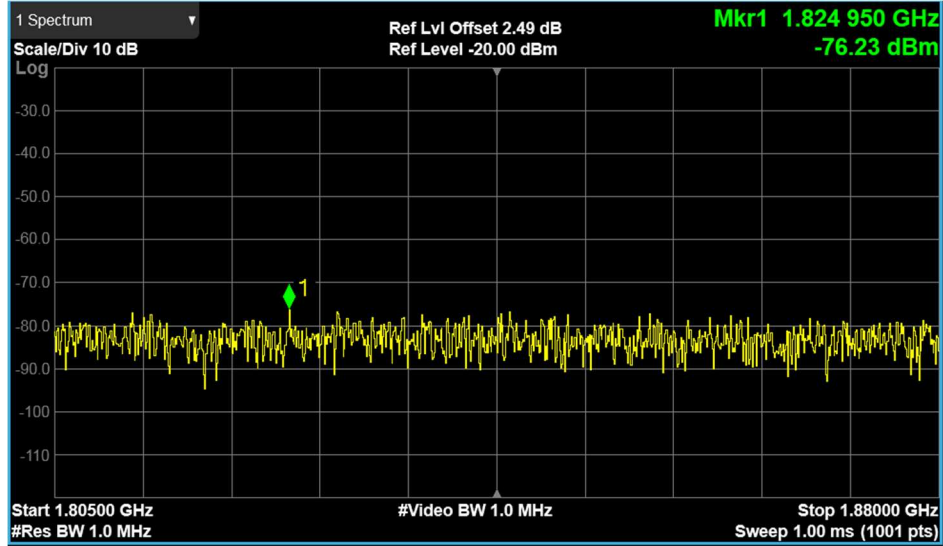


図 9-27 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1805MHz-1880MHz)

n. 1880MHz-1884.5MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-27 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1880MHz-1884.5MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-64.0
キャプチャ値(dBm)	-75.09
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-30dBm/1MHz 以下

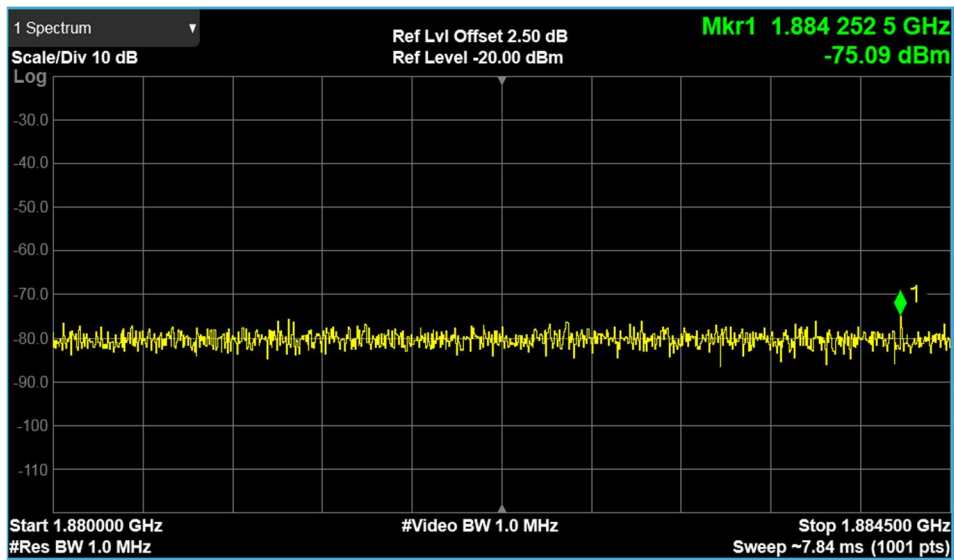


図 9-28 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1880MHz-1884.5MHz)

o. 1884.5MHz-1915.7MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-28 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1884.5MHz-1915.7MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-70.5
キャプチャ値(dBm)	-81.58
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-41dBm/300kHz 以下

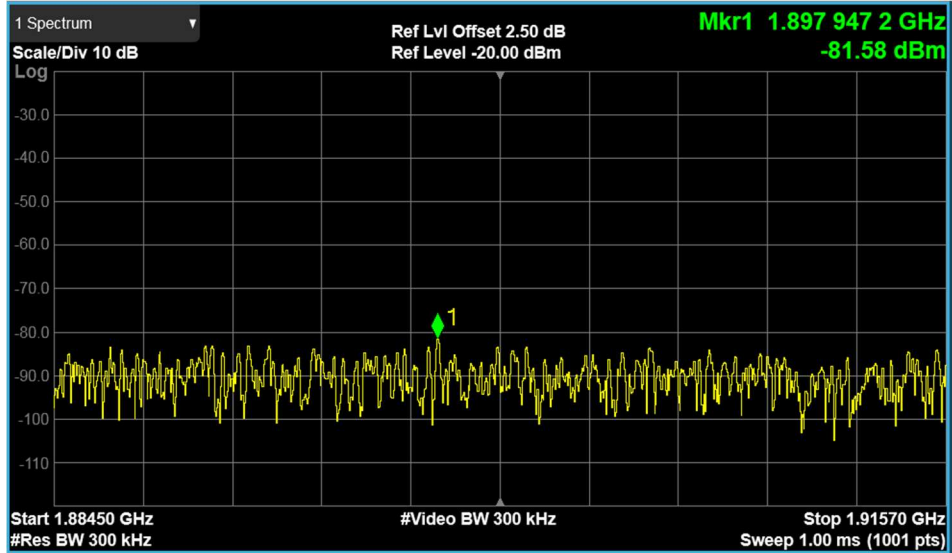


図 9-29 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1884.5MHz-1915.7MHz)

p. 1915.7MHz-2010MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-29 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(1915.7MHz-2010MHz)

項目	結果
測定値(dBm)	-65.1
キャプチャ値(dBm)	-76.19
測定系ロス(dB)	11.1
許容値(dBm)	-30dBm/1MHz 以下

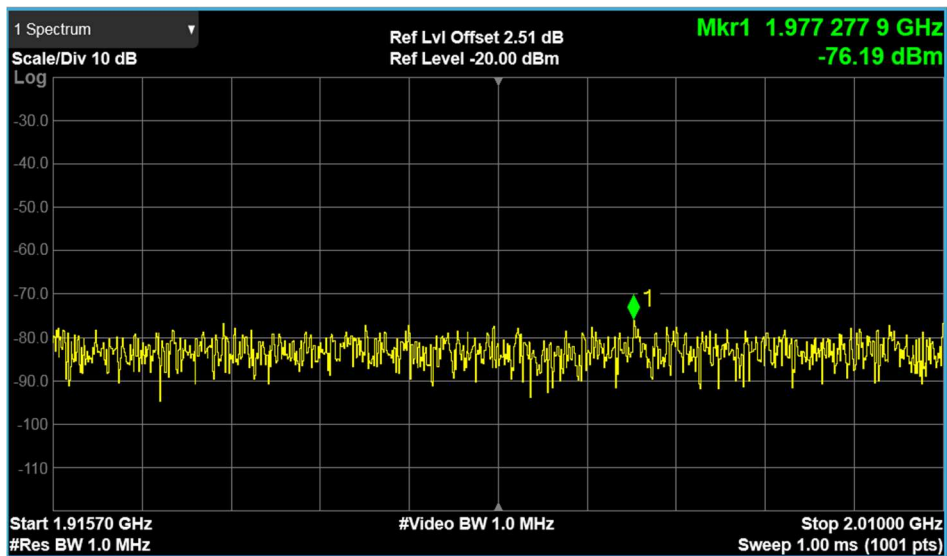


図 9-30 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(1915.7MHz-2010MHz)

q. 2010MHz-2025MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-30 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(2010MHz-2025MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.3
キャプチャ値 (dBm)	-76.36
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

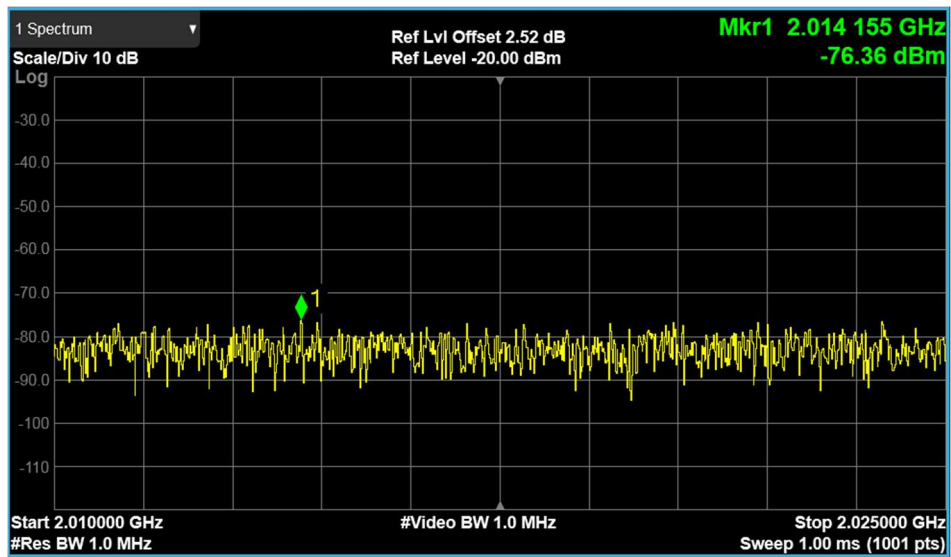


図 9-31 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(2010MHz-2025MHz)

r. 2025MHz-2110MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-31 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(2025MHz-2110MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.0
キャプチャ値 (dBm)	-75.05
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

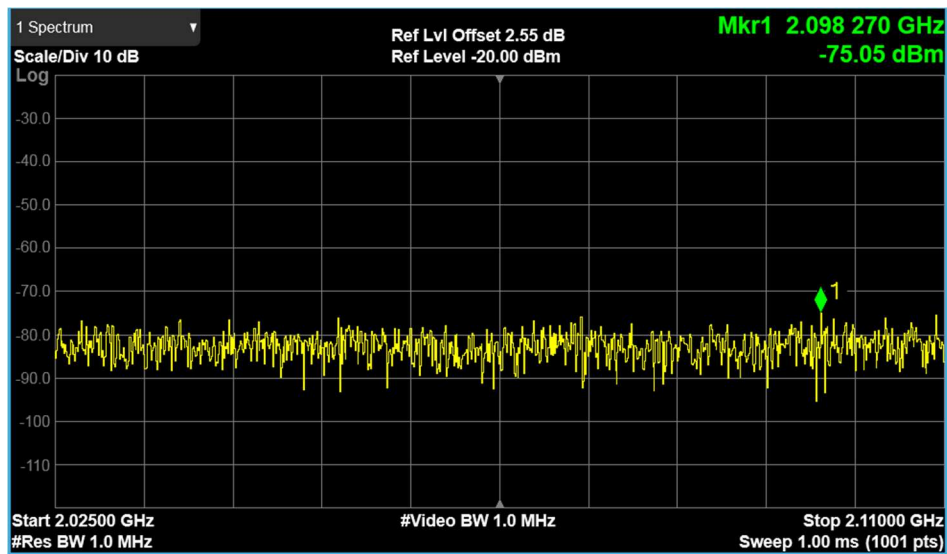


図 9-32 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(2025MHz-2110MHz)

s. 2110MHz-2170MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-32 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(2110MHz-2170MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.4
キャプチャ値 (dBm)	-75.52
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

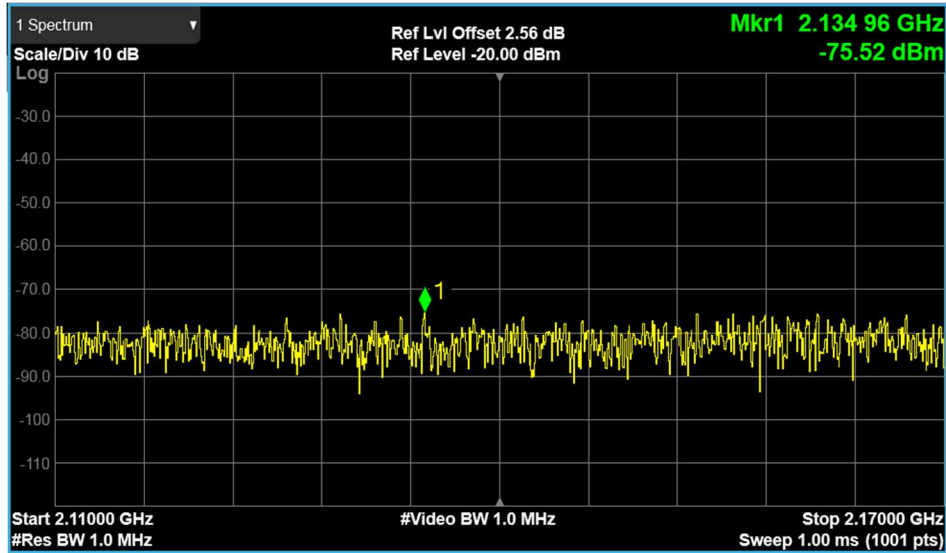


図 9-33 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(2110MHz-2170MHz)

t. 2170MHz-4695.03MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-33 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(2170MHz-4695.03MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-38.1
キャプチャ値 (dBm)	-49.22
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

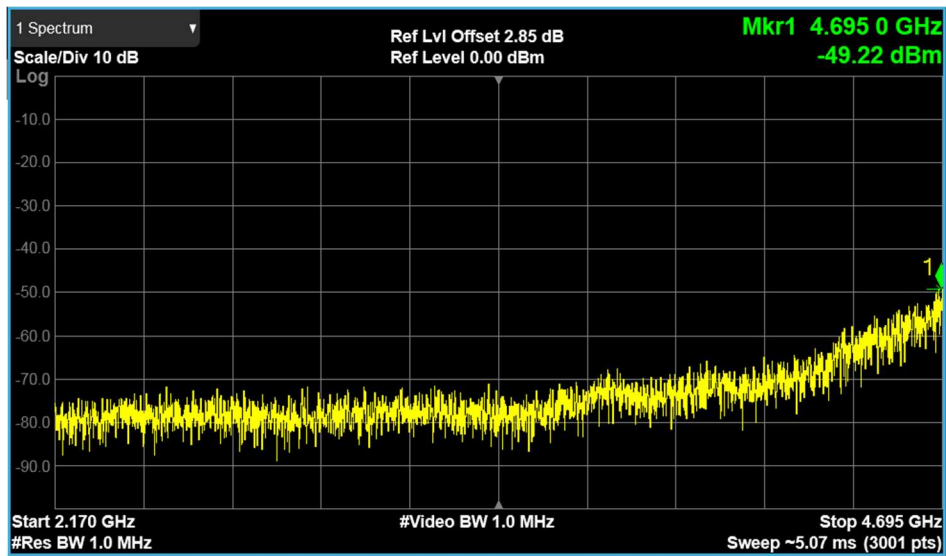


図 9-34 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(2170MHz-4695.03MHz)

u. 5004.93MHz-12.75GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-34 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(5004.9MHz-12.75GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-37.2
キャプチャ値 (dBm)	-48.33
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

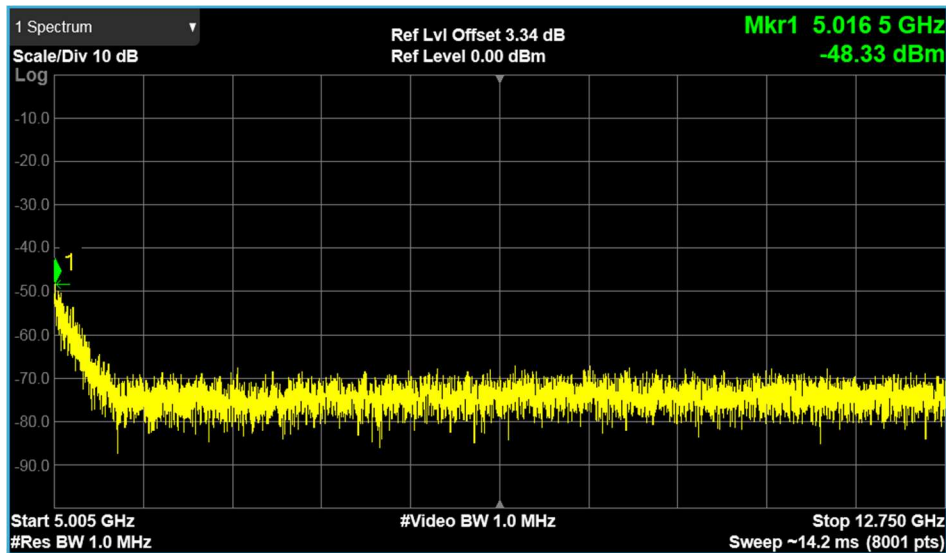


図 9-35 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(5004.9MHz-12.75GHz)

v. 12.75GHz-18GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-35 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定結果(12.75GHz-18GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-54.7
キャプチャ値 (dBm)	-65.78
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

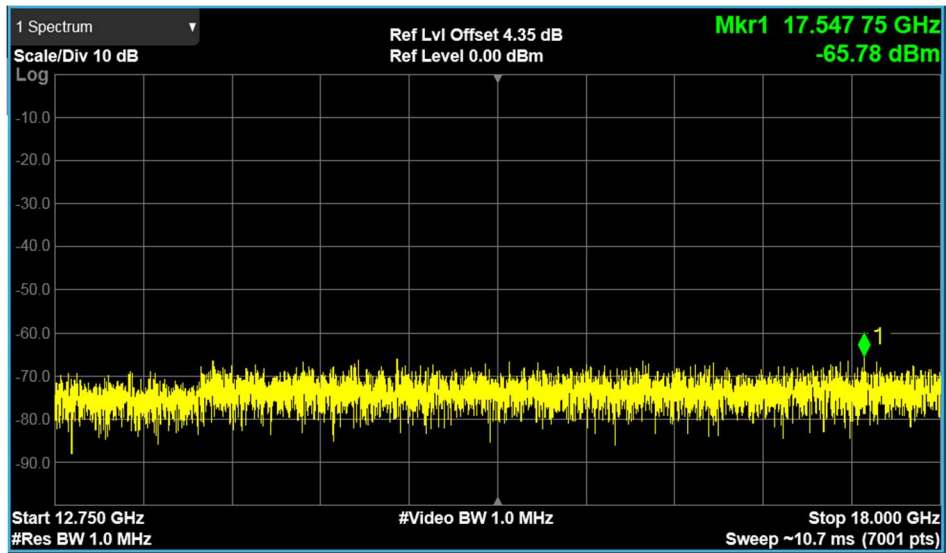


図 9-36 ポート 1 スプリアス領域不要発射の測定画面(12.75GHz-18GHz)

w. 18GHz-24.5GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-36 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定結果(18GHz-24.5GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-51.9
キャプチャ値 (dBm)	-63.01
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

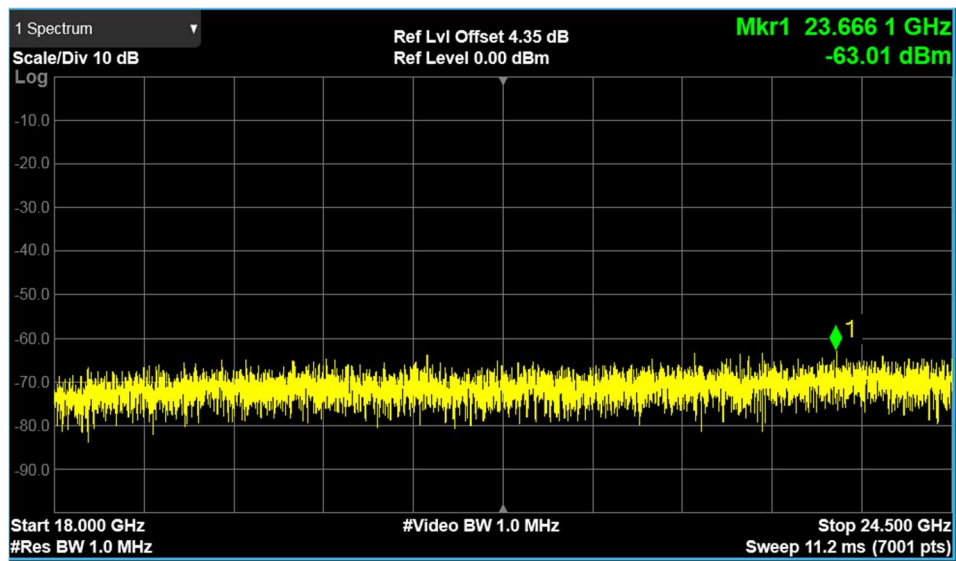


図 9-37 ポート1 スプリアス領域不要発射の測定画面(18GHz-24.5GHz)

ポート 2

a. 9kHz-150kHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-37 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(9kHz-150kHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-88.0
キャプチャ値 (dBm)	-99.11
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/1kHz 以下

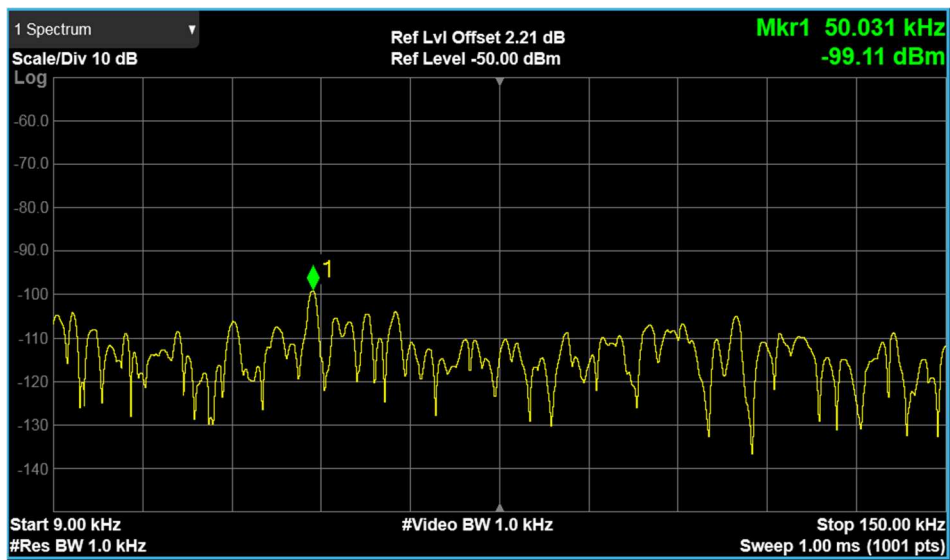


図 9-38 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(9kHz-150kHz)

b. 150kHz-30MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-38 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果 (150kHz-30MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-76.2
キャプチャ値 (dBm)	-87.29
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/10kHz 以下

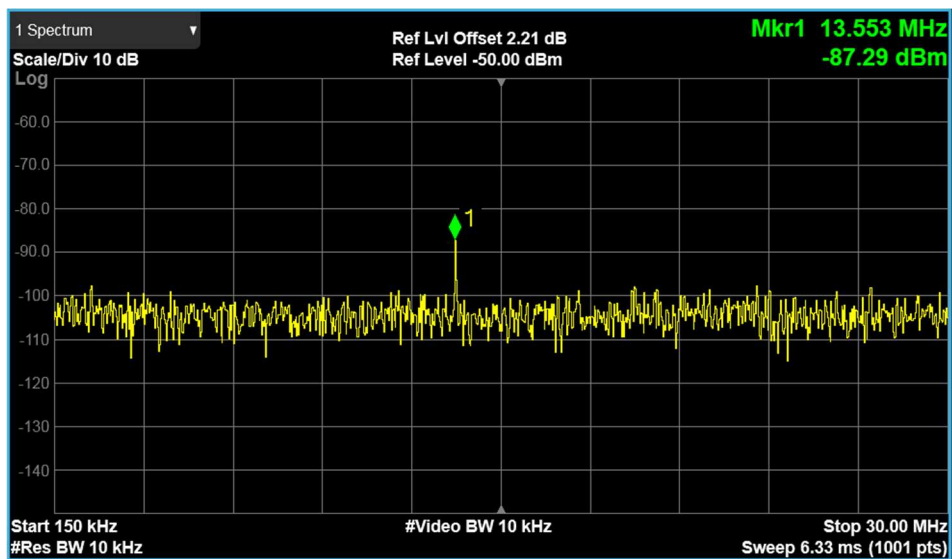


図 9-39 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面 (150kHz-30MHz)

c. 30MHz-773MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-39 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果 (30MHz-773MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-70.0
キャプチャ値 (dBm)	-81.09
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

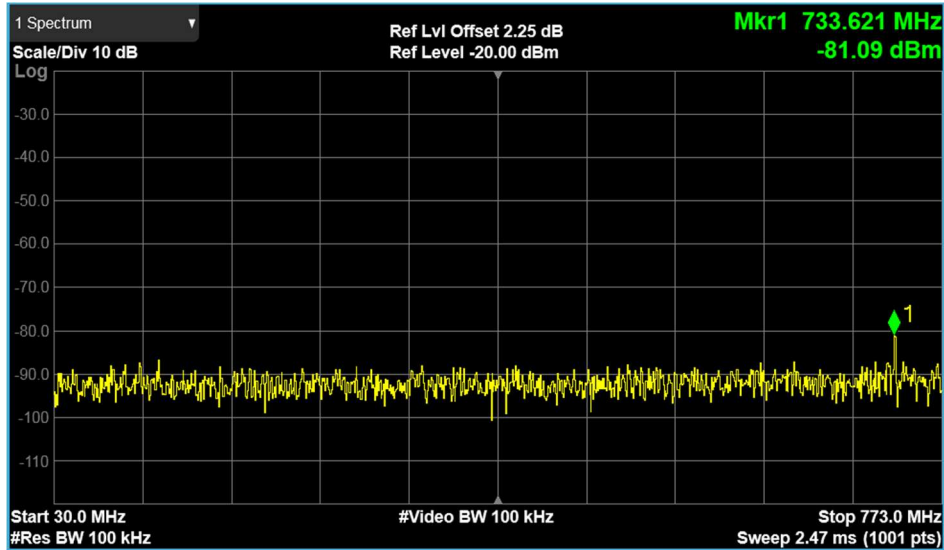


図 9-40 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面 (30MHz-773MHz)

d. 773MHz-803MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-40 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(773MHz-803MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.0
キャプチャ値 (dBm)	-76.13
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

