

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】

[移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した高画質映像

ストリーミング対応小型カメラ端末の試作]

成果報告書

令和5年3月

FCNT 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	3
2.	実証環境の構築.....	4
2.1	対象周波数帯.....	4
2.2	試験装置及び試験環境.....	4
2.3	端末システムの機能・性能・要件	14
2.4	免許及び各種認可	16
2.5	その他.....	21
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)	22
3.1	実証概要	22
3.2	実証環境	22
3.3	実証事項	27
3.3.1	実証の目的・目標.....	27
3.3.2	評価・検証項目.....	29
3.3.3	評価・検証方法.....	31
3.3.4	実証結果及び考察.....	46
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) ...	122
4.1	実証概要	122
4.1.1	背景となる課題.....	122
4.1.2	試作する端末システム.....	131
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性.....	134
4.1.4	実証目標.....	136
4.2	実証環境	140
4.3	実施事項	142

4.3.1	端末システムの試作及び検証.....	142
4.3.2	端末システムの実装性に関する検証.....	208
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	217
4.3.4	端末システムの実装・普及展開	225
5.	普及啓発活動の実施	240
5.1	映像制作	240
5.1.1	映像制作に関する事務局からのインプット	240
5.1.2	最終構成	243
5.2	端末システム発表会の実施.....	254
5.3	その他普及啓発活動	255
6.	実施体制	256
6.1	実施体制の全体像	256
6.2	実施体制内の役割	257
7.	スケジュール	258
7.1	スケジュール	258

1. 実証概要

1.1 背景・目的

総務省が推進する「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」において各種実証が行われ、ローカル 5G を用いた課題解決に向けた取り組みが進んでいる。一方、普及に向けては各種社会課題の解決に向けて、更に実装性を高める取り組みを継続していくことが必要であり、ローカル 5G システムを構築する端末の視点においても、更なるバリエーションの充足が求められている。

このような状況を踏まえ、我々FCNT 株式会社は、5G 対応の通信端末を市場に提供した技術力及び、国産で安心感のある高品質な通信デバイスを 30 年来開発・製造し、通信キャリアに提供し続けてきた日本メーカとしてローカル 5G 普及促進を後押しすると共に、企業や社会の高度化による社会課題の解決を目的とした新しい端末システムの開発を行う。

表 1.1-1 に令和 5 年 2 月時点での、ローカル 5G に対応した代表的な端末の例を示す。多くはルータータイプのデバイスが主流となっており、その理由はユースケースに対する汎用性を高めるためと推定する。一方で、ローカル 5G システムとしての特長は、

- ① 5G 無線システムとしての、高速大容量、低遅延特性伝送
- ② いわゆる閉域網であり、トラヒック影響を受けにくい
- ③ ユースケースに合わせた通信自由度確保の余地あり（公衆網に比べて）

等があり、これらの特性を活かすべく実証で用いられているのが、映像伝送へのアプリケーションである。より高画質の映像をリアルタイムに近い形で伝送することで、社会課題を解決しようとする取り組みが、過年度実証においても報告されている。

端末にカメラが搭載されていない場合、映像伝送用途に用いるためには、別のカメラデバイスを接続して使用する必要があり、後述するように動作させるためのソフトウェアを個別に作り込む必要がある等、ユーザにとって必ずしも利便性の良いものではなかった。当社からもスマートフォン、AI カメラ端末を提供しているが、AI カメラは固定設置をメインターゲットとしているため、残念ながら外形寸法や重量について、用途が限定されてしまう懸念がある。

表 1.1-1 ローカル 5G 対応端末例

メーカ	分類	外形	重量(g)	カメラ搭載
		H：高さ×W：幅×D：奥行(mm)		
A 社	5G 対応デバイス	約 78×165×27	約 326	無
B 社	5G ゲートウェイ	59×195×128	700 以下	無
C 社	モバイルポケットルーター	119 x 72 x 23.5	235	無
FCNT	スマートフォン (1)	164×76×7.7	171	有
FCNT	スマートフォン (2)	約 152×72×8.5	約 162	有
FCNT	AI カメラ (1)	186 x 99 x 38	600	有
FCNT	AI カメラ (2)	約 176×99×39	約 585	有

前記を踏まえた上で、今回端末システムの試作事業を進めるにあたっては、当社が 2020 年から積み重ねてきたローカル 5G 関連の商談実績をもとに、現存のローカル 5G 端末が抱える課題解決が可能で、かつローカル 5G が普及しうる産業領域(工場及び工事・建設現場等)を想定する。

ローカル 5G の蓋然性が高く、早期の普及が可能と見込まれる領域はプラント・大規模工場や、山間部などの工事現場と想定している(Wi-Fi ではエリア不足、公衆網のトラヒック影響による回線信頼性低下の回避が必要な領域)。それを担う製造業や建設業においては、労働力不足が深刻な状況であり、特に高年齢化が進む中、熟練者の技術・技能伝承や若手の育成、生産性の向上(効率化、省人化)が課題となっている。

今回の実証事業で試作する端末システムは、従来のローカル 5G 端末では製品化されていない、小型のカメラ端末であり、人体やロボット、更には各種移動体などに簡単に装着が可能なローカル 5G 機能内蔵の一体型構造を特徴とする。利用用途によっては本端末システム内でリアルタイムに AI 画像処理を行うことも可能な性能を有する。

本端末システムを用いて、ローカル 5G の特長である大容量、低遅延伝送を活かしたストリーミングによるリアルタイム高画質映像伝送を行い、現場作業員目線の映像を高画質で遠隔側の熟練者や確認者へ送ることで、より高度な遠隔作業指導や遠隔臨場の実現へと繋げる。

これによりローカル 5G 通信の有効な活用と広がりが期待でき、前記社会課題の解決に貢献できるものとする。

1.2 実証の概要

前述の通りに、今回の端末システム試作事業では、製造業や建設業をターゲットにした、高画質映像伝送を可能にする小型端末の試作を行い、本端末を用いた社会実装に向けた実証確認を行う。

課題実証に関しては、今回試作する端末システムの特長である、

- ① 小型化カメラ端末
- ② 屋外などの環境下にも耐えうる防止防塵性能
- ③ リアルタイム高画質映像伝送のためのストリーミング機能
- ④ ③の動作時に発熱による機能停止がなく、安全性も確保可能
- ⑤ 伝送遅延

等について、目標の数値を満足しているか、また問題点有無（事前にリスク想定をしていたもの、していなかったもの）について検証する。

一方の技術実証に関しては、前記の想定したユースケースに従った上で、神奈川県横須賀市の横須賀リサーチパーク(以下 YRP)に国立研究開発法人情報通信研究機構主導で設けられた、ローカル 5G テストベッドにて、本端末システムを用いた性能確認の検証を行う。

具体的には、事前に端末システムの主に無線に関する性能を自社ラボ環境で確認した上で、YRP テストベッド環境において、カメラ撮影映像を伝送する際の Uplink のスループット、遅延時間などを確認し、今回の端末が想定するユースケースであるフル HD/4K でのストリーミング映像に関して、今回実証するテストベッド環境下で目標が満足できるかを確認し、技術的検討、課題抽出、対策提案を行う。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本端末システムはローカル 5G 帯域の 4.6GHz 帯(4.6GHz～4.9GHz 帯)でスタンドアローン (SA)方式に対応する。以下の周波数範囲で特定無線設備の工事設計認証を取得した。

周波数範囲：4.55001～4.84998GHz(30kHz 間隔 10,000 波)

また、実証後の商用化を考慮し、以下の全国 5G¹帯域での工事設計認証も合わせて取得した。

周波数範囲：3450～4050MHz(30kHz 間隔 20,001 波)

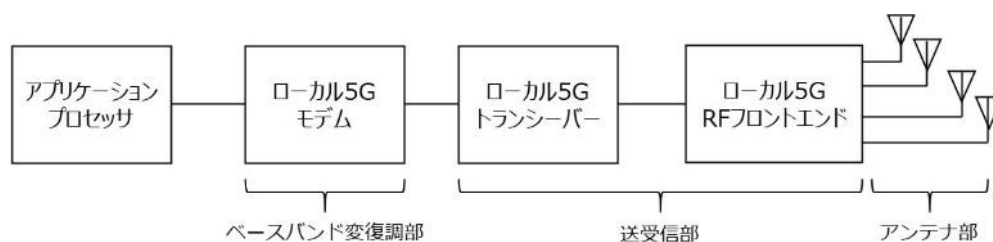


図 2.1-1 無線部の概要

図 2.1-1 に本端末システムの無線部の概要を示す。本端末システムはローカル 5G 帯域の 4.6GHz～4.9GHz 帯用に送受信兼用アンテナ 2 本、受信専用アンテナ 2 本を備え UL(Uplink) 2x2 MIMO²、DL(Downlink) 4x4 MIMO に対応する。全国 5G 帯域および 4G 帯域用には送受信兼用アンテナ 1 本、受信専用アンテナ 3 本を備え、UL SISO、DL4x4 MIMO に対応する。

2.2 試験装置及び試験環境

本端末システムの評価・検証は 4 ステップで実施した。各ステップの目的・試験装置・試験環境を表 2.2-1 に示す。本実証にあたって新たに設備は購入せず、FCNT 株式会社が導入済みの設備を使用した。ただし、電波法、電気通信事業法の技術基準に適合していることを確認するための試験は登録認定機関(第三者試験機関)に委託した。また、テストベッド環境での評価・検証はテストベッドに実装された基地局設備一式を利用した。

1 大手通信事業者が提供している商用 5G サービス

2 Multi Input Multi Output; 無線通信において、送信機と受信機双方で複数のアンテナを使い、通信品質を向上させること

表 2.2-1 評価・検証の目的・試験装置・試験環境ステップ

ステップ	目的	試験装置	試験環境
1	端末システムの無線回路と基地局シミュレータを同軸ケーブルで接続し、無線回路の送信性能・受信性能・スループットを評価・検証した。また、アンテナの放射パターン、放射効率を評価した。	<ul style="list-style-type: none"> ・基地局シミュレータ (ワイヤレステストセット) ・ネットワークアナライザ ・大型暗室 	<ul style="list-style-type: none"> ・FCNT 株式会社の実験室
2	端末システムと基地局シミュレータをアンテナ対向で接続し、アンテナ含めた無線部全体の送信性能・受信性能を評価・検証した。端末システム自身のノイズ等によるスループットへの影響有無を確認するため、アンテナ対向でのスループットを評価・検証した。	<ul style="list-style-type: none"> ・基地局シミュレータ (ワイヤレステストセット) ・リバブレーションチャンバー 	<ul style="list-style-type: none"> ・FCNT 株式会社の実験室
3	端末システムが電波法に基づく技術基準に適合していることを確認し工事設計認証番号を取得した。また、電気通信事業法に基づく技術基準に適合していることを確認し、技術基準適合認定番号を取得した。	<ul style="list-style-type: none"> ・基地局シミュレータ (ワイヤレステストセット) ・SAR³測定システム (DASY5) 	<ul style="list-style-type: none"> ・FCNT 株式会社の実験室 ・電波法、電気通信事業法の技術基準に適合していることを確認する試験は登録認定機関(第三者試験機関)に委託した。
4	端末システムとテストベッド環境に設置された基地局を接続し、端末システムの受信電力、UL(Uplink)/DL(Downlink)のスループット、UL/DLの伝送遅延を評価した。	<ul style="list-style-type: none"> ・エリア評価用測定器 ・テストベッド試験環境に設置された基地局設備一式 	<ul style="list-style-type: none"> ・テストベッド試験環境

3 SAR : Specific Absorption Rate の略で人体が電波にさらされることによって単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量のこと。

【ステップ1】

環境要因による測定結果への影響を排除するために、端末システムの無線性能を FCNT 株式会社の実験室内で測定した。

具体的には、ステップ1では端末システムの無線回路とアンテナの分界点における無線回路側から同軸ケーブルを引き出し、そのケーブルを基地局シミュレータと有線接続して無線回路の送信・受信性能を測定した（図 2.2-1）。同様に端末システムに制御用 PC を、基地局シミュレータにサーバ（PC）を接続して、スループット・伝送遅延を測定した（図 2.2-2）。一方で、端末システムの無線回路とアンテナの分界点におけるアンテナ側から同軸ケーブルを引き出してネットワークアナライザに接続し、大型暗室に備える基準アンテナもネットワークアナライザに接続した。加えて、大型暗室内の回転機構によって端末システムのアンテナと大型暗室の基準アンテナ間の相対角度を変えることで端末システムのアンテナ放射パターンを測定した（図 2.2-3）。

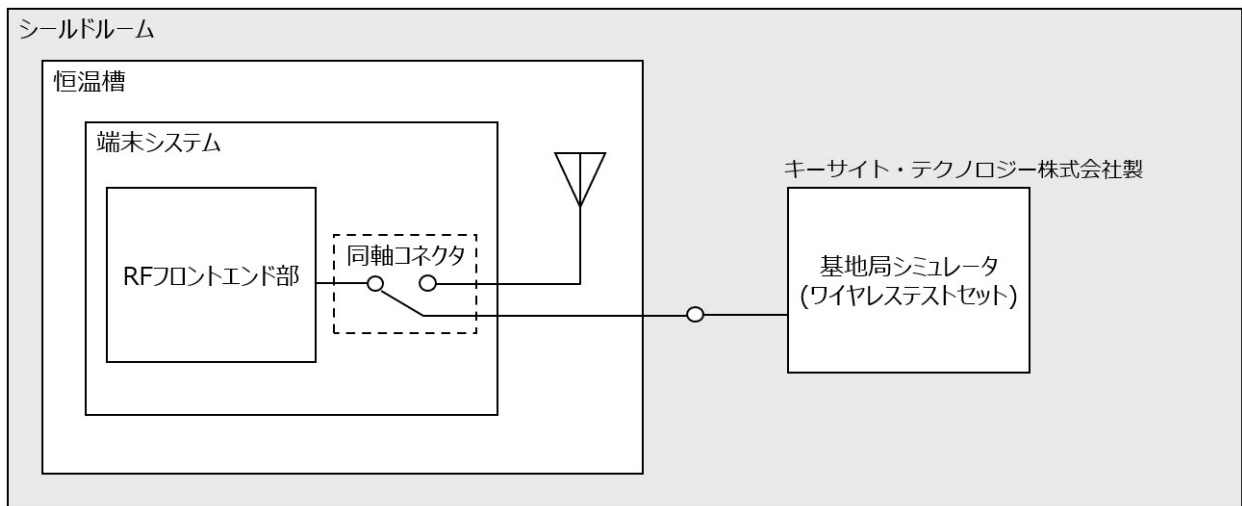


図 2.2-1 無線回路性能の測定系

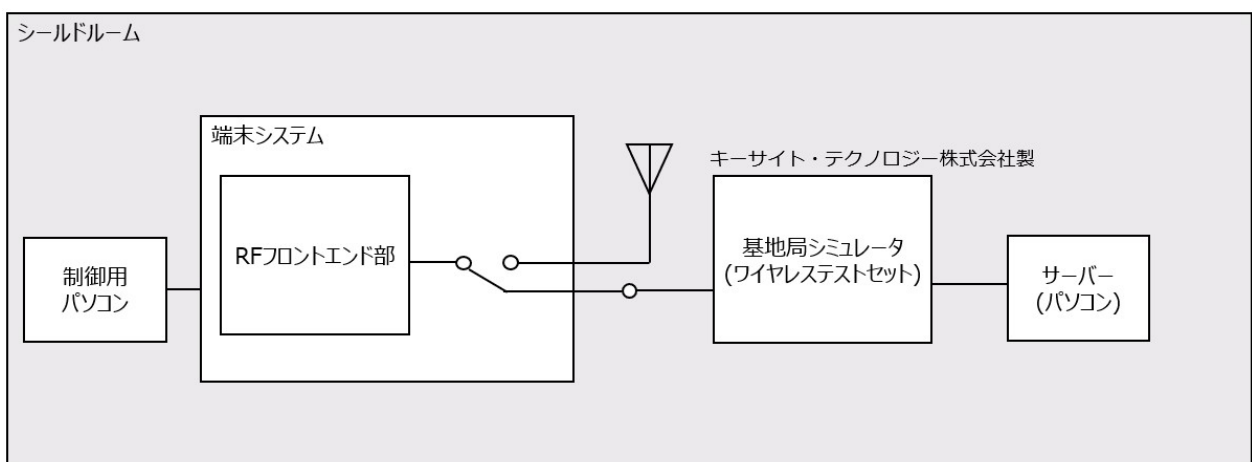


図 2.2-2 伝送遅延・スループットの測定系

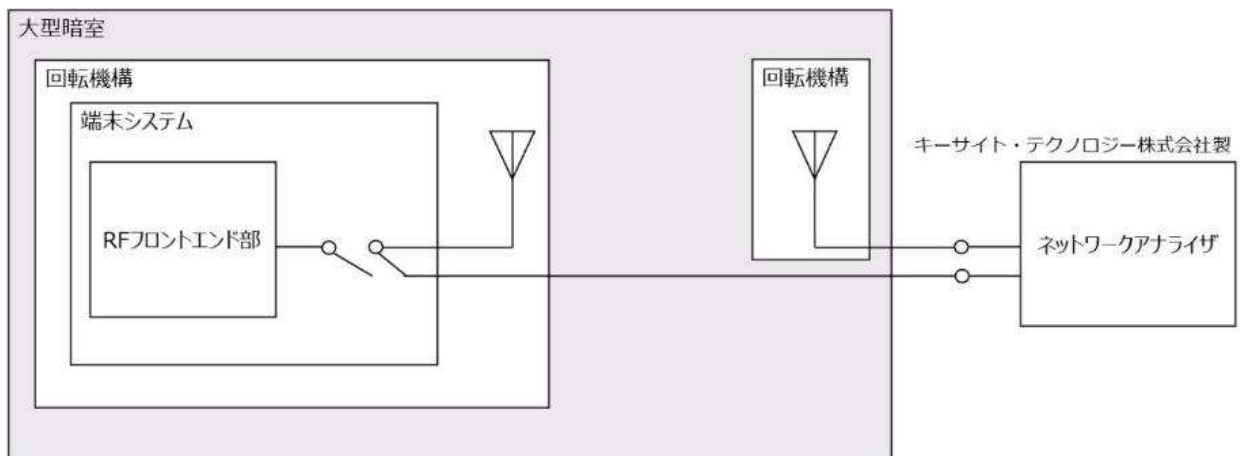


図 2.2-3 アンテナ特性の測定系

FCNT 本社実験室での無線回路性能の測定環境を以下に示す(図 2.2-4)。

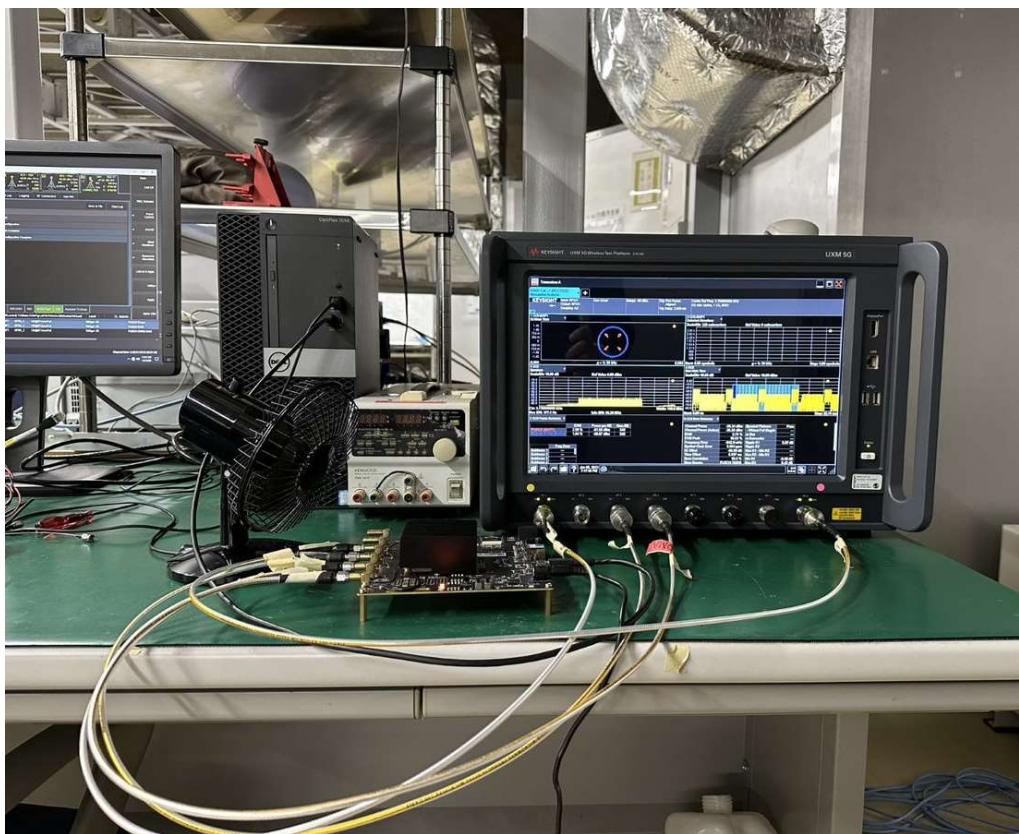


図 2.2-4 FCNT 本社実験室内の無線回路性能測定環境

測定は、ラボ内に設置されているシールドルームで端末システムの RF フロントエンド部と基地局シミュレータを同軸ケーブルで接続し、基地局シミュレータ後段にサーバを接続した。基地

局シミュレータは端末システムが受信する信号の強度を制御することが可能である。
FCNT 本社の実験室内にあるシールドルームを以下に示す(図 2.2-5)。



図 2.2-5 FCNT 本社実験室内のシールドルーム

アンテナ放射パターン測定用の FCNT 本社の実験室内にある大型暗室を以下に示す(図 2.2-6)。



図 2.2-6 FCNT 本社実験室内の大型暗室外観

大型暗室の内部を以下に示す(図 2.2-7)。暗室内は6面に電波吸収体が配置されており、壁からの反射の無い状態で、端末システムからの直接波の放射パターンを測定した。

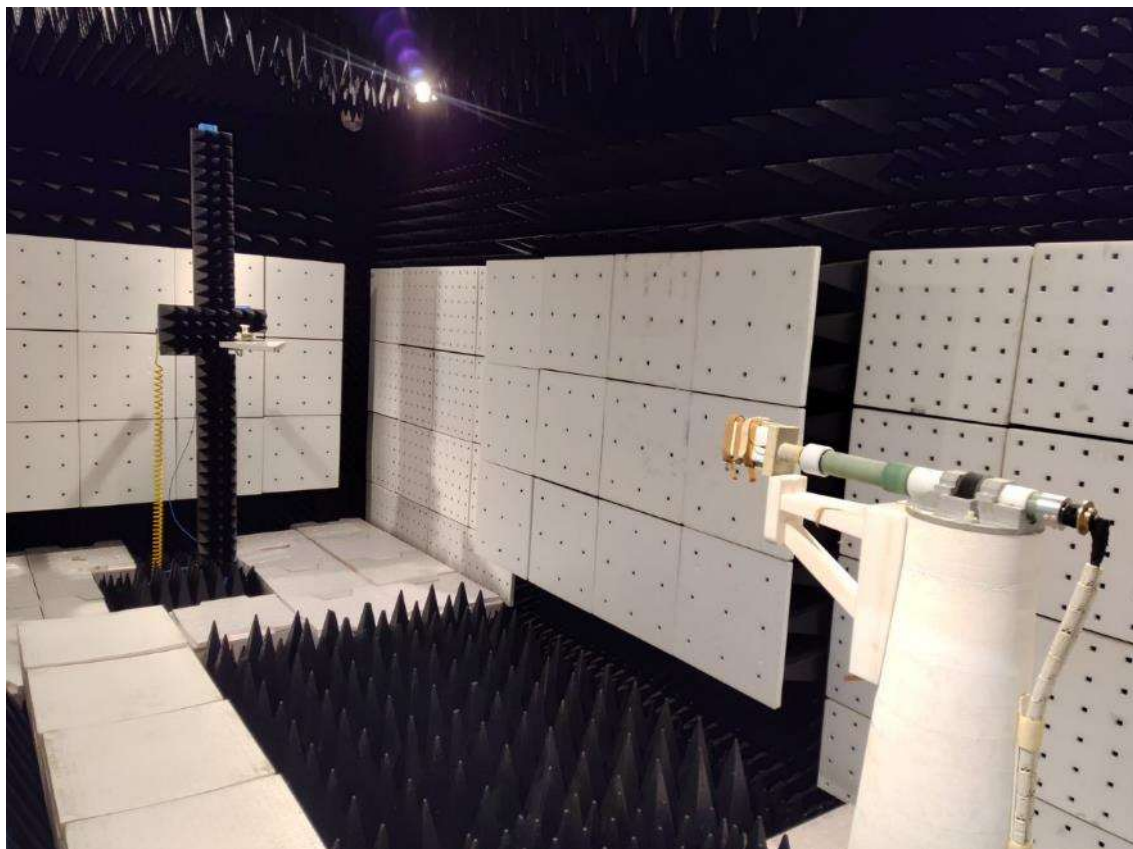


図 2.2-7 大型暗室の内部

【ステップ 2】

環境要因を排除するために、FCNT 株式会社の実験室に構築したラボ環境にて、端末システムの伝送性能を測定した。

具体的には、端末システムの無線回路とアンテナを導通させた状態で、端末システムをリバブレーションチャンバー内に配置し、リバブレーションチャンバー外に配置された基地局シミュレータと端末システムを接続した。加えてリバブレーションチャンバー内の回転機構を用いて、端末システムのアンテナとリバブレーションチャンバー内のアンテナ間の相対角度を変化させながら、基地局シミュレータからの要求によって送信電力を最大にして送信した端末システムの信号の受信強度を基地局シミュレータが確認することで総合放射電力(TRP⁴)を測定した。また、基地局シミュレータが端末システムに送信する信号をブロックエラーレート 5%で端末システムが復調できる時の受信強度を基地局シミュレータが確認することで全放射感度(TIS⁵)を測定した。

4 Total Radiated Power

5 Total Isotropic Sensitivity

さらに、基地局シミュレータが端末システムに送信する信号の電力を下げた時のブロックエラーレートを基地局シミュレータが確認することで受信電力対スループットを測定した（図 2.2-8）。ステップ 2 はいわゆる OTA⁶性能の測定である。

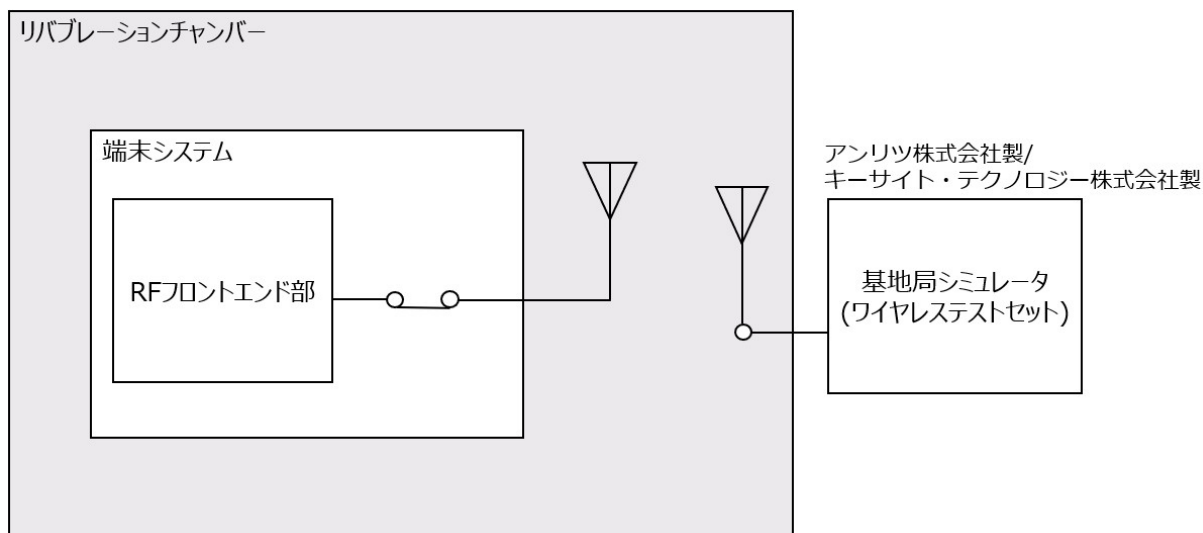


図 2.2-8 OTA 性能の測定系

基地局シミュレータを図 2.2-9 に、OTA 測定に用いるリバブレーションチャンバーを図 2.2-10 に示す。

リバブレーションチャンバーは、チャンバー内で移動する攪拌機と、チャンバー内の表面反射によって、統計的に等方性かつ電界的に均質な状態のマルチパス環境を作ることができる設備である。このため、実環境に近い電波伝搬状態を模擬できる。このリバブレーションチャンバーを基地局シミュレータと組み合わせることで OTA 性能として要求される TRP や TIS を測定することが可能となる設備である。リバブレーションチャンバーを用いた本試験方法は米国の通信機器関連の業界団体である CTIA⁷によって規定されており、OTA 試験のデファクトスタンダードとして、携帯電話通信事業者も通信端末の評価方法として取り入れている。

6 Over The Air

7 Cellular Telecommunications and Internet Association



図 2.2-9 基地局シミュレータ⁸



図 2.2-10 リハビリテーションチャンバー⁹

FCNT 本社実験室での OTA 測定環境を以下に示す(図 2.2-11)。

8 左:Keysight 社製、右:アンリツ株式会社製

9 https://www.toyo.co.jp/emc/products/detail/Bluetest_RC (画像は株式会社東陽テクニカのホームページから抜粋)



図 2.2-11 FCNT 本社実験室内の OTA 測定環境

【ステップ 3】

端末システムが技術基準に適合していることを第三者試験機関で確認した。

【ステップ 4】

テストベッド試験環境で端末システムの無線性能と伝送性能を測定した。端末システムとテストベッド環境に設置された基地局設備を無線で接続した (図 2.2-12)。加えて、端末システムと 5G コアユニットのそれぞれに接続するコマンド実行用・ログ確認用パソコンで ping および iperf¹⁰を実行することで、端末システムとテストベッド環境に設置された基地局間の伝送遅延とスループットを測定した。テストベッド環境における実証環境は 3.2 章で詳細に記述する。

10 iperf : <https://iperf.fr/>

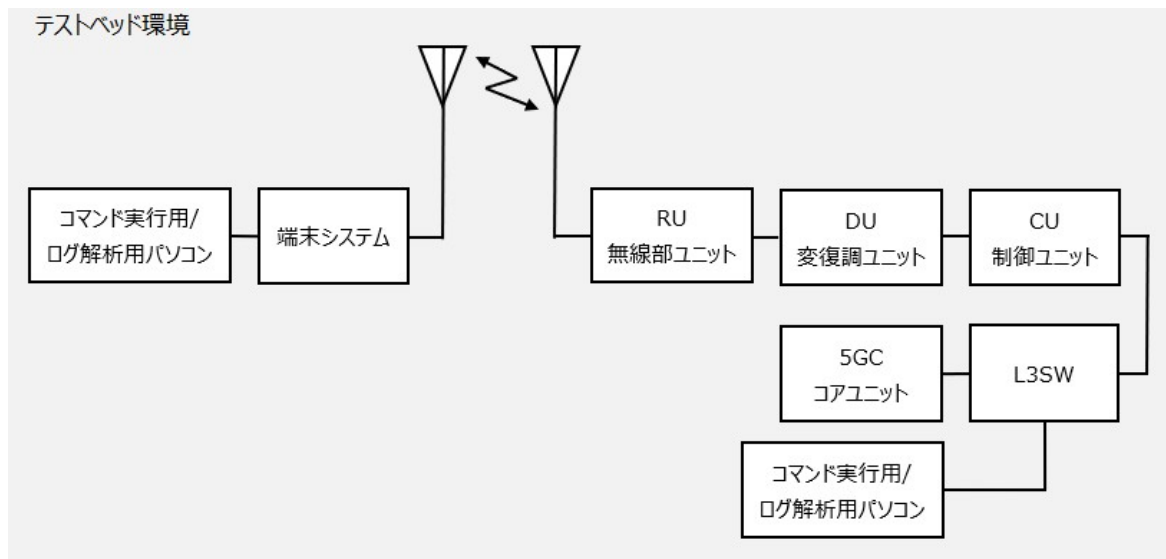


図 2.2-12 テストベッド環境の測定系

各測定で使用する構成機器一覧を表 2.2-2～2.2-5 に示す。

表 2.2-2 無線回路性能確認用機器一覧

項番	システム名	メーカー名	型式	数量
1	ワイヤレステストセット	Keysight	E7515B ¹¹	1
2	ラジオコミュニケーションアナライザ	アンリツ	MT8821C ¹²	1
3	恒温槽	ESPEC	SH-262 ¹³	1

表 2.2-3 スループット・伝送遅延性能確認用機器一覧

項番	システム名	メーカー名	型式	数量
1	ワイヤレステストセット	Keysight	E7515B	1
2	サーバ (PC)	Dell	OptiPlex 7050 ¹⁴	1

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

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

13 <https://www.espec.co.jp/products/env-test/sh/>

14 <https://japancatalog.dell.com/pd/optiplex-7050-desktop.html>

表 2.2-4 アンテナ性能確認用機器一覧

項番	システム名	メーカー名	型式	数量
1	大型暗室(3次元放射指向性/放射効率測定システム)	FDK	—	1
2	ネットワークアナライザ	Keysight	E5071C ¹⁵	1
3	SAR 測定システム	SPEAG	DASY5.2 ¹⁶	1

表 2.2-5 OTA/OTA スループット性能確認用機器一覧

項番	システム名	メーカー名	型式	数量
1	ラジオコミュニケーションアナライザ	アンリツ	MT8821C	1
2	ワイヤレステストセット	Keysight	E7515B	1
3	リバブレーションチャンバー	BLUETEST	RTS60 ¹⁷	1

2.3 端末システムの機能・性能・要件

本端末システムはローカル 5G 帯域の 4.6GHz~4.9GHz 帯だけではなく、全国 4G 帯域や全国 5G 帯域にも対応する。本端末システムの対応バンドを表 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 端末システム対応バンド

バンド種別	対応バンド
LTE バンド	Band3(1.8GHz 帯)
全国 5G バンド	n77(3.7GHz 帯), n78(3.5GHz 帯), n79(4.6GHz~4.9GHz 帯)
ローカル 5G バンド	n79(4.6GHz~4.9GHz 帯)

15 <https://www.keysight.com/jp/ja/product/E5071C/e5071c-ena-vector-network-analyzer.html>

16 <https://speag.swiss/assets/downloads/speagflyers/1312-Speag-DASY52.pdf>

17 https://www.toyo.co.jp/emc/products/detail/Bluetest_RC

ローカル5Gバンドにおける仕様を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 端末システム ローカル 5G バンド仕様

項目	内容
対応周波数帯	4.55001~4.84998GHz (30kHz 間隔 10,000 波)
対応 TDD ¹⁸ パターン	同期方式および準同期方式
対応ネットワーク方式	スタンドアローン方式およびノンスタンドアローン方式
スループット理論値	同期方式時(DL:UL=4:1) <ul style="list-style-type: none"> • UL : 270Mbps (100MHz 幅, 256QAM¹⁹, 2x2MIMO) • DL : 1,700Mbps (100MHz 幅, 256QAM, 4x4MIMO) 準同期方式時(DL:UL=2:2) <ul style="list-style-type: none"> • UL : 540Mbps (100MHz 幅, 256QAM, 2x2MIMO) • DL : 865Mbps (100MHz 幅, 256QAM, 4x4MIMO)
中心周波数	基地局設定に準ずる
占有周波数帯幅	100MHz
電波の型式	100M D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W
変調方式	CP-OFDM ²⁰ : QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM DFT-s-OFDM ²¹ : $\pi/2$ -BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
送信電力	+23.0dBm ²² (200mW)
給電線損失	0dB ※アンテナは端末システム内蔵
アンテナ本数	2TRx2Rx
アンテナタイプ	モノポール $\lambda/4$ アンテナ
水平面の主輻射の角度の幅	360° (無指向)

18 Time Division Duplex; 時間分割二重通信

19 Quadrature Amplitude Modulation; 直交振幅変調

20 Cyclic Prefix-OFDM の略で巡回プレフィックス直交周波数分割多重化方式

21 Discrete Fourier Transform-Spread-OFDM、離散フーリエ変換スプレッド直交周波数分割多重方式

22 1mW を基準にした電力単位

■ 端末システム試作

試作スケジュールの概要を図 2.3-1 に示す。

部材については、主要半導体に関して、部品ベンダへの打診や在庫見込みなどを進め、予定通り 9 月末に調達完了した。その他一般部材に関しても、スマートフォンなどの通信機器製造を継続している強みを活かして、必要部材を予定通り調達確保した。試作組立は、当初 10 月中旬に実施予定だったが、工場側との調整の結果 10 月下旬から開始することにした。また、調達部材数に限りがあるためリスク回避として、プリント基板への部品実装 (SMT²³) を 2 回に分割して実施した。最初に数台のみ SMT を実施した後に動作確認を行い、プリント基板や製造条件等に致命的なエラーがないこと、及び動作に問題ないことを確認した上で 2 回目の SMT を実施した。

	令和 4 年				令和 5 年
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
予定	▽部品調達	▽試作組立	▽デバッグ ▽防水検定	▽技術基準適合証明 ▽技術適合認定	
実績	▼キックオフ ▼部品調達	▼試作組立 1	▼試作組立 2 ▼デバッグ	▼工事設計認証 ▼技術適合認定	▼実験試験局免許 ▼防水検定

図 2.3-1 試作スケジュール概要

その他、端末システムの詳細仕様については、表 4.3-1 主要諸元表に示す。

2.4 免許及び各種認可

本端末システムの技術実証はテストベッド環境で実施するため、端末システムの工事設計認証、技術基準適合認定、及び無線局（実験試験局）免許を申請した。

23 Surface Mount Technology; 表面実装

端末システムの認証については、工事設計認証であれば、端末システムで使用している 5G/LTE 無線モジュールのベンダで取得したデータを、認証機関およびベンダとの合意の下、認証用データとして流用できるため、モジュールベンダが認証を取得した認証機関と同じ認証機関を使い、工事設計認証を取得した。

無線局免許の取得は、事前に総合通信局様と調整実施したことにより、テストベッドでの実証開始のスケジュールに影響することなく、予定通り取得することができた。技術実証に関わる許認可の取得の予定と実績を図 2.4-1 に示す。

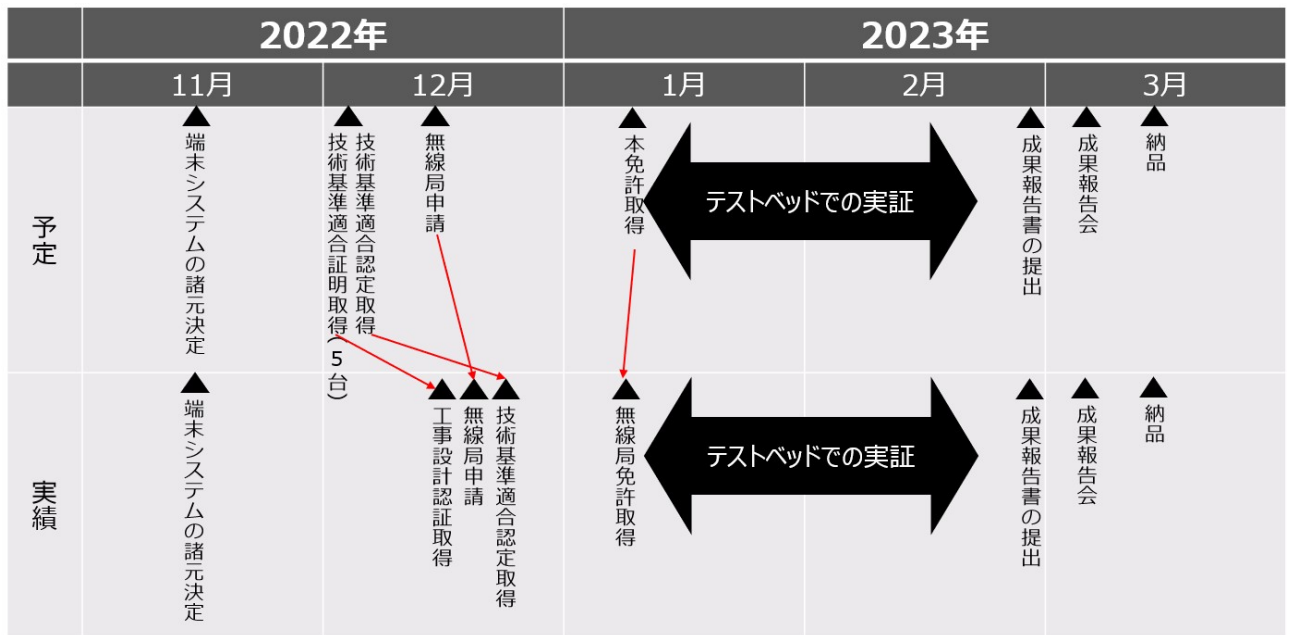


図 2.4-1 免許及び各種認可の予定と実績

取得した許認可の内容を表 2.4-1 にまとめる。

表 2.4-1 取得した許認可の一覧

項	認証内容	認証日
1	工事設計認証	2022年12月16日
2	技術基準適合認定	2022年12月20日
3	無線局免許	2023年1月6日

各許認可の内容詳細を以下にまとめる。

- ・工事設計認証（電波法第 38 条の 24 第 1 項）

表 2.4-2 取得した工事設計認証の一覧

特定無線設備の種別	認証番号	認証日
第 2 条第 1 項第 19 号に掲げる無線設備 2.4GHz 帯高度化小電力データ通信システム	003-220322	2022 年 12 月 16 日
第 2 条第 1 項第 19 号の 3 に掲げる無線設備 5GHz 帯小電力データ通信システム	003-220322	2022 年 12 月 16 日
第 2 条第 1 項第 11 号の 19 に掲げる無線設備 FD-LTE 携帯無線通信陸上移動局	003-220322	2022 年 12 月 16 日
第 2 条第 1 項第 11 号の 30 に掲げる無線設備 第 5 世代移動通信システム用陸上移動局	003-220322	2022 年 12 月 16 日

表 2.4-3 第2条第1項第11号の30(第5世代移動通信システム用陸上移動局)の詳細

電波の型式、 周波数及び 空中線電力	10M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3405～4095MHz (30kHz 間隔 23001 波) 0.2W
	15M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3407.52～4092.48MHz (30kHz 間隔 22833 波) 0.2W
	20M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3410.01～4089.99MHz (30kHz 間隔 22667 波) 0.2W
	40M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3420～4080MHz (30kHz 間隔 22001 波), 4520.01～4879.98MHz (30kHz 間隔 12000 波) 0.2W
	50M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3425.01～4074.99MHz (30kHz 間隔 21667 波), 4525.02～4875MHz (30kHz 間隔 11667 波) 0.2W
	60M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3430.02～4069.98MHz (30kHz 間隔 21333 波), 4530～4869.99MHz (30kHz 間隔 11334 波) 0.2W
	80M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3440.01～4059.99MHz (30kHz 間隔 20667 波), 4540.02～4860MHz (30kHz 間隔 10667 波) 0.2W
	90M0 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3445.02～4054.98MHz (30kHz 間隔 20333 波) 0.2W
100M D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 3450～4050MHz (30kHz 間隔 20001 波), 4550.01～4849.98MHz (30kHz 間隔 10000 波) 0.2W	

・技術基準適合認定等（電気通信事業法第56条第1項）

表 2.4-4 技術基準適合認定等の内容

端末機器の種類	認証番号	認証日
専用通信回線設備又はデジタルデータ伝送用設備に接続される端末機器 端末設備規則第9条（端末設備内において電波を使用する端末機器）	D220195003	2022年12月20日

・無線局免許

表 2.4-5 無線局免許の内容

	陸上移動局
免許人	FCNT 株式会社
無線局の種別	実験試験局
免許の番号	関実第 50633 号 関実第 50634 号 関実第 50635 号
免許の年月日	2023 年 1 月 6 日
識別信号	N I C TよこすかB 5 GたんまつじっけんよこすかF 1 N I C TよこすかB 5 GたんまつじっけんよこすかF 2 N I C TよこすかB 5 GたんまつじっけんよこすかF 3
無線設備の設置場所又は移動範囲	設置場所 神奈川県横須賀市光の丘 3-2 YRP センター 4 階サーバ室 移動範囲 神奈川県横須賀市 YRP センター 2 番館及び周辺
電波の型式、周波数及び空中線電力	99M9 D1A, D1B, D1C, D1D, D1F, D1X, D7W, G1A, G1B, G1C, G1D, G1F, G1X, G7W 周波数 4849.98MHz 空中線電力 200mW

2.5 その他

実証環境構築に関する要件とそれに対する対応について、表 2.5-1 に示す。

表 2.5-1 実証環境の要件

要件	対応状況
今後の技術発展を柔軟に取り込めるよう、国際規格やオープンな技術に依拠し、普及段階において機能拡張が可能な設計とすること。	構成している設備（基地局シミュレータ、リバブレーションチャンバー等）は、ファームウェア更新やバージョンアップにより機能アップデートや拡張が可能
基地局、コア設備等については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であること。同認定を受けた実績のない事業者が開発供給した機器にあつては、「ローカル5G導入に関するガイドライン」に記載の「サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策」を講じていると認められること。	基地局シミュレータにて構築するため、非該当
本実証で導入するシステムについては、「IT調達に係る国等の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和3年7月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講ずること。	基地局シミュレータには個人情報、機密情報等を保存せず、この設備を企業LANにも接続しない。 「サプライチェーンリスク対策に係る資料」は提出済み。
特に、クラウドサービスの利用など、外部のネットワークへの接続やデータ伝送を伴う場合、個人情報の管理等を含め、情報の流通経路全般にわたるセキュリティが適切に確保されるよう、情報の流通経路全般を見渡した形で、必要なセキュリティ対策等を実施すること。	クラウドサービスは利用しない
必要に応じて機能改善を行えるように進めること。	ファームアップデート等により機能改善可能
横展開が容易に実現可能となる仕組みを検討すること	特殊な設備を使用していないため、横展開は比較的容易

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

テストベッド環境下において端末システムを基地局に接続し、受信電力、伝送遅延、スループットを含め電波伝搬等に係る測定・試験を実施した。その結果を分析し、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。さらに、ローカル5G活用モデルの1つである遠隔監視・遠隔臨場に端末システムが利用されることを想定し、このユースケースにおいて必要な伝送遅延、スループットとテストベッド環境での測定・試験結果と照らし合わせることで技術的検討、課題抽出、対策提案を行った。

3.2 実証環境

テストベッド環境は、横須賀リサーチパーク(以下 YRP)内の、国立研究開発法人情報通信研究機構が設置している実験試験局のうち、YRP1番館屋上に設置されている4.6GHz帯基地局を用いて実証試験を行った。テストベッドで使用するローカル5Gシステム構成及び基地局のシステム構成と主要諸元を以下に示す(図 3.2-1)。

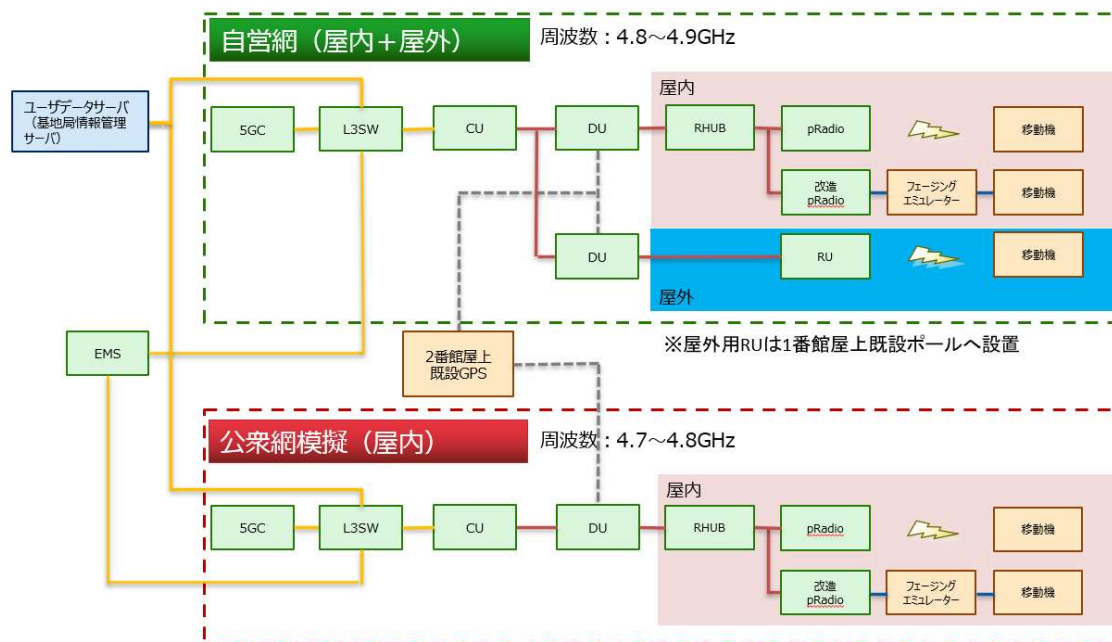


図 3.2-1 ローカル 5G システム構成 ※

※出典 【2021 年度補正予算】ヘテロジニアス B5G テストベッド 概要資料
国立研究開発法人情報通信研究機構 2022 年 11 月 30 日 update 版

表 3.2-1 ローカル 5G 基地局システム諸元

製造ベンダ	富士通株式会社
周波数	4.8-4.9GHz
帯域幅	100MHz
多重化方式	TDD
送受信系統数	4T(送信)4R(受信)
Beamforming	サポート
DL:UL 比率	DL:UL = 8 : 2 (同期 TDD パターン)
セルスループット (規格値)	DL : 1.7Gbps UL : 0.2Gbps
MIMO	UL 2Layer, DL 4Layer
変調方式	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
同期方式	GPS
フロントホール・インタフェース	ORAN Option 7.2x

このようなテストベッド環境で各種伝送性能を測定するが、テストベッド環境とそれ以外の環境では電波伝搬特性が異なる。このため、試験後の分析時に結果が電波伝搬含めたテストベッド環境によるものか、端末システムによるものかを判断するべく、テストベッド環境での試験に臨む前に FCNT 株式会社のラボ環境を利用した試験を行った。ラボ環境での実証環境は 2.2 章記載の環境となる。

以下に使用するテストベッドの情報を示す。

免許人：国立研究開発法人情報通信研究機構

免許番号：関実第 49277 号

無線局名：【NICTよこすかB5Gきちっけんよこすか1】

本テストベッドを使用するにあたり、「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」受託者と、テストベッド運用者である国立研究開発法人情報通信研究機構との間で、異免許人間通信に関する同意書を結んでいる。使用するテストベッドの近隣環境を図 3.2-2 に示す。

神奈川県横須賀市光の丘 3-4 YRP センター1 番館



図 3.2-2 YRP センター1番館近隣環境 ※

※出典 【2021 年度補正予算】ヘテロジニアス B5G テストベッド 概要資料
国立研究開発法人情報通信研究機構 2022 年 11 月 30 日 update 版

基地局が設定されている YRP 1 番館の環境を図 3.2-3、図 3.2-4 に示す。今回使用するローカル 5G の屋外基地局は、YRP 1 番館の屋上に設置されており、図中の赤枠が本実証で使用する基地局である。YRP1番館の屋上には、今回使用する基地局の他に、28GHz 帯ミリ波用の基地局、ミリ波用基地局の NSA²⁴アンカー用の LTE システム基地局が合わせて設置されている。

24 Non-Stand Alone (ノンスタンドアローン) の略で、コアネットワークや基地局に 4G を残しつつ、一部の基地局から 5G を導入していくもの



図 3.2-3 テストベッド環境（1）



図 3.2-4 テストベッド環境（2）

基地局(アンテナ)が1番館屋上に設置されているため、基本的には見通しのよい環境(LOS²⁵)ではあるが、敷地内にはカフェテリア等の建物もあり、陰に入ると見通し外環境(NLOS²⁶)となりうるため、測定ポイントの決定には注意が必要となる。実際の測定ポイントの決定については、3.3章で説明する。

YRP1番館屋上に設置された基地局(アンテナ)の設置環境を次図に示す(図 3.2-5)。

25 Line of Sight

26 Non-Line of Sight



図 3.2-5 屋外基地局(アンテナ)の設置環境

YRP 2 番館に設置されている制御装置の設置環境を図 3.2-6 制御装置の設置環境に示す。図の左側のラックにローカル 5G の基地局関連の機器が収容されており、右側のラックに公衆網関連のネットワーク機器が収納されている。



図 3.2-6 制御装置の設置環境

3.3 実証事項

3.3.1 実証の目的・目標

- 実証の目的

本端末システムはローカル 5G 活用モデルの 1 つである遠隔監視・遠隔臨場に利用されることを想定しており、このユースケースを満たすためにフル HD(解像度 1920x1080)および 4K(解像度 3840x2160)でストリーミング配信する必要がある。このストリーミング配信要件が満たされる範囲と、それが実現可能なハードウェアの条件、それが可能となる無線通信の技術基準をそれぞれ明らかにすることは今後のローカル 5G 機器の開発指針や、ローカル 5G 機器の調達指針の策定に有益な情報となり、ローカル 5G サービスの普及に資する。

- 実証の目標

ローカル 5G のリファレンス環境として利用可能なテストベッド環境において、端末システムをローカル 5G 基地局に接続した時の受信電力・スループット・伝送遅延を明らかにする。無線通信の技術基準の観点から必要な課題が判明した場合それも明らかにする。

- スループットの検証

遠隔監視・遠隔臨場としての利用時には端末システムから現地映像をストリーミング配信するが、そのために必要となる性能を測定する。映像をストリーミングする際に必要となる性能について表 3.3-1 に示す。

表 3.3-1 ストリーミング要件

画面解像度	フレームレート (fps)	H. 264 符号化後ビットレート (Mbps)
フル HD 1920×1080	30	14
	60	28
4K 3840×2160	30	56
	60	112

端末システムはこの条件を満たすスループット性能を有する必要がある。そのため以下を考慮し目標を設定した。

- ・フル HD ストリーミング時：フレームレート 60fps を想定した上り 28Mbps

- ・4K ストリーミング時：フレームレート 30fps の 56Mbps (現在想定 of ユースケース時)

上記スループットで十分な性能を得ることが出来るが、今後のユースケースの高度化も考慮し、本技術実証では 4K,60fps を伝送できる 112Mbps を目標値とした。実証については UL(Uplink)と DL(Downlink)のスループットの計測を行った。

- 伝送遅延の検証

ストリーミングを実現するためのシステム構成は以下となる(図 3.3-1)。

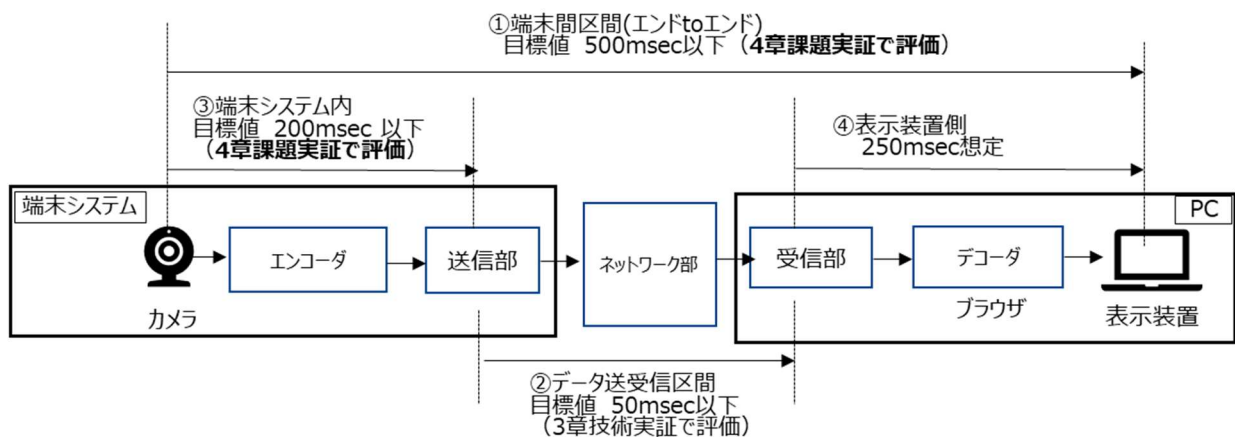


図 3.3-1 ストリーミング用システム構成

伝送遅延は、図 3.3-1 の②データ送受信区間で示される無線部分の伝送遅延と、②端末間区間で示される端末システムのカメラ部分から PC 側での表示部分を含めたユーザ視点での映像視聴における遅延時間に分けられる。

技術実証では、②のデータ送受信区間での無線部分の伝送遅延を性能目標とし、ユーザ視点での映像視聴における遅延時間は、4 章の課題実証で①端末間区間及び③端末システム内の伝送遅延として性能目標を設定した。技術実証における伝送遅延は、カメラ、エンコーダ、デコーダ、表示装置の処理時間を考慮すると、データ送受信区間レベルの遅延は極力短いことが要求される。本実証ではデータ送受信区間の伝送遅延については、50msec 以下を目標とした。

本実証におけるローカル 5G 帯域での性能目標を表 3.3-2 に示す。

表 3.3-2 技術実証での性能目標

項目	目標数値	備考
スループット	112Mbps	UL (Uplink) 時
伝送遅延	50msec	データ送受信区間

3.3.2 評価・検証項目

以下の項目を評価・検証した。

UL 伝送スループット、DL 伝送スループットの計測
伝送遅延の計測
計測地点の受信電力(SS²⁷-RSRP²⁸)

ただし、3.2 章で説明した通り、テストベッド環境とそれ以外の環境では伝搬特性が異なるために、試験結果がテストベッド環境によるものか、端末システムによるものかを判断するべく、テストベッド実証前に、ラボ環境での試験を行った。

ラボ環境での試験では、以下の項目を評価・検証した。端末システムとしては、実証後の商用化も考慮し、アンテナ設計含めて全国 5G 帯域含めて設計している。

上記により、電波法認証を n79 ローカル 5G 周波数に加え、全国 5G 周波数(n77,n78 バンド)でも取得している。そのため、測定の周波数については、n77,n78,n79 バンドの周波数帯での測定を実施し、あわせて電波法申請データの確認を行った。

ケーブル接続での測定

- ・無線回路の送信性能
- ・無線回路の受信性能
- ・スループット性能
- ・伝送遅延
- ・アンテナの放射パターン、放射効率

アンテナ対向での測定(OTA)

- ・アンテナ含めた無線部全体の送信性能：TRP
- ・アンテナ含めた無線部全体の受信性能：TIS
- ・アンテナ含めた無線部全体のスループット

また、使用する TDD パターンは平成 31 年総務省告示第 23 号別図第 1 号で示されている以下のものを使用した(図 3.3-2、図 3.3-3)。

27 Synchronization Signals; 移動局が電源投入時などに、通信の開始に必要なセルの周波数と受信タイミングおよびセル ID の検出を行うための物理信号

28 Reference Signal Receive Power; 受信電力

同期方式時

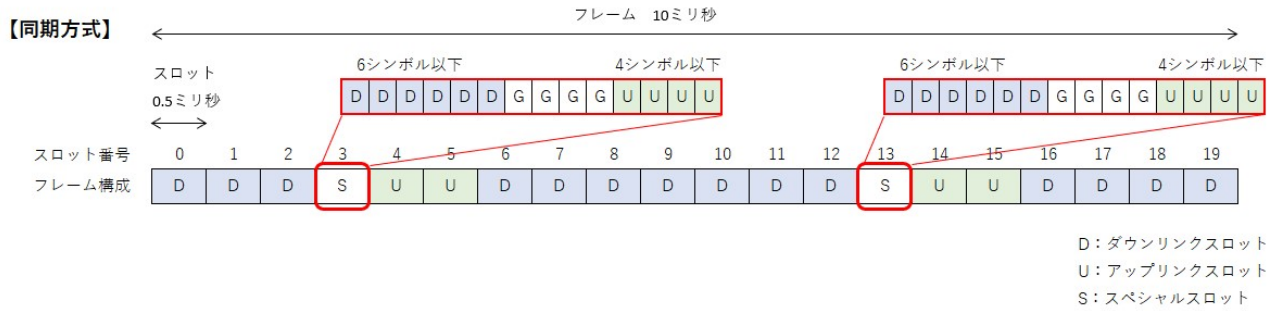


図 3.3-2 同期方式時の TDD パターン

準同期方式時

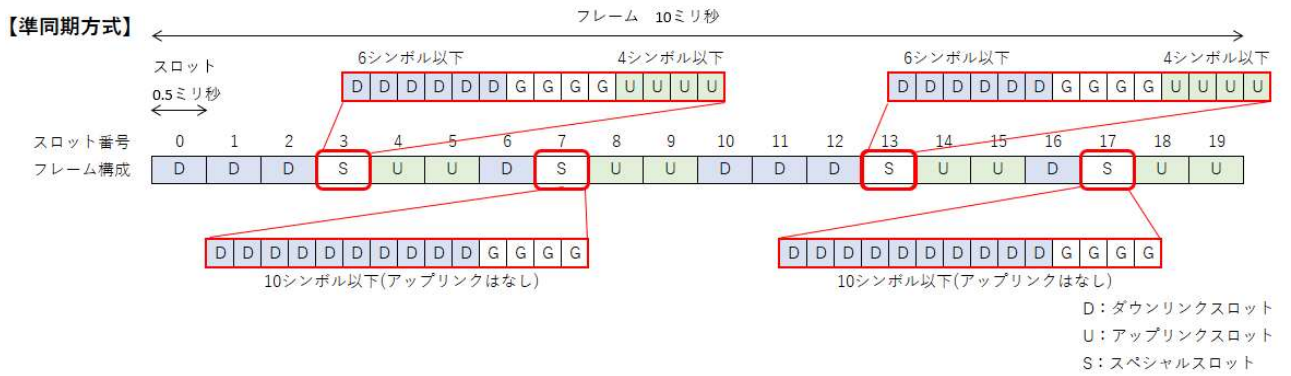


図 3.3-3 準同期方式時の TDD パターン

3.3.3 評価・検証方法

(1) ラボ環境での評価・検証方法

表 3.3-3 に検証項目と検証方法について記載する。

表 3.3-3 ラボ環境での評価検証方法

No	検証項目	検証方法
1	ケーブル接続測定 無線回路性能	端末システムとワイヤレステストセットを同軸ケーブルにて接続し、無線回路の送受信性能測定を実施した。 同時に温度特性も取得するため、端末システムは恒温槽内に格納して測定した。
2	ケーブル接続測定 スループット・伝送遅延	iperf を用いて、端末システム・サーバ間の UL(Uplink)、DL(Downlink)のスループットを計測した。TDD パターンは、同期、準同期方式での測定を実施した。
3	ケーブル接続測定 アンテナの放射パターン、放射効率	ネットワークアナライザで放射パターンを取得し、そこから放射効率を求めた。
4	アンテナ対向測定 無線部全体の送受信性能 無線部全体のスループット	リバブレーションチャンバー内に端末システムを配置し、リバブレーションチャンバーと基地局シミュレータを接続させ、総合放射電力(TRP)、全等方性感度(TIS)、並びに DL(Downlink)のスループットを測定した。

【ケーブル接続測定：無線回路性能】

無線回路性能測定は、シールドルーム内で、端末システムとワイヤレステストセット (Keysight 社製：E7515B) を同軸ケーブルにて接続し、無線回路の送受信性能を測定した。同時に温度特性も取得するため、端末システムは恒温槽(エスペック社製：SH-262)内に格納して測定した。測定する温度は-10℃、25℃、55℃と設定した。

【ケーブル接続測定：スループット・伝送遅延】

無線回路性能測定同様にシールドルーム内で実施した。端末システムと基地局シミュレータ (Keysight 社製 : E7515B) を同軸ケーブルにて接続し、端末システム下位側及び基地局シミュレータにそれぞれ測定用 PC を接続し、iperf、ping コマンドにより DL 及び UL のスループット及び伝送遅延を測定した。測定時の TDD パターンは、同期、準同期の 2 種類を採用した。

伝送遅延の測定値は、機器間の疎通確認用ソフトコマンドの ping を 10 回実施し、その平均値とした。スループットの測定値は、スループット測定用ソフトの iperf で 20 秒間通信を行い、その平均値とした。

【ケーブル接続測定：アンテナの放射パターン、放射効率】

端末システムの無線回路とアンテナの分界点におけるアンテナ側から同軸ケーブルを引き出してネットワークアナライザ (Keysight 社製 : E5071C) に接続し、大型暗室に備える基準アンテナもネットワークアナライザに接続した。加えて、大型暗室内の回転機構によって端末システムのアンテナと大型暗室の基準アンテナ間の相対角度を変えることで端末システムのアンテナ放射パターンを測定し、そこから放射効率を求めた。

【アンテナ対向測定：無線部全体の送受信性能、無線部全体のスループット】

無線部全体の送受信性能(OTA)測定は、リバブレーションチャンバー内に端末システムを配置し、リバブレーションチャンバーと基地局シミュレータを接続させ、総合放射電力(TRP)、全放射感度 (TIS) を測定した。使用する基地局シミュレータは、5G バンドに対しては、Keysight 社製 E7515B を LTE バンドに対しては、アンリツ株式会社製 MT8821C を用いた。

無線部全体のスループットは、リバブレーションチャンバーを用いた OTA 測定系を用いて測定した。

(2) テストベッド環境での評価・検証方法

表 3.3-4 に検証項目と検証方法について記載する。

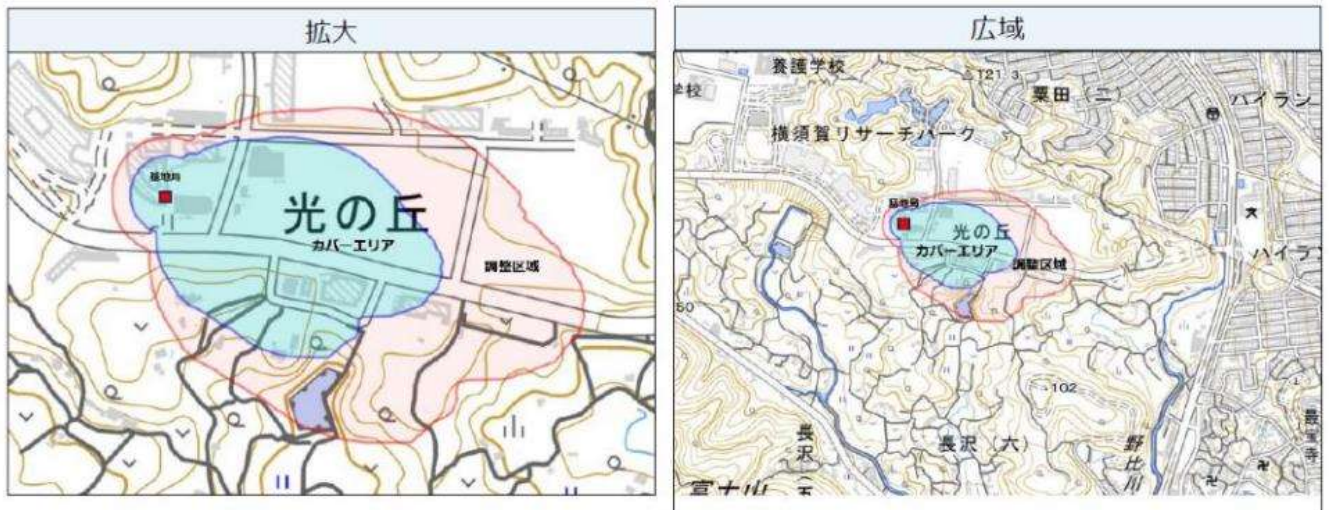
端末システムに接続するコマンド実行用・ログ確認用パソコンと 5G コアユニットに接続するサーバ間で ping および iperf を実行することで、ローカル 5G コアユニットと端末システム間の各種伝送性能である UL(Uplink)・DL(Downlink)の伝送遅延やスループットを、端末システムの受信電力とあわせて測定した。

表 3.3-4 テストベッド環境における検証項目と検証方法

No	検証項目	検証方法
1	計測地点の受信電力	スループット及び伝送遅延を計測する地点の受信電力(SS-RSRP)は、端末システム用いて計測した。参考としてエリア評価用測定器でも受信電力を計測した。
2	UL (Uplink) と DL(Downlink) スループットの計測	iperf を用いて、端末システム・サーバ間の UL(Uplink)、DL(Downlink)のスループットを計測した。
3	伝送遅延の計測	ping コマンドを用いて、端末システム・サーバ間の遅延時間を計測した。

テストベッド環境での実証にあたり、測定するポイントは、屋外で端末システムから基地局を見通せる範囲で端末システムと基地局間の距離を変えられること、端末システムと基地局間の距離が同じだが見通し外(屋外・屋内)であり見通し内条件時との測定値を比較できることを判断基準として決定した。

使用するテストベッドの実験試験局のカバーエリア及び調整区域図は以下(図 3.3-4)となっている。



カバーエリア：サービスを提供するエリア (-84.6dBm)
 調整対象区域：他の無線局に影響を与える可能性があるエリア (-91.0dBm)

図 3.3-4 テストベッド環境での実験試験局のカバーエリア及び調整区域図 ※
 ※出展 B5G 実験計画書_r6_rev20220627
 国立研究開発法人情報通信研究機構 令和4年6月27日更新版

一方で、実験試験局の無線エリアは黄色①の範囲で、端末システムの移動可能範囲は次図の緑
 枠のエリアとなっている。

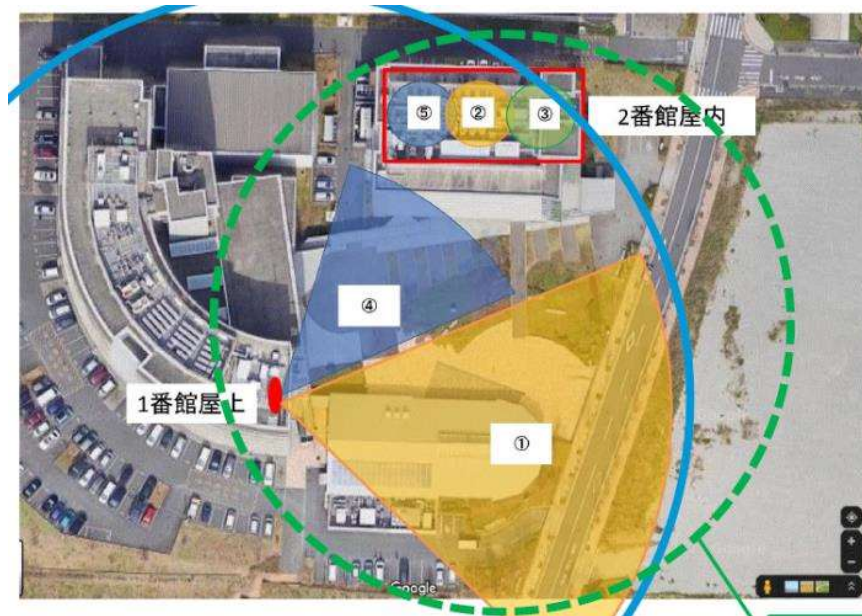


図 3.3-5 テストベッド環境での端末システムの無線エリアイメージ ※
 ※出展 B5G 実験計画書_r6_rev20220627
 国立研究開発法人情報通信研究機構 令和4年6月27日更新版

測定ポイントの緯度経度は、測定時の写真データに保存された位置情報と、エリアテスト²⁹のGPS機能で取得した位置情報を参照し、地図データと比較して求めた。こうしてプロットしたテストベッド環境での測定ポイントを図 3.3-6 に示す。

①～⑩が見通し内のポイント、⑪～⑲が見通し外のポイント、⑳～㉒が建屋内のポイントである。

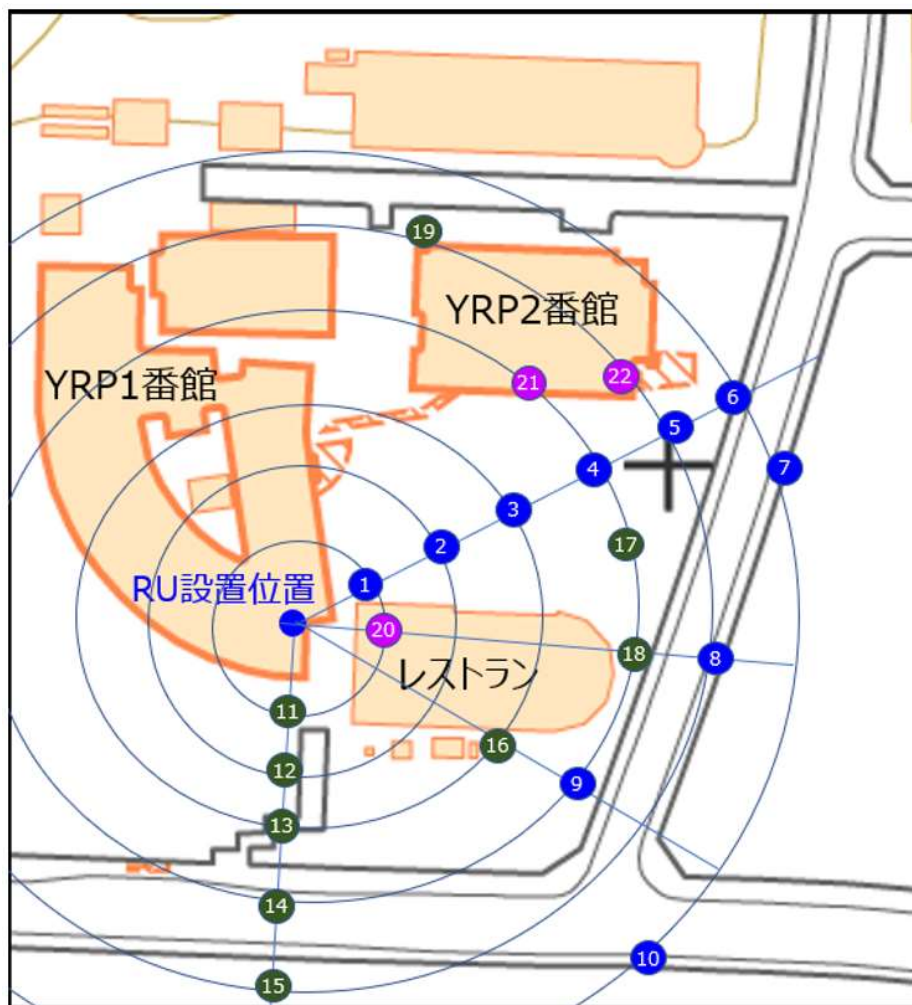


図 3.3-6 テストベッド環境での測定ポイント図 ※
※出展 国土地理院

見通し内、見通し外、屋内(建屋内)の測定に加え、図 3.3-4 に記載の基地局のカバーエリア(-84.6dBm)地点での電力も測定した。測定にあたっては、図 3.3-5 の端末システムの移動範囲外であるため、端末システムでの測定ではなく、エリアテストを用いて受信電力の測定を行った。カバーエリア地点での測定ポイントを図 3.3-7 に示す。

29 無線基地局から発射された電波を受信し、その電波伝搬特性を評価する測定器



図 3.3-7 カバーエリア地点での測定ポイント

各ポイントでの受信電力は、端末システムが受信した電力値を、端末システムに接続した制御用 PC から制御コマンドを送ることで確認した。また、図 3.3-4 での測定とカバーエリア地点での測定に、図 3.3-8 に示すエリアテスタを使用して受信電力測定も行った。



図 3.3-8 アンリツ製 エリアテスタ ML8780A³⁰

30 <https://www.anritsu.com/ja-jp/test-measurement/products/ml8780a>

・計測地点の受信電力(SS-RSRP)

伝送遅延を計測する地点の受信電力(SS-RSRP)は、基地局から送信される電力を、端末システムを用いて計測した。また、参考として、エリアテストを用いた計測も行った。

端末システムを使った受信電力の測定は、端末システムに PC を接続し、PC 上で端末の受信電力をモニタした。測定系を以下に示す(図 3.3-9)。

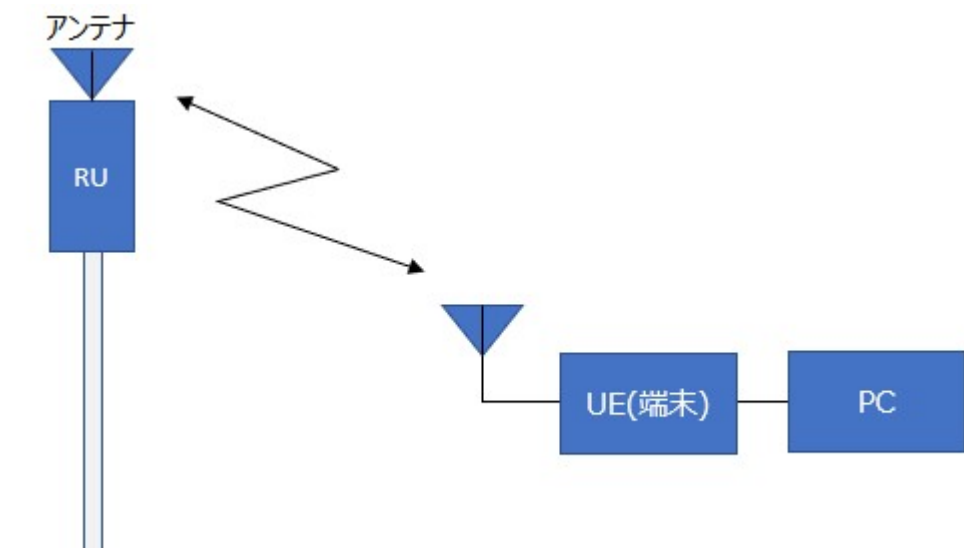


図 3.3-9 端末を用いた受信電力の測定系

【参考】 エリアテストを使用した測定系を以下に示す(図 3.3-10)。

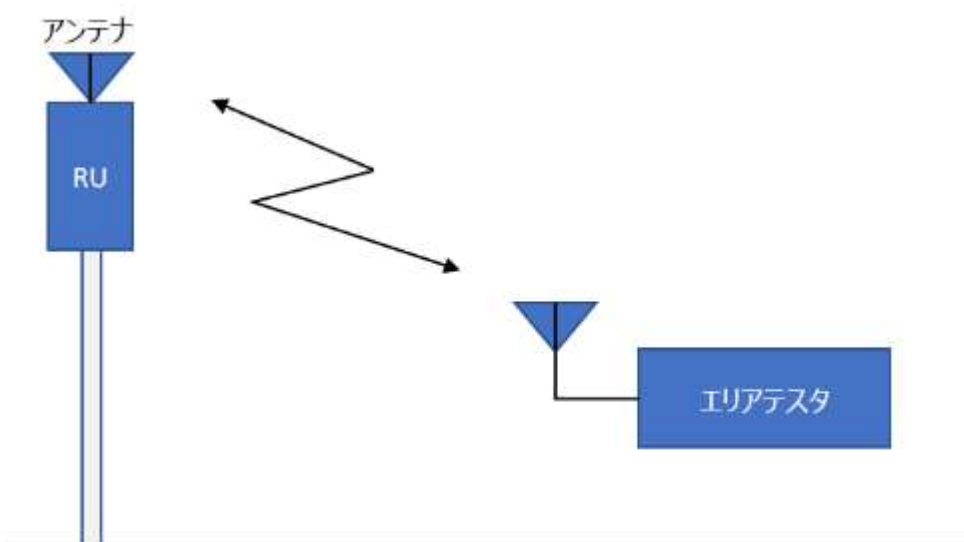


図 3.3-10 エリアテストを用いた受信電力の測定系

測定は一か所につき複数回測定し、平均値を求めた。

表中に記載の用語について以下で説明する。

- ・2D 距離：基地局と端末システム間の水平距離
- ・3D 距離：基地局が建屋屋上(地上高約 28m)に設置されているため、地上高と水平距離から算出した距離
- ・端末システム受信電力：端末システムで受信している RSRP を記載

図 3.3-11 に基地局からの端末システムまでの距離(2D 距離、3D 距離)の説明図を示す。

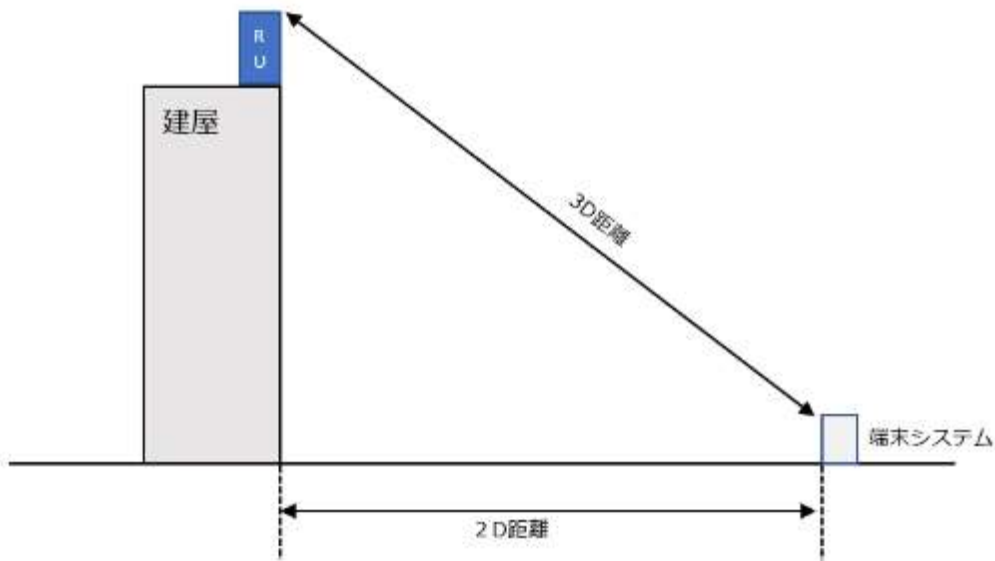


図 3.3-11 基地局から端末システムまで距離の説明図

見通し内測定地点の基地局からの距離と受信電力を表 3.3-5 に示す。代表的な測定ポイント環境を図 3.3-12 に示す。

表 3.3-5 見通し内測定地点の基地局からの距離と受信電力

測定ポイント	2D 距離[m]	3D 距離[m]	端末システム 受信電力[dBm]	エリアテスト 受信電力[dBm]
①	6.4	27.3	-83	-86
②	10.6	28.5	-76	-82
③	16.3	31.1	-73	-80
④	20.5	33.5	-75	-86
⑤	26.4	37.4	-72	-81
⑥	30.9	40.7	-75	-86
⑦	31.6	41.3	-74	-81
⑧	26.4	37.4	-80	-86
⑨	22.1	34.5	-84	-84
⑩	31.7	41.3	-83	-86

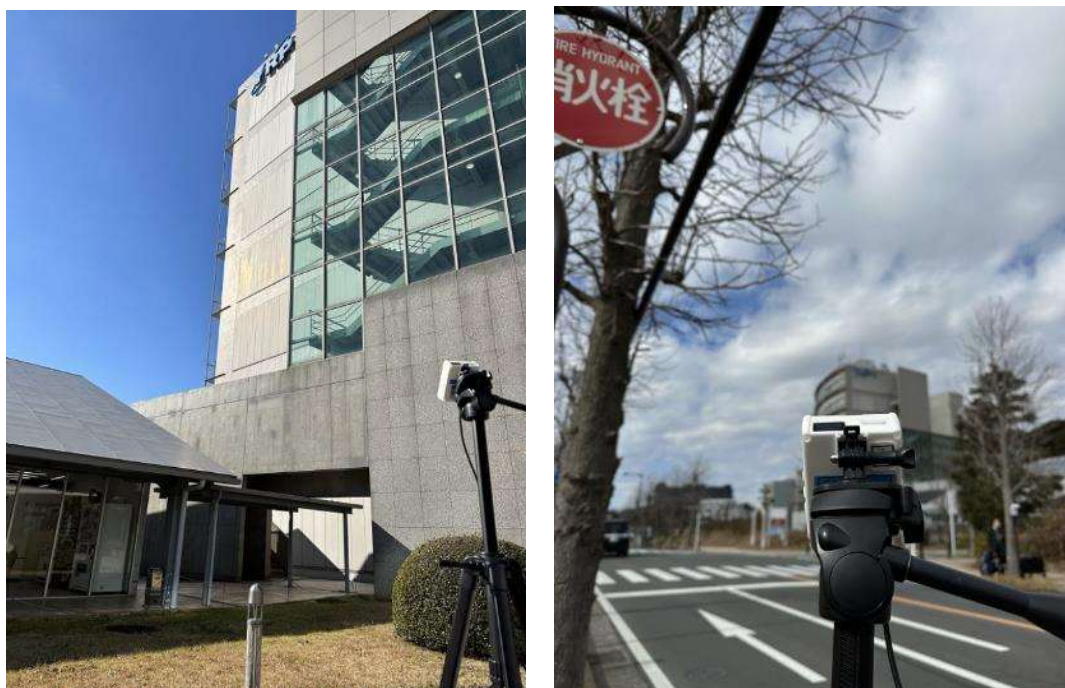


図 3.3-12 左：測定ポイント①、右：測定ポイント⑩の環境

見通し外測定地点の基地局からの距離と受信電力を表 3.3-6 に示す。代表的な測定ポイント環境を図 3.3-13 に示す。

表 3.3-6 見通し外測定地点の基地局からの距離と受信電力

測定 ポイント	2D 距離[m]	3D 距離[m]	端末システム 受信電力[dBm]	エリアテスト 受信電力[dBm]
⑪	5.6	27.1	-101	-109
⑫	8.9	28.0	-99	-102
⑬	13.5	29.7	-99	-106
⑭	16.8	31.4	-98	-106
⑮	21.3	34.0	-100	-107
⑯	12.8	29.4	-96	-92
⑰	21.5	34.1	-85	-91
⑱	20.1	33.3	-93	-95
⑲	26.9	37.7	-110	-119



図 3.3-13 左：測定ポイント⑪、右：測定ポイント⑱の環境

建屋内測定地点の基地局からの距離と受信電力を表 3.3-7 に示す。代表的な測定ポイント環境を図 3.3-14 に示す。

表 3.3-7 建屋内測定地点の基地局からの距離と受信電力

測定ポイント	2D 距離[m]	3D 距離[m]	端末システム 受信電力[dBm]	エリアテスト 受信電力[dBm]
⑳	5.5	27.1	-99	-103
㉑	21.3	34.0	-86	-85
㉒	24.6	36.2	-84	-95



図 3.3-14 左：測定ポイント⑳、右：測定ポイント㉑の環境

カバーエリア地点の基地局からの距離と受信電力を表 3.3-8 に示す。代表的な測定ポイント環境を図 3.3-15 に示す。

表 3.3-8 カバーエリア地点の基地局からの距離と受信電力

測定ポイント	2D 距離[m]	3D 距離[m]	エリアテスト 受信電力[dBm]
⑮	21.3	34.0	-109
㉓	42.5	50.1	-102
㉔	120.7	123.5	-106



図 3.3-15 左：測定ポイント⑳、右：測定ポイント㉑の環境

・ 伝送スループット測定

伝送スループットの測定系を以下示す(図 3.3-16)。

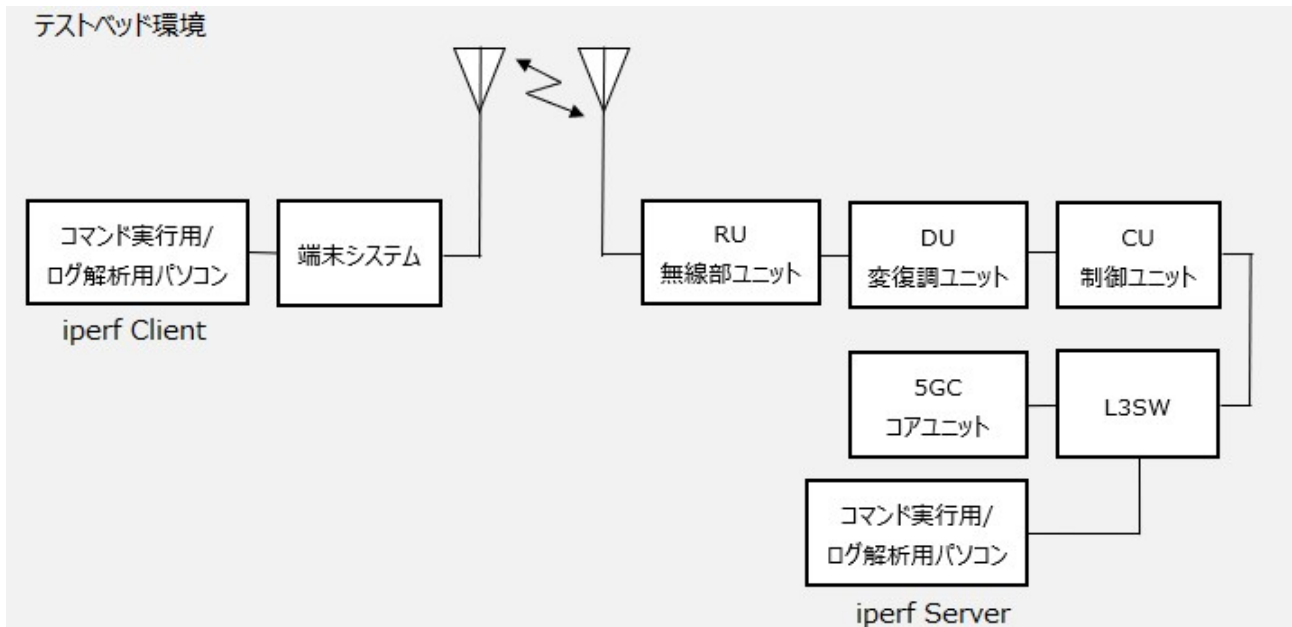


図 3.3-16 伝送スループットの測定系

端末システム下位側及び 5G コアが接続されている L3 スイッチにそれぞれ測定用 PC を接続し、iperf により DL 及び UL のスループットを測定した。

スループット測定に使用した端末及び測定用 PC を以下に示す(図 3.3-17)。



図 3.3-17 スループット測定に使用した端末及び PC

テストベッドでの測定の様子を以下に示す(図 3.3-18、図 3.3-19)。



図 3.3-18 テストベッドでの測定の様子 (1)



図 3.3-19 テストベッドでの測定の様子 (2)

・伝送遅延の計測

伝送遅延の測定系を以下に示す(図 3.3-20)。

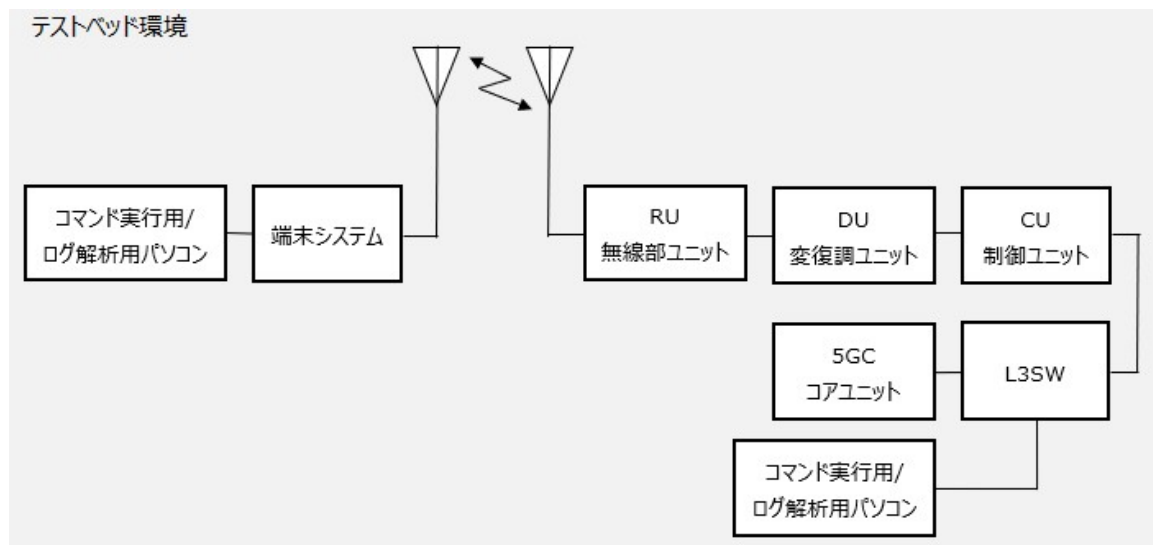


図 3.3-20 伝送遅延の測定系

ping コマンドを用いて、端末システム・サーバ間の遅延時間を複数回計測した。PC での ping 実行時の画面例を以下に示す(図 3.3-21)。

```
10.149.142.11 に ping を送信しています 32 バイトのデータ:
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =20ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =20ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =18ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =18ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =18ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =20ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 からの応答: バイト数 =32 時間 =19ms TTL=123
10.149.142.11 の ping 統計:
   パケット数: 送信 = 19、受信 = 19、損失 = 0 (0% の損失)、
   ラウンドトリップの概算時間 (ミリ秒):
     最小 = 18ms、最大 = 20ms、平均 = 19ms
Ctrl+C
^C
^C
```

図 3.3-21 ping 実行時の画面例

・テストベッド環境での事前接続検証

本テストベッドの実証時期は令和 5 年1月中旬から実施予定であったが、同時期に、同じ場所で国立研究開発法人情報通信研究機構が新規の別実証を実施していた。

新規実証の基地局の立ち上げ及び実証状況により、本実証でのテストベッド使用期間が十分に確保できないことが懸念された。そのため、当初予定にはなかったが、実証時にスムーズに測定を行うため、実証前に、テストベッド環境にてケーブル接続で接続検証及び測定系の検証を実施した。事前検証では、端末システムと使用する基地局との接続確認をすると共に、ケーブル接続時のスループットを確認することで、テストベッド実証時に測定するスループットの最大値の確認を行った。

3.3.4 実証結果及び考察

(1) ラボ環境での測定結果

本章では、実証の結果について記載する。なお、掲載しているデータは各種認可に対する根拠データ、設計目標に対するデータである。また、結果の図表に記載されている用語について以下で説明する。

- Band : 表 2.3-1 に端末システムの対応バンドを記載している。本章に記載している n79 は、ローカル 5G バンド(4.6GHz~4.9GHz 帯)を示す。
- Band Width(帯域幅) : 使用する周波数の幅(周波数の範囲)。使用出来る帯域幅はバンド毎に異なる。 5G システムの場合は最大 100MHz である。
- Freq : 測定した周波数
- ARFCN : Absolute radio-frequency channel number の略で、絶対無線周波数チャンネル番号のことで、周波数帯と、具体的な周波数をチャンネル番号で示したもの。LTE では EARFCN、5G NR では NR-ARFCN と呼ばれるが、本章では ARFCN と記載する。
- Modulation : 変調方式のことで、一次変調方式と二次変調方式とに分かれる。5G 通信で 사용되는一次変調方式には次のものがある。
 $\pi/2$ -BPSK,BPSK,QPSK,16QAM,64QAM,256QAM
5G における二次変調方式としては、CP-OFDM、DFTS-OFDM がある。OFDM は Orthogonal Frequency Division Multiplexing の略で、直交周波数分割多重を意味する。
 CP-OFDM : Cyclic Prefix-OFDM の略で巡回プレフィックス直交周波数分割多重化方式。ダウンリンク向けに使用される。
 DFT-S-OFDM : Discrete Fourier Transform-Spread-OFDM の略で、離散フーリエ変換スプレッド直交周波数分割多重方式。アップリンク向けに使用される。
- SCS : Subcarrier Spacing の略で、サブキャリア間隔のことである。LTE では 15kHz のみであるが、5G では 15kHz に加えて、30kHz、60kHz、120kHz、240kHz となっている。このうち、n77,n78,n79 の Sub6 帯で使用するものは、15kHz、30kHz、60kHz である。
- RB Allocation : リソースブロック配置のことで、RB は 3GPP で規定された 4G-LTE、5G 通信での基本単位となる。

ラボ環境での実証に使用した RB 配置条件での送信波形例を以下に示す(図 3.3-22)。

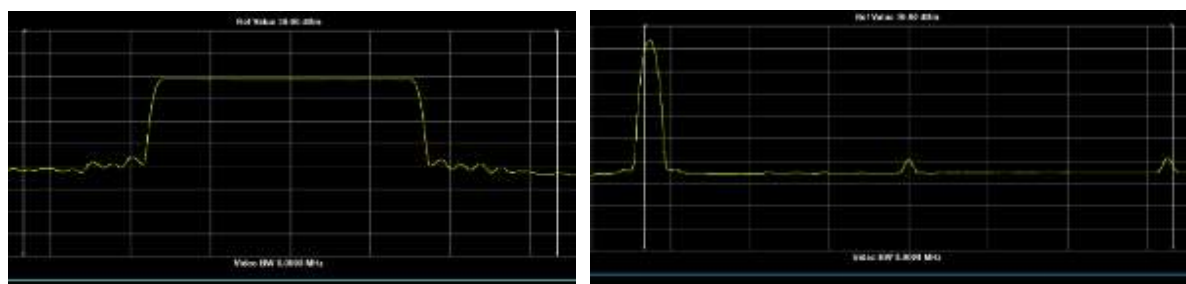


図 3.3-22 左 : InnerFull の送信波形例 右 : Inner1RB Left の送信波形例

1) ケーブル接続測定結果

・無線回路送信性能

n79 の最大送信電力の温度特性を以下に示す。

測定周波数は 4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHz の 3 種類とし、グラフには代表例として QPSK 時のデータを示す。RB(リソースブロック)の配置毎に 3 種類掲載する。

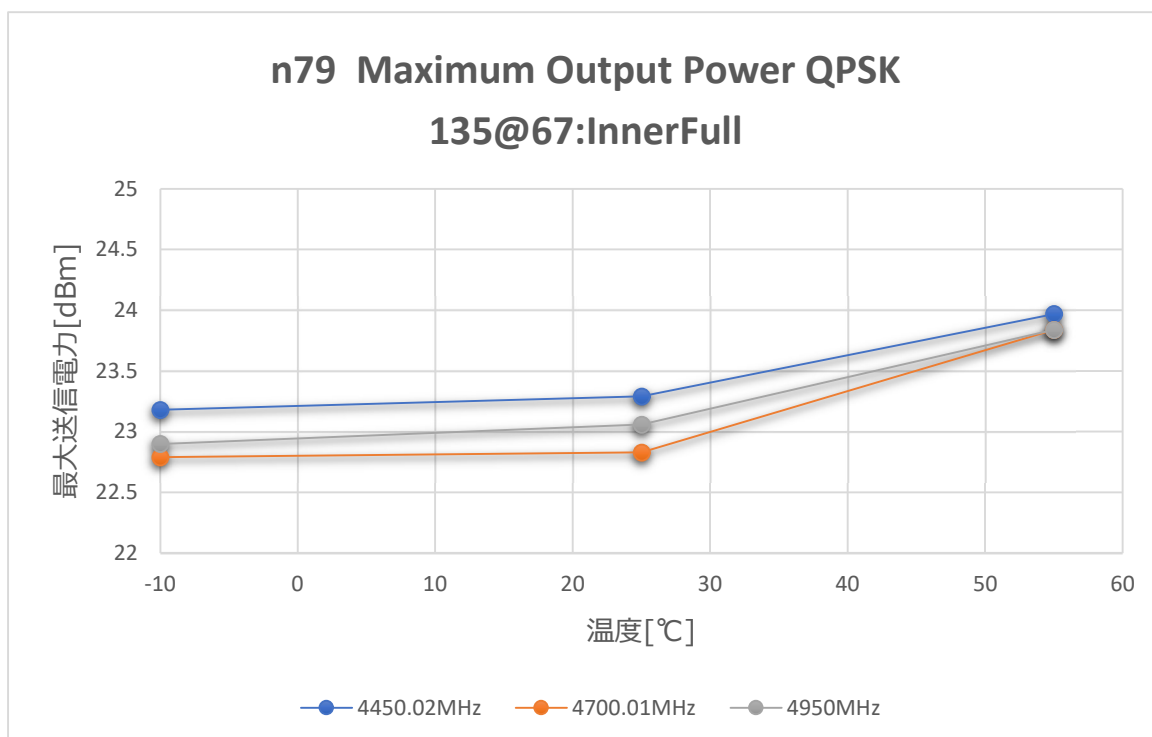


図 3.3-23 n79 最大送信電力 QPSK RB=InnerFull

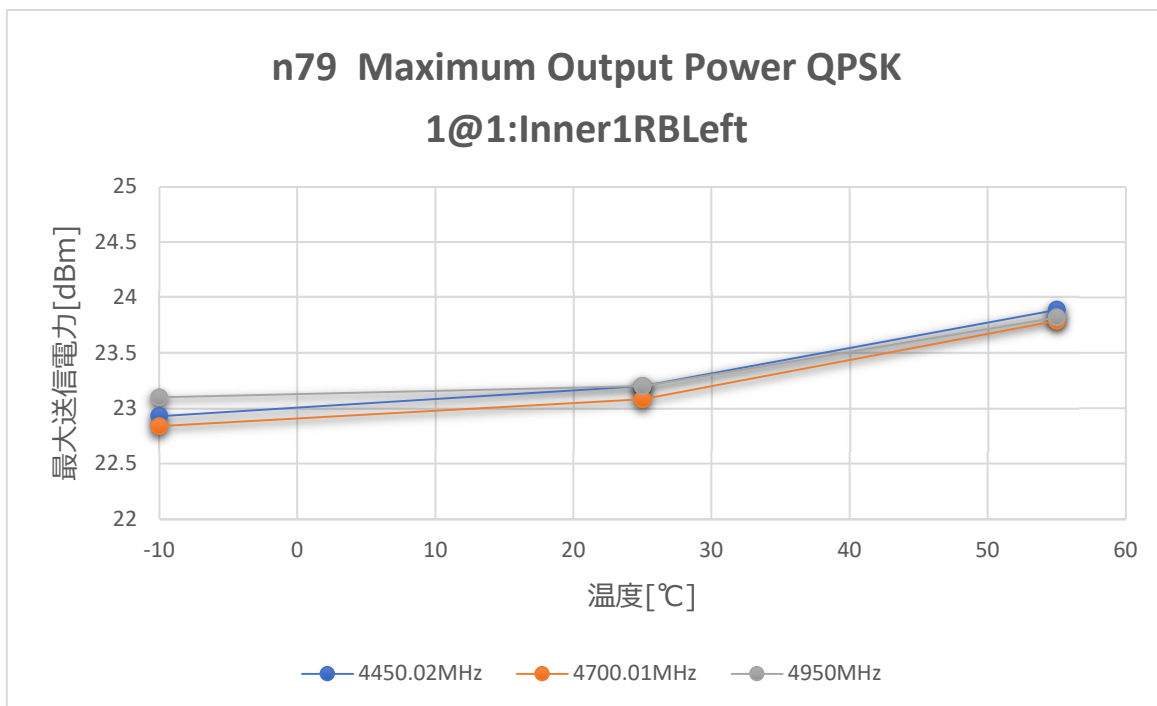


図 3.3-24 n79 最大送信電力 QPSK RB=Inner1RBLeft

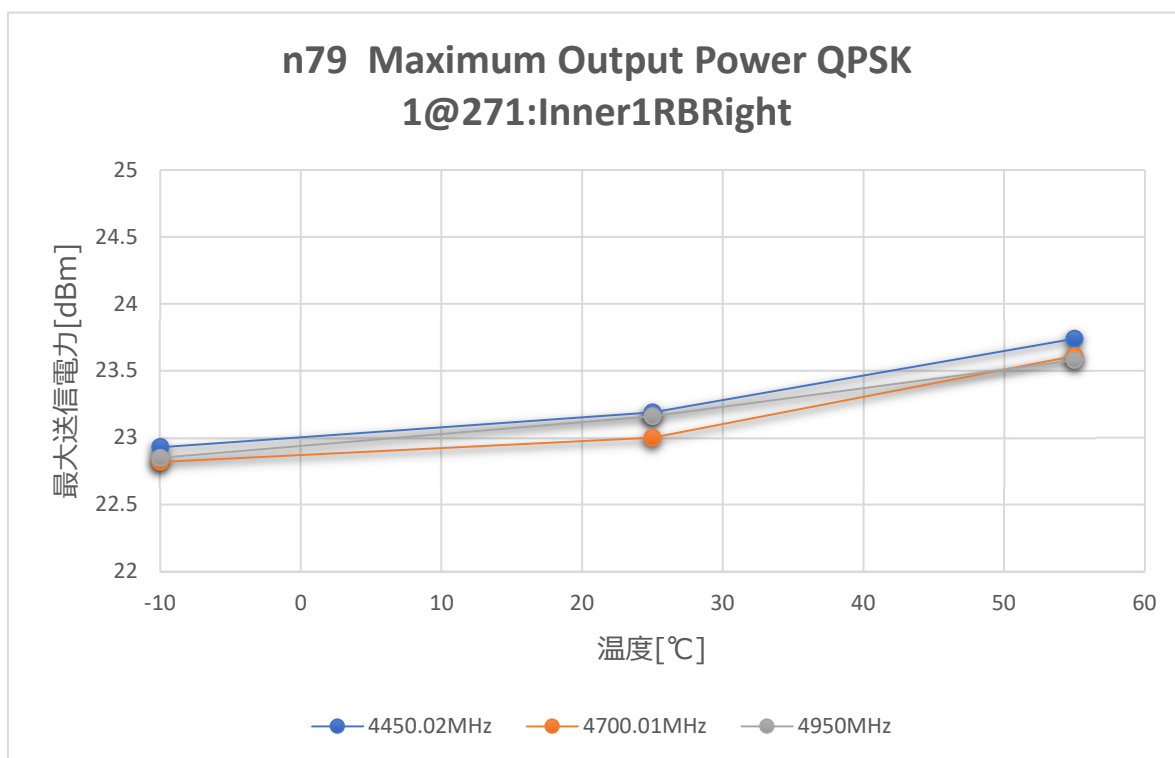


図 3.3-25 n79 最大送信電力 QPSK RB=Inner1RBRight

高温時の送信電力が高めではあるが、電波法の基準内であり、問題ないことを確認した。

高温時送信電力については、他の特性も参考にしながら、商用化に向けてファームウェアの変更を検討する。

25℃環境での n79 の最大送信電力の詳細データを以下に示す(表 3.3-9)。グラフには無い変調方式時のデータも掲載する。

表 3.3-9 【詳細データ】 Maximum Output Power (n79) 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.3	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.2	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.3	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.2	dBm

-10℃環境での n79 の最大送信電力の詳細データを以下に示す(表 3.3-10)。グラフには無い変調方式時のデータも掲載する。

表 3.3-10 【詳細データ】 Maximum Output Power (n79) 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.7	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.1	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.9	dBm

55℃環境での n79 の最大送信電力の詳細データを以下に示す(表 3.3-11)。グラフには無い変調方式時のデータも掲載する。

表 3.3-11 【詳細データ】 Maximum Output Power(n79) 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.4	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.7	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	135@67:InnerFull	24.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.9	dBm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.7	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.6	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.4	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.6	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.6	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.6	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.6	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.7	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.8	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.6	dBm

n79 の最大送信電力が各周波数、変調方式、リソースブロック配置において電波法基準内であることを確認した。高温時に送信電力が高めになる事象は、他の条件においても同様のため、商用化に向けて改善を検討していく。

電波法取得データ確認として、25℃環境での n77 の最大送信電力の詳細データを以下に示す
 (表 3.3-12)。測定周波数は 3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の 3 種類とした。

表 3.3-12 Maximum Output Power (n77) 温度 : 25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.1	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.8	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.9	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.7	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm

電波法取得データ確認として、-10℃環境での n77 の最大送信電力の詳細データを以下に示す
 (表 3.3-13)。測定周波数は 3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の 3 種類とした。

表 3.3-13 Maximum Output Power(n77) 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.1	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.7	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.7	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.7	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.9	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.8	dBm

電波法取得データ確認として、55℃環境での n77 の最大送信電力の詳細データを以下に示す（表 3.3-14）。測定周波数は 3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の 3 種類とした。

表 3.3-14 Maximum Output Power (n77) 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.9	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.6	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.9	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.3	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.6	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.8	dBm

n77 の最大送信電力が各周波数、変調方式、リソースブロック配置において電波法基準内であることを確認した。高温時に送信電力が高めになる事象は、n79 と同様であるため、商用化に向けて改善の検討を行う。

電波法取得データ確認として、25℃環境での n78 の最大送信電力の詳細データを以下に示す（表 3.3-15）。

測定周波数は 3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の 3 種類とした。

表 3.3-15 Maximum Output Power (n78) 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.3	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.7	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.7	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.7	dBm

電波法取得データ確認として、-10℃環境での n78 の最大送信電力の詳細データを以下に示す
 (表 3.3-16)。測定周波数は 3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の 3 種類とした。

表 3.3-16 Maximum Output Power(n78) 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.8	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.7	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.8	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.9	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	22.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	22.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.4	dBm

電波法取得データ確認として、55℃環境での n78 の最大送信電力の詳細データを以下に示す（表 3.3-17）。測定周波数は 3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の 3 種類とした。

表 3.3-17 Maximum Output Power (n78) 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	Modulation	RB Allocation	Value	Unit
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.3	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	22.9	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	22.7	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	135@67:InnerFull	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	22.6	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@1:Inner1RBLeft	23.2	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	PI2BPSK_0	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	135@67:InnerFull	23.4	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@1:Inner1RBLeft	23.1	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	QPSK_2	1@271:Inner1RBRight	23.1	dBm

n78 の最大送信電力が各周波数、変調方式、リソースブロック配置において電波法基準内であることを確認した。高温時に送信電力が高めになる事象は、n79 と同様であるため、商用化に向けて改善の検討を行う。

n79 の周波数偏差の温度特性を以下に示す(図 3.3-26)。測定周波数は 4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHz の 3 種類とした。変調方式は QPSK。

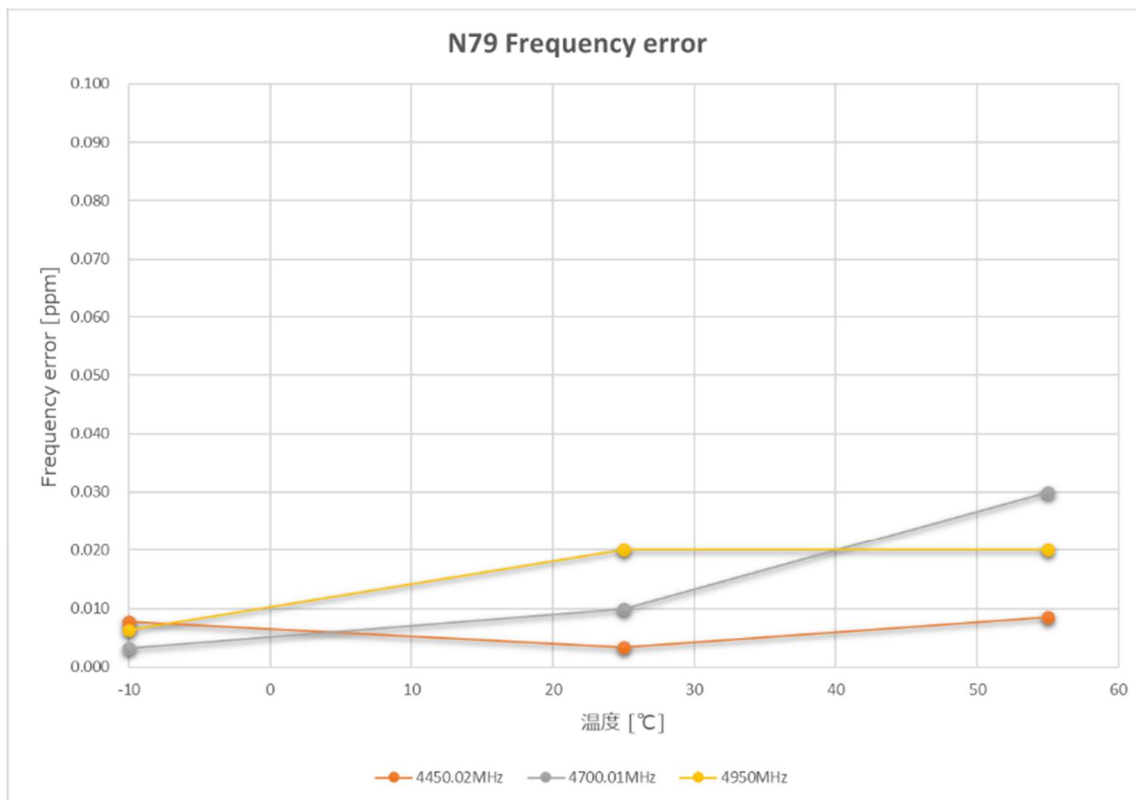


図 3.3-26 n79 周波数偏差

n79 周波数偏差が、各周波数、温度において電波法基準内であることを確認した。

25℃環境での周波数偏差の詳細データを以下に示す(表 3.3-18)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類。

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-18 周波数偏差【詳細データ】 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Condition	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.002	ppm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	5.75	Hz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.003	ppm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	-12.41	Hz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.000	ppm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	-0.83	Hz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.001	ppm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	2.06	Hz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.005	ppm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	-19.01	Hz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.008	ppm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	-30.28	Hz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.003	ppm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	-15.35	Hz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.010	ppm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	-53.69	Hz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.020	ppm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	-81.41	Hz

-10℃環境での周波数偏差の詳細データを以下に示す(表 3.3-19)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-19 周波数偏差【詳細データ】 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Condition	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.010	ppm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	40.92	Hz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.002	ppm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	6.36	Hz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.001	ppm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	-5.59	Hz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.005	ppm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	-16.98	Hz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.002	ppm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	6.24	Hz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.005	ppm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	-18.33	Hz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.008	ppm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	-34.74	Hz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.003	ppm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	15.18	Hz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.006	ppm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	31.4	Hz

55℃環境での周波数偏差の詳細データを以下に示す(表 3.3-20)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-20 周波数偏差【詳細データ】 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Condition	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.040	ppm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.1dBm	128.59	Hz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.004	ppm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.1dBm	13.25	Hz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	0.003	ppm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL Power: -84.1dBm	-11.63	Hz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.020	ppm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	50.93	Hz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.002	ppm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL Power: -84.6dBm	8.27	Hz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.008	ppm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL Power: -84.6dBm	28.47	Hz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.009	ppm
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL Power: -84.6dBm	37.83	Hz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.030	ppm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL Power: -84.6dBm	118.47	Hz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	0.020	ppm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL Power: -84.6dBm	91.78	Hz

n77,n78,n79 バンドの周波数偏差が、各温度、周波数において電波法基準内であることを確認した。

n79 の占有帯域幅の温度特性を以下に示す(図 3.3-27)。測定周波数は 4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHz の 3 種類とした。変調方式は QPSK。

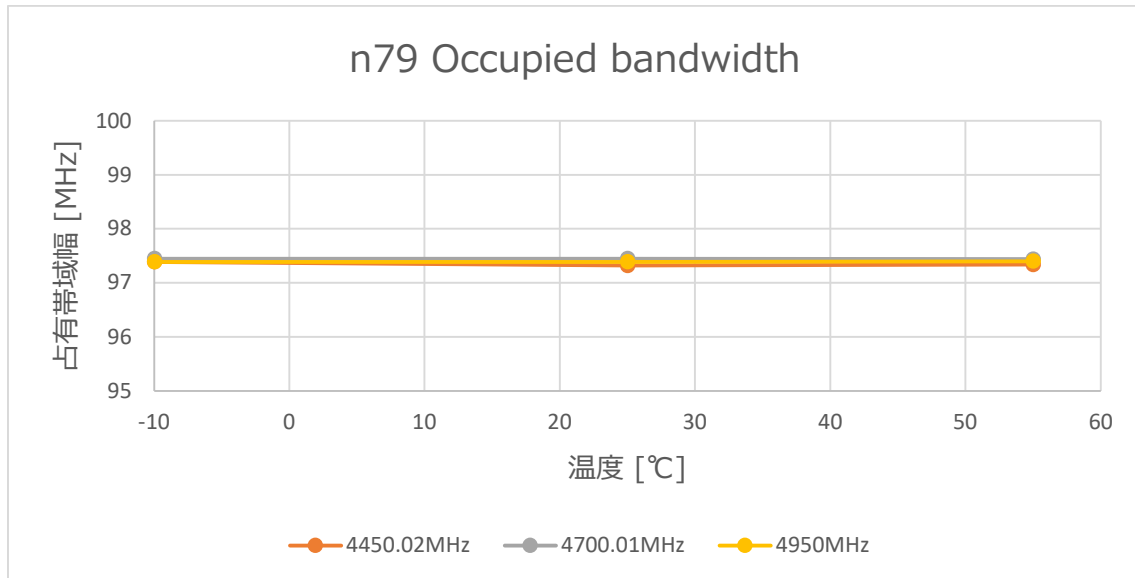


図 3.3-27 n79 占有帯域幅

25°C環境での占有帯域幅の詳細データを以下に示す(表 3.3-21)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の 3 種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の 3 種類とした。

表 3.3-21 占有帯域幅【詳細データ】 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.34	MHz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	273@0:OuterFull	97.34	MHz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	273@0:OuterFull	97.33	MHz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.34	MHz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	273@0:OuterFull	97.45	MHz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	273@0:OuterFull	97.39	MHz

-10℃環境での占有帯域幅の詳細データを以下に示す(表 3.3-22)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の 3 種類、
n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の 3 種類とした。

表 3.3-22 占有帯域幅【詳細データ】 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.27	MHz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.37	MHz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.27	MHz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.38	MHz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	273@0:OuterFull	97.39	MHz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	273@0:OuterFull	97.45	MHz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	273@0:OuterFull	97.39	MHz

55℃環境での占有帯域幅の詳細データを以下に示す(表 3.3-23)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-23 占有帯域幅【詳細データ】 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	RB Allocation	Value	Unit
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	273@0:OuterFull	97.37	MHz
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	273@0:OuterFull	97.32	MHz
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	273@0:OuterFull	97.33	MHz
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	273@0:OuterFull	97.33	MHz
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	273@0:OuterFull	97.34	MHz
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	273@0:OuterFull	97.44	MHz
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	273@0:OuterFull	97.4	MHz

n77,78,79 において占有帯域幅が電波法基準内であることを確認した。

電波法上の占有帯域幅の許容値は 100MHz であるが、ローカル 5G の無線局免許としては占有帯域幅 99.9MHz に実際の占有帯域幅が収まっていることが必要となる。

全ての測定において、占有帯域幅が 99.9MHz に収まっていることを確認した。

・無線回路受信性能

電波法は無線通信の混信を防ぎ、電波の効率的な利用を確保するために必要な法律で、送信特性に関する基準が設けられているが、本実証においては、端末システムの受信性能も重要な要素となるため、受信回路性能に関しても報告する。

n79 の受信感度の温度特性を以下に示す(図 3.3-28)。本結果ではアンテナ 1 本(1Rx)での結果に加えて、アンテナ 2 本(2Rx)、アンテナ 4 本(4Rx)の結果を示す。

測定周波数は4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHzの3種類とした。変調方式はQPSK、帯域幅は100MHzとした。

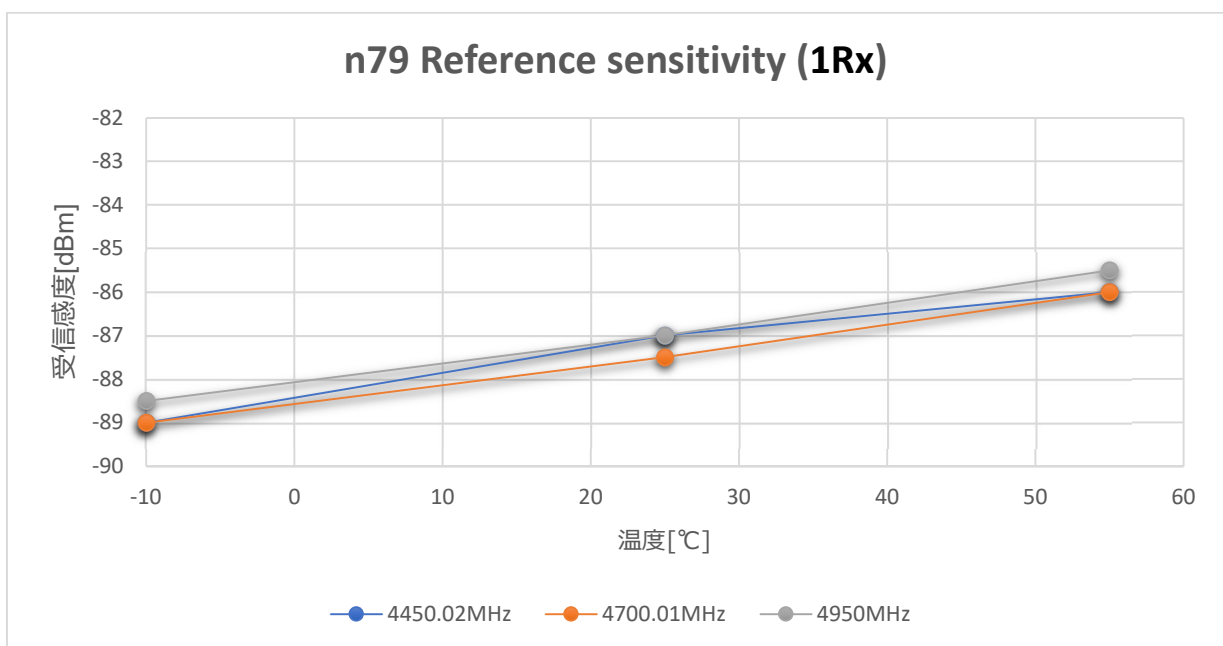


図 3.3-28 n79 受信感度(1Rx)の温度特性

各温度、周波数において問題ない結果を得ており、テストベッド実証においても問題ないレベルである。

25℃環境での受信感度(1Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-24)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、
n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-24 受信感度(1Rx)詳細データ 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.5	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.5	dBm

-10℃環境での受信感度(1Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-25)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、
n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-25 受信感度(1Rx)詳細データ 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm

55℃環境での受信感度(1Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-26)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-26 受信感度(1Rx)詳細データ 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-85.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-87.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-86.5	dBm

n77,n78 においても、各温度、周波数において、n79 同等の結果を得ている。全国 5G 機種と比較しても問題ないレベルとなっている。

n79 の受信感度(2Rx)の温度特性を以下に示す(図 3.3-29)。

測定周波数は4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHzの3種類とした。変調方式はQPSK、帯域幅は100MHzとした。

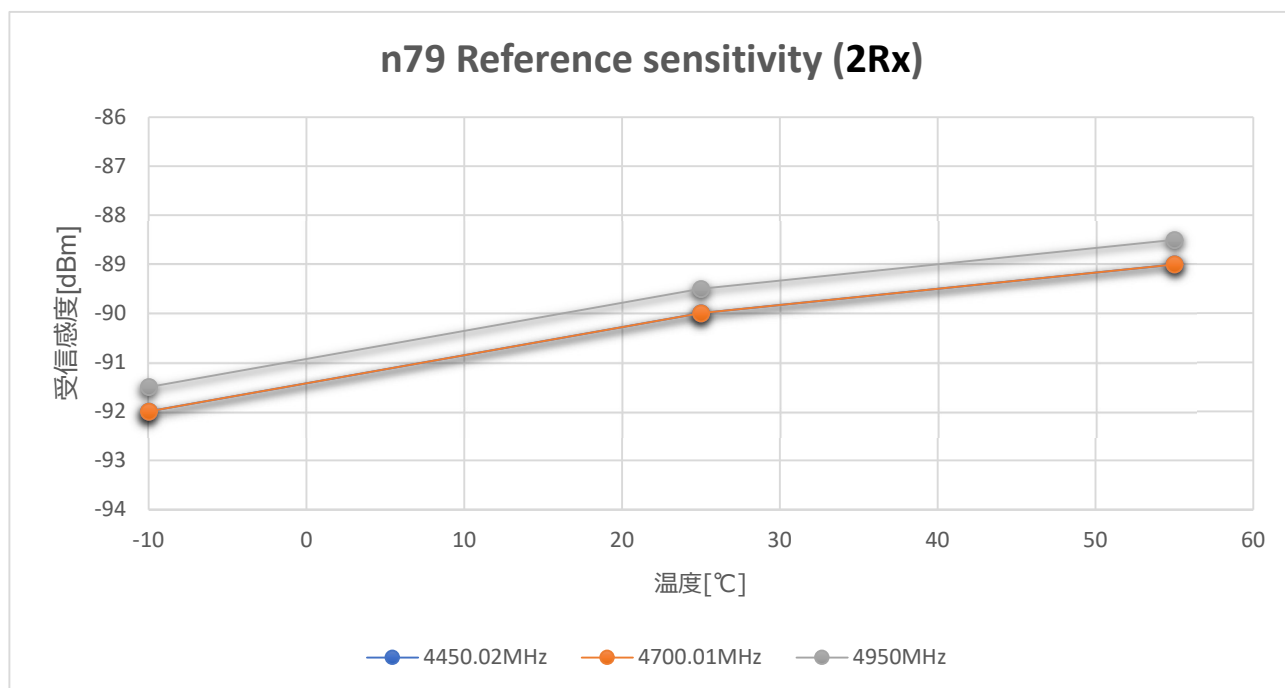


図 3.3-29 n79 受信感度(2Rx)の温度特性

25℃環境での受信感度(2Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-27)。

測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-27 受信感度(2Rx)詳細データ 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-90.5	dBm

-10℃環境での受信感度(2Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-28)。

測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-28 受信感度(2Rx)詳細データ 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-91.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-91.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-91.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-91.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm

55℃環境での受信感度(2Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-29)。

測定バンドはn79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-29 受信感度(2Rx)詳細データ 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	DFT	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm

n79 の受信感度(4Rx)の温度特性を以下に示す(図 3.3-30)。

4Rx は本端末システムにおける受信時の最大の構成である。測定周波数は 4450.02MHz、4700.01MHz、4950MHz の 3 種類とし、変調方式は QPSK、帯域幅は 100MHz とした。

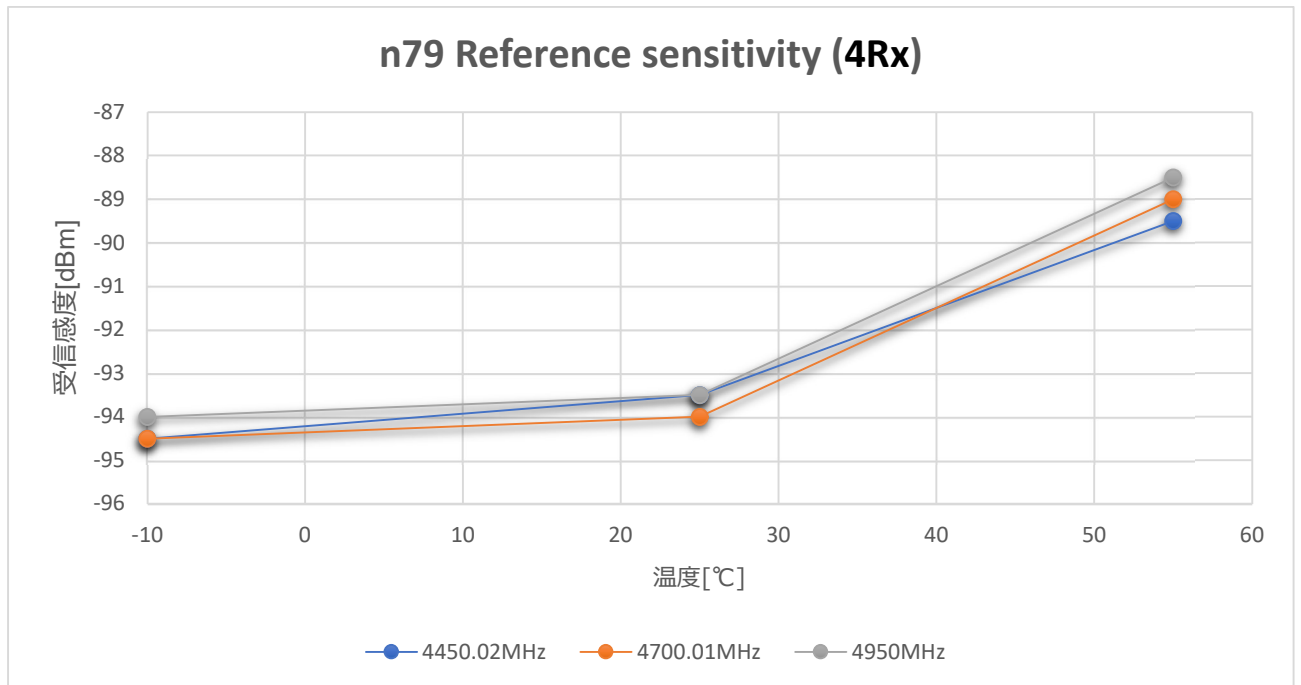


図 3.3-30 n79 の受信感度(4Rx)の温度特性

4Rx の構成では、4つのアンテナで受信しているため、他の構成に比べて良好な受信感度を得ている。テストベッド実証においては、この4Rx構成での通信となる。

低温、常温時に比べ高温時の受信感度の劣化が大きく見えているが、仮に高温時の値でも実証に対しては問題のないレベルとなっている。

ただし、受信感度の実力はダウンリンクのスループットにも影響するため、商用化にあたっては、高温時の劣化を抑止する策を検討していく。

25℃環境での受信感度(4Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-30)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 データも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、
n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-30 受信感度(4Rx)詳細データ 温度：25℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.5	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-92.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.0	dBm

-10℃環境での受信感度(4Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-31)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、
n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-31 受信感度(4Rx)詳細データ 温度：-10℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.5	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.5	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-93.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-94.0	dBm

55℃環境での受信感度(4Rx)の詳細データを以下に示す(表 3.3-32)。測定バンドは n79 の他、n77、n78 のデータも掲載する。

n77 の測定周波数は、3350.01MHz、3750MHz、4149.99MHz の3種類、

n78 の測定周波数は、3350.01MHz、3549.99MHz、3750MHz の3種類とした。

表 3.3-32 受信感度(4Rx)詳細データ 温度：55℃

Band	Bandwidth	SCS	ARFCN	Freq [MHz]	OFDM	Modulation	Value	Unit
n79	100MHz	30kHz	696668	4450.02	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.5	dBm
n79	100MHz	30kHz	713334	4700.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n79	100MHz	30kHz	730000	4950	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-88.5	dBm
n77	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n77	100MHz	30kHz	676666	4149.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	623334	3350.01	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm
n78	100MHz	30kHz	636666	3549.99	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.5	dBm
n78	100MHz	30kHz	650000	3750	CP	DL QPSK_4 UL QPSK_2	-89.0	dBm

n77,n78 の受信感度についても n79 同等の結果を得ており、問題のない結果である。

高温時の受信感度劣化の量も同等となっており、商用化に向けてはファームウェアでのチューニング含めて改善策の検討を行っていく。

・スループット性能

スループットは物理スループットと TCP/IP スループット両方を測定した。

それぞれ、DL(Downlink)、UL(Uplink)スループットに加え、同期方式、準同期方式でのスループットを測定した。DL スループットは端末システムに入力する受信電力(RSRP)を変化させていきながら測定し、UL スループットは端末システムに入力する受信電力(RSRP)を固定したまま、端末システムが送信する電力を変化させていきながら測定した。また、各測定は符号化率(MCS³¹)値を変えて測定した。

測定条件

- ・バンド : n79
- ・ARFCN : 723332
- ・DL/UL : DL 4x4、UL 2x2
- ・MCS : MCS=0、MCS=5、MCS=11、MCS=20、MCS=27

DL(準同期)時の TCP/IP スループット性能を以下に示す(図 3.3-31)。

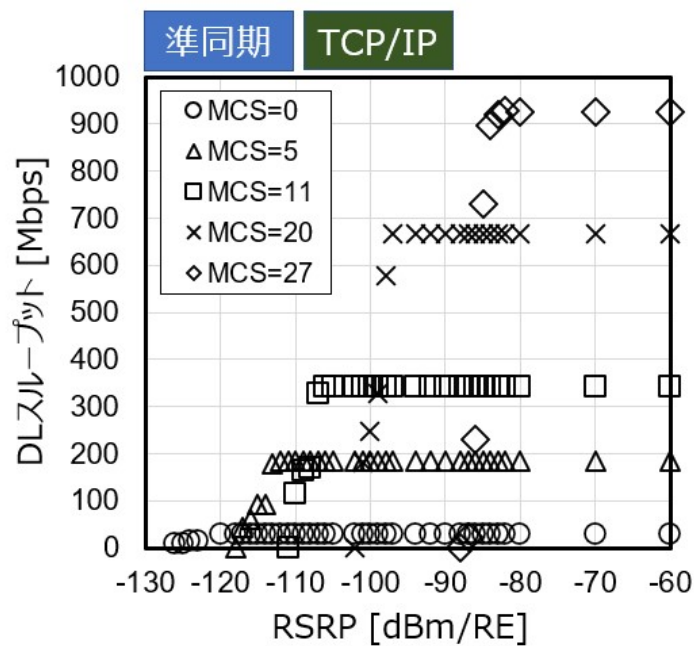


図 3.3-31 TCP/IP スループット性能 DL(準同期)

DL(準同期)時の物理スループット性能を以下に示す(図 3.3-32)。

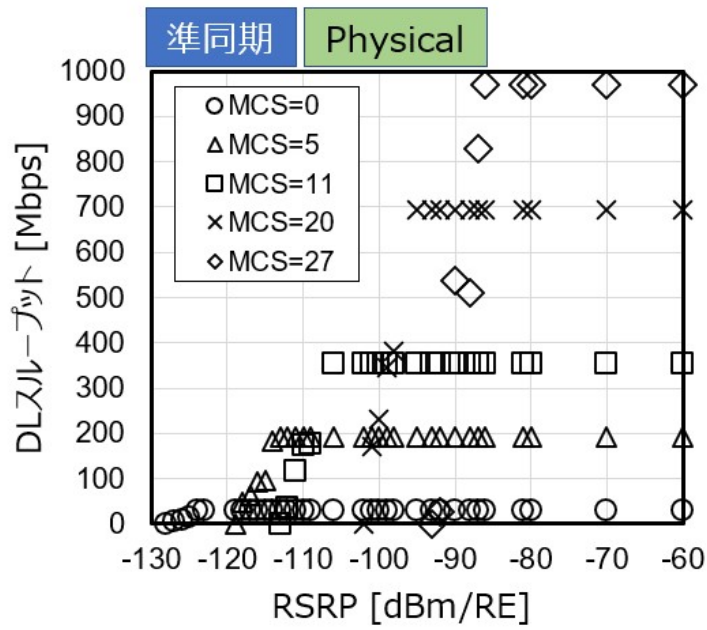


図 3.3-32 物理スループット性能 DL(準同期)

DL(同期)時の TCP/IP スループット性能を以下に示す(図 3.3-33)。

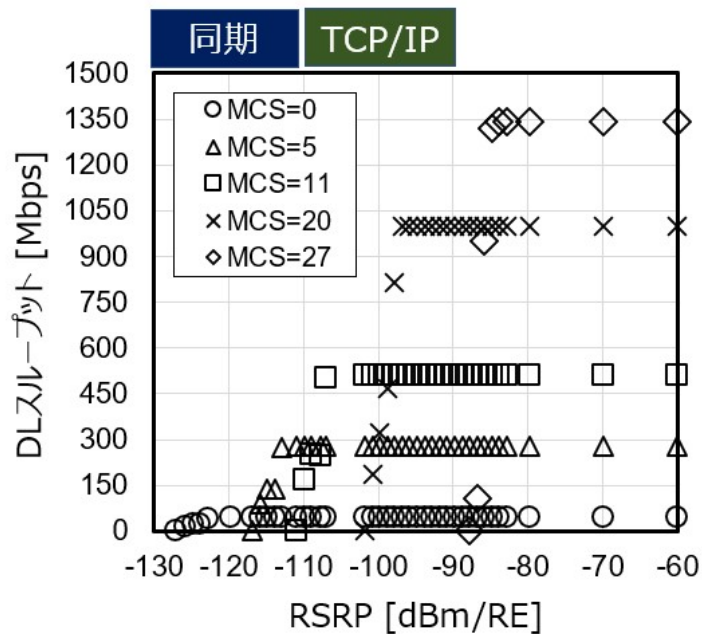


図 3.3-33 TCP/IP スループット性能 DL(同期)

DL(同期)時の物理スループット性能を以下に示す(図 3.3-34)。

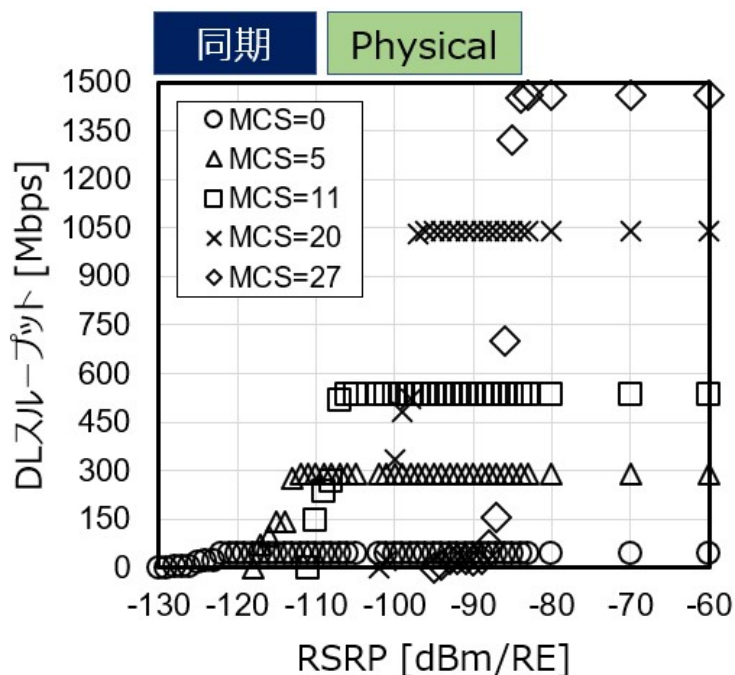


図 3.3-34 物理スループット性能 DL(同期)

Downlink スループットは、受信電力(RSRP)が-90~-80dBm 程度以上であれば最大のスループットになることが、本測定から分かった。実験室内における実証では、疑似基地局であるワイヤレステストセットに端末システムを接続してスループットを測定しているため、MCS の値を任意に設定することが出来る。しかし、テストベッドにおける実証においては、基地局に実装された制御によって MCS は自動で切り替わるため、端末システムから使用する MCS を制御することは出来ない。

そのため、当初の目的通り、本結果をテストベッド実証における参考値とする。

UL(準同期)時の TCP/IP スループット性能を以下に示す(図 3.3-35)。

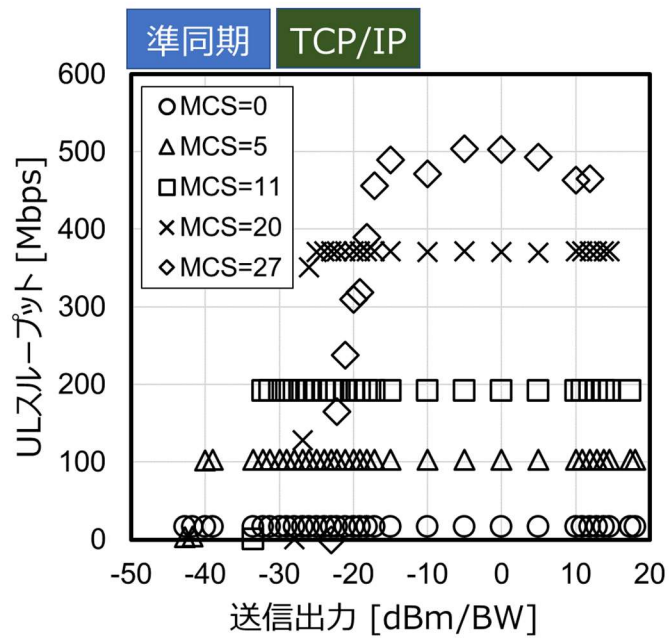


図 3.3-35 TCP/IP スループット性能 UL(準同期)

UL(準同期)時の物理スループット性能を以下に示す(図 3.3-36)。

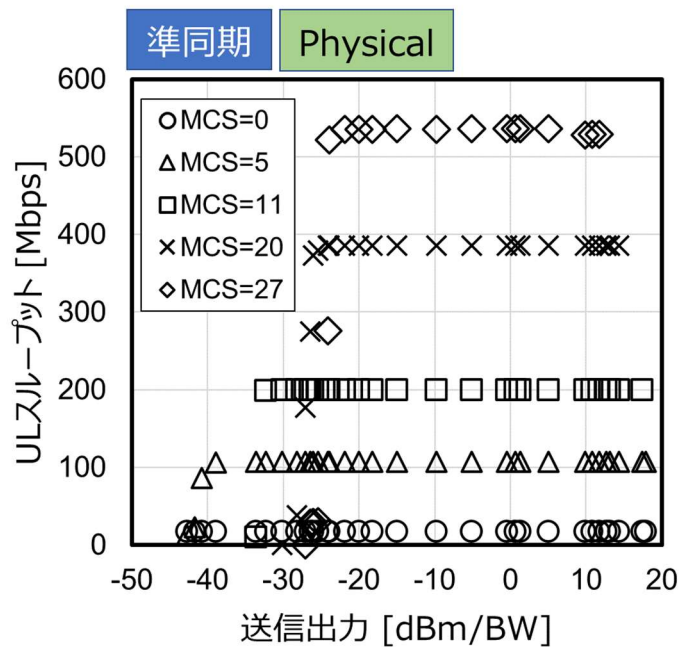


図 3.3-36 物理スループット性能 UL(準同期)

UL(同期)時の TCP/IP スループット性能を以下に示す(図 3.3-37)。

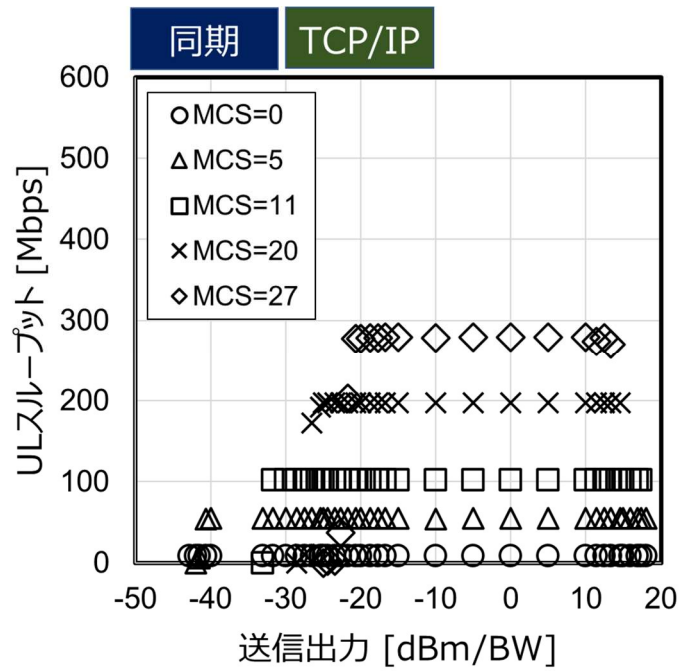


図 3.3-37 TCP/IP スループット性能 UL(同期)