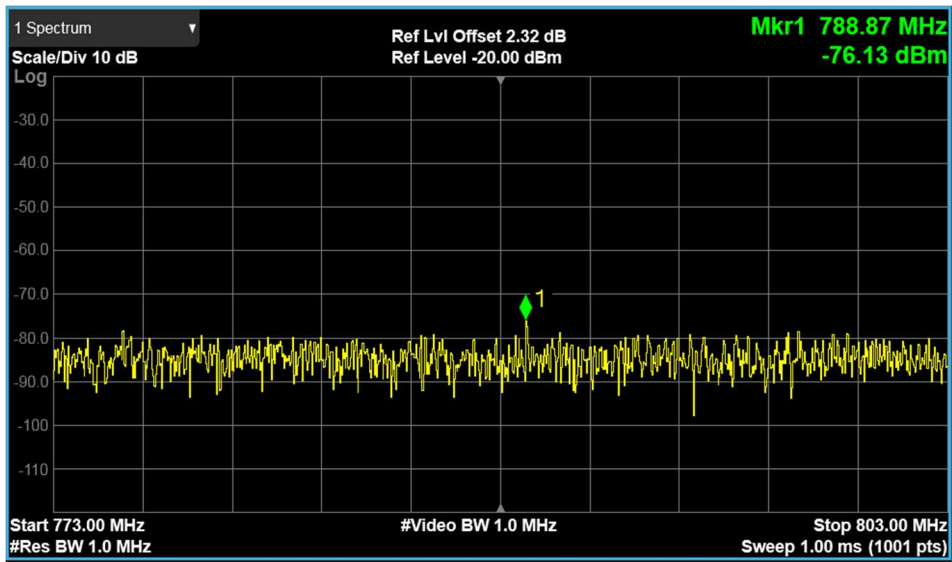


図 9-41 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(773MHz-803MHz)

e. 803MHz-860MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-41 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(803MHz-860MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-76.6
キャプチャ値 (dBm)	-87.66
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

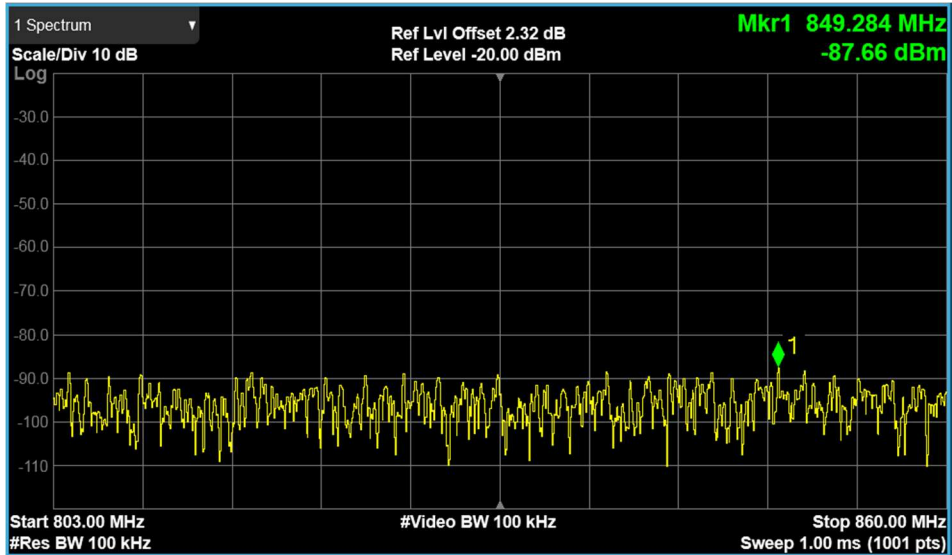


図 9-42 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(803MHz-860MHz)

f. 860MHz-890MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-42 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(860MHz-890MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-66.4
キャプチャ値 (dBm)	-77.47
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

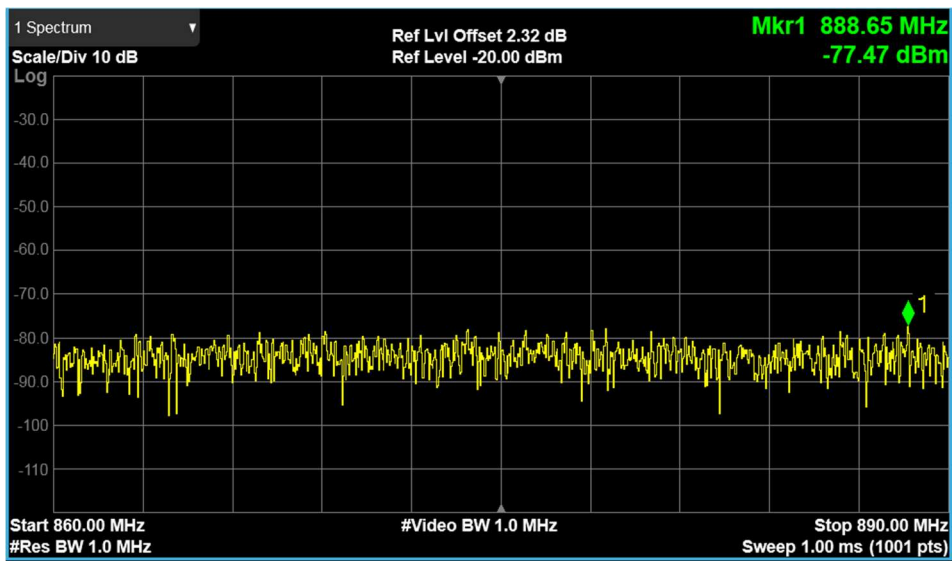


図 9-43 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(860MHz-890MHz)

g. 890MHz-945MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-43 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(890MHz-945MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-74.7
キャプチャ値 (dBm)	-85.75
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

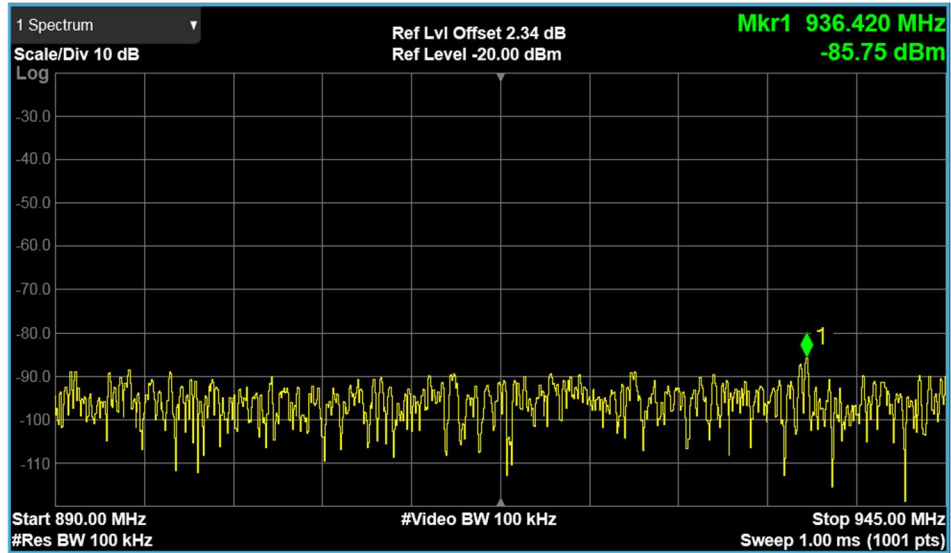


図 9-44 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(890MHz-945MHz)

h. 945MHz-960MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-44 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(945MHz-960MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.4
キャプチャ値 (dBm)	-75.53
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

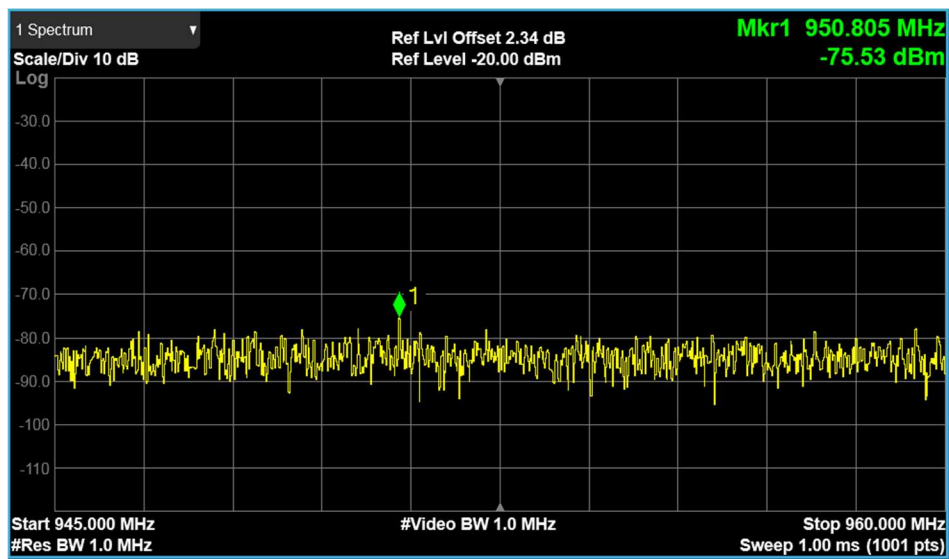


図 9-45 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(945MHz-960MHz)

i. 960MHz-1000MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-45 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果 (960MHz-1000MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-77.4
キャプチャ値 (dBm)	-88.47
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-36dBm/100kHz 以下

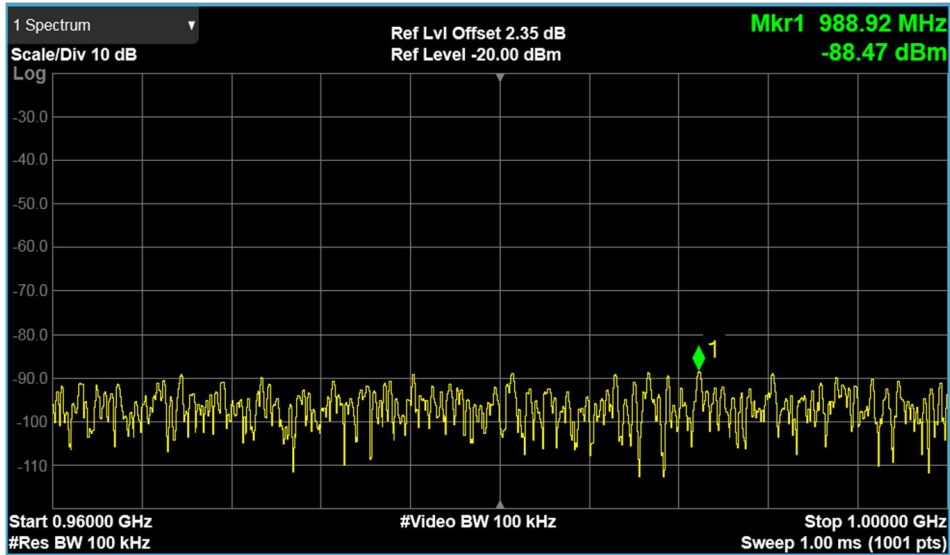


図 9-46 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面 (960MHz-1000MHz)

j. 1000MHz-1475.9MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-46 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1000MHz-1475.9MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.3
キャプチャ値 (dBm)	-76.40
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30/1MHz 以下

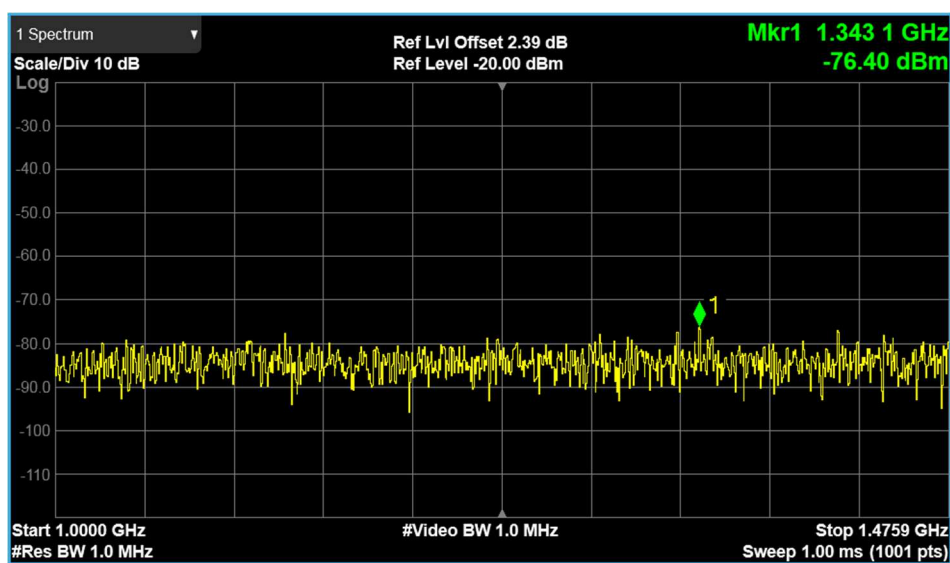


図 9-47 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1000MHz-1475.9MHz)

k. 1475.9MHz-1510.9MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-47 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1475.9MHz-1510.9MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.1
キャプチャ値 (dBm)	-76.20
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

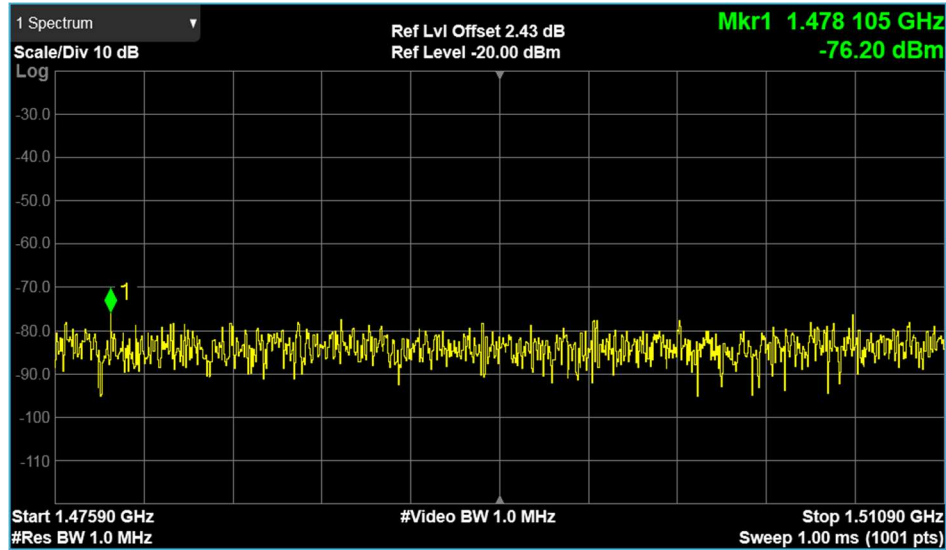


図 9-48 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1475.9MHz-1510.9MHz)

1. 1510.9MHz-1805MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-48 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1510.9MHz-1805MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.8
キャプチャ値 (dBm)	-76.86
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30/1MHz 以下

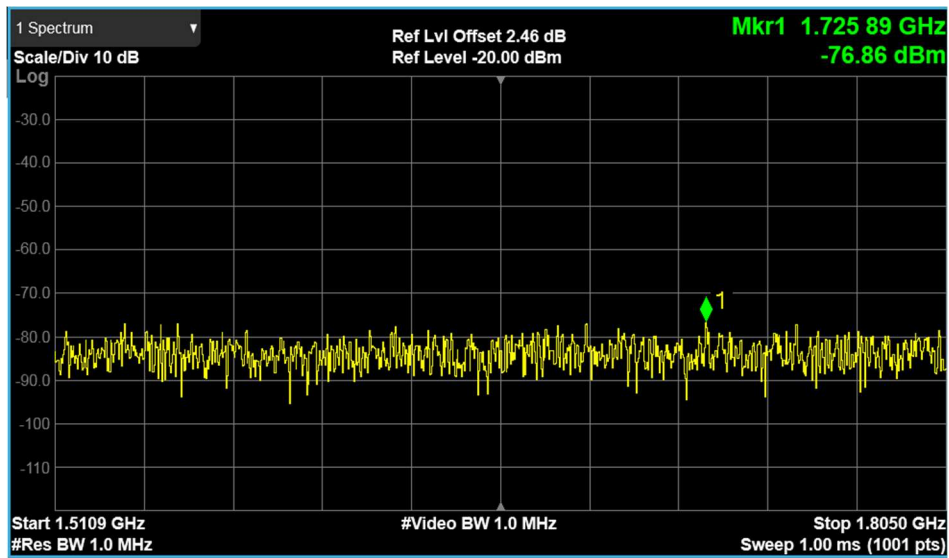


図 9-49 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1510.9MHz-1805MHz)

m. 1805MHz-1880MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-49 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1805MHz-1880MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-65.7
キャプチャ値 (dBm)	-76.80
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

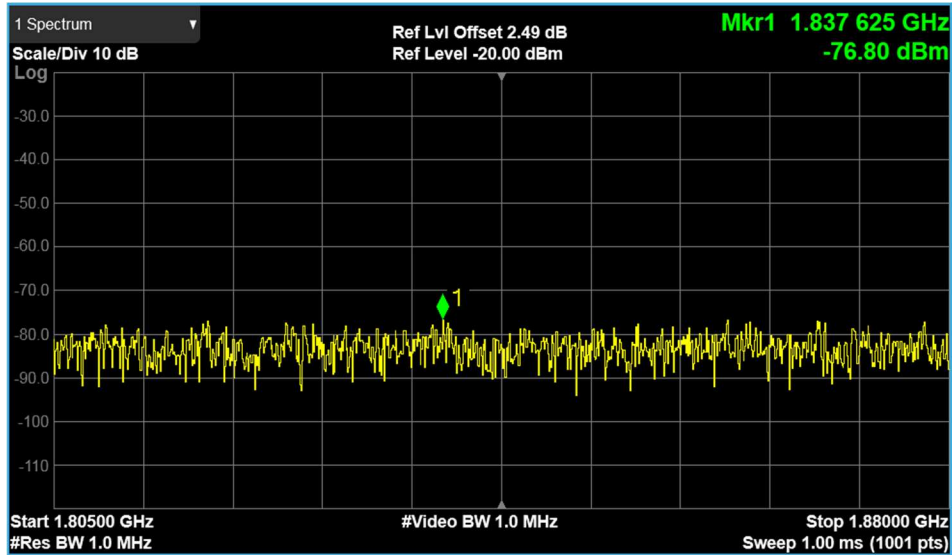


図 9-50 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1805MHz-1880MHz)

n. 1880MHz-1884.5MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-50 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1880MHz-1884.5MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.6
キャプチャ値 (dBm)	-75.71
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

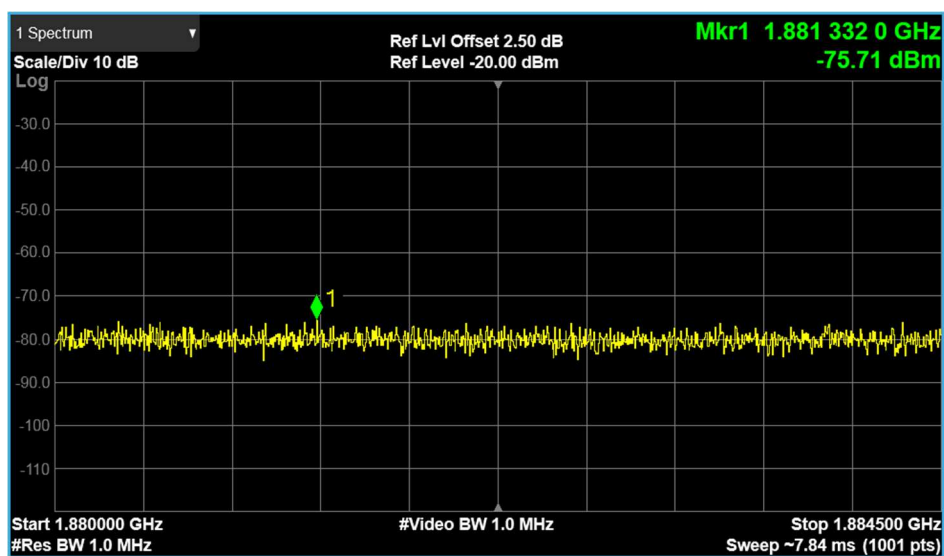


図 9-51 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1880MHz-1884.5MHz)

o. 1884.5MHz-1915.7MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-51 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1884.5MHz-1915.7MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-68.3
キャプチャ値 (dBm)	-79.38
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-41dBm/300kHz 以下

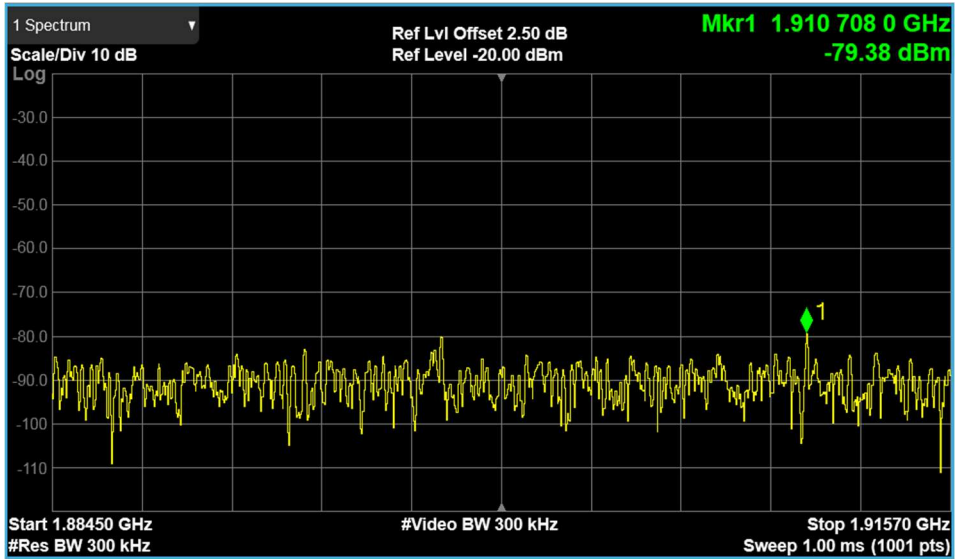


図 9-52 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1884.5MHz-1915.7MHz)

p. 1915.7MHz-2010MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-52 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(1915.7MHz-2010MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.0
キャプチャ値 (dBm)	-75.11
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

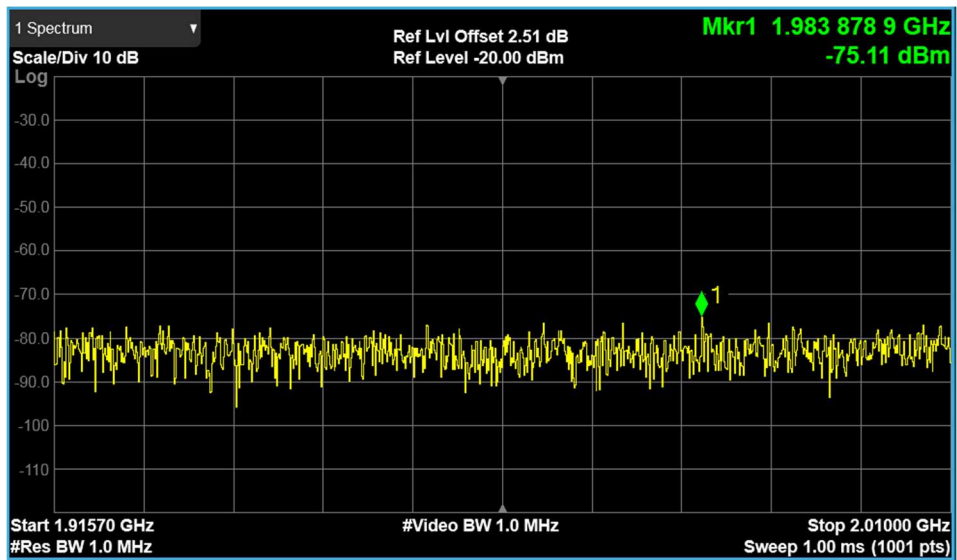


図 9-53 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(1915.7MHz-2010MHz)

q. 2010MHz-2025MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-53 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(2010MHz-2025MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.5
キャプチャ値 (dBm)	-75.60
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

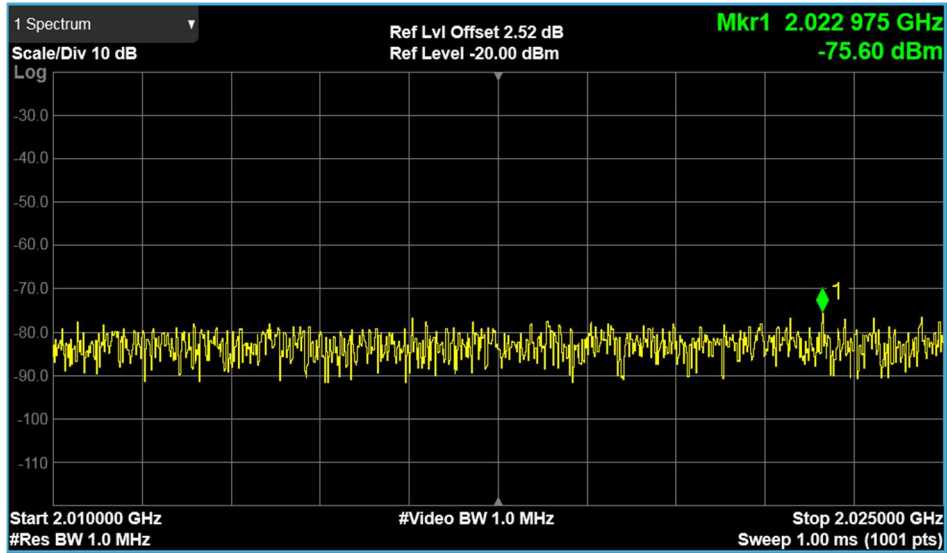


図 9-54 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(2010MHz-2025MHz)

r. 2025MHz-2110MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-54 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(2025MHz-2110MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-64.7
キャプチャ値 (dBm)	-75.81
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

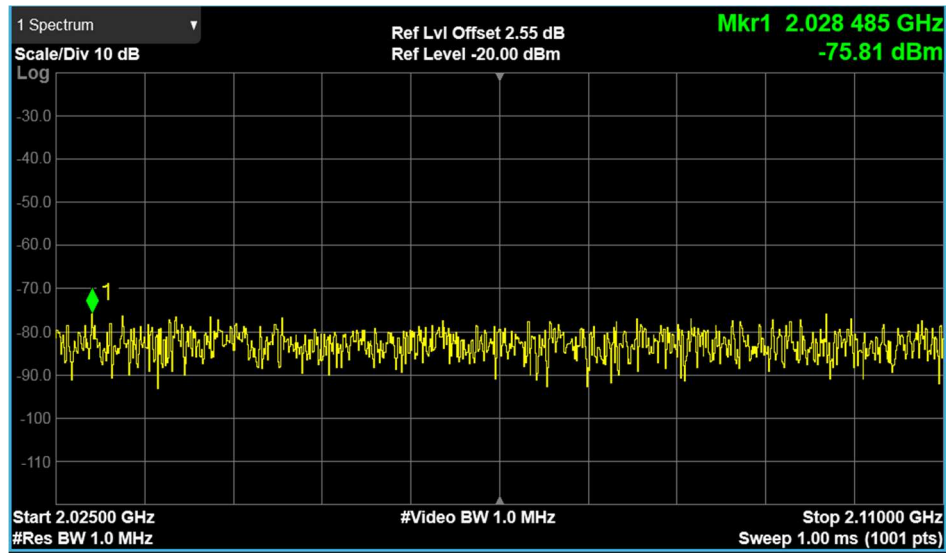


図 9-55 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(2025MHz-2110MHz)

s. 2110MHz-2170MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-55 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(2110MHz-2170MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-60.7
キャプチャ値 (dBm)	-71.83
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-50dBm/1MHz 以下