UL(同期)時の物理スループット性能を以下に示す(図 3.3-38)。

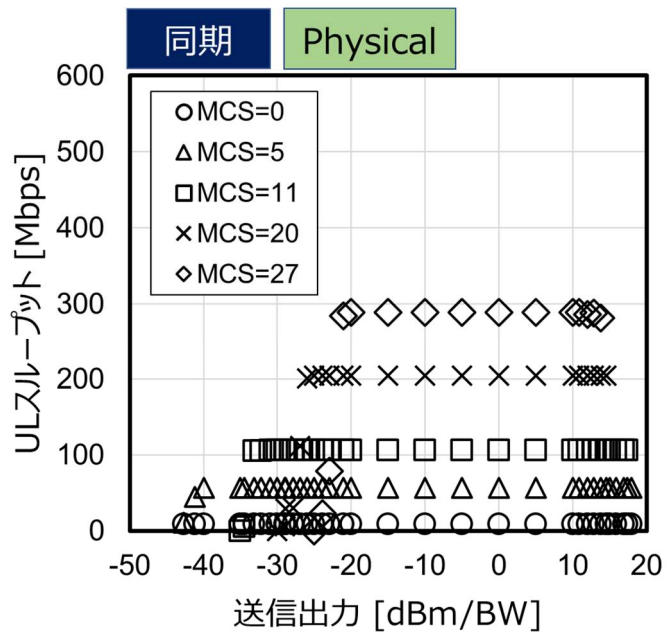


図 3.3-38 物理スループット性能 UL(同期)

Uplink スループットに関しては、-20dBm 程度の送信電力で最大のスループットとなる結果が得られた。

-20dBm という値は疑似基地局であるワイヤレステストセットの受信感度によるため、テストベッド環境において最大の Uplink スループットを出せる送信電力は基地局の受信感度と、基地局と端末システム間の伝搬損によって変わるが、本測定によって、ある一定の送信電力以降は最大の Uplink スループットを維持できることが分かった。

テストベッドで使用する基地局は準同期 TDD パターンに非対応のため、テストベッドでの Uplink 最大スループットの目安は、ラボにおける同期 TDD パターン時の測定値 290Mbps とする。Downlink スループットと同様に、ラボ実証では、ワイヤレステストセットを用いたため、テストベッド実証時の MCS は基地局制御で動作するため、本結果を参考値とする。

・ 伝送遅延

伝送遅延は、同期 TDD パターン方式、準同期 TDD パターン方式時の物理スループットと TCP/IP スループット測定時に合わせて確認した。DL 伝送遅延は端末システムに入力する受信電力(RSRP)を変化させていながらサーバ側から端末システムに ping を送り、UL 伝送遅延は端末システムに入力する受信電力(RSRP)を固定したまま、端末システムが送信する電力を変化させていながら端末システム側からサーバ側に ping を送り確認した。

また、これらを符号化率(MCS : Modulation and Coding Scheme)値を変えて測定した。

【測定条件】

- ・ バンド : n79
- ・ ARFCN : 723332
- ・ DL/UL : DL 4x4、UL 2x2
- ・ MCS : MCS=0、MCS=5、MCS=11、MCS=20、MCS=27

DL(準同期)時の TCP/IP スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-39)。

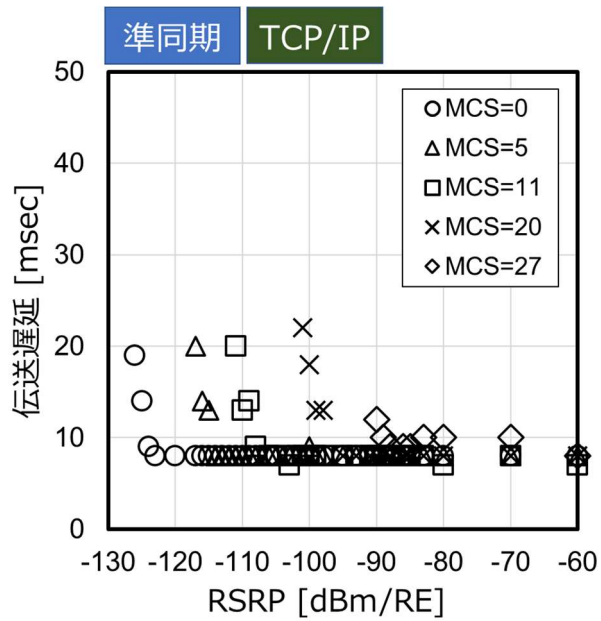


図 3.3-39 TCP/IP 伝送遅延 DL(準同期)

DL(準同期)物理スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-40)。

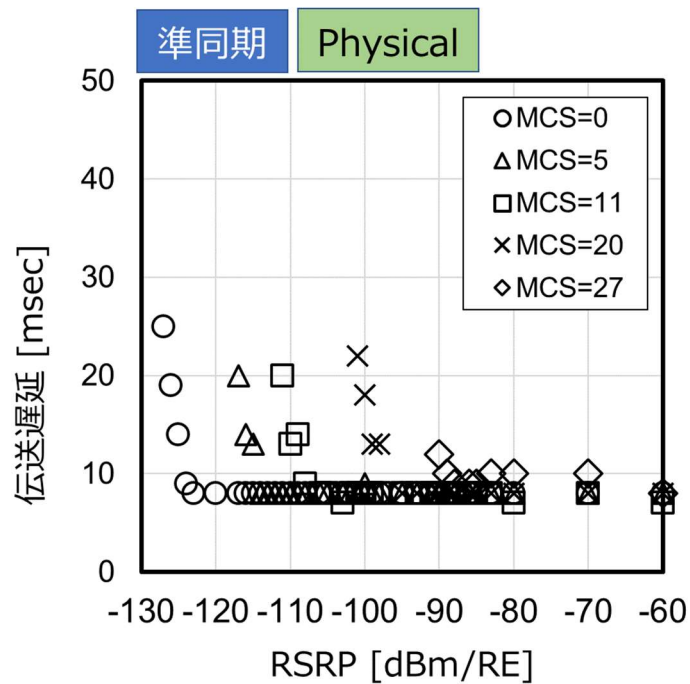


図 3.3-40 物理 伝送遅延 DL(準同期)

DL(同期)時の TCP/IP スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-41)。

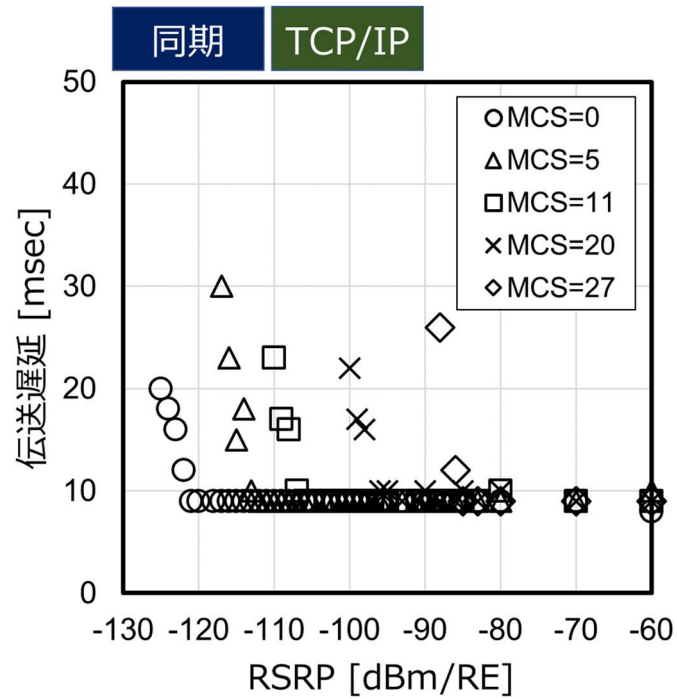


図 3.3-41 TCP/IP 伝送遅延 DL(同期)

DL(同期)時の物理スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-42)。

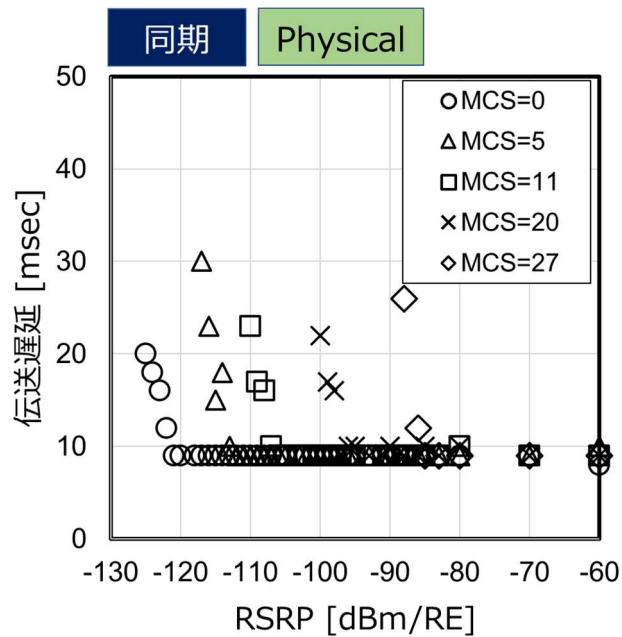


図 3.3-42 物理 伝送遅延 DL(同期)

ダウンリンクの伝送遅延は受信電力が-80dBm 以上の強電界環境であれば、MCS、同期、準同期によらず 10msec 程度で安定する結果が得られた。スループットが最大となる MCS=27 の場合、受信電力が-80dBm 程度以下になると、伝送遅延量が増加する結果となった。実験室環境において端末システムの受信電力やその時の MCS はワイヤレステストセットへの設定で任意の値に設定できるが、テストベッド環境では基地局の設定を変化させることができないため、テストベッドでの実証で伝送遅延の増加が見られた場合は、本結果を考慮する。

UL(準同期)時の TCP/IP スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-43)。

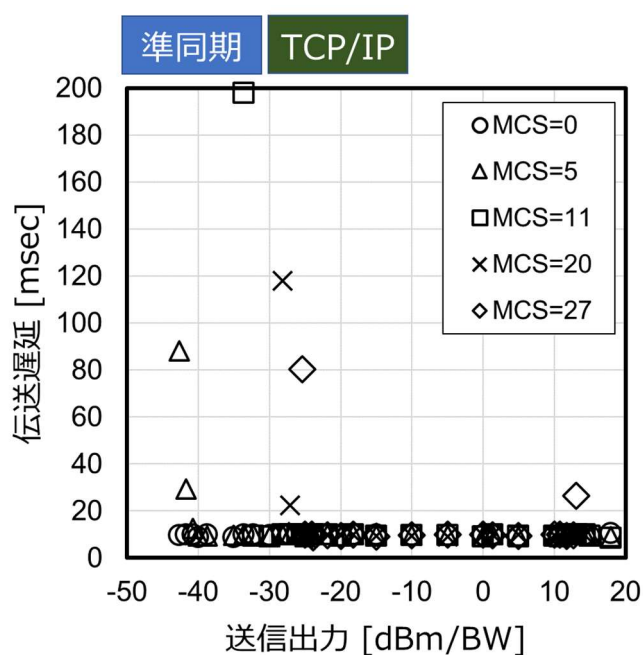


図 3.3-43 TCP/IP 伝送遅延 UL(準同期)

UL(準同期)時の物理スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-44)。

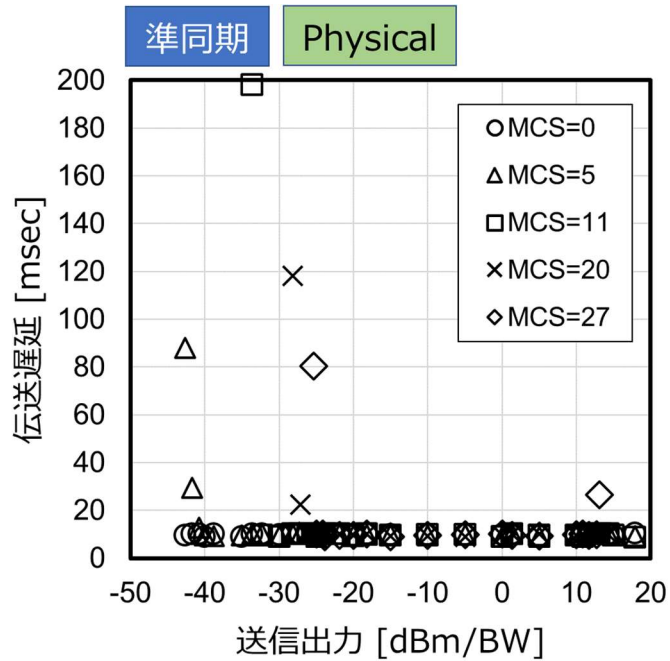


図 3.3-44 物理 伝送遅延 UL(準同期)

UL(同期)時の TCP/IP スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-45)。

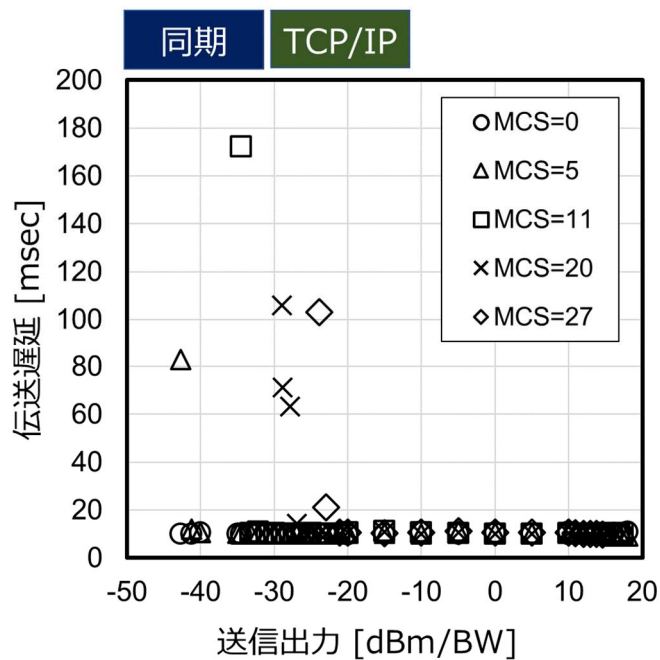


図 3.3-45 TCP/IP 伝送遅延 UL(同期)

UL(同期)時の物理スループット測定時にあわせて確認した伝送遅延を以下に示す(図 3.3-46)。

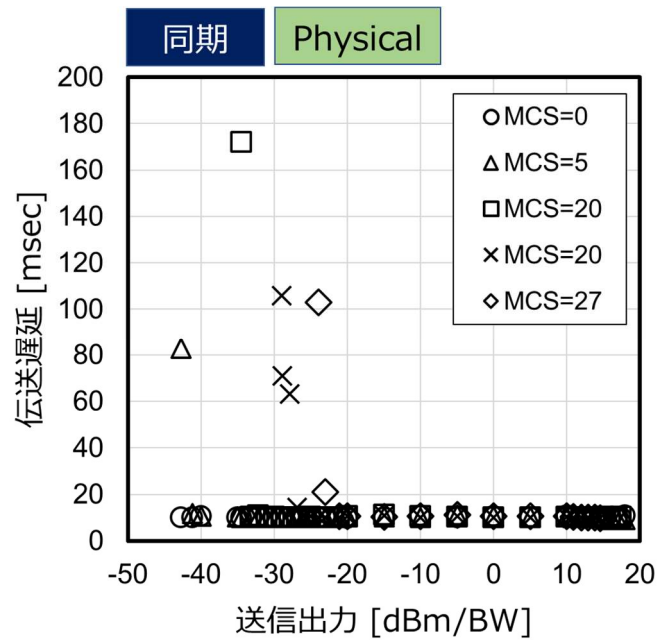


図 3.3-46 物理 伝送遅延 UL(同期)

UL(Uplink)の伝送遅延に関しては、送信電力が-20dBm 程度以下になると伝送遅延が増加する結果となっている。これは UL スループットと同傾向で、各 MCS にて最大スループットが出ている状態であれば 10msec 程度の伝送遅延となることを確認した。

技術実証での性能目標として、データ送受信区間において 50msec を目標としているが、スループットが安定している環境下においては、目標を満たすことが出来る結果となった。

・アンテナ性能

各アンテナの用途は以下の通り。

ANT0 : 4G/5G-Sub6 アンテナ

ANT1 : 4G サブアンテナ/5G-Sub6 サブアンテナ

ANT2 : 4G サブアンテナ/5G-Sub6 アンテナ

ANT3 : 4G サブアンテナ/5G-Sub6 サブアンテナ

ANT4 : WLAN アンテナ

本端末システムに搭載されているアンテナの配置を以下に示す(図 3.3-47)。

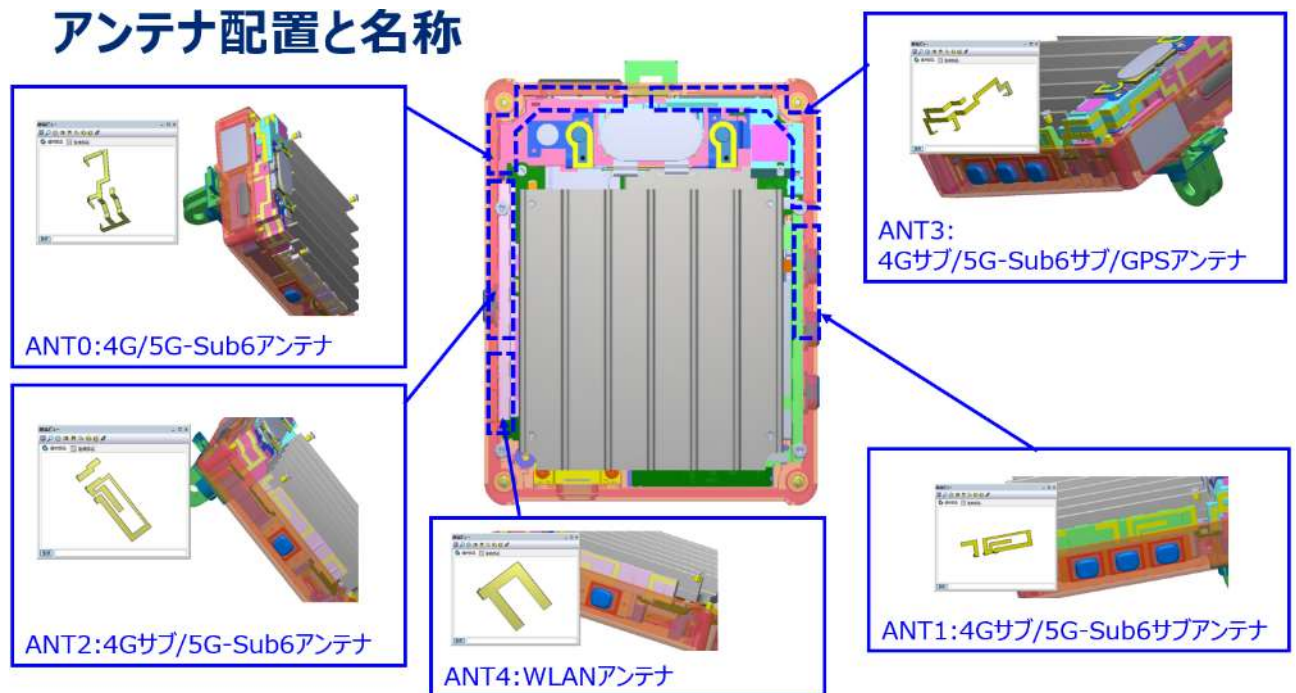


図 3.3-47 端末システムのアンテナ配置と名称

アンテナ設計についての詳細は、4.3.1の5)アンテナ構造設計に記載する。

【アンテナ放射パターン】

端末システムに搭載しているアンテナの対応周波数に対する放射パターンを示す。

放射パターンは、アンテナの放射特性を空間関数として図示したものであり、アンテナがどのようにエネルギーを空間に放射（または受信）するかを表している。図 3.3-48 に本端末システムにおけるアンテナ放射パターンのシミュレーション例を示す。端末システムに対して、X,Y,Z 方向に放射パターンが延びていることが分かる。

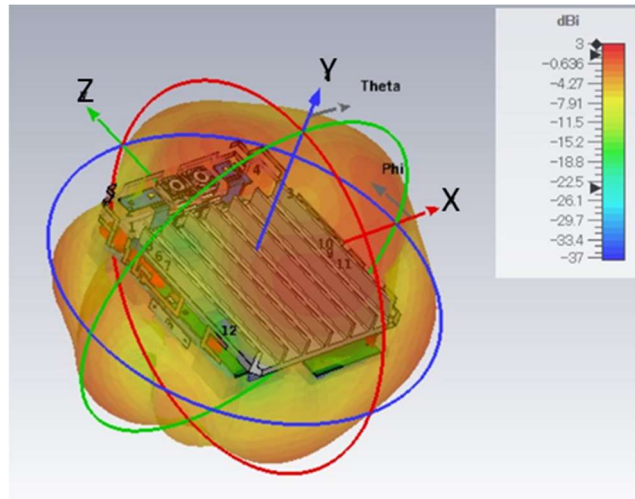


図 3.3-48 端末システムの 3D アンテナ放射パターン例

以降の放射パターンの測定結果は、X-Z、X-Y、Y-Z 面に対して測定結果を平面的に示したものである。

放射パターン図で記載している本端末システムの方角を図 3.3-49 に示す。

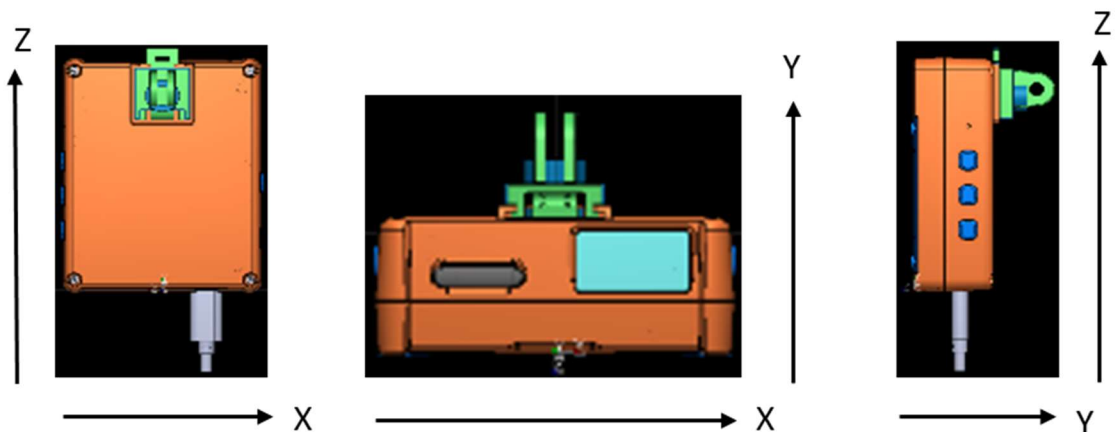


図 3.3-49 端末システムの方角図(X, Y, Z) 左：背面視 中央：平面視 右：側面視

ANT0 LTE Band3(1.8GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-50)。

測定周波数：1712.5MHz、1747.5MHz、1782.5MHz

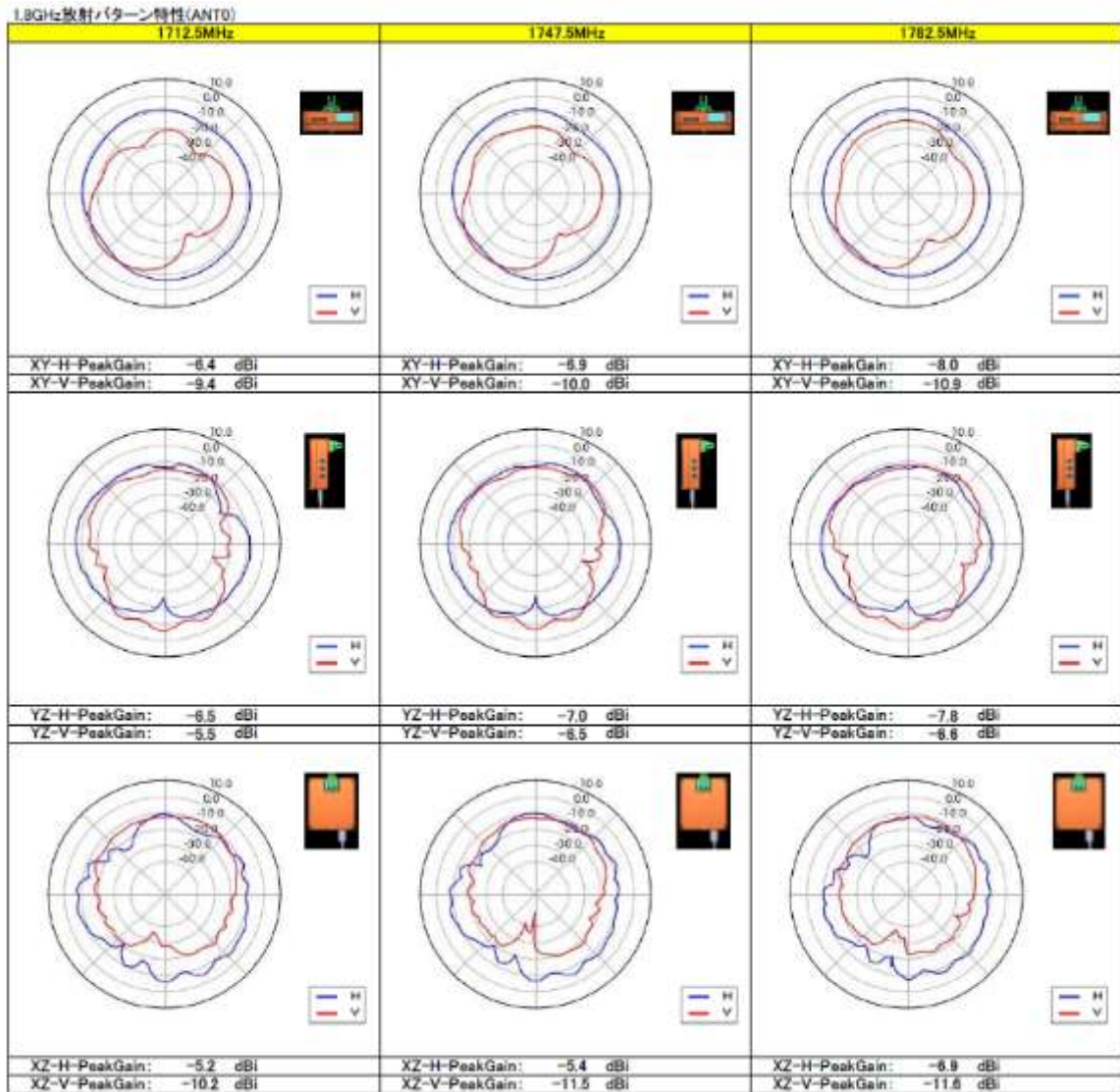


図 3.3-50 ANT0 LTE Band3(1.8GHz)放射パターン

ANT2 n77(3.7GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-51)。

測定周波数：3405MHz、3750MHz、4095MHz

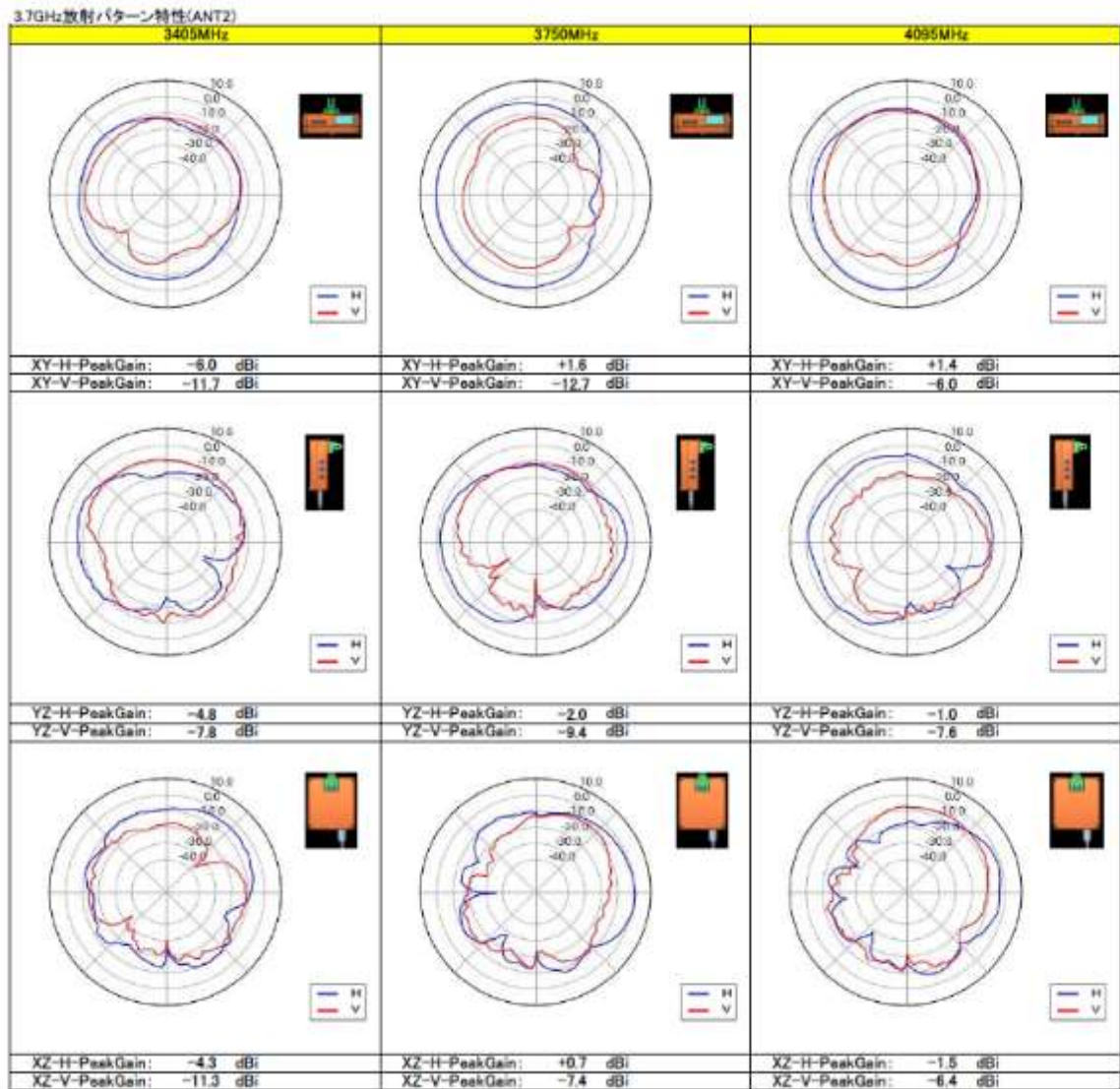


図 3.3-51 ANT2 n77(3.7GHz)放射パターン

ANT0 n79(4.7GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-52)。
 測定周波数：4520MHz、4700MHz、4800MHz

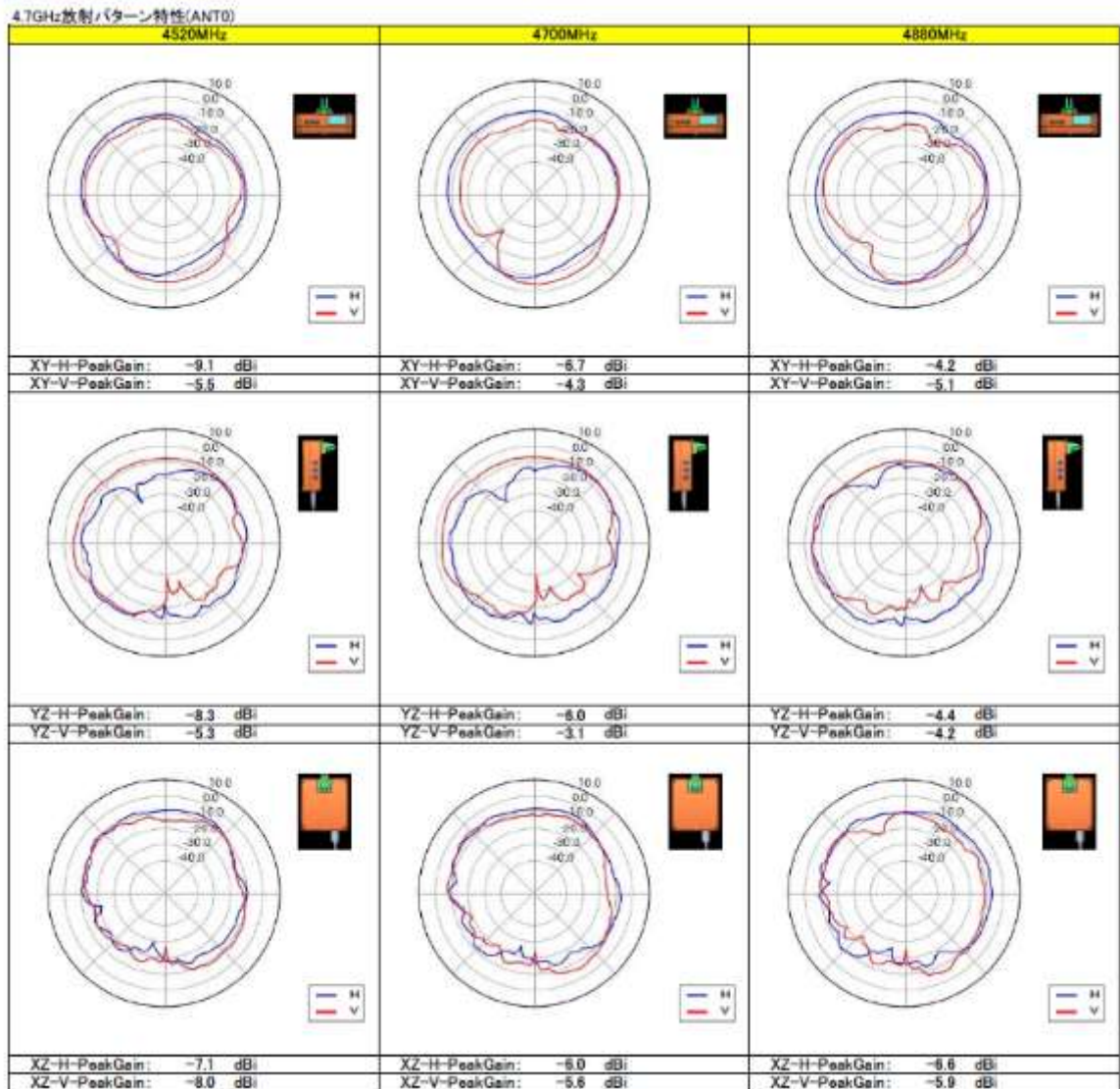


図 3.3-52 ANT0 n79(4.7GHz)放射パターン

ANT1 n79(4.7GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-53)。

測定周波数：4520MHz、4700MHz、4880MHz

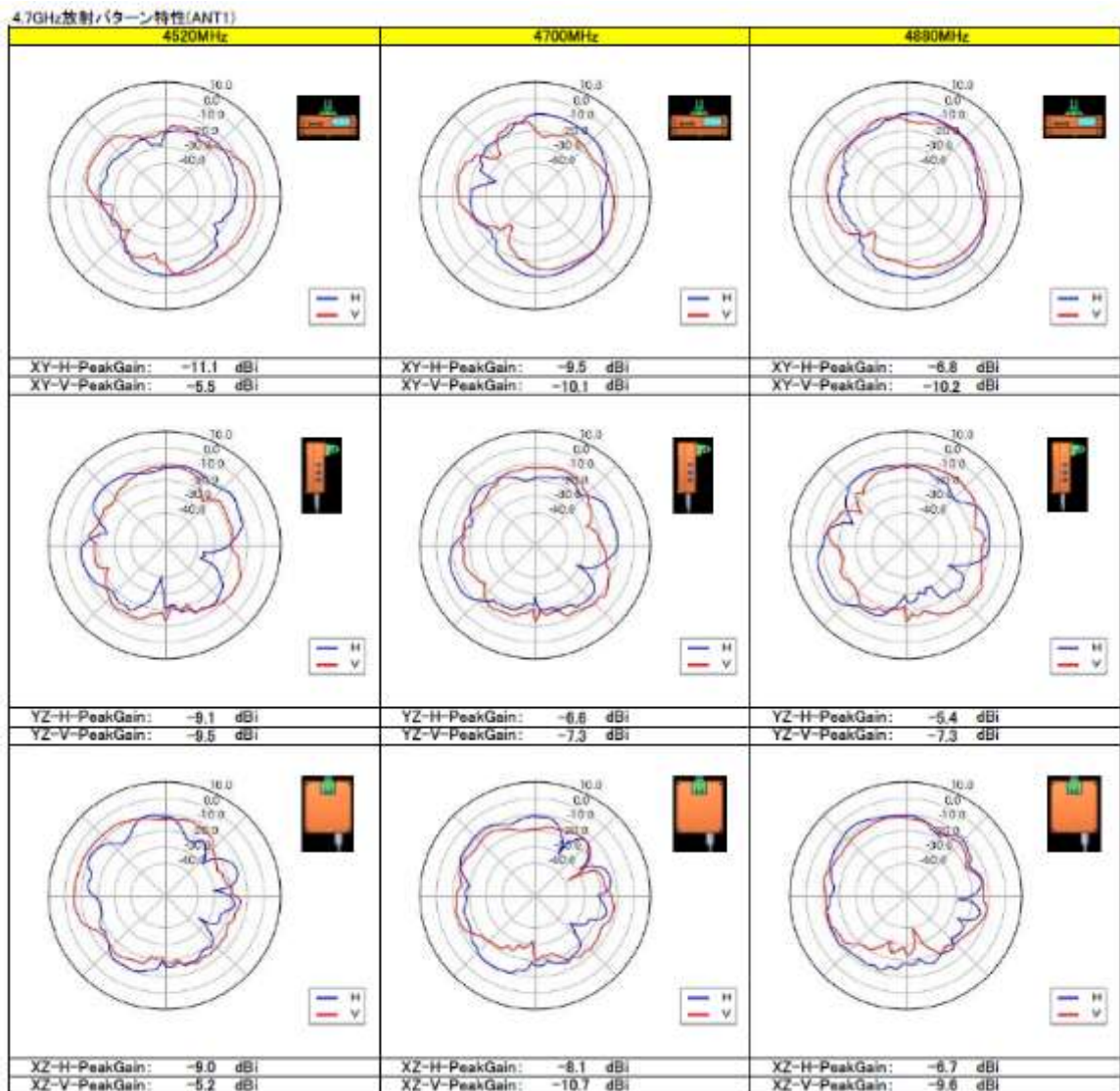


図 3.3-53 ANT1 n79(4.7GHz)放射パターン

ANT2 n79(4.7GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-54)。

測定周波数：4520MHz、4700MHz、4880MHz

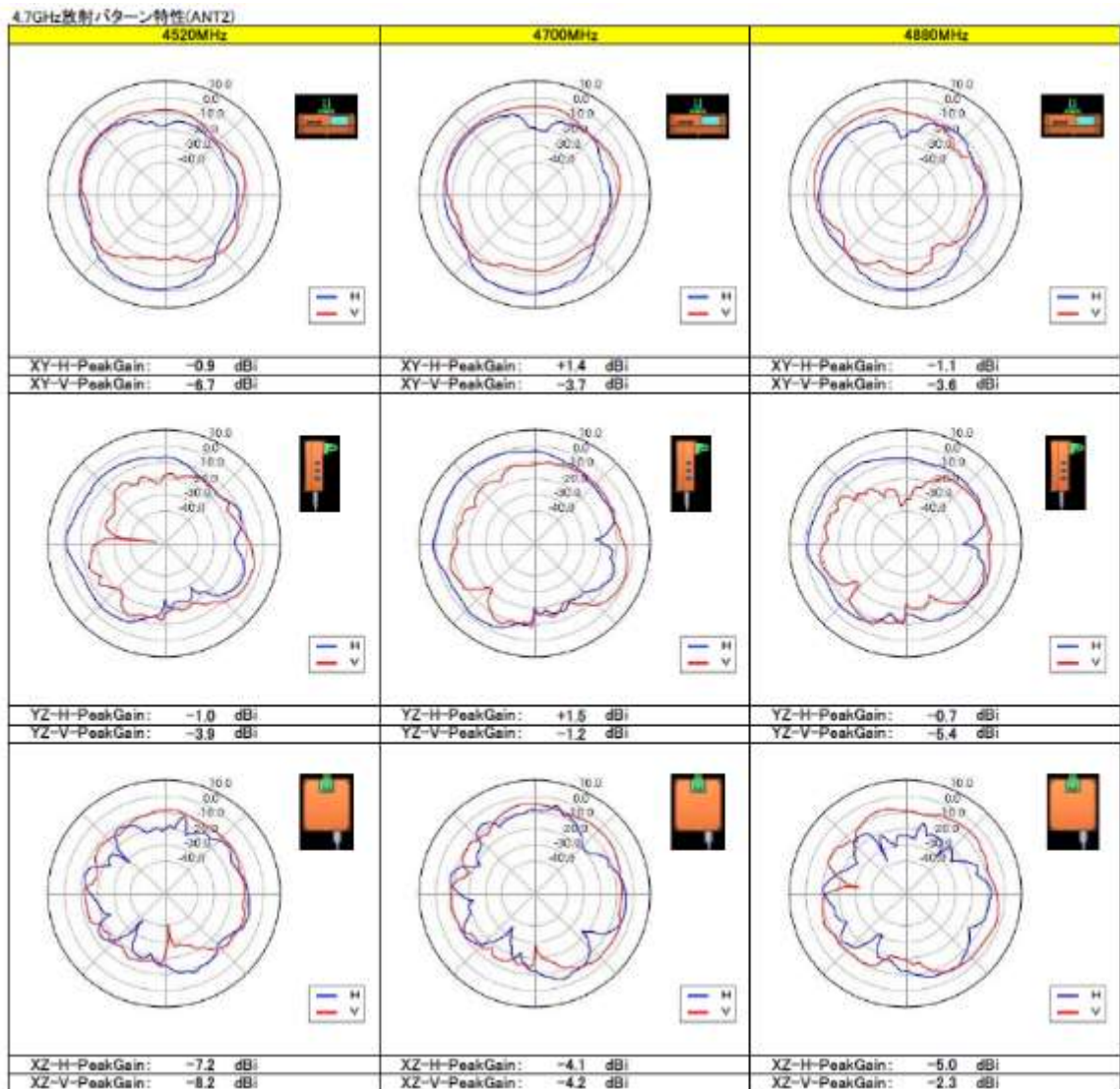


図 3.3-54 ANT2 n79(4.7GHz)放射パターン

ANT3 n79(4.7GHz)放射パターンを以下に示す(図 3.3-55)。
 測定周波数：4520MHz、4700MHz、4880MHz

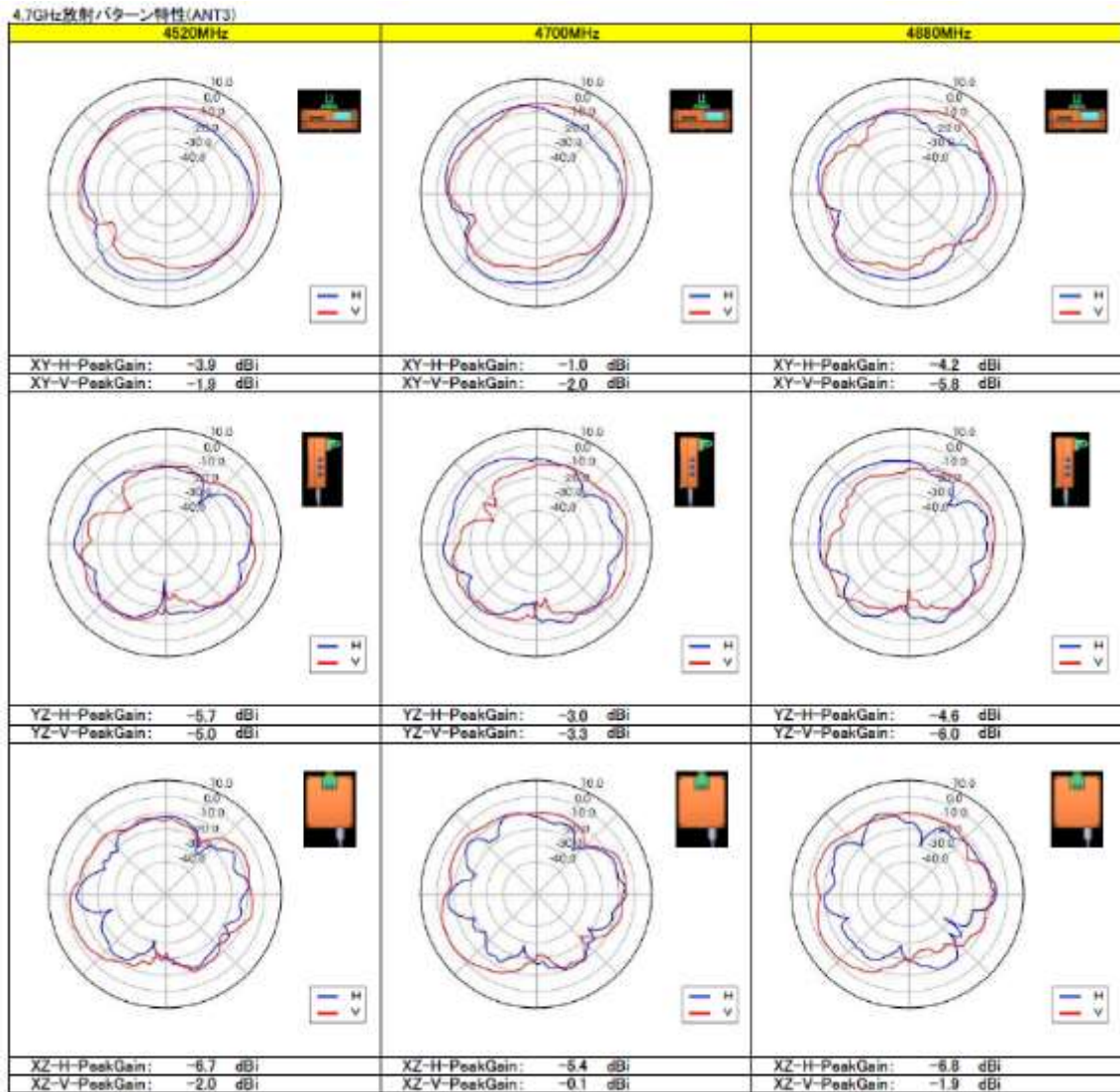


図 3.3-55 ANT3 n79(4.7GHz)放射パターン

ANT4 2.4GHz 放射パターンを以下に示す(図 3.3-56)。

測定周波数：2412MHz、2442MHz、2472MHz

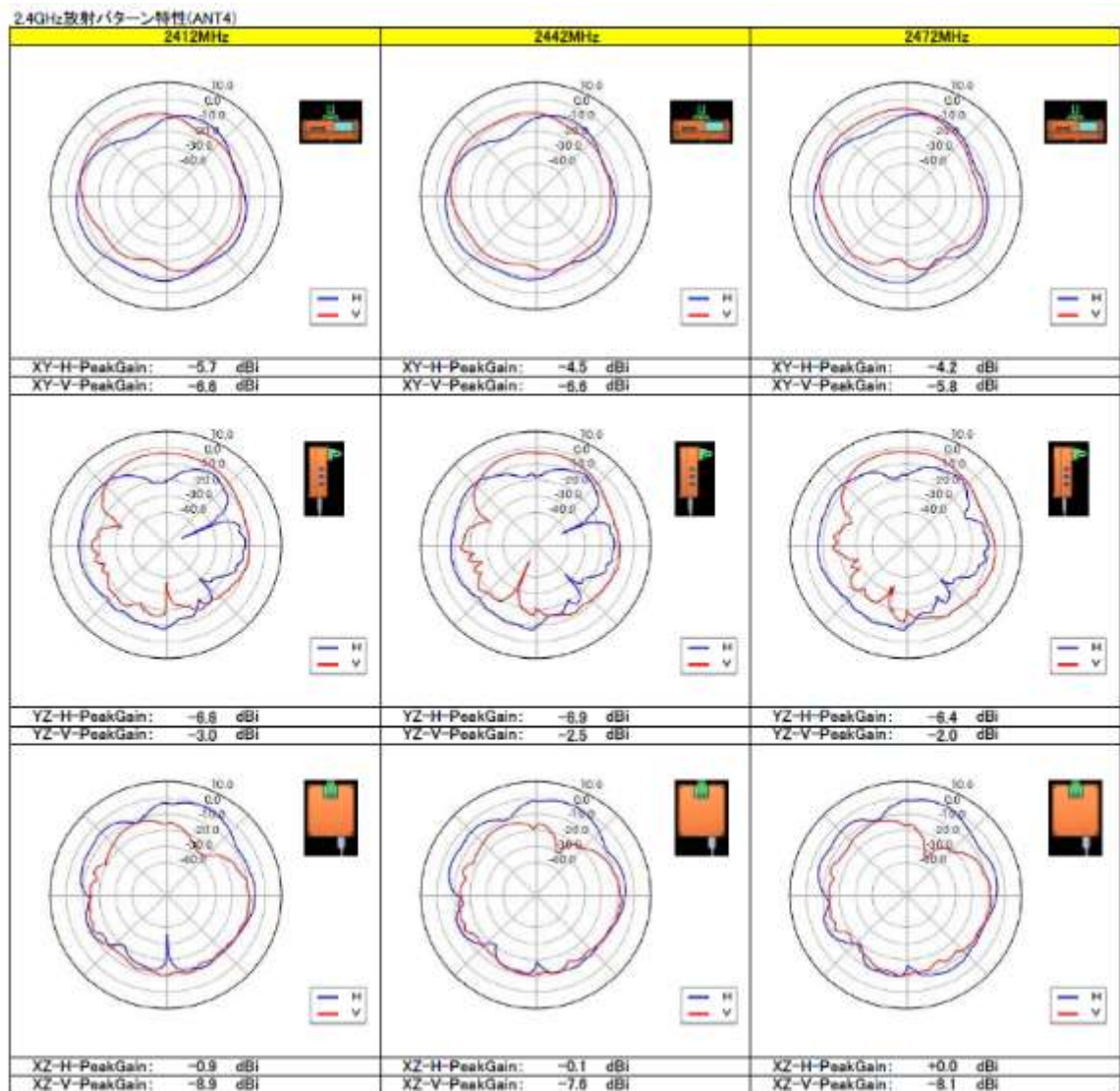


図 3.3-56 ANT4 2.4GHz 放射パターン

ANT4 5.5GHz 放射パターンを以下に示す(図 3.3-57)。

測定周波数：5180MHz、5500MHz、5720MHz

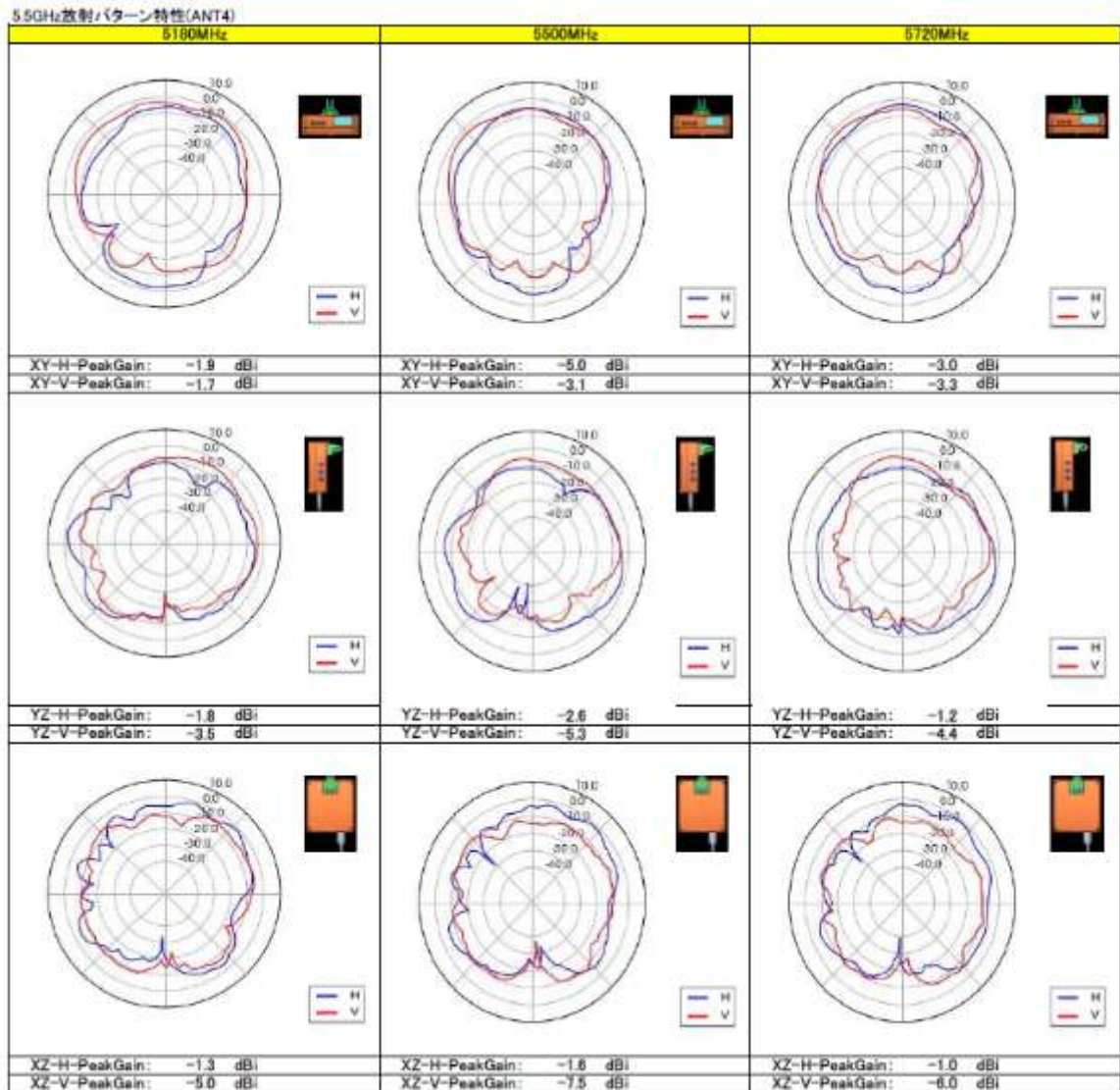


図 3.3-57 ANT4 5.5GHz 放射パターン

ANT4 5.2~5.3GHz 放射パターンを以下に示す(図 3.3-58)。

測定周波数 : 5180MHz、5260MHz、5320MHz

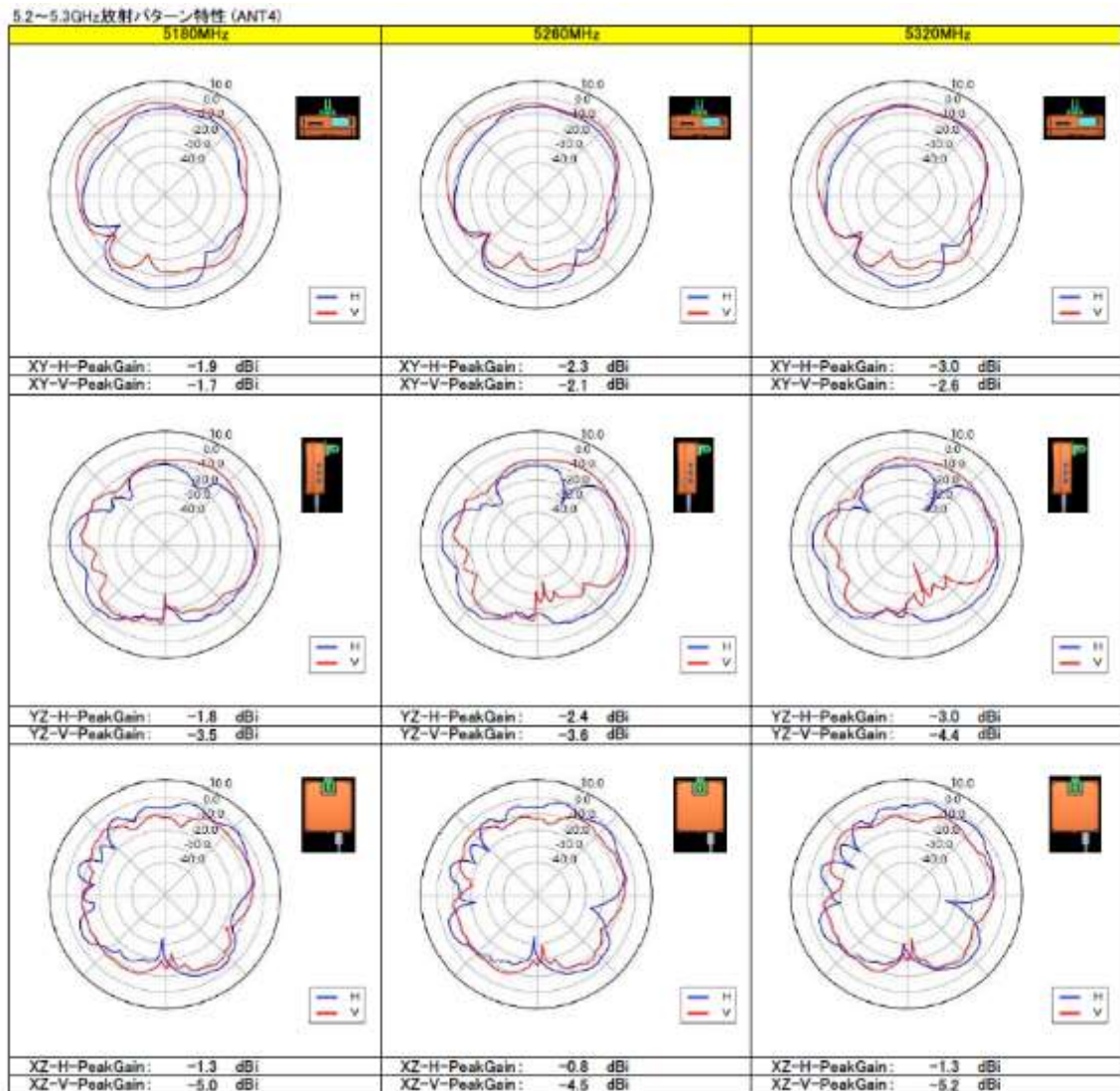


図 3.3-58 ANT4 5.2~5.3GHz 放射パターン

ANT4 5.5~5.7GHz 放射パターンを以下に示す(図 3.3-59)。

測定周波数：5500MHz、5610MHz、5720MHz

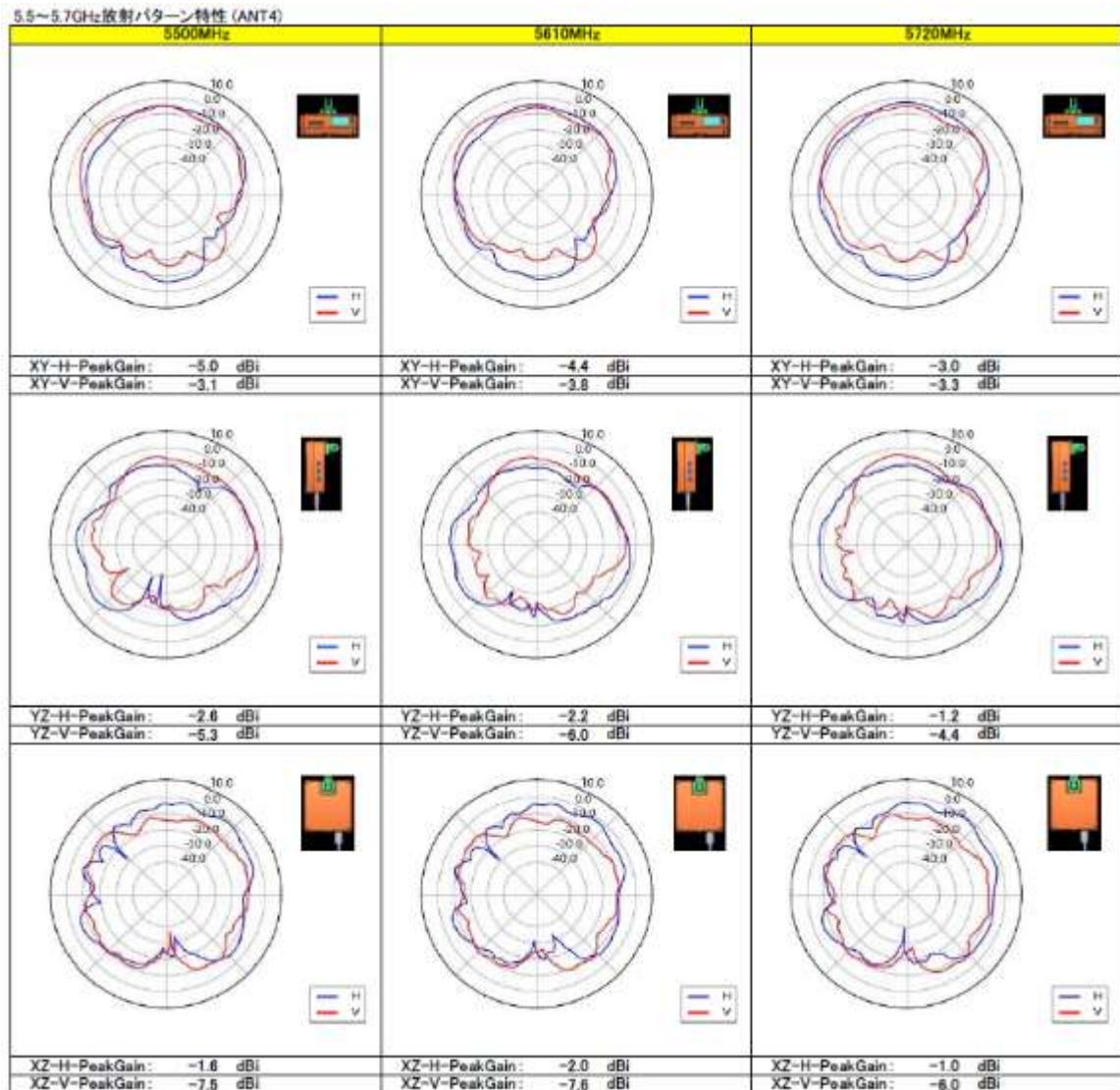


図 3.3-59 ANT4 5.5~5.7GHz 放射パターン

【アンテナ放射効率】

アンテナ放射効率は、図 3.3-50～図 3.3-59 のアンテナ放射パターンから算出した。
システム毎のアンテナ放射効率を以下にまとめる(表 3.3-33～37)。

表 3.3-33 n79 各アンテナ放射効率

単位 [dB]

Band	目標	Sub6 n79		
Freq[MHz]		4520.0	4700.0	4880.0
ANT0	-6.0	-4.4	-3.8	-3.2
ANT1	-6.0	-5.9	-5.2	-4.1
ANT2	-6.0	-5.6	-5.7	-3.6
ANT3	-6.0	-5.8	-4.1	-4.0
ANT4		—	—	—

表 3.3-34 n77 各アンテナ放射効率

単位 [dB]

Band	Sub6 n77		
Freq[MHz]	3405.0	3750.0	4095.0
ANT0	-5.0	-5.0	-4.8
ANT1	-8.0	-5.5	-7.2
ANT2	-5.8	-3.7	-4.5
ANT3	-6.2	-5.7	-5.2
ANT4	—	—	—

表 3.3-35 LTE Band3 各アンテナ放射効率

単位 [dB]

Band	LTE Band3					
Freq[MHz]	1712.5	1747.5	1782.5	1807.5	1842.5	1877.5
ANT0	-5.3	-5.4	-5.5	-6.1	-7.0	-8.2
ANT1	—	—	—	-9.5	-9.8	-9.0
ANT2	—	—	—	-8.2	-8.0	-7.5
ANT3	—	—	—	-5.2	-5.8	-6.9
ANT4	—	—	—	—	—	—

表 3.3-36 【参考】 Wi-Fi 2.4GHz アンテナ放射効率

単位 [dB]

Band	Wi-Fi 2.4G		
Freq[MHz]	2412.0	2442.0	2472.0
ANT0	—	—	—
ANT1	—	—	—
ANT2	—	—	—
ANT3	—	—	—
ANT4	-4.7	-4.7	-4.9

表 3.3-37 【参考】 Wi-Fi 5GHz アンテナ放射効率

単位 [dB]

Band	Wi-Fi 5G					
Freq[MHz]	5180.0	5260.0	5320.0	5500.0	5610.0	5720.0
ANT0	—	—	—	—	—	—
ANT1	—	—	—	—	—	—
ANT2	—	—	—	—	—	—
ANT3	—	—	—	—	—	—
ANT4	-4.1	-3.8	-3.9	-4.1	-4.8	-5.2

本実証におけるメインアンテナである n79 のアンテナ放射効率は、目標である-6.0dB を満たすことを確認した。

商用化に向けては、ローカル 5G、全国 5G に加え LTE のマルチバンド化も必要になり、各システムでのアンテナ共用化も必要になることから、全体の最適化を行っていく。

実装時については、LTE のマルチバンド化は、各通信キャリアからサービス提供されている周波数帯を参考に対応バンドを決定する。

2) アンテナ対向測定結果

アンテナ対向での測定結果として、OTA 送信性能：TRP の測定結果を表 3.3-38 に、OTA 受信性能：TIS の測定結果を表 3.3-39 に示す。

【OTA 送信性能】 (TRP: Total Radiated Power)

表 3.3-38 OTA 送信性能：TRP

TRP [dBm]

Band	Freq [MHz]	BW [MHz]	測定値
B3	1774.9	20	17.5
n78	3650.01	100	18.1
n79	4550.01	100	16.9
	4700.01	100	17.2
	4850.01	100	16.3

【OTA 受信性能】 (TIS: Total Isotropic Sensitivity)

表 3.3-39 OTA 受信性能：TIS

TIS [dBm]

Band	Freq [MHz]	BW [MHz]	測定値
B3	1869.9	20	-89.0
n78	3650.01	100	-87.1
n79	4550.01	100	-88.0
	4700.01	100	-87.0
	4850.01	100	-86.6

測定した Band、周波数はローカル 5G Band の n79 では 4.6~4.9GHz 内の周波数を、全国 5G では n78 Band の 3.6G 帯周波数と n79 Band の 4.5G 帯周波数を、LTE Band として Band3 周波数を測定した。TRP、TRS の結果から、いずれも商用向け 5G 端末に対しても遜色なく、テストベッド実証に対しても問題ない端末性能を有していることを確認した。

【アンテナ対向スループット】

測定条件

- ・バンド : n79
- ・ARFCN : 723332
- ・DL/UL : DL 4x4、UL 1x1
- ・MCS : MCS=0、MCS=5、MCS=11、MCS=20、MCS=27

アンテナ対向での OTA スループットの測定結果を以下に示す(図 3.3-60)。

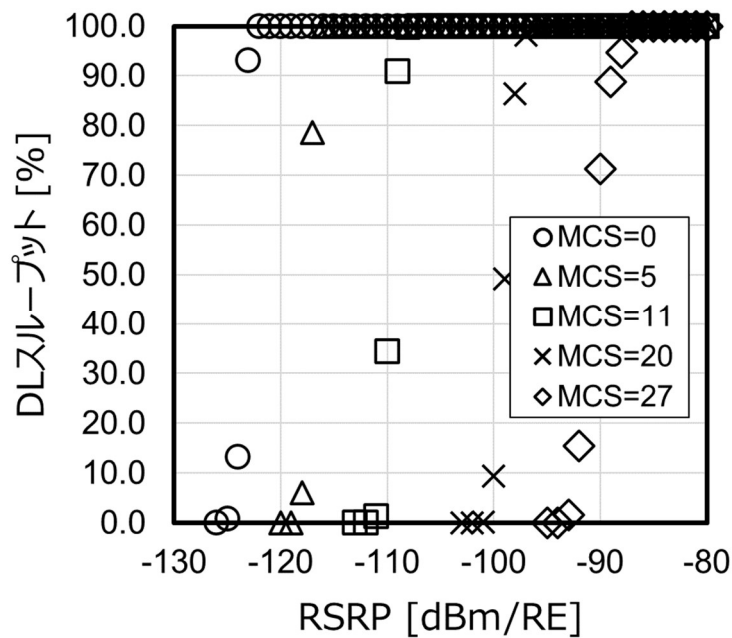


図 3.3-60 OTA DL スループット

受信感度点付近でスループットが減少しはじめるまで最大スループットを維持し続けているため、端末システムが放射したノイズが自身のアンテナに入力されてスループットに影響する、という現象は生じておらず、ノイズが適切に抑えられていることが確認出来た。

(2) テストベッド環境での測定結果

1) テストベッドでの事前接続検証結果（ケーブル接続）

同期パターン：同期 TDD パターン

測定項目：スループット

基地局と端末システムを同軸ケーブルで接続した状態でのスループット測定結果を以下に示す(表 3.3-40)。本測定時は同軸ケーブルで基地局と端末システムを接続しているため、基地局と端末システム間の伝搬路は安定しており、環境要因によるスループットへの影響は抑えられている状態である。また、端末システムから基地局へ電波が十分な強度で届いており、基地局から端末システムへも電波が十分な強度が届いている状態と想定される。

表 3.3-40 基地局とケーブル接続時のスループット性能

項	TCP/UDP	UL/DL	使用ツール	スループット [Mbps]
1	TCP	UL	Iperf3	186
2	TCP	DL	Iperf3	932
3	UDP	UL	Iperf2	187
4	UDP	DL	Iperf2	945

そのため、表 3.3-40 で示した測定値がテストベッド環境での実証におけるスループット最大値と想定できる。

2) テストベッド環境での測定結果

テストベッド環境での測定結果を以下に示す。結果は、屋外：見通し内、屋外：見通し外、屋内に分けて報告する。

【屋外：見通し内の測定結果】

屋外：見通し内の測定ポイントは図 3.3-61 に記載の①～⑩の 10 ポイントである。①～⑥は基地局からの直線上に配置したポイントで、⑥、⑦、⑩は基地局からの距離はほぼ同じで、基地局アンテナからの水平方向の角度が異なるポイントである。④と⑨も同様に基地局からの距離はほぼ同じで角度が異なるポイントである。ポイント①～⑩の測定結果を表 3.3-41 屋外：見通し内測定結果に示す。上述したように、①～⑩は直線配置になっていないため、直線配置分とそれ以外で分けてまとめる。

- ポイント①～⑥の距離対受信電力の測定結果を図 3.3-62 見通し内における距離対受信電力に示す。
- ポイント①～⑥の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-63 見通し内における距離対スループットに示す。
- ポイント①～⑥の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-64 見通し内における距離対伝送遅延に示す。
- ポイント①～⑥の受信電力対スループットの測定結果を図 3.3-65 見通し内における受信電力対スループットに示す。