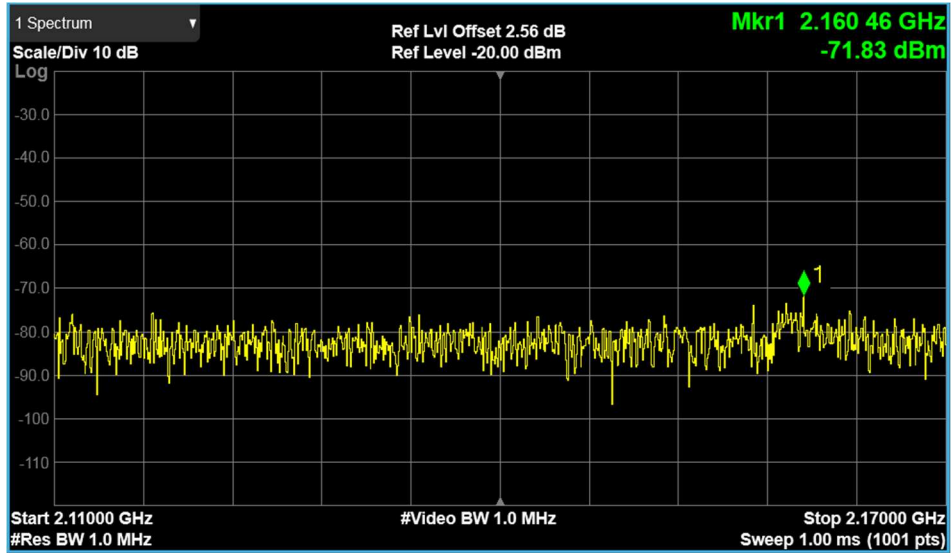


図 9-56 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(2110MHz-2170MHz)

t. 2170MHz-4695.03MHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-56 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(2170MHz-4695.03MHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-37.0
キャプチャ値 (dBm)	-48.12
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

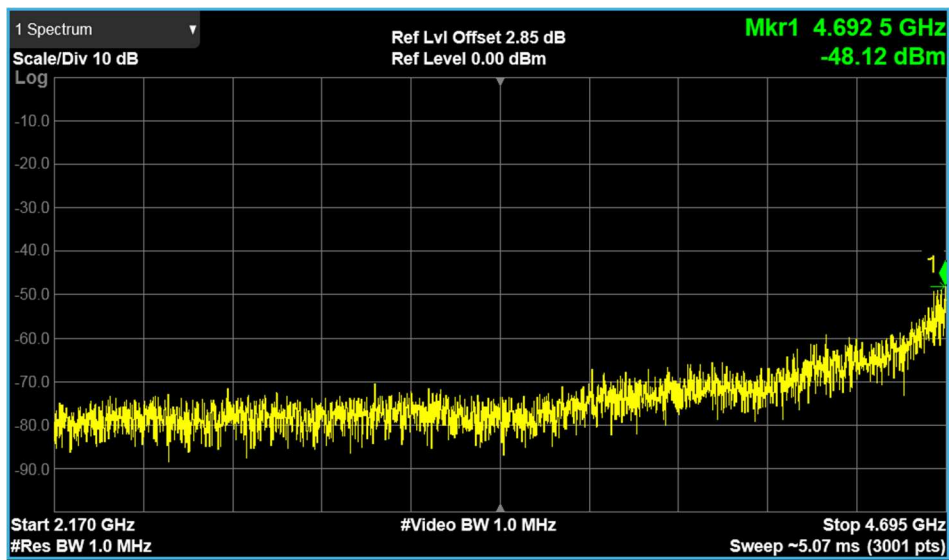


図 9-57 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(2170MHz-4695.03MHz)

u. 5004.93MHz-12.75GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-57 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(5004.9MHz-12.75GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-32.0
キャプチャ値 (dBm)	-43.06
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

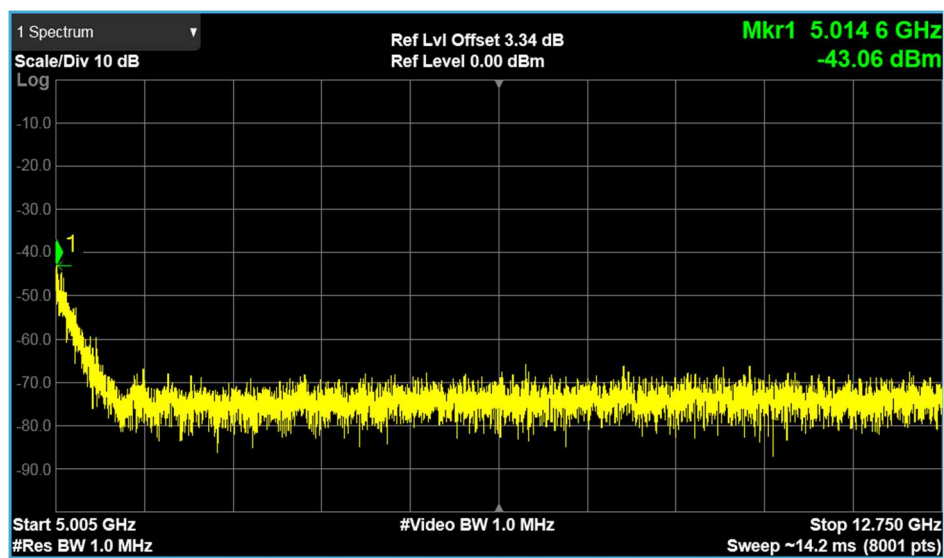


図 9-58 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(5004.9MHz-12.75GHz)

v. 12.75GHz-18GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-58 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定結果(12.75GHz-18GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-54.7
キャプチャ値 (dBm)	-65.81
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

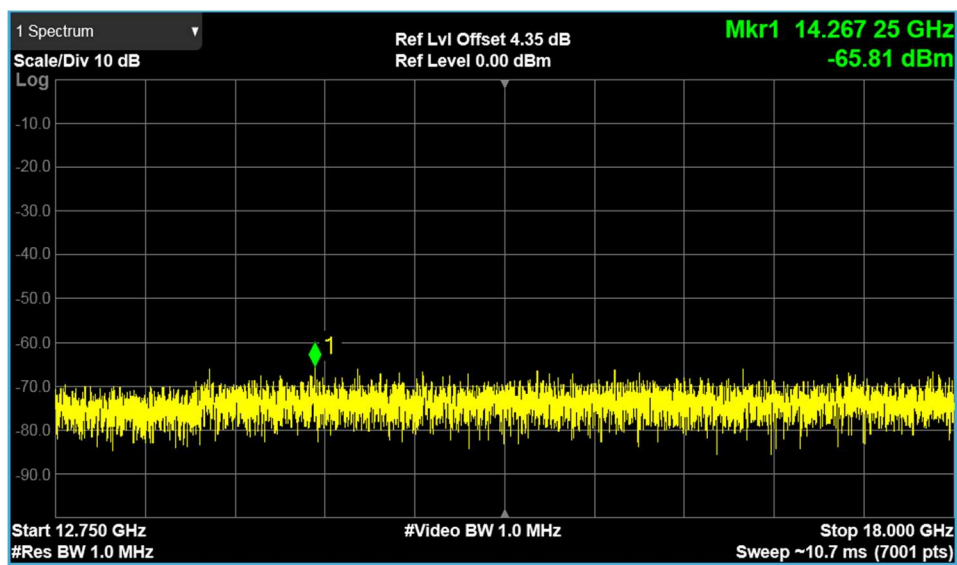


図 9-59 ポート 2 スプリアス領域不要発射の測定画面(12.75GHz-18GHz)

w. 18GHz-24.5GHz

許容値以下になっており問題ない。

表 9-59 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定結果(18GHz-24.5GHz)

項目	結果
測定値 (dBm)	-51.6
キャプチャ値 (dBm)	-62.67
測定系ロス (dB)	11.1
許容値 (dBm)	-30dBm/1MHz 以下

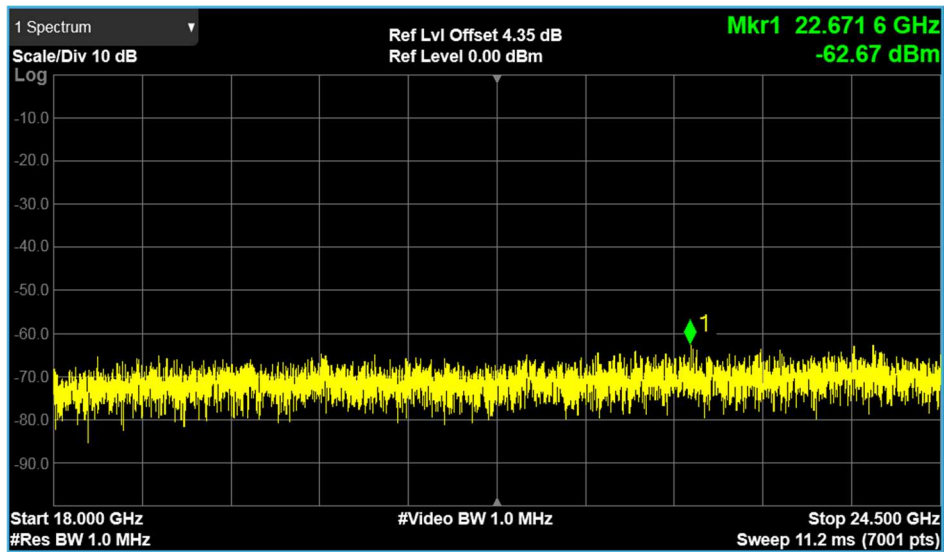


図 9-60 ポート2 スプリアス領域不要発射の測定画面(18GHz-24.5GHz)

10. 参考資料 3

以下にシャープ幕張事業所に設置したローカル 5G 実験試験局エリアで実施した無線伝送試験の結果の各ポイントでの時間変動グラフを示す。無線伝送試験は図 4-36 に示したポイントで実施し、それぞれのポイントでアップリンク伝送スループット、ダウンリンク伝送スループット、伝送遅延、受信電力の評価を行った。いずれの評価項目も 1 分間の測定を行っている。スループットは端末システムのログとして記録される物理層のスループット、受信電力は SS-RSRP、遅延時間は ping コマンドを使用した往復遅延時間を示している。

ポイント 1



図 10-1 ポイント 1 における SS-RSRP の時間変動

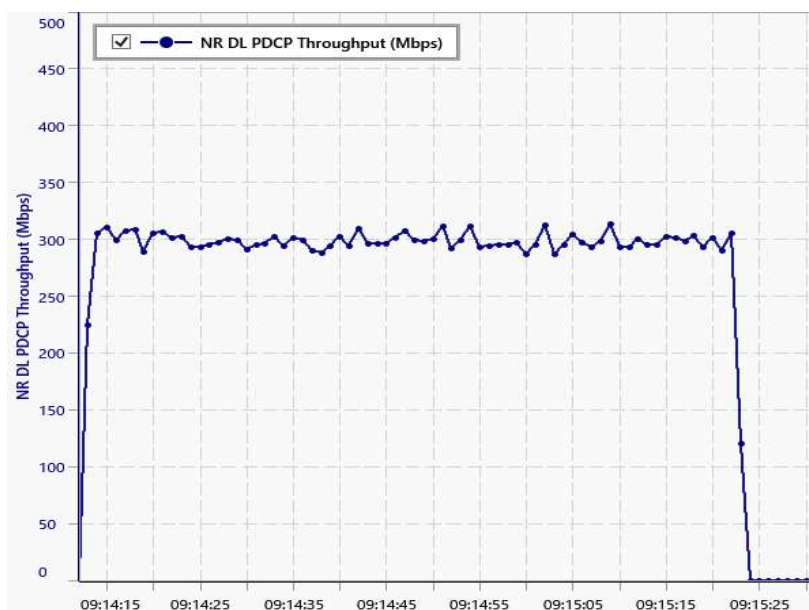


図 10-2 ポイント 1 における DL スループットの時間変動

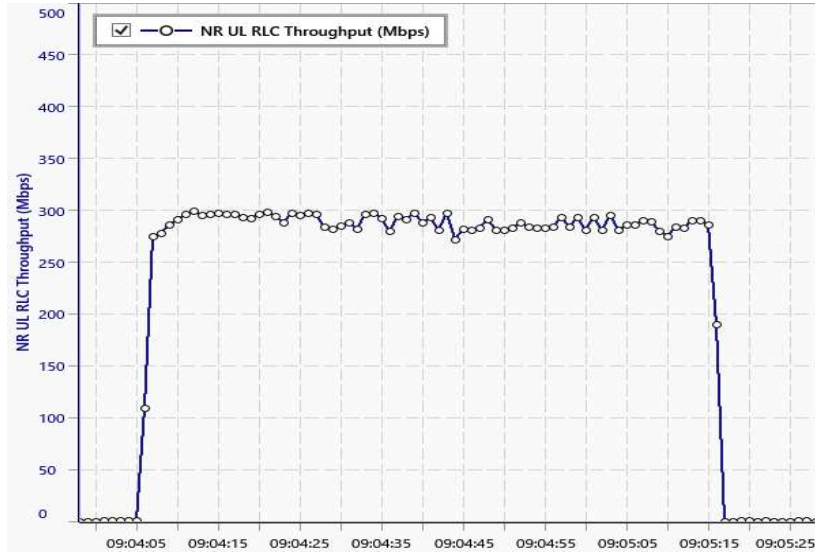


図 10-3 ポイント 1 における UL スループットの時間変動

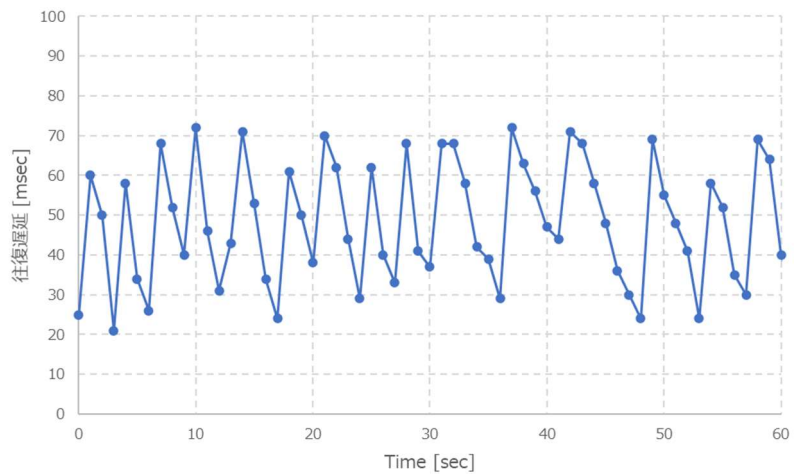


図 10-4 ポイント 1 における往返遅延の時間変動

ポイント 2

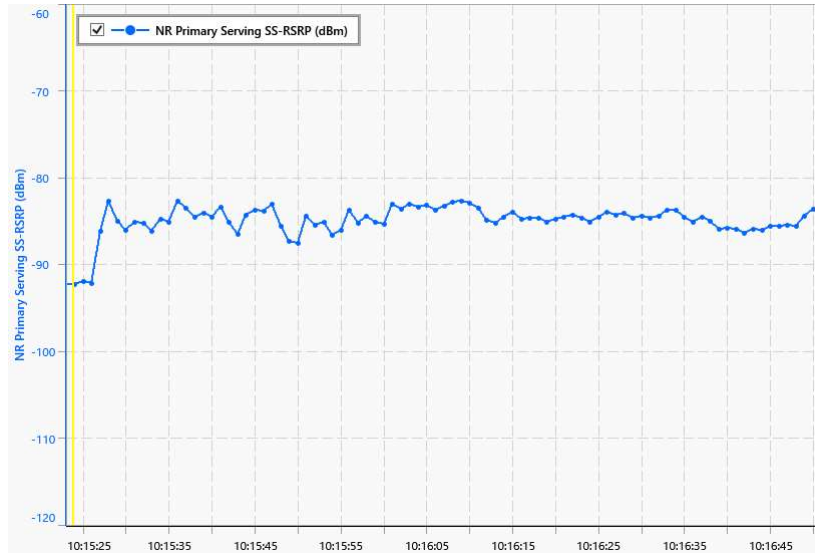


図 10-5 ポイント 2 における SS-RSRP の時間変動

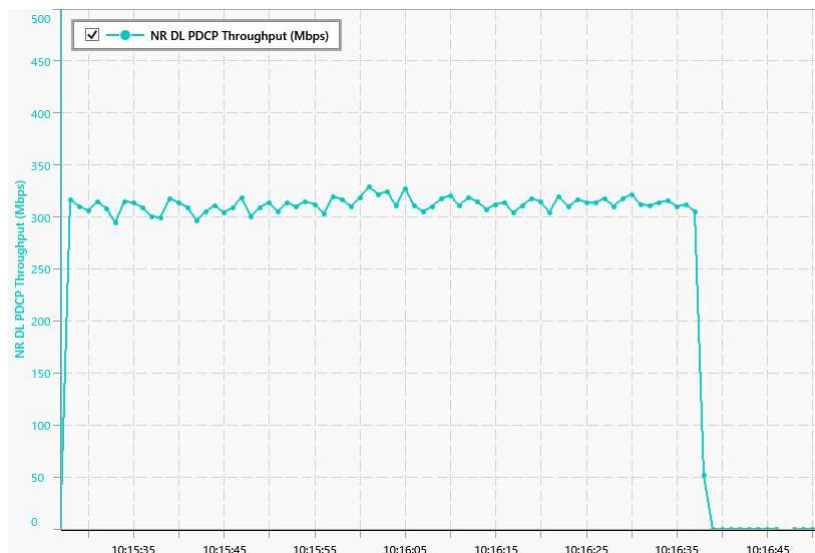


図 10-6 ポイント 2 における DL スループットの時間変動

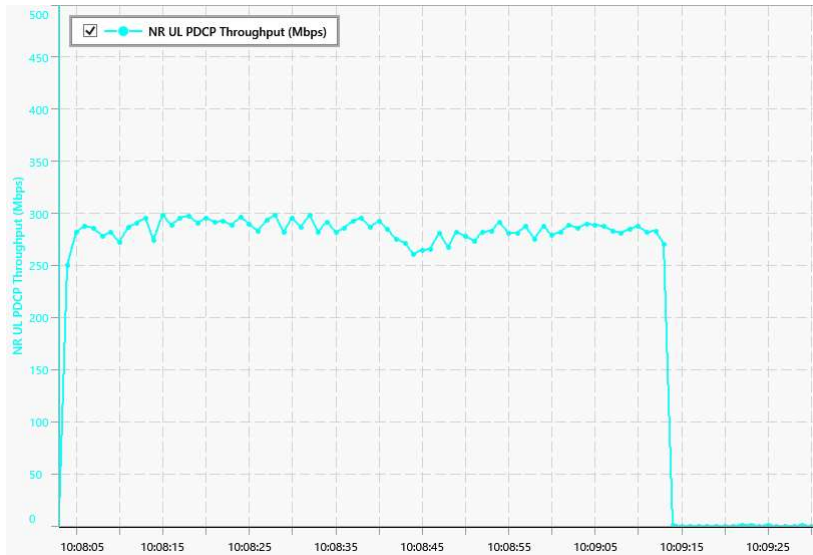


図 10-7 ポイント 2 における UL スループットの時間変動

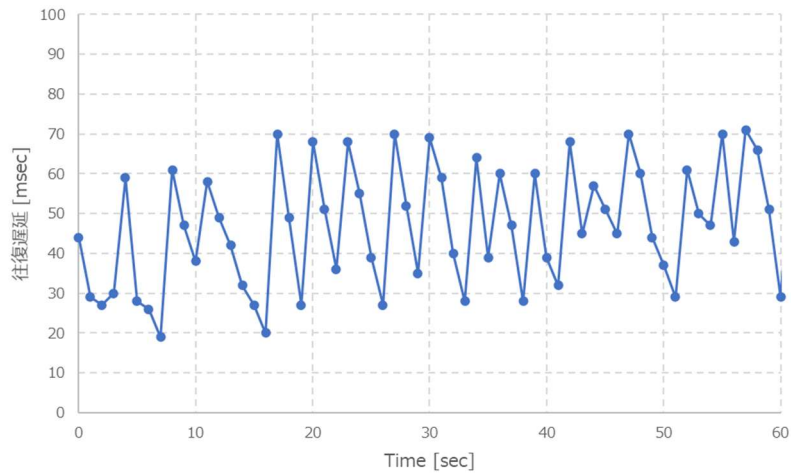


図 10-8 ポイント 2 における往復遅延の時間変動

ポイント 3

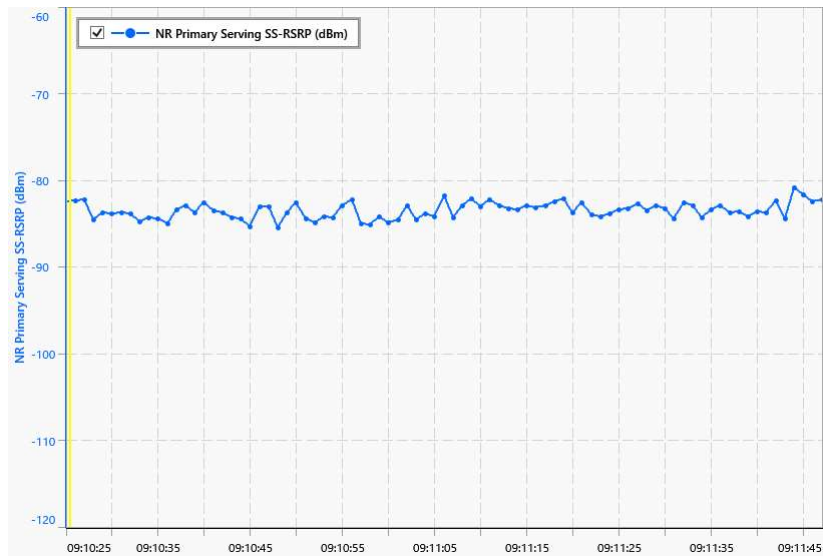


図 10-9 ポイント 3 における SS-RSRP の時間変動

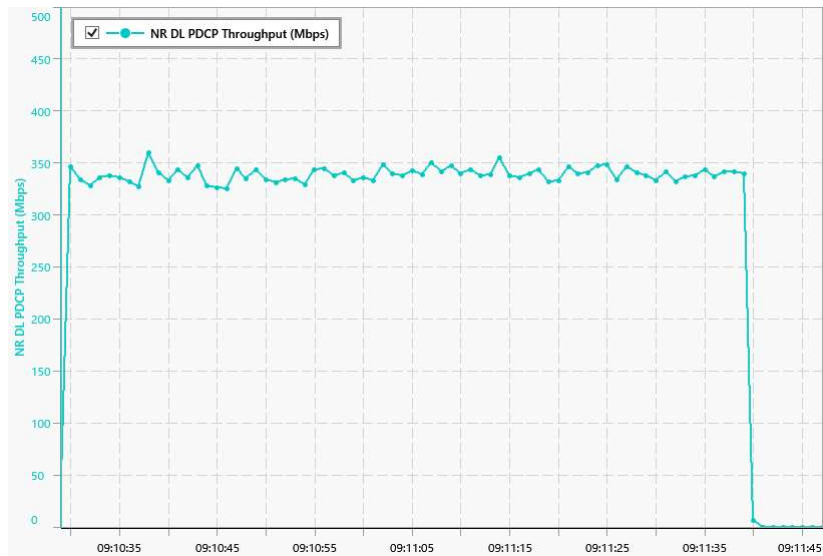


図 10-10 ポイント 3 における DL スループットの時間変動

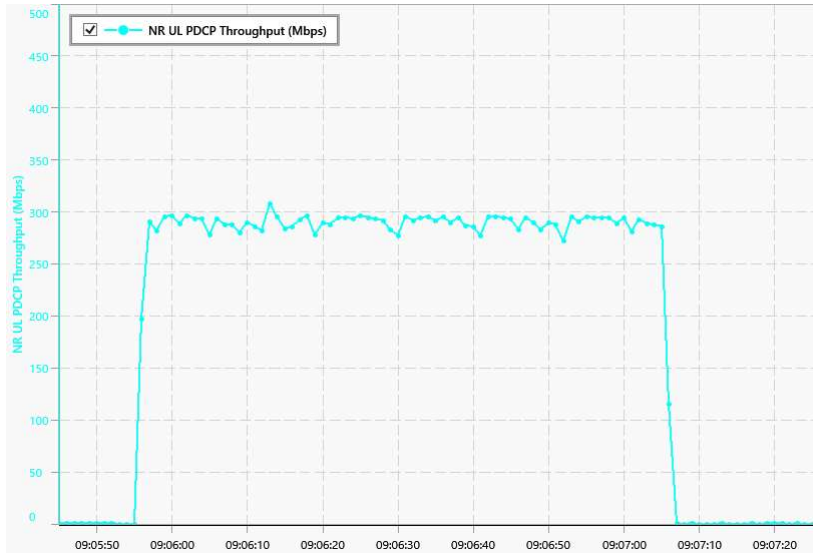


図 10-11 ポイント 3 における UL スループットの時間変動

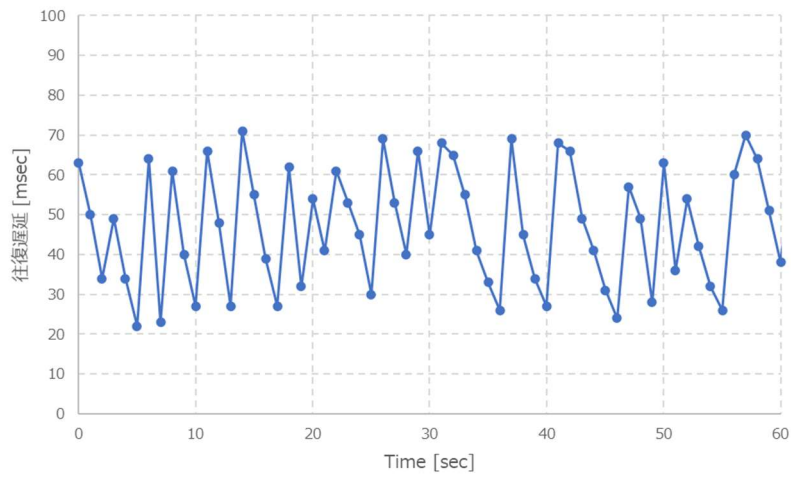


図 10-12 ポイント 3 における往復遅延の時間変動

ポイント 4

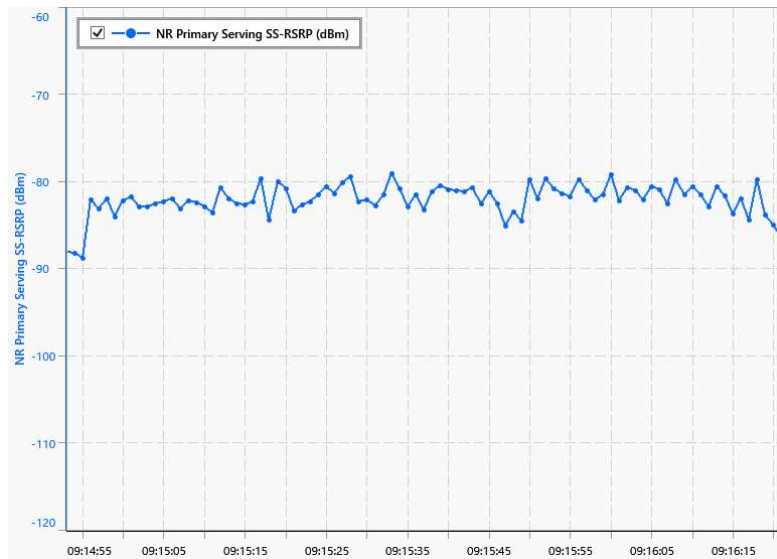


図 10-13 ポイント 4 における SS-RSRP の時間変動

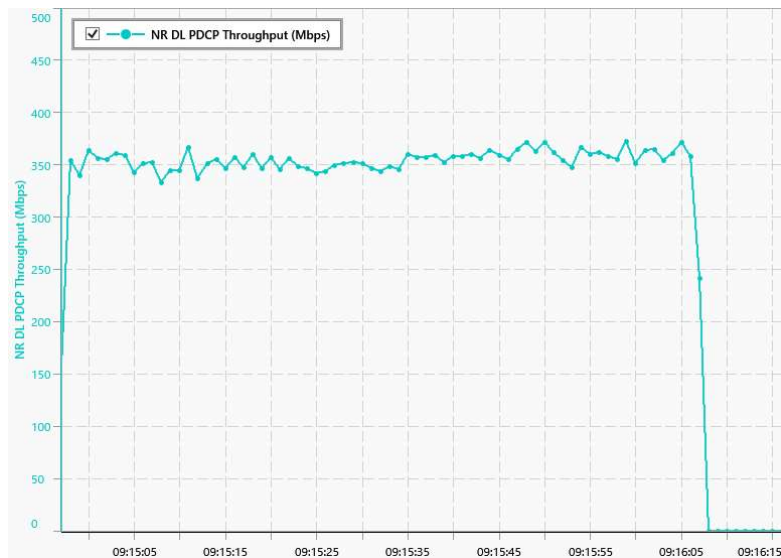


図 10-14 ポイント 4 における DL スループットの時間変動

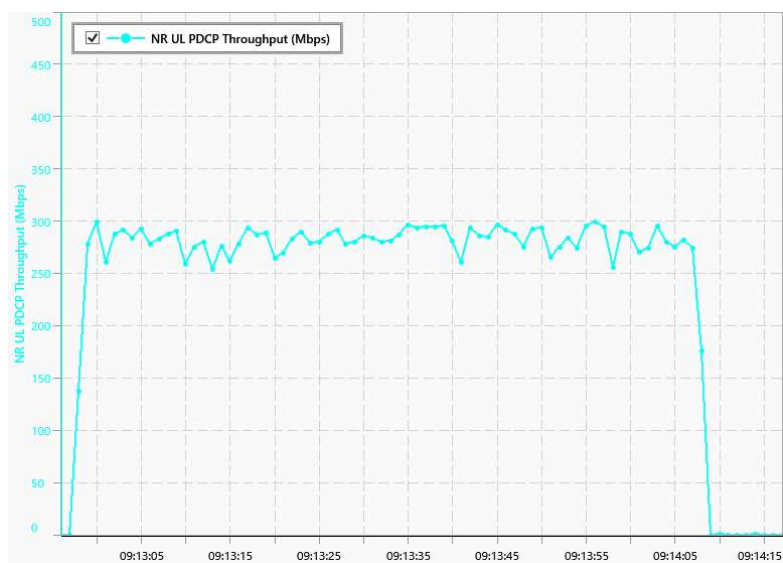


図 10-15 ポイント 4 における UL スループットの時間変動

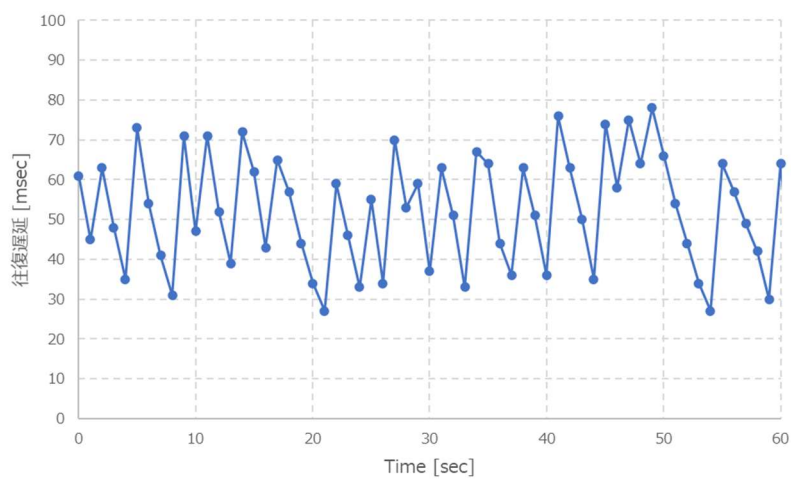


図 10-16 ポイント 4 における往復遅延の時間変動

ポイント 5

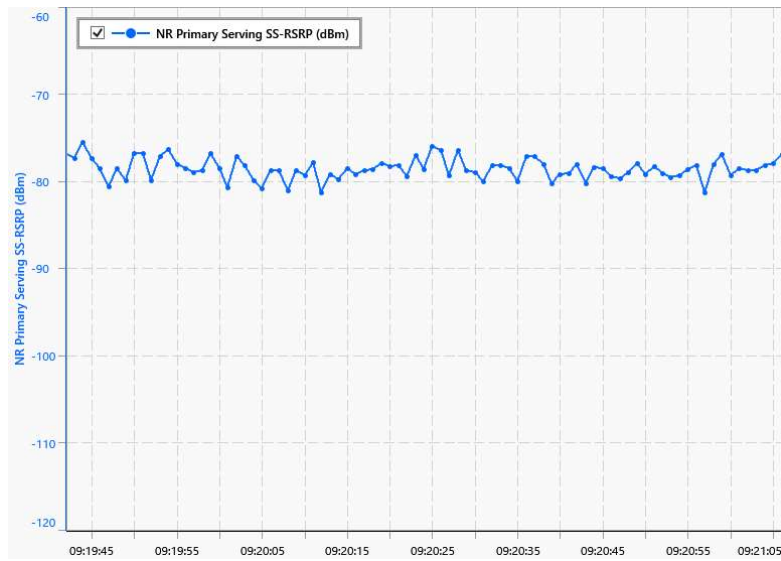


図 10-17 ポイント 5 における SS-RSRP の時間変動

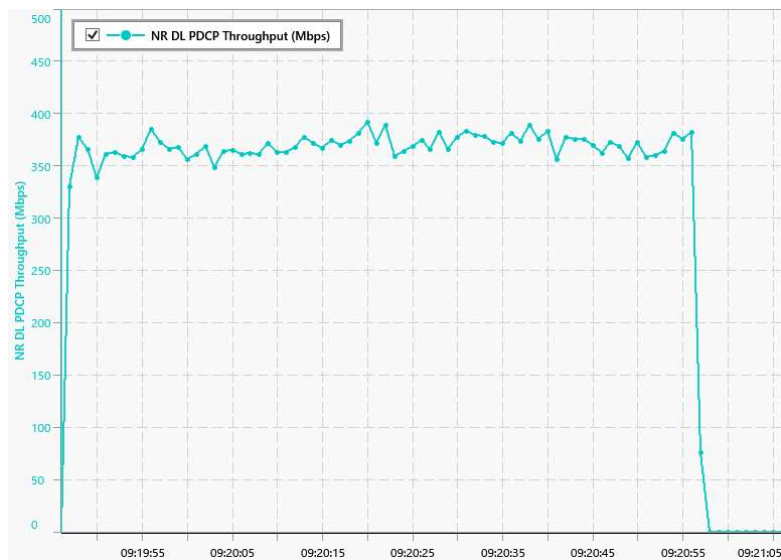


図 10-18 ポイント 5 における DL スループットの時間変動

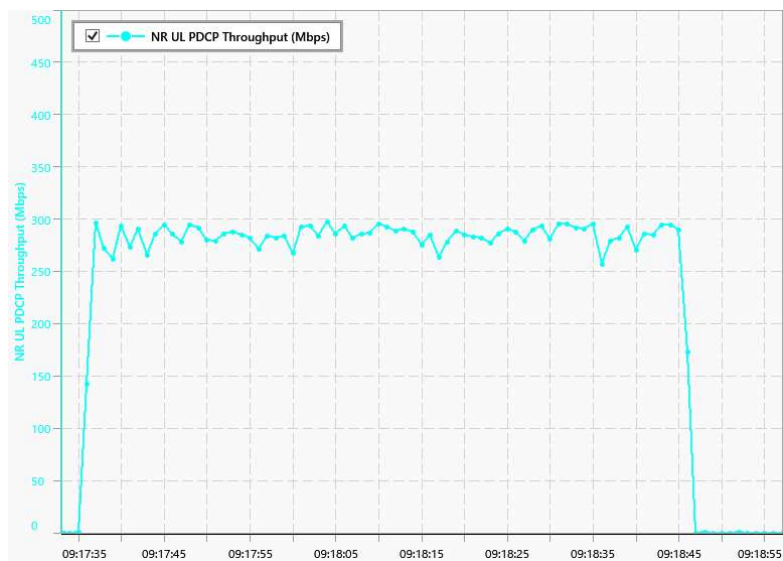


図 10-19 ポイント 5 における UL スループットの時間変動

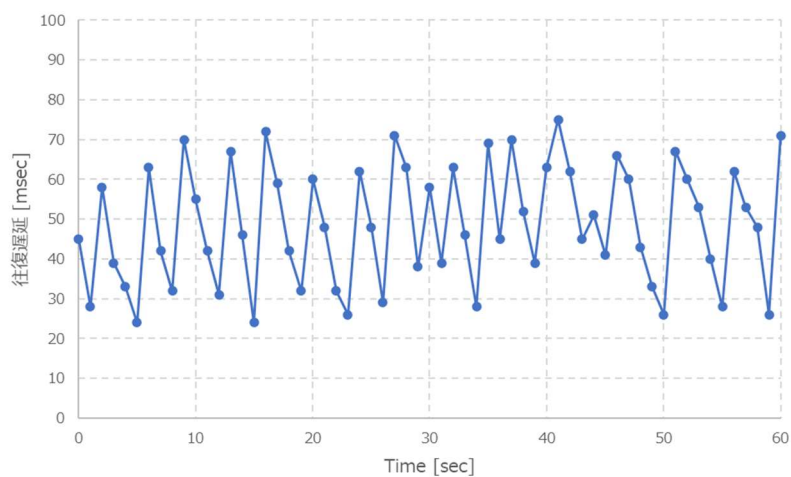


図 10-20 ポイント 5 における往返遅延の時間変動

ポイント 6

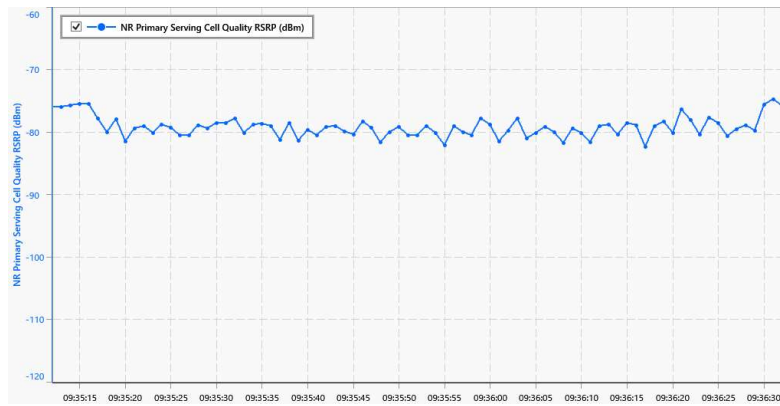


図 10-21 ポイント 6 における SS-RSRP の時間変動

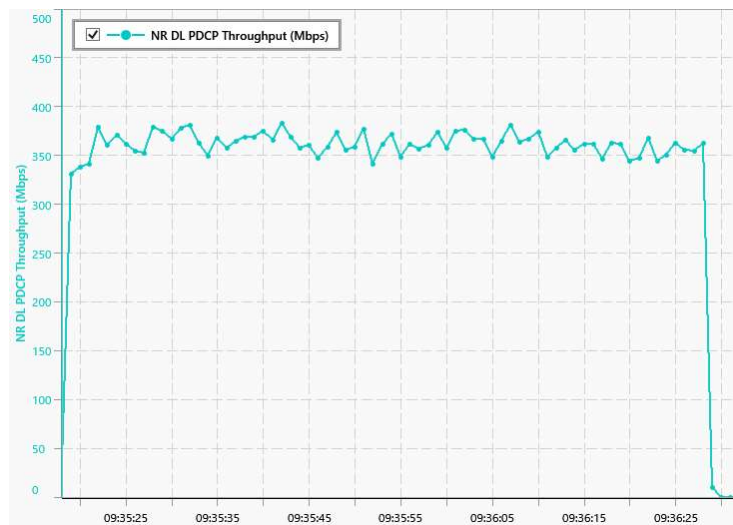


図 10-22 ポイント 6 における DL スループットの時間変動

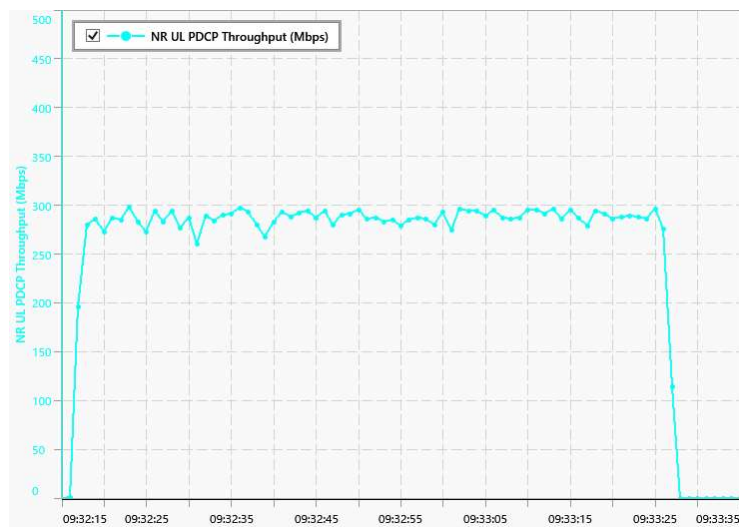