図 3.3-61 屋外：見通し内の測定ポイント

表 3.3-41 屋外：見通し内測定結果

測定ポイント	2D 距離 [m]	3D 距離 [m]	エリアテスト受信電力 [dBm]	端末システム受信電力 [dBm]	伝送遅延 [msec]	上りスループット [Mbps]	下りスループット [Mbps]
①	6.4	27.3	-86.0	-82.7	31	64.7	184
②	10.6	28.5	-82.0	-75.6	29.7	124	253
③	16.3	31.1	-80.0	-72.8	29.7	126	271
④	20.5	33.5	-86.0	-75.2	31.4	69	224
⑤	26.4	37.4	-81.0	-72.5	31.1	71.9	283
⑥	30.9	40.7	-86.0	-75.3	30.2	79.7	276
⑦	31.6	41.3	-81	-73.6	27.6	130	338
⑧	26.4	37.4	-86	-80.4	30.7	66.9	273
⑨	22.1	34.5	-84	-84.0	32.8	65.1	256
⑩	31.7	41.3	-86.2	-83.2	31.6	66.8	195

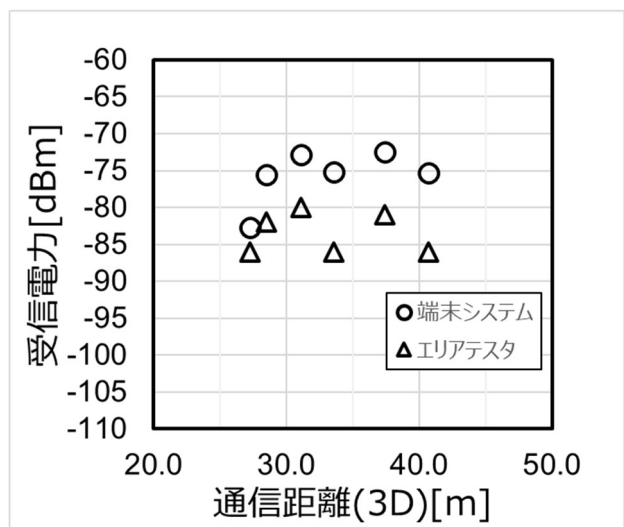
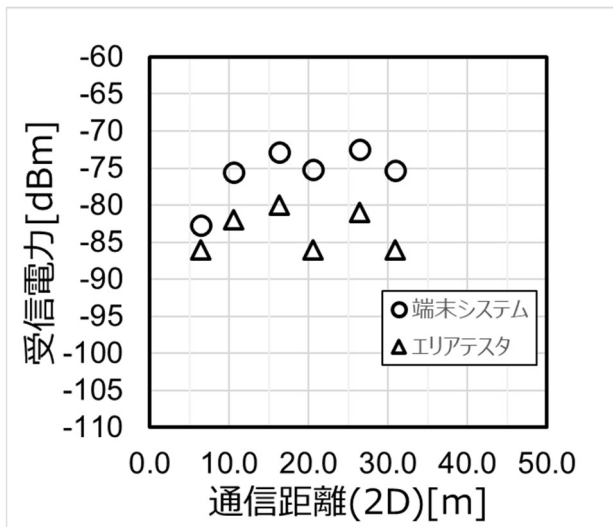


図 3.3-62 見通し内における距離対受信電力

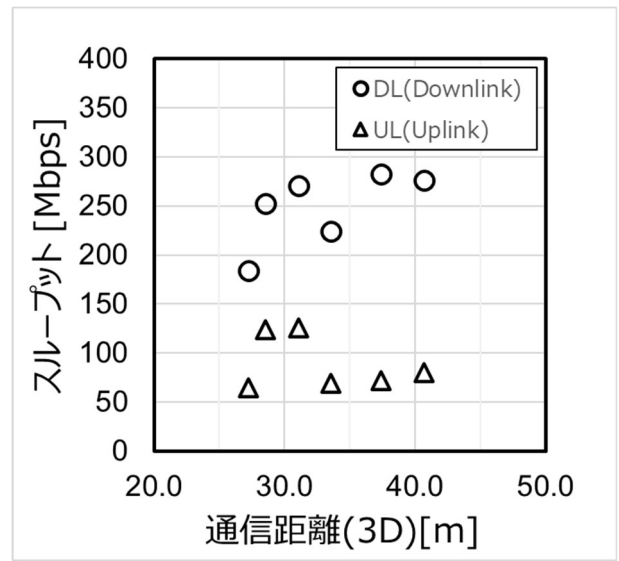
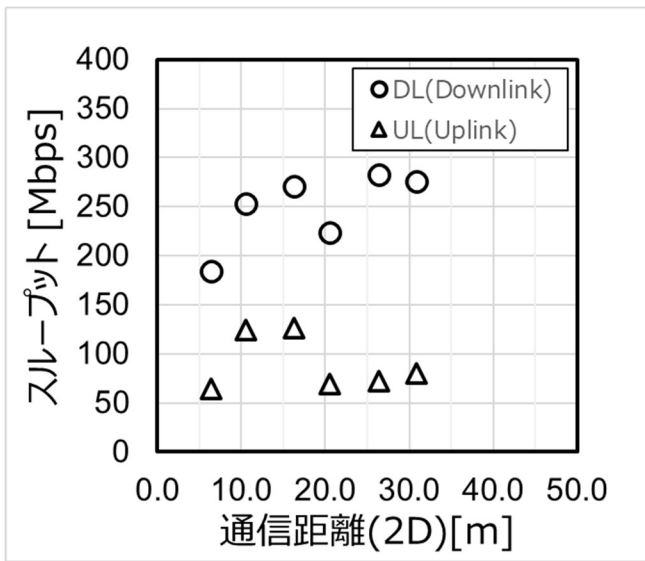


図 3.3-63 見通し内における距離対スループット

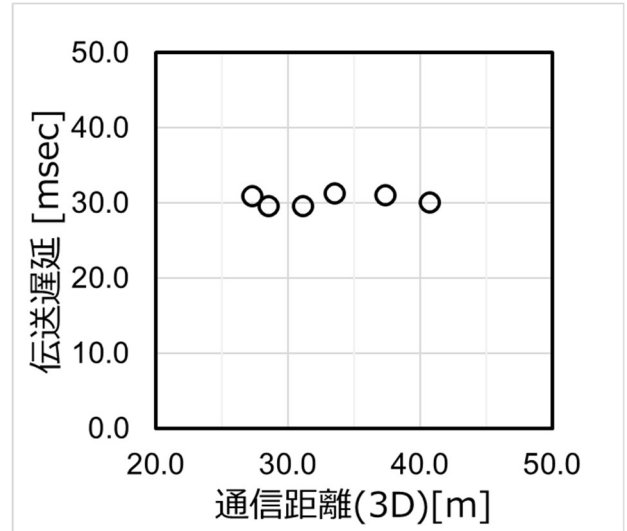
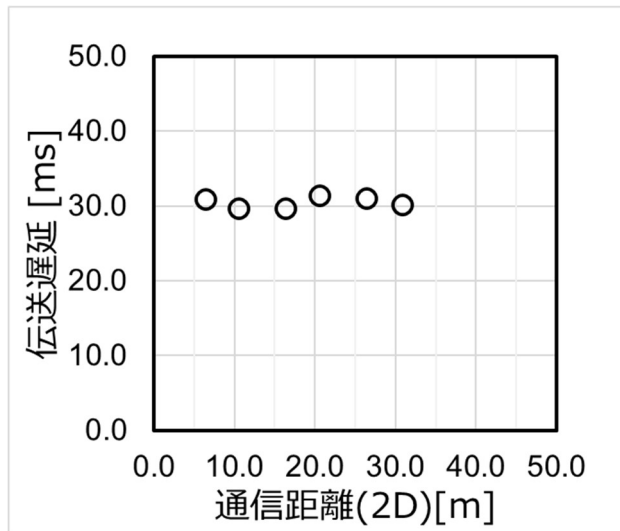


図 3.3-64 見通し内における距離対伝送遅延

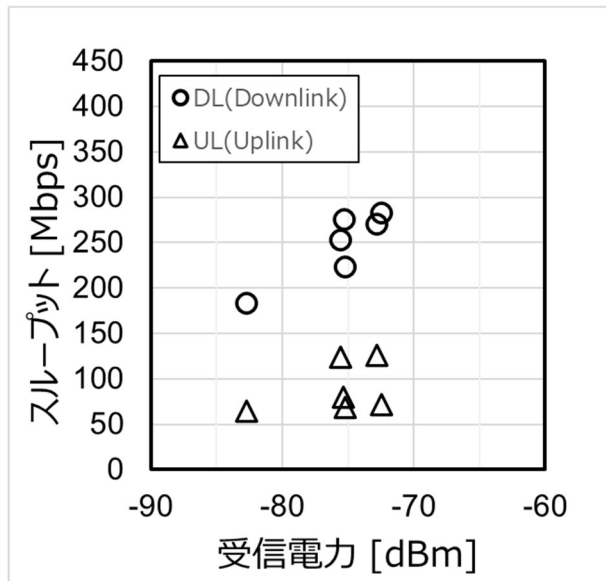


図 3.3-65 見通し内における受信電力対スループット

自由空間においては、基地局と端末システム間の距離が離れるにつれて、端末システムの受信電力が低下することが想定される。しかし、本結果では距離によらず端末システムの受信電力があまり変わらない傾向となっている。この傾向は端末システムだけではなく、エリアテストにおいても同様であり、建屋の反射等も含めた周囲環境の影響と考える。

スループットは、表 3.3-40 基地局とケーブル接続時のスループット性能に記載の値に対して、UL,DL 共に低い値となっているが、受信電力が-70dBm 程度の場合でも最大スループットは出せることが実験室結果から想定されるため、ケーブル接続した基地局と屋外に設置された基地局の設定(MCS 変更制御や制限)の差異によるものが大きいと考える。

伝送遅延は、ケーブル接続時の確認結果、図 3.3-45 TCP/IP 伝送遅延 UL(同期)と同様に受信電力によらず、安定した結果を示している。

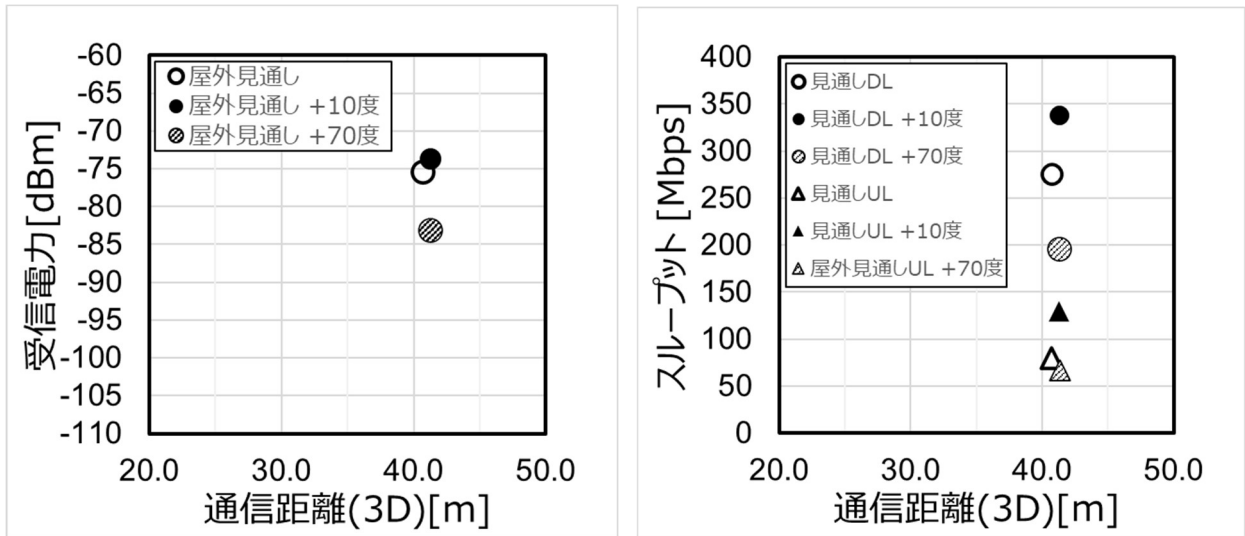
次に⑥、⑦、⑩の同等距離での基地局からの角度影響についてまとめる。ここで述べる基地局からの角度とは、図 3.3-61 屋外：見通し内の測定ポイントの基地局から⑥のポイントを基準として、水平方向の角度のことを指す。具体的には、以下のポイントとなる。

基準：基地局-ポイント⑥

+10 度：ポイント⑦

+70 度：ポイント⑩

- ポイント⑥、⑦、⑩の距離対受信電力の測定結果を左 図 3.3-66 通信距離対受信電力の角度影響に示す。
- ポイント⑥、⑦、⑩の距離対受信電力の測定結果を 右 図 3.3-67 通信距離対スループットの角度影響に示す。
- ポイント⑥、⑦、⑩の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-68 通信距離対伝送遅延の角度影響に示す。



左 図 3.3-66 通信距離対受信電力の角度影響
 右 図 3.3-67 通信距離対スループットの角度影響

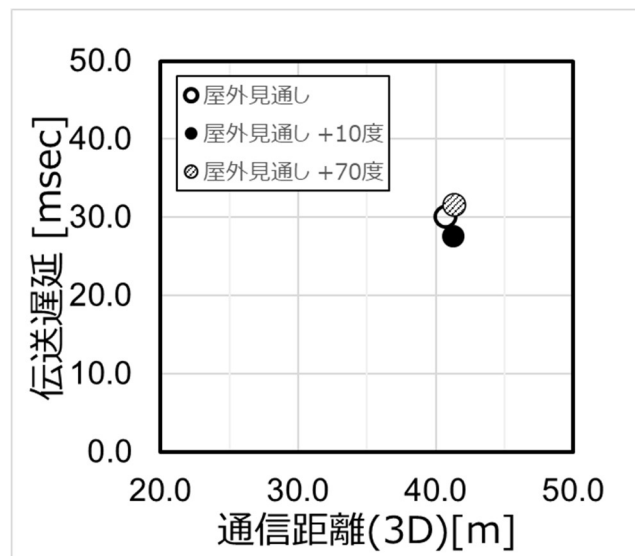


図 3.3-68 通信距離対伝送遅延の角度影響

距離対受信電力の角度影響の結果から、角度 10 度の違いでは、受信電力は同等だが、70 度ずれると受信電力が大きく変化している。周囲環境以外の影響として、基地局アンテナの指向性により、基地局との距離だけではなく、角度影響も無視できない結果になったと考える。

【屋外：見通し外の測定結果】

屋外：見通し内の測定ポイントは図 3.3-69 に記載の⑪～⑲の 9 ポイントである。⑪～⑮は基地局からの直線上に配置したポイントで、⑰、⑱は同程度の距離で木の裏、建物の裏での環境である。屋外：見通し外の測定結果を表 3.3-42 屋外：見通し外の測定結果に示す。

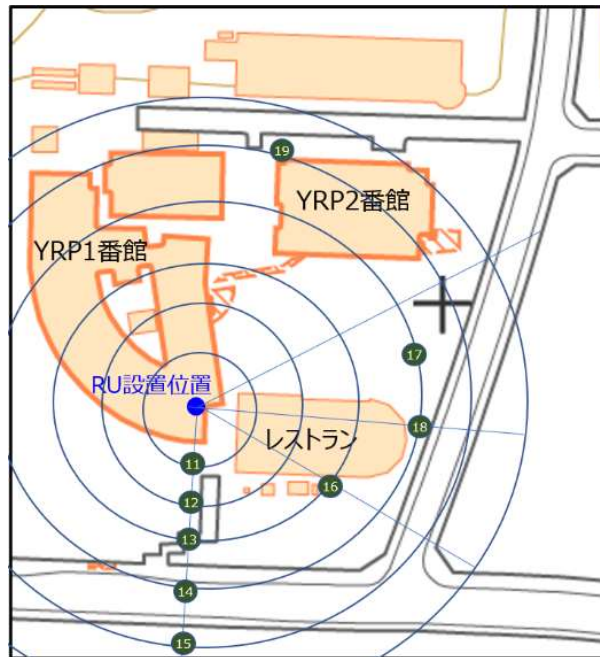


図 3.3-69 屋外：見通し外の測定ポイント

表 3.3-42 屋外：見通し外の測定結果

測定ポイント	2D 距離 [m]	3D 距離 [m]	エリアステータ受信電力 [dBm]	端末システム受信電力 [dBm]	伝送遅延 [msec]	上りスループット [Mbps]	下りスループット [Mbps]
⑪	5.6	27.1	-109.0	-101.2	26	4.2	41.2
⑫	8.9	28.0	-102.0	-98.9	22.7	4.4	92.5
⑬	13.5	29.7	-106.0	-98.8	28.9	3.8	86.2
⑭	16.8	31.4	-106.0	-97.6	23.4	3.8	44.3
⑮	21.3	34.0	-107.0	-100.1	27.1	3.6	70.9
⑯	12.8	29.4	-92.0	-96.0	28.5	38.7	250
⑰	21.5	34.1	-91.0	-84.6	30.7	62.9	220
⑱	20.1	33.3	-95.0	-93.0	30	37.1	200
⑲	26.9	37.7	-119.0	-109.8	32.1	3.3	25.4

- ポイント⑪～⑮の距離対受信電力の測定結果を図 3.3-70 見通し外における距離対受信電力に示す。
- ポイント⑪～⑮の距離対スループットの測定結果を図 3.3-71 見通し外における距離対スループットに示す。
- ポイント⑪～⑮の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-72 見通し外における距離対伝送遅延に示す。
- ポイント⑪～⑮の環境を図 3.3-73 ポイント⑪～⑮の環境に示す。

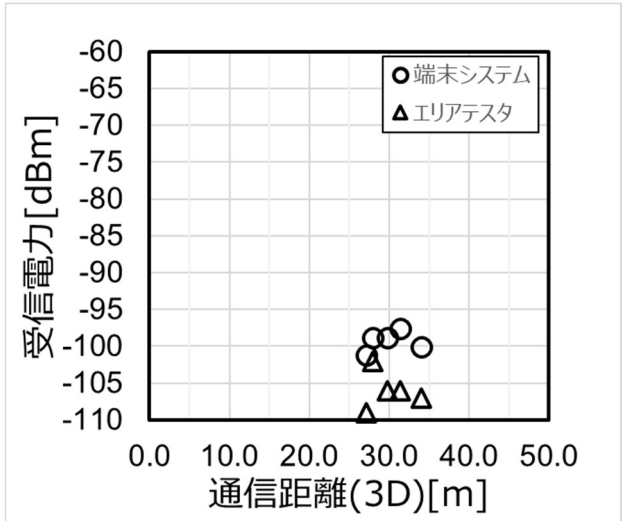
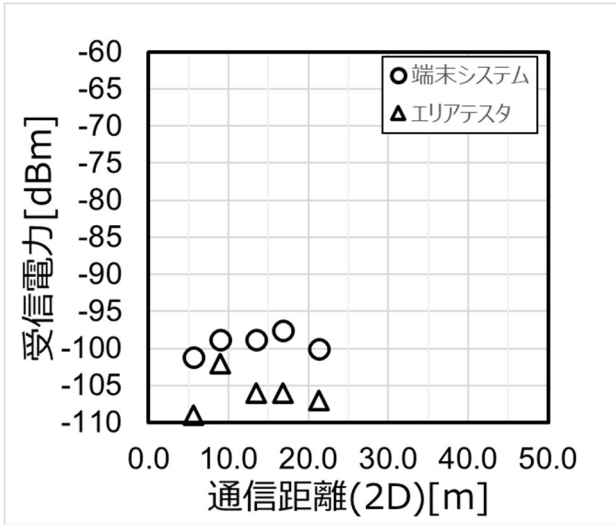


図 3.3-70 見通し外における距離対受信電力

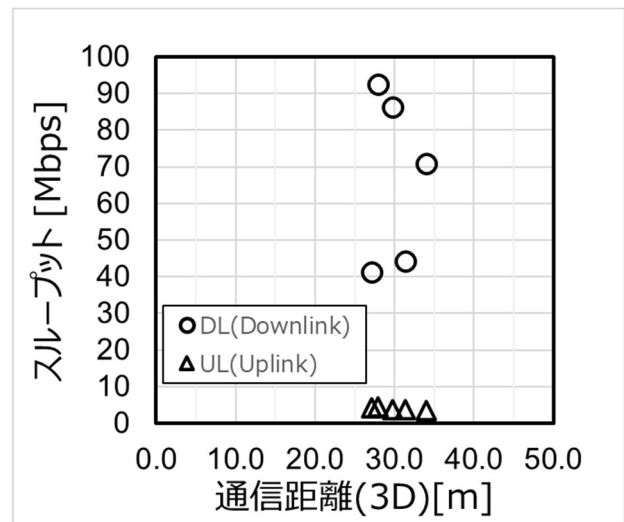
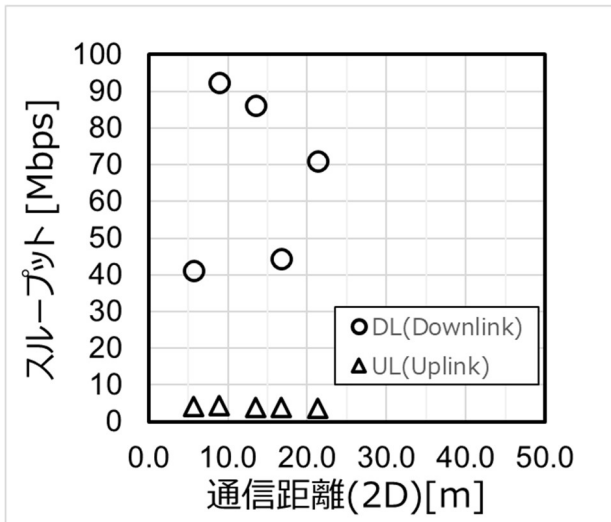


図 3.3-71 見通し外における距離対スループット

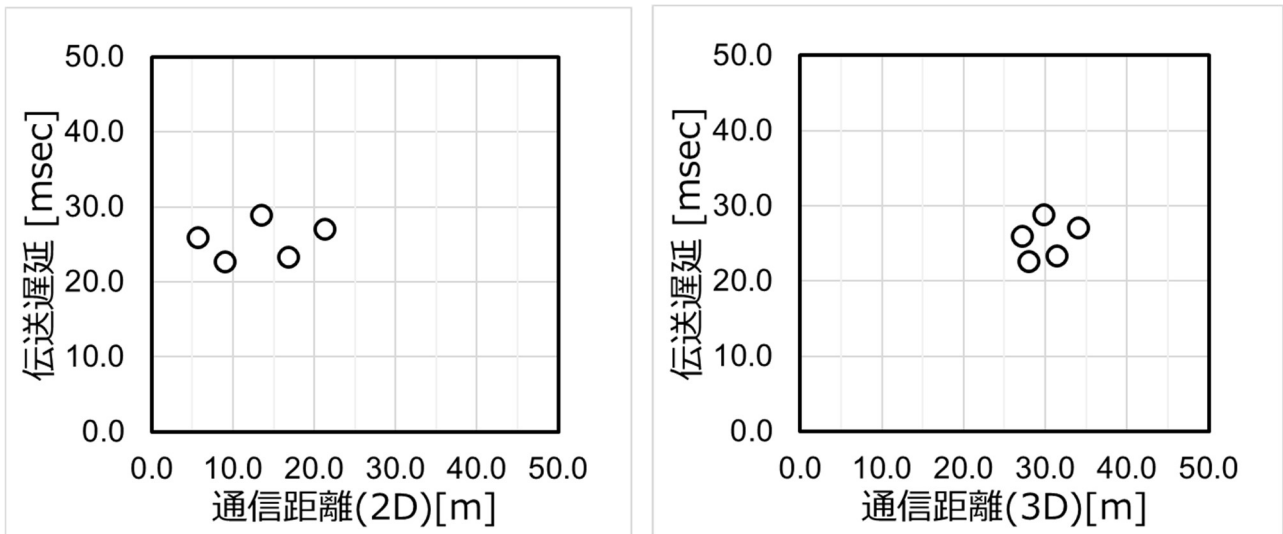


図 3.3-72 見通し外における距離対伝送遅延



図 3.3-73 ポイント⑪～⑮の環境 左からポイント⑪、⑫、⑬、⑭、⑮

本実証で認可された端末システムの移動範囲が限られていたため、見通し外の測定可能距離が短く、受信電力の変化を確認できるまで端末システムと基地局間の距離を離すことが出来なかった。受信電力としては、図 3.3-に示すように測定ポイントからは基地局が全く見えない状態のため、見通し内に比べ 20dB 程度低い値となっている。

基地局から見えない状況下であるため、UL スループットは 4Mbps 程度とフル HD や 4K 動画を伝送することは出来ない水準となっている。

DL スループットは大きなバラツキが見えている。受信電力が -95dBm 以下の場合には 1dB の違いでもスループットが大きく変わることが実験室での測定結果から分かっており、測定ポイント近くにあるレストランからの反射波や地面のコンクリートとの位置関係が測定ポイント間で異なる影響で DL スループット値が変動したと推測する。

伝送遅延に関しては、見通し内の遅延時間と変わらない値となっているため、端末システムと基地局間で通信出来る環境下であれば、伝送遅延に影響は無いと考える。

次に同程度の距離で障害物の違いによる性能影響を考える。ポイント⑰と⑱は同程度の距離で、ポイント⑰は木の裏、ポイント⑱は建物の裏である。

- ポイント⑰、⑱の距離対受信電力の測定結果を図 3.3-74 障害物の違いによる距離対受信電力に示す。
- ポイント⑰、⑱の距離対スループットの測定結果を図 3.3-75 障害物の違いによる距離対スループットに示す。
- ポイント⑰、⑱の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-76 障害物の違いによる距離対伝送遅延に示す。

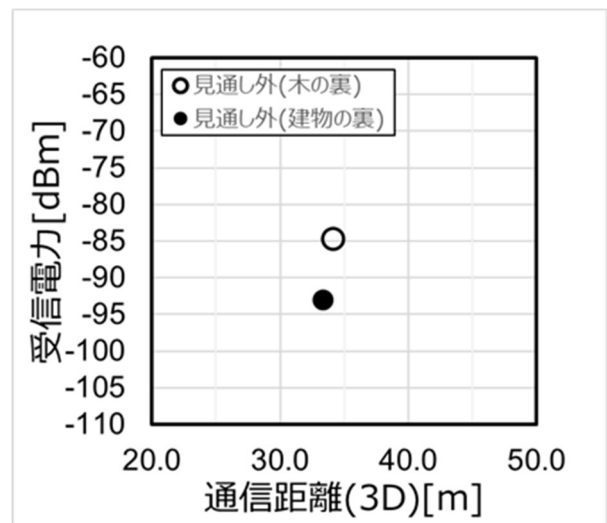
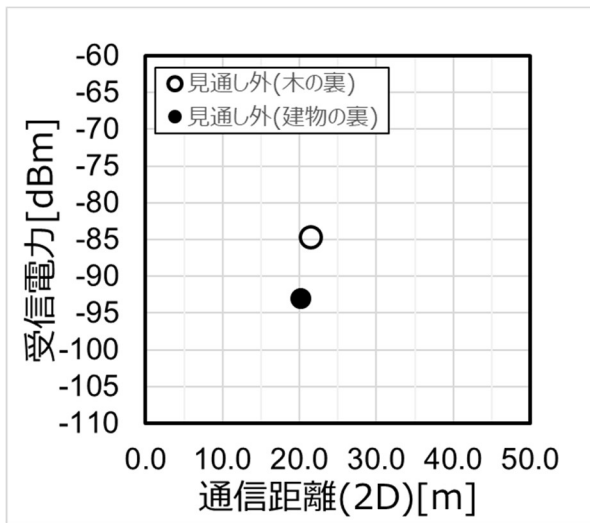


図 3.3-74 障害物の違いによる距離対受信電力

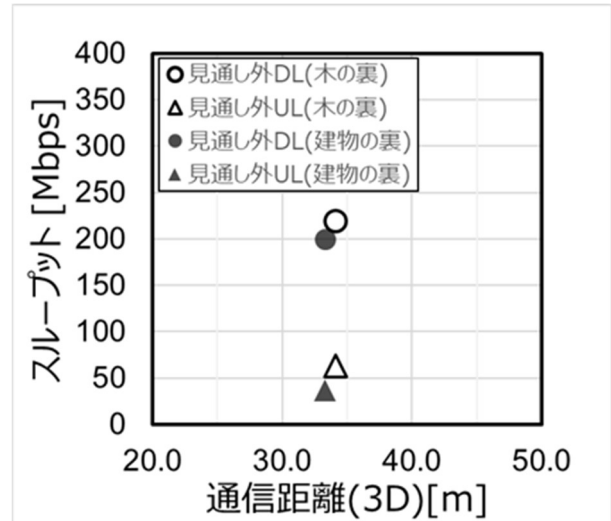
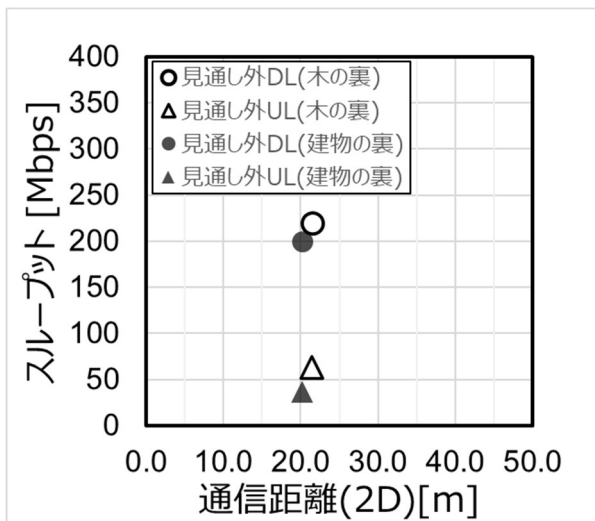


図 3.3-75 障害物の違いによる距離対スループット

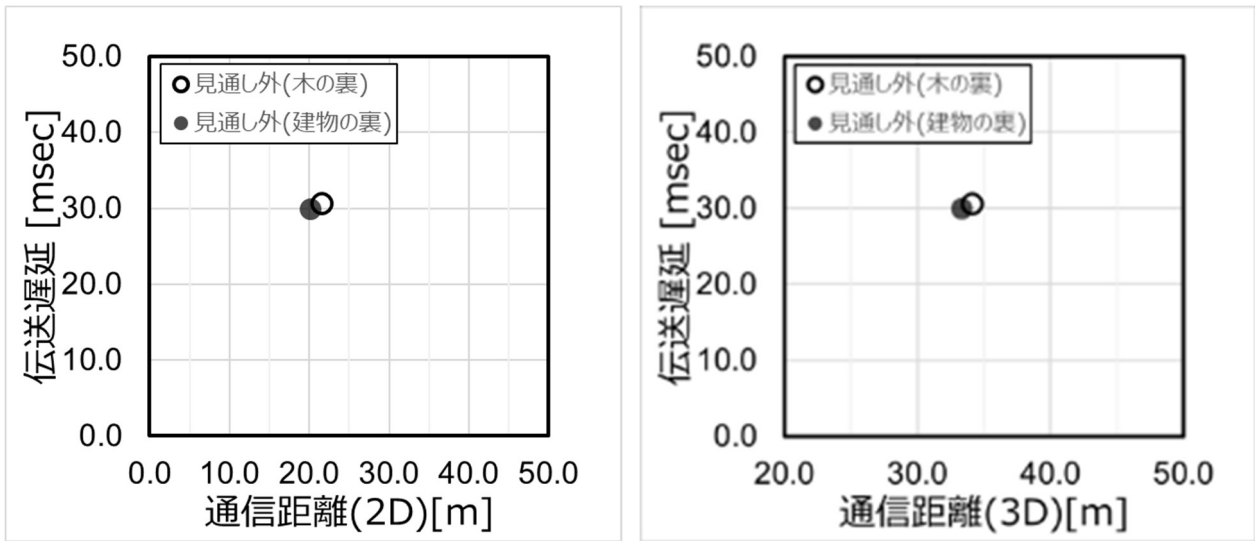


図 3.3-76 障害物の違いによる距離対伝送遅延

測定ポイント⑰と⑱の測定環境を図 3.3-77 ポイント⑰、⑱の測定環境に示す。



図 3.3-77 ポイント⑰、⑱の測定環境 左：ポイント⑰、右：ポイント⑱

ポイント⑰は見通し内エリアの中に木があり、その真裏に端末システムを置くことで見通し外としており、ポイント⑱は同程度の距離だが建物(レストラン)の裏に端末システムを置き見通し外となっている環境である。

受信電力、スループット共に、建物で基地局が見通せない環境より、木の裏の環境の方が電波の回り込みがあることが想定されるが、それを示すように木の裏の環境の方が受信電力が高い結果となった。スループット値としては、同程度の距離である見通し内ポイント④と同等のスループット結果がでているため、見通し内環境であれば、小さな障害物による影響は軽微な結果となった。

次に見通し外ポイント⑲について考察する。ポイント⑲は図 3.3-78 ポイント⑲の測定環境に示す通り、基地局が目視出来ない環境である。表 3.3-42 屋外：見通し外の測定結果に示す結果の通り、同じく建物の陰で基地局を目視出来ないポイント⑩環境と同等以下の性能となっており、フルHDでのストリーミング伝送も厳しい結果となった。



図 3.3-78 ポイント⑲の測定環境

【屋内の測定結果】

屋内の測定環境は図 3.3-79 屋内環境の測定ポイントに記載の⑳、㉑、㉒の3ポイントである。㉑～㉒の測定環境を図 3.3-80 屋内の測定環境に示す。ポイント㉑はレストラン1階の窓際で見通し外、ポイント㉒はYRP2番館4階の窓際、ポイント㉓はYRP2番館の1階の窓際の環境である。



図 3.3-79 屋内環境の測定ポイント



図 3.3-80 屋内の測定環境 左からポイント⑳、㉑、㉒

屋内の測定結果を

表 3.3-43 屋内の測定結果に示す。

- ポイント⑳、㉑、㉒の距離対受信電力の測定結果を図 3.3-81 屋内環境における距離対受信電力に示す。
- ポイント⑳、㉑、㉒の距離対スループットの測定結果を図 3.3-82 屋内環境における距離対スループットに示す。
- ポイント⑳、㉑、㉒の距離対伝送遅延の測定結果を図 3.3-83 屋内環境における距離対伝送遅延に示す。

表 3.3-43 屋内の測定結果

測定ポイント	2D 距離 [m]	3D 距離 [m]	エリアテスト受信電力 [dBm]	端末システム受信電力 [dBm]	伝送遅延 [msec]	上りスループット [Mbps]	下りスループット [Mbps]
⑳	5.5	27.1	-103.0	-98.6	24.7	3.0	92.3
㉑	21.3	34.0	-85.0	-86.0	38.9	17.2	167
㉒	24.6	36.2	-95.0	-84.2	33.2	53.9	173

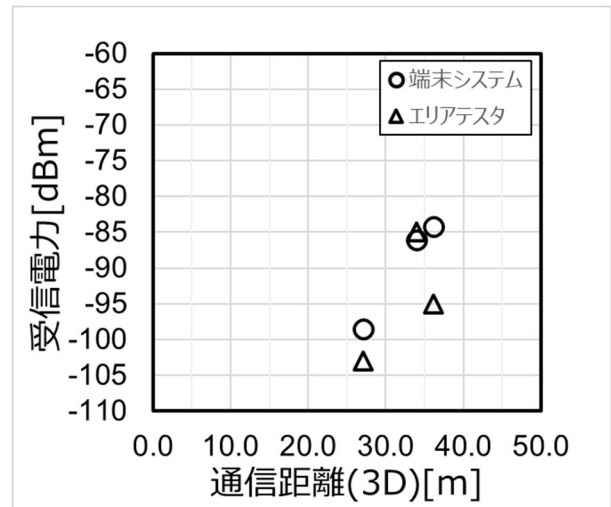
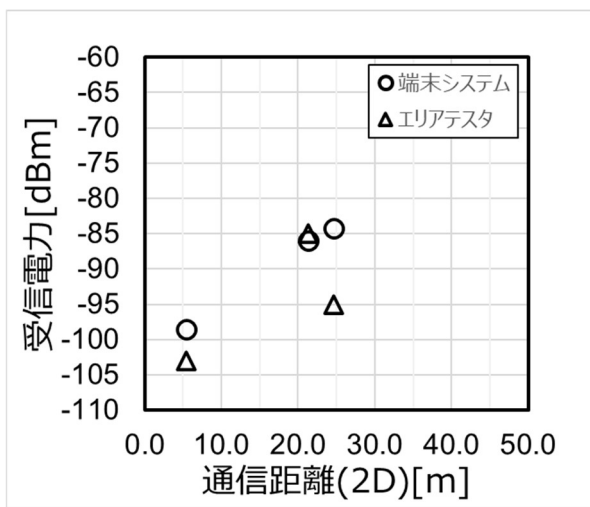


図 3.3-81 屋内環境における距離対受信電力

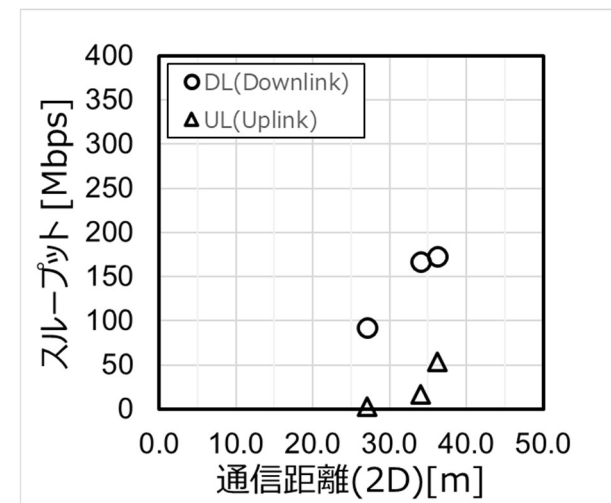
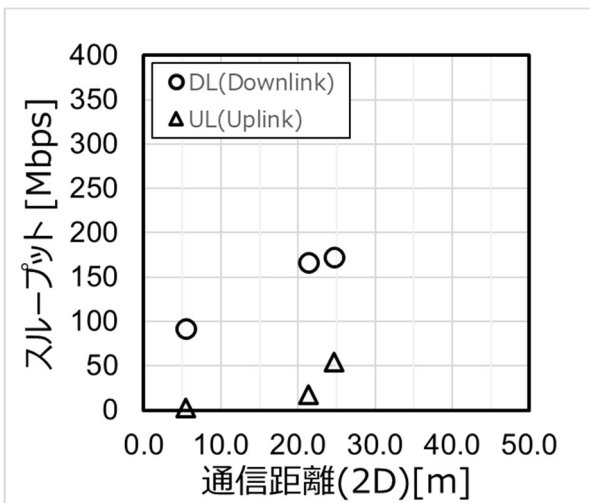


図 3.3-82 屋内環境における距離対スループット

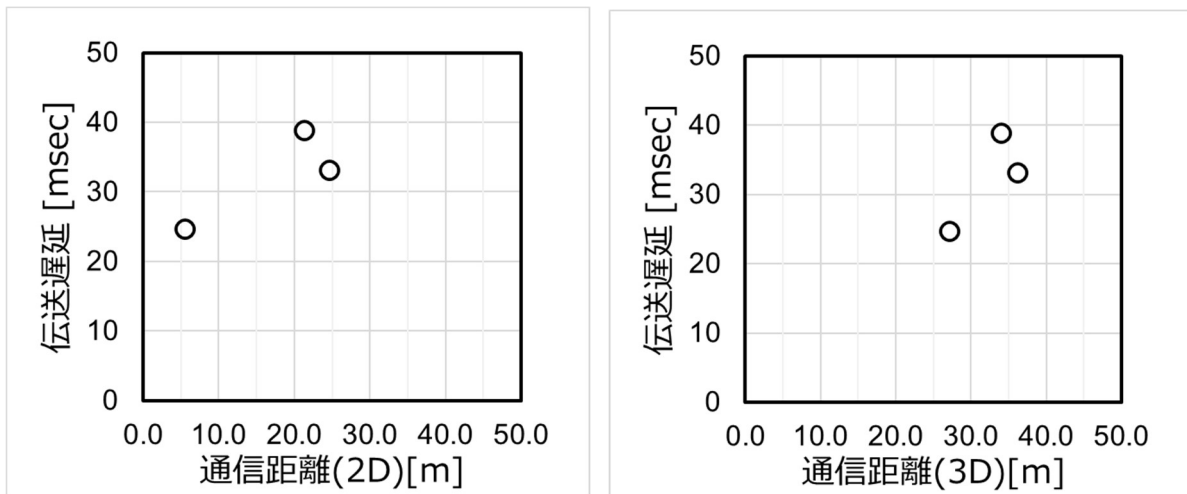


図 3.3-83 屋内環境における距離対伝送遅延

受信電力は、ポイント②が距離は近いが見通し外となっているため同程度の距離のポイント①と同等レベルとなっている。スループットについても、ポイント②は見通し外となっているため、屋外：見通し外同様の結果となることが分かった。

(3) 考察

UL(Uplink) 2x2 MIMO に対応した本端末システムをローカル 5G 基地局に接続した時の受信電力、スループット、伝送遅延を明らかにした。

全測定ポイントでの伝送遅延の最悪値と全測定ポイントにおける平均値を表 3.3-44 に、同様に、全測定ポイントでのスループットの最高値と見通し内における平均値を表 3.3-45 にまとめる。

本技術実証を実施したエリア内には、基地局装置の無線機(“基地局”と以後表記)が目視できる屋外・屋内のポイント、基地局が目視できない屋外・屋内のポイントがあるが、伝送遅延はどのポイントにおいても目標値である 50msec を満足出来る結果となった。一方でスループットは、見通し内環境下では、遠隔監視、遠隔臨場でストリーミング配信可能な Uplink スループット (フル HD,60fps : 28Mbps、4K,30fps : 56Mbps) を確保することが出来たが、技術実証目標に対しては、目標を満足出来るポイントはあるものの、平均値でも目標を満足することが出来ず、表 3.3 41 屋外：見通し内測定結果に示すように目標を満足出来るポイントと満足出来ないポイントがある結果となった。見通し外環境においては、表 3.3-42 屋外：見通し外の測定結果に示すように、どのポイントでも目標を満足することは出来ない結果となった。詳細は後述する。

表 3.3-44 テストベッド実証目標と結果（伝送遅延）

単位[msec]

項目	目標数値	実測値(最悪値)	実測値(全ポイント平均値)	備考
伝送遅延	50	39	29.6	データ送受信区間

表 3.3-45 テストベッド実証目標と結果（スループット）

単位[Mbps]

項目	目標数値	実測値(最良値)	実測値(見通し内平均値)	備考
スループット	112	130	86.4	UL(Uplink)時

【基地局からの見通し影響】

基地局から見通せる範囲内であれば、現在想定しているユースケースである遠隔監視・遠隔臨場において、本端末システムが現地映像をストリーミング配信するための以下の条件を、全ての測定ポイントで満足することを確認出来た。

フルHD(1,920x1,080) 60fps でのストリーミング : UL(Uplink)28Mbps

4K(3,840x2,160) 30fps でのストリーミング : UL(Uplink)56Mbps

伝送遅延 : 50msec 以下

一方で、本実証の目標値である 4K 60fps のために必要な UL(Uplink)112Mbps のスループットは基地局との距離、角度によっては満足できないことも分かった (図 3.3-84)。図中の 4K 60fps 表記部分が、112Mbps を達成しているポイントである。

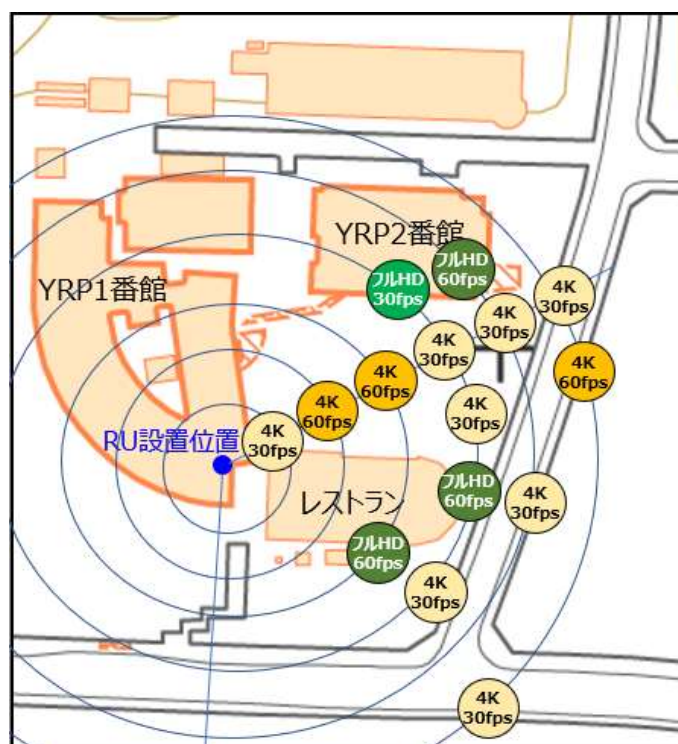


図 3.3-84 同期 TDD パターン時にフル HD, 4K 映像配信が可能なポイント

【TDD パターン等によるスループット改善】

本技術実証では接続した基地局が同期 TDD パターンで動作している。準同期 TDD パターンを用いることで、UL スロットが約 1.8 倍になるため、理論上 UL スループットも約 1.8 倍となる。3.3.4(1)の弊社ラボ環境での測定結果においても同期スループットに比べ約 1.8 倍のスループットになることを確認出来ており、実環境でも同程度の効果が見込まれる。これにより本技術実証で確認した範囲内である限りは見通し内でどの場所でも 4K 60fps のストリーミング配信が可能となることが分かった。これは、ユースケースに合わせて必要な通信能力を可変できるローカル 5G の強みを示す例と言える。屋外の見通し外や屋内環境においてもこの強みが発揮され、場所によっては準同期 TDD パターンを使用することで 4K 60fps のストリーミング配信をすることが可能となることが分かった(図 3.3-85)。



図 3.3-85 準同期 TDD パターン時にフル HD, 4K 映像配信が可能なポイント

準同期 TDD パターンよりも UL 比率を高める TDD パターンを今後利用することが出来れば、屋内においても 4K 30fps でストリーミング配信できる可能性があることも本実証の測定結果から分かった。

また、上記準同期 TDD パターンの使用に加え、端末システム視点での改善施策として、端末システムの送信電力を上げる HPUE³²への対応が考えられる。一般的な端末システムの送信電力は、PC3³³として最大 23dBm で規定されているが、PC2³⁴として3dB 大きな電力で、PC1.5³⁵として、PC2よりさらに 3dB 大きな電力で送信可能な制度の導入が検討されている。一方でこれら HPUE の運用に関しては法制化の準備中で、総務省「新世代モバイル通信システム委員会」にて技術基準の検討が行われている。HPUE の運用が可能になると、端末システムの送信電力を上げることが可能となり、屋内環境下においても 4K 60fps のストリーミング配信可能なエリアが広がる可能性がある。これは、テストベッドで得られた端末システム受信電力と上りスループットの測定結果から裏付けられる。本技術実証の屋外環境下の測定結果（表 3.3-41 屋外：見通し内測定結果）から受信電力が-84.0dBm 以上の場合は上りスループットは 65Mbps 以上であることが分かる。一方で、屋内において端末システム受信電力が-86.0dBm、上りスループットが 17.2Mbps、端末システム受信電力が-84.2dBm、上りスループットが 53.9Mbps の測定ポイントがあった。この結果から、受信電力が高い方が上りスループットが高くなる傾向があると言える。ローカル 5G は上りと下りで同じ周波数を利用しているため、上りと下りの電波伝搬路の相反性から、端末システムが HPUE に対応して基地局の受信電力が 3dB 上がる時の通信リンクの改善量は、基地局の送信電力が 3dB 上がって端末システムの受信電力が 3dB 改善した時の通信リンクの改善量と同等である。つまり、端末システムが HPUE に対応することによる上りスループットの改善効果は、受信電力が-86dBm から-83dBm に、-84.2dBm から-81.2dBm に改善する効果と同等であり、これらのポイントでは端末システムが HPUE に対応することで受信電力が-84.0dBm 以上の場合の上りスループットが出ることで推定される。つまり、上りスループットが 65Mbps 以上に改善し、4K 30fps でストリーミング配信できるようになると推定される。

【基地局から死角エリアでの改善】

基地局が見通せなくなり、建物による反射も期待できない場所(例: YRP2 番館裏)においては TDD パターンの変更だけでは 4K 60fps を可能とするほどの UL スループット改善は見込めないことが確認できた(図 3.3-86)。

³² High Power User Equipment

³³ Power Class 3

³⁴ Power Class 2

³⁵ Power Class1.5

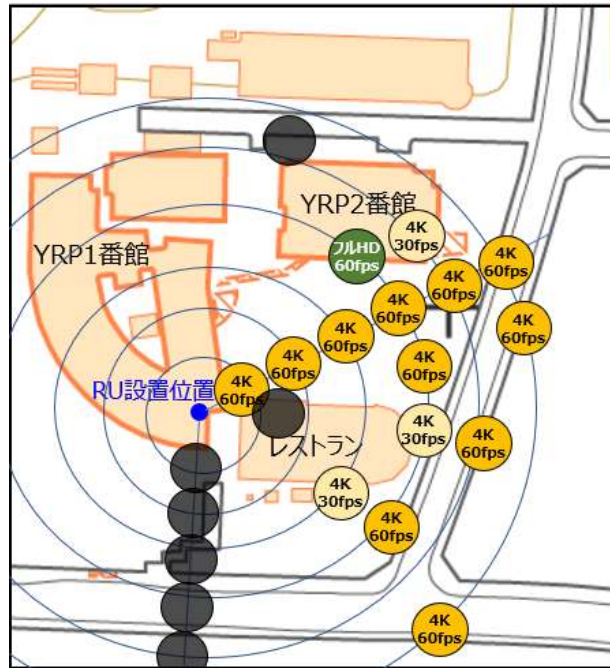


図 3.3-86 準同期 TDD パターン時でもフル HD 映像配信が出来ないポイント(黒塗り部分)

ローカル 5G では、現状では比較的高い周波数を利用することから、空間及び遮蔽物による減衰が大きい。今回の端末システムは主に遠隔監視・遠隔臨場で活用される想定であり、工事・建設現場等では図 3.3-87 に示すように建機、建設中の建物等によりローカル 5G の電波を阻害される死角がある環境での利用が想定される。これら死角があるエリアでも遠隔監視・遠隔臨場を実施できるローカル 5G システムを構築する必要がある。

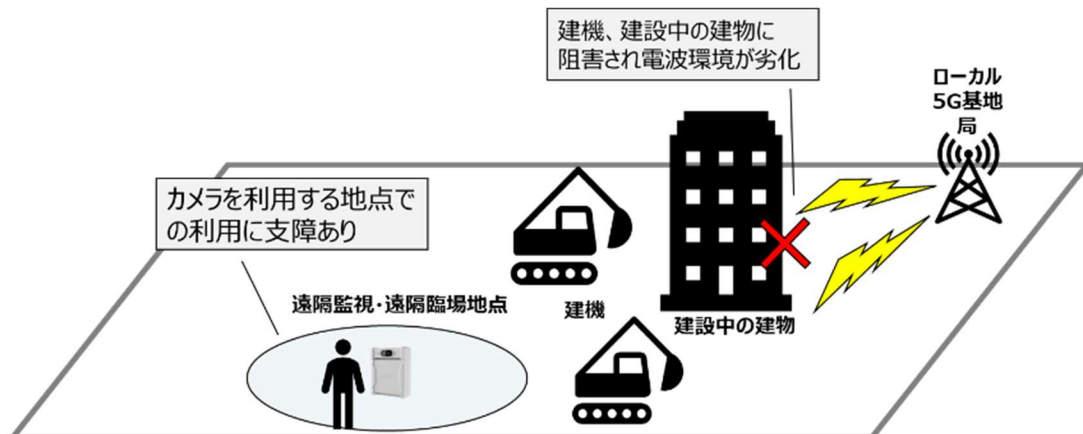


図 3.3-87 遠隔監視・遠隔臨場利用時に想定される電波劣化状況

改善の施策としては、コアシステムを含めローカル 5G システム全体を遠隔監視・遠隔臨場をするエリア内での複数構築、エリア内に中継局（陸上移動中継局、小電力レピータ陸上移動局）の設置、コアシステム数は増やさずに分散型アンテナシステム(DAS)³⁶を利用する等して、基地局が電波を送受信する場所を増やし、端末システムとローカル 5G 通信できるエリアを広げることが対処案として考えられる。

具体的な例として、DAS を用いた改善例を図 3.3-88 に示す。ローカル 5G の基地局から死角になっている現場近くに子機を設置する。ローカル 5G 基地局と子機との間は光ケーブル等により接続されており、間に中継器を入れることで複数の子機を接続することも可能である。このように接続された子機から基地局の電波を発射することで、元々基地局の死角であった場所においても、安定した接続が期待出来る。

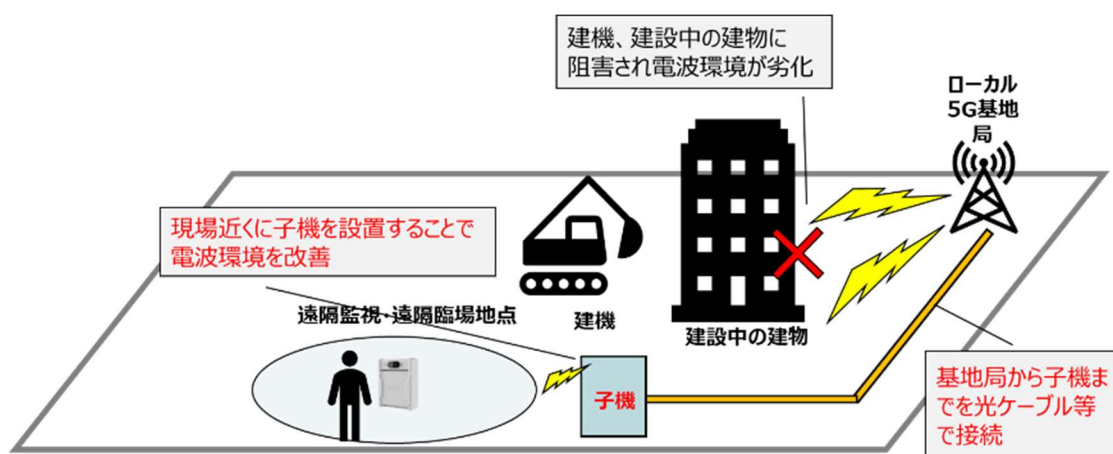


図 3.3-88 DAS を用いた電波環境の改善例

この場合は、電波が自己土地外に届くエリアも広くなることから干渉調整エリアも広くなり、他者土地所有者との調整作業が増えることや、調整期間が延びることが懸念されるが、免許申請で示されているカバーエリア端(受信電力-84.6dBm)地点での受信電力の実測値(図 3.3-89)は申請値のそれよりも 15dB 以上低くなっていることが確認出来た。

この結果からは、電波法関係審査基準(平成 13 年総務省訓令第 67 号) 別紙 2 (第 5 条関係) 無線局の目的別審査基準で示されているカバーエリア及び調整対象区域を求める伝搬等に応じて受信電力を算出する際の計算式の更なる精緻化や、受信電力の実測値を元にした免許申請も可能とすることで、ローカル 5G の強みを発揮できるエリアを広げつつ、干渉調整が必要となるエリアが狭小化する可能性が示される。

36 Distributed Antenna System; 基地局から届く電波を光ケーブル等によって分配することで通信出来るエリアを拡張するシステム

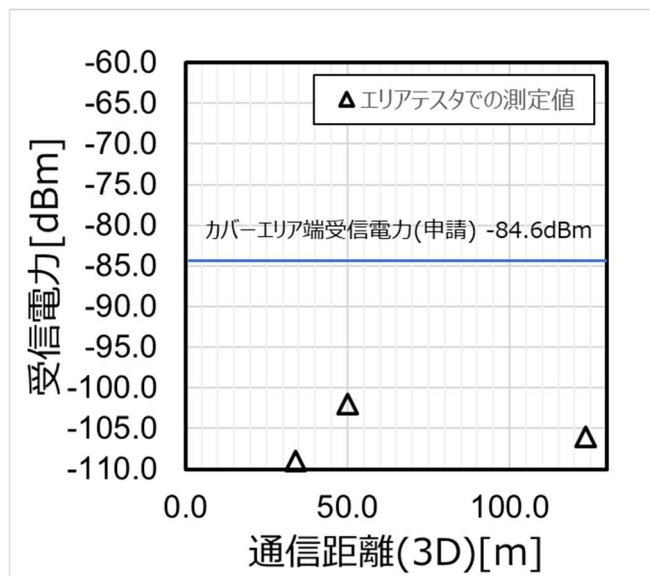


図 3.3-89 カバーエリア端での受信電力確認結果

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

製造業や工事・建設業の現場では、デジタル技術イノベーションによる自動化や省人化、効率化が進むと期待されている。その背景として、少子高齢化により深刻化する労働力不足を補完するという大きな社会課題がある（補足 1：製造業・建設業における課題を参照）。特に製造業では、昨今の消費者ニーズの多様化に応えるために多品種少量生産あるいは変種変量生産に対応する必要性が高まっていることも一因である。属人的だった作業を自動化し、製造ラインの細やかな段取り変更がクイックにアップデートされ、それに応じたマテリアルハンドリング(マテハン)や組み立て作業が時間的ロス無くフレキシブルに稼働することができる、ミッションクリティカルな生産体制の構築が求められている。

当社は 2020 年よりローカル 5G ビジネス開拓を推進しており、その活動の帰結としてローカル 5G 技術は前述のような自動化・省人化イノベーションの実現に欠かせないテクノロジーであり、実用的なソリューションと提供価格を実現することにより、今後徐々に浸透していくと見込んでいる。

製造業のニーズ

前述の通り、製造業では多品種少量生産あるいは変種変量生産へ効率的に対応するための生産ラインの刷新が求められており、以下の 2 つの課題解決がニーズとして顕在化している。

- ① これまで属人的に行われてきた作業の自動化
- ② 自動化の難しい複雑な作業を現場作業者が正確に効率よく実施できるシステムの構築

上記①については、材料や製造物（ワーク）を AGV³⁷によって自動的に搬送するニーズがあり、一部の大企業の工場や倉庫を中心に既に導入が進んでいるが、今後は中小規模の工場を含め幅広く普及が見込まれる。さらに、組立作業現場においては協働ロボットが作業者の代替えとなることが期待されている。協働ロボットの世界出荷台数は 2019 年実績 28,969 台に対し 2030 年予測台数 102,378 台に達すると見込まれている（出典：矢野経済研究所「協働ロボット世界市場に関する調査を実施（2020 年）」）。

次に②については、複数のラインで作業する複数の作業員に対し、少数の熟練作業員あるいは監督者が遠隔からリアルタイムに作業指導することで、複雑な作業の要点を効率よく伝達するソリューションが求められている。プラント内の設備点検や溶接などの専門作業等、適用される範囲は広い。

³⁷ Automatic Guided Vehicle;無人搬送車

建設業のニーズ

建設現場においては、所謂「遠隔臨場」による作業者の後方支援による効率化がニーズとなっている。これは、従来公共工事の中で、国土交通省の直轄土木工事では、「段階確認」や「立会」、「材料確認」を監督職員が現場に出向き、発注者立会のもとで実施していた臨場を非接触・リモート化を指向して、現地に出向かず web 会議システム等を利用して実施するものである。令和 4 年度からは、原則全ての直轄土木工事に「遠隔臨場」を適用する旨、国土交通省が発表した（図 4.1-1、図 4.1-2）。前節で取り上げた作業指導の事例よりもリアルタイム性（伝送遅延小）の要求は低いものの、高精細映像伝送への期待は高くなっている。



図 4.1-1 遠隔臨場のイメージ

遠隔臨場 実施要領の策定のポイント	国土交通省 参考資料
ポイント 1 対象工事 原則すべての工事に適用	
<ul style="list-style-type: none"> ●対象工事 <ul style="list-style-type: none"> ・ 令和 4 年 4 月 1 日以降発注、および令和 4 年 4 月 1 日時点で遠隔臨場の対象工種がある工事は原則、全ての工事に適用。 ・ 通信環境が整わない現場や工種によって不十分、非効率になる現場はこの限りではない。 ●実施 <ul style="list-style-type: none"> ①新規発注工事 <ul style="list-style-type: none"> 発注時において、遠隔臨場の実施を特記仕様書に記載することとする。 但し、通信環境が整わない現場や工種によって不十分、非効率になることが明確な場合は、この限りではない。 ②既契約（特記に記載がない場合）の工事 <ul style="list-style-type: none"> a) 発注者が対象工事に合致すると判断した工事 受注者に要請し、実施可能の回答が得られた場合は、設計変更により発注者指定型として実施。 b) 発注者が対象工事に合致しないと判断した工事 受注者から遠隔臨場の希望があった場合（新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止対策等を含む）、受発注者間で協議し、特段の事情がない限り、発注者指定型として実施 	
1	

図 4.1-2 遠隔臨場に関する通知（国土交通省資料）

ローカル5G 普及に対する課題認識

当社では製造業の現場および工事・建設業の現場における遠隔臨場、並びに自動化・省人化ソリューションをローカル5G技術活用により実用化することが、社会課題の解決に資する形でローカル5Gの普及促進につながるものと考えている。

しかしながら、ローカル5Gは未だ実証段階のユースケースが多くを占め社会実装から実用化あるいは商用化にまで達する案件は未だ少ないのが実態と認識している。当社はその推定要因を以下の通りと考察しており、これらを解決していくことでローカル5Gの普及促進につながると考えている。

- ① システム全体の導入コストと得られる効果が見合っていない（費用対効果のアンマッチ）
- ② ローカル5G本来の性能が出せる技術実装の目標未達
- ③ 競合テクノロジー（全国5GおよびWi-Fi）との比較から優位性が見出せない

まず上記の①については、ローカル5Gネットワーク機器の価格が徐々に下落することで、ユーザ企業の導入の意思決定のハードルは下がっていくとともに、このハードルをクリアできる付加価値のあるソリューションを実現できる端末の登場により解決に向かうと考えている。

次に②については、3GPPの最新規格への対応が進展し、ネットワーク機器と端末の双方の性能・品質（伝送容量、同時接続端末数、伝送遅延時間）が向上することで達成できると考えている。特に端末に関しては、適用されるユースケースに適した様々なバリエーション展開が実現することも必要条件と考えている。

例えば、AGVの遠隔制御を実現するためのローカル5G機能の組み込みに際して、これまでのローカル5G実証ではAGVに汎用的な5G通信モジュールや5Gルーターを組み込み、さらに実証に必要なデバイス（カメラ等）をつなぎこみ、それらを動作させるためのソフトウェアを個別に作りこんでいた。そのため仕上がりの機器は物理的サイズが期待値よりも大きくなってしまい、またシステム開発に要する費用が高額となり商用導入が促進せず実験段階のまま停滞してしまっていた（当社調べ）。小型でAGVやロボットなどの設備に取り付けやすく、周辺機器との接続拡張性やアプリケーションの組み込み容易性が担保された端末があれば、商用導入へのハードルは下がると考えられる。

そして③については、全国5G等の公衆網やWi-Fiそれぞれのテクノロジーの特長を理解した上で、ローカル5Gの優位性が活かせる市場やユースケースにフォーカスすることが重要と考えている。当社は工場および工事・建設現場をターゲット市場ととらえており、以下にその理由を述べる。

ローカル5Gの展開に適した市場に対する考察

一般的にローカル 5G は Wi-Fi と比較してカバーエリアが広く、より少数の基地局でエリア全体をカバーしたネットワーク構築が可能であるため、広範囲なエリアや電源確保の困難な屋外エリアをカバーするニーズを充足しやすい。また全国 5G と比較すると接続デバイス数を想定したネットワーク設計が可能のため、安定した通信帯域の確保や通信品質の担保がより実現しやすい。更に特殊な優位性として、災害に対する堅牢性が挙げられる。公衆網では災害時に通信トラフィックが輻輳する等の恐れがあるが、ローカル5G網はそのような災害インシデントに影響されにくい特長を有している。

その他のローカル5Gの特長として、映像伝送のように端末システムから基地局方向(Uplink)への通信帯域を広く確保できるという利点もあり、帯域制御の面でより柔軟な対応ができる。さらに、ローカル5Gは免許制度に準じた形で通信が必要なエリアを限定して設置が可能であるため、例えば山間部などの大規模工事現場(高速道路、ダム、橋梁など)など公衆通信網の電波が届かないエリアにおいても安定したネットワークを構築し、ミッションクリティカルな運用をすることが可能である。

このようなローカル5G優位性を発揮しうる市場を網羅的に抽出する目的で、これまでに実施されたローカル5G開発実証および当社における 2020 年から約 2 年間にわたるローカル5G市場でのビジネス開拓推進活動での結果を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 ローカル 5G の特長を活かしやすい市場、ユースケースの考察

課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証			必要となるローカル 5G の特長			当社活動によるローカル 5G 商談割合 (%) (2020 年～)	当社商談における顧客要望ユースケース
分野	R2 件数	R3 件数	Uplink 優先	広域利用	ミッションクリティカル		
農業	3	3	-	○	-	-	
林業	-	1	-	○	-	-	
漁業	1	-	-	○	-	2%	遠隔監視に利用
<u>工場</u>	4	4	○	○	○	47%	<u>遠隔支援・指示、遠隔監視に利用</u> <u>生産設備自動化ニーズあり</u>
<u>工事・建設</u>	-	1	○	○	○	18%	<u>遠隔臨場、遠隔支援・指示</u> <u>現場安全監視</u>
発電所	-	1	○	○	○	5%	異常検知ニーズ、設備遠隔点検
空港・港湾	-	3	○	○	○	-	
モビリティ・交通	1	1	○	○	○	7%	異常検知ニーズ、設備遠隔点検
鉄道・道路	1	2	○	○	○	2%	異常検知ニーズ、設備遠隔点検
観光・e スポーツ	3	3	○	○	-	12%	動画配信、人物行動把握等に利用
防災	1	3	○	○	-	7%	監視カメラ用途
防犯	1	-	○	-	-	-	
働き方	1	-	○	-	-	-	
医療・ヘルスケア	3	1	○	-	○	-	
スマートシティ	-	2	○	○	-	-	

上記の比較評価の結果、ローカル5Gの特長・優位性を発揮しうる分野(ローカル5G特長の3点が全て○の分野)として、工場、工事・建設、発電所、空港・港湾、モビリティ・交通、鉄道・道路が挙げられる。

当社における約 2 年間の商談活動の中で、実際に顧客から商談要請があった件数割合においても、工場および工事・建設現場の分野からのリクエストが多いため、この2分野は市場ニーズが高い優先ターゲット分野ととらえている。

上記ターゲット市場に絞って顧客ニーズ、ローカル5Gの特長を活かしたユースケースおよびそこに組み込まれるべき端末システム像を整理した結果を

表 4.1-2 に示す。

表 4.1-2 当社ターゲット市場におけるローカル 5G 優位性分析と端末システム像

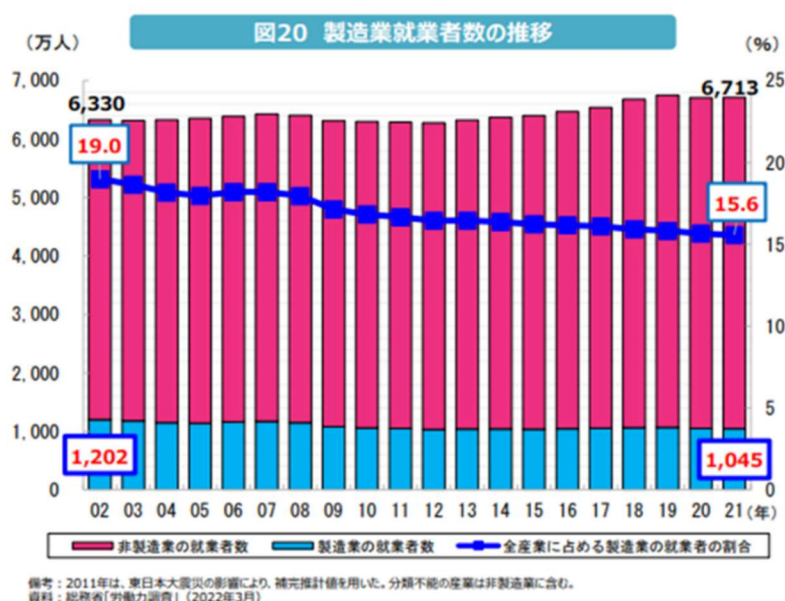
	工場	工事、建設現場
顧客ニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ・労働力減少、多品種少量生産に対応するための、効率的な作業指示、技術伝承の実現や属人的作業の自動化 	<ul style="list-style-type: none"> ・労働力減少、労働者の高齢化対策として効率的な作業指示
ユースケース	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者に対する遠隔支援 ・移動体 (AGV) や設置自由度の高い協働ロボットの 5G 化によるリモート制御化、自動化 ・ドローンによる設備遠隔監視、自動化 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場作業者を熟練作業者がリアルタイムに伝わる映像を元に遠隔から音声で作業指示する遠隔作業支援・遠隔臨場 ・ドローンによる遠隔からの出来形確認、自動化
ローカル 5G の適用意義	上りデータ帯域確保 (全国 5G に対し優位) ネットワーク安定性 (全国 5G、Wi-Fi に対し優位) 閉域網でのセキュリティ担保 (全国 5G に対し優位) 広い敷地全体 (屋外含む) をカバー可能 (Wi-Fi に対し優位)	
ユースケース実現における課題	<ul style="list-style-type: none"> ・UL の大容量通信帯域の確保による高精細映像伝送の実現 ・低遅延でリアルタイム性の担保によりミッションクリティカルな自動制御の実現 	同左
課題解決に求められる端末像	<ul style="list-style-type: none"> ・作業者、AGV やロボットに装着、組み込める小型サイズ ・屋外での運用が可能であること ・高精細映像伝送を実現可能なカメラシステムをパッケージ化 ・エッジ AI 処理により物体検知や異常検知を自律的に行うことで自動制御や遠隔作業指導を効率よく運用する補助的な役割を果たす ・AGV やロボットとのつなぎこみを想定した拡張インターフェースを具備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに搭載可能な小型軽量化 ・屋外での運用が可能であること ・高精細映像伝送を実現可能なカメラシステムをパッケージ化 ・エッジ AI 処理により物体検知や異常検知を自律的に行うことで自動制御や遠隔作業指導を効率よく運用する補助的な役割を果たす

なお、工事・建設現場は一定期間の工期を終えたら現場自体が無くなるため、ローカル 5G の設置はテンポラリーな位置づけとなる。ローカル 5G 商用開始当初は高額な導入費用や商用免許取得までに相当な期間を要することがネックとなって一時的な設置や運用には適さないシステムであったが、最近では多様な料金プラン等による導入費の低下や免許取得期間の短縮化が進みつつあり、近い将来一時的な設置利用用途でも支障なく利用できると想定し、当社としてはローカル 5G 導入対象セグメントの一つと認識している。