図 10-23 ポイント 6 における UL スループットの時間変動

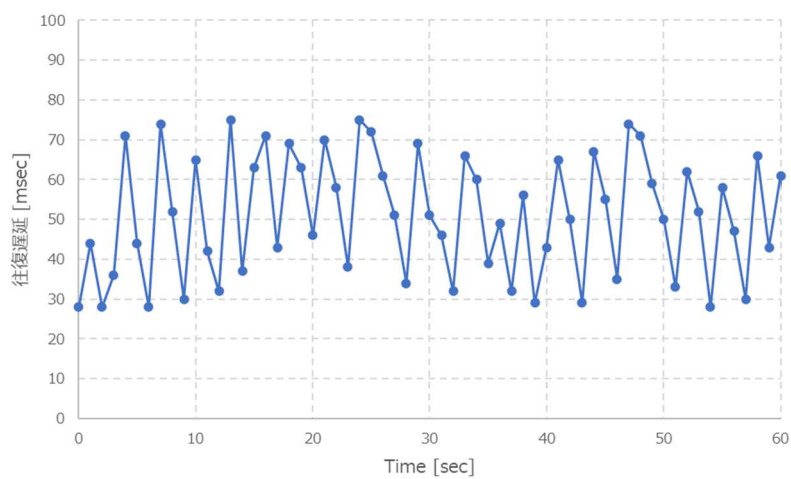


図 10-24 ポイント 6 における往復遅延の時間変動

ポイント7

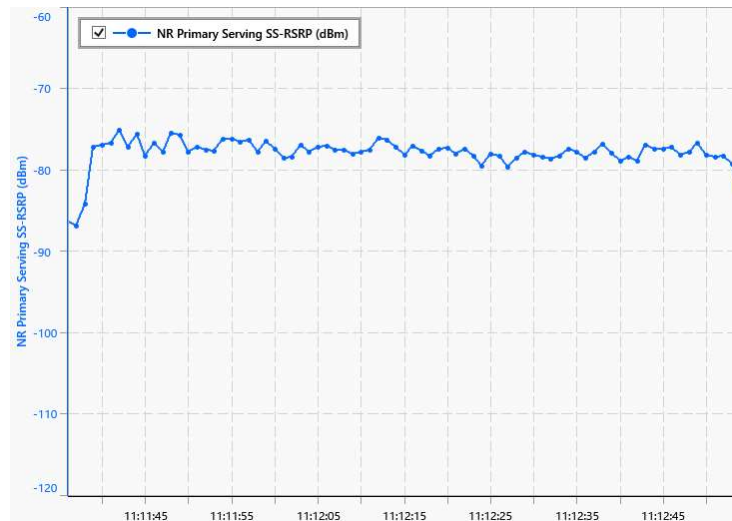


図 10-25 ポイント7におけるSS-RSRPの時間変動

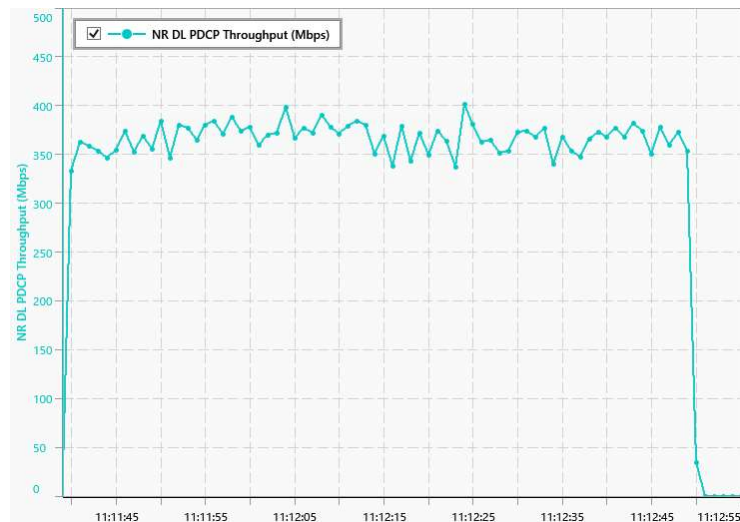


図 10-26 ポイント7におけるDLスループットの時間変動

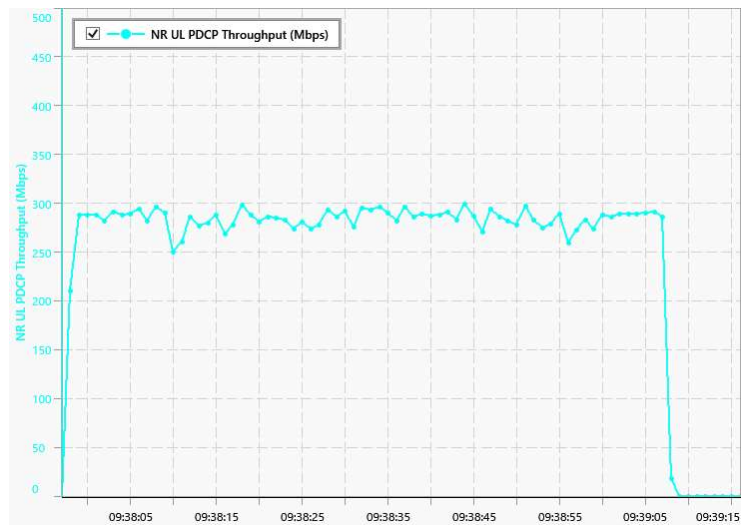


図 10-27 ポイント 7 における UL スループットの時間変動

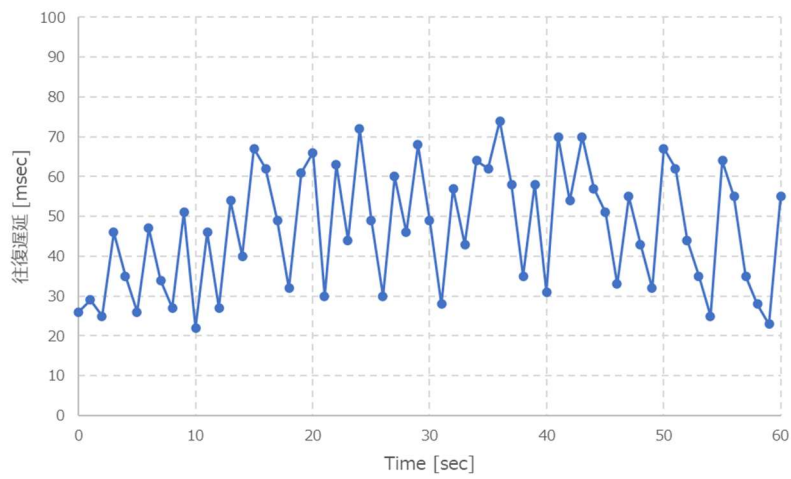


図 10-28 ポイント 7 における往復遅延の時間変動

ポイント 8



図 10-29 ポイント 8 における SS-RSRP の時間変動

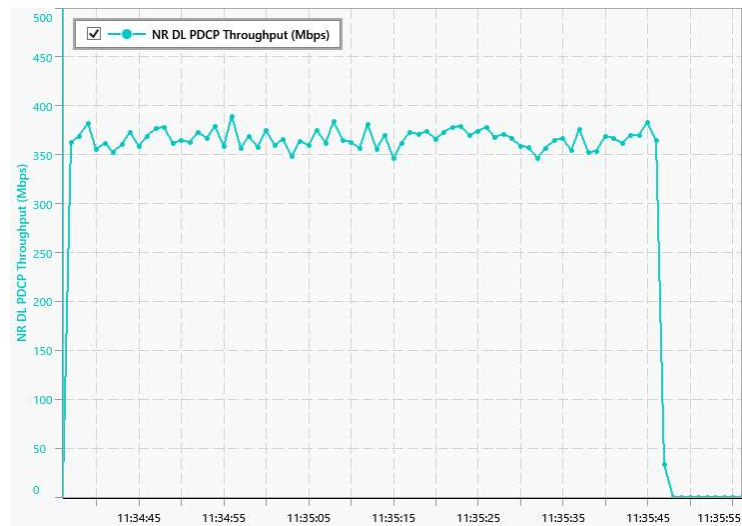


図 10-30 ポイント 8 における DL スループットの時間変動

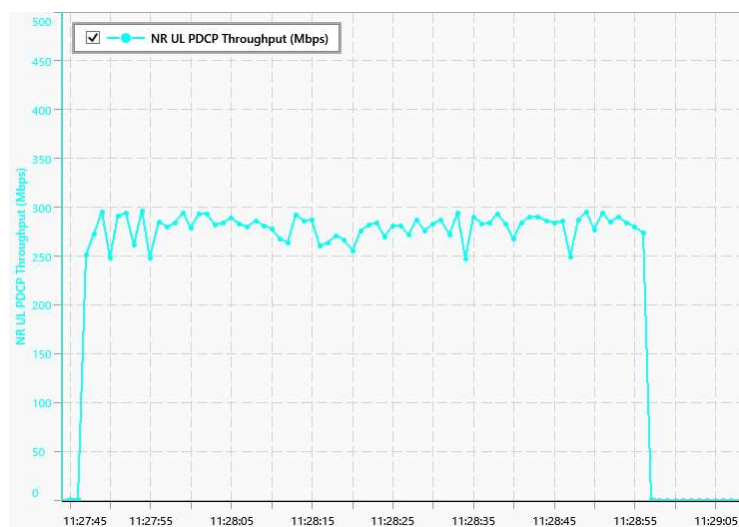


図 10-31 ポイント 8 における UL スループットの時間変動

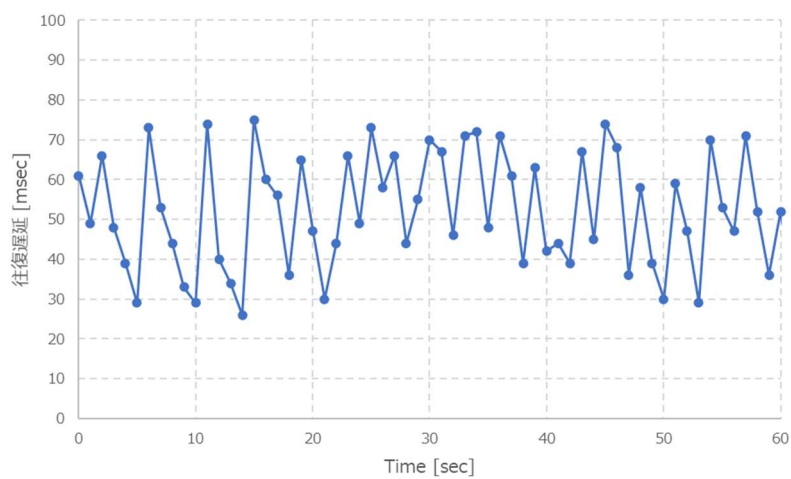


図 10-32 ポイント 8 における往復遅延の時間変動

ポイント 9

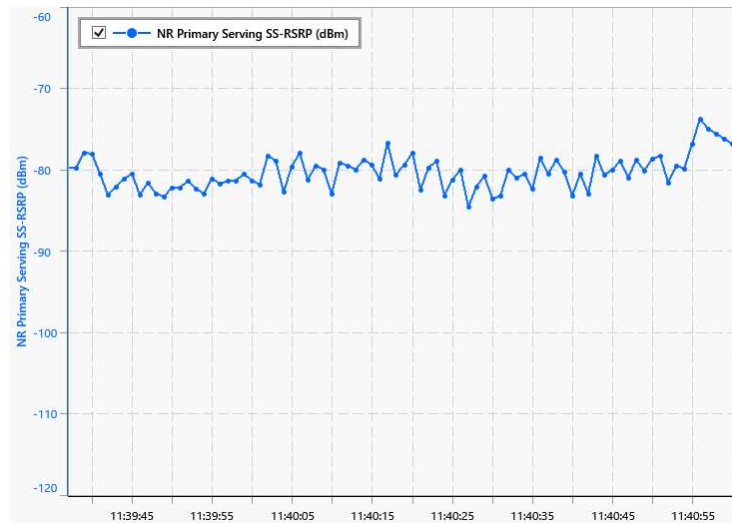


図 10-33 ポイント 9 における SS-RSRP の時間変動

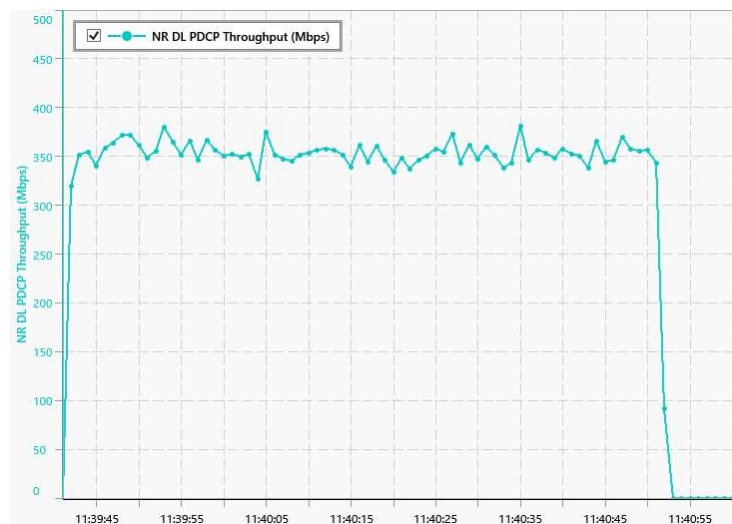


図 10-34 ポイント 9 における DL スループットの時間変動

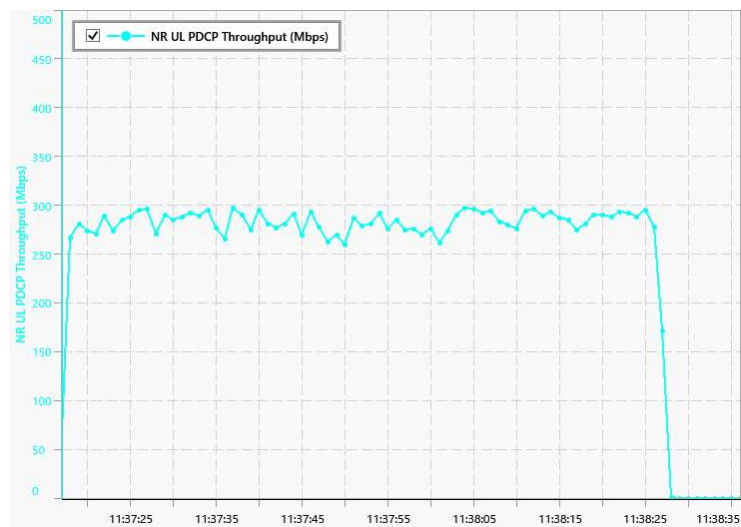


図 10-35 ポイント 9 における UL スループットの時間変動

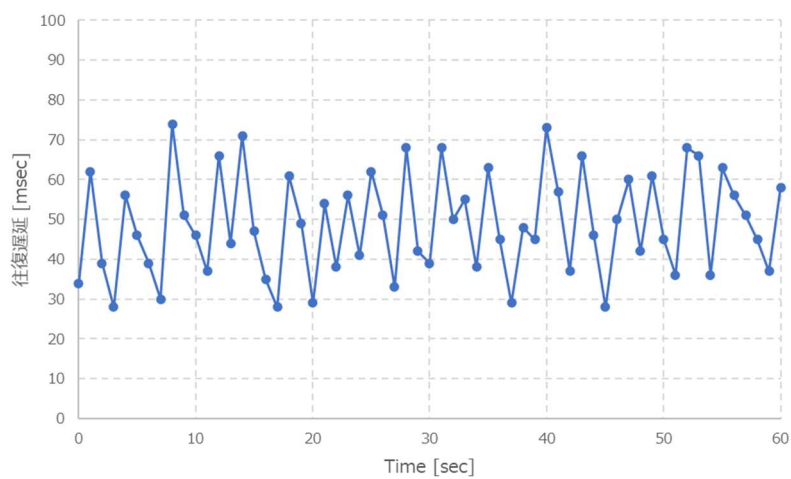


図 10-36 ポイント 9 における往復遅延の時間変動

ポイント 10



図 10-37 ポイント 10 における SS-RSRP の時間変動

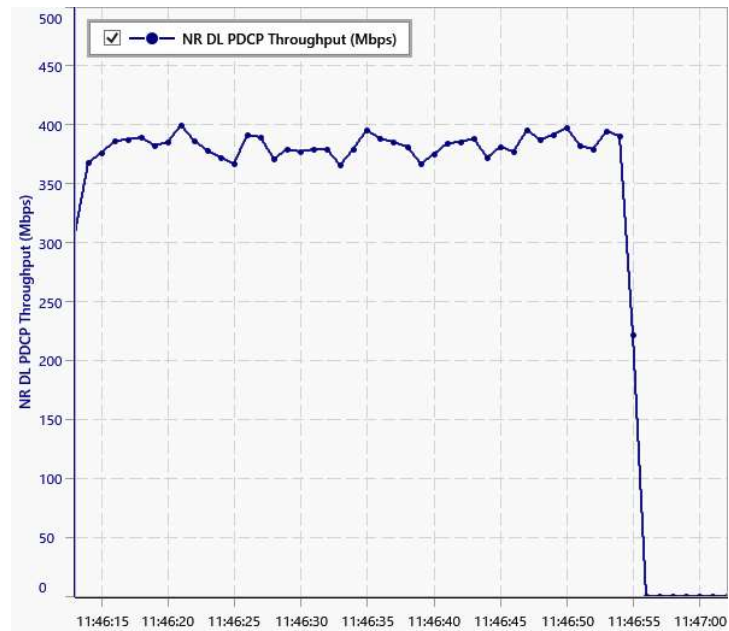


図 10-38 ポイント 10 における DL スループットの時間変動

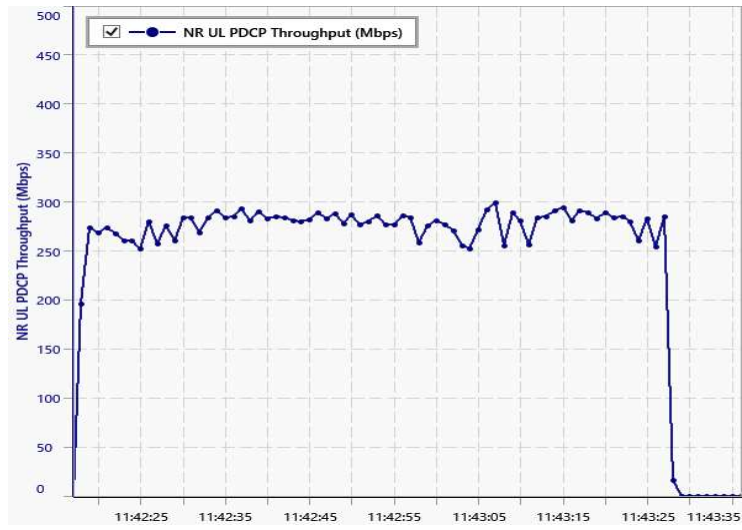


図 10-39 ポイント 10 における UL スループットの時間変動

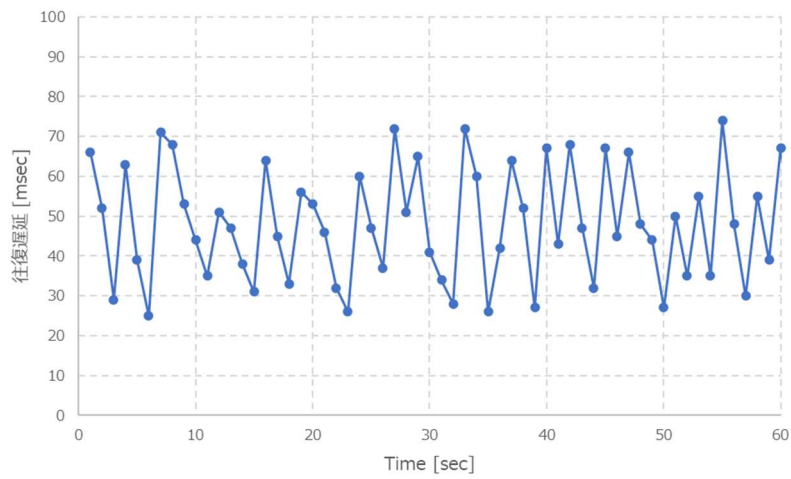


図 10-40 ポイント 10 における往復遅延の時間変動

ポイント 11

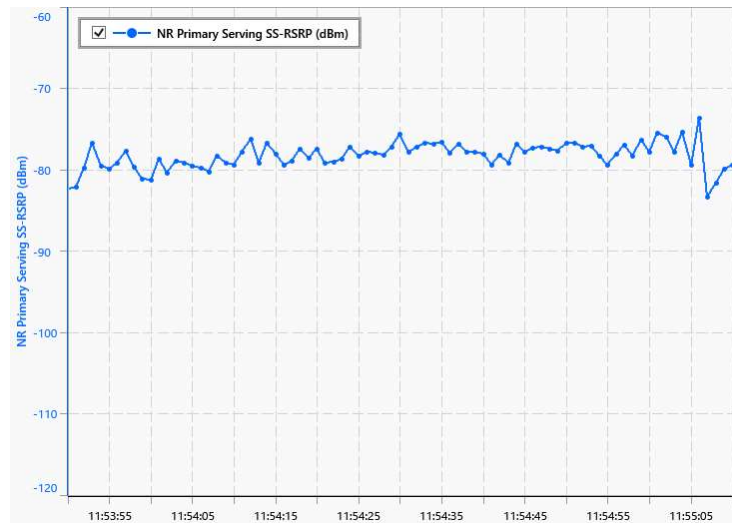


図 10-41 ポイント 11 における SS-RSRP の時間変動

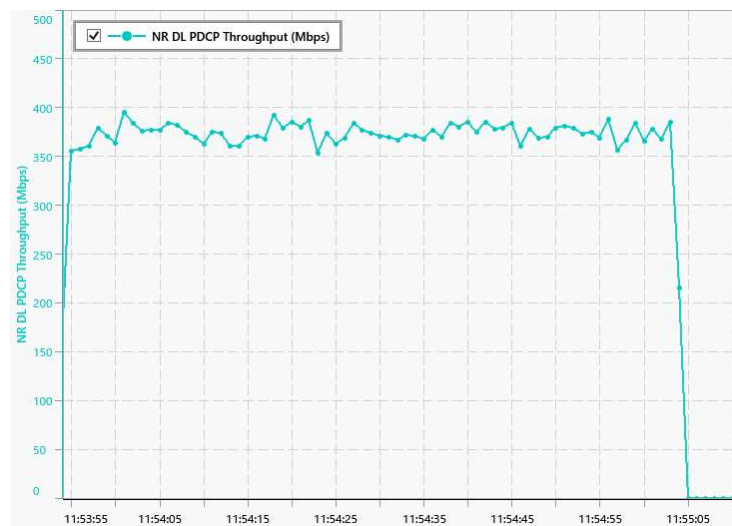


図 10-42 ポイント 11 における DL スループットの時間変動

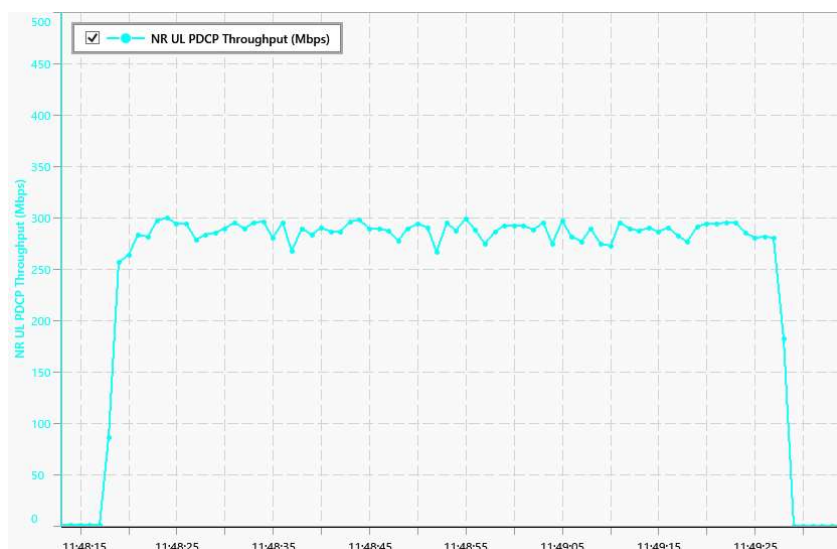


図 10-43 ポイント 11 における UL スループットの時間変動

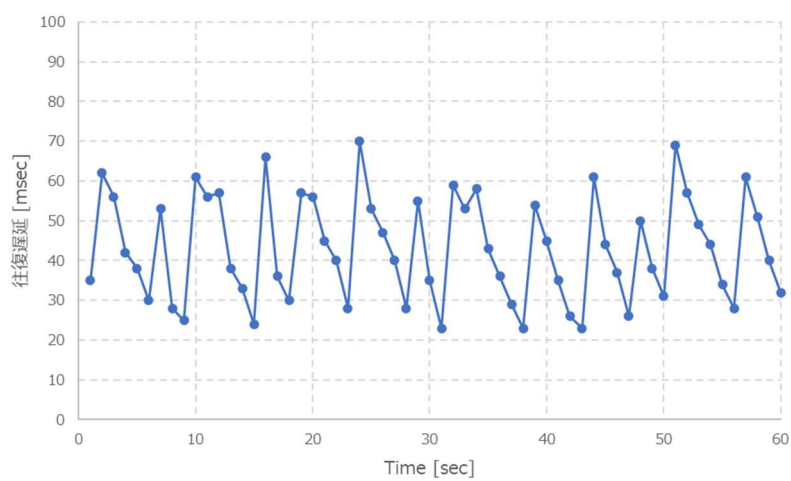


図 10-44 ポイント 11 における往復遅延の時間変動

ポイント 12

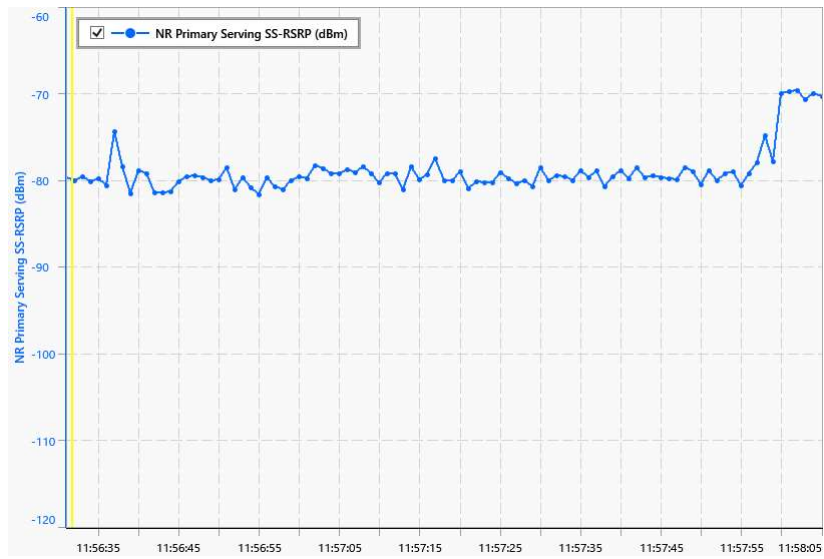


図 10-45 ポイント 12 における SS-RSRP の時間変動

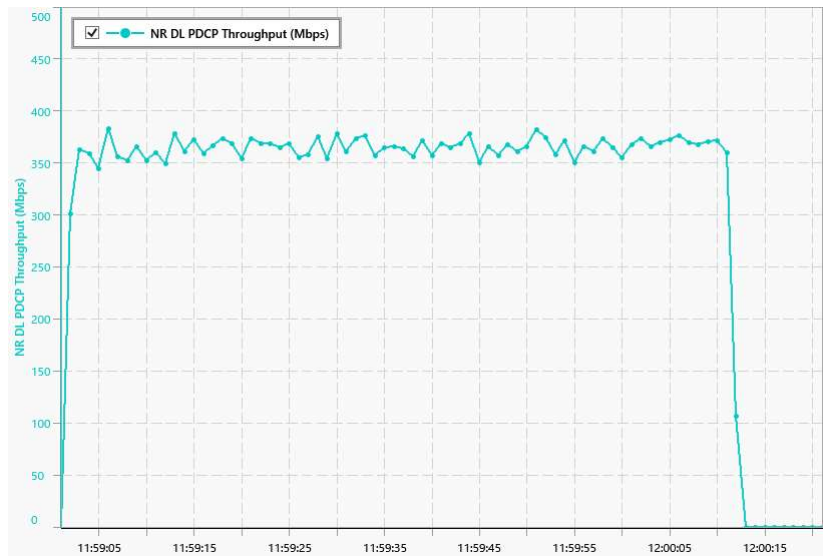