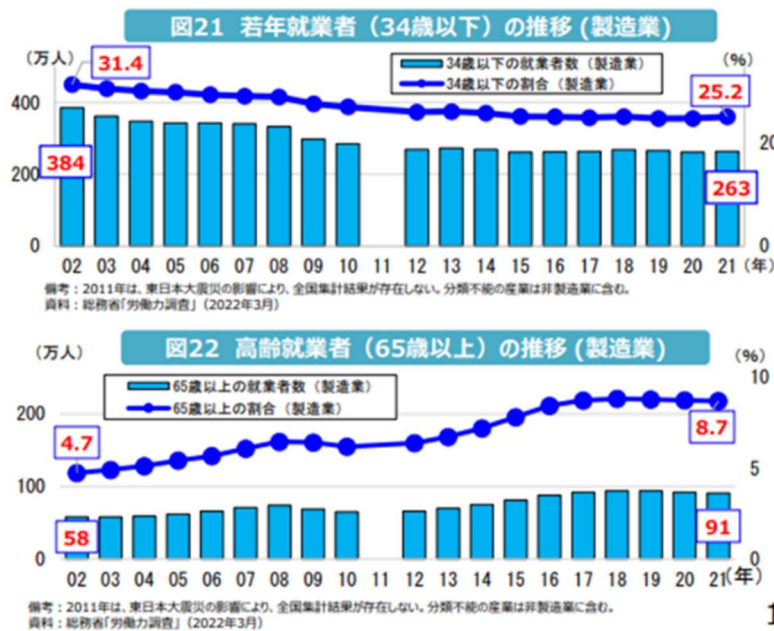
(補足 1) 製造業・建設業における課題

日本の製造業、建設業についての最も重要かつ深刻な課題の一つは労働力不足である。日本の製造業全体において、就業者数は令和2年度で約1,050万人であり、直近の約20年間で157万人減少(▲13%)している。全産業に占める製造業の就業者割合も、同様に約20年間で19.0%→15.6%と▲3.4ポイントとなっている。

更に、製造業における34歳以下の若年就業者数は、約20年間で384→263万人と121万人(▲32%)減少。製造業の全就業者に占める若年就業者の割合も、同様に31.4%→25.2%と▲6.2ポイントであるのに対して、65歳以上の高齢就業者数は、約20年間で58→91万人と33万人の増加(+57%)。製造業の全就業者に占める高齢就業者の割合は、4.7→8.7%と4ポイント上昇しており、高齢化が加速している。



(a) 製造業就業者数の推移

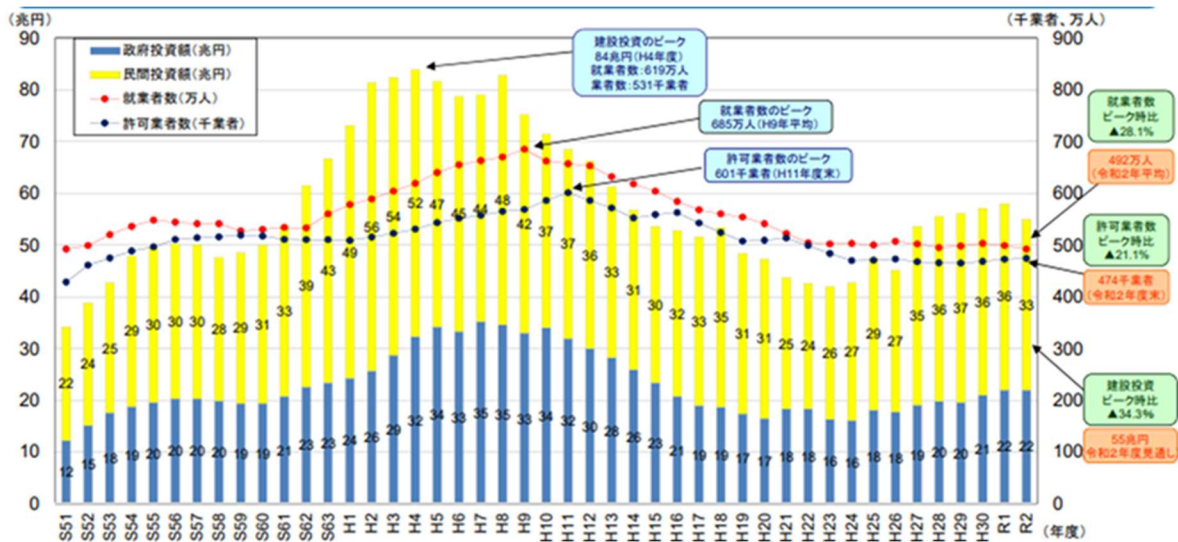


(b) 若年・高齢就業者の推移

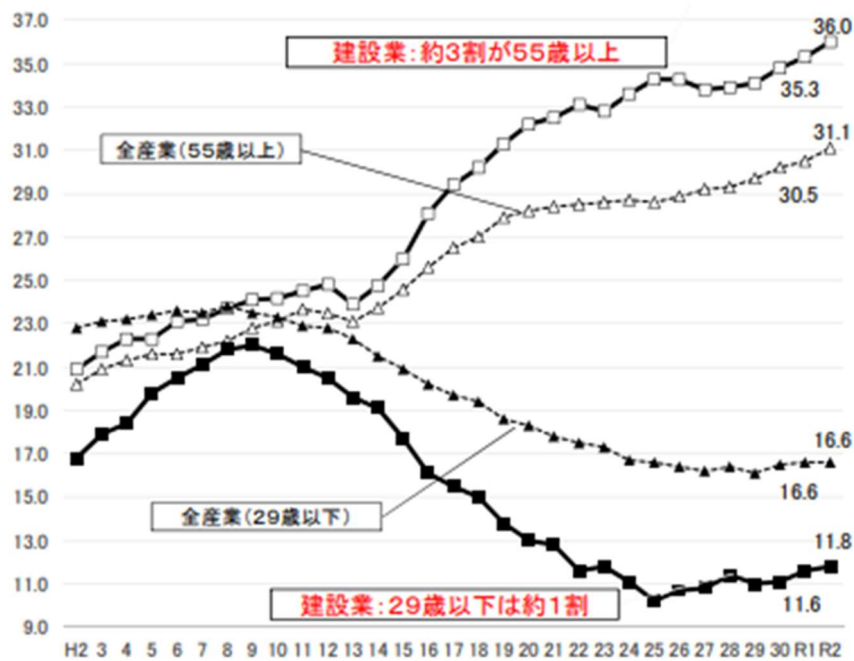
図 4.1-3 製造業労働力調査

総務省他「労働力調査」令和4年3月

一方の建設業界では就労者数の減少と高齢化が一層深刻であり、就労者数は平成9年度をピークに令和2年度では▲28%まで減っている。高齢化については、55歳以上の構成比は36%と、全産業平均より+5ポイントも高くなっている一方、29歳以下は同平均よりも▲5ポイントとなっている。



(a) 就業者数推移



(b) 就業者年齢割合推移

図 4.1-4 建設業労働力調査

出典；国土交通省資料³⁸、2021年10月15日

以上のように、製造業・建設業での労働力不足の解消は企業によっては業務持続性の面でも解決が必要となっている。解決に向けては、大きく「労働環境の改善」、「労働生産性向上」の二つの取り組みが必要であり、業界でも検討されている。このうち、「生産性向上」については、「自動化・省人化」「技能継承・若手育成」等が当面の課題の一つになっている。

³⁸ <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001428484.pdf>

4.1.2 試作する端末システム

(1) ユースケース及び端末システム

前節までに述べた背景、課題の解決に資する端末システムとして、以下の通りに整理する。

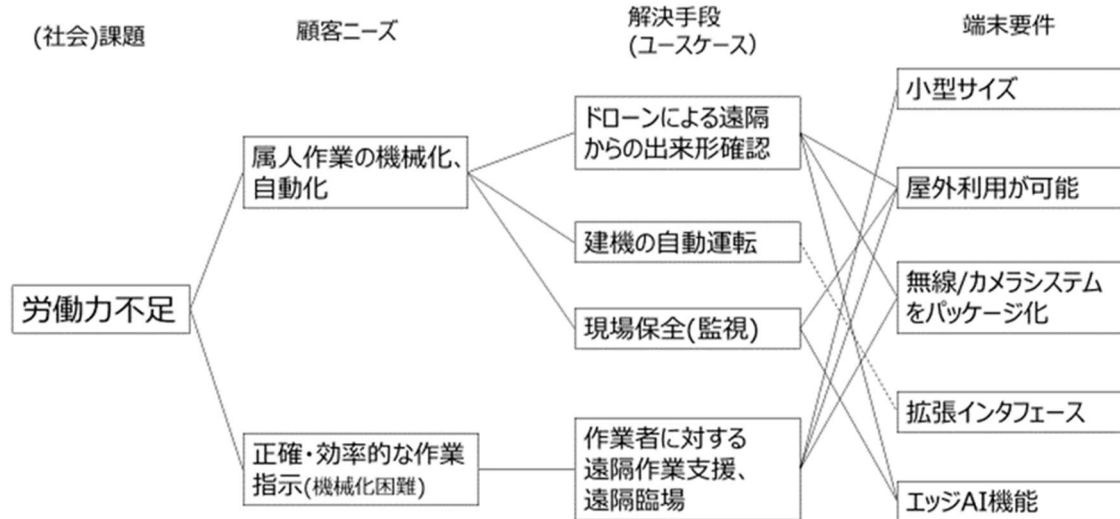
まずターゲットとなる分野・業態であるが、ローカル5Gシステムとの親和性が高く、更に市場からのニーズが高い優先ターゲット分野として建設業や製造業を、そしてその施工または実地現場である、工事・建設現場もしくは工場を想定する。

前節で述べたように、これらの産業分野が抱える背景や大きな(社会)課題については、労働人口不足と労働力低下(労働者の高齢化、技能継承不足)が挙げられる。そのため、この分野・業態での企業のニーズとしては、作業の機械化/自動化に加えて、それらが比較的困難である属人的な業務に対しての、作業支援や指導による若手育成や技術伝承が要求される。これらをよりの確に、更には遠地や複数現場においても実現しうる解決手段の一つとして、作業員目線での高画質な撮像映像を伝送してそれを指導者や監督者とリアルタイムで共有すること、または移動体ロボットなどに取り付けての自動化支援が挙げられる。

建設業(建設・工事現場)や製造業(工場)での、(社会)課題、顧客ニーズ、その解決手段(ユースケース)、そしてそれを実現しうる端末条件について図 4.1-5 にロジックツリー形式で整理した。

(1) 工事・建設現場工場

工事・建設現場



(2) 工場

工場

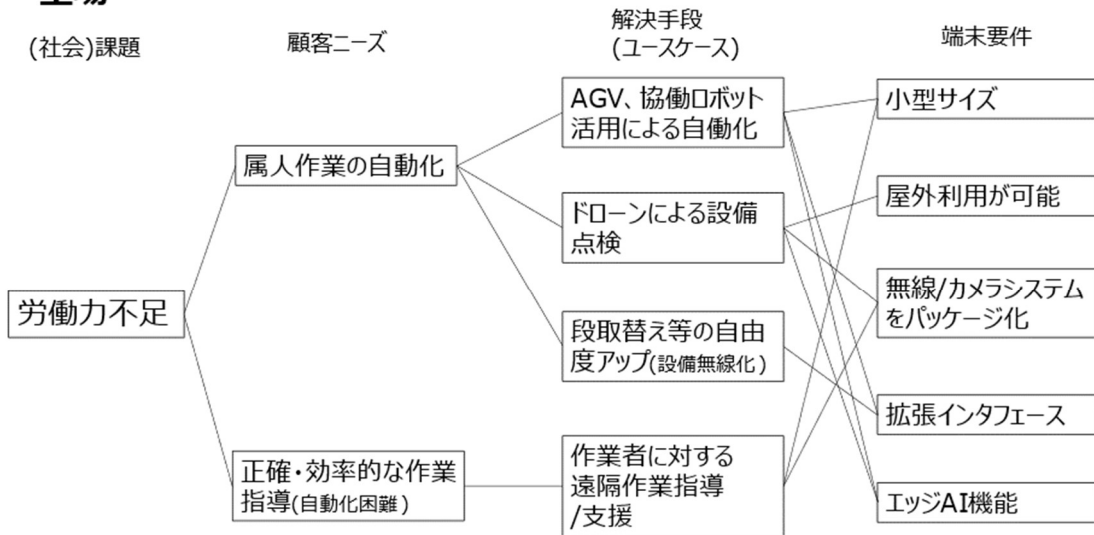


図 4.1-5 ロジックツリー

上記ロジックツリーをベースに、今回試作する端末システムについては、顧客ニーズやユースケースを一部絞り込んだ上で、下記の通りとする（表 4.1-3 参照）。

端末の主要件として、労働力不足の解消のため、効率的な遠隔作業指示が可能なカメラ、ローカル 5G 無線を一体化した作業者に装着可能な小型端末とする。また、主に工場ニーズにおいて、作業者だけではなく AGV/ロボットにも取り付け可能な構造とし、端末側(エッジ)AI 処理能力を有することで、ユースケースの拡張にも備える。

更に、AGV/ロボットへの取り付け時に関しては、インタフェースにより機能拡張が可能となるようにする。

表 4.1-3 端末システムが満たす主要要件

市場	工場ニーズ	工事建設現場ニーズ
実現ユースケース	AGV、ロボットに装着し自動化できる拡張性を想定	作業者に装着した遠隔作業支援・遠隔臨場
端末システム主要件	ローカル 5G 内蔵 小型サイズの実現 エッジ AI 処理能力の具備（将来的な付加価値向上）	

これを受けて、ローカル 5G 機能を具備しエッジ AI 処理能力を内蔵した高画質映像ストリーミング対応小型カメラ端末を試作する。現場作業者が体に装着することで遠隔臨場を実現できる装着容易性や長時間連続稼働ケイパビリティを保有したデバイスとなるもので、このような小型カメラは現時点で製品化された実績はない。また、将来的な拡張用途として AGV やロボットに取り付けてこれらを容易にローカル 5G ネットワークにアタッチさせ、クラウドやオンプレミスサーバと連携した自動化制御や遠隔制御を実現することを想定し、このような用途を想定したケイパビリティを備えるものとする。

(2) 試作する端末システムの必然性・必要性

1. 既存の容易に身体装着可能な小型カメラ端末システムでは、5G 無線を搭載していないために、5G ルーター等の無線装置が追加で必要になる。その場合、作業者自身に無線装置を装着するのは外形や重量の関係で困難であり、無線装置が移動の制約になる。無線一体型のカメラ端末システムも存在するが、身体装着が容易なほど小型ではない。

2. 既存の端末システムでは、高精細な画質(フル HD 画像以上)で動画を撮影しながら、通信して映像をライブ伝送するストリーミングを実施する場合に、発熱による動作制限の影響により、長時間連続動作できない問題がある。そのため、長時間連続で使用する場合には、映像品位を落としてライブ伝送を行うことになる。本端末システムでは、高精細映像での連続使用時間実現を可能にする。

本端末システムはこれらの問題を解決するとともに、端末システムに AI 機能をもたせることで、物体検知や異常検知を自律的に行うことにより、将来的なソリューション拡張要素や横展開範囲を広げることが可能となる。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 技術的新規性

必須、選択要件に対する対応状況について、表 4.1-4、表 4.1-5 にまとめる。

表 4.1-4 必須要件対応表

要件	対応
4.6GHz 帯と 28GHz 帯に対応もしくはどちらかに対応したローカル 5G 端末 (SA 方式 ³⁹) について、端末システムの検討を行う上で十分な台数を準備すること	4.6GHz 帯 (4.6GHz~4.9GHz 帯) SA 方式に対応 50 台程度試作を行い、必要な評価を実施
運搬・設置・設定が容易であること	小型端末のため運搬は用意であり、人体への装着や三脚での設置を想定した構造を持つ。設定については、容易な設定方法を提供する。
低廉な端末の普及を念頭におき、それが可能となるような構造とすること	スマートフォンの設計/量産の経験を活かし、低廉な端末を実現する構造設計を実施
通信モジュール部分が分離可能な構造を取る場合、アップデート・交換を考慮した汎用的な構造とすること	通信モジュール部分は一体型構造のため非該当であるが、将来的に通信モジュール部分のアップデートが必要な場合でも、OTA ⁴⁰ での設計変更が可能
長時間継続して大量トラヒックが発生しても安定的に通信疎通が行えること。その際には、機器の発熱にも留意し、十分な放熱がなされること	設計段階から熱シミュレーションを活用した放熱構造設計を実施。フル HD/4K での高画質リアルタイム伝送(ストリーミング)でも安定的な通信が可能。
準同期運用に対応すること	現在既定されている準同期パターンに対応可能
現存しない特長を有し、かつ既存デバイスの課題を解決するものであること	<ul style="list-style-type: none"> フル HD 以上の高画質リアルタイム伝送(ストリーミング)を 2 時間連続で実現可能、かつ人体に装着可能な 5G 無線一体型カメラ端末 (既存端末では、5G 無線一体型であっても人体に容易に取り付けられない、小型であってもフル HD 以上の画質でストリーミング伝送が一定時間以上実現できない)
開発する端末システムについて、別途主管課が指定するテストベッド環境において、動作確認・評価を実施すること	テストベッド環境での動作確認・評価を実施した。(実施内容詳細は 3 章に記載)

³⁹ SA 方式 (スタンドアロン方式) ; 5G 専用コア設備と 5G 基地局を組み合わせた設備のこと。4G コア設備と 5G 基地局を組み合わせた NSA (ノンスタンドアロン) 方式と比較して、大容量のみならず、超高速、超低遅延、多数同時接続通信についても実現できる

⁴⁰ Over The Air; 通信を活用したソフトアップデートを指す

表 4.1-5 選択要件対応表

要件	該当	記事
屋外利用	○	防水(IPX5/IPX8)、防塵対応(IP6X) どちらも JIS C 0920 で規定されている保護等級 (IP コード) で最も等級が高いものに対応する。
小型化及び軽量化	○	小型化(72×94×30mm)、重量 270g (いずれも暫定値)
産業用組み込み	○	アタッチメントを用いて AGV/ロボットへの搭載を可能とする。

現存しない特長を有し、かつ既存デバイスの課題を解決するポイントとしては、下記となる。

- ウェアラブルな小型カメラであり、ローカル 5G 無線回路を内蔵した一体型構造を実現
- 放熱構造の工夫により、小型ながらフル HD でのストリーミング通信で 2 時間以上の連続動作が可能
- 3GPP Release16 に対応した無線モジュールを採用しており、低遅延/多重接続についてのパラメータ拡張についても将来的に対応

(2) 過年度実証事業との関連性

本実証の中では、過去の実証事業での課題について、直接的な検証は行わないが、スマートグラス等を用いたリモート点検用途等については、より高精細な映像伝送を相手先に送れることから、過年度実証時よりもより詳細な確認をリモート先で実施できる可能性がある。

例えば、令和 3 年度の開発実証の中では、「ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証」(エクシオグループ株式会社) という報告がなされており、この実証においては、今回の実証の対象分野である建設現場ではないが、高速道路の保全(メンテナンス)においての、映像伝送によるローカル 5G 活用が実証されており、

- ① 4K カメラを活用した現場作業員の安全確保
 - ② スマートグラスを活用したトンネル内の遠隔作業支援
- という 2 つの映像ソリューションが取り上げられている。

このうち、特に②については、スマートグラス撮像映像での、伝送先(PC確認)にて、「(作業者が) はやく(カメラを) 動かす、または細かく動くと見づらい」という点について、点検作業には問題ないという結論ではあるものの、より高画質な伝送が可能であれば、使用者の満足度を高くできる可能性はある。

最終的には、来年度以降の実装の中で、アプリケーション含めた適用を検討し、課題解決検証に取り組む。

4.1.4 実証目標

(1) 技術目標

1) 令和4年度実証の目標

今年度実証としては、下記の4点を技術目標としている。

a. 小型化

人体や移動体に装着可能な小型化、軽量化を志向すべく、当社据え置き型エッジ AI カメラ AW02⁴¹と比較して、体積比で1/3程度の小型化を目指す(250cc/270g以下)。

作業者/AGV/ロボットへの装着、ドローンへの搭載を考慮すると、より小型であればあるほど望ましいとも考えられるが、連続動作を可能とするためには放熱構造の追加も必要であり、相反する2つの要求のバランスを検討、事前に実施した熱シミュレーション結果も考慮し、装置サイズ・重量の目標を設定した。

b. 防水・防塵

屋外利用を想定し防水・防塵対応を実施。

雨の中での利用、水中への落下を想定し、規格上最も厳しい防水・防塵の保護等級である IPX5 / IPX8 の防水性能、IP6X の防塵性能を取得する。

c. 連続動作

フルHDでのストリーミング通信で2時間以上の連続動作可能

2時間の連続動作が可能であれば、遠隔作業支援、遠隔臨場のユースケースには十分であると考ええる。

d. 低遅延

フルHDストリーミング通信での伝送遅延時間 端末内で200msec以下、端末間区間(エンドtoエンド)で500msec以下とする。

IP通話を考えると、遅延時間が200msecより大きくなると発話タイミングが重なる等で会話しづらくなり、500msecを超えると会話がかなり困難となると一般的に言われている。

⁴¹ <https://www.fcnt.com/business/solution/camera/detail02.html>

図 4.1-6 に伝送遅延の本実証内での定義を示す。端末間区間トータルで 500msec 以下の伝送遅延を達成するためには、端末システム内では半分の 250msec 以下が必要となる。またデータ送受信区間は 50msec 以下を目標としているため、本実証では端末内の遅延目標値は、200msec とした。

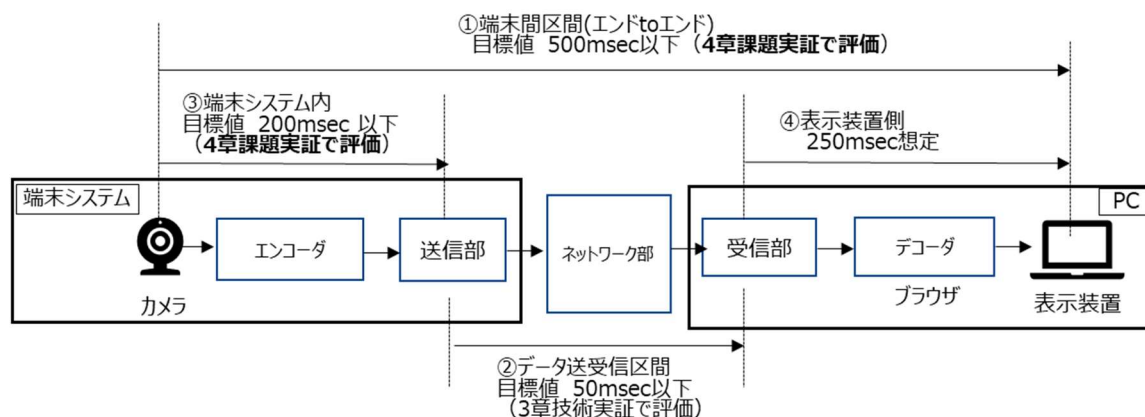


図 4.1-6 端末システムの伝送遅延

表 4.1-6 技術目標とユースケース/技術要件との関係

	ユースケース			技術的新規性	
	遠隔作業支援	遠隔臨場	AGV/ロボット /ドローン搭載	必須要件	選択要件
a. 小型化	○	○	△	○	○
b. 防水・防塵	○	○	○	-	○
c. 連続動作	○	○	○	○	-
d. 低遅延	○	△	○	-	-

○；必須、 △；必須ではないが望ましい

2) 実装時（実現したい姿）の目標

映像伝送ストリーミングのユースケースにおいて、ローカル 5G 活用ソリューションとしての優位性をより強く打ち出すには、より高画質な 4K 映像伝送が適している。今年度の実証結果を踏まえて、フル HD 時のみならず 4K ストリーミング時にも、2 時間以上の連続動作が可能な目標を設定する。

(2) 実装目標

販売台数の想定については、令和5年度に年間2,000台相当とした。内訳は端末単独販売で1,000台（遠隔臨場などで使われている既存ウェアラブルカメラ端末(5G無し)のトップシェアモデルの10%相当で約700台（弊社調べによる）、実証活用、移動体組み合わせで300台程度）、工事／工場、その他ソリューションで約1,000台としている（これまでの各社ヒアリングからの想定値）。ただし、この想定は年間相当であり、令和5年度（W年度）に関しては、実証終了後の実装化期間（開発期間）を6カ月程度見込む必要があり、2,000台の1/2である1,000台を目標と設定する。

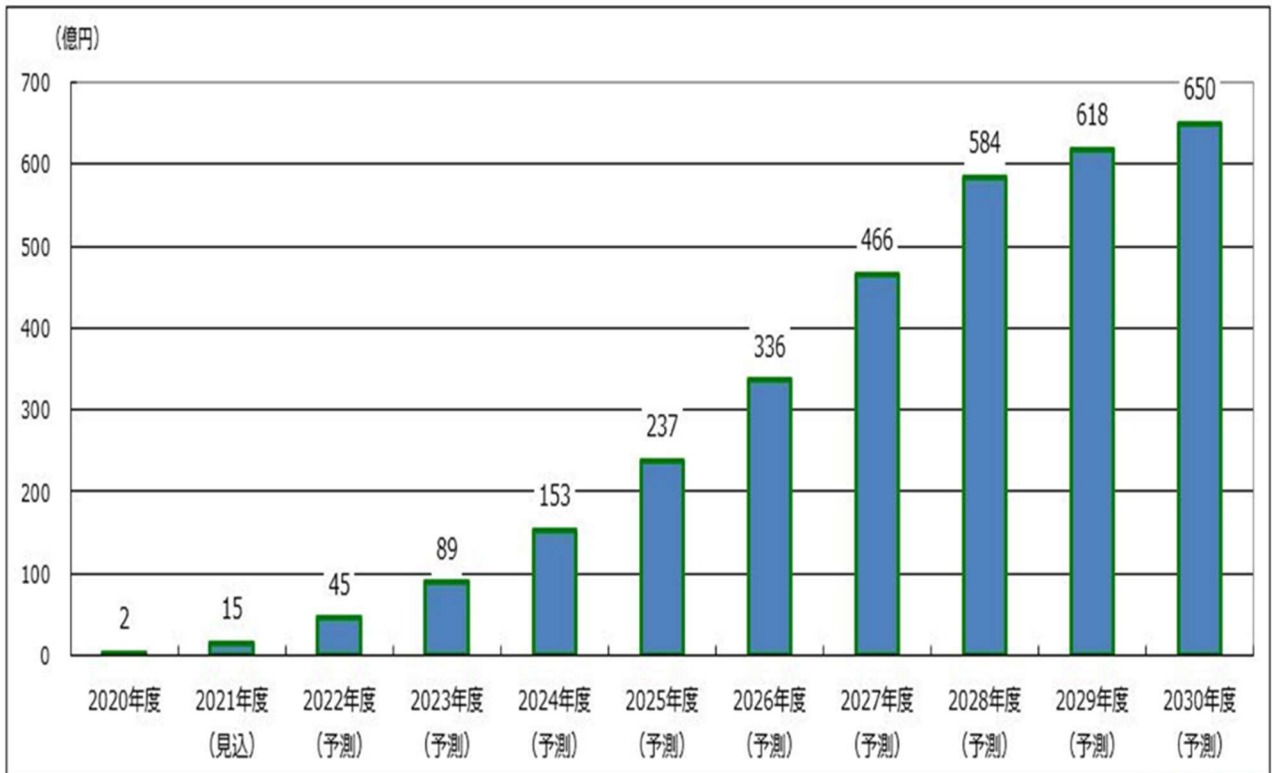
令和5年度（2023年度） 約1,000台（年間で2,000台相当。後述の通りに発売期間6カ月と見込むため）

令和6年度（2024年度）以降については、ローカル5Gソリューション市場予測（図4.1-参照）は、令和5年度を基準に令和9年度（2027年度）までの年平均成長率（CAGR⁴²）を算出すると、

$$\text{CAGR} = (466/89)^{(1/(5-1))} - 1 = 0.51$$

と、約50%になっている。今回設定を見込む端末の販売台数については、ユースケースが一部限定されていること等、市場の伸長をそのまま連動できるかは不透明な要素も多々あるため、上記ソリューションのCAGRをそのまま使用するのではなく、1/4程度に重みづけした伸長率（約13%）を想定しておく。

⁴² Compound Annual Growth Rate



矢野経済研究所調べ

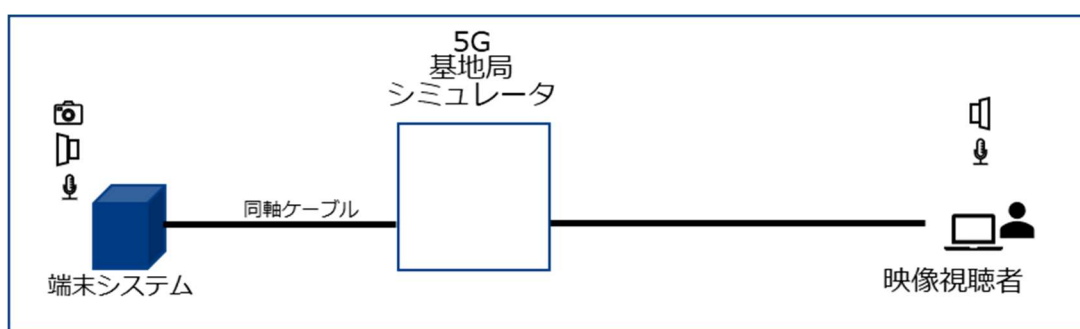
図 4.1-7 ローカル 5G ソリューション市場予測 (矢野経済研究所調べ)⁴³

⁴³ https://www.yano.co.jp/press-release/show/press_id/2924

4.2 実証環境

ストリーミング動作の検証のために、以下の実証環境を構築し、課題実証を行う。なお弊社は一般コンシューマ向けスマートフォン・ローカル 5G 対応スマートフォンの開発・製品化実績があるため、下記環境構築に際しては、新たな設備を導入せずに構築が可能であった。

図 4.2-1 に課題実証の実証環境の概略を示す。実証環境としては、本端末システムと 5G 基地局シミュレータを同軸ケーブル（またはアンテナ対向）により接続し、映像視聴者側には、基地局シミュレータにつなげたパソコンモニターを接続し、端末システムのカメラで撮影した映像をモニターへ映し出しストリーミング配信をする環境を構築し実証を行った。



シールドルーム

図 4.2-1 ストリーミング試験 実証環境説明図



図 4.2-2 5G 基地局シミュレータ (E7515B)

上記の環境において、本端末システムにてストリーミング配信をしている状態をつくり、端末システム自体の温度上昇、及び消費電流値を測定した。

表 4.2-1 計測器

システム名	名称	メーカー	モデル名
基地局シミュレータ	ワイヤレステストセット	Keysight	E7515B
サーモグラフィ	サーモトレーサ/サーモグラフィ	NEC 三栄	TH9100WV
データロガー	Memory HiLogger	HIOKI	8430
電流計	DIGITAL MULTIMETER	ADVANTEST	R6552



図 4.2-3 実証環境 (ストリーミング)



図 4.2-4 実証環境 (シールドルーム)

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

コンパクトな外観で人体装着を容易にしながら 5G 無線対応を実現する。加えて、放熱構造を工夫することで、高画質映像の長時間ライブ伝送を実現することを目指した。遠隔作業指導や遠隔臨場のユースケースから、最低 1 時間以上の連続動作が必要と想定し、今回の実証では目標の連続ストリーミング持続時間 2 時間以上を高画質映像（フル HD）で実現することを目指し試作を行った。

試作を行った本端末システムの外観写真を、図 4.3-1、図 4.3-2 に示す。

本端末システムの正面側には、カメラ、トーチライト、LED を配置し、人体等へ装着した際も撮影することができ、またトーチライトにより暗所での撮影も可能としている。同じく正面に放熱フィンを設けており本体の発熱を逃がす構造としている。

本体上面には、0.8 インチの小型 EL ディスプレイを配置して、電波状態(アンテナバー/圏外)や電池残量の表示等を行うことができる。また SIM カードを挿入するカードスロットも配置している。

本体の側面には、電源キー、ボリュームキー及びファンクションキーを配置している。キーのサイズを大きめにし、配置間隔を広げることにより、作業者がグローブなどをした状態でも操作がしやすいように配慮した。また、マイク、スピーカを備え、ハンズフリーでの通話を可能としている。

本体底面には、USB コネクタを配置し、電源の給電及び外部機器インタフェースとして USB ケーブルの接続をすることができる。

背面側はアタッチメント取り付け部を配置としている。アタッチメント取り付け部を備えることにより、三脚や様々な既存の人体装着用アタッチメントへ対応することを想定し、アタッチメント部のみを取り替えが可能な構造としている。これによって通常のカメラ用三脚などへ取り付けすることだけでなく、アタッチメント部を取り替えることによって、人体装着用のクリップやストラップ等を付けることによってウェアラブルカメラとして人体の頭部や胸部などの位置に固定することや、AGV をはじめとする車両や移動体に設置することを可能とする。(図 4.3-8 ウェアラブル用アタッチメント装着イメージ)

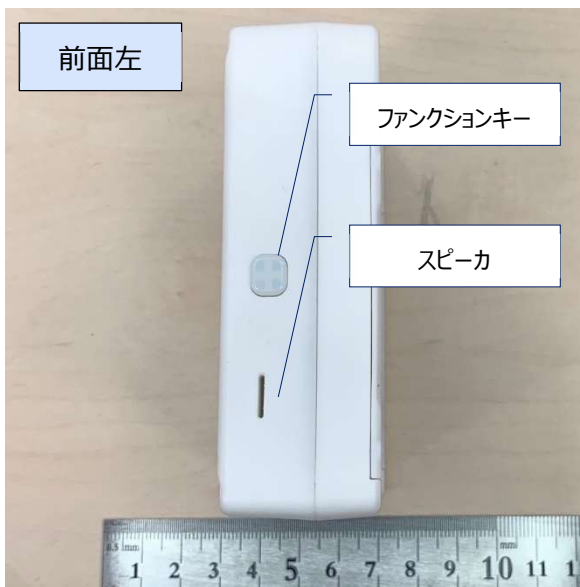
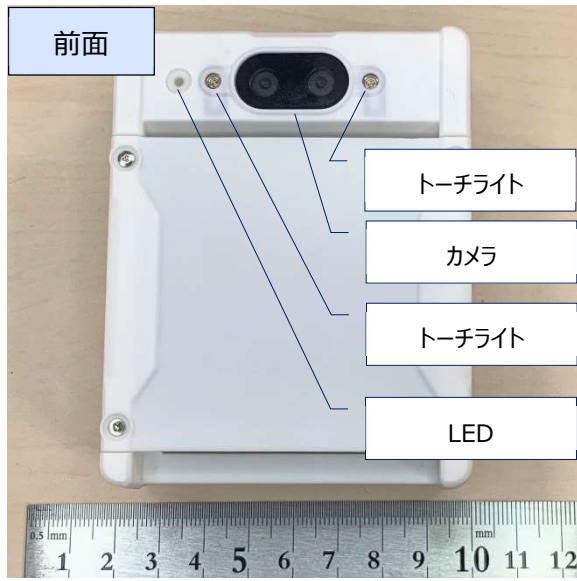


図 4.3-1 試作端末システムの外観 1

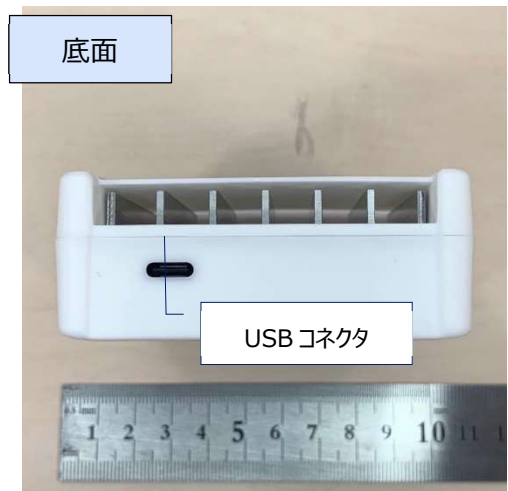
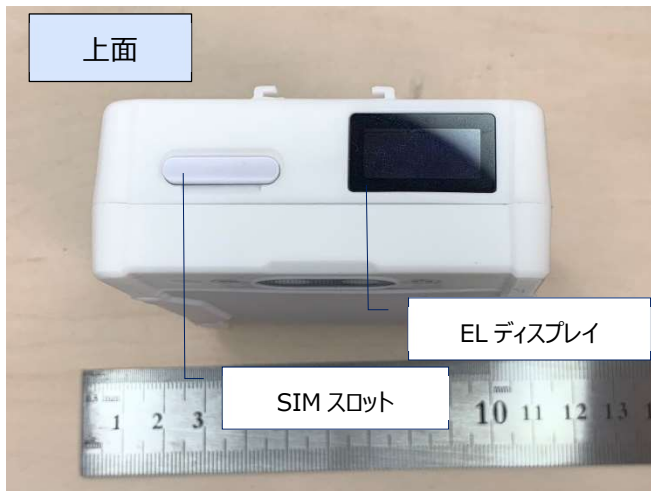


図 4.3-2 試作端末システムの外観 2

1) 主要諸元

端末システム名称： 高画質映像ストリーミング対応小型カメラ端末

特長

- ・ ウェアラブルカメラとして、人が身につけて(※)使える小型デバイス※アタッチメント利用
- ・ ルーター等を介さず、本端末システムのみで直接ローカル 5G に接続
- ・ 産業/協働ロボットや、AGV をはじめとする車両や移動体にも設置可能 (オプション)
- ・ 防水 (IPX5/IPX8) ・ 防塵 (IP6X) に対応し、屋外等の環境下でも使用可能
- ・ 最大 4K のストリーミング
- ・ 高画質 (フル HD) での連続ストリーミングが可能 (目標 2 時間以上) ; 電池駆動、外部電源
- ・ 3GPP Release16 対応モデム搭載
- ・ エッジ AI 動作も可能

表 4.3-1 主要諸元表

項目	諸元
サイズ/重量	約 76.7×96.4×30.0mm / 240g 程度
OS	Linux
CPU	QRB5165
MODEM	RM520N-GL
RAM/ROM (最大外部メモリ容量)	8GB(LPDDR5 ⁴⁴) / 128GB
ディスプレイ	0.8 インチ, 39 x 96, EL
カメラ	メイン / サブ
	12M/12M (実証時は同じカメラを搭載)
手振れ補正/ トーチライト (暗所撮影用)	デジタル (実証時は動作しない) / 2 個
センサ	6 軸、地磁気
LTE Band	公衆 : Band 1, 3, 8, 18, 19, 41, 42 (実証では Band3 のみ動作) 自営 : Band 39(sXGP), 41 (BWA)
5G NR ⁴⁵ (Sub6)	全国 5G : n1, n3, n28, n77, n78, n79 ローカル 5G : n79(SA) (実証では n77, 78, 79 のみ動作)
ミリ波	非対応
UIM カード形状	nano UIM x 2
Bluetooth / GNSS	実証時は、使用しない ○(5.1) / ○(GPS ⁴⁶ , GLONASS ⁴⁷ , Galileo ⁴⁸ , QZSS ⁴⁹)
Wi-Fi / テザリング	802.11 a/b/g/n/ac
動作温度範囲	-10~40°C / -30~60°C (条件付き)
防水 / 防塵	○ (IPX5/IPX8) / ○(IP6X)
電池容量	3,400mAh
外部 I/F	USB Type-C
色	ホワイト

試作要素/技術仕様

- 防水・防塵 保護等級

端末システムを使用する場面において、どのようなユースケースでも使用可能で、制約条件とならないよう、防水・防塵の保護等級が最高の IPX5/IPX8 の防水性能、IP6X の防塵性能を有するものとする。

⁴⁴ Low-Power Double Data Rate 第 5 世代

⁴⁵ 5G NR (ファイブジーエヌアール) ; 第 5 世代移動通信システム (5G モバイルネットワーク) 用に 3GPP によって仕様策定された新しい無線アクセス技術

⁴⁶ Global Positioning System

⁴⁷ Global Navigation Satellite System

⁴⁸ EU による全地球航法衛星システム

⁴⁹ Quasi-Zenith Satellite System; 日本の準天頂衛星システム

- フルHD ストリーミング 2 時間超連続送信

5G 連続通信による発熱に耐えうる小型ウェアラブル端末システム実現のため、放熱設計を最適化した筐体構造を実現する。

本端末システムの特徴となるコンパクトな外観で 5G 無線対応のためのアンテナ構造設計、放熱構造、防水・防塵構造の設計については、4.3.1 (1) 3) 放熱構造設計、4.3.1 (1) 4) 防水・防塵構造設計、4.3.1 (1) 5) アンテナ構造設計の章で後述する。



図 4.3-3 端末システム外観イメージ図

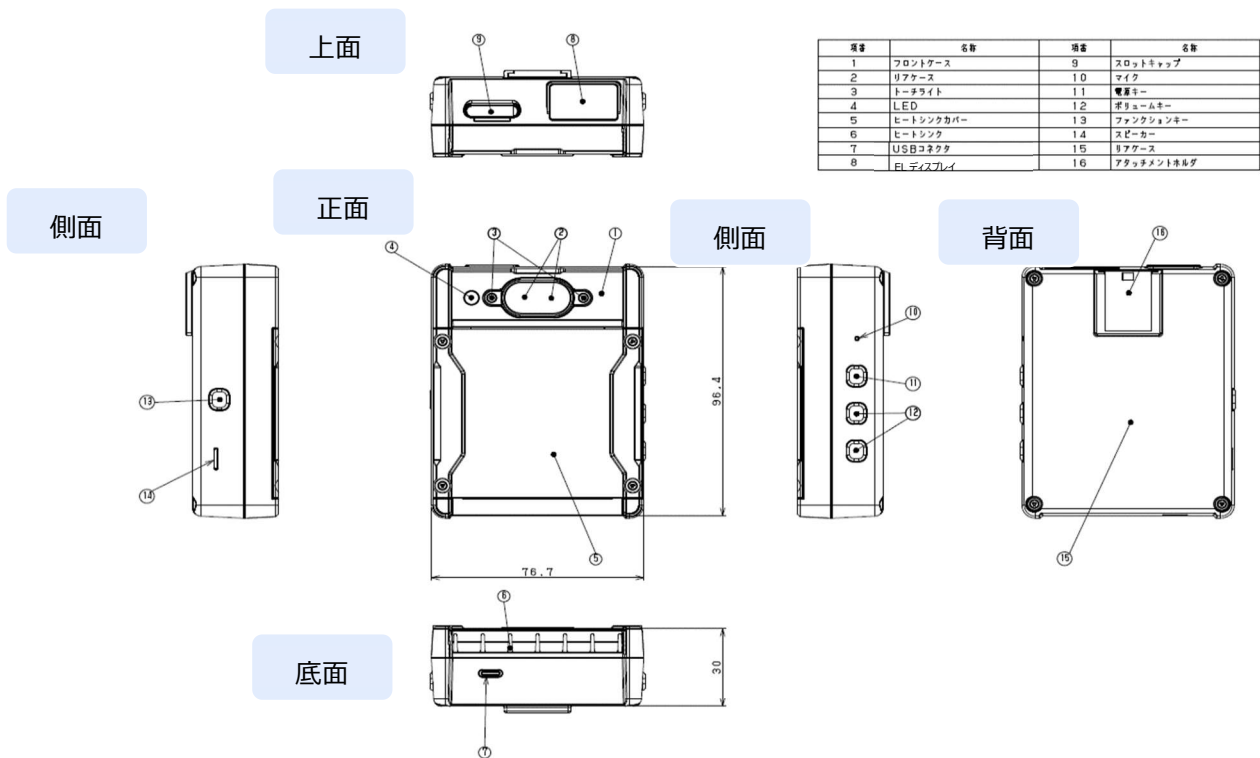


図 4.3-4 端末システム 6面図

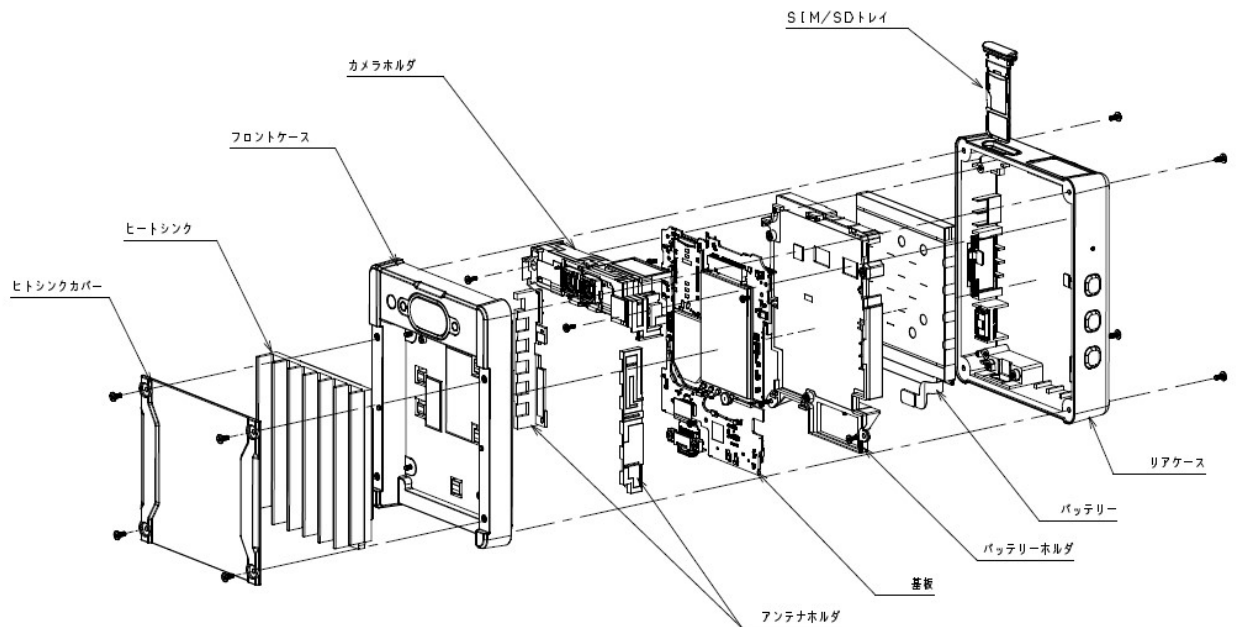


図 4.3-5 端末システム 分解斜視図

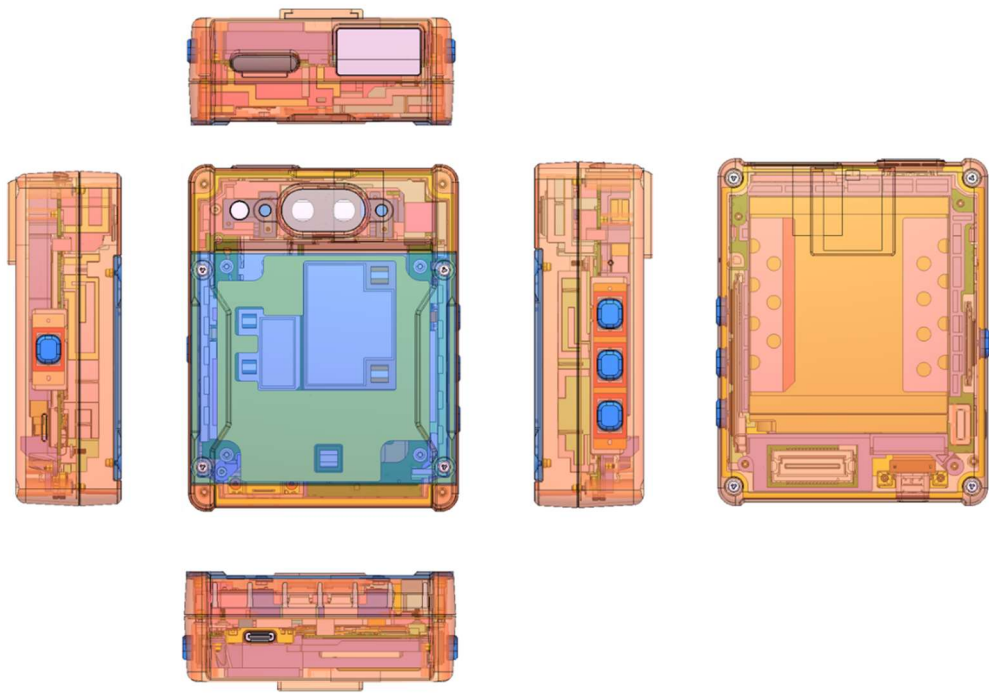


図 4.3-6 端末システム 透視概略図



図 4.3-7 アタッチメント取り付け部

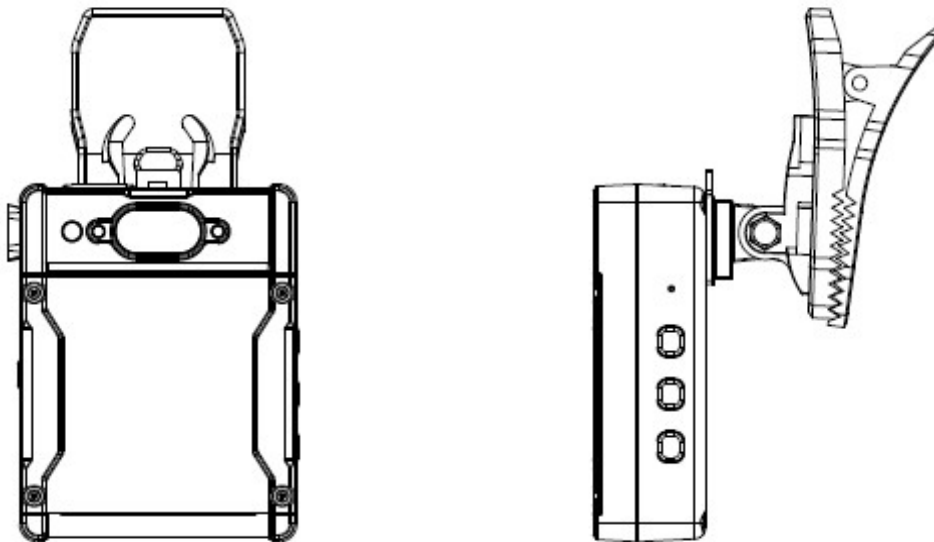


図 4.3-8 ウェアラブル用アタッチメント装着イメージ(クリップ取り付け時)

2) ハードウェア構成

前節で説明した諸元を満足する端末システムとして、今回試作した装置のブロック図を図4.3-9に示す。

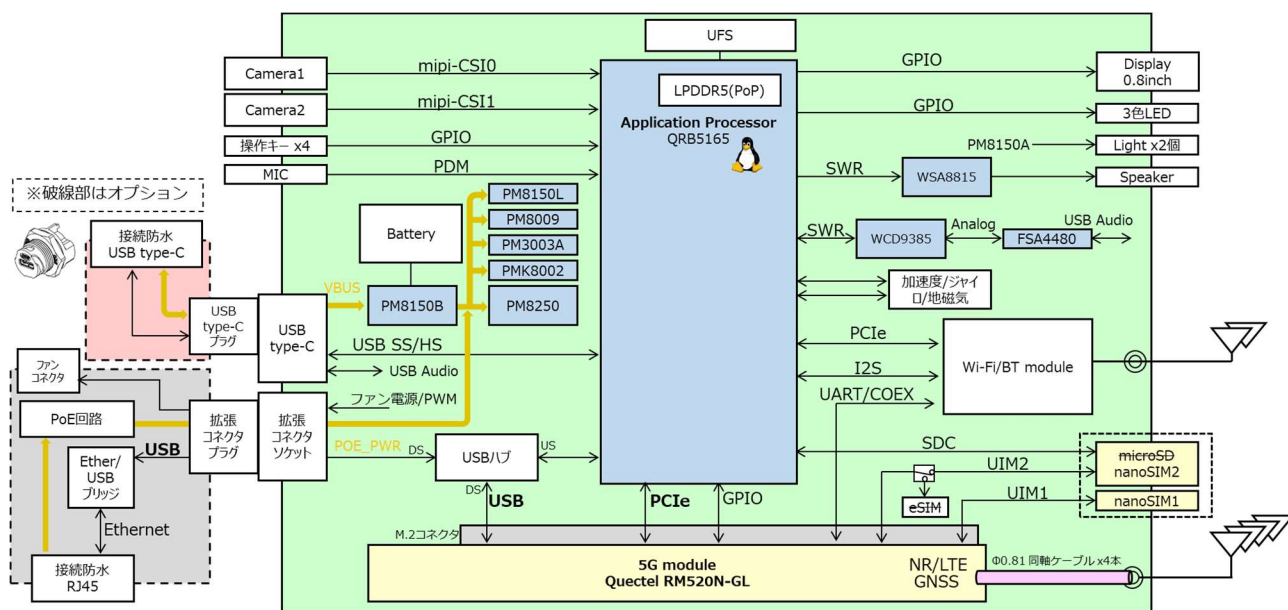


図 4.3-9 試作端末システムブロック図

本端末システムは、高画質カメラ、AP⁵⁰、5G/Wi-Fiの無線モジュールを搭載し、高画質なストリーミングカメラを実現している。

撮像用カメラに関しては、4K撮影が可能な仕様品を搭載(12M pixel)した。更に、今回の端末としては、ユースケースの拡大に向けて、暗所でも使用可能なモニタカメラ用途にも将来的に耐えられるように、構造的な課題の抽出も兼ねて、カメラを二つ搭載している。そのうちの一つは、IR(赤外線)カット用のフィルタを削除した、赤外カメラ等を想定している。今回の端末システム試作実証では、通常のカメラを二つ搭載して模擬している。

表示デバイスとしては、0.8インチの小型ELディスプレイ、3色LEDを備えており、端末システムの状態等を表示することができる。また、マイク、スピーカの音声入出力デバイスを備え、データ通信を使った音声や通話(VoIP⁵¹)にも対応している。搭載するバッテリーは3400mAhのスマートフォン用のリチウムイオン電池を搭載し、長時間の連続動作を実現している。

⁵⁰ Application Processor ; アプリケーションプロセッサ

⁵¹ Voice over Internet Protocol

また、機能拡張用のオプションとして、外部インタフェースの拡張コネクタを備えており、Ethernet/PoE⁵²の機能、防水コネクタ (USB/RJ45) のインタフェースを持つことが可能な構成となっており、これらはユースケースが限定的になると考えられるが、想定利用シーンとしては、ロボット/AGV⁵³への接続及びネットワークカメラとしての利用する時に必要性があると考えられる。しかしながら、防水コネクタや回路部品のサイズが大きくなり端末システム本体サイズに影響があるため、装置サイズの小型化を目指すため用途が限定的になることを考慮し、外部オプション対応またはラインアップ化（機能拡張版の追加）の扱いとし、インタフェース設計のみを今回の端末システム試作に適用した。

3) 放熱構造設計

基本的な放熱設計としては、基板上の部品から発生する熱を筐体表面にできるだけ広い面積で拡散させる構造として、部品の上限温度を超えないようにする。かつ、筐体表面温度が低温火傷に至らない範囲に収まるように放熱バランスをとった設計とする。

具体的には下記 1～3 の設計ポイントがあり、本端末システムにおいてもこれらを遵守した設計としている。

1. 熱源となる部品をシステム検討段階で把握し、基板上ではそれら熱源部品を分散配置する。

今回、主な熱源である 5G 無線モジュールと AP⁵⁴、UFS⁵⁵が同一基板面上に並ばないように、基板裏表に分けて実装している。かつ、投影上の位置も、それぞれ基板の左右に離して実装することで、熱源同士が投影面上でも重なることが無いように実装されている。

⁵² Power over Ethernet ; IEEE 802.3af および 802.3at で定義されるイーサネットの規格。LAN ケーブルを経由して、データ通信と同時に電力を供給することができる

⁵³ Automatic Guided Vehicle;無人搬送車

⁵⁴ Application Processor ; アプリケーションプロセッサ

⁵⁵ Universal Flash Storage; NAND 型フラッシュメモリにコントローラを搭載したもの

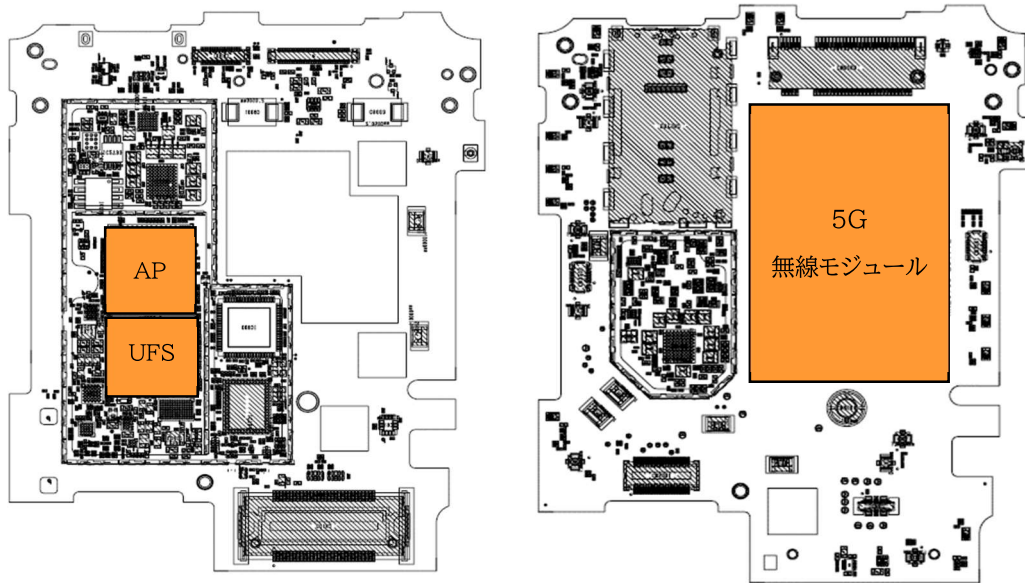


図 4.3-10 基板熱源部品の配置

2. 筐体表面に熱を効率よく伝導させるために、以下のような材料を使うことで筐体表面に熱を誘導する。

平面方向：ヒートシンク、アルミ板、グラファイトシート

垂直(厚み)方向：銅ブロック、充填剤

また、筐体表面温度の上昇を抑制したい場合は、空気層を設けて断熱を行う。

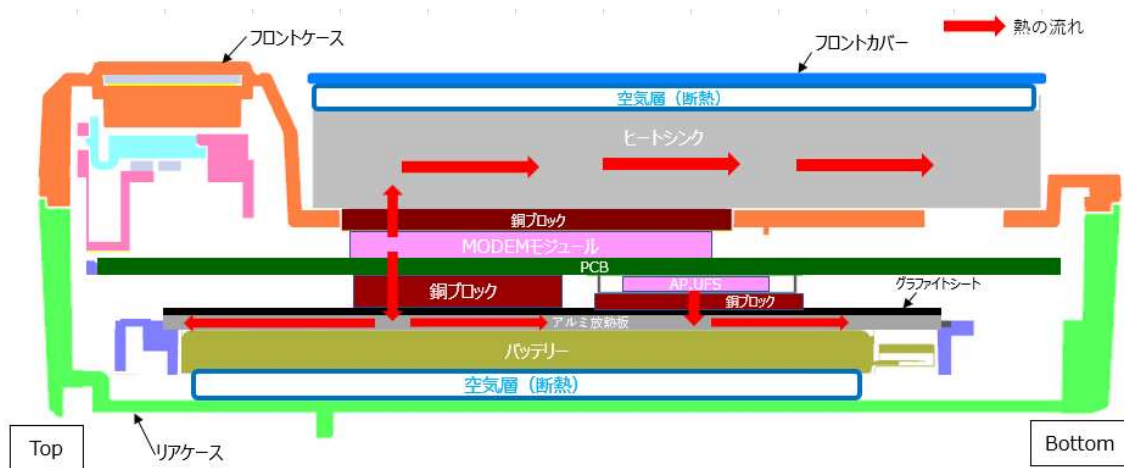


図 4.3-11 放熱構造

3. 上記、1、2 に挙げた放熱設計、放熱構造の妥当性を検証するために、熱シミュレーションを実施する

放熱構造最適化前（上記 12 の放熱構造盛り込み前）においては、シミュレーション上のフロント側表面温度は、25℃環境で 51.4℃であり、達成基準である 25℃環境で表面温度 48℃以下を満足できていなかった。詳細分析の結果、主要因はフロント側とリア側の温度不均一性にあることを見出し、下記の構造変更を行った。

- ・基板実装：熱源部品の分散配置（前述 1 に相当）
- ・フロント側：フロントカバーを追加（前述 2 に相当 空気層による断熱）
- ・リア側：リアヒートシンク削除（同上）

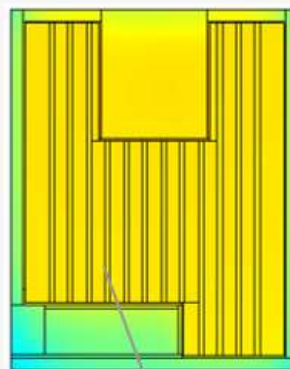
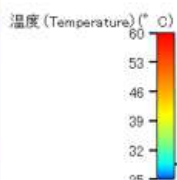
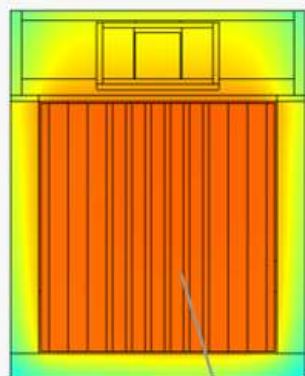
これらの変更を盛り込んだモデルに対して、再度熱シミュレーションを行い、

端末筐体表面温度の達成基準（25℃環境で筐体表面温度 48℃以下）を満足することを確認している。シミュレーション結果について、図 4.3-12 に示す。

放熱構造 最適化前

フロント側 表面温度
最大 51.4℃

リア側 表面温度
最大 42.3℃



フロント
ヒートシンク(金属)

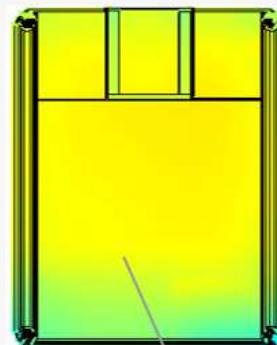
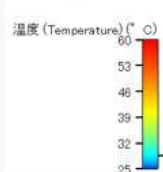
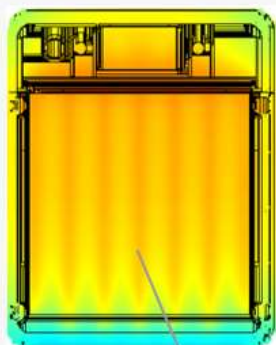
リア
ヒートシンク(金属)



放熱構造 最適化後

フロント側 表面温度
最大 44.3℃

リア側 表面温度
最大 41.4℃



フロントヒートシンクの上に、
フロントカバー(樹脂)追加
⇒表面温度低減

リアヒートシンク(金属)削除
リアケース(樹脂)を外観面とする
⇒表面温度低減

図 4.3-12 熱シミュレーション結果

4) 防水・防塵構造設計

本端末システムは様々な環境での使用を想定し、防水・防塵の保護等級が最高の IPX5/IPX8 の防水性能、IP6X の防塵性能を有す構造設計を採用する。

防水・防塵性能担保するため、端末システムの筐体間や全ての開口部に対して止水部品を設けて、粉塵や水の浸入を防ぐ構造としている。止水部品は防水両面テープやエラストマーなどのパッキン部品で構成され、一定の圧縮された状態を維持することで防水・防塵性能を担保する。

IP コードは感電事故防止のため外被内の危険箇所への接近に対する保護や外被内への粉塵などの侵入防止のための保護構造（防塵）、水の浸入防止のための保護構造（防水）についての保護等級を示す。

- ・ IP6X とは、保護度合いを指し、直径 $75\mu\text{m}$ 以下の塵埃（じんあい）が入った装置に商品を 8 時間入れて攪拌させ、取り出した時に、内部に塵埃が侵入しない機能を有することを意味する。
- ・ IPX5 とは、内径 6.3mm の注水ノズルを使用し、約 3m の距離から 12.5L/分の水を最低 3 分間注水する条件であらゆる方向から噴流を当てても、機器としての機能を有することを意味する。
- ・ IPX8 とは、常温で水道水の水深 1.5m のところに端末を沈め、約 30 分間放置後に取り出した時に機器としての機能を有することを意味する。

各部の防水・防塵構造の詳細について図 4.3-13 ～ 図 4.3-25 に示す。

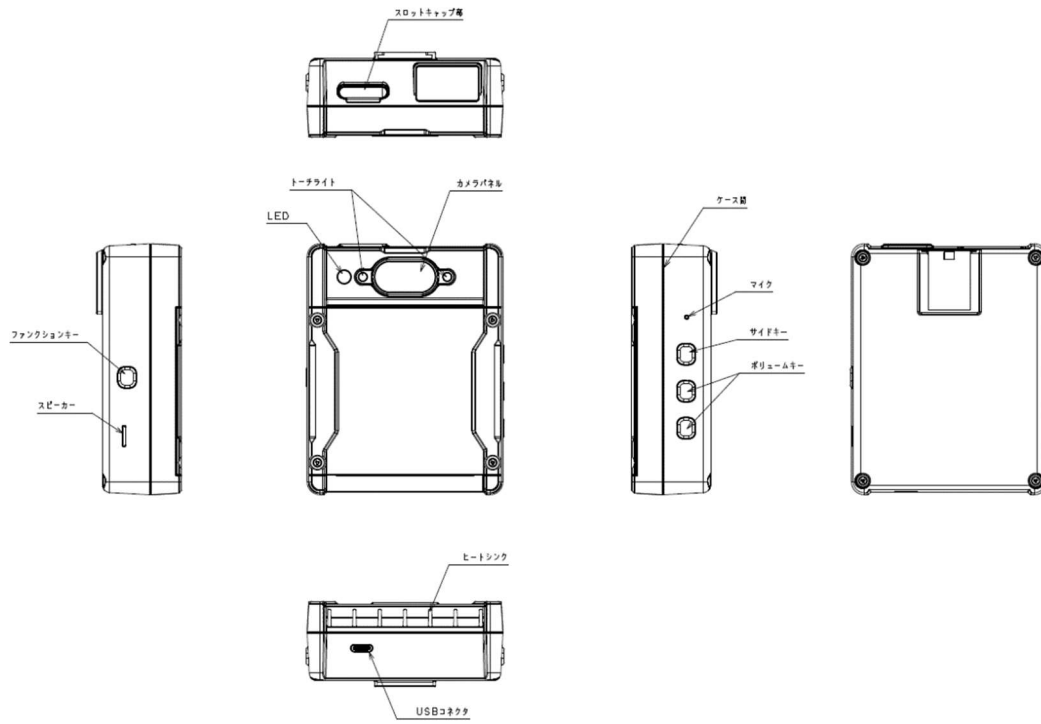


図 4.3-13 防水対策部品（部位）位置図

ケース間 防水構造

フロントケース-リアケース間（周囲）：止水テープ

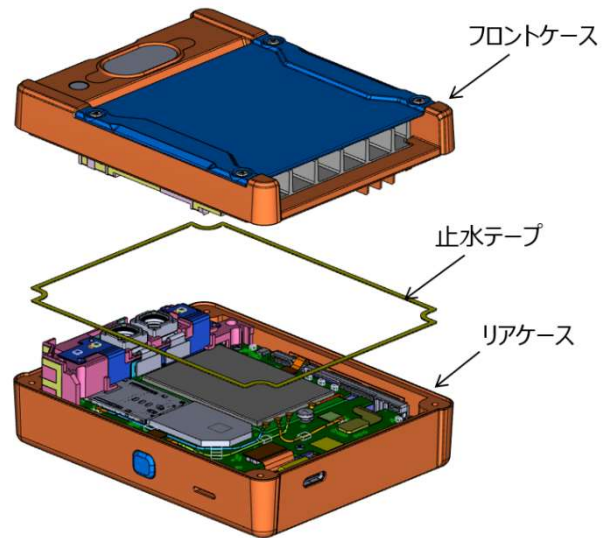


図 4.3-14 防水構造図

電源キー/ボリュームキー部 防水構

キー周囲：止水テープ

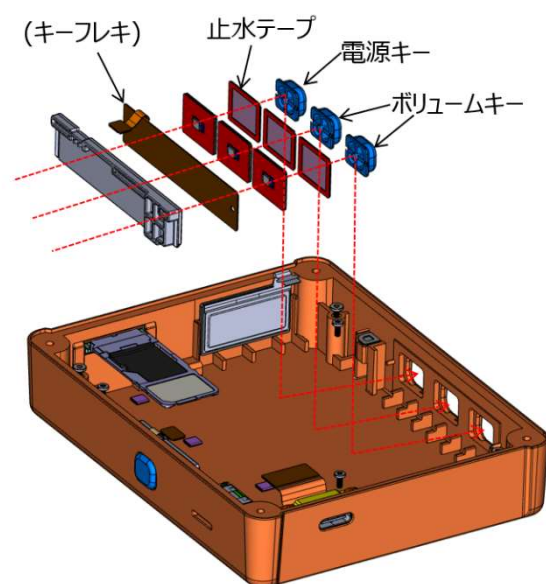


図 4.3-15 防水構造図

ファンクションキー部 防水構造

キー周囲：止水テープ

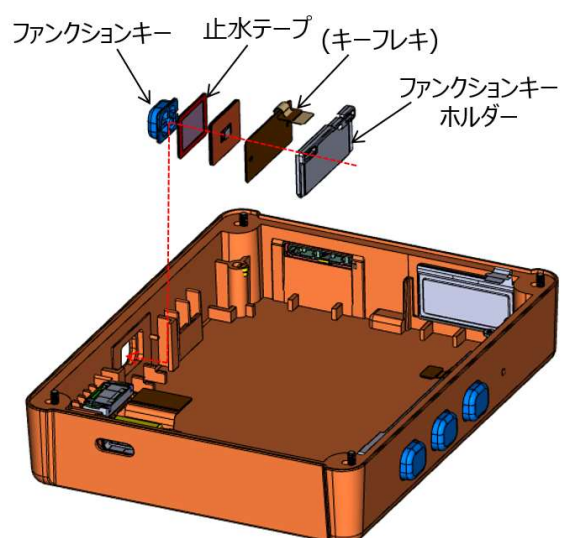


図 4.3-16 防水構造図

カメラパネル部 防水構造

カメラパネル周囲：止水テープ

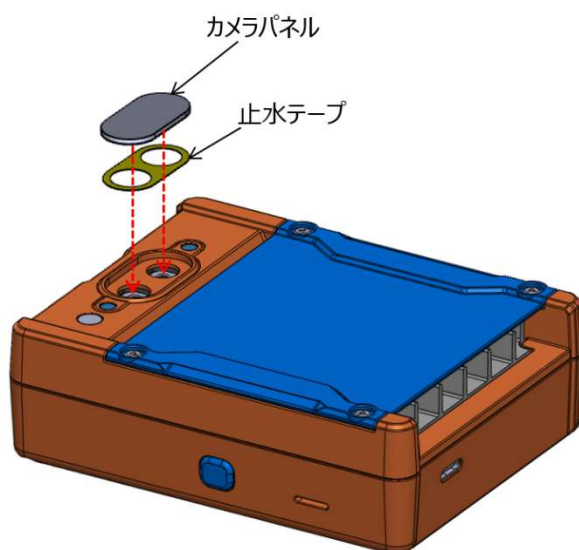


図 4.3-17 防水構造図

スピーカー部 防水構造

スピーカー（防水スピーカー）穴周囲：止水テープ

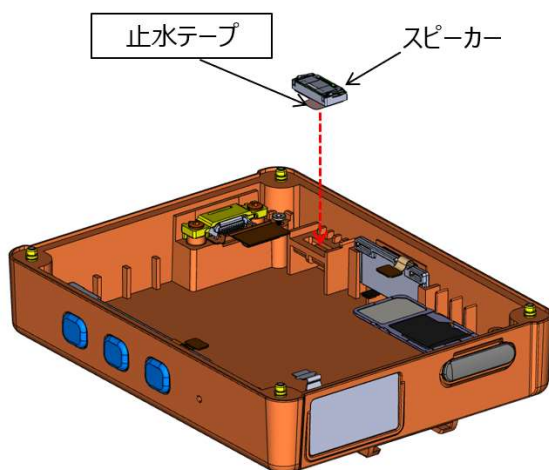


図 4.3-18 防水構造図

マイク部 防水構造

マイク穴周囲：止水テープ

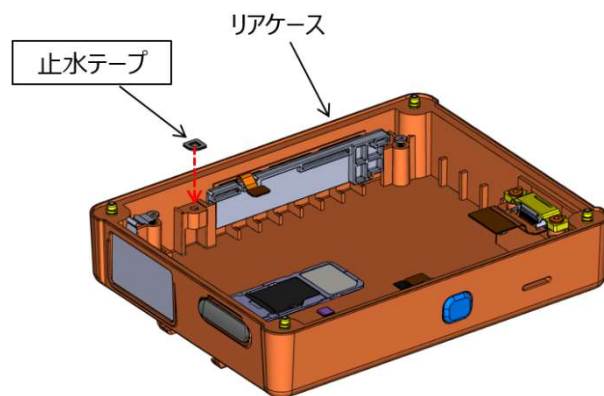


図 4.3-19 防水構造図

USB コネクタ部 防水構造

コネクタ周囲：止水エラストマー

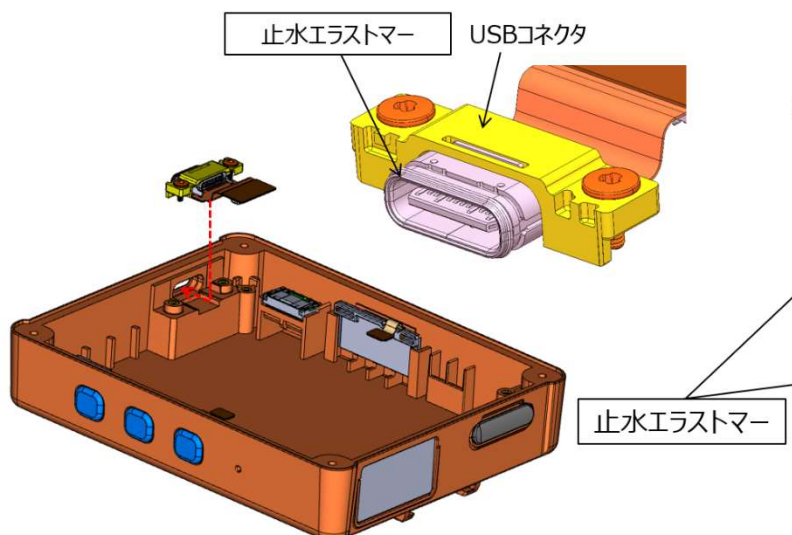


図 4.3-20 防水構造図

スロットキャップ部 防水構造

スロットキャップ周囲：止水エラストマー

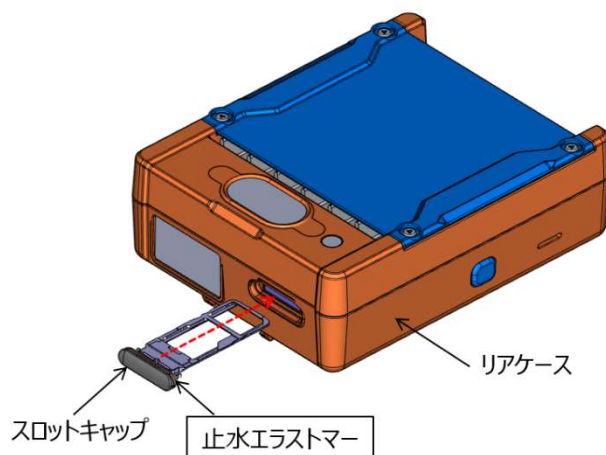


図 4.3-21 防水構造図

ヒートシンク部 防水構造

ヒートシンク-フロントケース間：止水テープ

固定ネジ部：ネジ (O-ring 付)