図 10-46 ポイント 12 における DL スループットの時間変動

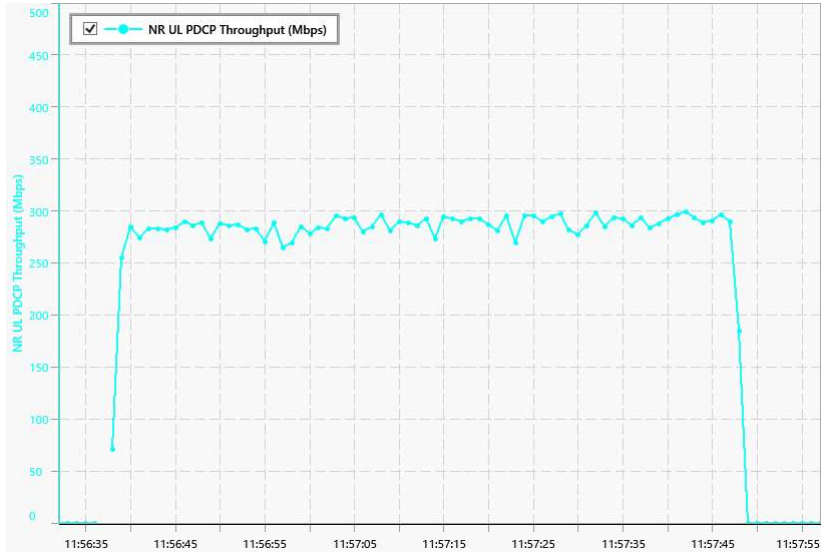


図 10-47 ポイント 12 における UL スループットの時間変動

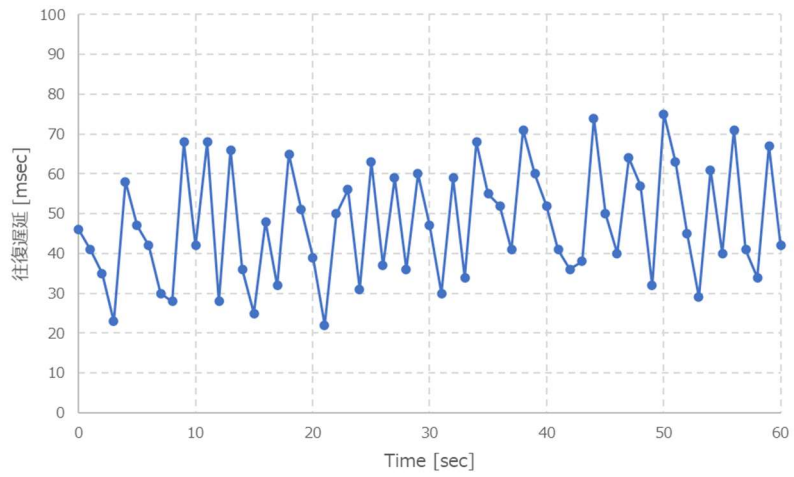


図 10-48 ポイント 12 における往復遅延の時間変動

ポイント 13

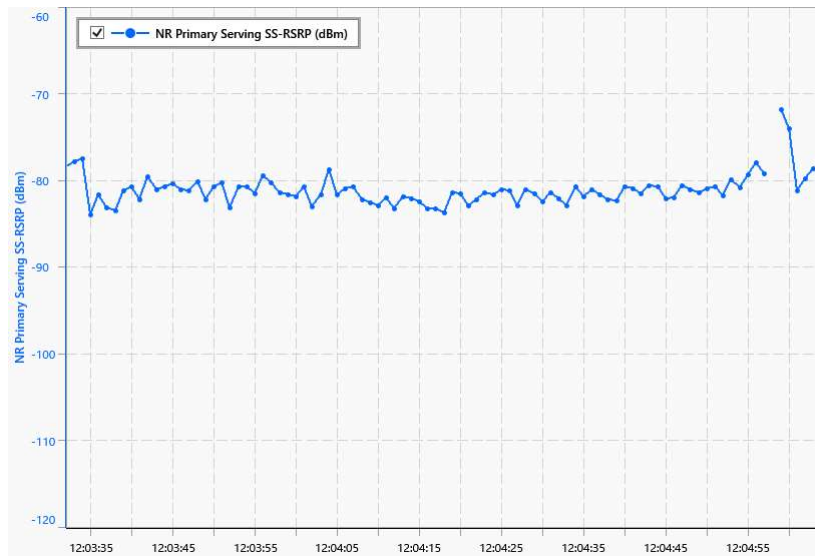


図 10-49 ポイント 13 における SS-RSRP の時間変動

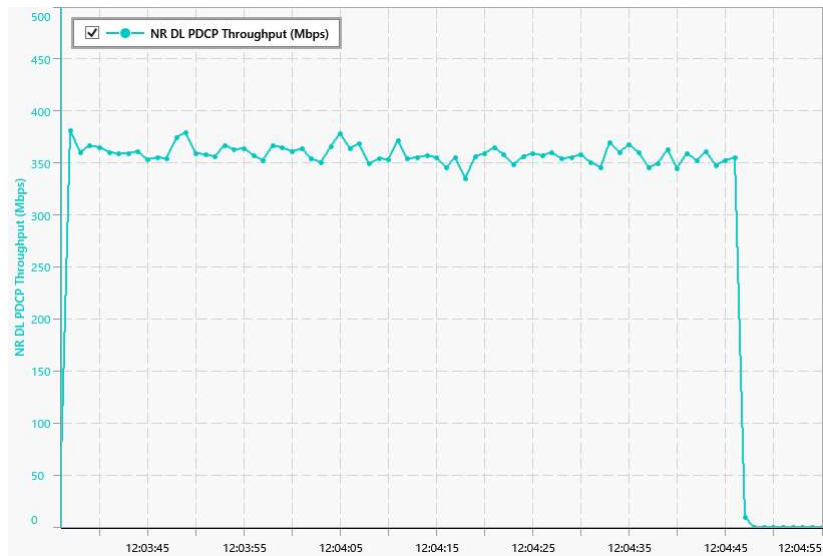


図 10-50 ポイント 13 における DL スループットの時間変動

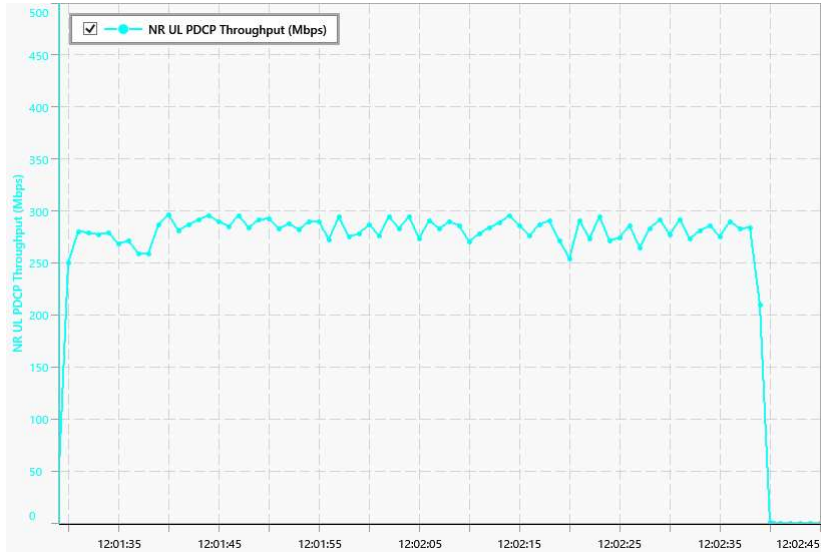


図 10-51 ポイント 13 における UL スループットの時間変動

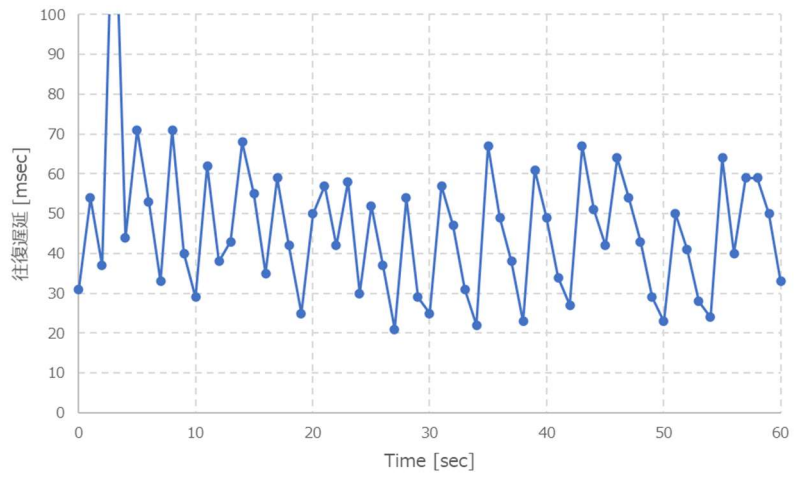


図 10-52 ポイント 13 における往復遅延の時間変動

ポイント 15



図 10-53 ポイント 15 における SS-RSRP の時間変動

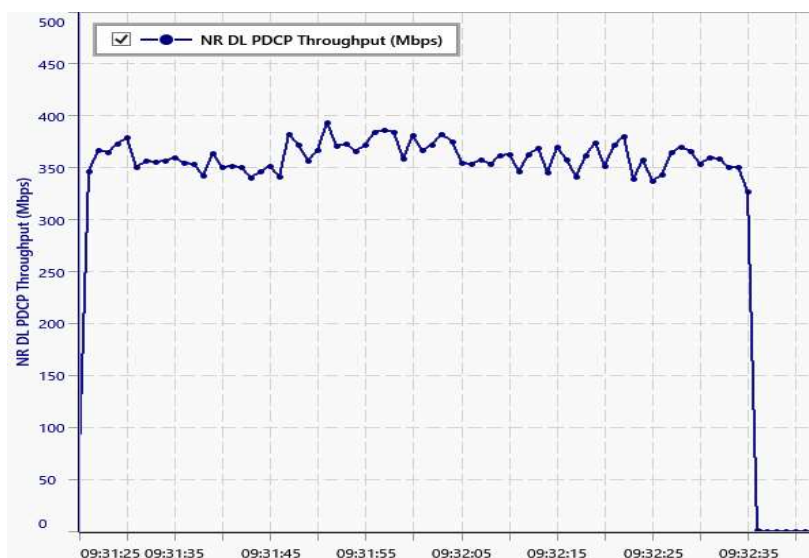


図 10-54 ポイント 15 における DL スループットの時間変動

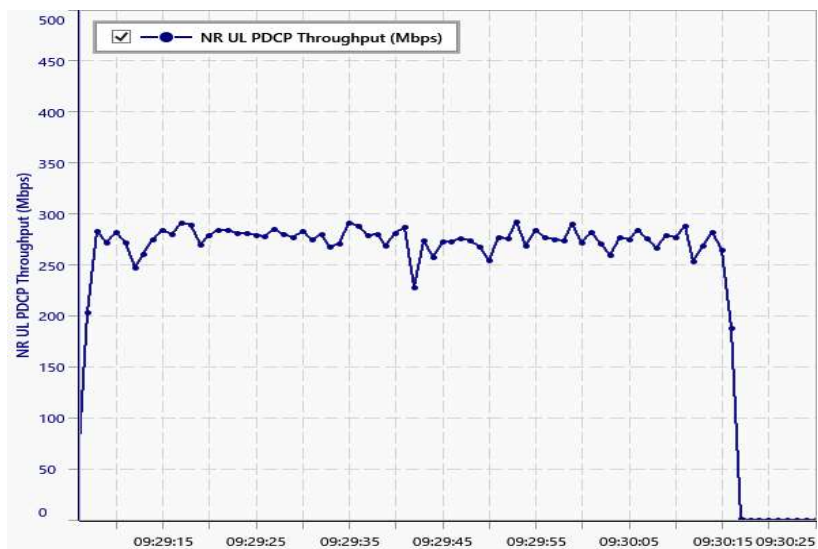


図 10-55 ポイント 15 における UL スループットの時間変動

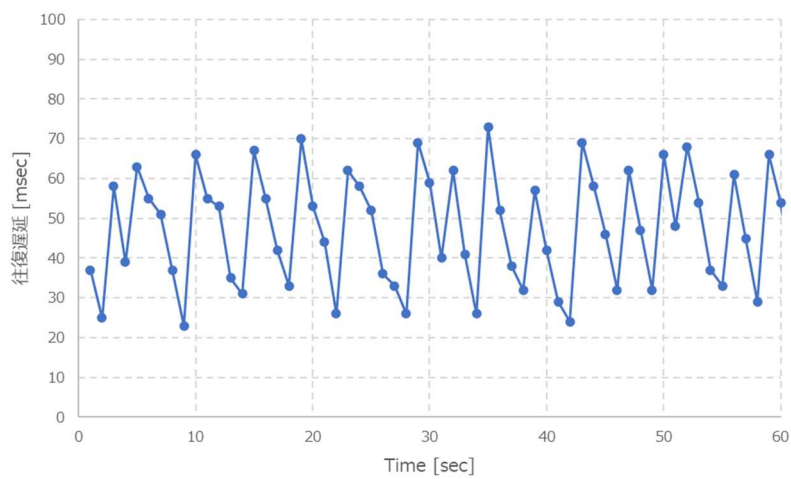


図 10-56 ポイント 15 における往復遅延の時間変動

ポイント 16

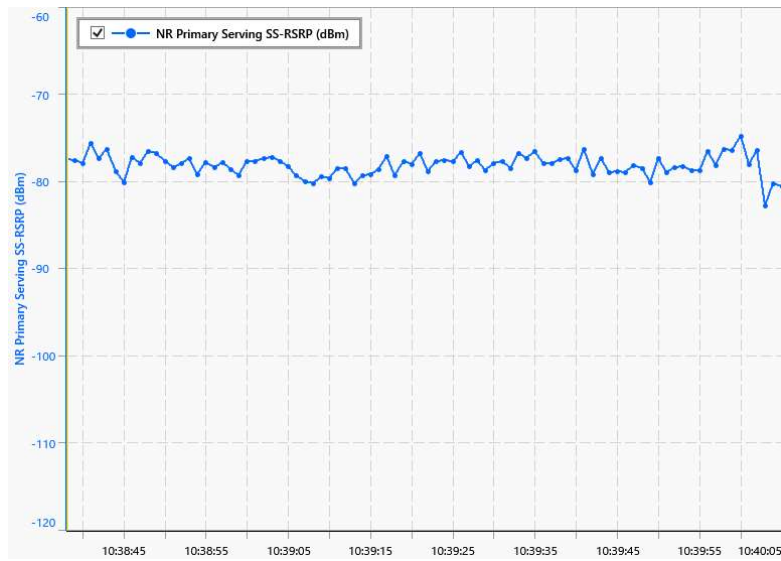


図 10-57 ポイント 16 における SS-RSRP の時間変動

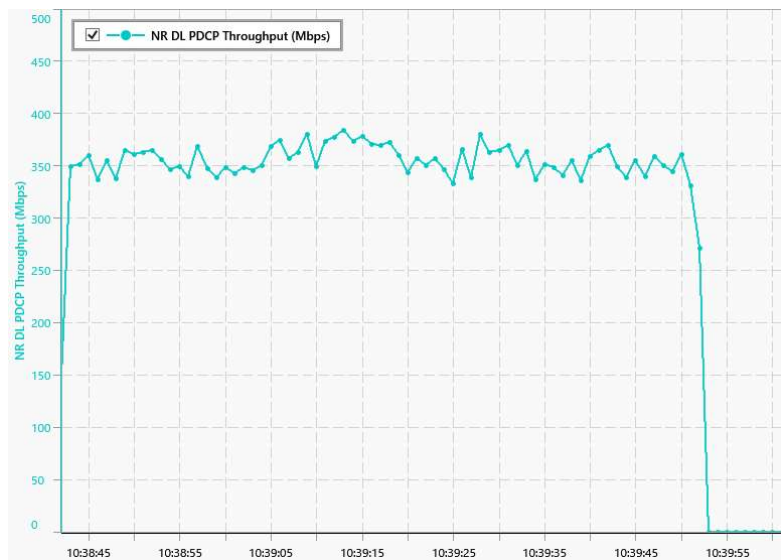


図 10-58 ポイント 16 における DL スループットの時間変動

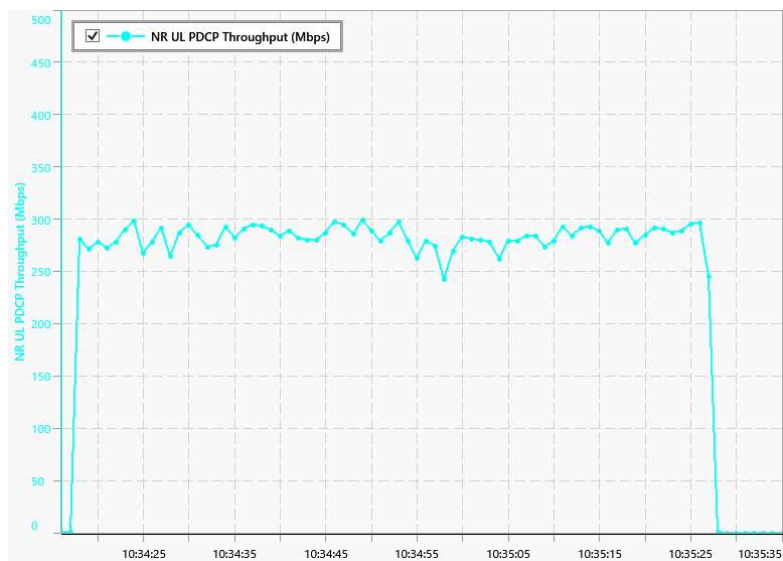


図 10-59 ポイント 16 における UL スループットの時間変動

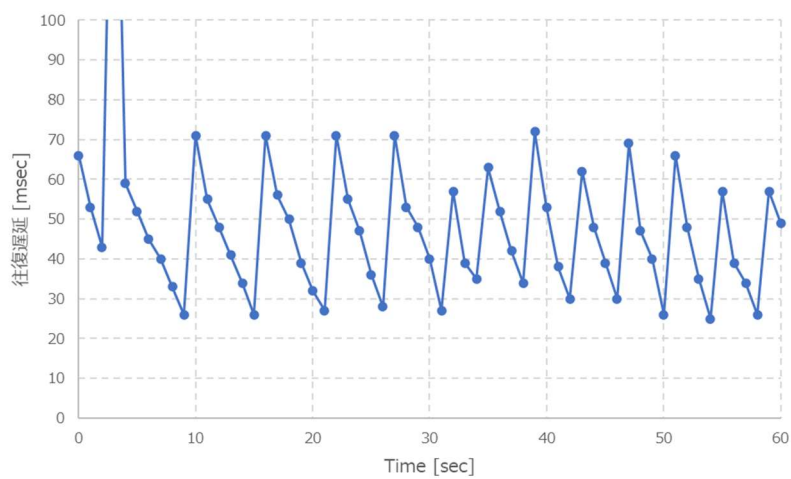


図 10-60 ポイント 16 における往返遅延の時間変動

ポイント 17

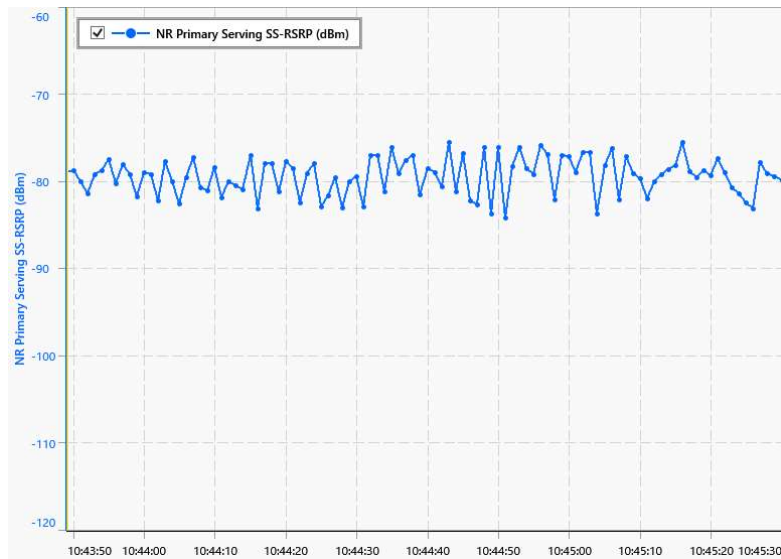


図 10-61 ポイント 17 における SS-RSRP の時間変動

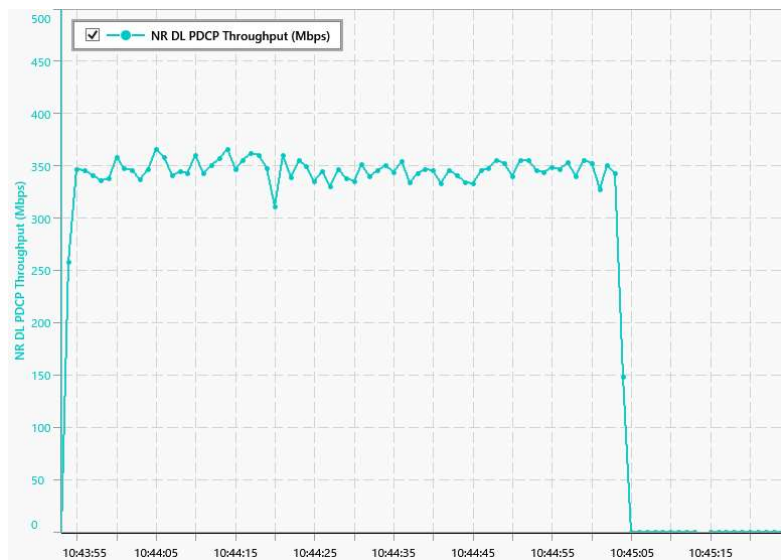


図 10-62 ポイント 17 における DL スループットの時間変動

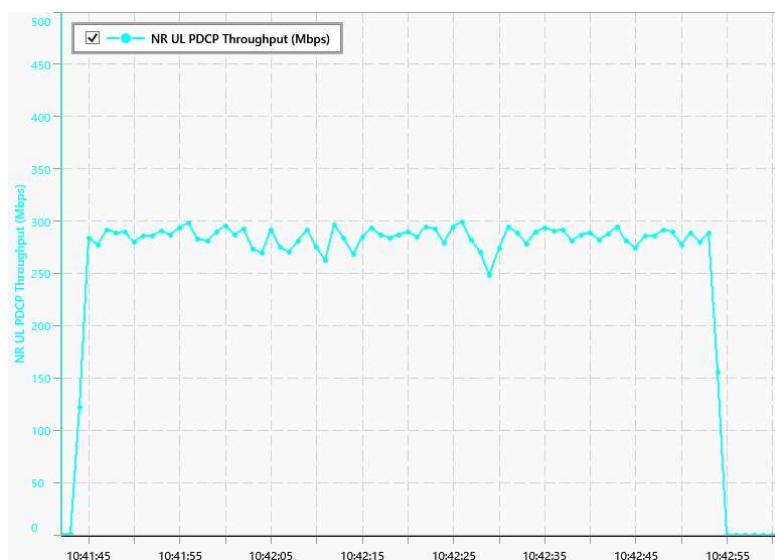


図 10-63 ポイント 17 における UL スループットの時間変動

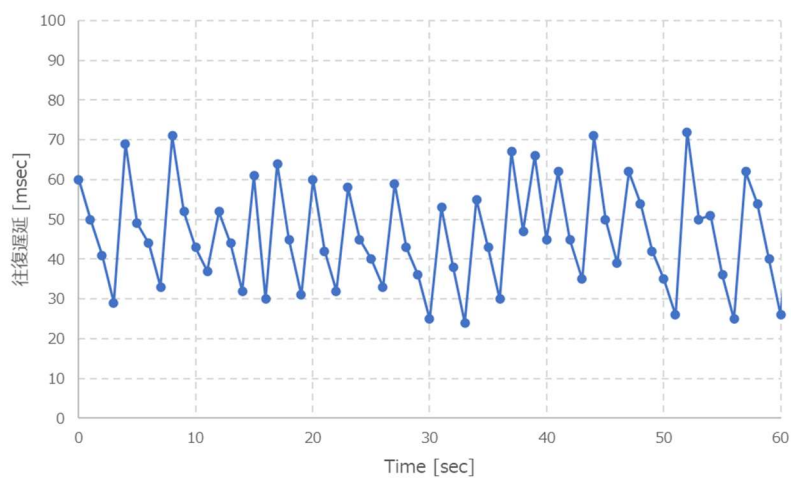


図 10-64 ポイント 17 における往返遅延の時間変動

ポイント 19

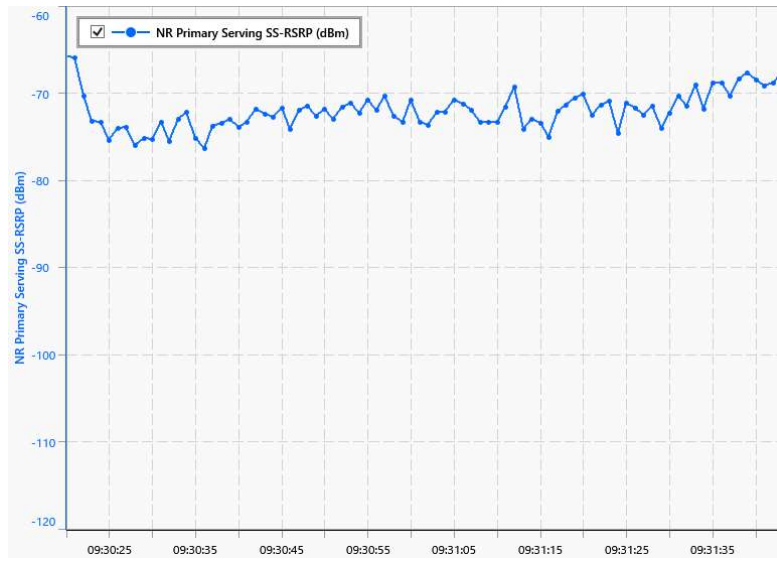


図 10-65 ポイント 19 における SS-RSRP の時間変動

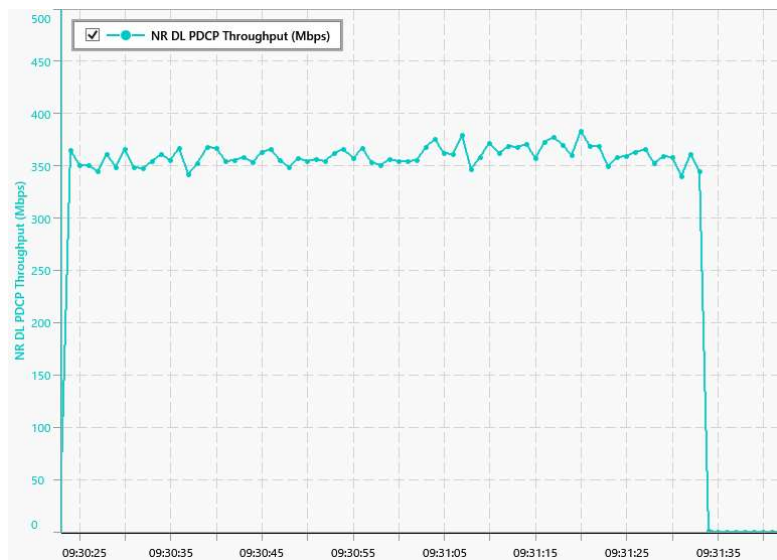


図 10-66 ポイント 19 における DL スループットの時間変動

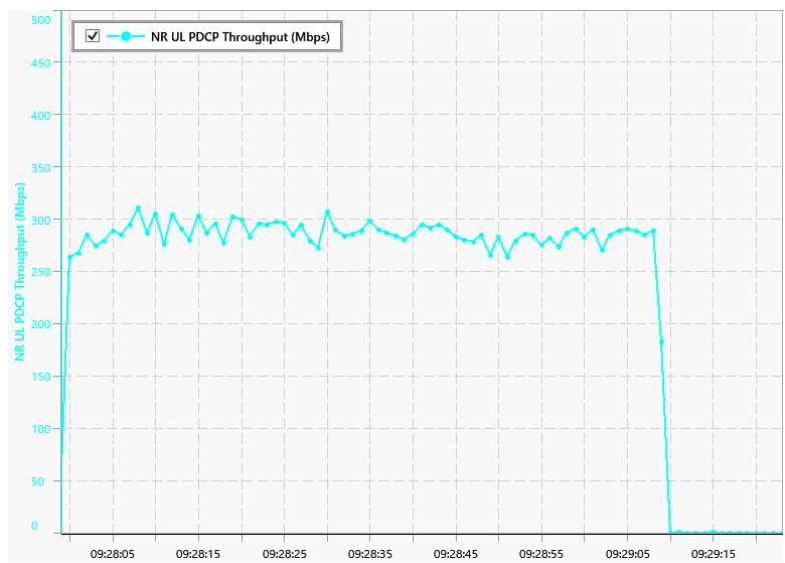


図 10-67 ポイント 19 における UL スループットの時間変動

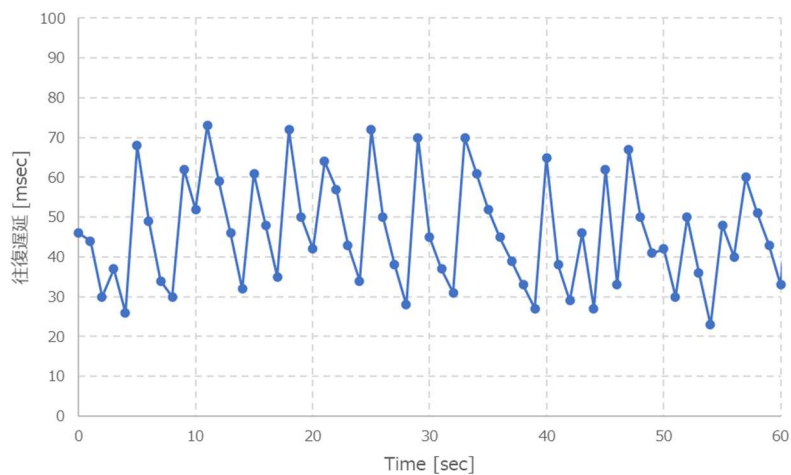


図 10-68 ポイント 19 における往返遅延の時間変動

ポイント 20