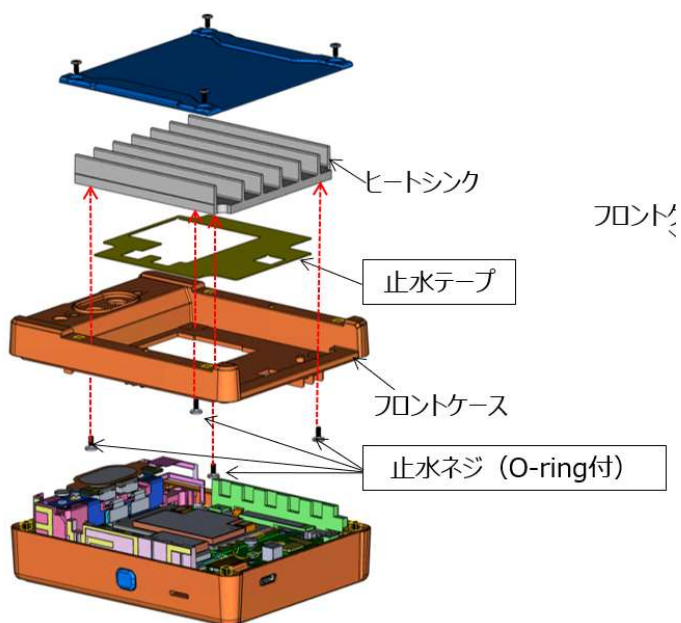


図 4.3-22 防水構造図

LED部 防水構造

LEDパネル周囲：止水テープ

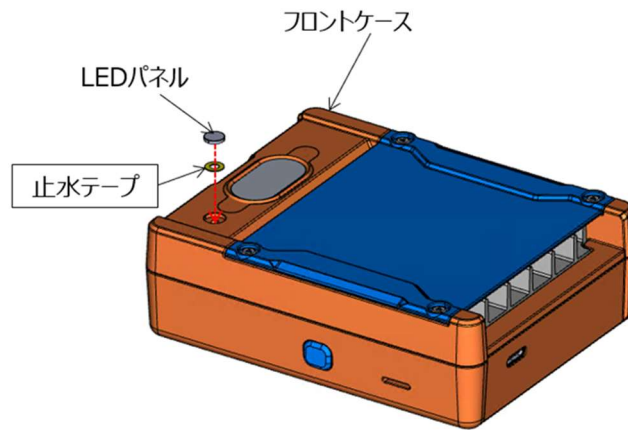


図 4.3-23 防水構造図

タッチライト（通気孔）部 防水構造

タッチライトパネル周囲：止水テープ

通気孔：止水テープ（周囲）+通気膜（防水シート）

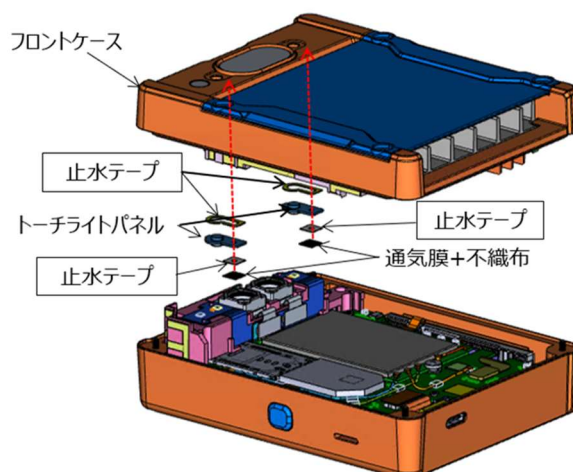


図 4.3-24 防水構造図

EL ディスプレイ部 防水構造

EL パネル周囲：止水テープ

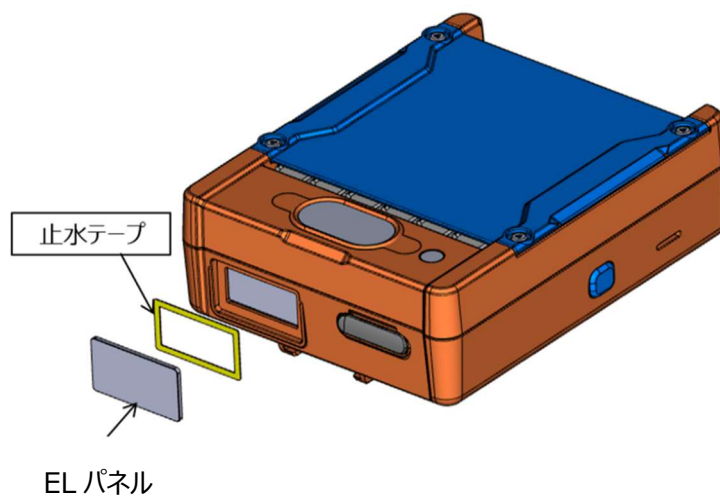


図 4.3-25 防水構造図

5) アンテナ構造設計

主要諸元表にて示した無線仕様に適合させるため、本端末システムは 5G 無線モジュール、並びに Wi-Fi 無線モジュールを搭載する。5G 無線モジュールは 4 ポートの RF 接続インタフェースを持ち、Wi-Fi 無線モジュールは MIMO⁵⁶対応可能であり、2 ポートの RF 接続インタフェースを持つ。図 4.3-26 にアンテナ配置と形状を示す。本端末システムでは、LTE/GNSS/5G NR⁵⁷用アンテナ 4 本、Wi-Fi 用アンテナ 1 本を搭載している。

アンテナ性能を確保する上で最も空間が必要な LTE Low-Band 帯域を含むアンテナを、比較的空間が確保できる本端末システムトップ部の領域に配置する。さらに、空間を最大限利用できるようトップ部、サイド部共にアンテナを外周部分に形成しアンテナ空間の確保を行った。前述の通り、主要諸元表にて示した無線仕様、並びに採用する無線モジュール仕様に合わせ、複数の周波数帯無線システムに対応できるよう、多共振構造を持つアンテナ形状を採用する。両サイド部分に配置する LTE/5G NR 用アンテナは可能な限り同じ寸法とすることで、アンテナの調整工数を削減している。一方、本端末システムはウェアラブルを想定しているため、SAR⁵⁸ が一定値以下となるよう電波法基準を満たす必要がある。そのため、アンテナエレメントをフロントユニット側面部に形成し、人体から距離を確保できるよう設計を行っている。各アンテナの諸特性は、3.3.4 章に記載のとおりであるため、本節での表記は割愛する。

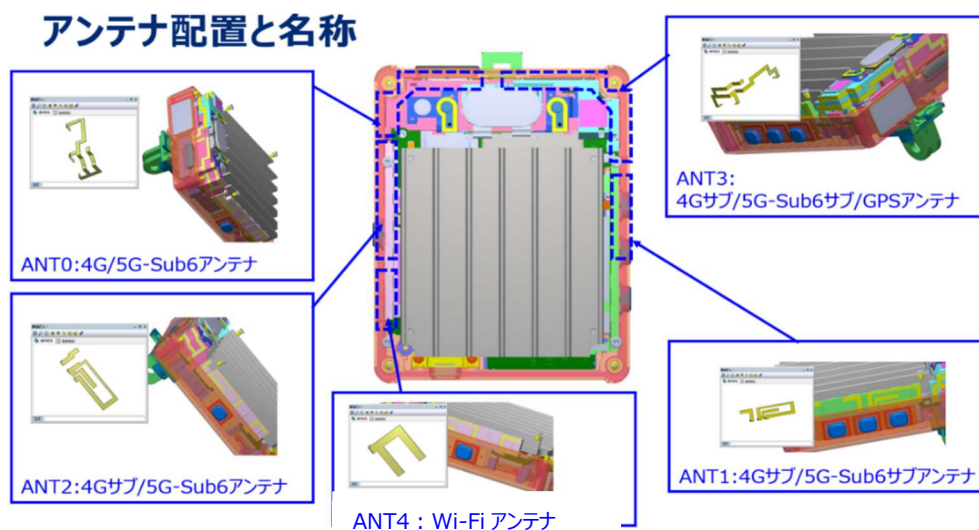


図 4.3-26 端末システムのアンテナ配置と名称

⁵⁶ Multi Input Multi Output

⁵⁷ New Radio; 5G Band を指す

⁵⁸ Specific Absorption Rate; 比吸収率。生体が電磁界に晒されることにより単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量

6) 試作スケジュール

本端末システムの試作スケジュールを図 4.3-27 に示す。

当初、実施計画書で示したスケジュールを「予定」に、その後、工場での製造ラインや各種認証等のスケジュール調整を行い、実際に実施したスケジュールを「実績」として記載している。

	令和4年				令和5年
	9月	10月	11月	12月	1月
予定	▽部品調達	▽試作組立	▽デバッグ	▽防水検定	▽技術基準適合証明 ▽技術適合認定
実績	▼キックオフ ▼部品調達	▼試作組立1	▼試作組立2	▼デバッグ	▼実験試験局免許 ▼防水防塵検定

図 4.3-27 試作スケジュール

試作組立は、当初令和4年10月中旬に実施する予定だったが、工場側との調整の結果10月下旬から開始することにした。また、調達部材数に限りがあるためリスク回避として、プリント基板への部品実装（SMT⁵⁹）を2回に分けて実施した。最初に数台のみSMTを実施した後に動作確認を行い、プリント基板や製造条件等に致命的なエラーがないこと、及び動作に問題ないことを確認した上で2回目の部品実装を実施した。

電波法認証については、工事設計認証を取得する場合は、端末システムで使用している5G/LTE無線モジュールのベンダで取得したデータを認証機関へ提出するためのデータとして流用できるため、モジュールベンダが認証を取得した認証機関と同じ認証機関を使い、工事設計認証を取得した。

⁵⁹ Surface Mount Technology

また、工事設計認証取得後は、速やかに実証に必要な無線局（実験試験局）の免許申請を行い、事前に総合通信局様と調整が出来ていたこともあり、1月の初旬に免許を発行していただくことができた。また、無線局（実験試験局）の免許と同時に総務省関東総合通信局様のホームページにて免許取得の旨、報道発表をさせていただいた。

防水防塵検定については、事前に社内で端末のエアリーク（気密性指標）確認を実施した結果、一部追加の対処が必要と判明したため、スケジュールを見直し、対処の事前検証で有効性を確認したのち、1月末に検定に合格した。

[総務省トップ](#) > [組織案内](#) > [地方支分部局](#) > [関東総合通信局](#) > [報道発表資料\(2023年\)](#) > [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 dongle端末試作 -](#)

報道資料

令和5年1月10日

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 dongle端末試作 -

総務省関東総合通信局(局長:新井 孝雄(あらい たかお))は、総務省が行う令和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」で用いる無線局の免許申請者であるFCNT株式会社(代表取締役社長:田中 典尚(ひなな みちたか))及びシャープ株式会社(代表取締役社長執行役員兼CEO:奥 柏勲(おく はくくん))に対し、免許を付与しました。

免許を付与した免許人の名称、無線局の種別・局数、実証実施地域等は以下のとおりです(50音順)。
なお、今回の免許により令和4年度課題解決型ローカル5G用無線局を10者に免許しています。

1 移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した高画質映像ストリーミング対応小型カメラ 端末の試作

免許人の名称	FCNT株式会社
利用する周波数	4.8GHz帯
免許の年月日	令和5年1月6日
無線局の種別・局数	実験試験局・3局
本無線局に係る実証実施地域	神奈川県横浜須賀市(横須賀リサーチパーク)
本無線局に係る実証の詳細	実証詳細

図 4.3-28 総務省関東総合通信局様 報道発表一部抜粋⁶⁰

⁶⁰ [総務省, 2023] <https://www.soumu.go.jp/soutsu/kanto/press/2023/0110r1.html>

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 Dongle 端末試作 -

(2) 検証項目

検証項目は、小型化、防水防塵、連続動作時間（温度上昇）、ストリーミング映像品質／音声疎通に関する4つの項目に関して実施した。

小型化に関する検証では、端末システムの試作品のサイズ、重量について、設計値に対する検証を行った。

防水防塵に関する検証では、防水防塵試験の認定試験を実施し、各保護等級を満足する性能が得られるかの検証を行った。

連続動作時間（温度上昇）に関する検証では、ストリーミングのユースにおける端末システムの温度、消費電流、バッテリーの電圧をモニタし、連続動作時間を検証した。

ストリーミング映像品質／音声疎通に関する検証では、ストリーミングのユースケースにおける、映像の伝送遅延及び音声の疎通状況を確認した。

表 4.3-2 検証項目

	検証項目	検証内容/狙い	達成基準
小型化	装置サイズ	目標サイズ以下であることを確認 設計データ(3D CAD)と実物の差を確認	250cc 以下
	重量	目標重量以下であることを確認 部品毎の重量積み上げとの差分を確認	270g 以下
防水防塵	防水防塵検定	JIS C 0920「電気機械器具の外郭による保護等級(IPコード)」に従ってIP6X、IPX5、IPX8の試験を実施	認証取得できること
連続動作時間	筐体表面温度	低温火傷の危険がある温度に到達する時間を確認し、目標の連続稼働時間を達成できているかを確認	25℃環境で筐体表面温度48℃以下
	装置内部温度	各部品の温度が動作可能温度の上限に達する時間を確認し、目標の連続稼働時間を達成できているかを確認	各部品が定める上限温度を超えないこと。 (表 4.3-3 参照)
	消費電流測定	各ブロックの消費電流を測定しながらフルHDストリーミング動作をさせ、連続稼働時間を達成できるかを確認	フルHDでのストリーミング通信で2時間以上
ストリーミング映像品質	伝送遅延	遅延の少ないリアルタイムな映像配信機能を確認するため、伝送遅延を測定	端末間の伝送遅延が500msec以下
	音声疎通	ストリーミング映像と同時に端末間同士で音声にてコミュニケーションを取れることを目的とした音声疎通を確認し、商用化への展開、課題を抽出	双方向の音声疎通が可能であること
	映像確認	端末間のストリーミング映像の品質について、ユーザ観点での評価を行い、商用化への展開、課題を抽出	ストリーミングの映像品質についてユーザ観点での評価を行うこと

連続動作時間の検証において、各種センサ等により端末システムの温度をモニタする。温度のそれぞれの上限値については、各デバイスに定められている動作温度（オペレーション温度：T Operation）の最大値を上限温度として検証を行った。デバイスのオペレーション温度は、それぞれのデバイスが電氣的に動作する周辺環境の許容温度範囲のことである。表 4.3-3 に端末システム内の各部品の上限温度（T Operation）を示す。

表 4.3-3 各部品の上限温度

項目	Size (mm) L×W×H	T Storage °C		T Operation °C		Package
		min.	max.	min.	max.	
① AP(QRD5165)	14.0×12.4×1.02	-55	150	-30	95	BGA
② PM8250	4.49×5.07×0.55	-55	150	-30	95	BGA
③ PM8150L	4.49×5.46×0.55	-55	150	-30	85	BGA
④ PM8150B	3.52×5.14×0.55	-55	150	-30	85	BGA
⑤ PM8009	2.85×2.89×0.57	-55	150	-30	125	BGA
⑥ UFS	13.1×11.6×0.80	-	-	-25	85	BGA
⑦ WCD9385	3.12×3.00×0.55	-55	150	-30	85	BGA
⑧ WSA8815	2.24×2.63×0.55	-	-	-30	85	BGA
⑨ WLAN/BT Module	8.75×7.00×1.1	-	-	-20	75	LGA
⑩ Modem Module	52.0×30.0×2.3	-40	90	-30	75	M.2

(3) 検証方法

1) 検証方法まとめ

検証方法については、表 4.3-4 検証内容 にまとめる。今回の課題実証に関し、屋外使用の評価については、防水・防塵規格試験の項目で実施する。また、連続動作時間（温度上昇確認）についての詳細の測定方法については、測定系及び端末システムからの温度情報の読み取り方法で実施したため、詳細を後述する。

表 4.3-4 検証内容

項目	検証内容
小型化（寸法、重量）	装置サイズ、重量を測定・確認する。
防水・防塵規格（IP68）	JIS C 0920「電気機械器具の外郭による保護等級（IPコード）」に従って IP6X、IPX5、IPX8 の試験を実施。 IPX5、IPX8 の試験においては、試験後の通信等の動作に異常がないことを確認。IPX8 の試験中に水中で電源の ON-OFF の切り替えを実施。 (1) IP6X： ①危険な箇所への接近に対する保護等級 6 の試験（鋼線試験） ②外来固形物に対する保護等級 6 の試験（粉塵試験） (2) IPX5：水の浸入に対する保護等級 5 の試験（注水試験） (3) IPX8：水の浸入に対する保護等級 8 の試験（浸漬試験） 水深：1.5 m 試験時間：30 分
連続動作時間（温度上昇確認）	測定ユースケース (1)フル HD ストリーミング動作(UL) 目標：2 時間以上の連続動作 (2)4K ストリーミング動作(UL) 実力値確認 (3)AI 動作 測定内容 a) 筐体表面温度；熱電対+ロガーにて動作中の温度上昇を確認する b) サーモグラフィ画像 c) 装置内部温度；部品内部および装置基板上に実装されたサーミスタ（熱により抵抗値が変化する抵抗器）より、温度をソフトで読み出しログに出力し、動作中の温度上昇を確認する。 d) 消費電流測定；電池端子にシャント抵抗 ⁶¹ とロガーを接続し電流を測定する。
ストリーミング映像品質/音声疎通	測定ユースケース (1)フル HD ストリーミング動作(UL) (2)4K ストリーミング動作(UL) 測定内容 a) 伝送遅延 ログの解析結果より端末内の遅延量を算出する。 また、ストップウォッチ等の時刻を計測する機器を端末システムのカメラにて撮影し、ストリーミング通信を実施し、ストリーミング受信側で表示される映像の時刻と比較を行い、End-to-End の伝送遅延を測定す

⁶¹ シャント抵抗；電流の検出を目的として回路へ組み込む抵抗器

項目	検証内容
	る。 b) 音声疎通 双方向疎通を確認する

2) 連続動作時間（表面・内部温度上昇／消費電流）

連続動作時間の測定系の詳細を説明する。連続動作時間（温度上昇）及び消費電流の測定は、端末システムが高負荷動作の状態を想定し、5Gで基地局シミュレータとアンテナ対向で接続した状態で、ストリーミング動作を行った状態で実施する。端末システムのカメラで撮影した映像を、5Gの無線を介して基地局シミュレータへ送信し、基地局シミュレータ側で受信後、サーバ側のパソコンにて撮影画像を投影した状態としている。

連続動作時間（温度上昇）測定時は、表面温度、内部温度の測定は、3通りの方法により行っている。筐体表面及び内部へ熱電対を付けて測定したものによる測定。予め基板上に実装してあるサーミスタ⁶²による測定及び AP⁶³の内部の CPU/ GPU⁶⁴に持っているサーミスタによる測

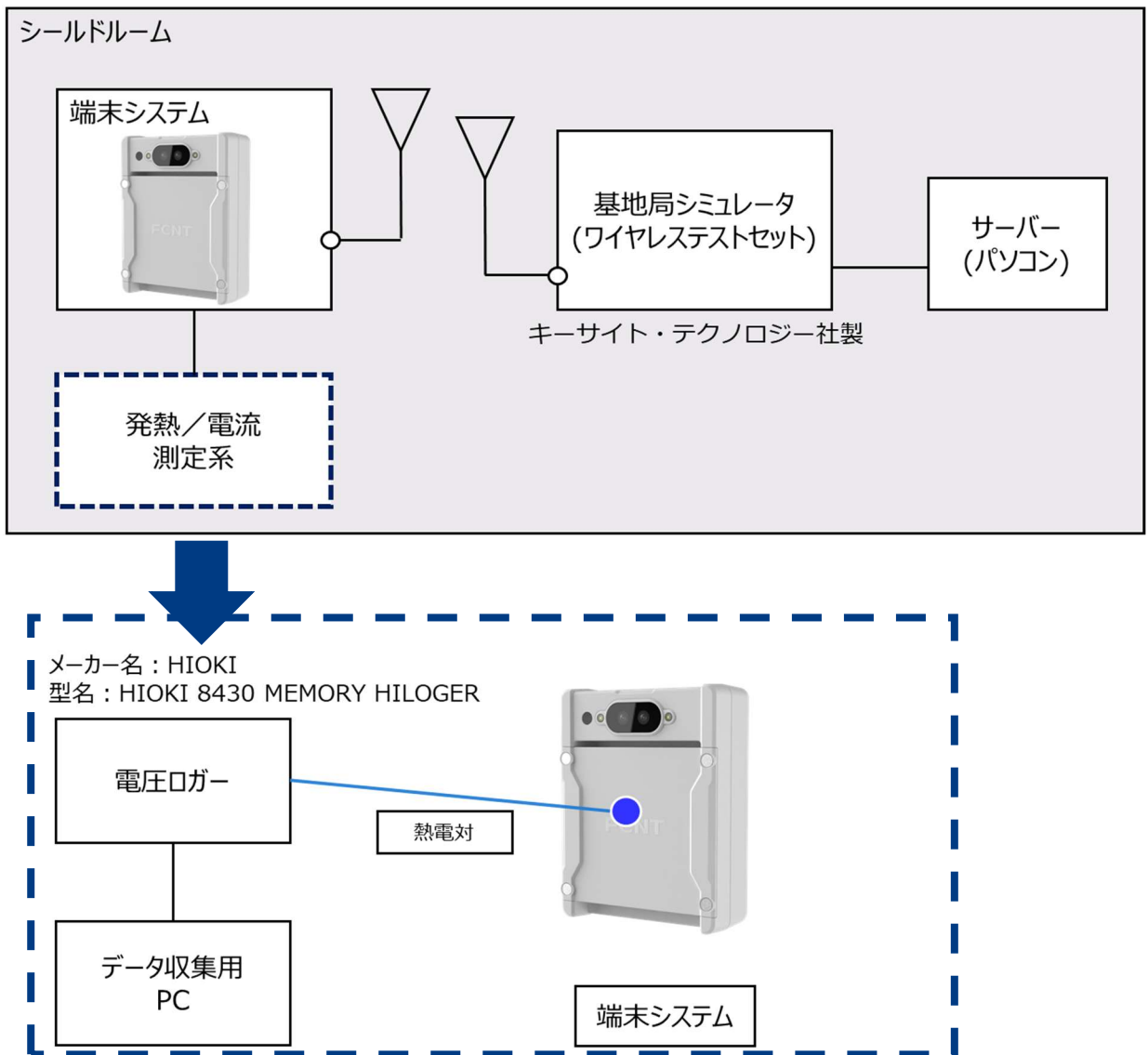


図 4.3-29 連続動作時間／温度 測定系

⁶² サーミスタ thermistor；熱により抵抗値が変化する抵抗器

⁶³ Application Processor；アプリケーションプロセッサ

⁶⁴ Graphics Processing Unit；画像処理プロセッサ

定である。

筐体表面及び内部へ熱電対を付けて測定したものによる測定は、図 4.3-29 のように端末システムへ熱電対を接続し、温度データを電圧ロガーで読み取り、ロガーに接続したパソコンにてデータを保存している。

また、予め基板上に実装してあるサーミスタによる測定、及び AP 内部の CPU/ GPU に内蔵しているサーミスタによる測定は、端末システム内部にログとして残すことができるため、USB 経由でデータを端末システムから取得した。(図 4.3-30)

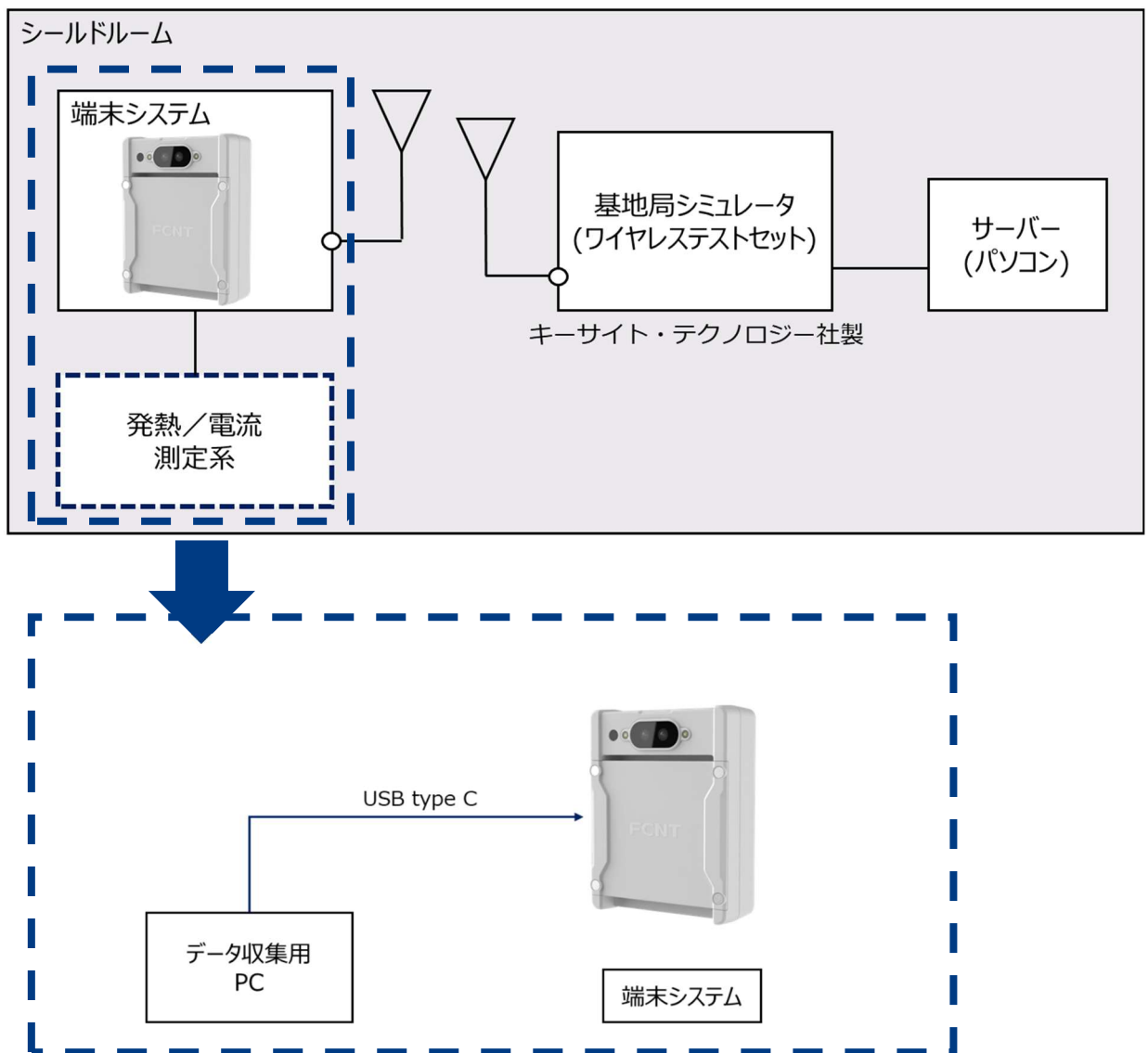


図 4.3-30 連続動作時間/温度 測定系

消費電流の測定は、端末システムを5G モジュール側と、その他のアプリケーション側に分けて、5G モジュール側へ電流計を接続し測定を行っている。電池端での電流測定も行い、これらの測定結果よりアプリケーション側の電流を算出し、測定結果としている。(図 4.3-31)

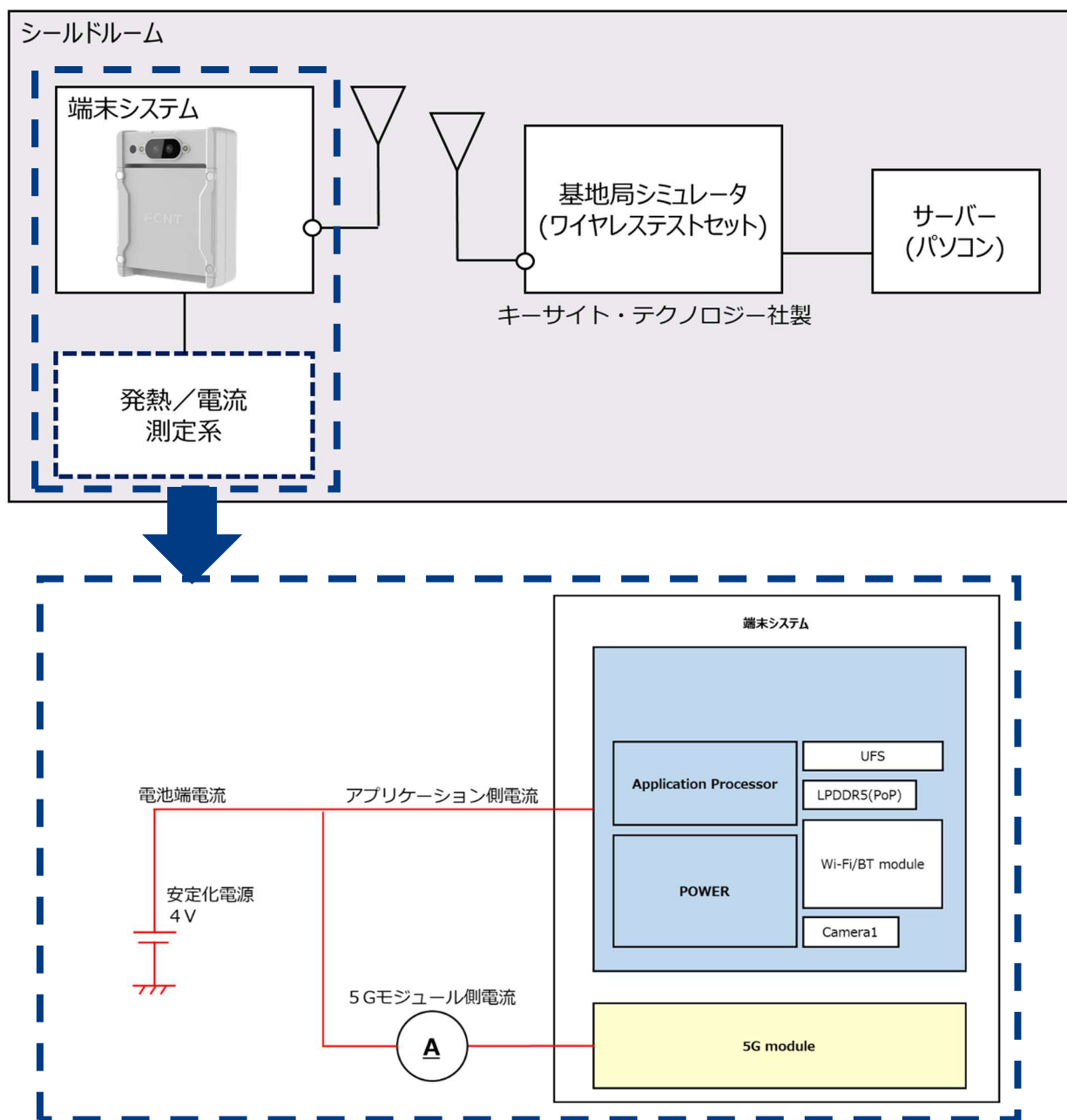


図 4.3-31 消費電流測定系

実際に、連続動作時間（温度上昇）の測定を実施している環境を図 4.3-32 に示す。
 また、本測定に用いた計測器等を、表 4.3-5 計測器に示す



図 4.3-32 連続動作時間／温度 測定環境

表 4.3-5 計測器

システム名	名称	メーカー	モデル名
基地局シミュレータ	ワイヤレステストセット	Keysight	E7515B
サーモグラフィ	サーモトレーサ/サーモグラフィ	NEC 三栄	TH9100WV
データロガー	Memory HiLogger	HIOKI	8430
電流計	DIGITAL MULTIMETER	ADVANTEST	R6552

<表面温度／内部温度 測定系>

端末システムの温度測定については、端末システムの実装部品に予め搭載されているサーミスタ、及び熱電対により測定を行っている。サーミスタ、熱電対の搭載場所について、表 4.3-6 に示す。そのうち、熱電対での測定については、データロガー経由でデータ収集用パソコンより温度データを収集している。また、端末システムに搭載されているサーミスタについては、ログとして保存されたものより解析を実施した。

表 4.3-6 温度測定場所、方法

	測定場所	温度測定方法
筐体表面	電池側カバーの上	熱電対
	カメラ部横	
	放熱フィン側カバーの上	
	放熱フィン上 (カバー裏)	
筐体内	電池上	
	Modem IC チップ付近 (5G モジュール上)	
	5GPA 付近 (5G モジュール上)	
基板上	AP ⁶⁵ 付近	サーミスタ (基板実装)
	Wi-Fi モジュール付近	
	オプションコネクタ付近	
	5G 無線モジュールコネクタ (M.2) 付近	
	USB コネクタ付近	
部品内	CPU 0 - 7 (計 8 か所)	サーミスタ (部品内蔵) による
	GPU0、GPU1	

⁶⁵ Application Processor ; アプリケーションプロセッサ

端末システム表面への熱電対の接続ポイントは下記に示す4点とした。

表 4.3-7 表面温度 測定ポイント

電池側	放熱フィン側
電池側カバーの上	カメラ部横 放熱フィン側カバーの上 放熱フィン上 (カバーの裏)

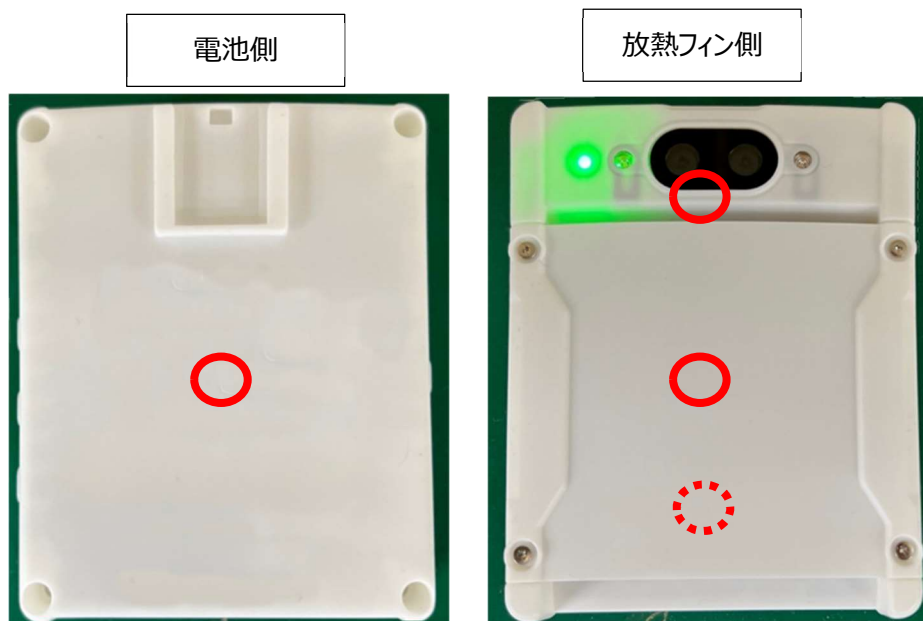


図 4.3-33 サーマスタ配置図 (表面温度測定時)

端末システム内部への熱電対の接続ポイントは、下記に示す3点とした。

表 4.3-8 内部温度 測定ポイント

端末システム 装置 電池側	端末システム 放熱フィン側
電池の上	Modem ICチップの上 5 GPAの上

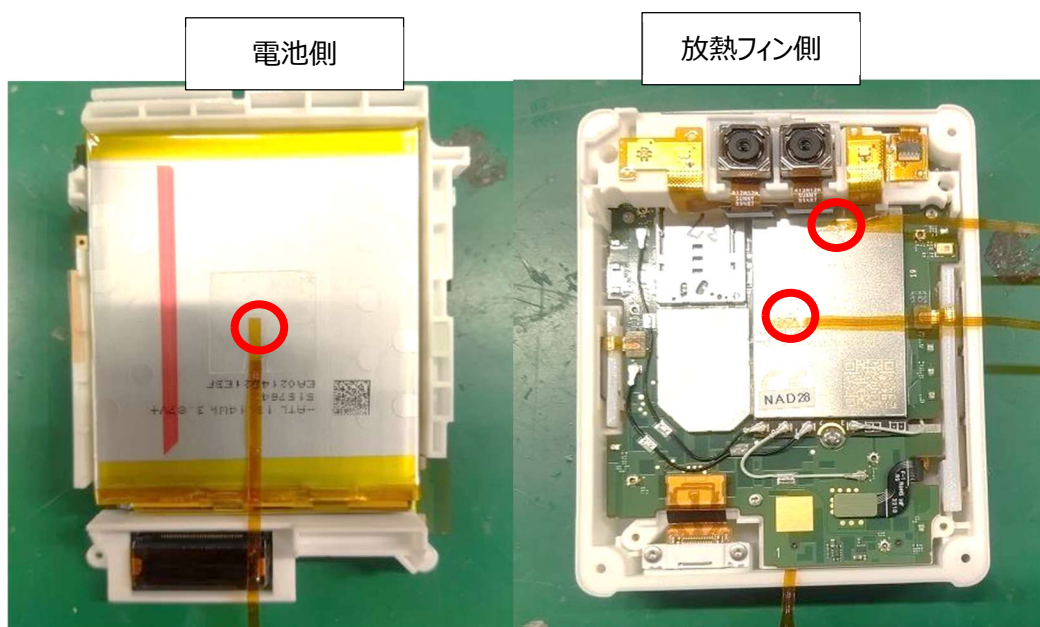


図 4.3-34 内部温度 測定ポイント

端末システム内の基板上に実装しているサーミスタは、図 4.3-35 に（赤丸印）図示する。

また、端末システム内の AP 内部に持つサーミスタについては、図 4.3-35（青丸印）に図示する CPU0~7、GPU1、GPU2 の合計 10 点のサーミスタが内蔵されており、温度監視を行っている。

表 4.3-9 サーミスタの配置

	端末システム 電池側	端末システム 放熱フィン側
基板上サーミスタ	AP ⁶⁶ 付近 Wi-Fi モジュール付近 オプションコネクタ付近	5G 無線モジュールコネクタ (M.2) 付近 USB コネクタ付近
AP 内 サーミスタ	CPU0~7 GPU1、2	—

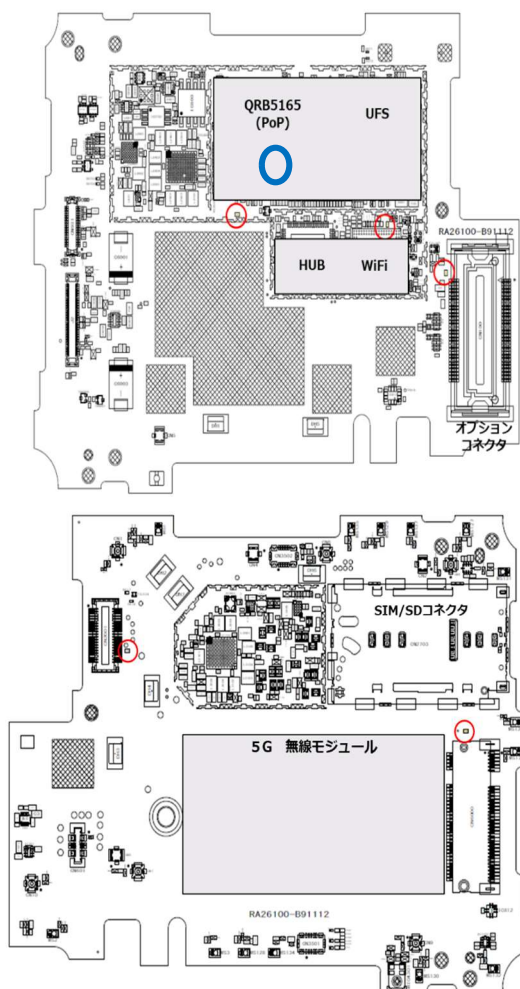


図 4.3-35 基板実装サーミスタ位置

⁶⁶ Application Processor ; アプリケーションプロセッサ

(4) 検証結果及び考察

1) 小型化

試作した装置(実証端末システム)のサイズ、重量の実測を行い達成目標値との比較検証を行った。試作装置の重量、装置サイズについては10台分の測定を行った。結果を表 4.3-10 に示す。装置容積については、最終の設計データを元に 3D - CAD より算出した結果を表 4.3-11 に示す。小型化の達成指標である装置重量及び容積は、いずれも当初設定した達成基準を満たすことができた。

表 4.3-10 サイズ、重量測定結果

装置 No.	全長[mm]	全幅[mm]	厚み[mm]	重量[g]	達成基準
設計値	96.4	76.7	30	241.5	270g 以下
1	96.64	76.66	30.12	243.09	
2	96.60	76.60	30.02	240.04	
3	96.72	76.57	29.99	240.79	
4	96.88	76.65	30.01	241.35	
5	96.59	76.58	29.98	242.16	
6	96.61	76.53	29.99	241.94	
7	96.62	76.60	29.97	241.60	
8	96.75	76.60	29.98	242.75	
9	96.75	76.60	29.99	242.69	
10	96.77	76.65	30.01	243.50	
AVE	96.67	76.60	30.01	241.57	基準満たす
MAX	96.88	76.66	30.12	243.09	
MIN	96.59	76.53	29.97	240.04	

表 4.3-11 装置容積

検証項目	測定結果	達成基準	判定
装置容積	218cc	250cc 以下	基準を満たす

<考察>

装置重量については、装置試作機の平均値(n=10)で 241.57 g となり、当初設定していた達成基準より 30g 程度軽い結果となった。軽量化できた要因としては、伝熱構造の見直しを行い、提案時設計時点から端末リア側のヒートシンクを削除したことが大きいと考えている。この端末リア側ヒートシンク削減の結果、約 25 g 軽量化を実現した。その他の構造部品（ディスプレイ、ケース、基板、電池、アンテナ、フレキシブル基板類など）については、当初の構造より見直しを行ったことにより数 g 程度の差分はあるものの、概ね当初の想定通りの結果となっていることを確認した。図 4.3-36 に装置の重量差分の結果をグラフ化したものを示す。

外形寸法については、提案時には設計値として、約 94×72×30mm を見込んでいた。しかしながら、詳細設計を進めて行く中で、本端末システムのアンテナ特性を確保するために、当初想定していたアンテナ配置の変更を伴うため、一部構造の見直しを行った。その結果、最終的な装置サイズ的设计値は、全長 96.4×76.7×30mm とすることになった。それに対して、端末システムの試作機の実測結果は、96.67×76.60×30.01mm (10 台平均値) となり設計値通り (誤差±1mm 未満) のサイズとなった。装置容積については、218cc となり、当初設定していた達成基準の 250cc 以下を達成することができた。

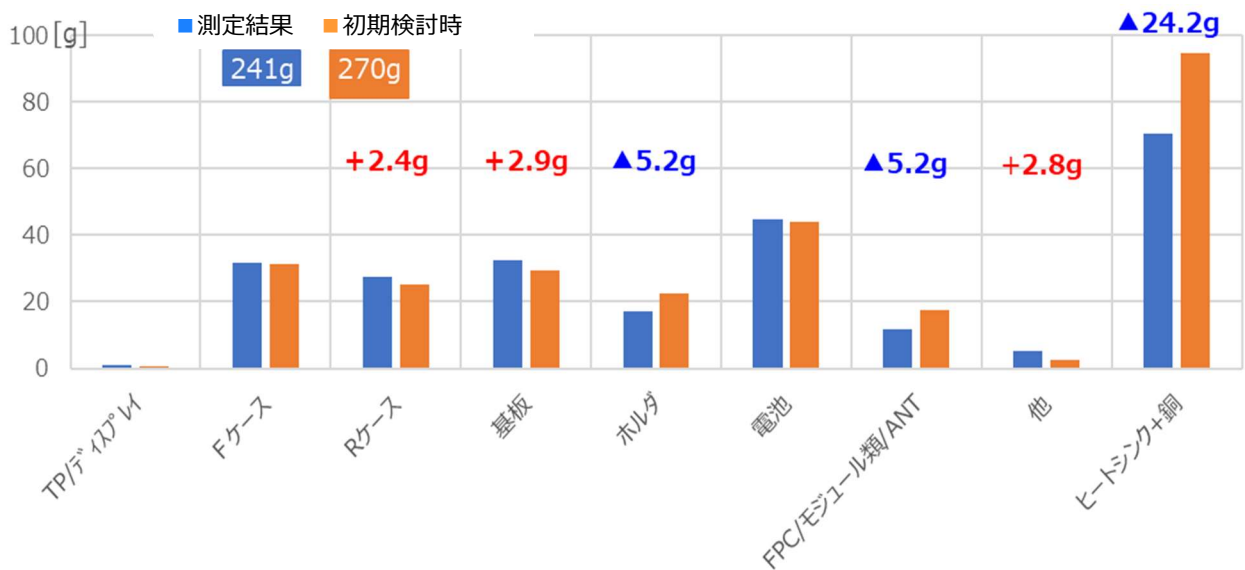


図 4.3-36 試作装置重量差分の分析

2) 防水・防塵規格

防水・防塵認定試験について、それぞれ IPX5/IPX8、及び IP6X の試験内容と合格基準に照らし合わせて、事前確認を行った上で、認定試験に臨んだ。結果は、表 4.3-12 に示すとおり全ての試験等級にて合格となった。

表 4.3-12 防水・防塵認定試験結果

試験等級	試験内容	試験結果
IP6X	危険な箇所への接近に対する保護等級 6 の試験 (鋼線試験)	合格 内部へ直径の近接プローブが侵入する箇所は無かった
	外来固形物に対する保護等級 6 の試験 (粉塵試験)	合格 タルク ⁶⁷ の浸入は認められず
IPX5	水の浸入に対する保護等級 5 の試験	合格 水の浸入は認められず 動作異常なし
IPX8	水の浸入に対する保護等級 8 の試験	合格 水の浸入は認められず 動作異常なし
試験規格	試験は JIS C 0920 「電気機器器具の外郭による保護等級 (IP コード)」に従って実施	

⁶⁷ タルク；電気・電子製品試験に使用される砂塵の一種。JIS C 60068-2-68 の規格に準拠して定められた品質管理基準に従って製造される



图 4.3-37 IP6X 鋼線試驗

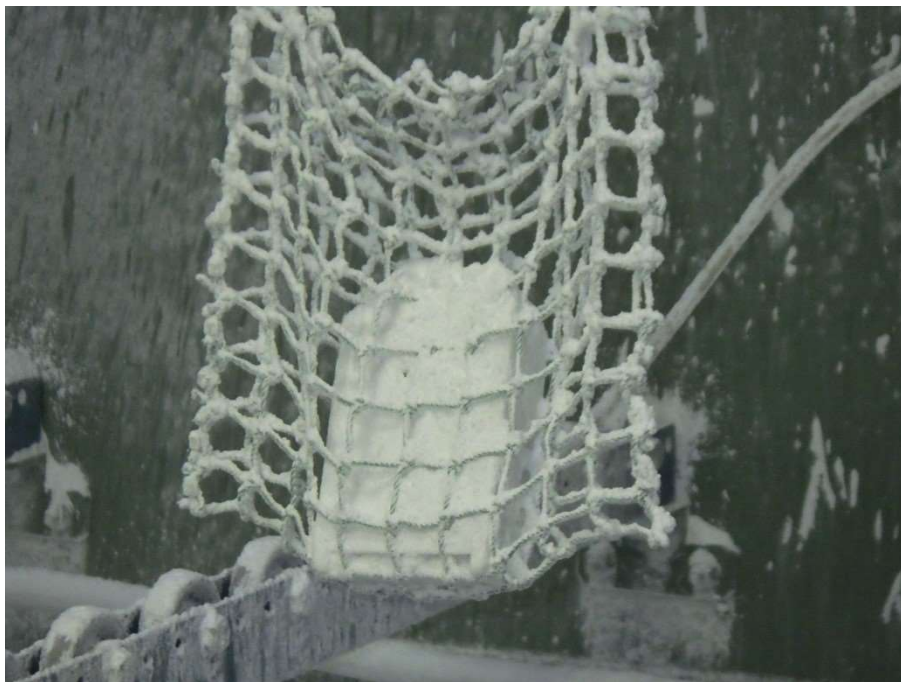


图 4.3-38 IP6X 粉塵試驗



图 4.3-39 IPX5 注水試驗



图 4.3-40 IPX8 浸漬試驗

3) 連続動作時間（温度上昇）

連続動作時間の目標値を達成するためには、端末の消費電力量に対して必要な動作時間を確保できるのに十分なバッテリー容量があることのみならず、装置に対して高負荷がかかるユースケースにおいては、装置温度の上昇を抑える必要がある。それは、本端末システムに使用している AP⁶⁸がスマートフォン用 AP と同様に、端末内部のデバイス自身の保護を目的として、基準値以上の温度にならないようにハードウェア、ソフトウェアによる制御をかけているためである。そのため連続動作時間の検証には、本端末システムのユースケースを想定した負荷をかけた状態における消費電流、及び端末の温度をモニタしながら行った。

① 筐体表面温度 : サーマグラフィによる測定

サーモグラフィを用いて動作時における温度上昇を、フル HD 画質のストリーミング状態で確認した。ストリーミングは Wi-Fi 接続にて確認を行った

その結果、放熱フィン側のカバーと電池側の筐体表面は、34~5℃程度となり、放熱設計の効果として、両面の温度が均等に上昇している結果となっている。また、カメラ部横が最も高く 47℃となり常温より+21℃上昇していた。

	本体 電池側	本体 放熱フィン側
測定結果		
条件	<ul style="list-style-type: none"> ・フル HD ストリーミング ・Wi-Fi 送信で画像確認 	

図 4.3-41 サーマグラフィ確認結果

⁶⁸ Application Processor ; アプリケーションプロセッサ

筐体内部／外部温度： 熱電対による測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
---------------------	-----------	-----------

端末システムの筐体に熱電対を接続して温度の測定を行った。フルHD画質のストリーミング時に、5G接続とし中電界強度を想定し、端末システムの送信出力は+8dBmとしている。図4.3-42は、縦軸に筐体表面／内部温度（熱電対測定）を示している。端末表面の最高温度で基準を満たさなかったのはカメラ部55.8℃で7.8℃の基準値超過であった。また内部温度では、電池部で62.6℃となり2.6℃の超過であった。（表4.3-13 最高温度 測定結果）

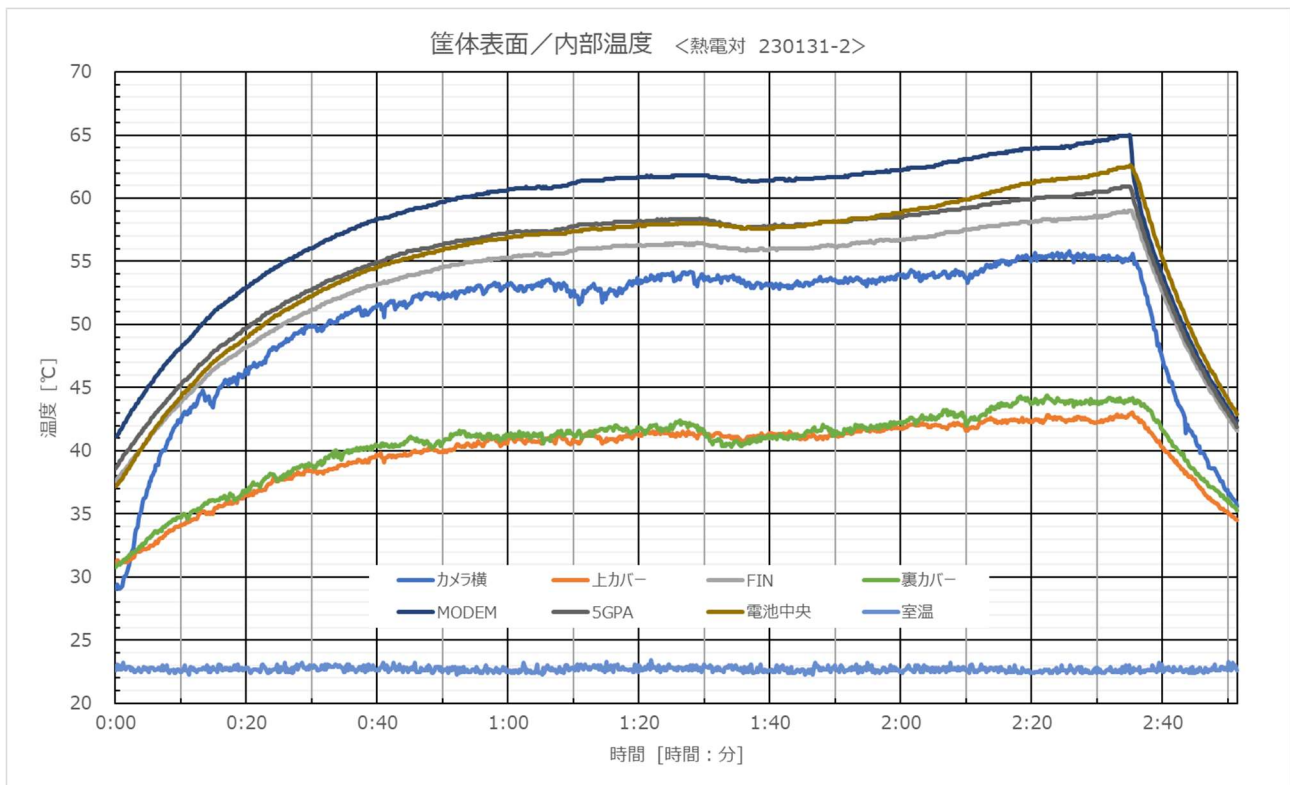


図 4.3-42 筐体表面、内部温度

表 4.3-13 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
カメラ部横	55.8	< 48°C	7.8°C超過
放熱フィン側カバーの上	43.0	< 48°C	基準を満たす
放熱フィン上 (カバーの裏)	59.0	—	—
電池側カバーの上	44.4	< 48°C	基準を満たす
Modem ICチップの上	65.0	< 75°C	基準を満たす
5GPAの上	60.9	< 75°C	基準を満たす
電池の上	62.6	< 60°C	2.6°C超過

端末システム内部のプリント基板上に配置したサーミスタにより温度を測定した結果を示す。(図 4.3-43) またその時の最高温度と判定基準を表 4.3-14 に示す。基板上の温度の5点は、概ね 3℃程度の幅に留まっており、均熱化されていることが分かる。測定結果は全て基準温度を満たす結果となった。

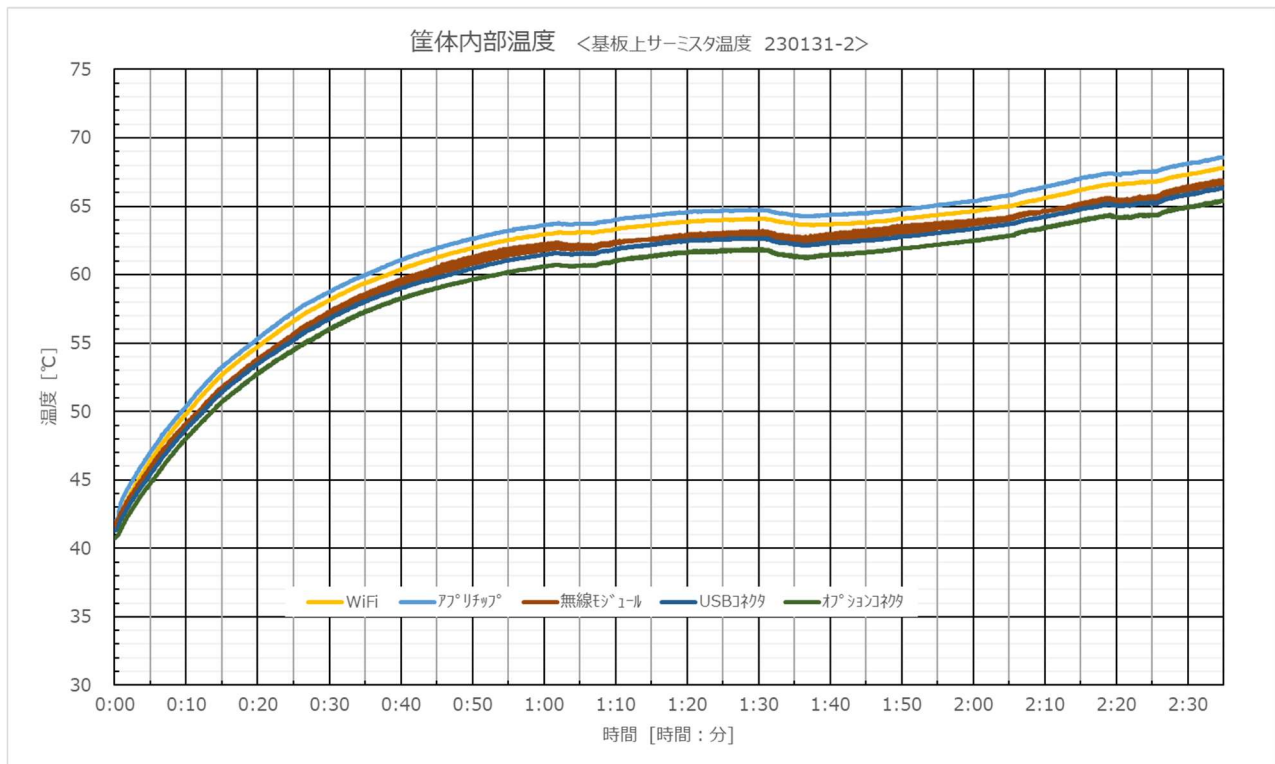


図 4.3-43 温度グラフ 筐体内部温度 (サーミスタ測定)

表 4.3-14 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
Wi-Fi/BT	67.8	< 75°C	基準を満たす
AP	68.6	< 95°C	基準を満たす
無線モジュール	66.9	< 75°C	基準を満たす
USB コネクタ	66.4	< 75°C	基準を満たす
オプションコネクタ	65.7	< 75°C	基準を満たす

AP内のサーミスタの温度上昇を確認した。図 4.3-44 に部品内部に持っているサーミスタによる温度の測定結果の測定時間内の最高到達温度とプロセッサの基準温度を示す。最高温度は69.3℃となり、基準温度の95℃以下を全て達成した。

表 4.3-15 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
CPU0	68.1	<95°C	基準を満たす
CPU1	68.1	<95°C	基準を満たす
CPU2	68.5	<95°C	基準を満たす
CPU3	69.3	<95°C	基準を満たす
CPU4	69.3	<95°C	基準を満たす
CPU5	68.1	<95°C	基準を満たす
CPU6	68.5	<95°C	基準を満たす
CPU7	68.1	<95°C	基準を満たす
GPU1	67.5	<95°C	基準を満たす
GPU2	66.6	<95°C	基準を満たす

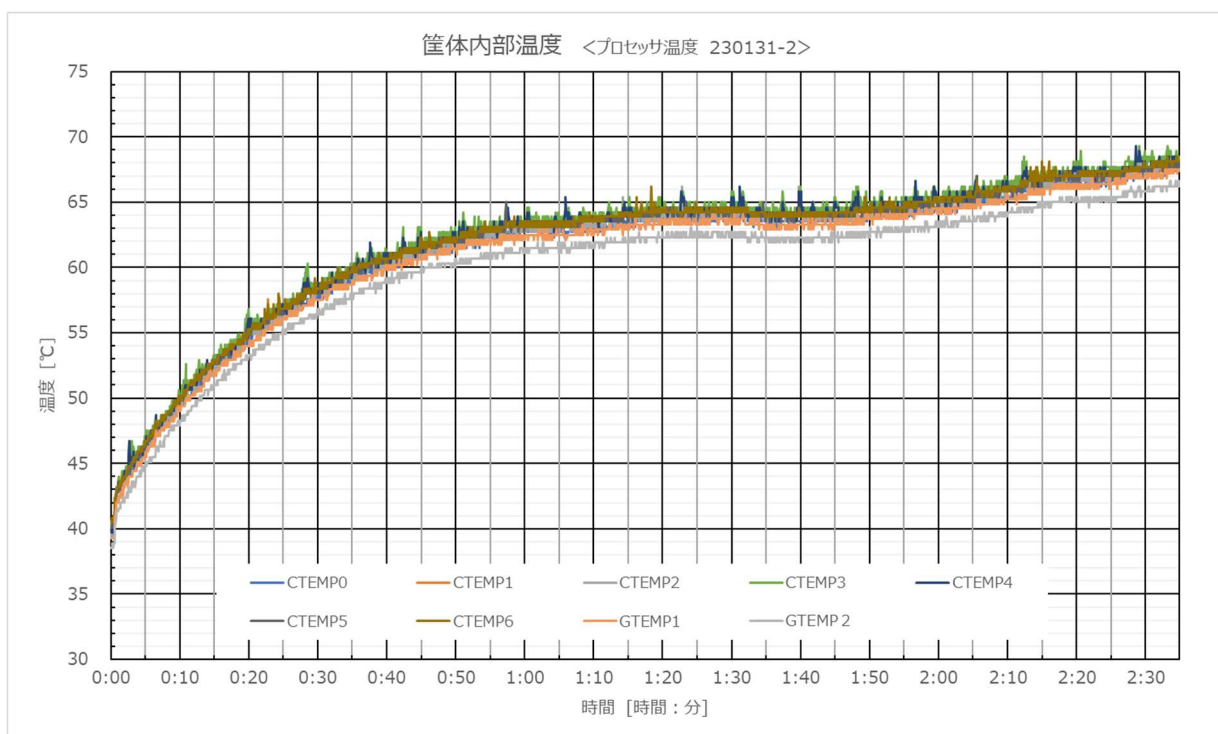


図 4.3-44 筐体内部温度

消費電流・バッテリー電圧、残量	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
-----------------	-----------	-----------

消費電流の測定値から、連続動作時に電池が枯渇する時間を算出し、目標の連続稼働時間を達成できているかを確認した。フルHDのストリーミング時に、5G接続とし中電界強度を想定し、端末システムの送信出力は+8dBmとしている。端末システムは、2時間35分でバッテリー電圧が低下し枯渇したためシャットダウンし、目標の連続動作時間2時間を達成する結果となった。

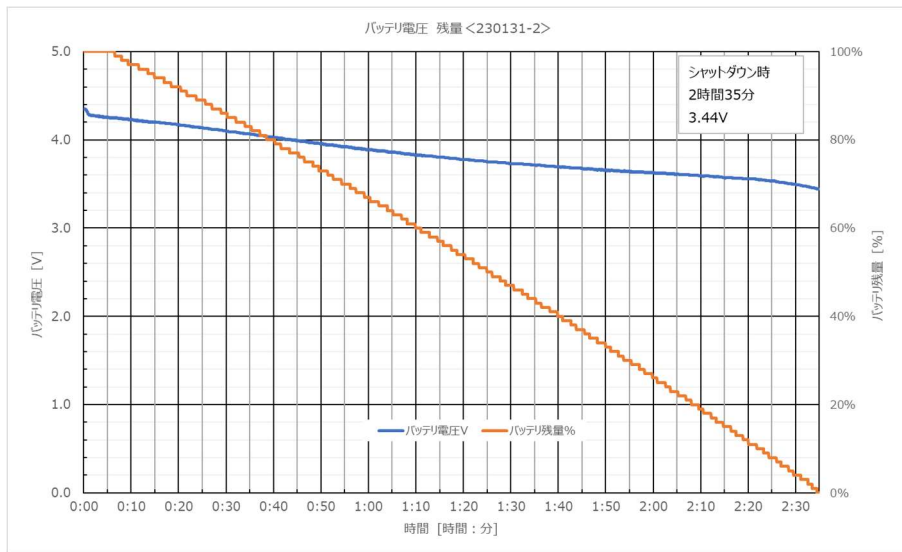


図 4.3-45 バッテリー電圧

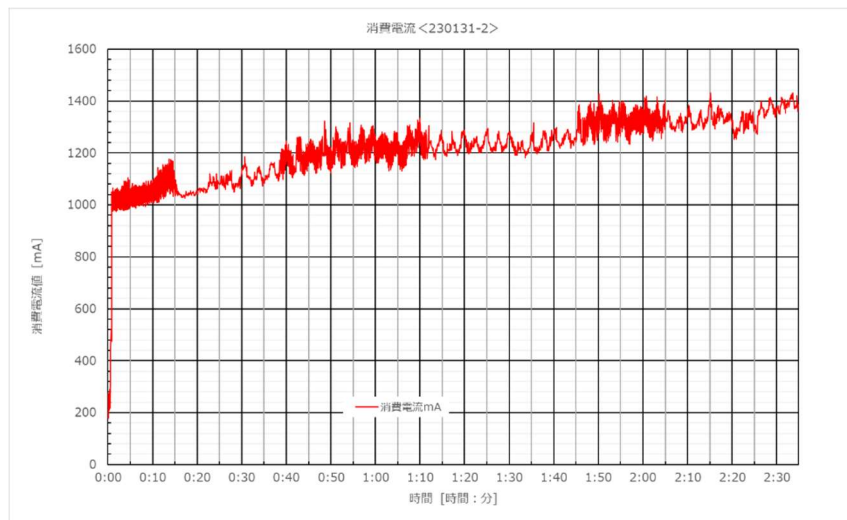


図 4.3-46 消費電流

検証項目	達成基準	結果
消費電流測定	フルHDでのストリーミング通信で2時間以上	2時間35分 <基準達成>

筐体内部／外部温度： 熱電対による測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
---------------------	-----------	-----------

4K のストリーミング時において、5G 接続とし中電界強度を想定した温度測定結果を図 4.3-47 に示す。縦軸に筐体表面／内部温度（熱電対測定）を示している。

端末表面の最高温度で基準を満たさなかったのはカメラ部 59.6℃で 11.6℃の基準値超過、及び電池上部で 68.8℃となり 8.8℃の超過であった。（表 4.3-16）