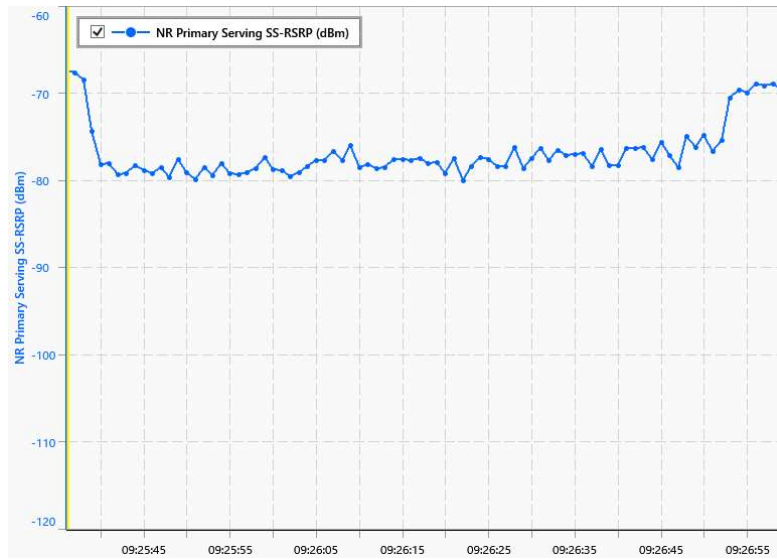


図 10-69 ポイント 20 における SS-RSRP の時間変動

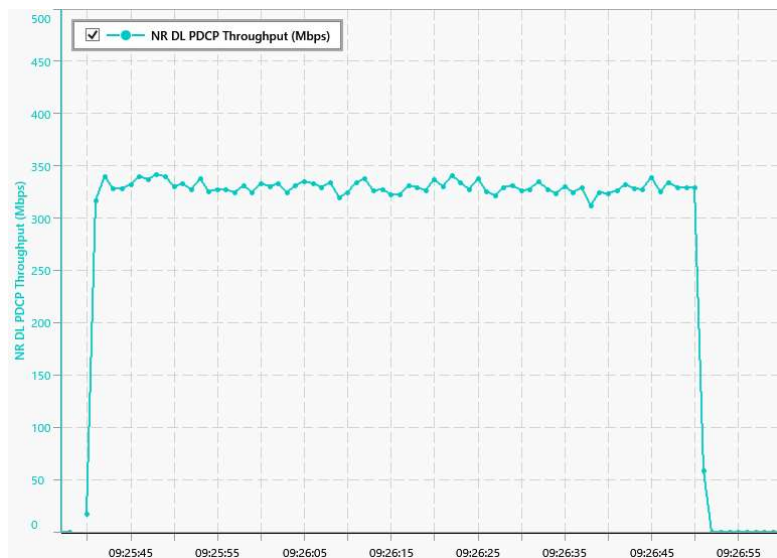


図 10-70 ポイント 20 における DL スループットの時間変動

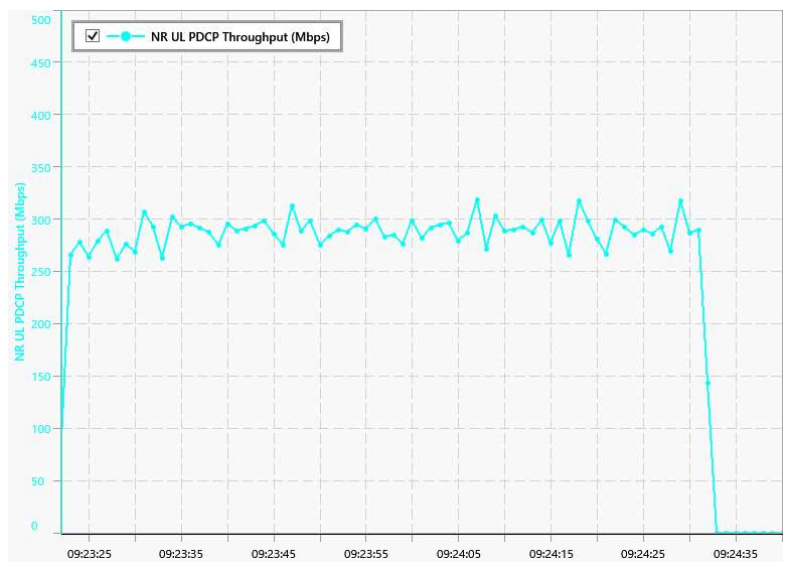


図 10-71 ポイント 20 における UL スループットの時間変動

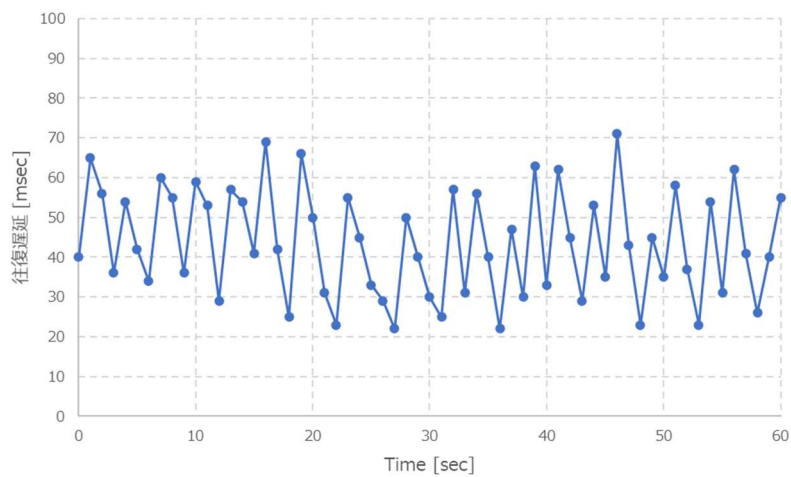


図 10-72 ポイント 20 における往返遅延の時間変動

ポイント 32

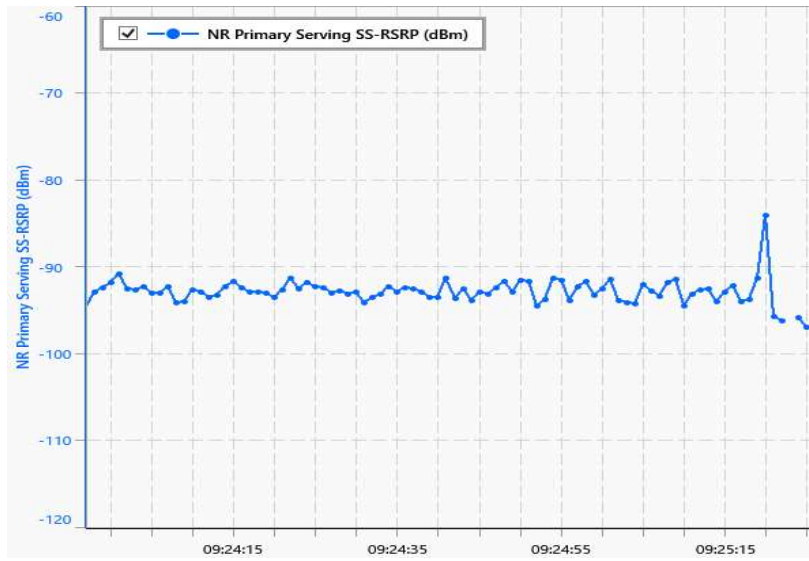


図 10-73 ポイント 32 における SS-RSRP の時間変動

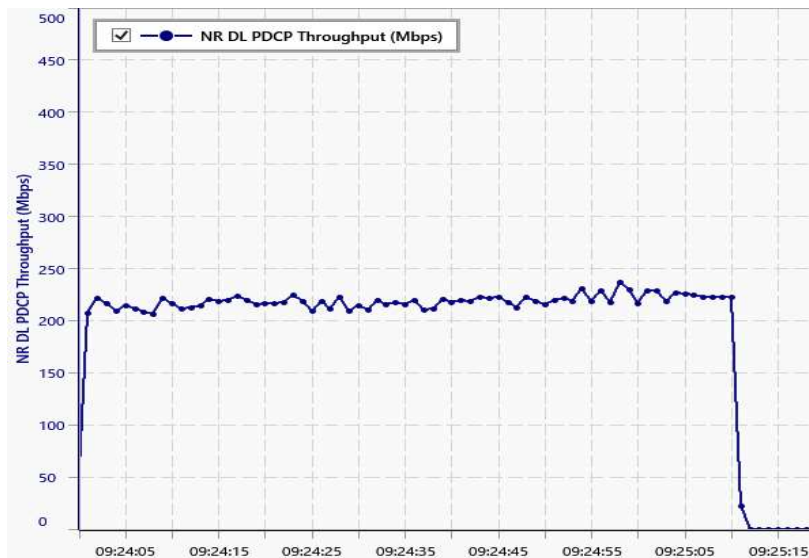


図 10-74 ポイント 32 における DL スループットの時間変動

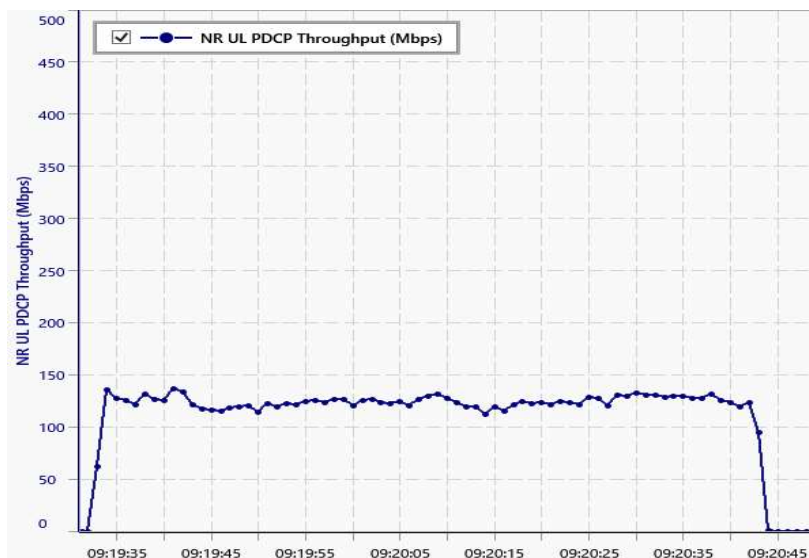


図 10-75 ポイント 32 における UL スループットの時間変動

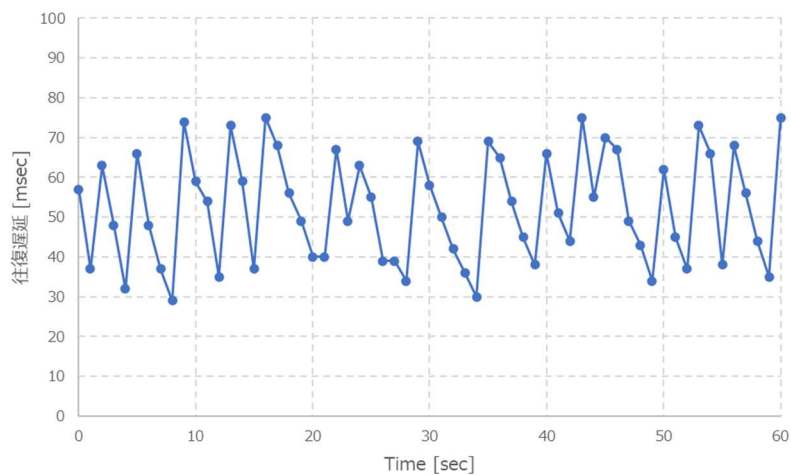


図 10-76 ポイント 32 における往返遅延の時間変動

ポイント 33

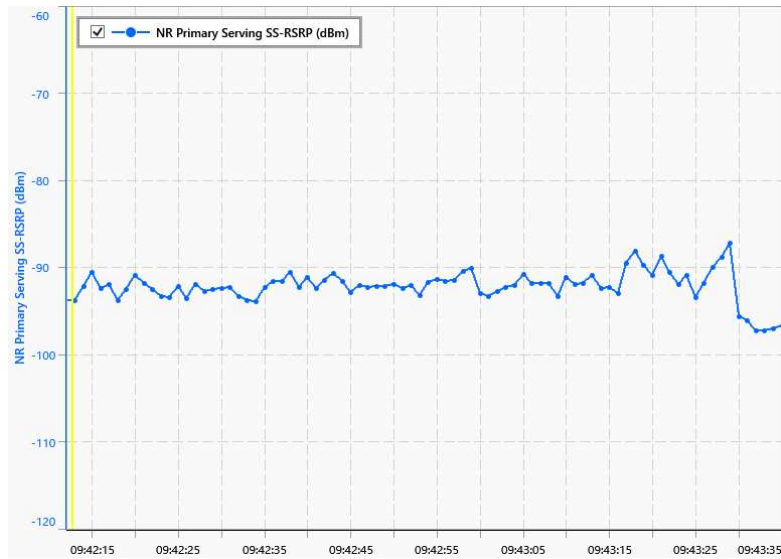


図 10-77 ポイント 33 における SS-RSRP の時間変動

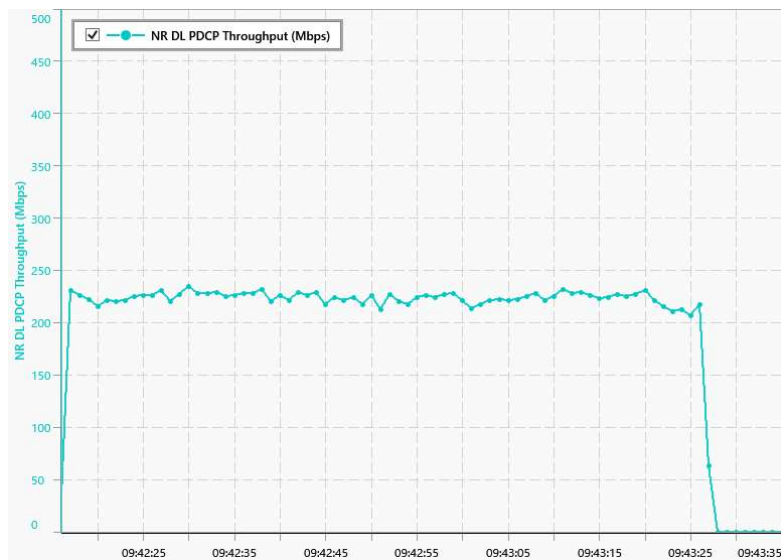


図 10-78 ポイント 33 における DL スループットの時間変動

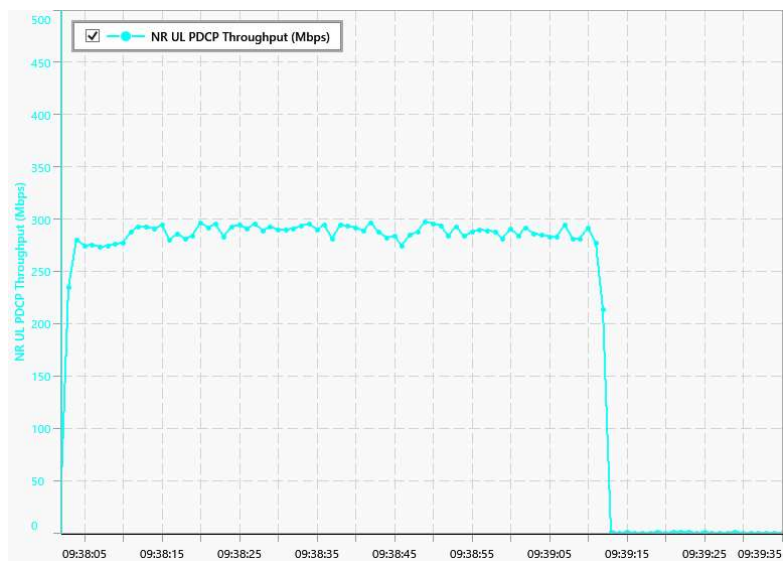


図 10-79 ポイント 33 における UL スループットの時間変動

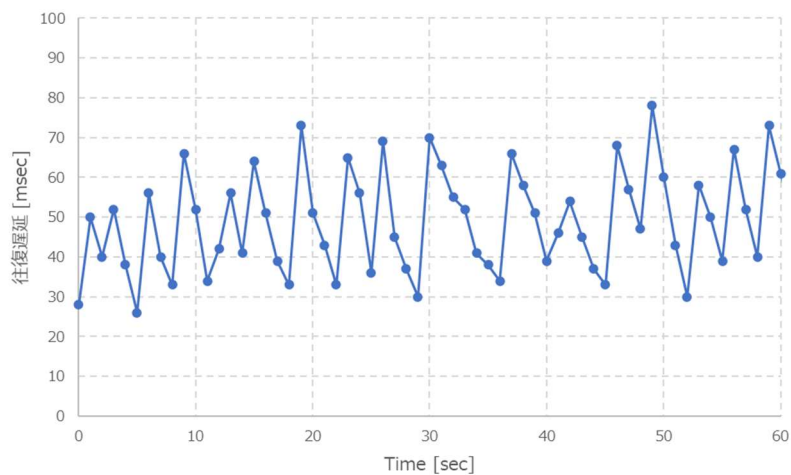


図 10-80 ポイント 33 における往返遅延の時間変動

ポイント 34

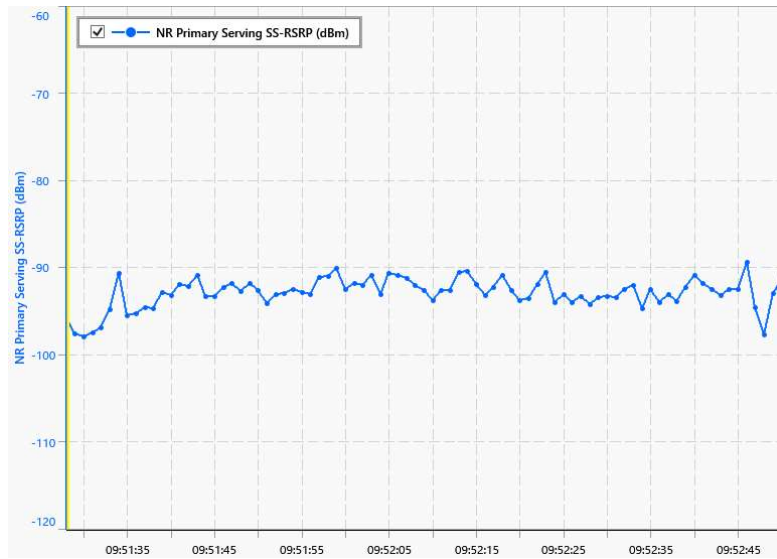


図 10-81 ポイント 34 における SS-RSRP の時間変動

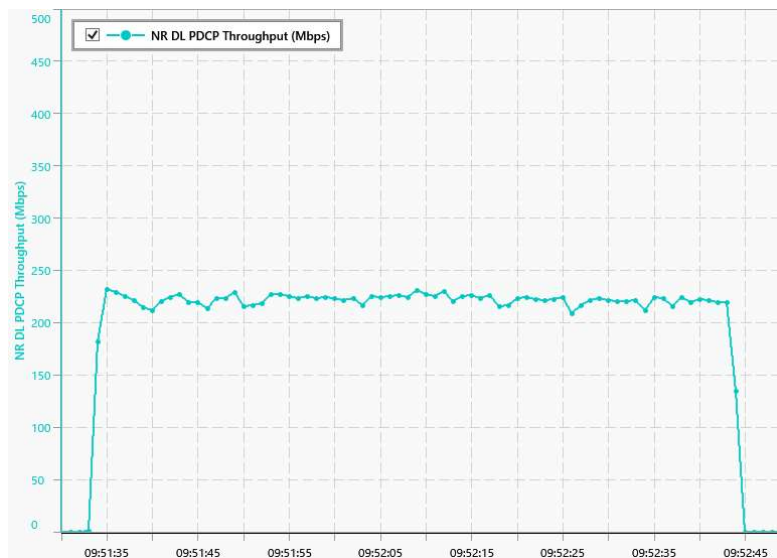


図 10-82 ポイント 34 における DL スループットの時間変動

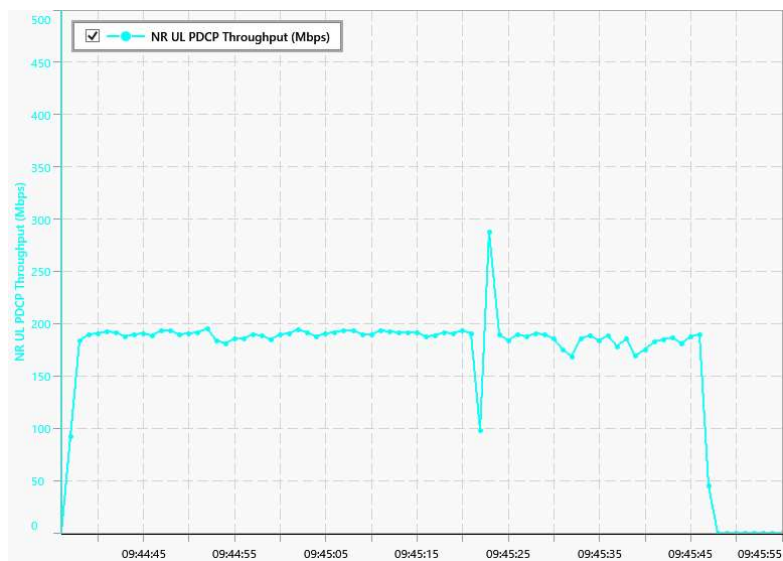


図 10-83 ポイント 34 における UL スループットの時間変動

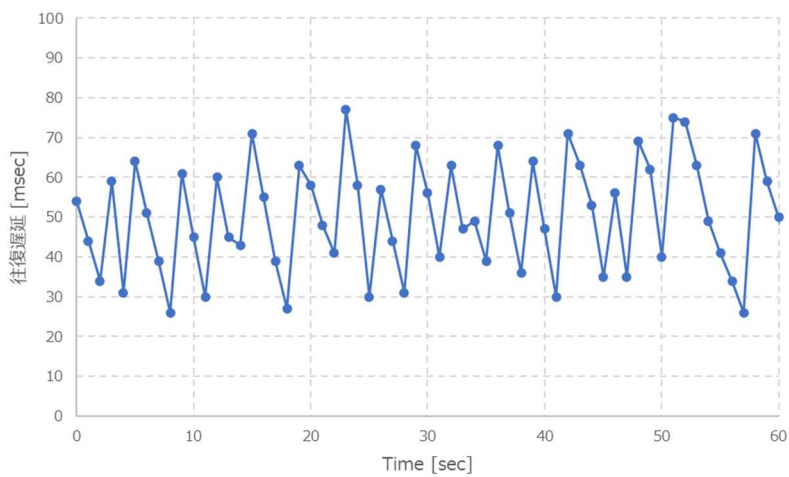


図 10-84 ポイント 34 における往返遅延の時間変動

ポイント 35

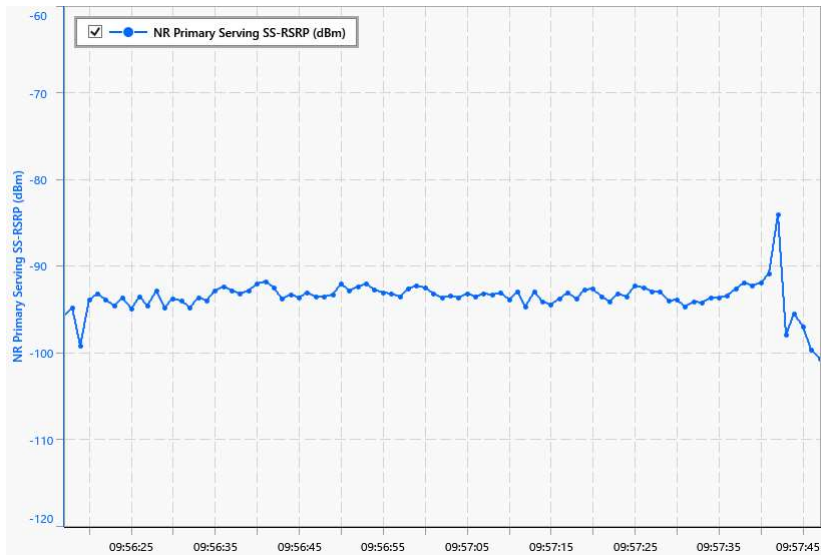


図 10-85 ポイント 35 における SS-RSRP の時間変動

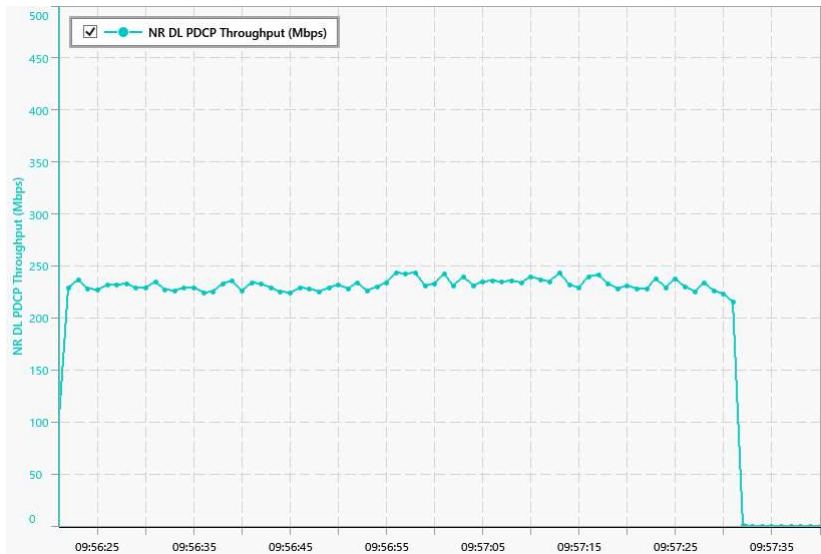


図 10-86 ポイント 35 における DL スループットの時間変動

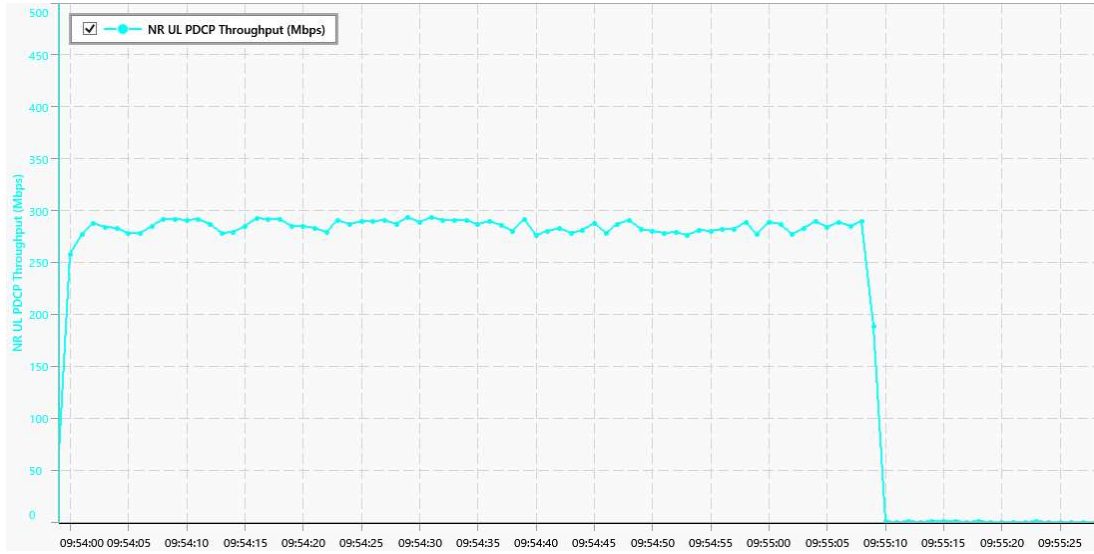


図 10-87 ポイント 35 における UL スループットの時間変動

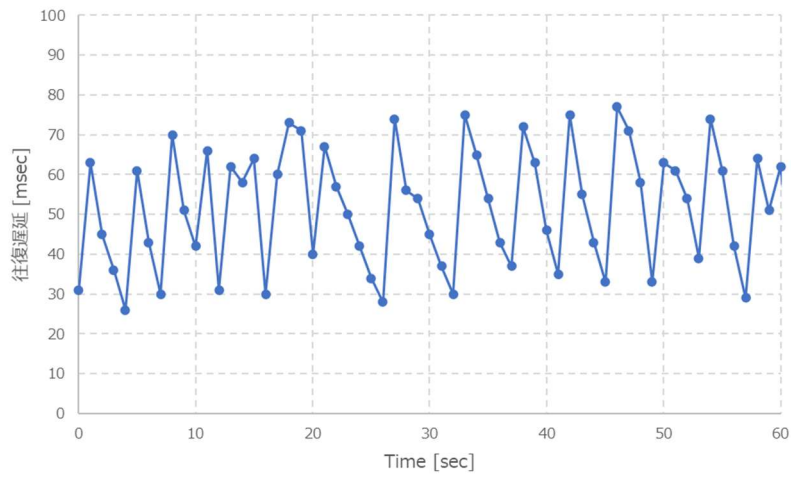


図 10-88 ポイント 35 における往復遅延の時間変動

ポイント 36

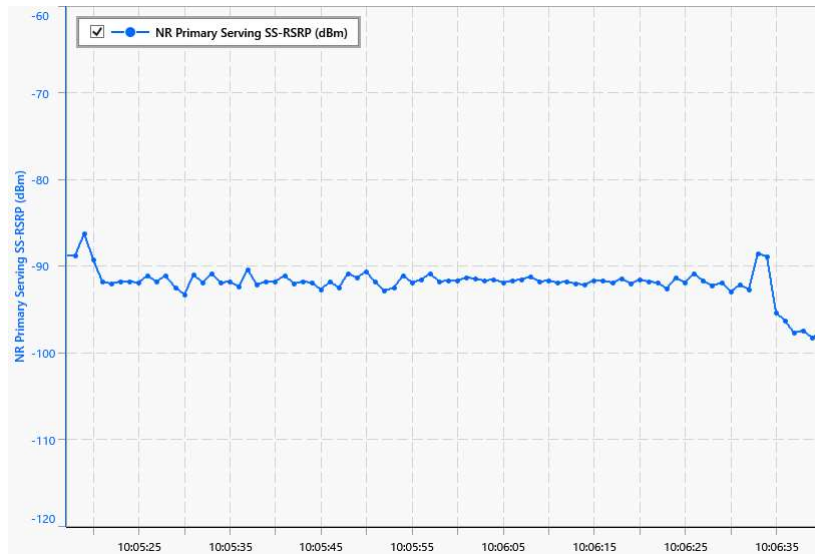


図 10-89 ポイント 36 における SS-RSRP の時間変動

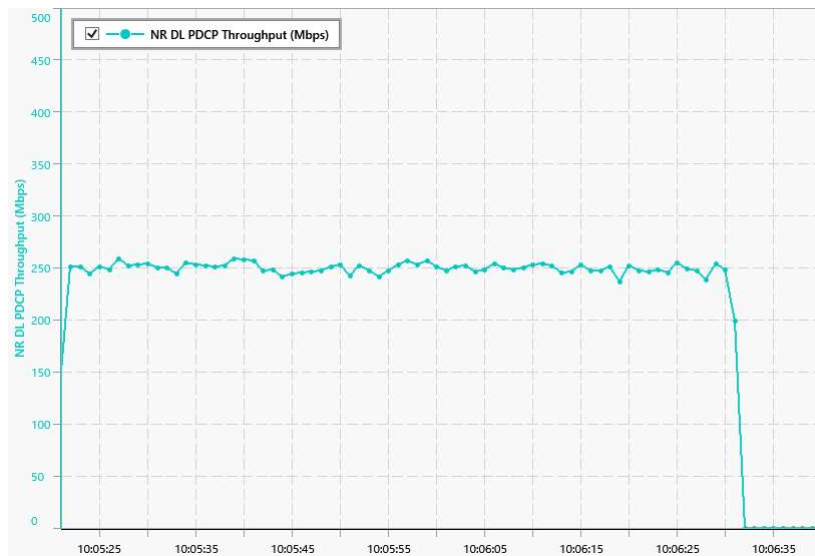


図 10-90 ポイント 36 における DL スループットの時間変動