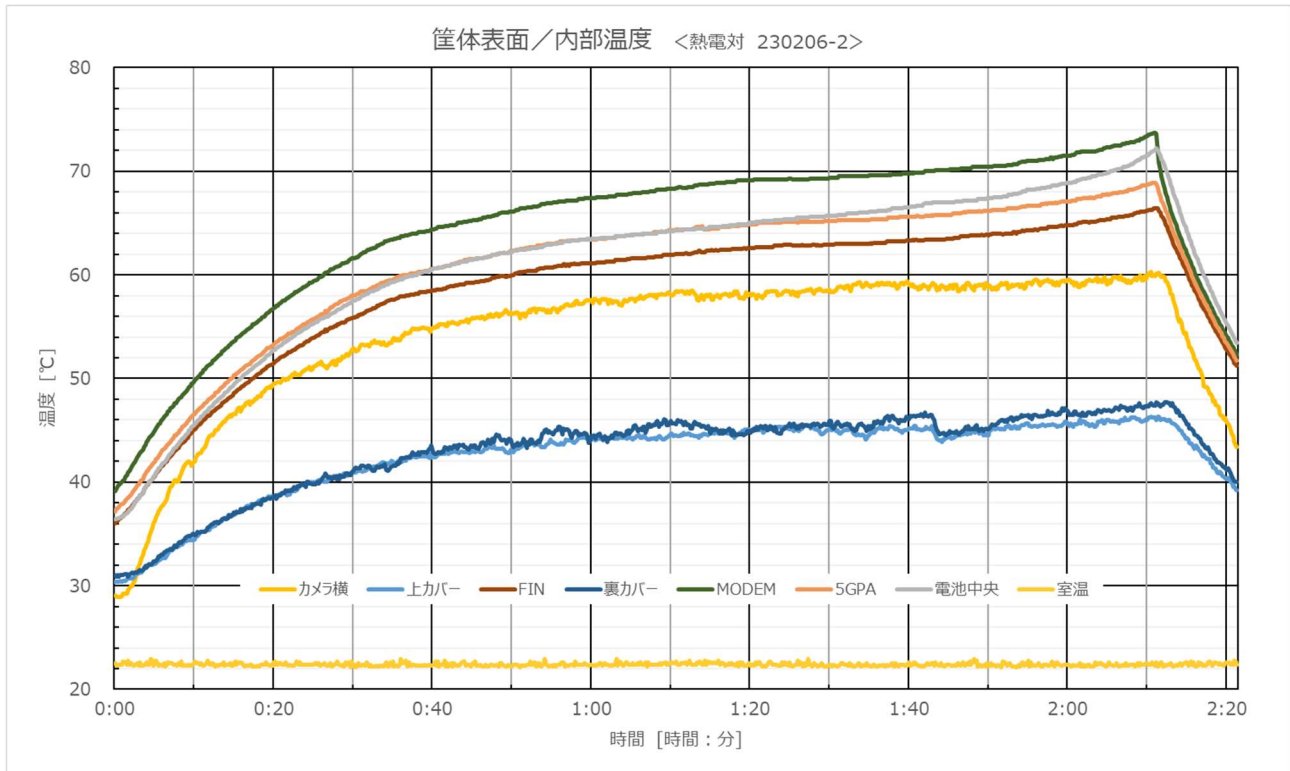


図 4.3-47 筐体表面、内部温度

表 4.3-16 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
カメラ部横	59.6	< 48°C	11.6°C超過
放熱フィン側カバーの上	45.7	< 48°C	基準を満たす
放熱フィン上 (カバーの裏)	64.8	基準無	—
電池側カバーの上	47.1	< 48°C	基準を満たす
Modem IC チップの上	71.5	< 75°C	基準を満たす
5 GPA の上	67.1	< 75°C	基準を満たす
電池の上	68.8	< 60°C	8.8°C超過

筐体内部温度： 基板上のサーミスタによる測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
------------------------	-----------	-----------

端末システム内部のプリント基板上に配置したサーミスタにより温度を測定した結果を示す。
(図 4.3-48) またその時の最高温度と判定基準を表 4.3-17 に示す。

全て達成基準温度以下の結果となった。

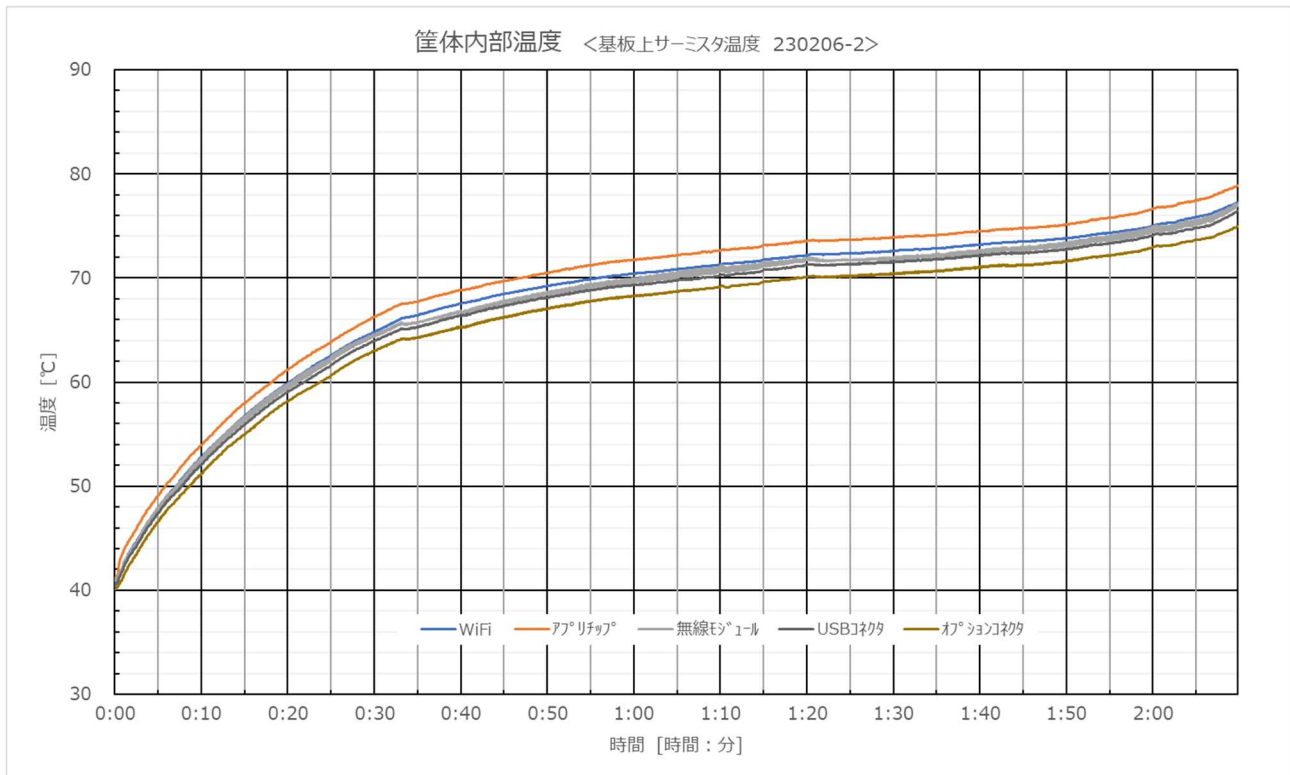


図 4.3-48 温度グラフ 筐体内部温度 (サーミスタ測定)

表 4.3-17 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
Wi-Fi/BT	74.8	<75°C	基準を満たす
AP	76.4	<95°C	基準を満たす
無線モジュール	74.6	<75°C	基準を満たす
USB コネクタ	73.9	<75°C	基準を満たす
オプションコネクタ	72.7	<75°C	基準を満たす

筐体内部温度 : 部品内のサーミスタによる測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
-------------------------	-----------	-----------

AP内のサーミスタの温度上昇を確認した。図 4.3-49 筐体内部温度、図 4.3-49 に部品内部に持っているサーミスタによる温度の測定結果、また表 4.3-18 に測定時間内の最高到達温度とプロセッサの基準温度を示す。最高温度は80.2℃程度となり、基準温度の95℃以下を全て達成した。

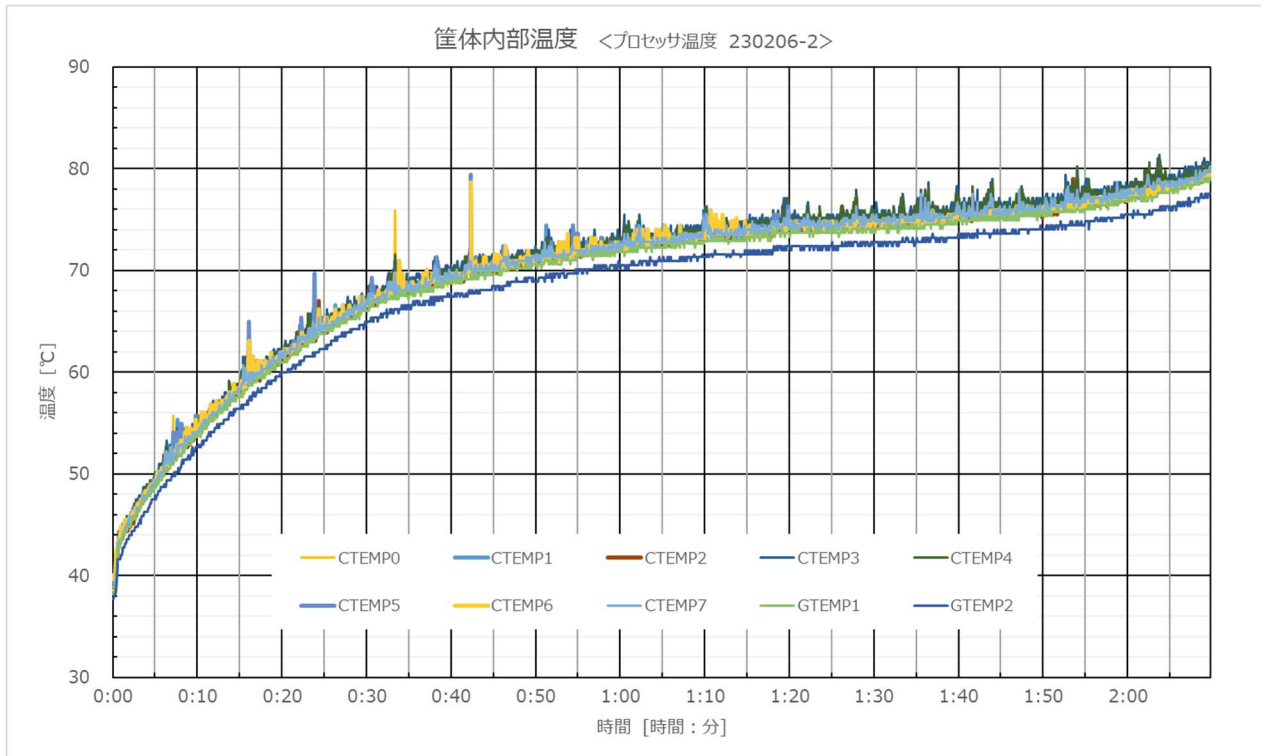


図 4.3-49 筐体内部温度

表 4.3-18 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
CPU0	77.1	<95°C	基準を満たす
CPU1	77.5	<95°C	基準を満たす
CPU2	79.0	<95°C	基準を満たす
CPU3	80.2	<95°C	基準を満たす
CPU4	80.2	<95°C	基準を満たす
CPU5	79.4	<95°C	基準を満たす
CPU6	78.7	<95°C	基準を満たす
CPU7	78.7	<95°C	基準を満たす
GPU1	77.2	<95°C	基準を満たす
GPU2	75.2	<95°C	基準を満たす

消費電流・バッテリー電圧、残量	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
-----------------	-----------	-----------

消費電流の測定値から、連続動作時に電池が枯渇する時間を算出し、目標の連続稼働時間を達成できているかを確認した。測定条件は、4K ストリーミング状態のため参考測定となる。5G 接続で中電界強度を想定し、端末システムの送信出力は+8dBm としている。端末システムは、1 時間 59 分でバッテリーが枯渇したためシャットダウンするレベルである 3.45V に到達した。

検証項目	達成基準	結果
消費電流測定	フルHD でのストリーミング通信で2 時間以上 ※4K ストリーミングのため本実証では参考値とする	1 時間 59 分 <参考値>

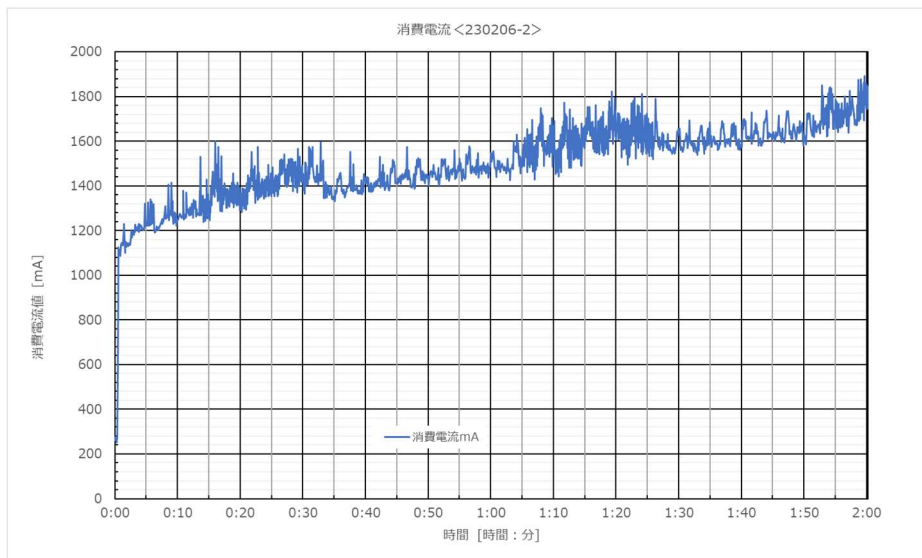


図 4.3-50 消費電流

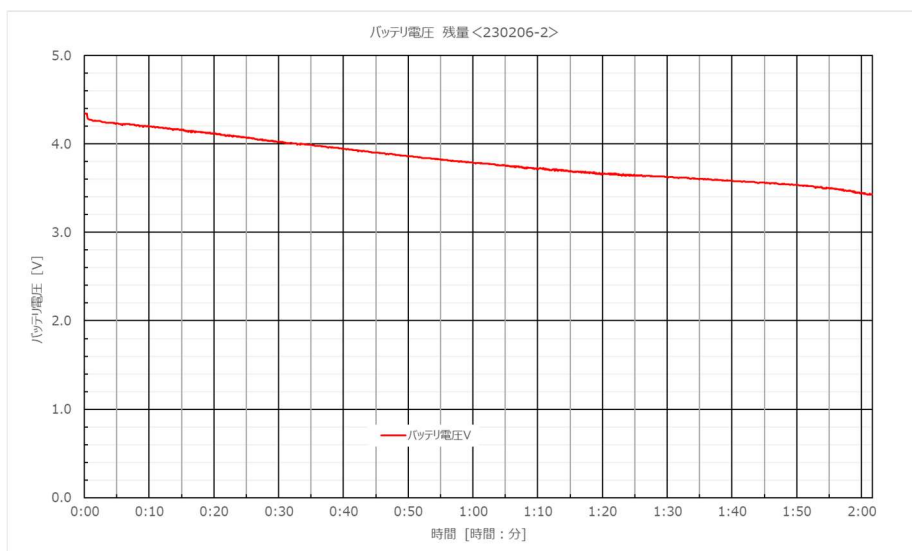


図 4.3-51 バッテリー電圧

筐体内部／外部温度： 熱電対による測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
---------------------	-----------	-----------

中電界強度下におけるフル HD ストリーミング条件では、目標を上回る 2 時間 35 分となったため、より厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を+18dBm として測定を行った。最大送信状態が長時間継続するという実使用時としてはあまり発生することはない条件となる。中電界時にも目標を超過してしたカメラ、電池部に加えて他 3 点も目標値を超過する結果となった。

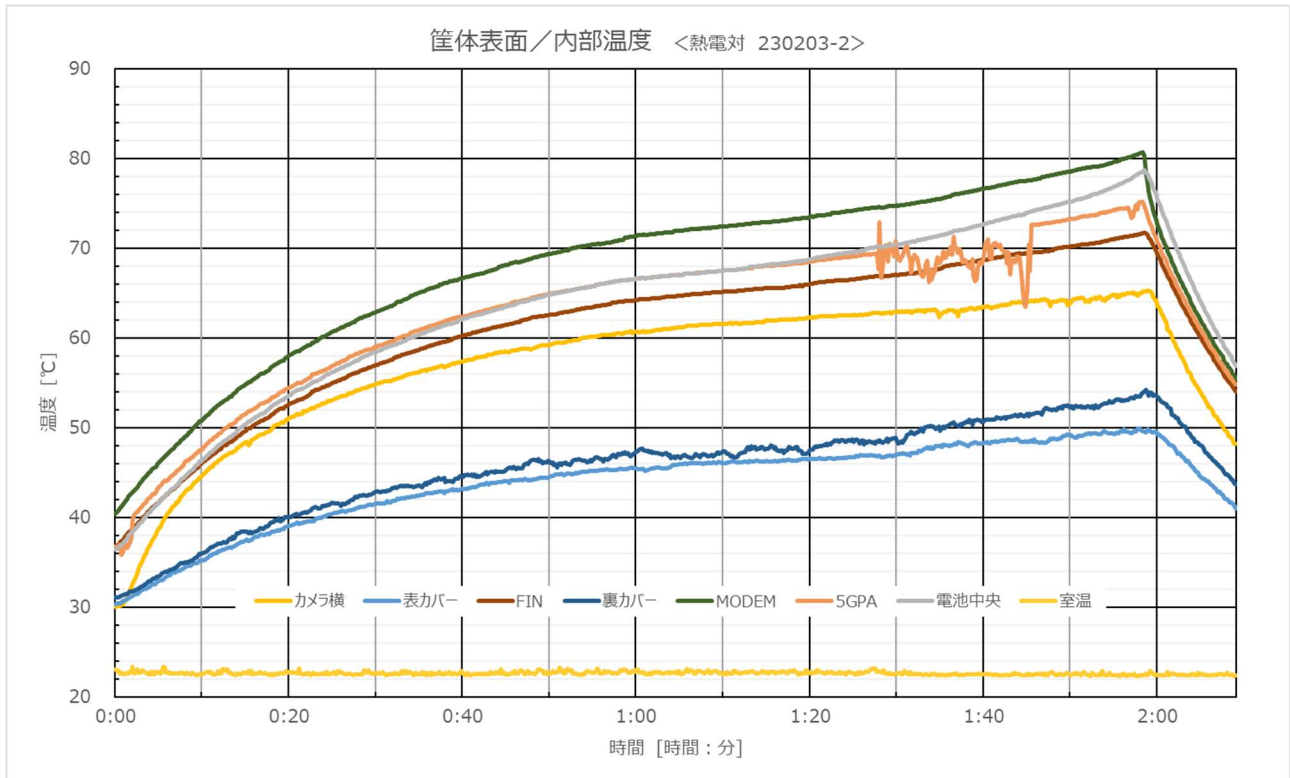


図 4.3-52 筐体表面、内部温度

表 4.3-19 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
カメラ部横	64.3	<48°C	16.3°C超過
放熱フィン側カバーの上	48.8	<48°C	0.8°C超過
放熱フィン上 (カバーの裏)	69.8	基準なし	—
電池側カバーの上	52.2	<48°C	4.2°C超過
Modem IC チップの上	78.1	<75°C	3.1°C超過
5 GPA の上	72.9	<75°C	基準を満たす
電池の上	74.7	<60°C	14.7°C超過

筐体内部温度： 基板上的サーミスタによる測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
------------------------	-----------	-----------

実環境としてより厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を+18dBmとして測定を行った。AP以外の基板上的測定点では、基準値を最大7.4℃超過する結果となった。

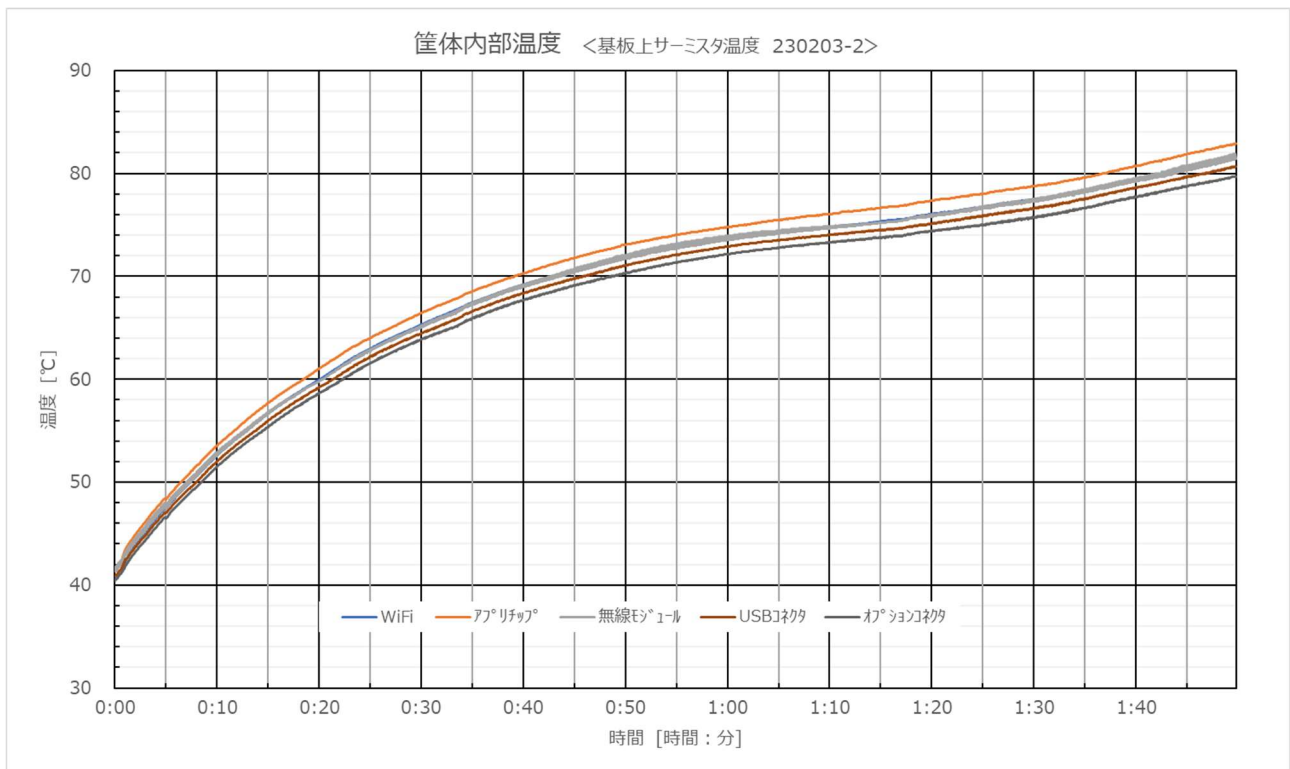


図 4.3-53 温度グラフ 筐体内部温度 (サーミスタ測定)

表 4.3-20 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	判定基準	判定
Wi-Fi/BT	81.9	<75°C	6.9°C超過
AP	83.3	<95°C	基準を満たす
無線モジュール	82.4	<75°C	7.4°C超過
USB コネクタ	81.1	<75°C	6.1°C超過
オプションコネクタ	80.1	<75°C	5.1°C超過

実環境としてより厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を+18dBm として測定を行った。最高温度は 84.5℃程度となり、基準温度の 95℃以下を全て達成した。

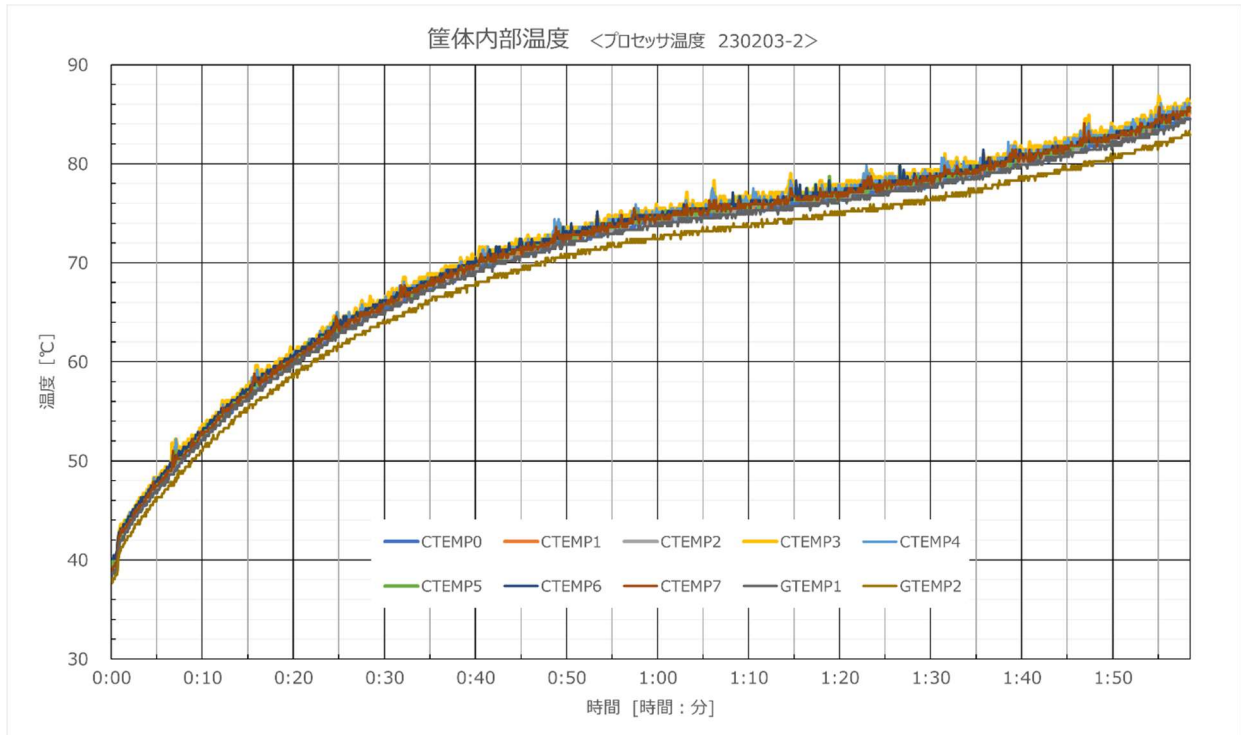


図 4.3-54 筐体内部温度

表 4.3-21 最高温度

測定点	最高温度 (°C)	判定基準	判定
CPU0	81.8	<95°C	基準を満たす
CPU1	82.6	<95°C	基準を満たす
CPU2	83.3	<95°C	基準を満たす
CPU3	84.5	<95°C	基準を満たす
CPU4	83.7	<95°C	基準を満たす
CPU5	82.2	<95°C	基準を満たす
CPU6	82.6	<95°C	基準を満たす
CPU7	84.1	<95°C	基準を満たす
GPU1	81.8	<95°C	基準を満たす
GPU2	80.2	<95°C	基準を満たす

消費電流・バッテリー電圧、残量	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
-----------------	-----------	-----------

測定条件は、フル HD ストリーミング状態のため参考測定となる。5G 接続で弱電界強度を想定し、端末システムの送信出力は+18dBm としている。端末システムは、1 時間 47 分でバッテリー枯渇により、システムシャットダウンのレベルである 3.45V に到達した。

検証項目	達成基準	結果
消費電流測定	フル HD でのストリーミング通信で 2 時間以上	1 時間 47 分 <参考値>

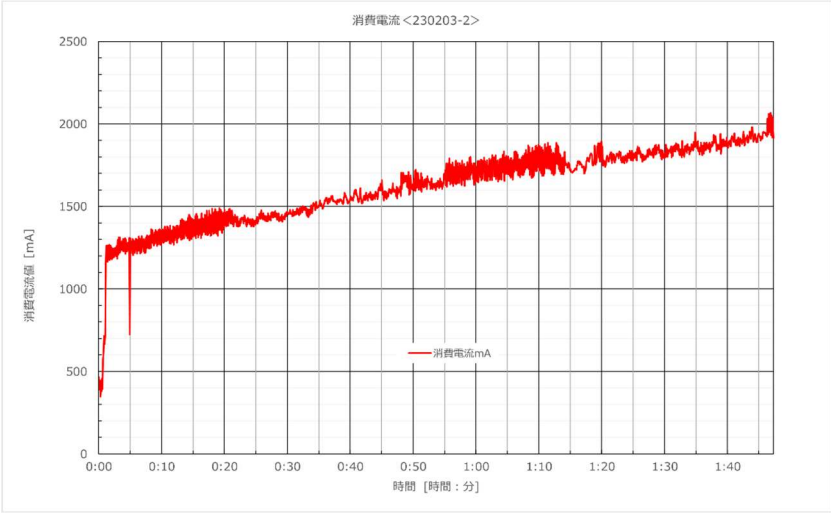


図 4.3-55 消費電流

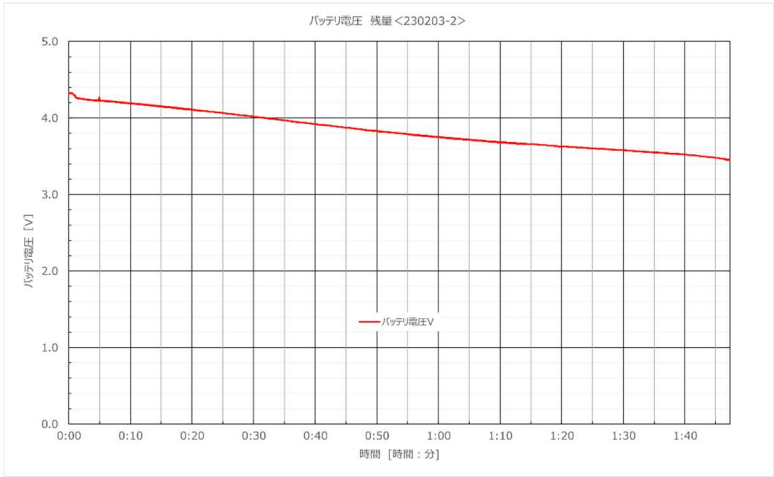


図 4.3-56 バッテリー電圧

筐体内部／外部温度： 熱電対による測定	フルHD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
---------------------	-----------	-----------

4K ストリーミング時において、より厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を +18dBm として測定を行った。最大送信状態が連続するという実使用時としてはあまり発生することはない条件となるが、実力確認のため測定を実施した。

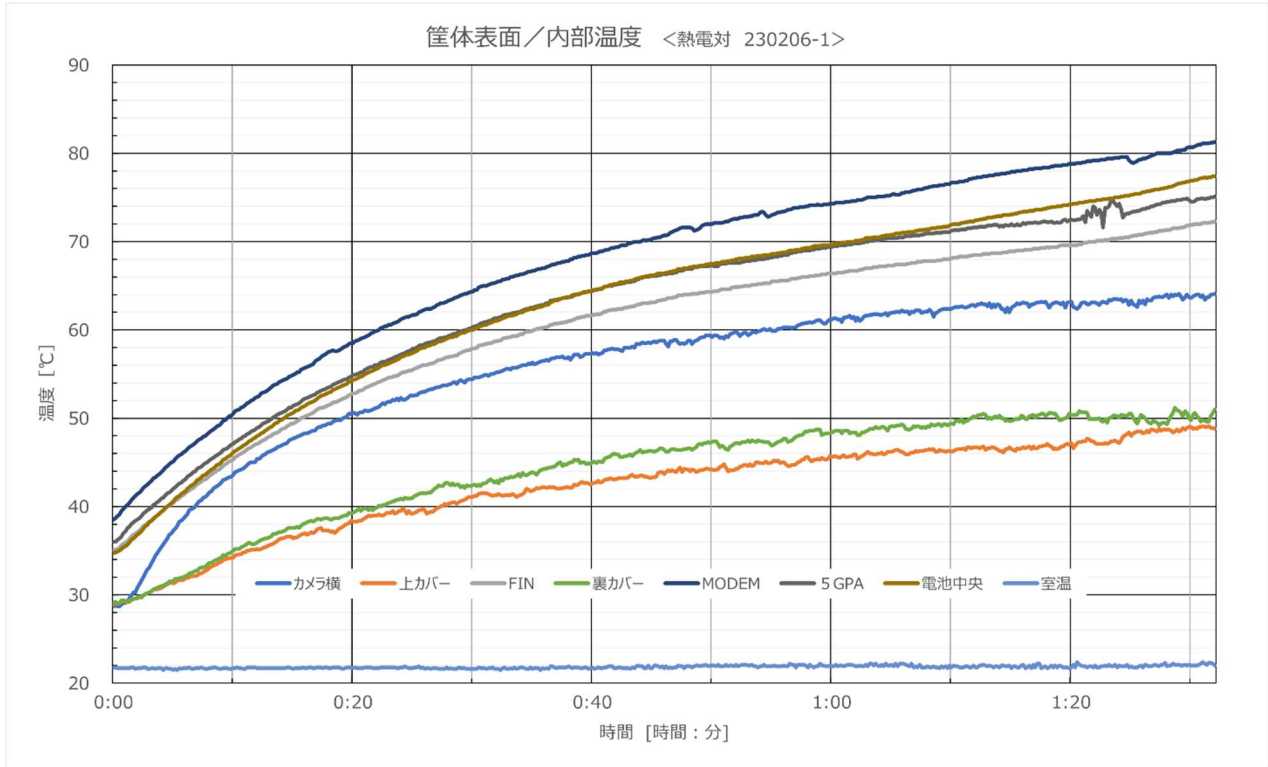


図 4.3-57 筐体表面、内部温度

表 4.3-22 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	達成基準	判定
カメラ部横	64.1	< 48°C	16.1°C超過
放熱フィン側カバーの上	49.1	< 48°C	1.1°C超過
放熱フィン上 (カバーの裏)	72.2	基準なし	—
電池側カバーの上	51.2	< 48°C	3.2°C超過
Modem ICチップの上	81.2	< 75°C	6.2°C超過
5 GPAの上	75.0	< 75°C	基準値同等
電池の上	77.4	< 60°C	17.4°C超過

4K ストリーミング条件において、実環境としてより厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を+18dBmとして測定を行った。AP以外の基板上の測定点では、基準値を最大10.2℃超過する結果となった。

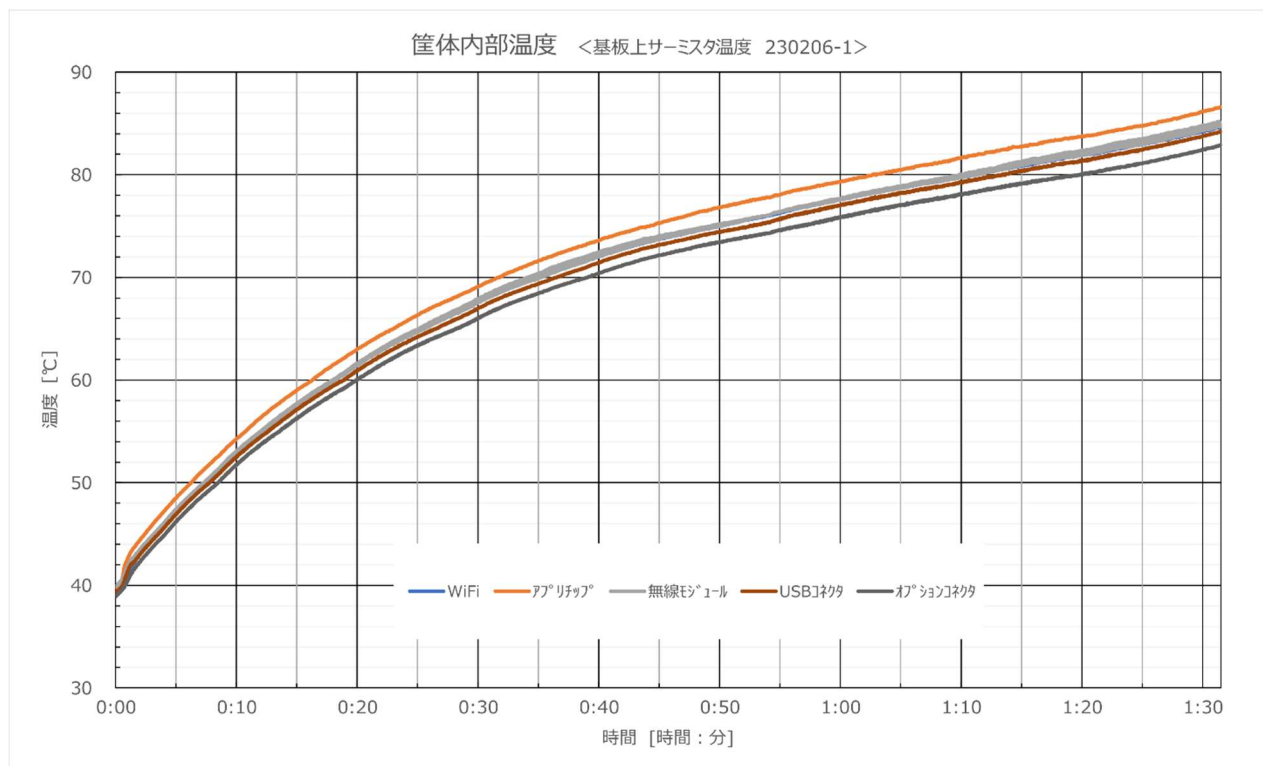


図 4.3-58 温度グラフ 筐体内部温度 (サーミスタ測定)

表 4.3-23 最高温度 測定結果

測定点	最高温度 (°C)	判定基準	判定
Wi-Fi/BT	84.6	<75°C	9.6°C超過
AP	86.6	<95°C	基準を満たす
無線モジュール	85.2	<75°C	10.2°C超過
USB コネクタ	84.2	<75°C	9.2°C超過
オプションコネクタ	82.9	<75°C	7.9°C超過

筐体内部温度 : 部品内のサーミスタによる測定	フル HD ・ 4K	中電界 ・ 弱電界
-------------------------	------------	-----------

4K ストリーミング条件において、実環境としてより厳しい条件となる弱電界強度を想定し、送信電力を+18dBm として測定を行った。最高温度は 90.3℃程度となり、基準温度の 95℃以下を全て達成した。

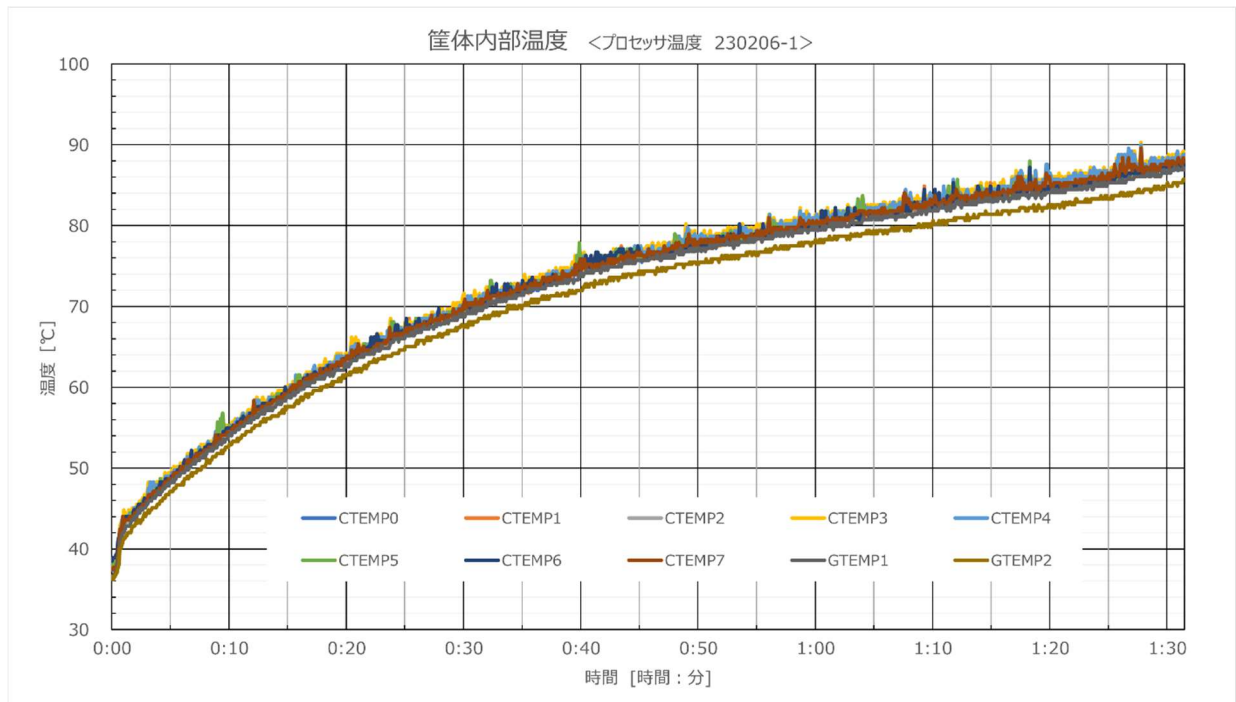


図 4.3-59 筐体内部温度

表 4.3-24 最高温度

測定点	最高温度 (°C)	判定基準	判定
CPU0	87.6	<95°C	基準を満たす
CPU1	88.0	<95°C	基準を満たす
CPU2	88.8	<95°C	基準を満たす
CPU3	90.3	<95°C	基準を満たす
CPU4	90.0	<95°C	基準を満たす
CPU5	88.0	<95°C	基準を満たす
CPU6	87.6	<95°C	基準を満たす
CPU7	89.6	<95°C	基準を満たす
GPU1	87.2	<95°C	基準を満たす
GPU2	85.7	<95°C	基準を満たす

追加の検証として端末システムの置き位置における温度上昇特性について検証を行った。

測定条件は、フルHD ストリーミング状態のため参考測定となる。5G 接続で弱電界強度を想定し、端末システムの送信出力は+18dBm としている。端末システムは、1 時間 31 分でバッテリーが枯渇したことによりシステムシャットダウンのレベルである 3.45V に到達した。

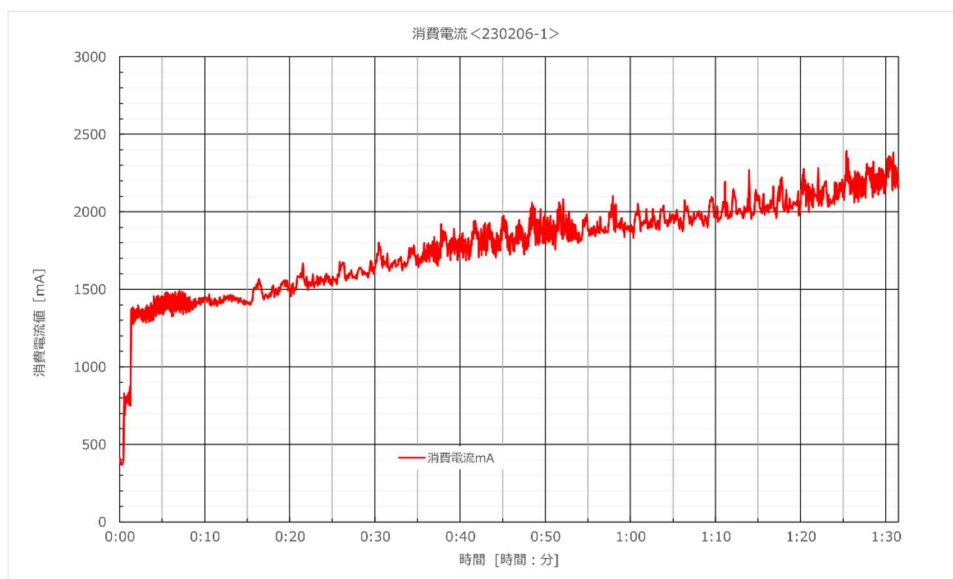


図 4.3-60 消費電流

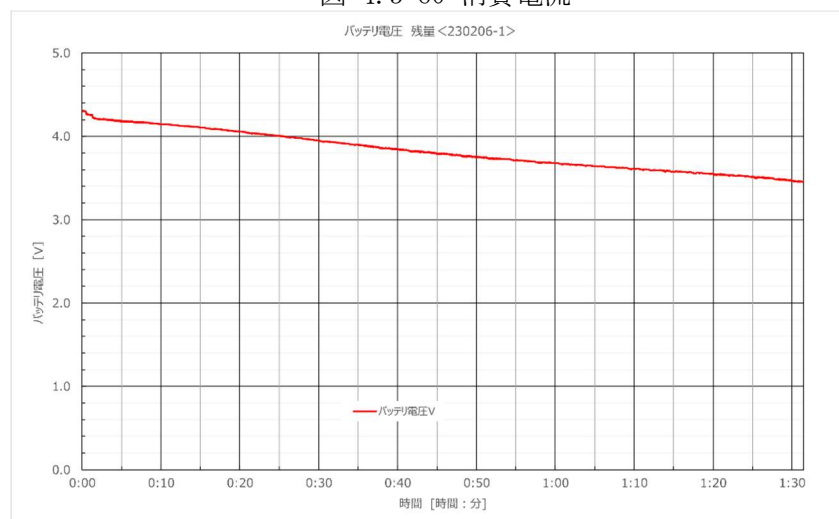


図 4.3-61 バッテリー電圧

ユースケースにおける本端末システムの姿勢状態としては、カメラを上にしておいた状態（縦置き時）を想定して設計を行っている。しかしながら、より広い用途での使用を考慮すると、本端末システムを横置きにした状態で使用することもあると考えられる。放熱フィンがプレート型を採用しており、プレート型放熱フィンの特徴として、フィンの向きによって放熱性能が影響を受けることが挙げられる。従って、本端末システムの姿勢の違いによる温度上昇の差分を把握するため横置き状態の時のデータを測定した。

検証項目	達成基準	結果
消費電流測定	フル HD でのストリーミング通信で 2 時間以上	1 時間 31 分 < 参考値 >



図 4.3-62 端末システムの設置方向

表 4.3-25 端末姿勢による温度上昇

温度[°C]	カメラ横	上カバー	FIN	裏カバー	MODEM	5GPA	電池中央
縦置き	65.3	49.9	71.8	54.2	80.7	75.2	78.7
横置き	56.4	51.5	72.1	57.8	85.5	76.6	78.8
差分	-8.9	1.6	0.3	3.6	4.8	1.4	0.1

測定はフル HD のストリーミング状態とし、端末の送信電力は+18dBm（弱電界時相当）とした。温度のデータはストリーミング開始から 2 時間経過するまでの間の最高温度を示している。（表 4.3-25）

検証結果は、概ね横置き状態時に温度が高くなり、特に裏カバーと MODEM 部が 3.6°C、4.8°C と温度上昇が大きい傾向となった。これは構造的にフィンが縦になる縦置き時の方が、放熱フィン自体の放熱性能が高くなるためであり、想定通りの結果である。一方で、カメラ部が横置き時には 8.9°C、縦置き時に比較して温度が低くなっている。これは放熱フィンで発生した熱が上方向に流れる放熱構造をとっており、縦置き時に放熱フィンで発生した熱はカメラ部を通り大気中へ逃げていくため、縦置き時の方が高くなる結果となっている。

<考察>

端末システムの連続動作時間、及び温度上昇の検証を行うため、端末システムに取り付けた熱電対、基板に実装されているサーミスタ、及び部品内に内蔵しているサーミスタより温度情報をモニタした。端末システムは、基地局シミュレータと5G通信で接続した環境におき、端末システムのカメラで撮影した映像をストリーミングアプリ経由で、常時基地局側へ送信し続ける状態においての温度情報を取得している。端末システムの送信電力は、中電界時を想定し+8dBmとした。これは、アップリンク 256QAM 時の端末最大送信電力である+18dBm より 10dB 出力を落とした設定である。

表 4.3-26 温度測定結果（中電界時）

検証項目 <中電界時>		内容	目標基準	結果		判定 フルHD時	
				フルHD	4K(参考)		
温度	筐体 内外	カメラ部横	<48℃	55.8	59.6	7.8℃超過	
		放熱フィン側カバーの上	<48℃	43.0	45.7	基準を満たす	
		放熱フィン上	<75℃	59.0	64.8	基準を満たす	
		電池側カバーの上	<48℃	44.4	47.1	基準を満たす	
		Modem ICチップの上	<75℃	65.0	71.5	基準を満たす	
		5GPAの上	<75℃	60.9	67.1	基準を満たす	
		電池の上	<60℃	62.6	68.8	2.6℃超過	
	基板上	Wi-Fi/BT	<75℃	67.8	74.8	基準を満たす	
		AP	<95℃	68.6	76.4	基準を満たす	
		無線モジュール	<75℃	66.9	74.6	基準を満たす	
		USBコネクタ	<75℃	66.4	73.9	基準を満たす	
		オプションコネクタ	<75℃	65.7	72.7	基準を満たす	
	CPU	CPU1~7 (MAX値)	<95℃	69.3	80.2	基準を満たす	
		GPU1, 2 (MAX値)	<95℃	67.5	77.2	基準を満たす	
	連続動作時間		ストリーミング	>2時間	2時間35分	1時間59分	基準を満たす

その結果、本実証目標値であったフルHDストリーミング伝送時において、2時間以上の連続動作を達成できていることが確認できた。しかしながら、その際、部品保護及び低温火傷防止の観点での基準温度を、カメラ部、電池部の2か所で超過している箇所が発生していた。また、本端末システムを4Kストリーミングとした場合は、フルHD動作時に比較して全体的に3~10℃程度、温度が上昇することが分かった。その際の連続動作時間は1時59分となりほぼ目標値同等となった。

以上より、バッテリー容量と消費電力においては、ストリーミング動作2時間以上を満足することは可能なレベルであると考えられるが、温度上昇時における端末システム機器自身の保護等の観点においては、基準を満足するには足りないレベルであり、また端末システムの使用用途や環境を考慮すると（本実証は室温環境の24℃前後において実施）放熱性能について改善の必要がある結果であった。

4) ストリーミング映像品質／音声疎通

<システム構成図>

ストリーミング機能に関するシステム構成図を以下に示す。

ストリーミングプロトコルは映像伝送・音声通話ともに実装可能な WebRTC⁶⁹を採用した。商用利用(実装化)の際に、WebRTC をクラウドに実装し、VMS⁷⁰を実現することを想定して、本プロトコルを選定し、検証を行った。

システム構成としては試作機内にサーバを構築し、ストリーミングアプリとの間を WebRTC にて処理を行い、対向機からもブラウザを利用し、ローカル 5G 経由で WebRTC を利用し、試作機内のサーバに接続することでストリーミング機能を実現した。

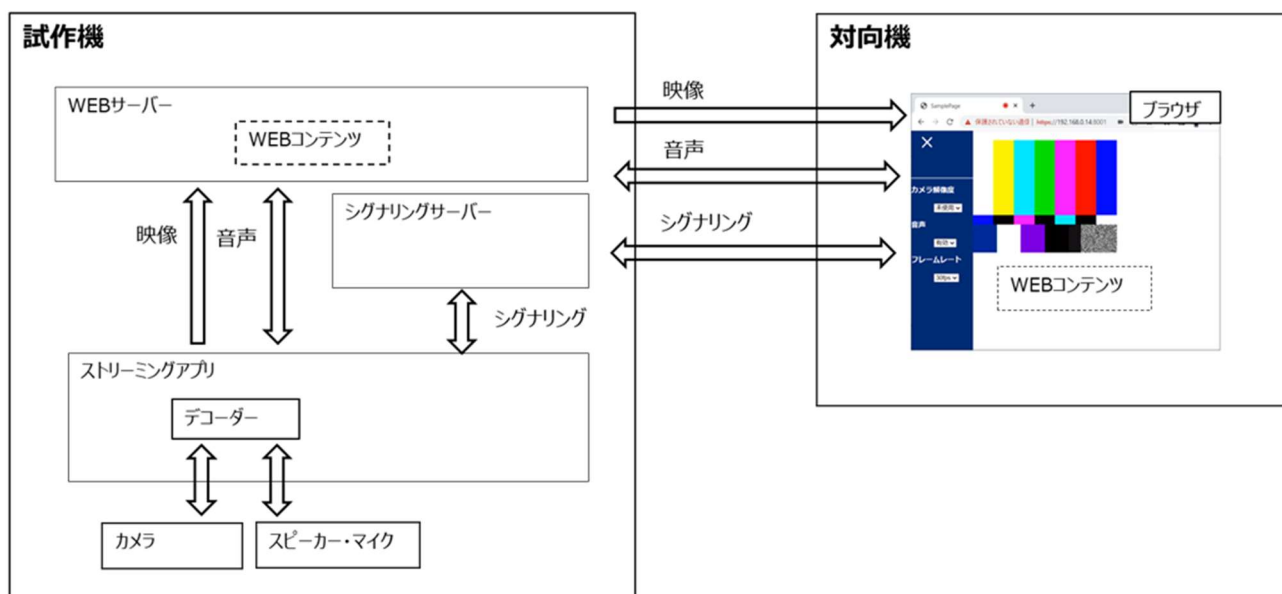


図 4.3-63 ストリーミングシステム構成図

⁶⁹ WebRTC; Web Real-Time Communication, web ブラウザなどを介して高速なデータ通信を実現する規格

⁷⁰ VMS; Video Management System, 監視・防犯カメラの映像を録画、管理、閲覧するためのソフトウェア

本章で実証を行う伝送遅延は、図 4.3-64 における①端末間区間（エンド to エンド）、及び③端末システム内の測定を行う。②データ送受信間の遅延については 3 章の技術実証の章にてテストベッドで実測している。

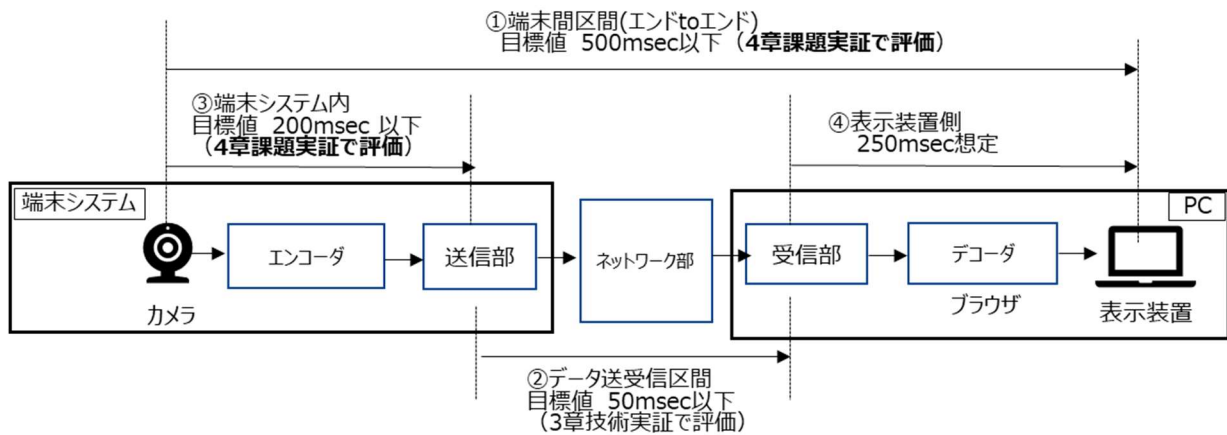


図 4.3-64 システム伝送遅延

<伝送遅延の解析>

図 4.3-64 に示す③端末システム内遅延について解析を行った。

端末内の各処理でかかっている時間を端末システム内に記録するログから確認を行った結果を以下に示す。カメラ動作区間は理論値として 33.3msec としている。他の区間は 20 秒間ストリーミングを行い、計測したデータの平均値である。

表 4.3-27 端末内の伝送遅延

	フレームレート	送信側カメラ動作区間 (msec)	エンコーダ処理区間 (msec)	フレーム化、データ送受信区間 (msec)	合計 (msec)
フル HD ストリーミング	15fps	33.3	4.7	10.4	48.4
	30fps	33.3	9.8	8.6	51.7
4K ストリーミング	15fps	33.3	24.5	16.8	74.6
	30fpg	33.3	30.4	24.9	88.6

<伝送遅延の測定>

図 4.3-64 の①端末間区間（エンド to エンド）遅延について測定を行った。

フル HD ストリーミング動作、4K ストリーミング動作の端末間の伝送遅延の測定結果を以下に示す。ストップウォッチを撮影した映像のストリーミングを行い、受信側で表示された時刻との差分にて計測を実施した。3 回ずつ計測を行い、その平均値としている。検証結果として目標値である 500msec 以下を達成した。

表 4.3-28 端末間区間の伝送遅延

	フレームレート	伝送遅延(msec)
フルHDストリーミング	15fps	207
	30fps	354
4Kストリーミング	15fps	303
	30fps	444

<検証結果>

音声疎通に関しては、ストリーミングと同時に確認し、問題なく疎通が可能であった。また、映像の品質としては、ストリーミング中にフレームレート低下の発生の有無を確認し、4Kストリーミング中においてもフレームレートの低下はなかった。

本項のストリーミング映像品質、音声疎通、及び伝送遅延の検証結果を表 4.3-29 にまとめる。結果として、全ての項目で目標を達成することができた。

表 4.3-29 ストリーミング検証結果

検証項目	達成基準		検証結果	
			伝送遅延 msec	判定
伝送遅延	端末内 200msec 以下	フルHD	51.7	目標達成
		4K	88.6	
	端末間区間 500msec 以下 (参考)	フルHD	354	
		4K	444	
音声疎通	双方向の音声疎通が可能であること		ストリーミングと同時に音声疎通が可能であることを確認。	
映像確認	ストリーミングの映像品質についてユーザ観点での評価を行うこと		通信速度が十分な環境(約 50Mbps 以上)では4Kストリーミング時もフレームレートの低下は発生せず、端末としてのストリーミング品質は確保されている。ユーザ観点でも遅延、コマ落ち等に品質劣化事象は発生していない。	

5) 検証結果一覧

試作を行った端末システムの検証結果の一覧を表 4.3-30 に示す。

連続動作時間において、フル HD ストリーミング時に電池部温度が 2.6℃超過していた。それ以外の検証項目については、今回の実証では参考測定とした連続動作時間に対する一部の項目を除き、小型化全ての目標基準を達成することができた。また参考測定として実施した 4K ストリーミング時の動作時間については、ほぼ目標値の 1 時間 59 分を達成することができた。しかしながら、その時の電池部の温度が目標基準値を 8.8℃超過しているため、実装時の目標を達成するためには、電池部の温度上昇に対して対策を実施する必要があることが分かった。

表 4.3-30 検証項目達成状況

検証項目	内容	目標基準	結果	判定
小型化	サイズ	96.4x76.6x30.0	96.7x76.6x30.0	基準を満たす
	容積	<250cc	211cc	基準を満たす
	重量	<270 g	241.57g	基準を満たす
防水防塵	IPX5	検定合格	合格	基準を満たす
	IPX8		合格	基準を満たす
	IP6X		合格	基準を満たす
連続動作時間	フル HD ストリーミング	> 2 時間	2 時間 35 分	基準を満たす
	4K ストリーミング		1 時間 59 分 (参考)	参考測定
温度上昇 (中電界時)	フル HD ストリーミング	電池<60℃	2.6℃超過	実装時課題
	4K ストリーミング	電池<60℃	8.8℃超過 (参考)	参考測定
ストリーミング品質	フル HD ストリーミング	端末内遅延時間 200msec 以下	51.7 msec	基準を満たす
	4K ストリーミング		88.6 msec	基準を満たす

実装に向けては、実装時の目標基準値である - 20~40℃環境下のフル HD ストリーミング、及び室温環境下における 4K ストリーミングの連続動作時間 2 時間以上の達成、及び目標温度以下にするための対処を行う。

4.3.2 端末システムの実装性に関する検証

端末の実装カテゴリとして、「端末単独」と「ソリューション」の2通りを想定している。「端末単独」というのは、特定ソリューションによらない端末販売であり、予め端末に組み込んだアプリ機能の活用（例えば、映像伝送用途）に加えて、端末のみを我々から提供してお客様が組み込んで実証や実装を行ったり、端末を用いた新たなソリューション開発を行ったりする使い方を含めて想定している。

一方の「ソリューション」については、ソリューションプロバイダに代表されるパートナー様との連携を含めた、顧客の課題解決ソリューション提供として、端末を含めた提供を想定している。これには、ユースケースに合わせたカスタマイズやエッジ AI、クラウド含めたシステム開発を含んでいる。ソリューションの例としては、4.1 章にて述べたものの他に、例えば工事・建設現場や工場・倉庫などの保全現場での人侵入検知等のシステムがある。固定位置での監視カメラ用途に加えて、移動ロボットへの組み込みによる域内移動による監視を行うことで、不審者検出や安全確認等の価値が提供できるのではと考えている。

本実証での実装性の検証としては、端末システムに搭載する機能の決定を中心に行うべく、パートナー企業様、またはエンドユーザ企業へのヒアリングを実施する。ソリューションの実用化に向けての実現性検討やパートナー様との協業可能性模索を行い、可能な限り実装時での PoC⁷¹含めた計画策定に繋げていく。

1) 検証項目

端末システムの実装性について、ソリューションプロバイダ等のパートナー会社、及びエンドユーザからの要求や希望を確認し、商品化に向けた実装内容に展開していく。具体的には、下記の項目にて、意見を吸い上げる。

表 4.3-31 実装性検証項目

番号1	番号2	大項目	小項目	視点
1	1	機能		搭載機能(仕様)に対する過不足
2	1	使用感	外形	実際の運用に対する支障有無、要望
	2		重量	実際の運用に対する支障有無、要望
	3		取り付け方法	実際の運用に対する支障有無、要望
3	1	使い勝手	操作性	ストリーミング動作時の設定、ボタン操作 等
4	1	費用感	許容可能な金額	端末およびソリューションとしての費用 (どこまでならば、機能に対する価値を認めるか)

項目の選定理由は、端末としてユーザが想定している利用目的に対する適合度合いの確認と、実現したい価値に対する費用感とのバランス確認の目的から選定した。

⁷¹ PoC; Proof of Concept, 概念実証

2) 検証方法

検証方法としては、アンケート形式での確認とした。これは、回答結果に対して、ある程度定量的に数値化できるような重みづけができることと、対面またはリモート会議の場では、様々な意見を抽出し難い面がある（発言しづらい方もいる）との考えから決定している。

具体的には、今回の実証において試作した端末システムを持参して対面での打ち合わせを実施させていただき、本試作端末を実際に手に取って頂いた上で、簡単な映像伝送デモ（本端末からWi-FiでPCに画像伝送）を行い、その上で意見交換をさせていただく。

そして、最終的には前述のアンケートに回答していただくことで、最終的に意見を集約する。

アンケートに関しては、Microsoft Forms を活用し、web での入力をお願いした。これは記入者に対して、郵送や添付送信等の手間をかけないよう利便性を向上させつつ、回答の集約のしやすさから活用することにした。

実際のアンケート画面の一部について、図 4.3-65、図 4.3-66 に示す。評価は基本的に、各項目4段階での点数（悪い；1点、あまり良くない；2点、良い；3点、大変良い；4点、わからない／判断できない；カウント外）により行い、一部フリー記述を加えて、できるだけ多くの意見を吸い上げることを目的とした。

The image shows a screenshot of a Microsoft Forms survey. The title is '総務省「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるFCNTの端末システム試作事業に関するアンケート'. The survey includes three questions, with the first two being required (marked with a red asterisk). The first question asks for the respondent's company name, and the second asks for their department name. The third question asks for a rating of the terminal's expected specifications, with a scale from 1 (Bad) to 5 (Very Good), and an option for 'Don't know / Can't judge'.