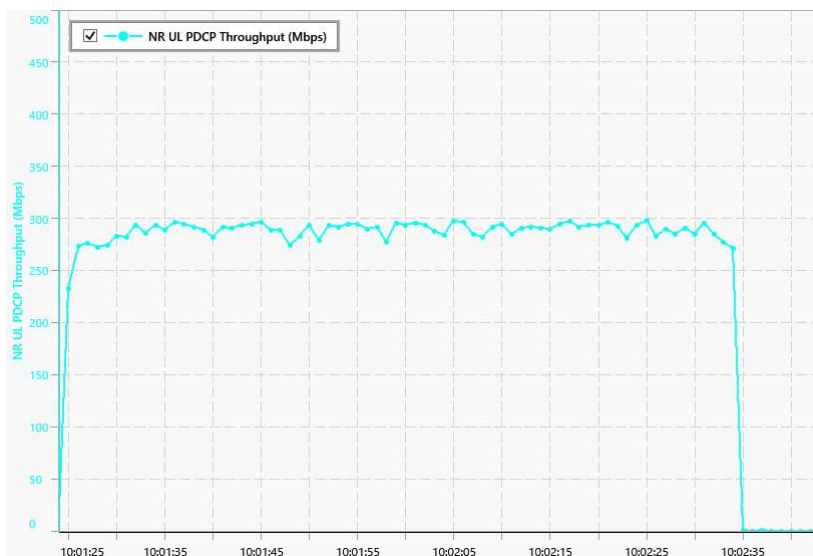


図 10-91 ポイント 36 における UL スループットの時間変動

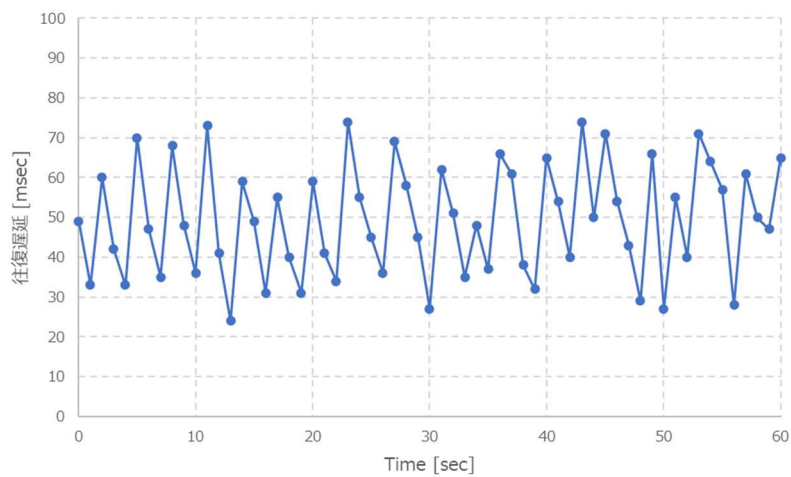


図 10-92 ポイント 36 における往復遅延の時間変動

ポイント 44

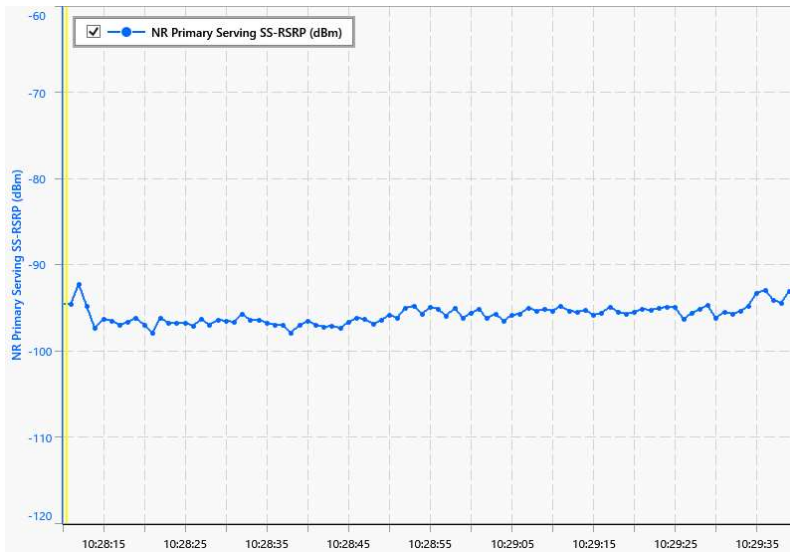


図 10-93 ポイント 44 における SS-RSRP の時間変動

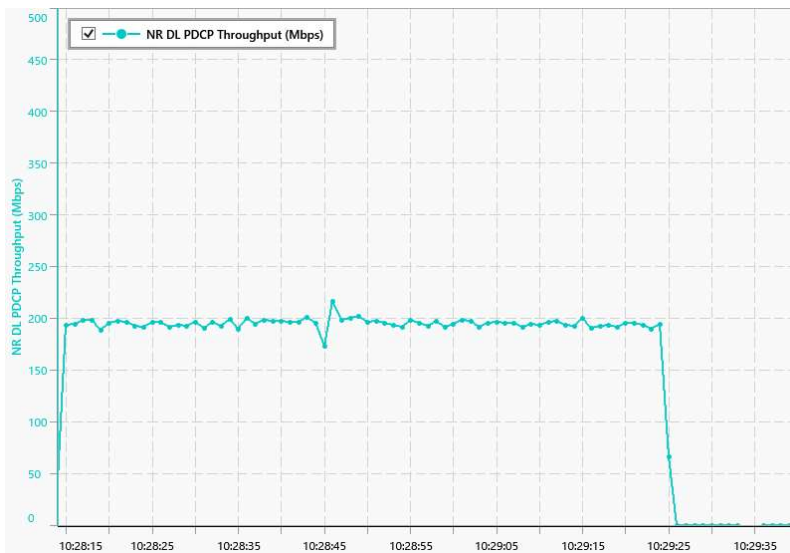


図 10-94 ポイント 44 における DL スループットの時間変動

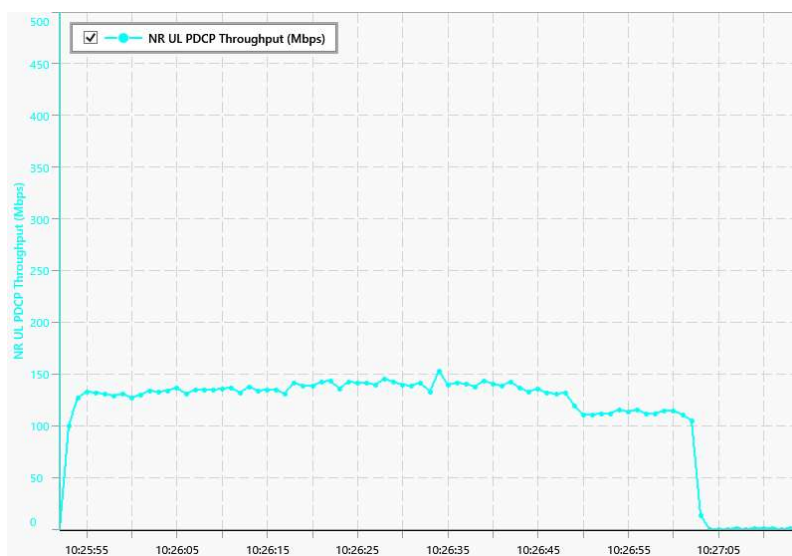


図 10-95 ポイント 44 における UL スループットの時間変動

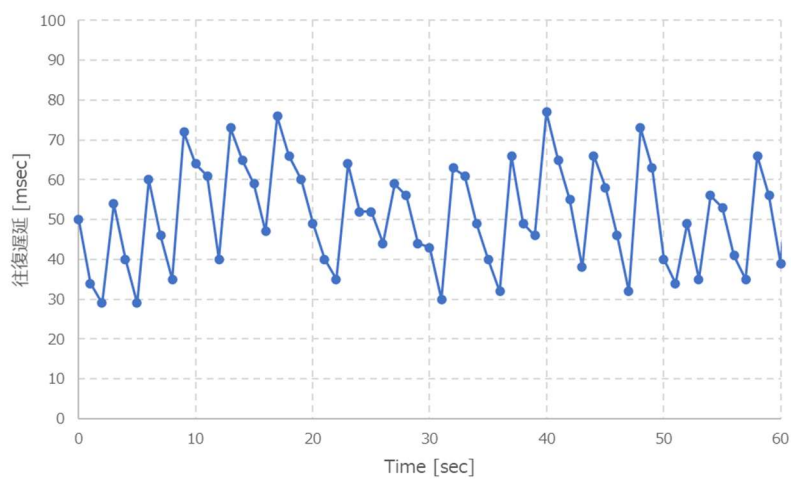


図 10-96 ポイント 44 における往返遅延の時間変動

ポイント 45

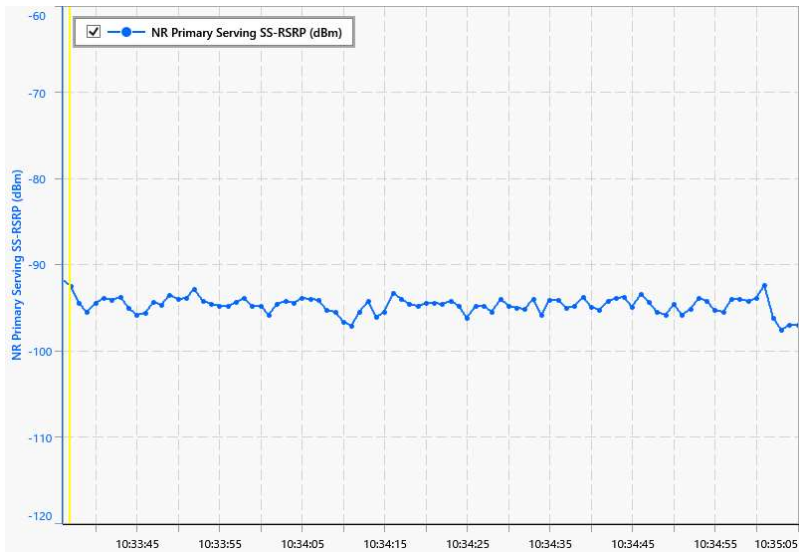


図 10-97 ポイント 45 における SS-RSRP の時間変動

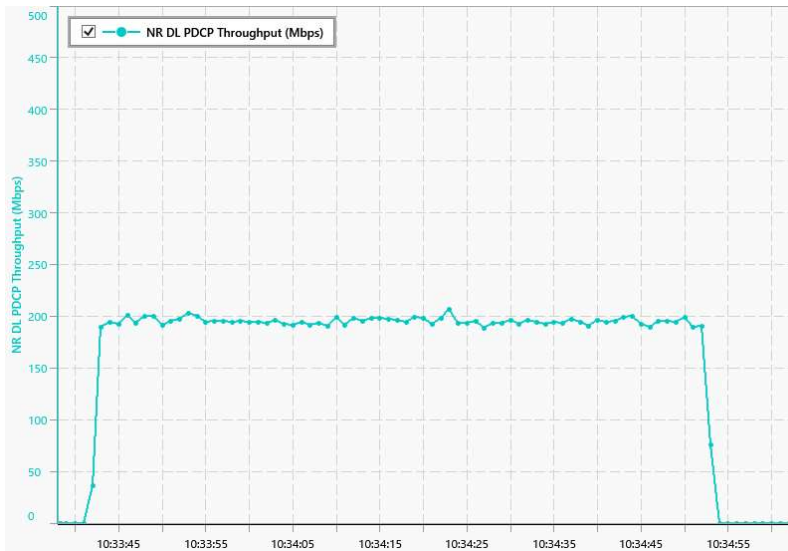


図 10-98 ポイント 45 における DL スループットの時間変動

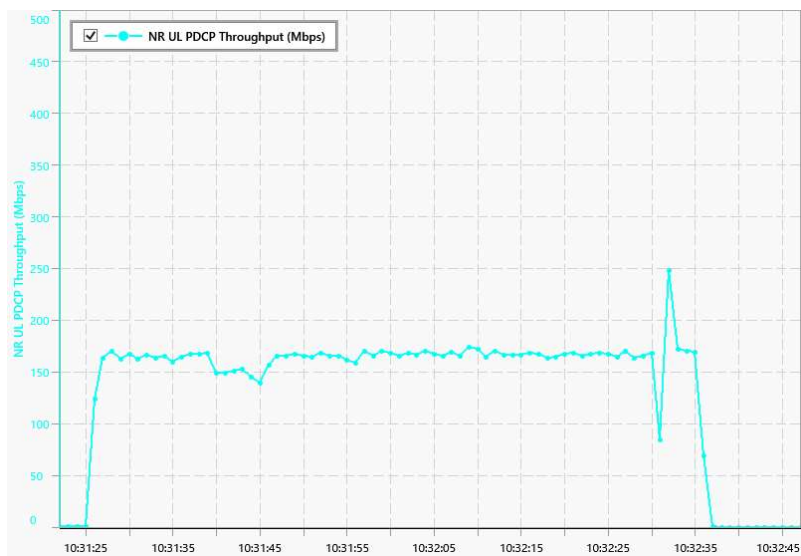


図 10-99 ポイント 45 における UL スループットの時間変動

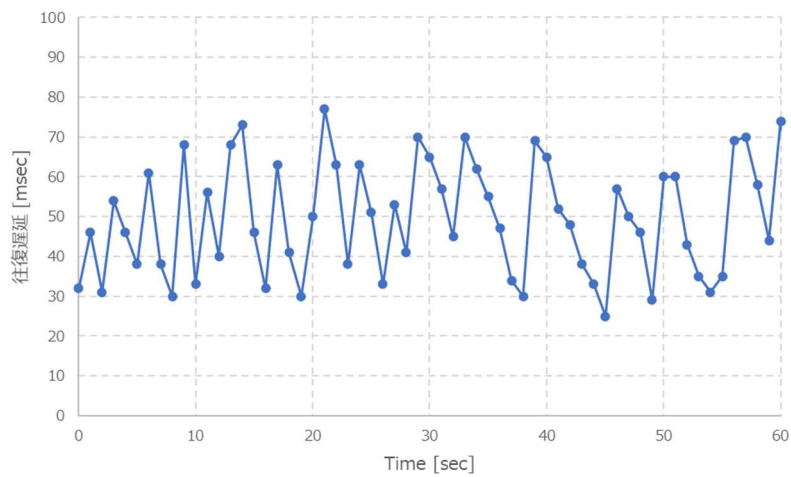


図 10-100 ポイント 45 における往返遅延の時間変動

ポイント 46

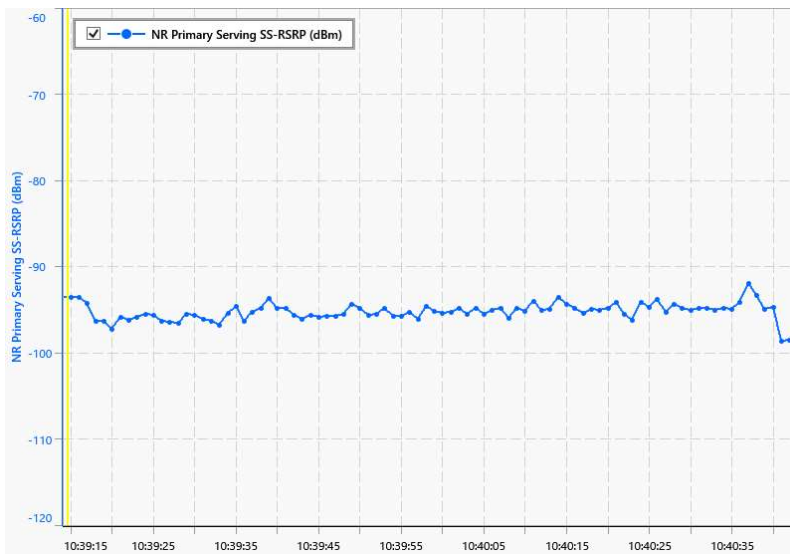


図 10-101 ポイント 46 における SS-RSRP の時間変動

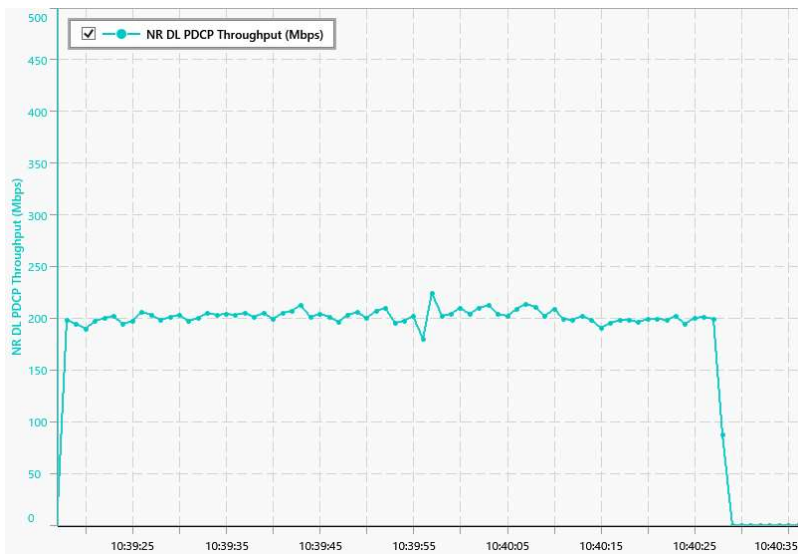


図 10-102 ポイント 46 における DL スループットの時間変動

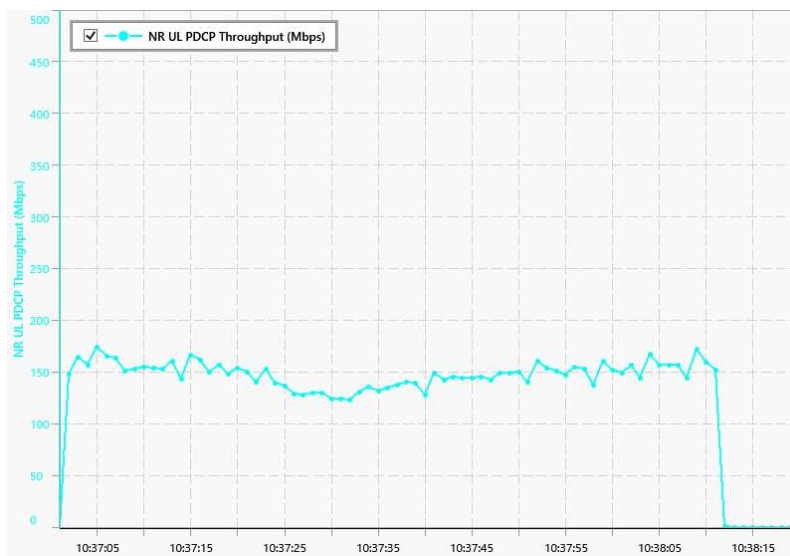


図 10-103 ポイント 46 における UL スループットの時間変動

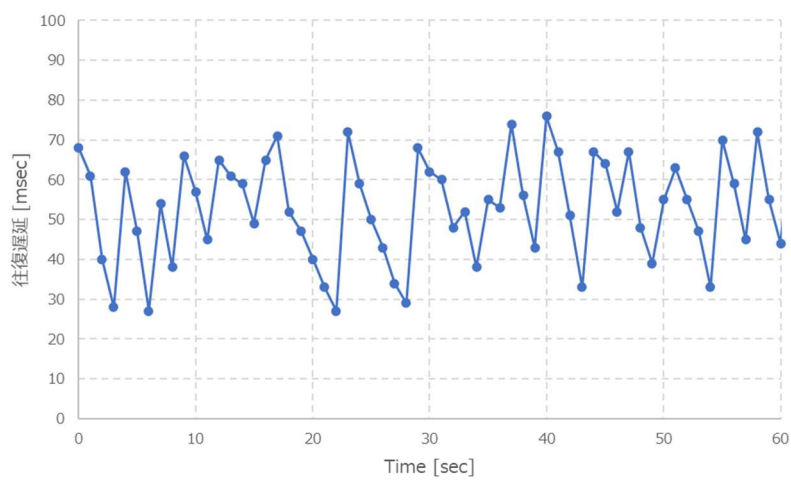


図 10-104 ポイント 46 における往返遅延の時間変動

ポイント 47



図 10-105 ポイント 47 における SS-RSRP の時間変動

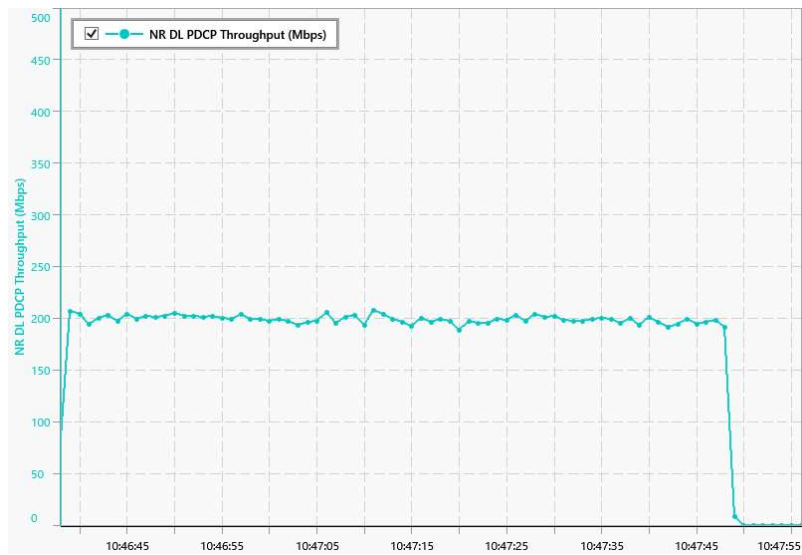


図 10-106 ポイント 47 における DL スループットの時間変動

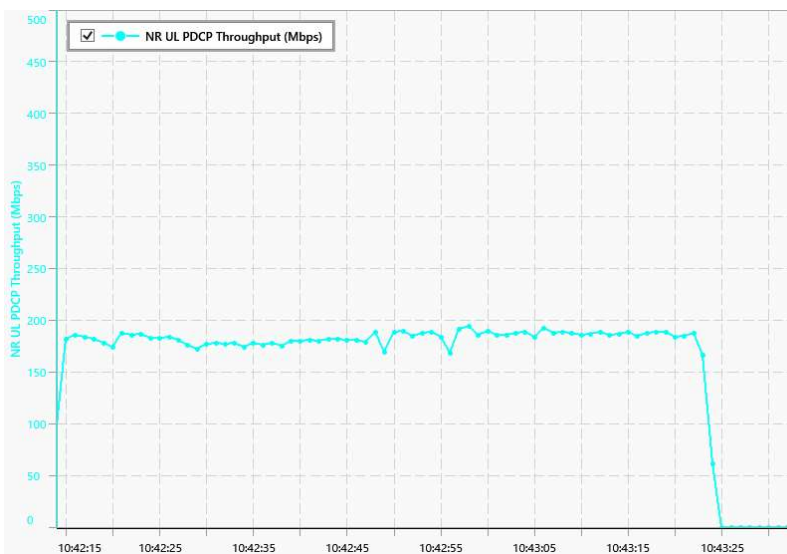


図 10-107 ポイント 47 における UL スループットの時間変動

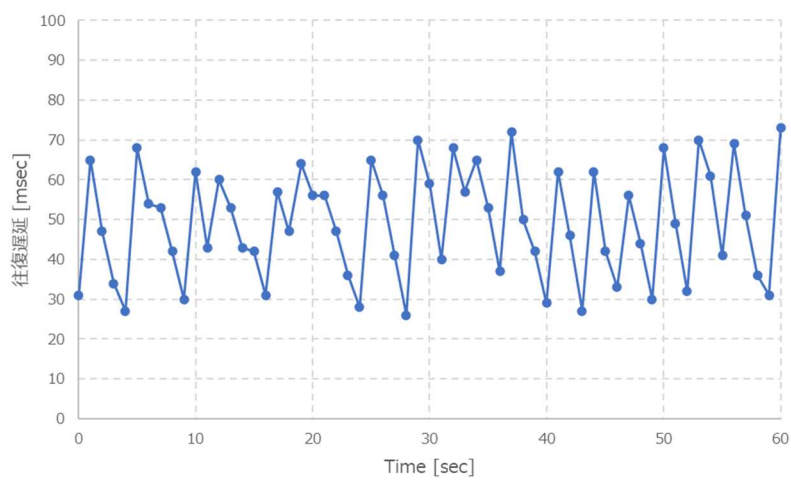


図 10-108 ポイント 47 における往返遅延の時間変動

ポイント 48

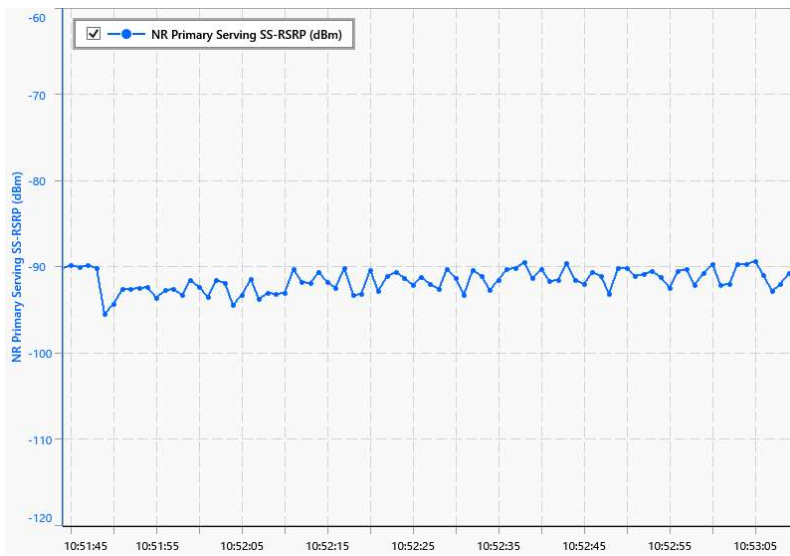


図 10-109 ポイント 48 における SS-RSRP の時間変動

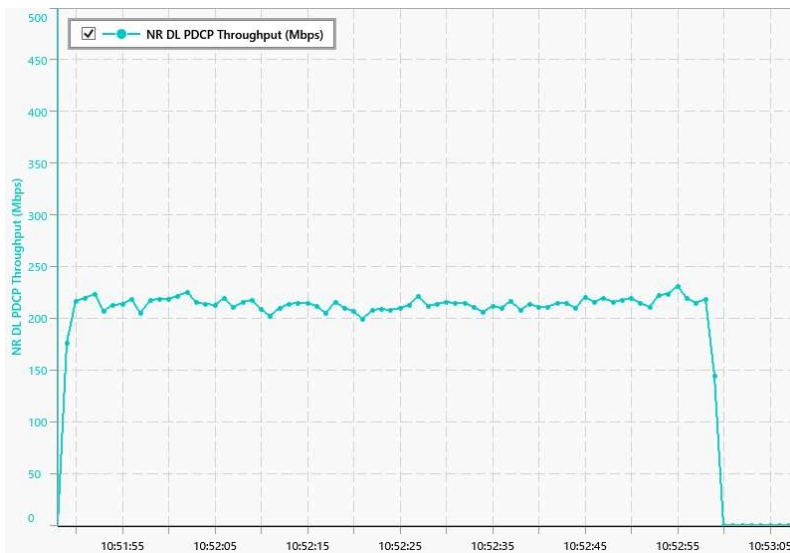


図 10-110 ポイント 48 における DL スループットの時間変動

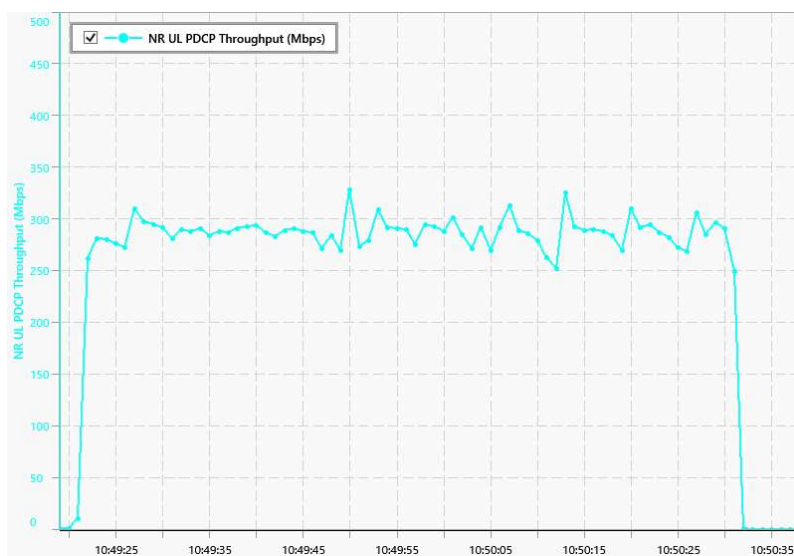


図 10-111 ポイント 48 における UL スループットの時間変動

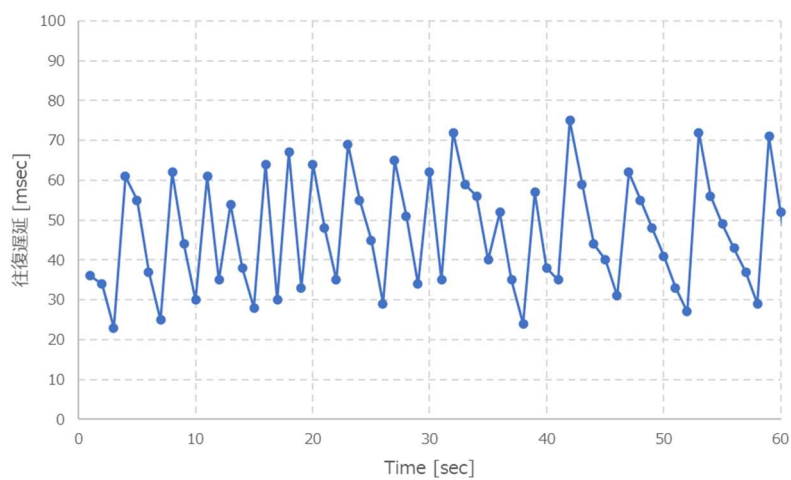


図 10-112 ポイント 48 における往返遅延の時間変動