総務省「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」におけるFCNTの端末システム試作事業に関するアンケート

* 必須

1. 貴社名を記入してください *

回答を入力してください

2. 貴部署名を記入してください。

回答を入力してください

3. 端末の想定仕様について、当てはまるものを1つ選択してください。
1：悪い、2：あまり良くない、3：良い、4：大変良い、5：わからない・判断できない *

図 4.3-65 アンケートフォーム-1

4. 端末の想定仕様について、上記を選択した理由や要望・期待を自由に記入ください。

回答を入力してください

5. 本体の大きさについて、当てはまるものを1つ選択してください。
1：悪い、2：あまり良くない、3：良い、4：大変良い、5：わからない・判断できない*

1 2 3 4 5

6. 本体の重さについて、当てはまるものを1つ選択してください。
1：悪い、2：あまり良くない、3：良い、4：大変良い、5：わからない・判断できない*

1 2 3 4 5

7. 本体の取り付け方法について、当てはまるものを1つ選択してください。
1：悪い、2：あまり良くない、3：良い、4：大変良い、5：わからない・判断できない*

1 2 3 4 5

8. 本体の大きさ、重量、取り付け方法について、上記を選択した理由や要望・期待を自由に記入ください。

回答を入力してください

図 4.3-66 アンケートフォーム-2

意見を吸い上げる対象のエンドユーザ企業として、まず端末システム事業者に参加いただいている、ジャパン・イーエム・ソリューションズ株式会社の方にアンケートを用いた形でヒアリングを行い、結果を集計した。ジャパン・イーエム・ソリューションズ株式会社は、FCNTと同じREINOWA ホールディングスグループ会社であり、携帯端末の製造等を担う工場部門を有している。そのため、工場における作業員目線での遠隔作業指導や、その他工場内でのユースケース活用の視点で、本端末システムについての検証を実施して頂いた。

その他のソリューションプロバイダをはじめとするパートナー企業、エンドユーザ企業に関しては、現時点では下記会社を考慮しており、具体的には今後の相談、交渉の中で決定していく。本実証期間の間では時間が限られる中であつたが、可能な限り多くの関連企業やユーザ企業に意見を吸い上げることとした。時期は23年1月以降で実施した。

<アンケートにご協力頂いた会社>

- ・ ジャパン・イーエム・ソリューションズ (JEMS) 株式会社 (ユーザ企業 (工場))
- ・ A社(大手 SIer⁷²/NIer⁷³)
- ・ B社(大手 SIer/NIer)
- ・ C社(大手 SIer/NIer)
- ・ D社(法人向けソリューション提供会社)
- ・ E社(ユーザ企業)
- ・ F社(法人向けソリューション提供会社)

3) 検証結果及び考察

アンケート結果を図 4.3-67 に示す。

⁷² System Integrator

⁷³ Network Integrator

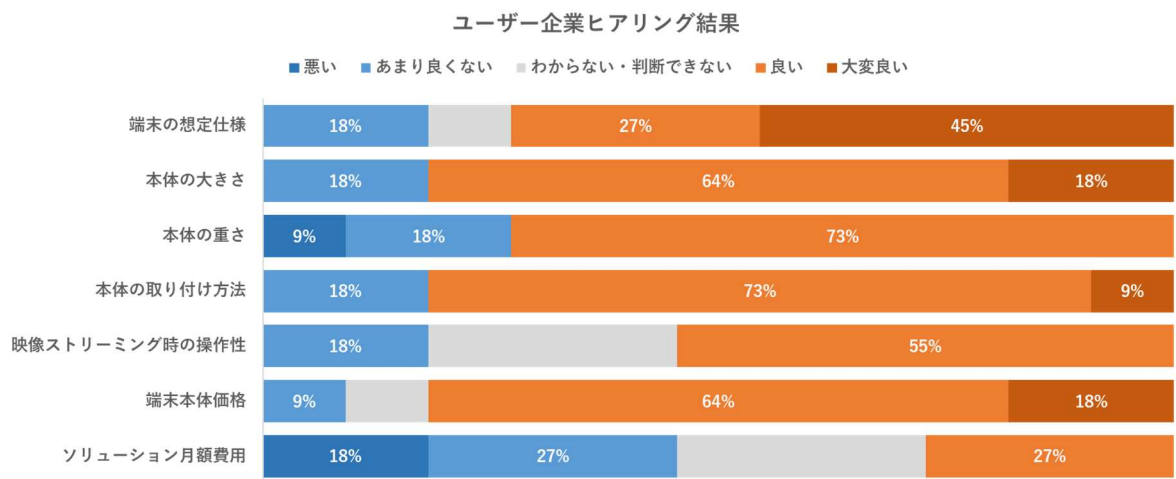


図 4.3-67 アンケート結果

この図からわかるように、ほとんどの項目で肯定的な回答内容となっている。以下詳細に確認してゆく。

A) 端末の想定仕様

結果；平均 3.22 (1名 判断不可回答)

主な意見

- ・ 小型かつ防水のカメラ端末のため、屋外監視に利用できる (A社)
- ・ 小型・軽量で、ヒートシンクによる熱対策が施されている点 (B社)
- ・ 既存技術 webカメラ や5G携帯電話との差別化 (JEMS)
- ・ 小型、防水防滴、発熱対策済みで様々なユースケースに利用可能と感じたため。価格や手振れ補正次第では更に拡大できると感じた (A社)

B) 本体の大きさ

結果；平均 3.00

C) 本体の重さ

結果；平均 2.60

D) 取り付け方法

結果；平均 3.00

主な意見

- ・ 定点設置やロボットなどの機器に組み込むユースケースであれば、十分かとおもいます。ウェアラブルカメラとして、人が持ち運ぶ前提であれば、サイズの小型化や取り付け方法の工夫が必要かもしれません (A社)
- ・ 手に取った時に、少し重さを感じました。体に取り付けることを意識すると、嵩張るのではないかと思います。定点カメラとして固定での使用では気にならないレベルです。(JEMS)
- ・ 大きさ、重量はハードルが高いのは理解するが、更なる小型化に期待したい (スポーツなどの利用シーンで競技者視線の映像伝送などに活用出来ると良い) (E社)
- ・ ウェアラブルを訴求するのであれば 重さと温度 (ヒートシンク) が期待外 (JEMS)
- ・ アクションカメラのような使い方をするには、まだ重いかなと感じる。(B社)
- ・ 大きさ・重量は小さく軽くなればなるほど良い (C社)
- ・ 振動のある環境で保持できるのか現状のモデルではやや不安がある (F社)

E) 映像ストリーミングした際の操作性(ボタン操作やディスプレイ表示など)

結果 ; 平均 2.71 (3名判断できず)

主な意見

- ・ 操作が単純で覚えやすそうな印象を受けました (A社)。
- ・ 特に不満な点はなかった。クラウド経由やローカル接続で WebUI からの操作や状態確認が出来るが良い (E社)
- ・ シンプルだが、操作感はまだよくわからなかったため (A社)
- ・ 老眼の方にはツライ表示に思えた。もう少し表示を大きくしても良さそう (B社)
- ・ 実際の液晶表示を見てみないと判断できない (C社)

F) 使用用途に関する自由記載

- ・ 弊社映像配信ソリューションと組み合わせでの活用 (A社)
- ・ 屋外/屋内監視。Wi-Fi spot 活用。映像ストリームについては組み合わせるソリューションによるため、現状なんともいえない (A社)
- ・ スマートシティ等での状態監視、医療分野での遠隔監視、その他移動体での周囲状況把握 (A社)
- ・ スポーツビジネスへの利用として、審判カメラや会場のドローン撮影 (B社)
- ・ カメラが分離できたら工場作業員の遠隔作業支援等に使える (B社)
- ・ 設備稼働の状態監視や、外部信号入力でのイベント録画、測距・測長機能や、ズレ量演算機能、人の異常動作検知などアプリケーションの充実化が望まれる。(JEMS))
- ・ 局舎監視、イベントのライブ映像配信などでの利用 (E社)
- ・ 機能を絞り、単純な操作で完結するという意味では、業務用途を踏まえるとよい (F社)
- ・ 屋内の据え置き監視カメラ+AI 処理の用途としての使用はしてみたい (C社)

G) 機能要望

- ・ 映像配信プロトコルへの対応 (SRT⁷⁴、RTP⁷⁵/RTSP⁷⁶など?) (A社)
- ・ 手振れ補正 (A社)
- ・ 耐振動性試験の合格 (B社)
- ・ ONVIF⁷⁷対応 (E社)
- ・ コーデック内蔵 (HDMI over IP 等) (E社)
- ・ デバイス API 開放、組み込みアプリのインストール機能 (F社)

H) 端末本体価格(約 10 万円程度と仮定)

結果 ; 平均 3.11 (1名判断できず)

I) ソリューション月額費用※(2~3 万円程度/台と仮定)

結果 ; 平均 2.14 (3名判断できず)

主な意見

- ・ 単価は 5-6 万円、ランニングは 1 万円/台・月程度を期待 (E社)
- ・ 月額一桁万円以上となると支払えるお客様が限られそう (B社)
- ・ ソリューションが限定(かつ有料)だと、敷居になる (A社)

上記内容を検証して実装性に関する考察を以下にまとめる。

- ① 端末の機能、仕様のには平均評価点 3.22 (4 点満点) であり、非常に肯定的に受け止められている。利用したいユースケース想定は様々ながら、端末の可能性を期待している。
- ② 本体の大きさ (平均評価点 3.00)、重さ (同 2.60) に関しては、7 割以上の回答者が肯定的な回答であり、この点では小型化に関する一定の評価は頂いている。しかし、一部の回答者においては、特に重さの点で不満足な指摘があり、人体装着 (ウェアラブルカメラ) としては大きい、重いとの意見がある。評価点が比較的高い要因には、他ユースケースへ適用した場合の想定もあると推定できる。
- ③ 取り付け方法に関しても、8割以上の回答者から肯定的な回答をいただいております、既存のアタッチメントを流用できることが高評価の要因であったと考える。
- ④ 操作性に関しては、端末のみでの操作ではなく、クラウドを通じての設定がベースになる予定であるが、それでも端末のみで簡易な操作ができる要望は一部には根強くある。

⁷⁴ Secure Reliable Transport

⁷⁵ Real Time Transport Protocol

⁷⁶ Real Time Streaming Protocol

⁷⁷ Open Network Video Interface Forum; ネットワークカメラのインタフェースの互換性に関する国際標準規格

- ⑤ 適用ユースケースについて、人体取り付けや移動体組み込み用途への期待とは別に、監視カメラ的なユースケースへの期待も大きい。これは既存の監視カメラで屋外使用や無線一体型等の顧客要求に合致した端末が少ないことが原因と考えられる。大きさ、重さでの指摘と合わせて、端末システムとしてのユースケースや活用方法に関して、監視用途についても、より踏み込んで検討すべきと考える。
- ⑥ 手振れ補正の要望は、特に人体取り付け含めた移動カメラとしての用途での、要求は高い。
- ⑦ 端末価格については、10万円程度という設定に対して、8割以上の回答者から肯定的な意見をいただいた（平均評価点 3.11）。ただし、ソリューションに関しては、個別案を提示できていない状況であるが、平均ランニングコストは1万円以下の要望が強い。

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

端末システムの試作及び検証で抽出された課題、及び実装性の検証結果として、抽出された課題を表 4.3-32 に記載する。

表 4.3-32 端末システムの試作及び検証で抽出された課題

	課題(ミッシング・ピース)	分類	内容
1	フル HD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(1)	技術	局所的な温度上昇に対して、改善の余地あり。具体的には、電池部の温度上昇をより抑制する対処を追加する。
2	フル HD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(2)	技術	実証では 25 度環境下で実施したが、周囲温度の環境や電波状況によっては、より条件が厳しくなるため、人体実装時の低温火傷を回避する手段を実装する。
3	手振れ補正機能	仕様	人体に装着しての移動時、または移動体への装着時のストリーミング映像については、振動による画面の揺れの影響で、受信側でいわゆる「映像酔い」を引き起こす可能性がある。
4	連続動作	仕様・機能	ローカル 5G システムの特長を有効に活用する無線一体型カメラとして、監視用途などでの活用期待があり、その場合は連続稼働が必要（外部電源供給）となる
5	耐候性	仕様・機能	主に監視用途などで屋外に長時間設置する場合には、端末のみならず給電用の端子等も防水仕様が必要になる。

以下、個別の項目について説明する。

課題 1 フル HD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(1) (技術課題)

4.3.1 章で説明した通りに、今回の課題実証を通じて、高画質映像ストリーミング伝送（フル HD/4K）に対して、連続動作 2 時間という目標については達成できているものの、一部の温度について局所的に上昇していることが判明している。このうち、筐体表面については、カメラ部横のみ目標に対して未達であるが、実際に撮影する際にこの部分をずっと触り続けると、手が映り込んでしまうので低温火傷に対しては、注意喚起を行えば回避できる可能性が高い（実際の超過温度もそれほど高くないのでリスクは少ないと考えられる）。むしろ電池部が部品（電池）の保証温度を超えていることが問題であり、この部分の温度上昇を抑えるための対処を行う必要がある。

課題2 フルHD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(2) (技術課題)

こちらでも 4.3.1 での結果から、高画質映像ストリーミング伝送（フル HD/4K）に対して、連続動作 2 時間という目標について達成できているものの、その条件自身は周囲温度が 25℃程度の常温環境下での確認としている。実際のユースケースにおいて、より高温環境下で使われる場合は、温度上昇は周囲温度の上昇分が底上げになる。つまり、例えば 35℃環境下では 10℃高い温度に到達すると予想できる。残念ながらこの状態においては、低温火傷に関するリスクを完全に回避することは困難なため、温度上昇を抑えるための対処を行う必要がある。

課題3 手振れ補正機能（仕様に対する課題）

今回の実証の中では、移動中の撮影をほとんど行っていないが、実際に試行した結果では、撮影する条件によっては伝送先の映像での「揺れ」が大きく、ユースケースによっては映像の確認者が、いわゆる「映像酔い」を生じる可能性がある。

実装に向けた検証でのアンケート結果でも、移動体に装着したり、人体装着で移動したりする場合には、手振れ補正機能は必要との指摘があった。必要性についてはユースケースによる部分はあるものの、課題の一つとして取り上げる。

課題4 連続動作（仕様及び機能に対する課題）

実装に向けた検証の中で、今回の端末試作システムについては、5G での特長を活かした、小型端末でかつ高画質映像ストリーミング伝送を 2 時間程度連続動作させるということからも、人体装着というユースケースではなく、監視カメラ的な用途への関心も一定以上あった。その中では、やはり連続動作（24 時間）が可能であることが要件として挙げられている。本端末も USB 端子を使って充電しながら、連続動作は可能である。この場合、人体装着でのユースケースではないので低温火傷に関する条件は回避できるものの、一方で電池部の温度上昇に関しては、充電も加わるのでより条件が厳しくなる。

課題5 耐候性（仕様及び機能に対する課題）

課題 4 でも挙げた通りに、監視カメラ的な用途への関心がある中で、屋外設置に対しての要求がある。具体的には、課題 4 で挙げたように連続動作をさせるために充電しながら使用する場合に、端末部分の防水のみならず、給電部分での防水（コネクタ接合部分）についても防水が必要になる。これを実現するためには、防水タイプのコネクタ（プラグ及びジャック（リセプタクル））を別途準備するか、または端末全体を防水仕様のケース内に格納して使用する等の策があるが、後者の場合は、小型化に対する利点が損なわれる懸念が大きい。

(2) 端末システムの課題に対する解決策の検討方法

(1) で抽出した課題について、それぞれの解決策を以下に検討する。

課題1 フルHD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(1) (技術課題)

本件については、局所的な温度上昇の回避であり、端末のハードウェアでの改善対処を検討するのが適切かつ、実現すべき対処方法と考える。端末の構造として、端末のフロント部分に放熱フィンを設けているので、発熱体（主にPC板に搭載しているAPや5G無線モジュールに搭載している半導体）からの熱を電池部分に伝導しないように断熱しつつ、端末フロント部分への伝熱を強化するような構造変更を盛り込むことを検討する。効果については、熱シミュレーションにより、目標とする改善効果は見込むことが可能であると判明しており、本構造を適用しての事前検証を行う。

次善の策として、電池部の温度を監視し、仕様上限に近づいたら端末の動作を止める方法もあるが、動作や使用条件に制限がかかるため望ましくない。何より、筐体不応面に対しては温度上昇的に余裕があるので、端末の能力をフルに発揮できていない。しかしながら、バックアッププランかつフェールセーフ的な機能としては有効であり、合わせて適用すべく検討を行う。

課題2 フルHD/4K ストリーミング伝送時の温度上昇(2) (技術課題)

使用するユースケースが高温環境下の場合、または電波環境が悪く端末の受信電界レベルが低いような弱電界環境の場合については、今回の実証での確認結果よりも端末の温度が上昇する懸念がある。その場合でも安全性の確保のために、低温火傷の懸念は回避する必要がある。安全性確保のためには、全ての条件での確認は困難であることから、端末の外装ケース部など人体に接触する部分での最も温度が上がる部分について、温度を監視して温度上昇を抑制するような動作制御を実施する。制御は具体的には、アラートを表示した上で、「映像画質の低下(4K→フルHD→HD→…)」「フレームレートの低下」「機能の停止」「通信停止」「電源OFF」等、段階的な制御を行うことで、ユーザの使用感への影響を最小限にとどめるような工夫を行う。

温度の監視は、プリント基板に実装しているサーミスタ等のセンサ素子を用いて実施（端末の接触部分との温度相関については、実装前に確認・検証を行う）し、動作の制御については、端末の組み込みソフトウェアによる自律的な制御を検討する。

課題3 手振れ補正機能 (仕様に対する課題)

手振れ補正に関しては、大きく分けて二つの方式がある。

① 光学式手振れ補正

カメラデバイスのレンズ内にジャイロセンサや加速度センサを有しており、これらのセンサによってレンズ・カメラの揺れ具合を検知し、検知した揺れ具合を相殺できるようにレンズの一部を動かす方式。

② ソフトウェアによる手振れ補正

撮影者の手振れを相殺するように実際の撮像映像の記録領域をずらし、手振れが目立たない映像にする方式。

このうち①では専用のカメラデバイスが必要となり、実装までに要する期間や端末システムのサイズや価格への影響が大きいため、ここでは②のソフトウェアによる補正をメインに検討する。②のデメリットに関しては、実際の撮像映像に対して、手振れを目立たなくすべく、映像を切り取る補正する（クロップ）ため、有効な画素数が少なくなる。

②のソフトウェアによる補正について、録画した映像の補正は比較的容易に可能であるが、ストリーミング映像をそのままほぼリアルタイムにソフトウェア手振れ補正するのは、一部ソフトウェア会社の技術を利用することになる。技術供給可能なベンダはいくつかあるが、費用対効果の有効性や、ライセンス契約における条件などを比較して、実装時までに最終決定を行う。

課題4 連続動作（仕様及び機能に対する課題）

課題5 耐候性（仕様及び機能に対する課題）

これら二つの課題に関しては、課題1～3までが作業員などに取り付けて作業員視線の映像を送付する、またはそれに準ずるといったユースケースでの課題であったのに対して、これとは別のユースケースを想定した場合での課題となる。この場合に、例えば課題4での給電による連続動作に関しても、これが屋内であれば試作した端末システムベースでそのまま使用できるが、屋外での使用となると課題5での耐候性確保のために追加要件が必要となる。また、この要件を課題1～3までで想定していた人体装着可能な小型カメラという特徴と合わせて考えると、本追加要件は端末のサイズ、重量等に少なからずインパクトを与えることになる。

ここで、各ユースケースにおける要件を改めて整理してみる。

まず、「人体に装着した作業員視線での映像伝送による遠隔支援、指導」でのユースケースである。ここでは、端末が小型であり簡単に装着できること、これまでの実証で確認してきたように、高画質映像のストリーミングが一定時間（実証では、フルHD画像で2時間以上目標）できること（温度上昇による制限回避）、屋外作業時にも使用可能な防水、防塵性能、作業員が移動した場合の映像手振れ補正である。

一方で、AGV やドローンなどの移動体に取り付けての、自動化や遠隔点検等の活用においては、基本的に小型化は必要ではあるが、人体接触がないため温度上昇要件が緩和される、また必須要件ではないが、接続インタフェースについては、ロボットに取り付けてのユースケースでは、データ伝送と電源供給を兼ねた PoE⁷⁸が可能な Ethernet 用コネクタ(例えば RJ45 タイプ)と直接接続できると、利便性向上という点でもより望ましい。更には、ユースケースのソリューション対応によっては、より自律的な制御や遅延時間の少ない判断のために、端末に AI による判定機能を具備することも望ましいと考える。

最後に、今回の実装に向けた検証の中で挙げた、屋外使用含めた監視用途に関しては、連続動作(外部給電)や、屋外使用に伴う耐候性が必要となる。外部給電については、PoE も広く用いられており、USB 端子含めて防水給電が可能なことが屋外設置を可能とする条件となる。また端末への AI 実装については、移動体取り付け時と同様か、またはそれ以上に要求は高いと想定する。

これらを一覧に整理したものを表 4.3-33 に示す。

表 4.3-33 用途別機能一覧

端末 機能・性能	人体装着 遠隔作業支援・指導	移動体取り付け (AGV, ドローン)	(屋外) 監視用途
小型、軽量	○	○	△
高画質ストリーミング伝送	○	△	△
温度上昇(人体接触)	○	△	—
温度上昇(部品)	○	○	○
手振れ補正	○	△	—
連続動作(10時間以上)	—	△	○
防水、防塵	○	○	○
防水(給電)	—	△	○
Ethernet/PoE	—	△	○
エッジ AI	—	△	○

○ ; 必要機能

△ ; あればより良い

— ; 必要なし (Don't Care)

これらを全て一つの仕様でまとめることは、ユースケースによっては不要な機能や仕様を追加することになり、価格面や外形・重量へのインパクト影響から望ましくない。そこで端末についての要件を下記の通りにまとめる

① 基本モデル

⁷⁸ Power over Ethernet

人体装着、移動体取り付け用途を想定する。一部にサイズ・重量に懸念がある声はあるものの、7割以上は取り付け方法含めて肯定的な声があることと、より小型にするために放熱性能を落としてしまうと、「高画質映像のストリーミング」というローカル5Gの特長を活かしたユースケース対応が難しくなってしまうので、今回の課題実証で進めてきたサイズベースで進める。基本ユースケースは、現場での遠隔支援などでの映像伝送用途、移動体への取り付けによる遠隔監視や検査用途を想定しているが、一部仮設監視カメラとして、簡易的な監視用途にも使用できる。

- ・ 外形、重量 本実証ベース
- ・ 高画質ストリーミング機能（人体接触時の低温火傷を回避）
- ・ 防塵、防水
- ・ 手振れ補正
- ・ エッジ AI（下記補足）

ここで、基本モデルのエッジ AI 機能については、全てのユースケースに対してエッジ AI 機能は必ずしも必要ではないが、ユースケースによっては活用機会もある。例えば、ストリーミングによる遠隔作業支援や遠隔指導用途では、必ずしもエッジ AI 機能の必要はないが、監視機能に活用する場合は、エッジ AI による侵入検知等が活用できる。

② 機能拡張モデル

当初からオプション対応として、拡張インタフェースが可能なような回路設計は組み込んでいたが、これを外部コネクタと接続させたモデルを準備し、そのコネクタに関しては、防水接続構造（接続側含めた接合部も止水ができていない構造）を採用する。

外部コネクタとしては、

- ・ USB（給電含む）
- ・ Ethernet/PoE⁷⁹ (RJ45)

を検討する。連続動作のための給電と、AGV/ロボットとの接続に対して標準的なインタフェースである Ethernet や監視カメラ給電に必要な PoE を防水接続させる。

⁷⁹ Power over Ethernet

ユースケースとしては、工事・建設現場や工場での屋外利用含めた監視カメラや、主に工場やプラントにて移動可能な協働ロボットとの組み合わせによる自動化、周囲監視等に用いることを想定している。

- ・ 連続動作（10 時間以上）
- ・ 防水給電
- ・ 防水接続 RJ45（Ethernet/PoE）
- ・ エッジ AI

機能拡張モデルのイメージ図を図 4.3-68 に示す。

サイズに関しては、今後詳細検討を継続していくが、現時点の検討では、長さ方向や厚み方向が 20mm 程度増える可能性がある。



図 4.3-68 拡張モデル イメージ図

基本モデルに対する機能拡張モデルへの対応について、表 4.3-33 で示した端末の機能・性能に関して、基本モデル／機能拡張モデルごとに整理する。

表 4.3-34 端末機能（基本／機能拡張モデル）

端末 機能・性能	基本モデル	機能拡張モデル
小型、軽量	○	—
高画質ストリーミング伝送	○	△
温度上昇（人体接触）	○	—
温度上昇（部品）	○	○
手振れ補正	○	△
連続動作（10 時間以上）	△	○
防水、防塵	○	○
防水（給電）	—	○
Ethernet/PoE	—	○
エッジ AI	△	○

○；必要機能 △；あればより良い —；必要なし（Don't Care）

基本モデルと機能拡張モデルの機能、性能をまとめたものを表 4.3-35 に示す

表 4.3-35 モデル別機能、性能表

	基本モデル	機能拡張モデル	備考
外形	約 77×97×30mm	77×117×50mm 程度 (TBD)	拡張モデルの詳細実装検討は未
重量	約 240g	TBD	
電池	約 3,400mAh	同左 (電池無しモデル化も視野)	常時給電使用時は、電池がない方が環境条件の緩和が可能
給電動作	可能	可能 (電池無しモデル化も視野)	
防水	IPX5/IPX8	同左	
防塵	IP6X	同左	
防水給電	なし	防水コネクタ対応	
拡張インタフェース	外部コネクタ USB のみ	RJ45 (Ethernet/PoE) コネクタ実装 汎用出力コネクタ	
環境温度	0~40℃ (TBD) ※ 人体低温火傷回避	-10~55℃ (TBD) ※ 屋外使用を想定	
	公衆： n1, n3, n28, n77, n78, n79 ローカル 5G：n79 (SA)	同左	
手振れ補正機能	あり	なし	
エッジ AI	搭載可能	搭載 (TBD)	どちらもエッジ AI 機能対応可能

4.3.4 端末システムの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

今回の端末システム試作事業において、想定ユースケースでの業界は、4.1.1 章に述べたとおりに建設業、製造業である。これら業界においての外部環境としては、建設業、製造業における慢性的な人員不足や技術・技能伝承に課題を抱えているマクロな状況は変わらないものの、COVID-19 による停滞状況から抜け出しつつある。例えば図 4.3-69 は、国土交通省総合政策局が発表した、「令和4年度（2022年度）建設投資見通し 概要」からの抜粋である。

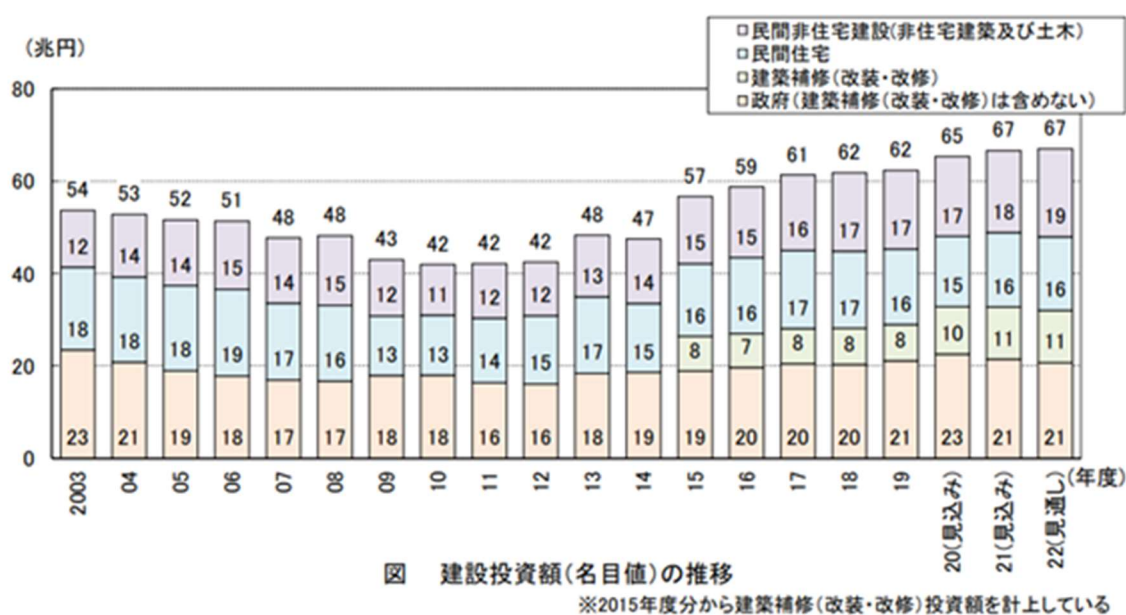


図 4.3-69 令和4年度（2022年度）建設投資見通し 概要⁸⁰

令和4年度の見通しとして、政府投資は対前年▲3.7%となっているが、民間投資が補完する形で対前年+2.9%となっている。更には、建設業では政府による遠隔臨場含めたDX推進指導も背景にはあるため、デジタル技術に代表される効率向上手段の導入等で、人手不足への対応を押し進めるモチベーションは高いまま維持するだろうと想定する。このような外部環境下にて、今回実装を計画する端末システムを用いた「高画質映像によるストリーミング」を用いた遠隔確認、作業指導はニーズとして一定以上存在しうると考えている。

⁸⁰ <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001516234.pdf>

一方でローカル 5G システムとしての普及については、過年度からの予測含めて、なかなか機が熟さないのが現状であり、当初の予測である令和 5 年度からの市場本格立ち上がりについても、現時点で確固たる予兆が見えているわけではない。要因については、これも 4.1,1 で述べたようなシステムコストの問題や、技術的な性能の問題等も挙げられるが、まだローカル 5G についての優位性に対して業界としても懐疑的な部分が多いのではと推測する。

しかしながら、ローカル 5G 導入や PoC⁸¹ 検証を未だ躊躇するユーザ企業や団体において、今回実装計画する端末を例えば手軽に構築できる Wi-Fi 環境下にて使用することにより、本端末が持つ「高画質映像によるストリーミング」が可能な状況を体験することができれば、Wi-Fi 環境下で想定されるエリアの狭さや接続維持や伝送遅延に対する担保が困難という無線システムとして満足度が足りないという認識になり、ローカル 5G の優位性や安全性への付加価値を改めて認めてもらうというシナリオもありうるのではないかと考える。

また、令和 4 年度からの国土交通省主導による、直轄工事の遠隔臨場義務付けについては、映像による確認という技術導入に対する障壁を下げる効果もあると想定する。そのため、映像による遠隔支援などが現場で実現できる素地が醸成されれば、活用の機会も増えることが想定される。

令和 5 年度については、上記を端末システムとしてのユースケース中心として、現場導入を考える。今回の端末システムの実装・普及シナリオとしての考え方の概略図を示す。

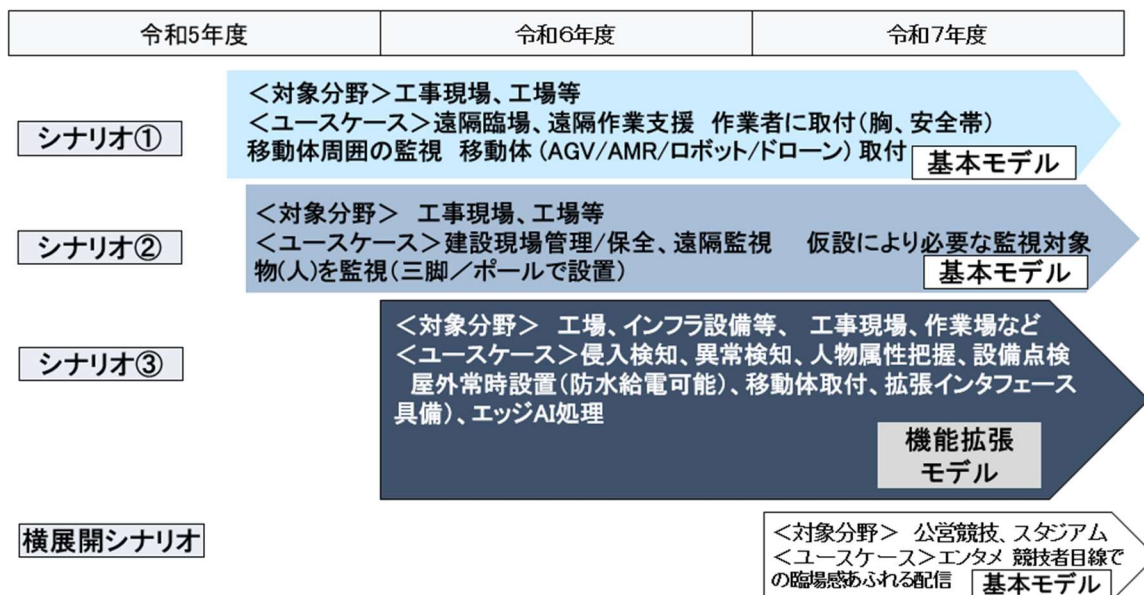


図 4.3-70 実装・普及シナリオ

⁸¹ PoC; Proof of Concept, 概念実証

以下、それぞれについて内容を説明する。

■ シナリオ①

<対象分野>

工事現場、工場等

<ユースケース>

- ・遠隔臨場、遠隔作業支援

作業者に取り付けるウェアラブルカメラ（胸・安全帯装着、バッテリー駆動）

- ・移動体（AGV⁸² /AMR⁸³/ロボット/ドローン）へ取り付け

移動体周囲の監視、個別処理（エッジ AI 処理カスタマイズ）

<端末システム>

基本モデル

ユースケースとしては、これまでメインで考えてきたとおりに、端末を用いての作業や移動体への取り付けを行い、これまでの端末ではできなかった高画質映像でのストリーミング伝送を実現して、遠隔作業支援や遠隔臨場による効率化を実現する。

■ シナリオ②

<対象分野>

工事現場、工場等

<ユースケース>

- ・現場-事務所間会議

本端末を簡易に設置することで、簡単にリモート会議等が可能（卓上、給電／バッテリー駆動）

- ・遠隔監視

大掛かりな常設ではなく、簡易設置によって、ネットワーク下で必要な場合に対象物(人)を監視（三脚／ポールで設置、給電／バッテリー駆動） 建設現場管理、保全など

<端末システム>

基本モデル

⁸² Automatic Guided Vehicle;無人搬送車

⁸³ Autonomous Mobile Robot ; 自律走行搬送ロボット

同じく、工事現場、工場などでシナリオ①と合わせて、端末をより広く活用していく観点から、まずは上記用途を中心に、主に工事・建設現場や工場をターゲットに、市場に投入を図る。

■ シナリオ③

<対象分野>

工場（インフラ設備等）

工事現場、作業場など

<ユースケース>

- ・ 移動体（AGV/AMR/ロボット/ドローン）へ取り付け（拡張インタフェースとして Ethernet 等を活用）、エッジ AI 処理も可能。
遠隔操作支援、移動体周囲の監視、設備監視などへの適用を想定
- ・ 屋外常時設置による、工事現場での侵入検知、異常検知や人物属性把握、盗難監視、外観等の異常検査などに適用する。（屋外設置可能、給電／バッテリー駆動）

3つ目のシナリオとして、4.3.2 実装性に関する検証、4.3.3 課題の抽出、対応策検討での結果から、小型カメラとしての監視用途に対する一定のニーズがあると考え、端末にエッジ AI 機能を持たせることでの侵入検知、異常検知、人物属性把握などのソリューションにも適用させる。更に、機能拡張モデルを準備して屋外での常時監視（連続通電）対応も可能とする。

端末やソリューションの準備もあり、またローカル5Gシステムのシステム価格、運用費が下がり、導入障壁が現状より下がると予想している令和6年度程度から実装を展開していく。

ソリューションとしては、上記に挙げたものが有力候補ではあるが、実際はユーザでの導入必然性が高く、更には横展開が可能と思われるものから、優先度をつけて実現していく。

■ 横展開シナリオ

<対象分野>

公営競技（競馬、競輪、オートレース、競艇）

モータースポーツ等インフラ設備等

<ユースケース>

- ・ ライブ配信

端末を車体や競技者に取り付けることで、臨場感あるライブ配信を実現

<端末システム>

基本モデル

普及シナリオの最後に、他分野への横展開の可能性として、移動体へのカメラの取り付け用途として、公営競技等の競技者または車体にカメラを実装して、それをライブ配信するソリューションがある。これは具体的にいくつかの公営競技で検討されているが、無線システムとしてWi-Fiや公衆網では回線トラヒック等の影響を受けやすく通信が不安定になる場合があり、スタジアム等での配信には適さない。そこでローカル5Gを活用して、更に今回開発したような端末を用いることで、高画質で映像伝送を行い、競技者目線での臨場感豊かな迫力ある映像配信サービスを実現するというものである。

実際には、未だPoCでの検証も一部でしか行われていないために、端末への要件やソリューションへの要件などが未知数ではあるものの、令和7年程度を目指して検討を進めていくことで、更に他の分野、業種への展開の足掛かりにできる可能性もあり、候補として挙げておく。

(2) 実装計画

製品化に向けた実装開発に関しては、令和4年度の実証結果を踏まえた上で、令和5年度から実施する。

● 基本モデル

実装に向けた残開発項目と4.3.3章で述べたように今回の実証で判明した課題への対処等を行うことで、令和5年度中の発売開始を目指す。一方で、ユーザ企業またはソリューション提供に向けたパートナー企業との連携の元、必要により追加での実証(PoC)を行うことで、追加実証の確度を高めて、顧客へのソリューション提供へ繋げていく。

詳細の計画を図4.3.4-1に示す。販売台数については、実装目標で掲げた計画を盛り込んでいる。

令和5年度	約650台(年間で1,300台相当。発売期間6カ月と見込むため)
令和6年度	約1,450台
令和7年度	約1,620台
令和8年度	約1,950台

販売台数の想定については、令和5年に1,300台程度とした。

内訳はまず、端末単独販売で800台としている。これは、遠隔臨場などで使われている既存ウェアラブルカメラ端末(5G無し)のトップシェアモデルが年間7,000台規模で販売しており(弊社調べによる)、今回の端末ならではの特長(高画質映像でのストリーミングが可能)を訴求ポイントとして、トップシェアモデル機種10%相当を販売目標として約700台とした。その他、弊社既存端末でもご要望頂いているが、各種実証(PoC)実現に向けた端末としての活用で同年度に約100台程度を見込む。

これに加えて、工事／工場を中心としたソリューション提供（パートナー企業との協業含む）に活用する端末として、約 500 台としている（これまでの各社ヒアリングからの想定値。用途は違うが、当社過去機種実績でソリューション向け 40 台/月ベースの実績があるため、これをベースに算出）。

これより、端末単独販売と、パートナー協業含めたソリューション組み込み販売との合計で年間 1,300 台規模となる。ただし、令和 5 年度に関しては、実証終了後の実装化期間（開発期間）を 6 カ月程度見込む必要があり、1,300 台の 1/2 である 650 台を目標と設定する。

また、ローカル 5G ソリューション市場予測(4.1.5 参照)は、令和 5 年度を基準に令和 9 年度までの年平均成長率(CAGR⁸⁴)を算出すると、

$$CAGR=(466/89)^{(1/(5-1))}-1=0.51$$

と、約 50%になっている。今回設定を見込む端末の販売台数については、ユースケースが一部限定されていること等、市場の伸長をそのまま連動できるかは不透明な要素も多々あるため、上記ソリューションの CAGR 予測値をそのまま使用するのではなく、1/4 程度に重みづけした伸長率(約 13%)を想定しておく。

単価については、現時点での想定として、端末販売として一台あたり約 10 万円程度、ソリューション販売の場合はソリューションの初期費用込みで 1 台あたり約 25 万円程度として、現時点では算出している。（現時点での想定値である）

端末販売及びソリューション販売の台数、売上高の内訳を表 4.3-36 に示す。

コスト計画のうち、開発・実証費用については、現時点での想定値である。具体的に、開発項目や実証項目を明確にした後に精査を行う。また、令和 5 年度で収支がマイナスになっている部分は、自社費用での投資となる。

表 4.3-36 端末システム実装計画の内訳（基本モデル）

	端末単独販売		ソリューション販売	
	台数(台)	売上高(百万円)	台数(台)	売上高(百万円)
令和 5 年度	400	43	250	65
令和 6 年度	900	97	550	142
令和 7 年度	1,000	108	620	160
令和 8 年度	1,250	135	700	180
令和 9 年度	1,400	151	800	206

⁸⁴ CAGR; Compound Annual Growth Rate

- 機能拡張モデル

普及展開シナリオで述べたように、屋外常時設置等の監視カメラ用途に用いることがより適しており、Ethernet/PoE 等の外部インタフェース接続を可能にする「機能拡張モデル」を令和6年度から投入する。台数についての、現時点での見込みの根拠や蓋然性の裏付けがあまりとれてないため、今回の計画では最低限の台数のみを計画に見込んでおく。(CAGRは基本モデルと同程度)

令和5年度	約100台
令和6年度	約120台
令和7年度	約150台

勿論この台数のみでは、金型をはじめとする各種費用投資を回収できないため、より台数見込みを精緻化して見込んだ上で開発を行う。

端末の販売単価については、15万円程度を見込む。ソリューション販売については、現時点では見込まないものとする(基本モデルの計画の内数で考える)

端末販売及びソリューション販売の台数、売上高の内訳を表4.3-37に示す。

表 4.3-37 端末システム実装計画の内訳(機能拡張モデル)

	端末単独販売	
	台数(台)	売上高(百万円)
令和6年度	100	15
令和7年度	120	18
令和8年度	150	22.5
令和9年度	180	27

1) 実装計画の作成方法

当初の実装計画については、当初策定時からの変化点としては、以下となる。

- ・ 販売台数

既に遠隔臨場等で用いられているウェアラブル端末のうち、トップシェア機種の世界投入台数(年間)に対して、高画質ストリーミングという本端末システムの特長を訴求して、市場シェアのうちそのトップ機種の10%を奪うという目標は変えないが、その他のPoCやソリューション用途販売に関する台数を後述の通りに見直した。

- ・ 基本モデルと拡張モデルの展開

従来は基本モデルが中心でオプションとしての展開を視野に入れるという考え方であったが、実装性に関する検証結果から、機能拡張モデルの投入は想定すべきと考えて、この視点で見直しを図っている。

機能拡張モデルに関しては、令和5年度中に実装に向けた詳細検討を行い、令和6年度以降の市場投入を目指す。

なお、事業計画については、マクロ環境分析や、市場の伸長率、顧客情報などを精査して、長くとも年度毎、場合によってはそれより短いスパンで計画についてローリングさせていく。

実装計画の要約

表 4.3-38 実装計画要約シート

端 01 代表機関名	FCNT 株式会社					分野	端末
実証件名	移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した高画質映像ストリーミング対応小型カメラ 端末の試作						
実施体制							
	令和 4 年度 (2023)	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)	
費	端末システム(基本)	開発実証	課題 対応	端末販売、社会実装			
	端末システム(機能拡張)		開発	端末販売、社会実装			
	他分野ソリューション		開発、実証	他分野への横展開			
収 入 支 出	(1)ユーザから得る対価 (端末販売)	0	43,000	112,200	126,000	157,500	178,200
	(2) ユーザから得る対価 (ソリューション販売、端 末初期費用)	0	64,500	141,900	159,960	180,600	206,400
	(3)収入((1)+(2))	0	107,700	254,100	285,960	338,100	384,600
	(4)端末原価	0	54,054	132,132	134,719	179,487	203,742
	(5)端末開発費	0	200,000	0	0	0	0
	(6)ソリューション開発費	0	30,000	20,000	20,000	0	0
	(7)その他						
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	0	304,054	172,132	168,579	179,487	203,742
	(9)収支((3)-(8))	0	-196,354	81,968	117,381	158,613	180,858
収入、支出の算定根拠 (1)ユーザから得る対価(端末販売) 端末の想定販売価格から算出(基本モデル 10.8 万円/台、拡張モデル 15.8 万円/台) (2)ユーザから得る対価(ソリューション販売、端末初期費用) ソリューションとしての販売時に得られる初期費用(導入費用) 1 台当たり 25.8 万円相当(どちらも) (4)端末原価 端末を製造するにかかるコスト(材料費、加工費、検査費、他)。必要な粗利益を得るのに目標とする原価率 から算出。端末販売価格の 77%と想定 (5)端末開発費 端末を開発する試作、評価費用(開発費については、開発規模が確定していないので暫定値) (6)ソリューション開発費 2023 年度は VMS システム開発費、AI ソリューション開発費(侵入検知、物体検知等を想定)							

令和6年度、7年度は仮置き			
取 組 み 確 認		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	量産化設計、VE、購入部材コストダウン	令和5年10月
	ソリューション追加開発	クラウド開発(VMS他)、エッジAI開発	令和7年12月
	顧客開拓	パートナー、SIer/NIerとの連携、web活用による 端末認知度アップ	随時
	運用面の改善	OT(Operation Test)にて事前に問題点を抽出	令和5年10月
	ルールメイキングへの貢献	—	—
計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) FCNTの他ビジネスでの利益、営業キャッシュフロー、または費用(支出)低減により対応			

a. 実施体制

基本的に端末システムの開発は、一部の機能開発を外部に委託する可能性はあるものの、FCNT株式会社が自社での開発を実施する予定。端末の製造に関しては、FCNTのグループ会社であり、PCやスマートフォンなどの端末製造実績がある、ジャパン・イーエム・ソリューションズ株式会社に委託する。

販売に関しては、弊社営業統括部をベースにした体制で、販売代理店や販売パートナーを含めた体制を構築する。

b. 実装計画（実施事項）

ア) 端末開発

今回の実証結果をベースにした、実装に向けた開発となる。

令和5年5月程度までに、実装化に向けた要件定義に基づく機能設計や改良設計を完了し、実装に向けた試作及び評価を8月頃までに実施する。その後、端末としての妥当性検証や工場での量産製造確認を行い、FY3Q(10~12月)から販売開始を目指すものとする。

- ・ アプリ開発

端末にプリインストール搭載するアプリについて、要件定義から仕様を最終的に決定した上で、開発する。ストーリーミングアプリについては実証で用いたものをベースにする。

- ・ 量産製造対応開発

製造工場にて、端末の出荷前試験を行うにあたり、試験項目を決定した後に、その試験を実施するための、試験コマンドや試験方法に関しての最適化を検討し、必要に応じて端末側の開発を行う。

- ・ 品質確認

実装(製品化)に向けて、端末としての総合評価と妥当性確認のために、各種信頼性試験(環境試験他)を行い、その試験結果を端末にフィードバックして、反映する。

イ) ソリューション開発

令和5年については、まず端末の特徴である、高画質映像でのストリーミング機能を容易に導入/使用するためのクラウド機能を開発し、導入することを予定している。現時点で特に有力なのは、本端末システムで撮影した映像を表示/収集し、さらに複数台の同時表示を可能とするような、いわゆる VMS⁸⁵機能であり、メインのユースケースである遠隔確認等においても、ユーザの使い勝手や提供価値を高める意味で優先的に準備する予定である。これを端末発売開始と同時にパッケージ販売もできるように、令和5年9月頃までの開発完了を目指す。

令和6年度以降については、その他のソリューション開発がメインとなる。ポイントとなるのは、まずユーザ企業またはソリューション提供に向けたパートナー企業状況から、必要な要求仕様や追加開発項目と、それを実現するための開発費とのバランスとなる。客先の要求に対する提案に向けて、どこまでの機能や性能を実現可能にして製品化するかを見極める必要がある。

現時点では想定ソリューションとして、AIを用いた侵入検知、物体検知を想定して、開発規模については暫定的な見込み値で算出している。

c. 収支計画

本事業の対象は端末システムなので、令和5年については、支出のベースとなるのは、

- ・ 実装(商用化)に向けた端末の開発費
- ・ クラウド開発含めたソリューションの開発費
- ・ 更には構成部材の購入がメインになる原価費用

となる。収入は、端末及びソリューションとしての売上高となる。

令和5年度に関しては、実装に向けた開発推進が必要であり、クラウドシステムである VMS の開発と合わせて億単位の開発費計上を見込むことになる。実装が完了し市場投入できる期間に限られることから、収支はマイナス(損失)となる。

令和6年度以降は、基本的に原価費用の支出と、端末売り上げによる収入となるが、一部ユースケースに追加で対応するための、端末アプリまたはクラウドシステムの開発費を見込んでいる。前述の通りに、個社の対応にとどまらないようなスケール化が期待できるかが、ポイントになると考えている。現状ではこのソリューション開発費を見込んだ上で、令和6年度に損益イーブン、令和7年度以降には利益化を目指す計画となっている。

⁸⁵ VMS ; Video Management System, 監視・防犯カメラの映像を録画、管理、閲覧するためのソフトウェアのこと

d. 実装を確実にするための取り組み

ア) 提供コスト低減

端末単体として、本実証にて試作した端末システムの実装（製品化）に向けて、目標端末販売価格を実現すべく、量産化設計（組み立て容易性、部品点数削減）や購入部材のコストダウン、または VE⁸⁶手法により端末価値を落とさずに設計内容を見直すことで実現する。

ソリューション提供に関しては、パートナー企業様との協議・調整が必要となるが、初期導入費用を抑えて、いわゆるサブスクリプションでの収入モデルとした方が、導入障壁を低く抑えられることから、ビジネスモデル含めて検証していく。

イ) ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

ここでは、ユーザが導入及び運用に要する必要リソースを見積もる。ユースケースとしては、工場や大規模作業現場などでの、遠隔作業支援・指導を想定する。

まず、「ローカル 5G システム」を準備するために、基地局構成要素一式（5G Core⁸⁷、CU⁸⁸、DU⁸⁹、RU⁹⁰、EMS⁹¹）を購入する際の初期費用（約 10,000 千円）と、運用のための保守費用（年間約 2,000 千円）を考える（いずれもある基地局メーカーからのヒアリング値）。

加えて、ローカル 5G の免許申請が必要となるが、ユーザが自社で免許取得するには無線システムに関する専門知識が必要であり、場合によっては登録点検も必要となるので、一般的には外部委託することが多いと想定している。この仮定だと、約 3,000 千円程度の費用が免許申請時に一時的に必要となる（免許代行サービス業者の費用として。弊社関係工場での実績値）

更に端末に関しては、本ユースケース想定では、最低 2 台あれば当面の同時使用対応や障害発生時のバックアップとしても機能するので、最低源のレベルとして 2 台は必要と見込む。単価として、今回開発した端末システムの想定販売価格 108 千円を適用し、計 216 千円となる。

⁸⁶ VE; Value Engineering

⁸⁷ 端末の認証/管理、外部ネットワークとのゲートウェイ機能

⁸⁸ Centralized Unit; 複数の DU を束ねて、データを送受信

⁸⁹ Distributed Unit; CU からの IP パケットを RU への信号に変換

⁹⁰ Radio Unit; 無線装置

⁹¹ Element Management System ;ネットワーク監視制御

次に、「ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション」として、本ユースケースでは映像監視クラウドシステムである VMS を想定する。VMS ソフト自身は自社開発予定であり、一般的な機能である複数端末からの撮像映像の同時確認、録画、静止画キャプチャ等に加えて、今回実証で試作した端末システムにより適したものに仕上げる予定である。構成要素としては、簡易サーバとクラウドソフトウェアと想定している。費用については、暫定的に初期費用で 500 千円、運用費用として月額 20 千円（年間 240 千円）と想定しているが、これについては端末システムの実装化に合わせて、今後精査していく。

表 4.3-39 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 システム		13,216 千円	2,000 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務 (※自社で実施する場合)	-	-
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務 委託 (※他社に委託する場合)	10,000 千円	2,000 千円
c.	ローカル 5G システムに係る免許申請 の委託	3,000 千円	-
d.	ローカル 5G 端末システム	216 千円	
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション			-
a.	VMS ソリューション	500 千円	240 千円
i.	運用に係る環境整備等に係る経 費 (※他社に委託する場合)	500 千円	240 千円

ウ) 端末機能・ソリューション追加開発

前述の通りに、端末のユースケースを広げるためにも、本端末を活用した社会課題解決のソリューション開発を進める。

まずは、前述の通りの VMS についてクラウド側を含めた対応となり、これを端末発売開始と同時にパッケージ販売もできるように、令和 5 年 9 月までの開発完了を検討する。

また、端末としては前述の機能拡張モデルについての開発と実装準備を進めて、屋外仕様での監視用途やエッジ AI を用いた異常検知、属性把握等にも適用可能なラインアップ化とする。令和 5 年度中に開発を見極めた上で、令和 6 年度から機能拡張モデルの実装を目指していく。

この場合のソリューション開発に関しては、エンドユーザからの要求を踏まえて、パートナー企業と連携した上で、個社の対応にとどまらないようにスケール化が期待できる内容でのソリューション開発を検討していく。特に、本端末システムを用いたエッジ AI 処理での付加価値提供をどのように実現できるかが、訴求ポイントになると考えている。

エ) 顧客開拓運用面の改善

現状ターゲット分野や業界を建設業、製造業として考えているが、まずは弊社として大手ゼネコンや中間パートナーと呼ばれるコーディネート企業との商談・アクセス実績をベースに顧客開拓を進めていく。しかしながら、それだけでは開拓は不十分と考えられるので、パートナー企業、特に SIer⁹² /NIer⁹³ との連携により、ローカル 5G の活用を視野に入れたソリューションとして仕立て上げることで、SIer/NIer が関わりの深いエンドユーザについてリーチできるようにする。これは、建設業、製造業という枠にこだわらず、ローカル 5G や映像ソリューションの活用という枠組みの中で、より広くユースケースを模索することで、新たな価値創造につながる活動としても継続していく所存である。

さらに端末としては、製品自身のアピールをネット広告やウェビナー等を活用することで、認知度を広げることも考える。

オ) 運用面の改善

運用面に関しては、例えば遠隔監視についての端末組み込み（プリインストール搭載）アプリケーションのユーザインタフェースに関して、実証試験ではスピード優先で開発したことと、主たる利用者が試験技術者だったため、必ずしもユーザの使用感を重視していなかった。4.3.2 実装性に関する検証において、操作性に関する評価点が低かったことも併せて、実装化にあたっては、よりユーザが簡易に設定できるような工夫ができないかを検討していく。

また開発プロセスの中で、実際の運用の仕組みを事前にシミュレーションする OT(Operational Test)を行うことで、運用のフロー確認と見落とし有無等をチェックしていく。

⁹² System Integrator

⁹³ Network Integrator

カ) ルールメイキングへの貢献

建設現場に対する NETIS⁹⁴(新技術情報提供システム)がある。NETIS とは、国土交通省が新技術の活用のため、新技術に関わる情報の共有及び提供を目的として整備したデータベースシステムを指す。本システムは、新技術情報の収集・共有、積極的な現場導入、導入現場での活用効果の調査、調査結果に基づく事後評価という一連の流れを制度化し、有用な新技術の活用と技術開発のスパイラルアップを図る総合的な仕組みであり、公共工事における総合評価落札方式での加点対象にもなっている。

今回の端末システムについても実装時に NETIS 登録を実施し、広く実際の現場での使用を後押ししていただけるように推進していく。

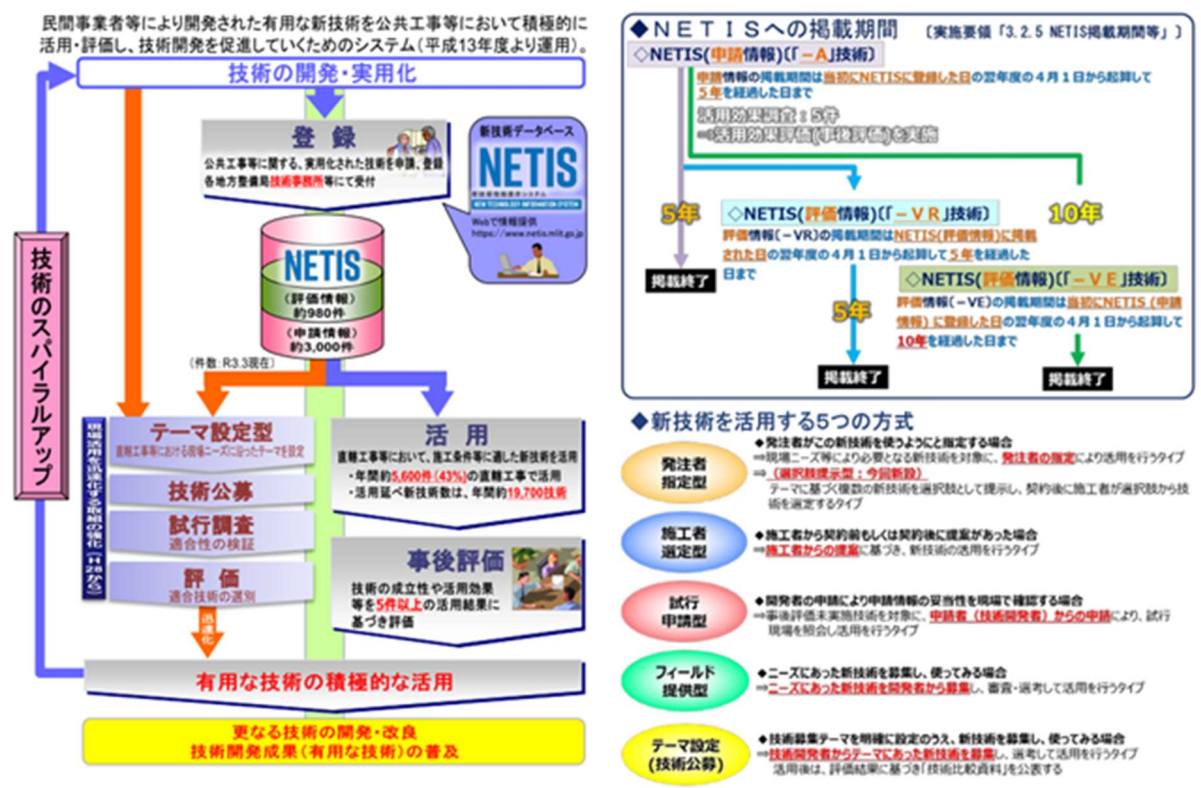


図 4.3-71 新技術情報提供システム (NETIS)

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)

計画した収入を下回った場合の資金調達に関しては、本事業部で実施している他ビジネス (エンジニアリング、他) での利益や営業キャッシュフロー、または費用 (支出) 低減により対応することを第一に考える。次に他事業での利益、営業キャッシュフローでの補填や費用削減となる。

⁹⁴ NETIS : New Technology Information System, <https://www.netis.mlit.go.jp/NETIS>

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

本端末システム試作事業の取り組み成果に係る映像制作については、FCNT のソリューションビジネス推進部門を中心に、試作した端末システムの内容及びそれを用いたユースケースや活用イメージ、更には当該事業の中で検証した実証内容を伝えることを目的に作成した。また、本映像コンテンツは試作事業の完了後に総務省様から公開予定であるが、弊社としてもローカル5Gの普及に貢献すべく、活用させて頂く所存である。

5.1.1 映像制作に関する事務局からのインプット

映像制作にあたっては、事務局からの下記要件、参考構成案に留意し実施した。

(1) 主たる要件

映像の長さは3分、冒頭に実証の紹介を行うナレーションを20秒前後で挿入する

個人情報(作業者の顔など)、ナンバープレートに係る情報は映像に含まれないよう原則排除、またはマスキングする

(2) 参考構成案

下記構成案・秒数を参考・目安として制作する旨、事務局から受領した。

表 5.1-1 参考構成案

コンテンツ	目安の秒数	秒数の総計
以降の素材から抜粋し短く編集した映像と代表者コメントで構成	20	20
実証会場の全景	15	35
日常の作業の様子	15	50
カメラ型ローカル 5G 端末システムのアップ	10	60
ローカル 5G ルーター (サーバ)	10	70
人体に端末を装着する様子	15	85
装着して作業する様子	15	100
5 項の端末のアップ	10	110
5 項にて遠隔で確認する様子・モニタ画面のアップ	15	125
移動ロボットに搭載される端末システム	15	140
移動ロボットが作業する様子	15	155
9 項の端末部分のアップ	10	165
9 項にて遠隔で確認する様子・モニタ画面のアップ	15	180

(3) 受領資料抜粋

MRI

映像制作について

- 映像制作にあたっては、以下2つについてご協力を頂きます。
- ① 実証コンソーシアム皆様は、実証の取組成果に係る動画(3分程度)を作成頂きます。
- ② また実証コンソーシアムは、当社がローカル5Gの普及の観点から本事業に関する映像を制作するにあたって、実証映像等の素材提供や関係者へのインタビューの撮影等に協力頂きます。

①実証の取組成果に係る動画(3分程度)

- 実証の取組成果に係る動画(3分程度)の主な構成

- 主な構成として、冒頭の実証の紹介を行うナレーションを15～30秒程度入れて頂き、その後、普及促進に係る映像を入れ、全体で3分程度の動画を作成ください。
- ナレーション文案は、総務省様、実証コンソーシアム様と協議の上作成いたします。＜詳細の案内は別途ご連絡いたします＞
- 開発実証全体の並びを整理する観点から、動画に含めて頂きたいシーン、各シーンの構成案について、絵コンテ等を用いてMRIからご提案させていただきます。実証コンソーシアム様と相談の上、動画構成を作成いたします。＜詳細の案内は別途ご連絡いたします＞
- 絵コンテを踏まえ、実証コンソーシアム様にて、動画を作成ください。

Copyright © Mitsubishi Research Institute 0

MRI

留意事項等

- 下記に係る情報は①②の映像ともに含まれないよう、原則排除(またはマスキング)ください。
- 個人情報(作業者の顔など)
- ナンバープレート
- 絵コンテについては11月中の展開を目指し、各実証コンソーシアム様分の作成を進めております。実証時期の都合から、絵コンテ展開時期についての要望がある各実証コンソーシアム様は、適宜事務局まで、Teamsにてご相談ください。
- 納品映像はフルHD解像度 30fpsを想定しており、フルHDを撮影できるのであれば、特別プロ機材でなくても構いません。
- 納品ファイルはMP4等の一般的な映像データ形式で無編集の撮影素材そのままをご提供いただく想定です。
- 映像品質については、映像の白飛び(明るすぎて真っ白な箇所がある状態)にご注意ください。また、なるべくノイズの無いクリアな映像のご提供をお願いいたします。
- 動画提出の方法は、Teams経由を想定しております。提出方法等については、別途Teamsにてご連絡いたします。
- その他不明点あれば、Teamsにてご連絡ください。

Copyright © Mitsubishi Research Institute 3

図 5.1-1 映像制作についてのご案内 v3

令和4年度 課題解決型ローカル5G 開発実証動画 構成参考

【端01】 移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した高画質映像ストリーミング対応小型カメラ端末の試作

動画の総尺は3分をお願いします。
下記の構成は、あくまで目安としてお考え下さい。実証内容や撮影素材に併せて、秒数・順番を変更して頂き、問題ございません。

* 動画の総尺：3分 【実証の紹介映像】 20秒前後

下記の撮影素材から抜粋して、短く編集した映像と代表者コメント映像で構成

【実証の記録映像】 2分40秒前後	目安の秒数 / 秒数の総計	
1.実証会場の全景	15秒 / 15秒	*各シーンにつき、3カット前後も目安に編集して下さい。
2.日常の作業の様子	15秒 / 30秒	
3.カメラ型ローカル5G端末システムのアップ	10秒 / 40秒	
4.ローカル5Gルータ（サーバー）	10秒 / 50秒	
5.人体に端末を装着する様子	15秒 / 1分5秒	
6.装着して作業する様子	15秒 / 1分20秒	
7.5の端末のアップ	10秒 / 1分30秒	
8.5を遠隔で確認する様子・モニター画面のアップ	15秒 / 1分45秒	
9.移動ロボットに搭載される端末システム	15秒 / 2分	
10.移動ロボットが作業する様子	15秒 / 2分15秒	
11.9の端末部分のアップ	10秒 / 2分25秒	
12.9を遠隔で確認する様子・モニター画面のアップ	15秒 / 2分40秒	

図 5.1-2 端 01_ローカル5G 実証動画（3分）編集構成

5.1.2 最終構成

検討にあたっては、事務局より提示された構成案を参考にしつつ、本端末の特長やユースケースイメージを分かりやすく表現することに留意した。コンテンツは実映像に加え、ストック映像・イラスト・アニメーションを活用することで、利活用可能な現場やフィールドを想起しやすくした。また、各シーン・カットにはナレーションとテロップを挿入している。これによりバリアフリーやアクセシビリティの向上を意識しつつ、映像のみでは伝達困難なメッセージや内容をしっかりと伝えられるようにした。

本端末システム試作事業の取り組み成果に係る映像について、コンテンツ構成を表 5.1-2、最終版の絵コンテを表 5.1-3 に示す。



表 5.1-2 コンテンツ構成

コンテンツ	参考構成案 関連項番号	秒数	秒数の 総計
[タイトル] 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 移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した高画質映像ストーリーミング対応小型カメラ端末	—	5	5
[概要] コンソーシアム代表者による概要説明（テロップ/ナレーション） 代表者インタビューのカット後、以降のコンテンツから4～5カットをインサート	0項	24	39
[背景・課題] 社会課題の説明（テロップ/ナレーション） 土木・工場・港湾等のカット	—	12	41
[実証の目的] 実証目的の説明（テロップ/ナレーション） YRPや自社にて端末の開発・評価を実施しているシーン	1項	15	56
[端末外観・システム] 端末の外観・特徴やシステムの説明（テロップ/ナレーション） 端末のクローズアップカット 端末・遠隔拠点間通信のシステム構成の模式図	3項	28	84
[利用イメージ] 人体装着や三脚設置等端末利用形態の説明（テロップ/ナレーション） 人体装着や三脚設置のカット 端末装着者、遠隔拠点間で端末を利用しているシーン	5, 6, 7, 8 項	30	114
[ユースケース例] 利用可能なユースケース例（テロップ/ナレーション） 遠隔施工や災害・有事を想起させるカット	—	15	129
[移動体取り付け時の利用イメージ] 移動式ロボットやドローン搭載時の説明（テロップ/ナレーション） 移動体ロボットが巡視するシーン（アニメーション画像によるカット）	9項	14	143
[移動体取り付け時のユースケース例] ドローンに搭載し、侵入検知を行う利用例の説明（テロップ/ナレーション） プラントをドローンが巡視・侵入検知するシーン（アニメーション画像によるカット）	10項	22	165
[ローカル5Gルーターとしての利用イメージ] ローカル5Gルーター利用時の説明（テロップ/ナレーション） ルーターとして利用しているシーン ルーター利用時の現場の無線化構成の模式図	4項	11	176
[エンディング] 利用シーンをイメージする4分割カット	—	4	180

表 5.1-3 高画質映像ストリーミング対応小型カメラ端末の試作/報告映像 構成

【読み尺：約 180 秒】


No.	映像	TC	構成
1		00.0 0	▼タイトル 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 移動ロボットや現場作業員の利活用を想定した 高画質映像ストリーミング対応小型カメラ端末
2		00.0 5	0. 実証の紹介映像
3	<p>本端末は最大4Kのリアルタイム映像伝送</p>		
4			
5		00.2 9	今回の試作事業では、作業員やロボット、ドローンなどに 簡単に装着できるローカル5G通信を内蔵した 小型カメラ端末を開発しました。 本端末は最大4Kのリアルタイム映像伝送、 エッジAIを可能とする高性能プロセッサ、 長時間、安定して動作する耐久性を備えます。
6			建設、プラント、製造など、過酷な現場において深刻化する、 人手不足や技術伝承、生産効率向上など、 様々な課題解決に貢献します。






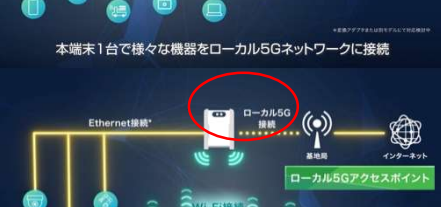

No.	映像	TC	構成
7 8 9			
10 11 12 13		00.4 1	<p>1. 実証会場の全景</p> <p>今回開発したローカル 5G 対応小型カメラ端末は、 様々な現場課題を解決し</p> <p>生産性向上や人手不足による業務負担の軽減、技術伝承 など、</p> <p>現場の DX を加速させます</p>


No.	映像	TC	構成
14			
15	 <p>手のひらサイズで軽量コンパクトな本体</p>	00.5 6	3. カメラ型ローカル 5G 端末システムのアップ 手のひらサイズで軽量コンパクトな本体
16	 <p>4KカメラとエッジAI処理が可能な高性能プロセッサを搭載</p>		4K カメラとエッジ AI 処理が可能な高性能プロセッサを搭載
17	 <p>独自の放熱設計で過酷な環境下でも長時間安定動作</p>		独自の放熱設計で過酷な環境下でも長時間安定動作
18		01.1 0	ローカル 5G の特長である高速・大容量・低遅延を活かし最大 4K の映像と音声によるリアルタイムコミュニケーションが可能 高度な遠隔作業支援を実現します

No.	映像	TC	構成
19		01.2 4	4. 人体に端末を装着する様子 5. 装着して作業する様子 6. 端末のアップ 7. 遠隔で確認する様子・モニタ画面のアップ
20			端末は作業者のハーネスやネックストラップなどに取り付けることで現場の作業者目線の映像を伝送します
21	端末は作業者のハーネスやネックストラップなどに取り付けることで	01.2 8	
22			
23	現場の作業者目線の映像を伝送します		
24	三脚や単管パイプ等に取り付け	01.3 3	三脚や単管パイプ等に取り付け、 定点監視カメラとしても利用できます
25	定点監視カメラとしても利用できます		
	端末からのストリーミング映像は	01.3	端末からのストリーミング映像は、 複数拠点から PC やスマートフォン、タブレットで同時視 聴が 可能

No.	映像	TC	構成
26		8 01.4 2	参加メンバー間の双方向音声コミュニケーションとあわせて 高度なコミュニケーションを実現します
27	 <p>遠隔施工時の現場確認 他にも遠隔施工における重建機の遠隔操縦の眼としての利用や</p>	01.5 4	2. 日常の作業の様子 他にも遠隔施工における重建機の遠隔操縦の眼としての利用や
28	 <p>遠隔施工時の現場確認 他にも遠隔施工における重建機の遠隔操縦の眼としての利用や</p>		
29	 <p>災害や有事の状況把握 災害現場や有事現場での状況把握のための</p>	02.0	災害現場や有事現場での状況把握のための

No.	映像	TC	構成
36	 <p>ロボットによる自律的な作業や警備、遠隔監視</p>		<p>ロボットによる自律的な作業や警備、遠隔監視</p>
37	  <p>遠隔点検</p>	02.2 3	<p>目視では難しい場所での設備の遠隔点検</p>
38	  <p>無人自動巡視</p>		<p>4Kカメラによる撮影画像をリアルタイムに解析し 異常や侵入者を自動的に検知</p>
39	  <p>無人自動巡視</p>	02.3 1	<p>異常や侵入者を自動的に検知</p>
40	 <p>無人自動巡視</p> <p>大規模プラントや港湾等での無人自動巡視を実現します</p>	02.3 8	<p>大規模プラントや港湾等での無人自動巡視を実現します</p>

No.	映像	TC	構成
43		02.4 5	12. ローカル 5G ルーター
44			ローカル 5G のアクセスポイントとしても活用可能
45	 <p data-bbox="225 734 667 768">本端末1台で様々な機器をローカル5Gネットワークに接続</p>		
46	 <p data-bbox="225 981 667 992">本端末1台で様々な機器をローカル5Gネットワークに接続</p>		
47	 <p data-bbox="225 1205 667 1216">本端末1台で様々な機器をローカル5Gネットワークに接続</p>		
48	 <p data-bbox="225 1429 667 1440">本端末1台で様々な機器をローカル5Gネットワークに接続</p>		本端末1台で様々な機器をローカル 5G ネットワークに接続
49	 <p data-bbox="225 1653 667 1664">本端末1台で様々な機器をローカル5Gネットワークに接続</p>		
	 <p data-bbox="225 1975 667 1998">現場の無線化を実現します</p>		現場の無線化を実現します。

No.	映像	TC	構成
50			
51		02.5 6	

5.2 端末システム発表会の実施

本端末システム試作事業に関する発表会については、令和5年3月10日 14:00-15:00にてリモートで開催した。総務省様からローカル 5G 関係者に広く通知いただき、社外から法人・団体数として、総務省様、三菱総研様含めて19社程度、約53名の皆様にご参加頂いた。

当日は、以下のアジェンダで実施した。

アジェンダ

1. 開催のご挨拶 (FCNT 執行役員)
2. 開発実証の紹介映像
3. 開発実証内容のご紹介
 - ① 本実証への取り組みの背景と課題認識
 - ② 本実証の考え方
 - ③ 端末コンセプトと特長
 - ④ 端末システム外観と仕様
 - ⑤ 開発における工夫
 - ⑥ ユーザ企業ヒアリング結果(想定ユースケースなど)
 - ⑦ 今後の展開について
4. 試作開発した端末のデモ
5. 質疑応答

リモート開催であったが、既に録画したデモ画像の紹介と、実際に端末を動作させてフルHD画像でのストリーミングを実施した。その時のデモ画像を図 5.2-1 に示す。

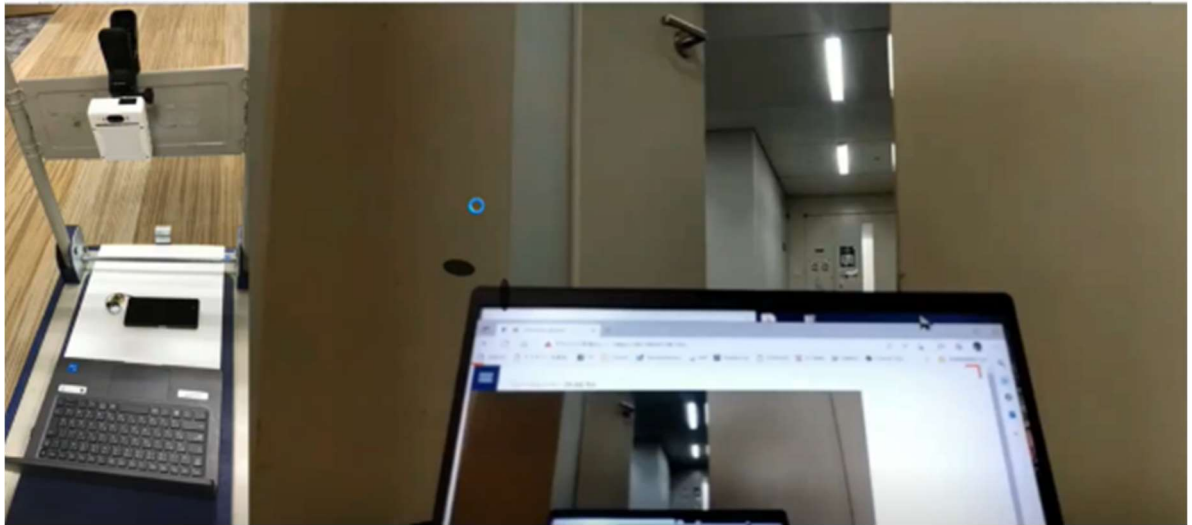


図 5.2-1 端末システム発表会デモ画像

当日は、複数の企業の方々から、ご説明・デモ内容に関してご質問を頂いた。最後には総務省様や三菱総研様からは、今後の期待含めたご講評も頂戴し、一定の成果を得られたと考える。

5.3 その他普及啓発活動

弊社ウェブサイトや公式 SNS での情報公開、ローカル 5G に関連する情報を掲載するウェブサイトへの記事稿やインタビュー対応での情報発信、ローカル 5G 普及研究会などのコンソーシアム内での取り組み紹介などを積極的に実行する活動を通して、本事業で試作した端末システムの認知向上を今後図っていく所存である。

またローカル 5G 普及に取り組まれる各企業のユースケースとのマッチングや、具体的な想定ユースケース内での検証を各企業と共同で実施し、当該端末システムの有効性を検証し、ローカル 5G 普及に貢献していく。

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

図 6.1-1 に実施体制の全体像を示す。

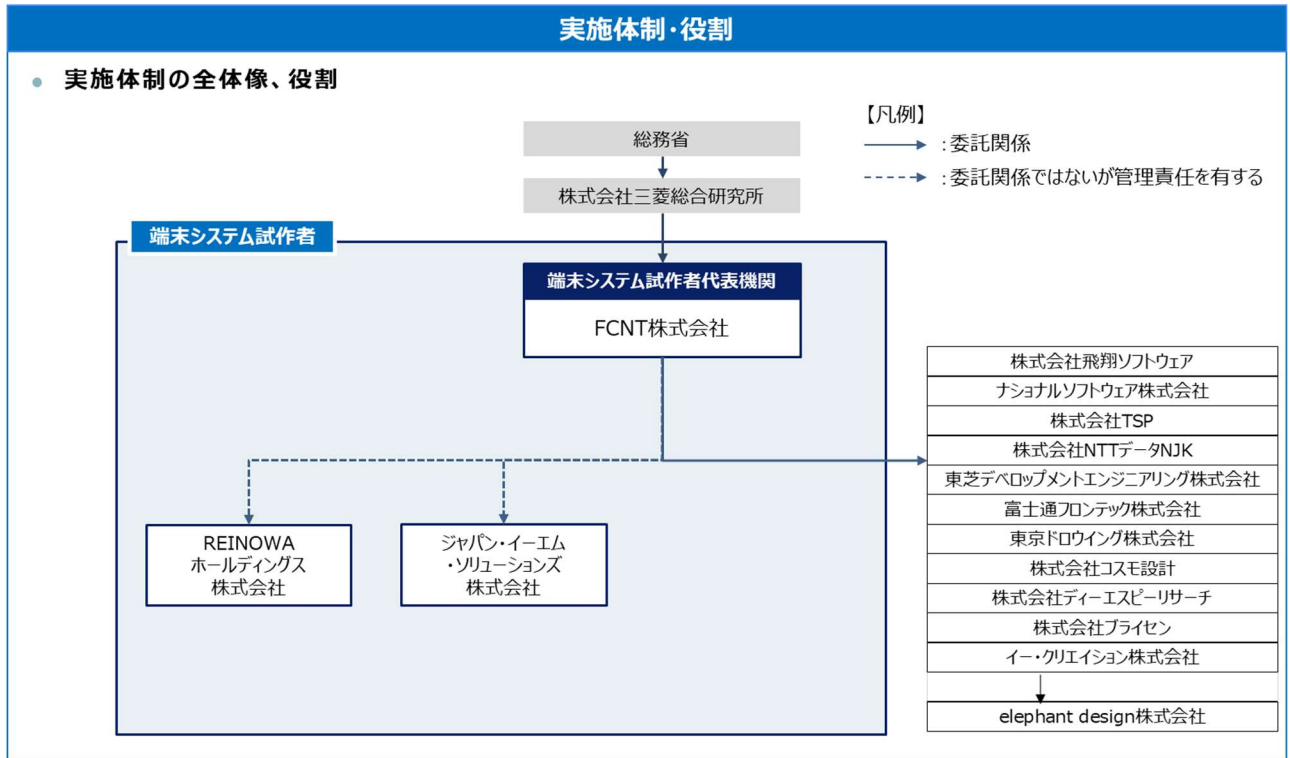


図 6.1-1 実施体制の全体像

6.2 実施体制内の役割

表 6.2-1 実施体制内の役割に実施体制内の役割を示す。

表 6.2-1 実施体制内の役割

団体	役割
FCNT 株式会社	端末システムの開発実証統括 ・企画、開発、設計、試作 ・技術実証の実施 ・課題実証の実施 ・普及啓蒙活動の実施 ・報告書の作成
REINOWA ホールディングス株式会社	・情報セキュリティ ・情報保全
ジャパン・イーエム・ソリューションズ株式会社	・課題実証関係者 ・試作製造(SMT)

7. スケジュール

7.1 スケジュール

本実証の実施スケジュールを図 7.1-1 実施スケジュールに示す。

		令和4年												令和5年									
		9月			10月			11月			12月			1月			2月			3月			
		1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	1	11	21	
手続き・報告	契約																						
	再委託申請																						
	経理検査																						
実証環境の構築	詳細設計																						
	部品調達																						
	試作																						
	技適申請																						
技術実証	免許申請																						
	実証計画																						
	社内ラボ 動作検証																						
	テストベッド 確認																						
課題実証	実証計画																						
	小型化設計																						
	ストリーミング機能 設計																						
	防水防塵																						
	連続動作 (温度上昇)試験																						
	遅延時間																						
普及啓発活動	実装性に係る検証																						
	映像制作																						
	端末発表会																						
納入成果物	成果報告書																						
	ドキュメント																						

図 7.1-1 実施スケジュール